

9. 簡易断熱養生による高強度コンクリートの 構造体強度管理手法および実施例

Estimation of Strength in High Strength Concrete Structure using Simple Adiabatic Curing Method

立松 和彦* 山崎 順二*²
高見 錦一*² 鈴川 衛*³

要 旨

設計基準強度が36～100N/mm²クラスの高強度コンクリートについて、簡易断熱養生による構造体コンクリート強度の管理手法を確立するために実験を行ってきた。その結果、①本報で紹介する簡易断熱養生は、構造体とほぼ同様の温度履歴を供試体に与える、②材齢56日のコア強度は材齢91日のコア強度とほぼ同等と考えられる、③簡易断熱養生した供試体強度は材齢28～91日においてコア強度とほぼ同じ強度を示す、④実施工においても、本報で紹介した簡易断熱養生の方法によって構造体コンクリートの強度管理がほぼ適切に行えることなどが確認できた。

キーワード：高強度コンクリート／簡易断熱養生／S値／強度管理材齢

1. はじめに

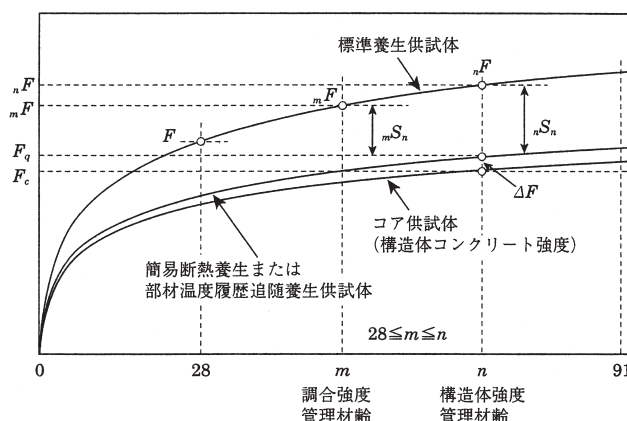
近年、超高層建物に設計基準強度が60 N/mm²を超える高強度コンクリートを使用する事例が増加しつつある。この技術的背景には、New RC総プロでの基礎的な研究の取りまとめ、CFT(Concrete Filled Tube)構造に代表される新しい構造形式の発達、低発熱型のセメントの開発などがあげられる。

一方、研究が進むにつれ、高強度コンクリートに関する新たな懸念も浮かび上がってきた。その一つが、初期硬化時の発熱によって高温履歴を受け、その結果長期的な強度増進が阻害される傾向にあることである。杉山ら¹⁾²⁾は、セメントの種類（普通、早強および低熱）によって、異なる初期高温履歴パターンで養生したコンクリートの強度発現性状から、初期高温履歴を受けたコンクリートほど長期的な強度発現性が小さいことを明らかにしている。JASS5では、設計基準強度が36 N/mm²を超え60N/mm²以下の範囲については、上記の問題について、構造体コンクリート強度補正值 mS_n （S値：標準養生した供試体の材齢m日における圧縮強度と、管理用供試体による構造体コンクリートの材齢n日における推定値の差）を調査強度算定式に盛り込むことで適切な強度管理ができるよう図っている（図－1 参照）。そして設計基準強度が60 N/mm²を超えるコンクリートについては、「必要に応じて試験または信頼できる資料により仕様の詳細

を定めなければならない」としている。

真の構造体コンクリート強度は、材齢91日のコア強度とするのが一般的である。高強度コンクリートでは、図－1に示したように、簡易断熱養生または部材温度履歴追従養生によって構造体とほぼ同じ温度履歴を与えた供試体（すなわち管理用供試体）の圧縮強度を構造体コンクリート強度の推定値として、構造体コンクリートの強度管理を行うことが実際のコア強度の推移に最も近いと考えられる。しかし、簡易断熱養生または部材温度履歴追従養生の詳細な規準は定められていない。そのため、各社各様の方法で試行錯誤が重ねられているが、それぞれについて発表された事例³⁾⁴⁾数は少なく、統一した見解は示されていない。

