

（財）電力中央研究所 正員 栃木 均

1. はじめに

空港島や発電所施設の人工島式立地などの検討においては、埋立地盤の安定性を確保するための防波堤や護岸に関する耐波性、耐震性の検討が重要となる。防波堤や護岸の構造形式としては、通常、重力式のケーソン堤が用いられ、その地震時挙動の評価に関しては、ケーソンの滑動やロッキング振動に対する消波ブロックの抑え効果など、消波ブロックの影響を正しく評価する必要があるが生じている。本研究では、ケーソン堤の安定性に及ぼす消波ブロックの影響を評価するため、DEMとFEMによるハイブリッド法の開発を行った。同手法により模型実験の数値シミュレーションを実施した例について報告する。

2. 解析手法の特徴

消波ブロックなどの不連続体はDEMにより、埋立地盤や海底地盤などの連続体はFEMによりモデル化するものとした。本手法は、次の特徴を持つ。

- ①DEMにより消波ブロックの幾何学的な形状特性を二次元の多角形要素でモデル化し、消波ブロックのかみ合いによる強度、変形特性の表現を可能にした。
- ②上記のDEM要素とFEM要素の接触判定を新たに加え、接触状態に応じた節点力の配分を行うことによって、ケーソンと消波ブロックの動的相互作用やケーソンの滑動に対する抑え効果の表現を可能にした。

3. 消波ブロックのかみ合い効果についての検討

消波ブロックのかみ合いによる強度特性について検討するため、本手法により消波ブロックの模型を静的に傾斜させて崩壊させる傾斜実験¹⁾の数値シミュレーションを行った。実験および解析で示された消波ブロックの破壊状況を図1に示す。実験は、実物の消波ブロックと相似形のモルタル模型（2.2kg/1個）を3:4の勾配で乱積みにし、土槽の一端をクレーンで静かに吊り上げて行った。傾斜角30度までは消波ブロックの状態にほとんど変化は認められず、31.8度に達した時点で突然、破壊が始まり同図（b）に示す形状となった。

解析は、傾斜角 θ に応じた静的な力（水平方向 $g \cdot \sin \theta$ 、鉛直方向 $g(1 - \cos \theta)$ ）を一定の重力場で作用させて行った。摩擦試験¹⁾の結果から消波ブロックと消波ブロックの摩擦係数を0.6とし、また、ばね定数を充分大きくし

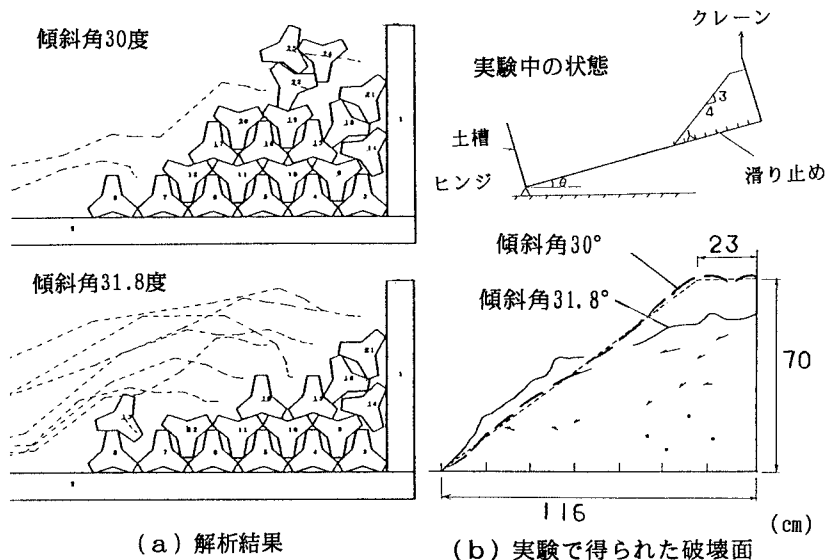


図1 消波ブロックのかみ合い効果についての検討（2.2kg/1個、乱積み）

て剛な接触状態となるようにして解析した。解析結果は傾斜角30度までは変化が認められず、実験と同じ30～32度の傾斜角で大きな破壊が生じている（同図(a)）。二次元の解析でも消波ブロックの形状特性を考慮することにより、かみ合いによる消波ブロックの強度特性を十分な精度で表現できることが示されている。

