

I-34 基礎との相互作用が単柱式 RC 橋脚の所要降伏強度に及ぼす影響について

オリエンタルコンサルタンツ 正員 関 龍之介
徳島大学工学部 フェロー 平尾 潔
徳島大学大学院 正員 成行 義文

1. はじめに 本研究では基礎との相互作用が杭基礎を有する単柱式 RC 橋脚の所要降伏強度に及ぼす影響について比較検討した。また、平成 8 年の道路橋示方書に基づいて設計した橋脚の降伏強度と所要降伏強度を比較することにより、その安全性についても若干の比較検討を行った。

2. 解析モデル 本研究では、杭基礎を有する RC 橋脚（図-1）の相互作用を表す解析モデルとして、基礎を Sway 及び Rocking バネに置換した 2 質点 3 自由度系モデル（図-2）を用いた。また、このモデルの復元力特性としては、RC 橋脚を Q-hyst モデル、基礎の Sway 及び Rocking バネを Hardin-Drnebich モデルで近似した。なお図-2 の等価質量 m_1 は $m_1 = m_u + m_p/2$ ； m_2 は $m_2 = m_f + m_p/2$ であり； I_θ はフーチングの回転慣性； k_1 、 k_2 及び k_θ は橋脚躯体、Sway バネ及び Rocking バネの剛性； c_1 、 c_2 及び c_θ は橋脚躯体、Sway バネ及び Rocking バネの減衰係数；を表す。また、この 2 質点 3 自由度系モデルの座標系は図-3 に示すように定義した。このとき、 x_0 は地動変位； x_1 は橋脚基部に対する慣性力作用位置での相対水平変位； x_2 は基礎の Sway バネの相対変位； θ は基礎の Rocking バネの回転角；そして、 x_3 ($x_\theta = H\theta$) は基礎の Rocking バネの回転に伴う慣性力作用位置での相対水平変位を示す。

3. 運動方程式 2 質点 3 自由度系モデル（図-2）の地震動に対する運動方程式は式 (1) のようになる。

$$\begin{bmatrix} m_1 & m_1 & m_1 \\ m_1 & m_1 + m_2 & m_1 \\ m_1 & m_1 & m_1 + m_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 & 0 & 0 \\ 0 & c_2 & 0 \\ 0 & 0 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Q_1(x_1) \\ Q_2(x_2) \\ Q_3(x_3) \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} m_1 \\ m_1 + m_2 \\ m_1 \end{bmatrix} \ddot{x}_0 \quad (1)$$

ここで、 $\ddot{x}_0$ は入力地震動の加速度であり、 m_3 、 c_3 及び $Q_3(x_3)$ は式 (2) に示す。

$$m_3 = I_\theta / H^2, \quad c_3 = c_\theta / H^2, \quad Q_3(x_3) = Q_\theta(\theta) / H \quad (2)$$

つぎに、式 (1) の左側から $\dot{x}^T dt$ を乗じて積分すると、式 (3) のような単位質量当たりのエネルギー応答の釣合式が得られる。

$$\int \dot{x}^T M \ddot{x} dt + \int \dot{x}^T C \dot{x} dt + \int \dot{x}^T Q(x) dt = - \int \dot{x}^T m \ddot{x}_0 dt \quad (3)$$

4. 損傷指標 D 本研究では、地震による構造物の損傷度の照査基準として、式 (4) の損傷指標を採用した。

$$D = \{(\mu_d - 1) + \beta \cdot \mu_h\} / (\mu_u - 1), \quad \mu_h = E_h / (Q_{1y} \cdot x_{1y}) \quad (4)$$

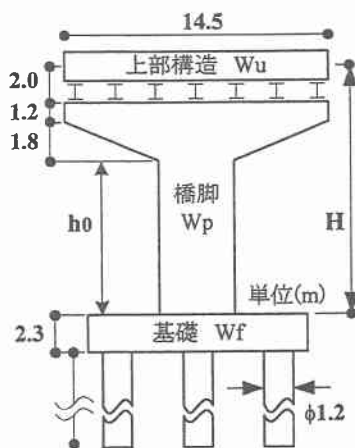


図-1 構造諸元

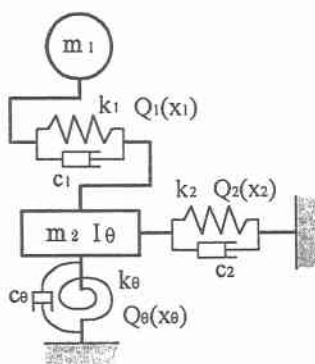


図-2 解析モデル

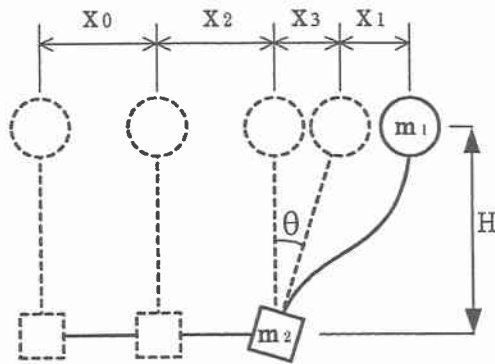


図-3 運動方程式の座標

式(4)の μ_d , μ_h 及び μ_u はそれぞれ、変位靱性率、エネルギー靱性率及び終局変位靱性率である。また、係数 β は断面特性に依存した正の定数であり、本研究では、RC構造物に対する平均値、 $\beta=0.15$ を採用した。

