

10. 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

崎 山 和 隆 木 村 建 治
石 原 誠一郎 立 松 和 彦
島 垣 利 久*

要 旨

近年、コンクリート構造物の早期劣化が大きな社会問題となり、コンクリートの耐久性向上が、社会のニーズとして高まっている。

このような背景のもと、当社ではコンクリート中の余剰水や気泡を型枠外に排出してコンクリート表面の耐久性を向上させる型枠工法「ドライフォーム工法」を開発してきたが、今回このドライフォーム工法を、現在開発中の浅沼型超高層RC造住宅「A-HRC30」の施工法として採用し、高強度コンクリートについても、その耐久性を向上させる効果があるかどうかの確認実験を行った。実験の結果、高強度コンクリートにおいても当工法の実用性を確認することができたので、ここに報告する。

キーワード

透水型枠／コンクリート／余剰水／耐久性／型枠／中性化／ドライフォーム

目 次

- | | |
|-----------------|---------|
| 1. はじめに | 4. まとめ |
| 2. ドライフォーム工法の概要 | 5. あとがき |
| 3. 実験結果報告 | |

10. STUDY OF DURABILITY IN HIGH-STRENGTH CONCRETE USING EXCESS WATER AND AIR PERMEABLE FORM (DRY FORM)

Kazutaka Sakiyama Kenji Kimura
Seiichiro Ishihara Kazuhiko Tatematsu
Toshihisa Shimagaki

Abstract

Early deterioration of concrete structures are serious social problems to be solved, increasing the requirements for more durable concrete.

ASANUMA CORPORATION has developed the “Dry Form” method, a form method which enhances the durability of the concrete surface by permeating excess water and trapped air from ready-mixed concrete in the form. Recently, we used this “Dry Form” method during development of Asanuma High-rise RC Residential Building (A-HRC30) System to verify the effects of the method on high-strength concrete to enhance its durability. The tests proved that this method is also practical for high-strength concrete. This report describes the results of our tests.

* 東京本店建築部 技術課

1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート構造物の耐久性について社会的関心が高まってきている。従来から半永久的と考えられていた鉄筋コンクリート構造物の寿命が、早期劣化によって相当短くなっている事が明らかにされてきたからである。

このような状況を踏まえ、現在までコンクリート表面の耐久性向上目的として、透水型枠を使った事例がいくつか紹介されているが、いずれも施工性とコストにやや問題があるので、当社ではその解決に向けて、施工性が良く、しかも高い効果の生み出せる工法をめざして「ドライフォーム工法」の開発に着手した。以下、特に高い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焦点を絞り、これまで行ってきた施工実験とその結果について述べる。

2. ドライフォーム工法の概要

2.1 ドライフォーム工法の機構

コンクリートには、施工上必要なワーカビリティをうため、セメントの水和反応に必要な水量以上のいわゆる余剰水が含まれている。

コンクリートの締固め時に、その余剰水や空気泡が型枠面へ排出され、それがコンクリート表面にあばたやピンホールをつくる原因となっているが、同時にその余剰水が型枠のせき板にそって上昇し、コンクリート表層部の水セメント比を大きくし、表層部の耐久性が内部よりも劣るという結果につながっている。

今回、浅沼組、株式会社ダイフレックスおよびJ.C.コンポジット株式会社と共同で開発したドライフォーム工法は、図-1に示すような機構を持つものであるが、型枠となるせき板に、以下に述べる特殊なマットを張り、そのマットを通じてコンクリート表面に出てきた気泡や余剰水を型枠外へ排出し、コンクリート表層部の組織を密実化しようとするものである。

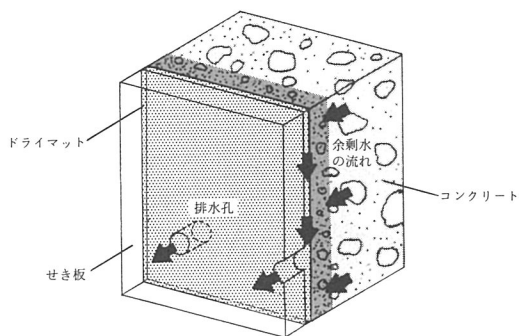


図-1 ドライフォーム工法の機構図

2.2 ドライマットの構造

今回開発したドライマット(商品名CDマット)は図-2に示すように基布に綿状の繊維を針でたたき込んだ(ニードルパンチ処理)不織布の表面を熱処理をして、微細な通気、排水孔を多数有するフィルム層とコンクリートの余剰水の水路となる不織布部分とを一体化したもので、その裏面にスリット状に粘着剤を塗布したマットである。

