

ポーラスコンクリートの剥脱耐性評価に関する研究

その1. 試験方法の検討および実験概要

Study on Evaluation of Exfoliation Damage Characteristics of Porous Concrete

Part 1: Improvement of Wearing Test Method and Outline of Experiment

1. 材料施工-4.特殊なコンクリート
ポーラスコンクリート 耐摩耗性
奥田式すりへり試験 剥脱耐性
舗装

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

1. はじめに

ポーラスコンクリートは、環境改善に対する機能が期待され、透水性舗装や護岸工法などの多くの場で使用されるに至っている。ポーラスコンクリートは路盤や護岸の表層を構成することが一般的であるため、経年または劣化に伴う骨材の剥落・剥脱が発生することが懸念され、それらに対する抵抗性の評価が必要となる^{1)~7)}。また、ポーラスコンクリートは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変動しやすく、強度もばらつきやすい^{8)~11)}。したがって、実用の際には、計画した品質が達成されているか、施工部のメンテナンスが必要かどうかなどを現場で判断できる方法の確立が求められている。

そこで、本研究では、ポーラスコンクリートの摩耗またはすりへりを含む剥脱に対する耐久性の把握のための適切な試験方法¹²⁾を検討するとともに、ポーラスコンクリートの剥脱メカニズムの把握を試みる。本報告(その1)では、試験方法の検討を行い、実験の概要を示す。

2. ポーラスコンクリートの剥脱耐性

2.1 研究フロー

図-1に本研究のフローを示す。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研究を進めている。本研究における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。

2.2 これまでの研究経過と本報告の位置づけ

これまで、研究の基礎的段階として既存の試験方法の中で比較的剥脱を起こしやすい外力が加えられる奥田式すりへり試験機(図-2)によるすりへり試験を実施した¹³⁾。奥田式すりへり試験機では、供試体を六角柱形に取り付け、その中に供試体表面に打撃を加えるための鋼片を投入した状態で回転させ、供試体内面に対して鋼片の衝撃力を加える。

前報¹³⁾では、奥田式すりへり試験によりポーラスコンクリートの剥脱の定量的な評価が可能であることを確認し、剥脱耐性に関する基礎的データが得られた。一方、供試体のサイズ、製作方法、および鋼片の形状等、試験の実施条件において改善すべき点も明らかとなった。

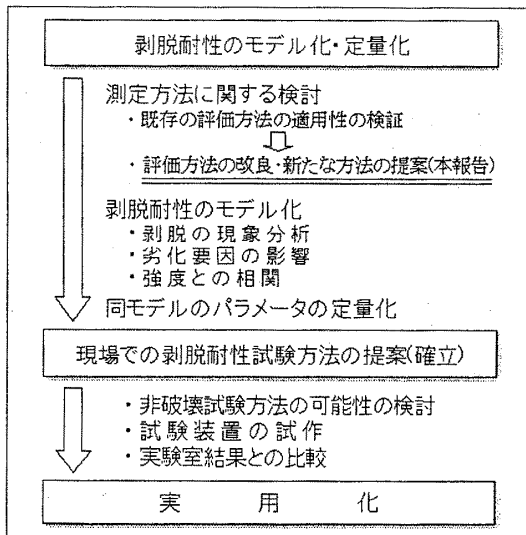


図-1 研究フロー

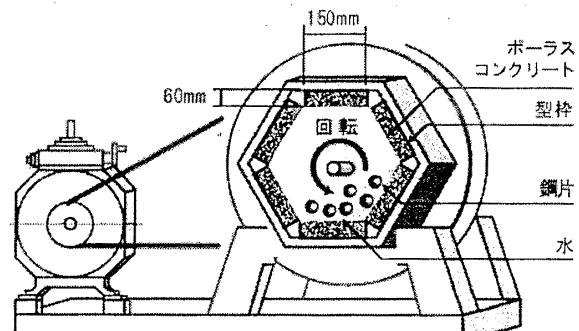


図-2 奥田式すりへり試験機

*1 三重大学工学研究科博士前期課程 大学院生
*2 三重大学工学研究科博士前期課程 大学院生
*3 東海コンクリート工業(株)技術部 係長・工修
*4 三重大学工学部建築学科 助手・博士(工学)
*5 三重大学工学部建築学科 教授・工博

