

論文

[1172] 強度管理システムによる高強度コンクリートの品質管理方法の研究

正会員 ○手塚 武仁(清水建設技術研究所)

正会員 越尾 安博(清水建設建築本部)

正会員 桑原 隆司(清水建設技術研究所)

1. はじめに

高層集合住宅などを鉄筋コンクリート造で施工することが、経済性或居住性の面から最近多くなっている。この場合、従来一般的に用いられているコンクリートに比べ高強度のコンクリートを使用して下層階の高軸力に対処している。そこで、施工時に構造体コンクリートの圧縮強度を確保することが最重要項目となる。これらの鉄筋コンクリート造建築物の施工時の品質管理方法については、通常の方法では現場養生した供試体の圧縮強度により構造体コンクリートの圧縮強度を推定することとなっている。この場合、管理用の供試体に現場内の外気温の影響は反映されるものの、水和熱等による構造体コンクリートの温度履歴の影響は反映されていない。

ところが、通常のコンクリートに比べ高強度コンクリートの品質は、コンクリートが硬化してゆく過程で発生する水和熱の影響を大きく受けると考えられる。

これらのことから、本研究では高強度コンクリート建築物の合理的な品質管理方法を確立する目的で、実大規模モデル実験と実施工時の品質管理に関する検討を行った。

その結果、水和熱の影響を評価できる『強度管理システム』^[1]の適用により、比較的マッシュな部材を用いた高強度コンクリート建築物の品質管理が適切に行なえることがわかった。

2. 実大規模モデル実験に基づく検討

30階建ての高層鉄筋コンクリート造建築物の基準階を実大スケールでモデル化して各種の実験を行った。対象とした建築物を写真-1に示す。

本報告では、実大規模モデル実験の内、柱部材のコンクリートの圧縮強度に関する実験結果を述べる。

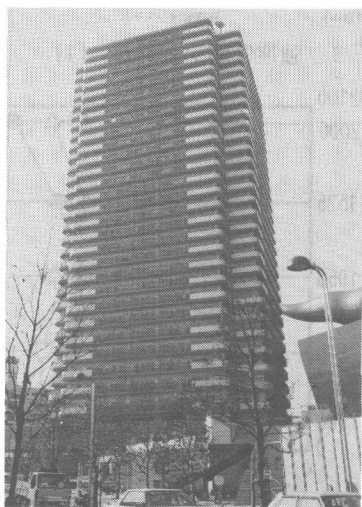


写真-1 建物全景

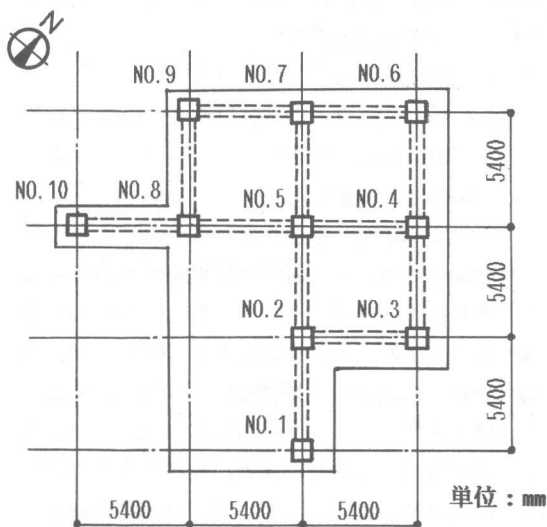


図-1 実験モデル柱伏図

2. 1 実験概要

柱伏図を図-1に、柱寸法を図-2に示す。

実験では呼び強度 420kgf/cm² (JIS規格外品) の高強度コンクリートを使用し、東京都内の施工現場で11月下旬に実施した。基本調査を表-1に示す。使用粗骨材の最大寸法は20mmであり、また混和剤は高性能A E減水剤を工場で添加した。

実験は各柱に生コン工場で製造したコンクリートを大型バケットにより打設して行った。柱寸法は 850mmであり、比較的マシブな部材である。

初期養生の影響を検討するために、コンクリート打設後の養生条件は表-2に示すように変えた。

柱NO.2及び柱NO.5と柱NO.6は、材令1日で脱型して散水養生期間を変えた供試体である。柱NO.7から柱NO.9は、せき板の存置期間を変えた供試体である。散水は、脱型後から毎日3回所定養生期間行った。また、雨水の影響を除くために、脱型後は散水をする場合を除き全ての柱についてシート養生を行った。強度特性は、各柱からコア採取を行い圧縮強度試験により求めた。

