

I-496

液状化地盤上の杭支持構造物の地震時挙動に関する考察（第2報）

中央開発株式会社 正員 若狭 聡
建設省土木研究所 正員 古賀泰之
同 上 唐沢安秋
同 上 正員 松尾 修

1. まえがき

液状化しやすい砂地盤中の杭基礎で支持されたコンクリート擁壁護岸（特殊堤防）に関する耐震設計法は未だ整備されていない。液状化性地盤中の杭基礎の耐震設計法を述べた道路橋示方書では、液状化の安全率に対して地盤反力を低下させている。裏込め盛土を有する特殊堤防では、地震時に地盤が液状化すると、盛土の荷重に起因する地盤の側方移動現象の生じる可能性が高いと推察されるが、この現象は地震時荷重を杭基礎の上部工にのみ作用させるという道路橋示方書の荷重体系では評価できないものである。ここでは、前報¹⁾に引続いて地盤中の杭支持構造物に関する模型振動実験を行い、主にこの側方移動現象に関して検討した結果について報告する。

2. 実験方法

実験模型を図-1に示す。模型地盤は標準砂を用いて空中落下法で作成し、後に土槽底部から通水して地盤を飽和させた。盛土材には含水比を7%前後に調整した標準砂を用いた。図示した様に、地盤内には2体の杭基礎模型を設置し、右側が特殊堤防模型である。杭模型は長さ45cm、幅4cm、ヤング率 $E=0.9 \sim 1.1 \times 10^6$ kg/cm²の真鍮製で、杭基礎はこの4本の杭で構成されている。地盤内、特殊堤防模型、杭模型さらには地表面に、加速度計、間隙水圧計、土圧計、ひずみゲージ、変位計を設置した。また、土槽の前面をアクリル製にして、杭周辺地盤の移動量をビデオで観測した。

実験は、表-1に示すように、地盤の相対密度、盛土高さ、杭模型の厚さを変化させた4ケースを実施した。加振条件は周波数5Hzの正弦波で、加振時間は4秒とした。台加速度は模型地盤が液状化に至るレベルとした。

3. 実験結果

3-1. 振動実験結果：以下では、ケース4の結果を用いて、特殊堤防及びその周辺地盤の状況について述べる。測定波形記録を図-2に示す。まず、地盤の過剰間隙水圧については、杭間の地盤(P-23)では加振開始直後にそれが上昇し、ピークに達するのに対し、盛土下部の地盤(P-63)ではその上昇は滑らかで、ピークに達するのに3～4秒を要した。これは、盛土の有無による地盤内の拘束圧の差異によって生じた現象である。一方、P-23の上昇と同時に、特殊堤防の水平変位、盛土沈下、さらに杭の曲げひずみが発生し、その後それぞれ片側方向へ累積する状況が見られた。

表-1. 実験内容

ケース	相対密度 (%)	盛土高さ (cm)	杭の厚さ (mm)	台加速度 (gal)
1	56.9	2.0	3	1.37
2	70.7	2.0	3	1.76
3	52.0	3.0	3	1.37
4	55.8	2.0	2	1.34

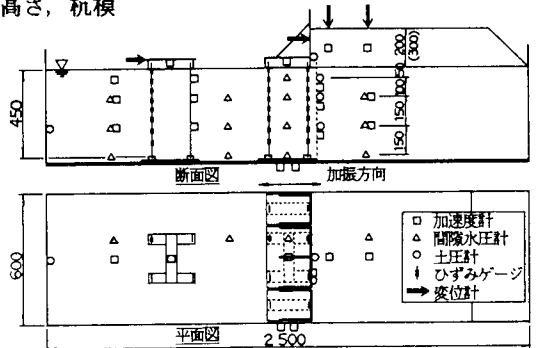


図-1. 実験模型

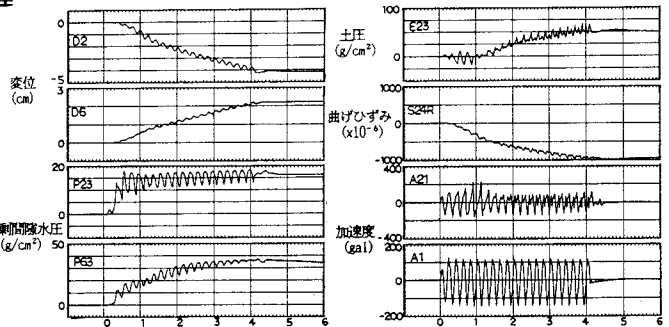


図-2. 実験結果 (ケース4)

