

国士館大学 正会員 高田 清美

国士館大学 正会員 小野 勇

1. まえがき

構造物基礎の耐震性を検討するためには、基礎を支持する地盤のばねや減衰を評価することが必要となる。これらの評価法の1つに地盤を複素ばね系でモデル化する手法がある。本報告は、剛体基礎の模型を用いた振動実験を行って動的挙動を観測し、この観測結果から回転(ロッキング振動)、並進および上下振動に対する複素剛性を算出し、考察を加えたものである。複素剛性の算出法は土岐らが井筒基礎の振動実験で算出した手法と同様の手法を用いた。

2. 実験方法および複素剛性の算出法

実験地盤は図-1に示すように、表層部は比較的軟かな粘性土で、深さ1m前後には層厚約2mの砂質粘土があり、その下層には礫を含んだ砂質粘土層がある。

基礎模型はR.C製の正方形断面で、その寸法は幅、奥行きおよび長さはそれぞれ1500mmである。また、模型自身の重量は4500kgである。

実験は図-2に示すように、加振の方向と加振位置により3ケース実施した。すなわち、基礎上面中心に水平加振(Test No. 1)、基礎底盤中心より25cm偏心させた位置で上下加振(Test No. 2)および基礎底盤中心に上下加振(Test No. 3)である。加振には起振機を用い、起振モーメントを10kgf・cmと、20kgf・cmの2通りである。測定には加速度計を用いたが、他に変位計と傾斜計も用いた。また、模型基礎の底盤下面および側面に土圧計を5ヶ所にセットし、動土圧の測定も行った。

複素剛性は次の方法によって検出した。振動時に基礎自身の変形を無視しうような剛体基礎の振動は、一般に面内の回転、並進および上下動の連成で表わしう。この3自由度系の運動方程式は次式で表わされる。

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{F\} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$[M] = \begin{Bmatrix} J_0 & mH_q & 0 \\ mH_q & m & 0 \\ 0 & 0 & m \end{Bmatrix}, [K] = \begin{Bmatrix} G_{RR} & G_{RH} & G_{RV} \\ G_{HR} & G_{HH} & G_{HV} \\ G_{VR} & G_{VH} & G_{VV} \end{Bmatrix}, \{F\} = \begin{Bmatrix} M(t) \\ F_H(t) \\ F_V(t) \end{Bmatrix}, \{\ddot{u}\} = \begin{Bmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{u} \\ \ddot{v} \end{Bmatrix}, \{u\} = \begin{Bmatrix} \theta \\ u \\ v \end{Bmatrix}$$

