

I-117 鉄筋コンクリート橋脚の動的非線形応答解析

北見工業大学 学生員 小倉裕介 北見工業大学 正 員 大島俊之
 ズコーシャ 日下田貴男 北見工業大学 正 員 三上修一
 ズコーシャ 正 員 葛西隆一

1. はじめに 本研究では長方形断面の鉄筋コンクリート橋脚を対象として、地震時の鉄筋及びコンクリートの材料非線形性を考慮した動的非線形応答解析を行い、橋脚の安定性について検討する。

最近の釧路沖地震の被害にみられるように、鉄筋コンクリートの橋脚の被害は複雑であり、非線形性の影響がどの程度あるかも不明である。大地震時の鉄筋コンクリートの鉄筋及びコンクリートの非線形性を考慮すると一般に橋脚の非線形振動問題となるので、関係因子のパラメータの取り方によって応答の非線形性がどのように現れるかを検討する事は重要であり、ここではこの問題を取り扱う事にする。

2. 数値計算モデル

(1) **モデル構造** ここでは鉄筋コンクリート橋脚を長方形等断面の片持梁にモデル化し、1自由度の曲げが支配的な自由端加振の振動問題として解析を行った(図-1)。また地震荷重は入力される地震加速度を振幅一定のサイン波として仮定し、それに上部構造の質量を乗じたものとしてモデル化している(図-2)。

(2) **計算手順** 本解析では後に導く振動方程式をルンゲ・クッタ法により直接に数値積分を行い、梁の応答を計算している。そして、橋脚の根元の材料の非線形性を示す要素として、根元におけるたわみ角を振動方程式の中に取り込み、振動方程式より計算される曲げモーメントから根元のたわみ角を算出し、それらが安定した値をとるまで繰り返し計算を行って解を得ている。

(3) **振動方程式** 柱の水平方向の変位を $u(x, t)$ とすると (t : 時間, x : 鉛直方向の座標)、橋脚上部の振動方程式は次のように書き表される。

$$EI \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} + \rho A \ddot{u} = 0 \quad \dots (1)$$

また、 $u(x, t) = G(x) \cdot V(t)$ と表されるものとすれば、

$$EI V \frac{\partial^4 G}{\partial x^4} + \rho A G \ddot{V} = 0 \quad \dots (2)$$

ここで、

V : 橋脚の先端の変位 (t に対する変数)

G : 振動モード形状 (x に対する変数)

A : 断面積 ρ : 重量密度 EI : 曲げ剛度

両辺を x について積分して行くと、

$$EI V G + \rho A \ddot{V} \left[\{ \bar{G}(L) - \bar{G}(0) \} - \frac{L^3}{6} \bar{G}(L) \right]$$

$$+ \frac{L^2}{2} \{ \{ \bar{L}G(L) + \bar{G}(L) \} - L\bar{G}(0) \} - \frac{L^3}{3} P - EI L \theta_0 = 0 \quad \dots (3)$$

となる。ただし、 $\bar{G}$ は G の x に対する1階不定積分、 L は梁の鉛直方向の長さ、 θ_0 は根元のたわみ角、 P は外力である。この(3)式を時間 t に対しての片持梁の振動方程式とする。

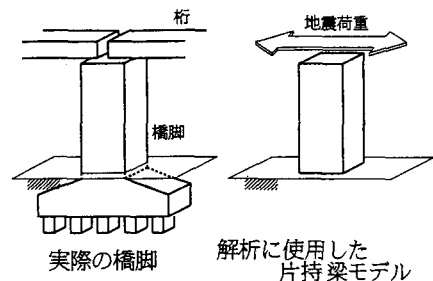


図-1.RC橋脚の解析モデル

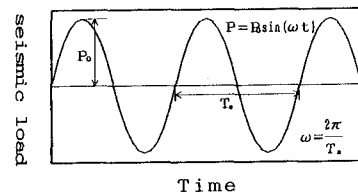


図-2.地震荷重のモデル

(4) 曲げモーメント-曲率の関係 一般には曲げモーメントと曲率の関係式として、次の式が与えられている。

$$\phi = - \frac{M}{EI} \quad (EI: \text{曲げ剛度}) \quad \dots (4)$$

ただし、この式が成り立つのは材料が弾性状態にある時のみで、材料が塑性状態になると曲率も弾性曲率 (ϕ_e) と塑性曲率 (ϕ_p) とに分けて考えることとなり、(4) 式は