5. 所要降伏強度比 R_r 本研究では、所要降伏強度比 R_r (式(5))を、橋脚の損傷が損傷指標 D (式(4))の所定値 D_r を満たすために必要な降伏強度比として定義し、所定値 D_r としては、修復可能限界とされている $D_r=0.4$ と、崩壊を示す $D_r=1.0$ を用いた。そして、式(1), (3)を用いて非弾性エネルギー応答解析の繰返しにより相互作用を考慮した場合(2質点3自由度系モデル)の所要降伏強度比 R_{rI} と基礎を固定とした場合(1自由度系モデル)の所要降伏強度比 R_{rF} を求めた。

$$R_r = Q_{yr} / Q_{ye} \tag{5}$$

ここで、 Q_{yr} は所要降伏強度； Q_{ye} は構造物を弾性系とみなした場合の最大応答復元力を表す。

6. 所要降伏強度 Q_{yr} 所要降伏強度比 R_r が既知となると、擬似加速度応答倍率 $\bar{s}_a$ ，入力地震動の最大加速度 $\ddot{x}_{0max}$ 及び、等価質量 m_1 を介して所要降伏強度 Q_{yr} (式(6))が求まる。ここで所要降伏強度 Q_{yr} とは、構造物の損傷(式(4)の D の値)が所定値 D_r となるために必要な最小の降伏強度を意味する。

$$Q_{yr} = Q_{ye} \cdot R_r = m_1 \cdot \bar{s}_a \cdot \ddot{x}_{0max} \cdot R_r \tag{6}$$

7. 計算結果 図-4は、基礎との相互作用が橋脚の損傷に及ぼす影響をみるため、相互作用を考慮した場合の所要降伏強度 Q_{yrI} と基礎を固定とした場合の所要降伏強度 Q_{yrF} の比 Q_{yrI}/Q_{yrF} と橋脚躯体の固有周期 T_{10} の関係を示したものである。

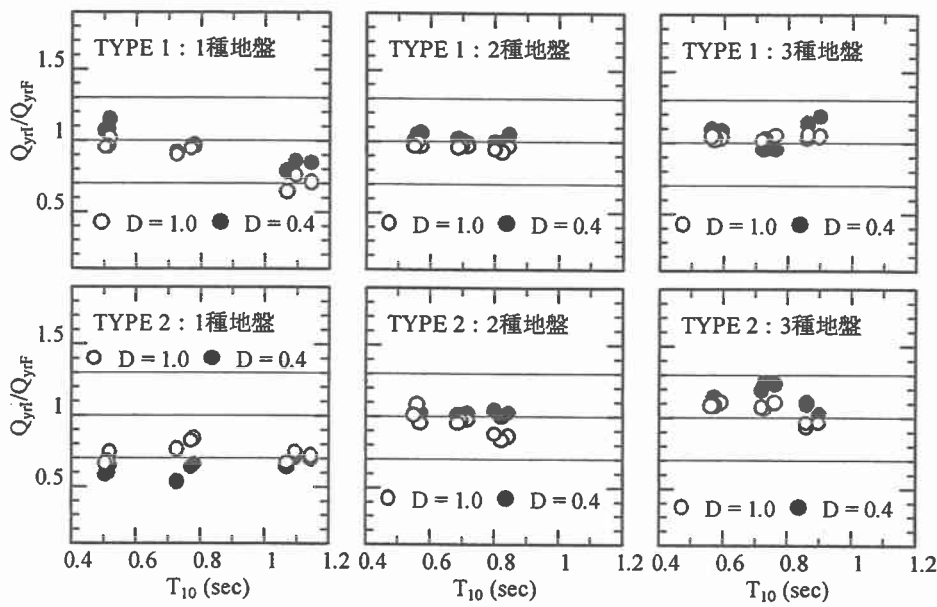


図-4 相互作用効果 Q_{yrI}/Q_{yrF}

8. 結論 図-4 から分かるように、1種地盤では、タイプ1地震の一部(T_{10} (橋脚躯体の固有周期)の小さなもの)を除き地震動タイプ(タイプ1, タイプ2地震)及び D_r (損傷指標 D の所定値)値に関係なく相互作用が橋脚の損傷に有利に働く。逆に3種地盤では、タイプ1地震で $D_r=0.4$ の場合、タイプ2地震で $D_r=1.0$ の場合を除き、相互作用が危険側に働く。また、2種地盤でも、わずかではあるが、 $D_r=0.4$ の場合には、相互作用が危険側に働く。したがって、杭基礎をもつ橋脚の耐震設計では相互作用についての配慮が必要である。

9. 参考文献 1) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書V耐震設計編、1996.12
 2) 平尾ら：基礎との相互作用が RC 橋脚の所要降伏強度比に及ぼす影響，構造工学論文集，Vol.42A, pp.615-626, 1996.3