

論文 マスコンクリート構造物の温度ひび割れ制御

神崎 浩二^{*1}・吉本 靖俊^{*2}・樋口 晃^{*3}・村上 祐治^{*4}

要旨：新若戸道路（仮称）の陸上トンネル部（若松側）は、2 径間のボックスカルバートである。部材の厚さが 1,300mm 程度のマスコンクリート構造物であり、セメントの水和熱反応による温度ひび割れの発生が懸念された。そこで、ひび割れ制御対策として L=15m の間隔で断面欠損率 58%以上となる誘発目地を設置し、打込み 6 時間後から 5 日間以上の鉛直パイプクーリングを実施した。その結果、誘発目地周辺部以外での 0.2mm 以上のひび割れ発生を防止し、かつ温度ひび割れ指数がスペック値である $I_{cr}=1.2$ 以上を確保できた。本論文では、パイプクーリングを採用したことによって、より経済的な施工ができたことについて述べる。

キーワード：マスコンクリート、温度ひび割れ、ひび割れ誘発目地、パイプクーリング

1. はじめに

本構造物は、図-1 に示すように底版・側壁・頂版の厚さが 1.3m，中壁 1.1m，ボックス外形が幅 36.3m，奥行き 45.0m，高さ 10.9m の 2 径間ラーメンボックスカルバートであり、マスコンクリート構造物となっている。

建設地点は、若松側の沈埋函接続部に位置しており、地中構造物となっている。また、海岸から 200m 以内にあるため、塩化物イオンを含んだ地下水の影響を受けることが想定された。

マスコンクリートの場合、コンクリートの体積変化により温度応力が発生し、ひび割れの発生する可能性が高いため、体積変化によるひび割れを極力抑える必要がある。そこで、本構造物においては、温度ひび割れ指数を 1.2 以上とし、補修を必要としないひび割れ幅を 0.2mm 以下と設定してひび割れ対策を実施した。

本論文は、体積変化によるひび割れを極力抑えることを目的に、ひび割れ誘発目地の設置、鉛直パイプクーリングを行うとともに、埋設計器および目視によって確認したひび割れ対策の有効性について述べる。

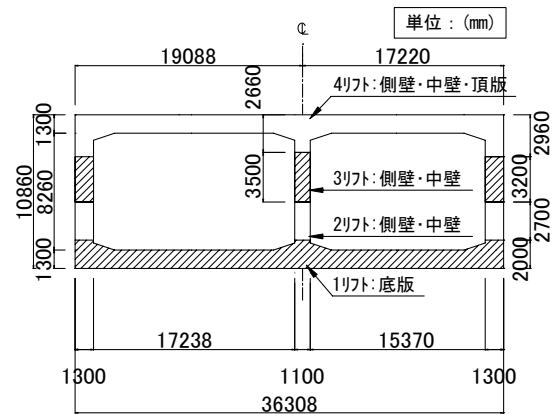


図-1 ボックスカルバート標準断面図

2. 温度ひび割れの制御

2.1 実施したひび割れ対策

(1) 底版コンクリート（1 リフト）

底版コンクリートは、厚さ 30cm の均しコンクリート上に打ち込む 1.3m のコンクリートである。基盤面は碎石に置換えており、コンクリートの体積変化に対応可能な基盤であることから、特別なひび割れ対策は必要ないと考えた。施工後のひび割れ発生状況を目視にて経過観察したが、管理材齢である 91 日を超えても仕上がり面には

*1 (株) 間組 九州支店土木部新若戸作業所 主任 (正会員)

*2 国土交通省 九州地方整備局北九州港湾・空港整備事務所 所長

*3 国土交通省 九州地方整備局北九州港湾・空港整備事務所 係長

*4 (株) 間組 技術・環境本部技術研究所土木研究室 チームリーダー (正会員)

有害なひび割れは認められなかった。

(2) 側壁・中壁コンクリート (2 リフト)

温度応力解析の結果から、最もひび割れ発生危険度の高いとされた 2 リフトの側壁・中壁に対しては、次の 3 項目を実施した。

- 1) コンクリートの発熱を抑えるため
 - a) 低熱ポルトランドセメントを使用
 - b) 表-1 に示すように、セメント量低減のため高性能 AE 減水剤の使用
- 2) L=15.0m 以下の間隔にて断面欠損率が 58% 以上となるひび割れ誘発目地を配置

