

# 報告 ハイブリッドバットレス型砂防堰堤の水通しコンクリートに発生したひび割れの原因と対策の検討

浅野 慎一\*

**要旨：**近年の砂防堰堤には、鋼構造とコンクリート構造を組み合わせたハイブリッド形式によるものが少なくない。堰堤のようにマッシブな構造物は、若い材齢で発生する温度ひび割れが問題となるが、コンクリート中に鋼部材を埋設する場合には、鋼部材が誘発目地と同様の役割をはたし、この位置にひび割れを誘導する傾向がある。本報告では鋼部材近傍のコンクリートにみられる応力集中や、ひび割れの制御について述べる。

**キーワード：**収縮ひび割れ、温度ひび割れ、応力集中、ひび割れ誘発目地、温度ひび割れ対策

## 1. はじめに

砂防堰堤（ハイブリッドバットレス型）の本体を分割施工する工事において、水通しコンクリートの先行ブロックに、上下流方向およびダム軸方向のひび割れが発生した。竣工前に発生した変状であるため、原因を推定し適当な処置を実施することがもとめられた。

本業務は、上記の目的のために変状した堰堤の外観を調査し、解析的検討を行ったものである。以下では、変状とその原因、対策について検討した結果を記述する。

## 2. 基本条件と構造概要

(1) 施工場所：山間部（外気温 $-8\sim 19^{\circ}\text{C}$ ）

(2) コンクリート打設日：200X年10月

(3) 配合：D種  $19.5\text{N}/\text{mm}^2\text{-}5\text{cm}\text{-}40\text{mm}(\text{BB})$

