

III-151 模型ぐいによる振動台試験と起振器試験の比較

国鉄鉄道技術研究所 正員 ○ 那須 誠
 ◇ 東京オー工事務局 ◇ 鬼頭 誠
 (株)応用地質調査事務所 ◇ 吉村正義

1. はじめに

軟弱地盤に設置されたい地震力が作用した場合と、くい頭を起振器で加振した場合の挙動の違いを明らかにして、耐震設計の一資料を得るため模型振動試験を行なったので、以下に報告する。

2. 試験方法

模型地盤は、軟弱冲積粘性土地盤(標準貫入試験の N 値 $\div 2$ 、 S 波伝播速度 $V_s \div 80$ m/s、層厚12 m)からなる表層が、洪積砂質土(N 値 $\div 50$ 、 $V_s \div 300$ m/s)からなる支持層の上にあると想定して、大型振動台(平面 $2\text{m} \times 10\text{m}$ 、最大搭載重量100 t、最大加振加速度400 gal、電気油圧サーボ)の上に製作した。また、模型ぐいは直径60 cmのコンクリート製ぐいを根定して製作した(図1)。模型地盤の表層は、日東SS、ベントナイトと珪藻土に水を加えて作り、支持層は表層材料に砂を追加して作った。模型ぐいは、合成ゴム(ハイカー)で作った。模型地盤の加振時に地盤にせん断振動のみ発生して、曲げ振動が発生しないようにするため、模型地盤の加振方向に垂直な前面と後面の一部を斜めに切り落してある。模型としてくいと地盤の他に、フーチング(剛性)を想定するベース(約37 kg)をアルミニウムで作し、群ぐいの試験を行なうとき、4本のぐいの上に載せて固定した。

主な相似率として、長さ $[L] = 1/20$ 、時間 $[T] = 1/3$ 、密度 $[\rho] = 1/1.3$ を考えて、模型の地盤とくいを実物のそれらに相似させて作った。実物と模型の主な諸元を表1に示す。

なお、くいには加速度計とひずみ計をとりつけるとともに、地盤中にも加速度計を設置した。

振動試験を行なう前に、地盤試験料による密度と一軸圧縮強度の測定および静的、動的三軸圧縮試験を行なうとともに、地盤の弾性波伝播速度 V_s 、 V_p を測定した(表1以外に支持層では $\rho = 1.73 \text{ g/cm}^3$ 、 $V_s = 38 \text{ m/s}$ 、ポアソン比 $\nu = 0.497$ 、 $E = 76.3 \text{ kg/cm}^2$ 、一軸試験の $E_{50} = 39 \text{ kg/cm}^2$ 、表層では $\nu = 0.499$ 、 $E_{50} = 3.5 \text{ kg/cm}^2$ であり、振動三軸試験の剛性率 G と減衰定数 η はひずみが 10^3 のとき 10 kg/cm^2 、 $0.3 \sim 0.5$)。また、単ぐいと群ぐいの静的水平載荷試験と地盤の静的鉛直平板載荷試験も実施した。振動試験は次の2種類行なった。
 (1)振動台試験--- 模型地盤を振動台で正弦波加振する共振試験であり、くいのひずみと加速度、地盤の加速度を測定した。単ぐいと群ぐいで試験した。(2)起振器試験--- 4本のくいをベースで固定して群ぐいを作り、小型起振器を載せてくい頭を正弦波加振する共振試験であり、ひずみと加速度を測定した。(小型起振器は、水平3軸6ウェイト方式で最大偏心モーメント1.3 kg $\cdot$ cm、1~25 Hz、重量約15 kgである。)

3. 試験結果

図2に地盤とくい(ともに地盤表面の位置)の共振曲線を示し、表2に共振振動数を示す。以下に測定結果を

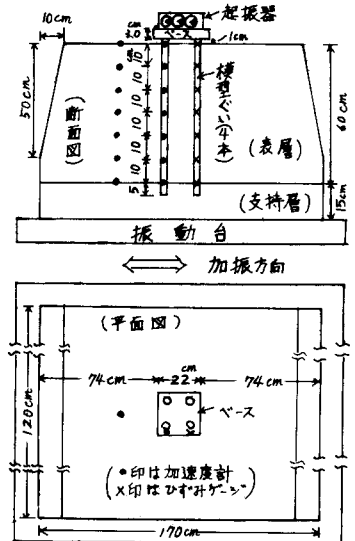


図1 試験装置

表1 実物と模型の比較

	物理量	実物	模型(理想)
表層地盤	地盤層厚 (cm)	1200	60 (60)
	S 波速度 V_s (m/s)	80	10.5 (11.9)
	地盤密度 ρ_s (g/cm 3)	1.5	1.16 (1.15)
	動的弾性定数 E (kg/cm 2)	290	393 (5.0)
	共振振動数 (Hz)	1.67	4.4 (5.5)
くい	くい径 (cm)	60	3.01 (3.0)
	長さ l (cm)	1200	60 (60)
	ヤング率 E (kg/cm 2)	3×10^5	2670 (5200)
	くい密度 (g/cm 3)	2.1	1.29 (1.60)

