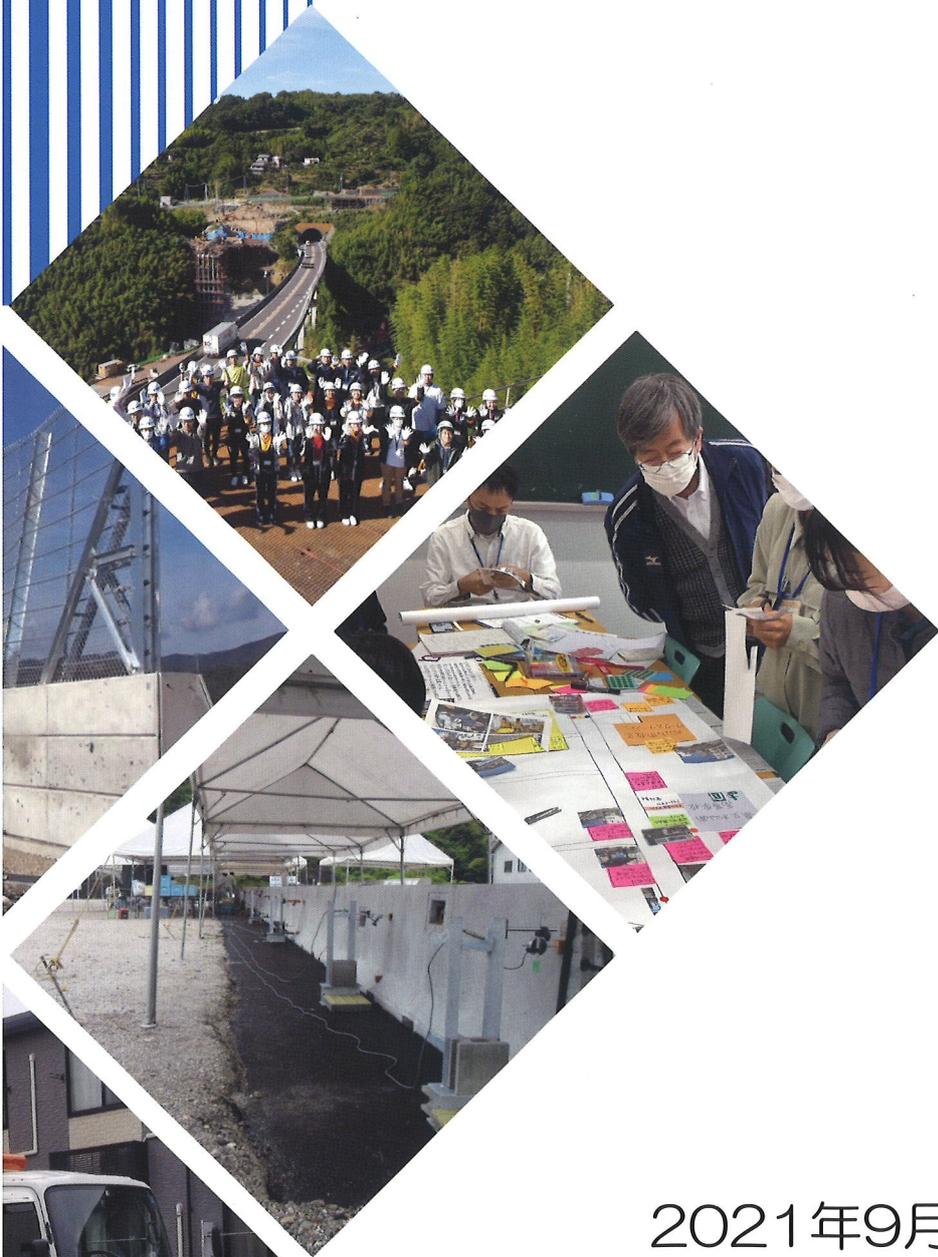


# 防災・まちづくりに関わる最新の 技術開発研究論文

～寄付講座ならではの実践的研究をめざして～



2021年9月

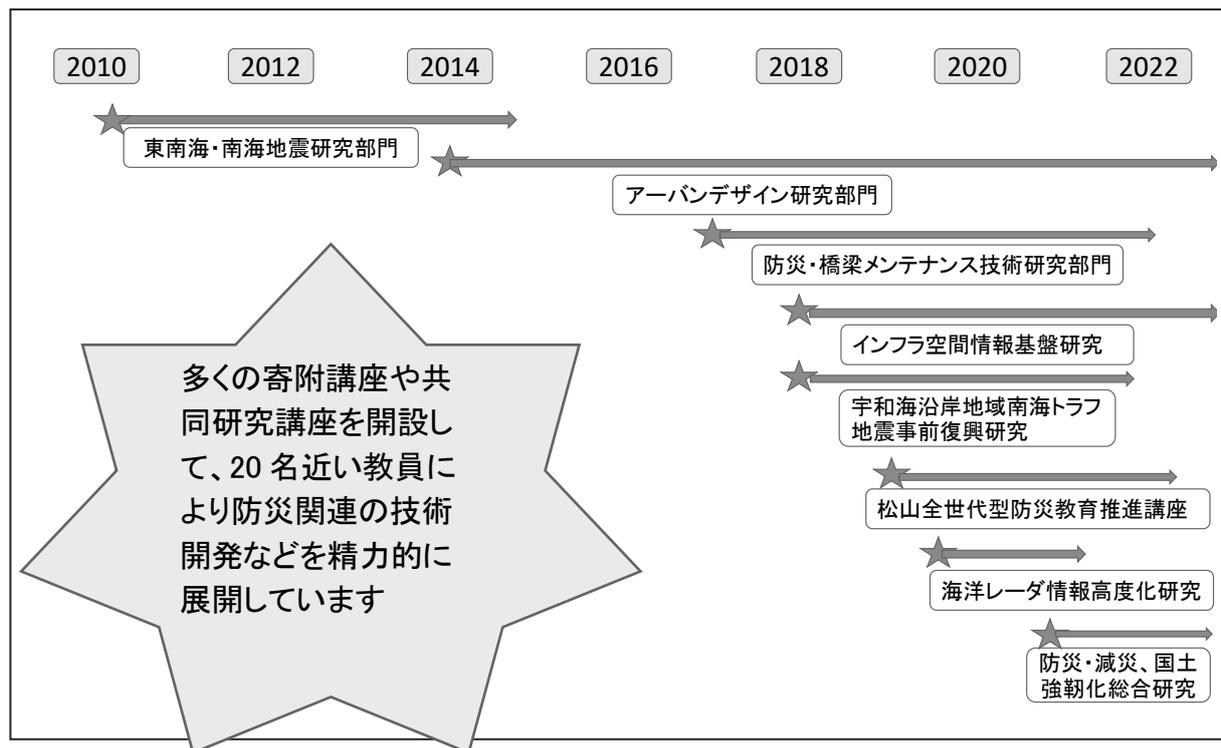
愛媛大学防災情報研究センター  
一般社団法人四国クリエイイト協会

## 寄付講座の活動概要と成果の紹介

1.	愛媛大学防災情報研究寄付講座の概要 .....	2
2.	防災・橋梁メンテナンス技術研究部門 急速施工車両用プレキャスト防護柵「RS ガードフェンス」の技術開発 .....	4
3.	防災・橋梁メンテナンス技術研究部門 小規模落石防護柵「SR フェンス」の技術開発.....	6
4.	防災・橋梁メンテナンス技術研究部門 ハーププレキャスト落石防護擁壁「Rs ウォール」工法の技術開発.....	8
5.	宇和海沿岸地域南海トラフ地震事前復興研究（共同研究） 南海トラフ地震に対する行政と連携した総合的防災・事前復興対策検討.....	10
6.	松山全世代型防災教育推進講座 防災対応並びに地方創生に資する人材育成に関する実践的教育の推進.....	12
7.	松山アーバンデザインセンター .....	14
8.	インフラ空間情報基盤研究部門 地中レーダ技術を用いた路面下性状調査に関する研究.....	16
9.	インフラ空間情報基盤研究部門 GNSSを活用した効率的な調査・解析の推進 .....	17
10.	インフラ空間情報基盤研究部門 大量退職と少子高齢化社会到来を踏まえた社会資本整備にかかる人的資源と技術伝承のあり 方等に関する研究.....	18

# 愛媛大学防災情報研究センターにおける 寄附講座を中心とした防災研究と防災教育の展開

この12年間で開設した8部門の寄附講座等



## 各寄附講座等の概要

名称 東南海・南海地震研究部門  
 期間 2010.10～.2015.3  
 寄付者 社団法人四国建設弘済会(現 一般社団法人 四国クリエイト協会)  
 目的 東南海・南海地震に対する行政と連携した総合的防災対策検討

名称 アーバンデザイン研究部門  
 期間 2014.4～  
 寄付者 松山市都市再生協議会  
 目的 松山市中心市街地の活性化検討ならびにまちづくりの人材の育成

名 称 防災・橋梁メンテナンス技術研究部門  
期 間 2017.4～2022.3.  
寄付者 (株)第一コンサルタンツ・(株)高知丸高(2017.4-2018.3)  
目 的 インフラメンテナンスならびに防災関連建設技術の開発

名 称 宇和海沿岸地域南海トラフ地震事前復興研究(共同研究)  
期 間 2018.4～2021.3  
共同研究者 東大・愛媛県・宇和島市・八幡浜市・西予市・愛南町・伊方町  
目 的 東南海・南海地震に対する行政と連携した総合的防災対策検討

名 称 インフラ空間情報基盤研究部門  
期 間 2018.4～2024.3  
寄付者 (株)カナン・ジオリサーチ  
目 的 地下・地上一体型空間情報調査技術の開発

名 称 松山全世代型防災教育推進講座  
期 間 2019.10～2023.3.  
寄付者 松山市防災教育推進協議会  
目 的 防災対応並びに地方創生に資する人材育成に関する実践的教育の推進

名 称 海洋レーダ情報高度化研究部門  
期 間 2019.11～2021.10  
寄付者 国際航業(株)  
目 的 レーダによる津波測定技術の開発及びインドネシア人研究者との  
ネットワーク強化

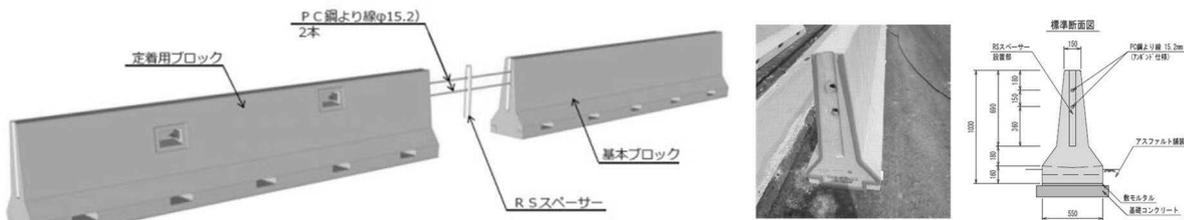
名 称 防災・減災、国土強靱化総合研究部門  
期 間 2021.4～2024.3.  
寄付者 (株)芙蓉コンサルタント  
目 的 大規模自然災害対応並びに国土強靱化に資する人材育成と関連技術開発

名称：急速施工車両用プレキャスト防護柵「RS ガードフェンス」の技術開発  
 期間：2017.6～2018.12  
 共同研究者：(有)松井建材、日本興業(株)、愛媛三段ブロック(株)、(有)創友、  
 (株)第一コンサルタンツ、(株)エスイー、愛媛大学  
 目的：車両用剛性防護柵 SB 種としての性能(強度)を有していることを実証

### 開発成果その I：RS ガードフェンスの特徴

自動車専用道路の路側部に設置されるプレキャスト防護柵は、日本道路協会の車両用防護柵標準仕様でその断面寸法や構造が定められている。RS ガードフェンスは、標準仕様で定められている従来型に比べて、施工期間の短縮と作業性を大幅に改善した製品である。

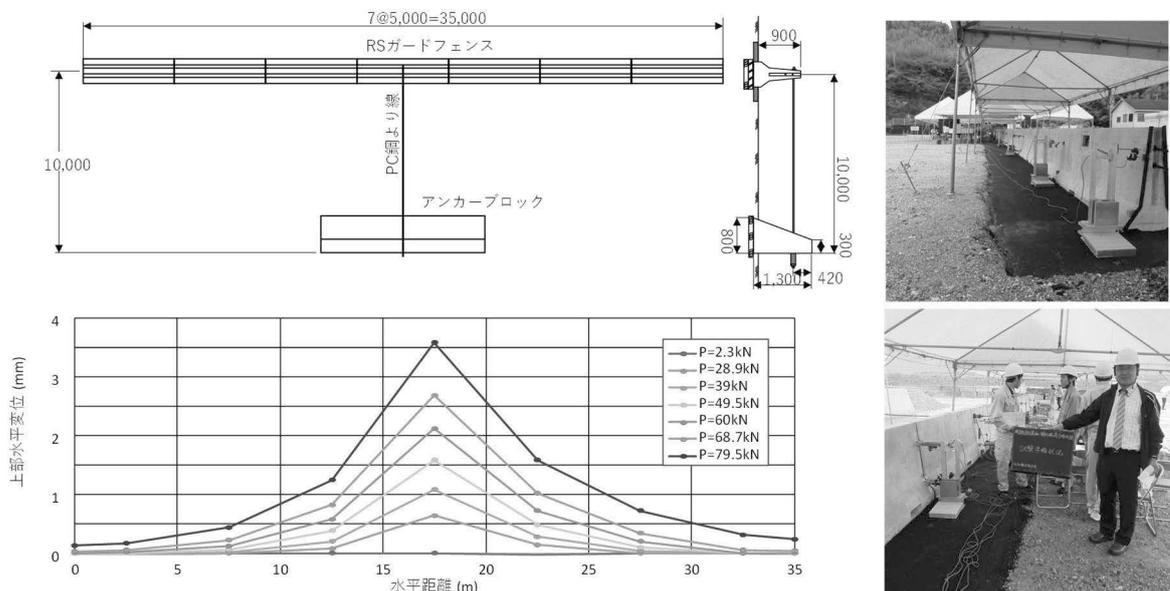
主な改善点は、①目地部に円形部材(RS スペース)を適用することによりモルタル充填前に製品緊張を可能にしたこと、②PC 鋼より線を 2 本(従来型は 1 本)にすることで 1 本当たりの線径が小さくなり、作業性を向上させたこと、③PC 鋼より線の定着緊張位置を製品側面(従来型は上面)にすることにより、通常のセンターホールジャッキでの緊張作業を可能にしたことである。



(詳細は、本文 33～34 頁を参照)

### 開発成果その II：静的载荷試験で SB 種の性能を有することを確認した。

RS ガードフェンス(製品長 5m)を 7 本連結し、中央部に水平力を载荷し、製品の水平及び鉛直変位、内部の鉄筋のひずみを測定した。SB 種の設計荷重は 58kN であるが、製品の転倒安全率が 1.0 になる 79.5kN まで载荷しても RS ガードフェンスは損傷や過大な変形しないことを確認できた。

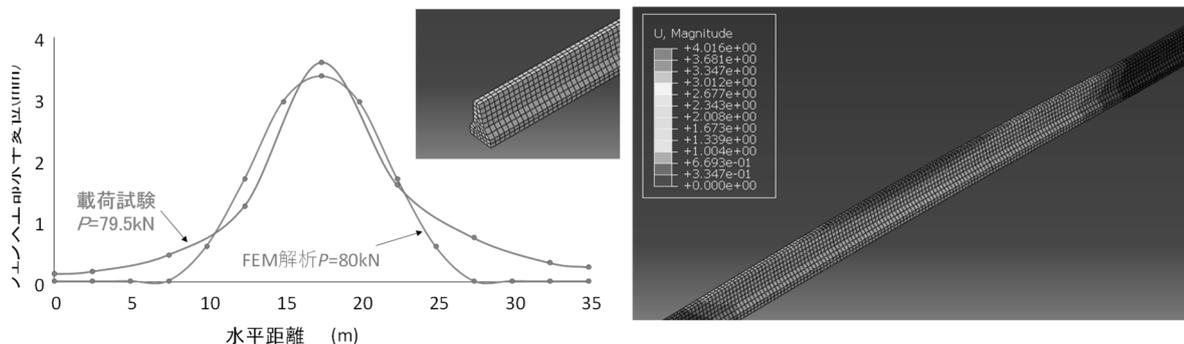


(詳細は、本文 33～34 頁を参照)

### 開発成果そのIII：FEM解析による検証

静的載荷試験と同じ条件で弾性 FEM 解析を行った。FEM 解析では、RS ガードフェンスの底面が地盤に密着しており、回転による底面の持ち上がりやスリップによる移動はしないものとしている。この解析条件のため静的載荷試験と若干異なっているもののフェンスの水平変位は概ね一致した。

FEM 解析結果からも、SB 種防護柵としての製品の安全性を確認することができた。



(詳細は、本文 33～34 頁を参照)

### 開発成果そのIV：施工性の確認

均しコンクリート設置、RS フェンスの設置、PC 鋼より線挿入、PC 鋼より線緊張、目地部・定着部の無収縮モルタル充填の施工を現地で実際に行い、RS フェンスの開発目標である施工期間の短縮と作業性の向上が図れることを確認した。



(詳細は、本文 33～34 頁を参照)

#### 研究員

教授 矢田部龍一、准教授：全 邦釘  
 特定教授 右城猛

開発技術に関する問い合わせ先

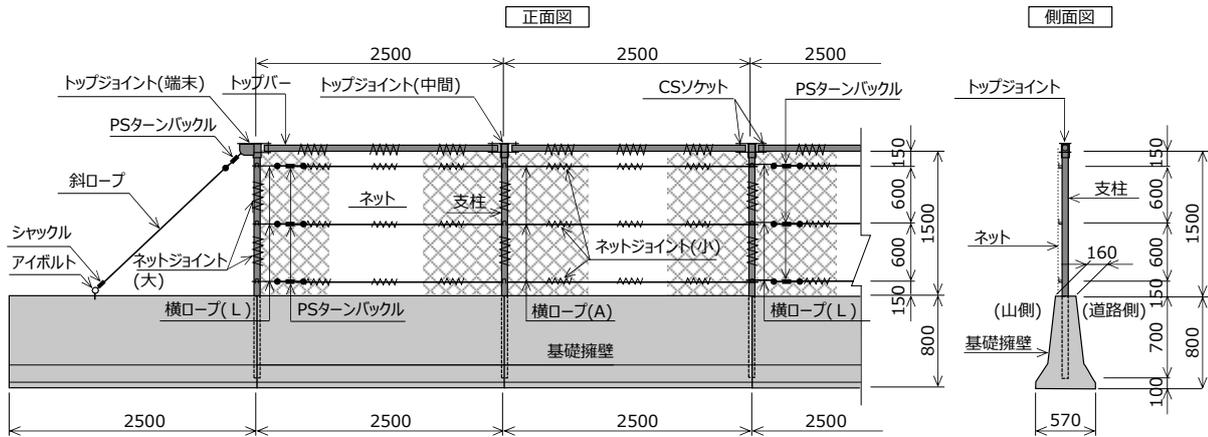
愛媛大学防災情報研究センター 矢田部龍一

TEL：089-927-8141 E-mail：yatabe.ryuichi.mu@ehime-u.ac.jp

名称：小規模落石防護柵「SR フェンス」の技術開発  
 期間：2018.4～2020.3  
 共同研究者：(有)創友、(株)ニップロ、(株)第一コンサルタンツ  
 目的：SR フェンスの落石エネルギー吸収性能の検証

### 開発成果そのⅠ：SR フェンスの開発

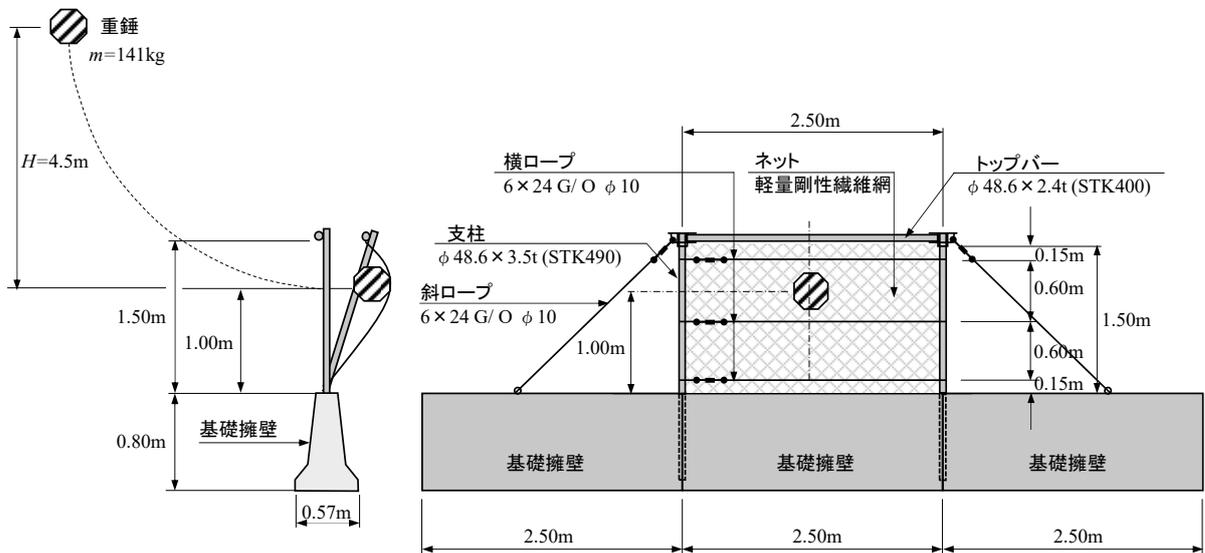
SR フェンスとは、プレキャスト車両用防護壁の上に、軽量剛性繊維網を使用した高さ 1.5m の防護柵を設置したもので、6.2kJ 以下の小規模落石および小規模崩壊土砂を受け止めることができる工法である。特殊技術がなくても簡単に設置できるという特徴がある。



(詳細は、本文 35～38 頁を参照)

### 開発成果そのⅡ：落石エネルギー吸収性能の検証

性能検証の実験は、工場内の天井クレーンを利用して振り子方式で行った。高さ 4.5m の位置から質量 141kg のコンクリート多面体の重錘を SR フェンスに衝突させて挙動を観測した。その結果、支柱や阻止面の変形などにより 6.2kJ のエネルギー吸収性能があることを確認できた。



(詳細は、本文 35～38 頁を参照)

### 開発成果そのⅢ：施工性の確認

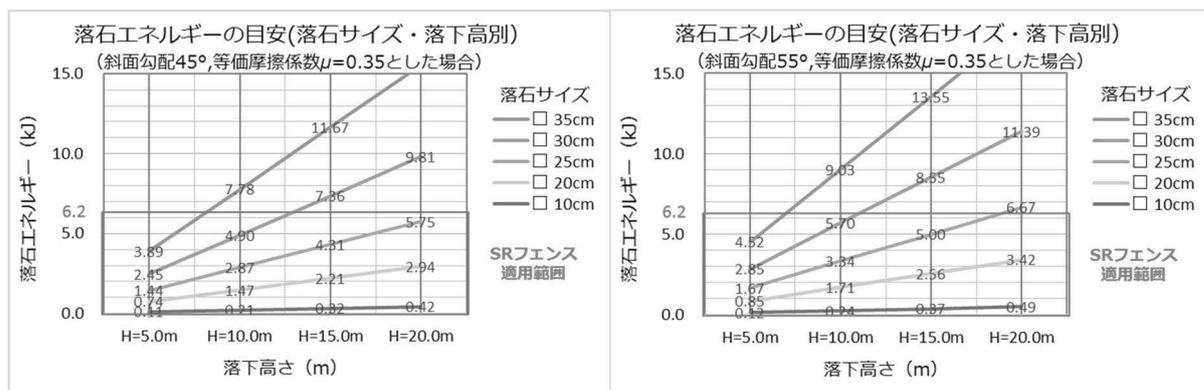
SR フェンスは、平成 30 年 2 月から令和 3 年 3 月までの間に全国 260 箇所で行われており、安全性と施工性に優れた製品であることが実証されている。設置に要する日数は、基礎が 100m/日、防護柵が 25m/日である。



(詳細は、本文 35～38 頁を参照)

### 開発成果そのⅣ：適用範囲

SR フェンスは運動エネルギー 6.2kJ 以下の落石を受け止めることができる。勾配 45° の斜面と勾配 55° の斜面に対して適用可能な落石径と落下高の目安を下図に示す。なお、斜面の等価摩擦係数は、設計で一般的に使用されている 0.35 としている。



(詳細は、本文 35～38 頁を参照)

#### 研究員

特定教授 右城 猛

特定教授 松本洋一

開発技術に関する問い合わせ先

愛媛大学防災情報研究センター 右城 猛

TEL : 088-821-7011 E-mail : t-ushiro@daiichi-c.co.jp

名 称：ハーフプレキャスト落石防護擁壁「Rsウォール」工法の技術開発

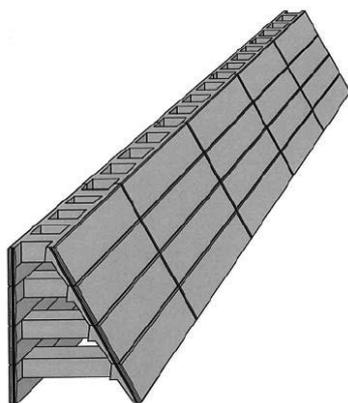
期 間：2020.4～2020.12

共同研究者：松井建材(有)、(有)創友、(株)第一コンサルタント、高知工業高等専門学校

目 的：施工性の省力化と落石エネルギーの吸収性能を検証

### 開発成果そのⅠ：Rsウォール工法の考案

Rsウォールとは、跳び箱のように内部が空洞になったプレキャスト型枠(高さ0.5m、長さ2m)を積み上げて、内部にコンクリートを打設することで重力式擁壁を構築するハーフプレキャスト工法である。前面勾配は3～6分、高さ0.5～4.0mまでの断面に対応できる。品質に優れた擁壁を少人数で短期間に施工可能にすることを目的として開発した。



(詳細は、本文 39～44 頁を参照)

### 開発成果そのⅡ：施工性の確認

天端幅 0.5m、底面幅 1.25m、高さ 1.5m、奥行き長 10m の重力式擁壁を試験施工した。施工に要したのは 6 人の作業員が 1 日であり、現場打ちコンクリートに比べて作業員を 6 人役削減でき、養生 1 日を含めた施工日数は 1.5 日短縮することができた。



製品(材料確認)



2段目設置(上面)



3段目設置(斜め前)



33段目設置(側面)



ストーンガードの支柱設置



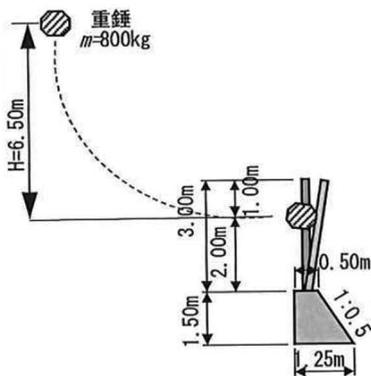
完成

(詳細は、本文 39～44 頁を参照)

### 開発成果そのⅢ：落石防護柵基礎を兼ねた重力式擁壁としての性能

高さ 3.0m、支柱間隔 3m、延長 9m のストーンガードを重力式擁壁に設置し、質量 0.8t のコンクリート製多面体(SAEFL 型)重錘をトラッククレーンで吊り上げ、防護柵の下端から 2m 上の位置に 6.5m の高さから振り子方式で防護柵の阻止面に垂直に衝突させた。運動エネルギーは、ストーンガードの可能吸収エネルギーとされている 51kJ である。

重錘衝突時に、擁壁はつま先を中心にわずかに回転変位したが、安定性に関してはまったく問題ないことを確認できた。



(衝突側)

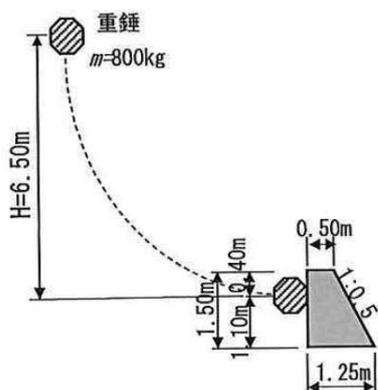


(背面側)

(詳細は、本文 39～44 頁を参照)

### 開発成果そのⅣ：落石防護擁壁としての性能

開発成果そのⅢで説明した実験の後、同じ重錘を擁壁の下端から 1m 上の位置に壁面に垂直に衝突させた。衝突速度は 11.3m/s、運動エネルギーは 51kJ である。衝突時の衝撃力で重錘は破損したが、擁壁の損傷は確認されなかった。プレキャスト型枠の破損や剥離を心配していたが、そのような損傷も見られなかった。現場打ちコンクリートの重力式擁壁と同等の耐落石性能を有していることが確認できた。



重錘の衝突時



重錘が衝突した後のはね返り時

(詳細は、本文 39～44 頁を参照)

#### 研究員

特定教授 右城 猛

特定教授 松本洋一

開発技術に関する問い合わせ先

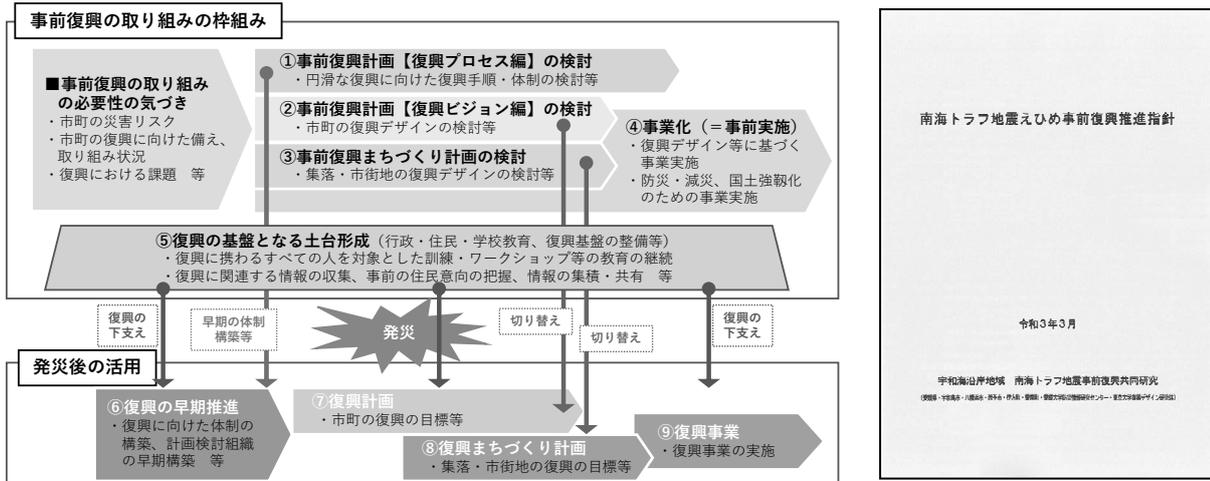
愛媛大学防災情報研究センター 右城 猛

TEL : 088-821-7011 E-mail : t-ushiro@daiichi-c.co.jp

名称：宇和海沿岸地域南海トラフ地震事前復興研究（共同研究）  
 期間：2018.4～2021.3  
 共同研究者：東京大学・愛媛県・宇和島市・八幡浜市・西予市・愛南町・伊方町  
 目的：南海トラフ地震に対する行政と連携した総合的防災・事前復興対策検討

### 開発成果そのⅠ：「南海トラフ地震えひめ事前復興推進指針」

被害の軽減や被災地の復興を適切かつ迅速・円滑に実施するための備えを発災前に取り組むための「事前復興」の推進を指針として提示。



(詳細は、本文 71～78 頁を参照)

### 開発成果そのⅡ：「計画」事前復興プランの実践への取り組み

各モデル地区で検討した事前復興プランを基本に、地元への報告や住民ワークショップによる議論を通じて事前復興（防災）の事業プランとして推進する流れを構築。



(詳細は、本文 71～78 頁を参照)

## 開発成果そのIII：「情報」情報プラットフォームの構築と活用

事前復興の「情報」に関わる基盤として“情報プラットフォーム”を構築し、防災・減災のための行政訓練や住民ワークショップ（防災復興学習型WS，課題解決提案型WS）への活用等も提案。



(詳細は、本文 79～86 頁を参照)

## 開発成果そのIV：「教育」学校教育プログラム（将来の大人世代の学び）の構築

学校教育は今の子どもたちがいつの日か南海トラフ地震に遭遇することを想定し、段階的な基礎学習と疑似的な体験学習を重ねるプログラムを構築。

### 高校生ロールプレイング・ディスカッション

#### 復興の当事者となるみなさんの立場

カード	R1	R2	R3	R4	R5	A1	A2	C1
立場	住民	住民	住民	住民	住民	行政	行政	地元企業
職業等								
年齢	35	35	45	45	45	45	45	-
被災	あり	あり	あり	あり	あり	なし	なし	あり
カード	R6	R7	R8	R9	R10	N1	N2	C2
立場	住民	住民	住民	住民	住民	外国人	外国人	地元企業
職業等								
年齢	55	55	55	35	75	40	40	-
被災	なし	なし	なし	なし	なし	-	-	あり

**住民カード：R1**  
あなたの立場：  
・あなたは、若手のみかん農家だ。  
・この地域の歴史あるみかん産業を担っている。  
年齢：35歳（働き盛りに入ろうとしている）  
家族：3世代4人家族  
両親60代、妻30代、子供（2人：小学低学年）  
まちへの思い：  
・大層の楽しみかたな中で育ったこのまちが大好きだ。  
将来への希望：  
・みかんをブランド化して発展させたい。  
・将来、子供にも家を継いでほしい。  
年収：500万円（親の収入も） 家：持ち家  
借金：農機具ローン200万円  
受け継いだ家：  
・津波で住む家があった。  
・農山の農地の半分が崩壊したが、残ったみかんの木には被害なし。

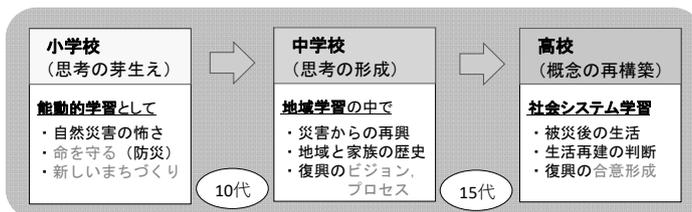
### 住み続ける？ 合意形成

それぞれの住民の立場から考えて、判断をする。  
(感情・感覚判断でも良い)  
(ディスカッションの中で考えが変わっても良い)

計画賛成 (その理由は...)

計画反対 (その理由は...)

中立 (今後判断) (その理由は...)



### 私たちのまちと生活の再建（被災後の生活）



(詳細は、本文 101～108 頁を参照)

### 研究員

教授 森脇 亮 特定教授 山本浩司  
特定教授 薬師寺隆彦 特定研究員 新宮圭一

開発成果に関する問い合わせ先

愛媛大学防災情報研究センター 山本浩司

TEL : 089-927-9021

E-mail : yamamoto.koji.wo@ehime-u.ac.jp



### 開発成果そのⅢ：「子どもを育てる人と人のつながりを促す場の構築」

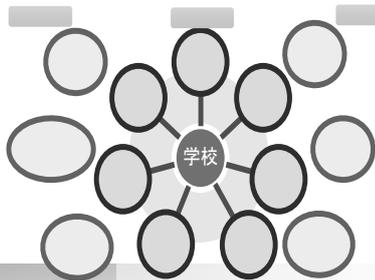
自主防災会をはじめとする地域や関係機関と連携する場や様々な年齢の子どもと一緒に活動する場の構築



<自主防災会や地域との連携>



<小学生から大学生まで年齢が違う人との関わり>



<企業や関係機関との連携>

### 開発成果そのⅣ：「学びから主体的な活動へ 未来を描く子どもたち」

様々な学びを自分のこととして捉え、防災に主体的にかかわり、未来を描ける子どもの育成



<自己課題の追究>



<想いを伝え、共有する場の構築>



<オンラインでの発信>



<防災を通して街づくりへの提案>

#### 研究員

特定教授	中尾順子
出向職員(松山市)	喜安祥隆
研究補助員	中島淳子

開発技術に関する問い合わせ先

松山防災リーダー育成センター 中尾順子

TEL 089-927-8821 E-mail : nakao.iunko.zv@ehime-u.ac.jp

名 称：松山アーバンデザインセンター

期 間：2014. 4～2021. 3

共同研究者：松山市、伊予鉄グループ、松山商工会議所、まちづくり松山、松山大、東雲女子大、聖カタリナ大、東京大、復建調査設計、伊予銀行、愛媛銀行、日立製作所、日産自動車、四国旅客鉄道

目 的：公民学連携により松山市における都市計画・まちづくりを推進すること

### 開発成果そのⅠ：みんなのひろばともぶるテラスの運営（2014-2019）



みんなのひろば



もぶるテラス

銀天街 L 字地区の一角に松山市が設置した「みんなのひろば」と「もぶるテラス」の運営を請け負い、中心市街地における滞在空間の創出とその運営方法の検討を行なった。広場創出の効果検証と今後の都市空間における交流プログラムのデザインに関する知見を蓄積した。

### 開発成果そのⅡ：もぶるラウンジの運営と花園町通りの利活用（2019-）



ラウンジでの企画展示の様子



商店街への「花園テラス」提案と実施

花園町通りのビル一階をリノベーションして創設されたまちづくり拠点「もぶるラウンジ」の運営と、2017年にリニューアルされた花園町通りの歩行者空間の利活用に関する取り組みを地元と連携して実施し、街路空間の活用に関する取り組みの知見を蓄積した。

### 開発成果そのⅢ：アーバンデザインスクール（2014-）

愛媛大学、松山大学、聖カタリナ大学、東雲女子大学との連携で、愛媛県の高校生、大学生、社会人を対象に、松山市におけるまちの魅力創出と担い手育成を目的としたまちづくり学習プログラムを実施した。過去5カ年度開催し、計170名を超える修了生を出している。



まち歩きによる気づきの共有



城山公園活用プロジェクト一例

### 開発成果そのⅣ：移動する建築（2017-2019）

2017年にリニューアルされた花園町通りと道後温泉別館飛鳥乃湯泉の活用を目的とし、「移動するまちづくり拠点」の提案コンペ及び実制作を行なった。制作過程に地元小学生が参画し、技術者集団である伊予匠ノ会協力のもと行なった。出来上がった2つの建築は、その後のそれぞれの現場で活用されている。



花園町通りでの「屋台」の活用



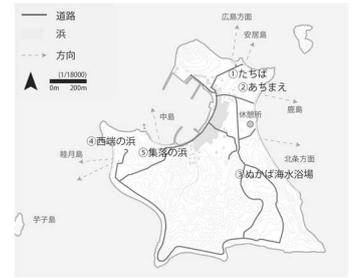
飛鳥乃湯泉中庭での「街の中の雲」

## 開発成果そのⅤ：ヴィジョン策定の取り組み（2016-）

松山市とともに松山ビジョン 2050 の作成を行なった。また、そのバージョンアップを目的とし、関係者へのヒアリング、都市形成史のとりまとめ、将来の都市空間再編のポイント整理を行なっている。計画の基礎資料は、今後 UDCM のホームページに公開予定である。



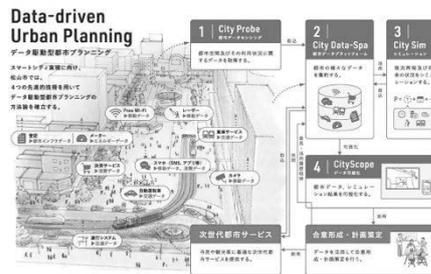
久米地区の資源



野忽那島の浜の特徴

## 開発成果そのⅥ：スマートシティプロジェクト（2019-）

データ収集及びその活用のための情報基盤の導入により、都市計画をより総合的に進めるための方法論の構築を目的としたスマートシティプロジェクトを開始した。松山市と技術を持った民間企業とコンソーシアムを組織し、国土交通省から補助を受けて事業を実施している。



導入技術と活用のイメージ

（詳細は、本文〇〜〇頁を参照）



データの可視化イメージ

## 開発成果そのⅦ：都市整備支援事業（2014-）

松山市が行う各種都市整備事業（花園町通り、道後温泉活性化、駅周辺整備等）に関して、それぞれの事業遂行をサポートしている。また、地元側の機運を高め、行政との対話を円滑に行うための勉強会やワークショップ等の企画実施を行なっている。



市駅前商店街関係者との勉強会



市主催の「松山駅まち会議」支援

## 開発成果そのⅧ：情報発信（2014-）

松山市の都市計画やまちづくり、その他まちに関する情報発信を行うことを目的とし、フリーペーパーの発行やラジオ番組の企画制作、展示企画等の取り組みを行なってきた。



FM 愛媛まちなぎ、市長インタビュー



「もぶるマガジン」の発行企画会議

## 研究員（2020 年度）

教授：松村暢彦 准教授：羽鳥剛史 特定講師：三谷卓摩 特定研究員：板東ゆかり 研究補助員：日野順子 事務補佐員：  
教授：千代田憲子 講師：片岡由香 特定助教：四戸秀和 客員研究員：吉田英生 研究補助員：大野利恵 柴田典子

開発技術に関する問い合わせ先

愛媛大学防災情報研究センター アーバンデザイン研究部門

TEL：089-968-2921 E-mail：[udcm.matsuyama@gmail.com](mailto:udcm.matsuyama@gmail.com)

名 称：インフラ空間情報基盤研究部門（寄付講座）

期 間：2018.4～2021.3

共同研究者：愛媛大学、(株)カナン・ジオリサーチ

目 的：3次元地中レーダ技術を用いた路面下空洞探査を含む道路空間情報の高度化を目標に基盤技術を学び、自治体はじめ公共団体及び社会インフラ整備分野で貢献できる専門家の育成を目指す。

## 開発成果その1：地中レーダ技術を用いた路面下性状調査に関する研究

地中レーダで得られた信号により地下性状を精度良く把握する技術の高度化を目的として模型実験を実施した。またレーダ性能を検証する施設として、種々の模擬埋設物と空洞を所定の深さに埋設させた地中レーダーテストフィールドを(株)カナン・ジオリサーチ敷地内に構築した。

地中レーダ技術を用いた路面下性状探査に関する研究  
地中レーダを用いた地下情報に関する研究  
地中レーダから得られる信号処理に関する研究

得られた信号データを区分する  
→1次調査結果の一般化(信号の種類別表示)

AI技術応用

機械学習

(2020年度～)

基礎研究4：干渉幅の同定(波形)

基礎研究5：比誘電率境界の同定(埋設物毎)

基礎研究6：固有比誘電率測定(充填剤毎)

基礎研究2：空洞・水塊比較測定(境界面)

基礎研究3：境界面信号極性の把握

(2019年度)

基礎研究1：水面上昇測定の可否

(2018年度)



(詳細は、本文9～24頁を参照)

研究員

特定教授

馬場 務

開発技術に関する問い合わせ先

愛媛大学防災情報研究センター 馬場 務

E-mail : t.baba@canaan-geo.jp

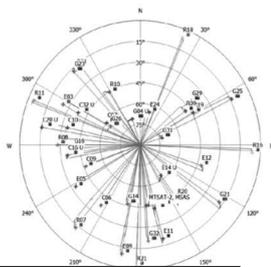
名 称：空間情報の調査と解析に関する総合的研究  
期 間：2020.4～2021.3  
共同研究者：カナン・ジオリサーチ、A I S I 協会  
目 的：路面下空洞調査のデータベース構築の1手法

## 開発成果その I：GNSS を活用した効率的な調査・解析の推進

### ○調査成果のデータベース化

- ・路面下空洞調査では、莫大なデータ量を取得する。そのため、すべての項目で効率化が求められる。空洞調査測定においては、GPSをもとに記録解析する。GNSSを活用することによりGPSの精度向上と計測時のリアルタイム性の考慮したシステムを構築し1次調査の効率化が進めば必然的に解析の効率化につながるため、その事象を検証した。
- ・過去に調査したデータを地図情報とともにデータベース化しオープンにすることにより同種業者および将来的には発注者にも働きかけ情報共有ができ信頼度が増すものとする。そのため、ユーザーが望む属性等の項目を検討中。今後、統一したプラットフォームが構築できる。
- ・国土地理院地図上でその地点の情報を入力することを可能にし、危険度を把握することができる。従来、時間がかかっていた帳票類作成の効率化につながる。帳票類を作成。

### ①GNSS を活用



現在は、43基の衛星を捕獲  
(GPSでは9機のみ)

### ②測定軌跡を図面上に表示する。(下図の赤線枠)

- ・危険場所や特異な場所のポイントを表示する。
- ・セキュリティ対策のもと情報共有する。



属性、値、写真、結果等をユーザーの希望項目をカスタマイズする

詳細は本文 25～32 頁を参照

### 研究員

特定教授

片山辰雄

開発技術に関する問い合わせ先

愛媛大学防災情報研究センター 片山辰雄

TEL：090-1025-9423 E-mail：tkatayama@ehime-u.ac.jp

名称：大量退職と少子高齢化社会到来を踏まえた社会資本整備にかかる人的資源と技術  
 伝承のあり方等に関する研究  
 期間：2018.4～2021.3  
 共同研究者：羽鳥 剛史(愛媛大学)

開発成果：「地方建設会社を対象とした技術伝承・技能形成の仕組みに関する事例分析」

### ①研究の背景と問題意識

- 建設技能労働者の高齢化
- 若年参画者の減少

による技術伝承の課題に対応するため、  
 地方建設会社をケーススタディに技術  
 伝承の実態把握と構造化を検討

### ②技術伝承の分析枠組み



【5W1Hの観点】学び(技術伝承)が『誰から』、『誰に』、『どのように』などの項目を調査

図-1 技術伝承の分析枠組み

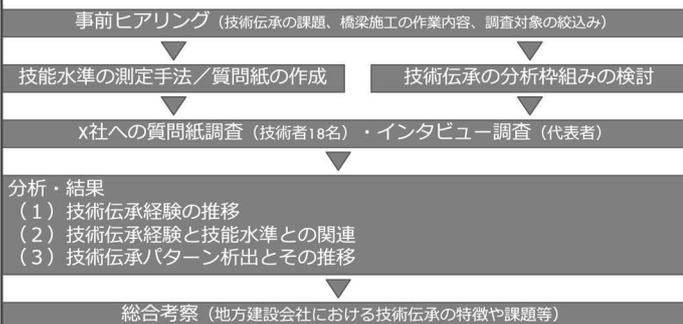


図-2 技術伝承の仕組みの分析例

【多次元尺度構成法】項目どうし相関が高いほど、距離が小さくなるように配置

【分析例】『伝承対象I』、『教え手A』、『伝承機会①』、『伝承方法α』が近接

### ③研究の流れ



### ④本研究のまとめ

【現場経験を中心とした技術伝承パターン】  
 ・技術伝承の仕組みを多次元尺度構成法により分析したところ、現場での経験を中心とした技術伝承のパターンが析出

【若い世代のスタイルの変化】  
 ・ただし、若い世代にとっての技術伝承経験を見る限り、  
 →以前は、現場で自身が独学により技術を学び取る傾向  
 →現在は、現場以外(勉強会や見学会等)を通じても技術学ぶ傾向

・技術伝承やそこでの学びのスタイルが変わりつつある可能性

詳細は 63～72 頁を参照

研究員  
 特定教授 中前 茂之

開発技術に関する問い合わせ先

愛媛大学防災情報研究センター 中前 茂之

TEL : 090-1200-4670 E-mail : nakamae@canaan-geo.jp

## 序 文

愛媛大学防災情報研究センターは、平成芸予地震や平成 16 年台風災害の発生などを受けて、平成 18 年 4 月 1 日に設立されました。以降、15 年が経過していますが、この間、東日本大震災、熊本地震、北海道東部胆振地震、平成 23 年台風 12 号災害(紀伊半島豪雨災害)、平成 30 年 7 月豪雨災害、令和元年台風 19 号・21 号災害、令和 2 年 7 月豪雨災害など、大規模な地震災害ならびに気象災害が頻発しています。

センターでは、これらの自然災害の調査研究や防災啓発に努めてまいりました。また、多くの寄付講座の受け入れや共同研究による講座の開設を行ってきています。2010 年から今日まで、計 8 つの講座が動いて、多くの研究成果を生みだしてきています。寄付講座などの開設に協力いただいた社団法人四国建設弘済会(現 一般社団法人 四国クリエイト協会)、松山市都市再生協議会、(株)第一コンサルタンツ・(株)高知丸高、愛媛県・宇和島市・八幡浜市・西予市・愛南町・伊方町、(株)カナン・ジオリサーチ、松山市防災教育推進協議会、国際航業(株)、(株)芙蓉コンサルタント、ならびに松山市に心より感謝申し上げます。

今回、これらの寄付講座などの技術開発成果や研究成果を中心に「防災・まちづくりに関わる最新の学術・技術開発シンポジウム」と題するシンポジウムを、(一社)四国クリエイト協会とインフラメンテナンス国民会議四国フォーラムの共催を得て 7 月 6 日に開催しました。計 17 編の発表がなされ、オンライン参加者を含めて 350 名以上の方に参加頂きました。論文発表者ならびに参加者に心より御礼を申し上げます。

これらの発表は何れも好評であり、参加者から論文集発刊の希望が多々ありました。そこで、発表者に論文原稿の執筆を依頼したところ、快く引き受けていただき、計 16 編の論文原稿が提出されました。これらをまとめて、論文集として刊行するとともに、防災情報研究センターのホームページ上でも公開することにしました。本論文集では、寄付講座での取り組み成果として開発された製品や新技術、新工法、学術成果などの紹介も行っています。これらの成果は、学術的に裏打ちされたもので、信頼性は高いと評価できます。積極的な活用を検討いただければ幸いです。

新型コロナウイルスの感染が拡大する中で、日本は未曾有の危機を迎えています。南海トラフ巨大地震が発生すれば、この比ではない危機的状況に陥ることが危惧されます。僅か 3 分間の揺れで 200 兆円を超える財産が一瞬のうちに消え去り、その後、10 年間の経済損失は 1000 兆円を大きく超えます。このような大災害に立ち向かうために、防災情報研究センターも、官民学が集って新技術・新工法を開発する場として、また、防災教育のメッカとして、更には、まちづくりや事前復興などの政策提言の場として、大いに活用いただければ幸いです。

最後に、今一度、寄付講座等の開設に協力いただいた各機関に、また、発表と論文執筆に協力いただきました各位に心より感謝申し上げます。

令和 3 年 8 月 31 日

愛媛大学防災情報研究センター長 ネットラ・プラカッシュ・バンダリ



## 目 次

### I センターにおける寄付講座での研究の概要

- 1-1 愛媛大学防災情報研究センター寄付講座における防災関連学術技術開発研究 ..... 1  
愛媛大学防災情報研究センター 矢田部龍一

### II 建設・防災関連技術開発研究

- 2-1 地中レーダ技術を用いた路面下性状調査に関する研究 ..... 9  
愛媛大学防災情報研究センター特定教授(カナン・ジオリサーチ) 馬場 務  
特定准教授 Elvis Anup Shukla、特定講師 加藤祐悟
- 2-2 空間情報の調査と解析に関する総合的研究 ..... 25  
～GNSSを活用した効率的な調査・解析の推進～  
愛媛大学防災情報研究センター特定教授((株) J G I T S) 片山辰雄  
(株) カナン・ジオリサーチ 篠原 潤
- 2-3 急速施工車両用プレキャスト防護柵「RS ガードフェンス」の技術開発 ..... 33  
(株) 第一コンサルタンツ技術部 片山直道  
愛媛大学防災情報研究センター特定教授(第一コンサルタンツ) 右城 猛
- 2-4 小規模落石防護柵「SR フェンス」の技術開発 ..... 35  
(株) ニップロ 加賀山肇、(有)創友 宮崎洋一  
愛媛大学防災情報研究センター特定教授(第一コンサルタンツ) 右城 猛
- 2-5 ハーフプレキャスト落石防護擁壁「Rs ウォール」工法の技術開発 ..... 39  
松井建材(有) 森 有央、(有)創友 宮崎洋一  
愛媛大学防災情報研究センター特定教授(第一コンサルタンツ) 右城 猛  
(株) 第一コンサルタンツ 吉田 萌
- 2-6 海洋レーダを用いた津波計測(災害時)と波浪計測(平常時)に関する研究 ..... 45  
愛媛大学大学院理工学研究科(海洋レーダ情報高度化研究部門) 日向博文  
愛媛大学防災研究所特定教授(国際航業) 片岡智哉

### III 防災意識・技術伝承

- 3-1 平成 30 年北海道胆振東部地震に伴う大規模停電災害を受けた住民の防災意識の変化に関する考察 ..... 47  
愛媛大学防災情報研究センター特定教授((株) カナン・ジオリサーチ) 中前茂之
- 3-2 松山市民の防災意識調査から見た効果的な防災啓発策の検討 ..... 55  
松山防災リーダー育成センター 喜安祥隆、特定教授 中尾順子  
特命教授 矢田部龍一
- 3-3 地方建設会社における技術伝承・技能形成の仕組みに関する調査研究 ..... 63  
(株) 荒谷建設コンサルタント 尾形愛美、愛媛大学社会共創学部 羽鳥剛史  
愛媛大学防災情報研究センター 中前茂之、愛媛大学工学部 塩入悠立

### IV 事前復興・国土強靱化研究

- 4-1 南海トラフ地震事前復興研究～えひめ事前復興推進指針～ ..... 71  
愛媛大学大学院理工学研究科 森脇 亮  
愛媛大学防災情報研究センター特定教授 山本浩司、客員研究員 新宮圭一

	東京大学大学院工学系研究科 羽藤英二	
	愛媛大学防災情報研究センター 矢田部龍一	
4-2	南海トラフ地震事前復興研究～情報プラットフォームの開発と活用～ .....	79
	愛媛大学防災情報研究センター客員研究員 新宮圭一	
	愛媛大学防災情報研究センター特定教授 山本浩司	
	愛媛大学大学院理工学研究科 森脇 亮	
	東京大学大学院工学系研究科 羽藤英二	
4-3	防災・減災，国土強靱化総合研究～取り組む課題と解決へのアプローチ～ .....	87
	愛媛大学防災情報研究センター特定教授(芙蓉コンサルタント) 須賀幸一	
	大野二郎、田村弘文	
	愛媛大学防災情報研究センター特定教授 山本浩司	
	愛媛大学大学院理工学研究科 森脇 亮	
	愛媛大学防災情報研究センター 矢田部龍一	
<b>V</b>	<b>防災教育研究</b>	
5-1	学校や地域を舞台とした児童生徒が主役の学校防災教育 .....	89
	松山防災リーダー育成センター特定教授 中尾順子、同特命教授 矢田部龍一	
5-2	南海トラフ地震事前復興研究～将来の大人世代への防災事前復興教育～ .....	101
	愛媛大学防災情報研究センター特定教授 山本浩司	
	東京大学大学院工学系研究科 羽藤英二	
	愛媛大学大学院理工学研究科 森脇 亮	
	愛媛大学防災情報研究センター客員研究員 新宮圭一	
5-3	四国地域における 社会基盤メンテナンスエキスパートの養成 .....	109
	愛媛大学防災情報研究センター 山本浩司	
	愛媛大学大学院理工学研究科 森脇 亮	
	東京大学大学院工学系研究科 全 邦釘	
	愛媛大学大学院理工学研究科 吉井稔雄、森 伸一郎	
<b>VI</b>	<b>開発新技術・学術成果の紹介</b>	
6-1	3次元地中レーダ探査モバイルマッピングシステム (GMS3) .....	119
6-2	急速施工型のコンクリート製車両用剛性防護柵 RS ガードフェンス .....	120
6-3	小規模落石防護柵 SR フェンス .....	121
6-4	落石防護擁壁 Rs ウォール .....	122
6-5	海洋レーダを用いた津波計測 (災害時) と波浪計測 (平常時) システム .....	123
6-6	防災情報研究センターとの連携依頼 .....	124

# 愛媛大学防災情報研究センター寄附講座における防災関連学術技術開発研究

愛媛大学防災情報研究センター 矢田部龍一

## 1. 防災情報研究センター設立までの経緯

### 平成 13 年 3 月平成芸予地震災害

防災情報研究センターの設立は、平成 13 年 3 月 24 日に発生した平成芸予地震に端を発する。平成芸予地震は、安芸灘の地下 51km を震源とし、マグニチュード 6.8 のスラブ内地震で、愛媛県では震度 5 強から 5 弱を広い範囲で観測している。被害は犠牲者 1 名、負傷者 75 名、住宅の全壊 2 戸、半壊 46 戸などである。愛媛大学では、平成芸予地震の発生を機に、全学部から 50 名以上の教員が参加し、学術調査団を結成した。

### 平成 16 年台風災害

平成 16 年は台風の当たり年であった。台風 10 号は、7 月 30 日から 8 月 4 日にかけて日本に影響を与えた。台風 10 号は日本海に抜けてから停滞したところに、南風が徳島上空をずっと吹き抜けたので、徳島県の南東斜面に記録的な豪雨をもたらし、大規模な山腹崩壊を数多く引き起こした。この台風が続いて、台風 15 号(8 月 17 日から 19 日)、台風 16 号(8 月 27 日から 31 日)、台風 18 号(9 月 5 日から 7 日)、台風 21 号(9 月 29 日から 30 日)、台風 23 号(10 月 20 日)の 6 個の台風が四国に被害をもたらした。これらの台風で、高松市などでの高潮災害、肱川の氾濫による大洲市の洪水災害、愛媛県や香川県の瀬戸内側での無数の土石流災害などをもたらした。台風 21 号では、土石流や斜面崩壊により松山自動車道、国道 11 号、JR 予讃線などの幹線が寸断された。また、室戸市などでの高波災害などをもたらした。

愛媛大学では、全学部から 50 名以上の教員が参加した学術調査団を結成し、各分野からの学術調査と解析を実施した。

### 平成 18 年 4 月 防災情報研究センターの立ち上げ

これらの災害発生を機に防災情報研究センター設立の機運が高まり、平成 18 年 4 月 1 日にセンターが立ち上がった。センター設立に際して、次のような形態とした。

- ・経費的に大学から独立した組織とする
- ・愛媛大学正規ポストの教員は置かない
- ・災害発生時に学術調査を実施(全学から団員を募る)する
- ・常時は災害調査報告などの防災啓発(研究は個々の教員が行う)を行う
- ・特に、東南海・南海地震(当時は、政府は東南海・南海地震を対象としていた。東日本大震災以降、南海トラフ巨大地震を想定地震とし始めた)対応を想定して設立する

大学から経費支援と人的支援を得ないというのは、通常の組織ではありえない。経費がゼロでは組織の運営はできないので、外部からの共同研究や受託研究、また各種の競争的資金の獲得が必要となる。といっても、働きの専任の教員はいない。どうするかと言えば、各学部に籍を置く兼任教員の働きによる。防災意識とボランティア精神に溢れた教員の働きに頼るという極めて不安定な組織体である。

しかし、大学から経費と人的支援を受けていないという面もある。大学の組織は、他の役所

や学校、また民間企業などと比べると基本的に自由度が高い。自分の組織で大半のことを決定できる。それでも、組織である以上、何かと制約はある。大学からの各種の支援を受けていなくて自立できている組織体であれば、何事につけてより自由度が高いように感じられる。それだけの理由で、基本的に大学の世話にならない組織とした。ただ、その背後には、他の組織体も大学の世話にならずに、自立できる組織であって欲しいという願いがあった。国からの交付金が減少していく中で、自分の力でお金と人材を動かせる組織にならないと将来は危うい。

センター設立当初の活動経費は、四国地方整備局からの受託研究や民間会社からの共同研究、寄付金などでまかなった。人材としては、国交省の技官キャリア1人に、教授として着任してもらった。センターと言いながら、専従の教員は1人、活動経費ゼロの船出であった。

しかし、設立当初から多くの共同研究や受託業務をこなして、成果は十分に出始めた。

## 2. センター設立後の寄付講座等を中心とした研究・啓発活動

防災センター設立後、数年間は寄付講座を受け入れずに、共同研究、受託研究、寄付金などの外部資金で運営した。センターに学内の専任教員がいないので科研費の間接経費がゼロである。兼任教員の多くが科研費に採択され、研究費の助成を受けている。しかし、その間接経費は所属学部と大学本部に振り分けられる。そのため、センターには1円の間接経費も入らない。

センターを運営していくためには、少なくとも1人ないし2人の事務員が必要となる。その経費と各種の講演会や研修会などの開催経費も含めると、それなりの外部資金が必要である。その経費をねん出するために、当初は四国地方整備局などからの受託研究に力を注ぎ、数年後からは寄付講座の受け入れと社会人教育などにも力を入れてきた。

図-1に、これまでの寄付講座受け入れ状況を示す。

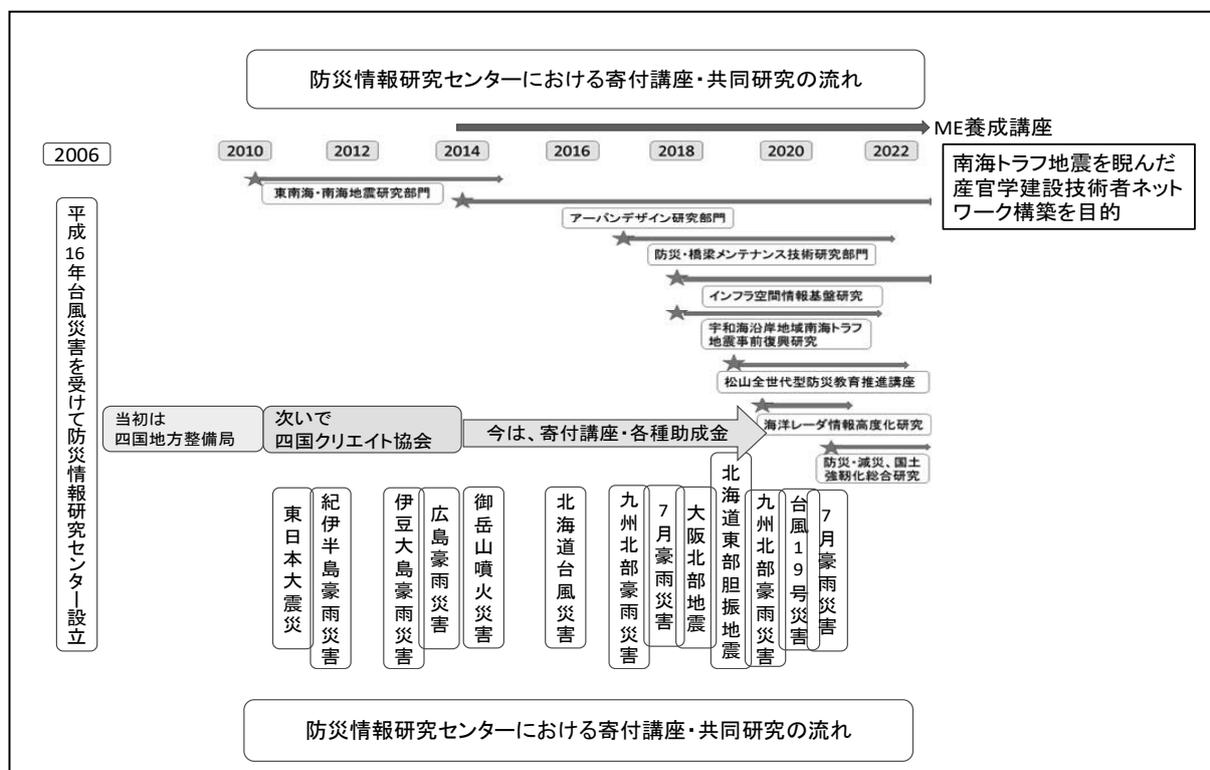


図-1 寄付講座等受け入れの状況

「寄付講座・共同研究」などの受け入れ

2010.10～2014.3

寄付講座名 東南海・南海地震研究部門

寄付者 (一社) 四国クリエイト協会 (当時は四国建設弘済会)

