

常時微動特性から見た大阪湾沿岸埋立地の動特性

早川 清¹ ・松井 保² ・濱田晃之³ ・可児幸彦⁴

¹正会員 工博 立命館大学教授 理工学部土木工学科 (〒525-8577 草津市野路東 1-1-1)

²正会員 工博 大阪大学大学院教授 工学研究科土木工学専攻 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)

³正会員 工修(財) 地域地盤環境研究所 技術コンサルタント部 (〒550-0012 大阪市西区立売堀 4-3-2)

⁴正会員 工博 日本コンクリート工業(株) 名古屋支店 (〒450-0002 名古屋市中村区名駅 3-11-22)

常時微動スペクトルから地盤の卓越振動数および増幅特性を把握することで、周辺地域を含めた地盤の振動特性分布を知ることが可能である。本研究では、大阪湾沿岸域の広範囲における埋立地で収集した常時微動の観測結果を解析するとともに、地質データなどの基礎資料と併せて、常時微動の地域的分布に関わる検討を行った。また、2層地盤モデル法により地盤の卓越周期を算定して観測結果との比較を行った。さらに、地表・地中の同時観測データから、各地盤層の増幅特性についても考察した。

Key Words: microtremor, reclaimed land, natural period

1. はじめに

地盤による地震波動の増幅特性を簡便に評価するための一つの方法として、常時微動が利用されている。すなわち、地盤の常時微動スペクトルを解析することで、地盤の卓越周期および増幅率などを把握することができる。本報告では、大阪湾沿岸域の広範囲における埋立地で収集した常時微動の観測結果を解析するとともに、地質データなどの基礎資料と併せて、常時微動の地域的分布に関わる検討を行った。また、ボーリング柱状図を参考にして2層地盤モデル法により地盤の卓越周期を算定し、観測結果との比較を行った。さらに、地表・地中の同時観測データから各地盤層の増幅特性についても考察した。

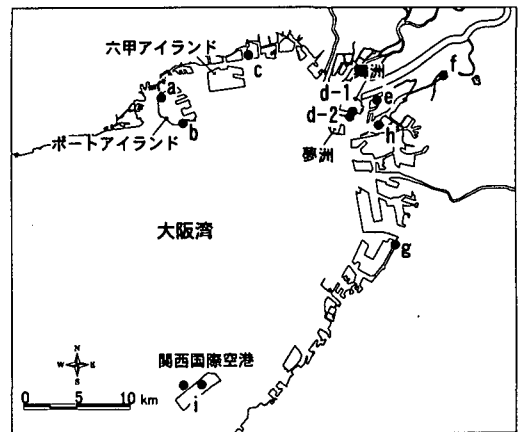


図-1 埋立地と観測地点

2. 観測対象とした埋立地

常時微動観測の対象とした埋立地の位置を図-1に示す。観測地点は、神戸地域の代表的な埋立地であるポートアイランド(a,b)や阪神地域の沿岸埋立地である深江浜(c)、大阪港の埋立地である舞州(d-1)および夢州(d-2)および大阪市内域(f)、堺泉北(g)、関西空港(i)である。これらの各観測地点のボーリング柱状図を図-2に示す。

