

京都大学

正員

岡田 清

面林新蔵

○小林和夫

本研究において取扱う軽量コンクリート合成はりとは、プレキャストPC部材(普通コンクリート)と軽量コンクリートを打継いだはりで、その利点として(ⅰ)普通コンクリートPC部材に比して重量が軽減できる、(ⅱ)導入プレストレスを小さくすることができることにより、PC鋼材費の節減が可能となる、(ⅲ)打継ぎコンクリートに用いる軽量コンクリートは必ずしも高強度である必要としない等が挙げられるが、その力学的特性は打継ぎがない一体の普通PC部材(非合成はり)とはかなり相異なる。すなわち(ⅳ)新旧両コンクリートの一体性(付着性)の問題、(ⅳ)新旧両コンクリートのクリープ、乾燥収縮差に起因する応力等の問題を新しく考慮する必要がある。本研究においてはこれらの点を説明するため、PC部の断面形状および打継ぎ条件の異なる矩形およびT型はりを製作し、これと同一断面を有する非合成はりの力学的挙動と比較検討し、結果を述べるものである。

1 実験計画および実験方法 本研究でとり上げる

主要因は以下のとおりである。(表-1 参照)

(ⅰ)コンクリートの配合: 普通軽量1種類ずつ

(ⅱ)打継ぎ時枚令: 2, 4, 6 連の3種類

(ⅲ)打継ぎ面の処理: 無処理, シヤコネクター, 樹脂

(ⅳ)試験時枚令: 打継ぎ後4連

(ⅴ)断面形状: 矩形およびT型はり

プレキャスト部材のプレストレス導入はいずれも枚令2連でボスラン方式によって行ない、グラウトは施していない。静的曲げ試験は、いずれの供試はりに対してとも曲げスパン50cm、せん断入パン20cmの2点載荷とし、各荷重段階(0.25%)でセロスパン中央のたわみ、ひびわれ幅、はり上下縁ならびに打継ぎ面上下部のひずみを測定し、とくにひびわれ荷重附近では荷重段階を小さくしてその発見につとめた。さらに普通および軽量コンクリートのクリープ、乾燥収縮の測定も行なった。

2 実験結果の概要

(ⅰ) ひずみ特性: スパン中央において測定したひずみとモーメントの関係の一例を図-1に示す。合成非合成はりともひびわれモーメント付近までは、ひずみとモーメントの間に近似的に直線関係が存在する。またひびわれ発生時における合成はり下縁(普通)引張ひずみは $400 \sim 600 \times 10^{-6}$ 、上縁(軽量)圧縮ひずみは矩形はりで $400 \sim 500 \times 10^{-6}$ 、T型はりで $300 \sim 400 \times 10^{-6}$ の範囲にあり非合成はりのひずみとほぼ等しい。また

