

東京都立大学工学部 正会員 ○長嶋文雄

同 同 望月利男

同 同 小泉敏一

1. はじめに 本研究は模型ぐいを用いた一連の実験装置-電算機オンライン実験手法による非線形地震応答解析に関する研究の一部である。実験装置及び手法は文献1)で発表したものと同様であり、模型地盤としては豊浦標準砂(乾燥砂)を用いた場合である。模型ぐいと実大ぐいとの対応性は2)で述べられている。ここでは、くい-地盤系(1質点系)の振動応答についてオンライン実験結果とその復元力のモデル化による理論応答解析結果とを比較し、さらに上部構造物(線形)との連成系の振動応答結果を例示する。

2. 解析モデル及び理論応答解析 くい-地盤系、くい-地盤-上部構造物連成系いずれも微小振動時に4.0 Hz(後者は上部下部とも6.5 Hzの連成)となるようにくい頭質量を仮定している。尚、減衰定数は全て0.02としている。さてくい-地盤系に周期的な外力が作用する場合の振動方程式は(1)式となる。

$$m\ddot{x} + \bar{c}\dot{x} + F(x) = P_0 \cos \omega t \quad (1)$$

ここで、 m : くい頭質量、 $\bar{c}$: 減衰係数、 $F(x)$: くい頭での復元力、 P_0 : 外力振幅である。これを微小振動時の変位 x_s 、復元力 F_s (微小振動時には線形であると仮定)を用いて(1)式を無次元化すれば、

$$\frac{x''}{x_s} + 2h \frac{x'}{x_s} + \frac{F}{F_s} \left(\frac{x}{x_s} \right) = \frac{P_0}{F_s} \cos \eta \tau \quad (2)$$

ここで、 $h = \bar{c} / 2\sqrt{F_s m / x_s}$ 、 $\omega_0^2 = F_s / (x_s m)$ 、 $\eta = \omega / \omega_0$ 、 $\tau = \omega_0 t$ 、 $'$ は τ についての微分を表わす。(2)式を Slowly Varying Parameter 法で解くと共振振幅と外力振幅の関係が得られる。

$$P_0 / F_s = \{ S(x_0) - 2h\sqrt{C(x_0)} \} x_0 / x_s \quad (3)$$

$$\text{ここで、} C(x_0) = \frac{2x}{\pi x_s} \int_0^{\pi} \frac{P_0}{F_s} \left(\frac{x_0}{x_s} \cos \theta \right) \cos \theta d\theta \quad (4)$$

$$S(x_0) = \frac{2x}{\pi x_s} \int_0^{\pi} \frac{P_0}{F_s} \left(\frac{x_0}{x_s} \cos \theta \right) \sin \theta d\theta \quad (5)$$

であり、 $\theta = \eta \tau + \phi$ である。この解法に対し骨曲線、履歴曲線をそれぞれ次のべき関数で仮定すると、

$$F / F_s = k (x / x_s)^\alpha \quad (6)$$

$$F / F_s = \pm 2k \{ (x \pm x_0) / 2x_s \}^\alpha \mp k (x_0 / x_s)^\alpha \quad (7)$$

(4)、(5)式より $S(x_0)$ 、 $C(x_0)$ が決定でき、定常応答解が求められる。また外力がランダム波の場合については4)でその概要が述べられている。尚、(6)、(7)式の α 、 k は骨曲線のみから近似的に求める方法と、骨曲線と履歴曲線の面積から定める方法がある。

3. 応答解析結果及び理論解との比較 図-1はオンライン実験のくい-地盤系に於ける周期的外力の各レベルに対する共振時付近の履歴ループを重ねたものである。履歴ループは各々ハードスプリング型を示しているが、骨曲線はソフト型となっている。図-2(a)、(b)はそれぞれ同上のモデルのオンライン手法による結果と理論による周期的外力に対する定常変位応答曲線である。(b)は図-1の骨曲線から α 、 k を求めて求めた共振曲線の理論解である。外力のレベルによりピーク値に多少対応性の悪い部分もあるが全体的に良く合っているといえよう。図-3(a)、(b)はそれぞれ同モデルに White Noise 状の外力を作用させた時の加速度応答のフーリエスペクトルの絶対値であり、(a)はオンラインシステムによる解析結果、(b)は α 、 k を変位の関数として定め、その応答を求めた理論解である。ただし、実際には、 α はほとんど変化せずまた、 k の変化もわずかなのである。図-4(a)、(b)は同様に、El Centro (1940, NS) 地震波を外力とした場合のオンラインシステムによる加速度応答のフーリエスペクトル(a)と同理論解である。図-5(a)、(b)は上記の El Centro 地震波を外力とした場合の変位応答である。オンラインシステムによる応答(a)の後半に若干の中立点移動が見られる。図-6(a)、(a')はくい-地盤-上部構造物連成系の定常変位応答曲線であり、(a)は地盤-くい系の(a')は上部構造物の結果である。図-7は同モデルに White Noise 状の外力を作用させたときの上部構造物の加速度応答のフーリエスペクトルの絶対値である。

