

機関番号：32619

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：平成 20 年度 ～平成 22 年度

課題番号：20560449

研究課題名 (和文) 常時微動を用いた埋立護岸の耐震性評価方法の開発

研究課題名 (英文) Development of method for seismic evaluation of reclamation seawall using microtremors

研究代表者

紺野 克昭 (KONNO KATSUAKI)

芝浦工業大学・工学部・教授

研究者番号：40276457

研究成果の概要 (和文)：

本研究は、常時微動を用いて埋立護岸の耐震性評価を行う方法を開発することを目的としている。この方法は、地盤および護岸構造物の解析モデルを既存の資料で不足している内容を、常時微動で補うという方法である。本研究では、当大学が立地している豊洲の埋立護岸を対象に、本手法の検討を行った。その結果、常時微動と有限要素法の解析を併せることで、解析モデルが作成できることを示した。

研究成果の概要 (英文)：

The aim of this study is to develop a method for seismic evaluation of reclamation seawall using microtremors. The method uses not only existing drawing and specification but also microtremors records to make numerical analysis models of ground and structure. The method is examined for a reclamation seawall at Toyosu, Tokyo. As a result, it is shown to be able to make numerical analysis models by analysis of microtremors record and FEM.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2009 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010 年度	400,000	120,000	520,000
年度	-	-	-
年度	-	-	-
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：地震工学

科研費の分科・細目：構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：常時微動，埋立護岸，動的解析モデル，耐震性評価，レイリー波，H/V スペクトル，アレー観測，非線形解析

## 1. 研究開始当初の背景

国土の 0.5% は埋立地であり、これらは周囲を護岸で守られている。1995 年の兵庫県南部地震では六甲アイランドやポートアイランドなどの護岸に大きな被害が生じた。この結果、浸水や隣接道路、埋設管路などに被害が生じ、埋立地内の都市機能に大きな影響

を及ぼした。この地震を契機に、各自治体において耐震改修、耐震強化護岸の敷設など、護岸整備が進められ、地震被害リスクの軽減が図られている。しかし、財政難や民間の敷地が近接し、工事スペースが取れないなど、耐震対策が進まない地域もあるのが現状である。したがって、現在、対策が進められて

いない護岸については、その耐震性に基づいた地震被害のリスク評価を行い、被害が出た場合の影響度を把握しておくことや対策箇所の優先順位づけが重要である。

耐震性の評価は、一般に地質データや構造物の設計図が必要となるが、竣工から長期間を経た護岸においては、これらのデータが欠落している場合も多い。さらに、このような護岸は、構造物の老朽化や地盤の液状化対策が不十分などの問題点を含んでいる可能性もあり、リスク評価の必要性は高い。したがって、地質データや設計図の完備性が低い場合でも、低コストで耐震性を評価する方法が望まれる。

## 2. 研究の目的

上記の背景から、本研究では常時微動を用いた耐震性評価方法を開発することを目的とする。常時微動は、交通や工場など人間の活動による振動であり、いつでも、どこでも測定が可能である。また、常時微動は、地盤構造や構造物の動的パラメータの推定に用いられており、本研究の主要な点は、護岸の耐震性評価に必要な動的解析モデルを、常時微動記録から作る方法を確立するところにある。

## 3. 研究の方法

本研究では、当大学が立地している豊洲地域における未改修の護岸とその背後地盤を対象とし、常時微動観測と観測データを用いて地盤モデルを修正した有限要素法による数値解析を行う事で、地震時の動的挙動を推定する方法の構築を図る。本手法の最初の手順である地盤モデルの作成方法は、アレー微動観測から推定される位相速度を基に初期モデルを作成し、微動の H/V スペクトルとほぼ一致する地下構造を試行錯誤により求める方法とした。また、有限要素法の解析では、地盤の非線形性を考慮した非線形有限要素法を使用した。入力波については、当初、微動を用いてサイト特性を考慮した入力地震動を作成し、これを使用する予定であったが、今回は、兵庫県南部地震のときに神戸ポートアイランド GL-83m の NS 成分 (最大加速度 679gal) を入力波として使用することとした。

## 4. 研究成果

### (1) 解析モデルの作成方法

はじめに、解析対象区域の説明を行う。豊洲地域の地盤は軟弱層が厚く堆積している。図 1 に対象地域における基盤標高図を示す。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、護岸の整備後、40 年以上経過している。

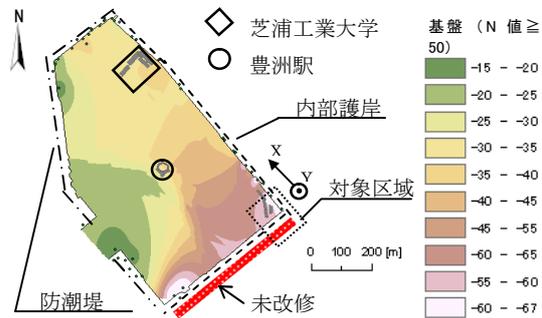


図 1 対象地域における基盤標高図

次に、解析モデルの作成手法について述べる。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の線形解析および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示す。解析では N 値=50 以上を基盤面とし、基盤面以下を解析領域とした。なお、逐次非線形解析では地盤の非線形性を修正 R-0 モデルにより表現した。

