

5. 脱水・脱気型枠（ドライフォーム）による 高強度コンクリートの耐久性に関する研究（その2）

石 原 誠一郎
木 村 建 治
立 松 和 彦

要 旨

本報告は、コンクリート表面の耐久性向上を目的として開発した「ドライフォーム工法」による高強度コンクリートの耐久性能確認のため行った室内実験結果について述べたものである。

キーワード

ドライフォーム／脱水脱気型枠／耐久性／余剰水／細孔径分布／塩分浸透／凍結融解／セメント量分布

目 次

1. はじめに
2. 供試体
3. 試験方法
4. 試験結果および考察
5. まとめ
6. あとがき

5. STUDY OF DURABILITY IN HIGH-STRENGTH CONCRETE USING EXCESS WATER AND AIR PERMEABLE FORM(DRY FORM)-NO.2

Seiichiro Ishihara
Kenji Kimura
Kazuhiko Tatematsu

Abstract

This report describes results of the indoor experiments we conducted to confirm the durability of high-strength concrete using the “Dry Form” method devised for the purpose of enhancing the durability of the concrete surfaces.

1. はじめに

「浅沼組技術研究所報創刊号」(1989)において、コンクリート表面の耐久性向上を目的として開発した脱水脱気型枠「ドライフォーム工法」の概要を述べたが、その中で、特に高耐久性が求められる超高層RC造住宅で使用される高強度コンクリートにドライフォーム工法を採用したときのコンクリート表面強度、圧縮強度、および中性化促進試験等の結果について述べた。

本報告では上記の所報(以下前報告という)の実験に引き続いて行ったドライフォーム工法による高強度コンクリートの耐久性性能確認のための室内試験結果について述べる。

2. 供試体

2.1 使用材料および配合

コンクリートは、水セメント比41%、スランプ 18 ± 1 cm、空気量 4.0 ± 0.5 %、高性能AE減水剤使用の高強度コンクリートとし、強制練りミキサーを用いて、110ℓ/バッチのものを3バッチ混練した。その調査表および使用材料の詳細を表-1に示す。

表-1 コンクリートの実施調査

実 測 値	実 測 値	実 測 値	実 測 値	実 験 調 合							コンクリート 温 度 (℃)	単位容積 質 量 (kg/m ³)
				単位セメント量 C (kg/m ³)	単位水量 W (kg/m ³)	細骨材 S ₁ (kg/m ³)	細骨材 S ₂ (kg/m ³)	粗骨材 G ₁ (kg/m ³)	粗骨材 G ₂ (kg/m ³)	流動剤 (kg/m ³)		
スランプ (mm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/A (%)	401	164	387	396	437	504	5012 (46)	21.0	2339

注) 1. 骨材は表面乾燥飽水状態時の質量を示す。
2. セメントは秩父セメント株式会社製 普通ポルトランドセメントを使用した。
3. 細骨材は、悪川産砂および豊産砂を使用した。
4. 粗骨材は、悪川産砂利および豊産砂利を使用した。
5. 流動剤は日マスタールビルダーズ株式会社製 高性能AE減水剤 (ポゾリスSP-9HS)を使用した。
() 内の数値は、空気量調整剤 (AE-775S)の使用量を示す。

2.2 供試体の種類

供試体は表-2に示す5種類のものを各3体ずつ計15体を用意した。

なお、前報告では実大試験体にて実験を行ったが、本報告ではドライフォームによるコンクリートの性能確認をより厳密に行うため、室内試験用供試体のみとした。

・供試体記号：A-1

供試体の長手方向の片側面にドライフォームを使用。

・供試体記号：A-2

供試体の長手方向の片側面に従来型枠(φ12mmアクリル系樹脂の塗装合板)を使用。

供試体の長手方向の片側面にドライフォームを他の片側面に従来型枠を使用。

・供試体記号：C-1

供試体の長手方向の両側面にドライフォームを使用。

・供試体記号：C-2

供試体の長手方向の両側面に従来型枠を使用。

表-2 供試体の種類一覧

供試体記号	試験型枠の種類	供試体寸法 (mm)	供試体 数 量	供 試 体 概 要 図		試 験 項 目
				平 面	側 面	
A-1	ドライフォーム	15×15×53	3 体			・細孔径分布の測定 ・セメント量分布の測定
A-2	従来型枠	15×15×53	3 体			
B	ドライフォーム 従来型枠	15×15×53	3 体			・促進塩分浸透性試験
C-1	ドライフォーム	10×10×40	3 体			・凍結融解に対する 抵抗性試験
C-2	従来型枠	10×10×40	3 体			