品質管理方法としては、図-3に示す強度管理システム^[1]を使用して、部材中心部及び表面部(表面より70mm位置)の温度履歴を与えた供試体により圧縮強度試験を行い柱部材の強度を推定した。

また、コンクリート打込み時に標準水中養生と現場水中養生の供試体採取して、それぞれ所定の材令で圧縮強度を求めた。

2. 2 実験結果の検討および考察

柱から採取したコア供試体は直径 100mmであり、高さが 200mm未満の場合は J I S A - 1 1 0 7 により圧縮強度を補正した。

(1) コア強度と強度管理システムによる強度

材令28日でのコア供試体の圧縮強度の高さ方向の分布を図-4に示す。なお、材令28日における標準水中養生供試体の圧縮強度は 556kgf/cm²、現場水中養生供試体の圧縮強度は 473kgf/cm²であった。図-4によるとコア強度について、上部および下部の強度が中央部の強度に比べて大きな値となる傾向が得られた。また、コア強度の部材中心部と表面部の平均強度は、強度管理システムで部

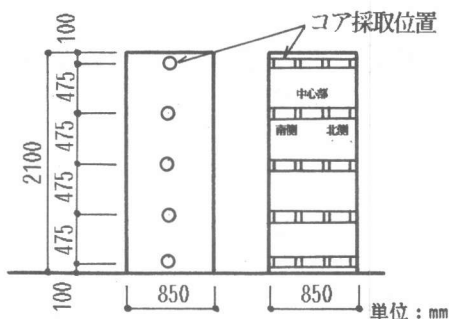


図-2 柱寸法とコア採取位置

表-1 コンクリートの調査

スランブ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
			C	W	S	G	Ad
18.0	39.0	41.6	436	170	710	1029	6.976

表-2 コンクリート打設後の養生条件

材令	1日	3日	5日	7日	28日
NO.2	脱型	散水	シート養生	コア採取	
NO.5	脱型	散水	シート養生	コア採取	
NO.6	脱型	散水	シート養生	コア採取	
NO.7		脱型	シート養生	コア採取	
NO.8		脱型	シート養生	コア採取	
NO.9	脱型	シート養生	コア採取		

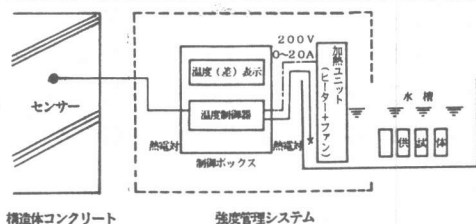


図-3 強度管理システム [1]

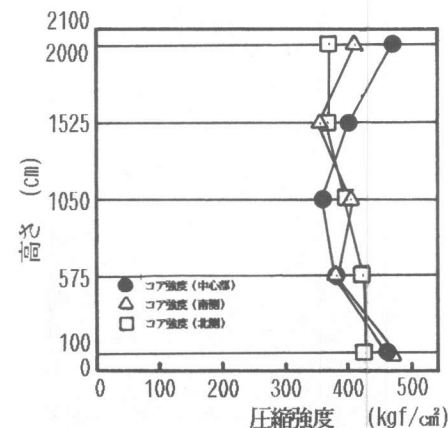


図-4 コア強度の高さ方向分布 柱NO.2

材中心部と表面部の温度履歴を与えた供試体と各々強度差 3.4～ 5.7%で良好な対応関係を示した。

部材と同じ温度履歴を与えた供試体の強度は、コア供試体の平均強度とよく近似した値を示すことが理解できる。以上のことから、比較的マッシュで水和熱の影響を受ける高強度コンクリートの圧縮強度について、強度管理システムで供試体に構造体コンクリートと同じ温度履歴を与えることで、品質管理が適切に行なえるものと判断できる。

(2) 養生条件による圧縮強度の比較

せき板の存置期間を変化させた場合の材令28日でのコア供試体の平均圧縮強度を図-5に示す。

図-5によると、存置期間を3日以上としても大きな圧縮強度の差は生じないと思われる。

次に、材令1日で脱型して、散水養生期間を変化させた場合の材令28日でのコア供試体の平均圧縮強度を図-6に示す。図-6によると、散水養生期間が0日と7日の場合の圧縮強度の差は5%以下となっている。実験結果から、比較的マッシュな部材に対しては、現場で一般的に行う散水養生ではコア供試体の圧縮強度に対して明確な影響を及ぼさないと言える。

