

21世紀初頭10年間の大規模地震における農業用大ダムの入力地震動

増川晋* 黒田清一郎* 林田洋一* 田頭秀和*

*施設工学研究領域構造担当

キーワード：農業用大ダム、大規模地震、地震観測、入力地震動、地震時挙動

I 緒言

農林水産省所管（直轄事業）の国営造成の完成ダムは175ダム、建設中ダムは15ダム（農林水産省，2009）を数え、築造から20年以上が経過した長期供用ダムはすでに半数を超えている。これらに加えて県等により造成された農業用水の利用を目的とする農業用大ダムは全国に数多く点在している。

日本は、環太平洋地震帯の中に位置し、世界の中でも極めて地震の発生が多い国である。さらに、「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」のように地球規模でも稀なマグニチュード9クラスの大地震が発生する国である。日本書紀に記載のある416年の大和（奈良県地域）での地震を最初とする有史以来の被害地震は430回に及んでいる（国立天文台，2013）。

21世紀に入ってからも2001年3月24日には「平成13年（2001年）芸予地震」（気象庁マグニチュード（ M_j ）6.7，最大震度6弱）が発生している（気象庁，2003a）。気象庁マグニチュード（気象庁，2001a）は以下で「 M_j 」と略記する。そして、この地震のほぼ10年後の2011年3月11日に国内観測史上最大規模の地震であった「平成23年（2011年）年東北地方太平洋沖地震」（ M_j 9.0，最大震度7）が発生した（気象庁，2011b，気象庁，2012a，気象庁，2012b）。21世紀の初頭の10年間に日本全域で13の被害地震が発生している（国立天文台，2013）。

これまでの大地震による強震動を受けた大ダムが壊滅的被害を受けた例はない。しかし、マグニチュード6クラス（マグニチュード5.5以上）を越える地震ではなんらかの被害を受けている（例えば，増川ら，1995，浅野ら，1997，増川ら，1997，増川ら，2008a，増川ら，2009，増川ら，2012）。地震時の安全性を評価するため，大ダムの受けた強震動の加速度記録と応答加速度記録を収集することは，ダムの地震時挙動の解明のため重要な課題となっている。平成24年度（2012年度）から農林水産省では，長期供用化が進んだ国営造成農業用ダムの経年的な性能低下，大規模地震の増加による地震時等の突発的な貯水機能の損失の懸念に対して，国営造成農業用ダム175ダム（建設中の15ダムを含め合計190ダム）に対する安全性評価を実施している。この評価の枠組みとして①造成時の設計・施工内容の詳細の確

認，②設計・施工により期待される性能が発揮されていること（健全性）の確認及び③動的解析による耐震性能照査によるレベル2地震動に対する安全性の定量的な確認，を三本柱とする機能診断と耐震性能照査の一体的な実施を進めている（国営造成農業用ダム安全性評価の実施について：平成24年3月30日付け農村振興局整備部長通知）。このうち③の耐震性能照査でダムの耐震性能を照査するための動的な外力として重要であるのが照査用入力地震動（入力加速度波形）である。

これまでに著者らによって2002年（増川ら，2002a）及び2005年（増川ら，2005）に農林水産省の所管しているダムの地震観測記録（基本として基礎相当の観測点で25cm/s²以上の記録）をとりまとめた。これらに引続き，本報文では，①「平成13年（2001年）芸予地震」，②「平成15年（2003年）十勝沖地震」，③「平成16年（2004年）新潟県中越地震」，④「平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震」，⑤「岩手県沿岸北部の地震（2008年7月24日）」及び⑥「平成23年（2011年）年東北地方太平洋沖地震」の六つの顕著な大規模地震時の農林水産省の所管しているダムでの地震観測を収集し，入力地震動を分析した。収集した地震観測記録をとりまとめてCD-ROMに収録し巻末に添付する。

II 平成13年（2001年）芸予地震

瀬戸内海の安芸灘で2001年3月24日，15時27分に M_j 6.7（モーメントマグニチュード（ M_w ）6.8）の「平成13年（2001年）芸予地震」が発生した。モーメントマグニチュード（気象庁，2001a）は以下で「 M_w 」と略記する。広島県河内町（現：東広島市），同県大崎町（現：大崎上島町）及び広島県熊野町で最大震度6弱，西日本を中心に震度1以上を観測した。震源は，北緯34.1°，東経132.7°，深さ51km，フィリピン海プレート内部，スラブ内，で発生した正断層型の地震である。呉市などの傾斜地などでの被害が目立った。最大余震は，26日5時40分に発生した安芸灘を震源とする M_j 5.2，深さ50km，最大震度5強の地震であった（気象庁，2003a）。気象庁により「平成13年（2001年）芸予地震」，英語名称を「The Geiyo Earthquake in 2001」と命名された（気象庁，2001b）。