注) ----:ドライフォーム, ———:従来型枠, ———:試験型枠, ▽:コンクリート打設面

2.3 供試体の製作

供試体は、JIS A 1132 (コンクリートの強度試験用供試体の作り方)に準じ、棒状のコンクリート用内部振動機(φ25mm, 9000 vpm)を用いて製作した。

試験型枠の形状および寸法を図-1に、型枠の組立て詳細図を図-2にそれぞれ示す。

コンクリートは2層に分けて打込み、それぞれ図-3に示す各位置でその番号順に従って各3秒間ずつ加振し締め固めた。

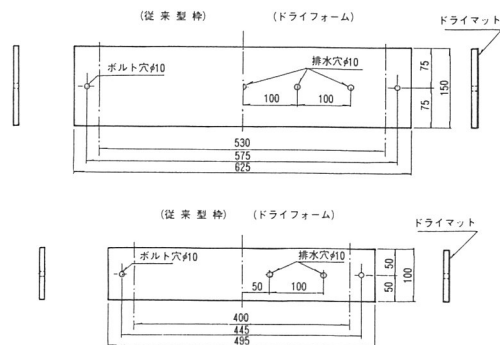


図-1 試験型枠板の形状および寸法

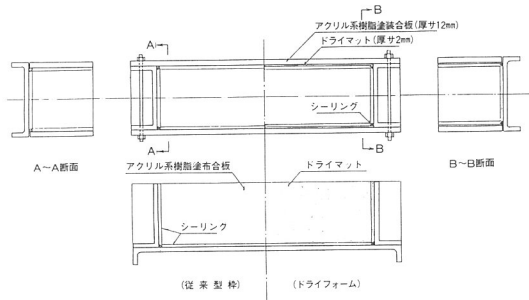


図-2 型枠の組立て詳細図

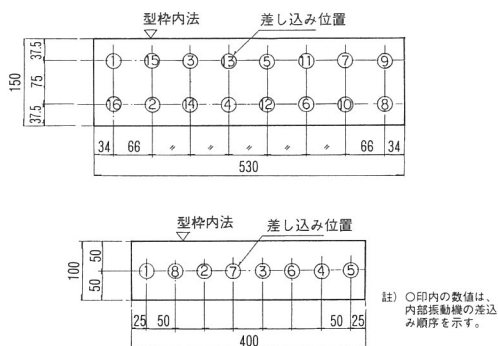


図-3 内部振動機の差し込み位置
および差し込み順序

2.4 供試体の脱型および養生

打設面をビニールシートで覆い、供試体打設後2日間、温度 $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $60 \pm 5\%$ の状態恒温恒湿室内に置いておき、そのあと脱型して、試験の開始まで空中養生を行った。

3. 試験方法

3.1 細孔径分布の測定

供試体A-1およびA-2の各1体について、水銀圧入式ポロシメーターを用いて、試験型枠使用コンクリート表面から深さ方向に、0～5mm、5～10mm、10～15mm、15～30mmの各層毎の細孔径分布を測定した。なお、細孔径分布の測定用試料は、細孔径分布測定に必要な数グラムを各層毎に、コンクリート材令28日時に採取し、アセトンを用いて水和反応を停止させた後、

24時間減圧乾燥（ $5 \times 10^{-3} \text{ kgf/cm}^2$ ）を行い、試験に供した。

3.2 セメント量分布の測定

供試体A-1およびA-2の各3体それぞれについて、「セメント協会・コンクリート専門委員会報告F-18」に準じて、試験型枠使用コンクリート表面から深さ方向に、0～5mm、5～10mm、10～15mm、15～30、30～50mmの各層毎のセメント量を測定した。

