

資料番号	3
新技術の名称 官民連携	フィルダムの監査廊の合理化工法の開発

研究開発の概要（フィルダムの監査廊の合理化工法の開発）

1. 研究開発の概要

フィルダム底部にダムの安全管理のために設置する小通路を監査廊という。近年、技術進歩の著しい工場製作品による現場組立技術と、鋼繊維補強コンクリートを組み合わせて、監査廊の設計・施工を行う技術の開発を行う。

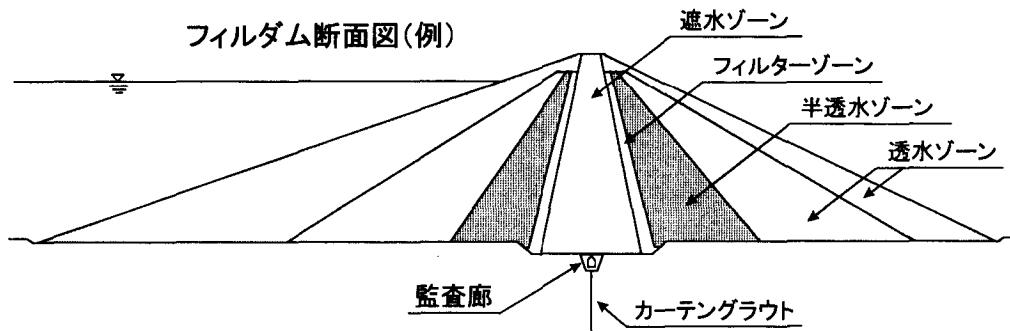
2. 導入効果

- ・ 監査廊の施工工期の短縮
- ・ 工種の削減による安全性の向上
- ・ トータルコストの縮減

3. 今年度研究成果

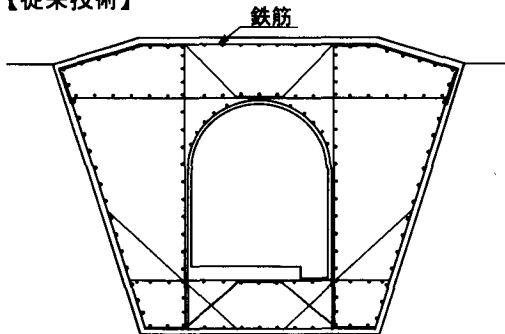
現状のフィルダム監査廊の設計方法の調査、また、鋼繊維補強コンクリートを用いた場合の設計法を整理し、試案を作成した。また、使用する鋼繊維の選定や物性の把握を行った。

なお、フィールド試験を予定しているダムの監査廊をモデルケースとして取り上げ、構造解析や温度応力解析等を実施するとともに、新技術を適用した場合の施工法等を検討した。



