

論文 真空脱水締固め工法によるコンクリート床スラブの内部強度分布の改善

和藤浩*1・村松昭夫*2・山口武志*3・畑中重光*4

要旨: 筆者らは、コンクリート床スラブの表層強度改善を目的として開発された従来の真空処理工法（従来工法）の問題点を改善し、建築分野の軟練りコンクリートにも適用可能な新たな工法を提案（提案工法）することを目的として一連の実験を行ってきた。本報では、広範囲な強度レベルのコンクリート試験体について、ブリーディングなどによって生じる鉛直方向の強度分布を調べるとともに、提案工法による改善効果を検討した。また、実際の施工現場で生じる床スラブ上の位置による表面硬度のバラツキを調べ、提案工法によってこのバラツキがどの程度まで抑えられるかを検討した。

キーワード: 真空脱水, 床スラブ, ブリーディング, 強度分布, 反発硬度, ひっかき硬さ

1. はじめに

コンクリート床スラブでは、ブリーディングにより、表面に不可避の弱化層が生じる。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。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真空処理工法^(例えば1) - 4)があるが、建築分野で定着するには至らなかった⁵⁾。

筆者らは、従来の真空処理工法（以下、従来工法）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（以下、提案工法）を考案し、基礎実験によって、その効果を例証した⁵⁾。図-1に本工法の概要を、図-2に従来工法との主な比較を示す。提案工法の最も大きな特長は、セメント粒子の損失を防ぐろ過マットの使用、および真空脱水の開始時期をコンクリートのブリーディング終了後（本実験では120分後）に遅らせたことである。

本報では、広範囲な強度レベルのコンクリート試験体について、ブリーディングなどによって生じる鉛直

方向の強度分布を調べるとともに、提案工法による改善効果を検討した。また、実際の施工現場で生じる床スラブの表面硬度のバラツキを調べ、提案工法による抑制効果を検討した。

2. スラブの内部強度分布(実験室実験)

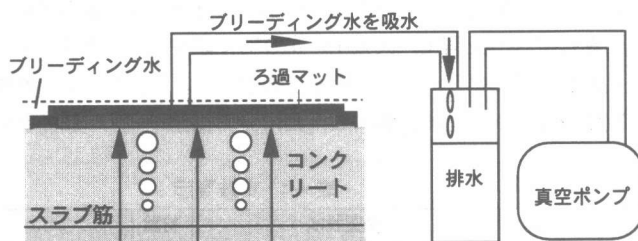


図-1 真空脱水締固め工法の概略図

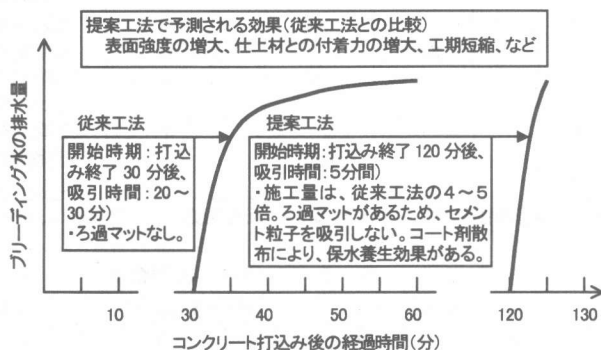


図-2 従来工法と提案工法の主な比較

* 1 三重大学技術官 工学部建築学科 (正会員)
 * 2 楳建和 代表取締役 (正会員)
 * 3 山口技研
 * 4 三重大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

2.1 実験方法

(1) 実験要因

表-1に本実験の要因を表-2にコンクリートの調査表を示す。目標圧縮強度(F_c)は10, 20, 30, 40MPaとし、設計スランプ(SL)は、各強度レベルとも18cmとした。なお、本実験のうち、 $F_c=20$ MPaのシリーズは、既に報告したものの一部である⁵⁾。ただし、打設時期を除けば、他シリーズと実験条件が全く同じであり、本報では一連の実験として取りまとめている。

