

吹付けコンクリートの特性に関する基礎的研究 (15)

—吹付けコンクリートの耐久性に関する実験的検討—

Properties of Shotcrete (15)

Experimental Study on Durability of Shotcrete

坂本 淳*・入内島 克明**・浅野 篤***・魚本 健人****

Jun SAKAMOTO, Katsuaki IRIUCHIJIMA, Atsushi ASANO and Taketo UOMOTO

1. はじめに

近年、シングルシェルライニングなどへの吹付けコンクリートの適用検討など、吹付けコンクリートの品質の向上(高強度化、施工性の向上など)を目的とした研究開発が盛んに行われている¹⁾。しかし、一般に吹付け作業はノズルマンの経験や「かん」に依存するところが多いため、吹付けコンクリートの品質に関してはばらつきが生じやすいことなどが知られており²⁾、こうした品質変動の制御方法や、耐久性などに関して明確にされていない部分が多い。

このような吹付けコンクリート技術の現状に対して、著者等は同コンクリートの品質変動制御技術の開発や、材料の高品質化などを目的とした共同研究を平成9年度より進めており、既報において各種配合要因とリバウンド特性や硬化特性との関係などについて報告してきた³⁾。

本報告はこれら一連の研究において、一般的な湿式吹付けコンクリートの耐久性能を調査する目的で実施された、各種耐久性試験の結果について報告するものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料

本実験では、湿式吹付けコンクリートを対象とし、表1に示す配合、および使用材料を用いた。配合 No.1～5では単位セメント量、空気量などを検討要因とし、促進中性化試験、凍結融解試験、および長さ変化試験を各々行った。配合 No.6については供試体の形状や供試体採取場所などを検討要因として、長さ変化試験のみを行った。なお、急結剤にはカルシウムアルミネート系のものを単位セメント量の7%程度使用し、配合 No.5については、その他に添加

量を4, 8%程度とした場合の供試体についても凍結融解試験を行った。

コンクリートはレディーミクストコンクリート工場で製造したものを、トラックアジテータ車により運搬時間約20分程度で吹付け実験場所(半径4.5m×延長17mの半円形模擬トンネル内)へ運搬し、吹付け実験に使用した。

2.2 供試体採取方法および養生条件

供試体の種類は、急結剤を添加しない試料として吹付け機械により搬送される前に採取したもの(以下、搬送前と称す)、および吹付け機械により搬送されノズル先端において採取したもの(以下、搬送後と称す)、さらに、急結剤を添加した試料として吹付け機械によりパネル型枠(長さ60cm×幅60cm×高さ25cm)等に吹付けられたもの(以下、吹付けと称す)とに大別される。

コンクリートの吹付け用機械としては配合 No.1～5は空気搬送方式のものを、配合 No.6はポンプ圧送方式のものを使用した。圧送圧力は、空気搬送方式では0.4MPa、ポンプ圧送方式では0.25MPaとし、吐出量、および吹付け距離は全ての場合で各々8m³/hr、1.5mとした。

促進中性化試験では供試体作成後、材齢4週まで20℃水中養生し、さらに湿度60%、温度20℃の室内にて4週間乾燥させ、試験開始直前にエポキシ樹脂により測定面以外をシーリングしてから試験を行った。また、凍結融解試験、および長さ変化試験については各々、供試体作成から材齢14日、および7日まで20℃水中養生を行い、試験を行った。

2.3 実験項目および実験方法

表2に実験項目および実験方法を示す。

フレッシュ時の品質確認試験は、搬送前後に急結剤を添加しない試料を採取して行った。また、空隙率については供試体の乾燥質量、煮沸吸水質量などを測定し、ASTM C 642に準拠して算出した。

*大成建設株式会社

**電気化学工業株式会社

***清水建設株式会社

****東京大学国際・産学共同研究センター

表1 配合および使用材料

配合 No.	Gmax (mm)	スランプの 範囲(cm)	W/C (%)	空気量の 範囲(%)	s/a (%)	単用量 (kg/m ³)					試験項目		
						W	C	S	G	SP	中性化	凍結融解	長さ変化
1	13	12±2.5	63.9	2.0±1.0	60.0	230	360	988	684	—	○	—	○
2		18±2.5								3.6	○	○	○
3			3.7										
4		6.0±1.0	54.9	460	803	0.9	—	—	○	—			
5		12±2.5	63.9	2.0±1.0	60.0	230	360	988	684	—	—	○	—
6		20±2.5	43.3	2.0±1.0	60.0	195	450	1002	699	0.5	—	—	○