表-1 供試はりの形状と種類

供試はりの種類	供試はりの寸法 (cm)	供試はりの記号	2連2枚令 プレキャスト部	2連2枚令 打継ぎ部	緊張時枚令 (連)	打継ぎ時枚令 (連)	試験時枚令 (連)	打継ぎ面の処理
矩形合成はり	PC部 10x10x136 打継部 10x10x126	R-II-A-a	I	II	Z	Z	6	without
		R-II-A-b	I	II	Z	Z	8	ment
		R-II-A-c	I	II	Z	Z	6	10
		R-II-B-a	I	II	Z	Z	6	Shear
		R-II-B-b	I	II	Z	Z	8	connector
		R-II-B-c	I	II	Z	Z	6	(20cm間隔)
		R-II-C-a	I	II	Z	Z	6	Resin
		R-II-C-b	I	II	Z	Z	8	
		R-II-C-c	I	II	Z	Z	6	10
		R-II-A-a	I	II	Z	Z	6	Shear
矩形合成はり	PC部 10x5x136 打継部 10x5x126	R-II-A-c	I	II	Z	Z	6	connector
		R-II-B-a	I	II	Z	Z	6	(10cm間隔)
		R-II-B-c	I	II	Z	Z	6	Shear
		R-II-B-c	I	II	Z	Z	6	connector
矩形PCはり	10x20x150	R-I (10連)	I	—	—	—	10	—
		R-I (8連)	I	—	—	—	8	—
		R-I (6連)	I	—	—	—	6	—
		R-II (10連)	II	—	—	—	10	—
		R-II (8連)	II	—	—	—	8	—
		R-II (6連)	II	—	—	—	6	—
T型合成はり	PC部 10x20x136 下部断面 10x20x126	T-II-B-b	I	II	Z	Z	8	Shear
		T-II-B-c	I	II	Z	Z	6	connector
		T-II-C-b	I	II	Z	Z	8	(20cm間隔)
		T-II-C-c	I	II	Z	Z	6	Resin
T型PCはり	下部断面 10x20x126	T-I (10連)	I	—	—	—	10	—
		T-I (8連)	I	—	—	—	8	—
		T-I (6連)	I	—	—	—	6	—
		T-II (10連)	II	—	—	—	10	—
グループ制限用	10x20x136	C-I	I	—	—	—	—	—
		C-II	II	—	—	—	—	—
乾燥収縮測定	10x20x136	S-I	I	—	—	—	—	—
		S-II	II	—	—	—	—	—

ち合成はりにおいてコンフリー
トの伸び能力は充分発揮されてい
ることがわかる。また試験時の残
留ひずみは $40 \sim 60 \times 10^{-6}$ で非合成はり
とほぼ等しくほとんど無視できる
値である。

(2) 収縮差応力：表2には“Composite
section method”および“Separate section
method”より算定した収縮差応力の
計算値を示す。供試体はすべて実
験室内に設置したもののフリップはら
び乾燥収縮の進行速度が速く、

新旧両コンフリートの収縮差応力
も大きく、コンフリートの曲げ引
張強度の1/2程度に達するものもあ
る。このため直接ひびわれが発
生したという現象は認められな
が、ひびわれモーメントに著
しい影響を与えることが確認され
た。また断面形状によっては両方
法による算出される収縮差応力
の値に相当り差が認められると
いう報告もあるが、本試験におい
ては両方法間の相違はほとんど認
められなかった。

