

論文 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

和藤浩*¹・村松昭夫*²・山口武志*³・畑中重光*⁴

要旨：コンクリート床は、ブリーディングによって表面の弱さが問題となる。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真空脱水締固め工法があるが、建築分野では定着しなかった。本研究では、従来の真空脱水締固め工法（従来工法）の問題点を改善し、建築分野の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）することを目的とする。本報では、従来工法について得られている知見をレビューするとともに、最も望ましい真空脱水締固め工法を探るための基礎的実験を行った。

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、ひっかかり硬さ

1. はじめに

真空脱水締固め工法（真空処理工法、図1参照）は、1935年に米国で開発されたと言われている。日本では、土木分野への適用は多く見られるものの、建築分野では定着するに至らなかった（理由については、後述）。そこで筆者らは、従来の真空処理工法（従来工法）の問題点を改善し、建築分野のコンクリートにも適用可能な新たな真空処理工法（提案工法）を考案した。本研究では、従来工法について、これまでに得られている知見をレビューし、提案工法の位置付けを明らかにするとともに、本工法の更なる改善を目的とする一連の基礎的実験を行う。

2. 既往の研究

以下に、従来工法を行った場合に得られるコンクリートの性質を、脱水率および圧縮強度に着目してレビューする。なお、以下の知見は、真空処理工法一般に対して得られているもので

あり、とくに床スラブの表面強度に注目した研究は、筆者らの知る限りでは極めて少ない。

2.1 脱水率および水セメント比

児玉¹⁾は、配合の異なるコンクリートに対し、真空処理で吸い出される水量を測定した。図2に示す実験結果により、最初の5分間（打設後30分間経過後）で全吸水量の約50%が吸引され、その後は徐々に緩慢となり、真空処理を30分間以上継続しても大した効果が得られなくなると報告している。また、真空処理を施した直後のコンクリ

ートを上、中、下の3部分に分け、洗い分析によって各部分の水セメント比を調べた。その結果、上下層の水セ

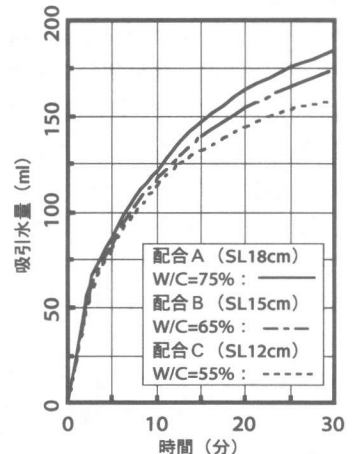


図2 真空処理時間と吸引水量の関係（打設30分後のφ15×30cm試験体）（児玉）

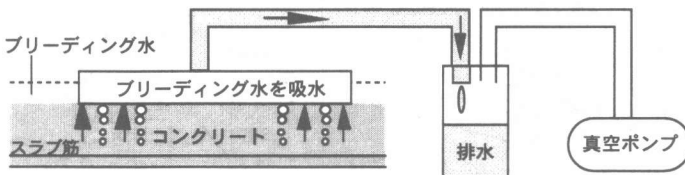


図1 真空処理工法の一例

- * 1 三重大学技術官 工学部建築学科（正会員）
- * 2 (株)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）

メント比にはかなり差異が見られ、この差異は貧配合ほど顕著であること、いずれの配合も上層は水セメント比の低下が極めて大きく、下層にいくに従って小さくなることを報告している。

柿崎ら²⁾は、調合及びスラブ厚の異なるコンクリートについて、加水後 30 分で真空処理を行った。図 3 は、真空処理時間の経過に伴う脱水率(脱水量/単位水量)の変化を示したものである。脱水率は、真空処理時間が長く、スラブが薄く、水セメント比が大きいほど大きくなり、スランプの変化に対しては若干の差はあるもののあまり大きく影響されないと報告している。

細川ら³⁾は、環境条件として寒冷地および海洋環境を想定し、真空処理によるコンクリートの耐久性の改善を検討した。実験では、AE コンクリートと nonAE コンクリートを用いて、吸引水量から求めた脱水率および水セメント比の減少値を求めている。その結果、ワーカビリティの良かった AE コンクリートにおいて高い脱水効果が得られたと報告している。

2.2 圧縮強度

中沢ら⁴⁾は、水セメント比およびスランプが異なるコンクリートを真空処理し、無処理のものも含めて、反発硬度和超音波伝搬速度の複合法(推定式は、建築学会式を修正)によって圧縮強度を推定した。その結果、複合法によって、真空処理したコンクリートの表面強度をほぼ推定できると報告している。

