

令和 3 年 5 月 7 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01581

研究課題名(和文)津波漂流船舶の衝突が建築物の局所損傷ならびに架構崩壊に及ぼす影響評価に関する研究

研究課題名(英文)Effects of Local Damage on Building Collapse due to Collision of Tsunami-Driven Ships

研究代表者

中埜 良昭 (Yoshiaki, Nakano)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：10212094

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：2011年の震災以降、津波荷重評価や耐(対)津波性能評価に関する研究活動は増加傾向にあり、津波荷重評価に関する体系化が行われつつあるものの、津波漂流物の衝突に対する安全性の評価については、データや知見の蓄積がまだ不十分な状況にあった。本研究では、津波漂流物衝突による架構崩壊への影響を評価し、それを未然に防ぐための設計・検討手法を、部材実験と架構実験を通して入手したデータに基づき提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、大規模津波が発生した際に生じうる、津波漂流船舶の建築物への衝突と、それによる建築物の崩壊に対する知見の蓄積が行われた。本研究で提案された、津波漂流船舶衝突に対する安全性検討手法は、柱の軸力保持能力評価にまだ課題を残すものの、将来の津波被害の低減を通して、安全な社会へ貢献するものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：After the 2011 Great East Japan Earthquake, the number of research activities about tsunami load and building performance against tsunami has been increasing. Although quantitative tsunami load evaluation has been proposed, quantitative safety evaluation against building collapse due to collision of tsunami-driven ships is still insufficient because of the limited number of studies. In this research, effects on building collapse due to collision of tsunami-driven ships is investigated, and the design procedure to avoid building collapse is proposed through collision tests of building column and frame specimens.

研究分野：耐震工学・耐(対)津波工学

キーワード：津波

1. 研究開始当初の背景

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震以降、津波に強いまちづくりは今後の防災対策のひとつとして強く再認識されてきた。津波避難ビルの設計と配置は、これを具体化するためのひとつの有効な手段である。震災以降、津波荷重評価や耐(対)津波性能評価に関する研究活動は増加傾向にあり、津波荷重評価に関する体系化が行われつつあるものの、本研究の主題である津波漂流物の衝突に対する安全性の評価については、部材損傷の基礎的分析に関する研究例が少数存在するのみで、データや知見の蓄積がいまだ不十分な状況にあった。したがって津波漂流物の衝突により生じる架構全体の挙動、すなわち柱の残存軸耐力や立体架構による軸力伝達メカニズムを考慮した建築物全体の崩壊可能性を評価する手法の確立が急務であった。

2. 研究の目的

そこで本研究では、避難ビルに影響を与える可能性の高い比較的大型の船舶を衝突物として想定し、建築物の崩壊危険性を評価する手法を提案し、これにより被災地の復旧・復興や南海トラフ地震による被害が危惧されている他の地域を含む津波災害の軽減に直接的に資することを目的として実施した。

3. 研究の方法

本研究では、下記の3種の方法で実施した。

(1) 津波漂流物衝突による架構崩壊に対する安全性検討フローの立案

まず、津波漂流物衝突による架構崩壊に対する安全性評価を行うためのフローを図1のように提案した。本フローは、衝突物の質量  $m_s$  と衝突速度  $v_s$ 、柱のせん断強度  $Q_u$ 、作用軸力  $N$  を既知とし、衝突後の柱の最大変形  $\delta_{max}$  を算出し、 $\delta_{max}$  を変数とする既往の残存軸耐力評価モデルを利用することで衝突後の柱に残存する軸耐力  $N_R$  を求め、これと  $N$  の大小関係を比較することにより、柱の安全性を評価するものである。

