

論文 床スラブコンクリートの真空脱水締固め工法における諸要因の影響

和藤浩*1・畑中重光*2・山本景司*3・村松昭夫*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、試験体内部の強度分布がスラブ厚さおよび処理開始時期によってどのように異なるかを調べるとともに、提案工法による改善効果を検討した。

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

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), 6)}。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（その他、それぞれの工法の特長・欠点は、参考文献⁵⁾を参照）。提案工法の最も大きな特長は、セメント粒子の損失を最小限に防ぐるろ過マットを使用したこと、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（おおよそ120分後）に遅らせたことである。

これまでの実験^{5), 6)}では、スラブ厚さは24cmとした。しかし、実際

の現場で施工されているスラブは、厚さ12~20cmぐらいであり、筆者らが実験で取り扱ってきたものより薄い。なお、これまでの実験によれば、真空脱水処理が及ぶと考えられる範囲はスラブ表面から深さ15cmぐらいまでである。従来の真空コンクリート工法については、柿崎らによりスラブ厚さ(10, 15, 20cm)および真空処理継続時間を要因とする実験が行われている¹⁾。

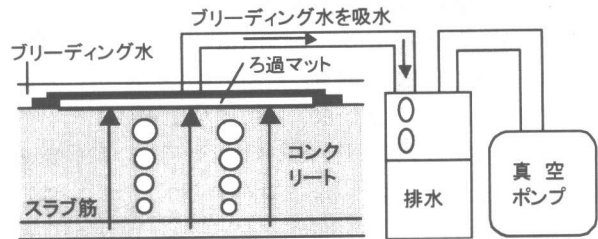


図-1 真空脱水締固め工法の概略図

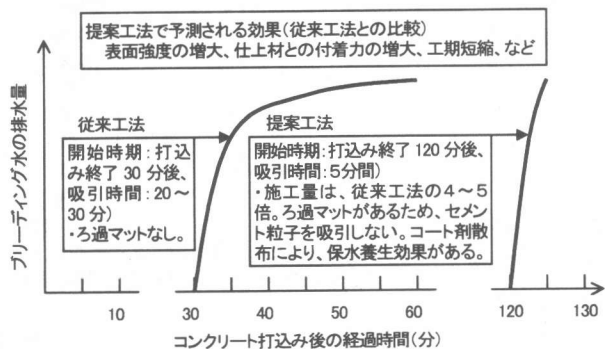


図-2 従来工法と提案工法の主な比較

- * 1 三重大学技術官 工学部建築学科（正会員）
- * 2 三重大学教授 工学部建築学科 工博（正会員）
- * 3 ㈱永楽開発 設計部 工修（正会員）
- * 4 ㈱建和 代表取締役（正会員）

本研究では、スラブ厚さ（12, 18, 24cm（実験Ⅰ））および真空脱水処理開始時期（打込み終了0, 30, 60, 120, 240分後（実験Ⅱ））によって、提案工法の効果がどのように異なるかを検討した。

2. 実験方法

2.1 実験要因(実験Ⅰ, Ⅱ)

実験ⅠおよびⅡの2シリーズの実験要因を表-1に、コンクリートの調査表を表-2にまとめて示す。各シリーズとも目標圧縮強度(F_c)は20MPaとし、設計スランプ(SL)は、18cmとした。打設時期は、実験Ⅰが8月、実験Ⅱが11月である。

2.2 試験体

(1)実験Ⅰ(スラブ厚さの影響)

スラブ用の試験体 46 (縦)×30 (横)×12, 18, 24cm (高さ) のそれぞれに対し、真空脱水処理を行う試験体と行わない試験体（以下、無処理試験体Ⅰ）を2体ずつ計6体作製した。

(2)実験Ⅱ(処理開始時期の影響)

スラブ用の試験体 46 (縦)×30 (横)×18cm (高さ) に対し、真空処理開始時期が異なる試験体（打込み終了0, 30, 60, 120, 240分後）を5体、真空脱水処理を行わない試験体（無処理試験体Ⅰ, Ⅱ）を2体の計7体作製した。

なお、実験Ⅰ, Ⅱとも標準試験体（ $\phi 10 \times 20$ cm）を3本ずつ作製した。また、真空脱水処理の継続時間はすべて5分間とした。

2.3 測定項目と測定方法(実験Ⅰ, Ⅱ)

