

論文

[2102] 多数回繰り返し荷重を受ける合成床スラブの端部補強に関する実験的研究

正会員○杉山秀徳（長崎大学大学院）

同 小森清司（長崎大学工学部）

同 永藤政敏（長崎大学工学部）

山下正吾（富士ピーエスコンクリート）

1. はじめに

PC板埋設型枠（PC板）を用いた合成床スラブは、従来のRC床スラブと比較して、耐力およびたわみ性状が優れている反面、多数回繰り返し荷重を受ける場合、固定端部においてひびわれが1箇所に集中する等、RC床スラブではみられなかった特性があることを既に報告している¹⁾。本論文では、多数回繰り返し荷重を受ける合成床スラブの固定端部の力学的性状を把握し、補強方法を研究する目的で、280万回～300万回の多数回繰り返し載荷実験を行なった。

2. 試験体

図-1に合成床スラブの概要を、図-2に試験体の断面詳細図をそれぞれ示す。試験体は、PC板のリップ

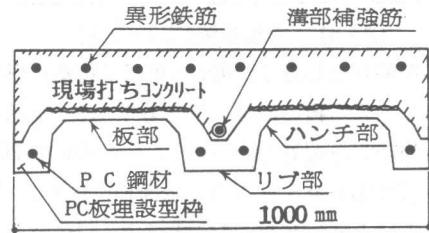


図-1 合成床スラブの概要

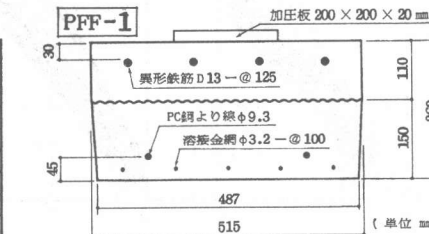
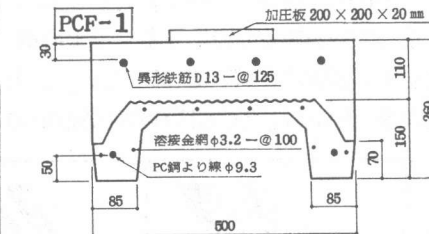
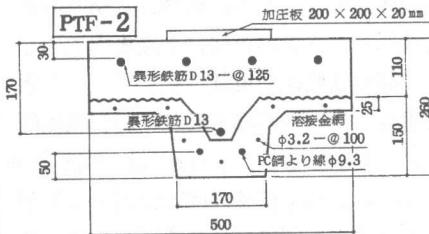
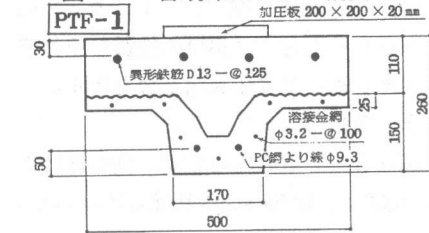


図-2 断面詳細図

表-1 コンクリートの性質

試験体	PC板コンクリート			現場打ちコンクリート		
	材令 (日)	圧縮強度 (kg/cm ²)	弾性係数 ×10 ⁵ (kg/cm ²)	材令 (日)	圧縮強度 (kg/cm ²)	弾性係数 ×10 ⁵ (kg/cm ²)
PTF-1	59	600	3.1	52	272	2.5
PTF-2	69	594	3.3	63	292	2.5
PCF-1	31	529	3.0	24	224	2.6
PFF-1	83	598	3.2	70	326	2.9

試験体は全て現場養生、弾性係数は1/3割線係数とする。

表-2 鋼材の性質

名称	呼び	断面積 (mm ²)	降伏強度 (kg/mm ²)	引張強度 (kg/mm ²)	弾性係数 ×10 ⁴ (kg/mm ²)
溶接金網	3.2φ	8.043	59.7	65.3	2.2
異形鉄筋SD30	D13	126.7	37.4	56.0	2.0
PC鋼より線	9.3φ	51.61	188	200	2.0

