

## 6. 津波による建築物の被害

### 6.1 はじめに

本章では東北地方太平洋沖地震に伴って東北地方及び関東地方沿岸部に発生した大津波による建築物被害について、国土交通省国土技術政策総合研究所と独立行政法人建築研究所が実施した現地調査や事前調査等の概要を報告する。

本章は、津波による建築物の被害事例を収集すること、構造種別毎に被害形態を分類すること、建築物に作用する津波波力と建築物の耐力を計算し比較検討すること等により、津波による建築物被害の全体像を把握し、建築物の被害発生メカニズムを考察するための基礎的資料を提供するとともに、津波避難ビル等の建築物の津波荷重や耐津波設計等に資することを目的とする。

第1章に記されているように、発災当初は国土技術政策総合研究所と建築研究所は、国土交通省の要請に基づき、主に地震動による建築物被害の調査を実施してきた。しかし、この大震災の全容を把握するには津波被害の実態も把握することが必要であること、復興時に津波避難ビルの構造的要件・位置的要件・機能的要件等に関する情報が必要になること、などの理由により、国土技術政策総合研究所と建築研究所の合同の自主調査という位置付けで総勢27名の津波被害調査班<sup>†</sup>を構成し、平成23年3月17日に第1回津波被害調査検討会議を開催した。その後10回以上の津波被害調査検討会議を開催し、津波避難ビルや津波荷重に関する国内外の基規準の収集、調査対象地域の絞り込み、残存建築物を中心とした調査対象建築物リストの作成等を行った。それらの情報を踏まえて6.3に示す3回の現地調査を実施した。現地調査の開始に当たっては、現地の行方不明者の捜索状況、津波の痕跡の消滅、被災建築物の除去・取り壊し状況等を勘案して、津波被害の発災後約3週間が経過した平成23年3月30日から現地調査（第1班）を開始した。

本章は本節をはじめ、6.2 調査内容、6.3 現地調査、6.4 被害形態の分類と考察、6.5 調査建築物の耐力および津波波力の検討、で構成されている。6.2 では事前調査として津波荷重や耐津波設計に関する海外基規準の収集、調査対象建築物の特定を行い、本章での津波に関する用語の定義や浸水深等の推定方法も示した。6.3 の現地調査およびその結果は各現地調査班の日報を中心に調査地域別に纏めたものであり、調査建築物は6.2 で当初予定していた調査対象建築物以外のものも数多く含まれ、合計で約80棟の建築物や工作物等の調査を実施した。これは当初調査対象建築物を衛星写真や航空写真等から残存建築物を中心に選定していたが、現地に行って新たに建築物の耐力や津波波力が容易に推定できると思われる建築物や工作物等が加えられたためである。現地調査ではこれらの調査建築物の地理情報や被害状況の記録、建築物及び構造躯体等の採寸、浸水深の計測等を行い、その調査結果を本章の付録 調査建築物データベースに纏めて掲載した。6.4 では6.3 の現地調査およびその結果に基づいて被害形態の分類を行い、建築物の移動や転倒といった津波被害特有の被害発生メカニズムについても考察を加えた。6.5 では6.3 の現地調査およびその結果から数例を選んで、浸水深から推定される津波波力と建築物の構造躯体等の採寸結果から推定される建築物の耐力とを比較検討し、平成17年に内閣府から出された「津波避難ビル等に係るガイドライン」<sup>6-1)</sup>の設計手法を考察した。

---

#### †津波被害調査班

国土技術政策総合研究所（8名）：西山 功・向井昭義・港以知郎・深井敦夫・竹谷修一・喜々津仁密・新井 洋・阪田知彦

独立行政法人建築研究所（19名）：水流潤太郎・古川信雄・飯場正紀・安藤尚一・五條 渉・福山 洋・奥田泰雄・斎藤大樹・芝崎文一郎・森田高市・加藤博人・平出 務・長谷川隆・石原 直・石井儀光・藤井雄士郎・諏訪田晴彦・荒木康弘・壁谷溼寿一

本章は、東北地方太平洋沖地震に伴って東北地方及び関東地方沿岸部に発生した大津波による建築物の被害事例を、国土技術政策総合研究所と建築研究所が実施した現地調査によって収集した基礎的資料であり、今後、津波避難ビル等の建築物の津波荷重や耐津波設計の提案等に役立てられることを期待する。

## 6.2 調査内容

### 6.2.1 現地調査

#### 6.2.1.1 調査地域の概要

調査地域は図6.2.1-1及び表6.2.1-1に示す岩手県から宮城県の沿岸部の14市町である。表6.2.1-1の市町村の人口は各市町村関連のWebsiteから収集し、被害の状況は消防庁Website（平成23年4月20日）から入手したものである。津波被害の甚大さや福島第1原子力発電所の事故のために、被災後1ヶ月以上経過した時点でも調査中や不明となっている項目が多く、正確な数字ではない項目も含まれている。

調査対象地域は津波被災地域が非常に広範囲であることから、現地調査（第1班）では都市の規模、地形や津波の高さや浸水深等の情報、地図情報の準備状況等を考慮して、当初は岩手県陸前高田市、宮城県南三陸町、同石巻市および同名取市及び複数のRC造建築物の転倒が報道されていた宮城県女川町の5地域に絞っていた。しかし現地調査を実施すると建築物の被害に地域差があることが分かり、被害の全体像を把握するためにできる限り広範囲な地域について現地調査を実施することになった。そこで現地調査（第2班）は岩手県陸前高田市以北の地域、現地調査（第3班）は宮城県名取市以南の地域を中心に調査を実施することになり、6.3 現地調査は岩手県山田町から宮城県山元町に至る14市町に及ぶ地域における報告となっている。しかしながら、これらの現地調査は比較的短期間の調査であることから、これらの調査では市町村毎の悉皆調査ではなく代表的な被害事例の収集を心掛けた。また、立ち入り規制等で調査ができなかった地域、落橋等で現地に到達できなかった地域などもあり、調査地域によっては不十分な情報しか提供できない地域もある。なお、本章では津波浸水域内で発生した津波による建築物の被害を対象としているが、これらの建築物の地震被害と津波被害を区別することが困難な場合も含まれている。



图 6.2.1-1 調査地域地図

表 6. 2. 1-1 調査地域

		人口	死者	行方不明	負傷者	全壊	半壊	一部損壊	火災	
		(人)	(人)	(人)	(人)	(棟)	(棟)	(棟)	(棟)	
青森県	八戸市	237,212	1	1	17	217	910		2	
	階上町	14,699				12	8	1		
岩手県	洋野町	17,868				26				
	久慈市	36,600	2	2	8	238				
	野田村	4,633	38		17	200			1	
	普代村	3,077		1	1	172				
	田野畑村	3,831	14	24	8	209	29	18		
	宮古市	59,012	402	682	33	3,669	1,006		6	
	山田町	18,688	535	378	調査中	2,513			2	
	大槌町	15,256	647	1,007	調査中	多数			2	
	釜石市	39,174	735	593	調査中	3,188	535			
	大船渡市	40,753	294	194	調査中	3,629			2	
陸前高田市	23,197	1,308	1,117	調査中	3,600					
宮城県	気仙沼市	73,343	765	1,266	調査中	調査中			23	
	南三陸町	17,393	473	647	調査中	3,877	調査中		2	
	女川町	9,980	434	1,035	2	3,021	46	86	4	
	石巻市	160,496	2,806	2,770	調査中	28,000	調査中		16	
	東松島市	42,861	964	776	調査中	2,133	4,190	調査中	0	
	松島町	15,035	2	7	64	46	59	15	2	
	利府町	34,180	1	2	1	調査中		70		
	塩竈市	56,383	21	2	10	358	1,390	325	6	
	七ヶ浜町	20,396	61	12	調査中	調査中			2	
	多賀城市	62,938	182	9	調査中	300	3,500	調査中	15	
	仙台市	宮城野区	190,827	613	210	2,240	3,190	調査中		66
		若林区	132,121							
	名取市	73,520	882	1,000	調査中	調査中			27	
	岩沼市	44,170	170	14	調査中	調査中			2	
亘理町	34,794	246	36	44	1,000	1,000	調査中	3		
山元町	16,651	641	131	90	1,158	375	5	2		
福島県	新地町	8,182	91	27	3	501				
	相馬市	37,720	388	99	71	4				
	南相馬市	70,877	477	997	48	1,800				
	浪江町	20,872	3	183						
	双葉町	6,889	17	16	1	58	5			
	大熊町	11,578	16	8	不明	30				
	富岡町	15,970	3	8						
	檜葉町	7,689	4	10	5	50				
	広野町	5,397	2	1		90				
	いわき市	341,853	296	82	4	33			3	
茨城県	北茨城市	47,074	5	1	188	160	742	2,224	3	
	高萩市	30,992	1		19	62	345	2,068		
	日立市	192,353			166	118	684	1,689	4	
	東海村	37,381	4		5	1			2	
	ひたちなか市	156,854	2		26	83	310	1,057	1	
	大洗町	18,356	1		6	1	14	814		
	鉾田市	50,098			15	9		5,397	3	
	鹿嶋市	66,186	1			46	115	2,567	4	
神栖市	94,710			6	103	61	245	3		
千葉県	銚子市	69,253			7	9	17	2,020		

\*被害の状況は平成 23 年 4 月 20 日消防庁調べ  
網掛の地域が調査地域

### 6.2.1.2 調査対象建築物の特定

3月11日の地震により発生した津波は岩手県、宮城県、福島県の太平洋沿岸を襲い、海に面した多くの市街地が壊滅的な被害を受けた。被災地域が広範囲に及ぶことや被災直後には現地の状況を把握することが極めて困難であることから、津波の来襲時の報道映像や被災後の衛星写真、航空写真等を予め収集し、それらをもとに調査対象地域を絞り込む作業を行った。とくに、津波避難ビルの検討が重要であることから、津波によりほとんどの住宅が流失した地域を対象に、残存している建築物や津波避難ビルとして指定されている建築物の情報を収集した。これらの情報は、最初の現地調査の計画を立てる際に極めて役に立った。

#### ① 画像情報に基づく残存建築物の特定作業

津波被災地に残存する建築物の同定には、インターネットで入手可能な衛星写真や航空写真を利用した。以下に、国土地理院のWebサイトにおいて公開された「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による被災地の空中写真」を使用した例を示す。国土地理院では、表6.2.1-2に示す地区について、被災前後を比較した航空写真を掲載している。これらの写真から残存していると考えられる建築物を特定し、さらに地図情報や報道情報等から建築物の名称、構造諸元、被災時の状況などを整理する作業を行った。宮城県南三陸町周辺を例に、作業手順をまとめたものを図6.2.1-2に示す。

表 6.2.1-2 国土地理院から公開された被災状況（新旧画像）の地区リスト

岩手県	宮城県	福島県
<ul style="list-style-type: none"> <li>・宮古市田老地区周辺</li> <li>・宮古市周辺</li> <li>・大船渡市三陸町綾里周辺</li> <li>・大船渡周辺</li> <li>・陸前高田市大野湾周辺</li> <li>・陸前高田周辺</li> <li>・釜石市箱崎白浜周辺</li> <li>・釜石港地区周辺</li> <li>・山田町周辺</li> <li>・田野畑村平井賀周辺</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・仙台市若林区荒浜周辺</li> <li>・石巻市石巻駅周辺</li> <li>・石巻市南浜町周辺</li> <li>・塩竈市港町周辺</li> <li>・気仙沼市周辺</li> <li>・仙台空港周辺</li> <li>・東松島市野蒜海岸周辺</li> <li>・南三陸町周辺</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・相馬市周辺</li> </ul>

#### ② 被災地における津波避難ビルのリスト

津波により被災した地域の自治体の多くでは、予め津波避難ビルを指定して、実際に運用を行っている。それらのほとんどが、既存の施設（民間施設、公共施設）を津波避難ビルとして指定したものである。津波避難ビルの住所、建物名、構造諸元等の情報は、

- ・自治体のホームページの防災情報
  - ・「津波避難ビル等に係るガイドライン」（内閣府、2005年6月）の巻末資料
  - ・「災害に強い漁業地域づくりガイドライン」（水産庁、2005年3月）の巻末資料
- などから入手した。なお、役所等が被災したために、自治体のホームページに接続できないケースもあった。

作業1) 被災後の画像情報の収集



作業2) 残存建築物の特定

作業3) 残存建築物の情報整理



- ① 公立志津川病院
  - ・ 鉄筋コンクリート造、5階建て
  - ・ 東棟は昭和49年度に建築、平成17年度に耐震補強
  - ・ 津波の際には職員を含め220名が避難との報道あり
- ② 結婚式場
  - ・ 鉄筋コンクリート造、4階建て
  - ・ 津波の際には440名が避難との報道あり
- ③ 町営住宅
- ④ ...

図6.2.1-2 残存建築物の特定作業手順の概要

### 6.2.1.3 津波に関する用語

津波に関する用語について文献調査を行い、本章で用いる用語を以下のように定義し、できるかぎり統一するように心がけた。

#### ① 浸水深

地面や建築物等が水に覆われている状態を浸水といい、地表面から水面までの高さを浸水深と呼ぶ。津波被害の現地調査では、建築物等に残された津波の痕跡から推定される津波水面の地表面からの高さ。なお、「〇〇深」とは地表面からの高さであり、「〇〇高」とは基準面（一般に津波がない時の潮位）からの高さである。

#### ② 最大浸水深

現地調査では1つの調査建築物の周辺で複数の浸水深を計測する場合があります。計測された浸水深の最大値をいう。6.3-6.5 および付録では、建築物等に作用する津波波圧をこの最大浸水深の静水圧分布で与えた。なお、津波避難ビルのガイドラインでは、設計用浸水深を敷地に想定される設計用の津波の深さと定義しており、最大浸水深と設計用浸水深との関係は6.5に示した。

#### ③ 津波の作用方向

建築物等については津波の作用方向とし、寄せ波の作用方向、引き波の作用方向と使う。なお、津波の入射方向は一般に海岸に対して用いられている。

#### ④ 津波荷重

津波波圧、津波波力、浮力、漂流物の衝突力等の総称。

#### ⑤ 津波波圧

建築物等の表面に作用する津波の圧力。

#### ⑥ 津波波力

建築物等に作用する津波の力。

#### ⑦ 浮力

建築物に作用する鉛直上向きの力。建築物の室内が浸水し天井下等に空気溜りがある場合、アルキメデスの原理より空気溜りの体積と同じ水の重量に相当する浮力が、建築物の自重を打ち消す方向に建築物に作用する。

#### ⑧ 漂流物

津波によって流されたもの。津波の被害では漂流物が建築物に衝突することで、外壁に大きな開口が生じることや構造躯体に大きな損傷を与えることがある。

\*痕跡高は浸水高と遡上高を含めた総称なので、本報告では用いないようにした。

#### 6.2.1.4 津波の作用方向・浸水深の推定方法

現地調査においては、対象とする建築物に対して想定される津波の作用方向を把握するとともに、当該建築物やその周辺での浸水深をその痕跡や損傷状況等から適切に推定することが求められる。

##### (1) 津波の作用方向の推定方法

通常の場合、津波は海側から作用すると考えればよいが、特に入江がある場合等の海岸線が複雑な場合は適切に作用方向を確認する必要がある。その場合は、対象とする建築物付近にある電柱その他の棒状の工作物や樹木の折損方向から推定した（写真 6.2.1-1～6.2.1-2）。これらの工作物や樹木がない場合は、対象とする建築物等の破損状況や漂流物の残存状況から推定している（写真 6.2.1-3～6.2.1-4）。また、引き波の作用が損傷や破壊に及ぼす影響を無視できない場合は、陸側から海側に向かって損傷や変形したと思われる状況についても必要に応じて確認した（写真 6.2.1-5）。

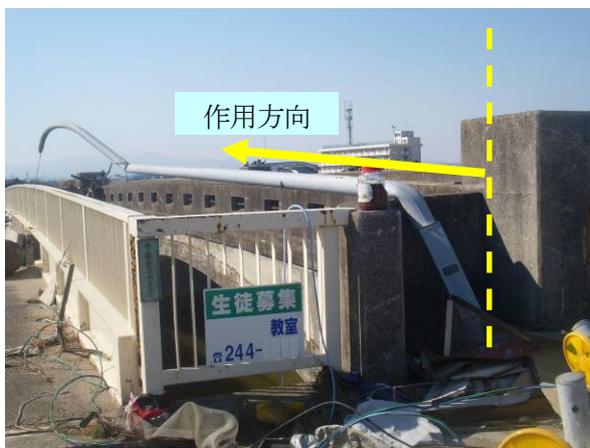


写真 6.2.1-1 棒状の工作物の津波による折損状況



写真 6.2.1-2 手すりの津波による折損状況



写真 6.2.1-3 漂流物（バス）の残存状況



写真 6. 2. 1-4 漂流物の残存状況



写真 6. 2. 1-5 引き波の作用によると思われる海側への傾斜

(2) 調査建築物における浸水深の推定

各々の建築物において浸水深を推定する際に、海水が達した高さでみられる痕跡（線）があれば地上から当該痕跡高さまでを浸水深とした（写真 6. 2. 1-6）。しかし、必ずしも全ての建築物でそのような痕跡があるとは限らず、その場合は建築物各部の損傷状況から概ねの浸水深を推定した。表 6. 2. 1-3 に、代表的な損傷状況とそれに対応した浸水深の推定の考え方をまとめる。ただし、この場合は写真 6. 2. 1-6 のように線状に明確に高さが判るわけではないので、推定値に幅があることに留意が必要である。



写真 6. 2. 1-6 海水が達した高さでみられる痕跡の例

表 6. 2. 1-3 調査建築物における浸水深の推定方法の例

被害箇所等	被害の状況	浸水深の推定方法
(1) 開口部等		<p>ベランダ手すりと開口部が1階で著しく損壊しており、2階でも一部損壊している。3階以上では外観上被害は認められない。</p> <p>この場合の浸水深は、<u>2階の天井高さ相当</u>と推定した。</p>
(2) 外装材		<p>2階の窓ガラスに破損は認められないが、窓サッシの下枠まで外装材が損傷している(1階の外装材は流失)。</p> <p>この場合の浸水深は、<u>2階窓サッシの下枠高さ相当</u>と推定した。</p>
(3) 内外装材		<p>屋上の手すりやペントハウスの窓は破損しているが、ペントハウスの壁に取り付くアンテナやペントハウス屋内の天井仕上げは外観上損傷が認められなかった。</p> <p>この場合の浸水深は、<u>ペントハウスの窓の上枠高さ相当</u>と推定した。</p>

<p>(4) 外壁等と漂流物</p>		<p>1階の外壁と開口部が破壊・流失している。屋根の破風に外観上被害は認められないが、屋根上に漂流した構成部材が残存している。 この場合の浸水深は、<u>屋根上での漂流物の残存高さ相当</u>と推定した。</p>
<p>(5) 開口部等と漂流物</p>		<p>3階までの開口部が破壊しており、屋根スラブ上には漂流した乗用車が残存している。 この場合の浸水深は、<u>屋根スラブ高さ以上</u>と推定した。</p>
<p>(6) 漂流物</p>		<p>水門自体に外見上損傷は認められないが、階段踊り場の海側の手すりに水草と思われる漂流物が引っ掛かっている。 この場合の浸水深は、<u>漂流物の残存高さ以上</u>と推定した。(この例の場合は、陸側の地面からの高さ<math>h_1</math>と海水面からの高さ<math>h_2</math>の2通りを測定した)</p>

また、同一の建築物のなかでも推定した浸水深が場所によって異なる場合があり、その場合は両浸水深を記録した。写真 6. 2. 1-7 の例は、海側の浸水深  $h_1=9.5\text{m}$ 、陸側の浸水深  $h_2=4\text{m}$  となり、両数値の比率  $h_1/h_2=2.4$  である。



写真 6. 2. 1-7 同一の建築物のなかで浸水深が異なる場合の例

(3) 調査建築物の周辺における浸水深の推定

現地調査の際には、調査建築物だけでなく、その付近にある工作物に残った痕跡や損傷状況から浸水深が推定できる場合がある（写真 6. 2. 1-8～6. 2. 1-9）。



写真 6. 2. 1-8 広告塔の支柱に残った痕跡



写真 6. 2. 1-9 広告塔の損傷状況

## 6.2.2 津波に関する文献・映像等調査

### 6.2.2.1 津波避難ビルに関する我が国のガイドライン

2004年スマトラ沖地震によるインド洋大津波の被害を受けて、2005年6月に内閣府から「津波避難ビル等に係るガイドライン」<sup>6-1)</sup>が公開された。ガイドラインは、津波からの避難が困難な地域における津波避難ビル等の普及を促進すべく、津波避難ビル等が満たすべき構造的要件、位置的要件、指定や運用にあたっての留意点等を取りまとめたものである。とくに技術的な検討結果は、日本建築センターのビルディングレター(2004年10月、11月)および同センターの報告書「平成17年度 津波避難ビルの技術的検討結果」(2006年3月)に詳しくまとめられている。

以下、内閣府のガイドラインにおける津波波力の計算法を抜粋する。

#### ① 津波波圧算定式

設計に用いる津波波圧分布は設計用浸水深の3倍の高さに達する静水圧分布とする。3倍という数値は護岸に近い構造物を想定した水理模型実験結果<sup>6-5)</sup>から得られた値である。このとき、進行方向の津波波圧は、下式により算定する。

$$q_z = \rho g(3h - z) \quad (6.2.2-1)$$

ここに、 $q_z$  : 構造設計用の進行方向の津波波圧(kN/m<sup>2</sup>)

$\rho$  : 水の単位体積質量(t/m<sup>3</sup>)

$g$  : 重力加速度(m/s<sup>2</sup>)

$h$  : 設計用浸水深(m)

$z$  : 当該部分の地盤面からの高さ(0 ≤ z ≤ 3h)(m)

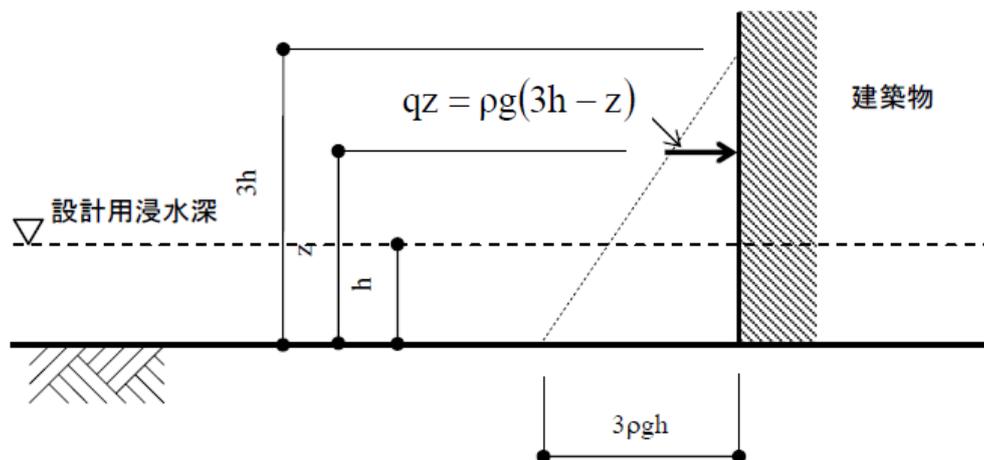


図 6.2.2-1 津波波圧の算定式 (内閣府ガイドライン<sup>6-1)</sup>より)

#### ② 津波波力算定式

進行方向の津波波力は、(6.2.2-1)式で規定した三角形分布の津波の圧力が構造物に働くと仮定して、受圧面の面積で積分した次式の値とする。

$$Q_z = B \int_{z_1}^{z_2} q_z dz = \rho g B \int_{z_1}^{z_2} (3h - z) dz = \frac{1}{2} \rho g B \{ (6\eta z_2 - z_2^2) - (6\eta z_1 - z_1^2) \} \quad (6.2.2-2)$$

ここに、 $Q_z$  : 構造設計用の進行方向の津波波力(kN)

$B$  : 当該部分の幅(m)

$z_1$  : 受圧面の最小高さ(0 ≤ z<sub>1</sub> ≤ z<sub>2</sub>)(m)

$z_2$  : 受圧面の最高高さ ( $z_1 \leq z_2 \leq 3h$ ) (m)

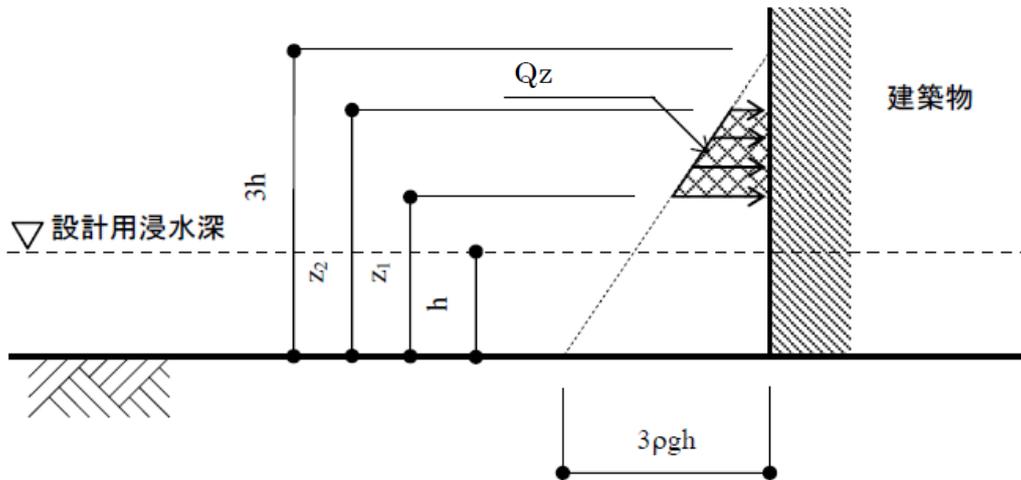


図 6. 2. 2-2 津波波力の算定式 (内閣府ガイドライン<sup>6-1)</sup>より)

津波荷重 (津波波圧、津波波力) は、遡上域における障害物の状況に応じて低減できる。また、津波荷重は構造物に対して全ての方向から作用することを想定する。ただし、津波の進行方向が想定できる場合にはこの限りではない。さらに、実状に応じて引き波を考慮するとされている。

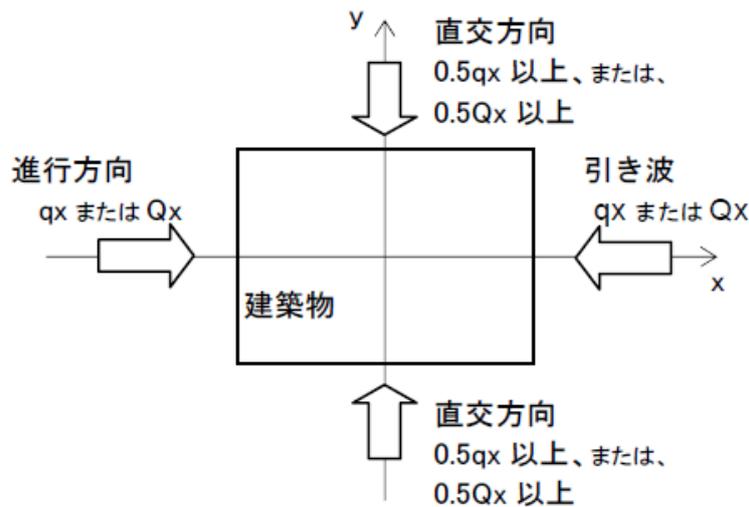


図 6. 2. 2-3 津波荷重の方向 (内閣府ガイドライン<sup>6-1)</sup>より)

なお、津波荷重は受圧面に作用するため、受圧面の形状によって波圧の作用の仕方は異なってくる。建物の形状をいくつか想定し、それぞれの津波荷重の考え方を図 6. 2. 2-4 に示す。

実際の建物では、受圧面に窓等の開口部があると波力は建物内に抜けてしまうと考えられる。しかし、このような面に作用する津波波力に関して検討を行った例は少ない。窓ガラスの平均破壊強度を  $w_0$  としたときの等価な波圧分布は図 6. 2. 2-5 のように与えるものとする。