$$\phi = \phi_e + \phi_p = - \frac{M}{EI} + \phi_p \quad \dots (5)$$

と書き直すことができる。この ϕ_p は M をゼロに戻した時に残る 残留曲率に相当する。そして片持梁の根元のたわみ角 θ_0 を計算する式として、

$$\theta_0 = \int_0^{nL} \phi_p dx \quad (n \text{ は } 0 < n < 1 \text{ で十分小さい値とする})$$

を仮定している。また図-3は鉄筋の応力ひずみ曲線のモデルである。ここでは鉄筋を線形硬化材料として扱い、降伏後の弾性係数を弾性時の1/10に仮定している。

3. 数値解析例 以上のモデルより図-4に示した条件で解析を行った。図-5は橋脚全体を1次モードのみの弾性応答と仮定し、橋脚基部はコンクリート断面を無視した鉄筋のみによる非線形応答をとした場合の解析結果である。

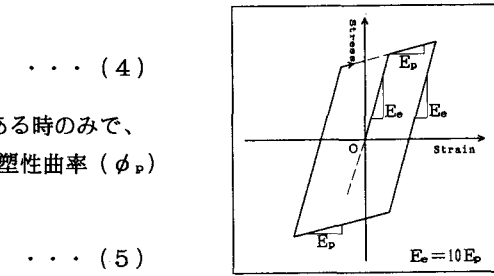


図-3.鉄筋の応力ひずみ曲線モデル

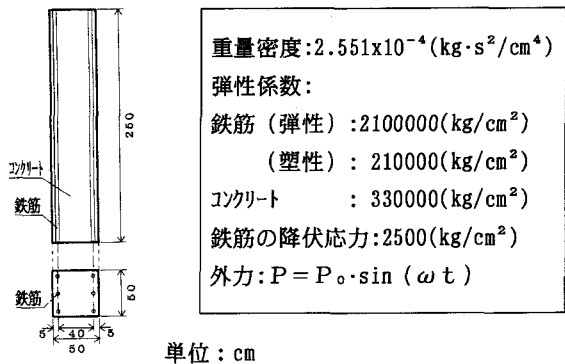
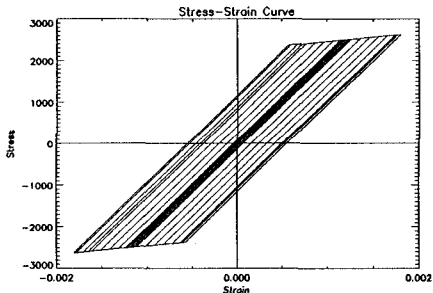
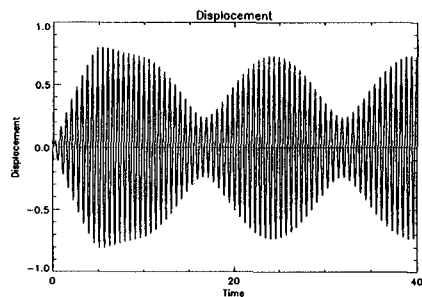


図-4.解析対象構造物



根元の鉄筋の応力ひずみ曲線 (単位: kg, cm)



載荷点の水平変位 (単位: cm, sec)

図-5.解析結果 ($\omega/\omega_0=0.973$, $P_0=1000.0 \text{ kg}$, $A_s=A_s'=12.0 \text{ cm}^2$)

4. あとがき 以上鉄筋コンクリート橋脚の動的非線形応答を対象として数値計算による結果を示した。今後は計算モデルをさらに複雑にして、非線形性の検討をしたいと考えている。

参考文献

- 1) A.H.Nayfeh, D.T.Mook: Nonlinear Oscillations, Wiley Interscience Pub., 1979
- 2) 松井・他: 構造工学論文集, vol.35A, 1989
- 3) 道路橋示方書 (V), 耐震設計編, 1990