

## 論文 暑中環境における高強度コンクリートの諸性状

西田 朗<sup>\*1</sup>・森田 武<sup>\*2</sup>・太田 達見<sup>\*3</sup>

要旨：高温時の高強度コンクリートの諸性状を把握するため，中庸熱ポルトランドセメントを使用した設計基準強度 48 ～ 80N/mm<sup>2</sup> の高強度コンクリートについて，練上がり温度を 20 および 35 ～ 40 として実験を行った。この結果，高温時のスランプフローロス は 20 に比較して 2 ～ 3cm 大きい程度で，十分な施工性を確保できた。また，凝結時間も施工に支障をきたさない範囲であった。構造体コンクリート強度の確保は，一般的な環境でのデータを基に算定した調合で十分可能なものと判断された。

キーワード：高強度コンクリート，暑中環境，スランプフロー，凝結時間，強度発現

## 1. はじめに

近年，40階を越える高層RC造集合住宅が施工されるようになり，これに伴い高強度コンクリートの施工時期は通年に亘るケースが多い。高強度コンクリートは，一般強度のコンクリートに比較して単位セメント量が多く，練混ぜ時間も長くなるため，練上がり温度が高くなる場合が多い。このため，夏期に施工する場合は，荷卸し温度が JASS 5 の規定<sup>1)</sup>である 35 を上回ることも考えられる。しかし，35 を超える温度の高強度コンクリートの性状に関するデータは極めて少なく，昨今の気候温暖化を考慮すると，高温時の高強度コンクリートの諸性状を把握しておくことは重要と考えられる。

本論文は，こうした背景のもと，暑中環境での高強度コンクリートの施工を行う際の基礎資料を得ることを目的として，設計基準強度 48 ～ 80N/mm<sup>2</sup> の高強度コンクリートについて，練上がり温度を 35 ～ 40 および 20 として行った実験結果を取りまとめたものである。

## 2. 実験概要

## 2.1 使用材料および調合

使用材料は表 - 1 に示す通りで，セメントは

中庸熱ポルトランドセメントとした。また，混和剤は練上がり 20 の場合は標準形を使用し，35 以上の場合は遅延形または標準形でスランプ保持成分を増やしたタイプのものを使用した。骨材は粗骨材，細骨材ともレディーミクストコ

表 - 1 使用材料

| 材料   | 種類       | 内容                                                        |
|------|----------|-----------------------------------------------------------|
| セメント | 中庸熱      | M1 密度:3.21g/cm <sup>3</sup> , 比表面積:3160cm <sup>2</sup> /g |
|      |          | M2 密度:3.21g/cm <sup>3</sup> , 比表面積:3620cm <sup>2</sup> /g |
|      |          | M3 密度:3.21g/cm <sup>3</sup> , 比表面積:3260cm <sup>2</sup> /g |
| 粗骨材  | 住田産碎石    | G1 密度:2.70g/cm <sup>3</sup> , 吸水率:0.63%, 実積率:61.2%        |
|      | 両神産碎石    | G2 密度:2.71g/cm <sup>3</sup> , 吸水率:0.57%, 実積率:60.8%        |
|      | 義朗産碎石    | G3 密度:2.70g/cm <sup>3</sup> , 吸水率:0.67%, 実積率:60.1%        |
|      | 鳥形山産碎石   | G4 密度:2.71g/cm <sup>3</sup> , 吸水率:0.56%, 実積率:60.6%        |
|      | 伊佐産碎石    | G5 密度:2.68g/cm <sup>3</sup> , 吸水率:0.44%, 実積率:61.0%        |
|      | 八王子産碎石   | G6 密度:2.67g/cm <sup>3</sup> , 吸水率:0.52%, 実積率:60.3%        |
| 細骨材  | 万田野産山砂   | S1 密度:2.59g/cm <sup>3</sup> , 吸水率:2.10%, 粗粒率:2.63         |
|      | 市原産山砂    | S2 密度:2.58g/cm <sup>3</sup> , 吸水率:2.51%, 粗粒率:2.32         |
|      | 富津産山砂    | S3 密度:2.54g/cm <sup>3</sup> , 吸水率:2.01%, 粗粒率:2.24         |
|      | 君津産山砂    | S4 密度:2.58g/cm <sup>3</sup> , 吸水率:2.29%, 粗粒率:2.46         |
|      | 君津産山砂    | S5 密度:2.56g/cm <sup>3</sup> , 吸水率:1.50%, 粗粒率:2.65         |
|      | 鳥形山産砕砂   | S6 密度:2.62g/cm <sup>3</sup> , 吸水率:2.18%, 粗粒率:3.09         |
|      | 鳥形山産砕砂   | S7 密度:2.66g/cm <sup>3</sup> , 吸水率:0.84%, 粗粒率:3.41         |
|      | 田沼産砕砂    | S8 密度:2.60g/cm <sup>3</sup> , 吸水率:2.00%, 粗粒率:2.96         |
| 混和剤  | 高性能AE減水剤 | AD1 標準形 ポリカルボン酸系                                          |
|      |          | AD1' 標準形 AD1の保持成分増加タイプ                                    |
|      |          | AD2 標準形 ポリカルボン酸系                                          |
|      |          | AD2' 標準形 AD2の保持成分増加タイプ                                    |
|      |          | AD3 遅延形 AD1の夏期対応タイプ                                       |
|      |          | AD4 標準形 ポリカルボン酸系                                          |
|      |          | AD5 遅延形 AD4の夏期対応タイプ                                       |
| 添加材  | 繊維       | PP ポリプロピレン短繊維                                             |

