

論文 構成割合が異なる高強度コンクリートにおける施工性および 模擬柱部材のコア強度に関する一考察

田村 裕介^{*1}・中田 善久^{*2}・斉藤 丈士^{*3}・春山 信人^{*4}

要旨:本研究は、高強度コンクリートの施工性を改善するために、構成割合を変化させた高強度コンクリートの品質を実験的に検討したものである。その結果、フレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートの性状は構成割合によってそれぞれ変化することが確認され、その変化の度合いはフレッシュコンクリートで大きく、硬化コンクリートでは小さいことが明らかになった。これにより、高強度コンクリートは、硬化後の品質を低下させずに、構成割合により副次的に施工性を改善できる可能性が示唆された。

キーワード:高強度コンクリート,構成割合,施工性,高性能AE減水剤,圧送性,左官仕上げ,コア強度

1. はじめに

高強度コンクリートは、粘性が高く材料分離しにくい反面、高い粘性が原因となりワーカビリティを低下させる可能性があり¹⁾、また、単位水量が小さくブリーディングが出にくいいため、表面の乾燥によるプラスチック収縮ひびわれが発生しやすい²⁾。このような背景から、JASS 5では高強度コンクリートの取り扱いにおいて、施工の面から対策が求められている²⁾。しかし、流動性が低下し粘性が著しく高くなった高強度コンクリートの施工においては、JASS 5に示される対策だけでは施工欠陥を生じる場合がある³⁾ことから、施工面の対策だけでなく高強度コンクリートの品質の面からも施工性能を改善していく必要がある。

一方、高強度コンクリートに代表される高性能AE減水剤を用いるコンクリートは、化学混和剤の使用量を調整することによって広い範囲で流動性を変化させることができる。これにより、高強度コンクリートの調合は、材料の構成割合を大きく変化させずに高性能AE減水剤の使用量によってスランプあるいはスランプフローを調整する調合設計方法が普及してきた⁴⁾。したがって、コンクリート中の構成割合の変化によって各種性状を調整する本来の調合設計に関して、高性能AE減水剤を用いる高強度コンクリートの性状は、従来のAE減水剤を用いたコンクリートと比較して不明確な部分が多く残されている。

そこで本研究は、高強度コンクリートの施工性を改善するために、構成割合を変化させた高強度コンクリートの品質について実験的に検討したものである。筆者らはこれまでに、材料の構成割合が高強度コンクリートに及ぼす影響として、室内におけるフレッシュコンクリート

および硬化コンクリートの性状を検討してきた^{5),6)}。ここでは、室内における検討に加え、その結果をもとに実施した実大施工による結果を述べる。

2. 室内における構成割合を変化させた高強度コンクリートの調合に関する検討

2.1 実験概要

高強度コンクリート中のセメントペーストと細骨材の構成割合および細骨材と粗骨材の構成割合の2つを変化要因として、室内における実験を行い、高強度コンクリート中の構成割合が品質に及ぼす影響について検討した。

(1) 使用材料

使用材料の概要を表 - 1に示す。

(2) 試験項目および方法

試験項目は、フレッシュコンクリートの性状としてスランプフロー、空気量および加圧ブリーディングの3項目、硬化コンクリートの性状として圧縮強度および長さ変化率の2項目として、それぞれJISに準じ、加圧ブリーディングについてはJSCE-F 502に準じて測定した。

(3) コンクリートの調合

構成割合を変化させたコンクリートの調合を表 - 2に示

表 - 1 使用材料の概要

材料	品質
セメント	普通ポルトランドセメント (密度3.16g/cm ³ , 比表面積3,300cm ² /g)
水	千葉県浦安市, 上水道水
細骨材	千葉県君津市産山砂 (表乾密度2.59g/cm ³ , 粗粒率2.64)
粗骨材	埼玉県秩父市産硬質砂岩砕石 2005 (表乾密度2.67g/cm ³ , 粗粒率6.69, 実積率59.0%)
化学混和剤	ポリカルボン酸系 高性能AE減水剤

*1 日本大学大学院 理工学研究科建築学専攻 (正会員)

*2 日本大学 理工学部建築学科 博士(工学) (正会員)

*3 内山アドバンス 博士(工学) (正会員)

*4 フジミ工研 (正会員)