誘発目地材の選定は、取付けが容易でひび割れ発生後の補修を必要としないスパンシール誘発目地材を用いることとした²⁾。誘発目地材の標準配置を図-2 に示す。

スパンシール誘発目地材は A, B 部材の 2 種類によって構成されており、亜鉛メッキ鋼板を加工したものに厚さ 3mm のブチル粘着材が貼付されている止水性の高い目地材である。コンクリート部材両端と A 部材間に発生するひび割れに対しては、基本的に A 部材が止水効果を発揮するが、景観上を考慮して目地部に無収縮モルタルと弾性シール材を 2 層にて被覆することとした。誘発目地の設置状況を写真-1 に示す。

- 3) コンクリート打込み 6 時間後より鉛直方向 1.0m 間隔にて鉛直パイプクーリングを 5 日間以上実施

一般に、コンクリートダムでパイプクーリングが実施されているが、水平に配管されたパイプを配置し、その配管に河川水を流す手法がとられている。しかし、新若戸道路では、水平配管すると配管が浮いた状態となるため、配管の固定や継ぎ手の止水性などが課題となった。

そこで、図-3 に示すような鉛直パイプクー

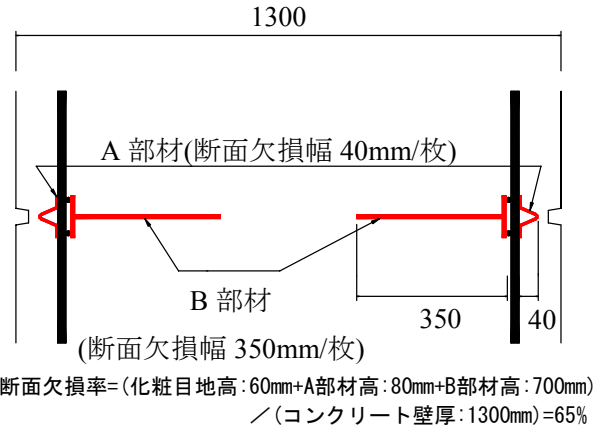


図-2 壁厚 1.3m における誘発目地材の配置図



写真-1 ひび割れ誘発目地材設置状況

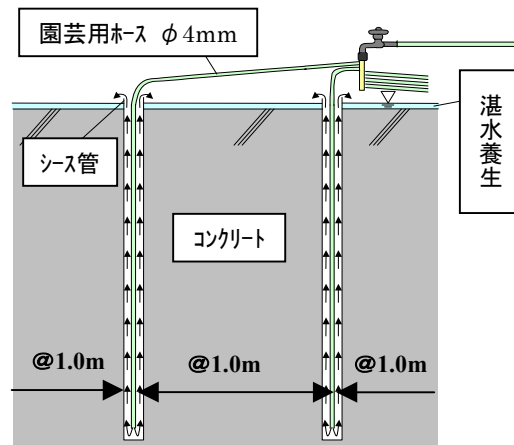


図-3 鉛直パイプクーリング概念図

表-1 低熱ポルトランドセメントを用いたコンクリートの配合

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 (%)	空気量 (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				高性能 AE 減水剤 Ad (%)
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	
低熱	20	12	55	4.5	46.5	157	285	846	1,025	0.75

リングを実施することとした。水平パイプクーリングとの相違を表-2に示す。

パイプクーリングの水温は、解析時に設定した 24.5℃を上廻らないよう管理した。また、流量については、鉛直パイプ内へ送水する枝管ホースをφ4mmとしたこと、および鉛直方向 1m 間隔にパイプを配置したことにより、毎分 3 リットルとした。なお、ひび割れ対策の実施によって、目的とした温度ひび割れ指数 $I_{cr}=1.2$ 以上が確保されたか否かを確認するために、コンクリート内部に熱電対式温度計、有効応力計等を設置した。実測した計測値を式(1)に代入し、温度ひび割れ指数の経時変化を求めた³⁾。

$$I_{cr}(t) = f_{tk}(t) / \sigma_t(t) \quad (1)$$

ここに、

$I_{cr}(t)$: ひび割れ指数

$f_{tk}(t)$: 材齢 t 日におけるコンクリート引張強度

$\sigma_t(t)$: 材齢 t 日における温度応力

コンクリート引張強度は、測定された割裂引張強度の推定式から求めた引張強度を用い、温度応力は図-4に示す B o x 3 北壁コンクリートに設置した有効応力計で測定された応力値を用いた。