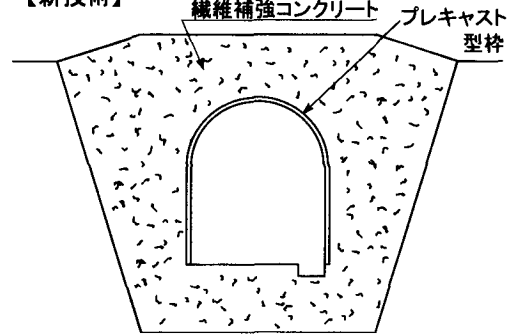
4. 従来技術との比較

【従来技術】



鉄筋組立 ⇒ 型枠組立 ⇒ コンクリート打設 ⇒ 型枠解体

【新技術】



プレキャスト型枠設置 ⇒ コンクリート打設

5. 参加研究組合

前田建設工業(株) (株)熊谷組 (株)銭高組 飛島建設(株)
日本国土開発(株) フジミ工研(株) (株)前田製作所



地盤の掘削状況



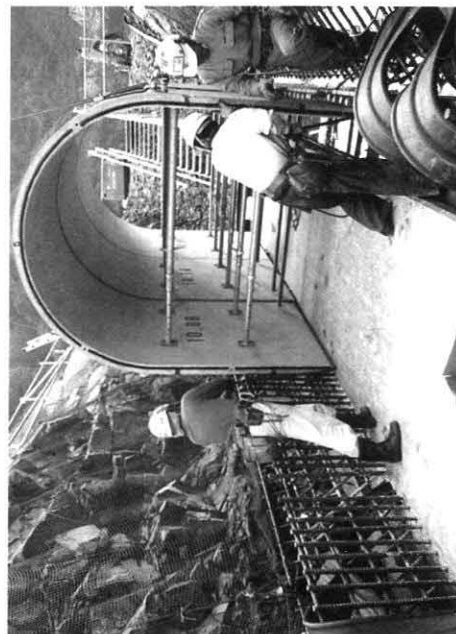
設置が完了した
PCa型枠



施工が完了した
底盤部



SFRCの打設状況



PCa型枠の設置状況



完成した模擬監査廊

[設計関係資料]

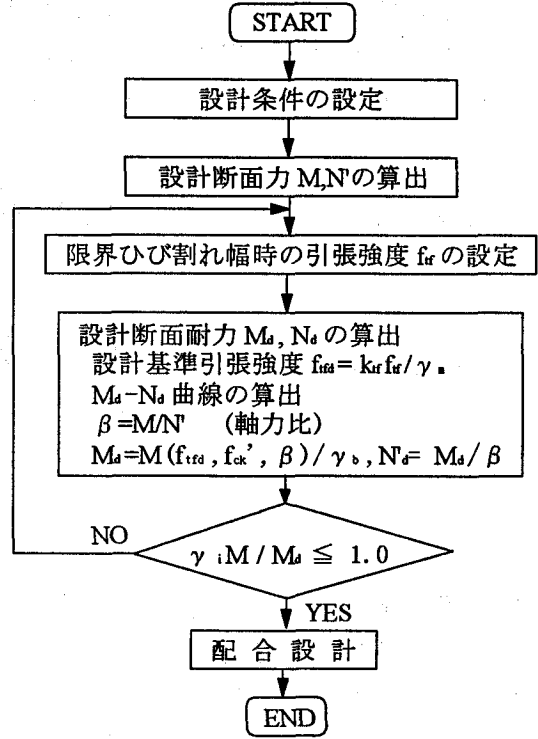
1. 設計フロー

S F R CとPCa型枠を用いたフィルダム監査廊の構築工法の設計フローを図-2.1に示す。

なお、1)設計は、限界状態設計法に基づくことを基本とし、検討する限界状態は使用限界状態(照査性能としては、限界ひび割れ幅)とする。また、2)使用する鋼繊維は両端フック型結束タイプとし、鋼繊維の混入量は0.75%程度とする。

2. 設計断面力の算出

設計断面力の算出は、監査廊周辺の基礎岩盤を含めたモデル化を行い、2次元断面FEM解析によって、堤体自重により発生する応力を算出する。また、監査廊断面における換算断面力の算出要領を以下に示すが、FEM解析により得られた要素応力を図に示すように、梁部材を仮定し、断面図心回りで積分して、作用断面力を求める。