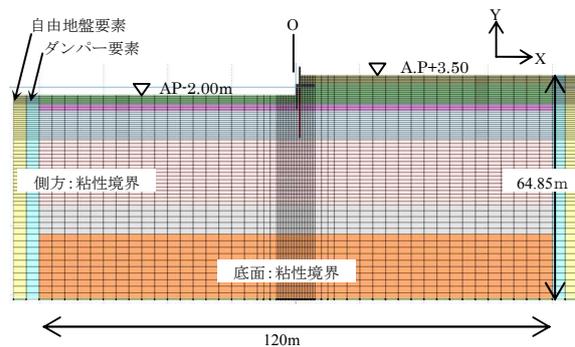


図 2 解析モデルおよび境界条件

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。

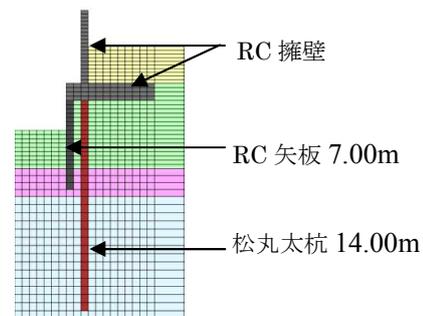


図 3 護岸モデル

地盤の物性値の設定について述べる。表 1 に土質定数を示す。土質定数について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。しかし既存の地盤調査結果では得られていない表層の地盤物性については、選定場所で行われたアレー微動記録の平均 S 波速度の結果から推定した。その地盤物性に対して地表面で点加振による線形解析を行い H/V スペクトルを求める。そして選定場所の微動記録から得た微動 H/V スペクトルと解析の H/V スペクトルが概ね一致した地盤モデルを採用した。微動の測定箇所を図 4 に示す。図 5 に微動記録と数値解析の H/V スペクトルを示す。

表 1 土質定数

上端深度 A.P.[m]	主な土質	層厚 [m]	単位体積重量 $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	既存の調査結果による推定 S 波速度 Vs[m/s]	微動記録を考慮した推定 S 波速度 Vs[m/s]
3.50	埋立砂質	2.50	17.7	-	120
1.00	シルト	5.85	16.4	50	50
-4.85	シルト混み細砂	1.90	18.2	50	50
-6.75	シルト	8.40	16.0	50	60
-15.15	砂混みシルト	18.90	17.0	180	210
-34.05	シルト	8.45	18.0	205	205
-42.50	シルト	18.9	17.8	237	237

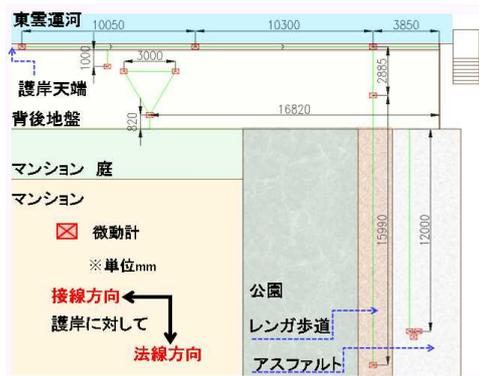


図 4 微動測定位置

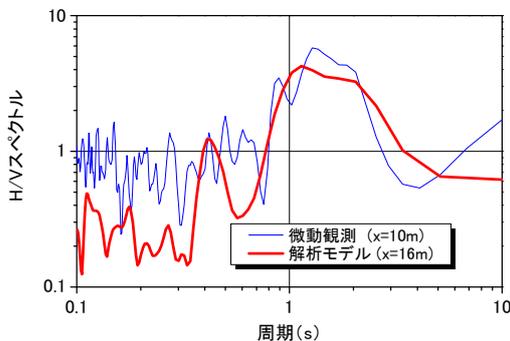


図 5 微動記録と数値解析の比較

(2) 解析結果

最大応答値および相対変位による結果について述べる。図 6 に線形及び非線形解析の

結果より、背後地盤の地表最大加速度の水平方向分布を示す。線形解析による最大加速度の変化は護岸近傍で 450gal 前後であり、25m 地点で最も値が大きい。非線形解析では護岸近傍で 150gal 前後であり、8.5m 地点で最も最大加速度が大きい。図 7 に図 6 で示した非線形解析の最大加速度で最も値の大きい護岸から離れて 8.5m 地点の水平及び鉛直方向の相対変位を示す。水平方向の最大変位は 47.7cm で、護岸が運河側（解析モデルの -x 方向）に変位したことが分かる。また水平方向の残留変位においても 5.5cm で運河側に変位している。図 8 に非線形解析における残留変位図を示す。

