# 論文 ラベリング試験機による舗装用ポーラスコンクリートの耐摩耗・剥脱 性の評価に関する実験的研究

馬 永寿\*1·三島 直生\*2·畑中 重光\*3

要旨:本報では、ポーラスコンクリートの摩耗・剥脱に対する耐久性の評価を行うことを目的として、調合の異なるポーラスコンクリート、普通コンクリートおよびアスファルトを対象としたラベリング試験を行った。その結果、本実験の範囲ではポーラスコンクリートの耐摩耗性は、普通タイヤでは表層の結合材が摩耗する程度であり、タイヤチェーンを使用した場合には摩耗が進行するが、その摩耗深さは普通コンクリートと同程度であることがわかった。また、摩耗挙動の定量化手法としてレーザー変位計による形状測定を導入したが、ポーラスコンクリートの断面形状の複雑さから、誤差が大きくなるという課題も明らかとなった。 キーワード:ポーラスコンクリート、ラベリング試験、耐久性、摩耗、剥脱、舗装

# 1. はじめに

現代社会では、コンクリートに対して力学的な性能だけでなく、環境に配慮したエコマテリアルとしての性能 が強く求められるようになった。その一つの回答として、 環境負荷低減および自然環境との調和が可能なポーラス コンクリート(以下, POCと略記)がある。

近年では, POC 舗装の内部空隙を利用して舗装上の水 たまりを防ぐだけでなく, 貯水・排水性能を活用したゲ リラ豪雨対策舗装システムの開発も進められている<sup>1),2)</sup>。

より効果的なゲリラ豪雨対策を行うためには、街区レ ベルで、なるべく広い面積に POC 舗装を施す必要があり、 歩道および車道の舗装への適用が不可欠である。このよ うに POC は、表層材料として使われていることから、車 両のタイヤによる摩耗・剥脱が発生することが懸念され る。しかし、 POC の摩耗・剥脱に対する耐久性に関し ては、空隙率などの調合要因や使用材料、仕上げの平滑 度などによって相当に異なる可能性があるものの、研究 報告自体が少なく、現時点では不明な点が多い。

既往の研究 <sup>3</sup>では,奥田式すりへり試験機によるすり へり試験を実施し,普通コンクリートと同様なロッド数, 回転数などの条件設定で評価の可能性を確認し,耐剥脱 性に関する基礎データが得られている。

本研究では、自動車等の走行による実際の劣化に近い 状況を再現するために、ラベリング試験<sup>4)</sup>を採用し、POC の摩耗・剥脱に対する耐久性の評価を行うことを目的と している。本報では、調合の異なる POC, 普通コンクリ ートおよびアスファルトを対象として、POC の基礎的な 耐摩耗性について検討した。

# 2. ラベリング試験装置



図-1 ラベリング試験装置

図-1に、本実験で使用したラベリング試験機を示す。 同試験機はジャッキ、モーター、固定台およびタイヤで 構成されている。一度に試験できる供試体数は12枚で、 タイヤの数は2個(うち駆動輪は1個)、タイヤの周回速 度は13.5rpm、タイヤのサイズは145/80 R12 74S のもの を用いた。測定時には、タイヤに鉛直荷重を与え、試験 体の上を走行させ、実際に車が走っている様子が模擬で きるようになっている。

#### 3. 実験方法

### 3.1 要因と水準

表-1に、実験の要因と水準を示す。POC の設計空隙 率が15%の場合は、水セメント比(以下,W/C)を0.35 とし、設計空隙率が25%の場合は、W/Cを0.25~0.45 と した。粗骨材は単粒度砕石6号(5-13mm)のみとした。更

\*1 三重大学 大学院工学研究科建築学専攻 大学院生(学生会員)
\*2 三重大学 大学院工学研究科建築学専攻 准教授 博士(工学)(正会員)
\*3 三重大学 大学院工学研究科建築学専攻 教授 工博(正会員)

に, POC との比較をするため, 普通コンクリート(圧縮 強度 28N/mm<sup>2</sup>)と密粒度アスファルトを用いた。したが って供試体は合計 6 種類である。

図-2 に供試体の形状寸法を示す。試験装置に合うよ うに供試体の形状寸法は,短 235×長 390×幅 290×厚 50 (mm)の台形平板とした。摩耗試験用の平板供試体以外 に,POC および普通コンクリートでは φ 100×200mm の 円柱供試体を作成して圧縮強度試験に供した。密粒度ア スファルトでは 100×150×530mm の角柱供試体を作成 し,そこから φ 50×100mm のコア供試体を採取して,圧 縮強度試験を行った。

