

コンクリートのひび割れ防止対策について

H29-31 小黒部谷第2号砂防堰堤工事
 大高建設株式会社
 現場代理人 森 謙一
 ○監理技術者 藪内 豊忠

1. はじめに

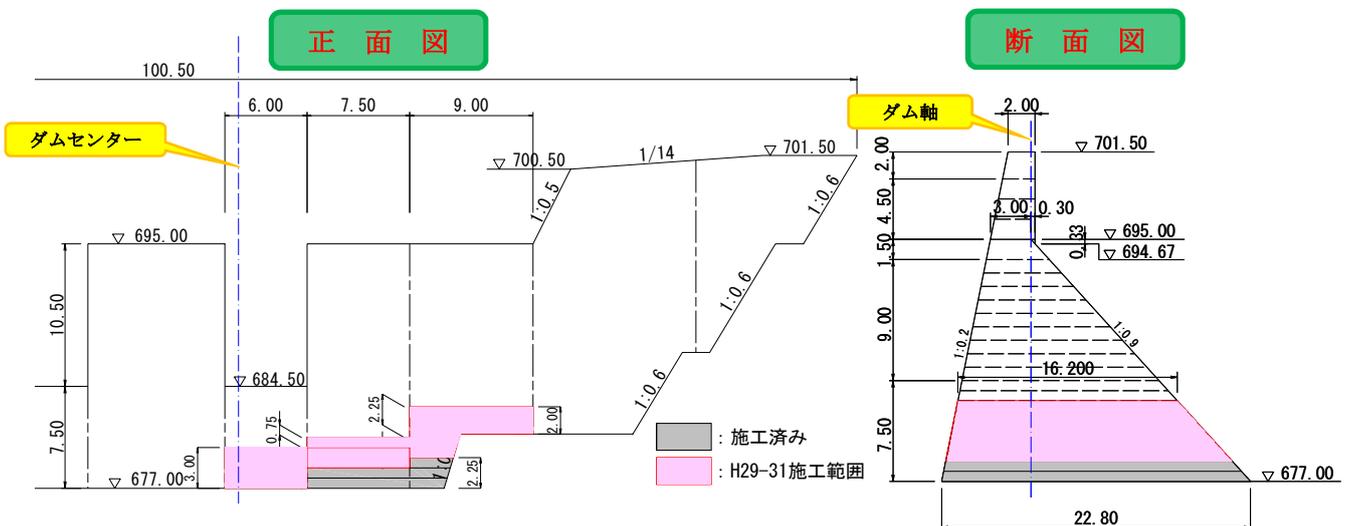
本工事は、黒部川水系支川小黒部谷の砂防事業にあたり、小黒部谷第2号砂防堰堤の左岸部を3ヶ年に渡り構築する工事である。施工場所は標高700mの中部山岳国立公園内であり、11月初旬には降雪により本体コンクリート施工期間（7月～11月）に限られる。また昼夜の寒暖差が激しい環境の中で、宿泊も伴う作業である。

このような条件の下、本工事にて取り組んだ『コンクリートのひび割れ防止対策』について報告するものである。

2. 工事概要

工期 平成29年6月29日～平成31年11月30日
 工事場所 富山県黒部市宇奈月町黒部奥山国有林（小黒部地先）
 工事内容

| | | | |
|-----------|-------------|-------------|----------------------|
| 砂防土工 | 掘削工 | 掘削（砂防） | 1,330 m ³ |
| | 残土処理工 | 整地 | 1式 |
| コンクリート堰堤工 | コンクリート堰堤本体工 | コンクリート | 1,300 m ³ |
| | 間詰工 | 間詰コンクリート | 21 m ³ |
| 仮設工 | 仮橋・仮栈橋工 | コンクリート製造設備工 | 1式 |
| | 濁水処理設備工 | プラント給排水設備工 | 1式 |
| 運搬工 | 資材運搬工 | 資材運搬費 | 1式 |



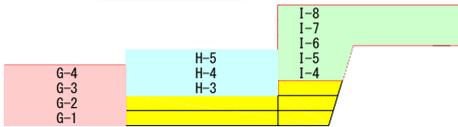
3. コンクリートのひび割れ防止対策の事前解析

砂防堰堤はコンクリートが一体化することにより、機能が発揮される構造物である。本工事は3カ年にわたり、1リフト高75cm、ブロック堤長6.0m~9.0m、堤幅16.2m~22.8mのコンクリートを12回打設となる。マスコンクリートに該当し、温度応力によるひび割れが懸念され、構造物の品質確保が重要視されることから、事前にコンクリート温度応力解析を行った。