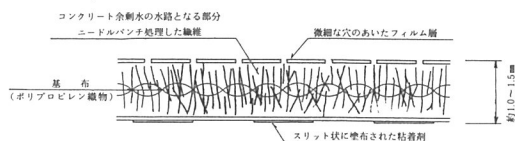


図-2 ドライマットの構造モデル図

上記構造により、セメント粒子はそのまま、余剰水のみを型枠外へ排出することができると同時に、マットがはがれやすく施工性を大きく向上させている。

下にこのドライマットの物性をあげる。

材 質	ポリプロピレン繊維
重 量 (g/m ²)	570
厚 さ (mm)	1.0～1.5

2.3 ドライフォーム工法の特長

ドライフォーム工法は、以下の特長をもっている。

- (1) マットの型枠への取り付け性能がよい。

従来の工法では、マット類を型枠にホッチキスや釘でとめねばならず、その張り付けに手間がかかっているが、当工法では、あらかじめマットに粘着剤を塗布し離型シートで保護しているため、シートをはがすだけでワンタッチで型枠に張りつけられる。また、型枠締付け用のセパ穴をあける際、他の製品のように、ドリルによるマットの巻き込みがない。

- (2) マット表面に特殊な加工処理を行っているため、型枠脱型時に、コンクリートからはがれ易い。
- (3) マット全体が余剰水を排水するためのフィルターになっており、かつ、マットの内層部が水の通り道にもなるので、型枠ベニヤに設ける排水孔（穴）が他の工法にくらべ少なくてよい。

当工法における型枠ベニヤへあける穴の位置の標準仕様を図-3に示す。

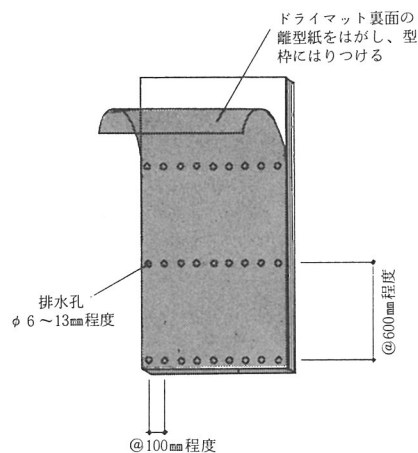


図-3 ドライフォーム工法による
型枠パネル排水孔の標準仕様例

3. 実験結果報告

以下、実物大の高強度コンクリートについて行った実験とその結果について述べる。

3.1 実験目的

本実験はドライフォームと合板型枠を用いて高強度コンクリートを打設したそれぞれの試験体の性能を比較し、コンクリートの耐久性がドライフォーム工法でどの程度向上するかをみるために行ったものである。

3.2 実験項目

実験は以下の項目について行った。

- (1) 排水量の測定
(2) シュミットハンマーによる表面強度試験
(3) コアサンプルによる圧縮強度試験
(4) コアサンプルによる中性化促進試験

3.3 試験体

図-4のように一辺が90cmの立方体となるよう、ドライフォームと合板型枠を使ったものの試験体をそれぞれ1体ずつ作成した。ドライフォームを使った型枠には図-5に示すように、せき板の下部にφ13mmの排水穴を開け、その上にドライマットを張り付けた。従来型枠の方は、アクリル系樹脂を塗布したφ12mmの化粧合板を使用した。

