

施工中に二度の大規模地震動を受けた胆沢ダム安全性 Safety of the Isawa Dam affected by a total of two large-scale seismic excitations under construction

大木 洋平*

Yohei Ohki

要 約

胆沢ダムは、岩手県南部の奥州市胆沢区に位置する日本最大級のロックフィルダムである。平成25年度完成を目指し現在鋭意施工中である。当ダムは平成20年6月14日に岩手・宮城内陸地震、平成23年3月11日には東北地方太平洋沖地震と施工中に2度巨大地震の影響を受けた。余震も含めると建設中に3度も震度6クラスの地震に遭遇したダムは過去に例がない。発注者である国土交通省では現在、政策研究大学院大学、(独)土木研究所、(財)水資源協会から有識者を招き、地震の影響評価とダムの長期安全性を確認するため委員会を設立している。

本報文では、2度の巨大地震が建設中の胆沢ダムに与えた影響とそれを踏まえた胆沢ダムの安全性について纏めたものである。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 胆沢ダムが受けた地震動
- §3. 地震による主な被災状況と復旧・補修
- §4. 胆沢ダムの長期安全性評価
- §5. おわりに

§1. はじめに

胆沢ダムは、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^3 を有するロックフィルダム工事である。

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。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1～2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24年3月30日
 河 川 名：1級河川 北上川水系 胆沢川
 ダム諸元：堤高：132.0 m、堤頂長：723.0 m、堤体積：1,350万 m^3 、洪水吐きコンクリート：246,350 m^3 、取水放流設備コンクリート：23,890 m^3 、取水放流管 ϕ 4 m円形多段式斜



写真一 胆沢ダム航空写真（H23.11.1撮影）

樋ゲート

現在の主な工事内容は、取水放流設備工事、上流地山対策工事、基礎処理工事（別途工事）、発電所工事（別途工事）等となっている。写真一に平成23年11月現在の胆沢ダム全景を示す。

§2. 胆沢ダムが受けた地震動

2-1 岩手・宮城内陸地震（直下型地震）

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－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。震源地は岩手県内陸南部 北緯39°01.7′ 東経140°52.8′で胆沢ダムから直線距離で9.3 kmであっ

* 東北（支）胆沢ダム（出）

た。図一に震源と胆沢ダムの位置図を示す。胆沢ダム約2 km 上流の石淵ダム地震計で観測した最大加速度は、表一に示すとおり最大で2,097 galであった。

2-2 東北地方太平洋沖地震（海溝型地震）

平成23年3月11日14時46分、東北地方の太平洋沖で、M9.0の大地震が発生した。震源は北緯38°06.2′、東経142°51.6′で震源の深さ24 kmである。胆沢ダムから震源までは直線距離で約200 kmである。図一に震源と胆沢ダムの位置図を示す。発震機構は西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型である。

石淵ダムおよび胆沢ダム管理庁舎・監査廊に設置された地震計で計測した最大加速度を表一に示す。東北地方太平洋沖地震で観測された加速度は、石淵ダム天端でやや大きな値を示すものの、平均すると岩手・宮城内陸地震時の加速度の10分の1程度であることがわかる。

§3. 地震による主な被災状況と復旧および補修

3-1 岩手宮城内陸地震による被害

(1) ダム堤体

地震時の堤体コア盛立標高はEL=310.8~316.5 mで、右岸側盛立高さ80 m、左岸側盛立高さ53 m、盛立面での上下流延長は230 m程度であった。堤体の被災状況は以下のとおりである。

- ①コア、フィルタ境界沿い、ダム軸平行な亀裂群。
- ②コアの沈下（最大45 cm）とそれに伴うフィルタの沈下。クラック到達深度は、コア10~50 cm、フィルタ80~240 cm。
- ③コアゾーンのダム軸平行な亀裂。
- ④盛立面縦断変化点におけるダム軸を横断する亀裂がコア内に発生。
- ⑤着岩部付近の監査廊を中心とした円弧状の亀裂。
- ⑥埋設計器ガイドパイプを中心とした同心円状の亀裂。

