

津波漂流物の衝突解析による津波避難ビルの安全性評価

Safety Evaluation of Tsunami Refuge Building by Impact Analysis of Tsunami Debris

○学 荻野 弘明 (筑波大院)
Hiroaki OGINO, Graduate School, Univ. of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki

正 磯部 大吾郎 (筑波大)
Daigoro ISOBE, Univ. of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki

Key Words: *Impact Analysis, Tsunami Debris, Tsunami Refuge Building*

1. 緒言

2011年の東北地方太平洋沖地震では地震、津波および漂流物の衝突によって多くの建物が損壊した。中でも漂流物の衝突を含む津波による建物の被害としては倒壊、転倒あるいは滑動が数多く起こったと考えられている。今回の震災を受けて、これらの被害が起こらない構造上安全性の高い津波避難ビルの必要性が高まった。現在でも、高台が近くに存在しない海岸地域では多くの自治体で津波避難ビルの設置が検討されている。また、関係機関では津波避難ビル等の構造上の要件に係わる暫定指針[1]を提案し、さらにその指針に基づいて津波避難ビルの具体的な設計例を示した[2]。津波避難ビルの設置に向けて様々な自治体や機関で多角的な検討を行っているが、依然として課題が多く存在していると考えられている。例えば、津波の被害を受ける建物に対して地震の影響を定量的に評価することは困難である点、漂流物の衝突力の統一的な評価方法が確立されていない点などが挙げられる。これらの問題点を解決することで、より構造上安全性の高い津波避難ビルの設置を検討することができるものと思われる。

本稿では建物の倒壊被害に着目し、地震力、流体力および漂流物の衝突力を連続的に建物に作用させ、数値解析によって津波避難ビルの基礎的な安全性評価を行った。なお、解析コードには衝突解析や崩壊解析に実績のある ASI-Gauss 法[3]を用いた。

2. 数値モデル

津波避難ビルのモデルは文献[2]に記載されている設計例に準じて図1のように構築した。建物はベースシア係数0.16、標準階高3.95 m (1階4.60 m) の10層から構成され、12.8 × 32.0 mの空間を有する鋼構建造物となっている。床荷重は屋上で670 kgf/m²、2-10階の床で540 kgf/m²と設定し、モデル化していないPCカーテンウォールの重量は外周の大梁に加え、総重量58,901 kNと重量の重い建物を再現している。減衰定数は2%と設定し、各部材の材料は柱がBCP325、梁

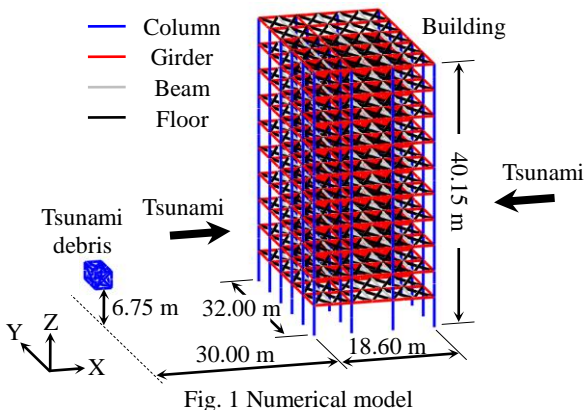


Fig. 1 Numerical model

がSN490B、剛床を仮定した床がコンクリートである。モデルの1次固有周期を求めたところ、X方向で1.36 s (設計例: 1.37 s)、Y方向で1.37 s (設計例: 1.38 s) となり、設計例とほぼ一致したことからモデルの妥当性は確認されている。漂流物モデルには重量24 ton、長さ6 m、幅と高さ2.5 mの鋼材のコンテナモデルを用いた。

