

防潮堤に働く津波漂流物衝突力の数値実験

土木大学 正会員 ○織田 幸伸
土木大学 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⁾は板状構造物を対象に、衝突時の構造物内に生じるひずみエネルギー特性を実験により検討した。しかし、ひずみ以外の諸量の計測が困難であり、また実際の構造物の物性を再現することが難しかった。柴山ら²⁾は、梁モデルにより漂流物衝突を検討し、実験結果との良い一致を報告している。本論では、梁モデルを用いて、実験の衝突現象を再現することを目的とする。

2. 梁モデル

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。複数の漂流物模型について実験しているが、本論では質量154g、長さ17.5cmの漂流物模型を対象とする。適用した梁モデルは、図-2に示す質点系モデルである。 $\Delta l=0.5\text{cm}$ とし120個の要素でモデル化した。衝突速度1.7m/sのケースを対象とし、図-3に示す衝突力を時系列外力として与えることで衝突を表現した。線形剛性を仮定した場合、衝突力増加時の時系列変化は図-3に示す余弦曲線となる。一方減少時は、堤体模型の挙動により変化するため確定出来ないが、ここでは対称に与えた。衝突時間 Δt 、衝突力 F_{max} は後述する計算結果と実験結果が一致するように試行計算により決定したものである。なお実験結果によれば、被衝突構造物の剛性が十分高い場合、 $\Delta t=0.0005\text{s}$ 、 $F_{max}=600\text{N}$ であった。

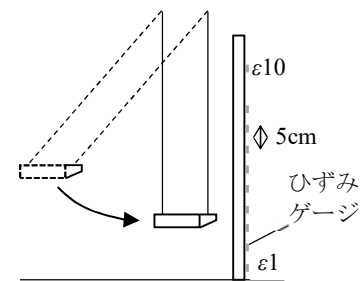


図-1 試験方法

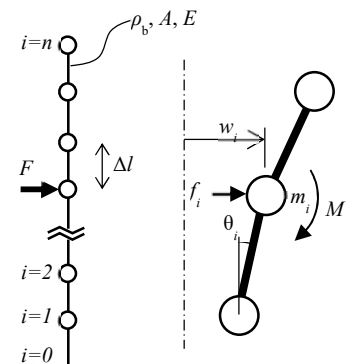


図-2 梁モデルの概要

3. 解析結果と実験結果の比較

図-4~6に、解析結果と実験結果の比較を示す。衝突位置は、下から15cmの位置である。図-4はひずみの時系列（堤体下から $\epsilon_1 \sim \epsilon_{10}$ ；図-1）であり、衝突位置は ϵ_3 と ϵ_4 の間となる。また図-5は、図-4から求めた曲げひずみエネルギーの時間変化である。図中の青破線は衝突位置のひずみ（ ϵ_3, ϵ_4 ）が最大、赤破線はひずみエネルギーが最大となった時間を示す。この時のひずみの鉛直分布を、図-6に示した。図-4~6から、定性的にはあるが解析結果は実験結果の特徴を良く再現している。図-5の最大値については、実験と解析が概ね一致するように図-3の F_{max} を調整しているが、それ以外の時間的・空間的变化に関しては、衝突力の入力値によらず定性的な再現性を有していることが確認された。

図-4,6より、漂流物の衝突後、堤体は複数の固有モードで自由振動していることが分かる。図-5によれば、衝突位置の最大ひずみは衝突力最大時（ $t=0.001\text{s}$ ）よりも後に、最大ひずみエネルギーは衝突力が0

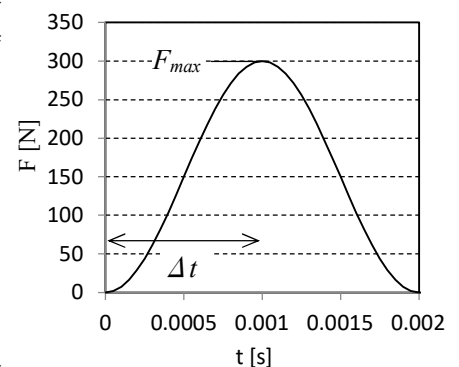
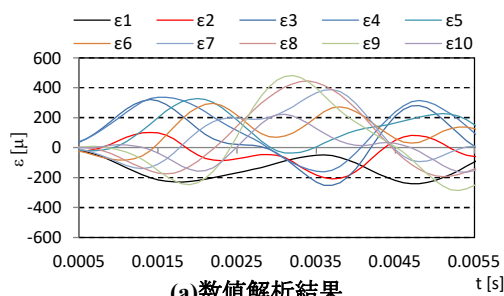


