

# RC 超高層建物用コンクリートに関する研究 (その2)

——柱部材を用いた設計基準強度 600 kg/cm<sup>2</sup> の強度実証試験——

中 根 淳 久保田昌吾  
一 瀬 賢 一 仙 田 孝 志

## Experimental Study on High-strength Concrete for High-rise Reinforced Concrete Building (Part 2)

——Study on High-strength concrete of Specified Strength 600 kg/cm<sup>2</sup>

Using Column Specimen——

Sunao Nakane Shogo Kubota  
Ken-ichi Ichise Takashi Senda

### Abstract

This report describes the results of construction tests with full-scale specimens (column members) using high-strength concrete. (1) It was confirmed by core strengths that concrete of high strength up to  $F_c=700$  kg/cm<sup>2</sup> can be obtained if sufficient attention is paid to materials, mix proportions, manufacturing, and placing. (2) Using the high-strength admixture, silica fume, and newly-developed superplasticizers needs thorough investigation because some of them have unstable effects on concrete quality. (3) An increase of 4 to 6 percent in core strength was recognized for concrete cooled with liquid nitrogen compared with that which had not been cooled. In effect, cooling has a beneficial effect on heat of hydration.

### 概 要

本報告は、柱形実大模擬部材を使用した  $F_c=600$  kg/cm<sup>2</sup> の高強度コンクリート実証試験結果をまとめたものである。以下に結果の概略を述べる。(1) 生コン使用であっても使用材料・調合・製造に十分配慮すれば、 $F_c=700$  kg/cm<sup>2</sup> までの高強度コンクリートが得られることを確認した。(2) 混和材料シリカフュームおよびスランプロス低減形高性能 AE 減水剤には、コンクリートの品質に影響を与えるものが認められるので、使用に際しては十分な検討を要する。(3) 液体窒素による冷却コンクリートを使用した場合は、冷却しないものに比べてコア強度で4~6%の強度増が認められ、水和熱に対する効果を確認した。

### 1. はじめに

超高層鉄筋コンクリート造建築物（以下 RC 超高層建物と呼ぶ）は、建物の高さが増すにつれて低層部分の柱脚部にかかる軸力が大きくなり、柱の断面寸法を大きくする必要がある。既に竣工したもの、または現在計画中の RC 超高層建物は20~40階建てで、低層部分におけるコンクリートの設計基準強度は 420 kg/cm<sup>2</sup> 程度であるが、40階を上回る RC 超高層建物を建設する場合は、設計基準強度も現状を上回るものが要求される。

一方、市街地における建築物は、土地の有効利用に伴う市街地再開発計画により、高層化への傾向は一層顕著になるものと予想される。又、建設省においても超高層建築物の超高強度化技術の開発プロジェクト計画を昭和63年4月から発足させ、60階建て以上、コンクリートの

設計基準強度 600~1000 kg/cm<sup>2</sup> を目標とした開発研究に着手する予定である。

本実験は、これらの状況を踏まえ、50~60階建て、コンクリートの設計基準強度 600 kg/cm<sup>2</sup> の RC 超高層建物を想定し、高強度場所打ちコンクリートを対象とした使用材料・調合・製造と打込みに関する検討及び柱形実大模擬部材による部材強度の実証試験を行なったもので、本報告は、これらの結果についてまとめたものである。

### 2. 実験の概要

市中の生コン工場で製造した高強度コンクリート ( $W/(C+SF)=30, 25\%$ ) のフレッシュコンクリートの品質試験、及びこれを用いて現場打ち施工した柱形実大模擬部材からコアを採取し、コア強度から設計基準強度 600 kg/cm<sup>2</sup> を満足していることを実証した。実験は、

シリーズ	FC(kg/cm <sup>3</sup> )	W/(C+SF)(%)	シリカフェーム代替率(%)	冷却の有無	脱型後の養生
1-1	600	30	10	無し	材令1週 後まで散 水養生
1-2	600	30	10	有り	
2-1	700	25	10	無し	
2-2	700	25	10	有り	

表一1 実験の種類

セメント	普通ポルトランドセメント
シリカフェーム	アイランド産(比表面積20m <sup>2</sup> /g)
粗骨材	石灰石砕石, 川砂利, 2種混合
細骨材	川砂, 丘砂, 2種混合
混和剤	スランプロス低減形高性能減水剤

