

# 論文 真空脱水締固めを行ったコンクリート床スラブの表層および内部強度分布に及ぼす真空度の影響

和藤 浩\*1・畑中 重光\*2・三島 直生\*3・村松 昭夫\*4

**要旨**：本研究では、これまで従来の真空処理工法の問題点を改善し、一般に軟練りコンクリートを使用する建築分野でも適用可能な新たな真空脱水締固め工法を考案し、基礎実験によって、その効果を例証してきた。本報では、真空脱水処理時の真空度および処理継続時間の違いにより、コンクリートスラブ試験体の表層および内部強度分布性状がどのように異なるかを検討した。その結果、真空脱水処理を行った試験体の無処理試験体に対する圧縮強度の増加率は、継続時間に関わらず、真空度が高いほど大きく、真空度が低い場合、脱水処理の継続時間を延長しても、圧縮強度の改善効果は、あまり期待できないことが分かった。

**キーワード**：真空脱水、床スラブ、真空度、表面硬度、ひっかき硬さ、圧縮強度分布

## 1. はじめに

筆者らは、従来の真空処理工法<sup>例えば1)</sup>の問題点を改善し、一般に軟練りコンクリートを使用する建築分野でも適用可能な新たな真空脱水締固め工法を考案し、基礎実験によって、その効果を例証した<sup>2), 3)</sup>。本工法の主な特長として、真空処理開始時期をコンクリートのブリーディングがほぼ終了する時期としたことと、セメント粒子をほとんど通さない処理マット(ろ過マット)を採用していることが挙げられる。真空脱水工法では、大気圧による締固めとブリーディング水の吸引により、圧縮強度、とくに床スラブで最も重要である下地コンクリートの表層部の性状を良好にすることができる。

これまでの一連の室内実験では、真空処理時の真空度[=真空脱水による吸引圧/大気圧(0.1MPa)]は90%前後で行ってきた。しかし、実際の施工現場では、この真空度は60~80%程度で、現場の状況によっては、この値を下回る可能性もある。したがって、真空脱水処理の効果を大気圧による圧密<sup>4)</sup>と考えると、真空度が下がった場合には、その効果が減少する恐れがある。

そこで本研究では、これらの問題を実験的に検証することを目的として、真空脱水処理時の真空度および処理継続時間の違いにより、コンクリートスラブ試験体の表層および内部強度分布性状がどのように異なるかを検討した。

## 2. 実験方法

本実験で使用した材料および調合表を表-1および表-2に示す。目標圧縮強度( $F_c$ )は20MPaとし、設計スランプは18cmとした。実験要因を表-3に示す。本実験で用いたスラブ試験体は、46(縦)×30(横)×18(高さ)cmの無筋コンクリートとし、真空度がそれぞれ30, 60, 90%で継続時間5分間の試験体、真空度を30%として継続時間を15分間に延ばした試験体(30%15分)、および真空度を60%として継続時間を7.5分間とした試験体(60%7.5分)に加え、真空処理を行わない試験体(以下、無処理)の計6体を作製した。

真空処理を行う試験体の処理開始時期は、ブリーディングがほぼ終了した打込み終了3時間30分後とした。なお、ブリーディング試験は、無処理試験体を用い、試験体打込み終了後に30

\*1 三重大学 工学部建築学科技術専門職員 (正会員)

\*2 三重大学 工学部建築学科教授 工博 (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 (株)建和 代表取締役 (正会員)

分間隔(3時間以降は15分間隔)で行った。図-1に、無処理試験体を用いたブリーディング試験の結果を示す。なお、図中には、参考として、並行して行った JIS A 1123(容器寸法 φ25×28.5cm)によるブリーディング試験の結果も併示した。

図-2に、本実験の真空処理工法の概略図を

示す。真空度は、図中に示す真空度調節コックの開放度で調節した。図-3に、各試験体の真空度の時刻歴を示す。コンクリート打込み時の雰囲気は、天候は晴れ、気温15℃、湿度46%であった。試験体表面はすべて鍍仕上げを行い、養生方法は実験室内湿布養生とした。

スラブ試験体内部の圧縮強度は、材齢28日に

表-1 使用材料

材料	性質
セメント	普通セメント, 密度: 3.15
細骨材	川砂, 硬質砂岩, 表乾密度: 2.59
粗骨材	砕石, 硬質砂岩, 表乾密度: 2.66
混和剤	高性能 AE 減水材, ポリカルボン酸系

