

I-846 基礎の滑動振動のシミュレーション解析

建設省土木研究所 正会員 大塚 久哲
同 上 正会員 運上 茂樹

1. まえがき 現在、直接基礎の耐震設計では、震度法により設計水平震度を作用させて、基礎の転倒・滑動・支持力等に対する照査を満足するように基礎寸法を定めている。このうち、滑動については、基礎底面におけるせん断地盤反力が、底面地盤の許容せん断抵抗力を超えないという条件により照査が行われる。しかし、大規模地震時には、基礎底面におけるせん断力が地盤のせん断抵抗力を超え、基礎にすべり変位が生じることも予想される。本文は、大規模地震時における直接基礎の滑動に対する安定照査条件の検討を目的とし、基礎～地盤系の非線形地震応答解析法を提案するとともに、基礎の滑動振動特性に着目して行った模型実験結果のシミュレーション解析を行い、解析手法の妥当性を検討したものである。

2. 基礎の滑動振動解析法 解析では、基礎を水平、鉛直、回転変位の3自由度を有する剛体としてモデル化し、これに上部構造や橋脚を2次元線形骨組構造モデルとして考慮することが可能な剛体基礎の滑動・転倒解析手法を用いた^{1) 2)}。剛体基礎は、図-1に示すように、底面及び側面において、それぞれ、法線方向の抵抗ばね及びこれに直交する方向のせん断ばねによりモデル化された地盤によって支持されると考える(ばねのモデル化は図-2、3を参照)。この基礎～地盤系に地震動加速度が作用する場合の運動方程式は1節点3自由度の連立方程式で表すことができる。回転振動に伴って生じる基礎底面と地盤との衝突による速度低下を考慮するために地盤ばねに付与する減衰係数 C^B として、 $C^B = 2h\sqrt{(m_{Yn} \cdot K_Y^B)}$ を仮定した。ここで、 m_{Yn} は剛体基礎の質量の鉛直成分、 K_Y^B は底面の法線方向の抵抗ばねの1次剛性である。

3. 基礎模型の滑動振動実験 解析対象は、コンクリートモルタル製の基礎模型を用いた振動台実験^{3) ~5)}とした。図-4は、実験の概要図を示したものである。摩擦係数を調整するためのテフロン板(厚さ1cm)または塩化ビニル板(厚さ1cm)を取り付けた厚さ3cmの耐水性合板を振動台上に固定し、この上にコンクリートモルタル製の基礎模型を載せた。基礎模型としては、幅及び高さが約30cm、重量90kgf程度の円柱体及び直方体の2種類とし、その諸元、基礎模型と地盤模型間の摩擦係数、反発計数を表-1に示す。加振実験では、正弦波及び地震波を入力した。地震波入力では、必要な加速度値を得るために時間軸を1/2にした。

4. 振動実験結果のシミュレーション解析の比較 ここでは、円柱体模型をテフロン板上に設置した場合の解析例を示す。模型底面に設置した分布ばねは10個とした。分布ばねの分割数については、基礎底面に剥離を伴うロッキング振動が生じる場合でも10程度以上に分割すれば分割数の影響を大きく受けないことを確認している。なお、数値積分時間間隔は $1/1,000$ 秒とした。

1) テフロン板上の円柱体模型の正弦波加振の場合について、模型にすべりが生じると応答加速度は摩擦係数に相当する加速度で平坦化され、それ以上の応答加速度が生じないという実験結果を解析で表わすことができた。正弦波加振終了後の残留変位については、解析値と実験値はよく一致しなかった。ただし、これは振動台や合板のわずかな傾斜、テフロン板の摩擦係数の平面的なばらつきなどが残留変位に影響するために生じる誤差と考えられる。模型の滑動振幅については、解析結果は実験結果をよい精度で推定することができた。(図-5)

2) 開北橋記録(I種地盤)と板島橋記録(II種地盤)を入力した地震波加振では大きなすべり変位が数回だけ生じ、解析でもこれをよく表すことができた(図-6)。加振後の残留変位は、開北橋記録を入力した場合には実験で0.48cm、解析では0.34cmである。一方、板島橋記録を入力した場合には実験では0.53cm、解析では0.41cmであり、よい精度で追跡できている。III種地盤上の津軽大橋記録を入力した地震波加振では、すべりの回数が多い。すべりが生じる時刻は解析結果と実験結果はよく一致したが、1回1回のすべり量の差異が累積されるため、最終的な残留変位の解析値は実験値の約半分と小さい(表-2)。

