

I - A80

コンクリート充填鋼製橋脚の繰り返し曲げ挙動と変形状

日立造船 正会員 増田智成* 関西大学大学院 学生員 安田和宏**
 関西大学工学部 正会員 堂垣正博** 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、度重なる巨大地震によって甚大な被害を幾度も被ってきた。高架橋の橋脚では大地震時のような激震に対しても、機能が十分に発揮されるような構造であらねばならないことが兵庫県南部地震で痛感された。さきの地震では、車両の衝突防護用として充填されていたコンクリートが鋼製橋脚の被害を軽減したことから、コンクリートの部分充填が橋脚の耐震性向上の一つの解決策であると考えられる^{1,2)}。

ここでは、地震時における鋼製橋脚の耐震性能を明らかにするため、Up-dated Lagrangian手法によって定式化した有限要素法によって圧縮力と水平方向の繰り返し荷重が同時に作用する箱形断面のコンクリート充填鋼柱を解析し、その弾塑性履歴挙動を明らかにする。さらに、ダメージを受けた鋼製橋脚のコンクリート充填による補強効果を検討する。

2. 解析モデル Fig.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、その弾塑性有限変位挙動を明らかにする。柱は幅 b_f 、厚さ t_f のフランジと幅 b_w 、厚さ t_w の腹板からなる無補剛箱形断面で、不可避免的初期たわみと残留応力を有しているものとする。

ところで、変位制御型の載荷法で解析する場合、一点に異なった方向の2変位を同時に与えて解析することもできるが、ここではFig.1(a)をFig.1(b)のようにモデル化し解析する。すなわち、圧縮力 P を頂部に、水平の繰り返し荷重に相当する変位 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、Fig.2(a)に示すひずみ硬化を考慮したBi-linear型のモデルを適用し、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 $E_s=2.1 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $E_p=E_s/100$ 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、Fig.2(b)に示すTri-linear型のモデルを仮定し、接線係数をそれぞれ $E_{c1}=1.5 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $E_{c2}=0.5 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$ 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 $\sigma_{cy1}=150 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $\sigma_{cy2}=200 \text{ kgf/cm}^2$ とした。また、鋼板による拘束効果を考え、ひずみが1.1%に達したらコンクリートが破壊するものとした³⁾。ただし、コンクリートは引張には抵抗せず、曲げ変形のみを考慮し、鋼材との付着は考えない。

3. 解析法 解析対象のコンクリート充填鋼柱を有限個の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て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、繰り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 さまざまな断面のコンクリート充填鋼柱が考えら

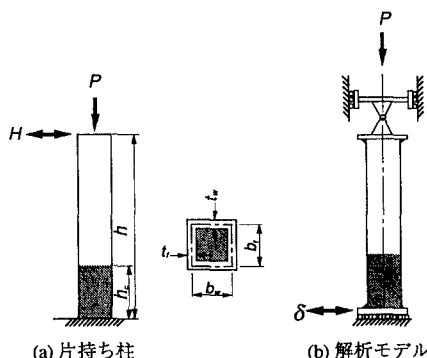
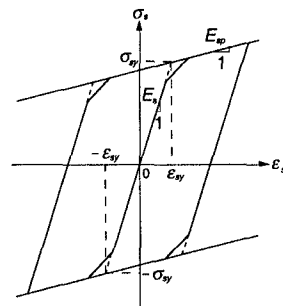
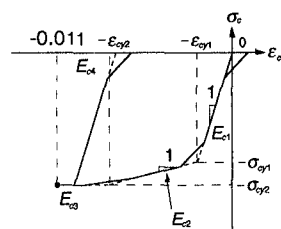


Fig.1 コンクリート充填鋼製橋脚



(a) 鋼材の応力-ひずみ関係



(b) コンクリート材料の応力-ひずみ関係

Fig.2 応力-ひずみ関係

Key Words : コンクリート充填鋼製橋脚, 変形性能, エネルギー吸収量, 補強効果, 有限要素法

* 〒554 大阪市此花区桜島1-3-40 TEL06-465-3030 FAX 06-465-4054

** 〒564-80 吹田市市山手町3-3-35 TEL06-368-0882 FAX 06-368-0882

れるが、ここではフランジと腹板の幅厚比を $b_f/t_f = b_w/t_w = 20$ ($R_f = R_w = 0.356$)、箱断面形状比を $b_w/b_f = 1$ とした。また、片持ち圧縮柱の座屈モードに対応する初期たわみの最大値を $v_{\max} = h/500$ 、台形分布に仮定した圧縮残留応力を $-0.2\sigma_y$ とした。なお、有限要素数を30、断面内の分割数を140とした。

