

## SCP 地盤改良地盤上の護岸における動的安定性の評価

締固め砂杭 地震応答 有限要素法

(財)地域地盤環境研究所 正会員 李 海勲  
国際会員 福田 光治  
国際会員 長屋 淳一Samsung Corporation Ahn, Sung-mo  
Korea Port Engineering Corp. Gu, Bon-hyo

## 1. はじめに

締固め砂杭 (SCP) で地盤改良した軟弱地盤上の護岸構造物の耐震設計に資するため、有限要素法による地震応答解析を行った。対象モデルに対して底部軟弱地盤層厚を変化させた解析ケースに対して2種類の非線形解析を実施することによって、地盤変位および地震応答特性についてより確実に検討することができた。本論文では、一連の検討の中で軟弱粘土層の厚さや入力地震波に関して地震波加速度の増幅特性が異なることが確認され、護岸線上で軟弱層の厚さが異なる場合、増幅特性も異なる場合があることを示す。

## 2. 解析概要

解析には主として修正 Ramberg-Osgood モデルによる非線形解析 (DINAS) を用いた。その結果を検証するため非線形を考慮した次元解析 (SHAKE) を実施し、軟弱地盤および護岸の応答特性の評価を行った。対象地域の地盤条件は厚さ約 45m の Soft clay (N 値 = 0), 15m の Stiff clay (N 値 = 25), その下部には N=50 以上の砂礫が堆積している。動的解析では基盤面を Stiff clay の下端とし、Stiff clay 以浅を解析領域とした。護岸背面には浚渫土埋立を想定した。また、護岸底部は未貫通 SCP (改良率 40%) 施工を想定した。この解析断面 (以後 CASE 1) のメッシュを図 1 に示す。また、表 1 に修正 Ramberg-Osgood モデルに用いた主な地盤パラメータを示す。境界条件は底面固定にし、側方は左右に自由地盤要素とダンパー要素を用いて粘性境界とした。入力地盤パラメータは対象地域の地盤調査結果などを参照して設定した。入力地震波時系列は Tokachi-Oki 地震八戸波 (1968) を解析対象地域の設計地震強度として設定された最大加速度 90Gal に合わせて適用した。さらに、軟弱粘土の厚さを 15 m にした SCP 貫通モデル (以後 CASE2) を検討した。パラメータ、境界条件、入力波形は CASE 1 と同じである。なお、護岸構造物 (Q.R.R., T.T.P., Filter stone, Cap concrete) は、線形弾性として取り扱うものとした。また、この FEM 解析を補完するため非線形性を考慮した次元 SHAKE で軟弱地盤の厚さおよび入力地震波形の違いによる増幅特性を検討した。

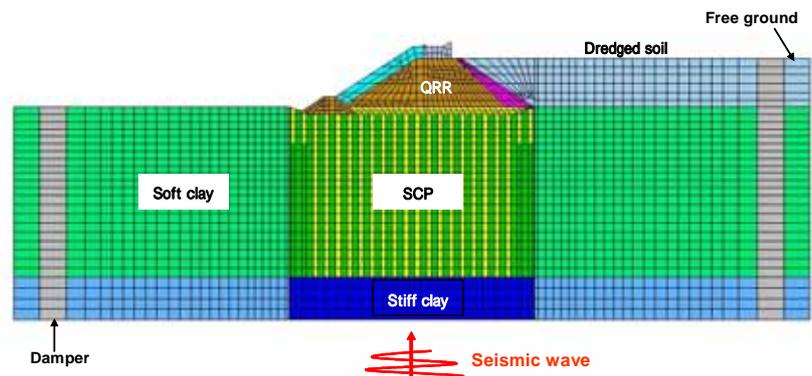


図1 解析断面のメッシュ図

表1 主な地盤パラメータ (\*は平均値)

材料		N値	Vs	G <sub>0</sub>		0.5	h <sub>max</sub>
Soft clay	1.65	-	121*	2467*	0.49	0.0014	0.236
Stiff clay	1.7	-	170	5000	0.49	0.0014	0.236
浚渫土	1.4	-	100	1429	0.49	0.0014	0.236
SCP	1.8	10	198	7180	0.49	0.00042	0.277

3. 解析結果及び考察

CASE 1 の修正 R-O 解析結果中、図 2 に最大地盤変位を示した時刻における変形図を示す。また、図 3 に最大加速度を示した時刻における加速度分布を示す。護岸部の最大変位は約 9cm 程度であり、加速度は護岸部では 65~70Gal 程度に減衰した。また、せん断ひずみは SCP 改良部分では 0.1~0.2% であり、周辺の地盤のひずみ 0.2~0.3% に比べて発生量が抑えられている。今回検討対象地盤は N 値が 0 の軟弱粘土層が厚く堆積する地盤であり、基盤における地震動を大きく増幅させるような地盤ではない。むしろ加速度が減衰するような地盤であり、変位量も抑えられる。地震応答特性は、地震動の周波数特性にも依存し、対象地盤の固有周期 (2.11sec) と地震波の卓越周波数が異なっていることも加速度が減衰し、護岸に大きな変位が生じない要因となっていると思われる。

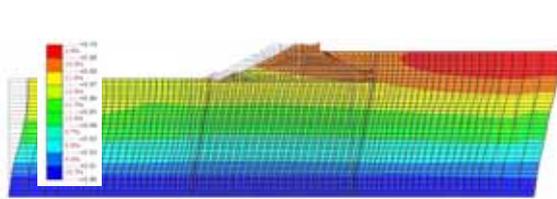


図2 変位分布図 (CASE1)

