

鋼管・コンクリート複合構造橋脚のひび割れ低減対策

(社) 北海道土木施工管理技士会
西江建設株式会社
土木部 土木課長
小 原 得 誘

1. はじめに

当工事の施工箇所は、北海道十勝平野の北東部に位置し、帯広から北東約 40 k m の酪農、畑作が盛んで小高い山に囲まれた自然豊かな場所である。工事は急勾配、急カーブが連続する現道を新ルートに切り替え、勾配や急カーブを緩和する事業の一環として、橋長 $L=246.8\text{m}$ の橋梁を新設するものであり、当社は 2 基の橋脚の内、1 橋脚を施工した。この論文では、鋼管・コンクリート複合橋脚のひび割れ発生の予見と、低減対策および施工結果を記載する。

工事概要

工 事 名：本別士幌線改良工事（2 号橋下部工）1 工区

工 期：平成 17 年 6 月 22 日

～平成 18 年 3 月 15 日

発 注 者：北海道十勝支庁 帯広土木現業所

請 負 者：西江・市橋経常建設共同企業体

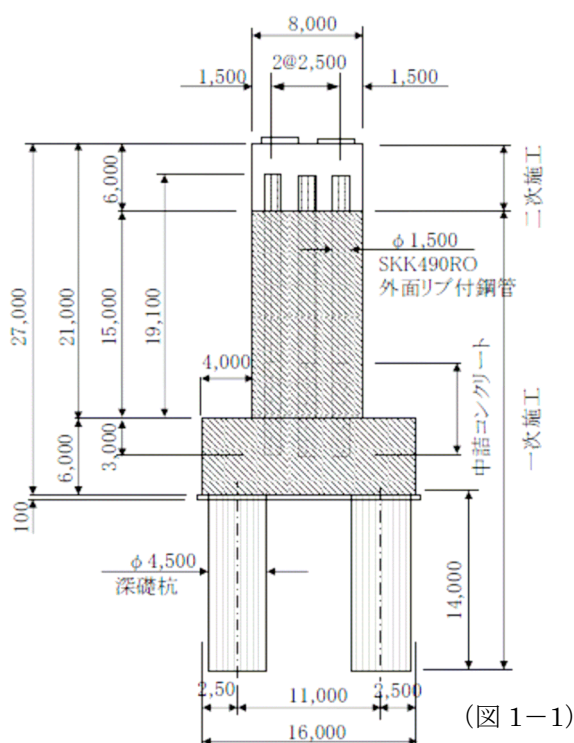
工事内容：鋼管・コンクリート複合構造橋脚

深礎工（ $N=4$ 本、 $\phi 4500\text{mm}$ 、 $H=14.0\text{m}$ ）

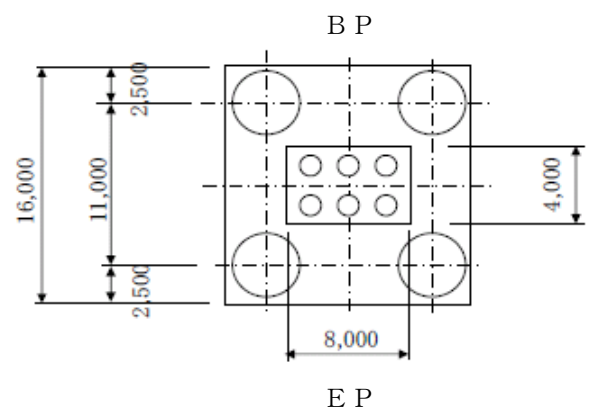
柱杭工（種別：リブ付鋼管、 $N=6$ 本、径： $\phi 1500\text{mm}$ 、長さ：全長 22.1m ）

橋脚躯体工（コンクリート $V=1,999\text{m}^3$ ）

橋脚正面図



橋脚平面図



(図 1-2)

