

# 胆沢ダム洪水吐きの震災復旧に向けた詳細調査について

## Investigation for Restoration of Earthquake stricken spillway of Isawa-Dam

中岡 良文\*

Yoshifumi Nakaoka

### 要 約

本工事は、洪水調節を主たる目的とする北上川水系胆沢川に、堤体積 1,350 万 m<sup>3</sup> を有するロックフィルダムの関連工事として行われる洪水吐き打設工事である。

胆沢ダム洪水吐きは、平成 20 年 6 月 14 日の岩手・宮城内陸地震により被災し、躯体・基礎地盤に甚大な被害を受けた。被災時、洪水吐きは全体の約 58% の進捗状況であり、早期の打設再開を目指し被災直後より被災調査を行うとともに、復旧工事を行ってきた。

本稿では、施工再開に向けた洪水吐きコンクリートの被災復旧基本方針および洪水吐き被災調査の概要について報告する。

### 目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 洪水吐き被災復旧基本方針
- § 4. 補修・復旧に向けた調査の概要
- § 5. おわりに

### § 1. はじめに

平成 20 年 6 月 14 日 8 時 43 分、岩手県内陸南部の深さ 8 km で M7.2 の地震が発生した。発震機構は西北西一東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、地殻内で発生した地震であり、岩手県奥州市と宮城県栗原市では震度 6 強を観測した。

奥州市に建設中であった胆沢ダム建設工事現場においても、斜面崩落や堤体・洪水吐き等にクラックが生じるなど被害が発生した。

被災時洪水吐き打設工事は、未だ竣工しておらず、特に洪水吐き右岸壁は、堤体盛立材と接していることから、胆沢ダム全体工程を考えると、早期の躯体構築の再開が必要であった。そのため、洪水吐きでは震災直後より多種の調査を実施し、平成 20 年 8 月 19 日より調査・復旧対策が完了した打設箇所より順次打設を再開した。

本稿では、被災後の洪水吐き復旧基本方針ならびに洪水吐き被災調査の概要について報告する。

### § 2. 工事概要

胆沢ダム本体工事では、工事を 5 つに分割発注（基礎掘削工事、原石山準備工事、堤体盛立工事、原石山材料採取工事、洪水吐き打設工事）し、マネジメント技術活用方式（CM 方式）を試行的に導入している。写真-1 に胆沢ダム完成予想図を示す。以下に工事内容を示す。

工事件名：胆沢ダム洪水吐き打設（第 1 期）工事	
発注者：国土交通省 東北地方整備局	
工事場所：岩手県奥州市胆沢区若柳地内	
工 期：平成 18 年 3 月 16 日～平成 22 年 3 月 10 日	
河 川 名：1 級河川 北上川水系 胆沢川	
工事内容：洪水吐きコンクリート打設	230,000 m <sup>3</sup>
：ボーリング・グラウチング工	8,000 m
：取水放流設備（コンクリート）	14,000 m <sup>3</sup>
：取水放流設備（法面保護）	1 式



写真-1 胆沢ダム完成予想図

\* 東北（支）胆沢ダム（出）

§3. 洪水吐き被災復旧基本方針

3-1 検討フロー

被災対応の検討フローを図-1に示す。検討フローは、①補修・復旧レベルの選定、②要求性能の整理と被災パターンの分類、③復旧対策のための被災調査の実施、④復旧対策のための詳細調査の実施、⑤被災状況の評価、⑥被災評価に対応した補修方法の選定の順で行うこととした。

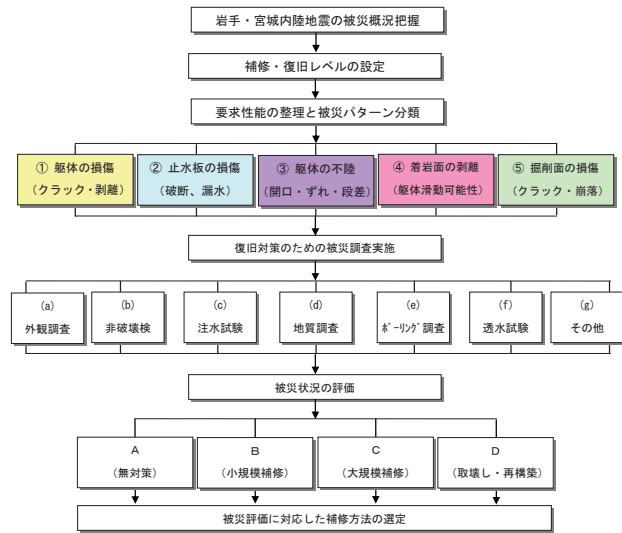


図-1 洪水吐き被災対応検討フロー

3-2 洪水吐きの要求性能

洪水吐きは、未だ竣工していない構造物であるため、被災箇所の対策実施に際しては、「当初設計仕様」に見合った補修・再構築を実施することを基本とし、今回の地震に耐えられた当初設計仕様相当に補修・再構築することを基本とした。

