

# コンクリートダムへのプレキャスト部材の適用

小島 秋<sup>1</sup>・中西 忠史<sup>1</sup>・平野 勝識<sup>2</sup>・笹谷 輝勝<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 株式会社フジタ ダム部 (〒151-8570 東京都渋谷区千駄ヶ谷4-25-2)

<sup>2</sup>正会員 工修 株式会社フジタ 技術センター (〒243-0125 神奈川県厚木市小野2025-1)

コンクリートダムは、土木のコンクリート構造物のなかでは比較的プレキャスト化の検討が進んでいる分野のひとつである。特に監査廊、エレベータシャフトなどの内部構造物に関しては様々な形態が考案され、プレキャスト工法が一般的な工法として認知されつつある。しかし、それ以外の部分への適用は、試行錯誤の段階であり、一般化するには至っていないように見受けられる。本報は、はじめにプレキャスト工法に関する各種性能実験について述べ、併せてその応用として重力式コンクリートダムへの様々な形態のプレキャスト工法の適用事例、特に高所作業の危険性低減、品質の向上に主眼を置いた堤体天端付近の張出部、高欄への適用事例について紹介するものである。

**キーワード:** コンクリートダム, プレキャスト, 型枠, 高欄, 鉄筋継手, 接合部

## 1. はじめに

重力式コンクリートダムは、工程の進捗に伴い高所作業が増加しかつ作業エリアも狭隘化する。一方、大型構造物であるダムは、プレキャスト工法のデメリットである部材製造コストをスケールメリットによりキャンセルすることが可能であり、これまで、多くのダム建設でプレキャスト工法の採用が実施されてきた<sup>1), 2), 3), 4)</sup>。

本報は、はじめにプレキャスト型枠の暴露試験、プレキャスト部材接合部の施工性、耐久性に関わる各種性能試験結果について述べ、併せてそれらを応用したプレキャスト工法を採用した重力式コンクリートダムの施工事例を紹介するものである。

## 2. プレキャストコンクリート型枠

### (1) 暴露試験 (長期安定性)

プレキャスト型枠の裏面処理が界面の付着に与える影響を検討するため、プレキャスト型枠と内部コンクリートの界面に埋込型ひずみ計 (検長100mm) を埋設し、プレキャスト型枠の経時変化を計測した。埋込型ひずみ計の設置状況を写真-1に示す。

プレキャスト型枠の裏面処理方法は、表-1に示すように、コテ仕上げ (Aタイプ)、洗い出し (Bタイプ) および洗い出しとジベル筋の併用 (Cタイプ)

の3種類とした。ジベル筋は、型枠外周部50mmの位置および中央部にD13×12箇所埋設した。プレキャスト型枠の仕様は、A、Bタイプが厚さ12cm、圧縮強度37N/mm<sup>2</sup>、Cタイプが厚さ10cm、圧縮強度50N/mm<sup>2</sup>のPCa型枠であり、大きさは幅3m×高さ1.5mである。支保工間隔は、横方向約1m、高さ方向75cmで共通である。

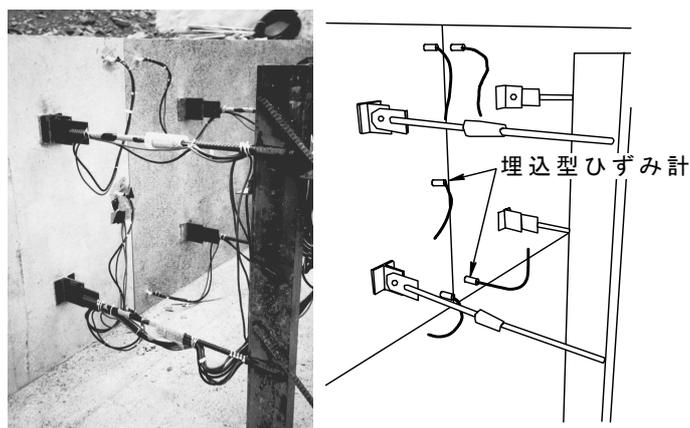


写真-1 埋込型ひずみ計の設置状況

表-1 プレキャスト型枠の仕様

タイプ	板厚 (mm)	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )		界面処理
		PCa型枠	二次con	
Aタイプ	120	37	22	コテ仕上げ
Bタイプ				洗い出し
Cタイプ	100	50	25	洗い出し +ジベル筋

