

(8) アンボンド鋼棒を配置したコンクリート充填鋼管の力学的特性

ドーピー建設工業(株) 正会員 ○大平 雅司
 ドーピー建設工業(株) 正会員 河野 勝
 ドーピー建設工業(株) 正会員 宮地 清
 北海道大学工学部 正会員 角田與史雄

1. はじめに

鋼管内に打込まれたコンクリートと鋼管との付着をなくし、コンクリートだけに軸方向圧縮力を载荷させた時、鋼管からの横拘束によって、コンクリートは、三軸圧縮状態となる。この様なコンクリートは、強度とひずみの増加が見込まれる。本研究では、角形鋼管コンクリートの軸方向圧縮のみでなく、曲げを受ける場合についても検討した¹⁾。即ち、下記(1)および(2)の力学的特性についての基礎的な資料を得ることを目的とする。

1) 角形鋼管コンクリート供試体の軸方向圧縮試験について

拘束されたコンクリートの強度とひずみ、および軸力の増加に伴う角形鋼管の拘束効果。

2) 角形鋼管コンクリート供試体の曲げ試験について

プレストレスを導入した場合の曲げ耐力の検討。

2. 角形鋼管コンクリート供試体の軸方向圧縮試験について

2.1 実験概要

実験に用いた供試体の形状、ゲージの配置位置と種類およびゲージの個数を図-1に示す。また、使用した材料および材料の特性値は、表-1に示す通りである。その他、支圧板および鋼管とコンクリートを付着させないための分離材として、二硫化モリブデン入りのグリースを鋼管内面と支圧

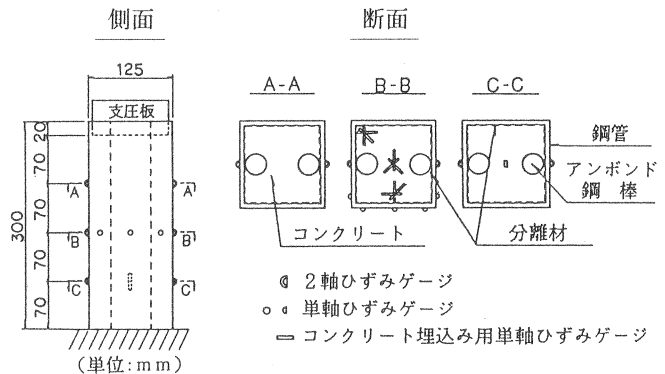


図-1 軸方向圧縮試験用供試体

板に塗布し、アンボンド鋼棒には、ポリエステルを被覆した直径3.2mmのPC鋼棒を断面内に2本配置した。荷重の载荷は、支圧板を介して軸方向にコンクリートだけに载荷させた。荷重は、5tfずつ増加させて、鋼管が破壊するまで载荷を行った。変位の測定には、ダイヤルゲージを用いた。

尚、軸方向圧縮試験では、PC鋼棒を配置したがプレストレスは導入していない。

表-1 材料の特性値

鋼管種別	長さ (mm)	鋼管肉厚 (mm)	コンクリートの 強度(kgf/cm ²)	コンクリートの弾 性係数(kgf/cm ²)	鋼管の弾性係 数(kgf/cm ²)	鋼管の降伏点応 力度(kgf/cm ²)
角形鋼管	300	4.38	425	2.76×10^5	2.06×10^6	4100

2.2 実験結果および考察

2.2.1 コンクリートの強度とひずみ

コンクリートの軸方向の応力-ひずみ曲線を図-2に示す。実測値(図-2の実線で示す)よりコンクリートの最大圧縮応力度は、716kgf/cm²であり、拘束しない時の強度425kgf/cm²に対して約1.7倍

である。ところで、CEB-FIP MODEL CODE 1990 の式(1)~(4)^{2),3)}を適用して得られた値(図-2の一点鎖線で示す)は、強度が1255 kgf/cm²であり、実測値は、これを下まわっている。そのため、 $f_{ck,cf}$ として、実測値から得られている716 kgf/cm²を用い、二次放物線と直線とから成る応力-ひずみ曲線(図-2の点線で示す)を仮定すると、測定可能な範囲内において実測値とほぼ近似した。