(3) 強度特性

圧縮強度の発現性状を図-7に示す。標準水中養生した供試体の材令28日での圧縮強度は500kgf/cm²を上回り、この強度発現は他の養生及びコア供試体のいずれとも異なっており、材令28日での圧縮強度では最も大きい値を示した。現場水中養生した供試体は、コンクリート打込み後7日前後までの強度発現が最も遅く、材令28日での圧縮強度は標準水中養生した供試体よりも小さく、強度管理システムによる養生及びコア供試体の圧縮強度よりも大きい値を示した。強度管理システムを使用して養生を行った供試体は、構造体コンクリートと同様に高温履歴を受けるため、材令7日前後まで圧縮強度が急速に増加するがその後は強度増伸が穏やかになり、材令28日ではコア供試体の平均圧縮強度と近似した値を示した。

2. 3 実大規模モデル実験結果のまとめ

実大規模モデル実験の範囲からは、比較的マッ

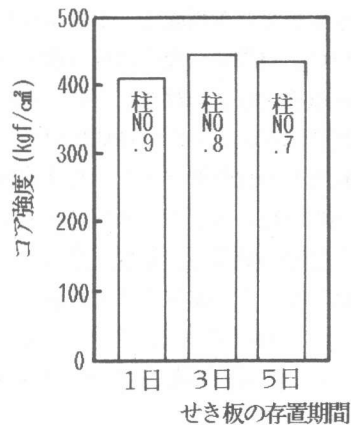


図-5 せき板の存置期間とコア強度

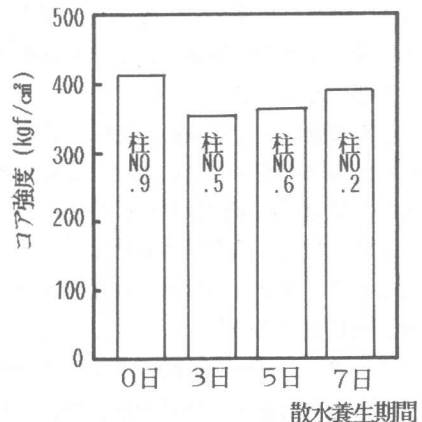


図-6 散水養生期間とコア強度

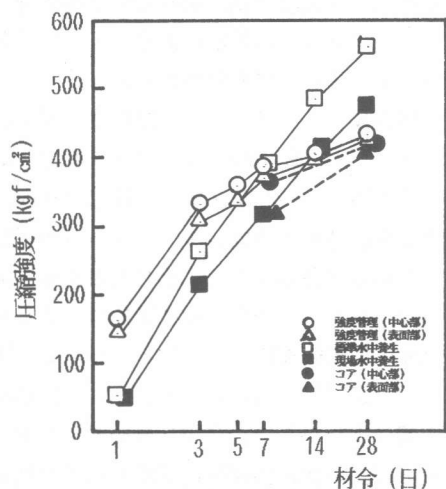


図-7 圧縮強度の発現性状

シブな高強度コンクリートの管理に関して、以下の事項が要約できる。

(1) せき板の存置期間は、1日から5日の間で変化させても、圧縮強度に明確な差を生じなかった。更に、現場で一般的に行う散水養生では、圧縮強度に明確な影響を及ぼさなかった。

(2) 圧縮強度は、若材令において水和熱による高温履歴の影響を受け常温下で養生された場合より強度発現が大きい、長期において強度増伸しない特性を持っている。

(3) 柱などの比較的マッシブな高強度コンクリートでは、構造体コンクリートの大略の圧縮強度を、強度管理システムで適切に管理できるものと判断された。

3. 実施工時の品質管理に基づく検討

本建物は写真-1に示すように鉄筋コンクリート造の高層集合住宅であり、躯体には設計基準強度 420～270kgf/cm²のコンクリートを用いた。

本報告では、設計基準強度 420kgf/cm²の高強度コンクリートの実施工時の管理結果を述べる。

3.1 施工概要

本建物は、地上30階の高層建築物を鉄筋コンクリート造で容易に実現するための施工法であるシステム工法を用いて施工した。システム工法には次のような特色がある。

(1) 型枠を規格化し、組立て・解体を容易にするシステム型枠を使用した。これにより、型枠準備量が従来の鉄筋コンクリート造より非常に少なくなると共に、人員が少なくすみかつ熟練工を必要としない。

(2) 高強度・太径鉄筋を使用し、柱とはり筋は先組工法を用いた。鉄筋継手は半自動エンクローズ溶接法を使用した。また、せん断補強筋は高強度異形PC鋼棒を用いた。

(3) 建物外周部にはPCはりを用い、また床は大型ハーフPC合成床板を使用して、現場打ち工法と工業化工法を組合わせた。

(4) コンクリートは水平部分（はり・床）と垂直部分（柱）を分割打設する工法として、均質性と充填性を高めた。

(5) コンクリートは高強度コンクリートであり、混和剤は高性能AE減水剤を工場で添加した。設計基準強度（＝呼び強度となる）が 420kgf/cm²のコンクリートの調合を表-3に示す。