内部コンクリートの強度は、A、Bタイプが22N/mm<sup>2</sup>、Cタイプが25N/mm<sup>2</sup>である。内部コンクリートはA、Bタイプは4月中旬に、Cタイプは8月中旬に二次コンクリートを打設した。



図-1 プレキャスト型枠のひずみ計測位置

## (2) 暴露試験結果

図-1に型枠のひずみ計測位置を、図-2に各型枠界面に取付けた埋込型ひずみ計の経時変化を示す。ひずみ計の設置位置は、A-1、B-1、C-1は型枠天端から10cm下方、A-2、C-2は型枠の高さ中央、A-3、B-3、C-3は型枠底面から10cm上方である。また、図-3は計測地点の外気温度である。

プレキャスト型枠裏面をコテ仕上げしたAタイプおよび洗い出しのBタイプは、内部コンクリート打設後4ヶ月の7月、外気温度の高くなる頃からA-1、B-1のひずみ量が増加するとともに天端部にプレキャスト型枠と内部コンクリートの界面に沿ってひび割れが発生した。A-1、B-1のひずみ量は0.4%前後まで増加した。その時の天端部のひび割れ幅はAタイプで0.6mmから1.3mm、Bタイプで0.3mmから0.9mmであった。また、7月から9月にかけて降雨後にA-1、B-1のひずみの値が大きく低下している。これは、プレキャスト型枠表面が水分を吸収することにより、型枠表裏の乾燥収縮量の差が小さくなったためであると考えられる。この現象はA-3、B-3にも認められる。A-2は内部コンクリート打設後2ヶ月の時点でひずみが0.1%発生し、それ以降ほぼ一定の値で推移している。これに対し、洗い出しとジベル筋を併用したCタイプは、計測開始から200日経過した時点で、どの測定点にもひずみがほとんど発生していない。

長期暴露計測により、厚さ10cm程度のPCa型枠を用いる場合、PCa型枠の変形(反り)は、PCa型枠界面の付着処理だけではなく、ジベル筋などの機械的処理が必要であることが確認できた。

## 3. プレキャスト部材接合工法の開発

従来は場所打ちで施工されていたコンクリート構造物も、近年社会的なニーズとしてプレキャストコンクリート製品化され、これらの製品は大型化、多様化の傾向にある。また、従来は発生応力の大きい位置での分割は避けられてきたが、プレキャスト部材の大型化に伴い、発生応力位置に制約されず施工性、運搬性に配慮した任意の位置で分割し、現場で容易に一体化できる工法の開発が求められている。一方、部材接合部では、構造性能以外にも水密性が使用上、耐久性上大きな課題となる。