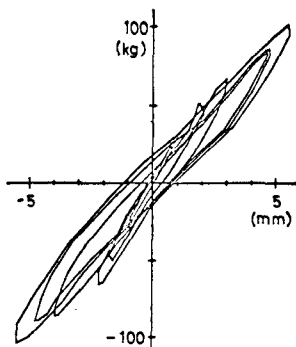


図-1 共振時のル-フ形状

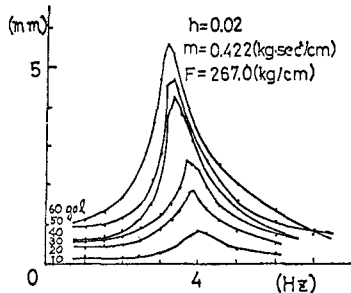


図-2(a) 定常変位応答曲線

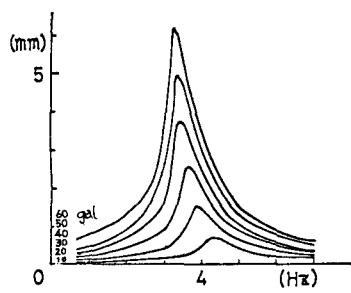


図-2(b) 定常変位応答曲線(理論)

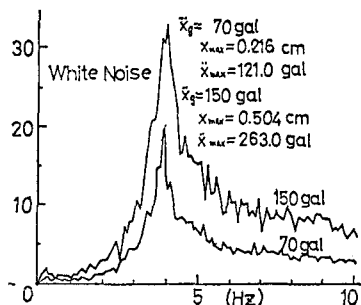


図-3(a) 加速度応答フリエヤトル

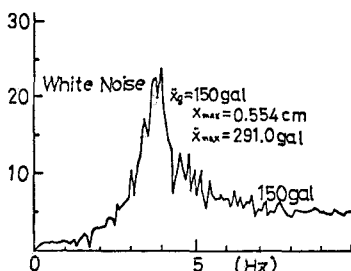


図-3(b) 加速度応答フリエヤトル(理論)

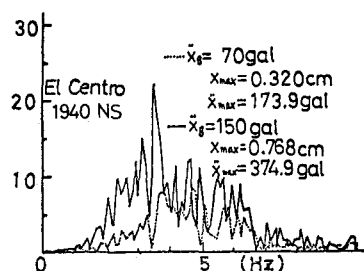


図-4(a) 加速度応答フリエヤトル

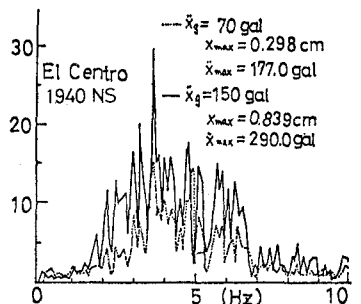


図-4(b) 加速度応答フリエヤトル(理論)

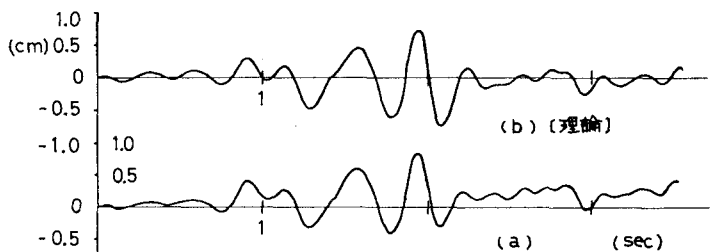


図-5 変位応答 (El Centro, 1940 NS) $\ddot{x}_{max}=150$ gal

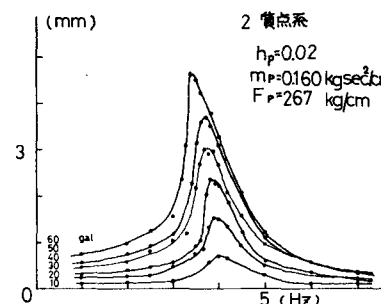


図-6(a) 定常変位応答曲線(くい-地盤系)

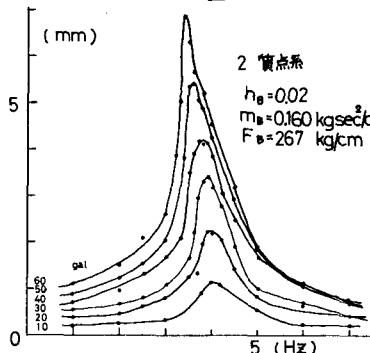


図-6(a') 定常変位応答曲線(上部構造物)

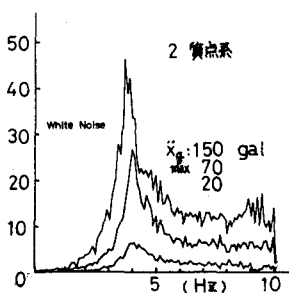


図-7 加速度応答フリエヤトル(上部)

- 引用文献 1) 望月, 長嶋, 小泉: 実験装置-電算機オンラインシステムによるくい-上部構造物系の地震応答解析 第4回日本地震工学会シンポジウム講演集 1975
 2) 佐原, 長嶋, 小泉: モデル実験に於けるくい-地盤間復元力特性とその実大ぐいとの対応 土木学会年次学術講演概要集 31回
 3) 望月, 北川: 一般履歴系の復元力モデルについて, その1, その2 昭和51年度日本建築学会関東支部研究報告集
 4) 望月, 北川: やき関数型復元力モデルによる地震応答(木造2階建住宅への適用) 日本建築学会大会学術講演梗概集 昭和51年