

[2107] 合成床板の耐力, 剛性に及ぼす多数回繰返し荷重の影響について

正会員○小森 清司 (長崎大学工学部)
 正会員 永藤 政敏 (長崎大学工学部)
 正会員 林 誠 (長崎大学大学院)
 田中 恭哉 (富士ピー・エス・コンクリート)

1. はじめに

昨今, 通常のRC床板を用いた重量倉庫などで, フォークリフトの頻繁な走行や急停止によるひびわれ発生と剛性低下の問題が顕在化し始めたが, その対策として床板内にプレストレスを導入することが考えられる。本研究はこの問題解決の糸口を見付けるべく昨年に引き続き繰返し荷重をうけるPC合成床板の特性を究明するため, PCとRCの2種類の床板に対して荷重の大きさや, 繰返し回数及び加力位置などを変えて実験を行い, 繰返し荷重が床板の耐力, 剛性, ひびわれに及ぼす影響について考察を行った。

表1 コンクリートの性質

試験体	PC板用コンクリート					現場打コンクリート				
	材令(日)	圧縮強度 kg/cm ²	曲げ強度 kg/cm ²	引張強度 kg/cm ²	E ×10 ⁴ kg/cm ²	材令(日)	圧縮強度 kg/cm ²	曲げ強度 kg/cm ²	圧縮ひずみ ×10 ³	E ×10 ⁴ kg/cm ²
PCF-1	9.5	46.6	4.7	2.6	2.6	5.9	23.8	2.8	-1724	2.8
PCF-2	12.7	43.4	4.5	3.2	2.6	8.3	27.1	4.2	-1970	2.5
PCF-3	6.8	51.6	4.2	4.1	3.02	5.7	21.6	3.6	-1992	2.42
PCF-4	4.5	44.3	—	2.4	3.03	3.6	16.7	2.7	-2133	2.01
RCF-1	—	—	—	—	—	9.1	28.2	4.0	-2042	3.0
RCF-2	—	—	—	—	—	3.1	22.0	3.5	-1961	2.68
RCF-3	—	—	—	—	—	9.3	24.8	4.5	-2256	2.27
RCF-4	—	—	—	—	—	11.6	26.2	4.5	-2152	2.72

供試体はすべて現場養生・ヤング係数はE₀とする

表2 PC鋼棒・異形鉄筋・溶接金網の性質

	公称直径	断面積 (mm ²)	σ _y (Kg/mm ²)	σ _M (Kg/mm ²)	E (Kg/mm ²) (×10 ⁴)	ε _y (×10 ⁻³)
PC鋼棒	φ 9.2	6.4	130	145	2.0×10 ⁴	6.500
異形鉄筋	D13 (SD30)	126.7	36	53	1.8×10 ⁴	2000
溶接金網	φ 3.2	8.04	5.5	5.7	2.1×10 ⁴	2619

2. 試験体

試験体はプレストレスを導入したPC床板4体とRC床板4体の合計8体よりなる。その断面詳細を図1に, 材料特性を表1, 表2に示す。ここに, PC床板はプレストレスを導入したチャンネル型埋設型枠上に現場打コンクリートを打設した板厚135mm, 幅50cmリブ丈26cm, スパン4mの両端固定の一方向合成床板であり, RC床板は板厚が23cmの長方形断面と異なる他はPC床板と同形の現場打コンクリート一体打である。