なお、セメント量分布の分析用試料は、セメント量分布測定に必要な数グラムを各層毎にコンクリート材令28日時に採取した。

3.3 促進塩分浸透性試験

供試体Bの3体について、塩水浸漬4日間（塩化ナトリウム3%水溶液、溶液温度： 20°C ）、乾燥3日間（空気浴温度： 50°C ）を繰り返す方法により塩分の浸透を促進し、浸漬乾燥を繰り返し3サイクル、10サイクルおよび20サイクルの各サイクル終了時に、供試体を切断し、ドライフォームおよび従来型枠それぞれの試験型枠使用コンクリート表面から、深さ方向に、0～5mm、5～10mm、10～15mm、15～30mm、30～50mmと中央部（50～100mm）の各層毎のコンクリート中の塩分をイオンクロマトグラフ法を用いて分析した。

塩分の抽出は、コンクリートを温度 $105 \sim 110^{\circ}\text{C}$ の空気浴中で24時間乾燥し、 $74 \mu\text{m}$ ふるい全通まで粉碎した後、約2gを計量し、これに水200ccを加え、温度 50°C で30分間攪拌する方法によった。

なお、供試体は、コンクリート材令7日時に、試験型枠使用コンクリート面を除く各面を、エポキシ系塗料でシールし、コンクリート材令10日時から試験を開始した。

3.4 凍結融解に対する抵抗性試験

供試体C-1およびC-2の各3体それぞれについて、JIS A 6204（コンクリート用化学混和剤）附属書2（コンクリートの凍結融解試験方法）に準じ、凍結融解300サイクルまで試験を行った。

なお、供試体は、コンクリート材令7日時に、試験型枠使用コンクリート面を除く各面をエポキシ系塗料でシールし、コンクリート材令28日時から試験を開始した（ただし、試験開始前7日間、温度 20°C の標準水中養生を行った）。

4. 試験結果および考察

4.1 排水量

ドライフォームを使用した供試体（供試体記号 A-1）の型枠面からの排水量の経時変化を図-4 に示す。同図に示すように 3 体の排水量に多少のばらつきは見られるが、1 体あたりの排水量は平均 9.7cc であった。しかしドライフォームの単位面積あたりの排水量は $0.0376\text{cc}/\text{cm}^2$ で、前報告での単位面積あたりの排水量の 8 割程度脱水されている。排水量が前回に比べ少ないのは、今回の供試体では前報告の供試体に比べ、型枠面へのコンクリート側圧が少ないためと考えられる。参考までに、コンクリートのブリージング試験、凝結試験および圧縮強度試験結果を表-3 に示す。

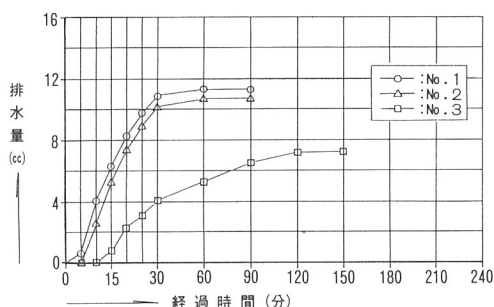


図-4 排水量の経時変化

表-3 コンクリートのブリージング試験、凝結試験および圧縮強度試験結果一覧

ブリージング量 (cc/cm ²)	凝 結 時 間		圧 縮 強 度 (Kgf/cm ²)			
	始	終	標 準 水 中		供 試 体 と 同 一	
	(時-分)	(時-分)	7 日	28 日	7 日	28 日
0.03	5-59	7-41	4.39	5.45	3.50	4.55

4.2 細孔径分布

従来型枠とドライフォームを用いた供試体の表層からの 0～5mm、5～10mm、10～15mm、15～30mm の各層毎の細孔径分布を図-5～8 に示す。これらを見ると、表層部の特に深さ 0～10mm の部分においてドライフォーム使用コンクリートは細孔容積が従来型枠使用コンクリートに比べ減少している。ただその差異は深さが増すにつれ縮少している。

