

報告 試験湛水期間におけるプレキャスト通廊の挙動計測とその解析

白根 勇二*1・稲留 裕一*2・市山 健二*3・赤坂 雄司*4

要旨: 宇奈月ダムでは作業の効率化・省人化を目指して、堤体内の通廊をプレキャスト工法で施工し、以後約6年間に渡り、プレキャスト部材と堤体コンクリートの一体性の確認等のために現場計測を実施している。計測結果から、通廊周辺に発生するひずみは季節的溫度変化の影響を受けて、周期変動を繰り返していることがわかった。また、溫度変化と貯水位変動を考慮したモデルで試験湛水期間中の通廊周辺の挙動を解析したところ、実測値と解析値の変動は一致し、通廊周辺の部材は溫度変化と貯水位変動の影響を受けており、プレキャスト部材と堤体コンクリートは一体なって挙動していることがわかった。

キーワード: ダム通廊, プレキャスト部材, 現場計測, 試験湛水, 溫度荷重, 貯水位荷重

1. はじめに

宇奈月ダムでは、ダム堤体内に設けられる総延長760mのすべての通廊をプレキャスト（以下、PCaと称す）工法で施工した。重力式コンクリートダムの通廊の従来施工は、鉄筋の配筋、型枠や支保工の組立・解体が必要であった。しかし、通廊をPCa化することによって、これらの作業がほとんどなくなり、作業の効率化、省人化が進められたのみならず、作業環境および安全性も著しく改善し、コスト縮減も図られた。

宇奈月ダムは、堤高97m、堤頂長190m、堤体積51万m³の重力式コンクリートダムである（写真-1）。平成5年8月にコンクリートを初打設し、平成10年9月に打設完了、その後、平成12年2月から試験湛水を開始し、同年4月にはサーチャージ水位に達し、現在に至っている。

本文では、PCa部材と堤体コンクリートの一体性の確認、および今後のダム通廊の合理的な設計手法確立に向けたデータを蓄積するために実施した約6年間の現場挙動計測結果と、試験

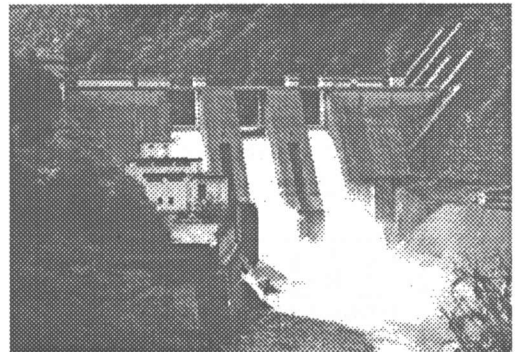


写真-1 現在の宇奈月ダム

湛水期間における通廊周辺の挙動解析について報告するものである。

2. 計測概要

ダムの通廊全線にPCa部材を適用したのは、宇奈月ダムが国内では初めてであり、また、従来の施工法においても通廊周辺の挙動をコンクリート打設から試験湛水まで長期に渡って計測した実績は少ない。

計測箇所は、図-1に示す基礎通廊水平部お

*1 前田建設工業(株) 技術本部 技術研究所 研究第1グループ(正会員)

*2 国土交通省 北陸地方整備局 黒部工事事務所

*3 国土交通省 北陸地方整備局 黒部工事事務所

*4 前田建設工業(株) 技術本部 技術研究所 研究第1グループ(正会員)

