

PSコンクリート合成はりに関する研究

京都大学 岡 田 清

京都大学 坂 村 果

I. ま え が き

PC部材に普通コンクリートを打継ぎ一体として荷重に抵抗せしめるPC合成部材は実際にしばしば用いられている。普通PCはりにおいては、はり重心より上部に實際上不必要な余分のプレストレスが導入されており、不経済の感をまぬがれない。はりを上下2つの断面に分け、まず下部のコンクリートはりを作りこれに必要なプレストレスを導入したのち、上部に普通コンクリートを打継いで合成はりを作ればプレストレス導入量は少なくてすむことになる。従つて緊張材量を節約することができ、経済的となることが予期される。

普通PCはりとはPC合成はりが断面同一で、しかも断面下縁におけるプレストレスが同一であれば同一亀裂モーメントに耐え、しかも合成PCはりではプレストレスの導入位置、すなわち緊張材の重心位置が普通PCはりのそれより下にあるため破壊モーメントに対しても有利に働くはずである。しかし緊張材断面の減少によつて一般に破壊に対する安全率が低下することはまぬがれない。一方PC部分とその上に打継いだ普通コンクリート部分との収縮差、クリープ差によつて生ずる内部応力による変形のため、プレストレスの減退量が増大することが予期される。

本研究はPC合成はりの合成効果を実験的に究明する目的で、 $15 \times 20 \times 290$ cm のPCはり、およびPC合成はりについて次のような諸点を明らかにするための実験を行ったものである。

- (i) 普通PCはりとはPC合成はりの亀裂荷重、終局強度、収縮およびクリープ量の比較、合成による収縮およびクリープ量の差によつて生ずるプレストレス減退の程度。
- (ii) 上部打継ぎコンクリートの打継ぎ材令および打継ぎコンクリートの品質の良否が亀裂荷重、終局程度におよぼす影響。
- (iii) シヤーコネクタの有無による打継ぎ面の付着状態の比較。打継ぎ面でのせん断破壊の有無。

II 実験方法

(1) 使用材料

セメント； 使用したセメントは大阪窯業セメント社製の普通ポルトランドセメントで、

物理的性質はすべて規格に合格したものである。その規格強度試験結果は表-1に示す。

表 - 1
セメントの強度試験結果

比 重	フロー値	強 さ (Kg/cm ²)						水 温 (°C)
		曲 げ 強 さ			圧 縮 強 さ			
		3日	7日	28日	3日	7日	28日	
3.15	230	27.7	45.2	70.0	107	194	326	20

骨材； 骨材としては細骨材、粗骨材とも滋賀県野洲川産の砂、砂利を使用した。これらの物理的性質は表-2に示す。

表 - 2
骨 材 の 物 理 的 性 質

骨 材 種 別	比 重	吸水率 (%)	単位容積重量 (Kg/m ³)	空隙率 (%)	粗粒率	有 機 不純物
細 骨 材	2.57	1.01	1695	34.1	3.23	使用可
粗 骨 材	2.67	0.65	1705	36.1	7.01	—

PC鋼棒； 静的載荷試験用はりのプレストレス導入には三興線材社製のφ9mm PC用高張力鋼棒を使用し、クリープ測定用供試はりの緊張には高周波熱練社製のφ16mm PC用高張力鋼棒を使用した。これらの機械的、物理的性質は表-3に示す。

鉄筋； PC合成はりのスターラップ兼シャコネクターとして使用した鉄筋はφ6mmのSS41丸鋼で、その引張試験の結果は表-3に示すとおりである。

(2) コンクリートの配合

コンクリートとしてはPC部に1種類、打継部に3種類の配合のものを採用した。この示方配合は表-4に示す。また標準養生供試体による材令14日、28日および静的載荷

試験時における圧縮強度、材令28日および静的載荷試験時における弾性係数ならびに静的載荷試験時における曲げ強度を表-5に示す。

表 - 3

PC用高張力鋼棒および鉄筋の機械的性質

材 種	公称径 (mm)	実線径 mm	降伏点 (Kg/mm ²)	破断強さ (Kg/mm ²)	伸び率 (%)
オイルテンパー 線	9	9.08	115	136	8
高周波熱練処理	16	15.03	110	125	5
SS41	6	5.80	38	48	25