k_{tr} : 寸法効果に関する試験修正係数
 γ_s : 材料係数 γ_b : 部材係数 γ_i : 構造物係数

図-1 フィルダム監査廊の提案設計フロー

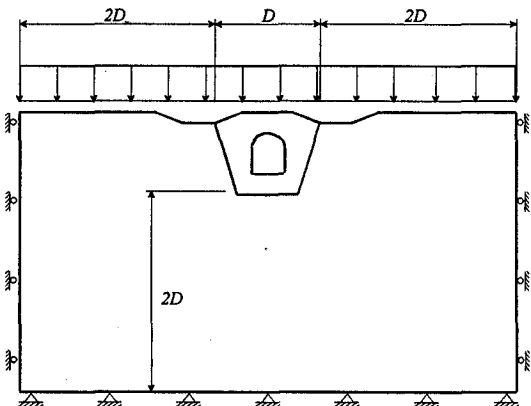


図-2 2次元弾性FEM解析のモデル例

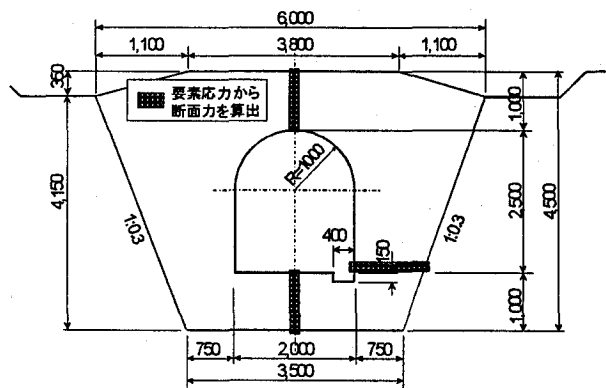


図-3 換算断面力算定位置

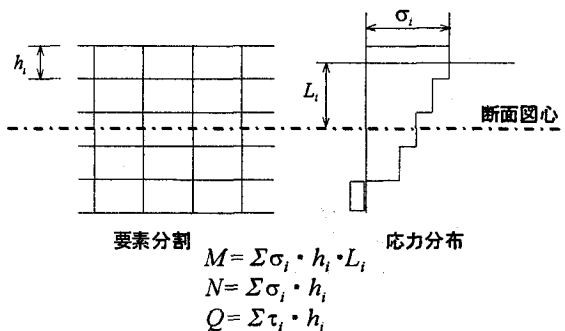


図-4 断面力算定式

- M: 部材の曲げモーメント
- N: 部材の軸力
- Q: 部材のせん断力
- σ_i : 要素 i の引張りまたは圧縮応力度
- τ_i : 要素 i のせん断応力度
- h_i : 要素 i の幅高さ
- t_i : 要素 i の厚さ
- L_i : 断面図心から要素 i の図心までの距離

3. 設計断面耐力の算定

M-N性能曲線を求めるために必要な曲げ耐力の算定は、断面の応力分布を図-3.2.6に示すものとし、圧縮側のひずみは、断面の中立軸からの距離に比例、中立軸は部材厚の7割の位置とする。すなわち、部材厚の3割を圧縮断面、7割を引張断面として行う。

$$\text{曲げモーメント} \quad M_{ud} = \frac{\int_{-h/2}^{h/2} \sigma'(y) \cdot y \cdot b \cdot dy}{\gamma_b}$$

$$\text{設計軸方向圧縮力} \quad N'_{ud} = \frac{\int_{-h/2}^{h/2} \sigma'(y) \cdot b \cdot dy}{\gamma_b}$$

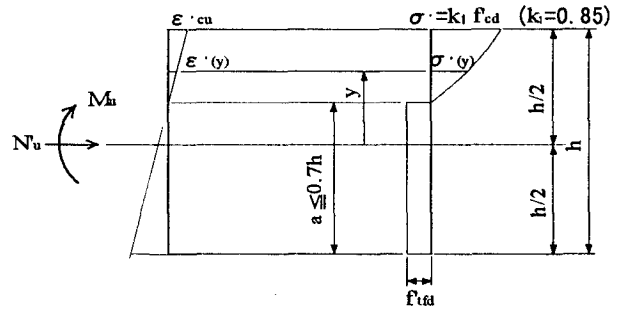


図-5 部材の設計断面耐力の算定方法

4. 提案設計法による計算

図-1に示した提案設計方法に従い、フィルダム監査廊の設計を行った。

堤高は100m、監査廊の形状は、図-6に示すものとして、基礎岩盤及びコンクリート、作用荷重などの物性値を適切に設定して、FEM解析を実施した。SFRCの安全係数としては、使用限界状態ではあるが、構造物の重要性を考慮して、終局限界に準ずるものとし、材料係数 $\gamma_m = 1.3$ 、部材係数 $\gamma_b = 1.2$ 、構造物係数 $\gamma_i = 1.1$ とした。寸法効果は、安全側を考慮して試験修正係数 $k_{fr} = 0.7$ とした。