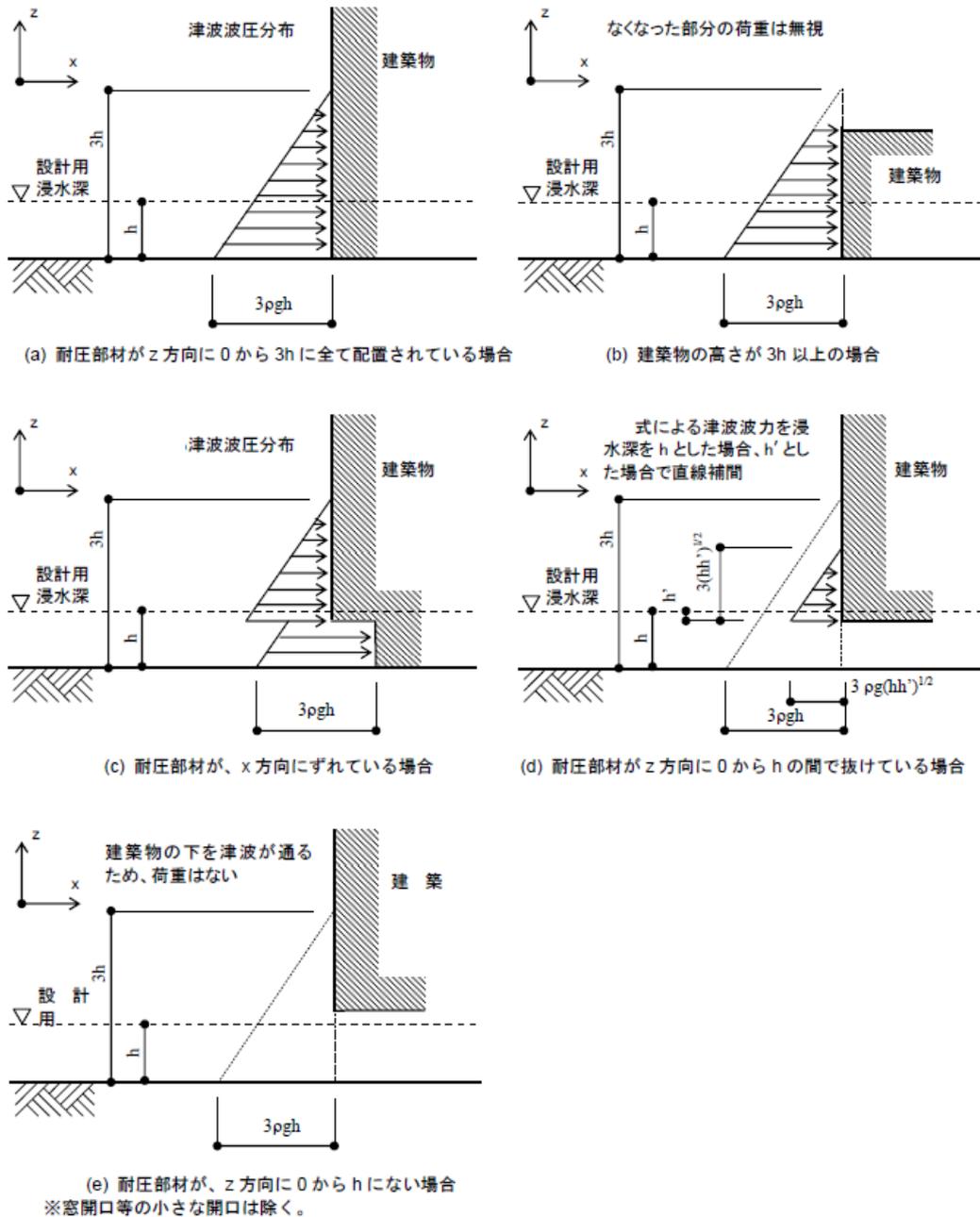


図 6.2.2-4 建物形状による津波波圧分布（内閣府ガイドライン<sup>6-1</sup>より）

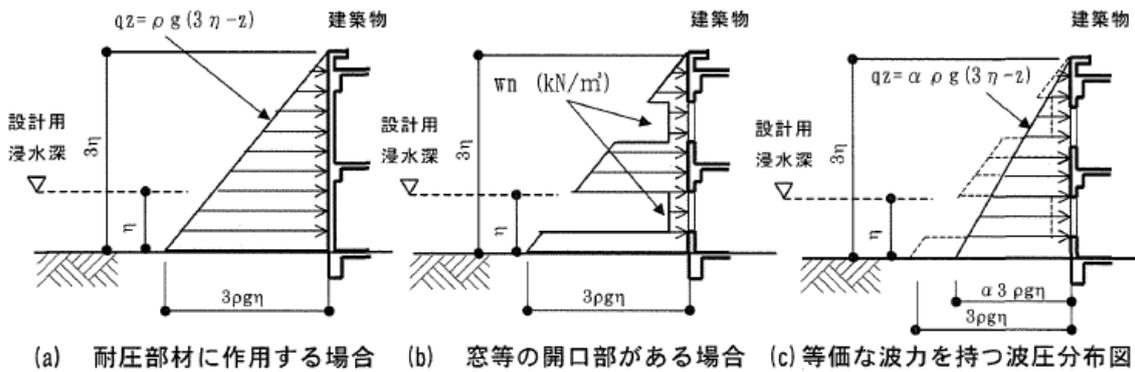


図 6.2.2-5 窓等の開口部がある場合の等価な波力分布算定の概念図（内閣府ガイドライン<sup>6-1</sup>より）

### ③浮力算定式

津波によって生じる浮力は、次式により算定する。

$$Q_v = \rho g V \quad (6.2.2-3)$$

ここに、 $Q_v$  : 浮力 (kN)

$V$  : 津波に浸かった建築物の体積 (m<sup>3</sup>)

### ④構造骨組の設計

津波荷重に対して、各方向、各階において、構造骨組の保有水平耐力が津波の水平荷重以上であることを次式により確かめる。

$$Q_{ui} = Q_i \quad (6.2.2-4)$$

ここに、 $Q_{ui}$  :  $i$  層の津波の水平荷重に対する保有水平耐力 (kN)

$Q_i$  :  $i$  層に生じる津波の水平荷重 (kN)

このほか、ガイドラインには以下のような項目が規定されている。

- ・ 津波荷重と地震荷重の組み合わせは考慮せず、固定荷重と組み合わせて考慮する。
- ・ 全ての受圧面を耐圧部材として設計するのは技術的・経済的に困難であることから、設計では耐圧部材と非耐圧部材（たとえば窓ガラスが外装材など）に明確に区分する。
- ・ 耐圧部材は、津波荷重に対して終局強度以内とし、確実に構造骨組に力を伝達できるようにする。非耐圧部材は構造骨組に損傷を与えることなく壊れることを容認する。なお、浸水に対して建築物の機能を損なわないように配慮する。
- ・ 建築物が津波荷重によって転倒や滑動しないことを確かめる

### 6.2.2.2 津波荷重に関する米国 FEMA のガイドライン概要

アメリカ合衆国連邦緊急事態管理庁 (Federal Emergency Management Agency of the United States、略称：FEMA) では、2004 年 12 月のスマトラ島沖地震により発生した大津波を契機に、津波防災に関わるガイドライン「津波からの避難のための構造物の設計ガイドライン (Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis) (FEMA P646)<sup>6-2)</sup>」を 2008 年 6 月に発行した。本章では、ガイドラインの第 6 章「荷重の決定と構造設計クライテリア (Load Determination and Structural Design Criteria)」から、建築構造物に働く津波荷重について概要をまとめる。

#### ① 静水力学による荷重 (Hydrostatic Force)

ゆっくりとした水の流りが構造物に当たる場合に働く荷重で、構造物の反対側と水の高さが大きく異なる場合に作用する。水がすぐに回り込むような小さい構造物には該当しない。

このとき、構造物に働く荷重は次式により与える。

$$F_h = \rho_c A_w = \frac{1}{2} \rho_s g b h_{\max}^2 \quad (6.2.2-5)$$

ここに、 $\rho_c$  : 静水圧、 $A_w$  : 水を受ける壁面積、 $\rho_s$  : 堆積物を含んだ流体の比重 (1, 200kg/m<sup>3</sup>)、 $g$  : 重力加速度、 $b$  : 壁の幅、 $h_{\max}$  : 壁に当たる部分の津波高さである。

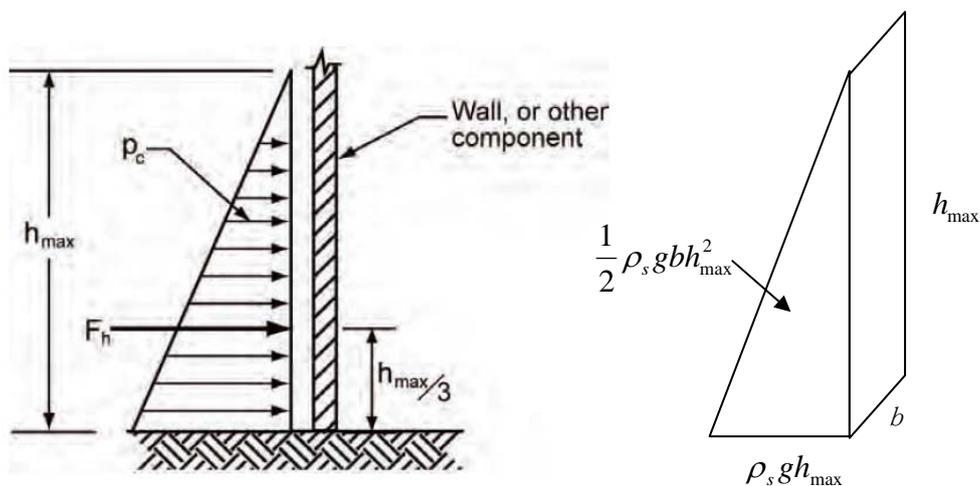


図 6.2.2-6 静水力学による荷重(FEMA P646<sup>6-2)</sup>より)

津波高さが壁の高さ  $h_w$  を超える場合には、台形分布の水圧を考えることになり、荷重は

$$F_h = \rho_c A_w = \rho_s g \left( h_{\max} - \frac{h_w}{2} \right) b h_{\max} \quad (6.2.2-6)$$

となる。津波高さは、津波の遡上高さ  $R$  と壁位置の標高  $z_w$  との差であり、次式で与える。

$$h_{\max} = 1.3R^* - z_w = R - z_w \quad (6.2.2-7)$$

ここに、 $R^*$  は数値シミュレーションや津波浸水マップ等から求められる最大浸水深である。

② 浮力による荷重 (Buoyant Force)

津波の際に、構造物の一部または全体が水に沈んでいる場合に、構造物が押しやった水の体積分の浮力が働く。とくに、自重の軽い木造建物やタンク等に対して考慮すべき荷重である。

このとき、浮力は次式により与える。

$$F_b = \rho_s g V \quad (6.2.2-8)$$

ここに、 $V$ : 構造物が押しやった水の体積である。

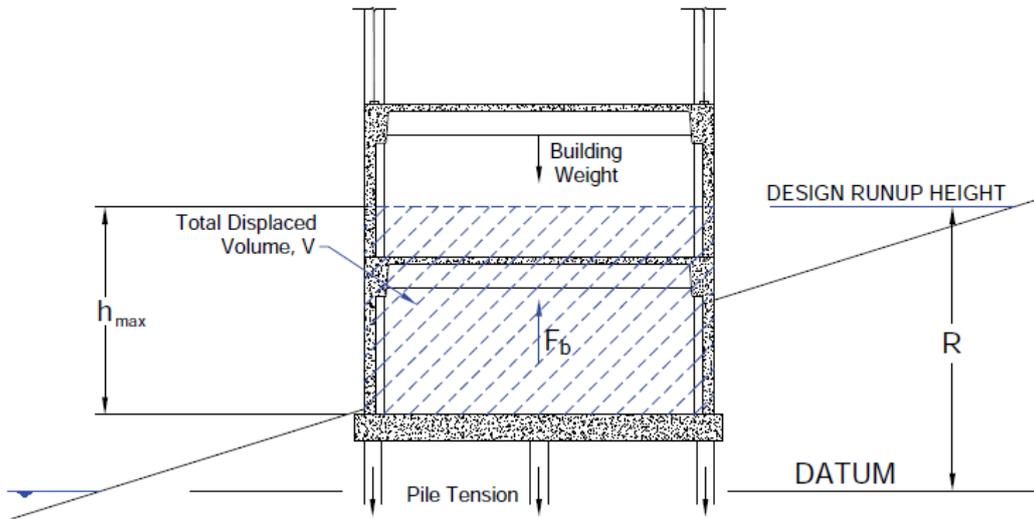


図 6.2.2-7 浮力による荷重(FEMA P646<sup>6-2)</sup>より)

③ 流体力学による荷重 (Hydrodynamic Force)

比較的早い水の流れが構造物に当たる際に働く荷重であり、水による圧力と構造物側との摩擦による抗力 (drag force) からなる。たとえば構造物が円柱のような場合には、抗力が小さくなる。

このとき、構造物に働く荷重は次式により与える。

$$F_d = \frac{1}{2} \rho_s C_d B (hu^2)_{\max} \quad (6.2.2-9)$$

ここに、 $C_d$ : 抗力係数 ( $C_d = 2.0$  が推奨される)、 $B$ : 流れが当たる部分の構造物の幅、 $h$ : 流れの高さ、 $u$ : 流れ速度、 $(hu^2)$  は流束運動量 (momentum flux) である。なお、 $(hu^2)_{\max}$  は  $(h_{\max} u_{\max}^2)$  とは違うことに注意する。つまり、津波高さの最大値と速度の最大値は同時には生じない。数値シミュレーション等から求められるものであるが、近似的に次式を用いることができる。

$$(hu^2)_{\max} = gR^2 \left( 0.125 - 0.235 \frac{z}{R} + 0.11 \left( \frac{z}{R} \right)^2 \right) \quad (6.2.2-10)$$

ここに、 $R$ : 津波の遡上高さ、 $z$ : 建物がある地面の高さ (海拔) である。先に述べたように、 $R$  は津波の最大浸水高さ ( $R^*$ ) の 1.3 倍と考えてよい。 $R^*$  は浸水マップ等から求めることができる。

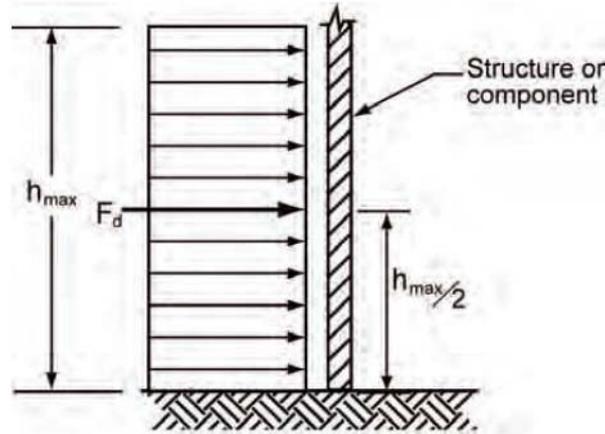


図 6. 2. 2-8 流体力学による荷重(FEMA P646<sup>6-2)</sup>より)

④ 衝撃による荷重 (Impulse Force)

波の先端が構造物にぶつかることによる力である。実験によれば、最大の荷重は定常な流れによる荷重  $F_d$  の 1.5 倍程度であることが分かっている。従って、安全側の評価として、衝撃による荷重を次式で与える。

$$F_s = 1.5F_d \quad (6. 2. 2-11)$$

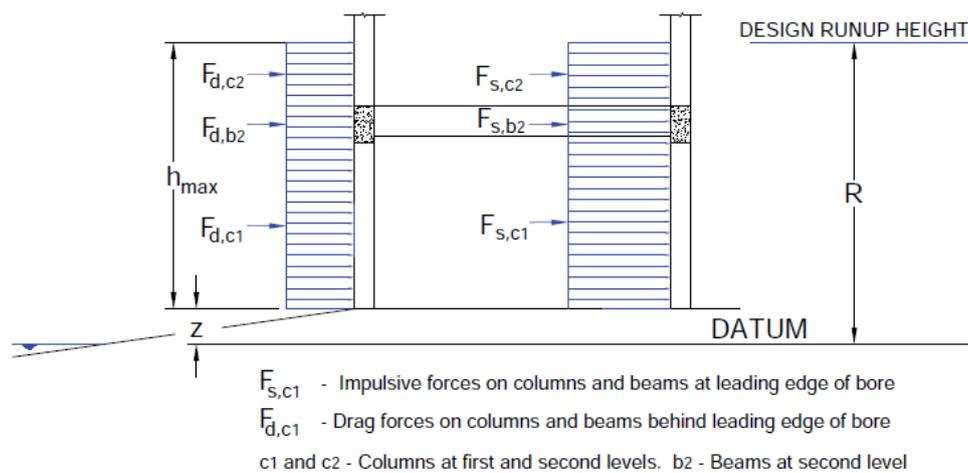


図 6. 2. 2-9 衝撃による荷重(FEMA P646<sup>6-2)</sup>より)

⑤ 漂流物による衝撃力 (Debris Impact Force)

漂流物 (丸太、船舶など) が構造物に衝突する力で、損傷を与える主要な原因になるが、正確に求めることは難しい。他の荷重と異なり、構造物に衝突する部分にのみ作用する。

漂流物による衝撃力は、次式により与える。

$$F_i = C_m u_{\max} \sqrt{km} \quad (6. 2. 2-12)$$

ここに、 $C_m$  : 付加荷重係数 ( $C_m = 2.0$  が推奨される)、 $u_{\max}$  : 漂流物の速度、 $m$ ,  $k$  : 漂流物の質量と有効剛性である。

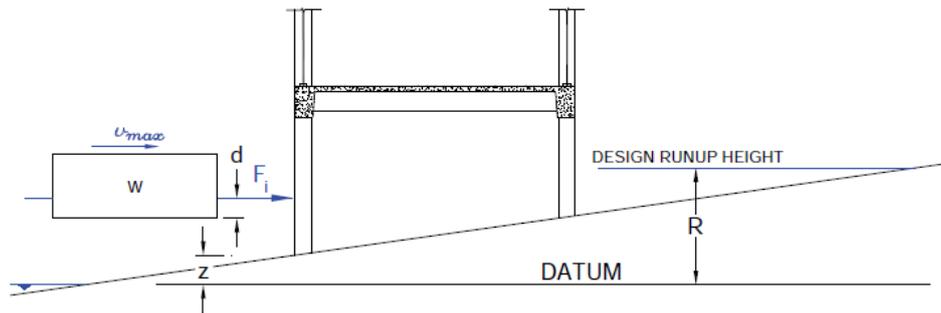


図 6. 2. 2-10 漂流物による衝撃力(FEMA P646<sup>6-2</sup>)より)

FEMA P646 では、例として漂流物の質量と有効剛性を以下の表で与えている。

表 6. 2. 2-1 漂流物の質量と有効剛性の例(FEMA P646<sup>6-2</sup>)より)

Mass and Stiffness Properties of Common Waterborne Debris		
Location of Source	Mass (m) in kg	Effective stiffness (k) in N/m
Lumber or Wood Log	450	$2.4 \times 10^6$
40-ft Standard Shipping Container	3800 (empty)	$6.5 \times 10^8$
20-ft Standard Shipping Container	2200 (empty)	$1.5 \times 10^9$
20-ft Heavy Shipping Container	2400 (empty)	$1.7 \times 10^9$

漂流物の速度  $u_{\max}$  は、一様傾斜の場合、近似的に次式で与えられる。

$$u_{\max} = \sqrt{2gR \left(1 - \frac{z}{R}\right)} \quad (6. 2. 2-13)$$

- ⑥ 漂流物が構造物でせき止められて働く力 (Daming of Waterborne Debris)  
流体力学による荷重として次式で与える。

$$F_d = \frac{1}{2} \rho_s C_d B_d (hu^2)_{\max} \quad (6. 2. 2-14)$$

ただし、 $B_d$  : 流れが当たる部分の漂流物の幅である。

- ⑦ 床スラブに作用する浮力 (Uplift Forces on Elevated Floors)

建物内において床の水のレベルが外部よりも下にある場合に、床スラブには局所的に浮力が働く。このときの浮力は次式で与えられる。

$$F_b = \rho_s g A_f h_b \quad (6.2.2-15)$$

ここに、 $A_f$  : 床面積、 $h_b$  : 床部分から外部の水面までの高さである。

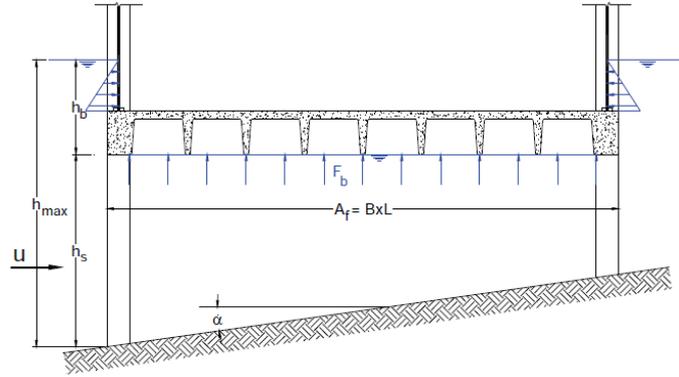


図 6.2.2-11 床スラブに作用する浮力(FEMA P646<sup>6-2)</sup>より)

なお、壁や柱によって妨げられた水の流れによって、床スラブを持ち上げる力が働くことが分かっている。この力は近似的に次式で与える。

$$F_u = \frac{1}{2} C_u \rho_s A_f u_v^2 \quad (6.2.2-16)$$

ここに、係数 $C_u$ は3.0とする。また、 $u_v$ は水が上昇する鉛直方向の速度である。

⑧貯まった水による床荷重の増加 (Additional Gravity Loads on Elevated Floors)

床に貯まった水による鉛直荷重の増加を次式により考慮する。

$$F_r = \rho_s g A_f h_r \quad (6.2.2-17)$$

ここに、 $h_r$  : 床に貯まっている水の深さである。

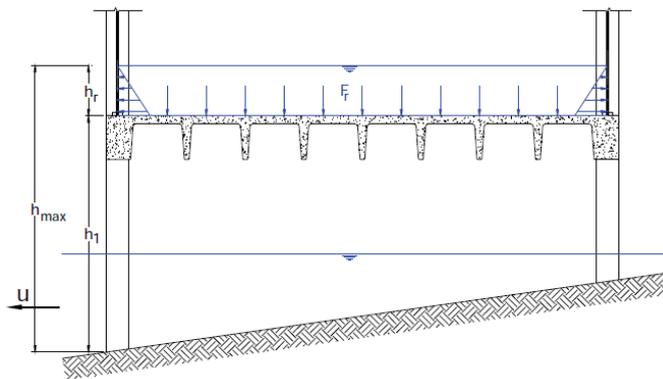


図 6.2.2-12 貯まった水による床荷重の増加(FEMA P646<sup>6-2)</sup>より)

例題 津波避難ビル設計

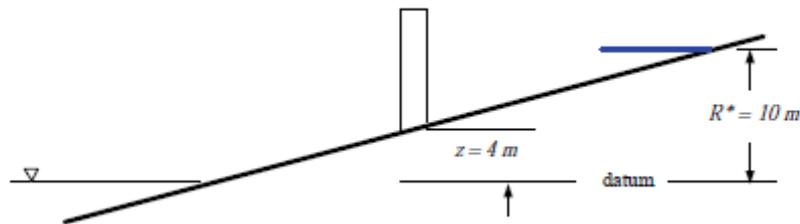


図 6.2.2-13 例題(FEMA P646<sup>6-2</sup>)より

- 1) 津波避難ビルの位置：海から 200m の位置に、幅 10m の津波避難ビルを建設する。土地の勾配を 1/50 とすると、建物位置では 4m の海拔高さとなる。
- 2) 津波の最大遡上高さ(the maximum runup elevation)：津浪浸水マップより、海から 500m の位置で  $R^* = 10m$  とする。
- 3) 漂流物： 長さ 8.53m、直径 0.35m、重さ 450kg の丸太  
長さ 12.2m、幅 2.44m、高さ 2.59m、重さ 30tom の船

1) 避難場所の高さの計算

設計遡上高さ R は、マップから求まる最大遡上高さ  $R^*$  の 1.3 倍より、

$$R = 13m$$

したがって、建物位置での地面からの津波の高さは 9m となる。

避難のため 3m の余裕をもたせて避難場所の高さは 12m とすると、4 階建てビルの屋上に相当する。

2) 静水圧 (Hydrostatic Force) による荷重

1 階部分の幅  $b=4m$ 、高さ  $h_w=3m$  の壁に働く静水圧は、壁の地面からの高さを  $\Delta z=0.5m$  とすると、(6.2.2-6)式より

$$\begin{aligned} F_b &= \rho_s g \left( R - (z + \Delta z) - \frac{h_w}{2} \right) h_w b \\ &= (1200 \text{ kg/m}^3) (9.81 \text{ m/sec}^2) \left( 1.3 \times 10 \text{ m} - (4 \text{ m} + 0.5 \text{ m}) - \frac{3 \text{ m}}{2} \right) (3 \text{ m}) (4 \text{ m}) \\ &= 989 \text{ kN} \end{aligned}$$

3) 流体力学 (Hydrodynamic Force) による荷重

建物全体で考える。

まず、流束運動量 (momentum flux) は、(6.2.2-10)式より、

$$(hu^2)_{\max} = gR^2 \left( 0.125 - 0.235 \frac{z}{R} + 0.11 \left( \frac{z}{R} \right)^2 \right) = 105 \text{ m}^3/\text{sec}^2$$

従って、荷重は

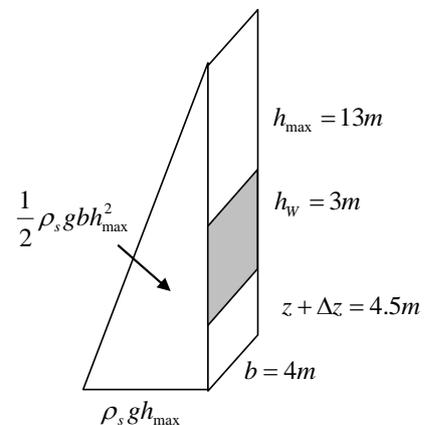


図 6.2.2-14 静水圧による荷重

$$\begin{aligned}
 F_d &= \frac{1}{2} \rho_s C_d (hu^2)_{\max} \\
 &= \frac{1}{2} (1200 \text{ kg/m}^3) (2.0) (10 \text{ m}) (105 \text{ m}^3/\text{sec}^2) \\
 &= 1260 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

波の先端がぶつかる衝撃力を加味しても、

$$F_s = 1.5 F_d = 1890 \text{ kN}$$

#### 4) 漂流物による衝撃力 (Debris Impact Force)

##### 丸太の場合

(6.2.2-13)式より、最大流速  $u_{\max}$  および衝撃力  $F_t$  は、

$$\begin{aligned}
 u_{\max} &= \sqrt{2gR\left(1 - \frac{z}{R}\right)} \\
 &= \sqrt{2g(13 \text{ m})\left(1 - \frac{4 \text{ m}}{13 \text{ m}}\right)} = 13.3 \text{ m/sec.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_t &= C_m u_{\max} \sqrt{km} \\
 &= 2.0 (13.3 \text{ m/sec}) \sqrt{(2.4 \times 10^6 \text{ N/m})(450 \text{ kg})} \\
 &= 874 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

流体力学による荷重と足し合わせると、

$$F_t \text{ (衝撃荷重)} + F_d \text{ (流体力学による荷重)} = 874 + 1260 = 2134 \text{ kN}$$

##### 船の場合

細かい計算は省略 衝撃力  $F_t = 1290 \text{ kN}$ 、流体力学による荷重と足し合わせると、

$$F_t + F_d = 1290 + 1260 = 2550 \text{ kN}$$

### 6.2.2.3 ASCE が定める浸水荷重の概要

米国土木学会 (American Society of Civil Engineering, 略称:ASCE) の定める Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE 7-05, 2006 年) では、第 5 章に浸水荷重 Flood Loads<sup>6-3)</sup> が規定されている。本規定は浸水ハザードマップに定められている浸水危険区域での建築物その他の構造物に適用されるものであり、前節で紹介した「津波からの避難のための構造物の設計ガイドライン (Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis) (FEMA P646)<sup>6-2)</sup>」のなかでも引用されている。なお、ここで浸水の要因となる事象としては、津波だけでなく潮汐や高潮等も対象としている。

本節では ASCE-7 の浸水荷重に係る規定の概要をまとめる。

#### (1) 用語の定義

第 5 章 5.2 節では、浸水荷重に係る一連の用語が定義されている。以下に主な用語をまとめる。

Base Flood (基本浸水) : 所与の期間中で超過確率が 1% の浸水。

Base Flood Elevation (BFE) (基本浸水高さ) : 所与の期間中で超過確率が 1% の浸水の高さ (波高も含む)。

Breakaway Wall (分離壁) : 浸水の作用を直接受ける壁のうち、非耐力壁に相当するもの (not required to provide structural support)。基本浸水又はそれ以下の浸水のもとで、水の流れを妨げないよう、かつ、上部構造や基礎に損傷を与えないように壊れるよう設計施工された壁をさす。

Coastal A-Zone (湾岸 A 区域) : 特別浸水危険区域内のうち、V 区域の内陸側又は開けた湾の内陸側をさす。A 区域に指定されるためには浸水の発生源が潮汐、高潮、入江での静振、津波であることが必要で、想定される波高が基本浸水時に 0.46m (1.5ft) 以上であること。

Coastal High Hazard Area (V-Zone) (湾岸高危険区域 (V 区域)) : 特別浸水危険区域内のうち、沖合から砂浜の範囲、さらに暴風や地震によって引き起こされる速い速度の波の作用を直接受ける区域をさす。この区域は浸水保険料率マップ (Flood Insurance Rate Maps) で V, VE, V0, V1-30 と指定されている。

