

論文

[1087] 高強度コンクリートの構造体強度管理手法に関する研究

正会員○三井健郎 (竹中工務店技術研究所)

正会員 米澤敏男 (竹中工務店技術研究所)

中島 誠 (竹中工務店技術研究所)

1. はじめに

一般のコンクリート構造物の構造体と強度管理用の供試体とは、養生条件が異なるため必ずしも強度発現条件が等しくならないが、現場水中または現場封緘養生供試体の強度は構造体強度の管理用として比較的妥当なものとしてきた。

一方、高強度コンクリートは通常のコンクリートに比較して、単位セメント量が多いため、通常の建築構造物の柱、梁部材においても、マスコンクリートと同様に構造体内部での水和発熱に起因する温度上昇は非常に急激で最高温度も高い。従って高強度コンクリート構造体の強度発現性状は通常のコンクリート構造物とは大きく異なり、材令初期の急激な温度上昇のため、長期材令において管理用供試体に比較して強度が低下することが指摘されている[1]。こうした養生条件を考慮して、部材と同様の温度履歴を供試体に与えて強度管理を行う部材温度追従手法は、構造体の強度に比較的近い値が得られるなどその妥当性が検討されている[2], [3]。部材温度履歴追従養生を行う期間は、通常、部材内部温度と外気温がほぼ等しくなる材令7日程度とされる。しかし、高強度コンクリートを用いる超高層集合住宅等の建築構造物の工事においてはタクト工程等により頻繁にコンクリート打設が行われるため、部材の温度履歴を再現する養生装置を構造体強度の管理用に用いるためには、打設日毎に異なる養生槽が必要となるため、この方法をそのまま実際の現場に適用することは非常に困難である。

そこで本報告では、初期材令での急激な温度上昇履歴を受ける部材の強度管理の手段の一つである部材温度追従養生法について、追従養生を行う期間を短縮し、供試体を養生材令の早い時期に現場封緘養生に移行した場合のその後の材令の強度発現性状を把握し、現場に適用可能な簡便な強度管理手法の開発を目的とした短期追従養生方法の可能性について検討を行ったものである。

2. 実験

2.1 実験の概要

本実験では、設計基準強度 $600\text{kgf}/\text{cm}^2$ クラスを想定した水結合材比23、28および33%の高強度コンクリートについて、実構造部材を想定した断熱養生模擬部材を作製し、打設直後からの部材内部の温度履歴と部材の強度発現特性の検討を行った。実験の検討因子として水結合材比、高性能AE減水剤の種類、雰囲気温度を要因にとり、管理用供試体の養生条件が圧縮強度発現特性と部材強度の関係に与える影響について比較検討を行った。

2.2 コンクリートの調合と使用材料

実験で用いたコンクリートの調合を表-1に示す。コンクリートの調合条件はスランプ $24\pm 2.0\text{cm}$ 、スランプフロー値 $55\text{cm}\pm 5\text{cm}$ とした。セメントはフライアッシュB種セメントを用い、セメント重量の内割で10%のシリカヒュームを混入した。化学混和剤は高性能AE減水剤とし

て、主成分の異なる2種類を用いたコンクリートについてそれぞれ検討を行った。表-2にはコンクリートの使用材料を示す。

2.3 実験方法

実験では冬期、夏期の温度条件を想定した10、30℃に加えて常温の20℃の雰囲気温度中で断熱模擬部材および管理用供試体の強度発現を検討した。

管理用供試体の養生方法としては、表-3に示す6種類の養生方法について比較を行った。管理用供試体のうち部材温度履歴追従養生は図-1に示す養生装置および模擬部材試験体を用いて、模擬部材の打設直後からの温度履歴をモニターし、試験体養生用の蒸気養生槽の自動制御装置を作動させ、打設直後から所定の期間、模擬部材と同じ温度履歴で養生した。模擬部材は実大部材に近い温度履歴を得るため、30cm角の試験体を厚さ20cmの発泡ウレタンで覆ったものとし、材令7日および28日においてφ10×20cmのコアを採取し、部材の強度の判定用とした。

