

石灰石骨材を用いたコンクリートの熱膨張係数に関する検討

西松建設株式会社 正会員 ○椎名 貴快 我彦 聡志 真田 昌慶
西松建設株式会社 松永 健 小宮 隆之 林 勲平

1. はじめに

一般的に、温度応力解析に用いるコンクリートの熱膨張係数は、セメント種類に応じて設定する。しかし、使用する骨材の岩種や岩質、使用量などにより影響を受けることが知られている。例えば、石灰石はシリカ含有量が少ないため、コンクリートの熱膨張係数は相対的に小さくなると報告されている¹⁾。そこで、石灰石を骨材の一部もしくは全量に用いた時のコンクリートの熱膨張係数の比較および熱膨張係数が温度応力解析の結果に与える影響について検討した。

2. 使用材料およびコンクリート配合

セメントは普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm³）、骨材は表-1 のとおり細骨材が 2 種類（石灰石砕砂、山砂）、粗骨材が 2 種類（石灰石碎石、砂岩碎石）で、化学混和剤には AE 減水剤標準形（I 種）と AE 剤（I 種）を用いた。コンクリート配合は、W/C=52.3%、W=169kg/m³、s/a=45.0%で、目標性状はスランプ 12cm±2.5、空気量 4.5%±1.5 とした。

表-1 骨材の仕様

区分	記号	骨材種別	表乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	微粒分量 (%)
細骨材	LS	石灰石砕砂	2.63	2.28	3.0
	S	山砂(砂岩系)	2.61	2.18	2.0
粗骨材	LG	石灰石碎石	2.69	0.81	1.7
	G	砂岩碎石	2.68	0.58	0.4

3. 試験ケース

試験ケースは全 12 ケースで、W/C 固定、単位粗骨材絶対容積および s/a を一定として、骨材に占める石灰石骨材の割合(容積)を細骨材 3 水準 (LS: 0, 50, 100vol%)、粗骨材 4 水準 (LG: 0, 30, 70, 100vol%) として組み合わせ (表-2)、20℃環境で混和剤量を調整して所定のフレッシュ性状を確保した。

表-2 石灰石骨材の混合率(容積)

区分	石灰石骨材の混合率
細骨材	LS (0, 50, 100 vol%)
粗骨材	LG (0, 30, 70, 100 vol%)

4. 熱膨張係数の測定

4.1 骨材

骨材岩石（石灰岩、砂岩）から切り出した小片試料（角柱：一辺 5mm×高さ 15~20mm）を対象に、押棒式縦型熱膨張計にて測定温度 10℃~100℃の範囲で、昇温速度 3℃/min により膨張率を測定した。

4.2 セメントペーストおよびコンクリート

埋込み型ひずみ計を中心部に内挿した円柱供試体(φ100mm×H200mm)を採取し、20℃環境で材齢 2 日まで湿潤養生した後、脱型し濡れウエスとポリエチレン袋で覆って封緘状態で材齢 56 日まで同環境下に存置した。その後、恒温恒湿器内にて図-1 に示す温度履歴(20~60℃,温度変化 2.0℃/hr)を与えてひずみを測定し、結果は 2~5 サイクルの温度上昇・降下時のデータで平均した。

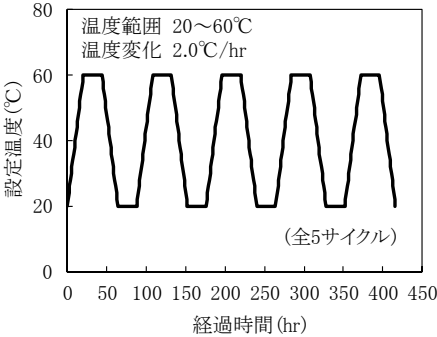


図-1 熱膨張係数試験の温度履歴

5. 試験結果

5.1 圧縮強度

図-2 に 28 日圧縮強度(標準養生)の結果を示す。石灰石骨材(LS, LG)の混合率が高いほど、強度は山砂・砂岩碎石のみを用いた場合(36.4N/mm²)に比べて同等か高い値を示した。これは砕砂の粒径によるペーストとの付着向上や微粒分量の増加、カルシウムカーボアルミネート水和物の生成による遷移帯の緻密化等による効果と推察される。ただし、石灰石砕砂(LS)100%の時、石灰石碎石(LG)が 70~100%では強度は小さくなった。既往文献²⁾でも普通ポルトランドセメントを用いた時、石灰石砕砂・碎石を用いたコンクリートで同様の結果が報告されているが、その原因は明確ではない。