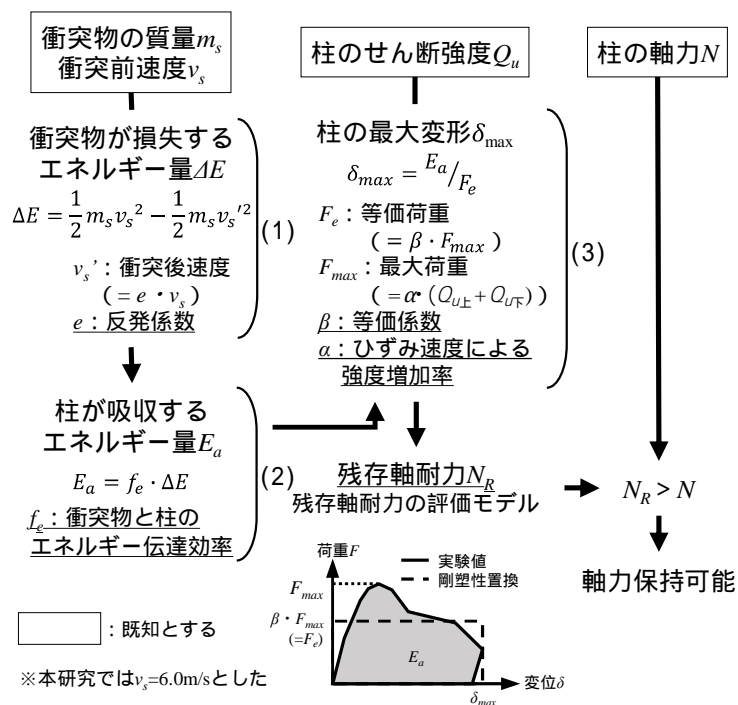


図1 津波漂流物衝突による架構崩壊に対する安全性検討フロー

本フローを適用するにあたり、反発係数  $e$ 、エネルギー伝達効率  $f_e$ 、ひずみ速度による強度増加率、エネルギー量を一定に矩形形状に置換するための等価係数  $\beta$  の4つのパラメータ、および残存軸耐力評価の際に既往の評価モデルが適用可能かをあらかじめ実験的に明らかにしておく必要がある。そこで、(2)部材実験と架構実験によりこれらのパラメータの検討を行った。

(2) 部材実験と架構実験による安全性検討フローの検証

部材実験は、1/8スケールに縮小した柱試験体を対象として、両端固定の支持条件のもと、重錘を衝突させて実施した。2018年度にせん断破壊型、2019年度に曲げ破壊型の試験体の実験を実施した。架構実験についても同スケールで2020年度に実施し、1層2×1スパンの架構に同じく重錘を衝突させた。図2に曲げ破壊型試験体および架構実験試験体の詳細図を示した。

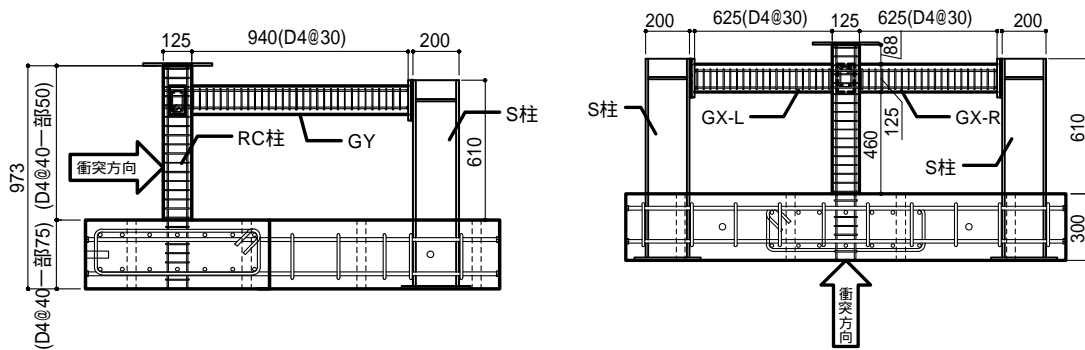


図2 架構試験体の詳細図（左：側面図，右：詳細図）

部材実験では試験体の上下スタブを反力床に設置した鉄骨フレームにPC鋼棒で固定し、一定軸力下で衝突物を柱の中央に衝突させ、その後軸崩壊するまで軸力を増加させた。水平加力ジャッキの先端には衝突物と同様の曲率を持たせた丸鋼を取り付けた。骨組実験では図3のように試験体のスタブを反力床にPC鋼棒で固定し、一定軸力下で、衝突物をRC柱中央に衝突させた。すべての衝突载荷において衝突物は4本のワイヤーロープにより吊り、衝突速度が津波流速と同等の6m/sとなるようエネルギー保存則を用いて決定した所定の高さまで吊り上げた後、振り子の原理を用いて衝突させる計画とした。

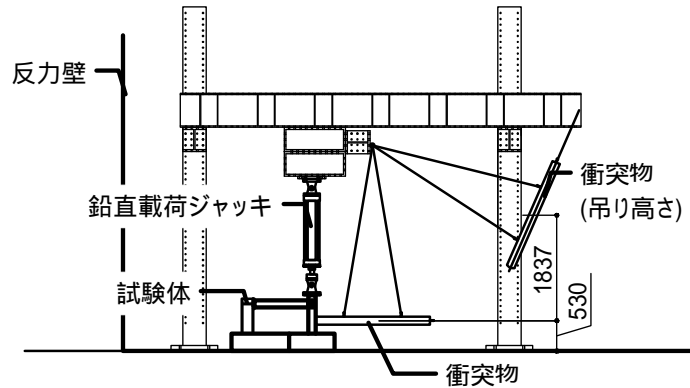


図3 衝突実験の概要

#### 4. 研究成果

##### (1) 実験結果

本実験により、図4にその1例を示した衝突力 - 変形関係が得られた。また、衝突後に崩壊しなかった試験体については、作用軸力を増加させ、その最大値を残存軸耐力とした。

