

Fc150N/mm²の超高強度コンクリートの強度性状に関する実験的研究

Experimental Study on Ultra High Strength Concrete of Fc150

百瀬 晴基 桜本文 敏
柳田 克巳

要 約

近年、RC 構造の高層建築物が増えつつあり、今後さらに高層化の需要が増加するものと考えられる。今回、RC 造建築物の主要な材料であるコンクリートの更なる高強度化を目指し、Fc150N/mm²の超高強度コンクリートの開発を行うと共に、高強度域における強度に影響する要因として調合及び使用材料について実験的に検討した。本研究の結果以下の事が明らかとなった。a) 目標値である Fc150N/mm²(実強度 180N/mm²)は、水結合材比 14%~16%、材齢 91 日の条件において達成した。b) 水結合材比の低減による高強度化は、水結合材比 14%が限界であった。c) 単位水量及び粗骨材かさ容積の強度に対する影響は認められなかった。d) 今回実験した 3 種類のセメントの中ではシリカフュームセメントの強度が高く、強度に与えるセメントの影響がある事を確認した。e) 骨材の種類による強度の差は、Fc150N/mm²(実強度 180N/mm²)の 30%程度あり、骨材が強度に与える影響が大きい事を確認した。f) コンクリートのヤング係数と圧縮強度に若干の相関関係が見られた事から、強度に対する骨材のヤング係数による影響があったと考えられる。

目 次

- I. はじめに
- II. 調合による影響
- III. 使用材料による影響
- IV. おわりに

I. はじめに

近年、RC 構造の高層建築物が増えつつあり、今後さらに RC 造の超高層化の需要が増加するものと考えられる。その需要に応えるべく、RC 造建物の主要な材料であるコンクリートの更なる高強度化を目指し、Fc150N/mm²の超高強度コンクリートの開発を目的とし、高強度域における強度に影響する要因について実験的に検討した。強度に影響する要因として、調合による影響(水結合材比、単位水量、粗骨材かさ容積)と使用材料による影響(高性能 AE 減水剤の種類、セメントの種類、骨材の種類)に着目した。それぞれ II 章及び III 章で報告する。

II. 調合による影響

1. 実験計画

(1) 実験要因と水準

Table 1 に実験の種類を示す。強度に影響する調合上の要因として、水結合材比、単位水量、粗骨材かさ容積に注目した。コンクリートの強度に大きな影響を与える水結合材比については、18%、16%、14%、12%の 4 水準とした。単位水量及び粗骨材かさ容積の強度への影響は解明されていないが、今回は単位水量 140kg/m³、150kg/m³、160kg/m³、粗骨材かさ容積 0.50m³/m³、0.55m³/m³、0.60m³/m³のそれぞれ 3 水準とし実験を行った。また、実躯体での温度上昇による強度への影響を検討するため、養生方法は標準水中養生と実躯体の温

度履歴を模擬した簡易断熱養生¹⁾の 2 種類について実験を行った。Fig. 1 に簡易断熱養生の詳細図を示す。

Table 1 Experimental Parameter

NO	記号	調合			養生	
		水結合材比 (%)	単位水量 (kg/m ³)	粗骨材 かさ容積 (m ³ /m ³)	標準 水中	簡易 断熱
1	12-150-0.55	12	150	0.55	○	-
2	14-150-0.55	14	150	0.55	○	○
3	14-150-0.50			0.50	○	-
4	14-150-0.60			0.60	○	-
5	14-140-0.55		140	0.55	○	-
6	14-160-0.55		160		○	-
7	16-150-0.55	16	150		○	○
8	18-150-0.55	18			○	○

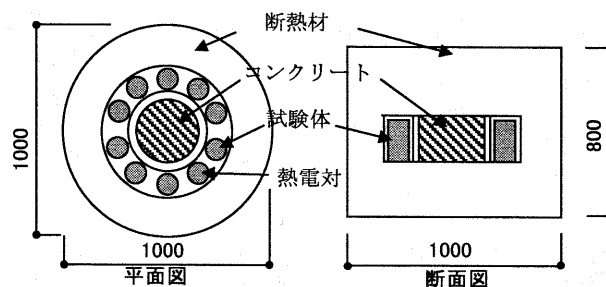


Fig.1 Adiabatic Curing

キーワード：コンクリート、高強度、調合、セメント、骨材

(2) 使用材料及び調合

Table 2 に使用材料, Table 3 に調合表を示す。セメントはシリカフュームセメントを使用し、骨材には高強度用骨材として実績の多い段戸産石英片岩を使用した。調合は (1) 実験要因と水準で述べたとおり、水結合材比 4 水準、単位水量 3 水準、粗骨材かさ容積 3 水準について検討するため、計 8 調合の実験を行った。