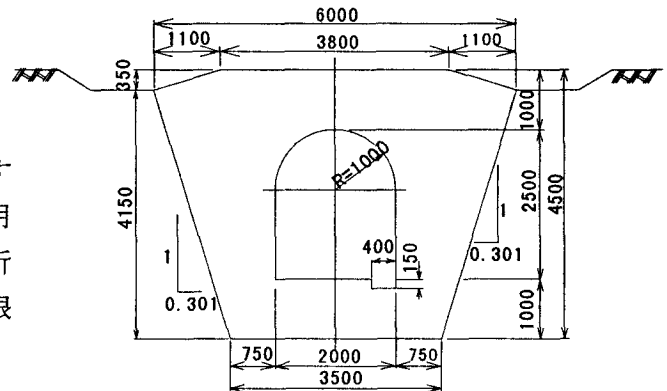


図-6 想定した監査廊断面

表-1 換算断面力一覧表

想定断面位置	作用曲げモーメントM (N・m)	作用軸力N (N)
底盤中央	755.8	2552.5
側壁下端部	426.4	6454.4
アーチ中央部	41.5	687.3

一方、FEM弾性解析結果より、アーチ内空部に発生する引張応力は $f_t = 0.8 \text{ N/mm}^2$ であり、また、SFRCの引張強度は、 $f_{tr} \geq f_t \cdot \gamma_m \cdot \gamma_b \cdot \gamma_i / k_{fr} = 1.96 \text{ N/mm}^2$ 。これを上回る引張強度を発揮する鋼繊維混入率を求めると、0.75vol% (設計基準強度 21 N/mm^2) の時に $f_{tr} = 2.0 \text{ N/mm}^2$ となる。

また、表-1に FEM弾性解析結果より算出した作用断面力を示し、設計断面耐力(M-N曲線)の算定を行う。

ここに、

厚さ : $h = 100 \text{ cm}$

幅(単位幅) : $b = 100 \text{ cm}$

部材係数(曲げ) : $\gamma_b = 1.2$

圧縮縁ひずみ : $\epsilon'_{cu} = 0.0035$

圧縮縁応力 : $k_i \cdot f_{cd} = 0.85 \times 16.2 = 13.8 \text{ (N/mm}^2)$

ひび割れ深さ : $0.7h = 0.7 \times 100 = 70.0 \text{ (cm)}$

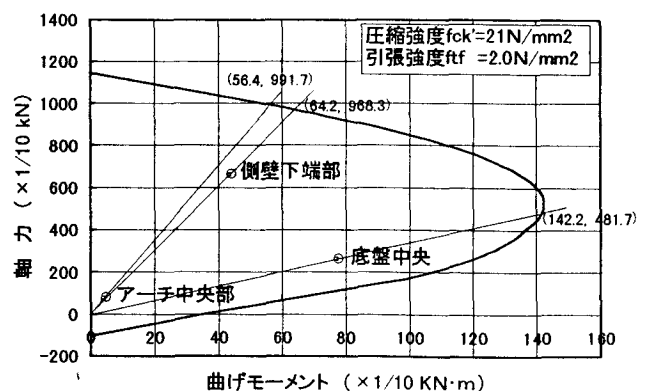


図-7 M-N (M_{ud} , N'_{ud}) 性能曲

これらを基に、底盤中央、側壁下部、アーチ中央部のそれぞれについて安全性の照査を行うと、

- ・底盤中央 $\gamma_i \cdot M/Md = 1.1 \times 755.8 / 1422 = 0.58 < 1.0 \dots \text{OK}$
 $\gamma_i \cdot N/Nd = 1.1 \times 2552.5 / 4817 = 0.58 < 1.0 \dots \text{OK}$
- ・側壁下部 $\gamma_i \cdot M/Md = 1.1 \times 426.4 / 642 = 0.73 < 1.0 \dots \text{OK}$
 $\gamma_i \cdot N/Nd = 1.1 \times 6454.4 / 9683 = 0.73 < 1.0 \dots \text{OK}$
- ・アーチ中央部 $\gamma_i \cdot M/Md = 1.1 \times 41.5 / 564 = 0.08 < 1.0 \dots \text{OK}$
 $\gamma_i \cdot N/Nd = 1.1 \times 687.3 / 9917 = 0.08 < 1.0 \dots \text{OK}$