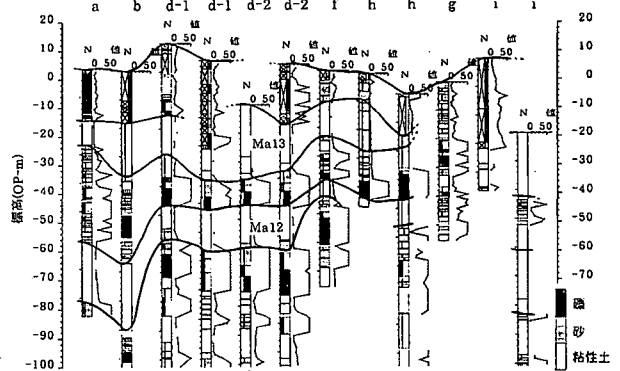


図-2 観測地点のボーリング図

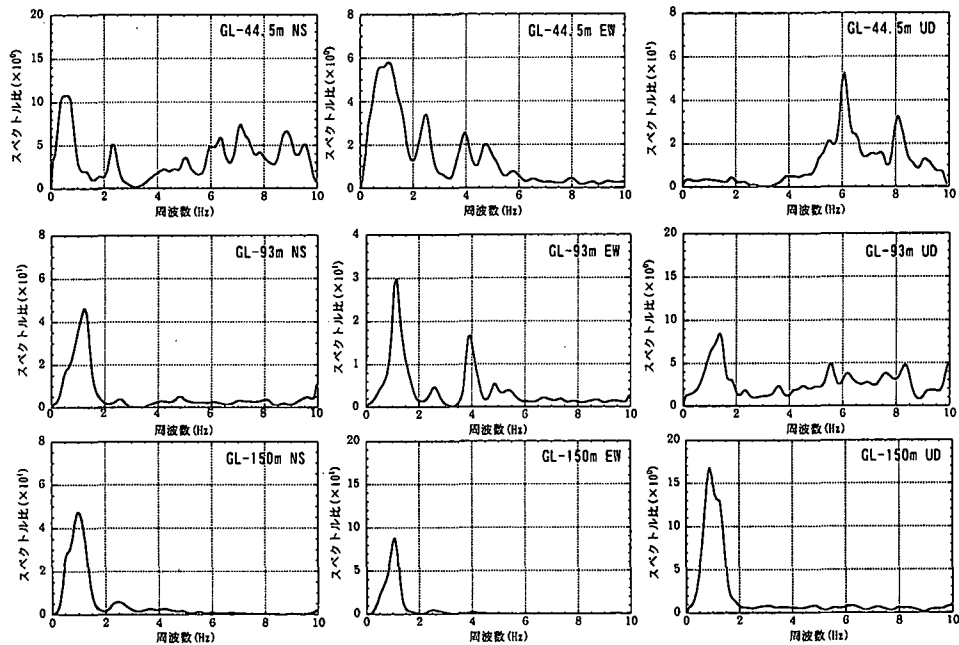


図-3 パワースペクトル比一覧（観測地点 b）

3. 常時微動観測による地盤の動特性

常時微動の観測結果から、フーリエスペクトル、パワースペクトルおよび各々のスペクトル比を求めた。これらより、各観測地点における地盤の動特性の特徴は以下になる。

(1) ポートアイランド（第2期）地域（観測地点 b）

パワースペクトル比の一覧を図-3 に示した。水平成分に関しては、地表/GL-44.5m の NS 成分では 0.5~0.7Hz 付近に、EW 成分では 0.7~1.2Hz 付近にピークがある。地表/GL-93.0m では、NS 成分、EW 成分ともに 1.1~1.3Hz 付近にピークがあり、EW 成分では 4.0Hz 付近にもピークがある。地表/GL-150m では、NS 成分、EW 成分ともに 1.1~1.3Hz 付近にピークがある。

(2) 舞洲-夢洲地域（観測地点 d-2）

パワースペクトル比の一覧を図-4 に示す。地表/GL-67m における常時微動のスペクトル比を見ると、NS 成分、EW 成分ともに 0.7~1.5Hz 付近でピークが生じているが、また 5.5~9.5Hz にピークが見られる。この他のピークは、EW 成分の 2.3Hz 付近に見られる。一方、地表/GL-109m においては、NS 成分、EW 成分ともに 0.8Hz、1.7Hz、2.1~2.7Hz および 5.2~5.7Hz 付近でピークが生じている。鉛直成分に関しては、次の特徴が知られる。地表/GL-67m におけるスペクトル比を見ると、5.0Hz 付近を境として差異が見られるが、これ以下の振動数では明瞭なピークを示していない。地表

