

I-214 R C 橋脚の変形性能照査のための 一弾塑性断面計算法

佐賀大学 学正員 〇田野慎一郎

佐賀大学 正 員 井嶋克志

佐賀大学 正 員 後藤茂男

1. まえがき

道路橋示方書・解説V耐震設計編において、鉄筋コンクリート橋脚の変形性能照査のための簡単な弾塑性断面設計法が記述してある。しかし、この計算法は、現在のように高性能パーソナルコンピュータが普及している時点においては、理論的にも精度的にも十分とは思われない。

すなわち、現示方書においては、RC橋脚のある断面を一定ひずみ、一定応力で区間分割し、試算により中立軸の決定を行っている。しかし、ひずみと応力の区間分割は、厳密な積分手法とすることができ、中立軸は与えられた曲げモーメント M 、軸方向力 N に対するひずみと応力の分布状態を、微分演算を用いるNEWTON-RAPHSON法により求めることができる。このNEWTON-RAPHSON法において、反復のパラメータとして中立軸の位置と断面の回転角を用いた場合、曲げモーメントが小さく、純圧縮、純引張りに近くなると中立軸の位置の変動幅が大きく収束が悪化する。したがって、本研究は、どのような N, M に対しても極めて良好な収束性を示した、コンクリート断面の縁ひずみ $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ を反復パラメータとして、剛体リンク・回転ばねモデルを用いて、単柱橋脚および門型ラーメン橋脚の弾塑性断面計算および変形性能の計算を行ったものである。

2. 鉄筋コンクリートの弾塑性断面計算

コンクリートおよび鉄筋のひずみと応力の関係は、示方書に示されている図-1に従うものとする。

すなわち、コンクリート部分の圧縮応力 σ_c は、圧縮ひずみ ε_c が

$$\varepsilon_c \leq 0.002 \quad \text{であれば} \quad \sigma_c = 250000 \sigma_{ck} (0.004 - \varepsilon_c) \varepsilon_c \quad (1)$$

となり、0.002以上の圧縮ひずみに対しては、 $\sigma_c = \sigma_{ck}$ 、また鉄筋は、正負のひずみに対して降伏応力 σ_{sy} までは鋼材の弾性係数 E_s の勾配に従い、それ以上は $\sigma_s = \sigma_{sy}$ 一定であるとする。

コンクリート上下縁のひずみを $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ とし、上記の仮定に従ってコンクリート部分の応力の積分と鉄筋部分の軸方向力の集計をすれば、その断面に作用している軸方向力 N および曲げモーメント M は、ひずみと応力の弾塑性条件を考慮しての分岐はあるが $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ の陽形式の関数として

$$N = N(\varepsilon_1, \varepsilon_2), \quad M = M(\varepsilon_1, \varepsilon_2) \quad (2)$$

のように表わすことができる。 $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ の変分 $\delta \varepsilon_1, \delta \varepsilon_2$ による N, M の変化量は、

$$\delta N = \partial N / \partial \varepsilon_1 \cdot \delta \varepsilon_1 + \partial N / \partial \varepsilon_2 \cdot \delta \varepsilon_2 \quad (3)$$

$$\delta M = \partial M / \partial \varepsilon_1 \cdot \delta \varepsilon_1 + \partial M / \partial \varepsilon_2 \cdot \delta \varepsilon_2 \quad (4)$$

となり、断面に対する $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ は未知であるが、断面力の変化に対応するひずみの変動は、(3),(4)より

$$\begin{Bmatrix} \delta \varepsilon_1 \\ \delta \varepsilon_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \partial N / \partial \varepsilon_1 & \partial N / \partial \varepsilon_2 \\ \partial M / \partial \varepsilon_1 & \partial M / \partial \varepsilon_2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} \delta N \\ \delta M \end{Bmatrix} \quad (5)$$

と表わすことができる。

したがって、与えられた断面力 N, M に対するコンクリート縁のひずみ $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ の第 r 回目の近似値を $\varepsilon_1^r, \varepsilon_2^r$ とすれば $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ を算出するための反復公式は次のようになる。

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1^{r+1} \\ \varepsilon_2^{r+1} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_1^r \\ \varepsilon_2^r \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \partial N(\varepsilon_1^r, \varepsilon_2^r) / \partial \varepsilon_1 & \partial N(\varepsilon_1^r, \varepsilon_2^r) / \partial \varepsilon_2 \\ \partial M(\varepsilon_1^r, \varepsilon_2^r) / \partial \varepsilon_1 & \partial M(\varepsilon_1^r, \varepsilon_2^r) / \partial \varepsilon_2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} N - N(\varepsilon_1^r, \varepsilon_2^r) \\ M - M(\varepsilon_1^r, \varepsilon_2^r) \end{Bmatrix} \quad (6)$$

