

東日本大震災の被害調査報告

財団法人 日本住宅・木材技術センター

1. 被害調査報告概要

1.1 はじめに

平成23年3月11日に発生した東日本大震災は、日本の観測史上最大のマグニチュード9.0を記録し、震源域は岩手県沖から茨城県沖までの南北約500km東西約200kmの広範囲に及んだ。この地震により、場所によっては大津波が発生し、東北地方の太平洋沿岸部に壊滅的な被害をもたらしたことから、(財)日本住宅・木材技術センターは、木造建築物の津波被害を中心に、下記のとおり調査を実施した。

1.2 調査の目的

木造建築物の津波、地震被害並びに液状化被害の実態を把握することを目的に調査を行った。木造建築物によっては、津波で流されないで留まったものがあるといった情報があった。

このような理由を解明することによって、公共建築物等を木造とする場合の津波対応等の検討資料の収集を行った。

1.3 調査地域と日程

1.3.1 調査地域

調査を実施した地域は、図1-1のとおりである。

調査地域の震度は、表1-1のとおり3月11日の本震と4月7日の余震であるが、本震よりも余震が大きかった栗原市金成地域もあった。

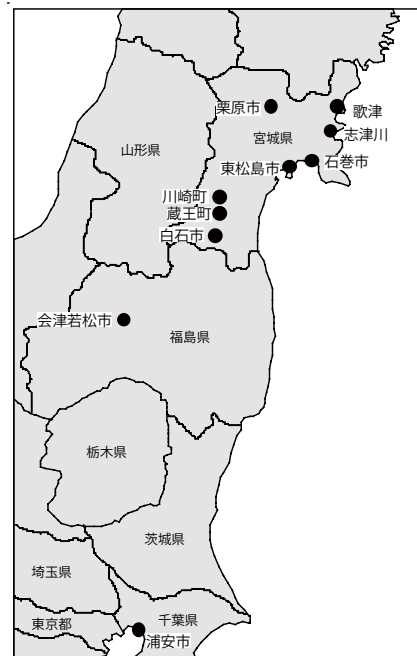


図1-1 調査した主な地域

表1-1 調査地域と震度・津波被害

調査地域		震度	津波被害
栗原市	築館	7 (6強)	無し
	金成	6弱(6強)	無し
東松島市		6強(6弱)	有り
川崎町		6強(6弱)	無し
蔵王町		6強(6弱)	無し
白石市		6弱(5弱)	無し
石巻市		6弱(5弱)	有り
南三陸町	歌津	6弱(5強)	有り
	志津川		
会津若松市		5強(3)	無し
浦安市		5強(3)	無し

()内は4月7日の余震の震度

1.3.2 調査日程

調査は、下記の日程で実施した。

4月7日	浦安市	周辺
24日	東京出発	
25日	石巻市	石巻市北上総合支所 製材工場及びその周辺
26日	南三陸町 栗原市	歌津公民館その周辺 旧金成小学校及びその周辺 旧有壁本陣
27日	川崎町 蔵王町 白石市 会津若松市	周辺 周辺 周辺 周辺

1.4 調査方法と調査団

1.4.1 調査方法

4月7日は、浦安市内の液状化被害について、徒歩で外観から調査を実施した。

4月24日～27日は、現地でレンタカーを借りて、木造建築物の津波及び地震による被害を調査した。石巻市北上総合支所、歌津公民館及び製材工場等は、図面を参考にしながら被害調査を行ったが、その他の地域はレンタカーで移動しながら、主に外観から調査を実施した。ちなみに、走行距離は1046kmであった。

1.4.2 調査団

1) 4月7日(木)

(財)日本住宅・木材技術センター

認証部長 飯島 敏夫

2) 4月24日(日)～27日(水)

(財)日本住宅・木材技術センター

試験研究所長 岡田 恒
 認証部長 飯島 敏夫
 試験研究所構造試験室長 後藤 隆洋
 認証部研究員 山田 知明

木構造振興株式会社

客員研究員 原田 浩司
 (文 飯島 敏夫)

2. 津波被害の概要

2.1 津波被害の概要

今回調査した宮城県石巻市、東松島市、南三陸町の津波の高さは、3月30日付の河北新報の記事によると、石巻港で5.8m、東松島市の野蒜海岸で10.4m、南三陸町の志津川で15.9m、南三陸町の歌津で14.7mと言われている。

実際に現地で見ても、津波の威力は圧倒的で、被害の大きかった場所では、構造の種類に限らず低層のものでは太刀打ちできていない。

住宅等の一般的な木造建築物は、土台、基礎の一部を残し、完全に押し流され、低層のS造や、低層のRC造で残っていたものも津波によって外装や開口部周辺が破られていた。

低層のS造やRC造の建物は、津波の力を受ける面積が少なくなったため躯体が残ったと考えられ、外壁を破った津波は建物内を通過し、反対側の外壁や天井、屋根を突き破っていた。

