

報告 鋼管の背面拘束を受ける RC 壁の膨張コンクリートを用いた温度ひび割れ抑制に関する実験的研究

浅井功*1・高橋浩一*2・新山純一*3・伊藤浩*4

要旨：マスコンクリートの温度ひび割れ制御および乾燥収縮の抑制を目的として、水和熱抑制型膨張材を混和する対策がある。本研究は、鋼管矢板からの背面拘束を受ける側壁を対象構造物として、膨張コンクリートとプレーンコンクリートを同一日同一箇所というほぼ等しい環境下で試験施工を行い、1) コンクリートひずみ、温度、鉄筋応力の計測結果、2) ひび割れ調査、3) 解析的検討、の3点から両者の比較検討を行い、膨張コンクリートのひび割れ抑制効果について報告する。

キーワード：マスコンクリート、膨張コンクリート、温度応力

1. はじめに

本構造物は壁厚1.6m、高さ5.1mの側壁で、既設コンクリートによる下からの拘束だけでなく、鋼管矢板からの背面拘束も受けており、温度ひび割れの発生が予想され、マスコンクリート対策が求められた。事前検討により、1) 水和熱抑制型膨張材を混和する、2) ひび割れ誘発目地を5m間隔で設置する、の2点をひび割れ制御対策として採用した。ひび割れ制御対策の効果を実験的に明らかにするため、実構造物に対して膨張コンクリートとプレーンコンクリートを同一日同一箇所というほぼ同一環境下で施工し計測を行った。本研究は、膨張材がコンクリート温度、ひずみ、鉄筋応力に与える影響、およびひび割れ抑制効果について以下に報告する。

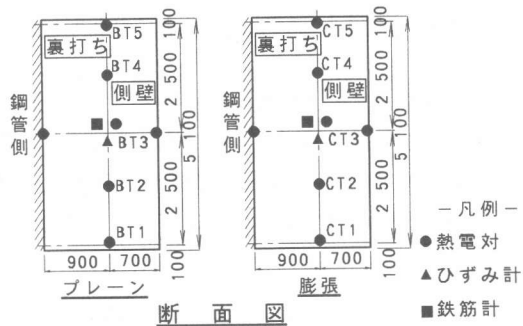
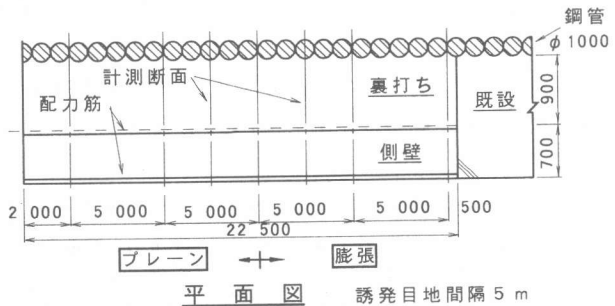


図-1 対象構造物および計測器配置

2. 試験施工概要

2.1 対象構造物

対象構造物および計測器の配置を図-1に示す。計測器は、コンクリート温度および外気温には熱電対、

*1 西松建設(株)技術研究所技術部土木技術課、工修(正会員)
 *2 日本鉄道建設公団東京支社計画部計画課長
 *3 日本鉄道建設公団盛岡支社工事第一部工事第一課補佐、(正会員)
 *4 日本鉄道建設公団東京支社計画部計画課

コンクリートひずみには埋込型ひずみ計、鉄筋応力には鉄筋計を使用した。

2. 2 コンクリート配合

コンクリート配合を表-1に示す。水和熱抑制型膨張材は、カルシウムサルホアルミネート系膨張材にセメント水和熱抑制用多分子化合物を添加したものである。

表-1 コンクリートの示方配合

種類	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単用量 (kg/m ³)					
					W	C	膨張材	S	G	混和剤
膨張	20	8	55.0	45.0	149	241	30	831	1064	0.88
プレーン	20	8	54.6	42.0	147	269	-	779	1129	0.88

