

第2回 建築構造基準委員会

議事次第

中央合同庁舎3号館4階特別会議室
平成23年8月18日(木) 17:00~19:00

1 開会

2 議事

(1) 東日本大震災における建築物の被害を踏まえた安全性確保対策について

①津波による建築物被害を踏まえた対応について

②地震動による非構造部材の被害を踏まえた対応について

(2) その他(報告)

①地盤の液状化による被害を踏まえた対応について

②免震構造の建築物の被害状況について

③WG等の設置状況について

- ・「長周期地震動対策検討WG」の設置状況について
- ・技術基準原案作成TGの設置状況について

3 閉会

建築構造基準委員会 委員名簿

委員長

久保 哲夫 東京大学大学院工学系研究科 教授

委員

金岡 宏幸 日本建築行政会議 適判部会部会長

金箱 温春 (社)日本建築構造技術者協会 会長

北村 春幸 東京理科大学工学部建築学科 教授

桑原 文夫 日本工業大学工学部建築学科 教授

田中 仁史 京都大学防災研究所 教授

田端 隆 (社)日本建築士事務所協会連合会常任理事 業務・技術委員長

中島 正愛 京都大学防災研究所 教授

平石 久廣 明治大学工学部建築学科 教授

細澤 治 (社)日本建設業連合会設計委員会構造設計専門部会委員

柘田 佳寛 宇都宮大学大学院工学研究科 教授

緑川 光正 北海道大学大学院工学研究院 教授

望月 国宏 日本建築行政会議 構造部会部会長

安村 基 静岡大学農学部環境森林科学科 教授

協力委員

飯場 正紀 (独)建築研究所構造研究グループ長

大川 出 (独)建築研究所構造研究グループ主席研究監

奥田 泰雄 (独)建築研究所構造研究グループ上席研究員

福山 洋 (独)建築研究所構造研究グループ上席研究員

事務局

国土技術政策総合研究所 建築研究部

平成 23 年度 建築基準整備促進事業

「40. 津波危険地域における建築基準等の整備に資する検討」

中間報告書

(抄)

平成 23 年 7 月

東京大学生産技術研究所

目次

1. 調査・検討目的	.....	3
2. 調査・検討体制、方法	.....	3
3. 調査・検討結果(中間報告)	.....	3
4. 今後の課題	.....	11
参考資料	.....	14
(1) 委員会構成		
(2) 検討対象構造物の被害状況表		

1. 調査・検討目的

本調査研究における主な調査・検討目的は以下のとおりである。

- ・東日本大震災における津波被害地域での被害調査を基に津波避難ビル等構造設計法及び立地条件等の見直しの必要性とその内容を検討する。
- ・以上の成果を基に津波危険地域における建築制限のあり方に関する技術的整理を行う。

2. 調査・検討体制、方法

2.1 調査・検討体制

本検討は東京大学生産技術研究所と独立行政法人建築研究所の共同研究として行う。なお、「津波避難ビル等の構造設計法等の検討委員会（委員長：中埜良昭）」を耐震改修支援センター（財）日本建築防災協会）内に設置し、構造設計 WG、避難計画 WG、建築制限 WG を設けそれぞれにおいて詳細な検討を行う。参考資料（1）に委員会構成を示す。

2.2 調査・検討方針

津波被害地域における被害調査報告等の収集及び現地調査を行い、被害を受けた建築物等の計測浸水深と建築物の諸元、被害状況等を把握した上で、それらの調査結果を基に、内閣府の「津波避難ビル等に係るガイドライン」（以下、ガイドラインと呼ぶ）¹⁾において参照されている（財）日本建築センターの自主研究に示された津波避難ビルの構造設計法等^{2,3)}について、妥当性の検証及び見直しの必要な項目・内容の検討を行う。また、津波避難ビルの位置的要件、避難活用の際の留意点などについても、被害調査等に基づき検討を行う。更に、上記検討の成果をもとに、津波危険地域における安全性に配慮した建築制限のあり方に関する技術的整理を行う。

3. 調査・検討結果（中間報告）

構造設計 WG、避難計画 WG、建築制限 WG 毎に得られた成果を以下にまとめる。骨子は次のとおりである。

- ・ 構造設計 WG においては、津波被害地域における構造物の調査結果をもとに津波波圧算定式の妥当性を検討することとした。具体的には、津波荷重と被害形態・程度の対応関係を整理した。今後さらに設計用津波荷重算定式の検討を進めることとしている。
- ・ 避難計画 WG においては、津波被害地域における津波避難ビルに関する調査結果をもとに、その有効性の検証等を行った。今後さらに、設計上の配慮事項等について検討することとしている。
- ・ 建築制限 WG においては、建築基準法第 39 条の適用を前提とした建築制限のあり方につ

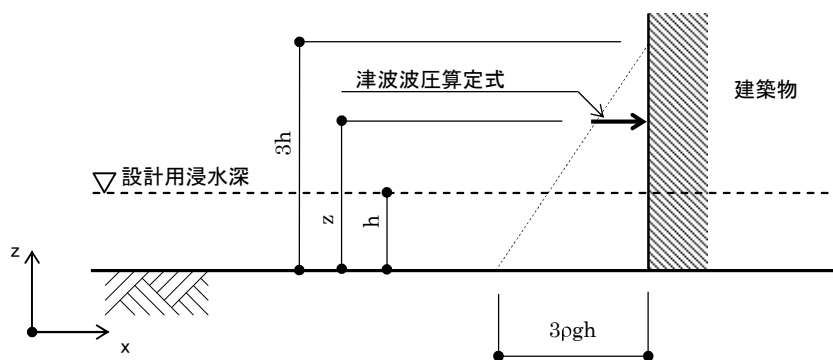
いて整理を行った。今後さらに、構造設計WG及び避難計画WGの成果も踏まえ検討を進めることとしている。

なお、本中間報告は、東日本大震災における津波被害を対象に、現時点における限られたデータに基づき、一定の仮定に基づく分析（解釈）を試みたものであり、設計要件・数値等の具体的提案については引き続き検討を要する。以下に各WGの調査・検討結果をまとめる。

3. 1 構造設計WG

3. 1. 1 調査概要

東日本大震災の津波被害地域において、約 230 の塀や堤防等の比較的単純な工作物と建築物に関する被害調査を行い、その中から 96 の調査結果を対象に津波波圧算定式の妥当性を検討した。検討は、図 3.1 に示すガイドラインで参照されている津波波圧算定式^{2,3)}の設計用浸水深 h に対する倍率 3 の検証に着目して行った。表 3.1 に検討対象とした構造物の内訳を示し、主な被害調査地域と被害状況写真例を図 3.2 に示す。



$$\text{津波波圧算定式： } q_x = \rho g(3h - z)$$

q_x : 構造設計用の進行方向の津波波圧(kN/m²)

ρ : 水の単位体積質量(t/m³)

g : 重力加速度(m/s²)

h : 設計用浸水深(m)

z : 当該部分の地盤面からの高さ ($0 \leq z \leq 3h$) (m)

図 3.1 ガイドラインで参照される津波波圧算定式

・調査地域

青森県：三沢市、八戸市

岩手県：久慈市、洋野町、野田村、普代村、田野畑村、岩泉町、田老町、宮古市、
山田町、大槌町、釜石市、大船渡市、陸前高田市

宮城県：気仙沼市、南三陸町、女川町、石巻市、東松島市、松島町、塩竈市、多賀城市、
仙台市、名取市、岩沼市、亶理町、山元町

福島県：相馬市

表 3.1 検討対象構造物の内訳

比較的単純な工作物	被害なし	軽微な損傷	崩壊・転倒	合計
	9	2	33	44
建築物	残存	崩壊	転倒	合計
	36	7	9	52



図 3.2 調査地域と被害状況写真例

3. 1. 2 結果概要

(1) 比較的単純な工作物および鉄筋コンクリート造 (RC 造) 建築物

比較的単純な工作物 44 件および RC 造建築物 34 棟の両者について、津波荷重と被害形態・程度に対応関係を検討すべく、図 3.3 に、縦軸に計測浸水深 η_m 、横軸に構造物耐力相当時の浸水深^{※1} $a\eta_m$ を計測浸水深 η_m で除した比として定義した水深係数 a をとってまとめた。ここで建築物は崩壊または残存した物を対象とし、転倒した物は含まない。

計測浸水深は、三陸地方においては対象構造物あるいはその周辺で計測された津波の痕跡深さの最大値^{※2} と定義した。仙台平野においては、構造物前面の津波の痕跡が背面もしくは側面に比べ高い位置に見られたため、背面もしくは側面で計測された津波の痕跡深さを計測浸水深と定義した。

なお、図中の○と◇印は被害のない工作物と残存する建築物で、×と*印は崩壊した工作物と建築物、△はわずかに傾斜、ひび割れ等の軽微な損傷が見られる工作物を示している。○と◇印については作用した津波の波力が構造物の耐力より小さかった事、×と*印は作用した津波の波力が構造物の耐力より大きかった事、△印は津波の波力と構造物の耐力が同等程度であった事をそれぞれ意味する。ここでは各構造物の水深係数と計測浸水深を図 3.3 にまとめ、○および◇と×および*印の境界を探ることで津波の波力を推定することを試みた。

また、津波の波力が構造物の立地条件によって異なることを想定し、津波高さや津波防災施設の規模等を総合的に勘案し、海側に津波の波力低減を期待し得る遮蔽物（防波堤や防潮堤等）がある構造物と、ない構造物とに分類した。

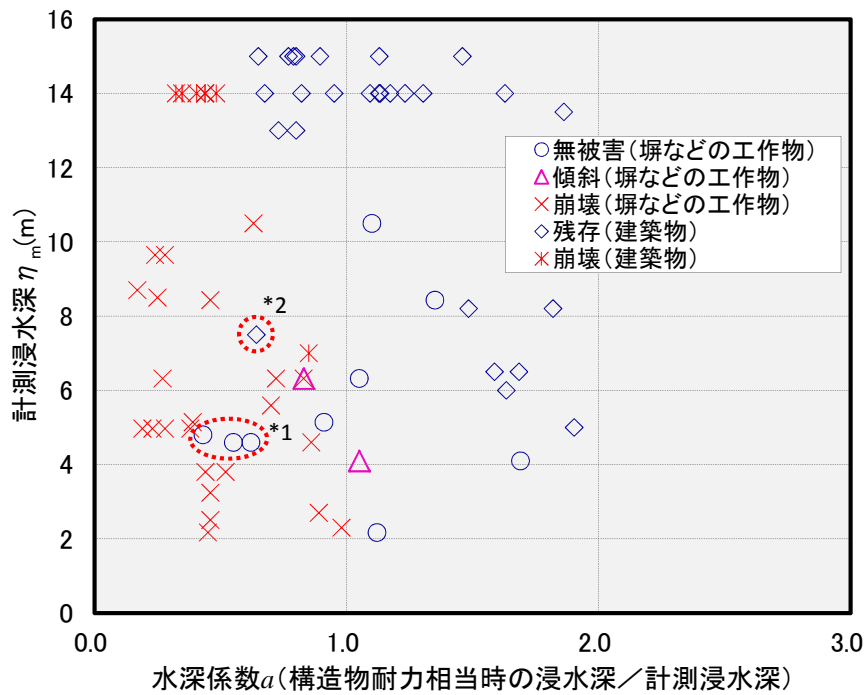
遮蔽物による波力低減効果が期待できる場合を図 3.3(a)に示す。計測浸水深が概ね 10m 以下の場合については、*1 と*2 を除くと、被害の有無（○と×等）が境界となる波力は水深係数 $a=1$ （計測浸水深の 1 倍）の深さの静水圧相当の波力であると考えられる。また、計測浸水深が概ね 10m を超える地域では水深係数 a が 1 を大きく下回る建築物も多数残存しており、計測浸水深の静水圧相当の波力は作用しなかったと推察される。

遮蔽物による波力低減効果が期待できない場合を図 3.3(b)に示す。該当する建築物はないため比較的単純な工作物のみを対象としているが、×が水深係数 $a=1\sim 1.5$ の間に数個プロットされており、遮蔽物の波力低減効果の有無による違いが見られる。遮蔽物による波力低減効果が期待できる場合に比べると、期待できない場合の波力は大きかったと推察され、計測浸水深の概ね 1.5 倍以上の深さの静水圧に相当する波力が作用したと考えられる。

なお、2004 年スマトラ島沖地震津波を経験した構造物を対象に同様の検討がなされた結果⁴⁾によると、水深係数 a は 2~2.5 程度で、本調査研究による結果と比較して大きい。これは、スマトラ島沖地震津波における調査では、遮蔽物による波力低減効果を期待できる構造物が全くない海岸直近の工作物および建築物に直接的に津波が作用した事例が多かったことが理由の一つとして考えられる。

※1 構造物の片側にのみ津波荷重が作用すると仮定した時に、構造物の破壊形態に応じて評価された耐力に等しい静水圧荷重に相当する津波浸水深。なお、建築物の耐力は、1 階が層崩壊する場合の水平荷重とした。