Graduate Student, Graduate Course of Eng., Mie Univ.,
Graduate Student, Graduate Course of Eng., Mie Univ.,
Chief, Tokai Concrete Industries Co., Ltd., Technical Department, M.Eng.
Research Assoc. Dept. of Arch., Fac. of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.
Prof, Dept. of Arch., Faculty of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.

ここでは、各種のポーラスコンクリートに対してすりへり試験を行う前段階として、奥田式すりへり試験に対して、供試体製作時の締固め方法、鋼片の形状、流水・乾燥条件の設定、試験結果の整理方法等に関する改良を行う。

3. 試験方法の改良

3.1 剥脱試験供試体専用締固め機の製作

ポーラスコンクリートを打設する際、品質確保のため、適切な締固めは重要である¹⁴⁾。ポーラスコンクリートの剥脱耐性を評価するための供試体についても、計画した品質を実現する必要がある。しかし現状では、供試体に対して締固めを行う適切な方法がなく、供試体の品質は安定せず、目標とする空隙率や強度の達成に問題が残る。このように、製作上の要因によってばらつきが発生することを防止するため、供試体型枠に所定量のフレッシュポーラスコンクリートの質量を計量して入れるとともに、今回、図-3に示す高周波バイブレータ(240Hz, 48V, 5.5A)を組み入れた専用振動圧縮締固め機を製作し、使用した。

本機は供試体の表面全面をカバーする水平な押さえ板による供試体表面を水平かつ平滑に仕上げることができ、また、バイブレータを所定時間動作させることにより締固めエネルギーの安定化が期待できる。なお、本機は、圧縮試験用円柱供試体の製作時にも使用している。

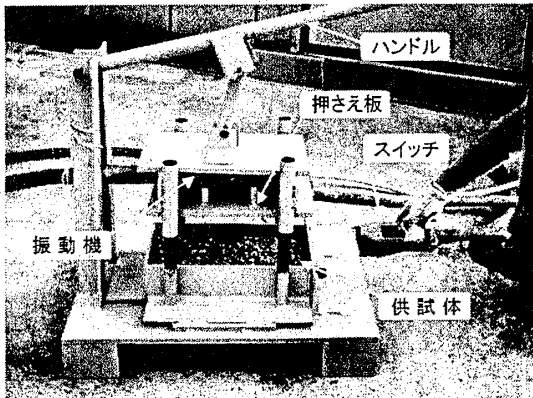


図-3 専用締固め機とその操作状況

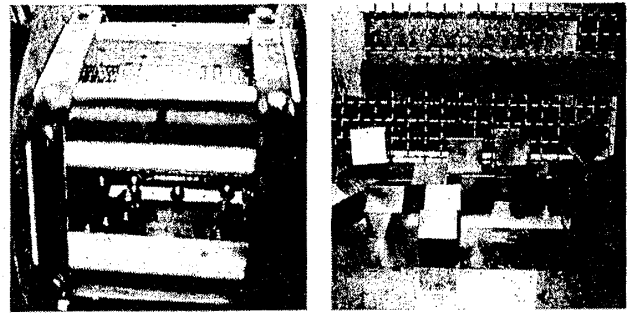
3.2 鋼片の形状

奥田式すりへり試験では、円柱状の鋼片(φ29×40mm, 20個程度)が標準となっているが、この形状や大きさの影響は不明である。そのため、その効果を把握する必要がある。今回は、次の3種類を使用した。

- ① 鋼球(小) φ29mm, 21個, 重量計 1997g
- ② 立方体 24×24×24mm, 18個, 重量計 1966g
- ③ 鋼球(大) 平均φ45mm, 5個, 重量計 2011g

