

場所打ち函渠における品質確保の取組み

丹波綾部道路瑞穂 IC 函渠他工事における SEC 工法, ND-WALL 工法の事例

神 崎 恵 三

現場打ちコンクリート構造物は、配合、現場条件、気象条件などの要因により、品質、出来映えが大きく影響を受ける。このため、想定される品質劣化要因を抽出したうえで、コンクリートの品質を確保するための打設計画を立案することが重要である。本工事における場所打ち函渠の施工では、練混ぜ、打設ブロック割り、コンクリート打設、養生の各施工段階において、品質を確保するための取組みを計画し実施した。本報文において、SEC 工法（以下「本コンクリート練り混ぜ工法」という）、ND-WALL 工法（以下「本誘発目地工法」という）の両事例について記述するとともに、品質向上効果、出来映えについて報告する。

キーワード：場所打ち函渠, SEC 工法, ND-WALL 工法, スパイラルインナーバイブレーター, 給熱養生, 透気試験

1. はじめに

京都縦貫自動車道は、京都府の南北を結ぶ延長約 100 km の自動車専用道路で、行楽シーズンの国道 9 号と国道 27 号の渋滞の解消や、大雨等による周辺道路の通行止めが発生した場合の代替道路として機能する。「丹波綾部道路瑞穂 IC 函渠他工事」は、京都縦貫自動車道の一部区間である丹波綾部道路（29.2 km）の京丹波みずほ IC における工事で、対象となる場所打ち函渠は、京丹波みずほ IC の B ランプに位置する構造物である（図-1）。

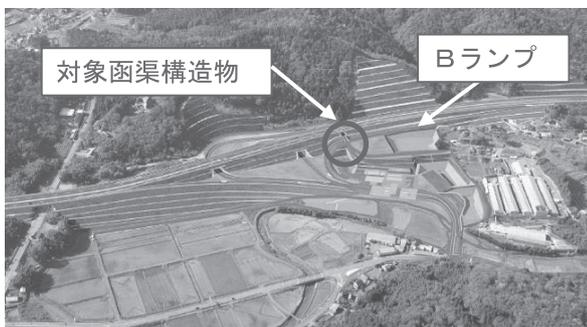


図-1 完成イメージ図

2. 工事概要

工事名称：丹波綾部道路瑞穂 IC 函渠他工事

工事場所：京都府船井郡京丹波町和田地先～井脇地先

発注者：近畿地方整備局

工期：平成 25 年 3 月 7 日～平成 26 年 12 月 31 日

工事数量：道路土工 掘削 136,250 m³

盛土 237,000 m³

法面工 26,000 m²

函渠工 プレキャスト函渠 3 基

場所打ち函渠 1 基

擁壁工 補強土壁 769 m²

緑化テール 1,039 m² 他

調節池工 連結水路プレキャストカルバート 2 基

プレキャストカルバート 1 箇所

排水工 一式

排水工 一式

場所打ち函渠の構造寸法は、内空高さ 5.4 m、内空幅 6.7 m、側壁厚 0.7 m、延長 5 m である（図-2）。

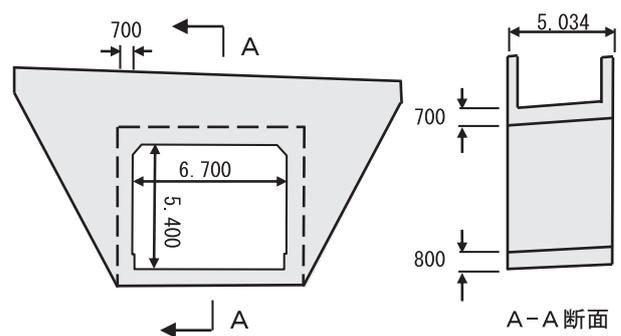


図-2 函渠構造図

3. 品質確保への課題と取組み

場所打ち函渠の構造上の特徴として、構造物の土被りは小さいうえに、供用後は車両の通行が多い。側壁は壁状構造物のため、温度ひび割れが発生しやすい。気象条件として、施工時期は冬季となるため、施工箇所は山間部で昼夜の温度差が大きく、夜間は0℃を下回る、ことなどが挙げられた。

