

# 津波漂流物衝突解析による鋼構造建築物の構造設計に関する考察

## Study on Structural Design of Steel Framed Buildings using Tsunami Debris Impact Analysis

○ 磯部 大吾郎 (筑波大)  
Daigoro ISOBE, Univ. of Tsukuba

董 元奇 (筑波大院)  
Yuanqi DONG, Graduate School, Univ. of Tsukuba

Key Words: *Tsunami Debris, Impact Analysis, Steel Framed Building*

### 1. 緒言

東日本大震災では、東北地方の太平洋沿岸の広い範囲で津波による大きな被害が生じた。津波は船舶やコンテナなどを押し流し、それらが衝突することによって建物が損壊するという被害も多かったと考えられている。そのため、多くの自治体で設置が検討されている津波避難ビルは、地震や津波に耐えるだけでなく、漂流物の衝突にも耐えることが要求されてくる。筆者らは、地震と津波ならびにそれに伴う漂流物の衝突の際に、一般的な鋼構造建築物がどのような挙動をするのか、また、それらのどの外力に対しても耐えられる構造の設計仕様はどのようなものになるのか、数値解析に基づいた検討を行っている。前報[1]では、6層3スパンの鋼構造モデルに東日本大震災の際の気仙沼波を入力して地震応答解析を行った後、構造モデルに津波の遡上高さや海抜を変数として持つ流体力[2]を加え、さらに船舶を模擬した漂流物モデルを衝突させ、構造モデルの挙動を調べた。しかし、その際に用いた流体力は、津波到達時に物体に対し衝撃的に作用する力であり、流体と物体の相対速度が小さい場合に大きく見積もられてしまう可能性があった。

そこで本稿では、流体の物体に対する相対速度に依存する抗力を流体力として用い、建物や漂流物に作用する流体力をそれらの速度に応じて作用するようにした。解析にはASI-Gauss法[3]に基づいて開発された崩壊解析コードを用い、漂流物が建物に衝突する前後の流体力と速度、建物の層間変形角の推移を調べた。さらに、建物の浸水部に壁が無い状態を想定した場合についても調べた。

### 2. 解析モデルと解析条件

鋼構造モデルには、図1に示すようなベースシア係数0.3として設計された6層3スパン（階高3.6m、1スパン6m）のS造骨組構造を用いた。床荷重は400kgf/m<sup>2</sup>とした。初めに図2に示す気仙沼波を地震波として鋼構造モデルに時刻t=0sからt=150sの間入力し、その後t=150sからの1秒間に浮力と抗力を増分的に作用させた。浮力には次式を用いた。

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

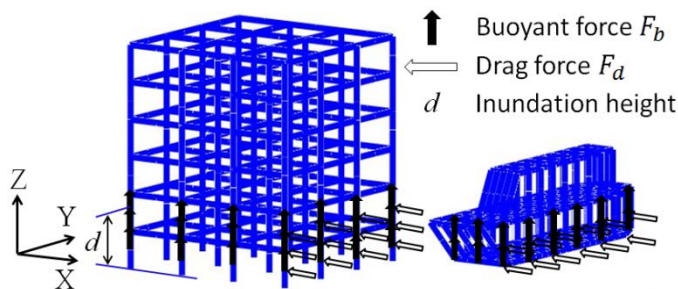


Fig. 1 Fluid force and buoyant force applied to the building and tsunami debris

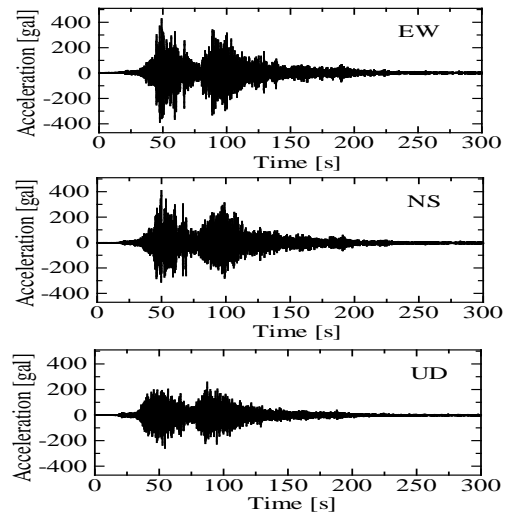


Fig. 2 Input seismic wave (Kesennuma wave)

