

121130

ベストフローシステム技術資料

NETIS登録番号CB-100033-A

ベストフローシステム

被りコンクリートの品質改善効果

ベストフロー工業会

技術協力：三重大学大学院工学研究科 畑中研究室
日本大学生産工学部建築科 湯浅研究室

本資料は、ベストフローシステム技術資料から抜粋したものと新しい知見に基づいて作成しました。
 (改良型真空脱水処理=BF 処理)

1. BF 処理による強度改善¹⁾

調合強度が異なるコンクリートに BF 処理を行った場合にはどのようなようになるのかを調べた。

表 1 コンクリートの配合

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

注:SL: 目標スランプ FC:目標圧縮強度 W/C:水セメント比 s/a:細骨材率 W:水(W=W+SP) C:セメント S:細骨材 G:粗骨材(5-13mm) SP:高性能AE減水剤

目標スランプは 18cm とし、目標強度を 10~40MPa として配合されたコンクリートに対して BF 処理を行った。

深さ方向の圧縮強度

表層(4層)の圧縮強度と、BF 処理による改善効果を表 2 に、圧縮強度分布を図 1 に示す。

図によれば、5cm ごとの圧縮強度は、BF 処理によって表層に近い第 4 層の強度が 11~20MPa 上昇している。無筋コンクリートの場合、BF 処理の効果は第 2 層まで、すなわち深さ 15cm に及んでいることが分った。

表 2 4層(表層部)の強度と改善効果

Fc	真空脱水	圧縮強度 Mpa	改善効果 Mpa
10MPa	無	9	
	BF処理	23	14
20MPa	無	14	
	BF処理	34	20
30MPa	無	32	
	BF処理	48	16
40MPa	無	43	
	BF処理	54	11