す。表 - 2におけるNo.1 ~ 4のコンクリートの調合では、水セメント比および単位粗骨材かさ容積(以降、かさ容積と称す)を一定として単位水量を変化させることで、セメントペーストと細骨材の構成割合を変化させた。以降の図においてセメントペーストと細骨材の構成割合は、セメントペーストの絶対容積を細骨材の絶対容積で除した値(以降、 p/s と称す)で表す。また、No.5 ~ 8のコンクリートの調合では、水セメント比および単位水量を一定としてかさ容積を変化させることで、細骨材と粗骨材の構成割合を変化させた。以降の図において細骨材と粗骨材の構成割合は、細骨材率で表す。なお、これらの構成割合を変化させたコンクリートでは、調合条件として練上りにおけるスランブフローが $50 \pm 7.5\text{cm}$ 、空気量が $4.5 \pm 1.5\%$ となるように化学混和剤の使用量を調整した。その結果、全ての調合でスランブフローが設定値 $\pm 3.5\text{cm}$ 、空気量が設定値 $\pm 1.0\%$ の範囲となり、調合条件を満たした。

所要のスランブフローおよび空気量を満たしたときの高性能AE減水剤の添加率は、 p/s が大きいほど、また、細骨材率が小さいほど小さくなる傾向を示した。これは p/s や細骨材率が異なると、セメントペーストの量と骨材の総表面積の比が変わり、骨材粒子の表面に付着せず流動性に寄与できるセメントペーストの量が変化するためと考えられる。

2.2 結果および考察

(1) スランブフローの経時変化量

高強度コンクリート中の構成割合とスランブフローの経時変化量および高性能AE減水剤の添加率の関係を図 - 1に示す。なお、スランブフローの経時変化量は、蒸発を防止し静置した試料により練上りから90分経過した時点で測定した。スランブフローの経時変化量は、 p/s が大きいほど、また、細骨材率が約77%の調合を除き、細骨材率が小さいほど小さくなる傾向を示した。高性能AE減水剤の添加率が、 p/s の増加、また、細骨材率の減少に伴い小さくなることから、スランブフローの経時変化量は、高性能AE減水剤の添加率より構成割合による影響を大きく受けると考えられる。なお、細骨材率が約77%の調合では、その他の調合と比較してスランブフローの経時変化量が著しく小さいことから、高性能AE減水剤の添加率が著しく大きい場合には、高性能AE減水剤の影響が卓越すると考えられる。

(2) 加圧ブリーディング

加圧後の経過時間と加圧ブリーディングによる脱水量(以降、脱水量と称す。)の関係を図 - 2に示す。なお、図中には、コンクリートのポンプ施工指針⁷⁾に示される加圧ブリーディング試験においてポンパビリティーが良好な範囲とされる標準曲線BおよびCを示した。また、ここでは凡例において、高強度コンクリート中のセメントペー

表 - 2 構成割合を変化させたコンクリートの調合

No.	W/C (%)	かさ容積 (m ³ /m ³)	S/a (%)	p/s	単位量(kg/m ³)				
					W	C	S	G	Ad
1	35	0.55	48.6	1.06	170	486	795	866	5.83
2			47.0	1.19	180	514	745		4.88
3			46.2	1.27	185	529	721		3.97
4			43.5	1.53	200	571	647		3.14
5	35	0.25	76.6	0.67	170	486	1253	394	12.64
6			67.3	0.76			1100	551	8.02
7			48.6	1.06			795	866	5.83
8			39.3	1.31			642	1024	4.86

