

兵庫県南部地震による埋立地の地盤災害と常時微動特性との関係

立命館大学理工学部	早川 清*
立命館大学理工学部大学院	仲野 貴裕*
阪神高速道路公団	江川 典聰**
銭高組技術研究所	尾儀 一郎***
大阪大学工学部	松井 保****

兵庫県南部地震により、阪神地域の多くの埋立地には液状化を主とする地盤災害が多く生じた。本研究では、阪神地域の埋立地及び人工島であるポートアイランド、六甲アイランドの地盤の振動特性を常時微動観測から把握するとともに、液状化災害との関係を検討した。ポートアイランドと六甲アイランドでの常時微動のパワースペクトルより、液状化地域では0.3~0.4"付近に大きなピークがあるのに対して、非液状化地域では0.2~2.0"にかけてスペクトル形状が右上がりになる特徴が知られた。さらに、沿岸地域の常時微動の測定地点に関し、ポートアイランドでの地震観測波形を入力して1次元の地震応答解析を実施した。応答スペクトルと伝達関数の卓越周期は0.3"、0.5~0.6"、1.0~1.6"の領域で常時微動のものと良い一致を見た。

1. はじめに

兵庫県南部地震においては、各地に非常に多くの人的、物的被害が発生した。幾つかの現地調査報告によれば、地震に関連した被害としては埋立地を中心として液状化によるものが非常に多いことが明らかにされている。本報告では、ポートアイランド、六甲アイランドの2つの人工島に着目し、液状化発生の有無の地点を既往の調査報告¹⁾並びに現地に居住する土木技術者による情報から確定して常時微動測定を行った。これにより、液状化発生の有無と常時微動のスペクトル特性との関連性について検討した。さらに、沿岸の埋立地に関してボーリング柱状図を参考にして基盤を想定し、ポートアイ

キーワード：常時微動, 地盤災害, 地震
応答解析

*立命館大学理工学部 0775-61-2666
 **阪神高速道路公団 078-360-8144
 神戸第二建設部
 ***銭高組技術研究所 0428-31-6858
 ****大阪大学工学部 06-879-7623

ランドで観測された地震波形を入力して地震応答解析を行った。これらの結果と常時微動から知られた地盤の振動特性とを比較して考察を加えた。

2. 調査地域

常時微動の測定は図-1(a)(b)に示すように、ポートアイランドではNo.1~No.8の8ヶ所で、六甲アイランドではNo.9~No.14の6ヶ所で行った。沿岸埋立地の対象地点は、鳴尾浜、甲子園浜、深江浜、魚崎浜、六甲アイランド、西宮浜の6ヶ所である。

