

論 文

[1005] 超高強度コンクリートの構造体強度と強度管理手法について

紺野弘毅^{*1}・山田人司^{*1}

1. はじめに

近年、シリカフューム等の混和材を用いた低水結合材比の超高強度コンクリートの研究が盛んに行われ、現在では実構造物への適用も検討されている。このような超高強度コンクリートは単位セメント量が普通コンクリートよりも多くなり、柱部材等では打設後1日程度の期間におけるセメントの水和熱による温度上昇が大きくなることが知られている。この初期の養生期間における部材内の温度上昇は、長期間にわたって圧縮強度の発現性状に影響を及ぼすことが明かとなっており、構造体の強度管理においては従来の供試体管理手法では部材強度を適正に評価することができないといわれている[1]。

本研究は、シリカフュームを用いた超高強度コンクリートの部材の受ける温度履歴が圧縮強度に及ぼす影響を定量的に把握し、さらに構造体強度を管理する手法についての検討を加えたものである。

2. 実験概要

柱部材でみられる急激な温度上昇と緩やかな下降を模擬し、その温度履歴を与えた供試体強度と一定温度で養生した供試体強度を比較し、その圧縮強度の発現性状の違いを検討した。

2.1 使用材料および調合

使用材料を表-1に、コンクリートの調合を表-2に示す。セメントは普通ポルトランドセメントを、シリカフュームはフェロシリコン系の微粉体を使用した。水結合材比は25%とし、シリカフュームを結合材の内割りで10%置換した。混和剤は高性能AE減水剤を使用し、添加率は各ケースとも同一とした。

表-1 使用材料

材料	品質
セメント	普通ポルトランドセメント
シリカ フューム	比重: 2.2 ブレーン: 200,000cm ² /g SiO ₂ : 90%
細骨材	大井川産碎砂 表乾比重: 2.63 吸水率: 1.54% FM : 2.85
粗骨材	秩父産碎石 表乾比重: 2.69 吸水率: 0.51% FM : 6.88
混和剤	変性リグニン、アルキルアリルスルホン酸系高性能AE減水剤

2.2 実験方法

打設温度および一定温度養生は10、20および30°Cの3種類とし、それぞれ実験ケース1(10°C)、実験ケース2(20°C)および実験ケース3(30°C)とした。

圧縮強度用供試体は水中養生、封かん養生、温度履歴を与えた封かん養生(以下、温度履歴養生)および標準養生とした。水中養生と封かん養生供試体の打

表-2 コンクリートの調合

水結合 材比 (%)	細骨 材率 (%)	シリカフューム 置換率 (%)	単位量 (kg/m ³)					混和剤 (対結合 材重量 , %)
			水	セメ ント	シリカ フューム	細骨 材	粗骨 材	
25	39.0	10	160	576	64	642	1027	3.1

*1 ハザマ技術研究所 研究第二部第二研究室(正会員)

設温度と養生温度は各実験ケースごとに一定温度とし、温度履歴養生については図-1に示す温度履歴を各実験ケースごとに最高温度を変えて与えた。図に示すように材令1日で最高温度とし、材令6日以降は各実験ケースの温度で養生を行った。なお、この養生は供試体に与える温度履歴が練り上がり温度と等しくなった時から開始した。

また、圧縮強度の試験材令は標準養生は7、28および56日、その他の養生は3、7、28および56日とした。

3. 試験結果と考察

3. 1 フレッシュコンクリートの試験結果

フレッシュコンクリートの試験結果を表-3に示す。練上がり温度はケース1と2で目標値よりも高い温度になった。また、実験ケース3では他の2ケースよりスランプ値が3.5cm、フロ

表-3 フレッシュコンクリートの試験結果

実験 ケース	スランプ [°] (cm)	フロー (mm)	空気量 (%)	温 度 (°C)
1	21.0	415	2.2	18.0
2	21.0	415	1.7	25.0
3	24.5	615	1.7	29.0

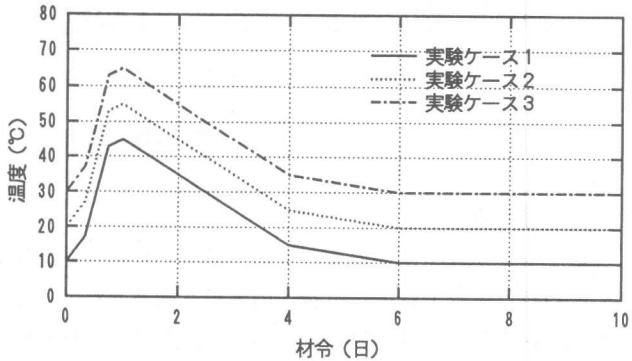


図-1 温度履歴養生の設定温度

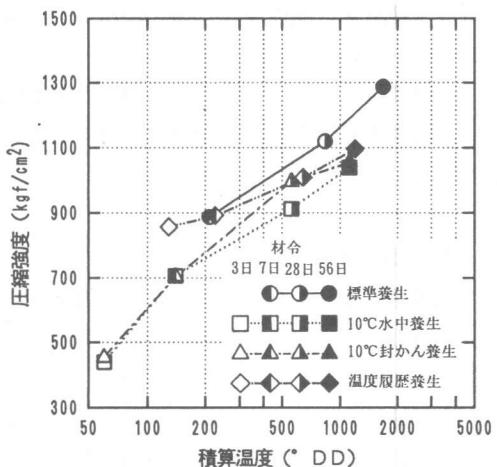


図-2 圧縮強度と積算温度の関係
(実験ケース 1)