A種  $27.0\text{N}/\text{mm}^2\text{-}5\text{cm}\text{-}40\text{mm}(\text{BB})$

(4) 構造概要

図-1に正面図、図-2にリフト分割図を示す。

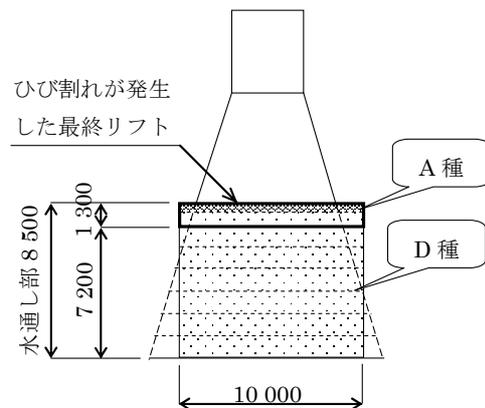


図-2 リフト分割図（ダム軸面）

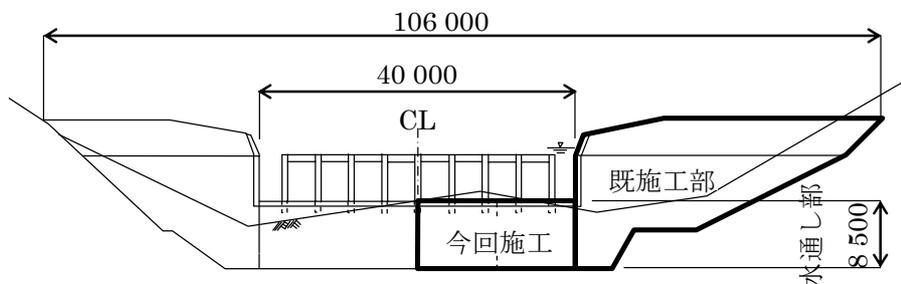


図-1 正面図

### 3. 外観調査結果

水通しコンクリートの最終リフトに発生したひび割れの状況を図-3に示す。

本堰堤の上下流面は埋設型枠で施工されており、この埋設型枠にはひび割れが発生していなかった。また、ひび割れ以外の特段の変状は認められなかった。

堰堤に発生したひび割れの特徴は、次のとおりである。

- ① 上下流方向のひび割れは鋼製バットレスに沿って発生している（写真-1）。
- ② ダム軸方向のひび割れは水通し幅の中央付近に発生している（写真-2）。

これらは収縮ひび割れの一般的な特徴であると推察された。平均ひび割れ幅は0.33mmであった。

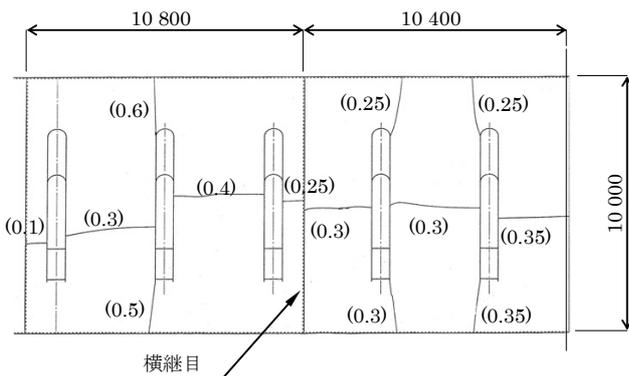


図-3 ひび割れ状況図（平面図）



写真-1 上下流方向のひび割れ



写真-2 ダム軸方向のひび割れ

### 4. 変状原因の推定

#### (1) 検討条件

- ① ひび割れ発生時期：不明
- ② ひび割れの形態：直角2方向
- ③ ひび割れの発生位置  
上下流方向：断面欠損部  
ダム軸方向：中間部（ほぼ中央）
- ④ 形状寸法：マッシュな2方向スラブ
- ⑤ ひび割れ幅：0.1～0.6mm
- ⑥ セメント：高炉セメントB種（C=240～289kg/m<sup>3</sup>）

#### (2) 推定された原因

前述のように、ひび割れの形態は収縮ひび割れの特徴を示している。また、水通しコンクリートはマッシュな部材であることから、水和熱による温度応力が問題となる反面、乾燥は進みにくい。

これらのことから、堰堤に発生したひび割れは温度ひび割れである可能性が高いと推定し、事後解析を行った。

### 5. 温度応力解析

#### (1) 検討方法

- 1) 温度解析：2次元FEM法
- 2) 応力解析：CP法

#### (2) 検討モデル

水通しコンクリート（高さ8.5m、無筋コン

クリート)は7層に分けて打ち上げる構築順序であった(図-2)。1リフトから6リフトは14日程度のサイクルで施工し、最終7リフトは6リフト上にバットレスを固定する作業を行うため、60日程度の間隔をあけて打設された。

このため、本検討では6リフトまでのコンクリートを既設コンクリートとみなし、最終7リフトは既設コンクリートの外部的な拘束を受けるスラブにモデル化して考えることとした。検討モデルを図-4に示す。

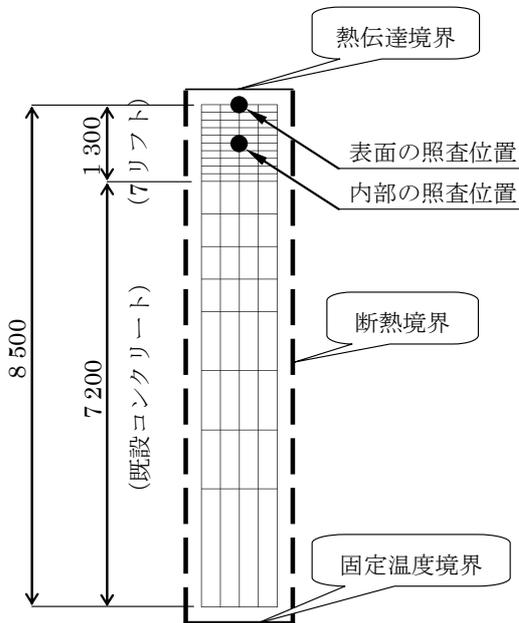


図-4 水通しコンクリートの検討モデル

### (3) 検討結果

検討結果は以下のとおりである。

- ① 7リフトは既設コンクリートの拘束の影響を強く受ける。
- ② 最小ひび割れ指数は内部で0.61, 表面で0.90となり(図-7), いずれもひび割れ発生確率が95%以上となる。
- ③ 内部の温度応力が $2\text{N/mm}^2$ を超える材齢14日程度までには, ひび割れが発生していたものと考えられる。