2. 課題・問題点

鋼管・コンクリート複合構造橋脚は高橋脚の施工において、省力化や耐震性の向上を目的に、施

工実績が増えている工法である。しかしその構造特性のため、温度ひび割れ発生の恐れがある構造物でもある。温度ひび割れとは、コンクリートの

水和反応に伴い温度上昇し時間の経過と共に温度が降下する過程で、構造物内部に応力が発生して起こるもので、内部拘束応力によるものと外部拘束応力によるものがある。

鋼管・コンクリート複合構造橋脚の温度ひび割れの発生原因として次に示す事項が想定される。

- (1) 中空断面構造になるため鋼管部外周の、温度応力が大きくなる。
- (2) マスコンクリート構造である。
- (3) 寒中コンクリートになるため、防寒養生囲い解体時に構造物の内外温度差が大きくなる。

このようなひび割れ発生原因が想定されたが、ひび割れの発生確率や、発生位置等はそれぞれの構造物の条件に大きく左右される。当橋脚では、温度応力解析を行い、その結果に基づきひび割れ低減対策の必要性の有無を検討すると同時に、低減対策が必要な場合については、低減方法を検討した。

3. 温度応力解析

温度応力解析は3次元 FEM 法で行う事とした。
(解析プログラム ASTEA-MACS ver4 株式会社計算力学研究センター)

【解析条件設定】

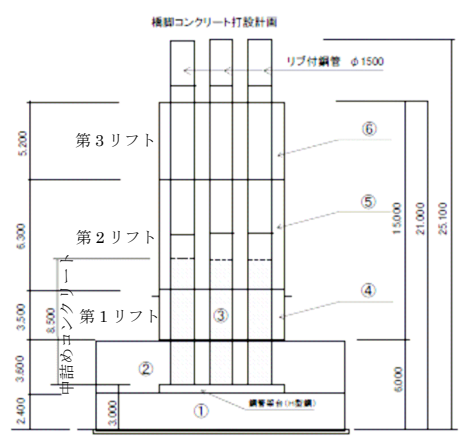
- (1) レディーミクストコンクリート規格
24N/mm⁸ - 40 - N
- (2) 単位セメント量
単位セメント量 : 286 kg/m³
- (3) 断熱温度上昇特性
 $Q(t) = Q_{\infty}(1 - e^{-rt})$
コンクリート標準示方書[施工編] (2002 年版)
- (4) 材料の熱物性値および材料の力学的特性
コンクリート標準示方書[施工編] (2002 年版) を参照して決定する。
- (5) 施工条件
施工時期 : 11 月初旬～1 月中旬
コンクリートの温度 : 20℃
養生方法 : 給熱養生

外気温 : 理科年表による

(6) 施工順序

(図 3-1) にコンクリートの打設順序を示す。

打設順序図



(図 3-1)

【照査水準の設定】

コンクリート標準示方書では、温度ひび割れの制御水準とひび割れ指数の目安を、下記のように示している。

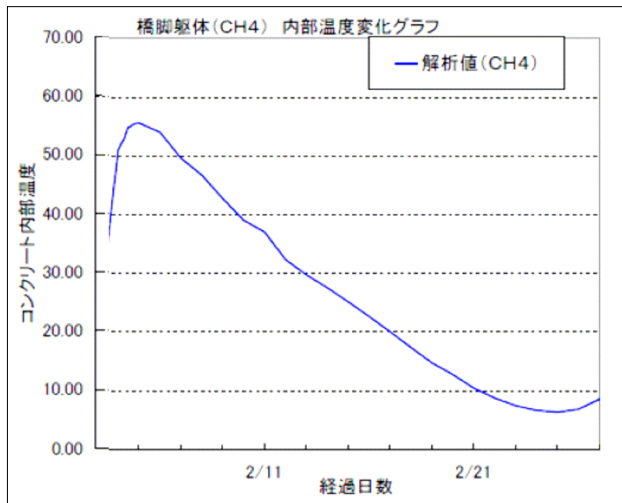
温度ひび割れの 制御水準	ひび割れ指数 (I cr)	ひび割れ発生 確率
ひび割れを防止 したい場合	1.75 以上	5%以下
ひび割れの発生 を出来るだけ制 限したい場合	1.45 以上	25%以下
ひび割れの発生 を許容するが、ひ び割れが過大と ならないように 制限したい場合	1.0 以上	85%以下

ひび割れの“発生を許容しない”とした場合、コンクリートの配合設計にまで遡って対策を立てる必要があるが、当工事では経済性や構造物の目的を考慮し、“ひび割れの発生を許容するが、ひび割れが過大とならないように制限する”ことを目安とし、 $I_{cr} \geq 1.0$ と設定して照査した。

