

関西大学工学部 正会員
(株) 国土開発センター

堂垣正博 関西大学大学院 学生員 ○安田和宏
木村公人 関西大学工学部 フェロー 三上市藏

1. まえがき わが国は世界でも有数の地震国で、度重なる大地震によって甚大な被害を幾度も被ってきた。さきの兵庫県南部地震では、道路網を構成する高架橋の橋脚に多くの損傷がみられた。しかしコンクリート橋脚と比べ、鋼製橋脚が受けた損傷は軽微であったといわれる。その理由の一つに、車両衝突対策として充填されていたコンクリートの存在が挙げられる。

ここでは、コンクリートが部分的に充填された鋼製円筒を対象に、圧縮力と水平荷重が作用する場合の弾塑性履歴挙動を Up-dated Lagrangian 手法にもとづいた有限要素法で解析的に明らかにする。

2. 解析モデル 図-1(a)に示す高さ h 、コンクリート充填高さ h_c の片持ち柱に圧縮力 P と水平方向の繰り返し荷重 H が同時に作用する場合の弾塑性挙動を明らかにする。柱は半径 r 、肉厚 t の円筒断面で、製作時の不可避的な水平たわみと残留応力が生じているものとする。

漸増や繰り返しの荷重が作用する部材を弾塑性域で解析する場合、荷重と等価な変位を与え、変位を制御しながら解析するのが一般的である。ここでは、図-1(b)に示すようなモデルで解析する。すなわち圧縮力 P を頂部に、繰り返し荷重に相当する水平の変位 δ を基部に与えることにする。

鋼材の応力-ひずみ関係には、図-2(a)に示すひずみ硬化型の Bi-linear な関係を適用し、弾性域およびひずみ硬化域での接線弾性係数をそれぞれ $E_s=2.1 \times$

10^6 kgf/cm^2 , $E_{sp}=E_s/100$ とする。降伏点応力は $\sigma_y=2,400 \text{ kgf/cm}^2$ である。また、コンクリート材料には図-2(b)に示す Tri-linear な関係を仮定し、接線係数をそれぞれ $E_{c1}=1.5 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$, $E_{c2}=0.5 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$, $E_{c3}=0$ とする。それに対応するコンクリートの圧縮強度をそれぞれ $\sigma_{cy1}=150 \text{ kgf/cm}^2$, $\sigma_{cy2}=200 \text{ kgf/cm}^2$ とし、コンクリートの破壊ひずみを 1.1% とした¹⁾。ただし、コンクリートは引張りには抵抗せず、曲げ変形のみを考慮する。

3. 解析法 解析対象のコンクリート充填鋼柱を 2 節点 6 自由度のはり-柱要素に離散化し、要素での節点力と節点変位の関係を Up-dated Lagrangian 手法を適用してポテンシャルエネルギー最小の原理から誘導した。また、それを構造系全体で合成し、系全体の剛性方程式を求めた。得られた方程式は多元連立の非線形代数方程式で、荷重増分ごとに Newton-Raphson 法で解き、繰返し荷重下での柱の弾塑性履歴を明らかにする。

4. 数値解析結果と考察

(1)変形性能 コンクリート充填率、修正細長比に着目し、橋脚の耐震性能を変形性能の視点から評価する。ここでは塑性率を

$$\mu_{95} = \frac{\delta_{95}}{\delta_y} \quad (1)$$

によって定義し、変形性能の指標とする²⁾。ここに、 δ_y は降伏水平荷重 H_y に達したときの水平変位であり、 δ_{95} は最高荷重を経てその 95% に達したときの変位である。