同様に幾つかの低層木造建築物でも大断面部材を使ったものでは、津波の被害は受けているが、躯体が残っているものも見られた。

津波の被害は、南三陸町の様に、海に面し、海岸が入り組んでいる地域(リアス式海岸)や、北上町の様に、川沿いで、海岸が入り組んでいる地域で大きな被害が見られた。

2.2 石巻市北上町十三浜

北上町は、北上川の河口にある周りを山に囲まれた町で、町の目の前には追波湾が広がっていた。

海岸沿いにある北上総合支所は、海側をRCの柱に集成材の梁を繋いだ構造、陸側を大断面集成材の筋かい付きラーメン構造で造られていた。津波により海側のRCの柱は傾いたり倒れたりし、集成材の梁は折れて落下していた。陸側は、外壁がはがれ、躯体のみが残っていた。(写真2-1、2-2)

北上総合支所のすぐ裏手にある、RC造の吉浜小学校も同様に、3階部分まで開口部が破られ、ベラ



図2-1 北上町十三浜の浸水地域
(国土地理院HP、浸水範囲概要図より)

ンダの手すりも流されていた。(写真2-4)

北上総合支所、吉浜小学校の裏に建っている建物を見ると、大きな建物の裏にある建物も、引き波の影響により、裏側にあった建物も外壁が破られ、躯体のみが残されていた。(写真2-3)

北上総合支所周辺の住宅をみると、基礎、土台、床材の一部が残っただけで、津波によって基礎がむき出しになっているものや、基礎ごと流されているもの、写真2-5のようにアンカーボルトが埋まっていた部分の周辺のコクリートがせん断破壊を起こしている基礎も見られた。

津波は北上川の川沿いにあった漁船や家屋等を押し流しながら、海岸から約15kmを逆流したため、海に面した地域でなくても写真2-6の様に津波の影響により、1階部分がピロティー化しているものも見られた。



写真2-2 北上総合支所(陸側)



写真2-3 北上総合支所裏の建物(S造)



写真2-4 吉浜小学校



写真2-1 折れたRCの柱(海側)

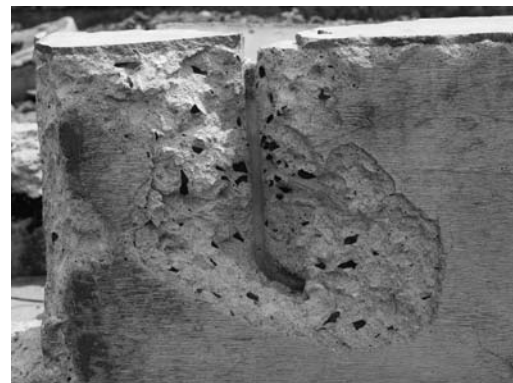


写真2-5 アンカーボルトの跡が残る住宅の基礎



写真2-6 1階部分がピロティー化した住宅(海から約14km)



写真2-9 潮見町の製紙工場



写真2-7 潮見町の製材工場



写真2-8 流された乾燥機

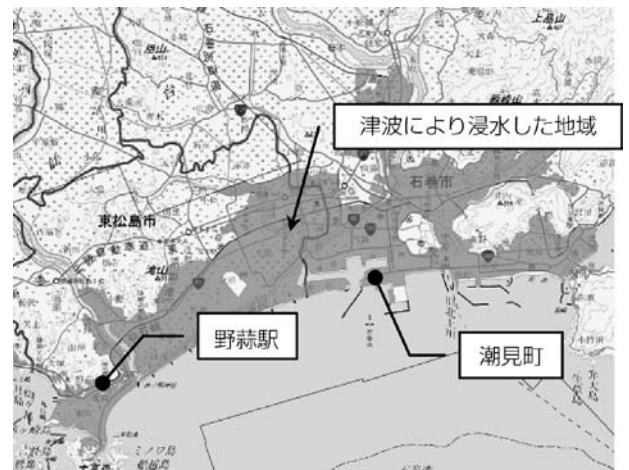


図2-2 石巻市、東松島市の浸水地域
(国土地理院HP、浸水範囲概要図より)

2.3 石巻市潮見町

潮見町は石巻港に突き出た場所にあり、潮見町にある製材工場では、調査に行った時には片付けられていたが、丸太や乾燥機等様々な物が津波によって流されたようだ。製材工場にある建物の1つは、潮風対策として躯体に木質二方向ラーメン構造を採用し、カラ松の集成材を使用していた。津波により、1階部分の外壁が無くなり、柱や梁も数本折れていたが、建物の形をとどめ、残っていた。(写真2-7)

2.4 東松島市野蒜

野蒜地区では、野蒜海岸から松島湾まで約2kmの陸地を高さ約3mの泥流が、防潮林や家屋、車など様々なものを飲み込みながら突き抜けたと言われている。

今回調査した野蒜海岸から野蒜駅までの道では、構造の種類に限らず殆どの建物は押し流され、津波によって引き抜かれた防潮林の松が辺り一面に散乱していた。(写真2-10)

木造住宅の跡を見ると、金物工法で建てられた比較的新しい住宅も見られた。1995年の阪神・淡路大震災以降、建築基準法が改正され、接合部分の補強が義務付けられたことにより、耐震性は向上したが、今回のような津波の威力には勝てなかった。(写真2-11)