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、まず真空処

理により吸引される水量 (kg) を測定した。なお、無処理試験体Ⅰは、打込み120分後に真空度（＝（大気圧－到達圧力）／大気圧）が限りなく0%に近い状態でブリーディング水を吸引し、無処理試験体Ⅱは、ブリーディング水を全く除去しなかったものである。次に、吸引水を絶乾状態にし、固形分の質量を測定した。

本実験で使用した真空ポンプの性能は、100V, 200W, 到達圧力9.3Pa（毎分60L）である。

スラブ試験体の表面硬度は、N型およびP型テストハンマを用いて測定した。

スラブ試験体内部の圧縮強度は、2シリーズとも試験体より $\phi 5$ cmのコアを各4本採取し（実験Ⅱはスラブ厚さ18cmのみ）、図-3に示すように、コアをコンクリートカッターで5cmの高さに切断し、それぞれの層について測定した。

3. 実験結果Ⅰ(スラブ厚さの影響)

3.1 排水量

真空脱水処理による排水量（無処理の場合はブリーディング水量）を図-4に示す。図によれば、排水量およびブリーディング水量ともに、スラブ厚さが大きいほど多い。スラブ厚さが24cmの試験体では、真空脱水による排水量は、無処理試験体Ⅰのブリーディング水量の約5倍、

表-1 実験要因

F_c (MPa)	SL (cm)	スラブ 厚さ (cm) 実験Ⅰ	真空脱水			材齢 (日)	測定項目
			ろ過 マット	開始時期 (分後) 実験Ⅱ	コート剤 散布		
20	18	12	使用	0	無	3	・ 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) ・ 圧縮強度分布(28日) ($\phi 5$ cm コア)
		18		30		7	
		18		60		7	
		24		120		28	
			無処理Ⅰ, 無処理Ⅱ				

注) アンダーラインは、基準となるものを示す。 F_c : 目標圧縮強度、SL: 設計スランプ
無処理Ⅰ: ブリーディング水を排水、無処理Ⅱ: 排水せず

表-2 コンクリートの調査表(実験Ⅰ, Ⅱ)

F_c (MPa)	W^*/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				SP (C×%)	SL (cm)
			W^*	C	S	G		
20	65	50	185	285	904	917	0.4	18

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: 設計スランプ

スラブ厚さが 12cm の試験体で約 3 倍となった。

なお、真空脱水処理時の真空度は、スラブ厚さにかかわらず、脱水開始後 3～4 分経過時までは 85～90% 程度で一定であったが、その後、スラブ厚さ 24cm の試験体で 80%、18cm の試験体で 75%、12cm の試験体で 60% 程度にまで低下した。スラブ厚さが薄いと、真空脱水開始 3～4 分で上下に貫通する水みちが形成される可能性がある。

3.2 固形分量

図-5 に排水中の固形分量を示す。図によれば、どの試験体においても若干ではあるが試験体中のセメント分を水と共に吸い取っていることが分かる。真空脱水を行った試験体では、排水中に含まれる固形分（セメント分）の割合は排水量の 5% 前後であり、試験体の厚さに関わらず、練混ぜに使用したセメント量のおよそ 0.4～0.5% が真空脱水処理によって吸い出されている。

また、練混ぜに使用した水量に対する脱水量（排水量－固形分量）の割合（図-4 中の脱水率）は、スラブ厚さが 24cm の試験体で 14%、18cm の試験体で 16%、12cm の試験体で 12% 程度となった。これは、柿崎ら¹⁾ の行った実験の報告と比較すると、脱水時間や脱水開始時期の要因が違ふもののほぼ同じ傾向である。

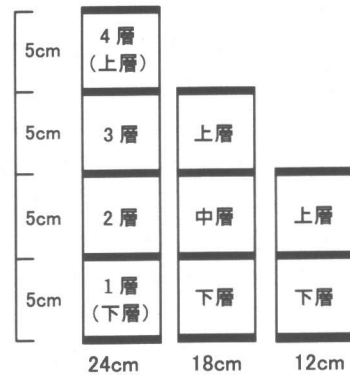
3.3 反発硬度

P 型テストハンマによる試験体表面の反発硬度と材齢との関係を図-6 に示す。図によれば、スラブ厚さに関わらず、真空処理した試験体は、既報の一連の実験と同様^{5), 6)}、無処理試験体と比べ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、真空脱水の有無に関わらず、スラブが薄くなると反発硬度（材齢 28 日）も小さくなる傾向が見られる。これは、スラブが薄くなると P 型テストハンマの反発エネルギーが一部逸散してしまうことも原因だと考えられる。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。