写真-1にドライマットの張り付け状況を示す。

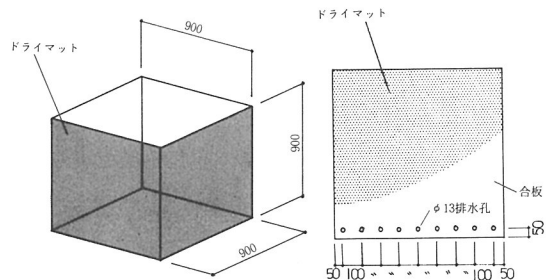


図-4
試験体形状

図-5
ドライフォームによる
試験体の型枠仕様



写真-1

コンクリートは、設計基準強度 $F_c = 420 \text{ kgf/cm}^2$ の高強度コンクリートを使用したか、その調査は表-1のとおりである。

表-1 コンクリート調合表

設計基準 強度 kgf/cm^2	スランプ cm	空気量 %	W/C %	s/a %	W kg/m^3	C kg/m^3	細骨材 kg/m^3	粗骨材 kg/m^3	混和剤
420	18	4.0	41	44.5	165	403	776	980	高性能AE 減水剤

各々の試験体は同一の生コン車から直接シュートによって打設した。打込みは30cmごとに3層に分けて行い、各層において棒状バイブレータで十分に締め固めた。

型枠の脱型は材令7日目に行った。

3.4 試験方法と結果

(1) 排水量の測定

ドライフォーム試験体の側面に、写真-2に示すような排水量測定装置をとりつけ、その側面から排水量をコンクリート打設後から排水が停止するまで15分間隔で測定した。



写真-2 排水量測定装置

排水された水量を経過時間毎に積算したグラフを図-6に示す。時間の経過とともに排水量が増し、打設後1時間程度で排水がほぼ終了した。ドライフォーム自体に約0.0256cc/cm³の含水量があるので、ドライフォームは単位面積当たり

$159 \text{ cc} / (90 \text{ cm} \times 90 \text{ cm}) + 0.0256 \text{ cc/cm}^3 = 0.0452 \text{ cc/cm}^3$ の余剰水を排出したことになる。

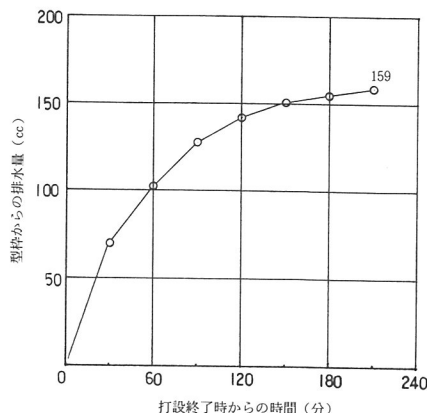


図-6 型枠面からの排水量の経過変化

(2) シュミットハンマーによる表面強度試験

表面強度をみるため、シュミットハンマーにより測定を行った。各々の試験体について、図-7に示す位置で、試験材令7日と28日の2回についておこなった。測定した反発硬度は、日本建築学会の換算式を用いて換算し、表面強度を算出した。

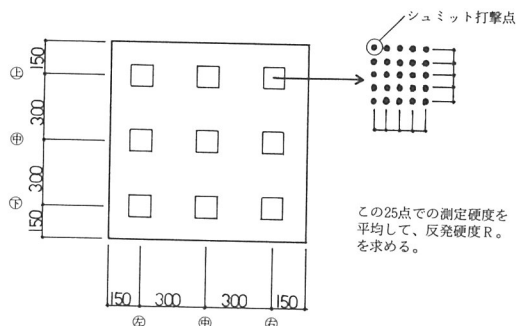


図-7 表面強度の測定位置

ただし、シュミットハンマーには高強度コンクリートの強度を推定できるだけの汎用性があるとは考えられないことから、その数値をただ相対的に比較するに止めた。

図-8からわかるように、ドライフォームによるコンクリートの表面強度は、合板型枠による表面強度よりも相対的に大きな値を示しており、材令4週で約15%前後向上している。

しかし、図-9の高さ別に測定した結果からでは、上部へいくほど強度の差が小さくなっている。上部では排水効果が弱まってしまい表面強度の向上に寄与していないのではないかと推察される。

