

設計基準強度 200N/mm² 級の超高強度コンクリートの火災時爆裂性状と現場適用

刈田 祥彦*1・宮野 和樹*1・梶田 秀幸*1・太田 健司*1・鳥越 浩*2

Fire Resistance and Actual Construction of Ultra High Strength Concrete with Design Strength of 200MPa

Akihiko KATTA, Kazuki MIYANO, Hideyuki KAJITA, Kenji OHTA, Hiroshi TORIGOE

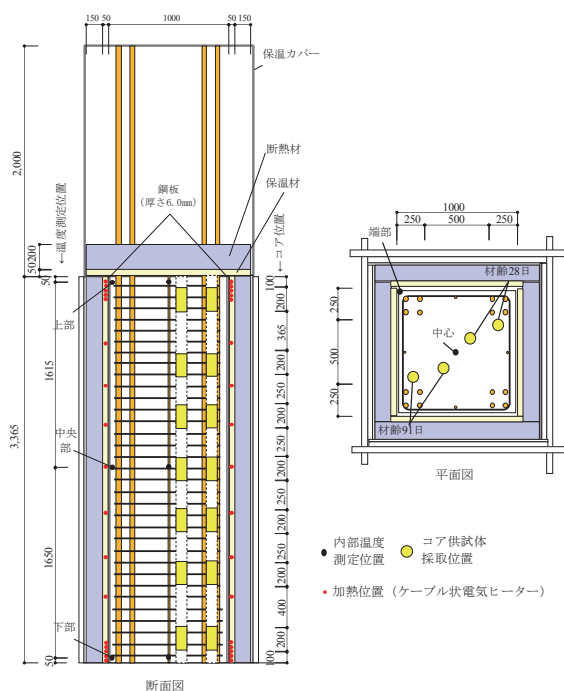


図-1 柱部材の概要



試験前

試験後

図-2 加熱試験前後の試験体



図-3 柱の施工状況

図-4 柱の施工状況

研究の目的

設計基準強度 200N/mm² 級の超高強度コンクリートを実建築物に適用することを目的として、加熱試験および実際に適用する柱の仕様による施工実験を行うことで、火災時の爆裂による安全性およびコンクリートの材料、調合、製造、輸送、打込み、締固め、養生方法の妥当性を確認した。これらの確認を経て、実建築物に設計基準強度 200N/mm² 級の超高強度コンクリートを現場打ちにて適用した。

技術の説明

設計基準強度 200N/mm² 級の超高強度コンクリートを用いた柱部材について、厚さ 4.5mm 以上の鋼板で被覆することで、火災時の爆裂による安全性を確保することができる。また、設定した使用材料、調合、製造方法、打込み方法、締固め方法、養生方法とすることにより、品質管理項目のすべての管理値を十分に満足する安定した品質のコンクリートが製造でき、現場施工により実建築物に適用することができる。

主な結論

- 柱部材を厚さ 4.5mm 以上の鋼板で被覆することで、コンクリートの爆裂を防止できることを確認した。
- 設定した材料、調合、製造方法および管理方法とすることで、所要のフレッシュコンクリートの性状を有し、材齢 91 日の構造体コンクリートにおいて 200N/mm² 以上の圧縮強度が得られることを確認した。
- フレッシュコンクリートおよび圧縮強度の品質管理項目のすべての管理値を十分に満足する安定した品質の設計基準強度 200N/mm² 級の超高強度コンクリートが製造でき、現場施工によりコンクリートを密実に打ち込むことが可能であることを確認した。

設計基準強度200N/mm²級の超高強度コンクリートの 火災時爆裂性状と現場適用

刈 田 祥 彦*¹ 宮 野 和 樹*¹
梶 田 秀 幸*¹ 太 田 健 司*¹
鳥 越 浩*²

要 旨

今回、実建築物の柱部材に設計基準強度200N/mm²の超高強度コンクリートを適用した。適用にあたり、事前に火災時の爆裂に対する安全性の確認および実際に適用する柱の仕様による施工実験を実施した。その結果、鉄筋コンクリートの柱部材を厚さ4.5mm以上の鋼板で被覆することにより、コンクリートの爆裂を防止できることを確認した。また、実施工と同様のコンクリートの材料、調合、製造、輸送、打込み、締固めおよび養生方法とすることで、所要のフレッシュコンクリートの性状を有し、材齢91日の構造体コンクリートにおいて200N/mm²以上の圧縮強度が得られることを確認した。これらの確認を経て、実建築物への設計基準強度200N/mm²の超高強度コンクリートの適用を行い、フレッシュコンクリートおよび圧縮強度の品質管理項目のすべての管理値を十分に満足する安定した品質のコンクリートが製造でき、現場施工によりコンクリートを密実に打ち込むことが可能であることを確認した。

キーワード 200N/mm²／超高強度コンクリート／爆裂性能／施工実験／現場施工／実建築物への適用／フレッシュコンクリート性状／養生温度

目 次

- | | |
|--------------------|----------------------|
| 1. はじめに | 4. 現場施工による実際の建築物への適用 |
| 2. 柱試験体による耐爆裂性能の検討 | 5. まとめ |
| 3. 実大柱部材の施工実験 | |

SPALLING BEHAVIOR AND APPLICATION TO ACTUAL CONSTRUCTION OF ULTRA HIGH STRENGTH CONCRETE WITH DESIGN STRENGTH OF 200MPa

Akihiko KATTA	Kazuki MIYANO
Hideyuki KAJITA	Kenji OHTA
Hiroshi TORIGOE	

Synopsis:

This report is a result of practical application of ultra high strength concrete with design strength of 200MPa. For application, we were examined spalling behavior of column applied it by fire resistance test and manufacturing of the specimen of the true size scale applying same as actual construction. As a result, it is not confirmed when concrete column is protected with steel plate of thickness 4.5mm or more. And, good workability and compressive strength of 200MPa or more on the day 91 of the material were obtained materials, mix proportion, the manufacturing method and the managing method that we set. Through these confirmations, we applied it to actual construction. As a result, we could obtain concrete of good quality and apply it to actual construction without problem.