解析には、コンクリート温度応力解析ソフトを使用し、打設割参考図を下に、解析モデル図を作成し、解析条件【リスト分割、打設回数、打設工程、材料特性、熱伝導境界（小黒部地区は年間通した外気温がないため、上市地区を採用）、温度固定境界、変位の拘束】を設定した。

また堰堤の形状が複雑なことから、既設コンクリート天端（2リフト目天端）を垂直に上げることで、本来の堰堤形状より厳しい条件でおこなった。

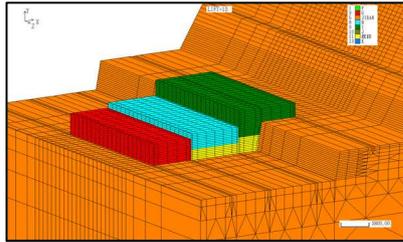
打設割図



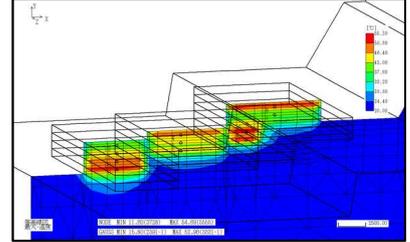
| 打設 順番 | 打設予定日 | 打設 リフト | 打設高 |
|----------|------------|-----------|-------|
| 1 | 2017/9/21 | H-3 | 0.75m |
| 2 | 2017/10/3 | H-4 | 0.75m |
| 3 | 2018/7/16 | I-4 | 0.75m |
| 4 | 2018/8/3 | I-5 | 0.75m |
| 5 | 2018/9/3 | H-5 | 0.75m |
| 6 | 2018/9/24 | I-6 | 0.75m |
| 7 | 2018/10/16 | I-7 | 0.75m |
| 8 | 2019/7/16 | I-8 | 0.75m |
| 9 | 2019/8/7 | G-1 | 0.75m |
| 10 | 2019/9/3 | G-2 | 0.75m |
| 11 | 2019/9/23 | G-3 | 0.75m |
| 12 | 2019/10/13 | G-4 | 0.75m |