表 - 4

コンクリートの示方配合

配合 種別	肯材最 大寸法 (mm)	スラン プの範 囲 (cm)	単 位 水 量 W (Kg)	単 位 セメント量 C (Kg)	水セメント 比 W/C (%)	絶対 細骨材率 S/A (%)	単位 細骨材量 S (Kg)	単位 粗骨材量 G (Kg)
I	40	5~7.5	170	500	34.0	34.1	578	1165
II	40	5~7.5	130	250	52.0	36.9	741	1318
III	40	5~7.5	125	200	62.5	38.9	800	1312

表 - 5

コンクリートの圧縮、曲げ強度および静弾性係数

配 合 種 別	圧縮強度 (Kg/cm ²)			曲げ強度 (Kg/cm ²)	弾性係数 (Kg/cm ²)	
	2 W	4 W	試験時	試 験 時	4 W	試 験 時
I	3 5 0	3 7 9	4 1 9	6 4 . 8	370,000	401,000
II	—	2 1 8	2 5 7	5 7 . 3	302,000	356,000
III	—	1 9 3	2 0 4	3 3 . 8	248,000	320,000

(3) 供試はりの形状と種類

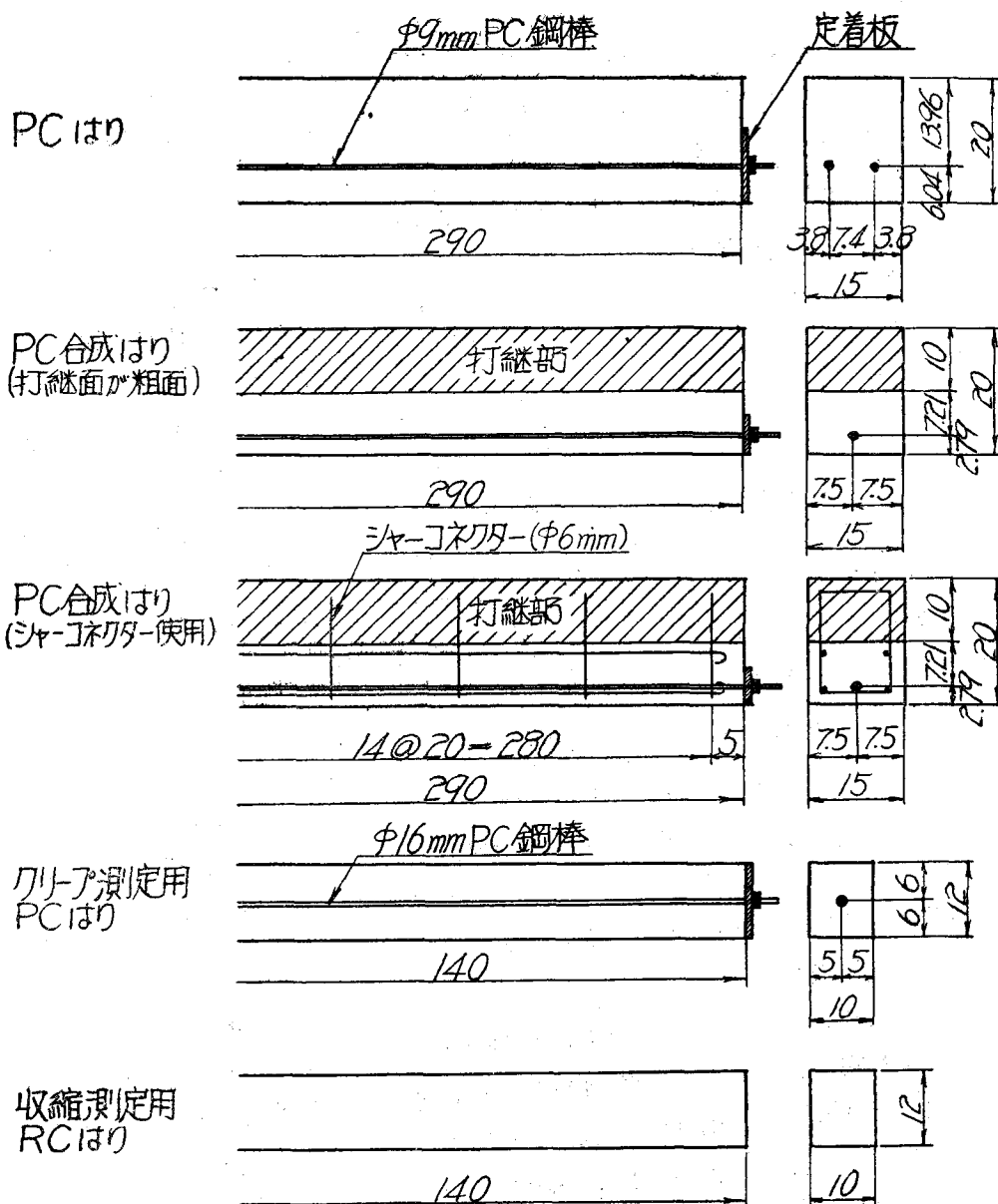
実験に使用した供試はりの形状はすべて矩形はりで、普通PCはりの寸法は $15 \times 20 \times 290 \text{ cm}$ 、 $\phi 9 \text{ mm}$ PC鋼棒2本、PC合成はりの寸法はPC部分 $15 \times 10 \times 290 \text{ cm}$ 、 $\phi 9 \text{ mm}$ PC鋼棒1本、打継部分 $15 \times 10 \times 290 \text{ cm}$ である。また収縮およびクリープ測定用供試体としては $10 \times 12 \times 140 \text{ cm}$ の矩形柱を使用した。シャコネクターの間隔は20 cmとした。供試はりの種類、形状、寸法は表-6および図-1に示す。