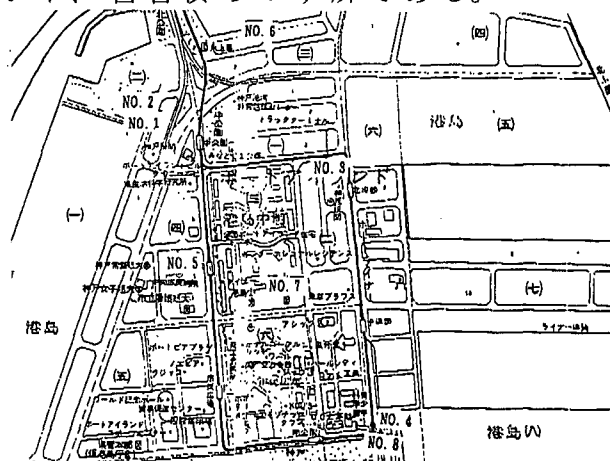


図-1(a)ポートアイランド

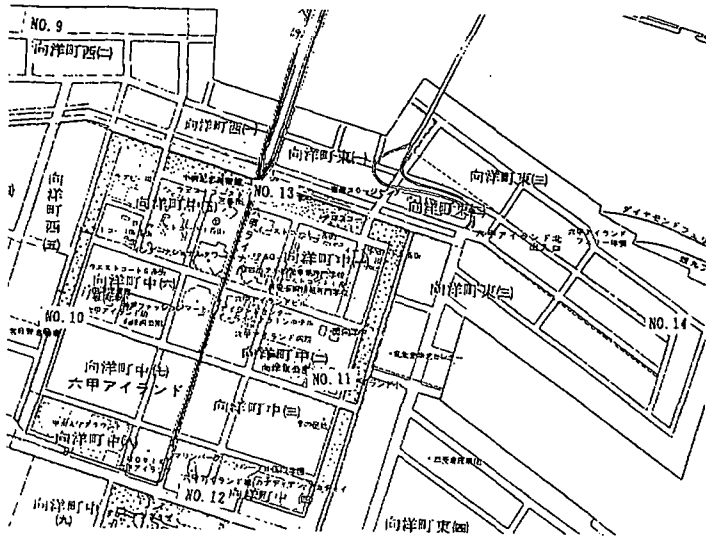


図-1 (b)六甲アイランド

測定地域の地質概要、常時微動の測定並びに解析方法については既報^{2)~3)}を参照されたい。

3. 解析結果及び考察

(1) 常時微動の卓越周期

常時微動の速度記録のパワースペクトルの鉛直成分と水平成分を加味してスペクトルの形状により第1ピーク、第2ピークを求めた。これらを地盤の卓越周期と考え、ポートアイランド、六甲アイランドにおける結果を表-1に示した。

表-1 常時微動の卓越周期(sec)

ポートアイランド	
NO. 1	0.2~0.3, 0.4~0.45, 0.9
NO. 2	0.35, 0.9, 1.3
NO. 3	0.2~0.4, 1.3
NO. 4	0.4, 0.75, 1.4~1.6
NO. 5	0.3
NO. 6	0.4~0.5, 0.9, 1.4
NO. 7	0.4~0.5, 0.7, 1.4
NO. 8	0.4, 0.8, 1.4~2.0
六甲アイランド	
NO. 9	0.5, 0.8, 1.1~1.4
NO. 10	0.3, 0.5, 0.8, 1.2~2.0
NO. 11	0.3~0.4, 0.5~0.7, 1.0~1.7
NO. 12	0.4~0.5, 0.65, 1.2~1.5
NO. 13	0.2~0.4, 0.6, 1.4
NO. 14	0.3~0.4, 1.2~1.3

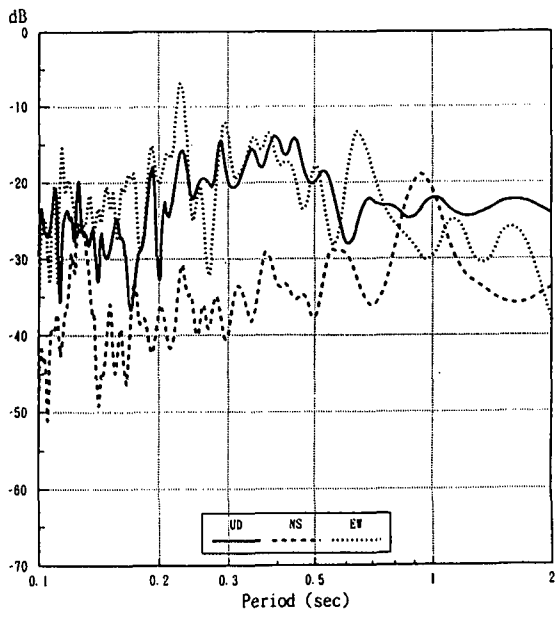
卓越周期を短周期成分から長周期成分へ列挙すると、0.2~0.4"、0.5~0.9"、1.3~2.0"となる。

今回の測定地点のNo.1は、ポートアイランドでの本震の鉛直アレー観測が実施された場所でもある。この地点では、地震後の常時微動の鉛直アレー観測⁴⁾も行われており、このうち地表とGL-16mでの増幅率のピークは0.2~0.3"、0.5~0.6"、1.0~1.3"にある。これらの結果は今回の測定結果と良く対応している。