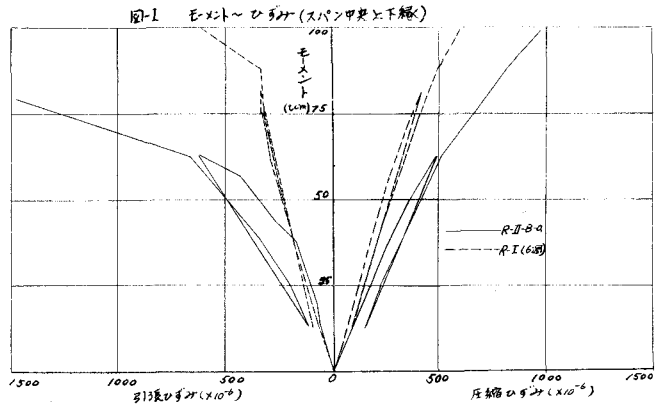


表-2 収縮差応力および Warping

はりの 種別	Composite section method				Separate section method				2.5mm中央の warping ($\times 10^{-6}$ mm)
	δ_{17} (kg/cm^2)	δ_{18} (kg/cm^2)	δ_{27} (kg/cm^2)	δ_{28} (kg/cm^2)	δ_{17} (kg/cm^2)	δ_{18} (kg/cm^2)	δ_{27} (kg/cm^2)	δ_{28} (kg/cm^2)	
R-II-A-a	8.18	22.38	34.39	20.19	8.19	22.27	34.39	20.21	28.8
B	8.18	22.38	34.39	20.19	8.19	22.27	34.39	20.21	28.8
C	8.22	22.49	34.54	20.29	8.22	22.48	34.54	20.28	28.9
R-II-A-b	10.48	26.65	38.40	22.08	10.43	26.69	38.34	22.08	35.0
B	10.48	26.65	38.40	22.08	10.43	26.69	38.34	22.08	35.0
C	10.48	26.65	38.40	22.08	10.43	26.69	38.34	22.08	35.0
R-II-A-c	9.91	29.91	50.05	30.07	9.92	29.90	50.33	30.35	39.4
B	9.89	29.81	49.89	29.97	9.88	29.80	49.86	29.94	39.2
C	9.91	29.91	50.05	30.07	9.92	29.90	50.33	30.35	39.4
Q-II-A-a	1.23	2.13	2.34	-0.34	1.23	2.13	2.34	-0.34	2.1
B	0.90	0.71	0.78	-0.11	0.41	0.71	0.79	-0.11	0.7
Q-II-A-c	12.74	22.12	25.79	-2.41	12.75	22.13	25.78	-2.34	23.0
B	12.78	22.27	25.88	-2.38	12.82	22.24	25.91	-2.35	22.1
T-II-B-b	14.88	24.44	41.69	24.63	7.31	24.48	41.65	23.45	28.5
C	14.88	24.44	41.69	24.63	7.31	24.48	41.65	23.45	28.5
T-II-B-c	18.18	29.85	50.77	29.96	8.94	29.91	50.76	28.56	34.8
C	18.12	29.75	50.61	29.86	8.82	29.67	50.01	27.85	34.7
備考	圧縮 31張		圧縮 31張		圧縮 31張		圧縮 31張		下方

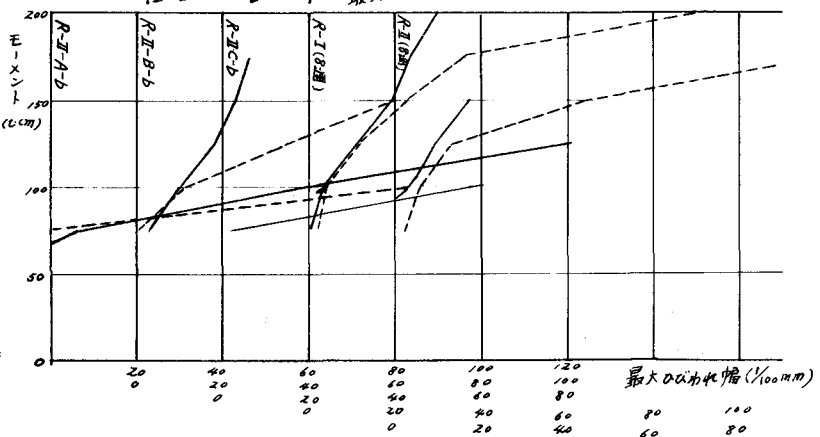
註 1. 2はそれぞれ打継部およびプレキャスト部を示す
T Bはそれぞれ上縁および下縁を示す

図-2 モーメント～最大ひびわれ幅

(3) ひびわれ特性

1) ひびわれ耐力

静的曲げ試験による
ひびわれモーメントの
実験値と理論値を表3
に示す。理論値として
は引張側コンフリート
の塑性の影響を考慮し
た場合と、弾性理論に
よる場合とを表示し
たが、両者には著しい



