

基礎杭の地震時ひずみの観測

大成建設(株) ○正員 浜田政則
同 上 正員 石田 修
同 上 正員 前田 宏

1. はじめに

一般に基礎杭の耐震設計では、上部構造および基礎フーチングなどに作用する慣性力を外力として杭の地震時応力度を算定している。地盤と構造物の相互作用に関する多くの研究から、基礎杭は慣性力の支持機構のみならず、地震動を上部構造に伝達する入力機構としての役割を果たすことが指摘されている。

筆者らは球型タンク基礎の鋼管杭の地震時ひずみを実測し、この結果をもとに基礎杭の地震時応力度の特性について考察した。本文では観測方法、記録の概要について報告する。

2. 観測方法

観測を実施した球型タンクの構造概要を図-1に示す。基礎構造は14基のフーチングが地中梁により連結された構造で、それぞれのフーチングは4本の鋼管杭(径=508mm,肉厚=9.5mm,長さ=30m)により支持されている。建設地点の地層は図-2に示すように、GL-12.0mまでは関東ローム、GL-12.0m~30.0mは細砂、およびGL-30.0m以深はN値50以上の砂礫層で構成されている。基礎杭の先端は砂礫層に達している。

図-1に示すようにサーボ型加速度計をGL-30mの砂礫層、地表、フーチングおよび球型タンクの赤道と頂部に計6台設置した。また、2本の鋼管杭を対象とし、1本当たり深さ方向に4断面(1断面当たり4点)総計32点のひずみ計を設置した。ひずみ計はワイヤーストレインゲージによるもので、その仕様と設置方法については前報で報告した。¹⁾

3. 観測記録および考察

現在までに得られた地震記録の中で、加速度とひずみが比較的大きい1978年1月14日の伊豆大島近海地震(M=7.0, Δ=110km)および同年6月12日の宮城県沖地震(M=7.4, Δ=350km)について報告する。

3.1 観測波形

図-3, 図-4に伊豆大島近海地震と宮城県沖地震による観測波形を示す。また、それぞれの地震による加速度、ひずみの最大値を表-1に示す。なお、図-3(a), 図-4(a)で"V-1-X"は加速度波形"A-1-X"を10秒以上の周期成分を除去して求めた速度波形を示す。また、図-3(c), 図-4(c)の曲げひずみは図-1に示すX-Y座標において、Y軸回りの曲げ変形による杭のひずみを表わす。

これらの観測波形の視察により、基礎杭の地震時ひずみの特性について次の点を挙げることができる。

(1)軸方向変形によるひずみ(軸ひずみ)が曲げ変形によるひずみ(曲げひずみ)より大きい。表-1に示す最大値で比較すれば、軸ひずみは曲げひずみの2~3倍である。これは、本タンクではフーチングに対する杭頭の根入れが10cmと比較的浅く、ヒンジ構造に近いことも一因と考えられる。

(2)杭上部での軸ひずみ(S-1, S-2)は比較的短周期成分が優勢で、タンクや地盤の加速度が大きい地震動の主要動部で大きな値を示す。また、杭上部のひずみ波形は球型タンクのX方向加速度波形(A-6-XまたはA-5-X)と良く類似しており、タンクに作用する慣性力がこれらのひずみの主たる要因であることを示している。

(3)杭下部での軸ひずみ(S-3, S-4)は長周期成分が優勢であり、タンクおよび地盤の加速度が減衰する地震動の後半部において増大する傾向にある。このことから、杭下部での軸ひずみがタンクの慣性力によるものでなく、地盤そのものの動きに起因すると推定される。また、これらの軸ひずみが杭上部での軸ひ

ずみと同等（宮城県沖地震）かないしはこれを大幅に上回っている（伊豆大島近海地震）ことは特に注目される。

3.2 地盤とタンクの動特性

図-5に、砂礫層上（A-1-X）に対する地表面（A-2-X），および地表面に対する球型タンク頂部（A-6-X）のフーリエスペクトル比を示す。砂礫層上面に対する地表面のフーリエスペクトル比によれば、0.36~0.40sec付近に卓越周期が認められる。弾性波探査によるS波速度（図-2）から算定される砂礫層上の表層地盤のせん断一次周期は0.40secであり、地震観測結果とほぼ一致している。

地表面に対するタンク頂部のフーリエスペクトル比には0.56secおよび0.34secに顕著な卓越周期がみられる。本地震発生時における内容物の質量およびタイロッドと脚柱の剛性から0.56secの卓越周期は球型タンクを一質点系と考えた場合の固有周期とほぼ一致する。0.34secの卓越周期はフーチング質量などを考慮した振動系の二次周期と推定される。