表-3に示す管理用供試体の養生方法のうち、完全追従養生は、部材内部の温度が雰囲気温度にほぼ等しくなる7日間まで部材温度履歴追従養生を行ったもので、短期追従養生A、B、およびCはそれぞれ材令1、2、3日まで追従養生した後、所定の試験材令まで各雰囲気温度に制御された恒温室中で封緘養生としたものである。なお、養生装置および模擬部材試験体の概略は図-1に示す。

表-1 コンクリートの調合

調合 No.	W/C (%)	S/a (%)	重量 (kgf/m ³)				
			水	セメント	シリカ フェーム	細骨材	粗骨材
1	23	38.5	150	585	65	706	921
2	28	40.0	147	473	52	686	1069
3	33	40.6	144	397	44	733	1112

表-2 使用材料

セメント	フライアッシュB種セメント
シリカ フェーム	非顆粒シリカフェーム(ノルウエー産) (比重:2.3, 比表面積:20.8m ² /g, SiO ₂ :93.06%)
細骨材	木更津産山砂 比重:2.61, 吸水率:1.53 F.M.:2.99
粗骨材	鳥形山産石灰石碎石 比重:2.70, 吸水率:0.38 F.M.:6.42
高性能 AE減水剤	A:変成リグニンアルキルアリルスルホン酸及び活性持続ポリマーの複合物 B:特殊スルホン基, 特殊カリボキシル基含有多元ポリマー

表-3 管理用供試体の養生方法

No.	養生種類	養生方法	試験材令(日)
1	標準養生	20℃水中養生	3, 7, 28
2	現場封かん養生	現場雰囲気温度条件で封かん養生	1, 2, 3, 7, 28
3	部材温度履歴追従養生	部材と同一の温度条件で蒸気養生	1, 2, 3, 7, 28
4	短期追従養生A	材令1日まで追従養生後現場封かん養生	7, 28
5	短期追従養生B	材令2日まで追従養生後現場封かん養生	7, 28
6	短期追従養生C	材令3日まで追従養生後現場封かん養生	7, 28

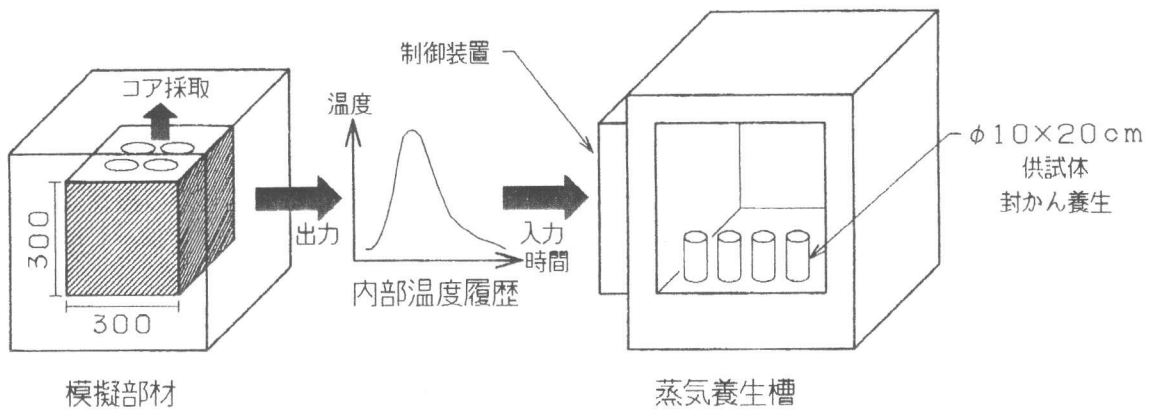


図-1 追従養生装置および模擬試験体の形状

3. 実験結果

3.1 模擬部材の温度履歴特性

図-2に打込み温度を変えた場合の模擬部材の温度履歴を示す。この温度履歴は断面寸法80~90cm程度の高強度コンクリート柱の温度履歴に近く、この模擬部材の強度特性は実際の部材の強度特性に近いと考えられる。