- ① 今回相当の地震に対しても修復可能な損傷にとどまる構造とする。
- ② 補修または再構築の実施は、躯体や基礎地盤等との適用性や経済性を勘案して判断する。
- ③ ダム本体の貯水機能維持に影響が懸念される箇所については仕様を変更（機能強化）する。

3-3 補修・復旧の考え方

洪水吐きにおいて要求される性能は、次の(1)~(4)に示すとおりである。

(1) 力学的耐久性

洪水吐き構造物として、所定の設計条件に対する抵抗力と耐久性が必要である。

(2) 水密性・止水性・通水断面

洪水吐きとして所要の水路断面の確保と水密性及びジョイント部（止水板）の止水性が必要である。

(3) 躯体安定性

洪水吐きの安定基準の基本的な考え方は次のとおりである。

- ① 流入部～セパレートウォール部は、貯留水による水圧を受けるため、重力式ダムに準じた安定基準とする。
- ② シュート部の堤体側は、ダム本体と接触しておりダム本体の円弧すべりにかかる部位であることから、重力式ダムに準じた安定基準とする。
- ③ 上記以外の山側導流壁および減勢部は、一般の擁壁基準に準じるものとする（ただし、滑動安定性はHennyの式による）。

(4) 掘削面の健全性

洪水吐きの掘削面に損傷・不安定箇所がなく、基礎岩盤及び法面（仮設、永久）としての健全性が必要である。

また、洪水吐きの既施工ブロックでは、貯水機能（ダム本体）への影響区間として、流入部及びシュート部の右岸側導流壁が該当する。特に、セパレートウォール

表-1 被災パターン別の評価区分概要

被災パターン	要求性能	評価	判断基準
① クラック	・水密性	A 対策不要	0.2mm以下（非貫通）
	・耐久性	B 補修(小)	0.2~3.0mm以上（非貫通）、表面剥離
		C 補修(大)	クラック貫通、鉄筋非降伏
		D 再構築	クラック貫通、鉄筋降伏
② 止水板	・止水性	A 対策不要	ジョイント開口幅0~3mm
	・弾性、可撓性	B 補修(小)	ジョイント開口幅3~10mm
		C 補修(大)	ジョイント開口幅10~17mm
		D 再構築	17mm以上または漏水あり
③ 躯体不陸	・平滑性	A 対策不要	流れに平行±6.0mm以下/流れに直交-3.0~+1.0mm
	・耐摩耗性	B 補修(小)	流れに平行±6.0mm以下/流れに直交+1.0~+3.0mm以下
		C 補修(大)	流れに平行±6.0mm以上/流れに直交±3.0mm以上
		D 再構築	被災パターン②、④に該当
④ 躯体着岩	・構造安定性	A 対策不要	躯体着岩及び基礎岩盤が健全
	・基礎健全性	B 補修(小)	半重力式導流壁の背面剥離、部分的な着岩剥離あり
		C 補修(大)	補強で対処可能な着岩剥離
		D 再構築	変位を伴う着岩剥離、基礎岩盤の破壊
⑤ 掘削面	・法面安定性	A 対策不要	開口割れ目等が認められない
	・掘削面健全性	B 補修(小)	岩盤内部に軽微な開口割れ目あり
		C 補修(大)	掘削線の変更できない範囲に安定上問題となる割れ目あり
		D 再構築	安定上問題となる割れ目あり

部では遮水性の確保が重要となるため、止水板機能が確認できる構造（正・副の二重化、漏水計測など）に変更する。なお、常用洪水吐きは貯水機能に大きく影響する区間であるが、被災時点では未施工区間であった。