なお、軸方向力 N に対して、鉄筋の降伏時のひずみ、あるいは終局時のひずみ ε_s を与えて、断面の降伏あるいは終局モーメントを求める場合には、

$$\delta \varepsilon_j = \delta N / (\partial N / \partial \varepsilon_j) \quad (7)$$

$$\delta M = \partial N \cdot (\partial M / \partial \varepsilon_j) / (\partial N / \partial \varepsilon_j) \quad (8)$$

$$\varepsilon_i = \varepsilon_* \quad (9)$$

ここに、 $i=1$ のとき $j=2$ であり M は正の曲げモーメント、 $i=2$ のとき $j=1$ となり M は負の曲げモーメントとなる。式(6)~(9)をもちいて、結局次の反復公式が得られる。

$$\varepsilon_j^{r+1} = \varepsilon_j^r + \{N - N(\varepsilon_*, \varepsilon_j^r)\} / \{\partial N(\varepsilon_*, \varepsilon_j^r) / \partial \varepsilon_j^r\} \quad (10)$$

$$M^{r+1} = M^r + \{N - N(\varepsilon_*, \varepsilon_j^r)\} \{\partial M(\varepsilon_*, \varepsilon_j^r) / \partial \varepsilon_j^r\} / \{\partial N(\varepsilon_*, \varepsilon_j^r) / \partial \varepsilon_j^r\} \quad (11)$$

3. 単柱の変形性能解析

単柱型橋脚は構造が片持梁であり、静定系であるので、反復計算は、鉄筋コンクリートの弾塑性断面計算のみで、構造系の断面力決定のための反復計算は必要なく、仮定に忠実な変形性能の追跡計算が可能である。

単柱の変位算出時点は、通常最大断面となる基部断面の第1引張り鉄筋の降伏モーメントの1/2, 3/4および各段階ごとの降伏モーメントが発生する場合と終局モーメント発生時点とする。

変位算出のための構造系は、換算曲げ剛性が急変し、示方書における単柱橋脚の区間分割における区間内EI一定という仮定が適切でないため、剛体リンク・回転ばね構造系とした。

図-3に変形性能解析のための手順を示す。

門型ラーメン橋脚の解析手法および数値計算例は講演時に発表する。

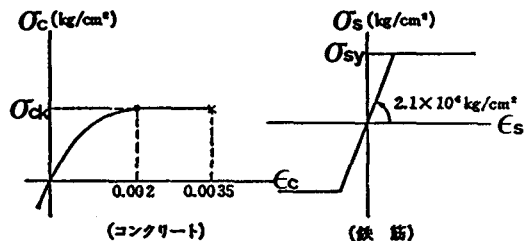


図-1 コンクリートおよび鉄筋の σ - ε 関係の仮定

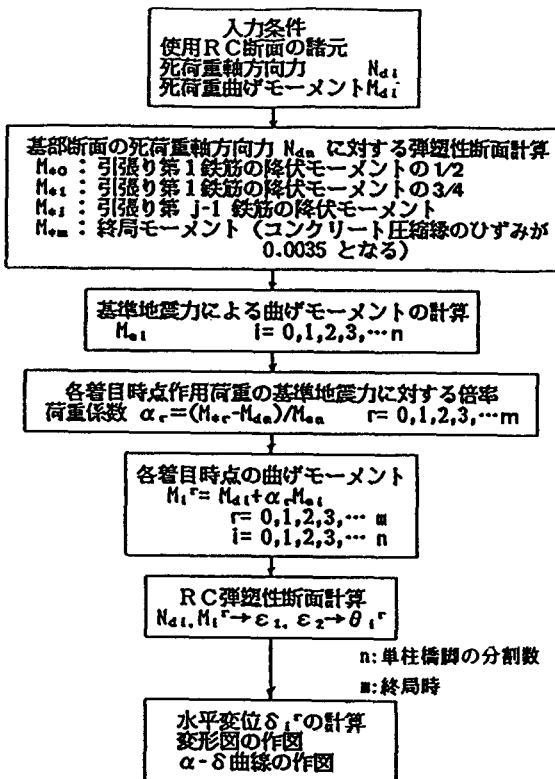


図-3 変形性能解析手順

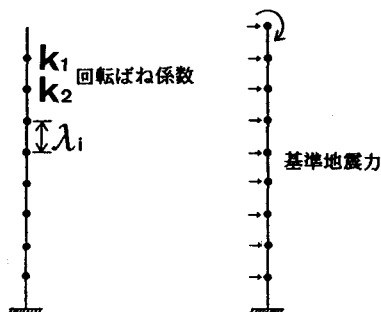


図-2 単柱橋脚の剛体リンク・回転ばねモデル

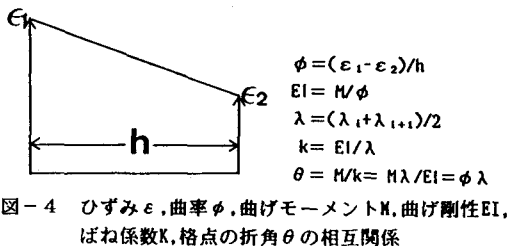


図-4 ひずみ ε 、曲率 ϕ 、曲げモーメント M 、曲げ剛性 EI 、ばね係数 K 、格点の折角 θ の相互関係

参考文献：道路橋示方書・解説V耐震設計編