

6. ダム

6.1 はじめに

ダムについては、地震発生直後、基礎で最大加速度 25gal 以上を観測したダム、あるいは最寄りの気象官署で気象庁震度階が 4 以上である地震を観測したダムにあたる管理中の 110 ダム（国土交通省直轄 6 ダム、水資源機構 2 ダム、補助 34 ダム、利水 68 ダム）において、ダム管理者による臨時点検が行われた。二次点検までの結果として、川内ダム、柿崎川ダム、正善寺ダム以外については、特に異常は確認されなかった。上記 3 ダムについては、国土交通本省および新潟県からの要請により、国土技術政策総合研究所河川研究部水資源研究室および独立行政法人土木研究所水工研究グループダム構造物チームが地震翌日の 17 日に緊急現地調査を実施した。その後、震源近傍の補助ダムおよび利水ダムを中心に 3 回の現地調査を実施した。

本報では、現地調査したダムについての目視による調査結果や、観測計器の計測結果によるダムの挙動について報告する。また、ダムにおいて観測された地震動記録の概要についても報告する。

6.2 ダムの調査結果

6.2.1 調査概要

表-6.1 に現地調査を実施したダムの一覧を示す。また、図-6.1 に、それらの位置図を示す。

第 1 回目は国土交通本省及び新潟県からの要請により、地震発生翌日に、臨時点検の結果、変状が確認された川内ダム、漏水量の増加が顕著に確認された正善寺ダム、震源に近い補助ダムである柿崎川ダムの 3 ダムの緊急調査を実施した。第 2 回調査も国土交通本省及び新潟県からの要請により、川内ダムの被災状況の詳細調査を実施した。その後、第 3 回および第 4 回調査は、震源近傍のダムについて、地震時挙動を把握する目的で自主調査を実施した。以下に、各ダムについて調査結果を記す。

表-6.1 2007 年新潟県中越沖地震 現地調査ダム一覧

調査回	日時	調査ダム	ダム管理者
第1回	7月17日	川内ダム	柏崎市(ガス水道局)
		柿崎川ダム、正善寺ダム	新潟県(土木部)
第2回	7月25、26日	川内ダム、谷根ダム、赤岩ダム	柏崎市(ガス水道局)
第3回	8月1日	柿崎川ダム、笠堀ダム	新潟県(土木部)
第4回	9月5、6日	鯖石川ダム、城川ダム	新潟県(土木部)
		浅河原調整池、山本調整池、新山本調整池	JR東日本
		川西ダム、松葉沢ダム、坪山ダム、長福寺ダム	新潟県(農地部)

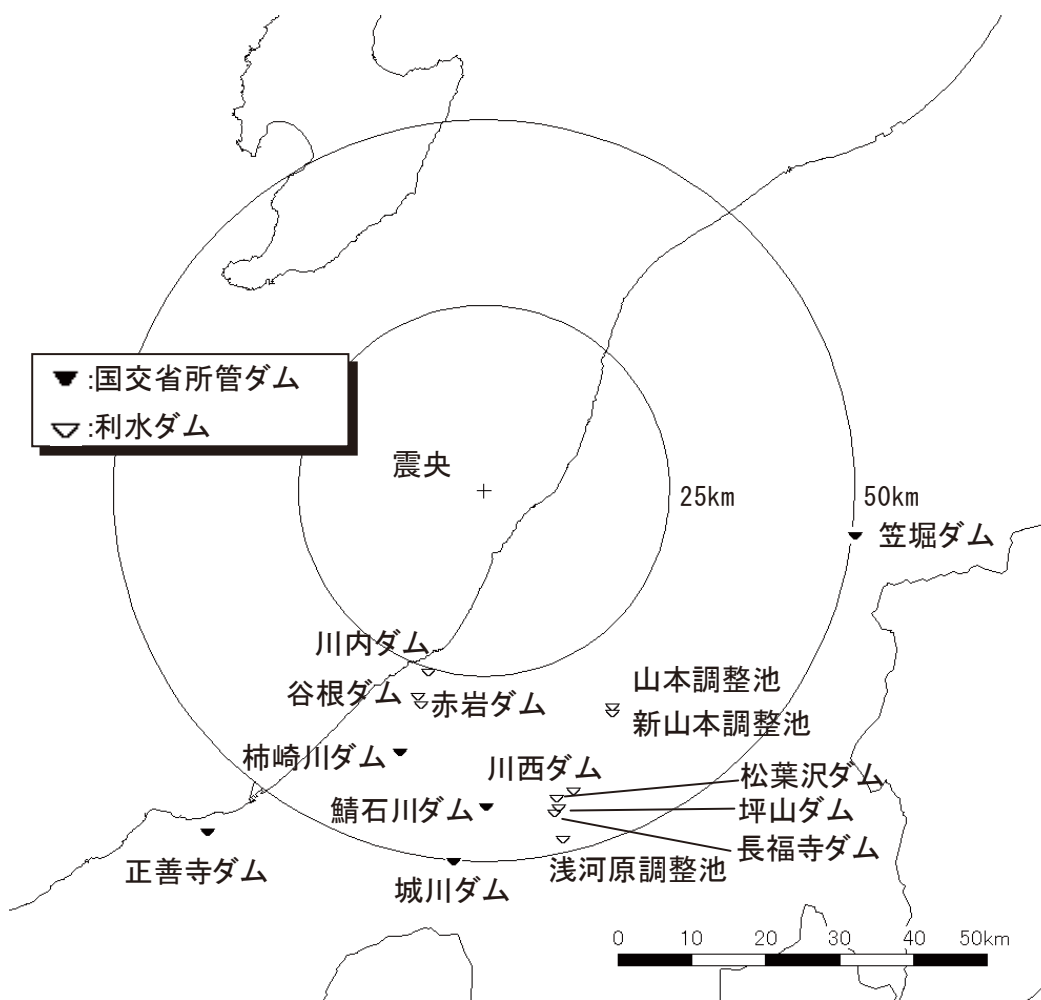


図-6.1 国総研・土研による現地調査ダムの位置図

6.2.2 国土交通省所管補助ダム

(1) 柿崎川ダム

国土交通省所管のダムで今回の新潟県中越沖地震の震源に最も近いダムは、新潟県管理の柿崎川ダムである。柿崎川ダムは、二級河川柿崎川上流に2003年に完成した、洪水調節、不特定用水、上水道用水を目的とした多目的ダムで、堤高54m、堤頂長424m、総貯水容量5,000,000m³、堤体積1,600,000m³の中央コア型のロックフィルダムである。柿崎川ダム堤体の標準断面図、縦断面図をそれぞれ図-6.2、図-6.3に、また、写真-6.1に下流から見た堤体を示す。なお、図中には、地震計の設置位置もあわせて示している。

当ダムは震央から約31kmに位置し、図-6.2に示すダム基礎（監査廊底部）の地震計で、上下流方向143gal、ダム軸方向170gal、鉛直方向76galの最大加速度を記録し、天端位置での地震計では、上下流方向275gal、ダム軸方向220gal、鉛直方向で114galの最大加速度を記録した。

時のデータで比較すると、36.40/min から 42.00/min に増加している。コア下流からの漏水量は6つにゾーニング (L1~L6) され、ゾーン毎に漏水量を計測しているが、堤体の最大断面を有するゾーン L4 以外は、それぞれ 40/min 以下の漏水量であり、地震前後でも顕著な変化はない。一方、ゾーン L4 は、地震直前の 10 時では、23.20/min であったものが、地震直後の 11 時では 27.60/min へと、4.40/min 増加した。一方、図-6.5 にもう少し長期間の漏水量の変化とその時刻の貯水位を示した。貯水位の変化による漏水量の変化に比べると、今回の地震での漏水量の変化は非常に小さく、また、地震発生 の 1 ヶ月後である 8 月中旬の状況を見ると地震前と変わらない状況に戻っていることが分かる。

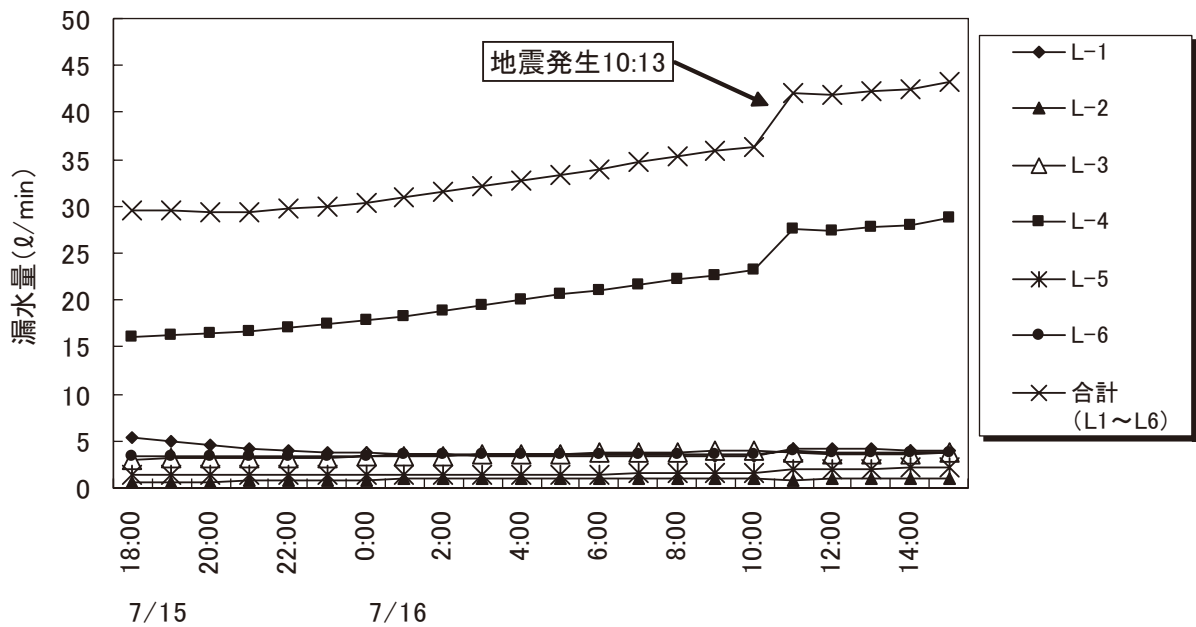


図-6.4 柿崎川ダムの漏水量 (コア下流浸透量)

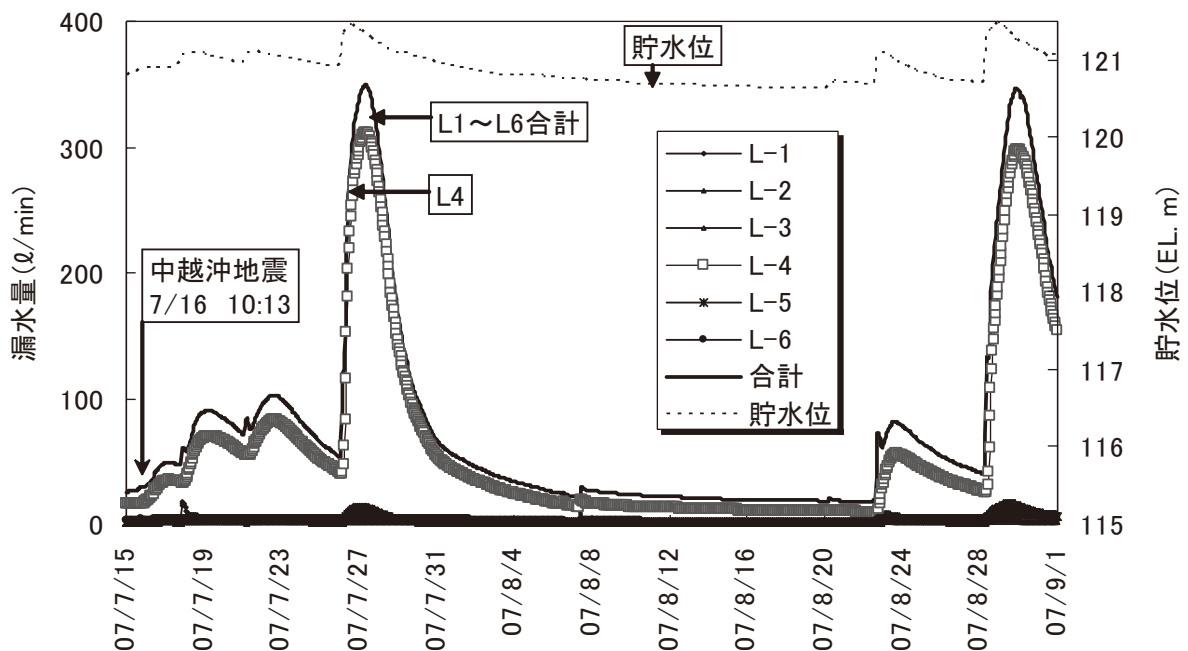


図-6.5 柿崎川ダムの漏水量と貯水位との関係

(b) 堤体変形

堤体の外部変形については、地震後直ちに実施された臨時点検のうち、2次点検の一環として標的測量が行われた。標的は、天端ダム軸上 (EL. +133m) に 15 点、上側流面中腹法面 (EL. +123m) に 13 点、下流側中腹法面に 2 測線 (EL. +123m、108m) に 18 点 (EL. +123m に 12 点、EL. +108m に 6 点) あり、地震直前の 7 月 2 日に測量が実施されており、その結果を地震前の状態として、地震後の記録を比較した。

図-6.6 に水平変位のベクトル図を示す。水平変位量は数 mm～約 30mm であり、下流側の EL. +123m 測線上の中央付近の標点 No. 13 では、左岸側に 26mm、下流側に 19mm の変位を観測した。水平方向の全体の挙動としては、概ね、下流側堤体法面側点が下流左岸側に、上流側堤体法面側点が上流左岸側へと変位を観測し、上下流方向を見ると、後述の沈下量の分布もふくめて考察すると、沈下しながら、上下流方向に若干広がった残留変形をしたことになる。また、ダム軸方向については、完成後からの水平方向の累積変位は、天端や上流側堤体法面では、最大断面である中央部を境として、中央部方向への変位を記録している。天端中央の歩道の縁石が浮き上がったのは、その影響であることが推察できる。

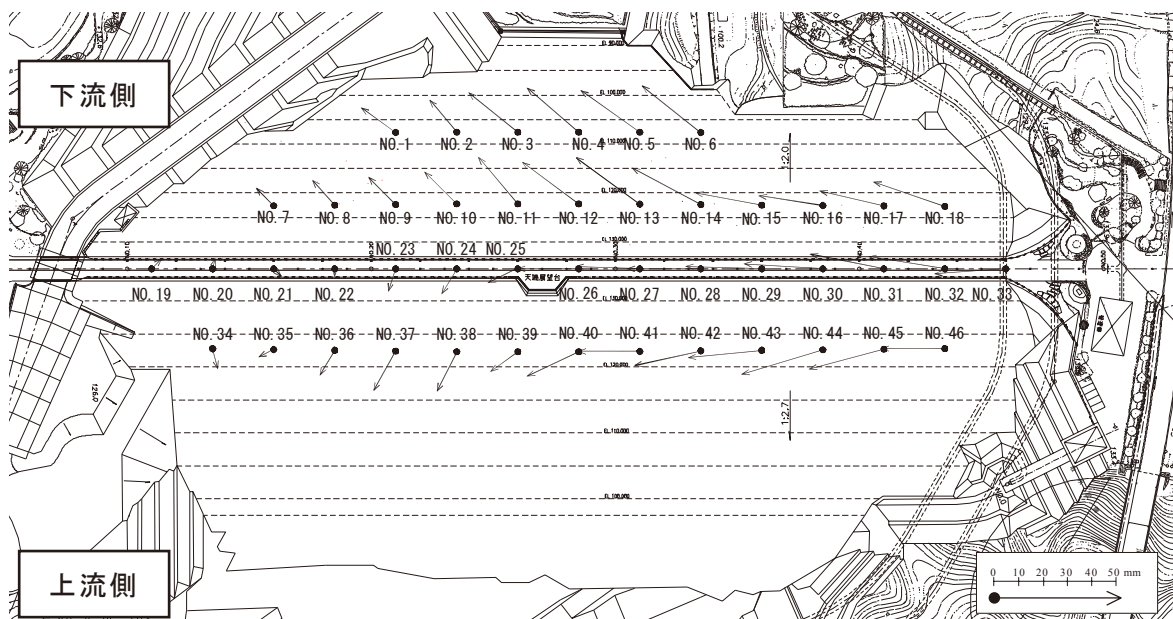


図-6.6 柿崎川ダムの地震前後での水平変位ベクトル図

図-6.7 に、天端の測点 15 点における沈下量のダム完成後からの推移を示す。今回の 2007 年新潟県中越沖地震によって、天端では数 mm～75mm の沈下が観測された。図から 2004 年新潟県中越地震 (M. 6.8) 時の柿崎川ダムの天端沈下量は最大でも 7mm 程度の沈下量の観測記録であったが、今回の地震では、天端中央で最大 75mm を観測した。国内外のフィルダムにおける過去の地震における地震動強さと天端沈下量の関係については 6.2.3 (1) の図-6.24 において、柿崎川ダムの事例も含めて示している。

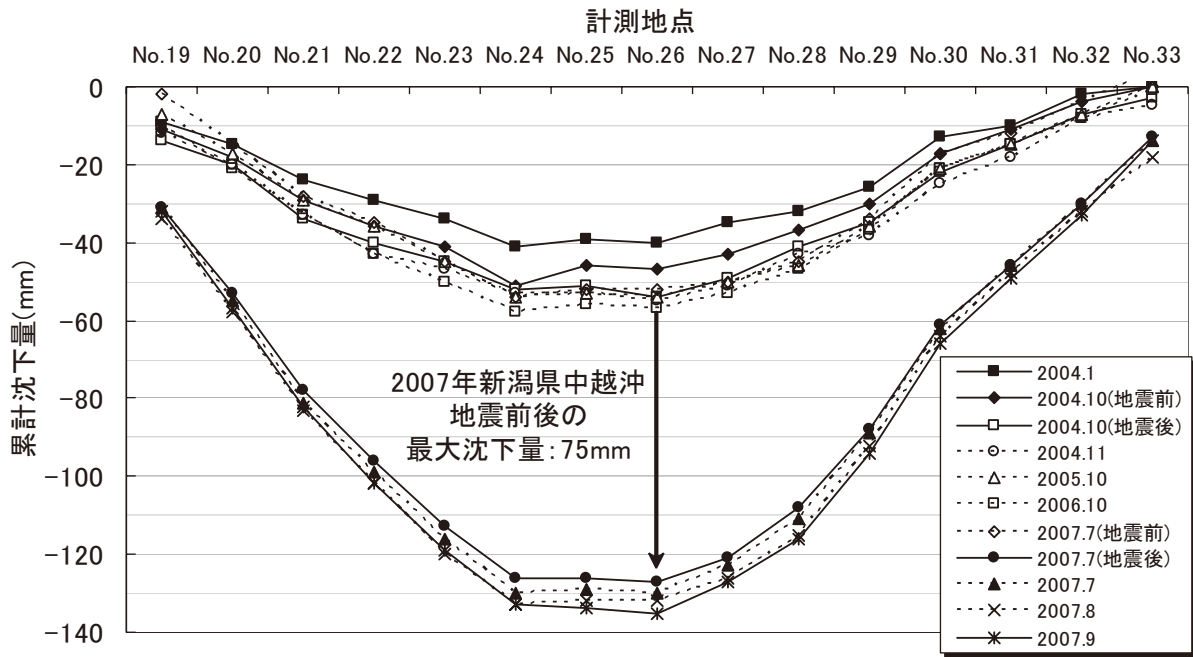


図-6.7 柿崎川ダムの堤体天端の累計沈下量の推移

(c) 監査廊ジョイントの開き

柿崎川ダムでは監査廊の全ジョイントの開きについて試験湛水時より継続観測を実施している。ジョイント 18 (J-18X) について、今回の地震直前の 7 月 16 日 10 時で 4.34mm であったものが、11 時の記録では 4.85mm になっていた。また同じ箇所の翌日 17 日 13 時の記録では、5.01mm となった。地震動によりジョイントの開きが増加したものと考えられる。

(2) 鯖石川ダム

鯖石川ダムは、二級河川鯖石川上流に 1974 年に完成した、洪水調節、不特定用水を目的とした新潟県が管理する多目的ダムで、堤高 37m、堤頂長 170m、総貯水容量 6,000,000m³、堤体積 87,500m³の重力式コンクリートダムである。鯖石川ダムの標準断面図を図-6.8 に示す。

地震時の加速度については、ダム基礎（監査廊底部）の地震計で、上下流方向 115gal、ダム軸方向 93gal、鉛直方向 70gal の最大加速度を記録し、天端での地震計で、上下流方向 129gal、ダム軸方向 104gal、鉛直方向で 84gal の最大加速度を記録した。天端の上下流方向の加速度応答がダム基礎に比べてあまり大きくない。これは、図-6.8 に示すように上流側フィレットが大きく断面形状が台形に近い形状であることも理由の一つと考えられる。

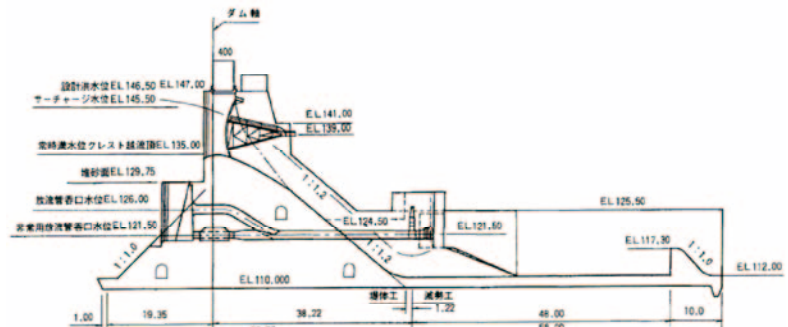


図-6.8 鯖石川ダム標準断面図

1) 目視観察結果

地震によるものと考えられるクラックなどの大きな変状は確認されなかった。監査廊内の継目では、左岸上段 (EL. +132m) 部の継目 J7 及び底部下流 (EL. +112m) 部の継目 J4 の遊離石灰が一部剥落しているのが確認された (写真-6.3)。



写真-6.3 鯖石川ダム監査廊内継目 J7 遊離石灰剥落状況

2) 堤体観測結果

(a) 漏水量

図-6.9 に、鯖石川ダムの 2007 年 6 月～11 月の漏水量（コンクリートダムでは、基礎排水孔からの排水量と横継目からの排水孔を通じて集水される継目排水量を計測している。これらを河川管理施設等構造令では「漏水量」と定義し、設計上でも考慮されているものである。）の変化を貯水位の変化と合わせて示している。地震前 7 月 16 日 0 時時点に 5.05 l/min であった漏水量が、地震後の 16 日 12 時には、8.62l/min に増加した。その後、同程度の漏水量で推移し、1 ヶ月後の 8 月下旬頃から若干の減少傾向であったが、9 月中旬に貯水位を下げるのに連動して漏水量も減少している。

一方、図-6.10 に、2004 年 9 月～2007 年 11 月までの長期間の漏水量の変化を示す。2004 年 10 月 23 日には、新潟県中越地震が発生し、その後漏水量が増加しており、2007 年 7 月 16 日の新潟県中越沖地震発生までに漏水量が漸減してきていたことが読み取れる。そこに、今回の地震で再び漏水量の増加が発生し、現在では再び漸減していると考えられる。現時点では、放流管の修繕工事の施工に伴い、貯水位を下げているため、常時満水位状態になった場合の漏水量が確認できないが、今後、再度貯水位を上げた際には、安全上の問