セメント種類：高炉セメントB種、設計基準強度： $f'_{ck}(28)=240 \text{ kgf/cm}^2$ 、

混和剤：AE減水剤ポゾリスNo. 70、混和材：水和熱抑制型膨張材CSA100R

3. 計測結果

本試験施工の日程は次のとおりである。

打込み日 1994年9月27日 7:00~11:00 膨張コンクリート打込み

11:15~16:00 プレーンコンクリート打込み

型枠脱型 1994年10月5日 脱型しブルーシートで全面を覆う

3. 1 コンクリート試験

フレッシュコンクリートと硬化コンクリートの性状を表-2に示す。強度試験は無拘束標準供試体の値である。膨張コンクリートは、プレーンコンクリートと同等の強度が得られている。

表-2 フレッシュコンクリートと硬化コンクリートの性状

コンクリートの種類	スランプ (cm)	空気量 (%)	練上り温度 (°C)	圧縮強度 (kgf/cm ²)				引張強度 (kgf/cm ²)			
				3日	7日	14日	28日	3日	7日	14日	28日
膨張	8.5	4.0	22.0	115	224	301	350	14.1	21.4	29.4	32.4
プレーン	8.0	4.1	22.0	131	204	268	324	12.9	20.7	25.3	30.1

3. 2 コンクリート温度

コンクリート温度を図-2および表-3に示す。膨張コンクリートはプレーンコンクリートに比べ、最高温度で4.2°C、温度上昇量で4.4°C低い。水和熱抑制型膨張材を混和した場合でもコンクリートの最高温度はプレーンコンクリートの場合とほぼ同等 [1] とされているが、本計測に

表-3 コンクリート温度計測結果

種類 温度	膨張コンクリート		プレーンコンクリート	
	中央部 (CT-3)		中央部 (BT-3)	
最高温度 (°C)	61.3 (材齢1.9日, 9月29日 5:05)		65.5 (材齢2.3日, 9月29日 21:25)	
初期温度 (°C)	26.4 (9月27日 8:30)		26.2 (9月27日 13:50)	
温度上昇量 (°C)	34.9		39.3	

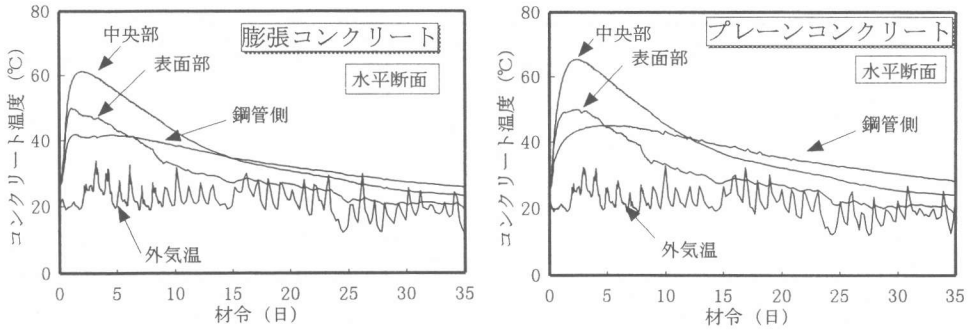


図-2 コンクリート温度 (計測結果)

においてはコンクリート温度抑制効果が認められる。

3.3 コンクリートひずみ

埋込型ひずみ計で計測されるひずみには、以下のひずみが含まれている。

全ひずみ = 自由伸縮ひずみ + 有効ひずみ

ここに、全ひずみ：埋込型ひずみ計で計測される全てのひずみを含んでいる、自由伸縮ひずみ：熱膨張によるひずみで熱膨張係数に比例し、通常は無応力計により計測される、有効ひずみ：温度応力に対応するひずみ

全ひずみについて、膨張コンクリートとプレーンコンクリートを比較する(図-3)。両者のひずみの差を膨張ひずみで見ると、膨張ひずみは 200×10^{-6} 程度となる。材齢とともに両者のひずみ差が漸増している。これは図-2に示すように、プレーンコンクリートの温度降下が膨張コンクリートと比較してやや大きいことが影響していると考えられる。また、材齢8日以降に膨張ひずみが若干変動するのは型枠脱型の影響と考えられる。

