

## 吹付けコンクリートの特性に関する基礎的研究 (5)

—各種配合要因の変化が強度特性および空隙特性に及ぼす影響—

Properties of Shotcrete (5)

Properties of Strength and Void of Shotcrete with Change of Various Mix Proportion

小 林 裕 二\*・笹 川 幸 男\*・酒 井 芳 文\*・西 村 次 男\*・魚 本 健 人\*

Yuji KOBAYASHI, Yukio SASAGAWA, Yoshihumi SAKAI, Tugio NISHIMURA and Taketo UOMOTO

### 1. は じ め に

本報告は、吹付けコンクリートの配合と品質の関係を明確するための精度のよい基礎データの収集を目的に、吹付け機やノズルワーク等の施工条件を可能な限り一定としたうえで、種々な配合のコンクリートでの実物規模の吹付け実験を行った結果をとりまとめたものである。

前報<sup>1)</sup>では、詳細な実験概要と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ついて荒木らによって報告した。本報告では、強度特性、および空隙特性について報告する。

### 2. コンクリート配合および測定項目

コンクリートの配合を表1に示す。

吹付けコンクリートの初期強度の測定は、JSCE-G561-1994に準じた初期強度測定用のプルアウト試験用型枠9枚に吹付けを行った後、引抜き試験を行いせん断強度から圧縮強度に換算した。引抜き試験は、吹付け終了後直ちに恒温恒湿養生室内に運び込み、温度20°C、湿度60%RHの条件下で、材齢1時間、3時間、24時間について各3本ずつ行った。

吹付けコンクリートの圧縮強度試験は、JSCE F 561に準じた60 cm × 60 cm × 25 cmの箱形型枠に吹付けを行った後、2日間、温度20°C、湿度60%RHの条件下で、湿布養生したパネル試験体からφ10 cm × 20 cmのボーリングコア供試体を採取し材齢7日および材齢28日において各3本ずつ行った。採取したコア供試体は、所定の材齢に達するまで標準水中養生とした。管理供試体として吹付ける前の急結剤無添加のコンクリート（以下、ベースコンクリートと称す）の圧縮強度を、φ10 cm × 20 cmの型枠を用いてJIS A 1132に準じて作製し、コア供試体と同じ養生を行

ったものについて各3本ずつ行った。

空隙率の測定は、材齢28日において、ASTM C 642-90に準じて、コア供試体および管理供試体のそれぞれについて行った。

表1 コンクリートの配合

配合 No.	変動 要因	セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	W/C (%)	s/a (%)	細骨材2 置換率 (%)	細骨材 表面水率 (%)	高性能 減水剤 (C×%)	消泡剤 (C×%)	急結材 (C×%)	
1	急結材 添加率	360	58.6	62	15	1.49	0	0	7	
2						1.43	0	0	10	
3						1.43	0	0	4	
4	W/C	360	58.6	62	15	0.98	0.15	0.001	7	
5			53.6			1.01	0.65	0.005		
6			48.6			1.02	1.25	0.01		
7	s/a	360	53.6	57	15	1.14	0.35	0.0035	7	
8				67		0.84	0.80	0.004		
9				スランプ		360	53.6	67		0.91
10	細骨材 表面水率	360	58.6	62	15	5.16	0	0	7	
11						3.50	0	0		
12						1.17	0	0		
13	セメント量	360	48.6	62	15	1.34	1.10	0.008	7	
14		390				1.34	0.70	0.003		
15		420				1.14	0.45	0.0005		
16	細骨材2 置換率	360	58.6	62	15	1.14	0.25	0.005	7	
17						0	0.52	0.25		0.005
18						30	0.63	0.25		0.005
19						50	0.70	0.25	0.005	

### 3. 実 験 結 果

各配合要因における吹付けコンクリートの圧縮強度と材齢の関係を図1～図7に、材齢28日における吹付けコンクリートと管理供試体の圧縮強度と空隙率の関係を図8に示す。

今回用いた引抜き強度測定治具では、換算圧縮強度で20 N/mm<sup>2</sup>が測定の上限であり、水セメント比を48.6%および53.6%とした配合では、材齢24時間での強度が20 N/mm<sup>2</sup>を越える高い強度が得られたために測定ができなかった。また、かろうじて測定が可能であった水セメント比が58.6%の配合における材齢24時間強度についても、15 N/mm<sup>2</sup>を越える高い強度が得られた。