相対は認められず、 σ 、 ϵ 、 δ に合成はりを対 表-3 ひびわれモーメント

性理論による値を示し、この理論値は合成はりの実際のひびわれモーメントより大きい値となる。これはプレキャストPC部材のグループおよび乾燥収縮、鋼棒のレザビエーションによるプレストレスの減退と考慮しているため、これと考慮すれば相当の精度で理論値と導出し得ると考えられる。この表に示すのは講義会では詳細と述べることにする。	種類	Per (ton)		Mer (t cm)		Mer (t cm)		Mer (t cm)		Mer (t cm)	
		肉眼による	ひびわれ判定	肉眼による	ひびわれ判定	肉眼による	ひびわれ判定	肉眼による	ひびわれ判定	肉眼による	ひびわれ判定
	R-II-A-a/2	2.00	2.00	50.0	50.0	82.5	81.6	70.1			
	R-II-B-a/2	2.25	2.25	53.1	53.1	82.5	81.6	70.1			
	R-II-C-a/2	2.00	2.00	53.1	53.1	82.5	81.6	70.0			
	R-II-A-b/2	2.75	2.75	68.8	68.8	80.5	80.5	67.1			
	R-II-B-b/2	2.75	2.75	71.9	65.6	80.5	80.5	67.1			
	R-II-C-b/2	2.50	2.50	65.6	62.5	80.5	80.5	67.1			
	R-II-A-c/2	2.75	2.75	68.8	59.4	86.2	81.6	65.0			
	R-II-B-c/2	2.75	2.75	68.8	56.3	86.2	81.6	65.2			
	R-II-C-c/2	3.00	3.00	75.0	59.4	86.2	81.6	65.0			
	Q-II-A-a/2	2.75	2.75	68.8	68.8	80.0	78.6	78.8			
	Q-II-B-a/2	3.00	3.00	75.0	75.0	80.0	78.6	78.7			
	Q-II-A-c/2	3.00	3.00	75.0	65.6	82.0	78.7	79.9			
	Q-II-B-c/2	2.75	2.75	68.8	65.6	82.0	78.7	80.0			
	R-I(10週)	2.25	2.25	93.8	81.3	95.3	89.5	—			
	R-I(8週)	2.75	2.75	93.8	81.3	99.1	93.1	—			
	R-I(6週)	3.25	3.25	94.4	90.6	99.1	93.1	—			
	R-II(10週)	4.00	4.00	96.9	87.5	94.5	88.0	—			
	R-II(8週)	3.75	3.75	100.0	87.5	96.0	90.0	—			
	R-II(6週)	3.50	3.50	90.6	84.4	96.0	90.0	—			
	T-II-B-b/2	2.00	2.00	46.9	43.8	65.4	67.5	56.0			
	T-II-C-b/2	1.75	1.75	43.8	43.8	65.4	67.5	56.0			
	T-II-B-c/2	2.00	2.00	43.8	40.6	64.5	68.6	54.6			
	T-II-C-c/2	2.00	2.00	46.9	43.8	64.5	68.6	54.6			
	T-I(10週)	3.00	3.00	75.0	71.9	77.8	72.9	—			
	T-I(8週)	2.75	2.75	71.9	62.5	81.9	76.8	—			
	T-I(6週)	3.00	3.00	68.8	62.5	77.2	72.3	—			
	T-II(8週)	3.00	3.00	71.9	62.5	78.2	73.3	—			

モーメントと最大ひびわれ幅との関係の一例と図2に示す。図から分かるように合成はりにおいては最大ひびわれ幅の増加が非合成はりより比較して著しく大きい。なぜならひびわれ発生後の荷重増加による、打継ぎ面の付着性能が阻害される傾向が見られる。また打継ぎ処理方法には *untreatment* (無処理、ほき目のみ)、*Epoxy resin* (接着剤)、*Shear connector* の順に良好な結果と見えるようである。

A) 剛性(たわみ) (表-4.5)

プレキャストPC部材にひびわれが発生するまでは、打継ぎ面の処理方式がたわみにおよぼす影響は非常に小さいが、ひびわれ発生後においては打継ぎ面の付着性能の良し悪しにより、剛性の低下が少ない。またひびわれ発生後、荷重が $0.5t$ まで下すときの残留たわみは合成はりで $(5-6) \times 10^{-2} mm$ 、非合成はりで軽量 $(5-6) \times 10^{-2} mm$ 、普通 $(6-7) \times 10^{-2} mm$ と非常に小さく、除荷による復元能力は合成、非合成はりを問わず非常に良好である。ひびわれ発生荷重までは、軽量合成はりは全断面軽量はりよりモロワサと軽減する上で有利であるが、ひびわれ進行後は前者

