

鉄筋コンクリート門形橋脚の変形性能に関する研究

佐賀大学理工学部 正会員 井嶋克志

正会員 後藤茂男

1. はじめに 鉄筋コンクリート橋脚の耐震設計において、設計震度がある程度上回るような地震荷重が作用しても、脆性的な破壊を生じることなく橋脚が耐力を保持していることが必要とされている。したがって、道路橋示方書・同解説V耐震設計編(昭和55年5月)の参考資料には、橋脚の終局時と降伏時の変位の比からじん性率を計算し、安全率を見込んだ許容塑性率から橋脚のじん性に関する安全性を評価することとなっている。しかし、現状のように設計現場にもパーソナルコンピュータが普及している時点において、橋脚の弾塑性解析に基づく変形性能の計算は、示方書に示されている計算法より容易に精度良く計算できると思われる。すなわち、鉄筋コンクリート断面の弾塑性計算においては、示方書では断面内を一定ひずみ、一定応力のセグメントに分割し、試算により中立軸の決定、曲率の計算を行うこととなっている。しかし、一般的な橋脚断面は矩形、円形、小判形およびこれらの組み合わせに限られており、断面力は平面保持の仮定もとに両縁ひずみの関数として積分により簡単に計算できる。したがって、この両縁ひずみをパラメーターとするNewton-Raphson法により、容易に作用断面力に対するひずみと応力状態を求めることができる。また、この橋脚断面の弾塑性計算結果から、鉄筋降伏時から断面終局時に至る過程において、断面の曲げ剛性は急激に劣化することが判明し、橋脚を区間分割する変位計算では、区間内曲げ剛性一定の仮定は適切ではなく、剛体リンク・回転バネモデルの構造系が合理的であると考えられる。この考え方に従い、既に単柱橋脚の変形性能の計算法については報告したので²⁾、本研究では示方書に示されていない門形橋脚の橋軸直角方向の変形性能計算法を示したものである。

2. 鉄筋コンクリート橋脚断面の弾塑性計算法 示方書に準じているため平面保持とし、鉄筋とコンクリートの付着特性やひび割れ進展については考慮せず、せん断破壊に対しては帯鉄筋等により配慮されているものとして曲げ破壊のみを考える。コンクリートと鉄筋の応力-ひずみ曲線は、示方書と同じで図-1に示す通りである。

鉄筋コンクリート断面に軸力 N 、曲げモーメント M が作用するとき、この作用断面力は両縁ひずみ ε_1 、 ε_2 の関数として表され、この作用断面力のそれぞれの変分 δN 、 δM を考えれば、両縁ひずみを求める反復公式は次式で表される。

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

ここに、上付きサフィックス r は r 回目の計算値を示す。上式の両縁ひずみから断面の曲率を計算し、これより作用断面力に対する断面の曲げ剛性が計算できる。

3. 門形橋脚の変形性能計算法および数値計算例 門形橋脚の変形性能計算に使用する力学モデルは、図-2に示す剛体リンク・回転バネ形とした。すなわち、図のように格点に集まる剛体リンクはそれぞれの部材端の回転バネを介して、格点剛体に連結されているものとする。図-2(a)を参照すれば、格点 i における回転バネのばね定数 k_i は式(2)で与えられる。また、このばね定数を用い、図-2(b)で表される両端が i 、 j の部材の端モーメント式は、その両端の格点剛体とリンクとの開き角を θ_{ij} 、 θ_{ji} とすれば式(3)で表される。

$$k_i = E I_i / \lambda \quad (2)$$

ここに、 $\lambda = (\lambda_i + \lambda_{i+1}) / 2$ である。式(3)

$$\begin{Bmatrix} M_{ij} = k_i \theta_{ij} + M_i \\ M_{ji} = k_j \theta_{ji} + M_j \end{Bmatrix} \quad (3)$$