3. 繰返し荷重

荷重の大きさは, 積載荷重が2ton/m²クラスの倉庫で通常使用される最大級のフォークリフトを考え, その積載力2.75tonに車の自重4.5ton

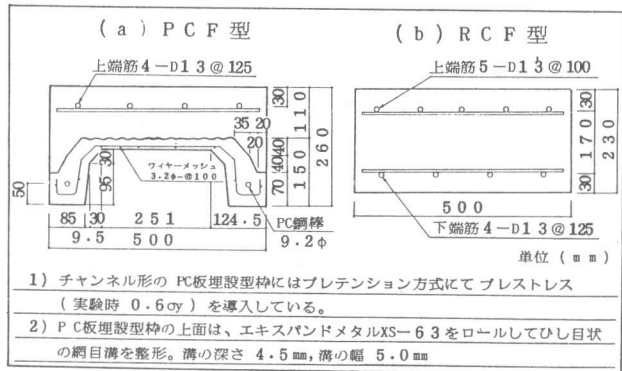


図1 試験体断面詳細図

表3 板厚実寸法及び実験方法

試験体	衝撃係数 i	荷重 P (Kg)	繰返し回数 (×10 ⁴ 回)	スラブ厚 (mm)		
				中央部	端部	
P	PCF-1	0.5	2750	100	247	255
	PCF-2	1.0	3650	100	242	255
	PCF-3	1.0	3650	120	235	242
	PCF-4	0.5	2750	180	251	256
R	RCF-1	0.5	2750	100	229	231
	RCF-2	1.0	3650	200	229	230
	RCF-3	0.5	2750	200	231	227
C	RCF-4※	0.5	2750	200	231	228

※: 移動載荷

を加えた全重量7.25 tonを基本荷重とし、急停止による荷重の前輪集中を、衝撃係数*i*を用いて割増しする。本実験では*i*の値として、道路橋で用いられている*i* = 20 / (50 + L)を参考に*i* = 0.5と*i* = 1.0の2種類採用する。したがって実験荷重は、 P (*i* = 0.5) = 2.75 tonと P (*i* = 1.0) = 3.65 tonの2種類となる。

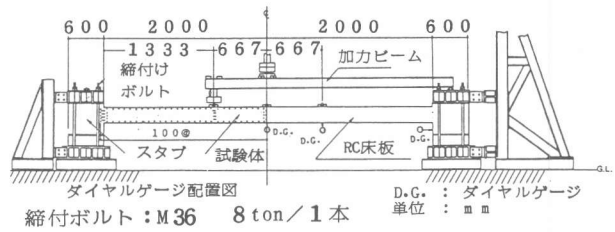


図2 試験体及び実験方法

また繰返し回数として100万回と200万回を計画したが、PCF-3の場合は停電、PCF-4は支持装置のずれにより、実験中断のやむなきに至っている。各試験体の板厚の実寸法と実験条件を表3に一覧する。

4. 実験方法

実験は試験体の両端を固定し、油圧式試験機を用いて載荷速度を4~5 Hzに保ちながらスパン中央1点集中載荷によって多数回の繰返し載荷を行った。ただし、RCF-4試験体だけは図2に示す如く、スパンの左右 $l/3$ 点を10万回ずつ交互に載荷するという移動載荷方式をとり、荷重移動によるせん断力の影響を検討した。また、繰返し荷重の上限は2.75 tonと3.65 tonの2種類とし、下限を上限荷重の20%におさえた。また所定の繰返し載荷実験終了後、終局破壊に至るまで静的に単調載荷実験を行い、終局耐力、終局たわみ及び終局破壊状況を究明した。測定は10万回毎に行い図2で示すようにたわみを変位計とダイヤルゲージで、ひびわれ幅をクリップゲージで、鉄筋とコンクリートのひずみはストレインゲージを貼付して計測した。また固有振動数は加速度計で計測した。

5. 実験結果と考察

実験結果を図3~15、表4に示す。

5.1 たわみ性状

図3、図4は繰返し載荷実験中の繰返し回数増加に伴うたわみ増の状況を衝撃係数*i* = 0.5の場合、と*i* = 1.0の2種類について示したものである。*i* = 0.5の場合、図3よりPC床板、RC床板共1万回頃まではたわみ増がみられず、その後、半数のものが若干たわみ増を示すが、それも200万回時でたかだか1.5 mmと小さい。

一方、*i* = 1.0の場合には図4からわかるように、初めから繰返し回数増と共にたわみが増大していく。初めのうちはPC床板の方が小さいが、70万回を過ぎる頃からRC床板の方が安定した一定の増加を示しているにも拘らず、PCF-3床板では、たわみの急増がみられる。これは荷重が3.65 tonと大きかったためスパン中央下面の板部にひびわれが発生したのだと思われる。しかし、たわみ増は最大でもまだ2.6 mmと小さく、元のプレストレス導入時のそり5.2~7.7 mmに達していない。

