

# 論文 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のための基礎的研究

中川 武志<sup>\*1</sup>・犬飼 利嗣<sup>\*2</sup>・三島 直生<sup>\*3</sup>・畑中 重光<sup>\*4</sup>

要旨：ポーラスコンクリートの使用環境には、経年または劣化に伴って骨材の剥落・剥脱が懸念される条件も少なくない。剥脱耐性やその現場試験方法を確立していくための基礎的研究として、奥田式すりへり試験機による評価を試みた。その結果、奥田式すりへり試験によってある程度の評価が可能であること、適切なコンクリートの調(配)合によりポーラスコンクリートでも骨材の剥脱を抑制できること、普通コンクリートに比べてすりへりが小さい可能性があることなどがわかった。

キーワード：ポーラスコンクリート，奥田式すりへり試験，骨材の剥脱，舗装

## 1. はじめに

透水性舗装によるヒートアイランド現象の緩和や植生可能な親水護岸・自然護岸工法などをはじめとして、ポーラスコンクリートの環境保全に対する機能が期待され、多くの場でその適用が進んでいる。

ポーラスコンクリートの圧縮強度と空隙率の関係、透水性、吸音性、吸着性および生物生息適性などの基礎的な性能<sup>1),2)</sup>については着実にデータの蓄積が進んでいるが、さらに強度の評価方法、耐久性<sup>3)-5)</sup>などの研究成果も強く求められている。

土木・建築分野に使用されるポーラスコンクリートは、構造体としてではなく、路盤や護岸の表層材料としての利用が一般的であり、経年または劣化に伴って骨材の剥落・剥脱が発生することも懸念され、実用に際しては、圧縮強度や曲げ強度といった材料としての強度よりも表層の摩耗や剥脱に対する抵抗性<sup>6)-9)</sup>といった使用条件に即した耐久性の評価が必要である。また、ポーラスコンクリートは普通コンクリートに比べて施工が難しく、打設方法および締固めの程度によって空隙および結合材の分布が大きく変動する<sup>10)</sup>ため、現場で実際に施工されたポー

ラスコンクリートの品質を評価することの重要性は大きい。このため、剥脱耐性の評価やその現場試験方法を確立していくことが必要である。以上より、本研究は、ポーラスコンクリートの各種性能の中でも剥脱(摩耗)耐性に注目し、その基礎的な物性を把握

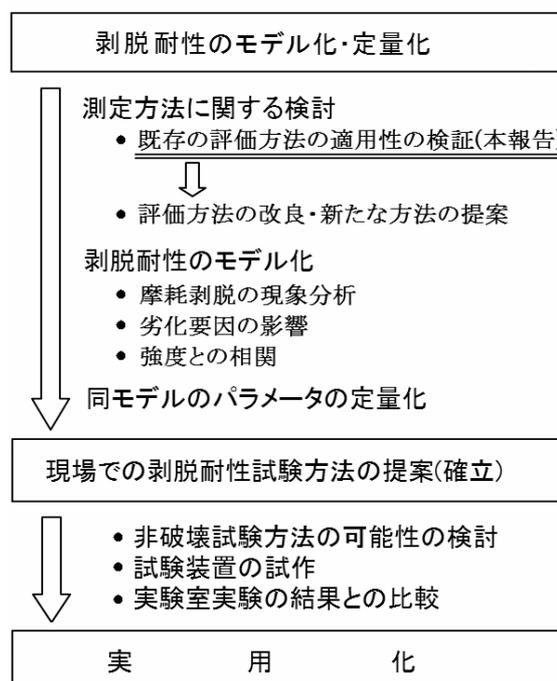


図 - 1 本研究のフローと本報の位置づけ

\*1 三重大学大学院工学研究科建築学専攻 大学院生 (正会員)

\*2 東海コンクリート工業株式会社 技術部技術グループ係長・工修 (正会員)

\*3 三重大学工学部建築学科 助手・博士(工学) (正会員)

\*4 三重大学工学部建築学科 教授・工博 (正会員)