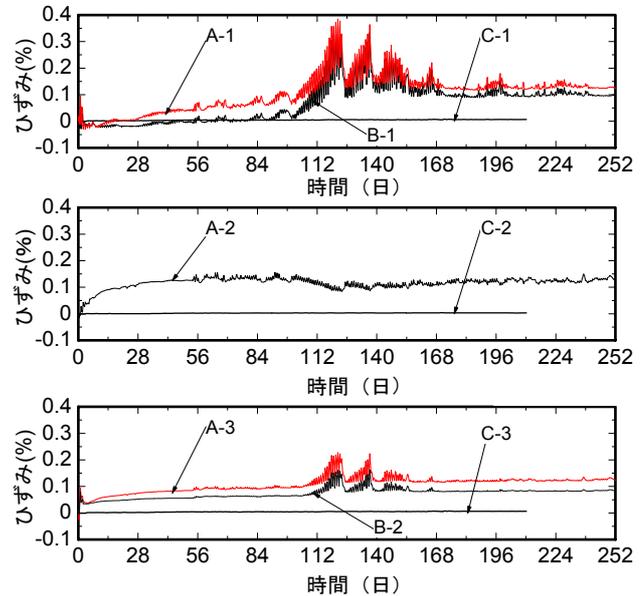


図-2 埋込ひずみ計の経時変化

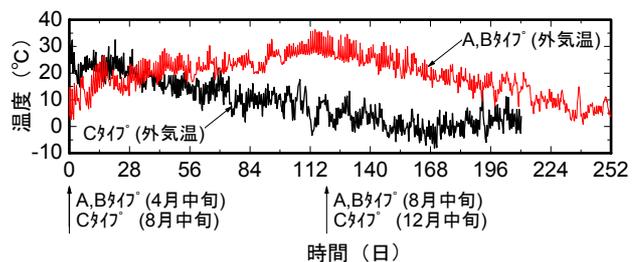


図-3 外気温度の経時変化

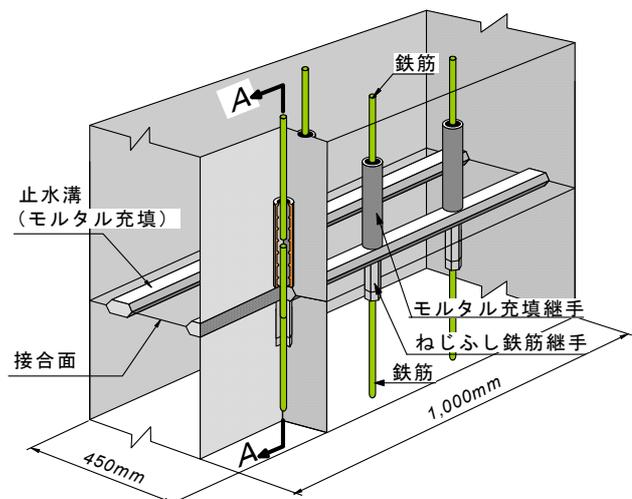


図-4 プレキャスト部材接合部の概要

筆者らは、これらの課題を克服するプレキャスト部材接合方法として、**図-4**に示すようなモルタル充填継手とねじふし鉄筋継手の2種類の機械式継手を併用し、接合位置に断面欠損部が無く、かつ接合面に止水コッターを設けた新しい工法を開発し、構造実験<sup>5)</sup>を重ね構造性能の検証を行ってきた。

本報では、施工性、耐久性に重点を置いた以下の二つの実験結果について詳述することとする。

- ①部材接合部のモルタル充填施工性実験
- ②部材接合面の透水実験

### (1) モルタル充填性確認実験

本工法のプレキャスト部材接合部には、部材断面に沿ってモルタルの止水溝を有している。そこで実際の部材長さを想定したモルタル充填実験を行った。**表-2**に充填モルタルの特性を示す。モルタル充填は**図-5**に示すように、接合面に幅71mm×深さ25mm×長さ1,000mmの溝を設け溝内に無収縮モルタルを充填した。充填手順はモルタル充填継手の一箇所の注入口からポンプにより注入し、目地部を経て継手用スリーブ内に充填する方法とした。28日経過後、鉄筋継手部および目地部のコアを抜き取り、さらにコアを縦方向に切断して充填状況を確認した。目視観察の結果、継手部、目地部ともに十分に充填されていることを確認した。充填部のコア切断面の状態を**写真-2**に示す。

