

橋脚と基礎との動的相互作用がRC橋脚の非弾性応答に及ぼす影響

徳島大学工学部	学生員	○大内	修
徳島大学工学部	正員	成行	義文
徳島大学工学部	正員	平尾	潔
積水ハウス		大岸	独歩

1. まえがき 強震下における橋脚の耐震安全性をより厳密に把握するためには、橋脚と基礎地盤との動的相互作用を考慮した非弾性応答解析を行う必要がある。著者らは文献1)において橋脚-基礎系を簡単な2質点3自由度系にモデル化し、橋脚と基礎との動的相互作用がRC橋脚の非弾性応答に及ぼす影響について若干の検討を行った。本研究では、これらの影響をより一般的に捉えるために、文献1)と同じモデルを用い、各構造特性パラメータと橋脚の非弾性応答(変位並びにエネルギー-靱性率)との関係について比較検討し、若干の考察を加えた。

2. 解析モデルと構造特性パラメータ 図-1に示すような力学モデル及び座標を考えると、橋脚の水平運動、基礎の並進運動及び回転運動に対する運動方程式は、式(1)～(3)のように表される。

$$m_1 \ddot{x}_1 + m_1 \ddot{x}_2 + m_1 \ddot{x}_3 + C_1 \dot{x}_1 + Q_1(x_1) = -m_1 \ddot{x}_0 \quad (1)$$

$$m_1 \ddot{x}_1 + (m_1 + m_2) \ddot{x}_2 + m_1 \ddot{x}_3 + C_2 \dot{x}_2 + Q_2(x_2) = -(m_1 + m_2) \ddot{x}_0 \quad (2)$$

$$m_1 \ddot{x}_1 + m_1 \ddot{x}_2 + (m_1 + m_3) \ddot{x}_3 + C_3 \dot{x}_3 + Q_3(x_3) = -m_1 \ddot{x}_0 \quad (3)$$

(但し、 $x_3 = h\theta$, $m_3 = I_0/h^2$, $C_3 = C_\theta/h^2$)

ここで、 m , C , Q はそれぞれ、質量、減衰係数、復元力を、また、右下添字、1, 2, 3は、橋脚水平、基礎並進、基礎動揺のそれぞれの運動に関する量であることを表している。また、 I_0 , C_θ は、それぞれ基礎の動揺運動における回転慣性、減衰係数である。式(1), (2), (3)の両辺にそれぞれ $\dot{x}_1$, $\dot{x}_2$, $\dot{x}_3$ を乗じ $t=0 \sim T$ まで積分することにより、エネルギー-応答に関する基本式が得られる。

なお、本研究で用いた構造特性パラメータは以下のようである。

$$\alpha_i = m_i / m_1, \quad \beta_i = k_i / k_1, \quad \xi_i = x_{yi} / x_{y1}, \quad h_i = C_i / 2\sqrt{m_i k_i}, \quad (i=1, 2, 3)$$

ここで、 k_i 及び x_{yi} はそれぞれ初期剛性及び降伏(あるいは規準化)変位を表している。また T_{01} は橋脚躯体の弾性時固有周期である。また、比較のための非弾性応答値として、次のように定義される、変位靱性率(μ_{D1})及びエネルギー-靱性率(μ_H)を用いた。

$$\mu_{D1} = x_{1max} / x_{y1}, \quad \mu_H = \int_0^R Q_1(x_1) \dot{x}_1 dt / Q_{y1} x_{y1} \quad (x_{1max}: \text{最大変位}, Q_{y1}: \text{降伏復元力})$$

ここで後者の右辺の分子は履歴吸収エネルギーである。復元力特性としては、橋脚躯体では、Q-hystモデルを、基礎の並進及び動揺振動には、Hardin-Drnevichモデルをそれぞれ用いた。(文献1), 2)参照)

3. 解析結果 橋脚と基礎との動的相互作用がRC橋脚の非弾性応答に及ぼす影響は、種々の要因が複雑に作用し合うため、その一般的傾向をつかむことは容易ではない。本研究では、それらの影響を定性的に把握するための基礎的な研究として前述のような構造特性パラメータがRC橋脚の変位並びにエネルギー-靱性率に及ぼす影響について比較検討した。各パラメータの値の変動範囲は、簡略設計された実橋脚の各値を参照して定めた。また入力地震動としては、El-Centro記録を、基礎固定とした場合の橋脚の変位靱性率(μ_{D1})が1になるように規準化して用いた。図-2は、質量比 α_2 , α_3 及び剛性比 β_2 , β_3 と橋脚躯体の変位靱性率 μ_{D1} との関係をそれぞれ示したものである。実線は基礎固定、点線は基礎線形、破線は基礎非線形とした