周辺に残っていたRC造の診療所を見ても一階の外壁、開口部は破壊されていた。(写真2-12)

2.5 南三陸町志津川

南三陸町は西・北・南西の3方を山に囲まれ、町土の70%以上を森林が占めている。

沿岸部がリアス式海岸になっているため、今回の津波でも海岸線が入り組み、谷間になっている場所に津波の威力が集中し、高さ15m以上の津波が起こったと考えられる。

志津川は、大きな病院や役場等があり、5階建て以上のS造やRC造の建物も見られた。

残された建物を見ると、中層の建物でも開口部を

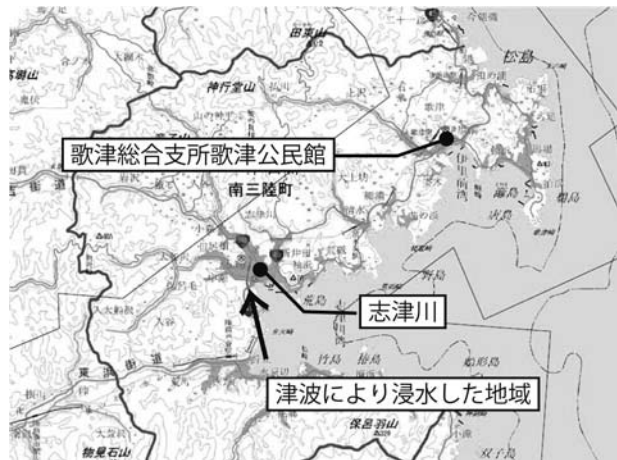


図2-3 志津川、歌津の浸水地域
(国土地理院HP、浸水範囲概要図より)

中心に破壊が見られ、低層のS造の建物は躯体を残し、殆どの部分が津波によって流されていた。

木造住宅の跡も幾つか見られたが、他の地域と同様に基礎、土台の部分を一部残し、その他の部分は流されていた。

2.6 南三陸町歌津

歌津も他の地域と同様、津波の影響により低地にあった住宅群は全て流され、基礎や土台を残すのみだった。住宅群の周辺に建っていたRC造、S造の建物も外壁や開口部が破られ、建物内部も壊滅状態であった。

高台の手前に建っていた歌津公民館も外壁は耐力壁も含め、津波で打ち抜かれていた。歌津公民館は梁間方向を木造ラーメン構造、桁行方向を耐力壁付きラーメン構造で建てられていた。津波は、建物の裏手が高台で波が上方向に抜けた為か裏手の壁よりも、屋根の方が多く突き破られていた。

高さ10m以上の高台の上にある伊里前小学校も1階部分が1m程浸水したそうで、高台の際にあったフェンスは、引き波により海側に大きく傾いていた。(写真2-18)

(文 山田 知明)



写真2-10 曲がった街灯と散乱した松(野蒜)



写真2-11 曲がったアンカーボルト(野蒜)



写真2-12 RC造の診療所(野蒜)



写真2-16 歌津公民館(1階内部)



写真2-13 志津川病院



写真2-17 高台から見た歌津公民館



写真2-14 RC造の建築物(志津川)



写真2-18 海側に傾いたフェンス(歌津 伊里前小学校)



写真2-15 S造の建築物(志津川)



写真2-19 高台から見た歌津

3. 津波被害の分析

3.1はじめに

木造建物における津波被害は、最新の調査報告^[1]では、2m程度の最大浸水深(建物等に残された津波の痕跡から推定)では多数の木造建物が残存していたが、4m以上(2階建では2階床高さ以上)となると、平屋及び2階建木造建物はほとんど流失しているとする。

今回我々が調査した地域は5m以上の巨大な津波に襲われていたため、残存する木造建物はほとんどなかったが、その中で大断面集成材の木造建築物において残存する建物があった。何故、一般の木造住宅とは異なり、この建物は倒壊や流失を免れたのかを、建物に作用した津波荷重と建物の耐力を比較することで検討する。

3.2 検討方法

検討方法は、「津波避難ビル等に係るガイドライン」^[2]より算定し、この津波波力と概算により算定した建物の耐力との比較を行う。また、当該ガイドラインは、設計用浸水深をhとし、その3倍のhの静水圧を津波波圧としていることから、これから行う計算では、津波が及んだ高さを「浸水深 = (3h)」として扱う。なお、計算で用いる浸水深は実際の建物の状況から推定した値とする。津波波圧算定式は1)式、津波波力算定式は2)式による。

(1) 津波波圧算定式

$$qz = \rho g (3h - z) \cdots \cdots 1) \text{式}$$

ここに、

qz: 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) = 1.0

g: 重力加速度 (m/s²) = 9.8

h: 設計用浸水深 (m)

z: 当該部分の地盤面からの高さ (0 ≤ z ≤ 3h)