降伏強度は、0.2%永久ひずみに対する応力とする。

表-3 断面諸定数

項目	試験体名称	断面諸定数				
		PTF-1	PTF-2	PCF-1	PFF-1	
PC板埋設型枠単体	断面積(cm ²)	291.2	291.2	286.3	761.3	
	断面2次モーメント(cm ⁴)	6590	6582	6405	14410	
	中立軸位置(cm)	上縁より	6.67	6.67	6.58	7.51
		下縁より	8.33	8.33	8.42	7.49
現場打ちコンクリート断面積(cm ²)		613.9	606.8	607.4	567.9	
合成床スラブ	断面2次モーメント(cm ⁴)	39866	38466	40164	73809	
	中立軸位置(cm)	上縁より	10.3	10.5	10.1	13.0
		下縁より	15.6	15.3	15.8	12.9

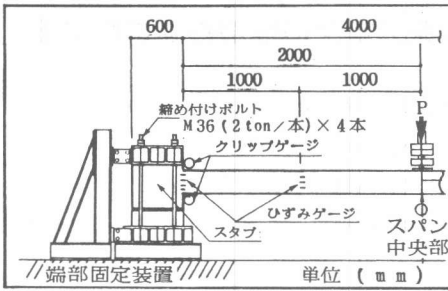


図-3 実験装置(半断面)

部を取り出したT形断面のPTF-1を基本形とし、PC板の溝部に異形鉄筋D13(溝部補強筋)を配筋したPTF-2、PC板の板部を取り出したチャンネル形断面のPCF-1、および下面が平形のPC板を用いたPFF-1の合計4体よりなる。表-1、表-2にコンクリートおよび鋼材の性質をそれぞれ示す。表-3に断面諸定数を示す。

3. 実験方法

図-3に実験装置を示す。試験体はスパン400cm、幅50cmの両端部を固定した一方向床スラブである。載荷は4~8Hzの正弦波形でスパン中央部に1点集中加力した。荷重は既往の実験¹⁾を参考に、上限荷重を2750kg(端部上面ひびわれ発生荷重の1.40倍)とした。PFF-1は、端部上面のひびわれ発生荷重2460kgに対する上限荷重の比率を同等(1.40倍)として上限荷重3500kgを設定した。また、下限荷重は全ての試験体において100kgとした。上限荷重2750kgは長期設計荷重2000kg/m²の