\*1 清水建設（株）技術研究所 生産技術開発センター 工修（正会員）

\*2 清水建設（株）技術研究所 生産技術開発センター 博士（工学）（正会員）

\*3 清水建設（株）技術研究所 生産技術開発センター 博士（工学）（正会員）

表 - 2 コンクリートの調合

| No. | Fc<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | セメント<br>C | 細骨材<br>Sa, Sb | 粗骨材<br>G | 混和剤 |      | W/C<br>(%) | 目標フロー<br>(cm) | 目標空気量<br>(%) | s/a<br>(%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |     | PP添加量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) |
|-----|----------------------------|-----------|---------------|----------|-----|------|------------|---------------|--------------|------------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-------------------------------|
|     |                            |           |               |          | 20℃ | 35℃～ |            |               |              |            | W                        | C   | Sa  | Sb  | G   |                               |
| 1   | 80                         | M1        | S1            | G2       | AD2 | AD2' | 26.3       | 65            | 2.0          | 49.5       | 165                      | 627 | 798 | —   | 842 | 1.0                           |
| 2   | 60                         | M1        | S1            | G1       | AD2 | AD2' | 32.7       | 60            | 3.0          | 50.5       | 165                      | 505 | 847 | —   | 867 | —                             |
| 3   | 48                         | M1        | S1            | G1       | AD2 | AD2' | 38.4       | 50            | 3.0          | 51.0       | 165                      | 430 | 883 | —   | 891 | —                             |
| 4   | 60                         | M1        | S2, S6        | G3       | AD1 | AD1' | 34.0       | 60            | 3.0          | 48.8       | 170                      | 500 | 409 | 409 | 891 | —                             |
| 5   | 48                         | M1        | S2, S6        | G3       | AD1 | AD1' | 40.6       | 50            | 3.0          | 48.9       | 170                      | 419 | 426 | 426 | 923 | —                             |
| 6   | 60                         | M3        | S3, S7        | G4       | AD2 | AD2' | 31.9       | 60            | 3.0          | 48.8       | 165                      | 517 | 489 | 335 | 891 | —                             |
| 7   | 48                         | M3        | S3, S7        | G4       | AD2 | AD2' | 38.3       | 50            | 3.0          | 49.5       | 165                      | 431 | 517 | 354 | 915 | —                             |
| 8   | 60                         | M2        | S4, S8        | G5       | AD1 | AD3  | 34.0       | 60            | 3.0          | 51.1       | 170                      | 500 | 593 | 257 | 847 | —                             |
| 9   | 48                         | M2        | S4, S8        | G5       | AD1 | AD3  | 41.0       | 50            | 3.0          | 50.7       | 170                      | 415 | 614 | 265 | 888 | —                             |
| 10  | 80                         | M2        | S5            | G6       | AD4 | AD5  | 26.0       | 65            | 2.0          | 44.7       | 171                      | 658 | 705 | —   | 889 | 1.0                           |
| 11  | 60                         | M2        | S5            | G4       | AD4 | AD5  | 32.7       | 60            | 3.0          | 50.6       | 165                      | 504 | 853 | —   | 864 | —                             |
| 12  | 48                         | M2        | S5            | G4       | AD4 | AD5  | 38.9       | 50            | 3.0          | 52.5       | 165                      | 424 | 918 | —   | 864 | —                             |