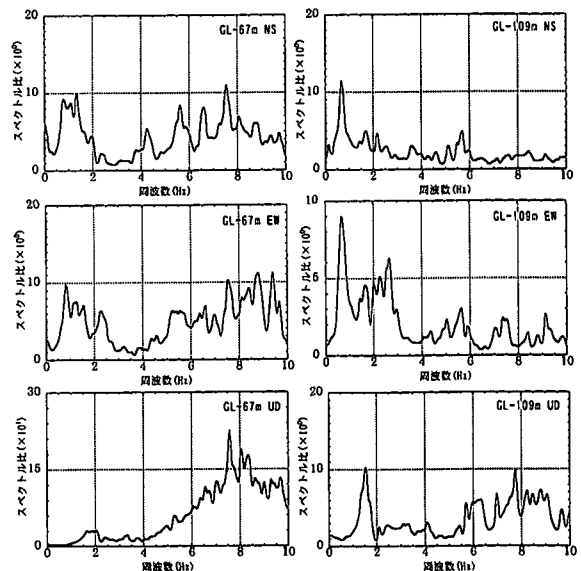


図-4 パワースペクトル比一覧（観測地点 d-2）

/GL-109m では、1.5Hz 付近に顕著なピークが生じており、6.0~9.0Hz にスペクトル比が大きい特徴がある。

(3) 湾岸線淀川河口付近地域（観測地点 e）

水平成分のフーリエスペクトル比を図-5 に示す。GL-38m/地表のスペクトル比では、1.4Hz 付近、3.5Hz 付近および 5.2Hz 付近での増幅が認められる。GL-59m/地表のスペクトル比では、1.0Hz 付近、2.5Hz 付近、4.0Hz 付近に増幅が認められる。GL-59m/GL-38m のスペクトル比では、1.0Hz 付近、2.5Hz 付近、4.1Hz 付近および 8.0~9.0Hz 付近に増幅が認められるが、その倍率は大きくない。

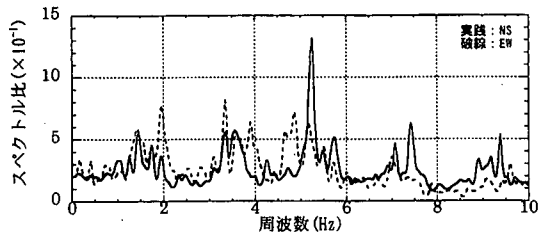


図-5 フーリエスペクトル比 (観測地点 e)

(4) 湾岸線石津地域 (観測地点 g)

速度成分のフーリエスペクトル比を図-6 に示す。GL-8.5m/地表のスペクトル比では、5.2~6.8Hz, 7.5Hz および 9.0Hz 付近に 3~6 倍程度の増幅が認められる。GL-15.5m/地表のスペクトル比では、4.5Hz 付近, 6.0Hz 付近, 7.5Hz および 9.0Hz 付近に 5~7 倍程度の増幅が認められる。GL-33.0m/地表のスペクトル比では、2.5Hz 付近, 3.4~4.2Hz 付近, 4.7~5.2Hz 付近, 7.5~8.0Hz 付近および 9.0Hz 付近に 3~7 倍程度の増幅が認められる。

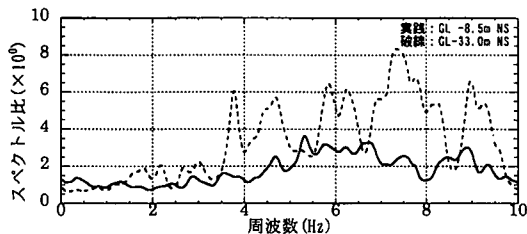


図-6 フーリエスペクトル比一覧 (観測地点 g)

(5) 大阪湾地域 (観測地点 h)

観測した常時微動のフーリエスペクトルを図-7 に示す。全ての観測点において、0.60~0.8Hz にピークがある。GL-83.3m での水平成分については、この振動数におけるフーリエスペクトルの大きさが GL-99.3m での観測値と同様であるので、この地層間における増幅効果の無いことが理解される。GL-44.3m での増幅率は、2.3 倍程度、海底地盤では 12 倍程度である。鉛直成分で見ると、GL-99.3m に対する増幅率は、GL-83.3m では 2.8 倍であり、GL-44.3m では 3.3 倍程度、海底地盤では 5.6 倍程度である。

(6) 関西国際空港地域 (観測地点 i)

この地域で測した常時微動のフーリエスペクトルを図-8 に示す。GL-5.15m および GL-26m での観測値のピークは、それぞれ 0.71~1.8Hz, 0.91~1.1Hz にある。GL-78m では、0.80~1.1Hz にピークがある。最も卓越する振動数は 0.71~0.91Hz 領域にあり、これらは全ての観測成分と観測位置に共通している。このことから、この地域の特有の振動数成分であると理解される。