(2) 洪水吐き

震災時、洪水吐きコンクリートの進捗は全体打設量の約60%の進捗である。洪水吐きの被災状況は以下のとおりである。

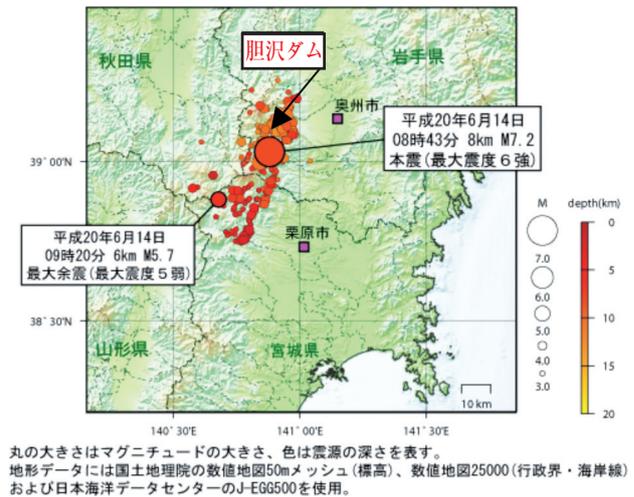
- ①躯体ジョイント部において 段差・ズレ 5箇所、ブロック全体の滑動 1箇所。
- ②止水板の損傷 7箇所
- ③躯体クラック 床版 14 BL、非貫通クラック 13 BL、貫通クラック 10 BL。
- ④掘削面の損傷 セパレートウォール右岸側基礎岩盤、減勢部背面3 BL、副ダム右岸側法面。

特に、ブロック全体が滑動したL24 BLであるが、斜面下部のL25 BL躯体コンクリートが左岸側沢部の法面工の影響で構築できていなかったことが被害を大きくした原因と考えられる。

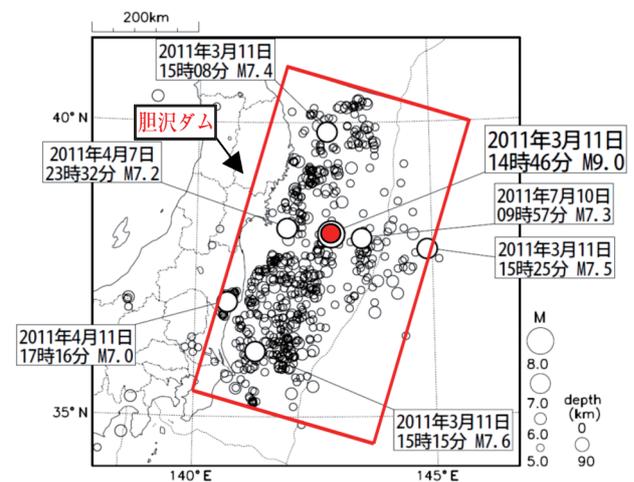
表一 石淵ダムと胆沢ダム地震計観測データ

地震	観測位置	観測方向	最大観測値 (gal)	
岩手宮城内陸	石淵ダム	天端	X	1,460.7
			Y	934.3
			Z	2,069.9
		段丘部	X	1,382.3
			Y	2,097.1
			Z	1,748.3
東北地方太平洋沖	石淵ダム	天端	X	607.1
			Y	220.2
			Z	204.6
		段丘部	X	183.8
			Y	136.9
			Z	78.0
	胆沢ダム	管理庁舎	X	113.0
			Y	137.6
			Z	84.3
		監査廊	X	71.0
			Y	93.4
			Z	47.7

震央分布図（平成20年6月14日以降、深さ0~20km、M≥3.0）



図一 岩手宮城内陸地震震源地と胆沢ダム



※出典 気象庁HP 気象統計情報 「余震活動の領域について」より

図二 東北地方太平洋沖地震震源地と胆沢ダム

(3) 監査廊

- ①監査廊コンクリート表面にクラック、クラックや欠けは微小なものが多かった。
- ②監査廊ジョイント天端に泥跳ねが見られた。泥の成分分析の結果、コア着岩材ではなくグラウチング時の削孔スライムと同等の成分であることが判明した。

(4) 基礎処理工

堤体ブランケットグラウチング、洪水吐きコンソリデーショングラウチングとも、透水試験の結果、改良目標値を大きく上回る孔はなかった。カーテングラウチングは震災当時河床部の施工を開始し始めた状況であり変状はなかった。

(5) 取水放流設備

平成 20 年の地震時に、取水放流設備工は基礎掘削が完了し、法面保護工の施工中であった。躯体コンクリート工は未着工であった。

- ①取水放流設備上部地山の表層崩壊・亀裂・弛みの発生
- ②取水放流設備法面保護工 法枠の亀裂
- ③右岸連絡トンネルの覆工損傷、トンネル断面の変形、インバートに段差が発生。

