

フィルダム監査廊への鋼繊維補強コンクリートの 適用に関する研究

原 夏 生 赤 坂 雄 司
横 沢 和 夫 森 本 英 樹¹
浅 野 勇²

要 旨

フィルダム監査廊の施工の合理化, 安全性の向上を目的として, 従来の鉄筋コンクリート構造に代えて鋼繊維補強コンクリートの適用を検討した。

鋼繊維補強コンクリートを用いたフィルダム監査廊の設計方法を提案し, 要素実験および監査廊モデル試験体の載荷実験により, 提案設計法の妥当性を検証した。さらに, 鋼繊維補強コンクリートの破壊エネルギーを考慮した非線形有限要素解析により, 寸法効果を含む鋼繊維補強コンクリートの挙動が評価できることを明らかにした。

鋼繊維補強コンクリートとプレキャスト型枠を組み合わせた実物大の施工試験を行い, 施工の合理化および安全性の向上が図られることを確認した。

キーワード フィルダム／監査廊／鋼繊維補強コンクリート／プレキャスト型枠／有限要素解析

目 次

- | | |
|--------------------|---------------------|
| 1. はじめに | 5. 監査廊モデルの載荷実験および解析 |
| 2. フィルダム監査廊の現行設計法 | 6. 施工試験 |
| 3. SFRCによるフィルダム監査廊 | 7. まとめ |
| 4. SFRCの強度特性 | |

APPLICATION OF FIBER REINFORCED CONCRETE FOR FILL-TYPE DAM GALLERY

Natsuo HARA Yuji AKASAKA
Kazuo YOKOZAWA Hideki MORIMOTO
Isamu ASANO

Synopsis:

Aiming at the rationalization of construction of fill-type dam gallery and safety improvement, we have studied application of steel fiber reinforced concrete structure instead of reinforced concrete structure.

We have proposed the design method for fill-type dam gallery using steel fiber reinforced concrete. As the results of elemental experiments and load tests of gallery model specimens, we have inspected the validity of the proposal design method. And it was proved that the behavior of steel fiber reinforced concrete including size effect can be estimated by non-linear finite element analysis considering fracture energy.

Construction experiment of real size gallery combining with pre-cast concrete formworks and steel fiber reinforced concrete were carried out, then it was proved that the proposed construction method can be accomplish rationalization of construction and safety improvement.

* 1 北陸支店 榎谷ダム作業所 * 2 農林水産省 農業工学研究所 造構部 構造研究室

1. はじめに

フィルダムの監査廊は、カーテングラウチングの施工や堤体および基礎の維持管理を行うことを目的として、通常、遮水ゾーンの下部の基礎岩盤を掘り込んで構築される(図-1)。このため、監査廊を施工した後でなければ堤体の盛立てに着手出来ず、工程上クリティカルとなる場合が多い。

施工は大型のスライド型枠を使用し、通常インバート部とアーチ部に分けて施工するが、10～15日/ブロックの施工サイクルとなる(表-1)。配筋ピッチが密でラップする鉄筋が多く、作業空間は大変狭隘であり、傾斜地での作業もある。全体工程への影響度が大きいにも関わらず、盛立てなどの主要工種とは異なり、あまり研究開発の対象になってこなかった。

本報告は、施工工期の短縮、安全性の向上、トータルコストの削減を目指して、フィルダム監査廊に従来の鉄筋コンクリート構造に変えて鋼繊維補強コンクリート（以下SFRCと称す）を適用することを提案し、設計・施工方法について検討したものである。

2. フィルダム監査廊の現行設計法

フィルダム監査廊の断面例を図-2 に示す。一般に監査廊の設計は、岩盤を含んだ2次元モデルを考え、弾性有限要素解析により応力を求め、それをもとに配筋する方法が用いられている。鉄筋量は、要素応力から直接

圧縮または引張力を求め、鉄筋の許容応力度で除して求める場合や、図-3 に示すように梁部材を仮定して得られる曲げモーメント M 、軸力 N 、せん断力 S 等の設計断面力に対して、RC 部材として算定する方法がある¹⁾。

3. SFRCによるフィルダム監査廊

3.1 開発の経緯と構造の特徴

フィルダム監査廊の在来工法における標準的施工サイクルを表-1 に示すが、スライド型枠の移動、妻・蓋部型枠と鉄筋作業が監査廊の施工サイクルの約7割を占める。そこで筆者らは、施工の合理化による工期の短縮と安全性の向上を実現する工法として、フィルダム監査廊で既に利用されつつある脱型不要のプレキャスト型枠²⁾（以下PCa型枠と称す）と鉄筋作業の不要なSFRCを組み合わせた構築工法³⁾に着目した（図-11 参照）。

表-1 監査廊の施工サイクル

工法・種		日 数	
在来工法	型 枠	移動 5 養生 10 養生 移動	
	鉄 筋	鉄 筋	
11日／サイクル	Con打設	Con打・養生	
提案工法	型 枠	PCA 養生 養生	
	鉄 筋	鉄 筋	
7日／サイクル	Con打設	Con打・養生	
備 考		在来工法はスライドセントル使用	