において、格点 i 、 j に塑性ヒンジが発生しない

場合 $M_i = M_j = 0$ 、 i 端に塑性ヒンジが発生す

る場合 $k_i = M_i = 0$ 、 M_i は断面 i の正の塑性モーメントとなる。一方、 j 端に塑性ヒンジが発生する

場合 $k_j = M_{ij} = 0$, M_{ij} は断面 j の負の塑性モーメントとなる。

以上の式を用い、変位法により門形橋脚の変形性能計算を行うとき、不静定構造物であるため終局に至る計算過程において幾つかの問題点が生じる。すなわち、i) 解としての断面力は部材の曲げ剛性の変化に極めて敏感であり、この断面力の変化がまた曲げ剛性の急変を惹起する悪循環が発生する。ii) したがって、構造系の節点数と多くなる反復回数に応じて鉄筋コンクリート断面の弾塑性計算が必要となり、計算時間の増加が問題となる。i) に対しては、橋脚天端に水平方向の変位を拘束する支点を設け、この支点の水平変位を制御する、いわゆる変位増分による計算法を用いれば、良好な収束計算を行うことができる。一方、ii) に対しては、断面力に応じた部材の曲げ剛性の反復計算を簡単にするため、あらかじめ適当な上下限の軸力に対して求めた $M-EI$ 曲線を用いて線形補間により、断面力に対する曲げ剛性を計算すればよい。また、図-3 に点線で示される簡略化した $M-EI$ 曲線を用いれば、橋脚の変形性能の計算精度をあまり変えることなく、計算時間を短くできる。図-4 には、門形橋脚の変形性能の数値計算例を示している。

参考文献 1) 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 昭和55年 2) 田野他, RC 橋脚の変形性能照査のための一弾塑性断面計算法, 土木学会第42回年講

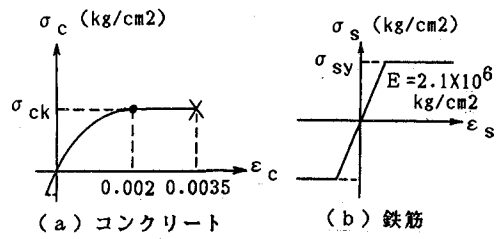
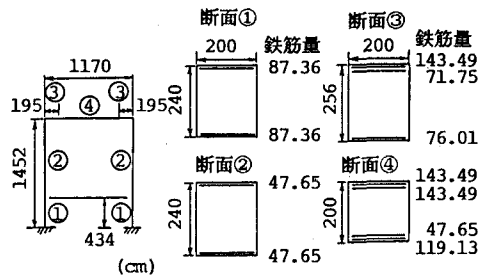


図-1 コンクリートと鉄筋の応力-歪曲線



(a) 数値計算に使用した門形橋脚

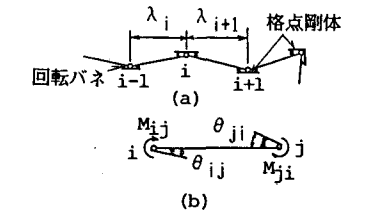
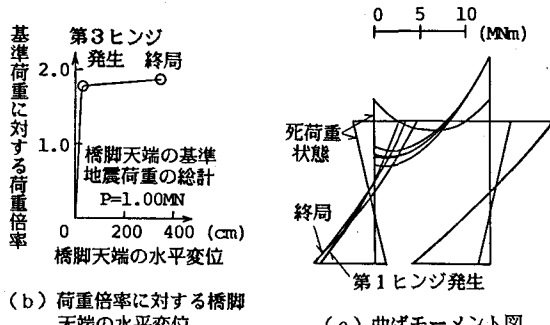


図-2 門形橋脚の変形性能計算に使用する力学モデル



(b) 荷重倍率に対する橋脚天端の水平変位 (c) 曲げモーメント図

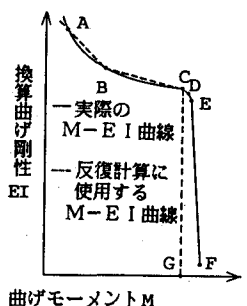


図-3 門形橋脚の変形性能計算に使用する曲げモーメントと換算曲げ剛性の関係

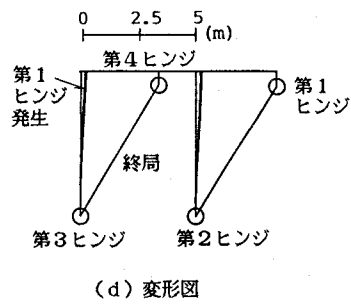


図-4 門形橋脚の変形性能の数値計算例