

序

日本はアジアの東端、太平洋の西端に位置し、周囲を海に囲まれた、南北に連なる美しい島国である。山地が多く、国土の3分の2は森におおわれ、多くの湖があり100本以上の急峻な川にはきれいな水が流れ、四季の変化があり、素晴らしい自然に恵まれた国といえる。一方、世界の大きな地震の10%以上は日本及びその周辺で起き、大津波に襲われ、毎年のように大きな台風や冬の豪雪に襲われるなど、自然の猛威の厳しい国でもある。

この地に日本人は暮らし、自然への尊敬と畏怖の気持ちを持ち、互いを思いつつ暮らす心を培ってきた。明治の開国を機に、我が国は欧米の文明・科学・技術を導入し発展させ、先進国として世界を率いるまでに成長してきた。

大きな地震はいつどこかを襲うとほとんどの人々は考えていたが、津波の恐ろしさを指摘する専門家は一部であり、この声は人々に伝わっていなかった。非常に辛いことであるが、2011年3月11日に起きた東日本大震災では、青森県から宮城県の三陸海岸、そして仙台の南の平野で多くのまちや村が大津波の大災害を受けた。警察庁（2014年10月10日）の報告によると、1万5,889人の尊い命が奪われ、2,598人の方々が行方不明といわれる。福島県では原子力発電所の事故が起き、広範囲に広がった放射能の除染作業が続き、放射能汚染水の処理対策、燃料の取り出しなど、廃炉に向けた難しい作業が続けられている。

人や社会は遠くで起きたこと、遠い昔に起きたことなど、体験していないことへの想いは薄い。数十年後、数百年後に日本のどこかを襲うといわれる大地震や大津波は、事実、東日本を襲ったが、明日にも次の大地震・大津波が日本のどこかを襲うかも知れない。しかし、人々は今を生き活動することに懸命である。専門家や研究者が同じように、遠い過去から未来へと繰返される自然や地球の動きを忘れることは許されない。さらに、科学・技術への過信、驕りはあってはならず、寺田寅彦が指摘していたように、文明の進歩が災害を激化することを忘れてはならない。

地震や津波に対して安全で人々が安心して暮らすことのできる社会を目指して研究・技術開発を進め、これらの知見を蓄積し、日本を形造ってきた地盤工学会、土木学会、日本機械学会、日本建築学会、日本原子力学会、日本地震学会、日本地震工学会および日本都市計画学会の8学会は協力して、東日本大震災の合同調査報告をここに出版することになった。

地球の歴史、地球の営みに比べ人類の歴史は非常に短く小さいが、我々は基本的に言葉を持ち、文字を持っている。それぞれの時代に起きたことを文字や写真を用いて書物に残し、後世の人々に伝えることが重要である。これらの貴重な情報は後世の人々にだけでなく、国内の各地域、そして世界の国々に伝えることができる。

この合同調査報告は上記の8学会の会員・委員・事務局の努力によって纏められた東日本大震災の貴重な合同調査報告である。執筆に携われた多くの方々のご尽力に感謝致します。この合同調査報告が多くの関係者、あとに続く人々に読まれ、参考にさせていただき、次に大地震や大津波に襲われる国内外の地域の人々に警告を与え、防災・減災の対策に努めて欲しい。明日起こるか、数十年、数百年後に起こるかもしれない大地震・大津波によって、次に同じ災害が起こらないことを祈る。

2014年11月

東日本大震災合同調査報告書編集委員会

委員長 和田 章

東日本大震災合同調査報告書編集委員会

- 委員長 和田 章（東京工業大学名誉教授，日本建築学会）
- 副委員長 川島 一彦（東京工業大学名誉教授，日本地震工学会）
- 委員 日下部 治（茨城工業高等専門学校校長，地盤工学会）
- 委員 末岡 徹（大成建設(株)土木本部技術顧問，地盤工学会）
- 委員 岸田 隆夫（地盤工学会専務理事，地盤工学会，2013年1月10日～）
- 委員 阪田 憲次（岡山大学名誉教授，土木学会）
- 委員 佐藤 慎司（東京大学教授，土木学会）
- 委員 白鳥 正樹（横浜国立大学名誉教授，日本機械学会）
- 委員 中村いずみ（防災科学技術研究所主任研究員，日本機械学会）
- 委員 長谷見雄二（早稲田大学教授，日本建築学会）
- 委員 壁谷澤寿海（東京大学地震研究所教授，日本建築学会，2013年4月1日～）
- 委員 平石 久廣（明治大学教授，日本建築学会，～2013年3月31日）
- 委員 平野 光将（元東京都市大学特任教授，日本原子力学会）
- 委員 田所 敬一（名古屋大学准教授，日本地震学会）
- 委員 岩田 知孝（京都大学防災研究所教授，日本地震学会）
- 委員 若松加寿江（関東学院大学教授，日本地震工学会）
- 委員 本田 利器（東京大学教授，日本地震工学会）
- 委員 高田 毅士（東京大学教授，日本地震工学会）
- 委員 後藤 春彦（早稲田大学教授，日本都市計画学会，～2014年10月9日）
- 委員 竹内 直文（(株)日建設計顧問，日本都市計画学会）
- 委員 中井 検裕（東京工業大学教授，日本都市計画学会，2014年10月9日～）