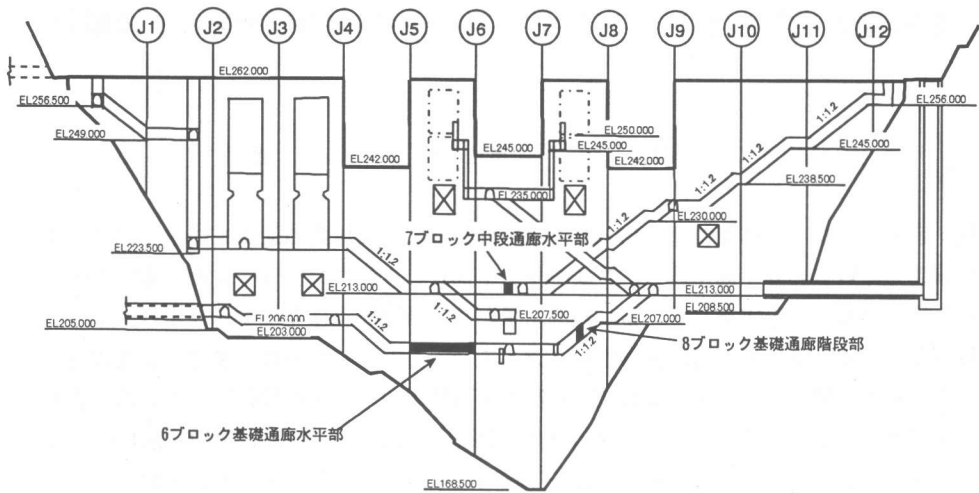


図-1 計測箇所

表-1 計測項目(6ブロック)

	計測項目	計測機器	計測位置
PCa部材	部材内温度 通廊内気温	各計器の測温 機能	頂版, 側壁, 底版
	部材内コンクリート ひずみ	ひずみ計	頂版, 側壁, 底版
	内側表面のコン クリートひずみ	表面ひずみ計	頂版, 側壁, 底版
	部材内鉄筋応力	鉄筋計	頂版, 側壁, 底版
	部材と堤体コン クリートの目開き	継目計	側壁, 底版
	部材間の目地 の開き	差動トラス式ひ ずみ計	側壁
堤体コン クリート	コンクリートのひず み	ひずみ計	PCa部材に対 応する位置
	コンクリートの温度	各計器の測温 機能	

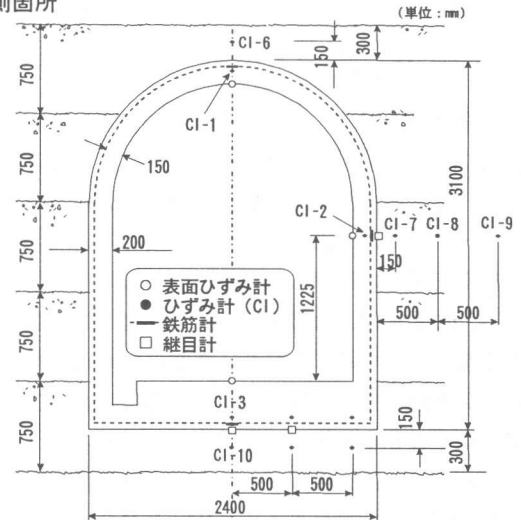


図-2 横断方向計測箇所(6ブロック)

よび階段部、中段通廊水平部の合計3カ所である。このうち、6ブロック基礎通廊水平部の計測項目を表-1に示す。また、図-2に横断方向の計測位置を示す。

なお、PCa部材の外周面には堤体コンクリートとの一体性を保つために予め目荒らし処理を施している。

3. 長期挙動計測結果

ここでは、最も計測期間が長い6ブロック基礎通廊水平部の頂版部および側壁部の計測結果について、施工開始から試験湛水開始前までのPCa部材および周囲の堤体コンクリートの挙

動を中心に報告する。計測結果を図-3、図-4に示す。頂版部は上下流方向の水平ひずみ、側壁部は鉛直ひずみの値である。なお、図中のリフト数はPCa部材設置部のコンクリート打設リフト数であり、1.5mあたり1リフトとしている。

頂版部および側壁部のPCa部材と堤体コンクリートは、各々のひずみの増減がほぼ一致しており、同様の傾向で挙動している。頂版部の水平ひずみは、季節の温度変化に対応して周期的な変動を繰り返し、温度が上昇すると圧縮方向へ、下降すると引張方向へシフトしている。また、側壁部の鉛直ひずみは、リフト数の増加

