

# 論文 回転ラベリング試験による真空脱水処理コンクリートスラブの耐摩耗性の検討

和藤 浩\*1・畑中 重光\*2・三島 直生\*3・村松 功朗\*4

**要旨：**真空脱水工法を用いたコンクリートスラブの耐摩耗性に関する研究としては、奥田式すりへり試験機を用いた例があるが、摩耗試験ではその試験法により影響要因に差異があるため、同一の結果が得られるとは限らない。本研究では、真空脱水処理を行ったコンクリートの耐摩耗性能を定量的に評価することを目的として、真空脱水処理の有無、およびその真空度を要因とした回転ラベリング試験を行った。その結果、真空脱水処理を行うことによる耐摩耗性の向上効果は、真空度が大きいほど高く、これまでの一連の圧縮強度の改善効果と同様な傾向が見られた。

**キーワード：**真空脱水, コンクリートスラブ, 回転ラベリング試験, 耐摩耗性, 圧縮強度分布

## 1. はじめに

### 1.1 真空脱水工法

コンクリート床スラブでは、ブリーディングによりフレッシュコンクリート内部の水がコンクリート表層部に上昇することで、表面の強度低下、耐久性の低下、ひび割れなどが生じる原因となる。また、仕上工事では、その性能が下地材で決まってしまうことが少なくないため、コンクリート表面の品質は非常に重要といえる。

この問題を根本的に改善するために考案された施工方法として、図-1に示すような真空脱水工法がある<sup>1)</sup>。

真空脱水工法は、1935年に米国で開発されたと言われ、日本では当初土木分野での適用が多くみられたが、その後、建築分野にも適用可能な工法が日本で開発された<sup>1)</sup>。本真空脱水工法は、建築分野のコンクリートスラブのほか、フォークリフトなどが走行する工場のスラブ、立体駐車場のスラブ、土木分野の道路橋のスラブにも使用されている。

真空脱水工法は、コンクリート内部の主にブリーディングによる余剰水を真空ポンプを使って取り除き、大気圧による圧密によって、コンクリートの表面強度および耐久性を飛躍的に向上させ得る施工方法である。

真空脱水を行ったコンクリートでは、圧縮強度、表面反発度および引っ掻き硬さが向上し、その品質改善効果は真空脱水処理面であるスラブ表面に近いほど大きくなることが明らかとなっている。図-2に真空脱水による圧縮強度分布の一例を示す<sup>1)</sup>。

