

津波漂流物の衝突に伴う S 造骨組構造の崩壊解析

Collapse Analysis of Steel Framed Structure Subjected under Tsunami Debris Collision

○非 董 元奇 (筑波大院) 正 磯部 大吾郎 (筑波大)

Yuanqi DONG, Graduate School, Univ. of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki
Daigoro ISOBE, Univ. of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki

1. はじめに

東日本大震災は、東北地方を中心に強い揺れによる被害をもたらした。さらに、東日本の太平洋沿岸の広い範囲で津波による大きな被害をもたらした。津波は浸水という被害だけではなく、船舶やコンテナなどを押し流し、建物などに衝突することによる被害をもたらした。例えば定期検査中の観光船「はまゆり」(図 1)は岩手県大槌町の造船所から、津波によって防波堤を乗り越えて約 150m 離れた民宿の屋根に乗り上げた。建物の損壊の多くは、船舶、コンテナなどの漂流物による破壊が原因と考えられている。

本研究では、津波漂流物による衝突力が地震後に残存した建物に対して与える影響を調べるため、6 層 3 スパンの S 造骨組構造に船舶を模擬した漂流物モデルを衝突させる解析を行った。解析には ASI-Gauss 法[1]に基づいて開発された崩壊解析コードを用いた。地震入力波には気仙沼市で観測された地震動、流体力には同じく気仙沼市で観測された津波の最大遡上高さおよび津波高さを使って計算したものをを用いた。さらに、船を模擬したモデルに浮力、流体力と初速度を与えて漂流物の衝突を再現し、異なる海拔に建つ建物に対してそれぞれの荷重が与える影響の度合いを比較した。

2. 解析モデルと解析条件

解析モデルにはベースシア係数 0.3 として設計された 6 層 3 スパン、階高 3.6 m の S 造骨組構造を用いた。なお、床荷重は 400 kgf/m²とした。作成した解析モデルに対し、まず東日本大震災の際に気仙沼市で観測された地震波(図 2)を 150 s まで入力し、地震動のみによる損傷を調べた。次に、気仙沼市での観測情報[2]に基づき最大遡上高さ R*=21 m、津波高さ h=15 m の津波が押し寄せてきたことを想定し、図 3 に示すように浮力 F_bを静的に、流体力 F_dを動的にそれぞれ作用さ



図 1 民宿の上に乗り上げた観光船「はまゆり」(岩手県大槌町, 朝日新聞社より)

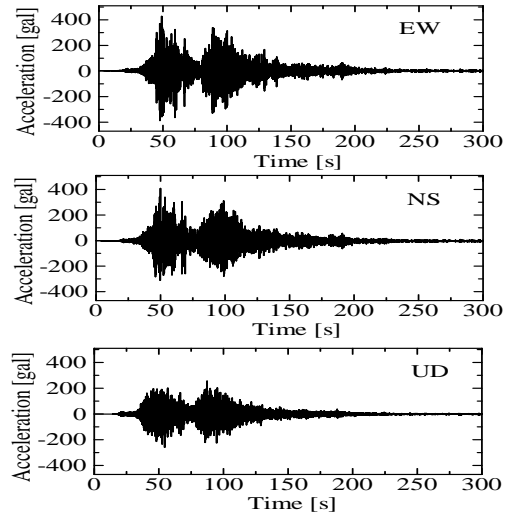


図 2 気仙沼波(解析では 150 s までを入力)

せた。建物が海拔 9 m に建つ場合と、11 m に建つ場合について解析を行った。浮力および流体力は以下のように計算した。

構造物の一部または全体が水没した場合に、構造物が押しやった水の体積分の浮力は次式のように与えられる[3]。

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

ここで、V: 構造物が押しやった水の体積である。浮力は自重と反対方向に作用するため、建物が転倒しやすくなることが考えられる。解析では、建物には骨組部材の容積分の浮力を水面下の節点に加え、漂流物(船)には船の重量と同等の大きさの浮力を水面下の節点に加えた。

津波の速度が比較的大きい場合に、水の圧力差および構造物に作用する抗力からなる流体力は次式のように与えられる。

$$F_d = \frac{1}{2} \rho_s C_d B (hu^2)_{\max} \quad (2)$$

ここで、C_d: 抗力係数、B: 構造物の幅、u: 津波速度、(hu²): 流束運動量である。(hu²)_{max}を求める際には、近似的に次式を用いることができる[3]。

$$(hu^2)_{\max} = gR^2 \left[0.125 - 0.235 \frac{z}{R} + 0.11 \left(\frac{z}{R} \right)^2 \right] \quad (3)$$

ここで、R: 津波の設計遡上高さ=1.3 R*, z: 海拔である。解析では、漂流物側の建物の側面に水面下の面積分の流体力を、漂流物(船)の船尾には水面下の後方投影面積分の流体力を加えた。また、津波高さ h と海拔 z および浸水深 d の関係は

