

津波による荷重が建築物に及ぼす影響について

D1-07010 飯塚 章仁

1. はじめに

2011年3月11日に起きた東日本大震災では津波が甚大な被害をもたらした。東海・東南海地震が起きた際には同様に津波の被害が危惧されている。津波力は地震力とは違う外力が働く為に、ハード面・ソフト面の両方で地震対策とは異なる手法を取らなければならない。また、適切な方法に基づいて対策を講ずれば十分に被害を抑えることができるものとする。そこで津波による被害者を最小限に抑える為に津波が建築物に与える影響について研究を行い、津波荷重と地震荷重との違いを明確にすることで、津波に対する建築の在り方、建築面でできる津波対策について検討する。

2. 津波被害の概要¹⁾

東日本大震災で建築物が受けた津波被害について RC 造建築物は津波に完全に飲まれても躯体だけであるが残ったものも多く、基礎杭の引抜きやせん断破壊によって転倒・滑動の被害を受けたものの躯体の形を残したままの建物も数多く見られた。また津波の作用面の開口より反対側の開口が小さいことによって非構造壁に荷重が集中し破壊が起こるケースも見られた。洗掘では建築物を傾斜させる例もあった。

S 造建築物は柱脚部の塑性域を超えて曲げ破壊を起こした建築物があり、柱頭部が引張力によって破断した例も見られた。また座屈によって建築物が傾斜する例もあったが、非構造部材などが流され骨組みのみが残ったものもあった。骨組みが残った建物でも柱脚部の移動などの被害も確認できた。

木造建築物は高い津波に対しては基礎のみが残っていたが基礎すらも流失した例も見られた。しかし 1.2m 程度なら耐えられる建築物も確認することができた。

3. 津波荷重算定式²⁾

計算で用いる津波高さは気象庁で観測される津波高さではなく図 1 に示すように地表面から水面までの高さである浸水深を用い、耐力部材の高さや浸水深の高さ・開口の有無に応じて①から④の 4 つの場合に分けて計算を行う。

津波荷重： Q_z [kN] 建物幅： B [m] 浸水深： η [m]
海水密度： $\rho=1.02$ [kg/m³] 重力加速度： $g=9.8$ [m/s²]
開口がある場合に用いる浸水深： η' [m]
計算範囲： z_1, z_2 [m] ($0 \leq z_1 \leq z_2, z_1 \leq z_2 \leq 3\eta$)

基本式

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

$$= \frac{1}{2} \rho g B \{ (6\eta z_2 - z_2^2) - (6\eta z_1 - z_1^2) \}$$

接地した壁・柱部分の算定式

$$Q_z = \rho g B \int_0^{3\eta} (3\eta - z) dz = \frac{9}{2} \rho g B \eta^2 \quad \dots ①$$

$$Q_z = \rho g B \int_0^{z_2} (3\eta - z) dz = \frac{1}{2} \rho g B (6\eta z_2 - z_2^2) \quad \dots ②$$

接地していない壁・梁部分の算定式

$$Q_z = \rho g B \int_{z_1}^{3(\eta\eta')^{\frac{1}{2}} + z_1} \{ 3(\eta\eta')^{\frac{1}{2}} + z_1 - z \} dz = \frac{9}{2} \rho g B \eta\eta' \quad \dots ③$$

$$Q_z = \rho g B \int_{z_1}^{z_2} \{ 3(\eta\eta')^{\frac{1}{2}} + z_1 - z \} dz$$

$$= \frac{1}{2} \rho g B \{ 6(\eta\eta')^{\frac{1}{2}}(z_2 - z_1) - (z_2 - z_1)^2 \} \quad \dots ④$$