3-4 被災パターンの分類

被災パターンと評価区分について取りまとめた結果は、表-1に示すとおりである。①被災パターンの分類、②要求性能の整理、③評価の判断基準の整理を行った。

§4. 補修・復旧に向けた調査の概要

4-1 調査内容

洪水吐きの被災状況を明らかにし、今後対策が必要となる箇所の特定と、補修・復旧計画案のために詳細調査を実施した。

詳細調査の実施時期は、平成20年6月26日の気象庁の予報に基づき震度4~5弱の余震発生確率が低くなってから調査を開始した。

図一2に、コンクリート構造物の補修・補強における一般的な調査方法を示す。

洪水吐きの被災状況調査においては、構造物の規模や範囲、現地状況を勘案すると、表一2に示すような詳細調査が必要と考えられた。

(1) 洪水吐き全域に渡って(a)の調査を実施することが基本となる。

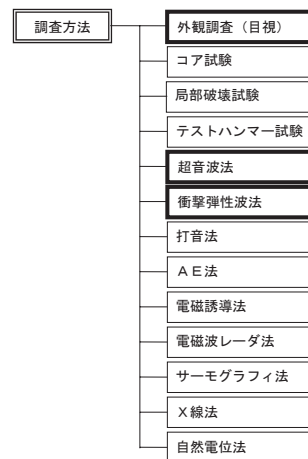
(2) 躯体クラックの内部進展状況を確認する目的で(b)(c)(e)の調査を実施する。

(3) 止水板機能が保持されているか確認する目的で(c)の調査を実施する。

(4) 掘削面・法面の状況や躯体の着岩状況を確認する目的で(d)(e)の調査を実施する。

(5) 流入部では、コンソリデーショングラウチング健全性を確認するため(f)の調査を実施する。

(6) クラック貫通箇所及び鉄筋の露出箇所については、対策工規模の判断材料として(g)の調査を実施する。



図一2 調査方法

#### 4-2 外観調査

##### (1) 概要

目視による外観調査は、最も基本的な照査項目である。特に、コンクリート構造物の変形が進行した段階では、コンクリート表面に変状が現れることが多いため、目視観察や簡単な器具(クラックスケール等)を用いて調査することが構造物の診断において有効となる。

##### (2) 調査項目

目視検査の調査項目としては、コンクリート表面に存在するひび割れ、はく離、はく落、鉄筋露出の有無などの発生位置や程度等が把握できる。さらに、局部的な変状以外にも構造物全体の変形(沈下や傾き)等の情報も得ることができる。これらの結果は、詳細検査や補修・補強の要否の判定およびその範囲の選定において、有益な情報となる。

##### (3) 検査方法

目視検査にあたっては、なるべくコンクリート表面に近づいて入念に調査することが重要である。調査にあたっては、クラックスケール等の測定器、記録用カメラ等を用いて発生箇所や状態を記録する。また、上記(2)の文中に示した調査項目のうち、クラックは、コンクリートの耐久性および耐荷性能を把握するための指標となるほか、その発生位置や形状(形態)から発生原因を推定できる。クラックの調査においては、発生位置や形態を記録するだけでなく、クラックの幅や長さを把握しておくことも重要である。写真一2にゴンドラを用いた高所観察状況、写真一3にブロック間の開き測定状況を示す。

#### 4-3 非破壊検査

非破壊調査によるクラック調査は図一3の調査フローに従って行った。

表一2 洪水吐きにおける詳細調査一覧

調査方法	調査目的	内容
(a) 外観調査	被災箇所の概要確認	目視による被災状況把握
	ジョイントの開口・段差確認	クラックスケール等による開口・段差量の計測
(b) 非破壊検査	クラック進展状況の確認	超音波法、衝撃弾性波法によるクラック発生範囲の特定
(c) 注水試験	注水によりクラック貫通の有無を確認	注水によりクラック貫通の有無を確認
	止水板機能の確認	注水により止水板の破断・引抜けの有無を確認
(d) 地質調査	基礎岩盤・法面の確認	地質調査による基礎・背面岩盤、掘削法面の健全性確認
(e) ボーリング調査	クラック進展状況の確認	コアカッター、ボーリングによるクラック発生範囲の特定
	着岩状況の確認	ボーリングによる躯体の着岩、岩盤内の割れ目を確認
(f) 透水試験	基礎処理工機能の確認	透水試験により流入部のコンソリデーショングラウチング健全性を確認
(g) その他	対策工の選定	既設鉄筋の引張試験及び曲げ試験、クラック貫通部の簡易一面せん断試験



