

電力中央研究所 正員 ○ 塩見 哲
同上 正員 堤 一

1. まえがき

(文献1) (文献2)

今までに基石などの剛体や高層建築物の転倒を対象とした研究報告は多く発表されているが、地震によりその応答が著しく増幅する構造物およびそれを支える基礎系の転倒については検討されていないようである。本報告は、この種の構造物系の転倒について実験および数値解析を行なったのでその結果を述べたものである。

2. 浮上り振動の運動方程式

図1の数値モデルを考える。この図に示された回転方向を正の方向とする。この系についての浮上り振動方程式は次式となる。ただし、回転角 $\theta \geq 0$ と複号同順。

$$(1) \begin{cases} m_1(\ddot{x} + \ddot{y}) + C_1\{\dot{x} - \dot{x}_0 - \theta(l + r \cos(\alpha - 101))\} \\ + k_1\{x - x_0 - \frac{1}{2} \pm r \sin(\alpha - 101) - l\theta\} = 0 \\ m_0 \ddot{z} \pm (m_0 + m_1)g r \sin(\alpha - 101) + m_0 r \cos(\alpha - 101) \cdot (\ddot{x} + \ddot{y}) \\ + m_1(r \cos(\alpha - 101) + l) \cdot (\ddot{x} + \ddot{y}) \pm H_s \{r \cos(\alpha - 101) - s\} = 0 \end{cases}$$

ここに $r^2 = r^2 + I_g/m_0$

剛板上の浮上り振動を取り扱うため、 $x_0 = \dot{x}_0 = \ddot{x}_0 = 0$ 。
式(1)の数値解を求めるため、最大浮上り角 θ を20度程度として、次の近似式が成立するものとした。

$$(2) \begin{cases} r \cos(\alpha - 101) \approx \frac{c}{2} + \beta_1 \theta \\ r \sin(\alpha - 101) \approx \frac{a}{2} - \beta_2 \theta \\ l + \frac{c}{2} + \beta_1 \theta \approx l + \frac{c}{2} = L_0 \end{cases}$$

ここに β_1, β_2 : 定数

式(2)を式(1)に代入し整理すれば次式が求まる。

$$(3) \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_0 r^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_1 & -C_1 L_0 \\ -C_1 L_0 & C_1 L_0^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 & -k_1(\beta_2 + l) \\ -k_1 L_0 & -(m_0 + m_1)g \beta_2 \pm m_0 g \beta_1 + H_s \beta_1 + k_1 L_0(\beta_2 + l) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -m_1 \ddot{y} \\ \frac{a}{2} (m_0 + m_1)g - \frac{c}{2} m_0 \ddot{y} + H_s(\frac{c}{2} - s) \end{bmatrix}$$

この式(3)を用いて数値解析を行なった。

3. 実験

2.で誘導した理論解では求まらない地盤弾性の浮上り振動に与える影響を調べるため、地盤モデルとして、剛板とスポンジの2種類を採用した。用いた模型が表1と図2に示されている。

4. 結果および考察

- 1) 模型地盤としてスポンジを用いた場合、剛板上の浮上り振動に比べ、上部質点の応答加速度波形は乱れるが、その応答加速度値は小さくなる(図3)。
- 2) 振動台振幅を小さくし、浮上り振動を激しくすればする程 Soft-spring 型の特性を示す。特に、スポンジ地盤

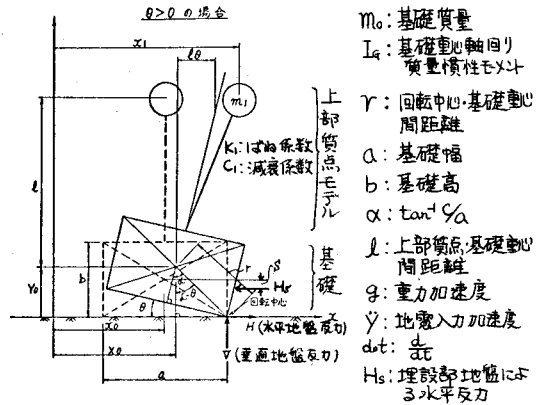


図1 浮上り振動の数値モデル

m_0 : 基礎質量
 I_g : 基礎重心軸回り質量慣性モーメント
 r : 回転中心-基礎重心間距離
 a : 基礎幅
 b : 基礎高
 α : $\tan^{-1} \frac{a}{b}$
 l : 上部質点-基礎重心間距離
 g : 重力加速度
 \ddot{y} : 地震入力加速度
 $\frac{d}{dt}$: 微分
 H_s : 埋設部地盤による水平反力

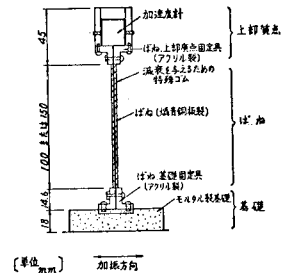


図2 実験使用模型

	モデルNo.1	モデルNo.2
初期振幅係数	3.72	3.85
振幅係数(%)	3.88	3.85
減衰定数	3.08	2.87
(%)	3.13	2.30
上部質点質量(g)	58.4	54.5
ばね長さ(cm)	10.0	15.0
上部質点重心-基礎重心間距離(cm)	15.0	20.0
上部質点重心-基礎重心間距離(cm)	14.3	19.3
基礎寸法(cm)	幅 1.5 × 19.3 × 1.8	高さ
基礎質量(g)	467	