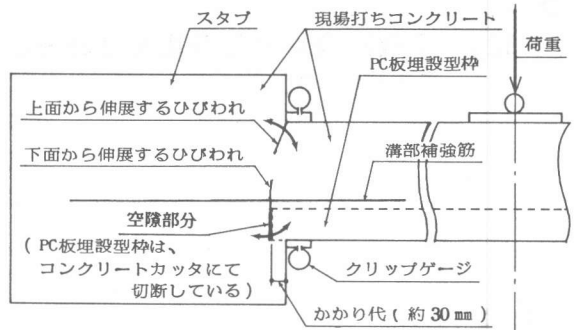


図-4 固定端部の概要

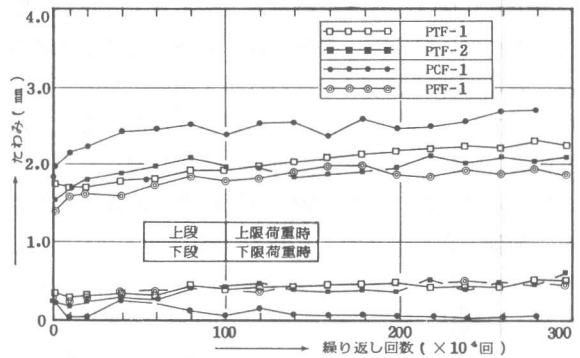


図-5 たわみの変化

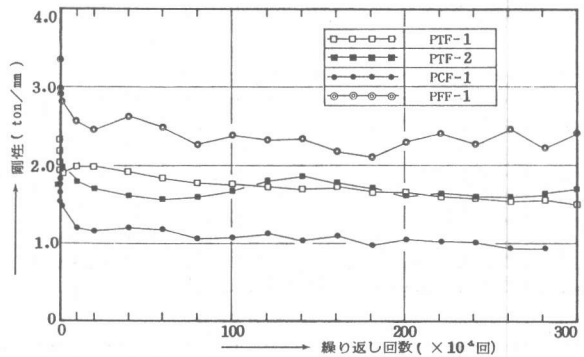


図-6 剛性の変化

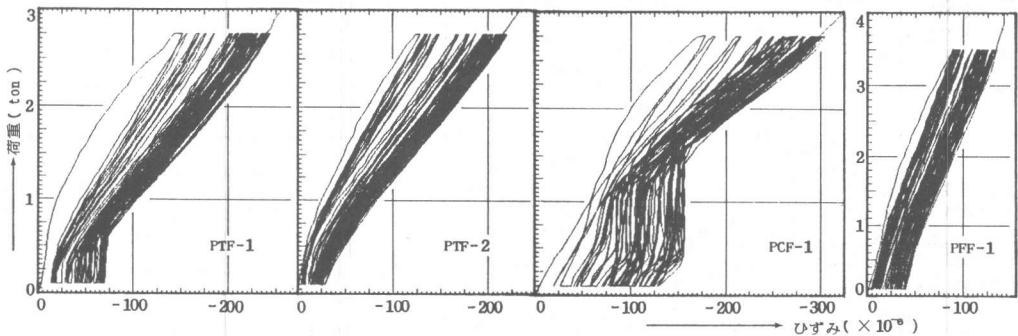


図-7 荷重~端部下面コンクリートひずみ関係

0.82倍、短期設計荷重の0.54倍に相当する。PTF-1については長期設計荷重の1.0倍、短期設計荷重の0.68倍に相当する。また、繰り返し载荷回数は280万回~300万回とした。

測定は、20万回毎に繰り返し载荷を中絶し、静的な载荷により行なった。スパン中央部のたわみを変位計にて、コンクリートおよび鋼材のひずみをストレインゲージにて、端部上下面のひびわれ幅をクリップゲージにてそれぞれ測定した。また繰り返し载荷中の動的な性状(振幅)をデータレコーダに収録した。

4. 実験結果および考察

図-4に固定端部の概略を示す。

4-1. たわみ性状

図-5に繰り返し回数増加に伴うスパン中央部のたわみの変化を示す。PCF-1は、上限荷重時のたわみが4試験体中で最も大きく、下限荷重時は逆に最も小さい。これは、上限荷重から下限荷重へ移行する過程でスパン中央部の跳ね上がりが大きいためと思われる。PCF-1を除く3試験体では、著しい相違はみられない。

図-6に繰り返し回数増加に伴う剛性の変化を示す。剛性は荷重300kgから上限荷重までのたわみを最小二乗法によって直線近似し、傾きを求めたものである。PCF-1は他の試験体と比較して剛性が小さい。これは図-4に示すように、固定端上面では曲げひびわれが伸展し、下部においてはPC板のリブ部端面と現場打ちコンクリートの付着面が剝離して空隙部分を生じて、端部が固定よりもむしろヒンジに近い状態になるためと考えられる。

