

I - 25

コンクリート充填鋼管の曲げ解析

金沢大学大学院 学 高木裕司

金沢大学工学部 正 前川幸次

1. はじめに

コンクリート充填鋼管は鋼管内部にコンクリートを充填させた構造であり、充填コンクリートが鋼管の耐力低下の原因となる局部座屈を防ぐだけでなく、鋼管による拘束力がコンクリートの三軸応力状態を形成してコンクリートの強度上昇をもたらすことから大きな耐荷力と変形性能が期待でき、柱部材や曲げ部材として用いた場合に優れた塑性変形性能を発現するが、その部材特性を把握することは難しい。そこで、本研究では、本来、アウトケーブルを用いたプレストレストコンクリートの解析において用いられている変形増分法¹⁾をコンクリート充填鋼管の曲げ解析に適用することにより、P C鋼棒で補強されたコンクリート充填鋼管はりの終局状態の推定を試みる。

2. 解析方法

変形増分法では各ステップごとに外部荷重による最大モーメントの位置の鋼管上縁ひずみを一定の割合で増加させる。まず、中立軸位置を仮定して各位置のひずみを鋼管上縁ひずみを用いて表し、各材料の応力-ひずみ関係を用いて断面各要素の応力を算定する。求めた各要素応力に面積を乗じて各部分の合力を算定し、力のつり合い条件から中立軸位置を繰り返し計算により決定する。中立軸位置が決定されると、内力による抵抗モーメントが計算でき、外部荷重によるモーメントと抵抗モーメントが等しいとして外部荷重を求める。以上のフロー図を図-1に示す。この際のひずみの算定に当たっては、コンクリートと鋼管については平面保持を仮定し、以下のよう求める。

$$\varepsilon_{si} = \frac{\varepsilon_g}{x_1 - x_0} \times (x_i - x_0) \quad \varepsilon_{ci} = \frac{\varepsilon_g}{x_1 - x_0} \times (x_i - x_0)$$

ただし、 $x_1 = \frac{D(n-1)}{2n}$, $x_i = x_{i-1} - \frac{D}{n}$ n : 断面分割数 D : 鋼管径

P C鋼棒については、ボンド型P C鋼棒のひずみは、コンクリートや鋼管部分のひずみと同様な方法で求められ、アンボンド型P C鋼棒のひずみは、鋼棒とコンクリートとの間のせん断力の伝達は働かないと仮定し、以下のように求める。アンボンド型P C鋼棒では、P C鋼棒とコンクリートの間の付着が定着部に限定されているので、鋼棒とコンクリートとの間にせん断力の伝達はなく、鋼棒のひずみの変化は、はり軸方向に一様である。定着具が変形しないと仮定して、P C鋼棒の総伸び量 δ_t が鋼棒のある位置の充填鋼管の総伸び量 δ_s と等しいという適合条件から、鋼棒の総伸び量 δ_t を鋼管上縁のひずみで表す。充填鋼管部分の変形量 δ_s は、両定着具間のひずみ分布を積分することによって得られる。アンボンド型P C鋼棒のひずみは全長にわたって均一であるため鋼棒の総伸び量 δ_t は、鋼棒の全長にわたるひずみ ε_t を積分したものである。 $\delta_t = \int \varepsilon_t dx = \varepsilon_t L$

弾性領域内では δ_s は、図-2に示すひずみ図の面積等しい。 $\delta_s = \int \varepsilon_s dx = \frac{(\varepsilon_s + \varepsilon_a)}{2} \times L - \varepsilon_a L$

ε_a は鋼棒の引張力の増量、 ΔP は定着具における曲げ

$$\text{ひずみである。} \quad \varepsilon_a = \frac{\Delta P \cdot d_t^2}{E_s \cdot I_v} = \frac{\varepsilon_t \cdot A_t \cdot E_t \cdot d_t^2}{E_s \cdot I_v}$$

このとき ε_t は次のようになる。 $\varepsilon_t = \frac{(\varepsilon_s + \varepsilon_a)}{2} - \varepsilon_a$

弾塑性領域では、 δ_s は図-3のようになる。この図はコンクリートと鋼管の降伏効果を考慮して修正したも

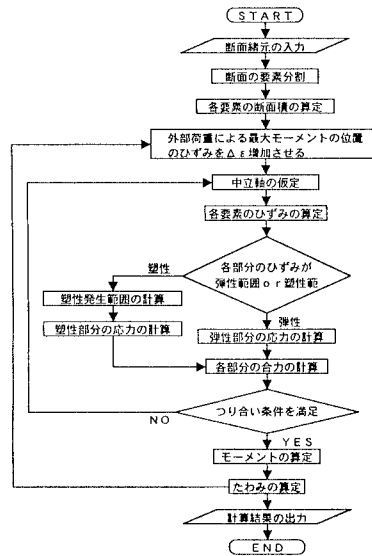


図-1 変形増分法の解析フロー

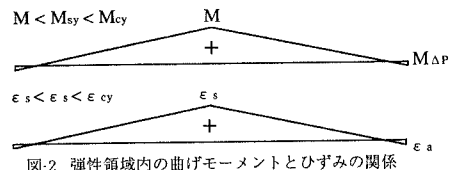


図-2 弾性領域内の曲げモーメントとひずみの関係

のであり、 M_{sy} は鋼管降伏モーメントであり、 M_{cy} はコンクリート降伏モーメントである。P C鋼棒の伸び量とP C鋼棒がある位置の充填鋼管の弾塑性変形量を等しくすると、P C鋼棒のひずみ ϵ_t は、次のようになる。

