

表面平滑型シート防水工法(ハイ・イータス工法)によるトンネル覆工コンクリートのひび割れ抑制効果の検証

白根 勇二^{*1}・賀川 昌純^{*2}・菊地 晃徳^{*2}・小松 敏彦^{*2}

Evaluation of Effect for Reducing Crack of Lining Concrete by Using Waterproofing Membrane with Smooth Surface (High-ETAS)

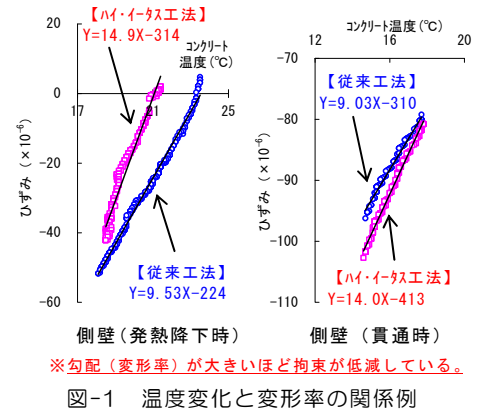
Yuji SHIRANE, Masazumi KAGAWA, Akinori KIKUCHI, Toshihiko KOMATSU



写真-1 従来工法による防水工の仕上がり



写真-2 ハイ・イータス工法による防水工の仕上がり



研究の目的

これまで手作業で施工していた従来のシート防水工に代わり、覆工コンクリートと同様に移動式型枠を用いて、充填材によって吹付けコンクリートと防水シートを一体化させる表面平滑型シート防水工法(ハイ・イータス工法と呼ぶ)が開発され、これまでに実用化されている。この工法は、吹付けコンクリート、鋼製支保工およびロックボルトによる覆工背面の凹凸を解消することで、ほぼ均一な厚さの覆工コンクリートの施工が可能となっており、ひび割れの低減にも寄与する工法としても期待されている。

そこで、本検討では、ハイ・イータス工法のひび割れ抑制効果を定量的に評価することを目的に、覆工コンクリートの挙動計測を実施した。

技術の説明

挙動計測では、実際の覆工コンクリート内に熱電対やひずみ計、有効応力計などの計測器を埋設し、従来のシート防水工を施工した区間と、ハイ・イータス工法を施工した区間のコンクリートの発熱温度や実ひずみ、発生応力を比較した。

また、覆工コンクリートが背面から受ける拘束の程度を定量的に比較するために、温度変化が生じる時期(水和発熱降下時、トンネル貫通時、季節変化時)に着目して、コンクリート温度とひずみの勾配(変形率)を算出した。拘束が大きければ変形率が小さくなり、コンクリート収縮時にひび割れが発生する可能性が高くなる。

主な結論

覆工コンクリートの発熱温度測定結果から、表面平滑型シート防水工法(ハイ・イータス工法)は従来のシート防水工法と比較して、余掘りによる発熱温度の上昇を抑制し、温度ひび割れ低減に効果があることが明らかとなった。また、外気温が変動した際の覆工コンクリートの応力変化は小さく、ハイ・イータス工法によって構築された覆工コンクリートの体積変化は円滑であることがわかった。さらに、温度変化時の覆工コンクリートの変形率を比較したところ、図-1 に示すように、従来工法に比べてハイ・イータス工法の変形率は大きく、ひび割れ抑制に効果があることを確認した。

*1 本店 技術研究所 基盤技術研究グループ

*2 本店 土木部 トンネルグループ

表面平滑型シート防水工法（ハイ・イータス工法）による トンネル覆工コンクリートのひび割れ抑制効果の検証

白 根 勇 二^{*1} 賀 川 昌 純^{*2}
菊 地 晃 徳^{*2} 小 松 敏 彦^{*2}

要 旨

従来の防水シート工に代わり，覆工コンクリートと同様に移動式型枠を用いて，充填材によって吹付けコンクリートと防水シートを一体化させる表面平滑型シート防水工法（ハイ・イータス工法）が実用化されている．本研究では，実際の覆工コンクリートの温度，ひずみ，発生応力を計測し，ハイ・イータス工法によるひび割れ低減効果について検証を行った．

その結果，ハイ・イータス工法は従来のシート防水工法と比較して，不陸部分の巻厚増加に伴う発熱温度上昇を抑制すること，外気温の変動による応力変化が小さく，体積変化が円滑であることがわかった．また，温度変化時の変形率を算出することによって，覆工背面の凹凸解消による拘束低減効果を定量的に示し，覆工コンクリートのひび割れ抑制に効果があることを確認した．

キーワード 覆工コンクリート／シート防水工／ハイ・イータス工法／ひび割れ／拘束／変形率

目 次

- | | |
|------------------|----------------|
| 1. はじめに | 4. 計測結果 |
| 2. ハイ・イータス工法の概要 | 5. ひび割れ抑制効果の検証 |
| 3. 覆工コンクリートの計測概要 | 6. まとめ |