4-2. ひずみ性状

図-7に荷重と端部下面コンクリートのひずみの関係を示す。PTF-1では下限荷重時の残留ひずみが荷重500kg近傍まで変化せず、その後荷重の増大に伴ってひ

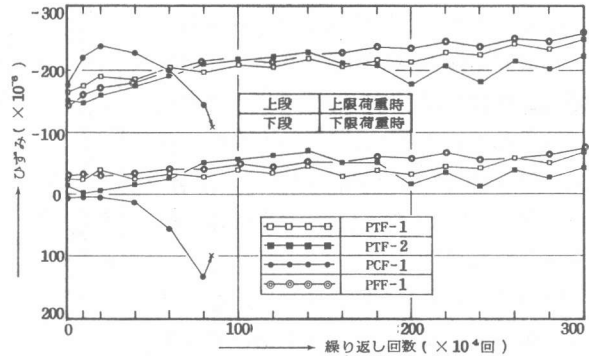


図-8 スパン中央部上面コンクリートひずみの変化

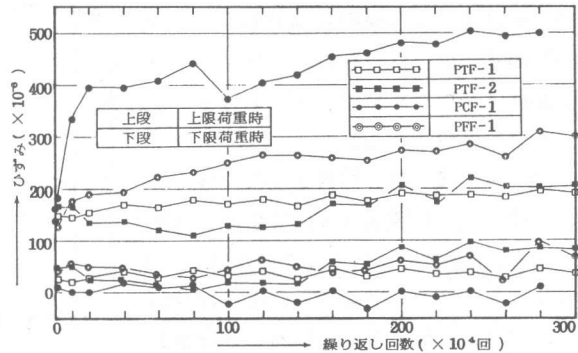


図-9 スパン中央部PC鋼より線ひずみの変化

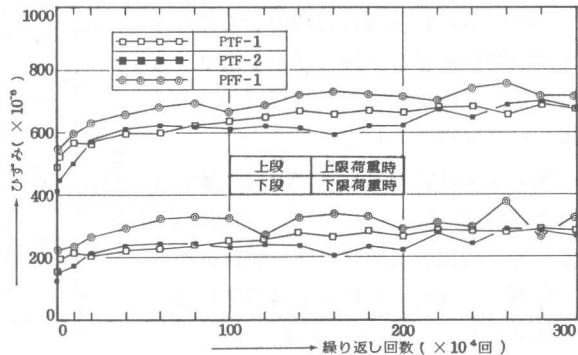


図-10 端部異形鉄筋ひずみの変化

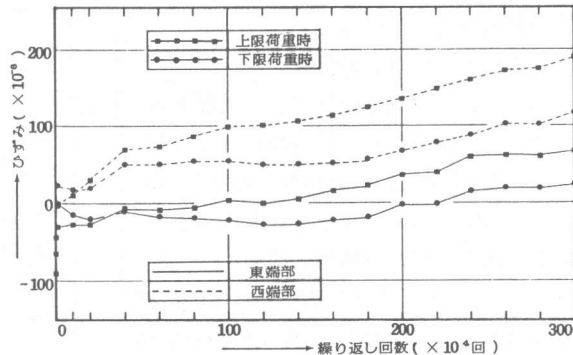


図-11 溝部補強筋ひずみの変化

ずみも増大するという現象がみられる。これは固定端下部に生じた空隙部分が下限荷重時には閉じていないため、応力が伝達されないことによるものと考えられる。PCF-1では、この現象はさらに顕著であるが、PTF-2、およびPFF-1ではこの現象はみられない。

図-8に繰り返し回数増加に伴うスパン中央部上面コンクリートのひずみの変化を示す。PCF-1においては、下限荷重時におけるひずみが引張側であり、100万回に至る以前に貼付したストレインゲージが曲げひびわれにより切れてしまうという現象がみられる。

図-9に繰り返し回数増加に伴うスパン中央部PC鋼より線のひずみの変化を示す。PCF-1においてひずみが著しく大きく、プレストレスの導入によるひびわれの制御が困難になっていることを示している。

図-10に繰り返し回数増加に伴う端部異形鉄筋のひずみの変化を示す。3試験体(PCF-1は測定していない)とも、著しい差異はみられない。

図-11に繰り返し回数増加に伴う溝部補強筋(PTF-2)のひずみの変化を示す。20万回以前においては上限荷重から下限荷重へ移行する過程で溝部補強筋に引張力が生じ、20万回以降においては逆に下限荷重から上限荷重に移行する過程で引張力が生じている。

4-3. ひびわれ性状

図-12に静的な荷重による端部上面のひびわれ幅の繰り返し回数増加に伴う変化を、図-13に動的な荷重によるひびわれ幅振幅の変化をそれぞれ示す。端部上面のひびわれ幅は、PCF-1、およびPTF-1では60万回でRC部材としての目標値 0.3mm^2 を超えており、環境の厳しい条件下においては上端筋の腐食が懸念され