これらのことから、「堰堤のひび割れは温度ひび割れである可能性が高い」とする前記

の推定は妥当性があると評価された。

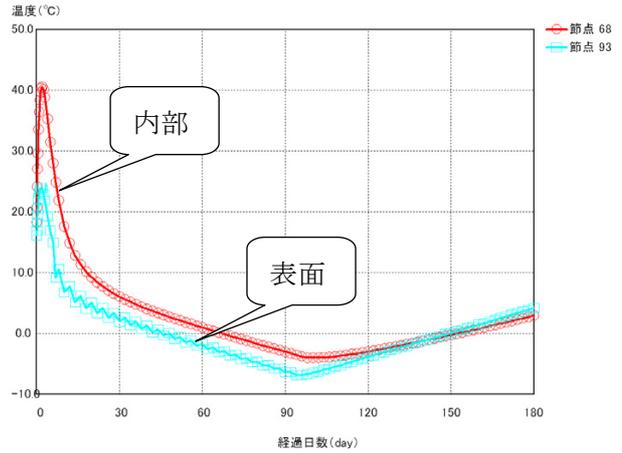


図-5 コンクリート温度の経時変化

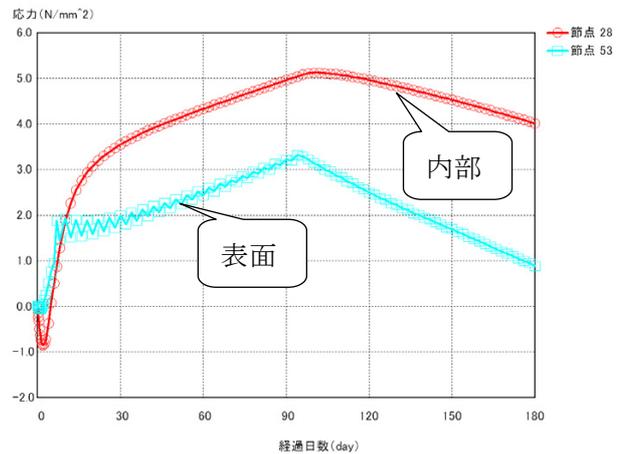


図-6 温度応力の経時変化

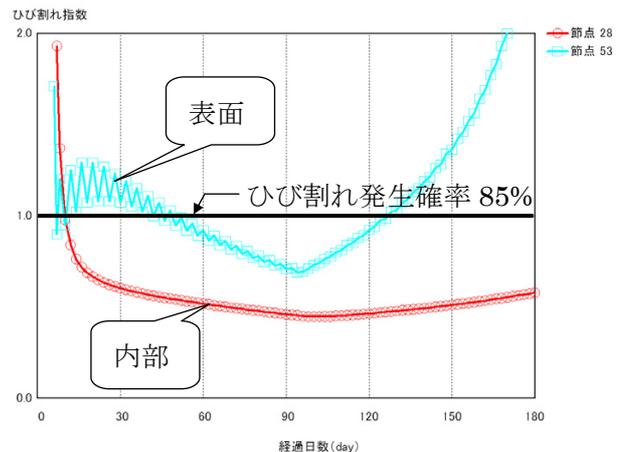


図-7 ひび割れ指数の経時変化

## 6. バットレスがひび割れの発生に及ぼす影響

### (1) ひび割れ誘発効果

前章の温度応力解析では、バットレスの影響を考慮していない。したがって、堰堤のひび割れはバットレスがなくても発生する可能性が高かったものである。

ここで、外部拘束が卓越する壁部材の温度ひび割れ対策では、ひび割れ誘発目地を使用することが多い。これは、目地材で断面欠損を設け、部材の奥行き長さを分割することによって、目地位置にひび割れを誘導するものである。