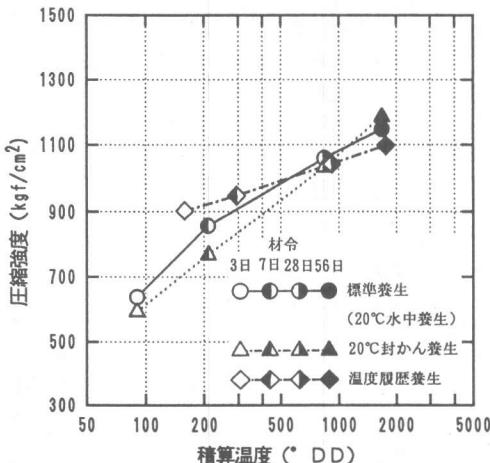


図-3 圧縮強度と積算温度の関係
(実験ケース 2)

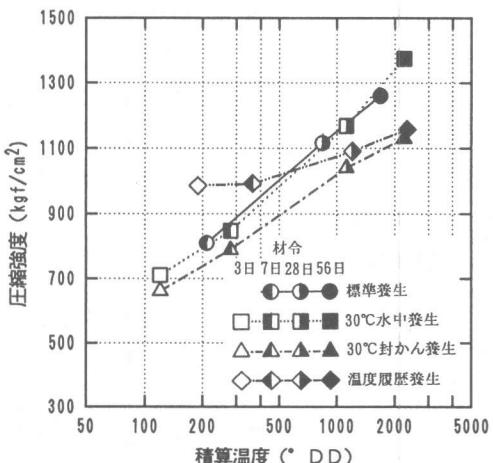


図-4 圧縮強度と積算温度の関係
(実験ケース 3)

表-4 水中養生における回帰結果

実験 ケース	回帰 係数 A	定数 項 B	相関 係数 r
1	449.8	-319.4	0.986
2	392.3	-96.7	0.989
3	522.0	-402.3	0.995

一値が200mm大きくなつた。これは練上がり温度の影響が現れたものと思われる。

3. 2 圧縮強度の発現性状

各実験ケースの圧縮強度と積算温度の関係をそれぞれ図-2、3および4に示す。

温度履歴養生の強度は水和熱による強度増進の影響が現れ、初期の養生期間において他の養生方法の強度よりも高くなるが、以降の積算温度の増加とともに强度の伸びは一定温度養生の強度より低くなる。各実験ケースにおいて、温度履歴養生の強度は材令3日において標準養生28日の強度の8割～9割に達しており、温度履歴を受けたコンクリートの水和反応が相当速いことが伺える。さらに、温度履歴養生の強度は積算温度の増加による増進が低いことからも、一定温度で養生したコンクリートとは水和反応の進行形態が大きく異なると思われる。

図-5に各材令における温度履歴養生と水中養生の強度比を示す。材令28日以降において、最高温度が55°Cと65°Cの温度履歴を与えた強度が水中養生の強度より下回っている。これより、従来の構造体強度の管理用供試体の養生方法である現場水中養生を構造体強度とみなすことはできない範囲が存在している。これは前述したように、温度履歴を受けた供試体強度と積算温度の関係が、一定温度で養生した供試体強度の場合とその傾向が大きく異なるためと考えられる。

3. 3 温度履歴の及ぼす影響

温度履歴がコンクリートの強度発現に及ぼす影響を把握するため、各実験ケースの水中養生強度と積算温度の一次回帰式を求め、温度履歴養生と同一の積算温度時の水中養生の強度を算定した。表-4に回帰結果を示す。このようにして求めた水中養生強度（計算値）と温度履歴養生強度との比を、積算温度との関係で図-6に示す。積算温度が小さい範囲では、この強度比は各ケースとも1以上となつたが、温度の高さによる影響は明確ではない。積算温度が500°C D Dより大