1. はじめに

近年，設計基準強度（以下，Fc と略記する）200N/mm²級の超高強度コンクリートが開発され，超高層建築物の下部の柱や開放的な空間を確保するための細径の鉄筋コンクリート（以下，RC と略記する）柱等への適用が報告されている^{1)~4)}。

Fc200N/mm²級の超高強度コンクリートの RC 部材の実用化には，プレキャストコンクリート工場にて部材を製造する方法とレディーミクストコンクリート工場にてコンクリートを製造，トラックアジテータ車にて運搬，現場にて打込む方法（以下，現場施工と略記する）が考えられる．Fc200N/mm²以上の超高強度コンクリートにおけるプレキャスト部材の実用化に関する開発や現場施工での実用化に関する検討はされているが，これらを実際の建築物に適用した事例は非常に少ない^{4)~5)}。

Fc200N/mm²級の超高強度コンクリートを実建築物に適用するためには，適切な流動性や所要の空気量となるフレッシュコンクリートが得られること，レディーミクストコンクリート工場の実機バッチャープラントにおける製造およびトラックアジテータ車による運搬が可能であること，現場にて実部材へ密実に打ち込むことが可能であること，材料，調合および養生方法の選定によりコンクリートの圧縮強度が200N/mm²以上となることを事前に確認する必要がある。

また，RC 造は，建築基準法において，所定の部材寸法および鉄筋に対するコンクリートのかぶり厚さを確保すれば，耐火構造として認められる．しかし，Fc60N/mm²以上のコンクリートでは，火災により加熱を受けると爆裂が発生する可能性があり，それによってかぶり部分が剥落し，耐火性能が低下することが知られている⁶⁾．超高層建築物では個々の部材に非常に大きな荷重が作用しており，爆裂の程度によっては構造部材の荷重支持性能などが低下する恐れもある．爆裂の原因には，火災時における急激な温度上昇，水蒸気圧⁷⁾，熱応力、骨材の種類，含水率の影響などが挙げられ⁸⁾，水結合材比が低く，コンクリートの強度が高いほど，激しい爆裂を生じる可能性が高くなる⁹⁾．これらのことから，火災時および火災を受けた後の RC 部材について，十分に構造安全性を検討する必要がある。

筆者らは，これまでに，現場施工による Fc200N/mm²級の超高強度コンクリートの実用化について，室内実験および実機実験により検討し，Fc200N/mm²級の超高強度コンクリートの製造および施工が可能であることを確認した^{10)~12)}．今回，これらの結果をもとに，首都圏の研究施設内の1棟の柱部材に Fc200N/mm²の超高強度コンクリートを適用した．適用にあたり，事前に火災時の爆裂による安全性の確認および実際に適用する柱の仕様による施工実験を実施した．これらの確認を経て実建築物への Fc200N/mm²の超高強度コンクリートの適用を行った．

本報告では，Fc200N/mm²級の超高強度コンクリートについて，柱部材での火災時を想定した 3 時間の加熱試験を行い，コンクリートの爆裂性状について確認した結果を報告する．次に，爆裂性状を確認した，鋼板で被覆した柱部材について，実際に施工する柱部材と同様の試験体を作製することで，コンクリートの材料，調合，製造，輸送，打込み，締固めおよび養生方法の妥当性を確認した結果を報告する．さらに，施工実験で確認した製造方法および管理方法により，実際の建築物へ適用した結果を報告する．

2. 柱試験体による耐爆裂性能の検討

2.1 実験概要

(1) 試験体概要

試験体に使用したコンクリートの使用材料を表-1 に，コンクリートの調合を表-2 に示す．フレッシュ時のコンクリートの粘性抑制および硬化時の強度確保のために，シリカフュームをシリカフューム混合セメントと 10%置換し，収縮低減剤を水の一部として 10kg/m³ 使用した．また，地震時のかぶりコンクリートの爆裂抑制対策として鋼繊維を外割で 1.0vol%である 79kg/m³ 混入した．

試験体の形状および温度測定位置を図-1 に示す．試験体は，断面 700mm×700mm，高さ 1300mm の RC 製角柱とし，加熱区間を 1100mm とした．せん断補強筋の間隔は 100mm，鉄筋の最小かぶり厚さは 40mm とし，材齢 6 ヶ月において加熱試験を実施した．また，加熱時のコンクリートの爆裂防止対策として，試験体を厚さ 4.5mm の鋼板で被覆した．なお，加熱試験時のコンクリートの圧縮強度は 222N/mm² であった．

表-1 コンクリートの使用材料

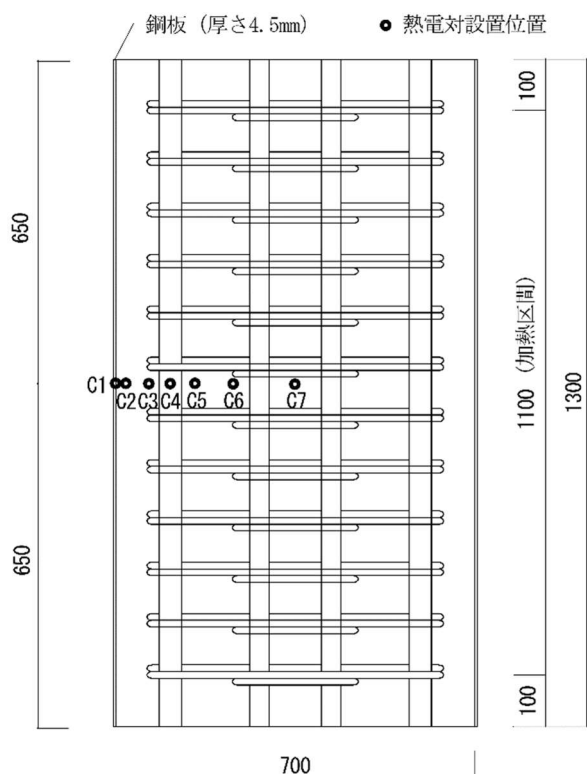
材料	種類	記号	物性等
セメント	シリカフューム混合セメント	C	密度3.07g/cm ³ *
細骨材	硬質砂岩砕砂	S	表乾密度2.59g/cm ³
粗骨材	硬質砂岩砕石	G	表乾密度2.64g/cm ³
水	上水道水	W	—
混和剤	高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸系
	収縮低減剤	Sr	ポリエーテル誘導体
混和材	シリカフューム	SF	密度2.25g/cm ³
	鋼繊維	Sfb	密度:7.85g/cm ³ φ 0.62×30mm