2.1 佐古ダム

2.1.1 ダム諸元及び特徴

佐古ダム (Fig. 1 (農林水産省中国四国農政局四国土地改良調査管理事務所, 2011)) は、農業用水の貯水のみを目的とした重力式コンクリートダム (ゲートレス) であり、国道前道後平野農業水利事業により愛媛県東温市の一級河川重信川水系佐川川に工期短縮を目的として拡張レア工法を用いて 1997 年に本体着工し 2001 年に竣工した。和泉層群の砂岩、頁岩、凝灰岩の互層を基礎岩盤とし、堤高 31m、堤頂長 210m、堤体積 63 千 m³、受益面積は 10,318ha (うち 1,993ha は畑) に対して有効貯水量は 1,020 千 m³ であり、大根、キャベツ、レタス等、作物の品質向上と多様化が受益地区で進展している。



Fig. 1 佐古ダム
Overall view of Sako Dam

2.1.2 地震時の状況

本ダムは地震時に試験湛水中であり貯水位 EL. 134.32m (13.3m の貯水深) であった。臨時点検の結果、異常は認められなかった (友野, 2002)。震央とダム位置の関係を Fig. 2 に示す。本ダムは、重力式コンクリートダムでの一般的な地震計設置位置である河床部監査廊と堤頂部の二箇所に地震計が設置されている。観測された最大加速度値を Table 1 に示す。Table 1 での「Maximum Acc. (cm/s²)」の欄の数値は最大加速度値 (「Acc.」は「Acceleration」を略す、以下同様) である。「Maximum Acc. Ratio」の欄の数値は、堤体等の観測点での応答加速度の最大値を、入力加速度と見なした基礎地盤や監査廊の基礎に相当する観測点での最大加速度値により除した値 (最大加速度比) である。この最大加速度比 (以下では、加速度比とする) は、各観測点の同一方向成分に対しての値である。本ダムでは、監査廊の観測点での観測記録を入力加速度と見なしている。以下のダムに関しても観測された最大加速度値を同様の表として掲載している。表中に堤高と観測点の標高を記載しているが、重力式コンクリートダムの場合、監査廊の観測点の位置が掘削面標高より高標高にあり、同様にフィル型式の場合、基礎相当の観測点が監査廊床面や地山に設置され、最大断面堤頂部の観測点が余盛内に設置されている場合がある。これらのため、堤頂部と基礎に相当する観測点の標高差が堤高 (H) に一致しない。なお、最大加速度値は観測記録の加速度波形を数値化し、零点補正をした。以下のダムに関しても同様に処理している。

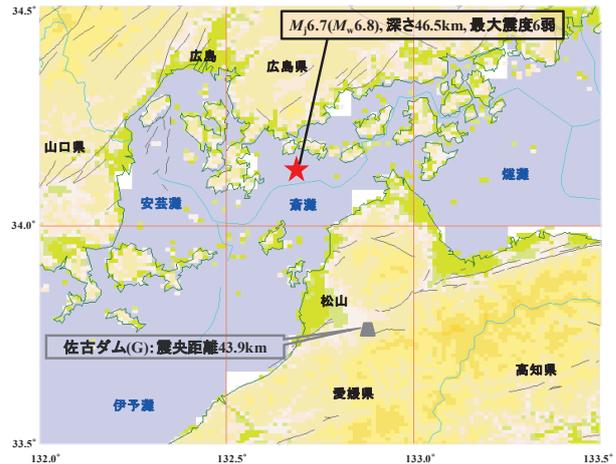


Fig. 2 震央とダム位置
Epicenter and dam position

Table 1 観測記録の最大加速度
Maximum acceleration of the observation record

		The Geiyo Earthquake in 2001(2001.3.24)		
		Stream	Longitudinal	Vertical
Crest EL. 146.1 m H=31.0 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	-441.5	-339.0	-103.4
	Maximum Acc. Ratio	4.50	1.87	1.55
Gallery EL. 119.3 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	-98.1	-181.3	-66.8
	Maximum Acc. Ratio	1.00	1.00	1.00

本ダムは、震央距離 43.9km と比較的震源に近いことから地震規模 (Mj 6.7) に比較して河床部監査廊の最大加速度値が大きい。河床部監査廊ではダム軸方向の最大加速度値が上下流方向に比較して 2 倍程度と大きい、堤頂では上下流方向の最大加速度値がダム軸方向の 1.3 倍と観測方向の最大加速度値の大きさが逆となっている。堤頂の加速度比は上下流方向では 4.5、ダム軸方向では約 1.9 と上下流方向に比較して半分以下である。これから、堤体内での上下流方向への振動の増幅が卓越していると考えられる。本ダムは、堤頂長/堤高比 (L/H) が 6.77 (=210m/31m) と重力式コンクリートダムのダム型式としては L/H が大きいことから、地山拘束の影響が小さく、堤頂部での上下流方向への振動が卓越する傾向であると考えられる。

