

(115) 弾性床上の剛体基礎モデルによる大型基礎の地震時転倒解析

建設省土木研究所 正員 川島一彦  
 建設省土木研究所 正員 運上茂樹  
 ○ 建設省土木研究所 正員 吾田洋一

1. まえがき

剛体基礎の転倒に関する照査は、静的地震力と重力の合力ベクトルが基礎底面のミドルサードに入るか否かにより行われている。しかしながら、地震力のように正負交番で作用する荷重作用を考慮すると、このような転倒照査はきわめて安全側の結果を与える場合があると考えられる。このため著者らは弾性床上の剛体の転倒解析を実施してきているが、その際、基礎底面のばね定数の分布形状の設定が重要となる。本文は、弾性床上の剛体の転倒解析において、基礎底面のばね定数の分布が、剛体のロッキング応答に及ぼす影響を簡単な試算により検討した結果を示すものである。

2. 解析手法

弾性床上の剛体基礎のロッキング振動を解析するために、基礎を図-1に示すようにモデル化した。この解析では、基礎の根入も考えているが、ここでは、基礎は弾性床上に置かれ、根入はないものとした。基礎底面のばねは図-2に示すように、圧縮に対しては線形、引張に対しては0の剛性を有すると仮定した。また、基礎底面と地盤間の衝突に伴う減衰効果を見込むため、動的解析では、両者間の相対速度に比例する粘性減衰力を見込んだ。いま、基礎底面下のばね作用をN個の離散化したばねによって表すものとし、第i番目のばねを考えると、粘性減衰係数 $C_{\beta i}$ は次のようになる。

$$C_{\beta i} = 2h\sqrt{MK_{\beta i}} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 $h$ ：減衰定数、 $M$ ：基礎の質量、 $K_{\beta i}$ ：i点における鉛直ばね定数（圧縮力を受けた場合のみ）、である。減衰定数 $h$ は、反発係数 $e$ から次式により求めた。

$$h = \ln e / \sqrt{(\ln e)^2 + \pi^2} \dots \dots \dots (2)$$

したがって、基礎底面の上下方向の地盤反力 $f_{\beta i}$ は次式で与えられる。

$$f_{\beta i} = \begin{cases} 0 & (y_i > y_{i0}) \\ K_{\beta i} Y_i + C_{\beta i} \dot{Y}_i & (y_i < y_{i0}) \end{cases} \dots \dots (3)$$

ここで、 $y_i$ はi点における基礎の上下方向変位、 $y_{i0}$ は基礎の自重による初期弾性沈下量である。

また、基礎底面におけるすべりを表すために、基礎底面の地盤ばねを図-3に示すようなバイリニア形で表し、次式により、基礎底面方向の復元力を与えた。

$$f_{xi} = \begin{cases} -|\mu f_{\beta i}| & \text{---} & -|\mu f_{\beta i}| > K_{xi} X_i \\ K_{xi} X_i & \text{---} & -|\mu f_{\beta i}| > K_{xi} X_i > |\mu f_{\beta i}| \\ |\mu f_{\beta i}| & \text{---} & K_{xi} X_i > |\mu f_{\beta i}| \end{cases} \dots \dots (4)$$

ここで、 $K_{xi}$ ：i点における水平ばね定数、 $x_i$ ：i点の水平変位、 $\mu$ ：摩擦係数、である。

式(3)、式(4)による基礎底面の作用力のもとに、基礎のロッキングをジャンプ、スリップを含めて時刻歴で解析した。

### 3. 解析ケース

解析対象としたのは、高さ82m、幅45m、奥行45m、重量43.6万tfの大型剛体基礎である。入力地震動は開北橋記録(最大加速度を600galに調整)とした。基礎底面下の鉛直方向の地盤バネ定数は、基礎底面下のトータルの値を一定に保ち、その分布は、図-4に示すように、剛体基礎反力分布、均等分布、放物線分布の3種類とした。また、鉛直方向の地盤ばね定数の大きさは、地盤反力係数(k値)に換算して、 $k = 5\text{kg/cm}^3$ 、 $50\text{kg/cm}^3$ 、 $500\text{kg/cm}^3$ の3種類とした。剛体基礎と地盤間の反発係数は $e = 0.5$ を基本としたが、 $k = 500\text{kg/cm}^3$ の場合については、 $e = 0$ 、 $1$ の場合も行った。