ンクリート工場で通常使用しているものである。

コンクリートの調合は表 - 2 に示す通りで、実  
施工で用いている5工場のレディーミクストコン  
クリートの設計基準強度 48, 60 および 80N/mm<sup>2</sup>  
(以下 Fc48, Fc60, Fc80 と略記) の調合とした<sup>2)</sup>。  
スランプフローおよび空気量の目標値は表 - 2 に  
示す通りで、スランプフローの許容差は Fc80 で  
65 ± 7.5cm, 同様に Fc60 で 60 ± 10cm, Fc48 で  
50 ± 7.5cm とした。空気量の許容差は、目標値 +  
1.0% とした。

## 2.2 練混ぜ、実験項目

コンクリートは、20 および 35 ~ 40 の室内  
で材料温度を調整して、練上がり温度が 20, 35,  
38 および 40 となるように練り混ぜた。練り混  
ぜたコンクリートは表 - 3 に示す項目について実  
験を行った。

## 2.3 測定

### (1) 経時変化

練上がり 5, 30,  
60, 90, 120 分で、ス  
ランプフロー、  
50cm フロー時間お  
よびコンクリート  
温度を、5 および  
120 分で空気量の測  
定を行った。コン  
クリートは、練り  
舟に静置して測定

直前に練り返して測定を行った。

### (2) 凝結時間

凝結時間は、コンクリートの練上がり温度とほ  
ぼ同等の環境温度に試料を置いて測定した。

### (3) 圧縮強度

標準養生強度は、採取直後に 20 環境に移行し  
た供試体で、材齢 7, 28, 56, 91 日に試験を行っ  
た。また、No.2, 4, 6, 8, 10 ~ 12 の調合で、高  
温での供試体採取後の取扱いが強度に及ぼす影響  
を検討するため、採取後 1 日程度 35 で養生した  
供試体の材齢 28 日標準養生強度を測定した。構  
造体コンクリート強度の傾向を把握するために  
JASS 5T-705<sup>3)</sup> に準じて簡易断熱養生を行った供  
試体は、材齢 7, 28, 91 日で試験を行った。同様  
に温度追従養生を行った供試体は、夏期に製作し

表 - 3 実験項目の概要

| No. | Fc<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 20℃  |    |      |      | 35℃  |    |      |      | 38℃  |    |      |      |      | 40℃  |    |      |      |
|-----|----------------------------|------|----|------|------|------|----|------|------|------|----|------|------|------|------|----|------|------|
|     |                            | 経時変化 | 凝結 | 標準養生 | 簡易断熱 | 経時変化 | 凝結 | 標準養生 | 簡易断熱 | 経時変化 | 凝結 | 標準養生 | 簡易断熱 | 温度追従 | 経時変化 | 凝結 | 標準養生 | 簡易断熱 |
| 1   | 80                         | ○    | ○  | ○    | —    | —    | —  | —    | —    | ○    | ○  | ○    | —    | ○    | —    | —  | —    | —    |
| 2   | 60                         | ○    | ○  | ○    | —    | ○    | —  | ○    | —    | ○×2  | ○  | ○    | —    | —    | ○    | —  | ○    | —    |
| 3   | 48                         | ○    | ○  | ○    | —    | —    | —  | —    | —    | ○    | ○  | —    | —    | —    | —    | —  | —    | —    |
| 4   | 60                         | ○    | ○  | ○    | —    | —    | —  | —    | —    | ○    | ○  | ○    | —    | —    | —    | —  | —    | —    |
| 5   | 48                         | ○    | ○  | ○    | —    | —    | —  | —    | —    | ○    | ○  | —    | —    | —    | —    | —  | —    | —    |
| 6   | 60                         | ○    | ○  | ○    | —    | ○    | —  | —    | —    | ○    | ○  | ○    | —    | —    | ○    | —  | —    | —    |
| 7   | 48                         | ○    | ○  | ○    | —    | —    | —  | —    | —    | ○    | ○  | —    | —    | —    | —    | —  | —    | —    |
| 8   | 60                         | ○    | ○  | ○    | —    | —    | —  | —    | —    | ○    | ○  | ○    | —    | —    | —    | —  | —    | —    |
| 9   | 48                         | ○    | ○  | ○    | —    | —    | —  | —    | —    | ○    | ○  | —    | —    | —    | —    | —  | —    | —    |
| 10  | 80                         | ○    | ○  | ○    | ○    | —    | —  | ○    | ○    | ○    | ○  | ○    | ○    | ○    | —    | —  | ○    | ○    |
| 11  | 60                         | ○    | ○  | ○    | —    | ○    | —  | ○    | —    | ○×2  | ○  | ○    | —    | —    | ○    | —  | ○    | —    |
| 12  | 48                         | ○    | ○  | ○    | —    | —    | —  | ○    | —    | ○    | ○  | ○    | —    | —    | —    | —  | ○    | —    |

