

RC 巻き立て補強工法における膨張材のひび割れ抑制効果

Crack control by expansive additive for RC jacketing method

平川信之*, 高瀬和男**, 栖原健太郎***, 丸山久一****

Nobuyuki HIRAKAWA, Kazuo TAKASE, Kentaro SUHARA, Kyuichi MARUYAMA

* 大成建設株式会社, 土木設計部橋梁技術設計室 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1)

** 工博 駒井鉄工株式会社, 橋梁本部技術部 (〒293-0011 千葉県富津市新富 33-10)

*** 電気化学工業株式会社, 無機材料研究センター (〒949-0393 新潟県糸魚川市大字青海 2209)

**** Ph.D. 長岡技術科学大学副学長 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)

The effect of expansive additive on crack prevention is clarified experimentally. Thermo-dynamic parameters are evaluated by the comparison between experimental data and thermal stress analysis. Referring to those determined values, full-scale thermo-dynamic analysis is executed to estimate the effect of expansive additive on crack preventive control. Through the experiment, cracks were observed in the normal concrete specimen in circumferential direction around the steel-pipe from early age. On the thermal stress analysis, the effect of expansive additive was simulated as the difference of probability of crack occurrence, analytically.

Key Words: expansive additive, mass-concrete, thermal stress analysis, early age

キーワード: 膨張材, マスコンクリート, 温度応力解析, 若材齢

1. はじめに

阪神大震災以降, 耐震設計の見直しに伴い, 既設橋脚にコンクリートを巻き立てた補強工事が数多く採用されている。既設コンクリート橋脚に約 30cm 程度のコンクリート巻き立てを行う場合には, マスコンクリートとしての検討は必要とはならないが, 径 40cm ほどの鋼管に 1m 程度のコンクリートを巻き立て橋脚を構築する場合に, マスコンクリートとしておよびコンクリートの温度収縮に対する鋼管の拘束により材齢初期にひび割れの危険性が指摘される。マスコンクリートとしての材齢初期の温度応力によるひび割れに対して, 膨張材が有効であることは多くの文献により明らかである¹⁾。しかし, その多くは温度応力解析により膨張材の効果を示した後に実構造物へ適用を図り, ひび割れが発生しなかったことを示すものが多く, 構造物において膨張材の有無により材齢初期の温度応力によるひび割れの発生の差を実験的に明らかにした報告は数少ない。筆者らは膨張材の有無をパラメータとした計 2 体の鋼管を有する供試体を作製し, ひび割れの発生の度合いに差が出るようにした。これらの実験結果, 特に計測した温度, および計測したひずみを基として, 温度応力解析により熱物性値や力学的物性値のシミュレーションを行い, 熱伝達率, 線膨張係数, 断熱温度上昇曲線を同定す

るとともに, 解析においてひび割れの有無を評価し膨張材の効果を検討した。

2. 実験概要

2.1 供試体諸元

図-1 に試験に用いた供試体の概要を示す。供試体寸法は短手方向 780mm, 長手方向 1680mm, 厚さ 900mm とした。実橋の既設鋼管の位置を再現するため, 中心より偏心した位置に鋼管を据えた。供試体の境界面は, 底面及び側面長手方向は, 木製型枠と厚さ 300mm の発泡スチロールを用い, 側面短手方向は木製型枠のみとした。供試体上面は養生マットとシートを用い, 適宜散水を行った。養生期間は 7 日とし, その後養生マット, シート, 木製型枠, および発泡スチロールを取り外した。

2.2 実験方法

図-2 に示す位置に熱電対, 埋込みひずみ計, 無応力計, および有効応力計などの計測センサーを配置した。熱電対は計測されたひずみの温度補正を行うため, 埋込みひずみ計と同位置に配置し, またそれぞれの境界面の熱伝達率を求めるために, コンクリート境界と境界から 5cm 内側に入った位置に配置しコンクリートの温度を測定した。埋込み

表-1 コンクリート供試体の配合と品質

種類	圧縮強度 (N/mm ²)	スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
						セメント*1	水	膨張材*2	細骨材*3	粗骨材*4
普通コンクリート	37.1	20.8	4.5	45.0	39.2	400	180	—	671	1058
膨張コンクリート	40.1	21.0	4.5	45.0	39.2	378	180	22.5	671	1058

*1: 早強ポルトランドセメント (密度 3.16g/cm³) *2: 石灰・エトリンガイト複合系膨張材 (水和熱抑制型, 密度 3.10 g/cm³)

*3: 密度 2.64g/cm³

*4: 骨材の最大寸法 25mm, 密度 2.68g/cm³

表-2 供試体の打設状況

種類	打設日	打込み 温度(°C)	外気温 (°C)
普通コンクリート	H15.10.1	23.2	22.6
膨張コンクリート	H15.10.1	22.9	22.6