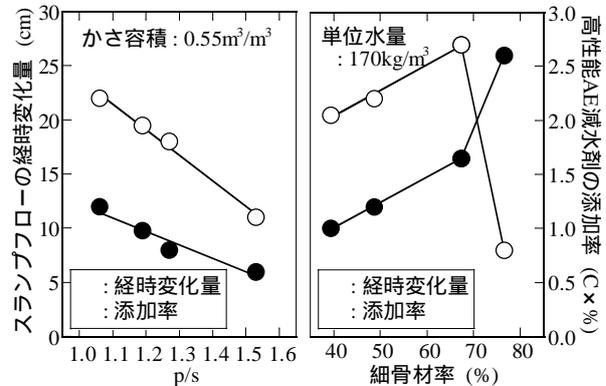


図 - 1 高強度コンクリート中の構成割合とスランブフローの経時変化量および高性能AE減水剤の添加率の関係

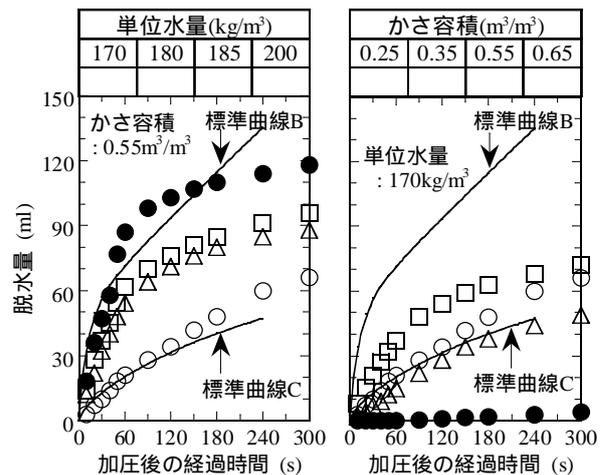


図 - 2 加圧後の経過時間と脱水量の関係

ストと細骨材の構成割合を単位水量で、細骨材と粗骨材の構成割合をかさ容積で表した。脱水量は、単位水量の増加に伴って増加する傾向を示した。これは、加圧による脱水が、セメントペースト部分において生じ、骨材の抵抗を受けながら水が移動するため、単位水量の増加とそれに伴う細骨材の減少が相乗的に影響したと考えられる。また、脱水量は、かさ容積の増加に伴って増加する傾向を示した。これは、粗骨材の減少と細骨材の増大により骨材全体の表面積が増加するため、脱水時の抵抗が大きくなったことが影響したと思われる。

この結果よりコンクリートのポンプ施工指針による圧

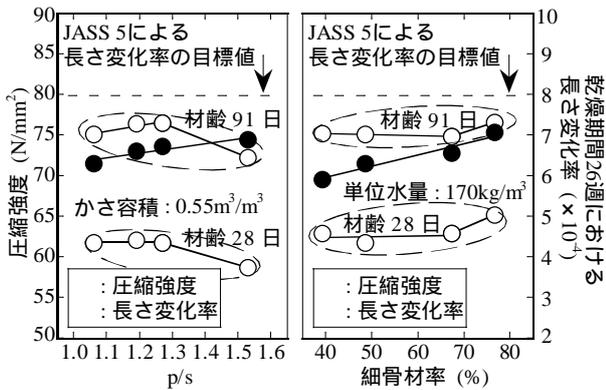


図 - 3 高強度コンクリート中の構成割合と圧縮強度および乾燥期間26週における長さ変化率の関係

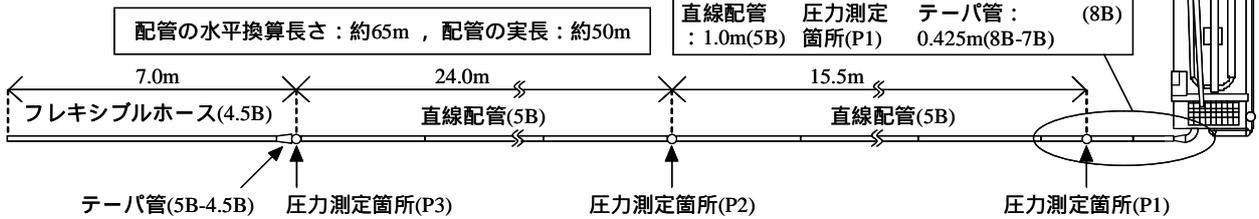


図 - 4 輸送管の配管状況および管内圧力の測定箇所

送性の評価を行うと、 p/s を変化要因とした調査では一部を除きほとんどの調査で、細骨材率を変化要因とした調査ではかさ容積が 0.55 および $0.65\text{m}^3/\text{m}^3$ の調査で脱水量は、ポンパビリティーが良好な範囲になった。一般に、加圧ブリーディング試験を高強度コンクリートに適用した場合、脱水量がポンパビリティーの良好な範囲の下部に位置するものの施工実績から特に問題がないことが明らかになっている⁷⁾が、本実験の結果より、高強度コンクリート中の構成割合によって圧送性を調整できる可能性があると考えられる。