有効ひずみは熱膨張係数を 10×10^{-6} ($1/^\circ\text{C}$)と仮定して、全ひずみから自由伸縮ひずみを除去して求める。膨張コンクリートの場合、自由伸縮ひずみおよび有効ひずみにはそれぞれ膨張材の効果が含まれているが、本報告では「全ひずみから熱膨張係数 10×10^{-6} ($1/^\circ\text{C}$)として自由伸縮ひずみを除去したひずみ」を「膨張コンクリートの有効ひずみ」と表記する。

3.4 鉄筋応力

鉄筋応力に関する膨張コンクリートとプレー

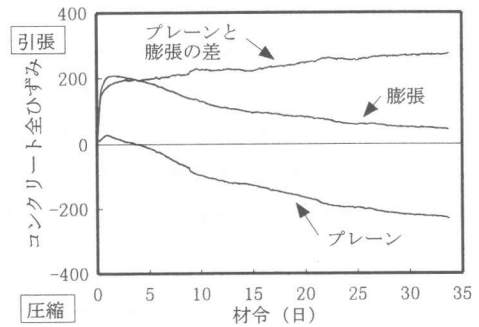


図-3 コンクリート全ひずみ (計測結果)

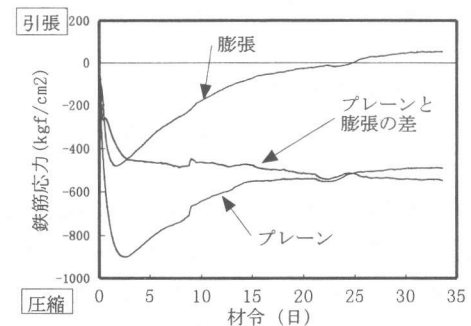


図-4 鉄筋応力 (計測結果)

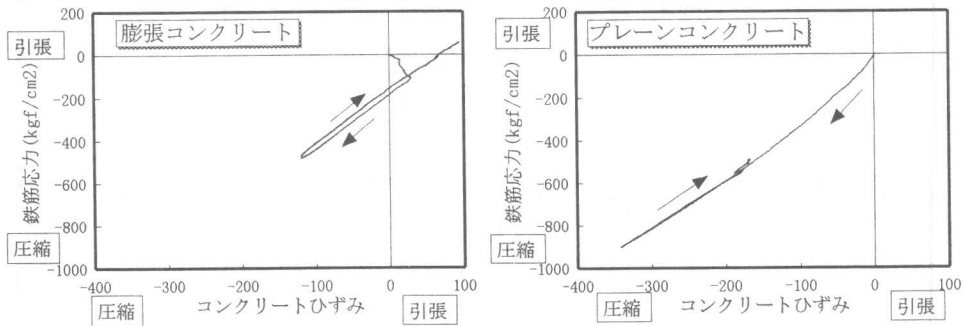


図-5 鉄筋応力と有効ひずみの関係（計測結果）

ンコンクリートの比較を図-4に示す。両者の応力差を膨張材による効果であると見なすと、膨張材により導入された鉄筋応力は、500 (kgf/cm²) 程度となる。図-5に示すように、鉄筋応力と有効ひずみには比例関係が認められ、その勾配は膨張コンクリートの場合 2.5×10^6 (kgf/cm²)、プレーンコンクリートの場合 2.2×10^6 (kgf/cm²) となり、両者とも鉄筋の弾性係数 2.1×10^6 (kgf/cm²) とほぼ等しい。このように鉄筋応力の挙動は有効ひずみの挙動と一致していると言える。

3. 5 ひび割れ発生状況

ひび割れ調査を目地間隔の5mを対象として、材齢9日（1994年10月6日）、15日（10月12日）、22日（10月19日）、35日（11月1日）の4回行い、ひび割れの形態、長さ、幅を記録した。ひび割れ幅については、1m間隔でクラックスケールで読取った。材齢35日でのひび割れ調査結果を表-4および図-6に示す。膨張コンクリートに発生したひび割れはヘアクラックで、ひび割れ本数、ひび割れ幅ともにプレーンコンクリートに比べ、大幅に少ない。