3. 荷重条件

モデルに付与する荷重は地震力、浮力と津波荷重の流体力および漂流物の衝突力である。地震波には図2に示す東北地方太平洋沖地震で観測された仙台波を利用し、0 s から150 s まで入力した。浮力 F_b には次式を適用した。

$$F_b = \rho_s g V \quad (1)$$

ここで、 ρ_s : 瓦礫を含んだ海水の密度、 g : 重力加速度、 V : 物体が排した水の体積であり、建物の場合の体積は構造部材の体積分と床下の空気溜まりの和とした。浮力は図3(a)に示すように水面下に存在する節点に対して均等に付与した。次に、津波荷重は次式に示す静水圧の荷重 F_s と抗力 F_d の和を用いることとした。

$$F_s = \gamma \rho_s g \int_{z_1}^{z_2} (h-z) B dz \quad (2)$$

$$F_d = \frac{1}{2} \gamma \rho_s C_d u^2 A \quad (3)$$

ここで、 γ : 開口低減係数、 z_1 : 受圧面の最小高さ、 z_2 : 受圧

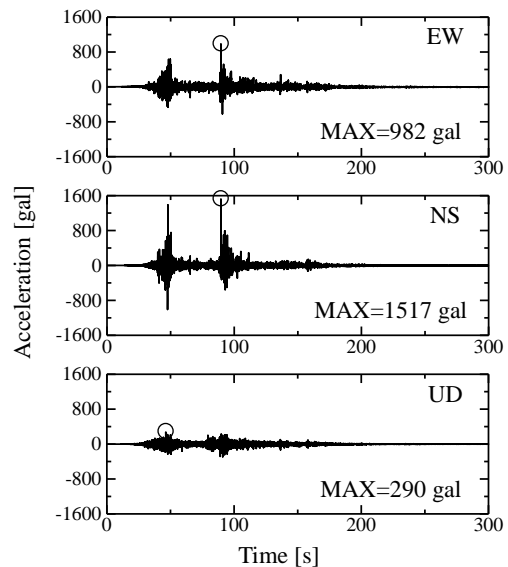


Fig. 2 Input seismic wave

面の最高高さ, h : 浸水深, z : 当該部分の地盤面からの高さ, B : 当該部分の受圧面の幅, C_d : 抗力係数, u : 津波と物体の相対速度, A : 津波荷重を受ける受圧面の面積である. 開口低減係数は受圧面の総面積を開口部の面積で除外した面積を受圧面の総面積で除した値であり, この係数を導入することで開口部による津波荷重の低減を考慮した. 津波荷重の分布は図3のように抗力が立面的に等分布, 静水圧の荷重が立面的に三角形分布となっている. 津波荷重は受圧面に存在する水面下の節点に付与した. また, 地震力によって生じる建物の残留変形方向は津波荷重による建物の変形の進行具合に影響を及ぼすものと考えたため, 津波来襲方向は図1のように $\pm X$ 方向の2種類とした. 津波荷重の設定に関しては, 設計例で浸水深8mの2倍の高さの静水圧[2]を用いていることを参考にし, その大きさに相当する津波荷重を利用した. 算定の際に用いた各パラメータを表1に示す. 静水圧の荷重は静的に1stepで作用させ, 抗力は動的に1秒間作用させた.

漂流物を衝突させる際には初速度10.2 m/sを与え, 喫水を1.25 mとして建物の側面から衝突させた. これらは建物に対して抗力を動的に作用させた後に行い, 解析では初速度を与えてから約2.8秒後に衝突することを確認している. なお, 漂流物に作用させる津波荷重は抗力のみとした.

4. 解析結果

図4に各荷重条件下における建物の様子を示す. 視覚上では流体力作用時と漂流物衝突時との間で明確な差が確認されないが, 衝突によって1~3階の柱と3階の梁の一部が塑性化した. 倒壊被害の規模を数値的に表すため, 各荷重条件下における層間変形角を図5に示す. 流体力を作用させた結果は解析終了時に得られた層間変形角をプロットしている. 図5(a)より, 地震波入力区間における最大層間変形角は建物の中層から高層にかけて大きく, 耐震設計の際に基準値として利用される1/100を優に超えていることがわかる. また, 地震波入力終了時には残留変形が生じ, その方向はどの層においても $+X$ 方向であることが確認された. 流体力のみを作用させた結果を見ると, 地震力とは異なり低層部を中心に變形が進行しており, 1階の層間変形角は約1/100に達した.

