

I - B 293

斜底面ケーソン式岸壁の耐震安全性に関する有効応力解析

運輸省港研 宮田正史 NKK 関口宏二 東洋建設 山本芳生
東亜建設 橋本文男 竹中土木 中島秀晃

1. はじめに： 耐震性と経済性を兼ね備えた重力式港湾構造物として「斜底面ケーソン工法」の開発を行っている。その一環として、水中振動台による模型振動実験¹⁾および有効応力解析シミュレーションを実施した。本論文では、有効応力解析手法LIQCA²⁾（1995年Version）により、検討を行った結果の概要を報告する。

2. 実験概要： 設計震度0.25で設計された底面傾斜角0, 5, 10度の3体のケーソン岸壁模型(1/22モデル)を、Fig.1に示すよう設置し、水中振動台による加振を行った。入力は、10Hzの一定振幅正弦加速度波を20波とし、最大振幅を100, 200, 400 Galと段階的に上げた（Table 1参照）。なお、計測におけるサンプリング周波数は256 Hzとした。

Case	底面傾斜角	入力加速度 (Gal)
A2	0度	100→200→400
A3	5度	100→200→400
A4	10度	100→200→400

3. 解析条件： Table 1に示す3x3=9 Caseの模型実験に対応した解析を実施した。解析に用いた材料パラメータをTable 2に示す。これらのパラメータのうち、基礎捨石の移動硬化パラメータはケーソンの残留変位量に敏感であり、模型実験結果に対するフィッティングによって決めた。また、OCRは砂の応力～ひずみ履歴を考慮するためのパラメータと位置づけた。³⁾なお、剛性の0.2%のRayleigh減衰を考慮し、解析に用いた時間ステップは予備解析より0.00025 s (400 step/cycle)とした。

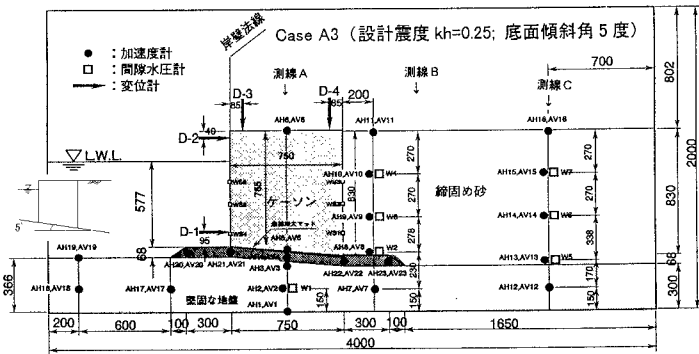


Fig.1 模型実験における標準断面図および計器配置図 (Case A3)

材料番号	地盤材料	単位重量 (γ) (gf/cm^3)	透水係数 (k) (cm/s)	間隙比 (e)	圧縮指数 (λ)	膨潤指数 (κ)	せん断波 速度 V_s (m/s)	破壊 応力比 Mf	変相 応力比 Mm	移動硬化パラメータ Bo	パラメータ B1	パラメータ Cf	パラメータ OCR
1	堅固地盤	2.04	0	0.55	(弾性体: $E=5000 \text{ kgf/cm}^2$; $\nu=0.45$)								
2	基礎捨石	1.94	10	0.74	0.03	0.01		1.34	1.16	40000	4000	2000	1.2
3	基礎捨石/ケーソン	1.94	10	0.74	0.03	0.01		1.16	1.00	40000	4000	2000	1.2
4	ケーソン (水中)	2.10	0	0.00	(弾性体: $E=72000 \text{ kgf/cm}^2$; $\nu=0.34$)								
5	ケーソン (気中)	2.10	0	0.00	(弾性体: $E=72000 \text{ kgf/cm}^2$; $\nu=0.34$)								
6	締固め砂 (水中)	1.98	10^{-3}	0.65	0.03	0.01	115	1.51	1.31	2500	250	2000	3.0
7	締固め砂 (気中)	1.58	10^{-3}	0.65	0.03	0.01	115	1.51	1.31	2500	250	2000	3.0
8	水中砂/ケーソン	1.98	10^{-3}	0.65	0.03	0.01	115	0.98	0.84	2500	250	2000	3.0
9	気中砂/ケーソン	1.58	10^{-3}	0.65	0.03	0.01	115	0.98	0.84	2500	250	2000	3.0