するとともに、最終的には現場でも可能なポーラスコンクリートの剥脱耐性試験方法の提案を行うことをめざして進めている。

本報では、その基礎的段階として、既存の試験方法をポーラスコンクリートに適用することにより、測定方法の適用性の確認と基礎的な剥脱耐性の把握を試みた。図 - 1 に本研究の流れと本報の位置づけを示す。

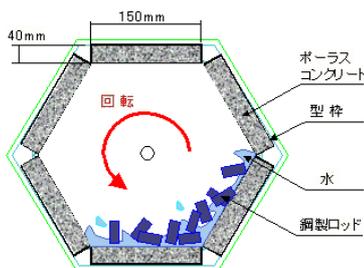
## 2. ポーラスコンクリートの剥脱耐性

本報告では、ポーラスコンクリートの剥脱とは、外部からの物理的な力が加わった場合に、骨材および結合材のすりへり、剥落、飛散等を含めた表面損傷が生じることを意味し、剥脱耐性はそれに対する原形の保持能力として定義する。

したがって剥脱耐性は、骨材のすりへり試験、ラベリング試験、カンタブロー試験、など<sup>11)</sup>では適切に評価しにくく、また普通コンクリートと同じ試験方法では評価しにくいと考えられる。そこで、本研究では、剥脱耐性の試験・評価の第一歩として、比較的剥脱のイメージに近い外力が加えられる奥田式すりへり試験機<sup>12)</sup>によるすりへり試験を実施し、評価を試みた。



(a) 試験機の外観



(b) 断面図

図 - 2 奥田式すりへり試験機

ポーラスコンクリートの耐摩耗性については、松本ら<sup>6),7)</sup>および藤崎ら<sup>8),9)</sup>により、表面疲労磨耗試験およびエロージョン磨耗試験による報告がなされている。奥田式すりへり試験による結果をこれらの結果と比較するとともに、普通コンクリートのすりへり特性と比較することにより、試験の妥当性も検討した。

## 3. 実験概要

### 3.1 試験方法

奥田式すりへり試験機の概要と外観を図 - 2 に示す。本試験機では、別途製作したポーラスコンクリート等の供試体を六角柱型に取り付け、その中に鋼製ロッド(19×40mm)を21個入れた状態(図 - 3)で回転させ、内面の供試体に対してロッドの衝撃力を繰返し与える。本試験機の特徴は、比較的簡易に、ポーラスコンクリートのすりへり・剥脱特性を試験できる、一度に複数個の供試体を試験できる、鋼製ロッドによる衝撃が実際に作用する荷重形態に比較的近い、などである。

本実験では、ポーラスコンクリートの剥脱特性が、奥田式すりへり試験機のロッド数、回転数などの条件設定で評価可能かどうか、剥脱の定量的な評価が可能かどうかを確認し、ポーラスコンクリートの剥脱特性に関する基礎データを得ることである。

すりへり試験では、30分毎に供試体を試験機から取り外し洗浄して、すりへり量を水中重量で測定した。回転数は90rpm、流水は20 /minの条件とした。



図 - 3 試験体とロッド

### 3.2 すりへり試験供試体

2種類のポーラスコンクリートおよび普通コンクリートの供試体について、すりへり試験を実施した。

表 - 1に今回使用したコンクリートの調(配)合条件を示す。ポーラスコンクリート(図表中でPOCと略す)は同一セメントペースト量の配合条件とし、普通コンクリートと比較することとした。ポーラスコンクリートには単粒度砕石を用い、その最大寸法は供試体寸法(厚さ40mm)から妥当と考えられる20mm(5号砕石)とした。

供試体は、ペースト先練りとし、フロー値を測定してから骨材を加えて製作し、28日間水中養生を行った。

供試体は、長150mm×幅150mm(試験面)で厚さ40mm、底面および側面は鋼板(厚さ1mm)の型枠面となっている。供試体の空隙率およびかさ密度は、供試体の水中重量の測定等により