となり、いずれの想定断面においても、設計条件に対して、安全性は確保できる。

したがって、鋼繊維を0.75Vol%混入すれば、条件設定時のひび割れ幅0.25mmの範囲で、監査廊が構造的に安全であると言える。

5. PCa型枠の設計

構造形式としては、PCa型枠を本体構造の一部として取り扱っており、PCa型枠の外周面には打ち継ぎ目処理を施して、後打設コンクリートとの一体化を図っている。

また、PCa型枠は、コンクリートの側圧として最大値 $P_{max} = 0.04 \text{ N/mm}^2$ を作用させて骨組み計算を行って、PCa型枠に発生する曲げ引張り応力を求め、それが設定した許容値に収まるように設計した。この結果、部材の厚さは $t = 80 \text{ mm}$ (有効厚さ) となった。

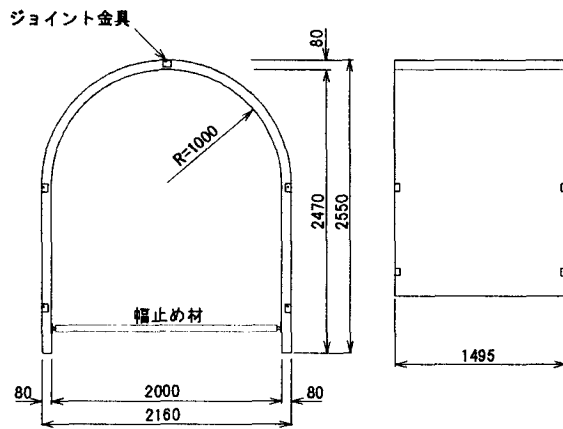


図-8 PCa型枠

表-2 PCa型枠の諸元

形状寸法	内空幅	2000 mm
	内空高さ	2470 mm
コンクリート	部材厚さ	80 mm (有効厚さ)
	部材長さ	1495 mm
配筋	重量	17.5 kN
	形式	逆U字形(上部半円形)
コンクリート	設計基準強度	35 N/mm ²
	粗骨材最大寸法	20mm
配筋		D10@200
備考	外周面は目荒らし処理。	

6. SFRCの配合

SFRCの配合(案)を表-3に示すが、ベースコンクリートの配合は、施工性やスランプロスを考慮して、 $L = 60 \text{ mm}$ のものを0.75vol%混入する場合で、細骨材率を $s/a = 60\%$ 程度、単位水量を若干多くするケースが多いが、事前に配合試験を実施する必要がある。

表-3 SFRCの配合(例)

	設計基準強度 (N/mm ²)	骨材最大寸法 Gmax (mm)	水セメント比 (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
							ファイバー F	水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	高性能減水剤 Ad
ベース	21	40	60	18 ±2.5	4	60	0	190	317	1036	710	
ファイバー (0.75%)	21	40	60	10 ±2.5	4	60	60	190	317	1036	710	
備考	※材齢28日における値。											