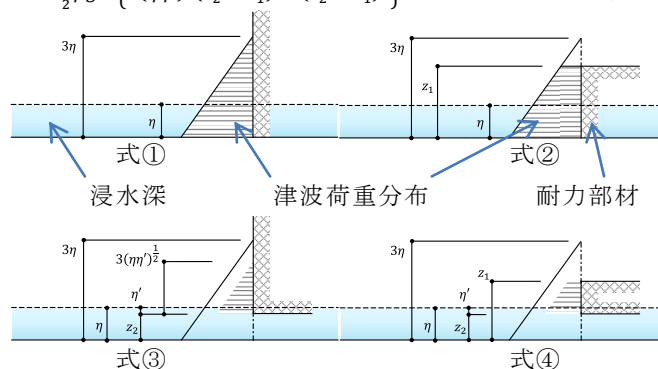


図 1 建築物の形状による津波波圧分布

4. 津波荷重の計算

4.1 建物モデルの作成

簡易的なラーメンフレームモデルを作成し必要保有水平耐力を求めた。建物のデータを表 1 に示し、津波に対する受圧面の違いとして、無開口・ピロティ・ラーメンの 3 つのモデルを図 2 に示す。また単純ラーメンにおける必要保有水平耐力は 32978(kN)、内力仕事は 15415 θ (kNm) として津波による建築物への影響を比較する。

津波は長辺の面に作用すると仮定する。ただし受圧面となる壁は重量無しで津波荷重によって破壊されない耐力部材とし、単純ラーメンの構造計算結果をそれぞれのモデルの構造とする。また崩壊機構は梁端ヒンジ型のみで検討を行う。

表 1 建物パラメータ

部位	寸法(mm)
柱	650 × 650
梁	400 × 700

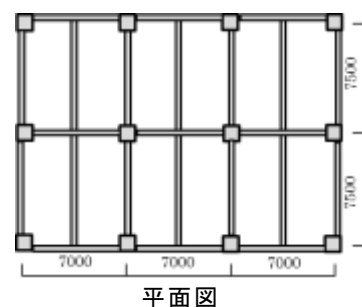


図 2 建物モデル概要

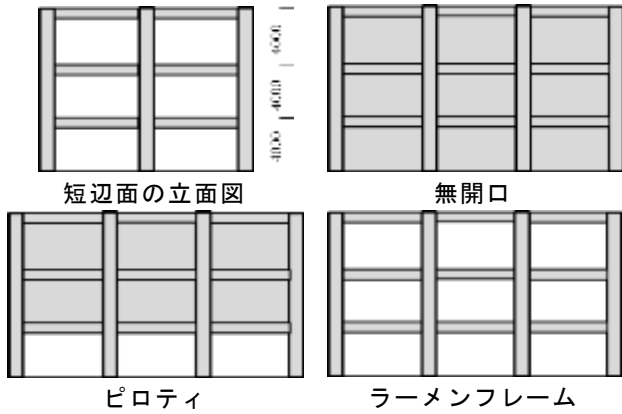


図2 建物モデル概要

4.2 建物モデルに対する津波荷重計算

①から④に示した津波荷重算定式をもとにプログラミングを組み、図2に示す無開口・1階ピロティ・ラーメンフレームの3つの建物モデルに対して浸水深を徐々に上げ必要保有水平耐力に達するまでとし、津波荷重の変位を計算する。

シミュレーションの結果は図3に示す通りとなり、具体的な数値を表2に示した。無開口は津波荷重を受け流すことができないため低い浸水深で耐力に達してしまう。ピロティとラーメンでも荷重の大きさに差が出たものの広がり方は小さかったために高さに大きな違いは見られなかった。

また、保有水平耐力に達したときの荷重で崩壊機構について検討を行った。崩壊機構を求めるに際し、津波の荷重は浸水深と開口に大きく左右されるため、無開口での浸水深を建物高さの1/3としたときの荷重分布を崩壊荷重の分布として比較する。図4には開口別の荷重比を示し、本研究では無開口の荷重比を用いる。また本来ならば三角形荷重または台形荷重から集中荷重を求めるが、計算の都合上、各床面の中間に線を引き、それによって分けられた津波荷重の合計を近似的に各階にかかる集中荷重とし、崩壊荷重を地震と津波それぞれ図5・表4と図6・表5に示した。