ひずみ計は、事前解析を行った結果より、引張応力が比較的大きな場所に配置し、有効応力計はコンクリート厚中央の長手方向に配置した。

表-1に本実験に用いたコンクリート供試体の配合と品質を示す。供試体は膨張材を添加しないコンクリート (以下、普通コンクリート) と膨張材を添加したコンクリート (以下、膨張コンクリート) の2種類を作成した。

表-2に供試体の打設日、コンクリートの打込み温度、及びコンクリート打込み時の外気温を示す。

3. 実験結果

3.1 温度計測結果

図-3に供試体中央と表面の温度履歴を示す。本試験体ではセメント量を400kg/m³添加していることにより材齢1日で約71°Cとコンクリート内部温度が非常に高くなった。また、水和熱抑制型の膨張材を添加することにより約4°C程度の発熱抑制が見られる。表面と内部では約17°Cの温度差があった。

3.2 実ひずみの計測結果

図-4に膨張材の有無による実ひずみ履歴を示す。実ひずみはコンクリートの厚い部分中央の下面から約300mmの位置にある (図-2④、⑤) 埋込みひずみ計より求めたものである。また、実ひずみの計測開始は計測センサーとコンクリートの付着の発現を考慮してコンクリート打設6時間後を初期値とし補正を行った²⁾。図-4より膨張コンクリートの実ひずみは最大で約600 μ 、普通コンクリートの実ひずみは約400 μ で、本試験体では200 μ 程度の膨張作用が認められる。

3.3 見かけの線膨張係数

図-5に無応力計により計測された実ひずみと温度の関係を示す。この図で得られる勾配は、見かけの線膨張係数を示している。膨張コンクリートの温度上昇時の勾配が50°C付近から緩やかになっている。これは膨張材による効果が経時的に変化するためと考えられるが、その一般性については今回の実験のみでは確言できない。膨張コンクリ