7. 施工手順

施工の概念及び施工フロー、および施工手順を次に示す。

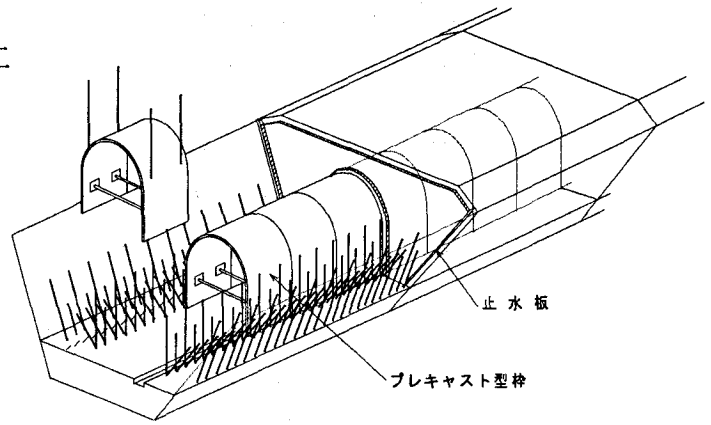


図-9 施工概念図

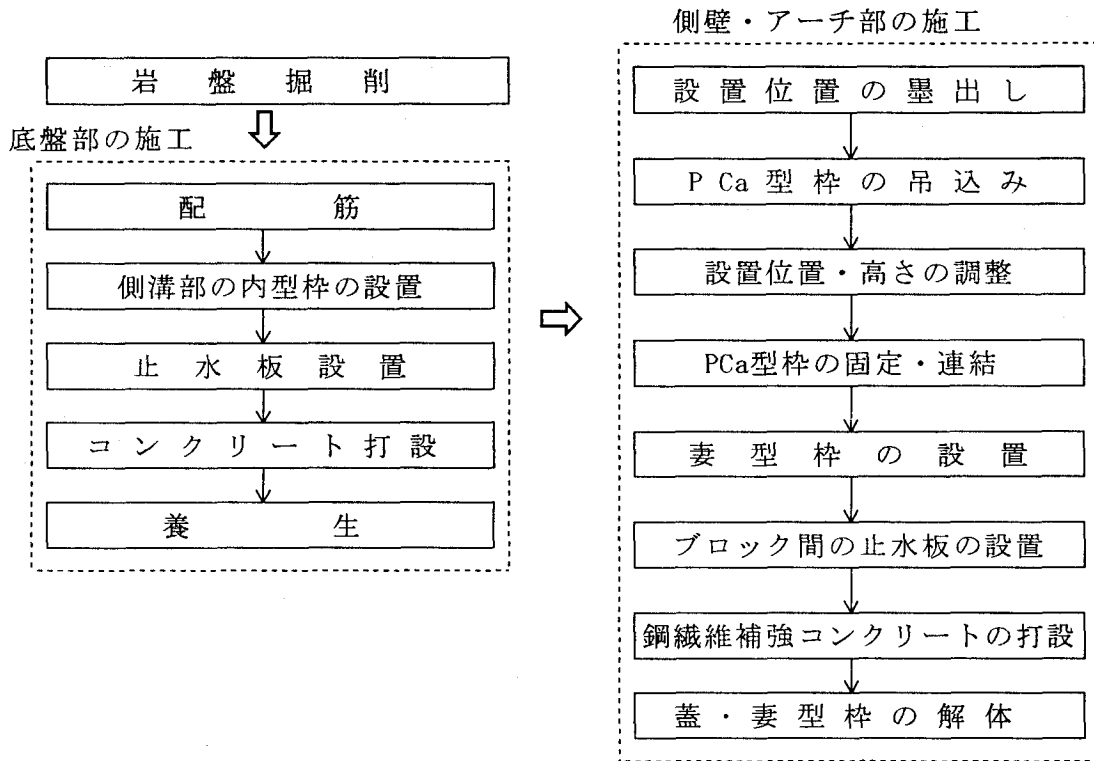


図-10 試験施工のフロー

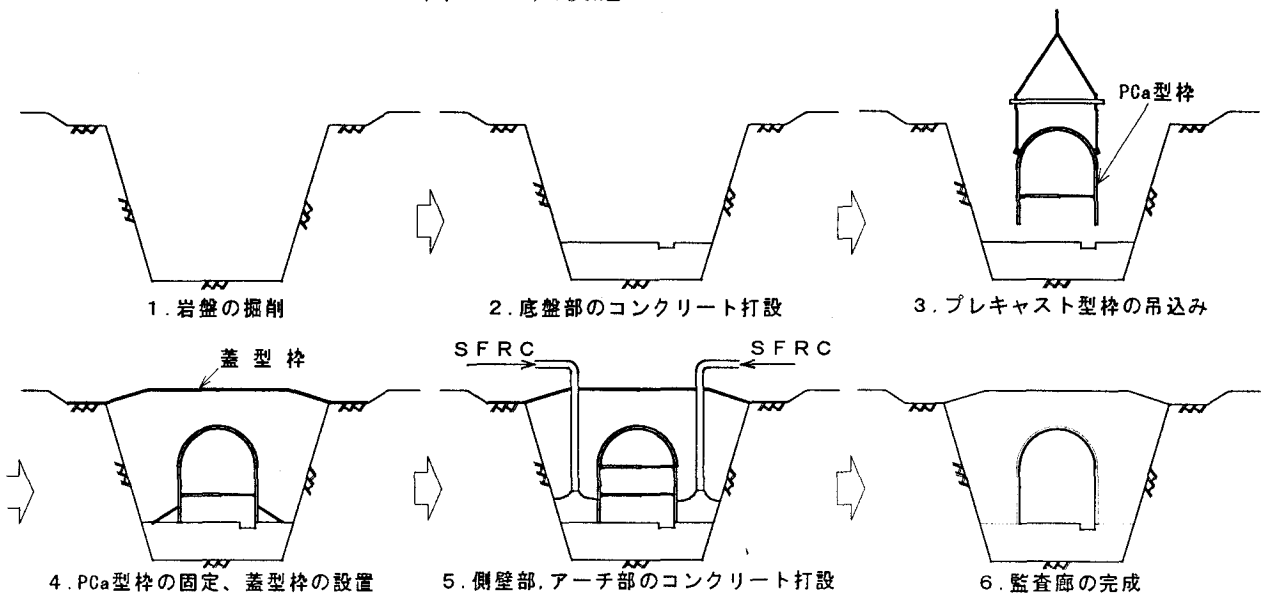


図-11 施工手順

8. 施工結果

鋼繊維補強コンクリートは、現場近くの生コン工場でベースコンクリートを製造したものを、施工試験地点まで生コン車にて運搬し、模擬監査廊の近くに設けたステージで鋼繊維補強コンクリートを投入して、次の手順で製造した。

- ・練りませ量：生コン車1車分(4.4m³)
- ・練りませ方法：6m³のコンクリートの積載が可能な生コン車のドラムに4.4m³だけ積載し、生コン車のドラムを高速回転しながら、鋼繊維1袋(20kg)分を15秒間で投入する速度で、4.4m³分の鋼繊維(総量264kg、13.2袋)を投入し、全量投入後に2分間の追い練りを行った。

SFRCの打設結果と強度試験結果を示す。

表-4 打設結果

打設量		SFRC 84.0m ³
コンクリートの性状	スランプ	平均値12.0cm
	空気量	平均値 4.5 %
	温度	平均値14.8℃

表-5 強度試験結果 単位:N/mm²

圧縮強度			曲げ強度
材齢7日	材齢28日	材齢91日	材齢28日
17.7	26.8	36.3	6.39

ここでは、試験的に施工した1ブロックだけの模擬監査廊の構築であったが、次のようなことが明らかとなった。

