

PC合成はりの耐力力と塑性変形特性

京都大学 正員 岡田 清

京都大学 正員 小林和夫

京都大学 正員 宮川豊尊

住友電工 正員 〇山田真人

1.はじめに…本研究は断面引張領域をPC部材としてその上にコンクリートを打継いで一体化した一方向荷重に抵抗する合成断面、およびPC部材間にコンクリートを充填して正負交替荷重に抵抗できる合成断面を取上げ、それらの耐荷性状におよぼす打継充填コンクリート特性や導入プレストレスの影響と単純はりの載荷試験により検討したものである。後者の合成断面にはたとえばPC中空断面の鉛直部材に中埋めしたような場合が想定される。

2.試験概要…供試体はいずれも幅×高さ×全長=10×20×160cm、有効高17cmの矩形断面ポステンション単純はりとした。断面形状を図-1に示す。全高20cmの合成断面に対するプレキャストPC部の層厚は、一方向載荷用では6cm、正負交替載荷用では上下各6cmとした。プレキャストPC部には、設計基準強度 $\sigma_{ck}=800\text{kg/cm}^2$ 程度の高強度コンクリートと $\sigma_{ck}=450\text{kg/cm}^2$ 程度の普通コンクリートの2種類を用いた。PC部には断面図心位置にPC鋼棒を配置し、高強度コンクリートでは 200kg/cm^2 程度、普通コンクリートでは 150kg/cm^2 程度の一様プレストレスを導入した。打継充填コンクリートとしては $\sigma_{ck}=250, 350\text{kg/cm}^2$ の普通コンクリートと $\sigma_{ck}=350\text{kg/cm}^2$ で単位重量が 1.54g/cm^3 程度の人工軽量骨材コンクリートの3種類を用いた。正負交替載荷用供試体においては降伏ヒンゲ領域に $d/4$ (d :有効高、ここではすべて17cm)間隔で横拘束筋($\phi 6\text{mm}$ 閉合スラップ)を配置したものを作成し、その靱性改善効果と検討した。載荷形式としては図-2に示すような対称2点荷重により曲げ卓越型のMタイプ($a/d=3.24$)とせん断卓越型のSタイプ($a/d=2.06$)の2タイプを設定した。SタイプはPC合成断面部材の打継目せん断に対してはきわめて厳しい載荷条件と考えられる。Mタイプ載荷用はいずれも供試体も斜せん断破壊や打継目ずれ破壊が曲げ破壊に先行しないように設計した。設計基準としては打継目づれ止め補強には終局荷重作用時を対象としているACI code 318-77のせん断摩損理論に基づくものを、また斜せん断補強については土木学会PC標準示方書の規定を採用した。SタイプではMタイプと同様の設計基準によって設計したものと、両者に対して全く補強を行なわぬ2種類の合成はりを作成した。なお打継充填用コンクリートには膨張剤を混入した($C \times 11\%$)収縮補償用コンクリートを用いた。載荷は一方向載荷では上縁圧縮ひびき $1000\mu, 2000\mu, 2500\mu, 3000\mu$ となる各荷重レベルで1回ずつ完全降荷—再載荷による漸増繰返し載荷と実施した。一方交替載荷シーズではまず正方向側で上縁圧縮ひびき 2000μ に達した時に降荷し、降荷前たわみと同たわみに達するまで

