

第1章

はじめに

第 1 章の目次詳細

1.1 WG の目的と立ち上げの経緯	1-2
1.2 WG の体制	1-6
1.2.1 WG メンバー	1-6
1.2.2 SWG の構成	1-6
(1) 性能評価 SWG	1-6
(2) 試設計 SWG	1-7
(3) 解析検討 SWG	1-7
1.3 WG の活動記録	1-8
1.3.1 WG 開催記録	1-8
1.3.2 外部組織との協同活動	1-9
(1) 東京大学先端科学技術研究センター・小泉研究室	1-9
(2) 独立行政法人都市再生機構	1-9

1.1 WGの目的と立ち上げの経緯

我が国は、大都市の自然災害のハザード、脆弱性、経済上の影響指数は世界でも際立っている^{1.1-1)}。将来に発生が懸念されている首都直下地震や南海トラフ地震などの大規模地震への対応では、ライフラインを含む都市全体の被害を激減し、地域の活動を維持・継続するための防災・減災対策の実装が望まれている。それらの被害想定として、2017年の土木学会では20年の累計で（南海トラフ地震：1240兆円）、（首都直下地震：731兆円）を推定する一方、様々なインフラ対策をすることで経済被害（間接被害）を3分の1から2程度軽減できる可能性がある^{1.1-2)}。それらは、国民の生命・財産の被害に加え、経済活動の低迷、国際的信用失墜など、莫大な国費の投下が想定されることも意味し、回避を導く効果的な地震対策の広範囲な実装が不可欠とされる。更に最近の知見では、これまでの技術では対応しきれないような長周期・長時間地震動の可能性も想定する必要があるといわれている。

一方、このような被害を想定されている中、最近では急速に進む少子高齢化の影響で過疎化と都市への人口流入が進み、街の機能維持や活力・価値向上への取り組みが急務となり課題とされている。世界全体を見ても、都市への人口集中は加速しており、国連の「世界都市化予測2014」によれば、新興国を中心とした人口増加によって2030年には世界人口が約85億人に達し、そのうち6割の約51億人が都市に住むと予測されている^{1.1-3)}。都市への人口集中は、交通渋滞やエネルギー・水不足、環境汚染などの問題を生じさせ、大規模災害への対応も難しくなっており、これらの都市には、単に住居や職場としての機能だけでなく、上述の課題を克服し、日々の生活やビジネスをよりよいものにする基盤であることが求められる。そこに暮らす人々のQol (Quality of Life)向上や、利用する人々の体験価値に着目した技術やサービスによる「まちづくり」の考え方を取り入れた都市開発が必要となっている^{1.1-4)}。

東日本大震災などの過去の震災の経験から、地域やコミュニティの中核的な機能が維持され、住民と行政の速やかな連携組織ができれば、地域の復興を大きく後押しすることが期待できる。これらは、2020年10月3日に開催された防災推進国民大会2020において「自助・共助」、「多様な主体の連携」及び「地域における防災力の向上」を促進するため、国民の防災意識の向上、災害に関する知識や経験等の共有を図るという趣旨で住民と行政が連携した地域の復興を後押しする事例のセッションや、2020年11月11日のナショナル・レジリエンス（防災・減災懇談会（第57回）の資料2でも取り上げられている^{1.1-5)}、^{1.1-6)}。

こうした背景の中、国立研究開発法人防災科学技術研究所（以下、防災科研）は国民の普段の生活と経済活動の維持・継続のため、地震に対して頑強な都市構築が必要としレジリエントな都市の全体設計をするための方法論を議論・研究する構想を立てた。

構想期では、大地震に備えた地震対応強化機能（耐震、制震、免震）は実用化されている多くが建物固有の対策になっており、ライフラインを含めた都市街区全体の被害を激減させその活動を維持できるシステムは実現していない点に着目した。防災科研では、巨大地震でも殆ど損傷フリーな街区を中核とする都市設計・建設により巨大地震に対してレジリエントな都市を実現する、という考えの下に必要な基盤技術の整備・構築と実現に向けたハードウェア技術の研究を日立製作所と実施した^{1.1-7)}。この技術や装置が実現するサービスの具体性について模索している中、日本免震構造協会がこれまでに得られた免震技術の普及をしてきた経験を整理し、良質の免震構造を一層社会に普及することを目的に2017年から「次世代免震システムの検討委員会」を発足させ次世代免震システムの将来像を検討していることを知り、2018年に上記協

