

京都大学 正員 岡田 清 小林 和夫 学生員 ○畑村 博行

1. まえがき 最近アンボンドPC工法が実用化されつつあるが、従来のグラウトを施したボンド有りポストテンションPC部材に比べて、曲げ破壊耐力の低下やひびわれ幅、分散性、変形性状等に問題があるとされている。本報告はアンボンドPC部材のこのような力学的性質の低下を改善するため、引張線近くに變形鉄筋を配置した場合に対して、静的載荷試験並びにクリープ・乾燥収縮試験を実施して鉄筋配置の影響を検討したものである。

2. 実験概要 供試体の要因として鉄筋比とプレストレス力とをとり上げた。ここでは特に種々の配置鉄筋量に対してアンボンドPC部材におけるPC鋼材緊張力の影響を同一PC鋼材量のもとで調べるために、プレストレス力を14.7t/cm²の3水準選定した。はりの寸法はすべて10×20×180cmとし、φ=13mmのPC鋼棒(降伏的応力

補強鉄筋	プレストレス緊張力			
0	3 ^o	7 ^o	7 ^o	14 ^o
1D10	3 ^o	7 ^o	7 ^o	14 ^o
2D10	3 ^o	7 ^o	7 ^o	14 ^o
2D13	3 ^o	7 ^o	7 ^o	14 ^o
2D16	3 ^o	7 ^o	7 ^o	14 ^o
2D19				14 ^o

○PPRグラウトを注入
●引張力14.7t/cm²の乾燥収縮試験用とする
※他は静的載荷試験用である

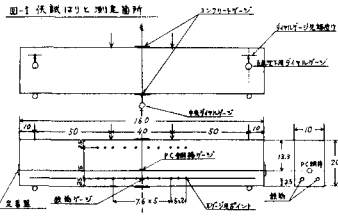


表-1

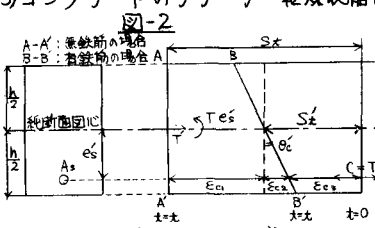
143kg/cm², 引張強度150kg/cm²)を用いてポストテンション方式でプレストレスを導入した。供試体の種類と断面寸法を表-1,図-1に示す。なお土木学会ではボンドPCはりに対するアンボンドPCはりの曲げ破壊耐力の低下を30%としており、それを鉄筋で補うとした場合、本実験では2-D10に相当する。以上のはりについて静的曲げ試験と

クリープ・乾燥収縮試験を実施した。載荷時枚令におけるコンクリートの平均圧縮強度、曲げ強度、弾性係数は $\sigma_c = 4.50 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_b = 54.0 \text{ kg/cm}^2$, $E_c = 3.30 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 程度である。

3. 解析法 1) 曲げ破壊モーメント: PC鋼材に付着が無い場合の破壊モーメントはA-TamとF.N.Pannellによる理論式によって算定した。この場合には、破壊時のPC鋼材の引張応力度 f_{pb} 並びに曲げ破壊モーメント M_u をそれぞれ次のように与えている。 $f_{pb} = f_{pe} + \Delta \cdot E_p / L = f_{pb} + \eta E_u (1 - \eta) E_s d / L$, $M_u = P_b b d^2 f_{pb} (1 - k_2 \eta) + R b d^2 f_y (k_1 - k_2 \eta)$, ここに $k_1 = 0.83$, $k_2 = 0.42$, $\eta = (\text{塑性領域長さ}) / n d$, $\Delta = \text{塑性領域におけるPC鋼材位置のコンクリートの伸び}$, $L = \text{スパン長}$, $E_u = \text{コンクリートの終局圧縮ひずみ}$ である。

2) 鉄筋を配置したPCひびわれ断面の解析: ひびわれ発生以後の断面の応力解析にはNilsonの方法を適用し、Decompression状態からの鉄筋の増加応力 $\Delta\sigma_s$ の計算値をもとめ、CEP-FIB³⁾の最大ひびわれ幅と $\Delta\sigma_s$ の関係式 $W_{max} = (\Delta\sigma_s - 408) \times 10^{-4} \text{ mm}$ を用いて荷重と最大ひびわれ幅 W_{max} の関係を推定した。