表一3 使用材料

調査対象	調査項目	試験項目
1. 使用材料	1-1 スランプロス低減形高性能減水剤の性能(実験室レベル) 1-2 シリカフェームの性能(実験室レベル)	1-1 スランパ, 空気量の経時変化および圧縮強度 1-2 スランパ, 空気量及び圧縮強度と断熱上昇温度
2. コンクリートの製造	2-1 スランプロス低減形高性能減水剤の性能(生コンの輸送による品質変化) 2-2 LN <sub>2</sub> による冷却がコンクリートの品質に及ぼす影響(実験室, 生コンレベル) 2-3 調合	2-1 スランパ, 空気量の経時変化及び圧縮強度 2-2 スランパ, 空気量, 温度及び圧縮強度 2-3 水セメント比
3. コンクリートの打ち込み締め	3-1 バケツ打ちとした場合の打込み状況 3-2 内部挿入型バイブレーターで締めつけた場合の充てん状況	3-1 排出状況 3-2 表面仕上り性
4. コンクリートの品質	4-1 フレッシュコンクリートの品質 4-2 硬化コンクリートの品質	4-1 スランパ, 空気量, 温度 4-2 シリンダー, コアの圧縮強度, 履歴温度

表一2 調査項目一覧表

昭和62年11月～63年2月の冬期に実施した。

### 2.1. 実験の種類

表一1に示す2種類の高強度コンクリートを用い, 合計4体の柱形実大模擬部材(無筋)を製作した。

### 2.2. 柱形模擬部材の形状・寸法

図一1に柱形模擬部材の形状・寸法を示す。

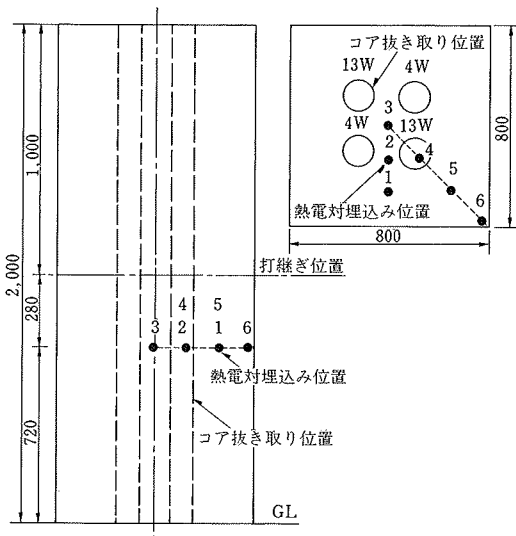
### 2.3. 調査項目

調査項目一覧を表一2に示す。本実験では先にも述べたように, コンクリートのフレッシュと硬化後の性質, 及びコア供試体による部材強度を調査した。又, 予備実験として, 本実験で用いた高強度用混和材料シリカフェーム, 及び新しいタイプの減水剤であるスランプロス低減形高性能 AE 減水剤について実験室レベルにおける性能試験を行なった。

### 2.4. コンクリートの製造

2.4.1. 使用材料 実験に用いた使用材料を表一3に示す。

本実験では, 高強度及び材料分離低減材としてシリカ



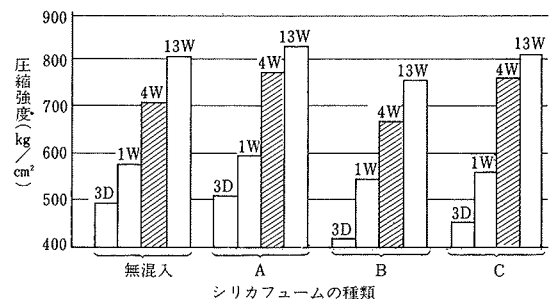
図一1 柱形実大模擬部材の形状・寸法

実験 No.	SFの種類	SFの比表面積 (m <sup>2</sup> /g)	SFの混入率 (%)	W/(C+SF) (%)	フレッシュコンクリート試験結果		
					スランパ (cm)	空気量 (%)	温度 (℃)
1	無混入	—	0	30	19	3.0	24
2	A	20	10	30	16	3.6	24
3	B	21.5	10	30	14	2.6	24
4	C	15	10	30	17	2.6	24