入力加速度相当である観測加速度波形、本ダムでは河床部監査廊での観測加速度波形の加速度応答スペクトル (減衰定数は 5%) を Fig. 3 に示す。上下流方向は実線、ダム軸方向は破線、及び鉛直方向は短破線にて描画している。以下のダムに関しても加速度応答スペクトルの図で同様に各方向成分を描画している。図中には水平地震動 (極太実線) と鉛直地震動 (極太破線) の照査用下限加速度応答スペクトル (H20) (国土技術政策総合研究所河川研究部水資源研究室, 2010) も描画している。ダム軸方向の加速度応答値が 0.15 秒程度までの短周期領域では上下流方向より大きく、この周期より長周期領域では両方向ともほぼ同程度の加速度応答値である。0.1 秒程度の周期に最大の加速度応答値があり、3 秒程度までの長周期になるに従い、加速度応答値は減少し、これ以上の長周期領域での加速度応答値は非常に小さく図では描画されていない。鉛直方向の加速度応答値が他の二方向に比較して小さい。計測震度は 4.1 で

あり、震度4となる。このため、本地震による地震動は本ダムが供用中に度々に経験すると考えられる地震動であり、Fig. 3の加速度応答スペクトルからもレベル2地震動として考慮される供用中に稀に受ける強さの地震動には達していない。計測震度は、気象庁告示第四号の地震動の強さを表す指標として値を算出する算式を用いた（気象庁，1996a，気象庁，1996b）。算出は、以下でも入力加速度相当である観測加速度波形の三方向成分を用いた。なお、ダムの地震観測装置は強震動観測装置を基本的に設置している。このため、気象業務法により認定されていない地震観測装置によって観測された加速度波形から計測震度を求めているため、以下の提示したダムでの計測震度は気象庁から公表される計測震度とは異なり、参考値である。

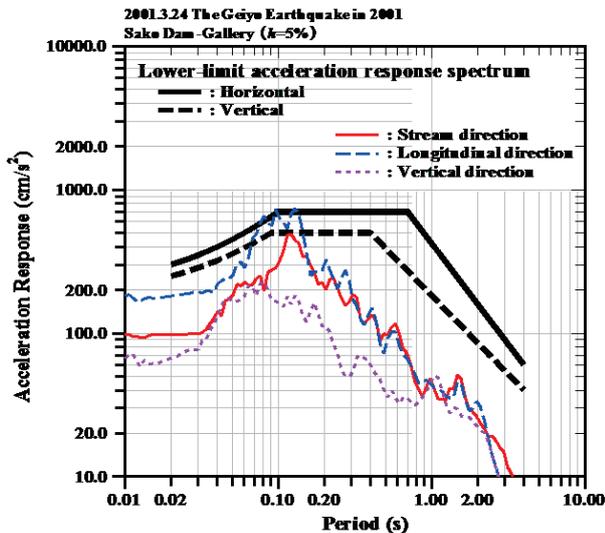


Fig. 3 加速度応答スペクトル（河床部監査廊）
Acceleration response spectrum (Gallery)

「平成13年（2001年）芸予地震」後の臨時点検で本ダムに異常は認められず供用を継続している。以下に検討した他の大規模地震時でも、地震後に臨時点検を実施し、特記した被災状況が観測された幕別ダム、川西ダム、荒砥沢ダム及び栗駒ダムを含めた他のダムでも、浸透水量、間隙水圧や揚圧力の変化が観測された場合もあったが、地震後の各種の挙動観測を強化するなどの対応を実施し、安全性を確認しながら供用を継続している。

「平成13年（2001年）芸予地震」の佐古ダムの地震時の状況から、短周期領域に比較的大きな加速度応答値、及び、長周期領域になるに従い応答加速度値が減少し、3秒以上の長周期領域では加速度応答値がほとんど現れていない地震動が観測された。

Ⅲ 平成15年（2003年）十勝沖地震

北海道襟裳岬南東沖80kmで2003年9月26日、4時50分にMj8.0 (Mw8.3)の「平成15年（2003年）十勝沖地震」が発生した。北海道内の新冠町、静内町（現：新ひだか町）、浦河町、鹿追町、幕別町、豊頃町、忠類村（現：幕別町）、

釧路町及び厚岸町で最大震度6弱、遠くは関東地方にかけて震度1以上を観測した。震源は、北緯41.8°，東経144.1°，深さ45km，太平洋プレート上面の逆断層型のプレート境界で発生した地震である。北海道及び本州の太平洋岸に津波が観測され、現地調査で最大約4mの津波の痕跡が確認されている。同日6時8分に発生した最大余震でも浦河町で最大震度6弱を観測した（気象庁，2004a）。新潟地震（1964年6月16日，Mj7.5，最大震度V）でも浮屋根式タンク原油タンクの炎上が都市型災害（総務省消防庁，2013）として注目されたが、本地震でも苫小牧市で比較的周期の長い地震の揺れ（やや長周期地震動：周期が数秒から20秒程度の地震動）により、可燃性物質貯留の浮屋根式タンクが破損し、火災が発生した（総務省消防庁，2004）。気象庁により「平成15年（2003年）十勝沖地震」，英語名称を「The Tokachi-oki Earthquake in 2003」と命名された（気象庁，2003b）。