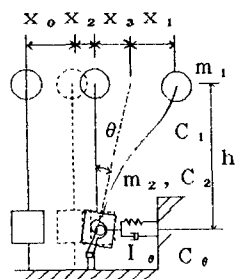


図-1

場合の結果を表している。ここで変化させない場合のパラメータ値は、それぞれ、 $\alpha_2 = \alpha_3 = \beta_2 = \beta_3 = 5$ 、 $\xi_2 = \xi_3 = 1$ 、 $h_1 = h_2 = h_3 = 0.05$ 、 $\gamma = 0.1$ (Q-hystモデルの弾塑性剛性比)、 $T_{01} = 1$ sとした。図-2より、各場合の μ_{D1} に及ぼす α_2 及び β_2 の影響は、基礎が線形あるいは非線形にかかわらず類似の傾向を示しており、 α_2 が大きいほど、また β_2 が小さいほどは基礎固定時に比べ小さくなっているのがわかる。また α_3 及び β_3 が各 μ_{D1} に及ぼす影響は比較的小さい。図-3は同様に、各場合のエネルギー靱性率 μ_{H1} に及ぼす各パラメータの影響を比較したものであるが、総じて μ_{D1}

に及ぼす影響と同様な傾向を示している。さらに基礎を線形と仮定した方が、非線形とした場合より μ_{H1} は常に大きくなっているのがわかる。図-4は、同様に橋脚躯体の弾性時固有周期 T_{01} が μ_{D1} 及び μ_{H1} に及ぼす影響について比較したものである。これより、基礎線形の場合には T_{01} が大きくなるほど μ_{D1} が減少する傾向があるが、基礎非線形の場合には、あまり T_{01} には依存していないことがわかる。また、 μ_{H1} は基礎の仮定にかかわらず、 T_{01} が大きいほど小さくなっており、巨視的にみて基礎固定と基礎非線形の場合の μ_{H1} はほぼ等しいとみなせる。図-5は、基礎を非線形と仮定した場合の橋脚躯体(実線)、基礎の並進(一点鎖線)、基礎の回転(点線)に関する各 μ_{D1} 及び μ_{H1} ($i = 1, 2, 3$)と T_{01} との関係を示したものである。これより μ_{D1} は T_{01} にあまり依存せずまた各 μ_{H1} は T_{01} の増加に伴い同様な減少傾向を示している。

4. あとがき 限られた計算結果からではあるが、本研究により、RC橋脚の変位ならびにエネルギー靱性率に及ぼす橋脚と基礎との動的相互作用の影響は、主として質量比 α_2 および剛性比 β_2 に依存していること、また、基礎を線形仮定した場合橋脚の応答をかなり過大評価する場合があること等がわかった。今後、各パラメータと系の固有モードとの関係をふまえながら、さらに検討して行く必要があるものと思われる。

<参考文献> 1) 平尾・成行・益井：RC橋脚の非弾性応答に関する基礎的研究，第41回土木学会中四支部研究発表会講演概要集，1989年5月， 2) (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，

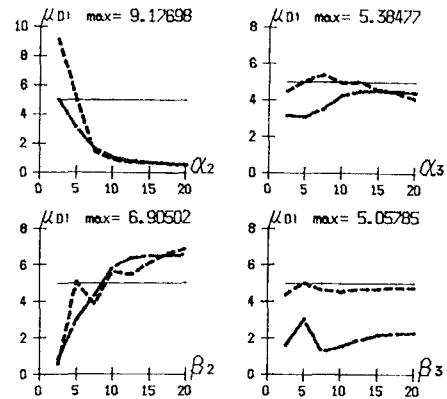


図-2

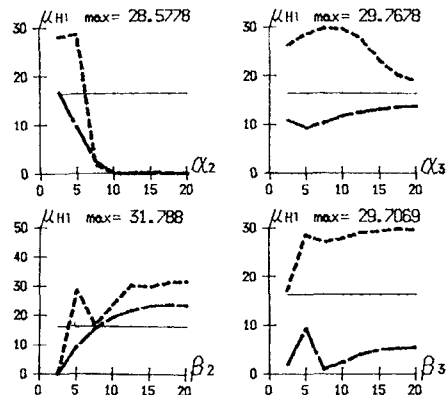


図-3

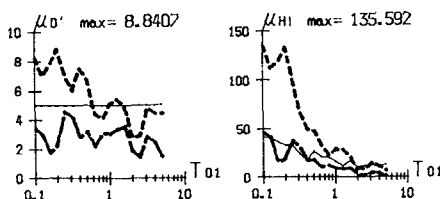


図-4

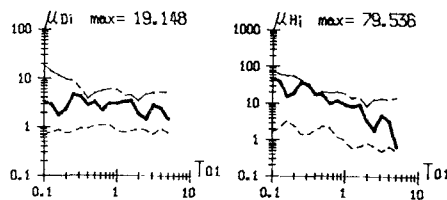


図-5