次に図5(b)の連続的に荷重を作用させた際に得られた層間変形角に着目する. 残留変形とは逆の方向($-X$ 方向)に津波荷重を作用させた場合, 1階の層間変形角は地震波入力後の残留層間変形角を大きく上回っていることがわかる. 変形を押し戻すほど津波荷重の威力が大きいと言える. また, 残留変形方向($+X$ 方向)に津波荷重を作用させた場合は,

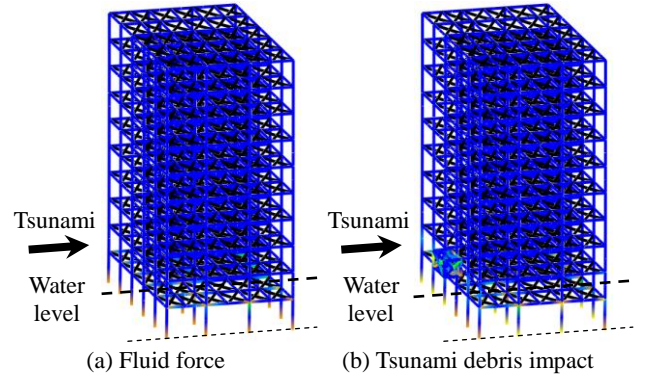


Fig. 4 Behavior of the building

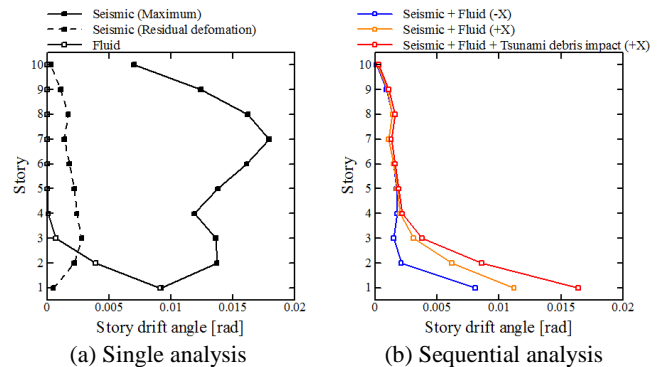


Fig. 5 Story drift angle of the building

低層部の變形がより進行した. 図5(a)の流体力のみを作用させた結果と照らし合わせてみても, 残留変形の影響によって若干ではあるが層間変形角は大きくなっていることがわかる. 最後に, 漂流物を衝突させた場合は衝突位置の2階や3階に比べ1階の變形が顕著に進み, 層間変形角の大きさは約0.016となった. 地震力と流体力作用による1階の層間変形角は約0.011であり, 衝突によって層間変形角は約1/200増えたことになる. したがって, 建物と比較して規模が小さい漂流物でも重量や速度によっては衝突力が大きくなり, さらに, より大きな漂流物が衝突する場合には過大に變形することが懸念される.

5. 結言

地震応答, 流体力作用および漂流物衝突の連続解析を行い, 建物の倒壊被害の規模を表す指標として層間変形角を示すことで津波避難ビルの基礎的な安全性評価を行った. 本稿では建物の倒壊は起こらなかったが, 地震で生じた残留変形や漂流物の衝突力が建物の倒壊に大きく関与することが確認された. 今後, 津波避難ビルのような耐津波用の建物を設計するには, 地震による損傷を考慮することや漂流物の衝突を詳細に検討することが必要であると考えられる.

参考文献

- [1] 国土交通省住宅局, 国土交通省国土技術政策総合研究所: 東日本大震災における津波による建築被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係わる暫定指針, 2011.11.
- [2] 日本建築防災協会: 津波避難ビル等の構造上の要件の解説, 2012.2.
- [3] 磯部 大吾郎, チョウ ミヨウ リン: 飛行機の衝突に伴う骨組鋼構造の崩壊解析, 日本建築学会構造系論文集, 第579号, pp.39-46, 2004.5.

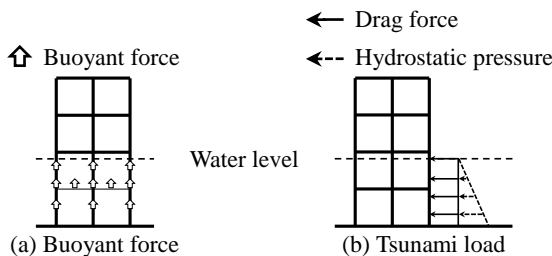


Fig. 3 Fluid force

Table. 1 Numerical parameters

Parameter	Symbol	Value
Density of seawater	ρ_s [kg/m ³]	1,200
Inundation height	h [m]	8.0
Relative velocity	u [m/s]	10.2
Drag coefficient	C_d	2.0
Width of the building	B [m]	32.0
Aperture reduction coefficient	γ	0.9