研究内容

南海トラフ巨大地震は、四国にとって最大の脅威となる。寄付講座発足後、間もなくして起こった東日本大震災によるインフラ関係の被害調査、行政の対応、復旧・復興の課題などを整理し、南海トラフ巨大地震への対応策を検討し、多大な成果をあげ。また、東日本大震災の被害調査に基づく大規模地震への備えについて講演会の開催などで、市民の啓発に多大な成果をあげた。愛媛県下の 20 市町の首長が登壇した防災フォーラムには 2 千名もの参加者があった。

2014.4～

寄付講座名 松山アーバンデザイン研究部門

寄付者 松山都市再生協議会

研究内容

松山市は、愛媛県の県庁所在地であり、人口 50 万人の中核都市である。しかし、郊外に大規模な商業施設が建設されたこともあり、中心市街地の衰退が進んでいる。そこで、道後地域も含めた中心市街地の活性化と JR 松山駅の高架事業に伴う再開発事業を対象に、松山市中心市街地の活性化研究などを行っている。これらの取り組みもあり、国のコンパクトシティ構想やスマートシティ構想のモデル地域にも指定されている。また、これらの取り組みの成果は多くの表彰となって実っている。

2017.4～

防災・橋梁メンテナンス技術研究部門

寄付者 (株)第一コンサルタンツ(2017 年度から)

(ただし 2017 年度は、(株) 第一コンサルタンツと (株) 高知丸高)

研究内容

災害発生時の早期復旧のために短期施工が可能な長尺橋梁の開発、道路のり面の防災対策としての擁壁や落石防護ネットの開発、南海トラフ巨大地震に対する事前復興デザイン研究、それと、ICT と AI を活用した定置式ジブクレーンによる運搬の省力化調査研究などを行っている。それぞれの取り組み課題に関して多大な成果をあげている。これらの技術開発の成果は高い評価を受けており、各種の表象として実っている。

2018.4～

インフラ空間情報基盤研究部門

寄付者 (株)カナン・ジオリサーチ

研究内容

高速で走行する探査車による路盤下空洞調査に関して、空洞探査と位置情報の精度向上に関する研究を行っている。平時に本技術が道路の安全安心な交通に寄与することは言うまで

もなく、災害発生時には、迅速な復旧のために、なくてはならない技術である。これらの取り組みの成果は、複数の特許の取得や道路空洞調査に関わる国土交通省からの業務受注など多大な成果をあげている。

#### 2018.4～2021.3

宇和海沿岸地域南海トラフ地震事前復興研究

共同研究者 愛媛県、宇和島市、八幡浜市、西予市、愛南町、伊方町  
東京大学

##### 研究内容

南海トラフ巨大地震が発生すると、愛媛県南予地域は 10m 超える津波に見舞われると想定されている。過疎化が進む南予地域にとって早期の復旧は至上命題である。そこで、南海トラフ地震の巨大津波災害の被害軽減と迅速な復旧・復興を目的として、被災想定域を対象として事前復興デザインに関する研究を行ってきた。研究成果は事前復興指針にまとめられ、今後、愛媛県下 20 市町に展開していくことになっている。全国的に見ても、事前復興を総合的に検討した例はなく、極めて先駆的な研究成果と評価できる。

#### 2018.10～

松山全世代型防災教育推進講座

寄付者 松山市防災教育推進協議会

##### 研究内容

大規模災害による犠牲者を減らすために防災教育の推進は必須の取り組みである。松山市は、市町単位で見ると全国 1 位の防災士数を擁するなど、防災まちづくりに力を注いでいる。しかし、まだまだ住民の防災知識や意識に関しては、多くの課題があり、防災教育の推進が求められる。そこで本研究では、自律性と継続性を併せ持つ全世代型の防災教育の展開策について検討し、実践している。小学校、中学校、高校、大学と、防災に関する一連の継続教育実施の仕組み作りを行うとともに実践するなど、多大な成果をあげつつある。

なお、愛媛大学の教養課程科目である環境防災学の開講を通して年間 250 名程度の防災士を育成している。また、松山市と連携して年間 500 名の防災士養成講座を開講し、地域や教員、企業人などの防災士養成に努めている。

#### 2019.4～

海洋レーダ情報高度化研究

寄付者 国際航業(株)

海洋レーダ（以下、レーダ）は陸上設置型リモートセンシング機器であり、送受信波の周波数差から海面流速を面的に計測する。津波は流速が鉛直的にほぼ一様で、海面流速を計測することで波高の推定ができる。レーダの長所は、陸棚縁付近から港湾域まで 0.5～3km、2 分程度の高時空間分解能で計測出来る点にある。津波第 1 波検知から、副振動（沿岸海水の共振現象）の発達減衰過程把握、津波漂流物追跡までを時空間的にシームレスに行う能力を有する。平常時においても、波浪観測や流況観測、さらにそれらを航行安全や漂流物回収へ応用することも可能である。

#### 2021.4～

防災・減災、国土強靱化総合研究

寄付者 (株)芙蓉コンサルタント

研究内容

戦後日本の経済発展を支えた一つの要因は、急ピッチで進められた膨大なインフラ整備であることは論を待たない。それらの構造物が、建設後、50年を経過し、老朽化し始めている。そのためインフラメンテナンスが急務の課題である。それとともに、建設を支えた技術者も高齢化し、技術の伝承も十分でないまま、熟練技術者が大量に引退し始めている。また大規模災害の発生が待ったなしである。そこで、建設・設計技術者の技術伝承、官民学が連携した災害発生時の復旧・復興、流域治水や事前復興デザインなどの国土強靱化研究への取り組みなどを推進する。

2014.4～

「文科省助成事業」

「成長分野等における中核的専門人材養成等の戦略的推進事業」による

「地域ニーズに応えるインフラ再生技術者育成のためのカリキュラム設計」

本事業では、愛媛大学学長修了認定プログラムとして社会基盤メンテナンスエキスパート(ME)養成講座を開講している。本講座の趣旨と概要は以下の通りである。

太平洋戦争で焦土と化した日本は、東洋の奇跡と言われるほどの経済発展を遂げた。その過程で社会資本整備にも積極的に取り組んできた。一例を挙げると、日本各地に架けられている道路橋(橋長2m以上)70万橋、トンネル1万本、下水道管渠45万km、港湾岸壁5千施設(水深4.5m以深)などである。これらの施設が凄まじい勢いで老朽化している。例えば、2023年には道路橋の実に43%が、トンネルの34%が、建設後50年を経過する。社会資本が老朽化している中で、維持管理や更新への対応は待ったなしの課題である。ところで、今まで新規の建設に力を注いできたため維持管理への対応は少し遅れている。特に、維持管理に関わる技術者の不足は深刻であり、この分野に対応できる人材の養成が急がれる。このような課題に対応するために愛媛大学防災情報研究センターでは、文部科学省の「成長分野等における中核的専門人材養成等の戦略的推進」事業の助成を受けて「地域ニーズに応えるインフラ再生技術者育成のためのカリキュラム設計」を推進している。

本プロジェクトは、岐阜大学を基幹校として、長崎大学、山口大学、長岡技術科学大学、それと愛媛大学の5大学がコンソーシアムを組んで取り組んでいる。愛媛大学では、「地域ニーズに応えるインフラ再生技術者育成のためのカリキュラム設計」を推進するために、33の組織からなる「愛媛社会基盤メンテナンス推進協議会」を設置している。同協議会には、官(国の機関である四国地方整備局、地方自治体の愛媛県土木部ならびに愛媛県下20市町)、民(関連協会・NPO)、学(愛媛大学防災情報研究センター、環境建設工学科)が参加している。

「愛媛社会基盤メンテナンス推進協議会」のもとに、愛媛社会基盤メンテナンスエキスパート地域定着化およびカリキュラム検討委員会と愛媛社会基盤メンテナンスエキスパート審査委員会を設置した。そして、全48コマ(講義26コマ、演習7コマ、フィールドワーク9コマ、その他6コマ)からなるカリキュラムを用意し、社会基盤メンテナンスエキスパート(ME)養成講座を開講した。講座終了後には、審査委員会主催で、ME筆記試験とプレゼンテーション試験を実施した。また、社会基盤メンテナンスエキスパート(ME)養成講座シンポジウムを開催

し、ME 養成講座の意義を広く呼びかけた。

四国 ME は、四国に本部を置く期間・団体では初めて国土交通省の規定を満たす“公共工事に関する調査及び設計等の品質確保に資する技術者資格”(民間資格)として平成 28 年 2 月より認められた。この資格認定により、国土交通省の保全業務に関しては、総合評価落札方式における ME 資格取得者に対する加点点評価などの措置を通じて、業務委託を受けられやすくなった。

また、平成 29 年 7 月には、ME の要請でつながる 5 大学コンソーシアム(岐阜大学、長崎大学、愛媛大学、長岡技術科学大学、山口大学)は、その取り組みの成果が評価され、平成 29 年度の「インフラメンテナンス大賞」(国土交通省など 6 省による)の特別賞を受賞した。

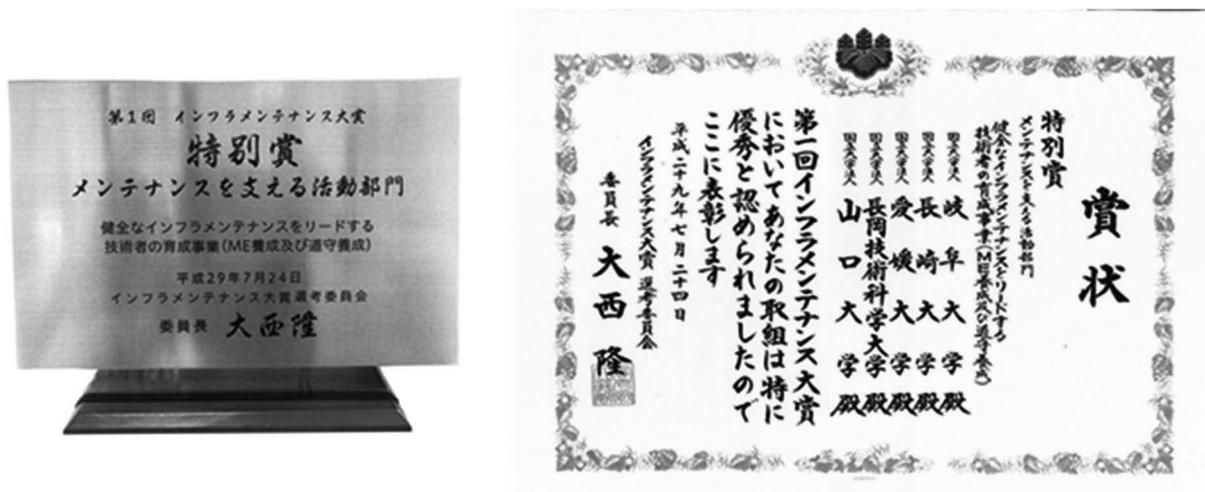


図 平成 29 年度の「インフラメンテナンス大賞」

ME 養成講座を修了し、ME 資格を取得された方も 200 名近くになった。官民の働き盛りの方々である。20 数名の少人数教育で、3 週間もの間、座学や現場実習などを行い、研修生のネットワークは強化される。また、OB 会を結成しており、年何回もフィールド実習などを実践しており、それを通して先輩や後輩のネットワークも強くなる。官民学の強いネットワークが構築されることにより、南海トラフ巨大地震などの大災害時に極めて効果的な対応が可能となる。今後、総合評価の際の技術者資格の点数化への取り組みが求められる。

防災情報研究センターでは、社会基盤メンテナンスエキスパート(ME)養成講座の開講だけでなく、松山市と連携して防災士養成にも取り組んでいる。社会人を対象とした防災士養成講座では 500 名の防災士を、大学生を対象とした講座では 250 名の防災士を毎年、育成している。そして、防災士資格を取得した方の一部は、松山防災リーダー育成センターの活動に防災エデュケーターや防災リーダーとして協力している。

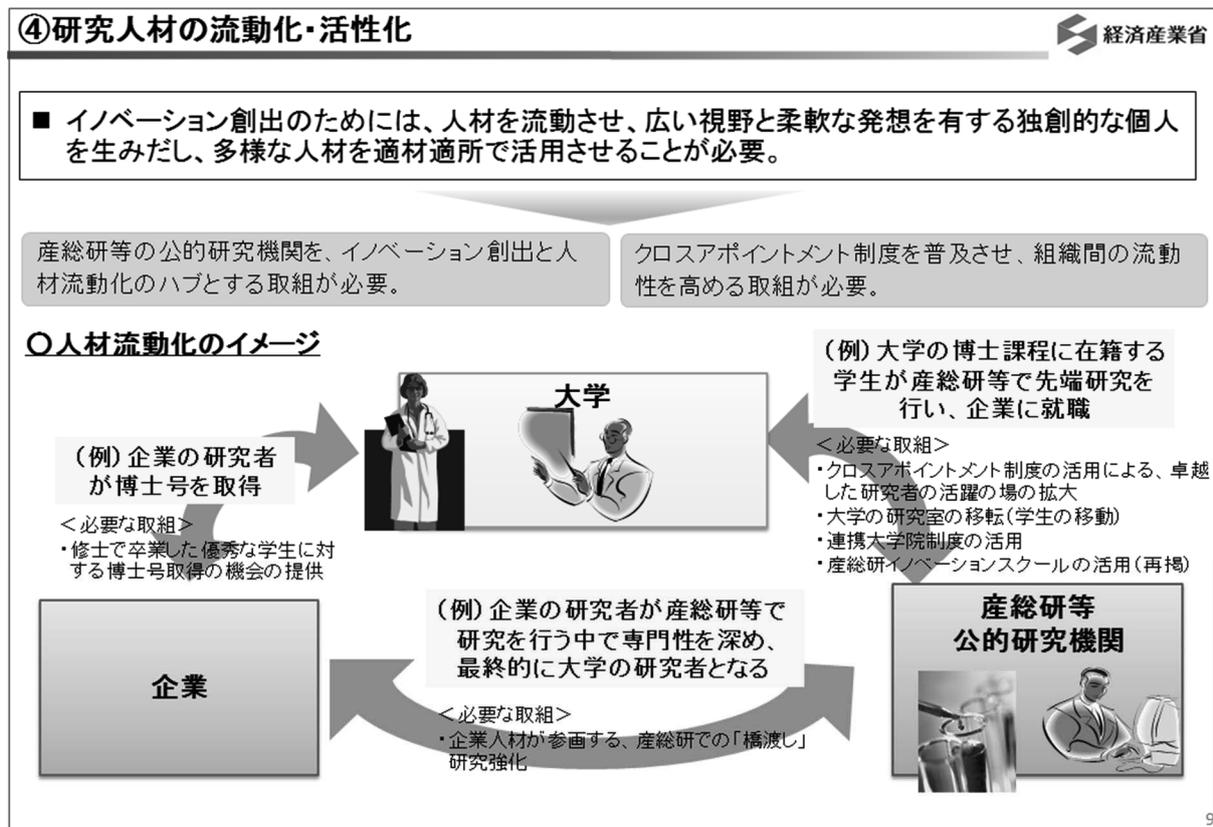
### 3. 寄付講座を活用した効果的な技術開発の推進

2004 年の国立大学の法人化以降、技術開発や研究推進に向けて民間企業や行政組織からの寄付講座の開設が増えている。これは大学の比較的恵まれた研究施設と大学生も含めた研究能力に期待してのことである。また、制度がさらに整備されて、民間企業や行政組織と大学といった 2 つの組織に籍を置くことができるようになった。

この制度はクロスアポイントメントと呼ばれている。(株)三菱総合研究所による:クロスアポイントメントを実施するための手引では、クロスアポイントメントに関して以下のように記されている。

「クロスアポイントメントとは、出向元機関と出向先機関の間で、出向に係る取決め（協定等）の下、当該取決めに基づき労働者が二つ以上の機関と労働契約を締結し、双方の業務について各機関において求められる役割に応じて従事比率に基づき就労することを可能にする制度です。クロスアポイントメントの基本的枠組については、内閣府の取りまとめの下、文部科学省、経済産業省で検討が行われ、その実施に当たっての医療保険、年金等に関する各種法制度との関係等を厚生労働省等の制度官庁に確認し、平成26年12月26日付けで「クロスアポイントメント制度の基本的枠組と留意点」（以降「基本的枠組」と言います。）として取りまとめられています。文部科学省「平成28年度 大学等における産学連携等実施状況について」によれば、大学、大学共同利用機関（以降「大学等」と言います。）と大学等や独立行政法人、公益法人等との間でのクロスアポイントメントは一定程度実施されているものの、大学等から企業へのクロスアポイントメントは平成28年度末まで実績がなく、現在把握している平成29年度に実施された事例も僅かです。」

((株)三菱総合研究所:クロスアポイントメントを実施するための手引～大学—企業間におけるクロスアポイントメントの積極的な活用を通じた産学連携の強化に向けて～、文部科学省平成29年度産学連携支援事業委託事業、クロスアポイントメントの推進に向けた調査研究、平成30年3月 参照)



(<https://www.wakuwaku-catch.com/> 経済産業省宮本岩男氏第1回 みんなの教育/河合塾)

図-2 経産省による研究人材の流動化・活性化のイメージ図

このように、クロスアポイントメントが整備されたのは、高々、10年足らず前のことである。制度的にまだまだ社会的認知が不十分である。しかし、クロスアポイントメントの制度は、研究や技術開発の推進に効果的である。

経産省はクロスアポイントメントの狙いを研究人材の流動化並びに活性化としている。イノベーション創出のためには、人材の流動化が必須である。しかし、日本社会は永年雇用が伝統的である。大学などの研究職のポストは限られている。しかし、ひとたび、採用されれば、数十年に渡って、そのポストを占有してしまう。これでは、技術開発のスピードに追いついていくことができない。

クロスアポイントメント制度の導入により、企業人が大学教授として、また、国の公的研究機関において、国家的研究課題に取り組むことができる。また大学などの研究者が、企業の開発現場において、最先端の具体的な開発課題に取り組むことができる。

愛媛大学防災情報研究センターでは、国の寄付講座やクロスアポイントメントの制度を積極的に活用している。現時点で6つの寄付講座を受け入れてあり、クロスアポイントメントなどによる特定教授や准教授など、20名近い教員が技術開発や学術研究に取り組んでいる。関係される官学等の一層の支援と、寄付講座やクロスアポイントメント制度の積極的な活用を期待するものである。

## 地中レーダ技術を用いた路面下性状調査に関する研究

愛媛大学防災情報研究センター特定教授・(株) カナン・ジオリサーチ 馬場 務

特定准教授・(株) カナン・ジオリサーチ Elvis Anup Shukla

特定講師・(株) カナン・ジオリサーチ 加藤祐悟

### 1. 研究の目的

日本では、高度成長期にインフラが集中的に整備され、その時期に整備されたインフラは今後急速に老朽化することが懸念されている。老朽化の便宜的な目安は建設後 50 年以上とされており、それが経過している割合は、2018 年 3 月において道路橋が約 25%、トンネルが約 20%、下水道管が約 4%となっている。さらに 2033 年 3 月には道路橋が約 63%、トンネルが約 42%、下水道管が約 21%となる見込みである<sup>1)</sup>。このようにインフラの老朽化の割合が加速度的に高くなることが予測されるため、インフラの維持管理・更新に係るトータルコストの縮減・平準化を図るなどして計画的なメンテナンスに取り組む必要がある。そこで、国土交通省では、2013 年をメンテナンス元年と位置づけ、2014 年には予防保全の考え方を導入した「国土交通省インフラ長寿命化計画（行動計画）」を策定<sup>1)</sup>し、インフラの老朽化対策に取り組んでいる。また、国家プロジェクトである戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）においても、インフラ維持管理・更新・マネジメント技術分野として最先端の技術を活用したインフラのマネジメントシステムの構築を目指している<sup>2)</sup>。

こうした日本での社会資本の取り巻く状況において、近年、道路の陥没が多発している。例として、2016 年におきた博多駅前の道路陥没事故が挙げられる。陥没は主に路面下の空洞化に起因し、空洞化は埋設管の破損や地下水の存在、構造物による圧密沈下などが原因となって発生する。特に、高度経済成長期に集中的に整備されたインフラの多くで老朽化が進んでおり、管路施設の老朽化に起因する道路陥没の発生件数は、平成 30 年度には全国で約 3,100 箇所にも及ぶ<sup>3)</sup>。路面下空洞化の原因の一つである埋設管の老朽化においては下水道管などの破損箇所から漏水し、土砂が吸い出されることで空洞が形成、さらに拡大し、やがて路面の陥没を引き起こす<sup>4)</sup>。

路面の陥没は人命にかかわる事故につながる恐れがあるだけでなく、交通インフラの混乱を引き起こすことが容易に予測される。交通インフラの安全性・円滑運用を確保するためにも路面下空洞を検出し、道路の陥没を未然に防ぐことが必要不可欠であるにもかかわらず、地上のインフラのように目視管理で常時監視可能な設備に対して、路面下設備は一旦埋設してしまうと目視管理が不可能であるという問題がある。このような不利な点を克服する観点から、地中レーダは老朽化が進む日本の地下インフラの維持管理市場において注目されている。そして、地中レーダを用いた様々な研究が行われており、地中レーダの実用化が拡大してきている。特に近年では地中レーダを車両に搭載し、走行しながら測定することで交通の妨害を引き起こさずに効率的に調査できるようになっている。実際に、国土交通省東北地方整備局では、平成 6 年から平成 27 年にかけて車道部で約 6923 km、歩道部では、768 kmが調査されている。

ここで、地中レーダ（Ground Penetrating Radar : GPR）とは、電磁波を地表面に照射し、地下物体からの反射波を計測し地下構造を可視化する手法である<sup>5)</sup>。地中レーダは前述してきた路面下空洞調査の他にも、パイプやケーブルなどの埋設物検知、橋梁やトンネルなどのコンクリ

ート保全調査，さらには遺跡調査等で広く利用されている．このことから現在までに地中レーダによる埋設管検出や漏水の検出の有効性や評価に関する様々な研究が行われている．

地中レーダは非破壊検査であり，比較的短時間で広範囲を調査できるという優位性があるほか，取り扱う上での特別な資格は必要ないため便利な手法であるというメリットがある．しかし，一方で地中レーダ機器より取得される反射映像図は差異があり，反射映像図の解釈は個人の技量・経験に依存する．すなわち高度な経験を必要とし判定技術者養成に長時間要するというデメリットがある．取得したデータの特質を押さえ，調査に使用する地中レーダ機器の正確な性能の把握と校正は必要不可欠な作業である．この作業を実施するためには，種々の埋設物と模擬空洞を所定の深さに埋設させた地中レーダテストフィールドを用いた地中レーダ機器の検証が必須となる．

## 2. 地中レーダの原理<sup>5)</sup>

### 2.1 電磁波伝播の特性

#### 2.1.1 電波速度と誘電率の関係

地中レーダは，地中電磁波の反射・透過を利用した計測法である．地中の電磁波伝播は伝播媒質が導電性であることに特徴がある．伝播媒質の電氣的性質は誘電率 $\epsilon$ ，透磁率 $\mu$ ，導電率 $\sigma$ の3つで記述できる．実際の地球を構成する物質の透磁率は金属鉱床など特殊な場合を除くと真空の透磁率 $\mu_0$ にほぼ等しい．

ここで，電磁波の伝播を考える． $\omega$ を角振動数とする．導電性媒質中 ( $\sigma \neq 0$ ) の電磁界 ( $E, H$ ) は定常状態 (時間因子  $e^{j\omega t}$ ) で次の Maxwell の方程式を満たす．

$$\nabla \times E = -j\omega\mu H \quad (2.1)$$

$$\nabla \times H = \sigma E + j\omega\epsilon E \quad (2.2)$$

$$\nabla \cdot E = 0 \quad (2.3)$$

$$\nabla \cdot H = 0 \quad (2.4)$$

電磁波が  $z$  方向に進行し，電界が  $x$  成分のみもつと仮定すれば式(2.1)～式(2.4)の方程式の解として平面波を得る．

$$E_x(z) = E_0 e^{-jkz} \quad (2.5)$$

$$H_y(z) = \frac{1}{Z_0} E_0 e^{jkz} \quad (2.6)$$

ここで，

$$Z_0 = \frac{E_x}{H_y} = \left( \frac{\mu}{\epsilon - j\frac{\sigma}{\omega}} \right)^{1/2} \quad (2.7)$$

は媒質の固有インピーダンスであり，電界と磁界の比率を表す．また，伝播定数は式(2.8)で与え

られる.

$$\begin{aligned} k &= \omega \sqrt{\mu \varepsilon} \cdot \sqrt{1 - \frac{j\sigma}{\omega \varepsilon}} \\ &= \beta - j\alpha \end{aligned} \quad (2.8)$$

$\alpha$  [Np/m]は減衰定数,  $\beta$  [rad/m] は位相定数であり, これらは媒質定数より式(2.9)で与えられる.

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} = \left[ \frac{\omega^2 \mu \varepsilon}{2} \left\{ \left( 1 + \frac{\sigma^2}{\omega^2 \varepsilon^2} \right)^{1/2} \mp 1 \right\} \right]^{1/2} \quad (2.9)$$

導電性媒質中で伝導率は誘電率とともに誘電正接  $\tan\delta = \sigma/\omega\varepsilon$ として現れる.媒質は  $\tan\delta \ll 1$  のとき誘電性,  $\tan\delta \gg 1$  のとき導電性である.地中レーダは電磁波の波動としての性質を利用するため,  $\tan\delta \ll 1$  の条件下で多く使用される.

式(2.9)より, 誘電性媒質 ( $\tan\delta \ll 1$ ) 中で減衰定数, 位相定数はそれぞれ式(2.10)で近似できる.

$$\alpha \cong \frac{\sigma}{2} \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}, \quad \beta \cong \omega \sqrt{\mu \varepsilon} \quad (2.10)$$

また, 電磁波の減衰率  $\alpha$  [dB/m]と速度  $v$  [m/s]は次式で与えられる.

$$\alpha = 1.64 \sigma \sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}} \times 10^3 \quad (2.11)$$

$$v = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r \mu_r}} \quad (2.12)$$

ここで,  $c=3 \times 10^8$  [m/s] は真空中の光速,  $\varepsilon_r, \mu_r$  は媒質の比誘電率, 比透磁率, また  $\varepsilon_0=8.854 \times 10^{-12}$  [F/m],  $\mu_0=4\pi \times 10^{-7}$  [N/A<sup>2</sup>]は真空の誘電率, 真空の透磁率である. このとき電磁波の速度は振動数に依存しないことから, 波形が保存されながら伝播する.また, 比誘電率と比透磁率はそれぞれの真空における値に対する比である. この関係は式(2.13)~式(2.14)で表される.

$$\varepsilon_0 \varepsilon_r = \varepsilon \quad (2.13)$$

$$\mu_0 \mu_r = \mu \quad (2.14)$$

減衰率は高周波数帯で周波数に依存せず一定となるが, 一方数 MHz 以下の低周波数帯では式(2.9)から与えられる電磁波伝播速度は周波数依存性を持ち, 減衰率の周波数依存性が現れる.

通常地球構成物質の透磁率は真空の透磁率に近いことから, 地中の電磁波伝播速度は式(2.12)より比誘電率に支配されるといえる. よって, 式(2.12)~式(2.14)より, 媒質中の電磁波伝播速度は式(2.15)で表わされる.

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (2.15)$$

## 2.1.2 主な物質の比誘電率

表1に主な物質の100MHzにおける比誘電率を示す。この表より、空気が1、砂（乾燥状態）が4-6であるのに対し、水の比誘電率は81と他に比べて非常に大きいことがわかる。水は有極性分極分子であり強い配向分極を示すため、水の比誘電率は高い。よって、媒質中の水分量は比誘電率に影響するため、乾燥した土と水分を含んだ土では電磁波伝播速度が異なる。

## 2.2 地中レーダの構成

### 2.2.1 基本構成

地中レーダ（GPR：Ground Penetrating Radar）は送信機、受信機、送受信アンテナ、制御システム、データ記録装置などから構成される（図2.1（a））。図2.1（b）は地中レーダを模式的に示した。発信機は送信アンテナに信号を送信し、また受信アンテナからの信号を受け取る。制御システムは指定した間隔でレーダのスキャンを指示する。得られたデータは記録装置PCに保存する。

原理として、送信機アンテナから照射された電波は電気的性質（比誘電率）が異なる物質の境界面で反射した電波を受信アンテナで受信する。それにかかる往復の伝播時間と比誘電率を仮定により、反射物体までの距離を計算により目標物の位置（換算深度）が求まる。ここに、以下の式で示す。

$$d = \frac{vt}{2} \quad (2.16)$$

なお、 $d$ ：深度 [m]、 $t$ ：往復伝播時間 [s] とする。

また、複数のアンテナを規則的に配列したものをマルチチャンネルアンテナといい（図2.2）、配列したアンテナの内送受信に用いるアンテナの組み合わせによって表面下の異なる手法のスキャンができる。マルチチャンネルアンテナを用いることで、多断面のデータを一つのレーダ装置で取得できる。

表1 主な比誘電率(100MHz)

媒質	比誘電率
空気	1
水	81
氷	4
コンクリート（乾燥）	4-10
コンクリート（湿潤）	10-20
砂（乾燥）	4-6
砂（湿潤）	10-30
粘土（乾燥）	2-6

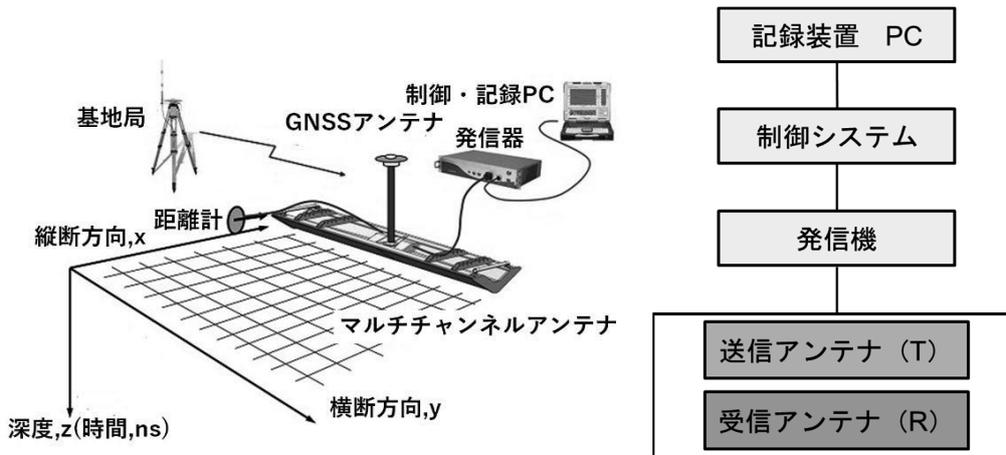


図 2.1 地中レーダの構成

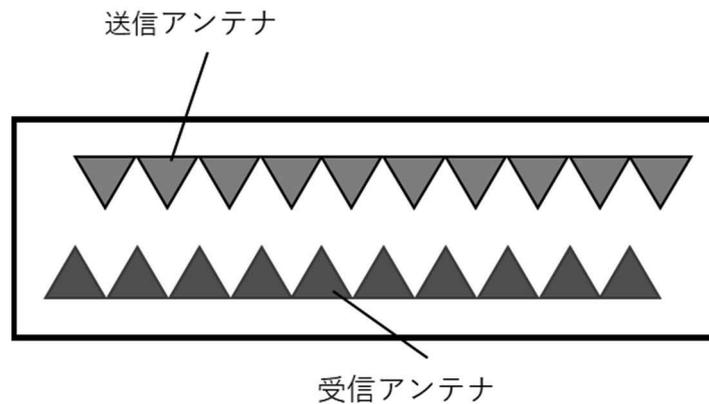


図 2.2 マルチチャンネルアンテナの構成

### 2.2.2 周波数

地中レーダで用いる周波数帯は数十 MHz～数 GHz である。2.1 節で述べたように、地中レーダは電磁波の波動としての性質を利用するため、 $\tan\delta \ll 1$  の条件下で多く使用され、10MHz 以上でほとんどの地球構成物質は誘電性となる。周波数が大きいほど電磁波の波長が短くなることからレーダの分解能が向上する。しかし 1GHz 以上では媒質中の水分の誘電損失によって減衰率が増加し、探査深度は浅くなる。また、周波数を小さくすると波長が長くなるためレーダ分解能は悪くなるが、探査深度は深くなる。つまり、地中レーダは測定に用いる周波数によって探査深度と分解能とが相反関係になるという特徴がある。

### 2.2.3 変調方式

地中レーダには以下のように、いくつかのレーダ方式に大別される。

#### (1) インパルスレーダシステム

変調をかけない直流パルスを送信機に印加し、受信波を時間領域で計測する。インパルスレーダでは、反射波形が反射体位置や形状に対応するため信号処理を経ず、受信信号から直接反射体の深度や位置を特定できる。

#### (2) 連続波レーダシステム

最も単純な連続波レーダは、単一周波数を用いたシステムである。システムとしての構成は簡潔であるが、アンテナに対して固定された物体までの距離情報が得られないという特徴がある。

#### (3) ステップ周波数

離散的に変化する多周波数において、図 2.3 のように各周波数の送信波に対する反射波の振幅・位相を計測する。周波数領域で計測した波形は、IFFT（逆高速フーリエ変換）により時間領域に変換し、インパルスレーダ方式の反射波形と等価となり、反射体までの深度や位置を求めることができる。

### 2.3 データ処理と解釈

#### 2.3.1 データ構成 (COG, CMP, MOG)

地中レーダの計測における測定方法には、アンテナの組み合わせによっていくつか大別できる。

##### (1) COG(Common Offset Gathers)

オフセット距離  $X_0$  が共通の測定手法である。このデータ構成は最も一般的とされる。一組の送受信機を進行方向に移動させる方法（図 2.4）と、複数の送受信機を等しい距離に配置して測定する方法（図 2.5）がある。式(2.15)、式(2.16)を用いて反射時刻から深度を求める。

##### (2) CMP(Common Midpoint)

CMP 法は、送受信アンテナの中心位置を固定し、送受信アンテナ間隔を変化させる手法（図 2.6）である<sup>6)</sup>。

CMP 法の反射波時刻解析は以下の通りである。

オフセット距離  $X_0$ 、深度  $D$  と置くと電磁波の伝播する距離は三平方の定理から計算できる。地中の電磁波の伝播速度  $V$  とする。これより反射波の到達時刻  $T$  は次の式から求められる。

$$T = \frac{\sqrt{X_0^2 + 4D^2}}{V} \quad (2.17)$$

今回の測定で用いた地中レーダアンテナではオフセット距離  $X_0$  はアンテナの固有の値である。各チャンネルの組み合わせによりオフセット距離  $X_0$  は決まっている。上式に両方二乗し変形する。

$$T^2 = \frac{X_0^2 + 4D^2}{V^2} = \frac{4D^2}{V^2} + \frac{X_0^2}{V^2} \quad (2.18)$$

ここで式(2.18)について次の変数変換をする.

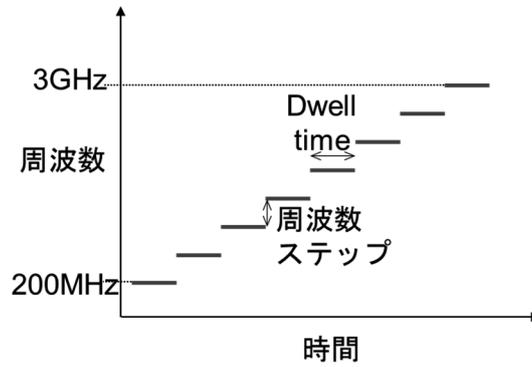


図 2.3 ステップ周波数

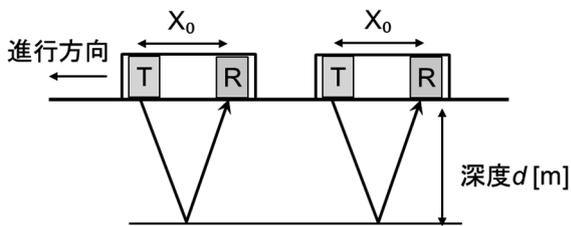


図 2.4 COG (1組アンテナ) の構成

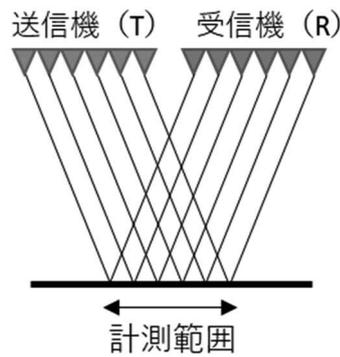


図 2.5 COG (複数アンテナ) の構成

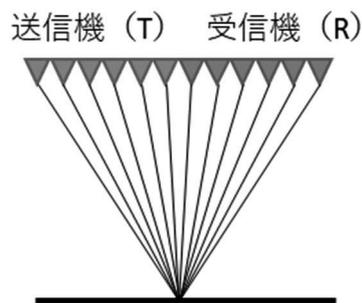


図 2.6 CMP の構成

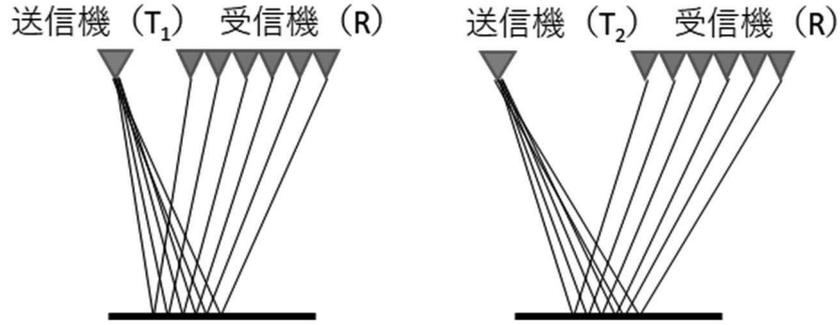


図 2.7 MOG の構成

$$x = X_0^2, \quad y = T^2, \quad a = \frac{4D^2}{V^2}, \quad b = \frac{1}{V^2} \quad (2.19)$$

これにより次の一次式として表される.

$$y = a + bx \quad (2.20)$$

この一次式に対する最小二乗法により求めた係数  $a, b$  から  $X_0 > 0$  かつ  $T > 0$  であるため深度  $D$  と電磁波の伝播速度  $V$  が求められる.

$$D = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{a}{b}}, \quad V = \frac{1}{\sqrt{b}} \quad (2.21)$$

ここで真空中の光速度を  $c$  とすると, 電導度  $\sigma$ , 角振動数  $\omega$  とし, 誘電正接  $\sigma/\omega\epsilon \ll 1$  のとき地中の電磁伝播速度  $V$  は次の式で近似できる.

$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.22)$$

これより地中の電磁波伝播速度  $V$  から比誘電率  $\epsilon_r$  を求めることができる.

### (3) MOG(Multi Offset Gather)

MOG は, 送受信アンテナ間隔を変化させる手法である (図 2.7). 本研究で使用した地中レーダの場合, 図 3.3 のようなアンテナ配列でアンテナの組み合わせは 156 通りある. すべての組み合わせで測定を実施した.

### 2.3.2 画像解釈

地中レーダの記録表示は, 横軸に水平距離, 縦軸に反射時間 (往復走時) または換算深度をとり, 地中レーダ反射波信号が白黒またはカラーで表示される (図 2.8). 左図は全 24 チャンネルの反射波であり, 右図は 24 チャンネルデータのうち, 地中レーダの中央における 1 つのチャンネルデータを波形で示した. 赤の波形 (リアル) は左図の青の断面における反射波の実部である. また緑の波形 (マグニチュード) は反射波の絶対値を表している. 送信機から受信機まで空气中を伝わる電磁波を直接波といい, 図 2.8 中のオレンジ色の線で示される. 解析で

反射時間を用いるときはこの直接波と反射波の時間の差とする。

電磁波はアンテナ共振周波数付近のスペクトルを含む波形として放射されるため、複数のピークを持つ3, 4波を1組としてその連続性を見ていく。地中に埋設管や空洞がある場合、この連続した反射波が途切れて双曲線形などの強い反射パターンとなって現れる。アンテナの指向性に広がりがあるため、アンテナが埋設管から離れた位置にあっても反射することから凸型の双曲線となる。一方埋設物上面が平らである場合には、上面からの反射は水平方向に連続し、角部で埋設管と同様の反射が生じる（図 2.9）。

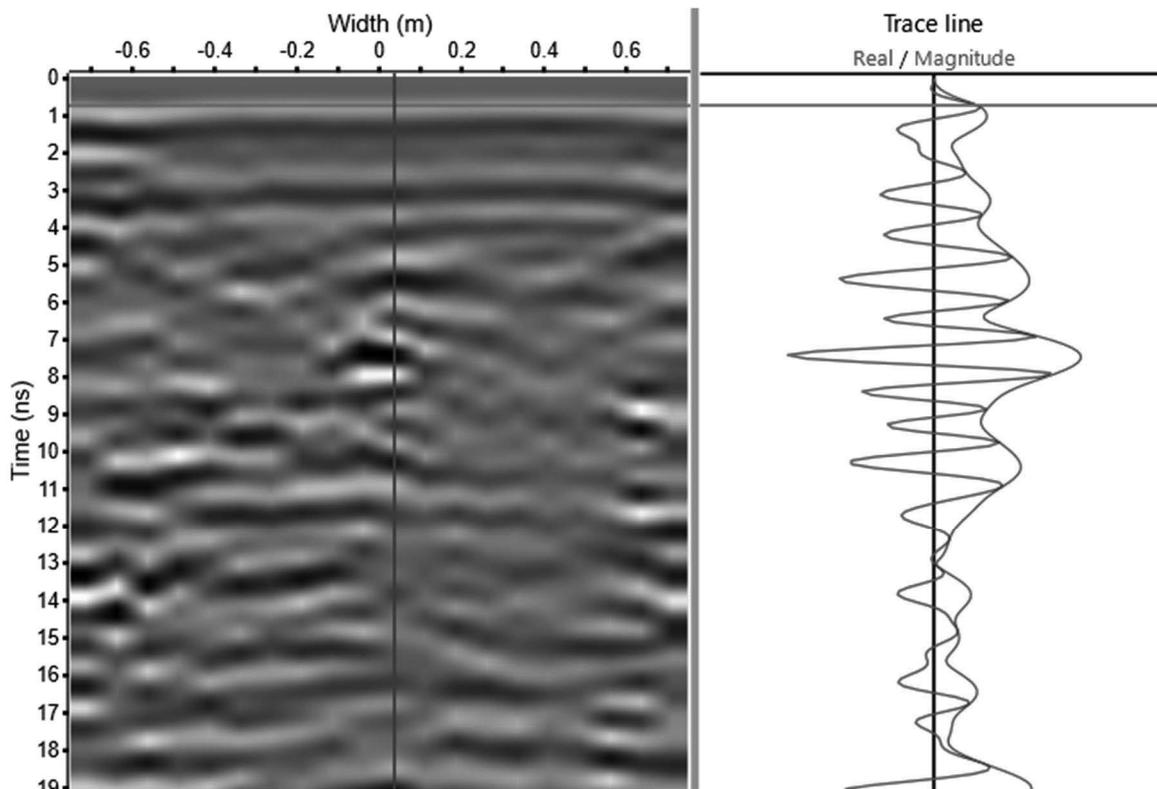


図 2.8 地中レーダ反射映像の表示例

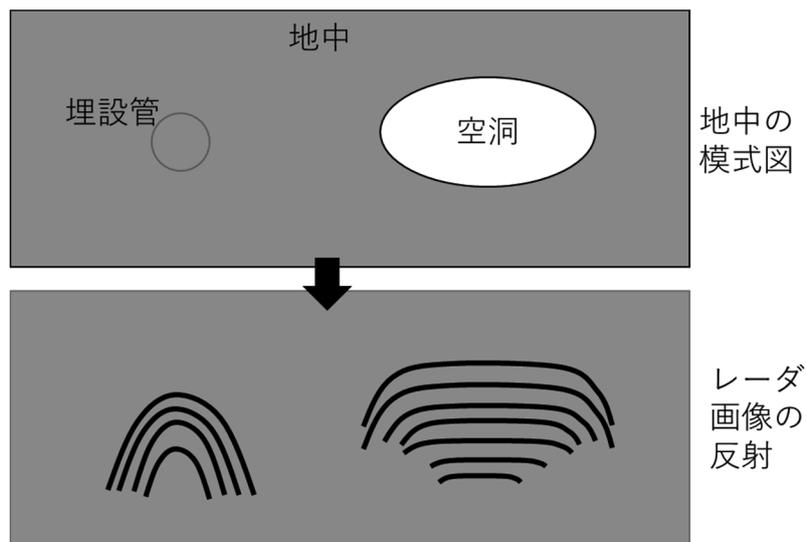


図 2.9 地中レーダの反射映像の概略図

#### 2.4 地中レーダを移動させて測定した場合

地中レーダでは送信機アンテナ T から照射された電波は電気的性質が異なる物質の境界面で反射し、反射した電波を受信アンテナ R で受信する。図 2.10 で示された点状の埋設物がある場合の地中レーダ探査を考える。また、地中レーダから埋設物への方向と垂直とのなす角を  $\theta$  とする。ここに、以下の式で示す。

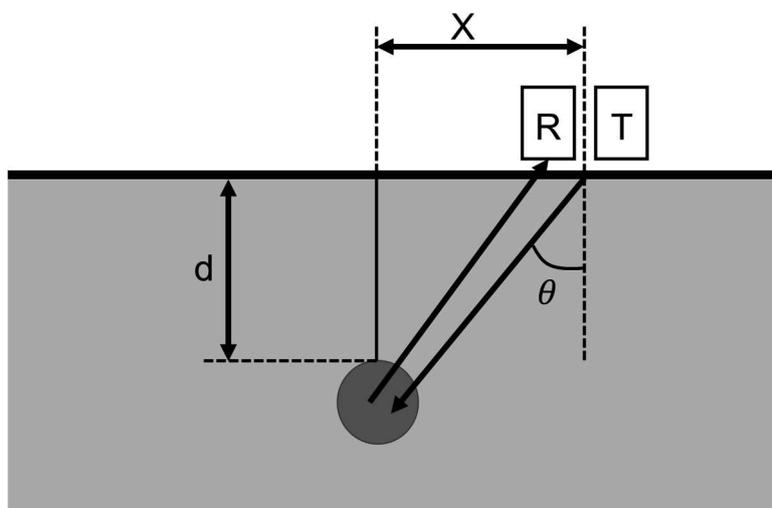


図 2.10 地中レーダと点状の埋設物の配置

$$t = \frac{2\sqrt{\varepsilon_r}\sqrt{x^2 + d^2}}{c} \quad (2.23)$$

なお、 $t$ : 反射波の往復伝播時間 [ns],  $\varepsilon_r$ : 土質の比誘電率,  $x$ : 埋設物直上からの水平距離 [m],  $d$ : 埋設物の深度 [m],  $c$ : 真空中の光速  $0.3[\text{m/ns}]$  とする。

式(2.23)から、比誘電率、埋設物直上からの水平距離が大きくなるにつれて反射波の往復伝播時間が大きくなる。

### 3. 研究の概要

図 3.1 に示す「模型実験による一連の基礎実験」のシーケンスに沿って実験を実施した。年度ごとの結果は全て地盤工学会四国支部大会に報告した。年度ごとの実験方法・結果の詳細は添付資料 1～6 を参考にして戴きたい。以下に年度ごとに実施した基礎実験の狙いと結果についての概要と、建設したテストフィールドの概要を報告する。

#### 3.1 実験機器の概要

実験では 3D-RADAR 社の GeoScope Mk IV コントローラとグランドカップル型アンテナ DXG1820, DXG2124 を用いた。地中レーダのレイアウトを図 3.2 に送受信アンテナのレイアウトを図 3.3, また DXG2124 の主な仕様を表 2 に示す。この地中レーダは、周波数が 200MHz～3GHz で段階的に変化するステップ周波数連続波方式のマルチチャンネルアンテナを持つ。アンテナの幅は 210cm, 12 本の送信アンテナと 13 本の受信アンテナから成り、送受信チャンネルが 7.5cm 間隔である。これにより 24 断面を一度に取得できる。また、砂浜での機器レイアウトの実際を図 3.4 に示す。

#### 3.2 地中レーダを用いた水面の検出実験<sup>4)</sup>

本研究は、地中レーダの電磁波が比誘電率の異なる境界面で反射することから、地下の含水率の異なる層の境界面の同定と温度等の外的変化での境界面の移動を捉えることを目的として、比誘電率の大きな水面の変動を観察した。

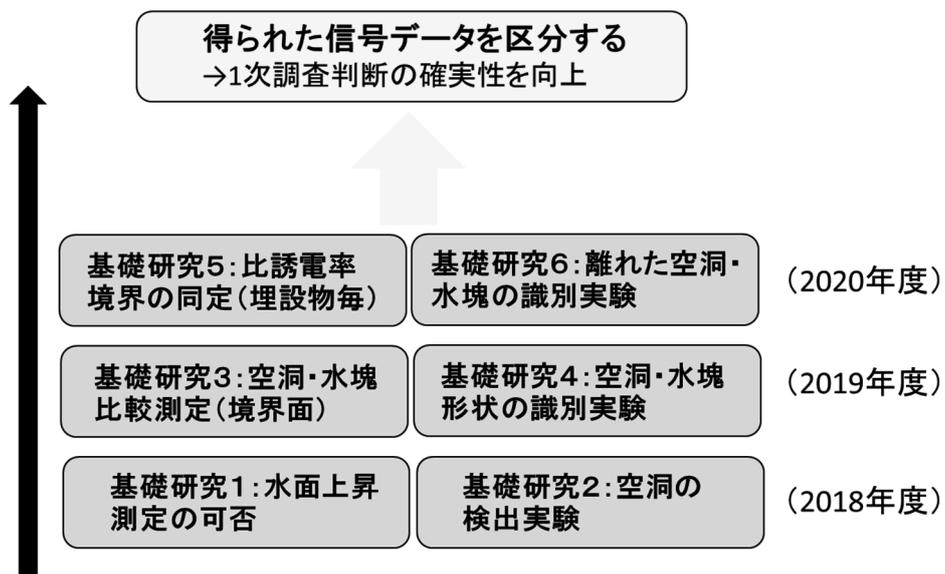


図 3.1 模型実験による一連の基礎実験

表 2 地中レーダの主な仕様

アンテナの型式	DXG2124
周波数帯域	200～3000 MHz

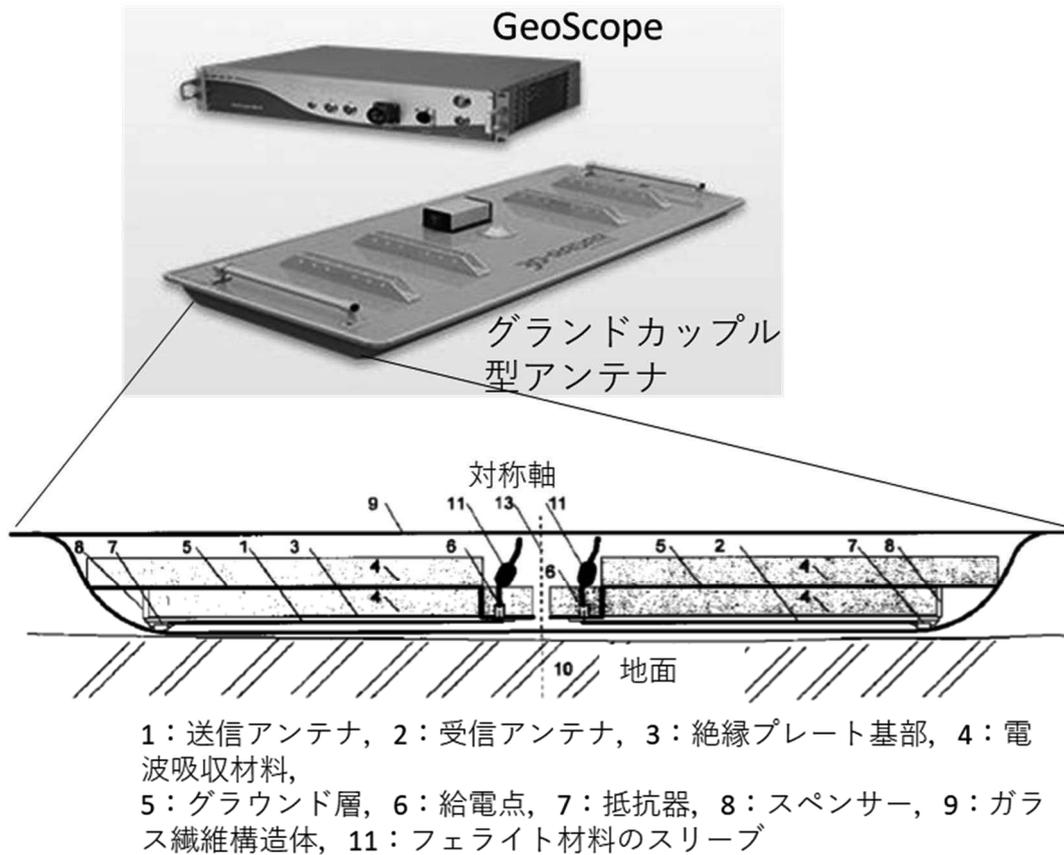
チャンネル数	24
チャンネルの間隔	7.5 cm
有効スキャン幅	180 cm
サイズ(LxWxH cm)	214.5x79.5x15
重さ	45 kg

---

---

ノイズが少ない環境下である空気中において水面の位置変化を地中レーダにより測定した。地中レーダ反射波の形状より、反射時間と水面の幅の変化が明確に判別できた。さらに深度（水面の高さ）を算出し、実際の深度と同等の値が得られた。CMP 画像からは直接波と反射波を観測できた。また反射波時刻解析により比誘電率と深度を求めた。その結果、実際の真空の比誘電率 1 と誤差が 0.1 である比誘電率 0.9 が得られた。また深度の相対誤差は浅くなるほど大きくなった。MOG の測定画像からも CMP と同様に直接波・反射波を確認できた。

以上より、本研究で行った水面検出実験では、ノイズの少ない環境下においては水面の検出が可能であると評価する。水面の上昇や降下が地中レーダにより正確に観察できることを検証した。



図

### 3.2 地中レーダのレイアウト

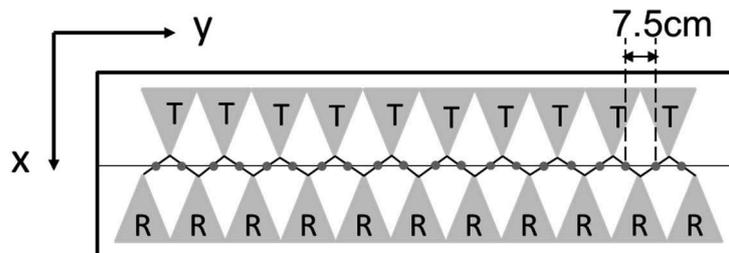


図 3.3 送受信アンテナのレイアウト

### 3.3 地中レーダを用いた空洞の検出実験<sup>7)</sup>

本研究では、地中に様々な形状の空洞があることを想定し、地中レーダを用いて空洞の位置や深さ方向の大きさを把握できるか また空洞形状の差異を検出できるかを評価することを目的とした。地中レーダがちょうど収まるような土槽を製作した。土中の空洞は比誘電率が空気と等しい発泡スチロールブロックを用いて、模擬空洞を形成した。

水面検出実験と同様に COG CMP MOG の 3 種類のデータにより地中の模擬空洞を観察した。COG 画像からは土被りの厚さ (模擬空洞の位置) は確認できたが、模擬空洞の深度方向の大きさは確認できなかった。COG と CMP のそれぞれの反射時間の解析により土の比誘電率を算出した結果、砂 (乾燥) の一般的な比誘電率 よりも小さいがほぼ同等の値が得られた。また CMP の解析では模擬空洞の存在する深度が実際より大きい値として算出された。このよう

に空洞検出実験では水面検出実験と比べ顕著に異質の検出が困難であるといえる。これらは、空気中と比べ土中の探査はノイズを感知する環境下にあること、また、本実験で作製した模擬空洞の規模が小さいことから多重反射などを引き起こしやすく、レーダ画像により異質の識別が難しくなったことなどが要因として挙げられる。



図 3.4 実験構成

### 3.4 模擬空洞・水塊の識別実験<sup>8)</sup>

本研究は、ノイズを低減させるため埋設物が少ない無限延長の砂層が得られる海岸の砂浜を活用して、模擬空洞と模擬水塊からの反射信号の違いや立体構造の識別を観察した。

地中レーダによって得られた COG データ画像により、模擬空洞・水塊表面の位置と幅をおおよそ把握できた。しかし、複雑形状の判別は上手くいかなかった。

地中レーダの反射の極性は境界面の上下の比誘電率の違いが大から小と重なっているか小から大と重なっているかに依存している。模擬水塊と模擬空洞を同じ形状で測定することで比較した際実験により模擬空洞からの反射波と水塊からの反射波とは反射波のピークの極性により明確に識別できることが判明した。水塊では白から黒へとピークが変化しているので比誘電率が小さいものから大きいものへ、一方で空洞では黒から白へと変化しているので比誘電率の大きいものから小さいものへと境界面で変化していることにそれぞれ起因する特性であることが分かった。学会発表では好評を博した。

### 3.5 模擬空洞・水塊間距離の識別実験<sup>9)</sup>

本研究は、2つの空洞や水塊間の距離を変化させて、地中レーダにより測定した。得られた地中レーダ反射映像図により模擬空洞・水塊が単独か複数か識別できる最小距離と凹型(U字型)の形状の識別について調査した。

2種類の実験を模擬水塊・空洞を用いて実施した。2つの水塊・空洞の間隔を変化させて反射波形状により識別できる最小距離の把握を目的とした実験では、水塊の場合は2つの水塊の間隔を10cmから40cmまで10cm刻みで広げていく4ケースについて、空洞の場合は2つの空洞の間隔を10cmから50cmまで10cm刻みで広げていく5ケースについて実施した。

模擬水塊間距離の識別実験では、2つの水塊の間隔は30cmで識別できたが、10cm、20cmでは明確には識別できなかった。U字型の測定では、U字型上面間隔20cm、30cm、40cmで上面と下の段差からの両方の反射波があった。U字型上面間隔20cmより大きい場合では下の段差が識別できた。

模擬空洞間距離の識別実験では、30cmで識別できたが、水塊と同様に10cm、20cmでは明確には識別できなかった。U字型の測定では、U字型上面間隔20cm、30cm、40cmで上面と下の段差からの両方の反射波が確認でき、U字型上面間隔20cmより大きい場合では下の段差が識別できた。

これら一連の実験により模擬水塊或いは空洞を用いて、土被り30cmの下で水塊・空洞間を変化させて実験に用いた地中レーダの識別限界距離を明らかにした。またU字型では、U字下部の識別状況、U字上部の左右の長さの識別可否を把握できた。

しかしながら、土被りが30cm以下の浅い場合や30cm以上の深さについては実験を行っていないため、両方で最小識別距離が一律に30cmとなるかは明らかでない。U字の上部と底部までの深さと識別しやすさについての関係も不明である。このことから、地表からの深さと識別距離の関係性について明らかにしておく必要がある。また、土の比誘電率が高くなった場合の識別距離についても同様に解明しなければならない。

### 3.6 テストフィールドの建設<sup>10, 11)</sup>

調査に使用する地中レーダの性能を定量的に測定、把握考察するため一般的な道路を模した空間に種々の埋設物と模擬空洞や埋設管を設置したテストフィールドを(株)カナン・ジオリサーチ敷地内に製作した。

概念設計から詳細設計を経て地盤の掘削、模擬埋設物の設置を終えて表面をアスファルト舗装してテストフィールドを2018年11月に完成させた。水分センサーによりテストフィールドの複数ヶ所の含水率を地中レーダ測定時と並行して測定している。建設以来約2年に亘って土壌の含水率変化をその時の天候状態と共に記録している。

模擬空洞と埋設管を配置したテストフィールドの測定により地中レーダアンテナの性能が検証できた。さらに各種レーダで測定し性能を評価したいと考えている。またレーダ反射信号の三次元化可視化を実施した。等値面では捉えられていない構造もあるため、土質の複雑さに対応した埋設物の形状推定手法をさらに研究する必要があるが出てきた。

概要を地盤工学会四国支部大会で報告し、称賛された。完成後この施設は愛媛大学監修の下製作されたテストフィールドとして、カナン・ジオリサーチのみならず地中レーダを保有する他社にも開放して、有効かつ効果的に利用されている。

### 参考文献

- 1) 国土交通省：平成29年度国土交通白書，pp.132-136，2018
- 2) 内閣府：戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）インフラ維持管理・更新・マネジメント技術研究開発計画，2018
- 3) 国土交通省水管理国土保全局水道部：平成30年度下水道管路メンテナンス年報

- 4) 寺田真理子, 加藤祐悟, 篠原潤, Elvis Anup Shukla : 地中レーダを用いた水面の検出, 地盤工学会四国支部平成 30 年度技術研究発表会講演概要集, pp. 111-112, 2018
- 5) 物理探査学会 : 物理探査ハンドブック, pp. 401-421, 1998
- 6) 佐藤源之 : 地中レーダによる地下イメージング, 電子情報通信学会, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J85-C, No. 7, pp. 520-530, 2002
- 7) 寺田 真理子 : 地中レーダを用いた路面下性状測定に関する基礎実験、卒業論文発表, 2018
- 8) 河野 敢太, 安原 英明, 木下 尚樹, 馬場 務, Elvis Anup Shukla, 加藤 祐悟, 新崎 隆弘 : 地中レーダ技術を用いた路面下性状調査に関する研究 (3)、地盤工学会四国支部令和元年度技術研究発表会、pp. 83-84、2019
- 9) 尾崎 駿, 安原 英明, 木下 尚樹, 馬場 務, Elvis Anup Shukla, 加藤 祐悟, 新崎 隆弘 : 地中レーダ技術を用いた路面下性状調査に関する研究 (5) - 地中レーダを用いた模擬水塊間距離の識別実験 -、地盤工学会四国支部令和二年度技術研究発表会、pp. 31-32、2020
- 10) 新崎 隆弘, 加藤 祐悟, 馬場 務, Elvis Anup Shukla, 安原 英明, 木下 尚樹 : 地中レーダ技術を用いた路面下性状調査に関する研究 (1)、地盤工学会四国支部令和元年度技術研究発表会、pp. 79-80、2019
- 11) 加藤 祐悟, 新崎 隆弘, 馬場 務, Elvis Anup Shukla : 地中レーダ技術を用いた路面下性状調査に関する研究 (2)、地盤工学会四国支部令和元年度技術研究発表会、pp. 81-82、2019

## 空間情報の調査と解析に関する総合的研究 ～GNSSを活用した効率的な調査・解析の推進～

愛媛大学防災情報研究センター特定教授・(株)JGITS 片山 辰雄  
(株)カナン・ジオリサーチ 篠原 潤

### 1. はじめに

全国に張り巡らされた道路網は、人体に例えるならば全身を巡る血管に相当し、それなくして現代社会は成り立たない。しかしながら近年、道路の陥没事故が数多くみられようになった。<sup>1)</sup> 国総研によれば、これらの陥没は路面下に敷設されている下水道管に起因すると考えられている。<sup>2) 3)</sup> 下水道管の老朽化により、水漏れが発生し、路面下に空洞を作り、これが原因で道路の一部が陥没する事態に至っている。

このような事態を事前に回避するための手法である路面下空洞調査の技術は、近年目覚ましい発展を遂げている。<sup>4) 5)</sup> かつては、手作業で行っていた地中レーダを利用した空洞調査において、地中レーダを車両に搭載し、一定の速度で走行しながらの調査も可能になった。さらに調査地点の正確な位置を知るために、GPSを利用するGNSSシステムを搭載したシステムも開発されてきた<sup>6) 7)</sup>。また、地中レーダの機器に関しても3次元のデータが取得できる機器開発が進み、これらの技術が市場に浸透することで路面下空洞に対する高精度でかつ迅速な調査が可能となっている。

移動体の位置を瞬時に正確に把握することは、社会生活上または国家安全保障上重要な技術であり、国の政策として正確な位置情報を提供できるGPSの補完・補強が進められている。<sup>8)</sup> 具体的には、位置情報の決定に利用できる衛星をわが国独自で打ち上げ、衛星の数を増やすことで測位精度の向上を目指してきた。2010年に初めて、準天頂衛星「みちびき」を打ち上げたことで、我が国をカバーする準天頂衛星システムが確立された。現在では、「みちびき」は4号まで打ち上げられている。準天頂衛星システムと電子基準点網の高度化によって、高精度で高信頼性の測位が簡単に利用できるようになった。このシステムを路面下空洞調査に用いる探査車両に搭載することで、今まで以上の効率的かつ効果的な調査が実現できる可能性がある。基地局と移動局（路面下空洞探査車）でリアルタイムに正確な位置情報が取得出来れば、誤差数cm以内で、時々刻々と探査車両の正確な緯度経度が取得できる。

今回我々は、新型高精度GNSSシステムを探査車両に搭載し実証実験を行った。実験に選んだ路線は、高層ビル群の周辺であったがcmオーダーの高精度な結果を得た。今後より多くの実績を積み、現地調査の効率化を実現し総合的に効果的であったことを検証するとともに、リアルタイムで簡易な調書作成まで出来るようにしたい。

さらに、路面下の空洞位置については、絶対座標である緯度経度を基に整理を進め、地上と地下の1元マッピング技術の構築を図る。こうすることで現存する占用物の配置や将来の地下空間の利用計画などに広く利用できる3次元空間情報のベースマップの構築とその活用法についても論じる。

---

Promotion of the effective investigation and analysis that utilized GNSS, Tatsuo Katayama (JGITS, LTD) , Jun Shinohara (CANAN GEO RESEARCH, LTD.)