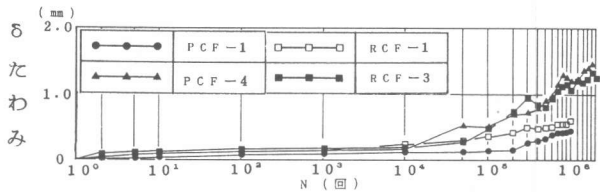


図3 たわみの増加状況 (*i* = 0.5)

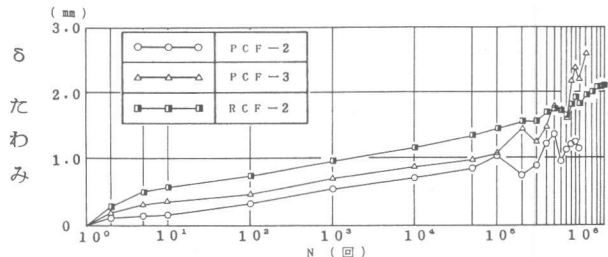


図4 たわみの増加状況 (*i* = 1.0)

5.2 剛性低下

衝撃係数 i と载荷方法の違いによる床板の剛性低下率と繰返し回数との関係を図5, 図6に示す。図5は $i=0.5$, $P=2.75$ ton の場合であるが, 剛性低下の傾向がPC床板とRC床板で異なることがわかる。RC床板では実験時すでに自重だけでスパン中央下面にはひびわれ発生がみられ, そのため繰返し回数の極く少ないうちから剛性低下が始まり, その後も緩慢であるが, 次第に剛性が低下し, 200万回目には当初の70%となっている。また同じRC床板でも荷重を交互に移動させたRCF-4床板では, 予想したようにはせん断力の交番による影響があらわれず, スパン中央部载荷のものよりむしろ小さい剛性低下を示した。これに反して, PC床板ではスパン中央

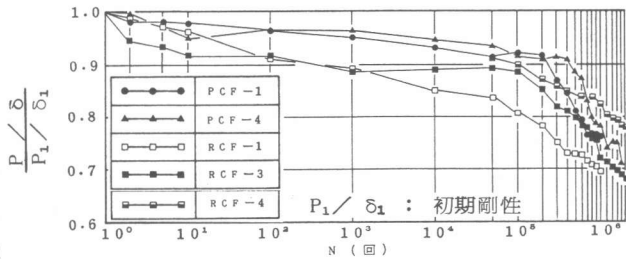


図5 剛性低下率 ($i = 0.5$)

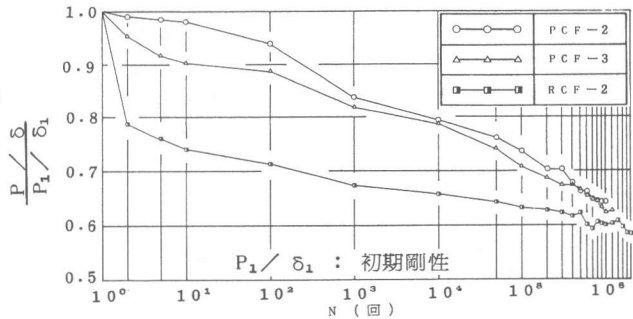


図6 剛性低下率 ($i = 1.0$)

中央下面にひびわれが発生しにくい場合, 繰返し回数が増えても剛性低下は小さく20万回頃でもなお90%にとどまっている。しかし一旦スパン中央下面にひびわれが発生すると, やはり剛性低下が急になり, 100万回で75%まで低下している。一方, 図6は $i=1.0$, $P=3.65$ ton と荷重が大きい場合である。この荷重は実状を遥かに超えた大きさであるため, RC床板では繰返しの2回目にしてすでに80%まで剛性が急落してしまっている。それ以後は低下がやや緩慢になるが, 100万回目には60%まで低下している。ところがPC床板でも, ひびわれによる急激な低下こそみられないが, かなり剛性の低下が大きく100万回目には65%まで低下している。しかし, $i=0.5$, $i=1.0$ のいずれの場合も, 100万回程度の範囲内であれば, PC床板の方がRC床板より剛性低下が若干小さい。またその特性は繰返し回数が少ない時顕著に現われることがわかる。