題となる程度のものではないものの、漏水量の変化と推移を確認する必要がある。

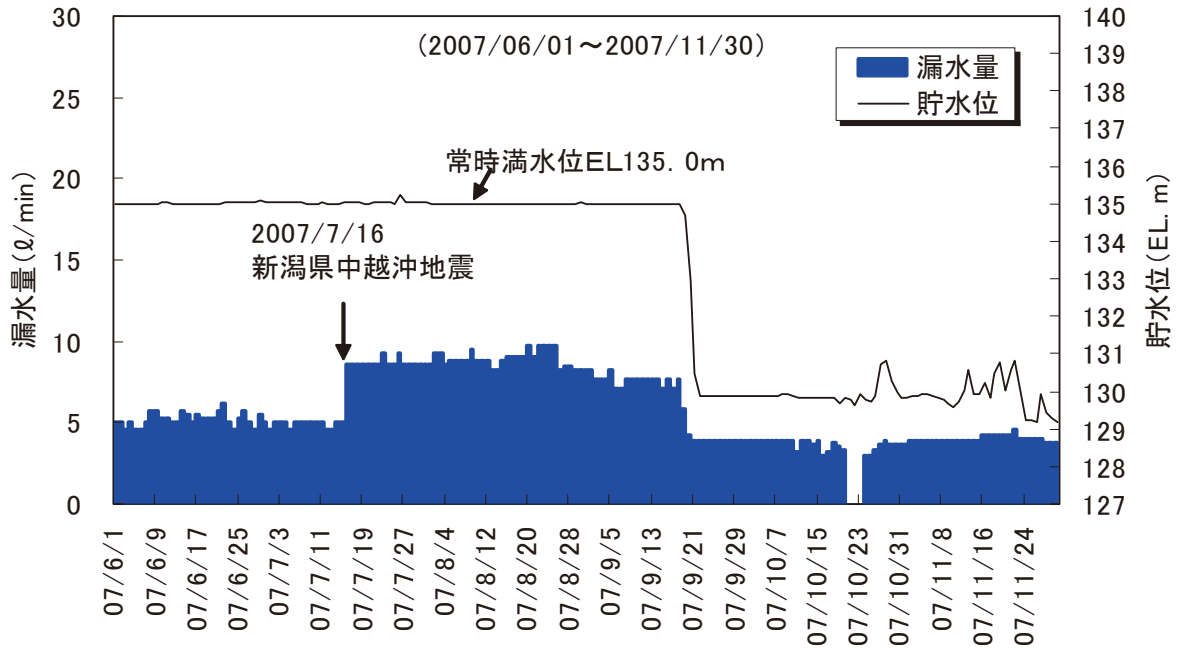


図-6.9 鯖石川ダム漏水量の推移（地震前後短期：2007年6月～11月）

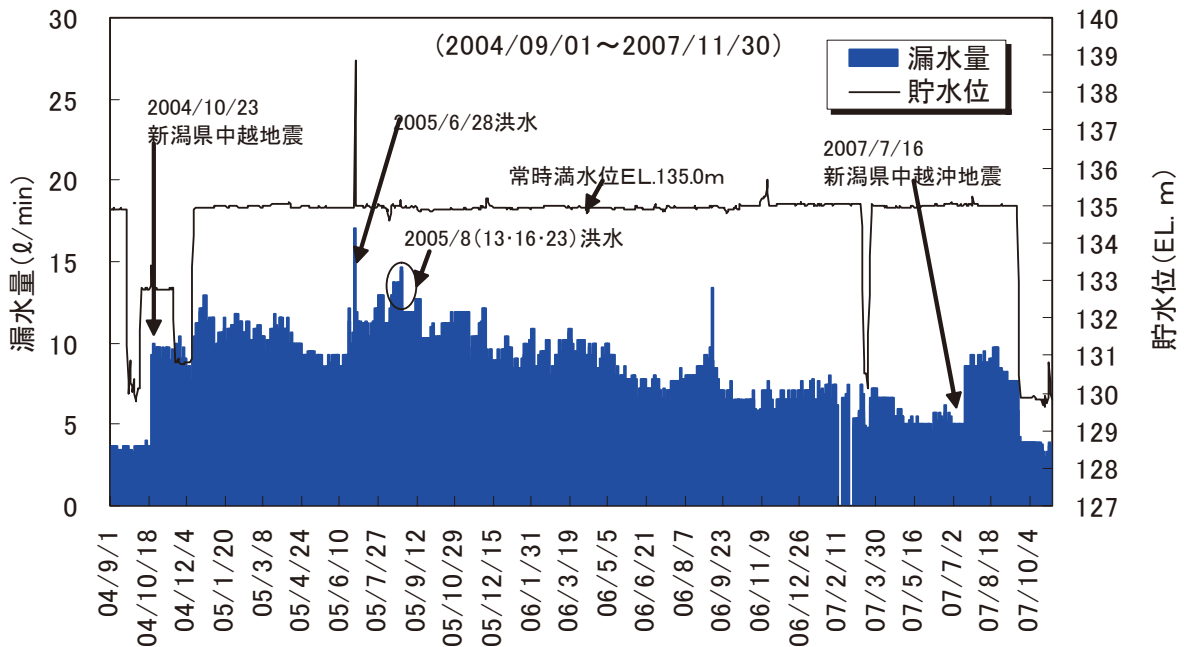


図-6.10 鯖石川ダム漏水量の推移（長期：2004年9月～2007年10月）

(b) 堤体変形、揚圧力

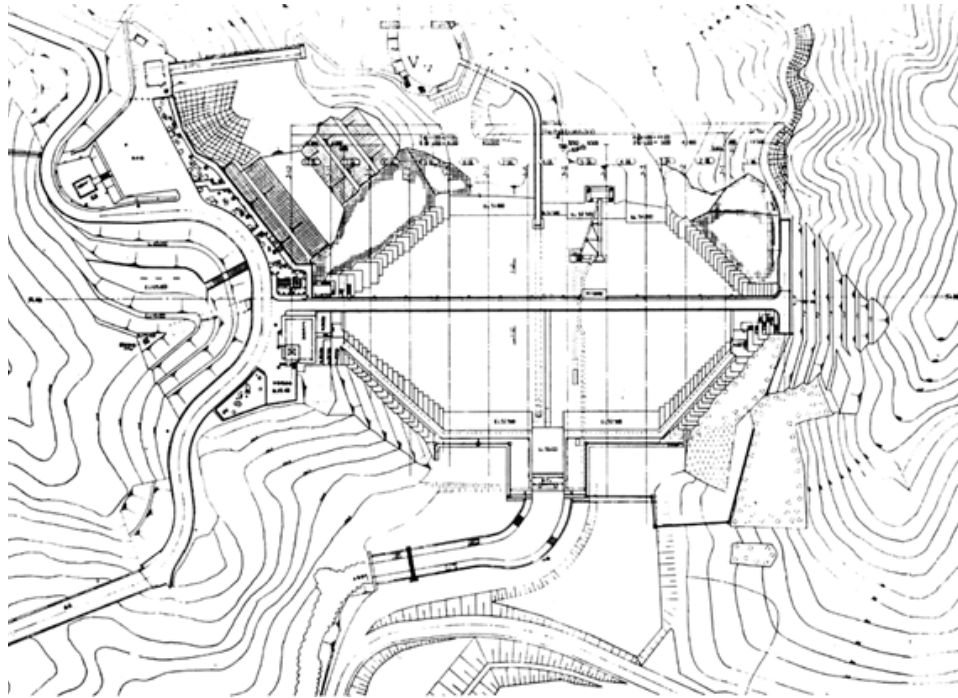
鯖石川ダムには、プラムラインは設置されていないが、逆プラムラインが最大断面の BL6 と左岸側の BL2 にそれぞれ設置されている。しかし、今回の地震の前後ではどちらの観測記録からも特に大きな変化は確認できなかった。

また、揚圧力に関しても、地震による大きな変動は確認されなかった。

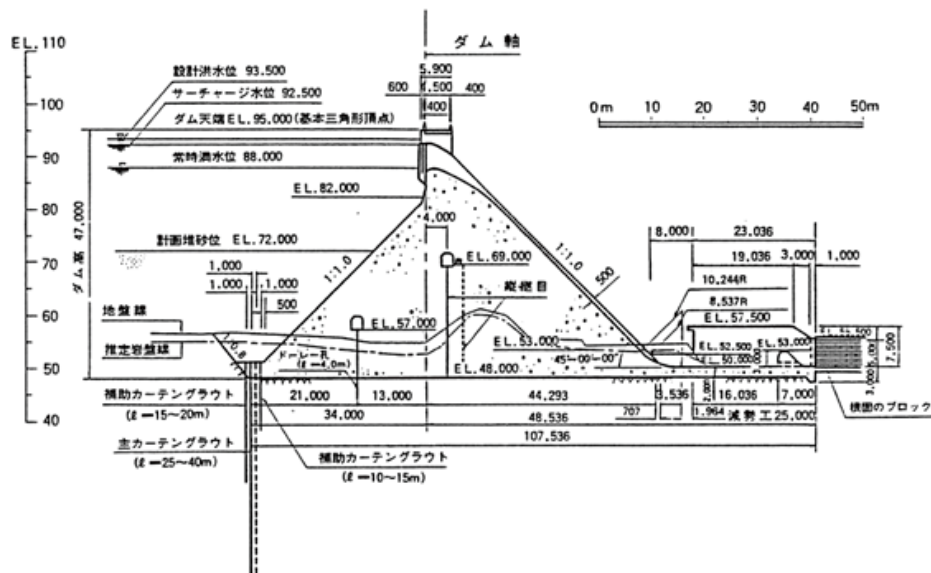
(3) 正善寺ダム

正善寺ダムは、関川水系正善寺川に 1984 年に完成した洪水調節、不特定用水、上水道用水を目的とした新潟県管理の多目的ダムであり、堤高 47m、堤頂長 187.5m、堤体積 203,000m³、総貯水容量 4,600,000m³の重力式コンクリートダムである。正善寺ダムの構造を図-6.11 に示す。鯖石川ダムと同様に、大規模なフィレットがある構造である。

地震時の加速度については、ダム基礎（監査廊底部）の地震計で、上下流方向 91gal、ダム軸方向 36gal、鉛直方向 30gal の最大加速度を記録し、天端での地震計では、上下流方向 98gal、ダム軸方向 40gal、鉛直方向で 30gal の最大加速度を記録している。



(a) 平面図



(b) 堤体標準断面図

図-6.11 正善寺ダムの構造

1) 目視観察結果

目視観察上、天端、上下流面に特に変状は観察されなかった。

2) 堤体観測結果

(a) 漏水量

正善寺ダムの漏水量（基礎排水量と継目漏水量）と貯水位の計測結果の推移を図-6.12 に示す。全漏水量は、地震前後で、4.68ℓ/min から 105.24ℓ/min へ急増しているが、左岸側の継目排水孔 J-1 からの漏水量がそのほとんどの量を占めている。図-6.13 に、堤体の継目位置を示した正善寺ダムの縦断図を示す。表-6.2 に地震発生前後の継目漏水量の計測結果を示す。ここに、継目排水孔 J-2 と J-2' は、いずれも横継目 2 (J-2) からの継目漏水を監査廊に排水する孔であるが、排水孔の出口位置が、J-2 は監査廊内の高標高部 (EL. 75.0m) で、J-2' は低標高部 (EL57.0m) である。地震発生後、継目排水孔 J-1 と J-2' からの漏水量が急激に増加した。特に J-1 は、2.8ℓ/min から 113ℓ/min と大幅に増加した (写真-6.4 参照)。また、管理所職員によると、計測時に J-1 排水では黒色系の濁り、J-2' 排水では茶色系の濁りが確認された。その後、7/16 日 18:00 の点検時にはいずれの排水孔からの排水に濁りはなかったことを確認している。

なお、過去に、2004 年新潟県中越地震後、2007 年能登半島地震後にも、継目排水孔 J-1 では、数 10ℓ/min 程度の漏水の急激な増加がみられ、その後、次第に減少したという経緯があった。2004 年新潟県中越地震の際には、図-6.14 に示すように、J-1 の漏水量は 22.5ℓ/min まで増加し、その後数ヶ月かかって減少し、元の量程度に回復した。2007 年能登半島地震の際には、図-6.15 に示すように、J-1 の漏水量は 16.1ℓ/min まで増加した。

今回の地震でも、図-6.12 に示すように、地震後に J-1 の継目漏水量は、減少傾向にある。しかし、貯水位も同時に減少したものであり、11 月中下旬に貯水位の上昇とともに、再度、漏水量は増加し、貯水位が同等となった 9 月中下旬の時の漏水量とほぼ同程度になっていることから、漏水量は貯水位と直接的に連動していることがわかる。今後とも、継続して計測監視していく必要がある。

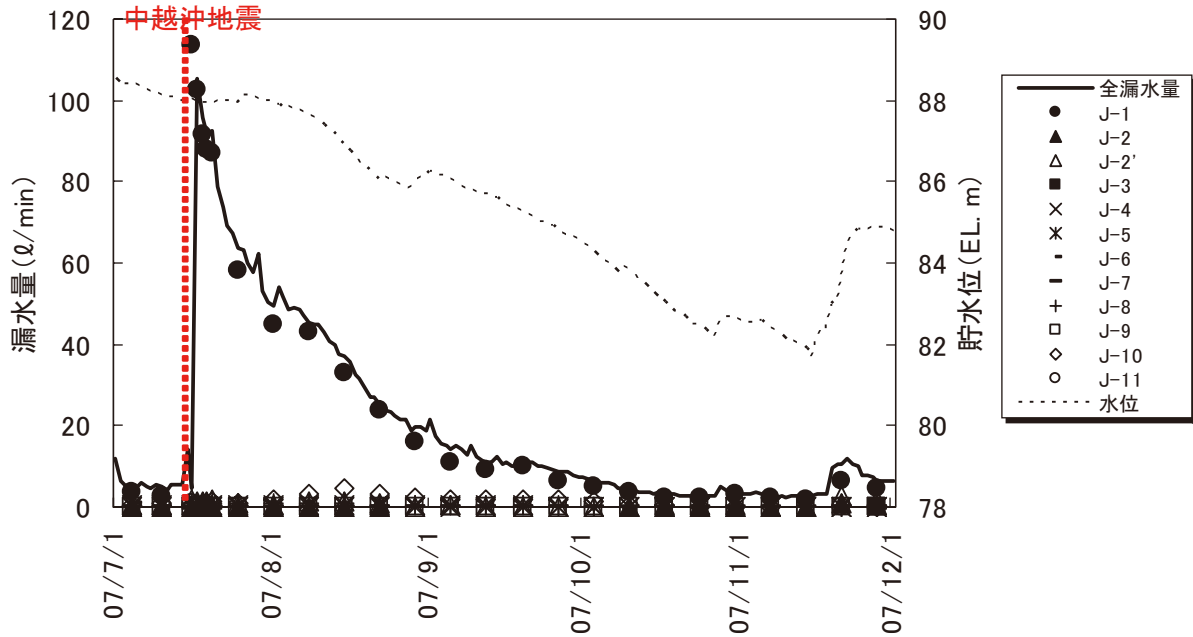


図-6.12 正善寺ダムの漏水量と貯水位の計測結果

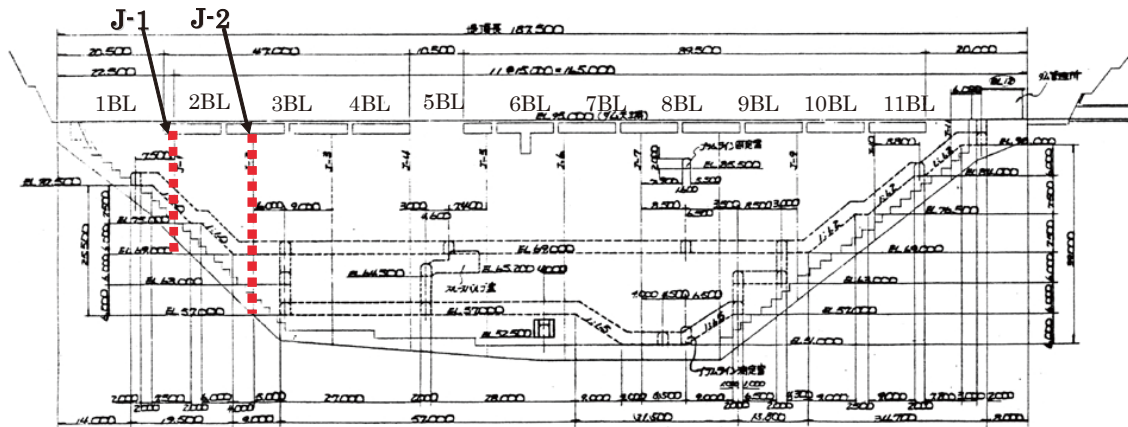


図-6.13 正善寺ダム縦断図

表-6.2 継目漏水量の変化 (正善寺ダム)

継目箇所と継目排水孔の排出口標高	継目漏水量計測結果		
	7/10	7/16(15:37 余震後)	7/17 (8:30)
J-1 (EL75.0m)	2.8ℓ/min	113ℓ/min (黒色系の濁り)	102ℓ/min (濁りなし)
J-2 (EL75.0m)	0.04ℓ/min	0.2ℓ/min	0.1ℓ/min
J-2' (EL57.0m)	0.54ℓ/min	1.72ℓ/min (茶色系の濁り)	1.54ℓ/min (濁りなし)

*地震時貯水位：EL. 88.0m



写真-6.4 継目排水孔 J-1 からの漏水 (2007 年 7 月 17 日撮影)

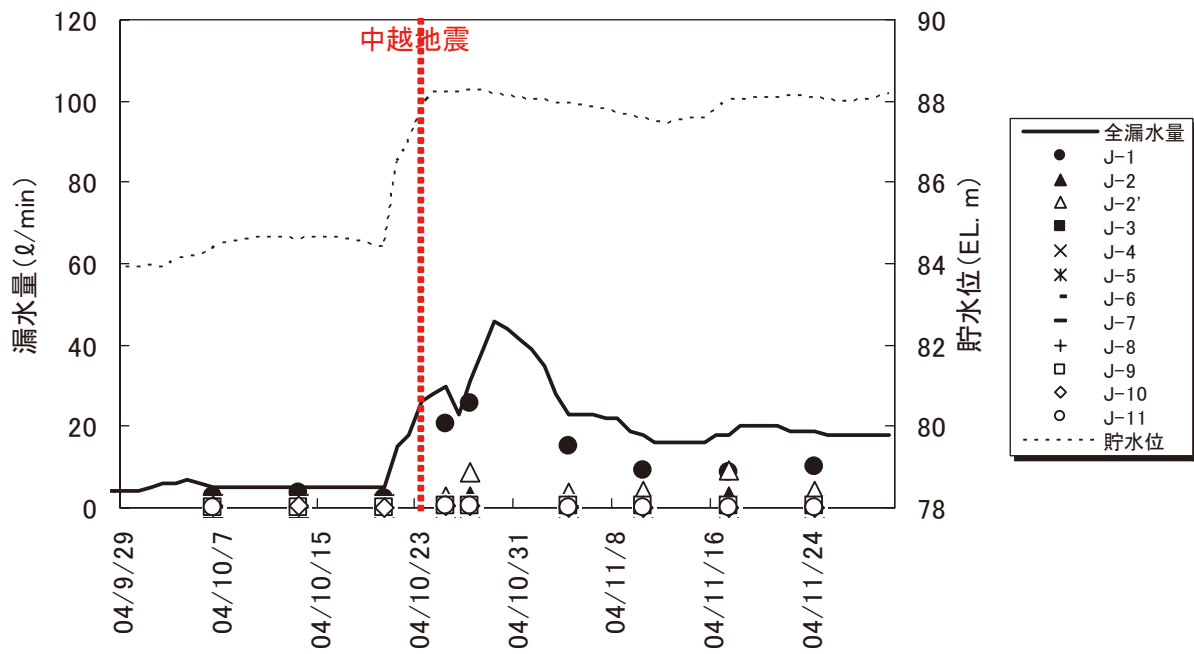


図-6.14 正善寺ダムの漏水量と貯水位の計測結果 (2004 年新潟県中越地震)

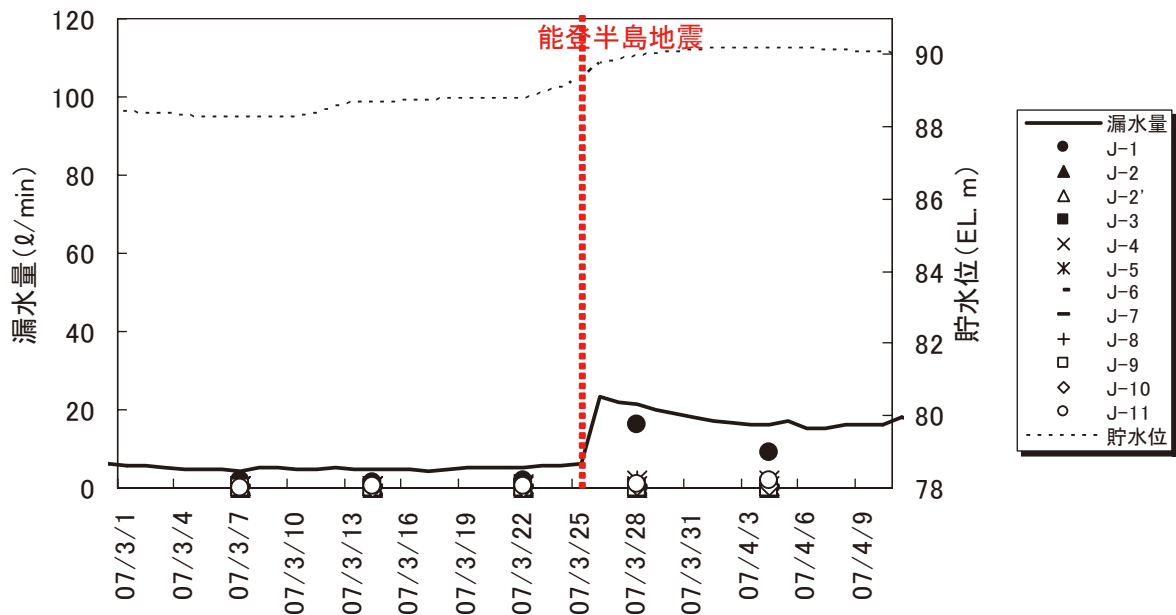


図-6.15 正善寺ダムの漏水量と貯水位の計測結果（2007年能登半島地震）

(b) その他

地震前後でプラムラインと揚圧力に大きな変化は確認されていない。

(4) 笠堀ダム

笠堀ダムは、信濃川水系笠堀川上流に 1964 年に完成した、洪水調節、不特定用水、上水道用水、発電を目的とした新潟県管理の多目的ダムで、堤高 74.5m、堤頂長 225.5m、総貯水容量 15,400,000m³、堤体積 231,000m³の重力式コンクリートダムである。

地震時の最大加速度は、ダム基礎（監査廊底部）の地震計で、上下流方向 26gal、ダム軸方向 23gal、鉛直方向 24gal で、あまり大きな記録ではないが、天端の地震計では、上下流方向 363gal、ダム軸方向 116gal、鉛直方向で 102gal の最大加速度を記録しており、大きな堤体応答を示していることから、調査を行った。