(3) 実験方法

フレッシュ性状の試験項目は、スランプフロー値(JIS A 1150)、フロー到達時間(JIS A 1150)、空気量(JIS A 1101)、温度(温度計で計測)とした。

標準水中養生では、1 調合につき $\phi 100 \times 200 \text{mm}$ の試験体を 9 体作製し、材齢 7 日、28 日、91 日でそれぞれ 3 体ずつ圧縮強度試験(JIS A 1108)、ヤング係数試験(JIS A 1149)を行った。簡易断熱養生では、1 調合につき $\phi 100 \times 200 \text{mm}$ の試験体を 10 体作製し、標準水中養生と同様に材齢 7 日、28 日、91 日で 3 体ずつ圧縮強度試験、ヤング係数

Table 2 Concrete Constitutive Materials

種類	材料名	備考
セメント	シリカフュームセメント	密度 3.08g/cm^3
混和剤	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系
粗骨材	段戸産石英片岩碎石	表乾密度 2.62g/m^3 、吸水率 0.67%
細骨材	段戸産石英片岩砕砂	表乾密度 2.62g/m^3 、吸水率 0.80%
水	水道水	調布市

Table 3 Concrete Mix Proportions

NO	記号	使用材料		単位量 (kg/m^3)			
		セメント	骨材	水	セメント	細骨材	粗骨材
1	12-150-0.55	シリカ フューム セメント	段戸産 石英片 岩	150	1250	228	909
2	14-150-0.55			150	1071	380	909
3	14-150-0.50			150	1071	463	827
4	14-150-0.60			150	1071	297	992
5	14-140-0.55			140	1000	467	909
6	14-160-0.55			160	1143	293	909
7	16-150-0.55			150	938	494	909
8	18-150-0.55			150	833	583	909

Table 4 Fresh Concrete Properties and Compressive Strength

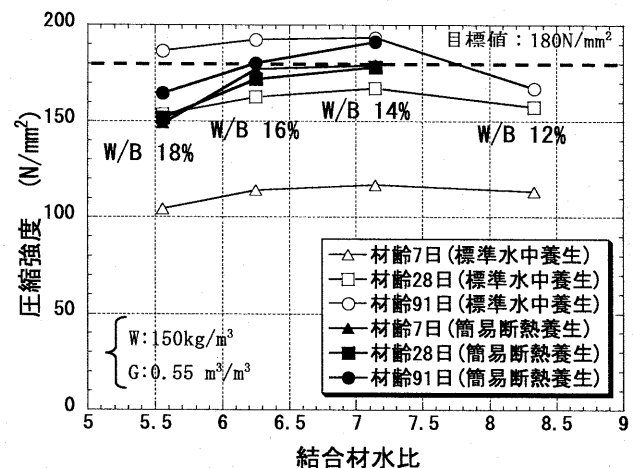
NO	記号	高性能 AE減水剤 添加量 (%)	フレッシュ試験結果				圧縮強度試験(上: N/mm^2)					
							ヤング係数試験(下: $\times 10^4 \text{N/mm}^2$)					
			フロー到達時間	フロー (mm)	空気量 (%)	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	標準養生			簡易断熱養生		
							7日	28日	91日	7日	28日	91日
1	12-150-0.55	3.0	1分52秒(終了)	500 × 515	2.5	24.5	113.4 3.85	157.6 4.25	167.3 4.64	—	—	—
2	14-150-0.55	2.5	分14秒(50cm) 2分06秒(終了)	695 × 700	1.3	24.2	116.7 3.81	167.3 4.37	193.5 4.74	179.2 4.55	178.3 4.54	191.6 4.64
3	14-150-0.50	2.5	0分18秒(50cm) 2分22秒(終了)	645 × 655	1.9	23.2	119.0 3.82	163.2 4.30	187.3 4.53	—	—	—
4	14-150-0.60	2.5	0分21秒(50cm) 1分55秒(終了)	635 × 610	1.5	25.2	115.5 3.81	165.1 4.27	193.9 4.53	—	—	—
5	14-140-0.55	2.5	0分22秒(50cm) 2分13秒(終了)	635 × 640	1.6	25.8	117.0 3.85	163.4 4.34	191.5 4.55	—	—	—
6	14-160-0.55	2.5	0分16秒(50cm) 2分00秒(終了)	690 × 640	1.8	24.5	117.6 3.79	163.1 4.32	180.8 4.62	—	—	—
7	16-150-0.55	2.0	0分15秒(50cm) 1分48秒(終了)	685 × 695	0.8	22.7	113.9 3.86	162.8 4.29	192.7 4.74	177.1 4.40	172.2 4.35	180.3 4.58
8	18-150-0.55	1.3	0分11秒(50cm) 1分19秒(終了)	665 × 655	0.9	23.1	104.5 3.48	153.6 3.91	186.7 4.31	149.1 4.18	151.8 4.21	164.9 4.22

