

# 超高強度コンクリートの製造技術に関する実験的研究

山田人司\*・増田隆行\*\*・澤田由美子\*

近年、超高層住宅の更なる超高層化に伴い、設計基準強度 $F_c$ が $100\text{N}/\text{mm}^2$ を超える超高強度コンクリートの実用化に関する研究開発が行われている。超高強度コンクリートは、火災加熱を受けると表層部分が爆裂しやすく、部材の耐力低下を起こす可能性がある。この爆裂抑制対策として有効であるとされている有機繊維は、施工性や強度の低下などが懸念される。そこで本研究は、 $F_c=120\sim 150\text{N}/\text{mm}^2$ 級の超高強度コンクリートを対象に、使用材料や調合をパラメータとして行った室内における試練りと実大模擬柱実験などの製造に関する実験を行い、シリカフェーム混入セメントとポリプロピレン繊維を用いることにより $150\text{N}/\text{mm}^2$ 級の超高強度コンクリートの製造が可能であること、および調合設計のためのコア強度と強度補正值を確認した。

キーワード：超高強度コンクリート、圧縮強度、ポリプロピレン繊維、シリカフェーム、爆裂

## 1. はじめに

近年、超高層住宅の更なる超高層化に伴い、設計基準強度（以下  $F_c$  と略記） $130\text{N}/\text{mm}^2$  の高強度コンクリートを超高層住宅に実施工した<sup>1)</sup>との報告もある中で、 $F_c=150\text{N}/\text{mm}^2$  級のコンクリートに関する研究開発は多方面で行われている。

高強度コンクリートを用いた RC 造は、火災加熱を受けると表層部分が爆裂しやすく、部材の耐力低下を起こす可能性がある。筆者らは、既報<sup>2),3),4)</sup>において  $F_c=100\text{N}/\text{mm}^2$  級の高強度コンクリートに関して部材の耐火性能などについて報告している。また、爆裂抑制対策として有効であるとされている有機繊維<sup>5)</sup>は、高温時に熔融・蒸発し、水蒸気の通り道を形成することにより爆裂の要因の一つとされる蒸気圧を緩和し、爆裂を低減する効果があることが知られている。しかし、コンクリート強度が高くなると必要繊維混入量が増大し、施工性や強度低下をまねくなどの欠点も懸念される。

そこで、本研究では  $F_c=120\sim 150\text{N}/\text{mm}^2$  級の超高強度コンクリートを対象に、高強度用として実績のある骨材、シリカフェームを混入したセメント、爆裂抑制用のポリプロピレン繊維（以下 PP 繊維と略記）などを混入した超高強度コンクリートの製造技術に関する室内実験と模擬柱実大実験を行った。

室内実験においては、骨材、結合材料、混和剤、PP 繊維などの使用材料の種類と使用量の違いによるフレッシュコンクリート性状、強度発現性状などについて行った試練りの実験結果を報告する。

また、市中の生コン工場の実機ミキサによって超高強度コンクリートを製造し、フレッシュコンクリート性状の確認を行うとともに、模擬柱部材試験体に打設し、製造方法および構造体コンクリート強度について検討した結果についても報告する。

## 2. 室内実験

室内試験練りは  $20^\circ\text{C}$  の恒温室内で実施した。表-1 に実験要因と水準を、表-2 に試験項目とその方法をそれぞれ示す。練混ぜには公称容量  $100\text{L}$  の二軸強制練りミキサを使用した。粗骨材かさ容積は  $0.51\text{m}^3/\text{m}^3$ 、スランブフローは  $65\text{cm}$  または  $70\text{cm}(\pm 7.5\text{cm})$ 、空気量は  $1.5\%(\pm 1\%)$  とした。コンクリートの練混ぜは、モルタ

表-1 実験要因・水準

実験要因	水準
結合材	シリカフェーム混入セメント(SFC), 低熱セメント+シリカフェーム(LSF), シリカフェーム混入三成分セメント(VKC)
骨材	岩瀬産砕石・砕砂, 大月産砕石・砕砂
混和剤	ポリカルボン酸系(A社, B社, C社, D社, E社)
PP繊維	$48\mu\text{m}\times 10\text{mm}$ (a社, b社)
水結合材比	24, 20, 16, 14, 13, 12%

表-2 試験項目・方法

試験項目	試験方法	備考
スランブフロー	JIS A 1150	—
50cm フロー時間	JIS A 1150	—
空気量	JIS A 1128	—
コンクリート温度	温度計	—
圧縮強度	JIS A 1108	標準水中 (1, 4, 8, 13, 26W)

ル先練り方式とし、まず混和剤を混ぜた水、細骨材、セメントをミキサに投入して90秒～8分間混練した後、粗骨材を投入して90～120秒間攪拌してプレーンコンクリートを練り上げた。PP繊維の練混ぜは、練り上がったプレーンコンクリートをトラックアジテータ車のドラム内部を模擬した傾胴型ミキサに移して行った。回転速度は、トラックアジテータ車の高速回転と同程度となるように15回転/分とし、PP繊維混入量に応じて2～3分

間練り混ぜた。

## 2.1 骨材の影響

骨材の違いによるフレッシュコンクリート性状、強度発現性状の影響を確認するため、高強度用骨材としての実績のある岩瀬産砕石・砕砂（硬質砂岩）と大月産砕石・砕砂（安山岩）を用いて比較、検討を行った。表-3に本試験練りに用いた使用材料および調査を示す。結合材は、シリカフェーム混入セメント（以下 SFC と略記）を使用した。