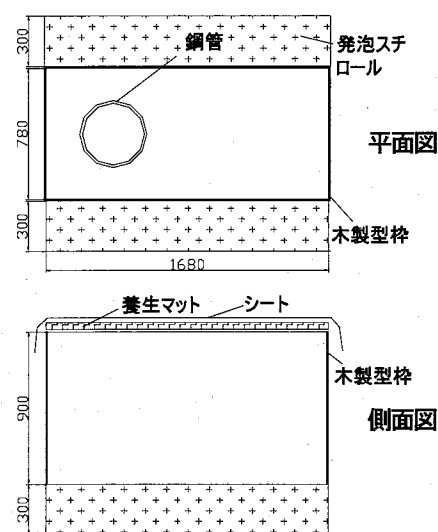


図-1 供試体の概要

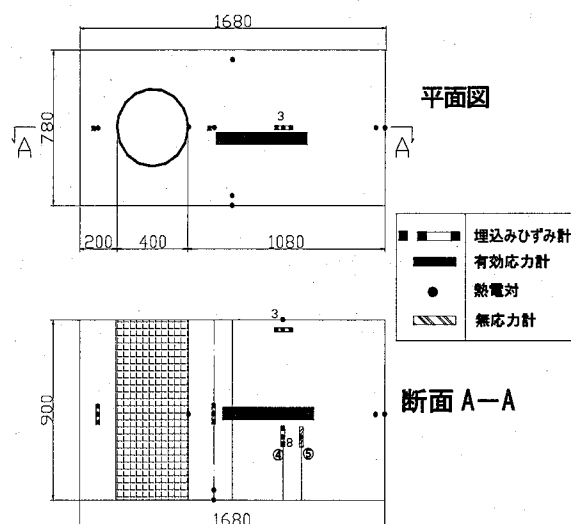


図-2 計測センサー配置図

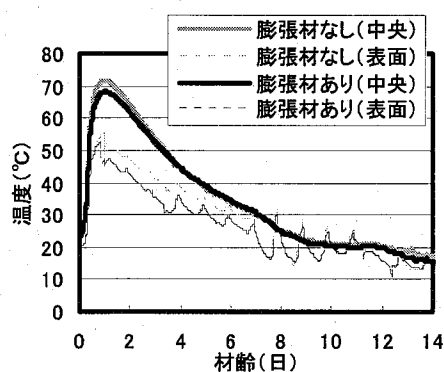


図-3 膨張材の有無による温度変化

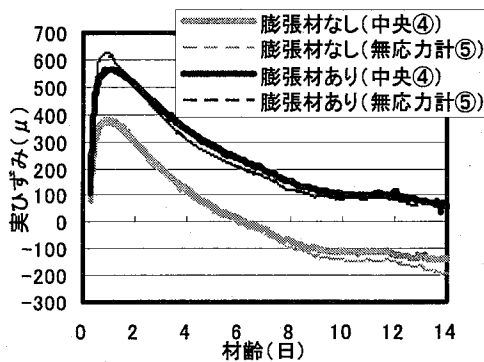


図-4 膨張材の有無による実ひずみ

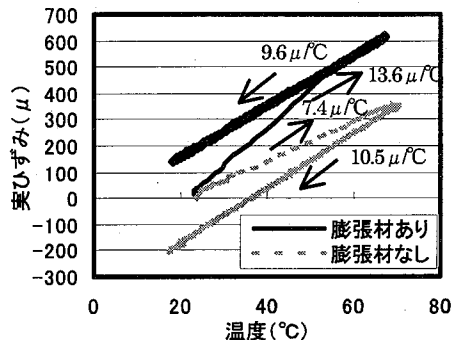


図-5 実ひずみと温度の関係

ートの実ひずみは温度上昇過程において膨張作用により普通コンクリートより大きくなっており、下降過程においては、膨張コンクリートで線膨張係数が $9.6 \mu/^\circ\text{C}$ 、普通コンクリートで $10.5 \mu/^\circ\text{C}$ となった。なお、解析ではこの線膨張係数を膨張材の効果として温度上昇時・下降時と2段階に分け導入する。

4. 再現解析

4.1 解析概要

図-6に本解析に用いた解析モデルを示す。解析モデルは対称性を考慮して1/2をモデル化した。本解析には、コンクリート非線形温度応力解析プログラム「ASTEA-MACS」を用いた。既設鋼管とコンクリート、既設コンクリートと既設鋼管の接続部は接点共有とした。

4.2 熱物性値の検討

(1) 断熱温度上昇特性

温度解析において熱物性値の重要な入力値の1つである断熱温度上昇特性は、コンクリート内部の温度を算出する際に重要となる。そこで以下の方法を用いて温度解析における断熱温度上昇特性の検討を計測値と比較して行う。

①コンクリート標準示方書「施工編」³⁾(以下、コン示)に示される断熱温度上昇式を代入

単位セメント量 400 kg/m^3 、打設温度 20°C 、早強ポルトランドセメントを使用。

②断熱温度上昇試験値を代入(図-7)

以上の方法を用いて、供試体中央の温度履歴の解析値と計

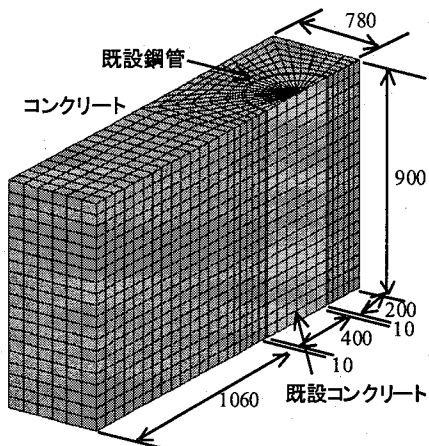


図-6 解析モデル

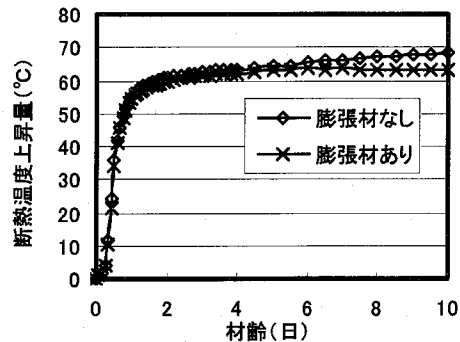


図-7 断熱温度上昇試験値

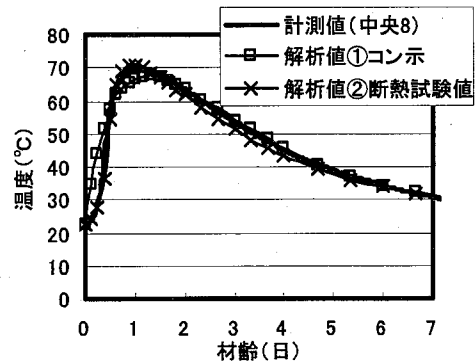


図-8 断熱温度上昇特性の違いによる温度変化

測値を比較した結果を図-8に示す。①コン示の断熱温度上昇式を用いた場合、温度上昇過程において温度が計測値に比べ早く高くなり、また最大温度も計測値より 3°C 程度小さく到達時間も8時間程度遅くなっている。②断熱温度上昇試験値をそのまま代入した場合、材齢初期のS字カーブの温度上昇を精度良く表しており最大温度もよく一致する結果を得た。

(2) 計測データから熱伝達率の算出

解析で設定される熱伝達率は計測データに対して示方書に示される熱伝達の各養生方法による参考値を用いて解析値を近似させることにより評価される。しかし、実際には発熱したコンクリートと外気温度の差によって熱の外気への流出量に変化するのはないかと考えられる。そ