試験を行った。また、熱電対を中心部に設置した試験体を 1 体作製し、打設後 1 週間の温度履歴を測定した。

2. 実験結果及び考察

(1) 水結合材比の影響

Table 4 にフレッシュ試験結果及び圧縮試験結果の一覧を示す。また、Fig. 2 は結合材水比と圧縮強度の関係を示したものである。目標値である $\text{Fc}150\text{N/mm}^2$ は、 $\text{Fc}+2\sigma$ 、 $\sigma=0.1\text{Fc}$ に相当すると考え、実強度 180N/mm^2 とする。Fig. 2 から、標準水中養生、材齢 91 日の条件で、水結合材比 14% (193.5N/mm^2)、16% (192.7N/mm^2) が目標値の実強度 180N/mm^2 を達成した事が分かる。同図中で、水結合材比が小さくなるにつれて水結合材比 14%までは緩やかに強度が増進しているが、水結合材比 12%になると強度が低下している傾向が見られる。これは、水結合材比 12%では、フロー値が 500mm 程度まで減少している事から、粘性の増加による空気量の増加(2.5%)、締固め不良等の施工不良が原因であったと思われる。また、水結合材比 18%から 14%までの強度増進の小ささ、水結合材比 12%での強度の低下を考えると、極端な水結合材比の低減に伴って水和反応に必要な水分が不足した事も一因だと考えられる。

Fig.2 Blended Cement - Water ratio
on Compressive Strength

(2) 単位水量の影響

Fig. 3 に単位水量と圧縮強度の関係を示す。Fig. 3 から、材齢 7 日、材齢 28 日の圧縮強度は単位水量の変化による強度への影響はみられない。材齢 91 日では、単位水量 150kg/m³の強度が若干高いようにも見えるが、圧縮強度 190N/mm²前後では誤差の範囲と言える。このことから、今回の実験では単位水量による強度への影響は認められない事が分かった。

(3) 粗骨材かさ容積の影響

Fig. 4 に粗骨材かさ容積と圧縮強度の関係を示す。Fig. 4 から、単位水量と同様に材齢 7 日、材齢 28 日の圧縮強度は粗骨材かさ容積の変化による強度への影響はみられない。材齢 91 日でも、粗骨材かさ容積 0.55m³/m³において若干強度は高くみえるがこれも誤差の範囲と思われる。このことから、今実験では粗骨材かさ容積による強度への影響は認められない事が分かった。

(4) 養生条件の影響

Fig. 5 に簡易断熱養生試験体の温度履歴を示す。Fig. 5 から、室内温度は 20℃一定であるのに対して、試験体は材齢 1 日で 60℃前後まで上昇し、その後緩やかに 20℃近くまで低下している。簡易断熱養生試験体と標準養生試験体との温度差は、最大で 40℃近くある事が分かった。Fig. 6 に材齢と標準水中養生強度及び簡易断熱養生強度の関係を示す。Fig. 6 から、標準水中養生強度は材齢と共に増加しているのに対して、簡易断熱養生強度は初期強度が大きく長期的な強度の増進はほとんどなく、材齢 7 日では標準水中養生強度に対して簡易断熱養生強度の方が高いが、材齢 28 日で同程度の強度になり、材齢 91 日では標準水中養生強度の方がわずかに高くなっている。Fig. 7 に標準水中養生強度と簡易断熱養生強度の関係と各材齢における回帰式を示す。Fig. 7 から、簡易断熱養生の強度は標準水中養生に対して、材齢 7 日で 1.51 倍程度、材齢 28 日で 1.04 倍程度、材齢 91 日で 0.94 倍程度である事が分かる。これらのことから、養生方法による強度への影響が大きい事が分かり、実躯体では材齢 91 日において標準水中養生の 0.95 倍程度である事が分かった。

一般に、低水結合材比のコンクリートでは、初期の水和反応の影響により長期強度の増進が妨げられる傾向にある。しかし、今回の実験結果では、低水結合材比 12~18%と小さかったのにも係わらず、

簡易断熱養生強度はほぼ標準水中養生強度に近い値を示した。これは、セメントとして低熱ポルトランドセメントをベースにしたシリカフェームセメントを用いたために、最高温度が 60℃程度と低く抑えられた事によると考えられる。