表 - 6

供 試 は り 一 覧 表

供試はり種類	供試はり寸法	供試はり 記 号	配合種別		PS導入 時 材 令 (W)	打継 材令 (W)	備 考
			PC部	打継部			
PC合成はり (静的載荷試験用)	PC部 $15 \times 10 \times 290 \text{ cm}$ 打継部 $15 \times 10 \times 290 \text{ cm}$	I-A-1,2	I	I	2	2	I-A-1の 打継面は粗 面、I-A- 2はシャコ ネクター使用 他も同様。
		I-B 1,2	I	I	2	4	
		I-C 1,2	I	I	2	6	
		II-A 1,2	I	II	2	2	
		II-B 1,2	I	II	2	4	
		II-C 1,2	I	II	2	6	
		III-A 1,2	I	III	2	2	
		III-B 1,2	I	III	2	4	
		III-C 1,2	I	III	2	6	
PCはり (静的載荷試験用)	$15 \times 20 \times 290 \text{ mm}$	I-a, c	I	-	2	-	I-aはI-A 系と I-cは I-c系と同時 に作製他も 同様
		II-a, c	I	-	2	-	
		III-a, c	I	-	2	-	
PC柱 (クリープ測定用)	$10 \times 12 \times 140 \text{ mm}$	C-I	I		2	-	グラウトは行 わず
		C-II	II		2	-	
		C-III	III		2	-	
普通コンクリート柱 (収縮測定用)	$10 \times 12 \times 140 \text{ cm}$	S-I	I		-	-	
		S-II	II		-	-	
		S-III	III		-	-	

図-1 供試はりの形状と寸法 (単位: cm)



PC合成はりのⅠ群は打継ぎ部分のコンクリートの配合がⅠ種のもの、Ⅱ群は配合がⅡ種のもの、Ⅲ群は配合がⅢ種のものである。それぞれ6本の供試はりの内2本ずつ打継ぎ材令を2週、4週および6週と変え、この2本の供試はりもその内の1本は打継面を粗面仕上げのみとし、他の1本はシャークコネクタを配置した。緊張材としては $\phi 9\text{mm}$ PC鋼棒1本を下縁より 2.79cm の位置に配置した。普通PCはりの配合はすべてⅠ種で、Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ群はそれぞれPC合成はりのⅠ、Ⅱ、Ⅲ群の供試はりと同時に作製したものである。このPCはりでは緊張材として $\phi 9\text{mm}$ PC鋼棒を2本下縁より 6.04cm の位置に配置した。クリープおよび収縮測定供試柱はⅠ、Ⅱ、Ⅲ種の配合を使用し、それぞれ2本ずつ作製し、クリープ測定用供試柱には断面図心に $\phi 16\text{mm}$ の鋼棒を配置した。