図-1に岩瀬産硬質砂岩および大月産安山岩の砕石・砕砂を使用したコンクリートの混和剤の使用量を示す。どちらの骨材を使用しても使用量に大差は認められなかった。

図-2に2種類の骨材を使用したコンクリートの50cmフロー時間を示す。岩瀬産骨材を使用したコンクリートの方がフロー時間は長く、大月産骨材を使用したコンクリートよりも粘性が高くなる結果であった。

図-3に2種類の骨材を使用したコンクリートの標準養生供試体圧縮強度を示す。いずれの骨材を使用したコンクリートも結合材水比（以下B/Wと略記）が大きくなるほど、圧縮強度は直線的に大きくなる傾向がみられた。また圧縮強度は、材齢28日においては骨材の種類による差はみられないが、材齢91日では岩瀬産の骨材を使用し

表-3 コンクリートの調合（骨材の影響）

W/B (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						SP使用量 (B×%)
	W	B	S1	S2	G1	G2	
20	155	775	676	—	837	—	1.55
			—	723	—	791	1.45
16	155	969	513	—	837	—	2.10
			—	558	—	791	2.10
13	155	1192	328	—	837	—	2.90
			—	409	—	791	2.80

[使用材料]

水(W)：上水道水

セメント(B)：シリカフェーム混入セメント，密度3.08g/cm<sup>3</sup>

細骨材(S1)：岩瀬産砕砂（硬質砂岩），表乾密度2.58g/cm<sup>3</sup>

細骨材(S2)：大月産砕砂（安山岩），表乾密度2.62g/cm<sup>3</sup>

粗骨材(G1)：岩瀬産砕石（硬質砂岩），表乾密度2.65g/cm<sup>3</sup>

粗骨材(G2)：大月産砕石（安山岩），表乾密度2.62g/cm<sup>3</sup>

混和剤(SP)：A社製高性能減水剤（ポリカルボン酸系）

[目標スランプフロー]：65±7.5cm(W/B=20%)，

70±7.5cm(W/B=16, 13%)

[目標空気量]：1.5±1%

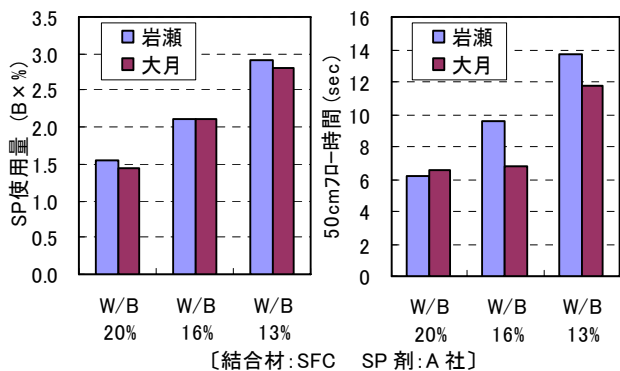


図-1 骨材種類と混和剤使用量

図-2 骨材種類と50cmフロー時間

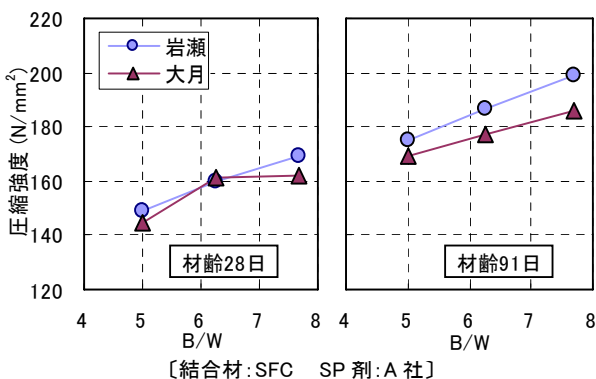


図-3 骨材種類と標準養生供試体圧縮強度

表-4 コンクリートの調合（結合材の影響）

W/B (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							SP使用量 (B×%)
	W	SFC	L	VKC	SF	S	G	
24	155	646	—	—	—	784	837	1.3
		—	581	—	65			1.55
20	155	775	—	—	—	676	837	1.55
		—	698	—	78			1.7
		—	—	775	—			658
16	155	969	—	—	—	513	837	2.1
		—	872	—	97			2.1
		—	—	969	—			490
13	155	1192	—	—	—	328	837	2.9
		—	1073	—	119			2.7
		—	—	1192	—			297

[使用材料]

水(W)：上水道水

セメント(SFC)：シリカフェーム混入セメント，密度3.08g/cm<sup>3</sup>

セメント(L)：低熱ポルトランドセメント，密度3.22g/cm<sup>3</sup>

セメント(VKC)：シリカフェーム混入三成分セメント，密度2.99g/cm<sup>3</sup>

混和剤(SF)：粉体シリカフェーム，密度2.20g/cm<sup>3</sup>

細骨材(S)：岩瀬産砕砂（硬質砂岩），表乾密度2.58g/cm<sup>3</sup>

粗骨材(G)：岩瀬産砕石（硬質砂岩），表乾密度2.65g/cm<sup>3</sup>

混和剤(SP)：A社製高性能減水剤（ポリカルボン酸系）

[目標スランプフロー]：65±7.5cm(W/B=24, 20%)，

70±7.5cm(W/B=16, 13%)

[目標空気量]：1.5±1%

たコンクリートの方が圧縮強度は大きい結果が得られ、水結合材比（以下W/Bと略記）が13%において13 N/mm<sup>2</sup>の強度差があった。W/B が小さく強度が大きいほど骨材の種類が圧縮強度の発現に及ぼす影響が大きい。