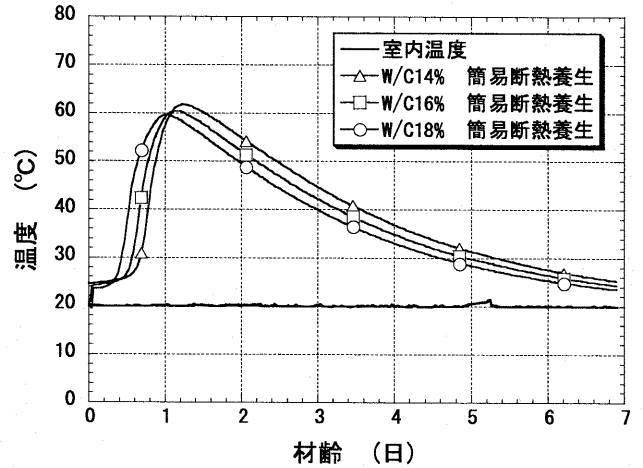


Fig. 5 Temperature Profile

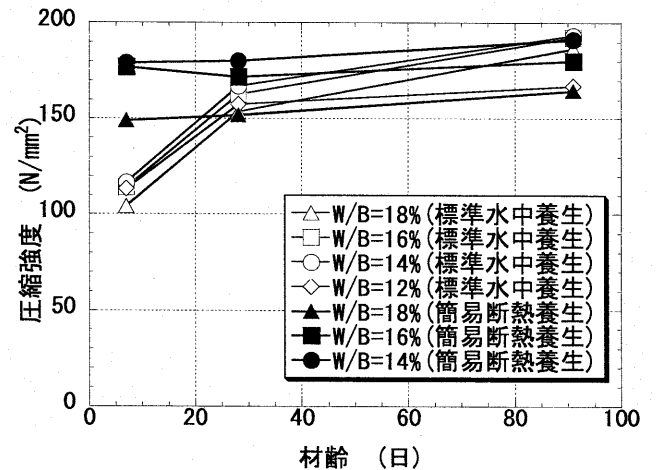


Fig. 6 Strength Development with Curing Time

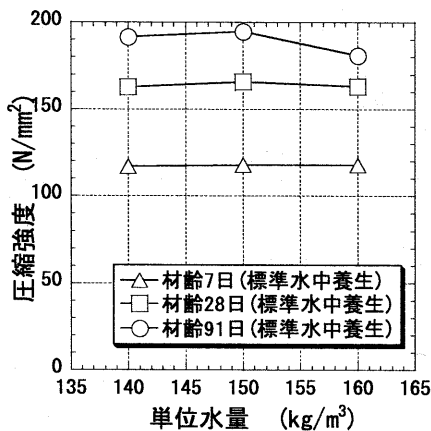


Fig. 3 Influence of Water Content on Compressive Strength

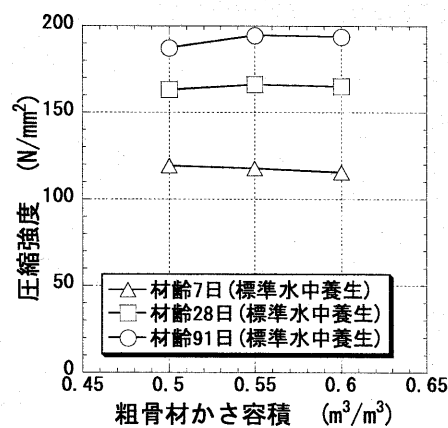


Fig. 4 Influence of Coarse aggregate Volume Content on Compressive Strength

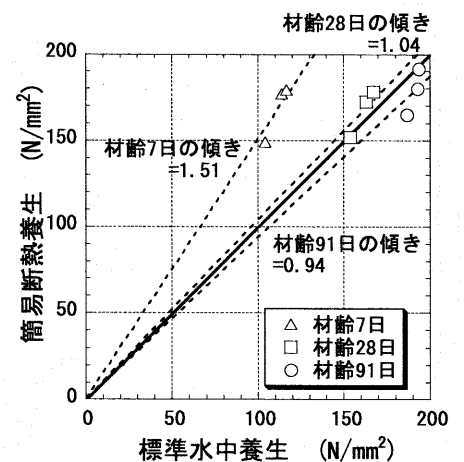


Fig. 7 Influence of Curing Condition on Compressive Strength

Ⅲ. 使用材料による影響

1. 実験計画

(1) 実験の概要

Table 5 に実験の概要を示す。使用材料の中で強度に影響する要因として、高性能 AE 減水剤の種類、セメントの種類、骨材の種類に注目した。高性能 AE 減水剤の種類により、水結合材比を低減できる下限値及びフレッシュ性状は大きく変化する。今回は、代表的なポリカルボン酸系の高強度コンクリート用高性能 AE 減水剤 5 種類 A～E (製造メーカーの違い) を使用した。セメントの種類は数多くあるが、 Fc100N/mm^2 を超える高強度コンクリートに使用されるセメントは限られている。今回は、シリカフュームセメント (SFC) を基準として、低熱ポルトランドセメントにシリカフュームを 10% 内割りしたものの (L+SF)、低熱ポルトランドセメントにシリカフュームとスラグ石膏を混入した 3 成分系セメント (S) の 3 種類を使用した。骨材の種類については、段戸産石英片岩 (D) を基準として、Table 5 に示す 8 種類の骨材を使用した。高強度用骨材に適している段戸産 (D)、蓼科産 (Ta)、両神産 (R) の 3 種類、一般に流通している骨材として奥多摩産 (O)、鳥形山産 (To)、初狩産 (H) の 3 種類、骨材強度の高い鉄鉱石イスコール (I)、ニューマン (N) の 2 種類である。

(2) 基本調査及び使用材料

Table 6 に基本調査表、Table 7 に使用材料を示す。調査は、Ⅱ. で検討した結果を反映させ、水結合材比 14%、単位水量 150kg/m^3 、粗骨材かさ容積 $0.55\text{m}^3/\text{m}^3$ で一定とした。SFC-D 以外の調査は、基本調査を基に使用する材料の密度から決定した。

(3) 実験方法

フレッシュ性状の試験項目は、スランプフロー値 (JIS A 1150)、フロー到達時間 (JIS A

1150)、空気量 (JIS A 1101)、温度 (温度計で計測) とした。

養生方法は、Ⅱ. 調査による影響と同様に、標準水中養生及び簡易断熱養生とした。標準水中養生では、1 調査につき $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の試験体を 9 体作製し、材齢 7 日、28 日、91 日に、それぞれ 3 体ずつ圧縮強度試験 (JIS A 1108)、ヤング係数試験 (JIS A 1149) を行った。また、セメントの種類及び骨材の種類による影響を検討する NO. 6～NO. 15 の調査については簡易断熱養生も行った。簡易断熱養生でも、1 調査につき $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の試験体を 9 体作製し、標準水中養生と同様に材齢 7 日、28 日、91 日で 3 体ずつ圧縮強度試験、ヤング係数試験を行った。

