

CS 111

個別要素法を用いたケーソン式護岸の模型振動実験に対するシミュレーション

東電設計（株） 正会員 安中 正 正会員 中瀬 仁 正会員 栗田 哲史
東京電力（株） 正会員 安田 登 正会員 藤谷 昌弘

1. はじめに

本研究は図-1に示す実際の約1/40のケーソン式護岸の模型振動実験¹⁾を、個別要素法によってシミュレーション解析するものである。円形要素を用いた通常の個別要素法では、要素が回転し易いため護岸の背後地盤（砂）の強度を表現することは難しい。本研究では要素の回転自由度を拘束する手法を提案する。この手法を用いることにより、背後地盤の強度特性を表現することが可能となり、シミュレーションでも実験を良く再現できるようになることを示す。

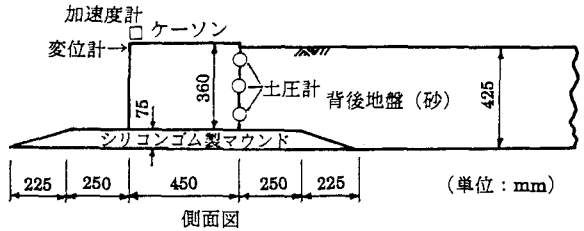


図-1 実験モデルの概要図

2. 材料定数の決定

個別要素法で用いる材料定数の決定方法は、各種提案されている。本研究では、砂でできた背後地盤を表す要素の材料定数を次のように決定した。まず、背後地盤に用いた砂の平面ひずみ圧縮試験を行い、次にそれに対する個別要素法のシミュレーションを行った。両者の主応力比-ひずみ曲線が一致するように、要素のバネ定数と要素間摩擦角を決定した。このとき、通常の円形要素では、要素が回転し易いため砂の強度を発揮させることが不可能であった²⁾。そこで、本研究では要素の回転自由度を拘束することによって砂と同程度の強度を発揮させることを試みた。図-2に実験とシミュレーションの主応力比-ひずみ曲線の比較を示す。表-1に各解析で用いたバネ定数(K_n, K_t)と要素間摩擦角(ϕ_μ)の一覧を示す。解析では、バネ定数が変形特性（初期勾配）に、要素間摩擦角が強度特性（内部摩擦角）に対する感度が大きい。解析1の結果は初期勾配が小さ過ぎる。解析2は初期勾配は良く一致しているが強度が小さい。解析3の結果が初期勾配、強度共に良く一致している。そこで、解析3で用いたバネ定数と要素間摩擦角を、背後地盤の材料定数として採用した。このほかの材料定数については、材料試験¹⁾の結果を微調整した。

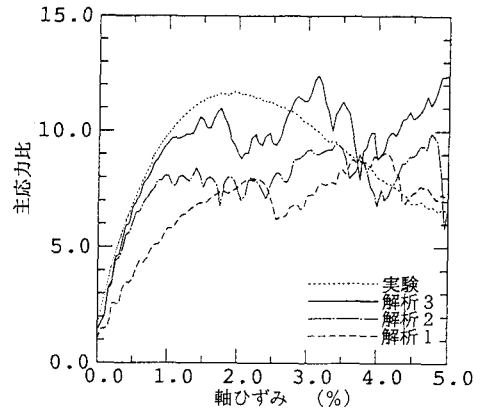


図-2 主応力比-ひずみ曲線

表-1 解析別の材料定数

	K_n (N/m)	K_t (N/m)	ϕ_μ (°)
解析1	1.44×10^7	1.44×10^7	25.0
解析2	3.60×10^7	3.60×10^7	25.0
解析3	3.60×10^7	3.60×10^7	27.0

3. シミュレーション結果

図-3に実験模型の個別要素によるモデル化を示す。ケーソンは連結要素³⁾、背後地盤は回転自由度を拘束した円形要素、マウンドと土槽は変位境界で表している。加振は変位境界を入力波に従って変位させることによって行った。入力波は、実験時に計測された振動台の加速度波形を積分した変位波形を用いた。表-2に材料定数と解析条件の一覧を示す。

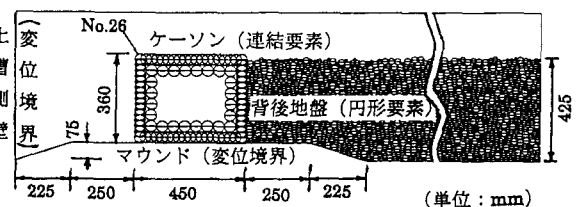


図-3 個別要素による実験模型のモデル化

図-4に加振後の水平相対変位量の絶対値の分布とせ

断面ひずみの分布の様子を示す。同時に示した実験のスケッチと比較すると、破壊の様子が実験と良く対応していることがわかる。図-5(a)にケーソンの振動台に対する相対変位波形、(b)にケーソンの絶対加速度波形、(c)ケーソンに作用する平均動土圧、(d)入力変位波形を示す。ここで、変位と加速度は陸側が正、動土圧は圧縮が正である。変位波形、加速度波形、動土圧の各波形共に実験値と良く一致している。

4. おわりに

要素の回転自由度を拘束した個別要素法によって、土質材料の強度を表現することができた。この手法を用いることによって、護岸構造物の模型振動実験に対するシミュレーションを精度良く行うことができた。

謝辞

要素の回転を拘束する手法を指摘して頂いた東北学院大学教授佐武正雄博士に末筆ながら謝意を表します。本研究で用いた砂の平面ひずみ圧縮試験は、東京大学生産技術研究所龍岡研究室で行われたものである。また、個別要素法のプログラムは京都大学の澤田純男氏の開発した「DEMS」を改良したものである。

参考文献

- 1) 安田・福井・佐藤・豊田・黒瀬:護岸構造物の地震時挙動に関する実験的研究(その1),土木学会第47回年次学術講演会講演概要集,第1部,pp.160~161,1992年。
- 2) 中瀬・栗田・安中・片平・興野:改良個別要素法による平面ひずみ圧縮試験のシミュレーション,土木学会第46回年次学術講演会講演概要集,第1部,pp.466~467,1991年。
- 3) Meguro, K. and Hakuno, M.: Fracture Analysis of Concrete Structures by the Modified Distinct Element Method, Proc. of JSCE, Structural Eng./Earthquake Eng., No. 410/I-12, pp.113~124, October 1989.