### 4. 解析結果

図-5は、基礎のロッキングに伴う基礎端部位置の上下方向の応答が、地盤ばね定数の分布及びその大きさによりどのように変化するかを示したものである。これによれば、当然ながらk値が大きくなるにつれて、基礎のロッキング振動に含まれる卓越振動数は高くなり、また、初期弾性沈下量が小さくなるため、基礎の浮き上がりが生じることになる。例えば、 $k = 500\text{kg/cm}^3$ の場合には、浮き上がり量は $0.86\text{cm}$ (剛体基礎分布)～ $1.12\text{cm}$ (均等分布)～ $1.19\text{cm}$ (放物線分布)となる。この値は、基礎の高さ82mの $(0.10 \sim 1.45) \times 10^{-4}$ に相当する。応答波形は、ばね定数の分布により異なるが、図-4のように極端に大きな違いを仮定したことを考えれば、実用的には、ばね定数の分布による応答の違いはないと言ってもよい。同様に、図-6は重心点の回転応答を示したものである。 $k = 500\text{kg/cm}^3$ の場合には、剛体基礎分布→均等分布→放物線分布の順に、回転応答のピーク値は大きくなっている。これは、基礎の端部のばねが小さいほど、ロッキング振動しやすいことを示している。ただし、 $k = 5 \sim 50\text{kg/cm}^3$ と小さい場合には、このような特性は顕著に現われていない。なお、回転応答のオーダーを $k = 500\text{kg/cm}^3$ で放物線分布の場合を例に取って示すと、回転による水平変位は $82\text{m} \times 0.00398$ ラジアン $= 3.3\text{cm}$ となる。

次に、図-7は重心点での上下方向変位および浮き上がり量(初期弾性沈下位置からの浮き上がり)のピークに着目して、これが地盤反力係数k値及び反力係数eにより、どのように変化するかを示したものである。これによれば、上述したように、ばね定数の分布の違いは、これが極めて大きい場合の浮き上がり量を除けば、極端な分布形を仮定したにもかかわらず、基礎の応答に著しい差を与えないと言ってよい。一方、当然ながら反発係数が大きくなると応答も大きくなり、 $e = 0$ と $e = 1$ の場合を比較すると、両者の違いは非常に大きい。しかし、基礎と地盤間の反発係数の正確な推定は難しいにしても、ある幅の中で捉えることは可能であることを考えれば、反発係数の影響も、実務的には、それほど問題にはならないと考えても良いであろう。

### 5. 結論

極めて限られた試算ではあるが、本検討から得られた結論は以下の通りである。

- 1) 基礎底面のばね定数の分布を図-4のように極端に変化させても、基礎の回転運動に与える影響は顕著ではない。
- 2) 反発係数eの影響は、 $e = 0$ と $e = 1$ の間では極めて大きい。しかし、常識的な反発係数の値を仮定すれば、その値を中心として存在するであろう変動により、基礎の回転運動に与える影響は顕著ではない。

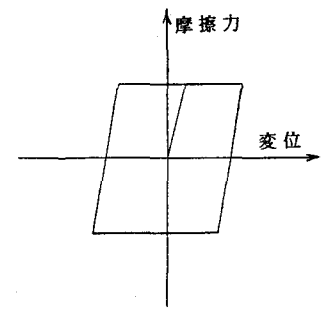
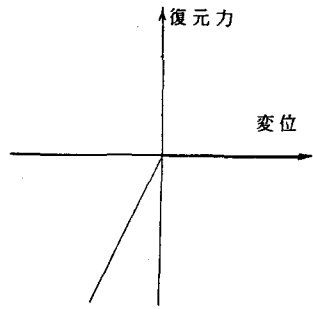
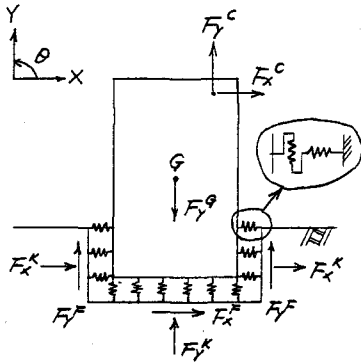
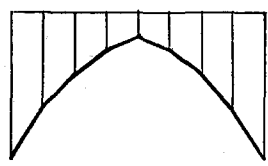