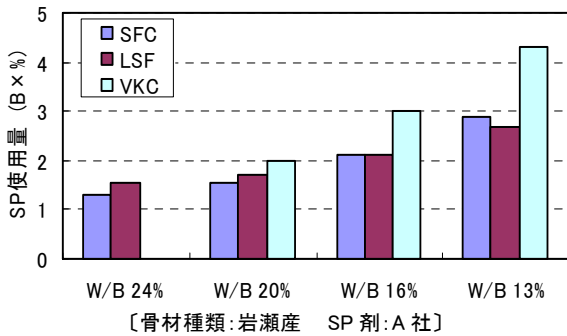


図-4 結合材種類と混和剤使用量

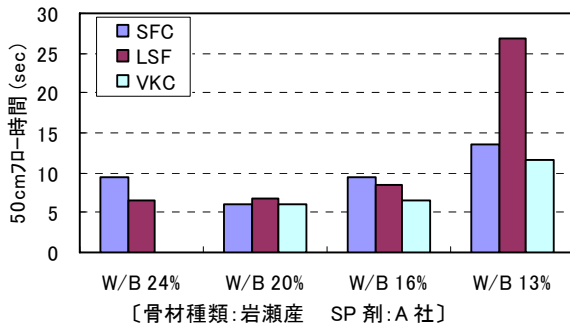
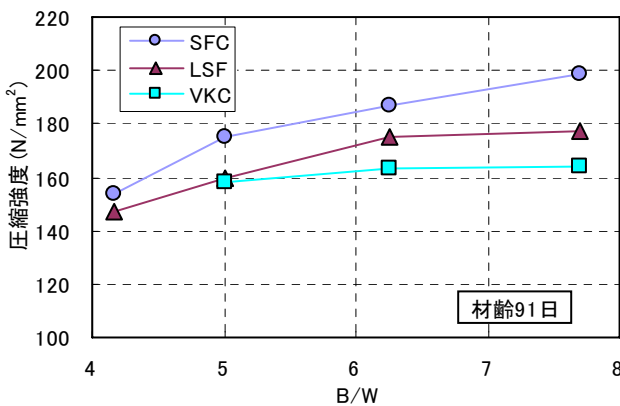
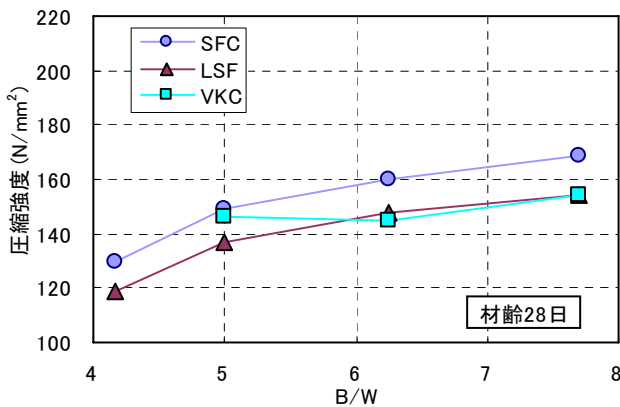


図-5 結合材種類と 50cm フロー時間



〔結合材:SFC SP剤:A社〕

図-6 結合材種類と標準養生供試体圧縮強度

## 2.2 結合材の影響

結合材の種類がコンクリートの性状に及ぼす影響を確認するため、シリカフューム混入セメント、低熱ポルトランドセメントにシリカフュームを別途添加したセメント（以下LSFと略記）およびシリカフューム混入三分セメント（以下VKCと略記）の3種類の結合材を用いてフレッシュコンクリート性状、強度発現性状を比較、検討した。表-4に本試験練りに用いた使用材料および調査を示す。

図-4に各種結合材を使用したコンクリートの混和剤の使用量を示す。SFCを使用したコンクリート（以下SFCコンと略記）と、LSFを使用したコンクリート（以下LSFコンと略記）は、いずれのW/Bにおいてもほぼ同量の使用量となったが、VKCを使用したコンクリート（以下VKCコンと略記）は、よりW/Bが小さくなるほど使用量が増加する傾向がみられた。

図-5に各種結合材を使用したコンクリートの50cmフロー時間を示す。いずれの結合材を使用したコンクリートも、W/Bが16%まではフロー時間に大差はみられないが、LSFコンはW/Bが13%において非常に長いフロー時間を示した。LSFコンは、混和剤の種類によっては他の結合材を使用したコンクリートに比べてW/Bが小さくなると粘性が大きくなる傾向があり、低水結合材比で使用には限界があると思われる。

図-6に結合材の種類による標準養生供試体圧縮強度を示す。いずれの結合材を使用したコンクリートも、B/Wが大きくなるほど、圧縮強度は直線的に増加する傾向がみられた。ただし、VKCコンはSFCコンやLSFコンに比べてその増加傾向が顕著ではなかった。また、圧縮強度はSFCコンが大きく、材齢91日のW/Bが13%では、LSFコンより22N/mm<sup>2</sup>、VKCコンより35N/mm<sup>2</sup>圧縮強度が大きい結果となった。結合材の種類による圧縮強度の発現傾向の差異は、使用した混和剤の種類の影響も大きいと思われる。

## 2.3 混和剤の影響

混和剤の銘柄の違いによる差異を確認するため、超高強度用高性能減水剤5種類を用いて、W/Bが13%におけるフレッシュコンクリート性状、強度発現性状の比較、検討を行った。表-5に本試験練りに用いた使用材料および調査を示す。

表-6に実験結果を示す。混和剤の種類の違いにより使用量や粘性に若干の差異が確認された。使用量は2.0~3.0%、粘性の指標である50cmフロー時間は13.5~27.8secの範囲であった。

圧縮強度の発現は、材齢1日の初期材齢において大きな

差があったものの7日以降はほぼ等しい圧縮強度であった。

## 2.4 PP 繊維の影響

PP 繊維の混入によるブレンコンクリートとのフレッシュコンクリート性状、強度発現性状の違いを確認するために行った。表-7 に本試験練りに用いた使用材料および調合を示す。