EVALUATION OF EFFECT FOR REDUCING CRACK OF LINING CONCRETE BY USING WATERPROOFING MEMBRANE WITH SMOOTH SURFACE (HIGH-ETAS)

Yuji SHIRANE
Akinori KIKUCHI

Masazumi KAGAWA
Toshihiko KOMATSU

Synopsis:

A waterproofing membrane with smooth surface combined with shotcrete by grouting (High-ETAS method) has become useful instead of a conventional waterproofing membrane method. In this study, the temperature, strain and stress of lining concrete were measured to evaluate the reducing effect of cracks by using the High-ETAS method.

As a result, it was confirmed that the High-ETAS method is effective in reduction of the heat of hydration of lining concrete, because cancelling irregularity of behind of lining concrete could reduce a concrete volume compared with a conventional method. Moreover, it was clarified that the hardened concrete has smoothly changed in volume as concrete temperature was changing. The rate of volume change with temperature change was calculated to verify a quantitative reduction effect of restraint stress by cancelling irregularity of behind of lining concrete. Finally it was confirmed that the High-ETAS method is effective for control of crack of lining concrete.

* 1 本店 技術研究所 基盤技術研究グループ

* 2 本店 土木部 トンネルグループ

1. はじめに

NATMの施工においては、30年ほど前から覆工コンクリート（二次覆工）と吹付けコンクリートなどによる一次支保工との間に、縁切り材としてのアイソレーション効果と防水機能を兼ね備えた防水シートが一般的に設置されるようになった。そのため、覆工コンクリートと一次支保工を一体化させていた頃と比べると、覆工コンクリートに発生するひび割れが大幅に低減するようになった¹⁾。しかしながら、一次支保工の表面は吹付けコンクリート、鋼製支保工およびロックボルトなどによって凹凸を形成している。そのため、防水シートを設置しても一次支保工の表面形状によっては、覆工コンクリートのひび割れを完全に回避することは困難であり、側壁や天端にひび割れが発生した事例がしばしば報告されている¹⁾。

覆工コンクリートのひび割れ発生の主な原因は、コンクリートの温度収縮や乾燥収縮を背面の凹凸やインバートコンクリートなどが拘束することによって考えられており、最終的に貫通に至ることが多く、防水機能や美観の低下が懸念される。一般的に、覆工コンクリートのひび割れ抑制対策として、スパン長の短縮、膨張材や化学混和剤の使用、セメント種類の変更、湿潤養生の実施・延長などの様々な方法が提案され、実施されている。しかし、コンクリートの材料特性やトンネル坑内の環境変化によっては、長期間経過した後にひび割れが発生してしまうのが現状である。

一方、これまで手作業で施工していた従来のシート防水工に代わり、覆工コンクリートと同様に移動式型枠を用いて、充填材によって吹付けコンクリートと防水シートを一体化させる表面平滑型シート防水工法（ハイ・イータス工法と呼ぶ）が開発され、これまでに実用化されている²⁾。この工法は、吹付けコンクリート、鋼製支保工およびロックボルトによる覆工背面の凹凸を解消することで、ほぼ均一な厚さの覆工コンクリートの施工が可能となっており、ひび割れの低減にも寄与する工法として期待されている。

本研究では、覆工コンクリート背面の凹凸が覆工コンクリートの挙動に与える影響を把握し、ハイ・イータス工法のひび割れ抑制効果を定量的に評価することを目的に、実構造物内に熱電対やひずみ計などの計測器を埋設して覆工コンクリートの挙動計測を実施した。本文は、これらの結果を報告するとともに、覆工背面の凹凸を解消することによるひび割れ抑制効果について考察を加えたものである。