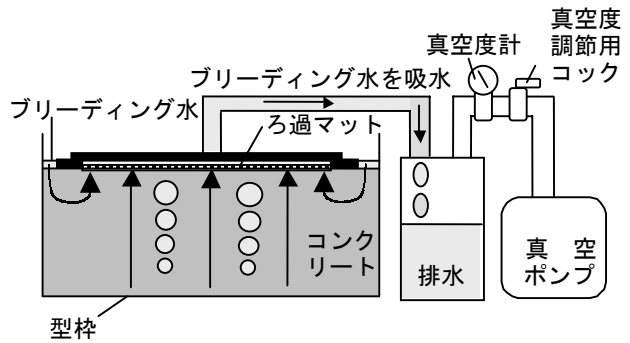


図-2 真空脱水処置の概略図

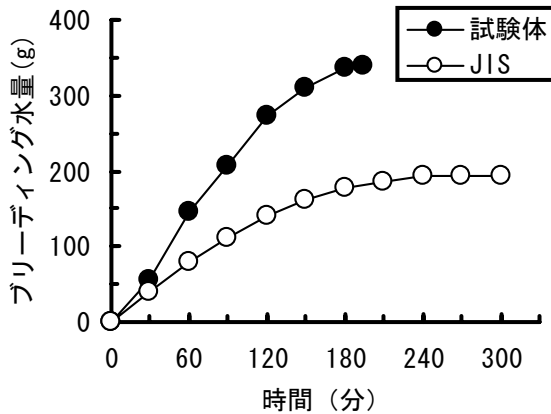


図-1 ブリーディング試験の結果

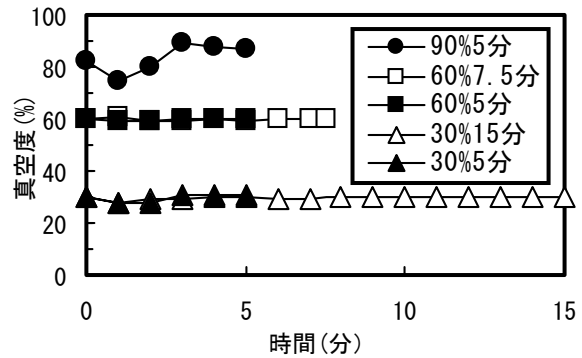


図-3 真空度の時刻歴

表-2 コンクリートの調合表

Fc (MPa)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位質量 (Kg/m <sup>3</sup> )				SP (C×%)	SL (cm)
				W	C	S	G		
20	3.8	65	56	185	285	993	801	0.85	17.3

注) Fc: 目標圧縮強度, Air: 空気量, W/C: 水セメント比, s/a: 細骨材率, W: 水, C: セメント, S: 細骨材, G: 粗骨材, SP: 高性能 AE 減水材, SL: 実測スランプ

表-3 実験要因

試験体	真空脱水			材齢 (日)	測定項目
	処理マット	開始時期	真空度 (%) *2, 継続時間 (分)		
Fc=20MPa SL=18cm スラブ厚さ=18cm	ろ過マット	ブリーディングほぼ終了時*1	30% (5分, 15分)	3 7 28	<ul style="list-style-type: none"> <li>ブリーディング試験 (JIS)</li> <li>真空度の時刻歴</li> <li>ブリーディング水の排水量</li> <li>反発硬度 (P型, N型ハンマ*3)</li> <li>引っ掻き硬さ (仕上学会方式)</li> <li>圧縮強度分布 (材齢28日) (φ5×5cm コア, 深さ方向3分割)</li> </ul>
			60% (5分, 7.5分)		
			90% (5分)		
	無処理				

注) Fc: 目標圧縮強度, SL: 目標スランプ, \*1: 打込み終了3時間30分後, \*2: 真空脱水による吸引圧/大気圧 (0.1MPa), \*3: N型ハンマは材齢7, 28日に測定。

図-4に示すように、試験体中央部の半径12cm以内からφ5cmのコアを鉛直方向に各4本採取し、コアをコンクリートカッターで3分割し、それぞれの層について測定した。