## 2. 社会資本整備の現状

### (1) インフラ構造物の老朽化

我が国における社会資本は1950年代の「高度成長期」「安定成長期」に建設された構造物が多く、河川管理施設をはじめ道路、橋、トンネルや下水道管きよ等が国の社会資本として整備された。しかしながら表一（a）に示すように、建設後50年を経過化している社会資本は現状では30%前後であるがこれらの社会資本の大半は2033年には建設後50年を経過し老朽化が顕在化する。このため国土交通省をはじめ関係機関では、社会資本の老朽化対策を考えるため、道路陥没の発生件数やその要因を整理した。その結果、陥没の原因の大半は、直轄国道や人口集中地区では道路施設（道路排水施設が主）が、政令都市では下水道や上水道に関連することが分かってきた。（表一（b）参照）

	2009年	2019年	2023年	2033年
道路橋	約8%	約25%	約39%	約63%
河川管理施設	約11%	約25%	約42%	約62%
下水道管きよ	約3%	約7%	約8%	約21%
港湾岸壁	約5%	約19%	約32%	約58%

	直轄国道	人口集中地区	政令都市
道路施設	58%	36%	10%
*ライフライン	16%	33%	64%
上・下水道	9%	21%	62%
原因不明	26%	31%	26%

\* ライフラインには上・下水道を含む

### (2) 下水道の老朽化が引き起こす道路陥没

道路は、生活上重要な社会資本でありその整備は常に行われてきた。また、道路はライフラインの中でも物流路として社会経済活動の全般を支える重要な役割を果たしている。このため、道路に関しては地上と地下の一元化管理をさらに促進させ、一層レジリエントなものにする必要がある。ライフラインとしての道路が抱える問題の一つは、道路陥没である。道路陥没は物流路を機能不全に陥らせるものであり、その原因解明と対策は必須である。国総研などの調査によれば、道路占用物件が要因の中では下水道が要因の陥没件数が70%以上を占めると報告されている。さらに下水道の敷設からの経過年数が長くなるにつれて、道路陥没件数は増加している。特に全国の道路陥没の大半は下水道の継手ズレや破損が水漏れを生じさせ、その結果路面下に空洞を作り出し、道路陥没に至っている。社会生活に影響が大きい道路陥没をなくす為に、路面下に存在する空洞を正確に特定する技術開発は喫緊の課題である。

### (3) 社会資本データベース整備に必要な路面下調査

道路下には、電気、ガス、上下水道、通信等のライフラインも縦横無尽に張り巡らされている。地下のライフライン網に対して、電子化されたデータベースの整備はライフラインの強靱化のために必須である。しかしながら、これら地下構造物は敷設工事の最終段階で現場合わせが多く、正確な図面が整備されているとは言い難い。このような問題点も存在するが、路面下におけるライフライン網、さらに空洞の存在などの調査を促進し、より精密なデータベースを構築し、ライフライン全般に関して地上と地下の一元管理が可能となるプラットフォーム構築は、社会資本整備の基本と言える。この目的を達成するために我々は、車両牽引型3次元地中レーダシステムに、新型高精度GNSSを組み合わせることで、道路に関連するライフラインのデータベース構築を試みた。

### 3. 路面下空洞調査

#### (1) 路面下空洞調査の現状

国内での路面下空洞調査では、車両牽引型で高速で調査ができる3次元地中レーダが主流になりつつある。その結果、道路陥没を引き起こす空洞の発見率の向上と、空洞箇所の正確な特定も進んでいる。他方、車両を利用した路面下空洞調査を行える民間企業は全国でも少なく、技術開発に力を注いでおり、各社各様で最新の技術を搭載してより効率的な空洞調査に挑んでいる。ここでは、特許を取得しネティス登録が成されている地中レーダ3次元モバイルマッピングシステム<sup>9)</sup>(Ground Penetrating Radar Mobile Mapping System 3D (GMS 3))を取り上げる。このシステムは、地上情報と地下情報の全方位連続測定による高精度な3次元マッピングシステムである。このシステムは従来の利用されていた手動型地中レーダに比べて、地下の精密な3次元マッピングが可能であり、同時にコストの大幅な削減も可能にした。

#### (2) 路面下空洞調査の流れ

路面下空洞調査の一連の流れでは、通常調査は1次調査と2次調査に分かれる。1次調査を実施して検出された空洞に対して、2次調査において掘削を行い空洞の存在と空洞の状況を確認する。図-1にはこの一連のフローを示している。調査が2段階に分かれているため、幾つかの課題が発生してくる。最も大きな課題は1次調査で推定された空洞の道路上での位置情報の正確さである。この位置情報は掘削される場所を決めるため、その誤差は最小限に収める必要が生じてくる。このため往々にして、掘削地点の正確な場所を決めるため手動の地中レーダなどを利用して、再度空洞の位置決めが行われたりする。すなわち、地下空洞調査を効率的かつ効果的に進めるには、1次調査において誤差数cm程度の正確に空洞位置の特定が必要になる。これが可能になれば、2次調査であるスコープ調査のための掘削作業は、再調査することなく実施が可能になる。

写真-1は地中レーダ探査のためのアンテナと、高精度位置情報の取得のためシステムを搭載した地中レーダ3次元モバイルマッピングシステム(GMS 3)用の探査車である。

地中レーダは車軸間に取り付けられ、高速走行中でも安定した測定が可能である。車体の屋根に取り付けられた2台の全方位カメラは、車両の周囲と後方を連続撮影することにより、安全走行に資すると同時に、データ処理の段階で利用する全周囲映像を記録している。



図-1 空洞調査の流れ



写真-1 探査車両に取り付けたGNSSアンテナ、地中レーダ、全周囲カメラの構成

また、この全周囲映像の時刻は、地中レーダシステムの時刻と同期されている。これによって地上と地下の絶対位置が対応付けられ、両者の一元管理が可能となっている。

さらに、GMS3 ビューアーは、地中レーダ信号、全周囲映像、オルソ画像、さらに道路地図を同時に閲覧出来る機能を持っている。(図-2 参照)

以下にこれらの特徴を示す。

①オルソ画像上にマーク箇所を表示することで、走行直下とその周囲の画像が関係付けられ周囲の状況を把握しやすい。

②高精度の位置情報を持つため、交差点等測定が直線でない場合でも映像と距離計測で位置を把握できる。位置情報が反射波形、動画、オルソ画像間で関係付けられており、動画パネルとオルソ画像パネル上で距離を計測し、出力できる。

③地中レーダの出力形式は、米国物理探査学会 (SEG) が策定したSEG-Y形式<sup>10)</sup> であり汎用性を持つ。

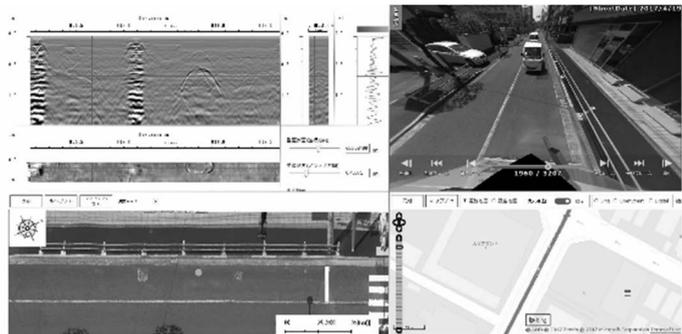


図-2 GMS3 ビューアー

\*左上図：地中レーダ信号 (3次元)。右上図：動画。  
左下図：路面のオルソ画像。 右下図：地図。

### (3) 位置情報の重要性

従来の車両牽引型の地中レーダ調査においては位置精度に課題があった。衛星の情報を利用する通常のGNSSでは、道路近傍に大きな建築物があると、その影響により測位精度が悪くなった。図-3(a)はある市街地における測位結果である。道路幅が広く高層ビルが少ない環境では、精密測位が出来ている。しかしながら、図-3(a)の白○部分に関しては、精密測位から比べるとm級測位や単独測位が見られ精度が落ちているのがわかる。図-3(b)は図-3(a)に示した白○部分周辺の拡大図である。高層ビルの横を計測車両が通過した時点でm級測位に変化した。その後、高架下を通過する時には衛星情報を取り込めないで単独測位に変化した。その後、衛星情報を新たに取得出来るまでは、再びm級測位に変化する。このように道路周辺状況(道路近傍に高層ビルや高架下)によりGNSS信号の受信数が減少し、そのため測定位置の精度が悪くなるという課題があった。また、地中レーザ探査機の幅は決まっており、道路幅

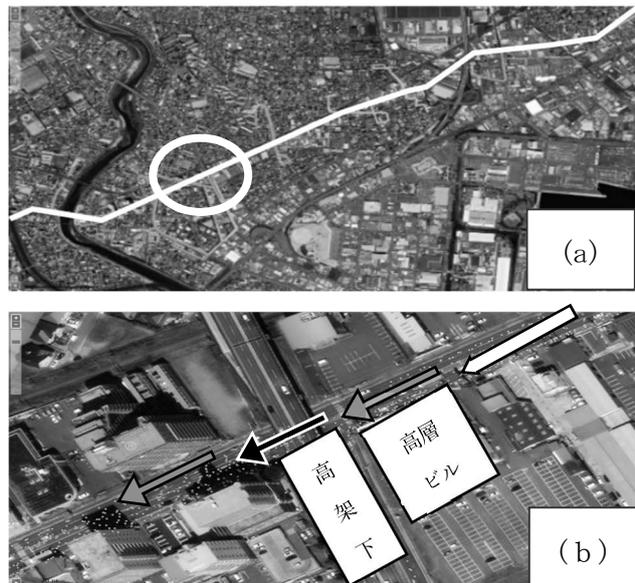


図-3 市街地における高架下周辺の探査車の軌道とGNSSによる測位結果

- ①白色：精密測位
- ②グレー色：m級測位
- ③黒色：単独測位

全体の調査には通常複数回の走行が必要になる。この場合、どの場所を走行したかという情報は、隣接する測線のレーダ画像と比較するために、非常に精度の高い位置情報が必要になる。また、路面下空洞の見落としは許されない為、重複しても複数回の走行が通常行われている。従来のGNSS計測では、図-4(a)に示すように高架下を車両が走行した場合、GNSSによる位置は、具体的に走行した位置から大きくずれていた。この課題に対して、GMS3では、2台の全方位カメラを3次元地中レーダの搭載車両の屋根に設置する事で解決した。

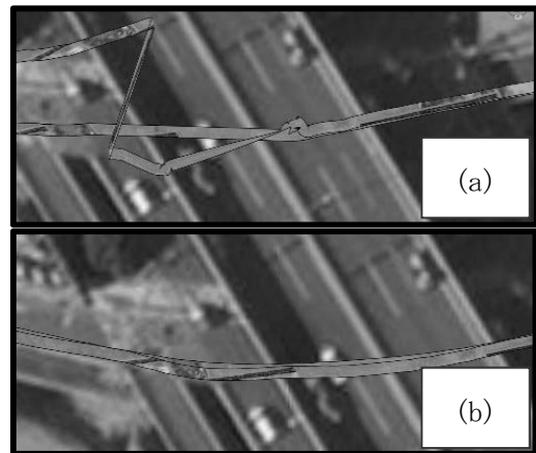


図-4 高架下周辺の軌跡

まず2台のカメラで録画された全周囲映像を解析し、2つの映像に存在する特徴点を自動的に抽出した。さらにこれらの特徴点と2台のカメラの位置と姿勢に関する情報を元に三角測量の原理を利用して車体の正確な位置を推定した。さらにこれらの全周囲映像は道路を含む空間構造を把握できる機能も有している。この情報を元にGNSSの位置情報を修正し、図-4(b)に示された軌跡のように高架下においても高い位置精度を保つことが可能になった。しかしながら、このデータ処理は画像解析の手順が必要のため、解析時間が長いという欠点もある。

#### 4. 新型高精度GNSSの活用

##### (1) 新型高精度GNSS

現在、国土交通省国土地理院がG空間社会実現に向けた政府の取り組み<sup>9)</sup>として、準天頂衛星システム（準天頂衛星みちびきを含む4機体制）を構築している（図-5参照）。目的は、現在のGPSの補強（測位精度向上のため電子基準点を活用してcm級精度の実現）である。安定した高精度測位のためには、より多くの衛星が視野に入ることが必要である。

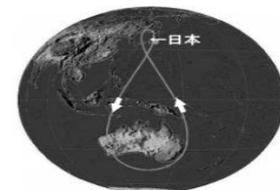
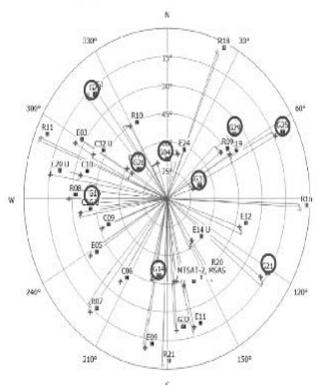


図-5 準天頂衛星システム

今回テストを行った新型高精度GNSSシステムは、43機の衛星を捕捉可能になっている。（図-6参照）

このシステムでは、GPS、GLONASSに加えGalileo、Beidouの衛星も捕捉可能であるため、超高層ビルが立ち並ぶ都市部の道路においても精度が高い位置情報を得ることが期待できる。今後利用できる衛星数がさらに増えると予想されるが、利用する衛星の選択には測位目的を考慮して検討する必要がある。現在、GMS3で運用されているGNSSでは、衛星は9



Manufacturer		一般的なもの	採用品
GPS	チャネルの数	134	448
	L1C/A	○	○
	L1C	○	○
	L2P	○	○
	L5	○	○
GLONASS	L1C/A	○	○
	L1 CDMA		
	L2C/A	○	○
	L2 CDMA		
Beidou	L2P		○
	L3 CDMA		○
	B1I	○	○
	B1C		○
Galileo	B2a		○
	B2I	○	○
	B3		○
	E1	○	○
QZSS	E5a		○
	E5b	○	○
	L4		○
	AltBoc		○
合計	L1	○	○
	L1C		○
	L2C		○
	L5		○
対応衛星数		9	24

図-6 新型高精度GNSS

機のための捕捉なので、今後新型高精度GNSSを搭載できれば、さらに測位精度が向上する可能性がある。

### (2) 新型高精度GNSSの検証

新型高精度GNSSを評価するため、人口数十万の地方都市において従来型と新型高精度GNSSを使用して、高層ビルの谷間やアーケード周辺において測位精度を比較した。テストは図-7に示した経路図に従って車両を走行させを行った。表-2に車両走行時における各GNSS搭載車の測位状態区分での割合を表示した。データ数の違いはあるが従来型においては、Fix測位が50%前後であるのに対して新型高精度GNSSではFix測位が90%以上となった。表-2から解るように、新型高精度GNSSは従来型のGNSSよりも常に安定して走行位置を測位できており、43機の捕捉可能な新型高精度GNSSの有効性が示された。今後も走行テストを重ねてさらなる新型高精度GNSSの有効性を確認する。

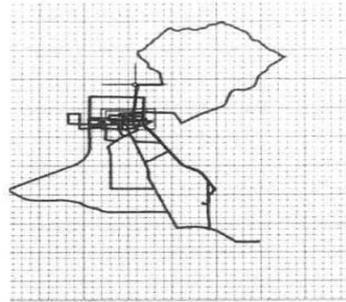


図-7 地方都市での走行経路図

表-2 GNSS Fix率比較

GNSS	状態区分	点数	割合(%)
従来型	Fix	10460	47.0
	noFix	11808	53.0
新型	Fix	18235	96.0
	noFix	761	4.0

### (3) データベース構築の重要性

新型高精度GNSSを利用すれば、精密測位（1~2 cm以下の精度誤差）が可能であることがわかった。現在のGMS3では、地中レーダ以外に地表情報を取得できるGMS3ビューアーの機能が搭載されている。このため、新型高精度GNSSとGMS3ビューアーの機能を融合させることにより、路面下空洞調査結果と地上情報の管理精度が一段と向上する。すなわち、地上構造物と地下構造物に対して、cmオーダーの精度を有する3次元空間データを一元管理可能なデータベースを各自治体で構築出来れば、政府が進めているG空間社会の実現に大きく近づける。さらにこのようなデータベースが有れば、データの蓄積を通して道路陥没事故の要因分析にも、新しい展開が期待できる。（図-8参照）

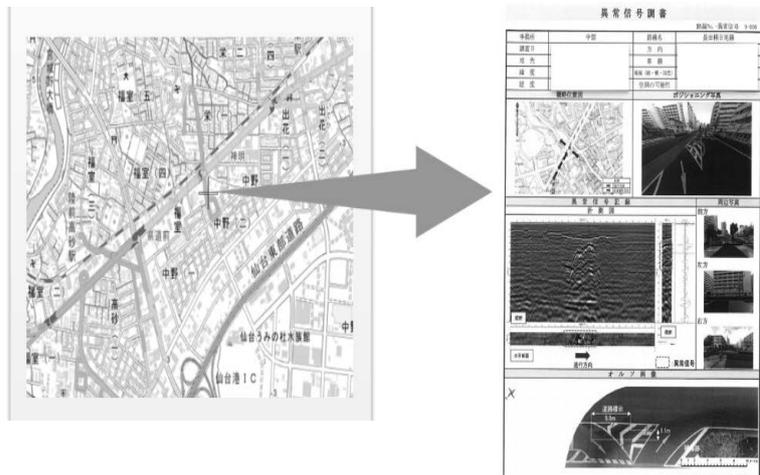


図-8 3次元空間データの一元管理

### (4) データベース構築の将来像

緯度経度のような絶対位置座標を有する高精度な地表と地下の構造物に対するデータベースが出来れば、路面下空洞調査も大きな技術革新が期待できる。地中レーダ調査で取得されたレーダ波形を解析し、空洞と判断される異常信号を検出しても、位置の特定精度が不十分であ

れば、実用上は、空洞を発見したとは言えない。工事を伴う2次調査の際には、cmオーダーでの精度を持った空洞位置を確定するため、手動型の地中レーダによる再調査が必要になったりする。しかしながら前述のデータベースがあれば、道路周囲の改変（建物の改変、電柱の移設、道路の補修等）による空洞位置の誤認定を排除することができる。さらに道路周囲の環境（地物の増減、変状、舗装の種類、周囲の排水溝の位置関係、過去の補修跡）を考慮した判断も可能になる。（図-9参照）

過去に発見された路面下空洞の履歴（場所、深度、広がり、波形等）の一覧がデータベースから簡単にわかれば、対象とする地域における路面下空洞の分布や頻度等が把握され、空洞の要因分析にも利用できる。さらに、地中レーダのデジタルデータもデータベースに登録すれば、レーダ波形に対する解析により、地域ごとの誘電率の差異の把握が可能になる等、信号履歴の管理

を行う上での優位性が上がる。このようなcmオーダーの位置精度を持つ各種情報のデータベース化は、今後道路陥没の事前リスク評価においても威力を発揮できる。

さらに構築されたデータベースは、道路管理者、地下埋設物の各管理者などと共有されることで、図-10に示した様な地上構造物と、地下構造物が一元管理とそれらの可視化が実現可能である。そのための第一歩として、既往の埋設管図等を基に地中レーダで検出された地下構造物との対比を進め、地上構造物を含む3次元空間の可視化を通して、国が進めるG空間社会の実現に寄与したい。



図-9 データベースの構築



図-10 GMS3技術の展望

## 5. まとめ

今回の研究によって、準天頂衛星システムを活用する新型高精度GNSSシステムを使用することで、高層ビルや壁際でも測位は数cmオーダーの誤差しか発生しないことが検証された。今後は、高架下やトンネル等の準天頂衛星システムが使用できない場所では、IMU（慣性測量装置）を併用することでより精度の高い位置情報の取得を目指す。

さらに、道路周辺に関する情報を集約することで、地上構造物と地下構造物を含む路線に関する一元管理と可視化が可能となる空間情報データベースの構築と、その活用法に関して

考察を進めた。その結果、これらの情報は重要な社会資本であり、産・官・学が一体となったデータベースを含むプラットフォームの構築が必須である。

#### 謝辞

本研究を進めるにあたっては、愛媛大学インフラ空間情報基盤研究部に寄付講座を開設している(株)カナン・ジオリサーチよりGMS3と実証試験データ等の提供を頂いた。また、この研究にアドバイス等を頂いた関係者の皆様には、紙面を借りてここにお礼を申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 桑野玲子、路面下空洞の実態と陥没対策、第1回路面下空洞連絡会、2019.
- 2) 横田敏宏・深谷渉・宮本豊尚、下水道管路施設に起因する道路陥没の現状（2006－2009年度）、国土技術政策研究所資料、第668号、2012.
- 3) 竹内大輔・深谷渉・宮本豊尚・横田敏宏、下水道管路の異常と道路陥没の関係性、土木技術資料、vol.57、No3、pp30-33、2017.
- 4) 路面下空洞技術マニュアル（案）、路面下空洞探査車の探査技術・解析の品質確保コンソーシアム、2017.
- 5) 地中レーダ技術に関する調査検討会報告書、地中レーダ技術に関する調査検討会事務局、2017.
- 6) 西川啓一・三輪昌史・荒木寿徳、高精度自動離着陸・航行ドローン、日刊工業出版検査技術、第24巻12号、pp27-32、2020.
- 7) 西川啓一・三輪昌史、小型2周波数GNSSによる精密飛行の検討、第38回日本ロボット学会学術講演会、2020.
- 8) 石原孝之、G空間社会の実現に向けた政府の取り組み、地理空間情報に関する北海道地区産官学懇談会、2017
- 9) J. Shinohara, Y. Kato, A. Okino, E. A. Shukla and T. Baba, "GMS3 a unified system of ground penetrating radar and camera vector for efficient road infrastructure maintenance," 2018 17th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR) , Rapperswil, 2018, pp. 144-148
- 10) Noon, David Andrew Stepped-frequency radar design and signal processing enhances ground penetrating radar performance 1996

# 急速施工車両用プレキャスト防護柵「RS ガードフェンス」の技術開発

第一コンサルタント 設計部橋梁構造課 片山直道  
愛媛大学防災情報研究センター特定教授・(株) 第一コンサルタント 右城猛

## 1. 技術開発の目的

交通量の少ない地方の高規格幹線道路は、暫定二車線あるいは完成二車線で整備が進められている。これまで暫定二車線の区間はラバーポール等の簡易構造物で往復の通行を区分して供用してきたが、車両の逸脱による正面衝突事故や速度規制による機能低下が発生するなどの問題が指摘されている。こうしたことから国土交通省では、暫定二車線で開通する区間に関しては、ラバーポールに代えてワイヤーロープ式防護柵を設置する方針を打ち出している。また、暫定二車線での供用期間が長くなる区間については、完成二車線の区間と同様に車両の逸脱を確実に防止できるコンクリート製防護柵の設置が計画されている。

コンクリート製防護柵としては、品質確保や生産性の向上、技能労働者不足等からプレキャストコンクリート製品が利用される傾向にあるが、現在開発されているプレキャストコンクリート製品は一種類しかなく、製造権を有する四国外の特定のメーカーでしか製造できない状況にある。四国内で製造できれば高額な運搬費が不要で製品コストを削減できるとともに、地産地消による地域経済の活性化が期待でき、雇用の創出にもつながる。

このような背景から、四国内のコンクリート二次製品製造会社を中心とした、(有)松井建材、日本興業(株)、愛媛三段ブロック(株)、(有)創友、(株)第一コンサルタント、(株)エスイー、愛媛大学(株)により「車両用コンクリート防護柵研究会」を立ち上げ、新しいプレキャストコンクリート製車両用防護柵「RS ガードフェンス」を開発することになった。

## 2. 技術開発の概要

### 2.1 開発方針

RS ガードフェンスの開発においては、「SB 種としての性能確保」「既存製品の課題を解決した構造」の2点を開発方針の軸とし、構造の検討を行った。なお、形状・配筋については日本道路協会発刊の「車両用防護柵標準仕様・同解説」のフロリダ型標準図と同様とした。

既存製品の課題は次の3点があげられる。

- ・目地部のモルタル充填後 PC 緊張作業となるため工期が長くなる
- ・PC 鋼より線が重く挿入作業は複数名で実施する必要があり非効率
- ・PC の緊張は特殊ジャッキが必要となり手配が難しい

これらの課題を解決できる構造検討を行った。

#### (1) 目地部の構造

既存製品においては、目地部周辺で緊張力により損傷が生じないように目地部のモルタル充填を行った後 PC 緊張を行う工程となっている。そこで開発する製品では、高強度 EPS で製作した円柱状スペーサーを目地部に設置することで、緊張時に荷重を分散させ損傷が生じない構造とした。これにより、緊張後モルタル充填を行う工程でも支障は生じない構造とした。

#### (2) PC 鋼より線の改良

既存製品では、緊張力に耐えられるよう  $\phi 21.8\text{mm}$  の PC 鋼より線を使用

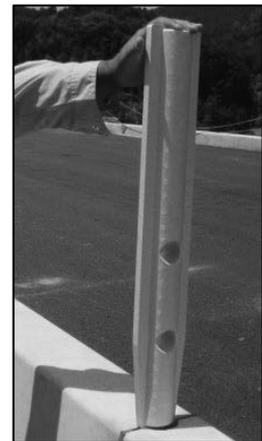


写真-1 スペーサー

しているが、その重量が大きいので挿入に複数の作業員が必要となる。そこで、開発製品では、PC 鋼より線を 2 本配置することで、PC 鋼より線の径を  $\phi 15.2\text{mm}$  とし 1 人で挿入作業が可能となる構造とした。

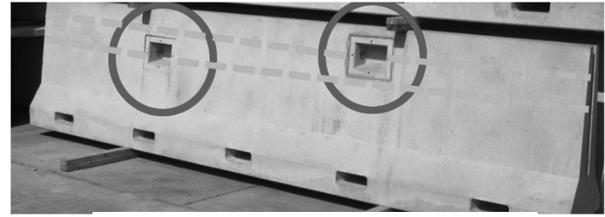


写真-2 PC 鋼より線 配置状況

### (3) 定着位置の変更

既存製品では、PC 鋼より線を曲げ上げて防護柵の天端で緊張定着する構造としているため、特殊ジャッキが必要となる。そこで開発する製品では、定着位置を防護柵側面にすることで、一般的に使用されるセンターホールジャッキでの緊張作業が可能となる構造とした。

## 2.2 静的載荷実験

開発した「RS ガードフェンス」の強度性能と施工性の確認を行うため既往の方法<sup>1)</sup>により静的載荷実験を行った。長さ 5m の RS ガードフェンスを 7 本連結して設置し、それと 10m 後方に設置した反力壁を PC 鋼線で連結し、油圧ジャッキで載荷した。本製品は SB 種対応としているため、防護柵天端に作用する 58kN の水平力に耐える必要がある。

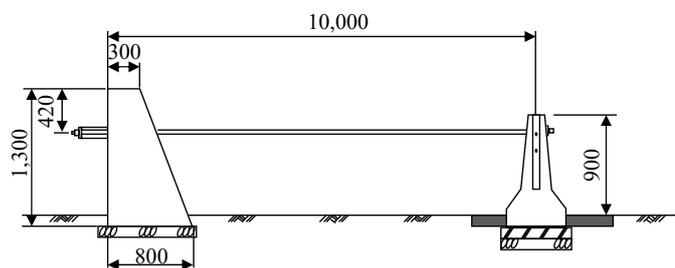


図-1 実験装置の概略図

本実験では PC 鋼線を用いて載荷するため、載荷位置が防護柵天端から下方に 150mm の位置となる。そのため実験では、防護柵下端でのモーメントが等しくなる 68kN を載荷することにした。実験では 10kN ずつ段階的に載荷したが、68kN に達しても転倒には至らず、防護柵に顕著な変状も見られなかった。ひずみゲージで測定したコンクリートの圧縮応力度及び鉄筋の引張応力度は、許容値に対し十分余裕がある結果となった。この実験から RS ガードフェンスは SB 種防護柵としての性能を有していることを確認できた。

また、実験時における RS ガードフェンス設置作業の経験から、既存製品の設置作業に比べ 30% 程度省力化されることを確認することができた。

## 3. 今後の展開

今回開発を行った RS ガードフェンスは、既存製品の課題解決した施工性に優れた製品とすることができた。作業員に関しては約 30% 程度の省力化が図れ、施工日数においてもモルタル充填後の養生期間などが不要となり短縮することができる。

本製品は、令和 3 年 4 月時点で総延長約 520m の施工実績がある。今後は四国 8 の字ネットワークを中心に高規格道路の整備が進むことが予想される。本製品が普及することで、高規格道路の交通安全性の向上、四国内の経済活性化・雇用拡大に寄与できるものと考えている。

## 参考文献

1) 高速化対応型コンクリート製防護柵に関する共同研究報告書 建設省土木研究所道路部交通安全研究室

## 小規模落石の防護柵「SRフェンス」の技術開発

(株)ニップロ 加賀山 肇

(有)創友 宮崎 洋一

愛媛大学防災情報研究センター特定教授・(株)第一コンサルタンツ 右城 猛

### 1. はじめに

近年、山間地の道路では、斜面崩壊や落石によって通行規制を余儀なくされることが増えている。これらの災害は、斜面の経年的な劣化に加え、豪雨や強風、あるいはイノシシやシカなど動物の移動などに起因すると考えられる。斜面崩壊や落石が確認されると、その度に道路の維持工事業者によって除去されているのが現状である。

島根県の調査によると、落石履歴の約97%は30cm角(約70kg)未満のサイズであったことが報告されている<sup>1)</sup>。落石エネルギー5kJ未満の小規模なものが占めていると想定される。このような状況は、地域差はあるとしても全国的にはほぼ同じ傾向であろうと考えられる。

地方の道路は命を守る生活道路である。崩土や落石に対して利用者の安全を確保するとともに、災害が発生した場合でも早期の交通開放が求められる。しかしながら、高齢化による人材不足で道路の維持管理が難しくなっており小規模な斜面崩壊や落石への対策が課題となっている。本技術開発は、このような課題を解決することを目的として行った。

### 2. 技術開発の概要

#### (1) 現状の課題と開発目標

小規模な落石を防護する場合、従来はストンガードやポケット式落石防護網などの標準的な工法が施工されていた。これらの工法は、測量設計や用地買収等が伴うため、施工が完了するまでに長い期間を要する。また、いずれの工法も可能吸収エネルギーは50kJ以上であるため不経済な過剰設計になっていた。

このようなことから小規模の崩壊や落石に対応する落石防護柵「SRフェンス」の開発に着手した。可能吸収エネルギーの目標は、落石履歴の大多数を占める5kJレベル。その他、繰り返し衝突時の捕捉性能、修復性能、施工の容易性も開発目標とした。

#### (2) SRフェンスの構造

SRフェンスは、プレキャストコンクリート製の基礎擁壁を並べて、その連結部に建て込んだ鋼管支柱(STK490 φ48.6×3.5t-2255)にワイヤロープ(6×24 G/O φ10)とネット(軽量剛性繊維網 25mm目合い)を取り付ける簡易構造の落石防護柵である。基礎擁壁は道路沿いに置くだけ、防護柵部分は工場ユニット化しているため、組み立てるのに特殊な技能を必要としない。

#### (3) 性能検証の実験

性能検証の実験は、工場内の天井クレーンを利用した振り子方式で行った。SRフェンスに重錘を衝突させてその挙動を観測するものである。実験に使用した供試体の概要と実験装置を図-1に示す。

基礎擁壁は、高さ0.8m、底面幅0.57m、1ブロック長2.5m、質量1.3tである。工場内のコンクリート床面に直置きした状態で、アンカー等による固定はしていない。

重錘は、スイス基準のSAEFL<sup>2)</sup>型、コンクリート製の多面体で、質量 $m=141\text{kg}$ のものを使用した。落下高さは $H=4.5\text{m}$ 、阻止面に対して直角に衝突させた。衝突位置は、支間中央、阻止面の天端から0.5m下側である。

重錘衝突時の供試体の挙動は、正面、側面に設置したビデオカメラで撮影した。

重錘衝突後の支柱の変位角は、スラント(勾配計)で計測した。

衝撃力による基礎擁壁の水平変位は、各ブロックの端部で計測した。

その結果、SR フェンスは、支柱や阻止面が変形することにより 6.2kJ の落石エネルギーを吸収できることを確認した。また、本実験では、供試体を補修せずに使用し、計 2 回繰り返し同じ場所に重錘を衝突させて、連続する落石の補足性能も確認した。

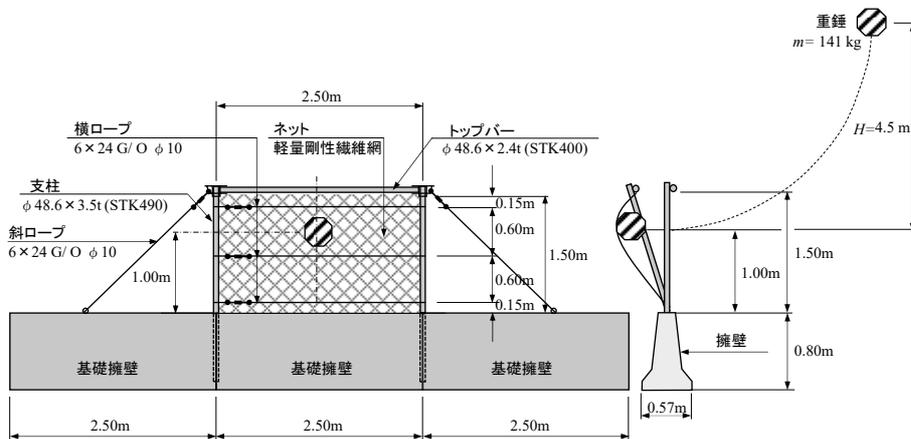


図-1 実験装置の概要図



写真-1 実験装置



写真-2 SAEFL 型の重錘

### 3. 実験結果

#### (1) 重錘の衝突エネルギー

重錘の衝突エネルギーは式(1)で求められるので、 $E_K=6.22\text{kJ}$ である。

$$E_K = m \cdot g \cdot H \text{ ----- (1)}$$

ここに、 $m$ : 重錘の質量、 $g$ : 重力加速度、 $H$ : 落下高さ

#### (2) 阻止面の変形

阻止面の変形量はビデオ映像から測定した。重錘が衝突直後、阻止面だけが変形し(写真-3②)、最大変形に伴い支柱は降伏した(写真-3③)。阻止面だけが変形した時点の変形量は $\delta_{M1}=0.38\text{m}$ 、最大変形量は $\delta_{N2}=0.40\text{m}$ であった。

#### (3) 支柱の変位

支柱は、基礎擁壁の天端位置で折れ曲がった。重錘を衝突させると阻止面の最大変形に伴い降伏し、その後、基礎擁壁が回転運動する直前まで変形した。

2本の支柱の変位角は平均 $14^\circ$ 、水平変形量を求めると $\delta_{op}=0.242\text{m}$ であった。また、支柱2本分の降伏荷重は $P_{yp}=3.288\text{kN}$ 、重錘の衝突位置における降伏変位は $\delta_{yp}=0.0216\text{m}$ である。

#### (4) 基礎擁壁の変位

##### 1) 回転変位

基礎擁壁が回転運動するときの荷重は式(2)で求められるので、 $P_{yr}=6.584\text{kN}$ となる。

$$P_{yr} = W \cdot x / h \text{ ----- (2)}$$

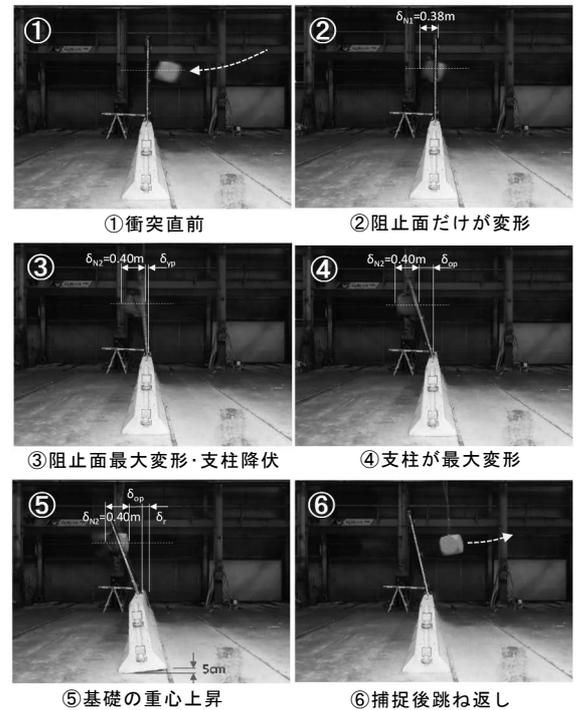


写真-3 重錘衝突時の挙動

ここに、 $W$ ：基礎擁壁の全重量、 $x$ ：回転中心から図心までの水平距離、 $h$ ：重錘の衝突高  
 基礎擁壁が回転を始めたのは、支柱が約  $15^\circ$  傾斜してからであった。基礎擁壁に伝達される荷重は、初期には支柱の降伏力であるが、支柱の傾斜角の増加に伴い伝達される荷重も増加したため基礎擁壁が回転運動したと考えられる。支柱に作用する荷重が支柱の降伏力以上に増加した原因としては、斜ロープによる拘束力の増加が影響したと考えられる。

基礎擁壁のかかととは約 5cm 上昇した(写真-3⑤)。回転角は  $\theta=5.0^\circ$ ，回転による重心の上昇量は  $\Delta y=0.0236\text{m}$  となる。

## 2) 水平変位

重錘の衝突によって基礎擁壁は、わずかに前方へ水平移動した。基礎擁壁の各ブロックの端部で計測した結果、平均移動量は  $\delta_s=13\text{mm}$  であった。

## (5) エネルギー収支

衝突時に重錘が SR フェンスに持ち込んだ運動エネルギーは、阻止面や支柱の変形、及びこれら部材の振動、基礎擁壁の重心上昇や水平移動などに变化したと考えられる。ここで、部材の振動や斜ロープの変形などをその他のエネルギーとすると、実験で確認したエネルギー収支は式(3)で表される。

$$E_K = E_N + E_P + E_r + E_S + E_L \text{----- (3)}$$

$E_K$ ：重錘の運動エネルギー

$E_N$ ：阻止面の吸収エネルギー

$E_P$ ：支柱の吸収エネルギー

$E_r$ ：基礎擁壁の重心上昇による吸収エネルギー

$E_S$ ：基礎擁壁の水平移動による吸収エネルギー

$E_L$ ：その他の吸収エネルギー

ビデオ映像から観察した挙動(写真-3)からすると、SR フェンスは図-2に示すように重錘の運動エネルギーを吸収したと考えられる。

重錘が SR フェンスに衝突すると、まずは阻止面が変形を始め、それに伴い支柱が降伏し、更に変形を続け、伝達される荷重が増加したため基礎擁壁の重心が上昇した。

図-2より、各吸収エネルギーは式(4)～(8)で求めることができる。

### 1) 阻止面の吸収エネルギー

$$E_N = \frac{1}{2} P_{yp} \cdot \delta_{N2} \text{----- (4)}$$

### 2) 支柱の吸収エネルギー

$$E_P = \frac{1}{2} \{ (P_{yp} + P_{yr}) (\delta_{op} - \delta_{yp}) + P_{yp} \cdot \delta_{yp} \} \text{----- (5)}$$

### 3) 基礎擁壁の重心上昇による吸収エネルギー

$$E_r = W \cdot \Delta y \text{----- (6)}$$

### 4) 基礎擁壁の水平移動による吸収エネルギー

$$E_S = W \cdot \mu \cdot \delta_s \text{----- (7)}$$

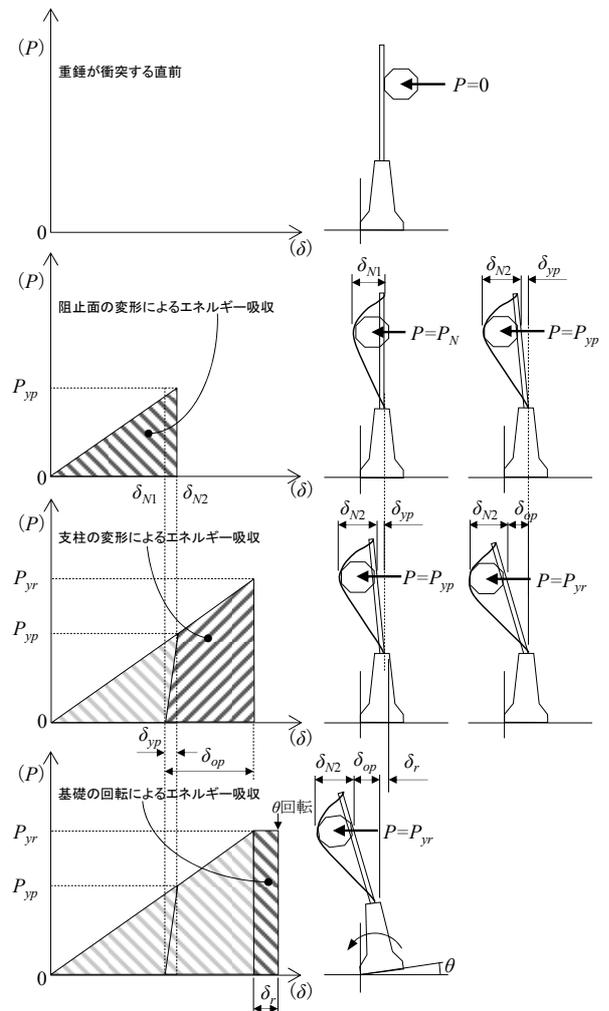


図-2 挙動とエネルギー吸収

5) その他の吸収エネルギー

$$E_L = E_K - E_N - E_P - E_r - E_S \text{ ----- (8)}$$

以上の結果，本実験における SR フェンスのエネルギー収支を表-1 に示す。

(6) 実験のまとめ

SR フェンスは，質量  $m=141\text{kg}$  の重錘を衝突速度  $v=9.4\text{m/s}$  で衝突させた結果，支柱や阻止面の変形などによって  $E_K=6.2\text{kJ}$  の運動エネルギーを吸収した。

- ① 2本の支柱は降伏し最大変位角は  $15^\circ$  であった。
- ② ネットは，2回繰り返し同じ場所に衝突させても，破網に対して安全であることを確認できた。
- ③ 基礎の転倒に対する安全性を確認できた。
- ④ 組立・修復に要した時間は各1時間であった。

4. これまでの成果

(1) 施工実績

SR フェンスは2018年1月に販売を開始した。2021年6月現在で，総延長6337.5m，全国254箇所で行われており(表-2)，安全性と施工性に優れた製品であることが実証されている。

(2) 捕捉事例

施工実績が増えるにつれ，捕捉事例も増えてきた。そのうちの2例を写真-4，写真-5で紹介する。実験や計算による捕捉の目安を上回る規模の落石や崩土を受け止めた事例が増えている。

表-1 エネルギー収支

種別	記号	エネルギー
重錘の運動エネルギー	$E_K$	6.22 kJ
阻止面の吸収エネルギー	$E_N$	0.66 kJ
支柱の吸収エネルギー	$E_P$	1.12 kJ
基礎の重心上昇による吸収エネルギー	$E_r$	0.98 kJ
基礎の水平移動による吸収エネルギー	$E_S$	0.32 kJ
その他の吸収エネルギー	$E_L$	3.14 kJ

表-2 施工実績

県名	箇所	延長	県名	箇所	延長
青森県	3	77.5m	兵庫県	11	357.5m
岩手県	2	32.5m	和歌山県	2	65.0m
宮城県	1	30.0m	鳥取県	14	365.0m
新潟県	3	55.0m	島根県	69	2077.5m
群馬県	5	107.5m	岡山県	10	147.5m
岐阜県	36	862.5m	広島県	12	357.5m
愛知県	6	170.0m	山口県	1	12.5m
静岡県	3	40.0m	香川県	2	52.5m
三重県	1	10.0m	愛媛県	2	35.0m
滋賀県	10	292.5m	高知県	29	497.5m
京都府	3	95.0m	熊本県	14	210.0m
大阪府	2	70.0m	大分県	13	317.5m



写真-4 落石交じり土砂を捕捉



写真-5 1tonクラスの落石を捕捉

5. おわりに

SR フェンスは道路沿いに置くだけ。施工期間1~2日で効果を発揮するので，従来技術のような手間や費用がかからない。また，普通作業員で簡単に施工できるため，人材不足が深刻な山間部における斜面防災に資することは社会的意義が大きいと考える。現在は，全高3.0mタイプの性能検証実験を終え，利用者のご要望に応えるために製品化を急いでいるところである。

参考文献

- 1) 島根県土木部道路維持課 実原哲也：落石等の安全確保に関する最近の動向「島根県における落石対策の取り組みについて」，地盤工学会 平成29年度 土質力学講座/技術セミナー
- 2) SAEFL(Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape) 環境・森林・景観に関するスイス機関

## ハーフプレキャスト落石防護擁壁「Rsウォール」工法の技術開発

松井建材有限会社 森 有央  
有限会社創友 社長 宮崎洋一  
愛媛大学防災情報研究センター特定教授・(株)第一コンサルタンツ代表取締役社長 右城 猛  
(株)第一コンサルタンツ設計部橋梁構造課 吉田 萌

### 1. 技術開発の目的

わが国は国土の約 70%を山地が占めており、中山間の道路には随所に落石危険箇所が見られ、落石対策が大きな課題となっているが、中山間地域においては少子高齢化の影響で技能労働者不足が顕在化している。また、中山間の道路は生活道路としての役割が大きいが、代替えとなる迂回路が存在しないため、工事期間中の通行規制が許されないことが多い。

落石対策工の施工においては、現場での型枠組立・溶接等の技能を有する作業を必要とせず、交通規制を短縮できる工法が求められている。

このような背景から、(有)松井建材では、プレキャストコンクリート製型枠を現場で組み立て、内部にコンクリートを打設してハーフプレキャスト重力式擁壁とする「Rsウォール」工法を開発しており、それを落石防護擁壁として利用することを検討している。

現場打ちコンクリートの落石防護擁壁に対しては、落石対策便覧<sup>1)</sup>で慣用設計法が示されているが、Rsウォール工法の場合には、①落石が防護柵に作用したとき擁壁が剛体的に挙動すること、②落石が擁壁に作用したとき衝撃力でプレキャスト型枠が剥離破壊しないことを明らかにする必要がある。

本研究は、Rsウォール工法で施工した落石防護擁壁の耐落石衝撃性能を明らかにすることを目的として、実物大重錘衝突実験を実施したものである。

### 2. Rsウォールの重錘衝突実験

#### (1)実験の方法

高さ 1.5m、天端幅 0.5m、底面幅 1.25m、奥行き長 10m の重力式擁壁を Rsウォール工法で施工し、擁壁の上部に高さ 3.0m、支柱間隔 3m、延長 9m の従来型落石防護柵(ストンガード)を設置した。

Rsウォール工法の施工手順を写真1に示す。厚さ 10cm の均しコンクリートを施工後、その上に台形状のプレキャスト型枠(製品長 3m、高さ 0.5m)を延長方向および高さ方向に跳び箱のように積み重ね、内部にコンクリートを打設した。また内部には鉛直方向に 1製品当り 3本、水平方向に 1段 2本の補強鉄筋 D13 を配置した。

擁壁の圧縮強度は、シュミットハンマーで測定した結果 22.8N/mm<sup>2</sup>であった。

実験は写真2に示すように、質量 0.8t のコンクリート製多面体 SAEFL 型重錘<sup>2)</sup>をトラッククレーンで吊り下げ、防護柵の下端から 2m の位置と、擁壁の下端から 1.1m の位置にそれぞれ 6.5m の高さから振り子方式で防護柵の阻止面および擁壁の壁面に垂直に衝突させた。衝突速度は共に 11.3m/s、運動エネルギーは 51kJ である。重錘の落下高は、衝突時の運動エネルギーが落石対策便覧式で算定されるストンガードの可能吸収エネルギーと同じになるように決定した。

擁壁の中央と左右の壁面の上部と下端に合計 6 個の加速度計を貼り付けた。また、擁壁の中央において壁面の上部と下部の 2カ所でレーザー変位計により擁壁の水平変位を測定した。なお、加速度および変位を測定できたのは重錘を防護柵に衝突させたケース 1 の実験のみであった。



プレキャストコンクリート型枠  
(長さ 2m、高さ 0.5m)



均しコンクリート(10cm)の上に  
プレキャスト型枠を設置(上面)



3段目のプレキャスト型枠設置状況(斜め前)



3段目設置後の状況(側面)



スチングードの設置状況



補強鉄筋と中詰めコンクリートを打設して完成

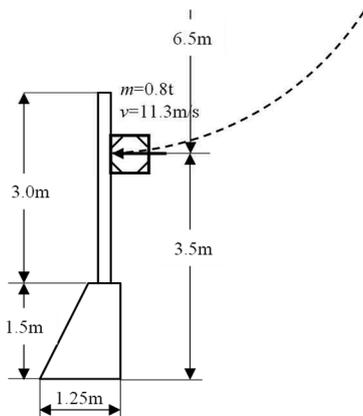
写真1 Rs ウォールの施工状況



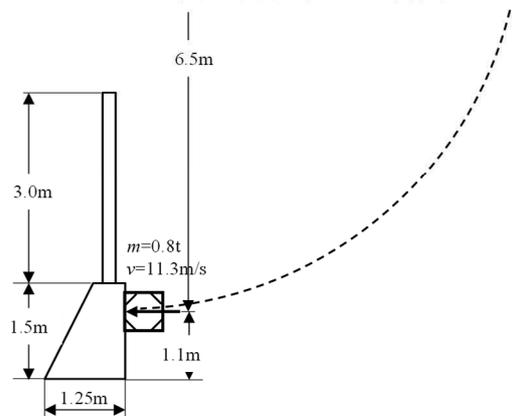
多面体重錘とRsウォール工法による擁壁



振り子方式による衝突



ケース 1 の実験



ケース 2 の実験

写真2 実験の状況

## (2) 実験結果

重錘を防護柵に衝突させたケース 1 の実験の連続写真を**写真 3**に示す。2 本の間中支柱は根元付近で座屈変形し除荷後も変形は残留するが、ワイヤロープは弾性的挙動を示し除荷後に変形は復元した。

支柱の変形状態を**写真 5(a)、(b)**に示す。中間支柱の根元は、ねじれ座屈をしている。支柱の変形角は右側が 9.5 度、左側が 8.5 度であった。支柱根入れ部のコンクリートには、押し抜きせん断破壊等の損傷は見られなかった。

重錘を擁壁の壁面に衝突させたケース 2 の実験の連続写真を**写真 4**に示す。重錘は衝突時の衝撃力で破損した。重錘衝突後の擁壁壁面の状態を**写真 5(c)**に示す。壁面に損傷は見られない。

**図 1**は、ケース 1 の実験で得られた擁壁中央上部の加速度波形と加速度を積分して求めた変位を示している。加速度波形から防護柵阻止面への衝突時間は 0.1 秒、擁壁上端の水平変位は 7.65mm である。

**図 2**はレーザー変位計による測定位置、レーザー変位計で測定した水平変位、水平変位から式(1)で求めた擁壁の回転角  $\theta$ 、式(2)で求めた擁壁下端のすべり量  $\delta_0$ を示している。擁壁の回転角  $\theta_m$ は 0.30 度( $=5.23 \times 10^{-3} \text{rad}$ )、擁壁下端のすべり量  $\delta_0$ は 0.8mm であった。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\delta_1 - \delta_2}{h_1 - h_2} \quad (1) \quad \delta_0 = \delta_1 - B(1 - \cos \theta) - (h_1 - B \sin \theta) \tan \theta \quad (2)$$

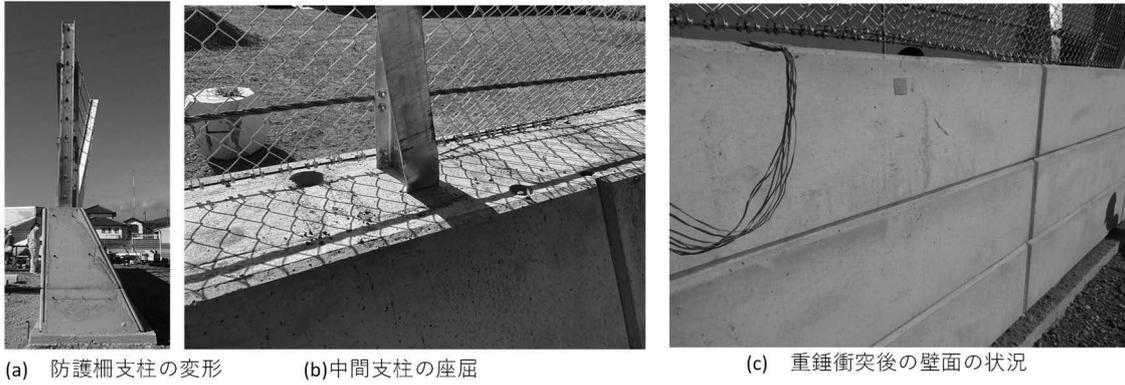
回転角から擁壁天端の変位を求めると、 $\delta = 5.23 \times 10^{-3} \times 1,500 = 7.85 \text{mm}$  となり、加速度波形から求めた変位量とほぼ一致する。



写真 3 防護柵へ重錘が衝突したときの挙動(ケース 1 の実験)

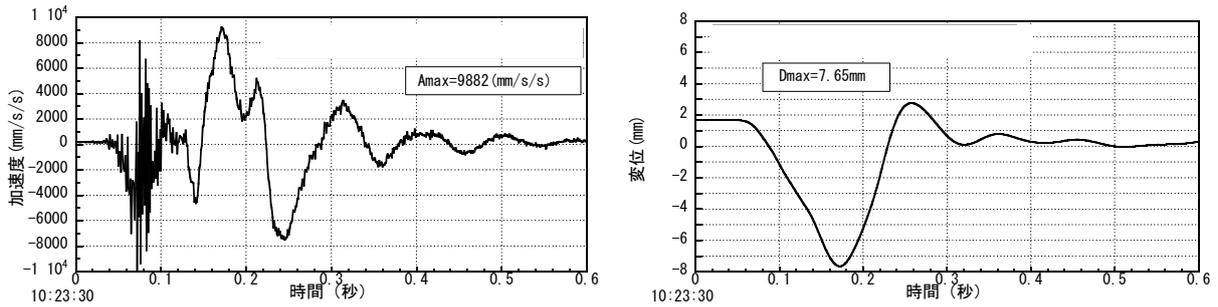


写真 4 擁壁壁面へ重錘が衝突したときの挙動(ケース 2 の実験)



(a) 防護柵支柱の変形 (b) 中間支柱の座屈 (c) 重錘衝突後の壁面の状況

写真5 擁壁壁面へ重錘が衝突したときの挙動(ケース2の実験)



(a) 加速度波形 (b) 加速度波形から求めた変位

図1 擁壁中央上部の加速度波形と水平変位(ケース1)

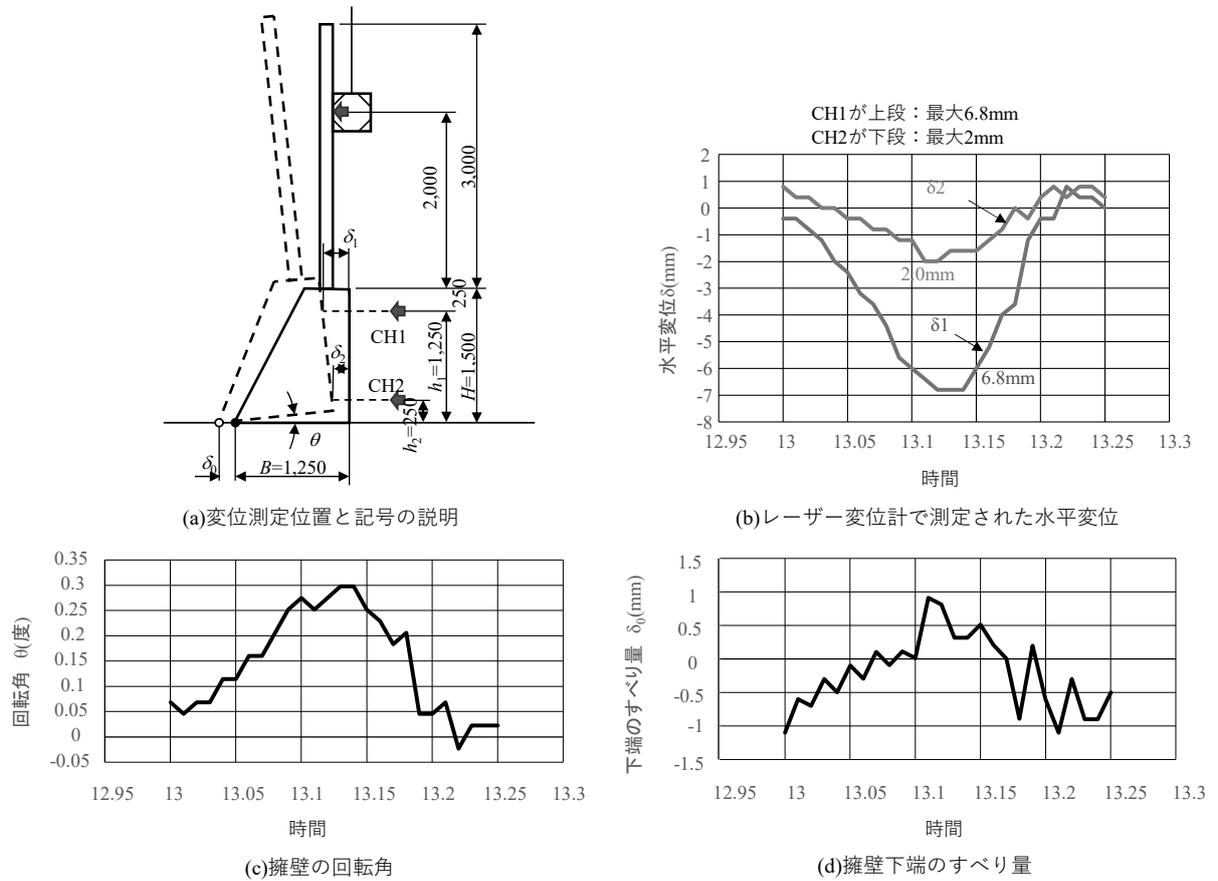


図2 レーザー変位計で測定された水平変位、回転角、擁壁下端のすべり量(ケース1)

### (3) 重錘衝突時の衝撃力

重錘を防護柵の阻止面および擁壁に衝突させたときの衝撃力を右城の式<sup>3), 4)</sup>を用いて推定する。

重錘衝突時の衝撃力波形を最大衝撃力が  $P_m$ 、作用時間が  $\Delta t$  の三角形パルスと見なせば、重錘衝突による擁壁の回転角  $\theta$  は式(3)で表される。

$$\theta = \beta - \cos^{-1} \left\{ \frac{I_o \omega^2}{2M \cdot g \cdot r} + \cos(\beta - \theta_\omega) \right\} \quad (3)$$

ただし、

$$\omega = \frac{1}{I_o} \left( \frac{P_m y_c}{2} + N_s + \frac{N_s^2}{2P_m y_c} \right) \Delta t \quad (4)$$

$$\theta_\omega = \frac{\Delta t^2}{4I_o} \left\{ P_m y_c + 3N_s + \frac{N_s^2}{P_m y_c} \left( 3 + \frac{N_s}{P_m y_c} \right) \right\} \quad (5)$$

$$\beta = \tan^{-1} \frac{x_G}{y_G} \quad (6) \quad r = \sqrt{x_G^2 + y_G^2} \quad (7) \quad N_s = -M \cdot g \cdot x_G \quad (8)$$

ここに、 $I_o$ は回転中心  $O$  に関する擁壁の慣性モーメント、 $M$ は擁壁の質量、 $g$ は重力加速度、 $x_G$ は回転中心  $O$  から擁壁図心  $G$  までの水平距離、 $y_G$ は回転中心  $O$  から擁壁図心  $G$  までの鉛直距離、 $y_c$ は擁壁底面から重錘衝突点までの高さである。

式(3)～式(8)において、擁壁の回転角  $\theta_m$  が実験結果と一致する  $P_m$  を試行錯誤的に求めると、ケース 1 の実験では  $P_m = 135 \text{ kN}$ 、ケース 2 の実験では  $P_m = 1,500 \text{ kN}$  となる。衝撃力作用時間は、ケース 1 の場合には加速度波形から求められた  $\Delta t = 0.1$  秒を使用した。ケース 2 の場合は、寒地土木研究所の実験<sup>5)</sup>を参考にして  $\Delta t = 0.01$  秒とした。

擁壁の回転角は、ケース 1 の場合にはレーザー変位計による測定結果から求めた  $\theta = 0.3$  度、ケース 2 の場合にはビデオ画像から求めた  $\theta = 0.15$  度とした。

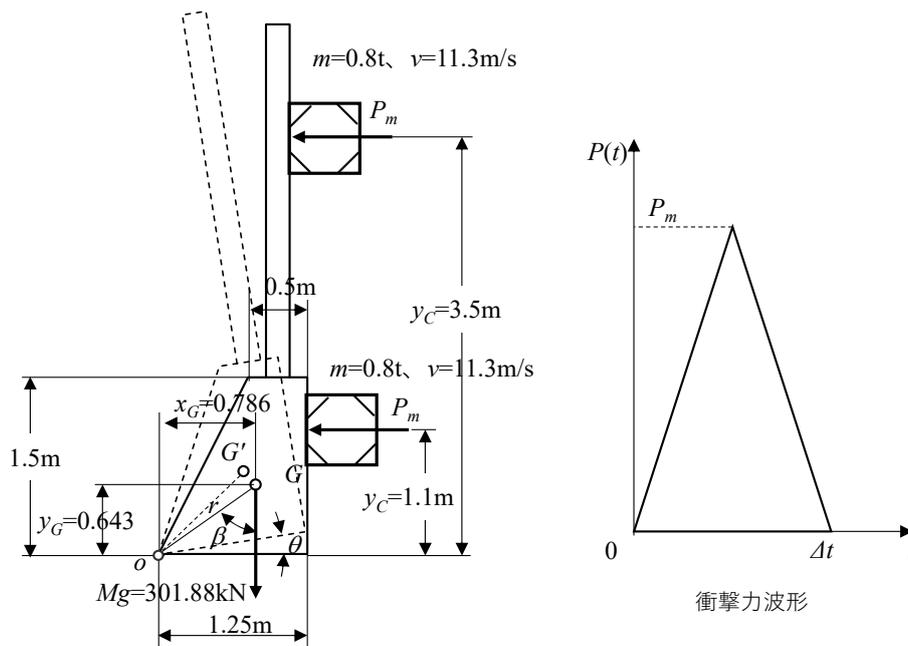


図3 右城の提案式<sup>3), 4)</sup>

### 3. 実験結果

Rsウォール工法によって施工した高さ1.5m、延長10mの落石防護擁壁が、柵高3mの従来型落石防護柵の可能吸収エネルギーに相当する51kJの落石作用を受けた場合の安全性を、重錘衝突実験で確認した。

落石対策便覧では落石防護擁壁の安定性照査において、中間支柱(H-200×100)2本分の降伏荷重40.5kNを落石荷重として作用させることにしているが、重錘を防護柵の2/3の高さに衝突させた今回の実験では、支柱降伏荷重の3.3倍の135kNの衝撃力が発生した。また、擁壁に衝突させたときは1,500kNの衝撃力が発生した。このように大きな衝撃力が作用したにも関わらず擁壁は損傷を受けることなく、耐落石衝撃性能に優れていることを確認することができた。

### 4. 今後の展開

Rsウォール工法による落石防護擁壁は、令和2年度末の時点で高知県内の国道、県道で既に2件、総延長80mの施工実績がある。写真6は一般国道494号に施工された落石防護擁壁である。

現場作業は均しコンクリートの施工、プレキャスト製品の据え付け及び中詰めコンクリートの打設のみであり、技能労働者はいなくても普通作業員だけで施工の品質確保が可能であること、従来の場所打ちコンクリートに比べて作業日数を1/2に短縮できることが確認されている。

Rsウォール工法を採用することで、技能労働者がいなくても短い作業日数で施工が可能であることから、これからの落石対策に大きく貢献できるものと考えている。



写真6 Rsウォール工法による一般国道494号の落石防護擁壁

#### 【参考文献】

- 1) 日本道路協会：落石対策便覧、2017.
- 2) W.Gerber：Guideline for the approval of rockfall protection, SAFEL and] the Swiss Federal ResearchnInstitutue,2001.
- 3) 地盤工学会：落石対策工の設計法と計算例、2014.
- 4) 地盤工学会四国支部地盤災害研究委員会落石対策研究会：落石対策Q&A、2009.
- 5) 川瀬良司、今野久志、岸徳光、松岡健一：落石防護擁壁の重錘衝突実験とシミュレーション、第5回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集、2000.

