

I-73

防波堤・護岸の耐震性に関する研究—個別要素法の消波ブロックへの適用—

（財）電力中央研究所 正員 栃木 均

1. はじめに

防波堤・護岸の耐震性については、建設地点で想定される大地震に対しての動的な挙動を精度良く予測し、それらを反映させた設計が必要となる。大地震時の挙動としては、ケーソンの滑動や捨石マウンド、裏込めの沈下等が考えられるが、これらの挙動を評価するため、ケーソン・マウンド間にジョイント要素を挿入したり、捨石や裏込材の弾塑性変形を考慮した検討が行われている¹⁾。これらのFEMに基づく手法の他、消波ブロック等の挙動や影響を評価するための手法として、DEM等の不連続体に関する解析法も必要となる。本来、消波ブロックは耐波性を目的とするものであるが、防波堤・護岸の耐震性に関しても種々の影響を及ぼすことが実験的に把握されており²⁾、それらの影響を評価できる解析法の開発が望まれている。

本研究では、消波ブロックのかみ合いによる強度、変形特性を考慮できる解析法について検討するため、個別要素法による模型実験の数値シミュレーションを実施した。同手法により、ケーソンや消波ブロックを同一形状の多角形要素でモデル化した解析例について報告する。

2. 模型実験の概要

振動台に固定された土槽内に、幾何縮尺1/50のケーソン堤の模型を作成し、振動台で加振することにより大地震時の破壊挙動とそれに及ぼす水、消波ブロックの影響について検討した。図1に実験模型の概要を示す。模型は厚さ10cmの捨石マウンド上に、高さ40cm、幅40cmのコンクリート製のケーソンを設置し、海側に1個当り1.3kgの消波ブロックを乱積みにして作成した。水深は40cmとしている。捨石材には、粒径2~20mmの砕石を用い、消波ブロックは、実際に使用されているものと同一形状のモルタル模型を用いた。底面の境界条件は固定とし、側方境界は、模型と土槽側壁の距離を大きくして、反射波の影響が及ばないように配慮した。2Hzの正弦波や地震波（エルセントロ波、タフト波）の加振により模型を破壊させ、ケーソンの滑動量、沈下量やケーソン壁面の動水圧、消波ブロック圧を計測した。

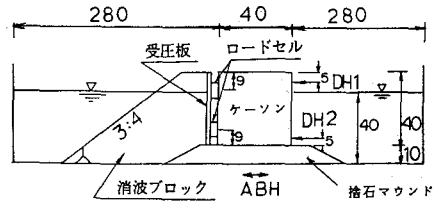


図1 実験模型の概要（単位 cm）

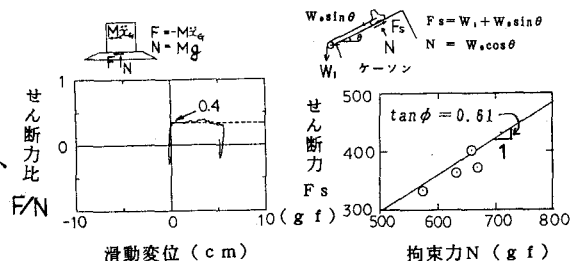
表1 解析用物性値

接 触 面		ばね定数 (kgf/cm)	ダッシュポット (kgf/kine)	摩擦係数 静的 動的	
ケーソンと マウンド	せん断方向	78	0.058	0.6	0.4
	垂直方向	118	0.065		
ケーソンと 消波ブロック	"	1210	0.109	0.6	0.6
	"	1210	0.109		
消波ブロックと 消波ブロック	"	1210	0.109	0.6	0.6
	"	1210	0.109		

3. 解析モデルと解析用物性値

個別要素法（DEM）により、ケーソン、消波ブロックを実験模型と同一形状、同一寸法の多角形要素にモデル化した。ここで用いたDEMは、粒状集合体を対象とした解析法と基本的に同じ方法であり、消波ブロック等に適用できるよう改良を加えたものである。

解析用の物性値としては、多角形要素の質量や慣性モーメントの他、接触点でのばねやダッシュポットの定数、せん断強度を表すための粘着力や摩擦係



(a) ケーソン底面

(b) ケーソン側面

図2 摩擦係数の設定法

数が必要となる。これらの内、ばね定数やダッシュポットの定数については、模型の共振点や増幅率を考慮して値を設定した。ケーソン・マウンド間の摩擦係数については、水、消波ブロックの無い振動実験の加速度の計測値から、ケーソンに作用する慣性力とケーソン底面のせん断力を計算し、それらから定めた（図2（a））。ケーソン・消波ブロック間の摩擦係数は、ケーソンの壁面上でおもりを付けた消波ブロックを滑らせ、消波ブロックが滑り出すときのおもりの重量から静止摩擦係数を定めた。動摩擦係数は、一定距離を滑り落ちる時間を計測して定めた。表1には、このようにして定めた入力物性値をまとめて示す。