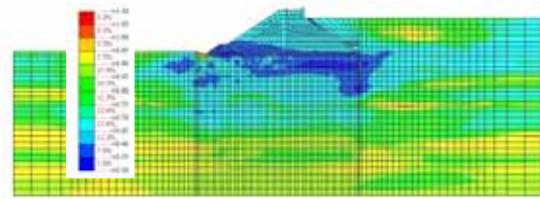


図3 加速度分布図 (CASE1)

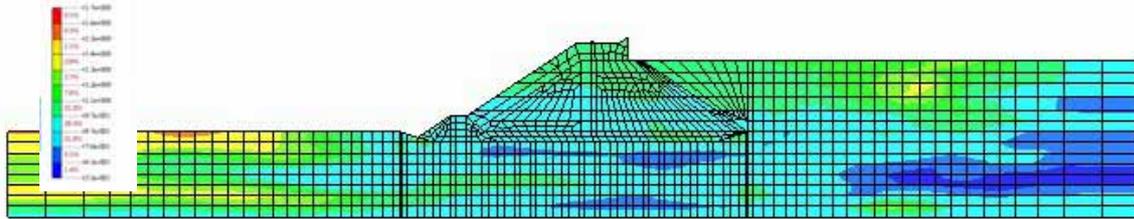


図4 加速度分布図 (CASE2)

図4にCASE2における加速度分布図を示す。軟弱粘土層の厚さを薄くしたCASE2での結果は護岸天端で約100Galになり入力値に比較すると増幅している。これをCASE1の結果と比べるといくつかの特徴がみられる。CASE1の最大加速度分布は、護岸直下に大きな低加速度ゾーンが広がっている、これに対し、軟弱粘性土層厚が約15mになると低加速度層は護岸直下に帯状に広がっているものの薄くなる。同時にCASE1の海底面では免震効果を示しているが、CASE2では増幅している。従って護岸の動的挙動は護岸形状を同じとした場合、護岸直下の軟弱粘性土層の厚さに依存すると思われる、約45mの軟弱粘性土層の場合は免震、約15mの軟弱粘性土層になれば増幅する。

SHAKEによる水平地盤構造と入力地震動の関係を調べた。地盤条件をDINASに合わせ、軟弱層の層厚を変化させて解析を行った。その結果を表2に示す。また、図5に地表面への伝達関数を示す。伝達関数は軟弱層が約45mの場合、0.3Hz周辺にピークが存在する。しかし軟弱粘土層厚が15m付近になるとやや高周期側に移動し、0.6Hz付近にピークがでてくる。またSCP改良部の剛性を均質層と仮定して、その層の剛性を増大させた場合、高周期側にやや移動する傾向を示すが軟弱層の厚さによるモードは類似している。地震波形と増幅特性を調べるため異なる地震波を適用した結果を表3に示す。入力した波形の中でもっとも増幅が顕著な波形は八戸波NS成分であった。そのほかの波では増幅は見られず、免震効果が発揮されるような傾向を示した。つまり入力地震動に対する伝達関数が0.3Hz~2Hz付近でもっとも高いピークを示した波形の影響が大きいことを示している。

4. まとめ

護岸構造物の耐震設計に資するため動的解析を行った。結果として軟弱粘土層が厚い場合、地震強度は増幅ではなく、免震効果が発揮されることが分かった。しかし、軟弱粘性土層が薄くなれば増幅特性が見られる。したがって護岸法線上の地層断面の軟弱粘土の厚さは変化すると思われるので、今回の動的解析結果で得られた免震効果が護岸全体の耐震性とする評価にはならない。軟弱粘土が薄くなる断面での護岸の増幅特性には注意が必要である。

<参考文献>

Cantina, M., Tochigi, H., Kawai, T., Ishikawa, H. and Takeda, T. (1999), "Deformation Analysis of Seawall during Earthquake byDEM-FEM Coupled Analysis Method", Proc. of the 2nd International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Vol.1, pp.303-308

表2 護岸天端加速度の比較

軟弱粘土層厚	DINAS	SHAKE
約45m	70 (Gal)	80 (Gal)
約15m	100 (Gal)	122 (Gal)

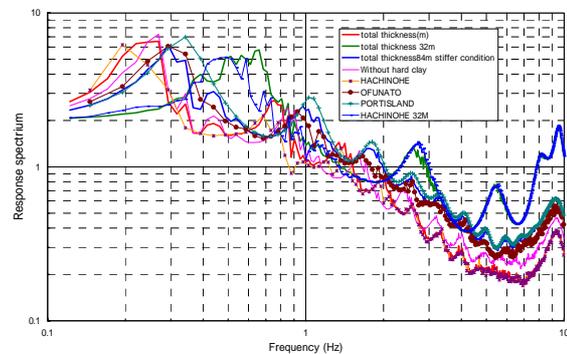


図5 地表面応答変位スペクトル

表3 各地震波の地表面最大加速度 (単位:Gal)

軟弱層厚 (m)	修正八戸波	八戸NS波	大船渡波	釧路波
45	80.6	104.5	77.3	73
15	122.0	321.4	86.4	72
45 (剛性大)	104.7	131.6	77.3	-