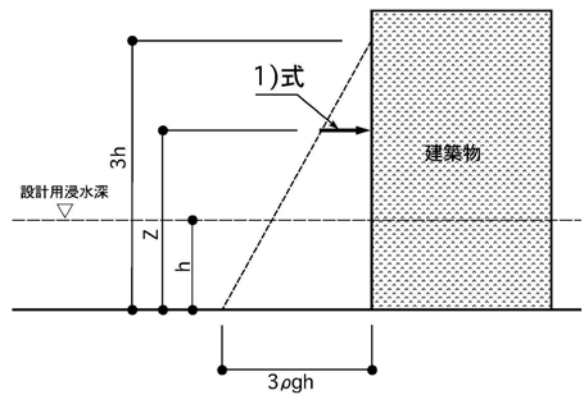


図3-1 1)式による津波波圧

(2) 津波波力算定式

$$Qz = \rho g B \int_{z_1}^{z_2} (3h - z) dz$$

$$= 1/2 \rho g B \{ (6hz_2 - z_2^2) - (6hz_1 - z_1^2) \} \cdots \cdots 2) \text{式}$$

ここに、

Qz: 構造設計用の進行方向の津波波力 (kN)

B: 当該部分の幅 (m)

z₁: 受圧面の最小高さ (m) (0 ≤ z₁ ≤ z₂)

z₂: 受圧面の最高高さ (m) (z₁ ≤ z₂ ≤ 3h)

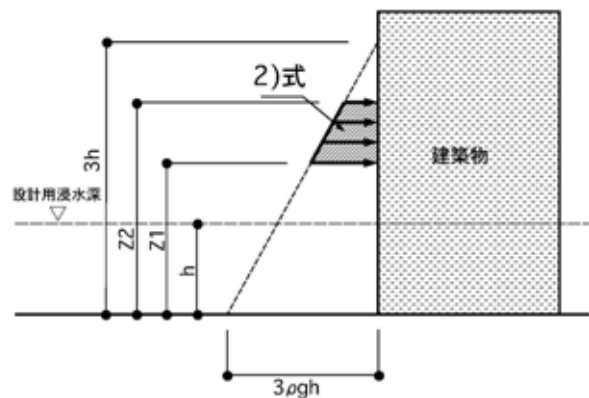


図3-2 2)式による津波波力



写真3-1 被災後の建物外観

3.3 検討建物 製材工場の事務所

(1) この建物は石巻港の海沿いに建つ製材工場の事務所で、高さ約9.6mの地上2階建の大断面集成材のラーメン構造の建物である。写真3-1は被災後の建物の外観で、1階の内外壁は流失している。津波は写真の左方向から押し寄せており、この地域の津波高さは約5.8mあったと言われている。

(2) 津波波力と建物の耐力の比較

当該建物の検討部分は、図3-3の囲み部分とし、柱1本の負担幅4.55mの1スパンあたりを対象とする。なお、浸水深(3h)は、4mとした。

1) 津波波力の算定は以下の2条件とする。図3-4、図3-5に津波波力の受圧面を示す。なお、受圧面の高さは、階高の1/2 (1.8m)から4mとする。

① 壁全面に津波波力が作用した場合

$$Qz = 1/2 \rho g B \{ (6hz_2 - z_2^2) - (6hz_1 - z_1^2) \} \text{の2)式より} \\ = 108 \text{kN}$$

ここに、 $B=4.55\text{m}$, $h=4/3\text{m}$, $z_2=4\text{m}$, $z_1=1.8\text{m}$

② 津波波力の下限值として、津波により内外壁等が流失し、躯体のみ(柱と梁部分)に津波波力が作用した場合

$$\text{柱: } Qzc = 6 \text{kN}$$

ここに、 $B=0.27\text{m}$, $h=4/3\text{m}$, $z_2=4\text{m}$, $z_1=1.8\text{m}$

$$\text{梁: } Qzb = 12 \text{kN}$$

ここに、 $B=4.28\text{m}$, $h=4/3\text{m}$, $z_2=3.6\text{m}$, $z_1=3.15\text{m}$

$$Qzc + Qzb = 18 \text{kN}$$

1) 建物の耐力の算定

建物の耐力は、柱脚をピン支持とし、図3-6に示すように1階の梁位置の柱が塑性ヒンジに到達した時点で崩壊に至る崩壊機構を仮定した。

部材の寸法は、柱の断面寸法 $27 \times 35\text{cm}$ 、梁せいは 45cm 。柱の降伏応力度 $\delta y = 30\text{N/mm}^2$ とした。