*施工実験および現場適用では密度3.08g/cm³

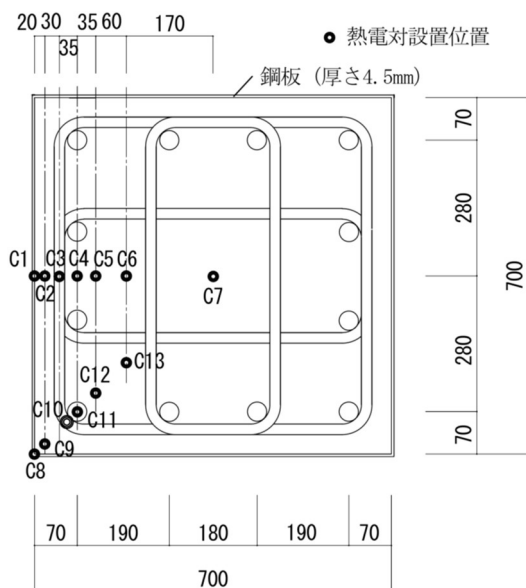
表-2 コンクリートの調合

W/B* (%)	細骨材率 (%)	単位粗骨材 かさ容積 (m ³ /m ³)	単位量(kg/m ³)					使用量 (kg/m ³)	
			W	C	SF	S	G	Sfb	Sr
12.5	33.5	0.45	155	1116	124	363	734	79	10

*B: 結合材 (セメントとシリカフュームの和)



立面図



断面図

図-1 試験体の形状および温度測定位置

(2) 加熱試験方法

加熱試験には、水平部材加熱試験炉を用いた。加熱は、式[1]に示す ISO834 に規定されている標準加熱曲線に従い試験体の4面を均等に3時間加熱し、加熱試験後は7時間自然冷却した。

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20 \quad [1]$$

T : 平均炉内温度 (°C)

t : 試験経過時間 (min)

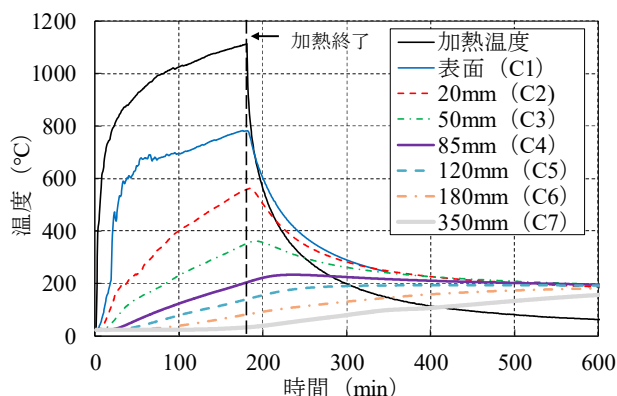


図-2 対辺方向の試験体内部の温度履歴

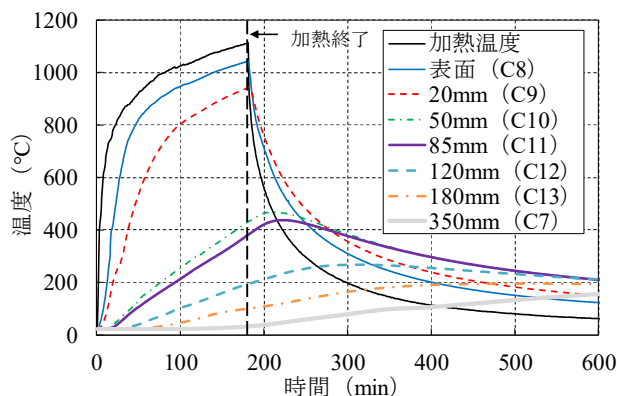


図-3 対角方向の試験体内部の温度履歴

(3) 測定項目および方法

測定項目は、試験体の内部温度、炉内温度、目視観察とした。試験体の内部温度は、あらかじめ試験体内部に埋め込んだ熱電対を用いて測定した。熱電対は、試験体の加熱区間高さの中央かつ、対角方向および対辺方向のそれぞれで試験体加熱表面からの深さが 0mm, 20mm, 50mm, 85mm, 120mm, 180mm, 350mm のところに合計 13 箇所 (C1~C13) 設置した (図-1 参照)。C3 および C11 の熱電対については、せん断補強筋および主筋に孔を開け、そこに熱電対の先端を埋め込んで設置した。なお、炉内温度は、試験体表面から 100mm 離れた位置に設置した熱電対を用いて測定し、温度の制御を行った。

目視観察は、加熱時および加熱後におけるコンクリートの爆裂の状況について確認した。また、同時に加熱による鋼板の変形も観察した。

2.2 実験結果

(1) 温度履歴

試験体断面における対辺方向の温度履歴を図-2 に、対角方向の温度履歴を図-3 に示す。対辺方向と対角方向の温度履歴を比較すると、対角方向の方が最大温度が高く、対角方向の表面 (C8) で試験体における最大温度 1041°C となった。対角方向の表面 (C8) は、2面から加熱を受けるためと考えられる。また、中心部 (C7) では、最大温度 183°C と最も温度上昇が低く、鉄筋部 (C3, C10, C11)