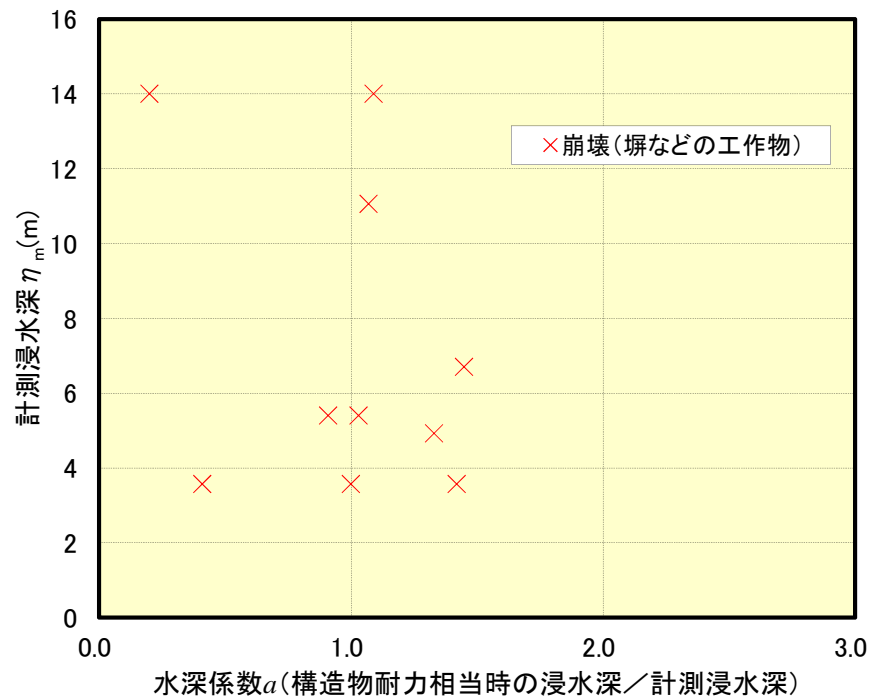
※2 構造物の前面と背面で津波の痕跡深さに大きな差は見られなかった。



(a) 遮蔽物による波力低減効果が期待できる場合

*1 津波進行方向と平行な工作物でその両面への水圧作用により $a < 1$ でも無被害と推定される

*2 側面開口が大きく建物内部への津波流入により $a < 1$ でも無被害と推定される



(b) 遮蔽物による波力低減効果が期待できない場合

図 3.3 計測浸水深と被害程度の関係 (比較的単純な工作物および RC 造建築物)

(2) 鉄骨造 (S 造) 建築物

著しく崩壊した建築物や流失した建築物の諸元を現地調査では確認できないため、S 造建築物については内外装材の大部分が破損・流失しながらも柱梁等の骨組が残存した 5 例のみを対象とした。内外装材が流失する前の状態は不明であることから、開口の割合として 3 割 (内外装材流失前、図 3.4 ●印) から 8 割 (同 流失後、同図 ○印) の上下限値を一律に仮定し、幅を持たせて水深係数 a を評価した。

図 3.4 に結果を示す。縦軸及び横軸は図 3.3 と同じである。計測浸水深 η_m が 14~15m の例では水深係数 a は 1 を下回る。 η_m が 11.5m の例では a は 1 前後である。一方、 η_m が 3.5m と小さい例では a は 1 を大きく上回る。この例は軒高 4m の平屋で耐力が比較的大きく、構造物耐力相当時の浸水深 $a\eta_m$ が軒高を大きく上回り、仮定した静水圧のうち低部のみが建築物に作用するとしているため、 a の範囲が他に比べて広がっている。 η_m が 8m の例は、海側や周辺に多数残存していた他の建築物によって流れが弱められたと推量される地点にある。建築物周囲の浸水深が偏らずにほぼ均等に増していくことで津波による作用荷重 (合力) は他の例に比べて小さくなったため、水深係数が 1 未満でも残存したと考えられる。

以上から、(1) の結果を概ね支持する傾向が得られた。ただし、ここで取り上げた例の近くに流失した同規模の S 造建築物もあり、柱脚等の仕様によっても被害状況が左右された可能性があることに留意すべきである。

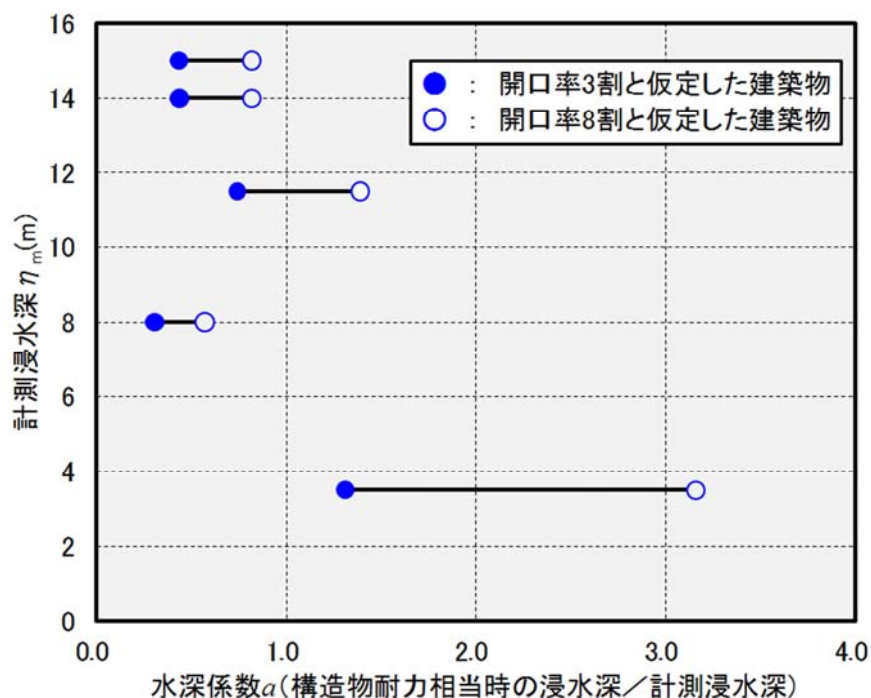


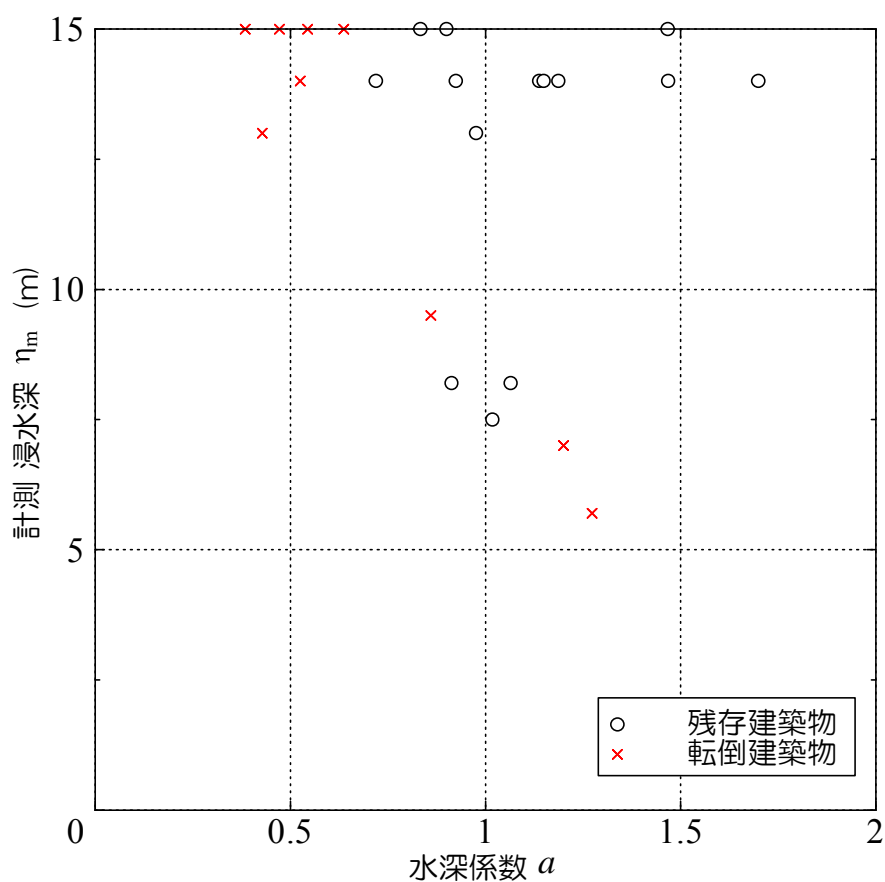
図 3.4 計測浸水深と被害程度の関係 (骨組が残存した S 造建築物)

(参考) 転倒した RC 造建築物

転倒及び残存した RC 造建築物を対象に、(1) と同様の検討を行った結果を参図 1 に参考として示す。ここで、建築物の耐力は被災の有無に関わらず、浮力、杭が及ぼす影響を無視した転倒耐力としている。

本検討の結果、概ね (1) の検討と同様な傾向が見られた。計測浸水深 5~7m の 2 棟においては水深係数 a が 1 を上回る場合でも転倒が生じているが、開口が少ない建物であるため、浮力の影響が作用したと思われる。

RC 造建築物の転倒に関する検討において浮力、杭が転倒耐力に及ぼす影響は大きいと考えられるため、今後これらの影響を考慮した精査が必要である。



参図 1 計測浸水深と被害程度の関係 (RC 造建築物の転倒に関する検討)

3. 1. 3 結論

(1) 比較的単純な工作物および建築物の調査結果に基づく検討から、以下の知見を得た。

- ① 海側に波力低減を期待しうる遮蔽物がある場合と無い場合とでは、津波の波力に差があると思われ、期待できる場合は計測浸水深の1倍の深さの静水圧相当の波力で被害程度が分類され、期待できない場合は、計測浸水深の概ね1.5倍以上の深さの静水圧に相当する波力が作用したと考えられる。

(2) 津波により被災したRC造建築物の調査結果に基づく検討から、以下の知見を得た。

- ① 計測浸水深が概ね10m以下の地域では、ほとんどの建築物が残存しており、その水深係数 a は1を大きく上回った。被害の有無(◇と*)の境界は水深係数 $a=1$ (計測浸水深の1倍)程度であると見られ、津波の波力は概ね計測浸水深の静水圧相当の荷重以下であったと考えられる。
- ② 計測浸水深が概ね10mを超える地域では水深係数 a が1を大きく下回る建築物も多数残存しており、計測浸水深の静水圧相当の荷重は作用しなかったと推察される。これは津波による最大水平力が作用した後も浸水深が増大し続け、最大水平力時の浸水深と計測浸水深の差が大きかったことが一因と考えられる。

(3) 津波により被災した鉄骨造(S造)建築物の調査結果に基づく検討から、以下の知見を得た。

- ① 流失した建築物等の諸元を現地調査では確認できないため、柱梁等の骨組が残存した例のみを検討対象としたが、上記(1)(2)を概ね支持する傾向が得られた。

4. 今後の課題

4. 1 構造設計 WG 関係

①津波ハザードマップで予測される浸水深と計測浸水深との関係

津波ハザードマップで予測される浸水深と、本検討で採用している計測浸水深との対応関係を明らかにしておく必要がある。

②設計用津波荷重算定式の検討

設計用津波荷重算定式を設定するにあたっては、以下の要因等を考慮し、更に検討する必要がある。

- ・ 検討の対象とした構造物被害は今回の津波によるものに限定されていること。
- ・ 浸水深の計測は必ずしも容易ではないため、津波痕跡の評価にばらつきが含まれていると考えられること。
- ・ 建築物の耐力を略算的に評価していること。
- ・ 計測浸水深を用いた静水圧分布に基づく検討であること。
- ・ 流速が計測されていないため、計測浸水深は津波波力が最大となった時の浸水深とは限らないこと。

③遮蔽物による津波波力の低減効果の定量的な検討

津波荷重に対する建築物等の設計に資するため、防波堤や防潮堤等の津波の波力を低減する効果があると考えられる施設について、その効果の定量的な把握を行う必要がある。

④建築物の開口率の津波荷重評価に与える影響の検討

津波が窓や扉などの開口部や外装材に作用する場合、津波波圧によって開口部や外装材が破損することで津波が建築物内に浸入し、建築物全体に作用する津波波力が軽減されることが予想される。本検討では、建築物前面の開口率に応じて津波荷重が線形的に軽減されると仮定して検討したが、開口による荷重の低減効果と設計時の荷重評価手法については引き続き検討する必要がある。

⑤転倒被害の要因に関する整理・検討

現地調査では、転倒した建築物の中に、浮力の影響を受けて転倒に至った事例が確認されており、転倒に及ぼす浮力の影響は極めて大きいと考えられる。そのため、建築物の転倒に及ぼす浮力や杭および開口等の影響に関する検討を行い、これらの設計上の配慮の方法について取りまとめる必要がある。

⑥漂流物の影響

現地調査では、漂流物の衝突により局部的に損傷を受けた事例が見られている。このような漂流物の影響の荷重への考慮の方法、もしくは設計において衝突により部材が損傷した場合の配慮の方法等について検討する必要がある。

⑦構造物に作用する抗力に関する検討

本検討では、津波荷重を動的な効果も含めて波圧分布を静水圧分布と仮定して建築物の片側に作用した場合を想定し、構造物の耐力と被害状況との関係を検討した。一方、陸上に遡上した津波は水流として建築物に作用するとも考えられ、構造物に作用する抗力として、津波荷重を評価することも考えられる。計測浸水深の静水圧と抗力との関係を検討する必要がある。

⑧洗掘の影響に関する検討

浸水した建築物の基礎周りに強い水流による洗掘が生じ建築物が傾斜する事例があった。杭基礎など、洗掘による建築物の傾斜を防ぐ設計・施工法を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 内閣府：津波避難ビル等に係るガイドライン、2005.6
- 2) 岡田恒男、菅野忠、石川忠志、扇丈朗、高井茂光、浜辺千佐子：津波に対する建築物の構造設計法について－その1：予備検討－、ビルディングレター、2004.10
- 3) 岡田恒男、菅野忠、石川忠志、扇丈朗、高井茂光、浜辺千佐子：津波に対する建築物の構造設計法について－その2：設計法(案)－、ビルディングレター、2004.11
- 4) 中埜良昭：スマトラ島沖地震津波の被害調査結果に基づく津波避難施設的设计外力評価、日本建築学会技術報告集、第13巻 第25号、2007.6
- 5) 国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人建築研究所：平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震調査研究(速報)(東日本大震災)、2011.5