天端の加速度が大きい値を示しているが、目視観察において、天端付近で特に異常は確認されなかった。また、地震計にも特に異常はなかった。ただし、天端の地震計は堤体下流に張り出したエレベータ塔の下流側端部に位置しており、エレベータ塔全体の応答の影響も受けていると考えられる。

ダム堤体の状況については、地震により変状を受けた形跡はなかった。また、笠堀ダムの漏水量は手動により観測されているが、地震前の直近の観測記録が 7 月 13 日時点で、貯水位 191.86m に対し 32.64ℓ/min、地震後の 7 月 17 日時点で、貯水位 191.62m に対し 25.20 ℓ/min であり、地震前後で地震が原因と考えられる漏水量の変化は確認されていない。

(5) 城川ダム

城川ダムは、信濃川水系城川上流に 1997 年に完成した、洪水調節、不特定用水、上水道用水を目的とした新潟県管理の多目的ダムで、堤高 21.7m、堤頂長 85.5m、総貯水容量 297,000m³、堤体積 14,100m³の小規模な重力式コンクリートダムであり、新潟県が管理している。

地震の加速度については、ダム基礎（監査廊底部）の地震計で、上下流方向 77gal、ダム軸方向 66gal、鉛直方向 50gal の最大加速度を記録し、天端の地震計では、上下流方向 82gal、ダム軸方向 69gal、鉛直方向で 56gal の最大化速度を記録した。

目視観察による調査において特に変状は確認されなかった。漏水量の 1 回/週の記録では、地震発生約 1 週間前の 7 月 13 日に 1.58ℓ/min であったものが、地震直後の 17 日に 2.36 ℓ/min に増加し、20 日に 2.37ℓ/min となっているが、その後、漏水量は減少している。地震により若干増加したと考えられるが、量的に僅かであり、安全性には問題ないといえる。

6.2.3 利水ダム

(1) 川内ダム

川内ダムは、二級水系である前川水系の前川に 1938 年に完成したアースダムである。ダムの目的は、上水道用水であり、柏崎市ガス水道局が管理している。川内ダムは文献 1) によると、1949 年度に嵩上げされている。ダムの諸元は、堤高 23.98m、堤頂長 122m、堤体積 97,000m³、総貯水容量 265,000m³であり、構造を図-6.16 に示す。

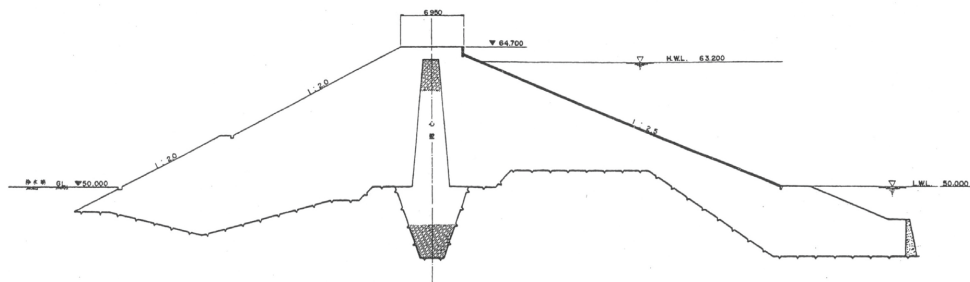
同じく柏崎市ガス水道局が管理している谷根ダム、赤石ダムとともに、柏崎市の水源となっており、導水系統を図-6.17 に示す。

川内ダムでは、天端と下流法尻（導水管設置標高）の 2 カ所に 2007 年 3 月に単独作動条件の地震計が設置された。地震後の 7 月 18 日午前記録の回収をしたが、近 10 地震波形をメモリー記録し、それ以前の記録は上書き更新する設定であったため、天端地震計では、余震記録が上書きされ本震記録は記録されていなかった。基礎地震計では、本震最大加速度約 280gal（上下流方向）の加速度を計測した。ダム基礎の地質は不明である。



(a) 平面図

標準断面 縮尺 1:200



(b) 堤体標準断面図

図-6.16 川内ダムの構造（柏崎市提供資料より）

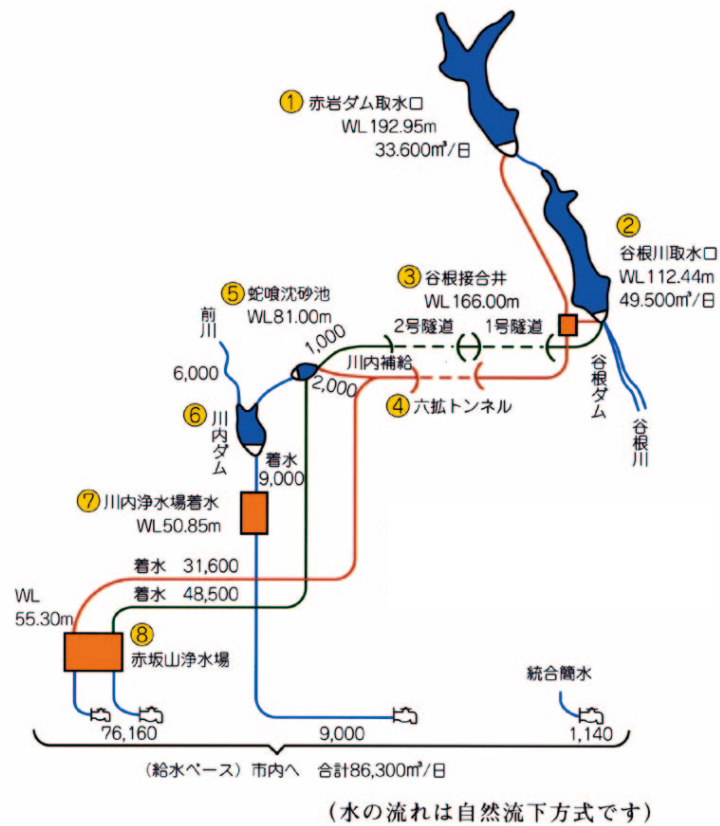


図-6.17 柏崎市導水系統図¹⁾

1) 目視観察結果

(a) 地震発生直後の目視調査

ダム管理者により実施された調査をもとに、天端のクラック位置を図示した被害発生状況を図-6.18 に示す。

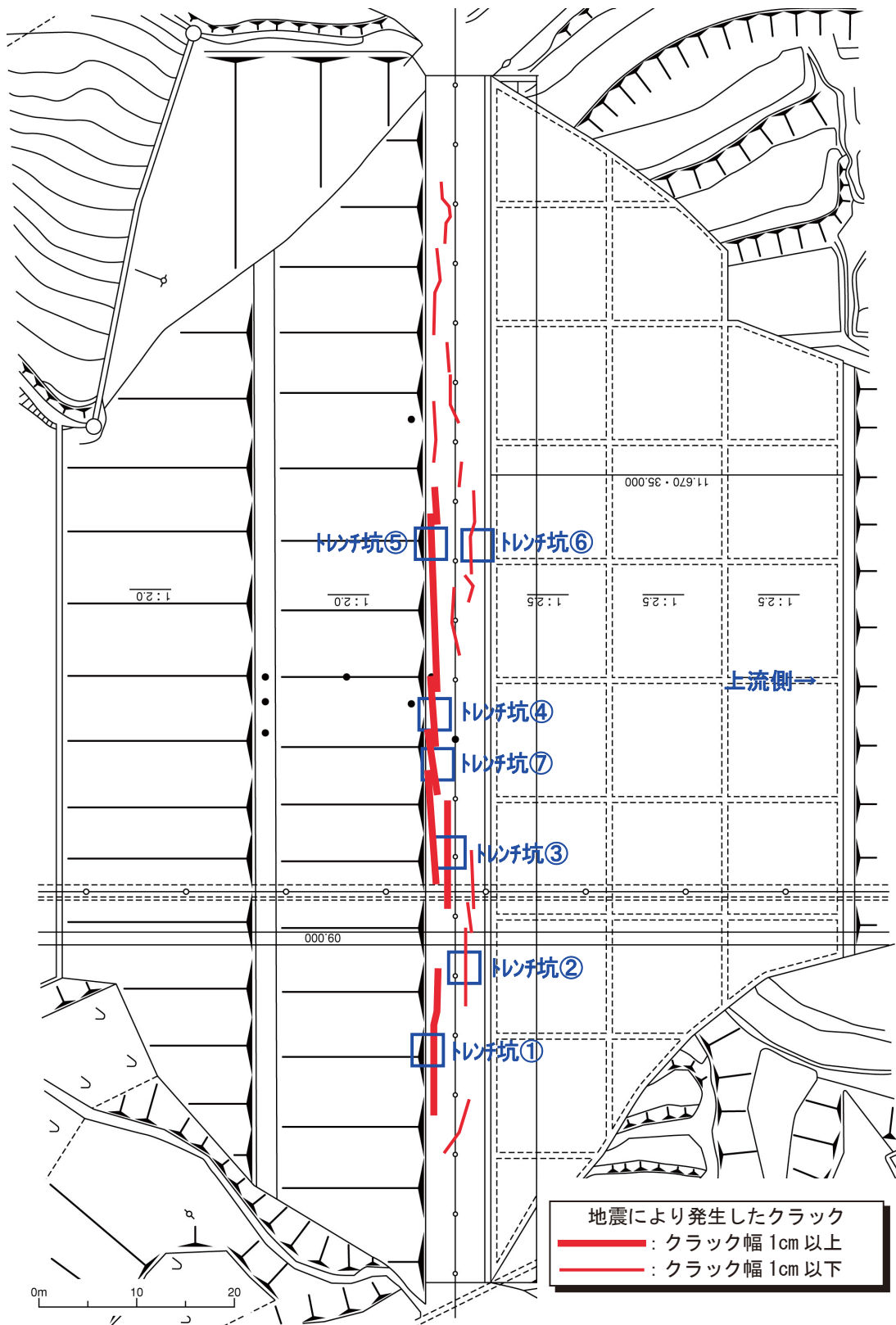


図-6.18 川内ダム被害発生状況及び天端トレンチ調査坑位置(柏崎市提供資料を元に作成)

a) 天端

天端では、最大 5～10cm 幅、長さ 10m 程度の数条のダム軸方向に沿った縦クラックが確認された（写真-6.5、6.6 参照）。クラックは天端のほぼ全長にわたって生じたが、特に堤頂中央から左岸側、かつ下流法肩付近と天端の上下流方向中央付近に集中していた。なお、発生したクラックについては、地震発生当日のうちに天端全面にシートを敷き雨水進入を防止するなどの応急対策が施された。

また、天端両法肩の欄干手すりが堤頂中央付近で、写真-6.7 に示すように、下流側に若干のたわみが目視確認できた。ほぼ 2 年前の 2005 年 4 月撮影に撮影された写真-6.8 では、欄干手すりのたわみは見られないことから、今回の地震による堤体の変形挙動に伴っての変状であると考えられる。

b) 上流面

上流面は、90cm 高の擁壁の下に、保護工である薄い張コンクリートブロックで覆われている。堤頂中央付近で最上段の張ブロックの目地に最大 4cm 幅の開きが確認されている（写真-6.9）。地震時の張ブロック同士のぶつかりによる張ブロック端の新鮮な欠片も数カ所見られた。また、張ブロック目地の隙間から堤体材料の吸出しが数カ所見られた（写真-6.10）。

c) 下流面

地震後に下流法面を除草し、目視調査を行った。明確なクラックや明瞭な腹み出しの痕跡は確認されなかったが、下流法面は草・コケ類で覆われ、堤体材料を直接観察することが出来なかったため、詳細確認は困難であった。

d) ダム湖周辺

地震発生 3 日後の 7 月 19 日に撮影された川内ダム上空の航空写真（写真-6.11：国土交通省国土地理院撮影）では、ダム湖周辺に地すべり等の変状はみられない。また、ダムから下流の河口に近い国道 8 号との交差付近では、地震で損傷し屋根にブルーシートを覆った家屋が見られ、ダム近傍で強い地震動が作用したことが推察できる。



写真-6.5 天端のクラック（左岸側より）
地震直後（2007.7.16 撮影）（柏崎市提供）



写真-6.6 天端中央のクラック
地震直後（2007.7.16 撮影）（柏崎市提供）



写真-6.7 地震後の天端欄干手すりの状況
（下流側への変形）（2007.7.17 撮影）



写真-6.8 地震前の天端欄干手すりの状況
（2005.4.29 撮影）（© damsuki.com）



写真-6.9 上流法面張コンクリートブロックの
目地の開き



写真-6.10 堤体上流面の張コンクリートブロッ
ク（上流張ブロックの隙間から堤体
材料の吸出しが見られる）

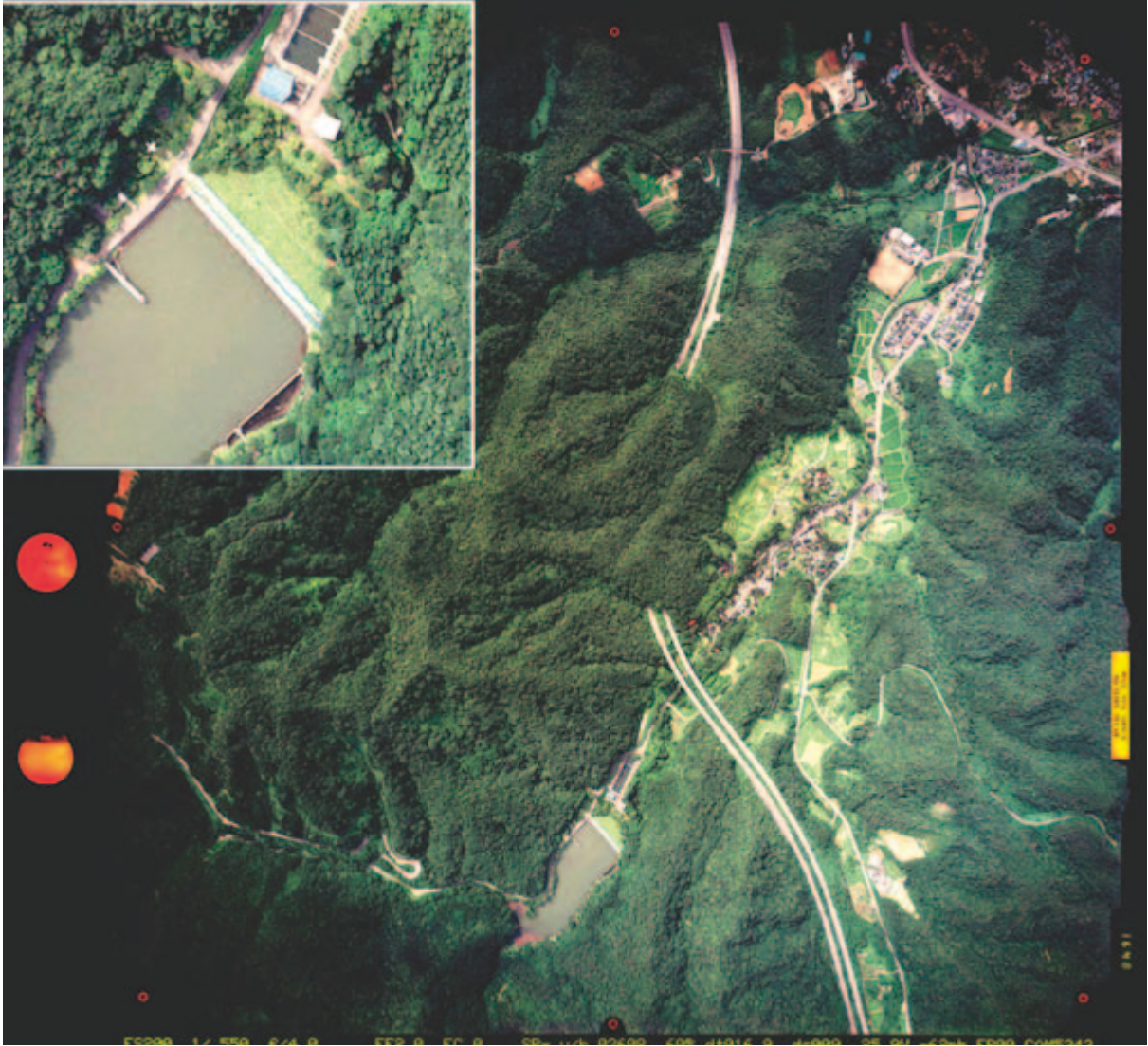


写真-6.11 地震発生3日後の川内ダムとダム下流の前川流域の航空写真
2007年7月19日撮影²⁾

(b) トレンチ調査

a) 調査内容

地震後の緊急対応措置の検討・確認のため、堤体の被災度合いの状況を確認すること、つまり、天端に生じたクラックの進展度や堤体のゆるみ具合を調査する目的で、トレンチ調査を7月25-26日にかけて実施した。トレンチ調査は図-6.18内に示す7箇所で行った。天端クラック位置の表層を少し掘り返し、クラックに石膏（水体积比1:1）あるいは、石灰水を流し込み（写真-6.12参照）、トレンチ掘りを行って（写真-6.13参照）、クラックの進展状況を観察した。また、トレンチ坑で堤体の締固まり状況の観察と密度測定・コーン貫入試験等を実施した。

b) トレンチ調査結果

1949年度に行った嵩上げ工事の痕跡と思われる薄い砂利層（旧堤体の天端面と思われる）をトレンチ坑内の天端から1~1.2m深で確認した。嵩上げ部と思われる層は、トレンチ坑壁面の観察から、約20cm厚の路盤層と、撤出し厚50cmの2層と推測される。50cm厚層内では、層の上部は比較的締まっているが、層の下部は緩みが確認でき、施工時の撤出し厚が厚いことによる締固め不足があったと推測できる（図-6.19参照）。詳細は、嵩上げ当時の施工時記録なども調査の上判断しなければならない。

クラックは石膏や石灰水で明確にその進展を確認できたものでも天端から深度1.2mから1.4m前後あり、若干ではあるが、旧堤体と思われる層まで貫入しているものも存在した。トレンチ坑③では、最大深度約1.7mまで貫入しているクラックを確認でき（図-6.20参照）、次に述べる堤体内のコンクリート壁体の上面以深に達していた。なお、各トレンチ坑のクラックの上下流方向の方向性は明確ではなかった。クラック確認深度（石膏または石灰水の浸透で追えたクラック深度）を表-6.3に示す。

表-6.3 クラック確認深度

トレンチ名	深さ
トレンチ坑①	100cm程度
トレンチ坑②	130cm程度
トレンチ坑③	140~170cm程度
トレンチ坑④	70~135cm程度
トレンチ坑⑤	135cm程度
トレンチ坑⑥	100~130cm程度
トレンチ坑⑦	95~120cm程度



写真-6.12 天端クラックへの石膏注入状況



写真-6.13 トレンチ坑掘削状況
(手前はトレンチ坑⑤⑥)

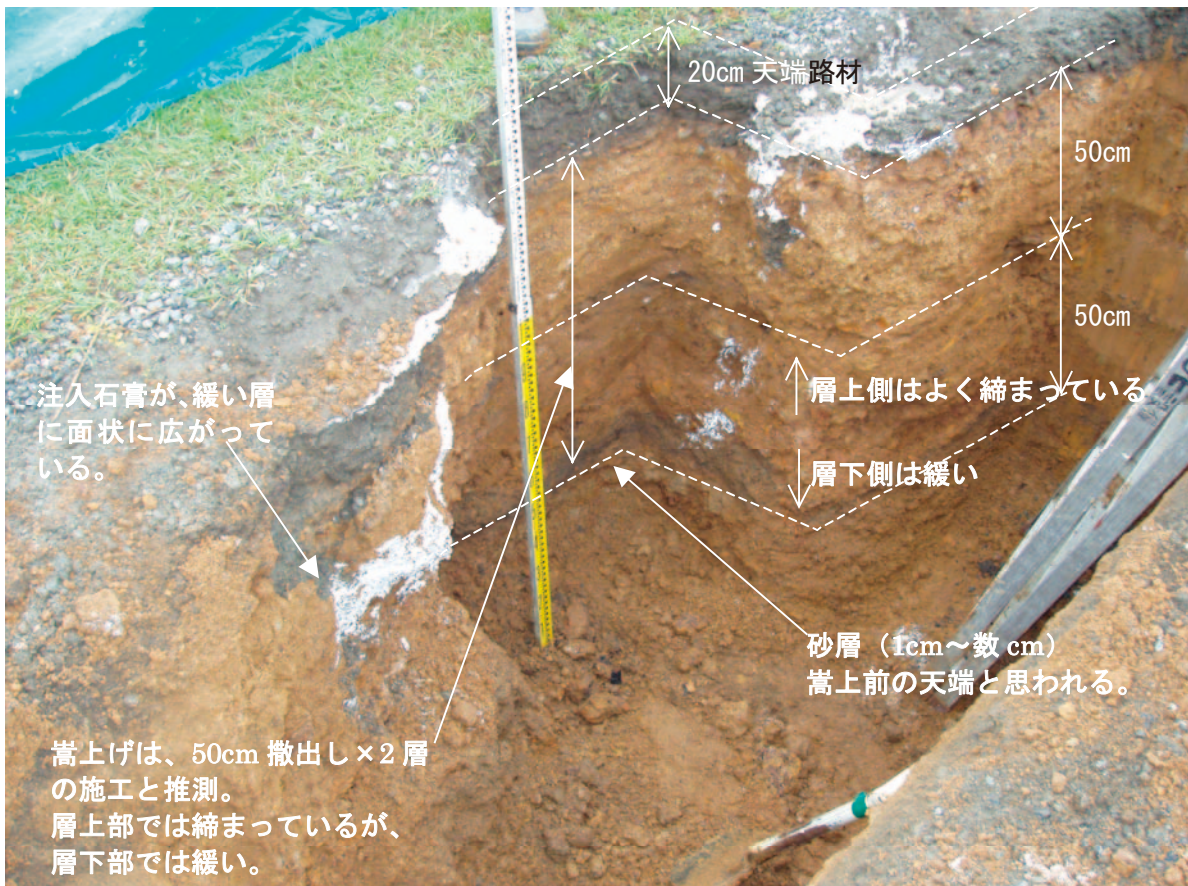


図-6.19 トレンチ坑①の掘削状況

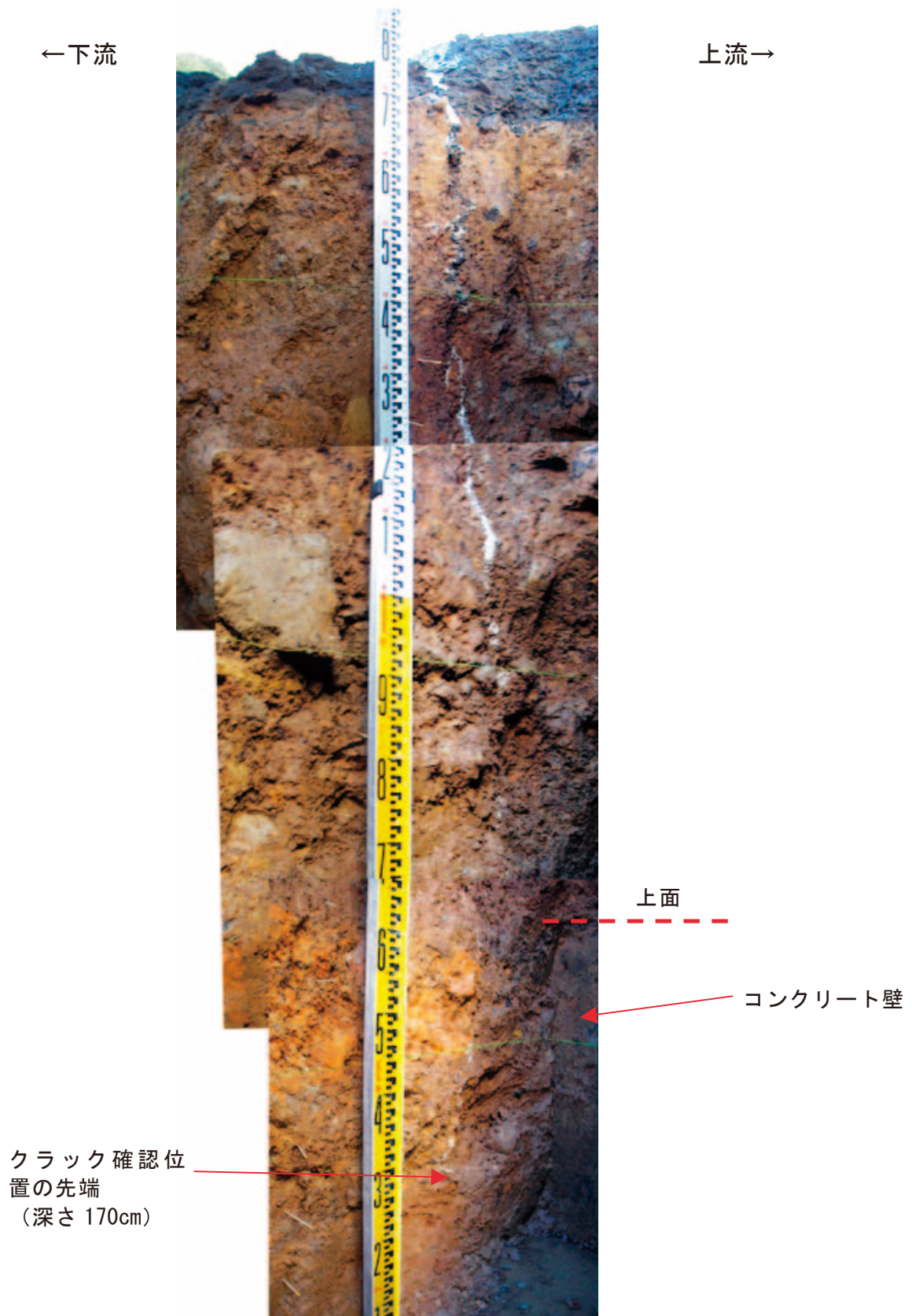


図-6.20 トレンチ坑③の右岸側側面の状況 (クラック深さ約 1.7m)