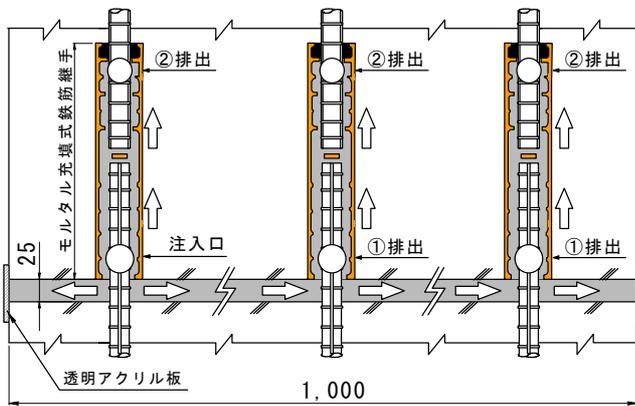


図-5 モルタル充填性確認実験

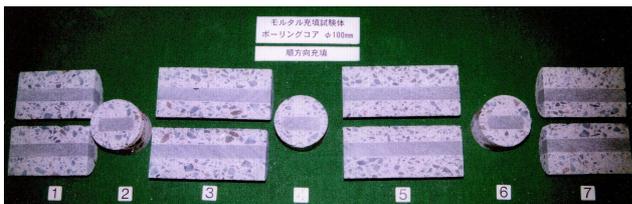


写真-2 充填部のコア切断面

表-2 無収縮充填モルタル材料特性

フロー値	236mm		
ブリージング率	0.0%		
膨張収縮率	1日	7日	28日
	+0.16%	+0.08%	+0.06%
付着強度	7日		28日
	1.2N/mm <sup>2</sup>		1.5N/mm <sup>2</sup>

練り混ぜ条件: 気温20°C, 水/プレミックスモルタル  
=2.8kg/25.0kg

### (2) 透水試験 (試験概要)

試験体は**図-6**に示すように部材の接合面それぞれに幅71mm×深さ12.5mmの溝を2条設け、溝の合計厚さを25mmとし、溝内に無収縮モルタルを充填した。主筋は450mm×1000mmの断面に引張応力が作用する側にD25を3本、圧縮側にD29を1本配筋した。

止水モルタルは溝内のみの充填とし、それ以外の部分は空目地とし、加圧治具の内径相当の試験区間=185mm以外は、シリコンシーラントでシールした。モルタルは**表-2**に示すモルタル充填継手用の高強度無収縮モルタルである。充填手順はモルタル充填継手への充填と同時に目地部へ充填した。

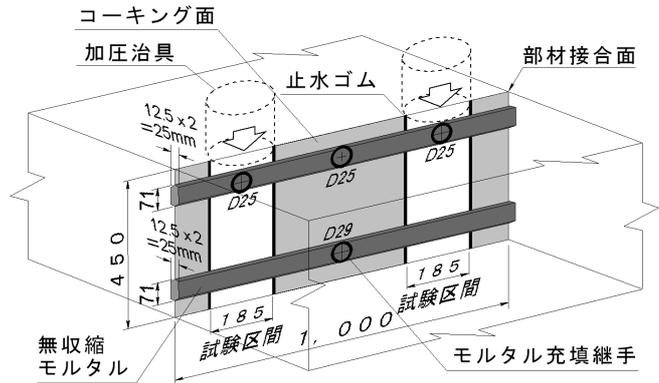


図-6 透水試験 試験部断面

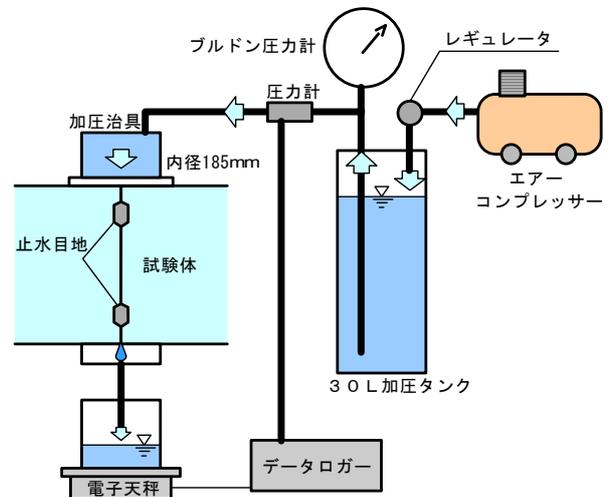


図-7 透水試験装置概要

透水試験装置の概要を図-7に示す。加圧治具の内径である試験区間185mmの透水量を計測するアウトプット法で実施した。水圧は50kN/m<sup>2</sup>毎に増加させ各圧力段階で5～20分間計測し、順次800kN/m<sup>2</sup>まで実験を行った。