(4) プレストレスの導入と養生

供試はりコンクリート打設後1～2日目に脱型し、その後材令14日まで恒温恒湿養生室内気中（気温 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 $90 \sim 95\%$ ）に放置して養生した。プレストレスの導入は全供試はりとも材令14日にシンプレックス・ジャッキを使用して行つた。導入量は全供試はりとも下縁プレストレスが $87\text{Kg}/\text{cm}^2$ 、上縁応力が0となるようにした。プレストレス導入後直ちに打継ぐA系列の供試はりには打継ぎ後2～3日目に、その他の供試はりには導入翌日に、水セメント比約60%のセメントペーストでグラウトを施し屋外に放置した。収縮およびクリープ測定用供試柱も同様に14日間の標準気中養生後、クリープ測定用供試柱は全断面一様に $87\text{Kg}/\text{cm}^2$ のプレストレスを導入し屋外に放置した。

(5) クリープおよび収縮量の測定

クリープおよび収縮量は、成型時に予め測定用プラグを供試はり表面の所定位置に埋込んでおき、10in、ゲージのホイットモア・ひずみ計を使用して 10^{-6} 単位のひずみで測定した。測定用プラグの埋込位置は、PC合成はりでははり中央上面1、下面2、両側面の打継面上下におのおの1の計7ヶ所であり、PCはりおよびクリープ、収縮測定用供試柱でははり中央上下面にそれぞれ1ヶ所ずつである。

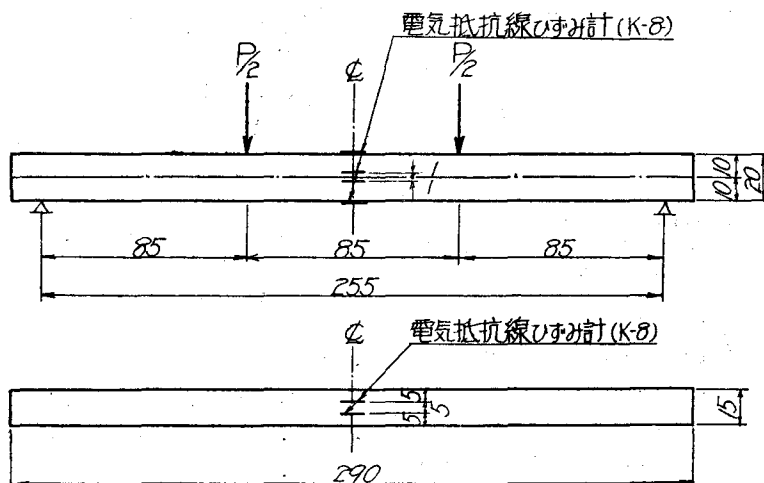
(6) 静的載荷試験

静的載荷試験は図-2に示すように、スパン 255cm の3等分点載荷によつて行つた。荷重-ひずみ関係図を描き龜裂荷重を求めるために、図に示すような位置に電気抵抗線ひずみ計（K-8）をPC合成はりでは8枚（上下面おのおの2枚、側面4枚）、PCはりでは4枚（上下面おのおの2枚）貼り付け、各荷重時におけるひずみの測定を行つた。これと同時に載荷点直下とスパン中央に $1/100\text{mm}$ の目盛のダイヤルゲージを設置してたわみの測定

定を行った。

図-2 静的載荷試験装置と電気抵抗線ひずみ計の貼り付け位置

(単位; cm)



II 実験結果と考察

(1) 静的載荷試験

静的載荷試験より得られた龜裂荷重、龜裂モーメント、破壊荷重および破壊モーメントはまとめて表-7に示す。龜裂荷重ははりの引張縁に貼り付けた電気抵抗線ひずみ計より求めた荷重-ひずみ関係曲線の変化より求めたものである。試験はPC部コンクリートの材令が20~22週の時に行つた。従つて打継部コンクリートの試験時材令は大体16~20週となつている。試験の結果を要約すると次のようである。