ここで、 $\rho_s$ ：瓦礫を含んだ海水の密度 1,200 kg/m<sup>3</sup>、 $g$ ：重力加速度、 $V$ ：物体が排した水の体積である。次に、抗力には次式を用いた。

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

ここで、 $A$ ：水面下の投影面積、 $C_d$ ：抗力係数、 $U$ ：津波と物体の相対速度である。抗力係数には長方形の面に抗力が作用した場合の値を用い、1.2とした[4]。建物の水面下投影面積は、壁が全て健全に残っている状態を想定した場合は水面下全面の面積とし、壁が無い状態を想定した場合は水面下柱側面のみ面積とした。津波の速度を10m/s、浸水深を6mとおくと、建物の水面下の部分に作用する抗力は、建物が静置されている状態で約7.8MN（壁が有る場合）と約0.7MN（壁が無い場合）と計算される。

漂流物モデルには、重量110ton、長さ27m、幅6m、高さ8mのアルミ合金製の船舶モデルを用いた。t=151sに漂流物に初速度として10m/sを与え、図1に示すように建物に側面から衝突させた。解析ではt=152.7sに漂流物が建物に衝突した。船の喫水を2mとおくと、漂流物の水面下側面に作用する抗力は、初速度が与えられた状態では相対速度が0m/sのため0MN、建物に衝突し絶対速度が0m/sとなった状態では約3.3MNと計算される。

動的解析での時間増分を1msとし、時間積分法には数値減衰を考慮したNewmarkのβ法(β=4/9、δ=5/6)を用いた。

### 3. 解析結果

時刻  $t=150$  s まで気仙沼波を建物に入力し地震応答解析を行った結果、多少の変形は生じたが大きな損傷には至らないことが分かった[1]。次に、建物と漂流物に浮力および抗力を作用させ、漂流物に初速度を与えて衝突させた際の様子（時刻  $t=154.8$  s）を図 3 に示す。図 3(a) は壁が有る場合の挙動、図 3(b) は壁が無い場合の挙動である。図中、次に示す降伏関数の値によって要素ごとに色分けし表示している。

$$f_y = \left( \frac{M_x}{M_{x0}} \right)^2 + \left( \frac{M_y}{M_{y0}} \right)^2 + \left( \frac{N}{N_0} \right)^2 \quad (3)$$

ここで、 $M_x$ ,  $M_y$ ,  $N$  はそれぞれ  $x$ ,  $y$  軸回りの曲げモーメントおよび軸力である。各項の分母は、各々の断面力が部材断面に単独で作用した場合の全断面塑性値である。赤色は、要素が降伏していることを示す。

図 4 には建物と漂流物それぞれに作用した抗力の推移（図 4(a) は壁が有る場合、図 4(b) は壁が無い場合）、図 5 には建物と漂流物それぞれの速度曲線（図 5(a) は壁が有る場合、図 5(b) は壁が無い場合）を示す。さらに、図 6 には建物の 1 階の層間変形角の推移を示す。

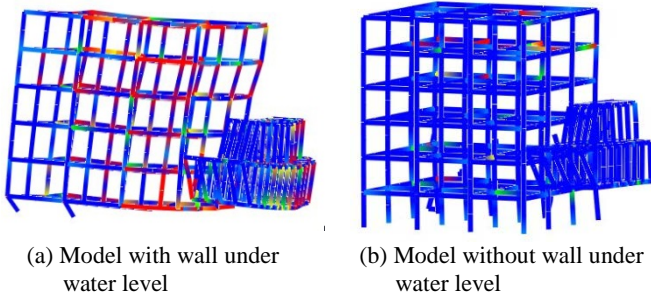


Fig. 3 Behavior of the building after collision with tsunami debris ( $t=154.8$  s)