天端幅の中央付近を掘削したトレンチ坑②、③、⑥において、上流法肩から約 3.4m のほぼ天端幅中央において、深度 1.3m の位置でダム軸方向に延びる幅約 24cm のコンクリート壁体を確認した。トレンチ坑②および⑥地点で、さらなる掘削を実施し、壁高 1m、壁の下は 25cm 厚の捨てコンクリートがあることを確認した。トレンチ坑断面図を図-6.21 に、調査時の状況を写真-6.14、写真-6.15 に示す。このコンクリート壁は現存している設計構造図などの資料には記載されていないものであり、その設置目的も不明である。トレンチ坑②では、コンクリート壁と土質堤体材料が地震による緩みなどなく、密着していることを確認した。

なお、コンクリート壁付近の土質堤体材料は、法肩付近のトレンチ坑でみられる堤体材料とは、大玉石を除去してある程度で、大差ない材料であるように見受けられた。つまり、図-6.16 の標準断面図に描かれているような明瞭な土質コアゾーン（心壁）は確認できなかった。

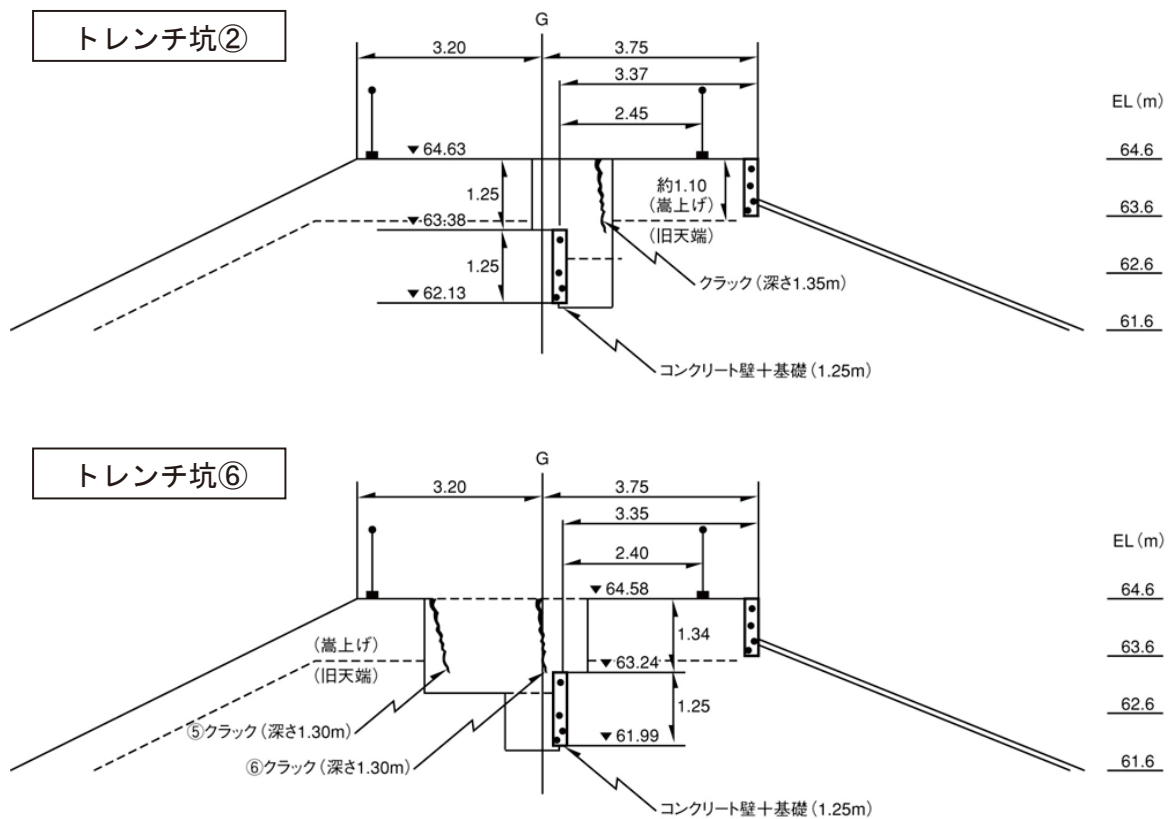


図-6.21 トレンチ坑②および⑥断面における調査状況図（柏崎市提供資料を元に作成）



写真-6.14 トレンチ坑⑥によるコンクリート壁の高さ確認（1.25m；壁＋基礎部）
（柏崎市提供）



写真-6.15 トレンチ坑⑥のコンクリート壁の底部（下流側）（柏崎市提供）

2) 堤体観測結果

川内ダムでは表-6.4 に示す項目について、安全管理のための計測を実施している。計器の設置位置を図-6.22 に示す。

表-6.4 計測項目

計器名	記号	備考
外部変形計測	観測点 No. 1	ダム左岸側天端
	観測点 No. 2	ダム天端中央
	観測点 No. 3	ダム右岸側天端
	観測点 No. 4	ダム下流面中央
間隙水圧計	B-1	L=10m
	B-2	L=10m
孔内傾斜計	B-3	L=15m
漏水量		堤体下流法尻 1 箇所

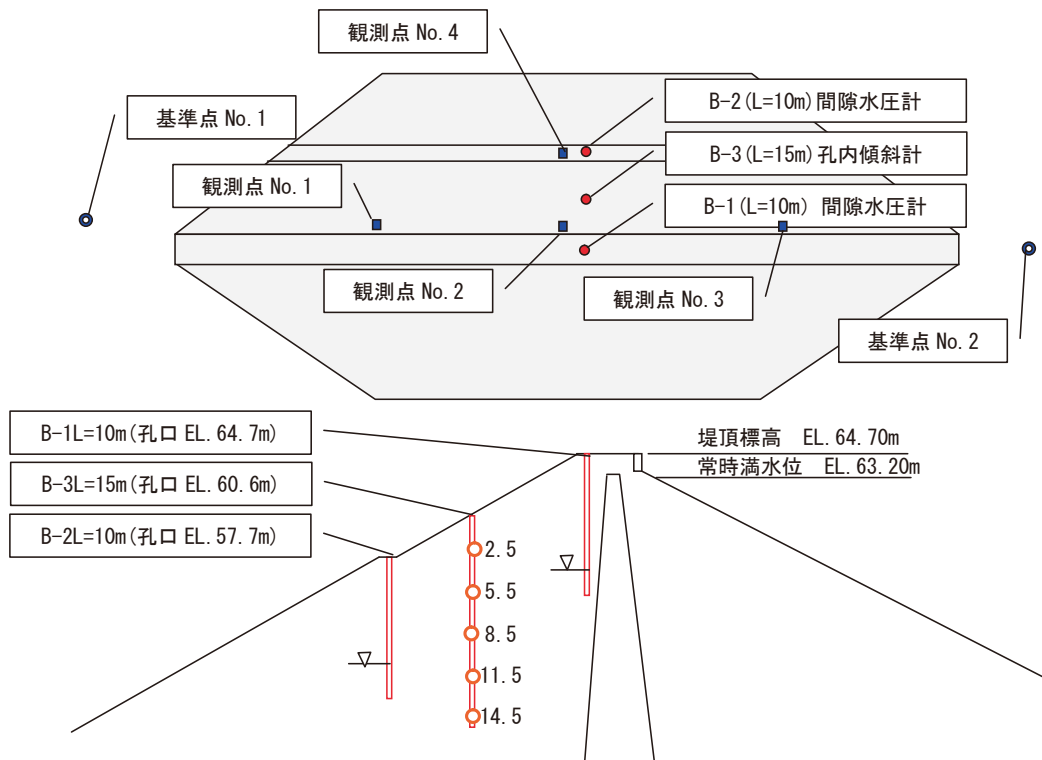


図-6.22 川内ダムの観測計器の位置

(a) 外部変形

外部変形量は、表-6.4 及び、図-6.22 に示すように、天端 3 箇所、下流法面小段の 1 箇所計測を行っている。測量結果を図-6.23 に示す。図は、上からダム上下流方向水平変位（外部変形 X 軸）、ダム軸方向水平変位（外部変形 Y 軸）、鉛直方向変位（外部変形 Z 軸）を示している。

地震発生後の測量は、2 日後の 7 月 18 日に実施した。地震前の測量日 7 月 2 日の計測結果と比較すると、ダム上下流方向水平変位（外部変形 X 軸）はダム堤頂中央で、14.8cm 下流側への変位が計測されており、左岸側天端でもほぼ同じ変位を計測した。これは、1) 目視観察結果（写真-6.7 と写真-6.8 の比較）で述べた、法肩の欄干手すりの下流側へのたわみの状況と一致する。ダム軸方向水平変位（外部変形 Y 軸）には大きな変位は計測されていない。鉛直方向変位（外部変形 Z 軸）は、ダム天端の堤頂中央で 14.3cm の沈下を計測した。

それ以後、11 月 21 日までに計 4 回の外部変形の測量を実施しているが、地震後の経時的な変位は計測されていない。

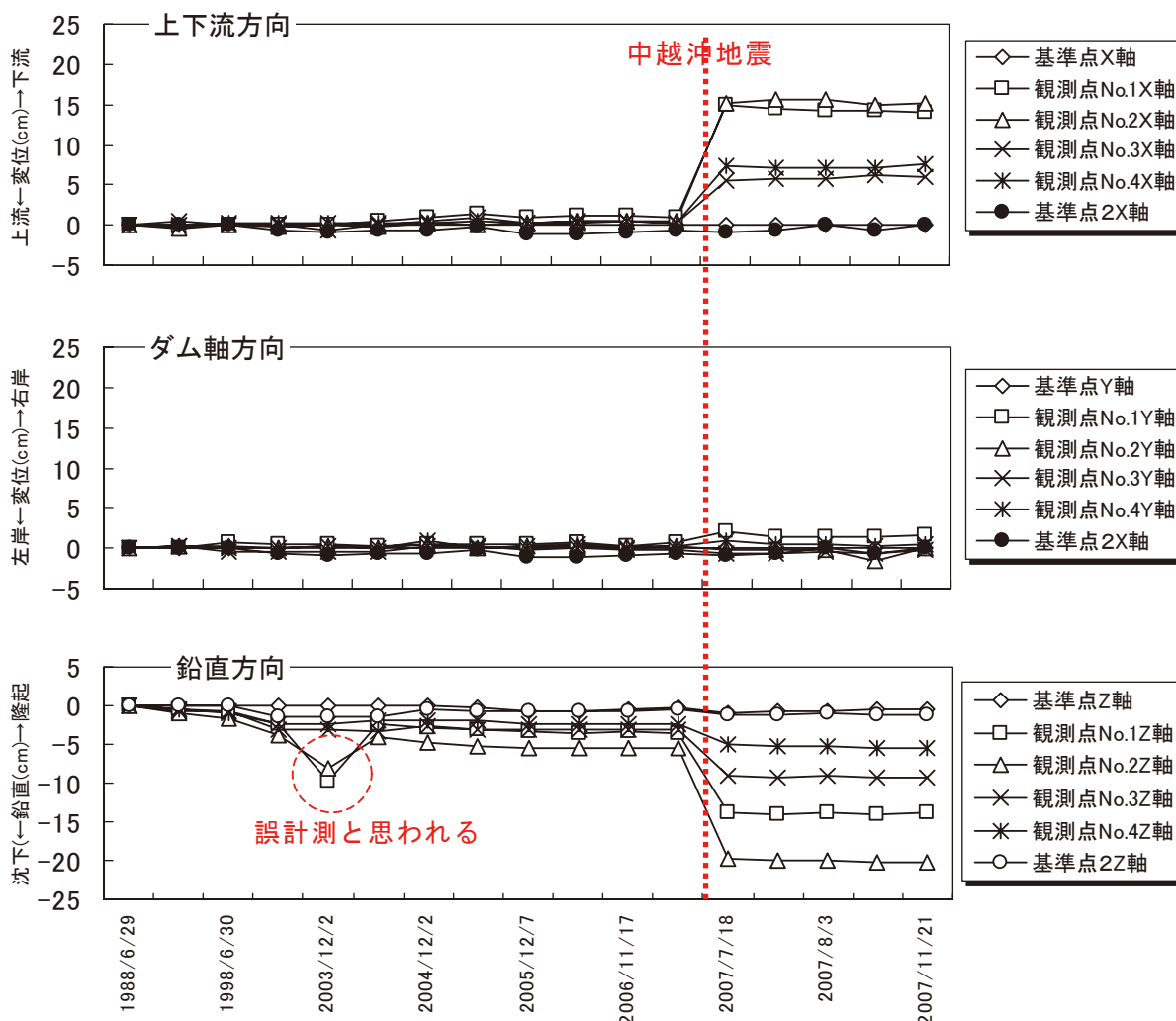


図-6.23 外部変形計測結果（柏崎市提供資料を元に作成）

図-6.24³⁾は、国内外（日本、アメリカ、メキシコ、チリ、ペルー、フィリピン、台湾、ニュージーランド）のフィルダムにおいて、1920年代以降の過去の地震により生じた天端最大沈下量とダム基礎最大加速度（距離減衰式等による推定を含む）の関係を対数表示したものである。対象としたフィルダムには、基礎に沖積層を残したダムも含まれているが、基礎や堤体の液状化に伴う沈下変形事例は対象外としている。今回の地震における川内ダム（アースダム）や他のフィルダム（柿崎川ダム(ロックフィルダム)、新山本調整池(グラベルフィルダム)、浅河原調整池、山本調整池、川西ダム(以上、アースダム)など)の天端における最大沈下量を同図に示した。同じ地震動強さでも沈下量はダム高に依存すると考えられるが、余裕高・余盛り等は、ダム高との関係で設定されていないことも踏まえ、ここでは、沈下量の実測値で整理した。川内ダムはほぼアースダムの実績分布域内に位置している。また、浅河原調整池、山本調整池、川西ダムなどの2004年新潟県中越地震で被災後に補修をしたフィルダムでは、概して実績沈下量分布の比較的下限の領域に位置している。

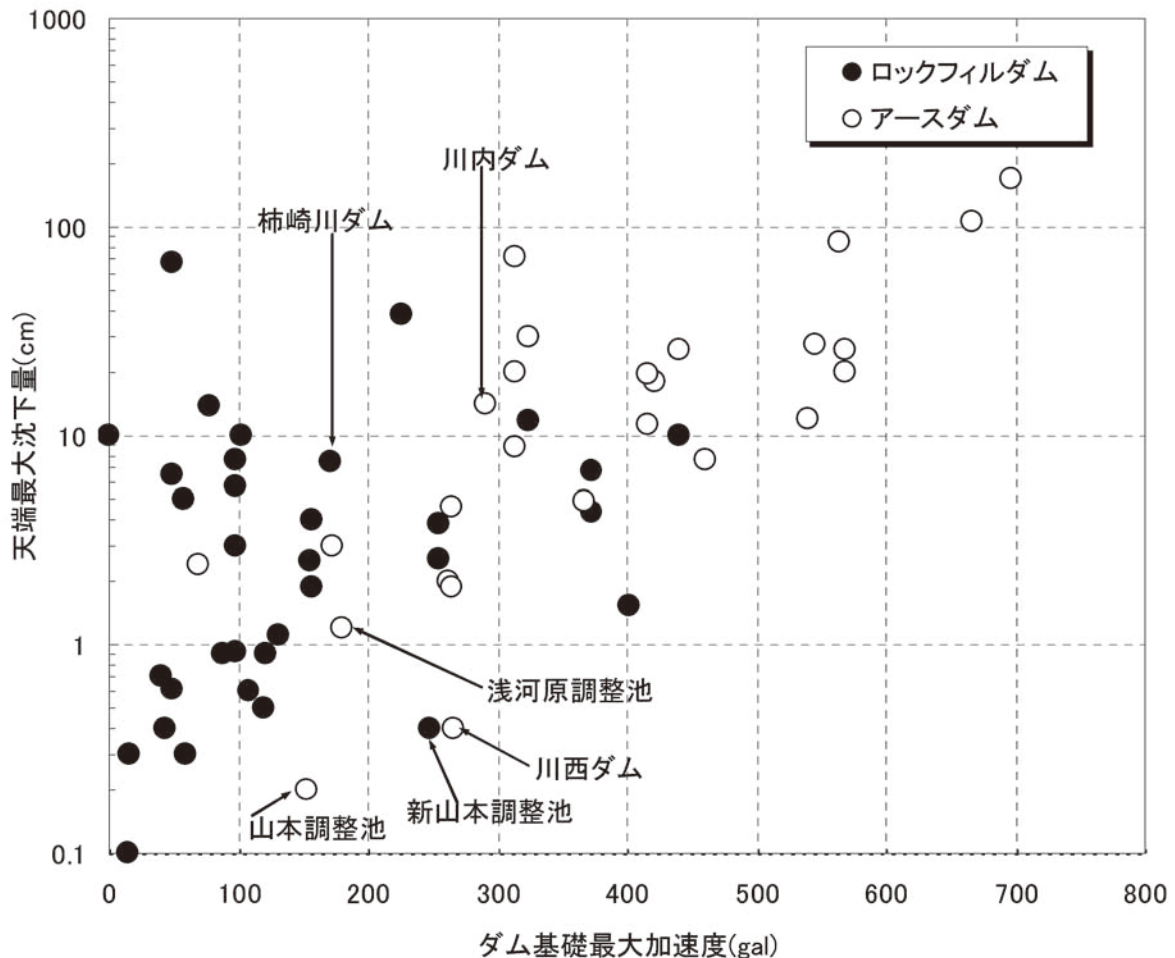


図-6.24 国内外のフィルダムにおける天端最大沈下量とダム基礎最大加速度の関係
(参考文献3)に加筆)

(b) 漏水量

川内ダムの漏水量は、下流左岸側法尻に、三角堰を設置し計測を実施している。計測される漏水量には堤体下流面から浸透する雨水や左岸地山からの地下水も合わさって、計測される構造である。そのため、計測される漏水量は、降雨の影響を強く受ける。これまで降雨ない状態で、通常、4～5ℓ/min程度を観測してきた。

地震発生直後の7月16日10:40の臨時点検時に漏水に濁りがなかったことは、管理計測業務を委託されている調査員が確認している。また、地震の翌日朝に漏水量9.8ℓ/minを計測したが、当日は20mm程度の降雨があり、その影響と考えられる。

図-6.25に漏水量の推移と日降水量を示す。7月17、20、26日には漏水量が増加しているが、これは、降雨の影響であり、通常の降雨時の漏水量値の範囲である。

なお、地震発生後は、緊急対策として貯水位を常時満水位のEL.63.2mから最終的にはEL.60.5mまで低下させているため、漏水量の全体量も減少し、降雨の影響がない時で、10ℓ/min程度の漏水量となっている。

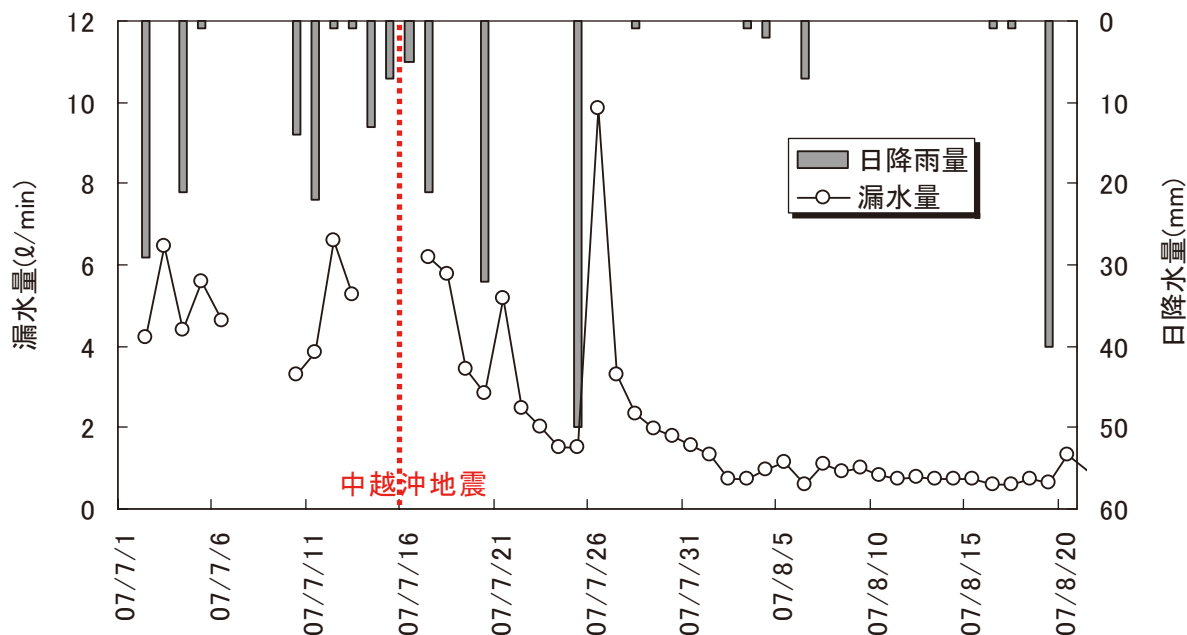


図-6.25 漏水量と日降水量の計測結果（柏崎市提供資料を元に作成）

(c) 浸潤線

堤体の浸潤線は、表-6.4 及び、図-6.22 に示すように、ダム中央下流面 2 箇所における、間隙水圧計によりおこなっている。

観測孔 B-1 と B-2 の浸潤線の計測結果（間隙水圧を水頭換算）を図-6.26 に示す。地震前、孔口からの水位までの深さは、ダム天端 B-1 は 8.4m、ダム下流 B-2 は 8.3m であった。地震直後（14:00）には、B-1 は孔口から 7.1m、下流 B-2 は 8.0m まで水位が上昇した。翌日の朝には、それぞれ、8.0m、8.6m にまで回復し、その後、貯水位の低下もあり、地震前のレベルにまで低下した。

