

強震時における構造物基礎の滑動と転倒

京都大学防災研究所 正員 土岐 憲三  
 京都大学防災研究所 正員 三浦 房紀  
 京都大学大学院 ○学生員 吉村 隆

1. まえがき: 強震時においては構造物の滑動や転倒に対する危険性が考えられるが、従来の地盤-構造物系の地震応答解析では、地盤と構造物の間の接触面は固着状態にあるものと仮定しており、強震時の挙動を表現するのに十分でない。そこで、ジョイント要素<sup>1)</sup>を用いて地盤と構造物の間のはく離と滑動を考慮した解析を行ない、構造物の重心高、根入れの有無、入力特性の影響などについて検討した。

2. 安全率の定義: 滑動に対する静的な安全率(S.S.F)は、降伏せん断応力 $\tau$ とせん断応力 $T$ の比 $\tau/T$ で定義する(図-1参照)。すなわち、

$$S.S.F. = \tau/T = \{C_0 + \frac{W}{A} \tan \phi_0\} / \frac{W \alpha}{g L}$$

ここに、 $C_0, \phi_0$ はジョイント要素の粘着力と摩擦角、 $g$ は重力加速度である。動的な安全率は各ジョイント要素について $\tau/T$ の時刻歴を求め、

各時刻における $\tau/T$ の最大値を連ねることにより、 $T$ で表される曲線のうち最小値をもつTotal Safety Factor (T.S.F.)と定義し、逆に $\tau/T$ の最小値を連ねた曲線の最小値をLocal Safety Factor (L.S.F.)と定義する(図-2参照)<sup>2)</sup>。

転倒に対する安全率は、転倒モーメント $M$ から偏心距離 $e$ を求め、 $L/3e$ で定義する。すなわち、

$$S.S.F. = L/3e = L/3R \phi$$

動的な場合は、ジョイント要素の垂直応力により生じるモーメントが最大となる時刻におけるモーメント $M$ を用いて偏心距離 $e$ を求める。ここに $L$ は敷幅である。

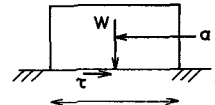


図-1 静的な場合の滑動に対する安全率の算定方法

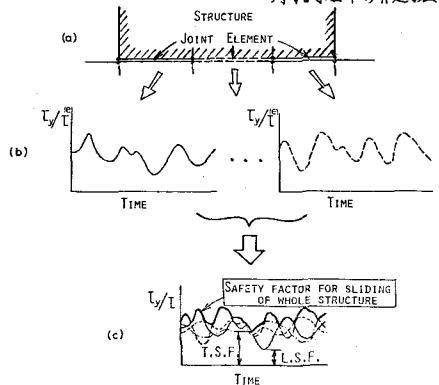


図-2 動的な場合の滑動に対する安全率の算定方法

表-1. モデルの材料定数

|         |        | 単位体積重量<br>$\gamma$ (kg/cm <sup>3</sup> )  | せん断波速度<br>$V_s$ (%) | ポアソン比<br>$\nu$ | 粘着力<br>$C$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | 内部摩擦角<br>$\phi$ (deg) |
|---------|--------|---|---------------------|----------------|----------------------------------|-----------------------|
| 地盤      |        | 1.8   | 400                 | 0.4            | 10                               |                       |
| 構造物     | CASE 1 | 2.4   | 1600                | 0.17           | -                                | -                     |
|         | CASE 2 | 0.3   |                     |                |                                  |                       |
|         | CASE 3 | 0.3   |                     |                |                                  |                       |
|         | CASE 4 | 2.4   |                     |                |                                  |                       |
| ジョイント要素 |        | せん断ばね係数 $K_s = 300000 \text{ ton/cm}^2$<br>垂直ばね係数 $K_n = 300000 \text{ ton/cm}^2$ |                     |                | 2                                | 25                    |