参考資料

(1) 委員会構成

津波避難ビル等の構造設計法等の検討委員会 委員名簿

(敬称略)

委員長	中埜 良昭	東京大学生産技術研究所 教授
委員	岡田 恒男	東京大学名誉教授
		耐震改修支援センター・(財)日本建築防災協会 理事長
同	長谷見雄二	早稲田大学教授理工学術院建築学科 教授
同	今村 文彦	東北大学大学院工学研究科付属災害制御研究センター センター長
同	藤間 功司	防衛大学校 システム工学群 建設環境工学科 教授
同	八木 真爾	(株)佐藤総合計画 設計部長
同	五條 涉	(独)建築研究所 住宅・都市研究グループ長
同	福山 洋	(独)建築研究所 構造研究グループ 上席研究員
同	奥田 泰雄	(独)建築研究所 構造研究グループ 上席研究員
同	萩原 一郎	(独)建築研究所 防火研究グループ 上席研究員
同	加藤 博人	(独)建築研究所 構造研究グループ 主任研究員
同	杉山 義孝	耐震改修支援センター・(財)日本建築防災協会 専務理事
同	菅野 忠	耐震改修支援センター・(財)日本建築防災協会 審議役
協力委員	松井 康治	国土交通省住宅局建築指導課 建築物防災対策室 課長補佐
同	山下 浩一	国土交通省住宅局住宅生産課 建築技術政策分析官
同	石坂 聡	国土交通省住宅局市街地建築課 市街地住宅整備室 企画専門官
同	向井 昭義	国土交通省国土技術政策総合研究所 建築新技術研究官
同	港 以知郎	国土交通省国土技術政策総合研究所 建築災害対策研究官
同	深井 敦夫	国土交通省国土技術政策総合研究所 基準認証システム研究室長
オブザーバー	大島 敦仁	国土交通省国土技術政策総合研究所住宅計画研究室 主任研究官
同	金井 昭典	(独)建築研究所 研究総括監
同	石原 直	(独)建築研究所 国際地震工学センター 主任研究員
同	田尻清太郎	(独)建築研究所 構造研究グループ 研究員
同	壁谷澤寿一	(独)建築研究所 構造研究グループ 研究員
同	下山 利浩	内閣府政策統括官(防災担当)付 参事官(地震・火山・大規模水害対策担当)付 参事官補佐
同	高見 英樹	文部科学省大臣官房文教施設企画部施設助成課 課長補佐
同	小林 和弘	文部科学省大臣官房文教施設企画部施設企画課 環境施設企画係長
同	浅井 竜也	東京大学大学院生 (生産技術研究所・中埜研究室)
事務局	芳賀 勇治	耐震改修支援センター・(財)日本建築防災協会 企画調査部審議役
同	舘野 公一	耐震改修支援センター・(財)日本建築防災協会 企画調査部参事役

(2) 検討対象建造物の被害状況表

表1 検討対象の建築物の被害状況

No.	所在地	構造	階数	建築物高さ (m)	計測浸水深 (m)	被害状況	津波避難 ビル
1	陸前高田市	RC 純ラーメン構造	2	7.0	14.0	層崩壊	
2	陸前高田市	RC 純ラーメン構造	2	6.4	14.0	層崩壊	
3	陸前高田市	RC 純ラーメン構造	2	6.2	14.0	層崩壊	
4	陸前高田市	RC 純ラーメン構造	2	6.0	14.0	層崩壊	
5	陸前高田市	RC 純ラーメン構造	1	3.0	14.0	層崩壊	
6	陸前高田市	RC 純ラーメン構造	1	2.8	14.0	層崩壊	
7	名取市	RC 純ラーメン構造	2	不明	7.0	層崩壊	
8	女川町	RC 耐力壁付きラーメン構造	4	12.0	15.0	転倒	
9	女川町	RC 純ラーメン構造	3	9.0	15.0	転倒	
10	女川町	RC 純ラーメン構造	2	9.0	15.0	転倒	
11	女川町	RC 純ラーメン構造	2	6.0	15.0	転倒	
12	陸前高田市	RC 純ラーメン構造	2	9.0	14.0	転倒	
13	陸前高田市	RC 壁式構造	2	5.5	13.0	転倒	
14	大槌町	CB 壁式構造	2	5.7	9.5	転倒	
15	大槌町	RC 壁式構造	2	6.5	7.0	転倒	
16	山田町	CB 壁式構造	2	5.7	5.7	転倒	
17	女川町	RC 耐力壁付きラーメン構造	5	17.7	15.0	残存	
18	南三陸町	RC 壁式構造	4	14.3	15.0	残存	指定あり
19	女川町	RC 耐力壁付きラーメン構造	4	13.6	15.0	残存	
20	女川町	RC 耐力壁付きラーメン構造	3	17.0	15.0	残存	
21	女川町	S ラーメン構造	3	10.6	15.0	残存	
22	女川町	RC 耐力壁付きラーメン構造	2	10.9	15.0	残存	
23	女川町	RC 純ラーメン構造	2	8.8	15.0	残存	
24	女川町	RC 耐力壁付きラーメン構造	2	7.2	15.0	残存	
25	女川町	RC 純ラーメン構造	1	7.9	15.0	残存	
26	陸前高田市	RC 耐力壁付きラーメン構造	4	15.2	14.0	残存	
27	陸前高田市	RC ラーメン構造	3	11.0	14.0	残存	
28	陸前高田市	S ラーメン構造	3	10.5	14.0	残存	
29	陸前高田市	RC 耐力壁付きラーメン構造	3	9.6	14.0	残存	
30	陸前高田市	RC 耐力壁付きラーメン構造	3	9.6	14.0	残存	
31	陸前高田市	RC 耐力壁付きラーメン構造	3	9.6	14.0	残存	
32	陸前高田市	RC 耐力壁付きラーメン構造	2	10.4	14.0	残存	
33	陸前高田市	RC 耐力壁付きラーメン構造	2	8.9	14.0	残存	
34	陸前高田市	RC 純ラーメン構造	2	7.0	14.0	残存	
35	陸前高田市	RC 純ラーメン構造	2	5.4	14.0	残存	
36	陸前高田市	RC 壁式構造	1	3.8	14.0	残存	
37	陸前高田市	RC ラーメン構造	1	3.2	14.0	残存	
38	陸前高田市	RC ラーメン構造	1	3.0	13.5	残存	
39	陸前高田市	RC 壁式構造	5	14.5	13.0	残存	
40	陸前高田市	RC 壁式構造	3	8.6	13.0	残存	
41	宮古市	S ラーメン構造	6	20.0	11.5	残存	
42	大船渡市	RC 耐力壁付きラーメン構造	3	15.5	8.2	残存	
43	大船渡市	RC 壁式構造	2	6.0	8.2	残存	
44	大船渡市	RC 耐力壁付きラーメン構造	1	4.1	8.2	残存	
45	大船渡市	S ラーメン構造	2	6.0	8.0	残存	
46	名取市	Pca 壁式構造	2	5.0	7.5	残存	
47	釜石市	RC 耐力壁付きラーメン構造	4	16.0	6.5	残存	
48	釜石市	RC 耐力壁付きラーメン構造	4	15.6	6.5	残存	
49	仙台市	RC 耐力壁付きラーメン構造	2	9.5	6.0	残存	
50	名取市	RC 壁式構造	2	10.0	5.5	残存	
51	名取市	RC 純ラーメン構造	2	8.0	5.0	残存	
52	釜石市	S ラーメン構造	1	4.0	3.5	残存	

注) RC：鉄筋コンクリート造、S：鉄骨造、CB：補強コンクリートブロック造、Pca：プレキャストコンクリート造

注) S造については、著しく崩壊した建築物や流失した建築物の諸元を現地調査では測定できないため、残存した例のみを取り上げている。ここで、S造の「残存」とは、柱梁等の骨組が残存していることを意味し、内外装材の大部分は流失している場合が多い。

表2 検討対象の比較的単純な工作物の被害状況

No.	所在地	構造		工作物高さ (m)	計測浸水深 (m)	被害状況
1	田野畑村	RC	橋脚	8.6	14.0	崩壊
2	田野畑村	RC	防潮堤	1.0	14.0	崩壊
3	大槌町	RC	防潮堤	5.2	11.1	崩壊
4	仙台市	RC	壁*	11.7	10.5	崩壊
5	大船渡市	CB	塀	1.8	9.7	崩壊
6	大船渡市	石	門柱	0.9	9.7	崩壊
7	大船渡市	CB	塀	1.4	8.7	崩壊
8	大船渡市	CB	塀	2.0	8.5	崩壊
9	大船渡市	RC	塀	1.4	8.4	崩壊
10	名取市	RC	柱	4.4	6.7	崩壊
11	山元町	RC	柱	4.6	6.3	崩壊
12	山元町	RC	塀	2.6	6.3	崩壊
13	山元町	CB	塀	1.0	6.3	崩壊
14	相馬市	CB	壁*	2.6	5.6	崩壊
15	山田町	RC	陸閘	4.6	5.4	崩壊
16	山田町	RC	陸閘	4.6	5.4	崩壊
17	気仙沼市	RC	塀	1.5	5.1	崩壊
18	山元町	石	石碑	2.4	5.0	崩壊
19	山元町	CB	塀	2.0	5.0	崩壊
20	山元町	CB	塀	1.6	5.0	崩壊
21	山元町	CB	塀	1.6	5.0	崩壊
22	山田町	RC	防潮堤	5.7	4.9	崩壊
23	仙台市	RC	塀	1.8	4.6	崩壊
24	石巻市	RC	塀	1.3	3.8	崩壊
25	石巻市	RC	塀	1.2	3.8	崩壊
26	亘理町	石	石碑	5.7	3.6	崩壊
27	亘理町	CB	柱	2.5	3.6	崩壊
28	亘理町	CB	塀	1.6	3.6	崩壊
29	山元町	CB	塀	1.6	3.2	崩壊
30	塩竈市	CB	塀	2.3	2.7	崩壊
31	山元町	石	石碑	1.4	2.5	崩壊
32	仙台市	RC	塀	1.5	2.3	崩壊
33	山元町	石	石碑	0.9	2.2	崩壊
34	山元町	RC	塀	2.6	6.3	傾斜
35	山元町	石	門柱	2.9	4.1	傾斜
36	仙台市	RC	壁*	11.7	10.5	無被害
37	大船渡市	RC	塀	1.4	8.4	無被害
38	山元町	RC	塀	2.6	6.3	無被害
39	気仙沼市	RC	塀	1.5	5.1	無被害
40	釜石市	CB	塀	2.0	4.8	無被害
41	仙台市	RC	塀	1.8	4.6	無被害
42	仙台市	RC	塀	1.5	4.6	無被害
43	山元町	石	門柱	2.9	4.1	無被害
44	山元町	石	石碑	1.4	2.2	無被害

注) RC：鉄筋コンクリート造、CB：補強コンクリートブロック造、石：石造

* 建物あるいはその架構を構成する壁部材を調査対象とした

平成 23 年度 建築基準整備促進事業

地震被害を踏まえた非構造部材の基準の整備に資する検討
中間報告書

平成 23 年 7 月

一般社団法人 建築性能基準推進協会

地震被害を踏まえた非構造部材の基準の整備に資する検討
中間報告書

目次

検討の概要

1. 天井地震被害現地調査	.....	1
(1) 目的	.....	1
(2) 調査対象	.....	1
(3) 被害	.....	2
(4) まとめ	.....	3
表1 被害整理表	.....	5
2. アンケート調査	.....	7
(1) 調査概要	.....	7
(2) 単純集計結果	.....	7

検討の概要

(1) 検討目的

本検討は「今回の東日本大震災による被害を踏まえ、非構造部材のうち、大規模空間を持つ建築物の天井脱落に関する基準のあり方について検討することを目的とする」¹⁾調査・研究として、平成23年度に実施しているものである。

(2) 検討内容

検討内容は次のとおりである¹⁾。

「大規模空間を持つ建築物の地震による天井脱落について、以下の検討を行う。

(イ) 東日本大震災による被害状況の整理・分類

天井脱落の情報を収集し、過去の地震被害とも比較しながら、被害状況の整理・分類を行う。

(ロ) 東日本大震災の被害状況を踏まえた基準のあり方の検討

(イ)の成果等を踏まえて、基準において示すべき内容について検討する。
例えば、対象とすべき規模・用途及び天井の種類、具体的な落下防止方法等である。」

(3) 検討体制

本検討の実施に当たっては、学識経験者等で構成される「地震による天井脱落対策に関する検討委員会」を設置するとともに、上記(イ)及び(ロ)に対応するため、天井地震被害調査WG及び天井耐震計画WGを設け、各WGにおいて詳細な検討を実施することとした。

なお、(イ)については独立行政法人建築研究所による技術指導の下で行い、(ロ)については同所との共同研究として実施している。

(4) 中間報告の内容

これまでの検討では(イ)の被害状況に関する情報収集を優先して行い、本中間報告としてまとめている。1章では東日本大震災による天井被害が確認された建築物等に関する現地調査について報告し、2章では現地調査に先立って実施された天井被害に関するアンケート調査について述べている。