### 1.2 コンクリートの摩耗

コンクリートの摩耗現象は、極めて複雑な要因が複合

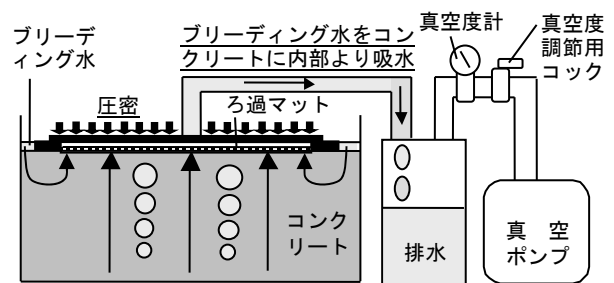


図-1 真空脱水工法の概略図<sup>1)</sup>

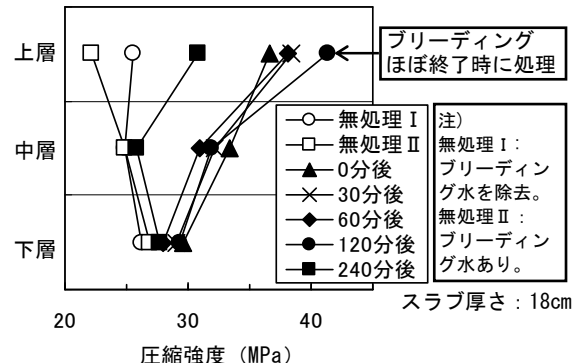


図-2 圧縮強度分布(真空処理開始時期の影響)<sup>1)</sup>

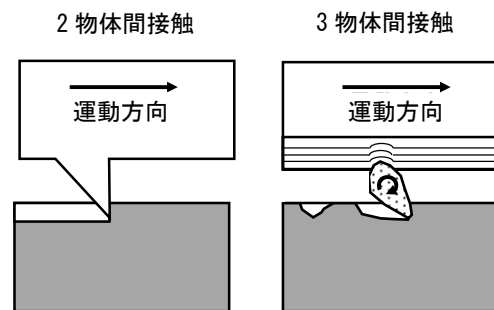


図-3 2物体間および3物体間の接触<sup>2)</sup>

\*1 三重大学 大学院工学研究科建築学専攻 技術専門員 (正会員)

\*2 三重大学 大学院工学研究科建築学専攻教授 工博 (正会員)

\*3 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)

\*4 株式会社 代表取締役 (正会員)

2 物体間と 3 物体間の 2 形態の接触状態が存在する<sup>2)</sup>。  
これらの接触状態の変化により、取り扱うべき摩耗機構の分類も変化する。

舗装コンクリートの耐摩耗性は、粗骨材量の増加により向上し、コンクリートの調合において最も大きな影響を及ぼす因子である。しかしながら、評価試験方法によって影響要因が変化し、再現性のある結果が得られにくいことがわかっている<sup>2)</sup>。

真空脱水工法を用いたコンクリートスラブの耐摩耗性に関する研究としては、奥田式すりへり試験機（回転ドラム内で、鋼片によって供試体表面に衝撃摩耗作用が与えられる試験機）を用いた例<sup>3)</sup>があるが、先述したとおり、摩耗試験では外力の与え方など、試験法により影響要因に差異が生まれ、同一の結果が得られるとは限らない。

本研究では、自動車等が走行する真空脱水処理を行ったコンクリートスラブを想定し、実際の劣化に近い状況を再現するため、回転ラベリング試験を実施し、その耐摩耗性を定量的に評価することを目的とする。

## 2. 実験概要

### (1) 要因と水準

表-1 に、本実験の要因と水準を示す。また、表-2 および表-3 に本実験で使用したコンクリートの使用材料およびコンクリートの調合表を示す。

表-1 中の真空度とは、図-1 中の真空度計で測定される真空脱水処理時の吸引圧の大気圧に対する割合を示す。

本実験では、図-4(a) に示すような回転ラベリング試験用試験体[235×390×290×50(mm)]を、水セメント比 60% のものを 6 枚、水セメント比 30% のものを 2 枚作成した。なお、水セメント比を 60% と 30% とした理由は、既往の研究<sup>1)</sup>において、水セメント比 60% で真空脱水処理を行った試験体の表面の硬度が、水セメント比 30% の試験体に相当していたからである。

締固めは突き棒による突き、および木づちによる叩きにより行った。表面はコテ仕上げとした。それぞれの試験体は 3 回に分けて打ち込んだ。

試験体の作製時に、JIS A 1123(コンクリートのブリ

表-1 実験の要因と水準

試験体記号	W/C (%)	表面処理	真空度* (%)
P6000	60	無処理	—
V6060		真空脱水	60
V6090			90
P3000	30	無処理	—