事前の予備実験で、接合部の開きが無い状態では透水量がゼロであることを確認していたため、透水試験に先立って、曲げ载荷により試験体に一定の変形を与えた状態で試験を行った。载荷方法の概要を図-8に示す。試験体の支持スパンを3.6mとし、中央2点を下側から上側主筋に引張応力が作用するように载荷した。载荷は加力部の変位で制御を行い、水圧を作用させ一定時間経過後、次のステップに移行した。曲げ変形角はR=0.1/100rad.ピッチで増加させ、主筋が降伏ひずみに達するまで変形を与えた。载荷曲線を図-9に示す。水圧は各変位毎に400N/m<sup>2</sup>まで増加させ、同一圧力を5～15分間保持し次のステップへ移行した。

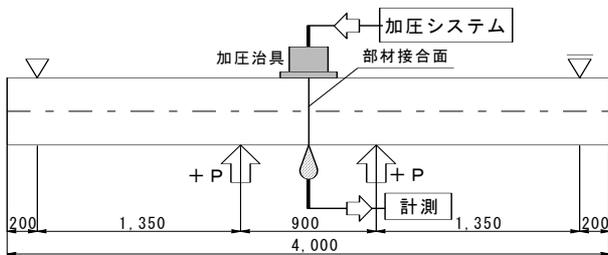


図-8 透水試験 载荷概要

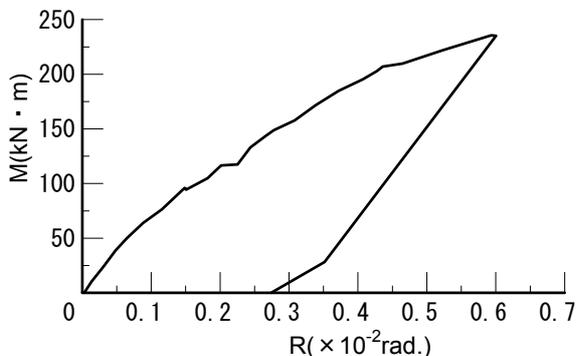


図-9 曲げ载荷曲線

### (3) 透水試験 (試験結果)

累積漏水量と経過時間の関係のうち、主筋降伏時相当変位のR=0.6/100rad.時の経過時間と漏水量の関係を図-10に示す。曲げ変形量に比例して目開きが大きくなり、部材角0.6/100rad.のときの目開きは1.5mmであった。この状態で引張側の目地モルタルにはひび割れが発生してしているが圧縮側の目地の止水効果により、曲げ変形R=0.6/100rad.では水圧400kN/m<sup>2</sup>まで全く漏水は認められなかった。今回

接合面に溝を2条設けているが、圧縮側に目地を設置することで十分な水密性が得られると考えられる。

図-11は部材角0.6/100rad.まで変形を与え透水試験を行った後、一度水圧を下げ、荷重を徐荷させ残留変形の状態で再度透水試験を行ったときの累積漏水量と経過時間の関係である。50kN/m<sup>2</sup>から漏水が始まった。しかし、水圧400kN/m<sup>2</sup>時の漏水量は毎分10ml程度であった。

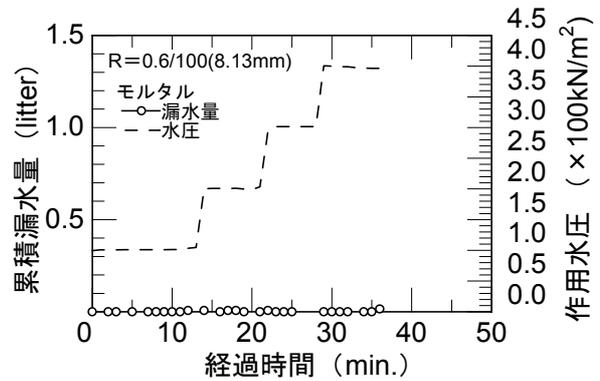


図-10 主筋降伏時の漏水量 (R=0.6/100rad.)

