

設計基準強度300N/mm²級超高強度・高性能コンクリートの研究

小島, 正朗

<https://hdl.handle.net/2324/4110429>

出版情報 : Kyushu University, 2020, 博士 (工学), 課程博士

バージョン :

権利関係 : Public access to the fulltext file is restricted for unavoidable reason (3)

氏 名 : 小島 正朗

論 文 名 : 設計基準強度 300N/mm²級超高強度・高性能コンクリートの研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

我が国における鉄筋コンクリート造 (RC 造) の超高層建築は、都市部の土地高度利用の強いニーズを背景に、集合住宅用途を中心に建設が増加した。1974年に設計基準強度 30N/mm²のコンクリートを用いた 18 階建て集合住宅の建設を端緒に、1988~1992 年の建設省総プロ「鉄筋コンクリート造建築物の超軽量の超高層化技術の開発 (New RC)」が実施されて以降、高強度コンクリートの普及と耐震設計技術の進歩とが相まって、40 階を超える超高層 RC 造集合住宅の建設が増加した。近年では 150~200N/mm²の高強度コンクリートを用いた 50 階クラスの超高層集合住宅が建設されている。さらに近年では、より高層の集合住宅へのニーズと併せ、間取りの自由度が高く快適な空間を実現するため、構造部材の小断面化や大スパン化が求められてきている。

これに対応するため本研究では、100 階クラスまでの超高層 RC 造建築の実現や、柱の大スパン化、最小 200mm 程度までの柱の小径化による広々とした建築空間の実現を目的に、一般のコンクリートの 10 倍の圧縮強度を有する、世界最高強度の設計基準強度 300N/mm²の超高強度・高性能コンクリートの実現を目標に研究を行った。課題として、①300N/mm²を超える超高強度と充填性が確保できる流動性の実現、②高強度化すると共に逆に低下する耐火性の確保向上、③実用化のためのプレキャスト部材の製造技術の確立、④実構造物への適用と品質安定性の検証を挙げ、これらの課題解決を、コンクリートの常識に捕らわれない新たな解決手法を示した。

本論文の構成は以下の 7 章とした。

第 1 章では、序論として本研究の背景、目的および本論文の構成を示した。

第 2 章では、コンクリートの高強度化、高耐火性化、高靱性化、および構造物への高強度材料の適用に関する既往の研究を調査した。コンクリートの設計基準強度 200N/mm²までは技術が構築され、構造物への適用も進んでいるが、これをを超える圧縮強度に関しては詳細な報告がなく 300N/mm²クラスの圧縮強度を実現するための材料構成や調合、養生方法、製造方法が不明であること、耐火性や靱性を如何にして確保できるのか不明であり、ほとんど知見が無いことを示した。

第 3 章では、圧縮強度 300N/mm²を実現するためのコンクリートの基本構成として、水結合材比 10%程度、低熱ポルトランドセメントに混和材料としてシリカフェーム、細骨材は通常はコンクリート用に用いられていない石英系骨材 (角処理した 6 号珪砂)、粗骨材は流紋岩系でマトリクスモルタルとポアソン特性が類似した高強度碎石で、かつ通常は入手できない最大寸法 10mm を示した。養生は、建築構造部材では通常は行われない 90℃蒸気養生 72h 後に 180℃の高温養生 24h (加熱養生またはオートクレーブ養生) が良いことを実験で示し、高い圧縮強度が得られる理由を、硬化体の組成や細孔構造、載荷時の縦・横ひずみ挙動から述べた。設計基準強度 300N/mm²に対して余裕度のある圧縮強度発現を実現するために、結合材技術の高度化を検討し、シリカフェームを従来の粒径が小さいものと、粒径が大きく反応性は低いがベアリング効果が高いものと併用して置換率を

24%まで高めることで、流動性と強度発現性の両面で優れた特性が得られることを見出した。これに加えて、新たに10%と極めて水結合材比が小さい領域のコンクリートの粘性低減と自己収縮低減の効果を併せ持つ新たな化学混和剤を開発した。以上の材料、調合、製造方法に関する独自技術を組み合わせて、設計基準強度 300N/mm^2 に対して余裕のある圧縮強度と良好な流動性が得られる超高強度コンクリートを実現した。

第4章では、コンクリートの超高強度化に伴って低下する耐火性を向上することを目的に、合成繊維と鋼繊維のハイブリッド型繊維補強について研究した。ハイブリッド型繊維の混入がコンクリートの火災時の爆裂抑制に及ぼす影響を詳細に検討し、合成繊維および鋼繊維の形状（径、長さ）や混入率、コンクリートの特性（圧縮強度、含水率）から、平均爆裂深さを推定する式を提案した。また、ハイブリッド型繊維のうち鋼繊維の形状が流動性、靱性に及ぼす影響に関し、小径ストレート繊維と中径フック型繊維の鋼繊維の併用することで、流動性の低下を最小限に抑え、かつ高い補強効果が得られることを示した。最後に検証として、前述の予測式で平均爆裂深さが 5mm 以下となるハイブリッド型繊維仕様の設計基準強度 250N/mm^2 、 300N/mm^2 の鉄筋コンクリート柱を、ISO834 加熱曲線による載荷加熱試験を行い、3時間の荷重保持性が得られることを示した。以上から、コンクリートの超高強度化に伴い失われる耐火性を克服するハイブリッド型繊維補強に関し、設計基準強度 $250\sim 300\text{N/mm}^2$ のコンクリートに適した仕様を提案した。

第5章では実構造物への適用を目指し、第3章および第4章の知見を踏まえて設計基準強度 300N/mm^2 超高強度・高性能コンクリートを用いたプレキャスト部材の製造技術を構築した。製造に関しては、均質なコンクリートが得られる練混ぜ方法、フレッシュコンクリート中への巻込み空気をスクイーズ式ポンプを用いて簡易かつ効果的に排気する方法とその効果、および部材厚の大きいプレキャスト部材におけるオートクレーブ養生の留意点を示した。品質管理に関して、圧縮強度を正しく評価するための供試体の適切な締固め方法、および載荷面の成型精度の許容範囲を示した。また、養生方法が強度発現性と収縮特性に及ぼす影響を研究し、強度発現はアレニウス則を取り入れた加温養生時の有効材齢でおおよそ評価できること、蒸気養生が短い方が収縮は小さく、オートクレーブ養生ではほとんど収縮が生じないことを明らかにした。結論として、設計基準強度 300N/mm^2 に対して十分な圧縮強度が得られると同時に収縮が小さくなる養生方法として、1次養生は蒸気養生 $0\sim 24\text{h}$ 、2次養生は 180°C オートクレーブ養生 4h 以上または 150°C オートクレーブ養生 12h 以上を得た。

第6章では、第5章の研究を踏まえ、設計基準強度 300N/mm^2 超高強度・高性能コンクリートを用いたプレキャスト部材を、5プロジェクト48体に適用した結果について述べた。設計基準強度 300N/mm^2 の超高強度・高性能コンクリートの適用により、柱のスレンダー化が可能になり、広々とした質の高い空間、良好な眺望を実現に有効であることが確認された。また、超高強度・高性能コンクリートのフレッシュ性状、圧縮強度発現性は、目標通りの性能のものが得られ、安定した品質のものが得られたことを述べた。本研究の目的の一つである柱の小断面化を成し遂げた。

第7章は各章の結論ならびに本論文の結論を記した。