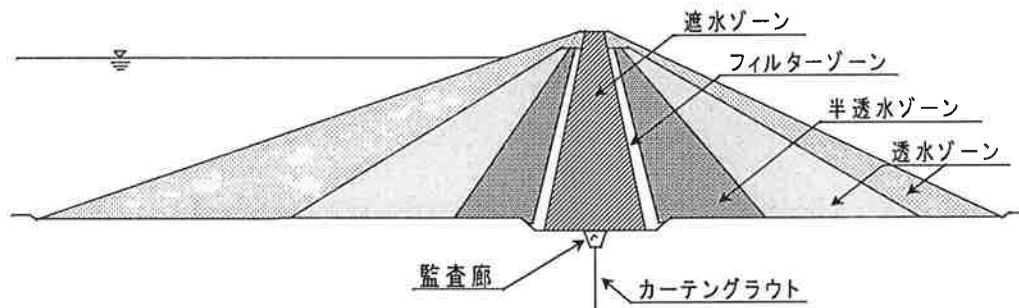


図-1 フィルダムの断面図（例）

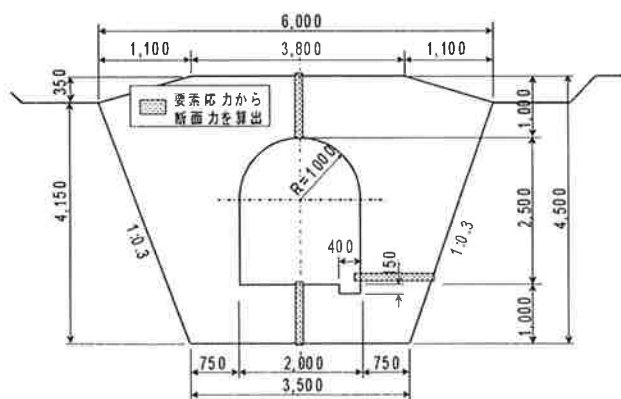


図-2 フィルダム監査廊の断面（例）

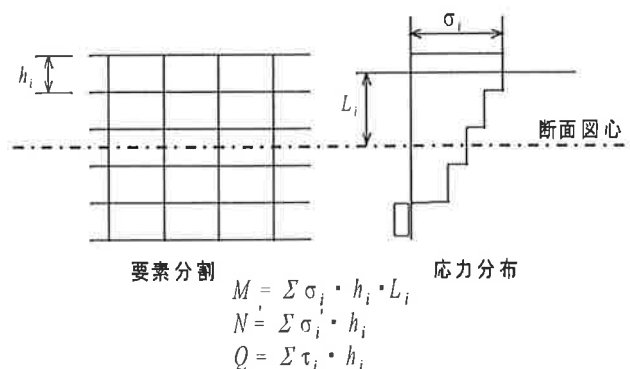
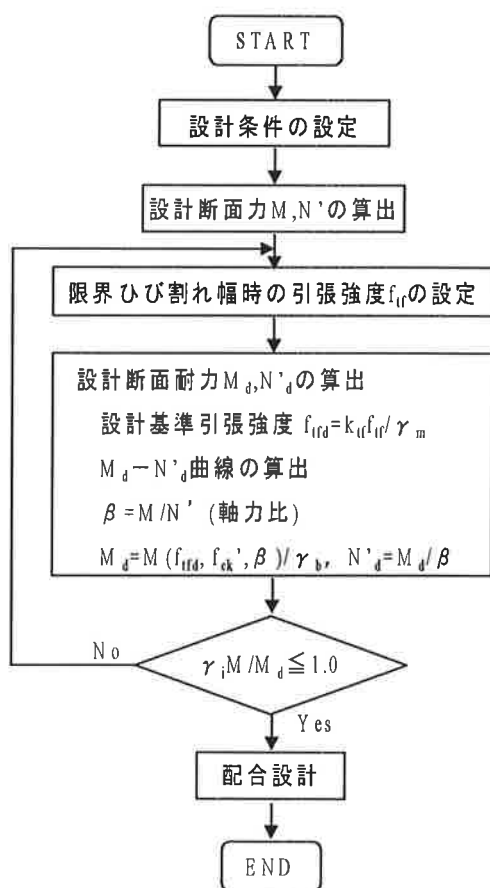


图-3 断面力算出法

3.2 設計方法の提案

フィルダムの監査廊に SFRC を使用するに当たって、SFRC の特性を生かすために限界状態設計法を用いることとした。フィルダムの監査廊は、通廊としての役割だけでなく、堤体および基礎の安全管理という役割も担っており監査廊の重要度、機能、使用期間を考慮すると、長期的にわたる耐久性を確保する必要がある。このことから、使用限界状態について検討することとした。照査性能としては、限界ひび割れ幅を設定した。限界ひび割れ幅は、SFRC 構造設計研究会によるトンネル覆工の設計施工マニュアル⁹⁾を参考にし、0.25mm とした。

提案設計法では、前述したように、弾性有限要素解析から各要素の応力を求め、図-3に示すように梁部材を仮定して設計断面力 (M, N, Q) を算出する。次に SFRC の引張強度 f_{tf} を設定し、設計断面耐力である M_d-N_d 曲線を求め、設計断面力作用時に限界ひび割れ幅以下となることを照査する。この時、仮定した梁部材の中立軸以下は設計基準引張強度 f_{tfd} が等分布に作用するものとする⁹⁾。さらに、所定の引張強度を確保する SFRC の配合を施工性も考慮して決定する。図-4に提案設計法のフロー図を示す。なお、せん断力 Q については、無筋コンクリートとして照査する。



k_{tf} : 寸法効果に関する試験修正係数

γ_m : 材料係数, γ_b : 部材係数, γ_i : 構造係数

図-4 フィルダム監査廊の提案設計フロー

3.3 設計上の課題

(1) SFRCの強度特性

SFRC は、無筋コンクリートと比較して引張強度特性が優れているのは明らかであるが、鋼繊維（以下 SF と称す）を混入するコンクリートの配合、SF の形状寸法、混入量により力学特性が変化するので、十分な検討が必要である。