Design Flood (設計浸水) : 以下の 2 つの浸水事象のうち大きい方。(1) 浸水保険料率マップ上で指定された区域での基本浸水、(2) 当該地域の浸水危険区域として指定された区域での浸水。

Design Flood Elevation (DFE) (設計浸水高さ) : 設計浸水の高さ (波高 wave height を含む) を表し、地域の浸水危険度マップのデータに対応する。

Flood Hazard Area (浸水危険区域) : 基本浸水時に浸水の危険性のある区域。

Flood Hazard Map (浸水危険度マップ) : 行政が採用した浸水危険区域を表すマップ。

Flood Insurance Rate Map (FIRM) (浸水保険料率マップ) : 連邦保険減災本部 (Federal Insurance and Mitigation Administration) が特別浸水危険区域とリスク割増地区とした範囲の公式マップ。

Special Flood Hazard Area (特別浸水危険区域) : 所与の期間中で浸水を受ける確率が 1% 以上の区域。この区域は浸水保険料率マップで A 区域又は V 区域として定められている。

#### (2) 設計要件

浸水時を想定した設計に当たっては、5.3.2 節で浸水事象によって地面が浸食される影響 (GL の減少) や局部的に洗掘される影響を荷重算定時に考慮することとされている。

また分離壁 Breakaway Wall は、構造体との接合部も含めた壁が浸水作用時に分離するよう、以下の

荷重の最大値を用いて設計しなければならない (5.3.3 節)。

1. ASCE7 の第 6 章に定める風荷重
2. ASCE7 の第 9 章に定める地震荷重
3.  $0.48\text{kN/m}^2$

### (3) 浸水荷重の算定

浸水危険区域での建築物の構造設計は設計用浸水に基づくこととされており、5.4 節で浸水時の荷重算定の方法が定められている。以下にその概要をまとめる。

#### 1) 静水力学による荷重 Hydrostatic Loads (5.4.2 節)

DFE レベルまでに達する水深による静水圧は全面で考慮すること。引抜き力や水平力の低減は、浸水の出入りがある場合のみ適用される。

#### 2) 流体力学による荷重 Hydrodynamic Loads (5.4.3 節)

水流の動的効果は流体力学に基づく解析を通して検討すること。ただし、速度が  $3.05\text{m/s}$  以下の場合は、次式に示す等価割増し深さ  $d_h$  を上流側の壁での DFE に加えることによって、静水力学による荷重と等価な荷重とすることができる。

$$d_h = \frac{aV^2}{2g} \quad (6.2.2-18)$$

ここで、 $V$ : 平均流速、 $a$ : 抗力係数 ( $>1.25$ )。ここで得た等価荷重は、水の流れる方向に直交する壁に対して高さ方向に一様に分布させる。一方、水の流れる方向に並行する壁に対しては DFE までの高さの静水力学による荷重を分布させる。

#### 3) 波浪荷重 Wave Load (5.4.4 節)

波浪荷重は以下のいずれかの方法で計算しなければならない。

- (1) 本節に定める方法
- (2) 数値解析 (数値モデル)
- (3) 実験 (物理モデル)

波浪荷重は波が水面を伝播して構造物に当たることによって生ずるもの。波浪荷重を受ける建築物の設計に当たっては、建築物各部での砕波 (breaking wave)、浅瀬での揚力、建築物各部への遡上波、抗力や慣性力、摩擦力を考慮しなければならない。波浪荷重は V 区域と A 区域で考慮され、V 区域での波高は  $0.91\text{m}$  以上、V 区域より陸側での波高は  $0.91\text{m}$  未満とする。

砕波以外の波浪又は砕けた後の波浪は、5.4.2~5.4.3 節に定める静水力学又は流体力学による荷重を用いて計算すること。砕波による荷重は 5.4.4.1~5.4.4.4 節に定める手順によって計算し、砕波高は (6.2.2-19)~(6.2.2-20) 式によって計算すること。

$$H_b = 0.78d_s \quad (6.2.2-19)$$

ここで、 $H_b$ : 砕波高、 $d_s$ : 局所的な静水深 local still water depth である。

局所的な静水深はより高度な解析や実験によるほか、(6.2.2-20) 式で計算すること。

$$d_s = 0.65(BFE - G) \quad (6.2.2-20)$$

ここで、 $BFE$ ：基本浸水高さ、 $G$ ：地上レベルである。

#### 4) 鉛直な壁に作用する砕波荷重 Breaking Wave Loads (5.4.4.2 節)

鉛直な壁に作用する最大波圧及び最大波力は次式で算出すること。

$$P_{\max} = C_p \gamma_w d_s + 1.2 \gamma_w d_s \quad (6.2.2-21)$$

$$F_t = 1.1 C_p \gamma_w d_s^2 + 2.4 \gamma_w d_s^2 \quad (6.2.2-22)$$

ここで、 $P_{\max}$ ：動的な波圧  $C_p \gamma_w d_s$  と静的な波圧  $1.2 \gamma_w d_s$  との和の最大値 (shock pressure とも言う)、

$F_t$ ：静水深付近で作用する単位長さ当たりの波力 (shock, impulse, or wave impact force とも言う)、

$C_p$ ：動圧係数 dynamic pressure coefficient ( $1.6 < C_p < 3.5$ )、 $\gamma_w$ ：水の単位重量、 $d_s$ ：砕波地点での静水深である。

この方法は、壁の前面で波が反射又は波立ち、その際に静水深レベルから  $1.2d_s$  の高さまで波頭が達することを想定したものである。したがって壁に対する波圧分布は図 6.2.2-15(a) のようになる。

さらにこの方法は、壁の背面では水が回り込まないこととしている。したがって、壁の背面に自由流れがある場合は、同図(b)のように壁の前後で静水圧がキャンセルされるので波力は次式で算出される。

$$F_t = 1.1 C_p \gamma_w d_s^2 + 1.9 \gamma_w d_s^2 \quad (6.2.2-23)$$

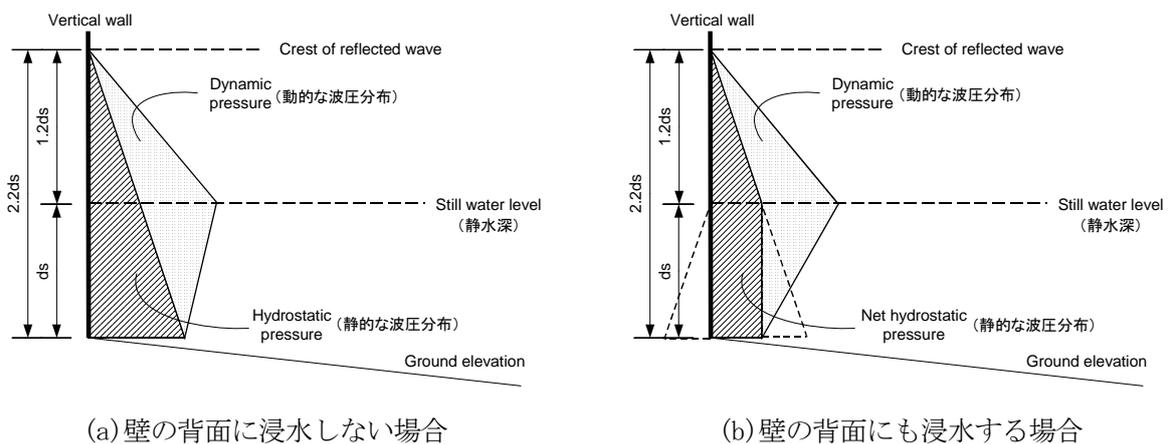


図 6.2.2-15 鉛直な壁に作用する砕波荷重

#### 5) 衝撃荷重 Impact Loads (5.4.5 節)

衝撃荷重は、漂流物が建築物に衝突する際の荷重である。衝撃荷重は適切な方法によって、DFE 以下の高さの最もクリティカルな箇所での「集中荷重」として算出しなければならない。

#### 6.2.2.4 津波映像からの流速推定

津波による建築物の被害を検討する上で、陸に遡上してからの津波の流速は重要な要素の一つとなり得る。そこで津波時のビデオ映像をもとに、陸域での津波の流速計測を試みた。計測にあたっては、具体的な場所及び目印となる建築物・道路等を特定する必要があるため、計測に利用出来るビデオ映像は限定される。

以下、現時点で測定出来た宮城県の名取川左岸地区での事例について示す。

##### (1) 対象地区と計測方法

NHKで放送されたビデオ映像のうち、場所や目印となる建築物・道路等を航空写真と照合することが出来た名取川上空からのビデオ映像を用いた。

津波の流速を計測した箇所は名取川左岸地区（仙台市若林区藤塚周辺）であり、海岸線から約 1km ほど内陸での計測を試みた（図 6.2.2-16）。

計測方法は、ビデオ映像から津波の位置が特定出来る 2つの計測点（概ね津波の進行方向上と平行）を目視で抽出した上で、距離及び時間を下記により求めて速度を計測した。

距離：2点間の距離をGIS上で計測

時間：海側の計測点に津波が到達した時刻を 0 秒とし、陸側の計測点に津波が到達した時刻をビデオのタイムカウンタから取得



図 6.2.2-16 津波の流速を計測した地区

##### (2) 計測結果

海岸線から約 1km 陸側での名取川左岸地区での津波の流速は、計測点間の距離が約 268m、海側の計測点から陸側の計測点に津波が到達に要した時間は約 38.5 秒であることから、 $268\text{m} / 38.5 \text{秒} = \text{約 } 7\text{m} / \text{秒}$ （約  $25\text{km} / \text{時}$ ）と推定された（写真 6.2.2-1）。

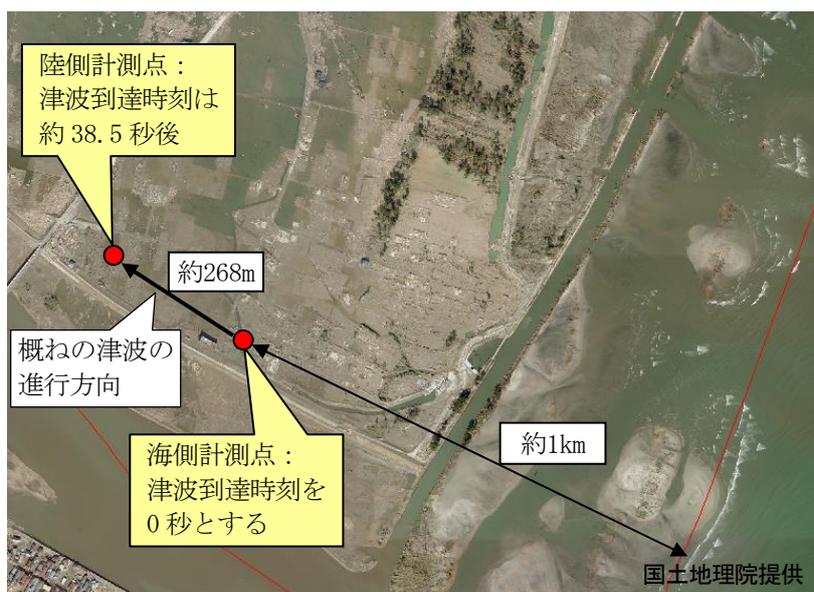


写真 6.2.2-1 名取川左岸地区での津波の流速計測

### 6.3 現地調査

以下の日程で現地調査を行った。

①平成 23 年 3 月 30 日（水）～4 月 2 日（土）

調査地：岩手県陸前高田市

宮城県気仙沼市、南三陸町、女川町、石巻市、名取市

調査者：国土技術政策総合研究所

総合技術政策研究センター 評価システム研究室 主任研究官 喜々津仁密

危機管理技術研究センター 建築災害対策研究官 港以知郎

建築研究所

構造研究グループ 上席研究員 奥田泰雄

主任研究員 加藤博人

国際地震工学研究センター 上席研究員 斉藤大樹

②平成 23 年 4 月 6 日（水）～4 月 9 日（土）

調査地：岩手県山田町、大槌町、釜石市、大船渡市、陸前高田市

宮城県女川町

調査者：国土技術政策総合研究所

危機管理技術研究センター 建築災害対策研究官 港以知郎

建築研究所

構造研究グループ 上席研究員 奥田泰雄

上席研究員 福山洋

研究員 壁谷澤寿一

国際地震工学センター 主任研究員 石原直

調査協力者：独立行政法人港湾空港技術研究所

アジア・太平洋沿岸防災研究センター 主任研究官 有川太郎

③平成 23 年 4 月 6 日（水）～4 月 8 日（金）

調査地：宮城県仙台市若林区、名取市、岩沼市、亶理町、山元町

調査者：国土技術政策総合研究所

建築研究部構造基準研究室 主任研究官 宮村雅史

総合技術政策研究センター 評価システム研究室長 槌本敬大

評価システム研究室 主任研究官 喜々津仁密

独立行政法人建築研究所

構造研究グループ 研究員 荒木康弘

研究員 谷昌典

材料研究グループ 主任研究員 中川貴文

（同行者 一般社団法人建築性能基準推進協会 津田千尋）

調査の結果は下記のとおりである。

### 6.3.1 岩手県山田町

調査日：平成23年4月8日（金）

調査位置



図 6.3.1-1 山田町 被害調査位置図

(1) YM-01 (倉庫)

構造種別: コンクリートブロック造 (壁式構造)

形状: 2階建て、11×5.6(m)、階高. 5.7(m)

- ・ 山田町船越付近、近傍に桁行方向に沿って川が流れている
- ・ 川反対構面が着座、川側は コンクリートブロック壁(400×200×200)が面外方向にはらみだしている
- ・ 1階平面がコ型形状であったため、引き波により倒壊したと考えられる
- ・ 津波外力は梁間方向に作用している
- ・ 最大浸水深 6.0(m)



(2) YM-02 (堤防)

構造種別: RC 構造

形状: 桁行長さ 15.1(m), 高さ 4.5(m)

- ・ 陸前山田駅周辺の堤防
- ・ 面外方向に転倒し、津波により流され、100(m)程度離れた場所で発見した
- ・ 壁厚 1000(mm)と 800(mm)の箇所がある。主筋は 2D16@250
- ・ 最大浸水深 6.0(m)



(3) YM-03 (商店)

構造種別: RC 造 (ラーメン構造)

形状: 2階建て

- ・ 陸前山田駅堤防の周辺
- ・ 2×2 スパンであり 1 構面が洗掘により海側に向かって大きく沈下している。
- ・ 構造物は開口の少ない非構造壁を有する RC 建物
- ・ 沈下した基礎周辺にはおおきな水溜りができている。
- ・ 最大浸水深 6.2(m)



### 6.3.2 岩手県大槌町

調査日：平成 23 年 4 月 8 日（金）

調査位置



図 6.3.2-1 大槌町 被害調査位置図

(1) OT-01 (戸建住宅)

構造種別: 鉄骨構造 (ラーメン構造)

形状: 3階建て、6.5×10.0(m)、高さ9(m)

- ・ 大槌町新町
- ・ 3×3 スパンの階段型平面を有する建物
- ・ 桁行1構面1階柱部分が失われ、梁間方向に大きく転倒・傾斜している。
- ・ 2階以上高い部分の外壁パネルは残存している。
- ・ 最大浸水深7.30(m)、押し波に流されて漂流した模様
- ・ 鉄骨柱□-175、アンカー孔4φ20



(2) OT-02 (橋脚)

構造種別: RC 柱

形状: φ2000(mm)、階高8.3(m)

- ・ 大槌町新港町 中央分離帯
- ・ 津波押し波方向(北西 327° )に柱脚が曲げ破壊し、転倒している
- ・ 円形断面、主筋 36φ22
- ・ 最大浸水深は9.5(m)



(3) OT-03 (集合住宅)

構造種別: コンクリートブロック造 (壁式構造)

形状: 2階建て、24.2×5.7(m)、高さ 5.7(m)

- ・ 大槌町内新港町
- ・ コンクリートブロック壁(200×400×150)、木床、基礎・屋根面(w=240mm)のみ RC
- ・ 9棟の集合住宅のうち、小さい2棟が流され、3棟が転倒、4棟が残存している
- ・ 屋根面が脱落している住棟のみ切妻屋根となっている。



### 6.3.3 岩手県釜石市

調査日：平成23年4月7日（木）、4月8日（金）

調査位置

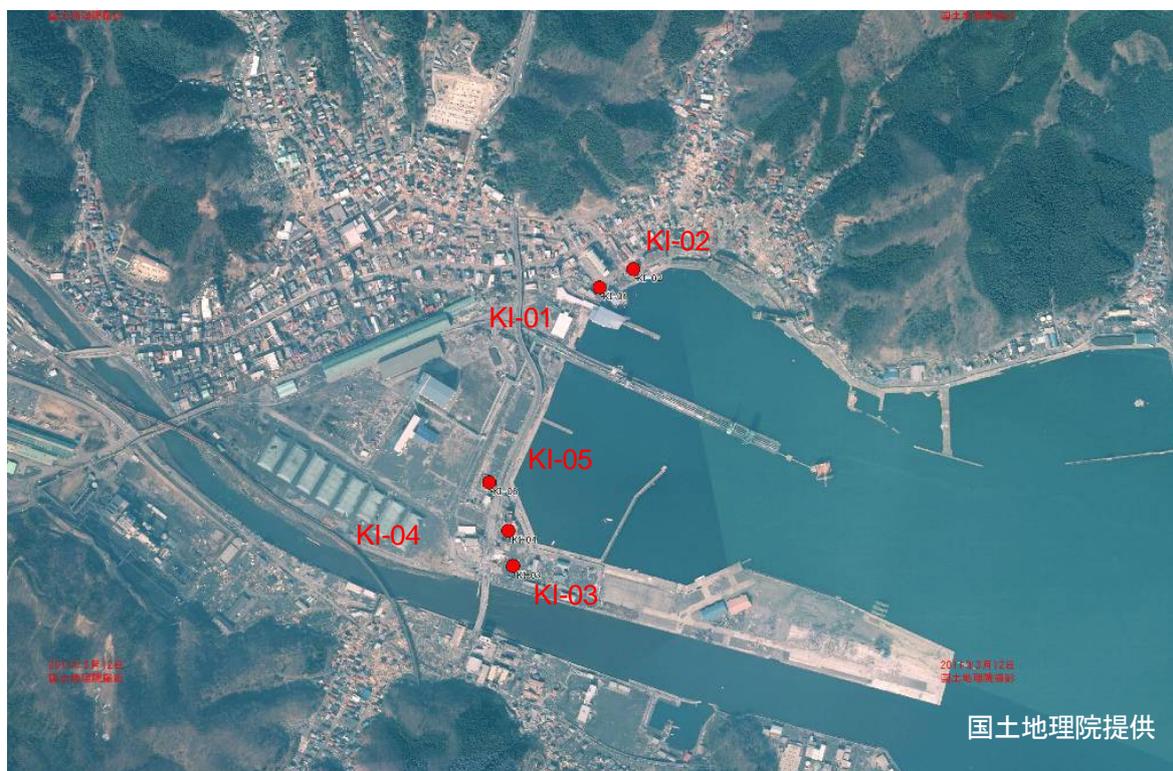


图 6.3.3-1 釜石市中心部 被害調査位置図



图 6.3.3-2 釜石市北部 被害調査位置図

(1) KM-01 (釜石港湾合同庁舎)

構造種別: RC 造 (耐震壁付きラーメン構造)

形状: 4階建て、桁行 3.4(m)、梁間スパン 5.0(m)、高さ 16.0(m)

- ・ 桁行方向すぐ脇に堤防および海
- ・ 堤防と建物の上に外階段が配置されている
- ・ 2×5 スパン, PH を有している
- ・ 柱幅 700(mm)、1階部分のみ壁が入っている構面が比較的多かった
- ・ 躯体には損傷が見られなかった
- ・ 津波外力は桁行方向に作用している
- ・ 最大浸水深 6.2(m)



(2) KM-02 (事務所ビル)

構造種別: RC ラーメン +コンクリートブロック壁

形状: 4階建て建物、桁行 33.2(m)、梁間スパン 9.0(m)、高さ 15.6(m)

- ・ 合同庁舎周辺建物、梁間方向すぐ脇に堤防および海(距離 20(m)、堤防高さ 2(m))
- ・ 2×8 スパン, 中廊下形式(桁行 2 スパンは 2 階かつ梁間 1 構面(ピロティー))
- ・ 外柱幅 600(mm)、内柱幅 650(mm)
- ・ 躯体には損傷が見られなかった
- ・ 津波外力は梁間方向に作用しているが、開口部分が非常に大きい
- ・ 漂流物は 2 階の天井付近まで確認され、ピロティー部分の基礎は激しく洗掘されている



(3) KI-03 (商店)

構造種別: 鉄骨造 (ラーメン構造)

形状: 2階建て、桁行 15(m), 梁間スパン 15(m)、階高 5.0(m)

- ・ 建物に沿って堤防および川
- ・ 2×2 スパン, L型平面 (中二階床平面を有する)
- ・ 外側柱 □-250, 内部柱 6本 ○-320(アンカーボルト 4M20)、梁 350×175×10(mm)
- ・ 津波外力が作用している方向に 1/100(rad)程度傾斜している

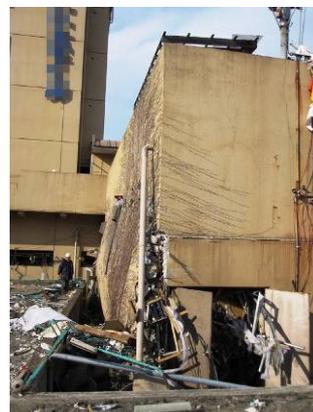


(4) KI-04 (ホテル)

構造種別: RC造 (ラーメン構造)

形状: 2階建て、桁行 19.2(m), 梁間スパン 16(m)、階高 4.6(m) (2Fセットバック部分のみ計測)

- ・ 建物桁行方向に沿って 13.6(m)離れたところに堤防(2m)
- ・ ホテル(6F)に併設されているセットバック部分(2F)
- ・ 非構造壁 壁厚 13cm, D10@150 千鳥, 壁幅 16(m), 柱型なし, 端部補強筋として 4D13
- ・ 非構造壁から 2.6(m)内部に柱 5本(柱幅 700mm)が存在している
- ・ 津波外力が梁間方向に作用し、非構造壁が面外方向に曲げ破壊している(壁縦筋破断)
- ・ 壁縦筋が座屈している壁頭高さは 6.8(m)程度
- ・ 最大浸水深は 7.6(m)



(5) KI-05 (商店)

構造種別: コンクリートブロック壁+鉄骨フレーム

形状: 平屋、18.7×9.4(m)、階高3(m)

- ・ 釜石市両石付近
- ・ 決壊した堤防近傍のコンクリートブロック壁(枠柱梁が鉄骨)で作られた建物
- ・ 躯体には損傷が見られなかった
- ・ 梁間方向に津波外力が作用している。最大遡上高さ20(m)
- ・ 桁行構面の無開口コンクリートブロック壁は無被害、屋根面が一部損傷している。
- ・ 桁行方向にのみブレースが設置されている。
- ・ 洗掘の痕跡はあるが、架構の移動転倒は見られなかった。



(6) KI-06 (事務所ビル)

構造種別: 鉄骨造(張間ラーメン、桁行ブレース構造)

形状: 2階建て、張間スパン11m、桁行き柱間隔は4.0m、軒高4.0(m)

- ・ (4)のホテルの近傍
- ・ L字形の平面形状で、写真の右側部分は柱はH400x200x? $\times$ 12。梁も柱と同一断面と史料。
- ・ ブレースの破断、外装材の流失、一部の屋根版の流失



### 6.3.4 岩手県大船渡市

調査日：平成 23 年 4 月 7 日（木）

調査位置



図 6.3.4-1 大船渡市 被害調査位置図

(1) 0F-01(大船渡商工会議所)

構造種別: RC造(ラーメン構造)

形状: 3階建て、20.6×29(m)、階高4.8(m)(1F)、3.600(m)(2F)

- ・ 2階部分まで漂流物(流木など)が衝突している。
- ・ 5×3スパン、ホール部分は3本柱抜けしている。
- ・ 梁間方向に津波が作用している。
- ・ 構造躯体には損傷が見られなかった
- ・ 柱幅750(mm)



(2) 0F-02(大船渡土木事務所港務所)

構造種別: RC造(壁式構造)

形状: 2階建て、11.3×5.4(m)、階高3.4(m)

- ・ 堤防近傍の二階建て
- ・ 壁量(壁厚200mm)が多く、隅端に2本の柱(450mm)
- ・ 躯体に損傷が見られない
- ・ 階部分まで漂流物(流木など)が衝突している。
- ・ 最大浸水深は6.8(m)



### (3) 0F-03 (作業室)

構造種別: RC 造 (壁式構造)

形状: 平屋、9.5×5.3(m)、階高 4.1(m)

- ・ 堤防近傍の平屋
- ・ 壁量(壁厚 200mm)、隅端部に 4 本柱(柱幅 700mm)
- ・ 前面開口は 120×220 のドア型開口のみ
- ・ 背面開口は 900×100 の開口が 3 つ、側面にはシャッター扉(2000×1600(mm)) 開口のみ
- ・ 躯体に損傷が見られない
- ・ 津波外力は梁間方向に作用している
- ・ 最大浸水深は 6.8(m)



### (4) 0F-04 (倉庫)

構造種別: コンクリートブロック造 (壁式構造、屋根面なし)

形状: 平屋、11.2×5.3(m)、階高 2.6(m)

- ・ (1)の周辺
- ・ コンクリートブロック壁(200×400×150, 境界部分 D10、横筋 D10 600(mm)間隔)
- ・ 桁行方向の 2 開口(2200×2300)の端部に RC 間柱(150×250)が 4 本配置されている
- ・ 津波作用面(梁間構面)および桁行 1 構面のコンクリートブロック壁が面外に転倒
- ・ コンクリートブロック壁上部には RC 梁(L 型 180×370、4 本 D13, 2 本 D13)が囲われている



(5) 0F-05 (鉄塔)

構造種別: 鉄骨造 (屋根有り、H形鋼2本柱による門型フレーム)

形状: 2階建て、スパン7(m)、階高4.8(m) (屋根面までの距離5.4(m))

- ・ 面外方向脇に堤防および海
- ・ H形鋼350×350×19, 根巻きコンクリート800(mm)立方体
- ・ 根巻きコンクリートが架構面外方向に曲げ破壊している(主筋4D22)
- ・ 津波外力は面外方向に作用している。
- ・ 傾斜角は1/15程度
- ・ 最大浸水深6.9(m)



(6) 0F-06 (戸建住宅)

構造種別: 鉄骨造 (ラーメン構造, 木床・下地材)

形状: 2階建て、桁行スパン3.4(m)、梁間スパン5.0(m)、階高3.0(m)

- ・ 面外方向やや進んだ所に堤防および海
- ・ 1×4スパン, ホール部分は3本柱抜けしている。
- ・ 柱H形鋼175×145×?×11, 梁H形鋼300×150、屋根天井面に水平ブレースが見られた。
- ・ 津波外力は梁間方向に作用し、構造物が若干傾斜している(測定できず)
- ・ 梁間構面バルコニー部分の非構造材(柱)が座屈している
- ・ 最大浸水深8.0(m)



### 6.3.5 岩手県陸前高田市

調査日：平成23年3月30日（水）、4月6日（水）

調査位置

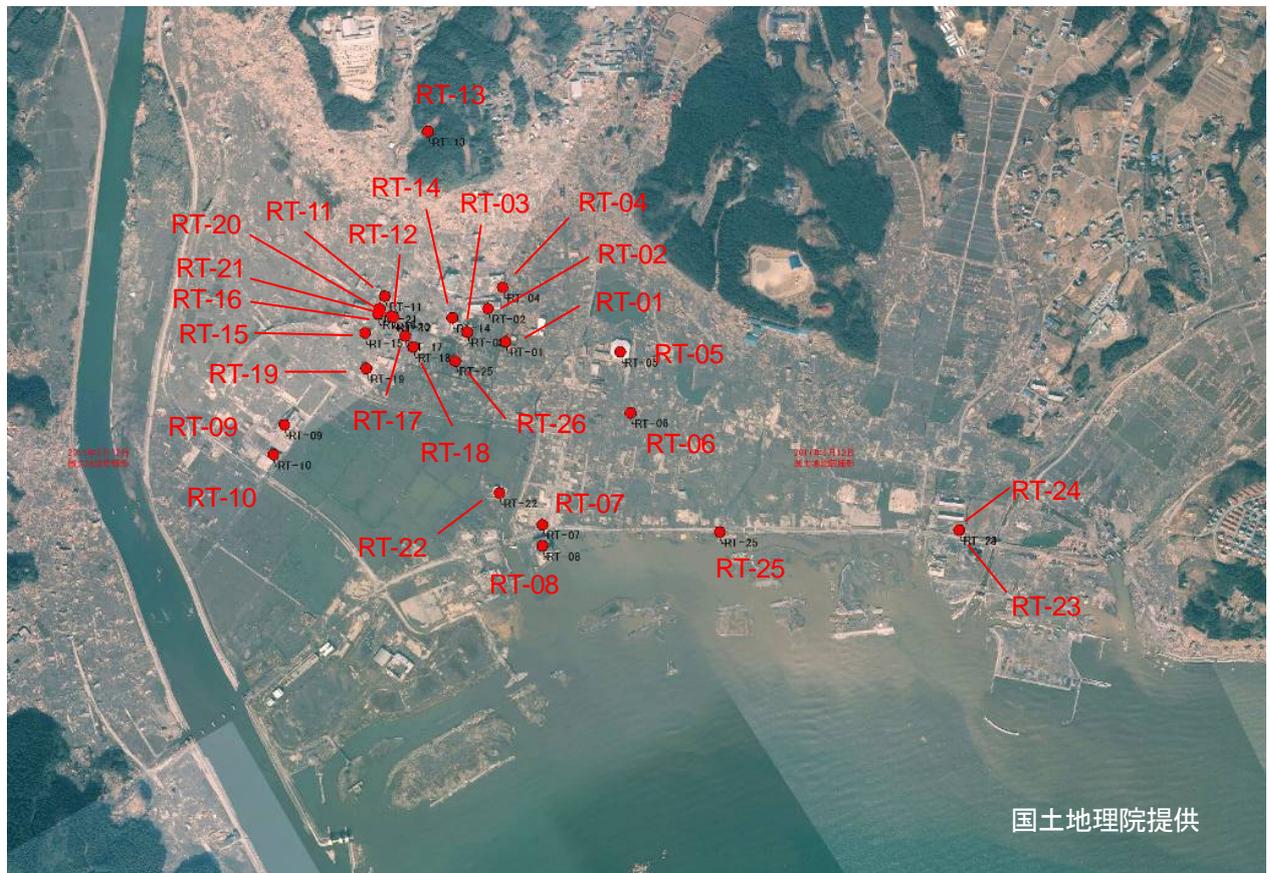


図 6.3.5-1 陸前高田市 被害調査位置図

(1) RT-01 (大船渡警察署高田幹部交番)

