

遠心載荷実験に対する DEM-FEM ハイブリッド解析の適用

東電設計株式会社 ○正会員 中瀬仁・東 均

東京電力株式会社 正会員 志村聡・嶋田昌義・弘重智彦

1. まえがき 筆者らは、DEMと FEM の長所を生かしたシミュレーションを行うことを目的として、両者を結合するハイブリッド解析のアルゴリズムについて提案した¹⁾。アルゴリズムの基本的な考え方は、DEM と FEM の間でデータをやりとりするハイブリッド面を設定し、ハイブリッド面の DEM 側に発生した応力を FEM の対応する接点に分配し、FEM 側で生じた変位に等しくハイブリッド面を強制変位させるというものである。解析対象におけるある領域を DEM、他の領域を FEM でモデル化し、互いの相互作用を考慮しながら計算を進めるという考え方は、すでに文献²⁾で提案されているが、DEM と FEM を別々の CPU で稼動する点、データを受け渡しする境界をハイブリッド面としてモデル化する点で本手法は少し異なる。本稿では提案する手法を用いて、護岸模型に対する遠心載荷実験のシミュレーションを行い、その妥当性を確認する。

2. 模型実験と解析モデル 筆者らの研究グループでは、発電所立地を背景として、護岸の耐震信頼性評価に資するため、ケーソン式護岸の模型に対する遠心載荷実験を行ってきた³⁾。そこで行われた実験ケースの内、ケーソンの滑動に対する消波工の押さえ効果を把握する目的で行った実験に対して、シミュレーションスタディを行った。写真-1 は実験終了時における模型の状態を側面からアクリル板を通して撮影したものである。モルタルで作成されたケーソンの大きさの遠心載荷状態における換算値(以下、実験に係わる諸元は換算値を用いて示す)は、高さ 13m、幅 9m、奥行き 6.5m である。計測にあたっては 3 函並べた中央のケーソンに着目しており両側のケーソンはダミーである。消波工の質量は、単位奥行きあたり 181t である。埋立地盤は、豊浦砂を初期相対密度 60%に締め固めて作成した。ケーソン天場のレベルまでシリコンオイルを間隙水として飽和させ、50g の遠心載荷状態に安定させた後、2Hz、300gal の正弦波形を 30 波入力した。ハイブリッド面を境界として、消波工を三次元 DEM、ケーソンおよび背後地盤を FEM(有効応力解析、STADAS-II)⁴⁾でモデル化した、実験模型に対するシミュレーションモデルの解析終了時における状態を

図-1 に示す。DEM 領域における消波ブロックは、間隙パネ⁵⁾による連結要素を用いてモデル化され、その挙動(位置)を表すために消波ブロックの形状を持つ消波ブロック図形⁶⁾を用いている。FEM 領域における実線は、シミュレーション終了時におけるモデルの変形状態を表している(点線は初期状態)。ケーソン近傍における埋立地盤の水平変位深度方向分布が、土槽

