

金沢大学工学部 正員 北浦 勝
宅地開発公団 井口 温夫

京都大学工学部 正員 後藤 尚男

1. まえがき 構造物基礎の耐震安定性に構造物基礎—地盤系の減衰特性が大きな影響を有することはよく知られている。系の減衰力としては地盤の内部減衰、系の復元力が履歴を描くことにより生ずる履歴減衰、構造物基礎の持つ振動エネルギーの地下逸散などを考慮する必要がある。これらのうちとりわけ地下逸散減衰の占める割合が大きいと指摘されているが、このことには地盤の振動特性が大いに関係しているものと考えられる。このような観点から本研究では、実地盤中に構造物基礎模型を根入れさせて起振機実験を実施し、構造物基礎の振動数特性、減衰特性を地盤中を伝ばする波の振幅の減衰との関連において把握しようとした。

2. 実験装置および実験概要 本実験は京都大学防災研究所構内の実地盤を使用して実施した。模型を1自由度系とするための固定点を得るために、図-1で示されるように表土層を振動方向長さ約4m、振動直角方向長さ約3m、深さ約2mに渡って掘削し、底部に厚さ約25cmの配筋されたコンクリートマツを作製した。ヒンジ固定点に模型を設置した後、基礎周辺部を除いて元の表土で穴を埋め戻した。表土層には一部雑多な混合物が混入していたので、実験を精度よく実施するために基礎周辺部（半径約50cm）を川砂で置換した。地盤は十分に固め、一ヶ月間放置した後実験に供した。構造物基礎模型は十分な剛性を持たせ、たわまないようにするために、補剛材を配した鋼製とした。その寸法は振動直角方向長さ560mm、振動方向長さ200mm、高さ1000mmである。模型頂部には模型を加振するための不平衡質量型起振機（早坂機械製作所製、メカニカルバイブレーター、V-45R、自重207.7kg）を剛結した。起振機頂部には模型の水平絶対応答加速度を計測するために加速度計（明石製作所製、サーボ型加速度計、V401-BT型、2.5g、固有振動数約480Hz）を取り付けた。起振機と模型とを合わせた模型底部ヒンジまわりの慣性モーメントは $3.985 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{cm} \cdot \text{sec}^2$ である。また模型周辺地盤の速度応答を測定するために、速度型換振器（東京振動研究所製、鋼線輪型電磁式換振器、TSD-1H（水平方向）、TSD-1V（鉛直方向）、固有振動数1.0Hz）を周辺地盤にセットした。

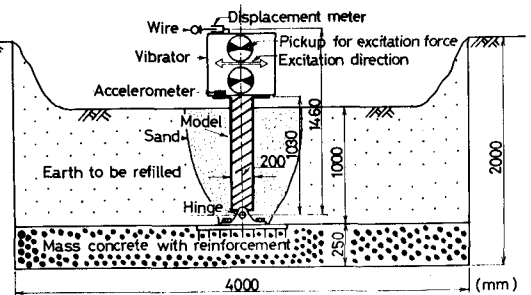


Fig.1 General view of experiments

3. 実験結果 起振力一定実験における基礎模型の応答加速度の共振曲線を図-2に示す。共振振動数は起振力100kgで19.5Hzを示し、以下起振レベルの増加とともに低下している。このことは基礎模型—地盤系の復元力特性が軟化ばね型の特性を有していることに対応している。図-3は起振力一定実験における、基礎模型の応答加速度の起振力に対する位相遅れを示したものであり、位相差が270°となる振動数が共振振動数に相当する。この図からも共振曲線と同じ共振振動数を読み取ることができる。共振点より高い振動数域において位相差曲線の傾きが小さくなる性状は、この振動数域における系の減衰が大きいことを暗示しているものと考えられる。

地盤の運動速度の共振曲線の一例を図-4に示す。同図の測定点（点Aと称する）は模型の描く振動軌跡の延長線上で、模型から約20m離れた地点であり、加振方向の速度成分を対象としている。図より加振振動数の変化に対する地盤の応答の変化が複雑であることが窺える。これは地盤の動きは模型から直接伝ばしてくる波や地盤中で反射してくる波など、伝ば速度や到達時刻の異なる種々の波が合成されたものであるからであろうと考えられる。起振力200kgの場合に注目すると、15.5Hz付近にピークが見られる。この値は模型の共振振動数と

一致しているところから、模型の共振によるものと考えてよいであろう。22Hz付近のピークは全ての加振レベルに見られるものであり、また常時微動の観測結果にも認められているので、地盤の共振振動数であると思われる。