本報告は、このような観点から、主として設計基準強



図－1 構造体コンクリート強度と管理用供試体強度の関係(JASS5)

*建築工法・材料研究室

*²東京分室

*³東京本店建築部技術課

度が 60N/mm^2 クラスの高強度コンクリートに関して、簡易断熱養生による構造体コンクリート強度の管理手法およびその実施例についてまとめたものである。

2. 高強度コンクリートの強度管理手法

2.1 強度管理材齢

コンクリートの強度管理では、調合強度の管理材齢 m 日と、構造体強度の管理材齢 n 日とを定める必要がある。図-1中にもあるように、 $28 \leq m \leq n$ である。一般のコンクリート（設計基準強度 36N/mm^2 以下）では $m=28$ 、 $28 \leq n \leq 91$ であるが、高強度コンクリートの場合は強度発現の緩やかな低発熱型のセメントを使用する場合が多いため、調合強度の管理材齢を91日以前で適切に設定することが合理的であり、 m には42、56などが採用される（ $28 \leq m \leq 91$ ）。しかし、レディーミクストコンクリート工場では通常、材齢28日で強度管理を行っていること、工事の工程上の問題、また、設計基準強度が 60N/mm^2 クラスのコンクリートを当面の対象としていることから、 m 日は28日とした。

構造体コンクリートの強度管理材齢である n 日については、少しでも早い段階で判定できるように、材齢56日を管理材齢とした。そして、簡易断熱養生供試体で構造体コンクリートの強度管理を行うことを原則とした。

2.2 コア強度と簡易断熱養生供試体強度

前述のように材齢56日を構造体コンクリートの管理材齢とし、簡易断熱養生供試体（以下、断熱供試体とする）で構造体コンクリートの強度管理を行うためには、以下のことが必要になる。

①材齢56日のコア強度は材齢91日のコア強度とほぼ同等あるいはやや小さい、②材齢28日～91日において断熱供試体の強度はコア強度と同等である

図-2および図-3は、設計基準強度が $36 \sim 100\text{N/mm}^2$ クラスの高強度コンクリートに関する実機試験での強度試験結果を示したものである。柱模擬部材（ $900 \sim 1050\text{mm}$ 角程度、上下に断熱材 150mm 貼付け）の中央部から鉛直方向にコア供試体を材齢28,56,91日で採取した際の、コア強度の材齢56日強度と材齢91日強度の比較（図-2）および、材齢28,56,91日の各材齢における断熱供試体の圧縮強度とコア強度を比較（図-3）した結果をプロットした。水結合材比は $20 \sim 40\%$ である。セメントは低熱セメント(L)、中庸熱セメント(HF)、普通セメント(N)、シリカフェースメント(S)、シリカフェースメントと普通セメントを混合したもの(S+N、混合比率はSが60%のものと70%のものがある)である。