スラブ試験体の表面硬度は、P型およびN型テストハンマ、並びに、日本建築仕上学会の引掻き装置<sup>5)</sup>を用いて測定した。測定は、図-4に示す試験体端部およびコア採取位置より3cm離れた試験体上表面で行った。すなわち、各材齢ごとに、P型およびN型テストハンマによる反発硬度は、測定位置をそれぞれ3cm程度離して10点ずつ、引掻きキズ幅は、3箇所ずつ測定した。なお、表面硬度は、初期材齢からの硬度発現性状を把握するため、P型およびN型ハンマの圧縮強度の測定適用範囲(P型テストハンマ：5～15MPa、N型テストハンマ：15～60MPa)を考慮し、両者を共に使用し測定を行った。

### 3. 実験結果

#### (1) 排水量

図-5に、真空処理による排水量の測定結果を示す。ただし、無処理試験体については、ブリーディング試験によるブリーディング水量の累計を示す。図中には、単位水量に対する排水量の割合を脱水率(%)として、( )で併示した。

図によれば、真空処理の継続時間を5分間とした試験体(30%5分、60%5分、90%5分)では、真空度が高いほど排水量が多くなった。しかし、

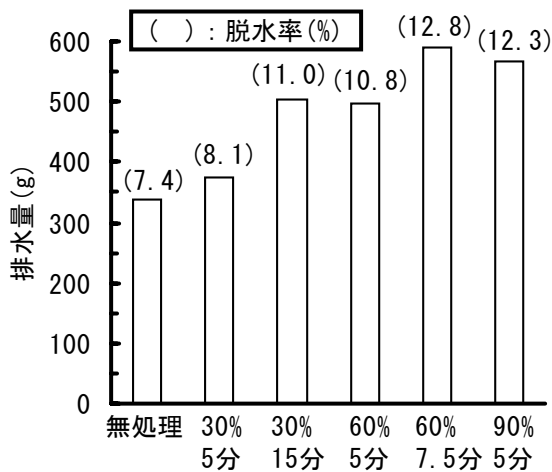


図-5 真空脱水による排水量

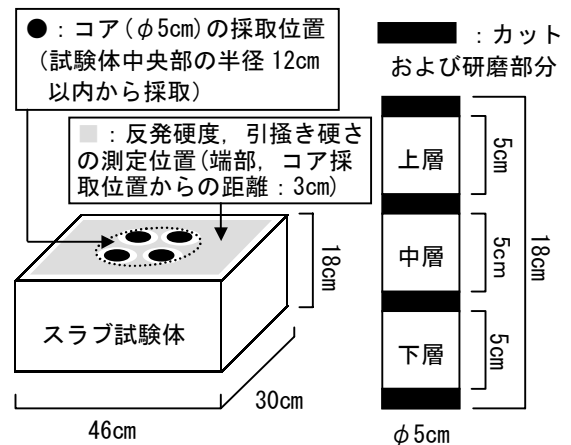
処理継続時間を延長した試験体では、60%7.5分の試験体の場合、90%5分の試験体と排水量がほぼ同等の値になり、30%15分の試験体では、これらの約85%の値となった。

図-6に、脱水率と真空処理の継続時間の関係を示す。図によれば、真空度が高い方が脱水率の増加速度は大きくなる。また、いずれの真空度においても脱水率の増加は、今回の実験で測定した処理継続時間内では収束していないといえる。

#### (2) 反発硬度

図-7および図-8に、P型テストハンマおよびN型テストハンマによる表面反発硬度と材齢の関係を示す。

図-7によれば、P型テストハンマによる反発硬度は、真空処理の継続時間を5分間とした



(a) コア採取位置の概略図 (b) コア試験体の概略図

図-4 試験体の概要

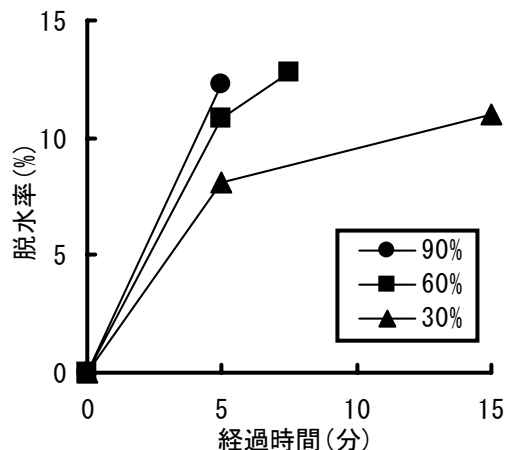


図-6 脱水率と経過時間の関係

試験体では、真空度が高い90%5分の試験体が最も大きくなった。なお、図-8のN型テストハンマの結果についても、P型テストハンマの結果と同様な傾向となった。

図-9には、材齢28日のP型テストハンマによる反発硬度と脱水率および真空度の関係を示す。

図(a)によれば、真空度30%および60%の場合、処理継続時間を延長すると脱水率は増加するものの、反発硬度は増加しない。

図(b)によれば、真空脱水処理を行った表面の反発硬度と真空度との間には、継続時間に関わらず、線形的な相関があると考えられる。すなわち、同じ調合のコンクリートの場合、真空度が同じであれば、真空脱水の継続時間を5分以