なお、天井被害に関する更なる情報収集やその被害状況の整理・分類、(ロ)の具体的な検討は今後実施する予定である。

参考文献

1) 国土交通省住宅局、ほか：平成23年度建築基準整備促進事業募集要領、平成23年4月

1. 天井地震被害現地調査

(1) 目的

東日本大震災による天井脱落の情報を収集し、被害防止・軽減のための対策や基準のあり方について検討するためには、天井の種類や被災場所の用途等といった基本的な情報に加え、下地構成を含む天井の仕様、被害箇所・部位、損傷・破壊形態等の詳細な情報についても把握しておく必要がある。これらの詳細な情報を得ることを目的として、現地調査を実施することとした。

なお、本検討は平成 23 年度に開始されたものであり、震災から一定の期間が経過しているため、被害のあった天井の補修・改修等が進んでいるものも多い状況であり、現地調査は被災状況が確認できるものを優先して可能な範囲で実施した。

(2) 調査対象

現地調査の対象を絞り込むため、後述の 2 章に示すアンケート調査をまず実施し、発生した天井被害に関する基本的な情報を収集した。アンケートでは必ずしも大規模空間¹⁾に限定することなく、幅広く情報を求めている。アンケートの結果から、被災状況が保存されているものを優先するとともに、建築物の用途、被災場所の規模、天井の損傷・破壊形態等が偏らないように対象建築物の候補を選定した。中には震災後に学会や他機関等で現地調査がなされ被害状況が報告されているものもあるが、被害や地震後の対応に特徴のあるものや、震災前の天井の耐震改修が功を奏したと思われるものは候補に含めた。6 月下旬から 7 月中旬にかけて現地調査が可能なものとして、最終的に 10 件の建築物 A~J を対象とすることにした。被害のあった天井の補修・改修等が済んでいたものや進められていたものもあるが、建築物内部の空間構成や構造に加えて天井の仕様等を把握するとともに、被災時の状況に関する詳細な情報を収集するため、現地に赴いて調査を行っている。建築物 J では 2 つの場所を取り上げ、計 11 事例について報告する。

表 1 に建築物の諸元、被害発生時の諸元、天井被害発生場所の諸元、脱落した箇所の天井の詳細な仕様、被害状況をまとめて示す。これらの情報はアンケートの回答と現地調査時の目視や計測、ヒアリング等に基づいているが、天井の仕様等については調査の中で確認できた範囲のものであることを予めお断りしておく。以下、対象建築物やその天井等の概要を述べる。

(a) 建築物及び被災場所の諸元

対象建築物は、宮城県、福島県、茨城県の 3 県にあり、本震の際の震度は 5 強から 6 強である。建設年は、いわゆる新耐震基準が施行された昭和 56 年より前の建築物が 3 件、以降のものが 7 件であり、後者のうち天井に関する最初の技術的助言が出された平成 13 年以降のものは 2 件 (A、E) である。被災場所は、今回の震災前にも天井脱落被害の報告がある空港ロビー、体育館、ホールといった用途に加えて、展示室、観覧席・通路、会議場という用途も選択した。被災場所のおおよその広さは 500m²未満のものが 1 事例 (I)、天井の脱落防止対策に関して調査対象となる 500m²以上のもの²⁾が 10 事例 (A、B、C、D、E、F、G、H、J) である。被災場所のおおよその天井高さは、5 m 未満のものが 4 事例 (G、H、I、J (展示室))、10 m 以上のものが 7 事例 (A、B、C、D、E、F、J (ホール)) である。

(b) 天井の仕様等に関する詳細な情報

上述の選定経緯の結果として在来工法による天井 (参考図参照) 又はそれに準ずる天井が主な調査対象となった。天井板は在来工法のほとんどが捨て張り工法である。被災場所の天井の形状は一

様に水平なものほか、一様な勾配のあるもの（山形架構の屋根面に平行な勾配天井）、天井の断面形状の一方向が複雑なもの、段差が多いものなどを含んでいる。天井の吊り元は、スラブや鋼板製屋根等である。吊り元との接合は接合金物やインサートによる。吊り長さは短いもので50cm程度、長いもので4m弱である。ダクト等により部分的に吊りボルトが不足していたと考えられるもの（A、J（展示室））もある。震災前に天井の補強・改修がなされていたものが2事例（C、D）含まれている。

(c) 技術的助言に関する対応状況

斜め部材やクリアランスが設けられていたものはそれぞれ5事例ずつ（斜め部材はA、C、E、F、J、クリアランスはA、C、D、E、G）であるが、両者について十分な措置がなされていたと考えられるものは建築物Eの1事例のみである。斜め部材については配置に偏りのあるもの（A、E、F）もあった。

なお、建築物Dは1次下地等を用いた天井の改修により耐震性への配慮がなされており、斜め部材はないものの技術的助言の主旨に適っていると考えられる。

(3) 被害

建築物Dを除く全ての10事例で、天井が床面まで落下した。天井板が天井下地と一体で床面まで落下したものが多く、野縁受けより下の部分がハンガーから脱落したのもあった。後述の(b)及び(c)のとおり特定の箇所や部材・接合部の損傷に起因するもののほか、天井の脱落や垂れ等の被害の主な要因としては、山形架構の屋根面に平行な勾配天井の耐震性に関する配慮不足、斜め部材の配置の偏りや量の不足、ダクト等による吊りボルトの不足、が挙げられる。

なお、全ての建築物の構造躯体は軽微なものを除いて特に構造的な被害を被っていない。

(a) 人的被害

10事例のうち7事例が被害発生時に使用中であったが、被災場所に居た人々が被災場所以外の所へ即座に避難したという事例も多く、人的被害は2事例に留まっている。時間帯や曜日、使用状況等によってはより多くの人的被害を生じた可能性があると考えられる。

(b) 被害箇所の天井面内の位置

天井が全面的に脱落（全面・ほぼ全面・区切られた一面の天井が脱落）したものは3事例（A、G、I）である。部分的に脱落した箇所の天井面内での位置は、端部・他の部位との取り合い部が8事例（A、B、C、D、E、F、H、J（展示室））と最も多く、段差部・折れ曲がり部が5事例（C、D、E、H、J（ホール））、天井面の中央部（山形架構の棟と軒との中間部を含む。）が4事例（B、D、E、F）である。その他、エキスパンションジョイント部での天井の脱落も1事例（H）確認された。位置としては従来の被害と同様である。

(c) 部材の被害状況

部材の被害状況としては、従来から指摘されているクリップの外れが多い（A、B、C、E、F、H）が、これまであまり着目されていなかったハンガーの開きやそれに起因すると考えられる天井の脱落がいくつかの事例（B、C、G、H、I、J（展示室））で見られた。

技術的助言に沿った措置が施されていたと考えられる建築物Eについては、H形鋼の梁に取り付けられた吊りボルトの吊り元の金物や、斜め部材の点付け溶接が地震時の振動によって損傷し、

多くの箇所を外れてしまったため、天井が脱落するに至ったと思われる。

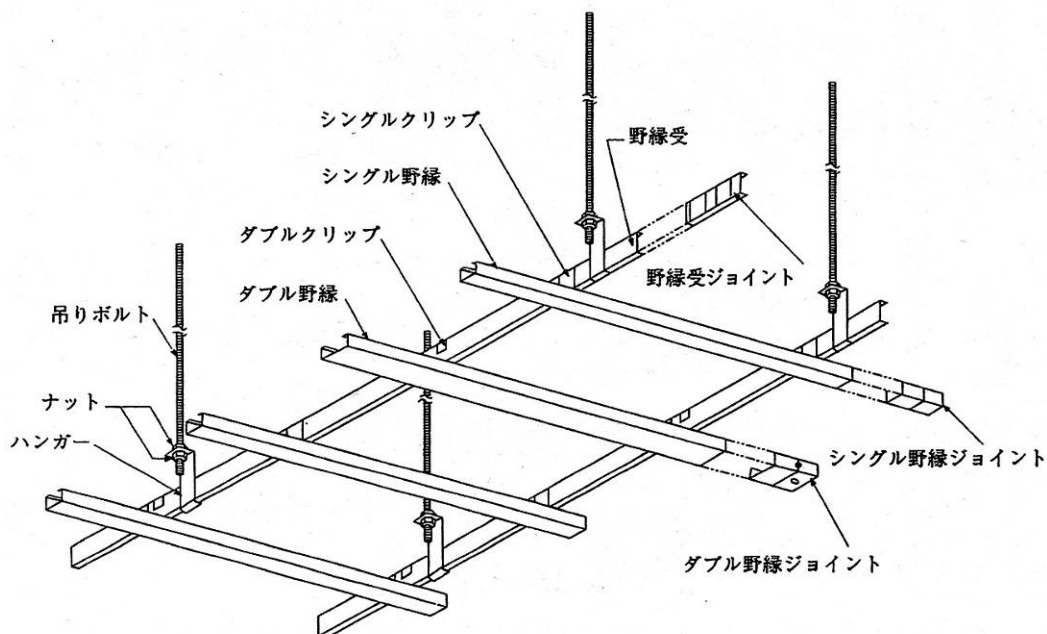
(4) まとめ

本章では東日本大震災による天井脱落に関して、天井の仕様等の詳細情報を得るために実施した現地調査について報告した。限られた範囲であるが、調査結果から対策等を考える上で着目すべき項目をまとめると次のようになる。

- ・天井の形状： 山形架構の屋根面に平行な天井
- ・天井の箇所： 端部、段差部・折れ曲がり部、エキスパンションジョイント部
- ・下地の構成・配置： 斜め部材の配置のバランスと量、接合部（金物、溶接）の外れ、ダクト等による吊りボルトの不足
- ・部材単体： クリップの外れ、ハンガーの開き

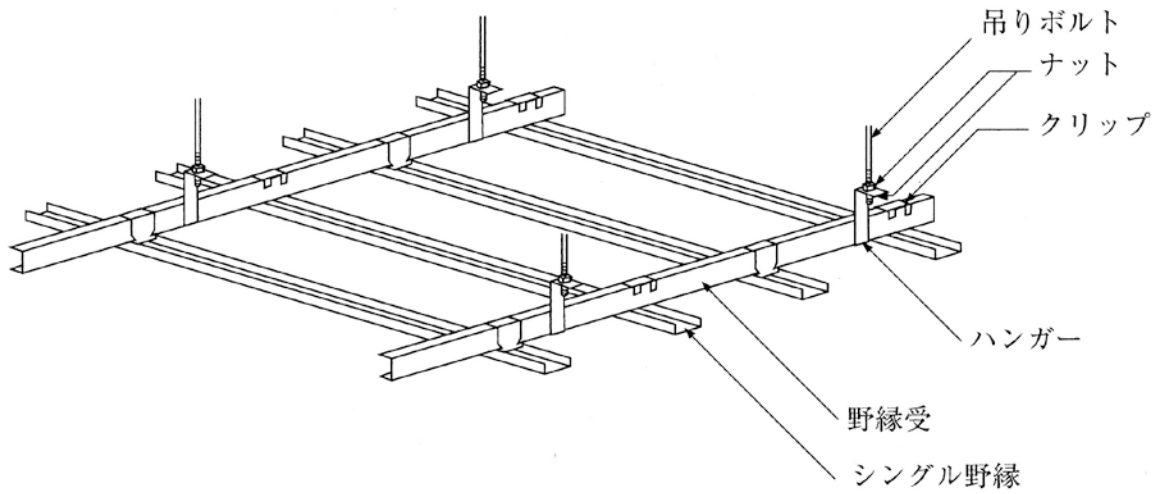
上述のとおり、本検討では被害防止・軽減のための対策や基準のあり方に関して今後検討することとしており、現地調査の結果はその技術的資料として活用する予定である。

- 1)、2) 建築物防災週間に実施されている国土交通省の調査では、500m²以上の空間を有する体育館等の吊り天井が調査対象とされている。(例えば、国土交通省：建築物防災週間において行った各種調査結果について、平成 22 年 12 月 17 日 http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000215.html)



参考図 1 在来工法による天井に用いられる建築用鋼製下地材の構成図
(一般的な場合。下から見上げた図)

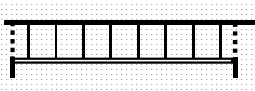



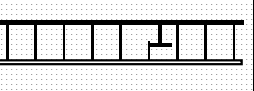
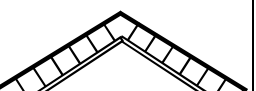
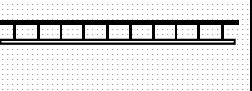
(建築工事監理指針平成 22 年版、(社)公共建築協会、国土交通省大臣官房官庁営繕部監修)



参考図2 在来工法による天井の建築用鋼製下地材の構成図
 (一般的な場合。上から見下ろした図)

(建築工事監理指針平成 22 年版、(社) 公共建築協会、国土交通省大臣官房官庁営繕部監修)