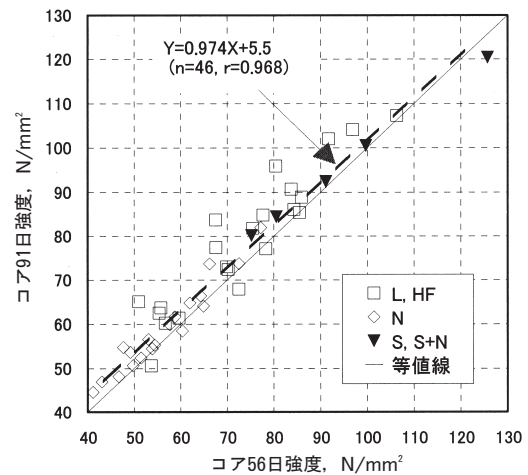


図-2 コア56日強度とコア91日強度

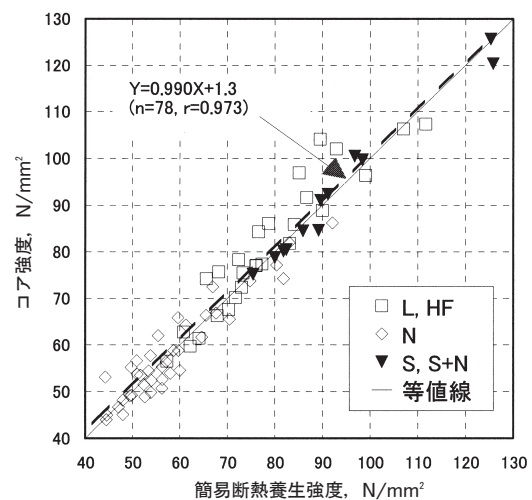


図-3 簡易断熱養生強度とコア強度

図-2では、全体の相関係数は 0.968 となり高い相関性を示している。これより、材齢56日のコア強度は材齢91日のコア強度をやや安全側に評価するがほぼ同等と考えられる。図-3においても、全体の相関係数は 0.973 となり高い相関性を示している。これより、断熱供試体の強度はコア強度とほぼ同じ強度を示すことがわかる。ただし、SやS+N、圧縮強度が 90N/mm^2 を超えるものなどについては今後さらにデータを蓄積する必要があると考えられる。

3. 簡易断熱養生

3.1 簡易断熱養生の方法

当社で実施している簡易断熱養生の標準的な方法は以下のとおりである。

①簡易断熱養生箱（以下、断熱養生箱とする）は、 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ のテストピース型枠（プラスチック製の簡易型枠を用いる）が7本あるいは10本入る空間を有し、周囲

は少なくとも150mm以上の断熱材（厚さ50mmの断熱材；熱伝導率 $0.040\text{W/m}\cdot\text{K}$ 以下を3枚貼り合わせたもの）で囲まれているものとする。テストピースの内の1本は温度測定用である。写真－1に7本用の断熱養生箱を例示する。厚さ50mmの断熱材を貼り合わせて150mm以上とする場合には、熱が逃げにくいように階段状に重ね合わせる必要がある。なお、例示した7本用断熱養生箱の、コーナーの三角部分を除くと10本用のものになる。



写真－1 簡易断熱養生箱の例

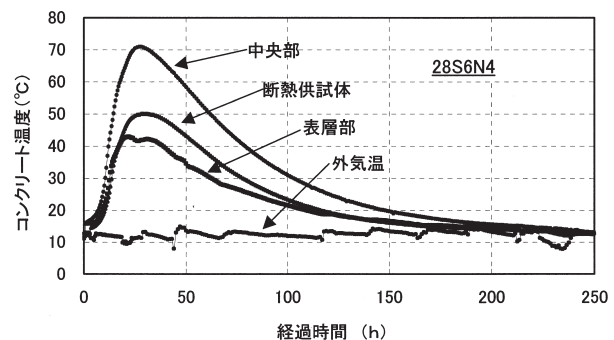
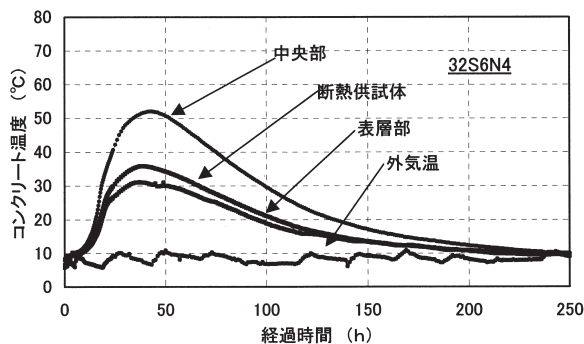
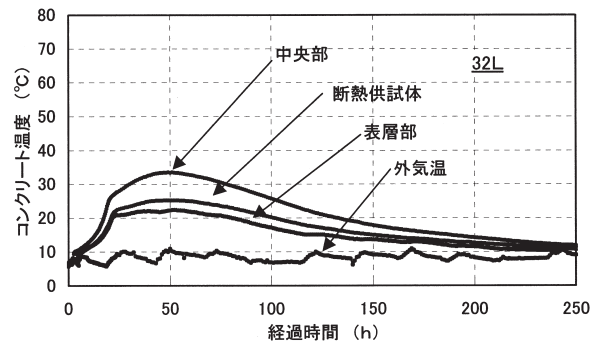
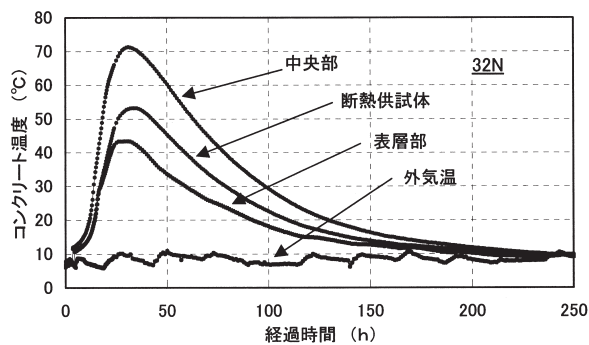
②テストピース作製後、その上面を密封し、速やかに断熱養生箱に入れてフタをする。7本用の断熱養生箱には必ず7本のテストピースを入れることとし、空の型枠を入れないこととする。断熱養生箱は雨風および太陽光が直接当たらない場所で静置する。なお、温度測定は必要に応じて実施する。