これまでの研究で、カルシウムアルミネート系急結剤を使用した吹付けコンクリートの材齢28日強度は、ベース

\*東京大学生産技術研究所 第5部

## 研 究 速 報

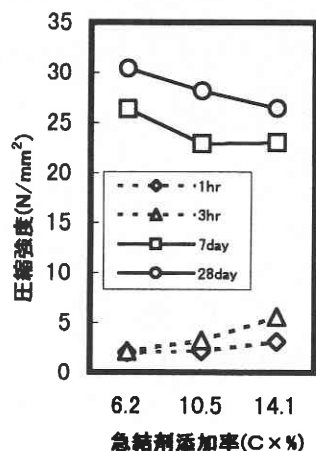


図1 急結剤添加率の変化による材齢と圧縮強度の関係（吹付けコンクリート）

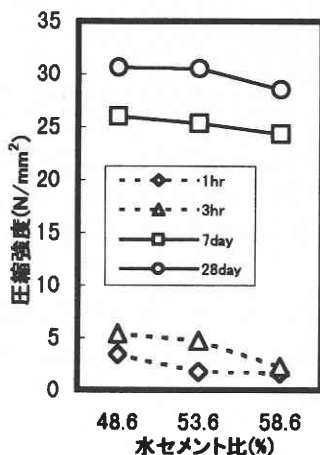


図2 水セメント比の変化による材齢と圧縮強度の関係（吹付けコンクリート）

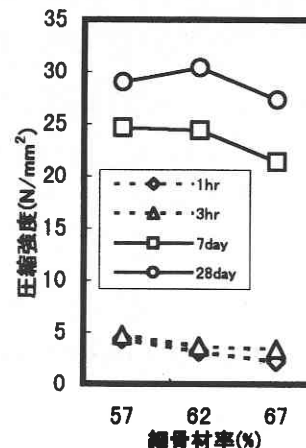


図3 細骨材率の変化による材齢と圧縮強度の関係（吹付けコンクリート）

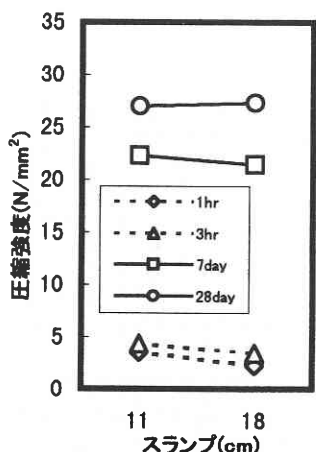


図4 スランプ値の変化による材齢と圧縮強度の関係（吹付けコンクリート）

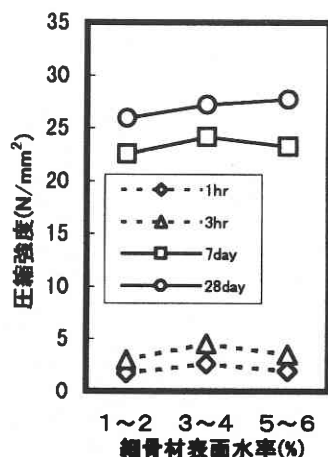


図5 細骨材表面水の変化による材齢と圧縮強度の関係（吹付けコンクリート）

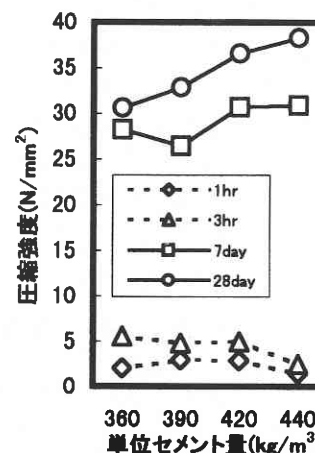


図6 単位セメント量の変化による材齢と圧縮強度の関係（吹付けコンクリート）

コンクリートの強度と比較すると2割～4割程度低下すると報告<sup>2)</sup>されているが、本実験における圧縮強度試験結果についても、すべての配合でその傾向は認められた。

また、空隙率については吹付けコンクリートの空隙率はベースコンクリートのそれを、すべての配合で上回る結果となった。

### 3.1 急結剤添加率の影響

急結剤の添加率の変化による材齢と強度の関係は図1に示すように、急結剤添加率の増加によって、材齢3時間までの強度は増大した。しかし、材齢7日以降は、添加率の大きいものほど強度は低下し、急結剤の添加が強度の増進を阻害する傾向が見られた。一方、空隙率については、図8から、吹付けコンクリートの空隙率は急結剤の添加率の

