

東京大学 学生員 ○野口 哲男
 東京大学 梅原 香哲
 東京大学 学生員 上田 多門

1. はじめに

せん断の影響が少なく、曲げによって耐力が決定される橋脚に関して、過去の研究により荷重-変位曲線のうち、包絡線についてはほぼ正確に推定することが可能となっている。しかし、除荷時及び再載荷時の内部曲線については、動的解析を行なう際、除荷時剛性と履歴減衰を決定する重要な曲線にもがかわらず、その推定は実験による段階に留まっている。本研究では、内部曲線を解析的に求めるため、まずコンクリートと鉄筋の履歴特性を仮定してモーメント-曲率関係を求めた。それを材軸に沿って積分することで、曲げによる挙動を知ることができた。このようにして求めた曲げによる変位と、実験より得られた荷重-変位の関係を比較することで、変位に寄与する曲げ以外の要素、すなわち鉄筋の抜け出し等を分離することが可能となり、その性質について検討を加えた。

2. コンクリートの応力-歪関係¹⁾

図-1に略図を示す。包絡線は最大応力を σ_B 、最大歪力時の歪を ε_B として梅村の η 関数を用いた。

$$\eta = 6.75(e^{-0.812\xi} - e^{-1.218\xi})$$

$$\text{但し } \eta = \sigma/\sigma_B \quad \xi = \varepsilon/\varepsilon_B$$

除荷については、除荷時の無次元応力、及び無次元歪を (ξ_a, η_a) とし、残留歪を ξ_0 として

$$\eta = (\xi - \xi_0)\{A(\xi - \xi_a) + \eta_a/(\xi_a - \xi_0)\}$$

$$A = 0.225\xi_a^2 - 1.225\xi_a + 1.85$$

なる二次曲線で除荷されるものとする。 ξ_0, α は

$$\xi_0 = \xi_a - \eta_a(\xi_a + \alpha)/(\eta_a + E\alpha)$$

$$\alpha = 0.1175\sqrt{\xi_a}$$

とする。再負荷の場合は、 $(\xi_0, 0)$ より過去の最大歪の点を直線的に目指すものとする。引張側は応力0とする。

3. 鉄筋の応力-歪関係²⁾

図-2に略図を示す。包絡線については、歪は降伏応力までは応力に比例(ヤング率 E)し、歪硬化を生じ始める点 L から一定傾き E' で増加するものとする。除荷時は、すべて傾き E で降りるものとする。逆方向載荷時の関係は反対側の履歴、すなわち圧縮側は引張側の応力履歴に大きく依存しており、次の三式で与えられる。

$$(\frac{\sigma}{\sigma_s} - a)(\frac{E_B}{\sigma_s} \varepsilon + a - 1) - a(1 - a) = 0$$

