

1. はじめに

近年、我が国でも高橋脚と呼ばれる程の高さを持つ橋脚（中央自動車道の岡谷高架橋の52.8mなど）が、鉄筋コンクリート（以下RCと略記）で建造されるようになってきた。しかし、高橋脚の先進国であるヨーロッパ諸国の高橋脚と比べると、断面も大きく高さもまだ低いのが現状である。その理由としては、我が国が世界有数の地震国であるために耐震に関する安全を考慮する必要があるからである。そのため、我が国でもヨーロッパ諸国のような高橋脚を建造するためには、高橋脚に地震力が作用した場合の振動特性（固有振動数・減衰定数）を考慮した動的挙動を明らかにし、より合理的な設計法を行う必要がある。なぜならば、RCの場合地震履歴を受けることによって、コンクリート部分のひびわれ、鉄筋の降伏などの損傷が起き剛性が変化する。そのため振動特性も変化する。従って、動的挙動解析を行うにはまず静的挙動解析を行う必要がある。

今回、動的非線形挙動解析を行うための一段階として、2軸曲げを受けるRC高橋脚の非線形挙動解析を行った。

2. RC高橋脚の2軸曲げ解析

RC高橋脚では、一般に細長比が大きいため材料非線形の他に横方向変位による2次モーメントの影響による幾何学的非線形の考慮を行う必要がある。次に解析方法について示す。

(1) 3点のひずみ $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ の誘導

断面を図1に示すように分割し、橋脚の高さ方向にも図2に示すようにいくつかのセグメントに分け、水平荷重の載荷位置からそれぞれのセグメントの中心までの距離を L_j とする。

今、任意の断面で図3に示す記号を用いて力の釣合を表せば次のようになる。

a) 軸方向の力の釣合より

$$\sum_{i=1}^n \sigma_i A_i + P_N = 0 \quad \dots (1)$$

b) X軸まわりのモーメントの釣合より

$$\sum_{i=1}^n \sigma_i A_i Y_i + P_N e_Y + P_Y L_j = 0 \quad \dots (2)$$

c) Y軸まわりのモーメントの釣合より

$$\sum_{i=1}^n \sigma_i A_i X_i + P_N e_X + P_X L_j = 0 \quad \dots (3)$$

d) 平面保持の仮定が成立するとすれば、断面

内の任意の位置のひずみ ϵ_i は、 $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ より

$$\begin{aligned} \epsilon_i &= (\epsilon_1 - \epsilon_2) \frac{X_i}{B} + (\epsilon_3 - \epsilon_2) \frac{Y_i}{H} + \epsilon_2 \\ &= (1 - \frac{X_i}{B} - \frac{Y_i}{H}) \epsilon_2 + \frac{X_i}{B} \epsilon_1 + \frac{Y_i}{H} \epsilon_3 \end{aligned} \quad (4)$$

e) 図4に示した応力～ひずみ関係より、i番

目の要素の応力は、

$$\sigma_i = E_i \epsilon_i + \sigma_i^* - E_i \epsilon_i^* \quad \dots (5)$$

これらの関係より $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ は次式で表すことができる。

$$\begin{aligned} \epsilon_1 &= \frac{(P_Y - CC \cdot BBB + (P_Y \cdot II - P_X \cdot FF) CCC) L_j - ((FF - e_Y \cdot CC) BBB - (e_Y \cdot II - e_X \cdot FF) CCC) P_N}{AAA \cdot BBB - CCC \cdot DDD} \\ &\quad + ((KK - NN) II + (OO - LL) FF) CCC - ((JJ - MM) FF + (NN - KK) CC) BBB \quad \dots (6) \end{aligned}$$

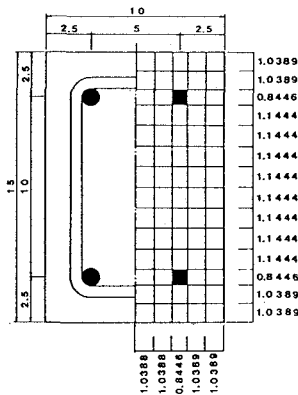


図1 断面分割

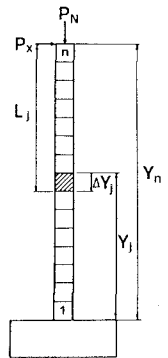


図2 高さ方向の分割

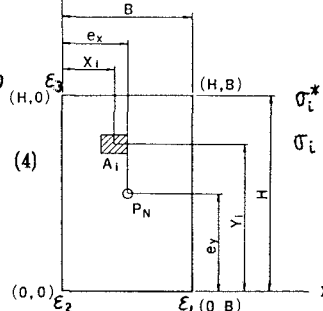


図3 記号の説明

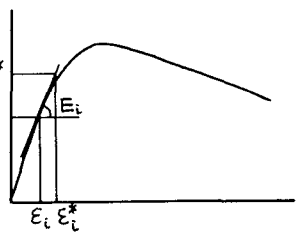


図4 接線弾性係数

$$\epsilon_2 = \frac{(P_x \cdot EE - P_y \cdot HH) AAA - P_y \cdot BB \cdot DDD}{EEE \cdot DDD - FFF \cdot AAA} L_j - \frac{((e_y \cdot BB - EE) DDD - (e_x \cdot EE - e_y \cdot HH) AAA) PN}{EEE \cdot DDD - FFF \cdot AAA} + ((LL - OO) EE + (NN - KK) HH) AAA - ((KK - NN) BB + (MM - J J) EE) DDD \quad \dots (7)$$

$$\epsilon_3 = \frac{(P_y \cdot AA \cdot FFF - (P_x \cdot DD - P_y \cdot GG) EEE) L_j - ((e_x \cdot DD - e_y \cdot GG) EEE - (e_y \cdot AA - DD) FFF) PN}{BBB \cdot EEE - CCC \cdot FFF} + ((KK - NN) AA + (MM - J J) DD) FFF - ((LL - OO) DD + (NN - KK) GG) EEE \quad \dots (8)$$