5.3 コンクリートの圧縮ひずみ

各サイクル上限荷重時のスパン中央上面のコンクリートの圧縮ひずみ変化を図7に示す。衝撃係数 $i=0.5$ の場合にはPC床板とRC床板との間にあまり差がみられず当初150 μ であったひずみが100万回目でも約200 μ にとどまっており, 繰返し回数によるひずみの

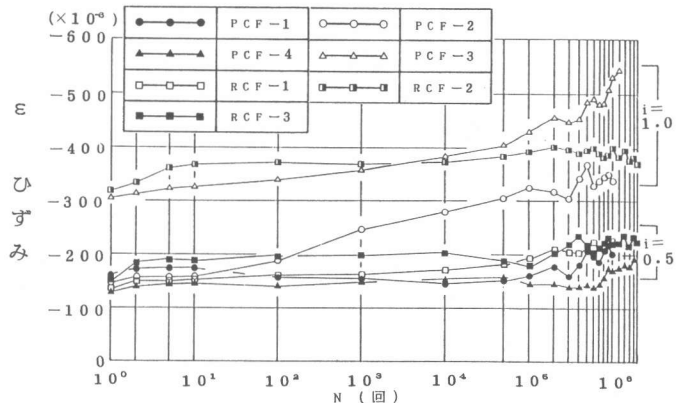


図7 コンクリートの圧縮ひずみ変化

増加がみられない。しかし $i=1.0$ の場合には当初ひずみに若干のばらつきはあるが $i=0.5$ の場合のおよそ2倍近い値を示している。その中でPCF-3床板は10万回頃からひずみの増加が急となり、100万回目には550 μ に達している。しかし、それでもなおコンクリートの圧壊ひずみ約2,000 μ (表1)にはほど遠く圧壊の心配はなさそうである。

5.4 鉄筋のひずみ

繰返し回数の増加に伴う鉄筋ひずみの増大を示したのが図8 ($i=0.5$), 図9 ($i=1.0$)である。

まず $i=0.5$ の場合、図8によれば材端に配した異形鉄筋のひずみはPC床板、RC床板共大差はなく当初100~200 μ であったひずみが繰返し回数と共に徐々に増大し200万回で200~500 μ となる。しかしRC床板では中央部下面の異形鉄筋が初めから300 μ と大きく、その後も回数増と共に増大し200万回で850 μ に達し、下面のコンクリートひびわれを防ぎきれない。

これに反してPC床板ではPC鋼棒のひずみが180万回でもまだ150 μ と小さく、コンクリートのひびわれ制御に効果があることを示している。しかし、 $i=1.0$ ともなると様子は変わり、図9によれば端部の異形鉄筋ひずみは両端で若干の違いはあるが $i=0.5$ の場合の約2倍の大きさを示している。しかし30万回後の増え方は著しく中には100万回で1,000 μ に達しているものもある。このように荷重が極端に大きくなると、図8ではみられなかった現象だが、PC床板に配したPC鋼棒までが100万回目には1200 μ に達しコンクリートのひびわれ制御が難しくなっていることを示唆している。しかし、PC鋼棒にはまだ1400 μ の余裕が残されている。図中のPC鋼棒のひずみは、プレストレス導入時のひずみ3900 μ を考慮していない。