児玉¹⁾は、真空処理したコンクリートを上、中、下の 3 部分に切断し、それぞれの層の圧縮強度を測定した。その結果を図 4 に示す。図によると、真空処理したコンクリートでは、上層と下層とでかなり強度差が見られること、上層は初期において相当に強度増進が見られることなどを報告している。

柿崎ら²⁾は、脱水率と圧縮強度との関係を検討した。その結果を図 5 に示す。

図より、圧縮強度は、脱水率が 15～20 % 程度まで大きくなるが、それ以上の脱水率では、脱水率の増加に伴って圧縮強度が小さくなると報告している。

また、柿崎ら²⁾および中沢ら⁴⁾は、真空処理により、水セメント比は減少するものの、逆に空隙が増加することにもなり、強度増加が弱められる一因になると報告している。

3. 従来工法の問題点とその改善(提案工法)について

以上のように、極めて良好な表面性状のコンクリートが得られる可能性が高いにも関わらず、従来工法が建築分野で定着しなかった主な理由の一つとして、建築用コンクリートのスランプが 15～18cm と大きいことが挙げられる。すなわち、従来工法では、真空処理開始時期がコンクリート

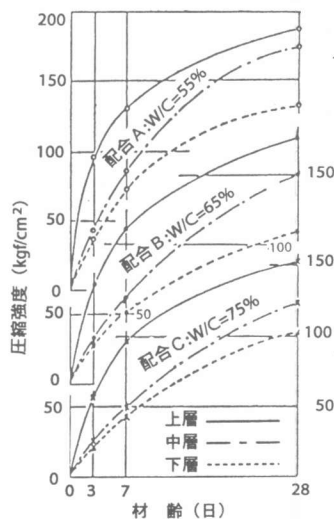


図 4 各層の圧縮強度の比較(児玉)

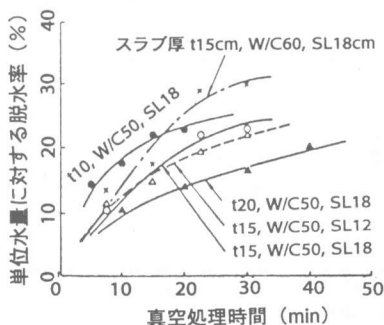


図 3 真空処理時間と単位水量に対する脱水率との関係(柿崎ら)

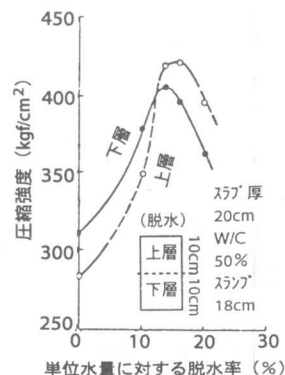


図 5 単位水量に対する脱水率とスラブ上下層の圧縮強度(柿崎ら)

打設後 30 分以内と早いので^{1), 2)}, 軟練りコンクリートの場合, 作業時に直接コンクリート上には乗れない。そのため, 足場が必要となり, 實際上, 施工現場でのコンクリートの打設に追いつかないのである。

また, その他にもいくつかの問題点が挙げられるが, 従来工法の問題点とその改善法(提案工法)を表 1 に比較して示した。すなわち, 提案工法の主な特長は, 以下の 3 点である。

1) ブリーディングがほぼ終了した後に吸引(直接コンクリート上に乗って真空処理作業が可能)。

2) セメント粒子を通さないろ過マットを採用(表面強度の確保)。

3) コート剤の散布(施工と同時に保水養生を開始し, 表面強度を確保)。

また, 提案工法の主な欠点を以下に示す。

1) 仕上がる前のコンクリートに網下駄で入ることになるため, 仕上げ作業では従来より丁寧に平滑化を行う必要がある。

2) 余剰水の脱水, 脱気によってコンクリート表層は非常に固く締まってしまうので, 小面積でも機械鏝(トロウエル)が必要となる。

図 6 に, 従来工法と提案工法における真空処理(吸引)時間とブリーディング水の吸引量の予測図を示しておく。このような吸引時間の短縮は, 上

記の 1) の特長によって可能となっている。また, その結果として, 1 日あたりの施工量の増大が可能となる。

4. 提案工法の改善

提案工法を使用したコンクリートの性質は, 技術資料⁵⁾として既に一部報告してあるが, 諸条件が異なる場合の改善効果について定量的な評価を行うには至っていない。つまり, 提案工法の位置付けを工学的に明確にするとともに,