3.1 美生ダム

3.1.1 ダム諸元及び特徴

美生ダム（Fig. 4（国土交通省北海道開発局，2011））は、農業用水の貯水のみを目的として、国営かんがい排水事業芽室地区により北海道河西郡芽室町の一級河川十勝川水系美生川に1988年に本体着工し1999年に竣工した。河床部と左岸部は先白亜紀日高層群の硬質な砂岩、粘板岩を主体とした堅固な基礎岩盤であり、それに対して右岸の河岸段丘部にはフィルタイプのダム築造が相応しい第四紀光地園礫層を基礎地盤としている。このため、本ダムは左岸側溪谷部を重力式コンクリートダム（ゲートレス）、右岸側段丘部を中心遮水型ロックフィルダムとした複合ダムである。コンクリートダム部とロックフィルダム部の複合部でのコンクリート構造部分に半月状の窪みを設けロックフィルダム部のコア部を抱え込ませるグループジョイント方式を採用した北海道のかんがい用ダムとして初めての複合ダムである。堤高47.2m（コンクリートダム部）、17.7m（ロックフィルダム部）、堤頂長350m、堤体積201千m³である。受益面積は12,140ha（すべて畑）に対して有効貯水量は6,000千m³であり、とうもろこし、ながいも、ごぼう、かぼちゃなどの野菜類の作付面積が拡大し、作物の品質向上と多様化が受益地区で進展している（寺端ら，2000，国土交通省北海道開発局，2011）。

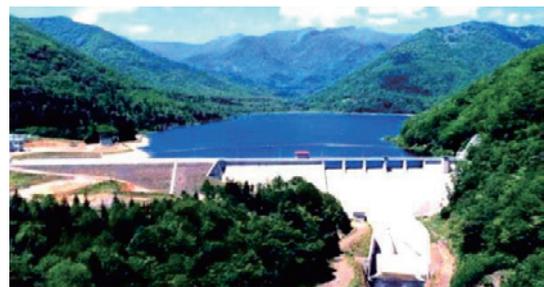


Fig. 4 美生ダム
Overall view of Bisei Dam

3.1.2 地震時の状況

震央とダム位置の関係を Fig. 5 に示す。本ダムは、複合ダムの構造の特殊性から、コンクリートダム部の河床部監査廊と堤頂部、及びロックフィルダム部の基礎と堤頂部の四箇所に地震計が設置されている。観測された最大加速度値を Table 2 に示す。本ダムでは、コンクリートダム部の河床部監査廊での観測記録を入力加速度と見なしているが、さらに、ロックフィルダム部のみでの振動の増幅を評価するためロックフィルダム部の基礎に対するロックフィルダム部の堤頂部の加速度比を括弧書きにて提示している。ロックフィルダム部の基礎でコンクリート部分の河床部監査廊よりも最大加速度値が増加している。ロックフィルダム部の基礎地盤で地震動が増幅されていると考えられる。コンクリートダム部の河床部監査廊で、上下流方向とダム軸方向はほぼ同じ最大加速度値であり、ロックフィルダム部の基礎でも同様である。両ダム型式の堤頂部の各方向では、ダム型式の相違に関わらず同程度の最大加速度値を観測している。これは、ロックフィルダム堤体は重力式コンクリートダム堤体に抱えられている特殊な構造であることから重力式コンクリートダム堤体の振動がロックフィルダム堤体の振動に影響していると考えられる (増川, 2005)。

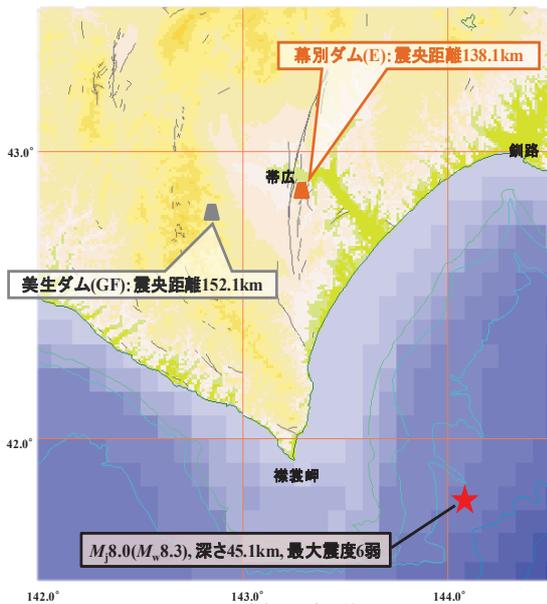


Fig. 5 震央とダム位置
Epicenter and dam position

Table 2 観測記録の最大加速度
Maximum acceleration of the observation record

		The Tokachi-oki Earthquake in 2003(2003.9.26)			
		Stream	Longitudinal	Vertical	
Rockfill	Crest EL. 407.77 m H=17.7 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	-167.4	112.5	-89.7
		Maximum Acc. Ratio	2.52 (1.34)	1.69 (0.97)	1.44 (1.33)
	Base EL. 394.30 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	124.8	115.9	-67.5
		Maximum Acc. Ratio	1.88 (1.00)	1.74 (1.00)	1.08 (1.00)
Gravity	Crest EL. 406.15 m H=47.2 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	-153.3	104.2	-70.7
		Maximum Acc. Ratio	2.31	1.57	1.14
	Gallery EL. 363.50 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	66.4	66.5	-62.3
		Maximum Acc. Ratio	1.00	1.00	1.00