また、構造体コンクリートの圧縮強度の管理は現行法令に基づく一般的な方法に加えて、実大規模モデル実験の結果を参考に強度管理システムを使用した。

上記のシステム工法により、1フロアを7日で施工するサイクル工程が可能となった。

3.2 管理結果の検討と考察

構造体コンクリートの圧縮強度に関する管理結果について述べる。

(1) 型枠脱型時のコンクリートの圧縮強度

当工事で用いたシステム型枠はせき板および支保工が同時に取外せる構造となっているが、支保工を取外す場合は、コンクリートの圧縮強度が適切な構造計算により求めた所要強度以上に達しているか確認することを必要とする。本建物のはり部材に対する所要強度は 150kgf/cm²と求めた。また、この場合の構造体コンクリートの圧縮強度の推定は、通常では現場水中養生した供試体の圧縮強度によっている。しかし、比較的マッシブな部材やセメント量の多い高強度コンクリートに対しては、コンクリートの打込み直後から非定常な高温履歴を受け、強度発現は常温下で養生された場合より相当早いことが実大規模モデル実験から得られている。図-8はコンクリート打込み後の部材内の温度履歴測定結果を示す。部材内の温度は打込み後12時間から15時間で最大値に達し、その後急激に低下して材令5日程度で外気温と平衡状態となる。

設計基準強度 420kgf/cm²のコンクリートの打込み後の温度上昇量は35～42℃であり、材令3日での部材内の平均養生温度は平均外気温より20～27℃高い結果となった。そこで、合理的にかつ的確に強度管理を行えば支保工を早期に取外すことが可能であり、これに伴い高強度コンクリートを用いたことによる工程上のメリットが生じる。

表－4は強度管理システムを適用して、コンクリート打込み後の部材強度を推定した結果を示す。

材令2日における部材内コンクリートの圧縮強度は水和熱の影響を受け、現場水中養生した供試体の材令7日における圧縮強度を上回っている。

以上のことから、部材内の高温履歴の影響を反映した管理方法によれば、設計基準強度 420kgf/cm²の高強度コンクリートに対しては、圧縮強度のみで判断すると、材令1日での型枠脱型が可能であると判断できる。

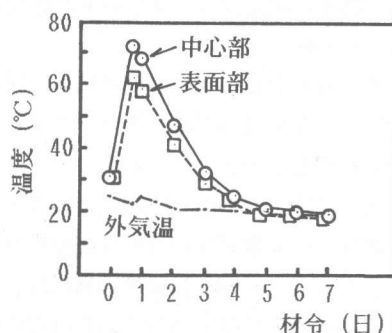
(2) 強度特性

構造体コンクリートの圧縮強度を推定する場合の通常の方法である現場水中養生した供試体の圧縮強度と、強度管理システムにより部材中の水和熱の影響を反映した供試体による圧縮強度を比較して図－9に示す。強度管理材令7日では、強度管理システムにより養生した圧縮強度が、現場水中養生した圧縮強度より約80kgf/cm²高い値を示した。一方、強度管理材令28日では、強度管理システムによる場合と現場水中養生した場合の圧縮強度が近似した値を示した。水和熱の影響を受ける部材内の平均養生温度は、材令7日では平均外気温より約13℃高く、材令28日では平均外気温より約10℃高かった。今回の施工結果では、コンクリート打設後の水和熱による温度上昇量は35～42℃であったが、部材の平均養生温度として水和熱の影響を特に大きく受けるのは早期の材令であることがわかる。また、建築物の部材の場合には型枠脱型後に4面が放熱面となることにより、部材中の高温が持続されないことも長期の強度特性に影響を及ぼしている。

養生方法による圧縮強度の発現性状を図－10に示す。強度管理システムにより養生した場合は実

表－3 打設コンクリートの調査

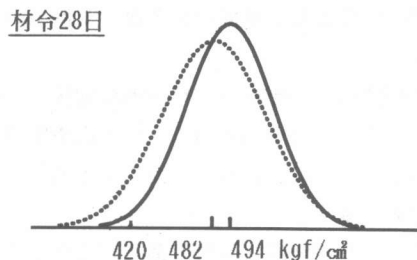
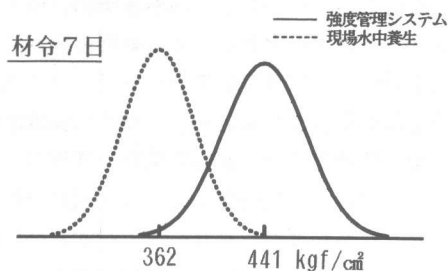
スランブ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
			C	W	S	G	Ad
18.0	35.5	39.0	479	170	653	1051	7.664



