

# 報告 ポーラスPC舗装版の疲労載荷試験

奥山 和俊\*1・鳥屋 隆志\*2・佐藤 祐輔\*3

**要旨**：排水性，吸音性に優れるポーラスコンクリートをプレキャストPC舗装版の上に敷設し一体化させたポーラスPC舗装版を開発し，試験体による静的，疲労載荷試験を実施した。その結果，所定の繰り返し回数後もひび割れ等が発生せず，また，ポーラス部分と普通コンクリート部分の付着も低下することは無かった。したがって想定期間内において十分な疲労耐力を有していることが判明した。

**キーワード**：ポーラスコンクリート，プレキャスト，PC舗装版，疲労載荷試験

## 1. はじめに

プレキャストPC舗装（以後，PPC舗装と呼ぶ）は舗装版に導入されたプレストレスにより重荷重に対するひび割れ抵抗性やたわみ追従性が高く耐久性に優れたセメントコンクリート舗装である。また，舗装部材をプレキャスト化することにより迅速な施工が可能であり，早期の交通解放を行うことが出来る。

このような特性を生かし，従来よりPPC舗装は主にバスターミナルや道路交差点部，料金所，トンネル内の舗装改良工事に採用されている。

一方，近年においては舗装の高機能化や環境問題が注目を集め，この対策としてポーラスコンクリートの開発，施工が盛んに進められている。ポーラスコンクリートはコンクリート中に連続した空隙を均質に導入したものであり，このポーラスコンクリートを舗装に適用することにより排水性に優れ，雨天時の走行安定性が上

昇し，また吸音性も優れるので，車両騒音の低下が可能となる。さらに放熱性にも優れることから近年問題となっているヒートアイランド現象対策にも有効な手法の一つであると思われる。

そこで本試験はPPC舗装とポーラスコンクリートの長所を合わせ持つポーラスPPC舗装版を製作し，静的，疲労載荷試験を行うことにより，その耐荷性能および適用の可能性について検討するものである。

## 2. ポーラスPPC舗装版の製作

### 2.1 試験体の形状寸法

試験体は通常のPPC舗装版の上部にポーラスコンクリートを敷設し合成したものである。

PPC版の設計条件は版中央部において曲げひび割れに対して引張応力度の発生は許容するがひび割れの発生は許容しないパーシャルプレストレスの状態であり，PPC舗装版ではこの制限値を $2.5\text{N/mm}^2$ と規定している。したがって，

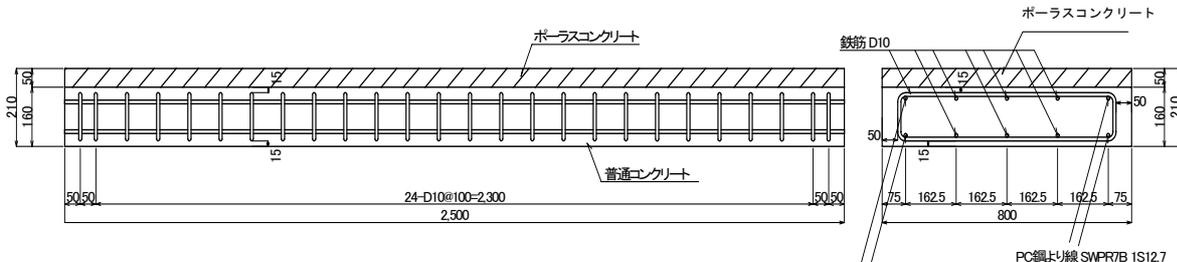


図-1 試験体の形状と配筋

\*1 PC舗装専門研究会 工修 (正会員)

\*2 PC舗装専門研究会 工修 (正会員)

\*3 PC舗装専門研究会

プレストレス力もこの制限値内に応力度が収まるように決定される。

この設計条件より一般に用いられている P P C 版の形状、配筋を参考にし、版寸法は幅 800mm × 高さ 210mm × 長さ 2500mm で、ポーラス P C 舗装版の普通コンクリートとポーラスコンクリートの割合は 160mm : 50mm とした。