ここに、 m ：質量、 J_0 ：底面中心回転軸回りの質量慣性モーメント、 H_q ：底面

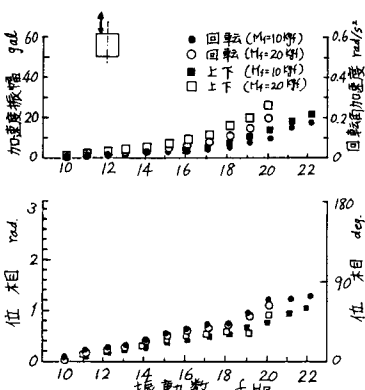


図-4. 偏心上下加振の振幅と位相

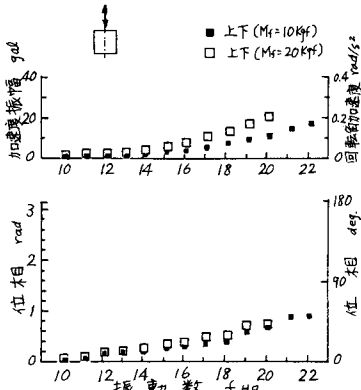


図-5. 中心上下加振の振幅と位相

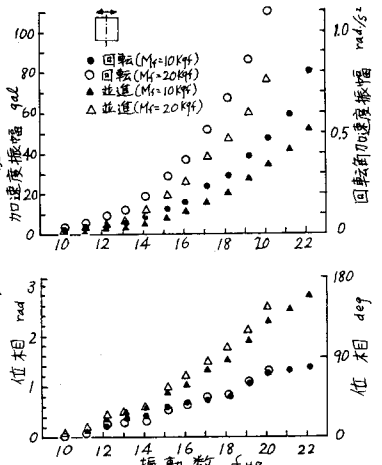


図-3. 水平加振の振幅と位相

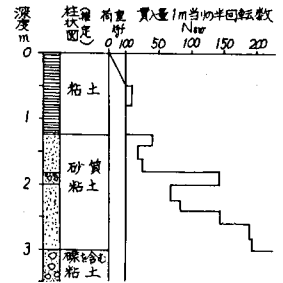


図-1. 地盤柱状図

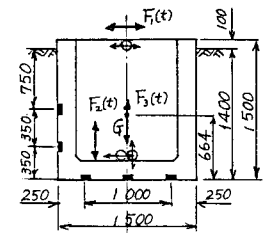


図-2. 基礎模型および計測位置

重心までの高さ, $M(t)$; 底面回転軸回りのモーメント, $F_H(t)$; 水平力, $F_v(t)$; 鉛直力, $\varphi, \ddot{\varphi}$; 回転角および回転角加速度, $u, \ddot{u}$; 水平変位および水平加速度, $v, \ddot{v}$; 鉛直変位および鉛直加速度, G ; 複素剛性(添字 R は回転, H は水平動, V は上下動を表す)。複素剛性マトリックス $[K]$ を求めるには, 3通りの加振に対して, 基礎の3成分の変位振幅と位相を測定すればよい。すなわち, 外力は調和波外力とすると,

$$\{F\} = \{M_0, F_H, F_v\}^T e^{i\omega t} \text{ となり, これに対する応答変位および応答加速度は,}$$

$$\{u\} = \begin{Bmatrix} \Phi_0 e^{i\theta_\varphi} \\ U_0 e^{i\theta_u} \\ V_0 e^{i\theta_v} \end{Bmatrix} e^{i\omega t} \dots\dots(2), \quad \{\ddot{u}\} = -\omega^2 \begin{Bmatrix} \Phi_0 e^{i\theta_\varphi} \\ U_0 e^{i\theta_u} \\ V_0 e^{i\theta_v} \end{Bmatrix} e^{i\omega t} \dots\dots(3)$$

ここに, Φ_0, U_0, V_0 は振幅, $\theta_\varphi, \theta_u, \theta_v$ は位相である。これらを式

(1) に代入して整理すると,

$$[\bar{G}]\{\bar{U}\} = \{\bar{F}\} \dots\dots(4)$$

$$[\bar{G}] = \begin{bmatrix} G_{RR} - \omega^2 J & G_{RH} - \omega^2 m H & G_{RV} \\ G_{HR} - \omega^2 m H & G_{HH} - \omega^2 M & G_{HV} \\ G_{VR} & G_{VH} & G_{VV} - \omega^2 m \end{bmatrix}, \quad \{\bar{U}\} = \begin{bmatrix} \Phi_0 e^{i\theta_\varphi} \\ U_0 e^{i\theta_u} \\ V_0 e^{i\theta_v} \end{bmatrix}, \quad \{\bar{F}\} = \begin{bmatrix} F_H e^{i\theta_H} \\ F_H e^{i\theta_H} \\ 0 \\ F_v e^{i\theta_v} \end{bmatrix}$$