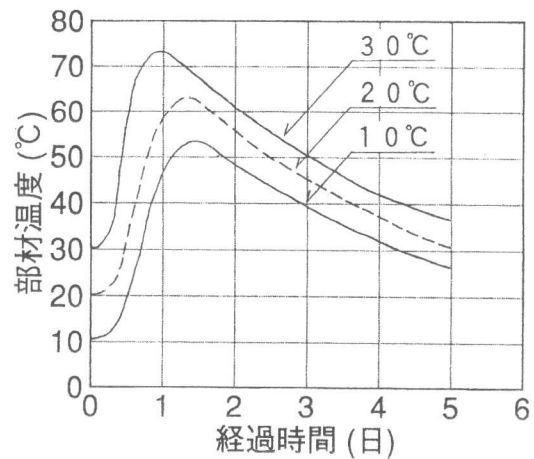
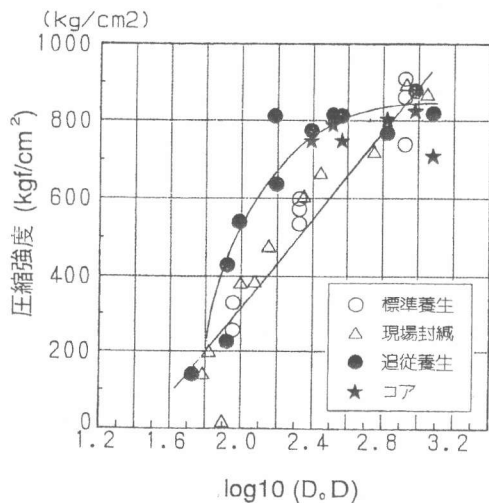


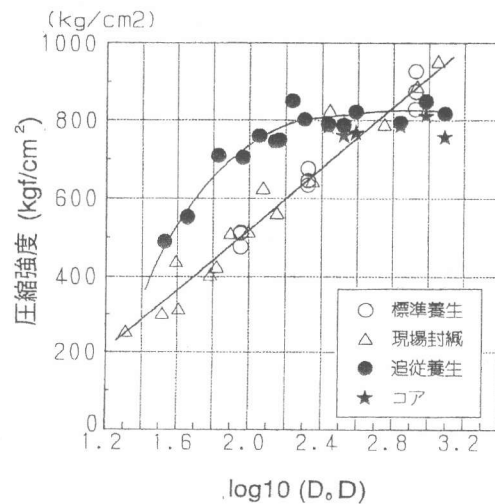
図-2 模擬部材の温度履歴 (W/C=28%)

3.2 模擬部材および管理用供試体の強度と積算温度の関係

図-3には、模擬部材から採取したコア強度および管理用供試体の材令28日までの強度と積算温度の関係を高性能AE減水剤の種類別に表現した結果を示す。高性能AE減水剤の



(a) 高性能AE減水剤A



(b) 高性能AE減水剤B

図-3 強度と積算温度の関係

種類により、強度発現の勾配はかわるものの、標準および現場封緘養生の場合の強度は両者とも積算温度に対してほぼ直線的に増加する関係を示す。しかし、コアおよび追従養生供試体の場合の強度発現を示す曲線の形状は標準および現場封緘養生とは異なり、両者の強度発現性状が異なることがわかる。コア供試体の材令7日以降は積算温度の増加に対する強度の増進はわずかである。したがって、高強度コンクリートの場合、積算温度による強度管理の概念は構造体の強度管理には適用が困難であるといえる。これはまた、構造体の強度を標準養生と現場養生試験体の強度で管理することが難しいことを示している。

3.3 コア供試体強度と管理用供試体強度の関係

図-4には材令7日および28日でのコア供試体の強度に対する、標準水中、現場封緘養生および完全追従養生試験体の強度の対応関係を示す。構造体の強度を推定する方法として部材から得られる温度履歴による追従養生を用いる方法は種々試みられており[4]、良好な相関関係が