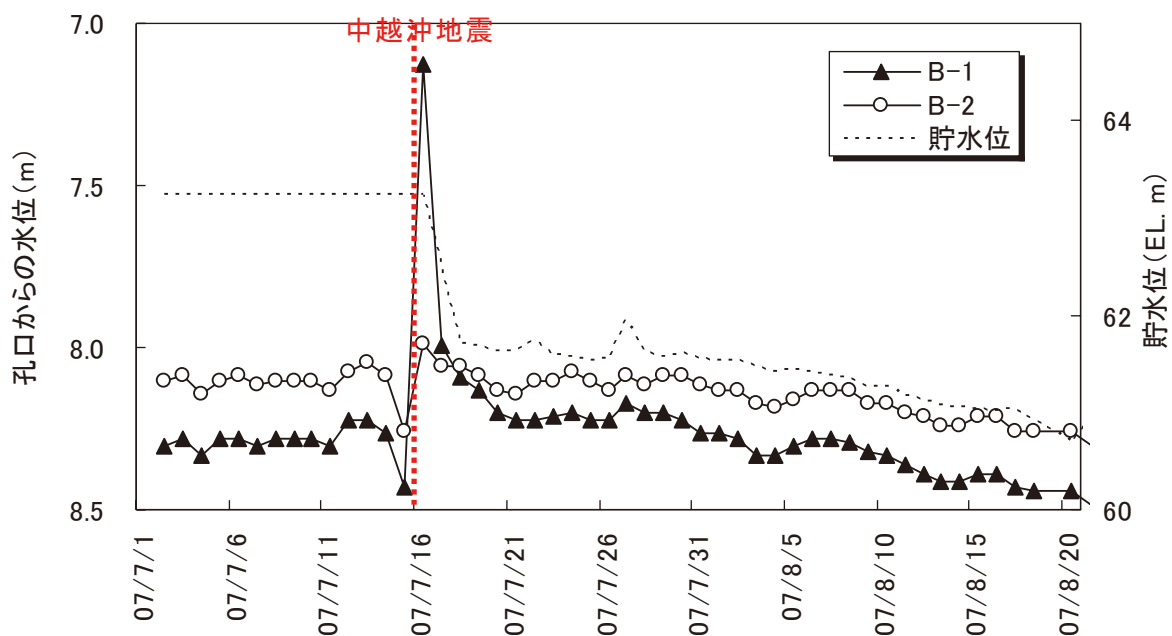


図-6.26 観測孔 B-1 と B-2 の浸潤線の計測結果（柏崎市提供資料を元に作成）

(d) 孔内傾斜計による堤体内部変位

孔内傾斜計は、表-6.4 及び、図-6.22 に示すように、ダム頂中央の下流面のボーリング孔 B-3 に設置され、自動計測を行っている。

観測孔 B-3 に設置した傾斜計設置中間点間長さにおいて換算した相対的な水平変位（以下、層別相対水平変位）計測結果を図-6.27 に示す。図は、上から上下流方向の層別相対水平変位、ダム軸方向の層別相対水平変位を示す。図内凡例の 2.5~14.5 は図-6.22 内に示すように、傾斜計が設置されている堤体表面の孔口からの深度 (m) を示している。層別相対水平変位は、図-6.28 に示すように求める。

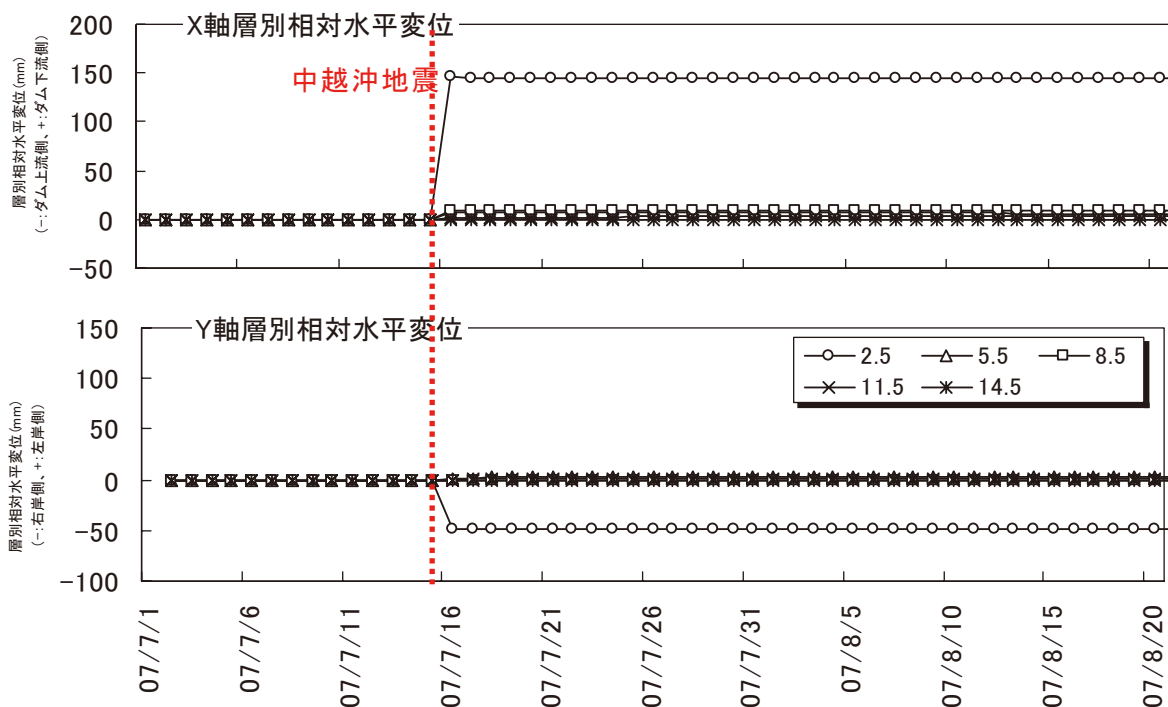


図-6.27 観測孔 B-3 に設置した傾斜計の層別相対水平変位量(柏崎市提供資料を元に作成)

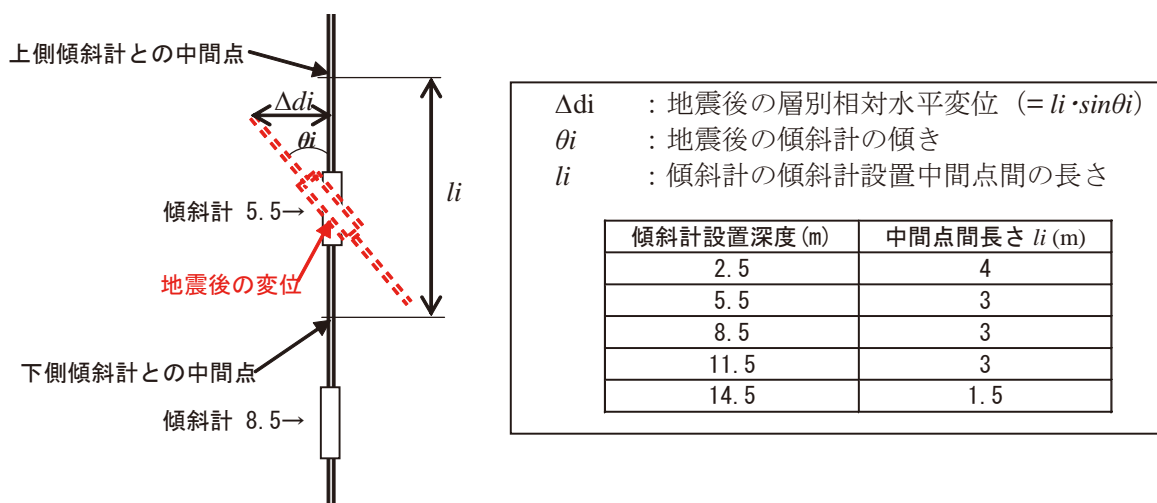


図-6.28 傾斜計の計測結果整理概念

また、地震発生前後の上下流方向の堤体深度別の累積変位分布図を図-6.29 に示す。累積変位は、B-3 孔口から深度 14.5m の最深部に設置した傾斜計地点をゼロとして、各計測点の地震前日の 7 月 15 日の傾斜計計測値との差から換算した層別相対水平変位を、深度方向に累積したものである。図-6.29 より、B-3 の孔口にあたる堤体表面位置に相当する累積変位は、約 160mm であり、地震後の測量によるダム天端中央の外部標的の上下流方向水平変位の計測値 14.8cm（地震前 7 月 2 日の測量結果と、地震発生後の 7 月 18 日の測量結果との差）とほぼ同等であった。

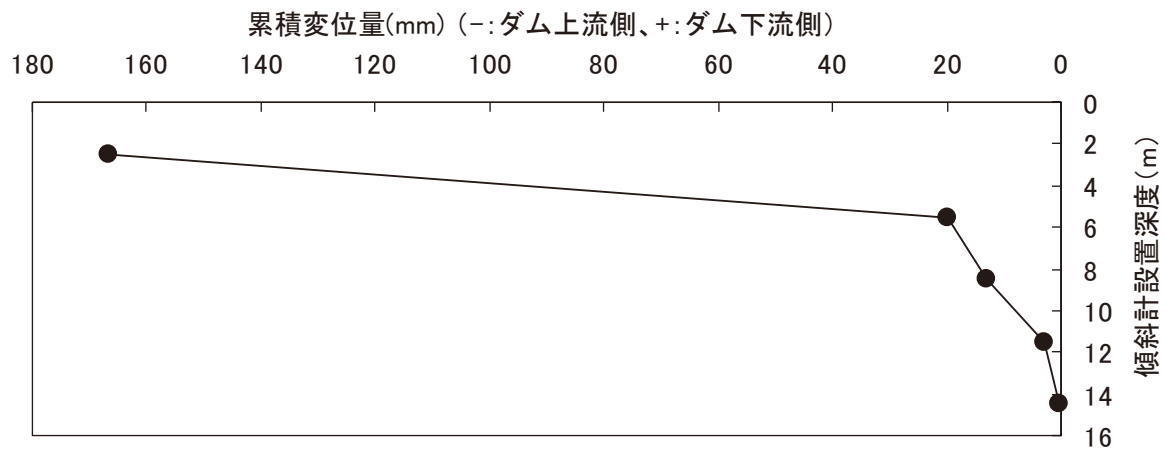


図-6.29 地震発生前後の上下流方向の堤体深度別の累積変位分布図（観測孔 B-3）
（7 月 15 日（地震前）と 7 月 16 日（地震後）の変化）

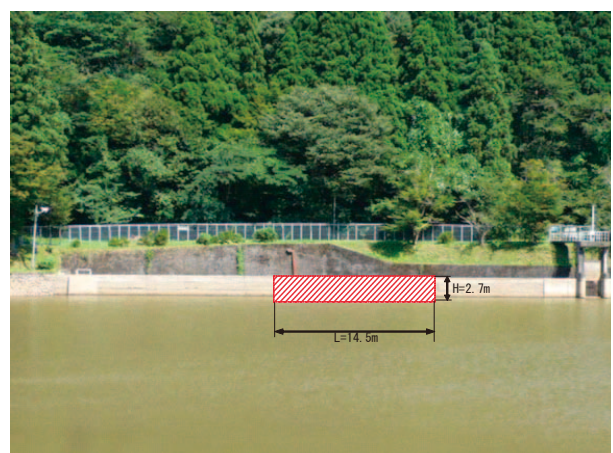
3) 応急対策

地震後に、ダム管理者により、以下の応急対策が施された。発生したクラックについては、雨水の進入を防止するために地震発生当日のうちに天端全面にシートが敷かれた。また、被災箇所への貯水の浸潤を防ぐために、地震直後から緊急的に貯水位を下げはじめ、水位低下設備敷高標高 (EL. 61.5m) 付近の水位 (常時満水位から約 1.5m 下であり、天端から約 3m 下) にまで下げた状態に保持された。この設定水位は、トレンチ調査などによるクラック進展範囲などの被災範囲調査結果からも妥当性が確認された。

その後、出水により貯水位が地震による堤体被災箇所の標高レベル (堤体内のコンクリート壁+基礎コンクリート標高 EL. 61.9m と仮定) まで上がらないようにするために、余水吐きの越流堤を深さ 2.7m (EL. 60.5m) , 長さ 14.5m にわたって切欠き、出水時の放流能力を増加させるとともに、保持水位を更に低下させた (写真-6.16 参照)。



(a) 右岸より撮影

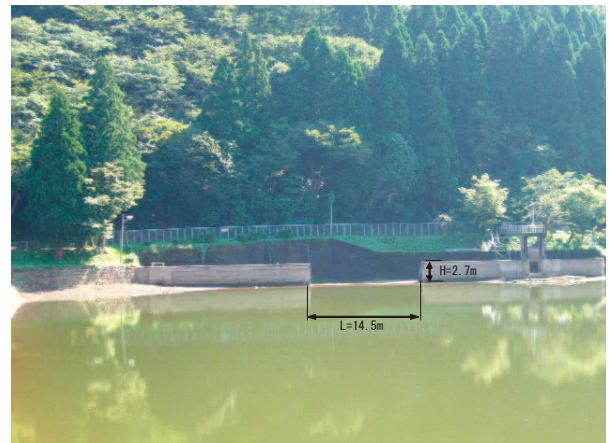


(b) 左岸より撮影

(1) 対策工事前



(a) 右岸より撮影



(b) 左岸より撮影

(2) 対策工事後 (2007年9月10日対策工完了)

写真-6.16 地震後の出水対策のための余水吐きの切欠き工事 (柏崎市提供)

4) 復旧対策

2008年1月現在、ダム管理者によって復旧に向けた調査・実施計画検討が実施されており、次期洪水期を迎えるまでに復旧工事が実施される予定である。

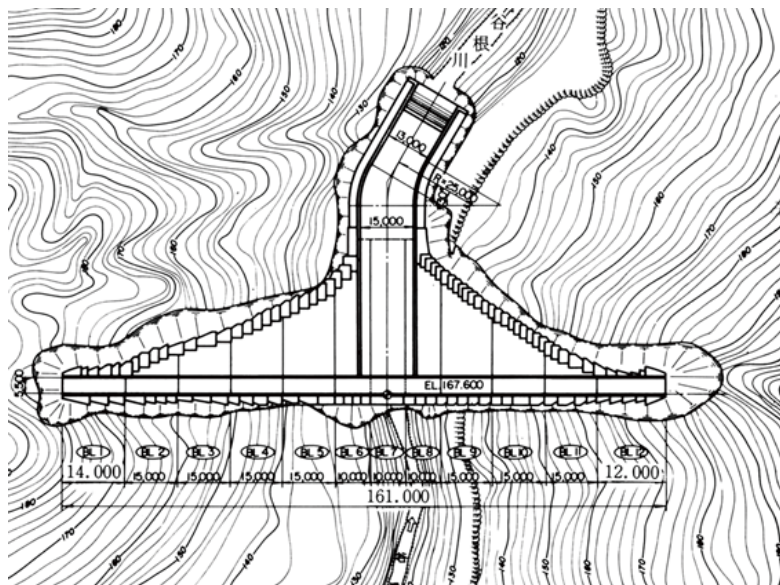
(2) 谷根ダム

谷根ダムは、谷根川水系谷根川に1973年に完成した、重力式コンクリートダムである。ダムの目的は、上水道用水であり、柏崎市ガス水道局が管理している。ダムの諸元は、堤高54m、堤頂長161m、堤体積58,000m³、総貯水容量1,575,000m³であり、構造を図-6.30に示す。

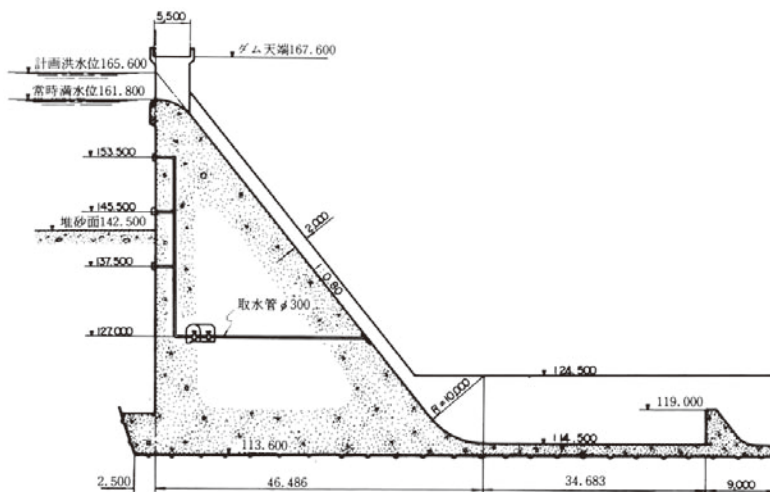
谷根ダムでは、地震計を天端と底部監査廊の2カ所に2007年3月に設置した。天端地震計では、本震記録は余震記録に上書きされ、消去されていた。底部監査廊では、本震で、上下流方向に最大157galを記録した。

1) 目視観察結果

谷根ダムは、2004年新潟県中越地震の際の天端洪水吐き橋梁と堤体部とのジョイント部の天端舗装アスファルトの変状のアスファルト補修をした跡が確認できた。今回の地震では、監査廊内のいくつかの継目(J-5,6)において、補修モルタルや遊離石灰の若干の剥落が見られた(写真-6.17参照)。



(a) 平面図



(b) 堤体標準断面図

図-6.30 谷根ダムの構造⁴⁾



写真-6.17 監査廊内の継目（J-6）における補修モルタルの剥落

2) 堤体観測結果

管理者からの報告によれば、漏水量については、地震前後で1.6ℓ/minから2.1ℓ/minに若干増加したが、その後は減少傾向にあった。量が非常に少ないこと、地震後の経過観察により漏水量はほぼ常時の量に戻っていることから安全上特に問題のない挙動であるといえる。また、プラムラインについては地震前後で計測値に変化は見られなかった。

(3) 赤岩ダム

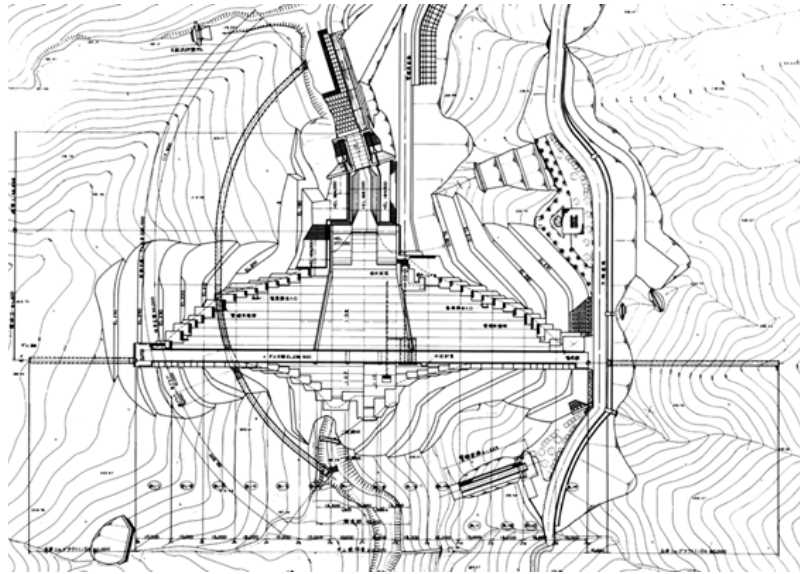
赤岩ダムは、谷根川水系谷根川に1989年に完成した、重力式コンクリートダムである。ダムの目的は、上水道用水であり、柏崎市ガス水道局が管理している。ダムの諸元は、堤高76.5m、堤頂長212m、堤体積201,000m³、総貯水容量3,730,000m³であり、構造を図-6.31に示す。

1) 目視観察結果

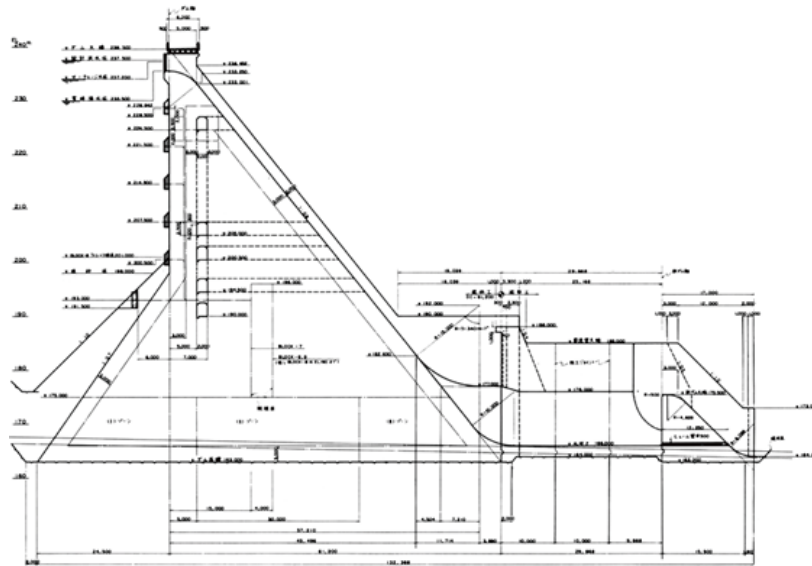
堤体下流面垂直部の継目部において、天端舗装の継目に沿ったクラックから浸透した雨水による凍結融解作用によって、もろくなった継目端部が2004年新潟県中越地震時の振動によって剥落した。今回の地震でも下流面の継目部のコンクリートの若干の剥落が生じた（写真-6.18参照）。監査廊内の継目では、若干のコンクリート小片や補修モルタルの剥落、床版コンクリートのクラックが発生した（写真-6.19参照）。いずれもダムの安全性に関わるような変状ではない。

2) 堤体観測結果

漏水量については、ダム管理者によると地震前後で大きな変化は生じなかったとのことだった。プラムラインの観測結果については、地震後にダム下流方向に0.5mmの若干のたわみを計測した。



(a) 平面図



(b) 堤体標準断面図

図-6.31 赤岩ダムの構造⁴⁾



写真-6.18 継目 (J-2) 下流面の剥落跡
(大部分は、2004年中越地震時によるもの)



写真-6.19 監査廊内継目 (J-9) 床版の
クラックと継目補修モルタルや遊離石灰の剥落状況

(4) 浅河原調整池、山本調整池、新山本調整池^{5)、6)}

浅河原調整池、山本調整池、新山本調整池は東日本旅客鉄道株式会社（以下、「JR 東日本」）の管理する河道外貯留施設である。JR 東日本の信濃川発電所は、図-6.32 に示すように、信濃川本川に築造された宮中取水堰から取水した水を浅河原調整池、山本調整池、新山本調整池の3つの調整池に送り、そこからの導水で発電し、上越線や関東一円の列車運転等に電力を供給する施設である。

