部分パイプクーリング工法と膨張コンクリートによるひび割れ抑制効果の比較

安藤ハザマ　○正会員 白岩誠史，正会員 栗原浩彦，正会員 三沢良太
株式会社エスケーラボ　土屋　徹

1. はじめに

“H26-28 金沢東環神谷内トンネル（Ⅱ期線）工事”において，インバート施工区間の覆工コンクリートに対する温度ひび割れ抑制対策として，部分パイプクーリング工法[1]と，膨張コンクリートをそれぞれ異なるスパンに適用した．これら 2 工法のひび割れ抑制効果を比較するために，ひずみの測定を実施し，拘束ひずみを算出，さらに部材内部に作用している引張応力を推定した．

2. 計測位置

図-1 に温度およびひずみの計測位置を示す．温度は K 型熱電対，ひずみは L=200mm のひずみ計，線膨張係数は無応力計（L=100mm のひずみ計）にて測定した．

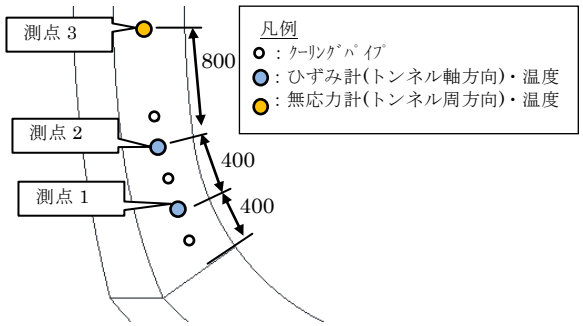

図-1　温度およびひずみ計測位置（ｽﾊﾟﾝ延長中央）

3. 計測結果

(1). 線膨張係数

部分パイプクーリングを実施したスパン（以後，クーリングスパン）および膨張コンクリートを適用したスパン（以後，膨張コンスパン）における無応力計にて測定した温度と全ひずみの関係を**図-2** および**図-3** に示す．どちらの場合も“a).温度上昇初期：材齢 0～7 時間程度”，“b).温度上昇後期：材齢 8～19 時間程度”，“c).温度降下期：材齢 20 時間以上”の 3 区分に分けられ，a)については，終結前で拘束ひずみが生じない期間であるとし[2),3)]，拘束ひずみの算出対象外とした．

(2). ひずみ計測結果

クーリングスパンおよび膨張コンスパンの材齢 6 ヶ月までのひずみの計測結果を**図-4** および**図-5** に示す．全ひずみおよび温度ひずみ（ただし，本論文で扱う温度ひずみは，自己収縮および乾燥収縮，膨張コンスパンにおいては膨張ひずみも含む.），拘束ひずみは，高瀬らの提案[3)]した式を参考に以下の式に従い算出した．

$$\varepsilon_{i1}=C\times\varepsilon_{mi}+\gamma\times(T_i-T_0) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

$$\varepsilon_{i2}=\alpha_b\times(T_1-T_0)+\alpha_c\times(T_i-T_1) \quad \cdots\cdots\cdots (2)$$

$$\varepsilon_{i3}=\varepsilon_{i2}-\varepsilon_{i1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

ε_{i1}：全ひずみ($\times10^{-6}$)，C：校正係数，ε_{mi}：ひずみ計の指示値($\times10^{-6}$)
γ：ひずみ計線膨張係数($\times10^{-6}$/℃)，Ti：コンクリート温度(℃)
T_0：ｺﾝｸﾘｰﾄ打込み温度(℃)，ε_{i2}：温度ひずみ($\times10^{-6}$)，α_b：温度上昇後期線膨張係数
α_c：温度降下期 T_1：コンクリート最高温度(℃)，ε_{i3}：拘束ひずみ($\times10^{-6}$)

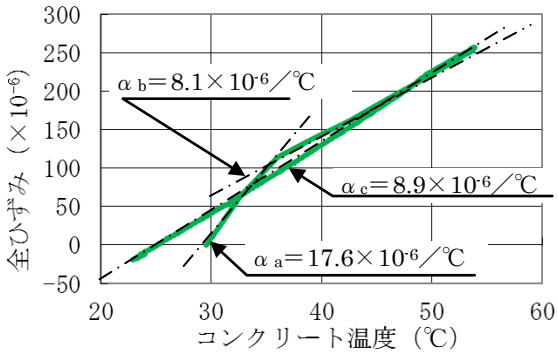

図-2　温度と全ひずみの関係（ｸｰﾘﾝｸﾞｽﾊﾟﾝ）

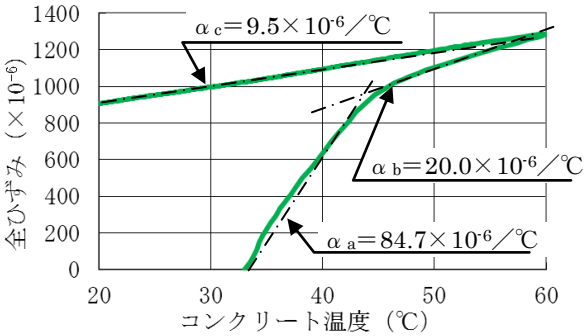

図-3　温度と全ひずみの関係（膨張ｺﾝｽﾊﾟﾝ）

最大膨張時の温度ひずみは，クーリングスパン 116×10^{-6}（材齢 12 時間），膨張コンスパン $1,579\times10^{-6}$（材齢 16 時間）となった．膨張材の膨張量の温度依存性により膨張ひずみが $1,000\times10^{-6}$ を超えることは，東ら[4)]によって報告されており，本計測でも同程度の膨張ひずみが計測された．本計測時の膨張コンスパンの最大温度は 60℃であった．

