

初期の養生条件がコンクリートの強度発現に及ぼす影響

九州工業大学 学生会員 市川 翔太郎
九州工業大学大学院 正会員 日比野 誠, 合田 寛基

1. はじめに

Price (1951, 米) による既往の研究¹⁾では, 打設後 2 時間の養生温度がコンクリートの圧縮強度に影響を及ぼすと述べられており, 初期の温度が高いと初期強度は大きくなるが, 長期強度は小さくなることが一般的な知見となっている. しかし, この研究成果は約 70 年前に報告されたもので, セメントの品質や使用する材料などの点で現代のコンクリートとは異なるため改めて検討を行った. 同時に, 土木でよく使われる高炉セメント B 種についての研究は過去に行われていないため検討を行った.

2. 実験概要

2.1 材料および配合

本実験における使用材料の物性値を表-1 に, コンクリートの配合を表-2 に示す. 結合材には普通ポルトランドセメント (以下, N) および高炉スラグ微粉末を置換率 45% で混合した高炉セメント B 種相当の混合セメント (以下, BB) の 2 種類を用いた. 練上り温度を $20 \pm 5^\circ\text{C}$, スランプを $10 \pm 2.5\text{cm}$, 空気量を $6 \pm 1.5\%$ とし, スランプおよび空気量は混和剤により調整した.

2.2 供試体について

$\phi 100 \times 200\text{mm}$ の軽量サミットモールドに打込み後, アクリル板とシリコン系シーリング材を用いて封緘状態にし, 注水から 30 分後に 40°C の恒温槽に入れ 2 時間静置した. その後, 封緘状態のまま 20°C の室内で保管し, 材齢 1, 3, 7, 14, 28 日で圧縮強度試験を行った. 水中養生を行った供試体は材齢 1 日で型枠から取り外し, 20°C の水中で所定の材齢まで保管した. 凝結時間試験については, 供試体を 40°C の恒温槽で 2 時間養生した後 20°C の室内に移し, JIS A 1147 に準拠して行った.

3. 実験結果と考察

3.1 コンクリートの温度履歴

40°C で 2 時間封緘養生を行ったときのコンクリートの内部温度の履歴を図-1 に示す. 40°C で 2 時間封緘養生を行うと, N を用いたコンクリートの内部温度は 17°C 上昇し, 注水から 6 時間後に室温の 20°C となっている. BB を用いたコンクリートの内部温度は 16°C 上昇し, 注水から 6 時間後に室温の 20°C となっている. N および BB を用いたコンクリートの内部温度の履歴は同様であった.

表-1 使用材料の物性値

材料	概要
結合材	普通ポルトランドセメント 密度: 3.16g/cm^3 , 比表面積: 3210g/cm^2
	高炉スラグ微粉末 (せっこう添加率 2%) 密度: 2.91g/cm^3 , 比表面積: 4150g/cm^2
細骨材	海砂 表乾密度: 2.59g/cm^3 , 吸水率: 1.32%, 粗粒率: 2.82
粗骨材	碎石 表乾密度: 2.71g/cm^3 , 吸水率: 0.45%, 実積率: 61.2%
混和剤	AE 減水剤・標準形 (1 種) リグニンスルホン酸系
	AE 剤 (1 種) アルキルエーテル系