(i) 龜裂荷重および終局強度

破壊は全供試はりとも圧縮側コンクリートの曲げ圧縮破壊によつておこつており、PC鋼棒の破断あるいはせん断破壊によるものはなかつた。龜裂荷重、破壊荷重ともPC合成はりでは打継ぎコンクリートの品質、打継ぎ材令のいかんにかかわらずPCはりよりも劣つている。PCはりについて得られた実測測龜裂モーメントより有効プレストレスを計算すると約76%となる。(自重考慮) PC合成はりの有効プレストレスもこれと同じであると仮定し、コンクリートの曲げ強度として供試体による実測値を用いて龜裂モーメントを

逆算し、これに対する実測龜裂モーメントの比を表-7に示してある。

表 - 7
静 的 載 荷 試 験 結 果

供試はり記号	試験時材令		龜 裂				破 壊			
	P C 部 (w)	打継部 (w)	荷 重 (t)	モーメント(実測値) (t-m)	理論・モーメントに対する比(%)		荷 重 (t)	モーメント(実測値) (t-m)	モーメント(理論値) (t-m)	理論モーメントに対する比(%)
					A*	B*				
Pcはり6本平均値	22	—	3.01	1.28	100	—	5.23	2.22	2.19	101
I-A-1 *	22	20	1.13	0.48	—	—	3.05	1.30	1.43	91
I-A-2	22	20	2.30	0.89	70	—	4.45	1.89	1.79	106
I-B-1	20	16	2.90	1.23	96	—	3.50	1.49	1.43	103
I-B-2	20	16	2.50	1.06	83	—	5.00	2.12	1.78	119
I-C-1	22	16	2.30	0.89	70	—	3.28	1.39	1.42	98
I-C-2	22	16	2.90	1.23	96	—	5.00	2.12	1.76	120
II-A-1	21	19	2.38	0.98	77	81	3.20	1.36	1.38	99
II-A-2	21	19	1.88	0.80	63	66	4.00	1.70	1.70	100
II-B-1	20	16	2.50	1.06	83	88	3.25	1.38	1.38	100
II-B-2	20	16	1.88	0.80	63	66	4.55	1.93	1.71	113
II-C-1	22	16	2.50	1.06	83	88	3.30	1.40	1.41	99
II-C-2	22	16	2.13	0.91	71	76	4.70	2.00	1.75	114
III-A-1	22	20	1.88	0.80	63	83	3.17	1.35	1.38	98
III-A-2	22	20	2.50	1.06	83	109	4.50	1.91	1.71	112
III-B-1	20	16	1.88	0.80	63	83	2.70	1.15	1.36	85
III-B-2	20	16	2.13	0.91	71	94	4.10	1.74	1.68	104
III-C-1	20	14	2.13	0.91	71	94	3.00	1.28	1.35	95
III-C-2	22	16	2.38	0.98	77	101	4.00	1.70	1.66	102

* AはI種配合のコンクリートの曲げ強度を用いて計算したもの。

BはそれぞれII種配合、III種配合の曲げ強度を用いて計算したモーメントに対する比

** 試験前に打継部中央に龜裂が生じた。

表中A欄はコンクリートの曲げ強度としてI種配合コンクリートの曲げ強度をとつた場合の比で、実測龜裂モーメントはI群供試はりでは計算値の70~93%、II群供試はりでは

は63~83%、Ⅲ群供試はりでは63~83%となつている。またB欄の値はそれぞれⅡ種配合コンクリートおよびⅢ種配合コンクリートの曲げ強度を用いて計算した龜裂モーメントに対する比である。この場合はⅡ群供試はりで66~88%、Ⅲ群供試はりで83~109%となつている。破壊モーメントの理論値はPC鋼棒は破断強度、鉄筋は降伏点に達し、かつ圧縮側コンクリートで圧縮破壊するものとして求めた。シャーコネクターを使用しない供試はりの実測破壊モーメントは一部を除いて理論破壊モーメントより低くでており、最小85%となつている。シャーコネクターのある供試はりの実測破壊モーメントはすべて理論値より上回つた値を与えており、最大120%となつている。打継ぎコンクリートの品質による影響もかなり明白にでている。龜裂荷重、破壊荷重とも打継ぎコンクリートに高品質のⅠ種配合を使用したⅠ群供試はりが最も大であり、次いでⅡ種配合を打継いだⅡ群、Ⅲ種配合を打継いだⅢ群供試はりという順になつている。しかし打継ぎ材令の差(0~4週)が龜裂荷重、終局強度に及ぼす影響を明確に認めることはできない。

