

大地震時における津波到達前の建築構造物への 地震被害の影響に関する検討*

秋田工業高等専門学校環境都市工学科 馬場伸吾
秋田工業高等専門学校 寺本尚史

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東北太平洋沖地震は、M9.0 の海洋型の大地震であり、東北・関東地方に甚大な被害をもたらした。地震の被害に加え、二次災害である津波による被害も極めて大きかったのが今回の地震の特徴であり、特に太平洋側の沿岸部では建築物が全壊・流出している被害の大半が津波によるものであった。こうした津波被害に対し、住民が安全に避難できる建物をどう設計するかが焦点となっており、実際の津波による被災調査結果を元に津波避難ビルの設計用津波荷重や避難安全階の確保のための所要高さ等に関する提案がなされている¹⁾。

一方で、太平洋沿岸では、地震の揺れも大きい場所があり、そうした地域では地震で建物が損傷を受けた後に津波の被害を受けている可能性もあることから、地震被害の検討も行う必要があると思われる。

そこで本研究では、岩手県、宮城県および福島県沿岸における東北太平洋地震の観測波およびその地域の津波高さを元に、地震および津波による複合的な建物への影響を検討した。

表 1 対象地域および最大加速度

	観測地点	最大加速度(cm/s ²)	
		NS	EW
IWT003	普代	114.8	148.5
MYG012	塩竈	758.4	1969.2
MYGH10	山元	870.8	852.7
MYG010	石巻	870.8	377
MYG013	仙台	1517.2	982.3
FKS005	原町	870.8	870.8
FKS010	広野	1115.9	882.3
FKS001	相馬	619.1	552.3
FKS007	大熊	608.5	690.7
FKSH20	浪江	394.3	660.5

2. 対象地域

対象とした地域および最大加速度を表 1 に示す。岩手県、宮城県および福島県沿岸部における K-NET および KiK-net 観測点²⁾で得られたデータを使用した。地震波のうち、最大加速度の大きかった地点を含む 10 地点を対象地域とした。

3. 解析方法

各地域において、観測された津波高さに耐えるように設計された津波避難ビルが、地震で被害が生じないかどうか地震応答解析により検討を行った。解析は、1 質点系による弾塑性応答解析とし、非線形せん断バネは、最大耐力後も耐力が低下しない靱性型(図 1(a))および最大耐力後に耐力が低下する耐力低下型(図 1(b))のモデルとした。

津波避難ビルについては、館野ら³⁾が、設計用津波荷重に対する津波避難ビルの建物規模に関す

*A study on the effect of earthquake damage to building structures before the arrival of the tsunami by Shingo Baba and Naofumi Teramoto

