

ダム本体コンクリート打設の 品質確保について

中筋川総合開発工事事務所 工務課 係長 川崎 智仁

横瀬川ダムの本体コンクリート打設時に行った品質確保対策について、紹介。

キーワード 品質確保

1. はじめに

(1) 横瀬川ダム概要

横瀬川ダムは、渡川水系四万十川支流中筋川の左支川である横瀬川の高知県宿毛市山奈町山田地先に建設するもので、宿毛市平田町黒川地先に建設された中筋川ダム（平成10年度完成）とともに、中筋川総合開発事業として中筋川流域の治水・利水・環境に貢献する施設である。（図-1）にダム建設地と完成予想図を示す。



図-1 横瀬川ダム建設地と完成予想図

横瀬川ダムは堤高72.1m、集水面積11.4km²、総貯水容量7,300,000m³の重力式コンクリートダム「環境負荷最小限を目指したエコダム」をコンセプトに環境に配慮し、平成28年度よりダム本体工事に着手、令和元年度の完成に向けて工事を進めている（図-2）。



図-2 横瀬川ダム貯水容量

本稿では、横瀬川ダムの本体コンクリート打設時に行った品質確保対策について、どのような施工を行ったのかを紹介する。

(2) ダムの特徴

当該事業実施区域周辺はシイ・カシ天然林が多く分布する自然豊かな環境であり、また、横瀬川ダム建設地直下には、落差10m程度の「とどろの滝」があり、水神が宿っているとされており、その祠が地域信仰の対象となっている。

このため、環境の改変区域を最小限となるよう、従来採用されてきた水平水叩式減勢工の代替案として世界で初めての堤体下流に減勢区間を設けない「側水路減勢方式」（図-3）を採用している。

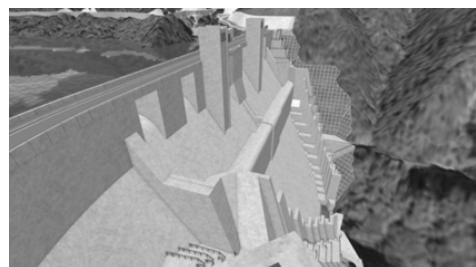


図-3 側水路減勢方式の減勢工（VR画像）

2. ダムコンクリート及び横瀬川ダム堤体の特徴

(1) ダムコンクリートの特徴

重力式コンクリートダムは、コンクリートの断面を有する典型的なマスコンクリートであり、その特徴としてひび割れの発生が懸念される。ひび割れが起こるメカニズムは、以下の通りである。

- ・マスコンクリートは、一般的なコンクリート構造物と比べ、セメントの水和熱が大きい。そのため、コンクリート内部と外部との温度差が大きいことから温度応力によるひび割れが発生しやすい。
- ・硬化後は、セメントの水和熱により内部温度が急激に上昇し、最高温度に達した後、数年から数十年を経て最終安定温度に達する。この温度上昇－温度降下によりコンクリートに膨張－収縮の膨張量の差によって発生する内部拘束によりひび割れが発生しやすい。
- ・内外の温度差が小さくなって構造全体が温度低下するとき、その収縮変形が外部の拘束体（岩盤等）によって生じる外部拘束により、ひび割れが発生しやすい（図-4）。

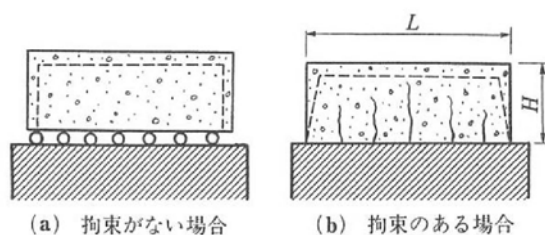


図-4 外部拘束によるひび割れの発生機構
出典：『コンクリート技術の要点』17
(公益社団法人 日本コンクリート工学会)