構造種別：RC造（ラーメン構造）

形状：2階建て、高さ約7m、桁行12m、梁間9.5m

被害状況：構造躯体の被害は見られない。窓はすべて破壊されており、非構造部材も損傷している。建物周囲や内部には、多くの漂流物が堆積していた。

その他：建物全体が完全に水没。周辺地盤に液状化等は見られない。開口部が壊れて水が入ったことにより、津波の力が軽減されたと思われる。



(2) RT-02 (陸前高田市役所)

構造種別：RC造（ラーメン構造）。3棟が渡り廊下やエキスパンション・ジョイントで接続している。

形状：3階建（一部4階）、高さ約16m

被害状況：地震による躯体の被害は見当たらない。漂流物の衝突等による損傷は見られた。建物内部の被害は3階まで甚大であるが、3階の蛍光灯は残存しているものもあり、天井仕上げ材の損壊は軽微。5階の内部被害は軽微だが、一部浸入の痕跡がみられた。

その他：周辺地盤に液状化等はない。





(3) RT-03 (陸前高田市民会館)

構造種別：RC造（ラーメン構造）

形状：3階建て（階段室4階）、高さ約13m

被害状況：ホールの壁が津波の作用方向に崩壊していた。非構造部材は、3階の天井仕上げ材まで全面的に破損していた。



(4) RT-04 (転倒建築物)

構造種別：RC造（ラーメン構造）

形状：2階建て

被害状況：市役所近くで、独立基礎を上に向けて完全に引っ繰り返っていた。原位置から35～40m程度移動した可能性がある。



(5) RT-05 (陸前高田市民体育館)

構造種別：RC造（ラーメン構造）、屋根は鉄骨造

形状：1階建、高さ約11m

被害状況：アリーナのステージ背後の外壁が津波によって構面外（津波の作用方向）に転倒しており、それに伴って屋根の鉄骨フレームも著しく変形していた。アリーナ隣のS造平屋の柔剣道場は、柱脚部で破断し完全に流失していた。

その他：塔屋のガラス破損有無の中間部を最大浸水高さとするれば、地上約12mとなった。



(6) RT-06（移動した事務所建築物）

構造種別：RC造

形状：2階建と推測

被害状況：建築物全体（独立基礎も含む）が道路の中央付近まで移動していた。原位置から約80m移動と推測。



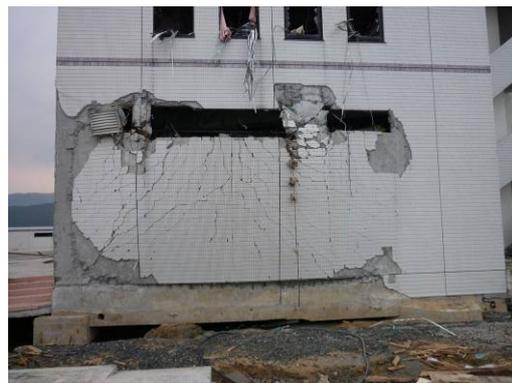
(7) RT-08 (ホテル)

構造種別：RC造

形状：2階建て、高さ約16m、

被害状況：建物は海に正対して建っており、津波の作用方向に並行する外壁が両側とも構面外（外側）にはらみ出し損傷していた。

その他：壁のガラス破損有無の階の境界を最大浸水高さとなせば、地上約12.6mとなった。なお、当該ホテル近くの広告塔の損傷上限を浸水高さとなせば、地上約11mである。





(8) RT-09 (高田病院)

構造種別：RC造（ラーメン構造）

形状：4階建て

被害状況：漂流物の衝突痕を除き、構造躯体には外観上被害はない。非構造部材等の被害としては、窓ガラスは3階まで全損していた。4階窓ガラスには無損傷の箇所もあった。

その他：4階ベランダの手すりを最大浸水高さとみなせば、地上約9.5mとなった。地表面に著しい洗掘があり、杭が露出していた。



(9) RT-12 (診療所)

構造種別：鉄骨造（ラーメン構造）

形状：：3階建て、高さ9.2m、桁行22.5m、梁間8.3m、鉄骨柱は□-300×300mm

被害状況：鉄骨柱には漂流物の衝突跡が見られる他、建物全体の在留変形が生じている。外壁材

の大半が流失していた。



(10) RT-13 (残存している木造建築物)

地盤が高い山側に立地する建築物を除き、海側では残存している木造建築物は確認できなかった。



(11) RT-14 (事務所ビル)

構造種別: RC造ラーメン構造+コンクリートブロック壁

形状: 2階建て、7000×5500(mm)、階高3500(mm)

- ・ 陸前高田市役所周辺
- ・ RC架構は4本柱により支持されている。
- ・ 1階部分が層崩壊している。
- ・ 柱幅400(mm), 主筋8φ12



(12) RT-15 (不明)

構造種別: コンクリートブロック造 (壁式構造)

形状: 2階建て、4400×8900(mm)、階高 3000(mm)

- 陸前高田市役所周辺
- コンクリートブロック壁式構造
- 1階部分が層崩壊している。



(13) RT-16 (事務所ビル)

構造種別: RC造ラーメン構造+コンクリートブロック壁

形状: 2階建て、11700×6200(mm)、階高3200(mm)

- ・ 1×2スパン、梁間方向に津波荷重を受けている。
- ・ 1階部分が層崩壊している。
- ・ 柱幅450(mm)、主筋4φ19、帯筋φ8



(14) RT-17 (不明)

構造種別: RC造ラーメン構造+コンクリートブロック壁

形状: 2階建て、9000×9000(mm)、階高3100(mm)

- ・ 1×2スパン、梁間桁行斜め方向に津波荷重を受けている。
- ・ 1階部分が層崩壊している。
- ・ 柱幅450(mm)、主筋8φ20



(15) RT-18 (事務所ビル)

構造種別: RC造ラーメン構造+コンクリートブロック壁

形状: 3階建て、12800×6300(mm)、階高 3200(mm)

- ・ 2×2 スパン、中央部分柱抜け
- ・ 柱幅は外柱 600(mm)、内部柱 450(mm)、内部にも非構造壁
- ・ 躯体には損傷が見られない
- ・ 推定最大浸水深 9.2(m)



(16) RT-19 (店舗)

構造種別: RC造ラーメン構造+コンクリートブロック壁

形状: 3階建て、13200×10000(mm)、階高 3200(mm)

- ・ 3×2 スパン、中央部分柱抜け
- ・ 柱幅 700(mm)、主筋 8φ20
- ・ 躯体には損傷が見られない
- ・ 推定最大浸水深 9.2(m)

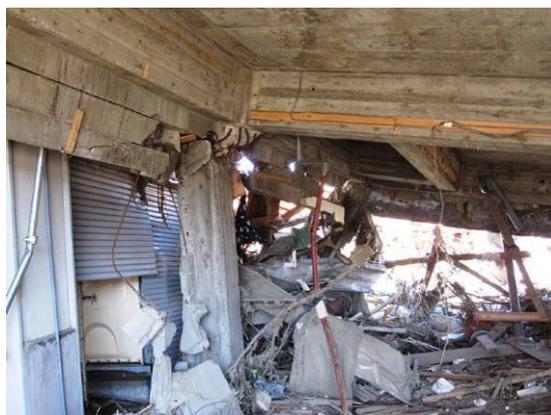


(17) RT-20 (戸建住宅)

構造種別: RC造ラーメン構造+コンクリートブロック壁

形状: 平屋、5400×8800(mm)、階高 3000(mm)

- ・ 片側構面の柱が軸崩壊し、反対側の構面の柱頭が曲げ破壊している
- ・ 1×2 スパン、柱幅 450×400(mm)、主筋 12φ22
- ・ コの字型にコンクリートブロック壁が存在した形跡有り



(18) RT-21 (店舗)

構造種別: RC 造ラーメン構造+コンクリートブロック壁

形状: 2階建て、6400×7600(mm)、階高 3000(mm)

- 1×2 スパン、柱幅 400(mm)、主筋 8φ20
- 1階部分が層崩壊している。
- コの字型にコンクリートブロック壁が存在している



(19) RT-22 (ポンプ場)

構造種別: RC ラーメン構造+RC 壁(桁行)+ALC&RC 壁(梁間)

形状: 2階建て、21400×12500(mm)、軒高 10.4(m)、棟高 12.8(m)

- 1×6 スパン、1階+中2階、柱幅 750(mm)、壁厚 220(mm)
- 太い柱、厚い RC 壁で構成された架構
- 躯体に損傷は見られなかった
- 梁間構面のガラスおよび ALC パネルが脱落している



(20) RT-23 (集合住宅 1号棟、2号棟)

構造種別: RC造 (壁式構造)

形状: 5階建て、72000×6700(mm)、階高2.7(m)

- ・ 1棟8戸の集合住宅、壁厚220(mm)
- ・ 1号棟と2号棟の間隔は30(m)
- ・ 躯体に損傷は見られなかった
- ・ 津波は梁間方向に作用している
- ・ 両棟の最大浸水深は9.3(m)でほぼ変わらない



(21) RT-24 (事務所ビル)

構造種別: RC造ラーメン構造+梁間1構面のみRC壁

形状: 平屋、122000×6800(mm)、階高3.8(m)

- ・ (20)の集合住宅脇の建物
- ・ 2×1スパン、柱幅500(mm)
- ・ 躯体に損傷は見られなかった
- ・ 津波は梁間方向に作用している



(22) RT-25 (事務所ビル)

構造種別: RC造ラーメン構造+コンクリートブロック壁

形状: 2階建て、9000×6000(mm)、階高2.8(m)

- ・ 2×2スパン、柱幅400(mm)、主筋D22、帯筋φ12
- ・ コンクリートブロック壁にも大きな開口が見られた
- ・ 躯体に損傷は見られなかった
- ・ 津波は桁行方向に作用している
- ・ 1, 2階ともに柱梁架構以外の雑壁が少なく抵抗力が小さかったと考えられる

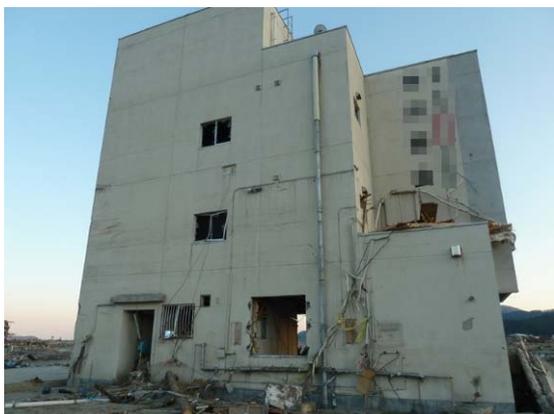


(23) RT-26 (事務所ビル)

構造種別: RC造ラーメン構造+RC非構造壁

形状: 3階建て、94000×9000(mm)、階高3.2(m)

- ・ 3×2スパン、3F+PH、所々柱抜け、セットバックしている。柱幅500(mm)
- ・ 躯体に損傷は見られなかった
- ・ 津波は梁間方向に作用している。推定最大浸水深は9.1(m)
- ・ 2面に非構造壁が配置されている(津波の方向とは直交している)



### 6.3.6 宮城県気仙沼市

調査日：平成 23 年 3 月 31 日（木）

調査位置



図 6.3.6-1 気仙沼市 被害調査位置図

(1) KS-01 (気仙沼市魚市場)

構造種別：鉄骨造

形状：1階建て、高さ約10m。気仙沼市のWebサイトによると、全長およそ700mに及ぶ巨大な建築物。屋上（駐車場）は、「津波避難ビル」に指定されている。

被害状況：外観上、躯体の被害は観察されなかったが、建物から岸壁までの舗装面には沈下等の変状が見られた。屋上の照明灯や鉢植え植物に変状はなく、津波は屋上まで達しなかったと推測される。



(2) KS-02 (遊戯施設 (気仙沼市松崎地区))

構造種別：鉄骨造

形状：2階建て、高さ約7.7m、桁行き32m、梁間20m

被害状況：構造躯体の被害は見られない。1、2階とも一部のALCパネルが損傷し、脱落している。

その他：津波浸水深は約6m。建物周囲に津波被害が見られるが、少し地盤が高い場所に建っている木造住宅では、さほど大きな被害はなく残存している。





(3) KS-03 (本吉町沿岸部 (気仙沼市本吉町沖の田))

本吉町沖の田地区では、損傷した木造住宅が数棟残っている以外は全て流失している。河口近くにあった建物（発電所）が引き波によって転倒し、水門に乗り上げていた。



### 6.3.7 宮城県南三陸町

調査日：平成 23 年 3 月 31 日（木）

調査位置

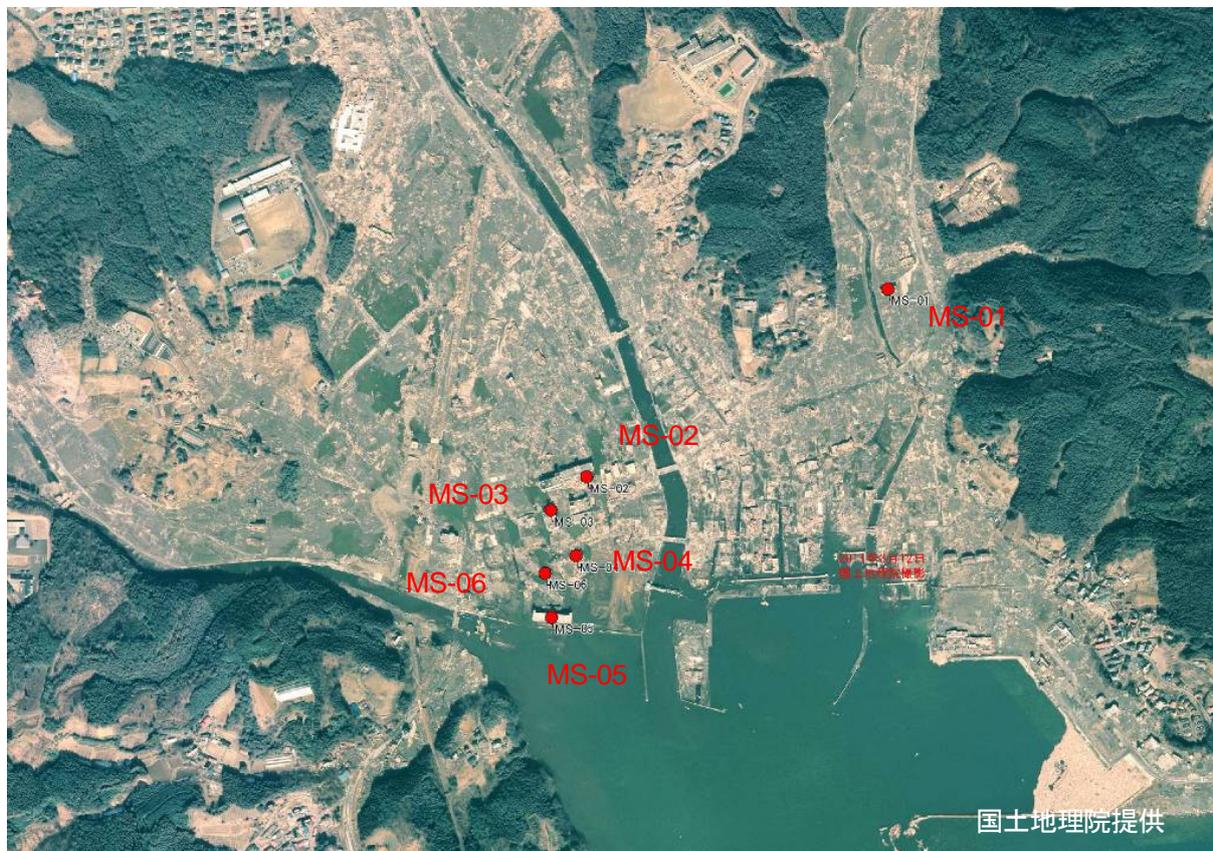


図 6.3.7-1 南三陸町 被害調査位置図

(1) MS-01 (集合住宅)

構造種別：RC造 (壁式構造)

形状：3階建て、高さ約10m、桁行28m、梁間7m、壁厚15cm

被害状況：構造躯体の被害は見られない。非構造部材は、3階の天井仕上げ材まで全面的に破損していた。

その他：屋上に自動車に乗っており、津波浸水深は建物高さ(約10m)以上だったと推測される。



(2) MS-02 (志津川病院 (津波避難ビル指定))

構造種別：RC造 (ラーメン構造)、耐震補強済み

形状：4階建て、高さ約14m (階高3.2m)、桁行60m、梁間14m、隣の新館は5階建て

被害状況：構造躯体の被害は見られない。4階の天井下まで浸水の痕跡があり、非構造部材は全面的に破損していた。

その他：津波の際には一部の入院患者や職員は屋上に避難し、その後救出された。



(3) MS-03 (結婚式場 (津波避難ビル指定))

構造種別：RC造 (ラーメン構造)

形状：4階建て、ペントハウスあり、高さ約19m

被害状況：構造躯体の被害は見られない。3階の窓ガラスまで全て損傷している。それらの状況から、浸水深は13m程度と判断される。



(4) MS-04 (志津川公民館)

構造種別：RC造 (ラーメン構造)、屋根は鉄骨トラス造 (と思われる)、耐震補強済み

形状：3階建て、階高3.3m、桁行17m、梁間13m

被害状況：3階部分が崩壊 (津波によるものと推測)。体育館部分は完全に流失していた。



(5) MS-05 (町営住宅 (津波避難ビル指定))

構造種別：RC造 (ラーメン構造)

形状：4階建て、階高3m、桁行32m、梁間13m（1棟当たり）、2棟の建物が中央のエレベータ部分に設けられたエキスパション・ジョイント部で接している。

被害状況：構造躯体の被害は見られない。4階の床まで浸水している。建物の周辺地盤には、沈降・洗堀があり、一部の基礎が露出していた。

その他：津波の際、屋上は避難場所として機能していた。

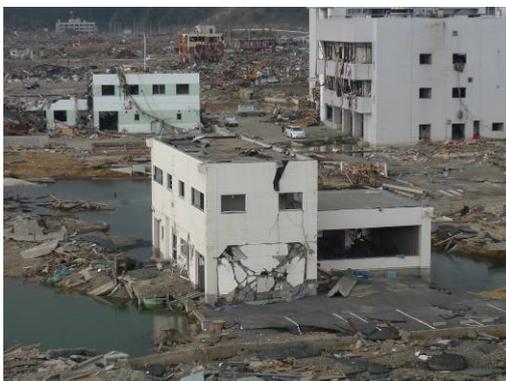


(6) MS-06（汐見町集会場）

構造種別：RC造（ラーメン構造）

形状：2階建て、高さ7m（1階3m、2階4m）、桁行15.5m、梁間（壁部分）6m

被害状況：1階梁間方向の壁（配筋：9φ、25cm間隔）が構面外に変形、破壊していた。1階内部のコンクリートブロック壁が崩壊していた。



### 6.3.8 宮城県女川町

調査日：平成 23 年 4 月 1 日（金）、4 月 9 日（土）

調査位置



図 6.3.8-1 女川町 被害調査位置図

(1) 女川町立病院駐車場

・町内を遠望できる高台にある駐車場であるが、乗用車が被災しており、手すり等も流失していた。



駐車場から見た町内の様子

(2) OG-01 (旅館 1)

構造種別：RC 造（耐力壁付きラーメン構造）

形状：4 階建て、高さ 12m、桁行 6m、梁間（壁部分）4m

被害状況：上部構造が転倒していた。元々、旅館 2 の隣にあった建築物で、推定移動距離は約 70m。

その間の道路には建物が引きずられた痕跡は認められなかった。

その他：杭の外径 300mm、7φ×6 本の PC 鋼材。



(3) OG-02 (旅館 2)

構造種別：RC 造（桁行方向：ラーメン構造、張間方向：壁式構造）

形状：5 階建て、高さ 18m、桁行 13m、梁間（壁部分）5m

被害状況：4 階以下の窓ガラスは全損、5 階の窓ガラスは一部残存。浸水深は 16m。



(4) OG-03 (水産加工場)

- ・ RC 造 (耐力壁付きラーメン構造)
- ・ 壁が面外にはらみ出している。



(5) OG-04 (冷凍工場)

- ・ RC 造 (耐力壁付きラーメン構造)
- ・ 高さ 6.5m
- ・ 津波の作用方向に海側の壁が倒壊し、山側の壁もはらみ出している。山側の柱も 1 本折損している。



(6) OG-05 (冷凍庫施設)

- ・ RC 造 (ラーメン構造)

- ・地上2階 22m×8.5m 高さ9m
- ・上部構造が転倒している。隣接する建築物の壁の一部（高さ1.9m）が残存しており、それを乗り越えて転倒したものと推定される。



(7) 鉄骨造建築物

- ・鉄骨造3階
- ・外装仕上げ材や内部の什器等は流失しており、柱が海側に向かってやや傾斜している（引き波の作用方向）。



(8) OG-06（マリンパル女川）

- ・RC造
- ・海辺に面した建築物である。上部構造2棟自体は倒壊しておらず、周辺の建築物と比較して構造躯体の損傷は軽微である。また、1階の窓ガラスには破損していないものもあった。なお、2階部分の連結通路は流失していると思われる。



(9) OG-07 (S造転倒建築物)

- ・鉄骨造 (ラーメン構造)
- ・上部構造が転倒。
- ・PC 杭 (径 300mm)。転倒に伴って杭の一部が引き抜かれており、その部分の長さは 7m 程度であった。
- ・外壁 ALC パネルが流失している。
- ・推定移動距離は約 10m



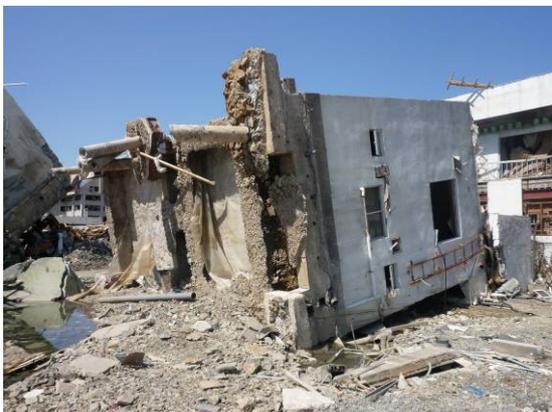
(10) OG-08 (転倒物件)

- ・RC 造 (ラーメン構造)
- ・地上 3 階 6m×9m 高さ 9m
- ・海に向かって上部構造が転倒している (引き波の作用方向)



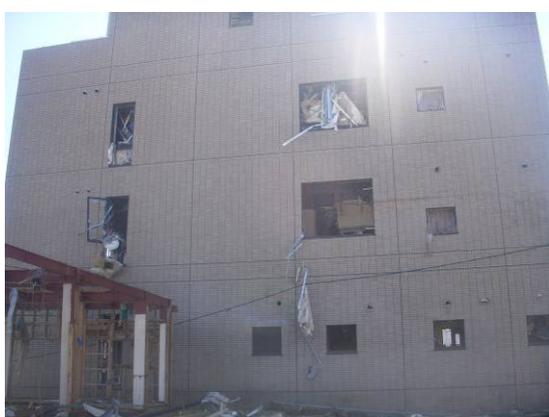
(11) OG-09 (女川交番)

- ・ RC 造 (ラーメン構造)
- ・ 地上 2 階 高さ 6.5m
- ・ 上部構造が転倒している。基礎梁に杭 (径 300mm) が残存。



(12) OG-10 (ホテル)

- ・ RC 造 (ラーメン構造)
- ・ 地上 3 階 ペントハウスあり
- ・ ペントハウスの天井まで破損が認められた → 推定浸水深 約 15m



(13) OG-11 (店舗)

構造種別: RC造 (耐震壁付きフレーム構造)

形状: 2階建て、11.3×8.8(m)、高さ7.2(m)

- ・ 堤防近傍のRC2階建物
- ・ 津波外力が作用している方向の開口面積が大きい
- ・ 躯体に損傷は見られなかった
- ・ 梁下高さまで浸水の痕跡が見られた



(14) OG-12 (事務所ビル)

構造種別: RC造 (耐震壁付きフレーム構造)

形状: 4階建て、10.6×17.2(m)、高さ13.6(m)

- ・ 転倒した4階建物周辺
- ・ 4×3スパン、津波荷重を受けている開口面積は非常に小さい
- ・ 津波外力は梁間方向に作用している。
- ・ 躯体に損傷は見られなかった
- ・ 梁下高さは35cm(1F), 55cm(2F以上)
- ・ 最大浸水深は14.6(m)



### 6.3.9 宮城県石巻市

調査日：平成 23 年 4 月 1 日（金）

調査位置



図 6.3.9-1 石巻市 被害調査位置図

(1) 集合住宅

- ・ RC 造
- ・ 地上 4 階 高さ 12m
- ・ 構造躯体の被害は認められない。
- ・ 3 階の窓ガラスの破損はほとんどなく、2 階天井付近を推定浸水深とすると約 6m。



(2) 石巻市立病院

- ・ 構造躯体の被害と 2 階以上の窓ガラスの被害は外観上認められない。漂流物の衝突も多く、1 階の窓ガラスの被害は甚大。



(3) 石巻市立病院看護宿舎

- ・ 2 階の天井付近の高さでの壁に浸水痕が認められた。→浸水深は約 6m



(4) 市営南浜町住宅

- ・1～2階の窓ガラスが全損するとともに、ベランダ手すりも流失している。



(5) 海に面した倉庫群

- ・外装仕上げ材が流失しており、海からの漂流物（コンクリート塊や道路の舗装アスファルト）が衝突したためと思われる柱の曲げ等の被害も認められた。



### 6.3.10 宮城県仙台市若林区、宮城野区

#### (a) 若林区

##### (1) 被害概要

調査建物の位置を図 6.3.10-1 に示す。仙台市若林区荒浜の木造建物のほとんどは津波にさらわれ壊滅的な被害であったが、RC 造等の建物と共に流失を免れた木造住宅もあった。

浸水深について、海岸付近から荒浜小学校の辺りで 5~6m 程度、荒浜地区より 3km ほど南西の二木地区で 2m 程度であったと推定される。

##### (2) 荒浜地区の被害

###### 1) 木造を中心とした被害

海岸付近には上部構造が無く、基礎下部の地盤だけがさらわれたか、べた基礎だけが流されて漂着したと想像される例（写真 6.3.10-1）が確認された。上部構造が流され、基礎と土台だけが残された被害例が多数確認された（写真 6.3.10-2）が、ホールダウン金物のラグスクリーが柱から抜けて残っていた（写真 6.3.10-3）。写真 6.3.10-4 (①) のスチールハウスは、漂流してきた木造家屋が衝突し、1 階部分が層崩壊しているにもかかわらず残存していた。

その他、土台と基礎のみが残されている物件で、土台が割裂した例（写真 6.3.10-5）、軽量コンクリートブロック造（以下、「CB 造」と称する）の立ち上がり部分に囲われた浴室部分（写真 6.3.10-6）なども確認された。また、布基礎だけが残っている例（写真 6.3.10-7）も見られたが、残っている布基礎にはアンカーボルト、もしくはその設置痕が確認されなかった。