（学会名アイウエオ順）

まえがき

2011年3月11日14時46分過ぎ、宮城県東方の太平洋の海底を震源として発生した地震は、Mw9.0と、近代日本がそれまで経験したことのない巨大地震となった。

この地震により、宮城県で最大震度7が観測されたほか、東北から北関東に至る各地で震度6強の極めて強い揺れが観測され、東日本の太平洋岸のほぼ全域で大規模な津波被害が発生した。さらに、東京電力福島第一原子力発電所では大量の放射性物質の飛散漏洩を伴う事故を発生し、発電所付近では、地震による直接の被害を免れた地域を含めて、住民が長期に亘る避難を余儀なくされる事態となった。この地震では、原子力発電所以外にも多くの発電施設が被災したため、東日本の広い範囲で地震直後から深刻な電力不足に陥ったが、建築物などの地震被害自体が東日本の広範囲に及び、地震被害の様態も、多数の津波火災の発生など、戦後の他の地震に比べて複雑な様相を呈している。震災による死者・行方不明者は1万8千人を超える大規模なものであるが、被災して避難した住民の多くは今も苦難を強いられているなど、震災の影響は、時間的にも長大化している。日本では、近い将来にいくつかの大地震の発生が予想されており、また、縄文期頃からの日本列島史には巨大地震がいくつも爪痕を残している。今回の地震とその被害・影響を調査して記録に残すことは、今後に予想される地震に対する被害軽減方策の検討に必要なだけでなく、震災被災地において将来を切り開いていくうえでも貴重な手がかりになるであろう。

日本建築学会では、地震発生直後から、調査復興支援本部、災害情報収集支援室を設置するとともに、災害委員会を中心に調査の組織化を図り、地震被害の軽減、地震によって発生した諸現象および建築物・都市等の被害の正確な把握、災害後の生活・社会活動の維持、そして復興に資するべく、この未曾有の災害の調査を進め、2011年7月には2011年東北地方太平洋沖地震災害調査速報を刊行し、その英文版を2012年10月にSpringerより出版した。そして、地震後の推移の記録を含むより本格的な調査については、阪神・淡路大震災（1995年）において、社会資本・インフラを対象としている他学会と合同で調査報告書を編集したように、今回の震災についても、関係8学会の合同調査報告書を編集することとした。建築編は、「建築編1 鉄筋コンクリート造建築物」「建築編2 プレストレストコンクリート造建築物／鉄骨鉄筋コンクリート造建築物／壁式構造・組積造」「建築編3 鉄骨造建築物／シェル・空間構造」「建築編4 木造建築物／歴史的建造物の被害」「建築編5 建築基礎構造／津波の特性と被害」「建築編6 非構造部材／材料施工」「建築編7 火災／情報システム技術」「建築編8 建築設備・建築環境」「建築編9 社会システム／集落計画」「建築編10 建築計画」「建築編11 建築法制／都市計画」より成り、地震の影響が比較的早く明確になった分野から順に刊行する計画である。

本報告書が、この震災を長く社会の記憶として残し、今後予想される大地震等において被害軽減に少しでも役立てられることを心から念ずるものである。

本報告書の出版にあたり、執筆・編集に尽力された方々ならびに日本建築学会事務局で編集を担当された方々、また、8学会より構成される合同調査報告書編集委員会の方々に対し、心よりお礼申し上げます。

2014年7月

日本建築学会

東日本大震災合同調査報告書（建築）編集委員会

委員長 長谷見 雄二

東日本大震災合同調査報告書（建築）編集委員会

委員長	長谷見雄二（早稲田大学）
副委員長	壁谷澤寿海（東京大学地震研究所）
副委員長	平石 久廣（明治大学, ～2013年3月31日）
幹事	加藤 孝明（東京大学生産技術研究所）
幹事	腰原 幹雄（東京大学生産技術研究所）
幹事	前田 匡樹（東北大学）
幹事	村尾 修（東北大学災害科学国際研究所）
委員	石川 孝重（日本女子大学）
委員	大橋 竜太（東京家政学院大学）
委員	川瀬 博（京都大学防災研究所）
委員	後藤隆太郎（佐賀大学）
委員	清家 剛（東京大学）
委員	瀧口 克己（東京工業大学名誉教授）
委員	瀧澤 重志（大阪市立大学）
委員	堤 洋樹（前橋工科大学）
委員	中井 正一（千葉大学）
委員	中西 三和（日本大学）
委員	久田 嘉章（工学院大学）
委員	北後 明彦（神戸大学）
委員	増田 光一（日本大学）
委員	三浦 秀一（東北芸術工科大学）
委員	村上 公哉（芝浦工業大学）
委員	米野 史健（国土交通省国土技術政策総合研究所）
委員	森 傑（北海道大学）

