

軽量コンクリートの温度応力の評価に関する一考察

J R 東日本 東北工事事務所 正会員 ○古林 秀之
J R 東日本 東北工事事務所 正会員 大庭 光商

1. はじめに

近年、独立気泡低吸水性型の人工軽量骨材が開発され、従来の軽量骨材に比べて強度・耐久性の向上が実現されつつある。一般に軽量コンクリートは打設後の温度上昇量が大きく、温度ひび割れに留意する必要がある。本稿では軽量コンクリートを用いた橋梁の温度応力解析ならびに実橋計測を行い、その熱特性・若材齢時におけるクリープ特性等について報告する。

2. 独立気泡型人工軽量骨材コンクリートの熱特性

図-1 に独立気泡型人工軽量骨材コンクリート（以下軽量コンクリート）の断熱温度上昇試験結果を普通骨材コンクリート（以下普通コンクリート）と比較して示す。図中、普通コンクリートの値は土木学会による断熱温度上昇特性値¹⁾から算定した値である。図より、軽量コンクリートは普通コンクリートよりも温度上昇速度が大きく、また最高温度も 20℃程度高くなることがわかる。

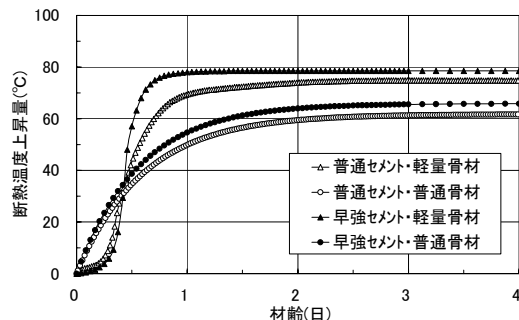


図-1 断熱温度上昇試験

3. 実橋計測概要

実橋計測を行ったのは、桁に軽量コンクリートを適用した2橋である。2橋は共にカンチレバー工法によりブロック毎に張出し架設を行った。コンクリート配合を表-1に示す。A橋は普通ポルトランドセメントを使用し、混和材として膨張材を添加している。B橋は早強ポルトランドセメントを使用した。

表-1 軽量コンクリート配合

記号	W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単 位 量 (kg/m ³)								混 和 剤	
				W	NC	HC	LS※)	S	G	EX※)	VF※)	使用材料	添加量
A橋	35.0	49.9	6.5±1.5	155	413	—	—	817	390	30	6.5	高性能AE減水剤	P×1.10%
B橋	38.1	46.4	6.5±1.5	165	—	433	94	734	387	—	—	高性能AE減水剤	P×1.45%

LS:石灰石微粉末 EX:膨張材 VF:ビニロン繊維 P:粉体総量

図-2 に A 橋における計測位置図を示す。事前に温度応力解析を行い、ウェブ・下床版の温度応力の卓越する断面内中央部に熱電対、コンクリートひずみ計、有効応力計、無応力計を埋め込んだ。なお B 橋の計測箇所も同様の位置である²⁾。

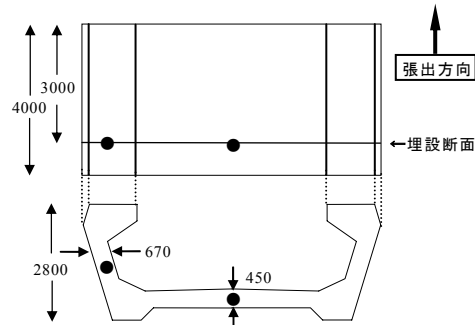


図-2 A 橋計測位置

4. 軽量コンクリートの線膨張係数と膨張材の効果

図-3 に無応力計から得られた実ひずみ-コンクリート温度関係を示す。B 橋では温度上昇域と温度降下域でのひずみの変化量にほとんど差は見られないが、A 橋では温度上昇域でひずみが急激に増加している。これは膨張材の効果によるものと考えられる。

なお、膨張材の効果の発現には温度依存性があることが知られているが、事前試験により実橋と同程度の温度履歴を与えた場合、膨張材の効果は温度上昇時に殆ど発現し終わっていることが確認された。また図-3 より、A 橋については温度上昇時のある時点からグラフの勾配がほぼ一定となることから、膨張材の効果の発現が温度上昇時に終了していることがわかる。温度降下時のグラフの傾きから、軽量コンクリートの線膨張係数は約 $7.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ と算定され、普通コンクリートの線膨張係数より 2~3 割程度小さいことがわかった。

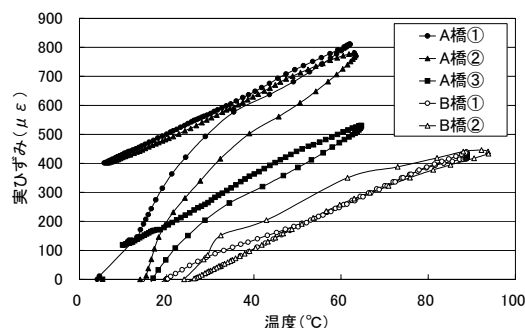


図-3 線膨張係数

キーワード 軽量コンクリート, 断熱温度上昇試験, 線膨張係数, 若材齢時クリープ, 温度応力解析

連絡先 〒990-0829 山形市五日町 15-30 東日本旅客鉄道(株) 東北工事事務所 山形工事区 TEL:023-631-0038

5. 軽量コンクリートの有効弾性係数

図-4 にコンクリートの有効応力-有効ひずみ関係から得られた有効弾性係数 E_e の経時変化を示す。A 橋については温度上昇時に膨張材の影響を受けていると思われるため、温度降下時の実測データのみを示した。また図中には室内試験から得られた軽量コンクリートの弾性係数 E_c を併記した。