図-7 に PP 繊維の種類および混入量の違いによる繊維混入前後のスランブフローを示す。a 社製のほうが、b 社製よりも繊維混入によるスランブフローの低下量が小さい結果となった。a 社製の PP 繊維では、0.24vol% までは繊維混入によるスランブフローの低下量は小さかったが、0.36vol% まで混入すると非常に大きくなった。

図-8 に PP 繊維の種類及び混入量の違いによる繊維

混入前後の 50cm フロー時間を示す。a 社製の方が、b 社製よりも繊維混入によるフロー時間の変化量は同等もしくは小さい結果となった。また、粘性に著しい変化はなかったように見受けられたが、フロー時間は繊維混入後のフロー時間が非常に長くなった。これは、スランブフロー値が小さくなったことにもよるが、繊維が絡んでいるためフロー速度が遅くなった影響が大きかったと思われる。PP 繊維の種類と混入量がフレッシュコンクリートの性状に及ぼす影響は大きい。

図-9 に PP 繊維の種類および混入量の違いによる標準養生供試体の圧縮強度を示す。いずれの PP 繊維を使用しても、繊維混入による強度低下は小さく、材齢 91 日においても最大 5% 程度であった。

表-5 コンクリートの調合 (混和剤の影響)

W/B (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				SP 使用量 (B×%)
	W	B	S	G	
13	155	1192	369	791	2.0~3.0

[使用材料]

水(W)：上水道水

セメント(B)：シカフォーム混入セメント、密度 3.08g/cm<sup>3</sup>

細骨材(S)：大月産砕砂(安山岩)、表乾密度 2.62g/cm<sup>3</sup>

粗骨材(G)：大月産砕石(安山岩)、表乾密度 2.62g/cm<sup>3</sup>

混和剤(SP)：A, B, C, D, E 社製高性能減水剤(ポリカルボン酸系)

表-6 実験結果 (混和剤の影響)

種類	SP 使用量 (B×%)	スランブフロー (cm)	50cm フロー時間 (sec)	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )		
					1日	7日	28日
A	3.0	76.0	13.5	1.9	1.4	124	162
B	3.0	67.5	27.8	2.0	1.3	113	155
C	3.0	70.0	17.3	2.0	3.3	111	156
D	2.7	69.5	23.9	1.9	4.6	113	155
E	2.0	72.0	13.9	1.5	17.4	121	160

表-7 コンクリートの調合 (PP 繊維の影響)

W/B (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				PP 混入量 (vol%)	SP 使用量 (B×%)	
	W	B	S	G			
13	155	1192	328	837	0 (a)	3.0	
					0.24 (a)		
					0 (a)		3.2
					0.36 (a)		
13	155	1192	328	837	0 (b)	3.2	
					0.3 (b)		

[使用材料]

水(W)：上水道水

セメント(B)：シカフォーム混入セメント、密度 3.08g/cm<sup>3</sup>

細骨材(S)：岩瀬産砕砂(硬質砂岩)、表乾密度 2.58g/cm<sup>3</sup>

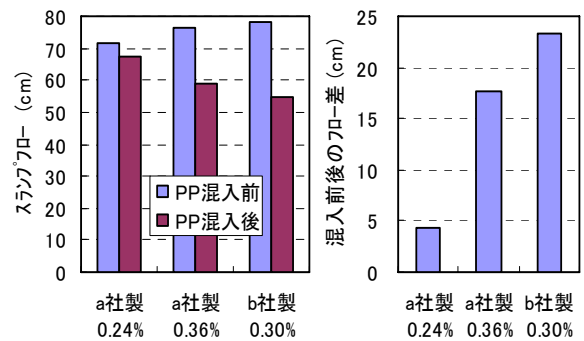
粗骨材(G)：岩瀬産砕石(硬質砂岩)、表乾密度 2.65g/cm<sup>3</sup>

混和剤(SP)：A 社製高性能減水剤(ポリカルボン酸系)

合成繊維(PP)：ポリプロピレン繊維(a 社, b 社)、密度 0.91g/cm<sup>3</sup>

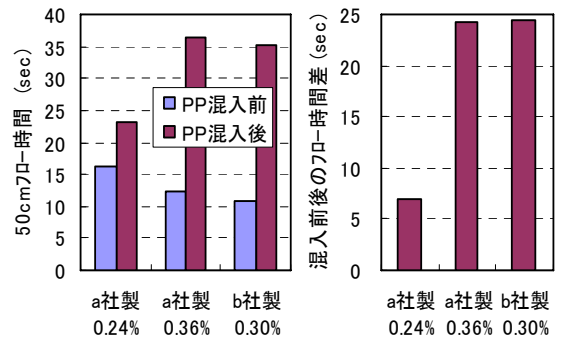
[目標スランブフロー]：70±7.5cm,

[目標空気量]：1.5±1%



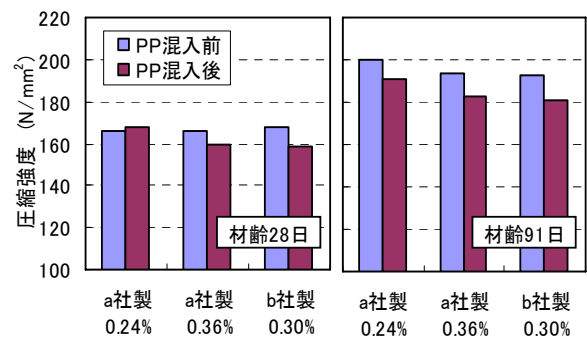
[結合材:SFC 骨材:岩瀬産 SP 剤:A 社 W/B=13%]

図-7 PP 繊維種類とスランブフロー



[結合材:SFC 骨材:岩瀬産 SP 剤:A 社 W/B=13%]