以上のことからドライフォーム試験体では、余剰水の排出により実際の水セメント比が減り、コンクリー

ト表層部において細孔容積が減少し、コンクリートが緻密化したものと考えられる。

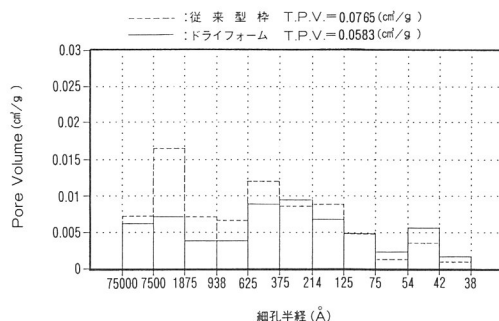


図-5 細孔径分布比較（深さ 0～5mm）

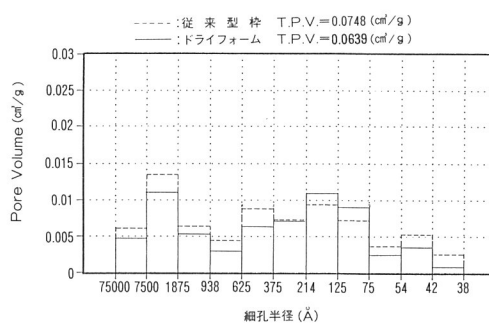


図-6 細孔径分布比較（深さ 5～10mm）

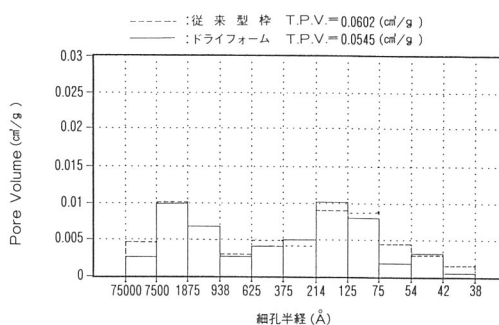


図-7 細孔径分布比較（深さ 10～15mm）

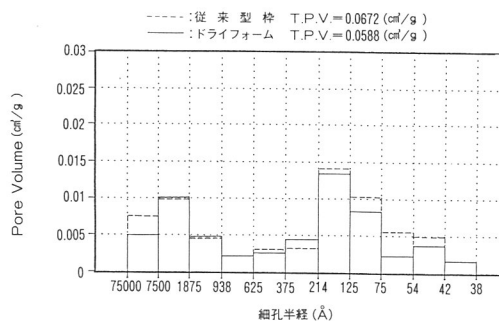


図-8 細孔径分布比較（深さ 15～30mm）

4.3 セメント量分布

供試体の表面から0～50mmの各深さにおけるセメント量分布の結果を図-9に示す。ドライフォーム使用コンクリートのセメント量分布は従来型枠使用コンクリートに比較して、図からも明らかのように各深さにおいて大きくなっており、特に0～5mmのごく表層の部分において最大を示している。

以上のことは、細孔径分布の結果と同様に、コンクリート表層部において、余剰水の排出とそれに伴うセメント微粒子の移動により、水セメント比が減り、表層部のセメント量が多くなったものと思われる。

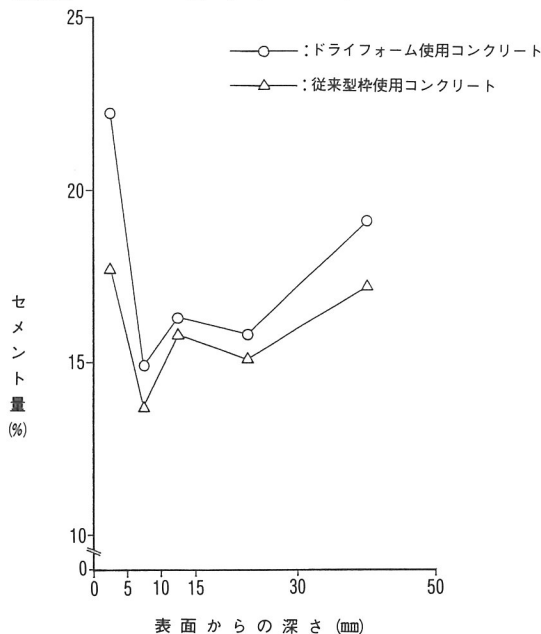


図-9 セメント量の分布

4.4 塩分浸透量

促進塩分浸透性試験の結果を図-10に示す。塩分浸漬、乾燥繰り返し20サイクル終了時における表面からの深さ30～50mmの層（RC構造物の鉄筋位置に相当する）では、ドライフォーム使用コンクリート面からの塩分浸透量は、従来型枠使用コンクリート面からの塩分浸透量の約1/2程度であった。