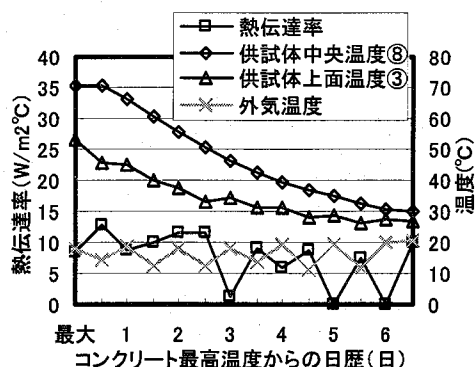


図-9 上面（養生マット＋シート）熱伝達率

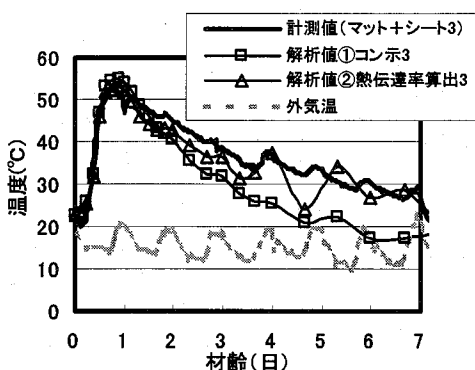


図-10 供試体上面の温度変化

ここで、本実験で得られた温度データより熱伝達率を算出し、実際にはどの程度の熱伝達率であったのか評価を行う。熱伝達率の算出には式(1)、式(2)を用いた⁴⁾。

$$\alpha = \lambda / \Delta L \quad (1)$$

$$\Delta L = (0.05 / (T_1 - T_s)) \times (T_s - T_a) \quad (2)$$

α : 熱伝達率 (W/m²°C)

λ : 熱伝導率 (W/m°C)

ΔL : 物体表面から外気温度の境界までの
仮想厚さ (m)

T_1 : 物体表面から 0.05m 入った位置の温度 (°C)

T_s : 物体表面の温度 (°C)

T_a : 外気温度 (°C)

熱伝達率の検討範囲は、コンクリート温度最大時から養生終了時（材齢 7 日）までとした。ここでは代表例として、供試体上面（養生マット＋シート）の熱伝達率の算出結果を図-9に示す。なお、温度最大時、1 日、2 日、…の整数日は外気温の上がる昼間 12 時で、0.5 日、1.5 日、…の小数日は気温の下がる夜間 0 時を示している。図-9より、供試体上面（養生マット＋シート）の熱伝達率は、温度最大時から 2.5 日後までは昼夜を問わず 10 前後であるが、それ以降は外気温の上がる昼間でほぼ 0、夜間は 8 前後の算出結果となった。昼夜で熱伝達率が変化したのは、外気温の影響であると考えられる。

表-3 解析条件

項目	鋼管	巻立てコンクリート
温度	打設温度(°C)	—
解析条件	熱伝導率(W/m°C)	25
	比熱(kj/kg°C)	0.4
	密度(kg/m ³)	7850
	断熱温度上昇特性	—
	熱伝達率(W/m ² °C)	計測値より算出した値をそのまま代入
	外気温(°C)	測定温度
	型枠残存期間(日)	—
応力解析条件	圧縮強度(N/mm ²)	430
	引張強度(N/mm ²)	430
	弾性係数(N/mm ²)	195000
	ポアソン比	0.3
	線膨張係数(μ/°C)	12
		JSCE実験式: a=4.5, b=0.95, d=1.11
		0.44 × [f _c '(t)] ^{0.5}
		φ(t) × 4700 × [f _c (t)] ^{0.5}
		0.18
		膨張材なし 温度上昇時7.4, 下降時10.5
		膨張材あり 温度上昇時13.6, 下降時9.6

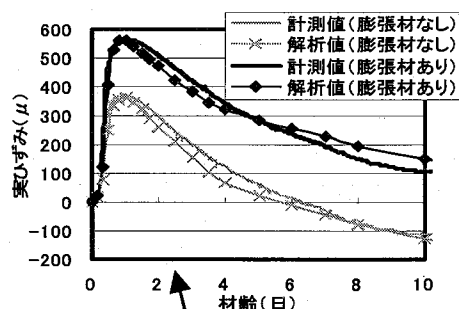


図-11 実ひずみの計測値と解析値の比較

(3) 熱伝達率

熱伝達率の評価に際しては、以下の2つの条件で計算した供試体上面の温度と計測値を比較し、温度応力解析に用いる熱伝達率の検討を行った。なお、外気温は実験において計測した値を解析に導入した。

①コン示に示される熱伝達率の参考値を代入
養生マット＋シート 5W/m²°C、木製型枠 8W/m²°C、発泡スチロール 2W/m²°C、脱型後 14W/m²°Cを適用。

②前項で計測値より算出した熱伝達率を使用
温度解析結果と計測値より得られた供試体上面の温度変化を図-10に示す。①コン示の参考値を代入した場合、供試体上面の温度履歴は温度下降過程において計測値よ

