

I-112

長方形断面の鋼製・合成橋脚柱の弾塑性域における曲げモーメント－曲率曲線

大阪市立大学 正 員 中西克佳
大阪市立大学 正 員 北田俊行

大阪市立大学 正 員 中井 博
松尾橋梁塾 正 員 三原邦啓
（研究当時、大阪市立大学学生）

1. まえがき 過大な地震荷重を受ける鋼製・合成橋脚柱の弾塑性応答解析を行うために、本研究では、過去に行われたハイブリッド実験結果、および繰返し載荷実験結果^{1)~3)}を分類・整理して、鋼製断面柱、および合成断面柱の弾塑性域における曲げモーメントと曲率との関係式を導き、地震応答解析を通じて、その妥当性を検討した。

2. 基本解析モデル 図-1に示す片持柱を対象にして、解析する。

3. 鋼製断面の曲げモーメントと曲率との関係式に関する仮定 図-2に示す鋼製断面の曲げモーメントと曲率との関係式を、以下の仮定のもとに作成した。

①弾性剛性は常に M_{ys} （降伏曲げモーメント）/ ϕ_{ys} （降伏曲率）であり、また正負の弾性領域の幅は常に $2\phi_{ys}$ であるものとする。

②降伏点と各サイクルの最大曲げモーメント点（以下、ピーク曲げモーメント点という）とは、直線で結べる。また、ピーク曲げモーメント点に至るまで 図-1 基本解析モデルの繰返し載荷によるピーク曲げモーメントの低下はないものとする。

③ピーク曲げモーメント点後の耐荷力の低下は、断面の局部座屈によるものと材料強度の変動によるものとする。この領域における $M-\phi$ 曲線の包絡線は、図-2に示すように、直線で表せる。その傾きを表すパラメータ ψ は、次式に示す軸力比 N/N_{ps} （ N_{ps} ：全塑性軸力）の2次関数で与えられるものとする。

$$\left. \begin{aligned} \psi &= -0.185 \left(\frac{N}{N_{ps}} \right)^2 - 0.398 \left(\frac{N}{N_{ps}} \right) && \text{：片側繰返し時} \\ \psi &= -0.185 \left(\frac{N}{N_{ps}} \right)^2 - 0.398 \left(\frac{N}{N_{ps}} \right) - 0.379 && \text{：両側繰返し時} \end{aligned} \right\} \dots\dots(1) \text{ a, b}$$

④各反復サイクルごとのピーク曲げモーメント $M_{us, i}$ の低下率は、次式で与えられるものとする。

$$\frac{M_{us, i}}{M_{us, 1}} = 1 - \alpha \sqrt{\frac{\phi_{x, i-1}}{\phi_{us}}} \dots\dots(2)$$

ここに、パラメータ α は、実験結果から定める低減係数、 $\phi_{x, i-1}$ ： i サイクル目のピーク曲げモーメントが終了し、強度低下が始まる点から曲げモーメントの除荷が始まる点までの曲率である。

⑤ピーク曲げモーメント点を越えた後の $M-\phi$ 曲線上の点から曲率の反対側のピーク曲げモーメント点までは、直線で結ぶことができるものとする。そして、その間の曲率は、常に $2\phi_{us}$ であるものとする。

⑥曲率の正側と負側との $M-\phi$ 曲線は、相互に影響し合うものとする。

なお、ピーク曲率は、局部座屈と残留応力とを無視した弾塑性解析により求めた。

4. 合成断面の曲げモーメントと曲率との関係式に関する仮定 図-3に示す合成断面の曲げモーメントと曲率との関係式を、以下の仮定のもとに作成した。

①弾性剛性は常に M_{yc}/ϕ_{yc} であり、また正負の弾性領域の幅は常に $2\phi_{yc}$ である。

②降伏点とピーク曲げモーメント点とは直線で結べる。また、作用曲げモーメントが鋼製断面として計算した全塑性曲げモーメント M_{ps} 以下に低下するまで繰返し載荷による耐荷力の低下は、ないものとする。

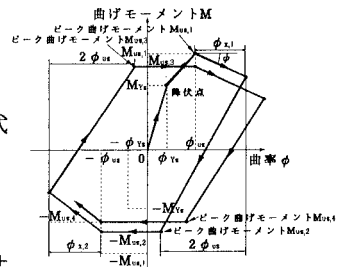
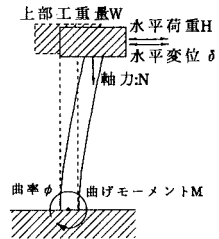