注)\*: 真空度 (%) = (吸引圧/大気圧) × 100

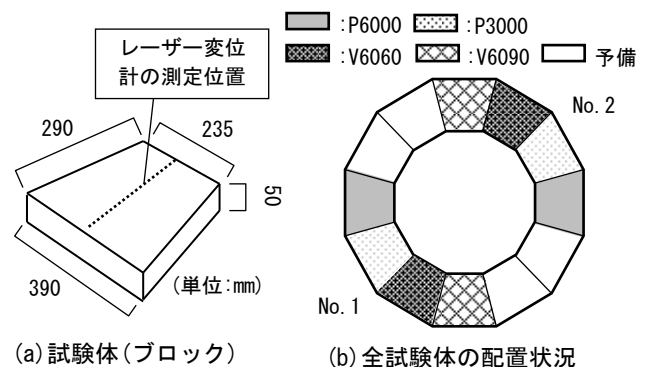


図-4 回転ラベリング試験用試験体

表-2 使用材料

種類	性質
セメント	普通ポルトランドセメント, 密度: 3.16 g/cm <sup>3</sup>
細骨材	川砂, 岩種: 硬質砂岩, 骨材寸法: 5mm 以下, 表乾密度: 2.59 g/cm <sup>3</sup>
粗骨材	碎石, 岩種: 硬質砂岩, 骨材寸法: 5~13mm, 表乾密度: 2.66 g/cm <sup>3</sup>
混和剤	高性能 AE 減水剤 (ポリカルボン酸系): W/C=60% のコンクリートの調合で使用
	高性能減水剤 (ポリカルボン酸系): W/C=30% のコンクリートの調合で使用 消泡剤

表-3 コンクリートの調合表

Fc* (MPa)	W/C (%)	s/a (%)	Air* (%)	単位質量 (kg/m <sup>3</sup> )				SP (C×%)	AF (C×%)	SL (cm)
				W	C	S	G			
30	60	54	4.5	185	308	907	848	0.8	0.0025	20.5
75	30	48	4.5	165	550	769	848	0.6	0	15

注)\*: 目標値を示す。Fc: 圧縮強度, W/C: 水セメント比, s/a: 細骨材率, Air: 空気量, W: 水, C: セメント, S: 細骨材, G: 粗骨材, SP: 高性能 AE 減水剤 (W/C=60%)・, 高性能減水剤 (W/C=30%)・ AF: 消泡剤, SL: スランプ

ーディング試験方法)の容器を用いて、水セメント比 60%の調合のコンクリートに対して、試験体厚さに合わせた深さ 5cm でブリーディング試験を行った。

本実験における真空脱水処理開始時期は、上記の試験によるブリーディング終了時点である打込み 110 分の時点とした(後述)。また、真空脱水処理開始までは、試験体をビニールで覆い、水分が乾燥しないようにした。

水セメント比 60%の試験体に真空脱水処理を行い、その処理は真空度 90%の試験体を 2 枚、真空度 60%の試験体を 2 枚分を行った。

試験体の養生は、20℃の養生室内で、1 週間封かん養生した後に、20℃・60%RH の実験室内で 3 週間気中養生を行った。

以上、合計 4 水準でそれぞれ 2 枚ずつ、計 8 枚の試験体を作成した。

### (2) 試験方法

回転ラベリング試験は、材齢 28 日に行った。

写真-1 に回転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。タイヤの数は 2 個、タイヤの周回速度は 12.25rpm であり、写真-2 に示すタイヤチェーン(形状：金属亀甲型、チェーンリング：9mm)を用い、油圧ジャッキでタイヤ

に軽自動車の荷重を想定した 5kN の荷重をかけ、試験体の表面を走行させた。試験体は、図-4 (b) に示すように、同水準の試験体を対角の位置に配置した。

評価方法は、試験体表面の目視による観察とレーザーレーザー変位計による表面形状の測定は、タイヤの走行開始後 0, 5, 30, 60, 180, 300, 600 分後の時点で図-4 に破線で示す場所に対して行った。