では、最大温度が 468℃となり、500℃以下であった。

外周部から内部に向かうにつれて、最大温度時の経過時間が長くなっている。加熱終了後も、余熱により内部では温度が上昇し続けており、最も余熱による温度上昇時間が長い中心部（C7）では、最大温度時の経過時間が 942 分となり、加熱終了から 762 分間温度が上昇し続けた。

内部温度は外周部から内部に向かうにつれて最大温度が低くなっており、温度上昇が緩やかである。また、放冷中は外周部から内部に向かうにつれて温度低下が緩やかとなった。

(2) 外観観察結果

試験開始後 180 分の試験体の状況を写真-1 に示す。加熱開始後約 30 分時点で、鋼板の表面に酸化の進行に伴う膨れが発生した。その後、加熱開始後約 110 分時点で、鋼板表面の膨れに割れが生じ、一部の膨れ箇所にて剥落が生じた。

試験体の各面における試験後の状況を写真-2 に示す。試験体の各面における鋼板の表面の膨れや剥落の状況に差は見られず、同程度の劣化状況となった。試験体の 4 面（北東面、南西面、南東面、北西面）すべてにおいて、鋼板の表面の膨れや剥落は確認されたが、鋼板の割れや内部のコンクリートの爆裂は確認されなかった。



写真-1 試験開始後 180 分の試験体の状況



北東面



南西面



南東面



北西面

写真-2 試験体の各面における試験後の状況

2.3 加熱試験のまとめ

Fc200N/mm² 級の超高強度コンクリートを用いた柱部材について、火災時を想定した 3 時間の加熱試験を行った結果、試験体を厚さ 4.5mm 以上の鋼板で被覆することにより、コンクリートの爆裂を防止できることを確認した。

3. 実大柱部材の施工実験

3.1 実験概要

(1) コンクリート概要

コンクリートの使用材料を表-1 に、調合を表-3 に示す。使用材料および調合は、実際に建築物に適用したものと同様とした。コンクリートは、レディーミクストコンクリート工場で容量 5m³ の二軸強制練りミキサを用いて、1 回の練混ぜ量を 2.5m³ として製造した。練混ぜ方法は、モルタル先練りとし、細骨材、水、セメント、シリカフュームを投入し、420 秒練り混ぜ、その後、粗骨材を投入し 180 秒練り混ぜた後、トラックアジテータ車に排出した。鋼繊維はトラックアジテータ車にコンクリート積載後に必要量を 3 分割して投入し、攪拌した。なお、トラックアジテータ車によるコンクリートの運搬時間は 60～90 分程度であった。

(2) 試験項目および方法

試験項目および方法を表-4 に示す。フレッシュコンクリート試験は、出荷時、荷卸時に実施し、荷卸時のフレッシュコンクリートが目標値を満足した場合、試験体を作製した。荷卸時のフレッシュコンクリートの目標値はスランプフローが 60～75cm、空気量が 2.0%以下とした。

表-3 コンクリートの調合

W/B* (%)	細骨 材率 (%)	単位粗骨材 かさ容積 (m ³ /m ³)	単位量(kg/m ³)					使用量 (kg/m ³)	
			W	C	SF	S	G	Sfb	Sr
12.2	34.0	0.45	155	1143	127	357	713	79	10

*B: 結合材(セメント、シリカフューム)

表-4 試験項目および方法

試験項目	試験方法・測定方法
スランプフロー	JIS A 1150
500mmフロー到達時間	JIS A 1150附属書JA
空気量	JIS A 1128
コンクリート温度	JIS A 1156
外気温	温度計により測定
単位水量	モルタルエアメーター法 ^{*1}
塩化物量	JASS 5T-502 ^{*2}
内部温度	T型熱電対により測定
圧縮強度	JIS A 1107 JIS A 1108
充填性状	鋼板除去後、目視により確認

