

(財)電力中央研究所 正員 ○ 当麻 純一
 " " 国生 剛吉
 " " 岩橋 敏広

1. まえがき

SH波の伝播による地盤の振動性状を把握するために、モデル地盤が自由にセン断変形できるように「セン断土槽⁽¹⁾」を製作し、従来種々の実験を行ってきた。本報告は、この土槽内に作成した密な乾燥砂地盤の振動応答の基本的な性状を、そこにみられる非線形性に着目して整理したものである。

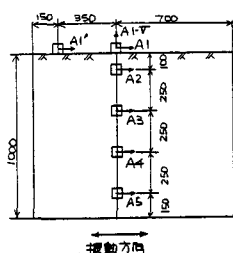


図1. 加速度計の配置

2. 正弦波入力に対する加速度応答

正弦波の振幅を 10, 20, 40, 80 (gal) の4段階に変化させて、各々 5~50 (Hz) の振動数範囲で共振実験を行った。表面の水平方向の応答で、A1とA1'は図2にみるように、入力波に対する応答倍率、位相差ともに比較的良好に一致し

ており、土槽端壁の影響は無視してさしつかえはい程度であることがわかる。また、上下方向の応答A1-Vはほとんどはい。二次振動数付近では、A1とA1'に多少の位相差があり、A1-Vのわずかな増幅もあるために、二次振動では厳密にセン断変形を行うとはいえないが、一次共振が問題となるような振動数範囲では、地盤はほぼ理想的なセン断振動を行うことが確認された。図3は、一次共振時の応答倍率の変化を入力波の振幅との関係でみたものである。入力波の振幅の増大に伴って、応答倍率は双曲線型に低下することがわかる。図4は、一次共振振動数 f_1 と二次共振振動数 f_2 の変化を、同じく入力波の振幅との関係でみたものである。共振振動数は、入力波の振幅の増大に伴って双曲線型に低下する。これらは土質材料の非線形物性の影響によるものと考えられる。すなわち、① 応答倍率は地盤の減衰定数 η に関係し、 η が双曲線型のわずかな依存性を示して増大すること。

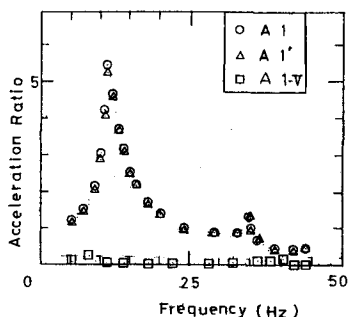


図2-a 共振曲線 (入力 20 gal)

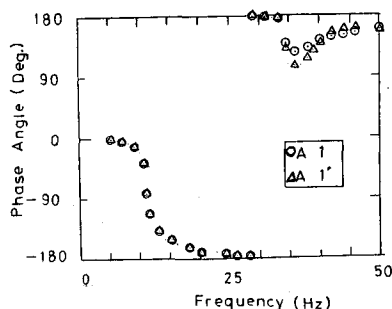


図2-b 位相曲線 (入力 20 gal)

るような振動数範囲では、地盤はほぼ理想的なセン断振動を行うことが確認された。図3は、一次共振時の応答倍率の変化を入力波の振幅との関係でみたものである。入力波の振幅の増大に伴って、応答倍率は双曲線型に低下することがわかる。図4は、一次共振振動数 f_1 と二次共振振動数 f_2 の変化を、同じく入力波の振幅との関係でみたものである。共振振動数は、入力波の振幅の増大に伴って双曲線型に低下する。これらは土質材料の非線形物性の影響によるものと考えられる。すなわち、① 応答倍率は地盤の減衰定数 η に関係し、 η が双曲線型のわずかな依存性を示して増大すること。

② 共振振動数は地盤のセン断剛性率 G に関係し、 G が双曲線型のわずかな依存性を示して低下すること、に対応している。地盤を等質、等弾性セン断振動系と仮定すれば、 m 次の固有振動数 f_m は、

$$f_m = \frac{2m-1}{4H} \cdot V_s \quad (m=1,2,\dots)$$
 である。ここに、 H : 地盤の厚さ、 V_s : セン断波速度 ($=\sqrt{\frac{G}{\rho}}$)。 f_1 と f_2 との関係は上式によれば