(2) SFRC引張強度の寸法効果

SFRC の曲げ耐力は寸法効果の影響を無視しがたいことが報告されている⁹⁾。フィルダム監査廊設計時に仮定する梁部材は梁高が 1m 程度なので、SFRC 部材の寸法の影響を考慮した引張強度を算出する必要がある。寸法効果は、15cm 角曲げ供試体から算出した引張強度に対して試験修正係数 k_{tf} を乗じて評価する。

4. SFRCの強度特性

4.1 SFの混入率と強度の関係

フィルダム監査廊のコンクリートの粗骨材最大寸法が、 $G_{max} = 40mm$ の場合、SF は、粗骨材最大寸法の 3/2 以上、 $l = 60mm$ となる⁹⁾。そこで、JSCE-G-552⁷⁾に規定される 3 等分曲げ載荷試験を行い、繊維長 $l = 60mm$ 、両端フック付 SF⁸⁾の混入率と強度の関係を求めた。混入率は、0.5 ~ 1.0vol% の 5 水準とし、混入後のスランプがそれぞれ 10cm 程度になるように $W/C=60\%$ 、 $s/a=58\%$ とした。表-2 に配合とフレッシュ性状、図-6 に強度特性を示す。なお、ひび割れ幅 0.25mm の時の引張強度 f_{tf} は、式[1]で求めた⁹⁾。

$$f_{tf} = 0.43 \frac{Pl}{h^2 b} \quad [1]$$

ここで、 P : ひび割れ幅 0.25mm 時の荷重 (N)

l : 曲げスパン (mm)

h : 高さ (mm), b : 幅 (mm), $h=b=150(mm)$

表-2 配合とフレッシュ性状

混入率 vol%	単位量 (kg/m ³)						スランプ cm	空気量 %
	SF	W	C	S	G	Ad		
0.50	40	178	297	1022	754	1.11	13.0	6.2
0.625	50			1020	753		13.5	6.7
0.75	60			1018	752		10.5	6.6
0.875	70			1018	749		12.5	6.8
1.00	80			1015	749		9.5	7.2

4.2 寸法効果の実験および解析

(1) SFRC梁の曲げ試験

SFRC の寸法効果算出のために、SF 混入率 0.75vol % で梁高の異なる試験体を用い曲げ試験を実施した。梁高は、15cm, 50cm, 100cm の 3 種類とし、載荷方法は図-7 に示す三等分載荷とした。

試験結果を表-3 に示す。表中の各曲げ強度の値は、試験を実施した材齢が異なるため 15cm 角曲げ供試体 (S) の圧縮強度である 27.5 (N/mm²) を基準として式[2] で補正した。平均値で評価すれば、15cm 角曲げ供試体と梁高 100cm の試験体のひび割れ幅 0.25mm での曲げ強度比は 8 割程度である。

$$\sigma_m = \sigma_{m \exp} \times (27.5 / \sigma'_{c \exp})^{2/3} \quad [2]$$

ここで、 $\sigma_{m \exp}$: 試験材齢時の曲げ強度 (N/mm²)
 $\sigma'_{c \exp}$: 試験材齢時の圧縮強度 (N/mm²)

(2) SFRCの引張軟化特性を考慮した非線形解析

実施した梁高の異なる試験体の曲げ試験に対して非線形有限要素解析を行った。解析に用いた 15cm 角曲げ供試体のメッシュ図を図-8 に示す。等曲げ区間にはひび割れ要素 (10mm × 10mm) を配置した。ひび割れは梁中央の要素のみに発生するとし、ひび割れ発生基準はプレーンコンクリートの引張強度 (主応力判定時) とした。ひび割れ発生後の残留応力 σ_{rt} は式[3]～[5]および図-5 に示す引張軟化構成則を用いて定義した。表-4 に解析に用いた SFRC の代表的な諸物性を示す。なお、SFRC の弾性係数 E_c およびひび割れ発生応力 σ_{crack} は、プレーンコンクリートと同様とし、圧縮強度から岡村⁹⁾の式を SI 単位に換算して算定した。また、全ての要素の応力-ひずみ関係は Kupfer 則¹⁰⁾を使用した。

$$\sigma_f / \sigma_{crack} = \exp \{ C \times (\varepsilon_f - \varepsilon_{crack}) \} \quad [3]$$

$$C = \ln(R) / \varepsilon_f \quad [4]$$

$$R = \sigma_{rt} / \sigma_{crack} \quad [5]$$

ここで、 ε_{crack} : ひび割れ発生時のひずみ
 ε_f : 現時点でのひずみ
 ε_r : 基準ひずみ (ひび割れ後の増分ひずみ)
 R : 残留率
 σ_{crack} : ひび割れ発生応力 (N/mm²)
 σ_{rt} : 基準ひずみにおける残留応力 (N/mm²)