*1: 文献13)の方法により鋼繊維投入前の試料にて実施、

*2: 鋼繊維投入前の試料にて実施、*3: 図-4に概要を示す、*4: 図-5に概要を示す

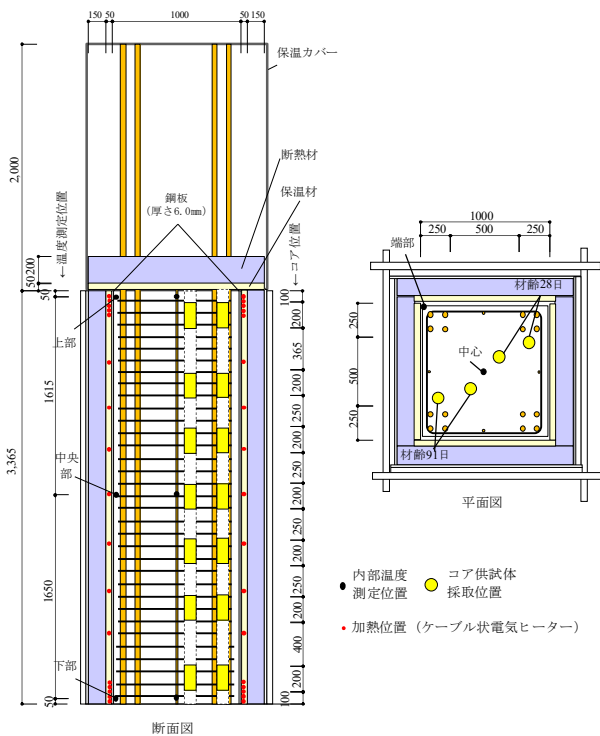


図-4 柱部材試験体の概要

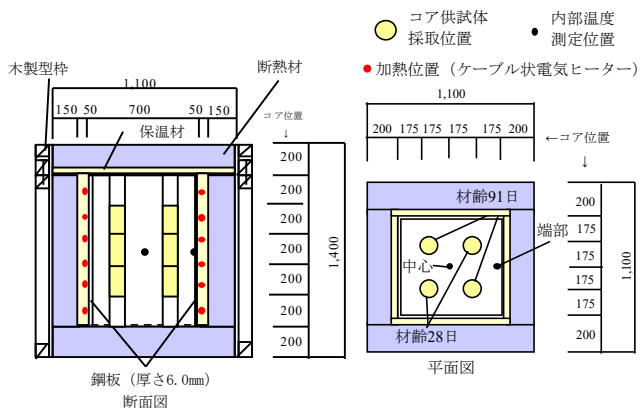


図-5 模擬柱試験体の概要

また、構造体コンクリート強度の確認のため、柱部材試験体および模擬柱試験体のコア供試体の圧縮強度試験を実施した。

表-5 フレッシュコンクリート試験結果

出荷台数	試験項目	スランプフロー (cm)	500mmフロー到達時間 (s)	空気量 (%)	コンクリート温度 (℃)	単位水量 (kg/m ³)	塩化物量 (kg/m ³)
	出荷時 目視値	60~75	—	2.0以下	5~38℃	140~170	0.30以下
1	出荷時	76.0	6.9	1.3	28	160.6	0.03
	荷卸時	69.1	8.1	1.3	30	—	—
2	出荷時	73.0	9.6	1.3	28	159.4	0.03
	荷卸時	65.9	9.0	1.5	31	—	—

(3) 試験体概要

柱部材試験体の概要を図-4に示す。柱部材試験体は、実際に適用する建築物の柱と同様の1000×1000mmの断面寸法とし、四隅に鉄筋を配置した。加熱試験の結果を踏まえて、火災時のコンクリートの爆裂防止対策として、試験体を厚さ6.0mmの鋼板で被覆した。また、シリカフェームは高温養生することで、ポズラン反応が活性化され、コンクリートの強度発現性が向上するため、これまでの検証結果^{10)~12)}をもとに、鋼板表面にケーブル状電気ヒーターを設置することで、所定の温度となるように制御した。試験体の側面および上面は、断熱材、保温材、保温カバーを用いて5面を断熱した。柱部材試験体は地表面に接しているため、下面は断熱が不可能であった。

柱部材試験体の温度管理および構造体コンクリートの強度管理のため、模擬柱試験体を同時に作製した。模擬柱試験体の概要を図-5に示す。模擬柱試験体の断面寸法は700×700mmとし、無筋とした。また、模擬柱試験体は柱部材試験体と同様に、試験体を厚さ6.0mmの鋼板で被覆し、鋼板表面にケーブル状電気ヒーターを設置することで、所定の温度となるように制御した。試験体の外側および上下面は、断熱材および保温材を用いて6面を断熱した。また、柱部材試験体の温度は、模擬柱試験体の中心温度を同期させるように管理し、鋼板の温度は、既報の結果¹²⁾より、試験体中心部の温度が96時間以上の間、80℃以上となるように制御した。

圧縮強度試験のためのコア供試体は、柱部材試験体については図-4に示す箇所の14本、模擬柱試験体については図-5に示す箇所の6本採取した。

3.2 実験結果

(1) フレッシュコンクリートの性状および施工性

出荷時および荷卸時のフレッシュコンクリート試験結果を表-5に示す。コンクリートは、スランプフローが運搬により低下することを考慮して出荷した。荷卸時のスランプフローは65.9~69.1cm、空気量は1.3~1.5%となり、目標値を満足した。また、出荷時および荷卸時に目視により材料分離性状を確認したが、コンクリートの分離や粗骨材および鋼繊維の偏りは確認されなかった。

また、後日、柱部材試験体下部の鋼板を除去し、コンクリートの充填性状を目視により確認したが、豆板や大きな空隙はみられなかった。

(2) コンクリートの温度履歴

柱部材試験体の温度履歴を図-6、模擬柱試験体の温度履歴を図-7に示す。模擬柱試験体の中心温度が80℃以上となっている期間は、柱部材試験体の高さおよび断面方向の中心部（中央部中心）の温度も80℃以上となっている。また、柱部材試験体の中央部中心および模擬柱試験体の中心は、141時間以上80℃以上の温度を保持した。これより、本実験の柱部材試験体の仕様および温度制御方法により、あらかじめ設定した試験体中心部の温度を所定の時間確保できることが確認された。

(3) 圧縮強度

柱部材試験体および模擬柱試験体における圧縮強度を表-6に示す。材齢91日の圧縮強度は、柱部材試験体のコア供試体が232N/mm²（14本の平均）、模擬柱試験体のコア供試体が223N/mm²（6本の平均）となった。柱部材試験体から採取したコア供試体の材齢91日における鉛直方向における圧縮強度の分布を図-8に示す。いずれの採取位置であっても、圧縮強度は200N/mm²以上となった。

以上より、本実験の仕様による柱部材試験体および模擬柱試験体において、200N/mm²以上の圧縮強度が得られることが確認された。

3.3 施工実験のまとめ

Fc200N/mm²の超高強度コンクリートを実際に適用する柱部材と同様の試験体を作製することで、コンクリートの材料、調合、製造、輸送、打込み、締固めおよび養生方法の妥当性を確認した結果、設定した材料、調合、製造方法および管理方法とすることで、所要のフレッシュコンクリートの性状を有し、材齢91日の構造体コンクリートにおいて200N/mm²以上の圧縮強度が得られることを確認した。

4. 現場施工による実際の建築物への適用

4.1 工事概要

今回、Fc200N/mm²の超高強度コンクリートを適用した建物の完成予想図を図-9に、適用箇所を示した1F平面図を図-10に示す。適用した建物は、地上3Fの柱RC梁S造の研究施設内の一棟である。当該コンクリートは、平面図（図-10参照）に記載の1Fの4本の柱に適用した。

適用したコンクリートの使用材料（表-1参照）および調合（表-3参照）、製造方法は、施工実験と同様とした。また、適用した柱および構造体コンクリート強度検査用および温度管理用の模擬柱試験体の形状は、施工実験で作製した柱部材試験体および模擬柱試験体と同様とした。また、コンクリートは2日に分けて打込みを実施し、1日目に柱1本と模擬柱試験体を2体、2日目に柱3本と模擬柱試験体を3体作製した。

