３．津波によって浸水被害を受けた枠組壁工法住宅の補修について

３．１　浸水・津波対策に関する既往文献の整理

文献 No.1：水防法の改正に伴って浸水ハザードマップが整備された際に作成された。河川洪水による浸水の対策を述べたもの（文献 No.2 とセット）。

文献 No.3：2004 年スマトラ沖地震によるインド洋大津波の発生を受けて作成された。「資料②構造的要件の基本的な考え方」に津波の力（津波波力）の計算法を記載している（巻末資料３参照）。

文献 No.4：その基本性能項目の中に対浸水性を表 3.1.2 の通り示している。しかし付記しているように津波に対しては対応していない。

文献 No.5：「建築防災」に掲載された記事（計 7 号分）を収録。

文献 No.6：FEMA の浸水対策の底本（文献 No.8 は居住者向けの簡略版）。ジャッキアップして高基礎にする提案以外は文献 No.1 と同様。

文献 No.7：FEMA による津波対策。作成の経緯は文献 No.3 と同じ。第 6 章に津波荷重の算定法が示されている。

表 3.1.1　浸水・津波対策に関する主な文献

（１）日本国内

No.	名称	発行年月	発行者
1	家屋の浸水対策マニュアル	2001 年 7 月	(財)日本建築防災協会
2	家屋の浸水対策ガイドブック	2001 年 8 月	(財)日本建築防災協会
3	津波避難ビル等に係るガイドライン	2005 年 6 月	内閣府
4	官庁施設の基本的性能基準	2006 年 3 月	国土交通省
5	「月刊建築防災」津波関連記事復刻集	2011 年 6 月	(財)日本建築防災協会

（２）アメリカ

6	FEMA259:Engineering Principles and Practices for Retrofitting Flood-Prone Residential Structures, Edition2	2001 年 6 月	FEMA*
7	FEMA P646: Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsumamis	2008 年 6 月	
8	FEMA P234: Repairing Your Flooded Home	2010年10月	

* the Federal Emergency Management Agency の略称。

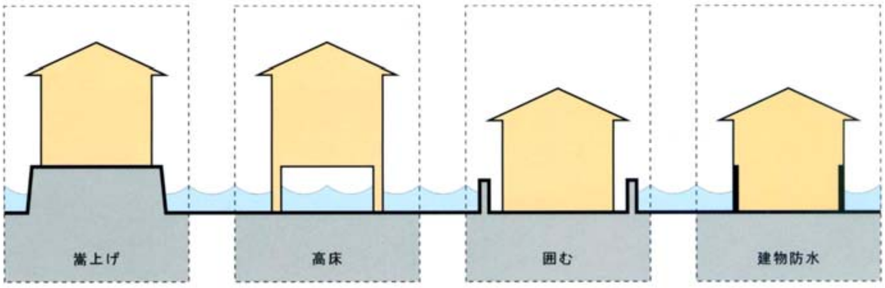


図 3.1.1　床上浸水の防止方法の考え方文献 No. 1

表 3.1.2　「官庁施設の基本的性能基準」の抜粋文献 No. 4

3－1－3　対浸水に関する性能

【基本的性能】

次表のとおり、各分類の対象とする室等に応じて、水害に対して、人命の安全の確保に加え、災害応急対策活動等に必要な機能の維持又は財産・情報の損傷等の防止が図られるよう、性能の水準を確保する。

分類	I	II	III
対象とする室等	活動拠点室、活動支援室、活動通路、活動上重要な設備室、機能の停止が許されない室等	重要な財産・情報を保管する室	分類 I 及び II に該当しない室等
性能の水準	極めて稀に発生する大規模な水害に対して、災害応急対策活動等を円滑に行ううえで支障となる浸水の防止が図られている。	極めて稀に発生する大規模な水害に対して、重要な財産・情報を損失若しくは滅失又は損傷、き損若しくは劣化させる浸水の防止が図られている。	遭遇する可能性の高い水位に対して、浸水の防止が図られており、かつ、極めて稀に発生する大規模な水害に対して、人命の安全の確保が図られている。