当該3つの調整池は、いずれも2004年新潟県中越地震の際に被災し堤体に損傷を生じた。地震後、JR 東日本は、信濃川発電所復旧工事技術専門委員会を設置し、これら3調整池等の復旧について検討し、2006年3月までに3調整池の補修を完了している。

以下に、各調整池の2004年新潟県中越地震時の被災状況とその後の補修の状況、今回の新潟県中越沖地震における現地調査結果について述べる。なお、2004年新潟県中越地震に関する被災状況、および補修についての詳細は参考文献5)、6)を参照されたい。

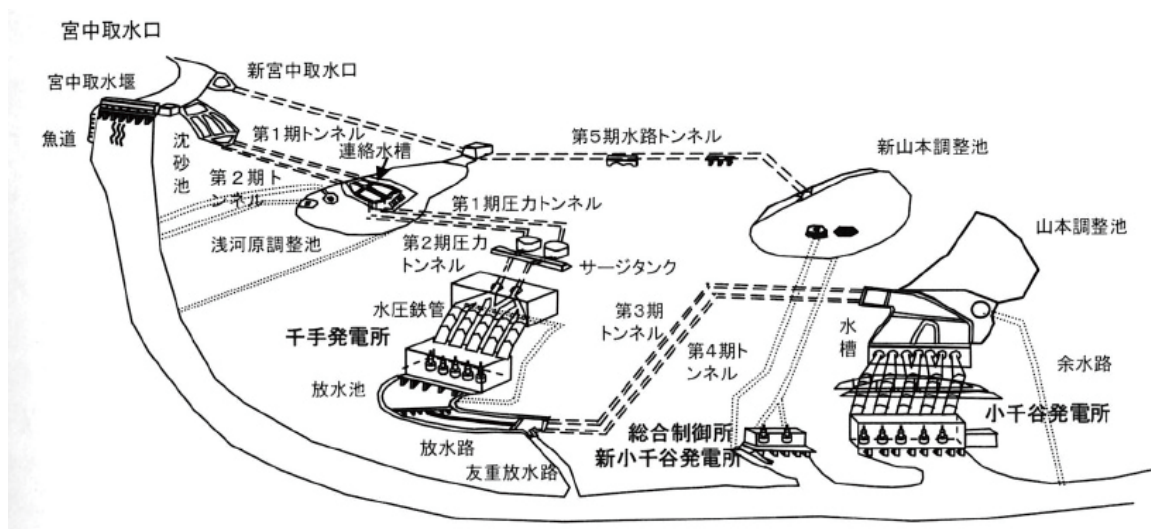


図-6.32 信濃川発電所の主要施設配置⁵⁾

1) 浅河原調整池

(a) 2004年新潟県中越地震における被災および補修状況^{5)、6)、7)}

浅河原調整池は、堤高37.0m、堤頂長292.0mのゾーン型アースダムである。2004年10月23日発生の新潟県中越地震の際には、天端のほぼ全長にわたって、ダム軸方向に数条の縦亀裂が発生し、中央部では、下流側から上流側に向けて階段状の段差地形となった。最大落差は中央部の53cmであり、左右岸方向に段差は小さくなっていた。また、設計標高に対しては最大75cm沈下していた。

復旧にあたっての基本方針は、堤体天端に生じた亀裂および堤体沈下に対する復旧として堤体頂部を掘削除去し新規材料にて再盛立を行うと同時に基本断面の回復を行うこととし、図-6.33 に示すような補修を行うこととした。その後2006年1月に補修工事後の試験湛水を終了し、同年2月に完成となった。

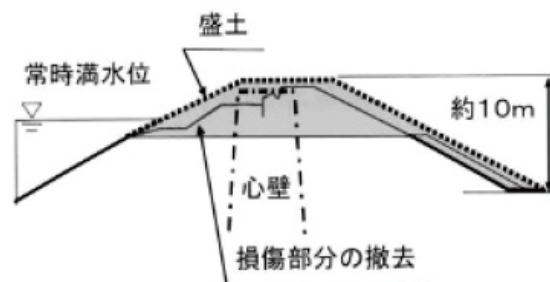


図-6.33 浅河原調整池補修状況⁷⁾

(b) 今回の地震調査結果

浅河原調整池では、2004年新潟県中越地震後の復旧にあたり、地震計が新たに2台設置された。今回の地震では、下流法尻部の漏水量観測小屋の床部に設置された地震計で最大加速度180gal、天端に設置された地震計で最大加速度327galが記録された。

現地での目視観察において堤体に変状は特に確認されなかった。管理者の報告によると、漏水量観測値は地震直前10時時点で2490/minであったものが、地震後の11時には2820/minと、若干の増加が確認できたが、翌日には平常値にもどったとのことである。堤体変位は、天端中央右岸寄りにおいて12mm程度の沈下が確認された。水平変位は測定誤差程度の変位量しか確認されなかった。

2) 山本調整池

(a) 2004年新潟県中越地震での被災および補修状況^{5),6),7)}

山本調整池は、堤高27.53m(旧堤体27.13m)、堤頂長926.6mのゾーン型アースダムである。2004年新潟県中越地震の際には、堤体上流法面のリップラップに、ダム軸と平行に伸びて上流側に向けての段差地形が断続的に生じており、墳砂が7箇所、21地点で確認された。堤体天端にはほとんど変状は認められなかったが、右岸側のコンクリート構造物との取り付け部付近(止水壁コンクリート直上)にダム軸と平行な地表亀裂が分布していた。

被災した山本調整池の復旧方針は3つから成る。まず、上流面の補修は、深さ1m程度の亀裂や墳砂補修、排水性改善のために、既設リップラップ下の粘性土の撤去および全面置換えである。置換えにあたっては、上流面リップラップ下に幅2mの粗粒フィルタを配置し、上流さや土の細粒分流出を防ぐこととした。次に、止水壁部の補修として、コンクリート止水壁境界部に発生した空隙に対する復旧として、心壁およびさや土の掘削、再盛立を行うこととした。さらに、天端補修として、堤体沈下および天端幅確保のため、基本断面を回復させることとした。このため、**図-6.34**に示すような補修を行うこととした。その後、2006年1月に補修工事後の試験湛水を終了し、同年2月に完成した。

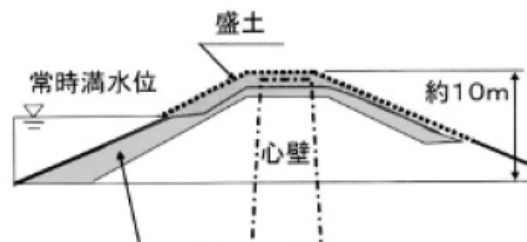


図-6.34 山本調整池補修状況⁷⁾

(b) 今回の地震調査結果

山本調整池では、2004年新潟県中越地震後の復旧にあたり、地震計が新たに2台設置された。今回の新潟県中越沖地震時の記録では、下流法尻にボーリングして基盤に設置された地震計で最大加速度153gal、天端に設置された地震計で最大加速度245galが記録された。

現地での目視観察において堤体に変状は特に確認されなかった。漏水量観測値も地震直前10時時点で3990/minであったものが、地震後の11時には4320/minと、若干の増加が確認されたが、その後の15時には地震時前の値以下に低下した。地震当日は時間10mm程度の降水量を観測しており、漏水量観測値には降雨の影響を受けていると考えられる。堤体変位としては、天端に45測点の標的が設置されている。地震前後の沈下量は、最大2mm程度の測量結果であった。補修後の累積沈下量は1cm程度である。

3) 新山本調整池^{5), 6), 7)}

(a) 2004年新潟県中越地震での被災および補修状況

新山本調整池は、堤高 42.40m、堤頂長 1,392m の中央遮水壁型フィルダムである。2004 年新潟県中越地震の際には、堤体天端が全体的に上流側に傾斜し、特に左岸側では天端道路に窪地がところどころに生じ、堤体が沈下した。右岸側では、ダム軸に直交する亀裂が発生した。また、フィルタゾーンにある観測計器ケーブル保護用の H 形鋼が道路面より 30cm 程度突出した。上流法面には、全体的に段差地形、窪地がダム軸と平行に生じ、特に左岸側での変状が多かった。堤内のドレーン前面付近では、砂の流出が認められ、左岸側の堤体と堆泥の境界付近に墳砂が 12 箇所認められた。下流側法面では、一部に顕著なはらみ出し部が認められ、堤体天端付近にダム軸に平行な亀裂や段差地形が生じた。

被災した新山本調整池の復旧方針は、天端補修、上流面補修、下流面補修、ドレーン機能の確保の 4 つから成る。まず、天端補修については、堤体沈下に対して基本断面の回復を原型復旧として行うこととし、堤体延長全体を補修範囲とした。上流面の補修は、上流面の窪み部の復旧として、掘削除去及び再盛立、シェル及びドレーン構造確保のための粗流フィルタの設置を行った。

下流面の補修は、下流面の上部の亀裂及び下部はらみ出しに対する復旧として掘削除去及び再盛立を行うこととした。ドレーン機能の確保としては、砂混入範囲までの掘削除去及び再盛立とした。このように、各種構造区分に配慮しながらの掘削除去と再盛立が補修の基本であった、**図-6.35** に示すような補修を行うこととした。その後、2006 年 2 月に補修工事後の試験湛水を終了し、同年 3 月に完成した。

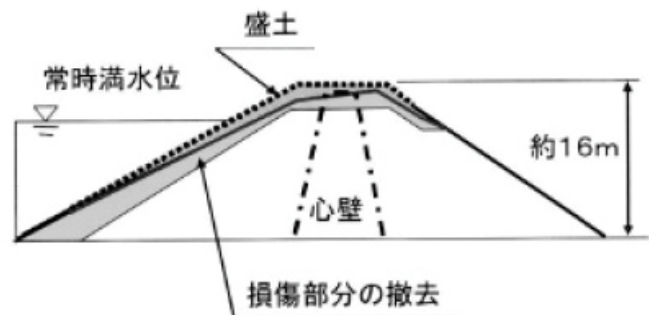


図-6.35 新山本調整池補修状況⁷⁾

(b) 今回の地震調査結果

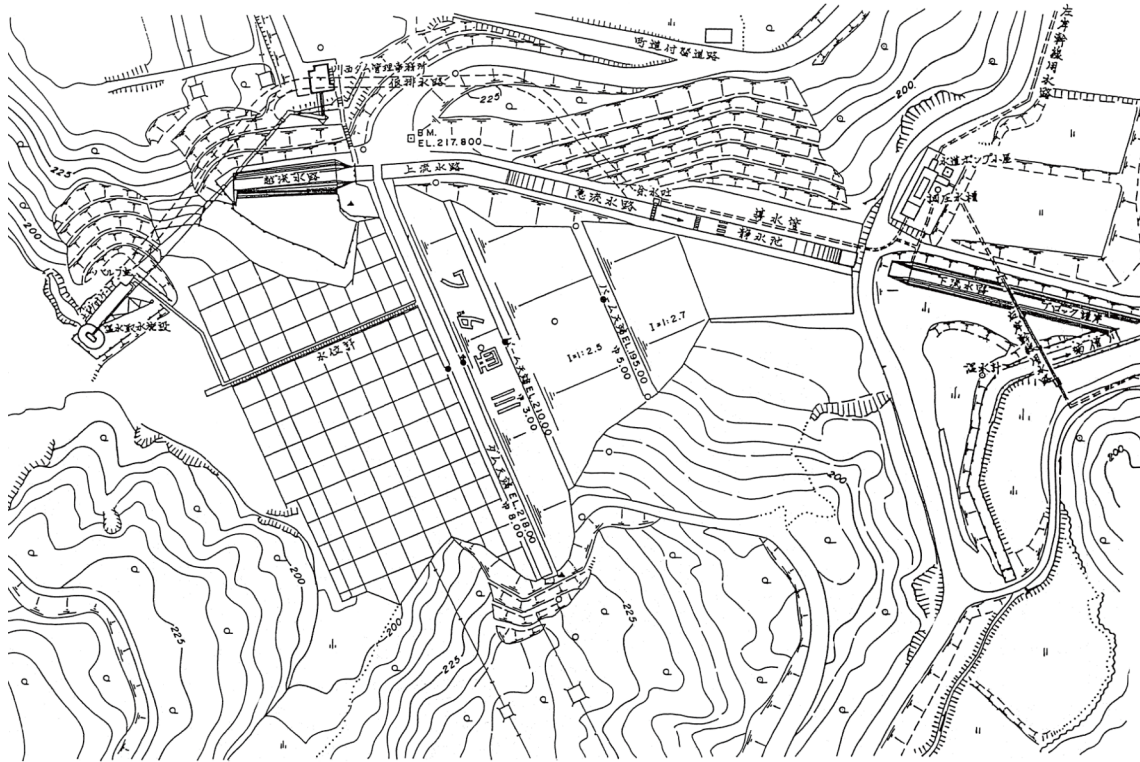
新山本調整池では、2004 年新潟県中越地震時には地震計が設置されていたものの、度重なる余震により、記録装置に余震データが上書きされ本震データが得られなかった。その後の復旧にあたり、計 6 台の地震計が再設置された。今回の新潟県中越沖地震時の記録では、下流法尻の地表部に設置された地震計で最大加速度 247gal、天端に設置された地震計で最大加速度 301gal が記録された。

現地での目視観察において堤体における変状は特に確認されなかった。漏水量観測値も地震直前 10 時時点で 940/min であったものが、地震後の 11 時には 1010/min と、若干の増加が確認できたが、翌日には平常値にもどったとのことである。堤体変位としては、天端、上下流法面に計 61 カ所の標的が設置されており、今回の地震では、天端において 1~4mm 程度の沈下量が測定された。

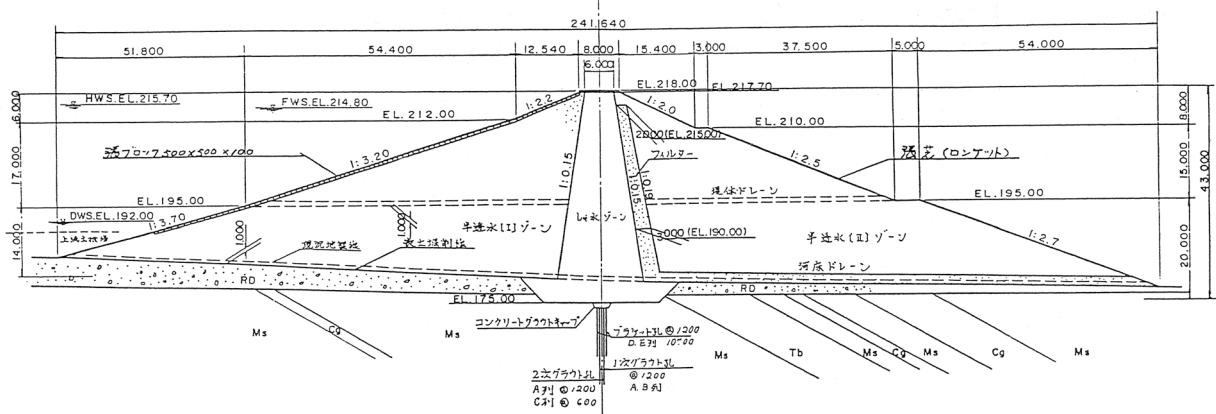
(5) 川西ダム

川西ダムは、信濃川水系南沢川に 1980 年に完成した。ダムの目的はかんがい用水であり、新潟県農地部が管理している。堤高 43m、堤頂長 170m、堤体積 348,000m³、総貯水容量 1,215,000m³ のアースダムである。川西ダムの構造を図-6.36 に示す。

地震の加速度については、左岸側地山の地震計で、上下流方向 266.7gal、ダム軸方向 218.1gal、鉛直方向 91.6gal の最大加速度を記録し、ダム天端中央の地震計では、上下流方向 315.9gal、ダム軸方向 315.3gal、鉛直方向で 152.0gal の最大加速度を記録した。



(a) 平面図



(b) 堤体標準断面図

図-6.36 川西ダムの構造 (新潟県農地部提供資料より)

1) 2004年新潟県中越地震での被災状況⁷⁾および復旧状況^{8),9)}

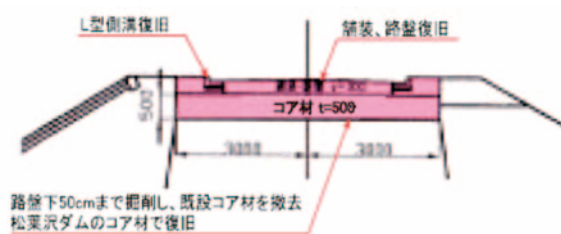
川西ダムは、2004年新潟県中越地震の際に、地震の加速度を、左岸側の地山で最大加速度 545.5gal、天端中央で 582.5gal を計測した。

堤体での被災状況については、天端舗装面の左右岸部に上下流方向に横断する横亀裂が 4 条発生した。上流法面では左岸中位標高から法先にかけて変位（全体として沈下）が見られ、法先部では上流側に水平移動している箇所が見受けられた。特に堤体左岸側の張ブロック部では、30cm 程度の陥没や段差が生じた。下流側では、洪水吐き、放水路末端の側壁が 1 スパン分、打継目で上下の側壁が分離、崩壊した。また、管理棟が被災し、立ち入り出来ない状況となった。漏水量は、地震後に濁りが確認された。その後の調査で、放流水路に沿って設置してある導水管が損傷して、洪水吐きからの漏水が混入したことが判明したことから、地震後の正確な漏水量のデータは地震後には得られなかった。

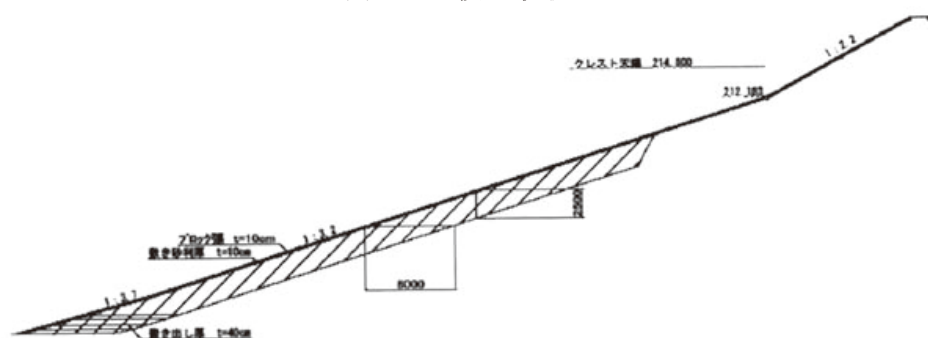
川西ダムの復旧は、以下のように行われた。

復旧状況を図-6.37 に示す。天端標高の不足している堤頂部は、被災箇所の路盤下 50cm まで既設コア材を撤去、当時、建設中であった松葉沢ダムのコア材で盛土し、舗装復旧した。堤体上流面の盛土材は、川西ダムの堤体材料と購入碎石を混合したブレンド材を使用した。締固め仕様は、試験盛土により決定し、使用機種は 11t 級振動ローラ、撒出し厚 40cm、転圧回数 6 回とした。張ブロックはできる限り再利用した。

洪水吐きの導流壁は、倒壊や変位を起こした 1 スパン分を撤去し、新たに作り変えた。観測監視施設について、被災した計器類はすべて修理または新設した。設備配線については、できるだけ再利用し、再利用不可な箇所については新設とした。また、水位計（浸潤線観測、地下水位観測用）の復旧については、新たに観測孔を掘削し、旧観測孔は埋塞した。



(a) 天端復旧状況⁹⁾



(b) 上流法面ブロック復旧断面⁸⁾

図-6.37 川西ダム 2004年中越地震後の復旧状況

2) 今回の地震調査結果

目視観察上では、今回の地震による堤体の外観上には、大きな変状は認められなかった。

(a) 漏水量

川西ダムでは、下流側堤体の堤敷には河床水平ドレーンがあり、法尻に集水された浸透流を下流の漏水量計測地点まで導水管で導水している。漏水量と貯水位の計測結果を図-6.38に示す。地震発生時の水位はEL. 211.73mであった。漏水量の計測値は、地震前（16日10時）に1.7ℓ/min、地震直後（16日11時）に1.7ℓ/min、地震発生半日後（16日18時）には0ℓ/minとなり、余震直後あたりから漏水量の計測値が0になった。地山からの地下水流入量も一緒に計測していることから、浸透流導水管（φ100mm）で異変が起きていると判断し、法尻から洪水吐きの導流壁を貫いて導流部に出てくる導水管の一部を切断し、導流管内部状況を確認した。その結果、導水管の一部に砂と小石が詰まり流れなくなっていた。ドレーン材である砂や小砂利が導水管に入り込んだものと思われる。7月20日に仮設配管を行い、漏水量を計測できる状態になった（写真-6.20、写真-6.21参照）。

浸透流導水管の仮設配管後、地震後の19日18時には、漏水量85.1ℓ/minを記録し、その後、時間経過と貯水位低下に伴って漏水量は徐々に低下した。

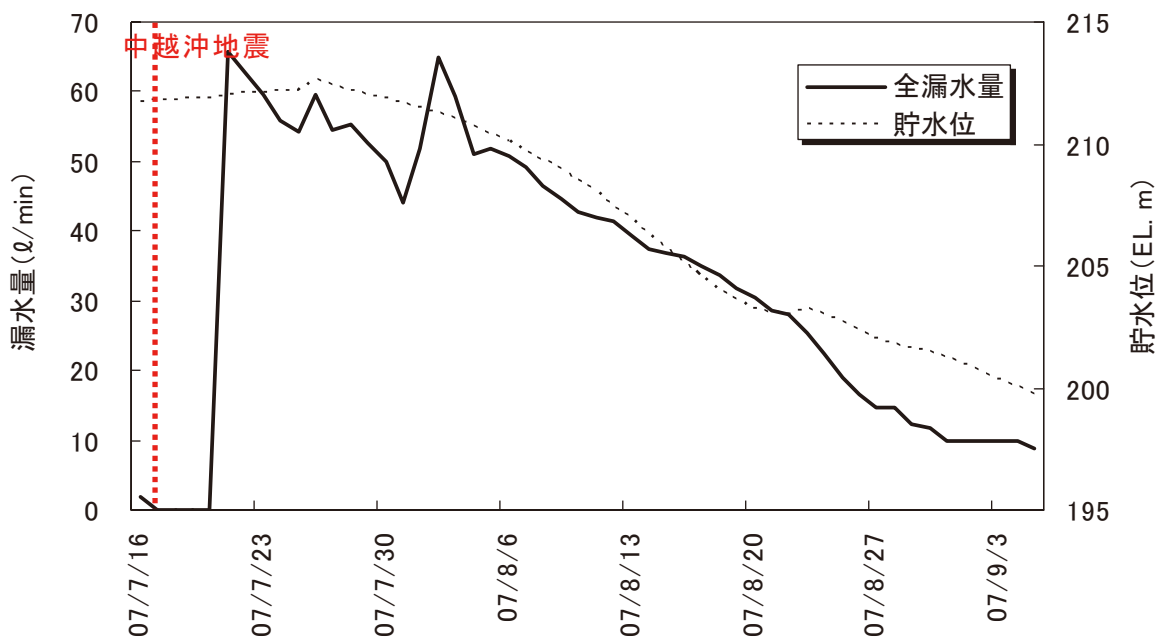


図-6.38 川西ダム漏水量と貯水位の計測結果
(新潟県農地部提供資料を元に作成)