###### 2) RC 造等を中心とした被害

海岸から約 250m に立地する 2 階建 RC 造建物 2 棟は流失せず残存していた（写真 6.3.10-8 : ②、写真 6.3.10-9 : ③）。外観調査の結果、構造躯体には津波による被害は見られなかった。ともに 2 階窓ガラスに著しい破損が確認され、屋上に漂流物が残存していたことから、浸水深は 7.5m（建物高さ）以上と推定される。一方、残存する RC 造建物の 1 棟に隣接して建つ 2 階建 CB 造とみられる住宅では、地盤が著しく洗掘されて上部構造が傾斜していた（写真 6.3.10-10、11 : ④）。また、2 階天井の蛍光灯が流失しているのが確認された。

RC 造 2 階建（1990 年建設）の荒浜コミュニティセンター（写真 6.3.10-12、13 : ⑤）は、2 階手摺が破損していたが、2 階の窓には損傷が見られず、この付近での浸水深は 6m と推定される。外観からは構造躯体の損傷は確認されなかった。

RC 造 4 階建ての荒浜小学校校舎（写真 6.3.10-14~16 : ⑥）は、東面（海側）では 3 階手摺に破損が見られたことから、浸水深は 6.5m と推定される。一方、南北面では、2 階の窓に損傷は無いものの、外廊下に漂流物が残存しており、また浸水痕も確認できたことから、浸水深は 2 階の腰壁相当と考えられ、約 4m と推定される。津波により建物内部にも大量の瓦礫が流入していたが、構造躯体に大きな被害は確認されなかった。隣接する鉄骨造 1 階建ての荒浜小学校体育館（写真 6.3.10-17、18 : ⑦）では、金属製サイディング材が面外に著しく変形していたが、鉄骨の柱には外観上損傷は認められなかった。

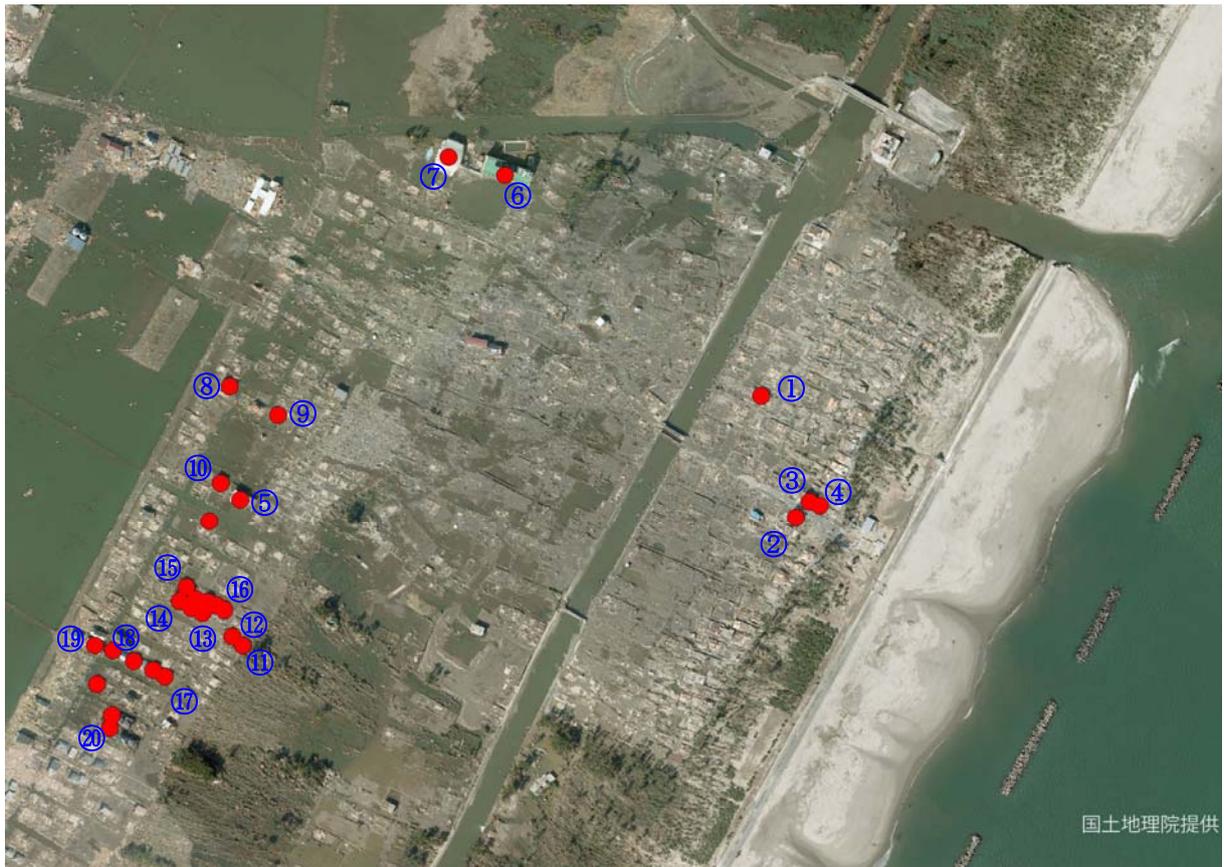


図 6.3.10-1 仙台市若林区荒浜の調査建物



写真 6.3.10-1 漂着したか地盤が  
さらわれたべた基礎



写真 6.3.10-2 基礎と土台が残る被害例



写真 6.3.10-3 写真 6.3.10-2に残る  
ホールダウン金物



写真 6.3.10-4 1階が層崩壊しても残存している  
スチールハウス (①)



写真 6.3.10-5 土台が割裂した例



写真 6.3.10-6 残存したCB造の浴室の立上り部分



写真 6.3.10-7 土台も流失した例



写真 6.3.10-8 住宅の外観 (②)



写真 6. 3. 10-9 残存する RC 造住宅 (③)



写真 6. 3. 10-10 残存する CB 造とみられる住宅 (④)



写真 6. 3. 10-11 写真 6. 3. 10-10 の地盤の洗掘状況



写真 6. 3. 10-12 コミュニティセンター外観 (⑤)



写真 6. 3. 10-13 写真 6. 3. 10-12 の 2 階手摺の破損



写真 6. 3. 10-14 荒浜小学校校舎外観 (⑥)



写真 6. 3. 10-15 東側妻面の破損状況 (3 階手摺に損傷が認められる)



写真 6. 3. 10-16 1 階教室の状況



写真 6. 3. 10-17 荒浜小学校体育館外観 (㉞)



写真 6. 3. 10-18 外壁材の面外変形

### (3) 仙台市若林区荒浜新の被害

荒浜地区の海岸線から約 1.5km のエリアは、低層の住宅はほとんどが流失していたが、10 号線沿いの荒浜新 1、2 丁目において残存する低層の住宅が数十軒程度確認され、概要調査を行った。

写真 6.3.10-19 は、最近立てられたと推測されるハウスメーカー製の金物構法（ホゾパイプ等を用いた工法）による木造住宅で、主たる耐震要素は筋かい耐力壁であり、周辺の建物が流失されている中、孤立して残存していた。海岸側の 2F のオーバーハング状態となった部分は、支持する柱と壁が損壊していた（写真 6.3.10-20）。波の高さは建物の GL から 2.8m 程度と推定される。写真 6.3.10-21 も、孤立して残存している軸組構法の木造住宅であった。海岸側の構造躯体の損傷は激しかった。構造用合板が主たる耐震要素で、通常より密な 100mm ピッチでの釘打ちであった。これらの周辺の流失した木造住宅は、基礎＋土台だけが残っているものや、基礎だけが残っているものがあり、工法は軸組構法や、2×4 工法など様々であった（写真 6.3.10-22）。

荒浜コミュニティセンター隣の木造 2 階建て住宅（写真 6.3.10-23）について、構造躯体の被害は外観上軽微であったが、建物内部については、1 階部分が漂流物で室内が充満している状態であった。浸水程度は、浸水痕から 5m 程度と考えられる。電柱および標識の転倒方向から、津波の作用方向がコミュニティセンターの方向であったために、直撃を免れた可能性がある（写真 6.3.10-24）。

荒浜 2 丁目の一角に、残存する建物が数軒まとまって存在するエリアがあった。海岸側には、国有林の松林（防風林と推測される）があった。写真 6.3.10-25 は筋かいを主な耐震要素とする軸組構法の木造住宅で、2F の窓下まで浸水したと推測される。写真 6.3.10-26 はハウスメーカー製の軽量鉄骨造住宅。写真 6.3.10-27～6.3.10-34 は同じブロックに集中して存在した流失を免れた建物である。写真 37 の建物は松の大木が衝突して、激しく損傷したと推測される。

2 丁目 11 号に残存する建物群は、一番東が軽量鉄骨造（2 階建）であり、その西隣に木造が 5 棟（平屋 1 棟、その他 2 階建）並ぶ（写真 6.3.10-35～39）。現場にいた建物所有者から築年数が確認でき、築 25 年や築 1 年以内のもの、また建設中のものもあった。

軽量鉄骨造の躯体の被害は、津波と漂流物による被害と推測される。木造建物は主に漂流物による被害と推察される。所有者の情報によると、近隣流失家屋の衝突により柱を喪失する大きな被害をうけたとのこと。内部被害について、ほとんどが漂流物で室内が充満している状態であった。

浸水程度について、1 階下屋部分の屋根上残存漂流物及び外壁の浸水痕からこの地区では、最大浸水深さは 4～5m 程度と考えられる。

電柱および標識の転倒方向から、一番東の軽量鉄骨造建物に津波が作用したこと、地区の東側に防風林（高さ十数 m 程度）があったことが木造住宅の残存に関係した可能性がある。

若林区荒浜 2 丁目 9、10 号の軽量鉄骨造と木造建物も残存していた（写真 6.3.10-40～43）。多くは漂流物により構造躯体に大きな被害が生じていると推察される。浸水痕から最大浸水深さは 4～5m 程度と考えられる。



写真 6. 3. 10-19 残存した木造住宅 (⑧)



写真 6. 3. 10-20 写真 6. 3. 10-19 の海岸側



写真 6. 3. 10-21 残存した木造住宅 (⑨)



写真 6. 3. 10-22 流失した2×4工法住宅



写真 6. 3. 10-23 コミュニティーセンターに隣接する木造住宅の被害 (⑩)



写真 6. 3. 10-24 荒浜コミュニティセンターとの位置関係 (南から撮影)



写真 6. 3. 10-25 残存する木造住宅 (⑪)



写真 6. 3. 10-26 残存する軽量鉄骨造住宅 (⑫)



写真 6.3.10-27 残存する RC 造住宅 (13)



写真 6.3.10-28 1F の損傷の激しい木造



写真 6.3.10-29 1F の損傷の激しい木造 (14)



写真 6.3.10-30 残存する RC 造 (パネル) 住宅 (15)



写真 6.3.10-31 損傷の激しい木造



写真 6.3.10-32 残存する木造住宅



写真 6.3.10-33 損傷の激しい木造



写真 6.3.10-34 全壊状態の H 形鋼梁を有する  
木造住宅 (16)



写真 6. 3. 10-35 新荒浜 2 丁目 11 南側外観



写真 6. 3. 10-36 残存する軽量鉄骨造建物(⑰)



写真 6. 3. 10-37 建設途中の木造建物



写真 6. 3. 10-38 築一年未満の木造建物



写真 6. 3. 10-39 築 25 年程度の木造建物(⑱)



写真 6. 3. 10-40 残存する木造建物(⑲)



写真 6. 3. 10-41 残存する木造建物



写真 6. 3. 10-42 残存する木造建物



写真 6. 3. 10-43 残存する木造建物(㊟)

(b) 宮城野区（調査日：平成 23 年 4 月 9 日（土））

宮城野区における調査建物の位置を図 6.3.10-2 に示す。

南蒲生浄化センター（SD-01）は RC 造（耐力壁付きラーメン構造）3 階建てで、高さは約 13.5m、建物の幅は 20m であった。津波の作用方向（梁間方向）には幅が狭く、開口は少ない。最大浸水深は 9m 程度であったと推定される。被害としては、2 階床を有していない 1、2 階連層耐力壁（4 スパン、間隔 2.5m）が面外変形したほか、壁境界部分では 1 階柱脚および 3 階梁下端が曲げ破壊した。2 階部分を有している区画では耐力壁の面外変形はみられなかった。なお、壁厚 300mm、壁縦横筋は D13@200 ダブル、柱は 750 mm×850mm であった。



図 6.3.10-2 仙台市宮城野区南蒲生の調査建物



写真 6.3.10-44 第3 ポンプ室 外観



写真 6.3.10-45 第3 ポンプ室 内部



写真 6.3.10-46 センター内での非構造壁脱落

### 6.3.11 宮城県名取市

#### (1) 名取市閑上地区の被害

名取市閑上地区の航空写真（3/13時点）と調査物件の位置を図6.3.11-1に示す。

##### 1) 木造を中心とした被害

名取川近くで基礎ごと流れて移動した木造住宅（写真 6.3.11-1：①）が確認された。当初位置を調査したところ、鋼管杭が残存（写真 6.3.11-2）していた。閑上地区のほとんどが砂地盤であり、地耐力向上を企図して杭基礎としたと想像されるが、津波の水圧までは耐えられなかったと考えられる。

この住宅の近辺では、寺社建築（写真 6.3.11-3：②）と鉄骨造建築物（写真 6.3.11-4：③）が、大きく損傷するものの、流されずに残ったため、津波による水平力が多少軽減されたためか、流失を免れた木造店舗併用住宅（写真 6.3.11-5：④）が確認された。RC造建築物の下流に位置して水圧による外力が低減される可能性があることは、木造等の小規模建築物でも入力低減効果がある可能性が示唆されたと言える。また、基礎ごと流れて移動した住宅の位置関係を考慮すると、閑上地区における津波の作用方向は東から、もしくは多少東北東に寄った方向からのものと考えられる。

以上のように、閑上地区に残存する木造建物は、RC造、鉄骨造もしくは他の建築物の下流に位置する木造建築物等に限られているが、例外的に流失を免れた木造家屋があった。

閑上地区の広浦橋より南側（閑上5丁目）の東岸には胸高直径20cm程度が平均的な太さであるマツの保安林（防風林、もしくは飛砂防止林、写真 6.3.11-6：⑤）があった。漂流物の付着状況などから、この地区の浸水深は約5～6mと推定されたが、この保安林の建築物の耐津波挙動に与える影響について調べた。この保安林の一部は根こそぎ倒れており、倒れた部分の下流に位置すると推測された木造家屋は、基礎・土台などを残して上部構造はほぼ全て流失（写真 6.3.11-7：⑥）していた。これに対して、残存する保安林の下流に位置したと推測される建物は、選択的に流されており、残存した木造家屋（写真 6.3.11-8：⑦）があった。なお、残存した保安林（⑤）の東対岸にも保安林が部分的に残存していた（写真 6.3.11-9）。国土地理院の精密基盤標高地図によれば、東対岸で残存していた保安林のさらに東側に約300m×約40m（標高10m程度）の盛り土が存在することが現地調査後に判明しており、盛り土の下流側における津波の波圧が緩和された可能性も考えられるが、断定するには至っていない。

一方、保安林がなぎ倒された場所で、津波が作用した方向に他の建築物が残存しない木造家屋（写真 6.3.11-10：⑧）があった。その他、比較的築年数が新しく（おそらく築数年）、津波が作用した方向に残存する建築物等が存在しない木造軸組構法住宅（写真 6.3.11-11、12：⑨）と枠組壁工法住宅（写真 6.3.11-13、14：⑩）があった。津波作用方向から見て前者の反対側に位置すると想像される部分には、もう1棟残存する軸組構法住宅（写真 6.3.11-15：⑪）が確認された。なお、これらが建つ位置の浸水深は約3.5m程度であった。

なお、鉄骨造、もしくは鉄骨造と推測される工場建築物の津波作用方向から見た反対側に位置して流失を免れた複数の木造住宅（例えば写真 6.3.11-16：⑫）が確認されたが、作用方向から見た当該工場社屋の反対側に位置する木造住宅が全て流失を免れたわけではなく、比較的築年数が新しく、壁量や部材の接合方法などもしっかりしている住宅が残っている。一方、北西から南東へ延びるRC造の集合住宅の津波作用方向から見た反対側に位置して流失を免れた木造家屋群（写真 6.3.11-17：⑬）のなかには、築年数が新しいものだけでなく、比較的古くて壁量や接合方法が不完全であると推測される住宅も含まれている。その他、単独で残る木造家屋（写真 6.3.11-18：⑭、写真 6.3.11-19、20）などが確認されたが、それらはいずれも比較的築年数が新しく、壁量や部材の接合方法などもしっかり

りしているのではなかと推測される住宅であった。

岸から 50m 程内陸部に位置する 2 階建鉄骨造 2 棟は、外装材は津波および漂流物により損傷しているが、構造体は健全な状態であった（写真 6.3.11-21、22：⑮）。外壁面に残った浸水痕はともに 3～3.5m 程度であった。2 棟のうち 1 棟は 1 階建の低層棟を併設するが、低層棟は津波により柱梁材が大きく変形し、倒壊していた（写真 6.3.11-23、24）。

## 2) RC 造等を中心とした被害

壁式プレキャスト RC 造 2 階建の市営団地 A では、東端の 1 戸が完全に崩壊した（写真 6.3.11-25）ほか、写真 6.3.11-26 のような 2F 妻壁の大きな損傷も確認された。また、建物の一部では、写真 6.3.11-27 のような周辺地盤の洗掘も確認された。屋上に漂流物が残存し、屋上に設置されたアンテナが変形していたことから、浸水深は 5m（建物高さ）以上と推定される。なお、平面は最も大きい棟で桁行 30m×梁間 6.5m で、壁厚さは 150mm であった。

壁式プレキャスト RC 造 2 階建（低層棟）6 棟と、耐力壁付ラーメン構造の RC 造 3 階建（中層棟）2 棟で構成される市営団地 B では、低層棟において、周辺地盤の洗掘により建物が大きく傾斜していた（写真 6.3.11-28）ほか、写真 6.3.11-29 のような漂流物の衝突によるとみられる 2 階部分の損傷が確認された。一方、中層棟（写真 6.3.11-30）では構造躯体に大きな損傷は確認できなかった。高さ 5m の低層棟の屋上に漂流物が残存しており、中層棟の妻面（津波の作用面）では屋上パラペットの破損が確認されたことから浸水深は 7.5m（中層棟高さ相当）と推定される。ただし、中層棟の内部では、2 階内装に確認された浸水痕から、浸水深は 4.5m であったとみられる。なお、低層棟は最も大きい棟で桁行 19m×梁間 5.2m で、中層棟は桁行 60m（航空写真による推定）×梁間 6m、1 階柱寸法は 450mm×450mm であった。

写真 6.3.11-31 に示す市営団地 C は、RC 造 3 階建（ラーメン構造と推定されるが柱型確認できず）で、外観からは構造躯体に大きな損傷は見られなかった。北東側の桁行面（津波の作用面）では、窓ガラスの破損状況や設備機器の破損状況から浸水深は 5.5m と推定されたのに対して、南西側の桁行面では外壁に確認できた浸水痕及び住戸間の仕切り壁の破損状況（写真 6.3.11-32）から、浸水深は 4.5m であったとみられる。なお、3 階妻面（東側隅角部の高さ 6.5m）の一部が欠けた痕がみられるが、漂流物が衝突したものと断定するには至らなかった。なお、桁行 75m×梁間 7.5m、高さは 9.5m であった。

写真 6.3.11-33 に示す名取市閑上公民館は、RC 造 2 階建（ラーメン構造）で、1 階は天井仕上げ材まで著しく破損しており（写真 6.3.11-34）、2 階の窓ガラスの被害は外観上認められないことから、浸水深は 2 階の腰壁高さ相当と考えられ、5m と推定される。なお、平面は 48m×12.5m で、高さは 12m であった。

写真 6.3.11-35 に示す鉄骨造 2 階建（ラーメン構造）の店舗では、外壁材が広範囲に流失していた（写真 6.3.11-36）ものの、2 階の天井仕上げ材には外観上損傷は認められず、外壁被害の上端を浸水深とみなせば、浸水深は 5.5m と推定される。なお、平面は 4.5m×6.5m、高さは 6.5m であった。

写真 6.3.11-37 に示す RC 造 3 階建ビルは、本建物に隣接する店舗の激突により、1 階部分の柱が折れていた。1 階内部の被害は甚大で、2 階の外壁の痕跡（写真 6.3.11-38）から、浸水深は 6m と推定される。なお、平面は 15m×12m で、高さは 13m であった。

写真 6.3.11-39 は、1 階 RC 造、2 階木造の店舗で、津波の作用方向に傾斜し、1 階の RC 柱に曲げ破壊が確認された（写真 6.3.11-40）。また、写真 6.3.11-41 は写真 6.3.11-39 と同様の構造形式を有する住宅で、RC 造の人工地盤上にある木造 2 階建てである。建物北面 2、3 階の木造壁が漂流物によっ

て破壊され、柱も折損していた（写真 6.3.11-42）。ただし、反対側の桁行面は外観上被害が軽微であった。多数の漂流物が妻面側に堆積している。木造 1 階部分の窓の下端を浸水深とみなせば、浸水深は約 4m と推定される。なお、平面は 22.5m×5m、高さは約 8m で、人工地盤の高さは約 2.3m であった。

RC 造 1 階建（ラーメン構造）の魚市場では、写真 6.3.11-43 に示すように外壁が面外にはらみ出ししており、地盤の洗掘も見られた（写真 6.3.11-44）。展望台の衝突痕（海側部屋根の衝突と推定される：写真 6.3.11-45）を浸水深とみなせば、約 8.5m と推定される。なお、平面は 75m×6m で、展望台を除いた高さは 4m であった。

写真 6.3.11-46 に示す大学のクラブハウスは、鉄骨造 2 階建（ペントハウスあり）、高さ 10m である。写真 6.3.11-47 に示すように内外装材に著しい被害が確認された。ペントハウス内の天井仕上げ材は外観上無損傷と思われ、ペントハウスの窓ガラスの中央高さを浸水深とみなせば約 12m と推定される。

写真 6.3.11-48 に示す店舗併用住宅は、壁式構造の RC 造 2 階建（一部 CB 造）である。開口部はほぼ全損しており、周辺地盤の洗掘（写真 6.3.11-49）も見られた。津波が作用した側では屋根軒先が損傷しており、漂流物の衝突痕とみなせば浸水深は 5.5m と推定される。一方、反対側の 2 階の居室では蛍光灯が無損傷であることから天井まで津波が達していないと思われ、2 階窓の中間高さを浸水深とみなせば浸水深は 4.4m と推定される。なお、平面は 8m×13m であった。

RC 造（ラーメン構造）の閑上中学校校舎では、1 階のエキスパンションジョイントに接する壁、外階段の壁にひび割れが確認された（写真 6.3.11-50）。窓ガラスの破損はほとんどなく、1 階の窓ガラスの痕跡（写真 6.3.11-51）から、浸水深は 1.9m と推定される。



図 6.3.11-1 関上地区の航空写真（3/13 時点）と各調査建築物の位置



写真 6. 3. 11-1 基礎ごと流された木造 (①)



写真 6. 3. 11-2 写真 6. 3. 11-2 の当初位置に残る杭



写真 6. 3. 11-3 大きく損壊した寺社建築 (②)



写真 6. 3. 11-4 大きく損傷したものの残存した鉄骨造住宅 (③)



写真 6. 3. 11-5 津波作用方向から見て残存建物の反対側で流失を免れた木造店舗併用住宅 (④)



写真 6. 3. 11-6 関上 5 丁目付近の保安林 (⑤)



写真 6.3.11-7 なぎ倒された保安林と流失家屋の基礎、土台および1階床 (⑥)



写真 6.3.11-8 残存する保安林と木造家屋 (⑦)



写真 6.3.11-9 ⑤の位置から見た東対岸の状況



写真 6.3.11-10 残存した木造家屋 (⑧)



写真 6.3.11-11 単独で残存する木造軸組構法住宅 (⑨)



写真 6.3.11-12 写真 6.3.11-11 の南側外観



写真 6.3.11-13 単独で残存する枠組壁工法 (⑩) 住宅



写真 6. 3. 11-14 写真 6. 3. 11-13 の北側外観



写真 6. 3. 11-15 写真 6. 3. 11-11 の津波作用方向から見て反対方向(西)に位置する残存建物 (㉑)



写真 6. 3. 11-16 津波作用方向から見た工場建築物の反対側で流失を免れた木造家屋 (㉒)



写真 6. 3. 11-17 津波作用方向から見た RC 造集合住宅の反対側で流失を免れた木造家屋群 (㉓)



写真 6. 3. 11-18 単独で残る木造家屋 (㉔)



写真 6. 3. 11-19 単独で残る木造家屋



写真 6. 3. 11-20 単独で残る木造家屋



写真 6. 3. 11-21 外装材は損傷しているが構造体は健全な鉄骨造(1)



写真 6.3.11-22 外装材は損傷しているが  
構造体は健全な鉄骨造(2) (15)



写真 6.3.11-23 写真 6.3.11-22 柱材が大きく変形  
した低層棟部分



写真 6.3.11-24 写真 6.3.11-23 の露出柱脚



写真 6.3.11-25 建物東端 1戸分の崩壊 (16)



写真 6.3.11-26 2階妻壁の損傷



写真 6.3.11-27 周辺地盤の洗掘



写真 6.3.11-28 周辺地盤の洗掘による建物傾斜  
(17)



写真 6. 3. 11-29 漂流物の衝突による  
2階部分の損傷



写真 6. 3. 11-30 建物外観



写真 6. 3. 11-31 建物外観 (18)



写真 6. 3. 11-32 住戸間の仕切りの破損状況  
(2階)



写真 6. 3. 11-33 建物外観



写真 6. 3. 11-34 1F 天井仕上げ材の破損



写真 6. 3. 11-35 建物外観



写真 6. 3. 11-36 外装材の流失



写真 6. 3. 11-37 建物外観



写真 6. 3. 11-38 2F の浸水痕



写真 6. 3. 11-39 建物外観



写真 6. 3. 11-40 1F 柱頭の損傷



写真 6. 3. 11-41 建物外観



写真 6. 3. 11-42 壁及び柱の破損



写真 6. 3. 11-43 外壁の面外へのはらみ出し



写真 6. 3. 11-44 周辺地盤の洗掘



写真 6. 3. 11-45 展望台の衝突痕



写真 6. 3. 11-46 建物外観



写真 6. 3. 11-47 内外装の破損



写真 6. 3. 11-48 建物外観



写真 6. 3. 11-49 周辺地盤の洗掘



写真 6.3.11-50 壁のひび割れ

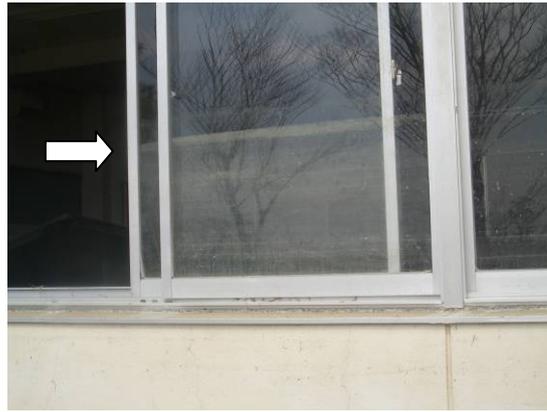


写真 6.3.11-51 1F 窓ガラスの浸水痕

## (2) 名取市下増田地区の被害状況

仙台空港の東側（海岸側）に位置する名取市下増田字屋敷の概要調査を行った。図 6. 3. 11-2 に残存する建物の概要を示す。



図 6. 3. 11-2 名取市下増田字屋敷の調査建物の概要

### 1) 木造を中心とした被害

東側にある松林と、西側の貞山堀に挟まれた地区で、多くの建物が流失していたが、残存した松林の東側の一帯には、住宅が十数軒残存していた。津波の高さは高台に残存した RC 造住宅の外壁の津波の痕跡から 3m 弱と推定される。写真 6. 3. 11-52 (①) は残存した木造の中では最も海岸側に位置する建物で、筋かいを主な耐震要素とする軸組構法の比較的築年数の浅い建物であった。津波の被害を受けて残存した木造によく見られる特徴であるが、海岸側に開口がある場合に、1F の柱と壁が津波によって崩壊していた (写真 6. 3. 11-53)。近隣の木造 2 棟は流失して基礎のみが残されていた (写真 6. 3. 11-54 : ②)。基礎の外観・仕様、アンカーの状況などから築年の古い木造住宅であったことが予測される。写真 6. 3. 11-55 (③) は筋かいを主な耐震要素とする軸組構法の比較的築年数の浅い建物で、海岸側の 1F はほぼ全壊状態であった。写真 6. 3. 11-56～6. 3. 11-60 (④、⑤、⑥) は带状に連なって残存した住宅で、築年はどれも比較的新しいと推測される。写真 6. 3. 11-60 (⑥) の平屋 2 棟は築年の古い建物と推測される。写真 6. 3. 11-61、62 (⑦、⑧) はいずれも孤立して残存した軸組構法の木造住宅であるが、海岸側はどちらも津波により崩壊していた。