(3) 圧縮強度および長さ変化率

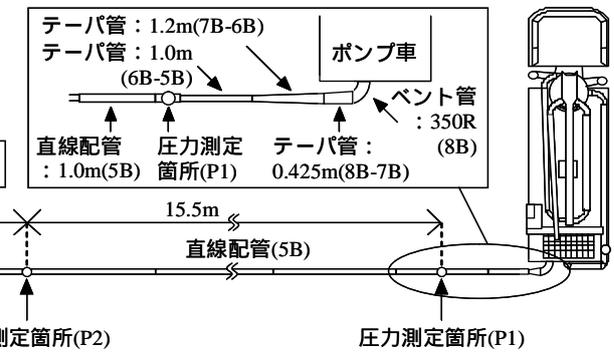
高強度コンクリート中の構成割合と圧縮強度および乾燥期間26週における長さ変化率の関係を図 - 3に示す。圧縮強度は、材齢が同じであれば高強度コンクリート中の構成割合に関わらず概ね同等になる傾向を示した。なお、 p/s が約 1.5 の調査で圧縮強度が若干小さくなる傾向や細骨材率が約 77% の調査で圧縮強度が若干大きくなる傾向は、これまでの研究と同様である⁸⁾。

長さ変化率は、 p/s が大きいほど大きくなる傾向を示した。これは、 p/s の増加に伴って収縮の主な要因とされる単位水量⁹⁾が増加したためと考えられる。また、長さ変化率は、細骨材率が大きいほど大きくなる傾向を示した。これは、細骨材率を変化要因としたコンクリートの調査では、単位水量を一定としているため、コンクリート中における骨材全体の容積率は変化しないが、細骨材率を大きくするとコンクリートの静弾性係数が低下する⁹⁾ことが影響していると考えられる。

この結果より、本実験の範囲においては、 p/s 、あるい

表 - 3 使用材料の概要

材料	種類・品質
セメント	普通ポルトランドセメント (密度 $3.16\text{g}/\text{cm}^3$ 、比表面積 $3,300\text{cm}^2/\text{g}$)
水	埼玉県比企郡滑川町、上水道水
細骨材	埼玉県小鹿野町両神産硬質砂岩砕砂 (表乾密度 $2.71\text{g}/\text{cm}^3$ 、粗粒率 2.78)
粗骨材	埼玉県小鹿野町両神産硬質砂岩砕砂 2005 (表乾密度 $2.72\text{g}/\text{cm}^3$ 、粗粒率 6.60 、実積率 63.2%)
化学混和剤	ポリカルボン酸系 高性能AE減水剤



は細骨材率が大きいほど長さ変化率は大きくなるが、その度合いは、 p/s 0.1 あたり約 $0.12\ \mu\text{m}$ 、細骨材率 1% あたり約 $0.02\ \mu\text{m}$ の変化であり、それほど大きくないことが明らかになった。また、本実験の範囲では、いずれの結果も JASS 5 に示される長さ変化率の目標値¹⁰⁾ 8×10^{-4} よりも小さくなった。

3. 実大施工による構成割合を変化させた

高強度コンクリートに関する検討

高強度コンクリート中の構成割合がフレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートに及ぼす影響を室内において検討した。その結果、フレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートの性状は、構成割合によってそれぞれ変化することが確認され、その変化の度合いは、フレッシュコンクリートで大きく、硬化コンクリートでは小さかった。これにより、硬化後の品質を低下させずに、高強度コンクリートの施工性を改善できる可能性が示唆された。以上の結果をもとに、ここでは、実際の施工を想定した実大施工による検討を行った。

3.1 実験概要

高強度コンクリートのセメントペーストと細骨材の構成割合および細骨材と粗骨材の構成割合の2つを変化要因として、実機コンクリートポンプによる圧送性、左官仕上げによる印象評価および模擬柱部材による強度性状の検討を行った。