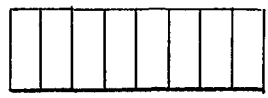
図-1 弾性床上的剛体モデル

図-2 底面地盤反力

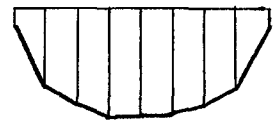
図-3 底面摩擦力のモデル化  
のモデル化



a) 剛体基礎分布

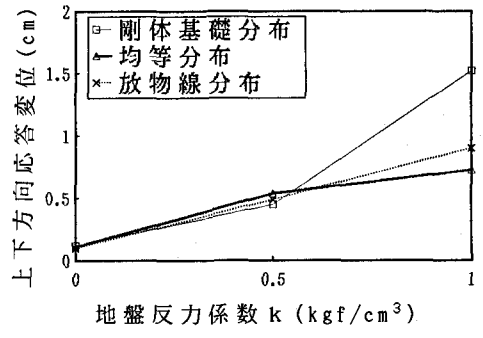


b) 均等分布



c) 放物線分布

図-4 基礎底面の地盤ばね定数の分布



a) 重心点における上下方向のピーク応答変位

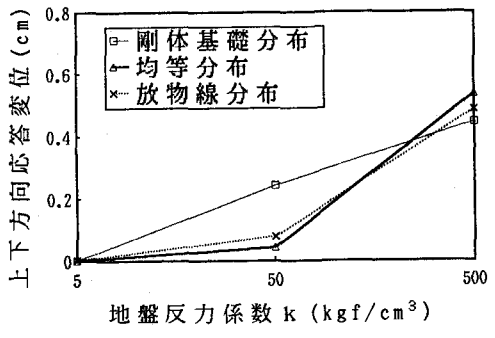
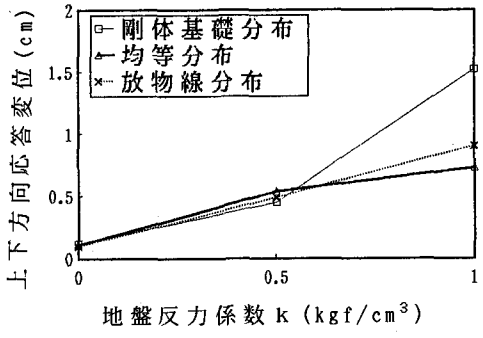
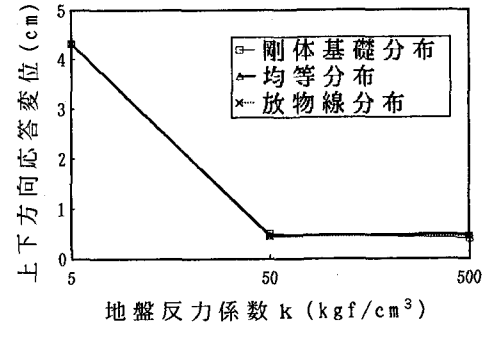