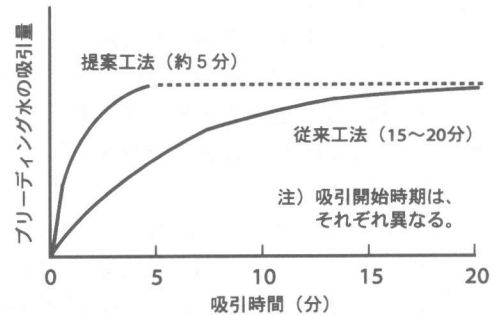


図 6 従来工法と提案工法による吸引時間と吸水量の関係の予測図

表 1 従来工法と提案工法の比較

	作業時期	吸引性能	特長・欠点（予測を含む）								
従来工法	打込終了の0～30分後。	厚さ1cm当たり1.5分。 吸引時間は、15～20分。 施工量：最大300㎡/日。	・セメント粒子も水と一緒に吸引するので、表面のセメント分が不足し、表面強度の増加が少ない。 ・セメント不足のため、金こて仕上げが難しい。 ・表面亀裂（ヘア・クラック）の恐れあり。								
	1935年アメリカで開発。日本でも、土木分野で活用。建築分野では、実績はほとんどない（高スランプ(12cm以上)では、施工時の足場の確保に問題あり）。										
提案工法	打込終了の2時間後。 （ブリーディング終了後）	厚さ1cm当たり0.5～1分。 吸引時間は、5分程度。 施工量：最大1,200㎡/日。	・ろ過マットにより、セメント粒子を通さないで、コンクリート全体の割合が変わらない。 ・コート剤の散布より、コンクリートの水和反応を促進し、表面亀裂（ヘアクラック）を防止する。								
	従来の真空コンクリート工法の問題点を改善。										
	ろ過マット<table><tr><td>材 質</td><td>ポリプロピレン系</td></tr><tr><td>単繊維の太さ</td><td>2 デニール</td></tr><tr><td>収 束 本 数</td><td>35本</td></tr><tr><td>織 り 密 度</td><td>260本/インチ</td></tr></table> コート剤散布 ・材質：EVA（エチレン酢酸ビニル） および アクリル共重合			材 質	ポリプロピレン系	単繊維の太さ	2 デニール	収 束 本 数	35本	織 り 密 度	260本/インチ
材 質	ポリプロピレン系										
単繊維の太さ	2 デニール										
収 束 本 数	35本										
織 り 密 度	260本/インチ										

諸条件の最適値を
探ることが重要と
考えた。

4.1 実験概要

(1) 実験要因

本実験では、提案工法によって得られるコンクリートスラブの基本性状を調べることを目的とし、表2の

強度 レベル	スラブ (SL)	真空脱水			材齢	測定項目
		装置 (マット)	開始時期	コート 剤散布		
20MPa	8cm 20cm	不使用	—	—	28日	・圧縮強度 (標準円柱体, コア2, 4分割) ・反発硬度* (N型及びP型ハンマ) ・ひっかき硬さ* (三重大学方式(垂直力: 15N)) (仕上学会方式(〃: 4.9, 9.8N)) ・ブリーディング水の排水量 ・排水中の固形分量
		使用 (細目)	30分後 120分後	無		

注) *: 反発硬度およびひっかき硬さは、材齢3, 7日も測定した。

実験要因を取り挙げた。なお、本実験では、コート剤の影響については検討しなかった。コンクリートの調査表を表3に示す。設計スラブ(SL)は、8 cm および 20cm の2種類とした。

(2) 試験体

2種類のコンクリート(SL=8 cm, 20cm)のそれぞれに対し、スラブ用の試験体(60(縦)×40(横)×24(高さ)cm)を3体、標準試験体(φ10×20cm)を5本作成した。

(3) 測定方法

真空処理開始時より吸引されるブリーディング水の排水量(L/m²)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。また、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。真空度の実測値を表4に示す。

スラブ試験体の表面の硬度は、N型およびP型テストハンマ、並びに、ひっかき装置^{6)~8)}を用いて測定した。

圧縮強度は、スラブ用の試験体よりφ5 cmのコアを各7本採取し、図7に示すように、コアをコンクリートカッターで切断(4分割と2分割)し、それぞれの層について測定した。

5. 実験結果

5.1 排水量

ブリーディング水量または真空脱水による排

表3 コンクリートの調査表

SL (cm)	Fc (MPa)	W*/C (%)	S/a (%)	単位質量(kg/cm ²)				SP (C×%)
				W*	C	S	G	
8	20	65	50	180	277	913	927	0.3
20				185	285	904	918	0.4