2. ハイ・イータス工法の概要

図-1 に、従来のシート防水工法とハイ・イータス工法の施工概念図を示す。

従来工法では、一次支保である吹付けコンクリートと鋼製支保工およびロックボルトの表面形状に合わせて防

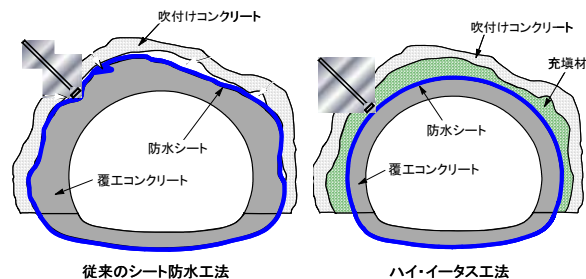


図-1 防水工法の施工概念図

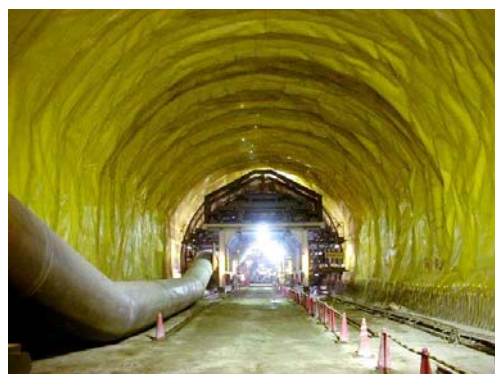


写真-1 従来シート防水工法の仕上がり状態



写真-2 ハイ・イータス工法の仕上がり状態

水シートを張り付けるため、凹凸が残された状態となる。また、コンクリート釘を用いて作業員の手作業により防水シートを張るため、シートの余裕不足や余裕過多が生じやすく、シートが引っ張られたり、たわみが発生した場合には、防水シートの破損や覆工コンクリートの充填不良が生じる恐れがある。作業員の技量に左右される工種であると言える。写真-1 は通常どおり施工された従来のシート防水工の仕上がり状況であるが、一次支保工の表面に点で固定されているため、防水シートが垂れ下がった状態となっている。

ハイ・イータス工法の施工手順を図-2 に示す。ハイ・イータス工法は移動式の型枠台車上に設置した防水シートと一次支保工との隙間に充填材を打ち込み、両者を一体化させる工法である。写真-2 はハイ・イータス工法による防水工の仕上がり状態であるが、充填材による全面接着、不陸調整によって、作業員の技量に左右されるこ

と無く、防水シートを滑らかな形状に仕上げる事ができている。なお、充填材は吹付けコンクリートと同等以上の強度（18N/mm²以上）を有したセメント系充填材を用いている。

- ①掘削、支保工建込みおよび吹付け工
 - ②シート型枠台車の仮設置
 - ③防水シート材を型枠上に敷設
 - ④シート型枠台車の位置決め
 - ⑤充填材の漏出防止処理
 - ⑥充填材の注入
 - ⑦シート型枠台車の取り外し
- 図-2 ハイ・イータス工法の施工手順

3. 覆工コンクリートの計測概要

3.1 計測対象断面

覆工コンクリートの挙動計測を実施した工事は、道路トンネルの構築工事であり、内空断面が 51.6m² である。計測位置として、全長 1,200m のトンネル坑口から約 600m に位置した区間を選定し、従来のシート防水工法を適用した区間（57BL）とハイ・イータス工法を適用した区間（58BL）は隣接ブロックとした。両ブロックの設計断面は同一となっており、インバートコンクリートも有している。設計厚さは覆工コンクリートが 300mm、インバートコンクリートが 500mm である。

両区間とも、一般的なコンクリートの施工方法と同様に、コンクリートの打込み完了の翌日に型枠を取り外した。その後、コンクリートの水和反応促進と初期乾燥の防止を目的に、レール移動式の養生設備を設置して、ミストノズルによる噴霧養生を間欠的に 7 日間実施した。

なお、当該区間は掘削補助工として、鋼管と注入材による注入式長尺先受け工法（9m/1 シフト）を採用しており、1 シフト内で掘削断面が最大 450mm 拡幅され、通常の施工よりも大きな凹凸が生じている。したがって、覆工コンクリートのトンネル進行方向に対する断面形状は、図-3 に示す概念図のような凹凸形状となっている。従来のシート防水工法を適用した 57BL では凹凸面にそのまま覆工コンクリートが施工されることになるが、ハイ・イータス工法を適用した 58BL では防水シートが平滑に設置された面に施工される。

3.2 計測項目および位置、方法

表-2 および図-4 に計測項目と位置、計測点数を示す。計測項目は、熱電対によるコンクリート温度と外気温、

表-1 計測対象区間

区間	施工延長	シート防水工の施工方法	施工日
57BL	10.5m	従来のシート防水工法	2011/2/4
58BL	10.5m	ハイ・イータス工法	2011/2/8

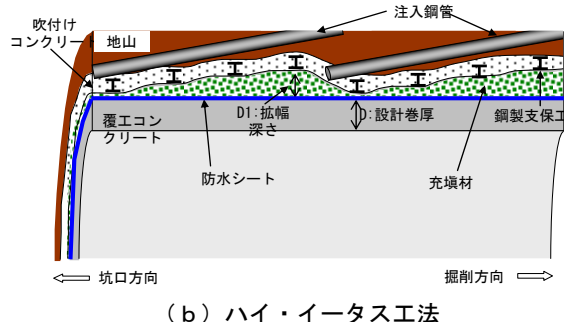
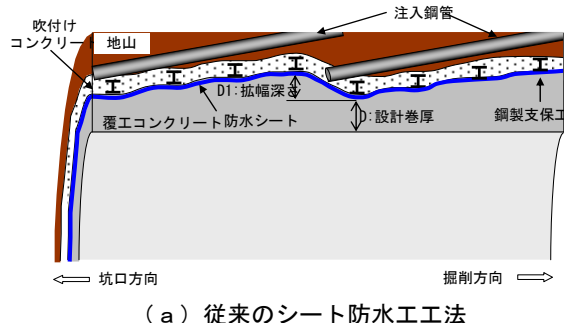