(1) 使用材料

使用材料の概要を表 - 3に示す。

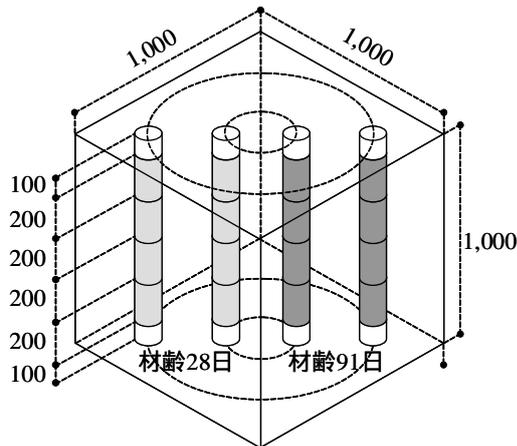


図 - 5 模擬柱部材の概要

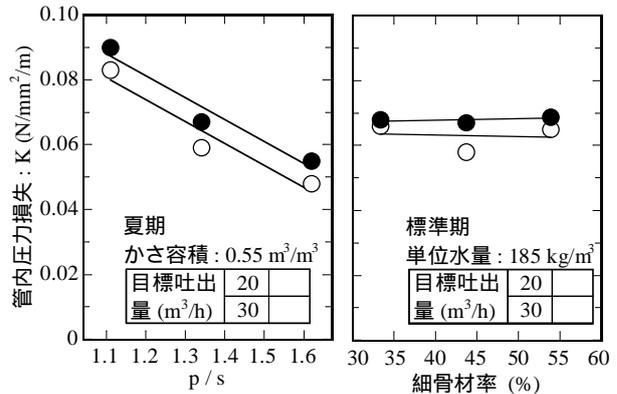


図 - 6 高強度コンクリート中の構成割合と管内圧力損失の関係

表 - 4 構成割合を変化させたコンクリートの調合

No.	打設時期	W/C (%)	かさ容積 (m³/m³)	S/a (%)	p/s	単位量(kg/m³)				
						W	C	S	G	Ad
1	夏期 (8月)	35	0.55	44.9	1.14	170	486	769	945	6.22
2				42.3	1.38	185	529	691		4.76
3				39.5	1.68	200	571	614		3.14
4	標準期 (11月)	35	0.45	52.8	1.11	185	529	862	774	6.61
5			0.55	42.3	1.38			691	945	5.03
6			0.65	31.8	1.84			520	1117	3.70

表 - 5 圧送前後におけるコンクリートの性状

No.	圧送前					圧送後				
	SF*1 (cm)	Air (%)	CT*2 ()	材齢 28日*3	材齢 91日*3	SF*1 (cm)	Air (%)	CT*2 ()	材齢 28日*3	材齢 91日*3
1	51.5	5.2	35.0	73.0	82.8	47.0	5.5	38.0	69.7	79.4
2	53.0	4.7	35.0	71.5	82.3	48.0	5.0	37.0	69.4	79.1
3	52.0	4.8	34.0	70.5	81.5	48.0	4.5	36.0	71.1	78.7
4	50.5	4.2	22.0	77.2	85.0	47.5	4.5	22.0	77.3	87.2
5	53.0	5.0	22.0	76.6	82.5	48.5	5.3	22.0	76.6	82.2
6	51.5	5.1	21.0	76.3	81.5	48.0	5.3	21.5	73.5	80.2

*1 スランプフロー *2 コンクリート温度 *3 圧縮強度

(2) 検討項目

スランプフロー、空気量、コンクリート温度および圧縮強度をJISに準じて測定し、圧送による輸送管の管内圧力、左官仕上げによる印象評価、模擬柱部材の温度測定および強度性状は、それぞれ以下の方法で測定した。

a) 圧送性

輸送管の配管状況および管内圧力の測定箇所を図 - 4に示す。圧送性は、図中に示すP1からP3における圧力の差から算出した輸送管内の圧力損失(以降、管内圧力損失と称す)によって検討した。コンクリートポンプ車は、最大理論吐出量97m³/h、最大理論吐出圧力5.4N/mm²、205×1,800mmのコンクリートシリンダを2本搭載したピストン式を用いた。また、輸送管には5B管を用いた。コンクリートポンプ車による圧送の設定条件は、目標吐出量を20および30m³/hの2水準、回転数をそれぞれ1,000および1,200rpmとした。また、圧送前後のコンクリートの性状は、目標吐出量30m³/hで圧送した試料を用いて比較した。

b) 左官仕上げによる印象評価

左官仕上げによる印象評価は、室内に設置した仕上げ面600×600mm、部材厚195mmの鋼製型枠に打ち込んだ高強度コンクリートの上面を表面養生剤の散布や散水を行わず、木ごて1回、金ごて2回の押さえを基本として、3人の左官工が仕上げた。左官工にはコンクリートの調合に関する説明を行わず、コンクリートの状態、定木による均しやすさ、木ごてによる均しやすさ、金ごてによる均し