(6) その他

堤体左岸の f4 断層処理工ジョイント部に設置していた継目計、間隙水圧計のケーブルが断線した。また、ダムサイト周辺地山の表層崩落が多数発生している。

3-2 岩手宮城内陸地震被害の復旧

(1) ダム堤体

堤体クラック到達深度を網羅する範囲のコア・フィルタを掘削除去し、再盛立を実施した。除去した材料は原則再利用を行った。掘削除去底面において原位置密度・透水試験を実施し品質確認を行った。

(2) 洪水吐き

既設のコンクリートを可能な限り残すことを基本方針とした。しかし、明らかに変状しそのまま補修・補強することが不適当なものは撤去し再構築した。

撤去再構築したブロックは①、②の 2 ブロック、補修・補強については③～⑦のとおり実施した。

- ①滑動したシュート部の L 24 BL。
- ②貫通クラックが発生しクラックを境にズレを生じた R 30 BL のクラックより上部。
- ③非貫通クラックは、注入により補修
- ④貫通クラックは、鉄筋または H 鋼によりせん断補強を実施しクラックには注入を行った。
- ⑤止水板損傷箇所は、深さ 30 cm はつり取り止水板の再設置を行った。湛水池内の盛立で埋設される部分はさらに外付止水板を設置した。
- ⑥欠けや段差は、補修および擦付けを行った。ジョイントの開きや地山との境界の空隙にはモルタルまたはセメントミルクを充填した。



写真-2 東北地方太平洋沖地震直前の洪水吐き全景
(平成 23 年 2 月 24 日 撮影)

- ⑦セパレートウォール部右岸側の岩盤亀裂は、掘削除去が困難なため補強グラウチングを行った。減勢部などの小規模な地山亀裂は、弛みを掘削除去した。洪水吐きの被災調査、被災状況、復旧方法の詳細については技報 33 号、34 号に記載している。

(3) 監査廊

監査廊については、コンクリート表面の小さな欠け・剥離などをモルタル等で補修した。その他、ジョイントの開きを継続して観察することとした。

(4) 基礎処理工

カーテングラウチングは、施工の過程で状況を確認していく方針とし、最終的にチェック孔により確認する。

(5) 取水放流設備

胆沢ダムの取水放流設備は右岸上流側急峻な地山の下部に位置する。湛水開始後に地山の崩落があると取水放流設備が損傷する。そこで、取水放流設備上部地山対策工を検討するためボーリング調査を行い、地山の弛みを表-2 のように分類した。

強ゆるみはできるだけ掘削除去する。除去しきれない強ゆるみは法枠とアンカーによる対策工を実施する。中ゆるみは、弛みの進行を法枠・ロックボルトにより変位を抑制し監視をする。弱ゆるみ・健全部は無対策とする。

以上から取水放流設備上部法面は約 33 万 m³ の掘削を行うこととした。また、損傷した法枠等は補修を行う。

右岸リムトンネルから取水放流設備に通じる右岸連絡トンネルは、ロックボルトによる補強を行い、覆工は再構築する方針である。

(6) その他

f4 断層処理工については、ボーリングシボアホールカメラによる調査を実施した。地山内部での亀裂の幅は最大で 14 mm であり、調査ボーリング孔を利用してセメントミルクの充填を行う予定である。

3-3 東北地方太平洋沖地震による被害および補修

(1) 堤体・天端

平成 23 年 3 月 11 日時点で、堤体盛立は完了している。地震後点検の結果、異常は見られなかった。参考までに、平成 22 年 12 月 11 日から平成 23 年 5 月 12 日までの約 5 ヶ月間の堤体平均沈下量が 9.7 cm、堤体 3 測線における最上部の層別沈下計の平均沈下量が 5.4 cm である。

(2) 洪水吐き

東北地方太平洋沖地震後の洪水吐きについては、コンクリート材令の違いから弱部となり易い岩手・宮城内陸地震での補修箇所を健全性確認に特に留意した点検を実施した。

平成 23 年 3 月 11 日時点で、洪水吐きコンクリートは減勢部 R 28 BL の壁部以外は完了している。地震後点検の結果、損傷箇所を図-3, 4 に示す。損傷のほとんどが小さな欠けやクラックである。比較的大きな損傷の一部を写真-3, 4 で示す。全体として以下に示すような軽微な損傷にとどまっている。

