

前養生を省略した蒸気養生下における高流動コンクリートの表面気泡の変化

大分工業高等専門学校 正会員 ○ 一宮 一夫
九州工業大学工学部 フェロー 出光 隆
同 上 正会員 山崎 竹博
九州共立大学工学部 フェロー 渡辺 明

1. はじめに

コンクリート製品工場における騒音や振動の問題を解決するため、高流動コンクリートの使用が注目され、既に実用化されている。

工場製品では、強度発現の促進をはかり、型枠の回転や製品の出荷を早めるため、常圧蒸気による促進養生（蒸気養生）を行う。蒸気養生においては、蒸気をかけるまでの前置き時間を2～3時間確保するように規定されているが¹⁾、高流動コンクリートは一般に材料分離が生じにくく、この工程を短縮することができれば製品の製造効率の向上が期待できる。その一方で、表面気泡が膨張して表面美観が低下するおそれがある。

本研究は、前養生を行わずコンクリート硬化前に蒸気養生を開始した場合における、蒸気養生の熱による表面気泡の変化について検討したものである。

2. 実験方法

2.1 使用材料および配合

セメントには普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm³）、混和材には石灰石微粉末（密度 2.91g/cm³、比表面積 5300cm²/g）、細骨材には海砂（密度 2.56g/cm³、吸水率 3.72%、FM2.52）、粗骨材には石灰岩碎石（最大寸法 20mm、密度 2.70g/cm³、吸水率 0.32%、FM6.47）、混和剤にはポリカルボン酸系高性能 A E 減水剤を使用し、空気を連行しない場合は消泡剤を添加した。

コンクリートの配合を表-1 に示す。

2.2 練混ぜ

コンクリートの練混ぜには容量 50ℓ の強制練りミキサーを用い、1 バッチ 30ℓ とした。練混ぜ方法は、細骨材、粗骨材、セメント、石灰石微粉末を一度に入れて 60 秒間の空練りをし、続いて高性能 A E 減水剤を溶解した練混ぜ水を入れて 150 秒間の練混ぜを行った。

2.3 供試体の製作

表面気泡測定用供試体は、幅 15 × 厚さ 7 × 高さ 30cm の

表-1 コンクリートの配合

最大寸法 (mm)	スラグ 加- (cm)	空気量 (%)	水粉 体比 (%)	細骨 材率 (%)	単位量(kg/m ³)					
					W	C	LS	S	G	SP
20	67 ± 3	1.5 ± 0.5	32.0	51.1	178	350	206	806	813	8.8

平板供試体し、市販の油性はく離剤を塗布した鋼製型枠に縦打ちで製作した。コンクリートの打込みは、型枠底板からの高さ 50cm の位置から 40 秒間で自己充填させた。

2.4 養生

蒸気養生には、プログラム蒸気養生槽を使用した。蒸気養生のパターンは、図-1 のように標準的なものをパターン 1、パターン 1 で前養生をしない場合

をパターン 2、同じく前養生なしで最高蒸気温度を 85 にした場合をパターン 3 とした。比較のために、蒸気養生を行わず型枠のまま室内に 1 日静置した供試体（以下、基準供試体という）も製作した。

2.5 表面気泡の数値化

平板供試体の 15 × 30cm の面に、表面気泡が明瞭となるように油性の黒インクを塗布し、乾燥後に表面気泡部に石灰石微粉末を充填した。評価対象面をデジタルカメラで撮影し、円換算直径 1mm 以上の表面気泡を画像解析で数値化した。

表面気泡の発生量は、全表面気泡数と気泡直径ごと（1 ～ 3mm、3 ～ 5mm、5mm 以上）の表面気泡数で評価した。

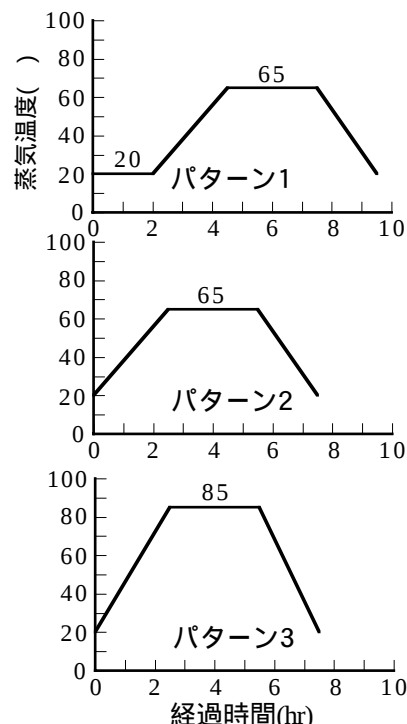


図-1 蒸気養生のパターン

キーワード 高流動コンクリート・表面気泡・コンクリート製品・蒸気養生・前養生

連絡先 〒 870-0152 大分市牧 1666 番地 TEL097-552-7664 FAX097-552-7664

〒 804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1 TEL093-884-3114 FAX093-884-3100