注) SL: 実測スラブ, Fc: 目標圧縮強度, W*: 水(W+SP), W*/C: 水セメント比, S/a: 細骨材率, C: セメント, S: 細骨材, G: 粗骨材(5-13mm), SP: 高性能AE減水剤

表4 真空度の実測値

スラブ	開始時期	真空度
8cm	30分後	70~80%
	120分後	80%
20cm	30分後	50~60%
	120分後	60~70%

注) 真空度=吸引圧/大気圧

水量を図8に示す。図によれば、スラブの大きさに関わらず、真空処理を行った場合の排水量は無処理の場合の約2倍程度と多かった。また、総排水量に対する割合(カッコ内

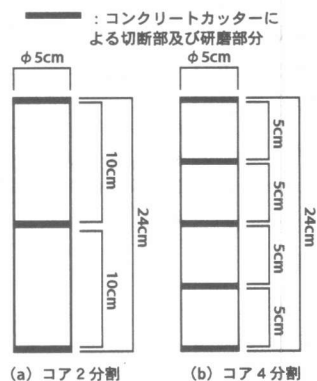


図7 コア試験体の概略図

の数値)は、スラブ20cmの方が8 cmの場合よりも5%程度高い。これらの実験結果は、柿崎ら²⁾の報告(図3, スラブ12, 18cm)に相当する。なお、スラブ20cmで真空処理開始時期が打設30分後の試験体については、真空処理後もさらにブリーディング水が確認されたため、打設120分後に再排水を行った。

5.2 固形分量

排水中の固形分の重量を図9に示す。図によれば、固形分の重量は、スランプの大きさにかかわらず、無処理の試験体に比べ真空処理を行った試験体では、極端に少なくなっている(30分後脱水の場合、約0.4倍、120分後脱水の場合、約0.3倍)。また、排水中に占める固形分の割合(図中の()内の数字)も脱水処理時期が遅いほど小さくなっており、セメント分の損失を少なくできると考えられる。

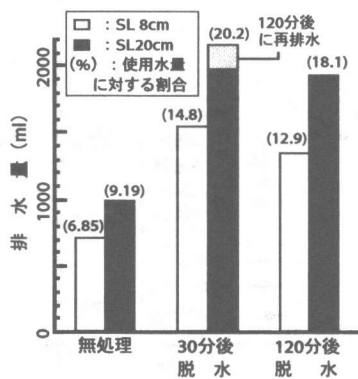


図8 排水量 (試験体面積0.24m²)

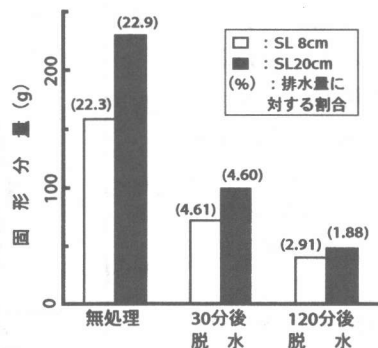


図9 排水中の固形分量

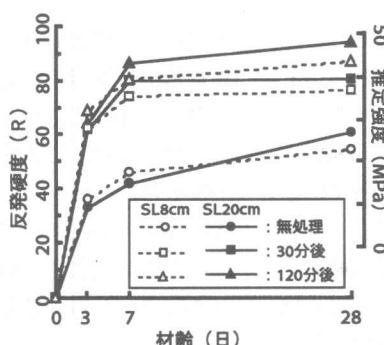


図10 材齢と反発硬度の関係 (P型ハンマ)

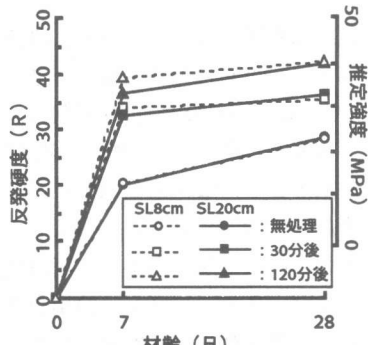


図11 材齢と反発硬度の関係 (N型ハンマ)

5.3 反発硬度

P型およびN型テストハンマによる表面反発硬度と材齢との関係をそれぞれ図10および図11に示す。ただし、材齢3日時点の無処理試験体については、N型テストハンマの適用範囲外であるためデータから除外した(図11)。なお、図中には、参考値として日本材料学会の推定式による強度もMPaに換算して併示してある。これらの図によれば、P型及びN型テストハンマによる反発硬度は、それぞれコンクリートのスランプにかかわらずほぼ同様な値となった。児玉¹⁾の報告(図4)と同様、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強度の発現が極めて良好である。また、30分後脱水と120分後脱水の試験体を比較すると、いずれのテストハンマを用いた場合も、反発硬度は、120分後脱水の方が大きい。