表一4 シリカフェーム混入フレッシュコンクリートの品質

フェームを使用しているが, これは, 国内外で副産物として生産されており, 製造工場, 製造ロットなどの違いによって品質が異なると言われている。そこで, 予備実験として国産品2種類, 外国産1種類の合計3種類について, セメント量の一部をシリカフェームと代替したコンクリートの品質について比較試験を行ない, 実験に使用する混和材料の選定資料とした。表一4にシリカフェーム混入フレッシュコンクリートの品質を, 図一2に圧縮強度試験結果を示す。

本実験結果によれば, 製造工場の違いによって混和材料の比重, 粉末度をはじめ, 化学組成が異なるとともに, 練り上りコンクリートの品質においても相違することが分かった。すなわち, 試料Cでは空気量が過多になる傾向にあり, 消泡剤による調整が必要であること, 又, 試料 No. 2 の材料では圧縮強度が無混入のものを下回るなどがある。これらの結果に基づき, 本実験で



図一2 シリカフェーム混入コンクリートの圧縮強度

は良好な結果が得られた試料 A の外国産のものを採用した。

単位セメント量が 500 kg/m<sup>3</sup> を上回る富調合なコンクリートを断面寸法の大きい柱部材に用いた場合は、マスコンクリートと同様に水和熱の影響を受けて部材中心部の温度が著しく上昇する傾向にあり、この場合、部材強度の頭打ち現象を招くことが懸念される。そこで、シリカフェュームの混入率と断熱温度上昇の関係を調べ、シリカフェュームの混入が水和熱に及ぼす影響を検討した。図-3にその試験結果を示す。

この結果では、シリカフェュームをセメント量の 10% 代替えることによる最高温度の低下は約 3°C、20%

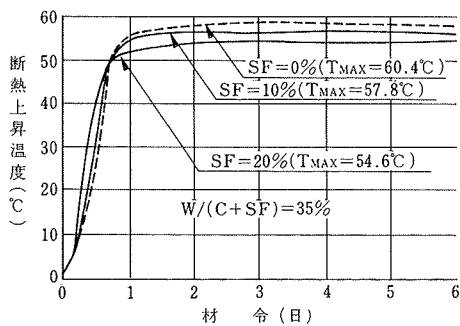


図-3 シリカフェュームの混入率と断熱温度上昇の関係

場合は約 5°C 低下しており、フライアッシュなどのポゾラン物質と同様にシリカフェュームは水和熱の上昇を押える効果のあることを確認した。

本実験で用いたスランプロス低減形高性能 AE 減水剤は開発途上にある混和剤で、従来の高性能 AE 減水剤に比べて輸送に伴うスランプロスが少ないという利点をもつ反面、練り上りコンクリートの品質に不安定な面が見られるものがあるため、実験室レベルでの予備実験を行なって、使用する剤を選択した。実験は、スランプロス低減形高性能 AE 減水剤 6 種類について、主としてスランプ・空気量の経時変化とワーカビリチーを調査した。その結果、スランプの経時変化では、4 種類の剤が 60 分経過まではスランプ低下が認められず、うち 3 種類は 90 分経過においても大きな低下のないことが分かった。また、空気量については、大部分の剤が 90 分経過までに、1.5% の範囲で徐々に低減の傾向を示した。この他に練り上がったコンクリートのワーカビリチーを検討に加え、6 種類の中から特殊高分子有機塩複合物を主成分とする高性能 AE 減水剤を本実験に採用した。

2.4.2 コンクリートの調査 コンクリートの調査は、シリーズ 1 (W/(C+SF)=30%)、シリーズ 2 (W/(C+SF)=25%) の管理材令を 4 週とし、それぞれの目標強度を 750, 900 kg/cm<sup>2</sup> (標準水中養生) として試し練りを行ない、表-5 に示す調査を定めた。

2.4.3. コンクリートの製造 生コン工場における

シリーズ	目標強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	W/(C+SF) (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )		
			水	セメント + SF	細・粗骨材
1	750	30	167	557	1,623
2	900	25	150	600	1,629

表-5 コンクリートの調査表

コンクリートの製造は、シリカフェューム及び高性能 AE 減水剤を別途計量しておき、セメント・骨材などを投入する際に併せて投入・練り混ぜた。練り混ぜ時間は、通常の練り混ぜに比べて若干延長した。なお、練り混ぜには容量 3 m<sup>3</sup> の強制ミキサを用いた。