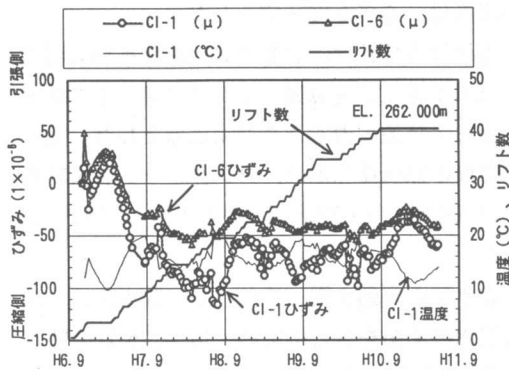


図-3 頂版部の長期計測結果

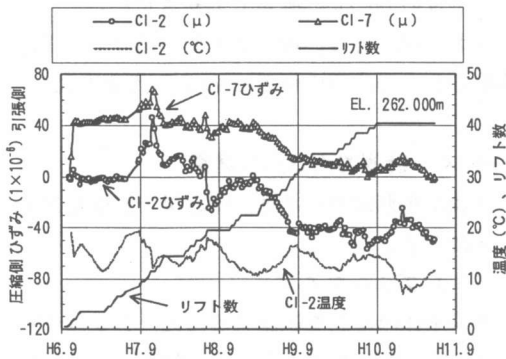


図-4 側壁部の長期計測結果

に伴い圧縮ひずみが増大する傾向にあるが、概ね温度変化に追従して変動を繰り返している。なお、測定期間中にPCa部材と堤体コンクリートの温度差はほとんど生じていない。

通廊底板部のひずみ計測結果も季節の温度変化に追従して変動しており、PCa部材と堤体コンクリートのひずみは同様の挙動をしていた。

また、別報^{1), 2), 3)}において温度応力解析等を実施して、以下のことが明らかになっている。

- ・ PCa部材のひずみと堤体コンクリートのひずみは、連続で分布しており、両者は一体で挙動している。
- ・ PCa部材に生じた応力は、温度応力が卓越し、上載荷重の影響が小さい。

4. 試験湛水期間中の挙動計測および解析

4.1 検討概要

ここでは、平成11年10月から実施した試験湛水期間中における通廊周辺の計測結果と解析

結果について検討する。

本検討では、重力式コンクリートダムの堤体変形挙動を評価するための解析手法⁴⁾として、堤体変形に影響を与える主要因である季節的温度変化および貯水位変動の荷重を考慮したモデルをそれぞれ作成し、二次元FEM解析を行った。堤体変形は、季節的温度変化、貯水位変動による解析結果を足し合わせることにより求める。堤体変形に影響を及ぼす要因の概念図を図-5に示す。主な影響要因は、

- ① 外気温変化による温度荷重
- ② 通廊内空温変化による温度荷重
- ③ 貯水温変化による温度荷重
- ④ 下流側へ作用する貯水圧
- ⑤ 鉛直下向きに作用する水重
- ⑥ 鉛直上向きに作用する揚圧力

である。本報告では、①～③を温度荷重、④～⑥を貯水位荷重とする。

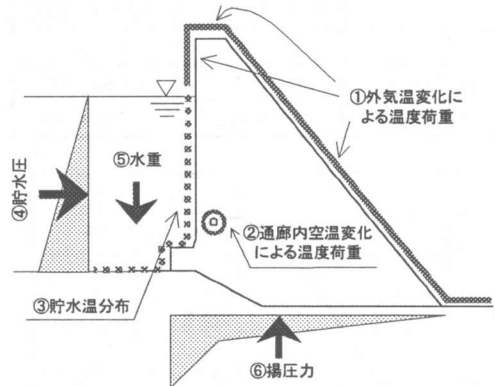


図-5 試験湛水による堤体変形要因

4.2 解析モデル

解析に用いた要素分割図を図-6に示す。解析対象断面はEL.199.5mに位置している6ブロック基礎通廊水平部とし、解析期間は、平成11年10月の試験湛水開始から約1年間とした。