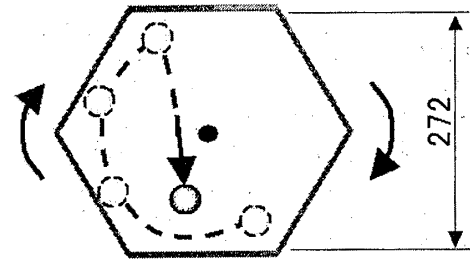
これらの鋼片については、試験機の内部を可視化する工夫を行い、予め回転時の状況を把握し、動きが適切であることを確認した(図-4)。

今回の鋼片による供試体への衝撃エネルギーは、標準的な落下高さ(約 250mm)からの位置エネルギーにほぼ等しいと考え、鋼球(大)1個の場合で0.9(J)程度となる。



(a) 外観及び鋼球

(b) 鋼立方体



(c) 鋼片の代表的な動き

図-4 試験機内部(鋼片の動き)の可視化

3.3 供試体周辺部防護板の取り付け

既報¹³⁾の結果から、奥田式試験機では、図-5に示すように、試験時に鋼片が供試体型枠に当たり、型枠の振動や変形のために周辺部の剥脱が起こりやすくなる問題が見られた。今回、供試体サイズは 300mm×150mm に変更し、以前の 150mm×150mm と比べて周辺部の影響は小さくなると考えられるが、長辺側はやはり影響を受けると考えられるため、これを低減するために供試体の型枠周辺部を保護するための鋼製防護板を取り付けた(図-6)。

すりへり面積は、図-7に示す鋼球の例のように、鋼片の形状および試験時間経過とともに変化し、計算で求めることが困難となる。このため、試験後の普通コンクリート供試体表面の実測値から推定することとした。すりへり面積は、鋼球(小, φ29mm)で 240cm²程度、立方体で 220cm²程度、鋼球(大, 平均φ45mm)で 244cm²程度であった。

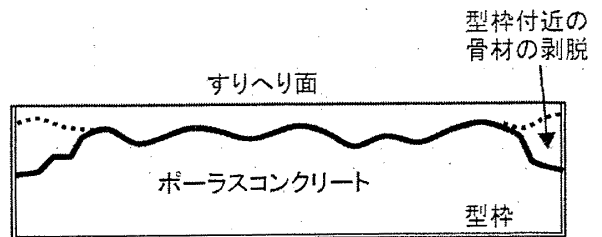


図-5 供試体型枠付近の剥脱

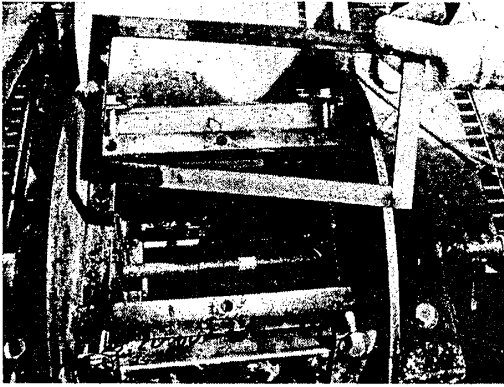
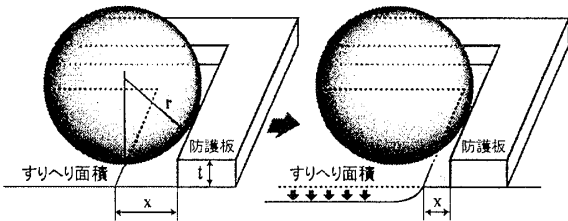
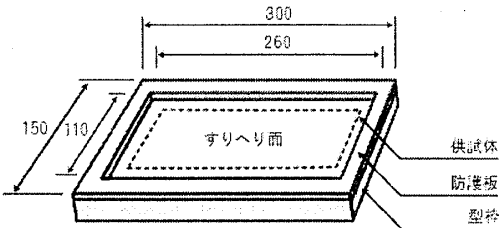