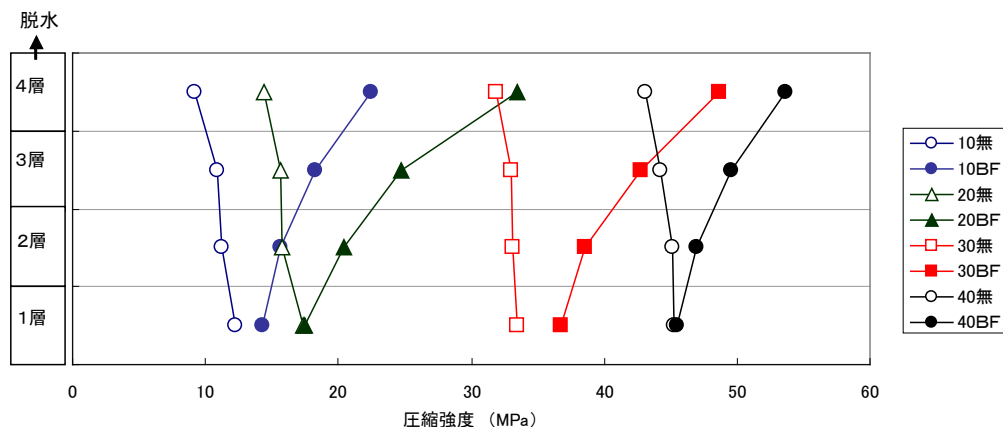


図 1 調合強度と 4 分割圧縮強度

2. 密度分布²⁾

図 2 は、真空脱水締固め工法の性能改善効果に及ぼすスラブ厚さの影響を調べた実験結果から圧縮強度と密度の関係を示した。

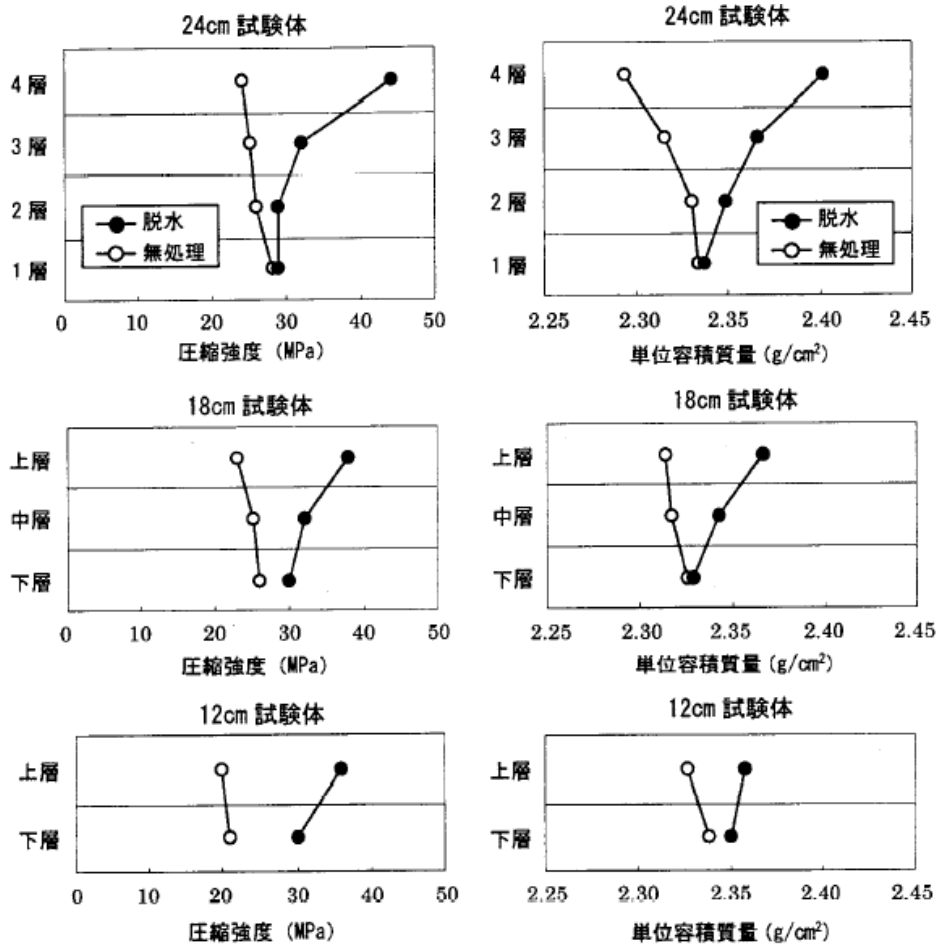


図 2 コンクリート厚さと圧縮強度分布・単位容積質量分布

コア試験体を使ってコンクリートの厚さ方向の強度分布と単位容積質量分布を測定した。得られた値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、BF 処理を行うと、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ので強度の上昇とともに緻密化する。

図3は、「真空脱水締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」に関する実験で得られた各層における圧縮強度と単位容積質量の測定結果である。³⁾

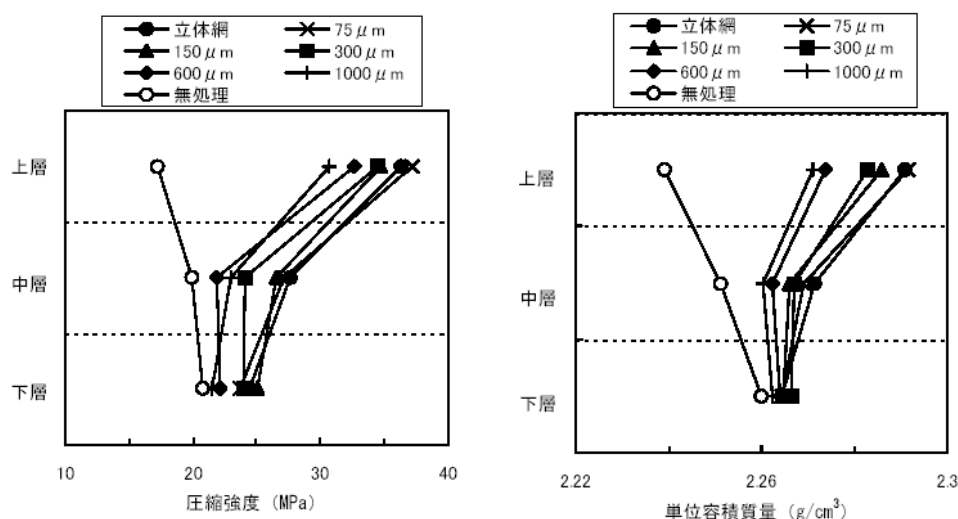


図3 網目の大きさと圧縮強度分布・密度分布

網目の大きさは、立体網(ベストフロー標準品)が最も良く、網目径が大きくなるとセメント粒子も吸引され改善効果が低下することが分かった。この実験の場合も、各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あることが分かる。

3. 乾燥収縮への効果⁴⁾

鉄筋コンクリート造のひび割れ対策(設計・施工)指針・同解説(日本建築学会 1990)では次のように記載されている。

「本指針は、現場施工のコンクリート造のコンクリート部分に生ずる有害なひび割れを低減するための、設計及び施工における対策に適用する。

(ひび割れ対策には)

1. ひび割れを発生させないように設計・施工する。
2. ある程度のひび割れは発生するかもしれないが、たとえ発生しても、それによって障害が起こらないように設計・施工する。