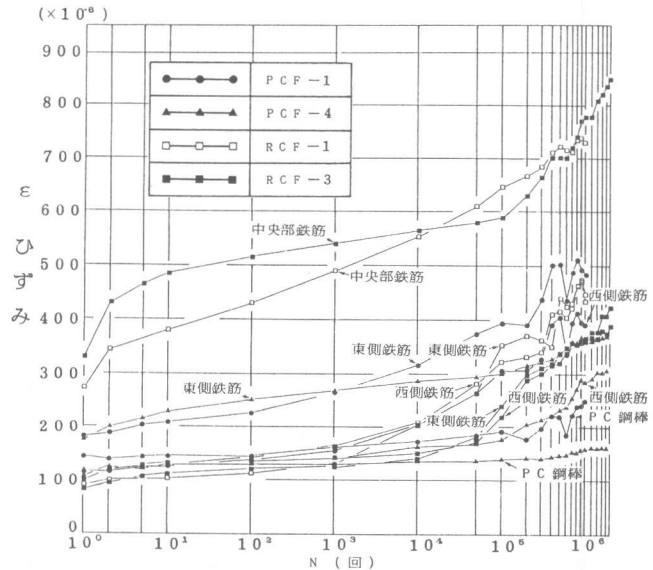


図8 鉄筋ひずみの増大状況 ($i=0.5$)

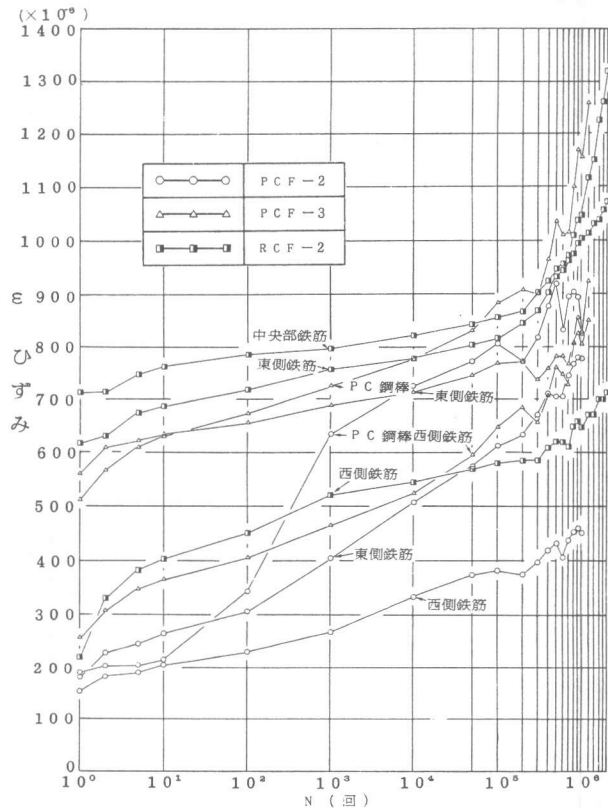


図9 鉄筋ひずみの増大状況 ($i=1.0$)

5.5 ひびわれ性状

繰返し载荷実験後のひびわれ模様を図10～14に展開図で示す。

材端上面ではPC床板とRC床板の相違がみられないが、スパン中央下面において両者の間に著しい差がみられる。まず $i=0.5$ の場合、RCF-3床板では繰返し回数が200万回に達すると床板の下面には20本近いひびわれが発生し、しかもその中の数本が全幅を貫通し、最大のもはその先端が上縁の圧縮域にまで達している。また、 $l/3$ 移動荷重のRCF-4床板では、さらにひびわれ間隔が粗く、 $l/3$ まで分散する拡がりをみせている。ところがPCF-4床板では180万回直後でも下面のひびわれ数は数本と少なく、しかもリブ部にとどまり板部に達していない。同様の傾向が $i=1.0$ の場合にも認められる。だが荷重が著しく大きい場合、図14のRCF-2床板では100万回後下面に12本に及ぶひびわれが全幅を貫通しており、内4本が上縁の圧縮域に達している。しかし、図13のPCF-3床板では100万回後床板の下面に数本のひびわれ伸展がみられるがまだ全幅を貫通するまでには至っていない。一方材端上面ではRC床板、PC床板共に類似のひびわれ性状を示している。このように、PC床板は下面がプレストレスの効果を受けているため非常にひびわれが入りにくい特性を保有していることがわかる。