図-3 拡幅区間における覆工形状の概念図

表-2 計測項目、位置および計測点数

計測項目	57BL (従来工法)			58BL (ハイ・イータス工法)		
	側壁 350mm ^{*1}	肩部 450mm ^{*1}	天端 410mm ^{*1}	側壁 310mm ^{*1}	肩部 320mm ^{*1}	天端 320mm ^{*1}
コンクリート						
温度	3	3	3	3	3	3
実ひずみ ^{*2}	3	3	3	3	3	3
有効応力 ^{*2}	1	—	1	1	—	1
自由収縮ひずみ	1	—	—	—	—	—
坑内温度・相対湿度	1 (型枠セントル内)			1 (型枠セントル内)		

*1: 計測部位の下に数字は、設置位置の実際の巻厚を示す。

*2: 実ひずみと有効応力の計測方向は、側壁部がトンネル進行方向、天端と肩部は横断方向である。

埋込み型ひずみ計によるコンクリートの実ひずみ、小型ロードセルによる有効応力、周囲との付着を遮断した容器と埋込み型ひずみ計による自由収縮ひずみである。各断面の計測位置は側壁、肩部、天端の 3 箇所とし、コンクリート温度とひずみは 1 箇所につき 3 点（断面の深さ方向で表面側、中間、背面側）を計測した。実ひずみと有効応力の測定方向は、一般的に知られている覆工コンクリートのひび割れ発生方向に対して直角とし、側壁はトンネル進行方向、天端と肩部は横断方向とした。

計測データは、30 分間隔でデータロガーへ自動収録され、竣工を迎える 2011 年 8 月中旬までの約半年間計測を継続した。

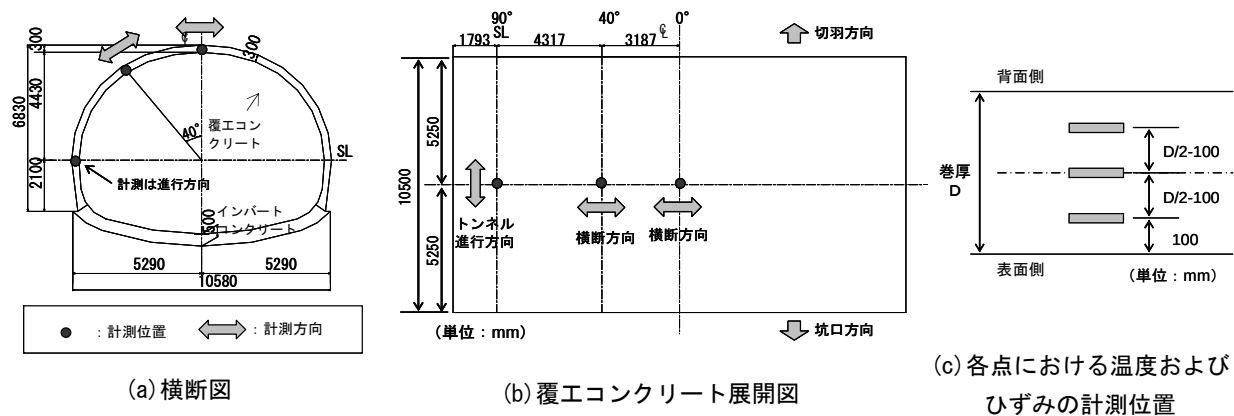


図-4 計測位置および計測方向

表-3 コンクリートの配合

呼び強度	W/C (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	粗骨材最大寸法 (mm)	単位量 (kg/m ³)						
					W	C	S1	S2	G1	G2	Ad
24	57.1	15	4.5	40	159	279	539	230	748	317	0.7

表-4 コンクリートの使用材料

種類	産地・仕様
セメント C	普通ポルトランドセメント 密度 3.16g/cm ³
細骨材1 S1	手取産 陸砂 表乾密度 2.58g/cm ³ , 粗粒率 3.11
細骨材2 S2	内灘産 陸砂 表乾密度 2.58g/cm ³ , 粗粒率 1.41
粗骨材 G1	手取産 陸砂利 (最大寸法25mm) 表乾密度 2.60g/cm ³ , 実績率 64.0%
粗骨材 G2	手取産 陸砂利 (最大寸法40mm) 表乾密度 2.60g/cm ³ , 実績率 64.0%
AE減水剤 Ad	高変性ポリオール複合体