PC合成はりでは、はりが圧縮縁における圧縮破壊をおこす場合でも、緊張材の破断による破壊をおこす場合でも、緊張材の図心位置が下ること、すなわち有効高さが増大することによつて破壊モーメントに対して有利に働くはずである。またPC合成はりに関して行はれた2、3の研究では、PC合成はりの龜裂強度は、それに対応するPCはりの龜裂強度の±20%の範囲内にあることが報告されている。本実験の結果では表-7に示すようにPC合成はりの龜裂強度は、PC部コンクリートと同品質のコンクリートを打継いだⅠ群供試はりでも、PCはりのそれより最大30%減となつており、上回る値を与えているものはない。終局強度はⅠ群供試はりで最大約40%減となつている。終局強度においてPCはりよりいずれも劣ることは、PC合成はりの鋼材量がPCはりの鋼材量の半分であることがその主因である。有効高さの増大による好結果を鋼材量の大きな減少が打消しているから、大幅な鋼材量の減少はこの点好ましくなく、無応力筋または補助普通鉄筋の併用がのぞましい。一般に打継部断面積の全断面積に対する比は大体30%以内がよいと思われる。本実験で使用了PC合成はりのこの比は50%であり、またプレストレス導入後は直ちに寒冷期の屋外に放置するといった悪条件も、実験結果にかなりの影響を及ぼしているものと思はれる。

(ii) 曲げ剛性の変化

静的載荷試験時に測定したはりの上下縁のひずみより曲げ剛性を計算した。曲げ剛性-荷重関係の1例を図-3(a)、(b)に示す。図の縦軸は曲げ剛性と断面2次モーメントの