図-1 に試験体の形状と配筋を示す。

## 2.2 使用材料

試験体に使用した普通コンクリートおよびポーラスコンクリートの使用材料と配合を表-1 ~ 表-3 に示す。普通コンクリートについては、P C 舗装版として強度特性を達成できるものとし、ポーラスコンクリートについては、目標とした曲げ強度 (4.4MPa 以上) および空隙率 (20% 程度) が確保される配合とした。表-4 にコンクリートの材料試験結果を示す。

表-1 使用材料

	ポーラスコンクリート	普通コンクリート
セメント (HC)	早強ポルトランドセメント (密度 : 3.14g/cm <sup>3</sup> )	
細骨材 (S)	静岡県大井川産天然砂 (絶乾密度 : 2.58g/cm <sup>3</sup> )	
粗骨材 (G)	6号碎石 (絶乾密度 : 2.65g/cm <sup>3</sup> )	天然川砂利 : 最大寸法20mm (絶乾密度 : 2.63g/cm <sup>3</sup> )
混和材 (PM-10K)	ポーラスコンクリート用混和材	
混和剤 (AD1, AD2)	(密度 : 2.21g/cm <sup>3</sup> )	高性能AE減衰剤 AE剤

表-2 ポーラスコンクリートの配合

G	S	HC	W	PM-10K
1,458	197	394	67	13

単位 : kg/m<sup>3</sup>, W/C=17%, m/g=45%  
C/S=2.0, 目標空隙率 : 20%

表-3 普通コンクリートの配合

G	S	HC	W	AD1	AD2
1,137	667	403	143	3.02	1.21/100

単位 : kg/m<sup>3</sup>, W/C=35.5%  
目標スランプ : 12cm, 目標空気量 : 2.0%

また、試験体に使用した鉄筋、P C 鋼材については、それぞれ D10 (SD295A)、P C 鋼より線 SWPR7B 1S12.7 とした。

表-4 材料試験結果

	材齢	圧縮強度 (MPa)	曲げ強度 (MPa)	弾性係数 (MPa)	空隙率
Po-C	28日	31.6	5.91	27622	18%
NC		61.6	6.00	36460	-

Po-C : ポーラスコンクリート

NC : 普通コンクリート

## 2.3 試験体の製作

試験体の製作は以下の手順により行った。

- (1) 型枠に P C 鋼より線および鉄筋を配置し、必要な添加物 (インサート, Deha アンカー等) を設置後、P C 鋼より線を緊張する。
- (2) 普通コンクリートを型枠内に投入する。締固めは棒状バイブレーターを使用し、均一に締固める。また、コンクリートの表面仕上げはホウキ引き仕上げとする。
- (3) 普通コンクリートの打設終了後、3時間程度養生をする。その後普通コンクリート表面に無収縮モルタルを 2~3mm 程度塗布した後、ポーラスコンクリートを投入する。
- (4) ポーラスコンクリートの投入後、振動モーター付き締固め型枠を試験体の上面に設置し、振動モーターを作動させながら規定の高さ 5cm になるまで締固める。
- (5) コンクリートの打込み後のポーラス P P C 舗装版は表面をシートで覆い、翌日まで蒸気養生を行う。蒸気養生後、材齢 1 日において脱型を行い、試験実施までの期間は気中養生とした。