コンクリートダム部の河床部監査廊の加速度応答スペクトル (減衰定数は 5%) を Fig. 6 に示す。三方向成分とも同様の加速度応答値である。照査用下限加速度応答スペクトルと比較し、小さい加速度応答値である。長周期領域での加速度応答値の右下がりの減少傾向が照査用下限加速度応答スペクトルよりも小さい。ロックフィルダム部の基礎での観測加速度波形を入力加速度相当とした場合の加速度応答スペクトルを Fig. 7 に示す。ロックフィルダム部の基礎の最大加速度値がコンクリートダム部の河床部監査廊よりも大きいことから、Fig. 6 のコンクリートダム部の河床部監査廊の加速度応答スペクトルよりも加速度応答値は大きくなっている。これは、ロックフィルダム部の基礎地盤の力学性が河床・左岸部のコンクリートダム部の力学性と異なり、フィルタイプダムを築造せざるを得ない右岸部の基礎地盤の力学性を反映していると考えられる。ロックフィルダム部の加速度応答スペクトル (Fig. 7) はコンクリートダム部の加速度応答スペクトル (Fig. 6) とは異なり、上下流方向とダム軸方向の加速度応答値のピークが同じ周期に卓越して現れている。コンクリートダム部の基礎岩盤とロックフィルダム部の基礎地盤の力学性の相違による加速度応答スペクトルの相違を比較するため、コンクリートダム部の河床部監査廊とロックフィルダム部の基礎の両観測点の加速度応答スペクトルを Fig. 8 に重ねて示す。太線がコンクリートダム部河床部監査廊 (基礎岩盤)、細線がロックフィルダム部基礎 (基礎地盤) の三方向成分である。以下のダムに関しても、異なる観測点の加速度応答スペクトルを一図で重ねて提示する場合には、同様に描画線の幅の相違によってそれぞれの観測点を指定して描画している。両観測点の加速度応答スペクトルの特徴的な相違は、上下流及びダム軸方向 (実線及び破線) の 0.1 秒前後と 0.3 秒前後の周期の加速度応答値が、ロックフィルダム部基礎でコンクリートダム部河床部監査廊よりも大きくなっている。鉛直方向は、両観測点で同様の加速度応答値である。計測震度は、コンクリートダム部では 3.8 であり、震度 4、ロックフィルダム部では 4.3 であり、同一の震度 4 となる。なお、本ダムも前述の佐古ダムと同様に試験湛水中 (常時満水位: FWL. 400.70m) の 1999 年 (平成 11 年) 5 月 13 日、2 時 59 分に北海道白糠郡音別町 (現: 釧路市) を震源とする Mj6.4, 深さ 104km の地震 (気象庁帯広測候所: 震度 4) を経験し (震央距離約 90km), コンクリートダム部河床部監査廊で 45.7cm/s², コンクリートダム部堤頂部で 82.8cm/s² の本地震時の 1/2 程度の最大加速度値 (ともに上下流方向成分) を記録した。この際にも臨時点検の結果, 異常を発生していないことが確認されている (寺端ら, 2000)。

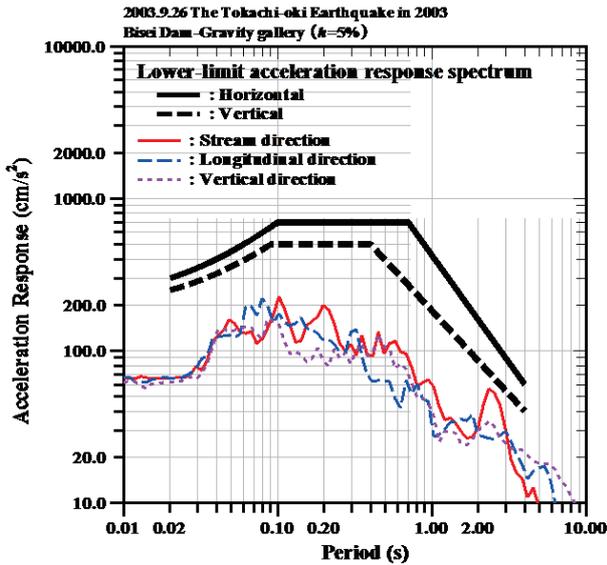


Fig. 6 加速度応答スペクトル (コンクリートダム部河床部監査廊)
Acceleration response spectrum (Gallery of gravity)