# 海洋レーダを用いた津波計測（災害時）と波浪計測（平常時）に関する研究

海洋レーダ情報高度化研究部門 日向博文, 片岡智哉

## 1 海洋レーダの津波計測ポテンシャル

日本やインドネシアでは、地震波解析に基づいて津波警報第1報を発令する。ただし、この第1報は巨大地震、あるいは津波地震（断層がゆっくりずれる地震）や海底地滑りによる津波に対しては過小になる可能性が高い。巨大地震の規模を正確に把握するには10分程度以上が必要であり、後者では津波と地震の規模がリンクしないためである。前者の例としては、東北地方太平洋沖地震津波が、海底地滑りによる例としては2018年インドネシア・パル湾津波が挙げられる。人的被害を減らすには沖合で津波を実測することが極めて重要である。

海洋レーダ（以下、レーダ）は陸上設置型リモートセンシング機器であり、送受信波の周波数差から海面流速を面的に計測する。津波は流速が鉛直的にほぼ一様で、海面流速を計測することで波高の推定ができる。レーダの長所は、陸棚縁付近から港湾域まで0.5~3km、2分程度の高時空間分解能で計測出来る点にある。津波第1波検知から、副振動（沿岸海水の共振現象）の発達減衰過程把握、津波漂流物追跡までを時空間的にシームレスに行う能力を有する。導入・維持費用が海底圧力計、GPS波浪計等の既存システムに比べ格段に安い点も魅力である。平常時においても、波浪観測や流況観測、さらにそれらを航行安全や漂流物回収へ応用することも可能である。実際の津波計測は、リアルタイムではないが、我々の研究グループを含め日・米・欧の研究グループが、それぞれ東北地方太平洋沖地震津波で初めて成功している。以来、レーダによるリアルタイム津波検知技術が開発されている。

レーダによる津波検知性能（津波検出、流速測定精度=波高推定精度）は、受信信号と背景ノイズ強度の比（SN比）に、SN比は電離層、波浪、海面塩分、雷の発生状況など（以下、電波環境）に依存する。したがって、レーダによる津波検知性能は、様々な電波環境下での津波計測に基づいて統計的に評価する必要がある。しかしながら、津波発生頻度が著しく低いため、これまで多数の実測データに基づく統計的な性能評価は困難であった。

## 2. 仮想津波観測実験によるデータ不足の克服と課題

我々は仮想津波観測実験という手法を開発し、このデータ不足を克服した。仮想津波観測実験とは、実際のレーダ受信信号（実際の電波環境を反映）と、津波数値シミュレーション結果（津波流速）を使って周波数変調させた理想的な受信信号（津波情報を反映）を合成することで、実際の電波環境下での津波計測を模擬する手法である。2014年に和歌山県美浜町で取得した受信信号を使い、内閣府南海トラフ地震ケース3津波を対象とした実験では、当該地点での年平均の検知性能「沖合24kmで、80%の確率で、津波到達13分前に津波検知が可能」や、検知性能の時間変動特性（高波浪時や電離層内電子密度が増加する日中に低下）を明らかにした。東京電力や中部電力では、原子力発電所内に設置したレーダの津波検知性能評価を、本手法を用いて進めている。

しかしながら、統計的な性能評価例は世界的に見ても紀伊水道などに限られ、電波環境が異なる他地域での検討事例はない。ある場所にレーダを設置した場合、想定津波に対し「沖合何kmで、何%の確率で、津波到達何分前に検知できるか？」という基本的な問いに対して即答することはできない。その場所にレーダを設置し1年間程度の観測を行う以外に方法はない。ただし、安価とはいえレーダを調達し1年間程度の観測を行うには数千万の費用が必要となる。また、電波環境が悪化する場合、ノイズを低減し津波検知性能を向上させる技術、レーダによる津波情報を住民避難に活用する手法に

については手付かずのままである。海洋レーダの有する津波防災ポテンシャルを最大限に活用するには、これら課題の解決が必須である。我々は日本とは電波環境、人間行動特性の大きく異なるインドネシアを舞台に研究を行い、これらに解決を解決し海洋レーダの津波防災活用範囲を格段に広げる技術開発を試みている（インドネシアにおける仮想津波観測実験－海洋レーダ津波防災活用技術の飛躍的發展、代表者：日向博文，科研：国際共同研究強化（B））。

### 3. 沿岸域における面的波浪観測－典型的な平常時活用

さらに、津波のような低頻度な災害時のみならず、平常時利活用の有効性を示すため、レーダを用いた風が駆動力になる風波（以下、波浪）の面的観測についても検討した。津波同様に沖合から沿岸までシームレスな波浪計測を実現する上で、陸域に近い沿岸域で波浪を計測することがボトルネックとなる。特に、汽水域においては河川からの淡水の流入により、塩分が低いほど電気伝導度は低下することで、受信信号強度が低下し、SN比が低下する。しかしながら、汽水域における現地計測に基づき、SN比の低下が波浪計測性能に及ぼす影響を調べた事例は少ない。そこで、本研究では台風襲来による降雨・高波浪イベントを対象に、塩分低下が伊勢湾 HF レーダの波浪計測精度に及ぼす影響を調べた。

本研究は、湾内の2箇所に波高計、水質計が設置されている伊勢湾を研究フィールドとし、いくつかの高波浪イベント期間を解析対象とした。湾内2箇所でレーダと波浪計で計測された有義波高の時間変動を検証したところ、河口に近い地点では、河川水流入に伴う塩分低下により波浪計測性能が悪化した。一方、河口から離れた地点では、同期間において比較的良好な波浪計測性能が得られた。以上によりレーダにとって計測条件の厳しい汽水域であっても、一定の計測精度で有用な波浪情報が得られることが明らかとなった。

# 平成30年北海道胆振東部地震に伴う大規模停電災害を受けた住民の防災意識の変化に関する考察

A study on the change in the residents' awareness of disaster risk management through the experience of the Great Blackout associated with the Hokkaido Iburi Eastern Earthquake in 2018.

中前茂之  
Shigeyuki Nakamae

愛媛大学防災情報研究センター  
Ehime University

## 1. はじめに

平成30年9月6日未明に北海道を地震が襲った。北海道において、初めて震度7を記録する地震となった。震源地付近の厚真町を中心に、地震に伴う家屋の倒壊や土砂崩れによって多くの犠牲が発生した一方、発災直後の停電は一部離島を除くほぼ全道全域に亘り社会・経済は大きな影響を受けた。電力は、照明などの灯りの他、暖房や調理などの熱源、医療、交通、給水、通信・通話を始め、あらゆる産業や生活の基盤となっており、数日とはいっても停電の影響は極めて大きい。例えば、水道施設は被災せず健全であっても、電力により揚水している高層の住宅は断水となり、水を汲むため公園の蛇口に住民の列ができた。また、北海道がほぼ丸々停電することは、我が国の約四半分の面積を占める地域が孤立することを意味している。地震の揺れが比較的小さかった地域であっても停電による交通や通信の機能低下の影響をまともに受け、深刻な災害の被害が全道にわたるということが実際に起きた点が本災害の特徴の一つといえる。

また、今回の地震災害は9月という初秋の気候が比較的厳しくない時期に発生したが、もしも寒さが厳しく積雪が多い冬期間に発生した場合、電力が消滅したことの影響はさらに大きくなると考えられる。このため、被災地においては同様の災害が「冬に起きたらどうしよう」といった不安が聞かれた。

一部を除き、道民全体が少なからず被災し、全道が地域的に孤立した。このように、ほぼ全道民が共通して同じ災害の影響を経験することは稀である。

そこで、本稿では、今回の災害によって地域住民の意識と行動にどのような変化があったかを調査するとともに、今回の災害の前提条件が変わった場合の被害の変化を考察し、今後の対策を検討するものである。

表-1 気象庁が名称を定めた気象現象

No.	名称	期間・現象等
1	洞爺丸台風	昭和29年9月(台風第15号)
2	狩野川台風	昭和33年9月(台風第22号)
3	宮古島台風	昭和34年9月(台風第14号)
4	伊勢湾台風	昭和34年9月(台風第15号)
5	昭和36年梅雨前線豪雨	昭和36年6月24日～7月10日
6	第2室戸台風	昭和36年9月(台風第18号)
7	昭和38年1月豪雪	北陸地方を中心とする大雪
8	昭和39年7月山陰北陸豪雨	昭和39年7月18日～19日
9	第2宮古島台風	昭和41年9月(台風第18号)
10	昭和42年7月豪雨	昭和42年7月7日～10日
11	第3宮古島台風	昭和43年9月(台風第16号)
12	昭和45年1月低気圧	昭和45年1月30日～2月2日
13	昭和47年7月豪雨	昭和47年7月3日～13日
14	沖永良部台風	昭和52年9月(台風第9号)
15	昭和57年7月豪雨	昭和57年7月23日～25日
16	昭和58年7月豪雨	昭和58年7月20日～23日
17	平成5年8月豪雨	平成5年7月31日～8月7日
18	平成16年7月新潟・福島豪雨	平成16年7月12日～13日
19	平成16年7月福井豪雨	平成16年7月17日～18日
20	平成18年豪雪	平成18年の冬に発生した大雪
21	平成18年7月豪雨	平成18年7月15日～24日
22	平成20年8月末豪雨	平成20年8月26日～31日
23	平成21年7月中国・九州北部豪雨	平成21年7月19日～26日
24	平成23年7月新潟・福島豪雨	平成23年7月27日～30日
25	平成24年7月九州北部豪雨	平成24年7月11日～14日
26	平成26年8月豪雨	平成26年7月30日～8月26日
27	平成27年9月関東・東北豪雨	平成27年9月9日～11日
28	平成29年7月九州北部豪雨	平成29年7月5日～6日
29	平成30年7月豪雨	平成30年6月28日～7月8日

## 2. 全国の災害と北海道の災害

我が国は台風・豪雨、地震・火山などの災害が多く、積雪寒冷の度がはなはだしい積雪寒冷特別地域が国土の6割を占めるなど世界で稀に見る災害大国<sup>1)</sup>である。

その中において、北海道は比較的災害の少ない地域と認識され、近年はサーバーのバックアップセンターが数

表-2 気象庁が名称を定めた地震・火山現象

No.	名称	期間・現象等 ※
1	千代地震津波	昭和35年5月23日
2	北美濃地震	昭和36年8月19日
3	宮城県北部地震	昭和37年4月30日
4	越前岬沖地震	昭和38年3月27日
5	新潟地震	昭和39年6月16日
6	松代群発地震	昭和40年8月3日～
7	えびの地震	昭和43年2月21日
8	1968年日向灘地震	昭和43年4月1日
9	1968年十勝沖地震	昭和43年5月16日
10	1972年12月4日八丈島東方沖地震	昭和47年12月4日
11	1973年6月17日根室半島沖地震	昭和48年6月17日
12	1974年伊豆半島沖地震	昭和49年5月9日
13	1977年有珠山噴火	昭和52年8月7日
14	1978年伊豆大島近海の地震	昭和53年1月14日
15	1978年宮城県沖地震	昭和53年6月12日
16	昭和57年(1982年)浦河沖地震	昭和57年3月21日
17	昭和58年(1983年)日本海中部地震	昭和58年5月26日
18	昭和58年(1983年)三宅島噴火	昭和58年10月3日
19	昭和59年(1984年)長野県西部地震	昭和59年9月14日
20	昭和61年(1986年)伊豆大島噴火	昭和61年11月15日
21	平成3年(1991年)雲仙岳噴火	平成3年6月3日
22	平成5年(1993年)釧路沖地震	平成5年1月15日
23	平成5年(1993年)北海道南西沖地震	平成5年7月12日
24	平成6年(1994年)北海道東方沖地震	平成6年10月4日
25	平成6年(1994年)三陸はるか沖地震	平成6年12月28日
26	平成7年(1995年)兵庫県南部地震	平成7年1月17日
27	平成12年(2000年)有珠山噴火	平成12年3月31日
28	平成12年(2000年)鳥取県西部地震	平成12年10月6日
29	平成13年(2001年)芸予地震	平成13年3月24日
30	平成15年(2003年)十勝沖地震	平成15年9月26日
31	平成16年(2004年)新潟県中越地震	平成16年10月23日
32	平成19年(2007年)能登半島地震	平成19年3月25日
33	平成19年(2007年)新潟県中越沖地震	平成19年7月16日
34	平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震	平成20年6月14日
35	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震	平成23年3月11日
36	平成28年(2016年)熊本地震	平成28年4月14日
37	平成30年北海道胆振東部地震	平成30年9月6日

多く立地<sup>2)</sup>することはその証左といえる。道民の間でも、「北海道は本州と比べ災害が少ない。雪さえなければすみやすいところ」との声が聞かれる。表-1、表-2にあるように、気象庁では、顕著な災害を起こした自然現象や地震・火山現象について名称を定めることとしているが、台風や豪雨・豪雪災害(表-1)については北海道が被害を被った回数は確かに少ない。

本州以南では毎年のように豪雨災害が繰り返され、今年も中国や四国を中心に被害が発生した西日本豪雨が記憶に新しい。本道では、例えば昭和56年8月に石狩川流域で洪水が発生し、8千を超える世帯で浸水する被害となった<sup>3)</sup>ことがあるが、本州以南に比べると少ない。一方、地震・火山災害については、37件中北海道付近で発生したものは12件と約3分の1の割合を占め、北海道は災害が少ないとの指摘は必ずしもあたらない。本道において「災害が少ない」と認識されている背景として、本

州以南では、近世あるいは中世以前の災害が伝承されていることが多いが、本道では明治以前の災害についての伝承はほぼ皆無であることがあると考えられる。記録や伝承がないから、実際は災害があったものの、現代においては認識されていないと考えるべきではないか。今回の地震災害は震源地から離れた地域においても停電という形でその影響をほぼ全道民が受けた新しい災害の記録と言える。

### 3. 大規模停電の様子

筆者は札幌市においてこの地震を経験した。午前3時過ぎ、初期微動と思われる縦揺れで目を覚ました後、ややしばらくしてから主要動と思われる大きな揺れが続いた。このため、震源からある程度の距離があると推測しつつ、NHK インターネットラジオを流した。その後、電気を付けようとしたが灯らないことや屋外の街灯も消えていることから停電していることが分かった。早期に停電が解消することを期待し床に戻った。夜が明けてラジオニュースで停電が全道的であることを知らされたが、その後のニュースにより停電の影響がいかに広範囲かつ多様であるか次第に明らかになった。他方、一部の地域を除き、電気以外のライフラインであるガス・水道は機能していたが、少しでも電力を要するものはことごとく機能しなかった。以下に家庭の内外における影響の概要をまとめる。

#### 1) 家庭における影響

家庭における主たる情報源の一つであるテレビは当然に見ることができない。また、携帯電話も通話・通信が制限され、情報の発信・収集も困難になった。電源を切るなど端末機器のバッテリーの消耗を極力されるように努めた。幸いに天候は晴れていた上、気温も20度前後であったため、暖房の必要はなかったものの、オール電化住宅ではお湯を沸かすことができなかった。飲食用のお湯はカセットコンロで代用できるが、入浴用のお湯など物量を要するお湯を確保することは無理である。マンションなど電力を用いたポンプで揚水している建物では水が使えない。また、電力で水を流すトイレも機能しない。このため、バケツに汲んだ水を相当量流し水圧で排水する必要があった。冷蔵・冷凍しているものの温度が次第に上昇し食品の保存が効かなくなった。より気温の高い夏場であれば、傷みはより早く進むと思われる。家庭で保有している食料の不足が懸念され、買い出しのためコンビニやスーパーでは多くの人々が列をなした。また、照明がつかないことから営業を控える店舗も多かった。このように、電力が滞ることによる影響は家庭の隅々まで及ぶことが認識された。

#### 2) 交通や産業等社会への影響

##### ①交通への影響

ごく一部の交差点を除き、信号機が点灯しないため、道路交通へ大きな影響が生じた。学校や職場の臨時休業などで交通量は大きく減少したが、車両が交差点で徐行や一旦停止を必要とした。また、高速バスや路線バスも運行を控えた。高速道路も通行止めとなった。ガソリンスタンドはポンプが作動しないために給油ができず、一部非常用電源で給油可能な店舗に顧客が集中した。電車である地下鉄はもとより、ディーゼル燃料で動く気動車が中心の JR 北海道も様々なシステムが機能せず全面運休となり、同様に本道の空の玄関である新千歳空港も閉鎖された。他方、航路は機能し、本州・道外との連絡機能を担った。

前述したが、発生時間が未明で始発電車が動いていない時間帯だったために、車両に閉じ込められたり、駅に人が集中するなどの混乱や帰宅困難者が多数発生することはなかったが、もしも朝 8 時台のように通勤ラッシュの時間帯に発生していた場合は、道路・鉄道・航空の交通機関は避難誘導を始め大混乱となったことが想定される。さらに、冬期間であったならば、極寒の中での渋滞や帰宅の列などさらなる困難が想定される。

#### ②一次産業への影響

鉄道が運休したことから輸送手段を断たれた玉ねぎの出荷ができないとの報道<sup>9)</sup>があった。また、搾乳できな

い農場や保存されている生乳について冷却ができない、冷蔵庫に保存されていた栽培きのこについて冷却ができず廃棄する被害、市場に既に水揚げされていた魚や既に解凍していた水産加工原料について保冷ができずに廃棄する被害が発生する等、施設被害を含め 669 億円の被害が報告<sup>9)</sup>されている。

#### ③二次産業への影響

電力供給力 353 万キロワットのうち、中規模の火力発電所に匹敵する計 50 万キロワット分を他企業の自家発電が提供<sup>10)</sup>したことから、企業の自家発電量は相当あることが分かるが、しかしながら、大半は商用電源を用いていることから工場や事業所などが停電で稼働できなかった。

#### ④三次産業への影響

札幌証券取引所は自家発電設備があったものの、導入したのは 20 年以上前に導入したもので 3 時間ほどしか持たないことから、停電により 9 月 6 日の取引を終日停止した<sup>8)</sup>。

また、9 月 30 日時点で道内の宿泊キャンセルが延べ 114 万 9,000 人にのぼり、交通費や土産物消費などを含めた観光消費への影響額の推計は 356 億円となった<sup>9)</sup>。他方、滞在中に地震が発生した外国人を含む観光客への対応も求められた。

表-3 異なる条件により想定される課題例

条件の種類	H30 胆振地震	異なる条件	想定される課題例	参考事例
季節	秋	冬	暖房の確保が急務	H24 北海道胆振地方での大規模停電は初冬に発生 <sup>10)</sup>
		夏	冷凍冷蔵品が傷む	
天候	晴れ	雨・雪	水くみや買い出しなどの屋外活動が制約	
		豪雨	浸水被害との複合災害	
		豪雪	屋根雪荷重と地震力による建物への負荷の増大 交通機関の機能低下	H18 豪雪
発生時刻	未明(午前 3 時過ぎ)	通勤・通学時	地下鉄など交通の混乱	
		勤務時・在校時	学校での避難や下校での混乱, 家族の安否確認が困難, 帰宅困難者の発生	H23 年東北地方太平洋沖地震は平日日中に発生
曜日	平日	休日	公的機関の職員の円滑な参集	H16 新潟県中越地震は土曜日の夕方に発生
震源	地方部	大都市部	死者やけが人等の増大, 救助する立場の人々が被害を受けて活動が困難に	H7 兵庫県南部地震は政令市・神戸市で震度 7 を観測
津波	なし	あり	津波による被害	H23 年東北地方太平洋沖地震は津波が発生
イベント	中止(親善サッカー)	イベント当日の発災	旅行者の数が大規模で宿泊先の確保や交通機関の対応が逼迫	

札幌市内では公共施設に避難所を設け、9月6日から8日までの3日間で合計2,840人が宿泊した<sup>1)12)</sup>。なお、公衆電話が無料で利用できる措置も取られた。この他、例えば医療や学校なども休診や休校になるなど、停電の影響は広く様々な産業に及んだ。

#### 4. 今回の災害経験を踏まえた住民アンケート

札幌市内のある町内会を対象に、今回の災害経験についてアンケート（回答数28人）を実施した。アンケートの項目は、①属性データの他、②地震・停電発生直後の状況や行動、③災害に対する事前の備えと今度の行動、④今回の災害を踏まえた防災意識の変化等である。調査対象の属性は、図-1～図-6に示す通りである。

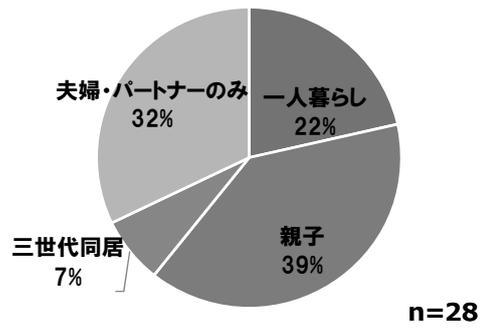


図-3 家族構成

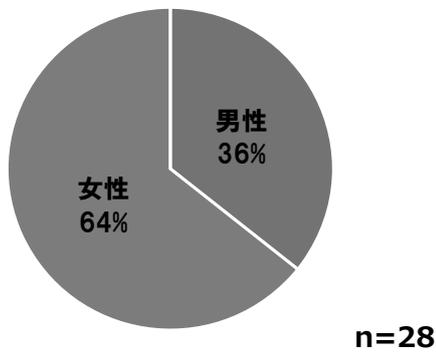


図-1 性別

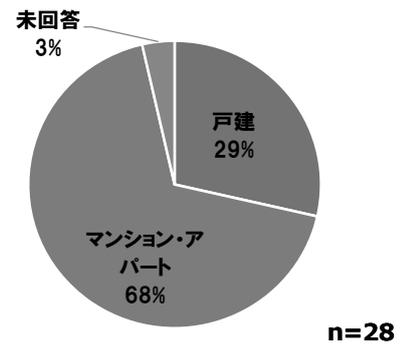


図-4 住居の形態

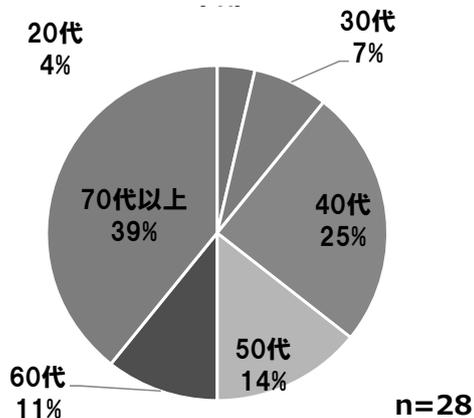


図-2 年齢

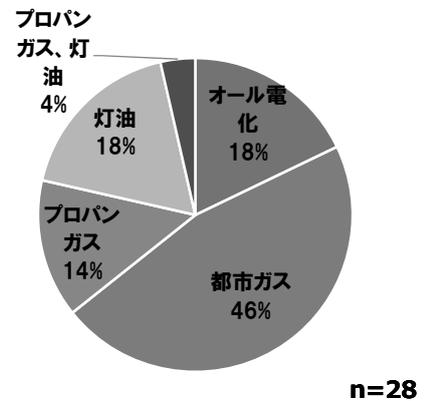


図-5 給湯設備

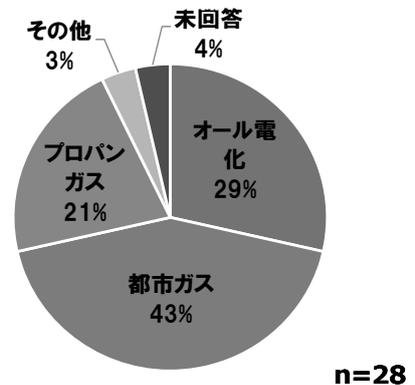


図-6 調理設備

## 5. 住民の行動と意識

本章では、今回の地震及び停電災害を受けて、住民の行動や意識がどのように変化したかをまとめ、考察する。

### 1) 地震と停電の影響

まず、調査対象者の地震と停電の影響についてまとめる。被災については、図-7の通り、全ての家庭で建物の倒壊などの被災はなく、一部者が落下した程度であった。次に、発災後に約半数が避難の準備を整えていた(図-8)。

次に停電(図-9参照)であるが、最も復旧が早いところでは約12時間後に復旧している。これは、同じ配電の区画に病床を抱える病院があるなど優先的に通電されたエリアと考えられる。最も遅かったのは、発災から3日目の夜となる8日20時で、停電時間は60時間を超える。最頻値は、7日19時頃で、発災から約30時間後にあたる2日目の夜である。

地震・停電の影響としては、電気がつかないことその他、トイレの排水、スマートフォンなど情報手段の利用が制約されたことなどが挙げられる(図-10)。

断水について、図-11の通り、36%で断水があった。戸建住宅で断水した家庭はなく、前述の集合住宅などポンプで水を汲み上げている家庭で断水があった(図-12)。低層階に住んでいるか高層階に住んでいるかと断水の有無の間には関係が見られなかった(表-4)。断水した家庭では、今回は公園の水飲み場などで給水する方が多く見られたが、通常冬期間は水道の凍結防止のために公園の水道は水抜きをして閉鎖しているため、今回同様の対応は困難である。雪を融かして活用するにも熱源が必要で、これら水について冬期間は特別な対策が必要となる。

また、情報入手の手段としては、ラジオが約半数を占め、連絡手段としては、スマートフォンが6割以上を占めている(図-13、図-14)。

食料の備蓄については、約6割が水や食料を保管しており、買い出しに行かなかった(図-15)ことから、家庭において、ある程度の備蓄がなされていたと推察できる。

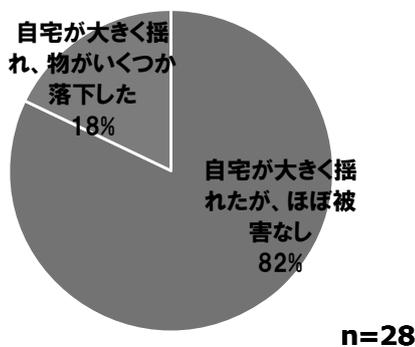


図-7 地震の被害の程度

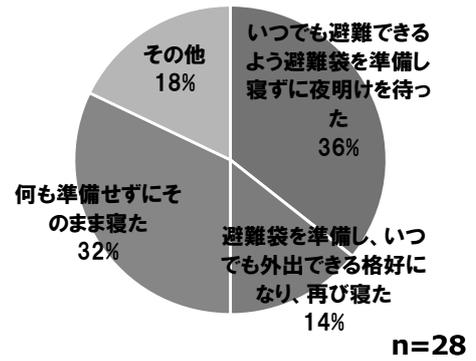


図-8 地震直後にとった行動

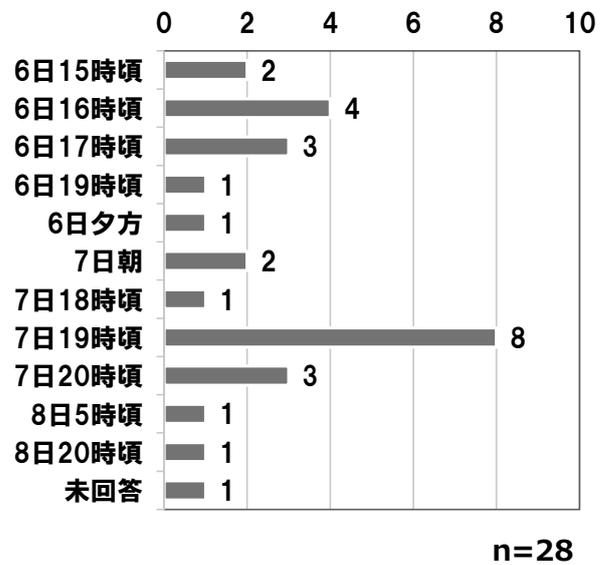


図-9 停電復旧の日時

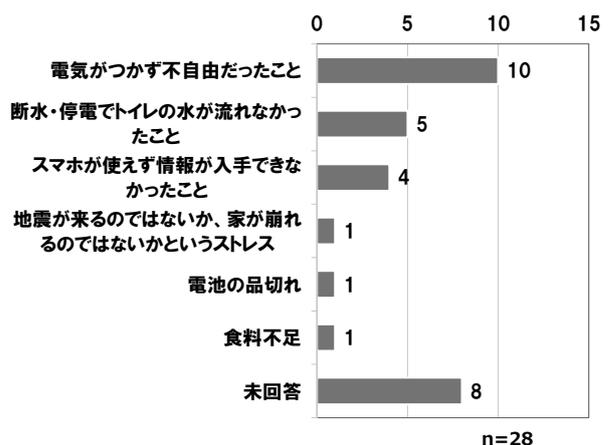


図-10 災害時に困ったこと・ストレスを感じたこと

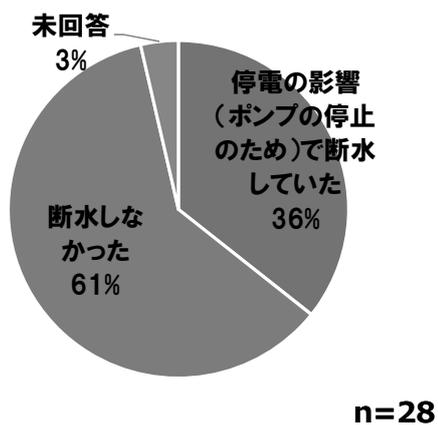


図- 11 断水の有無

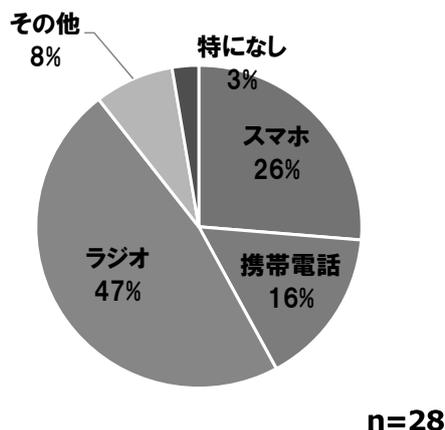


図- 13 情報入手方法

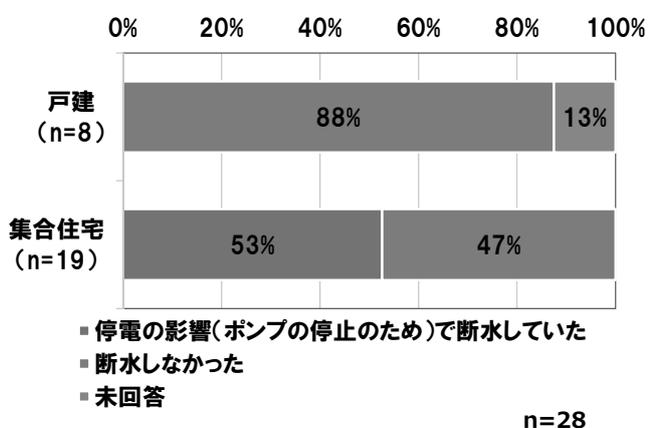


図- 12 住居の形態の違いによる断水の有無

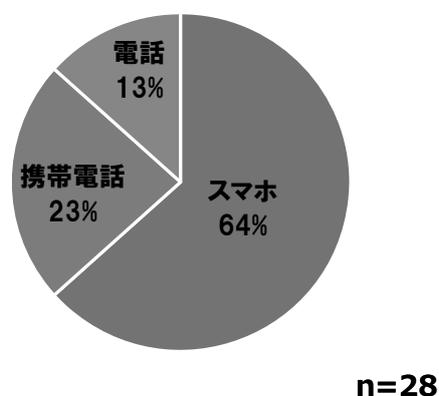


図- 14 友人・知人との連絡・通信手段

表-4 断水の有無と集合住宅の階数の関係

断水の有無	集合住宅の階数
断水しなかった	3階建ての3階
	3階建ての3階
	10階建ての8階
	11階建ての4階
	14階建ての3階
	15階建て8階
	15階建て8階
断水していた	5階建ての2階
	8階建ての1階
	10階建ての7階
	18階建ての9階
	18階建ての9階

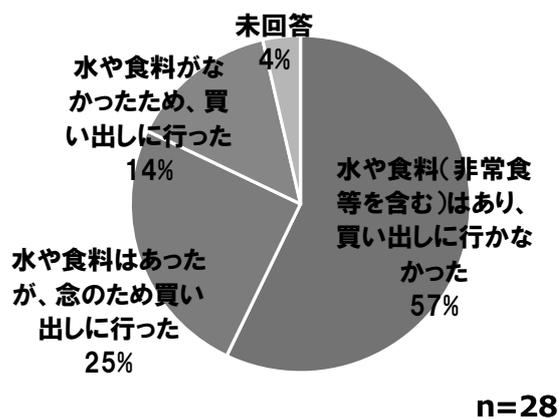


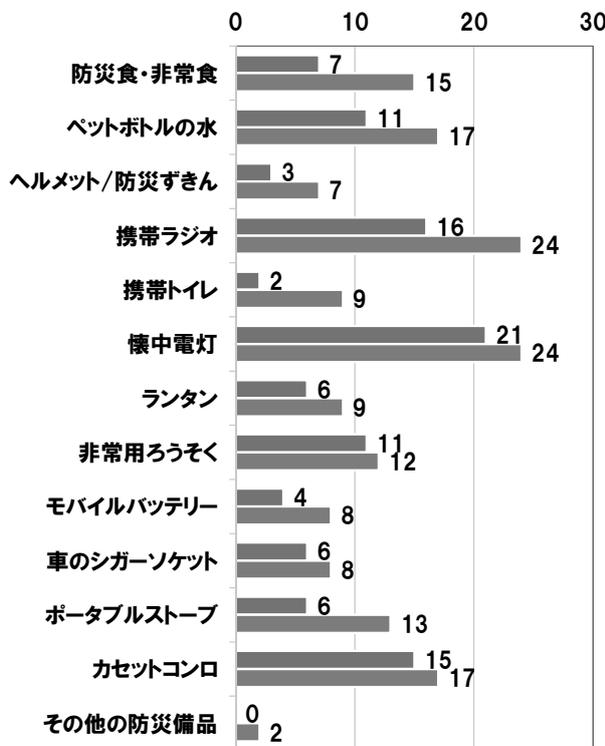
図- 15 自宅に水や食料の備えはあったか

## 2) 今回の災害を受けた住民の防災意識の変化

今回の災害前後で各家庭の備えに変化が見られる。図-16に示すが、いずれの防災備品も増加しており、最も増加したものは、携帯トイレが2件から9件と4.5倍に増加した。次がヘルメットで、3件から7件と約2.5倍に増加した。その他、ポータブルストーブ、防災食・非常食、モバイルバッテリーの順で増加率が高い。また、携帯ラジオや懐中電灯は災害前から備えている割合が高かったが、今回の災害を経てさらに高まり約9割の家庭で備えようと回答している。

防災対策のために普段からしていることとしては、戸建と集合住宅で違いが見られた。戸建の住民は「断水した時のために風呂場の水をためる」、「自宅付近の避難所・避難経路を確認」、「町内会や地域の行事に積極的に参加」が6割以上を占めていたが、集合住宅の住民は、「断水した時のために風呂場の水をためる」が最も多かったが、回答者の4割に満たず、その他の項目も低い傾向が見られた(図-17)。

次に、今後の取り組みについて、今回の経験をどう生かすかは、「物資を備蓄する」が最も多く、自助の取り組みを進める意識の表れと考えられる(図-18)。集合住宅の住民の回答で、「物資を備蓄する」の割合が特に多い(図-19)が、高層階からエレベーターが使えない状況で買い出しに行ったり、購入した物資を持って階段を上ったりすることの負担が大きいと考えられる。



■ 備えてあった防災備品 ■ 今後備えようと思う防災備品

n=28

図-16 地震前後における防災備品の変化

また、「家族で防災について話し合う」、「町内会や地域、学校との連携」の回答について、戸建住宅の住民の回答が多い(図-19)が、地域コミュニティとのつながりを重視しているためと考えられる。

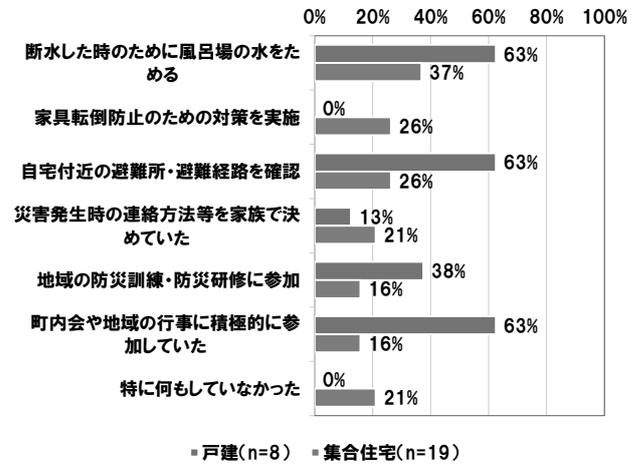


図-17 防災対策のために普段からしていること

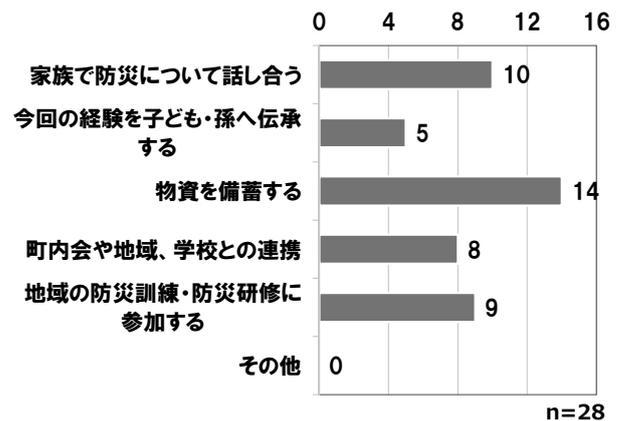


図-18 地震・停電災害の経験をどう生かすべきか

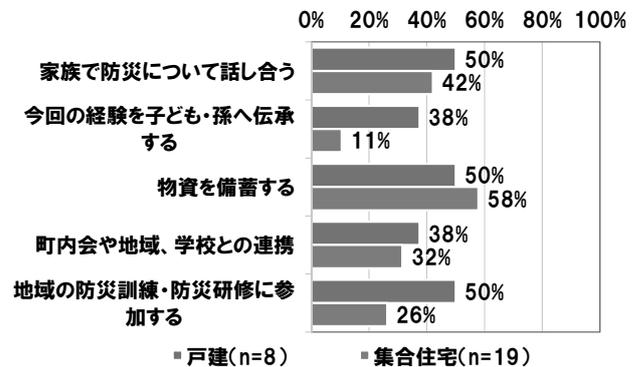


図-19 地震・停電災害の経験をどう生かすべきか  
(住居の形態による違い)

表-5 今回の災害・停電災害と同様、あるいはそれ以上の災害に備えるにはどのような対策が必要だと思うか

自由回答
避難所に頼るしかない
今回以上のものなら備えても無理ではないか
町内会としてどういうことができるか対策をする。バッテリーの購入、水を運搬用袋の備蓄、リヤカーで水を運ぶなど
常に防災グッズをそろえる
対策ではないが避難先を調べておく
家族で防災について話し合い意思統一しておくこと。

今回の災害・停電災害と同様、あるいはそれ以上の災害に備えるには、「防災グッズをそろえる」、「町内会として対策する」、「避難所に頼るしかない」等の様々な回答が見られた。

## 6. まとめ

今回は地震を起因として全道を巻き込む大規模停電が発生したが、平成17年12月の新潟市における大規模停電のように積雪を起因として発生した事例もあり、あらゆる原因で大規模停電が発生しうると考えられる。これを防ぐ対策は、電力会社を含む公的部門でなければ担えない。例えば、北本連携線のように事実上我が国最大の離島である本道と本州以南の発電・送電の冗長性・代替性を担保することは公的部門が実施すべき課題である。

一方、大規模停電が発生した場合に、いかにその影響を少なくするか、特に家庭における対策は、各家庭の自助によるところが大きい。国も災害への備えとして国民自身が最低限72時間分の物資を確保することを推進している<sup>13)</sup>。この間、概ね3日程度は電力がないことをいかに補うか、家庭においては、調理、給排水、入浴、放送・通信通話など電力を要する機能の補完方法が必要となる。また、いつ通電するか分からない状況で耐え忍ぶことは精神的にも大きな負担を強いることとなる。他方、電力会社等の公的部門は電力復旧の状況や見通しをエリア毎に丁寧に情報発信するなどの対応も重要である。

また、今後の対策として、避難所に頼る自由回答が見られる。冬期間は積雪がある中での避難路を想定する必要がある。避難所においても体温を保温する毛布は当然としても、施設や部屋全体を温める暖房など、積雪寒冷地ならではの対策が必要となる。自助・共助・公助の適切な役割分担、合理的な負担があるべき姿であり、今回の大規模停電は各家庭において、これを確認する意味で意義深いものと考えられる。これを教訓と捉え、表-3のように、より厳しい条件での災害発生をイメージし、「災害の少ない北海道」という認識や、安易に「行政に頼る姿勢」を改め、家庭における物資備蓄の取り組みや災害

を伝承する取り組みなどが道民全体に一層実践的に進展することを期待する。

## 7. 参考文献

- 1) 中前：雪寒道路事業の変遷と今後の展望について（特集 雪の施策 10年の変遷等について）--（雪の施策及び調査研究の変遷--冬期道路交通の確保）、（社）雪センター機関誌「ゆき」（38）、pp33-37、2000-01
- 2) 北海道 HP：「バックアップ拠点構想について」2017年9月15日更新
- 3) 札幌市 HP：「過去にはこんな洪水が」2018年10月18日更新
- 4) 北海道新聞：「貨物列車運休 農作物運べず」朝刊地方版（旭川・上川）p16、2018年9月13日
- 5) 農林水産省：平成30年北海道胆振東部地震の被害状況等について、平成30年9月27日17時00分現在
- 6) 日本経済新聞 WEB版：「自家発電が支える道内電力中規模火力に匹敵」2018/9/13 22:00 [有料会員限定]
- 7) 北海道電力 HP：企業・IR情報 電源構成・設備データ
- 8) 日本経済新聞：「地方証取に災害リスク 札証、停電で丸1日取引停止 事業継続の備え急務」、2018/9/12 付朝刊
- 9) 日本経済新聞電子版：「北海道地震 宿泊キャンセル114万人 観光影響額356億円」2018/10/3 22:00
- 10) 定池・森等：冬期における大規模停電発生時の対応と課題、第30回寒地技術シンポジウム・寒地技術論文
- 11) 堰八：第23回観光戦略実行推進会議「平成30年9月の災害（北海道胆振東部地震）の影響と観光の現状について」、公益社団法人北海道観光振興機構、平成30年9月21日
- 12) 札幌市：「観光客向け避難所の開設」、札幌市提供資料
- 13) 内閣府：防災基本計画、平成30年6月
- 14) 中前、尾形：「豪雪災害と情報-平成16年1月金沢集中豪雪に何を学ぶ」（社）雪センター機関誌「ゆき」（55）、pp46-51、2004-04
- 15) 札幌市：地域防災計画震災対策編・災害応急対策計画
- 16) 札幌市：地域防災計画雪害対策編
- 17) 中前：「平成12年度豪雪（01豪雪）に対する道路除雪費の増額措置」、（社）雪センター機関誌「ゆき」第12巻43号、2001年4月
- 18) 家田、中前等：「中越地震・国道291号災害復旧—ふるさとニッポンよりみち街道を作ろう」、（社）日本道路建設業協会機関誌「道路建設」第690号、2005年10月
- 19) 中前：「安全・安心な生活を支える災害に強い国土づくりと道づくり」、道路行政セミナー第17巻第5号、2006年8月
- 20) 中前：「防災・減災等—災害に強い国土づくり」、（社）日本道路協会機関誌「道路」第788号、2006年10月

# 松山市民の防災意識調査から見た効果的な防災啓発策の検討

愛媛大学 防災情報研究センター 地域連携職員 喜安 祥隆  
特定教授 中尾 順子  
特命教授 矢田部 龍一

## 1. 調査の目的と背景

これまで、松山市では自主防災組織の結成を促し、平成24年には市内41地区全てに組織されるとともに、地域で活動する防災士の資格取得を助成することで、令和3年6月末時点で全国最多6,761名の防災士を育成するなど、その取組は全国でも先進的であり、平成28年には防災功労者内閣総理大臣表彰も受賞するなど、地域防災力の向上に努めている。

また、今年は東日本大震災から10年の節目の年であり、近年は短時間豪雨などによる被害も県内外で毎年のように発生し、実際の経験や災害報道等にも触れる機会が増えていることから、市民の防災意識も以前より高まってきているのではないかと考えられる。

しかし、実際に意識の向上が防災力の向上に結び付いているであろうか。令和2年7月に豪雨による土砂災害・浸水の危険性から松山市内の広範に避難勧告（当時）が市民412,206人に対して発令された際、実際に避難した住民は956人と約0.2%でしかなかったとの実例もある。

また防災士の養成も、資格取得者の増加は手段であって、実際の地域での自主防災組織の活動や、地域の防災力向上に結び付けてゆく取り組みも併せて求められている。

そこで、松山市全体の防災力を向上させるための具体的な啓発策について検討するため、近年実施したアンケートをもとに、実際に松山市民の意識が経時的に高まっているのか実態を検証するとともに、職務として防災にも関わる「松山市役所職員」や「学校教員」との属性による意識の違いについても検証することで、市全体での地域防災力向上に向けた方策について検討を行い、松山市をはじめとした関係各機関と連携して具体的な啓発に取り組むものとする。

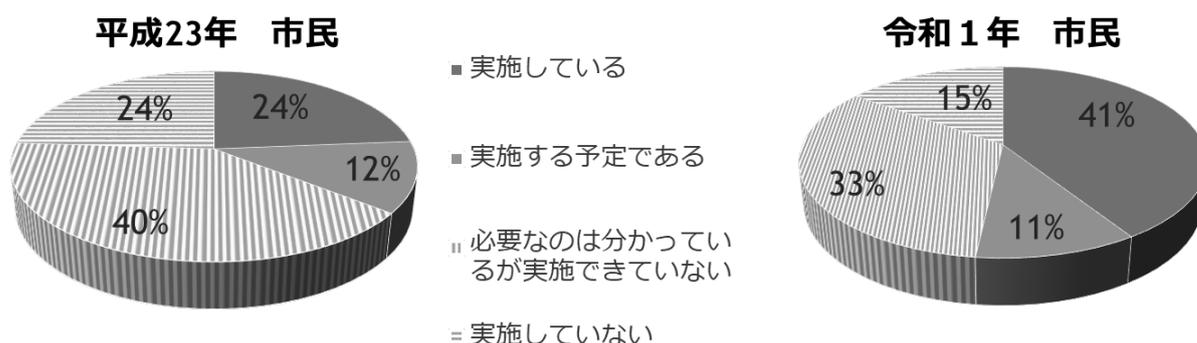
## 2. 属性ごとに見た、防災意識の現状と課題の概要

### 2. 1 一般市民の防災意識

松山市民の防災意識を調査するため、東日本大震災のあった平成23年の9月に市内の全小学校の保護者14,000世帯を対象に実施したアンケートと、西日本豪雨災害のあった令和1年の10月に市内の小学校11校1,000世帯で実施したアンケートを用いて意識の変化について検証した。

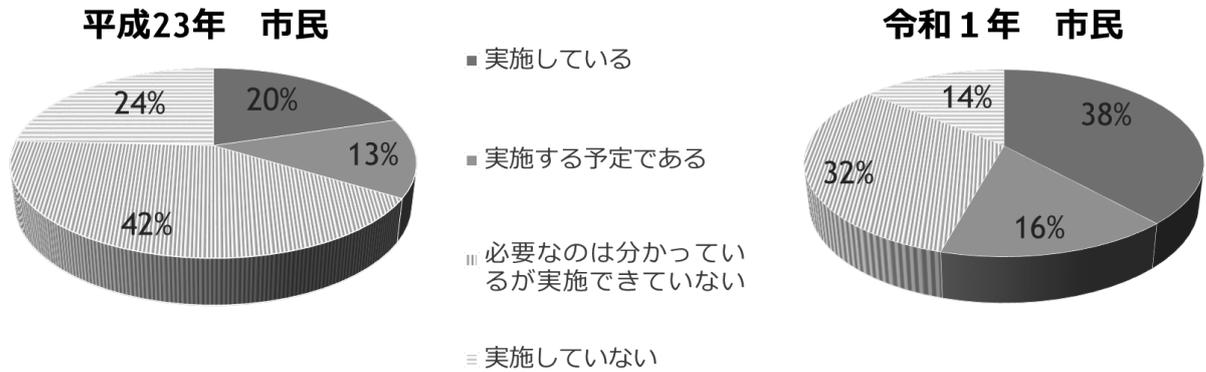
災害への備えとして、家庭内での避難方法等についての話し合いや、非常持ち出し袋の準備など、家庭でできる取り組み項目では、平成23年からの8年間で、実施している旨の回答の増加が見られた。

図-1 非常持ち出し袋の準備



しかし、非常食の準備状況を例にとると、松山市民では平成23年に比べて令和1年では約2倍の38%が準備していると回答しているものの、NHKが令和2年に実施した全国調査<sup>1)</sup>では52.4%となっており、必ずしも十分な備えができていない状況であることも分かった。

図-2 非常食の準備



発災時の安全に直結する「家具の固定」については、実施している旨の回答が令和1年で21%と、対策の状況に進展は見られるものの、平成23年との比較で顕著な進展とは言えない状況であった。

また、「家屋の耐震補強の実施」では同じく26%と低い値を示しており、意識は高まってきているものの、命を守る実際の行動にまでは結びついていない現状も明らかとなった。

図-3 家具の固定

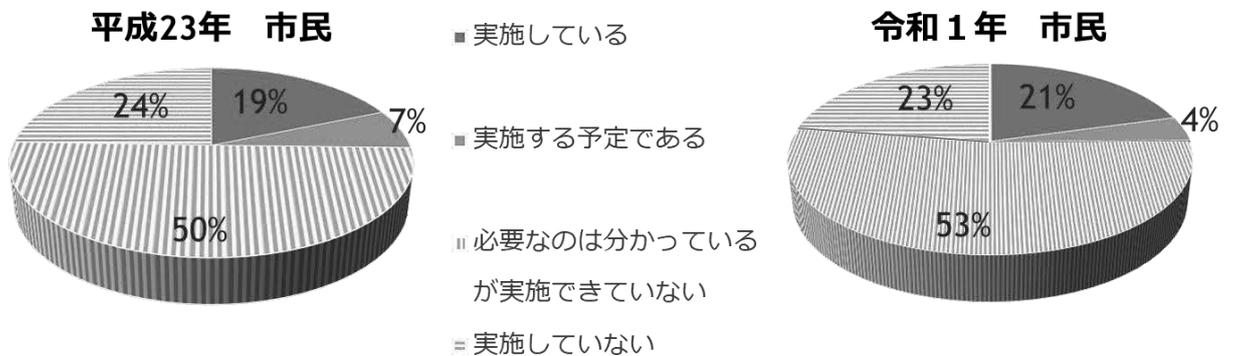
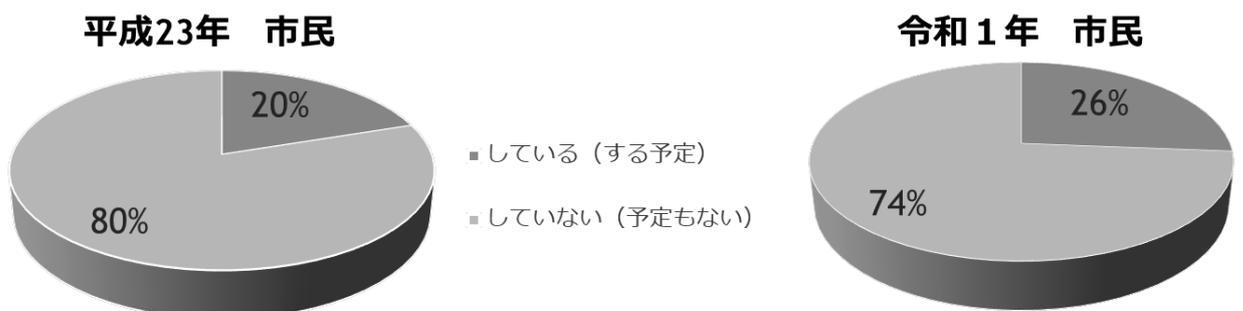


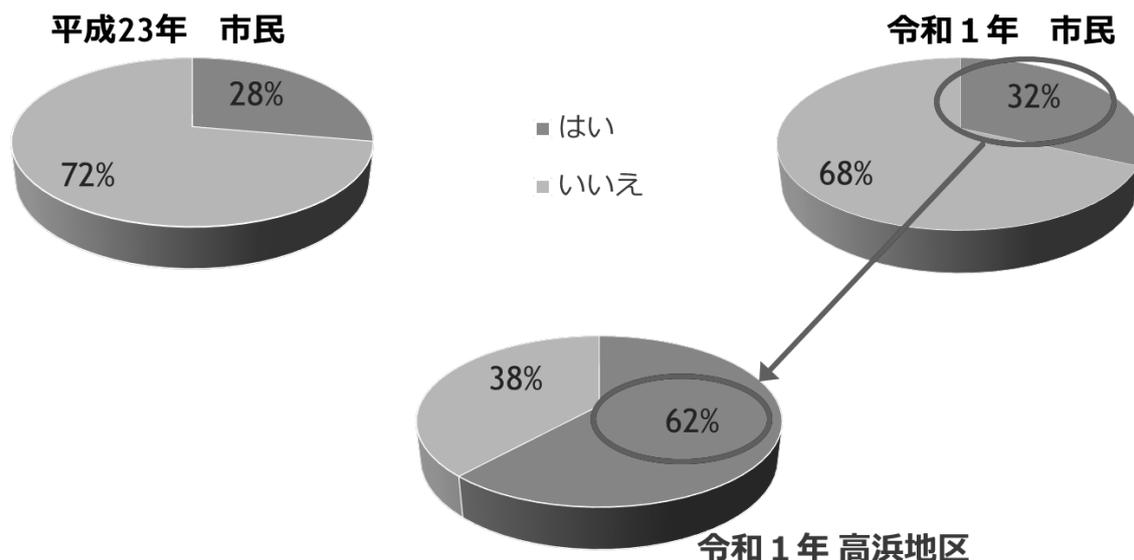
図-4 家屋の耐震補強の実施



次に、市民の「自主防災組織」に対する意識について見ると、平成23年から令和1年にかけて自主防災組織活動の有効性に対する意識の向上が市内全域で認められた。

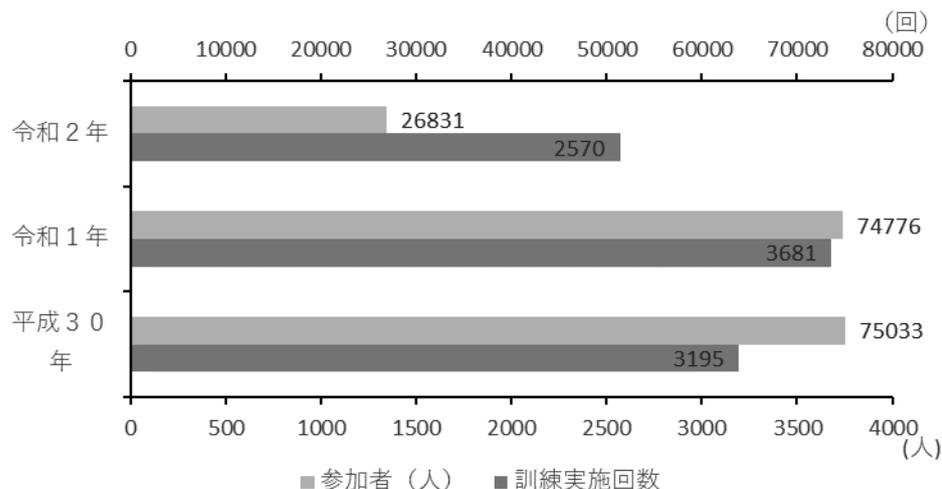
その中でも、令和1年7月豪雨により地域内で土砂災害が発生した松山市高浜地区では、市内全域よりも2倍程度高いことが分かった。地域の自主防災組織への信頼や期待が、実際の体験を通して高まっていると考えられ、リアルな体験や災害を身近な「我が事」と捉えることが市民の防災意識全体の向上や、地域防災力の向上につながるものと考えられる。

図-5 自主防災会は大規模災害が発生した時に有効な活動ができると思いますか？



市内の自主防災組織の年間の避難訓練等の活動状況を見ると、市内全域では平成30年3,195回75,033人、令和1年3,681回74,776人、令和2年2,570回26,831人と、コロナウィルスの影響により直近の活動に難しさも見られるものの、多くの活動と住民の参加を得ていることが分かった。

