

豊洲地域における内部護岸とその背後地盤の振動特性の推定

芝浦工業大学 学生会員 ○関口 齊治

芝浦工業大学 飯泉和典

芝浦工業大学 正会員 紺野克昭

1.研究背景と目的

豊洲地域は、内部護岸と防潮堤に護られた埋立地である。現在これらの湾岸施設の中には、整備後 40 年以上経過したものが存在し、耐震改修が進められているが、図 1 に示すように未改修の区間も少なくない。そこで本研究では、豊洲地域における未改修の内部護岸とその背後地盤を対象とし、常時微動解析と有限要素法による地震応答解析を行うことで、地震時の振動特性を推定することを目的とする。

2.豊洲地域と解析対象区域について

豊洲地域の地盤は軟弱層が厚く堆積している。図 1 に工学的基盤の標高図を示す。これは護岸付近のボーリング柱状図を参照して作成したものである。本学の位置する辺りは A.P.-30~-40m 程度、対象区域を含む未改修の護岸沿いは A.P.-60m 程度に基盤が存在する。対象区域は軟弱なシルト層が厚く、比較的液状化層(砂層)の薄い区域である。豊洲地域には、より液状化の危険性が高い地域も存在する。しかし対象区域は比較的標高が低く、護岸の老朽化等の問題も抱えている。1964 年の新潟地震の際のように、護岸が決壊するようなことがあれば低地水害に見舞われてしまう恐れがある。このような背景から、本研究における対象区域を選定した。

なお、現地において常時微動解析を行った結果、卓越周期は 1.2~1.3 秒、表層 30m の平均 S 波速度 Vs30 は、120~130m/s 程度であることが分かった。

3.モデルの解析手法

解析は地震応答解析プログラム(Soil Plus Dynamic)を用いて、有限要素法による全応力での逐次非線形解析を行う。図 2 に解析モデルおよび境界条件を、表 1 に土質定数を示す。解析では N 値=50 を基盤面とし、基盤面以浅を解析領域とした。土質定数は、既存の地盤調査結果や一般的な経験式等を参考に設定した。常時微動解析の結果も、表層地盤の物性値の推定材料の一つとした。なお、地盤の非線形性は修正 R-O モデルにより表現した。