表-4 ひび割れ調査結果（材齢35日）

プレーンコンクリート				膨張コンクリート			
本数	ひび割れ幅 (mm)	幅の合計 (mm)	単位長当りの幅 (mm/m)	本数	ひび割れ幅 (mm)	幅の合計 (mm)	単位長当りの幅 (mm/m)
8本	0.2, 0.1, 0.4, 0.1 0.3, 0.1, 0.1, 0.1	1.4	0.28	5本	0.05, 0.05, 0.08 0.05, 0.05	0.28	0.056

4. 解析的検討結果

ここでは解析的手法を用いて、膨張コンクリートの特性を明らかにしていく。

4. 1 断熱温度上昇式の同定

コンクリート温度、気温の計測結果を用いて逆解析により、コンクリートの断熱温度上昇式を同定する。解析手法はガウス・ニュートン法による逆解析を用い、解析断面は水平断面とし、解析対象期間は打込みから脱型とする [2]。表-5に、初期コンクリート温度、逆解析結果を示す。図-7に計測結果と逆解析結果を示す。

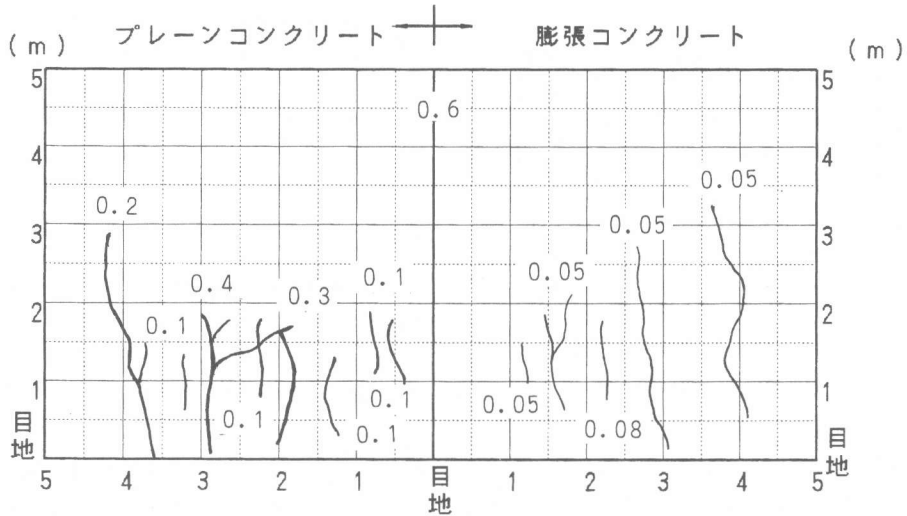


図-6 ひび割れ発生状況 (材齢35日)

表-5 温度解析条件および逆解析結果

種類	初期値 設定時刻	解析条件			逆解析結果				
		初期温度 T_{c0}			λ_c	$\rho_c C_c$	η	断熱温度上昇式	
		鋼管側	中央	型枠側				Q_∞	γ
膨張	9/27- 8:35	26.4	26.4	26.2	1.68	650.7	3.11	39.2	1.329
プレーン	9/27-13:50	26.2	26.2	26.2	1.72	656.3	3.64	45.7	1.106

ここに、 λ_c :コンクリートの熱伝導率(kcal/mh $^{\circ}$ C)、 $\rho_c C_c$:コンクリートの熱容量(kcal/m 3 $^{\circ}$ C)、比熱 C_c (kcal/kg $^{\circ}$ C) \times 密度 ρ_c (kg/m 3)、 T_{c0} :打設コンクリートの初期温度($^{\circ}$ C)、 η :熱伝達率(kcal/m 2 h $^{\circ}$ C)、但し、 $Q(t) = Q_\infty (1 - \exp(-\gamma t))$ 、 t :材齢(日)、 Q_∞ :終局断熱温度上昇量($^{\circ}$ C)、 γ :温度上昇速度に関する定数