そのため、ひび割れ発生対策の一つとしてダムコンクリートにおいては以下の材料や配合の工夫を行っている。

- ・発熱量が小さい中庸熱ポルトランドセメントと水和熱と乾燥収縮を低減するフライアッシュを混合した結合材を使用。
- ・粗骨材の最大寸法を大きくし、セメント量を少なくする（一般的な鉄筋コンクリートでは20mmまたは25mmの粗骨材使用に対し、横瀬川ダムでは80mmの粗骨材を使用）

(2) 横瀬川ダム堤体内部の大空間部の特徴と課題

横瀬川ダムにおいてはダム周辺環境の改変区域を最小限とするため、通常ダム下流部に設置する放流設備及び管理用発電設備などをダム堤体内部に長さ18m、幅7m、高さ5.1mの大空間部を設けて設置している（図-5）。この大空間部は、常用洪水吐（幅1.55m、高1.8m）や監査

廊（幅2.0m、高2.5m）と比べると非常に大きく、空間内部と堤体コンクリートとの温度差が大きくなり、特に冬期の場合、温度差はさらに大きくなる。

このことから、内部空間表面にひび割れが発生する可能性が高いことが考えられたため3次元温度応力解析を行い、最小ひび割れ指数の算出と原設計配筋仕様で発生ひび割れ幅の算出を行った（表-1）。

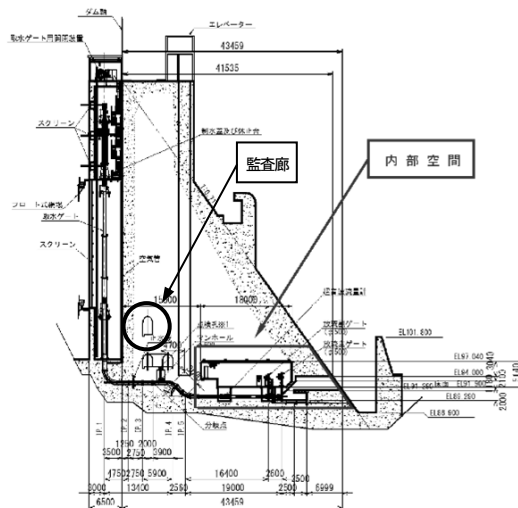


図-5 横瀬川ダム断面図

表-4.1 原設計鉄筋での推定ひび割れ幅

	BL3 側面	BL5 側面	下流側面	上流側面	下面
最小ひび割れ指数	0.96	1.45	1.32	1.38	0.79
原設計配筋仕様	D16@300	D16@300	D16@300	D16@300	D19@300
鉄筋量 A_s (mm ² /m)	662	662	662	662	955
鉄筋比 ρ (%)	0.04 ^{#1}	0.04 ^{#1}	0.04 ^{#1}	0.04 ^{#1}	0.06 ^{#1}
ひび割れ幅 w (mm)	1.92	1.05	1.28	1.17	1.48

(注) 鉄筋比 $\rho = A_s / (B (1000\text{mm}) \times H (1500\text{mm})) \times 100$ (%)

表-1 大空間部の温度応力解析結果

その結果、ひび割れ最小指数で0.79（ひび割れ発生確率約82%）で最大ひび割れ幅1.0mm以上の有害なひび割れが発生する結果となった。有害なひび割れが発生した場合、コンクリート構造物の寿命やダムの止水機能にも大きな影響を与える。また、ひび割れの補修は大掛かりなものとなることから、大空間部の有害なひび割れを抑制させる対策を行うこととした。