本堰堤のバットレスはH形鋼にチャンネル材を張ったもので（図-8）、誘発目地と同様の構造であることから、これがひび割れを誘発している可能性があることに着目した。

バットレスの先端にどの程度の応力集中が生じているのか検証したので次に述べる。

(2) 検討方法

2次元FEM法により、平面ひずみ問題として解析した。

(3) 検討モデル

図-8に示す1ブロックの1/4範囲をモデル化した。検討モデルを図-9（表-1のCASE3に相当）に示す。

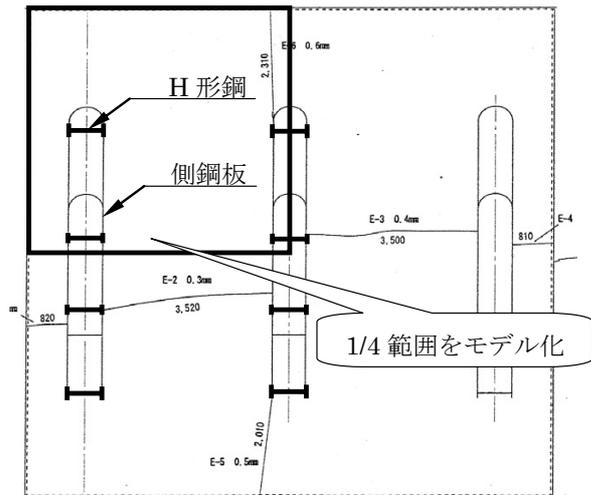


図-8 H形鋼と側鋼板の配置

(4) 検討ケース

表-1の3ケースとした。

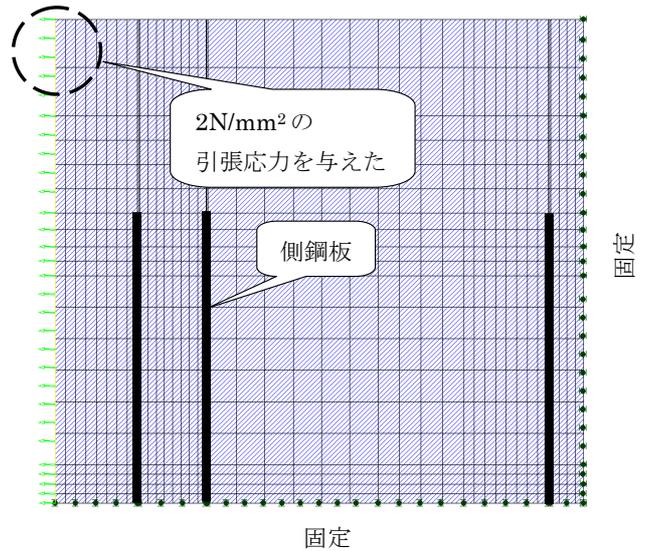


図-9 バットレスが及ぼす影響の検討モデル

表-1 検討ケース

検討ケース	解析条件	断面欠損率
CASE1	バットレスなし	0%
CASE2	柱材のみ考慮	10%
CASE3	側鋼板を考慮	60%

(5) 検討結果

検討結果を表-2および図-10, 11に示す。これらは以下のように評価される。

- ① 断面欠損率と応力集中度との関係には、一次的な相関が認められた。
- ② ひび割れが発生したと考えられる材齢14日時点において、7リフト標準部に2N/mm<sup>2</sup>の応力が発生していたとき、バットレス先端近傍のコンクリートには5N/mm<sup>2</sup>を超える引張応力が発生していたと推定される。

以上のことから、バットレスの鋼材がひび割れを誘発した可能性は十分に高いと考えられる。

表-2 検討結果

検討ケース	断面欠損率	最大引張応力度	応力集中度
CASE1	0%	2.0N/mm <sup>2</sup>	1
CASE2	10%	3.1N/mm <sup>2</sup>	1.55
CASE3	60%	5.5N/mm <sup>2</sup>	2.75