図-6 供試体周辺防護板のセット



試験の進行により、すりへり面積が広がる
図-7 すりへり面積の特定

3.4 剥脱試験のデータ整理方法

剥脱耐性(すりへり)試験は、各種の材料に対して実施することを想定し、データを可能な限り同一の評価方法で取り扱うことが望ましい。例えば、POCを測定する場合には、空隙内部に水が残るために、流水条件の場合にはすりへり減量を水中重量の変化量で扱う必要があるが、流水の有無を要因として実施する場合にはそれぞれ、水中・気中での評価となり、これらを直接的に比較できるように補正する必要がある。

すりへり減量は計測した供試体の水中重量の差を気中重量差に換算して求め、すりへり係数は、式(1)を用いて求めた。

$$A_c = V / A \tag{1}$$

ここに、 A_c : すりへり係数 (cm^3/cm^2),
 V : すりへり体積 (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 (g/cm^3),
 A : すりへりを受けた面積 (cm^2)

各種ポーラスコンクリートの剥脱(すりへり)の比較には、図-8 に示すように経過時間とすりへり係数の関係から原点を通る直線近似式を求め、その傾きをすりへり速度と定義して用いる。

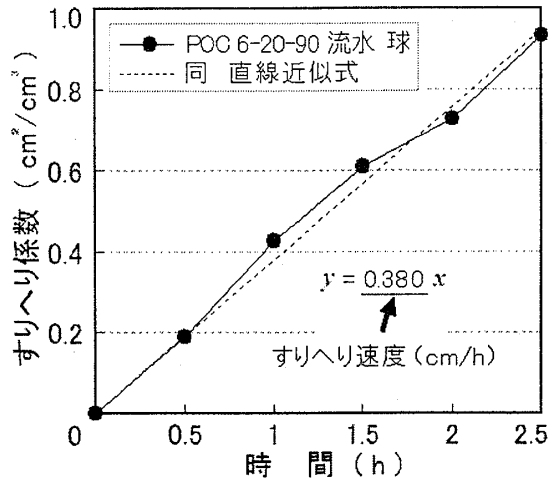


図-8 すりへり係数とすりへり速度の例

4. 実験の概要

4.1 実験の水準と要因

本実験では、奥田式すりへり試験に対して、試験方法最適化を目的として剥脱耐性試験を実施した。剥脱耐性試験の要因および水準を表-1 に示す。ポーラスコンクリートの特性に影響を及ぼす要因は各種考えられる^{15)~17)}が、本実験では表中の網かけ部を基準水準として、空隙率、結合材強度、骨材粒径、鋼片形状、流水の有無、供試体製作時の締め固め方法の影響を調べた。

なお、本報告において、試験条件を下記のように略記する。

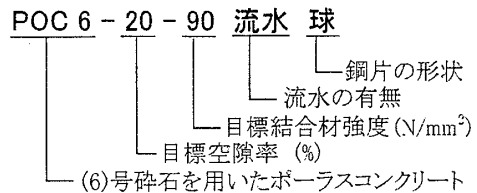


表-1 実験の要因と水準

要因	水準
a. 空隙率	15%, 20%, 25%, 普通コンクリート(3%)
b. 結合材強度	130 N/mm ² , 90 N/mm ² , 40 N/mm ²
c. 粒径	7号(2.5~5mm), 6号(5~13mm), 5号(5~20mm)
d. 鋼片形状	球(小, D29), 立方体, 球(大, D45)
e. 流水	あり, なし(乾燥)
f. 締め固め	振動締め(専用機), 圧密(こて仕上)

注) は、中心的な設定

4.2 供試体およびその製作方法

表-2 に使用したコンクリートの調合条件を示す。ポーラスコンクリートは 6 号砕石、目標結合材強度 90N/mm²、目標空隙率 20%の調合条件を中心に試験要因を数水準設定した。供試体は、ペースト先練りとし、フロー値を調整してから粗骨材を加えて製作した。締固めには 3.1 節に示す専用締固め機を用いることを基本とし、打設後の供試体は 28 日間水中養生を行った。すりへり試験用供試体は 300mm×150mm×厚さ 60mm(一部 40mm)で、底面および側面は鋼板(厚さ 1mm)の型枠面となっている。