## 3. 静載荷試験

### 3.1 試験概要

疲労試験に先立ち、ポーラス P P C 舗装版の耐荷性能を確認するため、静載荷試験を実施した。載荷方法は単純支持、中央 2 点載荷の曲げ

載荷とした。図-2に載荷の概要を示す。載荷ステップは試験体が破壊に至るまで単調増加による載荷とした。

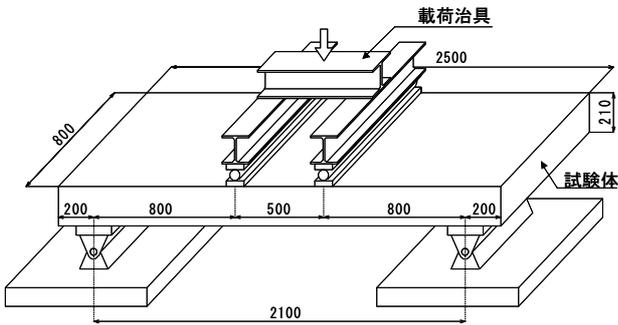


図-2 載荷概要

### 3.2 荷重-変位曲線

試験体の変位は載荷スパン中央の両側面に設置した変位計 D1, D2 によって測定した。なお、試験結果は D1, D2 の平均値とした。試験結果を図-3に示す。

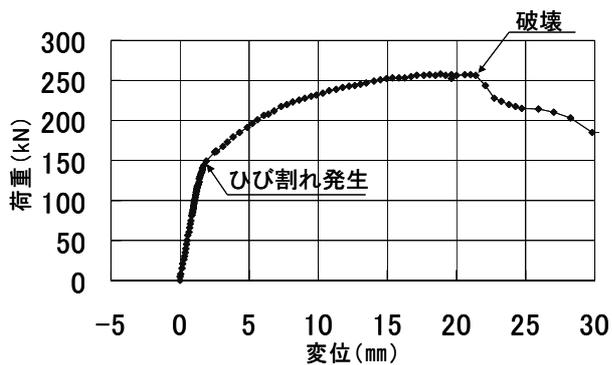


図-3 静載荷試験荷重-変位曲線

破壊性状はまず載荷荷重が 150 kN 付近において試験体下縁曲げひび割れが発生し、その後、載荷荷重の増加に伴いひび割れが発生、伸展し変位が増加した。変位が 20mm を超えた付近で上縁のポーラスコンクリート部が圧壊により急激に荷重が低下し、載荷を終了した。

試験結果をまとめたものを表-5に示す。

表-5 静載荷試験結果

ひび割れ発生荷重	144.0 kN
ひび割れ発生時の変位	1.710 mm
終局荷重	256.1 kN
終局変位	21.400 mm

また、試験後の破壊状況を写真-1に示す。



写真-1 静載荷試験破壊状況

### 3.3 曲げひずみ分布

試験体のひずみはコンクリート用のひずみゲージを横方向に 4 段、縦方向に 3 列添付し、計測を実施した。ひずみゲージの位置図を図-4に示す。また、図-5に試験結果として試験体の荷重レベルごとの中央部におけるひずみ分布を示す。

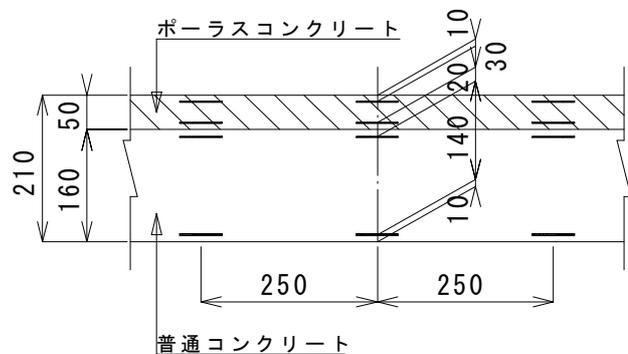


図-4 ひずみゲージ添付位置図

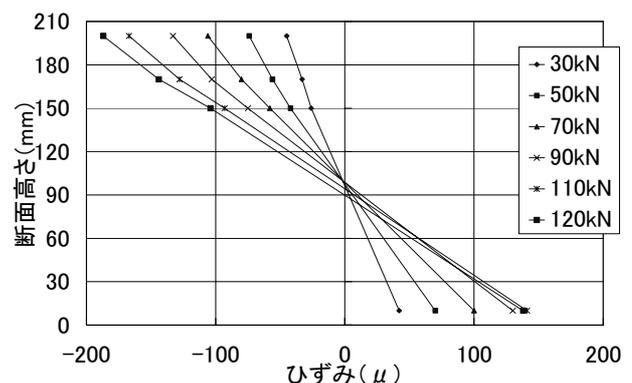


図-5 中央部のひずみ分布

コンクリートのひずみは各荷重レベルにおいて直線的な分布を示しており、ひび割れ発生まではポーラスコンクリートと普通コンクリートの一体性は十分に保たれているといえる。

$$N_{49} = \left( \frac{P}{49} \right)^4 \quad (2)$$

#### 4. 疲労載荷試験

静載荷試験によってポーラス P P C 版の一体性および耐荷性能を確認する事ができた。このポーラス P P C 版を舗装版として使用するためには繰り返し荷重による耐荷性能の低下を把握する必要がある。そこで疲労載荷試験を実施し、ポーラス P P C 舗装版の疲労耐荷性能を確認する事とした。