したがって、点線の図から、強度と共に終局ひずみについても著しく増加しているものと考えられる。

$$f_{ck,cf} = f_{ck}(1.000 + 5.00 \sigma_z / f_{ck}) \quad \text{for } \sigma_z \leq 0.05 f_{ck} \quad \dots (1)$$

$$f_{ck,cf} = f_{ck}(1.125 + 2.50 \sigma_z / f_{ck}) \quad \text{for } \sigma_z > 0.05 f_{ck} \quad \dots (2)$$

$$\epsilon_{cs,cf} = 2.0 \cdot 10^{-3} (f_{ck,cf} / f_{ck})^2 \quad \dots (3)$$

$$\epsilon_{cu,cf} = 3.5 \cdot 10^{-3} + 0.2 \sigma_z / f_{ck} \quad \dots (4)$$

但し、 $f_{ck,cf}$ =拘束コンクリートの強度

f_{ck} =シリンダー強度

(表-1に示す425 kgf/cm²を使用)

$\epsilon_{cs,cf}$ =拘束コンクリートの最大圧縮応力度に対するひずみ

$\epsilon_{cu,cf}$ =拘束コンクリートの終局ひずみ

σ_z =拘束による側圧

$$\sigma_z / f_{ck} = 0.5 \alpha \omega_{wd}$$

α =スターラップ等による拘束効果

ω_{wd} =拘束鉄筋の体積比

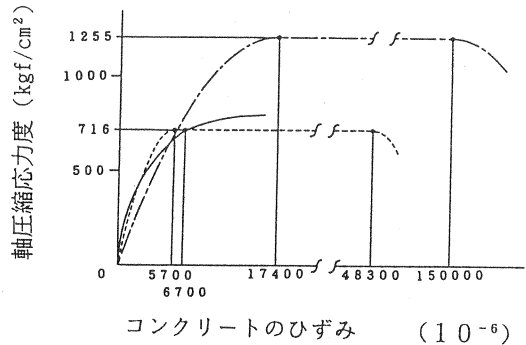


図-2 コンクリートの応力-ひずみ曲線

2. 2. 2 角形鋼管の拘束効果

鋼管の軸直角方向におけるひずみと、コンクリートの軸圧縮応力度との関係を、図-3に示す。一般に、コンクリートの拘束に角形鋼管を用いると、拘束効果はあるが円形鋼管を用いた場合に比較して低下する。また、水平断面内では、コンクリートに作用する横拘束が様ではない。さらに、本供試体では、コンクリート断面内にアンボンド鋼棒が配置されているため、コンクリートの軸圧縮応力度が600 kgf/cm²付近の高応力度では、隣り合う二辺および隣り合う隅角部で、拘束効果が様でないことが特徴として現れている。また、鋼管の降伏は、コンクリートの膨張に対して、最初、曲げによって抵抗する各辺の中央部に生じ、続いて、隅角部に力が集中し、最終的には、塑性ヒンジが形成されたことがわかる。特に、隅角部②については、圧縮ひずみから引張ひずみに変化した直後に、急激なひずみの増加が生じて、降伏に至っている。

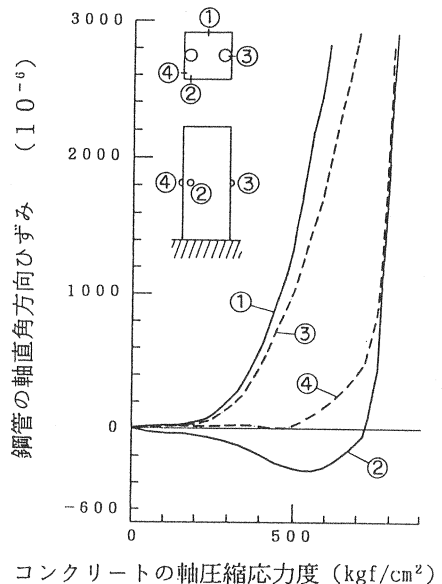


図-3 鋼管のひずみ

3. 角形鋼管コンクリート供試体の曲げ試験について

3. 1 実験概要

実験に用いた供試体の形状、およびゲージの配置位置と種類は、図-4に示す。また、供試体に使用した材料および材料の特性値は、表-2に示す。

表-2 材料の特性値

鋼管種別	長さ (mm)	鋼管肉厚 (mm)	コンクリートの強度 (kgf/cm ²)	コンクリートの弾性係数 (kgf/cm ²)	鋼管の弾性係数 (kgf/cm ²)	鋼管の降伏点応力度 (kgf/cm ²)
角形鋼管	1500	4.38	690	3.50×10^5	2.06×10^6	3500