Table 5 Experimental Parameter

NO	記号	使用材料		
		セメント	骨材	高性能 AE 減水剤
1	SFC-D-A	シリカフュームセメント (SFC)	段戸産石英片岩	A
2	SFC-D-B			B
3	SFC-D-C			C
4	SFC-D-D			D
5	SFC-D-E			E
6	LE-D	低熱セメント+シリカフューム (L+SF)	段戸産石英片岩 (D)	E
7	S-D	3成分系セメント (S)		E
8	SFC-D	シリカフュームセメント (SFC)		E
9	SFC-Ta	シリカフュームセメント (SFC)	蓼科産安山岩 (Ta)	E
10	SFC-R		両神産硬質砂岩 (R)	E
11	SFC-O		奥多摩産硬質砂岩 (O)	E
12	SFC-To		鳥形山産石灰岩 (To)	E
13	SFC-H		初狩産安産岩 (H)	E
14	SFC-I		イスコール鉄鉱石 (I)	E
15	SFC-N		ニューマン鉄鉱石 (N)	E

Table 6 Concrete Mix Proportions

記号	単位水量 (kg)	W/B (%)	単位粗骨材 かさ容積 (m^3/m^3)	単位量 (上 kg/m^3 、下 L/m^3)			
				水	セメント	細骨材	粗骨材
SFC-D	150	14	0.55	150	1071	406	909
				150	348	155	347

Table 7 Concrete Constitutive Materials

種類	記号	材料名	備考 ^{*3}
セメント	SFC	シリカフュームセメント	密度 3.08
	L	低熱ポルトランドセメント	密度 3.22
	S	3成分系セメント	密度 2.99
混和材	SF	シリカフューム	密度 2.22
混和剤	A～E	高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸系
骨材	D	段戸産石英片岩碎石、砕砂	密度 G: 2.62, S: 2.62, 吸水率 G: 0.67%, S: 0.80%, 実積率 G: 63.1%
	Ta	蓼科産安山岩碎石、砕砂	密度 G: 2.68, S: 2.65, 吸水率 G: 1.07%, S: 1.34%, 実積率 G: 59.0%
	R	両神産硬質砂岩碎石、砕砂	密度 G: 2.71, S: 2.68, 吸水率 G: 0.53%, S: 0.96%, 実積率 G: 59.7%
	O	奥多摩産硬質砂岩	密度 G: 2.65, 吸水率 G: 0.48%, 実積率 G: 59.5%
	O	小笠原産山砂 ^{*1}	密度 S: 2.63, 吸水率 S: 1.49%
	To	鳥形山産石灰岩碎石、砕砂	密度 G: 2.68, S: 2.63, 吸水率 G: 0.38%, S: 0.90%, 実積率 G: 61.5%
	H	初狩産安産岩碎石、砕砂	密度 G: 2.69, S: 2.62, 吸水率 G: 1.22%, S: 1.49%, 実積率 G: 58.9%
	I	イスコール鉄鉱石	密度 G: 4.85, 吸水率 G: 0.54%, 実積率 G: 59.2%
	N	ニューマン鉄鉱石	密度 G: 4.13, 吸水率 G: 2.97%, 実積率 G: 60.7%
	IN	ロメラル鉄鉱石 ^{*2}	密度 S: 4.76, 吸水率 S: 0.23%
水	-	水道水	調布市

