

2011 年東北地方太平洋沖地震津波による鉄筋コンクリート建造物の被災

秋田大学 学生員 山口枝里子 正員 松富英夫 能見卓也

1. はじめに 2011 年東北地方太平洋沖地震に伴った津波により大災害が発生した。建物の被害に着目すると、木造の多くは流出し、鉄骨や鉄筋コンクリート造建物は残った傾向がみられた。しかし、鉄筋コンクリート造の建物であっても津波の浸水深に対して高さや奥行きが十分でないものは、移動や転倒の被害を受けている。

1933 年の昭和三陸津波以来、防潮堤の役割を担わせた防浪ビルの考えがある。しかし、浸水深に対して防浪ビルがどの程度の高さや奥行きが必要かといった指針はない。

そこで本研究では、被災地域の現地調査を実施して得たデータを基に、地震が鉄筋コンクリート造建物の被害にどの程度関与したかは不明であるが、被害は津波によると考え、鉄筋コンクリート造建物の被害条件を検討した。

2. 現地調査 現地調査は主に鉄筋コンクリート造建物を対象に、岩手県野田村から宮城県岩沼市にかけて実施した。傾斜を除いて、移動や転倒した鉄筋コンクリート造建物は全部で 7 棟あった。記号を付けて挙げると、大槌町の二階建ての民家 (a)、陸前高田市の三階建ての民家 (b)、女川町の二階建ての冷凍倉庫 (c) と警察署 (d)、三階建ての集合住宅 (e) と店舗 (f)、四階建ての旅館 (g) である。このうち、建物 (f) は海側に移動かつ転倒し、他はすべて陸側に移動や転倒していた。また、建物 (a)、(b)、(e)、(f) には杭基礎が設けられておらず、建物 (c)、(d)、(g) には杭基礎が設けられていた。

3. 鉄筋コンクリート造建物の被害条件 鉄筋コンクリート造建物の高さ H 、津波浸水深 h と被害形態の関係を図-1 に示す。五階建て以上で移動や転倒したものはなく、水没しなかった建物は移動や転倒しなかった。一方、浸水しても持ちこたえた建物もある。被害には建物の立地・配置状況 (後述)、建物前・背面の壁面における窓や戸口の開口率 (後述)、屋内や床下の空気の抜け易さ、根入れ深さ (後述)、杭基礎の有無、建物周囲舗装の有無、液状化の有無などの関係が考えられ、これらの影響の検討が課題である。

建物の津波氾濫方向の浸水縦断面積 A_c 、浸水深と被害形態の関係を図-2 に示す。図中の破線は建物の浸水深と奥行き A_c の比が 10 対 6.5 の線で、建物が移動や転倒しないためには浸水深の 65% 以上の奥行きが必要であることを示している。また、杭基礎の有無で建物の被害浸水深に違いも認められる。