図－8 部材内の温度測定結果

表－4 型枠脱型時の圧縮強度

養生方法	強度管理システム			現場水中養生
材令	1日	2日	3日	7日
試験回数	6	7	7	132
平均強度 (kgf/cm ²)	303	381	403	362
標準偏差 (kgf/cm ²)	12	25	31	27
変動係数 (%)	4.1	6.4	7.7	7.3



図－9 強度管理材令での圧縮強度

大規模モデル実験の結果により、実部材強度を近似していると考えられる。現場水中養生した供試体の圧縮強度は、材令28日では構造体コンクリートの圧縮強度に近似した値を示しているが、材令56日以降では構造体コンクリートの圧縮強度に比べ大きめの値を示した。

一方、現場封かん養生した供試体の圧縮強度は、材令28日以降において構造体コンクリートの圧縮強度に近似した値を示している。

3. 3 実施時の品質管理結果のまとめ

実施時の品質管理結果から高強度コンクリートに対して、以下の事項が要約できる。

(1) コンクリート打設後の部材は、水和熱による温度上昇を生じるために高温履歴の影響を受ける。その影響は若材令であるほど大きく、本建物では設計基準強度 420kgf/cm²のコンクリートの材令3日における部材平均養生温度は平均外気温より20～27℃高い値を示した。

(2) 高温履歴の影響により若材令での圧縮強度の発現は、常温下での圧縮強度の発現より大きく、水和熱の影響を的確に把握できる管理方法によれば、本建物の場合には、圧縮強度のみで判断すると、材令1日での型枠脱型も可能な強度発現を示した。

(3) 建築物の部材では型枠脱型後に4面が放熱面となることなどから、水和熱の影響は長期に及ぼす、材令28日での部材平均養生温度は平均外気温より10℃高い程度であった。

(4) 通常の方法である現場水中養生した供試体の圧縮強度は、構造体コンクリートの圧縮強度に対し材令7日では小さい値を示し、材令28日では近似した値を示すが、材令56日以降では危険側の判定となる大きな値を示した。一方、現場封かん養生した供試体の圧縮強度は、構造体コンクリートの圧縮強度に対し材令28日以降において比較的近似した値を示した。

4. おわりに

鉄筋コンクリート造で高層建築物を施工する場合に用いる高強度コンクリートは、通常のコンクリートに比べ水和熱による影響を大きく受ける。その影響を把握する目的で実大規模モデル実験を行い、高強度コンクリートは、マスコンクリートと同様に若材令での強度発現は常温下で養生された場合より大きく、長期では強度増伸しない特性を持っていることなどを明らかにした。

更に実施では、高層建築物を鉄筋コンクリート造で容易に実現する為のシステム工法を採用すると共に、強度管理システムを用いた検討を進めた。その結果、強度管理システムは比較的マシな高強度コンクリートに対する合理的な品質管理方法となることを確認すると共に、水和熱の影響を的確に反映した管理方法を採用することによって、構造体コンクリートの強度発現を合理的に評価して早期のせき板・支保工の取外しが可能となることなどがわかった。

謝辞

本研究は、吾妻橋一丁目団地住宅棟（民開）建設工事での施工検討実験および実施の結果についてまとめたものである。住宅都市整備公団東京支社の関係者の方々には、御指導、御教示を戴いた。ここに、記して感謝の意を表します。

[参考文献]

- [1] 桑原隆司、安斎俊哉、森永繁：マスコンクリートの強度管理方法と管理装置の研究、コンクリート工学年次論文報告集、第9巻、第2号、P.P.79～84、1987

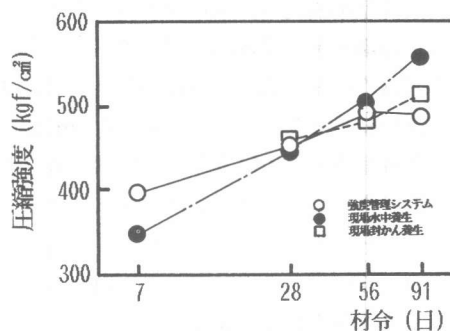


図-10 圧縮強度の発現性状