5.6 静的曲げ破壊試験

図15は100～200万回の繰返し実験終了後、中央1点集中载荷によって曲げ破壊させた結果である。表4はその値と計算値を一覧する。6体共設計荷重が等しいから曲げ性状は良く近似しており、剛性は繰返し载荷によって低下しているが、最初の4ton近傍までは殆んど等しく、その後若干ばらつきをみせるが、終局耐力は、3.65tonで200万回という過酷な履歴をうけたR

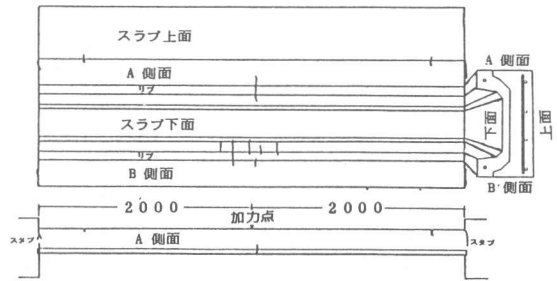


図10 ひびわれ図 PCF-4 (180万回後)

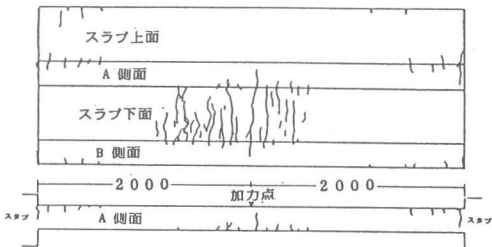


図11 ひびわれ図 RCF-3 (200万回後)

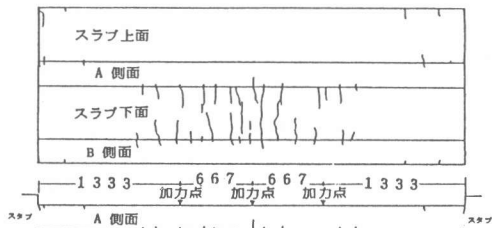


図12 ひびわれ図 RCF-4 (200万回後)

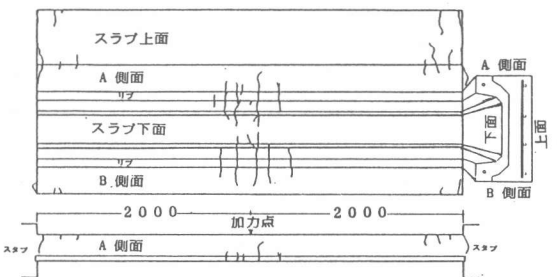


図13 ひびわれ図 PCF-3 (100万回後)

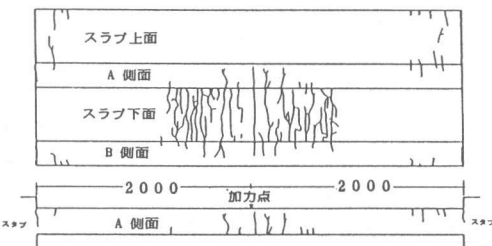


図14 ひびわれ図 RCF-2 (100万回後)