表1 実験使用模型諸元

の場合に著しい(図4)。

3) 2.で誘導した理論解と実験値とを比較したところ良好な一致が認められた(図5)

4) 浮上り振動を始めるとすぐ定常振動になり、あたかも減衰定数が増加したかのような振動特性を示すことが実験と数値解析の両者から認められた(図5)

5) 上部質点の応答加速度波形に認められる乱れは、浮上った基礎が地盤に衝突する時に発生することが数値解析よりわかった。すなわち、上部質点の応答加速度の小さくなる時にこの乱れが生じるため、この乱れが上部

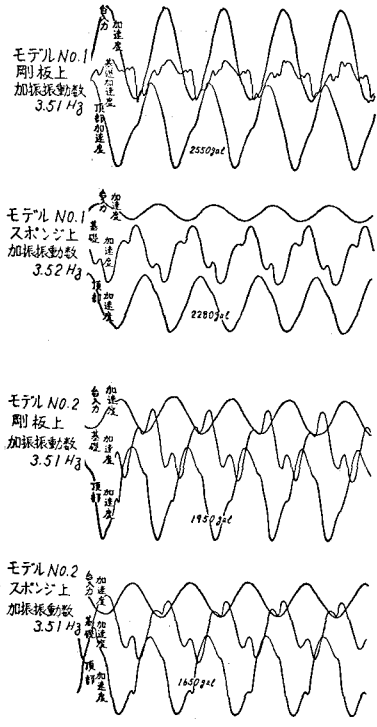


図3 応答加速度波形(実験値)

6) 本解析法を用いて上部構造物(自重12.3ton, 高さ5.47m, 固有振動数3.4Hz, 減衰定数5%) およびそれを支える基礎(幅×奥行×高さ=6m×11.8m×1.26m, 自重198ton)系の振動を検討した。地震入力として斜めに500galのEL CENTRO地震波形(1940年NS成分)を用いた。その結果、震度法的な慣用法で転倒を検討すると安全率は0.5となり転倒する」という結果が得られたが、実際に発生した浮上り角は、1.3度であった。また、上部質点の応答値は、浮上ったことにより小さくなることから、転倒に対する従来の検討法には合理化の余地が十分あるものと思われる。

5. あとがき

本数値解析には、地盤弾性や地震動の上下動成分についての考慮がなされていらないため、今後とも改良を加えていく所存である。

6. 参考文献

文献1: たとえ 池原: 面状体の転倒に關する考察, 震研 実報 24, 1946, pp. 11~18
 文献2: たとえ 武藤 清: 耐震設計シリーズ4. 構造物の動的解析, 丸善株式会社, pp. 186~205

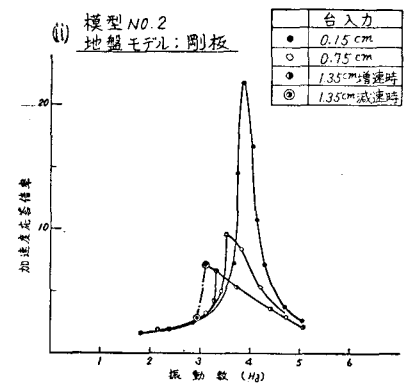
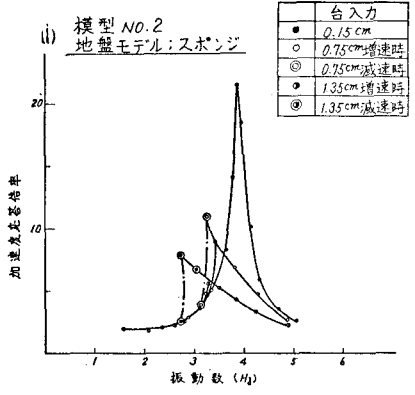


図4 共振曲線(実験値)

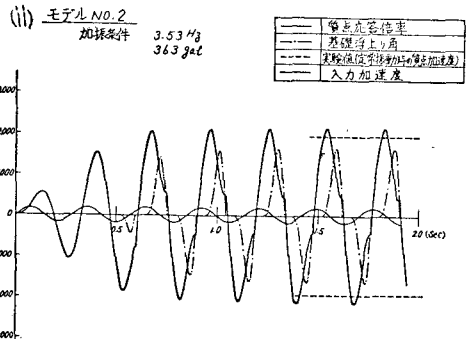
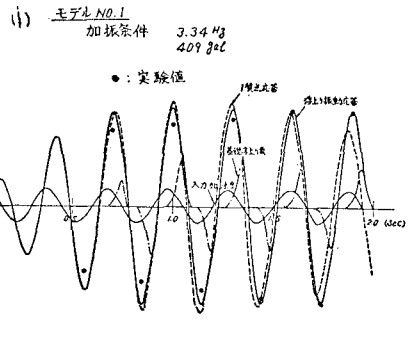


図5 数値解析値と実験値との比較