施工にあたり、想定される品質劣化要因と、各々に対する対策について抽出したものを表-1に示す。

表-1 品質劣化要因と対策

| 品質劣化要因 | 対策 | 施工時期 |
|--------------|---------------|-----------|
| 材料分離・ブリーディング | 本コンクリート練り混ぜ工法 | 練混ぜ時 |
| 外部拘束ひび割れ | 本誘発目地工法 | 側壁1リフト施工時 |
| 表層の締固め不足 | 締固めの工夫 | コンクリート打設時 |
| 凍害 | 給熱養生 | 打設後数日間 |

以下、各々の対策について記述する。

4. 本コンクリート練り混ぜ工法

コンクリート打設時の材料分離やブリーディングを減少するために、本コンクリート練り混ぜ工法を採用した。SEC (Sand Enveloped with Cement) 工法は、練り混ぜ水を一次練りと二次練りの2回に分割して練り混ぜを行う工法である(図-3)。

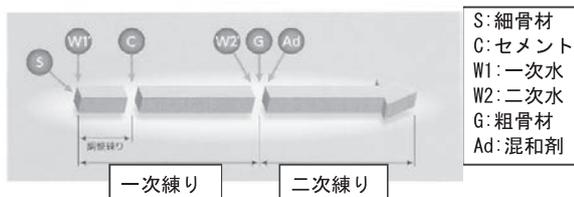


図-3 本コンクリート練り混ぜ工法イメージ図

具体的には、一次練りで一次水とセメントと細骨材を練り混ぜ、二次練りで残りの水と粗骨材と混和剤を練り混ぜる。結果として、細骨材の周囲が低水セメント比のペーストにより覆われ、かつ分割練り混ぜによりセメントが良く分散し、ブリーディングが少なく材料分離抵抗性の高いコンクリートとなるため、品質向上が期待できる。

通常、理論式(参考文献1)参照)により、一次水量 $W1$ は、式(1)で求められる。

$$W1 = a / 100 \times C + \beta_{oH} / 100 \times S \quad \text{式(1)}$$

ここに、 $W1$:一次水量 (kg/m^3)、 a :セメントのキャピラリー状態に必要な水セメント比(%)、 β_{oH} :細骨材の拘束水率(%)、 C :単位セメント量 (kg/m^3)、 S :単位細骨材量 (kg/m^3)である。式(1)から求まる一次水量 $W1$ とセメント C の比 ($W1/C$) は、29.2%となるが、本施工では、試験練りにおいて、 $W1/C$ の数値を29.2%に加え、0%、10%、20%、40%の5ケースで実施し、各々のケースに対するブリーディング量を測定した。測定結果より、ブリーディング水量が最小となる $W1/C$ を本配合の最適 $W1/C$ として製造することとした。標準配合と各々の $W1$ 、 $W2$ の単位水量を示す(表-2)。

表-2 コンクリート配合(24-8-20BB)

| 単位量 (kg/m^3) | | | | | | |
|--------------------------------|-----------------|------------------------------------|-----|------------------------------------|-----|-------|
| 水 | セメント | 細骨材 | | 粗骨材 | | 減水剤 |
| W | C | S1 | S2 | G1 | G2 | SP |
| 157 | 291 | 667 | 167 | 664 | 358 | 2.910 |
| ケース1 | $W1/C = 0\%$ | $W1 = 0.0 \text{ kg}/\text{m}^3$ | | $W2 = 157.0 \text{ kg}/\text{m}^3$ | | |
| ケース2 | $W1/C = 10\%$ | $W1 = 29.1 \text{ kg}/\text{m}^3$ | | $W2 = 127.9 \text{ kg}/\text{m}^3$ | | |
| ケース3 | $W1/C = 20\%$ | $W1 = 58.2 \text{ kg}/\text{m}^3$ | | $W2 = 98.8 \text{ kg}/\text{m}^3$ | | |
| ケース4 | $W1/C = 29.2\%$ | $W1 = 85.0 \text{ kg}/\text{m}^3$ | | $W2 = 72.0 \text{ kg}/\text{m}^3$ | | |
| ケース5 | $W1/C = 40\%$ | $W1 = 116.4 \text{ kg}/\text{m}^3$ | | $W2 = 40.6 \text{ kg}/\text{m}^3$ | | |