③断熱養生箱内のテストピースの温度が外気温にほぼ等しくなった時点で(高強度コンクリートでは10日程度)テストピースを断熱養生箱から取出す。取出した後は、密封状態のまま、所定の材齢まで現場封かん養生とする。

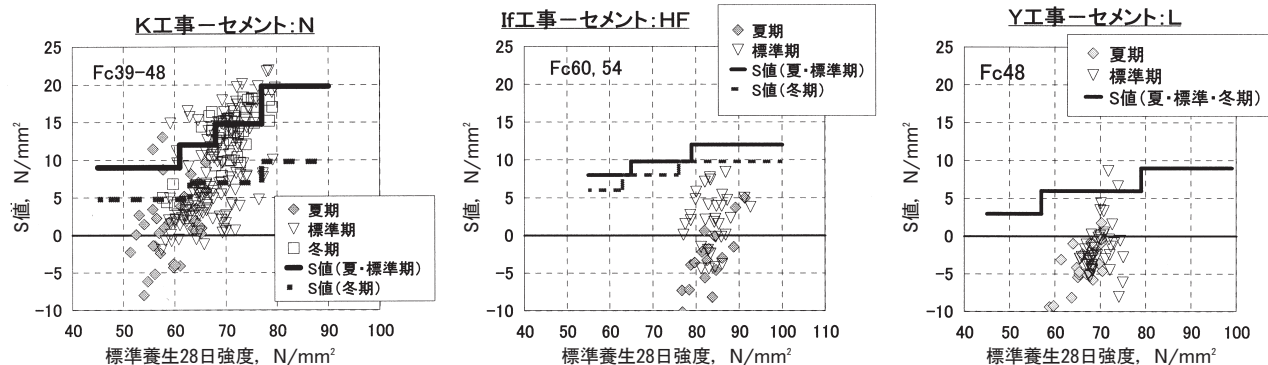
3.2 温度履歴

図－4は、実大柱模擬試験体(1050×1050×高さ900mmとし上下に150mm断熱材を配した)打設時の柱断面中央部・表層部（コーナー部より内へ50mm）および断熱供試体の温度履歴の一例を示したものである。なお、図中の記号は数字がW/C(%)を、N,L,S6N4はセメントの種類を表している。S6N4はソリカフェムセメント60%+普通ポルトランドセメント40%を示している。図－4に示した4例とも、断熱供試体の温度は、柱断面中央部の温度と表層部の温度との中間の温度を示しており、構造体と類似した温度履歴であることがわかる。