# 3.2 使用材料および調合

表-2に、実験に使用した材料の特性値を、表-3に、本実験で使用したコンクリートの調合表を示す。表-3には、空隙率およびラベリング試験開始時の圧縮強度の測定結果も示す。設計空隙率25%でW/C=0.45のPOCの実測空隙率が19.3%と小さくなっているが、これは、結合材の流動性が小さく、他のW/Cと比べて充填されやすかったためと考えられる。

# 3.3 供試体の作製方法

POCの練混ぜには,強制一軸パン型ミキサ(容量100L) を使用した。練混ぜはペースト先練り方式を採用した。 練混ぜ手順は,初めに所定量のセメントと水をミキサで 60秒間練り混ぜ,次に所定量の骨材を投入し,再度 60 秒間練り混ぜ,その後,台形平板型枠に打設した。供試 体の打設は一層で行った。型枠容積に充填される POC の 質量を事前に調合表より算出し,POC の質量を計りなが ら打設することで,設計空隙率に近い状態の供試体を作 製した。打ち込みは突き棒で行い,供試体表面の仕上げ は型枠振動機を用いた。打設後の供試体は 28 日間水中養 生を行った。

普通コンクリートの練混ぜにも強制一軸パン型ミキ サを用い,水以外の材料を空練りした後に,水を投入し, 90秒間練り混ぜた。打込みは突き棒と内部振動機を用い て行い,仕上げはコテ仕上げとした。密粒度アスファル トは,併設加熱混和方式で製造されたアスファルト混和 物を型枠に充填し,プレートコンパクタおよびランマを 用いて仕上げた。

3.4 ラベリング試験方法

ラベリング試験時には、油圧ジャッキでタイヤ2輪に 合計5kNの鉛直荷重(軽自動車の輪荷重を想定)をかけ、 供試体の表面を走行させた。その際、まず実験1として、 普通タイヤのままで合計59時間走行させ、その後、実験 2として、同じ試験体を用いてタイヤチェーン(ポリウ レタン製のベルトに金属スパイクのついたもの、写真-1 参照)を装着して合計220分走行させた。供試体は全部

表-1 実験の要因と水準

要因	水準
コンクリート種類	POC, 普通コンクリート, 密粒度アスファルト
POCの設計空隙率	15%, 25%
POCの水セメント比 <sup>*</sup>	0.25, 0.35, 0.45

[注] \*:設計空隙率25%のPOCのみ



(破線はレーザ変位計による形状計測位置)

表-2 使用材料

	使用材料	種類および特性値
	水	水道水
DOO	セメント	普通ポルトランドセメント
PUC		(密度3.15g/cm <sup>3</sup> )
	和 🖙 🕂	三重県伊賀市真泥寺東山産硬質砂岩単粒
	11 FT 11	度砕石6号(5-13mm,表乾密度2.73g/cm <sup>3</sup> )
	水	水道水
普通	セメント	普通ポルトランドセメント
		(密度3.15g/cm <sup>3</sup> )
コンク	細骨材	町屋川産川砂(表乾密度2.55g/cm <sup>3</sup> )
	粗骨材	三重県伊賀市真泥寺東山産硬質砂岩単粒
		度砕石6号と5号を等量ずつ混和した砕石
密約由	アスファ ルト	再生アスファルト60/80
密祖皮	細骨材	三重県伊賀市猪田産山砂と三重県伊賀市
		大山田産川砂を等量ずつ混和使用
, ,,	粗骨材	三重県伊賀市柘植産硬質砂岩単粒度砕石6
101		号及び再生骨材(R13-1)を混和使用
	石紛	滋賀県坂田郡産石灰石粉

## 表-3 コンクリートの調合表および試験結果

  コンクリートの種類	設計空隙率*	W/C	単位量(kg/m <sup>3</sup> )			空隙率*	スラン	<b>圧縮強度</b>	
	(%)		W	C	S	G	(%)	) (cm)	(N/mm²)
	15	0.35	141	403		1586	15.0		22. 2
POC	25	0. 25	75	298	-		22. 7		17.9
		0.35	89	253			24. 4		13. 2
		0.45	99	220			19.3		13. 2
普通コンクリート	4.0	0.65	176	271	829	958	2.7	7.5	28. 1

[注] \*: 普通コンクリートでは空気量を示す, ₩: 水, C: セメント, S: 細骨材, G: 粗骨材

で12体設置することが可能であり、POC供試体が4種 類+普通コンクリート+密粒度アスファルトの計6種類 を2体ずつ設置して測定を行った。

摩耗・剥脱状況の測定は2種類の方法で行った。

一つ目は供試体の目視観察とし、摩耗の様子が判別し 易くなるように、各水準2体中1体を赤色のラッカー系 塗料で表面を塗装して、摩耗・剥脱状況を可視化した。 記録はタイヤの走行前後に写真を撮影した。