写真一2 ゴンドラを用いた高所観察状況



写真一3 ブロック間の開き測定状況

(1) 超音波法

① 概要

超音波法は、超音波のコンクリート内部伝播時間を測定することにより、ブロックとしての健全性を評価する手法である。超音波の伝播モードとしては、縦波、横波および表面波がある。超音波とは、一般的に可聴域（～20 kHz）以上の周波数領域の弾性波を指すが、コンクリート分野では圧電効果により発生させた弾性波を用いる手法を「超音波法」と定義しており、主に縦波が用いられている。図-4 に 2 探触子法によるひび割れ深さ測定概要図を示す。

② 調査項目

具体的な調査項目としては、a. コンクリートの品質（強度・均一性）、b. コンクリートのクラック深さ、および c. コンクリートの内部欠陥（空隙、はく離等）の位置や大きさである。評価パラメータとしては、a. 超音波伝播速度、b. 受振波の振幅やエネルギー、および c. 周波数特性が挙げられる。

③ 測定器具

超音波計測システムは、電気信号を発生するパルス部、電気信号を超音波に変換する送振子、超音波を電気信号に変換する受振子、受振子により変換された電気信号を増幅する増幅器、受振波の伝播時間を計測する計測回路により構成されている。

超音波の測定には、1つの振動子で超音波の送・受振を行う 1 探触子法と、超音波の送・受振を別々の振動子で行う 2 探触子法がある。今回の調査では 2 探触子法を適用した。

写真-4 に超音波法（2 探触子法）によるクラック深さ測定状況を示す。

(2) 衝撃弾性波法

① 概要

コンクリート表面を機械的に打撃した後、コンクリート中を伝播してきた弾性波を受振し、受振波の特性からコンクリート内部の状態を把握する手法を衝撃弾性波法という。超音波法との違いは、弾性波の入力が電気的な信号でなく、機械的な衝撃を用いていること、および用いる周波数領域が比較的低い（数 kHz～数 10 kHz 程度）ことである。衝撃弾性波法では、超音波法と比較して、入力する弾性波のエネルギーが大きく波長が長いので、コンクリート中の骨材や微小空隙等による減衰の影響を受けにくい。このため伝播距離を長くすることが可能であり、大型構造物の検査法として適している。

② 調査項目

衝撃弾性波法の用途としては、トンネルの巻厚測定、トンネル覆工や舗装版背面の空洞調査、ダムコンクリートの品質調査、杭の値入深さや損傷程度の評価、鋼板とコンクリート間のはく離や充填材の充填状況の評価など多岐にわたっている。

