

京都大学工学部 正員 後藤尚男
京都大学工学部 正員 ○北浦 勝

1. はしがき 構造物基礎の合理的かつより安全性の高い耐震設計を目指して、近年多くの実験的研究が実施されている。構造物基礎は動的挙動が非常に複雑でとらえにくい土によって取り囲まれているため、いくつかの仮定を設けることによって現象を単純化して構造物基礎-地盤系の相互作用などが取り扱われている。筆者らも構造物基礎模型の底部にヒンジを取り付け、1自由度系としての基礎-地盤系の振動特性、基礎に作用する振動土圧、復元力特性などについての実験的研究を行なってきたが、長大橋などの巨大構造物においても基礎を軟弱地盤中に根入れさせなければならない場合もあり、そのような場合の基礎の地震時挙動は必ずしも1自由度系のみでは説明しきれない。このような観点から本研究は構造物基礎-地盤系を2自由度系として取り扱っていくために必要な基礎的な資料を取得することを目的とし、2自由度系としての構造物基礎-地盤系の応答を実験的に求め、1自由度系の応答と比較しつつ考察を加えたものである。

2. 実験の概要 実験装置の概略を図-1に示す。基礎模型は重さ約57kgの剛体であり、その底面中心部にはヒンジを取り付けることが可能である。ヒンジを取り付けた場合の模型はヒンジを回転中心とする回転運動のみの1自由度系となり、ヒンジを取り除いた場合には並進と回転の2自由度よりなるロッピング振動を呈する。砂層地盤のモデルには8mm フルイを通過した川砂を自然乾燥および湿潤の両状態にして用いた。この砂を振動台上に設置した振動方向長さ2500mm×振動直向方向長さ1500mm×高さ1000mmの砂槽に詰め、振動台で加振して十分に締め固めて約50cmの砂層地盤とした。このような模型を動電型大型ランゲム振動台を用いて加振した。以下DH, DU, WH, WUなる記号はそれぞれ乾燥砂地盤中に根入れされたヒンジつき模型、乾燥砂中のヒンジのない模型、湿潤砂層中のヒンジつき模型、湿潤砂層中のヒンジのない模型、に対する実験を意味する。

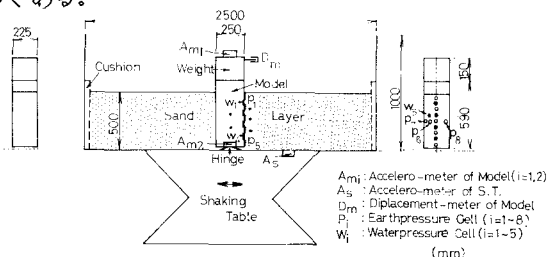


図-1 実験概要図

3. 実験結果 静的交番載荷実験による結果を、縦軸に復元モーメント、横軸に模型回転角 φ_m をとって図示したのが図-2である。各図の履歴曲線の最大点につけられた数字は水平交番載荷の順序を表わす。DU, WUについて静的交番載荷時の振動モード図を求めたところ、復元モーメントが小さい範囲では模型近傍の地盤の乱れが反映されやすいこと、したがって並進成分が存在すること、などから回転中心は一定していないが、大きな復元モーメントが働く範囲においては回転中心の位置は模型底面より数cm下方にあり、その位置の変動があまり大きくないこと、がわかった。そこで簡単のために図にはその位置を回転中心とした場合の φ_m を用いている。各ケースごとにほぼ一定の摩擦型の固有履歴ループ(各ループをそれぞれの最大復元モーメントと最大 φ_m とで無次元化したもの)と軟化ばね型の最大点曲線(各ループの最大点を連ねた曲線)の存在することが認められるが、その形状は各ケース間で微妙に異なっている。DUやWH, WUでは荷重レベルの増加

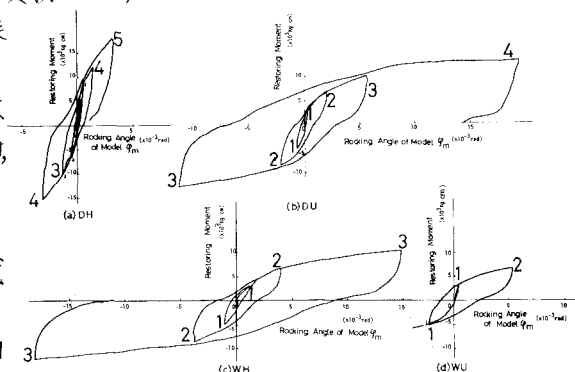


図-2 静的交番載荷実験より得られる復元力曲線

とともに g_m が急速に大きくなるが、特に WU において著しく、数サイクルで完全塑性状態に入り一方に流れていく。このことはヒンジのある場合よりもない場合の方が、また乾燥砂よりも湿潤砂の方が外力に対する抵抗が小さく、クリープ現象が生じやすいこと、一度傾き出すと重力による転倒モーメントが大きくなり傾く速度を増すこと、を表わしている。図-3は各状態における共振曲線を示しており、縦軸は応答の絶対加速度 A_m 、横軸は加振振動数 f である。いずれのケースも復元力特性が軟化はね型であることを反映して入力レベル A_s の増大とともに共振振動数の低下が見られる。なお実験時の観測などから、約15Hzのピークが基礎-地盤系の、約23Hzのピークが地盤自身の共振点を表わしているが、ヒンジのない場合には後者のピークの方が卓越しており、ヒンジという拘束がなくなると基礎の運動が地盤の運動に大きく支配されることがわかる。図-4にはヒンジのない模型の定常正弦波に対する振動モードの時間的变化を1周期間にわたって図示した。

