

膨張コンクリートによるひび割れ抑制対策の研究

－高橋脚およびトンネル覆工への適用－

Study on the Crack Control Measures Using Expansive Concrete

- Application to High Bridge Piers and Tunnel Linings -

東 邦和* 三澤孝史* 白石祐彰*

要 旨

コンクリートの硬化時に、先行して打設されたコンクリートによって収縮が妨げられるとひび割れが生じる。このような拘束ひび割れの抑制を目的に、3H 工法で施工する高橋脚の下部、および山岳トンネルのインバート区間の覆工コンクリートに膨張コンクリートを適用した。構造物中の膨張ひずみの大きさは拘束度によって異なり、RC 構造の場合は、配筋量による拘束を考慮することが必要である。本研究では、はじめに鉄筋比を変化させた RC 試験体を作成し、その計測結果と膨張ひずみを与えた解析の結果を比較し、解析パラメータの適用性を検討した。また、事前解析から、橋脚は下部 1 リフトを膨張コンクリートに、トンネルは覆工の 3m 高さまでを膨張コンクリートとすることによって、ひび割れは抑制されることが分った。さらに、現場適用時に行った計測結果から、導入された圧縮応力によるひび割れ抑制効果を確認し、その効果を解析により予測できることを明らかにした。

キーワード：マスコンクリート、温度応力、膨張材、膨張ひずみ、鉄筋コンクリート

1. まえがき

鉄筋コンクリート構造物のひび割れ低減対策として、膨張コンクリートをマッシュな構造物に適用する場合には、効果の大きさを適切に評価することが必要である。このため膨張材の効果の評価方法が研究されているが^{1)~4)}、定量的な評価方法で大型の構造物に適用できる手法は、確立されていない。本研究は、膨張コンクリートの応力履歴を解析して収縮低減効果を検討することを目的とし、FEM 解析モデルに初期の有効ヤング係数補正係数と膨張ひずみを与え、要素応力によりひずみの大きさを低減する方法を提案している^{2,4)}。本研究では、はじめに鉄筋比を変えた RC 試験体による計測結果と鉄筋を配置した解析モデルによる解析結果を比較し、解析パラメータの適用性と解析精度を検討した。次に、配筋量

の多い高橋脚の下部リフトに膨張コンクリートを適用し、鉄筋のモデル化の有無による解析結果を比較した。また、山岳トンネルのインバート区間における覆工コンクリートの計測結果と解析結果を比較して、解析精度とひび割れ抑制効果の検討を行った。

2. RC 試験体実験

2.1 概要

鉄筋の配筋量を変化させた RC 試験体を作成し、膨張コンクリートを打設して 3 次元方向のコンクリートひずみと鉄筋ひずみの分布を測定した。

次に、各試験体の解析モデルを作成し、提案している解析手法を適用して、配筋の違いを比較することによって、鉄筋拘束の大きさと膨張ひずみの分布を検討し、解

表－1 使用材料

使用材料	
セメント	普通ポルトランドセメント、密度:3.16g/cm ³
細骨材	富津産山砂、表乾密度:2.60 g/cm ³ 、吸水率:1.27%
粗骨材	岩瀬産碎石、Gmax20mm、表乾密度 2.65 g/cm ³ 、吸水率:0.62%
AE 減水剤	リグニンスルホン酸化合物標準形
膨張材	主成分 カルシウムサルフォアルミネート 低添加型

*技術研究所

表-2 コンクリートの配合

配合名	水結合材比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)					AE 減水剤 (kg/m ³)
			水 W	セメント C	膨張材 E	細骨材 S	粗骨材 G	
膨張 (NE)	55	43.8	166	282	20	789	1032	0.981

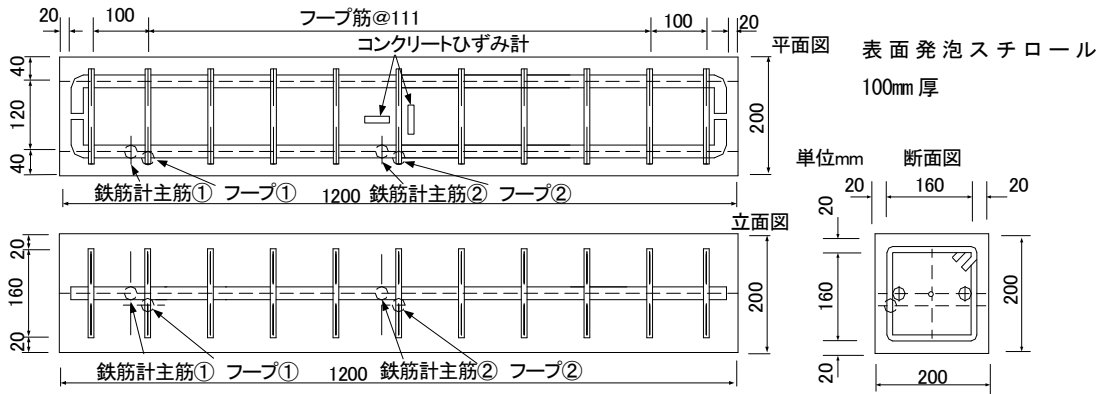


図-1 RC 試験体と計測器位置 No. 1、No. 2 試験体

析手法の精度を検討した。コンクリートの使用材料を表-1に、配合を表-2に示す。セメントは普通ポルトランドセメントを、膨張材はカルシウムサルフォアルミニートを主成分とするものを使用した。