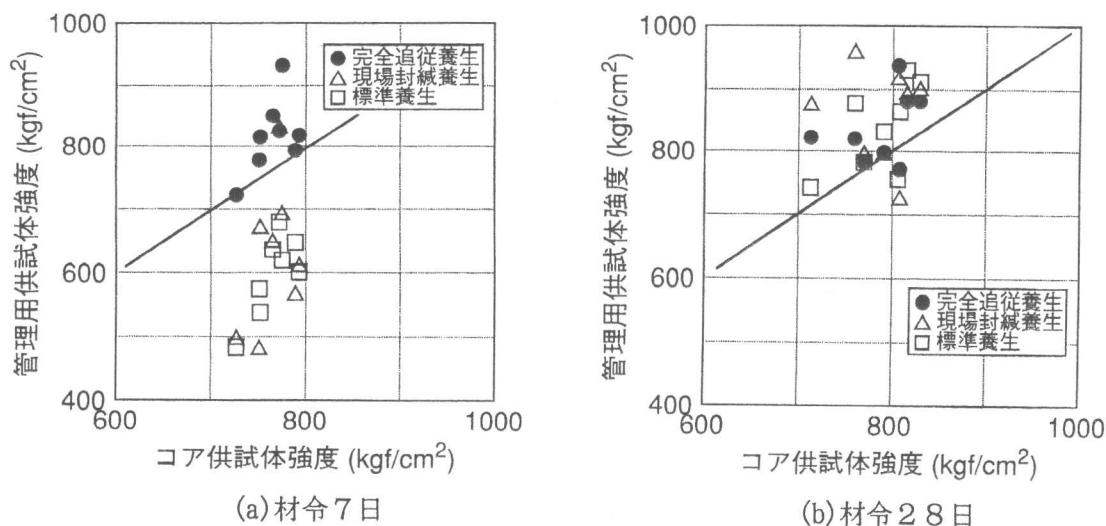


図-4 コア強度と管理用供試体強度の関係

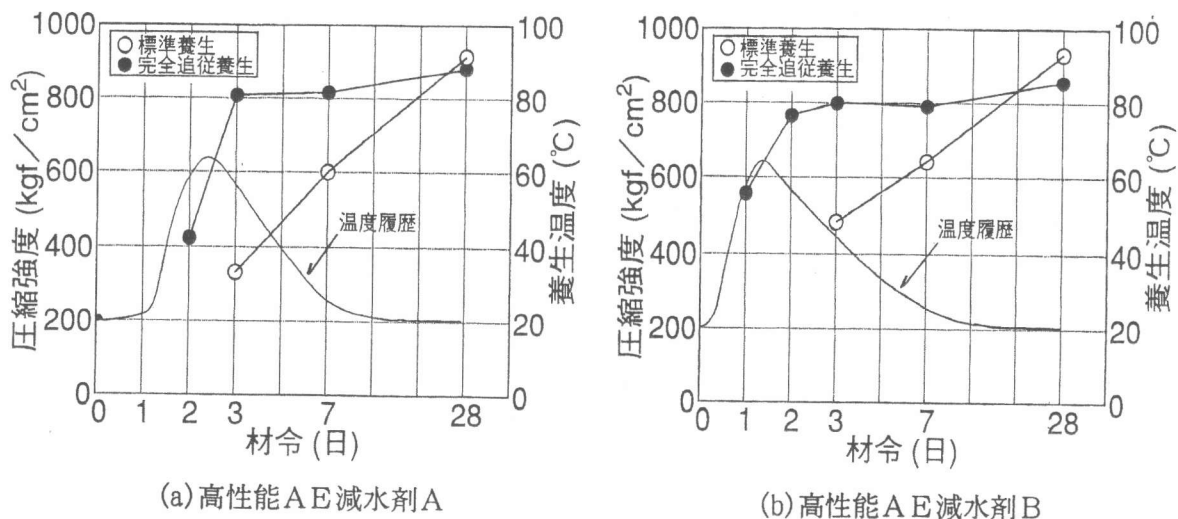


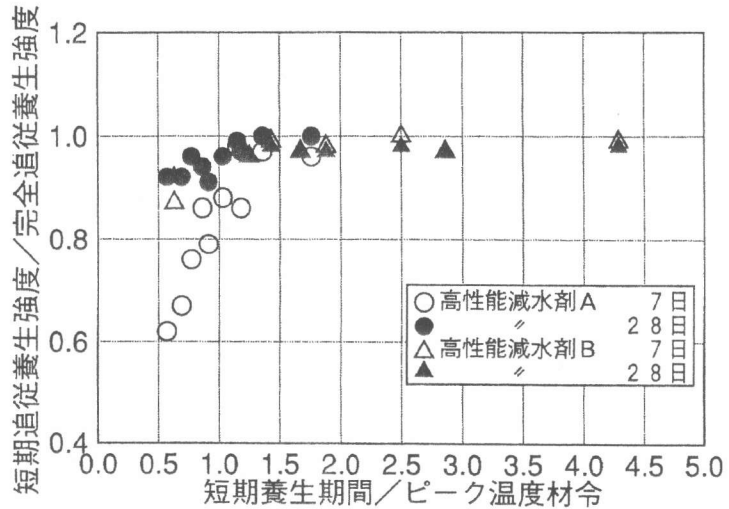
図-5 模擬部材の温度履歴と供試体強度の関係

得られることが報告されているが、本実験においても追従養生供試体の強度は多少のばらつきはあるもののコア供試体の強度とほぼ同程度の値を示しており、追従養生による部材強度の管理が可能であるといえる。

3.4 高性能AE減水剤が強度特性に及ぼす影響

図一5は、水結合材比28%、コンクリートの打ち込み温度20℃の場合の模擬部材の温度履歴と標準および完全追従養生供試体の強度発現を2種類の高性能AE減水剤を使用した場合について比較したものである。