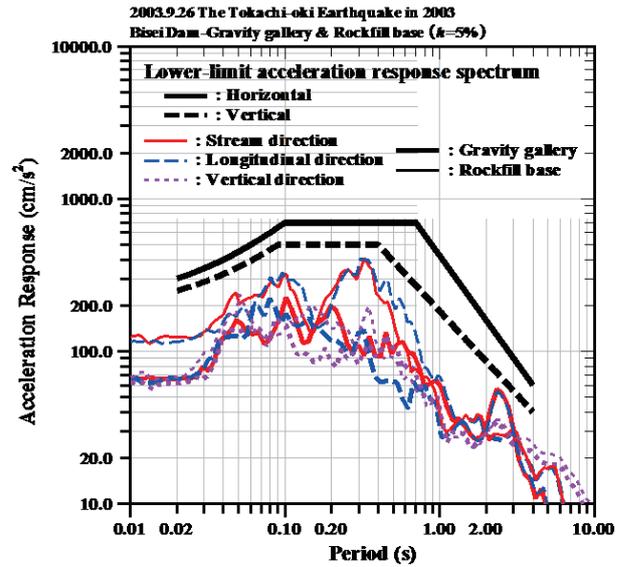


Fig. 8 加速度応答スペクトル (コンクリートダム部河床部監査廊とロックフィルダム部基礎)
Acceleration response spectrum (Gallery of gravity and base of rockfill)

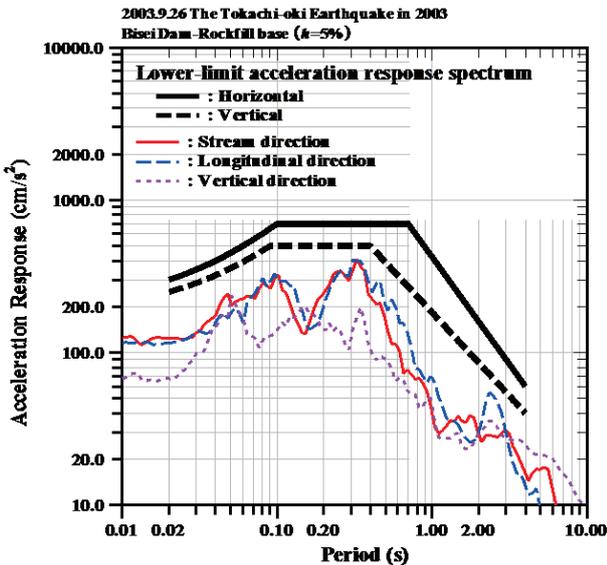


Fig. 7 加速度応答スペクトル (ロックフィルダム部基礎)
Acceleration response spectrum (Base of rockfill)

3.2 幕別ダム

3.2.1 ダム諸元及び特徴

幕別ダム (Fig. 9 (国土交通省北海道開発局, 2011)) は、農業用水の貯水のみを目的とした均一型フィルダムであり、国営かんがい排水事業幕別地区により北海道中川郡幕別町の一級河川十勝川水系猿別川支流稲土別川に 1996 年に本体着工し 2004 年に竣工した。第四紀更新世長流枝内層に分類される低固結度の砂岩層を主体とした泥岩が基礎地盤である。この砂岩層の高透水性のため浸透水抑制工法としてブランケット工法を採用し、池敷ブランケット及び上流地山ブランケットと本堤との連続性を確保するために均一型を選択している (福島ら, 1993, 横山ら, 2005)。堤高 26.9m, 堤頂長 335m, 堤体積 868 千 m^3 , 受益面積は 960ha (すべて畑) に対して有効貯水量は 2,000 千 m^3 である。本ダムによる畑地かんがいに加えて受益地区の排水路改修により、受益地区で農業の近代化・生産性の向上など農業の安定が図られている。



Fig. 9 幕別ダム
Overall view of Makubetsu Dam

3.2.2 地震時の状況

「平成 15 年 (2003 年) 十勝沖地震」(2003 年 9 月 26 日) 時の本ダムの状況は、3 月 24 日から開始した試験湛水中であり、洪水期のため中間水位を 1.1m 下回る EL. 69.9m で貯水位を保持していた。地震後の臨時点検の結果は、ダム

周辺の地山ブランケットの保護層（現地採取の河床砂礫を材料とした 2m 厚さ）の表面に 20m から最大 80m 長さの数 10cm 程度のズレが左右岸にそれぞれ 2 箇所合計 4 箇所に観察された (Fig. 10)。被災箇所の開削調査の結果、三層からなる地山保護層の下層部上面を境界とした上部でズレが発生していた。ダム本体に被災は認められず、観測計器にも異常は観測されていない(北海道開発局帯広開発建設部, 2003, 田頭ら, 2005)。学識経験者による安全性評価を実施し被災箇所を暫定復旧した後に、慎重な挙動観測の下で試験湛水を再開し、平成 16 年 (2004 年) 10 月に試験湛水を終了した。試験湛水終了後、復旧工事を実施し平成 17 年 (2005 年) 3 月に完成し、翌 4 月から供用を開始した (国土交通省北海道開発局, 2011)。