2.2 試験ケース

試験体一覧を表-3に、RC 試験体と計測器位置を図-1に示す。No.1、No.2 試験体は、高さ幅共に 200mm、長さ 1200mm の形状であり、周囲全てに 100mm 厚の発泡スチロールを設置し、断熱によりマスコンクリートを模擬すると同時に、型枠による拘束を緩和している。主鉄筋は、No.1 は D22、No.2 は D16、フープ筋は D10 を使用した。No.3~No.6 試験体は、高さ幅共に 150mm、長さ 900mm の形状である。No.7、No.8 試験体は、高さ幅共に 150mm、長さ 530mm の形状である。それぞれ主鉄筋比およびフープ筋比を変えている。No.5~8 は発泡スチロール厚を 20mm とし温度ピークの高さを変えている。

2.3 実験結果

a. コンクリートひずみ測定結果

No.1、No.2 試験体の温度測定結果を図-2に示す。打設温度 20°C、ピーク温度は材齢 1.25 日で 38.7°C であり、試験体中に温度差はない。コンクリートひずみ計に

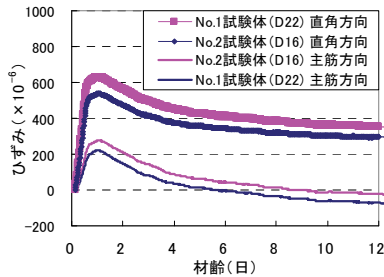


図-3 コンクリートひずみ測定結果

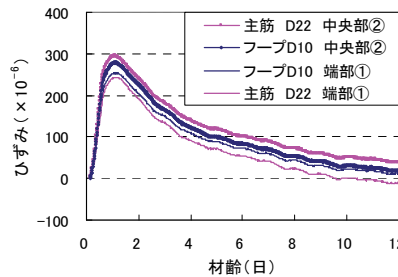


図-4 鉄筋ひずみ測定結果 (No. 1 試験体)

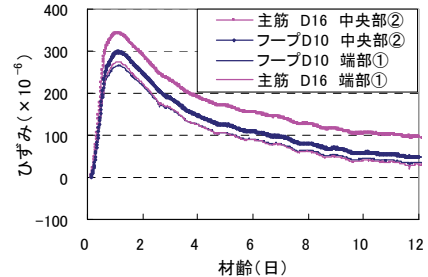


図-5 鉄筋ひずみ測定結果 (No. 2 試験体)

表-3 試験体一覧

試験体 No.	形状	主鉄筋と鉄筋比	フープ筋とフープ筋比
1	200mm×200mm	D22 1.98%	D10、11本 0.65%
2	長さ1200mm	D16 0.99%	
3	150mm×150mm	D16 1.77%	D6、17本 0.80%
4	長さ900mm	D10 0.63%	
5	150mm×150mm	D16 1.77%	D6、9本 0.42%
6	長さ900mm	D10 0.63%	
7	150mm×150mm	D10 0.63%	D6、5本 0.40%
8	長さ530mm	D6 0.28%	

発泡スチロール厚 No.1~4 : 100mm、 No.5~8 : 20mm

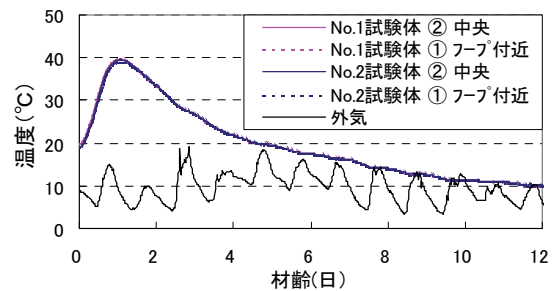


図-2 温度測定結果 (No. 1、No. 2 試験体)

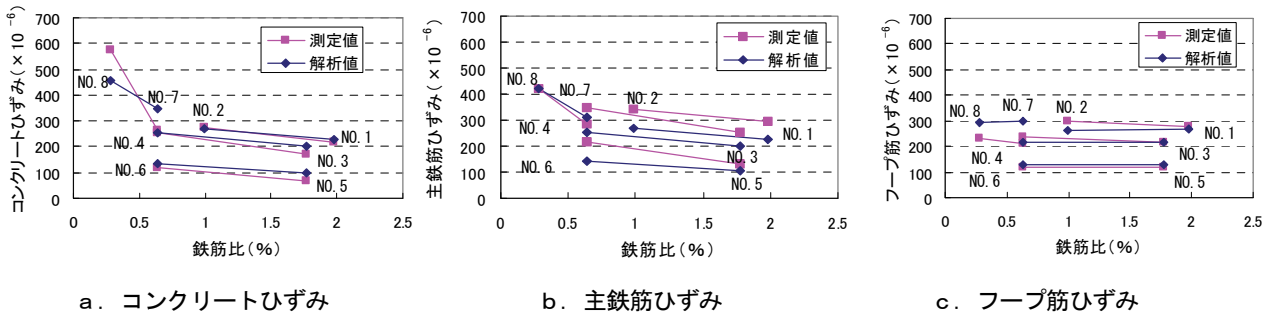


図-6 測定値と解析値の比較

よるひずみ測定結果を図-3に示す。主鉄筋方向のピークひずみは No.1 (D22)で 220×10^6 、No.2 (D16) 275×10^6 である。主鉄筋直角方向のピークひずみは No.1 (D22)で 629×10^6 、No.2 (D16)で 535×10^6 である。No.1 試験体は、主鉄筋方向の鉄筋拘束が大きいから、No.2 試験体と比較して主鉄筋方向コンクリートひずみは小さいが、直角方向ひずみは大きい値が得られた。