4. 実施工におけるS値の実績について



図－4 簡易断熱養生による温度履歴の例



図－５ 実施工における $_{28}S_{56}$ 値

表－１ 高層RC造建物の施工例（図－５）

物件名	施工年	階数	最大Fc (N/mm ²)	主なセメント*1*2
K工事	平成11年	23階	48	普通ポルト(N)
If工事	平成12年	30階	60	ハイフロー(HF)、普通ポルト
Y工事	平成13年	21階	60	ハイフロー、低熱(L)

* 1 ハイフローセメントは商品名であり、中庸熱セメントのJIS規格に適合するセメントである。

* 2 下線を付したセメントについて図－５に示した。

図－５は、表－１に示した当社の高層RC造建物の実施工におけるS値の実績を示したものである。標準養生供試体の材齢28日圧縮強度と、簡易断熱養生による材齢56日圧縮強度との差をS値（ $_{28}S_{56}$ 値）としてプロットしている。なお、図中の階段状の線は、室内試験・実機試験等により設定したS値であるが、S値は実強度に対して設定されるのではなく、設計基準強度のクラスごとに設定されるので、C/W-強度式、標準偏差の大きさなどにより若干変化する。したがって、図中に示したS値もX軸に対しては絶対的なものではない。

図より、普通セメントではばらつきがやや大きい印象を受けるが、これは、簡易断熱養生の方法に起因するばらつき（原因は不明であるが、冬期において簡易断熱養生供試体の温度があまり上がらなかったこともあった）だけでなく、変動係数のやや大きいコンクリートのデータが総数の約6割を占めていることも要因の一つと考えられる。しかし、S値の設定において普通セメントでは余裕を持った設定が必要と考えられ、夏期および標準期ではFc48クラスで10～15N/mm²程度、Fc54～60クラスで15～20N/mm²程度が適切と思われる。ハイフローセメントおよび低熱セメントでは、データがやや少ないが普通セメントよりばらつきが小さいこと、マイナスのS値を示す場合も多いことがわかる。Fc60クラスでのS値

は5～10 N/mm²程度以下が適切と考えられ、時期によっては0N/mm²にできる可能性がある。

5. まとめ

簡易断熱養生による高強度コンクリートの構造体強度管理手法および実施例についてまとめると、以下のとおりとなる。

- (1)本報で紹介した簡易断熱養生の方法は、構造体とほぼ同様の温度履歴を供試体に与える。
- (2)材齢56日のコア強度は材齢91日のコア強度とほぼ同等と考えられる。
- (3)簡易断熱養生した供試体強度は材齢28～91日においてコア強度とほぼ同じ強度を示す。
- (4)実施工においても、本報で紹介した簡易断熱養生の方法によって構造体コンクリートの強度管理がほぼ適切に行える。

なお、これらの知見については、今回のデータの範囲からはFc60N/mm²程度までとするのが適切と考えられ、Fc80～100N/mm²クラスについては、セメントの種類なども考慮してさらに多くのデータを蓄積し、適切な強度管理手法について検討していきたい。

〔参考文献〕

- 1) 杉山 央、榊田佳寛：初期高温履歴を受けたコンクリートの長期強度発現性、日本建築学会構造系論文集、No.515、pp.23-30、1999.1
- 2) 杉山 央、榊田佳寛：早強および低熱ポルトランドセメントを用いたコンクリートの強度発現性に及ぼす初期高温履歴の影響、日本建築学会構造系論文集、No.520、pp.9-16、1999.6
- 3) 陣内 浩、黒羽健嗣、並木 哲 ほか：設計基準強度100N/mm²の高強度コンクリートを用いた超高層建物の施工、日本建築学会技術報告集 第9号、pp.7-12、1999.12
- 4) 陣内 浩、早川光敬、並木 哲 ほか：簡易断熱養生による高強度コンクリートの構造体強度予測手法、日本建築学会技術報告集 第11号、pp.17-20、2000.12