比がとつてある。

この変化の状態は

PCはりもPC合

成はりもほぼ同様

であり、大体荷重

1tのあたりまで

は増加し、その後

龜裂発生まではほ

とんど同じ値をと

り、龜裂発生以後

は急激に減少して

いる。PCはりに

比較してPC合成

はりの曲げ剛性は

劣っており、打継

ぎ材令の遅くなる

ほどまた打継ぎコン

クリートの品質が

低下するほど曲げ

剛性も低くなる傾

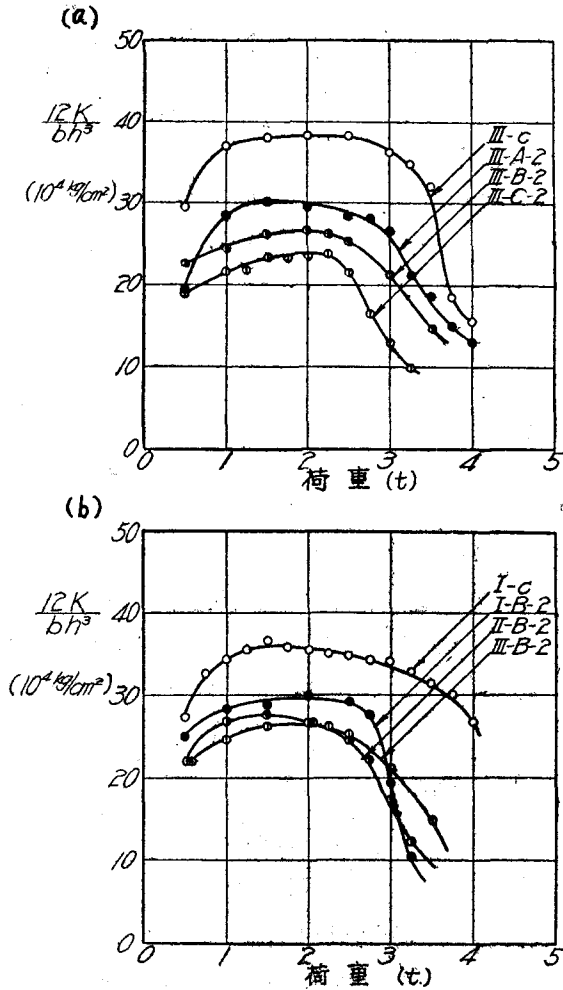
向を有している。

(iii) たわみの変化

図-4 (a)、(b)、

(c)は供試はりのス

図-3 曲げ剛性-荷重図

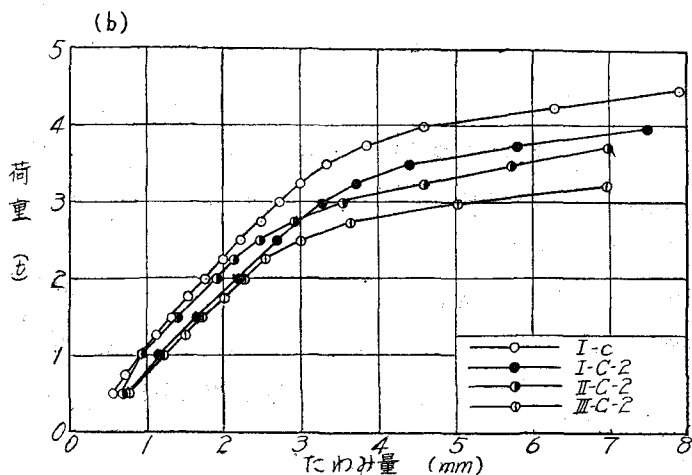
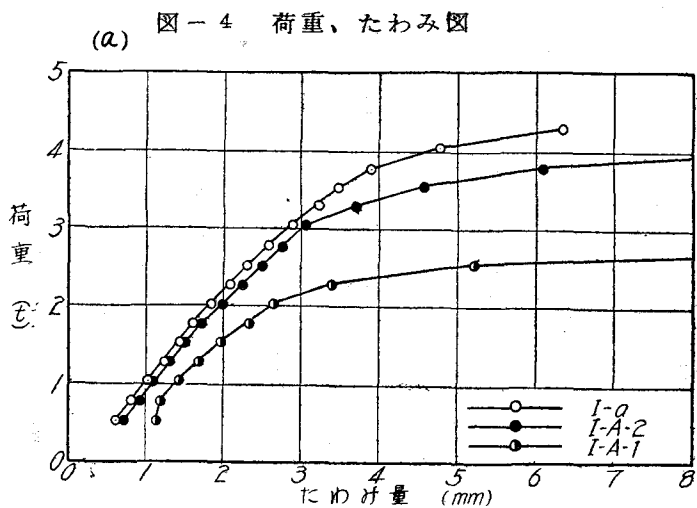


パン中央におけるたわみの実測結果の一部を図示したものである。いずれの供試はりも初龜裂が入るまではほぼ直線的に変化しているが、以後は徐々に増加しはじめ、破壊荷重の大体90%前後の荷重が加わった時より急激に増加し、きわめて大きい塑性回転がはり中央の破壊断面にて生ずることを示している。(a) 図はシャコネクターがたわみに及ぼす影響を、(b) 図は打継部コンクリートの品質がたわみに及ぼす影響を、(c) 図は打継材令がたわみに及ぼす影響をそれぞれ示したものである。

PC合成はりでPCはりよりも小さいたわみを与えるものは皆無である。シャーコネクターを有するPC合成はりのたわみ量は、それのないはりのたわみ量より小さく、また打継ぎコンクリートにⅢ種配合を用いたはりが他にくらべて最も大きいたわみを与えており、残留たわみ量も大である。

(2) 収縮、クリープおよびプレストレスの減退

収縮測定用供試柱およびクリープ測定用供試柱は材令14日目より屋外に放置したため気温、湿度の影響をかなり受け、このためⅢ種配合以外は収縮、クリープの傾向をはつきり求