No.3、No.4 試験体は、打設温度 20°C 、ピーク温度は材齢 1.25 日で 33.0°C であり、No.5、No.6 試験体は、打設温度 22°C 、ピーク温度は材齢 1.05 日で 26.1°C 、No.7、No.8 試験体は、打設温度 25°C 、ピーク温度は材齢 0.75 日で 39.1°C であった。各試験体の主鉄筋方向コンクリートひずみのピーク値を図-6a に示す。ひずみは温度ひずみを含んでいる。鉄筋比に応じての変化の大きさは、鉄筋比の 0.6%以下のところでは鉄筋比の増加によるひずみの減少は 300×10^6 程度であり、鉄筋比 0.6~2.0%の範囲では 100×10^6 程度の減少の結果が得られた。

b. 鉄筋ひずみ測定結果

鉄筋に貼付したひずみゲージによる No.1 試験体の鉄筋ひずみ測定結果を図-4、No.2 試験体の鉄筋ひずみ測定結果を図-5に示す。ピークひずみは、D22 中央部で 295×10^6 、D16 中央部で 344×10^6 である。端部のひずみは、それぞれ $50 \sim 70 \times 10^6$ 小さくなっている。フープ筋のピークひずみは、両試験体とも大きな違いはなく中央部で $280 \sim 300 \times 10^6$ である。主鉄筋方向ひずみは、主鉄筋方向のコンクリートひずみと同等のひずみの大きさとなっているが、フープ方向は鉄筋比が小さく、断面長さが短いことから拘束が小さく、コンクリートのひずみはフープひずみの約2倍の大きさとなった。

各試験体の主鉄筋ひずみのピーク値を図-6bに示す。鉄筋比に応じて変化するが、その大きさはコンクリートひずみ計測値より 100×10^6 程度大きい。フープ筋ひずみのピーク値を図-6cに示す。鉄筋比による差は小さく、拘束長さが短いことが原因していると考えられる。

2.4 解析モデルと解析結果

解析は、拘束圧依存性を示す双曲線式を用いて、時間軸における膨張ひずみの増分を各軸方向の拘束圧に従って低減して計算した²⁾。双曲線式を式(1)に示す。

$$\epsilon_{ci} = (\epsilon_0 - \epsilon_f) / (1 + a\sigma_i) + \epsilon_f \quad \dots\dots\dots(1)$$

- ここに、 ϵ_{ci} : i 方向の膨張ひずみ
- ϵ_0 : 無拘束の膨張ひずみ
- ϵ_f : 拘束無限大の膨張ひずみ
- a : 拘束圧依存パラメータ
- σ_i : i 方向の拘束圧 (N/mm²)

膨張ひずみ低減に用いた双曲線式のパラメータは $\epsilon_f / \epsilon_0 = 0.05$ とし、鉄筋拘束が大きいことから、拘束圧依存パラメータ $a=10$ とした。解析条件を表-4に示す。圧縮強度、ヤング係数と材齢の関係はコンクリート標準示方書⁵⁾に準拠した。

解析に用いた膨張ひずみ $\epsilon_0 = 700 \times 10^6$ を図-7に示す。

表-4 解析条件

設定定数	
コンクリート	普通ポルトランドセメント 断熱温度上昇特性 $Q_{\infty}45.7$ 、 $\gamma 1.328$ 打設温度 20°C 、圧縮強度 $f_c(28) 34\text{N/mm}^2$ 有効ヤング係数補正係数 ϕ : 材齢 1.2 日まで 0.34、材齢 5 日以降 1.0、その間を線形補間
	熱伝導率 $2.7\text{W/m}^\circ\text{C}$ 、比熱 $1.15\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$ 単位体積質量 2300kg/m^3 線膨張係数 $10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 熱伝達率：発泡スチロール、 $0.9\text{W/m}^2^\circ\text{C}$
鉄筋	ヤング係数 $2.06 \times 10^5\text{N/mm}^2$ 線膨張係数 $10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$

注) 打設温度、熱伝達率は試験体により変更。

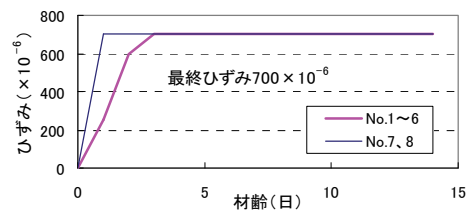


図-7 解析に用いた膨張ひずみ

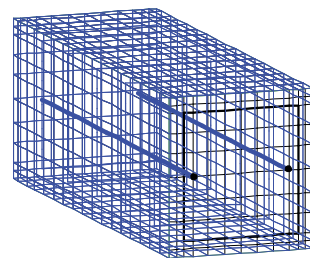


図-8 RC 解析モデル (No.1、No.2 試験体、1/2 モデル)

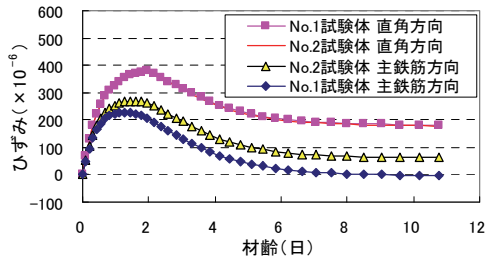


図-9 コンクリートひずみ解析結果(No.1、No.2 試験体)