はじめに

2011年3月の東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）における建物や敷地地盤の被害は実に甚大なものであった。地震による被害の実態を明らかにし、今後の地震防災を考えるに当たっての貴重な教訓とすることを目的に、本「建築基礎構造編」は、地震後に、日本建築学会東日本大震災合同調査報告書（建築）編集委員会において編纂が企画された調査報告書の第5巻として、構造委員会基礎構造運営委員会により編集が行われ、出版の運びとなった。

「日本は災害の国である」と言われる。中でも地震は、頻度は少ないものの、一旦起こるとその影響は甚大である。日本で地震災害が多いのは、よく知られているとおり、複数のプレートが日本列島付近で相接していることと関係している。さらに、日本の地形が複雑で、狭い範囲で細かく変化していることも被害様相の複雑化に寄与している。これらに加えて、日本列島は温帯モンスーン地帯に属していることから、年間を通して降水量が多いことが被害程度を大きくする要因となることが多い。地震による被害を子細に検討すると、必ずと言っていいほど地形と地盤の影響を見て取ることができるのは、日本が置かれたこのような地勢学的要因が大きく影響している。東日本大震災も例外ではなかった。

東北地方太平洋沖地震発生直後から、液状化による噴砂や地盤変状、建物の沈下・傾斜が発生したことは記憶に新しい。一部地域においては、津波によると見られる建物基礎の被害も報告されている。さらに、地震後時間が経つにつれて、杭基礎の被害も明らかとなりつつある。本「建築基礎構造編」は、被害事実をできるだけ正確に記述するとの立場に立ち、日本建築学会東北支部・関東支部をはじめとする数多くの機関や研究者が調査した被害事例と、地盤や基礎の挙動事例を中心に編集されたもので、第1章「被害の概要」、第2章「設計基準類の変遷」、第3章「液状化被害」、第4章「地盤・基礎の被害」、第5章「調査事例」、第6章「補修・復旧事例」の6章から構成されている。過去の地震被害調査とは異なり、被害地域が広範囲にわたっていること、液状化被害が甚大かつ広範であること、津波による基礎の被害が見られたこと、杭基礎の被害が少なからず見られたこと、基礎の補修や復旧についても事例が紹介されていること、などを特色としてあげることができる。本報告書が、これらの被害要因分析や対策を検討するための貴重な資料として活用され、基礎構造の耐震設計の向上に貢献できることを願うものである。

基礎構造の被害が顕在化することは多くないと考えられ、被害の実体・全貌を把握することは困難である。地震後3年余を経てこのような報告書がまとめられたことは、地震直後から精力的に調査活動を推進し、かつ、その調査結果を提供頂いた関係各位のご協力、編集作業に携わった各委員の献身的なご努力と、数多くの執筆者・執筆協力者のご協力によるものであり、全ての関係者に衷心からの謝意を表す。

2015年1月

建築基礎構造編集担当幹事

中井正一，金子 治

東日本大震災合同調査報告 建築編 5 建築基礎構造
作成関係委員

—五十音順・敬称略—

構造委員会

委員長 緑川 光正
幹事 加藤 研一, 塩原 等, 竹脇 出
委員 (省略)

基礎構造運営委員会

主査 時松 孝次
幹事 鈴木 康嗣, 田村 修次
委員 青木 雅路, 安達 俊夫, 井上 波彦, 加倉井正昭, 金子 治
郡 幸雄, 小林 勝巳, 阪上 浩二, 佐原 守, 鈴木比呂子
中井 正一, 畑中 宗憲, 林 隆浩, 平出 務, 藤井 衛
本田 周二, 真野 英之, 三辻 和弥, 三町 直志, 渡辺 一弘

