

津波漂流物の衝突による建築物の応答特性に関する研究
その1 非線形時刻歴応答解析による建物の応答評価

正会員 本村 友一*¹ 同 ○崔 琥*² 同 高橋 典之*³
同 松川 和人*⁴ 同 楊 勇*⁵ 同 中埜 良昭*⁶

鉄筋コンクリート構造物 津波漂流物 非線形応答解析

1. はじめに

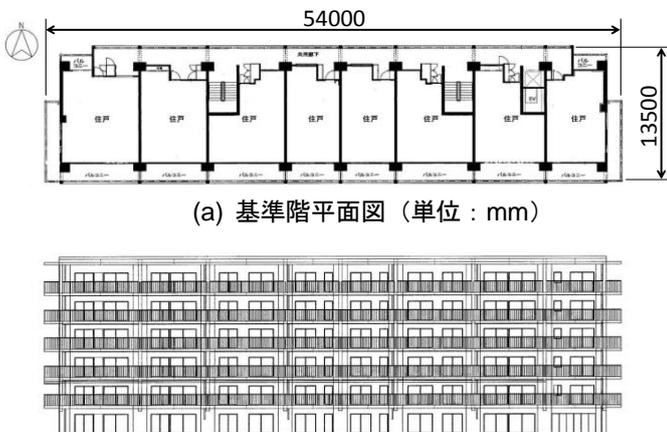
2011年東北地方太平洋沖地震により発生した津波被害の中には船舶等の津波漂流物の衝突により建物が崩壊した事例も見られた(写真1¹⁾)。しかし、漂流物の衝突による建築物への影響に関する知見は少なく、津波避難ビルの設計指針²⁾においても、さらなる詳細な検討が必要とされている。そこで本研究では、津波漂流物の衝突が建築物、特に津波避難ビルに与える影響を把握するため、解析のおよび実験的検討を行う。本報では、多質点系非線形時刻歴応答解析を行い、津波波力作用時に衝突力が作用した場合の建物の応答について検討した結果を述べる。



衝突により崩壊した建物 (気仙沼市, 鉄骨造3階) 町中に漂流した船舶 (気仙沼市, 総トン数330t)
写真1 漂流物の衝突に関する被害事例

2. 多質点系非線形時刻歴応答解析による建物応答評価
2.1 解析対象建物のモデル化

本研究の対象建物は、文献3)に示される設計指針を踏まえ、浸水深 $h=10\text{m}$ 、水深係数 $a=2.0$ の津波に対して設計された津波避難ビルの設計例の一例である、6階建て鉄筋コンクリート造共同住宅を基本とした(図1)。



(a) 基準階平面図 (単位: mm)
(b) 南側立面図
図1 対象建物

対象建物のベースシア係数は1.15であり、これを6質点モデルに置換し、津波波力および衝突力を外力として入力した。各層の骨格曲線は降伏変形角を文献3)にならない $1/200\text{rad}$ で一定とした Tri-Linear 型を想定し、履歴特性は Takeda モデル (除荷時剛性低下指数は0.4) を用いた。数値積分法として Newmark- β 法 ($\beta=1/6$) を使い、積分時間刻みを0.001秒とした。弾性固有周期 T は0.26秒、単位床重量は 14kN/m^2 として計算を行った。

2.2 津波波力および衝突荷重の算定方法

対象建物に作用する津波波力としては、文献3)に基づき、浸水深 h に水深係数 a を乗じた深さ ah の静水圧を考えた。また、津波波力は各階の床位置に上下階の階高の半分の領域に作用する波力が集中して働くものとした³⁾。衝突荷重としては、式(1)で表される水谷式を用い、衝突時間 dt は既往の研究⁴⁾より $10\text{ms} \sim 50\text{ms}$ 程度とした。また漂流物の漂流速度 V_x については津波流速 V の $1/2$ とし、津波流速 V は流勢の指標となるフルード数 F_r と水深係数 a の関係 (式(2)および式(3)) から求めた。津波荷重作用および衝突荷重作用に関する概念図を図2に示す。

$$F_m = 2\rho\eta B_c V_x^2 + \frac{WV_x}{gd_t} \quad (1)$$

$$a = \sqrt{2}F_r \quad (2)$$

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{gh}} \quad (3)$$

- F_m : 衝突力 (kN)
- ρ : 水の単位体積質量 (t/m^3) (本検討では1.0を仮定)
- η : 遡上水位 (m) (本検討では浸水深 h と同義とした)
- B_c : 漂流物の幅 (m)
- V_x : 漂流速度 (m/s)
- W : 漂流物重量 (kN)
- g : 重力加速度 (m/s^2)