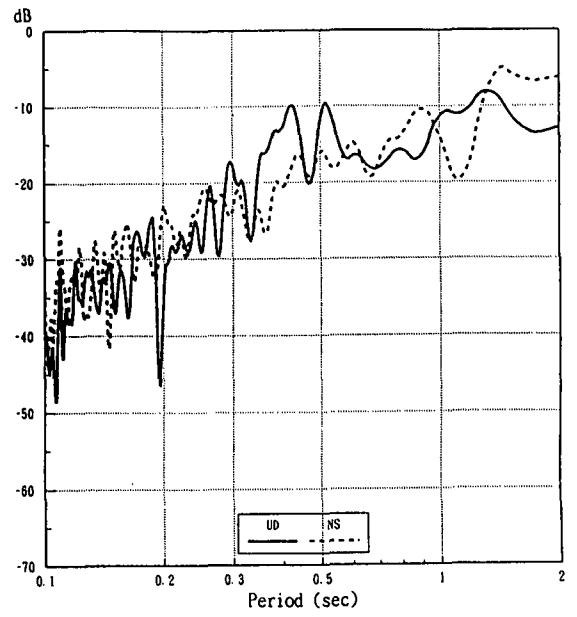
(2) 液状化の有無と常時微動特性との関係

既往の調査報告書および現地の調査結果によると、今回のポートアイランドと六甲アイランドで液状化発生地点に該当するものは、No.1、No.3、No.4、No.5、No.7、No.9およびNo.13である。一方、非液状化地点に相当するものは、No.2、No.6、No.8、No.10、No.11、No.12およびNo.14と推察される。

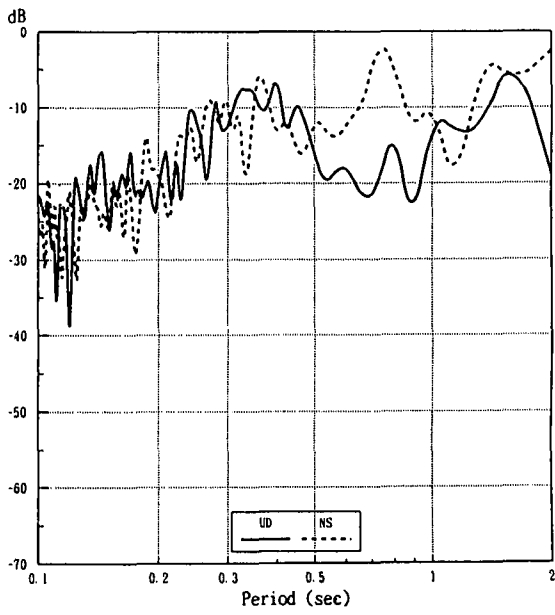
代表例として、液状化発生地点No.1、No.4、No.13および非液状化地点No.6、No.9、No.11における常時微動のパワースペクトルを示したものが図-2である。液状化発生地点の常時微動のパワースペクトルには、0.3~0.4"付近に顕著なピークの生じる特徴が見られる。一方、非液状化地点のものには、0.2~2.0"にかけてパワースペクトルの形状が右上がりになる傾向がある。このような液状化発生地点に比較的短周期の波動が卓越することは、他の震災調査事例⁵⁾でも知られている。また小林等⁶⁾の同様な解析結果によると、常時微動のH/Vスペクトル比の形状と液状化発生の有無との対応が良いとしている。