また、P-23がピークを示した後は、特殊堤防の応答加速度が減少し、杭体に作用する土圧にも累積が生じた。その他のケースでも、定性的にこれらと同じ傾向を示した。

杭体に作用する土圧の累積及び特殊堤防の水平変位は、地盤の側方移動によって生じたと考える。特殊堤防が水平方向に最大4.3cm 移動したのに対し、ビデオの観測結果ではその時の地表付近の地盤の水平変位量は5cmであった。一方、地盤の移動現象は、盛土下部地盤の液状化に起因するため、液状化の程度（過剰間隙水圧比）が低いケース3では特殊堤防の変位がわずかであった。

3-2. 杭体に作用する土圧：図-3にケース4の杭体に作用する土圧分布の経時変化を示す。同図から1秒以降は、ほぼ深度に比例して土圧が増加していることがわかる。これは、軟弱粘土地盤の側方流動に関して報告されている、流動層の中央で最大土圧を示す三角形分布²⁾とはやや異なる分布形であった。また、これらの土圧の最大値は盛土下部地盤の初期上載圧の1~1.8倍であった。

図-4に、杭体に作用する土圧（3個の土圧計の平均値）と、土槽前面から観測したその杭の周辺地盤の水平変位（G.L.-15cm）との関係を示した。これらには加振中のデータも含まれている。同図の関係は、杭の曲げ剛性（厚さ）で明瞭な差異が見られる。また、変位の増加につれて土圧の増分量が減少しているのは、地盤の移動量が増えるに従って地盤を構成する砂粒子が杭間をすりぬける現象が生じたためであると考えられる。

3-3. 杭体に作用する土圧を考慮した実験結果の解析：杭体のひずみ分布から算定した実験値の曲げモーメントと、実測の土圧、加速度、実測結果から求めたk値を用いて、杭を弾性床土上の梁として計算した曲げモーメント分布を図-5に示す。ただし、今回の実験では特殊堤防と盛土が振動中に剝離し、特殊堤防の擁壁背面に動的な土圧が作用しなかったため、計算ではこの土圧を考慮しなかった。実験値の曲げモーメントの分布形は複雑な挙動を呈し、盛土側（右）と地盤側（左）の杭体が地盤から受ける荷重状態の異なることが推察される。同図から、計算と実験結果とが良く対応していることがわかる。また、参考のため道路橋示方書の方法で、杭土圧を作用させずにk値を低下させただけの条件での計算も行ったが、その応力値は実測に比べて非常に小さく、その分布形状も異なっていた。これらの結果から、実測の杭体応力を評価するためには、地盤から杭体に作用する土圧を適切に把握しておく必要があることがわかった。

4. まとめ

今回の模型振動実験によって、地盤の液状化にともなう側方移動に関しての定性的な挙動の把握ができ、また現在の設計手法の荷重条件の他に、杭体に作用する土圧も考慮する必要があることがわかった。動的な事象の現場観測は現実的に困難であることから、今後定量的にこの現象を把握するために3次元的なFEM解析を実施することを考えている。

〔参考文献〕1) 古賀泰之、松尾修、他：液状化性土盤上の杭支持構造物の地震時挙動に関する考察、第23回土質工学研究発表会講演集、1988.6.

2) 塩井幸武、元田良孝、堀部正文：側方流動に関する模型実験、土木技術資料21-3、1979.3.

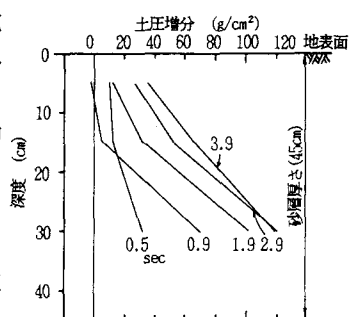


図-3. 杭体に作用する土圧分布の経時変化

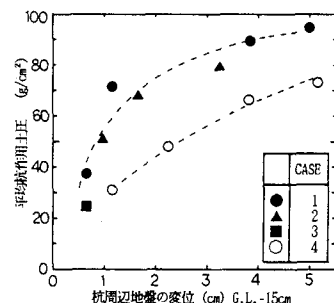


図-4. 杭体に作用する土圧とその周辺地盤の変位との関係

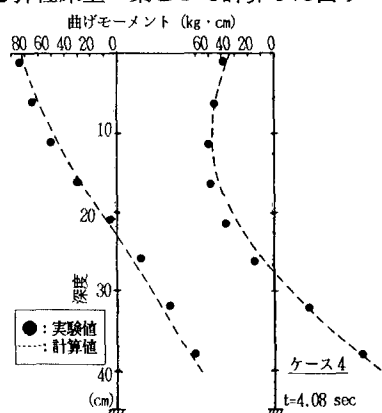


図-5. 杭体の曲げモーメント分布