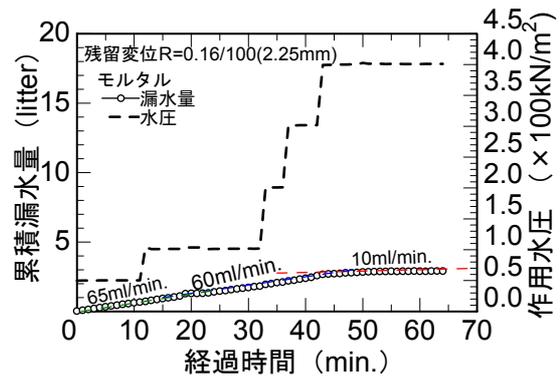


図-11 残留変位時の漏水量

## 4. プレキャスト部材のダムへの適用

本章では、プレキャスト部材を適用したコンクリートダムの施工事例を紹介する。主な適用箇所は監査廊、橋脚、取水口張出部、天端張出部、高欄である。監査廊はダムセンター仕様のタイプであり、実績も多いため本報では省略することとする。以上のプレキャスト部材適用箇所を図-12に示す。

### (1) プレキャスト型枠の概要

張出部の施工にあたっては、内側からの支保を基本とし、外足場・支保工はすべて無くし、足場の撤去時に発生する危険作業を極力不要とすることを基本とし計画を行った。埋設型枠として使用したコンクリート部材は、普通コンクリート (36N/mm<sup>2</sup>) を

用いた厚さ120mmのものと、ステンレスファイバーモルタル（50N/mm<sup>2</sup>）を用いた厚さ50mmの2種類を適用箇所に応じて使い分け、施工性の検証を行った。

### (2) プレキャスト型枠（薄肉型枠）

薄肉型枠は、ピア、アバットおよび常用洪水吐きの張出部へ適用した。組立てはプレキャスト部材工場で行い、型枠接合部はエポキシ系接着剤により接着一体化している。現場には部材を補強鋼材により一体化したものを搬入し、一括架設している（写真-3、4）。これにより施工時には煩雑な組立て調整作業が不要となり、施工性、精度共に非常に高い。



写真-3 プレキャスト型枠搬入（薄肉）

### (3) プレキャスト型枠（厚肉型枠）

厚肉型枠は、取水塔、水位計測塔に設置された張出歩廊に適用した。1.7m程度の張り出しという比較的大きいサイズの片持ちであったため、クレーンで一括架設できるサイズが限られた。そのため、仮設置した段階で微調整することを想定し、部材同士の接触による損傷を考慮して厚肉型枠で計画した。

建込みは、型枠2ピース毎に地組し架設を行った。写真-5、6に設置完了時の状況を示す。



写真-4 アバット部のプレキャスト型枠（薄肉）

### (4) プレキャスト高欄

高欄は工程最終期の施工であり、また比較的薄肉部材であるため、脱型後のクラックが発生しやすいことが知られている。また、一定間隔で設置される誘発目地等の対策も、実際には異なる場所にクラックが発生するために後補修が必須である。ダム供用後には一番人目に付きやすい箇所だけに、施工に気を遣う部材である。

本施工事例で適用したプレキャスト高欄は上述の理由によるためであるが、プレキャスト化によるコスト増を抑制するために、鋼製型枠の転用回数を増やす必要があった。そこで、全面越流形式である本ダムの非越流部と越流部を共通の高欄部材で対応できるように検討することとした。