3. ダムコンクリート品質確保の取り組み

(1) 大空間部におけるひび割れ抑制対策

横瀬川ダムにおける大空間部の有害なひび割れ抑制対策として、以下の項目について検討を行った。

- ・大空間部の内外温度差をできる限り少なくするような養生方法
- ・大空間部のひび割れを抑制するための鉄筋配置設計の見直し

(2) 大空間部における養生方法

大空間部の冬期間の養生条件（10℃以上）を確保するために保温・保湿用のマットを敷設する養生を実施することとした。

しかし現場では型枠組立・脱型や資材投入、足場組立などの作業を行うため、施工中の常時敷設が困難である。

また、大空間部の各施工段階における資機材の搬入時には天井部を開放せざるを得ないため、外気の侵入を最小限にとどめる必要がある。そのため、温度変化の少ない養生計画が求められる。

これらの課題を踏まえ、実際に現場にて取り組んだひび割れ抑制対策における養生の事例を示す。

まず大空間部の底盤部は保温効果と乾燥防止の両方の効果をもつ特殊養生マットで全面養生した。

壁面リフトの養生は、打設前に型枠を付けた段階でブルーシートで覆い、中に採暖用のポリダクトを設置した。また給熱にはサーモスタット付コンクリートファーンレスを使用し、壁面部の養生温度である10℃以上となるように設定した（写真-1）。



写真-1 サーモスタット付コンクリートファーンレスによる養生温度の管理

大空間部の上部は足場を設置するため、この足場を利用して空間天井をブルーシートで覆い、天井は打設に合わせてリフトアップさせた（写真-2）。給熱については壁面部同様に、内部温度10℃以上を保持するための採暖を行った。

また、乾燥ひび割れ防止対策として型枠を残置し、コンクリート打継面に散水又は湛水養生を行い、コンクリート打設中もシートで養生を行いながら施工を行った。



写真-2 大空間部の上部養生写真

大空間部の天井となる上部スラブは、プレキャスト版を用いた構造とする事により、天井を覆っているブルー

シートの開放を極力少なくしながらプレキャスト版を架設し、大空間内部の温度低下を抑えた（写真-3）。

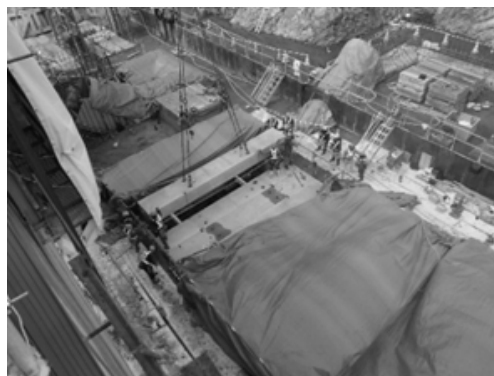


写真-3 プレキャスト版設置状況

(3) ひび割れ抑制対策における補強鉄筋の実施

有害なひび割れ発生の抑制対策として配筋設計の見直しを行った。鉄筋の配置は（図-6）に示されているひび割れ処置事例のTYPE（II）を参考とした上で、最大骨材寸法（80mm）による配筋の空きの確保と、発生するひび割れ幅を0.2mm以下とする鉄筋量とした。その結果、当初鉄筋量の約10倍（D25mm@150mmの2段）の配筋となった。補強鉄筋の施工状況を（写真-4）に示す。