表-2 材料定数と解析条件

要素数	N	2088
ケーソン要素の密度	ρ_c (kg/m^3)	2572
背後地盤要素の密度	ρ_b (kg/m^3)	1920
法線方向要素バネ定数	K_{en} (N/m)	3.60×10^7
接線方向要素バネ定数	K_{et} (N/m)	3.60×10^7
法線方向要素減衰係数	η_{en} (N・sec/m)	2.37×10^3
接線方向要素減衰係数	η_{et} (N・sec/m)	18.9
背後地盤の要素間摩擦角	$\phi_{\mu b}$ (°)	27.0
マウンド-ケーソン間の摩擦角	$\phi_{\mu cm}$ (°)	12.5
マウンド-背後地盤間の摩擦角	$\phi_{\mu bm}$ (°)	15.2
背後地盤-土槽間の摩擦角	$\phi_{\mu con}$ (°)	45.0
背後地盤-ケーソン間の摩擦角	$\phi_{\mu bc}$ (°)	27.0
時間刻み	Δt (sec)	5.0×10^{-5}
継続時間	T (sec)	1.5

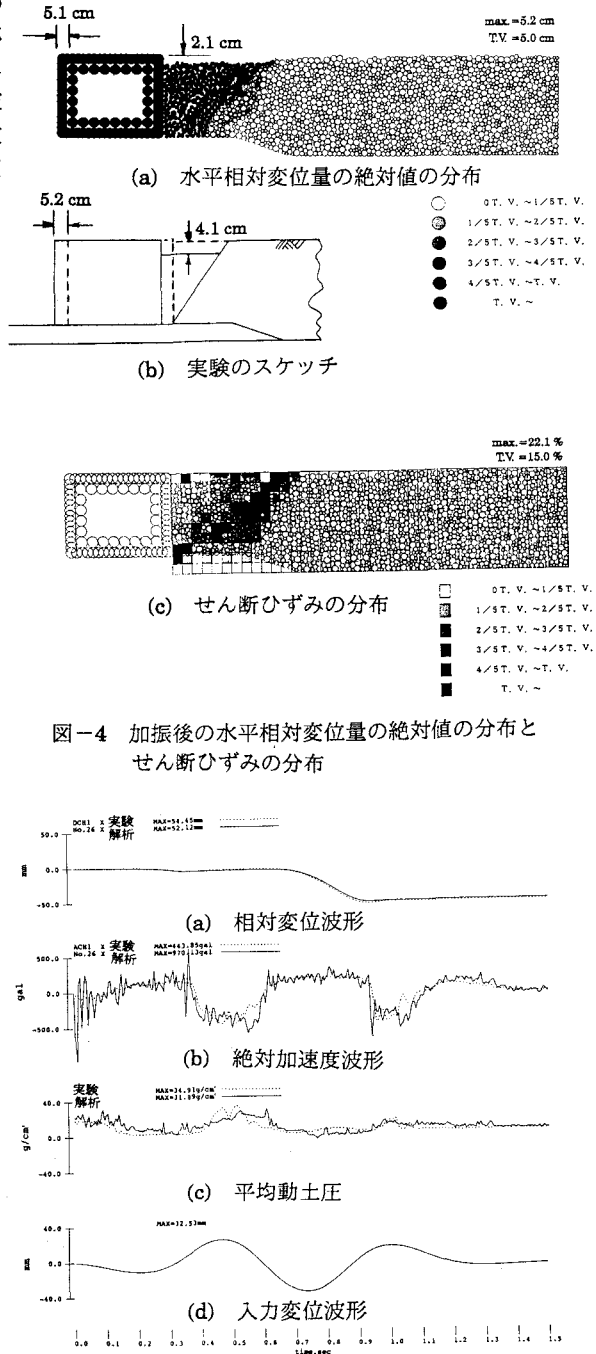


図-4 加振後の水平相対変位量の絶対値の分布とせん断ひずみの分布

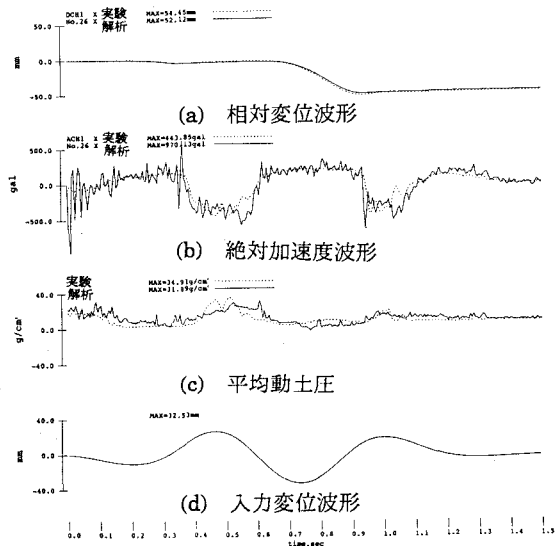


図-5 時刻歴波形