図-6 自主防災組織の訓練回数と参加者数の推移



今後、幅広い市民への意識啓発を進める際、地域のこれらの活動を有効な機会とすることで、地域のチャンネルを通じた意識啓発と防災力向上が効果的に図られると考える。

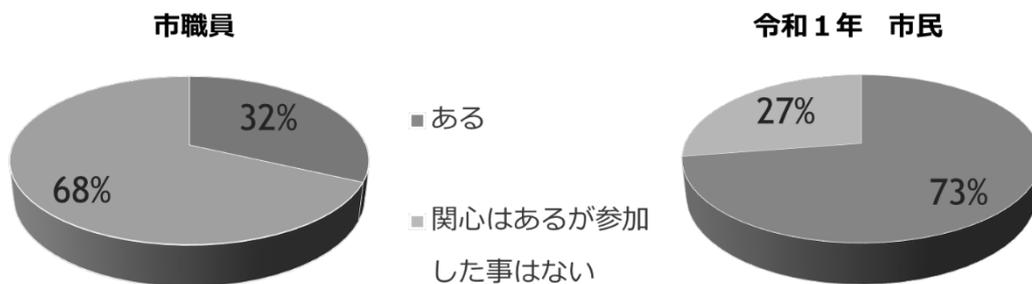
## 2. 2 松山市役所職員の防災意識

職務として防災に関わる松山市役所職員が、職業人としてどのような意識を持っているのか、令和3年2月の職員研修時に約200人を対象にアンケートを実施した。

令和1年の市民アンケートと比較すると、災害への備えや防災用語に関する知識など、おおむね市民よりも高い傾向が見られ、職務を通して災害に対する知識や意識が醸成されており、職員個人の防災力が高いことが分かった。

一方、居住する地域の防災活動等へ参加した経験の有無について尋ねたところ、市民と比較して低く、市職員の参加が低調である実態が判明した。

図-7 地域の防災活動等への参加



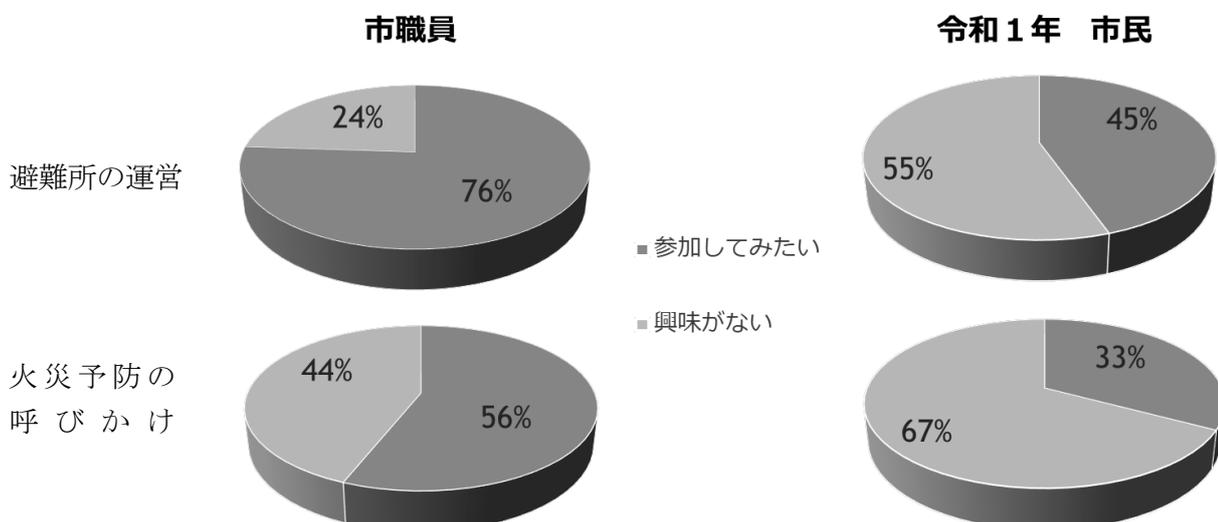
この結果は、市職員が高い防災力を持ちながら地域でその力を活かしきれていない状況を表しており、活動への参加率向上が、今後の地域防災力向上の即戦力となる可能性を示している。

なお、令和2年7月の豪雨時の行動を尋ねた際、約半数の職員が避難所開設等の業務のため執務であったとの回答があった事などから、災害時には職場に出務となるため、地域での活動参加をためらっているのではないかと考えられる。

一方で、自主防災組織の各種活動に対し、どのような防災活動に参加してみたいかとの問いの中、「避難所の運営」「火災予防の呼びかけ」の項目では、市民と比較して顕著な関心の高さが見られた。業務で携わったり職務上身近に感じている活動が、これから自身が参加してみたい項目として一般市民よりも特に高い値を示している。

市職員でも自身の経験や体感があるものについては心理的な障壁は低くなると言え、今後、職員の地域の防災活動への参加を働きかける際には、職務上得た知識や経験を一つの入口にすることが効果的と考えられる。

図-8 どのような防災活動に参加してみたいか



## 2. 3 学校教員

市役所職員と同じく、災害時には避難所ともなる学校で執務する学校教員の防災意識について、令和2年末に市内の小中学校の学校防災士として登録する教員約70名と、令和3年5月に市内の教頭を対象に実施した研修時にアンケートを実施した。

市職員では、自宅の災害リスクについて約8割の者が把握していると答える一方で、約2割にNoの回答が見られた。対して学校教員では、自身の職場である学校や校区の災害リスクについて100%が把握しているとの回答があった。

図-9 自宅の災害リスクを知っていますか

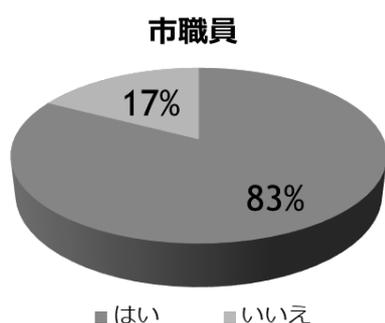
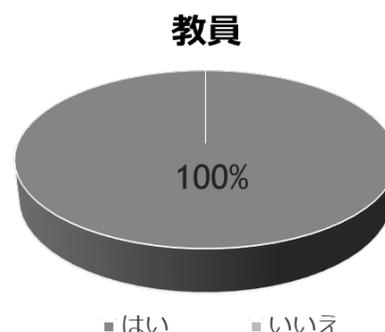


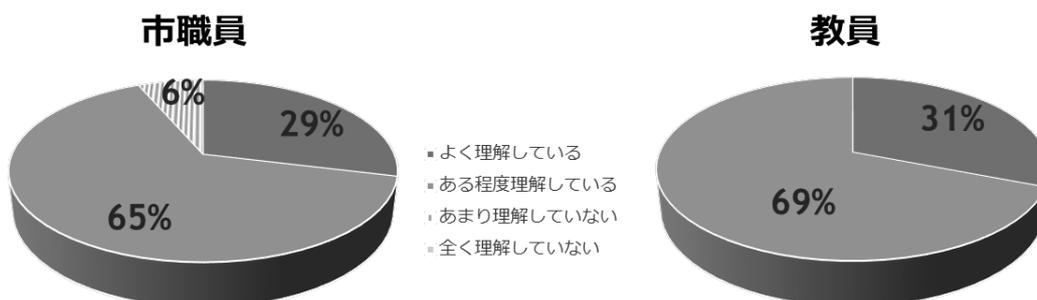
図-10 学校や校区の災害リスクを知っていますか



また避難等に関する用語についての理解について市職員と教員で比較してみたところ、「警戒レベル3や4の意味について」尋ねた問題では、市職員では一部に「あまり理解していない」の解答が見られたのに対し、教員では「理解している」（よく理解している・ある程度理解している）との回答が100%となった。

児童生徒の安全を預かること、休校措置などの対応の必要から、日々の業務に直結するものとして、教職員の防災知識や意識は市職員に比べても高いことが伺えた。

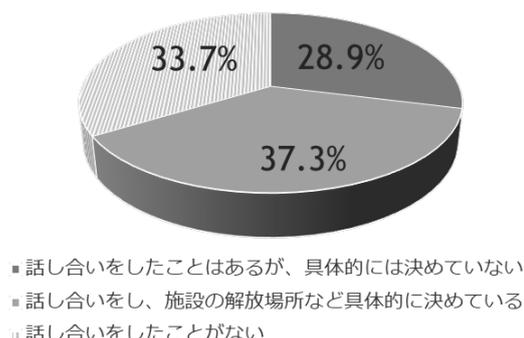
図-11 災害レベル3や4の意味について知っていますか



一方、自由記載の意見の中では、防災士資格取得後に実際にどのような活動を行ったらよいのか分からないという声や、最新の知見を学ぶ機会を求める意見も聞かれ、現場での実践に向けた活動や訓練の具体化のための研修等の実施が効果的と考えられる。

また、今後の課題として、学校と地域との連携不足も浮き彫りとなった。

図-12 避難所として学校を使用するにあたり、地域の方と話し合いをもちましたか



約三分の一の学校では「話しあいをしたことが無い」との回答があり、三分の一の学校では詳細な施設利用に関する協議が行われていなかった。

災害時に地域の拠点となる学校と地域の自主防災組織等との連携には、まだ課題があると言える。

### 3. 今後の展開～効果的な防災啓発策～

アンケートを基に、松山市全体の防災意識の向上を図るため、次のとおり提案する。

まず松山市職員が、これまで参加できていなかった地域防災活動に積極的に参加することで、職員の知識や経験が地域に還元され、地域防災力の向上を早期に実現することが可能となる。

そのため職員の地域活動への参画を促す入口づくりとして、①業務を通して得た知識と経験を職員相互に共有する機会を創出し、②すでに地域に参加している職員などからも好事例を共有できる枠組みとして、有志の職員ワークショップの立ち上げを提案する。職員の資質向上のための全庁的な防災研修を行うと共に、平時から職務で培ったものを地域に還元できるよう、職員を地域につないでいく仕組みや取り組みを応援する施策を市当局と共に検討していく。

学校教員については、高い防災知識と意識をさらに高め・維持できるように、階層に応じた研修を通じて人材の育成を図るとともに、学校で児童への防災教育機会を継続的に確保・実施できるように、小中学生の防災教育プログラムや防災教育サポート動画の提供など、当センターとしても教育委員会との協働を継続していく。

また学校と地域の連携の面では、松山市が進める避難所ごとの運営マニュアル策定の機会を通して、学校・地域・行政など関係者が連携できるプラットフォームとして機能するよう、早期の計画策定と定期的な訓練や見直し（PDCA）の実施を提案する。災害時の拠点となる学校避難所の効率的な運用のためには、地域等との緊密な連携が必要不可欠である。

最後に、松山市民の防災啓発については、高まってきている防災に対する「関心」を「行動」に結びつける必要がある。近年の松山市では、市内全域が被災するような土砂・水害は無く、芸予地震以後、大きな震災にも見舞われておらず、災害に対してどこか他人事のような感覚、ここでは被災しないといった、根拠のない過信が経験則として住民意識の中にあるとは言えないだろうか。南海トラフ地震をはじめとした地震災害、局所的な集中豪雨による土砂・洪水災害の危険性は、以前に増して発生の確率が上がっており、防ぎ難い災害に対して、日頃から個人や地域が意識を保ち・備えておくことは不断の行動として継続する必要がある。

そのため、自主防災組織等が行う地域の活動では、地域毎の実際の災害リスクを織り込んだ避難訓練を実施するなど、災害をリアルに感じ、災害を「我が事」と捉えられるような活動を提案する。訓練内容の充実や、地域間でのノウハウの具体的な共有など、防災士の資質向上のための研修機会等を拡充し、自主防災組織活動の活性化を図ってゆくことで、市民意識の全体

的な向上につなげられると考える。

松山市独自の強みとして、自主防災会＝防災士の育成を全国に先駆けて行ってきたからこそ、その活性化の効果はどの自治体よりも高いと言える。

また、将来に渡って防災力を維持・拡充していくためには、担い手となる人材の育成も重要となる。学校で防災教育を子どもの時から成長にあわせ体系的に継続することにより、主体的に防災について考え・実践できる人材の育成を図り、地元で育った人材が、やがて地域や企業で活躍する、一生を通じた防災リーダーとなる人材の地域循環が可能となる。

当センターでのジュニア防災リーダークラブの活動等を通じた人材育成プログラムとあわせ、産官学民が全世代型の防災教育に連携して取り組むことで、若年層の育成に留まらず、各実施主体の相互研鑽や活動の深化が促され、企業など職域や地域の防災士をはじめとした松山市全体の地域防災力の向上を図ることが期待できる。そのための各種教育プログラムの開発研究や、関係者の連携調整を当センターとしても継続的に取り組んでゆく。

---

文献 1) NHK 放送文化研究所 「東日本大震災から10年復興に関する意識調査」の単純集計結果 2021.3.4



# 地方建設会社における技術伝承・技能形成の 仕組みに関する調査研究

尾形 愛美<sup>1</sup>・羽鳥 剛史<sup>2</sup>・中前 茂之<sup>3</sup>・塩入 悠立<sup>4</sup>

<sup>1</sup>(株)荒谷建設コンサルタント (〒730-0833 広島市中区江波本町4番22号)  
E-mail: megumi.ogata@aratani.co.jp

<sup>2</sup>愛媛大学准教授 社会共創学部環境デザイン学科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3)  
E-mail: hatori@cee.ehime-u.ac.jp

<sup>3</sup>愛媛大学教授 防災情報研究センター (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3)  
E-mail: shigeyukiss.nakamae@gmail.com

<sup>4</sup>愛媛大学 工学部環境建設工学科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3)  
E-mail: shiiori.yuta.14@cee.ehime-u.ac.jp

現在、建設技能労働者の高齢化や若年参画者の減少により、建設分野における技術伝承が喫緊の課題となっている。本研究では、地方建設会社を対象として、技術者の伝承経験や技能形成、当該組織における技術伝承の仕組みについて事例分析を行った。その際、地方建設会社という個別集団における技術伝承の仕組みを検討するための事例分析の方法として、技術伝承に関わる様々な要素を多次元尺度構成法により集約化し、技術伝承のパターンを析出する手法を提案・適用した。その結果、現場での経験を中心とした技術伝承のパターンが析出されると共に、技術者の技能形成においても現場経験が中心的な役割を果たす可能性が示された。ただし、以前は、現場において技術者自身が独学により技術を学び取る傾向が強かったが、現在は、現場以外にも勉強会や見学会等の様々な機会を通じて技術を学ぶ傾向にあり、技術伝承やそこでの学びのスタイルが変わりつつある可能性も示された。

**Key Words:** *technology inheritance, skill development, regional construction company, multidimensional scaling*

## 1. はじめに

現在、建設技能労働者の高齢化や若年参画者の減少により、建設分野における技術伝承が喫緊の課題となっている。実際に、2018年時点において、建設業就業者の内、55歳以上の就業者が約35%を占める一方、29歳以下が約11%に留まり<sup>1)</sup>、今後これら高齢世代の離職に伴って、彼らが培ってきた技術や技能を次世代に継承して行くことがますます困難になることが予想される。さらに、土木技術者を取り囲む労働環境の変化等により、若手技術者が建設事業の現場において技術を習得する機会が失われつつあることも指摘されている<sup>2)</sup>。特にこうした傾向は、人員不足が深刻な地方の建設会社においてより顕著である可能性も懸念されている<sup>3)</sup>。

こうした中、国土交通省や関係機関において、建設産業の担い手の確保や次世代への技術伝承に向けて、就労環境の改善、入札制度の見直し、技術者教育の充実等、様々な対策が議論・提言されてきた<sup>3),4),5)</sup>。実際に、2019年の建設業に関わる法令改正により、建設業従事者の責務として、建設工事に関わる知識や技術・技能の向上に努めることが明記

された<sup>6),7)</sup>。それと共に、長時間労働の是正や建設現場の処遇改善、人材の有効活用等、建設業の担い手確保や技術伝承に向けた制度改正が進められている。

一方、建設分野における技術伝承を扱った研究は数少ない。その中で、中川・山崎(2015)<sup>8)</sup>は、師匠と弟子の関係にある2名の建設技能労働者の人生史(ライフヒストリー)を収集し、技能獲得・継承プロセスを明らかにしている。また、森等(2017)<sup>9)</sup>は、地方公共団体等において慢性的な人員不足の状況の中で、人材の計画的な育成・確保や教育・伝承等の課題について指摘している。しかし、地方建設会社という組織において「誰から誰にどのような方法により技術が伝承され、技術者の技能形成が為されてきたか」という技術伝承や技能形成の仕組みを体系的に分析する試みは殆ど行われていない。そのため、前述した通り、近年、特に地方建設会社において技術伝承の課題が深刻化しつつある可能性が懸念されているものの、地方建設会社における技術伝承や技能形成のあり方がどのように変わりつつあるかについては、必ずしも明らかではない。

以上の問題意識の下、本研究では、愛媛県におけ

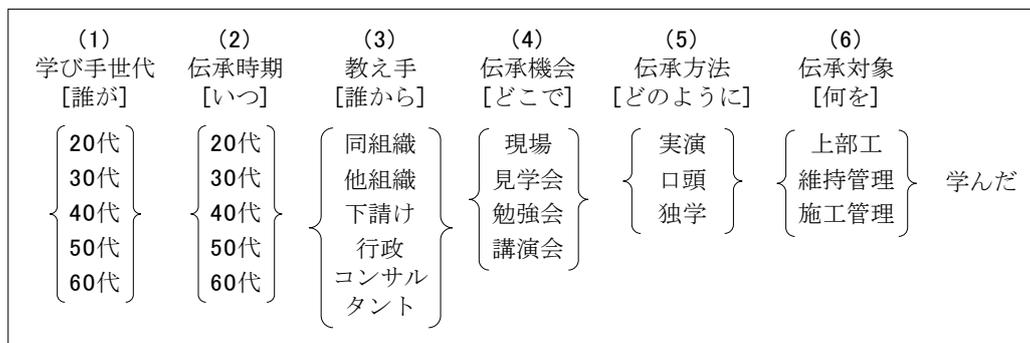


図-1 技術伝承の分析枠組み

る地方建設会社 1 社を事例として取り上げ、本組織における技術伝承・技能形成の仕組みについて体系的・時系列的に検討する。具体的には、異なる世代間の技術伝承の経験を比較すると共に、その技能形成との関連性を分析する。さらに、本組織における技術伝承の仕組みとその時代的な変遷を分析する。その際、地方建設会社 1 社という個別集団における技術伝承の仕組みを定量的に検討するための事例分析の方法として、技術の教え手や学び手、技術を学ぶ機会や方法等、技術伝承に関わる様々な要素を多次元尺度構成法により集約化し、技術伝承のパターンを析出する手法を提案・適用する。こうした一連の分析を通して、対象事例における技術伝承や技能形成の実態をその社会的な文脈に即した形で明確化することを試みる。なお、「技術」と「技能」の概念について、両者は密接に関連しており、明確に区別することは必ずしも容易ではない。本稿では、森 (2018) <sup>10)</sup> に従い、技術を橋梁施工に関わる一連の技を表現した「方法・手段」を表し、技能をそうした技を遂行する技術者の「行為・能力」を表すものと便宜的に捉えることとし、その上で、地方建設会社において技術がどのように伝承され、その中で技術者の技能がどのように形成されるかについて検討する。

## 2. 本研究の方法

### (1) 本研究の進め方

本研究では、地方建設会社に所属する技術者に対して、関連技術の伝承経験や技能水準等に関する質問紙調査を実施し、そのデータより、1) 技術者における伝承経験や技能形成、2) 対象組織における技術伝承の仕組みに着目した分析を行う。第 1 に、個々の技術者を対象として、技術伝承の経験が世代間でどのように変化しているかを検討する。さらに、彼らの技能水準を測定し、技術伝承の経験度と技能形成との関連性を検討する。第 2 に、地方建設会社という一組織を対象として、そこでの技術伝承の仕組みを一つのパターンとして集約化し、対象組織においてどのように技術伝承がなされているかを体系的に把握する。それと共に、技術伝承パターンの時代的な相違を比較し、現在に至るまでの変遷を検討する。こうした分析

を通して、対象事例における技術伝承・技能形成の様相や変遷を明らかにすることに、本研究の狙いがある。

### (2) 技術伝承の分析枠組み

本研究では、図-1 に示す通り、大きく 1) 学び手世代 (どの世代が)、2) 伝承時期 (いつ)、3) 教え手 (誰から)、4) 伝承機会 (どこで)、5) 伝承方法 (どのように)、6) 伝承対象 (何を) という 6 つの観点から、組織における技術伝承の仕組みを分析する枠組みを設定した。第 1 に、学び手は、技術を習得する主体を指し、本事例においては、地方建設会社に所属する各年代の技術者が該当する。本研究では、技術伝承に係わる諸経験の世代間の相違を検討するため、学び手をその世代毎に整理することとした。第 2 に、伝承時期は学び手が技術を学んだ年代を表す。第 3 に、教え手は、学び手が技術を教わった主体を表し、本事例では、教え手のタイプとして、同会社内の他の技術者から学んだ場合を「同組織」とし、関連する他の組織の技術者から学んだ場合には、その組織の種別により「他組織」、「下請け」、「行政」、「コンサルタント」、「その他」を設定した。第 4 に、伝承機会は、技術を学んだ場を表し、本事例では、「現場」、「見学会」、「勉強会」、「講演会」、「その他」を設定した。第 5 に、伝承方法は、技術をどのように学んだかを表し、本事例では、「実演」、「口頭」、「独学」、「その他」を設定した。最後に、伝承対象は、学んだ技術の内容を表しており、本事例が対象とする建設会社が橋梁施工を専門とすることから、大きく「上部工」、「維持管理」、「施工管理」を設定した。

本研究では、以上の分析枠組みの下、地方建設会社の技術者に対して質問紙調査を実施し、それぞれの観点からこれまでの技術伝承の経験について尋ねた。質問紙調査の詳細については、3 章において説明する。

### (3) 技術伝承のパターン抽出

本研究では、上記の質問紙調査を通して得られたデータから対象組織における技術伝承の仕組みを分析するため、多次元尺度構成法 (multidimensional scaling; MDS) <sup>11),12),13)</sup> を用いて技術伝承のパ

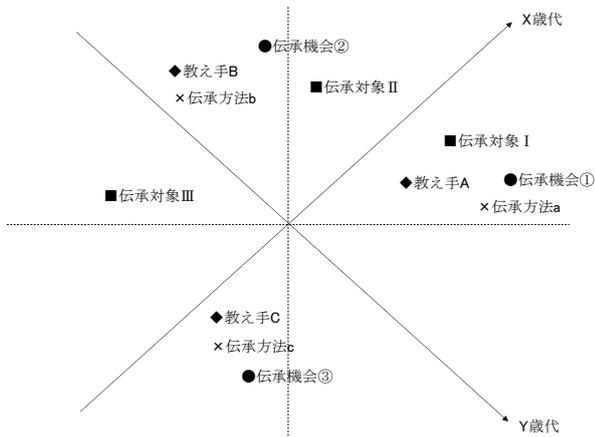


図-2 技術伝承の仕組みの分析例

ターンを析出する。多次元尺度構成法は、1) データの中に潜んでいるパターン、すなわち構造を取り出し、2) その構造を幾何学的に表現し、視覚的に理解しやすくすることを目的としている<sup>11)</sup>。この手法は、分析対象について収集されたデータが備えている特徴を幾何学的関係によって明示化する。本手法の具体的な分析手法は既往文献<sup>11)~14)</sup>に委ね、以下では、本手法の概略を述べる。

図-2に、多次元尺度構成法を用いて、前節で説明した技術伝承の各観点を空間上に配置した例を示す。本分析においては、上述の2)伝承時期(例えば、現在や10年前等)ごとに、1)学び手世代を空間上のベクトルとして、3)教え手、4)伝承機会、5)伝承方法、6)伝承対象の各項目を空間上の点として配置される。まず、伝承経験に関する3)から6)の各項目について、ヒアリング調査時の各技術者の回答から全ての項目間の相関係数を算出し、そのデータからクラスカル手法(MDSCAL手法)<sup>14),15),16)</sup>を用いて各項目の配置が決定される。本手法では、異なる項目間の相関が高い程、その項目間の空間上の距離が小さくなるように、各項目を配置する。従って、近くに位置する項目同士は、技術伝承の経験において関連性が強く、反対に遠くに位置する項目同士は関連性が弱いことを表している。図-2では、「教え手A」「伝承機会①」「伝承方法a」「伝承対象I」が近接しており、「伝承機会①」において、教え手Aから伝承方法aにより、

「伝承対象Iを学ぶ」傾向が高いことを表している。なお、本手法では、空間上の点間距離とそれを基にした配置様相のみが意味を有しており、図心や座標軸そのものには実質的な意味合いはないことに留意する。

次に、1)学び手の各世代を表すベクトルは、3)から6)の各項目に対する各世代の回答から平均値を算出し、そのデータからベクトルモデル(PREFMAP手法)<sup>14),16),17)</sup>を用いて配置される。ここで、各ベクトルは、その学び手世代にとって技術伝承の経験において関連性が高い項目の方向に向いている。すなわち、学び手世代を表すベクトルは、その世代が自分のベクトルの先にある項目を経験する傾向がより高いことを示している。厳密には、学び手世代を表すベクトルに向けて項目を表す点を垂直に射影し、その射影点がベクトルの先端にあるもの程、その世代にとって経験度が高いことを表している。なお、学び手世代を表すベクトルは、その「向き」のみが当該世代の技術伝承に係わる経験内容を表しており、ベクトルの「大きさ」そのものは任意であり、それ自体特定の意味を持つものではない。図-2では、「伝承機会①」はX歳代とY歳代の双方とも経験する傾向が高い一方、「伝承機会②」はX歳代、「伝承機会③」はY歳代において経験する傾向が高いことを表している。

以上の方法により、地方建設会社という1組織に関わる個別データから、当該組織において「どの世代の技術者」「どこで」「誰から」「どのような方法により」「どのような技術」を学んでいるかという技術伝承に係わる多様な観点相互の関係を規定するパターンを把握する事が期待できる。さらに、時代毎の技術伝承のパターンを比較することにより、そうしたパターンがどのように変化しつつあるかを検討する事も可能である。

### 3. 調査方法

#### (1) 調査概要

本調査は、愛媛県において橋梁施工を専門とする建設会社(X社)の技術者を対象に質問紙調査

表-1 技術伝承経験に関する調査項目

(20代~60代までのそれぞれの年代における以下の項目)

#### 教え手

「同組織(の技術者)」「他組織(の技術者)」「下請け業者」「行政」「コンサルタント」「その他」\*から学んだか否か

#### 伝承機会

「現場」「見学会」「勉強会」「講演会」「その他」\*のそれぞれの機会における学習頻度

(「ほぼ毎日(9)」「週1回程度(8)」「月2回程度(7)」「月1回程度(6)」「年4回程度(5)」「年2回程度(4)」「年1回程度(3)」「5年に2回程度(2)」「5年に1回以下(1)」の9件法で回答を要請)

#### 伝承方法

「実演(熟練者による作業の実演によって学んだ)」「口頭(熟練者からアドバイスをもらうことによって学んだ)」「独学(独学で学んだ)」「その他」\*のそれぞれの方法による学習頻度

(「ほぼ毎日(9)」「週1回程度(8)」「月2回程度(7)」「月1回程度(6)」「年4回程度(5)」「年2回程度(4)」「年1回程度(3)」「5年に2回程度(2)」「5年に1回以下(1)」の9件法で回答を要請)

#### 伝承対象

「上部工(測量、桁の製作、支保工、床盤工、地覆の設置、管理路の設置、高欄の設置、道路舗装)」「維持管理(点検、舗装工事)」「施工管理(品質管理、施工内容の確認、役所への対応)」の各作業を学んだか否か

\* 今回の調査では「その他」を選択した調査対象者がいなかったため、以下の分析では「その他」については省略することとする。

表-2 作業工程リスト

作業項目	作業内容
1) 測量	・測量機械を組み立てる ・機械を通してレベルの目盛りを読み取る ・基準点を含めポイントを測量する
2) 桁の製作	
① 桁製作台の設置(現場架設の場合)	・コンクリートを打設する ・門型クレーン用のレールを設置する
② 鉄筋の組み立て	・鉄筋を加工する ・鉄筋を組み立てる
③ 型枠の組み立て	・型枠を加工する ・型枠を杭またはボルトで固定する
④ 円形型枠の設置(中空床盤工の場合)	・円筒型枠専用用のバンドを設置する ・円筒型枠の空気穴を大判型枠の穴に入れる
⑤ コンクリート打設	・生コンを工場で手配する ・手持ちのパイプレーダーで上から締め固める
⑥ 緊張(プレテンションの場合)	・PC鋼線を組み立てる ・本緊張をする
⑦ 緊張(ポストテンションの場合)	・試験緊張をする ・本緊張をする
3) 支保工	・支保工を組む ・支保工を解体する
4) 床板工	
① 支承の設置	・敷モルタル施工部の表面をチッピングする ・モルタルを打設する
② 主桁の架設	・桁にワイヤーを玉掛け後、クレーンで吊り上げる ・架設位置に吊り込み、墨出し通りに設置する
③ 横桁の設置	・鉄筋を組む ・コンクリートを打設する
④ 桁同士の間詰め	・主桁に設置されている鉄筋を補強する ・コンクリートを打設する
⑤ 横締め緊張の実施	・PC鋼線を定着具により固定する ・機械を使って緊張を実施する
⑥ 張り出し床板の設置	・支保工を組む ・コンクリートを打設する
⑦ グラウト注入	・現場にプラントを設置する ・ポンプを使ってグラウトを注入する
⑧ 排水処理	・床板に排水口を設置する ・河口部に排水されるようにパイプを通す
5) 地覆の設置	・鉄筋を組む ・補強筋を組む ・電気配線用のケーブルを通す
6) 管理路の設置	・ハンマードリルでアンカー穴を掘削する ・ブラケットの設置する ・クレーンで検査路を組み立てボルトで固定する
7) 高欄の設置	・地覆施工時に高欄アンカーを埋め込む ・支柱の組む ・横座を組む
8) 道路舗装	・橋面の高さを測量する ・基礎舗装をする ・表層舗装をする

を実施した。なお、技術者の技能水準を評価する上では、橋梁施工に関連する技術を網羅的に把握しておくことが必要である。そこで、質問紙調査の実施に先立ち、X社の幹部2名、建設コンサルタントY社の5名の技術者に対して事前ヒアリングを実施すると共に、X社を含む5社の橋梁施工に関わる建設現場6箇所を延べ11日間訪れ、橋梁施工における基本的な作業内容を把握した。これらの事前調査により、以下(3)において説明する技能水準を測るための作業工程リストを作成した。

以上の事前調査を経て、2019年1月31日から2月6日の期間、X社に所属する全技術者18名に対して質問紙を用いた調査を行った。調査対象者の年齢構成は、20代4名、30代2名、40代6名、50

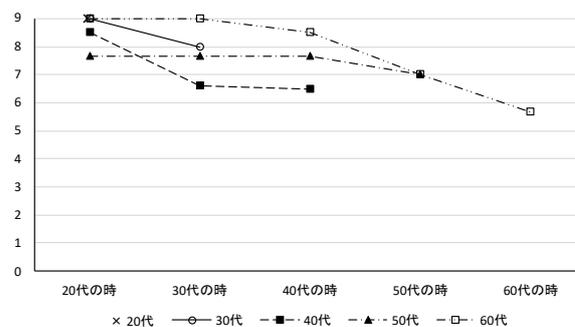


図-3 現場における伝承頻度に関する世代間比較

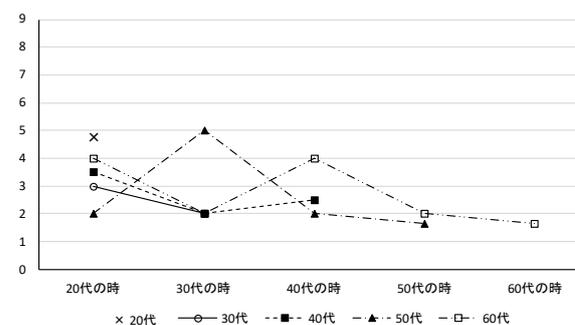


図-4 見学会における伝承頻度に関する世代間比較

代3名、60代以上3名であり、全員が男性であった。

また、技術者への質問紙調査の分析結果が整った段階において、2019年9月と12月の2度に亘ってX社の代表者に対してヒアリングを行い、分析結果の意味や解釈について確認した。次章では、その内容を踏まえて分析結果の考察を行う。

## (2) 技術伝承経験に関する項目

調査対象者の技術伝承に関わる過去の経験を把握するため、表-1に示す通り、2.(2)において説明した枠組みに基づいて、20代から60代の各年代における「教え手(誰から学んだか)」、「伝承機会(どこでどのぐらいの頻度で学んだか)」、「伝承方法(どのような方法でどのぐらいの頻度で学んだか)」、「伝承対象(どのような作業を学んだか)」について尋ねた。

## (3) 技能水準に関する項目

橋梁施工に関わる技能水準を測定するため、表-2に示す作業工程リストにおける各作業を調査対象者自らがどの程度習得しているかを尋ねた。具体的には、それぞれの作業項目の習得レベルについて、「4.責任者の立場で作業可能」、「3.責任者補佐としての作業は可能」、「2.上司の指示なしで作業可能」、「1.経験はあるが上司の指示が必要」、「0.作業経験なし」の5段階で回答してもらった。

## 4. 結果と考察

### (1) 技術伝承経験の推移

調査対象者の技術伝承の経験が世代間でどのように変化しているかを把握するため、技術伝承の

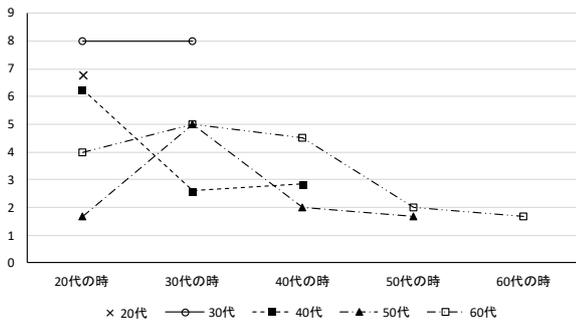


図-5 勉強会における伝承頻度に関する世代間比較

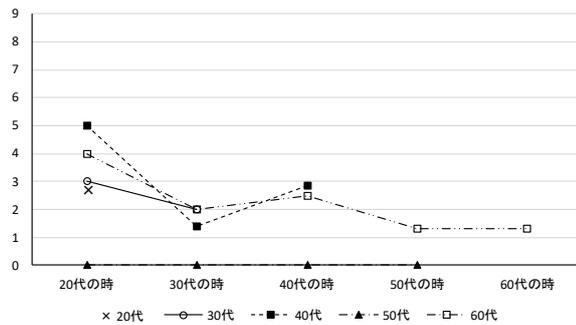


図-6 講習会における伝承頻度に関する世代間比較

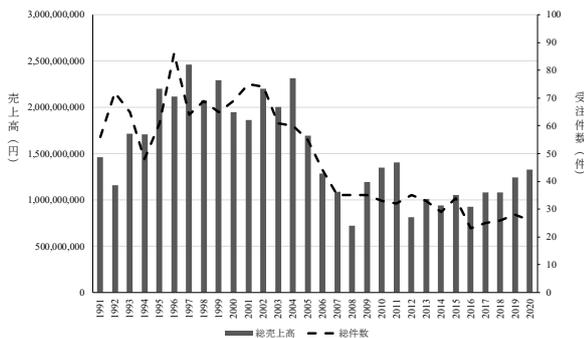


図-7 X社の売上高と受注件数の推移 (1991～2020 見込み)

各機会について異なる世代間の学習頻度を時代毎に比較した。その結果を図-3 から図-6 に示す。まず、現場における伝承頻度 (図-3) が、その他の伝承機会と比べて (図-4 から図-6)、全ての世代のどの年代においても比較的高く、現場が技術伝承の主要な機会であることが分かる。この傾向は、現在の若い世代においても同様であり、20代と30代の全ての対象者が現場においてほぼ毎日学んでいると回答していた。一方、40代の対象者は、30代の頃に現場での伝承頻度が低くなる傾向が見られた。この結果については、ヒアリング調査より、2010年前後において、国の政策等により建設工事の受注量が減少し、現場での伝承機会が少なくなったためである可能性が指摘された (図-7 参照)。

一方、現場以外の伝承機会 (図-4 から図-6) については、どの時代でも若い世代において伝承頻度が比較的高い傾向が見られる。X社では、特に若い世代の技術者の資格取得を見据えて、自社や他社主催の見学会や講習会への参加を奨励している。また、以前より、現場での作業内容の改善点

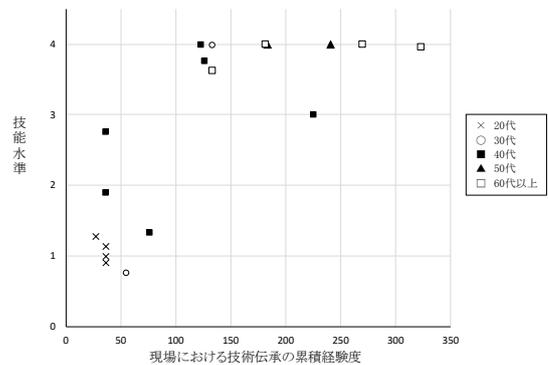


図-8 現場における技術伝承の経験と技能水準の関係

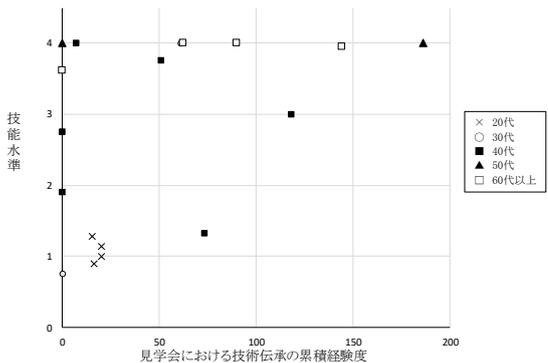


図-9 見学会における技術伝承の経験と技能水準の関係

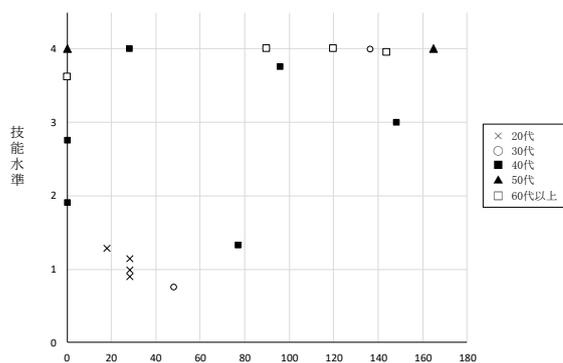


図-10 勉強会における技術伝承の経験と技能水準の関係

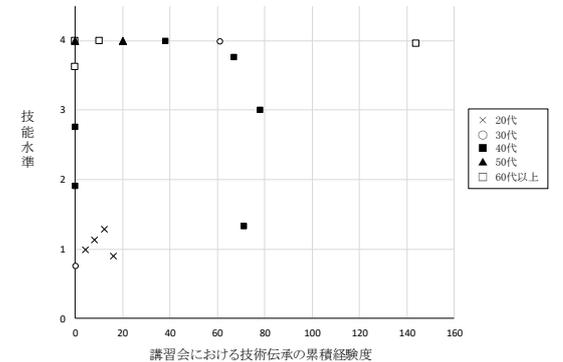


図-11 講習会における技術伝承の経験と技能水準の関係

について技術者全員で集まって共有する勉強会を月1回程度開催しており、こうした場における技術伝承の経験がこれらの結果に表れているものと考えられる。ただし、50代の対象者においては、20代時の見学会や勉強会の機会は少ない傾向が見られた。この結果については、現在から30年前

表-3 技能形成に関する重回帰分析の結果

(説明変数)	$\beta$	$t$	$p$
累積経験度_現場	.744	1.997	.069 *
累積経験度_見学会	-.580	-1.445	.174
累積経験度_勉強会	.388	1.036	.321
累積経験度_講習会	-.061	-.304	.766
年齢	.308	1.187	.258
調整済みR <sup>2</sup> = .607			

注) \* $p < .10$

「累積経験度\_現場」：現場における技術伝承の累積経験度  
 「累積経験度\_見学会」：見学会における技術伝承の累積経験度  
 「累積経験度\_勉強会」：勉強会における技術伝承の累積経験度  
 「累積経験度\_講習会」：講習会における技術伝承の累積経験度

に相当する 1990 年前後は、建設工事が多く、若手についても現場での作業に追われ、見学会や勉強会に参加する時間的余裕が無かった事が関係している可能性が、ヒアリング調査において指摘された。

### (2) 技術伝承の累積経験度と技能形成との関連性

次に、調査対象者における技術伝承の過去の経験度と技能形成との関連性について検討する。そこで、それぞれの伝承機会に関する過去の経験度を表す指標として、各年代における伝承頻度をその年代における勤続年数で重み付けして全ての年代で足し合わせた累積経験度を算定した。一方、調査対象者の技能水準を表す指標として、3.(3)において説明した各作業項目に対する習得レベルの平均得点を算出した。この様に算出した累積経験度と技能水準との関連性を図-8 から図-11 に示す。これらの図に示す様に、現場での伝承機会(図-8)において、その他の伝承機会と比べて(図-9 から図-11)、その累積経験度が高い程、技能水準が高くなる傾向が見られ、両者の間に比較的強い関連性が確認された。また、図-8 において年代に着目すると、大よそ年代が上がるにつれて技能水準も向上する傾向が見られるが、そうした比例関係が成立しないところも散見される。そこで、年齢の影響を除去した上で、技術伝承の経験度と技能水準との関連性を調べるため、技能水準を従属変数、各伝承機会に関する累積経験度と年齢を説明変数とした重回帰分析を行った。その結果を表-3 に示す。この表に示す様に、現場の累積経験度と技能水準との関連性が有意傾向となった。今回の調査はサンプル数が 18 名と極めて少ないため、分析結果の一般性については更なる検証が必要であるが、少なくとも今回の調査対象者については、現場での経験が技能形成を促す主要な要因であるものと考えられる。

### (3) 技術伝承の仕組みの推移

技術伝承経験に関する質問紙調査の回答データを用いて、2.(3)において説明した方法により、現在、10 年前、20 年前の時代毎に、学び手世代、教え手、伝承機会、伝承方法、伝承対象を 2 次元空間上に配置した。その結果を図-12 から図-14 に示す。まず、現在(図-12)に着目すると、現場での伝承機会がどの世代のベクトルにとっても比較的中央部に位置すると共に、X 社の中心的技术で

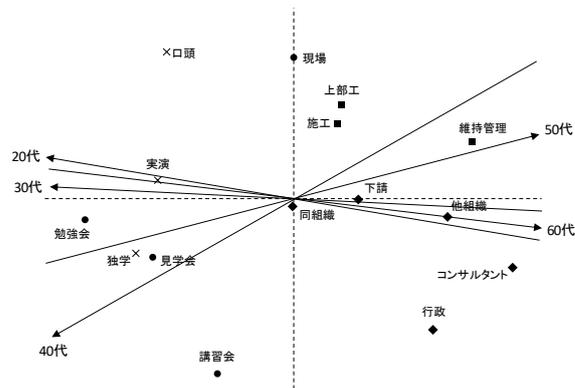


図-12 現在の技術伝承の仕組み

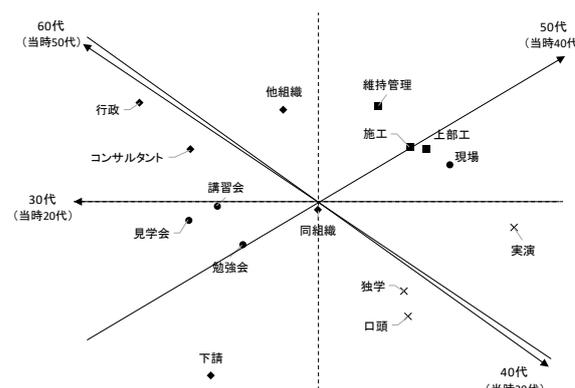


図-13 10 年前の技術伝承の仕組み

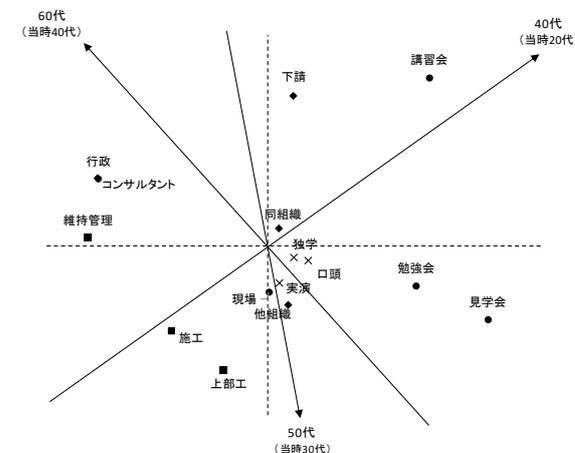


図-14 20 年前の技術伝承の仕組み

ある上部工と施工管理を表す伝承対象と近接する結果となった。この結果より、現場での学びが X 社における技術伝承の中核を担っているものと言える。ただし、20 代や 30 代の若い世代にとっては、現場での学び以外に、勉強会、見学会、講習会等の様々な機会において、口頭、実演、独学等の方法を通して技術を習得している傾向が見られる。この点は、図-8～図-11 において、20 代と 30 代の現場とそれ以外の機会での技術伝承の累積経験度と技術水準の分布傾向が似通っていることとも一致すると思われる。この様に、現在の若い世代では、現場以外に技術を学ぶ機会が比較的多い様子が伺える。一方、50 代と 60 代の高齢世代において

は、行政やコンサルタントから学ぶ傾向も見られる。また、上部工と施工管理の他、維持管理がこの世代における技術伝承の対象となる点も特徴的である。その他、40代を表すベクトルは、50代と60代と反対方向に向いているが、この点については40代の技術者において受注業務に関する書類作成事務が増加していること等が要因として考えられる。

次に、10年前(図-13)に着目すると、現場での伝承機会が各世代のベクトルの中央部から外れた位置にある結果となった。前述した通り、X社では、10年前、建設工事の受注量が低下したことから、現場での伝承機会も少なくなったことが、こうした結果に表れた可能性が考えられる。特に、当時20代を表すベクトルを見ると、現場での伝承経験が離れた位置にあり、見学会、講習会、勉強会等の伝承機会がベクトルの先端付近に位置していることから、これらの伝承機会が現場での学びに代替していた可能性も考えられるところである。ただし、図-3を見ると、この世代(現30代の20代時点)の現場における伝承頻度自体は高いことから、当時の状況においても若手世代にとって現場で学ぶ機会は確保されていたものと言える。むしろ、この世代にとって現場以外の伝承機会に参加する傾向が比較的高かったことに起因して、現場での伝承経験が彼らを表すベクトルから相対的に離れた位置に布置された可能性が考えられる。

最後に、20年前(図-14)に着目すると、現場での伝承機会が中心部に位置しており、その付近に伝承方法や伝承対象を表す全項目が布置されている。この結果より、当時の技術伝承の中心的な機会が現場であったものと考えられる。また、現場での伝承機会と独学が近接している点もこの時代に特有の結果と言える。他方、当時20代を表すベクトルにおいては、現場での伝承機会がベクトルの先端から離れた位置にある。ただし、10年前と異なり、勉強会や見学会の伝承機会も先端付近に位置していないことから、現場での伝承機会は、少なくとも10年前と比較すると、若い世代の技能獲得において重要な役割を担っていた可能性が考えられる。また、講習会については、当時の20代を表すベクトルの先端に位置しているが、この結果は、X社が若手技術者に対して資格取得のために講習会への参加を奨励していたためであると考えられ、当該企業への聞き取りでも同様の見解が得られた。

なお、教え手としての下請けに関して、10年前と20年前では、現在に比べていずれも中心部から離れた位置に布置している。この点について、質問紙調査の回答結果を確認すると、一部の回答者において、現場での伝承経験や上部工に関する伝承経験に高い点数を付けた一方で、下請けから学んだ経験に低い点数を付けており、そのため、それぞれの項目が離れた位置に布置される結果となった。しかし、ヒアリング調査では、下請けから学ぶ傾向はこの20年間で大きく変わっていない点が指摘さ

れている。この点については、質問紙調査の方法を見直す等、更なる検討の余地があると言える。

以上、X社における技術伝承の仕組みについて、現在から20年前の各年代のパターンや特徴を検討した。全ての年代を通して、現場での伝承機会が上部工と施工管理の伝承対象と近接すると共に、各世代を表すベクトルの比較的中央部に位置していることから、X社における技術伝承の中心的な機会が現場であることが見て取れる。その一方で、10年前は、建設工事の減少に伴い、現場を中心とした技術伝承のパターンからやや乖離し、特に若い世代においては見学会や勉強会等が代替的な役割を担った可能性がある。また、20年前と現在を比べると、特に若い世代にとっては、現場での独学から多様な機会・方法による学びに移行しつつあり、技術伝承のあり方が変容しつつある可能性も示唆される。最後の点については、以前は、今に比べると、現場において技術を独学により学ぼうとする傾向が比較的強かった点が、質問紙調査後のヒアリング調査においても指摘された。さらに、筆者等が事前に建設現場を訪れた際にも、熟練の技術者から、自分達が若い頃には先輩技術者から直接的に指導を受けた経験はなく、先輩技術者の作業を見様見真似で学んでいたが、現在の若手技術者にはそうした自主的に学ぶ姿勢は少ないように感じるとのお話を伺った。

## 5. まとめ

本研究では、地方建設会社における技術伝承・技能形成の実態を把握するため、愛媛県の建設会社を対象として、技術者の伝承経験や技能形成、当該組織における技術伝承の仕組みについて事例分析を行った。一連の分析により、現場での経験が技術伝承における中心的な役割を果たすことが示された。まず、技術伝承の経験を世代間・時代間で比較した結果、どの世代・時代においても現場での伝承経験が顕著に多い傾向が見られた。それと共に、近年は、若い世代を中心に、勉強会や見学会等による伝承機会も増えつつある傾向も見受けられた。次に、技術伝承の経験と技能形成との関連性を検討したところ、現場での経験の蓄積が技能形成を促す傾向も確認された。この結果は、少なくとも今回の調査対象者の技能水準を見る限り、勉強会や見学会等による伝承経験の効果は限定的である可能性を示唆するものと考えられる。最後に、対象組織における技術伝承の仕組みを多次元尺度構成法により分析したところ、現場での経験を中心とした技術伝承のパターンが析出された。ただし、若い世代にとっての技術伝承経験を見る限り、以前は現場において技術者自身が独学により技術を学ぶ傾向が強かったが、現在は、現場以外にも勉強会や見学会等の様々な機会を通じて技術を学ぶ傾向にあり、技術伝承やそこでの学びのスタイルが変わりつつある可能性が示された。

さて、本研究では、一つの個別組織を対象として、そこでの技術伝承のパターンを検討するための事例分析の方法として、学び手世代、伝承時期、教え手、伝承機会、伝承方法、伝承対象から構成される分析枠組みを提示すると共に、多次元尺度構成法によりそれぞれの要因間の関係を構造的に析出する手法を採用した。本研究の分析結果や事後的なヒアリング調査より、本手法により一定程度解釈可能な結果が得られており、この点において本事例分析手法の有効性・適用性が認められるものと言える。しかし、教え手との関係性等においては、一部解釈が難しい結果も見られた。この点に関しては、例えば、質問紙調査の方法を改善したり、多次元尺度構成法による分析結果を関係者にフィードバックした上で再調査・分析を行ったりする<sup>14)</sup>等、分析結果の妥当性・信頼性を高めていく事が必要である。

最後に、本研究の課題を整理する。第1に、本研究では、一つの建設会社を対象としてそこでの技術伝承・技能形成の仕組みを検討しており、本分析結果は、あくまでも一事例から得られた個別の知見に留まる。そのため、建設産業全般において技術伝承・技能形成がどのように為されているかについては明らかではない。今後は、本研究の分析枠組みや分析方法を援用しながら、全国の建設会社を対象として、より一般的な知見を得ることが求められる。第2に、技術者の技能形成に関する分析結果についても、今回の調査では、18名という少数サンプルから得られたデータに基づいており、今後は、より広範なサンプルを対象とした調査により、技術者の技能形成の仕組みやプロセスを明らかにする事が重要な課題である。特に、本研究では、勉強会や見学会等の技術伝承機会と技能形成との間に有意な関連性が確認されなかったが、こうした現場以外の伝承機会がどのような役割を果たし得るかについては更なる検討が必要である。第3に、本研究では、地方建設会社1社という個別集団における技術伝承の仕組みを定量的に分析する上で、多次元尺度構成法により技術伝承のパターンを集約化する方法を用いたが、個別事例の分析手法には、その他にも、少数データからプール代数を用いて因果構造を推論する質的比較分析法 (qualitative comparative analysis) をはじめ、統計的手法とは異なる方法も提案されている。また、質的研究法として、インタビュー等の質的データから現象を構成する概念を抽出することにより、データに立脚した理論を生成するグラウンデッド・セオリー・アプローチ (grounded theory approach) 等の方法論もある。今後は、これらの分析手法を多角的に比較検討しつつ、建設分野における技術伝承の仕組みや機能を明らかにするための方法論を検討することも重要な課題である。

**謝辞:** 本研究を進めるにあたって、国土交通省四国地方整備局、同松山河川国道事務所、本州四国連絡高速道路株式会社、株式会社荒谷建設コンサルタント、株式会社愛橋の方々から様々な知見やご協力を頂いた。ここに記して感謝申し上げる。

#### 参考文献

- 1) 日本建設業連合会：建設業ハンドブック 2019, p.18, 2019.
- 2) 片山範孝：土木技術者の「学び」の実情と要望－若手パワーアップ小委員会の活動を通じて－, 土木学会誌, Vol.104, No.4, pp.6-9, 2019.
- 3) 国土交通省・厚生労働省：建設業の人材確保・育成策 (令和2年度予算概算要求の概要), 2020.  
<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001305188.pdf>
- 4) 日本建設業団体連合会：建設技能労働者の人材確保・育成に関する提言, 2014.
- 5) 土木学会 建設マネジメント委員会 公共事業執行システム研究小委員会：公共事業執行システム研究小委員会報告書, 2014.
- 6) 国土交通省：建設業法, 入契法の改正について,  
[https://www.mlit.go.jp/totikensangyo/const/totikensangyo\\_const\\_tk1\\_000176.html](https://www.mlit.go.jp/totikensangyo/const/totikensangyo_const_tk1_000176.html)
- 7) 建設業法及び公共工事の入札及び契約の適正化の促進に関する法律の一部を改正する法律 第25条の27第2項.
- 8) 中川善典, 山崎祥悟：建設技能労働者の技能獲得と継承に関する「羅生門」的人生史研究, 土木学会論文集 F4(建設マネジメント), Vol.71, No.4, I\_169-I\_180, 2015.
- 9) 森 芳徳, 秋葉 正一, 関 健太郎：道路行政分野における今後のインフラマネジメントのあり方に関する一考察, 土木学会論文集 F4(建設マネジメント), Vol.73, No.4, I\_120-I\_129, 2017.
- 10) 森和夫：技術・技能論－技術・技能の変化と教育訓練－, 大妻女子大学人間生活文化研究所, 2018.
- 11) Shepard, R.N., Rommey, A.K. and Nerlove, S.B.(Eds): *Multidimensional Scaling: Theory and Applications in the Behavioral Sciences, Volume I: Theory*, New York: Seminar Press, 1972.
- 12) 高根芳雄：多次元尺度法, 東京大学出版会, 1980.
- 13) 飽戸弘, 林知己夫編：多次元尺度解釈法, サイエンス社, 1976.
- 14) 山本 浩司, 羽鳥 剛史, 岡田 貢一, 青木 一也, 小林 潔司：多元的集計化に基づく社会基盤整備の評価手法に関する研究, 建設マネジメント研究論文集, Vol.15, pp.115-130, 2008.
- 15) Kruskal, J.B. : Nonmetric multidimensional scaling: a numerical method, *Psychometrica*, Vol.29, pp.115-129, 1964.
- 16) 岡太彬訓, 今泉忠：パソコン多次元尺度構成法, 共立出版株式会社, 1994.
- 17) Tucker, L.R.: Intra-individual and inter-individual multidimensionality, in: Gulliksen, H. and Messick, S.(Eds): *Psychological Scaling: Theory and Applications*, New York: Wiley, pp. 155-167, 1960.