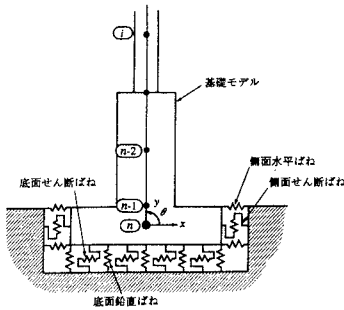


図-1 基礎の滑動振動解析モデル

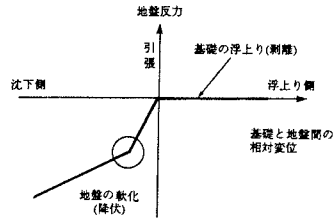


図-2 基礎底面及び側面における法線方向地盤ばねのモデル化

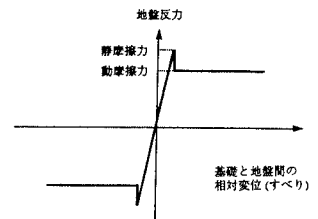


図-3 基礎底面及び側面におけるせん断ばねのモデル化

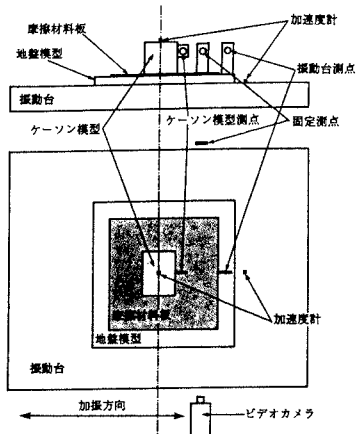


図-4 実験概要図

表-1 基礎模型の寸法諸元

模型形状	円柱体模型	立方体模型
高さ(cm)	30	30
直径(cm)	41.5	-
加振方向幅(cm)	-	30
加振直角方法幅(cm)	-	45
接地面積(cm ²)	1,352	1,350
重量(kgf)	86.5	87.0
静止摩擦係数	0.24	0.24
動摩擦係数	0.49	0.57
摩擦係数	0.20	0.20
反発係数	0.40	0.40
反発係数	0.38	-
反発係数	0.63	-

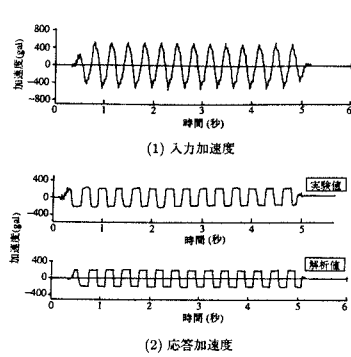


図-5 正弦波加振実験とそのシミュレーション解析
(制御加速度振幅 400gal、加振振動数 3Hz)

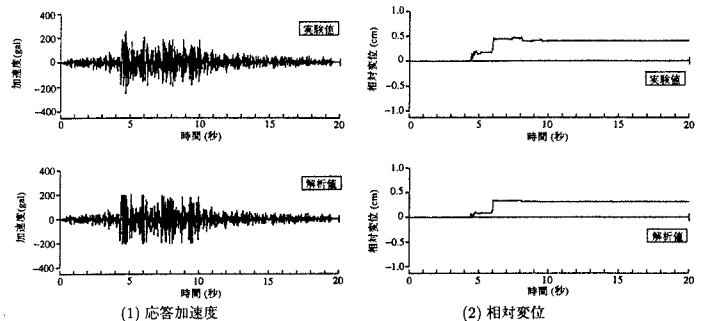


図-6 地震波加振実験とそのシミュレーション解析（開北橋記録、最大加速度 500gal）

表-2 地震波加振実験結果と解析結果の最大応答値の比較

加速度波形	振動台の最大加速度 (cm/s ²)	模型の最大加速度 (cm/s ²)		模型の最大相対変位 (cm)		加振後の残留変位 (cm)	
		実験値	解析値	実験値	解析値	実験値	解析値
開北橋記録	521	257	203	0.48	0.34	0.40	0.31
板島橋記録	513	240	203	-0.53	-0.41	-0.50	-0.40
津軽大橋記録	513	207	204	3.01	1.35	2.90	1.19

参考文献

- 1)川島、運上：基礎地盤の変形と軟化を考慮した剛体基礎の動的な転倒解析法、土木技術資料、Vol.33、No.3、1991.3
- 2)川島、運上、向：地震時の直接基礎の回転振動特性、土木技術資料、Vol.36、No.7、1994.7
- 3)大塚、細川：地震時におけるケーソン基礎の滑動現象に着目した振動台模型実験、土木研究所資料、第3300号、1994.8
- 4)細川、大塚：地震時におけるケーソン基礎の滑動現象に着目した振動台模型実験、Ⅱ、関東支部1994.3及び年次講1994.9
- 5)大塚、運上、向：基礎の滑動振動のシミュレーション解析、土木技術資料、Vol.37、No.3、1995.3