2.4.4. コンクリートの冷却 大林組技術研究所に到着したアジテータトラックに液体窒素を注入し、生コンの荷卸し時の温度から約 14°C 冷却させた。

2.4.5. コンクリートの打込み コンクリートの打込みは、バケットによる回し打ちを想定し、柱の打上り速度を 30 分/m とした。締固めは、内部挿入型バイブレーターを用い、1 箇所当たり 10~15 秒加振した。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1. フレッシュコンクリートの性質

(1) スランプ、空気量 図-4 にコンクリートのスランプ・空気量の経時変化を示す。練り混ぜ直後から打設時までの所要時間は約 70 分程度であるが、この間の輸送・持ち時間によるスランプロスはほとんど見受けられなかった。また、液体窒素によって冷却したコンクリートについても冷却前後のスランプに差が認められず、良好な結果が得られた。空気量については、シリーズ 1 (W/(C+SF)=30%) の荷卸し時のコンクリートに目標空気量 2 ± 1% を危険側に外れるものが認められたため、空気量調整剤を添加して調整した。このような現象は、剤の主成分による影響であろうと思われるが、アジテータトラックの練り混ぜ性能を考慮した場合、ごく少量の剤を添加することは極力避けるべきであろう。

(2) ワーカビリチー シリーズ 1 のコンクリートは粘性も少なく、通常用いられているコンクリートと大差なかったものの、低水セメント比のシリーズ 2 では粘性が高く、コンクリートをホッパーからサニーホースを通して落とし込む速度がシリーズ 1 に比べて若干遅く感じられた。

#### 3.2. 硬化コンクリートの性質

##### 3.2.1. 圧縮強度

(1) 管理用供試体 図-5 に円柱供試体 (φ10×20 cm) を用いた標準水中、現場水中、現場封かん、現場気中の各養生を行なった圧縮強度試験結果を示す。

標準水中養生材令 4 週強度から、調査決定時に設定し

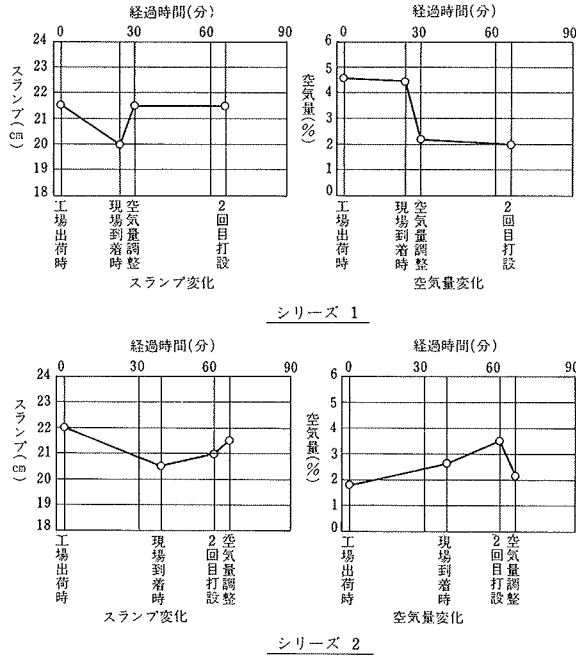


図-4 スランプ・空気量の経時変化

た目標強度を十分に満足していることを確認した。供試体の養生条件の違いによる強度発現は、水セメント比の大・小にかかわらず標準水中養生強度が最も高く、現場水中、現場封かん、現場気中の各養生の順に低く、現場気中養生強度の標準水中養生強度に対する低減率は、材令4週で約18% (150~160 kg/cm<sup>2</sup>) である。材令13週強度の4週強度からの伸びは、シリーズ1では現場気中養生強度を除き、他はおおむね10%の伸びが認められた。シリーズ2では、現場水中養生強度の伸びが認めら