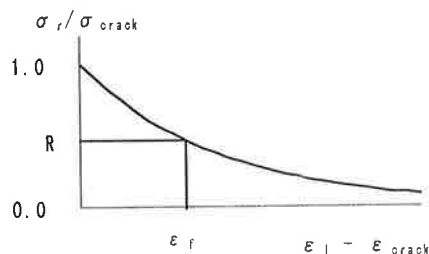


図-5 解析で使したSFRCの引張軟化特性

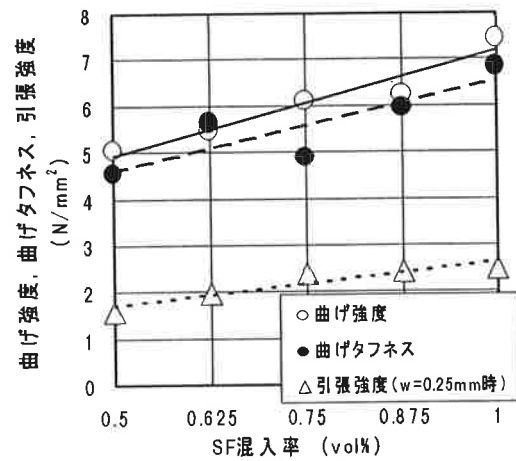


図-6 曲げ強度特性 (SF: $\phi 0.8 \times 60\text{mm}$)

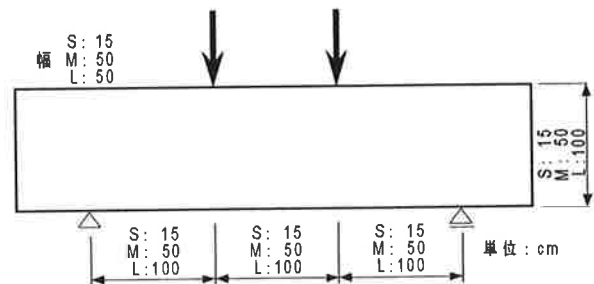


図-7 SFRC寸法効果の曲げ試験

表-3 SFRC寸法効果の曲げ試験結果

CASE	圧縮強度 (N/mm ²)	最大荷重時		ひび割れ幅 0.25mm	
		曲げ強度 $\sigma_{m(max)}$ (N/mm ²)	強度比 *1)	曲げ強度 $\sigma_{m(0.25)}$ (N/mm ²)	強度比 *1)
S-1	27.5	5.7	1.10	5.1	1.07
S-2	27.5	5.9	1.13	5.7	1.20
S-3	27.5	4.0	0.77	3.5	0.73
平均	27.5	5.2	1.00	4.7	1.00
M-1	23.8	6.5	1.25	4.6	0.97
M-2	24.6	5.2	0.99	4.4	0.92
M-3	24.6	2.9	0.56	2.9	0.60
M-4	25.7	4.5	0.87	4.0	0.84
平均	24.7	4.8	0.92	3.9	0.83
L-1	23.8	5.2	0.99	4.6	0.96
L-2	25.7	3.3	0.64	3.1	0.65
平均	24.7	4.3	0.82	3.8	0.81

*1) 15×15×53 cm の平均曲げ強度を基準として換算

表-4 解析に用いたSFRCの諸特性

CASE	σ'_c (N/mm ²)	E_c (kN/mm ²)	σ_{crack} (N/mm ²)	σ_{rt} (N/mm ²)	G_f (N/mm)
S	27.5	25.7	2.4	1.32	19.9
M	24.7	24.8	2.3	1.32	21.0
L	24.7	24.8	2.3	1.32	20.9

$$E_c = 8.506 \sigma_c^{1/3}, \quad \sigma_{crack} = 0.269 \sigma_c^{2/3}$$

引張軟化特性を同定するために、上式において基準供試体Sの実験結果に合うように ε_f と σ_{ri} のパラメータスタディを行った。 $\varepsilon_f = 0.25$ (ひび割れ幅5mmに相当)、 $\sigma_{ri} = 1.32\text{N/mm}^2$ とした場合の試験結果と解析結果の比較を図-9に示す。解析結果は、試験結果を若干過大評価しているが、SFRCの曲げ強度、曲げタフネスの傾向を評価している。寸法効果の影響はひび割れ要素の形状・寸法を基準供試体と同様に一辺10mmとし、各梁高の試験ケースに同一のひび割れ要素を配置することで考慮した。

(3) 試験結果と解析結果の比較

限界ひび割れ幅(0.25mm)時の試験結果と解析結果の比較を図-10に示す。限界ひび割れ幅時の曲げ強度は、試験体高さの増加につれて減少している。解析結果と試験結果は良く一致している。すなわち、ひび割れ要素の寸法を同一とし、同じ引張軟化特性を用いることで、ひび割れ要素の破壊エネルギー G_f が同一となり、その結果としてSFRC梁の高さによる曲げ強度の寸法効果を評価することが出来たものと考えられる。このことは、SFRCの引張強度の寸法効果を論ずる上で、破壊エネルギーが支配的であることを示している。