種別 (記号)	名称	比重	特性・主成分
水 (W)	水道水	1.00	—
結合材 (C)	普通ポルトランドセメント	3.16	比表面積 = 3260cm ² /g
細骨材 (S)	君津産山砂	2.60	吸水率 = 2.0%, 粗粒率 = 2.60 (比重値は表乾比重)
粗骨材 (G)	名栗村産 6号碎石	2.72	吸水率 = 0.44%, 粗粒率 = 6.24 (比重値は表乾比重)
混和剤 (SP)	高性能減水剤	1.05	ポリグリコールエステル誘導体

表2 実験項目および実験方法

実験項目	実験方法
フレッシュ時の 品質確認試験	スランプ試験 空気量試験
空際率測定	JIS A 1101 に準じた ASTM C 642 に準じた
促進中性化試験	JIS A 1128 に準じた 温度 30°C, 相対湿度 60±5%, 炭酸ガス濃度 10±0.2% 測定材齢: 1週, 4週, 13週 (フェノールフタレイン法による)
凍結融解試験	JSCE-G501 に準じた (試験開始材齢 14日)
長さ変化試験	JIS A 1129 に準じた (コンタクトゲージ方法, 温度 20±1°C, 湿度 60±5°C)

3. 実験結果

3.1 フレッシュ時の品質確認試験および空際率測定結果

空気量試験結果を図1に示す。同図に示すように、配合 No.4 は他配合に比べて搬送前の空気量を多くしたが (7.5%), 搬送により空気量は半分以下となった。また、硬化コンクリートの空際率についても搬送後は低下する傾向がみられたが、さらに吹付けられると搬送前に比べ、空際率は同等、あるいはやや増加傾向であった。なお、スランプはどの配合、搬送方法においても、搬送により 50% 程度低下する傾向にあった。これらフレッシュ性状や空際率の変化に関しては、搬送管内でコンクリートが圧縮空気により乱されたり、搬送後にノズル先端から排出される際に水、セメント、骨材の微粒分などを主とした粉じんが発生・逸散するため、搬送あるいは吹付けによりコンクリートの配合組成や気泡組織が変化していることなどが、その原因として考えられる。

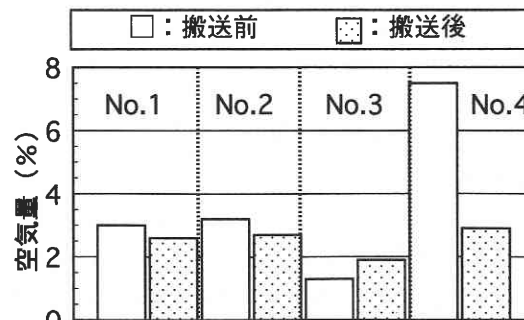


図1 空気量試験結果

3.2 促進中性化試験結果

吹付け供試体の促進中性化試験結果を、図2に示す。

一般に中性化深さと促進材齢の平方根は比例関係にあるが⁵⁾、本実験においても配合や供試体採取場所にかかわらず、同図に示すような相関関係がみられた (相関係数 0.9 以上)。

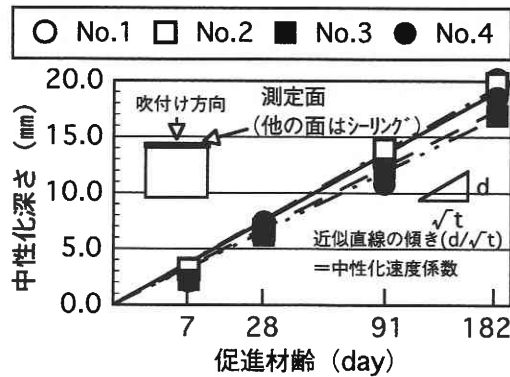


図2 促進中性化試験結果
(パネル型枠へ吹付けた供試体よりφ10×10 cm コアを採取し、試験を実施)