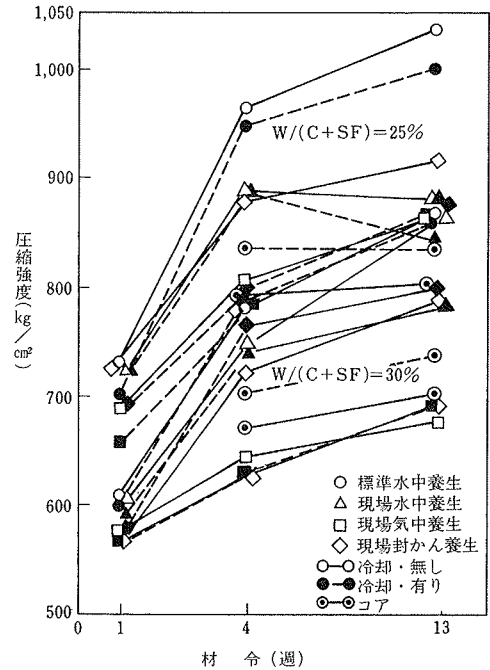


図-5 管理用供試体の圧縮強度

れなかった他は5~10%の伸びが認められた。

(2) コア強度 図-6~7に部材から抜き取ったコア供試体の高さ方向と圧縮強度の関係を示した。

コア供試体の平均強度は、シリーズ1 (W/(C+SF) = 30%) では「冷却無し」が667 kg/cm<sup>2</sup>、「冷却有り」が703 kg/cm<sup>2</sup>、また、シリーズ2 (W/(C+SF) = 25%) では「冷却無し」が793 kg/cm<sup>2</sup>、「冷却有り」が835 kg/cm<sup>2</sup>で、いずれも目標とする設計基準強度を満足していることを確認した。

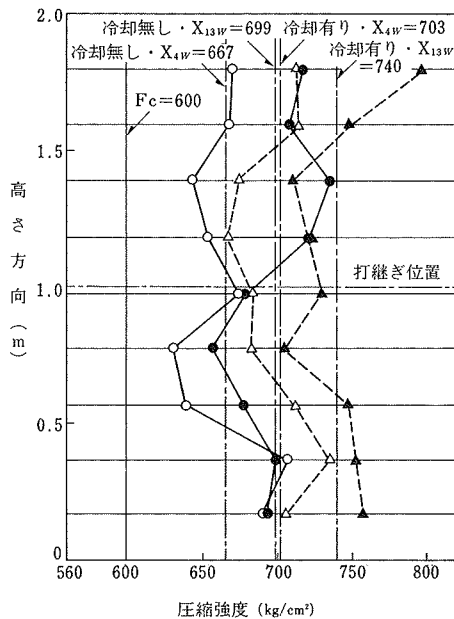


図-6 部材から採取したコア供試体の圧縮強度 (シリーズ1)

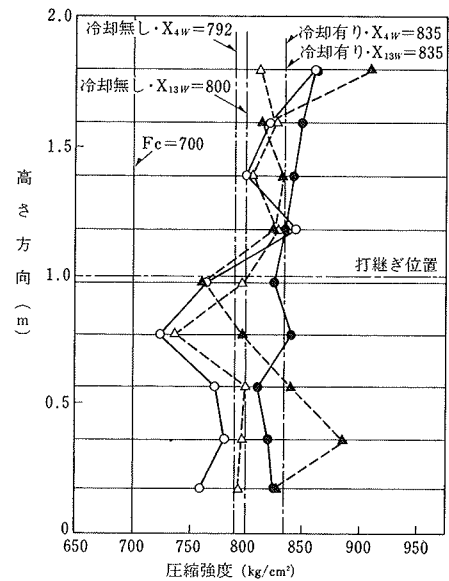


図-7 部材から採取したコア供試体の圧縮強度 (シリーズ2)

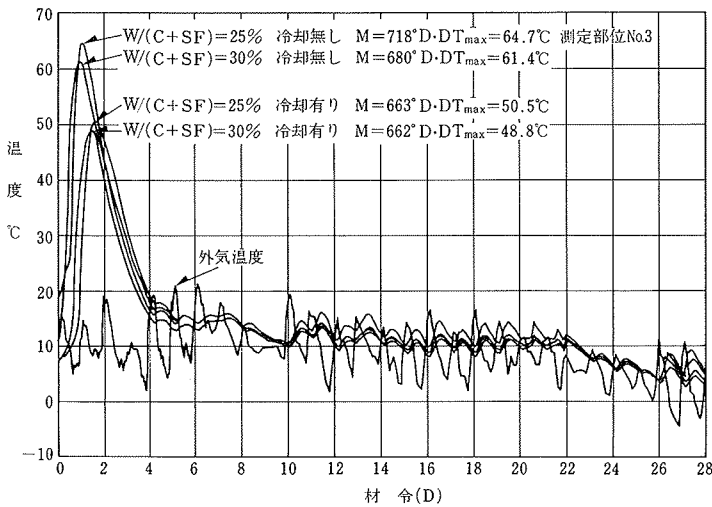


図-8 部材コンクリートの温度履歴 (中心部)