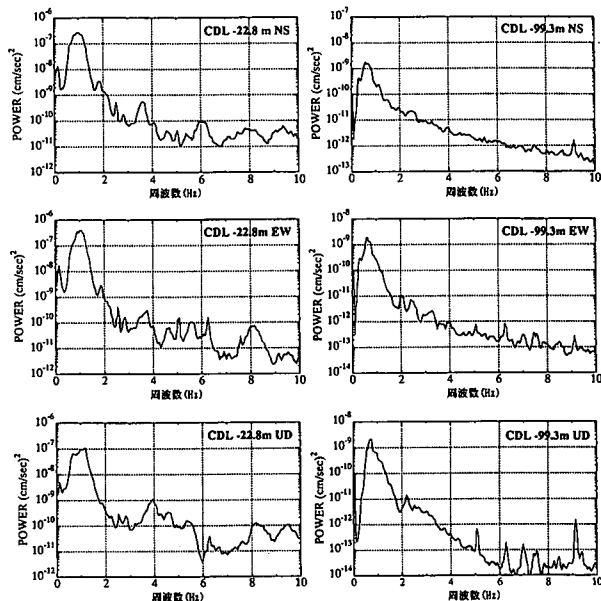


図-7 パワースペクトル (観測地点 h)

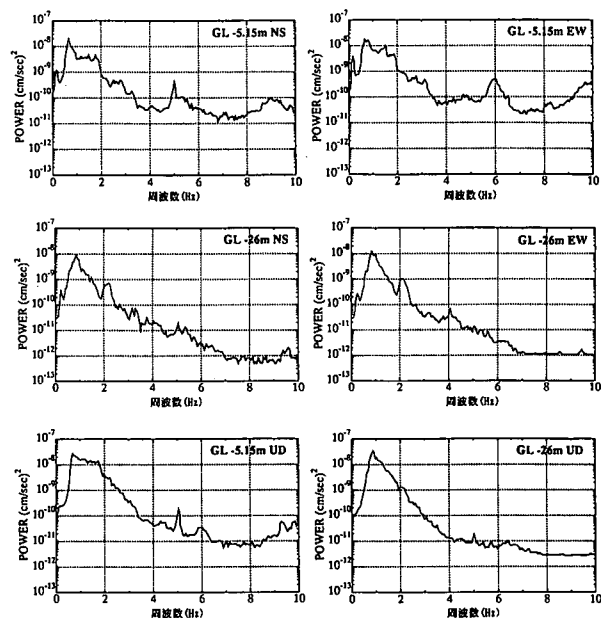


図-8 パワースペクトル (観測地点 i)

(7) 天保山地域 (観測地点 k)

観測地点でのフーリエスペクトルを図-9 に示す。地表面での卓越振動数は、0.59Hz および 1.0Hz にある。また、フーリエスペクトルは、2.0Hz でもピークを示す。地表面での鉛直成分については、0.59Hz および 1.4Hz にピークがあるが、1.0Hz では余り大きく卓越していない。GL-13m でのフーリエスペクトルも、地表のものと大きく変化していない。GL-29m では、0.59Hz 付近以上の振動数でフーリエスペクトルが漸増する傾向にある。しかしながら、GL-40m では、かなり低い振動数でも卓越する傾向を示し、鉛直成分と NS 成分は 0.59~2.0 付近で卓越している。1.0Hz の振動数成分は水平成分で大きく、特に地表の結果にこの傾向が強い。これは、地盤の振動特性を示す振動数が、表層地盤により増幅されたものと考えられる。

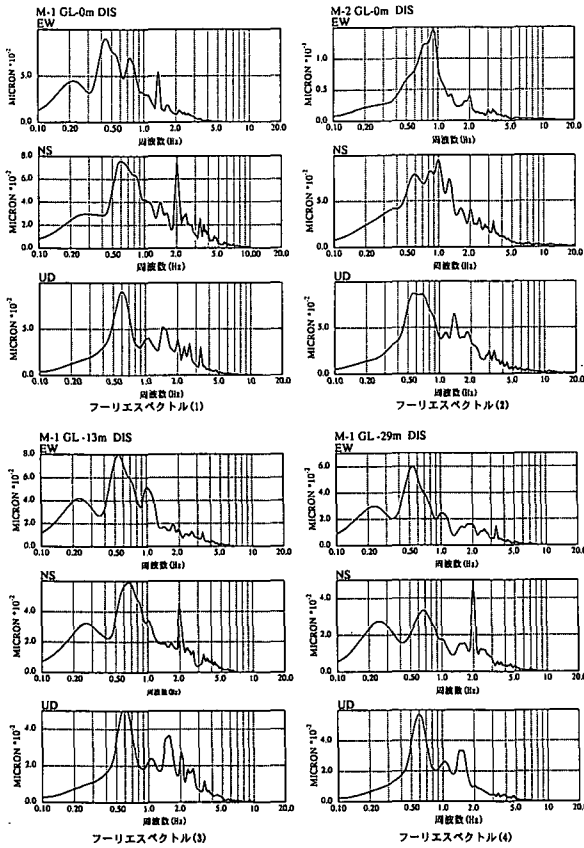


図-9 フーリエスペクトル (観測地点k)