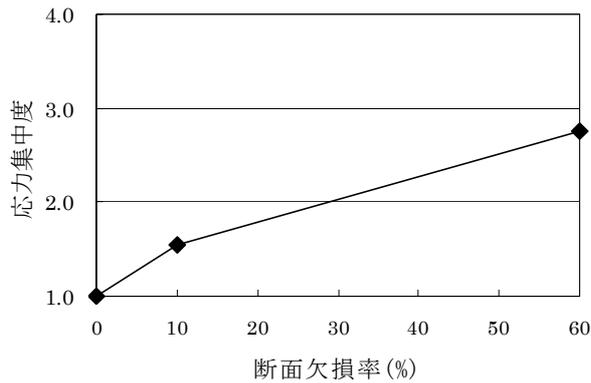


図-10 断面欠損率と応力集中度の関係

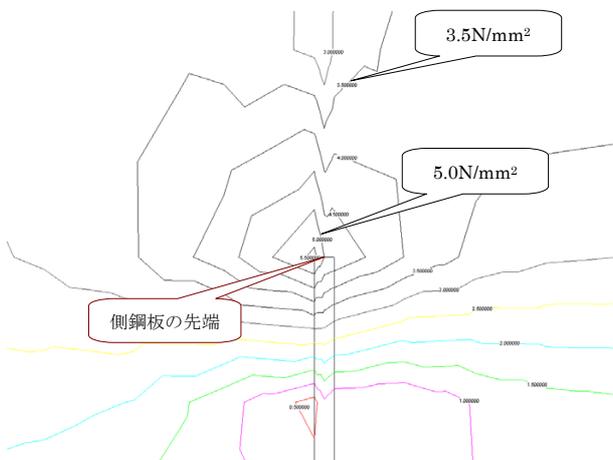


図-11 側鋼板先端部の主応力分布 (CASE3)

## 7. ひび割れが構造物の要求性能に及ぼす影響

### (1) 許容ひび割れ幅

ひび割れが構造物の要求性能に及ぼす影響や、補修を実施すべきかどうかを判定する際には、ひび割れ幅を指標として考えることが多い。

本堰堤のように無筋の構造物であれば（用心目的の溶接金網は配置されている）、ある程度過大なひび割れであっても許容されることが考えられる。しかし、本堰堤はハイブリッドバットレス型の構造形式で、ひび割れはバットレスの鋼材に沿って（または横断して）発生している。

このようなことから、水通しコンクリートの許容ひび割れ幅は、標準的な鉄筋コンクリート構造物の許容値に準じて 0.2mm 程度と考えることにした。

### (2) 構造物の要求性能

コンクリート標準示方書（維持管理編）には、構造物の要求性能として図-12のように示されている。水通しコンクリートの平均ひび割れ幅は 0.33mm で、許容ひび割れ幅を前項のように考えれば、ほぼ許容値程度であるといえることができる。

これから、本堰堤のひび割れが要求性能に及ぼす影響を表-3のように評価した。



図-12 構造物（部材）の性能の分類<sup>1)</sup>

表-3 要求性能に及ぼす影響の評価結果

安全性能	使用性能	第三者	美観・景観	耐久性能
—	—	—	—	●

### (3) 補修要否の判定

寒冷地に立地し、土石流の衝突を受け、洪水を流下させる使用条件を考えれば、許容ひび割れ幅以上のひび割れを対象として、耐久性能の確保を目的とする補修が必要であると評価された。

## 8. 補修方法

### (1) 検討条件

- ① ひび割れ発生原因：セメントの水和熱
- ② 補修目的：耐久性能の確保
- ③ 鉄筋腐食の有無：無筋構造物
- ④ ひび割れ幅：0.1～0.6mm
- ⑤ ひび割れ幅の変動：小さい

