

III-301 等価線形化地震応答解析法に用いる地盤の動的定数について

大林組技術研究所 正会員 ○松田 隆・後藤洋三・鳥井原 誠

1. まえがき

成層地盤の非線形地震応答解析に、等価線形化手法で地盤の非線形性を考慮した重複反射解析が有効であることは良く知られている。この解析手法に用いる地盤の動的定数（ここでは $G \sim \gamma$ 、 $h \sim \gamma$ 関係を総称して言う）を適確に把握しておくことは、解の信頼性を高めるため非常に重要である。この研究は、振動台加振実験結果を基本に、この解析法の妥当性と土質要素試験から得られる動的定数の等価線形化手法への適用性を検討したものである。

2. 模型実験

振動台加振実験に用いた模型地盤は深さ1mの密に締め固められた乾燥砂で構成されている。その各諸元を表-1に示す。加振方法は共振実験（振動台10〜80gal 一定）および地震波入力（EL Centro-1940-NS, 時間軸1/8, 振動台最大加速度40〜640gal）の2種類とした。計測は地中及地表面の加速度である。地盤に発生した最大剪断歪は 1.3×10^{-3} であった。

微小ひずみ領域の地盤の卓越振動数は $f_0 = 23.2\text{Hz}$ （図-1：常時微動結果参照）である。共振実験の代表的な結果を図-2に示す。入力の増加に伴う地盤のヒズミ振幅上昇により、その共振振動数が低下している。この模型地盤が強い非線形性を持っていることがわかる。

3. 模型地盤の動的定数の評価

3.1. 土質要素試験：模型地盤と同様の単位体積重量となるように調整した供試体を用い、超音波パルス法・共振法・中空ねじり法の各要素試験を行なった。図-3に拘束圧 $\sigma_m = 0.6\text{t/m}^2$ 〔第3層相当〕の結果（★印）を示す。減衰定数は最大で29%（ $\gamma = 10^{-2}$ 時）である。

3.2. 逆解析手法の適用：振動台実験での地盤の応答結果から逆解析¹⁾手法を用い算定した $G \sim \gamma$ 関係を図-3に示す。図から土質要素試験結果は逆解析の結果に比しかなり大きなせん断剛性を与えていることがわかる。極低拘束圧下での土質要素試験の困難さが指摘されていることも考慮すれば、図-3の結果が動的な土質要素試験の全般的な傾向であるとまでは言えない。

4. 応答解析

振動台試験結果を対象にした数値シミュレーション解析を一次元重複反射解析法を用い行なった。動的定数の評価に注目した解析検討ケースを表-2に示す。ケース①は模型地盤の振動特性を直接反映している逆解析結果（図-4）を用いたもの、ケース③は土質要素試験結果を用いたものである。ケース②は、実地盤では逆解析に適用できるようなデータが取得し難いことを考慮して、常時微動による初期せん断剛性 G_0 と要素試験による動的定数を組み合わせたものである。

共振実験の解析結果を図-5に示す。当然のことながらケース①は実験結果と良好に一致している。ケース③は実験結果に比し大きくずれてい

表-1 模型地盤

土槽	せん断土槽 $H=1.0\text{M} \times L=1.2\text{M} \times B=0.8\text{M}$
地盤	岐阜砂
材料	平均粒径 0.325mm 均等係数 1.36
地盤状態	乾燥状態 単位体積重量 1.52t/m^3 相対密度 78%

表-2 解析検討条件

ケース	G_0 分布	$G/G_0 \sim \gamma$, $h \sim \gamma$ (H-Dモデル)
①	常時微動 ($G_0 = 1800\sigma_m^{0.8}$)	逆解析 $G/G_0 = 3.0 \times 10^{-4}$ $h = \frac{3.0 \times 10^{-4} + \gamma}{20\gamma}$ $h = 3.0 \times 10^{-4} + \gamma$
②	〃	要素試験 $G/G_0 = 2.6 \times 10^{-4}$ $h = \frac{2.6 \times 10^{-4} + \gamma}{30\gamma}$ $h = 2.6 \times 10^{-4} + \gamma$
③	要素試験 ($G_0 = 3380\sigma_m^{0.44}$)	〃

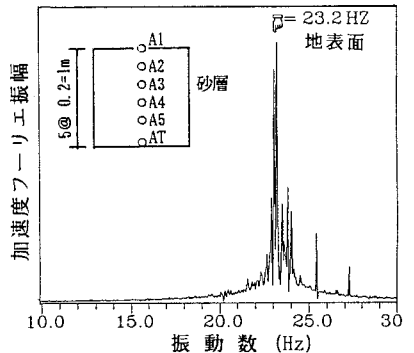


図-1 常時微動計測結果

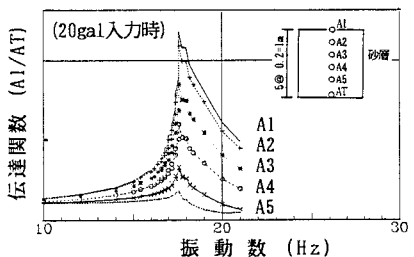


図-2 共振実験結果

る。 G_0 を地盤からの直接的な情報を使用したケース②の近似度は、ケース③に比し格段に向上している。

地震波入力実験の解析結果を図-6に示す。ケース①は実験結果との良好な一致が見られる。ケース②も同様であるが、ケース③は良好とは言えない。このことから、ランダム波入力に対しても動的定数を適確に評価することで、等価線形化法の適用で非線形性を考慮した精度の高い応答解析が可能であることが分かる。