③ 建物の耐力

$$\text{柱の塑性断面係数 } Zp = 8,269 \text{cm}^3$$

$$\text{柱の全塑性モーメント } Mp = Zp \times \delta y$$

仮想仕事の原理より、

$$P \times 360\text{cm} \times \theta = 3 \times Mp \times \theta$$

$$P = 207 \text{kN}$$

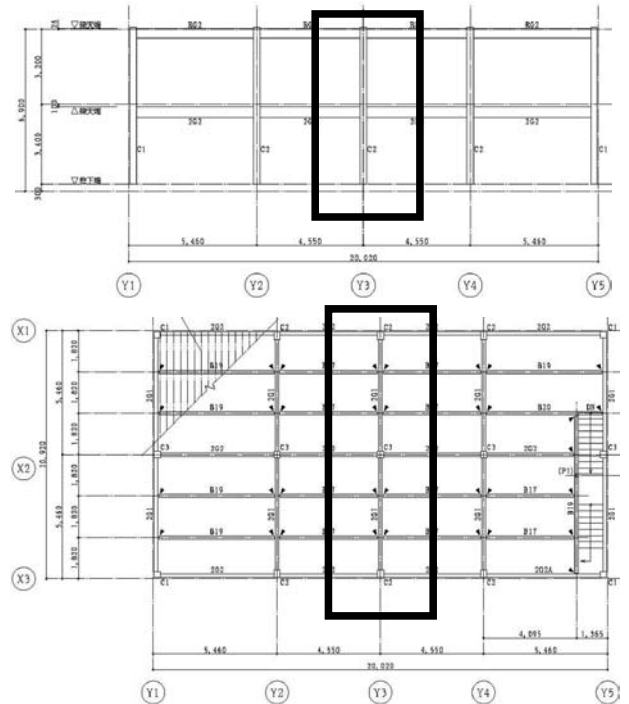


図3-3 軸組図と平面図

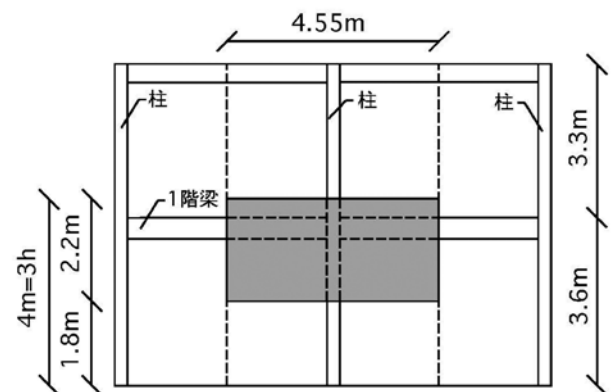


図3-4 津波波力①の場合の受圧面

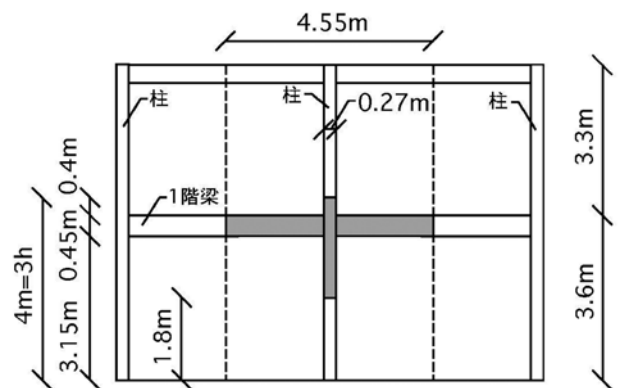


図3-5 津波波力②の場合の受圧面

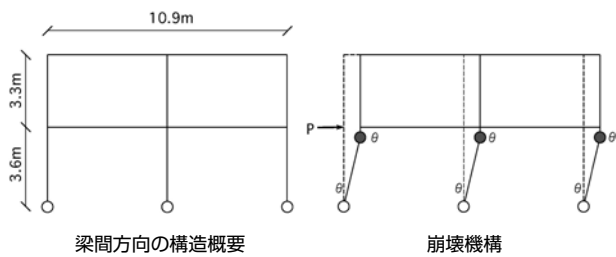


図3-6 建物耐力の算定のための崩壊機構

(3) 比較結果

- 1) 壁全面に作用した津波波力は、建物の耐力の約52%であった。
- 2) 躯体のみに作用した津波波力は、津波波力が壁全面に作用した場合の約17%であった。
- 3) 津波波力が躯体のみに作用した津波波力は、建物の耐力の約9%であった。

以上のように浸水深4mでは、建物に作用する津波波力は、建物の耐力の約1/2と小さいため、倒壊や流失を免れたと考えられる。なお、これは実際の建物が残存している状況と一致している。

(4) 津波波力と建物耐力の関係

図3-7は浸水深を変化させた津波波力と建物耐力の関係である。

- 1) 津波波力が壁全面に作用した場合は、浸水深約4.8mで建物の耐力と同程度となった。
- 2) 津波波力が躯体のみに作用した場合は、浸水深約9mで建物の耐力と同程度となった。
- 3) 柱脚を剛接合と仮定した場合の建物の耐力は、浸水深約6.1mで津波波力が壁全面に作用した場合と同程度となり、津波波力が躯体のみに作用した場合は浸水深約13.2mで同程度となった。

今回検討した建物の浸水深(3h)は4mと推定して検討したが、計算では約4.8mで建物の耐力に達するため、建物が残存していたことに整合する。なお、実際には津波により外壁等が早期に破壊されることで、建物に作用する津波波力が更に大幅に軽減されたと考えられる。また、建物の耐力に対する浸水深は、壁全面に作用する場合に対して構造躯体のみに作用する場合は、その約2倍の浸水深9mとなった。

