

III-A 123 護岸背後地盤で生じた側方流動の影響範囲について

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

兵庫県南部地震では、ケーソン岸壁に代表される多くの護岸構造物が液状化に起因して被災し、さらにその背後地盤で数メートルにもおよぶ永久変位（側方流動）が発生したことが明らかになっている。筆者らは、以前から提案している永久変位解析手法^{1,2)}を、背後地盤を含む護岸モデルに適用することで、液状化に起因した護岸の変状と側方流動の関係について検討を行ってきた³⁾。その結果、護岸背後地盤で生じる側方流動は、護岸の形式や地震動の最中に生じた初期変位量によって異なり、その最大変位量はケーソン護岸、矢板護岸、護岸無し（石積護岸の倒壊等を想定）の順に大きくなり、地層条件が同じ場合には、液状化層のN値が小さいほど大きくなる結果が得られた。一方、護岸背後から内陸に向けての流動の影響範囲は、最大変位量や液状化層のN値等の影響を受けず、概ね100m程度で変位量が収束する結果が得られた。本研究では、液状化層の層厚が異なる地盤に永久変位解析を適用し、側方流動の内陸部に向けての影響範囲に着目した検討を行った。

2. 予測手法と解析モデル

解析には残留変形解析手法を簡略化した有限要素法を用いている。手法の詳細については文献1),2)を参照されたい。解析モデルは、粘土地盤上に4種類の層厚(7m,10m,15m,20m)を有する埋立砂層(液状化層)が存在し、その前面にケーソン岸壁を有するモデルである。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との間には、ケーソン本体の滑動や背後地盤の沈下を表現できるよう、薄層のジョイント要素を導入している。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。

3. 解析結果

図2には15m級岸壁(層厚15m)モデルの解析から得られた、N値の異なる地盤での側方流動の水平方向変位分布を示す。ここでは、ケーソンが地震動の継続中に慣性力によって2m移動した条件を考慮した解析を行っている。液状化層のN値に応じて最大変位量は異なるものの、内陸部に向かうにつれて変位量は減衰し、いずれのケースでも、護岸からほぼ同じ距離で収束している。N値の異なる地盤においても側方流動の影響する範囲はあまり変わらない。

表1 解析に用いた地盤物性

	初期せん断剛性	ポアソン比	基準有効拘束圧	単位体積重量
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。
 単位は、 tf/m^2 （剛性・拘束圧）、 tf/m^3 （単位重量）

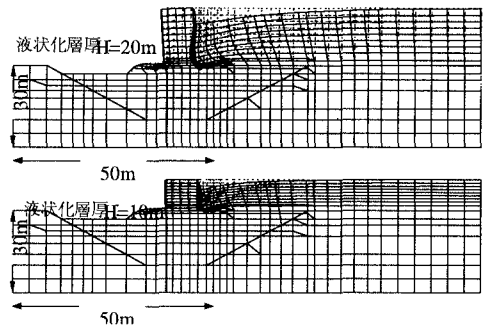


図1 代表的な変形結果（部分拡大図）

図3には、層厚が異なる液状化層を有するモデル地盤での、水平方向の変位分布を示す。液状化層厚が厚くなるに従って、護岸近傍での最大変位量は大きくなっており、層厚20mの液状化層では、およそ4.2mの変位が生じる結果となった。一方、内陸部に向けての変位の低減傾向は、液状化層厚の違いによって大きく異なり、層厚7mの場合には、およそ40m程度で流動が収束するのに対し、層厚20mでは100m以上の範囲にわたって側方流動が生じていることが見て取れる。

図4には、石原ら⁴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変位分布を、各々の最大変位で除して正規化したものと、これらとほぼ同じ液状化層厚を有する15m級岸壁モデルでの解析結果を合わせて示す。なお、解析ではケーソンに与える地震動中の初期変位を3段階(1m,2m,4m)に設定している。変位分布の傾向は、何れのケースでもほとんど同じで、護岸から約100m程度までが側方流動の影響範囲となっている。また、その分布傾向、影響範囲ともに、石原らによって実測された結果とよく一致を見ている。

液状化層厚、N値の異なるケースで、同様な正規化を行った変位分布を図5に示す。変位の低減傾向は、液状化層厚の厚さに応じて緩やかなものとなり、厚くなるに従って側方流動の影響する範囲は大きく広がって来る。一方、層厚が同じであれば、地盤のN値にはほとんど依存しない。ただし、N値が異なることによって、最大変位量に違いがあることは明白である。

今、流動の残留変位が50cm以内であれば、構造物の側で被害を抑えることが出来ると仮定できるとするならば、N値=2の液状化層で、護岸が地震動で2m移動したと想定すると、層厚が7mの場合で約15m、10mで約25m、層厚20mではおよそ80m程度が側方流動の被害の及ぶ範囲と考えることも出来る。ただし、この距離は護岸近傍で生じる最大変位量が大きくなった場合には、さらに大きな値となる。

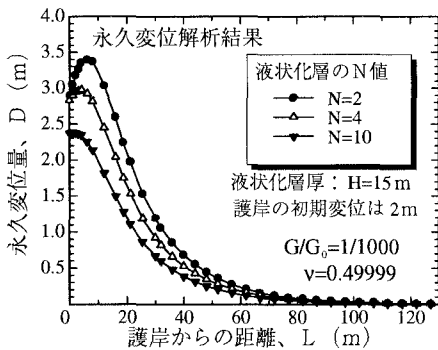


図2 側方流動の水平方向分布（1）

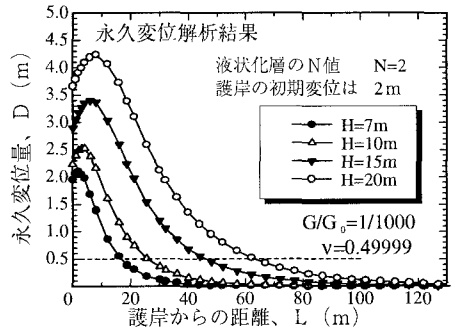


図3 側方流動の水平方向分布（2）

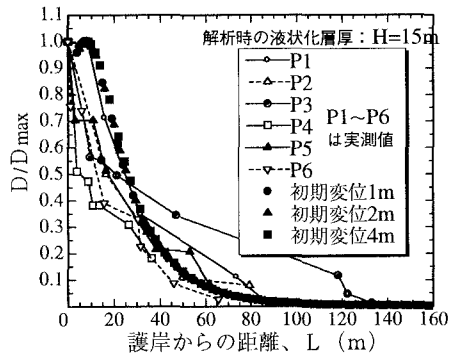


図4 実測変位との比較による側方流動の影響範囲

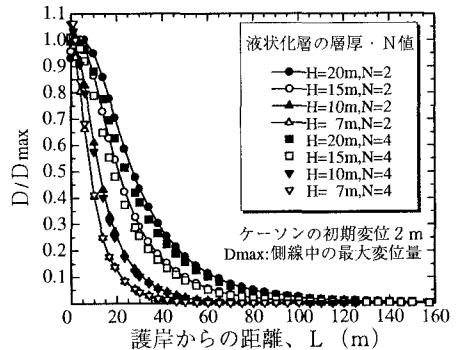


図5 層厚とN値による影響範囲の変化

【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：液状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) 規矩大義 他：液状化に起因した護岸背後地盤の側方流動、第31回地盤工学研究発表会、1996（投稿中）。
- 4) 石原研而：阪神大震災震災調査緊急報告会資料、1995