

京都工学 学生員 山田 真人

京都大学 正員 小林 和夫

京都大学 正員 岡田 清

1.はじめに………本研究は圧縮強度が800 $\times 10^5$ 程度の高強度コンクリートの有効利用の観点から、断面引張域と高強度PCとし、圧縮域に300, 450 $\times 10^5$ の普通コンクリートと打継いだ高強度PC合成部材に着目し、主として打継目の一体性及び破壊性状・耐力、たわみやひびわれ幅の復元性、エネルギー消散能・靱性などの基本的曲げ特性と高強度及び普通強度のPC一体はり部材と比較し、加えて乾燥収縮とクリープに起因する収縮差応力の問題について若干の検討をおこなったものである。

2.試験概要………載荷試験供試はりはいずれも幅 $\times$ 高さ $\times$ 全長 $=10 \times 20 \times 160$ cmの矩形断面単純はりとし、有効高せん断スパン比(g/d)によりM, Sの2シリーズに分類した。前者では $g/d=3.4$, 後者では $g/d=2.2$ である。Mシリーズ供試体は、せん断補強と打継目補強のいずれの厳しい条件でのスターラップ筋(すれ止め鉄筋兼用: $\phi 6$ 閉合スターラップ)を配置した。なお前者の補強は土木学会PC標準示方書により、後者は終局荷重作用時に補強対象とするACI基準318-77のせん断摩擦理論と基礎とした設計法に従ったが、本供試はりではいずれも打継目補強が卓越した。要因としては高強度部の断面高(8, 12cm), 打継部コンクリート強度($\sigma_{ck}=300, 450$ MPa), 鋼材指数($g=A_p \sigma_{py}/b d \sigma_{ck}$)を取上げた。合成はりではPC部断面高が8, 12cmのいずれの場合も下縁から4cmの位置にPC鋼棒を配置し、前者では一様加ストレス、後者では三角形分布の偏心プレストレスを導入した。一方SシリーズはPC部断面高8, 12cm(三角形分布の偏心プレストレス)とし、打継部 $\sigma_{ck}=300, 450$ MPaの各々についてACI基準によるすれ止め鉄筋を配置したもの、及び土木学会標準示方書による規定最小限のスターラップ筋(ピッチ $\leq 0.75d$)を配置したものの2種類について打継目挙動を検討した。なおM, Sいずれのシリーズにおいてもすれ止め鉄筋はせん断スパン内のみ配置した。各シリーズ供試体の一覧を表-1に示す。収縮差応力試験については、はり供試体として高強度PC部の断面高の異なるMT45, ME45と同一のもの2種類を供し、ひずみの経時変化を測定して部材の反りを検討した。またこれと同時に、 $\sigma_{ck}=300, 450, 800$ MPaの角柱供試体に、100, 150, 250 $\times 10^5$ の一様プレストレスを導入してクリープ係数を、さらに乾燥収縮ひずみを測定した。

合成はりの打継目は粗デテは上げとし、硬化後軽くケッピングをおこなってACI基準規定と同程度の粗面とした。PC部はプレストレス導入直後にグラウトとおこなった。載荷試験は図-1に示すような対称2点載荷とし、漸増繰返し載荷を行ない、スパン中央たわみ、下縁から2cm位置でのひびわれ幅(π型ゲージによる)せん断スパン中央位置のすべりを測定した。収縮差応力試験におけるひずみは、フーゲンバルガーひずみ計によって測定した。