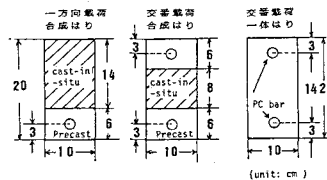


図-1 供試体断面図

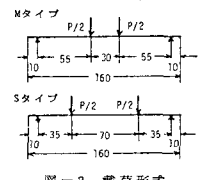


図-2 載荷形式

表-1 一方向載荷型供試体一覧及び試験結果

試験体	プレキャストPC部材の種類	打継充填コンクリートの種類	プレキャストPC部材の強度 σ_{ck} (kg/cm ²)	打継充填コンクリートの強度 σ_{ck} (kg/cm ²)	プレキャストPC部材の単位重量 γ (kg/cm ³)	打継充填コンクリートの単位重量 γ (kg/cm ³)	スラブ厚 t (cm)	試験荷重 P_u (kg)	最大耐力 P_u (kg)	耐力 P_u (kg)	耐力 P_u (kg)	耐力 P_u (kg)	P_u/P_c	P_u/P_c
MN350	N	N	554	463	150.6	150.6	12.8	9.150	8.80	7.51	7.4	5.28	1.30	1.40
MN250	N	N	554	270	143.8	143.8	12.8	0.273	8.96	7.01	7.0	4.74	1.28	1.38
MN-L	N	L	554	463	143.4	143.4	12.8	0.163	8.01	7.49	6.0	4.52	1.18	1.32
MI350	H	N	791	463	186.4	186.4	12.8	0.229	12.24	10.64	8.9	6.35	1.15	1.40
MI250	H	N	791	270	181.5	181.5	12.8	0.392	10.94	9.56	8.3	5.85	1.03	1.42
MI-L	H	L	791	463	176.0	176.0	12.8	0.235	11.57	10.60	7.9	5.41	1.09	1.46
SN350	N	N	620	463	142.8	142.8	12.8	0.150	15.01	11.80	10.8	7.92	1.27	1.36
SN250	N	N	620	270	140.6	140.6	12.8	0.273	15.33	11.02	10.0	7.64	1.39	1.31
SN-L	N	N	554	463	148.3	148.3	12.8	0.229	14.71	11.77	9.6	7.27	1.25	1.32

注: 普通コンクリート H: 高強度コンクリート L: 人工軽量骨材コンクリート

Kiyoshi OKADA, Kazuo KOBAYASHI, Toyooki MIYAGAWA, Masato YAMADA

負方向と載荷した後に除荷した。次に正負方向に各々最大耐力まで載荷し、さらにフォーリングラング領域において正負両方向の交替載荷を行なった後に、正方向で耐力がほとんど消失するまで単調載荷した。

3. 試験結果……得られた結果の一例を一方向載荷については表-1、図3～5に、交替載荷については表-2、図5～7に示す。本試験によると一方向載荷型合成断面部材

の特に終局荷重レベル下の耐荷性状は、打継ぎコンクリートの特性に支配されるのに対し、交替載荷型では充填コンクリートの特性の影響とほとんど受けず、左縮域に位置するPC部コンクリート特性の影響が大きい。打継ぎ充填用に収縮補償コンクリートと適用した本合成断面では曲げひびわれ耐力は収縮差応力と無視した算定値と比べて30%程度大きい。また正負交替荷重を受け、無補強のSN350N、SH-LNでは非プレストレスト状態の充填コンクリート内に交差する斜せん断ひびわれの急激な進展とそれに伴う打継目剥離により脆性的な破壊を呈したが、その他ののはりはいずれも曲げ破壊を呈し、常用の終局曲げ耐力式による計算値と同等以上の耐力を示した。また打継目ずれ量が $40 \times 10^3 \text{ mm}$ 程度を超えると(例えば一方向載荷型SN250)変形履歴ループ特性や変形回復性に影響をおよぼすことが認められた。MNシリーズでは一方向、交替載荷型いずれも最大耐力時で0.8~0.9の高い変形回復率を有するが、MHシリーズでは交替載荷型の変形回復性は一方向型に比べて著しく低下する。またPC部に $\sigma_{ck} = 800 \text{ kg/cm}^2$ のコンクリートを用いたMHタイプ充填型合成部材は高い曲げひびわれ抵抗性を有するものの、最大耐力時以後の耐荷力の低下が急激である。一方向載荷型のどん性