3) コンクリートのクリープ・乾燥収縮による有効プレストレスの減少: 解析法1は鉄筋の存在しないPC断面におけるコンクリートのクリープ・乾燥収縮によるPC鋼材引張力の減少を算定する岡田の方法⁴⁾に應用したものである。図-2で $S'_c = S_c - \epsilon_c = \alpha_1 S_c$, $\alpha'_c = E_c \epsilon'_c / E_s = \alpha_2 S_c$ をあたかも鉄筋コンクリート断面の軸方向の乾燥収縮ひずみ、および回転角ひずみとみなし、さらに鉄筋コンクリート断面に対する見かけのクリープ係数 ϵ_{cs} を用いれば、鉄筋を配置したPC断面におけるPC鋼材の引張力の減少量 ΔP は近似的に次式によって算定される。

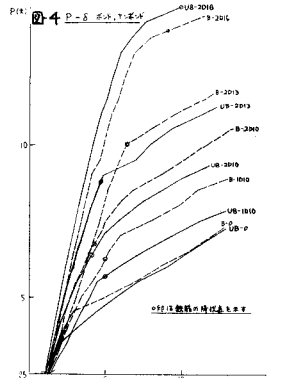
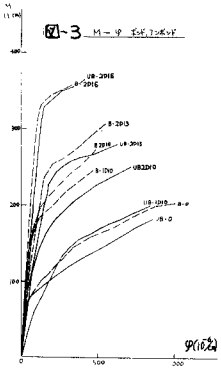


$$\Delta P = \frac{\eta_p P_p}{1 + \eta_p P_p / \mu} \left[\mu P_p \epsilon_{cs} + E_c A_c (\alpha_1 - \alpha_2 \epsilon_p) S_c \right], \mu = 1 + \frac{E_p^2}{I_c A_c}$$

$$\alpha_1 = 1 - \frac{\eta_s P_s (1 + \frac{\epsilon_{cs}}{2})}{1 + \eta_s P_s \mu'} \quad \alpha_2 = \frac{\eta_s A_s E_s'}{I_c} \cdot \frac{1 + \frac{\epsilon_{cs}}{2}}{1 + \eta_s P_s \mu'}$$

これより鉄筋位置のひずみ ϵ_s を計算し、鉄筋への移行圧縮力 $\Delta C = E_s E_s A_s$ と求めた。解析法2はBransonとOzcel⁵⁾による実用解析による。これによるとPC鋼材引張応力度の時間的減少量 $\Delta\sigma_p$ は次式によって算定される。

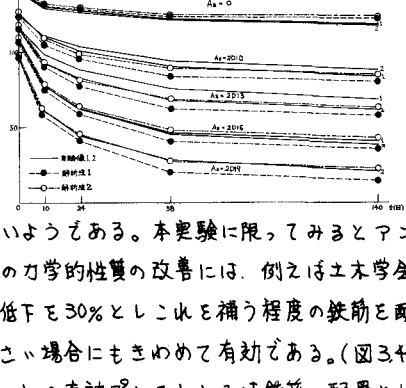
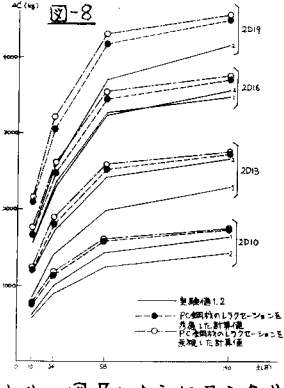
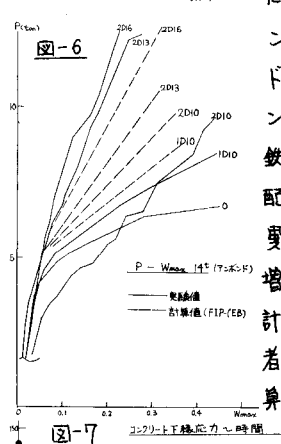
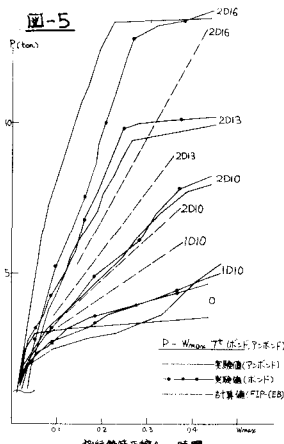
$$\Delta\sigma_p = (\eta_p \sigma_{cp}) (k_1 \psi_c) \left(1 - \frac{\Delta P}{P_c} \right) + k_2 (E_{cs}) E_p / (1 + b_1)$$



梁の名称	試験荷重の最大値 (kN)	試験変位の最大値 (mm)	計算荷重の最大値 (kN)	計算変位の最大値 (mm)
O-1	5.40	8.64	4.54	—
2	7.80	8.90	6.20	—
3	8.60	8.64	—	—
4	9.00	8.90	8.60	—
1D10-1	9.90	9.93	5.91	—
2	8.30	10.26	7.57	—
3	10.75	9.93	—	—
4	9.40	10.26	9.87	—
2D10-1	10.45	11.14	7.43	—
2	12.45	11.56	9.12	—
3	11.50	11.14	—	—
4	12.00	11.56	11.49	—
2D13-1	11.80	12.75	9.09	—
2	13.30	13.30	10.70	—
3	13.56	12.75	—	—
4	13.60	13.30	13.24	—
2D16-1	12.15	14.56	12.14	—
2	15.15	15.29	13.22	—
3	14.25	14.56	—	—
4	16.40	15.29	14.62	—