表-5 コンクリートの硬化特性

施工箇所	施工日	打込み温度 (°C)	項目	材齢7日	材齢28日
57BL (従来工法)	2011/2/4	8.0°C	圧縮強度 (N/mm ²)	19.0	28.0
			弾性係数 (kN/mm ²)	22.1	26.6
58BL (ハイ・イーラス工法)	2011/2/8	8.0°C	圧縮強度 (N/mm ²)	23.2	29.9
			弾性係数 (kN/mm ²)	24.0	28.2

3.3 コンクリートの物性

コンクリートの配合を表-3 に、使用材料を表-4 に示す。また、コンクリートの硬化特性を表-5 に示す。

4. 計測結果

4.1 ひび割れ発生状況

当該ブロックの施工が完了してから定期的にひび割れ調査を実施したが、施工後 10 ヶ月が経過した時点において、いずれにブロックにもひび割れの発生は認められなかった。

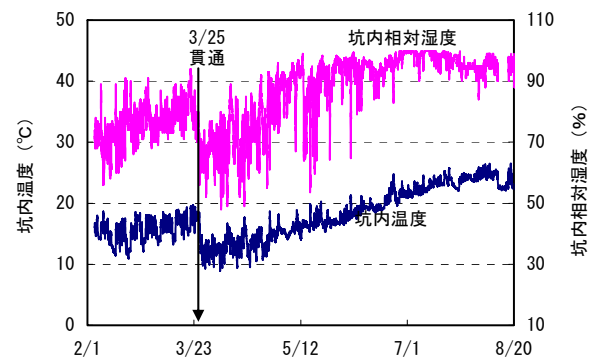


図-5 トンネル坑内の温度および湿度の変化

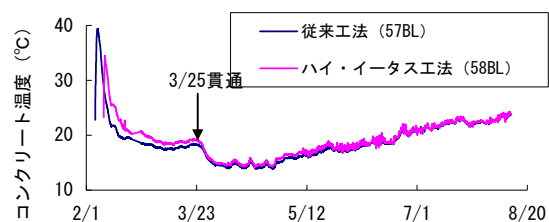
4.2 坑内温度および相対湿度

図-5 に計測ブロック地点における坑内湿度と温度の変化を示す。施工後約 1 ヶ月半の 3/25 にトンネルが貫通しており、外気の流入によって坑内温度は 5°C 程度、相対湿度は 20% 程度低下している。その後の坑内温度と湿度は、季節の変化に応じて上昇する傾向となっている。

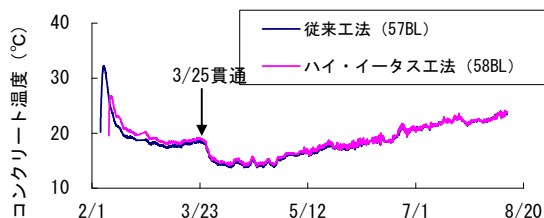
4.3 コンクリート温度

図-6 に、各計測位置の断面中心部におけるコンクリート温度の変化を示す。また、表-6 に、水和発熱時におけるコンクリート最高温度を示す。

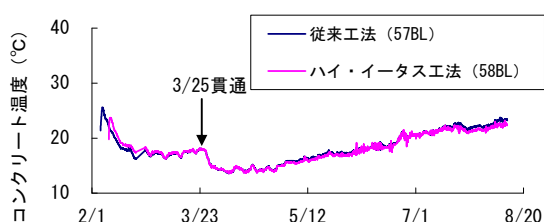
コンクリート温度は施工日の翌朝には最高温度に達し、型枠の脱型後から低下する傾向にある。コンクリート温度を部位ごとに比較すると、高い位置（天端）ほど温度上昇量が大きく、天端の温度は側壁よりも 10°C 以上で高いことがわかる。これは発熱によって温められた空気がセメント上部に滞留したためと思われる。また、施工方法で比較すると、いずれの部位も従来のシート防水工法を適用した 57BL の温度上昇量が大きくなっている。これは、表-6 に示すように 57BL の実際の覆工巻厚が 58BL よりも大きかったためと考えられる。この結果から、ハイ・イーラス工法は余掘りや拡幅によって覆工巻厚が過大となった部位を排除することができ、コンクリートの発熱温度を低減して、温度ひび割れの発生を抑制するこ



(a) 天端の断面中心部



(b) 肩部の断面中心部



(c) 側壁の断面中心部

図-6 コンクリート温度の変化（断面中心部）

表-6 コンクリート最高温度の比較

計測 ブロック	コンクリート最高温度 (°C)		
	天端	肩部	側壁
57BL 従来工法	39.4 (410)	32.2 (450)	25.6 (350)
58BL ハイ・イータス 工法	34.5 (320)	26.8 (320)	23.7 (310)