【温度応力解析結果】

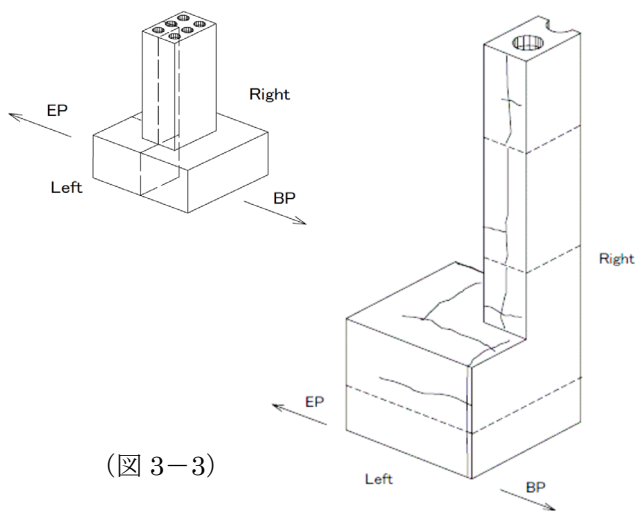
橋脚内部のコンクリート温度経時変化解析結果を(図 3-2)に示す。解析結果から、躯体の内部温度の最高値は 55℃に達する事が想定された。また温度応力の解析結果からひび割れ指数(I cr)を算出し、ひび割れの発生箇所を想定した(図 3-3)。

内部温度解析グラフ



(図 3-2)

予想されるひび割れ発生位置 (1/4 モデル)



(図 3-3)

3. ひび割れ発生抑制対策

事前検討結果により、温度ひび割れの発生する確率が高い事が確認されたため、ひび割れの発生量を低減するために次の対策を行った。

- (1) コンクリートの練り上がり温度の低減
- (2) エアークーリングの実施
- (3) 型枠の長期存置

(1) コンクリートの練り上がり温度の低減

コンクリートの練り上がり温度の低減は、水和反応による最高温度の低下に繋がることが知られている。当工事は冬期間の施工であるため、一般的には骨材や練混ぜ水を加熱し、練り上がり温度を 20℃程度にするが、練混ぜ水の温度を低下することで、練り上がり温度を 10℃程度まで低下させた。

(2) エアークーリングの実施

既往の論文によると、鋼管・コンクリート複合構造橋脚では、鋼管中空部に送気することで、内部温度が低下し、ひび割れの発生量が低減するとされている。当工事では鋼管上部に送風機を設置してコンクリートの内部温度低減を図った（写真 3-1）。



(写真 3-1)

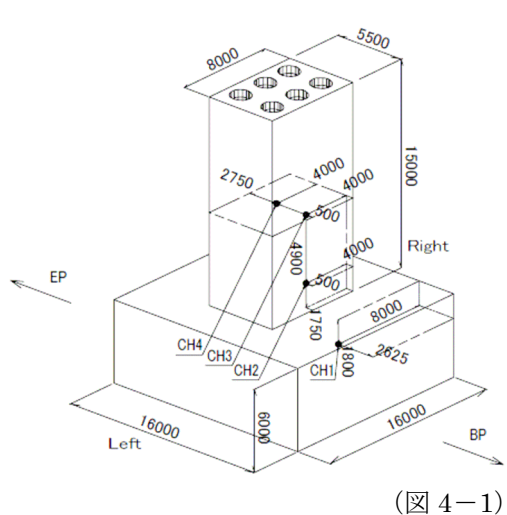
(3) 型枠の長期存置

標準示方書では型枠取り外しに必要な強度が示されているが、示された強度発現時にはコンクリートの内部温度が高温期であることが想定される。高橋脚では打設リフトごとに型枠を転用することが一般的である。しかしコンクリートの内部温度が高温期に型枠の取り外しを行った場合、内外温度差（温度勾配）が大きくなり、急激な温度衝撃が作用することになる。型枠取り外し後コンクリート表面に、保温材を取り付ける方法も考えられるが、型枠取り外し時の急激な温度低下は避けられない。当工事では鋼製型枠に比べ断熱性の優れた木製型枠を使用した。また型枠を長期に存置するために、全面積分の型枠を用意した上で、型枠の取り外し時期の決定には、構造物内部に設置した温度センサーのデータを利用した。