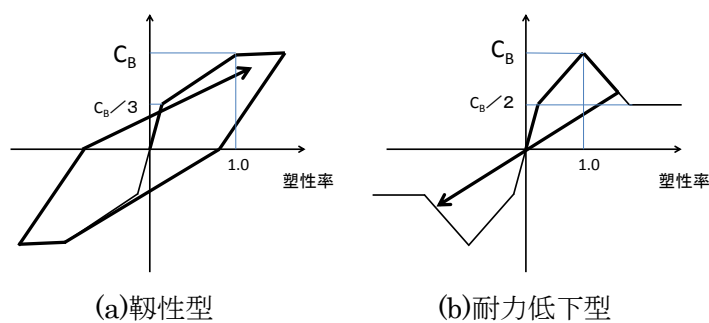


図 1 セン断バネの非線形特性

表 2 各津波高さに対する建物の概要

津波高さ (m)	想定階	固有周期 (s)
5	5	0.35
10	6	0.42
15	8	0.56
20	10	0.70

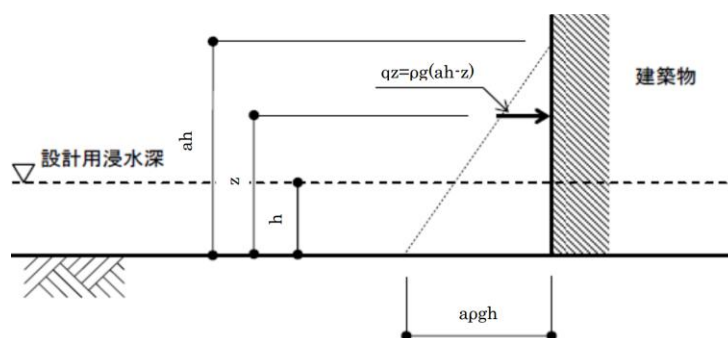


図 2 津波波圧³⁾

る基本的な検討として、想定される津波高さに対して建物の耐震設計用必要保有水平耐力がどれくらい必要となるのかを検討している。本研究では、館野らの検討例を参考に、建物の各階高は 3.5m、津波で浸水しない階を 2 階分設けることとし、固有周期は、建物高さ(各階高 3.5m)に 0.02 を乗じた値とした。各津波高さに対応する想定階および固有周期を表 2 に示す。

ベースシア係数については $C_B=0.55$ もしくは 1.0 のいずれかとし、津波波力により生じる各層のせん断力が建物の設計外力を越えることがない値とした。津波波圧算定式³⁾を式(1)に示す。

$$qz = \rho g(ah - z) \quad (1)$$

ここで、 qz は構造設計用の進行方向の津波波圧、 ρ は水の単位体積質量、 g は重力加速度、 h は設計用浸水深、 z は当該部分の地盤面からの高さ ($0 \leq z \leq ah$)、 a は水深係数を示す。水深係数 a の値は、建物の前に遮蔽物などが無い場合は 3.0、遮蔽物があり海岸から 500m 以内の場合は 2.0、遮蔽物があり海岸から 500m 以上離れている場合は 1.5 とされており、 a の値が大きいほど津波波力が大きく、建物に要求される設計外力も大きくする必要があることになる。

各津波高さにおいて、津波波力により生じる各層のせん断力が建物の設計外力を上回らないために必要なベースシア係数 C_B を表 3 に示す。なお、建物の設計外力については A_i 分布、建物の奥行きは 24m として算出した。表を見ると、津波高さ 5m の場合は水深係数 a の値に関わらず $C_B=0.55$ で設計可能であるが、津波高さが 10m 以上の場合、 $a = 3.0$ および $a = 2.0$ では、 $C_B=1.0$ としても建物の一部の階において津波によるせん断力が建物の設計外力を上回る結果となった。そのため、

表 3 各津波高さにおける必要ベースシア係数

津波高さ(m)	想定階	ベースシア係数(Cb)		
		a=1.5	a=2.0	a=3.0
5	5	0.55	0.55	0.55
10	6	1.00	1.00	NG(2階)
15	8	1.00	NG(2階)	NG(5階)
20	10	1.00	NG(3階)	NG(8階)

本研究では建物が $a = 1.5$ ，すなわち建物と海岸の間に遮蔽物があり，海岸から 500m 以上離れている場所に建てられていると仮定して応答解析を行った。

4. 解析結果

靱性型および耐力低下型の非線形せん断バネを用いた応答解析結果を表 4(a)および(b)に示す。なお，各地域の観測津波高さは文献 4)を参考に決めたが，普代，山元および原町については近くの地域の津波高さをもとに推定した値を用いた。

表中の塑性率は，観測波 EW，NS 方向それぞれの最大応答塑性率のうち，最大のものを表示した。また最終的な OK/NG の判断は，応答解析結果で塑性率が 1.0 を超えた場合は NG，超えなかった場合は OK とした。

表 4(a),(b)いずれも 10 地点中，2 地点(塩竈および仙台)の塑性率が 1.0 を越え，地震により建物に損傷が生じる結果となった。塑性率が 1.0 を越えた 2 地点における，靱性型および耐力低下型の塑性率の大きさを比較すると，仙台は耐力低下型の方が靱性型よりもやや大きくなっているのに対し，塩竈は耐力低下型が 1.58 に対し靱性型が 2.00 と靱性型の結果の方が大きくなる結果となった。この理由については，主に両者の除荷時におけるループ形状の違いによると考えられる。耐力低下型の場合，仮定した非線形バネモデルが降伏後も原点指向型となっているのに対し，靱性型の場合降伏後は除荷時に残留変形が生じると仮定しており，そうした点が影響していると考えられる。