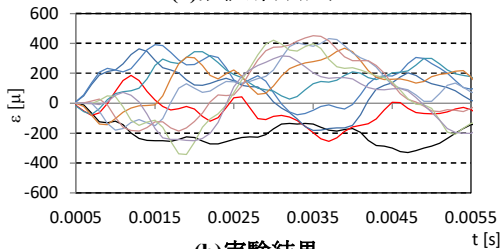
図-3 衝突力モデル

キーワード 津波、漂流物、衝突力、防潮堤、梁モデル

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

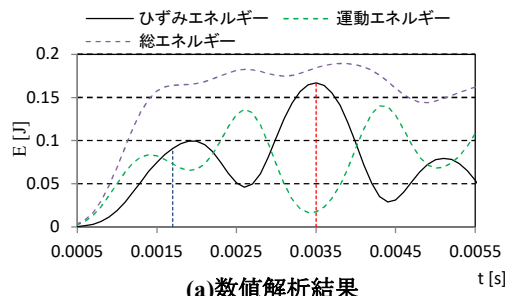


(a) 数値解析結果

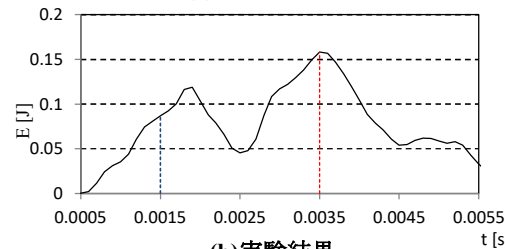


(b) 実験結果

図-4 ひずみの時系列

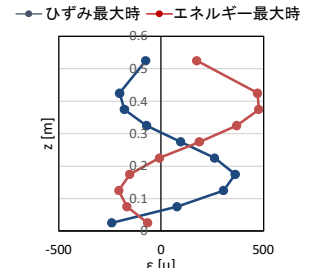


(a) 数値解析結果

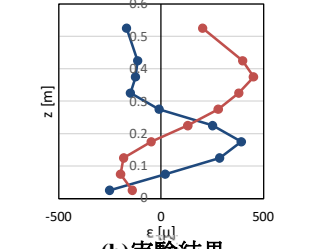


(b) 実験結果

図-5 曲げひずみエネルギーの時系列



(a) 数値解析結果



(b) 実験結果

図-6 ひずみの鉛直分布

($t=0.002s$) すなわち漂流物が離れた後に生じている。被衝突構造物が剛体の場合、衝突力最大時(この場合、 $t=0.001s$)にひずみは最大となることから、堤体の弾性変形を考慮した場合、剛体への衝突力とは特性が大きく異なると言える。図-5(a)には、堤体に生じている運動エネルギーと、エネルギーの和を示した。ひずみエネルギーと運動エネルギーが入れ替わりながら、総エネルギーとして $t=0.002s$ 付近まで増加し、その後ほぼ一定の値となっていることが分かる。

4. 堤体の変形とひずみエネルギーの特性

図-7には、図-4~6に示したケースの堤体変形状況を示した。

$t=0.0001s, 0.0002s$ で、衝突位置が凹むように局所的な変形が生じ始めている。 $t=0.0005s$ 以降は、局所的な変形は見られず、片持ち梁の2次モード、3次モードが卓越した自由振動をしていることが分かる。衝突点の変位速度は、衝突力最大の瞬間($t=0.001s$)で約 $1m/s$ であった。剛体への衝突の場合、衝突力最大の瞬間に漂流物が停止し逆方向に動きだすが、図-7では、接触した状態で衝突運動方向への移動が継続していることになる。

図-8は、衝突高さを変化させて解析を実施し、最大ひずみエネルギー E_{max} を算定した結果であり、縦軸が各ケースの衝突高を示している。なお、衝突高以外の解析条件はすべて同一とした。衝突位置が低いと、衝突時の変位が小さくなるため、漂流物から伝達されるエネルギーが小さくなり、ひずみエネルギーも小さくなっている。ある程度衝突位置が高くなると、衝突高さの影響は小さくなっており、これは既往の実験結果に整合する。ただし、衝突高が変われば衝突力特性も変わると考えられるため、図-3の衝突力の与え方を今後検討する必要がある。

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、実験では計測が難しい運動エネルギーや形状の変化の詳細が把握できるため、衝突特性を解明するのに有効と考えられる。今後は、漂流物モデルを組み込むことで精度を向上し、実機への適用を検討する。

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。

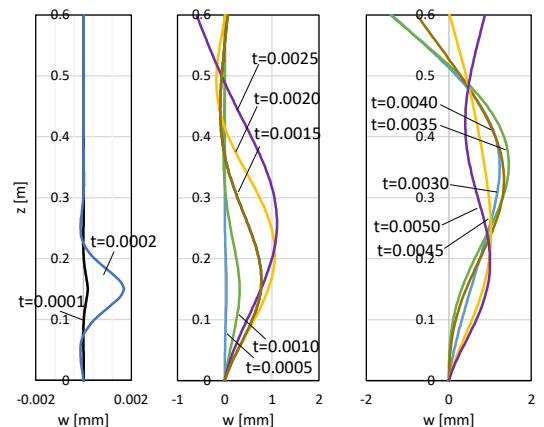


図-7 堤体の変形状況

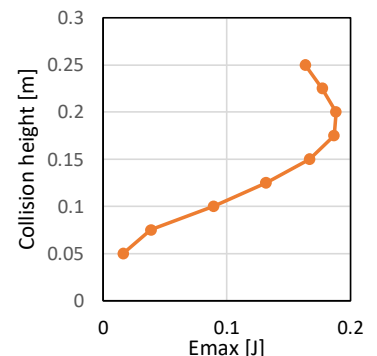


図-8 衝突高と E_{max}