Fig. 10 右岸地山ブランケット保護層の被災
Damage of protective layer of blanket at right abutment

震央とダム位置の関係を前述の美生ダムと同一図の Fig. 5 に示す。本ダムは、監査廊を有していないことから左岸地山の導水トンネルと最大断面堤頂部の二箇所に地震計が設置されている。観測された最大加速度値を Table 3 に示す。本ダムでは、左岸地山の観測点での観測記録を入力加速度と見なしている。入力加速度値として大きな最大加速度値が記録されているが、堤頂部の加速度比は上下流方向で約 2、他の二方向で約 1.3 とわずかな増加である。これは、入力加速度が大きくなると応答加速度が小さくなるフィルダムの応答特性の特徴が現われているか、または、本ダムの堤高 ($H=26.9\text{m}$) が高くないことから堤体内での振動の増幅が小さいとも考えられる。堤頂部のダム軸方向の最大加速度値が上下流方向の 8 割強と大きく、入力加速度の最大加速度値のダム軸方向は上下流方向より大きい (約 1.3 倍) ことが影響していると考えられる。さらに、堤頂長/堤高比 (L/H) が 12.45 ($=335\text{m}/26.9\text{m}$) と極めて大きいため地山拘束の小さいことが影響していると考えられる (増川ら, 2008c)。入力加速度相当の加速度応答スペクトル (減衰定数は 5%) を Fig. 11 に示す。幅広い周期領域でほぼ平坦な加速度応答値であり、前述の美生ダムの加速度応答スペクトル (Fig. 6) に比べて長周期領域での加速度応答値の減少がない。美生ダムのロックフィルダム部の基礎と幕別ダムの左岸地山の両観測点の加速度応答スペクトルを重ねて Fig. 12 に示す。太線が美生ダムのロックフィル部の基礎、細線が幕別ダムの左岸地山の三方向成分である。以下

のダムに関しても、異なるダムの加速度応答スペクトルを一図で重ねて提示する場合には、同様に描画線の幅の相違によってそれぞれのダムを指定して描画している。Fig. 12 から、0.5 秒以上の長周期領域での幕別ダムの加速度応答スペクトル (細線) が美生ダムの加速度応答スペクトル (太線) より加速度応答値はかなり大きい。これは、幕別ダムの基礎地盤は美生ダムの基礎地盤 (ロックフィルダム部) より、長周期領域の波動が増幅する応答特性を現わしていると考えられる。計測震度は 5.0 であり、震度 5 強となる。前述の美生ダムのロックフィルダムの基礎での計測震度 (4.3) より大きくなっており、幕別ダムの低固結度の基礎地盤で地震動が増幅され、最大加速度値が美生ダムより本ダムの方が大きいことが原因であると考えられる。さらに、Fig. 12 に示したように幕別ダムの方が 0.5 秒以上の加速度応答値が美生ダムの加速度応答値より大きく、体感に強く感じる周期領域 (1~2.5 秒の周期領域 (童ら, 1996)) の波動が美生ダムより大きいため計測震度の大きな差となったと考えられる。

Table 3 観測記録の最大加速度
Maximum acceleration of the observation record

		The Tokachi-oki Earthquake in 2003(2003.9.26)		
		Stream	Longitudinal	Vertical
Crest El. 81.78 m H=26.9 m	Maximum Acc. (cm/s^2)	251.6	-216.5	-176.9
	Maximum Acc. Ratio	1.86	1.25	1.26
Left abutment El. 59.22 m	Maximum Acc. (cm/s^2)	135.1	-173.1	-140.7
	Maximum Acc. Ratio	1.00	1.00	1.00

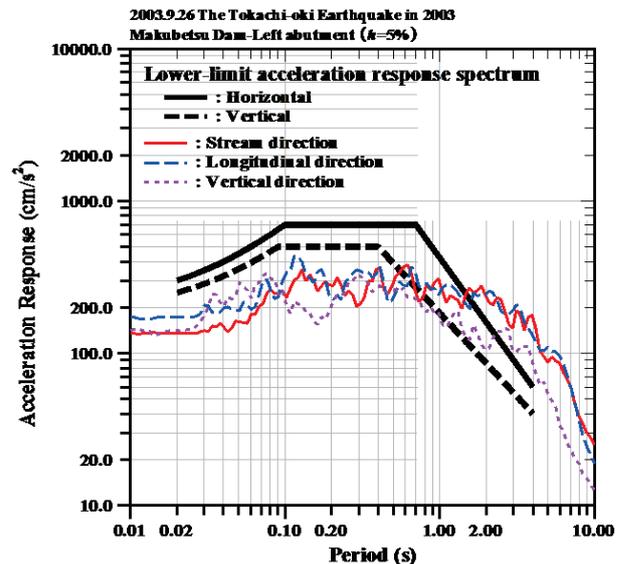


Fig. 11 加速度応答スペクトル (左岸地山)
Acceleration response spectrum (Left abutment)

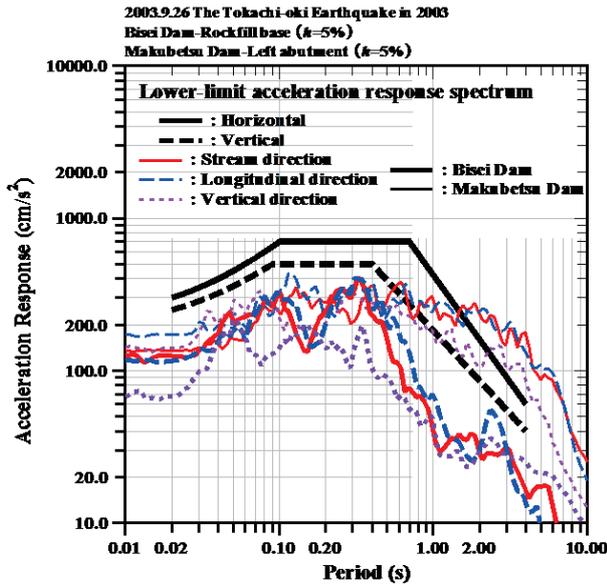


Fig. 12 加速度応答スペクトル (美生ダムのロックフィルダム部基礎と幕別ダムの左岸地山)
Acceleration response spectrum (Base of rockfill at Bisei Dam and left abutment of Makubetsu Dam)