* 1: O の細骨材には小笠原産山砂を使用

* 2: IN の細骨材にはロメラル鉄鉱石砕砂を使用

* 3: 密度の単位は g/cm^3 、骨材の密度は表乾密度

* G: 粗骨材, S: 細骨材

2. 実験結果及び考察

(1) 高性能 AE 減水剤の影響

Table 8 にフレッシュ試験結果及び圧縮試験結果の一覧を示す。高性能 AE 減水剤の添加量は 2.5% を基準とし、練り混ぜ不可能なものには練り混ぜ可能になるまで高性能 AE 減水剤を添加した。Table 8 の NO. 1～NO. 5 のフレッシュ結果から、E の添加量(2.5%)は少なく、フロー値(62.0cm×64.0cm)は最も大きい事が分かる。また、A の添加量(3.5%)は多く、フロー値(48.5cm×46.0cm)は小さい事が分かり、練りあがり直後の粘性は A が最も大きかった。この事から、フロー値に与える影響は E が最も大きく、A が最も小さい事が分かった。

Fig. 8 に高性能 AE 減水剤の種類と圧縮強度の関係を示す。Fig. 8 から、A の高性能 AE 減水剤を使用したコンクリートの強度だけが小さく、他の高性能 AE 減水剤を使用したコンクリートの強度は差がほとんどない事が分かった。A の強度低下の原因としては、フロー値が小さい事による練り混ぜ時の空気の巻き込みや締固め不良等が考えられ、高性能 AE 減水剤自体が強度に影響を与えたか否かは今回の実験から判断するのは難しいと思われる。

NO. 6～NO. 15 では、A 以外の 4 種類の高性能 AE 減水剤による強度への影響はないものと考え、4 種類の高性能 AE 減水剤の中で 1 番フロー値の大きい E の高性能 AE 減水剤を使用する事とした。

(2) セメントの種類の影響

Table 8 の NO. 6～NO. 8 のフレッシュ結果から、混和剤添加量

一定の条件下において SFC 及び L+SF のフロー値(67cm 前後)は同程度であるのに対して、S のフロー値(76.5cm×75.0cm)は大きい事が分かる。

Fig. 9 にセメントの種類と圧縮強度の関係を示す。Fig. 9 から、材齢 7 日から 91 日において、SFC の強度が最も高い事が分かる。また、SFC の標準水中養生強度(197.9N/mm²)が最も高い値を示している事が分かる。SFC と L+SF は同じ材料構成だが、SFC は製造工場で均一に混合されるため、SFC の強度の方が高い値を示したと思われる。