会の特別会員になり委員会活動に参画した。

2019年に防災科研は、「大地震の後にも都市機能を維持できる街区免震の実現構想」をコンセプトに掲げ、大地震に負けない都市を構築する【レジリエントな都市実現構想研究会】を設立した(図 1.1-1)。この構想は、国民の普段の生活と経済活動が維持・継続されることを前提に、総合的な都市工学的な観点や、そのような都市構築に必要な費用を経済的にどのように正当化させるかといったビジネスモデル的な観点からの各種検討や技術開発の社会的実現性を高めるための具体的なケーススタディなども不可欠であることを理念としている。そのために社会防災(情報、コミュニティデザイン)と工学(技術、装置)の両面から都市開発を行う設計手法を開発するレジリエントな都市の全体設計をするための方法論を議論する場をつくる研究会にしたい思いがあった。構想に当たって、防災科研の長期構想(中間まとめ)の「防災基礎力」「予測・情報力」「予防力」「応急対応力」「復旧・復興力」の5つの防災対策領域をレジリエンス・フレームワークとして捉え、分野横断的な活動で国難災害に向けたレジリエントな社会を実現させる点^{1.1-8)}、日本学術会議の将来の都市構成を見通した中で災害を極力減じるための抜本的で具体的な行動を、個人・家族・企業・自治体・国は、それぞれ推進しさらに協力すべきと11の提言をされた点^{1.1-9)}、2011年に米国 National Science Foundation (NSF)が、耐震実験設備ネットワーク: Network for Earthquake Engineering Simulation (NEES)の次世代の姿を検討するために5点提示された Grand Challenge (地震工学研究における優先順位が高い(High-priority)課題)^{1.1-10)}を参考にした。

この研究構想は、都市の実現には都市の設計・建設・運用のプラットフォームとして、現実の(物理)都市とコンピュータ上の都市モデルを繋ぐものが必要であるという認識の下、都市 CPS (Cyber-Physical System) を目指す研究^{1.1-11)}と、重要施設が集う街区を構成し全体の地震被害を低減する街区免震の工学技術視点の研究の二面性を持ち、①都市計画技術、②巨大地震に耐えるハードウェア・ITシステム技術、③都市モデリング技術の3つの技術開発構想となっている(図 1.1-1)。その活動の母体として都市 CPS 分野を東京大学の生産科学研究所に委託して基本技術開発を実施し^{1.1-12)}、本報告の対象であるレジリエント都市の机上設計を日本免震構造協会の次世代免震システムの検討委員会で行うこととした。その内容のフィードバックや今後の方向性のアドバイスの場としてステアリング会議を設置し、和田章名誉教授(東京工業大学、当協会前会長)と野城智也教授(東京大学)よりご指導を頂くことにした。その工学技術分野の牽引として、次世代免震システムの検討委員会のワーキンググループ(WG)は、表 1.1-1 に示すロードマップを設定して活動を開始した。

課題: 日本(大都市)の自然災害のハザード、脆弱性、経済上の影響指標は世界トップクラス

2019年4月26日
防災科学技術研究所

目的: 国民の普段の生活と経済活動の維持・継続のため、地震に対して頑強な都市構築が必要
レジリエントな都市の全体設計をするための方法論を議論する場を創る

研究: ●重要施設街区を構成し、全体の地震被害を低減することを構想

- 開発
- ①コミュニティが維持発展できるレジリエント都市の計画・設計技術
 - ②都市計画を実現して、都市全体が巨大地震にも耐えるようにするシステム技術
 - ③レジリエント都市を設計・実証し、運用するための都市モデリング技術