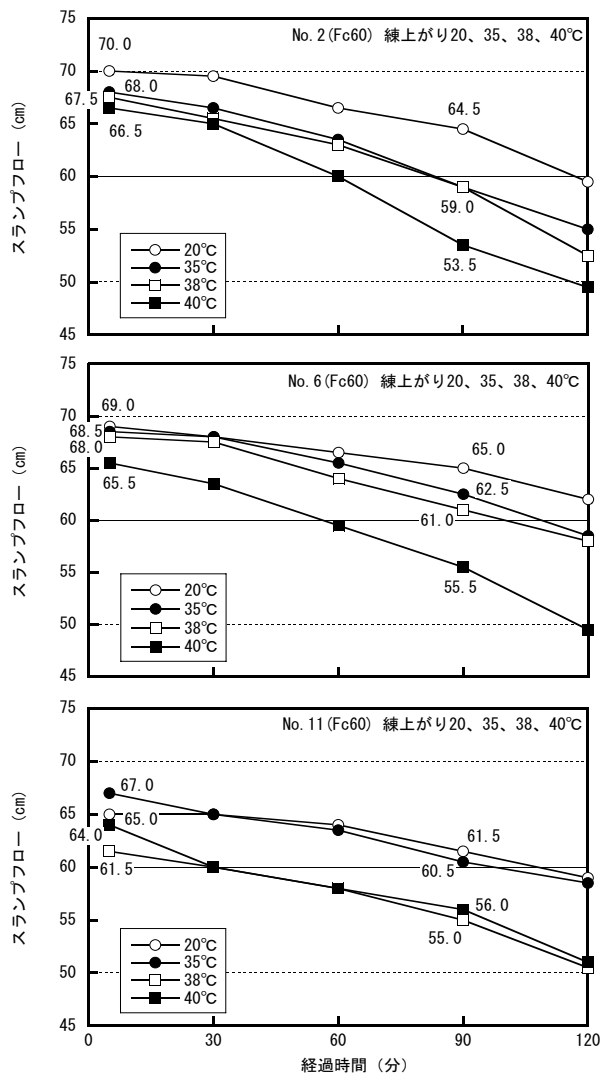


図 - 1 スランプフローの経時変化 (Fc60)

た1×1×1mの模擬試験体で得られた試験体中心部の温度履歴<sup>2)</sup>を基に、打込み温度38℃を想定してプログラムした温度履歴を与え、7、28、56、91日で試験を行った。材齢7日以降の供試体の養生は、簡易断熱では屋外封かん、温度追従では30封かん養生とした。簡易断熱養生供試体の作製は

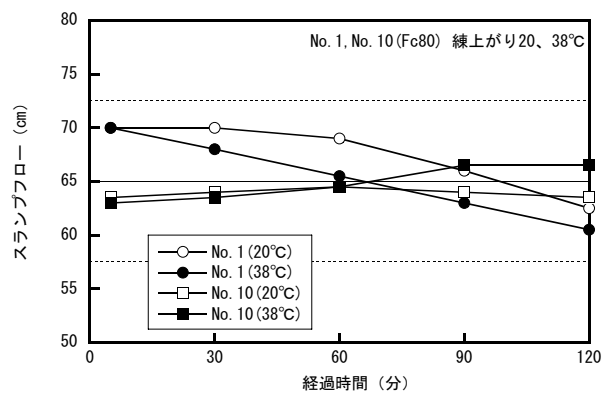


図 - 2 スランプフローの経時変化 (Fc80)

