

地震時におけるクイ基礎の応答

山口大 正員 大原資生
同上 〇山本哲朗
学生員 光永臣秀

1. まえがき 本文では、まず、地震時における地盤のせん断変形を考慮したクイ基礎の応答解析を行った。さらに、振動台を用いて砂層内あるいは粘土層内に埋めこまれた各種模型グイについての振動実験を行ない、主としてクイ頭変位を測定し、その結果と理論値との比較検討をしたものである。

2. 理論による解析 弾性分布質量系理論¹⁾に基づけば、クイの曲げ振動方程式は次の小坪氏の式²⁾で与えられる。

$$EI \frac{\partial^4 \bar{y}}{\partial z^4} = -\frac{\gamma_p A}{g} \cdot \frac{\partial^2 \bar{y}}{\partial t^2} + k_h(z) D (\bar{u} - \bar{y}) - \frac{F}{g} \cdot \frac{\partial^2 \bar{y}}{\partial t^2} \quad (1)$$

$$\bar{y} = y + u_0, \quad \bar{u} = u + u_0 \quad (2)$$

ここで、 \bar{y} : クイの絶対水平変位、 \bar{u} : 地盤の絶対水平変位、 y : クイの相対水平変位、 u : 地盤の相対水平変位、 u_0 : 地震時の基礎の変位、 D : クイの外径、 γ_p : クイの単位重量、 A : クイの断面積、 E : クイの弾性係数、 I : クイの断面二次モーメント、 $k_h(z)$: 地盤の水平方向地盤反力係数、 F : 付着質量、 g : 重力加速度、 t : 時間、 z : 基礎面からの高さである。

(1)式中の \bar{u} は運動方程式(3)を境界条件(4)で解いて得られる。その結果は(5)式である。なお G は有効土かぶり圧、せん断ヒズミ等の関数であるが、ここでは問題を簡単にするために、 $G = \text{const.}$ とした。

$$G \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2} = \frac{\gamma_c}{g} \cdot \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial t^2} \quad (3)$$

$$z = 0: \bar{u} = u_0 = (K_h g / \omega^2) \sin \omega t \quad (4)$$

$$z = H: G \cdot \partial \bar{u} / \partial z = 0$$

$$\bar{u} = \frac{K_h g}{\omega} \left(\cos \sqrt{\frac{\gamma_c}{gG}} \omega z + \tan \sqrt{\frac{\gamma_c}{gG}} \omega H \cdot \sin \sqrt{\frac{\gamma_c}{gG}} \omega z \right) \sin \omega t \quad (5)$$

ここに、 G : 地盤のせん断弾性係数、 γ_c : 地盤の単位重量、 K_h : 水平震度、 ω : 基礎変位の円振動数、 H : 地盤の長さおよびクイ長である。

(1)式の解 \bar{y} を(6)式のように置き、さらに(5)式を(1)式に代入すると、解が2つ得られるが、ここでは(7)式で示す解を考えれば十分である。

$$\bar{y} = \{ Y(z) + (K_h g / \omega^2) \} \sin \omega t$$

$$\bar{y} = \left\{ \sin \lambda z (C_1 e^{-\lambda z} + C_2 e^{\lambda z}) + \cos \lambda z (C_3 e^{-\lambda z} + C_4 e^{\lambda z}) + \frac{K_h g k_h D (\cos \sqrt{\frac{\gamma_c}{gG}} \omega z - \tan \sqrt{\frac{\gamma_c}{gG}} \omega H \cdot \sin \sqrt{\frac{\gamma_c}{gG}} \omega z)}{\{ EI \gamma_c^2 \omega^4 / g^2 + k_h D g - (\gamma_p A + F) \omega^2 \} \omega^2} \right\} \sin \omega t \quad (7)$$

$$\lambda = \sqrt{\{ k_h D - (\gamma_p A + F) \omega^2 / g \} / 4 EI} \quad (8)$$

ここで、 C_1, C_2, C_3 および C_4 は積分定数である。

表-1 実験で用いたクイ

クイ	本数	大 小			曲げ剛度(kg-cm)	載荷重(Kg)
		長さ(cm)	外径(cm)	内径(cm)		
塩化ビニル管単グイ	1	56.5	3.2	0.35	79,300	04,63,124
シンチュウ管単グイ	1	56.5	3.2	0.11	874,000	04,63,124
塩化ビニル管群グイ	4	56.5	3.2	0.35	252,000	04,63,124
塩化ビニル板群グイ	4	56.5	幅3.0	1.00	25,700	04,63,124

表-2 試料の物理的および力学的性質

試料	比重	均等係数	50%粒径	最大間隙比	最小間隙比	内部ツラツク(%)	粘着力(Co)
豊浦砂	2.63	2.0	0.22mm	1.09	0.67	45.0	ナシ
カオリ粘土	2.63	—	0.0017	2.76	1.60	19.7	0.046 ^{kg/cm²}

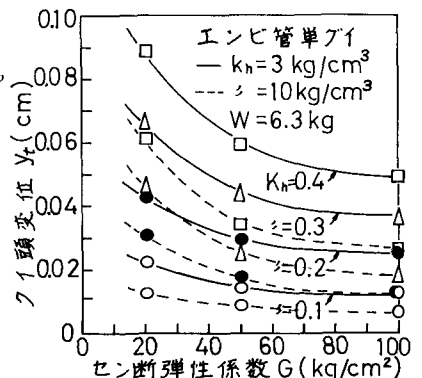


図-1 クイ頭変位に及ぼす k_h と G の影響

3. 模型グイの振動実験 実験装置は振動台上に置かれた高さ、幅、長さが各々70×35×100 cmの鋼板製の砂槽の底部中央部に模型グイが設置されている。グイはグイ先が固定であり、グイ頭は回転自由の状態である。実験に用いたグイは表-1に示す4通りである。