グラフより弾性係数の比は E_e/E_c は 0.9 程度と算定され、若材齢時のクリープによる温度応力の低減量は普通コンクリート比べて小さい。この理由としては、コンクリートの温度上昇・降下速度が普通コンクリートと比べて急激であることに起因するものと考えられる。

6. 温度応力解析と実橋計測結果

実橋に発生した温度応力の検証を行うために、A 橋をモデル化して三次元 FEM 解析を行った。解析は比較のために、軽量コンクリートと普通コンクリートの 2 種類とし、軽量コンクリートの入力値は、前述の結果の他、各種室内試験により求めた（表-2）。

コンクリート温度の実測値と解析値の比較を図-5 に示す。実測値は高性能 AE 減水剤による凝結遅延の影響が見られるものの、ピーク温度、温度上昇・下降勾配共に、良く対応している。また、普通コンクリートのピーク温度が 40℃程度であるのに対して、軽量コンクリートは 70℃近くまで上昇していることから、その発熱量の大きさがわかる。

次にコンクリートに発生する温度応力の実測値と解析値との比較を図-6 に示す。実測値については高性能 AE 減水剤による凝結遅延効果により、圧縮応力の発現も遅れるため、凝結遅延分だけ解析値を平行移動して補正を行った（図-6 点線）。軽量コンクリートの実測値と補正後の解析値を比較すると、グラフの形状は比較的良く対応しており、本計測ならびに解析結果からは膨張材の効果は明確に表れなかった。その理由としては、先述のように特に温度上昇量の大きな軽量コンクリートにおいては、膨張材の膨張効果が温度上昇時にほぼ終了し、この時点までのヤング係数が小さいことに起因するものと思われる。また軽量コンクリートと普通コンクリートを比較すると、最終的な温度応力は軽量コンクリートの方が幾分程度大きくなることわかる。

7. おわりに

独立気泡型軽量粗骨材を用いた軽量コンクリートの温度応力の評価に関して、実橋計測等から以下の知見が得られた。

- ① 線膨張係数は約 $7.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ である。
- ② 若材齢時のクリープによる応力緩和の程度は 1 割程度であり、普通コンクリートと比べて小さい。
- ③ 普通コンクリートと比べて温度上昇量が大きいため、使用にあたっては温度応力に留意する必要がある。

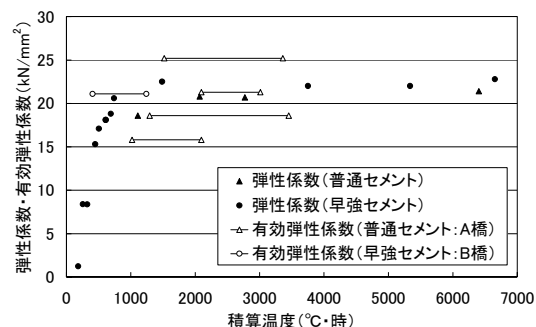


図-4 有効弾性係数

表-2 入力パラメータ

骨 材 種 類		軽量骨材	普通骨材
セメント種類		普通	普通
密度	kg/mm³	1.85×10^{-6}	2.30×10^{-6}
比熱	J/kg°C	975	921
熱伝導率	W/mm°C	1.099×10^{-3}	2.330×10^{-3}
終局断熱温度上昇量	Q _∞ °C	72.0	60.56
温度上昇速度に関する定数	r	—	2.50
熱伝達率(脱型前:材令3.5日まで)	W/mm°C	8.0×10^{-5}	
熱伝達率(脱型後:材令3.5日以降)	W/mm°C	1.2×10^{-5}	
コンクリート28日強度	N/mm²	50	
圧縮強度	a	1.0	4.5
$f_{ck}(t)=[t/(a+bt)]d f_{ck}(28)$	b	0.95	0.95
弾性係数	β	3300	4700
$E(t)=\phi \cdot \beta \cdot \sqrt{f_{ck}(t)}$	φ(材令3日まで)	0.90	0.73
	φ(材令5日以降)	1.00	
線膨張係数	α	7.5	10
コンクリート打設温度	°C	10.0	
養生温度(打設後4日まで)	°C	15.0	
養生温度(打設後4日以降)	°C	5.0	

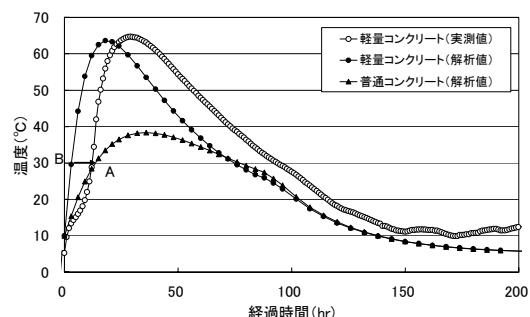


図-5 温度-材齢関係

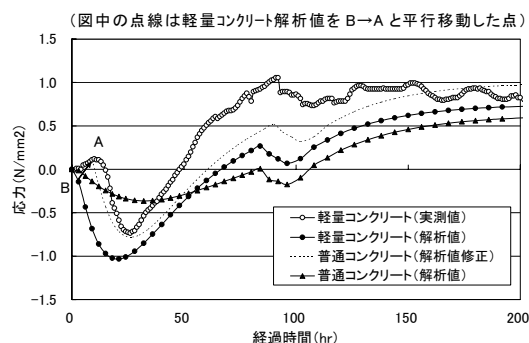


図-6 有効応力-材齢関係

(参考文献) 1) 土木学会：コンクリート標準示方書 [施工編] [平成8年版], 1998 2) 古林秀之・大庭光商・竹市八重子：軽量コンクリートの温度特性に関する一考察：土木学会東北支部論文概要集, pp.562～563, 2002