やすさ、感覚的な仕上りの速さおよび感覚的な仕上りの精度の6項目についてそれぞれの左官工から5段階評価で回答を得た。

c) 模擬柱部材の最高温度および強度性状

模擬柱部材の概要を図 - 5に示す。模擬柱部材は、JASS 5-T704:2005に準じて作製し、上下を断熱材で挟み、柱の中央における熱履歴を模擬した形状とした。また、コンクリート内部の最高温度を模擬柱部材の中央部(高さが500mmの箇所)と外周部(せき板からの距離が50mm、高さが500mmの箇所)でそれぞれ測定した。なお、コア供試体は圧縮強度の測定の2日前に採取し、試験材齢となる材齢28および91日まで水中で標準養生した。

(3) コンクリートの調合

構成割合を変化させたコンクリートの調合を表 - 4に示す。表 - 4におけるNo.1~3のコンクリートの調合は、セメントペーストと細骨材の構成割合を変化させた。また、No.4~6のコンクリートの調合は、細骨材と粗骨材の構成割合を変化させた。以降の図において構成割合の変化は、前項と同様にp/sおよび細骨材率で表す。なお、これらの構成割合を変化させたコンクリートでは、調合条件として練上りにおけるスランプフローが50±7.5cm、空気量が4.5±1.5%となるように、化学混和剤の使用量を調整した。その結果、全ての調合で調合条件を満たし、スランプフローは設定値±5.0cmの範囲となった。