図-8 PP 繊維種類と 50cm フロー時間



[結合材:SFC 骨材:岩瀬産 SP 剤:A 社 W/B=13%]

図-9 PP 繊維種類と標準養生供試体圧縮強度

表-8 コンクリートの調合 (水結合材比の影響)

W/B (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				SP 使用量 (B×%)
	W	B	S	G	
24	155	646	784	837	1.3
20		775	676		1.55
16		969	513		2.1
14		1107	400		2.6
13		1192	328		2.9
12		1292	245		3.5

[使用材料]

水(W) : 上水道水

セメント(B) : シリカフェーム混入セメント, 密度 3.08g/cm<sup>3</sup>

細骨材(S) : 岩瀬産砕砂(硬質砂岩), 表乾密度 2.58g/cm<sup>3</sup>

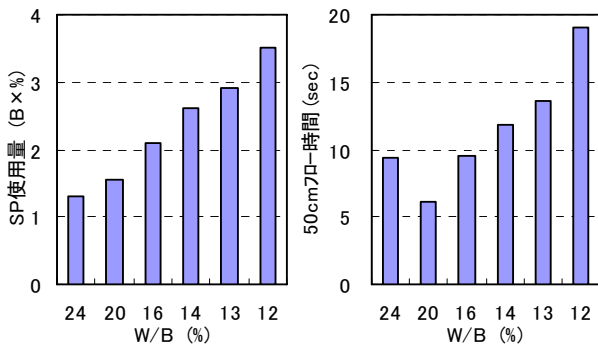
粗骨材(G) : 岩瀬産碎石(硬質砂岩), 表乾密度 2.65g/cm<sup>3</sup>

混和剤(SP) : A社製高性能減水剤(ポリカルボン酸系)

[目標スランプ率] : 65±7.5cm(W/B=24, 20%),

70±7.5cm(W/B=16, 14, 13, 12%)

[目標空気量] : 1.5±1%



[結合材:SFC 骨材:岩瀬産 SP剤:A社]

図-10 水結合材比と混和剤使用量

図-11 水結合材比と50cmフロー時間

## 2.5 水結合材比とフレッシュコンクリート性状・強度性状の関係

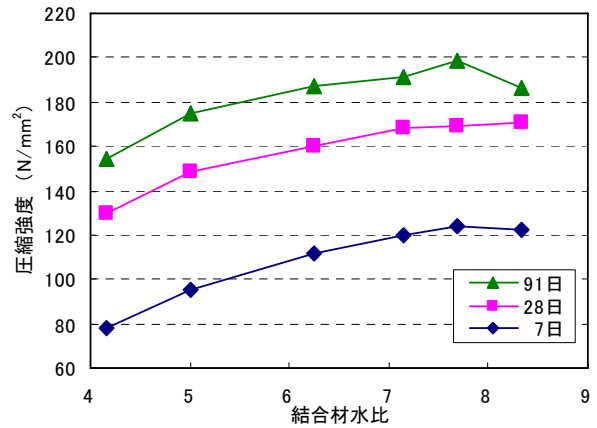
SFC, 岩瀬産碎石・砕砂を用いて, W/B が 24~12%の範囲におけるフレッシュコンクリート性状, 強度発現性状の比較, 検討を行った。表-8 に本試験練りに用いた使用材料および調合を示す。

図-10 に W/B と混和剤の使用量の関係を示す。W/B が小さくなるほど, 使用量は直線的に増える傾向がみられた。

図-11 に W/B と 50cm フロー時間の関係を示す。W/B が小さくなるとフロー時間はほぼ直線的に長くなる傾向がみられる。これは, コンクリートの粘性が高くなっていると思われる。

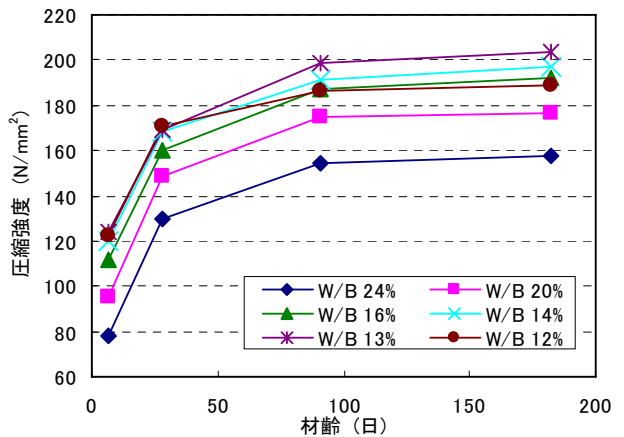
図-12 に B/W と標準養生供試体の圧縮強度を示す。B/W が大きくなると, 13%まで圧縮強度はほぼ直線的に増大する傾向がみられたが, W/B が 12%では逆に圧縮強度が小さくなった。この傾向は, 材齢が進むほど顕著になっている。

これは, 練り混ぜ時の分散性が影響していると思われる, 混和剤の性能やミキサーの攪拌能力に限界があること示唆していると考えられる。



[結合材:SFC 骨材:岩瀬産 SP剤:A社]

図-12 結合材水比と標準養生供試体強度



[結合材:SFC 骨材:岩瀬産 SP剤:A社]

図-13 標準養生供試体の強度発現状況

表-9 使用材料

水	上水道水
結合材	シリカフェーム混入セメント:密度 3.08g/cm <sup>3</sup>
細骨材	岩瀬産砕砂:表乾密度 2.59g/cm <sup>3</sup> , FM2.63
粗骨材	岩瀬産碎石:表乾密度 2.65g/cm <sup>3</sup> , FM6.60, 実積率 61%
混和剤	特殊高性能減水剤:ポリカルボン酸系, 固形分 30%
合成繊維	ポリプロピレン繊維 (48μm×10mm, 20mm)