護岸構造物は図 3 に示すように上部が逆 T 形擁壁、それを RC 矢板と松丸太杭が支持しているモデルとした。

図 4 に入力地震波形を示す。なお、いずれも最大加速度を 350gal (=2E) としたものを、解析基盤面に X 方向加振として入力する。

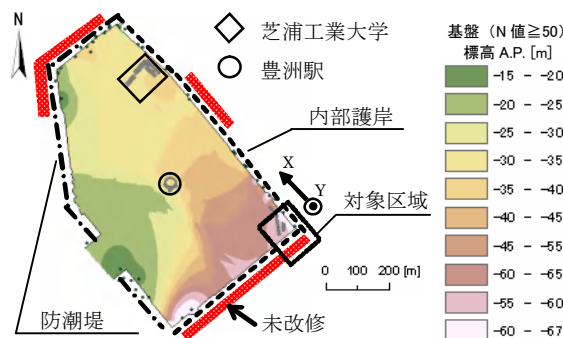


図 1 対象地域における基盤標高図

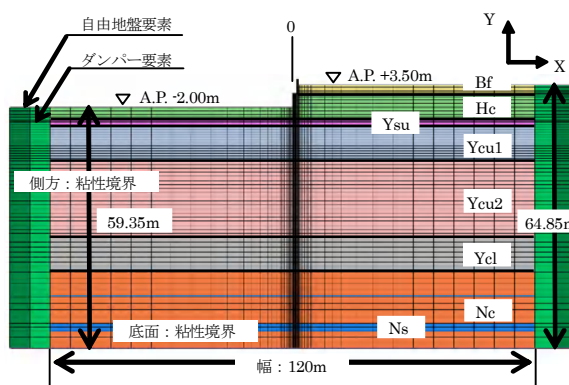


図 2 解析モデルおよび境界条件

表 1 土質定数

上端深度 A.P.[m]	地層	主な土質	層厚 [m]	単位体積重量 γ [kN/m ³]	S波速度 Vs[m/s]	せん断剛性 G[kN/m ²]
+3.50	Bf	埋土砂質	2.50	17.7	82	1.21×10^4
+1.00	Hc	シルト	5.85	16.4	82	1.13×10^4
-4.85	Ysu	シルト混り細砂	1.90	18.2	108	2.17×10^4
-6.75	Ycu1	シルト	8.40	16.0	108	1.90×10^4
-15.15	Ycu2	砂混りシルト	18.90	17.0	157	4.28×10^4
-34.05	Ycl	シルト	8.45	18.0	205	7.72×10^4
-42.50	Nc	シルト	18.85	17.8	237	1.02×10^5
	(Ns)	シルト混り細砂		18.3	237	1.05×10^5

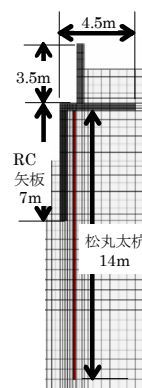


図 3 護岸モデル

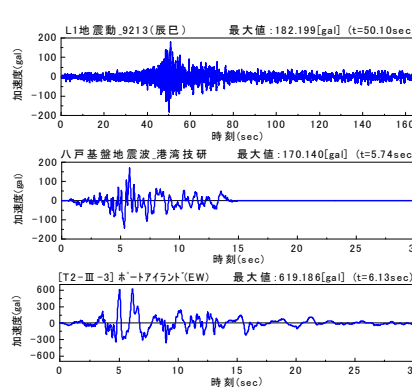


図 4 入力地震波形

キーワード 内部護岸、常時微動、豊洲

連絡先 〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5 芝浦工業大学工学部土木工学科 TEL03-5859-8357

4. 解析結果

(1) 最大応答値の分布による考察

図5に背後地盤における地表最大加速度の水平方向分布を示す。0mは護岸構造物左端である。いずれの入力波においても、護岸近傍と50m地点との間で50gal以上応答が異なる傾向にある。フーリエ・スペクトルで確認したところ、護岸近傍では0.5秒前後の周期成分にピークが見られ、その影響と考えられる。なお、速度と変位に関しては、水平方向で大きな応答の違いは見られなかった。

図6に最大応答の深度方向分布を示す。着目水平位置は、図5における背後地盤5m地点とした。図6(a)より、A.P.-15mの深度(Ycu2層上端)から地表面付近の間で最大加速度が2倍程度になることが分かる。図6(b), (c)より、速度と変位においても同じ深度から最大応答値の増加率が大きくなることが分かる。今回は5m地点における結果を示したが、他の地点も概ね同じ傾向を示した。

どの応答分布においても、ポート波による応答が他の2波による応答を上回ることが分かる。特に辰巳波（東京湾のL1地震動として港湾施設研究室が公開している波）による応答との違いが著しく、入力や応答を評価する際には留意が必要な点と考えられる。

(2) フーリエ・スペクトルによる考察

図7に地表面（水平位置は5m）、図8に解析基盤面における速度フーリエ・スペクトルをそれぞれ示す。図7より、いずれの入力波の場合も地表面で周期1.25秒周辺にピークを持つことが分かる。これは、常時微動解析により推定した卓越周期と概ね一致する。図8より、ポート波は周期1.25秒周辺に顕著なピークを持っており、それが前述の最大応答値の違いに影響したと考えられる。

図9に解析基盤面と地表面との間における伝達関数を、図7, 8より求めたものについて示す。八戸波と辰巳波の場合、増幅率が周期0.9~1.3秒の間で大きく、地表面での応答も周期1.1~1.3秒が大きな割合を占めている。一方でポート波の場合、増幅率が周期1.2~2.0秒の間で大きく、地表面での応答は周期1.7秒周辺が大きな割合を占めている。