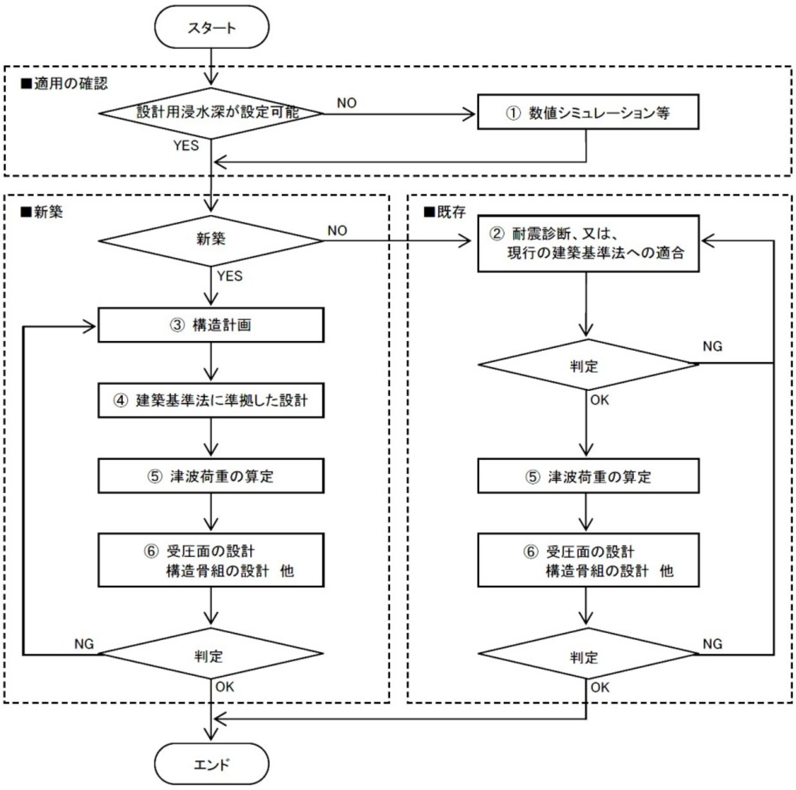
備考）

津波に対する防御を考慮する場合は、別途性能の水準を設定する。

国営整第 156 号国営設第 162 号平成 18 年 3 月 31 日

図 3.1.2 に津波避難ビルにおける津波波圧の検討方法の概要を示す。ここに示された算定式は護岸設計に由来する。つまり直立護岸では波が当たると高さが 3 倍に増幅されると考えて設計されており、その考え方がそのまま採用されている。しかし、「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震調査研究（速報）」（表 2.4.1(2)報告書 No.3）の「6.5 調査建築物の耐力および津波波力の検討（pp.6-132～148）」では（式 4.1）において「観測された最大浸水深＝3 倍の設計用浸水深」と置き換えて検討を行っている（津波が建物に当たっても波が 3 倍に増幅することはないとの考えに基づくと思われる）。

なお津波避難ビルの検討方法については、東北地方太平洋沖地震以降、見直しが進められている模様である。



（１）津波避難ビルの構造設計フロー

構造設計用の進行方向の津波波圧は、下式により算定する。

$$qz = \rho g(3h - z) \qquad (4.1)$$

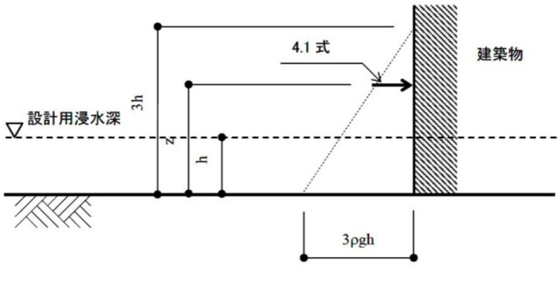
ここに、 qz： 構造設計用の進行方向の津波波圧(kN/m^2)

ρ： 水の単位体積質量(t/m^3)

g： 重力加速度(m/s^2)

h： 設計用浸水深(m)

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



（２）津波波圧算定式

図 3.1.2　津波避難ビルにおける津波波圧の検討方法文献 No. 3

３．２　津波によって浸水した枠組壁工法住宅の補修の例

３．２．１　津波によって浸水した部材の状況と対応例

（１）東北地方太平洋沖地震被害状況調査 WG 各社等へのアンケート調査について

津波による浸水被害が注目されたのは東北地方太平洋沖地震が初めてと言っても差し支えない。これらの補修に関する参考情報を得るため、東北地方太平洋沖地震被害状況調査 WG 各社などの 7 社に対してアンケート調査を実施した。記入表は 2011 年 6 月下旬に配布し 5 社から回答を得たが、このうちの 1 社からは津波被害の調査・補修提案に関する事例資料が回答として提出された。