3.試験結果………Mシリーズでは終局時における最大

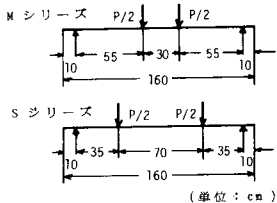


図-1 載荷方法

シリーズ	供試体名	高強度部 高さ(cm)	有効高さ (cm)	高強度部 強度(MPa)	打継部 強度(MPa)	使用鋼材 種類	鋼材指数 (%)	プレ ストレス (MPa)	スターラ ップ筋 (mm)	曲げひびわれ荷重(%)				破壊荷重(%)			
										P_{cr}/P_u	P_{cr}/P_u	P_{cr}/P_u	P_{cr}/P_u	P_{cr}/P_u	P_{cr}/P_u	P_{cr}/P_u	P_{cr}/P_u
M	MT45-1B	12	16	400	427	$\phi 17A$	0.240	257	5.5	7.5	8.3	0.90	10.2	9.9	1.03		
	MT45-2A	12	16	423	427	$\phi 17B$	0.359	252	5	7.2	8.4	0.86	10.2	11.7	0.87		
	MT45-2B	12	16	423	427	"	"	250	"	7.0	8.3	0.84	10.0	"	0.85		
	MT30-A	12	16	400	297	$\phi 13C$	0.330	203	8	7.0	6.7	1.04	7.5	7.6	0.99		
	MT30-B	12	16	400	297	"	"	210	"	6.9	6.8	0.88	7.0	"	0.92		
	ME30	8	16	423	297	$\phi 17B$	0.516	218	5	8.1	7.0	1.16	9.2	10.6	0.87		
	ME45	8	16	474	396	"	0.397	228	"	7.2	7.1	1.01	9.7	11.5	0.84		
	MH-A	20	13.4	400	"	$\phi 23A$	0.301	248	6	8.4	8.7	0.97	13.9	15.2	0.91		
	MH-B	20	13.4	400	"	"	"	248	"	9.8	8.7	1.13	14.2	"	0.93		
	MIN-A	0	13.4	"	446	$\phi 17A$	0.334	149	12	6.7	5.7	1.20	8.0	8.0	1.00		
S	MT45-1B	0	13.4	"	446	"	"	155	12	5.0	5.3	0.94	8.0	"	1.00		
	ST30-NA	12	16	423	297	$\phi 13C$	0.330	207	12	9.2	12.7	0.72	14.2	12.0	1.18		
	ST30-NB	12	16	423	297	"	"	211	"	10.4	12.8	0.81	14.1	"	1.18		
	ST30-RA	12	16	400	297	"	"	193	4.5	10.9	11.8	0.92	13.5	"	1.13		
	ST30-RB	12	16	400	297	"	"	200	"	9.8	12.1	0.80	14.5	"	1.21		
	ST45-NA	12	16	423	427	$\phi 17B$	0.359	255	12	12.1	15.5	0.78	19.1	18.4	1.03		
	ST45-NB	12	16	423	427	"	"	259	"	12.0	15.7	0.76	20.7	"	1.13		
	ST45-RA	12	16	400	427	"	"	252	5	11.4	15.3	0.75	18.2	"	0.99		
	ST45-RB	12	16	400	427	"	"	249	"	12.6	15.2	0.83	20.2	"	1.10		

すべりは $10 \times 10^{-3} \text{ mm}$ 以下となり、健全な一体性が保持されていた。
 一方、SシリーズではST45N-Aは終局時最大すべりが $50 \times 10^{-3} \text{ mm}$ 程度に達したのを除いて、打継コンクリート強度やずれ止め鉄筋量による明確な差異はなく、いずれも $30 \times 10^{-3} \text{ mm}$ 以下で、既述の研究報告から判断して、完全な合成挙動が保持されていたとみなせる。つまり現行のACI基準に従って打継目処理・ずれ止め鉄筋補強と施した場合、高強度PC合成はりにおいても終局時まで健全な一体性を確保することが可能である。

表-1に示すように、高強度PC合成はりでは普通強度のPC一体はりに比べてかなり大きな曲げひびわれ抵抗性が期待できる。しかし、合成はりでは実験値が収縮差応力と無視した計算値と最大で23%低下するものもあり、収縮差応力の存在と無視できないことがうかがえる。一方、ずれが上記範囲内にある場合、高強度PC合成はりの終局曲げ耐力は一体はりと同様の常用理論と適用して算定しうることが明らかとなった。