このことは、ドライフォームを使用することにより、緻密化された表層部がフィルターの役割を果たし、塩分の浸透を抑止するためだと思われる。

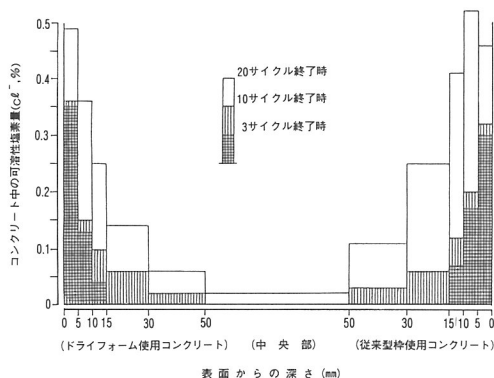


図-10 促進塩分浸透性試験の結果

4.5 凍結融解抵抗性

凍結融解抵抗性試験の結果を図-11に示す。凍結融解300サイクル終了時においても、ドライフォーム使用コンクリートと従来型枠使用コンクリートのそれぞれのコンクリートの相対動弾性係数（耐久性指数）は高耐久性コンクリートの品質目標である70%以上の値を示し、明確な有意差は認めがたいが、質量減少率においては従来型枠使用コンクリートの表面劣化による質量減少率の増大量がドライフォーム使用コンクリートに比べ大きくなる傾向がみられる。また試験体の表面状況（写真1を参照）を比較すると、ドライフォーム使用コンクリート表面の劣化は従来型枠使用コンクリートに比べかなり小さいことが確認できた。

以上のことから、今回試験に供したコンクリートが高強度コンクリートであるため耐久性のレベルが高く、凍結融解300サイクル終了時において相対動弾性係数では大きな差が認められなかったが、質量減少率が少ないことや目視などからドライフォームの使用により凍結融解の抵抗性能が向上していることが確認できた。

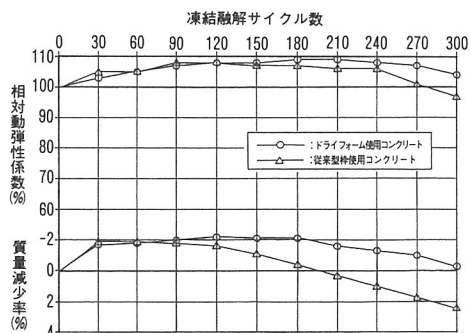
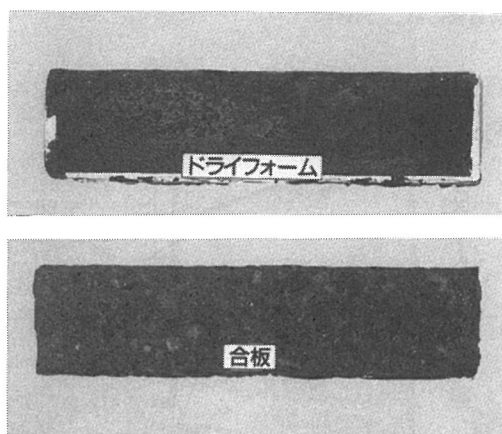


図-11 相対動弾性係数および質量減少率と凍結融解サイクル数の関係



写真－１ 凍結融解抵抗性試験における供試体の
表面状況（１サイクル $5^{\circ}\text{C} \sim -18^{\circ}\text{C}$ / 3h
300サイクル後）

5. まとめ

本研究から以下の事が確認された。

- 1) 細孔径分布およびセメント量分布の測定結果より、ドライフォーム使用コンクリートは従来型枠使用コンクリートに比べ、表層部分で細孔容積が減少し、セメント量も増大している。これはドライフォームによるコンクリート余剰水の排出とそれに伴うセメント微粒子の移動によりコンクリート表層部が緻密化したことによると考えられる。
- 2) コンクリート表層部の緻密化によりドライフォーム使用コンクリートの塩分浸透深さは従来型枠使用コンクリートに比べ約1/2に抑えられ、また凍結融解抵抗性についても質量減少率や目視からドライフォームの使用により抵抗性が向上することが確認された。

なお、今回の供試体は高さが10cmと15cmの小さいものであり、型枠面へのコンクリート側圧がほとんど働かず、一番悪い条件下での性能確認試験であったと思うが、ドライフォームを使用することで、コンクリートの表層部が緻密化され、耐久性能も向上することが確認できた。

6. あとがき

本実験を行うにあたり、御指導いただいた（財）日本建築総合試験所の材料試験室の方々に深く感謝するとともに、当工法を共同開発し、協力頂いた J. C. コンポジット株式会社の各位に対してお礼申し上げます。