なお津波は浸水被害だけでなく漂流物による損傷ももたらすが、本調査は前者に着目したものであり、あくまで補修可能な被害に関する回答を求めた。

（２）回答状況

表 3.2.1 にアンケート回答の整理結果を示す[1)]。同様の回答は集約したが、回答の趣旨は同一でも具体的内容が例示されていた場合などは（）内に示した。

各部材とも、「浸水後の状況」にしても「対応の例」にしても、大きなばらつきは見られない。但し「合板」と「接合具（釘・ビス）」については浸水程度の違いに応じて異なった対応がなされている様子がうかがえる。

なお回答には「床上浸水（1 階壁の途中まで）の場合」と付言されていたり、「補修工事はまだ始まったばかりで、被害の激しい地域ではまだ手付かずの状況にある。もっと時間を経なければ分からないことが多い」「木材に塩分がどのくらい残っているのか、またそれが耐久性にどう影響するかがわからない」といった感想・意見が述べられていた。つまりこれらが示すように各社とも手探りの状態で津波浸水に対応している状況であり、表 3.2.1 に示された内容が津波による浸水対策として敷衍できるかどうかまでは確認されていない。

---

1)回答の表記のばらつきは次の考え方に従って整理した。

「洗浄」：洗剤等を使っているかどうかは不明である。この他に水洗いという表現もあった。

「消毒洗浄」：ほとんど消毒と洗浄はセットで回答されているが、表記順序が作業手順通りかどうかは不明である。「水洗い、消毒」といった表記もあった。

「張替え」「取替え」：撤去して新品に交換することはこれらの表現にまとめた。前者はボード等の面材を 1 枚単位で新品へ交換すること、後者は面材以外を新品へと交換することを示している。なおボード等の張替えについては、濡れた部分のみ交換するという方法もありうる。しかし今回の回答にはそうした方法は含まれていないと判断した。

表 3.2.1　津波によって浸水した部材の状況と対応の例

部位	種類	材料	浸水後の状況	各社の対応の例
基礎	コンクリート		・汚れを除いて異状なし	・床下の汚泥撤去と消毒洗浄にて対応。 (数日であれば洗浄) (長期海水につかっているものはＰＨを計測して対応を検討)
躯体	木質材料	枠材	・変形・狂い等の問題なし。 ・下枠に、水分が残る。臭いあり。	・ほとんど取替えまで必要ない。ボード張替えに合わせて消毒洗浄。 (石膏ボードを撤去してから乾燥後に消毒) (防腐防蟻は再塗布する)
		合板	・汚れはあるが。膨潤はみられなかった。 (床上浸水 300mm 程:床合板の汚れはあるが形状や強度に問題なし) ・水分が残る。臭いあり。 (床上浸水 1000mm 程：床合板にやや膨張と汚れがある)	・１面のみ消毒洗浄。 (床上浸水 300mm 程：消毒洗浄し張替えは仕上材のみ) ・床合板は張替え。外壁合板は外壁の状況と予算による。 (床上浸水 1000mm 程：撤去・張替えを進めている)
		OSB	・水分が残る。臭いあり。 (木口部分が膨潤している)	・乾燥後に消毒。床 OSB は撤去・張替え。 (膨潤していれば張替え)
	金属	接合金物	・洗浄を要する程度。 (３ヶ月程度洗浄せず放置しているので白さびがみられた) (鋼製束のさび。他の金物は未調査)	・消毒洗浄にて対応。 (修繕工事の内容・予算によっては取替え) (軽微であれば亜鉛メッキスプレーを検討)
		接合具 (釘・ビス)	・浸水部分は錆の発生が見られる。 (３ヶ月程度洗浄せず放置していて釘頭に赤錆がみられた) ・ほとんど問題なし。	・消毒洗浄にて対応。 (修繕工事の内容によっては取替えや増打ちを行う) (軽微であれば亜鉛メッキスプレーを検討)
外装	窯業系 サイディング		・汚れを除いて異状なし。 (通気層内には海水の浸入がある) (今後ビスが錆びないか心配) (漂流物による破損)	・消毒洗浄にて対応。 (破損があれば補修もする)
	モルタル塗り		・汚れを除いて異状なし。	・消毒洗浄にて対応。 (破損があれば補修もする)
	アルミサッシ ・ガラス		・ほとんど問題なし。但しガラスが破損した箇所もある。 (海水につかったままのものは枠の腐食あり)	・消毒洗浄にて対応。破損ガラスは取替え。
内装	木材（ムク）		・樹種によって変形・反り等に差がある。	・消毒洗浄にて対応。変形・反りの著しい部分は取替え。 (補修手順の関係で撤去・取替える部分がある)
	ボード類	繊維板 (MDF 等)	・吸水して膨張。なお使用箇所の典型は建具、箱物、造作材等。 (汚れ程度)（床上浸水 200～300mm までは強度的影響が出るほどでないが、それ以上の浸水になると膨張が見られる)	・膨張して強度低下が推測されるものは取替え。 (ドア枠は予算による)
		石膏ボード	・吸水して膨張。 (床上浸水 200～300mm までは強度的影響が出るほどでないが、それ以上の浸水になると膨張が見られる)	・張替え。 (膨張して強度低下が推測されるものは張替え) (濡れた部分のみ新品に交換)
	畳		・湿潤してカビ、腐れ等が生じている。	・取替え
断熱	グラスウール ロックウール		・吸水したままの状態。 (床上浸水 200～300mm まではベーパーバリアの防水効果でほとんど影響ない。床上 1000mm になると下部のみ濡れている)	・取替え。 (水濡れした部分のみ取替え)
	発泡ポリスチレン 発泡ポリウレタン		・汚れて濡れているが吸水はしていない。	・取替え。 (取り外して洗浄・乾燥してから再利用)