表-2

4. 実験結果と解析結果 表-2に示すようにボンドPCはりについては、実験値と付着有りとして計算した理論値はほぼ等しく両者の比は平均して1.03である。一方、アンボンドPCはりでは、付着無しとして計算した理論値はかなり安全側の値を示す。実験値の理論値に対する比が平均して1.18である。これは塑性域以外のコンクリートの伸びを無視している



ためであろう。また2-D10以上の鉄筋を配置したアンボンドPCはりではプレストレスカに関係なく無鉄筋ボンドPCはりを上まわる破壊耐力を示している。一方、アンボンドPCはりのひびわれ分散性は少量(1-D10程度)の鉄筋配置によっても著しく改善され、それ以上の鉄筋を配置したはりでは、ボンドPCはりとの間で明瞭なる差異は認められなかった。荷重とDecompressionからの鉄筋の増加耐力 $\Delta\sigma_s$ との関係について、Nilsonの解析法による計算値と実験値とを比較すると、ボンドPCはりでは両者はほぼ一致したがアンボンドPCはりでは実験値が計算値を上まわることが認められた。2-D10以下の配置鉄筋の場合、アンボンドPCはりの最大ひびわれ幅はボンドPCとして求めた $\Delta\sigma_s$ に基づくCEB-FIP式による推定値より大きくなったがそれ以上の場合には無鉄筋ボンドPCはりよりかなり小さくその値はこのようにして推定してさしつかえないようである。本実験に限ってみるとアンボンドPC部材のひびわれ、たわみ性状等の力学的性質の改善には、例えば土木学会のようにボンドPCはりに対する耐力の低下も30%とこれに補う程度の鉄筋を配置しておけばPC鋼材緊張力がかかり小さい場合にもきわめて有効である。(図3も5.6.参照) 一方、このような鉄筋配置により、図-7のようにコンクリートの有効プレストレスは鉄筋の配置されてないPCはりに比べて、鉄筋比の増大とともに著しく減少する。これはクリープ・乾燥収縮ひずみの拘束作用のため鉄筋には時間の経過とともに圧縮応力が移行し(図-10参照)それがコンクリート断面に対して引張応力として作用するからである。ここで試みた近似解法から求めた計算値は実験値より多少安全側ではあるが、解析法1,2とも比較的よく適合しており、計算値と実験値の比は0.9から1.1の範囲にある。なおPC鋼材のリラクセーションは別定していないが、本実験程度の緊張力では土木学会規準により見むけのリラクセーション値は σ_s の σ_s 程度と仮定でき、この場合には図-10のように鉄筋移行力の計算値はそれを無視した場合とほとんど差が認められない。

の力学的性質の改善には、例えば土木学会のようにボンドPCはりに対する耐力の低下も30%とこれに補う程度の鉄筋を配置しておけばPC鋼材緊張力がかかり小さい場合にもきわめて有効である。(図3も5.6.参照) 一方、このような鉄筋配置により、図-7のようにコンクリートの有効プレストレスは鉄筋の配置されてないPCはりに比べて、鉄筋比の増大とともに著しく減少する。これはクリープ・乾燥収縮ひずみの拘束作用のため鉄筋には時間の経過とともに圧縮応力が移行し(図-10参照)それがコンクリート断面に対して引張応力として作用するからである。ここで試みた近似解法から求めた計算値は実験値より多少安全側ではあるが、解析法1,2とも比較的よく適合しており、計算値と実験値の比は0.9から1.1の範囲にある。なおPC鋼材のリラクセーションは別定していないが、本実験程度の緊張力では土木学会規準により見むけのリラクセーション値は σ_s の σ_s 程度と仮定でき、この場合には図-10のように鉄筋移行力の計算値はそれを無視した場合とほとんど差が認められない。

参考文献 1) The ultimate moment of resistance of unbonded partially prestressed reinforced concrete beams, Magazine of concrete research (1976)
 2) Flexural Stresses After Cracking in partially prestressed beams, PCI JOURNAL. (1976)
 3) CEB-FIP: Recommendations internationales pour le calcul et l'exécution des ouvrages en beton (1970)
 4) プレストレストコンクリートの設計, 岡田 謙, 国民科学社 5) ACI Committee 435 報告
 6) 土木学会プレレストレストコンクリート 標準化方書