##### 4.1 試験条件

###### (1) 設計期間

舗装版としての想定した設計期間は主要幹線道路の舗装のうち、高速自動車国道を想定した場合の目安値である 40 年とする。

###### (2) 舗装計画交通量

舗装計画交通量は主要幹線道路を想定して 3000 台/日以上とする。尚、この舗装計画交通量に対応する疲労破壊輪数は 35000000 回/10 年である。

###### (3) 載荷回数および載荷荷重

載荷回数は設計期間を 40 年、舗装計画交通量を 3000 台/日以上と設定したため、以下のようになる。なおこの条件は現状最も厳しい設計条件となる。

$$35000000 \text{ 回/10 年} \times 4 = 140000000 \text{ 回} \quad (1)$$

舗装の標準荷重である 49kN を上記回数分繰り返し載荷する必要があるが、非現実的な回数であるので、段階的に荷重を増加させ、載荷回数を減少させる事とした。

ある輪荷重 P を標準荷重 49kN に換算した場合の換算輪数  $N_{49}$  は、舗装設計施工指針に従って式(2)で求める。

式(2)を用いて、累積 49kN 換算輪数 N が、今回想定した疲労破壊輪数になるまで、段階的に荷重を上げて載荷するものとする。

また載荷の段階は 15 ステップと設定した。載荷回数と換算輪数の関係を表-6 に示す。

表-6 載荷回数と換算輪数の関係

載荷ステップ	荷重 (k N)	荷重倍数 (倍)	換算輪数 $N_{49}$ (回)	疲労載荷回数 (回)	換算輪数 $N_{49}$ 合計 (回)
1	49.00	1.00	1	35752	35752
2	65.17	1.33	3	35752	111868
3	81.34	1.66	8	35752	271477
4	97.51	1.99	16	35752	560677
5	113.68	2.32	29	35752	1035744
6	129.85	2.65	49	35752	1763128
7	146.02	2.98	79	35752	2819456
8	162.19	3.31	120	35752	4291532
9	178.36	3.64	176	35752	6276332
10	194.53	3.97	248	35752	8881010
11	210.70	4.30	342	35752	12222897
12	226.87	4.63	460	35752	16429498
13	243.04	4.96	605	35752	21638495
14	259.21	5.29	783	35752	27997743
15	275.38	5.62	998	35752	35665277
合計				536280	140000887

##### 4.2 載荷方法

試験体の載荷スパン、載荷位置等は図-2 に示した様な静的載荷試験と同様のものとした。

載荷の波形は正弦波とし、載荷速度は 5Hz とした。

また載荷荷重はある輪荷重に対して Westergaard の縁部載荷公式から求まる断面力 (曲げモーメント) と同じ断面力が作用する載荷荷重を算出し、実際の載荷荷重とした。