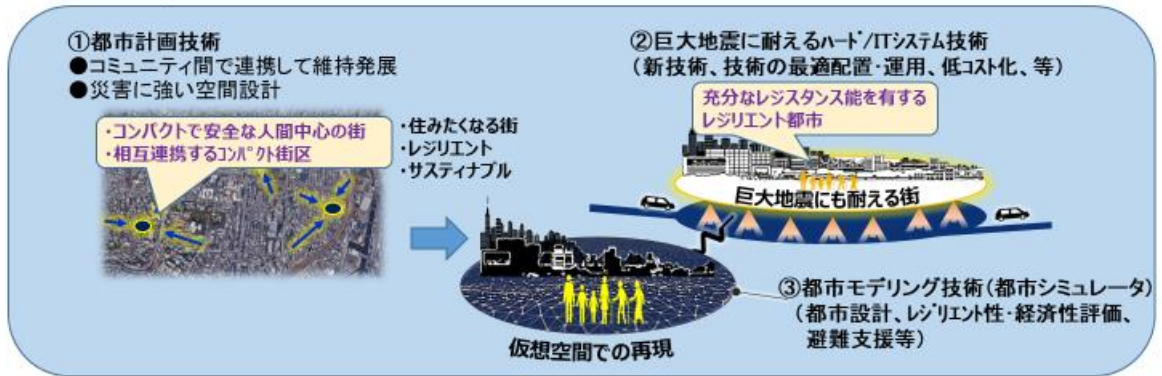


図 1.1-1

表 1.1-1 【レジリエントな都市の実現構想研究会】 ロードマップ

	課題検討チーム	2020年度	2021年度	2022年度
日本 免震 構造 協会	全体	都市免震モデルの概念構築	課題解決と試設計	都市免震モデルの試案
		規模、機能、場所の設定		事業計画の具体像
	性能評価 SWG	都市像のコンセプトづくり	レジリエント評価	各種レジリエンス向上策
		目標性能の設定	復旧シナリオ	
		レジリエント評価手法の構築	維持管理・モニタリング	
	試設計 SWG	事例調査	構造計画	成長型都市構造システム
		建築計画(含: インフラ、交通)	免震基盤の試設計	
	解析検討 SWG	物量・コスト概算	建設シナリオの設定	
		技術課題の抽出	免震システムの選定	高レジリエンス免震システム
		都市構造モデルの作成	各種解析的検討	
	免震要素技術の情報収集	地震動の設定		
東京 大学	BIM/CIMなど異種シミュレーションのインタフェイス構築	データ標準化検討	地域～都市全域でのスケーリング	公開ツールの検討検討
	多様なセンサーデータの活用システム構築	センサー系のデータ格納(IoT-Hub)要件整理	BIM/CIMデータと振動センサーデータとの連携	センサーデータのマネジメントの方針を整理
	地域防災対策の合意形成システム構築	街区免震導入に向けた課題抽出	防災分野における都市計画理論構築	都市レジリエンスの関数決定
	異種シミュレーションの統合的評価	各シミュレーションによる評価方法の整理	入出力データの比較	評価方法の整理 構造物群耐震性能評価法の整理
	耐震性能評価のためのGISによる統合的可視化	データの公開属性を反映したWeb環境の公開	益城町にエリアを絞り、プロトタイピングの概形	公開ツールの検討

参考文献

- 1.1-1) 中央防災会議：首都直下地震対策専門調査会（第18回）事務局説明資料3，ミュンヘン再保険会社による大都市の災害危険度指数，
<https://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/shutochokkajishinsenmon/18/pdf/shiryou3.pdf>
（2023年3月参照）
- 1.1-2) 「国難」をもたらす巨大災害対策についての技術検討報告書 概要
- 1.1-3) 「世界都市化予測 2014」2014.7.10 国連広報センター (UNIC Tokyo),
https://www.facebook.com/permalink.php?story_fbid=676891625722015&id=124920904252426, p77
（2023年3月参照）
- 1.1-4) 日立評論 Vol.100.No.02 156-159, OT, IT, プロダクトの融合による魅力あるまちづくり，
<https://www.hitachihyoron.com/jp/archive/2010s/2018/02/index.html>（2023年3月参照）
- 1.1-5) 防災推進国民大会 2020, https://bosai-kokutai.jp/2020/pdf/bosaikokutai_20200326_session_report.pdf
（2023年3月参照）
- 1.1-6) ナショナル・レジリエンス（防災・減災）懇談会（第57回），自助・共助、多様な主体の連携による防災活動の推進 資料2，令和2年11月 内閣府防災普及啓発・連携担当参事官，
<https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/resilience/dai57/siryou2.pdf>（2023年3月参照）
- 1.1-7) 防災科研ニュース“秋” 2017 No.198（地震で揺れない技術を目指して），
https://www.bosai.go.jp/information/news/pdf/k_news198.pdf（2023年3月参照）
- 1.1-8) 防災科研 安全・安心な社会実現のための防災科学技術，-国難災害を乗り越えるためのレジリエンス・イノベーション 2035-，2019年5月
https://www.bosai.go.jp/introduction/pdf/long_term_vision.pdf（2023年3月参照）
- 1.1-9) 日本学術会議 土木工学・建築学委員会：大地震に対する大都市の防災・減災分科会，提言 大震災の起きない都市を目指して，平成29年（2017年）8月23日
<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-t249-1.pdf>（2023年3月参照）
- 1.1-10) Grand challenges2011,<https://nap.nationalacademies.org/catalog/13167/grand-challenges-in-earthquake-engineering-research-a-community-workshop-report>（2023年3月参照）
(*)米国 National Science Foundation (NSF)が、耐震実験設備ネットワーク：Network for Earthquake Engineering Simulation (NEES)の次世代の姿を検討するために52人の有識者(研究者、実務者)の参加を得てワークショップを2011/3/14-15に開催。そこで提示された Grand Challenge(地震工学研究における優先順位が高い(High-priority)課題)を整理して記載。ワークショップでは、さらに、これらの Grand Challenge に必要とされる14種の実験や数値シミュレーションのための設備を明確化した。
参考文献：National Research Council. 2011. Grand Challenges in Earthquake Engineering Research: A Community Workshop Report. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13167>.
- 1.1-11) Study Concept on the Development of an Urban Cyber Physical System for Enhancing the Capability to Respond to Large-Scale Earthquakes, Journal of Disaster Research Vol.16 No.2(2021) 287-297,
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jdr/16/2/16_287/_pdf（2023年3月参照）
- 1.1-12) 「強レジリエント化に向けた都市CPS (β版)」, <https://city-cps.net>（2023年3月参照）