このように、内外壁等が破壊されると室内への浸水による被害は避けられないが、建物の倒壊や流失といった更に大きな被害がより深い浸水深まで避けられることがわかった。

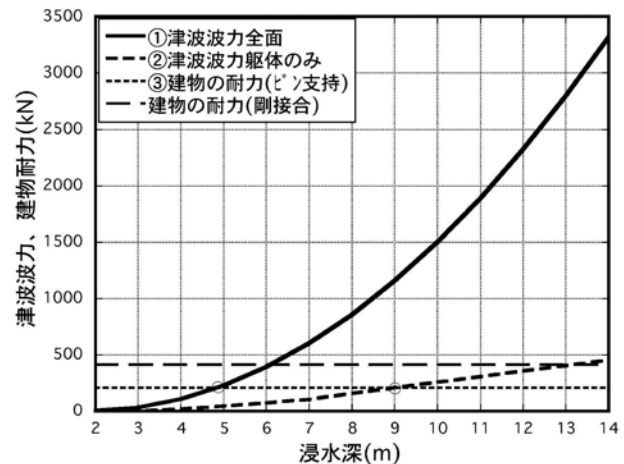


図3-7 津波波力と建物耐力の関係

3.4 津波荷重と風荷重の比較

津波荷重は、風荷重と同様に建物外壁面に作用する荷重である。そこで、壁量計算をする2階建て木造住宅(建物高さ5.7m、階高2.7m)の1階に作用する風圧力と、浸水深を変化させた津波波力の比較を図3-8に示す。

津波波力は、浸水深約2.55mで木造住宅の設計用風圧力と同程度となった。これが浸水深3mでは風圧力の約2.2倍、浸水深3.5mでは約4.2倍となり、津波波力は圧倒的で、今回の大津波で大部分の木造建物が倒壊、流失したことは仕方のない結果だった

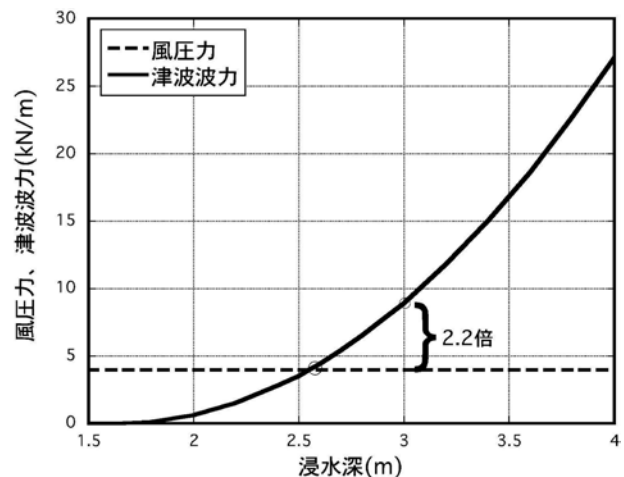


図3-8 風圧力と津波波力の比較

と思われる。

(文 後藤 隆洋)

4.地震動による建物の被害

4.1振動的被害の概要

津波調査実施後、気象庁震度階級の高かった宮城県栗原市および白石市(震度については表1-1参照)で、外観からの目視による振動的被害調査を、木造住宅および歴史的木造施設等を対象に実施した。また栗原市有壁地区の土蔵被害状況を踏まえ、土蔵が多数残存する福島県会津若松市の土蔵被害状況も確認することにした。

4.2木造住宅の被害状況

栗原市で調査した築館地区と金成地区の市街地では、大きな損傷を受けた木造住宅は見られなかった。調査を行った区域では既に建築物危険度判定が実施されており、5月6日の段階で栗原市は調査の行われた674棟中、危険と判定された住家が84棟(写真4-1、4-2)、要注意と判定された住家が245棟であったと公表しているが、危険と判定されていた住宅は比較的新しく、目視では残留変形や外壁の損傷も見られなかった。白石市中町周辺についても大きな損傷を受けた木造住宅は見られなかったが、危険と判定された住宅では老朽化が顕著(写真4-3)であった。また川崎町で見られた木造住宅(写真4-4)のように、道路面に大きな開口が設けられた木造住宅であっても、大きな損傷を受けていない事例は栗原市、白石市でも数多く見受けられた。

今回、多数目撃されたのが瓦の落下被害(写真4-5、4-6)である。瓦の落下は仙台市、川崎町、蔵王町、福島市、郡山市と震度6弱を上回る地域で広く観察された。ただし被害は棟瓦やのし瓦に集中しており、築年数を問わず被害が発生していた。瓦の不足、職人の不足等の理由により補修がなかなか進まないことから、雨漏りに悩む住民も多く、梅雨時期に入れば住宅内部の居住環境とともに建物の耐久性にも影



写真4-1 危険と判定された木造住宅(栗原市)



写真4-2 危険と判定された木造住宅(栗原市)



写真4-3 危険と判定された木造住宅(白石市)



写真4-4 道路面開口部が広い住宅(川崎町)