写真-2 に疲労試験試験状況を示す。

また、表-7 に想定荷重と試験時における載荷荷重の関係、載荷荷重時のポーラスコンクリートと普通コンクリートとの界面におけるせん断

応力を示す。

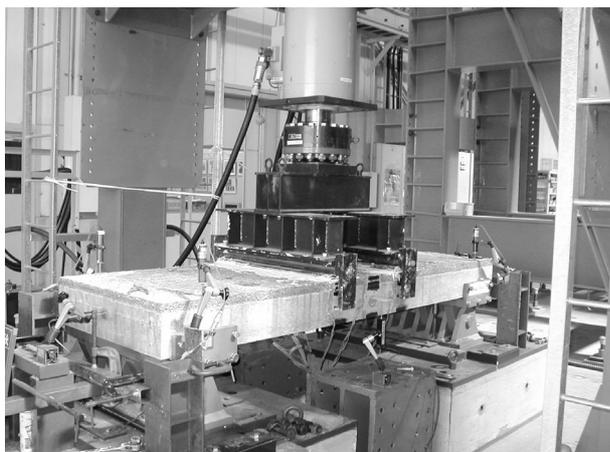


写真-2 疲労載荷試験状況

ポーラスコンクリートの圧壊等は見られなかった。



写真-3 疲労載荷後の状況

表-7 想定荷重と試験時における載荷荷重の関係

載荷ステップ	想定荷重 (k N)	Westergaard公式による曲げモーメント (N・mm/mm)	載荷荷重 (k N)	界面のせん断応力 (N/mm <sup>2</sup> )
1	49.00	14251	28.50	0.092
2	65.17	18214	36.43	0.118
3	81.34	21886	43.77	0.142
4	97.51	25299	50.60	0.164
5	113.68	28480	56.96	0.185
6	129.85	31451	62.90	0.204
7	146.02	34228	68.46	0.222
8	162.19	36827	73.65	0.239
9	178.36	39263	78.53	0.254
10	194.53	41545	83.09	0.269
11	210.70	43684	87.37	0.283
12	226.87	45689	91.38	0.296
13	243.04	47568	95.14	0.308
14	259.21	49328	98.66	0.320
15	275.38	50974	101.95	0.330

### 4.3 試験結果

疲労載荷終了後の試験体状況を写真-3 に示す。外観上はひび割れ等の損傷はなく、ずポーラスコンクリートを普通コンクリートの界面剥離や

載荷前、および疲労載荷中のステップ 4, 8, 12, 15 終了後において静的載荷を行い、試験体の疲労による損傷状況を確認した。なお、静的載荷の荷重値はひび割れ発生直前までとし 110kN と設定した。

#### (1) 荷重-変位曲線

試験体の変位は静的載荷と同様にスパン中央の両側面に設置した変位計 D1, D2 によって測定した。試験結果を図-6 に示す。

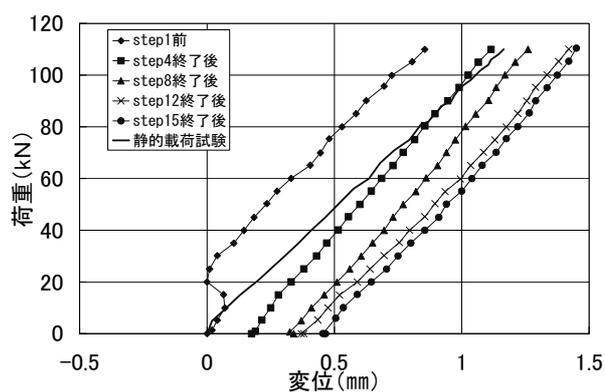


図-6 疲労載荷試験荷重-変位曲線

試験結果においてグラフの傾きは疲労載荷中および載荷後も大きな変化は見られず、静的載荷試験と同様の結果となっている。したがって荷重-変位曲線からは疲労載荷による試験体の損傷や耐力低下は見られず、健全な状態を保つ

ていると言える。

## (2) 曲げひずみ分布

試験体のひずみも静的載荷時と同様にコンクリート用のひずみゲージを添付し、計測した。

(図-4)