表-10 コンクリートの調合

W/B (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				SP 使用量 (B×%)
	W	B	S	G	
20	155	775	704	824	1.4~1.7
16	155	969	541	824	1.75~2.5
14	155	1107	414	824	2.25~3.0
13	155	1192	369	824	2.4~3.2

(注) W/B:水結合材比, W:水, B:結合材, S:細骨材, G:粗骨材, SP:混和剤

図-13 に標準養生供試体圧縮強度の強度発現状況を示す。材齢とともに圧縮強度は増進しているが, 91日以降の圧縮強度の増進は非常に小さい。

### 3. 実大模擬柱実験

#### 3.1 実験概要

##### 3.1.1 使用材料及び調査

表-9に使用材料を、表-10にコンクリートの調合をそれぞれ示す。結合材はSFCを、骨材は岩瀬産を、混和剤はA社を使用した。目標スランプフローは、W/Bが20%で65cm、W/Bが16~13%では70cmとし、目標空気量はすべて1.5%とした。粗骨材かさ容積はすべて0.51m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>とし、混和剤の固形分は単位水量に補正した。また、W/Bが20と14%の一部において爆裂防止用のa社製PP繊維を用い、別途実施した耐火試験用の断面寸法400×400mmの試験体を作製した。

##### 3.1.2 試験体

図-14に実験に用いた試験体形状を示す。試験体は断面寸法1000×1000mm、高さ1000mm（以下1000角試験体と略記）の模擬柱部材とし、耐火実験の試験体との整合を確認する400×400mm、高さ1000mm（以下400角試験体と略記）の模擬柱部材も合わせて実験に供した。試験体は、上下をそれぞれ発泡スチロールで断熱して、無筋とした。コア供試体は、図中に示す1000角試験体は垂直方向に内部および端部、400角試験体は端部で採

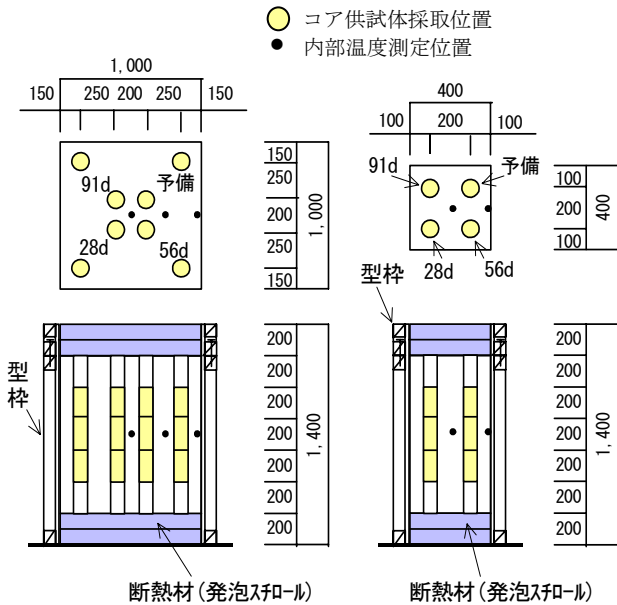


図-14 模擬柱試験体

表-11 試験体の組合せ

実験時期	試験体	
	1000角試験体	400角試験体
夏期	20, 16, 13	20, 16, 14, 13
標準期	20, 16, 14	20, 14
冬期	20, 16, 13	-

(注) 数字は水結合材比(%)

取し、各3個の供試体を作製した。

##### 3.1.3 コンクリートの製造

コンクリートの製造は、レディーミクストコンクリート工場（東京都中央区）で行った。コンクリートは2軸強制練りミキサ（公称容量6.0m<sup>3</sup>）を用い、1バッチの練混ぜ量は2.0~4.0m<sup>3</sup>とした。練混ぜは、モルタルの練上がりモニターを確認した後、粗骨材を投入してコンクリートを練り混ぜた。

実験は、夏期（8月）、標準期（5月）、冬期（12月）の3シーズンで行った。夏期と冬期は、工場内で練上がり後60分で試験体に打ち込み、標準期は神奈川県厚木市（輸送時間約90~120分）において打ち込みを行った。表-11にW/Bと試験体の組合せを示す。