表1 被害整理表

		建築物A	建築物B	建築物C	建築物D	建築物E	建築物F	建築物G
現地調査日(平成23年)		6/28	6/28	7/3	7/3	7/4	7/4	7/4
建築物の諸元	建設地	茨城県	茨城県	宮城県	宮城県	宮城県	宮城県	宮城県
	建設年	平成22	昭和60	昭和62	昭和48	平成17	平成6	平成12
	構造	S造	SRC造・S造・RC造	RC造・S造	SRC造	S造・RC造	S造	S造
被害発生時の諸元	被害が発生した地震 ／本震時の周辺の震度	本震／6弱	本震・余震／6弱	本震・余震／6弱	本震／6弱	本震・余震／6強	本震・余震／6強	本震・余震／6弱
	被害発生時の使用状況	使用中	使用中	使用中	不使用	使用中	使用中	使用中
被災場所の主な用途		空港ロビー	体育館	ホール	ホール	体育館	体育館	展示室
被災場所のおおよその広さ(m)／天井高さ(m)		942／14.0	1800／10.7～14.9	1100／14.9	900／15	850／10.7～11.6	942／11.6～14.6	1450／3.6
天井種類	在来工法による天井 及びそれに準ずる天井	○	○	○	○	○	○	○
	システム天井							
	木製下地の天井							
天井の断面形状		一様に水平	一様な勾配	一方向が複雑	一方向が複雑	一様に水平	一様な勾配	一様に水平
天井の断面概要図								
脱落した箇所の天井の詳細な仕様	吊り元 ※[]内は脱落箇所以外	スラブ			[○(RCスラブ)]	[○(RCスラブ)]		○(鉄骨フラットスラブ)
		鉄骨大梁				[○]	○	
		Cチャンネル		○(母屋材)	○(シーリング室下横架材)	○(1次下地)		○(母屋材)
		ALCパネル						
	鋼板製屋根	○				○		
	吊り元との接合 ※[]内は脱落箇所以外	インサートねじ込み			○	[○]		
		接合金物(引っ掛ける形のもの)		○	○		○	○
		インサート金物	○				○	
		溶接			[○]	○		
	天井板	捨張り工法	○	○	○	○	○	○
直張り工法								
その他								
おおよその吊り長さ(cm)		160	230～310	50	60	70～100	75	52～53
吊りボルト等への斜め部材・水平部材 ※[]内は脱落箇所以外	斜め部材	○			○(一方向)[両方向]	○	○	
	その内、配置に偏りを確認したもの	○				○	○	
	水平部材	○	○					
	クリアランスあり	○(一方向)			○(一方向)	○	○	○
ダクト等による吊りボルトの不足		○						
天井の補強・改修あり ※[]内は脱落箇所以外				[○] [クリップねじどめ・溶接、斜め部材設置]	○ (全面改修、天井断面形状変更、天井仕様変更)			
脱落した箇所の天井の被害状況	被害箇所の天井面内の位置	全面・ほぼ全面・区切られた一面	○					○
		端部・他の部位との取り合い部	○	○	○	○	○	○
		平面の中央部		○		○	○	○
		段差部・折れ曲がり部				○	○	
	部材被害の状況	吊り元との接合の外れ				○	○	
		斜め部材の溶接部の外れ					○	
		ハンガーの開き		○	○			○
		ハンガーの吊りボルトからの外れ		○				
		野縁受け継手部の外れ(金物接合)					○	○
		野縁受け同士の溶接の外れ			○			
野縁受けのハンガーからの外れ			○	○				
野縁受けがハンガーから外れて落下				○			○	
クリップの野縁受けからの外れ	○	○	○		○	○		
天井板が天井下地と一体で落下	○	○	○		○	○		
天井板が野縁から外れて落下		○			○	○		
天井の床面への落下		○	○	○		○	○	○
人的被害の有無				○		○		○

※天井の仕様・被害状況は現地調査で確認した範囲について記述。

		建築物H	建築物I	建築物J		
現地調査日(平成23年)		7/11	7/11	7/11		
建築物の諸元	建設地	福島県	福島県	福島県		
	建設年	平成5、7	昭和54	昭和45		
	構造	S造(一部SRC造)	SRC造	SRC造		
被害発生時の諸元	被害が発生した地震 /本震時の周辺の震度	本震/5強	本震/6強	本震・余震/5強		
	被害発生時の使用状況	不使用	不使用	使用中	不使用	
被災場所の主な用途		観覧席・通路	会議場	ホール	展示室	
被災場所のおおよその広さ(m ²)/天井高さ(m)		1450/2.5~3.2	207/3.1~4	700/15	500/4.5	
天井種類	在来工法による天井 及びそれに準ずる天井	○	○	○	○	
	システム天井				○	
	木製下地の天井			○		
天井の断面形状		段差が多い 部分的に曲面 一様な勾配	段差が多い	一方向が複雑	一様に水平	
天井の断面概要図						
脱落した箇所の天井の詳細な仕様	吊り元 ※[]内は脱落 箇所以外	スラブ	○(デッキプレート)		○(デッキプレート)	
		鉄骨大梁				
		Cチャンネル		○(母屋材)		
		ALCパネル		○		
	鋼板製屋根	○(最上階)			○	
	吊り元との接合 ※[]内は脱落 箇所以外	インサートねじ込み	○		○	
		接合金物(引っ掛ける形のもの)	○	○		
		インサート金物		○		○
		溶接				
	天井板	捨張り工法	○	○		
直張り工法					○	
その他				○	○	
おおよその吊り長さ(cm)		140~390	180	(曲面部吊りなし)	(2段吊り天井)	
吊りボルト等への斜め部材・ 水平部材 ※[]内は脱落箇所以外	斜め部材			○		
	その内、配置に偏りを確認したもの					
	水平部材			○		
クリアランスあり						
ダクト等による吊りボルトの不足				○	○	
天井の補強・改修あり ※[]内は脱落箇所以外						
脱落した箇所の天井の被害状況	被害箇所の 天井面内の 位置	全面・ほぼ全面・区切られた一面		○		
		端部・他の部位との取り合い部	○		○	
		平面の中央部				
		段差部・折れ曲がり部	○		○	
	その他	○(Exp.J部)				
	部材被害の状況	吊り元との接合の外れ				
		斜め部材の溶接部の外れ				
		ハンガーの開き	○(通路)	○		○
		ハンガーの吊りボルトからの外れ				○
		野縁受け継手部の外れ(金物接合)				
野縁受け同士の溶接の外れ						
野縁受けのハンガーからの外れ		○				
野縁受けがハンガーから外れて落下		○	○		○	
クリップの野縁受けからの外れ	○					
天井板が天井下地と一体で落下	○	○		○		
天井板が野縁から外れて落下						
天井の床面への落下		○	○	○	○	
人的被害の有無						

※天井の仕様・被害状況は現地調査で確認した範囲について記述。

2. アンケート調査

(1) 調査概要

1) 調査目的等

本アンケートは、東日本大震災による天井被害建築物の概要を緊急に把握するとともに、今回の現地調査を行うための基礎資料とすることを目的として実施したものである。

なお、本アンケートは、下記2)に示すとおり地震による天井脱落等の被害の情報があった建築物を対象として実施したものであるため、天井被害があった建築物の全容を把握するものではないことに留意する必要がある。

2) 調査対象

平成23年5月17日現在において、新聞、テレビ、インターネット等で本年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震、3月12日に発生した新潟県中越地方を震源とする地震、3月15日に発生した静岡県東部を震源とする地震により、天井が脱落したと報道された建築物及び日本建築学会ホームページ等により情報を入手した建築物で、建設地及び名称が特定された建築物を対象とした。なお、当協会に設置した「地震による天井脱落対策に関する検討委員会」委員及びW G委員による現地調査が行われた建築物及び現地調査を行う予定が明らかな建築物については本アンケート調査の対象外とした。

3) 調査方法

国土交通省から対象建築物のある16都県の特定行政庁にアンケート票を送付し、67の特定行政庁から回答を得た。

なお、調査票の記入にあたっては、可能な範囲で現地調査、所有者又は管理者等へのヒアリング等を行って記入いただくよう依頼した。

4) 調査年月日

平成23年5月20日～5月27日

5) 有効回答件数

151件

6) アンケート結果

有効回答件数151件についてアンケート項目別の単純集計を行った結果は以下のとおりである。

(2) 単純集計結果

1) 建物の諸元

①建築時期（グラフ1）

昭和56年以前が42件（28%）、昭和56年以降（新耐震基準施行）が106件（71%）であった。

なお、技術的助言「大規模空間を持つ建築物の天井の崩落対策について」が出された平成13年以降は19件であった。

②地上階数（グラフ2）

1階が18件、2階が50件、3階が34件、4階が21件、5階が10件、6～10階が14件、11階以上が2件であった。

2) 被災場所の諸元

①被災場所の用途（表2）

体育館・体育室が72件（48%）、エントランスホール・コンコース・展示場・食堂・礼拝堂

が 39 件 (26%)、事務所・会議室・教室が 10 件 (6.6%)、会議場・裁判所が 6 件 (4%) であり、その他の用途の件数は表 2 のとおりである。

②被災場所のおおよその広さ (グラフ 4)

100 m²未満が 16 件 (11%)、100~500 m²未満 が 30 件 (20%)、500~1,000 m²未満が 38 件 (25%)、1,000 m²超が 54 件 (36%) であった。

③被災場所のおおよその天井高さ (グラフ 5)

5m未満が 42 件 (28%)、5.1m~10m以下が 27 件 (18%)、10.1~15m以下が 65 件 (43%)、15m超が 7 件 (5%) であった。

3) 被災天井の諸元

①天井下地 (グラフ 6)

金属が 89 件 (59%)、システム天井が 25 件 (17%)、木製が 6 件 (4%)、直天井が 7 件 (5%) であった。

②天井仕上げ材料 (グラフ 7)

ボードが 104 件 (69%)、グラスウールが 18 件 (12%)、金属が 8 件 (5%)、木が 2 件 (1%) であった。

③クリアランス措置 (グラフ 8)

ありが 18 件 (12%)、なしが 75 件 (49%)、不明が 9 件 (6%) であった。

④振れ止めの設置 (グラフ 9)

ありが 34 件 (23%)、なしが 53 件 (35%)、不明が 11 件 (7%) であった。

*クリアランス措置及び振れ止め設置の両方を措置していたと回答したものは 12 件あった。

なお、アンケートでは「措置あり」とされている建築物でも、当協会による現地調査では振れ止めの措置状況が部分的に限定されていた建築物もあった。

4) 被害状況の諸元

①被害の発生した時期 (グラフ 10)

本震によるものが 93 件 (62%)、本震と余震によるものが 47 件 (31%)、余震によるものが 3 件 (2%) であった。

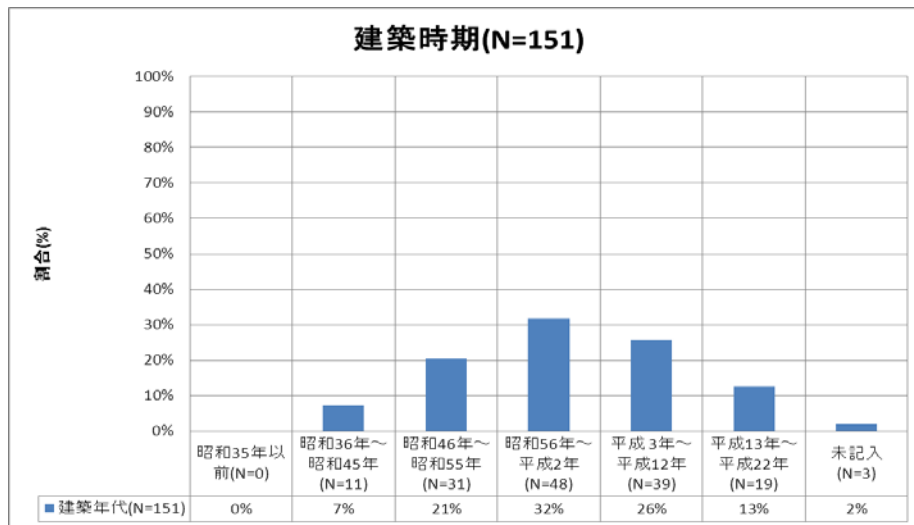
②天井落下の状況 (グラフ 11)

天井の多くが落下 43 件 (28%)、天井の一部落下が 86 件 (57%)、天井の一部破損 (落下なし) が 17 件 (11%) であった。

③人的被害の有無 (グラフ 12)

死者ありが 3 件 (2%)、負傷者ありが 7 件 (5%)、死傷者なしが 135 件 (89%) であった。
(*原因が落下した天井部材であったかどうかは不明)

グラフ 1：建築時期



グラフ 2：地上階数

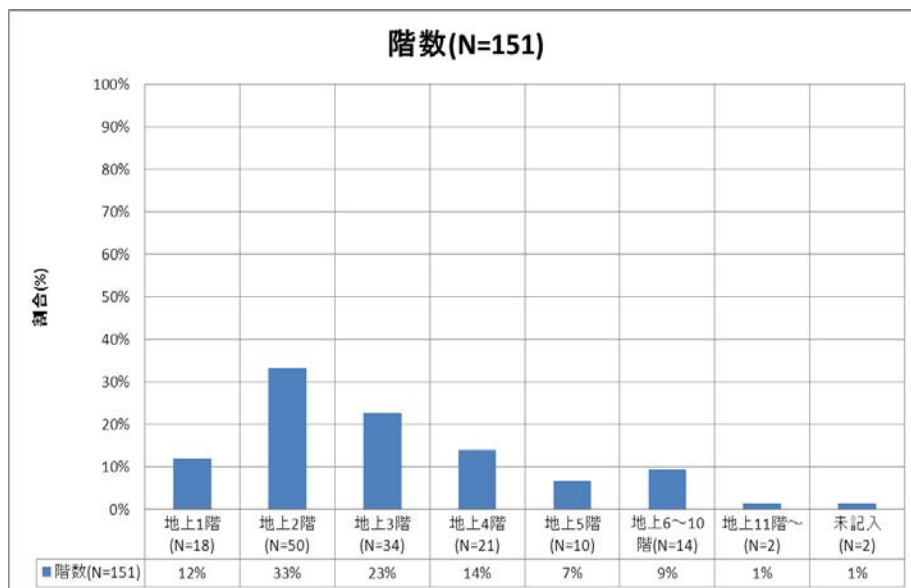
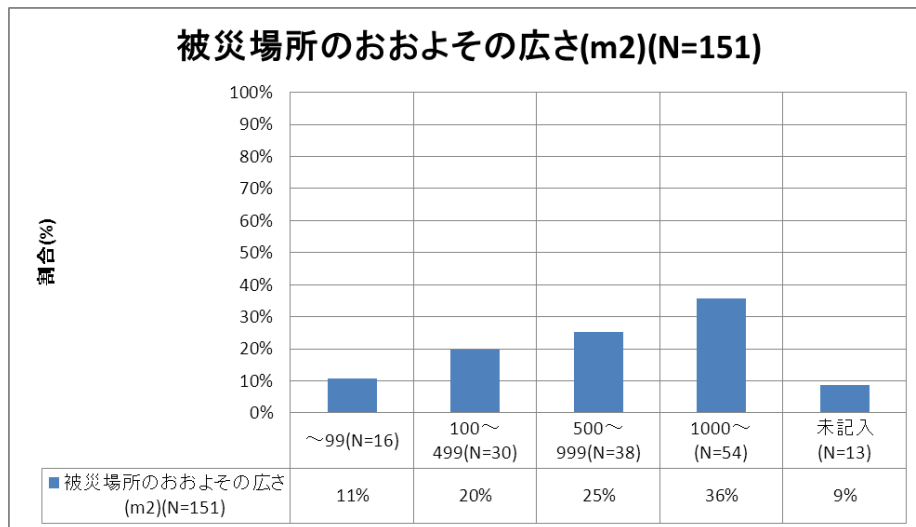