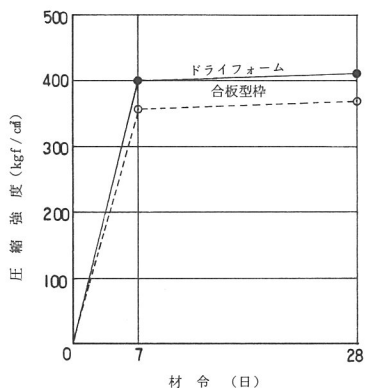


図-8 材令による表面強度変化

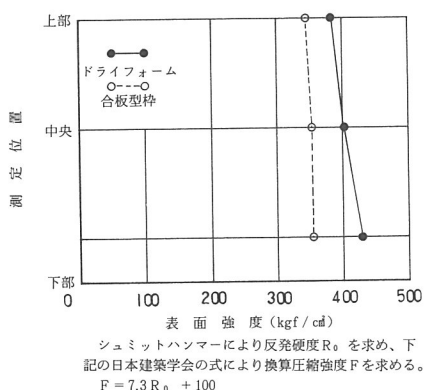


図-9 測定位置による表面強度変化 (材令4週)

(3) コアサンプルによる圧縮強度試験

試験材令25日目に、各々の試験体から図-10に示す位置でコアサンプルを採取し、材令28日目に JIS A 1108 に準じて圧縮試験を行った。

図-11にその結果を示す。圧縮強度試験からはあまり差異は見られなかった。

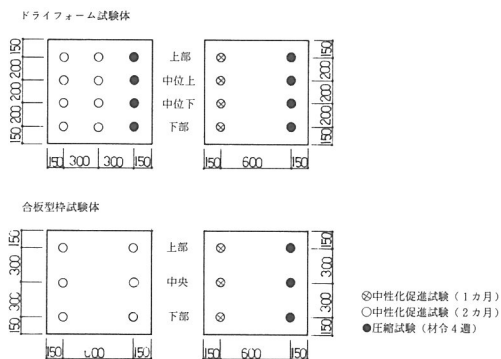


図-10 コアサンプル採取位置

(4) コアサンプルによる中性化促進試験

図-10に示す位置で横方向に抜いて採取した。

採取したコアサンプルを型枠面から10cmの長さに切断し、側面と底面を樹脂コーティングして供試体を作製した。

この供試体を、温度40℃、相対湿度40%、 CO_2 濃度10%の中性化促進試験槽に入れ、30日および60日間静置した後取り出して、割裂試験を行った。

割裂した試験体断面にフェノールフタレイン1%のアルコール溶液を噴霧し、その中性化深さを測定した。

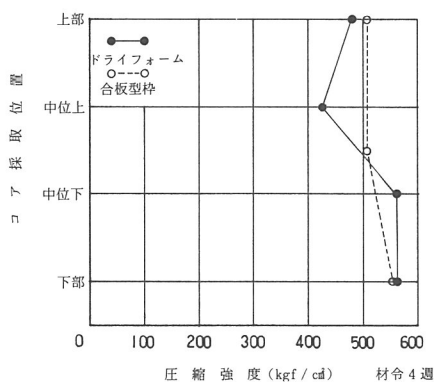


図-11 圧縮強度試験結果

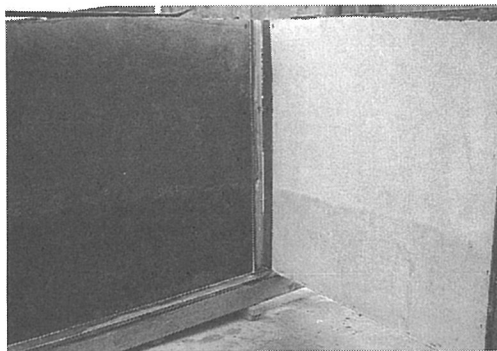


写真-3 ドライフォームによる試験体の脱型状況

図-12に中性化促進試験結果を示す。

ドライフォーム面から採取したコアの中性化深さは合板型枠面から採用したコアと比較して、促進期間2ヶ月で約1/2の値になっており、ドライフォーム工法の採用でコンクリートの中性化が非常に抑制されているのが確認された。