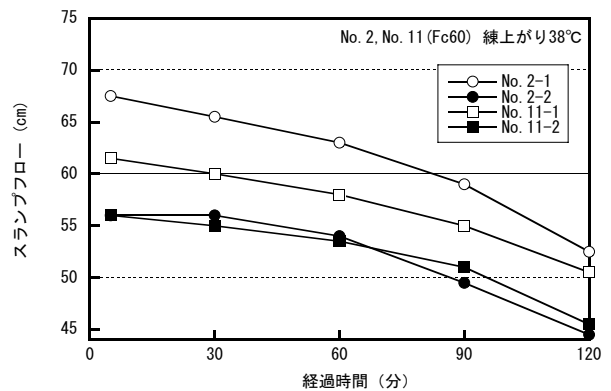


図 - 3 スランプフローの違いによる経時変化

7月に行った。なお、すべての供試体は採取直後に上面をラップフィルムで封かんした。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 フレッシュ性状

練上がり5分でのスランプフロー、空気量はいずれも目標の範囲内であった。また、練上がり温度は設定値±1℃以内であった。

#### (1) スランプフローの経時変化

図 - 1 はNo.2、6、11のFc60のコンクリートについて、また、図 - 2 はFc80のコンクリートに

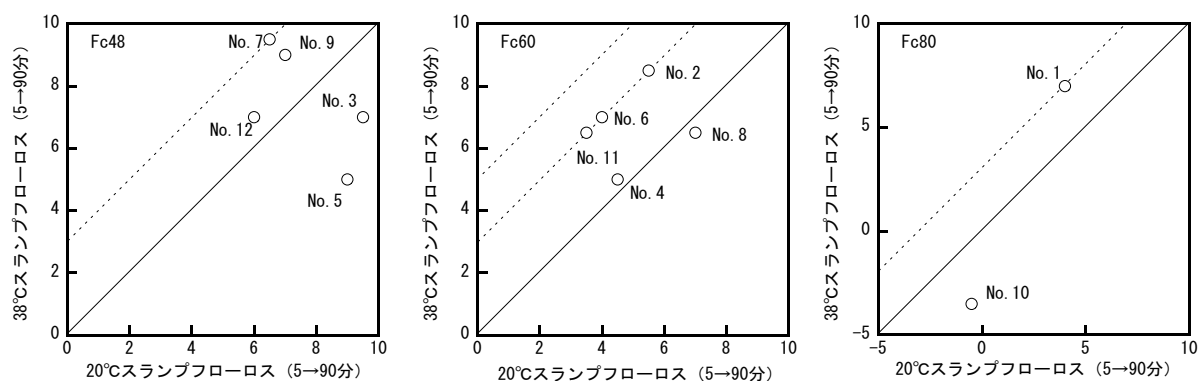


図 - 4 スランプフローロスの比較

ついて、各練上がり温度のスランプフローの経時変化を示したものである。Fc60のコンクリートでは、練上がり温度を40としたコンクリートの90分経過でのスランプフローの低下が大きく、120分では許容下限値を下回るものもあったが、極端な傾向の違いは見られなかった。Fc80のコンクリートでは、No.1, No.10の調査とも20