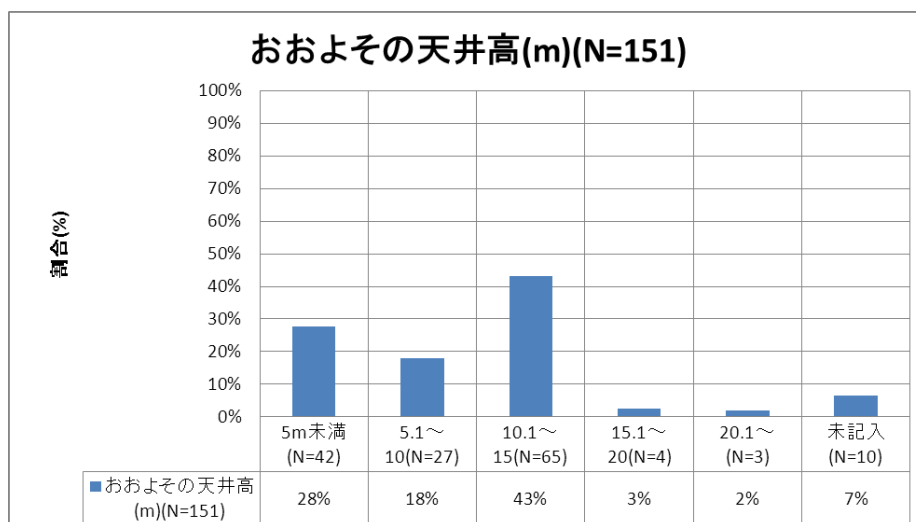
表 2：被災場所の用途

用途	件数	割合
体育館（アリーナ、弓道場などを含む）、体育室	72	47.7%
エントランスホール、コンコース、展示場、食堂、礼拝堂	39	25.8%
事務所、会議室、教室	10	6.6%
会議場、裁判所	6	4.0%
プール	5	3.3%
劇場、映画館	4	2.6%
工場、給食センター	3	2.0%
通路、トイレ	3	2.0%
店舗	2	1.3%
倉庫	2	1.3%
ボーリング場	2	1.3%
未記入	3	2.0%
計	151	100.0%