3. 実験結果および考察

蒸気養生にともなう表面気泡の変化を表-2に示す。まず、標準的な蒸気養生方法のパターン1(実験番号1)では、蒸気養生により1mm以上の表面気泡が17個増加した。表中には示していないが、同一条件で製作した基準供試体の6つの表面においても表面気泡数は103～168個の範囲で分散しており、17個の増加は無視できる程度であることから蒸気養生の影響はないと言える。

次に前養生をしない場合(実験番号2)は、表面気泡数の増加は13個でパターン1と同じく表面気泡数の増加は僅少であった。最高蒸気温度を85に上げた場合(実験番号3)も同様の結果である。

以上のように、コンクリートの強度発現や耐久性と密接に関係する、前置き時間や最高蒸気温度での表面気泡の変化は見受けられない。

温度上昇にともなうコンクリート中の気泡の容積変化は、ゲイ・リュサックの法則(「圧力一定の状態では、気体の容積は1変化すれば0における容積の1/273だけ変化する」)に従うと仮定すると、蒸気養生後の気泡の容積は次式で表すことができる²⁾。

$$v_2 = \frac{T_2}{T_1} v_1 \quad (1)$$

ここに、 v_2 :蒸気養生後の気泡の容積、 v_1 :打込み直後の気泡の容積、 T_2 :蒸気養生によるコンクリートの最高温度(K)、 T_1 :打込み直後のコンクリートの温度(K)

いま、コンクリート打込み直後の温度を20、最高温度を85とすると、 $T_1=293\text{K}$ 、 $T_2=358\text{K}$ で蒸気養生による気泡の容積の変化は次式のようにになる。

$$v_2 = 1.2218v_1 \quad (2)$$

式(2)の関係を確認するために、空気量を標準より多くした空気量7.0%のコンクリートを製造し、パターン3で蒸気養生をした(実験番号4)。なお、コンクリートの打ち込みの際には、蒸気養生による膨張を判定しやすいように型枠の天端をコテで平坦に仕上げた。実験の結果、型枠高さ30cmに対して蒸気養生後に2～3mmの膨張が生じた。実験番号3の空気量1.5%の同様の実験では、コンクリートの膨張は見受けられないことから、膨張はコンクリート中の気泡の影響と考えられる。

式(2)によると、コンクリート容積 3150cm^3 中の空気量7.0%に相当する気泡容積 $v_1=220.5\text{cm}^3$ が、蒸気養生後に

表-2 蒸気養生に伴う表面気泡の変化

実験番号	蒸気養生パターン	前置き時間(hr)	最高温度(°C)	空気量(%)	蒸気養生後の気泡数の変化(個)			
					総数	1～3mm	3～5mm	5mm<
1	1	2	65	1.5	+17	+14	+3	0
2	2	0	65	1.5	+13	+7	+6	+1
3	3	0	85	1.5	+6	+4	+1	0
4	3	0	85	7.0	+36	+36	0	0

$v_2=269.4\text{cm}^3$ に膨張することになる。型枠開口部(15cm×7cm)の面積は 105cm^2 であるので、コンクリートの膨張量を計算する

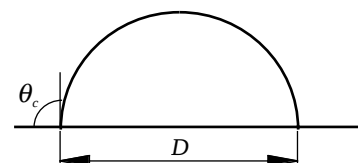


図-2 表面気泡と接触角

と $\Delta l=(269.4-220.5)/105=0.47\text{cm}$ となる。しかし、型枠の拘束、コンクリート温度の不均一な分布、セメントの水和などの膨張を阻害する要因を考慮すると膨張量は更に小さくなる。このように膨張量の実験値と計算値がほぼ同水準であることから、硬化前のコンクリート中の気泡の温度による容積変化は式(1)で説明できると考えられる。

表面気泡に式(2)の関係を適用すると、蒸気養生に伴う表面気泡直径の増加率は同式右辺の係数の3乗根の1.069となる。図-2のように型枠と表面気泡の接触角を $\theta_c=90^\circ$ 、表面気泡の膨張を阻害する要因は作用しないと仮定すると、本実験での最大の表面気泡直径 $D=6\text{mm}$ の場合の直径の増加量は $\Delta D=0.4\text{mm}$ となる。更に直径が大きい $D=20\text{mm}$ では $\Delta D=1.4\text{mm}$ で、直径が大きいくほど蒸気養生の影響が顕著となる。

また、耐凍害性が求められる場合には、空気量を4.0～6.0%に増加させる必要があるが、上記のように表面気泡の膨張は直径が大きなものほど顕著で、微細な連行空气が表面気泡となっても表面美観には影響しないと考えられる。

4. まとめ

- (1) 前養生をせずに蒸気養生をすると表面気泡はわずかに膨張するが、表面美観に与える影響はほとんどない。
- (2) 蒸気養生による表面気泡の拡大は、大きな表面気泡ほど顕著である。従って、空気連行剤を使用したコンクリートで発生する直径1mm以下の細かい表面気泡への影響は極めて少ない。

【参考文献】

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書「施工編」
- 2) 北山直方：図解熱力学の学び方、オーム社