所要のスランプフローおよび空気量を満たしたときの

単位水量 (kg/m ³)	170	185	200
印象評価の平均	2.58	3.12	3.40

かさ容積 (m ³ /m ³)	0.45	0.55	0.65
印象評価の平均	2.65	2.77	2.97

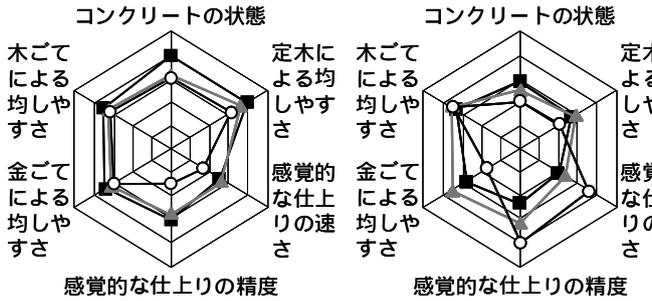


図 - 7 左官仕上げ性に関する印象評価の結果

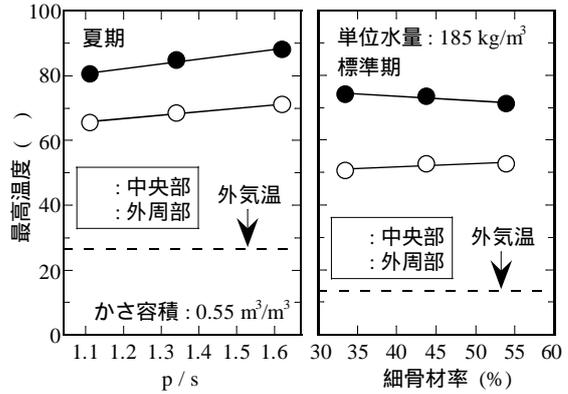


図 - 8 高強度コンクリート中の構成割合と最高温度の関係

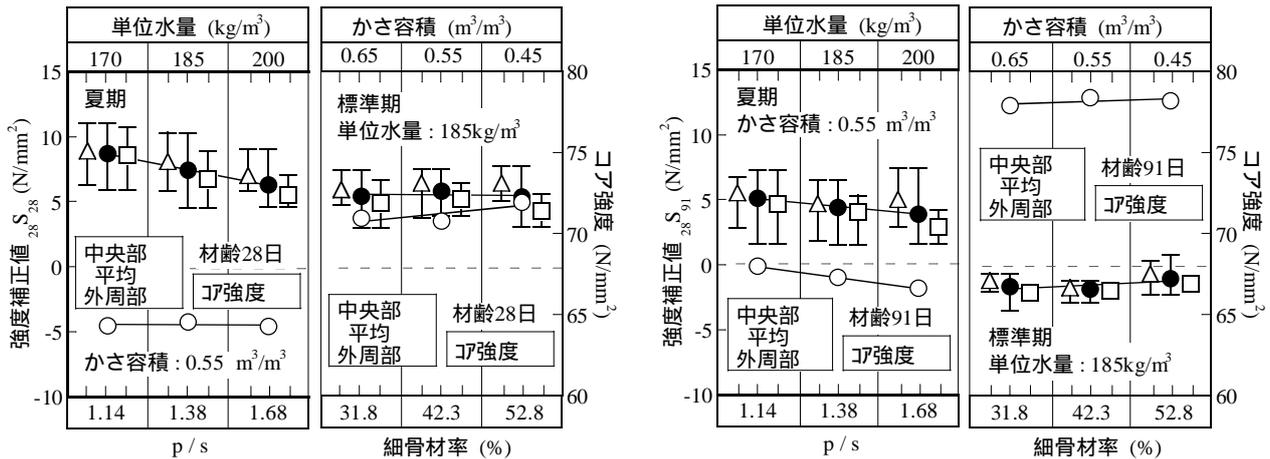


図 - 9 高強度コンクリート中の構成割合と強度補正值mSnの関係

高性能AE減水剤の添加率は、 p/s が大きいほど、また、細骨材率が小さいほど小さく、室内における結果と同様の傾向を示した。

3.2 結果および考察

(1) 圧送性

a) 管内圧力損失

高強度コンクリート中の構成割合と管内圧力損失の関係を図 - 6に示す。管内圧力損失は、 p/s が大きいほど小さくなる傾向を示した。これは、 p/s の増加に伴うセメントペーストの増加により、フレッシュコンクリートの粘性が低くなり、輸送管の内壁にかかる摩擦抵抗が小さくなったためと考えられる。また、管内圧力損失は、本実験の範囲で細骨材率が変化しても概ね同等となる傾向を示した。この傾向は、細骨材率の範囲が実大施工実験と同程度であれば、室内実験において圧送性の評価に用いる加圧ブリーディング試験の結果からも見受けられた。

b) 圧送前後のコンクリートの品質変化

圧送前後のコンクリートの性状を表 - 5に示す。スランブフローは、圧送前より圧送後の方が小さくなる傾向を示した。これは、一般的な傾向と同様であった¹¹⁾。また、空気量および圧縮強度は、圧送前後で大きな差異は見ら

れず、空気量で $\pm 0.3\%$ 、圧縮強度で $\pm 5\%$ 程度の差となった。これらの結果から、水平換算長さが65m程度の場合、高強度コンクリート中の構成割合が圧送前後のコンクリートの性状に及ぼす影響は小さいと考えられる。

(2) 左官仕上げ性

左官仕上げ性に関する印象評価の結果を図 - 7に示す。ここでは凡例において、高強度コンクリート中のセメントペーストと細骨材の構成割合を単位水量で、細骨材と粗骨材の構成割合をかさ容積で表し、また、印象評価の全項目の平均を示した。調査項目によりばらつきはあるものの、評点は、単位水量の大きい調合で高くなる傾向を示した。高強度コンクリートの仕上げ作業においては、散水を行いながら仕上げを行うと作業性が向上する²⁾ため、単位水量の増加に伴うブリーディング量の増加³⁾が影響したと考えられる。また、かさ容積の異なるコンクリートの調合では、調査項目により印象が異なり明確な傾向を示さなかった。しかし、印象評価の平均は、かさ容積の大きい調合で高くなる傾向を示した。これは、かさ容積の増加に伴い、モルタル部分において細骨材に対するセメントペーストの割合が大きくなることで、細骨材による表面の凹凸がでにくくなったためと考えられる。

(3) 模擬柱部材内の最高温度

高強度コンクリート中の構成割合と最高温度の関係を図 - 8 に示す。模擬柱部材内の最高温度は、 p/s が約 1.15 から約 1.65 に増加すると、中央部で 10 程度、外周部で 5 程度高くなる傾向を示した。これは、 p/s の増加に伴うセメント量の増加によるものと考えられる。夏期における最高温度は、中央部で約 80 ~ 90、外周部で約 65 ~ 70 と全体に高く、また、中央部と外周部の最高温度の差は、15 程度であった。最高温度は、細骨材率の増加に伴って、中央部では若干低くなる傾向を示したが、外周部では差が小さかった。これは試験のばらつきによるものと考えられ、構成割合による最高温度への影響は小さいと思われる。