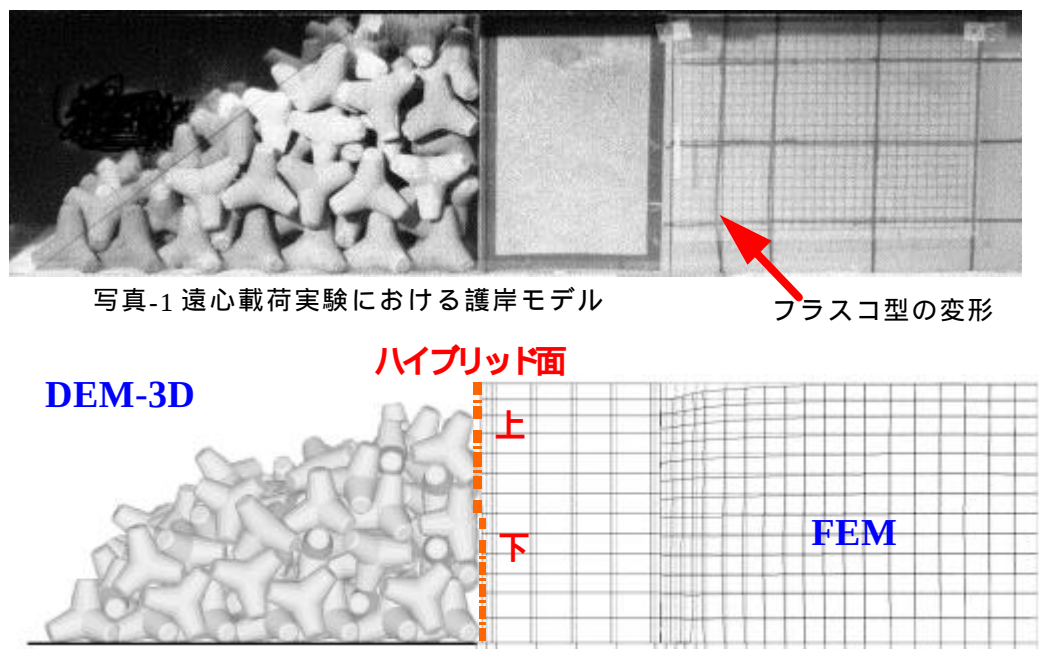


図-1 解析モデル(シミュレーション終了時)

ハイブリッド、有限要素法、個別要素法、数値シミュレーション、消波工

連絡先：〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3、TEL(03)4464-5563、FAX(03)4464-5595

底部に近い領域で最大となる特徴のある実験結果(色砂の変形)を、シミュレーションは良好に再現している。

3. 応答波形の比較 ケーソン変位、消波工圧およびケーソン加速度波形について、実験とシミュレーションを図-2 に比較する。ケーソン変位は数波の載荷で、両者に 5~6cm の差が生じるものの、その後その差は拡大せず、加振一波あたりのケーソンすべり量は対応していると言える。載荷初期を除いて、ケーソンの上半分に加わる消波工からの圧力(上部消波工圧波形と称する)、下部消波工圧波形共に両者は非常に良い対応を示している。載荷初期に、シミュレーションが実験を上回るのは、実験に比べて初期消波工圧が大きく、ケーソンの変位に抵抗する作用が強かったためであろう。消波工圧が極大値をとるタイミングは、上部消波工圧および下部消波工圧ともにケーソンが海側へ滑り出している時間と対応している。ケーソンの加速度波形もまた、両者はよく対応している。このシミュレーションに用いた主要なパラメータ(ケーソン-マウンド間の摩擦等)は全て、材料試験に基づいて定めた。

4 あとがき DEM と FEM を別々の CPU で実行しつつ、両者が相互に情報をやりとりしながら解析を進めることのできる DEM-FEM ハイブリッド解析アルゴリズムを用いて遠心載荷実験のシミュレーションを行った。その結果、アルゴリズムは問題なく機能しており、実験の再現性も良いことが解った。入力と材料定数が寄与で有れば、精度良くケーソンの滑動量を予測できると言える。DEM のプログラムは、京都大学澤田純男氏の DEMS を改良して用いた。

参考文献 1)中瀬他：DEM-FEM ハイブリッド解析アルゴリズムの提案，第 25 回地震工学研究発表会,pp457-460, 2)金谷他：防波護岸の地震時挙動に関する研究・その 3,第 24 回地震工学研究発表会,pp713-716,

3)栗田他：ケーソン式護岸における消波ブロックの地震時抑え効果について,土木学会第 53 回年次学術講演会,IIpp248-249, 4)東他：軟着底構造による海上発電所の地震時挙動について,第 25 回地震工学研究発表会,pp1013-1016, 5)目黒他：粒状体シミュレーションによるコンクリート構造の破壊解析,地震研究所彙報, Vol.63pp.409-468, 6)中瀬他：拡張個別要素法による三次元消波工モデルを用いた地震応答シミュレーション,土木学会第 51 回年次学術講演会,IPP.650-651

