

専修大道短大 正 員 金 子 孝 吉
 専修大道短大 正 員 三 上 敬 二
 北大工学部 正 員 渡 辺 昇

1. まえがき

大地震による構造物の崩壊は基礎部の移動・沈下・傾斜ならびに支承部と上部構造との相互の衝突などが多くの事例として報告されている。これらの被害を防ぐためには、重要な構造物であればあるほどその基礎部の三次元解析に裏付けされた耐震設計法が必要になってくると思われる。

わが国では一般に、水平2方向の地震力を独立に構造物に作用させて設計計算を行っているが、強震計の記録方向が最大の地震動を示すとはかぎらないことから入力地震波の振幅の割増を考慮して扱われることがある。それは構造物の応答においても同様に多成分の応答の振幅増加を考慮しなければならないことになる。以上のことを踏まえて本研究は、剛な円柱基礎を例に三成分地震波同時入力による三次元地震応答解析の理論のもとで多自由度系の耐震設計震度について考察するものである。

2. 多自由度系剛基礎モデルの設計震度

地盤上に築造されている実際の構造物の振動は橋脚のように剛な構造物であればその振動性状は地盤振動によって決まってしまう。地盤は上下に対しても水平に対しても抵抗するから、地盤の性状を等価的に表すバネ群を示すことができる。地盤に支持された円柱基礎をここでは図-1に示すように水平 x 、 y の2成分と鉛直 z の1成分にバネ支持されたロッキング振動モデルで扱うことにする。

直交座標の各軸方向3成分(x 、 y 、 z)の入力に対してそれぞれの方向とその軸回りの回転成分(θ 、 ϕ 、 ψ)を考慮した6成分の応答が示されており、その下に加速度量が示されている。

さて、設計震度は従来1自由度系構造物に対する入力加速度 z と応答加速度 u をそれぞれ重力の加速度 g で除したもので、 k_1 、 k_2 で表すと地盤はバネ的な特性を持っているから、基礎は地盤と同じ動きをすることはなく、加速度は β_0 倍され $k_2 = \beta_0 k_1$ の関係にある。この加速度応答倍率は基礎と地盤の固有周期により変化するが、共振状態ほど大きくなる。この設計震度の考え方を三次元的に6自由度の成分を考慮して適用してみることにする。

いま、構造物を円柱剛基礎(質量 m 、半径 R 、高さ H)とし、特に x 、 y 、 z 3方向並進運動と x 、 y 軸回りの回転運動すなわち y 、 x 方向への転倒を考慮したロッキング振動を主体に検討する。図-1中の3方向入力加速度および6成分の応答加速度による基礎の転倒モーメントを考慮することによって得られる設計震度(K_1 :3成分入力、 K_2 :6成分応答)は、

$$K_1 = \left| \left(\sqrt{\ddot{z}_x^2 + \ddot{z}_y^2} + r \ddot{z}_z \right) / g \right| \quad \text{--- (1)}$$

$$K_2 = \left| \left\{ (\ddot{u}_x + \alpha \phi \ddot{u}_\phi)^2 + (\ddot{u}_y + \alpha_0 \ddot{u}_\theta)^2 + r \ddot{u}_z \right\} / g \right| \quad \text{--- (2)}$$

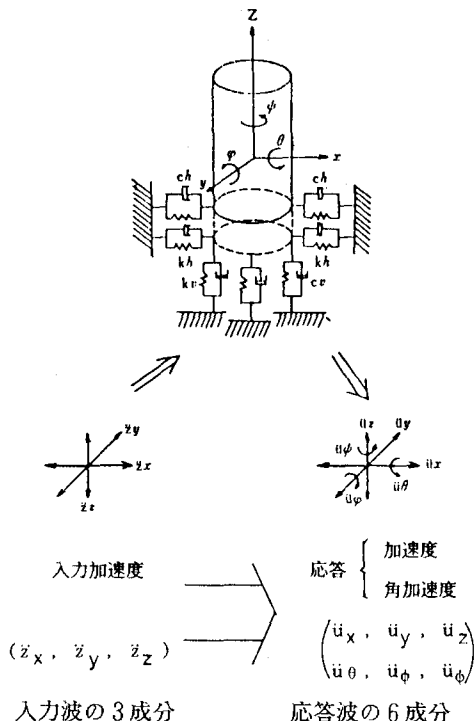


図-1 円柱剛基礎の三次元解析モデル

のように表すことができる。ただし、 $r=D/H$ 、 $D=2R$ ：直径、 $\alpha_\theta=2I_x/mH$ 、 $\alpha_\phi=2I_y/mH$ 、 I_x ：慣性モーメントである。