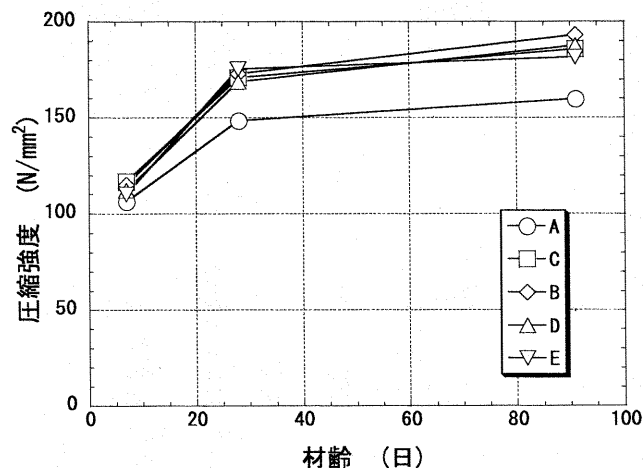


Fig.8 Influence of Reducing Agent on Compressive Strength

Table 8 Fresh Concrete Properties and Compressive Strength

NO	記号	高性能 AE減水剤 添加量(%)	フレッシュ試験結果				圧縮強度試験(上: N/mm ²)					
			フロー到達時間	フロー (mm)	空気量 (%)	温度 (°C)	ヤング係数試験(下: ×10 ⁴ N/mm ²)					
							標準養生			簡易断熱養生		
							7日	28日	91日	7日	28日	91日
1	SFC-D-A	3.0	1分01秒(50cm) 2分00秒(終了)	555 × 560	2.0	24.3	106.5 3.69	148.4 4.06	159.7 4.45	-	-	-
2	SFC-D-B	2.5	0分25秒(50cm) 2分45秒(終了)	61.0 × 59.0	1.6	23.3	115.2 3.74	173.3 4.37	193.2 4.62	-	-	-
3	SFC-D-C	2.5	分 秒(50cm) 3分17秒(終了)	53.5 × 51.0	2.0	23.2	116.9 3.81	171.1 4.36	185.7 4.66	-	-	-
4	SFC-D-D	3.5	分41秒(50cm) 3分36秒(終了)	57.5 × 57.0	1.9	23.7	112.3 3.84	168.8 4.31	187.6 4.65	-	-	-
5	SFC-D-E	2.5	分18秒(50cm) 2分15秒(終了)	62.0 × 64.0	1.7	23.2	110.1 3.78	175.6 4.31	181.8 4.62	-	-	-
6	LE-D	2.2	0分22秒(50cm) 2分43秒(終了)	685 × 655	1.7	22.8	119.5 3.63	149.4 4.13	181.3 4.40	180.1 4.42	174.2 4.36	184.0 4.50
7	S-D	2.2	0分9秒(50cm) 2分29秒(終了)	765 × 740	1.5	21.9	115.8 3.70	148.3 4.11	189.3 4.38	168.9 4.33	167.7 4.15	180.8 4.41
8	SFC-D	2.2	0分14秒(50cm) 2分16秒(終了)	665 × 670	1.6	22.4	126.1 3.92	166.9 4.25	197.9 4.54	184.1 4.53	181.5 4.44	191.3 4.58
9	SFC-Ta	2.2	0分24秒(50cm) 1分57秒(終了)	605 × 590	1.5	21.9	120.6 4.45	155.7 4.92	184.8 5.08	176.0 5.00	165.1 5.10	192.1 5.15
10	SFC-R	2.2	0分17秒(50cm) 1分50秒(終了)	625 × 640	1.7	22.9	104.8 4.21	127.3 4.60	154.0 4.97	146.6 4.70	138.9 4.68	152.0 4.90
11	SFC-O	2.2	分13秒(50cm) 2分30秒(終了)	680 × 665	1.5	20.7	105.6 3.86	147.1 4.57	171.0 4.98	154.8 4.55	156.2 4.56	166.8 4.83
12	SFC-To	2.2	0分37秒(50cm) 2分49秒(終了)	545 × 555	2.0	20.3	100.1 4.66	134.1 5.11	154.2 5.63	125.7 4.75	132.5 4.80	129.3 4.86
13	SFC-H	2.4	0分40秒(50cm) 3分00秒(終了)	510 × 600	2.0	20.9	110.2 4.56	150.6 5.16	189.9 5.57	164.7 5.04	167.6 5.19	177.0 5.38
14	SFC-I	2.5	0分29秒(50cm) 2分55秒(終了)	590 × 615	1.9	22.2	101.9 6.38	140.7 7.10	163.0 7.87	144.0 7.08	151.9 7.19	159.6 7.66
15	SFC-N	2.5	0分17秒(50cm) 2分39秒(終了)	675 × 640	1.6	22.7	90.5 4.99	122.8 5.89	142.0 6.14	131.6 5.82	132.4 5.90	138.5 6.30