既設コンクリート

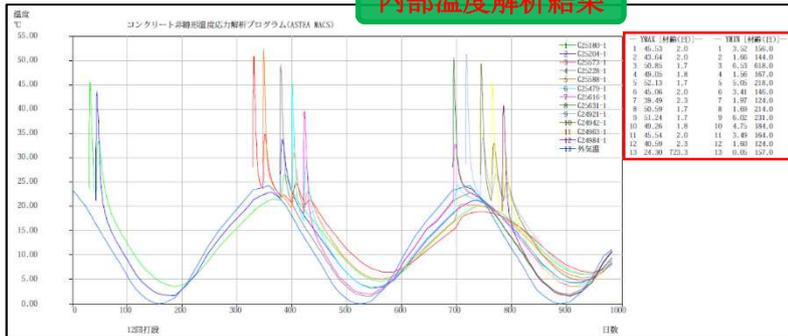
解析モデル図



内部温度解析図



内部温度解析結果

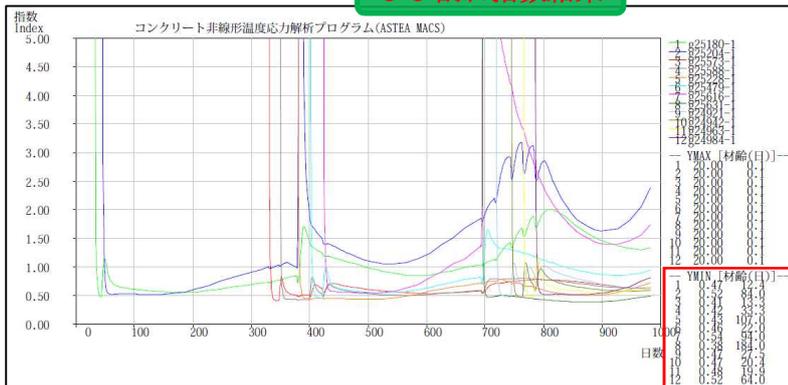


最高温度

最低温度

| 最高温度 | | 最低温度 | |
|----------------|---------------|----------------|---------------|
| YMAX [材齢(日)] | YMIN [材齢(日)] | YMAX [材齢(日)] | YMIN [材齢(日)] |
| 1 45.53 2.0 | 1 3.52 156.0 | 1 45.53 2.0 | 1 3.52 156.0 |
| 2 43.64 2.0 | 2 1.66 144.0 | 2 43.64 2.0 | 2 1.66 144.0 |
| 3 50.85 1.7 | 3 6.53 618.0 | 3 50.85 1.7 | 3 6.53 618.0 |
| 4 49.05 1.8 | 4 1.56 167.0 | 4 49.05 1.8 | 4 1.56 167.0 |
| 5 52.13 1.7 | 5 5.05 218.0 | 5 52.13 1.7 | 5 5.05 218.0 |
| 6 45.06 2.0 | 6 3.41 146.0 | 6 45.06 2.0 | 6 3.41 146.0 |
| 7 39.49 2.3 | 7 1.97 124.0 | 7 39.49 2.3 | 7 1.97 124.0 |
| 8 50.59 1.7 | 8 1.69 214.0 | 8 50.59 1.7 | 8 1.69 214.0 |
| 9 51.24 1.7 | 9 6.02 231.0 | 9 51.24 1.7 | 9 6.02 231.0 |
| 10 49.26 1.8 | 10 4.75 184.0 | 10 49.26 1.8 | 10 4.75 184.0 |
| 11 45.54 2.0 | 11 3.49 164.0 | 11 45.54 2.0 | 11 3.49 164.0 |
| 12 40.59 2.3 | 12 1.60 124.0 | 12 40.59 2.3 | 12 1.60 124.0 |
| 13 24.30 723.3 | 13 0.05 157.0 | 13 24.30 723.3 | 13 0.05 157.0 |

ひび割れ指数結果



ひび割れ指数 (最低値)

| ひび割れ指数 (最低値) | |
|--------------|--------------|
| YMIN [材齢(日)] | YMIN [材齢(日)] |
| 1 0.47 84.0 | 1 0.47 84.0 |
| 2 0.52 84.0 | 2 0.52 84.0 |
| 3 0.41 13.3 | 3 0.41 13.3 |
| 4 0.42 33.3 | 4 0.42 33.3 |
| 5 0.43 107.0 | 5 0.43 107.0 |
| 6 0.46 22.0 | 6 0.46 22.0 |
| 7 0.54 94.0 | 7 0.54 94.0 |
| 8 0.38 184.0 | 8 0.38 184.0 |
| 9 0.47 27.3 | 9 0.47 27.3 |
| 10 0.47 20.4 | 10 0.47 20.4 |
| 11 0.48 19.9 | 11 0.48 19.9 |
| 12 0.52 64.0 | 12 0.52 64.0 |

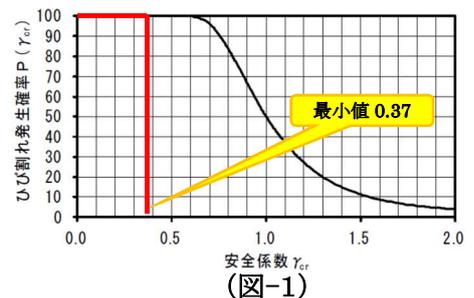
最小値

【コンクリート温度応力解析結果】

解析結果は上記のひび割れ指数結果のとおり、12リフトすべてがひび割れ指数1.0を下回り、ひび割れ発生確率曲線(図-1)にて100%の確立で、ひび割れが発生すると予想された。

また岩盤上や既設リフトのコンクリート上に打継ぐため、外部拘束による温度ひび割れと考えられ、ひび割れ抑制対策の検討が必要となった。

ひび割れ指数 (最小0.38[8リフト] 平均0.44)
コンクリート温度 (最高52.1℃[5リフト] 平均46.9℃)