## 3. 実験結果とその考察

### (1) ブリーディング試験

ブリーディング試験の結果を図-5 に示す。図によれば、前述したように、本試験体のブリーディングは、打込み後 110 分でほぼ終了した。

### (2) 真空脱水による真空度の時刻歴

真空脱水処理による真空度の時刻歴を図-6 に示す。

図によれば、同水準の試験体間では、真空度に顕著な差は見られなかった。

### (3) 真空脱水による排水量

真空脱水処理による排水量を図-7 に示す。図によれば、真空度と同様、同水準の試験体については、排水量に顕著な差は見られなかった。

なお、以下の試験結果についても、同水準の試験体間



写真-1 回転ラベリング試験機 写真-2 タイヤチェーン

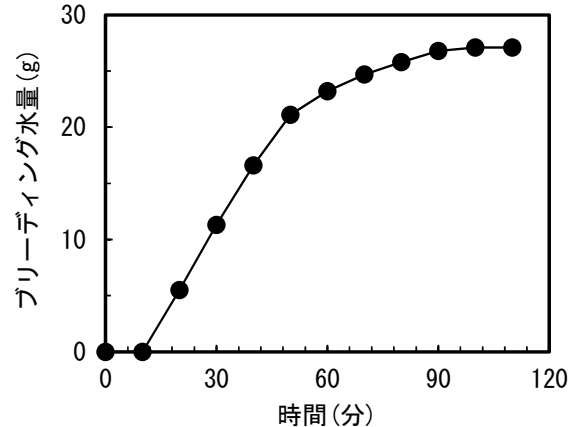


図-5 ブリーディング試験の結果(厚さ 50mm)

