

剛性を考慮した津波漂流物衝突力の簡易解析

大成建設株式会社 技術センター 正会員 ○織田 幸伸

大成建設株式会社 技術センター 正会員 橋本 貴之

1. 目的

漂流物衝突力の評価式は既にいくつか提案されているが、それらは被衝突構造物の剛性が十分高い場合を対象としている．一方、防潮堤のような板状構造物では、無視できるほど剛性が低い場合があり、この場合その弾性により衝突力は低減すると考えられる．著者ら¹⁾は、漂流物の衝突特性を明らかにするための水理実験を実施したが、実際の構造物の質量と剛性の両者を縮尺模型で再現することは困難であり、数値解析による再現が有用となる．そこで柴山ら²⁾を参考に、梁モデルを用いた実験の再現解析を実施³⁾している．ただしここでは、実験で得られた衝突力を外力として入力しおり、漂流物をモデル化していない．本研究では、漂流物をモデル化することで、より汎用的な簡易解析モデルを構築することを目的とする．

2. 漂流物一梁衝突モデル

対象とする既往実験¹⁾の概要を図-1に示す．漂流物模型を振り子状に堤体模型（アルミ製，幅 4cm×高さ 60cm×厚さ 0.8cm）に衝突させ，裏面に貼付したひずみゲージ（5cm ピッチ）によりひずみを時系列で計測した．本論では質量 154g，長さ 17.5cm の漂流物模型を対象とする．適用した梁モデルおよび漂流物モデルを，図-2 に示す．梁モデルの詳細については織田ら³⁾を参照されたい．漂流物の線形剛性を仮定して質点とバネ（バネ定数 k_c ）により漂流物をモデル化し， n_c 番目の梁要素への衝突を考える．衝突直前の衝突速度を v_{c0} とし，そこからの質点の変位を w_{n+1} とすると，バネの長さは $l_c + w_{nc} - w_{n+1}$ となる．運動エネルギーを T ，ポテンシャルエネルギーを U として， $L=U-T$ に対するラグランジュの運動方程式を用いて定式化した．時間発展には線形加速度法を用い，レーリー減衰のうち α 減衰を考慮した．表-1 に解析ケースを示す．なお漂流物の剛性は，載荷試験装置により漂流物模型の荷重-変位関係を測定して求めた．

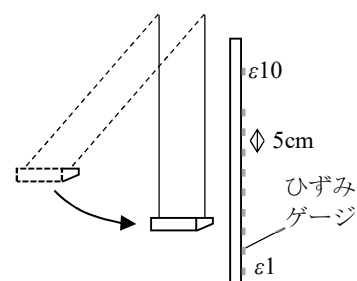


図-1 実験方法

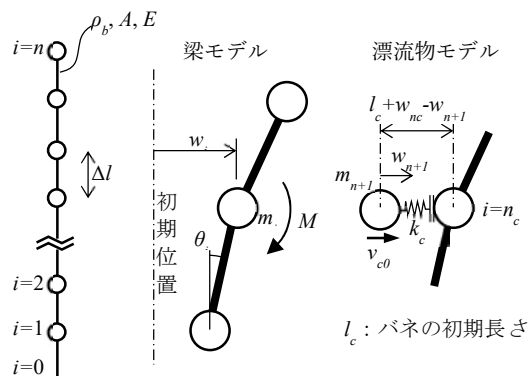


図-2 漂流物一梁衝突モデル

3. 解析結果と実験結果の比較

図-3, 4 に、ケース 1, 2, 4 について、各高さ（図-1 参照）におけるひずみ時系列の実験結果と解析結果を示す。両者を比較すると、 $\varepsilon 1$ か $\varepsilon 10$ のすべてで、実験結果と解析結果は良い一致を示している。ケース 2 と 4 の衝突位置はそれぞれ、 $\varepsilon 2$ と $\varepsilon 3$ - $\varepsilon 4$ の中間になるが、この位置のひずみが最大になったあと、複数の高次の振動モードで自由振動していることが分かる。ケース 1 と 2 を比較すると、ひずみの値は 2.8 倍になっているが、時系列変化特性については同一となっている。漂流物、被衝突構造物ともに線形剛性が仮定できる場合には、衝突速度の違いは時間変化特性には影響せず、ひずみや断面力が速度に比例して大きくなっている。ひずみの最大値

表-1 解析ケース

ケース No.	1	2	3	4
漂流物質量 [kg]	0.154			
バネ定数 [N/m]	6.53×10^5			
衝突位置高さ [m]	0.075	0.075	0.15	0.15
衝突速度 [m/s]	0.6	1.7	0.6	1.7

キーワード 津波，漂流物，衝突力，防潮堤，数値解析

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設（株）技術センター TEL 080-9579-4361

が衝突位置で衝突直後に生じているのに加えて、 ϵ_8 や ϵ_9 で0.003s付近に自由振動に伴う最大ひずみが生じている。一般に、はり構造物に静的に衝突荷重を加えた場合、最大ひずみは基部（下端）に、負の最大ひずみが生じる。実験結果はこれと大きく特性が異なっており、非衝突構造物の剛性により、最大モーメントの生じる位置や時間を正しく把握するためには、動的解析が必要であることが示唆された。