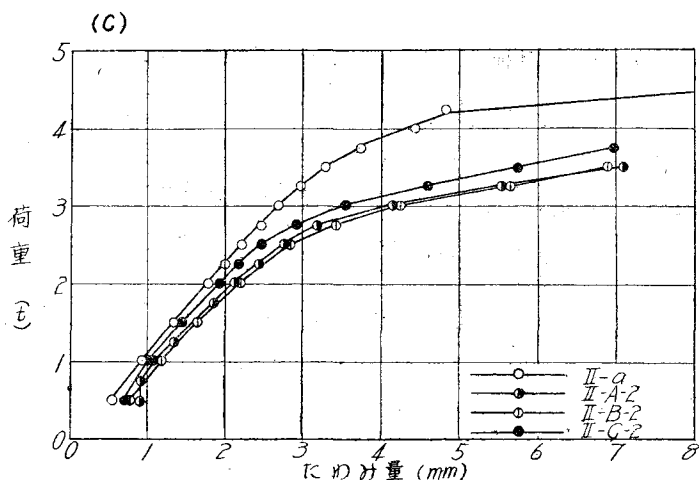
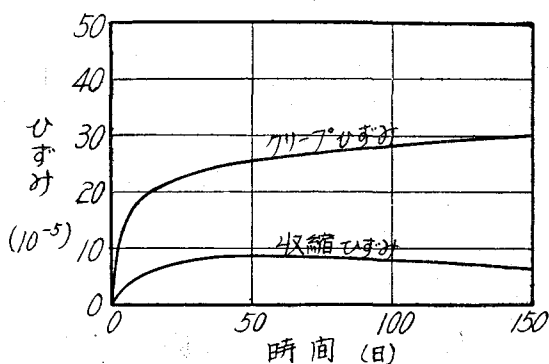


図-5 クリープおよび収縮 (Ⅱ種配合)

めることができなかった。
 図-5は 20°C を基準とし
 温度補正のみ施したⅡ種配
 合コンクリートの収縮およ
 びクリープひずみを示した
 ものである。Ⅰ種配合コン
 クリートの (クリープひず
 み) + (収縮ひずみ) をP
 Cはり下面のひずみ測定値
 より推定するとほぼ 26.5
 $\times 10^{-5}$ となる。収縮ひず



み $\epsilon_s = 1.0 \times 10^{-5}$ である。従つてクリープひずみは $f_c = 16.5 \times 10^{-5}$ となり
 クリープ等性は近似的ではあるが $\phi_c = f_c / \epsilon = 0.569$ となる。ただしプレス
 トレス導入時の弾性ひずみ $\epsilon = 2.9 \times 10^{-5}$ である。いまここで鋼棒はレラクセーションせず
 としてPCはりのプレストレス減退量を理論的に求めるとほぼ 4% となるが、亀裂モーメン
 トからの推定値 24% とはかなり相違している。これは鋼棒のレラクセーションの無視、コ
 ンクリートのクリープ、収縮ひずみの実測が全く屋外供試体で行われたための測定誤差によ
 るものであろう。

IV 結 言

以上、2.9m長のPC合成はりの合成効果について行つた実験の概要をのべた。本実験の範囲内で次のようなことがいえる。

- (1) PC合成はりの亀裂荷重、終局強度はともにPCはりよりも低い。PC部と同種配合のコンクリートを打継いだ供試はりでも亀裂強度は最大30%減となる。
- (2) PC合成はりとしても極度の緊張材量の減少は避けた方が良く、適当量の普通筋または無応力筋によつて補強することが望ましい。また断面の1/2より小さいものを合成するのがよい。
- (3) PC合成はりのたわみはPCはりよりも大きく、打継部コンクリートの品質、打継ぎ材令の影響をうける。
- (4) シヤーコネクターが終局強度に及ぼす効果は余り顕著には認められず、打継面でのずれ破壊も、シヤーコネクターの有無にかかわらず認められない。

参 照 文 献

- 1) R.H. Evans, A.S. Parker; "Behavior of Prestressed Concrete Composite Beams" Proceedings of the ACI, Vol. 51 May 1955.
- 2) H. Riihle; "Die Ermittlung der Zeitabhängigen Eigen-spannungen in Verbundkonstruktionen aus Stahlbetonfertigteilen mit Ortbeton" Bauplanung und Bautechnik, 3J, 1957.
- 3) H. Riihle; "Ergebnisse von Dauerstand - und Bruch-lastversuchen an schlaff bewehrten Betonverbundbalken" Bauplanung und Bautechnik, 11, 2a 1957, Ht. 3.