* 材料3, 8, 9はインテフェース要素 (薄層要素) に対応

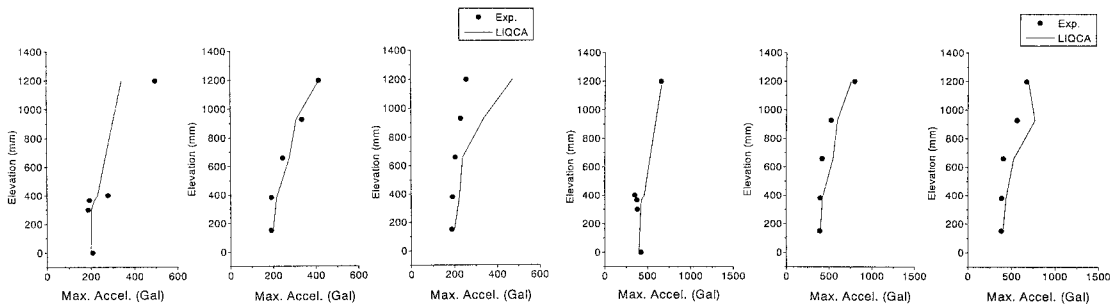


Fig.2 最大加速度の実験と解析の比較 (Case A3; 200 Gal)

Fig.3 最大加速度の実験と解析の比較 (Case A3; 400 Gal)

キーワード： 斜底面ケーソン、耐震強化岸壁、有効応力解析、LIQCA

連絡先 (NKK: 〒210-0855 川崎市川崎区南渡田町1-1; Tel. 044-322-6222; Fax. 044-322-6519)

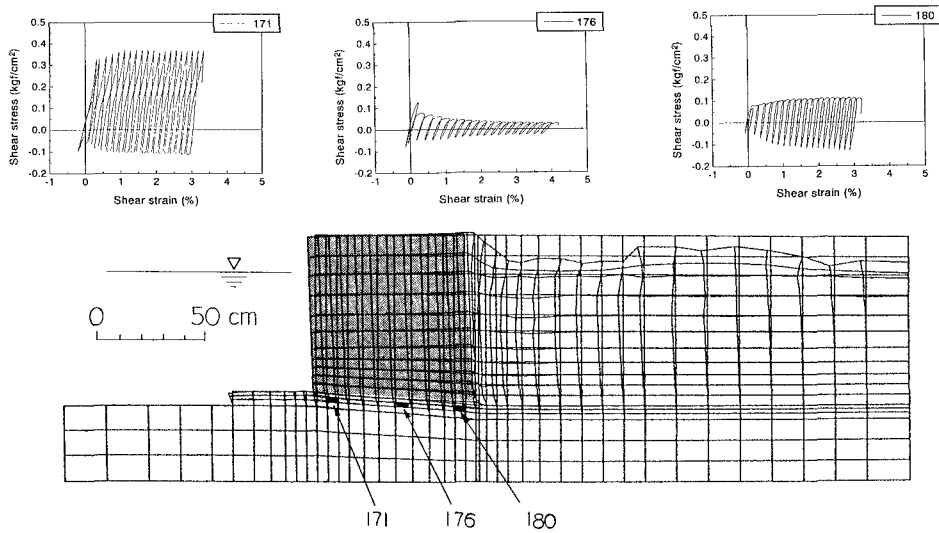


Fig.4 ケーソン～地盤系の地震後残留変形および基礎捨石のせん断応力～ひずみ関係
(Case A3: 400 Gal 加振後、変位スケールは5倍で表示)