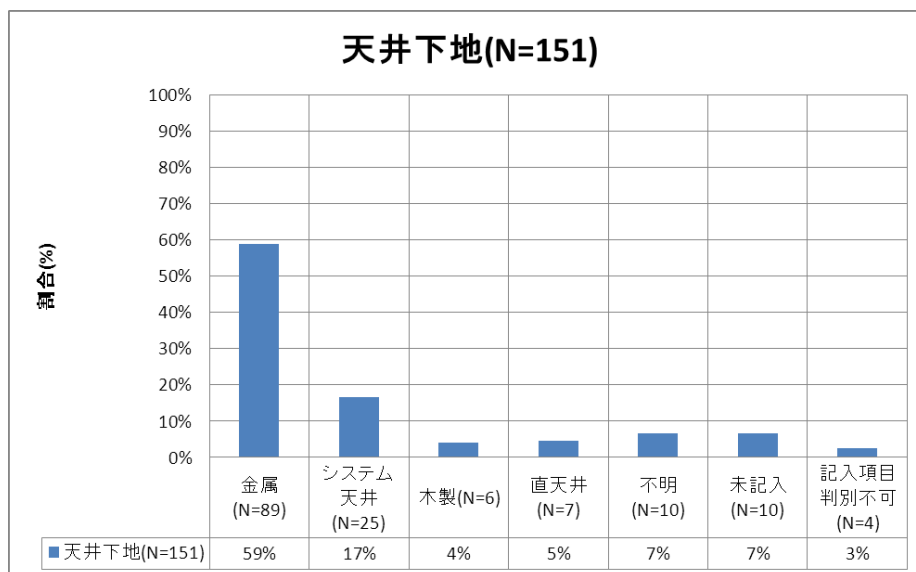
グラフ 4 : 被災場所のおおよその広さ



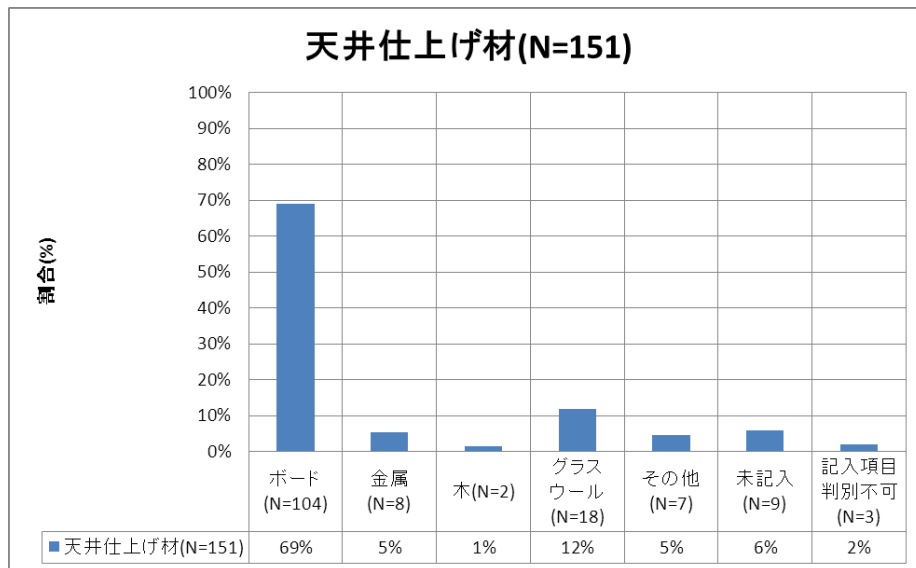
グラフ 5 : 被災場所のおおよその天井高さ



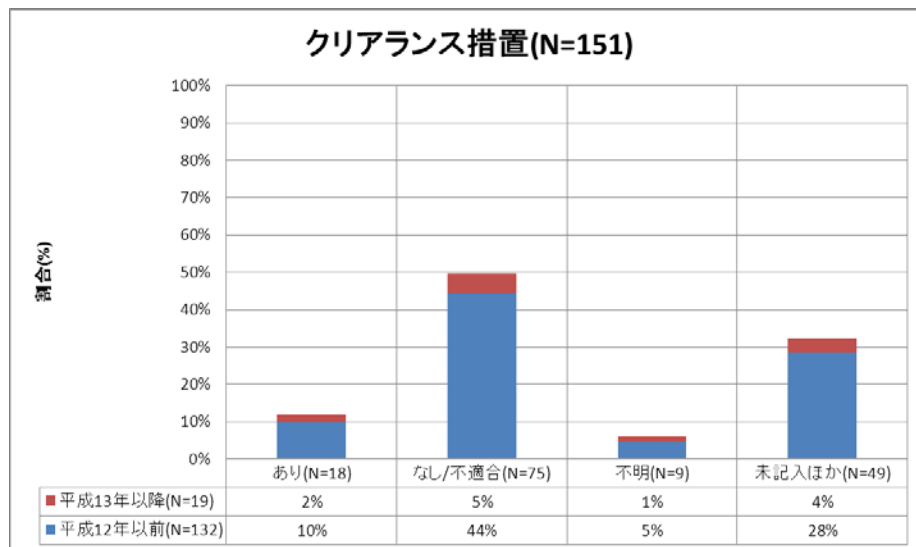
グラフ 6 : 天井下地



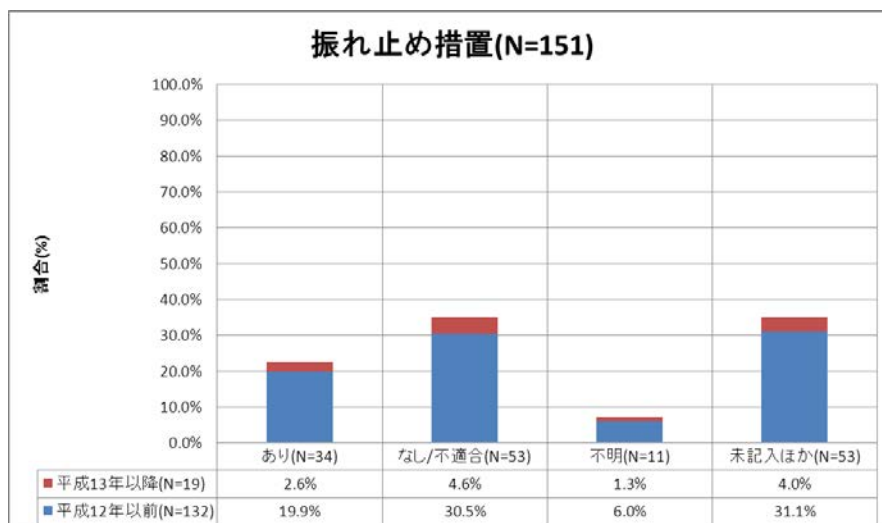
グラフ 7 : 天井仕上材料



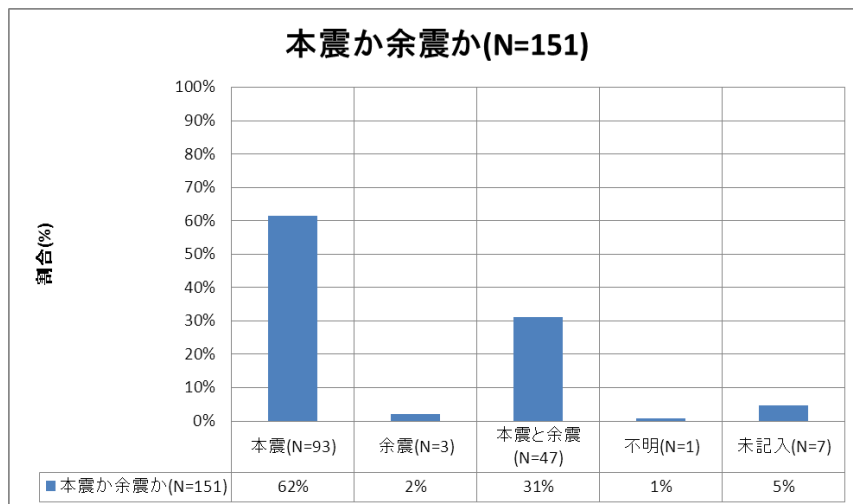
グラフ 8 : クリアランス措置



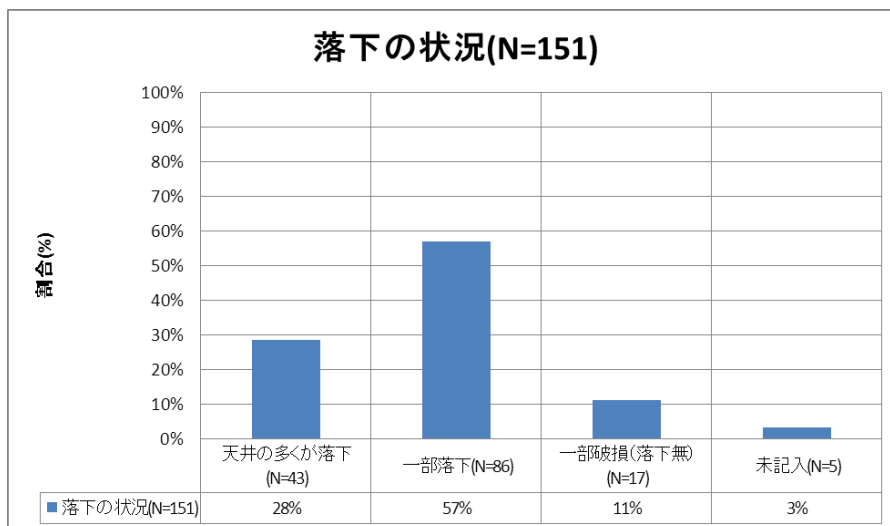
グラフ 9 : 振れ止めの設置



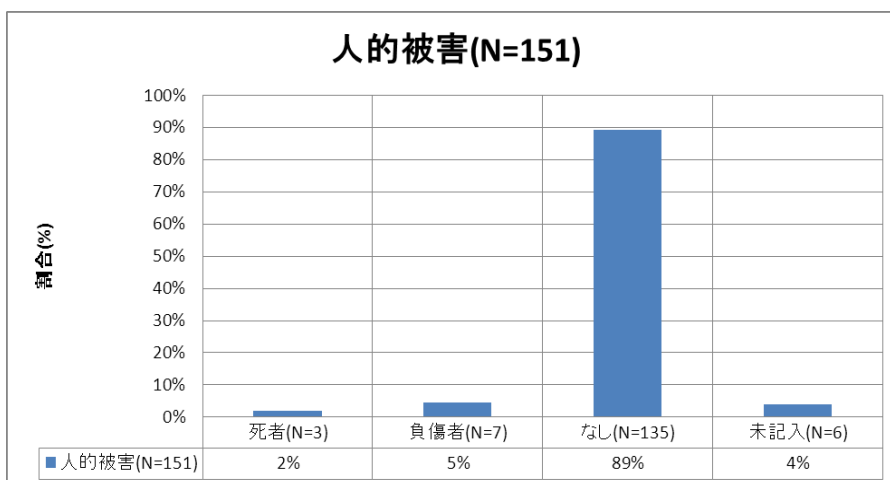
グラフ 10：被害の発生した時期



グラフ 11：天井落下の状況



グラフ 12：人的被害の有無



地震による天井脱落対策に関する検討委員会

委員長	坂本 功	東京大学名誉教授
委員	寺本 隆幸	東京理科大学名誉教授
	深尾 精一	首都大学東京都市環境学部教授
	元結正次郎	東京工業大学大学院総合理工学研究科教授
	清家 剛	東京大学大学院新領域創成科学研究科准教授
	長谷川直司	独立行政法人建築研究所建築生産研究グループ長兼材料研究グループ長
	五條 涉	独立行政法人建築研究所住宅・都市研究グループ長
	石原 直	独立行政法人建築研究所国際地震工学研究センター主任研究員
	脇山 善夫	独立行政法人建築研究所建築生産研究グループ主任研究員
協力委員	笠原 隆	文部科学省大臣官房文教施設企画部施設企画課防災推進室長
	杉藤 崇	国土交通省住宅局建築指導課建築物防災対策室長
	松井 康治	国土交通省住宅局建築指導課課長補佐
	西山 功	国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部長
	向井 昭義	国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部建築新技術研究官
	深井 敦夫	国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部システム研究室長
オブザーバー	金井 昭典	独立行政法人建築研究所研究総括監

地盤の液状化等による建築物の被害状況について

国土技術政策総合研究所
独立行政法人建築研究所



国土交通省

国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management

基礎・地盤関連被害調査 日時と対象地域



■ 液状化調査(3月下旬～4月上旬)

- ▶ 千葉県浦安市, 印旛郡栄町
- ▶ 茨城県稲敷市・潮来市・神栖市

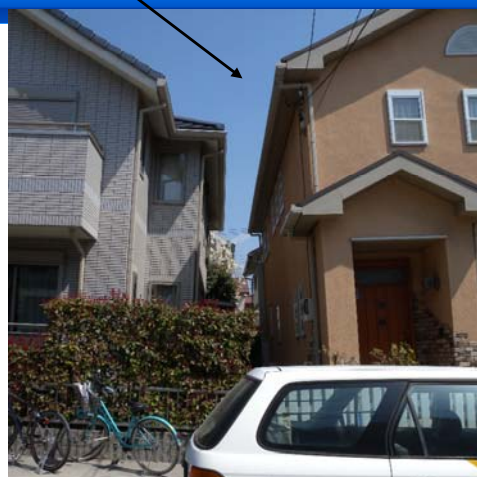
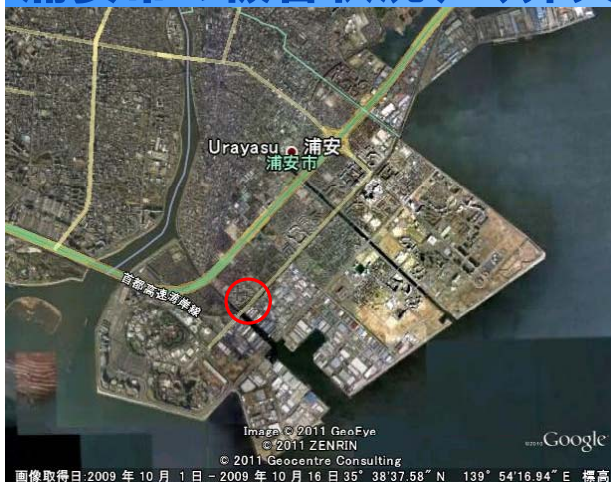
今回報告

■ 造成宅地等調査(4月15日・16日)

- ▶ 宮城県仙台市(青葉区・宮城野区・太白区), 白石市, 山元町
- ▶ 福島県福島市
- ▶ 栃木県矢板市

浦安市の被害状況(1)弁天地区

約2度傾斜した住宅

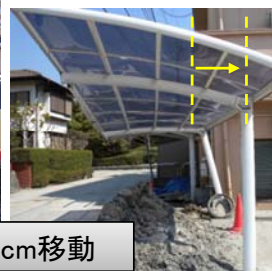
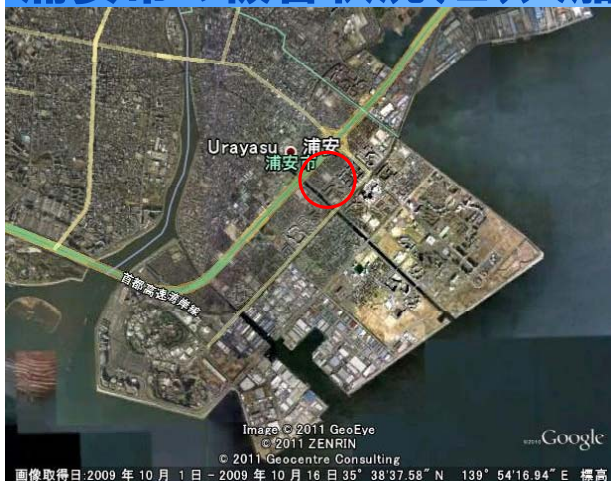


約3度傾斜した住宅

裏側の住宅



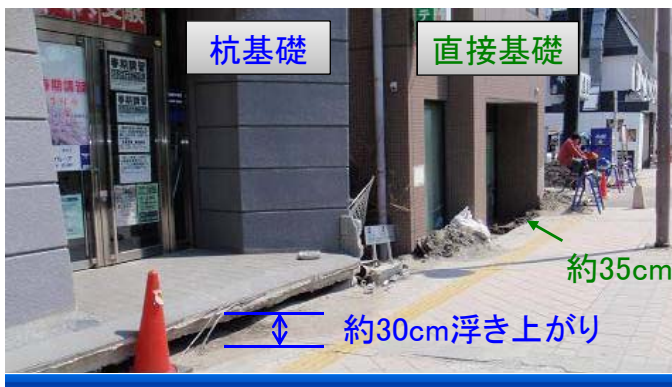
浦安市の被害状況(2)入船・美浜地区



美浜地区

約3度傾斜

入船地区



建物(浮き上がり)

門扉(沈下)



潮来市日の出地区の被害状況



現在

埋設配管の浮き上がり

電柱の倒れ

昭和46年発行地形図

昭和21年発行地形図

前面道路から約30~40cm程度沈下

基礎周囲の噴砂

5

神栖市深芝地区の被害状況



- 水田を宅地に転用したと見られる。
- 宅地盛土および小規模住宅の沈下・傾斜
- 盛土擁壁の破壊



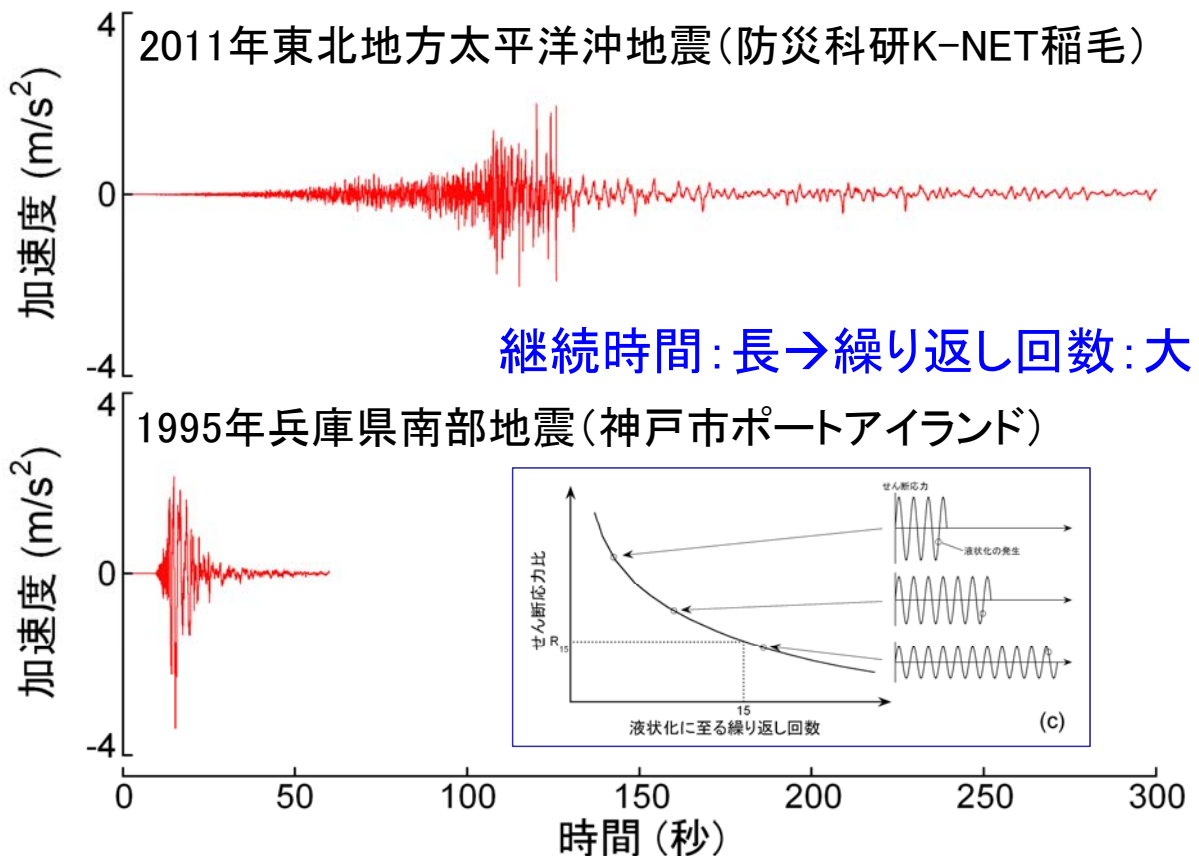
6

仙台市宮城野区の被害状況



7

液状化地盤上で得られた強震記録の比較



8

- 千葉県環境研究センター(稲毛)の建屋内に設置
- 周囲地盤が15cm程度沈下したと見られる。(井戸の抜けあがり量と、周囲の水準点との比較。職員にヒアリングを実施)
- 周辺一帯で噴砂が見られた。



9

東日本大震災の液状化の特徴(1)

(主として関東地方の被害から現時点の推察)

- 住宅など直接基礎の建築物の移動や沈下・傾斜の程度は、過去の国内外の震災事例に見られた範囲内のように見える。
- 埋立地や造成地など若齢の地盤では、最大加速度 200cm/s^2 、最大速度 20cm/s 程度(中程度の強さ)の地震動でも、**長い継続時間(大きな繰り返し回数)**によって液状化が発生した。
- 砂や礫に加えて、**細粒分を多く含む砂質土が液状化**した可能性がある。

10

(主として関東地方の被害から現時点の推察)

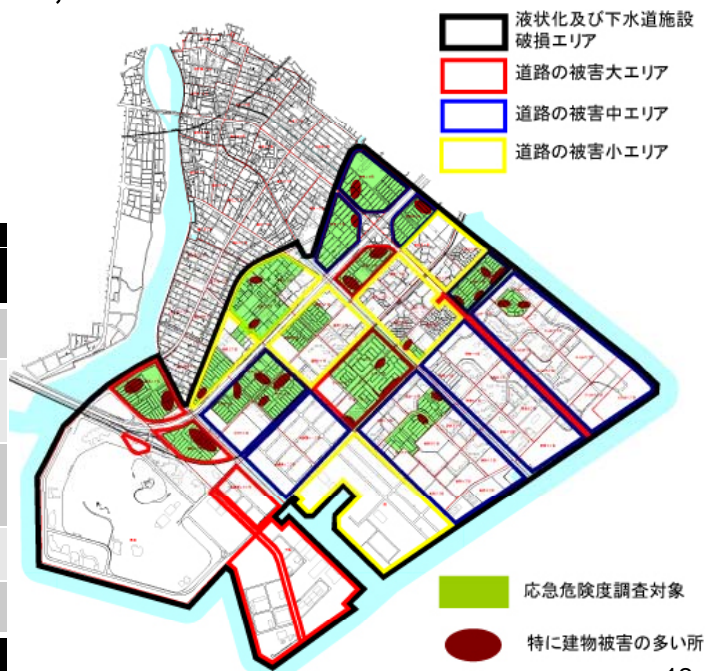
- また、液状化した地域の住宅には、べた基礎が多く、上部構造や基礎自体の損傷は少ないように見える。しかし、**広範囲におけるライフライン等の損傷によって、住居としての機能を失った場合が多い。**
- 一方で、若齢の地盤でも、**地盤改良など、地盤側で何らかの対策を行った場所では、神戸の震災時と同様、液状化は生じていない(との話を聞く)。**

浦安市の住宅被害まとめ ※浦安市HPより

- 被災37,023世帯／世帯数72,713世帯 ※H23/2/28時点
- 被災者96,473人／人口164,476人 ※H23/2/28時点
- 液状化面積 約1,455ha