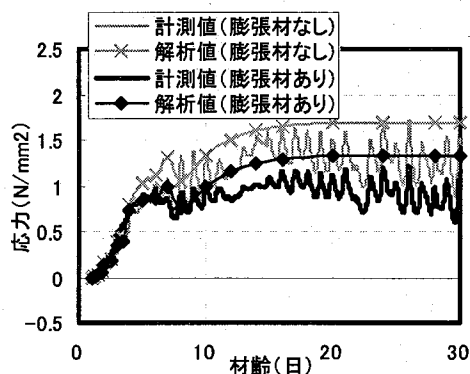


図-12 有効応力計測値と解析値の比較

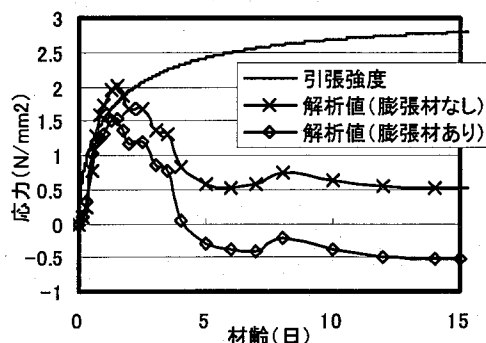


図-13 鋼管付近の温度応力の比較

り急激に温度が下がっており誤差が大きい。一方、②計測値より算出した値を代入した場合、温度下降過程において計測値と良く一致している。供試体側面（木製型枠）、下面（発泡スチロール）でも同様の結果となった。

4.3 物性値の検討

本解析では、見かけの線膨張係数を温度上昇時・下降時の2段階に分け解析に導入した。解析に用いた力学的物性値および検討を行った熱物性値等の解析条件を表-3に示す。弾性係数は示方書に示されている初期クリープによる低減を考慮した有効弾性係数を用いた。

表-3に示した物性値を用いて算出した実ひずみの解析値と計測値を図-11に示す。ここで、実ひずみは膨張を正、収縮を負とした。計測値と解析値はほぼ一致しており、温度応力解析における物性値が妥当であったと言える。

4.4 有効応力の評価

(1) 計測値と温度応力解析値の比較

ここでは有効応力計により測定した応力計測値と温度応力解析値の比較を行う。図-12に有効応力計より得られた計測値と応力解析値の比較を示す。着目位置はコンクリートの厚い部分の中央の長手方向（図-2の有効応力計）である。有効応力計は校正係数を乗ずるだけで容易に応力を計測することができる。しかし、材齢初期の圧縮力を正確に測定しているかどうかなど、材齢初期において有効応力計の値には疑問が残る点がある。そこで本論文では、

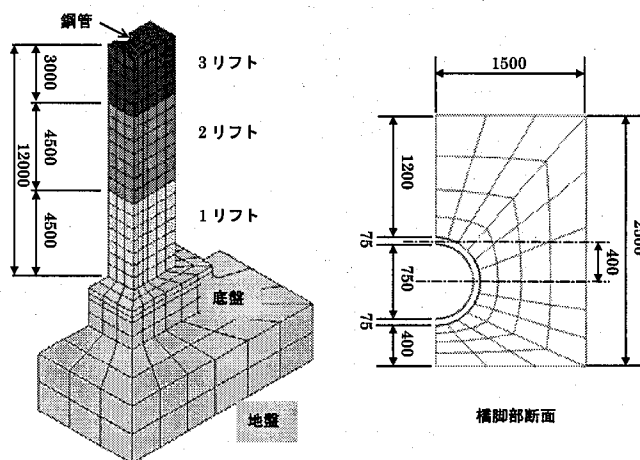


図-14 解析モデル

温度ピーク時の有効応力を0として温度下降時の収縮応力の比較を行う。上記の方法により膨張材の効果によるケミカルプレストレスがない場合の温度下降時における膨張材による応力緩和が 0.4N/mm^2 程度認められる。解析値はやや過大評価となっているが計測値を精度よく再現することができたといえる。

(2) 温度応力解析における温度ひび割れ判定

実験では材齢2日前後に膨張材を添加しない供試体の鋼管表面のまわりに円周状にひび割れが確認された。図-13にひび割れ発生位置における応力の解析値を示す。膨張材を添加しないコンクリートは、材齢初期で約 2.0N/mm^2 の引張応力が発生し、膨張材を添加したコンクリートでは 1.5N/mm^2 の引張応力が発生していることから、 0.5N/mm^2 程度の膨張材による応力緩和が確認できる。また膨張材を添加しない場合、材齢1日前後でその時点の引張強度を上回っており、ひび割れが発生する可能性が非常に高い。ここで、引張強度は土木学会の引張強度の推定式³⁾より算出した値である。材齢14日では膨張材の効果はより顕著に現れ、 1.0N/mm^2 程度の引張応力の低減が認められる。