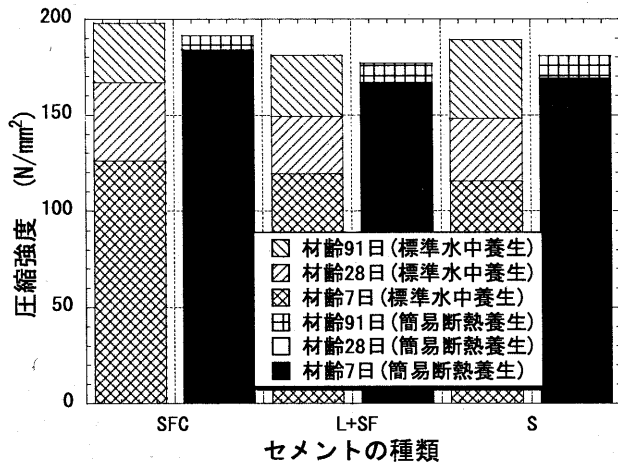


Fig.9 Influence of Cement Type on Compressive Strength

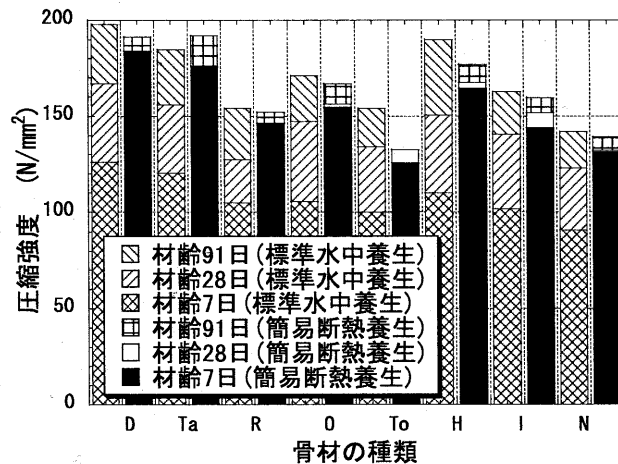


Fig.10 Influence of Different of Coarse Aggregate on Compressive Strength

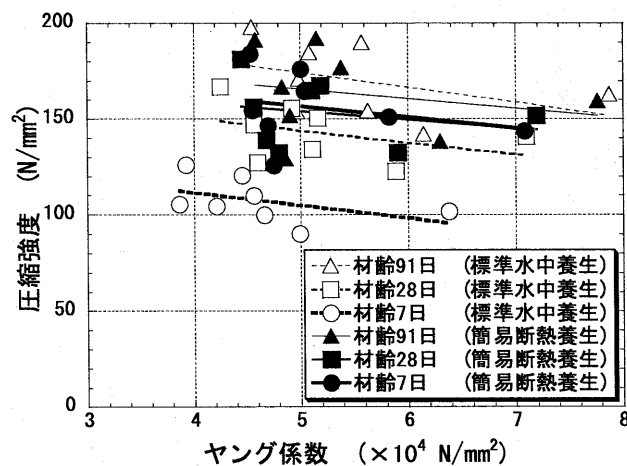


Fig.11 Correlation between Young's modulus and Compressive Strength

(3) 骨材の種類の影響

Fig.10 に骨材の種類と圧縮強度の関係を示す。Fig.10 から、D の標準水中養生強度 (197.9 N/mm^2) が最も大きく、N の標準水中養生強度 (142.0 N/mm^2) が最も小さい事が分かった。また、その差は $\text{Fc}150 \text{ N/mm}^2$ (実強度 180 N/mm^2) の 30% 程度である事から、骨材が強度に与える影響は大きい事が明らかとなった。

Fig.11 にコンクリートのヤング係数と圧縮強度の関係を示す。また、同図中にコンクリートのヤング係数と圧縮強度を線形で回帰した回帰式を示す。Fig.11 から、相対は弱いだが、養生方法及び材齢に関係なく、ヤング係数の増加と共に圧縮強度が減少している傾向が見られる。この事から、コンクリートのヤング係数と圧縮強度には相関関係があると思われる。既往の文献³⁾には、骨材のヤング係数と圧縮強度には相関関係がある事が報告されている。今回のようにマトリックスが同一のコンクリートの場合、コンクリートのヤング係数は使用した骨材のヤング係数と一定の関係にあると考えられる事から、強度に対する骨材のヤング係数による影響があったと判断される。

IV. おわりに

高強度域における強度に影響する要因(調合による影響、使用材料による影響)について実験的に検討し、 $\text{Fc}150 \text{ N/mm}^2$ のコンクリートの開発を行った。その結果、以下の事が明らかとなった。

- 目標値である $\text{Fc}150 \text{ N/mm}^2$ (実強度 180 N/mm^2) は、水結合材比 14 ~ 16%、材齢 91 日の条件において達成した。
- 水結合材比の低減による高強度化は、水結合材比 14% が限界であった。
- 単位水量及び粗骨材かさ容積の強度に対する影響は認められなかった。
- 今回実験した 3 種類のセメントの中では SFC の強度が高く、強度に与えるセメントの種類の影響がある事を確認した。
- 骨材の種類による強度の差は、 $\text{Fc}150 \text{ N/mm}^2$ (実強度 180 N/mm^2) の 30% 程度あり、骨材の種類が強度に与える影響が大きい事を確認した。
- コンクリートのヤング係数と圧縮強度に若干の相関関係が見られた事から、強度に対する骨材のヤング係数による影響があったと考えられる。

参考文献

- 柳田克己 和美広喜 他：高炉スラグ微粉末を用いた高強度コンクリートの水和熱養生条件下における強度特性、日本建築学会大会学術講演梗概集、1991。
- Bureau of Reclamation: Concrete Manual 8th ed, 1977.
- 桜本文敏 他、超高強度コンクリートに関する開発研究(その 3) 日本建築学会大会学術講演梗概集、1990。