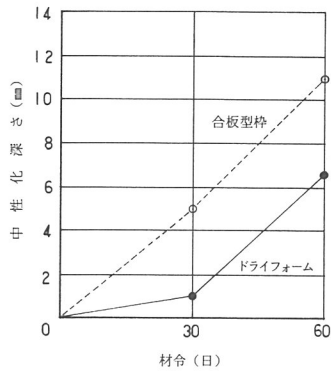


図-12 中性化促進試験結果

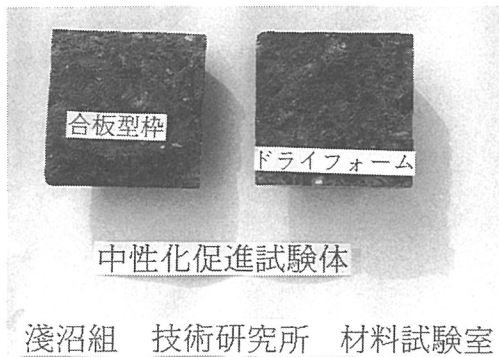
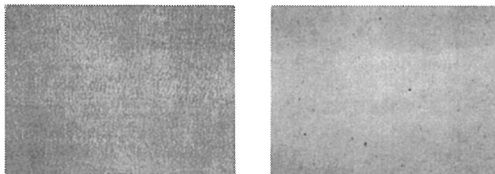


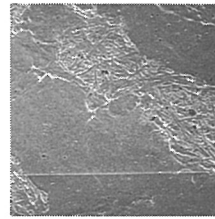
写真-4 中性化促進結果例（材令2カ月）

なお、各々の試験体のコンクリート表面の目視による比較写真を写真-5のa), b)に、電子顕微鏡による比較写真を写真-6のa)～d)に示す。ドライフォームにより施工したコンクリート表面には合板型枠の使用面にみられるようなピンホールやあばたがほとんど見られず排水効果の高さが確認された。

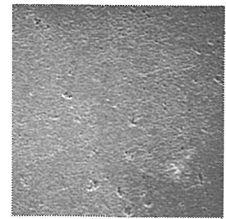


a) ドライフォーム型枠 b) 合板型枠

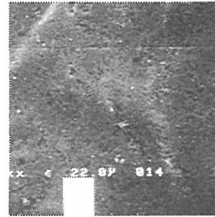
写真-5 目視によるコンクリート表面



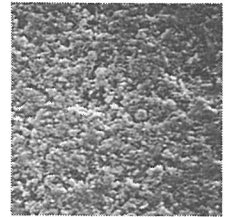
a) ドライフォーム型枠
(27倍像)



b) 合板型枠
(26倍像)



c) ドライフォーム型枠
(450倍像)



d) 合板型枠
(430倍像)

写真-6 コンクリート表面の電子顕微鏡写真

4. まとめ

本実験は、ドライフォーム工法を超高層RC造住宅での施工に採用する際の基礎資料の作成を目的に、設計基準強度 $F_c = 420 \text{ kgf/cm}^2$ の高強度コンクリートをドライフォーム工法と合板型枠の各々で施工し、耐久性性能の比較実験を行ったものであり、次のような結論を得ることができた。

- (1) 表面強度はシュミットハンマーによる硬度試験結果からみて、合板型枠に比べ約15%向上するのが分かった。しかし、コア採取による圧縮強度試験では、ほぼ同じ強度しか示していないことから、強度の向上は表層部に限られていると考えられる。
- (2) コンクリートの中性化深さは、中性化促進試験からみて、合板型枠に比べ約1/2以下になっており、耐久性が著しく向上しているのが分かった。
- (3) しかし、側圧があまりかからない試験体の上部付近では中位、下位に比べ、表面強度、中性化深さとも合板型枠と同程度の性能しか得られない部分があった。今後、上部についても中位、下位と同程度の性能向上が得られるよう工法の改善（排水穴の高さ位置の検討など）を行って行きたいと考えている。
- (4) コンクリート表面については、脱気、脱水が预期していた以上に行われたためか、あばたやピンホールは全く見られず、当工法の有効性が確認された。

5. あとがき

本研究によって、水セメント比の小さい高強度コンクリートについても、ドライフォーム工法の性能が十分発揮できることが分かり、耐久性能が向上することが確認できた。

今回は小実験における結果についての報告に止まったが、今後はさらに実施工で実験を行い、その性能を綿密に確認していきたいと考えている。

最後に、本ドライフォーム工法に使用したマットの提供と共同開発に尽力していただいた株式会社ダイフレックスとJ. C. コンポジット株式会社の各位に対し心よりお礼申し上げます。