※() 内は、計測位置での覆工巻厚 (mm) を示す。

とが可能であると言える。

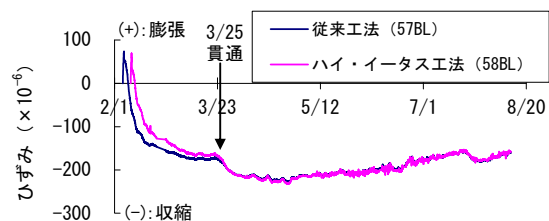
また、3/25 にトンネル坑内が貫通した際には、坑内温度と同様に、急激な温度低下が認められた。

4.4 コンクリートひずみ

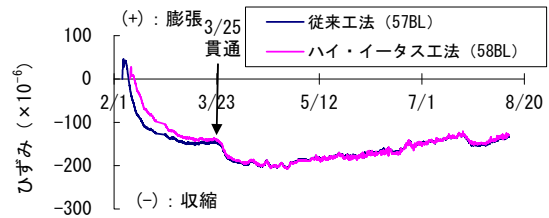
図-7 に、各計測位置の断面中心部におけるコンクリートひずみの変化を示す。コンクリートひずみは、施工直後の発熱時にひずみが大きくなり膨張する傾向を示しているが、温度低下とともに収縮側に転じている。施工後1ヶ月程度は、57BL（従来のシート防水工法）の収縮ひずみが大きい傾向を示しているが、この主な要因は水和発熱後の温度低下量が大きかったためと考えられる。

3/25 の貫通時には、コンクリート温度の変化に応じてひずみも変化する傾向が認められ、収縮ひずみが急激に増大している。

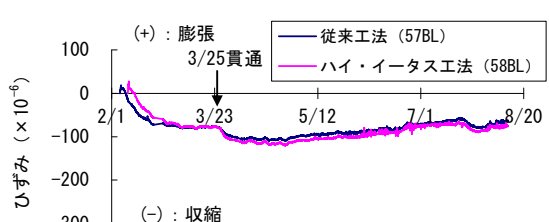
なお、コンクリートひずみの挙動履歴だけでは背面凹



(a) 天端の断面中心部



(b) 肩部の断面中心部



(c) 側壁の断面中心部

図-7 コンクリートひずみの変化（断面中心）

凸による拘束の影響を評価することが難しいため、5 章において考察を加えることにする。

4.5 有効応力

図-8 に、天端の断面中心部における横断方向の応力履歴を示す。天端の横断方向の応力は、施工直後から圧縮応力となっており、58BL（ハイ・イータス工法）よりも57BL（従来のシート防水工法）の方が大きい値を示している。これは、水和発熱による温度膨張や、型枠脱枠後の自重作用によるアーチ効果が働いたためと考えられる。その後の両者の応力挙動は、同様の傾向を示し、長期的に緩やかな応力変動をしている。また、3/25 の貫通時にはいずれも大きな応力変動は生じておらず、外気の日変動による応力変化もそれほど見られない。

図-9 に、側壁の断面中心部におけるトンネル進行方向の応力履歴を示す。側壁に発生している応力は、外気温の日変動による影響が現れており、拘束作用が生じていると考えられる。特に 57BL（従来のシート防水工法）は、58BL（ハイ・イータス工法）に比べて、応力変動幅が大きく、施工直後には引張応力側へ推移している。これは発熱温度が低下した際に覆工背面やインバートコンクリートから拘束を受けたためと考えられる。また、トンネルが貫通した際にも 57BL（従来のシート防水工法）は引張応力が増大する傾向が認められるが、58BL（ハイ・イータス工法）には顕著な応力の発生が認められない。こ

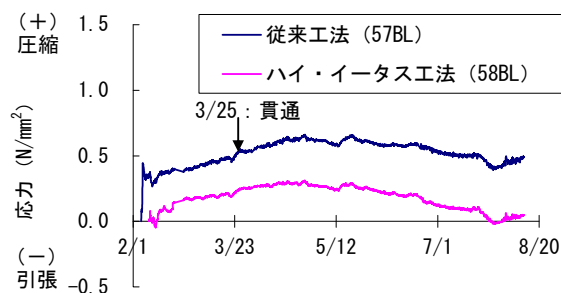


図-8 天端断面中心部（横断方向）の応力履歴

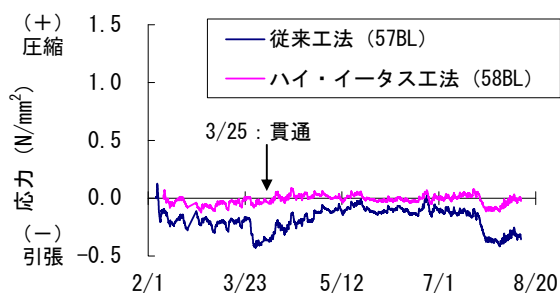


図-9 側壁断面中心部（進行方向）の応力履歴

の要因として、ハイ・イータス工法による背面拘束の抑制が考えられる。

4.6 線膨張係数

図-10 に、57BL で測定した自由収縮ひずみの結果を示す。この測定結果から算出したコンクリートの線膨張係数は、硬化原点後の温度上昇時で $7.23 (\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C})$ 、温度降下時で $9.96 (\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C})$ であった。