(2) 試験体

4種類のコンクリート ($F_c=10, 20, 30, 40$ MPa) のそれぞれに対し、スラブ用の試験体 (60(長さ)×40(幅)×24(高さ)cm) を3体、標準円柱試験体 ($\phi 10 \times 20$ cm) を3本作成した。

(3) 測定項目と測定方法

測定項目を表-1に示す。フレッシュコンクリートについては、まず真空処理により吸引される水量 (L/m^2 (1L = 1 dm³)) を測定した。なお、真空処理しない試験体 (ここでは、無処理試験体と称する) については、打込み120分後に真空度 (=吸引圧/大気圧) が0%に限りなく近い状態でブリーディング水を吸引した。

次に、吸引水を絶乾状態にし、固形分の重量

を測定した。本実験で使用した真空ポンプの性能は、100V, 200W, 排気能力0.1MPa (毎分40L) である。なお、真空処理を行った試験体については、真空度に顕著な差はなかった (おおよそ70±10%)。

スラブ試験体の表面硬度は、N型およびP型テストハンマ、並びに、ひっかき装置^{6) - 9)}を用いて測定した。

スラブ試験体内部の圧縮強度は、試験体より $\phi 5$ cmのコアを各4本採取し、図-3に示すように、コアをコンクリートカッターで切断 (4分割) し、それぞれの層について測定した。

2.2 実験結果

(1) 排水量

ブリーディング水量および真空脱水による排水量を図-4に示す。図によれば、排水量は、圧縮強度が高くなるほど少なくなり、 $F_c=40$ MPaレベルのコンクリートでは、極端に少なくなっている。また、真空処理を行った場合の排水量は、無処理の場合の2倍 (10, 20, 30MPaレベル) ~ 5倍程度 (40MPaレベル) と多かった。

(2) 固形分量

排水中の固形分の重量を図-5に示す。図に

表-1 実験要因

F_c (MPa)	SL (cm)	真空脱水			材齢 (日)	測定項目
		ろ過 マット	開始時間 (分後)	コート剤 散布		
10	18	使用	30	無	28	<ul style="list-style-type: none"> ブリーディング水の排水量 排水中の固形分量 反発硬度* (P型ハンマ、N型ハンマ) ひっかき硬さ* (三重大方式、仕上学会方式) 圧縮強度分布 ($\phi 5$cmコア、4分割)
20			120			
30		無処理				
40		無処理				

注) F_c : 目標圧縮強度、SL: 目標スランプ、*: 反発硬度、ひっかき試験は、材齢3日、7日も行った。

表-2 コンクリートの調査表

F_c (MPa)	W*/C (%)	S/a (%)	単位重量 (Kg/m ³)				SP (C×%)	SL (cm)
			W*	C	S	G		
10	80	52	195	243	945	884	0.2	18
20	65	50	185	285	904	917	0.4	
30	55	49	180	327	874	924	0.5	
40	40	47	175	438	802	918	0.6	

注) F_c : 目標圧縮強度、W*/C: 水セメント比 (W* (水+高性能AE減水剤(SP))), S/a: 細骨材率、C: セメント、S: 細骨材、G: 粗骨材、SL: 目標スランプ

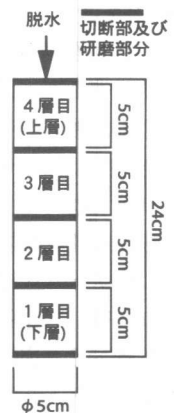


図-3 コア試験体の概略図

よれば、既報⁵⁾と同様に、ろ過マットを使用し
て脱水を行った試験体では、無処理の試験体に
比べ固形分の損失重量が少なく（排水量の少な
い $F_c=40\text{MPa}$ シリーズを除く）、その量は、脱
水時期が遅いほど少なくなる傾向がある。さら
に、排水中に占める固形分の割合（図中の表の
数字）も、コンクリートの強度レベルにかかわ

らず、脱水処理時期が遅いほど小さくなってい
る。すなわち、脱水時期をブリーディング終了
後まで遅らせることによって、セメント分の損
失を少なくできると考えられる。