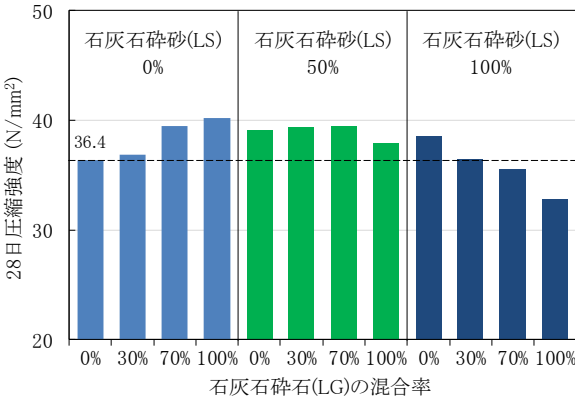


図-2 28 日圧縮強度試験結果

キーワード 骨材、石灰石、熱膨張係数、温度応力解析

連絡先 〒105-0004 東京都港区新橋六丁目 17 番地 21 号 西松建設(株)技術研究所 TEL. 03-3502-0249

5.2 熱膨張係数

表-3に骨材岩石(石灰岩, 砂岩)およびセメントペースト(普通セメント, W/C=52.3%)の熱膨張係数の測定結果を示す。骨材岩石の熱膨張係数(20~60℃平均)は, 石灰岩 $3.9 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, 砂岩 $8.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ で, 石灰岩は砂岩の半分以下であった。なお一般的に岩石の熱膨張特性は, 組成上, 異方性を有しているが, ここでは岩石が均質で等価方向に伸び縮みすると仮定して本値を代表値とした。セメントペーストの熱膨張係数は $15.6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ で, 既往文献³⁾に記された参考値に近い値であった。

図-3にコンクリートの熱膨張係数の結果を示す。石灰石骨材(LS, LG)の混合率の増加とともに熱膨張係数の値は小さくなり, 細・粗骨材ともに石灰石骨材 100%では $4.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ で山砂・砂岩碎石を用いたコンクリートの 1/2 の値であった。

5.3 熱膨張係数の簡易推定

コンクリートの熱膨張係数(α_c)を, 下式のようにコンクリートの構成材料(ペースト, 骨材)の絶対容積(V)に各々の熱膨張係数(α)を乗じて累計した値(x)の一次式から推定を試みた。

$$x = (V_P \cdot \alpha_P + V_S \cdot \alpha_S + V_G \cdot \alpha_G) / 1000, \quad \alpha_c = A \cdot x + B$$

ここで, V: 材料の絶対容積 (L/m^3), α : 熱膨張係数($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), 添字 P: ペースト, S: 細骨材, G: 粗骨材, A, B: 係数とする。なお山砂(砂岩系)の熱膨張係数は砂岩の試験値と同値とした。検討の結果, $A=1.2$, $B=-5.2$ の時, 計算値は試験値と比較的良好な相関性がみられた(図-4)。配合条件や使用材料の熱膨張係数がわかればコンクリートの熱膨張係数を簡易に推定できる可能性がある。

6. 温度応力解析による最小ひび割れ指数

図-5に示す壁厚 1.3m のボックスカルバート側壁(高さ 5m×延長 14.8m)の3次元温度応力解析を行い, コンクリートの熱膨張係数の違いによる最小ひび割れ指数への影響を確認した。熱膨張係数の値は, 使用骨材が石灰石砕砂・碎石の $4.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ と山砂・砂岩碎石の $8.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ の2種類とした。

解析の結果, 最小ひび割れ指数は山砂・砂岩碎石コンクリートで 0.81(ひび割れ発生確率 82%)に対して, 石灰石砕砂・碎石コンクリートは 1.30(ひび割れ発生確率 20%)で, 熱膨張係数の違いにより解析結果に大きな差が生じる結果となった。