ここで

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n (1 - \frac{X}{B} - \frac{Y}{H}) E_i A_i &= AA & \sum_{i=1}^n E_i \epsilon_i^* A_i &= KK \\ \sum_{i=1}^n \frac{X}{B} E_i A_i &= BB & \sum_{i=1}^n \sigma_i^* A_i Y_i &= LL \\ \sum_{i=1}^n \frac{Y}{H} E_i A_i &= CC & \sum_{i=1}^n E_i \epsilon_i^* A_i Y_i &= MM \\ \sum_{i=1}^n (1 - \frac{X}{B} - \frac{Y}{H}) E_i A_i Y_i &= DD & \sum_{i=1}^n \sigma_i^* A_i X_i &= NN \\ \sum_{i=1}^n \frac{X}{B} E_i A_i Y_i &= EE & \sum_{i=1}^n E_i \epsilon_i^* A_i X_i &= OO \\ \sum_{i=1}^n \frac{Y}{H} E_i A_i &= FF & AAA &= (BB \cdot FF - EE \cdot CC) \\ \sum_{i=1}^n (1 - \frac{X}{B} - \frac{Y}{H}) E_i A_i X_i &= GG & BBB &= (DD \cdot II - GG \cdot FF) \\ \sum_{i=1}^n \frac{X}{B} E_i A_i &= HH & CCC &= (AA \cdot FF - DD \cdot CC) \\ \sum_{i=1}^n \frac{Y}{H} E_i A_i X_i &= II & DDD &= (EE \cdot II - HH \cdot FF) \\ \sum_{i=1}^n \sigma_i^* A_i &= JJ & EEE &= (DD \cdot BB - AA \cdot EE) \\ & & FFF &= (GG \cdot EE - DD \cdot HH) \end{aligned}$$

(2) 幾何学的非線形の考慮

上で求めた3点のひずみより曲率を計算し、次式によりたわみ量を計算し偏心距離の補正を行う。

$$\delta_n = \sum_{j=1}^n \phi_j \cdot \Delta y_j (y_n - y_j + \frac{\Delta y_j}{2}) \quad \dots (9)$$

(3) 解析手順

- ① 柱頂部のたわみ量 δx , δy を決める。
- ② 柱付根部の曲率 ϕx , ϕy を仮定する。
- ③ 柱付根部の断面において力の釣合を考え水平荷重 P_x , P_y を計算する。
- ④ (1) の方法を用いて外力に釣合う断面のひずみ分布を求める。
- ⑤ ひずみ分布から断面の曲率 ϕx , ϕy を求める。
- ⑥ j 番目までの断面の曲率から式 (9) を用いて $j+1$ 断面のたわみ量を求める。
- ⑦ ④～⑥ の操作を $n-1$ 断面まで行う。
- ⑧ 計算で求めた頂部のたわみ量 Dx , Dy と①で仮定したたわみ量との比較を行い許容誤差以内であれば、次たわみ段階へ進む。
- ⑨ 許容誤差以外であれば、Newton-Raphson法によって柱付根部の曲率 ϕx , ϕy の値を仮定し直して③～⑧の操作を行う。

(4) 数値計算例

図1に示した断面について計算を行った。なお柱部の長さは、130cmでありコンクリートおよび鉄筋の応力～ひずみ関係は、図5, 6に示した形を用いた。図7に本解析方法による結果と実験による結果を比較して示す。

3. まとめ

今回、RC高橋脚の動的非線形挙動解析を行うための一段階として静的な非線形挙動解析を行った。これを動的な非線形挙動解析に発展させるためには、材料の動的応力～ひずみ関係および柱基部の引き抜けに与える載荷速度の影響などを明らかにしたうえで、解析に考慮する必要がある。

本研究は、昭和62年度吉田研究奨励金によって行ったものである。これに対して心から感謝の意を表するものである。

とおいた。

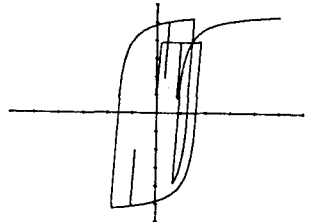
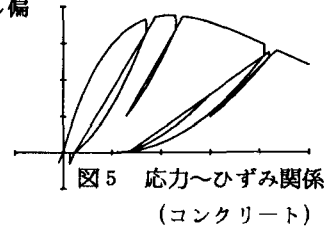


図6 応力～ひずみ関係 (鉄筋)

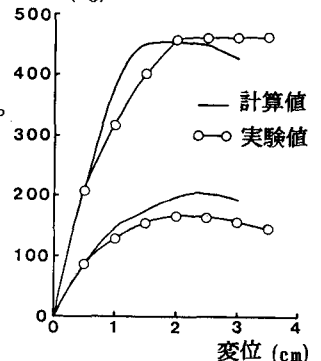


図7 計算値と実験値の比較