写真-6.20 仮設管による浸透流導水状況
(浸透流導水管が土砂により詰まったため、
導水管を切断し、仮設管による導水を実施)



写真-6.21 導水管切断及び仮設管接続箇所

(b) 堤体変形

川西ダムの堤体変形は、堤体の天端及び上下流法面に設置されている標的測量より計測されている。地震前状態の6月27日の計測結果に対して、地震後の7月16日+を下流方向として、天端は2~8mm、上流法面は-2~5mm、下流法面は-7~2mmの水平変位が計測された。沈下量は、-を鉛直下方向として、天端は-4~4mm、上流側法面は6~11mm、下流法面は-4~1mmの鉛直変位が計測された。

(6) 松葉沢ダム

松葉沢ダムは、信濃川水系小海川に位置する。2006年11月～2007年1月に試験湛水を実施し、2007年に完成した。ダムの目的は、農地防災とかんがい用水である。現在、新潟県農地部が管理している。堤高24.5m、堤頂長78m、堤体積75,000m³、総貯水容量171,000m³のアースダムである。松葉沢ダムの構造を図-6.39に示す。なお、2004年新潟県中越地震時には築堤中であつた。

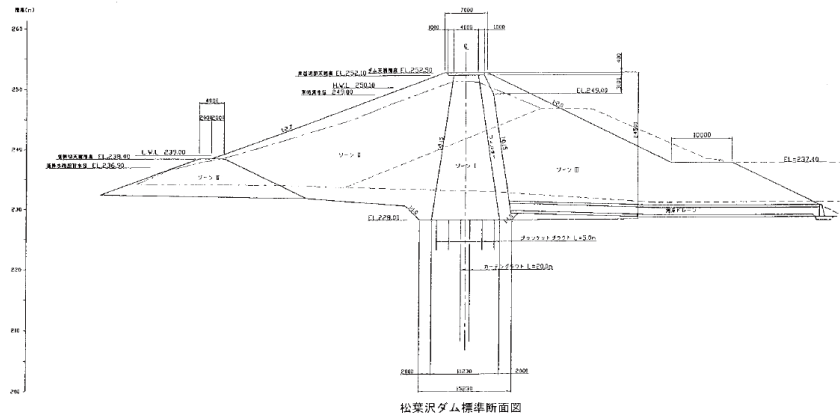
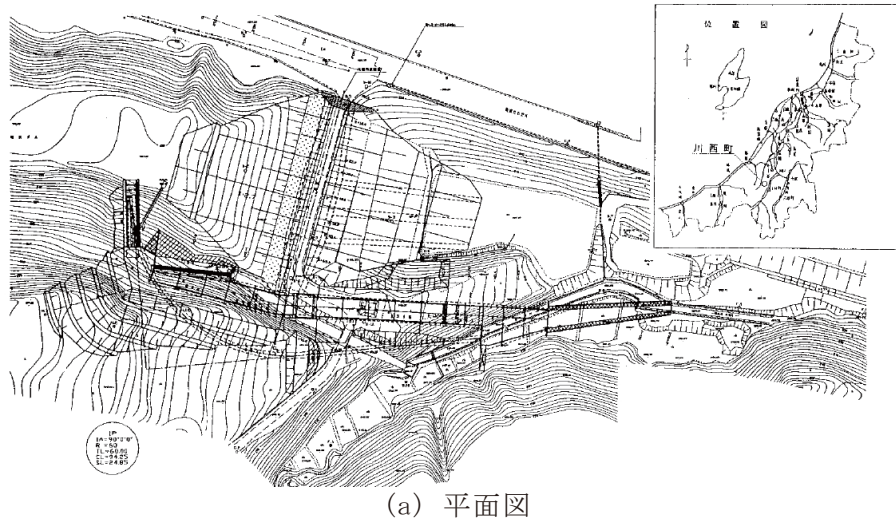


図-6.39 松葉沢ダムの構造¹⁰⁾

1) 今回の地震調査結果

目視観察では、今回の地震による大きな変状は確認できなかった。

(a) 漏水量

松葉沢ダムの漏水量と貯水位の計測結果を図-6.40に示す。当ダムは、下流側堤体河床部の河床ドレーンに集水された堤体漏水量と左右岸からの地下水も含め集水する左右岸漏水量の3系統の漏水量を計測している。地震発生時の貯水位はほぼ常時満水位であつた。3系統の合計漏水量は、地震前に約90ℓ/minであつたのが、地震直後に約120ℓ/minと増加した。その中でも、ダム堤体漏水量が多く、地震前(7月16日10:00)は57.8ℓ/min、地

震直後（16日11:00）に76.3ℓ/minと増加し、地震後（17日9:00）には95.1ℓ/minの最大漏水量を記録した。その後7月下旬以降は、通常のダム運用として貯水位を低下させていったこともあり、漏水量は水位変化に伴って減少した。

前年の2006年に試験湛水を実施し、12月に常時満水位に達しているが、そのときの漏水量（試験湛水中の最大漏水量）は堤体河床漏水量で70ℓ/min、全漏水量で90ℓ/minであった。今回の地震時には、試験湛水時の漏水量を越え、これまでに履歴した最大の漏水量であり、地震後に貯水位が下げられたこともあり、同一貯水位状況下での漏水量の回復過程が確認されたわけではないので、今後水位を上げる際には、漏水量の変化に留意していくことが必要と考える。

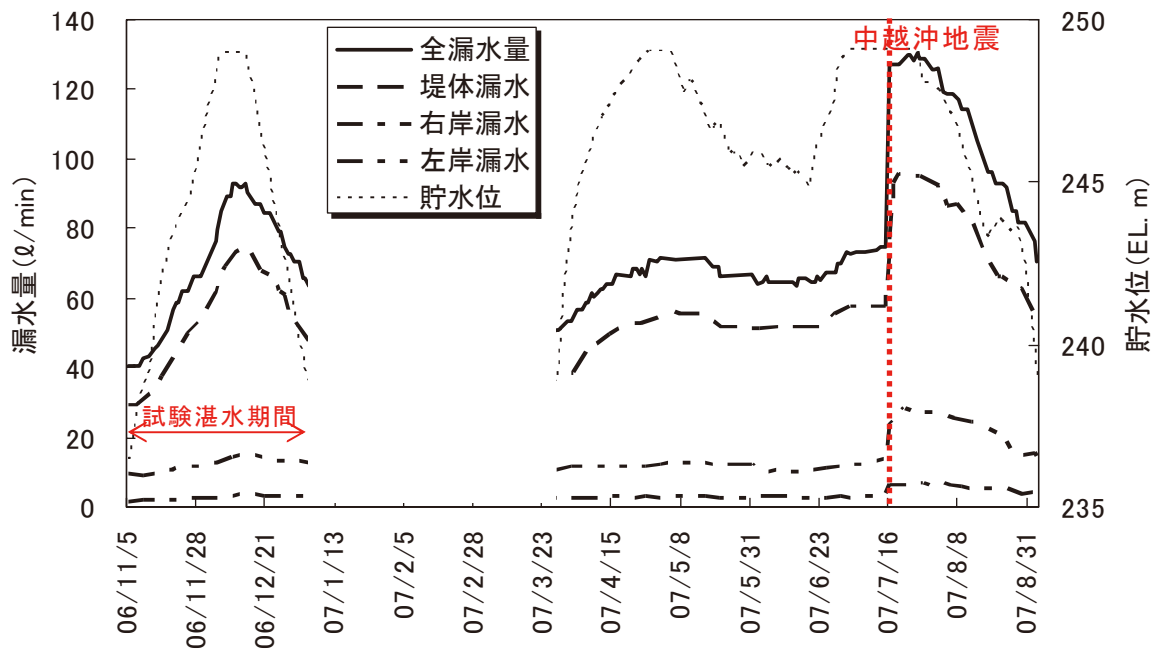


図-6.40 松葉沢ダム漏水量と貯水位の計測結果
 (新潟県農地部提供資料を元に作成)

(b) 間隙水圧

堤体内および基礎に設置されている間隙水圧計の記録では、地震前の7月上旬に観測した計測値と地震直後の計測値を比較すると、コア内 EL. 238m の P-7 は、10kPa 程度の間隙水圧の上昇を計測した。他の計測ポイントではほとんど変化はなかった。P-7 についても、貯水池の水位の低下に伴い、間隙水圧は低下し、安定した。

(c) 堤体変形

水平変位は地震前に計測された7月5日の計測結果に対して、地震当日16日の計測値は、+を下流側方向として、天端は-3~-1mm、下流法面は0~3mmの変位が計測されているが、いずれも計測誤差の範囲と考えられる。

沈下量は、地震前に計測された7月5日の計測結果に対して、地震当日16日の計測値は、-を沈下方向として、天端は-7~-1mm、下流法面は-4~5mmの変位量が計測された。

(7) 坪山ダム

坪山ダムは、信濃川水系曾根川に 1997 年に完成した。ダムの目的は農地防災とかんがい用水で、新潟県農地部が管理している。堤高 20.5m、堤頂長 94m、堤体積 66,500m³、総貯水容量 216,000m³ のアースダムである。坪山ダムの構造を図-6.41 に示す。

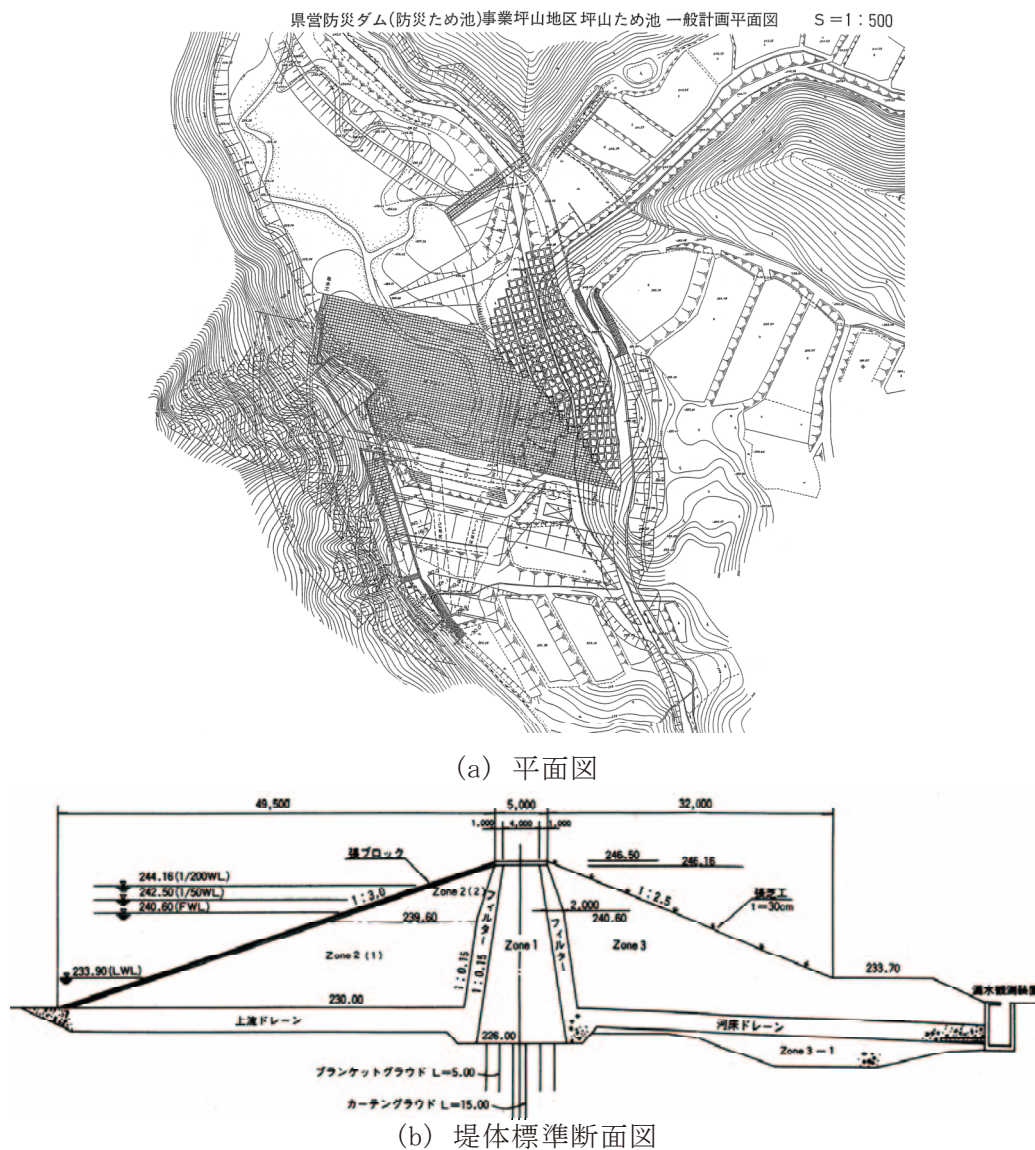


図-6.41

図-6.41 坪山ダムの構造（新潟県農地部提供資料より）

1) 2004 年新潟県中越地震での被災状況⁸⁾

坪山ダムは、2004 年新潟県中越地震の際に被災し、堤体に損傷を生じた。被災状況について、天端の舗装面に上下流方向に横断する亀裂が 5 条程度生じた。また、全体的に沈下しており、一部（堤頂長 94.0m の内 50.8m）で非越流標高が不足する状態となった。

上下流法面では、右岸側の洪水吐きと盛土の取付け部で約 12cm 程度の段差が生じた。下流法面では 3 カ所の変状（すべり、崩壊状の亀裂）が発生した。

本震発生時、貯水池は空虚であった。漏水量は、地震前には堤体部で 24.20/min、地山

部で 0ℓ/min、地震直後（11月23日18時）には堤体部で 21.7ℓ/min、地山部で 0ℓ/min、11月25日12時には堤体部で 32.5ℓ/min、地山部で 0ℓ/min、同月30日9時には堤体部で 25.5ℓ/min、地山部で 0ℓ/minと、地震による変化はほとんどなかった⁷⁾。

坪山ダム復旧断面を図-6.42に示す。非越流部標高が不足している区間は、アスファルト舗装、フィルタ材を一時除去し、不足相当のコア材を撒出し転圧した。下流面については、緩み領域を掘削除去して再盛立を行った。

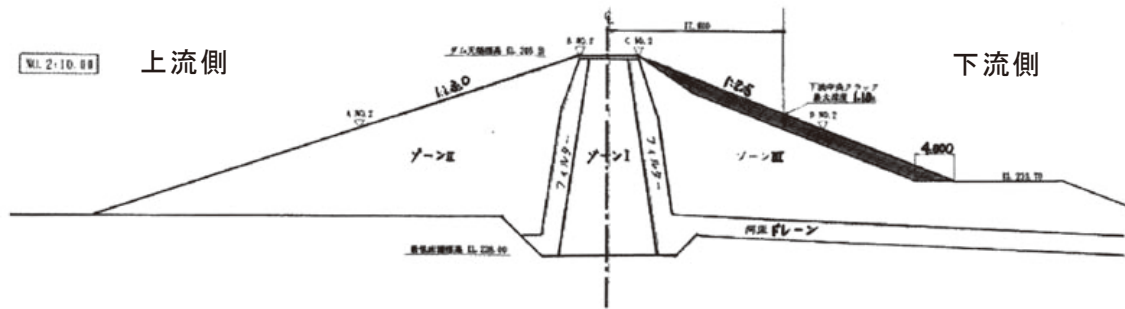


図-6.42 坪山ダム復旧断面⁸⁾

2) 今回の地震調査結果

目視観察では、今回の地震による大きな変状は確認できなかった。

(a) 漏水量

坪山ダムは、下流側堤体河床部の河床ドレーンに集水された堤体漏水量と左岸地山からの地下水も含め集水する左岸漏水量の2系統の漏水量を計測している。坪山ダムの漏水量と貯水位の計測結果を図-6.43に示す。地震発生時の水位は EL. 240.70m でほぼ満水位であった。全漏水量の変化は地震前（7月16日10時）に 34.0ℓ/min、地震直後（16日13時）には 40.5ℓ/min と増加した。その後、23日には、日平均漏水量 52.5ℓ/min、26日には約 60ℓ/min を計測しているが、降雨の影響もあると考える。その後、時間経過と貯水位低下に伴い、地震前の漏水量レベルに戻った。

今回の地震時には、2004年の新潟県中越地震後の復旧工事後の試験湛水時（2005年7～10月）の常時満水位（FWL）からサーチャージ水位における漏水量レベル 40ℓ/min 程度を上回る漏水量が計測された。地震後に通常運用として貯水位が下げられたこともあり、同一貯水位状況下での漏水量の回復過程が確認されたわけではないので、今後水位を上げる際には、漏水量の変化に留意していくことが必要と考える。

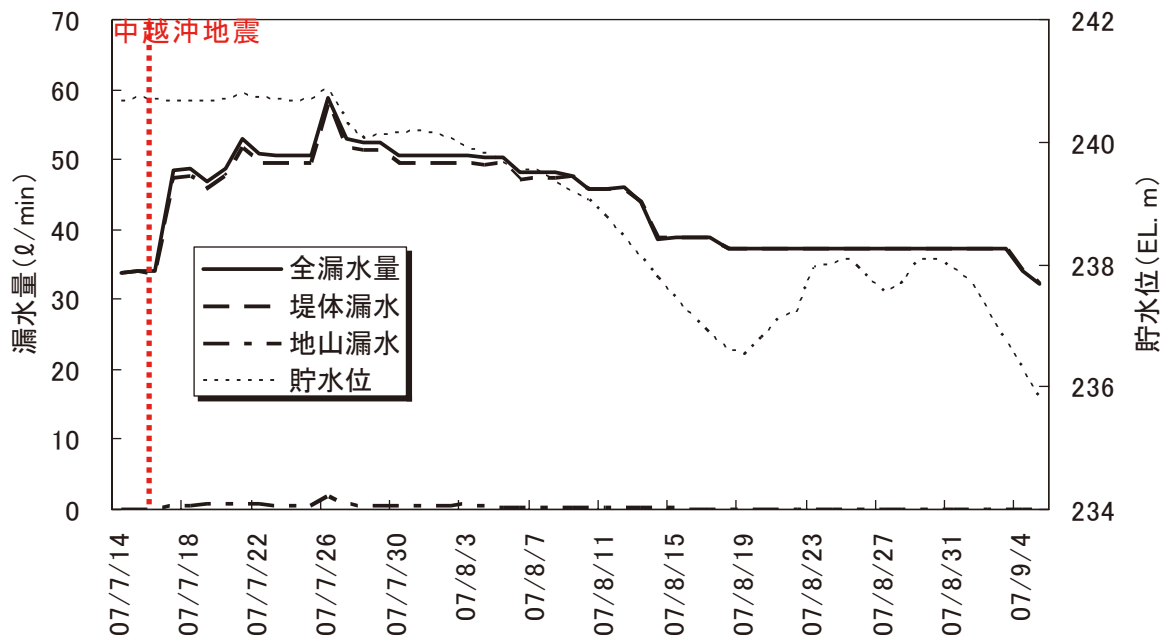


図-6.43 坪山ダム漏水量と貯水位の計測結果
(新潟県農地部提供資料を元に作成)

(b) 堤体変形

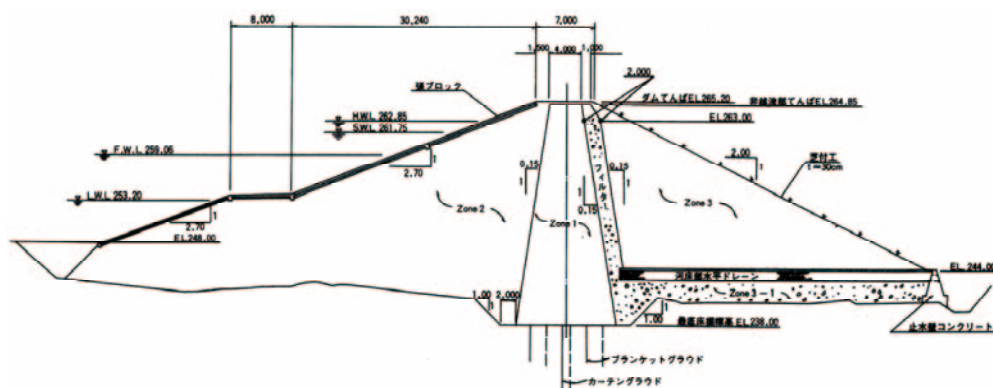
水平変位は地震前の6月27日に測量した計測値に対して、+を下流側方向として、天端は0~2mm、下流法面は0~2mmの変位が計測された。沈下量は、地震前の6月27日に測量した計測値に対して、-を沈下方向として、天端は-4~-3mm、下流法面では-4~-1mmの変位が計測された。

(8) 長福寺ダム

長福寺ダムは、信濃川水系木島川に2000年に完成した。ダム目的は、農地防災とかんがい用水で、新潟県農地部が管理している。堤高27.2m、堤頂長73.2m、堤体積60,000m³、総貯水容量193,000m³のアースダムである。長福寺ダムの構造を図-6.44に示す。



(a) 平面図



(b) 堤体標準断面図

図-6.44 長福寺ダムの構造 (新潟県農地部提供資料より)

1) 2004年新潟県中越地震での被災状況^{7),8)}

長福寺ダムは、2004年新潟県中越地震の際に被災し、堤体に損傷を生じた。左右岸の地山取付け境界で上下流方向に横断する亀裂が発生した。亀裂の開口幅は大きいところで5cm程度であった。また、上下流法面では、左岸側の洪水吐きと上流側盛土の取付け部に約6cmの段差が確認された。上流法面は張ブロックが施工されているため、局所的な変状は見えにくく、目視上では大きな変状は認められなかった。

2004年新潟県中越地震の本震発生時、貯水池は10月11日に落水しており、空虚であった。漏水量は、地震前には堤体河床ドレーンからの漏水量が58.0ℓ/min、地山からの漏水量が2.4ℓ/min、地震直後には堤体部で88.0ℓ/min、地山部で2.4ℓ/min、地震発生から2時間後には堤体部で125.9ℓ/min、地山部で3.7ℓ/minを観測した。さらに、地震発生後1ヶ月した11月28日9時には堤体部で109.8ℓ/min、地山部で1.9ℓ/minが観測されているが、それ以降、漏水量は安定した挙動を観測した。

天端の復旧は、クラック周辺の舗装を撤去し、下層路盤を掻き起した後再度転圧を行い、アスファルト舗装した。上流側法面の復旧は、ブロック張りコンクリート等の沈下部をはり取り、新規にコンクリートの打設を行った。

2) 今回の地震調査結果

目視観察では、今回の地震による大きな変状は確認できなかった。

(a) 漏水量

長福寺ダムでは、下流側堤体河床部の河床ドレーンに集水された堤体漏水量と左右岸からの地下水も含め集水する左右岸漏水量の3系統の漏水量を計測している。地震発生時の貯水位はEL. 259.19mでほぼ満水位であった。長福寺ダムの漏水量と貯水位の計測結果を図-6.45に示す。全漏水量の変化は地震前(7月16日10時)に63.4ℓ/min、地震直後(16日11時)に81.4ℓ/minと増加し、地震翌日の17日10時には98.5ℓ/minの最大値を計測した。全漏水量のうち、堤体漏水量が大部分であった。その後、貯水位低下とともに通常の漏水量レベルに戻った。

