

## すりへり試験によるポーラスコンクリートの剥脱特性の評価に関する基礎的研究

## Fundamental Study on Exfoliation Damage Character of Porous Concrete Using Wear Test

正会員	○ 中川 武志	Takeshi NAKAGAWA ※1
同	犬飼 利嗣	Toshitsugu INUKAI ※2
同	黒田 萌	Moe KURODA ※3
同	三島 直生	Naoki MISHIMA ※4
同	畑中 重光	Shigemitsu HATANAKA ※5

## 1. はじめに

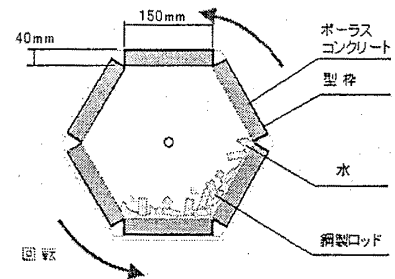
近年、ポーラスコンクリートは透水性舗装の形成や植生可能な親自然護岸工法などをはじめとして、多くの場で環境面からの付加価値が期待され使用されている。ポーラスコンクリートの空隙率と圧縮強度の関係、透水性、吸音性および生物生息適性などの基礎的な研究は着実に蓄積されている一方で、強度の評価方法、耐久性<sup>1), 2)</sup>など実用的な研究成果も強く求められている。特に、建築・土木の分野に使用されるポーラスコンクリートの場合、経年または劣化に伴って骨材の剥落・剥脱が懸念される環境条件も多く、剥脱耐性やその現場試験(評価)方法を確立していくことが必要である。そして、非破壊的な方法によりポーラスコンクリートの診断評価が可能なレベルになれば大きな信頼が得られるものとする。本研究はその一端として始めたものである。

## 2. ポーラスコンクリートの剥脱耐性

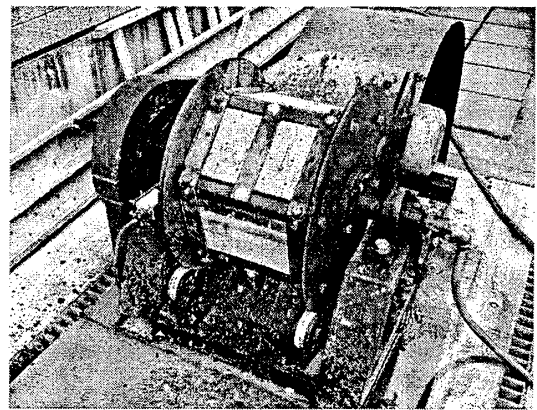
ポーラスコンクリートの剥脱という表現は、外部からの機械的(物理的)な力が加わった場合に、骨材および結合材のすりへり、剥落、飛散等を含めた表面損傷が生じることを想定しており、剥脱耐性はそれに対する原形の保持能力として定義される。

したがって剥脱耐性は、骨材のすりへり試験、カンタブロー試験、ラベリング試験など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ことが少なくないと考えられる<sup>3)</sup>。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による耐久試験を実施し、評価を試みた。

ポーラスコンクリートの耐摩耗性については、藤崎らにより、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<sup>4)</sup>がなされているが、これらと奥田式すりへり試験による結果を比較するとともに、普通コンクリートの「剥脱」特性と比較することにより、試験時に感じられる経験的な「適切さ」も確認したいと考えた。



(a) 試験機の構造概要



(b) 試験機の外観

図1 奥田式すりへり試験機

## 3. 奥田式すりへり試験

## 3.1 試験機

奥田式試験機の概要と外観を図1に示す。本試験機は、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(φ19×40mm)を21個入れた状態で回転させ、内面の供試体に対してロッドの衝撃力を繰返し与える機構となっている。

本試験機の特徴は、①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、②一度に複数個の供試体を試験できる、③鋼製ロッドによる衝撃が実際に作用する荷重形態に近い、などである。

※1 三重大学大学院工学研究科建築学専攻 大学院生 Graduate Student, Graduate Course of Eng., Mie Univ.

※2 三重大学大学院工学研究科建築学専攻 大学院生・工修 Graduate Student, Graduate Course of Eng., Mie Univ., Mr. Eng.

※3 三重大学工学部建築学科 学生 Student, Dept. of Architecture, Mie Univ.

※4 三重大学工学部建築学科 助手・博士(工学) Researcher Assoc. Dept. of Architecture, Faculty of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.

※5 三重大学工学部建築学科 教授・工博 Prof. Dept. of Architecture, Faculty of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.