東日本大震災合同調査報告基礎構造編編集ワーキンググループ

主査 中井 正一
幹事 金子 治
委員 内田 明彦, 鈴木 康嗣, 時松 孝次, 三辻 和弥

執筆担当者

第1章 中井 正一 (千葉大学, 1.1)
鈴木 康嗣 (鹿島建設, 1.2)
金子 治 (戸田建設, 1.3)
和泉 信之 (千葉大学, 1.4)
杉村 義広 (東北大学, 1.5)
第2章 内山 晴夫 (久米設計, 2.1)
井上 波彦 (国土技術政策総合研究所, 2.2)
三町 直志 (日本設計, 2.3)
内田 明彦 (竹中工務店, 2.4)
新井 洋 (国土技術政策総合研究所, 2.5)
第3章 時松 孝次 (東京工業大学, 3.1, 3.2, 3.5)
田村 修次 (東京工業大学, 3.2)

- 鈴木比呂子 (千葉工業大学, 3.2, 3.5)
畑中 宗憲 (千葉工業大学, 3.3)
中井 正一 (前掲, 3.4)
阿部 秋男 (東京ソイルリサーチ, 3.6)
- 第4章 鈴木 康嗣 (前掲, 4.1, 4.2)
三辻 和弥 (山形大学, 4.3)
杉村 義広 (前掲, 4.4)
- 第5章 金子 治 (前掲, 5.1.1, 5.1.5, 5.1.11, 5.1.12, 5.2.1, 5.2.6, 5.2.11)
三辻 和弥 (前掲, 5.1.2, 5.1.3, 5.1.4, 5.1.15, 5.1.16)
飯場 正紀 (北海道大学, 5.1.6)
平出 務 (建築研究所, 5.1.6)
迫田 丈志 (堀江建築工学研究所, 5.1.7)
久世 直哉 (ベターリビング, 5.1.8, 5.2.12, 5.2.13)
尻無濱昭三 (鉄建建設, 5.1.9, 5.1.10)
源栄 正人 (東北大学, 5.1.13, 5.1.14)
時松 孝次 (前掲, 5.2.2, 5.2.8)
坪井 友宏 (清水建設 (元東京工業大学大学院生), 5.2.2, 5.2.8)
鈴木比呂子 (前掲, 5.2.2, 5.2.8)
阿部 秋男 (前掲, 5.2.2)
和泉 信之 (前掲, 5.2.3)
小林 治男 (大成建設, 5.2.4, 5.2.5, 5.2.14)
関口 徹 (千葉大学, 5.2.7)
桑子 喬 (桑子建築設計事務所, 5.2.8)
岸田 慎司 (芝浦工業大学, 5.2.9)
北山 和宏 (首都大学東京, 5.2.10)
松下 克也 (ミサワホーム総合研究所, 5.2.15)
山下 清 (竹中工務店, 5.2.16)
吉富 宏紀 (不動テトラ, 5.3.1, 5.3.2)
田村 和弘 (鴻池組, 5.3.3)
内田 明彦 (前掲, 5.3.4)
- 第6章 金子 治 (前掲, 6.1.1, 6.1.3, 6.1.4)
尻無濱昭三 (前掲, 6.1.2)
小林 治男 (前掲, 6.1.5)
伊奈 潔 (中央建鉄, 6.2.1)
松下 克也 (前掲, 6.2.2)

建築基礎構造

目 次

巻 頭

第1章 被害の概要

1.1 基礎・地盤の被害の概要	1
1.1.1 はじめに	1
1.1.2 液状化による基礎の被害	1
1.1.3 津波による被害	2
1.1.4 震動による杭基礎の被害	2
1.1.5 おわりに	3
1.2 液状化による被害の概要	4
1.2.1 液状化の発生状況	4
1.2.2 直接基礎の被害	5
1.2.3 杭基礎の被害	6
1.2.4 液状化による被害のまとめ	7
1.3 杭基礎建物の被害の傾向	8
1.3.1 被害分析の対象	8
1.3.2 建設年代	8
1.3.3 上部構造の構造規模	8
1.3.4 上部構造の被害	9
1.3.5 杭種	9
1.3.6 地盤条件・地形	10
1.4 文教施設の基礎の被害統計	12
1.4.1 被害の概要	12
1.4.2 被害の分析	12
1.5 津波による基礎の被害の概要	15
1.5.1 はじめに	15
1.5.2 津波による被害パターンと調査対象建物	15
1.5.3 転倒の原因	15
1.5.4 おわりに	18

第2章 設計基準類の変遷

2.1 学会指針および関連法規	21
2.1.1 はじめに	21

2.1.2	学会指針の動向	21
2.1.3	関連法規の動向	22
2.1.4	杭の耐震設計に関する実務の動向	23
2.2	地震後の行政の対応	23
2.2.1	国土交通省の対応の概要と被災調査対象地域	23
2.2.2	構造物の震動的被害	23
2.2.3	構造物の津波による被害	24
2.2.4	震災を踏まえた対応	24
2.3	基礎の耐震設計の動向	27
2.3.1	阪神・淡路大震災後の動向	27
2.3.2	東日本大震災後の動向	28
2.4	地盤の液状化判定	29
2.4.1	限界 N 値法	29
2.4.2	N 値による液状化判定	29
2.4.3	液状化程度の判定	30
2.4.4	N 値以外の液状化判定法	30
2.4.5	まとめ	31
2.5	応急危険度判定・被災度区分判定・罹災証明	32
2.5.1	応急危険度判定	32
2.5.2	被災度区分判定	32
2.5.3	罹災証明	33