まとめて述べる。

(1) 弾性定数

表層地盤の V_s と V_p から求めた $G \approx 1.31 \text{ kg/cm}^2$ は、一軸圧縮試験による $G_{90} \approx 1.10 \sim 1.20 \text{ kg/cm}^2$ とほぼ一致し、動的定数と静的定数はほぼ一致する。

(2) 振動台試験と起振器試験

(1) 振動台試験での地盤とくいの1次と

2次の共振振動数と増幅度はせん断波の重複反射理論でほぼ説明できる。即ち、表層地盤の $V_s = 10.5 \text{ m/s}$ と厚さ $H = 60 \text{ cm}$ から、共振振動数を求める式 $f_n = (2n-1)V_s/H$ (n は次数)を用いると、1次と2次の共振振動数はそれぞれ $f_1 = 4.4 \text{ Hz}$ 、 $f_2 = 13.2 \text{ Hz}$ となる。単ぐいと群ぐいの振動台試験による1次と2次の共振振動数もほぼ一致する。なお、地盤の共振曲線から、 $1/\sqrt{2}$ 法で減衰定数 η を求めると、1次共振点で $\eta \approx 0.02 \sim 0.03$ である。(ii) 起振器試験では、6.5 Hzに共振振動数が現われているが、これは構造物(ベース+起振器)が載ったためのくいの共振振動数であると思われる。(iv) ベース上に起振器を載せたままで振動台加振を行なった場合にも、構造物によると思われる6.7 Hzの共振振動数が現われる。この振動数は(ii)の起振器試験のそれと近い値である。また、(ii)と(iv)の構造物によると思われる共振振動数は、構造物の重量と群ぐいの荷重試験から求められた見かけの水平地盤係数に付加重量5.5 kg(4本のくいを円周上にもつ半径10 cm、長さ15 cmの表層地盤中の円柱に相当)を考慮することによって説明できる。

(3) 振動モード (i) 振動台試験においては、地盤とくいはほぼ同じ動きをしている。(ii) 起振器試験においては、4 Hzでは地盤とくいはほぼ同じ動きをしているが、くいの卓越共振振動数6.5 Hzでは地盤にもピークが現われるけれどもくいの動きより小さく、くいのみ大きく動いている。

4. おわりに

以上の試験は、国鉄本社技術課題「耐震設計に關する研究」の一環として、部外委託研究委員会の岡本委員長をはじめとする諸メンバー並びに新幹線建設局工事第二課、構造物設計事務所の大橋元次長と西村首席等の御指導を受けて実施しました。また、振動試験の実施に当っては鉄道技術研究所土質研究室の安田研究員にお世話になりました。併せて深謝の意を表します。

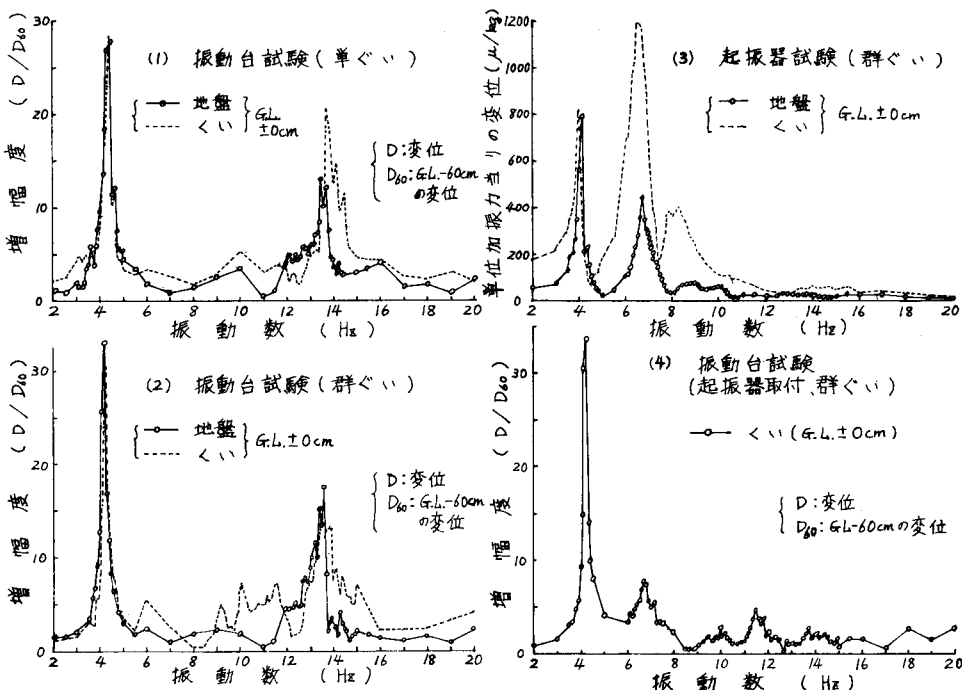


図2 共振曲線

表2 共振振動数 (○印は最大ピーク)

試験法	共振振動数	
	地盤	くい
振動台試験	単ぐい	4.4, 13.5
	くいの頭自由	4.4, 13.7
	群ぐい	4.2, 13.6
起振器試験	くいの頭固定	4.3, 13.5
	群ぐい	4.1, 6.7
	くいの頭加振	4.0, 6.5, 8.3
起振器を取り付けた状態での振動台試験	くい	4.2, 6.7, 11.5
		13.7