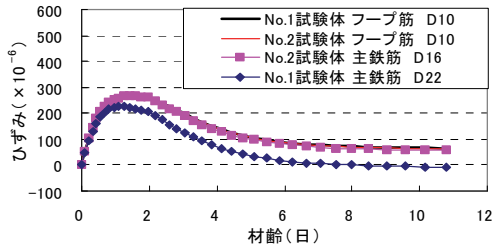


図-10 鉄筋ひずみ解析結果 (No. 1、No. 2 試験体)

RC 解析モデル (No.1、No.2 試験体) を図-8 に示す。コンクリートひずみ解析結果を図-9 に示す。主鉄筋方向のコンクリートピークひずみは No.2 試験体(D16)で 270×10^6 、No.1 試験体 (D22) で 228×10^6 、No.1、No.2 試験体直角方向のピークひずみは 388×10^6 である。鉄筋ひずみ解析結果を図-10 に示す。解析モデルでは、節点位置で鉄筋要素がコンクリート要素と繋がれていることから鉄筋拘束が有効に働いた結果となり、コンクリートひずみ (試験体中心位置) と鉄筋ひずみ (鉄筋要素位置) の値はほぼ等しい結果となった。

2.5 RC 試験体実験結果のまとめ

主鉄筋比の異なる梁試験体の膨張ひずみ測定により、No.2 試験体 (D16) の主鉄筋方向コンクリートひずみおよび鉄筋ひずみは、No.1 試験体 (D22) の 1.3 倍および 1.2 倍の値を得た。また、本手法による FEM 解析結果では 1.2 倍の値を得た。

コンクリートひずみの測定値と解析値の比較を図-

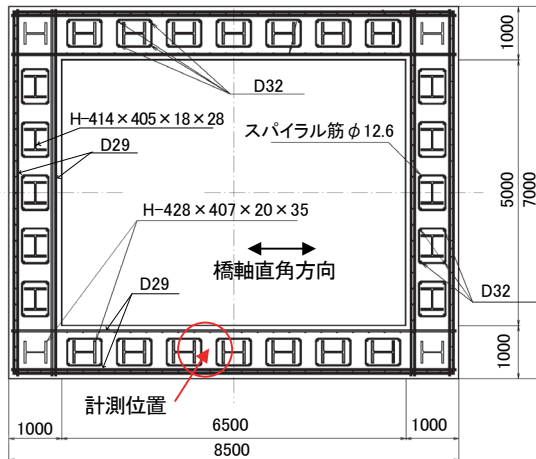


図-11 3H 橋脚躯体と計測位置

6a に示す。測定値および解析値のひずみは、温度上昇による温度ひずみを含んでいる。コンクリートひずみの鉄筋比によるピーク値の違いは各試験体において精度よく解析できた。また、主鉄筋およびフープ筋の測定値と解析値の比較を前掲図-6b、c に示す。主鉄筋のひずみは、解析上コンクリート要素と結合されていることから、コンクリートひずみと同じ値であり、実測値より小さい結果が得られた。解析結果と測定結果の傾向は一致しており、RC 解析モデルを用いて膨張材の収縮低減効果を解析できることを示した。

表-5 対象橋脚

工事名	尾道・松江自動車道竹地川橋下部工事
橋脚高さ	P1 : 38.0m P2 : 46.0m (計測対象)

表-6 使用材料と配合

セメント	高炉セメント B 種、密度 3.04g/cm^3
細骨材	三次産砕砂、表乾密度 2.58g/cm^3
粗骨材	三次産砕石、表乾密度 2.62g/cm^3 、Gmax20mm
混和剤	ポリカルボン酸エーテル系化合物
膨張材	主成分カルシウムサルフォアルミネート 低添加型 Type R
配合	水結合材比 50%、単位水量 170kg/m^3 単位セメント量 320kg/m^3 単位膨張材 20kg/m^3

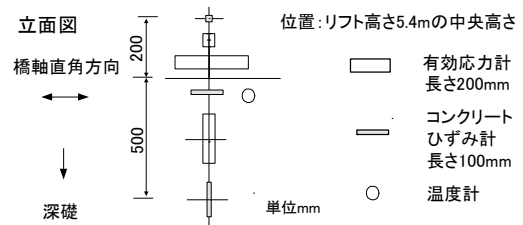
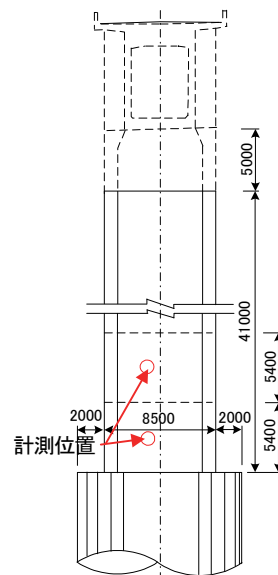


図-12 計測器の配置



3. 高橋脚への適用

3.1 概要

3H 工法橋脚は、従来の RC 橋脚で用いられてきた軸方向鉄筋を H 形鋼に置き換え、さらに H 形鋼を軸方向鉄筋とスパイラル筋で囲った構造（スパイラルカラム）である。対象橋脚を表-5に示す。ひび割れ抑制のために、膨張コンクリートを最下段リフトに使用した。使用材料と配合を表-6に示す。本リフトと2段目のリフトにおいて、効果を確認するために計測を実施した。また、配置鋼材のモデル化の有無による解析結果を測定結果と比較して、ひび割れ抑制効果の解析精度を検討した。