その他、支圧板、ナット、φ32mmのPC鋼棒および分離材を用いた。分離材は、鋼管内面だけでなくPC鋼棒の表面にも塗布して、コンクリートとの付着を防いだ。

一方、図-3で示されたコンクリートの軸圧縮応力度と鋼管の軸直角方向ひずみの関係図を利用して、鋼管が最初に降伏する時のひずみの1/2のひずみになる様に、コンクリートだけにプレストレスを与え、初期導入緊張力を $P_0=57tf$ に設定した。曲げ荷重は、支間中央部に二点集中荷重で荷重し、載荷荷重の増分は、5tfとした。

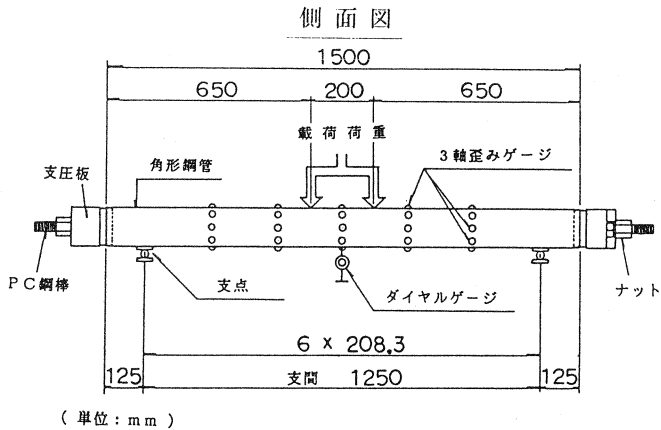
たわみの測定は、ダイヤルゲージを用い、鋼管のひずみの測定は、鋼管の外面に三軸のひずみゲージを貼り付けて行った。測定点は、図-4に示す様に、いずれも支間の1/6等分点とした。

3.2 実験結果および考察

鋼管とコンクリート、コンクリートとPC鋼棒は、それぞれ付着していない。したがって、部材断面の曲げ耐力を算定する際に、コンクリートの応力-ひずみ曲線は、一般に、非線形の仮定がなされ、断面方向のひずみに対しては、平面保持の仮定とは異なった変形の適合条件が用いられなければならない。そこで、図-5の一点鎖線で示す様に、拘束コンクリートの応力-ひずみ曲線を軸方向圧縮の場合と同様にCEBの式を利用して、二次放物線と直線とから成る応力-ひずみ曲線を仮定した。また、点線は、図-2の場合と同じ比率で低減した値である。

曲げ耐力の検討を行うに当たって、コンクリートと鋼管がそれぞれ分担する荷重とたわみの関係を求める。計算方法は、鋼管とコンクリート(アンボンドPC)を重ね梁とみなし、各々の圧縮線と引張線のひずみを段階的に増減させ、各断面の曲率からたわみを求めるものであるが、近似的に二点(支間長の1/2点と支点より支間長の1/5点)のみで、たわみを一致させる方法である。

図-6の点線は、支間中央位置での荷重とたわみの関係を示したものである。(1)は、CEBの式から得られた応力-ひずみ曲線を用いた値であり、(2)は、低減



(単位: mm)