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
ポーラスコンクリート (5号砕石)	15%	28%	0.80%	132	470	1528	0	0
ポーラスコンクリート (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	1050		700

[注] ※ ペースト先練り方式を採用し、同程度の締固めの度合いとなるよう配慮した。  
 ※ 養生は28日間水中養生とした。

3.2 すりへり試験

ポーラスコンクリート 2 種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。試験の主眼は、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、であり、ポーラスコンクリートの剥脱特性に関する一定の知見・見通しを得ることである。そのため、すりへり試験とあわせて、圧縮強度試験を実施し、剥脱特性とポーラスコンクリートとしての強度、結合材の強度との関係を検討することとした。

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、すりへり量を測定した。回転数は 90rpm、流水は 20ℓ/min の条件とした。

表2 すりへり試験用供試体

	No.	寸法(mm) (型枠込)	体積 (mℓ) みかけ	空隙率 (%)	平均空隙率(%)	かさ密度 (g/cc)
ポーラスコンクリート (POC) 5号砕石	①	150 × 150 × 40	900	18.2	20.2	1.942
	②			23.4		1.851
	③			17.7		1.995
	④			17.0		2.007
	⑤			20.3		1.769
	⑥			24.8		1.825
ポーラスコンクリート (POC) 6号砕石	①	150 × 150 × 40	900	14.3	14.5	2.036
	②			13.6		2.033
	③			10.9		2.091
	④			16.7		1.972
	⑤			18.2		1.946
	⑥			13.5		2.047
普通コンクリート	①	150 × 150 × 40	900			2.398
	②					2.413
	③					2.399
	④					2.416
	⑤					2.425
	⑥					2.394

3.3 奥田式すりへり試験の供試体

表 1 に今回のコンクリートの配合条件を示す。今回はまず圧縮強度を重視した配合条件とし、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の骨材は単粒度砕石とし、その最大寸法は供試体寸法(厚さ)から許容される 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、長さ 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

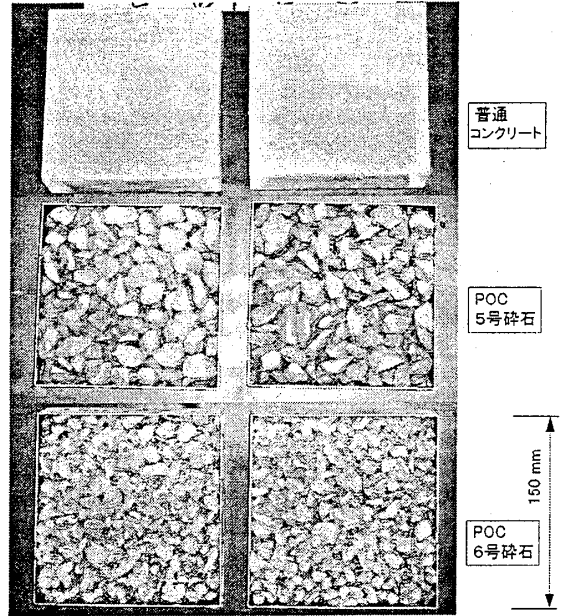


図2 奥田式すりへり試験に使用した供試体

水中重量の測定等により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 2 に示す。

3.4 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試験用供試体を製作した。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測定結果を示す。なお、同時に製作した結合材試験体(φ 50 × 95)の圧縮試験結果は、107 ~ 110N/mm<sup>2</sup>であった。

表3 圧縮強度試験用供試体と試験結果

	No.	寸法 mm	空隙率 %	荷重 kN	断面積 mm <sup>2</sup>	強度	平均値 N/mm <sup>2</sup>
						N/mm <sup>2</sup>	
ポーラスコンクリート 5号砕石	①	φ100×182.9	24.5	139.4	7854	17.7	17.0
	②	φ100×187.3	23.0	139.4		17.7	
	③	φ100×190.1	27.3	122.6		15.6	
ポーラスコンクリート 6号砕石	①	φ100×181.9	15.2	199.0	7854	25.3	24.8
	②	φ100×179.0	15.2	193.0		24.6	
	③	φ100×182.6	15.4	191.6		24.4	
普通コンクリート	①	φ100×198.6		236.2	7854	30.1	30.0
	②	φ100×199.0		233.8		29.8	
	③	φ100×198.3		238.0		30.3	