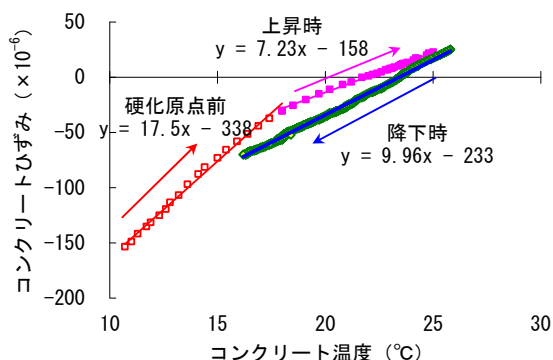


図-10 線膨張係数の算定結果 (57BL)

5. ひび割れ抑制効果の検証

5.1 検証方法

コンクリートは温度変化によって一定の割合（線膨張係数）で変形する。しかし、この変形が何らかの原因で拘束されるとコンクリートに拘束ひずみが生じ、内部に引張応力が発生するが、この引張応力が引張強度を上回るとひび割れの発生となる。外部拘束が作用した場合の拘束度は、式〔1〕で表される。

$$\frac{\varepsilon_1}{\Delta T} = \alpha(1-K) \quad [1]$$

ここに、 K ：拘束度、 ε_1 ：実ひずみ ($\times 10^{-6}$)、 α ：線膨張係数 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)、 ΔT ：温度変化 ($^{\circ}\text{C}$) である。

拘束度 K は、拘束を全く受けていない場合には自由に体積が変化して 0 となり、完全拘束を受けた場合には 1 となる。また、式〔1〕は式〔2〕のように表され、図-11 のような関係で示される。

$$K = 1 - \frac{\varepsilon_1}{\alpha \cdot \Delta T} \quad [2]$$

なお本論では、自由な状態でのひずみ変化率である線膨張係数と区別するため、 $\alpha(1-K)$ を変形率と呼ぶこ

とにする。

ここで、ハイ・イータス工法の覆工背面の拘束低減効果を定量的に評価することを目的に、コンクリート温度変化時の変形率を求める。コンクリートが受ける拘束が小さい場合には変形率が大きくなるため、これを比較することで拘束低減効果を評価できる。

変形率の算定時期は、温度変化が比較的一定である以下の 3 つの時期とした。

- ①水和発熱の降下時期（材齢 2～9 日）
- ②貫通後の温度降下時（3/25～3/28）
- ③季節変化による外気温上昇期（5/1～7/15）

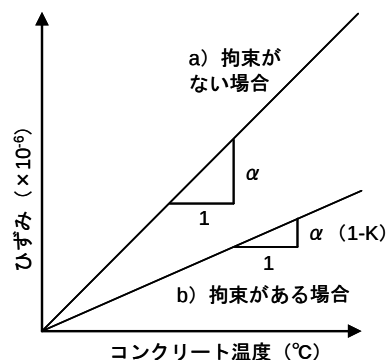


図-11 拘束時の温度変化と変形率の関係

5.2 検証結果

図-12 から図-14 に、各時期における側壁、肩部、天端の温度変化とひずみの関係を示す。ひずみの方向は側壁がトンネル進行方向、天端と肩部が横断方向である。また、表-7 にそれぞれの温度変化時の変形率を示す。

貫通時の肩部を除き、温度変化時期や部位に依らずハイ・イータス工法の変形率（図中の温度とひずみの傾き）が大きく、コンクリートの変形に対する拘束が小さいことがわかる。特に、水和発熱低下時の変形率は従来工法の1.5～1.6倍となっており、背面の拘束低減効果が大きい。したがって、ハイ・イータス工法は従来のシート防水工法よりも覆工コンクリートの体積変化が円滑で、部材内の応力が発生しにくいため、ひび割れ抑制に有効であると考えられる。

なお、図-12 に示される水和発熱降下時の変形率は、図-13 および図-14 に示される変形率よりも大きく、また、4.6 で測定された線膨張係数よりも大きな値のものもある。この理由は、降下初期に発生するひずみがクリープなどの影響を受けたためと考えられる。