3.3 ひずみ波形の周波数特性

伊豆大島近海地震による観測波形のフーリエスペクトルを図-6に示す。これらのスペクトルから基礎杭の地震時ひずみの周波数特性として次の点が考察される。

(1)杭上部の軸ひずみS-1, S-2（図-(c)）には0.5~0.6secの卓越周期がみられ、この周期領域のスペクトル形状は球型タンク頂部の加速度のスペクトル形状（図-(a)）と良く一致している。

(2)杭下部の軸ひずみS-3, S-4のスペクトルによれば、0.5~0.6secの卓越周期における振幅は杭下部ほど減少し、反対に約7.0secの長周期成分が優勢となる。杭下部の軸ひずみのスペクトル形状は、地盤の速度のスペクトル形状（図-(b)）と良く類似しており、両者の相関が極めて深いことを示唆している。このことは、図-3に示した地盤の速度波形（V-1-X）そのものがS-3, S-4の軸ひずみ波形と良く類似していることから推定される。

(3)図-3, 4に示すように、曲げひずみは杭上部のみで大きく、下部ではほとんど発生しない。曲げひずみのスペクトルには0.5~0.6secの卓越周期がみられ、スペクトル形状は球型タンクの加速度のスペクトル形状とほぼ一致しており、曲げひずみが球型タンクの慣性力の影響を強く受けていることがわかる。しかし、地表面近くの断面（S-1）では振幅は小さいが約7.0secの卓越周期もみられ、地表面近くでは地盤の変形による曲げひずみも発生することを示している。図-7に宮城県沖地震による観測波形のスペクトルを示すが、この場合も上記とほぼ同様な特性が得られる。

4. あとがき

鋼管杭の地震時ひずみの実測から、杭下部にも大きな軸ひずみが発生し、これらのひずみ波形が地盤の速度波形に良く類似していることが明らかにされた。特に伊豆大島近海地震では、軸ひずみ波形に約7.0secの長周期成分が卓越した。東京付近において観測された伊豆大島近海地震の記録の長周期成分については、一般に表面波（Love波）によるものと説明されている。^{2),3)} これらの波動が水平方向に伝播する表面波によるものとすれば、地盤の水平方向の速度波形は地盤のひずみ波形と強い相関性を持つと考えられ、観測された杭下部の軸ひずみが地盤自体のひずみに起因するものと推定することも可能である。杭のひずみの発生に関するメカニズムについては現在解析を進めており、次の機会に報告する。

参考文献

1) 佐藤誠一、浜田政則；基礎杭に生ずる地震時応力の測定、第31回年次学術講演概要集I部、土木学会、1978

2) Kazuoh Seo; Earthquake Motions Modulated By Deep Soil Structure, 第5回日本地震工学シンポジウム, 1978