表 - 1 試験用ポーラスコンクリートの調(配)合

仕様	目標空隙率	配合		単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
		水/セメント比	減水剤 SP/C	水	セメント	砕石5号 13-20mm	砕石6号 5-13mm	細骨材
POC 5号砕石	15%	28%	0.80%	132	470	1528	0	0
POC 6号砕石	15%	"	0.80%	132	470	0	1528	0
普通コンクリート	60%	0.05%	180	300	G 1050		S 700	

POC：ポーラスコンクリート  
ペースト先練り方式。同程度の締固めの度合いとなるよう配慮。  
28日間水中養生。

表 - 2 すりへり試験用供試体の諸元

No.	寸法(mm) (型枠込)	みかけの体積 (cm <sup>3</sup> )	空隙率 (%)	平均空隙率 (%)	かさ密度 (g/cm <sup>3</sup> )
ポーラスコンクリート (POC) 5号砕石	150 × 150 × 40	900	18.2	20.2	1.942
			23.4		1.851
			17.7		1.995
			17.0		2.007
			20.3		1.769
ポーラスコンクリート (POC) 6号砕石	150 × 150 × 40	900	14.3	14.5	2.036
			13.6		2.033
			10.9		2.091
			16.7		1.972
			18.2		1.946
普通コンクリート	150 × 150 × 40	900	-	-	2.398
			2.413		
			2.399		
			2.416		
			2.425		
2.394					

求めた。すりへり試験用供試体に関する測定結果を表 - 2に、供試体の外観を図 - 4に示す。

### 3.3 圧縮強度試験用供試体

奥田式すりへり試験の供試体と同じ条件で圧縮強度試験用供試体を製作し、空隙率、かさ密度等を同様に測定した。ポーラスコンクリートについては、端面に硫黄によるキャッピングを行った上で、圧縮強度試験を実施した。

表 - 3に、圧縮強度試験用供試体についての諸元および圧縮強度試験結果を示す。なお、同時に製作した結合材試験体(50×95)の圧縮強度試験結果は、107~110N/mm<sup>2</sup>であった。

表 - 3 圧縮強度試験用供試体

No.	寸法 mm	空隙率 %	荷重 kN	断面積 mm <sup>2</sup>	強度 N/mm <sup>2</sup>	補正值 N/mm <sup>2</sup>	平均値 N/mm <sup>2</sup>
ポーラスコンクリート 5号砕石	100 × 182.9	24.5	139.4	7854	17.7	17.5	17.0
	100 × 187.3	23.0	139.4		17.7	17.6	
	100 × 190.1	27.3	122.6		15.6	15.5	
ポーラスコンクリート 6号砕石	100 × 181.9	15.2	199.0	7854	25.3	25.0	24.8
	100 × 179.0	15.2	193.0		24.6	24.2	
	100 × 182.6	15.4	191.6		24.4	24.1	
普通コンクリート	100 × 198.6	-	236.2	7854	30.1	30.0	30.0
	100 × 199.0		233.8		29.8	29.7	
	100 × 198.3		238.0		30.3	30.3	

JIS A 1107による普通コンクリートのコア強度の補正係数を使用して求めた値を参考値として示す。



図 - 4 すりへり試験用供試体の外観

#### 4. 試験結果および考察

##### 4.1 すりへり試験結果

3種の供試体について奥田式すりへり試験を実施し、すりへり量を測定した。図-5に、最長270分まで試験を実施した供試体各2個についてのすりへり試験結果を示す。このすりへり量から次の式を使用して求めたすりへり係数と時間との関係を図-6に示す。なお、ここでは普通コンクリートの算定式を準用することとした。

$$A_c = V / A \quad (1)$$

- $A_c$ : すりへり係数 ( $\text{cm}^3/\text{cm}^2$ )
- $V$ : すりへり体積 ( $\text{cm}^3$ ) =  $W/D$
- $W$ : すりへり減量 (g) =  $W_1 - W_2$
- $W_1$ : 試験前の試験体質量 (g)
- $W_2$ : すりへり後の試験体質量 (g)
- $D$ : 試験体のかさ密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
- $A$ : すりへりを受けた面積 ( $\text{cm}^2$ ) =  $180\text{cm}^2$