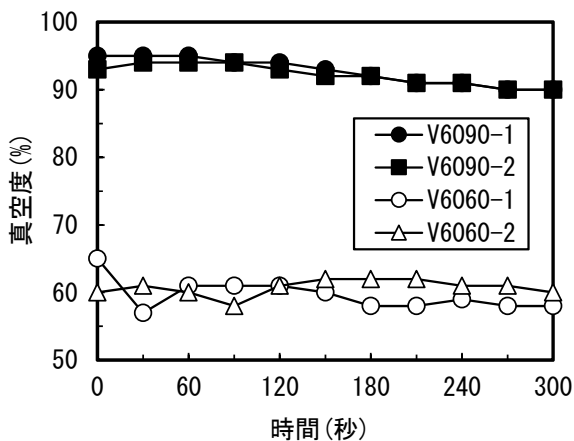


図-6 真空度の時刻歴

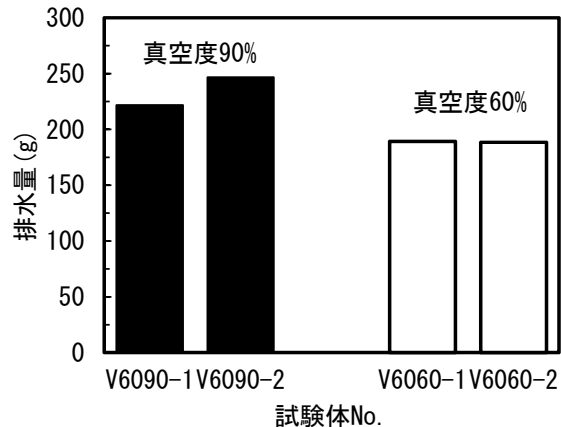








図-7 真空脱水による排水量

表-4 試験体の摩耗状況

	W/C=60% 無処理	W/C=60% 真空脱水(真空度 90%)	W/C=30% 無処理
60 分後			
600 分後			

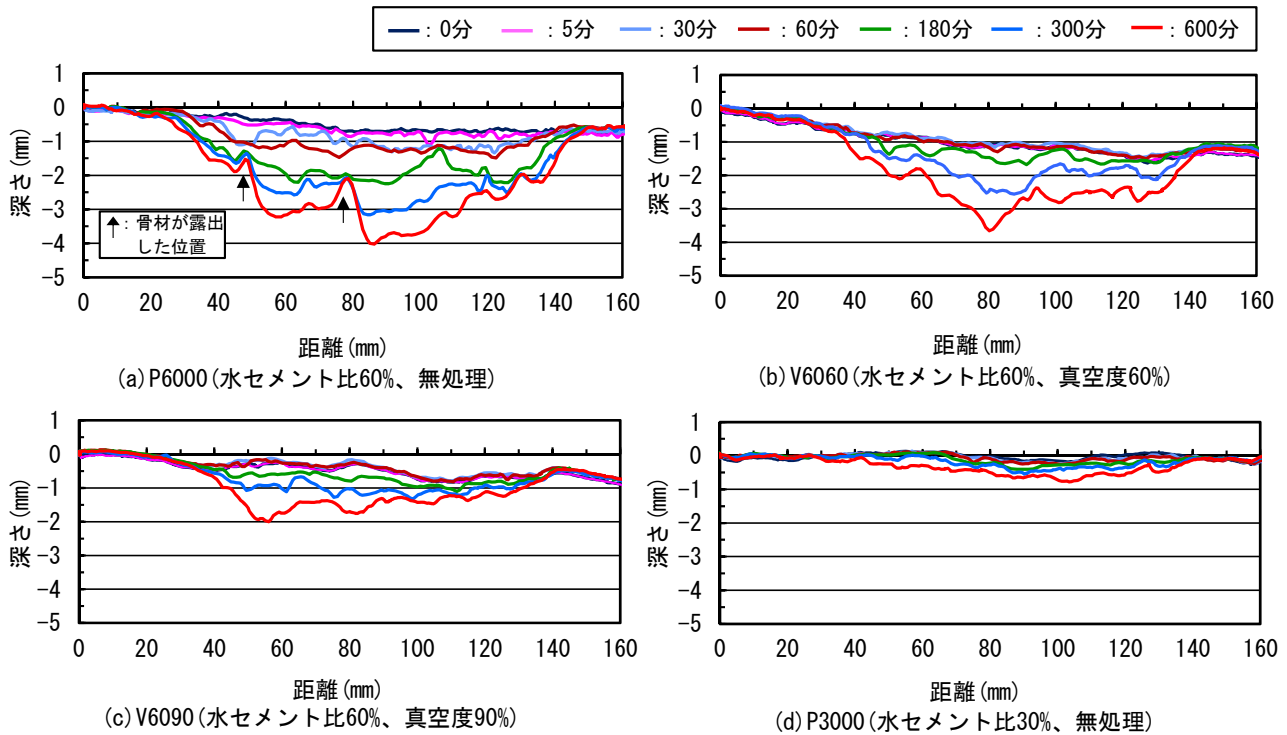


図-8 レーザー変位計による表面形状の測定

については、顕著な差は見られなかったため、それぞれ試験体の No. 1(記号:-1)について実験結果を記す。また、真空脱水処理を行わなかった試験体も同様である。

(4) 目視による観察

表-4 に、水セメント比 60%と 30%の無処理試験体および真空度 90%で真空脱水処理を行った試験体の摩耗状況の例を示す。実験開始 60 分後の時点で、無処理試験体は骨材が露出し始めているのに対し、真空脱水処理を行った試験体はあまり摩耗の影響がみられず、タイヤのゴム跡が付き始めている程度である。開始 600 分の時点では、

無処理試験体は摩耗が進行し、骨材が激しく露出している。真空脱水処理を行った試験体もタイヤによる轍(わだち)がはっきりと確認され、骨材が露出し始めている。なお、この時点においても、水セメント比 30%の試験体は摩耗の影響がほとんど見られなかった。

(5) レーザー変位計による表面形状の測定

図-8 に、レーザー変位計による表面形状の測定結果を示す。図-8 の試験体 (a) および (d) に示す水セメント比 60% (無処理) の試験体と 30%の試験体を比較すると、水セメント比 30%の試験体 (d) の方が非常に高い耐摩耗

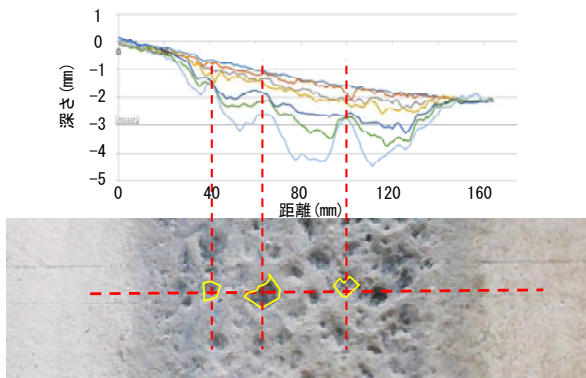


図-9 レーザー変位計による形状測定結果と測定位置の拡大写真を比較 (例：P6000-2)