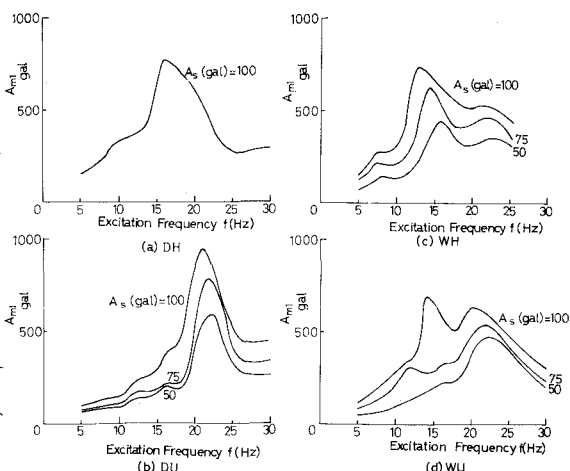


図-3 共振曲線

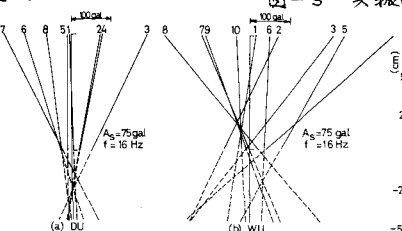


図-4 振動モードの時間的变化

入力の加速度は、いずれも基礎-地盤系の1次の共振振動数に近い $f = 16 \text{ Hz}$ の 100 gal であり、図中の数字は時間の推移を表わしている。図より地盤の軟らかさや 16 Hz の共振曲線に占める意味の違いが反映されているものと考えられるが、DUにおいては回転運動が卓越しており、WUでは模型の動きが複雑である。またいずれのケースも回転と並進の両成分に位相差のあることが認められる。図-5は基礎模型に作用する振動土圧の水平面内における分布を示しており、ヒンジのない場合の方が運動の自由度が多く、模型縁端部の砂が側方へ移動しやすい状態にあるからであろうが、乾燥、湿潤両状態ともに模型縁端部に作用する振動土圧は小さい。なお振動土圧の深さ方向の分布はヒンジの有無にかかわらずほぼ放物線状を呈しており、 f に対する分布形状の変化は水平面内における分布よりも少ない。El Centro 1940のN-S成分を用いて加振した場合の入力 A_s と応答 A_m のパワースペクトル密度 $S(f)$ および自己相関関数 $R(\tau)$ とを図-6に示す。実際に地震記録の時間軸を約1/10に縮小したものを入力としているので、約20Hz付近に比較的大きなピークが見られる。 A_m の $S(f)$ にもこの振動数付近に大きなピークが存在しているが、全般にDUではDHに比べてやや高い振動数成分が卓越しており、共振曲線に見られた振動数特性と傾向的には一致している。 $R(\tau)$ においてもほぼ同様のことを指摘しうるが、DH、DUの $R(\tau)$ はともに A_s の $R(\tau)$ の卓越周期とは異なった周期を有しており、基礎-地盤系のフィルター作用が現われているものと考えられる。

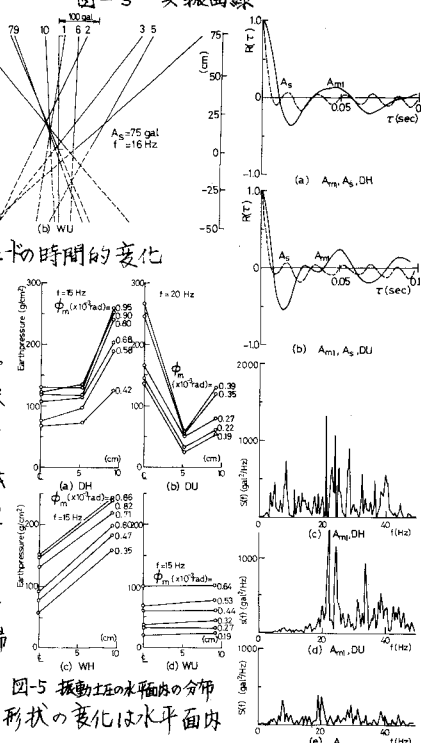


図-5 振動土圧の水平面内の分布

最後に本実験実施にご協力いただいた北川 隆氏、谷村正人氏に感謝の意を表わします。

参考文献1) たとえは 後藤・吉厚・北浦: 乾燥砂中にある構造物基礎の水平復元力特性に関する実験的研究, 土木学会論報年集, 第194号, 後藤・北浦・宮城: 砂層中に根入れされた構造物基礎の動的挙動に関する実験的研究, 同, 第219号。