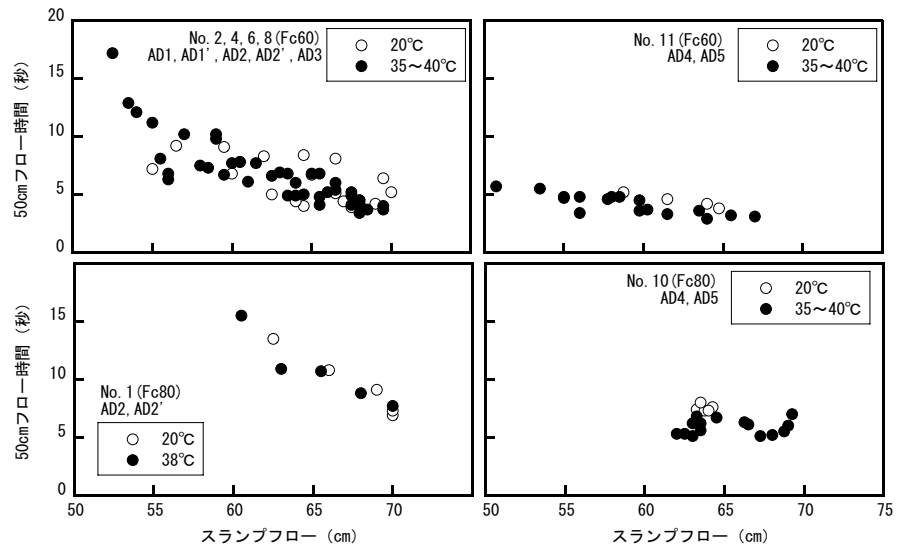


図 - 5 スランプフローと50cmフロー時間の関係

と38で同等かそれに近い傾向となり、遅延形の混和剤を使用したNo.10の38の場合に、120分までスランプフローは若干大きくなる傾向にあった。図-3は、練上がりのスランプフローを混和剤添加量を変えて、目標値より小さくした場合の経時変化を示したものである。この図に示す通り、スランプフローの低下傾向は練上がりのスランプフローが目標値より大きい場合と類似であり、90分経過でほぼ許容下限値となった。図-4は、90分経過までのスランプフローロスと38の場合で比較したものである。この図に示す通り、いずれの設計基準強度のコンクリートでも20のコンクリートに比較して38の場合のスランプフローロスは2~3cm大きい程度で収まっており、練上がり時のスランプフローを調整することにより、38程度のコンクリート温度で

も十分な施工性を確保できるものと考えられる。

## (2) 50cmフロー時間

図-5は、Fc60およびFc80のコンクリートのスランプフローと50cmフロー時間の関係を示したものである。この図に示すように使用混和剤により50cmフロー時間の傾向は異なるものの、高温時におけるスランプフローと50cmフロー時間の対応は、20の場合と同様な傾向にあり、コンクリート温度の影響は明確ではなかった。

## 3.2 凝結時間

図-6は、20と38における凝結時間の比較を示したものである。Fc80のコンクリートでは、38の場合に20に比較して凝結時間が長くなる傾向にあった。これは、使用した混和剤が遅延形あるいはそれに近い性能のものであること、混和剤使用量が20の場合に比較して10~20%増

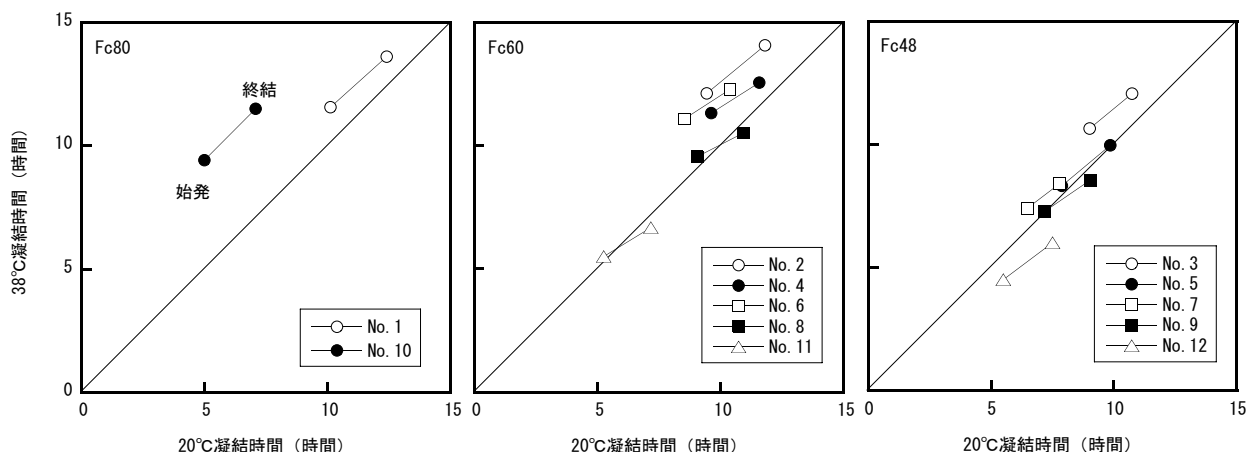


図 - 6 凝結時間の比較

えたことによるものと考えられる。Fc60 では20 に対して38 の凝結時間は同等か若干長くなり、Fc48ではほぼ同等の時間となった。また、いずれのコンクリートでも始発から終結までの時間は20 と38 で同等か、38 が若干短くなる程度であり、高温による急激な硬化等の不具合は見られなかった。以上のことから、高温時でも凝結時間は施工に支障をきたさない範囲に制御できるものと考えられる。