二つ目は、レーザー変位計を用いて POC 供試体の表面 形状を実測し、摩耗・剥脱深さの測定を行った。写真-2 に、供試体の表面形状の計測装置を示す。測定位置は、 図-2 中に破線で示すように、供試体の左、中および右 の3か所とし、1 水準につき2供試体であるため計6か 所測定した。測定タイミングは、実験1ではタイヤの走 行開始後5、15、35、59時間後とし、実験2では5、10、 30、50、100、160、220分後とした。 4 実験結果とその考察

4.1 普通タイヤによる劣化(実験 1)

(1) 目視による評価結果

表-4 に、ラベリング試験機による各供試体の劣化状況の写真を示す。POC 供試体では、各供試体に 1~2 個程度の粗骨材の剥脱が観察されたものの、多くは表面の



写真-1 タイヤ チェーン

写真-2 レーザー変位計を用い た表面形状計測装置

空隙率(%)	W/C	実験前の写真	5 時間後	15 時間後	35 時間後	
15	0. 35					
	0. 25					
25	0.35					
	0. 45					
普通 コンクリ <sup>、</sup>	- ٢		*			
アスファルト						

表-4 普通タイヤによる各供試体の劣化状況(実験1)

塗料および結合材が剥離した程度であり、大きな劣化は 観察されなかった。

普通コンクリートにおいても、表面のセメントペース ト層が摩耗して一部の細骨材が露出した程度であった。

一方,アスファルトは摩耗による骨材の露出とともに, 塑性変形によると思われるわだち掘れの発生が確認された。

# (2) レーザー変位計による形状計測結果

図-3 は、レーザー変位計による形状計測結果の例を 示す。縦軸は供試体の表面の凹凸変化量(mm),横軸は供 試体の測定位置(mm)を表す。同図は、POC 供試体の実験 前および 15 時間、59 時間後の表面形状の比較を示す。 タイヤの走行位置(タイヤの通った幅)は、測定位置 10~110mm の間である。ここで、タイヤによる走行以前 に、供試体の作成時および設置時の精度に起因する供試 体表面の勾配(最大 2%程度)が確認されたが、この初 期の勾配は試験結果に影響していないものとして考察を 進める。

図-3 (a)~(d)に示す POC については、タイヤの走行 後の劣化が少ないという状況がある程度正確に測定でき ている。ただし、表面の結合材の剥落や計測位置以外の 部分の骨材の剥脱などは、形状計測結果のみを用いた定 量的な劣化状況の評価が難しい。また、供試体によって は、図-3(d)のようにタイヤの走行前後に測定された深 さが逆転している部分や、図-3(b)の右端付近のように、 深い空隙の傾斜の厳しい部分で測定値が安定しないもの など、断面形状が複雑な POC に特有な、測定位置が微妙 にずれただけで表面形状が大幅に変わってしまうことに 起因する測定誤差も見られる。この点は、普通コンクリ ートなどの測定と大きく異なる部分であり、測定誤差の 低減方法を再検討する必要がある。図-3(e)に示す普通コ ンクリートでは、摩耗等は検出されなかった。

図-3(f)に示す密粒度アスファルトは, POC と普通コ ンクリートに比べ,主に塑性変形に起因したと考えられ るわだち掘れが発生し,大きな段差による試験装置への 負荷が問題となったため,測定開始35時間後に供試体を 撤去して,ダミーのコンクリート供試体と交換したうえ で他の供試体の試験を継続した。撤去した密粒度アスフ ァルト供試体については,撤去時の状態のまま実験2に 供した。

図-4 には、摩耗深さの指標値として、摩耗範囲の深 さの平均値とタイヤの通過回数の関係を示す。普通コン クリートは目視による評価結果のとおりほとんど摩耗は 検出されなかった。アスファルトは最初に表面が急激に 削られ、その後徐々にわだち掘れが進んでいく傾向が見 られる。POC は空隙率 25%の結果が若干安定しないが、 これは前述した深い空隙部分の測定誤差による影響が大



きいと考えられる。その証拠に、図-3(b)に示すとおり、 右端部の空隙以外のタイヤの走行範囲がほとんど摩耗し ていない。他の POC では、普通コンクリートよりは多い ものの、アスファルトと比べると 1/3 程度の摩耗深さと なっていることが分かる。