### 2) RC 造等を中心とした被害

写真 6. 3. 11-63 (⑨) は、海岸から約 250m に位置する RC 造（ラーメン構造）2 階建住宅で、周辺地盤から 2m 高い位置に立地しており、津波による構造的な損傷は確認できなかった。外壁と窓ガラスの室内側とで浸水痕の高さが異なり (写真 6. 3. 11-64)、外壁は地面から 95cm、窓ガラスの室内側は地面から 170cm の位置であった。なお、平面は桁行 11m × 梁間 8.5m、2 階軒下までの高さは 6m で、1 階柱寸法は 450mm × 450mm であった。



写真 6. 3. 11-52 残存した木造住宅 (①)



写真 6. 3. 11-53 海岸側



写真 6. 3. 11-54 残存した木造住宅 (②)



写真 6. 3. 11-55 残存した木造住宅 (③)



写真 6. 3. 11-56 残存した木造と鉄骨造住宅  
(④)



写真 6. 3. 11-57 残存した木造住宅



写真 6. 3. 11-58 残存した木造と鉄骨造住宅



写真 6. 3. 11-59 残存した木造住宅 (⑤)



写真 6. 3. 11-60 残存した木造2棟 (⑥)



写真 6. 3. 11-61 残存した木造住宅 (⑦)



写真 6. 3. 11-62 残存した木造住宅 (⑧)



写真 6. 3. 11-63 建物外観 (⑨)



写真 6. 3. 11-64 1階の浸水痕

### 6.3.12 宮城県岩沼市

#### 1) 木造を中心とした被害

宮城県岩沼市南東部の押分字須加原と寺島周辺における木造建築物等の津波被災調査を行った。太平洋沿岸より約 1km 内陸側付近にまでも津波は到達し、周辺地域のインフラ及び建築物等に甚大な被害をもたらしていた。県道岩沼海浜緑地線付近では、写真 6.3.12-1 のように、当初建っていた敷地から住宅の上部構造が大きく移動したり、写真 6.3.12-2 のように転倒した住宅が数多く確認できた。写真 6.3.12-3 や写真 6.3.12-4 のような建物の敷地から移動していない木造住宅も数棟あったが、津波方向の壁面及びその壁面側の躯体は大きくえぐられ、被災前の健全な状態をとどめていない住宅が殆どであった。

字須加原から寺島地区の道路沿線でも、電柱や塀の殆どは写真 6.3.12-5 のように倒壊して散乱し、写真 6.3.12-6 や写真 6.3.12-7 に示すような住宅の全壊または壊滅及び躯体の大半が損失した住宅等がその地域の被災状況の大半を占め、震災前の状態をとどめていなかった。また、壁を失い、なんとか倒壊を逃れていた寺院等も確認できた（写真 6.3.12-8）。

寺島南部の沿岸地区の住宅地では、建物の大半は津波により壊滅し、写真 6.3.12-9 のように土台や基礎などの下部構造のみが残され、上部構造は完全に失われていた。しかし、この被災状況においても写真 6.3.12-10 のように上部構造を敷地に現存させ、倒壊もしていない木造住宅も幾つか散見できた。

今回の調査を通して、押分地区、寺島地区の木造住宅の建築年は新旧共に混在していたことが確認できたが、どちらかといえば、築年数が浅く、浸水深度以下の階の存在壁量及び保有しているせん断力係数が大きく、接合部仕様のしっかりした住宅等が多く残存しているようであった。加えて、津波の方向と建物の配置、周辺環境、宅地状況、周辺建物と対称建物の配置状態等は建物の残存に大きく左右しているようであった。

岩沼市寺島の南浜中央病院の西側に神社の社の屋根（写真 6.3.12-11）が流れ着いていたが、神明神社の社であることが分かった。北部の元にあった位置から約 1km 程度南南西に移動していた。

#### 2) RC を中心とした被害

海岸から約 200m に立地する岩沼市名亙浄化センター（写真 6.3.12-12）について、津波が作用した方向とみられる東面では、写真 6.3.12-13 に示すような屋根及び 2 階窓ガラスの損傷が見られたことから、浸水深は 9.5m と推定される。一方、西面では 2 階窓ガラスの損傷は確認できず、浸水深は外壁の浸水痕から 4m と推定される。



写真 6. 3. 12-1 住宅の移動及び転倒 (押分)



写真 6. 3. 12-2 転倒した住宅 (押分)



写真 6. 3. 12-3 隅角部や壁面側躯体を失った住宅 (押分)



写真 6. 3. 12-4 隅角部や壁面側躯体を失った住宅 (押分)



写真 6. 3. 12-5 電柱や塀の倒壊と沿線周辺 (押分、寺島地区)



写真 6. 3. 12-6 1階部分を失った住宅等 (押分、寺島地区)



写真 6. 3. 12-7 1階の大半の躯体を失った住宅 (寺島地区)



写真 6. 3. 12-8 寺院の被害例 (寺島地区)



写真 6.3.12-9 基礎と土台のみが残った住宅地  
(寺島地区南部)



写真 6.3.12-10 敷地に残存していた住宅  
(寺島地区南部)



写真 6.3.12-11 流れ着いた社の屋根



写真 6.3.12-12 建物外観



写真 6.3.12-13 屋根及び窓ガラスの損傷

### 6.3.13 宮城県亶理町

#### 1) 木造を中心とした被害

図 6.3.13-1 に残存する建物の概要を示す。亶理町荒浜地区は、海岸に隣接した地域である。特に海岸側は東側の太平洋と西側の荒浜港に挟まれている地区であり、木造建物の多くが津波により流失し、基礎だけが残っているものが数多く見受けられた（写真 6.3.13-1）。浸水深は、海岸付近から荒浜中学校までは、内外装材等についての浸水痕から約 3m 程度と考えられる（写真 6.3.13-2）。建物被害について、残存している建物の多くでは、押し波の方角（東→西）の躯体の一部や外装材が損傷、流失していた（写真 6.3.13-3）。

甚大な被害が発生している海岸側で残存していた木造建物が数棟あった。一つは L 字型の平面を持つ木造建物で、押し波の方角に対して長辺方向の建物部分は流失したが、短辺方向の建物部分は、外装材は流失したものの残存していた（写真 6.3.13-4）。内部を確認したところ、1 階部分をガレージとしていたと考えられる。また接合部金物が確認できたが、2000 年以降の建築と考えられる（写真 6.3.13-5）。残存する木造建物の南に 100m 程に位置する 1 階 RC（ピロティー形式）2 階木造の混構造建物も残存していた（写真 6.3.13-6）。

桁行方向面格子壁、梁間方向を集成材ラーメンとする平屋建のデイサービスセンター（写真 6.3.13-7～9）は、建物としては残存するものの、室内には漂流物や部材が充満していた（写真 6.3.13-10）。荒浜中学校の近くには、制振壁を使用したスキップフロアタイプの 3 階建て木造住宅が残存しているのも確認された（写真 6.3.13-11, 12）。

入江の東側の海岸に近い住宅地では、ほとんどの住宅が流失していたが、入江の北側の荒浜港の西側一帯では、多くの住宅が残存していた（写真 6.3.13-13）。入江の西側の 1 階 RC 造、2, 3 階木造の混構造住宅の浸水深が約 4m（本項2）参照）、入江の北側の RC 造建物の浸水深が約 6m（本項2）参照）であった。

入り江の西側では、残存する軽量鉄骨造の柱と思われる残骸が南西方向に傾倒していた（写真 6.3.13-14）ので、北東方向からの波が主たる外力と考えられた。その上で、上流にほぼ障害物が無く津波が押し寄せたと思われるが、残存している木造家屋が複数あった。一つは比較的新しい住宅（写真 6.3.13-15）で、漂流物等の衝撃も多かったと想像されるが、内外装の損傷も一定の範囲（写真 6.3.13-16）に収まり、応急危険度判定結果も“要注意”であった。もう一つは比較的新しく、2 隻の船舶が衝突しているにもかかわらず、残存していた（写真 6.3.13-17）。この住宅の筋かい端部には箱形金物が設置されており、また南側の開口も大きく、海水の流れ道（逃げ道）が明確であったため建物にはさほど水平力が作用しなかった（写真 6.3.13-18）ことも考えられる。一方、浸水深が 330 cm 程度あり、比較的古い住宅であるにもかかわらず残存している例（写真 6.3.13-19）があった。この住宅は筋かいが設置されているものの、著しい腐朽が見られた（写真 6.3.13-20）。柱脚の接合部は、かすがい 2 本留めであった（写真 6.3.13-21）。前述の混構造住宅の北隣では家屋が基礎を残して流失している（写真 6.3.13-22）が、下流方向では店舗併用住宅（写真 6.3.13-23）のみならず、比較的構造仕様が劣るのではないかと推測される住宅（写真 6.3.13-24）も残存していたが、その北側では家屋が流失（写真 6.3.13-25）していた。なお、この敷地での金属製の柵の支柱が西へ倒れていることから、この位置での主たる水圧は東から作用したと推測される。一方、船舶は海岸沿いからを超えて押し流されており（写真 6.3.13-26）、衝突された家屋は損傷したものの、残存していた。なお、その南側では公営住宅と見られる長屋（写真 6.3.13-27）が残っており、その西側の浸水深は約 300cm 程度であった。その南側の鉄骨造建築物は損傷しているものの、残存していた（写真 6.3.13-28）。

写真 6. 3. 13-29 は最も海岸側に孤立して残存する木造軸組構法住宅で、津波を受けた部分の 1、2F が大きく損傷していた。写真 6. 3. 13-30 は孤立して残存するハウスメーカー製の木造軸組構法住宅で、下屋の部分が損傷していた。写真 6. 3. 13-31 は田圃の中に孤立して残存するハウスメーカー製の軽量鉄骨造住宅である。写真 6. 3. 13-32 は残存する鉄骨造の店舗で、1F の壁が流失していたが構造躯体は残存していた。近辺の住宅地の中では比較的大規模な建物である。写真 6. 3. 13-33 は集団で残存する木造住宅の軽量鉄骨造住宅で、木造は下屋の部分が全壊状態であった。写真 6. 3. 13-34 は木造軸組構法の住宅で、1F の南東の壁面が全壊状態であった。写真 6. 3. 13-35 は住宅の密集する路地であったが、近辺の木造住宅が全て流失していた。写真 6. 3. 13-36 は築年が新しいと推測される 2F 建の軸組構法木造住宅であるが、土台から上の部分が全て流失していた。

## 2) RC 造等を中心とした被害

写真 6. 3. 13-31 は荒浜漁港に面して立地する 3 階建住宅で、1 階は RC 造、2 階及び 3 階は木造である。海に面した妻面に、写真 6. 3. 13-32 に示すような大きな開口（1 階：幅 4.1m×高さ 2.2m、2 階：幅 5.3m×高さ 2.15m）を有している。2 階の窓ガラス及び室内に浸水痕（写真 6. 3. 13-33）が確認でき、浸水深は 4m と推定される。陸側の妻面の開口部（玄関ドア等）には損傷は見られず、住民の話では 2 階の海側の開口部から浸入した海水はテーブル等の家具とともに海側に押し戻されたとのことである。2 階外壁に漂流物（住民の話では船）が衝突したことによる破損（写真 6. 3. 13-34）が数か所存在したが、構造的な大きな損傷は見られなかった。平面は桁行 13m×梁間 10m、高さは 3 階軒下で 8m、1 階壁厚さは 250mm で、住民の話によると基礎は杭基礎とのことである。

宮城県漁業協同組合亘理支所（写真 6. 3. 13-35）は、荒浜漁港の北側に位置する鉄骨造 2 階建で、金属製の外装材は 1 階部分が津波によって流失したとみられ、2 階部分も窓枠の下まで損傷を受けている（写真 6. 3. 13-36）ことから、浸水深は 6m と推定される。当該建物近くのポールが北西方向に折損していたことから、津波の作用方向は南東であったと考えられる。なお、柱は角型鋼管 300mm×300mm、梁は H 型鋼 300mm×600mm であった。

亘理町立荒浜中学校（写真 6. 3. 13-37）は RC 造フレーム 3 階建（一部 2 階建）の校舎で、構造的な損傷は確認されなかった。窓ガラス破損状況や漂流物の残存状況から、浸水深は北側の桁行面で 3m、南側の桁行面で 4m であったと推定される。周辺の電柱の転倒方向から、津波の作用方向はほぼ真東であったと考えられる。また、校舎内部からの堆積物等の流失によると思われる開口部のアルミフレームの面外変形もみられた（写真 6. 3. 13-38）。なお、桁行 60m×梁間 17.5m、高さ 13m（3 階部分）で、1 階柱寸法は 600mm×600mm であった。



図 6.3.13-1 亘理町荒浜地区の調査建物位置



写真6.3.13-1 巨理町荒浜地区の状況



写真6.3.13-2 建物外装材に残る浸水痕



写真6.3.13-3 躯体及び外装材の流失した木造住宅 (①)



写真6.3.13-4 残存する木造住宅木造住宅



写真 6.3.13-5 写真 6.3.13-4 の接合部金物



写真 6.3.13-6 残存する立面混構造建物 (②)



写真 6.3.13-7 海岸近くのデイサービスセンター (③)



写真 6.3.13-8 写真 6.3.13-7 の桁行方向 (面格子壁)



写真 6. 3. 13-9 写真 6. 3. 13-7 の梁間方向  
(集成材フレーム構造)



写真 6. 3. 13-10 写真 6. 3. 13-7 の建物内部



写真 6. 3. 13-11 残存する 3 階建木造住宅 (④)



写真 6. 3. 13-12 写真 6. 3. 13-11 の室内の状況



写真 6. 3. 13-13 比較的新しい残存木造 (⑤)



写真 6. 3. 13-14 2 隻の船舶が衝突した木造 (⑥)



写真 6. 3. 13-13 残存した比較的古い木造 (㉗)



写真 6. 3. 13-14 写真 6. 3. 13-13 の筋かいの  
生物劣化



写真 6. 3. 13-15 写真 6. 3. 13-14 の接合部仕様



写真 6. 3. 13-16 混構造の北隣りの家屋流失 (㉘)



写真 6. 3. 13-17 津波作用方向から見た混構造  
の反対側で残った店舗併用住宅 (㉙)



写真 6. 3. 13-18 津波作用方向から見た混構造  
の反対側で残った構造仕様が劣る住宅 (㉚)



写真 6. 3. 13-19 写真 6. 3. 13-18 の北側で流失した  
家屋 (㉛)



写真 6. 3. 13-20 海岸から 2 本目の通りまで  
流れた船舶 (㉜)



写真 6. 3. 13-21 残存した長屋 (13)



写真 6. 3. 13-22 残存した鉄骨造建築物 (14)



写真 6. 3. 13-23 残存する木造住宅 (15)



写真 6. 3. 13-24 残存する木造住宅 (16)



写真 6. 3. 13-25 残存する軽量鉄骨造住宅 (17)



写真 6. 3. 13-26 残存する鉄骨造店舗 (18)



写真 6. 3. 13-27 残存する木造と鉄骨造住宅 (19)



写真 6. 3. 13-28 残存する木造住宅 (20)



写真6.3.13-29 流失した木造住宅群 (㉑)



写真6.3.13-30 流失した木造住宅群 (㉒)



写真 6.3.13-31 建物外観 (㉓)



写真 6.3.13-32 海側の開口部



写真 6.3.13-33 2階窓ガラスの浸水痕



写真 6.3.13-34 2階外壁の衝突痕



写真 6.3.13-35 建物外観 (㉔)



写真 6.3.13-36 2階外壁の破損状況



写真 6. 3. 13-37 荒浜中学校建物外観 (㊸)



写真 6. 3. 13-3 玄関開口部のアルミフレームの面外変形

### 6.3.14 宮城県山元町

#### 1) 木造を中心とした被害

山元町の山下駅の東側の海岸沿いに位置する高瀬地区(図 6.3.13-1)において、被害調査を行った。この地区は、百棟余りの住宅が存在していたが、津波により数棟を残して流失していた(図 3.2 の航空写真参照)。東側の海岸沿いに松林があり、西側の国道を挟んで田園となっている。山下駅前の RC 造建物の浸水深は 2.3m、山下二小と、調査地域の RC 造建物の浸水深は 4m(本項 2) 参照)であった。

最も海岸線に近い道路に立つ建物は全て流失しており、写真 6.3.14-1 の RC 造が、残存する最も海岸線沿いの建物であった(詳細は 2) 参照)。写真 6.3.14-2 は最も海岸線沿いで残存する木造住宅で、筋かいを主な耐震要素とする築年が新しいと推測される軸組構法で、柱脚等の金物は耐震性に配慮された施工であった。これまでの被害パターンと同様、海岸側が大きな損傷を受けていた。写真 6.3.14-3 は 1F が津波により激しく損壊した軸組構法住宅で、この建物も金物等は耐震性に配慮されたものであった。写真 6.3.14-4 は下見板張りの軸組構法木造住宅で、1F 部分が崩壊し、2F 部のみ残存していた。写真 6.3.14-5、写真 6.3.14-6 の木造軸組構法は、どちらも海岸側の下屋部分が損壊していた。写真 6.3.14-7 は写真 6.3.14-1 の RC 造よりも海岸側に存在し、基礎と土台を残して流失した軸組構法木造住宅であるが、杭による地盤改良がされており、ホールダウン金物の跡が確認され、耐震性に十分配慮された建物と予測される。

#### 2) RC 造等を中心とした被害

写真 6.3.14-8 は高瀬地区の海岸近くに残存する 2 階建の壁式 RC 造住宅である。1 階の陸屋根上に漂流物が残存しており、2 階室内にも浸水によるとみられる汚損が確認できたことから、浸水深は 4m と推定される。写真 6.3.14-9 のような周辺地盤の洗掘も確認された。

高瀬地区の北側に建つ山下第二小学校校舎(写真 6.3.14-10) は、1987 年に建設された RC 造ラーメン構造 2 階建で、構造的な損傷は確認されなかった。1 階室内に浸水痕が確認でき(写真 6.3.14-11)、周辺地盤を基準とした浸水深は 4m であったと推定される。桁行 95m×梁間 35m(航空写真で確認)である。

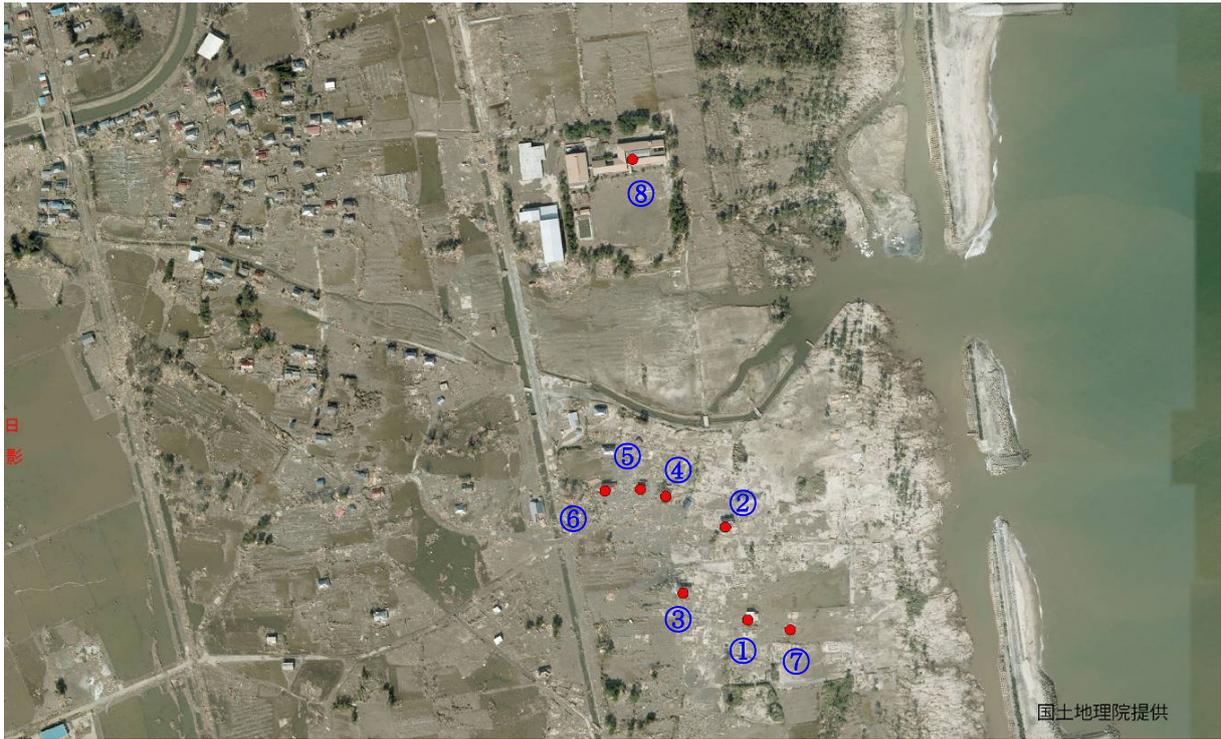


図 6.3.14-1 山元町高瀬地区の調査建物位置



写真 6.3.14-1 残存する RC 造建物 (①)



写真 6.3.14-2 残存する木造住宅 (②)



写真 6.3.14-3 残存する木造住宅 (③)



写真 6.3.14-4 残存する木造住宅 (④)



写真 6. 3. 14-5 残存する木造住宅 (⑤)



写真 6. 3. 14-6 残存する木造住宅 (⑥)



写真 6. 3. 14-7 流失した木造住宅の  
地盤改良の痕跡 (⑦)



写真 6. 3. 14-8 建物外観 (①)



写真 6. 3. 14-9 周辺地盤の洗掘



写真 6. 3. 14-10 校舎建物外観 (⑧)



写真 6. 3. 14-11 室内の浸水痕

## 6.4 被害形態の分類と考察

### 6.4.1 RC 造建築物

津波による RC 造建築物の被害の形態は、下記のように分類される。

#### (1) 1階の崩壊

建築物の1階の柱が柱頭・柱脚で曲げ破壊し、層崩壊した事例が2階建ての建築物に見られた(写真 6.4.1-1)。これらの建築物は柱梁フレーム構造であるが、1階は比較的壁が少なく、2階はコンクリートブロックの壁が多く設けられている。1階が商店、2階が住居として使用されていたものと推測され、構造的には1階の強度や剛性が低いという特徴を有すると思われる。これらの建築物では、2階の開口が大きいため、2階部分で大きな津波波圧を受け、1階に作用するせん断力が1階の保有水平耐力を上回り倒壊したものと考えられる。

なお、これまでの調査では、3階建て以上の建築物では1階の層崩壊は確認されていない(写真 6.4.1-2)。一般的には3階建ての建築物では1階に RC 造の壁が用いられていることが多く、1階の耐力が大きかったものと考えられ、3階建て以上の1階が柱のみの建築物においては層崩壊の可能性が無いとは言い切れないと思われる。



写真 6.4.1-1 2階建て建築物の層崩壊



写真 6.4.1-2 残存する3階建て建築物

#### (2) 転倒

建築物の転倒の被害が、4階建てまでの建築物において見られた。転倒した建築物においては、何れも最大浸水深が建築物の高さを上回っている。転倒は横倒しのもの(写真 6.4.1-3)に加えて、完全に上下が逆になった建築物(写真 6.4.1-4)も見られた。転倒した建築物は直接基礎のものが多いが、中には杭基礎のもので杭が引き抜かれているものも見られた(写真 6.4.1-5)。また、転倒した建築物は比較的開口が少ないものも多く、同程度の規模の建築物でも開口が大きい場合には転倒が生じていないことから、外壁の開口の大きさが転倒に大きく影響したものと考えられる。なお、最大浸水深が建築物の高さよりも高い2階建て建築物の内部において、2階の開口上端の高さまで津波の水の汚れの痕跡(写真 6.4.1-6)があり、それより上の天井までの部分は空気が溜まっていた事例があった。従って、各階の開口の上端から天井までの長さが長い建築物ほど大きな浮力が働き、転倒が生じやすくなると思われる。転倒は、建築物の自重(必要に応じて浮力の影響も考慮)による転倒耐力よりも津波の波圧による転倒モーメントの方が大きい場合に生じると考えられるが、浮力が自重よりも大きくなるような場合には、わずかな水平力でも転倒の可能性はある。



写真 6.4.1-3 3階建て建築物の転倒



写真 6.4.1-4 上下逆さまになった2階建て建築物



写真 6.4.1-5 4階建て杭基礎建築物の転倒



写真 6.4.1-6 建物内部の水の汚れの痕跡

### (3) 移動・流失

転倒した建築物ではほとんどの建築物で原位置からの移動を伴っており、大きな浮力が働いていたと推定される。実際に、移動して転倒した建築物では、地面などに引きずった跡が無く、2m程度のコンクリートブロック塀を壊さずに乗り越えたと思われる事例(写真 6.4.1-7)もあることから、浮力により浮き上がったものもあると思われる。一方で、複数の2階建て集合住宅が転倒した調査地域(写真 6.4.1-8)では、同じ形状の一部の建築物は流失してしまい移動先が分からなくなった事例があった。この場合は、浮力に加えて非常に大きな水平力が作用したと思われる。



写真 6.4.1-7 塀を乗り越えた2階建て建築物



写真 6.4.1-8 集合住宅の転倒(CB造)

### (4) 洗掘による傾斜

津波が作用した際に、建築物の隅角部に強い水流が作用し、洗掘による大きな穴がかけられた跡が

多く見られた(写真 6.4.1-9)。その中の一部の直接基礎の建築物では、洗掘による穴に建築物が倒れ込み大きく傾斜したのが見られた(写真 6.4.1-10)。



写真 6.4.1-9 洗掘による基礎露出



写真 6.4.1-10 洗掘による2階建て建築物の傾斜

#### (5) 壁の破壊 (開口部の破壊)

建築物の津波の作用面の開口よりも、反対側の水流が抜ける側の開口が小さい場合、小さい開口に水流が一気に集中し、その周辺の RC 造非構造壁に大きな圧力を作用させ、コンクリートにひび割れが生じて壁が外側に大きくはらみ、壁端部のシングル配筋の壁筋が破断する事例が見られた(写真 6.4.1-11)。このような壁筋が破断する被害は、ダブル配筋された耐震壁には見られていないが、2階の床が無く支持スパンが 10m を超える厚さ 300mm の耐震壁が外側からの津波波圧により内側に大きく湾曲している事例があった(写真 6.4.1-12 左側)。ただし、同一の建築物でも 2階に床があり支持スパンが大きくない部分では、耐震壁が湾曲する被害は見られなかった(写真 6.4.1-12 右側)。

建築物に作用する津波波力は、津波の作用面となる建築物の面の開口が大きい程低減されると考えられるが、作用面だけでなく水流の出口となる側の開口の大きさも影響を及ぼすと思われる。出口側の開口が小さい場合には、壁を破壊させるほどの水圧が壁に作用することから、開口から入った水をスムーズに流失させるために必要な開口の大きさにも配慮が必要である。



写真 6.4.1-11 非構造壁の面外破壊



写真 6.4.1-12 床を持たない連層壁の面外破壊

#### (6) 漂流物の衝突

漂流物の衝突による被害は窓ガラスや天井材など非構造部材の脱落を引き起こしたものがほとんどだった。躯体に対する明確な被害は多くは見られなかったが、集合住宅の連層壁において衝突により生じたと思われる開口や脱落が見られた(写真 6.4.1-14)



写真 6. 4. 1-13 衝突による非構造部材の損傷



写真 6. 4. 1-14 漂流物の衝突による壁脱落

#### 6.4.2 S造建築物

津波によるS造建築物の被害の形態は、下記のように分類される。1)～5)は人命を失う可能性が大きい被害であるが、6)～8)は津波の浸水深よりも高さのある建築物の場合には上層階に避難することで人命をかくらうじて保護する可能性のある例である。1)と2)は建築物の行方が不明となるほど大きな移動を伴う被害であり、3)以降は基礎又はその周辺に留まる被害である。

##### (1) 露出型柱脚の破壊による移動・流失

典型的な被害例としてまず挙げられるのは、S造の露出型柱脚部においてアンカーボルト、ベースプレート、柱とベースプレートと溶接部の破断により、建築物が移動・流失する被害である(写真6.4.2-1)。敷地には基礎と柱脚部の一部が残されているが、建築物自体は敷地外へ移動して行方が分からないような状態のものが多い(写真6.4.2-2)。



写真 6.4.2-1 柱脚部の破断 (陸前高田市)



写真 6.4.2-2 柱脚部アンカーボルトの破断により移動したと考えられる建築物 (釜石市)

##### (2) 柱頭接合部の破壊による移動・流失

比較的多くの事例が見られた被害例として、1階(又は2階)の柱頭接合部での破壊により建築物が移動・流失したものが挙げられる。根巻き式や埋め込み式柱脚などで柱脚部の耐力が大きい場合にこのタイプの破壊になると考えられる。敷地には基礎と1階(又は2階まで)の複数の柱が残されており、建築物の行方を示すかのように同じ方向へとなびいている。下フランジが取り付けダイアフラムと1階柱との溶接部で破壊することで柱の断面が露わになっていたものが多いが、2階床レベルの梁であるH形鋼のフランジが引き裂かれていたもの等もあった。2階(又は3階)床以上の部分が移動・流失した後に、津波の流れの勢いで1階柱が傾いたことも考えられるが、1階柱の柱脚付近の変形状態等からすると、残された柱の傾きと同程度まで1階が大きく傾いた後に、1階柱に引張力が作用するようになって、1階柱頭接合部で破壊が生じたと考えられる被害例もある。