[3]式において、 $\varepsilon_i - \varepsilon_{crack} = \omega / l_e$ (l_e はひび割れ要素寸法)であることから、[3]式を $0 < \varepsilon_i < \infty$ で積分することによって、 G_f は次式で与えられる。先に示した入力パラメータによる G_f を表-4に示す。

$$G_f = -\sigma_{crack} \cdot \varepsilon_f \cdot l_e / \ln(R) \quad [6]$$

ここで、 G_f : 破壊エネルギー(N/mm)

l_e : 要素寸法(mm)

5. 監査廊モデルの載荷実験および解析

5.1 提案設計法による試設計

図-4に示した提案設計方法に従い、監査廊の設計を試みた。フィルダムの堤高は100mとし、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。寸法効果は図-10より安全側を考慮し試験修正係数 $k_{tr} = 0.7$ とした。FEM弾性解析よりアーチ内空部において $f = 0.8\text{N/mm}^2$ 、 $f_{tr} \geq f \cdot \gamma_m \cdot \gamma_b \cdot \gamma_i / k_{tr} \geq 2.0\text{N/mm}^2$ であり、図-6より設計基準強度 21N/mm^2 のベースコンクリートに対して鋼繊維を0.75vol%混入するものとした。また、インバート部は引張り応力が大きく、SFの大量混入では経済性および施工性が悪くなることを考え、SFを用いず鉄筋コンクリート構造(主筋D29@100)とした。検討した監査廊の構造を図-11に示す。

5.2 試験体および載荷方法

試設計した監査廊を1/2に縮小してモデル化した試験体の載荷実験を行った。実験はアーチ部について着目し、

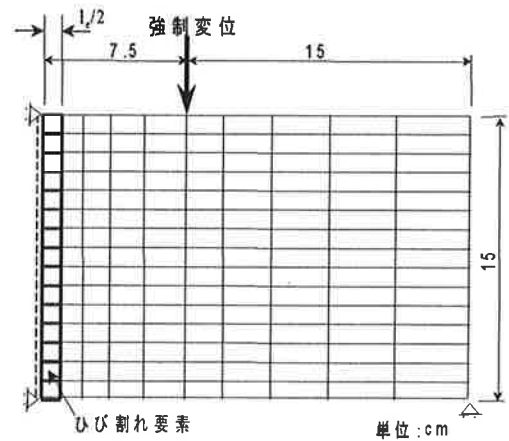


図-8 基準試験体(S)の解析モデル

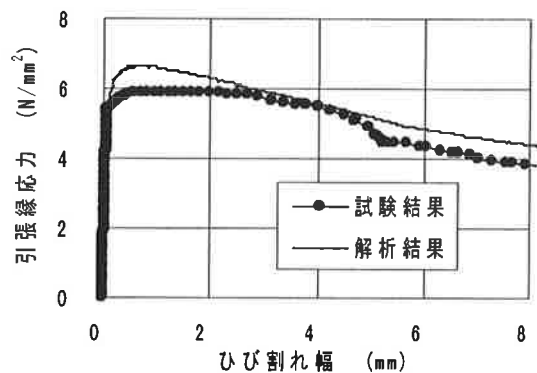


図-9 引張縁応力とひび割れ幅の関係(S)

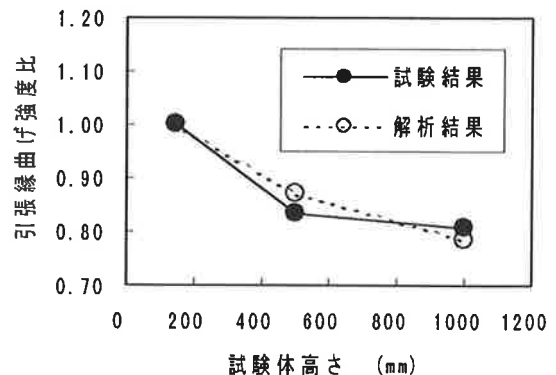


図-10 曲げ強度($\omega=0.25\text{mm}$ 時)の寸法効果

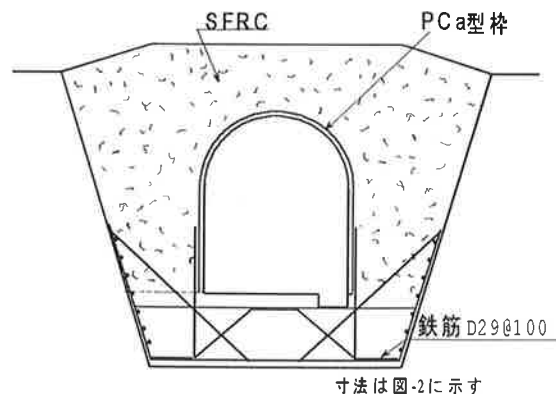


図-11 試設計したフィルダム監査廊

インバート部については、鉄筋 D13@125 (5 本) , 降伏強度 $f_y=346$ (N/mm²) で補強している。図-12 に試験体図および載荷図を示す。実験は表-5 に示す 2 ケースについて実施した。CASE1 は、地盤による拘束を考慮して、設計荷重の 2118kN までは上載荷重の 30%の側圧を作用させ、設計荷重以降は設計荷重の 30 %である 635kN で一定とした。これは図-11 および図-12 に示す、試設計断面と試験体の形状の違いを考慮したもので、設計荷重作用時に試設計断面と試験体で、弾性解析時にアーチ内空部の応力が同一となるように側圧を調整したものである。CASE2 は、最も危険側の載荷条件を考慮して、側圧を加えていない。

