

佐藤工業(株) 正会員 ○規矩 大義
 正会員 吉田 望
 東京電機大学 正会員 安田 進

1. はじめに

昨年の兵庫県南部地震では、数多くの港湾構造物が液状化による被害を受けた。ケーソン岸壁に代表される護岸構造物も例外ではなく、ケーソンの前傾や滑動、沈下といった変状が生じたのに加え、その背後地盤で大規模な側方流動が発生したことが明らかにされている。筆者等¹⁾は以前から、液状化によって生じる側方流動(永久変位)を簡易的に予測する手法を提案している。本研究では、この手法を護岸の背後地盤に適用することで、液状化に起因した護岸の変状と背後地盤の側方流動の関係について解析的な検討を行った。

2. 予測手法

筆者等は、過去の地震における被害調査や振動台実験、室内試験の結果をもとに、液状化にともなう地盤の永久変位のメカニズムと予測法に関する研究を行ってきた。それをもとに有限要素法を用いた永久変位の予測手法を提案している。この手法は、液状化前後の2種類の変形係数を用いた静的解析を行ない、これらの変形量の差分をもって永久変位量とするものである。予測手法の詳細については文献1),2)を参照されたい。

3. 解析モデル

粘土地盤上の埋立地盤(液状化層)に設けられた15m級のケーソン岸壁を想定し、液状化層厚15m、水平距離450m(護岸背後部は320m)のモデル断面を決定した。ケーソン下部には碎石マウンドを配し、ケーソンとマウンドおよび裏込碎石の間には、ケーソン本体の滑動や背後地盤の沈下をうまく表現できるよう、薄層のジョイント要素を導入している。また、ケーソンや石積護岸等が倒壊して背後地盤が完全に流動化した場合を想定して、護岸の存在しないモデルと、さらに鋼矢板護岸を想定したモデルも検討に加えた。表1には、断面内の地層区分と初期応力解析(自重解析)に用いた地盤物性を示す。砂質土(液状化層)の剛性については、地盤のN値を3段階(N=2,4,10)に設定して、各々の仮定されたVsから求めた。また、液状化に伴う地盤の剛性低下率は、既往の実験結果²⁾を参考に $G/G_0=1/1000$ としている。さらに、液状化後の地盤のポアソン比は等体積変形を仮定して、 $\nu=0.49999$ とした。図1には代表的ケースにおける解析結果の変形図を示す。

表1 解析に用いた地盤物性

	初期せん断剛性 (tf/m ²)	ポアソン比	基準有効拘束圧 (tf/m ²)	単位体積重量 (tf/m ³)
砂質土	注)	0.4	10.0	1.8
粘性土	8000	0.45	14.3	1.7
置換砂	6000	0.4	10.6	1.8
前置砂	5500	0.4	10.6	1.7

注) 砂質土の初期せん断剛性は、地盤のN値から推定して設定している

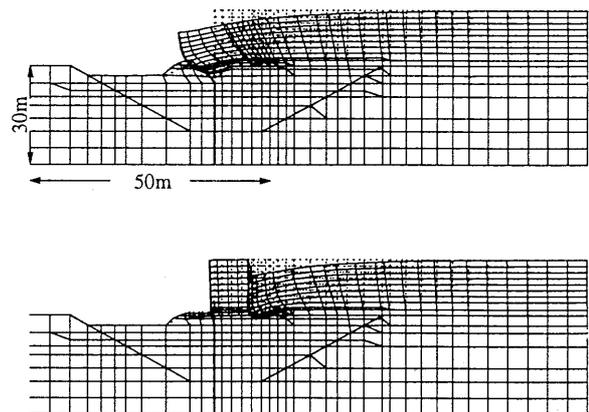


図1 代表的な変形結果(部分拡大図)

Simplified Analyses on the Permanent Ground Displacement due to Liquefaction in the Caisson Yard:
 Hiroyoshi KIKU, Nozomu YOSHIDA (Sato Kogyo Co. Ltd.), Susumu YASUDA (Tokyo Denki University)

4. 解析結果

図2には、護岸なし、矢板護岸、ケーソン護岸モデル(液化化層のN値=4)における護岸から内陸方向に向けての永久変位分布を示す。護岸無しモデルでは地盤は大きく流出し、約10m程度の変位が生じる結果となっている。変位量の絶対値は、護岸無し、矢板護岸、ケーソン護岸の順に大きいが、内陸部に向けての低減傾向はほぼ同じで、護岸部から約80m程度で変形が収束している。