上延長させても、コンクリート表面の反発硬度はあまり変化しないと考えられる。無処理試験体の反発硬度が低くなっているが、これはコンクリート表面にブリーディング水が溜まったことによる品質低下と考えられる。

### (3) 引っ掻き硬さ

図-10に、日本建築仕上学会方式による引っ掻きキズ幅と材齢の関係を示す。

図によれば、引っ掻きキズの幅は、真空度が高い90%5分の試験体が最も小さくなり、反発硬度と材齢の関係と若干のバラツキはあるもののほぼ同様な傾向となった。

### (4) 圧縮強度分布

図-11に、コア供試体より得られた各試験体の高さ方向の圧縮強度分布を示す。

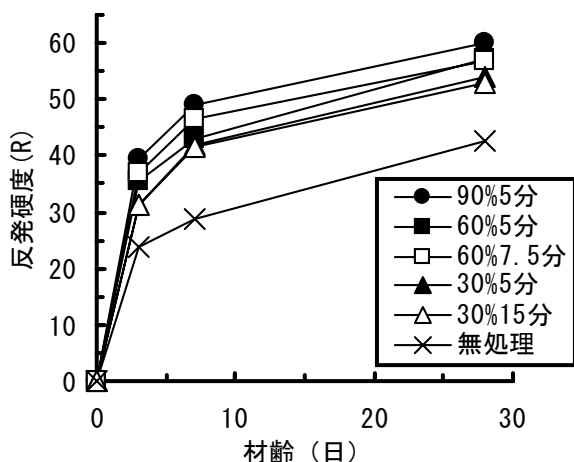


図-7 反発硬度と材齢の関係(P型ハンマ)

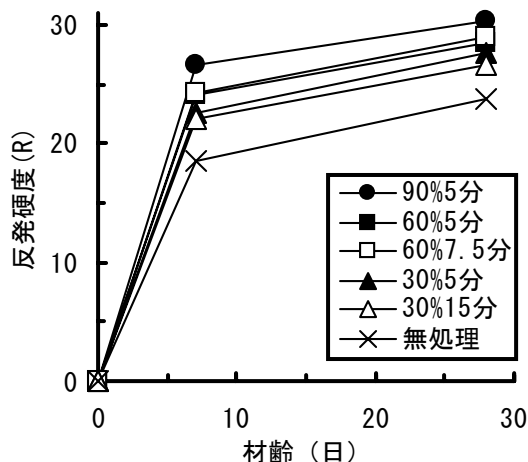
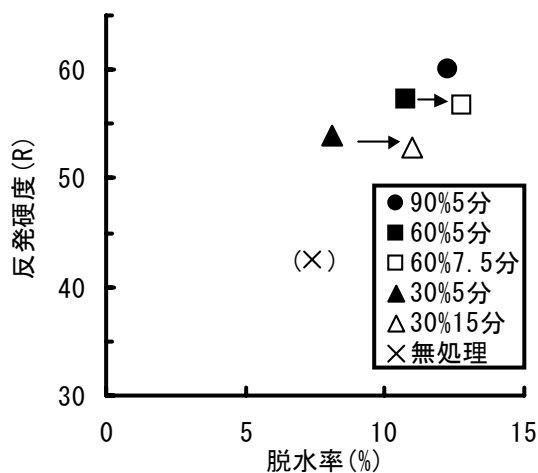
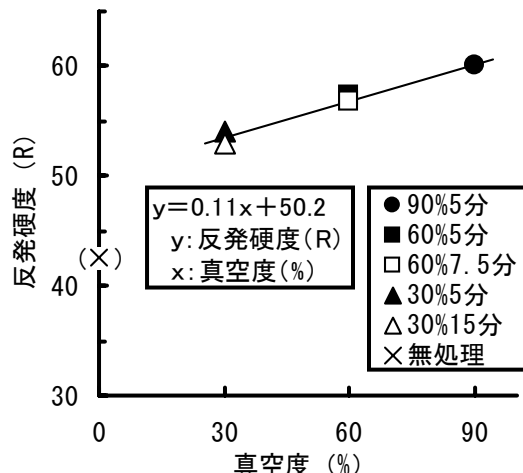