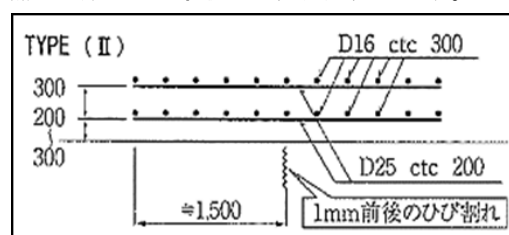


図-6 コンクリートダムにおけるひび割れ処置事例

出典：コンクリートダムの施工
（一般財団法人 日本ダム協会）



写真-4 大空間部の補強鉄筋設置状況

(4) ひび割れ抑制対策の効果

養生中の内部温度を確認するために、施工中の大空間部にデータロガー温度計を設置した。

その結果、養生を行っている大空間部の温度は資材搬入時に目標温度の10℃を数回下回ることがあったが、概ね目標温度に達していることが確認できた（図-7）。

これらの取組により有害なひび割れは発生せず、ひび割れ発生の抑制に寄与できたものと考えられる。

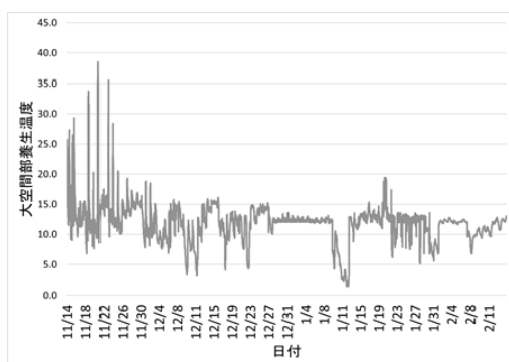


図-7 大空間部の温度状況

(5) 夏期のダムコンクリートにおける打ち込み温度低減対策

ダムコンクリートについては、打ち込み温度を25℃未満とする事が求められる（コンクリート標準示方書より）。そのため、夏期は無対策では打設する日数が限られることから、下記のようなコンクリート打ち込み温度低減対策を実施することとした。

- ・夜間打設主体によるコンクリート打込み
- ・セメント工場におけるセメントクーラーの使用
- ・骨材貯蔵瓶の日よけ対策として寒冷紗の設置（写真-5）
- ・チラー冷却水（冷却水5～7℃）の使用
→コンクリート練混ぜ水として使用
→粗骨材へのプレクーリングを実施（写真-5）

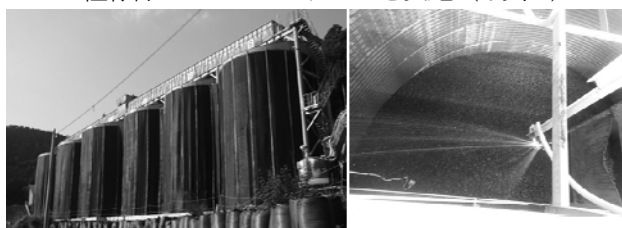


写真-5 骨材瓶の寒冷紗（左）プレクーリング（右）

ただし、プレクーリングは打設4時間前に冷却を中止し、表面水を確保することや、打設日が連続の場合は骨材を冷却する時間が短かったりするため、上記の対策のみでは25℃を確保することが困難であった。そのため、より確実な堤体コンクリート打設温度の抑制するための追加対策を実施することとした。

追加対策については、費用や現地条件（本現場はダム施工現場としてはヤードが狭く、大規模な設備の追加は困難）等を総合的に検討した結果、液体窒素を直接ミキサーに投入する工法を採用した（写真-6）。

液体窒素量の決定は打設前に各コンクリート材料の温度を測定し、ヒートバランス計算によって推定練混ぜ温度を算出した上で24℃（運搬ロス1℃）以下になる添加量を決定して管理した。



写真-6 液体窒素投入状況

これらコンクリート打ち込み温度低減対策を実施した結果、打ち込み温度を25℃未満に抑える事ができ、コンクリート打設日数及び品質の確保ができた。

4. 最後に

本稿では、横瀬川ダムの本体コンクリート打設時において実施した品質確保の取り組みについて紹介した。

ダム本体建設工事は平成31年3月に本体コンクリート打設が完了した。現在はダム関連設備等の整備を実施しており、今年度完成を目指し鋭意施工中である（写真-7）。

他工事ともあわせ、今後予定されている試験湛水・ダム管理開始に向け、安全に注意し事業を進めていく。



写真-7 現在のダム施工状況（全景）

謝辞：本稿の作成にあたり、ダム本体建設工事の受注業者である西松建設株式会社には多大なご協力を賜りました。この場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- 1) コンクリート技術の要点' 17
(公益社団法人 日本コンクリート工学会)
- 2) コンクリートダムの施工
(一般財団法人 日本ダム協会)