また、いずれの段階においても側壁の変形率は、肩部

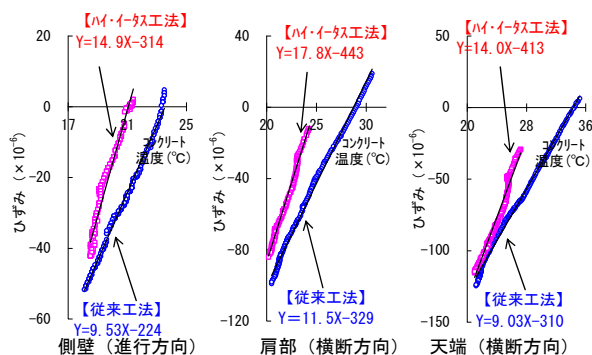


図-12 水和発熱降下時の変形率

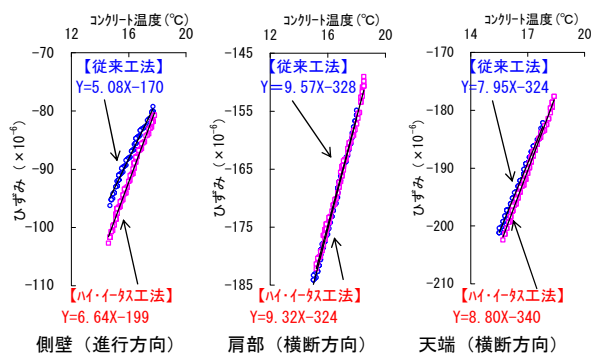


図-13 トンネル坑内貫通時の変形率

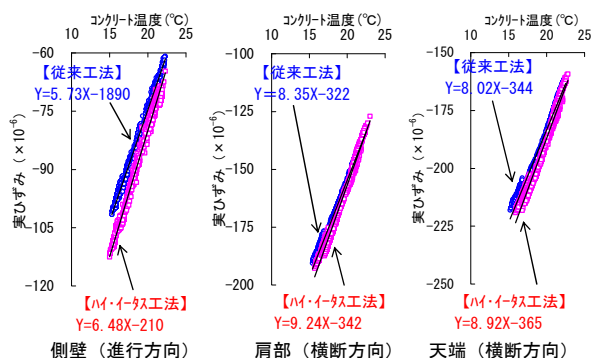


図-14 季節変化時の変形率

表-7 各段階における温度変化時の変形率

時期	防水工の 施工方法	温度変化時の変形率 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)		
		側壁 (進行方向)	肩部 (横断方向)	天端 (横断方向)
水和発熱降下時 (材齢2日～9日)	従来工法	9.53	11.5	9.03
	ハイ・イータス工法	14.9 (1.56)	17.8 (1.55)	14.0 (1.55)
坑内貫通時 (3/25～3/28)	従来工法	5.08	9.57	7.95
	ハイ・イータス工法	6.64 (1.31)	9.32 (0.97)	8.80 (1.11)
季節変化時 (5/1～7/15)	従来工法	5.73	8.35	8.02
	ハイ・イータス工法	6.48 (1.13)	9.24 (1.11)	8.92 (1.11)

※() 内は、従来工法に対するハイ・イータス工法の変形率の比を表す。

や天端の変形率よりも小さくなっており、拘束が大きいことがわかる。これは、インバートコンクリートが側壁の変形を拘束している影響と考えられる。

6. まとめ

以下に、本研究で得られた知見をまとめる。

- (1) ハイ・イータス工法を実施した区間の覆工コンクリートの上昇温度は、従来のシート防水工法で施工された区間よりも低くなった。余掘り分の巻厚をほぼ設計値どおりに補正することができたため、温度ひび割れ発生抑制に効果があることが示された。
- (2) ハイ・イータス工法を実施した区間の発生応力は、従来のシート防水工法で施工された区間よりも小さくなり、温度応力の低減効果が確認された。
- (3) ハイ・イータス工法を実施した区間の変形率は、従来のシート防水工法に比べて、初期の水和発熱降下時には1.5～1.6倍、長期材齢時には1.1倍大きく、拘束が低減されていることがわかった。覆工背面の凹凸を整形することで、覆工コンクリートの体積変化が円滑になったためと考えられる。
- (4) 以上より、ハイ・イータス工法のひび割れ低減効果を定量的に評価することができた。

現在、対象断面にはひび割れが確認されていないが、乾燥収縮によるひび割れが長期的に発生・進展する可能性もある。したがって、今後も観察を続け、表面平滑型シート防水工の効果を長期的に確認する予定である。

参考文献

- 1) 出頭圭三ほか：NATM 二次覆工コンクリートのひび割れ発生原因とその防止対策－温度、ひずみの測定結果とその検討－，前田建設技術研究所報，Vol.23，pp.91－102，1982
- 2) 木村宏，本堂亮，小松敏彦，櫻井孝臣：地下水位下の成田層での止水壁併用 NATM と新防水工法，トンネルと地下，426号，Vol.37，No.2，2006.2