本書は、2の方針によっている」

このようにコンクリートのひび割れを無くすることは不可能に近いことである。

BF処理を行うと、余剰水が取り除かれる。その結果、水セメント比が小さくなり緻密な構造になるので、コンクリートの「乾燥収縮」が小さくなる。実験結果によれば、BF処理によって約15%以上の収縮低減を図ることができる(図4,5)。

収縮低減混和材の併用

もっと積極的にひび割れ防止を図る方法として、セメント混和材の併用が考えられる。当工業会でも、ペDESTリアンデッキ使用の立体駐車場で膨張混和材を配合したコンクリートでベストフロー工法を施工し、現在も無防水の状態でも推移している現場実績もある。

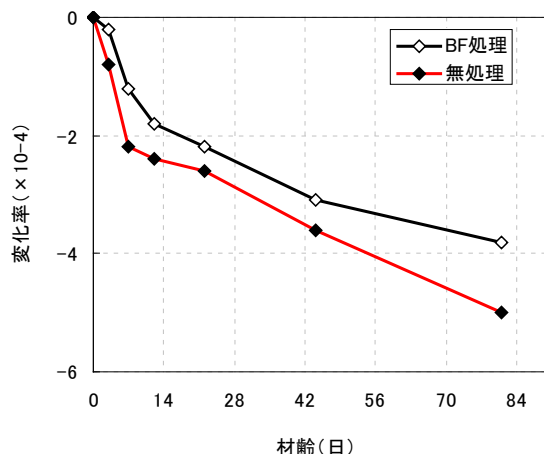


図4 コンクリートの乾燥収縮

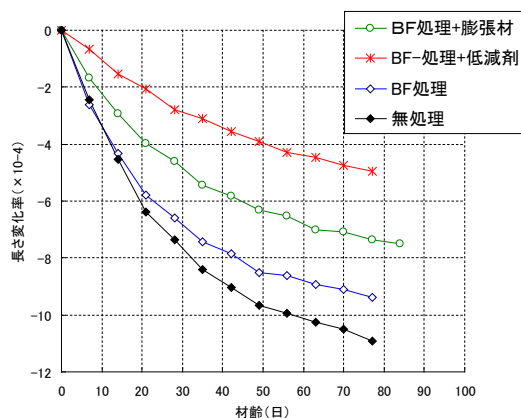


図5 モルタルの収縮実験

モルタル実験で収縮量を比較すると、コンクリートと同様、BF 処理だけで約 15%の収縮低減効果があった。

BF 処理に加えて、膨張混和材を併用すると 20%、収縮低減混和剤の併用では混和量に従って 37~45%の収縮低減効果が見られた。なお、混和材料は、スラブのごく表層部に練りこむだけでも相当な効果が得られるものと推定される。モルタルでの実験結果を図 5 に示す。

モルタル試験体(100×100×40mm)を用いた長さ変化試験により、以下の知見を得た。

- 1)真空脱水による低減率は 14.3%であり、フライアッシュによる低減効果より大きい。
- 2)真空脱水と収縮低減剤を併用することで、45%程度の乾燥収縮の低減効果が得られた。よって、収縮低減剤の併用は、ひび割れ発生の抑制にきわめて有効であると考えられる。

4. 促進中性化試験 ⁵⁾

促進中性化試験に用いたコンクリートの配合を表 3 に示す。

ブリーディング終了時に BF 脱水処理を 5min 間行った。脱型後、試験体を 28 日間水中養生し、その後 28 日間乾燥養生した。養生期間終了後、促進中性化試験器を用いて、温度 20℃、相対湿度 60%、CO₂ 濃度 5%の環境条件下で、促進中性化養生を行い、促進中性化開始後、1, 4, 8, 13 週の材齢で中性化深さを測定した。

表 3 コンクリート配合表

W/C (%)	s/a (%)	単位質量 (kg/m ³)				Air (%)	SP/C (%)	SL (cm)
		W	C	S	G			
55	50	175	318	904	917	3.8	0.6	19.0