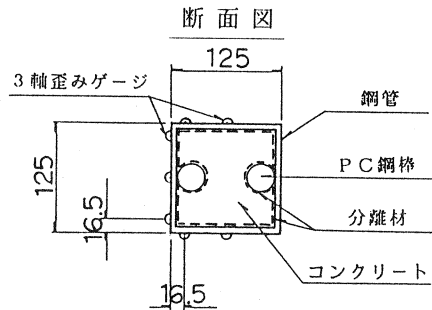


図-4 曲げ試験用供試体

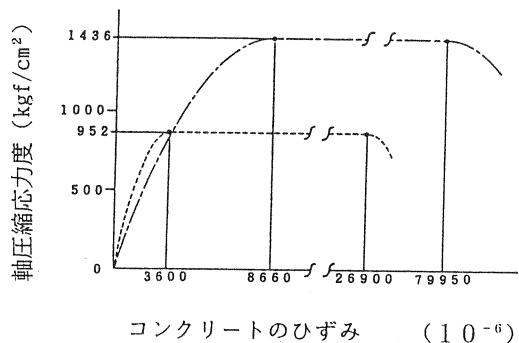


図-5 コンクリートの応力-ひずみ曲線

した応力-ひずみ曲線を用いた場合の値である。③は、鋼管コンクリート合成部材の実測値、④は、鋼管のみの計算値、⑤は、鋼管のみの実測値である。ところで、③の実測値で最大と思われる曲げ荷重 $W=22.0\text{ t}$ の時の終局曲げモーメントは、 $M_A=5.78\text{ t f-m}$ である。そこで、鋼管の全塑性モーメントを求めてみると、 $M_P=3.35\text{ t f-m}$ 、②の場合の低減した応力-ひずみ曲線を用いてPC単独での終局曲げモーメントを求めると、 $M_{C2}=1.86\text{ t f-m}$ となり、 M_P と M_{C2} の合計 $M_{T2}=5.21\text{ t f-m}$ は、 M_A の値より小さい。そのため、コンクリートの拘束が②の場合よりも大きいことが予想される。一方、①の場合のコンクリートが分担する終局曲げモーメントは、 $M_{C1}=2.82\text{ t f-m}$ 、鋼管が分担する分は、 $M_{S1}=3.07\text{ t f-m}$ 、合計で $M_{T1}=5.89\text{ t f-m}$ となり、 M_A の値に必ずしも一致はしないが近似している。よって、本供試体では、CEBの式を適用することで、実測値にほぼ近い結果が得られた。

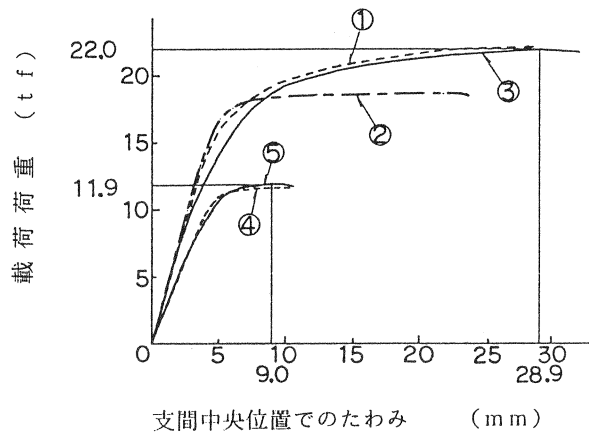


図-6 荷重とたわみの関係

4. まとめ

4.1 角形鋼管コンクリート供試体の軸方向圧縮試験について

- 1) 鋼棒を配置した角形鋼管を用いてもコンクリートに対して十分な拘束効果はあるが、円形鋼管を用いた場合に比較して低下する。
- 2) コンクリートの軸圧縮応力度の増加と共に、各辺および各隅角部では、鋼管による拘束効果が変動し、一様でなくなる。
- 3) 角形鋼管の各辺の中央部と隅角部で、最終的には、塑性ヒンジが形成される。
- 4) 実測値より得られた値は、CEB-FIPの計算式から得られるほどの拘束効果は無いが、最大圧縮応力度を低減した値とほぼ近似した。

4.2 角形鋼管コンクリート供試体の曲げ試験について

- 1) 本供試体については、CEB-FIPの計算式より得られた値を低減せずに用いることによって、荷重とたわみの関係図では、理論値と実験値が、ほぼ良い一致を示した。
- 2) CEB-FIPの計算式より得られた応力-ひずみ曲線は、軸方向圧縮の場合に対応したものであるが、曲げにも適用することが出来た。

参考文献

- 1) 大平雅司・藤田哲雄・松井敏二・蛭名貴之：付着のない鋼管内での三軸圧縮コンクリートの力学的特性について、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 15, No. 2, pp. 947-952, 1993.
- 2) CEB: CEB-FIP Model Code 1990, Bulletin D'Information No. 189, No. 190a, No. 190b, Comite Euro-International du Beton, 1988.
- 3) CEB: Concrete Under Multiaxial States of Stress Constitutive Equations for Practical Design Bulletin D'Information No. 156, Comite Euro-International du Beton, 149pp., 1983.