表-2 コンクリートの配合

W/B (%)	s/a (%)	単位結合材量 (kg/m^3)	スラグ置換率 (%)
55	50	300	45

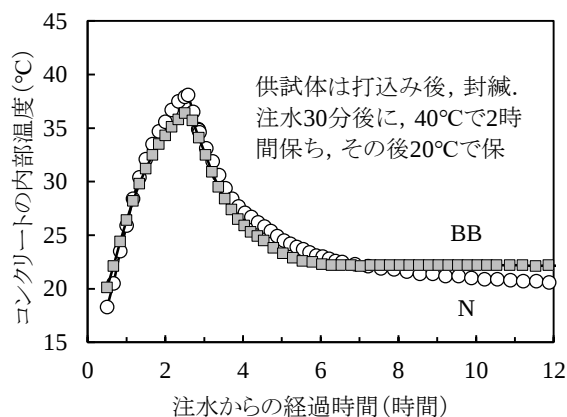


図-1 コンクリートの内部温度

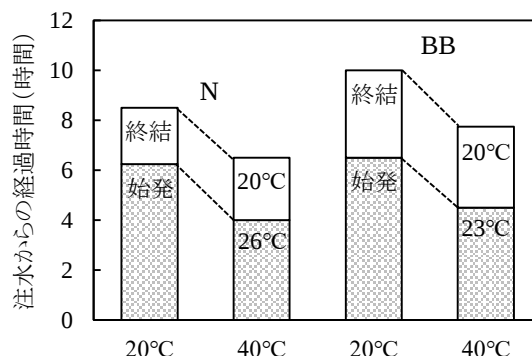


図-2 コンクリートの凝結時間

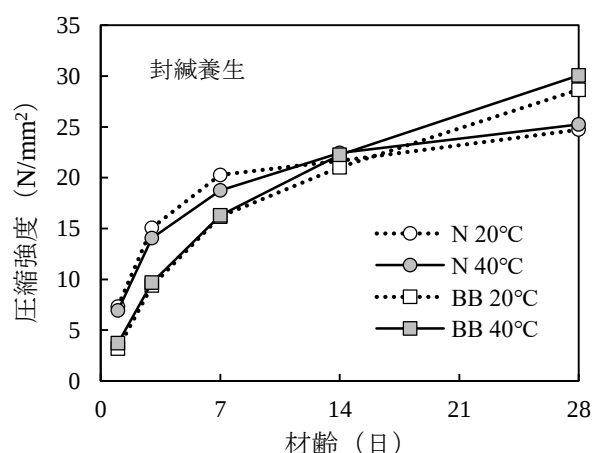


図-3 初期温度と圧縮強度

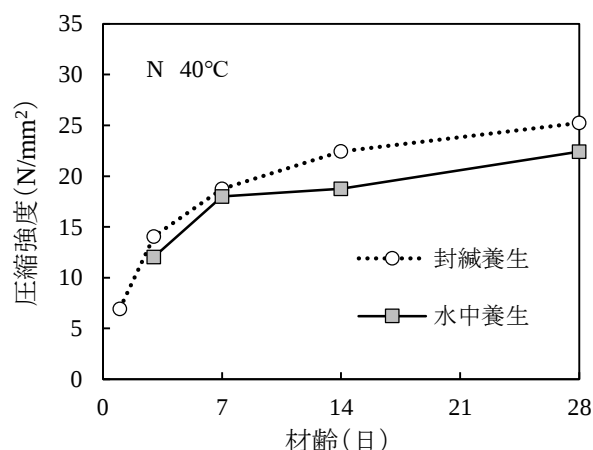


図-4 水中養生と圧縮強度

3.2 凝結時間試験

N および BB を用いたコンクリートの凝結時間試験の結果を図-2 に示す. N および BB を用いたコンクリートは 40°C で 2 時間封緘養生を行った場合, それぞれ始発時間は 20°C で封緘養生したものと比較して 2 時間程度早くなっているが, 凝結の始発から終結までの時間間隔はほぼ同じであった. したがって, 40°C で 2 時間封緘養生を行うと, 凝結の始発までの期間でセメントの水和反応が促進されたと考えられる.

3.3 圧縮強度試験

コンクリートの圧縮強度試験の結果を図-3, 4 に示す. 図-3 では, 結合材に N を用いた場合, 40°C で 2 時間封緘養生したコンクリートの強度は, 20°C で封緘養生したコンクリートの強度と顕著な差は見られなかった. 本実験では, コンクリートの練上り温度が 13~23°C であったが, Price の報告¹⁾では練上り温度が 40°C になっている. したがって, 40°C で 2 時間封緘養生したコンクリートの初期強度が増加しなかった原因は, 練上り温度の相違であると考えられる. 今後は練上り温度の影響についても検討する必要がある.

また, BB を用いた場合についても, 40°C の恒温槽で 2 時間封緘養生したコンクリートの強度は, 20°C で封緘養生したコンクリートの強度と顕著な差は見られなかった. 遠藤ら (1987) の報告²⁾によれば, 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは普通コンクリートに比べ温度依存性が高く, 練上り温度を 20°C とし, 強度試験を行う材齢まで 30°C で水中養生を行った場合, 標準養生と比較して材齢 3 日の強度は約 1.5 倍, 材齢 7 日では約 1.4 倍になることが示されている²⁾. しかし, 本実験のように, 練上がり後 2 時間という短い時間では, 高炉スラグ微粉末の水和反応を促進するには至らなかったと考えられる.

打込み後, 40°C で 2 時間養生するとセメントの水和反応が急速に進み, 水和生成物が不均一で多孔質になるため, 初期強度は大きくなるが, 長期の強度増進は抑制さ

れると説明されている³⁾. 今回の実験では, このような粗雑な硬化体組織が水分の供給によって緻密化する傾向を調べる目的で水中養生を行った. しかし, 図-4 に示すとおり今回の実験では, 封緘養生を行ったコンクリートの強度が水中養生を行ったコンクリートの強度を上回る結果となっているが, 検定を行ったところ有意差はなかった. W/C が 55% と比較的大きい配合であり, 封緘養生を行った供試体においても練混ぜ水だけで十分に水和反応が進行したと推察される. 今後は水中養生による長期材齢の強度発現を検討する必要がある.

4. まとめ

打込み後, 40°C で 2 時間養生を行ったコンクリートの凝結特性および圧縮強度を調べた結果, 以下のことが明らかとなった.

- (1) N および BB を用いたコンクリートでは 40°C で 2 時間養生を行うと, 始発時間は早くなったが, 短期強度の増加は確認できなかった.
- (2) 水中養生と封緘養生で強度発現の傾向にほとんど差がなく, W/C が 55% であったため, 封緘状態であっても練混ぜ水だけで水和反応が十分に進行したと考えられる.

5. 参考文献

- 1) WALTER H. PRICE : Factors Influencing Concrete Strength, Journal of the American Concrete, No.47, pp.417-432, 1951.2
- 2) 遠藤裕悦ほか: 高炉スラグ微粉末がコンクリートの配合と強度に及ぼす影響について, 高炉スラグ微粉末のコンクリートへの適用に関するシンポジウム論文集, 土木学会, 1987.3
- 3) 例えば, 三浦尚: 土木材料学 (改訂版), p.75, コロナ社, 2013