表-5 監査廊モデル試験ケース一覧

CASE	側方拘束
1	設計荷重まで上載圧の30%,その後一定
2	無し

5.3 解析概要

図-13 に解析に用いたモデル図を示す。事前に行った弾性 FEM 解析により引張応力が卓越する部分にはひび割れ要素 (5cm × 5cm) を配置した。ひび割れ要素における SFRC の破壊エネルギー G_f を算定するために、材料試験として実施した CASE1 および CASE2 の各同一バッチ、同一材齢の 15 × 15 × 53cm 供試体の 3 等分曲げ試験の逆解析を行った。算出された G_f を表-6 に示す。算出された G_f をもとに、式[6]より R を一定とし、 ϵ_r を算出した。解析モデルおよび手法は 4.2 と同様である。コンクリートのひび割れ発生基準、応力-ひずみ関係等についても 4.2 と同様な構成則を使用した。鉄筋については完全付着を仮定してパイリニアモデルのトラス要素を重ね合わせた。

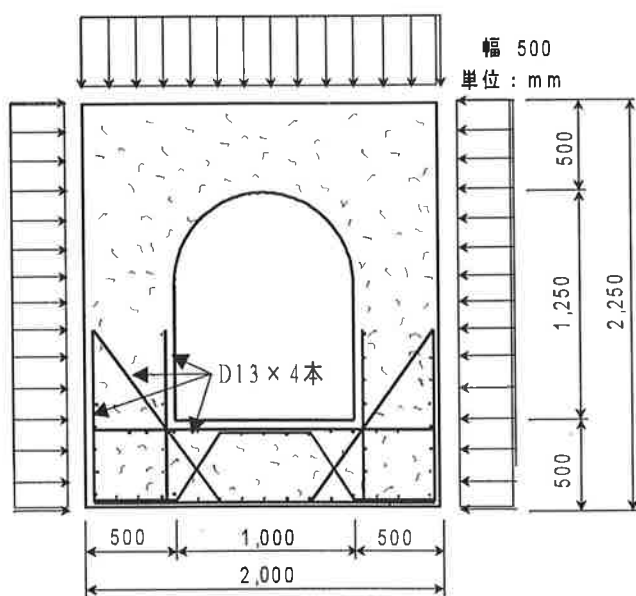


図-12 監査廊モデル試験体

表-6 解析に用いた物性値

CASE	G_f (N/mm)	物性値概要	
		SFRC	鉄筋
1	19.9	4.2と同じ	$A_s=5.065\text{cm}^2$ (D13 × 4)
2	19.4		$E_s=179\text{KN/mm}^2$, パイリニア

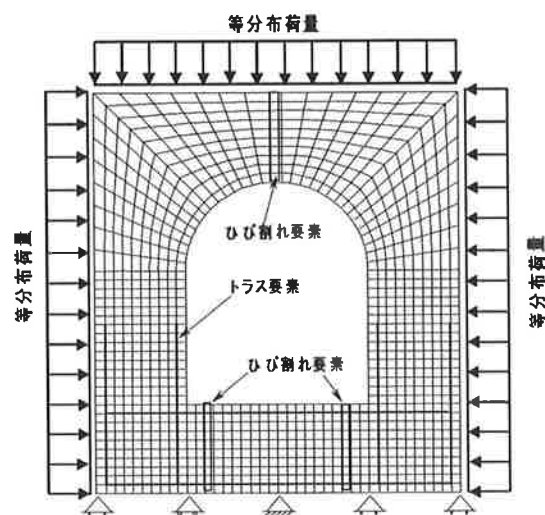


図-13 監査廊モデル解析モデル図

5.4 試験および解析結果

試験結果の一覧を表-7 に示す。

表-7 監査廊モデル試験結果一覧

CASE	圧縮強度 N/mm ²	曲げ強度 N/mm ²	ひび割れ発生荷重 kN
1	28.7	6.2	4069
2	31.2	6.6	2157

(1) ひび割れ性状

図-14 に CASE1 におけるひび割れ図を示す。ひび割れ位置は図-13 におけるひび割れ要素位置とほぼ一致している。

(2) 鉛直内空変位

図-15 に鉛直内空変位の実験結果を示す。いずれの CASE においても載荷装置の制約で実験を終了させた約 8000kN (設計荷重の約 4 倍) 付近まで、変位が急増したり、荷重が減少したりすることはなく、安定した挙動を示している。また、解析結果は実験結果と良く一致している。

(3) ひび割れ幅

図-16 に荷重と内空面で計測したアーチ部のひび割れ幅の関係を示す。図中の設計荷重 I は、通常の設計荷重、すなわち、前述した安全係数を考慮した設計値であり、II はすべての安全係数を 1.0 とした設計値である。いずれの設計荷重においても限界ひび割れ幅に達しておらず、本設計手法の安全性が確認された。また、解析結果も実験結果と良く一致している。

(4) 提案設計法および非線形FEM解析について

上記の実験結果より、提案設計法で想定フィルダムの設計荷重に対し、十分な安全性が確保された SFRC 監査廊を設計しうることが確認できた。また、SFRC の破壊エネルギーを考慮した非線形有限要素解析により、実用上十分な精度で挙動を予測できることが判明した。今後、設計条件や使用材料が変化した場合においても、室内材料試験結果（ $15 \times 15 \times 53\text{cm}$ 供試体の曲げ載荷）が得られれば、破壊エネルギーおよび引張軟化特性を同定し、寸法効果を含めた SFRC 監査廊の挙動を評価することが可能であると考えられる。