## 4.2 タイヤチェーンによる劣化(実験 2)

# (1) 目視による評価結果

**表-5**に、タイヤチェーンを使用した場合の各供試体 の劣化状況の写真を示す。全ての供試体で、急激に摩耗 が進行しているのがわかる(写真中の破線枠部)。POC において、骨材の剥脱はそれほど顕著に見られず、摩耗 形状のみにおいては、普通コンクリートおよびアスファ ルトとほぼ同様な滑らかな形状でわだちが形成された。 ただし、POC 供試体では粗骨材の割れが他の供試体と比 べて特徴的に観察された。

#### (2) レーザー変位計による形状計測結果

図-5に、タイヤチェーンを使用した場合の、レーザ

ー変位計による形状計測結果の例を示す。縦軸は供試体の表面の凹凸変化量(mm),横軸は供試体の測定位置(mm) を表す。同図は,普通タイヤによる試験(実験1)が終 了した後の供試体をそのまま使用しているため,初期状 態は実験1の終了時の状態となる。図-5には,実験2 の開始前および10分,100分,220分後の表面形状の比 較を示す。形状測定の結果からも,タイヤチェーンの使 用により,供試体の種類に関わらず,急激に摩耗・剥脱 が発生していることがわかる。

図-6 に、摩耗範囲の深さの平均値とタイヤの通過回数の関係を示す。同図におけるタイヤの通過回数0回時の摩耗深さの平均値は、0として作図している。

図によれば、アスファルトが他の供試体と比べて大き く、-6mm 程度の摩耗深さが計測されている。一方で、 POC は空隙率 25%、W/C=0.35 の供試体が-3.1mm と他と 比べて大きな摩耗深さとなっているものの、他の POC は 普通コンクリートと同等かむしろ少ない。このことから、

空隙率(%)	W/C	実験前の写真	10 分後	100 分後	220 分後	
15	0.35					
	0. 25					
25	0.35					
	0. 45					
普通 コンクリ	<u>-</u> 					
アスファ	,ルト					

衣 - )   メイ マナエーノによる谷供試体の劣化仏が(美殿)	ー5 タイ・	5各供試体の劣化状況(実	鏔 2)
----------------------------------	--------	--------------	------



図-6 摩耗深さの平均値の時刻歴(実験2)

顕著な剥脱などが起こらない場合には、粗骨材量の多い POCでは、耐摩耗性は普通コンクリートと同等かそれ以 上の性能を有するといえる。なお、荷重条件や走行速度 などの外的作用が大きくなると POC の骨材の剥脱につ ながるなど本実験結果と異なる様相を呈することも予測 される。この点については今後の課題としたい。

## 5. まとめ

- (1) ラベリング試験装置で, POC の耐摩耗性はある程度 評価が可能である。
- (2) 普通タイヤを使用した場合には、アスファルトで 顕著なわだち掘れが確認されたが、ポーラスコンク リートおよび普通コンクリートでは、表層の結合材 が摩耗する程度で、大きな劣化は観察されなかった。
- (3) タイヤチェーンを使用した場合には、アスファルトが他の供試体と比べて摩耗深さが深く、ポーラスコンクリートはばらつきがあるものの、普通コンクリートと同等かむしろ少ない摩耗深さとなった。
- (4) レーザー変位計による表面形状の計測では、POC 特 有の形状の複雑さから、正確に同じ位置で測定がで きない場合には、測定精度の面で問題が生じること が明らかになった。

## 謝辞

本実験を実施するにあたり,池尻隆之介君(三重大学 卒業生),中川武志氏(株式会社ファイナルマーケット), 村田隆則氏(株式会社アムラックス)のご助力を得た。 本実験で使用したラベリング試験装置は,清田軌道株式 会社よりご提供いただいた。本研究費の一部は,科学研 究費補助金基盤研究(B)(研究代表者:畑中重光)によっ た。付記して謝意を表する。

#### 参考文献

- 畑中重光,酒井俊典,中川武志,三島直生:都市型 水害の減災に資する地盤内の水流制御技術の開発 研究 その 1:水流の制御に関する基礎的研究, pp.205-206,2013
- 中川武志,浦山益郎,畑中重光,三島直生:都市型 水害の減災に資する地盤内の水流制御技術の開発研 究 その2:水害対策法の提案,pp.207-208,2013
- 3) 中川武志,畑中重光,三島直生:奥田式すりへり試験によるポーラスコンクリートの剥脱耐性評価,日本建築学会大会学術講演梗概集,pp.553-554,2005
- 中山栄作,高田佳彦,鈴木威,森重和,鎌田修:高 速道路本線上におけるポーラスコンクリート舗装 の室内試験による配合検討,土木学会論文集 EI, Vol.68, No.3, pp.I\_147-I\_154, 2012