(3) 反発硬度

P型テストハンマによる表面反発硬度と材
齢との関係を図-6に示す。なお、図中には参

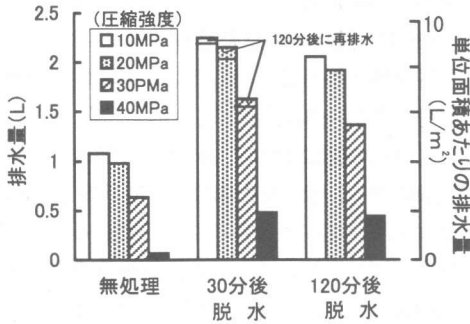


図-4 ブリーディング水の排水量
(試験体面積: 0.24m^2)

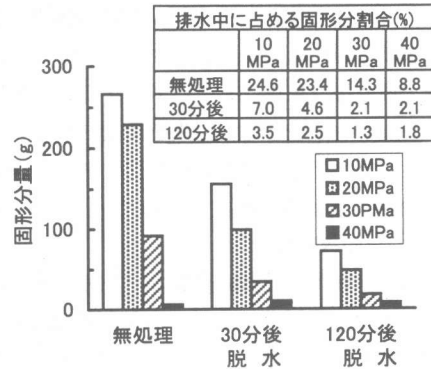
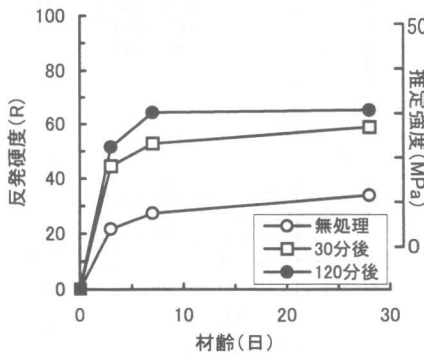
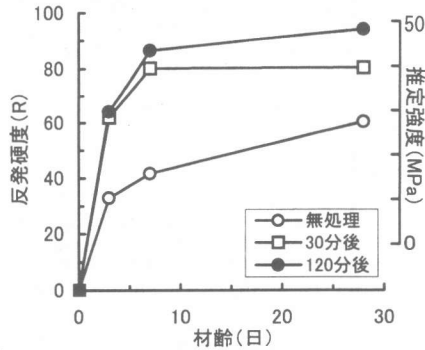


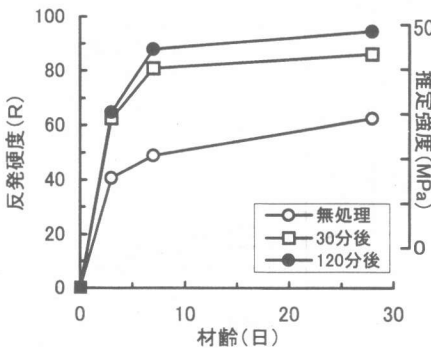
図-5 排水中の固形分量



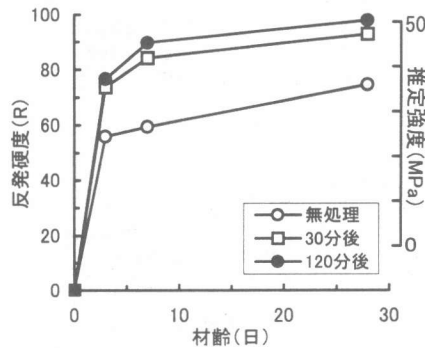
(a) 10MPa



(b) 20MPa



(c) 30MPa



(d) 40MPa

図-6 反発硬度と材齢の関係(P型ハンマ)

考値として日本材料学会式による推定強度をMPaに換算し併示した。図によれば、強度レベルにかかわらず真空処理した試験体では、無処理のものと比較して初期材齢における表面強度の発現が極めて良好である。また、真空処理による表面強度(材齢28日の推定値)の増分量は、およそ15~25MPaである。ここで、20~40MPaレベルのコンクリートでは、真空処理を行うことにより、材齢28日の表面強度の推定値がほぼ等しくなっている。このことは、第3章で取り扱う現場におけるスラブの表面性状のバラツキを減少させる効果を予測させるものである。図には示していないがN型テストハンマの試験結果も同様な傾向となった。