3) 横田治彦、渡辺弘之、塩谷清人；東京で観測された地震動のやや長周期成分とその特性、第5回日本地震工学シンポジウム, 1978

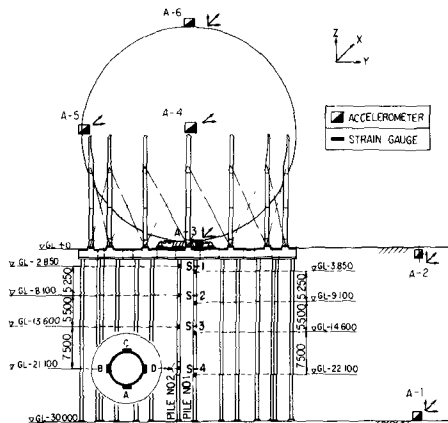


図-1 計器配置図

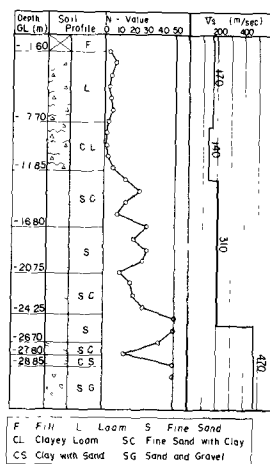
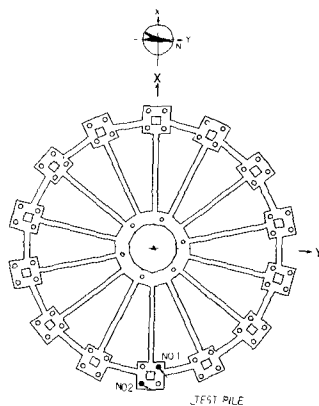
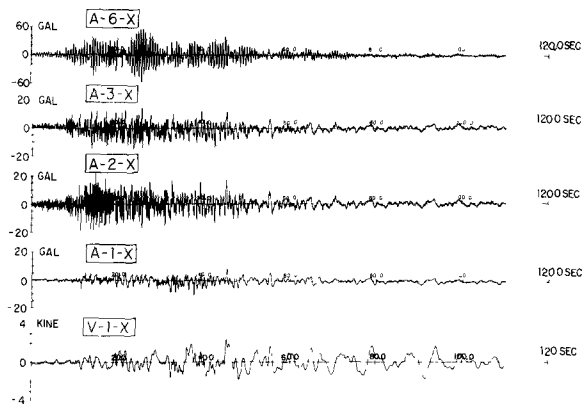
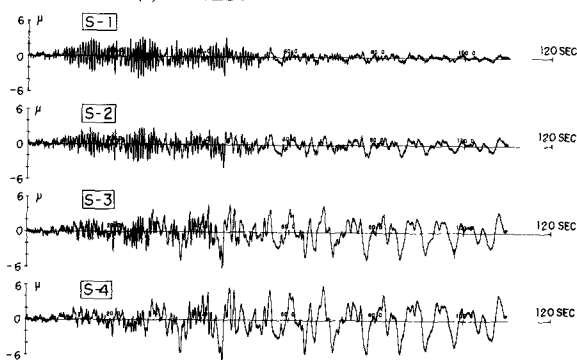


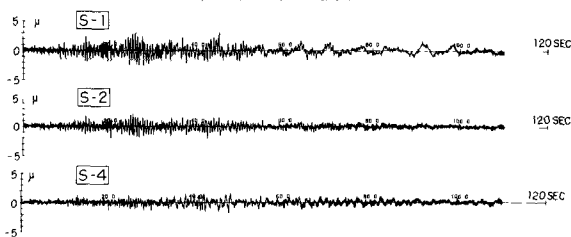
図-2 地層図



(a) 加速度および速度波形

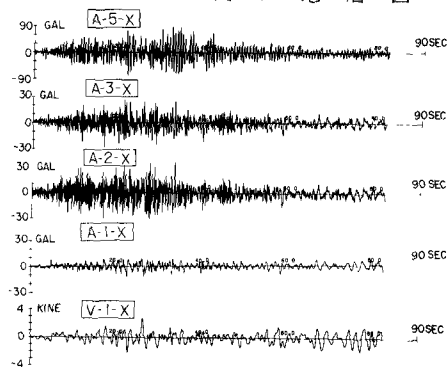


(b) 軸ひずみ波形

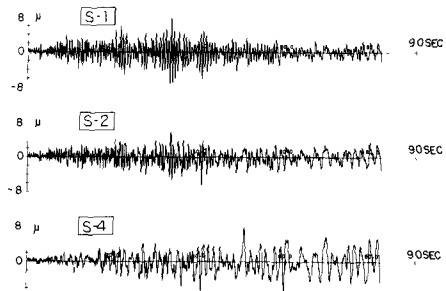


(c) 曲げひずみ波形

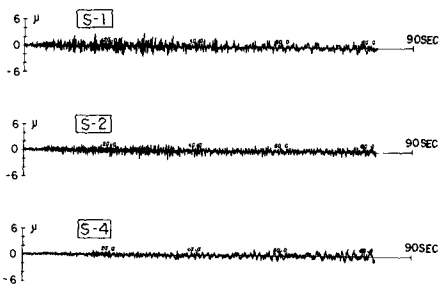
図-3 観測記録 (伊豆大島近海地震 7 8.1.14)



(a) 加速度および速度波形



(b) 軸ひずみ波形

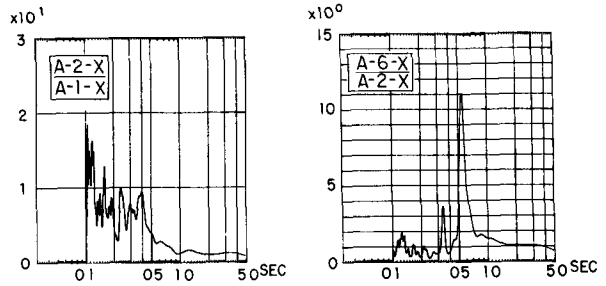


(c) 曲げひずみ波形

図-4 観測記録 (宮城県沖地震 7 8.6.12)