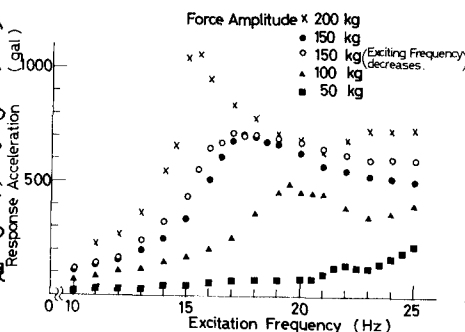


Fig.2 Resonance curves

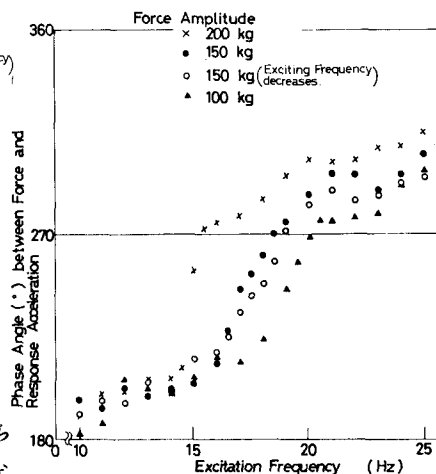


Fig.3 Phase angle between the response acceleration and the excitation force

る。次に、本実験で測定している波動の種類を調べるために Sutton の方法を用いたところ、点Aにおいては模型と点Aとを結ぶ方向の成分Rと、鉛直成分UDの積の時間曲線が零線のまわりに振動していることがわかった(図-5)。このことから点Aにおいては Rayleigh 波の卓越していることがわかる。なおこのことは速度記録と積分して得られる変位の時間記録から求めた地盤の動きが逆戻りする楕円であることから確認できた。

4. 波動振幅の減衰特性 本実験においては、加振方向における波動においては Rayleigh 波が卓越しているので、ここでは Rayleigh 波のみが仮定しているものと仮定する。また波動の距離による減衰は内部減衰と遠散減衰の両方により生ずるが、遠散減衰を等価的に速度に比例する粘性減衰に置換できるものとする。

以上のように仮定すると、遠散減衰による波動の減衰効果も内部減衰によるそれと同様に距離に関して指数関数的に減衰するものと考えてよい。そこで、加振振動数 f で加振された場合の模型から距離 x 離れた地点の表面波の速度振幅 $V(f, x)$ を次式で定義する。

$$V(f, x) = V_0 \cdot e^{-\alpha(f) \cdot x}$$
 ここで、 $V_0 = V(f, 0)$ 、 $\alpha(f)$: 波動の距離による減衰の程度を表わすパラメータ。この関係式に点A、および点Aと模型の中間点である点Bの結果を代入して得られた $\alpha(f)$ が図-6

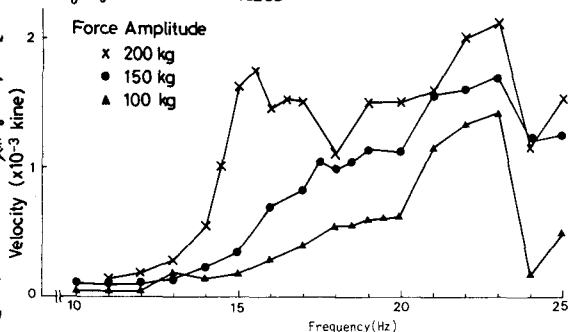


Fig.4 Resonance curves of the ground velocity at point A

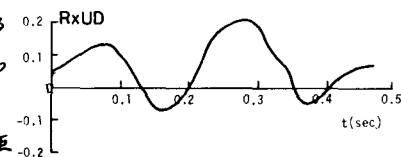


Fig.5 (Radial)x(Vertical) value at point A

である。全ての加振レベルにおいて 14Hz 付近にピークが見られるが、これはこの振動数に対する点Bの換振器が異常振動したためであり、14Hz 付近のピークを一応無視すると全体的傾向としては地盤の共振振動数 f_g である 22Hz 付近で $\alpha(f)$ は極小値をとっている。このことは、① f_g より低い振動数域では、模型から遠散されるエネルギーが波動として遠方へ伝はしにくい ($\alpha(f)$ が大きい) が、 f_g なる振動数付近からは波動として遠方へ伝はする ($\alpha(f)$ が小さい) ので、図-3 で見たように柔の減衰性は増加傾向にあること、② しかし f

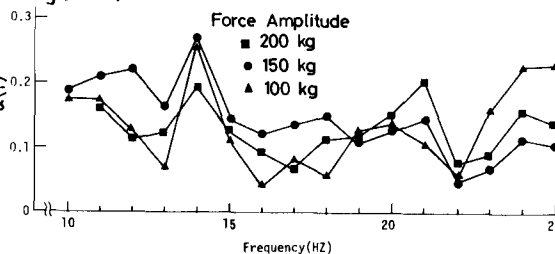


Fig.6 $\alpha(f)$ vs excitation frequency f

大となるにつれて、地盤中で波動振幅の減衰の機会が増すので、遠方へ伝わりにくい ($\alpha(f)$ が大) ことを表わしていると考えられる。