2.2 効果の確認

(1) 温度ひび割れ指数の確認

B o x 3 の側壁 (北) を 2005 年 3 月 31 日に打込んだ。同壁のクーリングは打込み完了 7 時間後の PM11:00 に開始し、4 月 5 日 PM5:00 までの 4 日間と 18 時間実施した。測定した温度、応力および温度ひび割れ指数を図-5に示す。

コンクリートの打ち込み温度は 15.9℃であり、最大上昇温度は打ち込み後 1.29 日目に 29.7℃、上昇量は 13.8℃であった。最大ピークから温度が約 5.0 日で 20℃付近まで低下していることが分かる。経過時間 5 日から 10 日までは、側壁の温度と外気温がほぼ一定であり、打込み後 10 日

表-2 鉛直 P C と水平 P C の相違

項目	鉛直 P C	水平 P C
パイプ配置	鉛直配置	水平配置
パイプ間隔	1.0m	1.0m
リフト厚さ	影響を受けない	制限を受ける リフト厚さ 1m 程度
得意な構造物	狭長&高構造物	平面的な構造物
パイプ	パイプ直管のみ	継ぎ目や ベント管が必要
排水	コンクリート 表面の養生水	排水となる
穴埋め	目視で確認可能	注入量で確認

(P C…パイプクーリング)

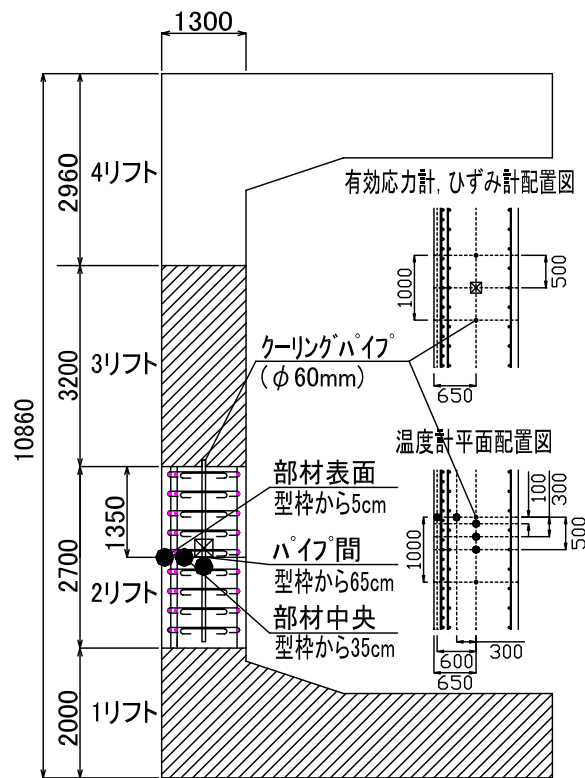


図-4 計測機器配置図 (B o x 3 北側壁)

から 15 日まで外気温が若干低下し、15 日以降に外気温は上昇している。この外気温の変動に呼応して側壁の温度も変化していることが分かる。B o x 3 に埋設した有効応力計は、応力計自体がロードセルであるためコンクリートに生じた応力を直接測定できることが特徴である。有効応力計で測定された応力は、側壁のコンクリート