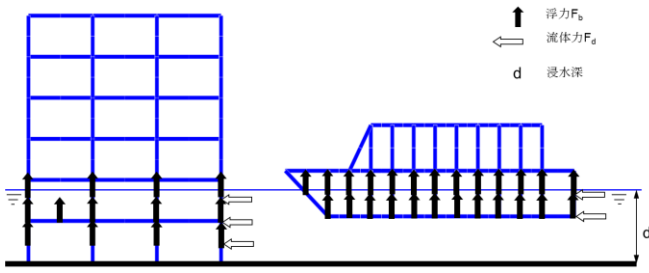


図3 建物と漂流物に作用する荷重

次式で与えられる。

$$h = z + d \quad (4)$$

最後に、重量 110 ton の漂流物（長さ 27 m，幅 6 m，高さ 8 m のアルミ合金造の船を想定）に初速度 10 m/s を与えて S 造骨組構造に衝突させた。以上の一連の過程を連続的に解析し、それぞれの過程における解析モデルの挙動を調べた。解析結果では、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た。

$$f_y = \left(\frac{M_x}{M_{x0}} \right)^2 + \left(\frac{M_y}{M_{y0}} \right)^2 + \left(\frac{N}{N_0} \right)^2 \quad (5)$$

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。動的解析での時間増分を 1.0 ms とし、時間積分法には数値減衰を考慮した Newmark の β 法 ($\beta = 4/9$ ， $\delta = 5/6$) を用いた。

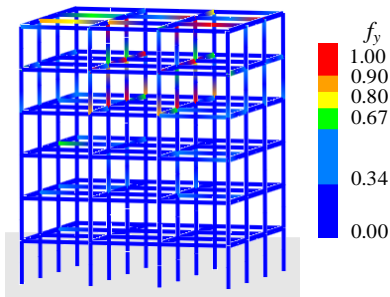


図4 入力加速度最大振幅時(49.8 s)の変形の様子

3. 解析結果

気仙沼波を建物に入力した際の最大振幅時の変形の様子を図 4 に示す。地震動により建物に多少の変形が生じたが、損傷には至らなかった。この後に、建物が海拔 9 m（すなわち(4)式より浸水深 $d=6$ m）および 11 m（浸水深 $d=4$ m）に建つ場合の、それぞれ浮力と流体力を作用させた際の挙動を図 5 および図 6 に示す。その結果、海拔 9 m に建つ建物は倒壊したが、海拔 11 m に建つ建物は永久変形を生じたものの、倒壊には至らなかった。次に、船を模擬した漂流物モデルに初速度 10 m/s および浮力、流体力を作用させ、海拔 9 m の建物および 11 m の建物に衝突させた際の変形の様子を図 7、図 8 にそれぞれ示す。その結果、いずれの建物も倒壊した。なお、漂流物に与える初速度を極端に小さくしても結果はあまり変わらず、むしろ漂流物に加わる流体力の影響が大であることが分かった。

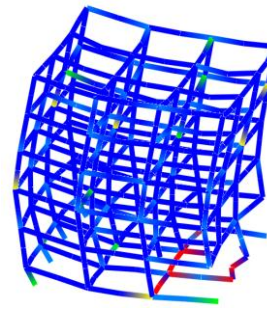


図5 建物に浮力・流体力を作用させた際の変形の様子（海拔 9 m）

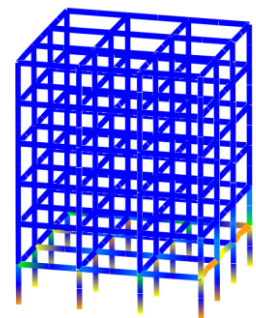


図6 建物に浮力・流体力を作用させた際の変形の様子（海拔 11 m）

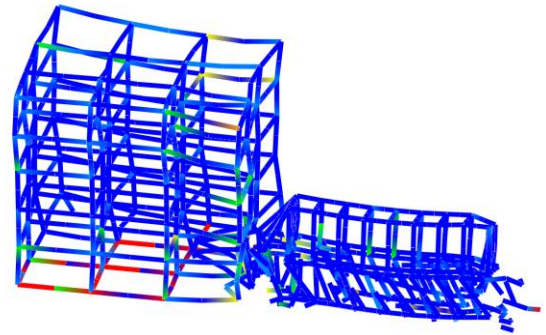


図7 漂流物が建物と衝突した際の変形の様子(海拔 9 m)

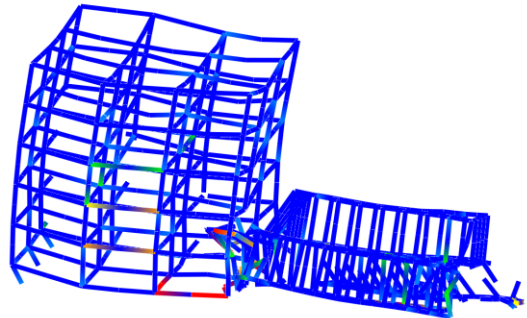


図8 漂流物が建物と衝突した際の変形の様子（海拔 11 m）

4. 結言

本稿では、ASI-Gauss 法による崩壊解析コードを用い、建物に対する津波漂流物の衝突現象を再現した。海拔の異なる位置に建つ建物に地震力・浮力・流体力が及ぼす影響の度合いを比較した結果より、漂流物の衝突による影響も大きい、それ以上に流体力（特に遡上高さ）の影響が大きく、海拔の高い位置にある建物の被害が小さくなる可能性が高いことが確認された。

参考文献

- [1] 磯部大吾郎，チョウミョウリン：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，2004，pp. 39-46.
- [2] 東日本大震災 1 年記録（みやぎの住宅社会資本再生，復興の歩み），宮城県土木部，2012.
- [3] 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.