図-7 最大応答の及ぼす地盤ばね及び反発係数の影響

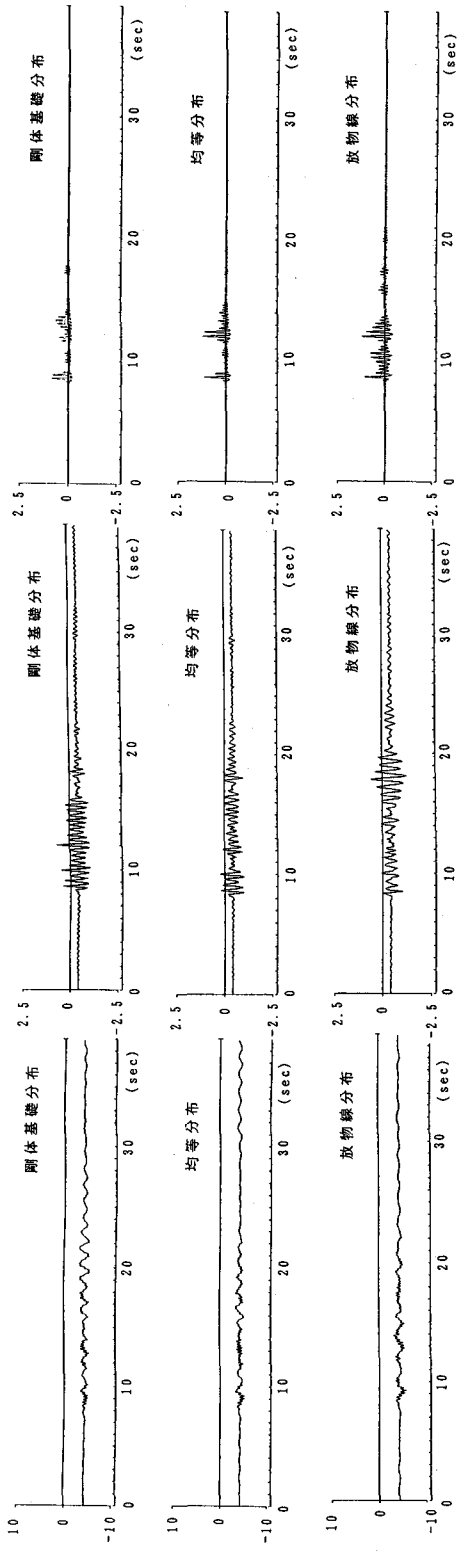


図-5 基礎端部に置ける上下方向の応答変位 (CM)

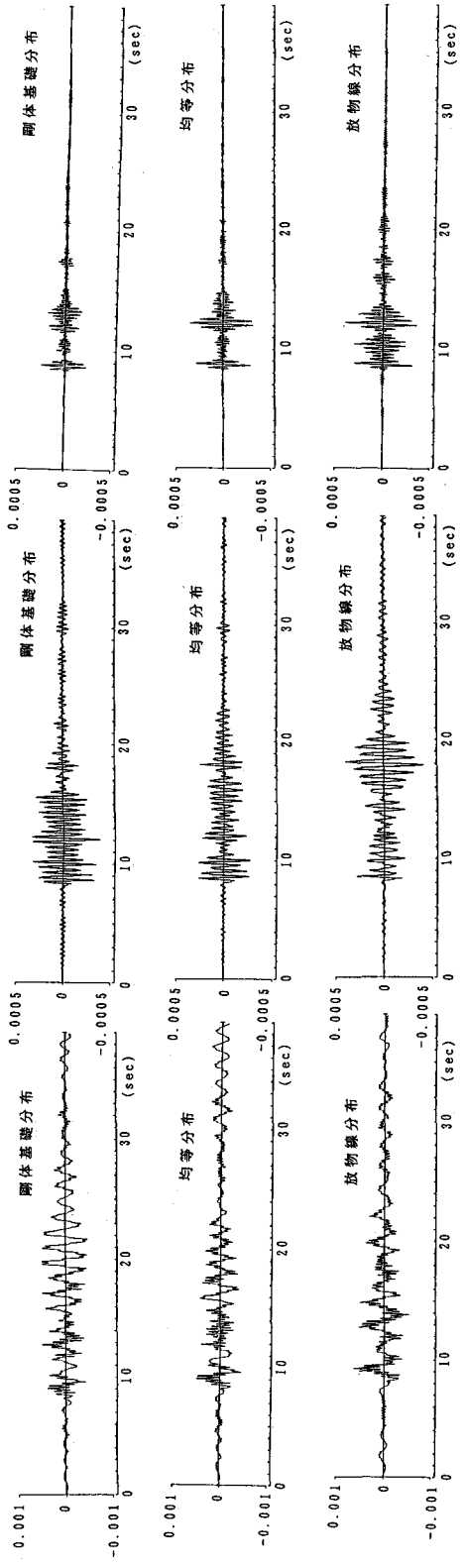


図-6 重心点における回転応答 (ラジアン)