4. ひび割れ発生抑制対策の効果

温度ひび割れ抑制防止対策の効果を確認するために、構造物内部に温度センサーを設置し（図 4-1）、温度履歴を測定した（図 4-2）。また温度センサー設置箇所は、解析値と実績値が対比できるように、温度解析を行った箇所を選定した。

温度センサー設置位置図

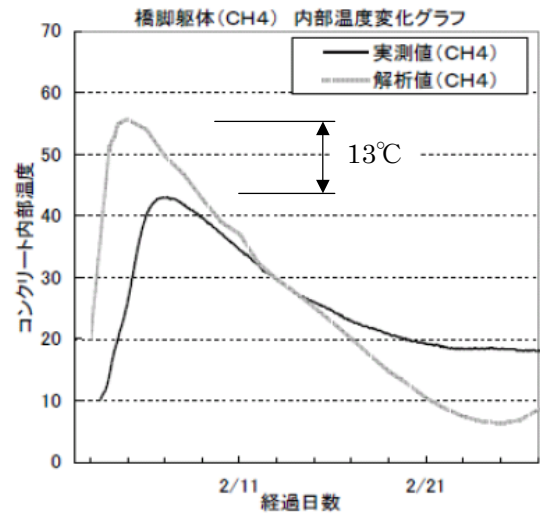
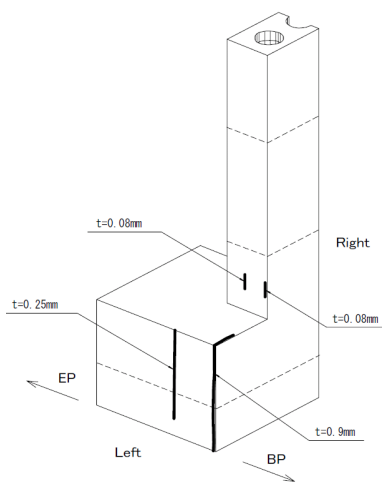


その結果、最高温度を解析値に比べ 13℃低下することが出来た（図 4-2）。また工程調整を行い、型枠を最長 48 日間存置したことでコンクリート温度の急激な低下を緩和することが出来た。鋼管内下部に中詰めコンクリートを打設する必要がある、エアーケーリングの効果は第 2 リフトの上部から第 3 リフトに掛けてとなった。これにより躯体に発生したひび割れの発生状態に、リフト間で違いが見られることになった。

5、ひび割れの発生

底版コンクリートは打設から約 1 月後、躯体コンクリートには約 2 月後にひび割れの発生を確認した。下記に施工後発生したひび割れを示す（図 5-1）。

ひび割れ発生位置（1/4 モデル）



ひび割れは、ほぼ想定された位置に発生しており、発生位置や発生時期などから、原因はコンクリートの温度応力によるものと考えられたが、発生頻度は解析値を大きく下回った。また躯体の発生位置が第 1 リフトに限定されているのは、次の 2 点であると考えられる。

- (1) 第 1 リフトは中詰めコンクリートがあるためエアーケーリングを行うことが出来ず、防寒養生終了時まで内部温度が十分に低下しなかった。
- (2) 第 1 リフトは躯体の応力が底版に拘束されるため、ひび割れが発生しやすい状態であった。

なお、発生したひび割れについては、補修の必要性を検討し、発注者と協議の上で補修を行った。

6、おわりに

北海道における冬期コンクリートの施工では、環境の厳しさから、構造物のひび割れ防止に大変な努力をしてきた。特にマスコンクリート構造物では、ひび割れの発生は避けて通れない問題として課題となっている。当橋脚においても、施工者として出来る限りの対策を取ったが、発生をなくすことはできなかった。このようにコンクリートはその特性として、ひび割れが発生しやすいものである。われわれ施工者は、このような実態を踏まえ、施工計画時からひび割れの発生を検討し、適切な対策を取ると同時に、ひび割れが発生した場合には、発生原因が施工方法によるかどうかを、

明確にする必要がある。