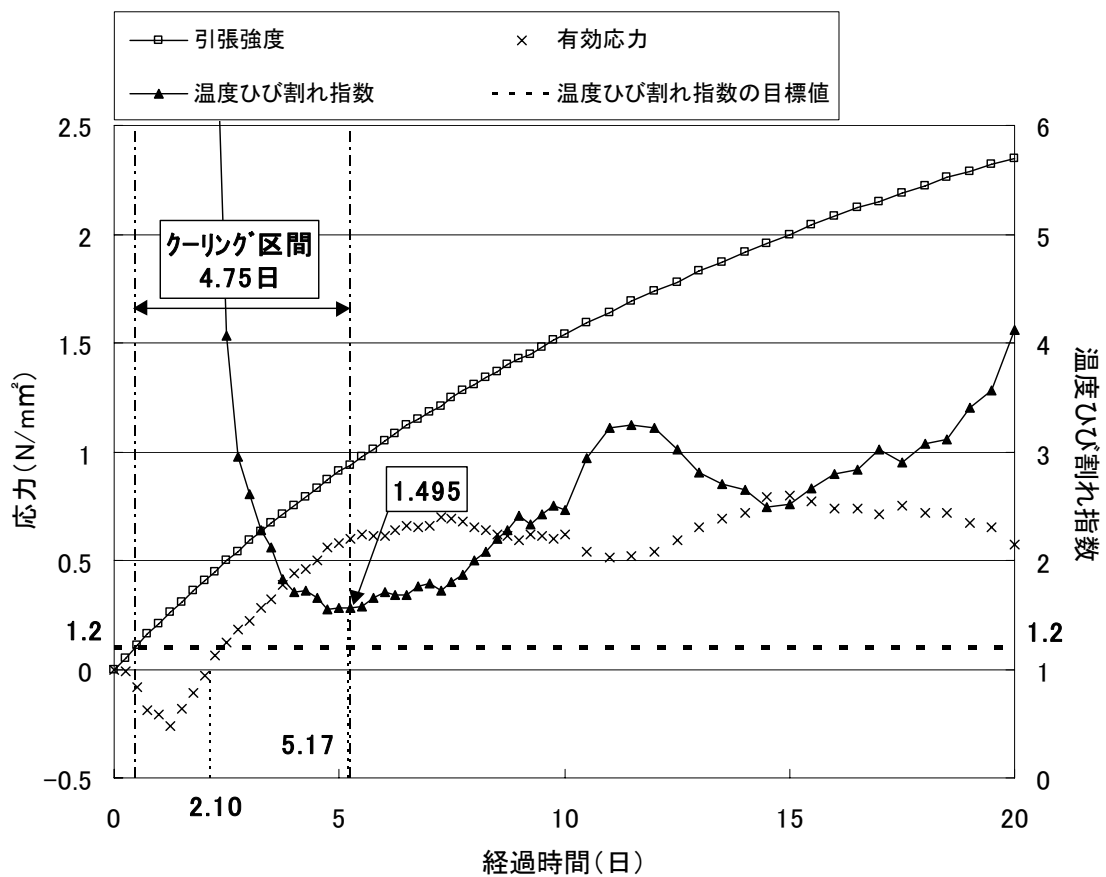
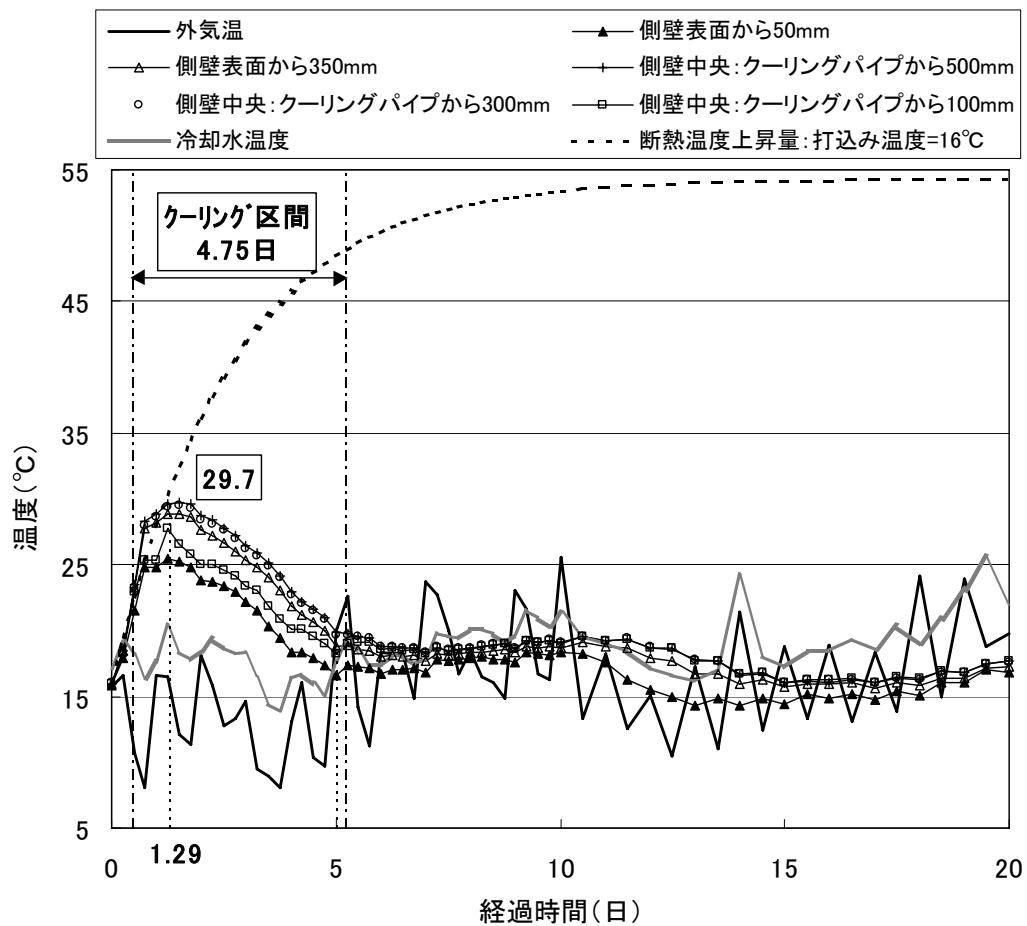