試験体材齢と中性化深さとの関係を表 4、図 6 に示す。

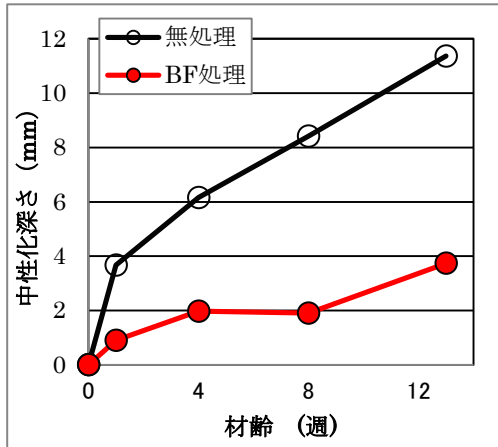


図 6 促進中性化試験

材齢 4 週では無処理のコンクリートは 6.16mm 深さまで中性化が認められたのに対して、BF 処理したコンクリートは 1.98mm と、68%の改善効果が認められた。中性化の進行は、コンクリート表面の緻密さが影響を及ぼすので、引っかき試験、密度・強度試験でも認められたように、BF 処理を行いコンクリート表面が緻密な試験体ほど中性化の抑制効果が大きく中性化の進行が遅くなるということがわかった。

表 4 BF 処理有無と中性化深さ

暴露期間(週)	1	4	8	13
無処理	3.67	6.16	8.42	11.37
BF処理	0.91	1.98	1.91	3.74

5. BF 処理と初期凍害⁶⁾

実験室での実験

真空脱水処理を行ったコンクリートの初期凍害抑制効果について実験室実験の結果を以下に示す。

コンクリートの練り上がり温度は 12.5°C で、凍結開始材齢は、コンクリート打込み後から 6、12 時間および BF 処理直後の 4 時間を加えた 3 水準とした。

BF 処理開始時期は、最も効果が大きいとされるブリーディング終了時とし、本実験では打設の 4 時間後とした。養生はビニル袋で密閉した状態で、気温 5°C 相対湿度 60% の恒温室内で材齢 3 日まで行った。凍結を与える試験体は、各凍結開始材齢において、凍結融解試験槽を用い、-5°C の不凍液中に 12 時間沈めた。試験体はビニル袋で密閉し、直接不凍液が当たらないようにした。材齢 3 日で気温 20°C 相対湿度 60% の恒温室内に全試験体を移し、材齢 7 日の脱型までは型枠内封かん養生とした。脱型後、28 日圧縮強度試験を行うま

では、気温 20°C 相対湿度 60% の雰囲気中で気中養生を行った。結果の一部を図 7 に示す。

図によれば、真空脱水直後(4h)に凍結させたものでも中層・表層は強度が増加しており、表層強度は 12 時間後に凍結した無処理のコンクリートと同程度になった。

①本実験条件において、BF 処理の効果は表面より 5cm までで、表層部では 10MPa 程度の圧縮強度の改善があった。

②本実験の範囲では、-5°C の凍結を 12 時間受けても、コンクリートが 1MP 程度の

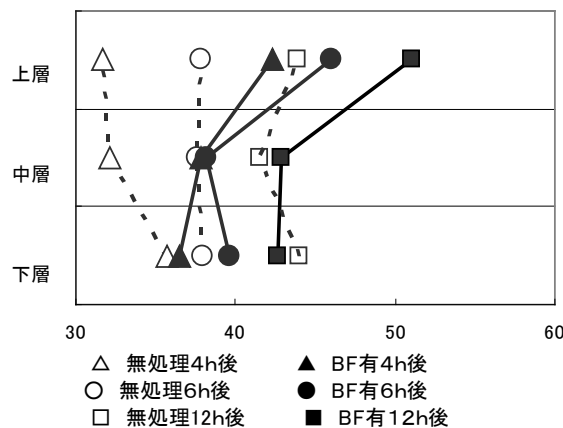
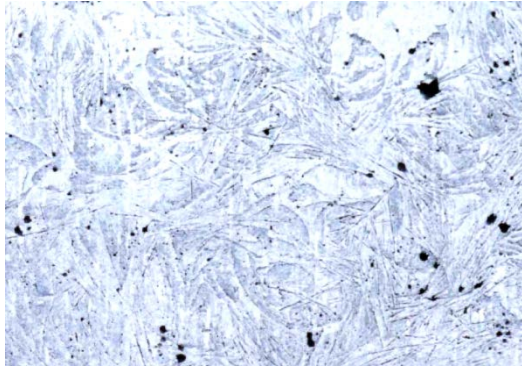
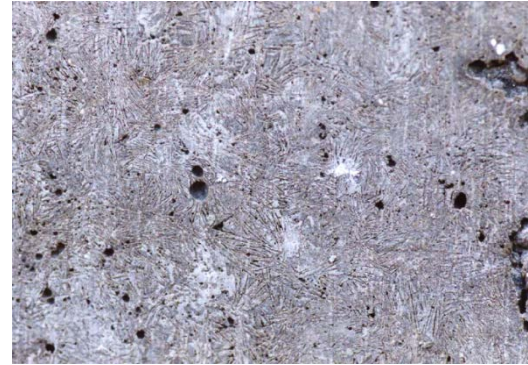


