

R C 橋脚の非弾性応答に関する基礎的研究

徳島大学工学部 正 員 平尾 潔
 徳島大学工学部 正 員 成行 義文
 日本電信電話(株) 正 員 ○ 益井 淳一

1. まえがき 強震下における橋脚の耐震性の評価に関する既往の研究は、基礎地盤を固定としたものがほとんどであり、橋脚と基礎地盤との動的相互作用を考慮したものは、あまりみられない。そこで、本研究では、その基礎的研究として、橋脚と基礎との動的相互作用を考慮した、簡単な2質点3自由度系の力学モデルを考え、代表的なRC橋脚を対象として2, 3の非弾性応答解析結果をもとに、基礎の相互作用が、橋脚躯体の損傷に及ぼす影響について、若干の比較検討を行った。

2. 解析方法 図1に示すような力学モデル及び座標を考え、橋脚天端の水平振動に対する運動方程式は、それぞれ式(1)～(3)のように表される。

$$m_1(\ddot{x}_1 + \ddot{x}_2 + h\ddot{\theta}) + c_1\dot{x}_1 + k_1x_1 = -m_1\ddot{x}_0 \quad (1)$$

$$m_2\ddot{x}_2 + c_2\dot{x}_2 - c_1\dot{x}_1 + k_2x_2 - k_1x_1 = -m_2\ddot{x}_0 \quad (2)$$

$$I_\theta\ddot{\theta} + c_\theta\dot{\theta} + k_\theta\theta + m_1(\ddot{x}_1 + \ddot{x}_2 + h\ddot{\theta})h = -m_1h\ddot{x}_0 \quad (3)$$

ここで、 (m_1, k_1, c_1) 、 (m_2, k_2, c_2) は、それぞれ、橋脚天端の水平振動、基礎の並進振動における質量、バネ剛性、減衰係数を、 $(I_\theta, k_\theta, c_\theta)$ は、基礎の動揺振動における回転慣性、バネ剛性、減衰係数を表している。また、地震動 $\ddot{x}_0$ が、 $t=t_0$ で入力してから、ある時間 t_n までのエネルギー応答に関する基本式は、これらの運動方程式に対応する変位増分を乗じて積分することにより、それぞれ、次式のように表される。

$$m_1 \int_{t_0}^{t_n} \ddot{x}_1 \dot{x}_1 dt + c_1 \int_{t_0}^{t_n} \dot{x}_1 \dot{x}_1 dt + k_1 \int_{x_0}^{x_n} x_1 dx_1 = -m_1 \int_{t_0}^{t_n} (\ddot{x}_0 + \ddot{x}_2 + h\ddot{\theta}) \dot{x}_1 dt \quad (4)$$

$$m_2 \int_{t_0}^{t_n} \ddot{x}_2 \dot{x}_2 dt + \int_{t_0}^{t_n} (c_2 \dot{x}_2 - c_1 \dot{x}_1) \dot{x}_2 dt + \int_{x_0}^{x_n} (k_2 x_2 - k_1 x_1) dx_2 = -m_2 \int_{t_0}^{t_n} \ddot{x}_0 \dot{x}_2 dt \quad (5)$$

$$I_\theta \int_{t_0}^{t_n} \ddot{\theta} \dot{\theta} dt + c_\theta \int_{t_0}^{t_n} \dot{\theta} \dot{\theta} dt + k_\theta \int_{\theta_0}^{\theta_n} \theta d\theta = -m_1 h \int_{t_0}^{t_n} (\ddot{x}_0 + \ddot{x}_1 + \ddot{x}_2 + h\ddot{\theta}) \dot{\theta} dt \quad (6)$$

なお、本研究では、式(1)～(3)の運動方程式は、線形加速度法を用いて解き、式(4)～(6)の積分には、台形公式を用いた。また、橋脚躯体の復元力特性としては、図2に示すような、Q-Hystモデルを、基礎の並進及び動揺振動に対しては、文献1)を参照し、図3に示すような、Hardin-Drnevichモデルを用いた。

3. 解析結果 基礎の相互作用が橋脚の損傷に及ぼす影響は、基礎の水平バネ剛性 k_2 、回転バネ剛性 k_θ 、基礎の質量 m_2 、回転慣性 I_θ の値に依存することが予想される。そこで、本研究では、その基礎的研究として、橋脚高さ、地盤のN値、入力地震動及びその最大加速度を2, 3変化させて、これらの諸量が橋脚の損傷(塑性率、履歴吸収エネルギー等)に及ぼす影響について、若干