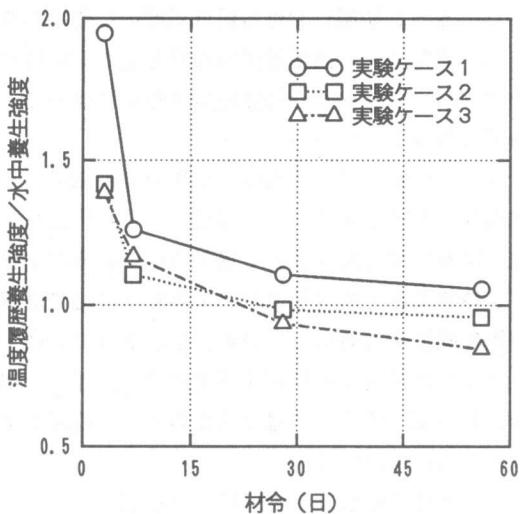


図-5 温度履歴養生強度／水中養生強度
と材令の関係

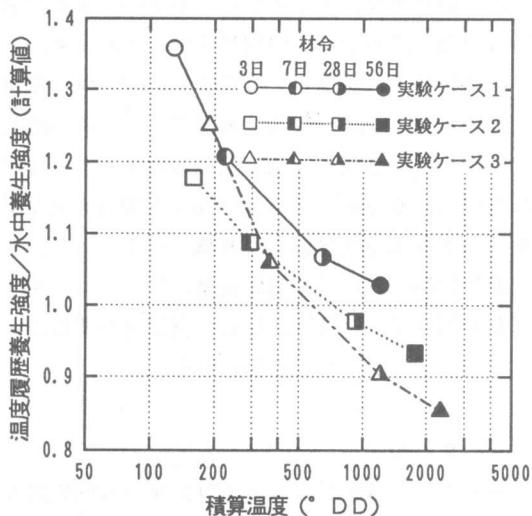


図-6 温度履歴養生強度／水中養生強度（計算値）
と積算温度の関係

きくなると、初期における温度履歴の影響がみられる。すなわち、温度履歴の最高温度が高いほど強度比は小さくなり、積算温度の増加に伴うこの強度比の低下も大きい。

図-7に水中養生の強度と積算温度の関係を一次回帰した結果を示す。一定温度での水中養生の強度は本実験の温度範囲で養生温度の影響が小さく、積算温度との関係において各養生温度でほぼ同等の強度発現を示している。したがって、図-6に示した強度比に及ぼす温度履歴の影響は、初期の最高温度の違いが積算温度の大きい範囲に現れたものと思われる。

3.4 構造体強度の管理手法の検討

積算温度が大きい範囲では、温度履歴養生の最高温度の影響が温度履歴養生強度と水中養生強度の比に影響を及ぼすことから、本実験による材令28日と56日におけるこの関係を図-8に示す。これらの材令では強度比と最高温度の間に強い相関が認められ、一次回帰式で近似できる。最高温度が高くなると強度比は低くなる傾向があり、最高温度が約55°Cを越えると材令28日以降の温度履歴養生強度は水中養生強度より低くなる。

養生初期において高温度履歴を受けるコンクリートの強度は、この強度比と最高温度の関係から推定することもできると思われる。

4.まとめ

セメントの水和熱によって打設後数日間に大きな温度履歴を受ける超高強度コンクリートの強度の発現性状についての検討を行った結果、本実験の範囲において以下のことが明かとなった。

- ① 養生初期の温度が約55°Cを越えると、材令28日以降の強度は水中養生より低くなる傾向にあり、高温度履歴を受ける超高強度コンクリートの強度は現場水中養生強度で管理できないと考えられる。
- ② 圧縮強度と積算温度の関係において、積算温度の大きい範囲で温度履歴を受けたコンクリートの強度増進が低いのは、養生初期の段階の最高温度の影響によると思われる。
- ③ 初期に高温度履歴を受けたコンクリートの強度と水中養生強度との比は、温度履歴の最高温度の関数で示すことができたが、今後はより高い温度が強度発現に及ぼす影響の把握と調合や施工条件等の影響の検討を行い、これらのデータを蓄積し適切な構造体強度管理手法の検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 例えば、山崎庸行・宮下剛士・酒井芳文：高強度コンクリートにおける部材温度追隨供試体の強度発現性状、日本建築学会学術講演梗概集A、pp. 319, 320、1992.8

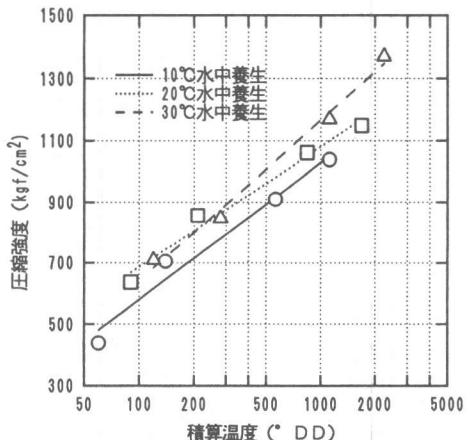


図-7 水中養生強度と回帰曲線

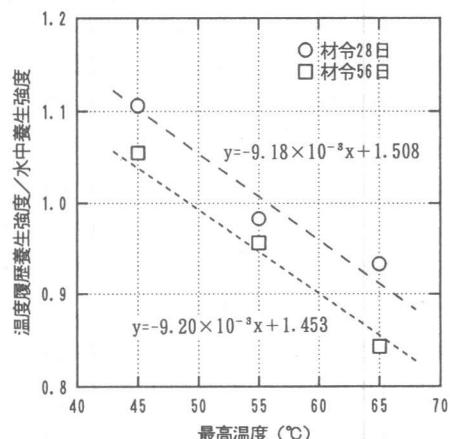


図-8 最高温度が強度比に及ぼす影響