3.4 コア試験体の圧縮強度と単位容積質量

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-7 に示す。これらの図によれば、

いずれのスラブ厚さの試験体においても、無処理試験体の場合は、ブリーディングの影響により最下層から上層にいくに従って、圧縮強度は



試験体(スラブ厚さ)

図-3 コア試験体概略図

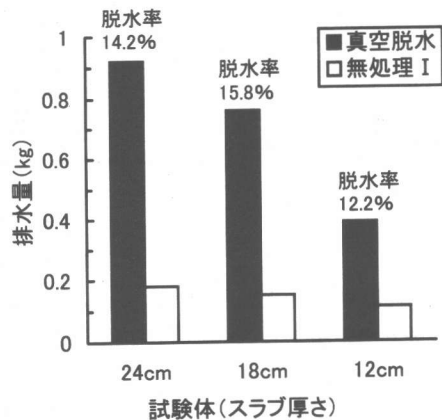


図-4 排水量(実験 I)

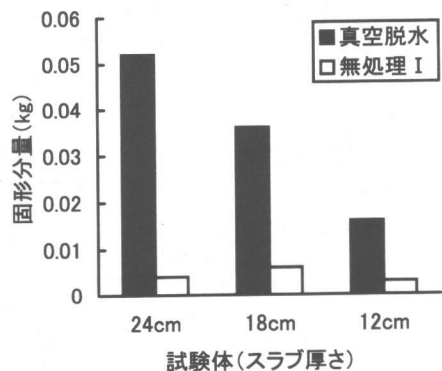


図-5 排水中の固形分量(実験 I)

漸減していく。一方、真空脱水試験体では、真空脱水処理により余剰水が抜き取られることから、これまでの一連の実験と同様^{5), 6)}, 圧縮強度は下層から上層に行くに従って増加している。

スラブ厚さが 24cm の試験体の内部強度分布を見ると、前回の実験結果⁶⁾と同様に、今回の実験でも真空脱水のおよぶ範囲は試験体上部からおよそ 15cm までと考えられる。スラブ厚さが 12cm と 18cm の試験体下層部の圧縮強度は真空脱水処理によって増加しており、その程度はスラブが薄いほど著しい。このことから、真空脱水処理の効果は表面からの距離に依存し、スラブ厚さの影響は相対的に小さいと考えられる。

同じコア試験体について単位容積質量の高さ方向分布を図-8に示す。図-7の圧縮強度分布と同様な傾向が得られている。この結果から、真空脱水処理により余剰水が吸い取られると同時に、試験体上部から順次締め固められていることが考えられる。

4. 実験結果Ⅱ (処理開始時期の影響)

4.1 排水量

真空脱水処理による排水量または無処理の場合のブリーディング水量を図-9に示す。図によれば、排水量およびブリーディング水量は、真空脱水処理を打込み直後(0分後)に行った試験体を除き、開始時期が遅くなるほど少なくなった。0分後の試験体が30分後の試験体より少なかったのは、打込み直後で、

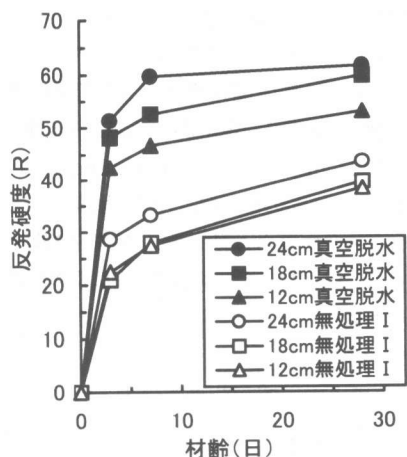
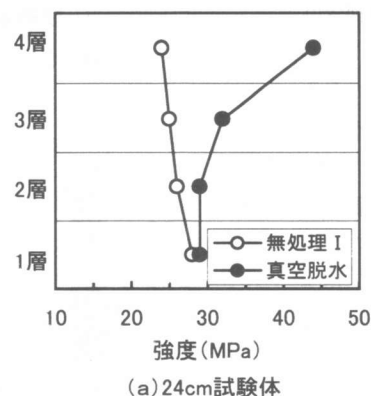
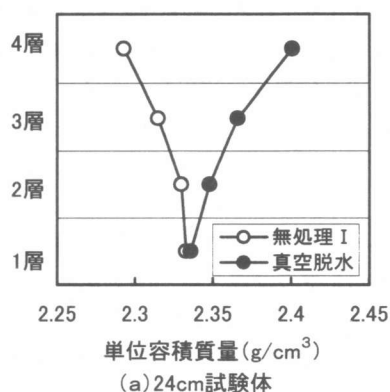