したがって、このときの加速度応答倍率 β は、

$$\beta = \frac{\sqrt{(\ddot{u}_x + \alpha_\phi \ddot{u}_\phi)^2 + (\ddot{u}_y + \alpha_\theta \ddot{u}_\theta)^2 + r \ddot{u}_z}}{\sqrt{\ddot{z}_x^2 + \ddot{z}_y^2 + r \ddot{z}_z}} \quad (3)$$

で表される。

3. 円柱剛基礎の振動解析および設計震度の比較

ここではまず次の条件のもとに円柱基礎の構造特性を調べてみる。(1)コンクリート製基礎を想定して単位体積重量を $w=2.35 \times 10^3$ [kg/cm³]とする。(2)各応答成分が独立なバネ特性を有する1自由度系および連成バネ特性を有する6自由度系について解析する。(3)基礎の体積を一定にし、直径Dと高さHの比 r を0.1~0.5の範囲で変化させる。(4)鉛直地盤反力係数 k_v を1~500 [kg/cm³]の範囲で変化させる。(5)地盤反力係数はx、y、z方向で異なる $k_{hy}=1.1k_{hx}=1.1k_v$ /3を用いる。

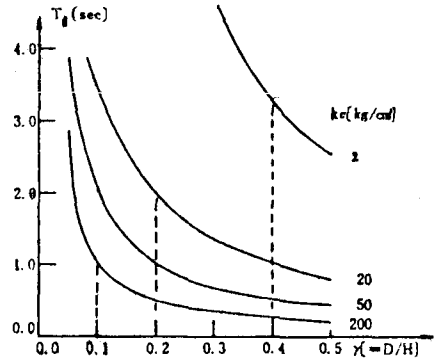


図-2 x軸回りの転倒成分の固有周期

それらの結果を整理すると、(1)回転運動(転倒成分)の方が並進運動よりも長周期になる。(2)例えば、図-2は転倒成分 θ の周期が r によって変化する様子を示したものであるが、 r が小さいほど細長い基礎になり、長周期になる傾向がある。そして地盤係数が小さいほど長周期になっている。(3)応答振幅は構造諸元の与えかたによって異なるが、最大加速度応答振幅は並進成分か回転成分のどちらかで決まる。

(4)例えば、表-1は3成分正弦波入力(水平100gal、鉛直50gal)による設計震度を示したもので、1自由度系の入力、応答の震度 k_1 、 k_2 と6自由度系の場合の震度 K_1 、 K_2 および加速度応答倍率 β_0 、 β を示した一例である。表からわかることは6自由度系による震度がいずれも1自由度系での震度より大きな値を示している。入力に関する震度および応答に関する震度ともに増加している。また基礎の形状の変化に対してもかなり差があることがわかる。倍率では $r=0.2 \sim 0.3$ ぐらいで変化している。このことは図-1に示した点線部の位置とも関係がある。この結果は地盤係数が $k_v=10$ kg/cm³の場合であったが、 k_v の変化によって震度の値は異なるものの傾向は変わらないことがわかった。

表-1 設計震度および応答倍率

($P_x:P_y:P_z=100:100:50$ gal)

r	k_1	K_1	k_2	K_2	β_0	β
0.1	0.107	0.149	0.552	1.35	5.16	9.04
0.2	0.107	0.155	0.553	1.12	5.17	7.22
0.3	0.107	0.160	0.555	1.04	5.19	6.53
0.4	0.107	0.165	0.558	1.22	5.21	7.37
0.5	0.107	0.170	0.563	1.38	5.26	8.10

4. あとがき

三次元6自由度系の耐震設計震度を震度法の考え方に合わせて誘導し、円柱剛基礎を例に震度と加速度応答倍率を求めてみた。その結果、設計条件の如何によっては耐震設計震度の割増を考慮しなければならないという結論を得た。

参考文献

- 金子孝吉、渡辺 昇：三成分地震波入力による剛体の三次元応答に関する研究、土木学会論文報告集、第331号、pp1-11、1983。
- 川島一彦、相沢 興、高橋和之：最大地震動および応答スペクトルの推定式に及ぼす強震記録の水平2成分合成の影響、土木学会論文報告集、第329号、pp49-56、1983。