となり, 式(4)より複素剛性 G を求めることができる。

3. 結果および考察

3通りの実験で得られた加速度振幅および位相を振動数との関係で示したのが図-3～図-5である。振動数が大きくなるのに伴って, 振幅, 位相とも増加することがわかる。特に, 水平加振の場合は回転, 並進とも顕著である。なお, 水平加振の上下動, 偏心上下加振の並進および中心上下加振の回転と並進はかなり小さな値であるために図示していない。以上の結果を基に複素剛性を算出し, 回転振動に対する複素剛性 G_{RR} を図-6, 水平動 G_{HH} を図-7, 上下動 G_{VV} を図-8に示した。実数部については 10～13 Hz の低振動数域を除けばいずれの場合も振動数が高くなるのに伴って低下することがわかる。また, 加振力の変化による影響はほとんど認められない。回転, 並進および上下動の実数部の値は測定振動数領域の中で, $1.3 \sim 0.6 \times 10^9 \text{ kgf}\cdot\text{cm/rad}$, $2.0 \sim 0.2 \times 10^5 \text{ kgf/cm}$, $3.5 \sim 2.3 \times 10^5 \text{ kgf/cm}$ である。基礎の根入れを無視し, 地盤を半無限弾性体とするいわゆる理想地盤法²⁾によればね定数を計算すると, 回転ばね定数は $6.8 \times 10^8 \text{ kgf}\cdot\text{cm/rad}$, 水平ばね定数は $3.9 \times 10^4 \text{ kgf/cm}$, 上下ばね定数は $4.6 \times 10^4 \text{ kgf/cm}$ であることから, G_{RR} および G_{HH} については今回測定した複素剛性の実数部の変化範囲内になる。しかし, G_{VV} の実数部は理想地盤法によって計算した値に対して 5～7 倍程度大きな値となっている。虚数部については, G_{HH} の 19 Hz 以上の部分を除けば, 実数部の振動数に対する変化とは全く反対に, 振動数が高くなるとそれともなって増加することがわかる。

4. おわりに

今回の実験は複素剛性と, 基礎周面に作用する土圧との関係づけをねらったものであるが, 土圧計のトラブルで土圧分布を得ることができなかった。今後土圧分布の計測, 更には根入れ深さを变化させた実験を進めたいと考えている。

<参考文献>

- 1) 土岐・小松「井筒基礎の地震荷重解析に関する研究」土木学会論文報告集 No. 281 pp. 29～40 1979
- 2) 山原 浩「環境保全のための防振設計」章国社 pp. 119～128
- 3) 土質工学会編「土質地震工学—土質基礎工学ライブラリー 24」土質工学会 pp. 161～164

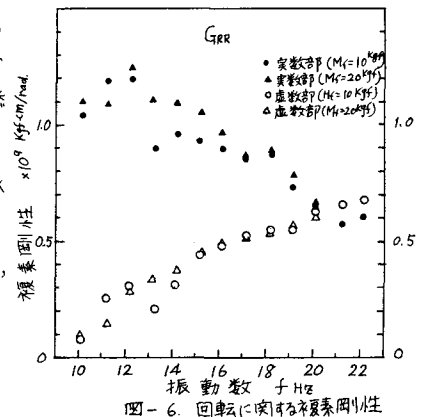


図-6. 回転に関する複素剛性

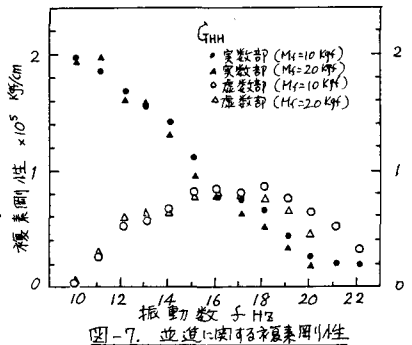


図-7. 並進に関する複素剛性

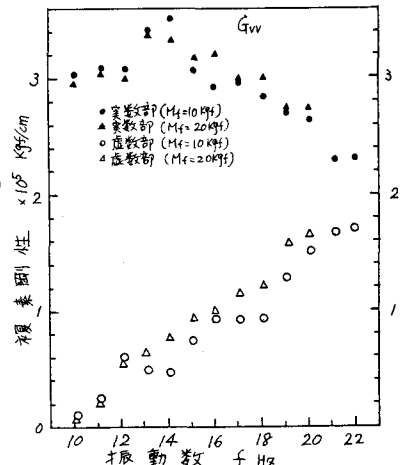


図-8. 上下動に関する複素剛性