品質管理項目および管理値を表-7に示す。フレッシュ

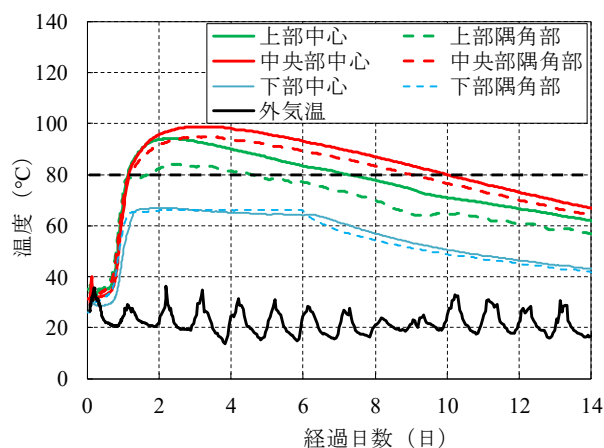


図-6 柱部材試験体の温度履歴

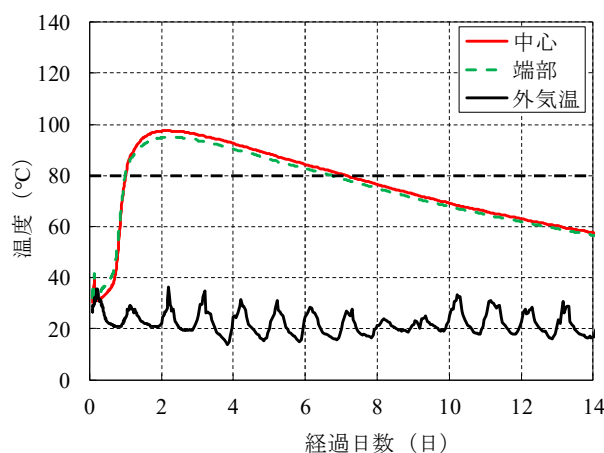


図-7 模擬柱試験体の温度履歴

表-6 柱部材試験体および模擬柱試験体の圧縮強度

試験体名称	圧縮強度 (N/mm ²)	
	材齢28日	材齢91日
柱部材試験体	220	232
模擬柱試験体	220	223

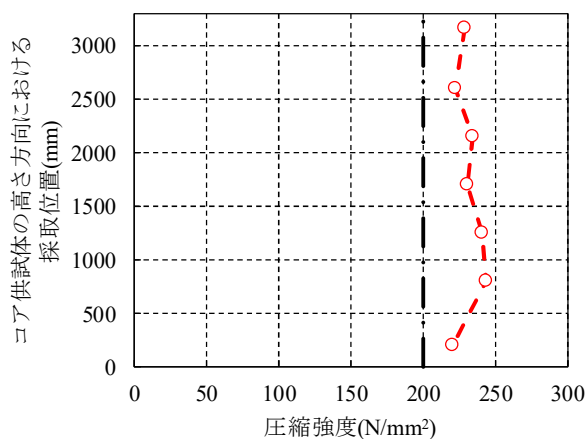


図-8 柱部材試験体から採取したコア供試体の材齢91日における鉛直方向における圧縮強度



図-9 適用した建物の完成予想図

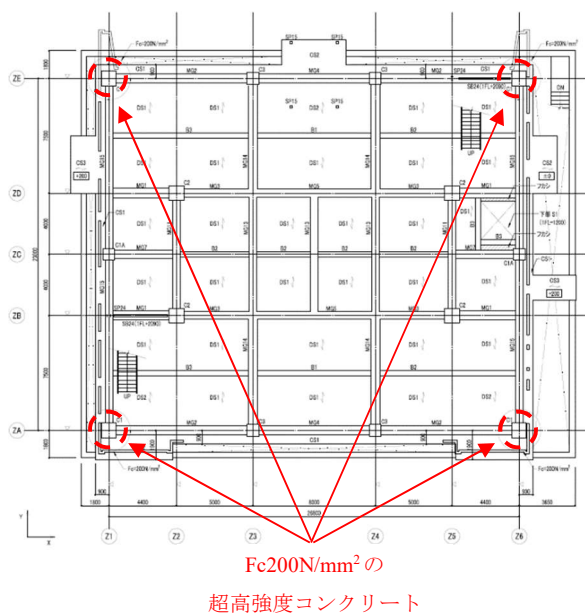


図-10 建物の 1F 平面図および適用箇所

コンクリートの性状試験は、出荷時および荷卸時に実施した。フレッシュコンクリートの性状試験の管理値は、荷卸時にスランプフローが 60～75cm、空気量が 2.0%以下である。

4.2 フレッシュコンクリートの性状試験結果

フレッシュコンクリートの性状試験結果を表-8 に、スランプフロー、500mm フロー到達時間、空気量の試験結果を図-11 に示す。荷卸時のスランプフローは、管理値 60～75cm に対して 64.7～71.5cm となり、全車で管理値を満足した。出荷時および荷卸時のスランプフローの平均値は、それぞれ 69.2cm、68.2cm となっており、運搬によるスランプフローの低下はほぼ生じなかった。実施日は標準期であり、外気温が施工実験時ほど高くなかったことから、施工実験時ほどの経時によるスランプフローの低下は生じなかった。

500mm フロー到達時間の出荷時および荷卸時の平均値は、それぞれ 10.0 秒、14.4 秒となっており、運搬により増加する傾向がみられた。

表-7 品質管理項目および管理値

試験項目		試験方法・測定方法	管理値
フレッシュコンクリート	スランプフロー	JIS A 1150	60cm～75cm
	500mmフロー到達時間	JIS A 1150 附属書 JA	—
	空気量	JIS A 1128	2.0%以下
	コンクリート温度	JIS A 1156	5℃～38℃
	外気温	温度計により測定	—
	単位水量	モルタルエアメーター法 ^{*1}	計画水量に対し ³
	塩化物量	JASS 5T-502 ^{*2}	0.30kg/m ³ 以下
硬化コンクリート	圧縮強度	JIS A 1107 JIS A 1108 模擬柱試験体(コア) ^{*3}	200N/mm ² 以上