## (2) 補修方法

上記の条件から、注入工法あるいは充填工法を適用することが考えられる。しかし、充填工法の場合、流下物の直撃によって補修部分が剥離、脱落することが考えられる。

このことから、本件では注入工法を採用することとした。

## 9. 次年度施工分の対策

はじめに述べたように、水通しコンクリートは分割施工する計画であり、本工事の翌年に後行側を施工する工程であった。このため、後行部の対策についても検討した。

### (1) 対策の提案

一般に、スラブ部材の温度ひび割れ対策としては、次のように考えられている。

- ① セメント種類の変更
- ② 表面を温める養生の採用

これらは、工事の経済性に影響を与えたり、養生の適否が対策効果を左右することが多い。このため、本検討ではこれらは変更せず、最終リフト高を低くする方法について検討した。

壁部材の場合には、部材高さを低くしても温度上昇を抑制することができず、拘束が大きくなる分厳しい結果を招く。一方、スラブは部材厚を薄くすれば温度上昇を低減することができる。

本件では、最終7リフトをA種コンクリート(上層50cm部分)とD種コンクリート(残り80cm部分)の境界で分割し、D種部分を1~6リフトに振り分けることとした。

### (2) 対策効果

対策案の温度応力解析を実施し、原条件の場合と比較した結果を図-13および図-14に示す。この結果は次のように評価される。

- ① 長期的な環境温度の変化を原因として、ひび割れが発生することは避けがたい。
- ② 材齢の早い段階においてひび割れが発生する危険は相当に改善される。

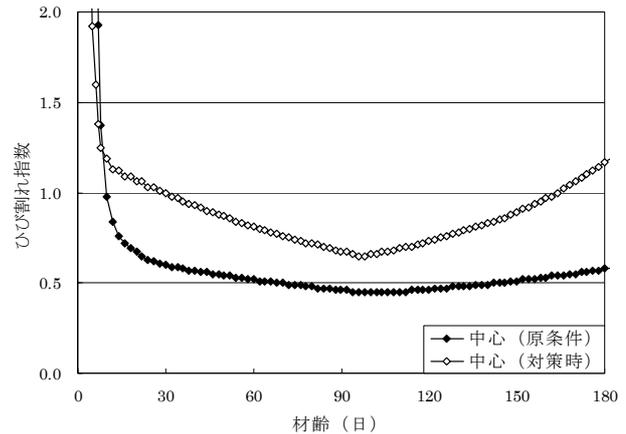


図-13 内部のひび割れ指数の比較

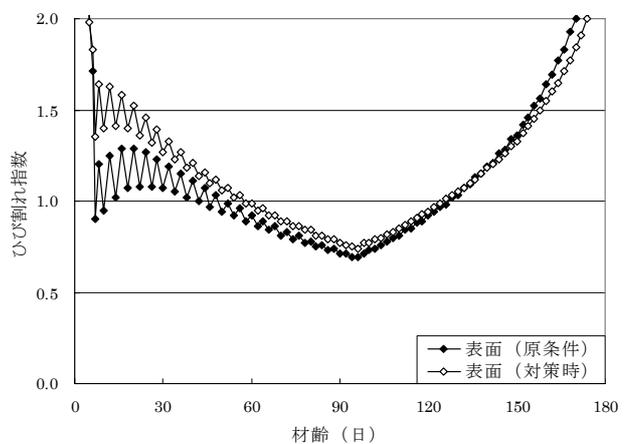


図-14 表面のひび割れ指数の比較

### (3) ひび割れ幅の制御

前項のように、ひび割れの発生自体を防止することは困難である。このため、ひび割れ幅を制御できる鉄筋量を検討した。

この結果、D13@125mm程度で配筋すれば、許容ひび割れ幅の半分程度に抑えることができることがわかった。

## 10. まとめ

砂防堰堤に発生したひび割れを調査し、その原因と対策について検討した。この結果、最終リフトの高さを制限して、ひび割れ制御鉄筋を配置すれば、スラブの温度ひび割れ対策となりうることを確認した。

## 参考文献

- 1) 土木学会：2001年制定コンクリート標準示方書 [維持管理編]，2001.1