5. 実構造物への適用

本章では、既設鋼管にコンクリートを巻き立て、橋脚を再構築する巻き立て補強工法が採用された実構造物における応力の評価および膨張材のひび割れ抑制効果を検討する。膨張材を使用することにより、この橋脚に巻き立てたコンクリートにはひび割れが発生していないことを確認している。3.4章で検討した物性値を参考にした値とコンシ³⁾を参考にして、膨張材の有無により発生する応力の違いを比較することにより、それぞれのケースについて膨張材の引張応力の低減効果を示す。

5.1 温度応力解析概要

(1) 解析モデル

図-14に解析モデルを示す。モデルは対称性を考慮して1/2をモデル化した。巻き立てコンクリートの橋脚断面

表-4 普通セメントコンクリートの解析条件

	項目	鋼管	巻立てコンクリート			備考
			1リフト	2リフト	3リフト	
温度解析条件	打設温度(°C)	20	25	25	20	
	熱伝導率(W/m°C)	25	2.7			
	比熱(kJ/kg°C)	0.4	1.15			
	密度(kg/m³)	7850	2300			
	断熱温度	—	44.6	44.6	45.0	
	上昇特性		1.325	1.325	1.074	
	熱伝達率(W/m²°C)	1	木製型枠:8養生マット:5脱型後:13			
応力解析条件	型枠残存期間(日)	—	15	21	38	
	圧縮強度(N/mm²)	430	JSCE実験式: a=4.5, b=0.95, d=1.11			
	引張強度(N/mm²)	430	$0.47 \times \{f'_c(t)\}^{0.5}$			※1
	弾性係数(N/mm²)	195000	$\phi(t) \times 4700 \times \{f'_c(t)\}^{0.5}$			※2
	ポアソン比	0.3	0.18			
	線膨張係数(μ/°C)	12	温度上昇時7.4, 下降時10.5			※3

※1: 参考文献5) による

※2: 参考文献3) による有効弾性係数法

※3: 3.3 見かけの線膨張係数参照

表-5 コンクリート配合

Gmax (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)					
					セメント*1	水	膨張材*2	細骨材*3	粗骨材*4	混和材
40	8	4.5	47.9	38.1	272	140	20	715	1182	2.9

※1: 普通ポルトランドセメント (密度 3.14g/cm³)

※2: アウイン・石灰複合系膨張材 (密度 3.10 g/cm³)

※3: 密度 2.60 g/cm³

※4: 密度 2.64 g/cm³

呼び強度: 24N/mm²

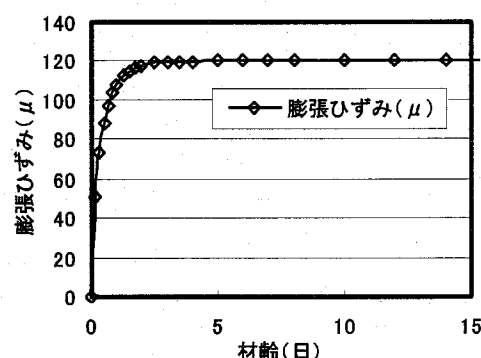


図-15 解析に用いた膨張ひずみ

表-6 膨張ひずみ推定式の係数 α , β

施工時期	α	β
夏期 (打込み30°C程度)	6.5	1
春, 秋期 (打込み20°C程度)	2.3	0.8
冬期 (打込み10°C程度)	1.3	1.3

は縦2.5m, 横3.0mである。既設の鋼管橋脚は, 巻き立てコンクリートの中心から40cm 偏心した位置にある。解析対象は巻き立てコンクリート部で, 3リフトに分割して打設を行う設定とした。

(2) 解析条件

解析条件の一例として, 膨張材を添加しないコンクリー

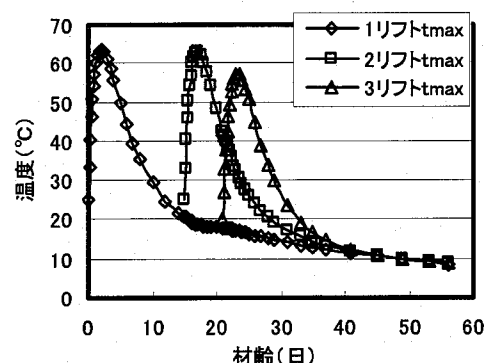


図-16 各リフト中心位置の温度(解析結果)

ト (普通セメントコンクリート) について表-4に示す。また, 表-5にコンクリート配合を示す。温度解析条件については, 実験で扱ったコンクリート配合とは異なり単位セメント量が少ないので断熱温度上昇特性等が変わると考えられ, 既往の研究成果⁶⁾を参考にした。