3.2 橋脚躯体と計測位置

配置鋼材の種類と鉄筋比を表-7に示す。また、3H 橋脚躯体と計測位置を図-11に、計測器の配置を図-12に示す。中空断面橋脚の橋軸直角方向幅は 8.5m、高さ 7.0m、壁厚さ 1m である。計測器設置位置は、リフト高さ 5.4m の中間 2.7m 位置であり、スパイラルカラムの間である。水平方向には帯鉄筋に拘束され、鉛直方向には軸方向鉄筋と H 形鋼に拘束されている。

3.3 計測結果

温度測定結果（第1リフト）を図-13に示す。打設温度は 16°C、ピーク温度は材齢 2.5 日で 42.2°C であった。第2リフトの打設は 38 日後であり、第1リフトの測定計器に影響はなかった。コンクリートひずみ測定結果を図-14に示す。橋軸直角方向のピークひずみは 238×10^{-6} 、橋軸方向のピークひずみ（壁厚方向）は 457×10^{-6} である。鉛直方向のピークひずみは 291×10^{-6} である。壁厚方向に比べて拘束の大きい橋軸直角方向、鉛直方向のひずみは小さい。

表-8 解析条件

設定定数	
コンクリート	断熱温度上昇特性 $Q_{\infty} 56.7$ 、 $\gamma 0.646$
	打設温度 16°C、圧縮強度 $f'_c(28) 24\text{N/mm}^2$
	有効ヤング係数補正係数 ϕ ：材齢 2.0 日まで 0.34、材齢 5 日以降 1.0、その間を線形補間
	熱伝導率 2.7 W/m°C、比熱 1.1 kJ/kg°C
鋼材	単位体積質量 2400 kg/m ³
	線膨張係数 $10 \times 10^{-6}/\text{°C}$
	熱伝達率：14 W/m ² C
鋼材	ヤング係数 $2.06 \times 10^5 \text{N/mm}^2$
	線膨張係数 $10 \times 10^{-6}/\text{°C}$

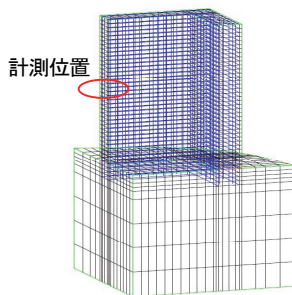


図-17 解析モデル（第1リフト、1/4モデル）

表-7 配置鋼材の種類と鉄筋比

鋼材	水平方向鉄筋	鉛直方向鉄筋・H形鋼
種類	D29 ctc150	スパイラルカラム (D32、H-428 ×407、H-414×405)
鉄筋比	1.29%	4.08%

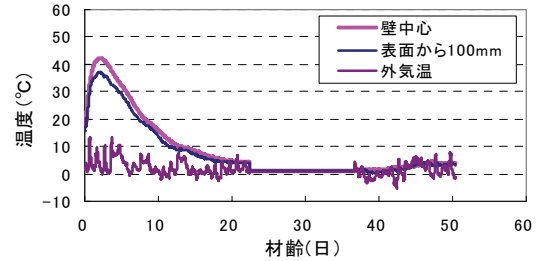


図-13 温度測定結果（第1リフト）

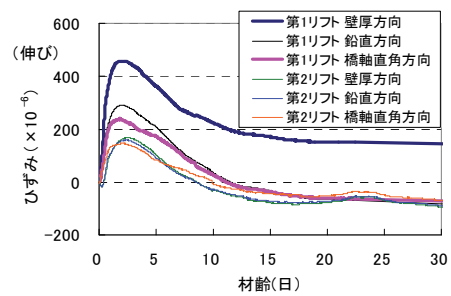


図-14 コンクリートひずみ測定結果

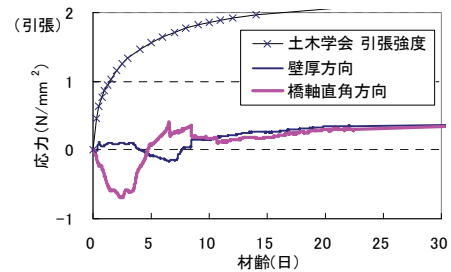


図-15 有効応力測定結果（第1リフト）

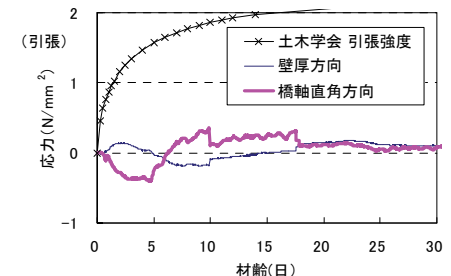


図-16 有効応力測定結果（第2リフト）

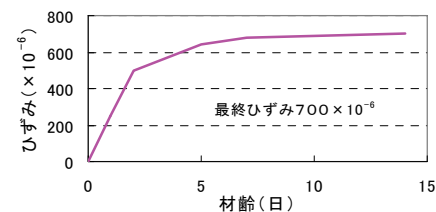


図-18 解析に用いた膨張ひずみ

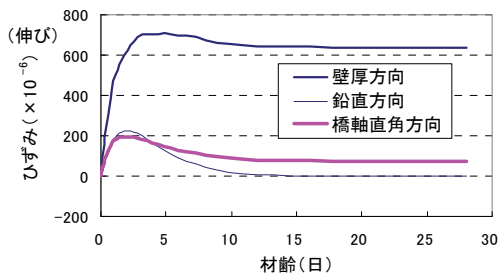


図-19 コンクリートひずみ解析結果 (鉄筋モデル)