4. 被衝突構造物の剛性影響

図-5は、ケース4に対し、梁モデルの単位長さ質量を10倍、剛性（ EI ）を60倍として解析した結果である。なおこ

の値は、実機換算した場合のコンクリート壁を想定して設定した。上述の結果と異なり、自由振動として1次、2次モードのみが生じており、最大ひずみは衝突直後の ϵ_1 に生じている。被衝突構造物の剛性が十分大きい場合には、基部において最大モーメントが生じることが分かる。図-6に基部に働くモーメントを示すが、高剛性の場合に比較して、低剛性の場合、高次モードの自由振動が支配的となるため、基部に働くモーメントが小さくなる。ことが分かる。図-7は、漂流物自体に働いている衝突力の時系列を示したものである。実験において、漂流物に働く衝突力を計測することは困難であるが、数値解析を活用することで様々な諸量の特性を明らかにすることができる。図-7によると、衝突力は被衝突構造物が高剛性の方が大きい。被衝突構造物が高剛性の場合、衝突力の変化は正弦曲線となるが、低剛性の場合、衝突力の低下フェーズで正弦曲線からはずれ、またこのケースでは2回衝突していることが分かる。

5. まとめ

防潮堤への漂流物の衝突について簡易なモデルを構築し、実験の再現解析によりその有効性を確認した。解析では、実験では難しい実機の物性を考慮した検討が可能となる。また解析結果から、被衝突構造物の剛性により、衝突特性が変化することが示された。

参考文献

- 1) 織田ら：津波漂流物の衝突力に及ぼす剛性の影響，土木学会第76回年次学術講演会，II-103，2021。
- 2) 柴山ら：津波波力と漂流物衝突力を受けるコンクリート壁の応答評価法の提案，電力中央研究所報告，O17002，2018。
- 3) 織田ら：剛性を考慮した津波漂流物衝突力の簡易解析，土木学会第77回年次学術講演会，II-101，2022。

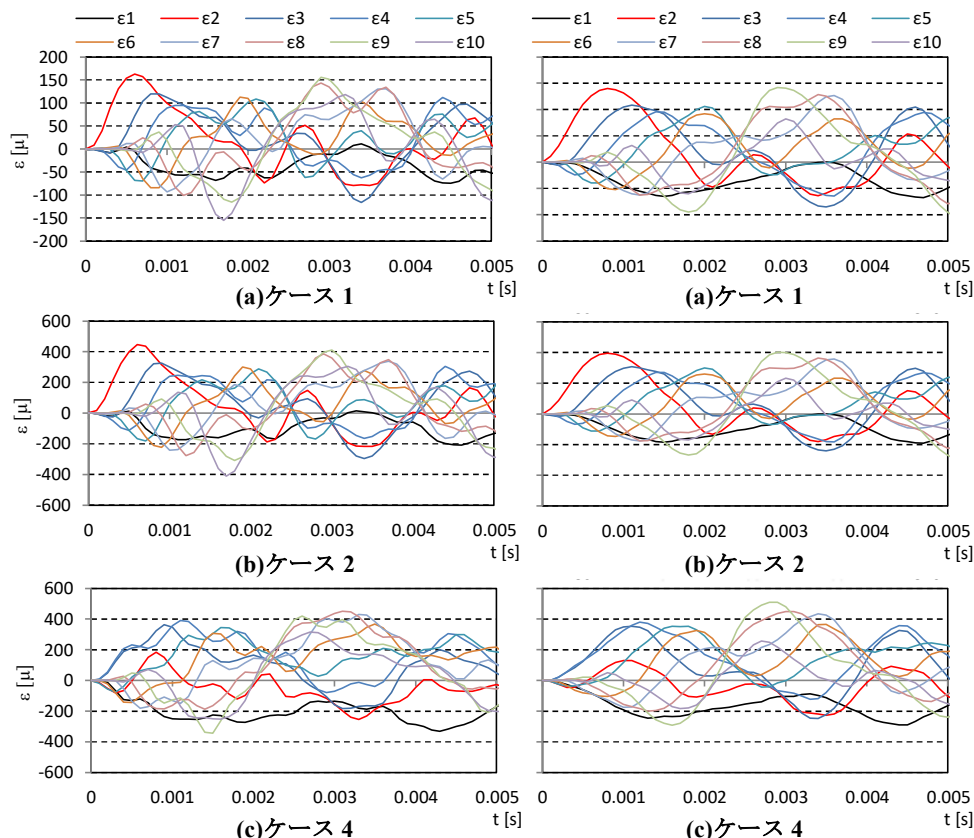


図-3 ひずみの時系列（実験結果）

図-4 ひずみの時系列（解析結果）

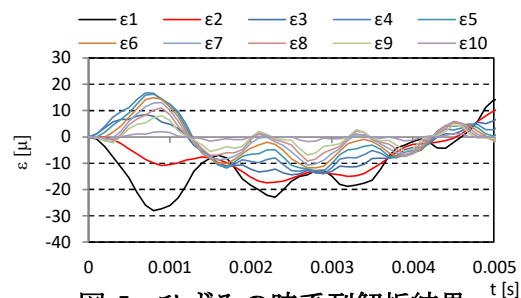


図-5 ひずみの時系列解析結果
(ケース4，高剛性)

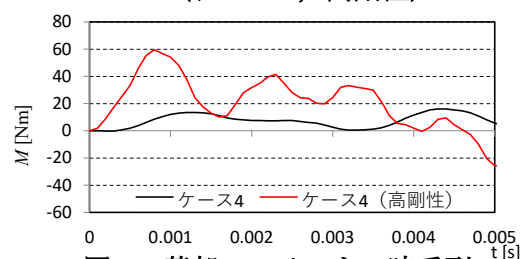


図-6 基部モーメントの時系列

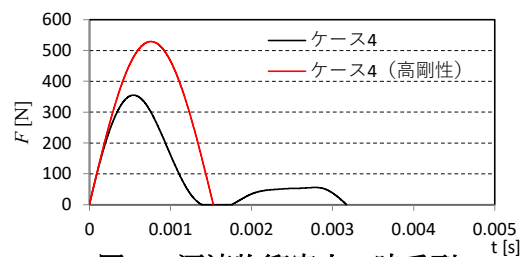


図-7 漂流物衝突力の時系列