(4) ひっかき硬さ

筆者らが試作した試験装置^{6), 7)}(垂直力: 15N)を使用して得られたひっかきキズの幅と材齢の関係を図-7に示す。今回の試験体は、表

面付近だけが強いいため、内部を含めた平均強度との関係^{6), 7)}は論じることができないが、図によれば、強度レベルにかかわらず、ひっかきキズの幅は材齢とともに減少しており、上記の反発硬度と相関性があるといえる。なお、図には示していないが、日本建築仕上学会方式^{8), 9)}のひっかき試験装置(4.9Nと9.8N)を用いた場合も、垂直力に比例する形で図-7と同様な傾向が得られた。

(5) コア試験体の圧縮強度

各試験体から切り出したコア試験体の圧縮強度分布を図-8に示す。

これらの図によれば、いずれの強度レベルの試験体でも、無処理の場合は、最下層(1層目)より上層(2~4層目)にいくに従って、圧縮強度は漸減していく。なお、試験体の上下層の圧縮強度の差は、コンクリートの強度レベルにかかわらず、おおよそ2~3MPa程度であった。

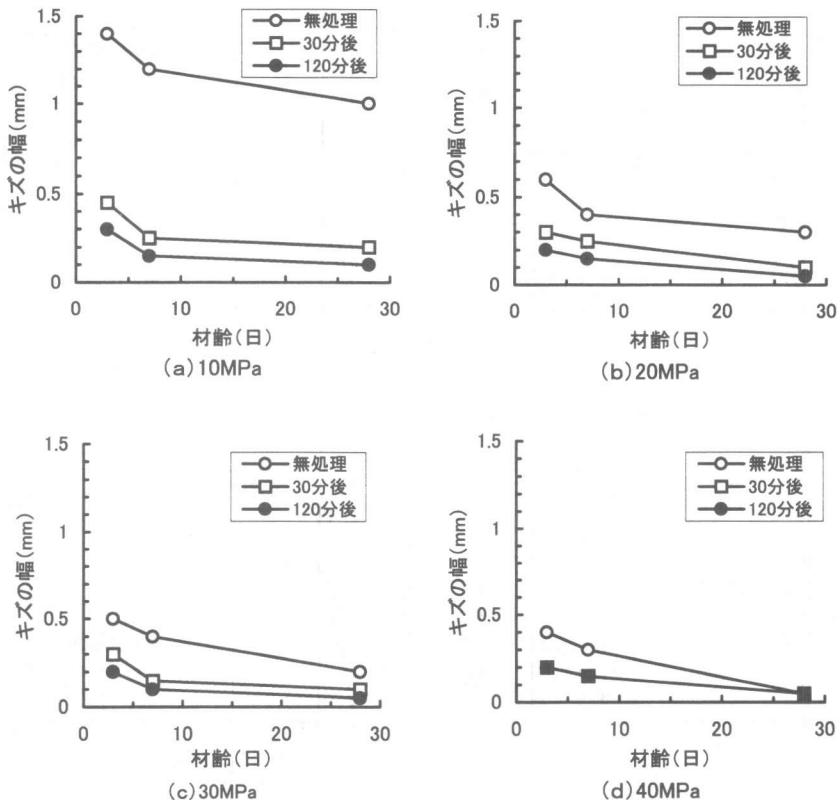


図-7 ひっかきキズと材齢の関係(垂直力15N)

ただし、これら無処理の試験体の表層部（表面から2～3mm程度）の圧縮強度は図の値よりもさらに小さいものと考えられる。

一方、真空脱水処理した試験体では、逆に、上層にいくに従って圧縮強度が増加している。脱水時期の影響については、いずれの強度レベルの試験体も120分後脱水の方が30分後脱水より圧縮強度が大きくなり、その差は上層にいくに従って顕著になっている。この上下層の強度差は、120分後脱水の場合でおおよそ10～15MPaである。また、真空処理が及ぶ範囲は、深さ15cm程度までであると考えられ、スラブ最下層部のコア強度は、真空処理の有無にかかわらずほぼ等しい。