(4) 強度補正值 mSn

高強度コンクリート中の構成割合と強度補正值 mSn の関係を図 - 9 に示す。なお、図中には、模擬柱部材の中央部と外周部のコア強度の平均を併記している。強度補正值 mSn は、 p/s が大きいほど小さくなる傾向を示したが、その度合いは全体に小さく、また、 S_{28} よりも S_{91} で小さかった。 S_{28} および S_{91} のいずれも、細骨材率の違いによる差はほとんど見られなかった。これらの結果から、本実験の範囲では高強度コンクリート中の構成割合が強度補正值 mSn に及ぼす影響は小さいと考えられる。また、 S_{91} は、全体に 0 に近く、さらに S_{91} のばらつきが S_{28} と比較して小さいことから、本実験の材齢 91 日で得られたコア強度は、ポテンシャル強度に近いと考えられる。なお、夏期における単位水量が 185kg/m^3 の調査と標準期におけるかさ容積が $0.55\text{m}^3/\text{m}^3$ の調査は同じ調査であるが、標準期のほうが夏期よりもコア強度が材齢 28 日で 5N/mm^2 程度、材齢 91 日で 10N/mm^2 程度大きくなった。これは、季節の違いによる外気温によって、模擬柱部材の最高温度が異なったため¹²⁾と考えられる。

4. まとめ

本研究は、高強度コンクリートの施工性を改善するために、構成割合を変化させた高強度コンクリートの品質について実験的に検討を行ったものである。その結果、得られた知見を以下に示す。

- (1) 室内におけるフレッシュコンクリートの性状は、構成割合によって変化することが確認され、高強度コンクリートの施工性を改善できる可能性が示唆された。
- (2) 室内における硬化コンクリートの性状として圧縮強度および長さ変化率が、構成割合の変化から受ける影響は、あまり大きくない結果が得られた。
- (3) 実機コンクリートポンプによる管内圧力損失は、高強度コンクリート中の構成割合のうち p/s が大きいほど小さくなる傾向を示した。

- (4) 模擬柱部材による強度補正值 mSn は、高強度コンクリート中の構成割合に関わらず、概ね同等であった。
- (5) 室内ならびに実大施工による結果から、高強度コンクリート中の構成割合により施工性を副次的に改善できる可能性が示唆された。

今後は、高強度コンクリート中の構成割合が品質に及ぼす影響を数値的に解析する予定である。

謝辞

本研究を行うにあたり、前足利工業大学教授の毛見虎雄博士およびものづくり大学建設技能工学学科の大塚秀三講師より御指導を頂きました。また、実験を行うにあたり、株式会社内山アドバンスの白鳥秀幸研究所長、關裕司研究員、内山城南コンクリート工業株式会社の女屋英明工場長代理およびフジミ工研株式会社の佐々木真宏氏に御協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 2009, p. 468, 2009.2
- 2) 前掲文献 1), pp. 487-490
- 3) 中田善久, 毛見虎雄：材料・配(調)合から見る施工性能, コンクリート工学, Vol. 44, No. 9, pp. 80-84, 2006.9
- 4) 飯生昌之ほか：関東地区におけるレディーミクストコンクリート工場の実態調査, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 25, pp. 101-106, 2003.7
- 5) 斉藤丈士ほか：セメントペーストと細骨材の構成割合を変えた高強度コンクリートの性状に関する研究(その 1-5), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1017-1026, 2008.9
- 6) 田村裕介ほか：高強度コンクリート中の構成割合が力学的性質に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 31, No. 1, pp. 451-456, 2009.7
- 7) 土木学会：コンクリートのポンプ施工指針, pp. 58-59, 2000.2
- 8) 小澤貴史：コンクリートの乾燥収縮率の早期推定方法に関する研究, 清水建設研究報告, Vol. 85, 2007.4
- 9) 田村裕介ほか：施工性を考慮した高強度コンクリートの調査に関する検討(その 3 室内実験における硬化コンクリートの性状に関する検討), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 909-910, 2009.8
- 10) 前掲文献 1), pp. 232-234
- 11) 日本建築学会：コンクリートポンプ施工指針・同解説, p. 41, 2009.12
- 12) 日本建築学会：構造体コンクリートの品質に関する研究の動向と問題点, pp. 74-78, 2008.2