ブリーディング結果を図-4に示す。試験結果より、 $W1/C = 29.2\%$ (ケース4:理論式の数値)の時、ブリーディング水量が最小となった。このため、今回の施工において、練り混ぜ水を一次練りで $W1 = 85 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、二次練りで $W2 = 72 \text{ kg}/\text{m}^3$ の割合で練り混ぜることとした。

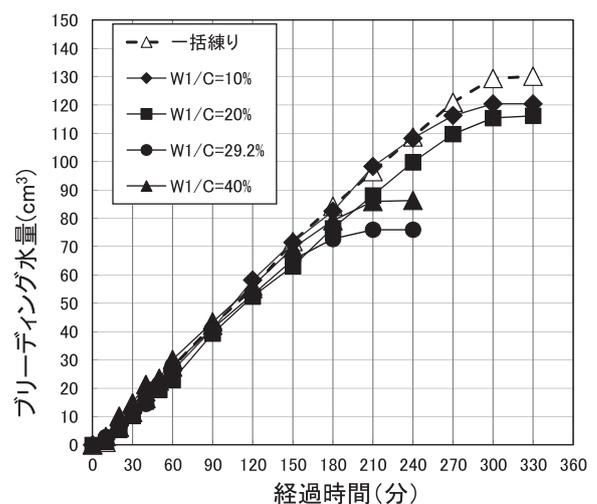


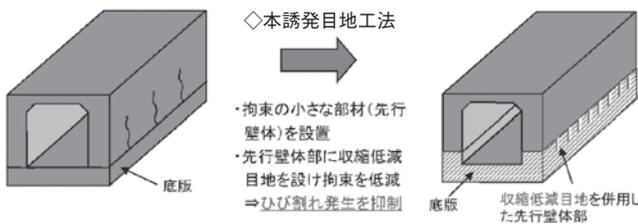
図-4 ブリーディング水量変化図

本コンクリート練り混ぜ工法により製造されたコンクリートは、材料分離やブリーディングが少なく、かつ充填性に優れていた。

5. 本誘発目地工法

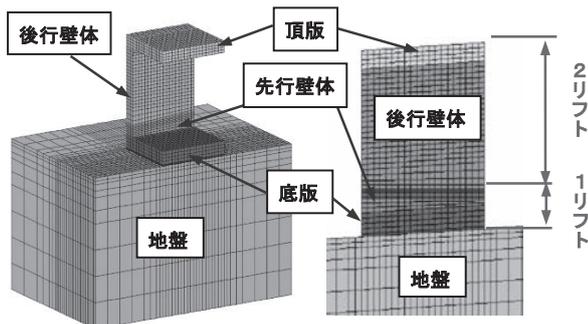
コンクリートは初期の温度上昇時に膨張し、また温度低下時に収縮する。この収縮変形が外部から拘束されず自由に収縮することができれば、温度応力は発生しない。しかし、下端が既設コンクリート等で拘束されると、自由な収縮変形ができず温度応力が発生する。特に今回の函渠構造物のような壁状構造物においては、温度応力が卓越するため、断面を貫通するような大きな幅のひび割れが発生することが想定された。