1.2 WGの体制

1.2.1 WGメンバー

前節で述べた背景をもとに、本WGは2017年発足の「次世代免震システムの検討委員会」(2017～2018年)の主活動終了後、その傘下に活動拠点を設けることとし「免震システム技術WG」と称して活動を開始した。この措置は、本WGが実現を目指す都市免震構造が次世代免震システムの一形態であり、同委員会の活動主旨に沿うものであるという判断による。WGメンバーを以下に示す。

主査	菊地 優	北海道大学
	阿部 弘	防災科学技術研究所
	石塚 広一	構造計画研究所
	可児 長英	日本免震構造協会
	岸田 明子	防災科学技術研究所
	北村 佳久	日本免震構造協会
	近藤 明洋	鹿島建設
	佐藤 栄児	防災科学技術研究所
	佐藤 大樹	東京工業大学
	沢田 研自	日本免震構造協会
	田中 賢嗣	日建設計
	田部井直哉	大成建設
	富澤 徹弥	明治大学
	中嶋 唯貴	北海道大学
	堀内 敏彦	防災科学技術研究所
	村田 圭介	大成建設
	湯川 正貴	大林組

1.2.2 SWGの構成

第1回WG(2019年11月28日)～第4回WG(2020年7月29日)における全4回のWGにて、本WGで実現を目指す都市免震像(機能、規模、性能など)に関する議論を重ねた結果、具体的に検討については、以下の3つのサブワーキング(SWG)に分かれて活動を進めることとなった。以下に、各SWGの役割とメンバーを示す。

(1) 性能評価SWG

役割：レジリエントな都市像のコンセプトづくり、目標性能の設定、被害評価、レジリエント評価

メンバー：

主査	富澤 徹弥	明治大学
	阿部 弘	防災科学技術研究所
	可児 長英	日本免震構造協会
	菊地 優	北海道大学

佐藤	栄児	防災科学技術研究所
中嶋	唯貴	北海道大学
堀内	敏彦	防災科学技術研究所
村田	圭介	大成建設

(2) 試設計 SWG

役割：規模・物量の概算、免震基盤の構造計画、免震装置の選定、免震層・EXPJ等のディテール、道路・インフラの配置計画

メンバー：

主査	石塚	広一	構造計画研究所
	菊地	優	北海道大学
	北村	佳久	日本免震構造協会
	沢田	研自	日本免震構造協会
	田中	賢嗣	日建設計
	田部井	直哉	大成建設

(3) 解析検討 SWG

役割：入力地震動の設定、地震応答解析、応答低減策・各種極限事象の検討

メンバー：

主査	佐藤	大樹	東京工業大学
	菊地	優	北海道大学
	岸田	明子	防災科学技術研究所
	近藤	明洋	鹿島建設
	湯川	正貴	大林組
	李	晶	東京工業大学（解析協力）
	長谷川	愛理	東京工業大学（解析協力）
	石井	建	北海道大学（解析協力）
	鈴木	瑛大	北海道大学（解析協力）

1.3 WGの活動記録

1.3.1 WG開催記録

2019～2022年度の3ヶ年度の活動記録を表1.3.1にまとめる。WGは概ね2か月に1回程度開催し、その間にSWGを1～2回程度開催している。第4回WG以降は、新型コロナウイルス感染防止のため、最終の第24回WGまでオンラインによる開催となった。