図-2に荷重-たわみ曲線の包絡線から求めた靱性率 μ と鋼材指数 q の関係を示す。これより、高強度PC合成はりには高強度PC一体はりに比べて、同一の鋼材指数に対してかなり大きな靱性率と有すること、いはいずれも同程度の靱性率と確保するには鋼材指数とかなり大きくとれることがわかる。また高強度コンクリートのメリットを十分生かすには高張力PC鋼材の使用が有効であると考えられる。

図-3にエネルギー消散率 α と圧縮線ひずみ ϵ_c の関係例を示す。 ϵ_c が 3000×10^{-6} に対する α はPC一体はり(MH)で0.3以下、普通強度一体はり(MN)で0.35程度となり、前者は後者より塑性変形にともなうエネルギー消散がある。一方高強度PC合成はりでは打継コンクリートが $\alpha_k = 300$ 程度で0.4、 $\alpha_{ek} = 450$ 程度で0.35~0.4程度となり、エネルギー消散率は断面圧縮域のコンクリート特性に支配され、高強度PC合成はりでは高強度PC一体はりに比べてかなり増大することがうかがえる。

合成はりの完全終局時におけるスパン中央たわみはらびに最大ひびわれ幅の回復率の一例と図-4に示す。両回復率とも、終局時付近でも同程度の高い値を示し、適切な打継目補強がなされている高強度PC合成はりではPC一体はりと同様の変形、ひびわれ幅の復元性が期待できる。

収縮差曲率の測定値と計算値とを比較して図-5に示す。計算値は岡田の方法で算定したものである。φの計算には同時におこなった乾燥収縮試験ならびにクリーフ試験の結果による推定式を用いた。これによるとKE200のφの値はKT150とかなり上まわっている。これは前者では高強度PC部の断面高が低く剛性が低いことに加えて導入フレストレスが大きいのとの影響していると考えられる。また実験値と計算値を比較するとKE200では両者が比較よく合致しているが、KT150では計算値の方が小さ目の値を与えている。この点については、今後さらに詳細な検討が必要である。

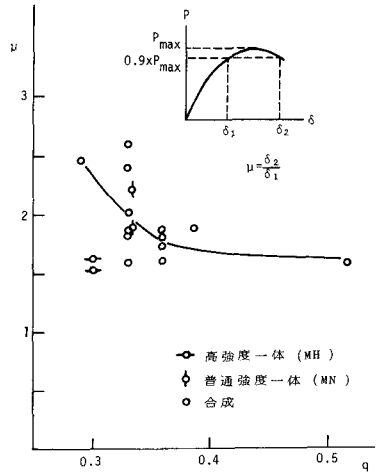


図-2 じん性率～鋼材指数
 $\alpha = \frac{OQABO \text{ の面積 }}{OQACBO \text{ の面積 }}$

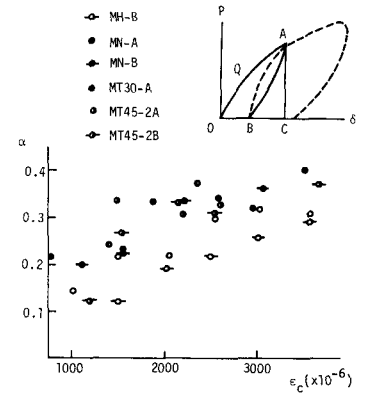


図-3 エネルギー消散率

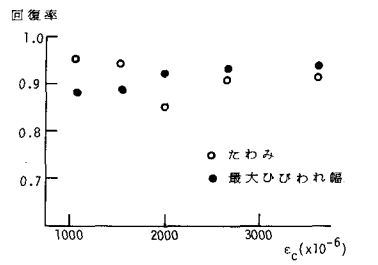


図-4 合成はりのたわみ、最大ひびわれ幅の回復率 (供試体ME 45)

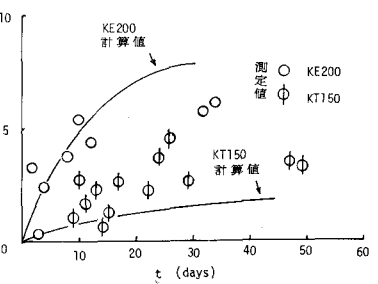


図-5 合成はりの収縮差曲率