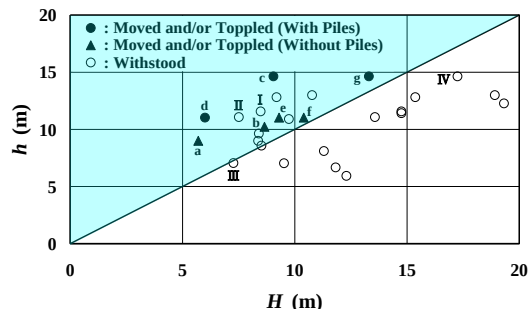


図-1 建物の高さ H 、津波浸水深 h と被害形態の関係

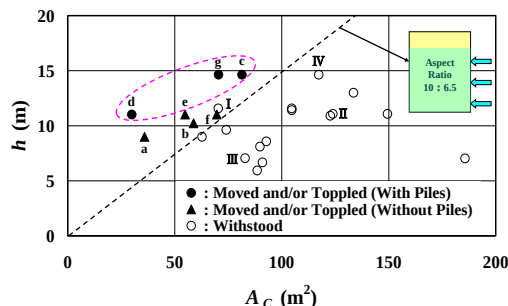


図-2 建物の津波氾濫方向の浸水縦断面積 A_c 、浸水深 h と被害形態の関係

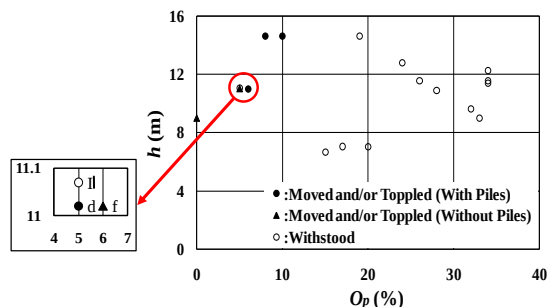


図-3 建物の開口率 O_p 、浸水深 h と被害形態の関係

建物の開口率 O_p 、浸水深 h と被害形態の関係を図-3 に示す。開口率とは、津波氾濫流が衝突する壁面の全浸水面積に対する開口部の浸水面積の割合と定義する。壁面は海側を向いている面 (前面) を対象とするが、建物 (f) のように移動や転倒したときに力を受けた壁面が海側でない場合は陸側の面 (背面) を採用する。図から、開口率の最大が 33% 程度で、開口率の小さい建物が移動や転倒しやすいことが判る。開口率が 5% 程度で浸水が 11% 程度と近い値でありながら、移動や転倒しなかった建物 (II) と移動や転倒した (d) と (f) がある。これは図-2 より、浸水縦断面積 A_c の違いが原因と考えられる。

建物の開口率差 O_{pd} 、浸水深と被害形態の関係を図-4 に示す。ここで、開口率差とは、海側の壁面あるいは移動や転倒したときに力を受けた壁面の開口率から、その反対側の壁面の開口率を差し引いた値と定義している。図から、移動や転倒した建物は

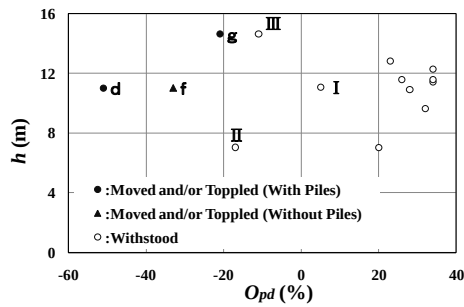


図-4 建物の開口率差 Opd , 浸水深 h と被害形態の関係

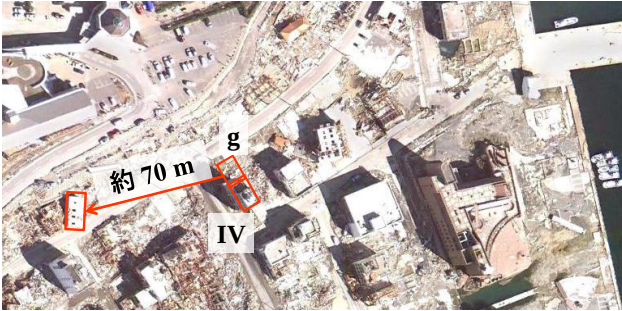


図-5 建物 (IV) と (g) の比較 (Google Earth)