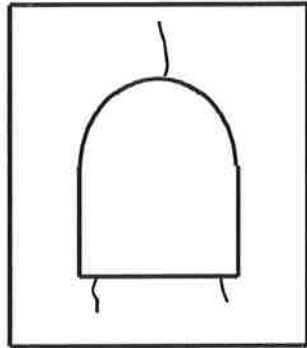


図-14 ひび割れ図 (CASE1)

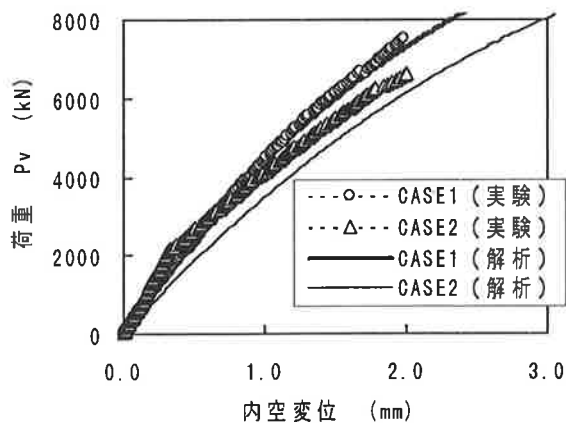


図-15 荷重—鉛直内空変位

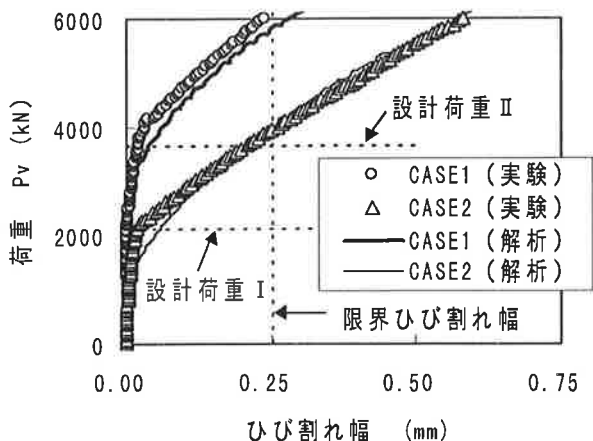


図-16 荷重—内空ひび割れ幅 (アーチ部)

6. 施工試験

6.1 試験概要

前章において試設計を行った監査廊 (図-11) について、施工試験を実施した。構築したのは、 $L=6\text{m}$ の SFRC 打設部分を 1 ブロック (PCa 型枠 4 函体) と $L=3\text{m}$ の PCa 型枠設置 (2 函体) 部分であり、底盤部は従来工法の RC 構造とした (図-17 参照)。

使用した PCa 型枠を図-18 に示す。また、PCa 型枠と後打設コンクリートの一体化は、既にコンクリートダム監査廊で実績のある打継ぎ目処理剤を用いて目荒らし処理を行った。

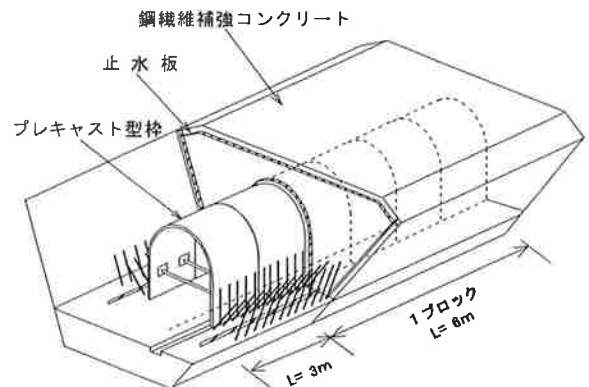


図-17 構築した模擬監査廊

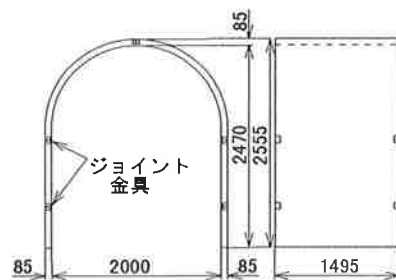


図-18 施工試験に使用したPCa型枠

6.2 試験結果

施工試験の主要な手順を図-19 に示す。PCa 型枠の設置作業は、作業員にとっては、初めての作業であったため若干手間取り、5～6人の作業員で1函体当たり、1～1.5時間であったが、実工事においては、連続的なサイクル工程であるため、1函体当たり、30分～1時間程度になると推定される。SFRC はプラントにおいてベースコンクリートの練混ぜ、生コン車による運搬を行い、現場近くのヤードにおいて、混入率 0.75%に相当する量の SF を生コン車に投入、攪拌して、SFRC を製造した。施工試験に使用した SFRC の主な性状を表-8 に示す。

SFRC の打設は普通コンクリートとほぼ同程度の施工性であり、打設速度は SFRC の供給によって決まり、17台の生コン車を使用し、 $85\text{m}^3/4.5$ 時間であった。生コン車への SF の投入の効率化を図ることによって、打設速

