

ケーソン岸壁背後地盤の応力集中領域に関する実験と解析

阪神高速道路株式会社 正会員 ○曾我 恭匡

京都大学防災研究所 正会員 井合 進

京都大学防災研究所 正会員 飛田 哲男

1.はじめに 2003年9月26日に発生した十勝沖地震では、釧路港の試験岸壁(図1)に設置された各種観測システムにより、ケーソン岸壁の地震時挙動に関する世界的にも類のない貴重なデータが取得された。それらの加速度応答記録を始めとする観測値は、有効応力法に基づく有限要素プログラム(FLIP)の解析結果から概ね再現可能であると報告されている¹⁾が、解析精度を一層向上させるためにはケーソン背後地盤の応力集中領域における変形挙動について、より詳細に検討する必要があるとされている。本研究は、ケーソン背後地盤の応力集中領域に関する実験を行うことでケーソンの滑動状態を確認し、アイソパラメトリック要素に基づく特異要素を適用した解析を行い、その精度を高めることを目的としている。

2.実験概要 ケーソン式岸壁モデルに対する遠心模型実験を50Gの遠心場で実施した。実験の断面図を図2に示す。実験に使用した土槽は剛土槽(内寸450x150x300mm)である。ケーソンには高さ120mm、幅80mm(縦横比3:2)、奥行き140mm、比重が実際のコンクリート製ケーソンに合うように加工したアルミブロックを用いた。背後及び基礎地盤には珪砂7号を、捨石マウンドには粒径5~10mmの小砂利をそれぞれ用いた。ケーソン背後地盤の変形モードを視覚的に確認するために、乾燥砂では色砂を、飽和砂では乾燥そばを用いている。レーザー変位計によってケーソンの鉛直及び水平変位を、加速度計によってケーソン及び背後地盤の地表面加速度を、さらに間隙水圧計(飽和砂実験のみ)によって地盤中の間隙水圧を各々計測した。入力地震波には10波の非定常波を用い、振動数をプロトタイプスケールで1Hzとした。以下、断りのない限り数値はプロトタイプスケールとする。実験条件を表1に示す。尚、Case1及びCase3についてはステップ加振を施している。

3.実験結果 先述の通り、既往の研究から加速度応答記録を始めとする各種観測値の再現は確認されている。そこで、ケーソンの滑動状態について詳細に検討するために、背後地盤の応力集中領域における変形挙動に主眼を置く。各実験のケーソン背後地盤の応力集中領域における変形モードは図3のようになった。いずれのケースにおいても、捨石マウンドが大きく変形することなくケーソンがその上を滑動している様子や背後地盤の沈下、さらに背後地盤中にはステップ加振による数本の滑り線が見て取れる。また同図より、ケーソン背後地盤に隣接する色砂(Case1)や乾燥そば(Case2及びCase3)がL字型に変形している様子が確認出来る。このことから、ケーソン背後下部地盤の初期位置において、地震前後で歪が集中していると考えられる。

キーワード：ケーソン、応力集中、遠心模型実験、有限要素解析、特異要素

〒611-0111 宇治市五ヶ庄 京都大学防災研究所地盤災害研究部門地盤防災解析分野 (Tel.0774-38-4092)

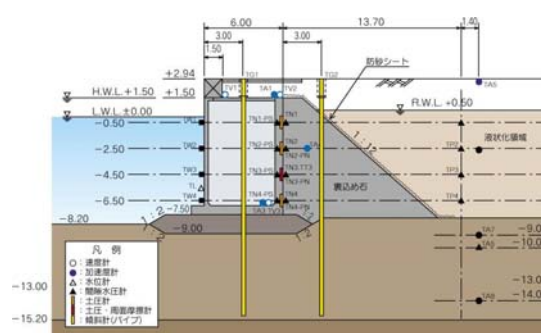


図1 釧路港の試験岸壁断面図

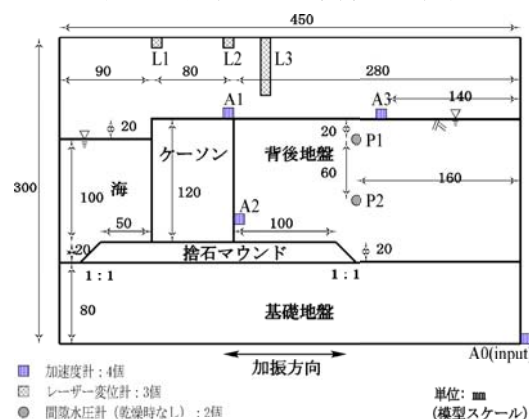


図2 実験断面図

表1 実験条件

	地盤条件	背後地盤	相対密度 (%)	入力地震動 (非定常波) の最大入力加速度 (Gal)
Case1	乾燥砂	緩詰め	42	115
				145
				362
				505
Case2	飽和砂	緩詰め	47	435
Case3	飽和砂	密詰め	83	255
				378
				427
				617