5. まとめと今後の課題

津波荷重は浸水深が高くなるにつれ二次関数的に増加していく。モデルの違いによって荷重の大きさ・分布に差異がある。受圧面に開口が多いほど浸水深が高くなっても耐える事ができ、特に下層における開口の津波荷重の軽減効果は高い。また必崩壊機構の比較をした場合、荷重の分布に大きく違いと地震力よりも大きな値を取る事が分かった。このことから津波に対しては1階における構造的強度の重要性が指摘できる。そこで1階において開口による荷重の軽減と構造的強度の両立が津波荷重に対して重要と考えられる。東日本大震災で被害を受けた建物は様々な種類の被害がある。しかし今回使用し

た津波荷重算定式では水平力しか計算できないため一部の津波被害にしか適応できない。

今後の課題として、建物の浮力と基礎杭の強度・耐力から滑動・転倒の可能性についても研究を行い、被害建物のデータが入手できればそれと比較した津波荷重算定式の妥当性に関する研究も重要である。また地震による建物への影響と併せて考えることで、より現実的なシミュレーションの作成が必要である。

参考文献

- 1) 建築研究所 平成23年東北地方太平洋沖地震調査研究 第6章 津波による建築物の被害
- 2) 内閣府 津波避難ビル等に係るガイドライン 巻末資料2「構造的要件の基本的考え方」

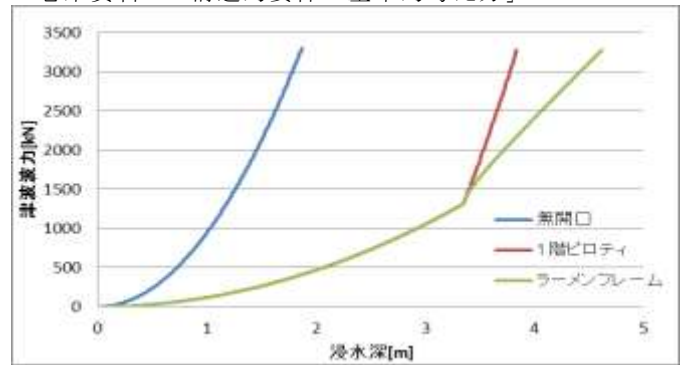


図3 一定荷重における建物別浸水深の比較

表2 一定荷重における建物別浸水深の比較

	無開口	1階ピロティ	ラーメンフレーム
浸水深[m]	1.87	3.84	4.62

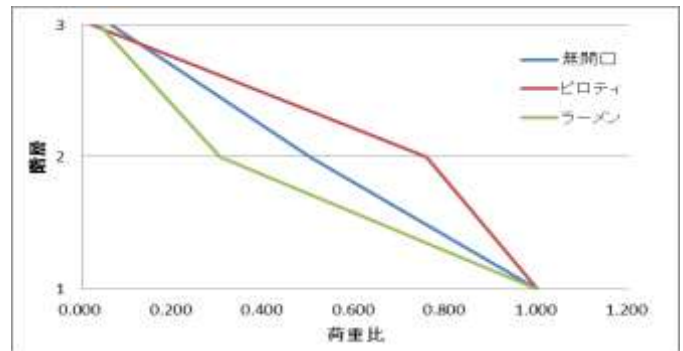


図4 浸水深4mのモデル別荷重比

表3 浸水深4mのモデル別荷重比

	無開口	ピロティ	ラーメン
3	0.063	0.020	0.038
2	0.500	0.756	0.303
1	1.000	1.000	1.000

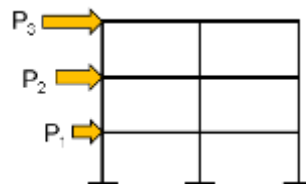


図5 地震時の崩壊荷重
表4 地震時の崩壊荷重

P ₁	P ₂	P ₃
584kN	1168kN	1752kN

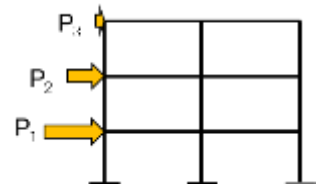


図6 津波時の崩壊荷重
表5 津波時の崩壊荷重

P ₁	P ₂	P ₃
4156kN	2078kN	207.8kN