$$\epsilon_t = \frac{1}{2}\epsilon_c\left(1 - \frac{2L_{ce}}{L}\right) + \frac{1}{2}\epsilon_{cy}\left(1 - \frac{2L_{se}}{L}\right) + \epsilon_{sy} \times \frac{L_{ce}}{L}$$
 ただし、 L_{ce} はコンクリートの弾性域の長さであり、 L_{se} は鋼管の弾性域の長さである。

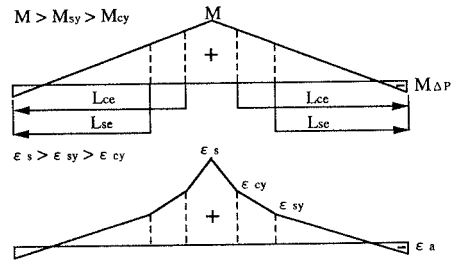


図3 弾塑性領域の曲げモーメントとひずみの関係

3. 解析例

解析例として、ボンド型、アンボンド型P C鋼棒によって、それぞれ補強された直径140mm、長さ2000mmの充填鋼管を用いたものを示し、実験値²⁾と比較する。ここで、断面を100個の水平な要素に切断し、各要素断面積、ひずみ、応力を算定し、上述の手順に基づいて解析を行う。各要素応力の算定のために用いる鋼管、コンクリート、およびP C鋼棒の応力-ひずみ曲線は実験値あるいは試験成績表に基づいてそれぞれ図-4、図-5、図-6のように各曲線で近似したものを用いており、コンクリートについては、別途行った充填鋼管の圧縮試験から得られた最大強度をもとに修正した。この応力-ひずみの各近似関係式に、各要素のひずみの値を照らし合わせることによって、それぞれのひずみに対応する応力を求めている。

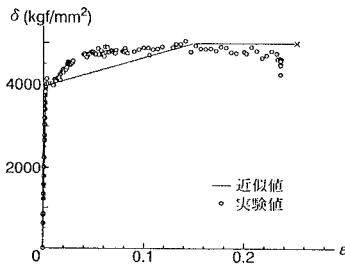


図-4 鋼管の応力ひずみ曲線

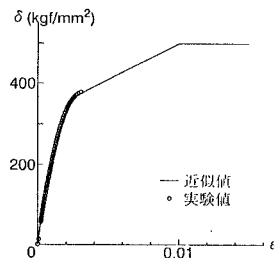


図-5 コンクリートの応力ひずみ曲線

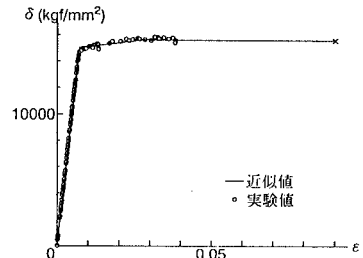


図-6 鋼棒の応力ひずみ曲線

解析結果として、図-7、図-8、図-9に、それぞれ、鋼棒による補強なしの供試体、ボンド型P C鋼棒により補強された供試体、アンボンド型P C鋼棒によって補強された供試体についての荷重-変位曲線の実験値と解析値を示す。

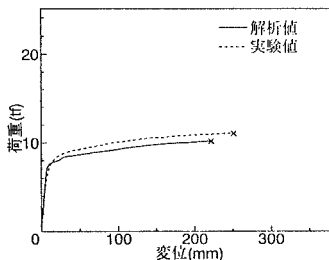


図-7 鋼棒補強なしの供試体

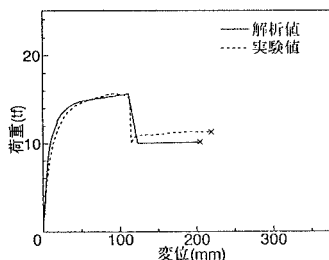


図-8 ボンド型補強された供試体

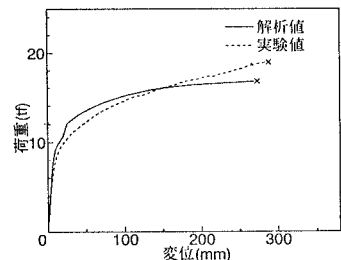


図-9 アンボンド型補強された供試体

4. あとがき

変形増分法によるコンクリート充填鋼管の曲げ解析の結果は、実験結果と比較しても十分な精度の結果が得られており、変形増分法によってコンクリート充填鋼管の終局状態をおおよそ推定することができると思われる。

参考文献 1) 宮本文徳、平田勝巳、柳下文男、森拓也：プレストレスト剛性桁の弾塑性挙動解析と補強工法への適用、構造工学論文集 V o l . 40 A (1994年3月)

2) 前川幸次、吉田博：コンクリート充填鋼管はりの静的及び重錘衝撃実験、土木学会論文集 V o l . 513(1995年4月)