このため、拘束体からの拘束を緩和することが、温度応力の低減対策として特に有効となると考え、本誘発目地工法を採用した。本誘発目地工法は、底版と壁体部との拘束低減効果を有する誘発目地を設けた先行壁体部を、底版と同時に打設し、後行壁体部との拘束を緩和することで、温度応力の発生を低減するものである（図—5）。

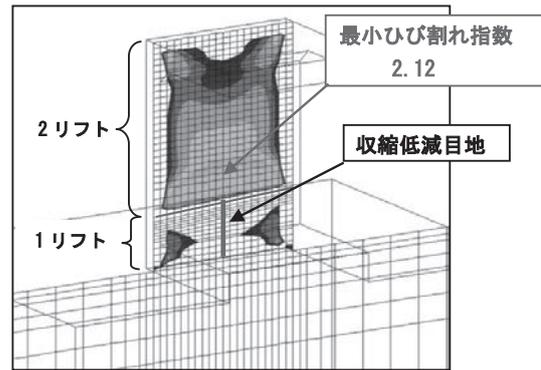


図—5 本誘発目地工法概念図

具体的な手順として、函渠の側壁を上下2分割し、先行壁体部（高さ約1m）と後行壁体部に分ける。コンクリート打設は、底版と先行壁体部を同時に打設（1リフト）し、次のリフトで後行壁体部と頂版を同時に打設（2リフト）した。先行壁体部の中心には、止水機能を有する誘発目地材「サンタックスパンシール」を設置した（断面欠損率約50%）。施工着手前に、本誘発目地工法の効果を事前に把握するために、実際の予定打設日に基づいた3次元FEM温度応力解析を実施した（図—6）。



図—6 温度応力解析モデル図

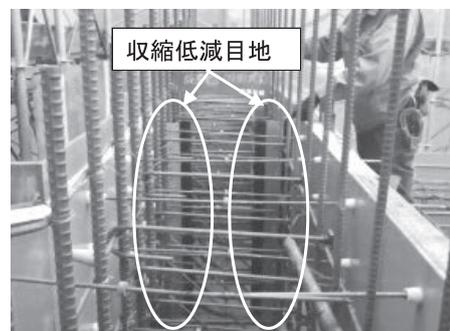


図—7 ひび割れ指数分布図

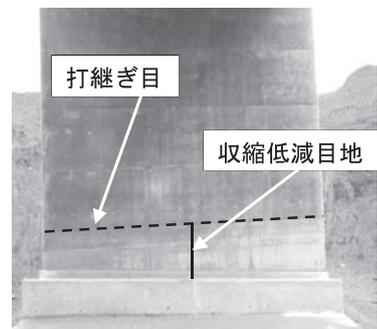
3次元FEM温度応力解析によるひび割れ指数分布の結果を示す（図—7）。

解析結果より、最小ひび割れ指数が2リフト（後行壁体部の下部）で2.12という結果となった（本誘発目地工法を使用しない場合の最小ひび割れ指数は同じ箇所0.9）。コンクリート標準示方書より、ひび割れ指数2.12は、ひび割れ発生確率が10%以下となる。

先行側壁部の収縮低減目地設置状況、及び打設完了後の仕上がり状況を写真—1、2に示す。本対策の結果、打設後6ヶ月以上経過した段階で外部拘束による温度応力が原因と想定されるひび割れは発生していない。



写真—1 収縮低減目地設置状況



写真—2 仕上がり状況

6. 締固めの工夫

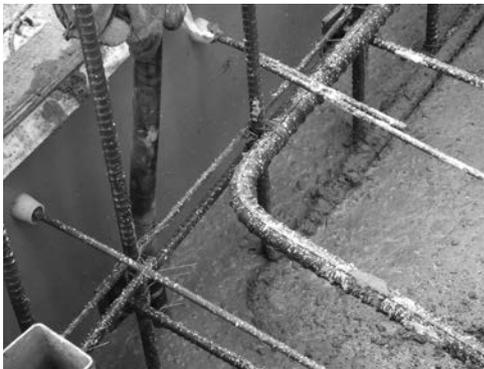
施工部位毎に締固めの工夫を実施した。

全体の締固め作業には、締固め効率を高めるためにスパイラルインナーバイブレータを使用した。本バイブレータは、振動体の表面に螺旋状の凹溝を施して生コンクリートとの接触面積をできる限り大きくし、接触抵抗を大きくすることにより振動伝達効率を高めることができる（写真—3）。