なお、標準期のW/Bが20%と14%は、試験体打ち込み終了後のトラックアジテータ車にPP繊維を3回に分けて投入したコンクリートを製造して、分散性を測定した。

### 3.2 実験結果

#### 3.2.1 フレッシュコンクリート

(1) 混和剤使用量および練混ぜ時間

図-15に混和剤の使用量を、図-16に練混ぜ時間を

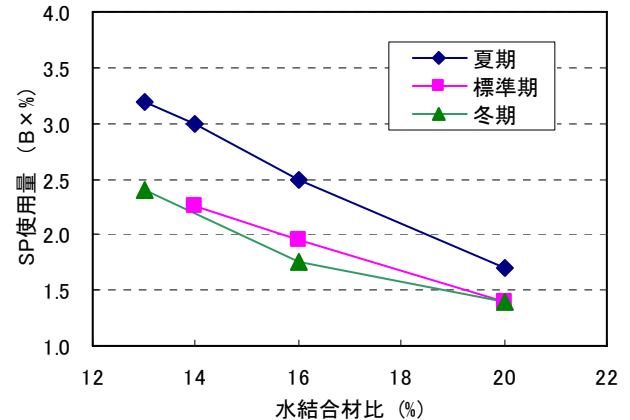


図-15 混和剤の使用量

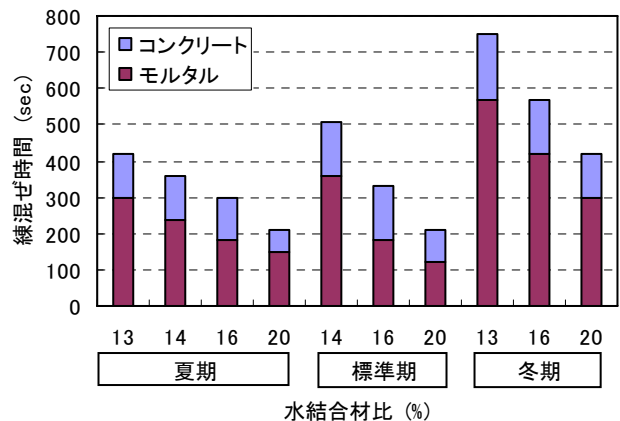


図-16 練混ぜ時間

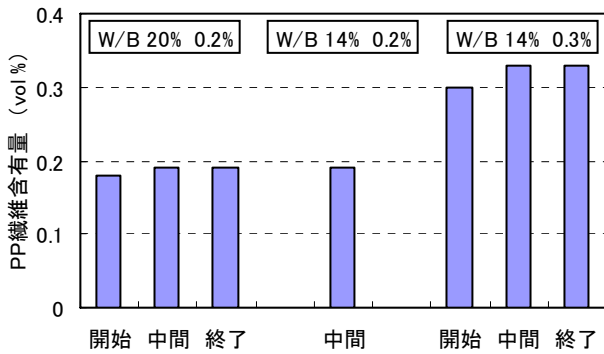


図-17 PP 繊維の分散状況

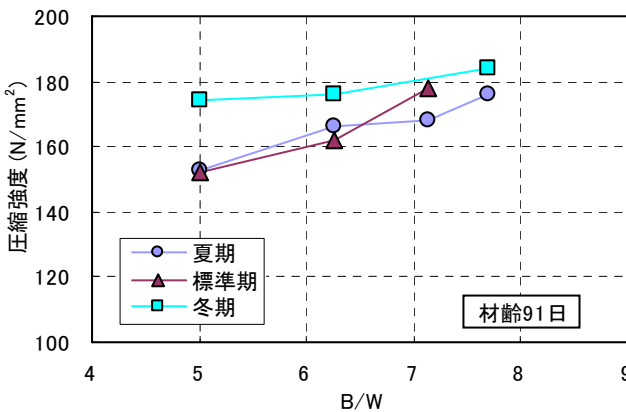
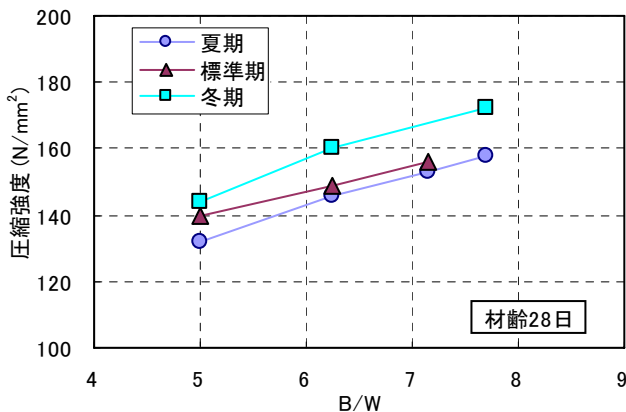


図-18 標準養生供試体の圧縮強度と結合材水比の関係

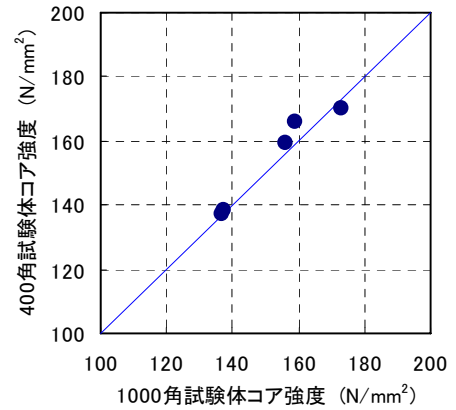


図-19 模擬柱試験体寸法とコア強度

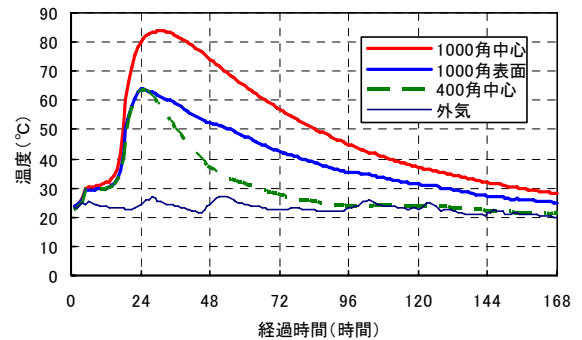


図-20 標準養生供試体の強度発現状況

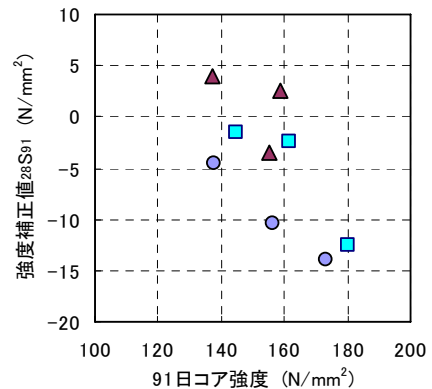


図-21 91日コア強度と強度補正值 (28S91)

それぞれ示す。使用量および練混ぜ時間はW/Bが小なると増大し、とくに混和剤の使用量の増大はコンクリート温度の高い夏期で顕著であった。また、練混ぜ時間は温度の低い冬期ほどモルタルの練混ぜ時間が増大する。