5. まとめ

本研究では、豊洲地域における内部護岸とその背後地盤の解析モデルを作成し地震応答解析を行った。その結果、いずれの入力波の場合でも地表面で周期1.25秒周辺が卓越することが分かった。

しかし、地表面における応答は入力波によって大きく異なった。また、地震波の揺れの方向性が港湾施設の残留変位分布に影響を及ぼした神戸港の事例もあることから、入力波の性質が地表付近の応答に与える影響を分析していくことが今後の課題である。

謝辞

解析モデルの作成にあたり参照した地盤データは、東京都港湾局から提供して頂きました。関係者各位に感謝申し上げます。

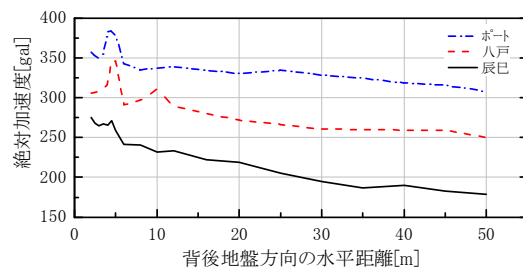


図5 最大加速度の水平方向分布

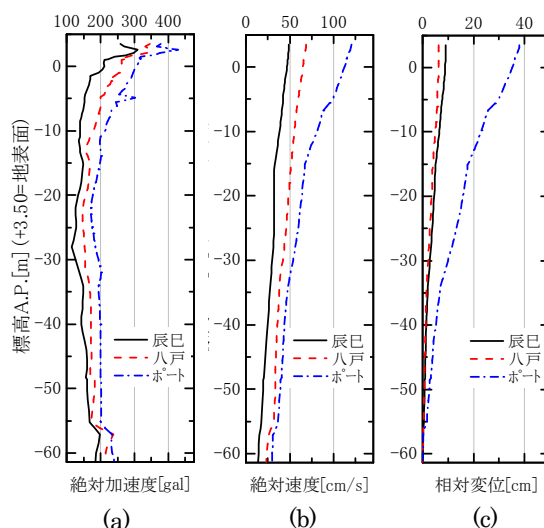


図6 最大応答の深度方向分布

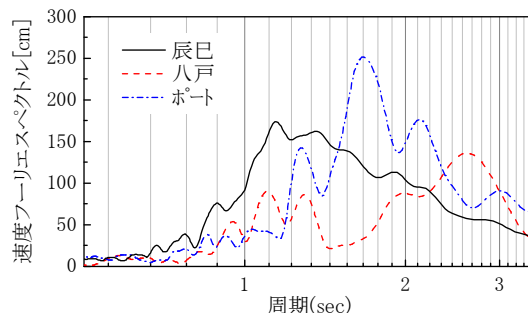


図7 地表面におけるフーリエ・スペクトル

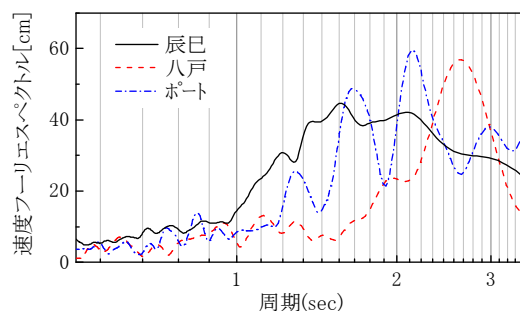


図8 基盤面におけるフーリエ・スペクトル

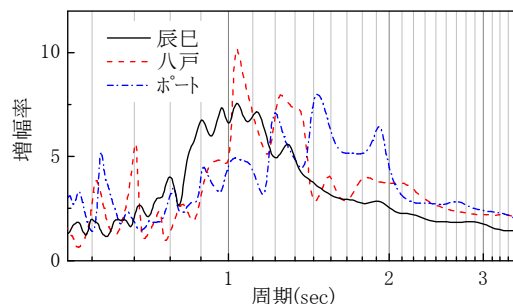


図9 伝達関数（地表面／基盤面）