- ・プレキャストの設置は、25t吊りのラフタークレーンを用い、5人の作業員が5函体を1.5日で設置した。1函体目は、初めての慣れない作業であったため、多くの時間を費やしましたが、2、3函体目となって、作業に習熟するに従い、設置要領を会得してスムーズな作業ができるようになった。
- ・厚さ8cmのプレキャスト型枠は、部材厚さが薄く、取り扱いを十二分に慎重にする必要があった。
- ・鋼繊維補強コンクリートの製造は、生コン工場でベースコンクリートを製造して、現場で鋼繊維を投入して練り混ぜる方式をとったが、1車毎の手投入であったため、たいへん手間がかかった。実施工ではベルコンを使用する等の改善が必要と考えられる。
- ・鋼繊維補強コンクリートは、フレッシュ性状の管理項目として、通常コンクリートと同様に、スランプと空気量、温度としたが、スランプで代表されるワーカビリティの指標としては、よりの確に性状を把握できる他の方法が必要である。
- ・コンクリートの打設自体は、従来と変わらないが、鉄筋がないため、ずいぶんすっきりした空間での施工となった。ただし、簡単な鋼材を溶接して設置した打設足場は、実施工では簡単に取り外し、再設置が可能な構造にする等の改善が必要と考えられた。

これらのことを踏まえて、今後とも鋼繊維補強コンクリートとプレキャスト型枠を用いたフィルダム監査廊の構築工法を、より完成されたものにし、実施工に望みたいと考えている。

[積算関係資料]

積算関係は、新技術の資料番号13、北陸農政局のフィルダム監査廊の合理化工法日野川用水地区を参考とする。