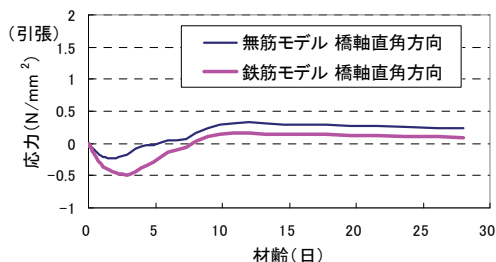


図-20 コンクリート応力解析結果

3H 橋脚構造は、中間帯鉄筋の役割をスパイラルカラムが受け持っているが、壁厚方向の膨張ひずみもこの拘束を受けて無筋の膨張の値 ($600 \sim 700 \times 10^{-6}$ 程度)⁴⁾より小さい結果となった。膨張材のない第2リフトのコンクリートひずみは、各方向とも大きさに違いはなく $150 \sim 170 \times 10^{-6}$ である。第1リフト、第2リフトにおける有効応力計による応力の測定結果をそれぞれ図-15、16に示す。橋軸直角方向応力は、第2リフトの -0.35N/mm^2 と比べて、第1リフトでは、 -0.69N/mm^2 の圧縮応力が導入され、ひび割れが防止された。第2リフトでは、外部拘束が小さく、ひび割れ発生は見られなかった。

3.4 解析モデルと解析結果

次に、鉄筋モデルと無筋モデルの解析を行った。拘束圧依存性を表す双曲線式のパラメータは $\epsilon_f / \epsilon_0 = 0.05$ とし、拘束圧依存パラメータは標準的と考えられる $a=5$ とした。解析条件を表-8に示す。圧縮強度、ヤング係数と材齢の関係はコンクリート標準示方書⁵⁾に準拠した。第1リフト解析モデルを図-17に、解析に用いた膨張ひずみの特性を図-18に示す。鉄筋モデルでは橋軸直角方向と鉛直方向の鋼材をモデル化しているが、スパイラル筋はモデル化していない。コンクリートひずみの解析結果を図-19に示す。解析されたコンクリートひずみのピーク値は、橋軸直角方向で 195×10^{-6} 、橋軸方向(壁厚方向)で 709×10^{-6} 、鉛直方向で 224×10^{-6} である。無筋モデルでの橋軸直角方向のコンクリートひずみのピーク値は 334×10^{-6} であり、鉄筋モデルはこの0.58倍の大きさになった。コンクリート応力解析結果を図-20に示す。橋軸直角方向応力の、鉄筋モデルの解析値は、 -0.49N/mm^2 となり無筋モデルの -0.23N/mm^2 より測定値 -0.69N/mm^2 (図-15) に近く、鉄筋モデルの圧縮応

力ピーク値の大きさは無筋モデルの2.1倍である。以上のことから、本構造物のような鋼材量の大きい構造物の解析では、膨張ひずみを与える場合には鋼材を考慮した解析モデルを用いるなど、鋼材による拘束に配慮した検討が必要である。

3.5 高橋脚適用のまとめ

鉄筋比の大きい中空橋脚において、膨張材を用いたリフトでの圧縮応力導入とひび割れ抑制効果が確認できた。また、鋼材を考慮した解析モデルを用いて膨張材の効果を精度よく表せることを示した。

4. トンネル覆工への適用

4.1 概要

現場概要を表-9に、覆工コンクリートの使用材料

表-9 現場概要

工事名称	平成19-22年度大坂谷トンネル工事
工事概要	工事延長 L=1350m、NATM 工法、幅員 W=10.5m、内空断面積 A=73 m ²

表-10 使用材料と配合

セメント	普通ポルトランドセメント 密度 3.16g/cm^3
細骨材	四万十産海砂、表乾密度 2.57g/cm^3 高知産砕砂、表乾密度 2.58g/cm^3
粗骨材	四万十産砕石、表乾密度 2.63g/cm^3 高知産砕石、表乾密度 2.62g/cm^3 Gmax40mm
混和剤	ポリカルボン酸系化合物
膨張材	石灰系(構造用)低添加型 密度 3.16g/cm^3 、粉末度 $3450 \text{cm}^2/\text{g}$
配合	水結合材比 59%、単位水量 160kg/m^3 単位セメント量 251kg/m^3 単位膨張材 20kg/m^3

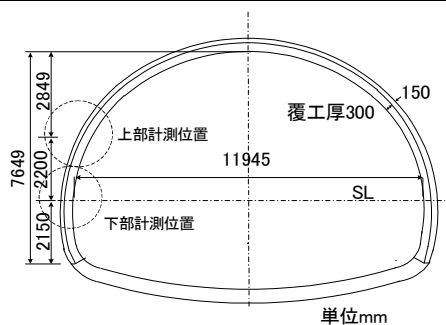


図-21 計測位置

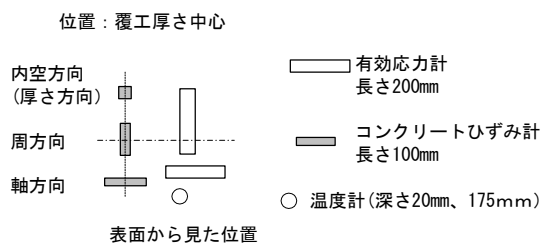


図-22 計測器の配置

と配合を表-10に示す。また、トンネルの計測位置を図-21に、計測器の配置を図-22に示す。計測は、膨張コンクリートを高さ3mまで使用し、その上に膨張材を添加しない普通コンクリートを打ち重ねたブロックと膨張コンクリートを全断面に使用したブロックの2ブロックで実施した。なお、当覆工区間は無筋区間である。