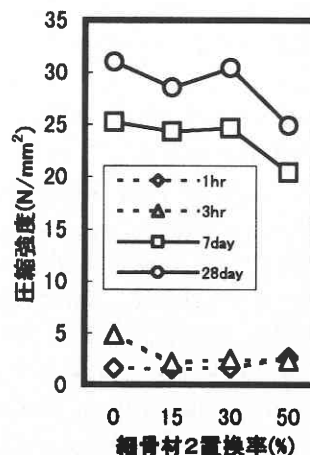


図7 細砂置換率の変化による材齢と圧縮強度の関係（吹付けコンクリート）

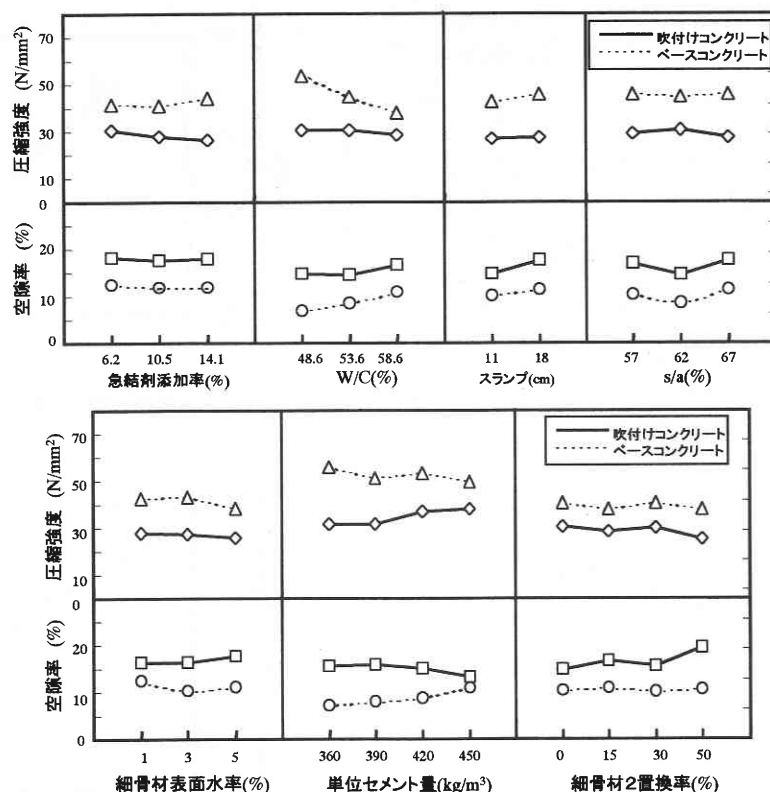


図8 各配合要因における圧縮強度と空隙率 (材齢28日)

増減に対してほぼ一定となり、急結剤の添加率の相違が空隙率に与える影響については今回の実験では確認できなかった。

### 3.2 水セメント比の影響

水セメント比の変化による強度と材齢の関係は図2に示すように、水セメント比を低減することによって材齢3時間までの強度は増大した。材齢28日強度では、図8から、水セメント比が58.6%の配合に対して48.6%の配合ではベースコンクリートの強度はおよそ15 N/mm<sup>2</sup>増大した。一方、吹付けコンクリートの強度はおよそ2 N/mm<sup>2</sup>の増加にとどまり、水セメント比を低減しても吹付けコンクリートの圧縮強度はベースコンクリートの圧縮強度ほど増大しない結果となった。また、水セメント比と空隙率の関係も、図8より水セメント比58.6%の配合に対して48.6%の配合ではベースコンクリートで3.2%減少したのに対して吹付けコンクリートでは、1.4%の減少にとどまり、水セメント比の低減に伴い吹付けコンクリートの空隙率はベースコンクリートの空隙率が低下するほど低下しない傾向となった。図9に材齢28日における強度比(吹付けコア強度の管理供試体の強度に対する比)および空隙率比(吹付けコアの空隙率の管理供試体の空隙率に対する比)の関

係を示す。

これより、空隙率の増加・減少に伴って圧縮強度が減少・増加する傾向が認められ、空隙率の増大が強度の低下原因の1つであることが示された。

### 3.3 細骨材率の影響

細骨材率の変化が強度および空隙率に及ぼす影響は、図3および図8からも本実験での変動範囲(57~67%)では明確な傾向は認められなかった。本実験の細骨材率の範囲における強度および空隙率に与える影響は小さいと考えられる。

### 3.4 スランプの影響

スランプの変化による強度と材齢の関係は図4より、スランプの小さい方が、材齢3時間までの強度発現性は若干高い傾向があるが材齢7日強度および材齢28日強度においてはスランプの違いによる影響はなくなった。空隙率についても図8より、スランプの大小による違いは今回の実験では認められず、本実験のスランプ変動の範囲(11 cm~18 cm)が空隙率に及ぼす影響は小さいと考えられる。