表 1.3-1 WG開催記録

年.月.日 (曜日)	委員会名
2019.11.28 (木)	第1回WG@日本免震構造協会・会議室
2019.12.18 (水)	第2回WG@日本免震構造協会・会議室
2020.02.05 (火)	第3回WG@日本免震構造協会・会議室
2020.05.28 (木)	第4回WG@以降、オンライン会議
2020.07.29 (水)	第5回WG
2020.09.29 (火)	第6回WG
2020.11.24 (火)	第7回WG
2021.01.20 (水)	第8回WG
2021.03.10 (水)	第9回WG
2021.04.26 (月)	第1回合同SWG
2021.04.30 (金)	第2回合同SWG
2021.05.07 (金)	第3回合同SWG
2021.05.18 (水)	第10回WG
2021.07.20 (火)	第11回WG
2021.09.17 (金)	第12回WG
2021.11.16 (火)	第13回WG
2022.01.12 (火)	第14回WG
2022.03.08 (水)	第15回WG
2022.04.26 (水)	第16回WG
2022.06.16 (木)	第17回WG
2022.07.28 (木)	第18回WG
2022.09.13 (火)	第19回WG
2022.11.04 (金)	第20回WG
2022.12.19 (月)	第21回WG
2023.01.16 (月)	第22回WG
2023.03.02 (木)	第23回WG
2023.03.29 (水)	第24回WG

1.3.2 外部組織との協同活動

(1) 東京大学先端科学技術研究センター・小泉研究室

都市機能の維持を街区に適用する次世代免震技術の開発と実証の活動に当たり、対象とする都市類型の想定や必要とされる機能のリストアップ、それぞれの機能の専門家に対するヒアリング、もしくはワークショップ及びヒアリング結果の集約による「要件定義」の策定の議論が不可欠となる。当WGのみで開発や推進するには非効率な面が考えられるので、防災科研の仲介で東京大学先端科学技術研究センター（以下、東大先端研）と分野共有コラボレーション会議で推進することにした。推進に当たり、レジリエントな都市実現構想研究の加速のため、防災関連技術開発に向けた協業の検討として2020年8月3日に秘密保持契約書を東京大学、防災科研と当協会の3者で締結し開始した。

コラボ会議を行うことに先立ち、当協会の和田会長（当時）が街区免震を「都市の中の船」構想を立てられ、その持つべき機能を明確化したいので小泉チームで検討を希望したい旨相談した。議論の中で、試算のポイントとして電力、水が重要と指摘された。むしろ水の方が重要であり、個人の備蓄、地域・季節などの前提で結論変動類型ごとに原単位を算出して必要規模を算出する手順についてアドバイスを頂いた。また、機能の選定の面では、「船」という発想では、一般住宅はあえて対象外とし、防災・災害対応への絞り込みも一案であり、行政拠点、病院、学校（避難場所として）が集約される防災拠点を想定する面もある。その機能に通信、自家発電、水処理などが組み込まれるものであるが、防災専用設備では導入が困難となるので通常使用が前提の想定が必要である（排水設備など）。また、街区免震のエリアどのように配置すると都市の防災能力とか復興能力がどれがけ向上するか、エリア建設のコストを含め具体的に予測、評価できる技術の開発の側面も考慮すべきである。今後の活動を進める実務者として、廣井悠教授と大津山堅介特任助教に牽引いただくことになった。

(2) 独立行政法人都市再生機構

前述の東京大学先端科学技術研究センター・小泉研究室とのコラボ活動の中、都市機能の維持を目指す街区免震を対象とする都市類型の想定や必要とされる機能のリストアップ、それぞれの機能の専門家に対するヒアリングの相手先が必要となった。全国で70万戸以上、入居者約200万人の賃貸住宅を管理する「世界最大の大家」とも言われる独立行政法人都市再生機構（以下、UR都市機構）がヒアリング先として最適であると判断した。防災科研がUR都市機構と包括連携協定を締結していることもあり、東大先端研との活動におけるヒアリング先として依頼し協力をいただくこととなった。

その過程で、UR都市機構が進めている防災公園街区整備事業の開発事例の紹介と視察の機会を頂くことができた。WGでは街区免震が担う機能維持の対象先として、防災拠点視察の機会は大いに参考となり、行政・病院・エネルギーおよび供給受入（備品、人員など）が集約する街区を構想検討の対象とすることになった。UR都市機構にアレンジしていただいた防災公園街区整備事業の開発事例の視察（2021年10月27日実施）については、「第2章 事例調査」にて報告する。