表-4 たわみの実測値(単位 $\times 10^{-2} mm$)

	25cm		50cm		75cm		100cm	
R-I(6週)	16.2	100*	31.8	100	54.0	100	81.0	100
R-II-B-a	21.0	130	49.8	157	98.5	182	203.0	251
Q-II-B-a	21.6	130	47.5	149	85.5	161	152.6	187
R-II(6週)	20.7	128	52.2	164	88.0	163	123.0	152
R-I(10週)	15.9	100	32.7	100	52.5	100	73.8	100
R-II-B-c	22.5	141	46.6	142	78.0	146	139.5	189
Q-II-B-c	19.8	124	45.6	129	75.6	141	151.0	202
R-II(10週)	20.7	130	48.6	149	77.5	145	118.5	160
T-I(8週)	17.4	100	28.4	100	69.6	100	160.2	100
T-II-B-b	19.4	111	58.2	197	110.4	171	220.2	137
T-II-C-b	23.4	134	51.5	175	128.9	194	233.9	146
T-II(8週)	22.0	190	64.2	218	97.7	140	194.3	121
T-I(10週)	16.2	100	28.2	100	66.6	100	159.5	100
T-II-B-c	22.2	137	61.2	217	127.8	192	222.6	142
T-II-C-c	19.2	118	44.4	157	122.4	184	236.0	148
T-II(10週)	21.2	192	60.6	215	106.9	150	220.3	138

* 非合成普通PC材のたわみ2.100と比したときの割合*たわみ

表-5 たわみの計算値(単位 $\times 10^{-2} mm$)

	実測値	計算値	実測値/計算値
R-I(6週)	31.8	33.9	0.94
R-II-B-a	49.8	42.5	1.17
Q-II-B-a	47.5	42.3	1.12
R-II(6週)	52.2	65.1	0.80
R-I(10週)	32.7	32.9	0.99
R-II-B-c	46.6	41.4	1.12
Q-II-B-c	45.6	42.0	1.08
R-II(10週)	48.6	54.5	0.89

の場合には打継ぎ面のズレによる剛性の低下が大きく、逆に不利となる。弾性域(0~設計荷重作用時付近まで)におけるたわみの実測値と理論値(合成はりにおいては、両コンクリートの弾性係数の相異を考慮して換算断面二次モーメントを用いた断面と有効とした値)と表5に示すが、両者は相當の精度で合致している。なお表2には"Separate section method"より算出した両コンクリートの収縮差に起因するWarpingの計算値を示したが、これはRシリーズで(28~40) $\times 10^{-2}$ mm、Qシリーズで(0~25) $\times 10^{-2}$ mm、Tシリーズで(28~35) $\times 10^{-2}$ mmの範囲にあり、短期設計荷重によるたわみとは同じオーダーの値に達するといわれる。したがって合成はりでは打継ぎ部コンクリートによるWarpingの影響をも十分考慮しておく必要がある。

(5) 破壊モーメント: 破壊モーメントの実測値と計算値とを表6に示す。計算値はコンクリートと鉄の最大圧縮ひずみと $\epsilon_u=0.25\%$ と仮定し図式的方法によって算出したものである。実測破壊モーメント