## 南海トラフ地震事前復興研究～えひめ事前復興推進指針～

愛媛大学大学院理工学研究科 教授 森脇 亮  
 愛媛大学防災情報研究センター 特定教授 山本浩司  
 愛媛大学防災情報研究センター 客員研究員 新宮圭一  
 東京大学大学院工学系研究科 教授 羽藤英二  
 愛媛大学防災情報研究センター 特命教授 矢田部龍一

### 1. 研究の目的

東日本大震災から7年が経過した平成30年度(2018年)より、宇和海沿岸地域の5市町(宇和島市、八幡浜市、西予市、伊方町、愛南町)と愛媛県、愛媛大学防災情報研究センター、東京大学復興デザイン研究体が連携して、「南海トラフ地震事前復興共同研究」(以下、「本研究」という)を開始した<sup>1)</sup>(図-1, <http://www.cee.ehime-u.ac.jp/~rd/>)。東日本大震災では、巨大津波によって東北沿岸域のまちの多くが壊滅的な被害を受け、その日から何の備えもなく困惑と混乱の中で始まった復興(生活再建等)はその難しさを露呈した<sup>2)</sup>。そのことから、命を守るための「防災」はもとより、被災後のまちの復興までに備える「事前復興」の重要性が改めて強く認識された。

本研究は、歴史上およそ100年～150年の周期で繰り返す南海トラフ地震の発生確率が高まる中、津波災害のリスクが高い宇和海沿岸地域を対象に、来る南海トラフ地震による大災害の可能性に適切に対処することを目的に取り組んだものである。「事前復興」に関わる事項を広範に分析し、「事前復興」の骨格となる要素を体系的に定義したうえで、「事前復興」を下支えするための基盤となる要素の構築と課題解決に取り組んだ。本文は、令和2年度までの3年間の研究成果のうち、「事前復興」の全体像を集約した「南海トラフ地震えひめ事前復興計画策定指針」について、要旨を述べる。



図-1 南海トラフ地震事前復興共同研究の取り組み

## 2. 研究の概要

### 2-1 「事前復興」が目指すこと

「事前復興」に取り組むことの重要性は、過去の経験を大きく上回る災害の可能性を受け入れ、そのような最悪の事態も想定したうえで被災後の復興の姿を考え、それが現実となったときの新たなまちづくりの道程を地域全体（行政と住民）が共有することにある（図-2）。従前の防災施策の考え方は、過去の経験に基づいて想定される災害規模を前提に防災計画を定め、災害後の状況に応じて復旧・復興にあたるという手順であったが、「事前復興」は従来の防災検討では対象とはなりえなかった過去の経験を大きく上回り地域を壊滅に追い込むような災害も想定内とし、被災地域の復興（方向性、手順、計画など）を事前に準備するという概念である。この取り組みは復興（新たなまちづくり）のプランとそのための体制を予め整えておくことであり、最悪の事態が現実となったときに、復興に総合性を持たせながら迅速性と即効性を確保することを目的としている。また、地域に特有な災害事象や固有の課題を把握し対策を重ねることで、事前に地域の災害ダメージを軽減するための防災・減災の効果も含んでいる。さらに地域住民と行政がともに考えることで事前に復興の姿（行うこと）を共有し、被災後の復興にむけての合意形成を速やかに行うための準備でもある。これらは、東日本大震災において顕在化した問題の発生に備え、それらを教訓とするための対処法となる。

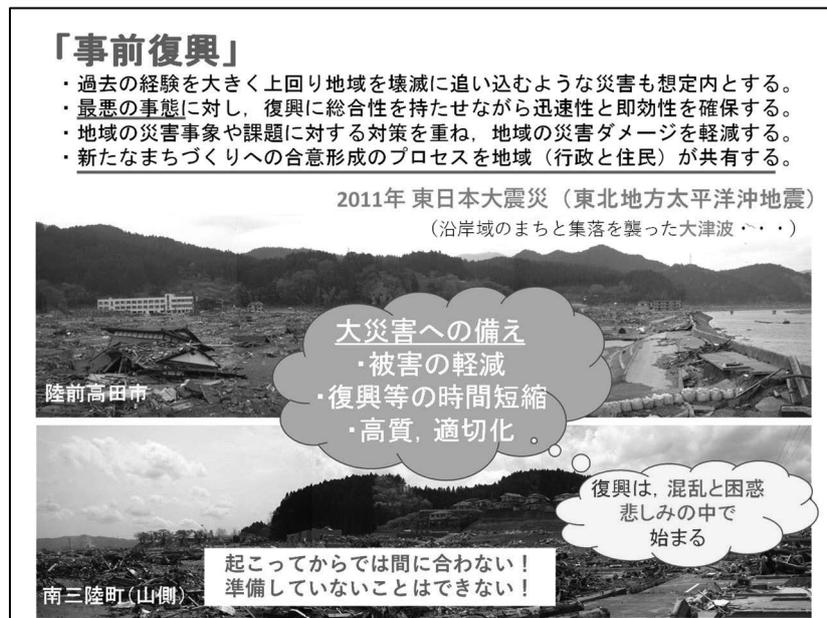


図-2 「事前復興」が目指すこと

### 2-2 「事前復興」の定義と目的

「事前復興」は、1995年の阪神淡路大震災において発生した未耐震住宅等の倒壊や同時多発した火災延焼等によるまちの壊滅的な被害を前に、「減災」の考え方とともに提起された防災対応の概念である<sup>3)</sup>。そして、2011年に東日本大震災が発生し、巨大津波災害からの復興が様々に困難と課題を呈する中で、その重要性がさらに認識された。本研究では、“命を守る”ための狭義の防災に加え、生活の再建と“復興までに備える”ための広義の防災を包括するものとして、図-3に示すように「事前復興」の取り組みを“事前実施”と“事前準備”の2つのベクトルで定義した<sup>4)</sup>。また、「事前復興」が目的とする効果は、事前実施による地域の活力との維持向上と大規模災害に対する被害の軽減、および事前準備による復興等の期間短縮と復興の質の向上と適切化を図ることである（図中下段）。

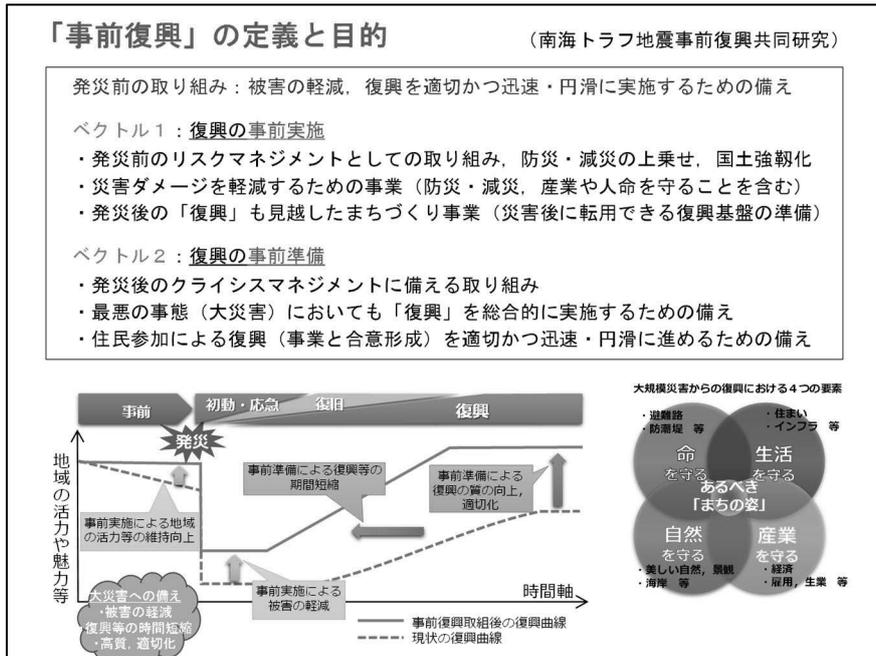


図-3 事前復興の定義と目的

### 3. 南海トラフ地震えひめ事前復興推進指針

#### 3-1 「事前復興」の全体像

図-4に本研究による「事前復興」の全体像を示す<sup>4)</sup>。図上段のように、事前復興の2つのベクトルは“発災の時”とその後の“復興のプロセス”へと向いている。各ベクトルからは、事前実施への逐次移行を意味する上向きの矢印が、そして発災後の初動・応急から復旧、復興への切替えと各プロセスに対する備えを意味する大きな矢印が示される。具体的には、図下段のように、①復興の手順・体制の共有と訓練、②事前復興計画（狭義）、③事前復興まちづくり計画、④事業化へと続き、ある日、南海トラフ地震が発生した直後には②と③の計画（地域デザイン）は⑤復興計画、⑥復興まちづくり計画、⑦復興事業へと切替わり、復興の合意形成（期間短縮と質の向上）へとつながる。この流れよ

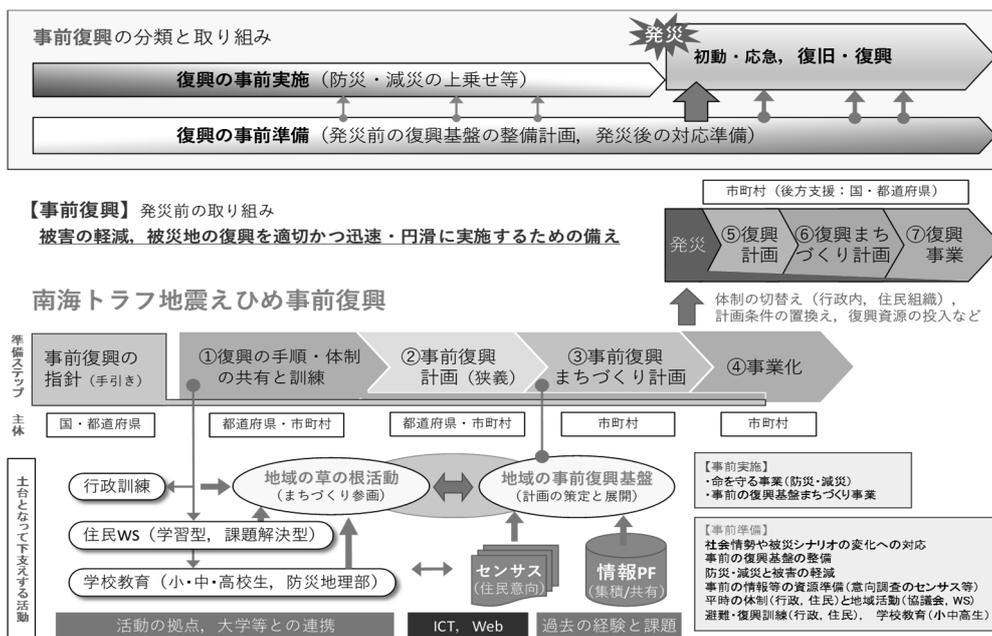


図-4 南海トラフ地震えひめ事前復興の全体像

り復興の軸となる地域デザインを描き、復興までの道程に総合性を持たせながら迅速性と即効性を確保する。そして、地域デザイン構築の下位には基盤となる要素（計画、情報・調査、教育）を配置する。この全体像を「南海トラフ地震えひめ事前復興推進指針」とした。

### 3-2 大規模災害からの復興のプロセスと事前復興の取り組み

大規模災害からの復興は様々な要素が関係することから、市町の特長や災害リスク等を踏まえつつ様々な要素の相関にも配慮して復興プロセスを検討する必要がある。本研究では、災害発生後の復興の取り組みについて、住民の時間経過に応じた行動を踏まえ、「住まい」と「まちづくり（計画と事業）」に主眼を置き、災害発生から復興までのプロセスを図-5に整理した。同図には「状況」として地震発生（災害事象）から始まるタイムラインを避難生活、概ね2週間以降の復興始動期、概ね6ヶ月以降の本格復興期、概ね6ヶ月以降の本格復興期（着手）と復興事業の完了

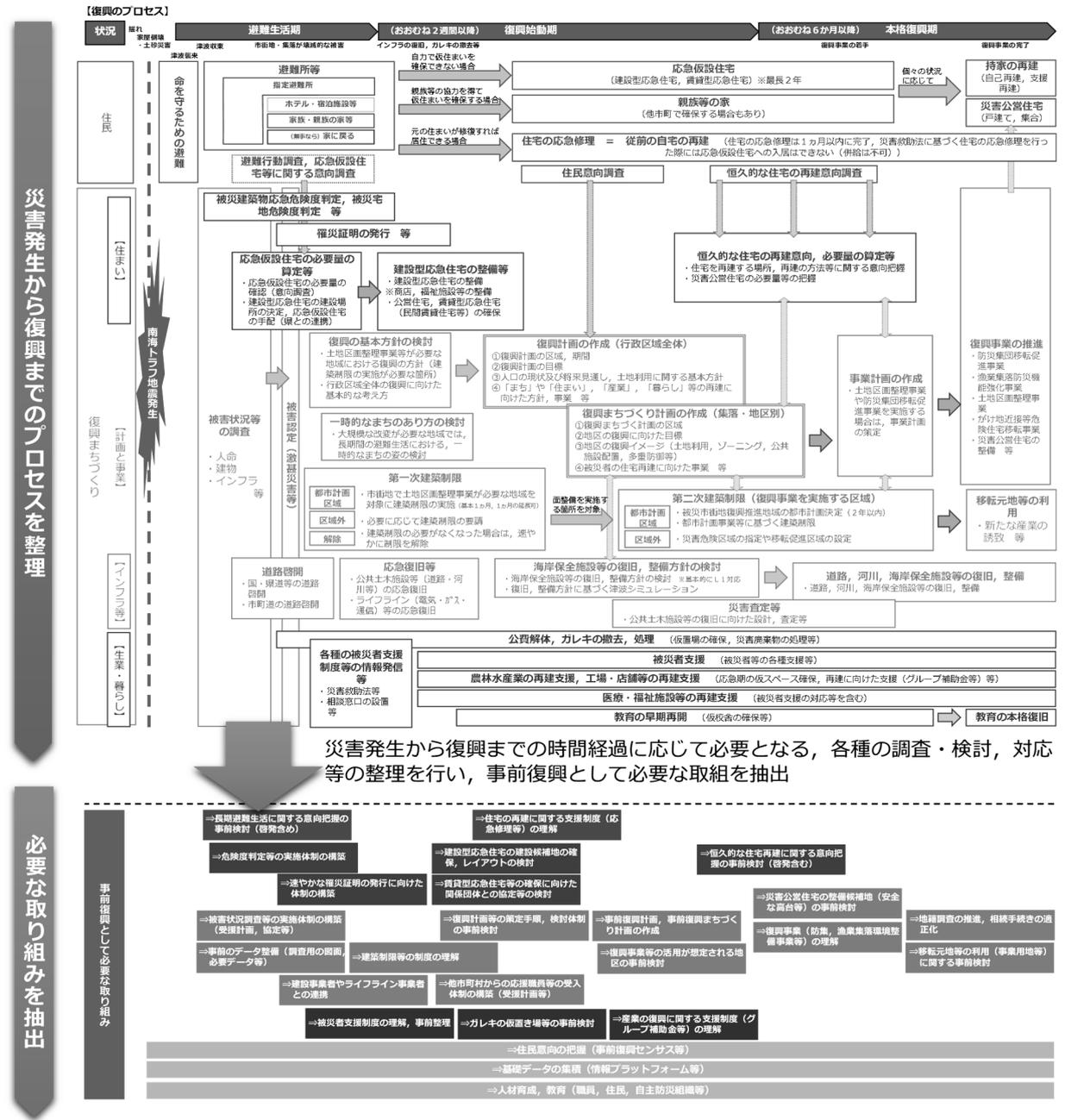


図-5 復興のプロセスと事前復興の取り組み

として、命を守るための避難、避難所等での生活、応急仮設住宅等での仮住まいの生活、新たな住居の再建（または賃貸入居）までの各段階における主要な選択肢を示した。その各々に対する「復興まちづくり」として、【住まい】の再建と【インフラ等】の復旧・復興の流れ、各々を進めるための【計画と事業】を配置した。さらに住宅再建と並行する【生業・暮らし】の再建支援に係る主要項目を関係づけた。これより、図の下段に「事前復興」に必要な取り組みを抽出した。本指針は、この復興プロセスを復興の手順として掌握したうえで、事前復興計画を策定する手順とした。

これより、図-6に復興のプロセスから抽出した対処課題を示す。事前復興として必要な取り組みを7つに区分し、事前復興の取り組みの体系を定めた。各々の取り組みは以下のである。

- (1) 復興手順等の理解： 整理した復興プロセス等を参考に、復興の流れの全体像を理解する。
- (2) 復興体制に関する事前検討と設置： 復興の迅速・円滑な実施・検討に向け、庁内体制や外部組織との連携（協定）等について事前に検討しておく。発災直後の被害状況調査等については、自治体単独での対応には限界があり、応援職員等の受入体制等も含めて事前の体制等を設置しておく。
- (3) 基礎データの整備と分析： 被害状況調査や復興計画・復興まちづくり計画をはじめとした各種検討に必要な基礎データ等については、定期的な収集・整理を行う。被害状況調査や危険度判定、罹災証明の発行、それ以降の被災者支援の状況などの情報共有が重要であり、データの保管や運用方法等のルールを検討しておく。地域の災害リスクと現況の人口や土地利用等との重ね合わせ等の分析により、地域の課題を洗い出し、復興デザイン等の基礎データとする。
- (4) 避難と再建に関する住民意向の調査と分析： 住民の避難や再建意向等の調査に備え、調査方法や設問項目等の事前検討を行う。避難行動や生活再建に関する事前の意向調査を行うことで、事前復興まちづくり等の検討につなげていく。
- (5) 支援制度・事業制度等の理解と準備： 災害救助法をはじめとした各種の支援制度等を理解し、災害発生後に速やかに活用できるように準備しておく。東日本大震災等の復興で活用された復興事業等を理解しておき、速やかな復興に備える。現行制度を補完する制度等を新たに検討する。

(6) 復興イメージの事前検討：

市街地や集落等が壊滅的な被害を受ける可能性を踏まえ、事前に復興後のまちづくりのイメージ（デザイン）を検討しておく。長期にわたる復興に対しては、一時的なまちの姿も検討しておく。各種の検討結果を事前復興計画・事前復興まちづくり計画としてとりまとめる。

- (7) 事前復興の教育： 住民（子供から大人までの全世代）、行政職員、自主防災組織等が復興と事前復興を学び、大災害に備える力を育む。



図-6 事前復興の取り組みの体系

### 3-3 事業プロセスにおける事前復興と復興の基盤づくり

図-7に事業プロセスと事前復興・復興の基盤づくりの関係を示す。図は上から下に向かって発災後の避難から復興までの時間軸（避難生活期，復興始動期，本格復興期の流れ；図-5参照）としてある。これより，復興までの事業のプロセスと各々の基盤づくりのつながりを述べる。

まず，図中左端に復興の当事者である被災住民の住まいの遷移（避難所の生活，仮住まいの生活，恒久住宅の再建）を記した。この時間軸には，避難所の生活から仮住まいの生活において，みなし仮設住宅（応急仮設借上げ住宅）の制度を利用した遠隔地避難（被災者の市町外への移動）が発生し，その後の住まいの再建においても市町外での生活再建（人口流出）が継続的に進むケースがあること，被災者自らが市町内・外で土地をみつけて自主再建に至るケースなどが，復興の公的事業とは別の次元で発生することが示される。その時間は，東日本大震災においては発災から約3年間であった。

復興まちづくり（被災住民にとっては住まいと生活の再建）のための復興事業から見た時間軸は，初動対応段階，調査計画段階，事業計画段階，事業実施段階，事業完了段階の5段階となる（「津波被害からの復興まちづくりガイダンス」）。東日本大震災においては，震災から1ヶ月程度が経た時点で各行政の首長より「1. 将来に向けたメッセージ」が発せられ，半年から1年後程度を経て「2. 復興ビジョンの共有」（まちづくりビジョン，理念と方針）がなされ，「3. 住民の意向把握」（復興全般，恒久的住宅の再建の意向調査）と「4. 事業計画への反映」（住民の意向と事業計画の擦り合わせ）を繰り返しながら，復興事業に着手している。事業完了までに要した震災後の平均の時間は，防災集団移転促進事業が着工までに2年6ヶ月，造成完了までに4年3ヶ月，都市区画整理事業が着工までに2年10ヶ月，造成完了までに6年10ヶ月であり，その年月を経て宅地・公営住宅が住

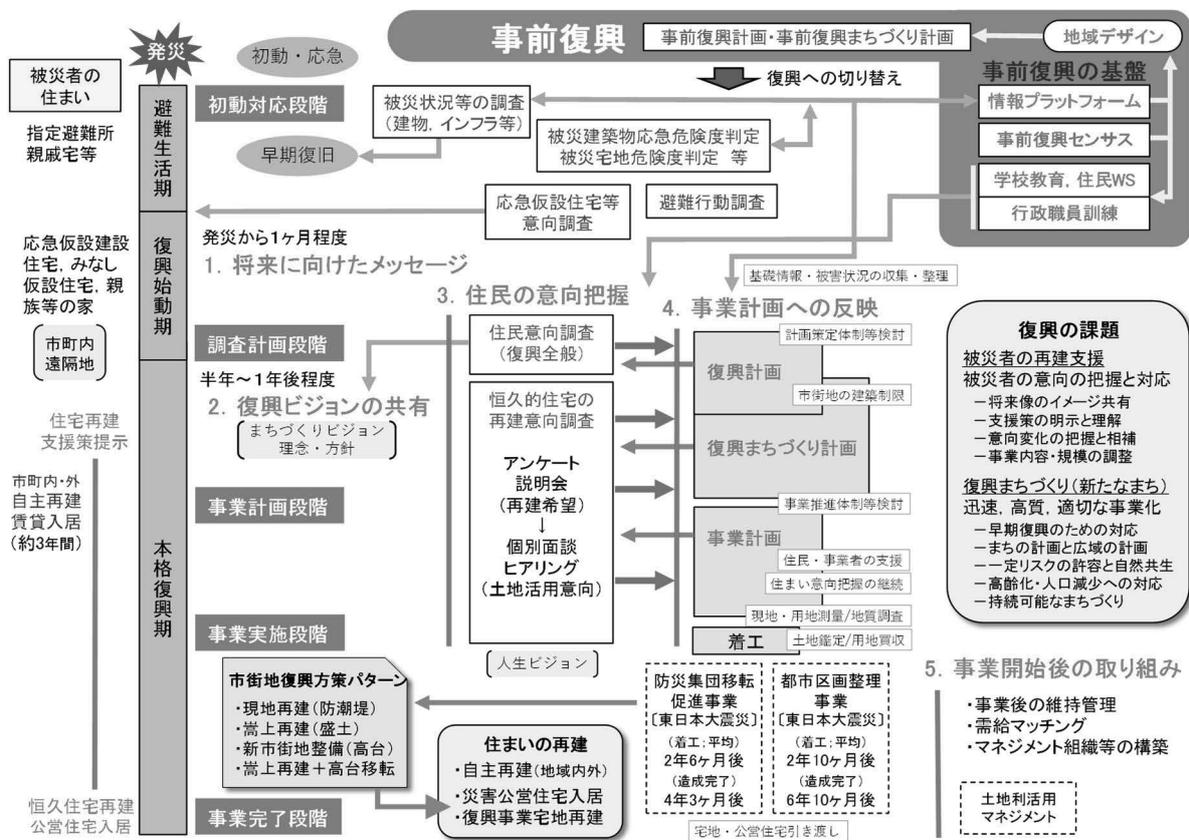


図-7 事業プロセスと事前復興・復興の基盤づくり

「津波被害からの復興まちづくりガイダンス」（国土交通省，2016），「東日本大震災による津波被害からの市街地復興事業検証委員会」委員会資料（国土交通省，2020）より一部を参照

民へ引き渡された（「東日本大震災による津波被害からの市街地復興事業検証委員会」委員会資料）。この時間は、事業の時間軸としては通常時に比較して大きく短縮されたものであったが、被災者の時間軸（人生の時間）においては非常に長い年月となった。

大規模災害からの復興の課題は、図中に示すように、被災者の再建支援としての“被災者の意向の把握と対応”，復興まちづくり（新たなまちづくり）における“迅速，高質，適切な事業化”に集約される。そして、各課題に対する方策（次の大震災へ向けての東日本大震災からの復興の総括）については、東日本大震災から10年を経た今、各方面で議論が始まったところである（例えば、「東日本大震災による津波被害からの市街地復興事業検証委員会」）。

ここで、「避難」，「情報と調査」，「教育」の取り組みは、これらの課題への備えとなる基盤づくりを目指したものである。次節3-4に述べるように「南海トラフ地震えひめ事前復興計画策定指針」においては、南海トラフ地震事前復興共同研究の中で実践的に取り組んだ、情報プラットフォーム、事前復興センサス、学校教育、住民ワークショップ、行政職員トレーニングの取り組みを事例として、事前復興と復興に必要なと考えられる基盤づくりの要旨を述べた。さらに、それぞれの取り組みの詳細は、別冊にまとめた。

### 3-4 「南海トラフ地震えひめ事前復興計画策定指針」の構成

本研究の成果として、「南海トラフ地震えひめ事前復興計画策定指針」（写真-1）をとりまとめた。本指針は、近い将来、発生が予見される南海トラフ地震に対処することを背景として、愛媛県及び各市町における事前復興の取り組みの推進を図るために、主に復興の中心となる「住まい」と「まちづくり（計画と事業）」に着目して作成した。各行政が事前復興の取り組みを進めるため、行政職員が事前復興に関する考え方を共有し、事前復興の必要性の理解を深め、地域住民と行政が協働した事前復興の取り組みを促すための指針となることを目指した。

本指針の構成は、図-8に示すように4部よりなる。【第1部 事前復興の基礎】は、“事前復興を理解し、取り組みの必要性に気づく”ために、本指針における事前復興の定義と目的（2-2参照）、各計

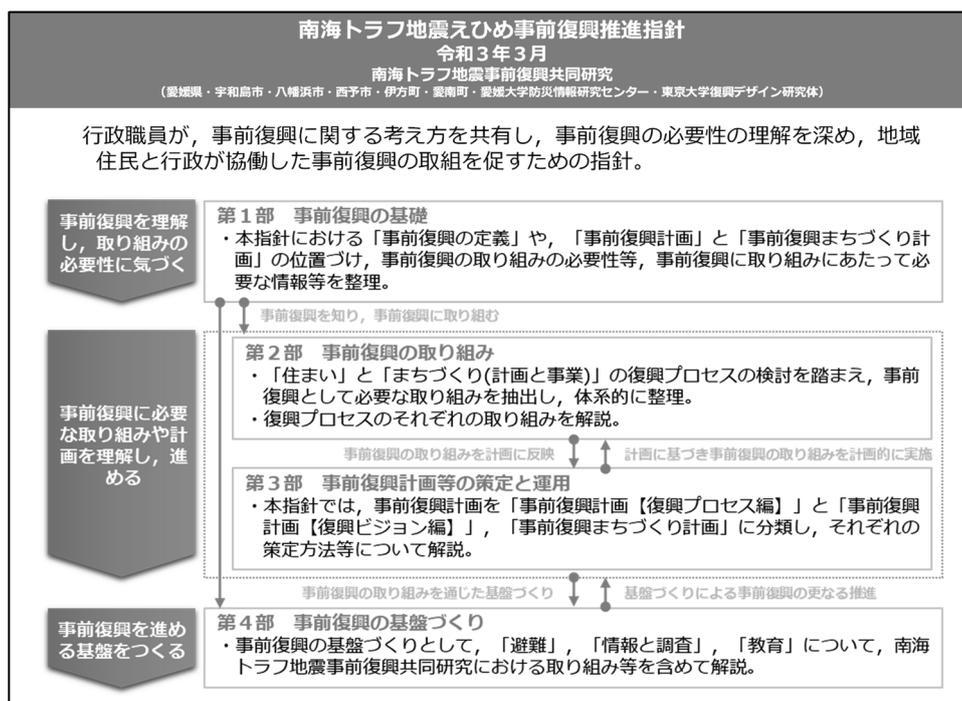


図-8 南海トラフ地震えひめ事前復興推進指針の構成

画の位置づけ，事前復興の必要性と取り組みにあたって必要な情報等を解説した。【第2部 事前復興の取り組み】と【第3部 事前復興計画等の策定と運用】は，“事前復興に必要な取り組みや計画を理解し，進める”ために，復興プロセスの検討を踏まえながら事前復興として必要な取り組みを抽出して体系的に整理し（3-2 参照），続いて「事前復興計画」と「事前復興まちづくり計画」の策定方法について解説した。さらに，【第4部 事前復興の基盤づくり】は，“事前復興を進める基盤をつくる”ために，3-3 に述べたように「避難」，「情報と調査」，「教育」について，南海トラフ地震事前復興共同研究における取り組み等とともに解説した。

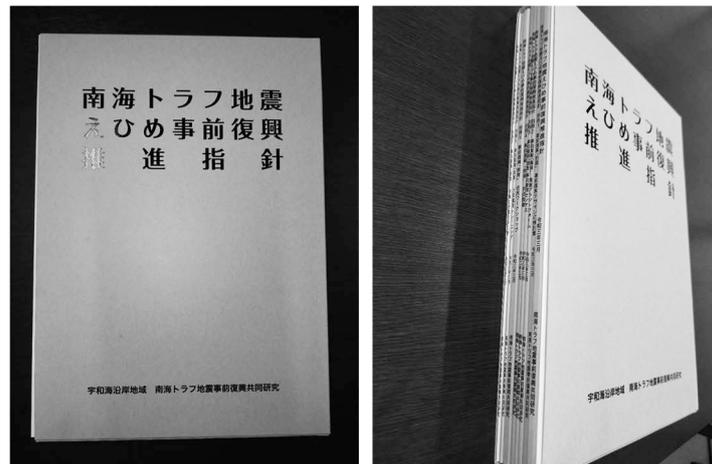


写真-1 南海トラフ地震愛媛事前復興推進指針，同別冊  
(愛媛大学防災情報研究センターHP <https://cdmir.jp/> オンライン公開)

#### 4. まとめ

「南海トラフ地震事前復興共同研究」により取りまとめた「南海トラフ地震えひめ事前復興計画策定指針」の要旨を述べた。本指針は，大規模災害後の失われたまちと社会環境を想定し復興の形を事前復興計画として事前に描くことはもとより，発災時の初動期から復興期までのプロセスへの対応を不足なく円滑に実施するための備えも含めている。また，本指針は津波災害を対象に置くが，まちが壊滅するような大規模災害からの復興への取り組みにおいては，自然ハザード全般に通じる内容ともなっている。今後の愛媛県域における災害対応施策の基幹として，事前復興の展開に資することを期待している。

#### 参考文献

- 1) 全邦釘，森脇亮，山本浩司，新宮圭一，薬師寺隆彦，矢田部龍一，羽藤英二，萩原拓也，井本佐保里：宇和海沿岸地域の南海トラフ地震事前復興デザイン共同研究の取り組み，第13回南海地震四国地域学術シンポジウム，土木学会四国支部，pp.41-48，2018.
- 2) 薬師寺隆彦，山本浩司，新宮圭一，全邦釘，森脇亮：東日本大震災の復興における地域特性と宇和海沿岸地域の課題について，第13回南海地震四国地域学術シンポジウム，土木学会四国支部，pp.57-66，2018.
- 3) 中林一樹：阪神・淡路大震災の全体像と防災対策の方向，総合都市研究，第61号，pp.211-234，1996.
- 4) 山本浩司：複数市町と取り組む事前復興の地域デザインと教育—宇和海沿岸地域からの発信—，土木学会誌，Vol.106，No.3，pp.52-53，2021.

# 南海トラフ地震事前復興研究～情報プラットフォームの開発と活用～

愛媛大学防災情報研究センター 客員研究員 新宮圭一  
愛媛大学防災情報研究センター 特定教授 山本浩司  
愛媛大学大学院理工学研究科 教授 森脇 亮  
東京大学大学院工学系研究科 教授 羽藤英二

## 1. 研究の目的

東日本大震災から7年が経過した平成30年度(2018年)より、宇和海沿岸地域の5市町(宇和島市、八幡浜市、西予市、伊方町、愛南町)と愛媛県、愛媛大学防災情報研究センター、東京大学復興デザイン研究体が連携して、「南海トラフ地震事前復興共同研究」(以下、「本研究」という)を開始した<sup>1)</sup>(<http://www.cee.ehime-u.ac.jp/~rd/>)。東日本大震災においては、巨大津波が東北沿岸域のまちの多くに壊滅的な被害をもたらし、その日から備えなく困惑と混乱の中で始まったまちの復興(生活再建等)は種々の問題を露呈した<sup>2)</sup>。その難しさに直面する中で、命を守るための「防災」はもとより、被災後のまちの復興までに備える「事前復興」の重要性が改めて強く認識された。

本研究は、歴史上およそ100年～150年の周期で繰り返す南海トラフ地震の発生確率が高まる中、津波災害のリスクが高い宇和海沿岸地域を対象に、来る南海トラフ地震による大規模災害の可能性に適切に対処することを目的に取り組んだものである。「事前復興」に関わる事項を広範に分析し、「事前復興」の骨格となる要素を体系的に定義したうえで、「事前復興」を下支えするための基盤となる要素の構築と課題解決に取り組んだ(図-1)。本文は、令和2年度までの3年間の研究成果のうち、情報基盤の構築として取り組んだ「情報プラットフォーム」の開発と活用について述べる<sup>3),4),5)</sup>。

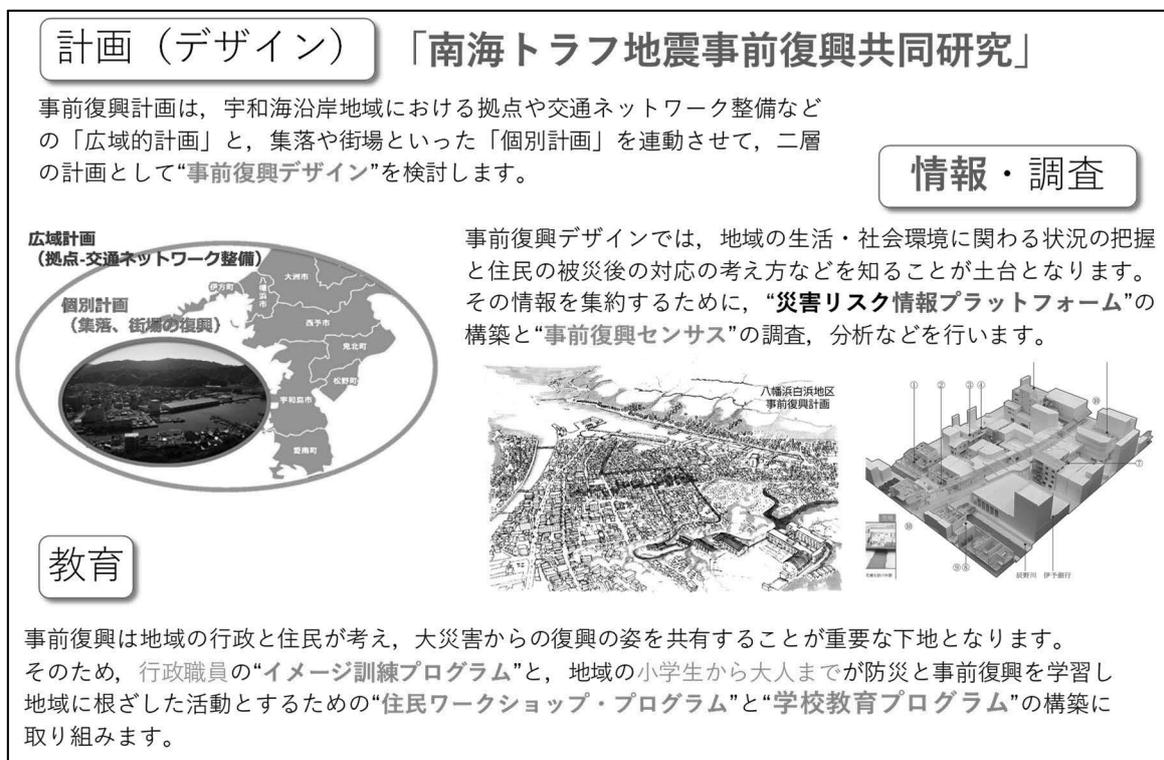


図-1 南海トラフ地震事前復興共同研究の取り組み(赤字が本文の項目)

## 2. 研究の概要

### 2-1 事前復興としての情報基盤の必要性

大規模災害からの復興等における事前復興としてのデータ整備の必要性と課題を図-2 に示す。

#### (1) 情報の損失や不足、システム整備の遅れ

過去の大災害においては行政施設等も倒壊や津波流出に晒され、復旧・復興に必要な“情報”が損失する事態が生じている。また、行政の情報システムの多くは平時の運用を前提とするので発災後の利用が困難であったり、平時のデータ更新が遅れて災害時に重要度の高い情報の準備が間に合わないことも生じている。東日本大震災においても、以下のような事態による情報の遅れが被災者の生活の再建やまちの復興に支障を来す要因となった（図-3 に例示）。

- ・紙媒体等で蓄積されたデータの多くが津波により流出
- ・個別システムのため、災害対応に必要な情報の多くが即時利用することが困難
- ・復興事業に必要な測量データの更新が不足、地籍調査の未実施

また、復旧・復興に必要とされる情報（基礎データ）の多くは既に行政内や民間内に蓄えられているが、市町や県の情報システムは行政間でデータの形式が異なり、部署間でも種々の形式でデータベース化されている場合が多い。特に、統合型 GIS 等のシステムの整備が遅滞している場合は、各種データの相互利用は容易でない。

このような情報の損失や不足、システムの整備の遅れは発災後の復興まちづくりの遅れに直結することから、復興に必要な基礎データを集積して連携するための情報システムの整備が必要となる。

#### (2) 事前復興への活用

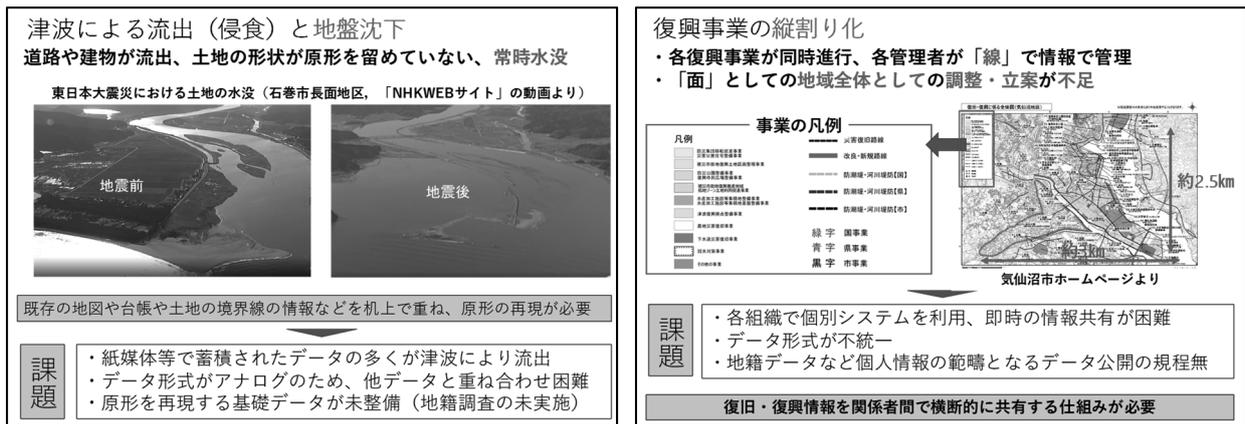
そのような情報基盤の整備は、発災後の活用に加え、発災前の事前準備として防災・減災のための行政訓練や住民ワークショップ等への活用も視野に置く必要がある。

#### (3) 情報システムを取り巻く環境の進化

昨今の情報システムを取り巻く環境は急速に進化している。ここで、webGIS および BIM/CIM やデジタルツイン、i-Construction などの可視化技術は、過去に生じた課題を解決し、新たな活用につながる技術として期待される。そのため、情報システムは時代とともに構築・更新し、応用的な活用も視野に置くことが望まれる。

<p>【発災時における情報の損失や不足、平時におけるシステムの整備の遅れ】 （東日本大震災の経験等）</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・紙媒体等で蓄積されたデータの多くが津波により流出</li><li>・個別システムのため、災害対応に必要な情報の多くが即時利用することが困難</li><li>・復興事業に必要な測量データの更新が不足、地籍調査の未実施</li><li>・システムがあっても各種データの相互利用が簡単でない環境</li></ul> <p>→発災後の復興まちづくりの遅れに直結 復興に必要な基礎データを集積して連携する情報システムの整備が必要</p> <p>【事前復興への活用（防災教育等）】</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・発災前の事前準備として防災・減災のための行政訓練や住民ワークショップ等への活用も視野に置く必要</li></ul> <p>【昨今の情報システムを取り巻く環境の急速な進化】</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・過去に生じた課題を解決 → webGIS等</li><li>・新たな活用につながる技術の導入と活用 →BIM/CIM、デジタルツイン、i-Constructionなどの可視化技術</li></ul> <p>※デジタルツイン： リアル（物理）空間にある情報などを集め、送信データを元にサイバー（仮想）空間でリアル空間を再現する技術</p>
---

図-2 大規模災害からの復興等における事前復興としてのデータ整備の必要性と課題



(1) 津波による流出と地盤沈下等がもたらす課題

(2) 復興事業の縦割り化等がもたらす課題

図-3 大規模災害からの復興等におけるデータ整備の必要性と課題

## 2-2 基礎データの整備、更新、保管の方策と情報プラットフォーム

まちの復興（地域デザイン等）に必要な基礎データ（既往の情報と発災後の調査情報等）を収集・整備する“事前準備”は、次のように進める。

- ・被災後に必要となる基礎データとその整備状況の把握
- ・平時からのまちの課題の分析により、不足するデータの追加・充実および継続的な更新

また、事前復興と復興の計画策定では対象地区や広域的な社会空間の実態を把握するため、種々に分散して保管されている基礎データを“横断的に共有するための仕組み”は、次のように整備する。

- ・平時から複数部署（危機管理、都市計画、道路、漁港、税務等）のデータが共有できる形に整備
- ・それらを統合して維持管理し、庁内横断型のデータ共有が可能な仕組みを構築

これらより、被災直後から滞ることなく情報を共有する環境を保持することで復興事業の効率化、部署間の情報交換の迅速化、住民への再建支援の質的向上などを円滑に実現する仕組みとする。基礎データの整備と更新、保管を行うための具体的な取り組みは、以下の項目よりなる<sup>3),6)</sup>。

- a) 必要な基礎データの把握と整備状況の確認
- b) 不足している基礎データの追加、継続的な更新
- c) 基礎データのバックアップ（システム）の作成
- d) データ管理規程の作成
- e) 被災状況調査データの事前検討
- f) 被災状況調査の発注方法と事前協定の検討

このように、基礎データを集結する情報基盤として「情報プラットフォーム」を構築する。それは、災害時に迅速性と即効性をもって復旧・復興に対処するために、関係者が横断的に情報を共有する環境として各種のデータ群を統合利用するシステムとなる。

## 3. 情報プラットフォームの開発

### 3-1 情報プラットフォームの全体像

情報プラットフォームは事前復興の地域デザインや各種検討への情報提供および発災後に迅速性と即効性をもって復旧・復興に対処するための情報基盤として構築する。図-4に、本研究で目指した情報プラットフォームの全体像（構築イメージ）を示す。システムは、次のように構築した。

- ・国、県、自治体、民間等が個別に作成している既存のデータおよび発災後の災害状況等の調査デ



図-4 事前復興の基盤となる情報プラットフォームの全体像（構築イメージ）

ータなどを各機関が共有（相互利用）するために、情報の一元化を行う。

- GISソフト等により、空間情報を可視化しながら事前復興や復興に係る各種の計画・検討が行えるように、システム機能を構築する。
- 住民へのアンケート調査による住民の日常行動データや津波シナリオを設定した仮想避難データ、住宅再建意向データなど被害推計の基礎となる情報も蓄積する。
- 避難シミュレーションや津波シミュレーションとの連動も想定する。各々の結果をシステムにフィードバックし、避難行動と津波浸水を重ねたアニメーションの作成・提示も可能とする。

### 3-2 システムの開発（機能設計，集積・整理データ）

本システムの開発は、事前復興および発災後の避難、啓開、復旧、復興までの各フェーズにおける活用を想定し、それらを満たすようにシステム機能を設計した。各々の活用に必要な機能は、地図の表示、データの検索と抽出、図形の作成と編集、印刷機能等である。これらの基本的機能は汎用GISシステムの上でGISの主機能から容易に構成できるので、ソフトが備えているデータ整備・一元化、情報の可視化、データ分析・検索、図面作成・出力の機能を組み合わせて構築した。また、拡張的な機能については、システムからデータをエクスポートし、それぞれの機能を持たせた個別（外部）のアプリケーションにデータを受け渡してシステムを互換する方式で機能を追加した。

集積・整理するデータは、①地図情報、②インフラ情報、③まちの基礎情報、④防災情報の項目よりなる。各々は、地域デザインに必要な情報（まちの基礎情報や現代社会を取り巻く進行性リスクに関わる抽出データ）、住民からの情報（事前復興センサスによる生活再建に関わる住民意向等のアン

ケート調査結果など)、発災後に集積する情報(発災時におけるインフラや建物の被害調査、避難行動調査、住民再建意向調査などの調査データ)のように区分される。各データは各機関からGISデータやエクセルデータ等の形式で収集した。収集したデータは情報プラットフォームにセットアップが可能となるようにGISデータ化する際のフォーマットを検討した。GISデータのうち属性情報が含まれる図形データについては、データ名称と原典資料名、属性種別、属性型の名称と説明、データ型、データ形状などについての定義書を作成した。

#### 4. 情報プラットフォームの活用

##### 4-1 住民ワークショップへの活用

情報プラットフォームは、地域の事前復興や被災地の復興計画の検討等に必要な基礎データを提供すること以外にも種々の活用が想定される。その一つとして、住民と大学、行政職員の協働による住民ワークショップへの活用(支援ツールの提供)に取り組んだ。ワークショップにおいて住民が避難から復興プロセスまでを学ぶ中で、地域の災害リスクを理解し、避難行動を訓練するための学習に、情報プラットフォームを活用する。図-5に情報プラットフォームによる津波シミュレーションと可視化の流れを示す。これより、住民ワークショップにおける活用は以下のである。

- ・地域内における津波浸水や土砂災害などの災害事象と危険度(災害リスク)の把握
- ・参加者の話し合いにより抽出された地域の危険箇所(避難阻害要因)の可視化
- ・津波ハザードからの避難行動(避難の可否)の可視化

さらに、以上の可視化を進展させ、避難行動における不確実性への対処法を訓練するための情報を提供する。通行困難が発生した場合の避難経路のあり方(効率的・効果的な行動)を議論するために、住民から意見として出された阻害要因を反映してシミュレーションを行う。その避難行動をアニメーション化して視覚的に表現し、災害時の避難の状況をよりリアルに提示する。これより、避難のあり方をイメージし、身近な問題として理解を図る。そのシステムの実装として、今回はオープンソースソフトウェア(OSSライブラリ)よりkepler.gl(Uber社製オープンソース)を利用して避難行動・津波シミュレーションの可視化アプリケーションを構築した<sup>5)</sup>。図-6に、アニメーションの表現と属性表示の解説を示す。同図には、斜めに眺めた地図上に(3Dデータがあれば立体的表示も可能)、津

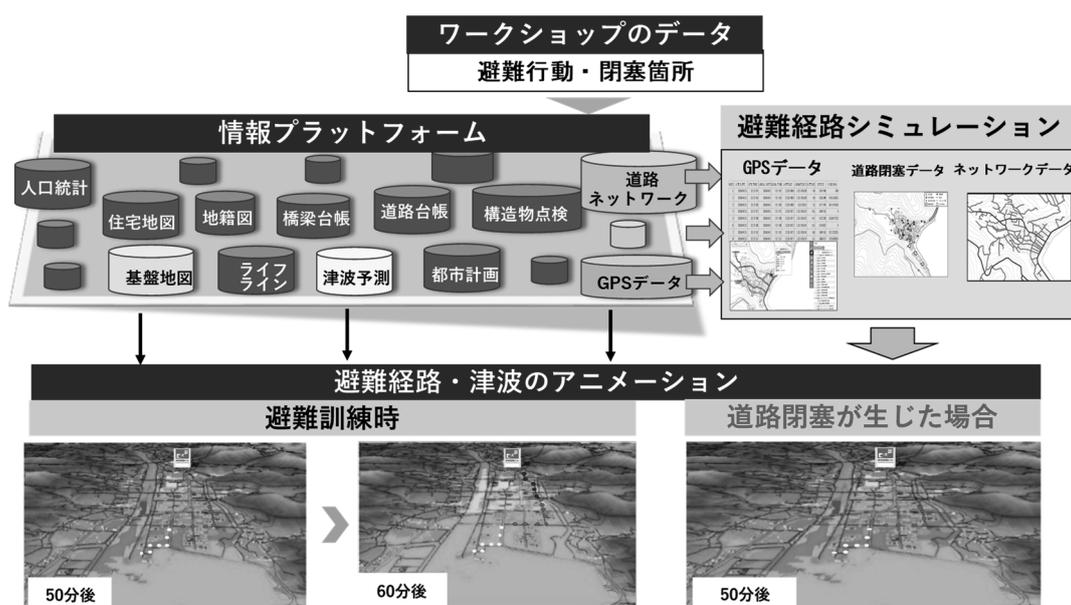


図-5 情報プラットフォームによる津波シミュレーションと可視化の流れ

波発生からのある時刻の浸水エリア（図下段にあるタイムスライダーで調整）と住民が避難場所を目指す避難行動のルート（避難行動のシミュレーションは別途実施）を重ねて表示している。ワークショップにおいてテーマとする“巨大津波からの避難の学習”は、①大規模災害事象の知識的理解、②地域の災害リスクの認知・把握、③避難場所と避難路の検討、④仮想の図上訓練の4段階である。この中で、本アプリケーションの活用については、③において、予期せぬ事態（道路閉塞等）に備えた避難経路・行動の検討に活用すること、④において、仮想空間上での避難訓練として津波事象と避難行動の同期により災害シナリオに合わせた住民が取るべき行動を促すために活用することを想定している。そのため、避難行動（訓練時やシミュレーションによる結果）を津波浸水のタイミングを重ねて可視化し、実践的な避難訓練の機会を提供する。

また、将来的には、図-7に例示するように、3次元空間における避難行動ルートの可視化を行い、災害時の避難の状況等をさらにリアルに提示することを目指している。

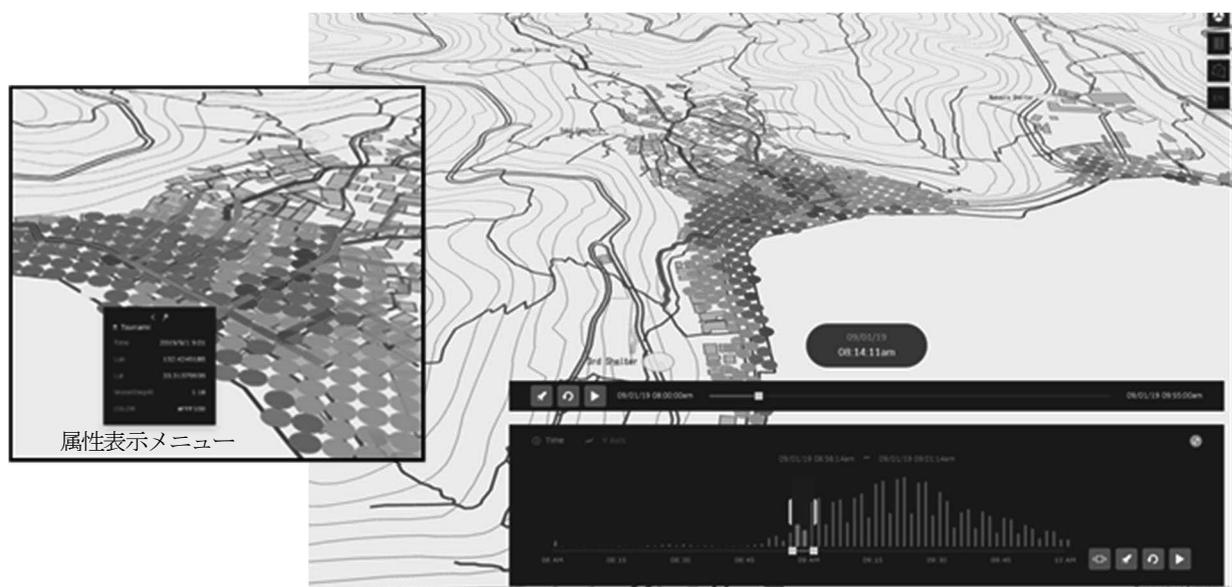


図-6 避難行動・津波シミュレーションの可視化（アニメーション表現と属性表示）

### 3次元空間における避難行動ルートの可視化

表示ソフト：Cesium（Cesium JS, Inc社製）

- PLATEAU（プラトー）などの3D都市モデル、3D地理空間情報を可視化
- オープンソースで、様々な機能拡張やデータ追加が可能
- 浸水と避難行動などの、時系列データを可視化



図-7 3次元空間における避難行動ルートの可視化

## 4-2 被害状況調査と復興進捗管理への活用

災害からの復興を支援するために、被害を受けた道路・河川などのインフラ被害や建物の被害現況の調査やそれらの復興の進捗状況の管理などに、情報プラットフォームを活用する。

### (1) 被災状況調査への活用

発災時には発災直後から被災状況を把握するために、行政（国・県・市町）、民間、大学など様々な組織や部署が、被災した道路、橋梁、河川、斜面などの公共インフラの被害状況等の各種調査を実施する。大規模災害においては被災箇所が膨大な数となるため、復旧・復興事業を一刻も早く進めるためには災害の記録を正確に残し、調査の重複を省き、調査内容を共有する必要がある。そうした観点から、情報プラットフォームの被災状況調査への活用方法の開発に取り組んだ。

試行として、平成30年7月豪雨災害において西予市の被害調査を支援した TEC-FORCE の被災調査データと管理者により作成された災害査定調査書のデータを元に、被災位置、被災番号、被災地先、路線、河川名などのデータを整備した。これより、個別に作成管理されていた被害情報を情報プラットフォーム上に一元化した。例えば、図-8 や図-9 のようにインフラの被害位置や被害状況の情報を可視化することで、復興に携わる関係者が横断的に情報を共有することが容易となり、被害調査の重複や復興事業の調整などを俯瞰的に判断する基礎データとすることができた。

### (2) 復興進捗管理への活用

復興をより適切に実施するためには、策定された計画を着実に推進することと必要に応じて計画の修正を図ることが重要となる。そのため、「復興まちづくり計画」の進捗管理にあたっては、施策や事業の実施状況や進捗状況について被災箇所ごとに復興の動きを顕在化させ、被災者にも復興の歩みを実感できるような情報提供が必要となる。また、復興の事業状況と住民の意向や経済社会情勢の変化を踏まえながら、常に事業の優先度等などを見直していくことも必要となる。復旧・復興に向けて取り組む主要な事業スケジュール等を明らかにし、計画の実効性を確保するための定期的な復興進捗管理を行うことを目的に、図-10 のように復興進捗を面的に俯瞰できる仕組みを提供した。

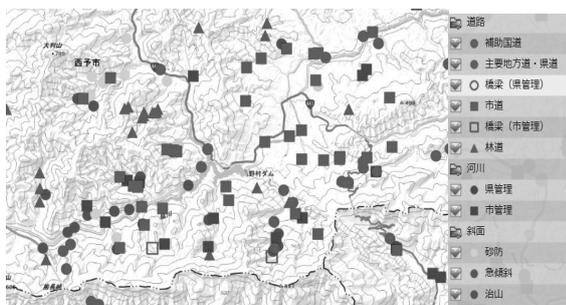


図-8 インフラ被害位置の可視化



図-9 インフラ被害情報の表示



ID	工事番号	主体区分	事業主体	工程	種別	河川_路線名	大字	進捗率
598	666	県	愛媛県	河川	(二)	宮崎川	明浜町俵津	20%
644	715	県	愛媛県	河川	(二)	朝立川	三瓶町和泉	20%
1483	3374	市町	西予市	河川	(一)	(普)岩本川	城川町嘉喜尾	21%
1485	3376	市町	西予市	道路	(他)	畑岡線	明浜町俵津	23%
1486	3377	市町	西予市	道路	(他)	畑岡線	明浜町俵津	23%
1487	3378	市町	西予市	道路	(他)	畑岡線	明浜町俵津	23%
1503	3395	市町	西予市	道路	(一)	阿下釜川線	野村町釜川3号	21%
1504	3396	市町	西予市	道路	(他)	野村ダム袖山線	野村町野村16号	22%
1509	3401	市町	西予市	道路	(一)	植木成徳線	野村町釜川4号	22%
1510	3402	市町	西予市	道路	(他)	大暮下線	野村町阿下4号	22%
1513	3405	市町	西予市	道路	(他)	平野手都合線	野村町平野	23%
1514	3406	市町	西予市	道路	(二)	深筋田之筋線	野村町長谷	22%
1518	3410	市町	西予市	道路	(他)	久保谷線	野村町野村2号	21%

図-10 復興進捗率の可視化と表示

## 5. まとめ

「南海トラフ地震事前復興共同研究」により取り組んだ「情報プラットフォーム」の開発と活用について述べた。本システムは、事前復興および災害からの復興を下支えするための基盤となる要素の一つであり、各々の取り組みに必要とされる基礎データを集積・共有し不足なく提供するための情報基盤（情報システム等）として、それ自身も事前復興の一部となるものである。

本文には、情報プラットフォームの構築についてシステムの構成の全体像を構想し、システム設計における活用の想定と機能、システムの構成と基本機能、集積・整理するデータと整備方法を述べた。そして、情報プラットフォームの活用については、地域の事前復興や被災地の復興計画の検討等に必要とされる基礎データを提供すること以外の活用として、住民ワークショップへの活用や被害状況調査と復興進捗管理への活用を示した。いずれも機能の構築と試行を介してその有用性を把握した。今後も継続性を課題としてシステムの発展に取り組む予定である。

## 参考文献

- 1) 全邦釘, 森脇亮, 山本浩司, 新宮圭一, 薬師寺隆彦, 矢田部龍一, 羽藤英二, 萩原拓也, 井本佐保里: 宇和海沿岸地域の南海トラフ地震事前復興デザイン共同研究の取り組み, 第13回南海地震四国地域学術シンポジウム, 土木学会四国支部, pp.41-48, 2018.
- 2) 薬師寺隆彦, 山本浩司, 新宮圭一, 全邦釘, 森脇亮: 東日本大震災の復興における地域特性と宇和海沿岸地域の課題について, 第13回南海地震四国地域学術シンポジウム, 土木学会四国支部, pp.57-66, 2018.
- 3) 宇和海沿岸地域 南海トラフ地震事前復興共同研究: 南海トラフ地震えひめ事前復興推進指針 別冊2 事前復興「情報」情報プラットフォーム～基礎情報の集積と活用～, 9+45p., 2021.
- 4) 新宮圭一, 森脇亮, 山本浩司, 薬師寺隆彦, 矢田部龍一, 二神透, 羽藤英二, 萩原拓也: 宇和海沿岸地域の事前復興のための災害リスク情報プラットフォームの活用, 第14回南海地震四国地域学術シンポジウム, 土木学会四国支部, pp.59-68, 2019.
- 5) 新宮圭一, 三谷卓摩, 森脇亮, 山本浩司, 薬師寺隆彦, 羽藤英二: 津波避難学習における災害リスク情報プラットフォームの活用, 第15回南海地震四国地域学術シンポジウム, 土木学会四国支部, pp.33-40, 2020.
- 6) 山本浩司, 新宮圭一, 森脇亮, 羽藤英二: 事前復興の基盤となる情報プラットフォームの構築と活用, 土木学会誌 (AI データサイエンス), 2021. [投稿中]

## 防災・減災、国土強靱化総合研究～取り組む課題と解決へのアプローチ～

愛媛大学防災情報研究センター特定教授・(株)芙蓉コンサルタント専務取締役 須賀 幸一  
愛媛大学防災情報研究センター特定教授・(株)芙蓉コンサルタント代表取締役 大野 二郎  
愛媛大学防災情報研究センター特定教授・(株)芙蓉コンサルタント専務執行役員 田村 弘文  
愛媛大学防災情報研究センター特定教授 山本 浩司  
愛媛大学大学院理工学研究科・防災情報研究センター 教授 森脇 亮  
愛媛大学防災情報研究センター 特命教授 矢田部 龍一

### 1. 研究の目的

東日本大震災に見られるように日本は千年に一度とも言われる巨大地震の発生期に遭遇している。南海トラフ巨大地震や首都直下地震の発生も現実味を帯びている。また、熊本地震や北海道東部胆振地震のような直下型地震が頻発している。それとともに地球温暖化の進展に伴い大規模な気象災害が毎年のように発生している。2018年7月の西日本豪雨災害では、愛媛県、広島県、岡山県などを含む西日本の広範囲にわたり河川の氾濫、土砂崩壊により大きな被害をもたらした。また、2019年10月台風19号等による東日本（台風）豪雨災害は、宮城県、福島県、長野県などを中心に河川の氾濫や堤防決壊、土砂災害が発生し、東日本における豪雨災害としては過去最大規模の被害を生じている。このように戦後営々と築いてきた「防災施設（ハード対策）」の範囲を超えるような「想定外」の大規模自然災害の発生が増加しており、今後も「想定外」の大規模自然災害の発生が予想されている。

これに対して、日本政府は、令和3年度から総額1.5兆円の予算規模で「防災・減災、国土強靱化のための5か年加速化対策」を実施する計画である。しかし、自然災害等の防災・減災、国土強靱化を継続的に実施する上で、「想定外」を超える災害への「防災施設（ハード対策）」の整備は極めて困難であり、さらに既存の社会インフラ（防災）は老朽化により急速に機能が低下しつつある。また日本社会の少子高齢化・人口減少により、防災・減災の担い手が高齢化、減少しつつあり、災害のリスク増大に比較して、「防災力の低下」がすすむと懸念されている。

例えば、日本全体では2010年に国内人口のピーク（128,000千人）を超え、その後少子高齢化・人口減少社会に向かっているが、地方ではその以前から人口減少は始まっている。愛媛県では1985年に県内人口のピーク（1,528千人）を迎え、その後人口減少が進み、2019年には1,328千人まで減少（△13%）している。愛媛県の人口推移（予測）によれば、2045年には1,013千人（1985年比66%）に減少すると予想されている。更に南予地方は人口減少率が高く、このような将来において大規模災害（豪雨や津波等）に襲われると、地域社会は壊滅的なダメージを受け、存続することが難しくなる。

防災・減災、国土強靱化に関しては、このような社会的な構造変化の課題を抱えていることより、個別の地震対策や豪雨対策、土砂災害対策等に関わる新たな調査、研究を縦軸とし、共通の課題を横軸として時系列に災害対応力を評価し、地域の災害対応力を醸成（俯瞰、統合）し、「住み続けられるまちづくり」を目標として、総合的な防災研究部門を創設するものである。

### 2. 研究の概要（取り組む課題）

本研究部門は、2021年4月に創設されたもので、具体的な研究はこれからであるが、研究課題は、「地域の災害対応力の醸成」であり、目標は「住み続けられるまちづくり」に資することである。そのための取り組み対象とする個別研究と活動方針について、いくつか紹介する。

(1) ソフト対策としての「事前復興計画」

東日本大震災は想定外の規模の地震であった。そのため、事前復興計画の取り組みは皆無に近く、結果として、復旧・復興に長期間を要することとなった。そのため人口の流出が著しく、被災地を元の賑わいに戻すのは難しい状況である。来たるべき南海トラフ巨大地震に対しては、3年前から愛媛県等において事前復興研究が進んでおり、国、県により公表されている南海トラフ巨大地震の被害想定や津波避難計画など基本として、津波被災地の復旧・復興を事前検討するための新しい実践的研究が始まっている。

(2) 新しい豪雨災害への取り組み「流域治水」

国は度重なる河川の氾濫や堤防決壊を受け、従来の河道改修や下水道整備だけにとどまらず流域全体で雨水の貯留・湧水・浸透などの流出抑制を図り、かつソフトな防災対策を含んだ総合的な「流域治水」を方針を固めた。この流域治水を推進するためには、各省庁ならびに住民の連携が必要である。この新しい流域治水に関して、モデルサイトを対象にした実践的研究が始まっている。

(3) 老朽化する社会インフラの「担い手教育と技術伝承」

若手技術者の育成に関して、既に防災情報研究センターで実施している「メンテナンスエキスパート養成講座」の一層の実質化と効率化に取り組む。社会人（技術者）のリカレント教育の場として、その他にも技術者の技術力向上や技術伝承などに向けた各種の研修（制度）を提供する。

(4) 地域の災害対応力醸成の場としての「産官学ネットワーク」

巨大自然災害は、広域で発生する。特に南海トラフ巨大地震は、西日本全域に被害を及ぼす。このような広域災害に対しては、広域のネットワーク構築が必要であり、そこで様々な課題を検討し解決しておく必要がある。本センターなどが主導して、四国地域における「防災・減災、国土強靱化四国地域産官学産官学ネットワーク」等の構築を図り、各種課題への災害対応力の醸成に努める。

3. 研究の展開（解決へのアプローチ）

2.の個別研究を俯瞰しながら、地域の災害対応力醸成のため、次の活動と目標を掲げて研究を展開する。（図-1 参照）

- ①地域の「防災・減災」技術力の向上
- ②新しい研究「事前復興など」の施策の実効性に向けた展開
- ③「維持管理等」次世代の技術者の養成
- ④地域による災害対応の連携

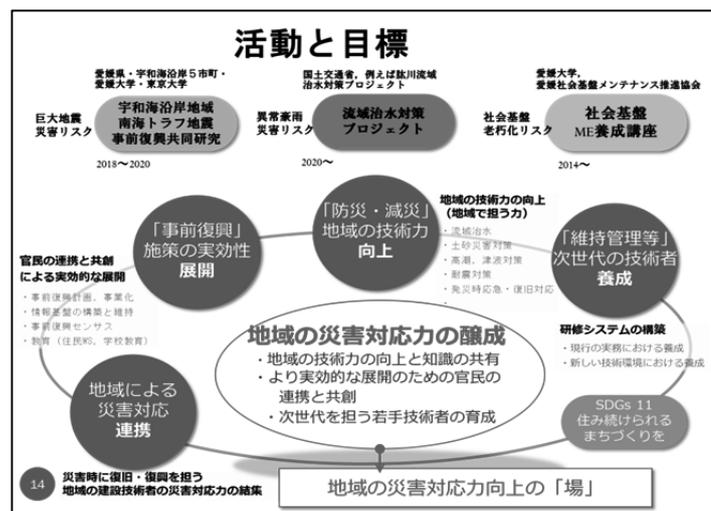


図-1 地域の災害対応力醸成のための活動と目標

## 学校や地域を舞台とした児童生徒が主役の学校防災教育

愛媛大学防災情報研究センター特定教授 中尾順子

愛媛大学防災情報研究センター特命教授 矢田部龍一

### 1 研究の目的

1995年の阪神淡路大震災。教室のテレビを一日中つけ、刻一刻と変わっていく街の様子を子どもたちと言葉もなく見ていた。伝わる映像から、いかに情報が東京中心に作られているのかを知った時でもあった。そして、2001年の芸予地震。幸い学校は休みに入っていたが、この時の校内は、吊り下げていたテレビが落ち、スチール棚が倒れ、壁にひびが入り、松山市内の学校でも、近隣の学校にしばらくの間子どもたちが通学するということがあった。そして、2011年の東日本大震災。テレビからの映像が現実なのかそうでないのか、戸惑いつつも時間がたつにつれ感じた津波の恐ろしさ。やがて南海トラフ地震もやってくるであろうといわれている。地震だけではない。2018年7月の西日本豪雨では、松山市でも小学生二人の尊い命が奪われた。

大きな自然災害が命を脅かすことが近年続いているにもかかわらず、松山市民は、「石鎚が守ってくれる」「くるくる言いながら実際はたいしたことがない」と楽観的であった。だが、被災地の校長先生から「学校が再開したといっても、人数はわずか数人」と聞かされ、松山市内の学校に避難した子どもたちも在籍し、現実の厳しさを聞くにつれ、これで命を守ることはできるのだろうかという思いは強くなった。

そんな中でも、海に近い学校は、地域全体で子どもも大人も一緒に避難訓練を繰り返していた。山間の市内全域から通ってくる子どもがいる学校は、「ここは、閉ざされる可能性が高い。この子どもたちは地域が守る」とやはり地域を挙げて訓練をし、子どもを含めて命を守る体制を整えていった。だが、多くの学校が、避難訓練一つとっても、避難経路を確認し、静かに早く避難できたことで良しとするようなものしか行っていなかった。やがて引き渡し訓練が始まったものの、地域と一緒に取り組もうというところは少なかった。中には、防災は地域がすることと口にする教員もいた。

学校運営の一番大切なことは「子の命を守ること」である。それなのに進んでいきにくいのはなぜか、課題は何か、どうすれば進めていくことができるのか。その仕組みをつくり体制を整えること、防災の具体的なプログラムをつくり周知していくこと、活動の中核となる活動拠点を作ることなどを行っていきたいと考えた。