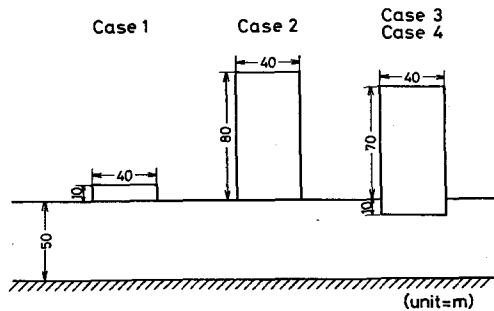


図-3 モデル図

Kenzō TOKI, Fusanori MIURA, Takashi YOSHIMURA

3. 解析モデル: 図-3, 表-1に本研究で用いた解析モデルおよび材料定数を示す。Case 1, 2は地表面上に構造物が設置されている場合であり、Case 3, 4は構造物が地盤に10m根入れされている場合である。Case 1, 2, 3のモデルは全重量が等しく、Case 4のモデルはCase 1と同じ単位体積重量としている。全てのモデルについて、構造物と地盤の接触面にはジョイント要素を配置している。また応答解析に際しての正弦波入力には問題を簡単にするため、すべて基盤から水平加速度のみが入力するものとし、振幅はジョイント要素を用いていない線形モデルの構造物重心における応答加速度が245galになるように定めている。

4. 数値解析結果: Case 1と2の滑動に対する安全率を図-4に示す。T.S.F.については両者の間でかなり様相が異なっているが、これはCase 1では振動数が高いときに動揺運動が卓越するためと考えられる。また、この図より一般にT.S.F. > S.S.F. > L.S.F.の関係のあることがわかる。図-5は振動数を5Hzに固定して、線形モデルの構造物の重心の応答加速度が150~500galとなるよう入力振幅を変えて応答解析を行ったものである。S.S.F.は定義により、加速度振幅の増加に伴って双曲線的に低下する。これに対してT.S.F.は入力加速度強度との間に必ずしも一定の関係があるわけではなく、たとえばある入力加速度下では安全率が2であっても、この系が必ずしも2倍の加速度入力に対しても安全性を保持するとは限らない点に注目しなければならない。

転倒に対する安全率を図-6, 7に示す。Case 2では動揺運動の卓越する場合を想定してあるので転倒に対する危険性は高く、2~3Hzのときに最も安全率が低くなっている。これは地盤のせん断振動と構造物の動揺運動が互いに逆位相になる2.06Hzの2次のモードが卓越するためであると考えられる。図-7よりCase 2に比べCase 3, 4は安全率が高く、これは根入れの効果があるためと考えられる。また単位体積重量の大きいCase 4の方がCase 3よりも安全率は高いものとなっている。

参考文献 1) Goodman, R.E.; Method of Geological Engineering in Discontinuous Rocks, West Publishing Company, Ch. 8, 1976 pp. 300 ~ 368

2) 土岐 三 佐藤 忠信 三羽 房紀: 強震時における地盤と構造物の間の剝離と滑動, 土木学会論文報告集 第302号, 1980年10月, pp 31 ~ 41

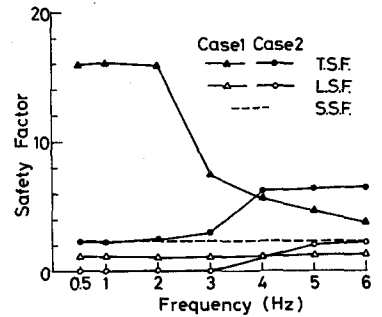


図-4 滑動に対する安全率 (Case 1, 2)

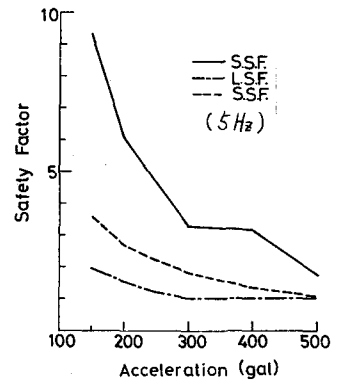


図-5 入力振幅による安全率の変化

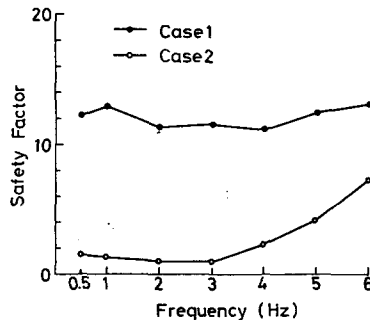


図-6 転倒に対する安全率 (Case 1, 2)

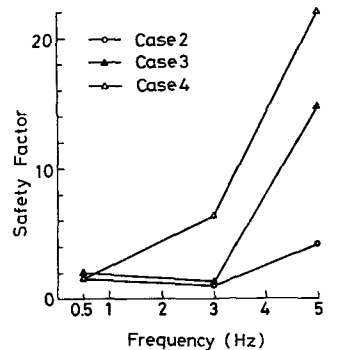


図-7 転倒に対する安全率 (Case 2, 3, 4)