4.2 計測結果

高さ3mまで膨張コンクリートを用いたブロックの覆工コンクリートの温度変化を図-23に示す。実ひずみ測定値を図-24、25に示す。打設温度は25℃、また、ピーク温度は43℃である。普通コンクリート部の3方向(軸、周、内空方向)のひずみのピーク値は、軸方向および内空方向(壁厚方向)では 160×10^{-6} 程度、周方向では 37×10^{-6} のひずみが温度ピーク時に生じた。膨張コンクリート部の3方向のひずみピーク値は、軸方向および周方向では 200×10^{-6} 程度、内空方向は軸および周方向に比べ拘束が小さいことから 600×10^{-6} 程度のひずみが発生した。

覆工コンクリートの有効応力の測定値を図-26、27に示す。普通コンクリート部の2方向(軸、周方向)の応力は -0.35 N/mm^2 程度である。膨張コンクリート部の応力は軸方向で -0.96 N/mm^2 、周方向では -0.70 N/mm^2 である。図中にコンクリートの引張強度(コンクリート標準示方書準拠)⁵⁾を示す。

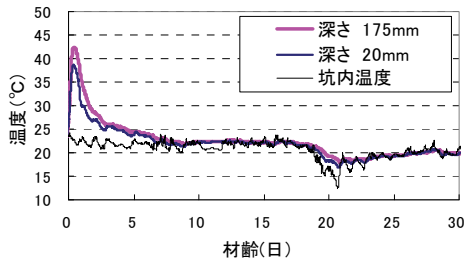


図-23 温度測定値(膨張コンクリート部)

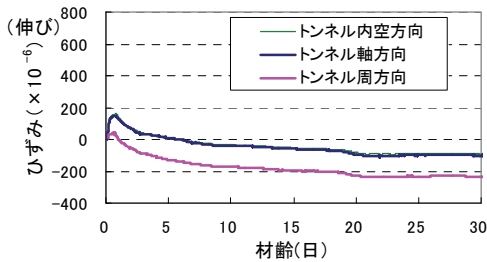


図-24 ひずみ測定値(普通コンクリート部)

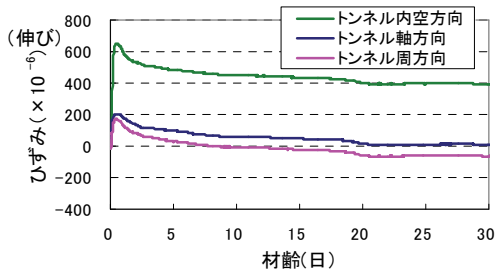


図-25 ひずみ測定値(膨張コンクリート部)

インバートの拘束によるひび割れの発生が懸念された覆工下部の膨張コンクリート部(図-27)には、圧縮応力が導入され、ひび割れ抵抗性が向上している。打ち重ねた高さ3mより上の普通コンクリート部(図-26)にも、ひび割れの原因となる大きな引張応力は発生していない。また、実際に覆工コンクリートにはひび割れは発生していない。インバートの拘束によるひび割れ発生の可能性が大きい場合には、下部3mまでを膨張コンクリートとし、普通コンクリートを打ち重ねることで、覆工コンクリートのひび割れを抑制できるといえる。一方、全断面に膨張コンクリートを打設したブロックでは、上部、下部とも膨張コンクリート部(図-27)と同様な圧縮応力導入が計測された。

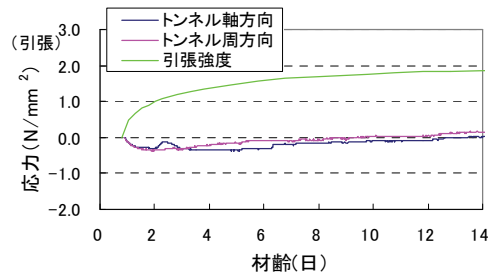


図-26 有効応力測定値(普通コンクリート部)

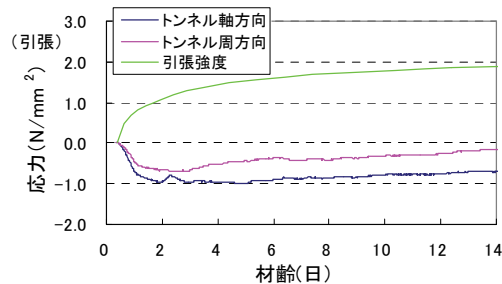


図-27 有効応力測定値(膨張コンクリート部)

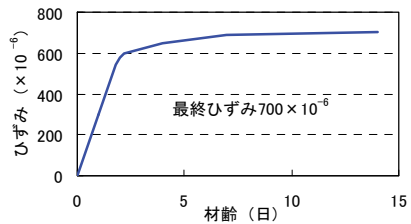


図-28 解析に用いた膨張ひずみ

表-11 解析条件

設定定数	
コンクリート	断熱温度上昇特性 $Q_{\infty} 42.3$ 、 $\gamma 1.207$
	打設温度 25℃、圧縮強度 $f'(28) 21 \text{ N/mm}^2$
	有効ヤング係数補正係数 ϕ : 材齢 1.2 日まで 0.34、材齢 5 日以降 1.0、その間を線形補間
	熱伝導率 2.7 $\text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ 、比熱 1.1 $\text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$
地盤	単位体積質量 2400 kg/m^3
	線膨張係数 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
コンクリート	熱伝達率: 14 $\text{ W/m}^2\text{C}$
	ヤング係数 $2.0 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$
コンクリート	線膨張係数 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