実験はまず、砂槽内に表-2に示す気乾の豊浦砂あるいはカオリン粘土を満した後、震度0.8の振動加速度を与えて十分に土を締固めた。その時の密度は豊浦砂:1.37 g/cm³, カオリン粘土:0.89 g/cm³であった。

次に、振動実験は砂槽全体を振動数fが3Hzの所定の震度(0.1, 0.2, 0.3, 0.4)で20秒間水平に振動する方法で行なった。そして、振動時のグイ頭部の水平変位と振動加速度をペン書きオシロで記録させた。

4. 地震時、模型グイの応答の理論値と実験値の比較 図-1, 2はそれぞれ載荷重量W=6.3 kg, 根入れ長H=55.5 cmのエンビ管単グイが、f=3 Hzの地動変位を受けた時のグイ頭変位、最大セン断力に及ぼす地盤反力係数k_n, セン断弾性係数Gの影響を調べたものである。

図-1から、地盤反力係数、セン断弾性係数が減少すると、グイ頭変位が増大するのがわかる。図-2から、最大セン断力は、地盤反力係数が増加すると、グイが変位し難いことに起因して大きくなっている。

図-3は豊浦砂層内に設置したエンビ管およびシンチュウ管単グイの地震時における応答の計算値と実験値を示している。エンビ管単グイの場合、計算値はほぼ実験値と一致していると見ることが出来る。なお、セン断弾性係数100 kg/cm²は単純セン断試験から求めたもので、それはセン断ヒズミ=10⁻³%, 有効上載圧=0.054 kg/cm²のときの値である。シンチュウ管単グイについては、計算値は実験値のおよそ2倍となっているが、地盤反力係数を10 kg/cm³とした場合には、計算値と実験値とよく一致する。地盤反力係数はグイの曲げ剛度、外径などによって異なるが、その点を考慮しても地盤反力係数=10 kg/cm³は非常に大きい値であり、この点については今後検討せねばならない。

図-4は豊浦砂層内の各グイに対して、載荷重量Wを変えた時のグイ頭変位と振動加速度の関係を示している。図から、W=0.4 kgの場合には、グイの剛度の違いによらず、グイ頭変位はほとんど同じであるが、W=6.3 kgの場合には、剛度が小さいグイほど、変位は大きく、小さい振動加速度においても、震度~変位関係は非線形となるのが注目される。

図-5は(y_t)_k/(y_t)_s ~ K_n 関係について調べた結果である。グイの剛度に応じて、あるK_nまでは(y_t)_k/(y_t)_sは急激に増加しているが、これはカオリン粘土のセン断弾性係数、地盤反力係数が砂のそれよりも小さく、それに加えて、震度の増加によるセン断ヒズミの増加、換言すると、セン断弾性係数の減少が砂よりも著しく大きいためと考えられる。

文献: 1) Y.L.Chang: Trans. ASCE (1937), 2) 小坪等: Proc. of Japan Ear. Symp (1966)

3) 大原等: 山工学部研究報(1976), 4) Yoshida: Soils and Foun. (1972)

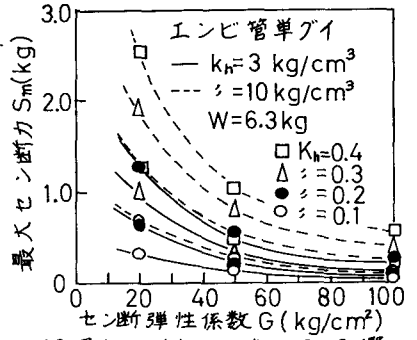


図-2 最大セン断力に及ぼすk_nとGの影響

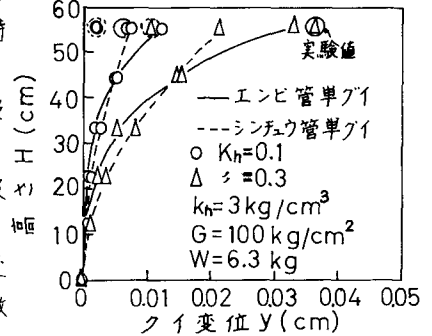


図-3 グイ変位の計算値と実験値の比較

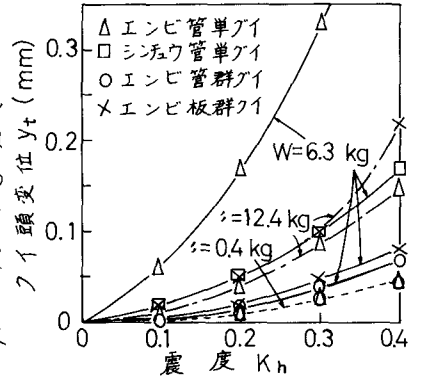


図-4 各載荷重における豊浦砂層中のグイのグイ頭変位と振動加速度の関係

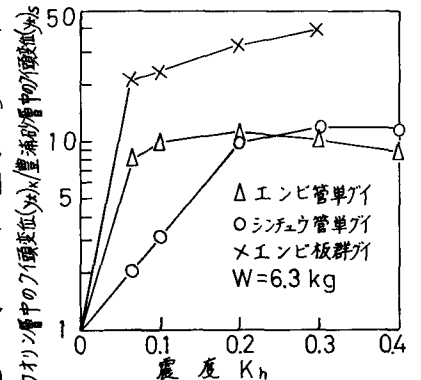


図-5 各振動加速度における豊浦砂層中のグイ変位とカオリン粘土層中のグイ変位の比較