^{*1}: 文献13)の方法により鋼繊維投入前の試料にて実施。

^{*2}: 鋼繊維投入前の試料にて実施。一部荷卸時にも実施。^{*3}: 図-5に概要を示す

表-8 フレッシュコンクリートの性状試験結果

打設日	出荷台数	練混ぜ量(m ³)	試験項目	スランプフロー(cm)	500mmフロー到達時間(s)	フロー停止時間(s)	空気量(%)	コンクリート温度(℃)	外気温(℃)	単位水量(kg/m ³)	塩化物量(kg/m ³)
1日目	1	3.0	荷卸時管理値	60～75	—	—	2.0以下	5～38	—	140～170	0.30以下
			出荷時	71.1	9.3	180以上	1.5	23	12	156.5	0.03
	2	3.0	荷卸時	69.5	11.8	180以上	1.5	20	18	—	0.04
			出荷時	68.9	9.2	180以上	1.5	24	14	155.7	0.01
2日目	3	2.5	荷卸時	71.4	11.4	180以上	1.6	21	15	—	—
			出荷時	70.3	10.2	180以上	1.5	23	12	157.1	0.03
	4	2.5	荷卸時	71.5	11.9	180以上	1.5	21	16	—	0.03
			出荷時	66.0	11.1	180以上	1.6	24	13	154.7	0.02
	5	2.5	荷卸時	66.9	18.1	180以上	1.7	22	16	—	—
			出荷時	71.5	7.6	157	1.5	24	16	159.3	0.03
	6	2.5	荷卸時	66.6	14.8	180以上	1.7	24	21	—	—
			出荷時	71.3	10.6	180以上	1.6	25	17	157.1	0.02
	7	2.5	荷卸時	64.7	18.6	180以上	1.6	25	23	—	—
			出荷時	68.4	10.8	180以上	1.4	25	18	155.1	0.02
	8	2.5	荷卸時	68.5	12.9	180以上	1.6	25	22	—	—
			出荷時	66.3	11.2	172	1.8	26	19	155.3	0.04
			荷卸時	66.5	15.3	180以上	1.6	25	20	—	—

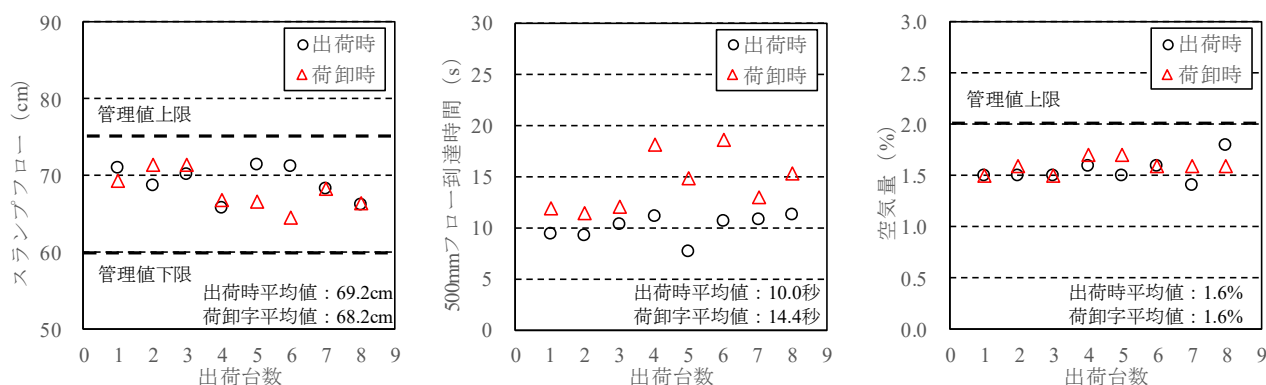


図-11 スランプフロー，500mm フロー到達時間，空気量の試験結果



全景



コンクリートの打込み部

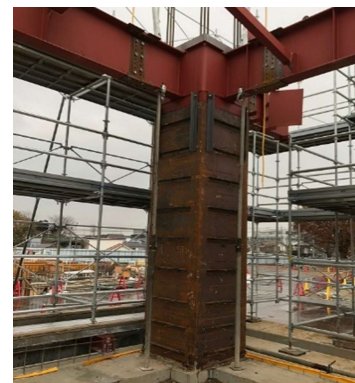


写真-4 脱型後の柱の外観

写真-3 柱の施工状況

空気量は、管理値 2.0%以下に対して 1.5~1.8%となり、全車で管理値を満足した。出荷時および荷卸時の空気量の平均値は、1.6%と同値となっており、運搬による空気量への影響は見られなかった。また、空気量は平均値である 1.6%前後で安定していた。

コンクリート温度は、管理値 5~38℃に対して 20~25℃、単位水量は、管理値 140~170kg/m³に対して 154.7~159.3 kg/m³、塩化物量は、管理値 0.30%以下に対して 0.01~0.04%となり、それぞれの管理値を満足した。

また、出荷時および荷卸時に目視により材料分離性状を確認したが、コンクリートの分離や粗骨材および鋼繊維の偏りは確認されなかった。

以上から、今回製造したコンクリートのフレッシュ性状はそれぞれの試験項目における管理値を十分に満足し、安定したコンクリートを製造することが可能であることを確認した。

4.3 施工状況

写真-3 に柱の施工状況、写真-4 に脱型後の柱の外観を示す。コンクリートはコンクリートバケットによる打込みとした。柱の打込みは 6 層、模擬柱試験体の打込みは 3 層に分けて実施し、1 層ごとにバイブレーターによる締固めを行った。コンクリートのワーカビリティはいずれも良好であり、問題なく充填することができた。打設終了後は、3.1 節 (3) で記載した方法で断熱養生を行った。

