

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2 縮小試験体を用いた建物と津波漂流物の衝突実験

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

鉄筋コンクリート構造物 津波漂流物 衝突実験

1. はじめに

その2では、その1より得られた知見の妥当性を検証するために行った簡単な衝突実験について述べる。

2. 縮小建物模型に対する漂流物模型の衝突実験

2.1 試験体概要

本実験は1/100スケールで行った縮小実験である。前報図2に示す建物を対象として、相似則に基づき固有周期が実建物の1/10となるような1質点縮小建物模型を製作し、図1のようにリニアスライダに固定した状態で水槽中を移動させ、水上に浮かべた漂流物模型に衝突させた。建物模型には津波波力を受けるための抵抗板を水中側に設置し、津波波力を受けた状態の漂流物の衝突現象を再現した。漂流物模型は100t~300tの船舶を想定し、既往の研究¹²⁾より船舶の外板や防撓板の寸法を参考に、外板を厚さ0.5mmの真鍮板とした直方体とした。併せて実験においては衝突時間の違いが建物応答に与える影響を調べるため、異なる剛性を有する2mm厚と0.1mm厚のアルミ製の漂流物模型を製作した。

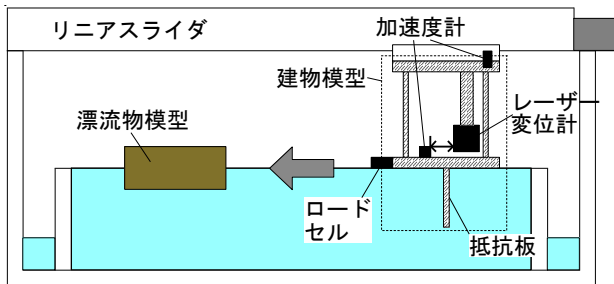


図1 衝突実験概略図

2.2 計測計画

図1に示す通り、建物模型の先端部に設置したロードセルにより衝突荷重を測定し、得られた波形より最大衝突力および衝突時間を算定した(図2(a))。ここで、最大衝突力は波形の最大値とし、衝突時間は、荷重の増分量が初めて最大衝突力の1/60超となる点(衝突の開始時刻と定義)から、ピーク後の荷重が初めて0Nとなる点(衝突の終了時刻と定義)までの時間とした。

建物模型の衝突による変位を計測するため、レーザー変位計を図1のように、建物模型とスライダの接続部分に固定した設置箇所へ設置し計測を行った。その結果、図2(b)のような変位波形が得られ、建物模型の衝突前変位、最大変位、およびそれらの差分で表される衝突による変位(衝突変位と定義)を評価する。衝突前変位は衝突開始前0.1秒間の変位の平均とした。

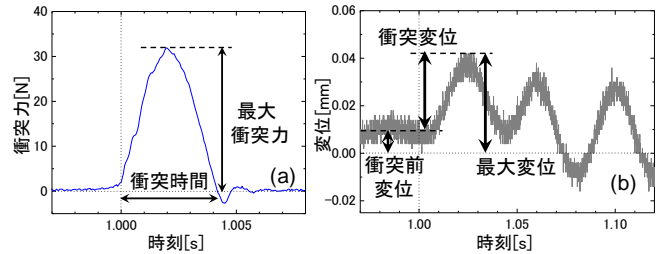


図2 衝突力および衝突時間算出例

防水型の加速度計を図1に示すように設置し、レーザー変位計による計測結果と併せて建物応答の分析に用いた。さらに衝突前後の詳細な検討を行うため、高速度カメラによる撮影も併せて行った。

実験パラメータとして、表1に示すような3ケースを設定し、各ケースにおいて衝突物の力積および建物応答がどのように変化するかを検討した。ここで、衝突物の力積は衝突力の時刻歴波形を積分して求めた。また、実験は各パラメータについて3度実施した。

表1 実験パラメータ

	衝突速度(mm/s)	漂流物質量(g)	外板厚さ(mm)
Case1	200	100	0.5
		200	
		300	
Case2	300	100	0.5
		150	
		200	
Case3	200	200	0.1
			0.5
			2.0

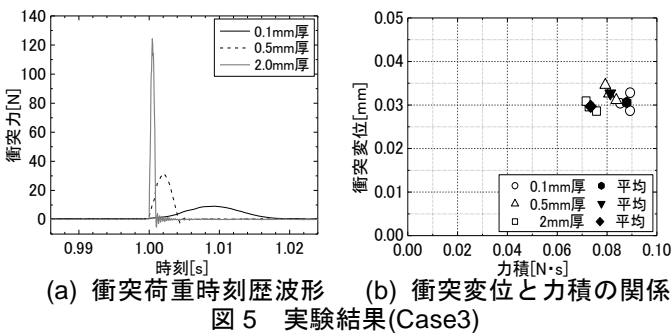
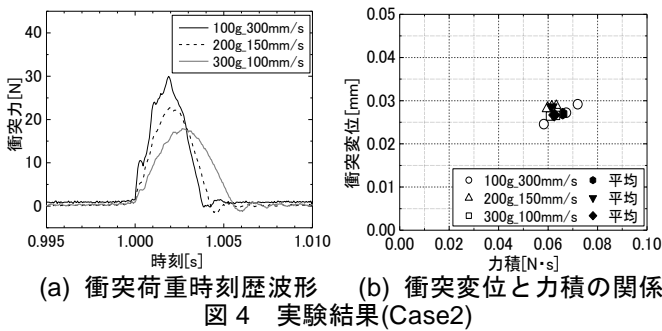
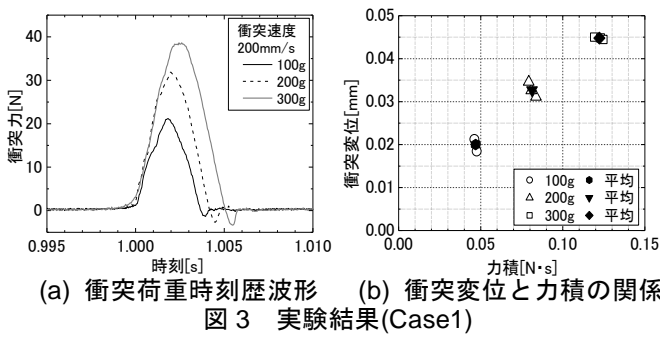
2.3 実験結果