図-7 に各荷重レベルごとの中央部におけるひずみ分布を示す。尚、荷重レベルは 50 kN, 90kN, 110kN の 3 レベルとする。

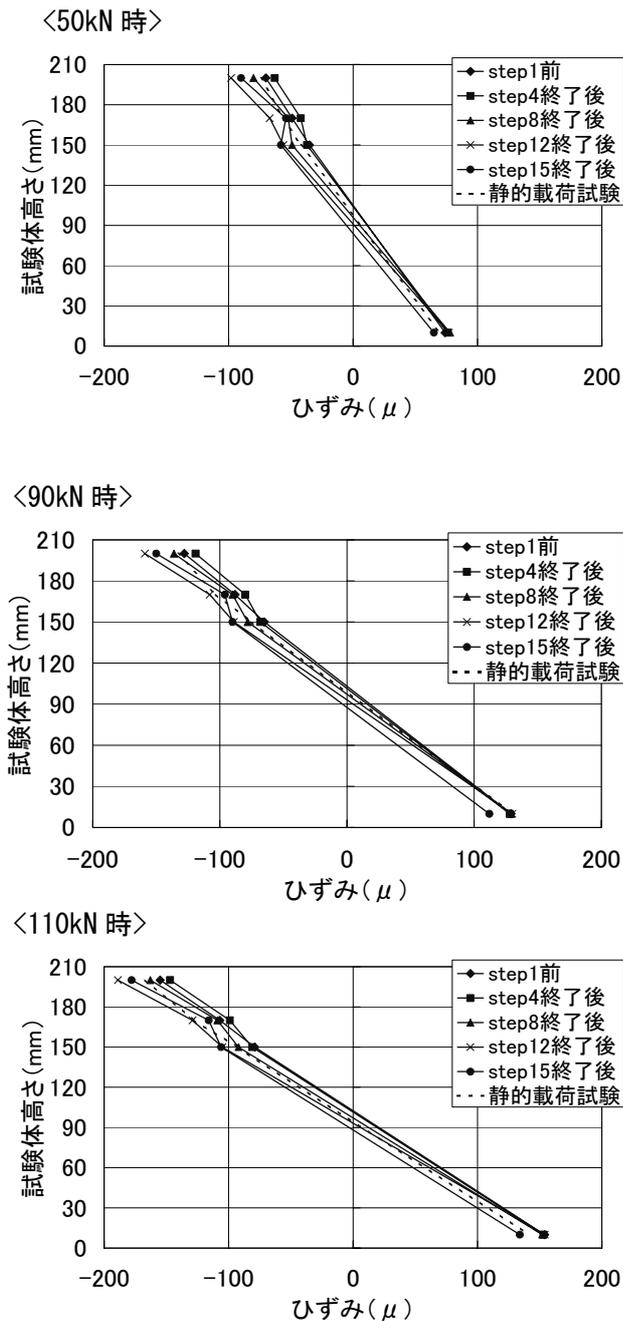


図-7 疲労載荷試験中央部のひずみ分布

各荷重レベルにおいて載荷サイクルが進行し、

載荷回数が増加した後でも、コンクリートひずみはほぼ直線を示しているが、ステップ 15 終了時のグラフは界面で傾きが変化しており、界面で付着切れが生じた可能性がある。しかし、外観状態、変位等の他の計測結果から損傷は特に確認されず、P P C 版の疲労耐力に与える影響はほとんど無いと考えられる。

## 5. まとめ

本試験ではポーラス P P C 版を舗装に適用するために、静的載荷試験、および疲労載荷試験を実施した。

試験の結果、ポーラス P P C 版は舗装における所定の設計期間内において十分な疲労耐力を有し、ポーラス部分と普通コンクリート部分の付着性状も確保された。したがって設計期間内において十分な疲労耐力を有していることが判明した。

今後は長期における現場透水性や、すり減り抵抗性等の変化について把握する必要があると思われる。

なお、本試験は「P C 舗装専門研究会技術委員会」(構成：(株)ピーエス三菱、オリエンタル建設(株)、(株)富士ピー・エス、ドーピー建設工業(株)、(株)安部工業所)の活動の一環として実施したものである。

## 参考文献

- 1) 鳥屋隆志 他:排水性プレキャストP C 舗装版に関する実験,ポーラスコンクリートの設計・施工法と最近の適用例に関するシンポジウム論文集, Vol.17, No.5, pp.97-104, 2002.5
- 2) 小島 明他:排水性プレキャストコンクリート舗装版の力学的挙動,コンクリート工学年次論文報告集, Vo20, No.2, pp.1213-1218, 1998
- 3) 日本道路協会, 舗装の構造に関する技術基準・同解説, 2001
- 4) 日本道路協会, 舗装設計施工指針, 2001