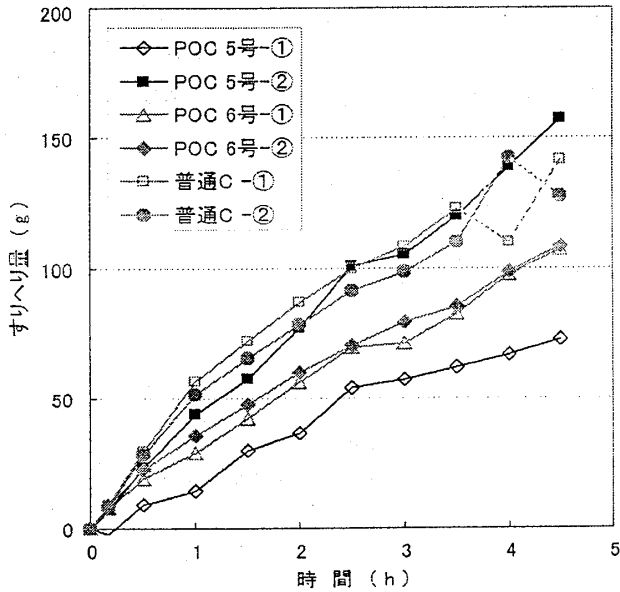


図3 すりへり試験結果(経過時間とすりへり量)

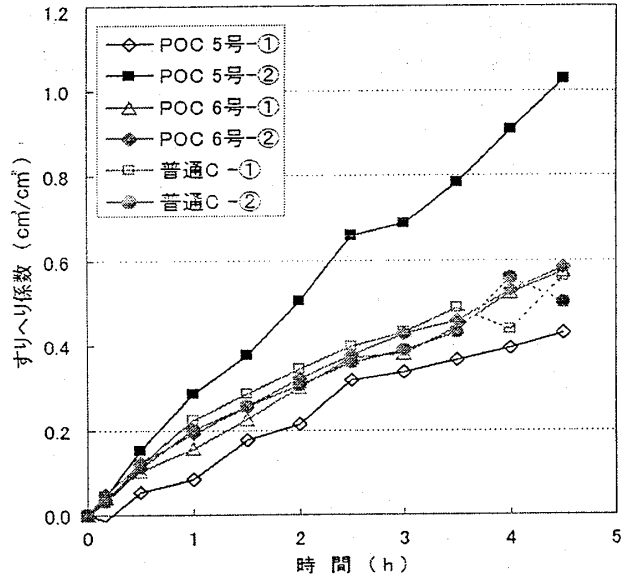


図4 すりへり試験結果(経過時間とすりへり係数)

4. 試験結果

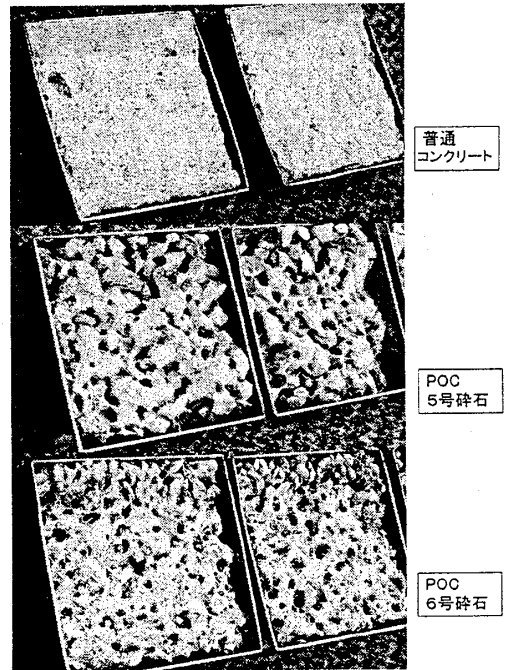
3種類の供試体について、奥田式すりへり試験を実施し、すりへり量を測定した。図3に、最長270分まで試験を実施した供試体各2個についてのすりへり試験結果を示す。図4に、このすりへり量から求めたすりへり係数と時間との関係を示す。すりへり係数は、次の式を使用して求めた。同係数は、面積あたりのすりへり体積で示しているが、表面からのすりへり深さに相当する。

$$Ac = V / A$$

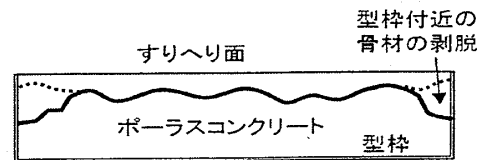
- Ac: すりへり係数 (cm³/cm²)
- V: すりへり体積 (cm³) = W/D
- W: すりへり減量 (g) = W<sub>1</sub> - W<sub>2</sub>
- W<sub>1</sub>: 試験前の試験体質量 (g)
- W<sub>2</sub>: すりへり後の試験体質量 (g)
- D: 試験体のかさ密度 (g/cm³)
- A: すりへりを受けた面積 (cm²) = 450cm²

図5に、試験終了後の供試体の状況を示す。今回の試験では、観察結果から、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たことが確認された。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。図3、図4に見られるように、とくに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個の供試体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、供試体寸法を長さ300mm×幅150mmのものに変更するなどにより、型枠の影響を小さくする必要がある。