文部科学省も阪神淡路大震災や東日本大震災を受け防災教育に取り組むことの必要性を説いてきた。進めていくための課題を洗い出し、方向性を示した。令和2年度からは防災教育が義務化され、学習指導要領に、具体的に位置づけがされていった。これを学校現場でどう進めていくかである。そこで、学校における防災教育の実態を把握し、現状と課題を分析し、課題を解決するために防災教育のプログラム構築や人材のキャリアアップ研修を行い、防災教育を推進していくこととした。

また、減災・防災の取り組みは、国土交通省や地方自治体などの行政だけでなく、インフラにかかわる企業、街づくりに携わる企業、自主防災組織など、それぞれが取り組んでいる。専門があり、そこにしかできないことをそれぞれがやっている。ただ、一般市民には、あちらこちらでしている取り組みが見えてこず、知らない人が多い。行政と企業、企業同士、地域と企業、そして子どもたち。子どもを通して、それらをつなぐことはできないのだろうか。そうすれば、防災への取り組みはもっと強固なものになるに違いない。子どもが主体となって取り組

むことができるように、小学生から高校生までのジュニア防災リーダークラブを結成し、さまざまな機関と連携した実践的な教育プログラムを実施することで、小学生から高齢者まで、全世代型の防災教育を推進していくこととした。

子どもは地域の宝でもある。やがて大人となり、社会の一員として役割を果たしていく。その子どもが主体となった防災教育を、学校や地域、民間、行政などが連携して進めていくことはできないか。「命を守る」ということは、生命体としての命を守る、地域でのくらしを成り立たせる、家族や友達、地域の人とのかかわりの中で自他の命を考える、人々が受けている自然の恩恵から自然の良さも知るといったことにつながる。子どもの心を耕し、自律していく子どもを育てる。単に、防災の基礎的な知識を身に付け命を守る教育を行うだけでなく、課題意識を持ち、考え、追究する力や、コミュニケーション能力、主体的に判断し行動する力を身に付けるような人材教育を行っていきたい。そうすることでそれぞれが自律しながらも継続した防災教育がなされていく体制が整えられていくと考える。

## 2 研究の概要

### (1) 全世代型防災教育推進のためのシステム構築



〈図1 全世代型防災教育の全体図〉

防災士の数は市町では松山市が全国一である。ただ、意識が行動に結びついていない、防災士の資格が生かされていない、自主防災組織の高齢化が進んでいる、親の世代が空白化している・・・といった課題も見えてきた。これでは命を守れない、子どもの時からの防災教育が必要ではないか、子どもが主体となって、切れ目のない防災教育をしていく、「子どもから高齢者まで全世代の防災教育が必要」ということで、松山防災リーダー育成センターを2019年10月に設置し、小学生ら高齢者まですべての世代に防災リーダーを育成するためのシステムを構築した。(図1)

小・中学生・高校生と防災教育を進め、大学生、大人へとつないでいく。大学生は学生防災リーダーとして活躍する仕組みができています。大人には多くの防災士がいる。ここに子どもたちとかかわることで、互いに防災力を高めることができる。また、子どもを通して親世代の防災力も高められる。そのようにして、こどもから大人まで、切れ目のない防災教育を進める仕組みを作った。

その中心となる活動の一つが 小学校5年生から高校3年生までが実践しながら学んでいく **ジュニア防災リーダークラブ**である。松山市と東京大学、愛媛大学と防災関連の市内の産官学民の組織が連携して進める全世代型の防災教育のプログラムの一つとして、2020年、9月に発足をした。2020年度は、300名の登録であったが、2021年度は、1000名、登録在籍校は、23校から、52校になった。地域の方や年齢が違った仲間とかかわりあいながら、より実践的な活動をすることで、「つながり 広がる 防災教育」を進め、次世代につなぐ防災リーダーを育てようとするものである。

2021年度は、高校生のジュニアから11名の防災士資格取得者が出た。この子たちは、地域の自主防災会と連携して活動することになっている。

## (2) 学校における防災教育の推進のためのプログラム構築

### ① 課題を明らかにするために

#### ア 文部科学省の方向性

学校において防災教育を進めるためには、文部科学省がどうとらえているのかを知っておく必要がある。文部科学省は「防災教育の目的」を次のようにしている。

防災教育は、学校や地域のみならず、様々な機会・場を通じて、

1. それぞれが暮らす地域の、災害・社会の特性や防災科学技術等についての知識を備え、被災のために事前に必要な準備をする能力
2. 自然災害から身を守り、被災した場合でもその後の生活を乗り切る能力
3. 進んで他の人々や地域の安全を支えることができる能力
4. 災害からの復興を成し遂げ、安全・安心な社会を構築する能力

といった「生きる力」を涵養し、能動的に防災に対応することのできる人材を育成するために行われるものである。

また、防災教育が進んでいく課題として、学校教育における課題には、「防災のノウハウや対応策だけでなく、命の大切さや日本の災害文化を理解できるプログラムの策定」「防災教育を行う空間、そこを使うツール、実際の活動、実践共同体の4つへの働きかけ」「防災の重要性を認識し、その重要性を伝えることのできる教員の確保」「本物に近い体験を可能とする教材、学習者の立場に立った教材の不足」「自然や環境の理学的・科学的な知識や助け合う心、災害から立ち上がる力をバランスよく教える方法」、生涯学習における課題として「学校を一つの場として有効活用し、広い地域、年代を対象としたメニューやノウハウの提示」など、担い手、つなぎ手における課題として、「地域や企業のキーパーソンを探し、学ぶべき内容や地域の自主防災組織活動を支援する教材・仕組みづくり」、関係主体の連携における課題として「行政の防災部局や研究機関と教育委員会の連携」など、またその他の課題として「Survivorとなる防災教育に加え、Supporterとなる、さらに市民力を育む防災教育の必要性」などを挙げている。

### イ 学校の実態から明らかになった課題

こうした考えを念頭に置き、各学校の防災教育への取り組みを2019年11月、松山市内の全小中学校対象に実態調査した。

その結果、次のことが課題となった。

・防災教育=避難訓練ととらえている傾向がある。引き取り訓練など、新しい要素も入り始めたが、通常の避難訓練（避難経路の確認のみ「お・か・し・も」など、静かに素早く避難できる

ことをよしする訓練) でよしとし、現実に沿った課題が明らかになっていない。

- ・児童生徒が主体的な行動者として捉えられていない。考えることなく指示待ちになっている。
- ・訓練に重点が置かれ、減災・防災など、事前の取り組みが少ない。
- ・単発で終わり、継続されていない。発達段階に沿った体系的な計画がされていない。
- ・あらゆる教育活動の中で総合的にとらえるという視点が弱い。
- ・情報が教師個人にとどまり、共有されていない。
- ・関係機関や地域との連携の在り方が十分に検討されていない。
- ・親子で防災について考える場が少ない。
- ・学校の中で防災教育を進めていく核となる教員を中心に教員の資質を高めるべき

## ウ 課題解決のために

そこで、「災害から生き抜く力」「生涯貫く生き抜く力」「継続が大事」「知識から、考え判断し、行動できる教育へ」「防災をわがごとく」「自然の恵みと災い」「家庭や地域との連携」を基本理念とし、課題解決をするための方策を、「防災教育を行うための教材開発をし、防災教育のプログラムを構築する」「教職員の意識と資質の向上を目指し、人材のキャリアアップ研修を行う」こととした。

### ② 実際の方策

#### ア 防災教育のプログラムの構築

自然災害ごとに、発達段階を考慮した学習の指導案を作成した。そこには、活用するとわかりやすい資料を提示したり、身近な資料として松山市の資料や授業で活用できるワークシートも添付したりした。また、松山の災害の歴史や災害に関する図書一覧なども添付した資料集を作成し、全小中学校に配布した。2)



〈図2 学習指導案等の資料集〉

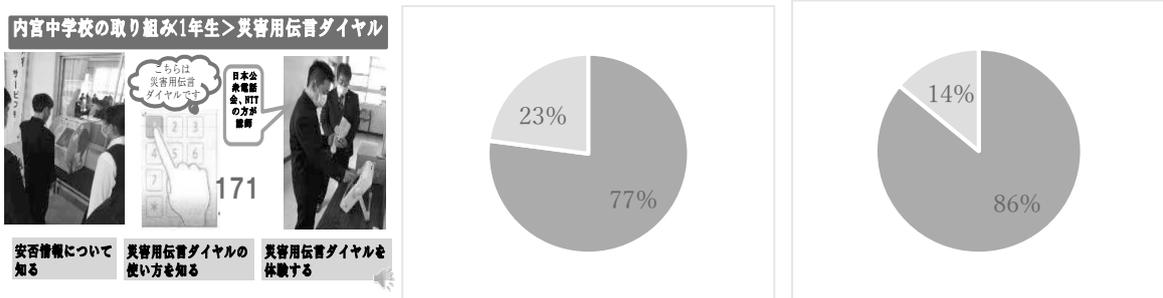
各学校で実態に合わせて活用できるように、教員研修などで紹介をした。また、協力校を小中学校、各1校ずつ設定し、活用を図った。(図2 図3)



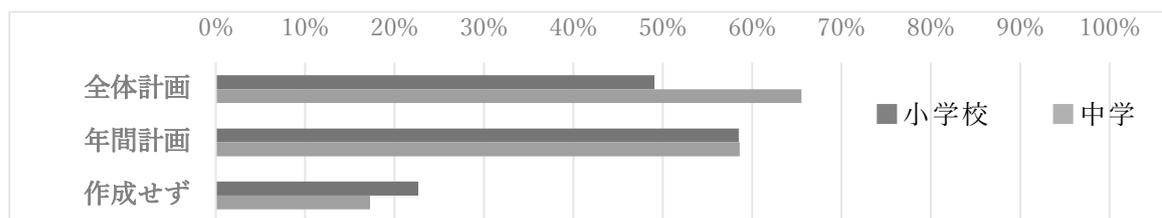
〈図3 協力校(小学校)での取り組みの様子〉

2021年1月に調査した結果、これらの資料を活用している学校は、グラフのとおりである。

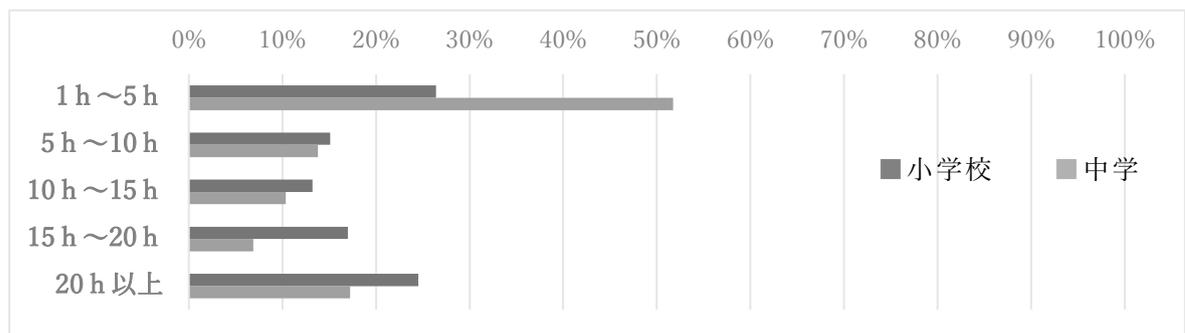
総合的な学習の時間に取り組むだけでなく、教科と関連させたり、避難訓練の指導時に活用したりしていた。新型コロナの影響で学校が休校になっていた期間もある中、防災教育に取り組もうとする学校が増えてきている。(図4 図5 図6 図7 図8)



<図4 協力校(中学校)での取り組みの様子><図5 資料活用(小学校)><図6 資料活用(中学校)>



<図7 年間計画・全体計画の作成>



<図8 防災教育の実施時間数>

### イ 防災教育サポート動画の作成

災害はいつ起こるかわからない。学校が休校になっても、家庭でも防災教育を進めていくことはできないか、また、防災のそれぞれの専門家に教えてもらうことで教員をサポートできるのではないかとということで、防災教育サポート動画を作成した。(図9 図10 図11)

内容は次の12本である。シナリオは関係機関と協議しながら作成し、出演もしてもらった。小学校高学年から中学生を対象とし、ジュニア防災リーダーの子どもたちにも出演してもらった。すべて10分前後で、授業で活用できるものとし、指導事例もつけて市内の各小中学校、県内の各教育委員会や、特別支援学校にも送付した。



<図9 打ち合わせの様子>



<図10 撮影の様子>



<図11 動画DVD>

1 土砂災害について学ぶ (約9分)

- ・土砂災害とは？・土砂災害はどうして起こるの？

【協力】国土交通省四国山地砂防事務所

2 洪水災害について学ぶ (約13分)

- ・大雨になるとどんな被害が出るの？・水害を防ぐためには？

【協力】国土交通省松山河川国道事務所

3 気象情報を防災に生かす—気象情報が出るまで— (約9分)

- ・気象情報はどうやって出されるの？・気象情報をどう生かせばいいの？

【協力】松山地方気象台

4 マイタイムラインをつくろう (約13分)

- ・マイタイムラインって何？・どうやって作るの？

【協力】松山市防災・危機管理課

5 地震に強い家・そなえる (約9分)

- ・地震に強い家にするためにはどうすればいいの？

【協力】DCM株式会社

6 防災まち歩きをして防災マップをつくろう (約11分)

- ・防災まち歩きとマップづくりのポイントを知ろう

【協力】松山市防災・危機管理課

7 災害用伝言ダイヤル171 (約9分)

- ・災害時の安否確認に役立つ伝言ダイヤル171の使い方を知ろう

【協力】日本公衆電話会・NTT西日本

8 誰にとっても安心なまち—みんなが使いやすく生活しやすい避難所— (約8分)

- ・視覚・聴覚・身体に障害がある人に聞いてみよう

【協力】松山市社会福祉協議会

9 人間を救うのは人間だ—日本赤十字— (約6分)

- ・災害時の日赤の役割や応急手当の方法と心肺蘇生法

【協力】日本赤十字社愛媛県支部

10 災害における報道の役割 (約9分)

- ・災害はどのように報道されてきたの？・報道が果たした役割は？

【協力】愛媛新聞社

11 ハザードマップの見方を学ぼう (約10分)

- ・ハザードマップの見方を知ろう

【協力】松山市防災・危機管理課

12 防災訓練から災害時にできることを学ぼう (約7分)

- ・災害時には様々な機関が協力をして活動している様子を松山市総合防災訓練から知ろう

【協力】松山市防災・危機管理課



この動画は、YouTubeでも公開した。学校で学んだ子どもたちが、家庭で家族と一緒に見て話し合うことで、親世代にも防災への関心を高めることができると考えたからである。

令和3年6月に配布し、活用を促しているところであるが、視聴した教職員のアンケートは次のとおりである。

絵や映像など視覚的にも理解しやすい。

身近な地域の映像が利用されていて実感が湧く。

教科指導でも使用できそう。

小学生には難しいので、参観日等を活用して保護者に啓発することはできないのではないかと思います。

新聞記事を基調とした分かりやすい動画である。

重信川の内容(歴史面)が小学校4年生の社会科の授業で使えそうで参考になった。防災関連と偉人関連の単元を貫く教材として使えそう

何かあってから学習するのでは遅いと思うので、このような動画を活かして、学習することは良いことだ。

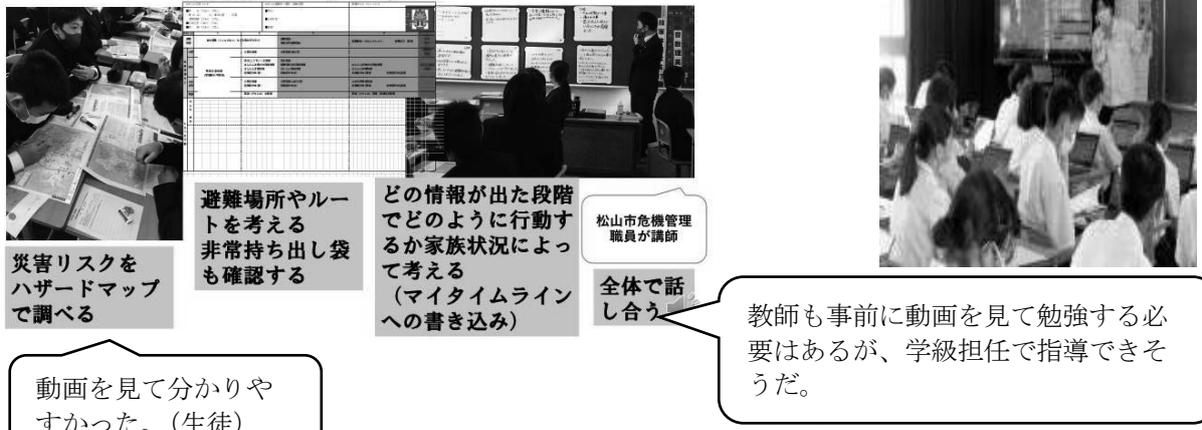
実際の自分の家で考えることで家庭での会話のきっかけになるのでとても良い。

映像としてみることでイメージがしやすくなり備えが必要であることを自覚できると思う。

発達段階に応じた学習ができると感じた。教師自身もその地域の特徴を知っておく必要があると思った。

教育サポート動画を YouTube で配信したところ、自主防災会の研集会で活用したい、企業の防災研修で活用したいという声が寄せられた。10分という短い時間ではあるが、伝えたい内容を盛り込んでいる。対象に合わせていろいろな活用方法が考えられる。(図 12)

**内宮中学校の取り組み<2年生>マイタイムライン**



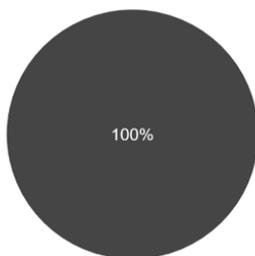
〈図 12 教育動画の活用の様子〉

**ウ 防災教育を行う人材のキャリアアップ研修**

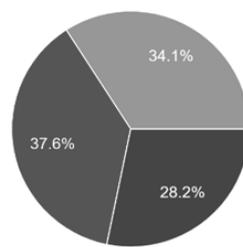
〈教頭研修〉87名「教頭としてどのように防災教育を進めるか」というテーマで、管理職として学校が避難所になった場合も含めて安全管理ということと、防災教育の事例の紹介、動画や学生防災リーダーなど授業へのサポート体制について研修をした。(図 13)



研修の際、アンケートを取ってみると、自校の災害リスクを把握している教頭は100%であったことから、危機意識は高く図 13 オンラインでの教頭研修> と思われる。しかし、「避難所として学校を使用するにあたり、地域の方と話し合いを持ったか」という調査に対しては、具体的な話し合いは十分でなく、約3割の学校が話し合いもされていない。校長とともに地域の自主防災会などとよく話し合うことが安心な避難所運営にも必要であること、結果として早期の学校再開には重要であることを、学校と地域と両者に働きかける必要があることがわかった。(図 14 図 15)



〈図 14 災害リスクの把握〉

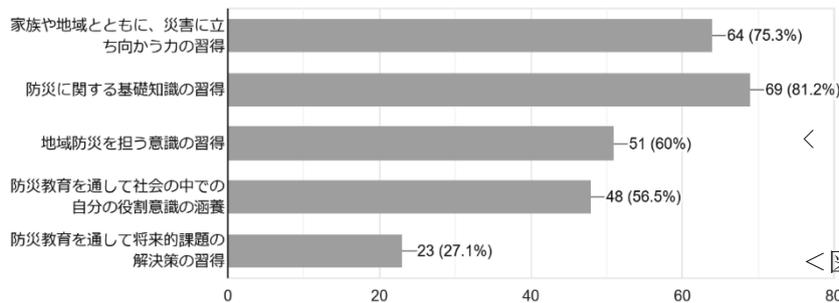


〈図 15 避難所についての地域との話し合い〉

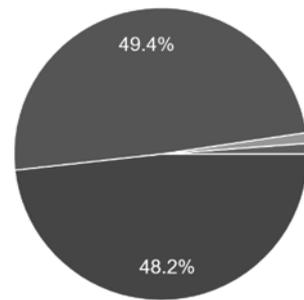
また、学校の実態に合わせた避難訓練になるよう訴えてきたが、2021.1に調査してみると予告なし「垂直避難」「二次避難」など、教師主体の経路確認だけでなく、より現実的な課題を見つけることができる避難訓練へ変わりつつあった。2021.6に行った調査では、まだ、約5割が通常の避難訓練で終わっている。避難訓練の企画を教頭だけがするのではなく、学校にいる防災士取得者や学年主任などとよく協議をして、現実に即して、教員も課題に気が付くような

避難訓練に改善する必要がある。(図 16)

また、「防災教育を行うことにより児童生徒にどんなことを期待するか」という調査では、基礎知識の習得だけでなく、災害に立ち向かう力や、地域防災を担う意識の涵養、社会の中での役割意識などを期待するという結果になった。(図 17)



- 通常の避難訓練（教室等から避難経路の確認）
- 災害リスクに合わせて工夫している
- 時間、場所の工夫を段階に応じて。
- 時間や場所を工夫して行う予定。



<図 16 2021.6 避難訓練の工夫>

<図 17 「防災教育を行うことにより児童生徒にどんなことを期待するか」>

<中堅研修>41名。教員になって10年を迎え、学校の中核となる教員の研修である。「学校における防災教育」として学習指導要領とともに、防災教育の必要性の研修を行った。栄養教諭や、養護教諭もいるため、自然災害時における心のケアの進め方にもふれた。

<初任者研修>99名。体験研修ということで、HUGを行った。避難所運営ゲームである。今年度の初任者は防災士の資格取得者が10名いた。また、今までに避難訓練以外の防災教育を「小・中・高校生の授業で受けた」「大学生の時に防災に関する講義を受講した」先生もおり、地域の防災訓練にも、「地域の一人として参加」したり、中には「主催者側のサポーターとして参加」したりした先生もいた。HUGを体験するだけでなく、子どもたちにHUGをすることの意義についても話した。参加した教員からは「アンケートに回答したことで、自分が防災について無知であるということを感じた。子どもたちの命を守る責任がある教員として、しっかりと知識を身につけようと思う。」との感想も寄せられ、命を守る教員としての自覚が感じられた。(図 18)



<図 18 HUG研修>

<社会科実技研修会>30名。小学校で社会科担当の先生方の具体的な授業の進め方の研修である。そのため、会場を防災について学べる設備が整っている「ゆめ・未来 創造かん」とし、企業防災士を講師に、「地震への備え」を行った。この会場は、児童生徒が防災について学ぶ場としても活用でき、また、出前授業などの講師として授業をサポートしてくれることを知らせた。実際に訪れたことがある教員は少なかった。「連絡を取るのに敷居が高かった」という意見もあった。忙しい、時間がないと言いながら、自分たちで何とかしようとする教師の姿が垣間見られた。防災教育動画の活用なども紹介し、人も場所も物も、大いに活用するよう勧めた。



<図 19 飛散防止フィルム>

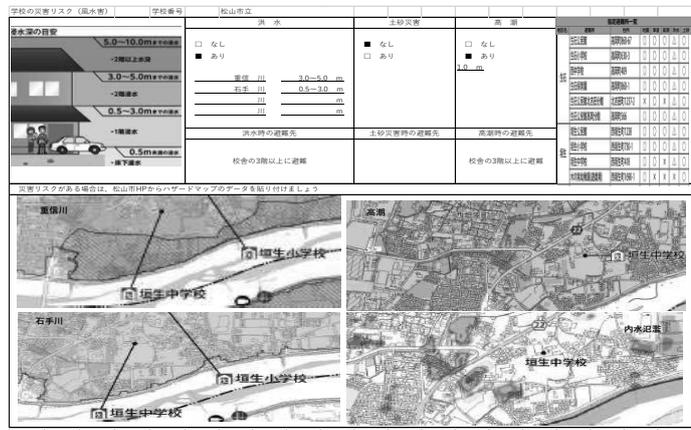
「市外から来た。こんなに資料がそろっていることは知らなかった。大いに活用したい」との声がきかれた。まだまだ防災教育が浸透しきれていないと痛感した場でもあった。(図 19)

<学校防災エデュケーター研修>82名。防災士の資格取得者が各学校から1名参加し、学校の防災教育を推進するためにエデュケーターはどのような役割を果たすのかという研修を行った。各学校には3,4名の防災士がいる。資格を取得してそれをどう生かしているのかを問い直す研修でもある。

学習指導要領が本格実施され、どこの学校も防災教育を行うようになった。総則にも、各教科関連させながら学習していくことなどが、分かりやすく表示された。これらを受け、学校ではどのように推進していくのか、また、学校の安全確保のために何をするのかということである。

アンケート調査によるデータに基づいて課題に気が付いてもらうとともに、授業でも行うマイタイムラインの作成について、松山市危機管理の担当者から講義をしてもらった。マイタイムラインは、災害リスクを知る、そのためにハザードマップを見る、避難ルートを考える、非常持ち出し袋を見直す、情報収集の仕方がわかる、どのタイミングで避難するか前もって行動計画を立てる、そのために話し合うなど、命を守るための要素がたくさん盛り込まれている。したがって、マイタイムラインの作成について知ることは、大事な研修になる。

また、今後は、学校ごとのタイムライン作成につなげていきたいと考え、学校の災害リスクを作成してもらうようにした。学校に赴任した教員誰もがリスクを把握できるよう、作成したものは、マニュアルに添付する。(図20)



<図20 学校の災害リスク作成例>

## (2) ジュニア防災リーダークラブを中心に、子どもを育てる人と人のつながりを促す場の構築

- ① 自主防災会をはじめとする地域や関係機関と連携する場や様々な年齢の子どもが一緒に活動する場の構築

### 事例1<発足式> 異年齢

大学生の学生防災リーダーをサポート役として、2020年は、「私たちの未来は、私たちが守る」を、2021年は、「大切な人の命を守る・つなげる」をテーマとしたワークショップを行った。子どもたちが初めて出会う場である。子どもたちが、積極的に意見を交換した。(図21)



<図21 発足式>

### 事例2<防災キャンプ> 異年齢

リアル避難シミュレーション、クロスロード、災害時の食事など取り入れたデイキャンプを行った。自然豊かな野外活動センターを利用しいろいろなミッションに沿う場を設定した。異年齢のグループを編成し、そこに学生防災リーダーも



<図22 防災キャンプ>

加わった。互いに協力をし、学び合う子どもたちの姿が見られた。こうした活動では振り返りが重要である。グループで話し合い、自分たちの行動に対する思いを共有し、自分の気づきを伝えあった。年齢も近い学生の様子を見て学ぶ姿や、互いに尊重し合う姿が見られた。(図22)

### 事例3<防災まち歩き> 異年齢 自主防災会 関係機関

市内の中心部（大街道、銀天街、ロープウェイ街、高島屋、マツチカ）について、各自主防災や防災担当になっている方に協力をいただき、防災の視点でまち歩きを行った。UDCM とも連携した事業である。そこでの気づきは、防災マップにまとめ、UDCM や市内の施設にも展示をし、市民の方にも見ていただ



〈図 23 防災まち歩き〉

き、街づくりへの提案とした。人が集まる中心部では、普段気が付かないが、様々な備えをしていることを各担当者から直接知ることができ、防災の視点が広がった。(図 23)

### 事例4<まるごと防災 たんけん隊> 自主防災会 企業

地域の自主防災組織の方とジュニアが、企業の施設に行き、企業防災士から「地震に備える」の講義を受けたあと、市内で防災について学べる施設を備えているDCM (株) の「ゆめ・みらい 住まいの創造かん」で、ガラス飛散防止フィルムを張ったり、3D断層図をみたり、家の耐震模型を実際に動かしてみたり体験活動をおこなった。具体物があるため分かりやすく、子どもにも理解しやすかった。また、自主防災会の人との交流も見られた。(図 24)



〈図 24 DCM での体験活動〉

### 事例5<見学会> 関係機関

NEXCO 西日本に協力いただき、開通前の高速道路の工事中のトンネルを見学した。初めて見る機械、工事中のトンネル、そこで働く人々。防災を含めた安全確保、高速道路の役割など専門家の方に聞いて知る驚きがあった。また、将来像の一つになったかもしれない。鹿野川ダムではダムの役割について説明を聞き、富士山からの眺めでは大洲の水害のすごさを知った。ここでは、大洲河川国道事務所に協力いただいた。いずれも、関係機関と連携したからこそできた見学会であった。



〈図 25 トンネル工事現場見学〉

NEXCO 西日本は、トンネル工事や、高速道路の橋梁工事の見学だけでなく、YouTube にも映像を提供してくれている。(図 25)

これらのほかにも、防災士の資格を取得している市会議員との交流や、病院・福祉事業所・保育園などを総合的に経営している企業、地元のスーパー、郵政など、松山市と協定を結んでいるところとの交流についても計画をしている。それぞれ多くの防災士を有している。こうした企業に授業のサポートをしていただいたり、ジュニアと活動をしたり、また、地域と連携した活動をしたりするなど、企業内防災士の研修をしながら、両者にとってより有意義な連携を図ろうとしている。

小学生から高校生まで、異年齢の子がグループになり、そこに大学生も加わる。大人も加わり、様々な人・もの・こととのかかわりができる。人・もの・こととのかかわるとは、どういったことか。年齢が違う、経験が違う、環境が違う様々な人とかかわる。そして、それぞれに専門があり、得意なことがあり、ノウハウを持っている。そこにしかできないこともある。経験知、専門知、地域知などとかかわっていくわけである。かかわりはいろいろな場にある。そのかかわりの中で、思いを紡いでいく。

### 3 成果の展開



＜図 30 ポートフォリオに記述されたジュニア防災リーダーの言葉＞

子どもたちは、地域や社会とかかわり、様々な人とかかわりしながら、自分の言葉で考え、自分の言葉で表現し、いろいろな思いを紡いでいる。様々な意見や思いを聞き、新しい気づきがあり、そのことを基に、思いをさらに深めている。防災への基礎的知識を身に付けるだけでなく、子どもたちからは、感謝の思い、防災意識への気づき、意見を共有することによるコミュニケーション力の重要性、守るべき命・大切な人の命への思い、人への敬意や感謝の気持ちを持ち、命の重みを知る姿が見られた。(図 30)

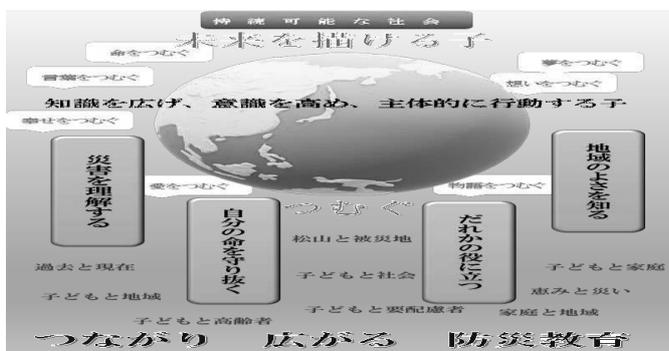
一人一人を大切にし、自分だけでなく、他の命も大切にする。そして、自分を見つめなおし、もっと知りたい、やってみないと、次への行動につなげようとしているなど、自分で考えだし、判断し、行動を始める。自分たちがこれから生きていく未来に向け、もっと実践的に行動し、判断できるようになろうとする。子どもたちは、活動を積み重ねることで、自己有用感を持つようになり、自分を見直し、自己を確立していく。社会の中での役割を意識し、やがて、自分の将来を見据えるようになる。ジュニア防災リーダーを育成することは、地域全体の防災力を高めるだけでなく、一人一人を主体性のある子に育てる人材教育になっている。

子どもたちだけではない。松山市の防災士の数は全国一。子どもを通して、個々の防災士の資格を生かすことができるようになり、また、学校、地域や民間、行政、それぞれの組織をつなぐことにもなっていく。そのかわりが横糸、縦糸となり、命を守るという強い布を、人材を育てるという広く温かい布を紡いでいくことになる。全世代が連携してともに未来を紡いでいくことがとても大事だ。学校や地域を舞台にした子どもが主役の防災教育を進めることで、それぞれの活動が渦のようになり、相乗効果を上げながら、防災への取り組みがより強固になっていく。キーパンソンとなるのは子どもである。

全世代型の防災教育は、命を守る教育であるとともに、人材教育でもあるということをよく

認識して、防災教育に携わってほしい。その考えをいかに広げ浸透させていくか。防災教育の根本となることを理解してこそ、防災教育は継続されていくし、それぞれが自律していく。

子どもたちには、未来がある。学校にも地域にも、企業にも未来がある。子どもたちが主体的に持続可能な社会に向け、未来を描けることができるよう、取り組んでいきたい。



＜図 31 持続可能な社会へ未来を見植える＞

- 1) 文部科学省 防災教育支援に関する懇談会 (第 4 回・第 6 回)
- 2) 新潟県防災教育プログラム 新潟県 2014

# 南海トラフ地震事前復興研究～将来の大人世代への防災事前復興教育～

愛媛大学防災情報研究センター 特定教授 山本浩司  
東京大学大学院工学系研究科 教授 羽藤英二  
愛媛大学大学院理工学研究科 教授 森脇 亮  
愛媛大学防災情報研究センター 客員研究員 新宮圭一

## 1. 研究の目的

東日本大震災から7年が経過した平成30年度(2018年)より、宇和海沿岸地域の5市町(宇和島市、八幡浜市、西予市、伊方町、愛南町)と愛媛県、愛媛大学防災情報研究センター、東京大学復興デザイン研究体が連携して、「南海トラフ地震事前復興共同研究」(以下、「本研究」という)を開始した<sup>1)</sup>(<http://www.cee.ehime-u.ac.jp/~rd/>)。東日本大震災においては、巨大津波が東北沿岸域のまちの多くに壊滅的な被害をもたらし、その日から備えなく困惑と混乱の中で始まったまちの復興(生活再建等)は種々の問題を露呈した<sup>2)</sup>。その難しさに直面する中で、命を守るための「防災」はもとより、被災後のまちの復興までに備える「事前復興」の重要性が改めて強く認識された。

本研究は、歴史上およそ100年～150年の周期で繰り返す南海トラフ地震の発生確率が高まる中、津波災害のリスクが高い宇和海沿岸地域を対象に、来る南海トラフ地震による大規模災害の可能性に適切に対処することを目的に取り組んだものである。「事前復興」に関わる事項を広範に分析し、「事前復興」の骨格となる要素を体系的に定義したうえで、「事前復興」を下支えするための基盤となる要素の構築と課題解決に取り組んだ(図-1)。本文は、令和2年度までの3年間の研究成果のうち、「教育」をテーマに取り組んだ「学校教育(小中高校生の事前復興教育プログラム)」の開発と試行について述べる<sup>3),4),5)</sup>。

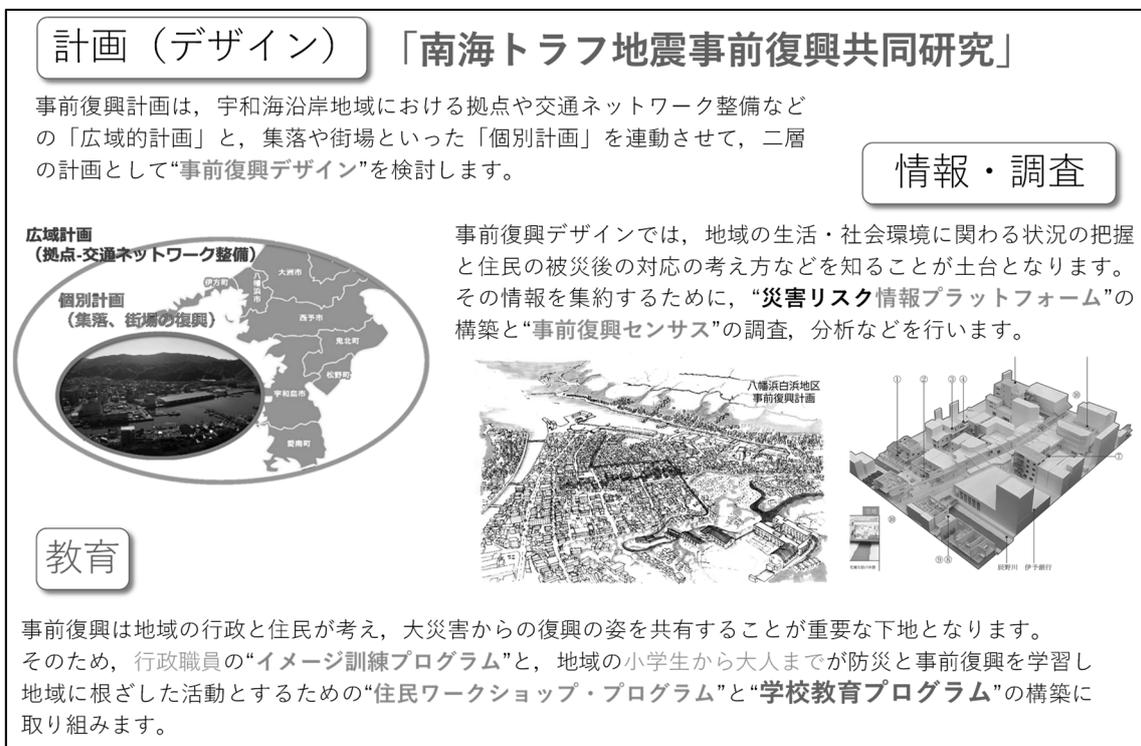


図-1 南海トラフ地震事前復興共同研究の取り組み(赤字が本文の項目)

## 2. 研究の概要

### 2-1 “将来の大人世代”の意味

図2に示すように、周期的に繰り返す南海トラフ地震の発生が数十年後に迫っている。この時間的なサイクルは、今の子ども世代がその人生の中で南海トラフ地震に遭遇する可能性が高いことを意味している。よって、今の子ども世代には、“将来の大人世代”が備えておくべき素養の一つとして大災害に立ち向かうための対応力（知識、思考・判断・合意等）を育む必要がある。また、次回の南海トラフ地震がもたらす被害は、東日本大震災の10倍を超える巨大なケースも想定されている。そのような巨大災害のリスクが現実になったとしても、人々が命を失うことなく、それまでの生活を未来へとつなぐためには、“大災害としないための備え”と“大災害となったときへの備え”となる「事前復興」に取り組む必要がある。そして、それらを担う人材は行政職員等の限られた人のみでなく、地域全体が人材を育み災害対応力のピラミッドを大きくすることが求められる（図-3）。

今の子ども世代は、将来、南海トラフ地震に遭遇する頃には社会や家族の中心を担う年代に達し、まちの復興と生活の再建を中心的に担う立場になっていると想定される。よって、“将来の大人世代”である今の小中高生に対しては、南海トラフ地震の発災時に迅速かつ適切に対応できるように、防災から復興までの知識を学ぶ機会を提供することが、今の大人世代が行うべき責務である。そして、その学びを継続することで、住民や行政のワークショップやトレーニングの活動とともに、地域の災害対応力を高めることにつなげる。

発生率	名称	南海	東南海	東海
1605年 2月 3日 (M=7.9) ↓ 102年後	慶長地震	●	同時	●
1707年10月28日 (M=8.4) ↓ 147年後	宝永地震	●	同時	●
1854年12月23日 (M=8.4) 1854年12月24日 (M=8.4) ↓ 90年後	安政東海地震 安政南海地震	●	32時間後	●
1944年12月 7日 (M=7.9) 1946年12月21日 (M=8.0) ↓ 75年後 (2021年)	昭和東南海地震 昭和南海地震	●	2年後	●
????年??月??日 (M=??)	南海トラフ地震	●		●

図-2 南海トラフ地震の周期的な履歴

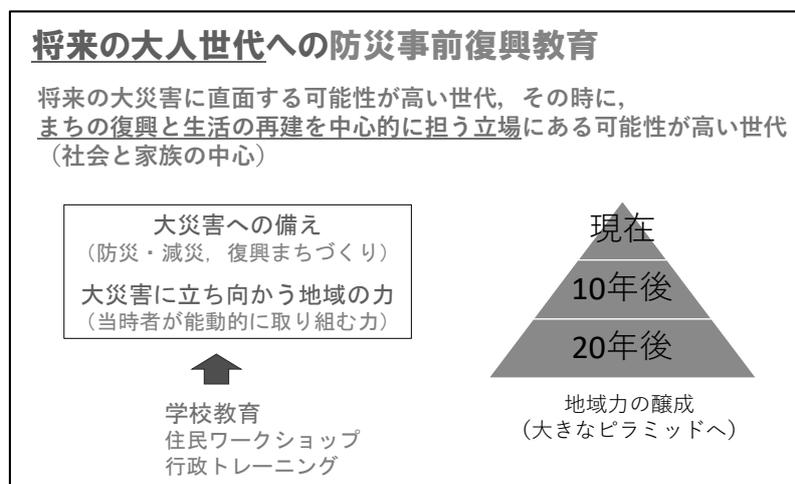


図-3 将来の大人世代への防災事前復興教育の構図（地域の災害対応力の醸成）

## 2-2 事前復興教育の目的

図-4に、大規模災害から命を守り、生活再建と復興まちづくりへと続く時間の推移を示す。大規模災害においては、命を守った後には悲しみと混乱、困惑の中で始まるまちの復興が待ち受けている。住民の立場からは、生活再建までの時間は長ければ10年に及び、それまでには幾多の選択（判断）が求められる。地域に残ることを選択した住民は、まちの復興のあり方を相互に合意形成しなければならぬ。そのため、防災から復興に至るまでに立ち向かう知力と実行力（人材）を育む「事前復興教育」が必要となる。それは全世代にわたり地域が融合しながらともに学び考える取り組みの一部であり、事前復興と災害後の復興を適切に遂行するための基盤となる。「防災教育」はソフト的に人命を守ることにつながるが、「事前復興教育」は避難から復興までのハード・ソフトの両面を支える人的な基盤を構築することを目的としている。

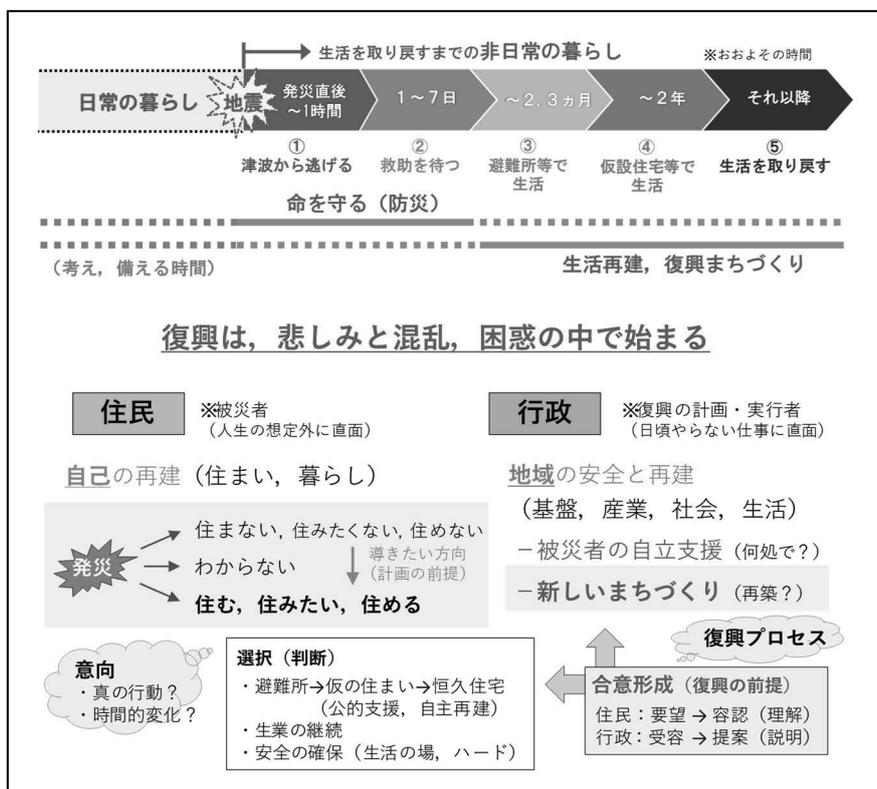


図-4 大規模災害からの生活再建までの復興の時間（防災から復興まで）

## 2-3 事前復興教育の連携

### (1) 地域内の連携

大規模災害に陥ったときに迅速に即効性をもって復興に移行するための体制を備えておくことは、事前復興に欠かせない要素である。その課題の第一は、災害の当事者となる地域の人々が防災と復興の知識を学び、新しいまちづくりの姿を共有することにある。そのため、「事前復興教育」は地域の「住民」と「行政」、そして全世代がつながる学びとする必要がある。

地域内連携の構図を図-5に示す。図には、地域の小学生から高校生までの子ども世代が学ぶ「学校教育」、地域の今の大人世代である住民が学ぶ「住民ワークショップ」、被災者に対する生活再建の支援と復興まちづくりに携わる行政が学ぶ「行政職員トレーニング」の3つの教育（訓練）が示される。そして、各々の「教育」が向かう先は、「全世代で取り組むまちづくり」である。各々の教育活動の継続は「地域の草の根活動」となり、発災後は復興まちづくりを支える力（組織）へとつながる。

## (2) 子ども世代をつなぐ教育

小中高校生への学校教育のプログラムは、前述のように“今の子どもたちが人生の中でいつの日か南海トラフ地震に遭遇する当事者になること”を想定している。よって、人生を歩むために必要な資質を養う通常の学校教育カリキュラムの中に、事前復興につながるテーマを加えることで構成する。各々の段階の学習のテーマと課題は、以下のように設定した。

- 【小学生】“思考の芽生え” … 自然のハザードとまちの重なりが災害になるという視点に立ち、まちの大切なものを調べ、それが失われる可能性と「新たなまちづくり」を考える。
- 【中学生】“思考の形成” … 地域・郷土学習の中で「復興まちづくりのビジョンとプロセス」(復興で大切にしたいもの、郷土と自分、身近な被害からの再建)を考える。
- 【高校生】“概念の再構築” … 社会システム学習の中で「復興の合意形成」をロールプレイング・ディスカッションを通して疑似的に体験する。

このように、「事前復興教育」は、今の子どもたちの成長に沿って“段階的な基礎学習”と“疑似的な体験学習”を重ねることによって、自身が大人世代となった時、いつかその日に命をまもり、大災害へ立ち向かう力となることを目指す。

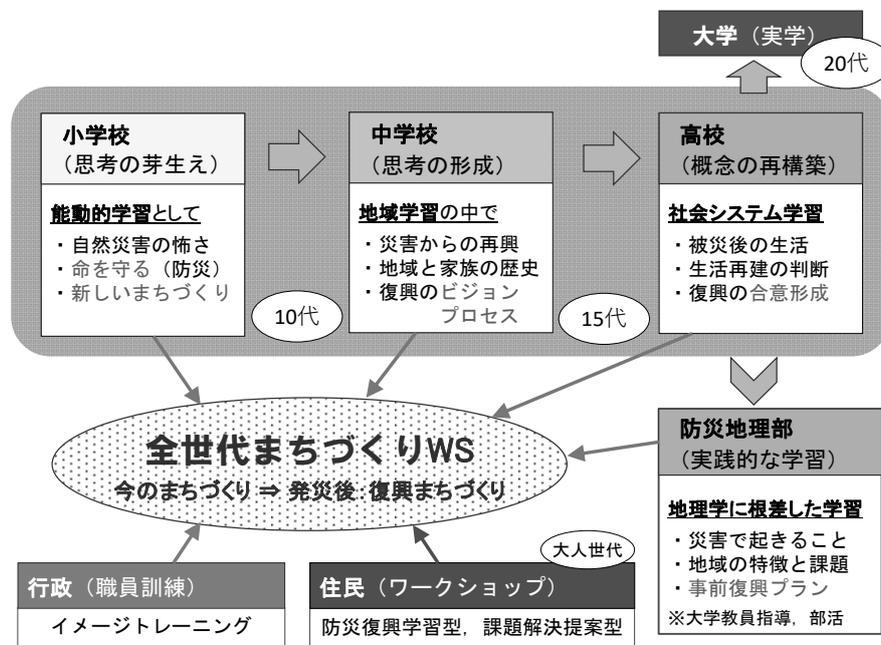


図-5 事前復興教育の地域内連携の構図

## 3. 事前復興の学校教育プログラム

### 3-1 小学生の教育プログラム

小学生の教育プログラムは、“思考の芽生え”をテーマとし、「命を守る」ための防災教育の授業に事前復興のエッセンスを加える形として、“災害発生概念”を学び、災害から「まちを守る」ことや「新しいまちづくり」を考える授業とする (図-6)。

現時点の防災教育の内容は実施の有無も含めて各校の裁量に任されるので、事前復興教育の下地とする防災授業の環境は同様でない。また、防災授業の多くはハザードマップ (正しくは災害マップや防災マップ) の作成に力を入れ、行政等が開示している津波浸水危険域や避難場所等のマップの上に自分たちが (歩いて) 調べた危険箇所を重ねてマップにするという学習の形式が主流である。本プロ

グラムは、災害（大規模災害）という事象の出現を、“災害とは何か？”という観点から、ハザード（自然の巨大な力など、危険の原因）と社会環境（まち）が重なることで災害が発生するという概念を学びの基礎とする。これより、まちの宝（日頃の生活を支えているもの、歴史・文化など）を守る、または作り直すという視点を重ねることで、防災教育に事前復興のエッセンスを付加する。

ただし、学習の進め方や授業素材の準備等の組み立ては、各校の事情を阻害しないように教員の指導（工夫）に委ねる。一例として、写真-1に八幡浜市立川之石小学校での試行授業風景の主要な一部を示す。まちの大切なものを考え、それが津波災害の危険性を孕むことを認知させている。



図-6 小学生への事前復興教育の学習課題（災害発生 の概念）

川之石小学校 ※ 1 時限目終了後の宿題

川之石小学校6年生が考える事前復興  
【考えてみよう！家族と話し合ってみよう！】

考える・話し合う内容	もの・人・建物	なぜ？ (どこに?)	どうする？ (どんな工夫?)
① 1日でもない(いない)とこまるもの (壊れるなくなるとこまるもの)			
② すこしの時間なくてもよいもの (壊れてもすぐ立て直せばよいもの)			
③ 時間をかけても必要なもの (壊れてもいつか立て直さなければならないもの)			
④ 昔からある大切なもの (ずっと残していく必要があるもの)			
⑤ 新しく作る必要があるもの (今はないが、これから必要になるもの)			
⑥ その他 (調べること、知っておく必要があることなど)			

2 時限目：まちの大切なものを知る

宿題の結果（考える、家族と話し合い）  
⇒ もの・人・建物の付箋を準備

2 時限目：まちの大切なものを知る

考えたこと、調べたことを発表

- ① もの・人・建物の意見（付箋）を貼る
- ② 位置落とし（シール）
- ③ 理由を添えて発表

意見の貼りつけ

位置落とし（シール）

発表

2 時限目：まちの大切なものを知る

建物等の位置を落とし、たマップに津波ハザードを重ねる  
⇒ 災害の可能性を認知

写真-1 小学校教育プログラムの試行授業（八幡浜市立川之石小学校の2時限目）  
（まちの大切なものを考え、調べて発表し、地図にその位置を落として津波浸水ハザードと重ねる）

### 3-2 中学生の教育プログラム

中学生の教育プログラムは、“思考の形成”をテーマに、地域学習（郷土学習）の授業に事前復興のエッセンスを加える形とし、「復興まちづくりビジョン」や「復興プロセス」を学習課題として地域が被災した時の“復興のあり方”を考える授業とする（図-7）。

最近の中学生の学習カリキュラムには「地域学習（郷土学習）」が取り入れられることが多い。これは、郷土愛と地元で根ざした人材の育成を図り、郷土を知ること、より郷土への愛着と誇りを喚起させるための教育である。この総合的な学習においては、自己の生き方を考え、よりよく生きていこうとする態度を養うことが目標となる。一方で、この学習は地域に潜在する自然災害の可能性に対して、“大災害が発生して地域（まち）が壊滅的なダメージを受けたとき、私たちは「復興」のまちづくりに取り組まなければならない”という視点にも通じる。復興の軸とすべきは、地域を思う心であり、地域の大切なものを守るという姿勢である。自分が生きる地域を様々な角度から見つめ、そこに生きる自己の存在を価値づける学びは、「復興まちづくりビジョン」を考えることにつながる。

また、災害により失われた郷土の大切なものの再建を考えることは、小学生のときに考えたまちづくりのアイデアを進化させて“思考の形成”につながる。身近に起こる被害（例えば、自分が通う中学校が被災した場合）をイメージし、それを再生するための手順を考えてみることは、実際の「復興プロセス」に対する思考を育むことになる。



図-7 中学生への事前復興教育の学習課題（復興のあり方）

### 3-3 高校生の教育プログラム

高校生の教育プログラムは、「復興の合意形成」を学習課題とする。将来的には、高校生の学習は小学生と中学生の学びからその後の知識の蓄積と思考力の高まりを経て、地震現象（ハザード）とまちの分析から地域に起こる災害を想像し、“概念の再構築”として事前復興まちづくりの具体案を作成するまでを期待したい。しかし、現時点では授業カリキュラムの中にそこまでの内容を入れることは時間的にも困難なので、その前段として大災害からの復興における様々な状況を疑似的に体験するために、“大災害において起こること”を学習し、大災害の当事者となった場合の生活再建に関わる住民間や家庭内の「合意形成」をテーマとして多面的・多様な視野から復興への理解を深めることを学習課題とする。なお、この教育プログラムは、事前復興の学習であるとともに、人生の素養を学ぶ社会システム学習の中のテーマとしても位置づけられる（図-8）。

大災害からの復興において地域の住民と行政が直面する立場は図-4 の下半に示したようである。被災者となる住民は人生の想定外に直面する中で復興まちづくりに関わる当事者となる。被災住民は混乱と困惑、さらに悲しみの中で“自己の再建（住まいと暮らし）”を考えることになり、そこでは

まず災害で失われたまち（それまで暮らしていた場所）に今後も住むか否かの選択（判断）が求められる。一方、行政に携わる人々（職員）には平時にはない仕事が膨大かつ大量に押し寄せ、“被災者の自立支援”と“新しいまちづくり”のために、地域の安全と再建を踏まえた復興まちづくりを担うことが求められる。そのような状況下で、復興を進めるための前提として地域の住民同士や住民と行政が復興に至るまでの合意形成を適切に行い、地域の総意としてより良く質の高い復興まちづくりが実施されるように努めなければならない。高校生にはそのような復興のあり方を学習課題とする。

具体的には、ロールプレイングの立場として地域住民を仮想し（図-9）、生徒個人または数人のグループがその立場になって合意形成の手順を疑似体験する。各立場の住民カードには、あなたの立場、年齢、家族構成、まちへの思い、将来への希望、年収、借金、受けた被害の内容が記してある。合意形成のテーマは、①この地域に住み続けるか？ ②復興計画の一案として高台への防災集団移転に賛成か反対か？を据えている。各テーマについて、立場の入れ替えも行って立場の違いによる意見の変化も経験しながら、相手の意見を聞き自己の考えを述べて合意形成とするまでを疑似的に体験する。写真-2 に愛媛県立宇和島東高校での試行授業の風景を示す。

また、授業を補助する技術として ICT の活用も積極的に行う。例えば、試行授業ではロイロノートスクール（iPad を使用）を用いることによって、各々の立場で考えた意見を全員で確認することなどが容易となる。

**【高校生の学び】**  
 ※「社会システム」の学習の中で復興の合意形成を疑似体験する  
 ロールプレイング・ディスカッション



○居住場所  
津波災害を受けた範囲  
仮想のまち

住民A  
企業  
住民B

---

「事前復興」をテーマとした  
 ロールプレイング・ディスカッション学習の趣旨

【学習の目的】

- ・社会には、立場の違いによる意見の対立が常に存在する。
- ・それを乗り越えて、社会が前進するためには、よりよい「合意」が求められる。
- ・その達成には、事実を俯瞰的に眺め、思慮深く意見を述べる力が必要とされる。
- ・「災害からの復興」においても立場の違いがある。これを一つのテーマとして、ロールプレイング・ディスカッションを介して“視野を広げる学習”ともする。

■立場による意見対立の存在

- ・意見の対立は、“利害関係”や“立場の違い”があるかぎり常につきまとう。そして、利害関係の内側は泥臭く、外側は綺麗な意見であることが多い。
- ・よりよい「合意」は、相手の考えを理解し相互に評価することより導かれる。

■よりよい「合意」とは

- ・それは“結論”（答）ではなく、関わる人たちの“選択”であり“決断”である。
- ・その過程は、相手を言い包めることではない。安易な多数決でもない。
- ・意見を出し合い、視野を広げて互いにより深く考えることが前提となる。

図-8 高校生への事前復興教育の学習課題（合意形成）

カード	R1	R2	R3	R4	R5	A1	A2	C1
立場	住民	住民	住民	住民	住民	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p><b>住民カード：R01（農家）</b></p> <p>あなたの立場：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・あなたは、若手のみかん農家だ。</li> <li>・この地域の歴史あるみかん産業を担っている。</li> </ul> <p>年齢：35歳（働き盛りに入ろうとしている）                      家族：3世代6人家族                      両親60歳、妻35歳、子供（2人；小学校低学年）</p> <p>まちへの思い：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・太陽の恵み豊かな中で育ったこのまちが大好きだ。</li> </ul> <p>将来への希望：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・みかんをブランド化して発展させたい。</li> <li>・将来、子供にも後を継いでほしい。</li> </ul> <p>年収：500万円（親の収入含む） 家：持ち家                      借金：農機具ローン200万円</p> <p>受けた被害：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・津波で住む家を失った。</li> <li>・裏山の農地の半分が崩壊したが、残ったみかんの木には被害なし。</li> </ul> </div>		
職業等								
年齢	35	35	35	45	45			
被災	あり	あり	あり	あり	あり			
カード	R6	R7	R8	R9	R10			
立場	住民	住民	住民	住民	住民			
職業等								
年齢	55	55	55	35	75			
被災	なし	なし	なし	なし	なし			

○居住場所  
津波災害を受けた範囲  
仮想のまち

図-9 ロールプレイングの立場（住民）（自分が大人になったとき、家族の中心にいることを想定）



写真-2 高等学校校教育プログラムの試行授業（愛媛県立宇和島東高校；復興計画の賛否）

#### 4. まとめ

「南海トラフ地震事前復興共同研究」において取り組んだ「学校教育（小中高校生の事前復興教育プログラム）」の開発と試行について述べた。本教育プログラムは、大人世代として南海トラフ地震に遭遇することになるであろう今の小中高校生に、その日が現実となった時に迅速かつ適切に対応できるように、防災から復興までの知識を学ぶ機会を提供するものである。これより各々が大災害に立ち向かう力を醸成することは、「事前復興」として地域全体の災害対応力を高めることにつながる。

本教育プログラムは、小中高校生の順に“思考の芽生え”，“思考の形成”，“概念の再構築”をテーマとし、小学生は“災害発生の概念”を学び、災害から「まちを守る」ことや「新しいまちづくり」を考えること、中学生は地域学習（郷土学習）において「復興まちづくりビジョン」や「復興プロセス」を学習課題とし地域が被災した時の“復興のあり方”を考えること、高校生は「復興の合意形成」を疑似体験することを学習課題とした。これらの内容は試行授業を重ねて具体化した<sup>3)</sup>。今後は、「教育」の地域内連携を視野に、各校への紹介と授業採用の推進に努めながら、地域への定着を図る。

#### 参考文献

- 1) 全邦釘, 森脇亮, 山本浩司, 新宮圭一, 薬師寺隆彦, 矢田部龍一, 羽藤英二, 萩原拓也, 井本佐保里: 宇和海沿岸地域の南海トラフ地震事前復興デザイン共同研究の取り組み, 第13回南海地震四国地域学術シンポジウム, 土木学会四国支部, pp.41-48, 2018.
- 2) 薬師寺隆彦, 山本浩司, 新宮圭一, 全邦釘, 森脇亮: 東日本大震災の復興における地域特性と宇和海沿岸地域の課題について, 第13回南海地震四国地域学術シンポジウム, 土木学会四国支部, pp.57-66, 2018.
- 3) 宇和海沿岸地域 南海トラフ地震事前復興共同研究: 南海トラフ地震えひめ事前復興推進指針 別冊4 事前復興「教育」学校教育～小中高校生の事前復興教育プログラムと試行事例～, 62p., 2021.
- 4) 山本浩司, 森脇亮, 薬師寺隆彦, 新宮圭一, 矢田部龍一, 大橋淳史: 宇和海沿岸地域の南海トラフ地震事前復興のための教育プログラムの提案と試行, 第14回南海地震四国地域学術シンポジウム, 土木学会四国支部, pp.49-58, 2019.
- 5) 山本浩司, 森脇亮, 大橋淳史, 羽藤英二, 窪地育哉: 学校教育の中で学ぶ事前復興～高校生ロールプレイング・ディスカッション～, 第15回南海地震四国地域学術シンポジウム, 土木学会四国支部, pp.75-84, 2020.