4.3 解析条件

表-2に解析で用いたコンクリートと岩盤の物性値を示す。物性値は、現場データを参考に定めた。なお、コンクリートの発熱は無いもの

とし、熱伝達のみを考慮した。

外気温および通廊内空温のデータは、現場計測の実測値を近似したものをを用い、図-7に示す通りである。また、堤体上流側の貯水面以下

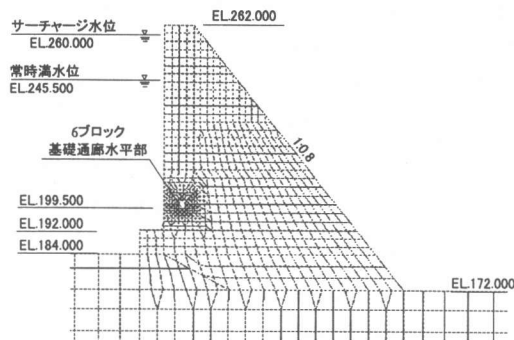


図-6 要素分割図

表-2 コンクリート・岩盤の物性値

	コンクリート	岩盤
熱伝導率	2.32 W/m°C	3.016 W/m°C
密度	2,300 kg/m ³	2,650 kg/m ³
比熱	0.875 kJ/kg°C	0.754 kJ/kg°C
ポアソン比	0.18	0.2
線膨張係数	10×10 ⁻⁶ /°C	8×10 ⁻⁶ /°C
弾性係数Ec	28,000 N/mm ²	5,000 N/mm ²

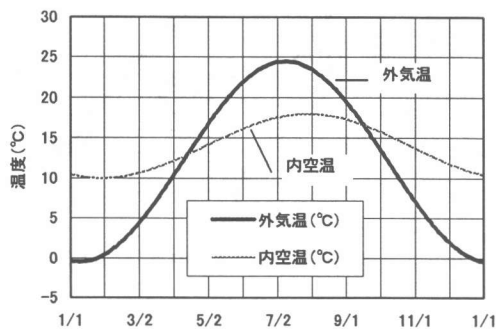


図-7 外気温・内空温データ

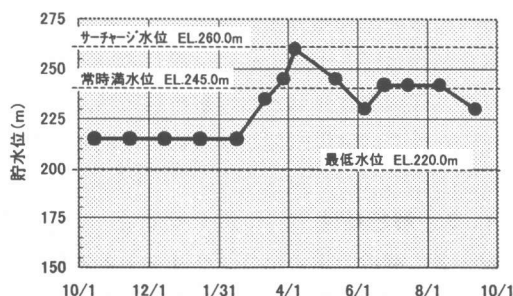


図-8 貯水位の変動

の温度は、通年8°C一定とした。

温度境界条件は、岩盤の底面を年平均気温の12.5°Cで固定温度境界とし、外気温、水に接する面および通廊内空面を対流境界とした。対流境界面の熱伝達係数は、コンクリートおよび岩盤の気中部が14 W/m²°C、水中部が47 W/m²°Cとした。

貯水位の変動を図-8に示す。貯水位は、試験湛水の実績をもとに定め、10月15日の時点でEL.215.0mとし、翌年4月上旬にはサーチャージ水位のEL.260.0mまで上昇させた。

なお、揚圧力は、最も上流側の位置で水圧と等しくし、通廊下の位置でその1/5とした。

4.4 計測および解析結果

試験湛水期間中の挙動計測結果と解析結果を以下に示す。

(1) プラムライン

ダム全体の挙動を確認するため、プラムライン(PL)の変形量の実測値と解析値を比較する。プラムラインとは、堤体の変形を観測するために設置されるもので、堤体が下流側に傾倒すると+方向にシフトし、上流側に傾倒すると、-方向にシフトする。

図-9にPL変形量の実測値と解析値を示す。実測値と解析値は若干の差があるものの、PL変形量の増減はほとんど同様の傾向を示している。特に、貯水位変動がない10月から2月の期