プレキャスト高欄は、張出部と地覆部、高欄本体に分割される。施工手順はまず写真-7に示すように張出部と地覆部を設置する。その後、堤体コンクリートを打設し最後に高欄本体を設置する（写真-8）。高欄部材の一体化は、前述のプレキャスト部材接合工法を採用しており、モルタル充填により完了する。高強度モルタルのため、翌日にはほぼ実用強度となり早期の供用が可能となる。

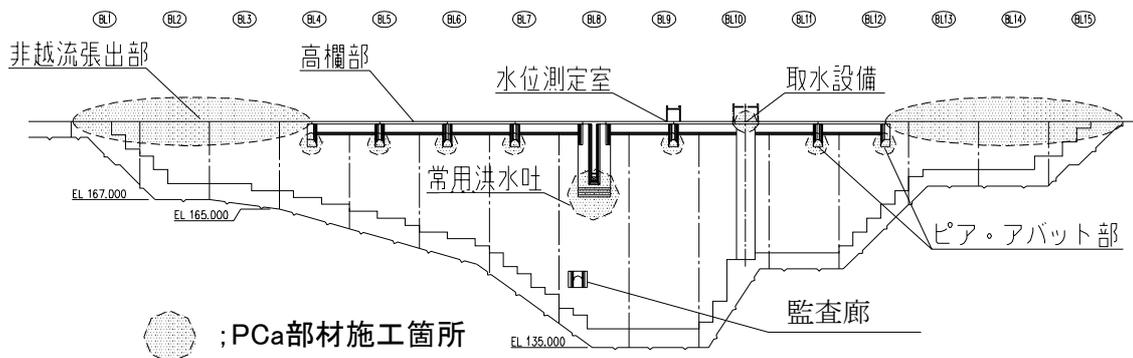


図-12 プレキャスト部材の適用箇所



写真-5 取水塔張出部のプレキャスト型枠（厚肉）



写真-6 水位計測塔張出部のプレキャスト型枠（厚肉）



写真-7 高欄張出部，地覆部

## 7. まとめ

以上の各種プレキャスト工法の採用により，重力式コンクリートダム施工の工期短縮，安全性の向上を図ることが可能となった。プレキャスト型枠に



写真-8 高欄本体の設置

関しては，厚肉薄肉ともにそれぞれの利点を生かした計画が必要である。

プレキャスト工法は工期短縮効果が一番のメリットであるが，工場生産される部材の安定した品質による耐久性のメリットも重要である。プレキャスト工法は，場所打ちコンクリートで悩まされる想定外の箇所ひび割れ発生は少ない。一般にコンクリートの補修箇所は健全部より劣化しやすい傾向にあるため，構造物の延命を考える上で施工時の初期欠陥を如何に少なくするかがポイントとなる。

今後は，プレキャスト工法による施工という短期的なコスト増分と，供用後の維持管理という長期的なコストダウンを総合的に評価することが求められていくと考えられる。

## 参考文献

- 1) 平松俊英ほか：プレキャストコンクリート型枠工法によるRC充腹アーチ橋側壁の施工，土木学会第49回年次学術講演会，VI-241，pp. 478-479，1994. 9
- 2) 笹谷輝勝ほか：プレキャストコンクリート型枠工法の開発，土木学会第53回年次学術講演会，V-180，pp. 360-363，1998. 10
- 3) 平野勝識ほか：プレキャストコンクリート型枠のダム天端張出部への適用，土木学会第55回年次学術講演会，VI-252，2000. 9
- 4) 笹谷輝勝ほか：プレキャストコンクリート工法のダム天端高欄への適用，土木学会第55回年次学術講演会，VI-253，2000. 9
- 5) 平野勝識ほか：異種の機械式継手を併用したプレキャスト部材接合部に関する実験的研究，土木学会コンクリート技術シリーズ43，プレキャストコンクリート部材の力学的特性-現状と課題-，2001. 6