$$a = \frac{E}{E - E_B}$$

$$E_B = -\frac{E}{6} \log_{10} 10 E_s$$

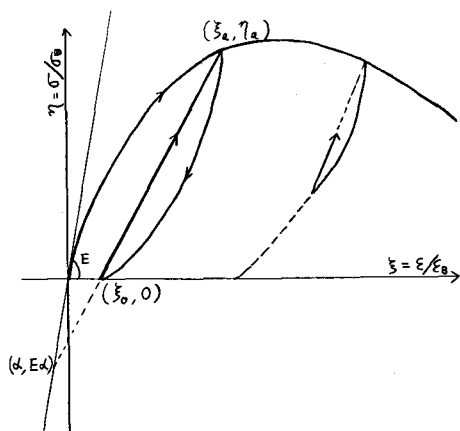


図-1 コンクリートの応力-歪関係

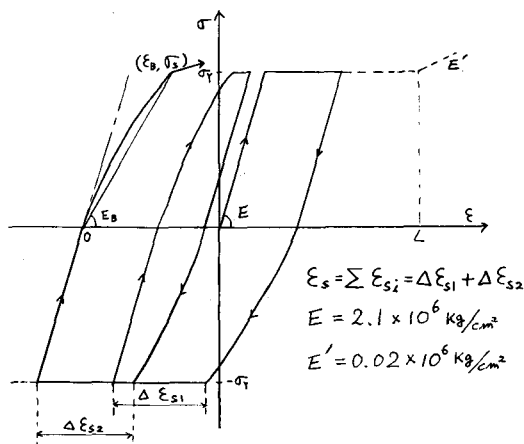


図-2 鉄筋の応力-歪関係

ここで、 ε_s はそれまでに経験した反対側のすべての塑性歪の合計である。

4. 解析

計算に際して、前述したコンクリート及び鉄筋の応力-歪関係と平面保持の仮定を設ける。与えられた断面をいくつかに分割し、設定された曲率 ρ に対するモーメント M を逐次近似的に求めた。すなわち中立軸を仮定することで断面の歪分布が与えられるので、各微小要素の応力が求められる。コンクリートと鉄筋に生じる合力を計算し、力の釣り合いが得られるまで中立軸位置を補正して $M-\rho$ 関係を算出した。柱に作用する荷重が与えられると、材軸方向の各断面に作用する M が計算され、これに対応する ρ を積分することで、曲げによる変位が計算される。

5. 鉄筋の抜け出しによる回転

橋脚の荷重-変位曲線を求める際、曲げによる躯体自体の変位の他に、軸方向鉄筋がフーチング内でも応力を受け、すべり出し、これによって付加的な回転が生じ変位が助長される。前述の解析方法で曲げによる変位を解析的に求めることが可能になったため、実験で得られた荷重-変位の関係と比較することで、鉄筋の抜け出しによる変位を分離し、間接的ながら量的に把握することも可能となった。実際の履歴曲線を二つの要素に分解したものが図-3である。一方、曲げ耐力が決まる柱のうち、これまで実験例が少なかった軸力のかかった柱の繰返し載荷実験を行ない、鉄筋の抜け出しによる回転を測定した。図-4で実線が回転による変位の計算値であり、それと合わせて実験値をプロットしてある。両者はほぼ同じ性状のループを描くことがわかり、先に述べた解析方法の妥当性が確かめられた。分離した回転による変位の特徴を挙げると、

- (1) 全たわみに占める割合は、鉄筋降伏前までは10~20%程度であり、降伏後急激に増加し40~50%程度まで達するが、鉄筋降伏時の変位の1.5倍~2倍で横ばいになる。
- (2) 回転による変位のループ面積は大きく、特に軸力下では、塑性変形の大部分を受け持っている。
- (3) 鉄筋の抜け出しは、付着性状と表裏一体であるので、軸力、コンクリート強度、鉄筋量、かぶり、繰返し回数により異なる。

このように鉄筋の抜け出しが復元力特性に大きな影響を与えることが認められた。

参考文献

- 1) 滝口克己他“鉄筋コンクリート断面の二軸曲げ解析”日本建築学会論文報告集 250号 昭和51年
- 2) Ben KATO “Mechanical properties of steel under load cycles idealizing seismic actions” CEB Symposium, Rome, Mai 1979

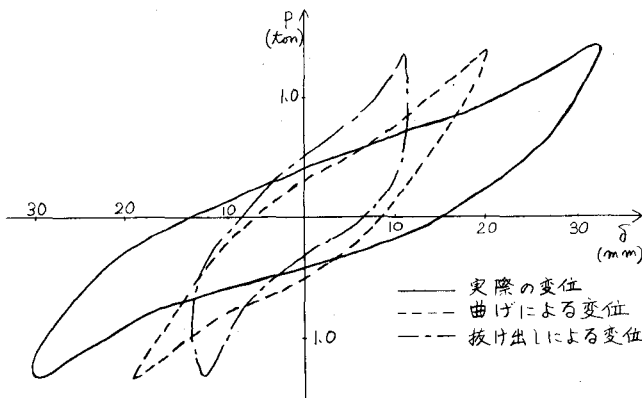


図-3 たわみの分解

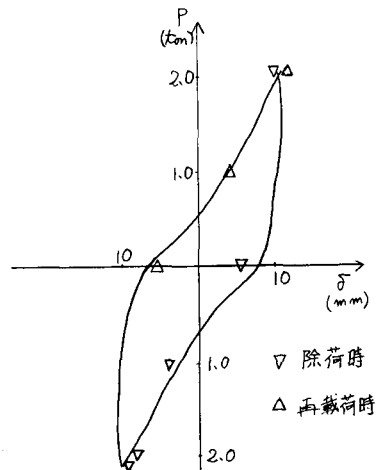


図-4 回転による変位