3. スラブの表面硬度のバラツキ(現場実験)

3.1 実験方法

実際の施工現場で生じる床スラブの表面硬度

のバラツキについて調べるとともに、提案工法によってそのバラツキがどの程度抑えられるかを検討することにした。施工現場は、4つの異なるRC造建築現場で、使用されたレディーミクストコンクリートの種類はそれぞれ表-3に示すとおりである。表中の真空処理とは、2.の実験室実験と同様な真空脱水処理(提案工法)を行ったもので、「こて仕上げ」とは真空脱水処理を行わない通常の仕上げ方法のことである。

表面硬度はN型テストハンマで測定するものとした(材齢16～21日)。測定箇所は図-9に示すように、スラブ上面で1×10mの範囲の12ポイントとし、各ポイントにおいて3cm以上離れた5点の測定値の平均を各ポイントの反発硬度とした。

3.2 実験結果

施工現場における床スラブの表面硬度の測定結果を図-10に示す。なお、図の縦軸には、

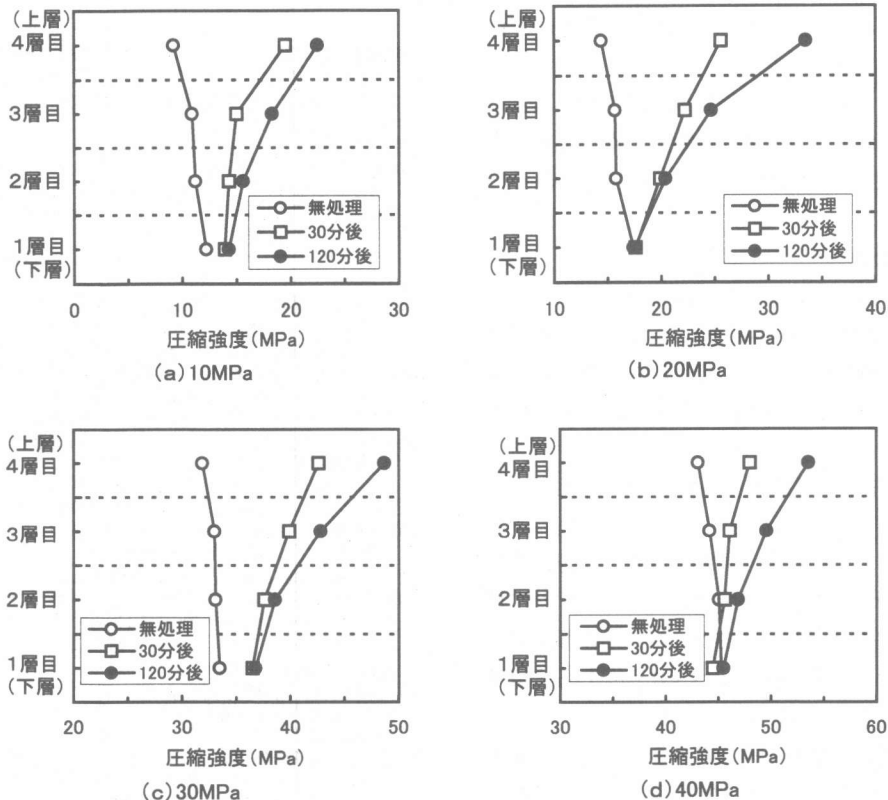


図-8 高さ方向の圧縮強度分布

表-3 レディーミクストコンクリートの種類

仕上げ工法	現場	コンクリート	打設日
真空処理	A	24-18-25N	H10.7.15
	B	21-18-20N	H10.5.30
こて仕上げ (無処理)	C	24-15-25N	H11.8.28
	D	21-18-20N	H11.9.1