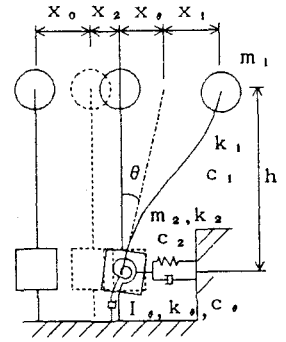


図 1

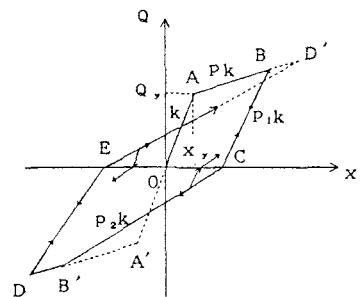


図 2 Q-Hyst モデル

の比較検討を行った。紙面の都合上、その詳細については、発表会当日、報告することとし、ここでは、その一例として、橋脚高さが15m、地盤のN値=10の場合における k_2 、 k_θ 、 m_2 、 I_θ の設計値、 $k_{20}=0.458 \times 10^8$ (kg/cm)、 $k_{\theta 0}=0.248 \times 10^{12}$ (kg·cm/rad)、 $m_{20}=0.375 \times 10^4$ (kg)、 $I_{\theta 0}=0.738 \times 10^{10}$ (kg·cm²)を基準として、 k_2 、 k_θ 、 m_2 、 I_θ の値をそれぞれ単独に、1/3、2/3、1、4/3、5/3と5通りに変化させ、最大加速度を260galとしたEl-Centro波を入力した場合の橋脚躯体の塑性率（降伏変位に対する最大応答変位の比； $X_{\max}/X_y$ ）に対する結果を図4～7に示しておく。なお、図4～7は、それぞれ、水平バネ剛性 $\overline{k_2}=k_2/k_{20}$ 、回転バネ剛性 $\overline{k_\theta}=k_\theta/k_{\theta 0}$ 、基礎の質量 $\overline{m_2}=m_2/m_{20}$ 、基礎の回転慣性 $\overline{I_\theta}=I_\theta/I_{\theta 0}$ を変化させた場合の結果である。また、本例の上部工質量は $m_1=0.423 \times 10^3$ (kg)、橋脚躯体の水平剛性は $k_1=0.422 \times 10^5$ (kg/cm)である。

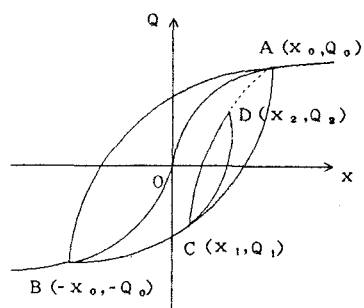


図 3 Hardin-Drnevich モデル

図4より、基礎の水平バネ剛性が、橋脚躯体の塑性率に及ぼす影響は大きく、 $\overline{k_2}$ が大きくなると、橋脚の塑性率、すなわち最大変位が大きくなり、 $\overline{k_2}$ が小さくなると逆の結果となっている。これに対し、図5より、回転バネ剛性の相違による塑性率には、ほとんど差が見られない。また、図6より、基礎の質量を大きくすると、塑性率は、小さくなる傾向がみられ、図7より、基礎の回転慣性を大きくすると塑性率は大きくなる傾向がみられる。

4. まとめ 基礎との相互作用が橋脚躯体の損傷に及ぼす影響は、基礎の剛性及び基礎の質量と密接な関係にあり、これらの相対的な大小関係によって、損傷の程度は異なってくる。したがって、基礎の相互作用が、個々の橋脚の損傷に及ぼす影響を検討する場合には、

対象とする橋脚の、これらの定数をより正確に決定し、検討する必要がある。

参考文献 1) (財)防災研究協会：橋梁基礎の耐震設計法に関する調査研究(その2)，阪神高速道路公団委託研究，1987年3月

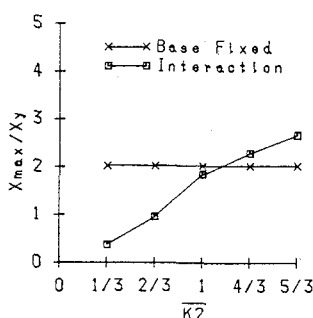


図 4

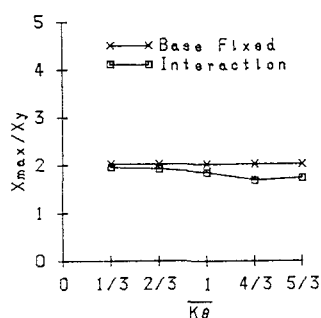


図 5

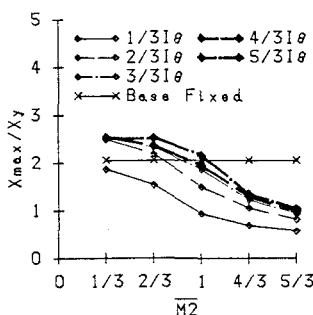


図 6

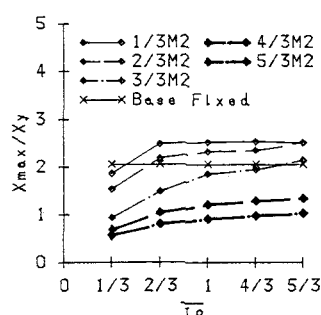


図 7