表 4 応答解析結果

(a)靱性型

地震波	津波高さ(m)	想定階	必要 C_B	塑性率	評価
普代	8.5	5	1	0.058	OK
塩竈	4.3	4	0.55	2.002	NG
山元	10.5	6	1	0.592	OK
石巻	7.7	5	1	0.826	OK
仙台	12	6	1	1.243	NG
原町	10.5	6	1	0.348	OK
広野	16.5	7	1	0.222	OK
相馬	12.2	6	1	0.911	OK
大熊	12.2	6	1	0.484	OK
浪江	15.5	7	1	0.889	OK

(b)耐力低下型

地震波	津波高さ(m)	想定階	必要 C_B	塑性率	評価
普代	8.5	5	1	0.058	OK
塩竈	4.3	4	0.55	1.577	NG
山元	10.5	6	1	0.595	OK
石巻	7.7	5	1	0.830	OK
仙台	12	6	1	1.286	NG
原町	10.5	6	1	0.347	OK
広野	16.5	7	1	0.223	OK
相馬	12.2	6	1	0.911	OK
大熊	12.2	6	1	0.485	OK
浪江	15.5	7	1	0.890	OK

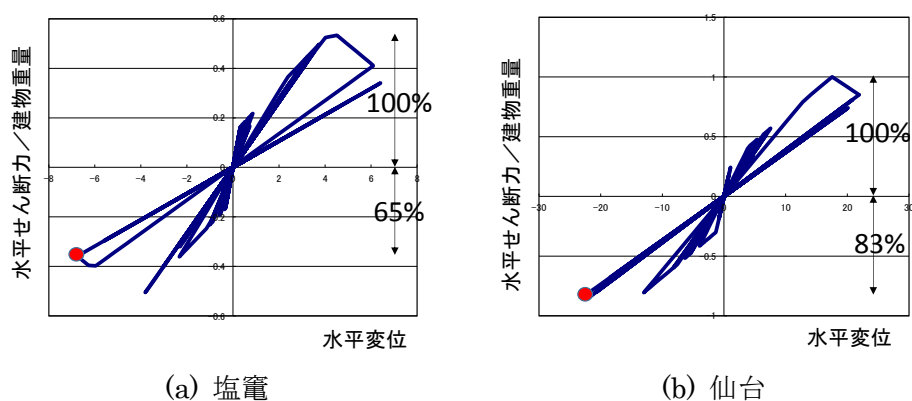


図 3 最大応答変位時における最大耐力の低下状況(耐力低下型)

次に塩竈、仙台の耐力低下型における、最大応答変位時の最大耐力の低下状況を図 3 に示す。図は非線形バネにおける水平せん断力－水平変位関係を表わしており、最大水平変位時を丸で示した。その時の水平せん断力を見ると、最大耐力比で塩竈では約 65%，仙台では約 83%に低下した。今回の結果はあくまで一質点系による単純な地震応答解析の結果ではあるものの、特に強度型設計の建物の場合、地震動の大きさによっては津波到来以前に構造物に損傷が生じ、津波到達時には耐力が低下している可能性があると言える。

5. まとめ

本研究では東北太平洋地震の観測波およびその地域の津波高さを元に、地震および津波による複合的な建物への影響を検討することを目的に、地震応答解析を行った。津波荷重に対応した建物として、ベースシア係数 0.55 および 1.0 の建物の地震応答解析を行った結果、地震動の大きい一部の地域では、津波が到来する前の地震により、建物に構造的な損傷が生じる可能性がある結果となった。

謝辞

本研究をまとめるにあたり、長岡技術科学大学（元秋田工業高等専門学校）の笹淵晃洋氏に多大なご助力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 館野公一他：設計用津波荷重に対する津波避難ビルの建築規模に関する基本的検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.89－92，2012.9
- 2) 防災科学技術研究所：強震観測網(k-net)，(<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>)
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所他：津波避難ビル等の構造上の要件の解説，pp.I－8，2012.2
- 4) 愛知地域建設コンサルタンツ協会：緊急レポート[3.11 東日本大震災]特集&震災を教訓とした愛知建コンればと，No.18，pp.1，2011