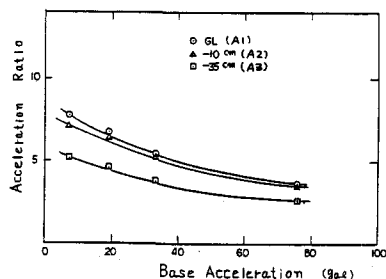


図3. 加速度応答倍率の低下

$f_2 = 3 \cdot f_1$ であり、これを図4に破線で示した。 f_2 の実験値(図中 Δ)の低下率はこれよりも小さい。これは、二次共振では一次共振時よりもひずみレベルが小さいので、前述の非線形の影響が現れにくいためであると考えられる。図5に、共振振動時の水平加速度応答の深さ分布を示す。等方、等質を仮定した場合の振動形の基準関数 $X(x)$ は、

$$X(x) = C \cdot \sin \frac{(2m-1)\pi x}{2H} \quad (m=1, 2, \dots), C: \text{定数}, x: \text{高さ}$$

であるが、図5にみるように、モデル地盤の振動形はこれとは多少異なり、特に表面の浅い部分で、上式から得られる振動形との差異が目立つ。

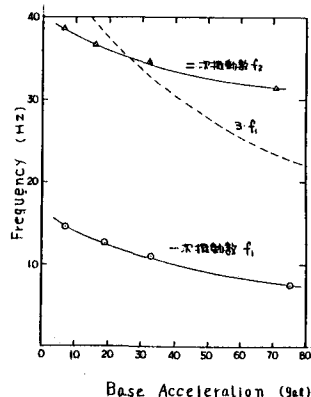


図4. 共振振動時の低下

3. 不規則入力に対する加速度応答
地震波形(EL CENTRO NS '40)の最大振幅を10, 20, 40, 80, 160, 320 (gal)の6段階に変化させて、その各々につき時自縮率1/6, 1/5, 1/4, 1/3, 1/2 に換算した不規則波を用いて共振実験を行った。表面(A1)の最大加速度応答倍率の変化を入力加速度の最大振幅との関係でみたのが、図6である。時自縮率1/6では入力10(gal)以上で応答が低下しているのに対して、時自縮率1/3では、途中80~90(gal)付近で、応答のピークがみられる。円形形の卓越振動数は2~3(Hz)なので、前者の波は12~18(Hz)、後者の波は6~9(Hz)の卓越振動数を有している。図4から推定して、正弦波入力80~90(gal)に対応する地盤の一次共振振動数は6~9(Hz)程度となるので、不規則波入力に対して、後者の時自縮率の卓越振動数と地盤の卓越振動数が一致し、共振現象が生じたものと考えられる。次に、入力振幅が400(gal)を越すと、入力波の卓越振動数によらずに、いずれの場合も応答倍率が1以下になる傾向がみられる。最大加速度応答倍率の深さ分布

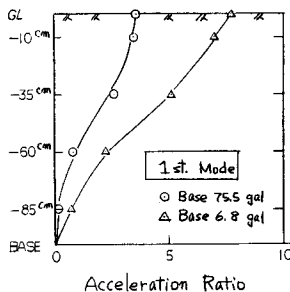


図5-a 加速度の深さ分布 (一次共振時)

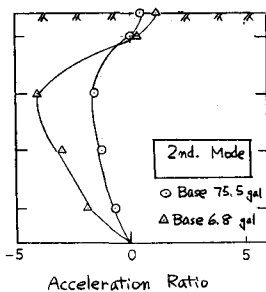


図5-b 加速度の深さ分布 (二次共振時)

図7をみると、入力波の卓越振動数と最大振幅の組合せにより、応答の分布形状は大きく異なり、特に、小さい入力レベルでは表面(A1)の増幅が顕著で、大きい入力レベルでは、深さ中央付近(A3)での低下がみられる。

(1) 国生剛毛, 岩橋 敏広
「軟弱地盤の非線形震動特性について
の模型実験と解析」

土木学会論文報告集 No. 285 (1979)

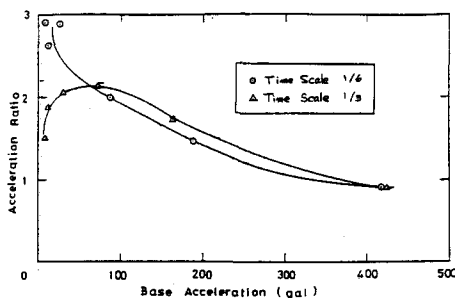


図6. 最大加速度応答倍率の変化

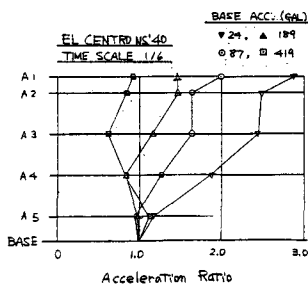


図7-a 加速度の深さ分布

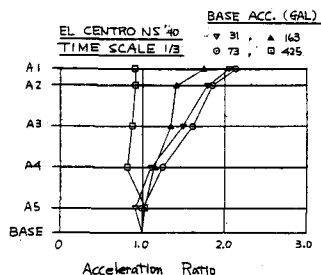


図7-b 加速度の深さ分布