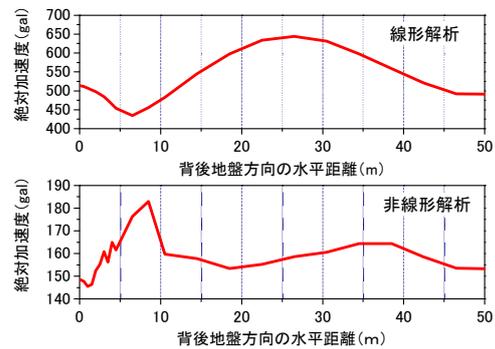


図 6 最大加速度の水平方向分布

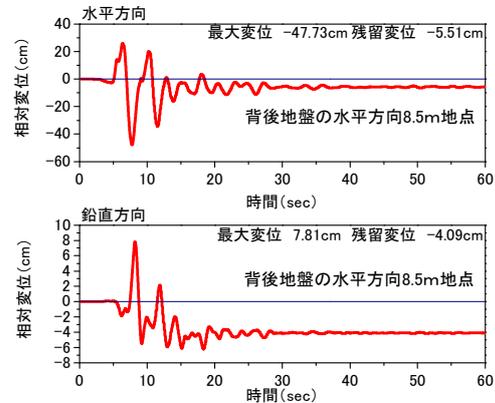


図 7 背後地盤の最大変位及び残留変位

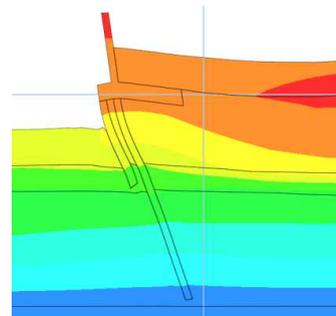


図 8 非線形解析における残留変位図

次に、伝達関数による結果について述べる。

図9に護岸から離れて背後地盤の水平距離を1m, 8.5m地点の地表面と入力波形の加速度フーリエスペクトルを、線形解析と非線形解析に分けて示した。線形解析では、0.8秒と1.4秒で大きなピークがみられた。また、非線形解析では、フーリエスペクトルが小さくなり、ピークが長周期側に移動していることが分かる。これは、地盤の非線形性による歪みの増大に伴う剛性の低下及び減衰の増加に因るものと考えられる。

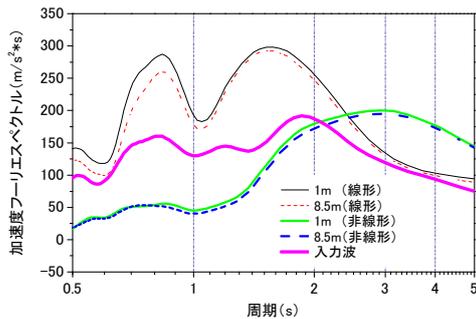


図9 地表面及び入力波のフーリエ・スペクトル

図10に入力波形と地表面における伝達関数を、図9により求めたものを地表面/入力波として増幅率を示す。線形解析では、増幅率が周期1.4秒前後で顕著なピークがあり、常時微動測定で推定した卓越周期と概ね一致する。

以上の結果、護岸天端付近の地盤の最大水平変位、最大鉛直変位は、それぞれ5.5cm, 4.1cmと比較的小さい値となった。したがって、護岸構造物の変形は生じて、破壊まで至る程度ではないと考えられる。ただし、今回は、既往の地震波形を使用していること、また、地盤の有効応力解析を行っていないこと、など課題も残っており、より現実的な評価法として製錬していく必要がある。

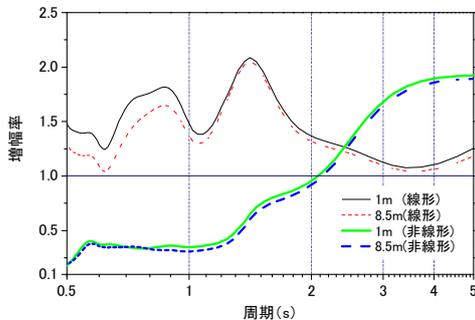


図10 伝達関数 (地表面/入力波)

### (3) まとめ

本研究の主な成果は、微動と数値解析を用いて、不整地盤に関わらず、地盤モデルを作成する手順を示したところにある。また、護岸モデルを作成するにあたって、微動を使用した既往の例が見当たらないことを考えれば、新規性があると考えられる。ただし、モデルの妥当性の評価などは十分行われていないので、護岸における地震観測などを通して、これらを行っていく必要があると考えている。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計1件)

- ① 水上一輝, 紺野克昭: 埋立地護岸近傍における微動H/Vスペクトル法の適用性について, 土木学会第65回年次学術講演会, I部門, 2010, 2pp.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等  
なし

### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

紺野 克昭 (KONNO KATSUAKI)  
芝浦工業大学・工学部・教授  
研究者番号: 40276457

(2) 研究分担者

なし ( )

研究者番号:

(3) 連携研究者

なし ( )

研究者番号: