

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)のようである。

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

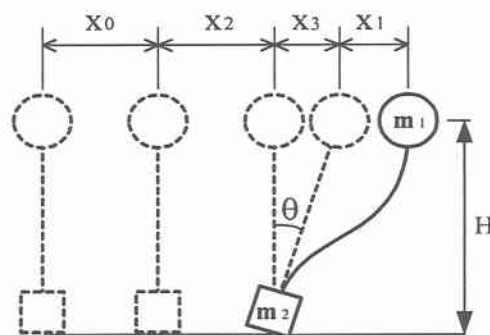
$$\mathbf{m}_3 = \mathbf{I}_\theta / H^2, \quad \mathbf{c}_3 = \mathbf{c}_\theta / H^2, \quad Q_3(\mathbf{x}_3) = Q_\theta(\theta) / H \quad (2)$$
$$\int \dot{\mathbf{x}}^T \mathbf{M} \ddot{\mathbf{x}} dt + \int \dot{\mathbf{x}}^T \mathbf{C} \dot{\mathbf{x}} dt + \int \dot{\mathbf{x}}^T \mathbf{Q}(\mathbf{x}) dt = - \int \dot{\mathbf{x}}^T \mathbf{m} \ddot{\mathbf{x}}_0 dt \quad (3)$$
$$D = \{(\mu_d - 1) + \beta \cdot \mu_h\} / (\mu_u - 1), \quad \mu_h = E_h / (Q_{ly} \cdot x_{ly}) \quad (4)$$


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を表す。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. 所要降伏震度 k_{Qyr} 本研究では、まず、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 $D_r=0.4$ を用いた。

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

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。そして、式(1)、(3)を用いた非弾性エネルギー応答解析の繰返しにより所要降伏強度比 R_r を求めた。所要降伏強度比 R_r が既知となると、所要降伏強度 Q_{yr} 、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_l を介して所要降伏震度 k_{Qyr} (式(6))が求まる。ここで、所要降伏震度 k_{Qyr} 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震度を意味する。

$$k_{Qyr} = Q_{yr} / W = m_l \cdot \bar{s}_a \cdot \ddot{x}_{0max} \cdot R_r / (m_l \cdot g) \tag{6}$$

6. 計算結果 図-4は、相互作用を考慮した2質点3自由度系の所要降伏震度 k_{Qyrl} 、基礎を固定とした1自由度系の所要降伏震度 k_{Qyrf} および道路橋示方書における等価水平震度 k_{he} を比較したものである。図より、1種地盤では、タイプ1地震の一部(T_{10} の小さなもの)を除きタイプ1、2地震動とも、 $k_{Qyrf} > k_{Qyrl}$ となり、相互作用が安全側に働き、逆に、3種地盤では、 $k_{Qyrl} > k_{Qyrf}$ となって危険側に働く傾向があることがわかる。また、現行の道路橋示方書で設計した橋脚では、1種地盤の一部を除き、修正Parkらの損傷指標 D の所定値 $D_r=0.4$ の照査基準に対して、基礎との相互作用を考慮した場合に危険側となることもわかる。

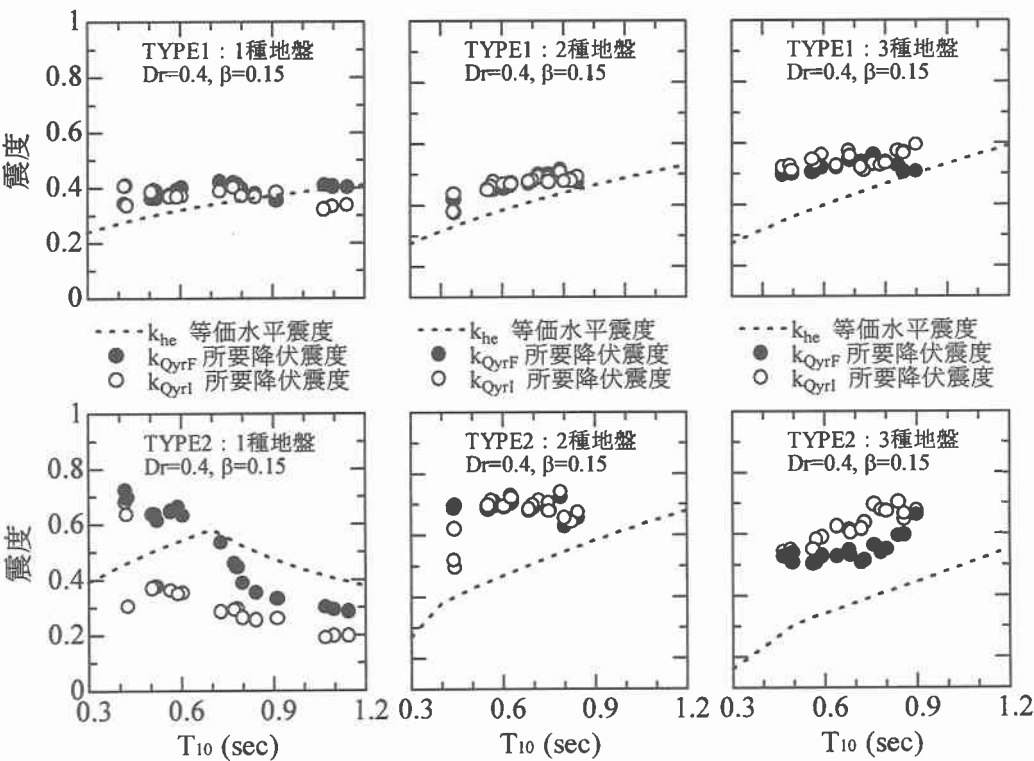


図-4 等価水平震度 k_{he} と所要降伏震度 k_{Qyr}

7. 結論 6で述べた計算結果より、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。

8. 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)関龍之介，平尾潔他：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，土木学会四国支部第5回技術研究発表会講演概要集，pp78-79,1999.5.