液体窒素による冷却が圧縮強度に及ぼす影響は、管理用円柱供試体では差が認められないものの、コア強度では、水セメント比、試験材令にかかわらず、「冷却無し」に比べて4~6%の強度増が認められた。なお、液体窒素によるコンクリート温度の冷却幅を図-8に示した。

鉛直方向の各部位におけるコアの強度分布は、「冷却無し」のGL-60~70 cmの間に若干強度の低い箇所が見られたが、これは前述の水和熱による内部温度の上昇、及び打継ぎのいずれかが影響しているものと思われる。

コア強度と管理用円柱供試体の対応関係を検討する目的から、コアポーリングによるコアの抜き取りがコア強度に及ぼす影響について検討した結果、表-6に示すごとく影響のないことを確認した。

3.2.2. 静弾性係数 シリーズ1及び2における静弾性係数と圧縮強度(管理用円柱供試体及びコア供試体)の関係は

- 700 kg/cm<sup>2</sup> — 3.1~3.5×10<sup>5</sup> kg/cm<sup>2</sup>
- 800 kg/cm<sup>2</sup> — 3.3~3.7×10<sup>5</sup> kg/cm<sup>2</sup>
- 900 kg/cm<sup>2</sup> — 3.5~4.1×10<sup>5</sup> kg/cm<sup>2</sup>

で、日本建築学会のRC規準式に比べて若干低い。

3.2.3. 部材コンクリートの温度履歴 図-7に打設日から材令4週までの柱部材中心部におけるコンクリートの温度履歴を示す。液体窒素で冷却したコンクリートの最高温度はW/(C+SF)=30%で約49°C、W/(C+SF)=25%で約51°Cで、「冷却無し」に比べて13~14°C低く、打ち込み時の冷却温度幅がそのまま最高温度を低下させていることが分かった。

#### 4. まとめ

本実験結果から以下の事項が明らかとなった。

- (1) 使用材料、調合、製造方法などに十分配慮すれば、

水セメント比 (%)	スランパ (cm)	供試体数 (本)	φ10cm×20cmシリンダー		φ15cm×30cmから採取したφ10cm×20cmシリンダー	
			平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
32	10	12	858	27.3	847	16.5

(kg/cm<sup>2</sup>)

表-6 コア抜き取りが圧縮強度に及ぼす影響

市中の生コン工場使用でもFc=700 kg/cm<sup>2</sup>の高強度コンクリートが得られることを柱部材から抜き取ったコア強度で確認した。

(2) 混和材料シリカフュームは、製造工場によって品質のバラツキが大きく、練り上り・硬化コンクリートの品質にも大きく影響すること、またスランプロス低減形高性能AE減水剤は、空気量の安定性・凝結遅延など幾つかの欠点を持っているため、シリカフュームとともに使用に際しては十分な検討を要する。

(3) 柱部材に液体窒素で冷却したコンクリートを用いた場合、「冷却無し」に比べてコア強度で4~6%の強度増が認められ、水和熱に対する冷却効果が認められた。

なお、これらの結果は冷却効果の発揮されにくい冬期の実験結果であり、夏期においては、効果がより明確に現われるものと思われる。

(4) 柱部材の鉛直方向各部位におけるコア強度は、中央部より若干下回った箇所にやや強度の低い箇所が認められたが、これは、水和熱による内部温度の上昇及び打継ぎのいずれかが影響しているものと思われる。

#### 5. あとがき

本実験は、柱形実大模擬部材(無筋)を用いて設計基準強度600 kg/cm<sup>2</sup>の高強度コンクリートが得られることを確認するための予備実験であり、今後は更に施工性をも含めた確証実験を実施する予定である。

#### 参考文献

- 1) 武田, 中田, 中根, 秋山, 久保田, 一瀬: RC超高層建築物の実大模擬部材を用いた施工性の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭和60), (東海) pp. 395~396
- 2) 中根, 久保田, 一瀬: シリカフューム混入コンクリートの強度性状に関する検討, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 9, No. 1, (1987), pp. 51~56
- 3) 中根, 久保田, 一瀬, 仙田: RC超高層建物用コンクリートに関する研究(その2, シリカフュームを使用した超高強度コンクリートの圧縮強度), 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭和62年), (近畿) pp. 49~50