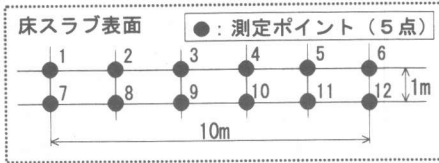


図-9 反発硬度の測定箇所

参考として日本材料学会式による推定強度（材齢補正なし）を併示してある。図によれば、真空処理を行ったスラブの表面硬度は無処理のものに比べてかなり大きいばかりでなく、そのバラツキも格段に小さい。すなわち、無処理の場合、反発硬度のバラツキは $\Delta R = 5$ （強度にして6.5MPa）程度であるのに対し、真空処理を行ったものでは $\Delta R = 2$ （強度にして2.5MPa）程度に抑えられている。

以上のことから、真空脱水処理を行うことにより、現場床スラブの表面性状の安定化という新たな改善効果を期待して良いと考えられる。

4. まとめ

- 1)排水中に占める固形分の割合は、コンクリートの強度レベルが高いほど、また、一般に真空処理開始時期が遅いほど小さくなり、セメント分の損失を少なくできると考えられる（図-5）。
- 2)スラブ試験体内部の圧縮強度は、無処理の場合、最下層（1層目）より上層（2, 3, 4層目）にいくに従って漸減した。一方、真空処理を行った場合は、逆に、上層にいくに従って圧縮強度が増加した。これらの傾向は、コンクリートの強度レベルにかかわらずほぼ同様である（図-8）。
- 3)真空処理の開始時期を打設後 30分（従来工法）および 120分（提案工法）とした場合、表面のひっかき硬さ、反発硬度、内部強度分

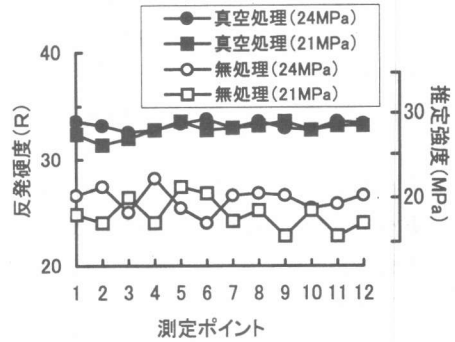


図-10 床スラブの表面硬度のバラツキ（施工現場の建築床スラブ）

布などの強度性状は、コンクリートの強度レベルにかかわらず、打設後 120分の方が良好であるといえる（図-4, 図-6~図-8）。

- 4)真空脱水処理を行うことにより、現場床スラブの表面性状の安定化という新たな改善効果を期待して良いと考えられる（図-6, 図-10）。

【謝辞】 本実験に際し、ご協力を得た石田哲将氏（楸建和）、山本景司君（三重大学工学研究科建築学専攻）および渡辺真哉君（三重大学工学部建築学科）に謝意を表します。

【参考文献】

- 1)柿崎正義, 和美廣喜, 他: 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実験研究, 鹿島技術研究所年報, 第27号, pp.81-84, 1979.
- 2)児玉武三: 真空処理後のコンクリートの性質, セメント・コンクリート, Vol.16, pp.284-289, 1962.
- 3)細川潮, 尾崎初, 菅田紀之: 真空処理によるコンクリートの耐久性の改善, セメント・コンクリート論文集 No.43, pp.210-215, 1989.
- 4)中沢隆雄, 谷川和夫, 黒崎達雄: 真空処理がコンクリートの強度に及ぼす影響, セメント・コンクリート論文集, No.44, pp.342-347, 1990.
- 5)和藤浩, 村松昭夫, 山口武志, 畑中重光: 真空脱水締固め工法による建築床スラブコンクリートの性能改善, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, pp.1393-1398, 1999.
- 6)和藤浩, 王曉梅, 畑中重光: 劣悪コンクリートの強度推定に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19-2, pp.357-362, 1997.
- 7)和藤浩, 王曉梅, 畑中重光, 谷川恭雄: 劣悪コンクリートの簡易診断方法に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20-1, pp.341-346, 1998.
- 8)土田恭義, 小野寺善弘, 他: 床下地表面硬さの簡易測定方法に関する研究-その3 引掻き硬さ測定器の検討-, 日本建築仕上学会大会学術講演会研究発表論文集, pp.9-12, 1997.
- 9)湯浅昇, 笠井芳夫, 松井勇: 引っかき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.