表-2 コンクリートの調合

仕様	目標結合 調 合				単 位 量 (kg/m ³)							
	空隙率	材強度 N/mm ²	水/セ メント比	減水剤 SP/C	水	セメント	FA	砕石 5号	砕石 6号	砕石 7号	細骨 材	
POC-5	20%	90	30%	0.1%	121	403	0	1501	0	0	0	
POC-6	20%	120	25%	0.1%	106	424	0	0	1512	0	0	
	25%	90	30%	0.1%	93	309	0	0	1512	0	0	
	20%	90	30%	0.1%	117	390	0	0	1512	0	0	
	15%	90	30%	0.1%	141	471	0	0	1512	0	0	
	20%	40	30%	0.1%	117	195	141	0	1512	0	0	
POC-7	20%	90	30%	0.1%	130	434	0	0	0	1450	0	
普CON	-	60	60%	0.0%	180	300	0	G 1050			S700	

注 1) ペースト先練り方式とする。
 2) 結合材のフロー値、生コンクリートのスランプ値を測定する。
 3) 28日間水中養生。
 4) FA:フライアッシュ、G:粗骨材、S:細骨材

4.3 試験方法

今回は奥田式すりへり試験の方法を 3 章で述べたいくつかの点で改良した剥奪耐性試験として実施した。試験では、30 分毎に供試体を試験機から取り外して洗浄し、すりへり減量を測定した。回転数は 90rpm とし、流水条件の場合 200 /min の条件とした。

5. まとめ

- 1) ポーラスコンクリートの剥脱耐性試験の供試体製作には、品質を安定化させ、試験要因の影響を評価しやすくするため、本報告で提案したような専用締固め機の導入が有効である。
- 2) 以下のような試験方法の改良により、さらに高精度なポーラスコンクリートの剥脱耐性評価が可能になると考えられる。
 - イ) 供試体型枠付近の防護
 - ロ) 鋼片形状の変更
 - ハ) 試験結果整理方法の共通的な取り扱い

謝辞

実験を準備するにあたり三重県科学技術振興センターのご協力を得た。付記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 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
- 2) 吉森和人, 藤原浩巳, 伊藤修一, 岡本亨久, 下山善秀: 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.660-655,1995
- 3) 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
- 4) (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
- 5) (社)セメント協会, 車道用ポーラスコンクリート現場試験舗装結果(福井県)-中間報告(供用3年)-, 舗装技術専門委員会報告, R-15,2003.11
- 6) (社)セメント協会, 車道用ポーラスコンクリート試験舗装中間報告-千葉県道松戸-野田線-供用3年-,舗装技術専門委員会報告 R-16,2004.10
- 7) 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
- 8) 山本貴正, 畑中重光, 小池狭千朗, 三島直生: ポーラスコンクリートの圧縮強度の変動に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, p.1267-1272, 2005
- 9) 吉田知弘, 国枝稔, 音野琢也, 六郷恵哲: ポーラスコンクリートの空隙分布が曲げ強度に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.26, No.1, pp.1437-1442, 2004
- 10) 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特性に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.1, 2001
- 11) 大谷俊浩, 山田高慶, 村上聖, 佐藤嘉昭, 清原千鶴, 三井宣之: ポーラスコンクリートの圧縮強度の推定に関する研究, 2005 年日本建築学会学術講演梗概集, A-1, p.563-564, 2005
- 12) 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
- 13) 中川武志, 犬飼利嗣, 三島直生, 畑中重光: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, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.27, pp.1261-1266, 2005
- 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
- 15) 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
- 16) 杉浦充, 谷川恭雄, 森博嗣, 黒川善幸, 平岩睦, 朴相俊: ポーラスコンクリートの圧縮破壊挙動に関する解析的・実験的研究, 日本建築学会東海支部研究報告集第 41 号, 2003.2
- 17) 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, pp.1425-1430, 2004