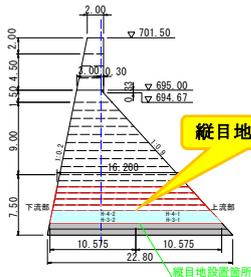


4. ひび割れ抑制対策の検討

温度ひび割れ抑制対策は施工性、経済性等を考慮し下記の項目を検討した。

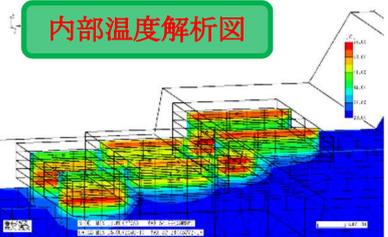
| 検討種類 | 検討内容 | 検討結果 | 評価 |
|-------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| • 水和発熱の小さいセメントを使用及び単位セメント量の低減 | • 高炉セメント(B種)から低熱セメントへの変更 • 使用セメント量の低減 | • コンクリート製造設備は他工事と共有で使用するため、打設毎にセメントの入替作業が発生し、経済性に劣る。 また特記によるセメント種類の記載と、現プラントでの製造実績が少ない為、圧縮強度と水セメント比の回帰式が確立されていないので低熱セメント使用やセメント量の低減は望ましくない。 | × |
| • 混和剤による単位水量の低減 | • AE減水剤から高性能AE減水剤への変更 | • コンクリート製造設備は他工事と共有で使用するため、打設毎に混和剤の入替作業が発生し、経済性に劣る。 | × |
| • 打設ブロック割りの検討 | • 1ブロックの大きさの変更 | • 柱状ブロック工法にて、1ブロックのコンクリート打設量を減少することにより、温度上昇の低減及び外部拘束の低減が図れる。 | ○ |
| • 養生方法の検討 | • 型枠残置期間の延長 | • 型枠の残置期間を3日から7日へ延長することにより、保温性の確保が図れる。 | ○ |

検討結果により、1リフトの堤幅を上流部と下流部に分けた、2回打設(図-2)の柱状(ブロック)工法、型枠残置期間の延長にてコンクリート温度応力解析温度解析を再度おこなった。

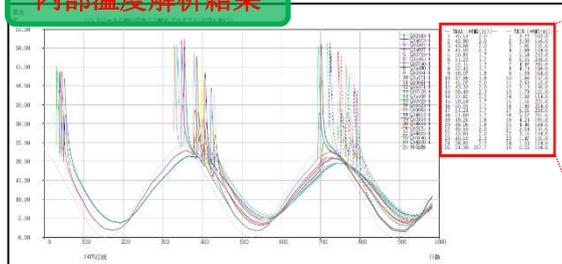


打設割図

| 打設層 | 打設予定日 | 打設リフト | 打設高 | 打設層 | 打設予定日 | 打設リフト | 打設高 |
|-----|------------|-------|-------|-----|------------|-------|-------|
| 1 | 2017/9/21 | H-3-1 | 0.75m | 2 | 2017/9/28 | H-3-2 | 0.75m |
| 3 | 2017/10/3 | H-4-1 | 0.75m | 4 | 2017/10/10 | H-4-2 | 0.75m |
| 5 | 2018/7/15 | H-4-1 | 0.75m | 6 | 2018/7/23 | H-4-2 | 0.75m |
| 7 | 2018/8/3 | H-5-1 | 0.75m | 8 | 2018/8/10 | H-5-2 | 0.75m |
| 9 | 2018/9/3 | H-5-1 | 0.75m | 10 | 2018/9/10 | H-5-2 | 0.75m |
| 11 | 2018/9/24 | H-6-1 | 0.75m | 12 | 2018/10/1 | H-6-2 | 0.75m |
| 13 | 2018/10/16 | H-7-1 | 0.75m | 14 | 2018/10/23 | H-7-2 | 0.75m |
| 15 | 2018/11/15 | H-8-1 | 0.75m | 16 | 2018/11/22 | H-8-2 | 0.75m |
| 17 | 2018/12/3 | G-1 | 0.75m | 18 | 2018/12/10 | G-2 | 0.75m |
| 19 | 2019/9/3 | G-2-1 | 0.75m | 20 | 2019/9/10 | G-2-2 | 0.75m |
| 21 | 2019/9/23 | G-3-1 | 0.75m | 22 | 2019/9/30 | G-3-1 | 0.75m |
| 23 | 2019/10/13 | G-4-1 | 0.75m | 24 | 2019/10/20 | G-4-2 | 0.75m |



内部温度解析結果



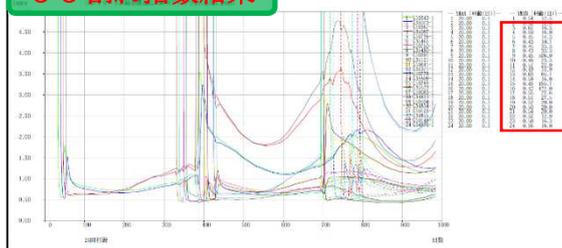
最高温度

最低温度

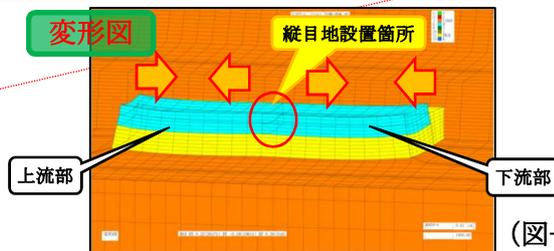
ひび割れ指数 (最低値)