5.4 ひっかき硬さ

筆者らが試作した試験装置^{6), 7)}(垂直力: 15 N)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12に示す。今回の試験体は、表

面付近だけが強い、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、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、図には一例しか示していないが、日本建築士学会方式⁸⁾のひっかき試験装置(4.9 Nと9.8 N)を用いた場合も垂直力に比例する形で図12と同様な傾向が得られた。

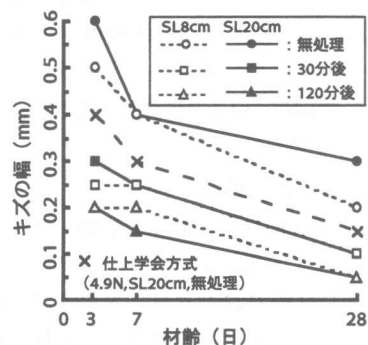


図12 材齢とキズの幅の関係 (三重方式: 垂直力15N)

5.5 コア試験体の圧縮強度

スランプが8 cm と 20cm の試験体から切り

出したコア試験体の圧縮強度分布をそれぞれ図13および図14に示す。これらの図によれば、いずれのスランプの試験体でも、無処理の場合は、最下層（1層目）より上層（2，3，4層目）にいくに従って、圧縮

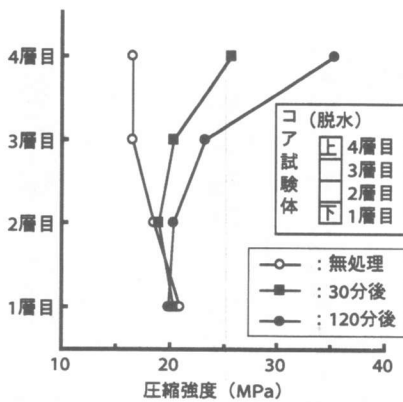


図13 圧縮強度分布(SL8cm・4分割)

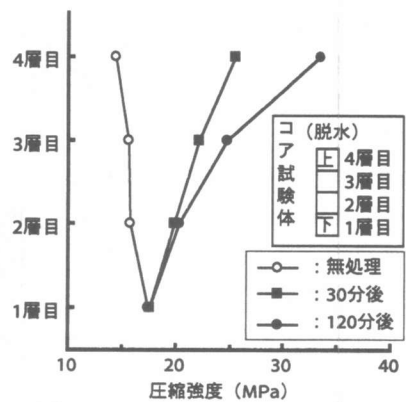


図14 圧縮強度分布(SL20cm・4分割)

強度は漸減していく。一方、真空脱水を行った場合は、上層にいくに従って逆に増加している（とくに、120分後脱水の場合）。なお、スランプ8cm（図13）と20cm（図14）の試験体を比較すると、最上層（4層目）の圧縮強度には顕著な差はなかったが、一般に、スランプ20cmの場合には上層に向かって圧縮強度が漸増する傾向が、スランプ8cmの場合には3層まではあまり変化せず、4層目で急増する傾向が見られた。また、脱水時期の影響については、いずれのスランプの試験体とも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。この傾向は、児玉¹⁾の報告（図4）と類似している。

6. まとめ

- 1) 従来の真空処理工法が、建築分野で定着しなかった主な理由の一つとして、スランプの大きい軟練りコンクリートの場合、作業員がコンクリート上には直接は乗って仕上げ作業ができないことが挙げられる。
- 2) 本報では、建築用の軟練りコンクリートを対象として、ブリーディング終了後に真空処理する方法を提案した。
- 3) 排水中に占める固形分の割合は、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。
- 4) 各層の強度分布は、真空処理開始時期とスランプによってかなり異なった。
- 5) 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、排水量は打設後30分の方が多かったが、表面のひっかかり硬さ、反発硬度、および圧縮強度分布については、打設後120分の方が良好な結果が得られた。

6) 提案工法によって得られるコンクリート床スラブの諸性状については、今後更に実験データを蓄積したいと考えている。

【謝辞】本実験に際し、ご協力を得た渡辺真哉君（三重大大学建築学科）に深く謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 児玉：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。
- 2) 柿崎，和美，陳：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。
- 3) 細川，尾崎，菅田：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，谷川，黒崎：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) ベストフロアー工業会：ベストフロアーシステム，ベストフロアーシステム技術資料3，1994。
- 6) 和藤，王，畑中：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，王，畑中，谷川：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，小野寺，浅見，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，日本建築工学会1997年大会学術講演会研究発表論文集，pp.9-12，1997。