4. 解析結果： まず、Case A3（底面傾斜角 5 度）における地盤およびケーソンの最大加速度応答を実験と解析とで比較する。Fig.2 は、200 Gal 入力のケースであり、実験と解析では測線 B では良く一致しているが、測線 A, C ではやや対応が悪い。また、Fig.3 は、400 Gal 入力のケースであり、実験値と解析値は良く一致している。他のケースでも 200 Gal 加振および 400 Gal 加振の場合について同様の傾向がみられた。

次に、Fig.4 に Case A3 における 400 Gal 加振後のケーソン～地盤系の残留変形図を示す。同図中に示す捨石層の応力～ひずみ関係と合わせて考えると、ケーソンの海側への水平変形は、主として基礎捨石の塑性せん断ひずみの累積に起因していると推察される。なお、水面レベルより上部の締固め砂（FEM メッシュ上 2 層分）の変形量が多い原因は、この部分を完全乾燥砂とモデル化しているためである（実際には不飽和状態）。

Fig. 5, 6 に、全 9 Case におけるケーソンの加振後残留変形量を、実験と解析とで比較して示す。Fig.5 は、ケーソン底面における残留水平変位量であり、実験および解析において、ケーソンの底面傾斜角 0～10 度の範囲で残留水平変位量には大きな違いがみられない。一方、ケーソンの残留回転角（Fig.6）は、ケーソンの底面傾斜角が 0 度と 5 度の場合には両ケースで余り変わらないが、10 度の場合には、0、5 度の場合に比べてやや大きくなる傾向が認められる。

5. まとめ：有効応力解析手法 LIQCA により斜底面ケーソンの水中振動台実験のシミュレーションを実施した。その結果、地盤の材料パラメータを適切に設定すれば、加速度や残留変位が実験と解析とで良く一致することが確認された。また、ケーソンの底面傾斜角が 0 度と 5 度の場合には、ほぼ同等の耐震性能を有することが有効応力解析からも確認された。末筆ながら、LIQCA の使用にあたってご指導いただきました京大 岡教授ならびに岐大 八嶋教授に深謝いたします。

参考文献

1. 岩上淳一ほか：斜底面ケーソン式岸壁の動的安定性に関する模型振動実験について、土木学会第 53 回年次学術講演会（発表予定）。
2. Oka, F., Yashima, A., Kato, M. and Sekiguchi, K. (1992): "A constitutive model for sand based on the non-linear kinematic hardening rule and its application," 10th WCEE, Madrid, Spain, pp. 2529-2534.
3. 関口宏二ほか：有効応力法に基づく地盤の液状化解析技術の適用例、NKK 技報, No. 163, 1998. 9（発表予定）。

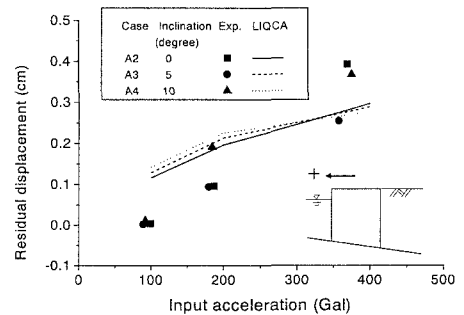


Fig.5 ケーソン底面における残留水平変位量の比較

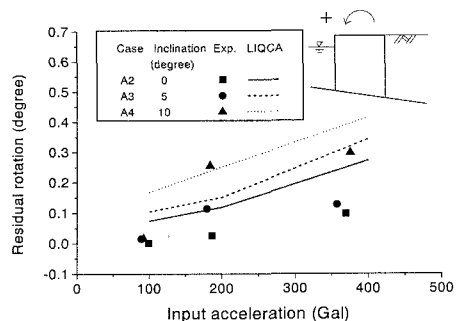


Fig.6 ケーソンの残留回転角の比較