３．２．２　津波によって浸水した住宅に対する調査・補修提案に関する事例

津波を受けた場合、まず浸水の程度と損傷状況を確認し、被害の実態に基づいて補修方法を選択することが求められる。

津波浸水後の住宅において行われた確認作業及び補修提案の事例を表 3.2.2 に示す。なお当該事例は１階の中間部まで浸水し、漂流物によって外壁の一部が損傷を受けている。

表 3.2.2　津波によって浸水した住宅に対する調査・補修提案に関する事例

部位	確認内容	修復方法（案）
外構・１階室内	・外構の損傷を確認する。	・汚泥撤去、排水枡など給排水設備の修復を行う。
	・室内の損傷を確認する。	・汚泥を撤去、１階の住設、建具、照明器具など状況により交換を行う。
基礎	・割れ欠け、沈下などの損傷程度を確認する。	・一部コーナーで漂流物の衝突による欠けがあり、補修を行う。
	・基礎パッキンの状況確認をする。	・多くの部分で付着物による目詰まりがあり、１階床下洗浄時に高圧洗浄を行う。
１階床および床下	・床仕上材、面材を撤去し躯体状況を確認する。	・１階躯体は、含水率 15%以下であり部材の変形、損傷は確認できないため現状のまま利用する。
		・基礎土間上の汚泥は撤去し、消毒消臭を行う。設備配管、電気配線は撤去交換を行う。高圧洗浄する。
１階室内側	・ＰＢの浸水による影響を確認する。	・使用不可と判定、撤去交換する。
	・断熱材を確認する。	・湿潤状況であり臭気あり交換する。
１階外壁側	・滅失部分と残存部分の確認をする。	・乱切り状態の切断面を成形し躯体の修復を行う。
	・残存部分の釘、金物の損傷、錆などを確認する。	・外壁面材の釘は錆の程度を評価し、増打ちで対応する。金物は交換が必要か損傷程度で判断し対応する。
	・サイディング損傷部分の確認をする。	・補修材塗布にて対応する。損傷が著しい部位は、撤去し交換する。
	・サイディング取り付け金具、防水紙下の面材の確認をする。	・サイディング金物の損傷と錆を確認する。ステンレス製で錆、傷みは確認されないため現状のままとする。
		・防水紙下面材は、浸水部分の含水状況は 15%未満であり、塩分の凝結も見当たらないことから現状のままとする。
	・防水紙下の釘の確認をする。	・防水紙下の釘は、浸水レベル以下において錆もなく現状のままとする。
	・サッシの状況確認をする。	・ガラスはほぼ破壊されており交換、サッシ枠損傷程度により交換する。