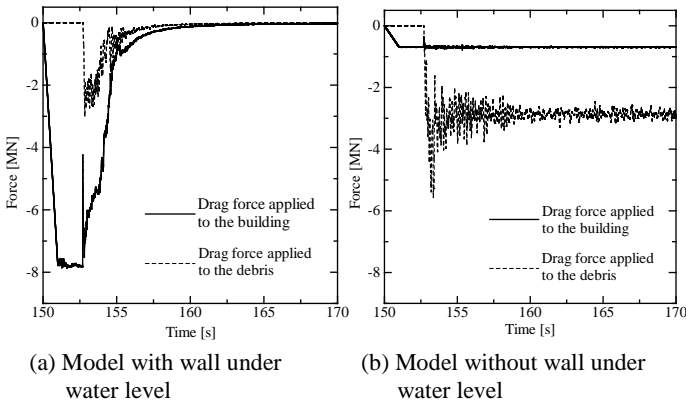


Fig. 4 Drag force applied to the building and tsunami debris

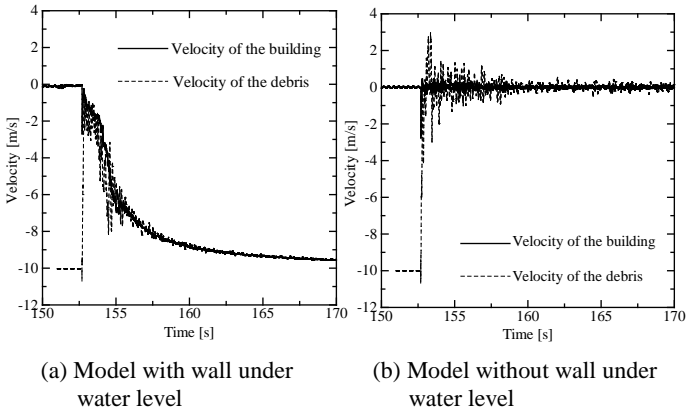


Fig. 5 Velocities of the building and tsunami debris

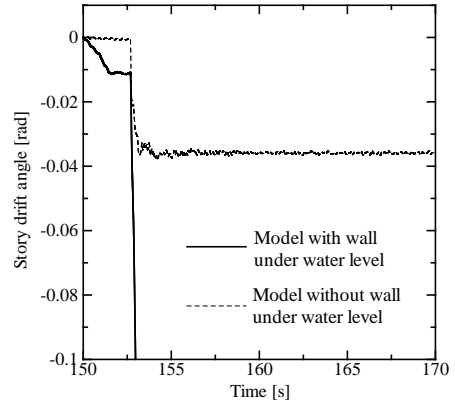


Fig. 6 Story drift angle of the building

間変形角の推移を示す。

前節より、壁が有る場合には無い場合の 10 倍以上の抗力が建物に作用するが、図 4(a) に示すように漂流物が衝突する  $t=152.7$  s までは建物に作用する抗力は一定であり、図 5(a) から速度も  $0$  m/s のままであることが分かる。つまり、抗力の作用のみでは建物は倒壊していない。しかし、漂流物が  $t=152.7$  s に衝突した瞬間から建物が漂流物と同一速度で移動し、作用している抗力が減少し、図 6 より層間変形角が極端に増大していることが分かる。すなわち、建物が倒壊し流されていることが分かる。一方、水面下に壁が無い場合には、図 4(b) に示すように建物に作用する抗力は非常に小さい。むしろ建物に衝突後の漂流物に作用する抗力の方が大きく、ピーク時には定常時の 2 倍程度になることが分かる（漂流物に作用する抗力が図 4(a) の値より大きいのは、衝突した建物が移動をせず、津波との大きい相対速度が維持されるためである）。図 5(b) から分かるように、衝突後は建物と漂流物が一体化して速度  $0$  m/s を保っている。また、その時の建物の層間変形角は図 6 より約  $0.036$  であり、建築物の被災度レベルが大破とされる値 ( $1/30$  など) と同等となるが、建物は倒壊していないことが分かる。

### 4. 結言

本稿では、流体と物体の相対速度から求められる抗力を流体力として用い、建物の地震応答・流体力作用・漂流物衝突の連続解析を行い、地震・津波・漂流物衝突に耐える構造の在り方に関する検討を行った。壁が無い構造は抗力を逃すために津波に対し優位性が高いが、その場合にも漂流物の衝突力およびその後の抗力を受けるため、想定される漂流物の最大重量から衝突力のピーク値を見積もり、最大層間変形角が十分低くなるように設計する必要がある。

### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 25420567 の助成を受けたものである。

### 参考文献

- [1] 董 元奇, 磯部大吾郎: 津波漂流物の衝突に伴う S 造骨組構造の崩壊解析, 日本機械学会第 25 回計算力学講演会講演論文集 CD-ROM, No.12-4, (2012), pp.83-84.
- [2] 平成 23 年東北地方太平洋沖地震調査研究 (速報), 国総研資料第 636 号, 建築研究資料第 132 号, 2011.
- [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.
- [4] 佐藤恵一, 木村繁男, 上野久儀, 増山 豊: 朝倉書店, 流れ学, 2004.