- ① ジョイント部の欠け・クラック
- ② シュート部床版のクラック・基礎排水工からの湧水
- ③ 岩手宮城内陸地震後の補修箇所の浮き
- ④ 岩盤変位計測値 2.5 mm 程度の副ダム部の沈下

欠けやクラック、浮きについては、岩手宮城内陸地震の補修方針に則り実施した。湧水の確認されたシュート部のクラック発生箇所については、クラックが止水板下部までつながっていた。そのため亀裂のなくなる深さまでコンクリートを除去し、湧水処理後コンクリート再打設を行った(写真-4, 5)。副ダム部については段差補修およびクラック補修を実施した。

(3) 監査廊

地震後監査廊内のクラック幅・延長、ジョイントの開きについては異常はなかった。

(4) 取水放流設備

地震時、躯体は、置換コンクリート・躯体コンクリート合わせて 4,570 m³ 打設完了(全体 23,890 m³ の約 20%)していた。現場は、冬季休止状況にあり、基礎岩盤の亀裂注入補強グラウチングを施工中であった。(写真-6 左側)

- ① コンクリート、地山、法面保護工とも被害はない
- ② アンカー工については、全数リフトオフ試験を実施した。F20UA タイプ 71 本、F40UA タイプ 69 本はいずれも設計アンカー力の 80% 以上の残存緊張力があり健全と判断した。F100UA タイプでは 68 本中 64 本が残存緊張力 80% 以上で健全であり、4 本が 50~80% で不健全となった。不健全となったものは再緊張により定着を行った。これらについては、今後経過を観察する。

表-2 取水放流設備上部地山ゆるみ区分

ゆるみ区分	特徴
強ゆるみ	ほとんどの割れ目が開口し、数cm~数10cm程度の岩片に分離、回転を伴う。
中ゆるみ	比較的多くの割れ目が数mm以下の開口。
弱ゆるみ	大部分の割れ目は密着、まれに数mm以下の開口。
健全部	開口割れ目をほとんど含まない。

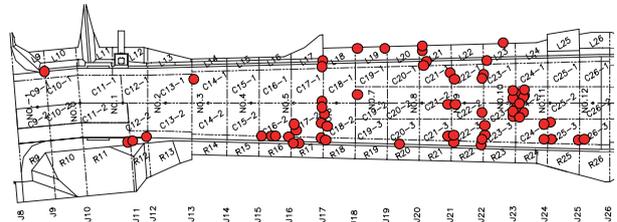


図-3 東北地方太平洋沖地震 洪水吐き被災調査結果 (流入部・シュート部)

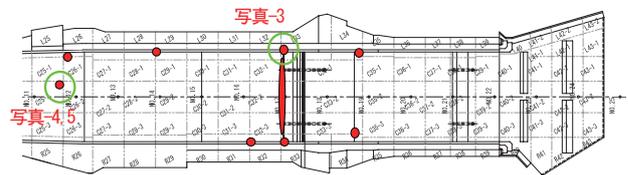


図-4 東北地方太平洋沖地震 洪水吐き被災調査結果 (シュート部・減勢部)



写真-3 洪水吐き L33BL (J32) 天端のクラック (チョークでハッチングした部分が浮いている。)

§ 4. 胆沢ダムの長期安全性評価

(1) 委員会の設置

胆沢ダムは、施工中に二度の巨大地震動を受けたという特殊なダムであり、その安全性を適切に評価するため、国土交通省胆沢ダム工事事務所は有識者による委員会を組織している。この委員会の設立趣旨を以下に引用する。

「現在胆沢ダムを建設中の奥州市では、東北地方太平洋沖地震(平成 23 年 3 月 11 日発生)及びその余震(平成 23 年 4 月 7 日発生)において、それぞれ震度 6 弱の震度

が観測された。

また、岩手・宮城内陸地震（平成 20 年 6 月 14 日発生）においても震度 6 強が観測されている。

（中略）

こうした経緯等に鑑み、平成 26 年から予定しているダムの本格運用に万全を期すため、有識者からなる委員会を設立し、岩手・宮城内陸地震被災後に再施工した箇所を含む本ダム全体を対象に、東北地方太平洋沖地震およびその余震後の安全性を点検するものである。」