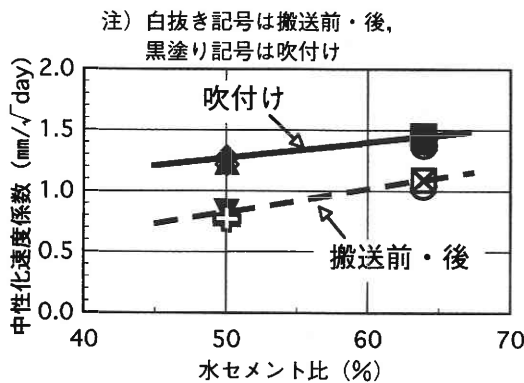


図3 水セメント比と中性化速度係数との関係

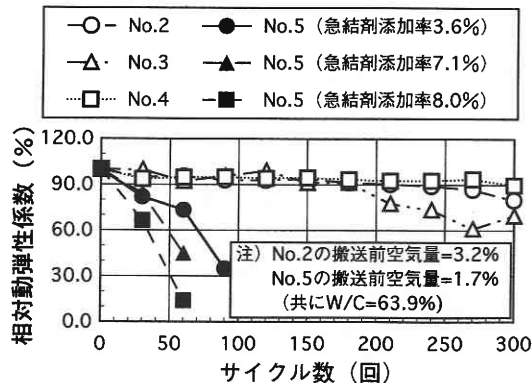


図4 凍結融解試験結果
(15×15×53 cm 型枠へ吹付け、10×10×40 cm 供試体にカット・整形したものにより試験を実施)

次に、同図に示す近似直線の傾きを中性化速度係数とし、各配合の中性化速度係数と水セメント比との関係を図3に示す。同図から、一般に知られているのと同様に、水セメント比が小さいと中性化の進行が遅い傾向にあることが分かります。この傾向は吹付け機械による搬送前後や、急結剤添

加の有無にかかわらずみられる。また、搬送前後で中性化の進行は変化がほとんど無いこと、搬送前後と比べ、吹付けられると中性化の進行速度は30～50%程度増加することなどが分かる。吹付けられた場合の中性化進行が早まる原因としては、吹付け供試体の空隙率は搬送前後と比べてやや大きいことから、吹付け供試体の硬化体組織は、搬送前後に採取した供試体に比べて緻密でないこと等が考えられる。

3.3 凍結融解試験結果

図4に、吹付け供試体の凍結融解試験結果を示す。一般に同試験では300サイクルの時点で相対動弾性係数が60%以上確保されていれば、凍結融解抵抗性を有すると評価されるが、今回の実験でこの指標を上回った配合は、水セメント比の小さい配合(No.3, 4)、あるいは搬送後の空気量が3%強の配合(No.2)であった。同図に示すように同じ水セメント比の配合(No.2, 5)でも空気量3%程度を境とした、わずかな空気量の差、あるいは気泡組織の違いが凍結融解抵抗性に影響しているものと思われる。また、今回の実験の範囲では、急結剤添加量が増加すると凍結融解抵抗性は低下する傾向がみられた。

3.4 長さ変化試験結果

配合No.1の長さ変化試験結果を図5に示す。同図に示すように、吹付け供試体は搬送前後の試験体に比べて長さ変化率が大きい傾向にある。また、質量変化率については、搬送前の供試体が他より変化が大きい傾向にあり、これらの実験結果の傾向はいずれの配合に関しても同様であった。供試体採取場所が質量変化率に及ぼす影響については、硬化体中の自由水量が影響しているものと思われる。すなわち、搬送あるいは吹付けによりコンクリート中の水分が粉じんやね返りとして逸散し、自由水が減少することや、吹付け供試体については急結剤が添加されるため、初期に硬化が促進され、自由水も消費されることなどが、その原因として考えられる。

なお、図5に示す長さ変化率試験結果においては、供試体形状の相違を考慮する必要がある。図6は、配合No.6をポンプ式吹付け機械によりパネル型枠へ吹付けた供試体からカット、またはコア抜きして製作した吹付け供試体に関する長さ変化率測定結果である。同図における10×10×40 cm 供試体とφ10×40 cm 供試体との差は、乾燥期間が長くなるほど小さくなる傾向がみられ、30～100μ程度である。一方、図5において搬送前・後(10×10×40 cm)と吹付け(φ10×40 cm)との長さ変化率の差は、最大600μ程度である。したがって、図5の実験結果においては供試体形状の相違を考慮しても、搬送前後に比べて、吹付けの場合には長さ変化率がやや大きくなる傾向にある

研 究 速 報

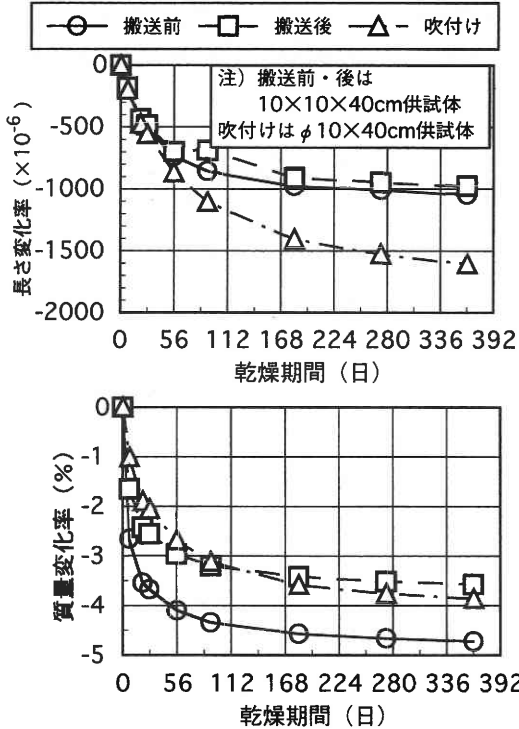


図5 長さ変化試験結果 (配合 No.1)