第3章 液状化被害

3.1	液状化の発生状況	37
3.2	浦安市	38
3.2.1	被害概要	38
3.2.2	戸建て住宅の詳細被害調査	42
3.2.3	杭基礎建物の挙動	43
3.2.4	液状化被害と地盤構造	45
3.3	習志野市	46
3.3.1	地形および地盤概要	46
3.3.2	地震被害概要	48
3.4	浦安・習志野以外の千葉県	52
3.4.1	千葉市	52
3.4.2	香取市	61
3.5	神栖市	65
3.5.1	神栖市の概要	65
3.5.2	液状化による被害	65

3.5.3	土地履歴が被害に及ぼす影響	67
3.5.4	まとめ	68
3.6	潮来市	69
3.6.1	潮来市の概要	69
3.6.2	日の出地区の地盤	71
3.6.3	住宅の液状化被害	72
3.6.4	公共施設の液状化被害	73
3.6.5	液状化対策工の施工	74
3.6.6	まとめ	74

第4章 地盤・基礎の被害

4.1	地盤・基礎の被害の特徴	75
4.1.1	概要	75
4.1.2	地盤・基礎の被害の特徴	75
4.1.3	補修・復旧	75
4.2	杭基礎の被害	76
4.2.1	被害の概要	76
4.2.2	被害の特徴	76
4.2.3	東北地方の杭基礎被害	76
4.2.4	関東地方の杭基礎被害	78
4.2.5	杭基礎の補修・復旧事例	80
4.2.6	まとめ	81
4.3	造成地の被害	82
4.3.1	概要	82
4.3.2	仙台市の造成地被害	82
4.3.3	仙台市以外の造成地被害	86
4.3.4	まとめ	86
4.4	津波による被害	88
4.4.1	はじめに	88
4.4.2	No.1：支持杭基礎の鉄骨造3階一部4階建て	88
4.4.3	No.2：摩擦杭基礎の鉄筋コンクリート造4階建て	90
4.4.4	No.3：支持杭基礎の鉄筋コンクリート造2階建て	90
4.4.5	直接基礎の鉄筋コンクリート造3階建て No.4 と 2階建て No.5	92
4.4.6	その他転倒せずに残った鉄筋コンクリート造建物	92
4.4.7	おわりに	93

第5章 調査事例

5.1	東北地方の調査事例	95
-----	-----------	----

5.1.1	調査事例一覧	95
5.1.2	14階建て集合住宅の被害（仙台市）	97
5.1.3	RC造事務所ビルの被害（仙台市）	101
5.1.4	集合住宅の階段室の被害（仙台市）	105
5.1.5	3ヶ所の集合住宅の被害（仙台市）	111
5.1.6	沖積平野に建つ学校の被害（仙台市）	114
5.1.7	軟弱地盤に建つ中学校の被害（大崎市）	118
5.1.8	丘陵地の縁に建つ小学校の被害（相馬市）	124
5.1.9	丘陵地に建つ集合住宅の被害（郡山市）	129
5.1.10	8階建て集合住宅の被害（郡山市）	132
5.1.11	軟弱地盤に建つ集合住宅の被害（会津若松市）	136
5.1.12	3棟の集合住宅の被害（白河市）	139
5.1.13	杭が補修された集合住宅の振動特性の調査（仙台市）	142
5.1.14	大学施設の杭の調査（仙台市）	146
5.1.15	津波による被害（女川町）	149
5.1.16	造成地の被害（仙台市）	154
5.2	関東地方の調査事例	158
5.2.1	調査事例一覧	158
5.2.2	液状化地盤で建設中の施設の被害（浦安市）	159
5.2.3	液状化地盤に建つ2つの中学校の被害（香取市）	163
5.2.4	埋立地盤に建つ事務所ビルの被害（船橋市）	166
5.2.5	谷部埋立地に建つ集合住宅の被害（千葉市）	168
5.2.6	軟弱地盤に建つ集合住宅の被害（船橋市）	171
5.2.7	軟弱地盤に建つ集合住宅の被害（市原市）	176
5.2.8	腐植土地盤に建つ小学校の被害（さいたま市）	179
5.2.9	台地に建つ小学校の被害（高根沢町）	182
5.2.10	台地に建つ中学校の被害（市貝町）	186
5.2.11	台地に建つ小学校の被害（宇都宮市）	195
5.2.12	支持層が傾斜した地盤に建つ共同住宅の被害（鹿嶋市）	197
5.2.13	斜面に近接した位置に建つ小学校体育館の被害（行方市）	201
5.2.14	基礎梁等の被害（千葉県，栃木県）	204
5.2.15	戸建て住宅の被害（浦安市）	207
5.2.16	地震時のパイルド・ラフト基礎の挙動（東海村）	211
5.3	液状化対策の効果に関する調査事例	215
5.3.1	締固め工法による液状化対策事例①（江東区）	215
5.3.2	締固め工法による液状化対策事例②（浦安市）	216
5.3.3	間隙水圧消散工法による液状化対策事例（浦安市）	218
5.3.4	格子状改良による液状化対策事例（浦安市）	221