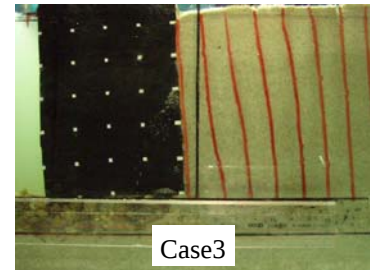
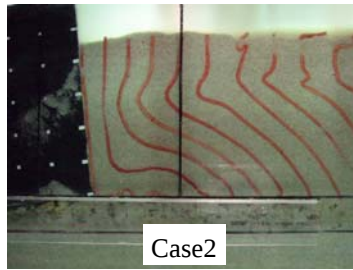
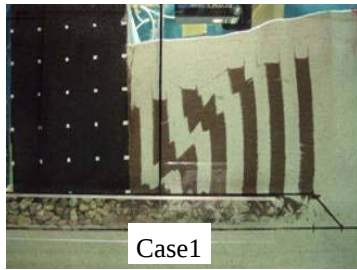


図3 変形モード

4.解析方法 本解析には多重せん断モデルを用いた有効応力法による有限要素プログラム (FLIP) を用いている。解析を行うにあたり、メッシュを切る段階で以下のことを準備する。実験より、応力集中領域に L 字型の変形が現れたことから、実挙動に関してケーソン背後下部地盤の初期位置において、地震前後で歪が集中していると考えられる。そこで本研究では、ケーソン、背後及び基礎地盤間にクラックが生じていると仮定した。そのクラック先端に生じる応力の特異性を表現できる特異要素を以下の要領で適用している。図4の手順(i)~(iii)のように、まず四辺形要素の一つの辺を点に合併した三角形要素を作り、次に節点の位置を変更することによって、応力の特異性を生じさせる²⁾。尚、この時同図(iii)において $a = 3/4$ としている³⁾。

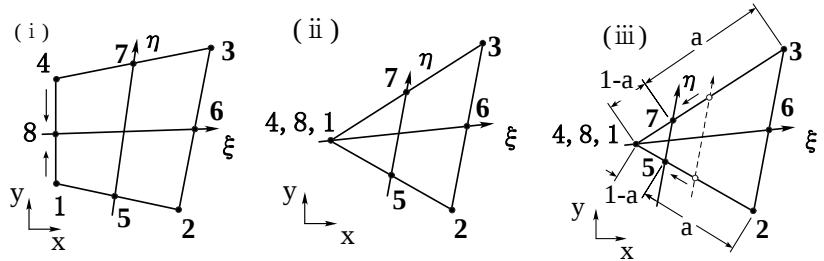


図4 本解析に用いた特異要素

5.解析結果 図5に Case2 及び Case3 の解析断面図を示す。尚、Case1 については同図の海水部分を除いたものに等しい。紙面の都合上、Case1 についての結果のみ示す。従来法と特異要素を適用した方法の残留変形図及びその拡大図を図6に示す。尚、網掛け部はケーソンを表す。いずれの解析結果もよく似た変形モードを示しているが、応力集中領域に注目してみると、前者は捨石マウンドの要素がケーソンに引っ張られ、ケーソンの滑動をうまく表せていないのに対し、後者はケーソンの滑動に伴い、背後地盤に L 字型の変形が現れており、実験結果と類似した変形モードが得られた。また、ここでは示さなかったが、Case 2 及び Case3 についても L 字型の変形が確認されている。

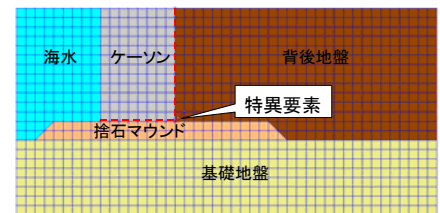


図5 実験の解析断面図

6.結論 (1) 実験より、捨石マウンドが大きく変形することなく、ケーソンがその上を滑動していることが視覚的に明らかとなった。また、ケーソンの滑動に伴って、応力集中領域には L 字型の変形が現れた。(2) 解析においても、ケーソン滑動後の応力集中領域に L 字型の変形が現れ、特異要素の効果が得られた。しかし、実験値の再現までには至らなかった。その要因として、特異要素を適用したことにより、捨石マウンドの剛性が低下したことや地盤のパラメータが真に妥当なものでなかったことなどが影響していると考えられる。

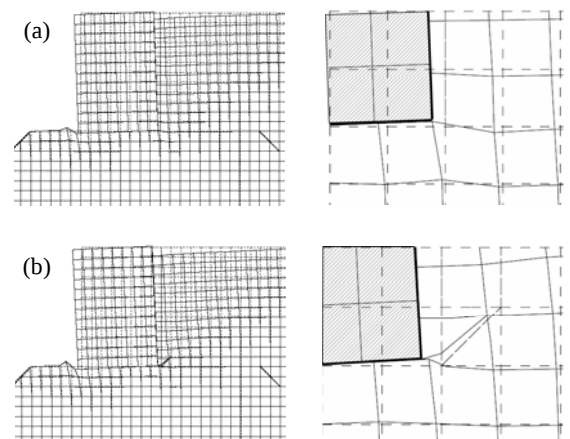


図6 Case1 の残留変形図 (左) 及び拡大図

(a)従来法、(b)特異要素を適用した方法

<参考文献>

- 1) 平成 15 年度港湾構造物の耐震向上に関する検討調査業務報告書：独立行政法人 北海道海開発土木研究所, 2004
- 2) 鷲津久一郎他：有限要素法ハンドブック I 基礎編, pp.416-421, 培風館, 1981.
- 3) Yamada, Y., Ezawa, Y., Nishiguti, I., Okabe, M.: Reconsiderations on singularity or crack tip elements, Int.J.for Numerical Methods in Engrg. Vol.14