表 6 破壊モーメント

はりの種類	破壊荷重 Pd (ton)	破壊モーメント Mu (tcm)	破壊モーメント計算値 Mu (tcm)	Mu/Mu _u
R-II-A-a $\frac{1}{2}$	5.26	144.0	247.7	0.58
R-II-B-a $\frac{1}{2}$	6.90	165.6	247.7	0.67
R-II-C-a $\frac{1}{2}$	6.90	135.6	247.7	0.55
R-II-A-b $\frac{1}{2}$	5.20	136.3	243.8	0.56
R-II-B-b $\frac{1}{2}$	6.70	182.8	243.8	0.75
R-II-C-b $\frac{1}{2}$	5.60	145.0	243.8	0.59
R-II-A-c $\frac{1}{2}$	6.60	155.0	247.7	0.63
R-II-B-c $\frac{1}{2}$	8.10	201.3	247.7	0.81
R-II-C-c $\frac{1}{2}$	6.00	150.0	247.7	0.61
Q-II-A-a $\frac{1}{2}$	7.00	175.0	265.5	0.66
Q-II-B-a $\frac{1}{2}$	7.00	172.5	265.5	0.65
Q-II-A-c $\frac{1}{2}$	8.00	191.3	265.5	0.72
Q-II-B-c $\frac{1}{2}$	6.50	178.8	265.5	0.67
R-I (10週) $\frac{1}{2}$	8.40	210.0	212.7	0.99
R-I (8週) $\frac{1}{2}$	8.50	206.3	188.9	1.09
R-I (6週) $\frac{1}{2}$	7.25	192.5	209.4	0.92
R-II (10週) $\frac{1}{2}$	8.30	206.9	195.5	1.06
R-II (8週) $\frac{1}{2}$	7.69	181.1	208.7	0.87
R-II (6週) $\frac{1}{2}$	6.80	178.1	208.7	0.85
T-II-B-b $\frac{1}{2}$	8.00	198.8	278.5	0.71
T-II-C-b $\frac{1}{2}$	8.35	198.4	278.5	0.71
T-II-B-c $\frac{1}{2}$	7.90	199.4	291.5	0.68
T-II-C-c $\frac{1}{2}$	8.00	218.8	291.5	0.75
T-I (10週) $\frac{1}{2}$	7.90	178.1	202.6	0.88
T-I (8週) $\frac{1}{2}$	7.80	193.1	203.0	0.95
T-II (10週) $\frac{1}{2}$	6.90	165.6	201.1	0.82
T-II (8週) $\frac{1}{2}$	7.00	168.8	198.2	0.85

は、非合成短形はり: 軽量(180~207tcm)、普通(190~210tcm)、非合成丁型はり: 軽量(165~170tcm)、普通(180~190tcm)の範囲にあり、普通コンクリートのたわみは大きく破壊耐力と有していることがわかる。一方、合成はりの破壊曲げモーメントはRシリーズ(135~200tcm)、Qシリーズ(175~190tcm)、Tシリーズ(200~220tcm)の範囲にあり、打継ぎ面の処理の良し悪しで実測値は計算値に近い。すなわち破壊耐力は大きいことを示している。これは主として打継ぎ面のズレが破壊耐力に大きな影響をおよぼすことを示している。なお $\epsilon_u=0.2\%$ と仮定した場合の理論値との比較については、その詳細は講演会当日発表する。

本研究より得られた結果から合成はりの設計上考慮されなければならない点と列挙すると次のとおりである。

(1) 軽量コンクリートの弾性係数、比重といずれも普通コンクリートの $\frac{2}{3}$ と仮定すると、軽量合成はりの単位容積重量は $1.8\sim 2.0 \text{ t/m}^3$ に軽減できる。(2) 設計荷重以内(ひびわれが発生しない)においては、合成はりは打継ぎ面の処理法にかかわらず非合成軽量コンクリートはりよりもたわみが軽減する上で有利である。(3) 合成はりでは新旧コンクリートの収縮ひびくずれ差に起因する応力ひびWarpingが、かなり大きな値となることがあるので、ひびわれ耐力をひびくずれの計算上はこれを考慮する必要がある。(4) 合成はりの破壊モーメントは非合成はりのそれと比して若干劣るが、破壊に対する安全性は十分確保できると考えられる。

なお本研究は著者の1人に交付された4年度文部省科学研究費による研究であることと付記する。