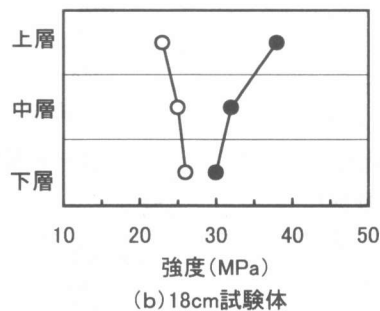
図-6 反発硬度と材齢の関係(実験Ⅰ)



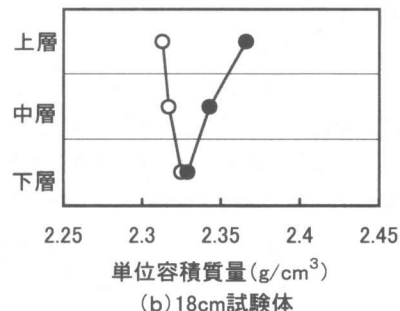
(a) 24cm試験体



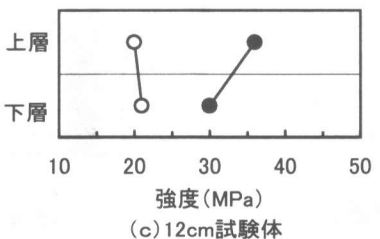
(a) 24cm試験体



(b) 18cm試験体

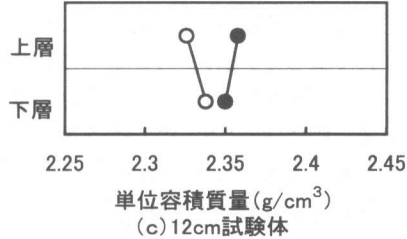


(b) 18cm試験体



(c) 12cm試験体

図-7 圧縮強度分布(実験Ⅰ)



(c) 12cm試験体

図-8 単位容積重量(実験Ⅰ)

まだブリーディング水が上部に浮上し始めていないためであると考えられる。

図-10 に真空処理工程中の真空度の推移を示す。図によれば、打込み終了120 分後に処理した試験体では、経過4 分まで真空度が一定であり、他の試験体と比較すると安定した値であった。

4.2 固形分量

排水中に含まれる固形分（セメント分）の割合は、実験Ⅰとはほぼ同様であった。

また、脱水率は、打込み終了0 分後を除き、処理開始時期が遅くなるほど小さくなった（図-9）。

4.3 反発硬度

P 型テストハンマによる試験体表面の反発硬度と材齢との関係を図-11 に示す。図によれば、処理開始時期にかかわらず、真空処理した試験体は、無処理試験体と比べ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。真空脱水を行った試験体を比較すると、処理開始時期が遅くなるほど材齢 28 日の反発硬度は大きくなるという明確な傾向が見られた。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。

4.4 コア試験体の圧縮強度と単位容積質量

各試験体から切り出したコア試験体の高さ方向の圧縮強度分布を図-12 に示す。図によれば、打込み終了 240 分後に処理した試験体を除き、真空脱水処理した試験体の圧縮強度は下層から上層に行くに従って増加している。上層と下層の差は、120 分後に処理した試験体が 12MPa と最も大きく、他の試験体については、7 ～ 9 MPa 程度であった（240 分後を除く）。240 分後に処理した試験体については、表面の反発硬度は大きいものの（図-11 参照）、中層で圧縮強度の低下がみられ、上層の圧縮強度も他の真空脱水処理した試験体より小さくなった。このことから、

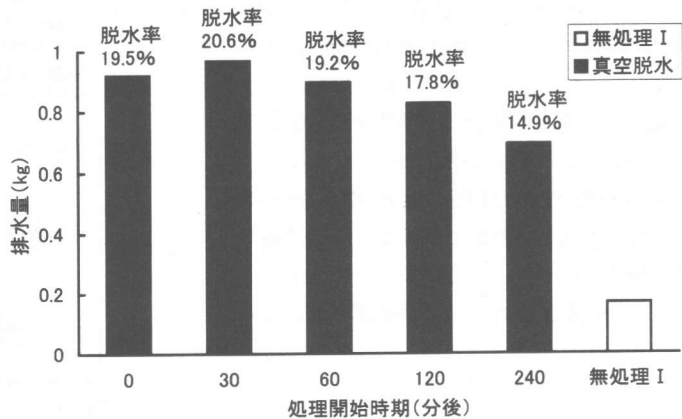


図-9 排水量(実験Ⅱ)