図-7に試験終了後の供試体の状況を示す。今回の試験では、鋼板型枠にロッドの衝撃が加わり、型枠の変形と繰返し振動によって型枠付近のポーラスコンクリート骨材が剥脱していることが観察により確認された。すりへり量に対する型枠付近の剥脱量の影響は大きく、また、結果のばらつきにも影響していると考えられる。特に図-5、図-6に見られるように、5号砕石のポーラスコンクリートのすりへり量が大きい原因、および2つの結果が大きくばらついている原因となっていると考えられる。今後は、供試体寸法の変更(長さ300mm×幅150mm)などにより、型枠の影響を低減する必要がある。

図-8に、圧縮強度とすりへり係数の関係を示す。この結果は図-6に示したデータの外、180分までの試験結果を加えたものである。5号砕石によるポーラスコンクリート供試体のばらつきが大きい、圧縮強度とすりへり係数の間に明瞭な相関関係が見られないことがわかる。図-9は、同様に空隙率とすりへり係数との関係を示したものであるが、これも相関関係が明瞭ではない。空隙率が大きい場合にすりへり係数が大きくなる傾向も見られるが、20%程度以下では普通コンクリートと変わらないと考えられる。

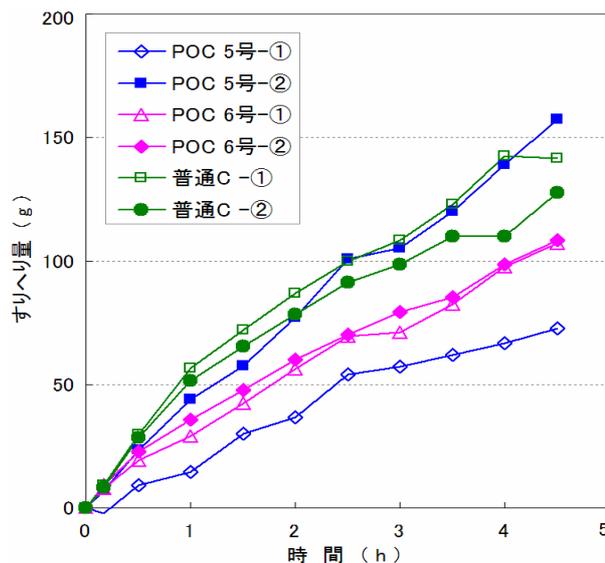


図-5 すりへり試験の結果(時間とすりへり量)

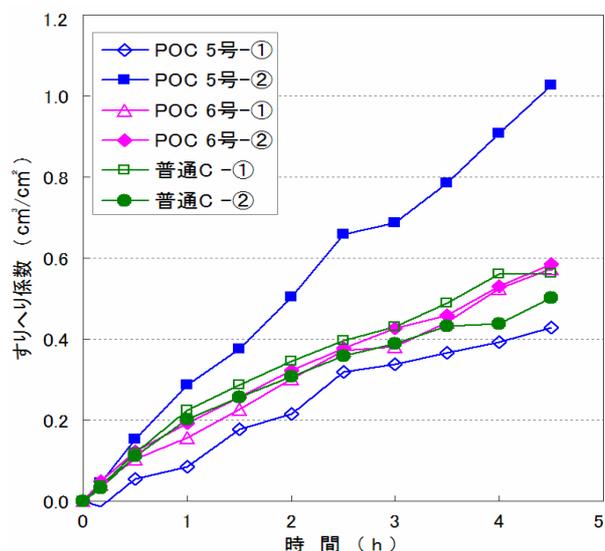


図-6 すりへり係数と時間との関係

##### 4.2 奥田式すりへり試験結果に対する考察

図-7に示した試験後の供試体の状況に見られる特徴は、骨材の剥脱(結合材または骨材の表面付近で破壊し、骨材が剥がれる状況)は少なく、すりへりが支配的なことである。骨材には摩擦による傷がみられ、骨材の硬さに起因する滑らかな凹凸が形成されている。以上により、今回のような高強度結合材を用いたポーラスコンクリートでは、奥田式試験機に用いたロッド程度の衝撃には十分耐え得ることを示唆している。