### 3.3 圧縮強度

#### (1) 温度履歴養生強度

図 - 7 は、温度追従養生および簡易断熱養生を行った No.1 と No.10 の供試体の温度履歴を示したものである。図に示すように、簡易断熱養生では練上がり温度が高いほうが最高温度も高くなる傾向にあり、練上がり40 の場合に最高温度は80.4 となった。また、プログラムによる温度追従養生を行った供試体は、No.1 で90.0 、No.10 で90.2 の最高温度となった。

図 - 8 は、練上がり温度38 とした No.1 と No.10 のコンクリートの温度追従養生強度と標準養生強度の材齢に伴う強度発現を示したものである。これによると、No.1 のコンクリートでは、材齢7日では温度追従養生強度のほうが標準養生強度より大きい、材齢28日以降は標準養生強度のほうが大きくなった。一方、No.10 のコンクリートでは材齢28日でも温度追従養生強度のほうが標準養生強度より大きく、材齢56、91日で両者はほぼ同等の値となった。高温の温度履歴を受けたコンクリートが、材齢初期では強度発現が大きく、その後は強度が停滞するという傾向は<sup>4)</sup>、中庸熱ポルトランドセメントを使用した本実験でも同様な結果となった。

つぎに、図 - 9 は材齢28日の標準養生強度と材齢91日の温度追従および簡易断熱養生強度との差を供試体の最高温度で整理したものである。普通ポルトランドセメントを使用した場合は、最高温度が60 を超えると温度履歴を受けた材齢91日の供試体強度が28日標準養生強度を下回る<sup>5)</sup>と報告されているが、本実験の結果では、最高温

度が90 程度でも、材齢91日の温度履歴養生強度は28日標準養生強度と同等か、それより大きい値となっている。この傾向は、一般的な夏期、標準期および冬期の模擬試験体実験で得られた結果と相違しない<sup>2)</sup>。したがって、中庸熱ポルトランドセメントを使用した高強度コンクリートでは、一般的な環境でのデータを基に算定した調合のコンクリートを35 を超える高温で施工して