図-2 鋼製柱モデルの曲げモーメント－曲率曲線

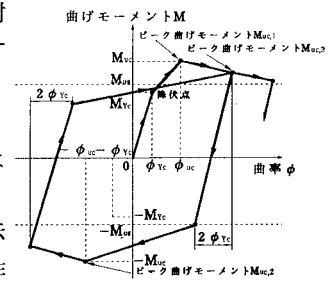


図-3 合成柱モデルの曲げモーメント－曲率曲線

- ③ピーク曲げモーメント点後の $M-\phi$ 曲線の包絡線は、作用曲げモーメントが M_{ps} に低下するまで、図-3に示すように、直線で表すことができる。また、その傾きを表すパラメータ ϕ は次式で与えられるものとする。

$$\left. \begin{aligned} \phi &= -0.563 \left(\frac{N}{N_{ps}} \right)^2 - 0.047 \left(\frac{N}{N_{ps}} \right) && \text{片側繰返し時} \\ \phi &= -0.563 \left(\frac{N}{N_{ps}} \right)^2 - 0.047 \left(\frac{N}{N_{ps}} \right) - 0.135 && \text{両側繰返し時（スタッドなし）} \\ \phi &= -0.563 \left(\frac{N}{N_{ps}} \right)^2 - 0.047 \left(\frac{N}{N_{ps}} \right) - 0.080 && \text{両側繰返し時（スタッドあり）} \end{aligned} \right\} \dots\dots(3) \text{ a} \sim \text{c}$$

- ④ピーク曲げモーメント点を超えた後の $M-\phi$ 曲線上の点から曲率の反対側の変曲点までは、直線で結ぶことができるものとする。そして、その間の曲率は、常に $2\phi_{yc}$ であるものとする。

- ⑤曲率の正側と負側との $M-\phi$ 曲線は、相互に独立である。

- ⑥作用曲げモーメントが M_{ps} 以下に低下した時点から、 $M-\phi$ 曲線は、3.に示した鋼製断面のものにしたがうものとする。

- ⑦降伏曲率、降伏曲げモーメント、およびピーク曲げモーメントの計算には、鋼とコンクリートとのヤング係数比として、 $n=15$ を用いるものとする。

なお、ピーク曲率は、局部座屈、残留応力、および充填コンクリートを無視した弾塑性解析により求めた。

5. 解析結果 上述の3.、および4.で示した仮定にもとづき、図-1の解析モデルを一自由度系振動体に置換し、地震応答解析プログラムを作成のうえ、地震応答解析を行った。図-4には鋼製柱供試体の解析結果を、また図-5には合成柱供試体の解析結果を、それぞれハイブリッド実験結果^{1)~3)}と比較して示す。

6. まとめ 本研究で得られた成果をまとめると、以下のとおりである。

- 1) 本研究で提案した箱形断面を有する鋼製柱に対する曲げモーメントと曲率との関係式は、ハイブリッド実験結果とあまり一致しなかった。今後、以下の諸点について検討する必要がある。

- ①ピーク曲げモーメント点後の曲げモーメントと曲率との関係式は、直線より滑らかな2次曲線、あるいは3次曲線とする必要がある。
- ②残留応力による降伏曲率 ϕ_y の低下、および終局曲率 ϕ_{ps} の増加を考慮する必要がある。

- 2) 合成柱に対する曲げモーメントと曲率との関係式は、ハイブリッド実験結果とはほぼ一致したが、なお検討の余地が残されている。

参考文献

- 1) 中井 博・北田俊行・吉川 紀・中西克佳・尾山達巳：コンクリートを充填した長方形箱形断面の耐荷力と変形性能に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.39A，pp.1347～1360，1993年3月。
- 2) 中井 博・北田俊行・中西克佳・杉山 功・河野康史：地震荷重を受けた後の合成柱（充填形式）の耐荷力、および変形性能に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.40A，pp.1401～1412，1994年3月。
- 3) 中井 博・北田俊行・中西克佳：漸増繰返し荷重を受ける鋼製・合成橋脚柱の耐荷性状に関する実験的研究，土木学会論文集，No. 513/I-31，pp.178～190，1995年4月。

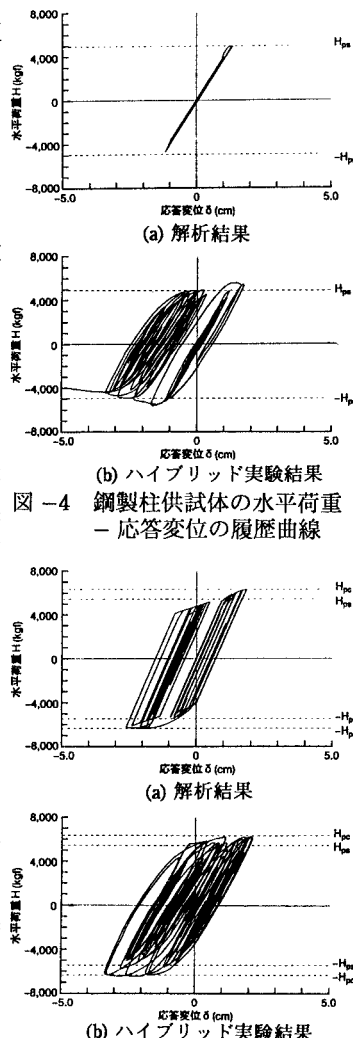


図-4 鋼製柱供試体の水平荷重-応答変位の履歴曲線