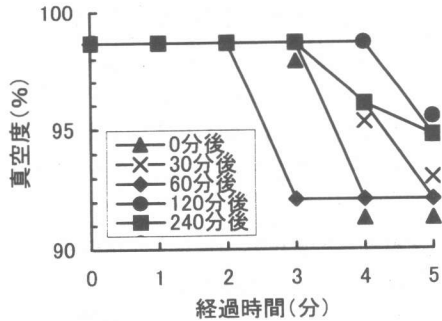


図-10 真空度の推移(実験Ⅱ)

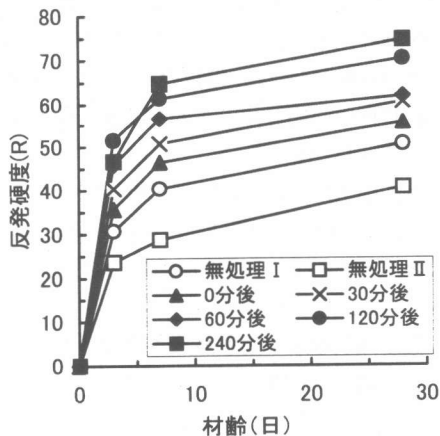


図-11 材齢と反発硬度の関係(実験Ⅱ)

打込みから 240 分後にはブリーディングが完全に終了し、コンクリートの凝結が始まったため、真空脱水処理を行っても内部にまで締め効果が及ばなかったものと考えられる。なお、0～60 分後に処理した試験体は、処理後にも引き続きブリーディング現象がみられた。

真空処理開始時期が打込み終了 120 分後の試験体では、表層から内部にかけての圧縮強度が他の試験体と比べて、とくに大きいことから、この点でも提案工法の妥当性が確認されたといえる。

5. まとめ

- 1) 真空脱水処理による排水量は、コンクリートの容積が大きいほど、真空処理開始時期（0 分後を除く）が早いほど多い（図-9）。単位水量に対する脱水量の割合（脱水率）は条件によって異なるが、およそ 12～20% となった。また、その排水中に含まれる固形分（セメント分）の量は、スラブ厚さおよび処理開始時期に関わらず練混ぜに使用されたセメント量の 0.4～0.5% であった（図-5）。
- 2) コア試験体の単位容積質量と圧縮強度分布との間には強い相関性が見られた。すなわち、真空脱水処理を行うと、上層部のコンクリートは余剰水を抜き取られ、かつ締め固められると推測される。
- 3) 圧縮強度分布の実測値によれば、真空脱水処理の効果に、スラブ厚さの影響はほとんど見られなかった（図-7）。一方、処理開始時期については、顕著な影響が見られた（図-11, 12）。
- 4) 真空脱水処理の開始時期をほぼブリーディング終了時（本実験では打込み 120 分後）とすることで、表層部のみならず、表層から 15cm 程度の深さまでのコンクリートの強度性状を最も効率良く改良できるといえる（図-11, 12）。

謝辞

本実験に際し、ご協力を得た山口武志氏（山

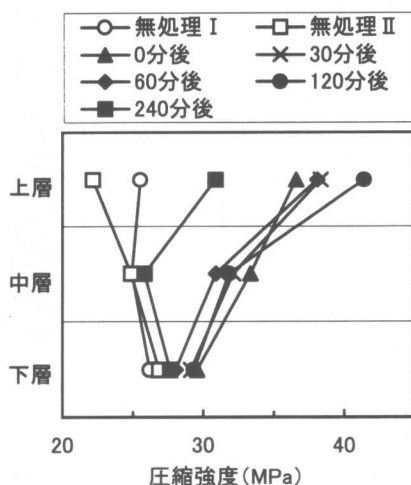


図-12 圧縮強度分布(実験 II)

口技研)、都築亮氏(梶近藤組)、小林広実君(三重大学)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: 真空脱水締め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, 村松昭夫, 山口武志, 畑中重光: 真空脱水締め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, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.22, No.2, pp.1321-1326, 2000.