性を有していることがわかる。また、図-8に示す真空脱水処理を行った試験体(b), (c)と無処理試験体(a)を比較すると、真空脱水処理を行った試験体(b), (c)の方が高い耐摩性を有している。この特徴は、特に1時間未満の走行時間が短い段階に顕著に表れている。

また、どの試験体もタイヤによる轍の中心に行くほど大きな摩耗深さが計測され、外側に行くほど摩耗深さが小さくなる傾向にあることがわかる。これはタイヤの中心ほど荷重が大きくなり、摩耗が発生しやすかったことが理由として考えられる。

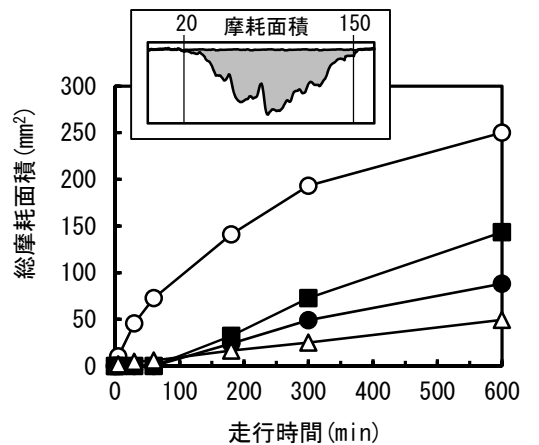
図-8(a)中の矢印位置のように、部分的に摩耗の抑えられた点が存在する。これは、図-9に示すように耐摩耗性の高い骨材が露出したため、その地点では摩耗の進行が抑えられたためと考えられる。

(6) 各種指標による耐摩耗性の定量評価

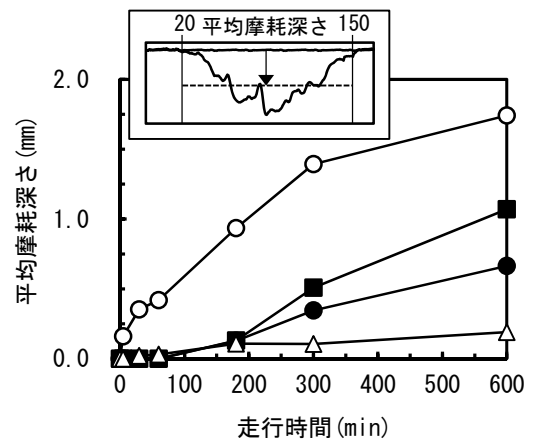
図-10(a)は、図-8のデータを用いて、水平方向距離20~150mmの範囲において摩耗の断面積を算定し、時刻歴として表したものである。この測定結果から、水セメント比60%の無処理試験体とそれ以外については、明確な違いが見られる。前者では初期から摩耗面積が時間と共に増加しているのに対し、後者ではある程度の期間は摩耗面積の増加が抑えられている。特に走行時間の短い180分頃までは、真空脱水処理を行った試験体は水セメント比30%の試験体と同程度の高い耐摩耗性を示している。

また、グラフの傾きは摩耗面積の増加率を示しているが、走行時間30分頃までの傾きの変化に特徴がある。水セメント比60%の無処理試験体では、ブリーディングによる弱化層が表面付近に発生したことにより、傾きが大きくなっているのに対し、真空脱水処理を行った試験体では逆に表面付近に耐摩耗性の高い層が形成されたために、傾きが小さくなっている。ここで真空度60%で脱水