側壁のかぶり部には、エア抜き及びPコン下の沈降ひび割れを抑制する目的で、細径のバイブレータを使用し、外部振動機（壁打ちバイブレータ）で再振動を実施した（写真—4、5）。



写真—3 スパイラルインナーバイブレータ



写真—4 細径バイブレータ（かぶり部）



写真—5 壁打ちバイブレータ

ウイング部斜面の再振動及び型枠表面のエア抜きには、先端に2～3m程度の鋼管パイプを使用した槍状のバイブレータを使用した（写真—6）。



写真—6 槍状バイブレータ

高欄部には、先端部が楕形状のピカコンを型枠内面に当たるように挿入し、抜き取ることにより、コンクリート表面のエア抜きを実施した（写真—7）。



写真—7 ピカコン

これらの工夫により、コンクリート表層が密実な構造物を構築することができた。

7. 給熱養生

コンクリート打設は秋から冬にかけて実施し、夜間の気温が0℃を下回ることが予想されたため、打設直後の初期凍害による品質劣化が想定された。このため、凍害防止対策として、コンクリート打設直後から給熱養生を実施した。

外周足場及び屋根全体をシートで覆い、かつシート内にジェットファーンレスと風管を配置してシート内全体に暖気を行き渡らせ、シート内温度を常時5℃以上となるよう管理した。設置状況を示す（写真—8,9）。給熱養生の期間は、打設時に採取したテストピースにより圧縮強度試験を行い、圧縮強度が5 N/mm²以上



写真一8 給熱養生



写真一9 ジェットファーンネス設置

発現するまで実施した。

長期間湿潤養生の湿度管理や給熱養生の温度管理は、モバイル式コンクリート養生温度管理システム「温度ロイド」を使用し、養生中のコンクリート温度や湿度を24時間自動計測を実施した。測定項目を示す(表一3)。

表一3 測定項目一覧表

| 機器 | 測定項目 | 測定箇所 |
|----|------|----------|
| ① | 温度測定 | 外気温度 |
| ② | 温度測定 | 室内温度 |
| ③ | 温度測定 | コンクリート温度 |
| ④ | 湿度測定 | 頂版マット内湿度 |
| ⑤ | 湿度測定 | 側壁マット内湿度 |

各機器で設定した温度、湿度の管理値が警報値となった時点で担当職員の携帯電話にメールが自動送信されるとともに、パトライトユニットを事務所に配置し、点滅、警報で警告した。メール送信等により、温度、湿度が警報値まで下がった場合は、ジェットファーンネスの風量を調整したり、湿潤養生マットに散水して湿潤状態にすることで対応を行った(写真一10)。

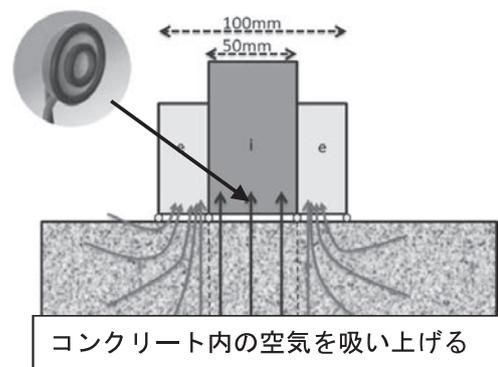


写真一10 養生マット散水状況

コンクリート打設後、外気温は0℃を下回ったが、これらの工夫により、凍害を防止することができた。

8. 透気試験

完成した函渠に対して、コンクリート表層の品質を評価する目的で、「トレント法による透気試験」を実施した。本工法は、コンクリート表層の気体の通しやすさ(透気性)を測定する方法で、透気試験機(パーマ・ツール)を使用して比較的容易に計測できる非破壊試験である(図一8, 写真一11)。この試験の特徴は、一定の断面積(図一8の左上のインナーチャンバー