今回の地震時には、2004年の新潟県中越地震直後に観測された漏水量120ℓ/min超ほどではないが、その後の復旧工事後の試験湛水時(2005年4~6月)の漏水量レベル80ℓ/min程度を上回る漏水量が計測された。地震後に通常運用として貯水位が下げられたこともあり、同一貯水位状況下での漏水量の回復過程が確認されたわけではないので、今後貯水位を上げる際には、漏水量の変化に留意していくことが必要と考える。

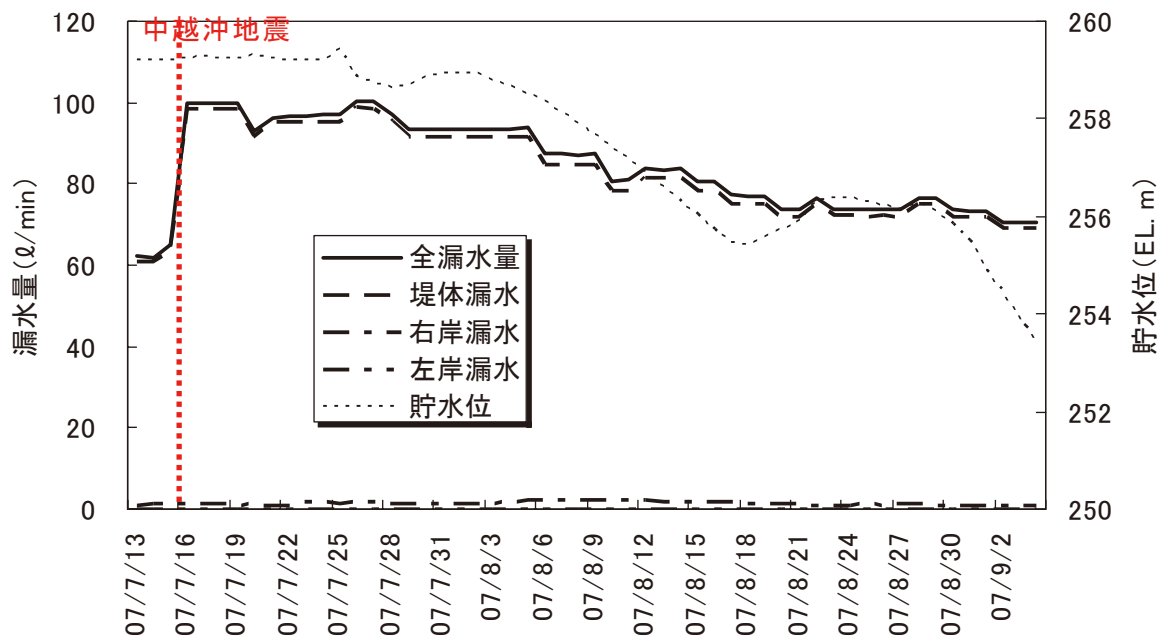


図-6.45 長福寺ダム漏水量と貯水位の計測結果
(新潟県農地部提供資料を元に作成)

(b) 堤体変形

水平変位は地震前の6月26日に計測した結果に対して、+を下流側方向として、天端は-2~0mm、上流法面は変位なし、下流法面は-4~-2mmの変位が計測された。沈下量は、地震前の6月26日に計測した結果に対して、-を沈下方向として、天端は-2~-1mm、上流法面は-1~2mm、下流法面は-3~-2mmの変位が計測された。

6.3 ダムで観測された地震動

6.3.1 最大加速度記録

今回の地震により、ダムの基礎または監査廊の低標高部に設置された地震計で、25gal以上の加速度を記録した国土交通省所管ダムは 11 ダムである。また、これら以外でも 7 つの利水ダムで最大加速度が 25gal を超えた記録を観測した。これらのダムの位置図を図-6.46 に示している。また、その最大加速度記録を表-6.5 に示す。

ダム基礎における最大加速度の断層からの距離による距離減衰の状況を、図-6.47 に示す。ただし、岩盤上に築造されていないアースダムの基礎の記録等は含めていない。「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案）・同解説」¹¹⁾ に示されているダムの距離減衰式¹²⁾（内陸型地震 M6.8：最短距離式）を図-6.47 に比較のため併記した。図-6.48 は鉛直動の距離減衰の状況である。なお、距離減衰式の距離を算出するために用いた断層モデルは、国土地理院の提案したモデル¹³⁾ を使用した。

また、ダム基礎で 25gal 以上を記録した国土交通省所管のダムの加速度応答倍率（基礎位置と天端位置での最大加速度比）を図-6.48 に示す。



図-6.46 ダム基盤で 25gal 以上を記録したダム

表-6.5 ダム基礎で25gal以上を記録したダムの最大加速度記録一覧

管理者	ダム名	ダム形式	震央距離(km)	地震計設置位置		最大加速度(gal)		
						ダム軸	上下流	鉛直
新潟県	下条川ダム	G	42.9	基礎	監査廊	35	41	29
				天端	天端中央	38	89	35
	鯖石川ダム	G	37.0	基礎	監査廊	93	115	70
				天端	洪水吐き口の張出部	104	129	84
	城川ダム	G	39.4	基礎	監査廊	-66	77	50
				天端	天端右岸寄	-69	82	56
	正善寺ダム	G	55.1	基礎	監査廊	-36	91	30
				天端	天端中央	-40	98	33
	笠堀ダム	G	50.2	基礎	監査廊	23	-26	-24
				天端	天端中央	116	-363	-102
	破間川ダム	G	52.7	基礎	監査廊下部	23	27	21
				天端	天端中央	-108	315	66
	柿崎川ダム	R	31.8	基礎	監査廊	170	143	76
				天端	ダム天端	220	275	114
新潟県(利水)	川西ダム	E	37.0	基礎	左岸地山	218	267	92
				天端	天端中央	315	316	152
柏崎市(利水)	谷根ダム	G	23.9	基礎	監査廊	132	157	87
				天端	天端			
	川内ダム	E	20.4	基礎	下流法尻	204	292	153
				天端	天端			
富山県	大谷ダム	E	122.9	基礎	漏水量測定室	20	25	16
				天端	ダム天端	48	31	20
福島県	田島ダム	G	104.7	基礎	監査廊	13	35	14
				天端	天端	16	57	19
長野県	金原ダム	R	124.3	基礎	右岸地山(天端標高)	-53	-64	30
				天端	ダム天端	108	141	-23
	裾花ダム	A	103.0	基礎	監査廊	25	19	20
				天端	天端左岸ピア	40	95	21
JR東日本(利水)	浅河原調整池	E	42.8	基礎	下流法尻	-180	144	-72
				天端	天端	327	-242	-144
	山本調整池	E	29.3	基礎	下流法尻基礎	-97	154	-67
				天端	天端	-91	245	100
	新山本調整池	R	30.0	基礎	下流法尻	-248	-127	-87
				天端	天端	-301	-289	137
電源開発(利水)	只見ダム	R	64.0	基礎		44	42	29
				天端		36	58	33

注1:型式 G:重力式コンクリートダム、R:ロックフィルダム、A:アーチ式コンクリートダム、E:アースダム

注2:臨時点検結果報告より整理。ただし、谷根ダム、川内ダムは別途収集。いずれも速報値。

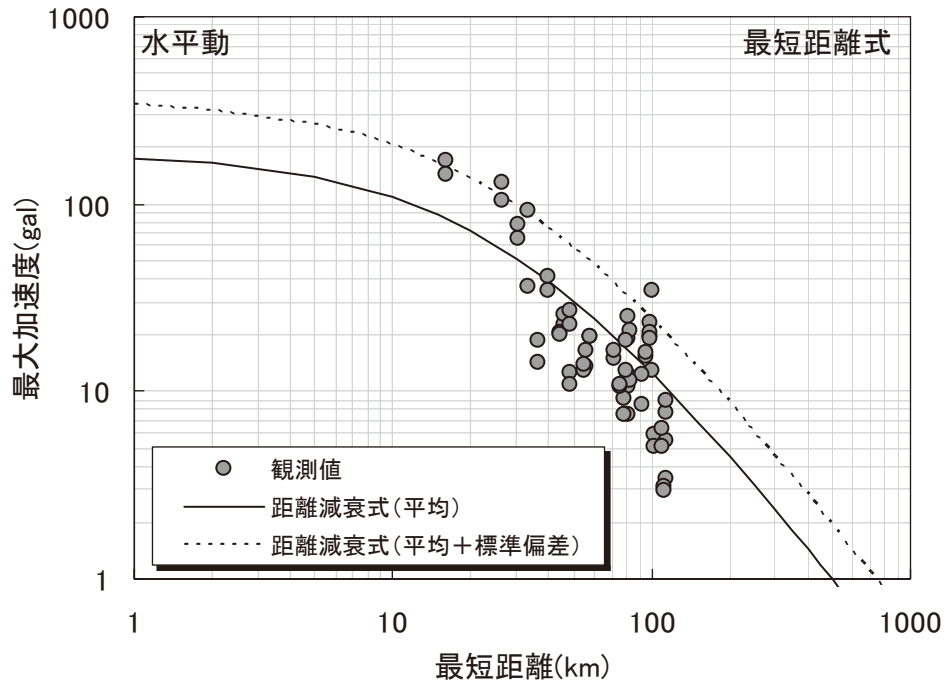


図-6.47 ダム基礎最大加速度(水平動)の距離減衰分布
とダム距離減衰式(最短距離式、内陸型地震・M6.8)

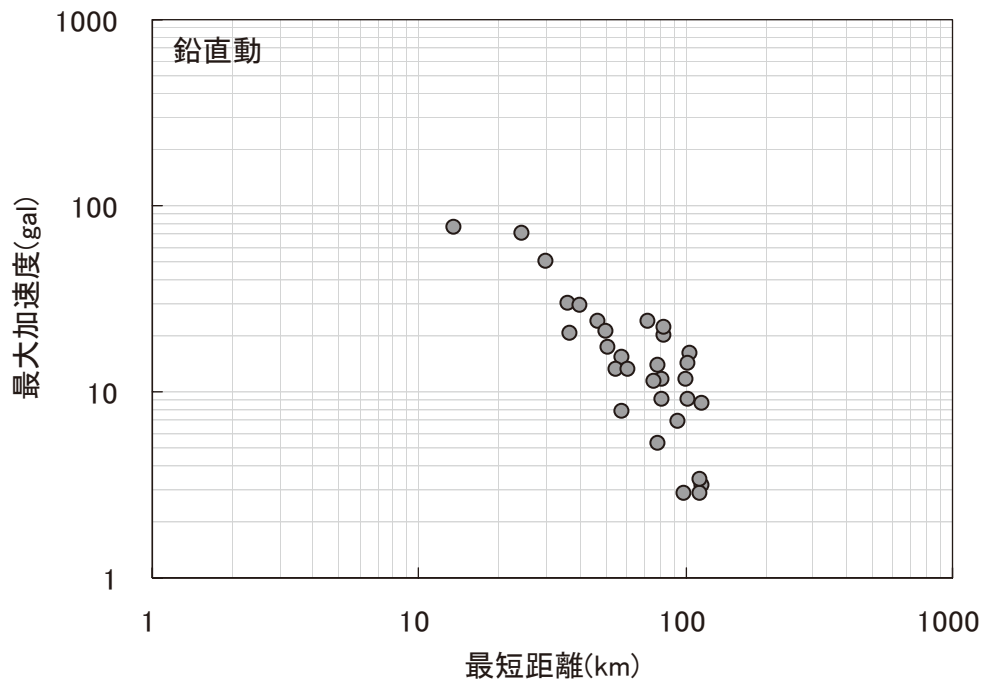


図-6.48 ダム基礎最大加速度(鉛直動)の距離減衰分布

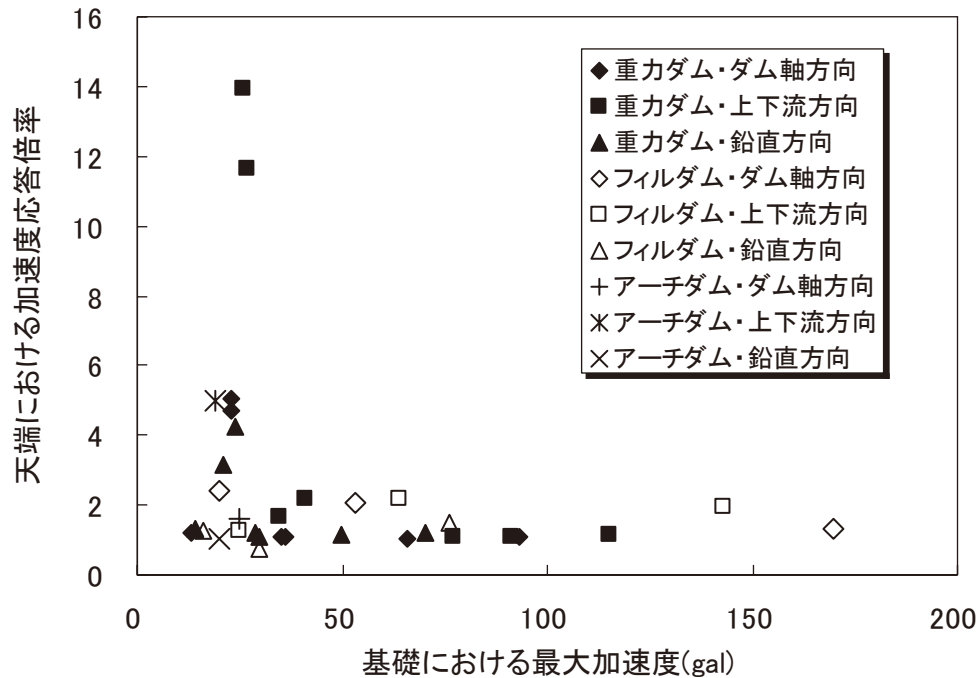


図-6.49 天端における最大加速度の応答倍率

6.3.2 柿崎川ダムにおける加速度記録

柿崎川ダムは、今回の地震において国土交通省所管ダムの中で最も震源近傍であったダムで、震央距離では、約 32km に位置していた。地震の加速度記録としては、ダム基礎（監査廊底部）の地震計で、上下流方向 143gal、ダム軸方向 170gal、鉛直方向 76gal の最大加速度を記録し、天端位置での地震計では、上下流方向 275gal、ダム軸方向 220gal、鉛直方向で 114gal の最大加速度を記録している。この記録の加速度時刻歴を図-6.50 に、ダム基礎の加速度応答スペクトルを図-6.51 に示す。

図-6.51 をみてわかるように、柿崎川ダムのダム基礎で記録された水平方向の加速度波形の加速度応答スペクトルは、「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案）」¹¹⁾ に示されている、ダム地点の水平動について規定された「照査用下限加速度応答スペクトル」に比べるとおおむね小さい記録であった。

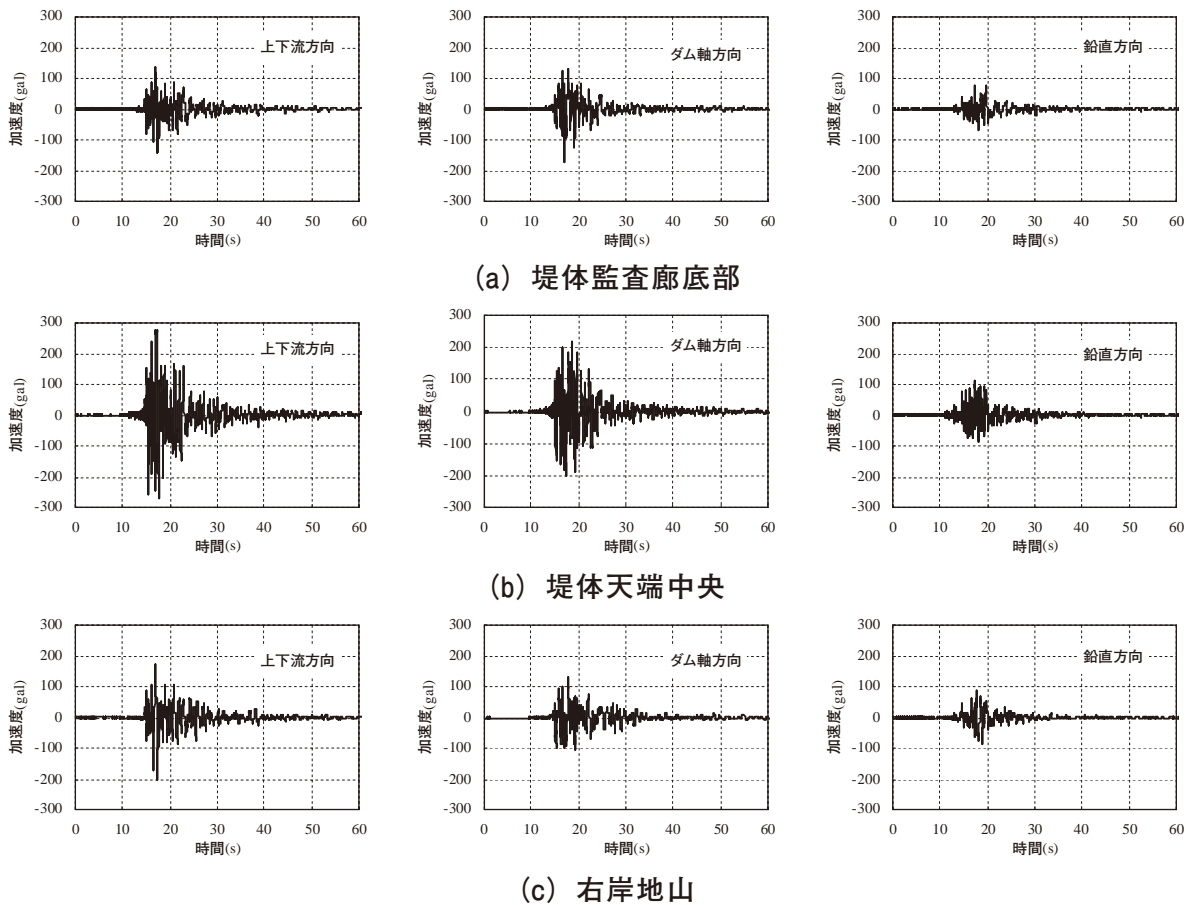


図-6.50 柿崎川ダム加速度時刻歴波形（ダム基礎、天端、右岸地山内）

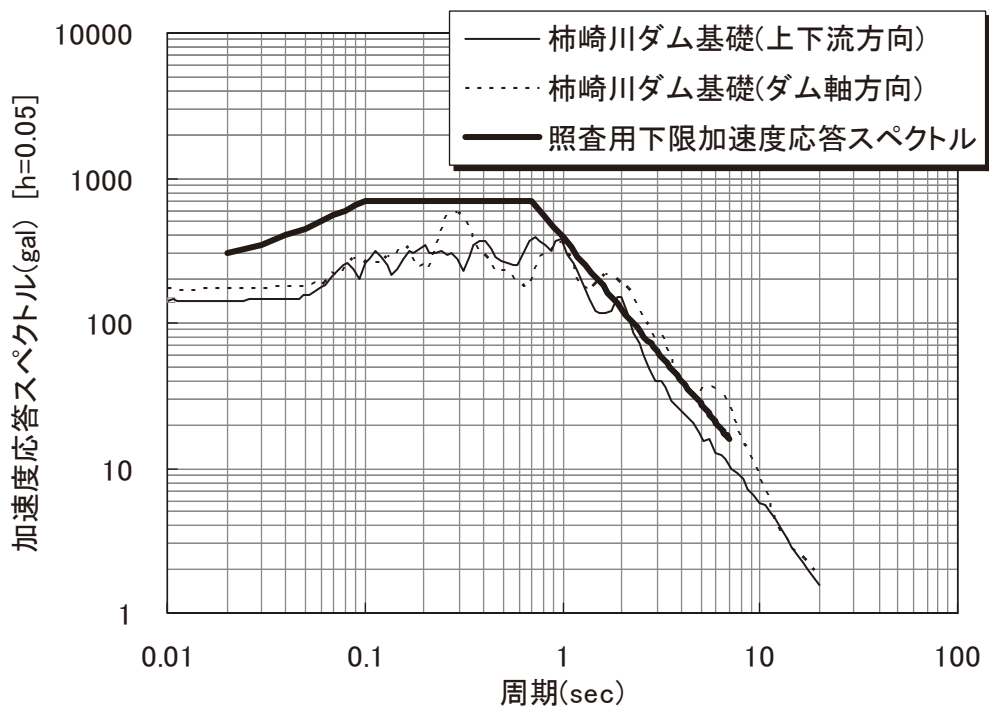


図-6.51 柿崎川ダムのダム基礎における加速度応答スペクトル

6.4 まとめ

2007年新潟県中越沖地震において、震源近傍に位置する管理中のダムを中心に、現地調査を実施した。川内ダムを除き、ダムの安全管理に関わるような変状が生じていないことを現地目視および堤体観測記録から確認した。また、その観測記録の整理・分析結果から、比較的大規模な地震によるダムの挙動についてまとめた。

なお、川内ダムについては、地震直後に緊急応急対策が図られ、2008年1月現在、復旧に向けた調査・実施計画が検討されており、今後復旧工事が行われる予定である。

謝 辞

2007年新潟県中越沖地震後のダムの調査に当たっては、国土交通本省、同北陸地方整備局河川部、同北陸地方整備局信濃川河川事務所、新潟県土木部河川管理課、新潟県柏崎地域振興局および十日町地域振興局、柏崎市ガス水道局、川西土地改良区、ならびに東日本旅客鉄道株式会社を始めとする関係諸機関には、災害対応でご多忙の中にもかかわらず、現地調査に多大な協力をいただくとともに、観測データ等の多数の資料を提供して頂いた。ここに記して深甚なる謝意を表す。

参考文献

- 1) 新潟県柏崎市ガス水道局：パンフレット「柏崎の水道」
- 2) 国土交通省国土地理院：平成19年（2007年）新潟県中越沖地震 緊急撮影空中写真画像 平成19年7月19日撮影 縮尺約1/10,000写真番号C1A_1648
http://www1.gsi.go.jp/topographic/bousai/photo_h19-chuetsuoki/photo/300/C1A_1648.html
- 3) 岩下友也：フィルダムの耐震設計法の高度化に関する研究、平成10年度科学技術庁長期在外研究員報告書、1999.8
- 4) 新潟県柏崎市ガス水道局：赤岩ダム工事誌、1989.12
- 5) 東日本旅客鉄道株式会社：信濃川発電所復旧工事技術専門委員会委員会報告書、2006.5
- 6) 国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人土木研究所：平成16年（2004年）新潟県中越地震土木施設災害調査報告、国土技術政策総合研究所報告第27号／土木研究所報告第203号、pp.133～156、2006.1
- 7) 東日本旅客鉄道株式会社信濃川発電所：パンフレット「新潟県中越地震発生から完全復旧までの508日間の記録」
- 8) 池田邦彦、黒木博、太田宏道、佐藤裕三：2004年新潟県中越地震によるフィルダムの被害とその復旧工事、ダム日本、No.758、pp.9～28、2007.12
- 9) 新潟県農地部・新潟県農村振興技術連名：新潟県中越大震災～農地・農業施設の復旧記録～（技術資料編）、pp.32～37、2007.3
- 10) 新潟県農地部HP：<http://www.pref.niigata.jp/nochi/denen/index.html>
- 11) 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、2005.3
- 12) 松本徳久、吉田等、佐々木隆、安中正：ダムサイトでの地震動の応答スペクトル、大ダム、No.186、pp.69～76、2004.1
- 13) 国土交通省国土地理院：2008年1月11日報道記者発表「平成19年(2007年)新潟県中越沖地震」の震源断層モデル
<http://cais.gsi.go.jp/Research/topics/topic080111/index.html>