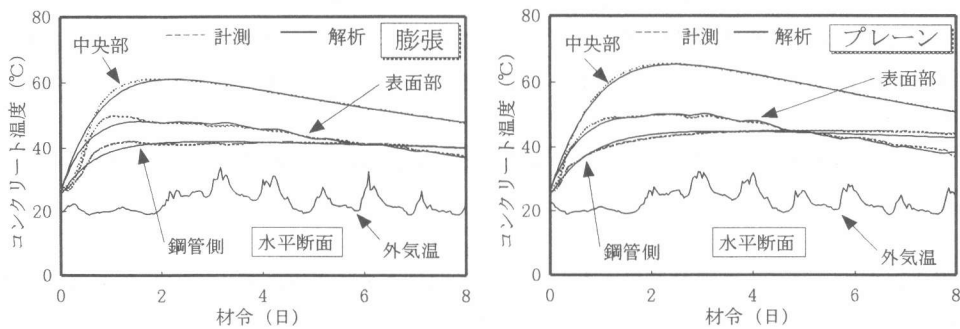


図-7 計測結果と逆解析結果の比較

4. 2 膨張コンクリートの熱膨張係数の推定

熱膨張係数が鉄筋応力に与える影響をみる。ここでは厳密な解析は目的とせず、コンクリート

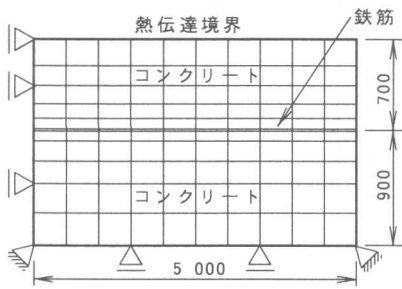


図-8 解析モデル

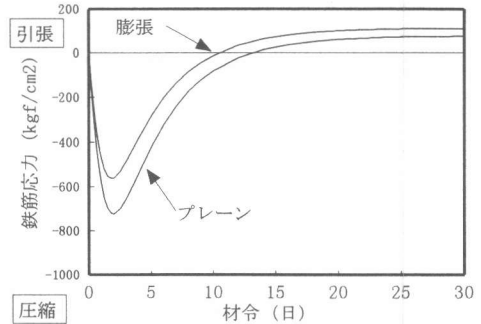


図-9 熱膨張係数が鉄筋応力に与える影響

の熱膨張係数の違いが、鉄筋応力の挙動に与える影響を見ることである。解析手法は2次元有限要素法による温度解析および温度応力解析を用いて行う。計測結果にはひび割れの発生が見られないことより、解析ではひび割れについては考慮していない。解析条件は逆解析で得られた物性値を用い、熱膨張係数については鉄筋、コンクリート共に 10×10^{-6} ($1/^\circ\text{C}$)とする。ただし、膨張コンクリートの場合、温度上昇時に熱膨張係数を 20×10^{-6} ($1/^\circ\text{C}$)とする。鉄筋の弾性係数は 2.1×10^6 (kgf/cm^2)とする。解析モデルを図-8に、解析結果を図-9に示す。図-9より定性的に見れば、プレーンコンクリートに発生する圧縮鉄筋応力の方が大きいという計測結果を再現できている。よって、本構造物のような拘束条件下においては、計測で得られた鉄筋応力の挙動を再現するには上記の解析条件および手法が考えられる。

5. まとめ

同一日、同一場所というほぼ等しい環境条件下における、膨張コンクリートとプレーンコンクリートの計測結果を比較検討した結果、以下のことが言える。

- 1) コンクリート温度については、最高温度、温度上昇量ともに約 4°C の温度抑制効果があった。
- 2) 膨張材により導入されるコンクリートの膨張ひずみは 200×10^{-6} 程度であった。
- 3) 膨張材により導入される鉄筋応力は 500 (kgf/cm^2)程度であった。
- 4) 鋼管による背面拘束を受ける側壁においては、膨張コンクリートの温度上昇時における熱膨張係数をプレーンコンクリートの2倍程度として解析を行うことで、現象を定性的に再現できる可能性を示した。

今後は、種々の拘束条件下での計測データを蓄積し、解析条件および手法について検討を行うべく予定である。

謝辞

本計測を行うにあたり、多大な御協力を頂きました関係者の皆様方に深く感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 例えば、浅井功ほか：スラブ状コンクリートの実測応力と事後解析の比較検討、土木学会第49回年次学術講演会、第V部門、pp1120~1121、1994
- [2] 例えば、松井邦人ほか：逆解析手法によるマスコンクリートの熱特性値の推定、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 16、No. 1、pp1347~1352、1994