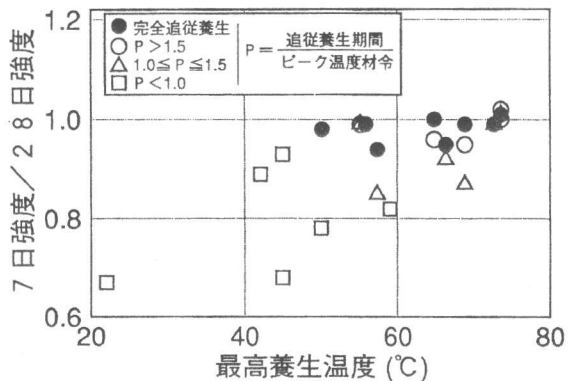
異なる成分を持つ高性能AE減水剤を使用した部材の温度履歴は最高値は両者ともほぼ等しい値となっているものの、温度の最大値に達するまでの時間は異なっている。すなわち、コンクリートの打ち込み温度が20℃の場合、高性能AE減水剤Bを使用したコンクリートの温度履歴は材令29時間でピークに達しているのに対し、高性能AE減水剤Aを用いたものは、本実験で用いたような高強度コンクリートの場合のように、使用量が多くなると凝結が相当に遅延する特性を持つため、部材内部温度履歴がピークを示すのは、材令50時間を超えていた。こうした温度履歴の違いのため高性能AE減水剤Aを使用したコンクリートの強度発現は標準養生、完全追従養生いずれも高性能AE減水剤Bを使用したコンクリートに比較して遅れる傾向を示した。しかし、材令28日では両者に差はほとんどみられなかった。