表4 実験結果一覧表

実験値 及び 計算値 試験体	実験値						計算値				比率 (実験値/計算値)				
	ひびわれ荷重 (kg)		降伏荷重 (kg)		最大 荷重 (kg)	スパン 中央部の たわみ (最大 荷重時) (mm)	破損性状	ひびわれ荷重 (kg)		降伏荷重 (kg)		ひびわれ荷重		降伏荷重	
	端部 上面	スラブ 下面	端部 鉄筋	中央部 鉄筋				端部 上面	スラブ 下面	端部 鉄筋	中央部 鉄筋	端部 上面	スラブ 下面	端部 鉄筋	中央部 鉄筋
P C F - 1	1600	1.0 ³ cycle	9700	—	11790	36.5	端部下面 圧壊	2162	3919	7279	7059	0.74	—	1.33	—
P C F - 2	1900	1.0 cycle	10260	10260	11379	42.9	P C 鋼棒 破断	2271	3833	7344	7412	0.84	—	1.40	1.38
P C F - 3	1500	3000	—	—	—	—	—	1861	3301	6335	6209	0.81	0.91	—	—
P C F - 4	2500	7×10 ⁵ cycle	—	—	10959	44.9	端部下面 圧壊	1839	4148	7092	6991	1.36	—	—	—
R C F - 1	2400	1800	10200	8000	12168	70.2	—	1911	2279	7819	6767	1.26	0.79	1.30	1.18
R C F - 2	2100	自重	7830	8000	9816	72.3	中央部上面 圧壊	1624	1994	7072	6234	1.59	—	1.11	1.28
R C F - 3	2750	自重	8400	7840	11130	50.4	中央部上面 圧壊	1727	2091	6939	6156	1.59	—	1.21	1.12
R C F - 4	2750	自重	9650	10430	11230	56.8	中央部上面 圧壊	1829	2174	7463	6428	1.50	—	1.29	1.62

設計荷重は、合成スラブにおいては、(自重437kg/m²+積載荷重2000kg/m²)、RCスラブにおいては、(自重552kg/m²+積載荷重2000kg/m²)である。計算値は、実験値を使用している。Mcr=1.8/√Fc・Zとして求めた。

CF-2を除けば、残り5体は共に約11tonまで達し、降伏荷重は計算値に対して1.1~1.4倍の余裕を示している。また、5体共終局たわみが36mmを超えており100万回に及ぶ繰返し後でも十分な靱性が確保されていることがわかる。

6. 結び

本実験より次のことがわかった。

1) 繰返し回数の増加に伴うた

- わみ増は、同じ荷重であればPC合成床板とRC床板との間に大きな差が認められない。
- 2) 剛性の低下は繰返し荷重の大小に拘らずPC合成床板の方がRC床板より若干小さく特に繰返し回数が少ない範囲でその特性が顕著に現われる。
- 3) 衝撃係数 $i=0.5$ の場合、PC鋼棒によってPC埋設板にプレストレスを導入しておくことは繰返し荷重によるひびわれ制御に効果的である。
- 4) スパン中央下面のひびわれは、RC床板では多数発生するが、PC合成床板ではほとんど発生しない。しかし材端上面のひびわれは両者似かよったパターンを示す。
- 5) PC床板、RC床板共、スパン中央上面の圧縮ひずみは、200万回程度の繰返し実験ではまだ小さい。

以上のことから、本実験で設定した荷重、繰返し回数の範囲内であれば、PC板を埋設型枠に用いた合成床板の方がRC床板よりひびわれがはいりにくく、剛性低下も少なく、比較的安定した特性を示し、実用に十分供しうるものと思われる。

[文献] 1) 小森, 永藤, 林, 田中「PC板埋設型枠を用いた合成床スラブの多数回繰返し実験」第8回コンクリート工学年次講演会論文集 p 617~620 1986
 2) 若井 他「動的荷重を受ける鉄筋コンクリート床スラブのきれつ調査」日本建築学会大会学術講演梗概集(関東) p 4561~1562 昭和54年9月
 [謝辞] 本実験に御協力戴いた狩野, 高本, 辻, 長岡, 野原の各氏に深謝致します。

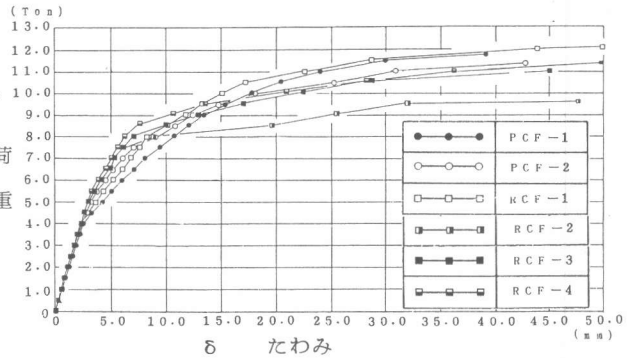


図15 P~δ曲線(静的曲げ試験)