

清水建設(株) 正員 ○赤尾嘉彦
 清水建設(株) 正員 出羽克之
 清水建設(株) 広瀬道孝

1. はじめに

橋梁の耐震性に関係の深い杭の動的性状の問題について実証的検討を行なった。橋梁を支える杭の動ひずみは、上部構造や地盤の変形によって起るものと考えられる。しかし、両者が杭ひずみに影響を及ぼす度合は未解明な点が多く、地盤の物性や地震によっても変わってくるであろう。従来、この種の問題に関しては実験や観測による実証的なデータの裏付けが少なかった。ところで、現在藤沢市において比較的軟弱な地盤上に設置された橋梁と杭（直杭と斜杭）、および周辺地盤の地震観測を行なっており、今回ある程度の大きさの杭ひずみを生じた観測記録が得られた。そのデータの橋軸水平方向成分だけを用いて、杭の動的性状に関する問題の解析を行なった。

2. 観測データ

1982年2月21日に発生した八丈島沖の地震（ $M_J = 6.7$ ）は、当地で震度Ⅲを記録し観測期間中最大の加速度を示した。この地震の橋軸水平方向の最大加速度は基盤で 2.4 gal 、地表で 1.02 gal であり、橋脚部ではP6のフーチングで 3.6 gal 、天端で 4.6 gal 、それより背の高いP8のフーチングで 3.8 gal 、天端 9.3 gal であった。加速度記録を積分して求めた最大速度は基盤で 0.23 cm/s 、地表で 1.13 cm/s 、最大変位は基盤で 0.09 cm 、P6橋脚のフーチングで 0.14 cm 、天端で 0.21 cm であった。地盤の記録はP6橋脚から橋軸直角水平方向に 70 m 離れた地点の記録で、橋梁の振動の影響は小さいと思われる。図-1に主な速度波形、変位波形と直杭杭頭部（SA-1）の曲げひずみ波形を示す。また、図-2に杭の最大ひずみ分布を示す。これを見ると軸ひずみは下に行くほど小さく、曲げひずみは中間が小さく上下両端が大きい。他の地震についても同様の傾向が見られた。

3. 解析結果

直杭の曲げひずみは、主に橋梁の水平変位や地盤のせん断ひずみによって生じ、軸ひずみは主に橋梁や地盤の鉛直方向変位で生ずると考えられる。斜杭の場合はこのように単純に分離することができず、曲げひずみや軸ひずみは、橋梁や地盤の鉛直、水平方向の変位の影響が一次近似として入って来るであろう。そこで、直杭の曲げ変形に注目し、その原因を図-3のような①地盤のせん断ひずみによるもの、②フーチングの水平変位によるもの、③フーチングの回転によるもの、の3点から探ってみた。

鉛直下方から入射する地震波による地盤のせん断ひずみ γ は、水平方向速度 $\dot{u}$ と線形関係にある。（ $\gamma = \dot{u}/V_s$ 、 V_s はせん断波速度）。そこで、直杭上端の曲げひずみに対する地表付近の速度の相互相関関数（ $R_{xy}(\tau) = r_{xy}/\sqrt{r_x \cdot r_y}$ ）をとると0.2秒早く最大値0.52を得た。同じく、P6のフーチングの変位の相互相関関数は約0.1秒遅れで最大値0.71であった。P6フーチングの回転を近似的にフーチングと橋脚天端との相対変位に比例すると考え、この相対変位の相互相関関数をとると約0.1秒遅れで最大値0.13となった。（図-4）以上から判断して、③の影響はほとんどなく、①より②の影響が多少大きいと思われる。しかし、地盤の観測点が約 70 m 離れていることなどを考慮すると一概に大きいとは断定できない。また、周波数による依存性を見るためにコヒーレンスをとると周期0.5秒以下では②の影響が大きい、周期0.8秒以上では①、②とも同程度であった。

4. まとめ

解析結果より杭の橋軸方向曲げ変形について以下の結論が得られた。①フーチングの回転は小さいか、あってもその影響は小さい。②フーチングの水平変位と地盤のひずみによる影響は周期1秒前後では同程度に

大きい。③従来、杭先端部の回転は自由として設計されているが、杭のモーメント分布から判断して、基礎の埋め込みによる回転拘束が以外に大きい。ただし、以上の結論は震度Ⅲ以下の地震応答から得られたもので、大地震時の動的性状は未知である。また、表層がそれ程軟弱でない場合も同じ結論が得られるとは限らない。