図 7 凍結開始時間と強度発現

圧縮強度を発現していれば、材齢28日の圧縮強度残存率は95%以上となる。



a) 無処理 凍結開始材齢6時間



b) BF 処理 凍結開始材齢6時間

写真1 凍結表面写真

写真1 a) は無処理、b) は、BF 処理を行った、凍結開始材齢6時間の試験体の凍結試験直後の表面性状である。試験体表面に現れている氷の結晶の痕跡は、無処理試験体の痕跡が鮮明であった。

6. 透水・透湿性能⁷⁾

6-1 透水試験

30-15-20N フレッシュコンクリートに BF 処理を施して作成し一様に養生期間を経たものを試験体とした。

試験方法は、(財)土木学会基準 JSCE-K-571-2005「表面含浸剤の試験方法」中の【5.試験体】および【6.3 透水量試験】によった。

試験装置の概略図を図8に示す。

試験結果を表4に示す。

7日後の透水量は無処理が8.5g、BF処理が3.2gとなった。透水比は0.376に減少し、表層からの水分侵入が著しく抑制されていることが分った。透水抑制率は62.4%となった。

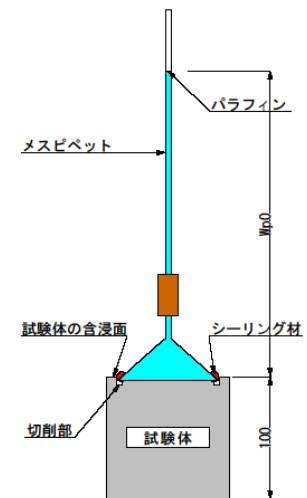


図8 透水試験装置

表4 透水試験結果

経過日数	1	3	6	7	10	13	15	17	20	22	28
無処理	3.5	6.2	8.2	8.5	9.6	10.6	11.1	11.6	12.6	12.7	13.5
BF処理	1.5	2.4	3.1	3.2	3.6	3.9	4.1	4.3	4.6	5	5

6-2 吸水試験

真空脱水試験体の脱水面および無処理試験体の打設面が、側面になるようにして、試験体の上面が水面下20mmになるように、同恒温恒湿室内で水中に浸せきさせた。その際、試験体の下面が試験用容器底面から10mmになるようにスペーサーを設置した。

試験開始時から7日後に、試験容器から試験体を取り出し、湿布を用いて表面の水分を除去した後、質量を測定し吸水率を求めた。なお、BF処理試験体および無処理試験体の試験

は、それぞれ、別の試験用容器を用いて行った。
 吸水量は無処理が 1.85 g、BF 処理したものは 1.19 g となり、吸水比は 64.4%に低減した。
 (吸水抑制率は 35.6%と計算される)

表 5 吸水試験結果

	吸水量(g)
無処理	1.85
BF処理	1.19

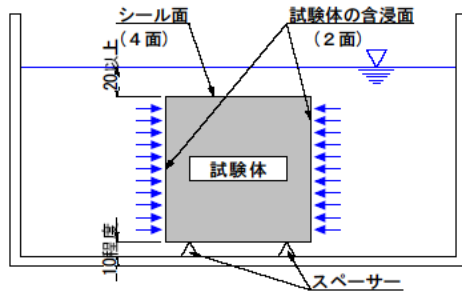


図 9 吸水試験装置

6-3 透湿性能

実験で使用したコンクリートの調合表を表 6 に示す。

表 6 コンクリートの調合表

W/C (%)	s/a (%)	Air (%)	単位質量(kg/m ³)				SP/C (%)	AF/C (%)	SL cm
			W	C	SL	G			
60	54	3.5	185	308	907	848	1.1	0.25	17.8

図 10 に透湿度試験の概要を示す。真空脱水試験体の脱水面および無処理試験体の打設面が、水面より 10mm 程度高くなるように同恒温恒湿室(温度 20±2℃、湿度 60±5%)内で水中に浸せきし、真空脱水試験体の脱水面および無処理試験体の打設面に対向する面(吸水面)から、72 時間吸水させた。水中浸せき時は、試験体下部にスペーサーを置き、試験体の吸水面が容器底面から 20mm になるようにした。

- b) 吸水後、試験体を取り出して、試験体表面の水を乾いた布でふき取り、吸水面を浸透性のないアルミテープで包み込むようにしてシールした。
- c) 吸水面をシールした試験体の質量(Wv0)を 0.01g まで測定して、透湿度試験前の質量とした。その後、同恒温恒湿室(温度 20±2℃、湿度 60±5%)に、真空脱水試験体の脱水面および無処理試験体の打設面を上にして 7 日間静置した。
- d) 7 日間の静置後、試験体の質量(Wvi)を 0.01g まで測定して、式(1)によって透湿量(Wv)を求めた。透湿量は、4 個の試験体の平均とした。また、真空脱水試験体および無処理試験体の透湿度から式(2)により、透湿比を求めた。