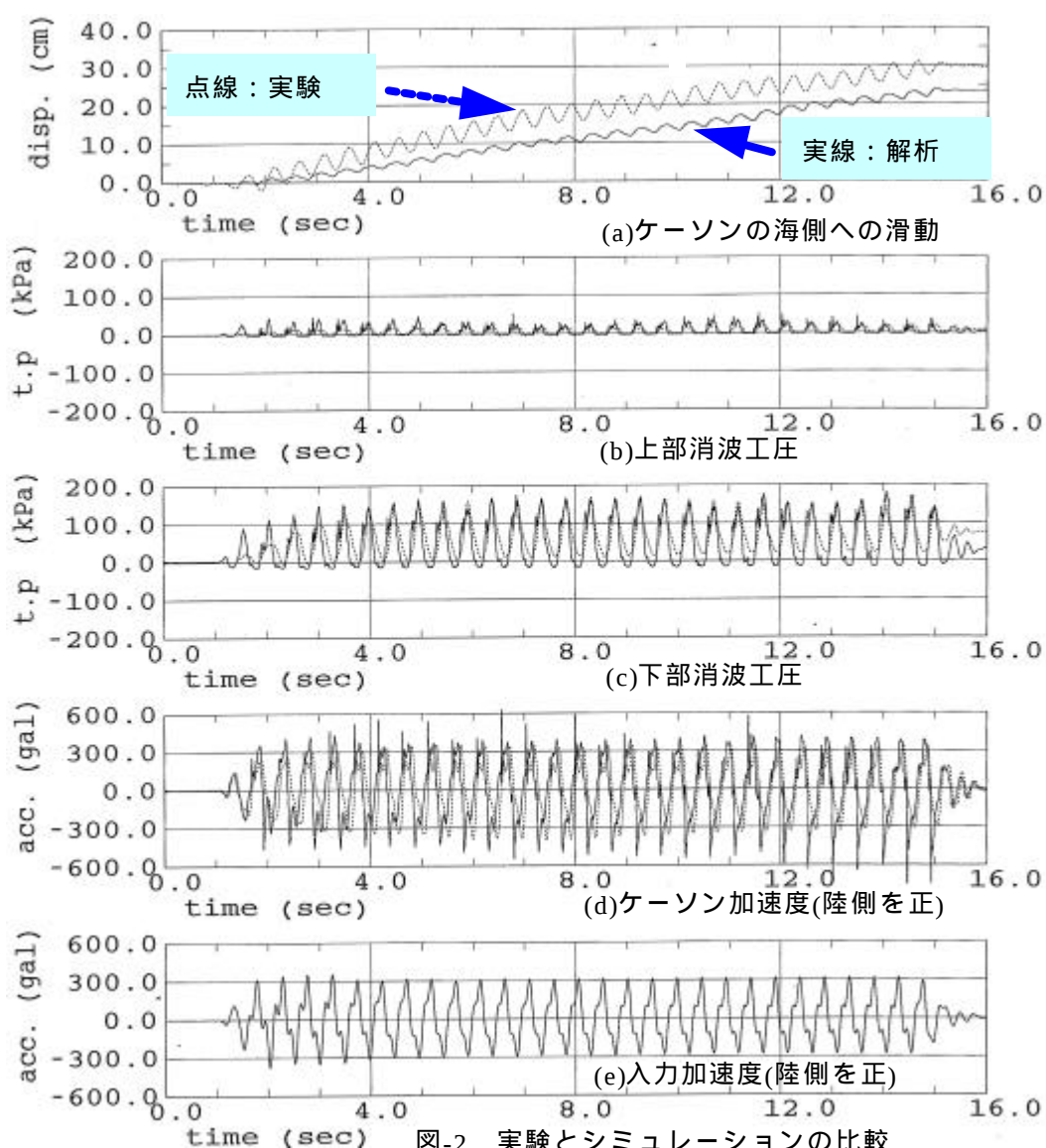


図-2 実験とシミュレーションの比較