建物被害認定結果(7/15時点)

	旧基準	傾斜	新基準 7/5以降
全壊(1/20)	8	1/20	18
大規模半壊	0	新規 1/60~1/20	1,541
半壊	33	新規 1/100~1/60	2,121
一部損壊	7,930		5,096
被害なし	1,028		1,105
合計	8,999		9,881



液状化対策に係る今後の検討について

平成 23 年度建築基準整備促進事業において、8 月 10 日より以下の調査事項について、調査主体を公募しているところである。

43. 住宅の液状化に関する情報の表示に係る基準の整備に資する検討（新規）

補助予定額：15 百万円

①調査の目的

東日本大震災では、東京湾岸地域・利根川流域などにおいて広範囲に液状化が発生し、戸建て住宅等の小規模な住宅等について建築物全体の傾斜や沈下の被害が見られたところである。戸建て住宅の液状化対策にあたっては、地盤の液状化に関する情報が住宅の取得者に確実に提供されることが重要である。そこで、特に戸建住宅を対象に、地盤の液状化に関する情報を表示するに当たり必要な知見を得るため、以下の項目について検討を実施する。

- ・液状化予測手法の妥当性についての検討
- ・地盤の液状化に関する情報表示についての検討
- ・液状化予測や対策に係る関連調査・技術開発等についての知見収集・情報整理

②調査の内容

(イ) 液状化予測手法の妥当性についての検討

現在、建築分野において実務で使われている液状化予測手法を対象として、主として今回の震災における液状化被災地域について以下の検討を行う。

- ・地震動の継続時間が長い場合や細粒分含有率の高い砂質土に対する適用性
- ・予測手法について、予測結果と被害状況との対応

(ロ) 地盤の液状化に関する情報表示についての検討

現状で、地盤の液状化に関しては、自治体で作成する液状化に関するハザードマップを含め、様々な情報が存在する。そうした状況も考慮し、地盤を対象として液状化に関する情報を表示する際に有効な項目・内容について検討する。

(ハ) 液状化予測や対策に係る関連調査・技術開発等についての知見収集・情報整理

震災発生以降、各種行政・機関で行われている液状化予測や対策に係る関連調査・技術開発等について知見の収集を行い、住宅の液状化の検討に資する情報を整理する。

③調査の全体計画について（参考）

(イ) (ロ) (ハ) については、平成 23 年度までを目処に検討を終了する。

平成 23 年 8 月 18 日

免震構造の建築物の被害状況について

国土交通省国土技術政策総合研究所
独立行政法人建築研究所

1. 調査の概要

国土交通省国土技術政策総合研究所及び独立行政法人建築研究所は、6月初旬に免震建築物の実地調査を行った¹⁾。調査対象は表1に示す17棟で、文中A～Qの記号と対応している。今回調査したうちの6棟（C、D、E、F、J、L。表1中の灰色の項目）は、免震建築物に関する告示（平成12年建設省告示第2009号）に基づき建設されたものである。また、山形県内の1棟（P）を除き、すべて宮城県内に位置している。

表1 調査を実施した免震建築物

	用途	上部構造		免震層構成 ^{*1}	建設年	記録の有無		最寄りの震度
		形式	階数			罫書き	加速度	
A	事務所	SRC	9	HRB	H21 ^{*2}	○	○	6弱
B	倉庫	S	1	HRB	H8	○		6弱
C	共同住宅	RC	14	RB、LD、SD-U	不明 ^{*3}			6弱
D	共同住宅	RC	12	LRB、SD-U	H23			6弱
E	共同住宅	RC	15	LRB、ESB	H21	○		6弱
F	共同住宅	RC	10	HRB、ESB	H21			6弱
G	救急施設	RC	6	LRB、ESB	H13			6弱
H	事務所	RC	18	RB、ESB	H11	○	○	6弱
I	宿泊施設	RC	12	RB、LD、SD-L	H10			6強
J	救急施設	S	3	LRB、SB、OD	H18			6強
K	医療機関	RC	5	LRB、RB、OD	H14			6強
L	救急施設	RC	3	LRB、ESB、SD-U	H20	○		6弱～6強
M	医療機関	S	6	RB、RB+SD-U、SD-U、ESB	H18	○		5強
N	救急施設	RC	3	RB、ESB、OD	H19	○		6弱～5強
O	医療機関	RC	4	RB、LRB、ESB、SD-L	H15			6弱
P	医療機関	RC	10	RB、LD、SD-L	H12		○	4
Q	医療機関	SRC	4	LRB、SB、OD	H14	○		5強

*1…RB：天然ゴム系積層ゴム支承、LRB：鉛プラグ入り積層ゴム支承、HDR：高減衰積層ゴム支承、ESB：弾性すべり支承、SB：転がり支承、LD：鉛ダンパー、SD-U：U型鋼材ダンパー、SD-L：ループ型鋼材ダンパー、OD：オイルダンパー

*2…新築年はS57。H21にレトロフィット免震による改修工事を行った。

*3…資料等未入手により不明としたが、インターネット等での補足調査からはH19～H20と思われる。

¹⁾ <http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/20110311/pdf/20110311saigai-013.pdf>

2. 被害調査結果

現地調査は、外観の目視調査に加えて、建築物の所有者・使用者へのヒアリングも実施した。震度6強を観測した地点の近傍に建設されていたものも複数棟（I、J、K、L）あったが、いずれも上部構造の構造耐力上の支障や設備配管等の被害は生じていなかった。ただし、免震層及び周辺を目視調査の結果、免震部材について、以下のような状況が確認された。（写真1～写真5）

- 鉛ダンパーの亀裂（C、I、P）
- 鋼材ダンパーのゆがみ、塗装の剥がれ、取付ボルト緩み等（C、I、L、M、P）
- 津波による免震層の冠水（B、N）
- 高減衰積層ゴム支承の鋼材部分のさび（B）
- 弾性すべり支承のすべり面のきず（L）



写真1 鉛ダンパーの亀裂及び拡大図（C）



写真2 鉛ダンパーの亀裂（I）



写真3 鋼材ダンパーの塗装の剥がれと残留変形（L）



写真4 高減衰積層ゴム支承の状況（B）



写真5 弾性すべり支承のすべり面のきず（L）

さらに、建築物の機能に影響の生ずる恐れのある以下のような被害も見られた。

- エキスパンション部カバーのずれ、破損、脱落（A、E、F、J、N、P）…写真6～写真9
- 免震層の鉛直クリアランス部目地材のずれ、剥がれ（A、K）…写真10
- 周囲地盤の沈下等の変状及び段差（A、C、E、I、J、K）…写真11
- 設備機器及び什器の滑動、転倒等（M）…写真12



写真6 カバーの破損 (A)



写真7 スライド部の破損 (J)



写真8 天井部カバーの脱落 (A)

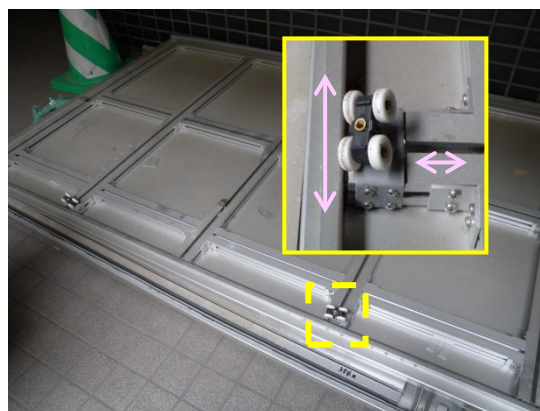


写真9 カバー裏面 (可動ローラーゆがみ) (A)



写真10 目地充填材のずれ (A)



写真11 段差解消の応急措置 (C)



(a) 転倒した棚（地震後横倒しで使用）



(b) 転倒したモニター（縦位置で使用）

写真 12 室内被害の概要 (M)

3. 免震建築物の地震時挙動について

今回調査した建築物のうち、8棟に罫書き式の変位計が設置されており、本震時の挙動と思われる軌跡を確認できた。その多くで、最大変位は原点から 20cm 前後の数値となっていたが、中には 40cm を超える変位が計測された建築物 (L) もある (写真 13)。また、ヒアリングでは、30cm 程度の変位を確認したと報告のあった建築物もある (I)。

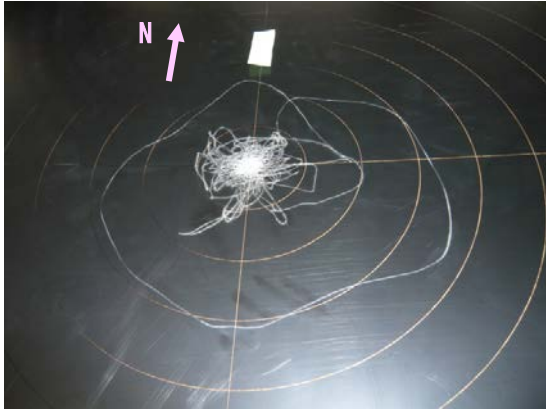
さらに、加速度計を設置していたものが3棟 (A、H、P) あり、うち2棟で入手した記録によれば、表 2 に示す通り免震層の上下で約 40%~60%に最大加速度の数値が低減されている。

表 2 免震層上下の加速度の比較 (単位 gal)

	A 建築物		H 建築物	
	X 方向	Y 方向	X 方向	Y 方向
免震層下	250.8 (100.0)	289.0 (100.0)	310.8 (100.0)	225.8 (100.0)
免震層上	143.7 (57.3)	120.5 (41.7)	173.0 (55.7)	142.9 (63.3)

4. まとめ

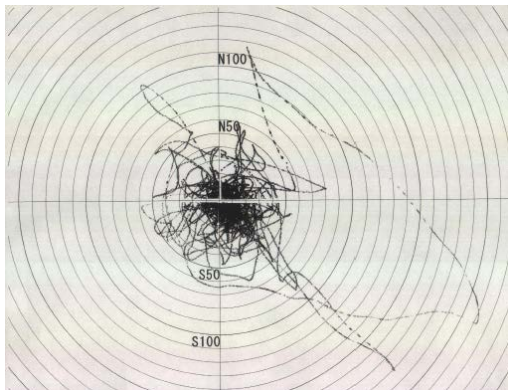
- ① 被災地域における 17 棟の免震建築物の現地調査の結果、大臣認定を取得したものと、いわゆる「告示免震」のいずれも、3月11日の本震及び以降の余震を含め、構造躯体に損傷は生じておらず、免震構造として十分な性能を発揮したものと考えられる。
- ② ただし、エキスパンション部やクリアランス部において、カバー等が地震時の免震層の水平変形に追従できずに、破損や脱落を生じたものがあつた。また、地盤沈下によって免震建築物と周囲地盤との間に段差を生じたものもあつた。これらは、設計上想定した被害の範囲である場合と、そうでない場合があるが、建築物の機能上の支障を生じないものとするのが望ましい。
- ③ また、一部の鉛ダンパーの断面欠損（亀裂）の発生、鋼材ダンパーの表面塗装の剥がれや残留変形、沿岸部での免震部材の取付部等の表面のさびの発生、免震層の津波による冠水の影響等に関しては、今後適切な維持管理を行って常に状況を把握しておくことが望ましい。



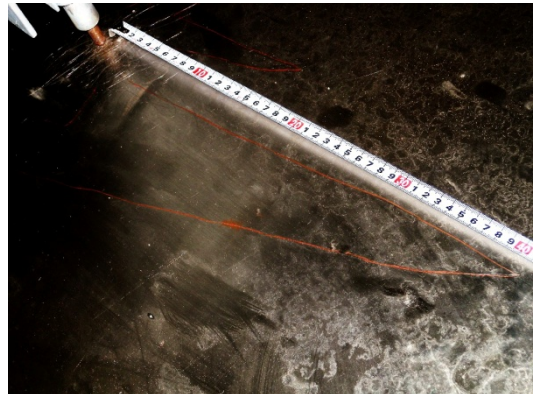
建築物 (A) ・東南約 18cm



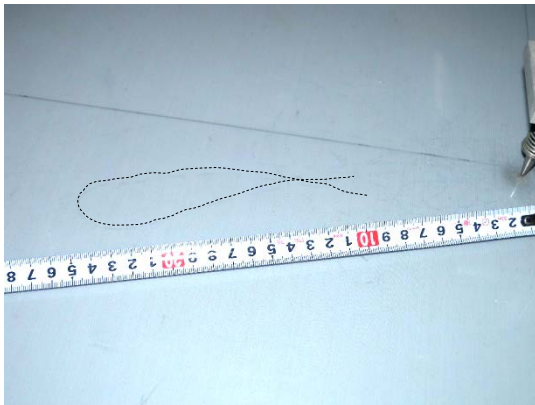
建築物 (B) ・東南約 21cm



建築物 (E) ・東南約 21cm



建築物 (L) ・北約 40cm

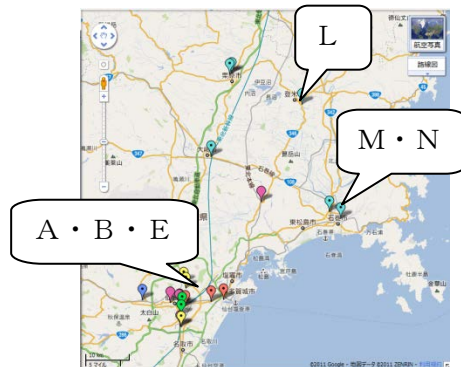


建築物 (M) ・西約 25cm



建築物 (N) ・東西約 25cm ずつ

写真 13 罫書き式変位計による記録 (数値は調査時に確認した最大の変位及び方向)



(参考：建築物位置図)