図-8 反発硬度と材齢の関係(N型ハンマ)



(a) 反発硬度と脱水率の関係



(b) 反発硬度と真空度の関係

図-9 P型テストハンマによる反発硬度と脱水率および真空度の関係(材齢28日)

図によれば、表層部である上層において、無処理試験体に対する圧縮強度の増加率は、真空度が高いほど大きくなった。また、処理継続時間の影響に関しては、真空度 60%の試験体と比較すると、処理継続時間を長くしても無処理試験体に対する強度増加率は上層において若干大きくなる程度であった。すなわち、中～下層では、真空度および処理継続時間の影響はあまり見られなかった。

以上のことから、真空脱水を行った試験体の無処理試験体に対する圧縮強度の増加率は、真空脱水処理時の大気圧(真空度)による締固め効果の影響を大きく受け、真空度が低い場合には、継続時間を延長しても、その改善効果は小さいといえる。

真空脱水過程では、水と一緒に空気も抜け、大気圧による圧密によってその分だけコンクリートの容積が減少すると考えられる。しかし、継続時間があまり長い場合には、脱水が過剰となり、コンクリートの容積は脱水量ほど減少せず、空隙(主に空気みち)を増加させる可能性もある<sup>2), 6), 7)</sup>。なお、この点については、更に詳細な検討<sup>6)</sup>が必要である。

図-12 に、圧縮強度試験に用いたコア供試体の密度分布を示す。

図によれば、図-11 の圧縮強度分布と比較して、これまでの一連の実験結果と同様に、無処

理試験体と 90%5 分の試験体には、良い相関性が見られたが、その他の真空度の小さい試験体では、それとは異なる傾向が見られた。この点も含め、脱水量と密度の関係などについては、圧密理論の適用<sup>4)</sup> および脱水メカニズムに関する基礎実験<sup>6)</sup> を通して、今後検討していく必要がある。

また、実際の施工現場においては、真空度をいかに下がらないようにするかが極めて重要な問題でもある。表-4 に、主に現場においてこれまでに発生した真空度低下の事例を示すが、このような現象の原因とその防止対策に関する検討も今後行っていく必要がある。

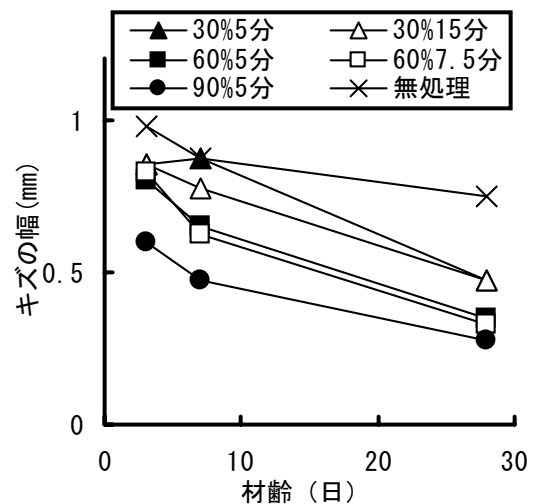


図-10 引っ掻きキズ幅と材齢の関係 (日本建築仕上学会方式: 9.8N)