(1) 解の精度 本解析手法の妥当性を既往の実験や解析の結果²⁾と比較検討するため、圧縮力と漸増水平荷重を同時に受けるコンクリート充填鋼柱を解析した。その結果、Fig.3に示す水平荷重-水平変位曲線を得た。横軸は柱頂部での水平変位 δ を初期降伏時の水平変位 δ_y で無次元化した値、縦軸は水平荷重 H を降伏荷重 H_y で無次元化した値である。図から明らかなように、本解析結果は、最高荷重までの変形過程において、宇佐美らの解析結果とかなりよい一致を示している。また、実験結果との比較においても、水平荷重-水平変位関係にかなりよい相関があり、本解析手法はコンクリート充填鋼柱の変形挙動を明らかにするのに信頼できる解法であることがわかる。

(2) 変形性能 コンクリートの充填効果が橋脚の耐震性能へ及ぼす影響を変形性能の観点から評価する。軸力比 $P/P_y = 0.2$ 、修正細長比 $\bar{\lambda} = 0.5, 0.6$ 、コンクリート充填率 $h/h_c = 0 \sim 0.5$ の場合の水平荷重-水平変位曲線から求められる塑性率 μ

$$\mu = \frac{\delta' - \delta_y}{\delta_y} \quad (1)$$

と充填率、修正細長比の関係をFig. 4に示す。式(1)の δ' は片持ち柱が降伏後、最高荷重を経て再び降伏水平荷重 H_y に達したときの水平変位である。図から明らかなように、コンクリート充填鋼柱は、中空断面からなる鋼柱と比較して、かなりの変形性能が期待できるが、コンクリート充填率が $\bar{\lambda} = 0.5$ の場合は10%、 $\bar{\lambda} = 0.6$ の場合は30%以上になると、それ以下の場合と異なって変形性能に差異が認められない。

(3) 軸力比 軸力比の大きさがコンクリート充填鋼柱の履歴挙動に及ぼす影響を検討するため、 $P/P_y = 0.2$ と 0.3 の水平荷重-水平変位の履歴曲線をFig.5(a)と(b)に示す。ただし、 $\bar{\lambda} = 0.5$ の場合である。図中には、塑性崩壊曲線も示す。反復曲げの振幅を $\delta/\delta_y = 1, 1.5, \dots, 4$ 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。図より、 $P/P_y = 0.3$ の場合、 $P/P_y = 0.2$ の場合に比較して、若干の強度減少がみられる。これは、圧縮力の増大による水平方向の付加曲げの影響と思われる。

(4) コンクリートを充填することによる補強効果 $\bar{\lambda} = 0.5$ 、 $P/P_y = 0.2$ の場合、コンクリート充填鋼柱とダメージを受けた後に補強した

鋼柱の比較をFig.6(a)と(b)に示す。ただし、繰返し載荷の際の変動振幅を補強前の片持ち鋼柱に $\delta/\delta_y = 1, 1.5, \dots, 4$ 、補強後は $\delta/\delta_y = 1, 1.5, \dots, 3$ と作用させた。補強の前後とも各振幅でのサイクル数は1回とした。Fig.6(b)から明らかなように、補強直後に若干の強度上昇がみられるが、変位が増加するとコンクリート充填鋼柱ほどの強度上昇はない。

なお、本研究の一部は平成8年度科学研究費補助金（基礎研究(c)(2)：08650563：代表者三上市蔵）の補助を受けた。

参考文献 1) 中井・北田・中西：土木学会論文集，No.513/I-31，1995-4。2) 葛・宇佐美：土木学会論文集，No.513/I-31，1995-4。3) 土木学会鋼構造委員会・鋼構造新技術小委員会耐震設計研究WG編：土木学会，1996-7。4) 酒造・事口・西：構造工学論文集，Vol.39A，1993-3。

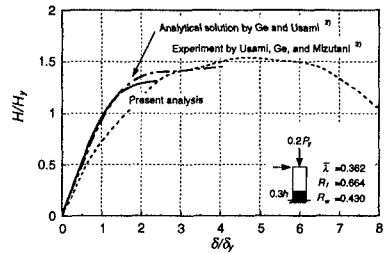


Fig.3 本解と既往の研究との比較

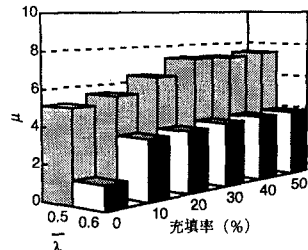


Fig.4 修正細長比と充填率が変形性能に及ぼす影響

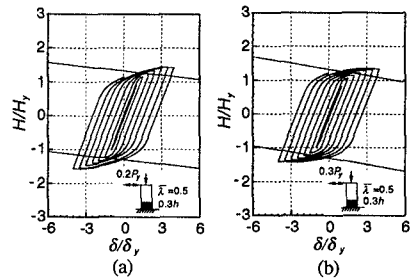


Fig.5 軸力比が履歴挙動に及ぼす影響

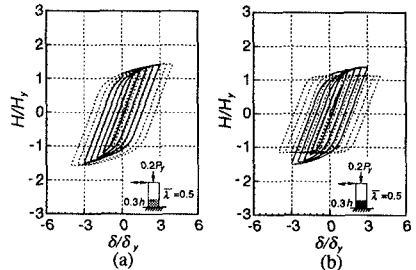


Fig.6 コンクリート充填による補強効果