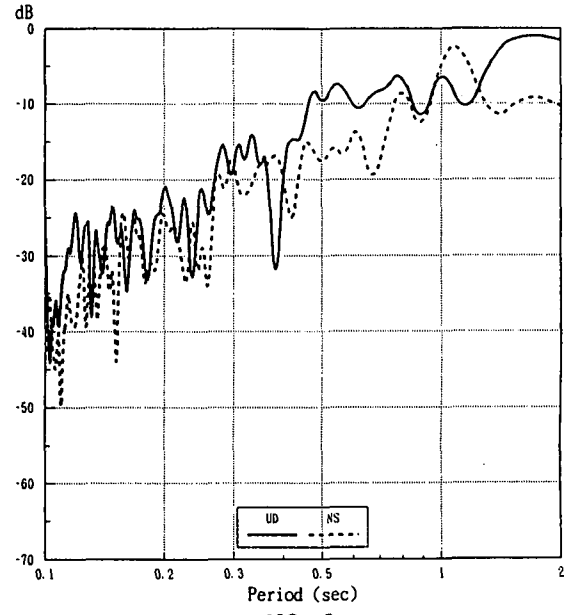
NO. 1



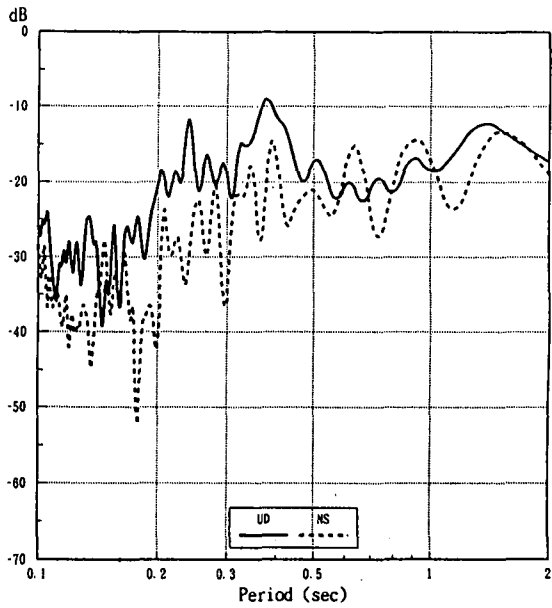
NO. 6



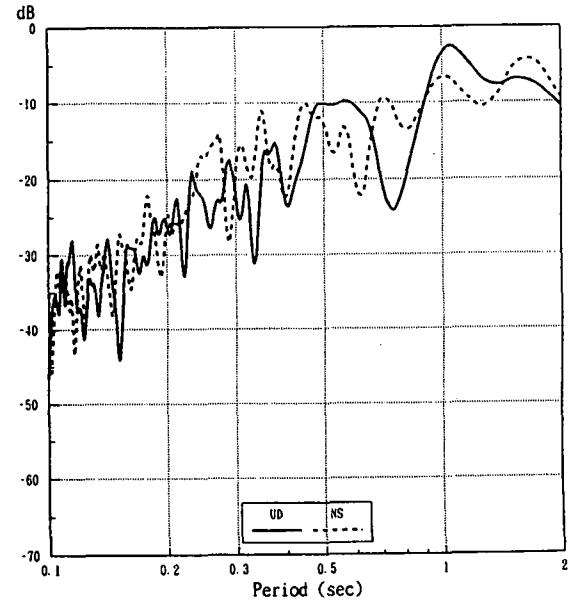
NO. 4



NO. 9



NO. 13



NO. 11

図-2 パワースペクトル

地盤の液状化現象には砂質土の粒度、表層の密度、地下水位等も関係することは既往の事実であるが、以上のように地盤の常時微動との相関性も強いと思われる。常時微動に1秒以上の長周期成分が卓越するメカニズムについては今後説明していくべき課題である。いずれにしても、測定・解析の比較的簡単な常時微動を利用することにより、液状化災害の予測にも適用し得るものと思われる。

(3) 常時微動と地震応答解析による地盤の振動特性との比較

常時微動の測定結果が地盤の振動特性をどのように反映しているかを検証するために、沿岸埋立地を対象として地震応答解析を行って両者の結果を考察した。地震応答解析にあたっては、ボーリング柱状図から土質分類名とN値を基準として各地層境界を定め、N値50以上が存在する最深部を基盤に想定した。この想定基盤にポートアイラ