第6章 補修・復旧事例

6.1 杭基礎建物の補修・復旧事例	225
6.1.1 補修・復旧事例一覧	225
6.1.2 ジャッキアップによる集合住宅の復旧事例①	226
6.1.3 ジャッキアップによる集合住宅の復旧事例②	229
6.1.4 ジャッキアップによる集合住宅の復旧事例③	233
6.1.5 集合住宅の杭の補修事例	237
6.2 液状化地盤に建つ小規模建築物の復旧事例	238
6.2.1 小規模建築物の実態調査	238
6.2.2 小規模建築物の復旧事例	242

はじめに

本編は、日本建築学会海洋建築委員会が実施した東日本大震災における津波被害調査の報告と調査に基づき得られた知見をまとめたものである。調査対象地域は、東北地方と関東地方の太平洋沿岸に沿う岩手県、宮城県、福島県、茨城県、千葉県、東京都と広範囲にわたっている。建築物の津波被害調査は構造種別にとらわれずに鉄筋コンクリート造、鉄骨造、および木造を対象とした。調査内容は構造的な観点だけでなく、避難活動や救援活動などを含む建築・地域計画的視点、および津波による環境変化などの環境工学的視点も取り入れている。

本編の中心をなすのは第2章である。当委員会の調査団が訪れた被災地における建築物の被害状況を岩手県久慈市から南下するように配置した。建築学会に正式に申請して実施した調査は5回（第一次調査：5月13日～15日，第二次調査：6月1日～3日，第三次調査：6月16日～19日，第四次調査：7月22日～24日，第五次調査9月2日～4日）であり、被災後の2～6ヶ月に集中している。調査団の本隊は、津波被害の大きかった岩手・宮城・福島3県の太平洋沿岸の幹線道路に沿って調査を展開したが、一部は茨城・千葉・東京の調査に回った。また、幹線道路から外れた被災地である半島部と島嶼部の調査もその後実施している。以上の内容をまとめた第2章は本編のページ数の約半分を占めている。

第3章から第11章までは被害調査から得られた知見を様々な角度から集約した内容になっており、第1章は本編で扱う範囲と概要、第12章は本編全体のまとめとして記述されている。これらの知見の多くは、東日本大震災後の活動として本委員会が主催した2011年12月の「東日本大震災における建築物の津波被害」に関する報告会、2012年9月の大会研究協議会「東海・東南海・南海三連動地震と津波への備え」、同年10月の「津波外力と対津波設計」に関する公開研究会、2013年8月の大会研究協議会「対津波への減災を考える」での講演とその後の議論に基づいている。さらに、本会の東日本大震災調査復興支援本部 研究・提言部会で津波の「破壊力調査」と「対津波設計」を担当し、2013年3月の東日本大震災2周年シンポジウムと2013年8月の大会総合研究協議会「東日本大震災から2.5年」での進捗状況の発表と「建築雑誌」（2013年10月）における公表に携われる機会を得たことも知見を深める上で有益であった。

なお、海洋建築委員会では本編の執筆を2014年4月段階ですでに脱稿していた。出版までに約1年が経過しているため、改めて読み返してみると、被災地での状況が時々刻々と変化するなかで、その後の変化を十分には反映しきれない記述も見受けられる。本編の内容が津波被災後の1～2年間で纏められている点にご理解をいただきたい。最後に、本編をまとめるにあたり、執筆にご尽力いただいた委員を始め、貴重な資料や情報を提供していただいた関係各位に心よりお礼申しあげる。

2015年1月

津波の特性と被害編集担当幹事

濱本卓司，中西三和

東日本大震災合同調査報告 建築編 5 津波の特性と被害

作成関係委員

—五十音順・敬称略—

海洋建築委員会

委員長	遠藤 龍司
幹事	居駒 知樹, 川上 善嗣, 藤田 謙一, 増田 光一
委員	恵藤 浩朗, 岡田 智秀, 川西 利昌, 黒木 正郎, 畔柳 昭雄 後藤 剛史, 小林 昭男, 近藤 一夫, 桜井 慎一, 佐々木 仁 三溝 裕之, 新宮 清志, 関 洋之, 登坂 宣好, 中西 三和 野口 憲一, 濱本 卓司, 福住 忠裕, 堀田 健治, 松井 徹哉 矢代 晴実, 横内 憲久