３．３　津波によって浸水した材料の劣化について

３．３．１　木材について

浸水被害に対する基本的な考え方は(財)日本建築防災協会のマニュアルが示す通りであるが、一般に建物に関する海水による浸水被害対策は考えられていない。参考として当協会の耐久性能研究委員長（中島正夫・関東学院大学教授）の見解を表 3.3.1 に示す。

表 3.3.1　当協会の耐久性能研究委員長の見解

補修の考え方としては、津波被害を塩水噴霧試験のように一種の促進劣化を受けたと考えれば、既往の知見から促進試験時間と実曝露時間との関係がある程度分かっていますから、その時間分だけ寿命が短くなったと考えるのが妥当かも知れません（昨年までの調査から、築 30 年程度であれば特に劣化が進んだ建物でない限り、釘の腐食はほとんど進んでいないと考えられるので)。その短くなった新たな寿命では目標としていた寿命を満たせないのであれば何らかの対策をとる必要があるかも知れませんが、目標寿命が十分満たせるのであればそのまま使いつづけてもいいのかと考えます。

３．３．２　鋼材について

（１）海水による鋼材の発錆に関する基準

鋼材の錆対策は、厚板材（いわゆる重量鉄骨）と LGS 等の薄板材で異なる。前者の基本的な錆対策は塗装であることから、洗浄後に再塗装すればよいと考えられている（表 3.3.2)。

一方、海水をかぶった薄板材の錆対策は判然としない。そもそも塩分付着を想定していないためと考えられる。なお一部関係者へのヒアリングによれば、LGS 等の防錆は亜鉛めっきであることから、めっき損傷の有無で使用可否の判断がなされているようである。つまり表面に赤錆やざらつくような白錆が発生していれば、めっきの防錆機能が劣化していると判断して、部材を交換する場合が多いようである。一方、曇る程度の白錆であれば、水洗いして塩分の除去後に乾燥して使用するようである。但しこの考え方の一般性や妥当性等について確認するには至らなかった。

表 3.3.2　塗装された鋼材（重量鉄骨）の付着塩分の処理の例

7.4 塗替え塗装の施工、7.4.4 素地調整 v)一般に旧塗膜上には 50mg/㎡以上の塩分が付着していると塗装後早期に塗膜欠陥を生じやすい。このような場合には、水洗等により塩分が 50mg/㎡以下になるまで除去することが望ましい。このときスチームを用いると塩分を効率的に除去できる。ただし、水洗時に環境汚染対策などの注意が必要である。

出典：鋼道路橋塗装・防食便覧，(社)日本道路協会，2005.12.

（２）津波よる浸水被害の３ヶ月後の現地調査

仙台南部の閖上の津波被害地域で観察した結果、枠組壁工法住宅の接合金具や接合具の状況は次の通りであった（中島正夫・関東学院大学教授による報告)。

○３ヶ月後でメッキ（亜鉛）した金物の赤さびは見られなかった。
○多少の白錆び程度。ただし、丸釘は赤錆が見られた。
○外装のサイでディングのバックアップ材、水切も錆びてはいない。
○海水に浸かった木材に打込まれた釘は、今後どのような影響がでるかはわからない。

３．３．３　石膏ボードについて

通常の石膏ボードを 15 分間浸漬させると曲げ強度は４割ほどにまで低下してしまう（巻末資料４参照)。そのため石膏ボードを耐力に見込んでいる場合、浸水直後の大きな余震に耐えられない恐れがあるので注意する必要がある。

なお石膏ボードが長時間湿潤状態になっても、常温で 24 時間乾燥すれば吸水前の重量に戻り、この場合の接合具（釘・ビス）に対する側面抵抗は、湿潤以前の石膏ボードと同等であることを示す実験結果がある [1)]。但し長時間湿潤した石膏ボードは、カビの発生や変形が懸念されることから、石膏ボードメーカーは張り替えを推奨している。

---

1) 次に示す研究がある。但し湿潤後の石膏ボードの曲げ強度の回復状況については扱っていない。
名波直道（研究代表)，壁下地材を緊結する接合部の耐力性能が枠組壁工法耐力壁の耐震性能に及ぼす影響，第１回坪井記念研究助成報告書，(社)日本ツーバイフォー建築協会，2005 年３月.
河原緑・名波直道・安村基，“合板・石膏ボードに対する釘・ビスの側面抵抗に及ぼす繰り返し水分作用処理の影響”，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.271-272，2005.9.