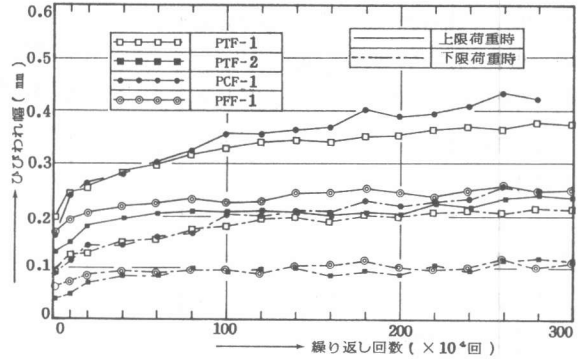


図-12 端部上面ひびわれ幅の変化

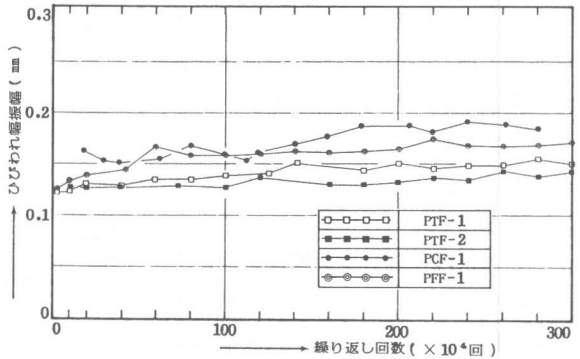


図-13 端部上面ひびわれ幅振幅の変化

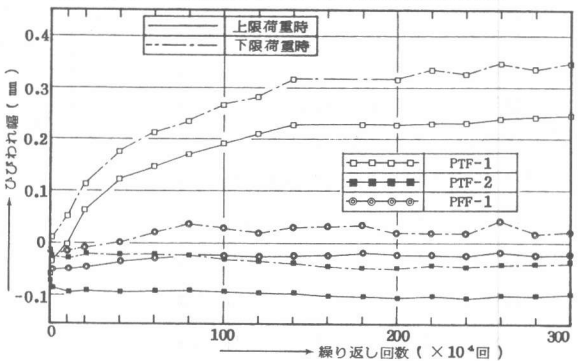


図-14 端部下面ひびわれ幅の変化

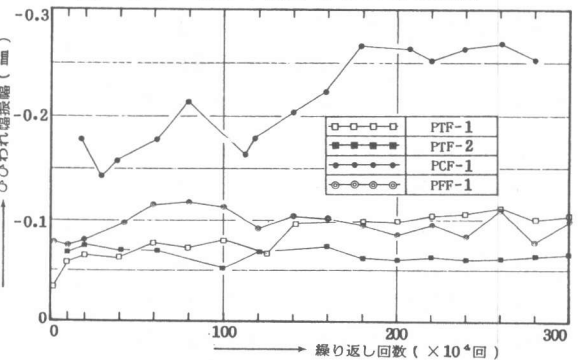


図-15 端部下面ひびわれ幅振幅の変化

る。PFF-1は荷重が他の試験体と比較して大きいため、ひびわれ幅も大きい。

図-14に静的な荷重による端部下面のひびわれ幅の繰り返し回数増加に伴う変化を、図-15に動的な荷重によるひびわれ幅振幅の変化をそれぞれ示す。端部下面のひびわれ幅は、PTF-1においては60万回においてPRC部材としての目標値 0.2mm^2 を超えている。PCF-1においてはひびわれ幅を測定していないが、ひびわれ幅振幅が他の3試験体と比較して著しく大きいことから判断してPTF-1を超えるひびわれ幅となっているものと思われる。ひびわれ幅振幅は全ての試験体において負の値を示し、下限荷重から上限荷重へ移行することにより端部下面のひびわれは閉じることを意味している。また100万回、200万回、280万回、および300万回において載荷速度を1~8Hzまで変化させて端部上下面のひびわれ幅振幅の測定を行なったが、載荷速度の違いによる差はみられなかった。

図-16に280万回~300万回の繰り返し載荷終了直後における試験体側面のひびわれ図を示す。全試験体とも端部のひびわれが1箇所集中している。PC板のリブ部端面と現場打ちコンクリートの付着面が剝離して生じた空隙部分が起点となり、端部下面よりひびわれが伸展する現象が全試験体においてみられ、PTF-2を除き100万回の時点で既に端部のひびわれが全断面を貫通している。また、PCF-1においてはスパン中央部上面に曲げひびわれが1本発生している。