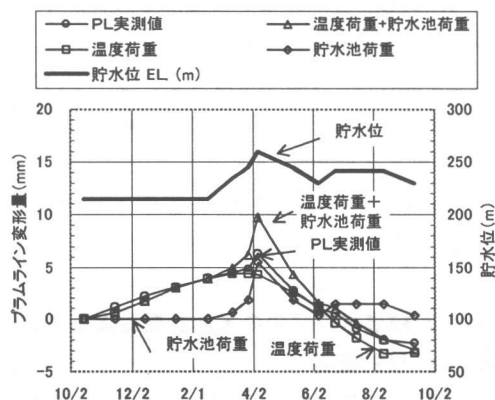


図-9 解析によるプラムライン変形量

間で、温度変化に伴うPL変形量は実測値と解析値がほぼ同傾向であった。

10月から2月にかけて、PL変形量は+側にシフトしているが、これは温度荷重によってダムの下流面が冷やされ、コンクリートが収縮したために下流側に傾倒したものと考えられる。また、2月から4月にかけては、ダム堤体に貯水位荷重が下流方向へ作用したために、下流側に傾倒している。

(2) 通廊頂版部

図-10 および図-11 に、試験湛水期間中における通廊頂版部のPCa部材(CI-1)と堤体コンクリート(CI-6)の上下流方向水平ひずみの計測結果と解析結果を示す。+が引張ひずみ、-が圧縮ひずみを示している。

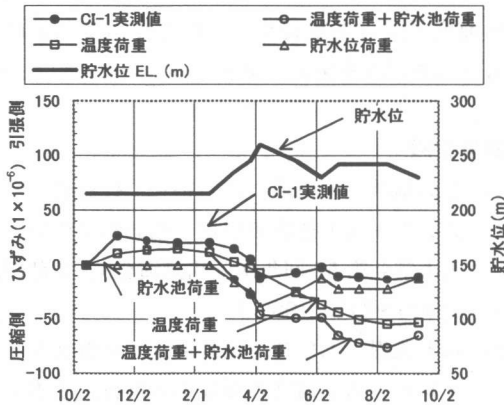


図-10 試験湛水時のひずみ(頂版CI-1)

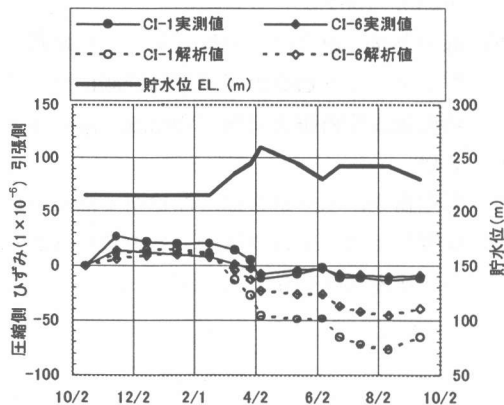


図-11 試験湛水時のひずみ(頂版部)

温度荷重による解析では、PCa部材のひずみは、温度降下により引張側へ、上昇により圧縮側へ推移している。これは、温度変化により堤体が収縮、膨張をしているためであると考えられる。また、貯水位荷重による解析では、貯水位上昇によりPCa部材に圧縮ひずみを発生している。上流面側から水圧等の荷重を受けているためと考えられる。

温度荷重と貯水位荷重を足し合わせた解析値と実測値を比較すると、PCa部材と堤体コンクリートに発生するひずみは、いずれも実測値の方がやや小さいものの、その傾向はほぼ同様であるため、試験湛水期間中は温度荷重と貯水位荷重が主要因となって通廊頂版部にひずみが発生するものと考えられる。

また、図-11からPCa部材と堤体コンクリートのひずみの実測値は、両者の境界面を完全付着状態の条件で求めた解析値と挙動の傾向が同様であることから、相互に応力の伝達が行なわれ、一体性が確保されているものと推察できる。

(3) 通廊側壁部

図-12 および図-13 に通廊側壁部におけるPCa部材(CI-2)と堤体コンクリート(CI-8)のひずみの解析結果および実測値を示す。

温度荷重による解析では、PCa部材のひずみは、外気温の降下により引張側にシフトしているが、これは堤体の下流面が熱を放出して収縮し、堤体全体が下流方向に曲げを受けることによると考えられる。また、貯水位の上昇によっても堤体は水平方向の水圧を受けて下流側に押されるため、通廊側壁には引張ひずみが発生している。