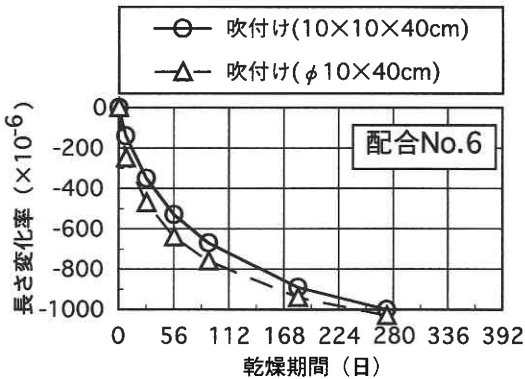


図6 長さ変化試験結果 (配合 No.6)

と考えられる。その原因としては、前記のように吹付けにより硬化体組織の緻密さが低下したことや、吹付けによるはね返りに伴い、長さ変化を拘束する効果のある粗骨材の硬化体中に占める割合が、搬送前後に比べて小さくなったこと等が考えられる。なお、本研究で対象とした配合では、水セメント比やスランプの相違に伴う長さ変化率の差は明確にみられなかった。

4. ま と め

一般的な湿式吹付けコンクリートについて行った各種耐久性試験結果から、本研究の範囲内で以下の知見が得られた。

- (1) 吹付けコンクリートの中性化深さと促進材齢の平方根には、比例関係がみられ、吹付けコンクリートの中性化の進行速度は、搬送前後と比べて増加傾向にあり、水セメント比が小さいほど中性化の進行が遅い傾向にあった。
- (2) 吹付けコンクリートにおいては、水セメント比が小さいほど、あるいは空気量が多いほど、凍結融解抵抗性は高い傾向がみられた。
- (3) 吹付けコンクリートの長さ変化率は、搬送前後のコンクリートに比べてやや大きい傾向にあり、質量変化率については搬送後および吹付けは同等であり、搬送前より小さい傾向にあることが確認された。

謝 辞

本研究は、東京大学生産技術研究所における「高品質吹付けコンクリートの開発」を目的とした共同研究による成果である。東大生研技官の西村次男氏、および受託研究員の荒木昭俊氏、小林裕二氏をはじめ、共同研究員である(株)青木建設 駒田憲治氏、(株)エヌエムピー 富山徹氏、(株)大林組 田湯正孝氏、鹿島建設(株) 大野俊夫氏、(株)熊谷組 岡田喬氏、佐藤工業(株) 大野一昭氏、(株)竹中土木 安藤慎一郎氏、東急建設(株) 伊藤正憲氏、飛鳥建設(株) 平間昭信氏、西松建設(株) 松浦誠司氏、太平洋セメント(株) 綾田隆史氏、(株)間組 杉山律氏、前田建設工業(株) 赤坂雄司氏、および協力会社として御協力頂いた(株)北川鉄工所 見浦光夫氏、(株)東京測器研究所 佐藤達也氏、また、コンクリートの供給に御協力頂いた千葉菱光(株)本社工場の方々、さらに、千葉工業大学卒論生 今村信仁氏、芝浦工業大学卒論生 久保田雄彦氏に深い感謝の意を表します。

(1999年9月10日受理)

参 考 文 献

- 1) 例えば、杉山律ほか：各種材料を用いた高強度吹付けコンクリートの諸物性に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19, No.1, pp.1423-1428, 1997.6.
- 2) 土木学会，コンクリート標準示方書（施工編），pp.275-289, 1996.3.
- 3) 例えば、荒木昭俊ほか：吹付けコンクリートの特性に関する基礎的研究(4) 各種配合要因の変化が吹付けコンクリートのフレッシュ及びリバウンド特性に与える影響，生産研究，第50巻第4号，pp.182-185, 1998.4.
- 4) 杉山律ほか：吹付けコンクリートの圧送性状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.21, No.2, pp.1357-1362, 1999.6.
- 5) 魚本健人ほか：コンクリートの中性化速度に及ぼす要因，土木学会論文集，No.451, V-17, pp.119-128, 1992.