| YMAX [材齢(日)] | | YMIN [材齢(日)] | | |
|--------------|-------|--------------|-------|------|
| 1 | 45.54 | 2.0 | 3.72 | |
| 2 | 43.80 | 2.0 | 3.90 | |
| 3 | 43.68 | 2.0 | 3.81 | |
| 4 | 41.93 | 2.3 | 4.188 | |
| 5 | 50.81 | 1.7 | 5.58 | |
| 6 | 51.23 | 1.7 | 5.95 | |
| 7 | 42.45 | 1.7 | 4.42 | |
| 8 | 52.43 | 1.7 | 4.74 | |
| 9 | 49.07 | 1.8 | 4.69 | |
| 10 | 47.86 | 1.8 | 4.80 | |
| 11 | 45.07 | 2.0 | 4.24 | |
| 12 | 43.37 | 2.0 | 3.13 | |
| 13 | 39.49 | 2.3 | 3.179 | |
| 14 | 37.82 | 2.3 | 3.190 | |
| 15 | 40.59 | 1.7 | 3.31 | |
| 16 | 50.91 | 1.7 | 3.160 | |
| 17 | 51.24 | 1.7 | 3.31 | |
| 18 | 51.60 | 1.7 | 3.57 | |
| 19 | 48.26 | 1.8 | 4.4 | |
| 20 | 48.06 | 1.8 | 4.46 | |
| 21 | 45.55 | 2.0 | 2.94 | |
| 22 | 43.84 | 2.0 | 3.11 | |
| 23 | 40.59 | 2.3 | 3.147 | |
| 24 | 38.83 | 2.3 | 2.153 | |
| 25 | 24.30 | 357.7 | 25 | 0.05 |

ひび割れ指数結果



変形図



最高温度

最低値

【コンクリート温度応力解析結果】

再解析の結果については、コンクリート温度は殆んど変化がなかったが、ひび割れ指数については若干の改善がみられた。

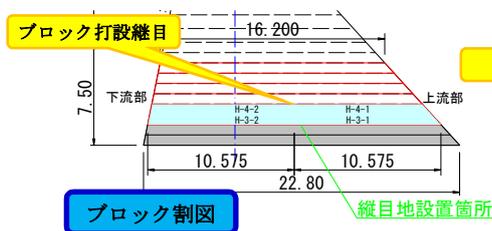
ひび割れ指数は、最小0.38から0.42、平均は0.38から0.51へ改善した。またコンクリート温度については、最高52.1°Cから52.4°C、平均46.9°Cから46.5°Cになった。

5. 対策の実施と結果

【実施内容】

1) 柱状(ブロック)工法

1リフト高0.75mを上流部と下流部へ分けた、柱状(ブロック)工法にてコンクリート打設(1リフト2回打設)の施工方法を実施し、自己収縮によりひび割れ発生箇所をブロック打設継目(縦目地)に集中させるように図った。(発注者と協議済み)