ンド (GL-83m) で観測された本震記録の水平NS成分を入力し、応答加速度、応答加速度スペクトルおよび伝達関数を求めた。この解析は1次元等価線形解析で行っており、履歴減衰は0.05としている。伝達関数の代表例を示したものが図-3である。沿岸埋立地における常時微動の卓越周期、地震応答解析による地表面の最大応答加速度、伝達関数から求めた卓越周期をまとめたものが表-2である。後者の卓越周期は、極大値を示すものを選出したものである。

これらより、常時微動による短周期の卓越周期成分0.3"と0.5~0.6"および長周期の卓越成分1.0~1.6"において、伝達関数より求めた卓越周期と一致することが理解される。また2層地盤モデルによる逐次計算法で求めた固有周期は0.5~0.8"であることから、常時微動がかなり地盤の深部の振動特性をも含んでいることが示唆される。

水平地盤の地震応答解析 計算例
pl gl-79m (na) 390.0 0.01 max678.78 14.33
甲子園浜1丁目 (4'-7(NS)波)

水平地盤の地震応答解析 計算例
pl gl-79m (na) 390.0 0.01 max678.78 14.33
西宮西宮浜 (Gina2)

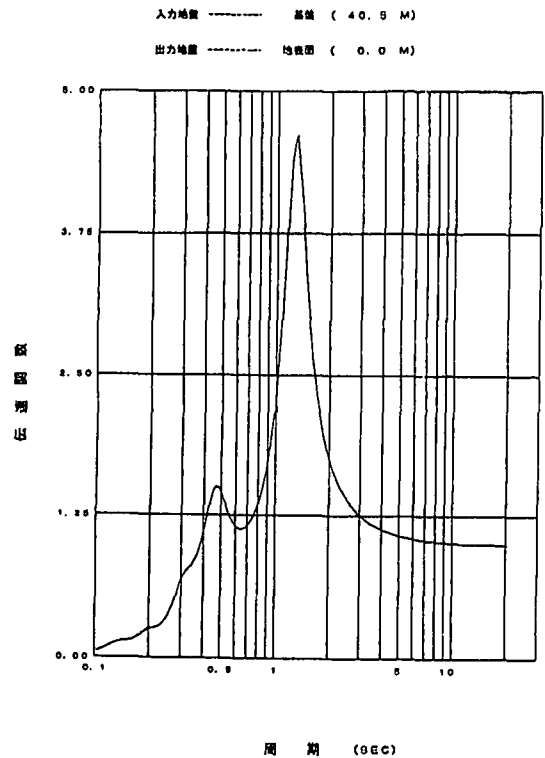
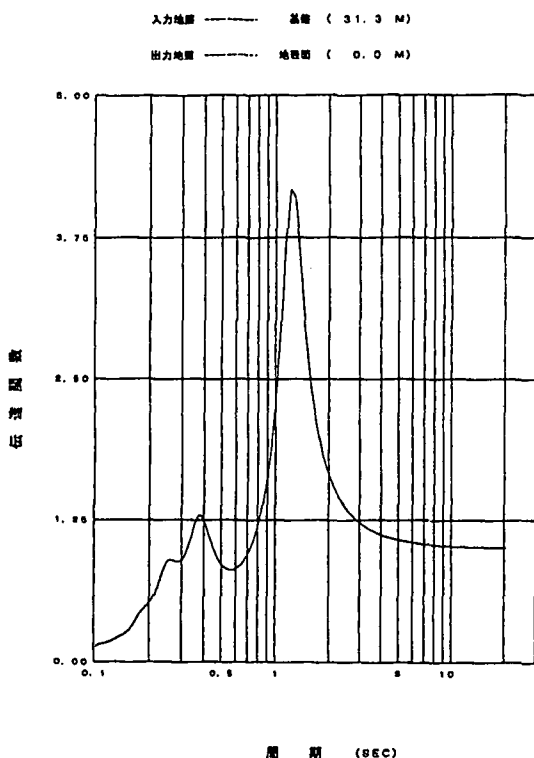