一方、兵庫県南部地震では大きな地震動でケーソンが移動し、その後、背後地盤が流動して大きな側方流動が生じたのではないかと指摘されている。そこで、あらかじめケーソンに初期変位を与え、背面部に隙間を設けたモデルに対して永久変位解析を行った。図3はケーソンの初期移動量を3段階に変えたケースでの変位分布図である。空洞化したケーソン背面で最大変位を示しているが、ケーソン本体も背後地盤に押される形で、さらに1m程度の変位が生じている。図4には、これまでのモデルに対し、液化化層のN値を3段階に変えたケースで最大変位量を比較したものである。何れの場合も、初期の地盤N値が小さいほど、最大変位量は大きくなっていくが、その影響は護岸が倒壊したケースや矢板護岸の方が顕著に現れており、ケーソン護岸では大きな差は見られない。

図5には、護岸に初期変位を与えた各ケースでの変位量を各々の最大変位で除して正規化した変位分布を示す。また、図中には石原ら³⁾が兵庫県南部地震の際の神戸ポートアイランドで調査を行った永久変位の分布も合わせて示す。正規化した変位分布の傾向は、何れの解析結果でもほぼ等しく、護岸から約100m程度までが永久変位の影響範囲となっている。さらに、この分布傾向、影響範囲は石原らによって実測された結果とも良好な一致が見られた。

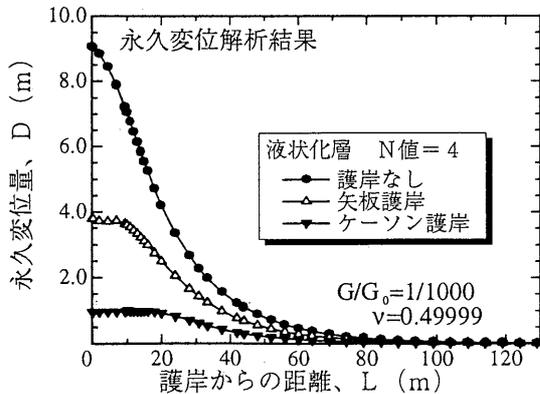


図2 側方流動の水平方向分布 (1)

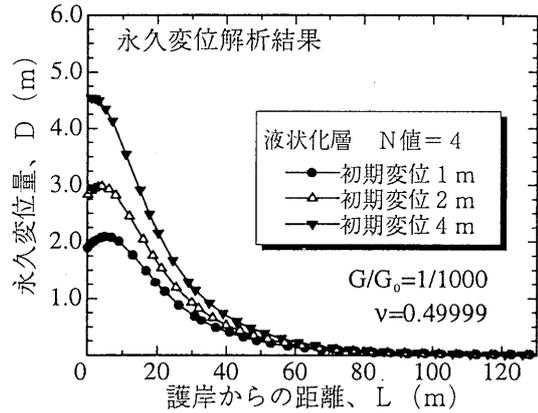


図3 側方流動の水平方向分布 (2)

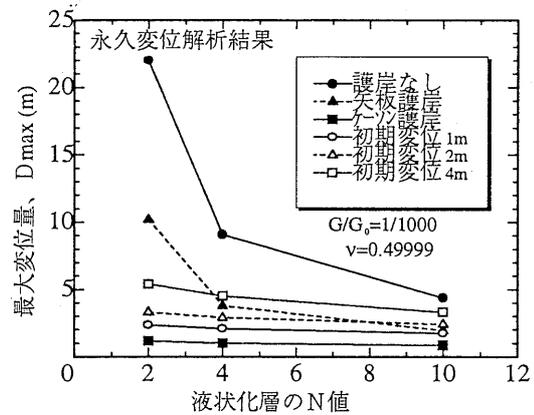


図4 変位量に与える地盤密度の影響

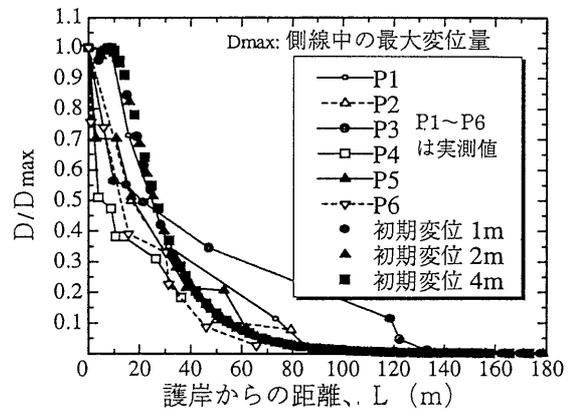


図5 側方流動の影響範囲

【参考文献】

- 1) S.Yasuda et al.: The Mechanism and A Simplified Procedure for the Analysis of Permanent Ground Displacement due to Liquefaction: Soils and Foundations, Vol.32, No.1, pp149-160, 1992.
- 2) 規矩大義 他: 液化化した砂の強度変形特性に関するねじりせん断試験、第9回日本地震工学シンポジウム発表論文集、Vol. 1, pp871-876, 1994.
- 3) 石原研而: 阪神大震災震災調査緊急報告会資料