響すると考えられる。また落下被害の多かった理由を解明し、施工方法や管理のあり方等整理されることが望まれる。

4.3 土蔵の被害状況

栗原市金成地区に残る旧有壁本陣は、木造2階建ての書院造りの長屋(写真4-7、4-8、4-9)等は、外観からの判断となるが壁の漆喰が剥がれている程度で、1階の耐力要素が十分とは考えにくいにも関わらず、残留変形や大きな損傷は残していない。これに対し敷地内に数多く残る土蔵(写真4-10)は、壁のせん断ひび割れ(写真4-11)や漆喰の落下が見られるほか、土壁が崩れ小舞が露出している箇所(写真4-12)も見受けられた。ただし建物本体には大きな変形は見られなかった(写真4-13)。

土蔵は会津若松市の東栄町周辺にも数多くの残存している。漆喰や土壁の落下はほとんど見られなかったが、レストランとして利用されている土蔵(写真4-13)の壁に水平クラックが入っている事例が観察された。

白石市にも蔵王酒造の資料館(写真4-15)等、少数ではあるが土蔵が残されている。ケラバ部の漆喰の落下は見られたが、軽微な損傷であった。また平成7年に復元された白石城天守閣では、漆喰のはく離(写真4-16)や開口部4隅のせん断ひび割れが観察されている。

また土蔵については岩手県宮古市で津波にのまれたが、流されていない事例が見られた(写真4-17 6月17日調査による)。

4.4 栗原市金成地区の木造文化財施設

栗原市金成地区には旧有壁本陣のほか、木造建築物として日枝神社拝殿・神殿(建築年不詳)、旧金成小学校校舎(明治20年に新築、明治43年に移築された木造2階建ての擬洋風校舎)、金成ハリストス正教会(昭和9年に建設、鐘楼の高さは7m)がある。

日枝神社の被害状況は石造りの鳥居や灯籠は倒壊(写真4-18)したが、拝殿(写真4-19)・神殿(写真4-20)共、大きな損傷は観測されない。高床は石場



写真4-5 瓦の落下被害(川崎町)



写真4-6 瓦の落下被害(福島市)



写真4-7 旧有壁本陣 長屋



写真4-8 旧有壁本陣 長屋



写真4-9 旧有壁本陣 御成門



写真4-13 旧有壁本陣 土蔵内部



写真4-10 旧有壁本陣 土蔵の崩壊



写真4-14 会津若松市の土蔵被害



写真4-11 壁のせん断割れ



写真4-15 白石市の土蔵被害



写真4-12 土蔵の崩壊



写真4-16 白石城 漆喰のはく離



写真4-17 宮古市事例



写真4-18 日枝神社 灯籠の倒壊



写真4-19 日枝神社 拝殿



写真4-20 日枝神社 神殿



写真4-21 高床石場立ての水平移動



写真4-22 旧金成小学校校舎



写真4-23 旧金成小学校校舎



写真4-24 金成ハリストス正教会



写真4-25 外壁の脱落



写真4-26 基礎の破損



写真4-27 地盤の変状(秋田県立大学板垣准教授撮影)

立てとなっているが、礎石から少し水平移動した形跡(写真4-21)が見られた。

旧金成小学校校舎(写真4-22)は、大きく張り出した玄関ポーチ部分(写真4-23)を含め、外観からの損傷は見られなかった。

金成ハリストス正教会(写真4-24)は基礎の破損(写真4-26)に伴い、土台が基礎から浮き上がった状況や外壁の脱落(写真4-25)が見られた。この基礎の破損原因が無筋あったことも否定できないが、盛土を支える擁壁が一部破損していることから、建物直下の土砂が横ずれしたことが主要因であったと予想される。今回の調査ルートでは浦安の液状化を除き、地盤の著しい変状により建物が倒壊した事例は確認されなかったが、日本木材学会の調査チームや秋田県立大学の調査チームにより、こうした上部構造以外の構造的問題により、耐震性を十分に備えた木造住宅等が被害を受けた事例(写真4-27)が多数報告されている。

(文 原田 浩司)

5. 浦安市の液状化被害

東日本大震災は、東京湾岸や茨城県などの各地で液状化現象が起き、住宅が傾いたり沈んだりした。特に、千葉県浦安市は、液状化による被害が発生した地域である。浦安市は1889年に浦安村として誕生し、1964年から沿岸の埋立てが始まり、今では浦安市の約4分の3が埋立地である。浦安市の液状化の危険性については、以前から指摘されていた。千葉県ハザードマップによると、浦安市全域が液状化危険度Aランクと判定されている。Aランクの地域は、「何らかの液状化対策が必要となる場合がある。」としている。

写真5-1は、浦安市高洲地区にある液状化被害によって傾いた3階建て住宅である。この地域は、浦安市の調査によると建物被害が多かった地区である。写真5-2は、護岸から撮ったものであるが、護岸と反対側に電信柱が軒に接するかのよう傾いている。護岸は、新旧の埋立地の境界でもある。電信柱が傾いた地区は、旧埋立地側である。

写真5-3は、高洲中央公園内に災害復旧・復興活動の拠点として整備された「飲料水兼用型の耐震性貯水槽」である。この貯水量は、100m³であることから1人当たり3リットルの水を3日間、1万人に飲料水を供給できる量であるが、液状化によってマンホールなどが浮き上がってしまった。公園の周囲は、高層マンションが建ち並んでいるが、地盤改良や杭基礎の採用などによって、建築物自体の被害はほとんどみられなかった。