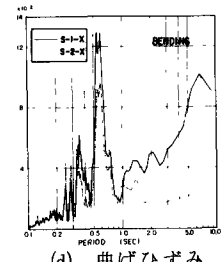
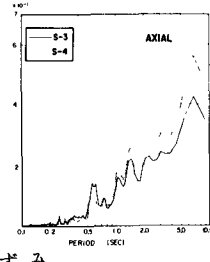
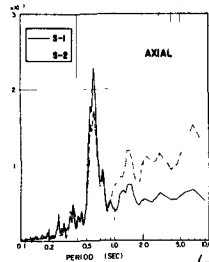
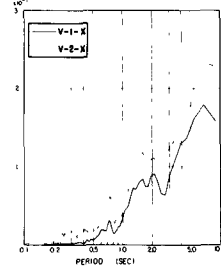
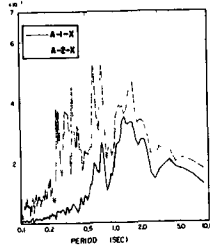
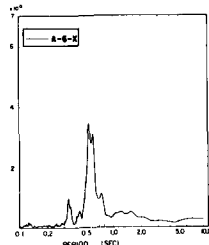
表-1 観測地震の諸元と記録の最大値

観測地震名	伊豆大島近海地震		宮城県沖地震	
発 生 年 月 日	1978.11.4		1978.6.12	
マグニチュード	7.0		7.4	
震央距離 (km)	110		350	
震源深さ (km)	0~10		30	
測 占	方 向		方 向	
	X	Y	X	Y
加 速 度	A-6	603 612	87.4*	925*
	A-3	15.1 18.9	293	328
	A-2	218 189	355	35.5
(gal)	A-1	109 73	120	191
軸 ひ ず み	S-1	3.8	7.9	
(μ)	S-2	4.0	6.5	
	S-3	6.2	—	
	S-4	7.0	7.8	
曲 げ ひ ず み	S-1	3.1	3.0	
(μ)	S-2	2.2	2.1	
	S-3	1.3	—	
	S-4	1.8	1.9	

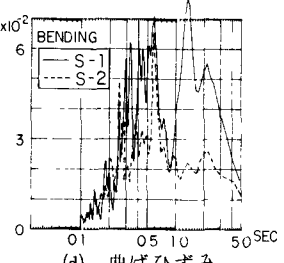
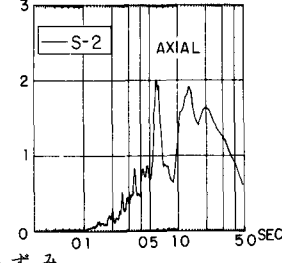
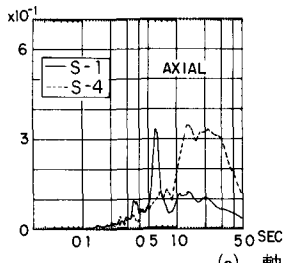
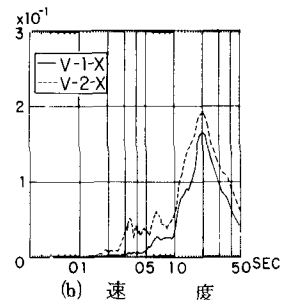
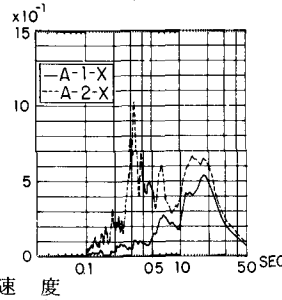
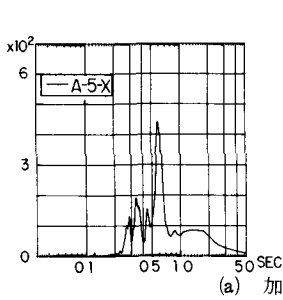


(a) A-2-X/A-1-X (b) A-6-X/A-2-X
図-5 フーリエスペクトル比 (伊豆大島近海地震 7.8.1.14)

*) A-5 の記録を示す



(a) 加 速 度 (b) 速 度
(c) 軸 ひ ず み (d) 曲 げ ひ ず み
図-6 フーリエスペクトル (伊豆大島近海地震 7.8.1.14)



(a) 加 速 度 (b) 速 度
(c) 軸 ひ ず み (d) 曲 げ ひ ず み
図-7 フーリエスペクトル (宮城県沖地震 7.8.6.12)