写真 6. 4. 2-3 根巻柱脚の1階柱の残存 (陸前高田市)



写真 6. 4. 2-4 1階柱の残存 (陸前高田市)



写真 6. 4. 2-5 引き裂かれた梁フランジ (陸前高田市)



写真 6. 4. 2-6 1階柱の残存 (大槌町)



写真 6. 4. 2-7 1階及び2階柱の残存 (女川町)

### (3) 転倒

転倒した被害例には、(a)基礎が一体のまま生じた建築物全体の転倒と、(b)1階の部分的な崩壊を伴う転倒があった。

(a)は一例のみであったが、女川町で被害例が見られた。外装材のALC版はほとんどが残されている。上階の床スラブと開口部の上端との距離は80cm程度であった。建築物全体が津波に飲み込まれて浸水した状態を想定し、床スラブの下の空間に空気が溜まっていたとすれば、平米当たり0.8tf程度のS造では浮力によって上部構造の重量がほぼキャンセルされることになるため、基礎の重量と杭の抵抗は残るものの、転倒しやすい状態になっていたものと想像される。

(b)としては、1階柱脚部の引き抜け及び1階柱の座屈によって大きく傾斜し転倒したと考えられる被害例が見られた。



写真 6. 4. 2-8 3 階建て S 造の転倒（女川町） 写真 6. 4. 2-9 3 階建て S 造の 1 階の崩壊（大槌町）

#### （4）崩壊

構造躯体が崩壊した被害例としては、(a)1 階の層崩壊、(b)部分的な崩壊、があった。

(a)は 2 階建て S 造の 1 階部分が層崩壊したと考えられるものが見られた。

(b)は沿岸にある倉庫で、部分的に崩壊しているものがあった。



写真 6. 4. 2-10 2 階建て S 造の 1 階の崩壊（大船渡市） 写真 6. 4. 2-11 部分的な崩壊（釜石市）

#### （5）大きな残留変形

構造躯体のみが残存する S 造では若干の傾斜が確認されるものも多い。特に山形ラーメン架構では大きな残留変形を生じながらも倒壊には至らなかった例が見られた。



写真 6. 4. 2-12 傾斜した重層建築物（女川町）



写真 6. 4. 2-13 傾斜した山形ラーメン架構  
(大船渡～釜石間)



写真 6. 4. 2-14 傾斜した山形ラーメン架構  
(海岸沿い、山田町)

(6) 全面的な内外装材の破壊・流失

ALC 版等の外装材がほぼ全面的に破壊され、流失しているが、構造躯体としての S 造骨組みが残存している例が多く見られた。津波来襲時に早期に外装材が流失することで、構造躯体に作用する外力が小さくなったことが残存の要因としてあげられる。残存している構造躯体には若干の傾斜や津波作用面での部材の変形、漂流物の衝突によると思われる局所的な損傷なども見られた。



写真 6. 4. 2-15 残存する 3 階建て S 造  
(陸前高田市)



写真 6. 4. 2-16 海岸沿いにある建築物 (陸前高田市)



写真 6. 4. 2-17 残存する S 造 (大船渡市) (露出柱脚、1 階途中から日の字断面、2 階床は木製)



写真 6. 4. 2-18 残存する S 造（釜石市）



写真 6. 4. 2-19 残存する S 造（釜石市）  
（ブレース破断）



写真 6. 4. 2-20 残存する S 造（釜石市両石）  
（洗掘を受けて基礎杭まで見える。）



写真 6. 4. 2-21 残存する S 造（山田町船越）  
（洗掘を受けて基礎が見える。）



写真 6. 4. 2-22 残存する S 造（女川町）



写真 6. 4. 2-23 残存する S 造（女川町）

（7）開口部回りの損傷・破壊

建築物の内部に津波が侵入し、作用面側と反対側の開口部や妻面が水流の流出口となったために大きく損傷・破壊したと考えられる被害例があった。



写真 6. 4. 2-24 倉庫（大船渡市）  
（津波の流出口として妻壁及び開口部が外側に変形）

（8）波圧や漂流物の衝突による構造躯体及び非構造部材の局所的な変形  
津波の波圧や漂流物の衝突によると考えられる柱等の構造躯体及び非構造部材の大きな変形が見られた。



写真 6. 4. 2-25 柱の変形（石巻市）  
（コンクリート塊や道路の舗装アスファルト等の漂流物によると考えられる）



写真 6. 4. 2-26 柱脚部の移動（石巻市）



写真 6. 4. 2-27 間柱等の非構造部材の変形（釜石市）

#### 6.4.3 木造

被害調査結果から、木造建築物の津波による被害形態は最大浸水深と大きく関係していると考えられる。そこで、調査範囲で確認された最大浸水深と木造建築物との被害形態の関係について以下にまとめる。

最大浸水深が2階軒高さ以上となる場合、平屋もしくは2階建木造建築物で残存している例は少なかった。被害形態としては基礎と土台のみを残し上部構造が流失する、あるいは土台も流失し基礎のみ残る例などが多数確認された（写真 6.4.3-1～6.4.3-2）。さらに、基礎ごと流失した例も確認された。



写真 6.4.3-1 上部構造が流失し土台が残った例



写真 6.4.3-2 上部構造と土台も流失した例

一方、最大浸水深が1階腰壁高さ程度以下の場合、ほとんどの木造建築物が残存していた（写真6.4.3-3）。



写真6.4.3-3 最大浸水深が低いため、残存している事例（仙台市若林区荒浜地区）

最大浸水深が1階腰壁高さから2階軒高さ程度の間では、一部の木造建築物で残存している事例が少数ながら確認された。残存している木造建築物では、以下の(1)～(2)に掲げる特徴が見られた。

(1) 大規模な建築物が残存した場合、その後方に建つ木造建築物では構造仕様に関係なく残存する事例が見られた(写真6.4.3-4)。一方、小規模な建築物が残存した場合、その後方に建つ木造建築物では構造仕様が優れたものが残存する事例が見られた。残存する建築物により、その後方に建つ木造建築物に作用する津波波力が軽減されたためと考えられる。

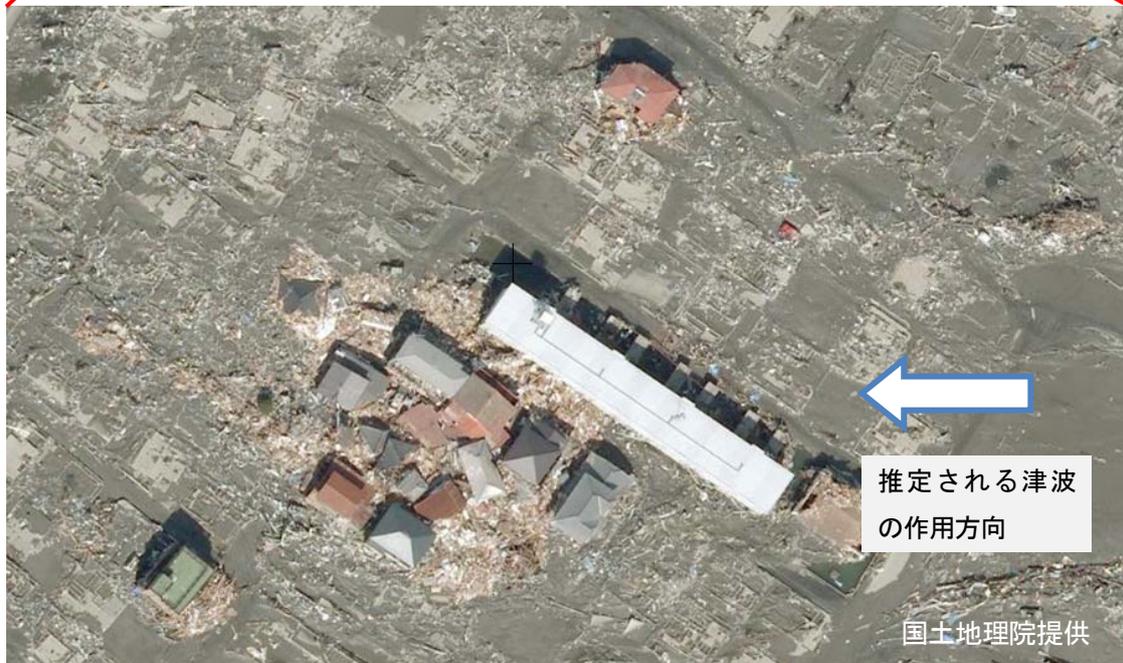


写真 6. 4. 3-4 津波の作用方向の前面に建つ建築物により津波波力が軽減し、残存したと考えられる例(名取市関上地区)

(2) 津波波力を軽減する建築物がない場合でも、残存した木造建築物が複数確認された。残存した木造建築物の特徴を以下にまとめる。

1) 津波の作用方向に対し平面全体を通して開口が多い場合（写真 6. 4. 3-5）、あるいは津波の作用方向に面する建築物の隅部の柱および外壁面を流失しつつも残存する事例（写真 6. 4. 3-6）が複数見られた。

2) 1階をRC造等とした立面混構造建築物では、残存している事例が複数みられた（写真 6. 4. 3-7～6. 4. 3-8）。この場合の1階のRC造は、ラーメン構造によるピロティー形式や津波の作用方向に対し開口を有する壁式構造などが確認された。

その他の例として、鋼管くい上に施工されたべた基礎ごと建設地から移動して残存した木造建築物も見られた（写真 6. 4. 3-9）。



写真 6. 4. 3-5 津波の作用方向に開口が多く残存したと考えられる事例



写真 6. 4. 3-6 建築物隅部を流失しつつも残存した事例(1)



写真 6. 4. 3-6 建築物隅部を流失しつつも残存する事例 (2)



写真 6. 4. 3-7 1階RCピロティー構造の事例



写真 6. 4. 3-8 1階 RC の事例



写真 6. 4. 3-9 べた基礎ごと建設地から移動し残存した例

## 6.5 調査建築物の耐力および津波波力の検討

本節では、平成 17 年に内閣府から出された「津波避難ビル等に係るガイドライン」<sup>6-1)</sup>による津波荷重と、現地調査結果に基づいた概算による建築物の耐力とを比較する。

当該ガイドラインでは設計用浸水深が  $\eta$  の場合、高さが  $3\eta$  の津波波圧<sup>6-1)</sup>（津波による水平方向の圧力）を設定する。一方、現地調査では最大浸水深  $h$  を確認している。

本節の津波波圧<sup>6-1)</sup>の算定では、これらが何れも、津波による波圧が作用する最大の高さを表しているものと考え、

$$3\eta = h$$

すなわち、

$$(3 \text{ 倍の設計用浸水深}) = (\text{最大浸水深})$$

とみなして当該ガイドラインを適用することとしている。

また浮力（津波による鉛直方向上向きの力）については、開口の影響を適宜考慮して算定する。

## 6.5.1 RC造建築物

### 6.5.1.1 1階の破壊に関する検討

#### (1) 無開口の低層鉄筋コンクリート建物における津波荷重の検討

- ・ 陸前高田市 市役所周辺 最大浸水深  $h$  14(m)
- ・ 津波荷重を受けて桁行方向に1階部分が層崩壊している  
2階部分には躯体に損傷が見られず、コンクリートブロック壁が残存している  
津波荷重を大きく受けている梁間構面には開口が見られない
- ・ 2階建て、平面 ( $W \times B$ ) 7.0×5.5 (m)、階高  $H$  3.5(m)、1×1 スパン
- ・ 構造形式 (鉄筋コンクリート柱梁フレーム+コンクリートブロック壁)
- ・ 柱部材幅は 400(mm)、柱主筋 8Φ22 (SR235,  $\sigma_y=295$  (N/mm<sup>2</sup>))
- ・ ピロティ形式の建物崩壊形であるため、2階に作用する波圧を津波荷重とする
- ・ 浮力を受ける垂壁長さは推定 950(cm)として、建物の単位面積重量は 35 (kN/m<sup>2</sup>)とする
- ・ ペントハウスは残存しているが、1面を残して崩壊しているため考慮しない

$$4 \times (2M_u / H) \leq \alpha \times (0.50 \rho g h + 0.75 \rho g h) / 2 \times H \times B$$

$$M_u = 0.8 a_t \sigma_y D + 0.5 N D (1 - (N / b D F_c)) = 150.2 \text{ (kNm)}$$

$$\alpha > 0.207$$

ここで、 $H$ :階高(m)、 $\rho$ :水密度(ton/m<sup>3</sup>)、 $g$ :重力加速度(m/s<sup>2</sup>)、 $B$ :建物幅(m)

$M_u$ :柱曲げ耐力(kNm)、 $a_t$ :引張鉄筋断面(m<sup>2</sup>)、 $D$ :柱幅(m)、 $\alpha$ :静水圧に対する低減係数

$N$ :柱軸力(kN)、 $F_c$ :コンクリート強度(24(N/mm<sup>2</sup>))、 $b$ :柱せい(m)

観測された最大浸水深の静水圧が掛かると仮定して算定した波力に対する  
構造物の耐力は 21 (%)であった

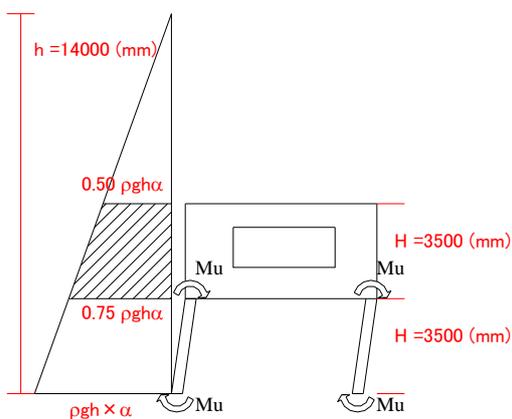


図 6.5.1-1 低層鉄筋コンクリート建物 (陸前高田市)

(2) 開口を有する低層鉄筋コンクリート建物における津波荷重の検討

- ・陸前高田市 市役所周辺 最大浸水深  $h$  14(m)
- ・津波荷重を受けて梁間方向に1階部分が層崩壊している  
2階にも柱かぶり部分の剥落などの損傷が見られたがコンクリートブロック壁は残存している  
(1)の建物と異なり、津波荷重を大きく受けている梁間構面には大きな開口が見られる
- ・2階建て、平面 ( $W \times B$ )  $6.2 \times 11.7$  (m)、階高  $H$  3.2(m)、 $1 \times 3$  スパン
- ・構造形式 (鉄筋コンクリート柱梁フレーム+コンクリートブロック壁)
- ・柱部材幅は 450(mm)、柱引張鉄筋  $4\Phi 19$  (SR235,  $\sigma_y = 295$  (N/mm<sup>2</sup>))
- ・ピロティ形式の建物崩壊形であるため、2階に作用する波圧を津波荷重とする
- ・見付け面における推定開口率は 25%
- ・浮力を受ける垂壁長さは推定 90(cm)として、建物の単位面積重量は 4 (kN/m<sup>2</sup>)とする

$$8 \times (2M_u / H) \leq \alpha \times (0.54 \rho g h + 0.77 \rho g h) / 2 \times H \times B \times 0.75$$

$$M_u = 0.8 a_t \sigma_y D + 0.5 N D (1 - (N / b D F c)) = 128.54 \text{ (kN m)}$$

$$\alpha > 0.255$$

観測された最大浸水深の静水圧が掛かると仮定して算定した波力に対する  
構造物の耐力は 26 (%)であった

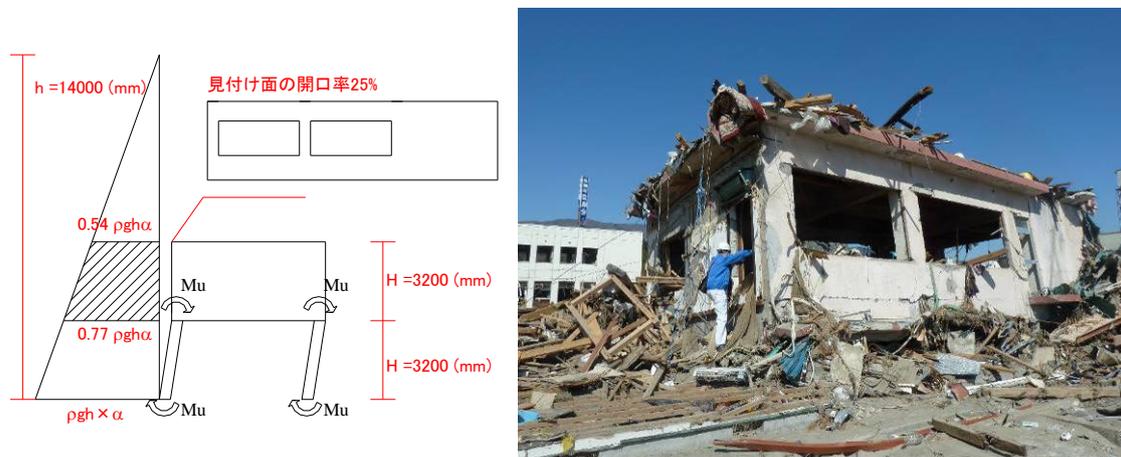


図 6.5.1-2 低層鉄筋コンクリート建物 (陸前高田市)

(3) 開口を有する低層鉄筋コンクリート建物における津波荷重の検討

- ・陸前高田市 市役所周辺 最大浸水深  $h$  14(m)
- ・津波荷重を受けて梁間方向に1階部分が層崩壊している  
2階にも柱かぶり部分の剥落などの損傷が見られたがコンクリートブロック壁は残存している
- ・2階建て、平面 ( $W \times B$ ) 9.0×9.0 (m)、階高  $H$  3.1(m)、1×2 スパン
- ・構造形式 (鉄筋コンクリート柱梁フレーム+コンクリートブロック壁)
- ・柱部材幅は 450(mm)、柱引張鉄筋  $8\Phi 20$  (SR235,  $\sigma_y=295$  (N/mm<sup>2</sup>))
- ・ピロティ形式の建物崩壊形であるため、2階に作用する波圧を津波荷重とする
- ・見付け面における推定開口率は 27%
- ・浮力を受ける垂壁長さは推定 90(cm)として、建物の単位面積重量は 4 (kN/m<sup>2</sup>)とする

$$6 \times (2M_u / H) \leq \alpha \times (0.56\rho gh + 0.78\rho gh) / 2 \times H \times B \times 0.73$$

$$M_u = 0.8a_t \sigma_y D + 0.5ND(1 - (N/bDFc)) = 145.47 \text{ (kN m)}$$

$$\alpha > 0.300$$

観測された最大浸水深の静水圧が掛かると仮定して算定した波力に対する  
構造物の耐力は 30 (%)であった

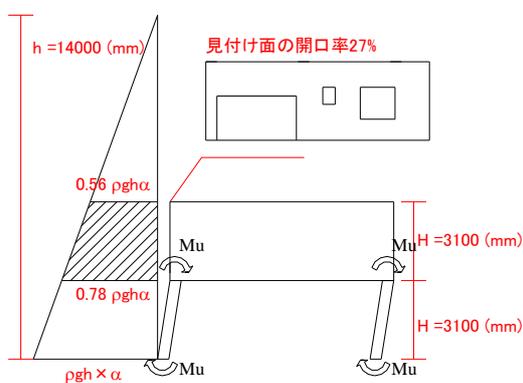


図 6.5.1-3 低層鉄筋コンクリート建物 (陸前高田市)

(4) 残存した低層鉄筋コンクリート建物における津波荷重の検討

- ・陸前高田市 沿岸部 最大浸水深  $h$  14(m)
- ・津波荷重を受け、非構造壁が脱落したものの架構は残存している  
1階にも柱かぶり部分の剥落などの損傷が見られたがコンクリートブロック壁は残存している  
津波を受けた前面には大きな開口が見られ、内部面にはコンクリートブロック壁が存在する
- ・2階建て、平面 (W×B) 9.0×6.0 (m)、階高  $H$  2.7 (m)、2×2 スパン
- ・構造形式 (鉄筋コンクリート柱梁フレーム+コンクリートブロック壁)
- ・柱部材幅は 450(mm)、柱引張鉄筋 (3)D22 (SD295,  $\sigma_y=345$ (N/mm<sup>2</sup>))
- ・ピロティ形式の建物崩壊形を想定し、2階に作用する波圧を津波荷重とする
- ・見付け面における推定開口率は64%(前面), 26%(内部)

※柱鉄筋本数は推定、浮力は考慮しない

$$9 \times (2M_u / H) \geq \alpha \times (0.61\rho gh + 0.81\rho gh) / 2 \times H \times B \times 0.36 \text{ or } 0.74$$

$$M_u = 0.8a_t \sigma_y D + 0.5ND(1 - (N/bDFc)) = 177.1(kNm)$$

$$\alpha \leq 2.07 \text{ or } 1.01$$

観測された最大浸水深の静水圧が掛かると仮定して算定した波力に対する

構造物の耐力は 207 (%)であった(前面の開口率を仮定した場合)

構造物の耐力は 101 (%)であった(内部の開口率を仮定した場合)

この時の各柱に作用する平均せん断応力度は

0.31 (N/mm<sup>2</sup>) (前面の開口率を仮定した場合)

0.64 (N/mm<sup>2</sup>) (内部の開口率を仮定した場合)

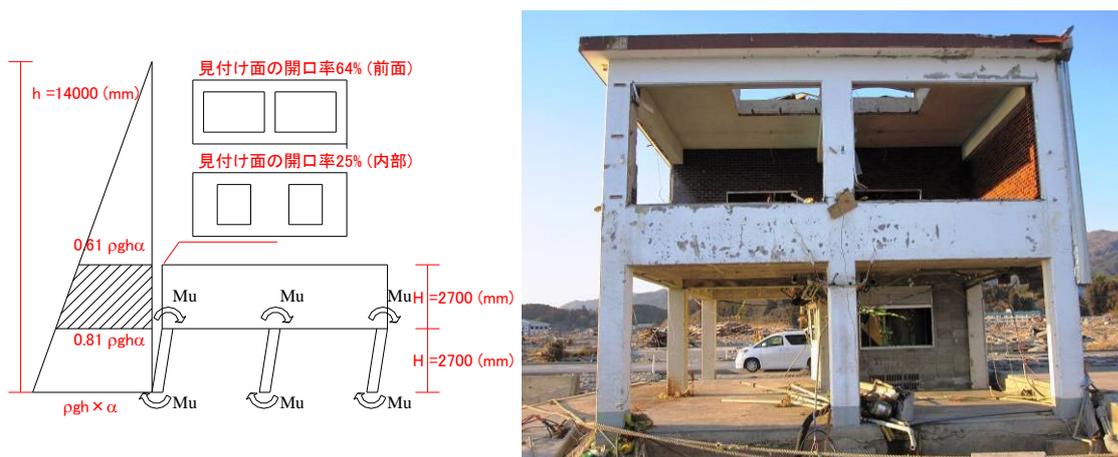


図 6.5.1-4 低層鉄筋コンクリート建物 (陸前高田市)

(5) 単体鉄筋コンクリート柱における津波荷重の検討

- ・大槌町 集合住宅周辺 最大浸水深  $h$  9.5(m)
- ・津波荷重を受けて倒壊している  
柱頭・柱中央部分に損傷は見られない  
柱脚が曲げ破壊し、柱主筋が露出している  
すべての鉄筋コンクリート柱が倒壊しているわけではなくいくつかは残存している
- ・柱直径  $D$  2000(mm), 高さ  $H$  8.3(m)
- ・柱主筋  $36 \phi 22$  (SR235,  $\sigma_y=295$ (N/mm<sup>2</sup>))  
柱終局曲げモーメント  $M_u = 3118$  (kN m)
- ・柱頭の支承部分は鉄筋コンクリート柱が受圧しない方向に倒壊しているため考慮しない

$$M_u \leq \int_0^H (\alpha \times \rho g (h-x)x \times D) dx$$

$$\alpha > 1.16$$

観測された最大浸水深の静水圧が掛かると仮定して算定した波力に対する  
単体鉄筋コンクリート柱の耐力は 116 (%) であった

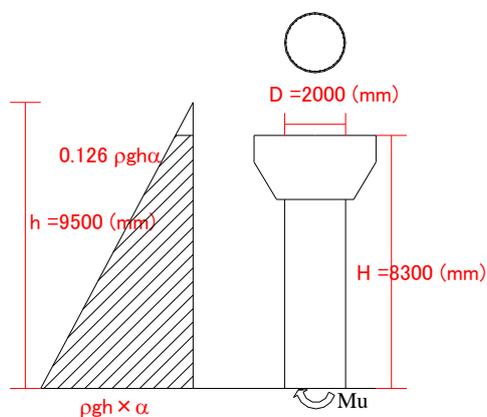


図 6.5.1-5 単体鉄筋コンクリート柱 (大槌町)

(6) 壁状鉄筋コンクリート造における津波荷重の検討

- ・陸前山田駅周辺 最大浸水深 6.0(m)程度
- ・津波荷重を受けて倒壊し、100(m)程度 移動した場所で確認している  
壁脚鉄筋が全て破断している
- ・壁高さ H 4500(mm)
- ・壁幅 D 1000 (mm) (壁筋間隔 800(mm))  
壁縦筋 D16@250 (SD295,  $\sigma_u=384(N/mm^2)$ ) (鉄筋破断荷重は規格降伏点強度の 1.3 倍と仮定)  
壁終局曲げモーメント  $M_u = 74.30$  (kN m) (壁幅 250 (mm) 当り)

$$M_u \leq \int_0^H (\alpha \times \rho g (h-x)x \times B) dx$$

$$\alpha > 1.00$$

ここで, B:壁幅 (250(mm))

観測された最大浸水深の静水圧が掛かると仮定して算定した波力に対する  
壁状鉄筋コンクリート造の耐力は 100 (%) であった

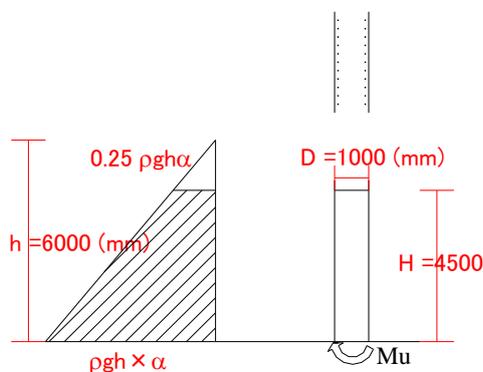


図 6.5.1-6 壁状鉄筋コンクリート造 (山田町)

## 6.5.1.2 転倒に関する検討

### (1) OG-01 (旅館1、女川町)

- ・ RC造耐力壁付きラーメン構造、4階建
- ・ 原位置から70m程度移動して転倒
- ・ 建物形状：1階平面B×D=6.0×4.0m、建物高さH=12m(階高3m)
- ・ 基礎部高さ：0.5m(既成PC杭があるが、計算では考慮しない)
- ・ 建物重量：上部躯体  $W=13\text{kN/m}^2 \times 6\text{m} \times 4\text{m} \times 4\text{階}=1248\text{kN}$  (建物重量を13kN/m<sup>2</sup>と仮定)  
基礎部  $W_f=13\text{kN/m}^2 \times 6\text{m} \times 4\text{m}=312\text{kN}$
- ・ 浮力：  $W_b=0.9\text{m} \times 7\text{m} \times 4\text{m} \times 4\text{階} \times 9.8=846.7\text{kN}$   
(垂れ壁より上の部分(0.9m)が空気溜まりとなって浮力が働くと仮定)
- ・ 杭：PC杭(φ300)が使われていることを現地調査で確認しているので、次の仮定の下に杭の引抜き抵抗 $R_{TC}$ を算定する。  
杭周長  $\phi=0.94\text{m}$   
杭長さ  $L_s=7.0\text{m}$  (本建物の近くで転倒したS造建物の杭長計測値と同じとする)  
杭自重  $W_p=8.06\text{kN}$

日本建築学会「基礎構造設計指針」の杭の最大引抜き抵抗力算定式(6.4.1)式より、

$$R_{TC} = \left( \sum \tau_{st} L_s + \sum \tau_{ct} L_c \right) \phi + W_p$$

$\tau_{st}$ ：砂質土の杭引き抜き時の最大周面摩擦力度(kN/m<sup>2</sup>)

同指針表6.3.1より、 $\tau_{st}=2.0\text{N}$ (打込み杭、砂質土)とする。N：杭周面地盤の平均N値

$\tau_{ct}$ 、 $L_c$ は粘性土に関する項目なので、本検討ではいずれも0とする。

$$N=10 \text{ とすると} \quad R_{TC}=20 \times 7 \times 0.94 + 8.06 = 139.7\text{kN}$$

$$N=20 \text{ とすると} \quad R_{TC}=40 \times 7 \times 0.94 + 8.06 = 271.3\text{kN}$$

- ・ 津波外力  $M_w$   
浸水深  $h=15\text{m}$ 、開口率0.103として

$$M_w = \int_0^H (\alpha \times \rho g (h-x) x \times B) dx = 26582 \times \alpha \quad \text{kNm}$$