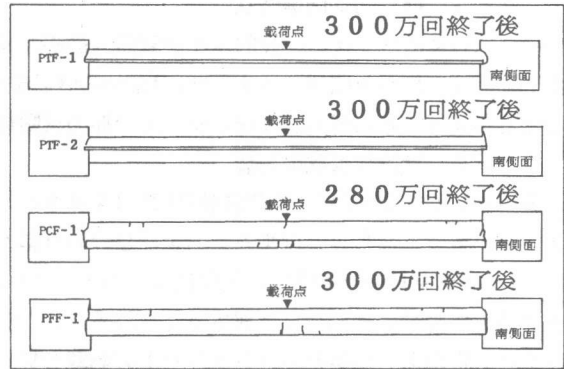


図-16 側面ひびわれ図

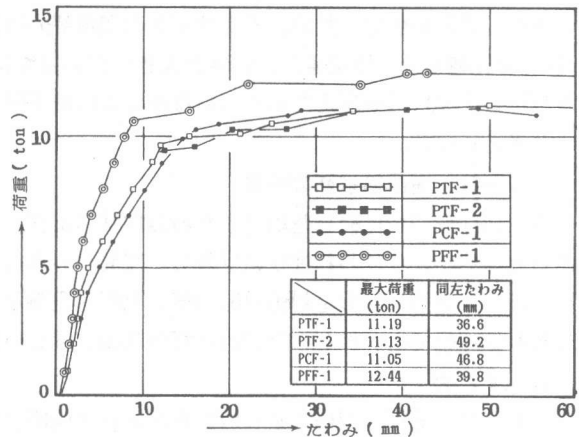


図-17 最終300万回の荷重~たわみ関係

表-4 280万回における諸性状の比較

項目	試験体	PTF-1	PTF-2	PCF-1	PFF-1	
たわみ性状	P_{max}	1.00(2750kg)	1.00	1.00	1.27	
	$\delta(P_{max})$	1.00(2.32mm)	0.88	1.18	0.84	
	$\delta(P_{max}) - \delta(P_{min})$	1.00(1.79mm)	0.85	1.46	0.81	
	δ_{amp}	1.00(2.18mm)	0.96	1.53	0.79	
ひずみ性状	剛性	1.00(1.56ton/mm)	1.06	0.61	1.43	
	$\epsilon_s(P_{max})$	1.00(693 μ)	1.02	---	1.16	
	$\epsilon_s(P_{max}) - \epsilon_s(P_{min})$	1.00(398 μ)	1.03	---	1.35	
	$\epsilon_{pc}(P_{max})$	1.00(194 μ)	1.08	2.57	1.59	
	$\epsilon_{pc}(P_{max}) - \epsilon_{pc}(P_{min})$	1.00(150 μ)	0.81	3.22	1.44	
	$\epsilon_{c}(P_{max})$	1.00(-297 μ)	0.84	1.09	0.47	
	$\epsilon_{c}(P_{max}) - \epsilon_{c}(P_{min})$	1.00(-218 μ)	1.03	0.90	0.55	
ひびわれ性状	$\epsilon_{c}(P_{max}) - \epsilon_{c}(P_{min})$	1.00(-233 μ)	0.86	---	1.05	
	$\epsilon_{c}(P_{max}) - \epsilon_{c}(P_{min})$	1.00(-183 μ)	0.95	---	0.98	
	$u_{pr} C(P_{max})$	1.00(0.37mm)	0.67	0.83	0.66	
	$u_{pr} C(P_{max}) - u_{pr} C(P_{min})$	1.00(0.16mm)	0.89	1.13	0.94	
	$u_{pr} C_{amp}$	1.00(0.16mm)	0.89	1.19	1.09	
	$l_{wr} C(P_{max})$	1.00(0.24mm)	-0.43	---	-0.10	
	$l_{wr} C(P_{max}) - l_{wr} C(P_{min})$	1.00(-0.11mm)	0.57	---	0.39	
	$l_{wr} C_{amp}$	1.00(0.10mm)	0.64	2.54	0.78	
	PTF-1の欄には280万回における測定値を併記し、PTF-1を1とした比率で示す。 P_{max} :上限荷重、 P_{min} :下限荷重、 δ :たわみ、 ϵ :ひずみ、C:ひびわれ幅 右側の添字は、amp.:振幅、s:異形鉄筋、pc:PC鋼より線、c:コンクリート 左側の添字は、e:端部、c:スパン中央部、upr:上面、lwr:下面をそれぞれ示す。					