7. まとめ

本試験条件の範囲において以下の結果を得た。

- 石灰石骨材の混合率を増加すると, 山砂・砂岩碎石に比べてコンクリートの熱膨張係数は小さくなった。
 - コンクリートの熱膨張係数は, 構成材料(ペースト, 骨材)の絶対容積に各々の熱膨張係数を乗じて累計した値と比較的良好な相関性がみられた。
 - 温度応力解析の結果, 熱膨張係数の違いが解析結果(最小ひび割れ指数)に大きな影響を与えることを確認した。
- なお, 骨材の岩種が同じでも, 岩質の違いなどによって必ずしも同様の熱膨張特性や温度ひび割れ低減効果を得られるわけではないので, その都度注意が必要である。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学会: マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016, pp.179-180, 2) 中山英明ら: 各種セメントと石灰石骨材を使用した高強度コンクリートの収縮ひび割れ抵抗性に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.83-88, 2010, 3) 住友大阪セメント技術資料: コンクリートの熱的性質, SOC-TTR-9902

表-3 骨材とペーストの熱膨張係数

試料名		熱膨張係数($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	
		測定値	参考値
骨材岩石	石灰岩	3.9	平均 5.5 ¹⁾
	砂岩	8.7	平均 9.3 ¹⁾
セメントペースト		15.6	15~18 ³⁾

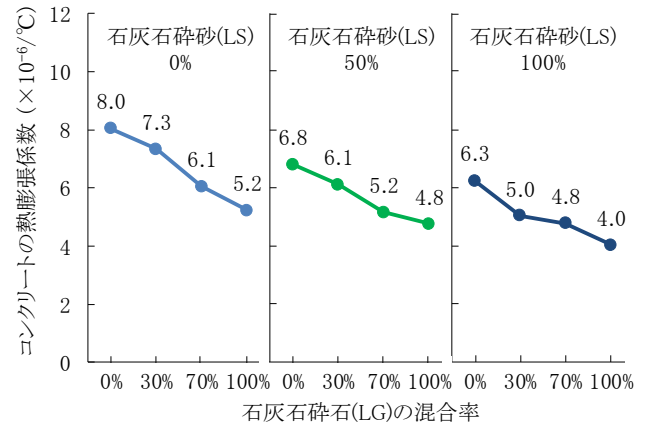


図-3 コンクリートの熱膨張係数

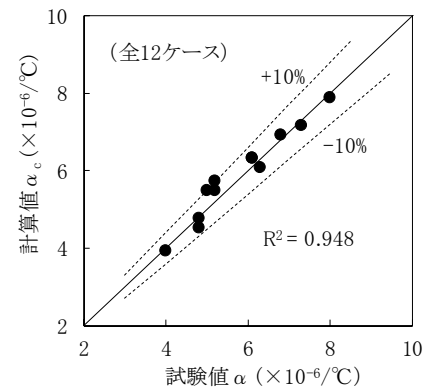
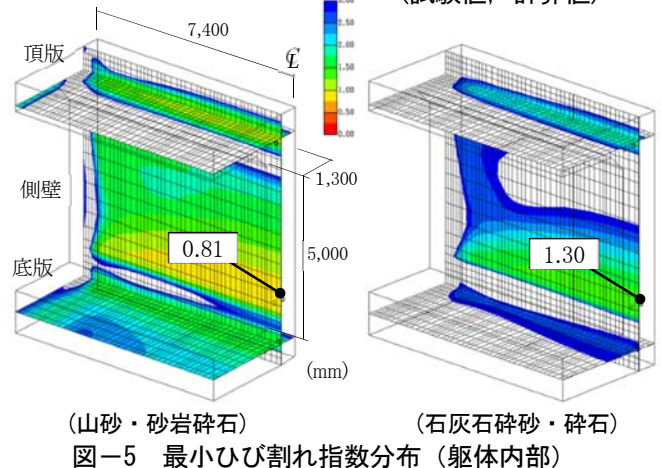


図-4 コンクリートの熱膨張係数(試験値, 計算値)



(山砂・砂岩碎石) (石灰石砕砂・碎石)
図-5 最小ひび割れ指数分布(躯体内部)