ここに、H：階高(m)、 $\rho$ ：水密度(ton/m<sup>3</sup>)、g：重力加速度(m/s<sup>2</sup>)、B：建物幅(m)、 $\alpha$ ：静水圧に対する低減係数

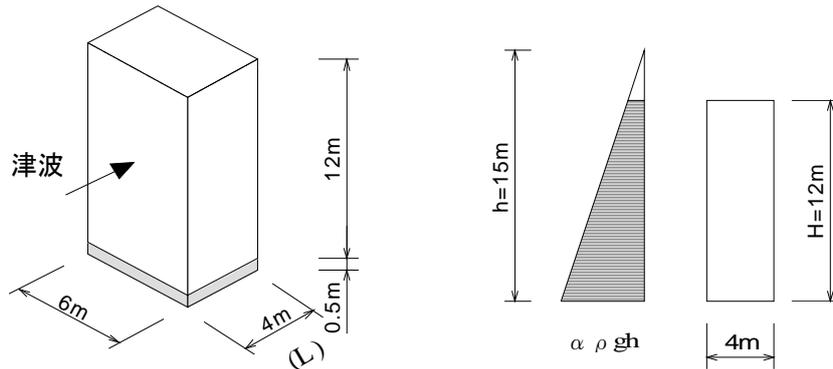


図 6.5.1-7 鉄筋コンクリート造の旅館(女川町)

- ・ 建物転倒耐力  $M_r$  :

杭の引抜き抵抗  $R_{TC}$  を考慮しない場合

$$M_r = (W + W_F - W_b) \times L / 2$$

浮力なし  $M_{r1} = (W + W_F) \times L / 2 = (1248 + 312) \times 4m / 2 = 3120kNm$

浮力あり  $M_{r2} = (W + W_F - W_b) \times L / 2 = (1248 + 312 - 846.7) \times 4m / 2 = 1426.6kNm$

杭の引抜き抵抗  $R_{TC}$  を考慮する場合 (浮力ありについて検討)

杭が 12 本あり、支点から杭までの距離を 3.5m とする。

$N=10$  とすると  $M_{r2-1'} = M_{r2} + 139.7kN \times 12 \text{本} \times 3.5m = 7294kNm$

$N=20$  とすると  $M_{r2-2'} = M_{r2} + 271.3kN \times 12 \text{本} \times 3.5m = 12821.2kNm$

- ・ 建物転倒耐力と津波が外力を比較して、静水圧に対する低減係数  $\alpha$  を計算 ( $M_r$  または  $M_{r'}$ )  $\leq M_w$  なので、低減係数  $\alpha$  は下表となる

	杭の引抜き抵抗無視	杭の引抜き抵抗考慮	
		N=10	N=20
浮力なし	$0.117 < \alpha$	—	—
浮力あり	$0.054 < \alpha$	$0.274 < \alpha$	$0.482 < \alpha$

(2) 0G-02 (旅館2、女川町)

- ・ RC造耐力壁付きラーメン構造、5階建
  - ・ 原位置に残存 (0G-01の隣接建物)
  - ・ 建物形状： 1階平面  $B \times D = 13.0 \times 5.0\text{m}$ 、建物高さ  $H = 17.5\text{m}$  (階高  $3.5\text{m}$ )
  - ・ 基礎部： 既成PC杭があると推測される (計算では考慮しない)
  - ・ 建物重量： 上部躯体  $W = 13\text{kN/m}^2 \times 13\text{m} \times 5\text{m} \times 4\text{階} + (13\text{kN/m}^2 \times 8\text{m} \times 5\text{m}) = 3900\text{kN}$   
(建物重量を  $13\text{kN/m}^2$  と仮定。5階はセットバック)
- 基礎部  $W_f = 13\text{kN/m}^2 \times 13\text{m} \times 5\text{m} = 845\text{kN}$
- ・ 浮力：  $W_b = 0.9\text{m} \times 13\text{m} \times 5\text{m} \times 3\text{階} \times 9.8 = 1720\text{kN}$   
(5階中間まで浸水。垂れ壁より上の部分 (0.9m) が空気溜まりとなって浮力が働くとして仮定 (3層分))
  - ・ 杭：本建物は原位置に残存しており杭の状態は未確認であるが、0G-01と同じ杭が柱の下部に4本ずつ (合計16本) 打設されていると仮定して杭の引抜き抵抗  $R_{TC}$  を算定する。

$N=10$  とすると  $R_{TC} = 20 \times 7 \times 0.94 + 8.06 = 139.7\text{kN}$

$N=20$  とすると  $R_{TC} = 40 \times 7 \times 0.94 + 8.06 = 271.3\text{kN}$

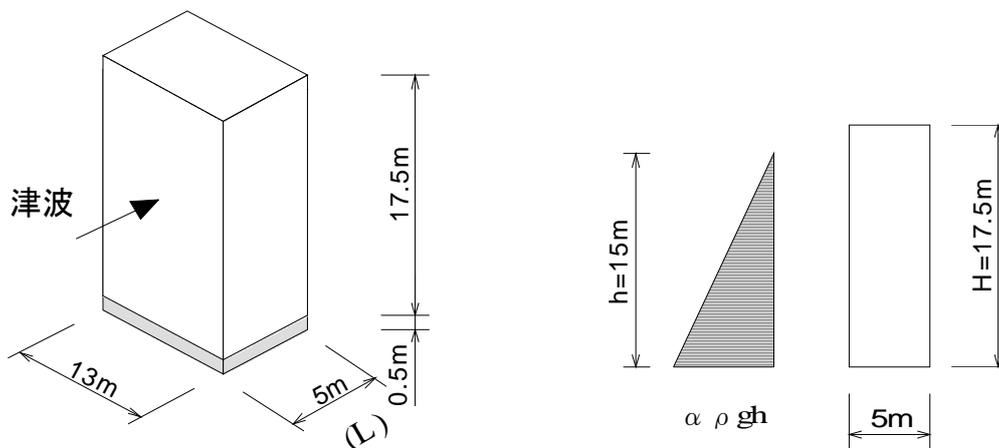


図 6.5.1-8 鉄筋コンクリート造の旅館(女川町)

- 津波外力  $M_w$   
浸水深  $h=15\text{m}$ 、建物壁面の開口率 0.114 として

$$M_w = \int_0^H (\alpha \times \rho g (h-x) x \times B) dx = 63492 \times \alpha \quad \text{kNm}$$

記号は、前項と同じ

- 建物転倒耐力  $M_r$  :  
杭の引抜き抵抗  $R_{TC}$  を考慮しない場合

$$M_r = (W + W_F - W_b) \times L / 2$$

浮力なし  $M_{r1} = (W + W_F) \times L / 2 = (3900 + 845) \times 5\text{m} / 2 = 11862.5\text{kNm}$

浮力あり  $M_{r2} = (W + W_F - W_b) \times L / 2 = (3900 + 845 - 1720) \times 5\text{m} / 2 = 7562.5\text{kNm}$

杭の引抜き抵抗  $R_{TC}$  を考慮する場合

杭が 16 本あり、支点から杭までの距離を 4m とする。

浮力なし、 $N=10$  とすると  $M_{r1-1'} = M_{r1} + 139.7\text{kN} \times 16 \text{本} \times 4\text{m} = 20803.3\text{kNm}$

浮力なし、 $N=20$  とすると  $M_{r1-2'} = M_{r1} + 271.3\text{kN} \times 16 \text{本} \times 4\text{m} = 29340.9\text{kNm}$

浮力あり、 $N=10$  とすると  $M_{r2-1'} = M_{r2} + 139.7\text{kN} \times 16 \text{本} \times 4\text{m} = 16503.3\text{kNm}$

浮力あり、 $N=20$  とすると  $M_{r2-2'} = M_{r2} + 271.3\text{kN} \times 16 \text{本} \times 4\text{m} = 25040.9\text{kNm}$

- 建物転倒耐力と津波が外力を比較して、静水圧に対する低減係数  $\alpha$  を計算  
( $M_r$  または  $M_r'$ )  $\leq M_w$  なので、低減係数  $\alpha$  は下表となる

	杭の引抜き抵抗無視	杭の引抜き抵抗考慮	
		N=10	N=20
浮力なし	$0.187 < \alpha$	$0.328 < \alpha$	$0.462 < \alpha$
浮力あり	$0.119 < \alpha$	$0.260 < \alpha$	$0.394 < \alpha$

本建物の場合、建物と海岸の間に 2 棟の建物が残っており (1 棟は転倒)、津波外力が低減された可能性もある。

(3) 0G-08 (RC 造転倒建物、女川町)

- ・ RC 造ラーメン構造、3 階建
- ・ 漁港岸壁近くで海側に転倒
- ・ 建物形状： 1 階平面  $B \times D = 9.0 \times 6.0\text{m}$ 、建物高さ  $H = 9\text{m}$  (階高 3m)
- ・ 基礎部高さ： 0.7m (直接基礎)
- ・ 建物重量： 上部躯体  $W = 13\text{kN/m}^2 \times 9\text{m} \times 6\text{m} \times 3 \text{階} = 2106\text{kN}$

(建物重量を  $13\text{kN/m}^2$  と仮定)

基礎部  $W_F = 13\text{kN/m}^2 \times 9\text{m} \times 6\text{m} = 702\text{kN}$

- ・ 浮力：  $W_b = 0.9\text{m} \times 9\text{m} \times 6\text{m} \times 3 \text{階} \times 9.8 = 1428.8\text{kN}$

(垂れ壁より上の部分 (0.9m) が空気溜まりとなって浮力が働くと仮定)

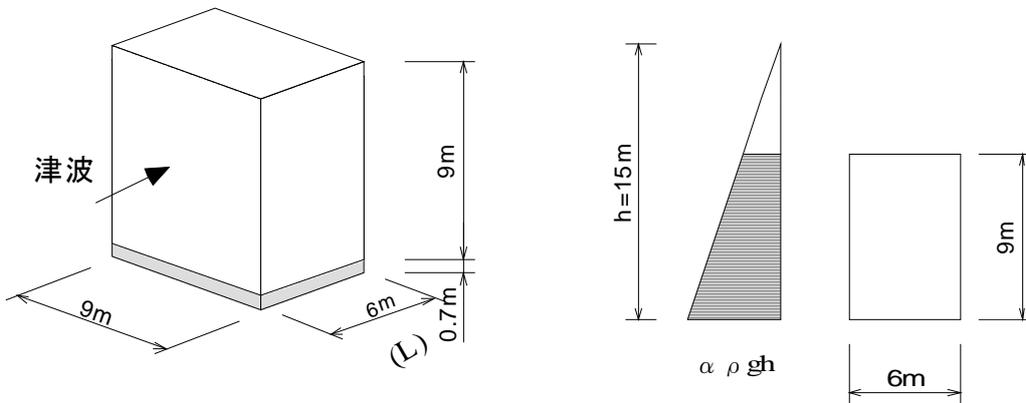


図 6.5.1-9 鉄筋コンクリート造の店舗(女川町)

- ・ 津波外力  
浸水深  $h = 15\text{m}$  と仮定。本建物は津波方向 (写真の上面) に開口が少ないので、開口率による低減は行わない

$$M_w = \int_0^H (\alpha \times \rho g (h - x) x \times B) dx = 32149 \times \alpha \quad \text{kNm}$$

記号は、前項と同じ

- ・ 転倒耐力：  $M_r = (W + W_F - W_b) \times L / 2$   
浮力なし  $M_r = (2106 + 702) \times 6\text{m} / 2 = 8424\text{kNm}$

浮力あり  $M_r = (2106 + 702 - 1428.8) \times 6m / 2 = 4137.6 \text{ kNm}$

- ・ 建物転倒耐力と津波が外力を比較して、静水圧に対する低減係数  $\alpha$  を計算 ( $M_r$  または  $M_r'$ )  $\leq M_w$  なので、低減係数  $\alpha$  は下表となる

浮力なし	$0.26 < \alpha$
浮力あり	$0.129 < \alpha$

## 6.5.2 S造建築物

残存するS造骨組について、浸水深に対応する静水圧を津波波圧として考え、津波荷重を算定する。また、内外装材が全面的に流失している場合には、津波荷重の下限値として、2階床以上の梁のみにその高さの静水圧が作用すると仮定した津波荷重も算定する。

一方で、崩壊機構を仮定した単純な塑性解析を行うことで建築物の耐力を算定する。ここで取り上げる残存S造骨組にはさほど大きな残留変形等が見受けられないので、塑性解析による耐力は実際に作用した津波荷重の上限値になると考えられる。

静水圧による津波荷重とその下限値、耐力から推定される上限値を比較することで、実際の津波荷重を推測する。奥行きが大きいほど建築物の耐力の絶対値は増すため、水平2方向のうち小さい方の耐力と比較するよう、建築物の短辺方向（張間方向）を検討の対象とする。架構が規則的に配置されたS造骨組を取り上げ、津波荷重及び耐力は1フレーム当たりの値として算定する。

塑性解析を行う上での仮定は次のとおりである。

- ・部材断面は現地調査時の計測結果から、ほぼ同等と思われる断面を仮定する。
- ・降伏応力度  $\sigma_y$  は一律に  $300\text{N/mm}^2$  と仮定する。
- ・露出柱脚、根巻き柱脚等の種類に応じた柱脚部の剛性・耐力を設定することはせず、ピン支持又は剛接合と仮定する。また根巻き柱脚のコンクリート部分の立ち上がり高さは無視する。

津波荷重を算定する際には、水の質量を  $\rho$ 、重力加速度を  $g$  として、 $\rho g=10\text{kN}$  とする。張間の1フレーム当たりが負担する建築物の幅を  $B$  とする。

本項では1階建て、2階建て、3階建ての1スパンラーメン構造を取り上げている。転倒に対する検討はRC造と同様に行えるため、本項では扱わない。

### (1) 1階建てS造

平面形状はL字形であるが、写真6.5.2-1の右側にある部分で、紙面奥行き方向の1スパンのラーメン構造を対象とする。桁行き方向の柱間隔が4.0(m)であることから、 $B=4.0\text{(m)}$ とする。浸水深は周囲の状況から7(m)とする。

津波荷重と耐力算定のための崩壊機構を図6.5.2-1に示す。柱はH形鋼で、せいが400mm、幅が200mm、フランジ厚が12mmであり、梁も同一断面と見られる。なお、H形鋼のウェブ厚は現地では計測できない（以下同様）。1階建てであるが、スパンが大きいために比較的大きな部材断面が使用されていると思われる。

#### a) 津波荷重

浸水深に対応した静水圧による津波荷重は、

$$\rho g \times \frac{1}{2} \times (7\text{(m)} + 3\text{(m)}) \times 4\text{(m)} \times B = 800\text{(kN)} \quad (1)$$

下限値として、軒位置の静水圧が梁せい分の高さ（400mm）だけ作用するとして、図6.5.2-1(a)の網掛け部分の荷重を算定すると、

$$\rho g \times 3\text{(m)} \times 0.4\text{(m)} \times B = 48\text{(kN)} \quad (2)$$

#### b) 耐力

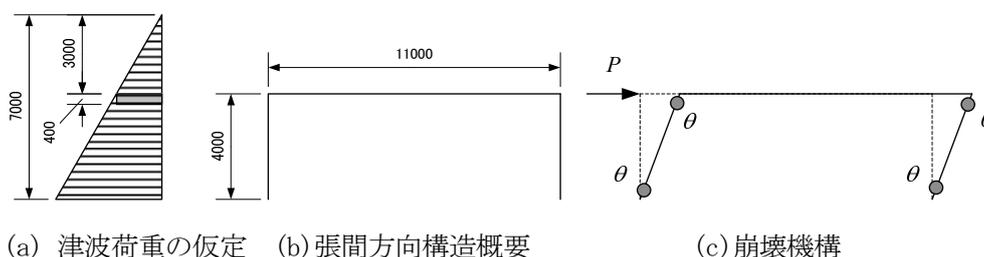
柱梁断面を2フランジモデルとして略算すれば、塑性断面係数は  $Z_p=960\text{(cm}^3\text{)}$  である。図6.5.2-1(c)の崩壊機構を仮定し、柱梁の全塑性モーメント  $M_p=Z_p\sigma_y$  を用いて仮想仕事を考えると、

$$P \times 400(\text{cm}) \times \theta = 4 \times M_p \times \theta \quad \rightarrow \quad P = 290(\text{kN}) \quad (3)$$

津波荷重の上限値と考えられる建築物の耐力（式(3)）は、静水圧の津波荷重（式(1)）に対して 36% に過ぎない。また津波荷重の下限値（式(2)）は建築物の耐力の 1/6 程度と十分小さく、骨組みが残存したと整合する。



写真 6.5.2-1 残存 S 造骨組み



(a) 津波荷重の仮定 (b) 張間方向構造概要 (c) 崩壊機構

図 6.5.2-1 津波荷重と耐力算定のための崩壊機構

## (2) 2 階建て S 造

写真 6.5.2-2 に示すような整形な 2 階建て S 造である。1 フレームが負担する幅を  $B=2.7(\text{m})$  とする。浸水深は周囲の状況から  $8(\text{m})$  とする。

津波荷重と耐力算定のための崩壊機構を図 6.5.2-2 に示す。柱は H 形鋼で、せい  $175(\text{mm})$ 、幅  $145(\text{mm})$ 、フランジ厚が  $11(\text{mm})$  であり、1 階中央から上で日の字断面となっている。梁せいは  $300(\text{mm})$  である。剛性・耐力の低いタイプの露出柱脚であるため、柱脚はピンとする。

### a) 津波荷重

浸水深に対応した静水圧による津波荷重は、

$$\rho g \times \frac{1}{2} \times (8(\text{m}) + 2(\text{m})) \times 6(\text{m}) \times B = 810(\text{kN}) \quad (4)$$

下限値として、梁の上端位置の静水圧が梁せい分の高さ ( $300(\text{mm})$ ) だけ作用するとして、図 6.5.2-2(a) の網掛け部分の荷重を算定すると、

$$\rho g \times (2(\text{m}) + 5(\text{m})) \times 0.3(\text{m}) \times B = 57(\text{kN}) \quad (5)$$

### b) 耐力

柱断面を 2 フランジモデルとして略算すれば、塑性断面係数は  $Z_p=280(\text{cm}^3)$  である。図 6.5.2-2(c) の荷重分布と崩壊機構を仮定し、柱の全塑性モーメント  $M_p=Z_p\sigma_y$  を用いて仮想仕事を考えると、

$$(2p + 5p) \times 300(\text{cm}) \times \theta = 2 \times M_p \times \theta \quad \rightarrow \quad P \equiv 7p = 56(\text{kN}) \quad (6)$$

津波荷重の上限値と考えられる建築物の耐力（式(6)）は、静水圧の津波荷重（式(4)）に対して 7% に

過ぎない。一方、津波荷重の下限値（式(5)）は建築物の耐力と同程度である。なお、ここでは計算の簡略化のため、柱脚をピンと仮定したことや柱断面を2フランジモデルに仮定していることから、建築物の耐力は低めに算定されていることに注意されたい。



写真 6.5.2-2 残存S造骨組み

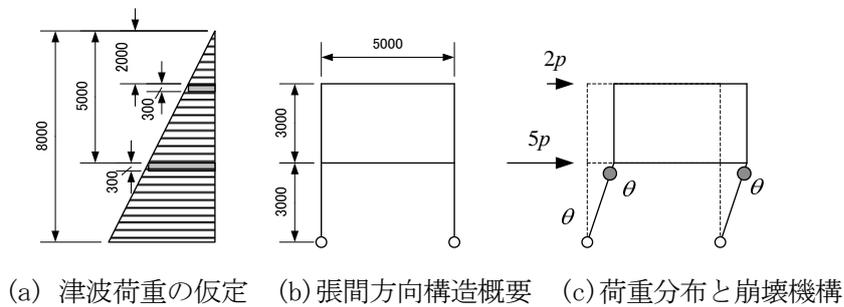


図 6.5.2-2 津波荷重と耐力算定のための崩壊機構

### (3) 3階建てS造

写真 6.5.2-3 に示すような整形な3階建てS造である。1 フレームが負担する幅を  $B=3.5(\text{m})$  とする。浸水深は周囲の状況から  $9(\text{m})$  とする。

津波荷重と耐力算定のための崩壊機構を図 6.5.2-3 に示す。柱は角形鋼管で  $\square-300 \times 12$ （厚みは仮定）、梁は梁断面： $H-400 \times 200 \times 7 \times 11$ （ウェブ、フランジ厚は仮定）とする。根巻き柱脚だが、基礎まで柱断面が続いていると仮定する。

#### a) 津波荷重

浸水深に対応した静水圧による津波荷重は、

$$\rho g \times \frac{1}{2} \times (9(\text{m}))^2 \times B = 1420(\text{kN}) \quad (7)$$

下限値として、梁の上端位置の静水圧が梁せい分の高さ ( $400\text{mm}$ ) だけ作用するとして、図 6.5.2-3(a) の網掛け部分の荷重を算定すると、

$$\rho g \times (2(\text{m}) + 5.5(\text{m})) \times 0.4(\text{m}) \times B = 105(\text{kN}) \quad (8)$$

#### b) 耐力

柱の塑性断面係数は  $Z_{pc}=1440(\text{cm}^3)$ 、梁の塑性断面係数は  $Z_{pb}=1110(\text{cm}^3)$  である。図 6.5.2-3(c) の荷重分布と崩壊機構を仮定し、柱梁の全塑性モーメント  $M_{pc}=Z_{pc}\sigma_y$  及び  $M_{pb}=Z_{pb}\sigma_y$  を用いて仮想仕事を考えると、

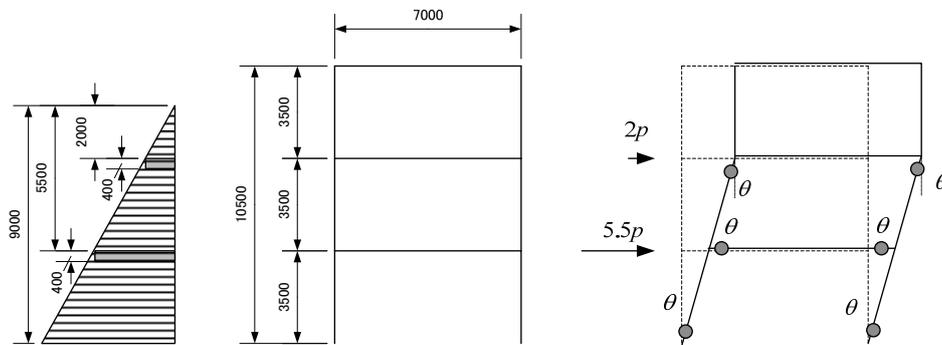
$$(2p \times 700(\text{cm}) + 5.5p \times 350(\text{cm})) \times \theta = (4 \times M_{pc} + 2 \times M_{pb}) \times \theta \quad (9)$$

$$\rightarrow P \equiv 7.5p = 540(\text{kN})$$

津波荷重の上限値と考えられる建築物の耐力（式(9)）は、静水圧の津波荷重（式(7)）に対して 38% に過ぎない。また津波荷重の下限値（式(8)）は建築物の耐力の 1/5 程度と十分小さく、骨組みが残存したと整合する。



写真 6.5.2-3 残存 S 造骨組み



(a) 津波荷重の仮定 (b) 張間方向構造概要 (c) 荷重分布と崩壊機構

図 6.5.2-3 津波荷重と耐力算定のための崩壊機構

以上の 3 つの具体例からすると、全面的に静水圧が作用すると仮定した津波荷重は建築物の耐力を大きく上回っており、実際に残存していたことと矛盾する。一方で、梁のみに静水圧がかかると仮定した津波荷重の下限値は建築物の耐力と同程度かそれ以下で、骨組みが残存したと整合する。よって、仕上げ材が流失しやすい S 造骨組に関しては、静水圧が全面的に作用すると仮定した津波荷重は過大であると言える。開口や仕上げ材の流失を考慮して津波荷重を合理的に低減できる可能性があると考えられるが、構造躯体が流失してしまった S 造骨組みについては検討していないことや、仕上げ材がほとんど残ったまま全体の転倒を生じた S 造建築物があったことなどを考えると、ここで示した下限値まで低減できるとは言い切れず、今後さらに検討する必要がある。

## 6.6 まとめ

本章では、東北地方太平洋沖地震によって東北地方および関東地方に発生した大津波による建築物被害に関して調査を実施し、その概要をまとめた。

6.2 では、現地調査を実施する前に事前調査として、国土地理院の被災後の航空写真や報道等の画像情報をもとに調査地域を絞り、調査対象建築物の特定等を行った。また、本章で用いる津波に関する用語を決めて誤解や混乱のないように注意した。現地調査で用いた津波の作用方向や浸水深の推定方法についても記載した。さらに、津波荷重や耐津波設計に関する国内および海外基規準等を収集した。日本では建築基準法第20条に「建築物は、自重、積載荷重、積雪荷重、風圧、土圧及び水圧並びに地震その他の震動及び衝撃に対して安全な構造のものとしなければならない」と定めているが、建築物に対して津波荷重を明確に考慮してはいなかった<sup>6-4)</sup>。2005年に内閣府が「津波避難ビル等に係るガイドライン」を制定し、津波避難ビルの構造的要件や位置的要件を纏めた。ガイドラインの巻末資料「構造的要件の基本的考え方」では、建築分野でははじめて建築物に作用する津波荷重を設定し、設計用浸水深の3倍の静水圧とした。これは津波の流速も考慮し安全側の値<sup>6-4,5)</sup>としたが、今後の研究成果によって更新されることが望まれる<sup>6-4)</sup>としている。一方、米国では3年後の2008年に連邦危機管理局(FEMA)が「津波からの(鉛直方向)避難のための構造物の設計ガイドライン」を定め、静水圧、動水圧、浮力、衝撃荷重、漂流物の衝突等の津波荷重を設定しているが、ここでは静水圧は設計用浸水深の1.3倍としている。ただし、津波の流速の効果は動水圧として別途考慮している。また、今回の大津波の映像からの流速推定も1例だけではあるが試みた。今後調査建築物付近の映像が入手できれば流速の推定を試みる予定である。

6.3 では、現地調査を実施した14地域について、調査建築物の位置を国土地理院提供の被災後の航空写真上に示し、各調査建築物の構造種別、形状、被害状況等を纏めた。津波によって倒壊、移動、流失した建築物と残存建築物を列記した。今後、これらの情報を纏めて浸水深等から推定される津波荷重と建築物の被害状況との関連付けを検討する予定である。

6.4 では、構造種別毎に被害形態を分類し、被害発生の要因について考察した。RC造建築物では、1階の崩壊、転倒、移動・流失、洗掘による傾斜、壁や開口部の破壊、漂流物の衝突等の被害形態が見られた。今回調査した範囲では、転倒や移動したRC造建築物は4階建てまでであり、外壁の開口が比較的少ないものが多かった。S造建築物では、移動・流失(柱脚破壊・柱頭破壊)、転倒、崩壊、残留変形、内外装材の破壊・流失、開口部の損傷、漂流物の衝突等の被害形態が見られた。木造建築物については、浸水深によって凡その被害形態の分類を行った。また、RC造建築物の蔭にあった木造建築物や1階がRC造、2・3階が木造のような立面混構造の建築物が残存していた事例があった。今後6.3の被害事例を基に被害発生メカニズムの解明を行う必要がある。さらに、6.4で提示した被害形態以外の被害がないのかどうか、残存建築物がどのような理由で残ったのかなどについて、新たな現地調査の実施、残存建築物の設計図書の収集などにより検討する必要がある。

6.5において、いくつかの調査事例を基に、平成17年に内閣府から出された「津波避難ビル等に係るガイドライン」の設計手法を当てはめてみた結果、ある程度の妥当性が確認された。しかしながら、この検討にはいくつかの仮定が設けられており必ずしも精緻なものではないことから、今後できるだけ多くの事例について検討を継続することが望まれる。また、建築物の開口の影響や浮力の影響を詳細に考慮する方法などについても、さらに検討が望まれる。

以上、本章は調査を開始し約1ヶ月が経過した段階での速報であり、上記のように実施すべき課題が多く残されている。今後は本章の調査結果を踏まえてそれらの課題について検討を行う予定である。

## 謝辞

本章の津波による建築物被害を調査するにあたり、ご協力いただいた独立行政法人港湾空港技術研究所 有川太郎主任研究員並びに関係各位に謝意を表する。

## 参考文献

- 6-1 内閣府：津波避難ビル等に係るガイドライン、2005.6  
[http://www.bousai.go.jp/oshirase/h17/tsunami\\_hinan.html](http://www.bousai.go.jp/oshirase/h17/tsunami_hinan.html)
- 6-2 FEMA P646、2008.6、<http://www.fema.gov/library/viewRecord.do?id=3463>
- 6-3 Flood Loads, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structure, ASCE7-05, 2006
- 6-4 (財)日本建築センター「平成 17 年度 津波避難ビルの技術的検討調査報告書」平成 18 年 3 月
- 6-5 朝倉ら：護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究、海岸工学論文集第 47 巻 pp.911-915、土木学会、2000