執筆担当者

第1章	濱本 卓司 (東京都市大学)
第2章	藤田 謙一 (千代田化工建設, 2.1.1) 遠藤 龍司 (職業能力開発総合大学校, 2.1.2) 松井 徹哉 (名古屋産業科学研究所, 2.1.3) 濱本 卓司 (前掲, 2.1.4, 2.3) 中西 三和 (日本大学, 2.2) 小林 昭男 (日本大学, 2.4) 桜井 慎一 (日本大学, 2.5)
第3章	小林 昭男 (前掲)
第4章	増田 光一 (日本大学)
第5章	増田 光一 (前掲)
第6章	矢代 晴実 (防衛大学)
第7章	村尾 修 (東北大学災害科学国際研究所, 7.1) 畔柳 昭雄 (日本大学, 7.2) 小川 雅人 (八千代エンジニアリング, 7.2)
第8章	田尻清太郎 (建築研究所, 8.1, 8.2) 松井 徹哉 (前掲, 8.3)
第9章	大塚 文和 (日本大学, 9.1, 9.2) 川西 利昌 (日本大学, 9.3, 9.4)
第10章	恵藤 浩朗 (日本大学)
第11章	濱本 卓司 (前掲)

津波の特性と被害

目 次

巻 頭

第1章 津波被害の概要

1.1 東日本大震災大津波	245
1.2 沿岸地形	245
1.2.1 三陸海岸	245
1.2.2 仙台平野	246
1.3 沿岸利用	246
1.3.1 漁村	246
1.3.2 農村	246
1.3.3 港湾都市	246
1.4 津波襲来の歴史	246
1.4.1 貞観地震津波	246
1.4.2 慶長地震津波	246
1.4.3 明治三陸地震津波	246
1.4.4 昭和三陸地震津波	246
1.4.5 チリ地震津波	247
1.5 発生・伝播・浸水	247
1.5.1 発生	247
1.5.2 外洋での伝播	247
1.5.3 浅海での伝播	247
1.5.4 沿岸での変形	247
1.5.5 河川での遡上	247
1.5.6 陸上への遡上	247
1.6 建築物の被害	248
1.6.1 鉄筋コンクリート造	248
1.6.2 鉄骨造	248
1.6.3 木造	248
1.7 インフラの被害	248
1.7.1 交通システム	248
1.7.2 ライフライン	249
1.7.3 情報システム	249
1.8 津波防護施設の被害	249

1.8.1	湾口防波堤	249
1.8.2	防波堤	249
1.8.3	防潮堤	249
1.8.4	防潮林	250
1.9	二次災害	250
1.9.1	火災	250
1.9.2	地盤沈下	250
1.9.3	塩害	250
1.10	避難	250
1.10.1	避難教育	250
1.10.2	避難場所・経路	250
1.10.3	津波避難ビル	250
1.10.4	災害弱者	250
1.11	救助・救援	250
1.11.1	消防団	250
1.11.2	病院	250
1.11.3	自衛隊	251
1.11.4	消防	251
1.11.5	警察	251
1.12	復旧	251
1.13	環境影響	251
1.14	復興と備え	251

第2章 建築構造物の津波被害

2.1	三陸海岸における被害の特徴	253
2.1.1	概要	253
2.1.2	過去の被害地震	257
2.1.3	三陸宮城	274
2.1.4	半島における津波被害	286
2.2	仙台平野および福島県沿岸域における被害	305
2.2.1	調査概要	305
2.2.2	各地域の津波被害状況	305
2.2.3	本調査地域における建物被害の特徴	312
2.2.4	調査のまとめ	312
2.3	離島における津波被害	314
2.3.1	大島 — 気仙沼市	314
2.3.2	出島 — 女川町	316
2.3.3	江島 — 女川町	317

2.3.4	金華山	—	石巻市	318
2.3.5	田代島	—	石巻市	319
2.3.6	網地島	—	石巻市	320
2.3.7	宮戸島	—	東松島市	321
2.3.8	浦戸諸島	—	塩釜市	322
2.3.9	離島における津波被害の教訓			327
2.4	関東地域における被害			329
2.4.1	茨城県沿岸部			329
2.4.2	千葉県太平洋沿岸部の津波被害調査			335
2.5	東京湾岸地帯の津波被害			344
2.5.1	調査の目的			344
2.5.2	調査方法			344
2.5.3	調査結果			344