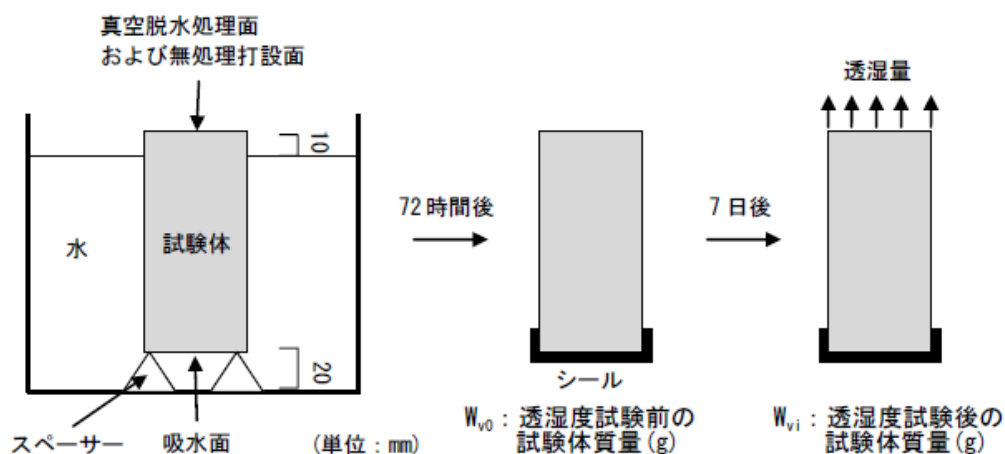


図 10 透湿度試験の概要

表 7 透湿度試験結果

	試験体1 (g)	試験体2 (g)	試験体3 (g)	試験体4 (g)	平均透湿度 (g)	透湿度比 (%)
BF 処理試験体	0.64	0.65	0.60	0.63	0.63	77.7
無処理試験体	0.77	0.76	0.85	0.87	0.81	

透湿性能は、無処理試験体が 0.81 g に対して BF 処理されたものは 0.63 g となり、22%の向上となった。透湿比；77.7%

7. 塩化物イオン浸透性試験⁷⁾

図 11 に示すように、真空脱水試験体の脱水面および無処理試験体の打設面が側面になるようにして、試験体の上面が水面下 20mm になるように、同恒温恒湿室(温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $60 \pm 5\%$)内で 3%NaCl 溶液に浸せきして、塩化物イオン浸透試験を行った。その際、試験体の下面が試験用容器底面から 10mm になるようにスペーサーを設置し、密閉できるプラスチック容器で各試験体を浸せきさせた。

b) 試験開始時から 63 日後に、試験用容器から試験体を取り出し、湿布を用いて表面の塩分溶液を除去した。

その後、JIS A 1171 の 7.8(塩化物イオン浸透深さ試験)に準拠し、試験体の含浸面を 2 分割するように、試験体を割裂して、割裂面に 0.1mol/L 硝酸銀を噴霧して、真空脱水試験体の脱水面および無処理試験体の打設面からの塩化物イオン浸透深さを、ノギスを用いて 0.1mm まで測定し、それぞれ、真空脱水試験体および無処理試験体の塩化物イオン浸透深さとした。真空脱水試験体および無処理試験体の塩化物イオン浸透深さは、1 試験体の 5 箇所を測定し、その平均値を 1 試験体の塩化物イオン浸透深さとした。塩化物イオン浸透深さは、4 体の試験体の平均とした。また、真空脱水試験体および無処理試験体の塩化物イオン浸透深さから式(3)により、塩化物イオン浸透深さ比を求めた。なお、試験体下面も参考のために同様な測定を行った。