図一6 (追従養生期間/ピーク温度材令) 比と (短期追従養生強度/完全追従養生強度) の関係

3.5 短期追従養生供試体の強度特性

図一6は、追従養生の期間を表一3に示すように1、2または3日という短期で打ち切り、現場封緘養生とした短期追従養生供試体の強度について、追従養生を7日間行った完全追従養生供試体の強度に対する比と追従養生期間との関係を示したものである。コンクリートの打込みから部材の温度がピークに達するまでの時間に対する短期養生期間の比率；(追従養生期間/ピーク温度材令)比を横軸の指標にとり、短期追従養生強度と完全追従養生を行った試験体の強度の比との関係を表した。図一6によると、部材のピーク温度材令に対する追従養生の期間の比が1.5以下の場合、材令7日、28日いずれ



図一7 7日強度/28日強度と最高養生温度の関係

の場合も完全追従養生よりも低い強度を示す傾向にある。この傾向は材令7日において明確であり、追従養生期間が短いほど顕著である。しかし、ピーク温度材令に対する養生期間の比率が約1.5を超えると短期追従養生と完全追従養生の違いは材令7日、28日いずれにおいても全くみられなくなる。これは、初期高温養生がコンクリートの強度に及ぼす影響において、温度がピークに達した少し後までのセメントの水和の特性が支配的なことを示している。

図-7には短期および完全追従養生を行った供試体の（材令7日強度/28日強度）比と最高養生温度および追従養生期間との関係について示す。完全追従養生供試体の強度は（材令7日強度/28日強度）比がいずれも0.93以上となっており、材令7日以降の強度の増進が小さいことを示している。短期追従養生の場合、（追従養生期間/ピーク温度材令）比が1.5以上の供試体は、材令7日以降の強度の増進は小さく、完全追従養生供試体と同様な強度発現を示している。これに対し、（追従養生期間/ピーク温度）材令比が1.5以下の場合、材令7日以降、10%以上の強度の増進がみられることから、追従養生期間が完全追従養生に比較して不十分だといえる。

以上述べた観察結果は混和剤の種別や打設時のコンクリート温度に関わらず成立している。このことから、材令初期に急激な高温養生を受ける高強度コンクリートの場合、短期追従養生供試体の強度は（追従養生期間/ピーク温度材令）比を1.5程度以上とれば、完全追従養生と同等の強度発現を示し、構造体の強度を十分管理できることになる。したがって、従来行われているように部材温度が外気温と同程度に低下するまでの期間、部材温度履歴追従養生を行う必要はないことになる。

4. まとめ

材令の初期に急激な温度上昇による高温養生を受ける高強度コンクリート構造体強度の管理手法として追従養生期間を短くした短期追従養生について検討した結果、以下の点が明らかとなった。

- (1) 材令初期に高温の養生温度を受けた場合、その強度発現は現場封緘養生や標準養生と異なり、長期材令での強度の伸びが期待できず、積算温度による概念で管理することは困難である。
- (2) 部材温度履歴を完全に追従した養生は初期に急激な高温養生を受ける高強度コンクリート構造体の強度発現性状の違いをほぼ推定でき、構造体の強度管理手法として有効である。
- (3) 完全追従養生と短期追従養生を比較すると、部材の温度が最高点に達するまでの期間のほぼ1.5倍程度の短期追従養生を行うと両者の差はなくなる。したがって、完全追従養生期間を短縮した短期追従養生が、強度管理に適用可能と考えられる。

短期追従養生は高強度コンクリートの構造体強度管理のための簡便で現実的な方法と考えられ、今後は更にデータを蓄積し、種々の条件下での最適な管理用供試体の養生方法について検討を進める予定である。

(参考文献)

- 1) 樹田佳寛, 高強度コンクリートを用いた構造体コンクリートの強度管理方法に関する考察, 日本建築学会学術講演梗概集, 1991, pp837-838
- 2) 桑原隆司ほか, 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, Vol. 8, 1987, pp79-84
- 3) 川口徹ほか, 高強度マスコンクリートの部材強度発現性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 9, 1988, pp197-202
- 4) 関田徹志ほか, 水和熱に起因する高温履歴を受ける超高強度コンクリートの強度性状(その1), 日本建築学会学術講演梗概集, 1991, pp721-722