また、図-6に示したすりへり係数の傾向からは、むしろポーラスコンクリートは普通コンクリートよりも

剥脱耐性に優れている可能性が見てとれる。普通コンクリートは、細骨材を含むモルタル部分が衝撃に弱く磨耗しやすいものと考えられる。松本らの報告<sup>6),7)</sup>、藤崎らの報告<sup>8),9)</sup>にも、ポーラスコンクリートの磨耗損失率は非常に低いとあるが、同様の傾向が確認されたと考えられる。さらに、今回の結果からは推定できないものの、ポーラスコンクリートの高い排水性によって、表面付近の水圧や土石分による侵食作用が軽減されることも考え合わせると、ポーラスコンクリートの方がすりへり減量が少なくなる<sup>13)</sup>ことも十分考えられる。

次に、圧縮強度および空隙率とすりへり係数の間に明瞭な相関関係が見られないことについては、粗骨材の硬さ(ロサンゼルス試験でのすりへり減量が小さいこと)が支配因子となっている



(a) すりへり試験後の供試体



(b) 供試体のスケッチ

図 - 7 すりへり試験(270分後)の供試体状況

ことが考えられ、結合材の強度および空隙率がある程度の範囲内であれば、圧縮強度および空隙率の影響度は小さいと考えられる。逆にいえば、ポーラスコンクリートの剥脱を抑えるためには、とくに結合材の強度<sup>14),15)</sup>が重要といえる。

## 5. まとめ

- 1) ポーラスコンクリートの剥脱耐性は、奥田式すりへり試験により、ある程度の評価が可能である。
- 2) 適切なコンクリートの調(配)合により、ポーラスコンクリートは骨材の剥脱を抑制できる。
- 3) 結合材強度の高いポーラスコンクリートは、普通コンクリートに比べて、すりへり係数が小さく、剥脱耐性に優れる可能性がある。