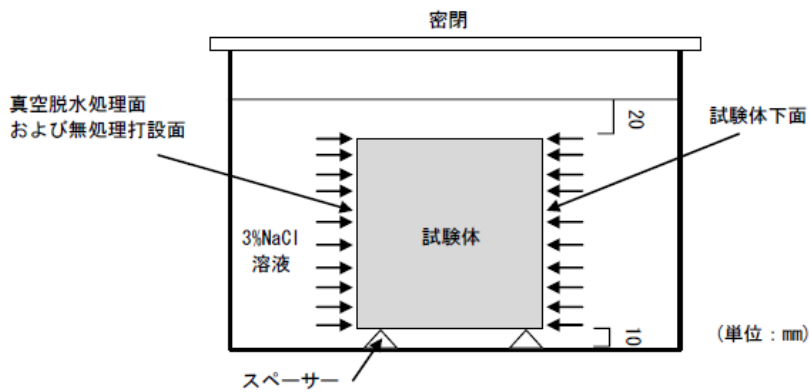


図 11 塩化物イオン浸透に対する抵抗性試験の概要

表 8 塩化物浸透塩化物イオン浸透に対する抵抗性試験の結果

	試験体 NO.	浸透深さ (mm)	平均浸透深さ (mm)	浸透深さ比 (%)
BF 脱水処理試験体	1	6.18	6.19	69.40%
	2	6.22		
	3	6.17		
無処理試験体	1	8.97	8.92	
	2	8.85		
	3	8.95		

塩化物イオンの浸透深さは無処理試験体が8.92mmに対してBF処理されたものは6.19mmと31%の性能向上となった。

8. 表面摩耗性能

耐摩耗性は、表層が緻密で、強度が高く、且つBFコートによりポリマー化されているため、大幅に改善される。これまでのように、箒で掃けば幾らでもほこりが出るようなことはなくなる。

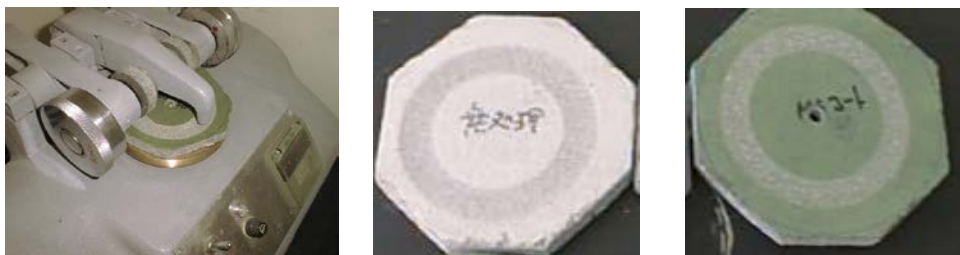


写真 2 摩耗試験状況 テーパー式摩耗試験機

図 12 に示すように、H・

.12 になった(47%

改善)。フォークリフトなど車両通行を想定したCS-17(ゴム)の摩耗輪ではその差が非常に顕著で、約 1/6 に減少した。⁵⁾

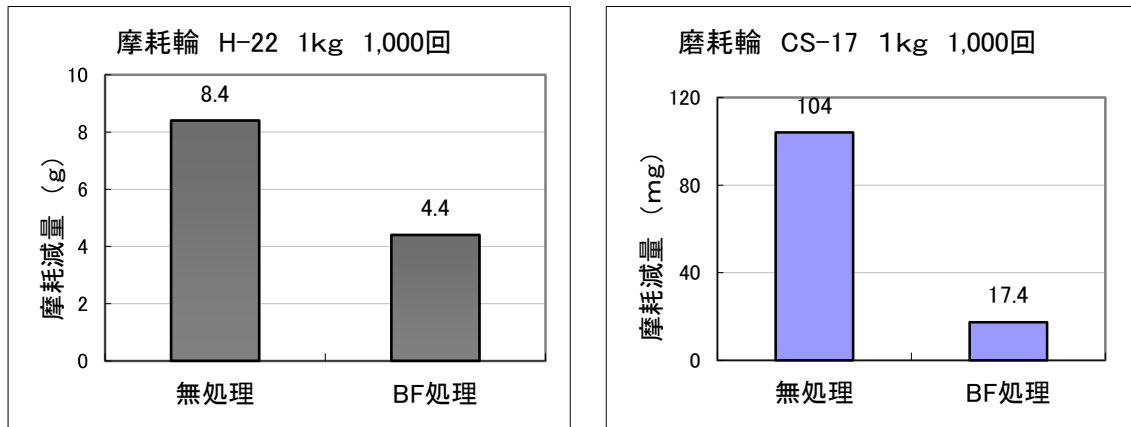


図 12 耐摩耗性(JISA 1453 準拠)

10. 仕上げ材の接着性能

BF処理されたコンクリートは、

- (1) 強度が早く立ち上がり、且つ表層ほど高い強度となる。すなわち、表層が緻密になっていることが分かっている。
- (2) 仕上げ作業時に問題となる「水分蒸発速度」が著しく改善されている。図 13 A)は水分蒸発試験紙による蒸発速度測定結果である。水分蒸発速度においては、通常のコンクリートが2週間で達成する蒸発速度は、ベストフローアでは3~4日で達成する。水分蒸発速度は小さいほど接着性能の向上、フクレの回避にとっては有利であるといわれている。
- (3) 仕上げ材の接着に関しては接着面の乾燥が不可欠である。そのためには質量水分率が小さいほうが有利である図 13 B)