温度応力解析で膨張材の効果を次に示す2つの手法を用いて検討する。

①温度上昇時と下降時の見かけの線膨張係数を設定

3章・4章より, 温度上昇時13.6, 温度下降時9.6

②膨張ひずみの推定式⁷⁾

コンクリート要素に経時的な膨張ひずみ履歴を入力する。参考文献7)と本解析の配合, 使用材料等は異なるが参

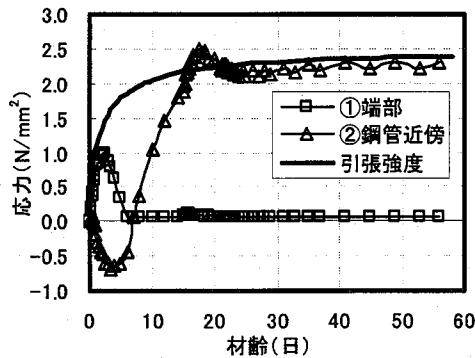


図-17 普通セメントコンクリートの主応力履歴

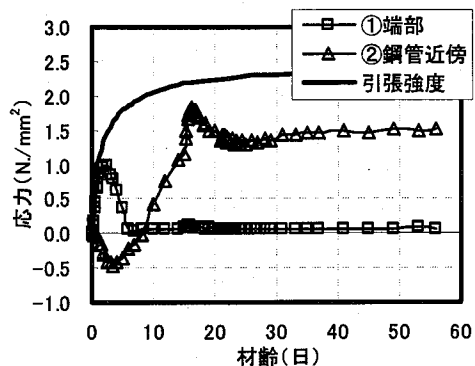


図-19 膨張コンクリートの主応力履歴
(見かけの線膨張係数)

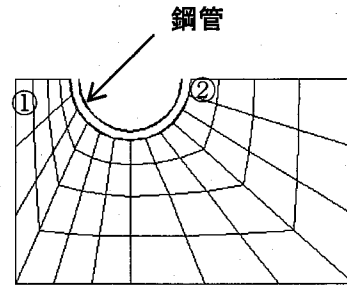


図-18 応力の着目要素

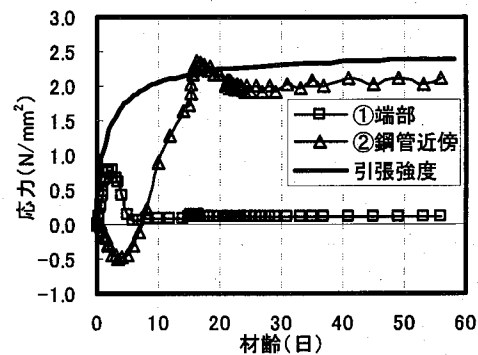


図-20 膨張コンクリートの主応力履歴
(膨張ひずみ)

考値として比較を行う。推定式は式(3)を用いる。ここで用いる最大膨張ひずみは、既往の研究より打設温度の違いにより最大膨張ひずみに差が出る実験結果があるが要因は明確にされていないことから設計上の安全を考慮して、 120μ とした。ひずみ速度に関する係数は、打込み温度が 20°C 程度なので表-6より、 $\alpha=2.3$ 、 $\beta=0.8$ を採用する。本解析に用いた膨張ひずみ履歴を図-15に示す。

$$\varepsilon_{ex}(t) = \varepsilon_{\max} \times \{1 - \exp(-\alpha \cdot t^\beta)\} \quad (3)$$

$\varepsilon_{ex}(t)$: 材齢 t 日における膨張ひずみ

$\varepsilon_{\max}$: 最大膨張ひずみ ($=120\mu$)

α, β : ひずみ発現速度に関する係数

5.2 温度解析結果

図-16に各リフト中心位置の温度を示す。実験では、水和抑制型の膨張材を使用すると 4°C 程度の発熱抑制が見られたが、本解析では、膨張材の有無により断熱温度上昇特性は変化しないとしており、膨張材の有無による温度履歴の差は生じないとした。最高温度を示したのは各リフトのいずれも打込み後2日目で、第1リフトは 63.5°C 、第2リフトは 63°C 、第3リフトは 57.2°C であった。第3リフトの最高温度が低いのは、寸法の影響であると考えられる。

なお、以後の応力解析には、この温度解析条件に基づく値を使用した。

5.3 温度応力解析結果

(1) 膨張材を添加しないコンクリートの応力履歴

膨張材を添加しないコンクリート(普通セメントコンクリート)の応力履歴を図-17に示す。着目断面は、第1リフト高さ方向の中心断面とし、着目要素は図-18に示す要素①、②とした。応力解析の結果より、第1リフトから第3リフトの中で、最も大きな応力が発生したのが第1リフト中心断面であったため、ここでは第1リフトの中心断面に着目する。また、要素①は構造物内外の温度差による引張応力が卓越し、要素②は温度下降過程におけるコンクリートの体積収縮を既設鋼管が拘束することにより大きな引張応力が発生すると考えられ着目した。

構造物端部の着目要素①の応力は発熱がピークとなる材齢2日付近で 1.0N/mm^2 の引張応力が発生している。鋼管近傍の着目要素②では、材齢16日でその時点の引張強度を上回り、最大で 2.5N/mm^2 の引張応力が作用した。なお、端部の要素①の引張応力が卓越した方向は円周方向であり、鉛直方向にひび割れが発生すると考えられる。また、鋼管近傍の要素②においては、ひび割れ方向は円周方向であった。