第3章 津波による居住地域の浸水及び地形変化と今後の対策

3.1	津波による居住地域の浸水及び地形変化			349
3.1.1	概要			349
3.1.2	浸水域と地形の関係			349
3.1.3	地盤沈下と地形変化の関係			350
3.1.4	まとめ			350
3.2	今後の対策			351
3.2.1	対策立案に向けた基本事項			351
3.2.2	復旧と防護の対策			351

第4章 津波遡上に伴う建築物周辺の流況と津波波圧

4.1	津波被害状況			353
4.1.1	建物の津波被害			353
4.1.2	建築物の基礎洗掘被害			354
4.2	壁面に作用する津波流体圧の特性と静水圧近似			354
4.3	建築物の被害と静水圧近似の適用性			355

第5章 津波漂流物の建築物被害に及ぼす影響

5.1	漂流物による建物被害例			357
5.2	漂流物の衝突による作用外力			357

第6章 津波被災地のハザードマップと避難行動の実態

6.1	津波避難の実態			359
6.2	津波からの避難計画			360

6.3	東日本大震災発生前の被害想定	360
6.4	津波避難とハザードマップ	362
6.5	まとめ	363

第7章 津波避難施設の現状と今後の課題

7.1	施設を用いた津波避難対策の経緯と東日本大震災被災地における津波避難施設の利用状況	365
7.1.1	津波を対象とした水平避難と垂直避難	365
7.1.2	日本における津波避難施設を用いた津波対策の経緯	366
7.1.3	東日本大震災における津波避難施設の利用状況	366
7.1.4	被災地における東日本大震災後の津波避難施設設置の状況	367
7.2	津波避難ビルの現状	371
7.2.1	はじめに	371
7.2.2	全国における指定状況	372
7.2.3	津波避難ビルの防災機能	374
7.2.4	自治体における取組みの問題点・課題	375
7.2.5	静岡県沼津市における取組み	376
7.2.6	おわりに	378

第8章 津波避難ビルの構造設計法

8.1	建築物の津波による被害の分類	381
8.1.1	概要	381
8.1.2	鉄筋コンクリート造建築物の被害分類	381
8.1.3	鉄骨造建築物の被害分類	385
8.2	構造設計法	388
8.2.1	概要	388
8.2.2	背景	388
8.2.3	設計方針	388
8.2.4	津波避難ビルの構造設計の概要	388
8.2.5	津波波圧の算定	389
8.2.6	津波波力の算定	391
8.2.7	浮力の算定	391
8.2.8	漂流物への対処方法	392
8.2.9	津波避難ビルに要求される条件	392
8.3	津波の流体力学的特性と津波外力の評価法	394
8.3.1	概要	394
8.3.2	遡上津波の流体力学的特性	394
8.3.3	現行の津波外力評価式	396

8.3.4	津波被害調査結果に基づく検証	397
8.3.5	流速依存性を考慮した津波外力評価式の提案	398
8.3.6	耐震設計された建築物の保有水平耐力と津波外力の比較例	400
8.3.7	今後の課題	401

第9章 津波による海域環境の変化

9.1	津波による沿岸環境の変化	403
9.2	沿岸域の放射能汚染	406
9.3	放射性物質による沿岸域の環境変化とその影響	408
9.3.1	海浜の放射線	408
9.3.2	千葉県船橋市三番瀬海浜公園の空間線量率測定結果	408
9.3.3	海浜の指向性線量率分布測定	409
9.4	津波と沿岸域の建築環境工学的変化	410
9.4.1	建築環境と時系列	410
9.4.2	土壌塩分と粉塵	410
9.4.3	海洋建築空間の放射線被曝と計測	410
9.4.4	建築環境と海岸林	411
9.4.5	海浜公園，海浜緑地の被災，復旧	411
9.4.6	海岸保養施設，海水浴場	414

第10章 災害時における浮体の利活用

10.1	浮体式防災基地	415
10.1.1	三大湾の浮体式防災基地	415
10.1.2	室蘭港浮体式防災基地	415
10.2	汚染水貯蔵浮体	416
10.3	塩釜港の浮棧橋「マリゲート塩釜」	416

第11章 建築物の対津波戦略

11.1	人命保護と機能維持	419
11.2	ハード対策とソフト対策の融合	419
11.3	想定を超えた津波に対するロバスト性	419
11.4	津波荷重の軽減	420
11.5	上方避難経路の確保	420
11.6	建物性能の早期回復	420
11.7	避難情報ネットワークの多重化	420
11.8	前後事象のリスク連鎖	421
11.9	性能設計法の構築	421
11.10	構造材と非構造材の対津波設計	421

11.11 南海トラフ地震大津波への備え	421
----------------------------	-----