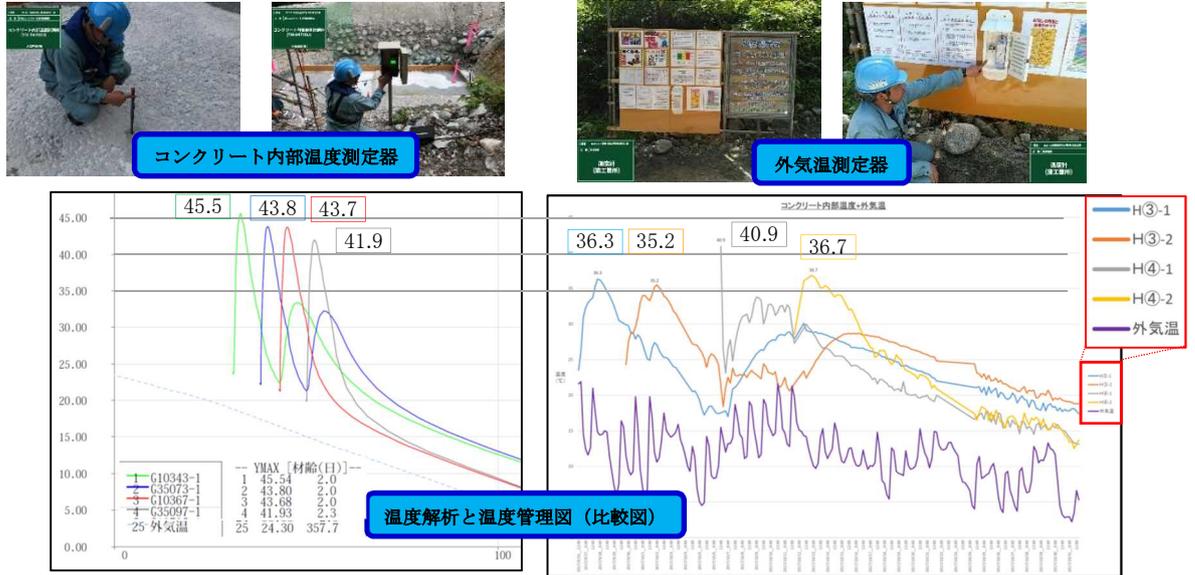
2) 型枠残置期間の確保

今年度施工範囲（H-3、H-4ブロック）の型枠残置については、保温性の確保を目的とし、残置期間を7日以上確保することとした。

| 打設順番 | 打設リフト | 区分 | 打設予定日 | 打設日 | 脱枠日 | 残置期間 |
|------|-------|-----|------------|------------|------------|------|
| 1 | H-3-1 | 上流部 | 2017/9/21 | 2017/9/26 | 2017/10/17 | 21日 |
| 2 | H-3-2 | 下流部 | 2017/9/28 | 2017/9/29 | 2017/10/18 | 19日 |
| 3 | H-4-1 | 上流部 | 2017/10/3 | 2017/10/6 | 2017/10/17 | 11日 |
| 4 | H-4-2 | 下流部 | 2017/10/10 | 2017/10/11 | 2017/10/18 | 7日 |

3) 温度応力解析との比較

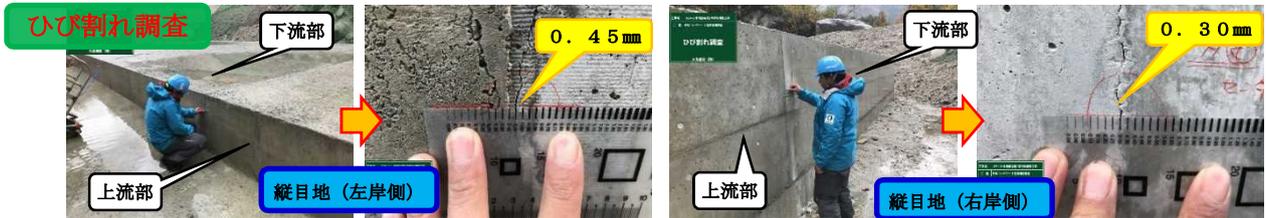
コンクリートの養生期間中は、各リフトのコンクリート中心付近に内部温度測定器と、施工箇所付近に外気温計測器を設置し、温度応力解析と実際の温度が比較できるようにした。



【結果】

上記の対策を実施した結果、変形図（図-2）のとおりブロック打設継目である縦目地（上流部と下流部間）において、側面鉛直方向にひび割れを集中させることできた。

また温度応力解析との比較については、実際の内部温度は温度解析のコンクリート内部温度より、平均6.5℃低いことが分かった。



コンクリート外観検査簿にてひび割れの経過を調査した。ひび割れ幅は0.2 mm（脱枠後4日目）に確認され最大0.45 mm（脱枠後14日目）まで拡幅した為、ひび割れ補修が必要となった。

ひび割れ補修には、含侵型ケイ酸塩系コンクリート表面強化材の塗布工法により、コンクリート表面に浸透し、水分の蒸発とともに細孔を塞ぎ、セメントのカルシウムと反応を続け、コンクリートが完全に一体化となる補修方法でおこなった。

コンクリート外観検査簿

| 縦目地 | 縦目地 | ひび割れの発生 | | ひび割れの状況 | | 補修 | 備考 |
|-----|-----|---------|----|---------|----|----|----|
| | | 発生 | 状況 | 発生 | 状況 | | |
| 上流部 | 下流部 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 上流部 | 下流部 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |

6. まとめ

今回のコンクリートひび割れ抑制対策では、ブロック打設継目にひび割れを集中させることができたが、今後はひび割れ補修のない品質の良いコンクリート構造物を提供できるよう、温度応力解析方法の向上と内部温度管理や年間を通した外気温管理、施工方法、養生方法の改善を図り、ひび割れが抑制できるよう努力していきたいと思います。