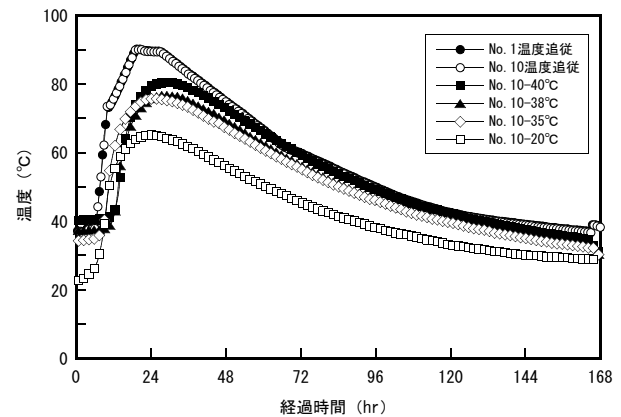


図 - 7 供試体の温度履歴

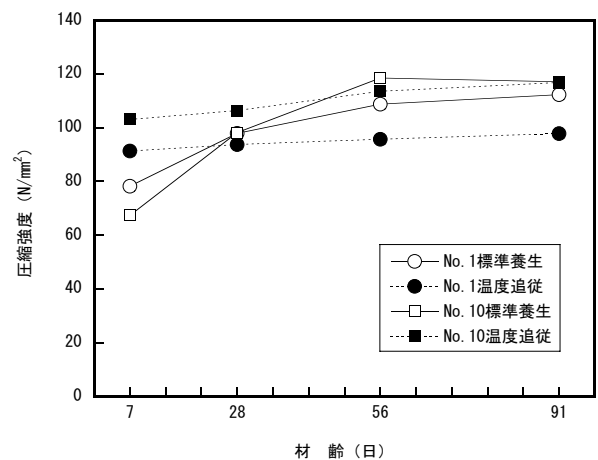


図 - 8 材齢と圧縮強度の関係

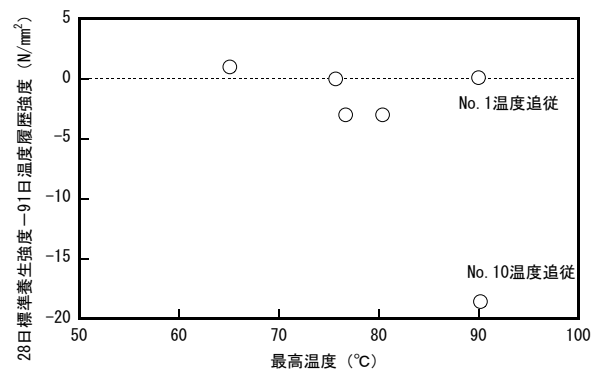


図 - 9 最高温度と供試体強度差の関係

も、構造体コンクリート強度の確保は十分可能なものと判断される。

## (2) 標準養生強度

図 - 10 は、高温で練り混ぜたコンクリートを採取直後に 20℃ の環境に移行してから標準養生を行った供試体と、採取後も 35℃ 環境で 1 日程度放置してから標準養生を行った供試体の材齢 28 日強度を比較したものである。この図に示すように、高温に 1 日程度放置した供試体のほうが 3% 程度強度が小さい傾向にある。これは普通ポルトランドセメントを使用した場合と同様な傾向であり<sup>6)</sup>、コンクリートのポテンシャルの強度とされる標準養生強度を正確に評価するためには、中庸熱ポルトランドセメントを使用した場合も、高温時の供試体の取扱いが重要で、供試体の初期養生が強度発現に及ぼす影響を十分に把握しておく必要がある。

## 4. まとめ

暑中環境で施工する高強度コンクリートの諸性状を把握するため、中庸熱ポルトランドセメント使用のコンクリートで 20℃ および 35℃ ～ 40℃ の練上がり温度で実験を行った。本実験で得られた知見をまとめると以下ようになる。

- (1) 練上がり温度 38℃ の場合の 90 分経過までのスランプフローは 20℃ のコンクリートに比較して 2 ～ 3cm 大きい程度に収まっており、38℃ 程度のコンクリート温度でも十分な施工性を確保できるものと考えられる。
- (2) 35℃ 以上のコンクリートでもスランプフローと 50cm フロー時間の対応は 20℃ の場合と同等であった。
- (3) 高温時でも凝結時間は施工に支障をきたさない範囲であった。
- (4) 35℃ を超える高温のコンクリートでも、一般的な環境でのデータを基に算定した調合で、構造体コンクリート強度の確保は十分可能なものと判断される。
- (5) 標準養生強度を正確に評価するために、高温時の供試体の取扱いが強度に及ぼす影響を把握

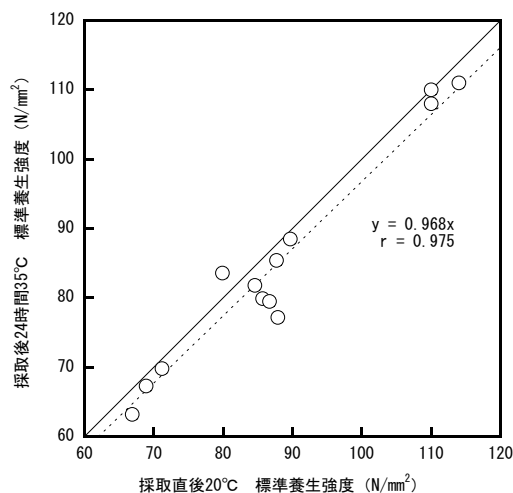


図 - 10 採取直後の養生温度が標準養生強度に及ぼす影響

しておく必要がある。

今後は、実機レベルの検討や高温環境が輸送・運搬および打込みに及ぼす影響についても検討する必要があるものとする。

## 謝辞

実験に際して、多大な御協力を頂いた花王株式会社および竹本油脂株式会社の関係各位に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事，2003.2
- 2) 森田 武ほか：超高強度コンクリートの実用化と品質管理 その2，日本建築学会学術講演梗概集 A-1，pp.527-528，2004.8
- 3) 日本建築学会：高強度コンクリート施工指針（案）・同解説，2005.1
- 4) 西田 朗ほか：高強度コンクリートの高層建築物への適用に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.15，No.1，pp.375-380，1993.6
- 5) 梶田佳寛，佐藤幸恵，友澤史紀：高強度コンクリートの構造体中での強度発現性と調合強度，日本建築学会構造系論文集，No.537，pp.13-20，2000.11
- 6) 西田 朗：構造体管理用標準養生供試体の取扱い，structure，No.78，pp.48-49，2001.4