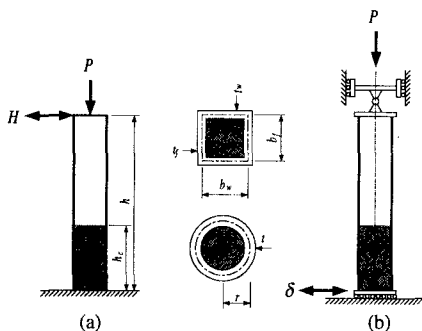


図-1 解析モデル

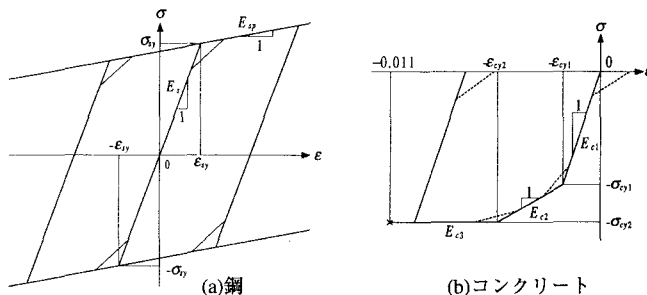


図-2 応力-ひずみ関係

$\bar{\lambda}=0.5, 0.6, 0.7$ の修正細長比に対し、充填率と塑性率の関係は図-3 のようになる。ただし、断面のパラメータを表-1(a)のように与えた。また、軸力比 $P/P_y=0.2$ の場合である。図から明らかなように、充填率の増加とともに、優れた変形性能が期待できる。ただし、コンクリート充填率が40%以上になると、変形性能にあまり差異は見られない。

(2)履歴挙動 軸力比や修正細長比が繰り返し履歴挙動に及ぼす影響を調べ、図-4 に示す水平荷重-水平変位の履歴曲線を得た。ただし、反復曲げの振幅は $\delta/\delta_y=1, 1.5, \dots, 4$ のように変動させ、それぞれの振幅でのサイクル数は1回とした。修正細長比 $\bar{\lambda}=0.5$ と 0.7 、軸力比 $P/P_y=0.2$ と 0.3 の場合である。また、コンクリート充填率 $h_c/h=0.4$ である。

図-4(b)に示す $P/P_y=0.3$ の場合、 $P/P_y=0.2$ のときと比較して、強度の低下が若干みられる。これは、圧縮力の増大とともに水平方向の変形による付加的な曲げの作用が増大したためと考えられる。

表-1 断面のパラメータ

(a)	r/t	40
	b_f/b_w	1
(b)	t_f/t_w	1
	b_f/t_f	94

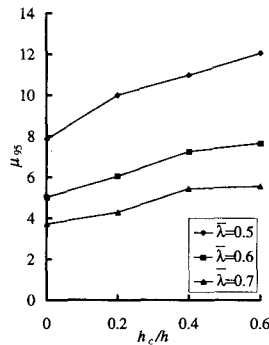


図-3 修正細長比と充填率が変形性能に及ぼす影響

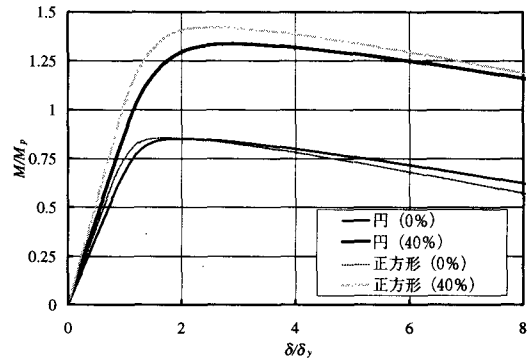


図-5 断面形状と充填率が及ぼす影響

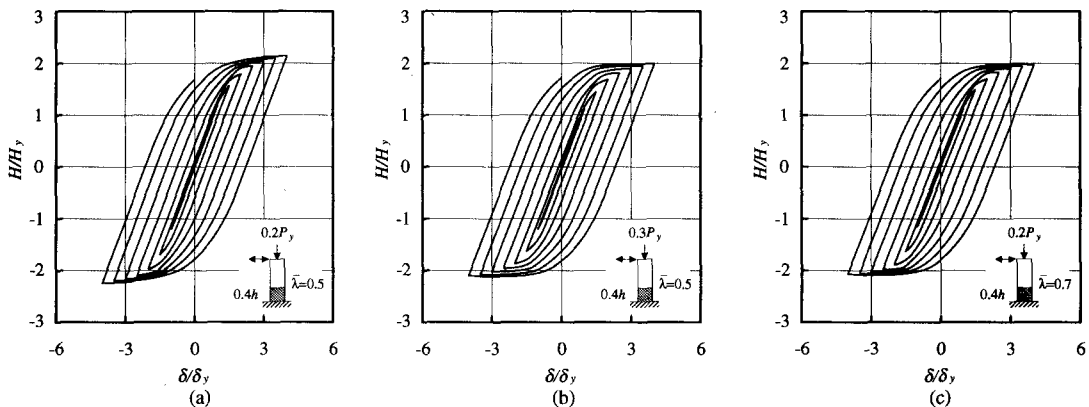


図-4 軸力比・修正細長比が及ぼす影響