5. おわりに

今回、等価線形化手法が 1.3×10^{-3} の剪断歪レベルまでの解析に有効であることを確認すると共に、土質要素試験結果を用いる場合、常時微動あるいはS波検層などの現位置情報を導入することで、地盤の動的定数および解析結果の信頼性が向上することが分かった。

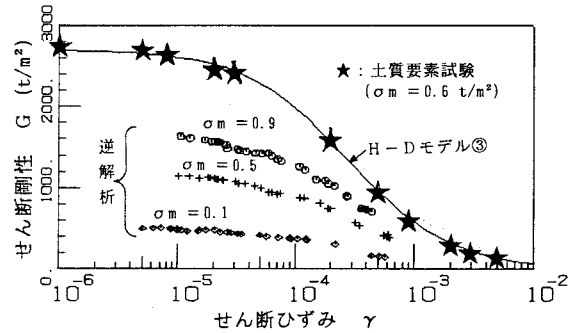


図-3 $G \sim \gamma$ 関係

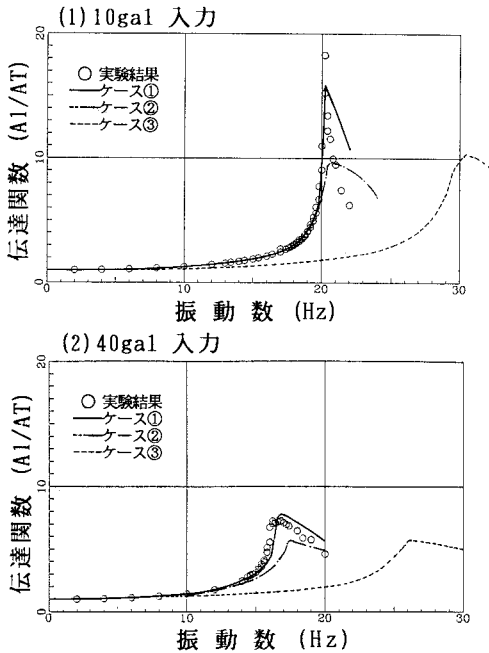


図-5 解析結果（共振実験）

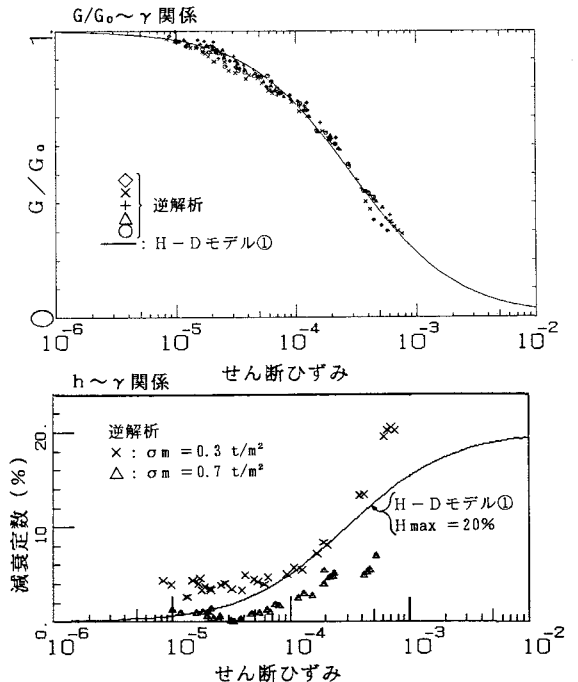


図-4 $G/G_0 \sim \gamma$ および $h \sim \gamma$ 関係

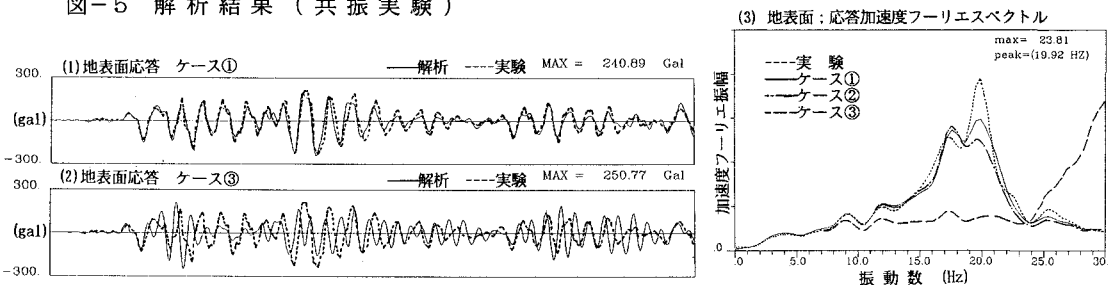


図-6 解析結果（地震波入力実験）[振動入力80gal入力時]