率は、 $\mu = 0.15$ 程度では、軽量コンクリートと打継いだものは普通コンクリートと打継いだもの比べてかなり小さい。

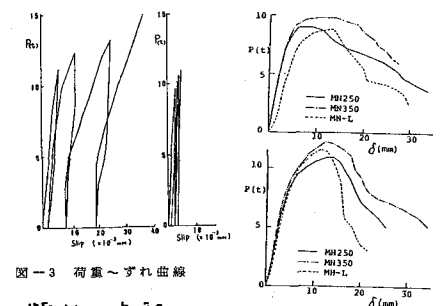


図-3 荷重～ずれ曲線

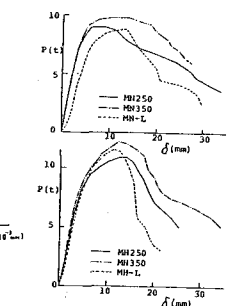


図-4 荷重～たわみ包絡線

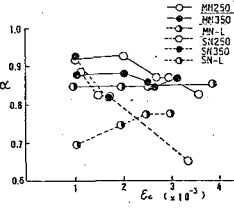


図-5 変形回復率

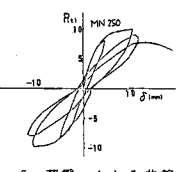


図-6 荷重～たわみ曲線

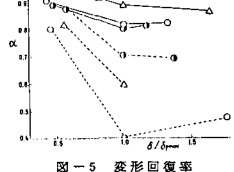


図-7 じん性率～鋼材指数

表-2 交替載荷供試体一覽及び試験結果

載荷形式	供試体名	プレキャストPC部コンクリート種別	中層コンクリート種別	プレキャストPC部コンクリート強度 (kg/cm ²)	中層コンクリート強度 (kg/cm ²)	プレキャスト部コンクリート部スラストレス強度 (kg/cm ²)	使用PC鋼種	スタップ間隔 (cm)	鋼材指数	最大耐力 (t)			曲げひびわれ耐力 (t)			R _u ⁺ /P _u ⁺	R _u ⁻ /P _u ⁻
										実測値 P _u ⁺	実測値 P _u ⁻	計算値 P _u ⁺	実測値 P _{cr} ⁺	実測値 P _{cr} ⁻	計算値 P _{cr} ⁻		
M	MN350	N	N	514	363	151.8	φ13A種1号	12.8	0.143	9.16	9.90	7.57	7.0	7.5	5.46	1.21	1.28
	MN350C	N	N	514	363	141.4	φ13A種1号	12.8	0.143	9.84	9.36	7.57	7.8	7.5	5.40	1.30	1.24
	MN250	N	N	514	270	152.7	φ13A種1号	12.8	0.143	9.29	10.25	7.57	6.4	6.6	5.46	1.23	1.18
	MN-L	N	L	514	451	139.7	φ13A種1号	12.8	0.143	9.81	9.69	7.57	7.3	6.0	5.07	1.30	1.28
	MN-α	N	-	620	-	145.4	φ15B種1号	12.8	0.171	13.87	12.43	11.03	8.0	6.0	5.58	1.26	1.13
	MH350	H	N	826	435	201.6	φ15B種1号	12.8	0.128	13.29	13.01	11.31	10.0	9.7	7.45	1.18	1.34
	MH350C	H	N	826	435	202.4	φ15B種1号	12.8	0.128	13.10	13.27	11.31	10.0	11.0	7.46	1.16	1.34
	MH-L	H	L	826	451	204.0	φ15B種1号	12.8	0.128	13.50	13.99	11.31	9.2	9.8	7.39	1.19	1.24
	MH-LC	H	L	826	451	201.9	φ15B種1号	12.8	0.128	13.64	12.93	11.31	10.0	9.3	7.33	1.21	1.36
	MH-α	H	-	827	-	199.7	φ17C種1号	8.2	0.190	14.29	15.22	17.99	9.0	8.5	7.57	0.79	1.19
S	SN350R	N	N	587	363	149.6	φ13A種1号	11.7	0.126	16.10	15.12	12.03	10.8	9.0	8.60	1.34	1.26
	SN350N	N	N	522	363	140.8	φ13A種1号	-	0.141	10.77	7.61	11.92	-	-	-	0.90	-
	SN-αR	N	-	506	-	151.8	φ15B種1号	5.7	0.209	18.28	17.03	16.93	10.5	10.0	8.58	1.08	1.22
	SH-LR	H	L	826	451	201.9	φ15B種1号	7.0	0.128	24.07	22.01	17.86	17.0	18.4	11.52	1.35	1.48
	SH-LN	H	L	826	451	204.0	φ15B種1号	-	0.128	10.55	12.11	17.78	-	-	-	0.59	-
	SH-αR	H	-	894	-	182.6	φ17C種1号	3.9	0.176	27.41	25.43	23.72	10.8	10.0	11.76	1.16	0.92

供試体名末尾のCは拘束筋を持つものを示す