度を高めることが可能である。施工試験結果より試算した施工サイクルを表-1 に示す。1 サイクルの施工に要する日数は在来工法の 11 日に対し、提案工法は 7 日であった。

打設後、材齢 2 週経過後にコアボーリングを実施（全 6 本、全長 3.9 m）し、充填性や PCa 型枠と SFRC の付着性状を調べたが、両者ともに良好であった。

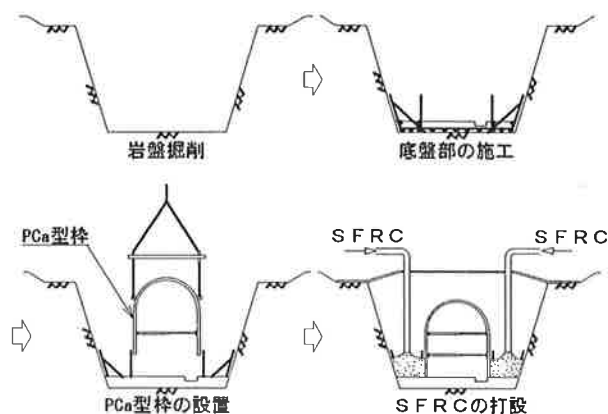


図-19 模擬監査廊の施工手順

表-8 SFRCの性状

フレッシュ性状	硬化物性(材齢28日)
スランプ: 12.0cm	圧縮強度: 26.8N/mm ²
空気量: 4.5 %	曲げ強度: 6.39N/mm ²
温度: 14.8℃	

6.3 コストの試算

施工試験結果を基にコストの試算を行った。試算は、監査廊総延長 350m で、水平部 150m、斜面部 200m のダムを対象とし、在来工法においては急速施工を考慮して、スライドセントル 4 基とバラセントルを組み合わせる施工を行うことを想定した。在来工法の直接工事費を 1.00 とした試算結果を図-20 に示す。セントルを使用しないことによる機材費の縮減、および工期の短縮による労務費の縮減により、在来工法に比べコストの縮減が可能となった。しかしながら、PCa 型枠および SF の使用により、材料費は在来工法を大きく上回る結果となっており、材料費の縮減が今後の課題であると言える。

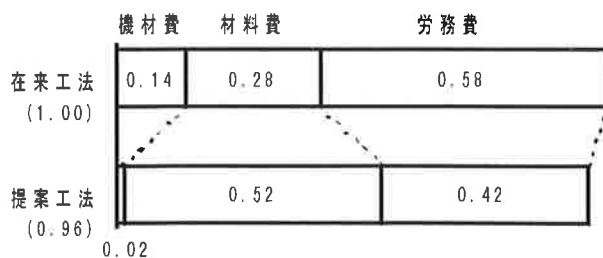


図-20 在来工法と提案工法の試算コストの比較

7. まとめ

- (1) フィルダム監査廊の合理化施工を目的として、PCa 型枠と SFRC を組み合わせた新工法を提案した。
- (2) 設計手法の基本的な流れを提案し、要素実験および監査廊モデルの荷重試験を用いて検証を行った。
- (3) SFRC の破壊エネルギーを考慮した非線形有限要素解析により、SFRC の曲げ特性および寸法効果を評価することが可能であることが判明した。さらに、破壊エネルギーが SFRC の材料試験である、曲げ試験結果より逆解析的に求まることが判明した。
- (4) 施工試験より、提案工法の施工性を検証した。施工サイクルタイムが在来工法に比べ、7/11 程度に短縮されることが確認された。さらに、コスト面においても在来工法と比較して同等以下となる見通しを得た。

なお、本報告の内容は、農林水産省と民間 7 社（前田建設工業、熊谷組、銭高組、飛鳥建設、日本国土開発、フジミ工研、前田製作所）とで進めている官民連携新技術研究開発事業の中の共同研究課題として実施したものである。

参考文献

- 1) ダム技術センター編集：多目的ダムの建設 設計編 I，（財）全国建設研修センター
- 2) 小松康浩，星秀幸：綱木川ダムのプレキャスト埋設型枠を採用したフィルダム監査廊について，ダム技術，No. 150，pp82-88，1999. 3
- 3) 横沢和夫，浅野勇，安中正実：フィルダム監査廊の合理化施工法に関する研究—フィルダム監査廊の設計・施工法について—，平成 10 年度農業土木学会講演会講演要旨集，pp388-389，1997. 7
- 4) （社）鋼材倶楽部，SFRC 構造設計施工研究会編：鋼繊維補強コンクリート設計・施工マニュアル（トンネル編），技報堂出版
- 5) （社）日本コンクリート工学協会：破壊力学の応用研究委員会報告書，1993. 10
- 6) 土木学会，鋼繊維補強コンクリート設計施工指針（案），1983. 3
- 7) 土木学会，コンクリート標準示方書基準編（平成 8 年制定），pp. 466-469，1996
- 8) 趙力采，小林一輔，西村次男：フック付きファイバーを用いた鋼繊維補強コンクリートの曲げおよびせん断形状，生産研究，33. 5，1981. 5
- 9) 岡村甫，コンクリート構造の限界状態設計法，第 2 版，共立出版株式会社，1984
- 10) H. B. Kupfer and K. H. Gerstle: Behavior of concrete under biaxial stress, Proc. of ASCE, EM4, pp853-866, 1973