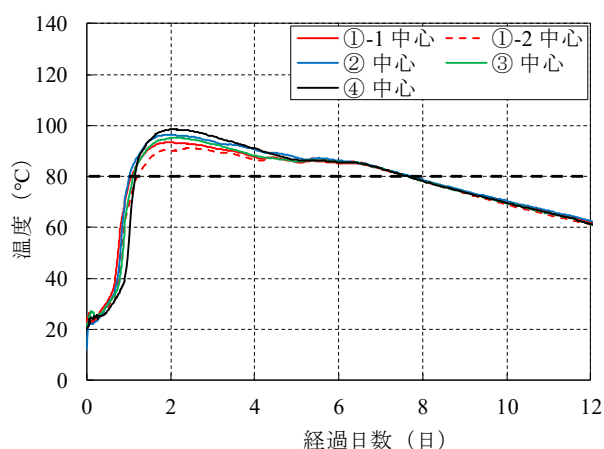


図-12 模擬柱試験体の温度履歴

模擬柱試験体の温度履歴を図-12 に示す。各柱の温度は、各模擬柱試験体の中心温度を同期させるように管理し、3.1 節 (3) で記載した方法で温度を制御した。加温終了後は、模擬柱試験体の中心温度が外気温と同程度となるまで、自然除熱し、その後、養生および断熱材の取り外しを行った。

4.4 圧縮強度試験結果

構造物コンクリート（模擬柱試験体のコア）の圧縮強度を表-9 に示す。模擬柱試験体のコア供試体の採取方法は図-5 と同様とした。材齢 28 日の圧縮強度は、225~239

/mm²（6本の平均）となり、材齢91日の圧縮強度は、231～238N/mm²（6本の平均）となった。材齢28日および材齢91日の圧縮強度のすべての試験値において、管理値の200N/mm²を満足した。

4.5 現場適用のまとめ

Fc200N/mm²の超高強度コンクリートを施工実験と同様の材料、調合、製造方法および管理方法で実際の建築物へ適用した結果、品質管理項目のすべての管理値を十分に満足する安定した品質のコンクリートが製造でき、現場施工によりコンクリートを密実に打ち込むことが可能であることを確認した。

5. まとめ

設計基準強度200N/mm²級の超高強度コンクリートについて、加熱試験、施工実験および現場適用を実施した結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 火災時を想定した加熱試験により、鉄筋コンクリートの柱部材を厚さ4.5mm以上の鋼板で被覆することで、コンクリートの爆裂を防止できることを確認した。
- 2) 施工実験により、設定した材料、調合、製造方法および管理方法とすることで、所要のフレッシュコンクリートの性状を有し、材齢91日の構造体コンクリートにおいて200N/mm²以上の圧縮強度が得られることを確認した。
- 3) 実建築物へ適用した結果、フレッシュコンクリートおよび圧縮強度の品質管理項目のすべての管理値を十分に満足する安定した品質のコンクリートが製造でき、現場施工によりコンクリートを密実に打ち込むことが可能であることを確認した。

謝辞

本研究の実験に関して、晴海小野田レミコン（株）、竹本油脂（株）にご協力を得ました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 渡邊悟士，黒岩秀介，陣内浩，山本佳城，並木哲，寺内利恵子：Fc200N/mm²の超高強度コンクリートの実用化に関する研究，大成建設技術センター報，第42号，pp.03-1-03-6，2009
- 2) 小島正朗，三井健郎，辻大二郎，鴉越元紀：Fc200N/mm²超高性能コンクリートの開発 その1～3，日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），A-1 材料施工，pp.1087-1092，2008.9

表-9 構造体コンクリートの圧縮強度

打設日	模擬柱試験体	圧縮強度（N/mm ² ）	
		材齢28日	材齢91日
1日目	1-1	232	231
	1-2	239	238
2日目	2	228	231
	3	225	231
	4	227	235

- 3) 蓮尾孝一，松田拓，河上浩司：200N/mm²級超高強度コンクリートの構造体強度および力学特性評価に関する検討，三井住友建設技術研究開発報告，第7号，pp.113-120，2009
- 4) 梅本宗宏，端直人，井戸康浩，右田周平：Fc200N/mm²超高強度コンクリートの現場適用 その1～4，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.95-102，2014.9
- 5) 山本佳城他：設計基準強度200N/mm²の超高強度プレキャストコンクリートの実適用，大成建設技術センター報，Vol.44，pp.21-1-21-6，2011
- 6) 齋藤光：プレストレストコンクリートの耐火性，日本震災学会論文集，Vol.16，No.2，pp.25-30，1967.1.
- 7) Hermathy,T.Z：Effect of moisture on the fire endurance of building materials. Moisture on Relation to Fire Tests. ASTM Special Technical Publication, No.385, ASTM, pp.74-95, 1965
- 8) 井上明人，飛坂基夫，梶田佳寛：高強度コンクリートの耐火性の評価に関する研究 第2報 骨材の岩種及び含水率の影響：日本建築学会大会学術講演梗概集（東北），pp.739-740，1991.9
- 9) 齋藤光：高強度RC構造についての危惧：建材試験情報，Vol.30，1994.11
- 10) 宮野和樹，梶田秀幸，太田健司：設計基準強度200N/mm²級の超高強度コンクリートの実用化に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.1，pp.1309-1314，2017
- 11) 刈田祥彦，宮野和樹，梶田秀幸：設計基準強度200N/mm²級の超高強度コンクリートの実大施工実験 その1～2，日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），pp.371-374，2017.8
- 12) 宮野和樹，梶田秀幸，太田健司：設計基準強度200N/mm²級の超高強度コンクリートの実用化に関する実験的検討，前田技術研究所報，Vol.58，2017
- 13) 杉山英佑，梶田秀幸，宮野和樹：モルタル試料を用いた単位容積質量法による超高強度コンクリートの単位水量管理，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.1，pp.1115-1120，2006