図6に、圧縮強度とすりへり係数の関係を示す。この結果は図3および図4の試験より短い時間(3時間まで)の試験結果を含めたものである。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。



(a) 供試体



(b) すりへり・剥脱状況のスケッチ

図5 すりへり試験(270分)後の供試体

図7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、こちらの相関関係も明瞭ではない。空隙率が大きい場合にすりへり係数が大きくなることも考えられるが、20%程度以下では普通コンクリートと変わらないことがわかる。

## 5. 奥田式すりへり試験に関する考察

図5の試験後の供試体の状況に見られる特徴は、骨材の剥落(結合材または骨材の表面付近で破壊し、骨材が脱落する状況)は少なく、すりへりが支配的なことである。骨材には磨耗による傷がみられ、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、本実験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、鋭利で硬い物体による損傷は別として、奥田式試験機に用いたロッド程度の衝撃にはポーラスコンクリートは十分耐え得ることを示唆している。

試験前には、経験的に、ポーラスコンクリートの剥脱は、表面の平坦性(表面粗さ)に影響を受け、一部の骨材の剥脱が周辺の剥脱を加速させ、一定のすりへり減量とならないのではないかと予測されたが、そのような傾向はみられなかった。ただし、結合材強度が小さい場合にはそのような現象も考えられる。

また、図4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。藤崎らの報告<sup>4)</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、実際に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>5)</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ことが考えられ、結合材の強度および空隙率がある範囲内であれば、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>6)</sup>が重要といえる。

## 6. まとめ

本実験により得られた知見をまとめると、以下のようになる。

- 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でも骨材の剥脱を抑制できる。
- 3) ポーラスコンクリートは細骨材を含まないので、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。

今後、奥田式すりへり試験機を使用し、供試体型枠の影響を抑えた試験を実施して、より精度の高いデータを収集するとともに、奥田式以外の試験方法の検討を含め、剥脱耐性を適切に評価する方法の検討を進め、ポーラス

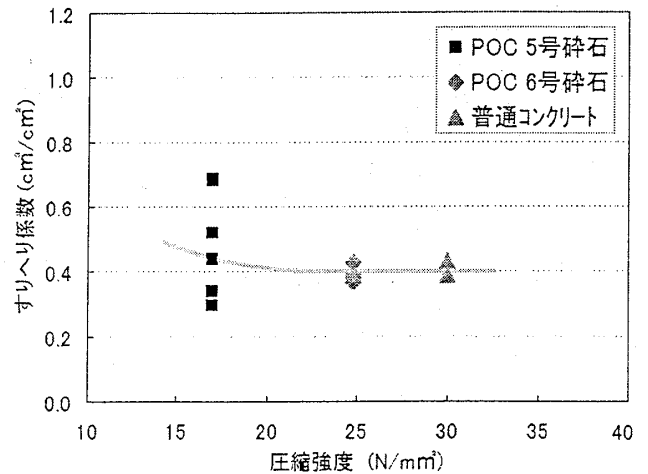


図6 圧縮強度とすりへり係数の関係

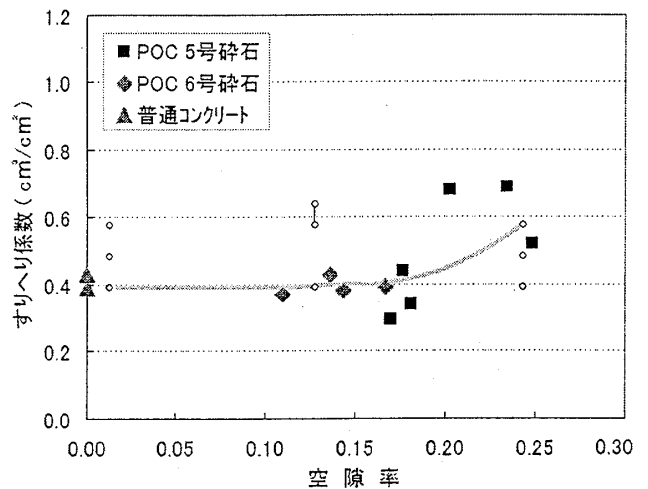


図7 空隙率とすりへり係数の関係

コンクリートの強度・耐久性評価技術の確立を図りたい。

## 【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、pp.73-76、2000
- 2) 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など
- 3) (社)セメント協会、舗装用ポーラスコンクリート共通試験報告書、舗装技術専門委員会報告、1999
- 4) 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
- 5) 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  
構造物、コンクリート技術シリーズ 45、pp.47-54、2002
- 6) 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