図一8 トレント法概念図



写真一11 透気試験器

50 mm) に対し、一定方向から吸引された空気量から透気性を求めることができ、表—4 に示す透気係数 (kt) で評価する。

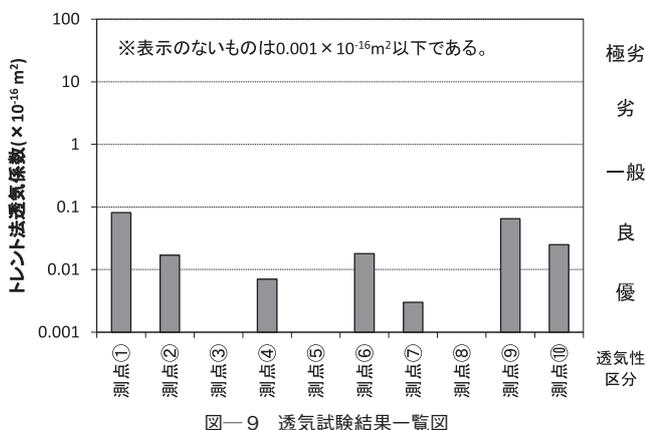
測定は、側壁内外面と底版・頂版上面 (スラブ面) の計 10 箇所を実施した (表—5, 図—9)。これより、全ての箇所で評価が「良」以上であった。コンクリート表層の評価として、目視だけでなく、定量的にも良好であることが判明した。

表—4 透気性区分評価

| 透気係数 KT ($\times 10^{-16} \text{ m}^2$) | ~0.01 | 0.01 ~0.1 | 0.1 ~1 | 1 ~10 | 10 ~100 |
|--|-------|--------------|-----------|----------|------------|
| 評価 | 優 | 良 | 一般 | 劣 | 極劣 |

表—5 透気試験結果一覧表

| 測定位置 | 部位 | 透気係数 KT ($\times 10^{-16} \text{ m}^2$) | 測定位置 | 部位 | 透気係数 KT ($\times 10^{-16} \text{ m}^2$) |
|------|--------|--|------|------|--|
| 測点1 | 側壁内面 | 0.081 | 測点2 | 側壁内面 | 0.017 |
| 測点3 | 底版スラブ面 | 0.001 以下 | 測点4 | 底版側面 | 0.007 |
| 測点5 | 頂版スラブ面 | 0.001 以下 | 測点6 | 側壁内面 | 0.018 |
| 測点7 | 側壁外面 | 0.003 | 測点8 | 側壁外面 | 0.001 以下 |
| 測点9 | 側壁外面 | 0.065 | 測点10 | 側壁外面 | 0.025 |



9. おわりに

完成した函渠を写真—12 に示す。これら品質確保対策の結果、ひび割れ、ジャンカ、及びコールドジョイントなどのない構造物を構築することができた。本函渠構造物のこれらの取組みに対し、平成 25 年度近畿地方整備局の「コンクリート構造物品質コンテスト」において、栄えある特別優秀賞をいただいた。これを励みに今後ともコンクリートの品質向上に励むとともに、本報文が類似の工事の品質確保において参考になれば幸いである。



写真—12 函渠構造物完成写真

J C M A

《参考文献》

- 1) 建設技術審査証明報告書「性能向上のために分割練混ぜをしたコンクリート「SEC コンクリート」」(財団法人 土木研究センター) p68. 3.1.1 一次水量の算定式 平成 20 年 8 月

〔筆者紹介〕

神崎 恵三 (かみざき けいぞう)
 ㈱熊谷組
 土木事業本部 プロジェクト技術部
 副部長