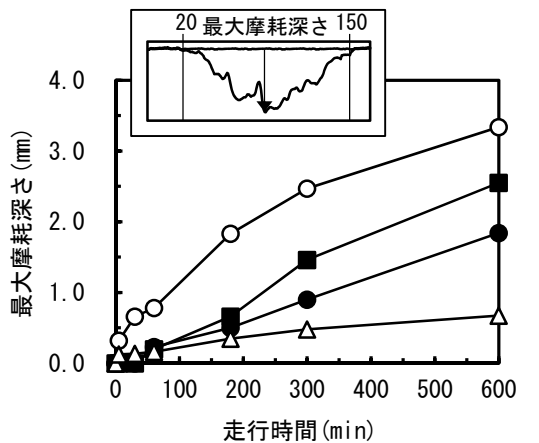
○ : P6000 ■ : V6060 ● : V6090 △ : P3000



(a) 総摩耗面積の推移



(b) 平均摩耗深さの推移



(c) 最大摩耗深さの推移

図-10 各種手法による耐摩耗性の評価結果

処理を行った試験体は、300~600分の間のグラフの傾きが水セメント比60%の無処理試験体のものに近くなっている。このことから、真空脱水処理による耐摩耗性の改善効果は表面からの深さが深くなるにつれて徐々に弱ま

っていき、無処理のコンクリートに近いものになっていくと考えられる(図-3参照)。

図-10(b)は、試験体表面からの平均摩耗深さを示す。この図からも総摩耗面積の変化と概ね同じ傾向が観察されるが、特徴的な点は、走行時間180分までの範囲では真空度に関係なく、脱水処理を行った試験体は同程度の耐摩耗性を示していることである。

図-10(c)は、最大摩耗深さのグラフである。この図からも概ね他の結果と同じ傾向が得られているが、特徴的な点として、水セメント比60%の無処理試験体は、走行開始直後に最大深さが急激に上昇していることが挙げられる。これは、ブリーディングによる弱化層でチェーンが接触した部分に局所的な摩耗が発生したことが原因と考えられる。

いずれの結果においても、水セメント比60%の無処理試験体が最も耐摩耗性が低く、水セメント比30%の試験体が最も高い耐摩耗性を見せた。また真空脱水処理の真空度の違いによる耐摩耗性の差は、走行時間が長くなるほどに大きくなり、真空度の大きい試験体のほうが高い耐摩耗性を見せたが、試験開始初期の段階(180分まで)ではほぼ同等の耐摩耗性となった。

真空脱水処理を行った試験体の耐摩耗性は、図-2に示したこれまでの一連の実験で得られたスラブの高さ方向の圧縮強度分布性状と同様であり、上層にいくにしたがって大きくなる傾向が得られた。

ただし、荷重条件や走行速度などの外的作用が大きくなるとコンクリートスラブの骨材の剥脱など、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。

また、最近ではコンクリートスラブ表面の品質改善の方法として、養生シートや表面強化剤などの使用も行われている。これらが適用された場合の耐摩耗性についても今後検討していく必要がある。

#### 4. まとめ

本論文では、真空脱水処理を行ったコンクリートの耐摩耗性能を定量的に評価することを目的として、真空脱水処理の有無、およびその真空度を要因とした回転ラベリング試験を行った。その結果から以下の知見が得られた。

- 1) 真空脱水処理を行うことにより、コンクリート表面に高い耐摩耗性が得られる。
- 2) 真空脱水処理を行ったコンクリートのうち、真空度の高い方がより高い耐摩耗性を期待できる。
- 3) 真空脱水処理を行ったことで耐摩耗性能が向上する範囲は表面に近い部分で、摩耗深さが増すにつれてその効果は小さくなり、無処理の耐摩耗性に近づく。
- 4) 真空脱水処理を行った試験体の耐摩耗性は、これまでの一連の実験で得られた圧縮強度分布の性状と同様に、上層にいくにしたがって大きくなる傾向が得られた。

#### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、山口武志氏(株明光建商)、筒井文康氏(株建和)、山口祐樹氏(三重大学工学部建築学科卒業生)のご助力を得た。また、回転ラベリング試験機は、清田軌道(株)にご提供頂いた。付記して謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 畑中重光 編:新しい真空脱水コンクリート工法 理論と施工の実際, 工文社, 2016. 12
- 2) 笠井芳夫 編:コンクリート総覧, 技術書院, pp. 524-528, 1998
- 3) 三島直生, 犬飼利嗣, 畑中重光, 坂本英輔, 和藤浩, 村松昭夫:コンクリート床スラブの真空脱水締固め工法の改善 その12 表層部の耐摩耗性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 467-468, 2004. 8