

1. はじめに

地盤と基礎の動的相互作用問題は、構造物—基礎と地盤が連成系を形成することによる動的復元力の問題と、振幅や位相の異なる基礎周辺地盤の運動をその寸法や剛性により基礎が拘束することによる有効入力の問題とに大別して捉えることができる。

従来は、前者の立場に立った研究が多く、現行の耐震規定には、一応、地盤変形による構造物の固有周期の伸びという形で取り入れられている。

最近では、後者の立場からの研究がなされており、筆者らも後者の立場から軟弱地盤中の杭を有する大型ケーソンの動的相互作用について研究を進めている。^{1)~4)}

これまで、常時微動測定と地震観測により研究を行い、水平動について、以下の知見を得ている。^{1), 3)}

①常時微動測定により、ケーソン上端には自由地盤地表に対してローパスフィルター効果が認められた。^{1), 3)}

②また、周辺地盤にもローパスフィルター効果が見られ、ケーソンに近いほどその効果は大きい。³⁾

③地震観測結果においても、ケーソン上端にはローパスフィルター効果が認められた。^{2), 4)}

④そのとき、地震の規模や地震波の違いにもあまり影響されず、ほぼ同じローパスフィルター特性を示す。⁴⁾

⑤地震波の違いにより差はあるもののケーソン上端の最大水平加速度は地表のその2~3割になることがある。^{2), 4)}

⑥常時微動測定と地震観測により得られるケーソンのローパスフィルター特性は類似している。^{2), 4)}

同様の知見は他の研究においても得られており^{5), 6)}、さらに有効入力の耐震設計への応用も試みられつつある⁷⁾。そこで、まだ解決すべき問題はあるものの、有効入力を考えたときの構造物に対する影響を調べる目的で、応答スペクトルについて議論する。ただし、本観測体制では、回転動の検出は困難であるため、水平動のみの議論に限定した。

2. 地震観測概要

地震観測の詳細は、文献^{2), 4)}に詳しいので、ここでは概略の説明にとどめる。観測地は伊勢湾に面した三重県の臨海埋立地である。図-1に構造物と3点に設置したサーボ型3成分地震計の配置を示す。地表の地震計は自由地盤上にあると見なせる。ケーソンは30.4m×47.5m×30.0mで見かけの密度は1.05t/m³である。また、ケーソンはGL-40m付近の洪積砂質土層を支持層とする7×11=77本のベノト杭(φ=2.0m, L=14.6m)に支持されている。地盤は層厚約20mのN値1程度軟弱なシルト層を中間に有する軟弱地盤でほぼ水平成層である。以下では、地震記録のうち、マグニチュードと震央距離の異なる3つの地震の地表の記録を用いて述べる。図-2に観測地と震央を示す。表-1に検討対象地震と最大水平加速度を示す。

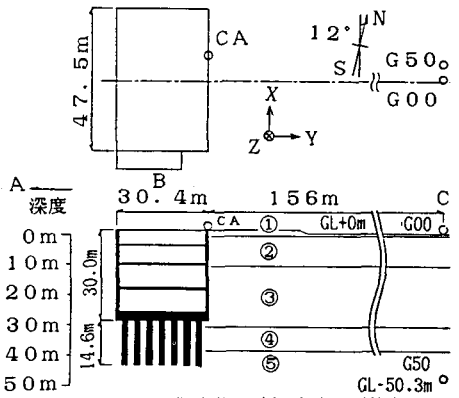


図-1 構造物と地震計の配置

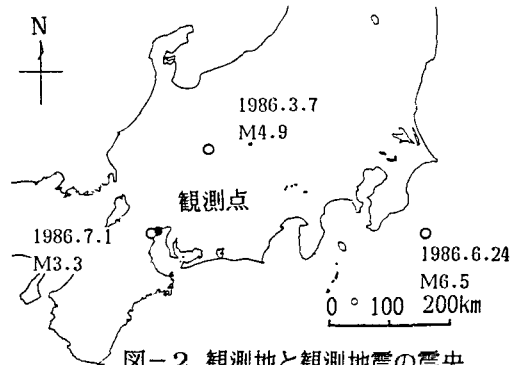


図-2 観測地と観測地震の震央

表-1 検討対象とする地震と最大水平加速度

発震月日	M	震央距離 (km)	最大水平加速度 (gal)			
			地 表		ケーソン	
			X	Y	X	Y
1986. 3. 7	4.9	134	5.01	6.35	0.91	1.50
1986. 6. 24	6.5	368	1.22	1.33	0.93	0.92
1986. 7. 1	3.3	9	1.69	1.91	0.36	0.51

X:長辺方向(N12W:+) Y:短辺方向(N78E:+)

3. 応答スペクトルによる有効入力の検討

構造物に対する有効入力は、無質量の基礎の地震動として定義される⁵⁾。当ケーソンの見かけの密度は 1.05t/m^3 であり、周辺の地盤に比べ小さい。FEM解析により、質量の有無の影響を検討した結果⁴⁾ではその影響は少なく、ケーソン上端の地震動記録は、当ケーソンの上に立つ仮想の建物に対する有効入力と見なすことができると考えられる。