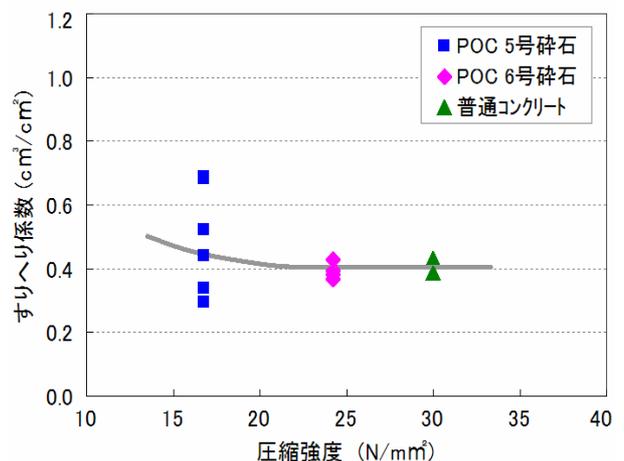


図 - 8 圧縮強度とすりへり係数の関係

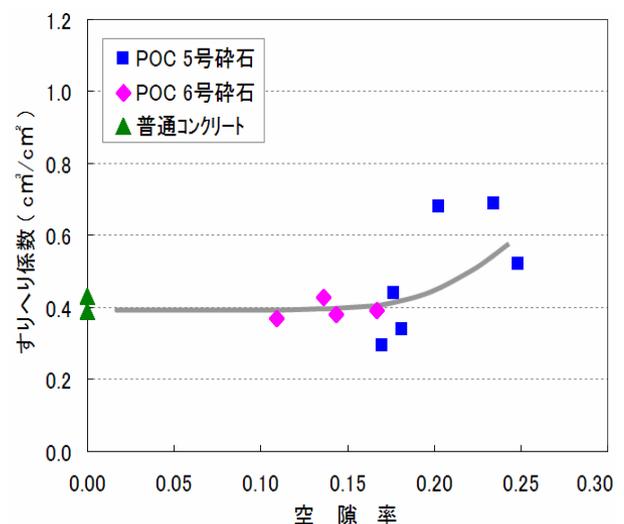


図 - 9 空隙率とすりへり係数の関係

今後、奥田式すりへり試験機を使用した試験では、供試体型枠の影響を低減するための試験方法の改良を行い、各種調合・品質のポーラスコンクリートを用いた実験を行って、剥脱耐性の定量化を進める予定である。また、奥田式以外の試験方法の検討も行い、剥脱耐性を現場において適切に、そして可能な限り非破壊的に評価する方法<sup>16)</sup>の検討を進めたいと考えている。

#### 謝辞

奥田式すりへり試験を実施するにあたり、東海コンクリート工業株式会社技術部のご助力を得た。付記して謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 石黒哲，湯浅幸久，畑中重光：ポーラスコンクリートの物理的性質に及ぼす各種要因の影響，日本建築学会，東海支部研究報告集，第38号，pp.73-76，2000
- 2) 新田弘之，ポーラスコンクリート舗装の車道での活用，コンクリートテクノ，Vol.20，No.8，pp.32-36，2001.8
- 3) 野田悦郎，根尾聡，中原大磯，市川勝俊，ポーラスコン舗装の実用化への取り組み，コンクリートテクノ，Vol.20，No.8，pp.42-48，2001.8
- 4) 吉森和人，藤原浩巳，伊藤修一，岡本亨久ほか：ポーラスコンクリートの強度と耐久性に関する研究，セメント・コンクリート論文集，vol.49，pp.650-655，1995
- 5) 吉田宗久，玉井元治：ポーラスコンクリートの耐久性に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.1，pp.1185-1190，2002
- 6) 松本公一ほか：ポーラスコンクリートの耐摩耗性について，土木学会第56回年次学術講演会講演概要集，V-099，pp.198-199，2001
- 7) 浅野嘉津真：ポーラスコンクリートの設計・施工法の確立に関する研究委員会報告書(2.4.5 すりへり作用)，日本コンクリート工学協会，pp.83-85，2003.5
- 8) 藤崎隆一郎，堀口敬，佐伯昇：ポーラスコンクリートの耐摩耗性の評価試験方法，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，日本コンクリート工学協会，pp.143-150，2003
- 9) 藤崎隆一郎，堀口敬，佐伯昇：広範囲の配合によるポーラスコンクリートの耐摩耗性の検討，土木学会水辺のコンクリート構造物，コンクリート技術シリーズ45，pp.47-54，2002
- 10) 湯浅幸久，畑中重光，三島直生，村尾健：ポーラスコンクリートの圧縮強度に及ぼす結合材強度の影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.26，No.1，2004
- 11) (社)セメント協会，舗装用ポーラスコンクリート共通試験結果報告，舗装技術専門委員会報告，1999
- 12) 長尾澄雄，伊藤美行：耐摩耗コンクリートに関する配合試験報告書，中部電力株式会社総合技術研究所，pp.4-5，1986.6
- 13) 根尾聡，中村秀三，野田悦郎，中原大磯：ポーラスコンクリート舗装の品質特性と使用性に関する報告，コンクリート工学，Vol.42，No.7，pp.24-31，2004
- 14) 湯浅幸久，畑中重光，三島直生，前川明弘，宮本高秀：ポーラスコンクリートの振動締固めに関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，No.552，pp.37-44，2002.2
- 15) 大谷俊浩，村上聖，佐藤嘉昭，三井宣之：結合材の分布状態がポーラスコンクリートの強度性状に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.23，No.1，pp.139-114，2001.6
- 16) 鎌田敏郎，国枝稔，島崎磐，六郷恵哲：超音波によるポーラスコンクリートの内部組成の評価，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20，No.2，pp.733-738，1998