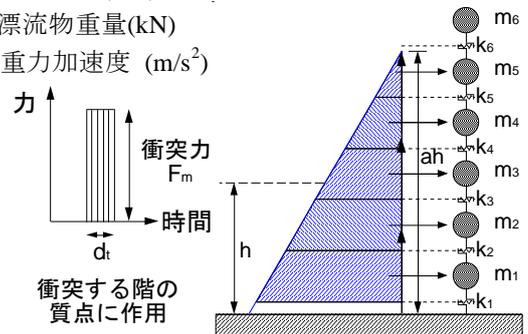


図2 外力作用方法

2.3 解析緒元

津波波力としては、対象建物の津波耐力を超えない浸水深 $h=9\text{m}$ 、水深係数 $a=2$ の津波が作用している場合を想定した。当該津波の作用時に、質量 100t 、 200t 、 300t 、

400tの船舶を漂流物として考え、その衝突力を対象建物の4階質点部分に入力し、建物の応答を比較した。このときの衝突時間は30msで一定とした。次に、同様の津波波力が作用している場合において、漂流物の質量を200tで一定とし、衝突時間を10ms, 30ms, 50msと変化させた場合の建物応答を比較した。

2.4 解析結果

300tの船舶が衝突した際の各階の層間変位の時刻歴波形および1階部分の荷重変形関係を図3および図4にそれぞれ示す。図3および図4は衝突時間を30msとしたときの解析結果の一例である。図3および図4より、1階部分においては、津波波力のみが作用している段階では降伏に至っていなかったものが、漂流物の衝突を受けて降伏したことが分かる。

続いて図5(a)に漂流物の質量を変化させた場合の、各階の最大層間変位を降伏変位で除した応答塑性率について比較したものを、図5(b)に各階の応答塑性率のうち最大となる1階の塑性率のみを抜粋して比較したものをそれぞれ示す。図5(a)より漂流物の衝突の影響によって局所的に塑性率1を超える場合があることが分かり、また漂流物の衝突する層から離れた階(主に1階および6階)において塑性率1を超えて損傷が起こる場合がある。図5(b)より、漂流物の質量の増加に伴い、1階の塑性率が增大することが確認された。

次に漂流物の質量を200tで一定とし、衝突時間を10ms,

30ms, 50msと変化させた場合の塑性率について比較した結果を図6に示す。同図より、衝突時間が短いほど上階の応答塑性率は大きくなる傾向が見られるものの、1階で生じる最大の応答塑性率はほぼ一定となった。これは本検討では衝突力 F_m が式(1)の主として第2項に支配され、図6右に示し通り最大衝突力が減少する、力積を基本に衝突力を算出する特徴を持つ式であり、本検討では衝突時間によらず衝突力による力積はほぼ一定となるためである。

3. まとめ

本報では津波漂流物の衝突による建物応答に関して解析的検討を行った。その結果、漂流物の質量が増大し、衝突力の力積が増大すると最大応答塑性率も増大すること、および衝突時間が変化しても衝突力の力積が一定であれば最大応答塑性率も一定であることが確認された。

【参考文献】

- [1] 港湾空港技術研究所：2011年東日本大震災による港湾・海岸・空港の地震・津波被害に関する調査速報，2011.4
- [2] 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物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針，2011.11
- [3] 国土交通省国土技術政策総合研究所：津波避難ビル等の構造上の要件の解説，2012.2
- [4] 廉慶善，水谷法美，白石和睦，宇佐美敦浩，宮島正悟，富田孝史：陸上遡上津波によるコンテナの漂流挙動と漂流衝突物に関する研究，海岸工学論文集 第54巻(2007)，pp.851-855