胆沢ダム長期安全性点検委員会は、平成 23 年 5 月 14 日に第 1 回、8 月 3 日に第 2 回を開催している。今後、試験湛水開始までに第 3～4 回を、試験湛水完了後に第 5 回を開催する予定である。

(2) レベル 2 地震動に対するダムの安全性照査方法

ダムの安全性についてレベル 2 地震動の評価方法として、国土交通省では指針「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案）・同解説」（平成 17 年）を発行している。ここでレベル 2 地震動に対して確保すべき耐震性能と合理的な照査方法を示している。

指針では、ダムにおける耐震性能を次のように定義している。

- ①貯水機能が維持されること。
- ②生じた損傷が修復可能な範囲にとどまること。

照査手順は以下のようになる。

- a. 照査に用いるレベル 2 地震動の選定
- b. ダム本体の耐震性能照査。

ダム本体とはダムの堤体および堤体と接する基礎岩盤をいう。ダム本体を、

- ・コンクリートダム（重力式、アーチ式）
- ・フィルダム

に分けてその地震応答解析の方法およびその解析結果を踏まえた評価方法を示している。

- c. 関連構造物等の耐震性能照査。

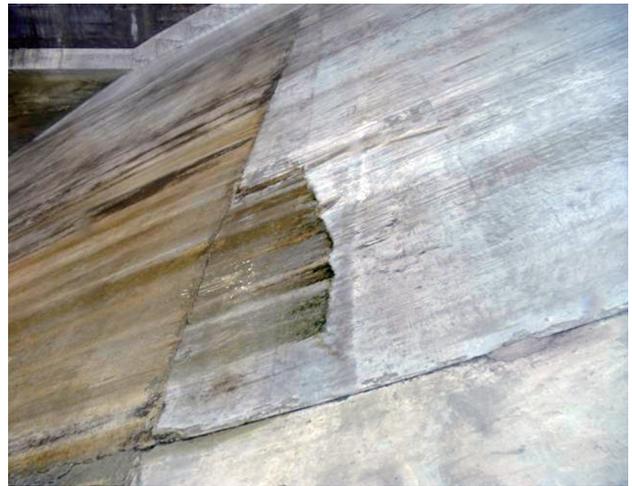
関連構造物等とは、ダム本体またはその周辺に設置され、ダムの機能を担う各種の構造物や設備でダム本体に含まれないものをいう。

当社が胆沢ダムで施工している洪水吐きや取水塔は関連構造物等に属する。特に洪水吐きは「堤体との接合部等の損傷により、ダム本体の貯水機能を維持する上で問題となる損傷を生じるおそれがないことを確認する必要がある」とされている。

(3) 胆沢ダムのレベル 2 地震動に対する安全性再検証と長期安全性

フィルダム本体の耐震性能照査について、指針によれば以下の手順により実施する。

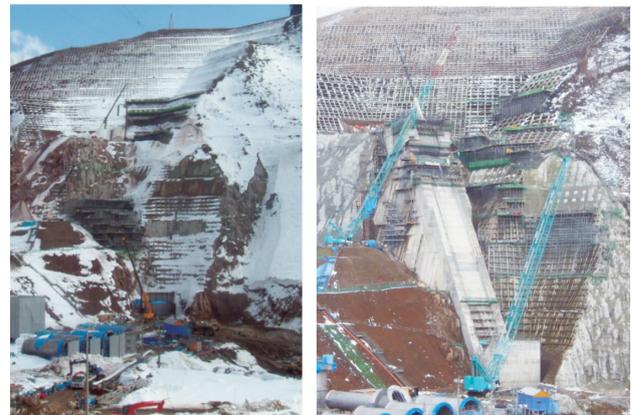
- 【1】等価線形化法等による動的解析を行い、地震時に滑り破壊が生じないと判断される場合は、ダム本体の損傷が生じるおそれはないため、所要の耐震性能は確保されていると判断する。
- 【2】上記【1】における等価線形化法等による動的解析



写真一四 洪水吐き C-25-2BL (J25)
クラックおよび湧水 (左岸側より撮影)



写真一五 洪水吐き C-25-2BL (J25) クラックはつり取り後の状況
(右岸側より撮影)



写真一六 左：地震直前の取水放流設備 (H23. 2)
右：現在の取水放流設備全景 (H23.12)