図-5 計測値とひび割れ指数の関係

が発熱し、ピーク温度になる付近までは、圧縮力が増加している。ピークを過ぎて低下し始めると、圧縮力が減少し始めており、コンクリート打込み後 2.1 日目に圧縮領域から引張応力の領域に入っていることが分かる。打ち込み後 5 日から 10 日目では、側壁のコンクリート温度はほぼ一定であるため、応力も $0.6\sim 0.7\text{N/mm}^2$ の間を推移していることが分かる。打ち込み後 10 日目以降になると、外気温に連動して応力が変動していることが分かる。

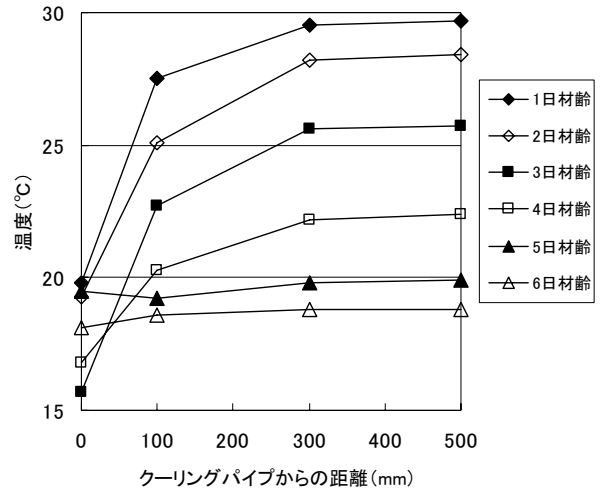
図—5 の下段に示した右上がりの曲線は、コンクリートの引張強度履歴である。このコンクリートの引張強度履歴は、割裂引張強度履歴の推定曲線から求めたものであり、試験体の養生は標準水中養生である。コンクリートの引張強度は、側壁で測定された応力よりもかなり大きいことがわかる。

温度ひび割れ指数の履歴図をみると、打ち込み後 2.1 日までは、圧縮応力が生じているため、マイナス表示となる。よって、図—5 には表示していない。側壁コンクリート打込み後 5.17 日で、温度ひび割れ指数は 1.495 と最低値となっている。目標とした温度ひび割れ指数は 1.2 以上であり、この温度ひび割れ指数を上回ったことを確認した。

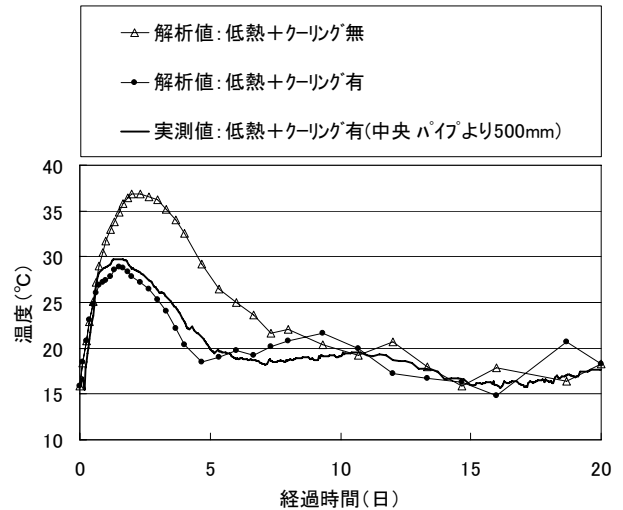
(2) 鉛直パイプクーリングの効果について

側壁中央断面のクーリングパイプの距離と温度の関係を図—6 に示す。なお、クーリングパイプ 0mm はクーリング冷却水の温度とした。3 月 31 日にコンクリートを打込んだ後 1.29 日でピーク温度となり、その後の断面温度は約 5 日目で側壁中央の温度とクーリングパイプの水温が、ほぼ同様の温度となっていることが分かる。