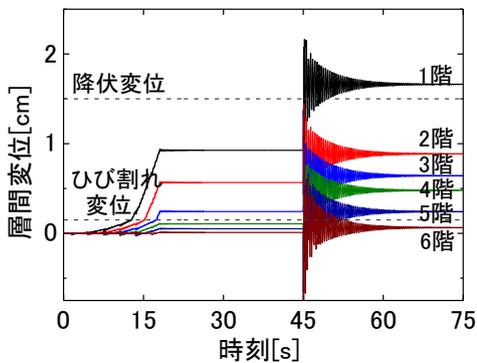


図3 各層層間変位時刻歴波形図

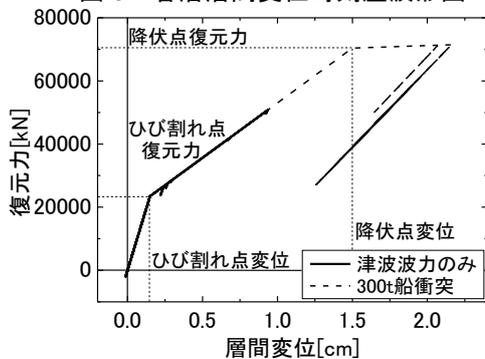


図4 荷重変形関係(1階部分)

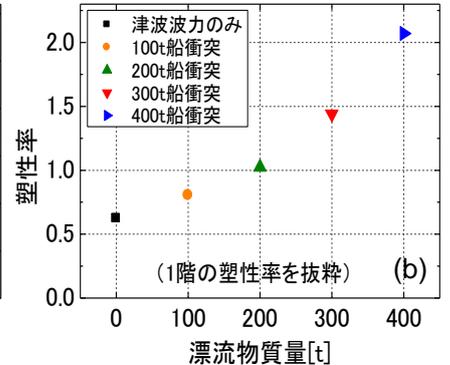
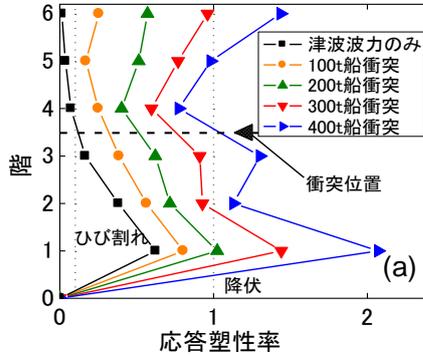


図5 漂流物質量の違いによる塑性率比較

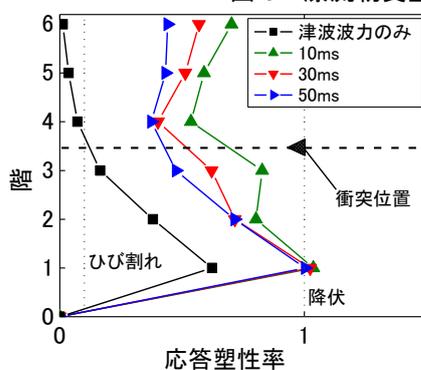
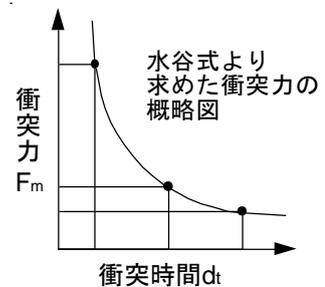


図6 衝突時間の違いによる塑性率比較



*1 九州旅客鉄道株式会社 修(工)
 *2 東京大学生産技術研究所 助教・博(工)
 *3 東北大学 准教授・博(工)
 *4 東京大学生産技術研究所 助教・博(工)
 *5 東京大学大学院 大学院生
 *6 東京大学生産技術研究所 教授・工博

Kyusyu Railway Company, M.Eng.
 Research Associate, Institute of Industrial Science, The Univ. of Tokyo, Ph.D.
 Associate Professor, Faculty of Eng., The Univ. of Tohoku, Ph.D.
 Research Associate, Institute of Industrial Science, The Univ. of Tokyo, Ph.D.
 Graduate Student, Graduate School of Engineering, The Univ. of Tokyo
 Professor, Institute of Industrial Science, The Univ. of Tokyo, Dr.Eng.