4. ケーソンの滑動を対象とした模型実験の数値シミュレーション

消波ブロックが無い場合には、ジョイント要素を用いたFEM解析により、ケーソンの滑動とそれによる背後地盤の沈下など実験で示された変形挙動を良好に表現できることを示した²⁾。ここでは、消波ブロックがある場合について模型実験の数値シミュレーションを行い、実験結果との比較により、ケーソンの滑動に対する消波ブロックの抑え効果やケーソンとの動的相互作用について検討した。

実験および解析で得られたケーソン堤の変形挙動を図2、図3に示す。実験では、消波ブロックを積み込むことによってケーソンの滑動量がおよそ1/2程度に抑えられた結果、約0.5cmの変位が生じた。解析では、DEMによる消波ブロック要素を実験と同様に積み、その他はFEMでモデル化した。ケーソンの底面、陸側壁面および背後地盤の崩壊面にはジョイント要素を挿入している。解析結果としてケーソンが約0.7cm滑動し、背後地盤のクサビが滑り落ちることによって約0.8cmの沈下が生じている。消波ブロックの変形状態は、実験、解析ともわずかに逆S字型の形状になる傾向が認められ、天端高の減少が生じている。図3の時刻歴では、ケーソンの加速度、変位、背後地盤の沈下その他、ケーソンに作用する消波ブロック圧の比較を行った。奥行き1m当たりの合力を示したが、振動が始まる前の静止時の状態や、ケーソンのロッキング振動に伴って変動する挙動が良好に表現できている。その他の波形についての対応も良いといえる。

〔参考文献〕1) 栃木 均：ケーソン堤の耐震性に及ぼす消波ブロックの影響について、電中研報告、U94040、1995。
2) 栃木、金谷、他：防波護岸の模型振動実験とその数値シミュレーション、第9回日本地震工学シンポジウム、1994。

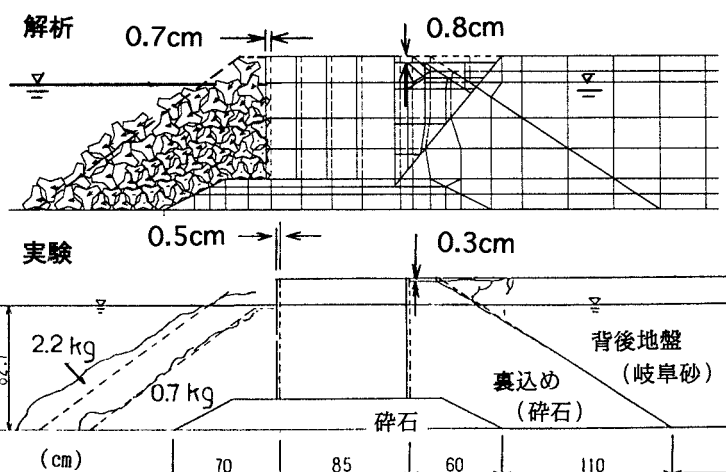


図2 実験と解析の変形状態の比較（5Hz，600gal，3波）

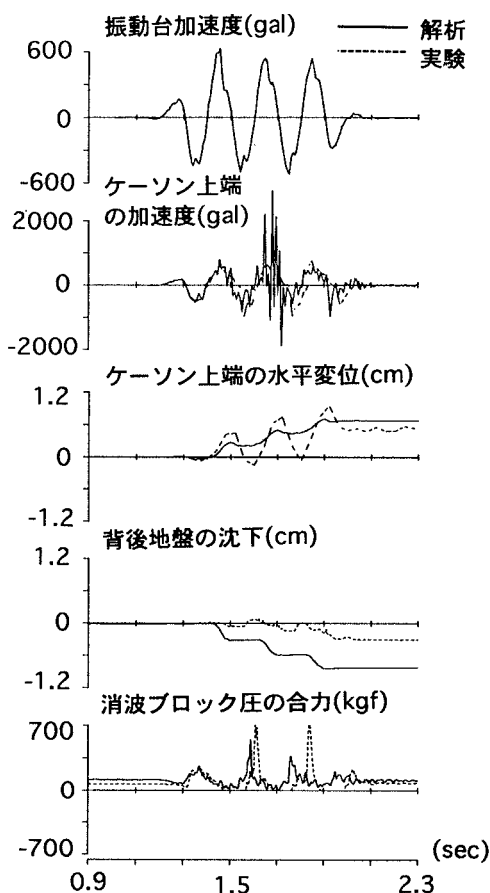


図3 実験と解析の動的変形挙動の比較（5Hz，600gal，3波）