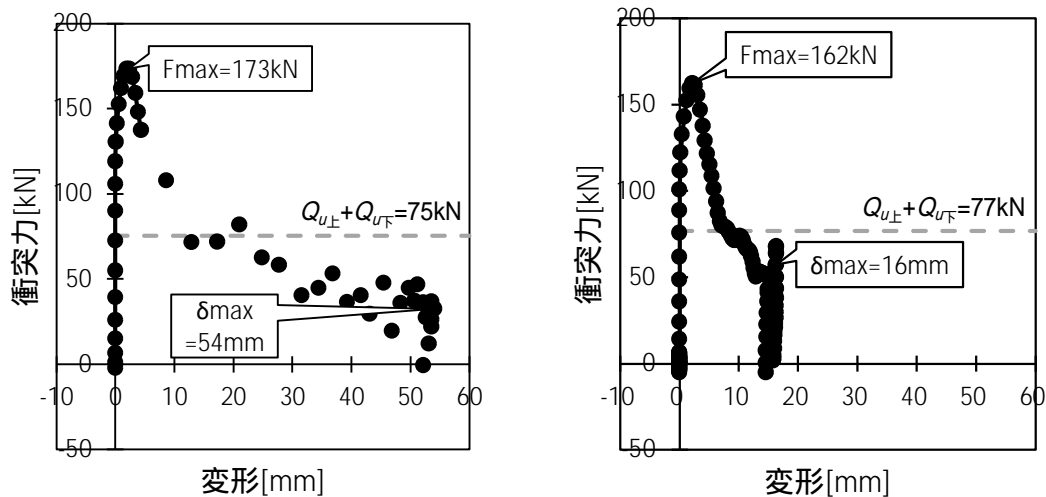


図4 衝突力-変形関係(左：架構試験体1，右：架構試験体2)

##### (2) 研究成果

本実験で得られたデータから、安全性検討フローに必要な情報として、下記が明らかになった。衝突物の反発係数  $e$  は本研究の範囲内では運動エネルギーの大小に関わらずおよそ 0.1 ~

0.3 の範囲内に収まった。柱の最大変形  $\delta_{max}$  を予測する際の  $e$  の影響度は高くないため  $e=0.2$  程度としてよいと考えられる。

エネルギー伝達効率  $f_e$  は本研究では 0.85~0.9 程度となったが、 $f_e$  を小さく想定すると柱の最大変形  $\delta_{max}$  を過小評価することとなり、危険側の判断となるため、少なくとも  $f_e = 0.9$  としておく必要がある。

ひずみ速度による部材の強度増加率  $\beta$  に対してもコンクリート材料強度増加率を推測する CEB-FIP の推定式は適用性が認められた。本実験では  $\beta = 1.8$  前後となったが相似率を考慮すると実大レベルでは  $\beta = 1.3$  程度と考えられる。

エネルギー等置のための等価係数  $\alpha$  は軸力を作用させた曲げ降伏先行型の柱では 0.6~0.7 程度、せん断破壊柱を有する骨組実験では 0.4~0.6 程度となった。架構試験体の実験にて明らかになったように、耐力低下後も変形が増大し続ける場合も考えられるため、「一般的なせん断破壊柱」である  $\alpha = 0.5$  を上回る値を想定しておく危険である。

地震力による損傷を対象とした既往の残存軸耐力評価モデルは、破壊性状が漂流物衝突時と異なるため、本安全性検討手法に直接適用することは現時点では困難である。

衝突によって生じる柱頭の大きなずれ変位により、せん断破壊面の接している面積が減少するため、柱頭固定条件の柱単体で評価した場合よりも残存軸耐力は減少する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 松川和人
2. 発表標題 津波漂流船舶衝突時のRC造柱の安全性検討手法に関する研究（その1 実験概要）
3. 学会等名 日本建築学会大会（中止，論文公表のみ）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 島崎喬子
2. 発表標題 津波漂流船舶衝突時のRC造柱の安全性検討手法に関する研究（その2 実験結果）
3. 学会等名 日本建築学会大会（中止，論文公表のみ）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazuto MATSUKAWA
2. 発表標題 SAFETY EVALUATION PROCEDURES AGAINST BUILDING COLLAPSE DUE TO COLLISION OF TSUNAMI-DRIVEN SHIPS
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering（延期，論文は公表済み）（国際学会）
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 松川和人，小島大輝，芳賀勇治，中埜良昭
2. 発表標題 津波漂流船舶衝突時のRC造柱の挙動評価と安全性検討手法に関する基礎的研究
3. 学会等名 日本建築学会学術大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	松川 和人  (Matsukawa Kazuto)  (50709186)	東京大学・生産技術研究所・助教   (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------