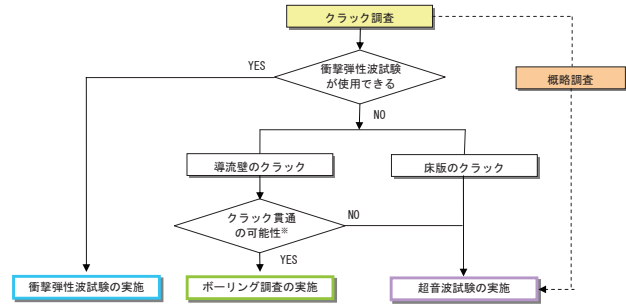


図-3 クラック調査フロー

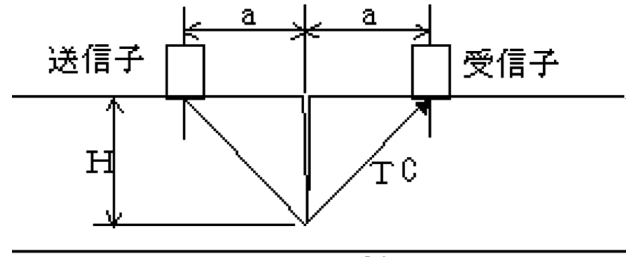


図-4 2 探触子法によるひび割れ深さ測定概要図



写真-4 超音波法（2 探触子法）によるクラック深さ測定状況

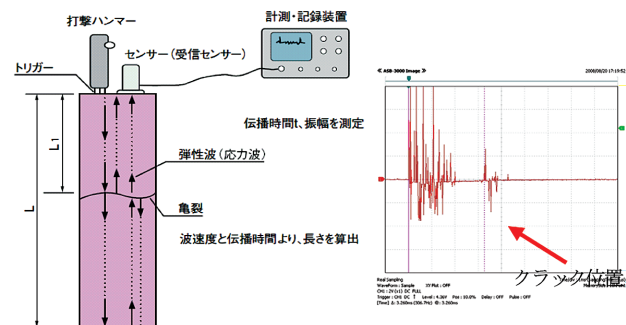


図-5 衝撃弾性波法模式図

③ 測定器具

衝撃弾性波法の測定システムは、振動センサ（加速度センサ、変位センサ、AE センサ）、アンプおよび波形記録・表示装置により構成される。なお、打撃はハンマ打撃や鋼球落下により行われる。測定は伝播時間の測定を行う場合と行わない場合では若干用いるシステムが異なる。図-5 に衝撃弾性波法模式図、写真-5 に衝撃弾性

波試験測定状況を示す。

### (3) 注水試験

#### ① 止水板機能の確認

洪水吐きのジョイント部に著しい開口、段差が認められる場合は、止水板に損傷・破断が生じている可能性がある。ジョイントの開口幅が広い場合は着色水を無圧注入し、ジョイントの開口幅が狭い場合は加圧注水することで、止水板の健全性を確認する。また、床版部の止水板では、表面コンクリートを一部切断して破断状況を直接確認することとした。写真一六に止水板調査状況、写真一七に加圧注入による止水板調査状況を示す。

#### ② クラック貫通の確認

躯体の水路側と背面側の同じ位置に大きなクラックが認められる場合、クラックが躯体内を貫通している可能性がある。クラックが貫通していると判断するために実施した具体的な手法と判断基準は以下の通りである。a. 一方のクラックに加圧注水し、反対側のクラックからの漏水状況を確認する。漏水が検出できればクラックの貫通を判断することができる。b. 躯体底部クラックでは一方の調査ボーリング孔に着色水を加圧注水し、他方の孔から着色水の漏水を確認する。漏水が確認できればその間は貫通クラックが連続しているものと判断できる。写真一八に加圧注入によるクラックの貫通確認状況（躯体壁面部）を示す。

### (4) ボーリング調査

#### ① クラック進展状況の確認

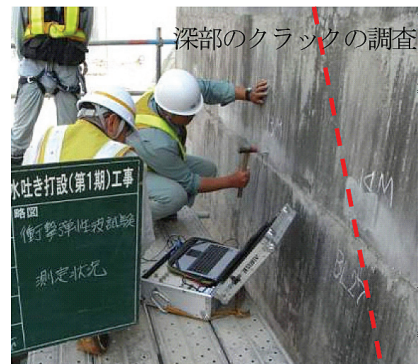
ボーリング調査は、クラック深度方向もしくは、躯体壁面に生じたクラックの深度を確認するために壁上部より鉛直に削孔する。調査は、ボーリングコアやボアホールカメラ、ボアホールスキャナの観察により躯体内部のクラック発生範囲を特定し、補修・補強対策工選定の判断材料とする。

#### ② 着岩状況の確認

ボーリングの実施により、躯体と基礎岩盤の着岩状況及び岩盤内のクラック状況を確認し、補修・補強対策工選定の判断材料とする。ボーリング削孔後、ボアホールカメラにて着岩面及び基礎岩盤のクラックを確認する。写真一九にボアホールカメラによる基礎地盤調査状況を示す。

### (5) 透水試験

洪水吐き流入部で実施済のコンソリデーショングラウチングに損傷（機能低下）が生じている可能性があるため、透水試験によりルジオン値を確認しコンソリデーショングラウチング施工時と比較することで健全性を確認する。また、流入部では基礎排水孔の損傷状況についても確認する。調査は、未施工ブロックの基礎排水から着色水を通水し、既施工ブロックの基礎排水（水抜き工）からの通水状況を確認する。写真一十に透水試験状況、写真一十一に基礎排水調査状況を示す。