Case1の実験結果より、衝突荷重の時刻歴波形を各実験パラメータについて抜粋したものを図3(a)に、衝突荷重の力積と衝突変位の関係を図3(b)にそれぞれ示す。図3(a)より、漂流物の質量が増加すると衝突時間、衝突力ともに増大することが確認された。また、図3(b)より漂流物の質量の増加に比例して衝突物の力積が増大し、衝突変位も増加することが確認された。

Case2の実験結果についても同様に、衝突荷重の時刻歴波形を各実験パラメータについて抜粋したものを図4(a)に、衝突荷重の力積と衝突変位の関係を図4(b)にそれぞれ示す。図4(a)より、漂流物の質量が増加し、衝突速度が小さくなると衝突時間は増大し、最大衝突力は減少することが確認された。このとき衝突物の力積は、ほぼ一定となり、衝突変位もほぼ変わらないことが確認された。(図4(b))

Case3 の実験結果についても同様に、衝突荷重の時刻歴波形を各実験パラメータについて抜粋したものを図 5(a)に、衝突荷重の力積と衝突変位の関係を図 5(b)にそれぞれ示す。図 5(a)より、漂流物の剛性が增大すると衝突時間は減少し、最大衝突力は増大することが確認された。このとき衝突物の力積には多少のばらつきが見られるものの、衝突変位に関しては、ほぼ一定であることが確認された。(図 5(b))

以上の3 ケースより、簡単な縮小衝突実験においても、前節の多質点非線形時刻歴応答解析と同様に、漂流物の質量が増大し、衝突力の力積が増大すると変形量も増大すること、および衝突時間などの条件が変化しても衝突力の力積が一定である限り変形量も一定であることが確認された。これにより漂流物の衝突による建物応答は、衝突力の力積に関係していることが確認された。

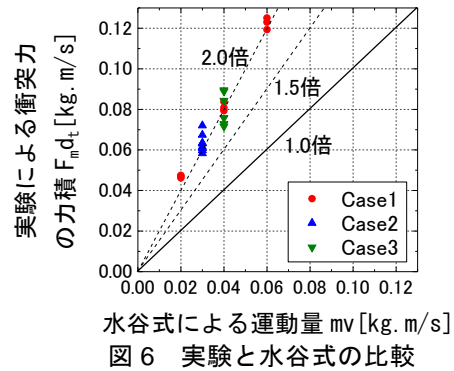


2.4 衝突荷重評価

本研究において、100t~300t の船舶を想定した 0.5mm 厚の漂流物模型における衝突時間 (4ms 程度、図 3 および図 4 参照) は、その定義を衝突開始から最大衝突力発

生時までとした既往の研究³⁾に整合させるべく 1/2 倍として評価した場合 2ms 程度となる。これを相似則に応じて実大スケールに換算すると、20ms 程度となり、既往の研究結果である 10ms~50ms と整合した。

一方、図 6 に示すように、実験で得られた衝突力の力積は、水谷式による運動量の 2 倍程度の値となった。高速度カメラの画像データを分析したところ、建物模型が速度 V で衝突する時 (ただし建物模型は衝突後もある一定時間速度 V をほぼ保つ)、速度 0 であった漂流物模型が、衝突力の力積を受けて衝突直後に速度平均で約 $1.8V$ (建物との相対速度は約 $0.8V$) で運動しており、これが実験時において衝突力の力積が大きい原因と考えられる。即ち、前報の式(1)の第 2 項の前提条件では、漂流物の衝突後の建物に対する相対速度が 0 になり、その運動量 $m \cdot V$ が全て被衝突物 (建物) 側に与えられるが、本実験では漂流物の運動量の変化量が $m \cdot 1.8V$ 程度となり、式(1)における理想的な状態を再現できなかった。



3. まとめ

本報では、簡単な衝突実験を行い、前報で示した知見の妥当性を検証した。その結果を以下に示す。

縮小試験体を用いた衝突実験より、漂流物の質量が増大し、衝突力の力積が増大すると変形量も増大すること、および衝突時間などが変化しても衝突力の力積が等しければ変形量も一定であることが確認された。

一方、実験で得られた衝突力の力積は水谷式による運動量より大きな値となった。解析で用いた水谷式の前提条件と本実験結果における漂流物の挙動のどちらが、実被害時の現象を捉えられているか今後更なる検討が必要である。

【参考文献】

- [1] 有田喜久雄：船舶等の衝突強度に関する研究，船舶技術研究所報告 第 25 巻 第 1 号，pp.35-125，1988.1
- [2] 山本善之・大坪英臣・角洋一・藤野正隆：船体構造力学 (二訂版)，1997.8
- [3] 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

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

Kyusyu Railway Company, M.Eng.
Graduate Student, Graduate School of Engineering, The Univ. of Tokyo
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.
Professor, Institute of Industrial Science, The Univ. of Tokyo, Dr.Eng.