4. 解析結果と実験結果の比較

DEMによる解析結果と実験結果の破壊形状による比較を図3に示す。同図は、水、消波ブロック有のケースであり、振動数2Hz、加速度振幅500galの正弦波を1波入力した場合の結果である。解析では、水の影響として、浮力とケーソンへの付加質量を考慮している。実験で示された破壊の形態（同図（a））は、ケーソンの滑動、傾斜およびそれらに伴う消波ブロックの変形であり、図中にはそれらの重心の変位量を矢印で示した。数値解析では、マウンドの変形を無視したため、ケーソンの傾斜は表れていないが、ケーソンの滑動量の大きさや消波ブロックの変形形状については、実験結果との対応は良好である。

図4には、地震波の場合についての時刻歴による比較を示す。同図では、ケーソンの加速度、変位、ケーソン壁面に作用する消波ブロック圧の合力およびケーソン底面のせん断力についての比較を行っている。検討ケースは、水無し、消波ブロック有りのケースであり、最大加速度600gal、時間縮尺1/2のエルセントロ波による加振を行った結果である。

これらの結果から、実験と解析の対応関係は、地震波の場合にもケーソンの加速度や慣性力については非常に良いことがわかるが、解析では、ケーソンの滑動量をやや過大に評価する傾向も認められる。これは、ケーソンの変位波形に示されているように、地震波の場合は揺れ戻しの影響があるためであり、消波ブロックの圧力をやや大き目に計算していることが原因の一つと考えられる。今後、これらの点についての検討を加えることにより、精度の向上を図り、本手法の適用性を高めていく予定である。

【参考文献】

- 1) 金谷 守、栃木 均、工藤康二、大波正行：防波護岸の耐震性に関する研究（その2）－非線形解析手法による模型実験の数値シミュレーション－、第22回地震工学研究発表会講演概要、1993。
- 2) 栃木 均、金谷 守、工藤康二、岩橋敏広：防波護岸の耐震性に関する研究（その1）－模型実験による大地震時挙動の把握－、第22回地震工学研究発表会講演概要、1993。

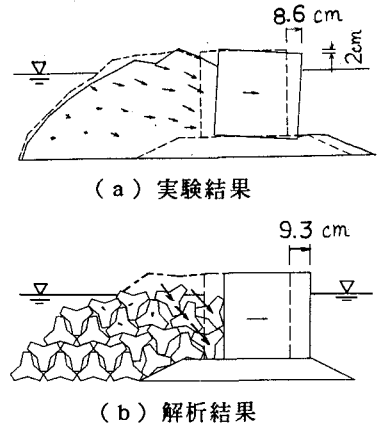


図3 破壊形状の比較（2Hz, 500gal, 1波）

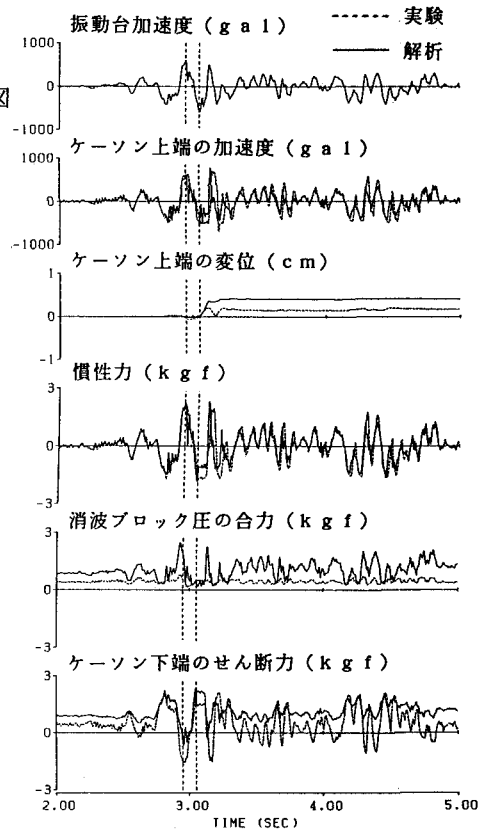


図4 時刻歴による比較