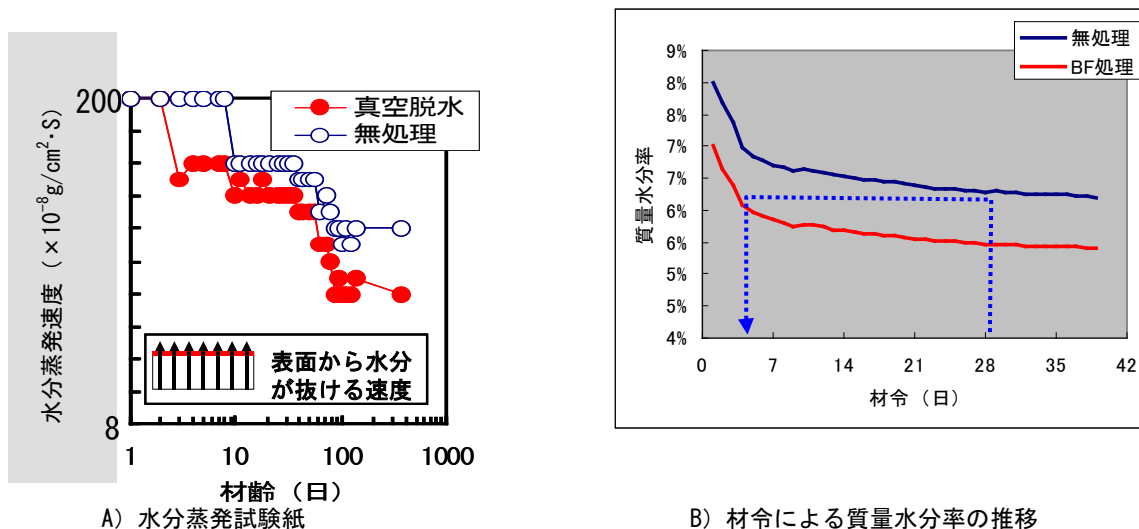


図 13 水分蒸発速度

ベストフローアシステムは、コンクリート床下地に要求される、質量水分率の減少と、

保水性の向上、さらに表面からの水分蒸発速度の減少という矛盾した性能を満足させることができる技術とすることができる。

このようにして仕上げられたコンクリートに、材齢7日でエポキシ樹脂及びウレタン樹脂塗り床を施工し、接着性能を確認したところ表9のような結果が得られた。

表9 BF処理コンクリートの接着性能

処理方法	ウレタン床材			エポキシ床材	
	前処理剤	接着力 ^(注)	破壊状況	接着力 ^(注)	破壊状況
無処理	なし	1.4	下地 100	1.8	下地 100
BF処理	なし	2.9	下地 100	3.3	下地 100
BF処理+前処理	あり	3.5	下地 100	4.0	下地 100

^(注)接着力 (N/mm²)

破壊状況は、いずれも下地コンクリートの破壊となっている。例えばエポキシ樹脂床材の接着試験では、無処理のコンクリートに比べて183%の強力な接着力を示した。破壊モードは、いずれも粗骨材まで持ち上がってくる一般的に経験するコンクリート破壊状況である。

参考文献

- 1 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4); 山本景司他、日本建築学会大会学術講演梗概集、A-1、pp.451-452、2000.
- 2 真空脱水締固め工法を用いた建築床スラブコンクリートの性能改善(スラブ厚さの影響); 和藤浩他: 日本建築学会東海支部研究報告集、No.39、pp.81-84、2001.
- 3 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; 和藤浩他: コンクリート工学年次論文報告集、Vol.24、No.1、pp.327-332、2002
- 4 各種混和材料を混和した真空脱水モルタルの乾燥収縮に関する実験的研究; 小林広実他: コンクリート工学年次論文報告集、Vol.25、No.1、pp.461-466、2003.
- 5 真空脱水を行ったコンクリートの細孔量と中性化速度; 坂本英輔他: 日本建築学会大会学術講演梗概集、A-1、pp.537-538、2003.
- 6 真空脱水を行ったコンクリートの初期凍害抑制効果について; 前田哲宏他: コンクリート工学年次論文報告集、Vol.25、No.1、pp.383-388、2003.
- 7 真空脱水コンクリートの表面性状に関する実験的研究; 和藤 浩他: 日本建築学会東海支部研究報告集、2013.