写真5-4は、南浦安駅周辺の地盤が液状化によって沈下し、改札階に上がるエレベーターが地面から浮いてしまったため、スロープによって段差を解消して使用していた(5月20日)。

これらの被害状況等から、浦安市は液状化リスクを踏まえた対策を講じたライフライン及び住宅供給が必要である。これまでの液状化対策は、大規模施設や集合住宅などが主であったが、戸建住宅のような小規模な宅地についても、小規模建築物基礎設計



写真5-1 傾いた3階建て住宅(右側の建物)



写真5-2 傾いた電信柱



写真5-3 災害用 飲料水兼用型耐震性貯水槽のマンホール



写真5-4 復旧後のエレベーター

指針(日本建築学会発行)などを反映した液状化対策が急務である。

また、液状化によって沈下した建築物の改修方法についても、被害状況に応じた適切な方法が望まれる。

(文 飯島 敏夫)

6.まとめ

津波被害を中心に調査を行った。津波被害を受けた地域の木造住宅の多くは、土台から上が流されてしまうという壊滅的な被害を受けていた。津波による波力(ソリトン分裂を伴わないとして算定)を試算した。それによれば、津波の波力は浸水深85cm程度、波圧の到達高さ2.6mで、木造住宅の設計用風圧力程度になるという結果を得た。浸水深が1m程度で、波力は設計用風圧力の2.2倍を超える。今回の地震による津波高さは、建物の被害調査から、住宅の高さを超えるようなものであったことが各地で報告されている。ここでいう、津波高さが、波圧を求める式の浸水深(h)か、波圧の到達高さ(3h)かは、やや判然としない。しかし、波力の算定結果は、2階建てまでの木造住宅が跡形もないような被害を受けたのは当然だということには間違いない。

壊滅的な被害は木造住宅だけに限定されたものではなかった。鉄骨造、鉄筋コンクリート造でも低層建築物は、柱や壁が自立しているものを多く見かけた。しかし、自立はしているものの、外壁や開口部が破壊され、室内はめちゃくちゃの状態、修復できる限界を超えるような甚大な被害を受けていた。このような被害の状態は一部の木造でも見られた。それは大断面集成材によるラーメン構造あるいはそれに類する構造の木造である。

それら木造建築物の代表例について、外壁が健全な場合と外壁が破られて、柱、梁だけになった場合について津波波力を試算し、それらの終局耐力と比較した。その結果、それら木造建築物は、幸か不幸か、外壁が破られたことにより、どうにか建っているこ

とができたということが算定結果からも示された。柱の本数も、重要なファクターになっている。S造やRC造の低層建物についても同様のことが言えよう。

この検討結果は、津波に襲われるかもしれない地域に、木造建築物を建設する場合、外壁が先に破壊されるよう、また柱の本数をある一定以上になるよう設計すれば、今回のような津波に襲われたとしても、何とか建ってはいられるようなものとすることができることを示唆している。

津波被害の調査と併せて、津波が襲っていない地域のうち、震度が比較的大きかった地域で、木造建築物の地震による振動での被害調査を行った。応急危険度判定の集計結果によれば、危険と判定された件数は全国で10,000件を超えている^[1]。しかし我々の調査した範囲では、振動による被害は老朽化していた建物を除いて、比較的軽微であった。目立った被害は、瓦の被害、土蔵に被害である。瓦の被害は棟部の瓦の落下である。土蔵では、壁の漆喰の剥落である。瓦については、ガイドライン工法^[3]といった、耐震性に配慮した工法が提案されている。復興にあたってはそのような工法の採用が望まれる。

今回の地震での木造建築物の被害で目立ったものは、津波被害を除けば、液状化等の地盤被害に伴う損傷である。我々の調査は浦安市だけであるが、宮城県、福島県、栃木県などでも多くの被害が報告されている。液状化により住宅は沈下したり、傾斜したりの被害を受けていた。水道、ガスなどのライフラインの供給も長い期間止まったことも報告されている。こういった被害は、宅地造成してから、数十年を経た地域でも報告されている。一方、高層マンションなどは、地盤改良や杭基礎の採用などで、建物自体の被害は軽微に留まったようである。最近では液状化マップなども多くの地域で公表されている。木造住宅でも、主として軟弱地盤対策として、地盤調査をもとに、地盤改良、杭基礎、べた基礎などの採用も見られるようになってきている。それらは液状化対策としても有効であると言われている^[4]。検討に値するようと思われる。

(文 岡田 恒)

<参考資料>

[1]平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震調査研究(速報)、国土技術政策総合研究所資料、建築研究所資料、平成23年5月

[2]津波避難ビル等に係るガイドライン、内閣府、2005年6月

[3]瓦屋根標準設計・施工ガイドライン、社団法人全日本瓦工事業連盟等、平成13年

[4]小規模建築物基礎設計指針、日本建築学会、2008年