図-13から、温度荷重と貯水位荷重を足し合わせた解析値と実測値を比較すると、通廊頂版部と同様、PCa部材と堤体コンクリートのひずみはほぼ同じ傾向で推移しており、相互に応力の伝達が行なわれ、一体性が確保されているものと思われる。

また、底版部のPCa部材と堤体コンクリート

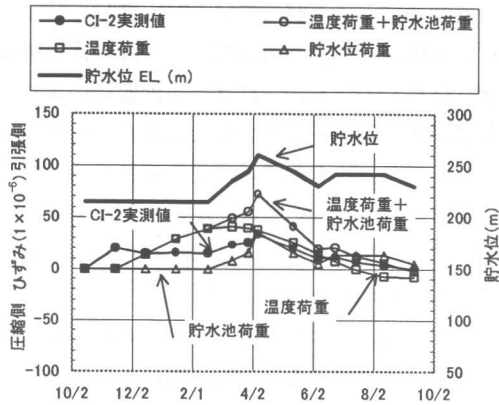


図-12 試験湛水時のひずみ (側壁 CI-2)

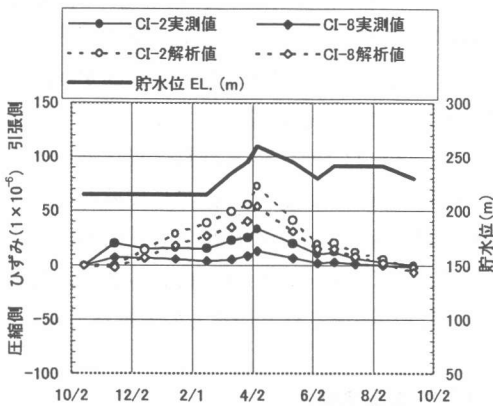


図-13 試験湛水時のひずみ (側壁部)

のひずみも頂版部や側壁部と同じように、温度荷重と貯水位荷重が作用してひずみが発生し、相互の応力の伝達もなされていた。

なお、湛水によって通廊各部に発生するひずみは、PCa 部材で $-15 \sim 30 \mu$ 程度であり、構造上問題となるほどのものではないことがわかる。また、解析値と比べて実測のひずみが小さい理由として、解析が 2 次元であるのに対し、実際のダム堤体は V 字谷に挟まれ 3 次元効果があること、ならびに解析ではクリープを考慮していないこと等が考えられる。

5. まとめ

(1) PCa 部材と堤体コンクリートは、応力の

伝達が認められ、一体性が確保されているものと推察される。

(2) プレキャスト通廊の頂版部・側壁部・底板部は、温度応力が卓越し、季節の温度変化に対応してひずみ変動しており、上載荷重による影響は小さい。

(3) 湛水によって通廊周辺部は、温度荷重と貯水位荷重を受けてひずみを発生するが、その量はわずかである。

なお、ダム供用期間中に貯水位が試験湛水時ほど上昇することはほとんどないため、今後の通廊周辺の挙動に与える主要因は、季節の温度変化による温度荷重であり、周期変動を繰り返すものと思われる。

最後に、長年にわたり通廊の PCa 化施工や現場計測について、御指導と貴重な助言をいただいた国土交通省土木研究所ダム構造研究室の永山前室長、吉田室長ならびに多くの関係者の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 上馬場靖, 永山功, 稲留裕一, 佐藤健一: プレキャスト通廊の現場挙動計測について, 土木学会第 52 回年次学術講演会, 第 VI 部門, pp340~341, 1997.9
- 2) 森本英樹, 永山功, 飯野克宏, 狩野康夫: プレキャスト通廊の温度応力解析, 土木学会第 52 回年次学術講演会, 第 VI 部門, pp342~343, 1997.9
- 3) 森本英樹, 原夏生, 赤坂雄司, 上馬場靖: プレキャスト通廊の現場挙動計測について, 前田建設技術研究所報, Vol.39, pp1~8, 1998
- 4) 野中樹夫, 木戸研太郎, 原稔明: 湛水時に観測した重力ダムの挙動とその数値解析, ダム技術 NO.159, 1992.12