### 3.5 細骨材表面水率の影響

細骨材表面水率の変化が強度に及ぼす影響は図5より本実験の範囲では明確な傾向は認められなかった。

## 研 究 速 報

空隙率に及ぼす影響については、図8より、細骨材表面水率の増加に伴って吹付けコンクリートの空隙率が増加する傾向を示した。

## 3.6 単位セメント量の影響

図6より、本実験で実施した水セメント比48.3%の配合では、単位セメント量を増大させることによって吹付けコンクリートの材齢7日以降の圧縮強度は増大する傾向を示した。空隙率については、図8より単位セメント量の増大に伴って減少する傾向を示した。図10に材齢28日における強度比および空隙率比の関係を示す。単位セメント量を変動させた場合についても、水セメント比を変動させた場合と同様に圧縮強度と空隙率には相関関係が認められた。

## 3.7 細骨材2置換率の影響

図8より、細骨材2置換率の増加に伴って吹付けコンクリートの強度は、わずかに低下し空隙率も増加する傾向を示した。細骨材2置換率の変化は全細骨の粗粒率の変化を示しており、本実験では粗粒率が小さくなるほど強度が小さくなる結果となったが、このような傾向となったのは、粒度だけでなく骨材の物性も影響したと考えられる。

## 2. ま と め

各種配合要因を変化させた吹付けコンクリートによる吹付け実験を試み、配合条件の違いが吹付けコンクリートの硬化品質に及ぼす影響について強度および空隙率により調べた。その結果本実験の範囲では以下ようになった。

- (1) 急結剤の添加率を増やすことによって、材齢3時間までの初期強度の発現性は大きくなったが、材齢28日における強度発現は阻害された。
- (2) 水セメント比の低減に伴って初期強度増大したが、材齢28日強度は増大せずベースコンクリートに対する圧縮強度の低下は大きくなった。
- (3) スランプを小さくすると、初期強度が増大する傾向を示したが、材齢28日ではその影響はほとんどなくなった。
- (4) 単位セメント量を増大させることによって材齢28日における強度は増大する傾向があった。また、空隙率も減少する傾向を示した。

## 謝 辞

本実験は、東京大学生産技術研究所において組織されている「高品質吹付けコンクリートの開発」の共同研究における実験計画に基づき実施した実験結果についてまとめた報告であり、共同研究員としてご協力頂いた田沢雄二郎氏(鹿島建設(株))、岡田喬氏((株)熊谷組)、平間昭信氏

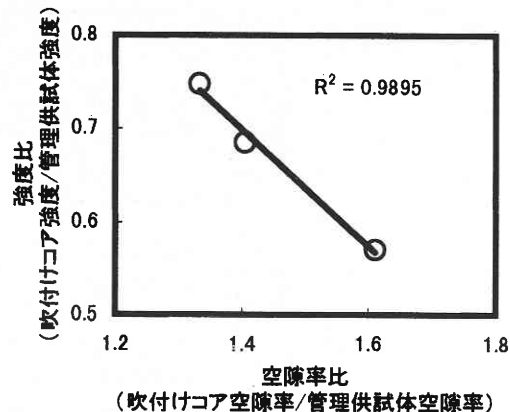


図9 水セメント比の変化による強度比と空隙率比の関係

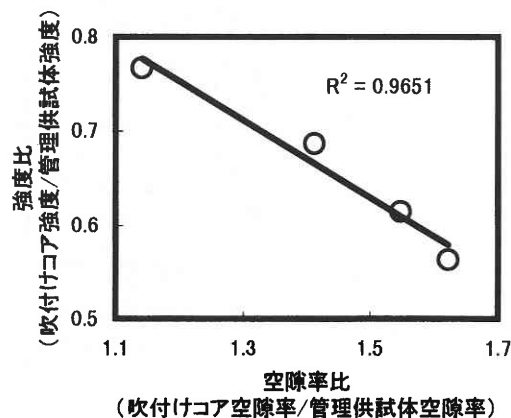


図10 単位セメント量の変化による強度比と空隙率比の関係

(飛鳥建設(株))伊東良浩氏(佐藤工業(株))、浅野篤氏(清水建設(株))、坂本淳氏(大成建設(株))、安藤慎一郎氏((株)竹中土木)、松井健一氏(西松建設(株))、杉山律氏((株)間組)、赤坂雄司氏(前田建設工業(株))、田湯正孝氏((株)大林組)、見浦光夫氏((株)北川鉄工所)、阿部隆夫氏(富士物産(株))、吹付け実験に各社より参加された多くの方々、さらに、千葉工業大学土木工学科卒業生の舘上聡君、池田宗丈君に深い感謝の意を表します。

(1998年2月20日受理)

## 参 考 文 献

- 1) 荒木、平間、伊東、魚本ら：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に伴う吹付けコンクリートのリバウンド特性—：生産研究、1998.4.
- 2) 例えば、日本トンネル技術協会：トンネルの吹付けコンクリート、1996.2.