次に、鉛直パイプクーリングの評価として、図—7 に温度応力解析時の温度履歴（パイプクーリング有・無）と実測した側壁中央部（クーリングパイプから 500mm）の温度履歴を比較した。パイプクーリングを実施した場合の解析値と、2 リフトの側壁中央部の実測値は、ほぼ同様の挙動を呈しており、計画通りのクーリング効



図—6 壁中央断面のPCの距離と温度の関係



図—7 2 リフト側壁温度の解析値と実測値

果が得られたと言える。また、パイプクーリングを実施しなかった場合の解析値との比較においては、その効果によって約 5 日間で所定のクーリング温度まで降下できたことが分かる。

(3) B o x 1~3 の側壁・中壁コンクリートの状況

写真—2 のように、1mピッチに配置した鉛直パイプクーリングをコンクリート打込み後より 5 日間以上実施したことによって、誘発目地周辺部以外での 0.2mm を超える有害な温度ひび割れは発生しなかった。また、誘発目地部も B o x 側頂部の埋戻しが完了した現在に至って漏水は確認されていない。

3. 費用対効果について

最も経済的、かつ有効的なひび割れ対策を考察するために、ひび割れ対策を施さない場合に発生する補修費用（ケース5）に対する、各ケースの諸費用比を表-3にまとめた。ケース1は本件の実測値であり、ケース2~5は解析値にて推定した。なお、費用対効果は汎用性を考慮し、B o x 3の1スパン45mを対象として算出した。

3.1 ひび割れ対策費の計上

ひび割れ対策費としては、a) ひび割れ誘発目地の設置（ケース1はL=15m、ケース2~4はそれぞれL=2.5m, 5m, 15m間隔で配置）に関わる材料費および取付費と、b) 鉛直パイプクーリングに関わる設備費を計上した。対象部位は、有害なひび割れが発生すると想定された2リフトの側壁・中壁のH=2.7m区間とした。なお、計測管理費については、設置数量や測定頻度等の不確定要素が多いため、今回は計上していない。

3.2 ひび割れ補修費の計上

CP法によって温度応力解析を行った結果、パイプクーリングを行わずに、誘発目地の設置間隔をL=2.41m以上とすると、最大でW=0.38mmのひび割れが発生することが分かった。そこで、補修方法には、セメント系の止水注入工法を選定し補修費を計上した。

3.3 ひび割れ対策の評価

表-3より、パイプクーリングを実施しない場合のケース2~5においては、目標とする温度ひび割れ指数の確保ができないことが分かる。また、経済比較をしたところ、今回の検討の範囲では、ひび割れ誘発目地を1箇所設置するのに対し、ひび割れを補修した方が安価になることが分かった。よって、実施工であるケース1が、最も経済的でコンクリートの品質を確保できることが分かった。

4. まとめ

施工に先立ち、温度応力解析を実施してひび割れ対策を決定した。本施工において、その有効性は以下のことが確認できた。



写真-2 鉛直パイプクーリング施工状況

表-3 ひび割れ対策費用比一覧表

ケース	目地間隔 (m)	パイプクーリング	最小温度ひび割れ指数	推定ひび割れ幅 (mm)	補修の有無	費用比 (%)
1(実績)	15.00	有	1.495	0.2未満	無し	78
2	2.50	無	1.00	0.00	無し	120
3	5.00	無	0.91	0.32	注入	110
4	15.00	無	0.81	0.37	注入	103
5	45.00	無	0.72	0.38	注入	100

- 1) 鉛直パイプクーリングを打込み6時間後から5日間以上行うことによって、目地周辺部以外の箇所でも0.2mm以上となるひび割れは発生しなかった。
- 2) ひび割れ対策を実施して補修を必要としないコンクリートを構築することが、より経済的であることが分かった。

参考文献

- 1) 神崎浩二, 米澤朗, 樋口晃, 村上祐治: 2径間ラーメンボックスカルバートの温度応力に対する誘発目地間隔と形状の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.1341-1346, 2004.6
- 2) 柴田健治, 河合克敏, 安田健一郎: 下水道施設におけるひび割れ防止対策, 土木技術, Vol.56, No.3, pp.102-106, 2001.3
- 3) コンクリート標準示方書 2002年度版施工編, 土木学会, pp.41-42, 2002.3