写真一五 衝撃弾性波試験測定状況



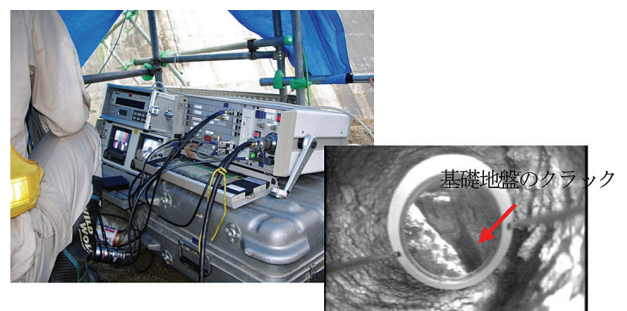
写真一六 止水板調査状況



写真一七 加圧注入による止水板調査状況



写真一八 加圧注入によるクラックの貫通確認状況



写真一九 ボアホールカメラによる基礎地盤調査状況

(6) その他

① 既設鉄筋引張試験

減勢部の半重力式タイプの導流壁では、鉄筋コンクリート断面にクラックが発生しており、クラック表面の剥離により鉄筋の露出が認められる箇所も存在する。このような断面では補修・復旧対策の基礎資料とするために既設鉄筋の健全性を確認する必要がある、その手段として切断採取した鉄筋の引張試験を実施した。鉄筋試料採取状況を写真-12に示す。

② クラック一面せん断試験

シュート部の重力式タイプの導流壁では、無筋コンクリート断面に躯体クラックが発生しており、滑動安定性(せん断抵抗力)が低下している。このような断面では補修・復旧対策の基礎資料とするためにクラック貫通部の摩擦係数を確認する必要がある、その手段として一面せん断試験を実施した。

一面せん断試験に用いた装置は、水平方向にせん断力を加えられる反力フレームを使用し、既存の圧縮強度試験機内に設置して試験を実施した。図-6に一面せん断試験測定方法の概要を示す。

(7) 引張軟化試験

動的解析実施時のパラメータ設定の参考資料とするために、同じ原石山骨材を使用したコンクリート供試体を作成し、引張軟化曲線試験を実施した。コンクリートの破壊エネルギーを調べるために3点曲げ試験を実施し、試験より得られた荷重-ひび割れ肩口開口変位曲線をもとに解析作業を実施した。

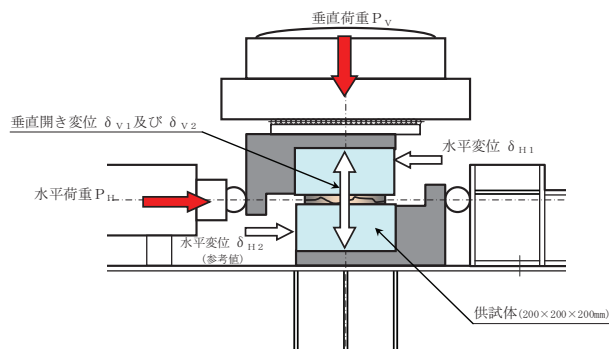


図-6 一面せん断試験測定方法の概要

§5. おわりに

洪水吐き打設工事及び被災復旧対策の実施概要は、図-7に示すとおりである。洪水吐きの復旧対策工事はH21年度で完了した。

本稿では、震災による大規模コンクリート構造物の被災復旧基本方針および被災調査について述べたが、胆沢ダム洪水吐きは、震災時竣工をしていない構造物であったことから、既施工ブロック・施工途中ブロックの両方について調査・評価を行った。よって今後同程度の被災を受けた際のコンクリート構造物の調査・復旧について



写真-10 透水試験状況



写真-11 基礎排水調査状況(着色水による通水試験)



写真-12 鉄筋試料採取状況

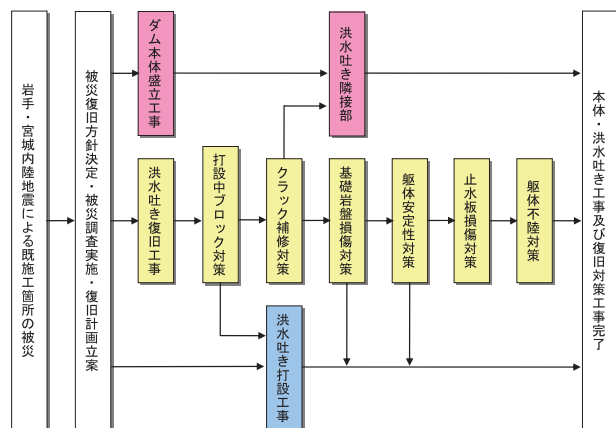


図-7 洪水吐き打設工事及び被災復旧対策の実施概要

の基礎となりうる意義のあるものであると考える。

最後に、ご指導、ご協力いただいた各位に深くお礼を申し上げます。