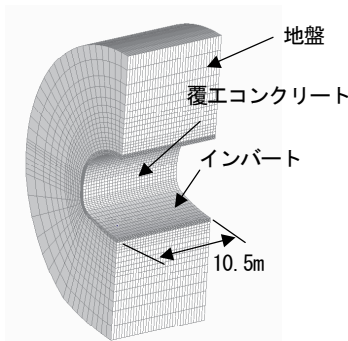


図-29 解析モデル (1/2モデル)

4.3 解析モデルと解析結果

3次元トンネル覆工モデルにより解析を行った。拘束圧依存性を表す双曲線式のパラメータは $\varepsilon_f / \varepsilon_0 = 0.05$ とし、比較的拘束圧が小さいことから、拘束圧依存パラメータ $a=1$ とした。解析に用いた膨張ひずみを図-28に、解析条件を表-11に、解析モデルを図-29に示す。解析モデルにおいて、覆工コンクリートの高さ3mまでを膨張コンクリートとした解析から求められたひずみと測定値を図-30に示す。コンクリートひずみのピーク値は、軸方向で 80×10^{-6} 、周方向では 200×10^{-6} 、内空方向では 650×10^{-6} となった。ひずみ解析値は、測定値と比べて緩やかに低下している。コンクリート応力の解析結果を図-31に示す。解析による圧縮応力のピーク値は軸方向で -1.08 N/mm^2 、周方向では -0.75 N/mm^2 であり、軸方向に圧縮応力が導入され、測定値と比較して良好な解析結果を示した。

4.4 覆工適用のまとめ

トンネル覆工では、インバート拘束の他に背面の拘束や隣接ブロックの拘束が作用して複雑であり、解析結果の精度には向上の余地が残されているが、本手法によりひずみと応力の挙動を表すことができた。また、インバートから高さ3mまで膨張コンクリートを打設し、膨張材を添加しないコンクリートを打ち重ねることにより、ひび割れの発生を防止できることが分った。

5. まとめ

本実験および計測により、以下の知見を得た。

- i. 鉄筋比を変化させたRC試験体を用いた実験において、鉄筋拘束の膨張ひずみに及ぼす影響を、RC解析モデルを用いて精度よく表すことができた
- ii. 鉄筋量の多い高橋脚に膨張コンクリートを適用し、測定結果を良好に解析できたことで、RC解析モデルを用いた本解析手法の有効性が示された
- iii. 膨張コンクリートを打設したトンネル覆工において計測した挙動を、解析によって表し、インバートから高さ3mまで膨張コンクリートを打設することによりひび割れの発生を防止できた

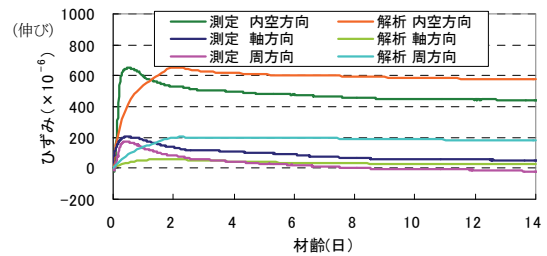


図-30 コンクリートひずみ(下部膨張コンクリート部)

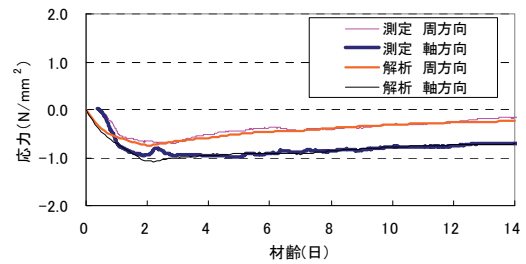


図-31 コンクリート応力(下部膨張コンクリート部)

6. あとがき

膨張コンクリートを打設した構造物の挙動を精度良く予測することにより、効果的なひび割れ抑制対策をとることができる。今後は、鉄筋をモデル化しない解析モデルにおける鉄筋評価方法の検討を進めたい。

本検討を行うに当たり、国土交通省中国地方整備局三次河川国道事務所、ならびに国土交通省四国地方整備局土佐国道事務所のご指導を賜ったことに深く感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 三谷裕二ほか、「マス養生温度履歴下における膨張コンクリートの応力評価手法」、コンクリート工学年次論文集、Vol.28、No.1、pp.1295-1300、2006.7
- 2) 東 邦和、中村敏晴、増井 仁、梅原秀哲、「膨張材によるマスコンクリート構造物ひび割れ対策としての効果の検討」、セメント・コンクリート論文集、No.57、pp.193-200、2003
- 3) 高瀬和男ほか、「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、2002.7
- 4) 東 邦和、中村敏晴、梅原秀哲、「膨張材を用いた打重ね実験による膨張収縮挙動と解析手法の適用」、コンクリート工学年次論文集、Vol.31、No.1、pp.1537-1542、2009.7
- 5) 「コンクリート標準示方書」、2007年制定