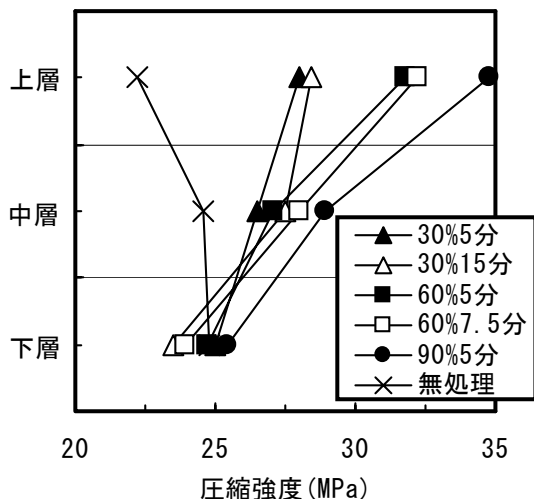


図-11 圧縮強度分布図

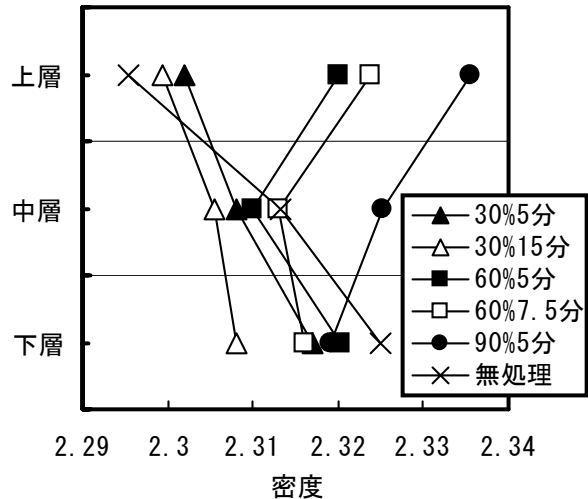


図-12 密度分布図

表-4 施工現場における真空度低下の要因

真空度の状況	現場の状況	真空度低下の原因の例
1) 最初から真空度が上がらない	①真空脱水の開始時期が遅れた時（スラブ表面が硬くなった時）	スラブ表面にノロの成分がなく（少なく）オーバーマットがスラブ表面に密着していない
	②夏期の炎天下環境（スラブ表面にこわばりができた時）	
	③スランブが小さいコンクリートを使用した時（ノロの成分が少ない時）	
	④スラブ厚さが薄い(8cm程度)場合（ノロの浮上が少ない）	
2) 途中から真空度が低下する	①スラブ表面付近に配管等がある場合	空気みちが発生している
	②スラブ厚さが薄い(8cm程度)場合	

#### 4. まとめ

真空脱水処理時の真空度および継続時間の違いにより、コンクリートスラブ試験体の表層および内部強度分布性状がどのように異なるかを検討した。本実験で得られた結果を以下に示す。

- 1) 真空処理の継続時間を5分間とした場合には、真空度が高い方が排水量は多くなる。
- 2) 材齢28日の試験体表面の反発硬度は、真空度が高いほど大きな値となった。
- 3) 真空脱水処理を行った試験体表面の反発硬度と真空度との間には、同一調合であれば、真空脱水の継続時間に関わらず相関性がある。
- 4) 真空脱水処理を行った試験体の無処理試験体に対する圧縮強度の増加率は、継続時間に関わらず、真空度が高いほど大きくなる。
- 5) 真空度が小さい場合、脱水処理の継続時間を延長しても、圧縮強度の改善効果は、あまり期待できない。

#### [謝辞]

本研究は、日本コンクリート工学協会「透水・脱水によるコンクリートの品質改善に関する研究委員会」（委員長：畑中重光）の一環として行われたものである。本実験に際して、山口武志氏（山口技研）、坂本英輔君（三重大学大学院生）の助力を得た。本研究費の一部は、2002年度セメント協会研究奨励金（代表：三島直生）によった。また、竹本油脂（株）からは高性能AE減水剤の、（株）マエックスからは粗骨材の提供を頂いた。付記して謝意を表す。

#### [参考文献]

- 1) 高林利秋：真空コンクリート工法，理工図書，1962.7
- 2) 畑中重光，和藤浩，三島直生，村松昭夫：真空脱水工法によるコンクリート床スラブの表層および内部強度分布性状改善に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，No. 558，pp. 7-14，2002.8
- 3) 和藤浩，村松昭夫，山口武志，畑中重光：真空脱水締固めを行ったコンクリート床スラブの表層および内部強度に及ぼす処理マット網目径の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol. 24，No. 1，pp. 327-332，2002.6
- 4) 服部宏己，畑中重光，三島直生，和藤浩：圧密理論を適用したモルタルの脱水メカニズムに関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol. 25，No. 1，pp. 881-886，2003.7
- 5) 湯浅昇，笠井芳夫，松井勇：引っかけ傷によるコンクリートの表面強度測定方法，日本建築学会大会学術講演梗概集，A-1，pp. 677-678，1999.9
- 6) 坂本英輔，服部宏己，三島直生，畑中重光：可視化モデル材料を用いた真空脱水コンクリート中の空気泡の挙動に関する実験的研究，日本建築学会東海支部研究報告集，No. 42，pp. 133-136，2004.2
- 7) 陳滄耀，和美広喜，柿崎正義：真空コンクリート工法による床スラブの施工性に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，A-1，pp. 383-384，1979.9