キーワード　パイプクーリング，膨張コンクリート，温度ひび割れ，線膨張係数，ひずみ計測，応力
連絡先　〒107-8658　東京都港区赤坂 6-1-20　安藤ハザマ　土木事業本部　ＴＥＬ03-6234-3670

図-4 ひずみ計測結果（ｸｰﾘﾝｸﾞｽﾊﾟﾝ）

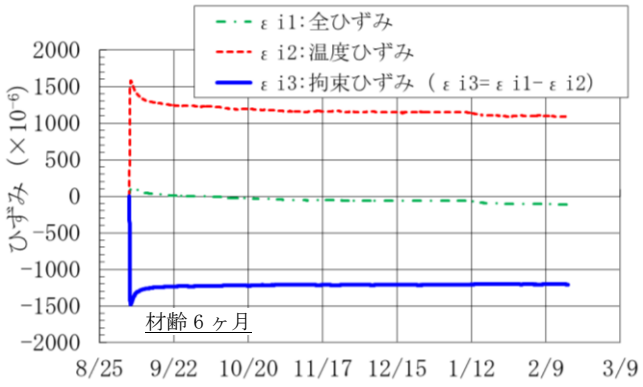

図-5 ひずみ計測結果（膨張ｺﾝｽﾊﾟﾝ）

また，材齢 6 ヶ月程度での拘束ひずみは，クーリングスパン 10.1×10^{-6}，膨張コンスパン−1，207.6×10^{-6} となり，膨張コンスパンの方が，拘束ひずみが大きく低減できていることが確認できた．

図-6 に，クーリングスパンの材齢初期のひずみ計測結果を示す．材齢 30 時間での通水停止後の温度上昇により，拘束ひずみが 31×10^{-6} 低減できたことが確認できた．

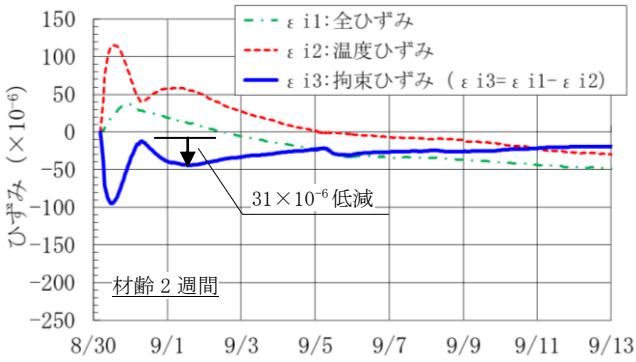

図-6 材齢初期のひずみ計測結果（ｸｰﾘﾝｸﾞｽﾊﾟﾝ）

(3)．引張応力の推定

部材内部に発生した引張応力の推定は，2012 年制定コンクリート標準示方書設計編に従い，1 時間ごとのコンクリートのヤング係数を算出し，計測された拘束ひずみの 1 時間ごとの増分を乗じて累計して算出した．その結果を**図-7** に示す．この結果，引張応力の最大値がクーリングスパン $1.5\mathrm{N/mm^2}$，膨張コンスパン $3.0\mathrm{N/mm^2}$ となり，クーリングスパンの方が，引張応力が小さいことが確認できた．これは，膨張コンクリートの膨張が拘束ひずみの生じにくい温度上昇期に発生するのに対し，部分クーリングの通水停止後の拘束ひずみの減少は，拘束ひずみの発生しやすい温度下降期に起こることが要因と考えられる．

4. まとめ

今回の検討手法では，膨張コンクリートより部分パイプクーリングによる対策の方が，ひび割れ抑制効果が高い可能性があることが確認できた．

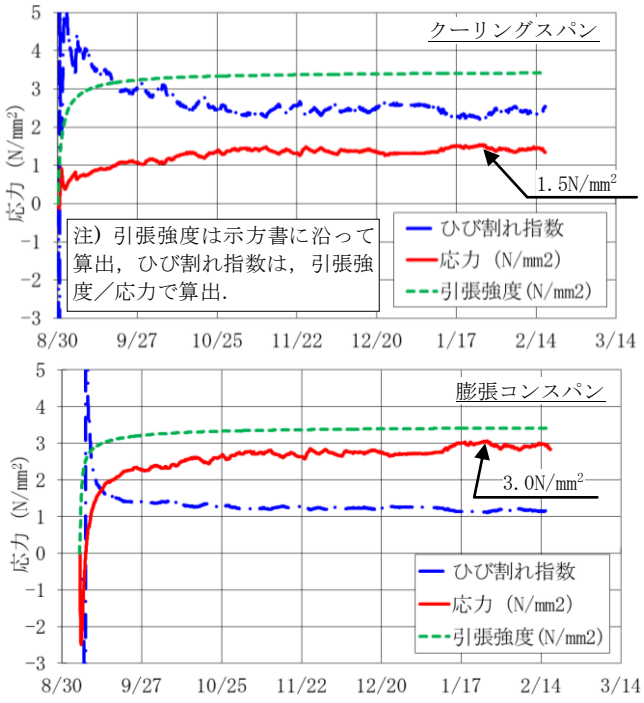

図-7 引張応力の推定結果

参考文献

1) 白岩誠史・川中政美・庄野昭・佐藤正・牧剛史：覆工コンクリートひび割れ対策への部分パイプクーリングの適用，トンネル工学報告集，26 巻，Ⅰ-4，pp.1-11，2016.11

2) 谷田貝敦・宮澤伸吾・廣島明男・大友健：マスコンクリートの拘束応力に及ぼすセメント種類の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.1，2007

3) 高瀬和男・和田典生・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.1，2002

4) 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の収縮低減効果の解析手法と構造物適用，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，No.2，2008