図-3 伝達関数による計算例

表-2 常時微動測定結果と地震応答解析結果の比較

測定地点	常時微動による 卓越周期 (sec)	想定基盤の深さ (m)	地表面の最大 応答加速度(gal)	伝達関数により求めた 卓越周期 (sec)
鳴尾浜	0.2~0.3, 0.5, 0.7~0.8, 1.6	55.2	335.5	3.3
甲子園浜	0.2~0.4, 0.5~0.6	31.3	580.6	0.48, 1.2
深江浜	0.2~0.3, 0.5~0.6, 1.0~1.2, 1.7	46.3	480.3	0.53, 1.3
魚崎浜	0.2~0.3, 0.7~0.9, 2.0	50.3	681.4	0.50, 1.2
六甲アイランド	0.2~0.3, 0.5~0.6, 1.3~1.4	50.5	407.1	0.60, 1.6
西宮浜	0.2~0.4, 1.4~1.6	40.5	560.8	0.36, 1.2

4. おわりに

本報告では、兵庫県南部地震で地盤災害を生じた埋立地における地盤の振動特性を、常時微動の観測結果および1次元の地震応答解析から判定し、主として液状化発生の有無との関連性について考察した。この結果、以下のような知見が得られた。

a) 常時微動の観測によると、埋立地の地盤の卓越周期は0.2~0.4"、0.5~0.9"、1.3~2.0"にある。

b) 常時微動の卓越周期が0.3~0.4付近にある場合には、液状化を生じた地域が多い。

c) 上述b)に相対して、非液状化地点での常時微動のスペクトル形状は、0.2~2.0"にかけて右上がりになる特徴を示す。

d) 地震応答解析から求めた地盤の卓越周期は、0.3"、0.5~0.6"、1.0~1.6"の領域で常時微動の結果と良く一致する。

ポートアイランドでの常時微動調査に際し、不動建設(株)の高橋氏より

地盤の被害状況について詳細な情報を得た。ここに厚くお礼申し上げます。

(参考文献)

- 1) 神戸市開発局：兵庫県南部地震による埋立地地盤変状調査報告書(ポートアイランド、六甲アイランド)、1995年
- 2) 早川清、仲野貴裕：常時微動観測による神戸市の震災被害特性、平成8年土木学会関西支部年次学術講演会、1996年5月
- 3) 早川清、仲野貴裕：神戸地域の埋立地における常時微動特性、第31回地盤工学研究発表会、1996年7月
- 4) 神戸市開発局：兵庫県南部地震による埋立地地盤変状調査報告書(ポートアイランド、六甲アイランド)
- 5) 斎藤徳美他：秋田県能代市における地盤の振動特性(1)(2)、物理探査、第41巻第1号、pp.47~75、1988年
- 6) 小林孝至他：六甲アイランドにおける常時微動特性、第31回地盤工学研究発表会論文集、pp.1097~1098、1996年

Relationships between Microtremors and Ground Damage in Reclaimed Land during the Hyogoken-Nanbu Earthquake

Kiyosi Hayakawa, Takahiro Nakano, Noriaki Egawa, Ichiro Ogi, Tamotsu Matsui

Many reclaimed lands were seriously damaged due to soil liquefaction during the 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake. The microtremors were measured at sites in Port Island, Rokko Island, and other corstal areas. The results of Fourier spectra of the microtremors were classified into two types. The first type has a single peak around 0.3-0.4Hz. The other type has no peaks from 0.2-2.0Hz and has a increasing tendency on the right. The first type is correspond to areas damaged by soil liquefaction. A dynamic response analisys was performed. The results of this analysis demonstrate that the predominant periods of microtremor agree well with the analytical results.