5. 2層地盤モデル法による解析

Dobry 等は、多層地盤の固有振動数を求めるために、2層地盤モデル法を提案している。ここでは、常時微動観測から求められた卓越振動数と2層地盤モデル法により計算された固有振動数を比較して考察した。図-10は、観測値と計算値を比較したものである。計算値は0.64~1.9Hzに分布しており、観測値は0.54~11Hzに分布している。両者を比較して、常時微動の卓越振動数が大きく出ているのは、表層地盤の性質に影響されているものと考えられる。2層地盤モデル法により計算された固有振動数は、解析上にある限界を持っている。おそらく、そのことにより、計算値が観測値よりもより短い卓越振動数を示したと思われる。そこで、Dobry法を修正した手法により、固有振動数を推定する必要があると考えている。

上述したように、観測結果から知られる卓越振動数は0.5~5.0Hzにあり、埋立地地盤に固有の動特性を表現している。1.1~1.7Hzの領域の振動数は、おそらく沖積粘土層(Ma13層)の動特性、あるいは粘土層と砂層の合成層の動特性を示しているものと思われる。一方、1.0Hz振動数は、おそらく海成粘土層(Ma12層)のものと上部洪積砂礫層に固有の動特性を示しているものと思われる。したがって、常時微動からの情報には、かなり深部の地盤特性も含まれているものと考えられる。

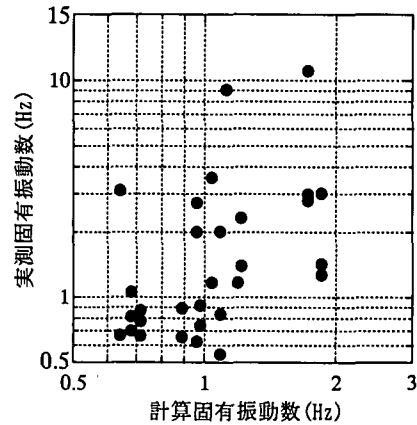


図-10 実測固有振動数と計算固有振動数の比較

6. 結論

本報告では、地震時における埋立地の挙動あるいは動特性を評価するための一手法として、常時微動情報の利用法を検討した。本研究の成果をまとめると、以下ようになる。

1. 常時微動の観測結果から知られる埋立地の卓越振動数は、0.5~0.9Hz、1.1~1.7Hz および 2.5~5.0Hz にある。
2. 0.67~2.0Hz の振動数領域においては、Dobry法による固有振動数は、常時微動から求まる卓越振動数に良く一致した。しかしながら、これらの振動数領域以外での一致度は余り良くない。したがって、Dobry法を修正する必要があると感じられる。
3. 観測結果から知られる 1.1~1.7Hz 領域および 2.5~5.0Hz の卓越振動数は、それぞれ埋立地固有の動特性と沖積粘土層(Ma13層)の動特性を示しているものと思われる。
4. 1.0Hzの振動数は、海成粘土層(Ma12層)のものと上部洪積砂礫層に固有の動特性を示しているものと思われる。
5. 以上のことより、常時微動からの情報には、かなり深部の地盤特性が含まれているものと考えられる。

なお、この結果は「大阪湾地盤情報の研究協議会 大阪湾地盤研究会」の研究活動によるものである。

参考文献

- 1) Dobry, R., Oweis, I. and Urzura, A. : Simplified procedure for estimating the fundamental period of a soil profile, Bulletin of the Seismological America, Vol.66, No.4, pp.1293-1321, 1976.
- 2) Hayakawa, K., Matsui, T., Egawa, N. and Ogi, I. : Assessing earthquake damage to ground by using information on microtremors, Proceedings of the Second International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Lisboa, pp.231-236, 1999.
- 3) Hayakawa, K., Matsui, T. and Harada, K. : Seismic ground settlement and microtremors property in reclaimed lands due to 1995 Kobe earthquake, Proceedings of the Tenth International Offshore and Pollar Engineering Conference, Seattle, pp.558-563, 2000.