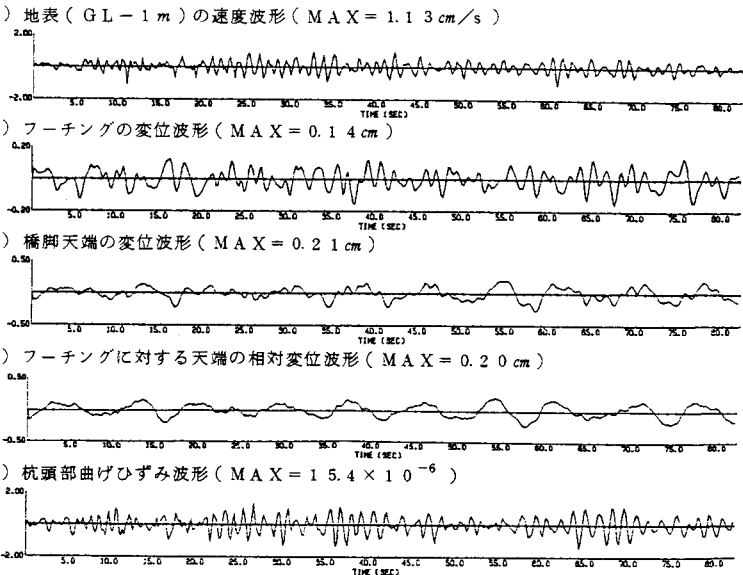


図-1 主な速度、変位、ひずみ波形

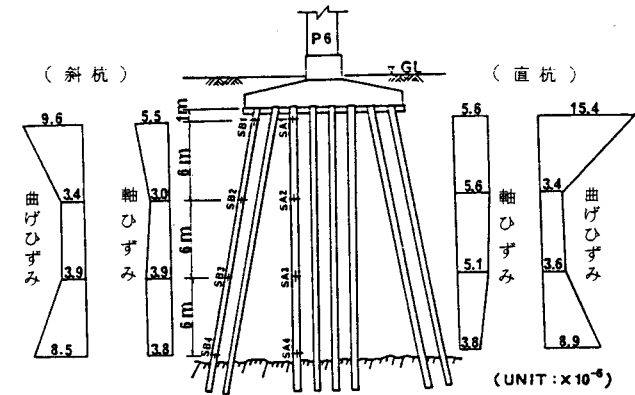


図-2 P6の直杭および斜杭の最大ひずみ分布

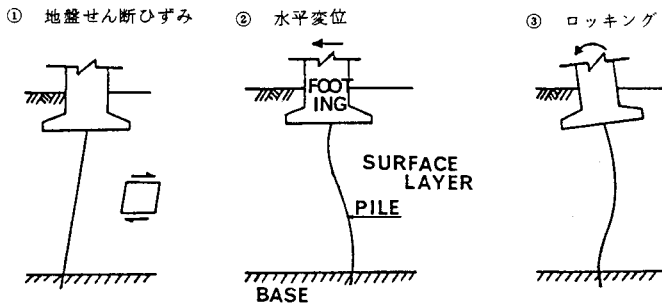


図-3 直杭に曲げひずみを生じさせる動き

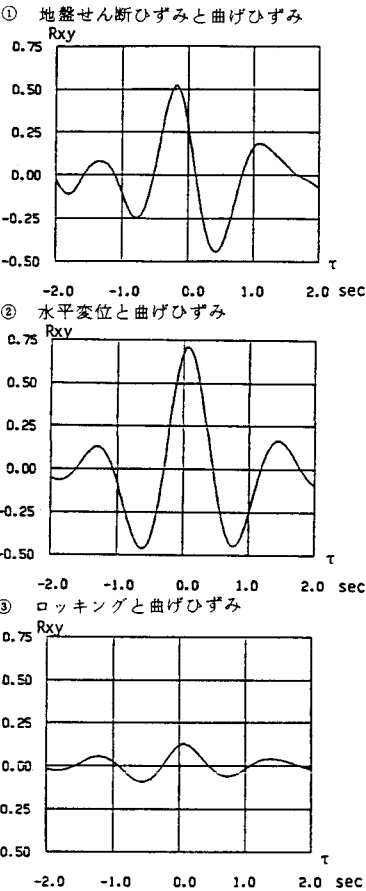


図-4 曲げひずみ波形に対する相互相関係数

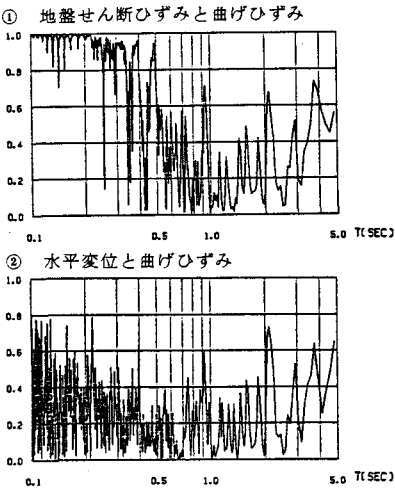


図-5 曲げひずみ波形に対するコヒーレンス