# 四国地域における 社会基盤メンテナンスエキスパートの養成

山本 浩司<sup>1</sup>・森脇 亮<sup>2</sup>・全 邦釘<sup>3</sup>・吉井 稔雄<sup>4</sup>・森 伸一郎<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 愛媛大学教授 防災情報研究センター (〒790-8577 松山市文京町3)  
E-mail:yamamoto.Koji.wo@chime-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 愛媛大学教授 大学院理工学研究科 (〒790-8577 松山市文京町3)  
E-mail:moriwaki@cee.chime-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 愛媛大学准教授 大学院理工学研究科 (〒790-8577 松山市文京町3)  
E-mail:chun.pang-jo.mj@chime-u.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 愛媛大学教授 大学院理工学研究科 (〒790-8577 松山市文京町3)  
E-mail:yoshii.toshio.mk@chime-u.ac.jp

<sup>5</sup>フェロー会員 愛媛大学准教授 大学院理工学研究科 (〒790-8577 松山市文京町3)  
E-mail:mori.shinichiro.mz@chime-u.ac.jp

我が国の社会基盤は、今後、急速に建設後50年の高齢化の時代を迎える。一方で我が国の社会情勢は、少子高齢化による人材（技術者）の不足や予算の不足が顕在化する時代となる。特に、四国地域のような社会環境の縮退が進みつつある地方圏においては、その両者の負荷は一段と厳しい。そのような社会基盤の脆弱性の増大をくい止めるためには、技術的な革新とともに、俯瞰的な視野から各自の専門や所属の立場を越えて地域の総力でもってマネジメントに取り組む体制とそれを担う人材を育成することが必要とされる。本論文は愛媛大学による「社会基盤メンテナンスエキスパート（ME）養成講座」の構築について、5年間の試行によるカリキュラムの特徴と養成される四国MEの技術者像、その育成効果などを述べる。

**Key Words :** *Infrastructure, Maintenance Expert, Shikoku region, Human resources development*

## 1. まえがき

我が国の社会基盤の多くは高度経済成長期（1954年12月～1973年11月における年平均10%以上の経済成長の期間）に建設が始まったため、1970年代をピークに分布する多数の施設が急速に建設後50年の高齢化を迎える日が目前に迫りつつある。例えば、道路橋梁が供用年数50年を越える割合は10年後には全国で約半数に急増し、30年後には8割程度にまで達する<sup>1)</sup>。この時間的な推移は社会基盤の多くに老朽化の症状をもたらし、我々がこれまでに当たり前のように享受してきた生活基盤の利便性や快適性を奪い、さらには根本的に守るべき安全性すらを失わせることになりかねない。その上、我が国は少子高齢化による人材（技術者）の不足や予算の不足が顕在化する社会情勢が覆いかぶさる中にあり、社会基盤の健全性を維持するための対処は困難を極めることになる。特に、四国地域のような、例えば生産年齢人口の減少が続く（2015年の約220万人が2045年には約140万人（約60%）に

なると推計される<sup>2)</sup>）といった社会環境の縮退が進みつつある地方圏においては、その舵を取ることすら儘ならない時代が到来しようとしている。そのような社会基盤の脆弱性の増大をくい止めるためには、技術開発により各種構造物の点検・補修・補強を高度化することはもちろん、俯瞰的な視野から各自の専門や所属の立場を越えて地域の総力でもってマネジメントに取り組む体制とそれを担う人材を育成することが必要とされる。

そのような背景のもと、2008年頃より岐阜大学や長崎大学を先陣に社会基盤に関する維持管理技術者の育成の取り組みが始まった<sup>3)4)</sup>。そして愛媛大学では2013年度に「社会基盤メンテナンスエキスパート（ME）養成講座」（地域ニーズに応えるインフラ再生技術者育成のためのカリキュラム、以下「ME養成講座」という）を開設し、四国地域の社会基盤の高齢・老朽化に適切に対処するために、産官学協働のもとで「四国メンテナンスエキスパート（四国ME）」の育成を進めている<sup>5)11)</sup>。

本論文では、2013年度から5か年の試行を重ね構築さ

れた2017年度（平成29年度）の最新（最終版）のカリキュラムの特徴とその育成効果，それより養成された四国MEの技術者像について報告する。

## 2. ME養成講座の概要

愛媛大学のME養成講座は，文部科学省の「成長分野等における中核的専門人材養成等の戦略的推進事業」（平成26～28年度）および「専修学校による地域産業中核的人材養成事業」（平成29年度）における「地域ニーズに応えるインフラ再生技術者育成のためのカリキュラム設計」としてその構築に取り組んだものである。

### (1) 目的

本養成講座は，図-1のように新たな社会基盤の整備，既存社会基盤の維持管理・補修の計画・設計・実施技術を習得し，地域の活性化に貢献できる人材としての社会基盤メンテナンスエキスパート（ME；いわば社会基盤の“目利き”）を育成することを目的としている。また，地震，津波，洪水，土砂災害など地域が抱える災害リスクや災害時の構造物被害，災害に強い構造物設計，平時の管理手法についても学ぶことで，愛媛や四国の地域特性を踏まえて地震災害や豪雨災害など防災に関しても地域の核となる技術者の育成を目指している。

### (2) 得られる資格

ME養成講座は，2016年度（平成28年度）より愛媛大学の「履修証明プログラム」として文部科学省の「職業実践力育成プログラム（BP：Brush up Program）」に認定された。これより，本講座を受講終了し，その後実施する筆記試験（択一問題試験と論述問題試験）と面接試験（論述内容のプレゼンテーション）よりなる認定試験において一定基準以上の成績を修めた受講生には本講座の履修証明書が交付され，「四国メンテナンスエキスパート（四国ME）」の資格が授与される。なお，認定試験の設問と採点は本養成講座の運営委員会が携わり，不合格者には次年度以降の再受験も認めている。

また，四国MEは四国に本拠を置く機関・団体では初めて，国土交通省の規定を満たす“公共工事に関する調査及び設計等の品質確保に資する技術者資格”（民間資格）として2017年（平成29年）2月より認められた。ME四国の民間資格が対象とする分野は表-1のとおりである。これより，国土交通省では総合評価落札方式における加点評価などの措置を通じて保全業務の委託が受けられやすくなった。このような資格の付与は，ME資格の価値を位置付けるものであると同時に，その取得（ME養成講座の受講）を促す動機にもなるものであり，今後も他方面での実績を重ねる必要がある。

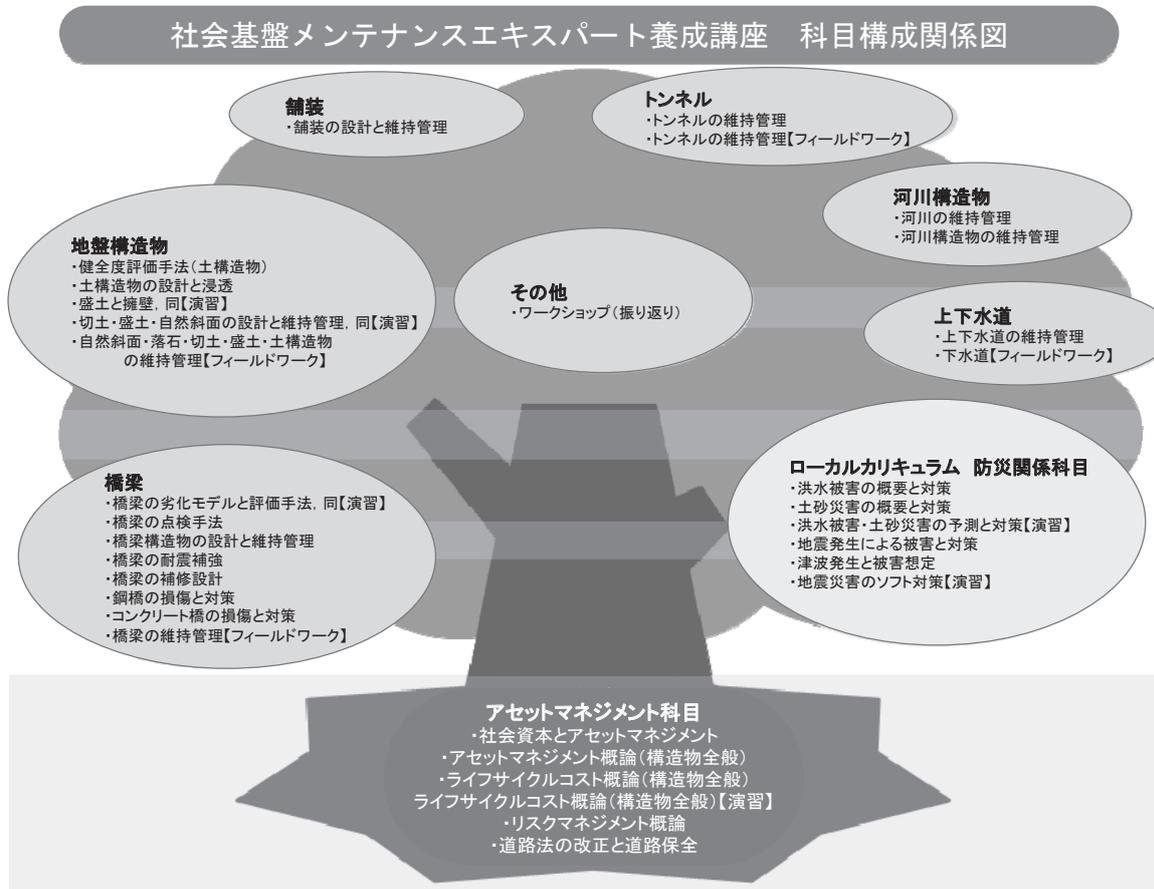


図-1 社会基盤メンテナンスエキスパート養成講座の科目構成関係図（平成26年度）<sup>9)</sup>

表-1 ME 四国の民間資格が対象とする分野

施設分野	業務	知識・技術を求めるもの
橋梁（鋼橋）	点検／診断	担当技術者
橋梁（コンクリート橋）	点検／診断	担当技術者
トンネル	点検／診断	担当技術者

### (3) 地域の支援体制

本ME養成講座の開設にあたっては、関連団体が参加して「愛媛社会基盤メンテナンス推進協議会」が結成された。表-2に現時点における参加団体の一覧を示す。本協議会は、愛媛大学防災情報研究センター・理工学研究科環境建設工学コース、国土交通省四国地方整備局、愛媛県、愛媛県内の20市町、民間建設関係団体等が連携し、今後の地域の社会基盤の急速な老朽化に対して調査、研究、情報交換を行い、地域のインフラ再生を担う中核の人材を育成することを支援している。

## 3. ME養成講座のカリキュラム構成

ME養成講座の構築では、2013年度（平成25年度）に試行的に3日間の講座を実施し、2014年度と2015年度は計10日間の講座を実施した。そして、2016年度からは愛媛大学の「履修証明プログラム」の要件を満たすために計12日間（履修時間：121.5時間）のカリキュラムとなった。なお、それ以前の2014、2015年度の受講生については、2016年度に、各年度では未実施であった新科目とeラーニングの追加受講をおこなった上で、認定試験のうちの択一問題試験（論述問題試験と面接試験は実施済み）を受験し、合格者に四国MEの資格が授与された。

### (1) カリキュラムの構成と特徴

ME養成講座のカリキュラム構成はインフラマネジメント、社会基盤（道路・橋梁・トンネル・港湾海岸構造物・河川構造物・斜面等の地盤構造物・下水道）のメンテナンス、地域の地盤特性と災害などの科目からなり、

それぞれの科目は座学形式の講義からグループによる演習、フィールドワーク（現地実習）につながるようにそれぞれ設計されている。そして演習やフィールドワークを多く取り入れ、点検、診断、補修についてのグループワークを通して深い理解を得られるよう工夫されている。なお、以上の12日間のカリキュラムを受講する前にはWeb上でeラーニングにより「橋梁構造物の維持管理」を事前に学習する。この受講修了は同システムより発行される修了証書の提出をもって確認する。

表-3、4に現時点の最終構成である2017年度（平成29年度）のカリキュラムを示す。本カリキュラムの特徴は、授業科目の組み合わせを科目シリーズとして明確化し、日を追うごとに順序立てて学べるように構成されていることにある。また、フィールド実習等に時間的余裕を持たせ、さらに第11、12日にはそれまでの学習をより深化させるための科目を新たに配置している。例えば、最終日となる第12日には「インフラマネジメント(2)」として、これまで学習したことを包括的に考えるため、ライフサイクルコストとリスクマネジメントについてまず学習し、そしてメンテナンス技術者倫理（MEが有すべき技術者としての姿勢）について考え、ワークショップ（各構造物のメンテナンスの課題の抽出と体系化をグループ検討し、本養成講座における学習の総括）が行われる。

これらのカリキュラムを担当する講師は、愛媛大学理工学研究科環境建設工学コースと防災情報研究センターをはじめとする大学教員14人に加え、国・県・市・民間企業等から当該分野の経験豊富な専門家22人で構成される。さらに、本養成講座を修了した四国MEが自身のフォローアップ研修も兼ねて授業補助に協力している。

表-2 「愛媛社会基盤メンテナンス推進協議会」の参加組織（平成30年5月現在）

愛媛大学 防災情報研究センター／理工学研究科環境建設工学コース、国土交通省 四国地方整備局企画部／松山河川国道事務所・愛媛県庁 土木部管理局土木管理課・松山市役所 総務部技術管理課・今治市役所 都市建設部道路課・宇和島市役所 建設部建設課・八幡浜市役所 産業建設部建設課・新居浜市役所 建設部道路課・西条市役所 建設部建設道路課・大洲市役所 建設部建設課・伊予市役所 産業建設部土木管理課・四国中央市役所 建設部建設課・西予市役所 産業建設部建設課・東温市役所 産業建設部建設課・上島町役場 建設課・久万高原町役場 建設課・松前町役場 産業建設部まちづくり課・砥部町役場 建設課・内子町役場 建設デザイン課・伊方町役場 建設課・松野町役場 建設環境課・鬼北町役場 建設課・愛南町役場 建設課・西日本高速道路(株)四国支社・(一社)愛媛県建設業協会・愛媛県土木施工管理技士会・(一社)建設コンサルタント協会四国支部愛媛県部会・(一社)愛媛県測量設計業協会・(一社)全国地質調査業協会連合会 四国地質調査業協会愛媛支部・愛媛県管工事協同組合連合会・(一社)全国特定法面保護協会 四国地方支部 愛媛県事務所・愛媛県法面工事業協同組合・NPO法人 愛媛県建設技術支援センター・愛媛県技術士会

表-3 平成 29 年度社会基盤 ME 養成講座のカリキュラム構成の枠組み

講座期間	科目シリーズ
前期 (第 1～2 日)	インフラマネジメント(1)
(第 3～5 日)	橋梁のメンテナンス
中間 (第 6～7 日)	トンネルのメンテナンス, 下水道のメンテナンス
後半 (第 8～10 日)	港湾・海岸施設, 河川構造物, 斜面・擁壁の各メンテナンス
(第 11～12 日)	地域の地盤特性と災害, 維持管理の現状, 維持管理の新技术, インフラマネジメント(2), メンテナンス技術者倫理, ワークショップ

表-4 平成 29 年度社会基盤 ME 養成講座のカリキュラム構成の枠組み

科目枠	開催日	1時限目 (8:30～10:00)	2時限目 (10:20～11:50)	3時限目 (12:40～14:10)	4時限目 (14:30～16:00)	5時限目 (16:20～17:50)	(18:30～20:00)
前半	1 10/19 (木)	開講式 ガイダンス	総論	インフラマネジメント(1) アセットマネジメント	劣化モデル	グループ研究	講義等の レポート作成
	2 10/20 (金)	道路 (舗装, 附帯設備)					
	3 10/23 (月)	橋梁のメンテナンス		(フィールド実習, 演習)			
	4 10/24 (火)						
	5 10/25 (水)						
中間	6 11/1 (水)	トンネルのメンテナンス	下水道 (管路)のメンテナンス				
	7 11/2 (木)	(フィールド実習, 演習)					
後半	8 11/6 (月)	港湾・海岸施設のメンテナンス	(フィールド実習, 演習)		グループ研究	(ME報告会)	
	9 11/7 (火)	河川構造物のメンテナンス	(演習)				
	10 11/8 (水)	斜面, 擁壁等のメンテナンス	(フィールド実習, 演習)				
	11 11/9 (木)	地域の地盤特性と災害	維持管理の現況と新技术				
	12 11/10 (金)	インフラマネジメント(2) LCC, リスクマネジメント	メンテナンス 技術者倫理	ワークショップ	閉講式		
eラーニング (橋梁構造物の維持管理:受講前の学習)							

座学	54.0 時間	36 コマ
演習	7.5 時間	5 コマ(実習内含む)
実習	22.5 時間	15 コマ
グループ研究	6.0 時間	4 コマ
レポート作成	18.0 時間	12 コマ
eラーニング	13.5 時間	9 コマ
	121.5 時間	(1コマ=1.5時間)

## (2) ワークショップ

講座の最終日に配置するメンテナンス技術者倫理とワークショップは2017年度に取り入れた科目である。これは、各フィールド実習の終わりに行うグループワークと同じく、養成講座全体に対するまとめとして実施する。

ここではワークショップの意図と講義内容を述べる。

ワークショップの目的は、①受講成果の深化と維持管理に関わるグループ思考力の育成と成果の具現化、②維持管理に関わる社会的情報発信の取組み、③現役の履修合格者 (ME) との協力学習による社会的連携の初期構

築, ④MEの継続教育である。つまり, 受講生の学習の総括をおこなうとともに, 講座を修了した現役の四国MEのフォローアップ研修の意味合いも持たせている。

講義内容は, 「今後の維持管理の課題」をテーマとし, MEの進行補助のもと, 専門分野(構造物)毎の班分けでKJ法<sup>12)</sup>による課題の抽出・整理と解決策の提案などのとりまとめ(ワーク)を行い, 各班の成果を発表して討論をおこなう。各班の成果はグループレポートとしてとりまとめ提出する。ここで, 成果の文書化(論文化)は各班指導MEと班員が進め, 関係講師らは監修する。文書化等により期待される副次的な効果は, 学習成果が形として“見える化”され, 各人それぞれに理解が深化すること, ME(修了生)の活動への継続的な学びの機会となることなどが挙げられる。写真-1にワークショップにおける各段階の状況写真を示す。

初めて実施した2017年度の講義では, 31人の受講生を各々の専門分野別に班分けすることと, 各班のワークを支援するファシリテーターを置くことに留意した。そのため, 前者については各受講生が専門とする分野(構造物)を事前にアンケート調査し, さらに行政と民間企業に所属する立場からの意見が均等に議論に加わるように両者のバランスにも留意して班分けを行った。橋梁班3組, トンネル班1組, 斜面班2組, 港湾・海岸班1組が今回の構成である。後者については, 四国ME(講座の履修者)より有志を募り, 彼らにもワークショップの流れを十分に理解してもらうために本番の講義に先立って同様の手順によるプレワークショップを行った。次年度からは本年の講義の履修者がその役割を担うことになる。

以上の準備に基づき, 本ワークショップの進行は講師による手順説明, 各班内におけるワーク, 途中段階での講師やMEによる指導やグループ内の討論の順に進め, 最後にまとめた成果をグループ発表して討議を行う手順とした。各班ともに各構造物における今後の維持管理について, 明らかに本養成講座の受講により得た知識と視野が反映された内容が示されたことから, 目標とした学習の深化につながる効果の一端がうかがえた。ただし, 各成果を熟読すると“解決策の提案”にまで至っていない一面があり, その点は今後の指導で留意・工夫すべき課題である。また, レポート作成については, 養成講座終了後の対応となるため受講生への負担が大きくなった。次年度からは希望者に対して指導を行う形に変更することなども検討中である。

上述したように, 進行補助を担当するME(7名)には事前の説明とプレワークショップを行い, この成果についてもレポート作成を依頼した<sup>13)</sup>。これはME資格取得後の自己評価と再研修の機会を提供することでもあり, 今後, 他の修了生にも同様なワークショップを展開することでフォローアップ学習としての効果も期待される。



写真-1 ワークショップの状況  
(手順説明, ワーク, 指導, グループ発表・討議)

#### 4. 四国MEとその育成効果

前述のように, 本ME養成講座は, 受講生が目指す人材像として「社会基盤のアセットマネジメントならび長寿命化の観点に立って, 俯瞰的に社会基盤の維持管理を行うことができ, 愛媛や四国の地域特性を踏まえた地震災害や豪雨災害などに対する防災に関しても地域の核となる技術者を育成する」ことを目指している。具体的な目標は以下のとおりである。

- 1) 実践知(実務経験)と形式知(技術理論と倫理観)を併せ持つ技術者
- 2) 発注者と受注者が同等の知識/知識レベルを持ち対等な事業の取り組みができる技術者
- 3) どの地域でも適用可能な基礎技術とそれを応用できる技術力を有する技術者
- 4) 地域に根ざした技術者

以下, 四国MEの現時点の構成を示し, 本養成講座の育成効果を受講前後のメンテナンスに対する意識等の変容調査(アンケート)と実力診断試験の2種の調査データより垣間見る。

(1) 四国MEの構成

2014～2017年度（平成26～29年度）の4年間で四国MEは計97名に達した。表-5と表-6に四国MEの所属構成と年齢構成を示す。

所属先については、行政機関と民間会社の大きな括りでは両者はほぼ同数で約50人が四国MEを取得している。これは、産官学協働のもと四国メンテナンスエキスパートの育成を進めるという主旨に沿った結果として望まし

い。ただし、細かく見れば、行政機関では表には示されないがMEが0人の市町もまだ残されていること、民間会社ではコンサルタント勤務者が6割を占め、施工を担う建設会社のMEはわずか4名に留まっていること、測量会社等からの参加が2017年度で多くなったこと（これは開催情報が拡散したことや測量会社の業務受託が多い港湾・海岸施設に関する科目が新たに加わったことが影響した）などのようなアンバランスさがうかがえる。これ

表-5 四国MEの所属構成

年度	行政機関				民間会社				
	国交省	愛媛県	市	町	公益会社	コンサル	建設会社	測量会社	その他
2014(H26)	1	2	6	1	2	8	2	1	1
2015(H27)	1	2	6	4	1	5	1	0	1
2016(H28)	1	2	6	0	1	9	0	2	0
2017(H29)	1	5	5	3	1	9	1	4	2
合計	4	11	23	8	5	31	4	7	4
	46				51				

表-6 四国MEの年齢構成

年齢 年度	20代		30代		40代		50代		60代
	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64
2014(H26)	0	1	3	4	7	6	3	1	1
2015(H27)	0	1	3	8	7	3	0	0	0
2016(H28)	0	3	1	7	8	4	0	1	0
2017(H29)	2	2	10	4	7	4	0	2	0
合計	2	7	17	23	29	17	3	4	1
	9		40		46		7		1

※年齢はME養成講座の受講時

表-7 変容調査のアンケート調査の設問内容

	設問	回答レンジ
A	あなたは、日常の業務の中で、インフラ施設をその施工から、点検、診断、補修、維持管理、廃棄に至るまで <u>全体の流れの中に位置付けて検討</u> することがありますか？	1) 全くない 4) どちらとも言えない 7) とてもよくある
B	あなたは、日常の業務に関わりなく、地域におけるインフラ施設を一つ一つに対して、 <u>健全な状態に維持</u> できるように、常日頃より気にかけていますか？	1) 全く気にかけてない 4) どちらとも言えない 7) とても気にかけている
C	あなたは、日常の業務に関わりなく、 <u>市民がインフラ施設を安全で快適に利用できる</u> ように、常日頃より気にかけていますか？	同上
D	あなたは、地域におけるインフラ施設を大切に <u>維持管理する仕事に誇り</u> を感じますか？	1) 全く感じない 4) どちらとも言えない 7) とても感じる
E	あなたは、インフラ施設の整備や維持管理を通じて、我が国の国土や <u>地域の保全に貢献</u> することに <u>誇り</u> を感じますか？	同上
F	あなたは、ご自身が所属する組織の外に、インフラ施設の整備や維持管理について相談したり話し合える人はどの程度いますか？	1) 全くない、 2) 1人～4人程度、 3) 5人～10人程度、 4) 10人～24人程度、 5) 25人～49人程度、 6) 50人以上
G	あなたは、地域におけるインフラ施設を大切に <u>維持管理することの重要性を市民に向けて積極的に伝えていきたい</u> 、と思いますか？	1) 全く思わない 4) どちらとも言えない 7) とても思う

らの点は今後の講座運営を介して解消を目指す。

次に、年齢構成（ME養成講座の受講時の構成）については、30歳代と40歳代が多数で40歳前後の比率が高い。ME養成講座の受講要件は基本的に大学卒業相当かつ3年以上の実務経験なので、本講座が黎明期にある現時点では組織内で中心的な役割を担う人材から派遣が始まっていると考えられる。なお、この中で高齢の受講生は部長職等の方であり、組織内での部下への学習成果（知識等）の情報伝達も期待している。

## (2) メンテナンス意識等の変容

ME養成講座を開設した2014年（平成26年）から講座の受講による維持管理に対する意識等の変容調査（アンケート）を続けている。表-7にその設問内容を示す。このアンケート調査ではそれぞれの質問について“直感的に”あてはまるところを選ぶように促している。設問内容はやや難解となっているが要旨は次のようである。問AはMEに求められる俯瞰的な視点の意識を、問BとCは表現は異なるがインフラメンテナンスの重要性に対する意識を、問DとEはインフラメンテナンスに取り組む矜持の芽生えを問うている。問Fは後述の「5. 人的ネットワークの構築」について、最後の問Gは地域社会との協働の意識を問うている。

図-2に調査結果を3つのグラフに示す。(A)が受講前、(B)が受講後の回答値（意識レベル）であり、(C)がその変容量（受講前後の回答差）である。各受講年度ともに受講前の意識レベルは大きくは変わらないが、受講後の意識レベルが0.5～1ランク程度上昇していることがうかがえる。また、最新のカリキュラムによる2017年度（H27）の受講生については、(C)図に示されるように、全項目に対して比較的高い変容量の上昇がみられる。この点や問Fと問Gにおける上昇量が特に大きいことは、2017年度におけるカリキュラム改良の効果が表れた一端とも考えられる。この新カリキュラム以降の変容については、2年次以降のアンケート結果に注視したい。

## (3) メンテナンス基礎力の向上

本講座によるメンテナンス基礎力の向上については、講座終了後に行われる四国MEの認定試験（筆記試験と面接試験）の可否により評価される。ここでは、受講前後におけるインフラメンテナンスに関わる多面的な基礎力の上昇量を計測することに目的を置き、2017年度に新たに受講前後の実力診断試験を実施した。

試験内容は、ある老朽化が進む橋梁（実習フィールド）のコンクリート破片を見せ、それより想像されることを次の5項目で問うている。また、それぞれの問いに対して、複数回答を要求している（例えば問1であれば、損傷状態と原因は色々と考えられるため、それらを列挙

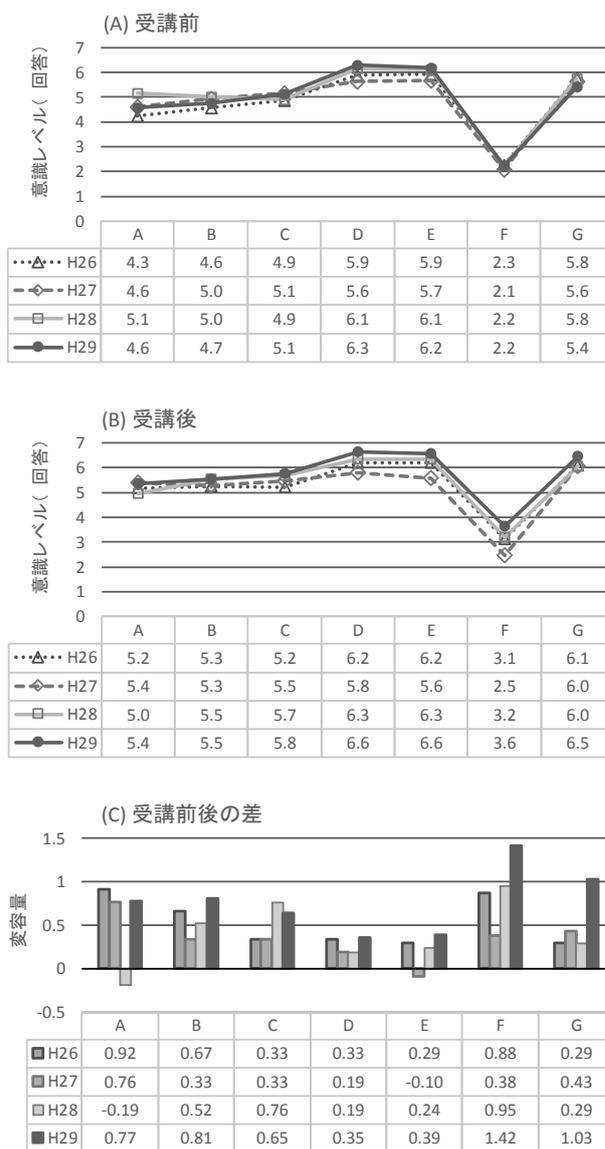
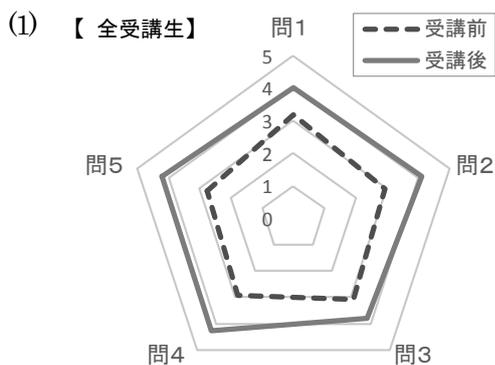


図-2 メンテナンス意識等の変容調査結果

する)。そして各問に対して書き出された回答数より、受講前後で受講者の知識と基礎力の変化を見た。なお、試験時間に制限もあるため、5つ以上思いつく受講生に対しても、5つまでを限度とした。

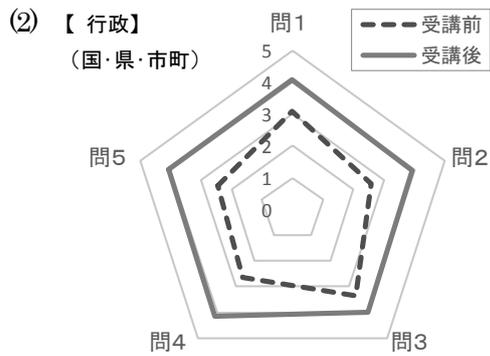
- 問1) 破片より考えられる橋梁の損傷状態と原因
- 問2) 状況を正確に点検診断する手法
- 問3) この橋梁の管理上で考えること
- 問4) 同様な事態が生じる構造物
- 問5) インフラ老朽化問題に取り組むべき課題

図-3に受講前後の実力診断試験結果を示す。問1から問5に対して、どれだけ妥当な回答を記載できたか、その数を示している。左上の(1)図に受講生全体の平均値を、(2)～(4)図に行政機関、コンサル・建設会社、計測会社等に所属する受講生の平均値を比較した。まず受講生全体における受講前後の回答レベルの変化は、各問ともに受講前の3から受講後は4へと1ランク上昇しており、



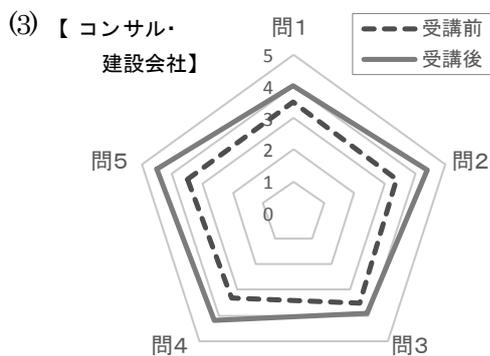
【全受講生31人】

	問1	問2	問3	問4	問5
受講前	3.2	2.9	3.1	2.9	2.8
受講後	4.0	4.1	3.8	4.3	4.2



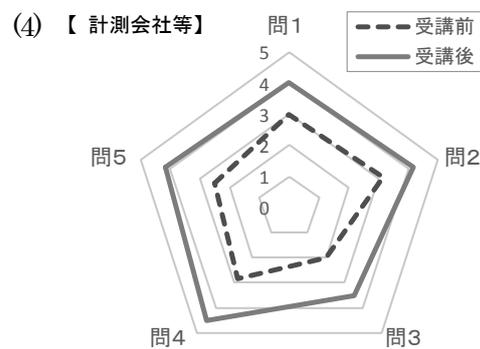
【行政受講生14人】

	問1	問2	問3	問4	問5
受講前	3.1	2.6	3.4	2.6	2.4
受講後	4.1	3.9	4.0	4.1	4.1



【コンサル・建設会社受講生(9+1人)】

	問1	問2	問3	問4	問5
受講前	3.5	3.4	3.5	3.3	3.5
受講後	4.0	4.4	3.9	4.2	4.5



【計測会社等受講生(6人)】

	問1	問2	問3	問4	問5
受講前	3.0	3.2	2.0	2.8	2.5
受講後	4.0	4.2	3.5	4.5	4.2

図-3 受講前後の実力診断試験結果(知識と基礎力の向上)

一様に育成効果のあったことが示される。

次に受講生の所属別に見ると、受講前の成績には各々の職務に対比されるような傾向が現れている。つまり、3種に分けた所属の中では、(3)コンサル・建設会社の受講生の回答レベルが最も高く、各問に対して一様に3を上回り、潜在的に能力が高い(または知識量が多い)ことがうかがえる。それに対して、(2)行政機関の受講生は問3の管理上のことへの回答レベルは3を越えるが、他の技術的な問いなどに対しては全体に3を下回っている。そして(4)測量会社等の受講生は、技術的には(2)行政機関の受講生と同程度の回答レベルにあるが、問3の管理上のことへの回答レベルは2で極端に小さくなっている。この傾向は職務的に考えれば理解しやすい。ただし、ここで注目したいことは、受講前には所属により回答レベルに相対的な差があるものの、それが受講後には各々が1~1.5ランク上昇してともに同程度のレベルに近づくように引き上げられている点である。このことは、MEという一定の能力を持った人材を育成するという目的に対

して、それを満足するような養成がなされていることを示唆していると見て取れる。

なお、以上の比較は回答率による量的な評価であるが、質的な向上については、例えば首席合格した受講生(コンサル勤務、事前の回答レベルはすべて5)の回答は受講後にはより洗練されて中身の濃い内容となっている。また、非破壊試験会社に勤務する受講生は、各問について知識と基礎力の大きな上昇が認められる。本調査より、そのような育成効果が各受講者に確認できた。

## 5. 人的ネットワークの構築

ME養成講座のもう一つの特徴は、産官学の垣根のない「技術と知識に基づく人的ネットワーク」を構築し、立場の枠を超えたコミュニケーションの実現を目指している点である。延べ12日間120時間を超えるカリキュラムを共に履修することで、管理者側(行政)と民間側の建設関連技術者それぞれの組織の技術者が、共通の高度

な知識を持つ総合技術者の育成と技術者相互の連携を図ることになる。グループワークでディスカッションを重ね、講師と受講者、受講者同士の間で強い“きずな”を構築し、異なるバックグラウンドを持つ技術者が社会基盤の維持管理に対する知識を共有し、点検や診断に関する技術力を同レベルで向上させることが目指す場所である。このつながりは、「愛媛MEの会」を構築して参加、活動を募ることでさらに醸成される。

## 6. まとめ

社会基盤メンテナンスエキスパート（ME）の養成は、2008年の岐阜大学（岐阜ME）および長崎大学（道守）の講座開設に始まる。その後、山口大学（山口ME）、長岡技術科学大学（ME新潟）、舞鶴工業高等専門学校などに活動の輪が広がっている<sup>14)</sup>。各講座は各地域の特徴に根ざし、地域に必要とされるメンテナンス技術者（中核的人材）の養成に応じて講座の内容が構築されている。例えば、岐阜大学は述べ20日間の講座により広範囲な社会基盤を対象とするMEの養成を行い、長崎大は一般市民が対象の道守補助員から、道守補、特定道守そして道路全体の維持管理ができる人材として道守の養成を行っている。愛媛大学のME養成講座は、そのような活動とともに歩みながら、2013年度の開発から5年間をかけて四国地域における社会基盤メンテナンスエキスパート（四国ME）の養成プログラムとして確立された。

本論文では、カリキュラムの特徴や養成される四国MEの技術者像とその育成効果などを述べた。本養成講座の構築より得られた成果は以下のとおりである。

- ・本講座は社会基盤の整備と維持管理・補修の計画・設計・実施技術を習得し、地域の活性化に貢献できる人材（ME）を産官学協働のもとで育成する。
- ・本講座は2016年度より愛媛大学の履修証明プログラムとして文部科学省の「職業実践力育成プログラム（BP：Brush up Program）」に認定された。
- ・本講座のカリキュラムは12日間の講座（座学、演習、実習）とeラーニングの121.5時間の履修時間よりなる。
- ・カリキュラムは授業科目をシリーズ化して順序立てて学べるように構成し、フィールド実習等に時間的余裕を持たせ、第11、12日にはそれまでの学習をより深化させるための科目を配置した。
- ・各年度のME養成講座の試行において計測されたアンケート調査や実力診断試験のデータからは、本養成講座による育成の効果とその上昇がうかがえる。
- ・本講座を受講終了し、認定試験において一定基準以上の成績を修めた受講生には本講座の履修証明書と「四国メンテナンスエキスパート（四国ME）」の資格が授与される。

- ・四国MEは、2017年時点で97名（行政と民間が共に約50人）に達した。
- ・本講座により育まれた人的ネットワークは受講生がそれぞれの職場に戻った後も業務の中で生かされると期待される。

## 参考文献

- 1) 国土交通省：道路橋の維持管理に関する最近の話題，4p.，2015。 <https://www.skr.mlit.go.jp/kaisai/demae/pdf/150728-1.pdf>（最終閲覧：2018年2月23日）
- 2) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の地域別将来推計人口（平成30（2018）年推計），2018。 <http://www.ipss.go.jp/pp-shicyoson/j/shicyoson18/t-page.asp>
- 3) 沢田和秀：社会基盤に関する維持管理技術者育成の取り組み，地盤工学会誌，Vol.62，No.7，pp.24-27，2014。
- 4) 松田浩，中村聖三，森田千尋，奥松俊博，高橋和雄：インフラ再生技術者育成のための道守養成講座の構築と認定者の活用の取り組み，土木学会論文集 F4，Vol.73，No.4，pp.I 21-I 32，2017。
- 5) 矢田部龍一・吉井稔雄・山下祐一・村岡治道：社会人再教育計画について，地盤工学会四国支部 平成25年度技術研究発表会 講演概要集，pp.105-106，2013。
- 6) 廣田清治・森脇亮・吉井稔雄・竹田正彦・矢田部龍一：愛媛大学における社会基盤メンテナンスエキスパート（ME）養成講座の取り組み，地盤工学会四国支部 平成26年度技術研究発表会 講演概要集，pp.83-84，2014。
- 7) 森脇亮・廣田清治・吉井稔雄・竹田正彦・矢田部龍一：愛媛大学における社会基盤メンテナンスエキスパート養成講座，「四国技法」第27号，平成26年10月，2014。
- 8) 山本浩司・森脇亮・吉井稔雄・矢田部龍一・全邦釘・森伸一郎：地域防災における四国メンテナンスエキスパート（ME）養成の意義，第12回南海地震四国地域学術シンポジウム，2017。
- 9) 全邦釘：愛媛大学における社会基盤メンテナンスエキスパート養成講座の取り組み，土木学会誌，Vol.102，No.3，
- 10) 全邦釘：愛媛県における橋梁維持管理に関する取り組みについて，コンクリート工学，Vol.56，No.2，pp.161-165，2018。
- 11) 山本浩司・森伸一郎・森脇亮・吉井稔雄・全邦釘：社会地盤 ME 養成のためのカリキュラム構成とワークショップ，平成30年度土木学会四国支部技術研究発表会，2018。
- 12) 川喜田二郎：発想法—創造性開発のために，中公新書(136)，1967。
- 13) 中屋敷洋介・兵頭伸幸・向井光広・今井美文・西森幸弘・江原博司・野上武志・森伸一郎・山本浩司：KJ法を用いたインフラメンテナンスの課題分析，平成30年度土木学会四国支部技術研究発表会，2018。
- 14) 岐阜大学工学部附属インフラマネジメント技術研究センター：平成29年度文部科学省「専修学校による地域産業中核的人材養成事業」コンソーシアムシンポジウム，インフラを考える！続：あたりまえの‘みち’のために，2018。

(2018.5.21受付)

## DEVELOPMENT OF THE INFRASTRUCTURES MAINTANANCE EXPERTS EDUCATION PROGRAM IN SIKOKU REGION

Koji YAMAMOTO, Ryo MORIWAKI, Pang-jo CHUN, Toshio YOSHII,  
and Sinichiro MORI

The aging of infrastructures in Japan is in a serious condition. At the same time, the decline of maintenance engineers due to the low birthrate and longevity and shortage of maintenance budget are serious. Especially in Shikoku region, the population decrease and the budget decrease are progressing much faster than the national average. Under such bad conditions, it is necessary to train engineers in order to stop the deterioration of infrastructures. In particular, engineers that have a comprehensive and panoramic viewpoint and can contribute to efforts throughout the region are required. This paper describes about the development of "infrastructure maintenance experts (ME) education program" by Ehime University to solve above mentioned infrastructure problems.

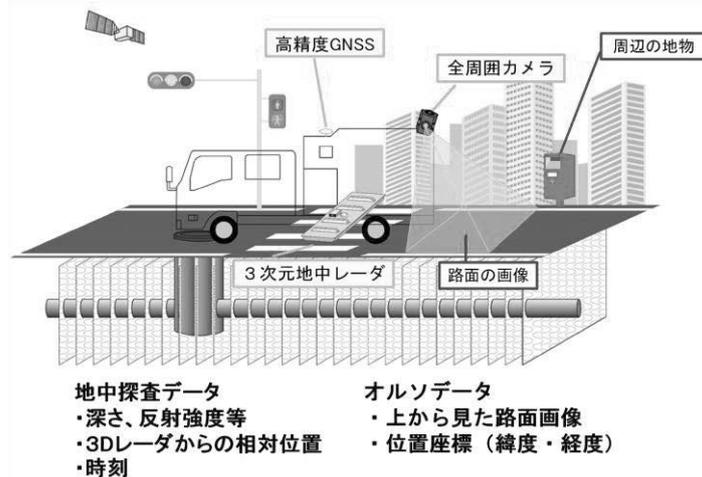
## VI 開発新技術・学術成果の紹介

- 6-1 3次元地中レーダ探査モバイルマッピングシステム (GMS3)
- 6-2 急速施工型のコンクリート製車両用剛性防護柵 RS ガードフェンス
- 6-3 小規模落石防護柵 SR フェンス
- 6-4 落石防護擁壁 Rs ウォール
- 6-5 海洋レーダを用いた津波計測（災害時）と波浪計測（平常時）システム
- 6-6 防災情報研究センターとの連携依頼



### 3次元地中レーダ探査モバイルマッピングシステム (GMS3)

マルチチャンネル地中レーダアンテナを用いた地下2mまでの空洞や地下埋設物等を3次元で検出する3次元地中レーダシステムと、車両に取り付けた全周囲カメラの映像解析により公共測量作業規定の定める1/500精度の計測が可能なモバイルマッピングシステムとを融合させた。また、地中レーダアンテナを探査車両の車軸間に搭載することで安全性が向上した。地下から地上までの全方位連続3次元化を時速80kmで実現し、全周囲カメラ映像とオルソ画像による空洞や地下埋設物等の高精度な位置特定が可能である。



GMS3 Viewer は地中レーダ信号と地上の位置データを一元管理するソフトウェアである。図3のように位置情報が地中レーダ反射波形、全周囲カメラ映像、オルソ画像でリンクしており、動画パネルとオルソパネルで距離の計測ができる。反射信号が何によるものか、周囲の環境を加味した判断が可能となり空洞や地下埋設物等の判定の精度が向上した。

図1 GMS3技術の基本原則

3次元地中レーダ探査車 (GMS3) 外観  
Ground-penetrating radar Mobile Mapping System 3D



図2 GMS3 探査車外観



図3 GMS3 Viewer



図4 地中レーダテストフィールド

地中レーダ性能を自社で評価できる施設 (地中レーダテストフィールド) を愛媛大学の監修の下で建設した。地中レーダの探査能力の検証に活用している。

日本インフラ空間情報技術協会のみならず一般に開放している。

連絡先 (株) カナン・ジオリサーチ TEL : 089-993-6711 URL : <http://canaan-geo.jp/>

# RSガードフェンス

NETIS・SK-180014-A

急速施工型車両用コンクリート製防護柵

防護柵設置後に、PC鋼線による緊張を可能にした急速施工型のコンクリート製車両用剛性防護柵です。

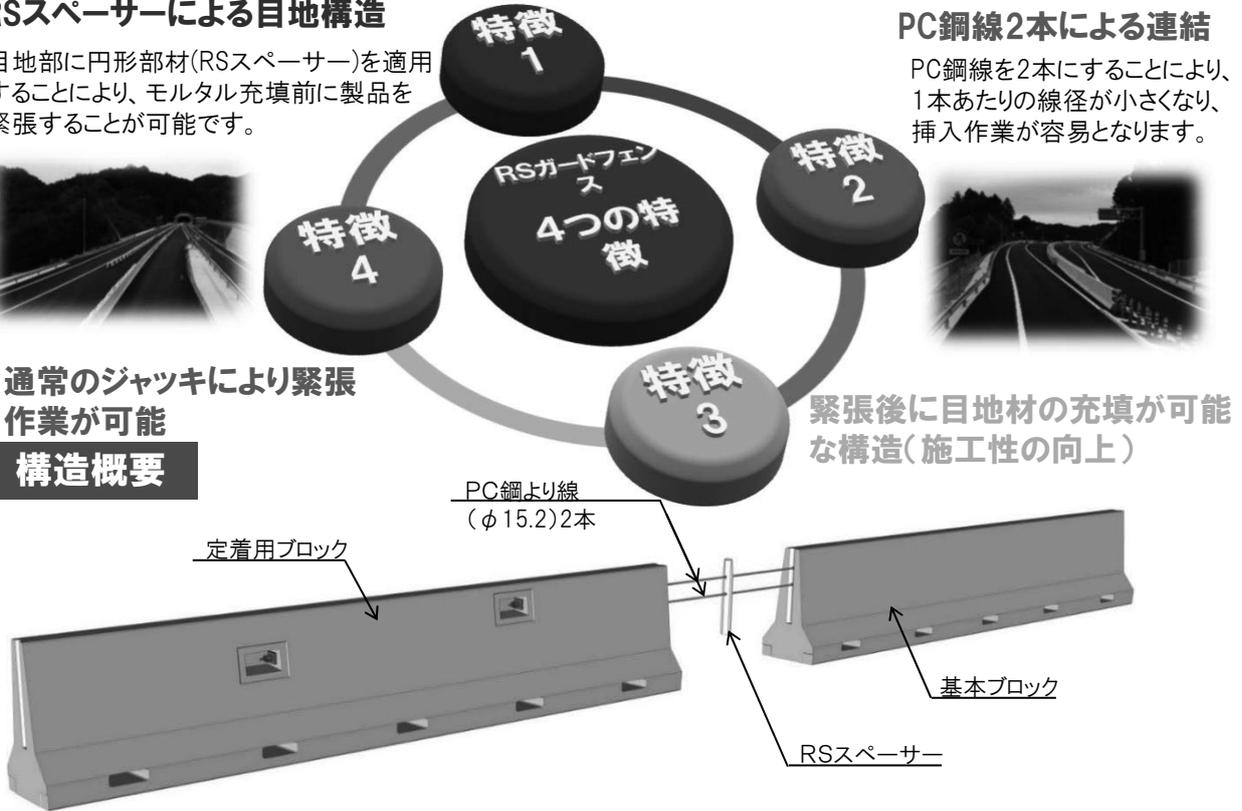
## RSスペーサーによる目地構造

目地部に円形部材(RSスペーサー)を適用することにより、モルタル充填前に製品を緊張することが可能です。



通常のジャッキにより緊張作業が可能

### 構造概要



### 適用条件

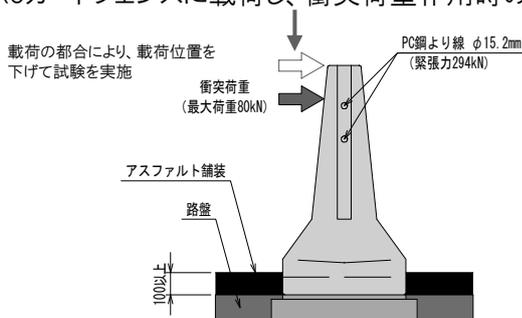
SB種、SC種のコンクリート製剛性防護柵として使用できます。

道路の区分	設計速度	一般区間	重大な被害が発生するおそれのある区間
高速自動車国道	80km/h以上	A,Am	SB,SBm
自動車専用道路	60km/h以上		SC,SCm
その他の道路	60km/h以上	B,Bm,Bp	A,Am,Ap
	50km/h以下	C,Cm,Cp	B,Bm,Bp

### 性能検証実験

愛媛大学防災研究センター指導の下、愛媛大学環境建設工学科にて計測及び解析

剛性防護柵 SB種(フロリダ型)の衝突荷重設計値である58kN以上(最大荷重80kN)の荷重を連結したRSガードフェンスに載荷し、衝突荷重作用時の挙動について検証を行っています。

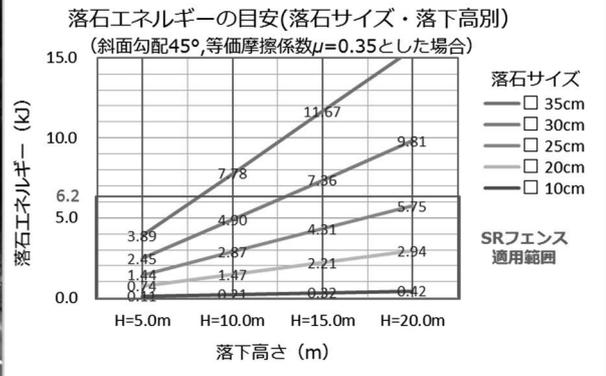


車両用コンクリート防護柵研究会 事務局  
 有限会社 創友 Tel 088-878-1322  
 高知市北本町2丁目1番12号TheCase高知駅前ビル5階  
 miyazaki@soyu-ec.co.jp



# 小規模落石の防護柵 SRフェンス

SRフェンスは、プレキャスト車両用防護壁の上に、軽量剛性繊維網を使用した高さ1.5mの防護柵を構築した落石対策製品です。性能検証実験により、運動エネルギー6.2kJ以下の小規模落石や小規模な崩壊土砂を受け止めることを確認しております。



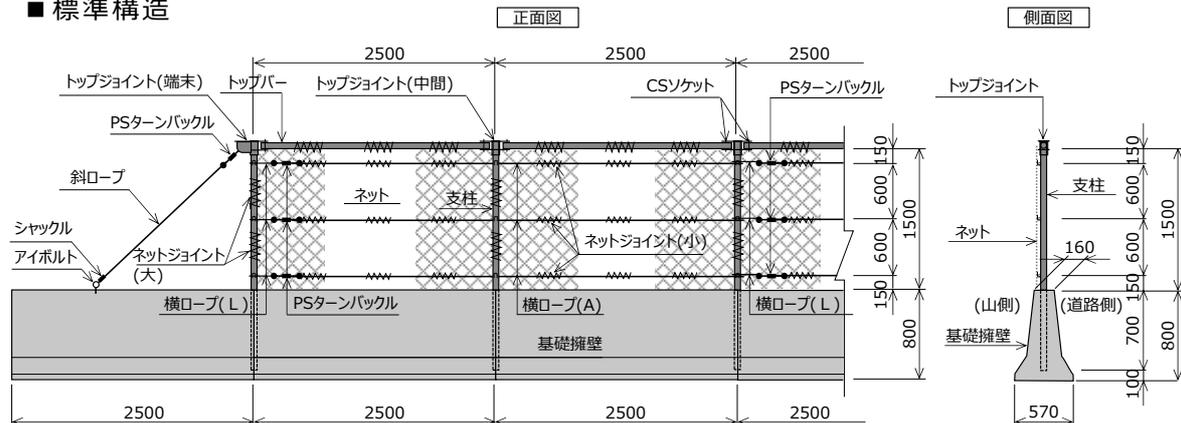
## ■ 工法の特徴

- ①設置に要する日数は、基礎が100m/日、防護柵が30m/日です。
- ②特殊な施工技術が不要な部材構造としているため簡単に施工ができます。
- ③施工時に通行規制等の時間が短いため、社会的コストが減少します。

## ■ 適用現場 [このような現場に使ってください]



## ■ 標準構造



## ■ 捕捉事例 「やってよかった」と言われる現場が増えています



## ■ お問い合わせ

(有)創友 高知市北本町 2-1-12-5F TEL.088-878-1322 担当者:宮崎

1スパンが1日で施工可能な  
落石防護擁壁

# RSウォール

木製型枠（前面・背面）を「コンクリート型枠ブロック」で構築

台形型で内部が空洞のブロックを積み上げて、空洞部にコンクリート打設することで擁壁構造として性能・品質を性能検証実験で確認した工法です。

## ■ 性能検証実験（実物大重錘衝突実験）

衝突速度11,3m/s、運動エネルギー51KJを受け止めることを確認しています。



防護柵（衝突側）に重錘が衝突



防護柵（背面側）に重錘が衝突



擁壁壁面に重錘が衝突（跳ね返り時）

## ■ RSウォールの特徴（現場打ちと比較）

- ・ H1.5m、L10m程度の落石防護擁壁ならストンガード支柱も含めて1日で施工可能（一般的な現場条件）です。
- ・ 製品の設置は熟練の技能労働者でなくても施工できます。
- ・ ブロックの端部中央にはL30-B15程度の溝を設けているため、曲線部の対応は隙間の溝にスレートボード等を落とし込むだけで簡単に対応できます。
- ・ 実物大重錘衝突実験により、落石防護擁壁として性能が検証されています。
- ・ コンクリート打設後、ブロック設置作業等が可能のため作業員の手待ちが発生しません。
- ・ 通行規制等の制約がある場合、工程短縮できることでガードマン費用、通行車両の待ち時間等の社会的コストが削減できます。

## ■ 製品・施工状況等



製品（材料確認）



製品の側面状況（実物現場）



天端に防護柵の支柱固定



完成した状況

## ■ お問い合わせ先 松井建材 有限会社

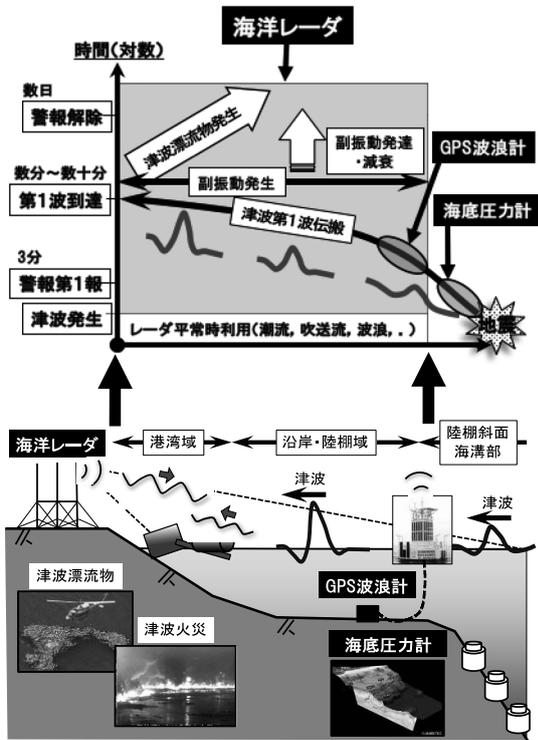
〒785-0161 高知県須崎市浦ノ内西分字菅の浜69-3 URL <https://matsui-k.com/>

TEL.0889-49-0109 FAX.0889-49-0017 E-mail [matui.k@ec3.technowave.ne.jp](mailto:matui.k@ec3.technowave.ne.jp)



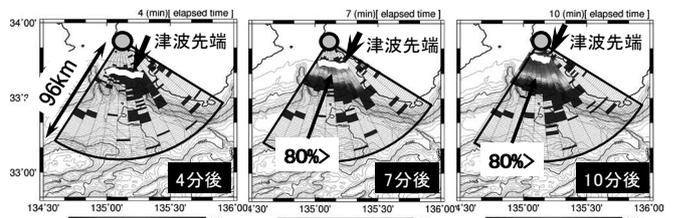
# 毎洋レーダを用いた津波計測（災害時）と波浪計測（平常時）に関する研究（海洋レーダ情報高度化研究部門）

## 海洋レーダと既存システム —計測場所・計測時間の比較—



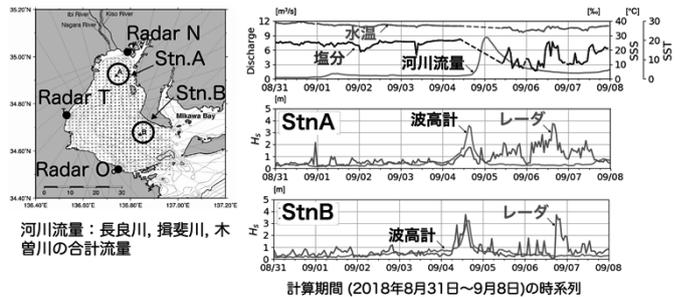
レーダの特徴：波浪計測など平常時はもちろん津波発生時津波検知から漂流物の追跡まで広範囲に活用可能。

## 津波検知の例 —南海トラフ地震津波—



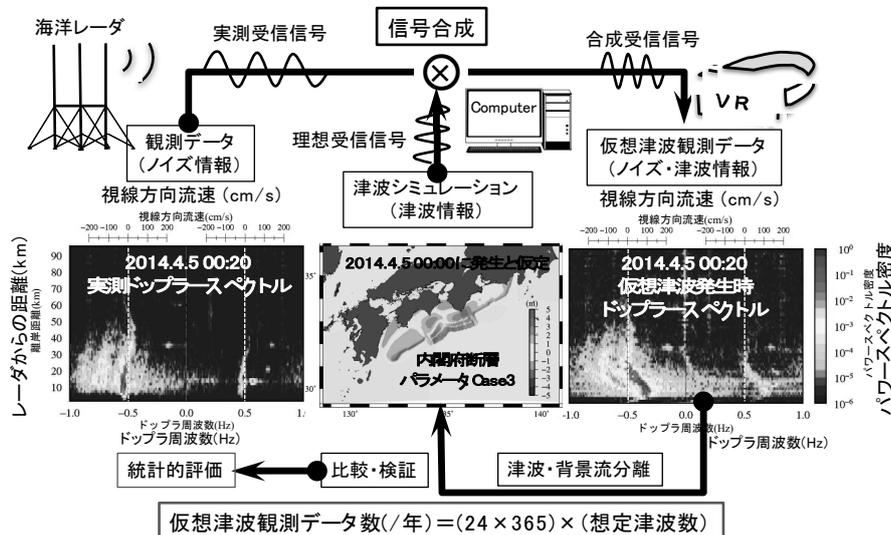
和歌山県に設置したレーダによる津波検知確率

## 波浪解析の例 —平常時の典型的な活用例—



伊勢湾での有義波高の計測結果：河口に近い地点 (Stn.A) では出水後に有意に計測性能が悪化しているが、河口から遠い地点 (Stn.B) ではその影響が小さい。

## 仮想津波観測実験 —数値計算と観測の融合—



津波数値計算結果とレーダ観測結果を融合することで、実際のノイズを考慮した津波観測を仮想的に行う手法。数値計算結果と観測結果の組み合わせを変えることで、多数の観測を仮想的に行い、検知性能の統計的な検証を可能にする。

## 防災情報研究センターとの連携依頼

### 寄付講座、共同研究、受託研究の実施

- ・この12年間で8件の寄付講座と共同研究部門を開設した実績があります  
(寄付講座の内容は、本論文に掲載している愛媛大学防災情報研究センター寄附講座における防災関連学術技術開発研究もしくは巻頭の愛媛大学防災情報研究センターにおける寄附講座を中心とした防災研究と防災教育の展開を参照ください)
- ・寄付講座の運営を実質化できるクロスアポイントメント制度  
(平成26年12月26日付けで「クロスアポイントメント制度の基本的枠組と留意点」がまとめられました。これで、2つの組織に同時に所属することができるようになり、会社等に在職のまま、大学の特定教授などとしても活動できるようになりました)

### 各種講演会や研修会等に講師を派遣します

防災や社会インフラ整備などに関わる講演会や研修会に講師を派遣します。  
お気軽にお問い合わせください。

### 各種防災プログラムの支援をします

地域、企業や自治体、学校等が実施を予定する各種の防災プログラムの立案、計画、実施を支援します。大学生の防災リーダーも数十名が在籍しています。

#### 支援プログラム例

- ・避難訓練、総合防災訓練
- ・避難所運営ゲーム
- ・マイタイムライン作成
- ・防災まち歩き、防災マップ作り
- ・クロスロードゲーム
- ・その他

### 【本件に関する問い合わせ先】

愛媛大学防災情報研究センター 矢田部龍一

TEL 089-927-8141

E-mail yatabe.ryuichi.mu@ehime-u.ac.jp

防災・まちづくりに関わる最新の技術開発研究論文

～寄付講座ならではの実践的研究をめざして～

---

2021年9月1日 発行

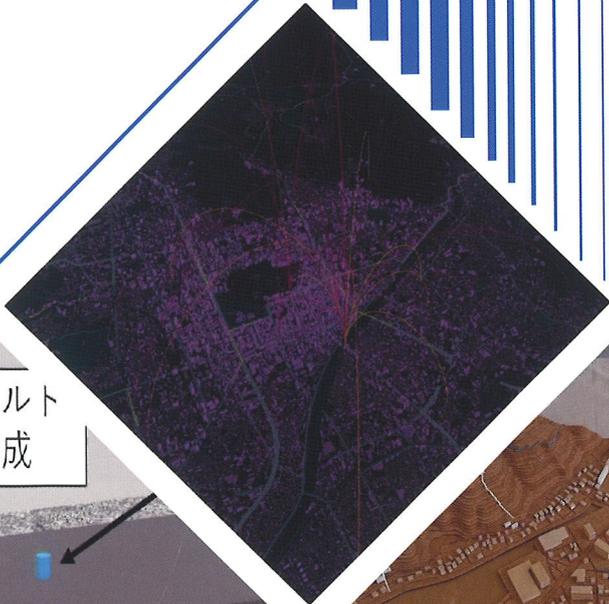
編集 愛媛大学防災情報研究センター  
〒790-8577 松山市文京町3  
TEL 089-927-8141  
(<https://cdmir.jp/>)

発行所 愛媛大学防災情報研究センター  
〒790-8577 松山市文京町3

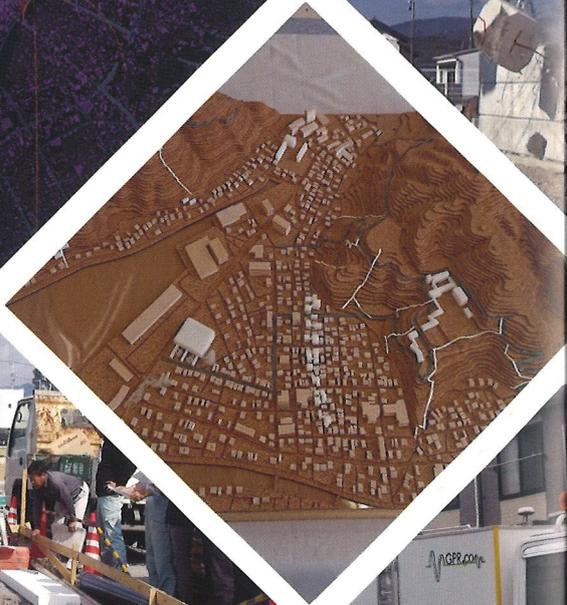
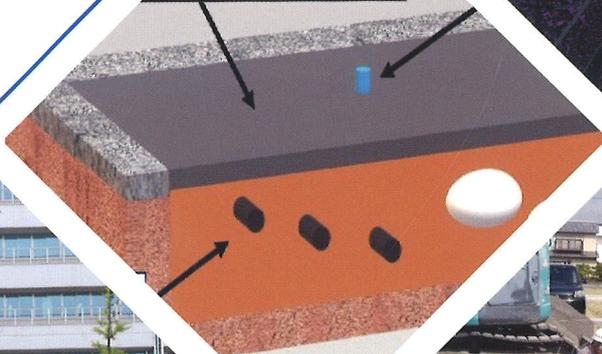
---



# 最新技術



スファルト  
、路床を作成



南海トラフ地震事前復興デザイン共同研究  
愛媛大学・東京大学 現地調査 (平成31年度)