4-4. 静的曲げ破壊性状

繰り返し载荷終了後に、静的な単調载荷（最終サイクル）により試験体を破壊させた。図-17に荷重～たわみ関係を示す。PTF-1は他の3試験体と比較してPC鋼より線のかぶりが小さく、有効背が大きいため耐力が大きい、その他の試験体においては著しい差異はみられない。

4-5. 試験体形状の影響

表-4に280万回における諸性状をPTF-1を基準とした比率で示す。PCF-1はPTF-1と比較して、剛性が小さく、たわみ、ひずみ、およびひびわれ幅が大きいことが分かる。T形断面をしたPTF-1では、荷重をリブ部で受け、端部はリブ部で支えられるが、チャンネル形断面をしたPCF-1は板部で荷重を受け、端部はリブ部で支えられるため、断面のねじり変形が大きく、固定端下部においてPC板端面と現場打ちコンクリートの剝離を促し、結果として諸性状に悪影響をおよぼしているものと思われる。また、チャンネル形のPC板を用いた合成床スラブでは、直仕上げの天井とされること少ないため、固定端下部の空隙部分は天井に隠蔽されて発見されにくい。PTF-1は、PTF-1と比較して上限荷重が1.27倍と大きいため諸性状の比率も大きい、ひずみ性状の一部で上限荷重の比率1.27を超えたものがある他はこれを下回っており、比較的安定した性状を示していると考えられる。

4-6. 溝部補強筋の効果

PTF-1とPTF-2を比較した場合、たわみ性状およびひずみ性状においては両者にほとんど違いはみられないが、ひびわれ性状には著しい差異がみられる。殊に、固定端下面のひびわれ幅に関しては、ひびわれ幅の絶対値で0.43倍、上限荷重時と下限荷重時のひびわれ幅の差で0.57倍、ひびわれ幅振幅で0.64倍と、ひびわれ幅の制御に著しい効果がみられる。

5. まとめ

(1) PC板埋設型枠(PC板)を用いた合成床スラブでは、動的な载荷により、固定端下部においてPC板の端面と現場打ちコンクリートとの付着面が剝離して空隙部分が生じ、端部下面からスラブ上面へ向かってひびわれが伸展する現象が、PC板の形状の如何に拘らずみられる。

(2) 固定端下部における空隙部分の影響は、チャンネル形のPC板を用いた試験体において著しく、荷重～たわみ性状、コンクリートのひずみ等の諸性状に顕著に現れる。

(3) 下面が平形のPC板を用いた合成床スラブは、リブ部を有するPC板を用いたものと比較して、固定端下部における空隙部分が小さく、良好なたわみ性状、ひずみ性状、およびひびわれ性状を示す。

(4) 溝部補強筋は、端部における空隙部分の制御に関して著しい効果を発揮し、D13程度の補強筋を配することにより、空隙部分の幅の絶対値を1/2以下に低下させ、PRC指針による推奨値0.2mmを満足することができる。

従って、チャンネル形をしたPC板を埋設型枠に用いた合成床スラブでは、多数回繰り返し荷重を受ける場合においては、端部に溝部補強筋を配してPC板の端面と現場打ちコンクリートを連結させることが必要不可欠であるという結論を得ることができた。

参考文献) 1) 小森清司、永藤政敏、林誠、田中恭哉、「合成床板の耐力、剛性に及ぼす多数回繰り返し荷重の影響について」コンクリート工学年次論文報告集9-2 1987 pp.621~626

2) 日本建築学会、「プレストレスト鉄筋コンクリート(Ⅲ種PC)構造設計・施工指針・同解説」

謝辞) 本実験に御協力戴いた長崎大学大学院生渡辺淳一、堤信賢、同学生浦野修一、近藤正治、田中省吾、中野健史、真鍋和久の諸氏に深謝致します。