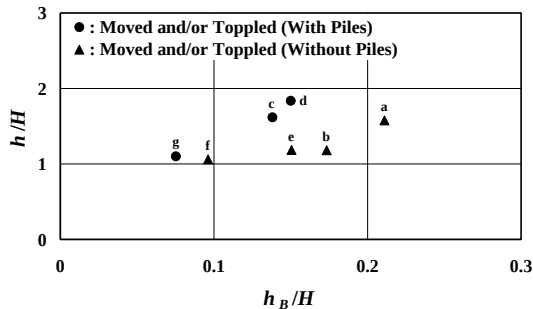


図-6 建物の相対根入れ深さ h_B/H , 相対浸水深 h/H と被害形態の関係

開口率差が負値である。すなわち、海側あるいは力を受けた壁面と反対側の壁面の開口率が大きい。

移動や転倒しなかった建物で、開口率差が負値となった建物 (III) と (IV) がある。建物 (III) が移動や転倒しなかった理由は、浸水深が 7.05 m と比較的浅くて水没せず、海側の開口率が大きかったことが考えられる。また、五階建ての旅館である (IV) については、図-5 に示すように、海側に体積の大きい建物が多く残ったこと (遮蔽効果) が考えられる。浸水深が 14.6 m と同じで移動かつ転倒した建物 (g) と比較すると、陸側の開口率は同程度であるが、海側の開口率は建物 (g) が 8%、建物 (IV) が 19% であり、建物 (IV) の方が大きい。さらに、図-1 と 2 から理解できるように、建物 (IV) は建物の高さ、浸水縦断面積ともに大きいため、移動や転倒に至らなかったと考えられる。

建物の相対根入れ深さ h_B/H , 相対浸水深 h/H と被害形態の関係を図-6 に示す。図から、相対根入れ深さが増加するにつれて、移動や転倒する相対浸水深が増加傾向であることが判る。また、図-2 のときと同様に、杭基礎の有無で建物の被害相対浸水深に違いが認められる。

建物の海からの距離 L , 浸水深と被害形態の関係

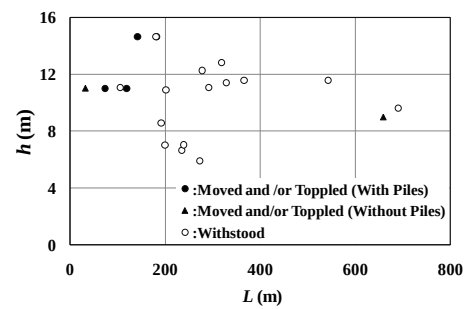


図-7 建物の海からの距離 L , 浸水深 h と被害形態の関係を図-7 に示す。ここで、海からの距離は湾口方向の水際から建物までの距離を採用した。限られたデータでの判断であるが、浸水深が大きければ (今回の津波では 9 m 以上), 海から距離が離れていても、鉄筋コンクリート造建物は移動や転倒すると判る。

「平坦な陸上域を氾濫する平面二次元的な津波の波圧は静水圧分布」という見解がある (朝倉ら, 2000)。一方、「動圧が無視できず、波圧は非静水圧分布」という見解もある (松富, 2009)。非静水圧分布の理由の一つとして、建物の前面下部における斜め下に凸の流線 (斜め下向きの遠心力) が考えられる。建物が水没し、津波が屋根や屋上を越流する場合は建物背面上部における斜め上に凸の流線 (斜め上向きの遠心力) も建物の被害に関係しよう。その模式図

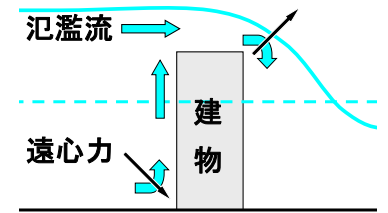


図-8 建物を越流する氾濫の模式図

4. おわりに 本研究の結果は次のとおりである。

- ① 水没していない鉄筋コンクリート造建物で移動や転倒 (傾斜は除く) したものはなかった。
- ② 建物の津波氾濫方向の浸水縦断面積 A_c は建物の移動や転倒をするか否かを分ける良いパラメータの一つである。
- ③ 水没しても移動や転倒しなかった建物があったが、それらは開口率が 10% 以下であった。
- ④ 建物の相対根入れ深さ h_B/H が増加するにつれて、建物が移動や転倒する相対浸水深 h/H は増加傾向をもつ。

謝 辞: 北東北国立 3 大学連携推進研究 (代表 堺 茂樹) の補助を受けた。記して謝意を表する。

参考文献

- 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, 海工論文集, 47 巻, pp. 911-915, 2000.
- 松富: 津波氾濫流による流体力への動圧の寄与と漂流物の衝突力の確率分布, 土木学会論文集 B2, Vol. 65, No. 1, pp. 836-840, 2009.
- 松富ら: Casuarina の倒伏・抜根条件と 2010 年 Mentawai 地震津波でのその検証, 土木学会論文集 B2, Vol. 67, No. 2, pp. 301-305, 2011.