従って、自由地盤地表と見なせる地表の記録とほぼ同一レベルにあるケーソン上端の記録から求められる応答スペクトルを比較することにより、このケーソンを基礎構造物とする上部構造物に対する有効入力を検討する。図-3に3つの地震の減衰定数5%の加速度応答スペクトル S_{ag} , S_{ac} を示す。Y(短辺)方向成分のみを示すが、X(長辺)方向でもほとんど変わらない。

長周期領域ではマグニチュードの大きい順にスペクトルが大きく、自由地盤地表とケーソン上端の各応答スペクトルに大きな差はない。一方、短周期領域では、どの地震の記録についても程度の差こそあれケーソンの方が小さい。さらに、その影響の度合をみるために、加速度応答スペクトル比($R_s = S_{ac}/S_{ag}$)を図-4に示す。0.6秒付近を境に長周期側では地震による差はほとんどなく、比 R_s は0.6~1.0である。しかし、短周期側では1986.6.24の地震を除いては、そのスペクトル比は小さい。0.6~0.3秒の間では0.6~0.2、0.3秒以上では、0.2~0.3であり、短周期構造物に対しては、この様な基礎を考えたときの有効入力は自由地表面地震入力にくらべかなり低減されることがわかる。1986.6.24の地震が他に比べて異なることについては、現在検討中である。また、図示していないが、速度、変位の応答スペクトルについてもほぼ同様のスペクトル比が得られている。

4. まとめ

杭を有する大型ケーソンの地震観測記録を用いて、応答スペクトルにより有効入力の影響を検討した。短周期構造物に対する地震入力は、自由地表面地震動入力を考えたよりも2~6割の地震入力になりうることがわかった。応答スペクトル法による設計に対しては、ここで示した応答スペクトル比のような有効入力を考慮した補正係数のような形で取り込めるものと思われる。ただし、回転動の有効入力については不明であること、用いた地震記録がレベルの小さいものであることから、これらの点についても今後研究を進めていきたい。

最後になりましたが、地震観測を御許可下さいました三重県北部沿岸流域下水道建設事務所の皆様、および、観測にご協力頂いている皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 森伸一郎, 滝本幸夫, 武藤正人, 谷浩一郎: 地中構造物の常時微動特性の時間的変動, 第21回土質工学研究発表会講演概要集, 1986.6., pp.789-792
- 2) 森伸一郎, 増淵孝二, 松島健一: 地震観測による地中構造物の動的相互作用の検討, 土木学会第41回年次学術講演会概要集, 1986.11., pp.917-918
- 3) 三輪 滋, 森伸一郎, 滝本幸夫: 常時微動測定による周辺地盤拘束効果の検討, 土木学会第41回年次学術講演会概要集, 1986.11., pp.915-916
- 4) 森伸一郎, 三輪 滋, 武藤正人, 谷浩一郎: 地震観測と常時微動測定に見られる地盤と地中構造物の相互作用, 第7回日本地震工学シンポジウム, 1986.12., pp.925-930
- 5) 原田隆典, 久保慶三郎, 片山恒雄: 有効地震動の計算式とその実測例による検討, 土木学会論文集, 第362号/I-4, 1985.10., pp.435-440
- 6) 石井 清, 小山和夫: 地下タンクの常時微動測定による入力損失効果の検討, 土木学会論文報告集No.339, 1983.11., pp.51-57
- 7) 加島延行, 原田隆典, 磯山龍二: 地盤と基礎の動的相互作用を考慮した応答スペクトルとその耐震設計への応用, 第7回日本地震工学シンポジウム, 1986.12., pp.1765-1770
- 8) 気象庁: 地震月報

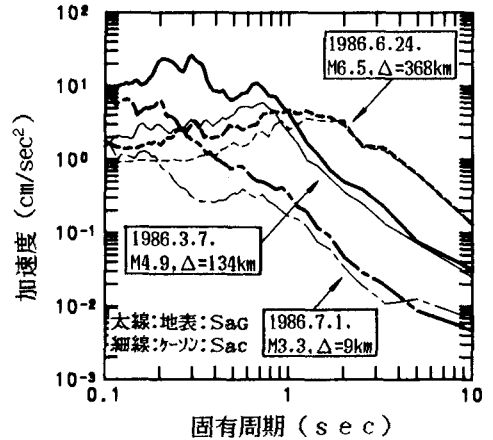


図-3 加速度応答スペクトル (Y成分)

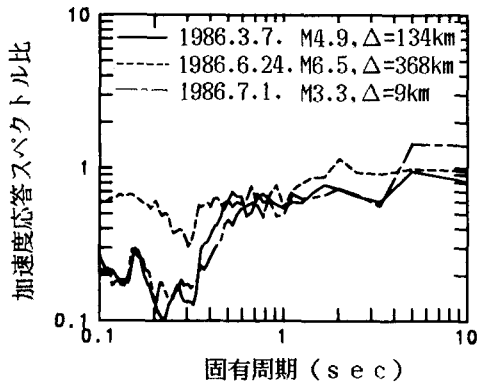


図-4 加速度応答スペクトル比 (ケーソン/地表)