(2) 膨張コンクリートの応力履歴

①見かけの線膨張係数を変化させる方法

表-7 各部位のひび割れ指数

種類	膨張材の効果	部位	最大引張応力 (N/mm ²)	ひび割れ指数
普通セメントコンクリート	—	構造物端部	0.99	1.33
		鋼管近傍	2.5	0.88
膨張コンクリート	見かけの線膨張係数	構造物端部	0.99	1.32
		鋼管近傍	1.83	1.20
	膨張ひずみ	構造物端部	0.79	1.66
		鋼管近傍	2.36	0.93

膨張材の効果として、見かけの線膨張係数を温度上昇時と下降時の2段階に分け与える方法により算出した膨張コンクリートの応力履歴を図-19に示す。着目断面は、普通セメントコンクリートと同じで、第1リフト高さ方向の中心断面とし、着目要素は図-18に示す要素①、②とした。構造物端部の着目要素①の応力は材齢2日で1.0N/mm²で膨張材を添加しない場合の応力とほとんど変わらない。鋼管近傍の着目要素②では、材齢16日で1.83N/mm²の引張応力が作用しており、膨張材を添加することにより0.6N/mm²程度の引張応力の緩和が認められる。また、最大引張応力は引張強度を超えておらず、膨張材を添加することによりひび割れを抑制できると考えられる。

②膨張ひずみを与える方法

膨張材の効果として、推定式より要素に直接膨張ひずみを与える方法により算出した膨張コンクリートの応力履歴を図-20に示す。着目位置は普通セメントコンクリートと同じである。着目要素①の端部の引張応力は材齢2日で0.79N/mm²で、膨張材を添加することにより0.2N/mm²程度の応力緩和が認められるが、②の鋼管近傍では、材齢16日で2.36N/mm²の引張応力で0.15N/mm²の応力緩和が認められるものの、その時点の引張強度を越えており、ひび割れる可能性が非常に高いと言える。

5.4 ひび割れ指数による膨張材の効果

第1リフトの各部位における最大引張応力およびひび割れ指数を表-7に示す。ひび割れ指数は引張強度を引張主応力で除した値である³⁾(ひび割れ指数=引張強度/引張主応力)。膨張材の効果として、見かけの線膨張係数を適用すると、構造物端部ではひび割れ指数を見ると変わらないが、外部拘束が卓越する鋼管近傍において指数で0.3の向上が見られ、ひび割れの発生確率は95%から60%までに改善された。膨張ひずみを与える方法では、構造物端部では改善が見られるが、鋼管近傍では膨張材を添加しない場合とほとんど変わらない結果となった。

6. まとめ

膨張材の添加の有無によりひび割れの発生の差を実験的に確認し、その計測結果を温度応力解析によりシミュレーションし、実構造へ適用を図ることにより以下の知見が得られた。

- 1) 温度解析において断熱温度上昇特性で断熱温度上昇試験値を、熱伝達率においては計測値より算出した値を設定することにより精度よく計測値を再現できた。
- 2) 無応力計より計測された実ひずみと温度より算定した見かけの線膨張係数を温度上昇時・下降時で2段階に分け膨張材の効果として解析に用いた場合、実ひずみの計測値との整合性を確認できた。
- 3) 実験において膨張材を添加しない供試体の鋼管周りにひび割れが発生した。温度応力解析においても熱物性値および力学的物性値を適切に設定することにより実験を解析により再現できた。
- 4) 実構造物モデルにおいて、膨張材の効果として見かけの線膨張係数を適用すると、鋼管近傍で0.6N/mm²程度の引張応力の緩和が認められた。

参考文献

- 1) たとえば、中村時雄、斉藤文男、湯室和夫、佐野隆行：高ビーライト系低発熱セメントと水和熱抑制型膨張材を併用した高度浄水処理施設の側壁部マスコンクリート対策、コンクリート工学, Vol.36, pp.28-34, 1998.9
- 2) 高瀬和男、寺田典生、福永靖雄、石川敏之：場所打ちPC床版の材齢初期における膨張材効果の評価方法に関する一提案、コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.549-554, 2002.6
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書 施工編, (2002年度制定), 2002
- 4) 村田二郎、岩崎訓明、児玉和巳：コンクリートの科学と技術, 山海堂, 1996
- 5) 土木学会：最新のマスコンクリート技術, コンクリート技術シリーズ, 1996
- 6) 栖原健太郎、丸山文男、藤崎太一、丸山久一：鋼管橋脚に巻き立てた膨張コンクリートの効果に関する解析的検討、膨張コンクリートによる構造物の高機能化/高耐久化に関するシンポジウム論文集, pp.167-174, 2003.9
- 7) 三谷裕二、谷村充、佐久間隆司、佐竹紳也：マス養生温度下における膨張コンクリートの膨張応力評価法について、コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.225-230, 2004.7