### (2) PP 繊維の分散性

図-17にPP繊維の含有量の測定結果を示す。PP繊維は、トラックアジテータ車からコンクリートを採取し、水洗いおよびふるいにより採取した後、乾燥させて繊維量を測定した。W/Bが20と14%とも、コンクリート排出開始時、中間時、排出終了時のいずれにおいても大差なく均一でほぼ計画値に等しいことから、トラックアジテータ車で十分に攪拌できることが確認できた。

### 3.2.2 硬化コンクリート

図-18に標準養生供試体圧縮強度とW/Bの関係を示す。材齢28日および91日ともB/Wの増大に伴って標準養生供試体圧縮強度が増大する傾向があり、冬期の材齢91日における圧縮強度が他の打設期に比べて強度増進が大きかった。圧縮強度結果からもW/Bが13%までは実機プラントのミキサで製造することが可能と考えられる。

図-19に材齢91日における1000角試験体と400角試験体のコア強度の関係を示す。本実験では、断面寸法にかかわらず同程度のコア強度であった。なお、400角試験体の中心部の最高温度は1000角試験体の表層部の温度とほぼ等しい結果であった。図-20にW/Bが14%の

試験における温度測定結果の一例を示す。

図-21 に材齢 91 日のコア供試体の圧縮強度と強度補正值 ( $_{28}S_{91}$ ) の関係を示す。本実験の結果では、いずれの打設期においてもコア供試体の圧縮強度が増大するほど強度補正值が小さくなる傾向で、 $_{28}S_{91}$  値は  $5\text{N}/\text{mm}^2$  以下であった。

#### 4. まとめ

設計基準強度が  $120\sim 150\text{N}/\text{mm}^2$  級の超高強度コンクリートを対象に、コンクリートの製造技術に関する室内における試験練りおよび実機プラントによる実大模擬柱実験により以下のことが明らかとなった。

- ① 良質な骨材とシリカフェーム混入セメントを用いることで、 $150\text{N}/\text{mm}^2$  級超高強度コンクリートを実機プラントで製造は可能である。
- ② 混和剤の使用量は水結合材比が小さくなるほど増大し、練混ぜ時間は温度の低い冬期ほど長い。
- ③ PP 繊維はトラックアジテータ車による攪拌でドラム内でほぼ均一に分散できる。
- ④ 水結合材比が 13%までは、結合材水比の増大に伴って標準養生供試体圧縮強度が増大する傾向がある。
- ⑤ コア強度が増大するほど強度補正值が小さくなる。

なお本報告は、熊谷組、佐藤工業、戸田建設、西松建設、ハザマ、フジタ、前田建設工業の共同研究成果の一部である。共同研究担当各位に深謝の意を表します。また、本実験に御協力頂いた関連各社に謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 黒岩秀介, 河合邦彦, 田切智明, 嵐山正樹:  $\text{Fc}130\text{N}/\text{mm}^2$  の高強度コンクリートを用いた超高層集合住宅の施工, コンクリート工学, Vol. 42, No. 10, pp. 44-49, 2004. 10
- 2) 松戸正士, 吉野茂, 若松高志, 近藤悟, 佐々木仁, 平島岳夫, 吉田正友, 上杉英樹, 齋藤光, 菊田繁美, 高橋孝二, 井上超: 超高強度材料を用いた鉄筋コンクリート柱の耐火性に関する研究(その 1, 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), A-2, pp. 21-24, 2002. 8
- 3) 梶田秀幸, 野中英, 近藤悟, 小林利充, 井上超, 西田浩和, 平島岳夫, 吉田正友, 上杉英樹: 超高強度材料を用いた鉄筋コンクリート柱の耐火性に関する研究(その 3), 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), A-2, pp. 241-242, 2003. 9
- 4) 梶田秀幸, 野中英, 増田隆行, 西田浩和, 増田隆行, 高橋孝二, 井上超, 澤田由美子, 濱田真, 浦川和也, 松戸正士, 中込昭, 杉野英治, 梅本宗宏, 小林利充, 平島岳夫, 吉田正友, 上杉英樹, 齋藤光: 超高強度材料を用いた鉄筋コンクリート柱の耐火性に関する研究(その 4, 5, 6, 7, 8), 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), A-2, pp. 91-100, 2004. 8
- 5) 例えば, 森田武, 西田朗, 橋田浩, 山崎庸行: 火災時における高強度コンクリート部材の爆裂性状の改善に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, No. 544, pp. 171-178, 2001. 6
- 6) 西田浩和, 佐藤孝一, 大内一之, 梅本宗宏, 西山直洋, 山田人司, 中込昭, 梶田秀幸, 濱田真, 菊田繁美, 高橋孝二, 片寄哲務, 野中英, 小林利充, 増田隆行, 松戸正士, 吉野茂:  $\text{Fc}=150\text{N}/\text{mm}^2$  級超高強度コンクリートの製造技術に関する実験的研究(その 1, 2, 3), 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), A-2, 2005. 9

---

### Experimental Study on Production Technique of Ultra-High Strength Concrete

Hitoshi YAMADA, Takayuki MASUDA and Yumiko SAWADA

Recently, the research and development on ultra-high strength concrete with specified design strength above  $100\text{N}/\text{mm}^2$  is carried out to build higher condominium skyscrapers. The explosion of high-strength concrete surface occurs when the concrete is heated by a fire, and there is a possibility to cause the strength decrease of members. Although the mixture of organic fibers to control the explosion has an advantage to ease vapor pressure, which is assumed to be one of the factors of the explosion, there is a fault to decrease workability and strength of the concrete.

This paper reports the trial mixing in the room in which the materials and mix proportion are parameters and the trial mixing by a real plant for the ultra-high strength concrete of specified design strength of  $120\sim 150\text{N}/\text{mm}^2$ .