の結果、ダム本体の損傷が生じるおそれがある場合には、さらに【1】による解析結果を用いた塑性

変形解析により地震によるすべり等の変形を推定する。その結果、変形に伴う沈下が貯水の越流を生じるおそれがないほどに小さく、かつ地震後において浸透破壊を生じるおそれがない場合には、ダムの貯水機能は維持されるとしてよく、かつ修復可能な範囲にとどまる場合には所要の耐震性能は確保されるとしてよい。

胆沢ダム本体については、【1】の手順に該当する検討を（独）土木研究所で行っている。現時点での検討結果概要を以下①に示すが、本体のすべりは発生しないとされている。

①ダム本体について

- a. 石淵ダム段丘部における加速度波形記録から、土木研究所が推定した石淵ダムの基礎岩盤における加速度波形を入力地震動として、実際の堤体盛立材料物性値を用いて累積損傷解析を実施した。
- b. 盛立途上に岩手・宮城内陸地震を受けた際の再現解析を行った結果、実際の沈下量とよく一致した。
- c. ダム完成後に岩手・宮城内陸地震を受けた場合についても解析を行った結果、以前、土木研究所が実施したL2耐震性能照査（北上低地西縁断層帯）の解析結果とほぼ同様の結果で、すべりは発生せず、沈下量が60cm程度となった。
- d. 今後の調査計画
関連構造物（緊急水位低下放流設備）の耐震性能照査の実施。

②関連構造物等について

- 関連構造物については、耐震性能照査は今後の作業となる。現時点での現場状況を以下に示す。
- a. 洪水吐きの地震損傷箇所は全て補修している。
 - b. 洪水吐きセパレートウォール部については、止水板を二重化している。今後、岩手宮城内陸地震のような直下型地震によりジョイントが変位したとしても貯水機能が維持される対策を実施している。
 - c. 洪水吐き補修箇所は弱部となりやすいが、水位を低下させればセパレートウォール部以外は補修することが可能である。

③その他、ダムサイト周辺地山の滑り・崩落

- a. 取水放流設備上部について、平成20年の地震後にゆるみ部除去の約33万m³の掘削および法面保護工事を行っている。東北太平洋沖地震の際は、相対

的な変状はなく安定は保たれている。

- b. 貯水池内地すべり対策として石淵ダム上流に押え盛土を施工している。

胆沢ダムの二度の地震による影響を比較すると、平成20年の岩手宮城内陸地震では被害が大きく、平成23年3月の東北地方太平洋沖地震では被害は少ない。これは前者が直下型で地震時の加速度も大きかったことと、構造物が施工途中で安定した状態ではなかったことも影響している。現時点の検証では、ダムへの影響の大きい直下型地震動を受けても、ダムの耐震性能は確保できていると思われるが、万全を期するため、今後さらに委員会による検証を行う予定である。

§5. おわりに

胆沢ダムは多目的ダムであり、その目的は、①洪水調節、②河川環境の保全（維持用水の供給）、③農業用水の補給、④水道水の安定供給、⑤発電 となっている。胆沢平野の豊かな水利用に貢献するダムとなる。

ダムは我々の生活を守る重要な社会資本である。末永く維持することが重要である。長期的な安全性に対しては昨今の集中豪雨、頻発する巨大地震などを十分に配慮する。ダムのように供用まで長期にわたる工事の場合、施工途中におけるリスク評価を行った施工計画の立案が重要であり、ひいては構造物としての長期安全性の向上につなげられるものであると考える。

最後になりましたが、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。

参考文献

- 1) 国土交通省東北地方整備局 胆沢ダム工事事務所：胆沢ダム長期安全性点検委員会 第1回 2011年5月14日、第2回 2011年8月3日資料。
- 2) 国土交通省河川局：大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案）・同解説、平成17年3月。
- 3) 気象庁 HP <http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/index.html> 気象統計情報 / 地震・津波。
- 4) 太田宏通：2008年岩手・宮城内陸地震によるダム被害と復旧に関する調査報告（その1）、ダム日本、(財)日本ダム協会、No. 792, pp. 29-38, 2010年10月号。
- 5) 大内 斉：2008年岩手・宮城内陸地震によるダム被害と復旧に関する調査報告（その2）、ダム日本、(財)日本ダム協会、No. 794, pp. 33-42, 2010年12月号。