「平成 15 年 (2003 年) 十勝沖地震」のダム型式の異なる二つのダムで観測された入力加速度相当の加速度応答スペクトルでの長周期領域になるに従い加速度応答値が減少する傾向は、照査用下限加速度応答スペクトルの長周期領域に設定されている傾き (減少) よりも小さく (Figs. 6 及び 11), プレート境界の震央距離の大きな地震動の振動数特性を反映していると考えられる。これらの特徴を示す美生ダムと幕別ダムの加速度応答スペクトルと前述の「平成 13 年 (2001 年) 芸予地震」での内陸で発生した震央距離の近い佐古ダムの河床部監査廊の加速度応答スペクトルと比較すると, Fig. 13 に示すように佐古ダムの河床部監査廊の加速度応答スペクトル (極太線) は, 0.2 秒以上の長周期領域では, 美生ダム (太線) と同程度の加速度応答値であり, 幕別ダム (細線) は 0.5 秒以上の長周期領域での加速度応答値が佐古ダム及び美生ダムより大きい。さらに, 佐古ダムのみ 3 秒以上の長周期領域の加速度応答値が美生ダムと幕別ダムの加速度応答値に比較して非常に小さくなっている。

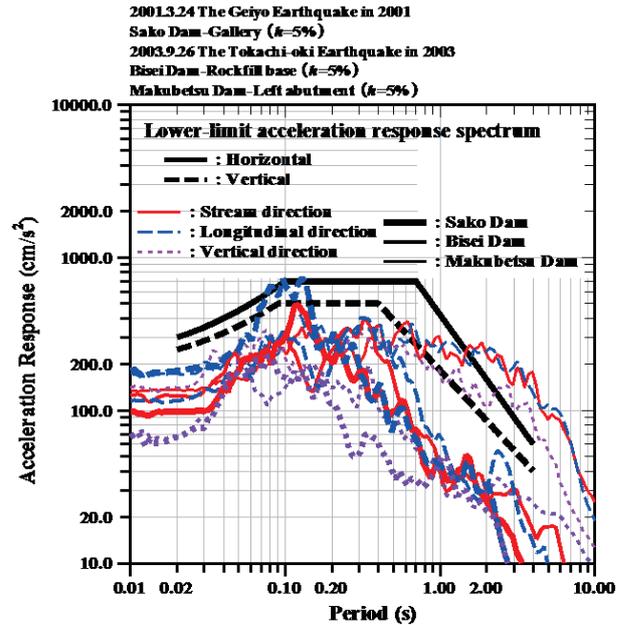


Fig. 13 加速度応答スペクトル (佐古ダムの河床部監査廊と美生ダムのロックフィルダム部基礎と幕別ダムの左岸地山)
Acceleration response spectrum (Gallery of Sako Dam, base of rockfill at Bisei Dam and left abutment of Makubetsu Dam)

「平成 15 年 (2003 年) 十勝沖地震」のダム型式の異なる二つのダムでの地震時の状況から, 基礎岩盤や基礎地盤の力学性によって地震動の加速度応答が変化している。プレート境界で発生する震源が遠地の地震動では, 長周期領域でも加速度応答値が大きくなる地震動が観測された。さらに, 長周期領域に直下型地震を対象に設定された照査用下限加速度応答スペクトルの長周期領域での加速度応答値の減少より小さい減少傾向の加速度応答値の減少を示す地震動が観測された。

IV 平成 16 年 (2004 年) 新潟県中越地震

新潟県中越地方で 2004 年 10 月 23 日, 17 時 56 分に $M_j 6.8$ ($M_w 8.6$) の「平成 16 年 (2004 年) 新潟県中越地震」が発生した。新潟県川口町 (現: 長岡市) で最大震度 7 を観測し, 「平成 7 年 (1995 年) 兵庫県南部地震」の最大震度 VII の観測以来 9 年ぶりであり震度 7 階級を設定後での地震観測史上 2 回目, 計測震度計による計測震度の震度 7 を初めて計測した。東北地方から近畿地方の広い地域にかけての震度 1 以上を観測した。震源は, 北緯 37.3° , 東経 138.9° , 深さ 13km, ユーラシアプレート内部での逆断層型の活褶曲帯で発生した地震である。この活褶曲帯は, ユーラシアプレートと北米プレートが衝突する日本海東縁変動帯の陸域の新潟-神戸歪集中帯の中でも, 強い褶曲を受け複雑な応力場である。このため, 本震発生直後の 1 時間以内に最大震度 5 強の余震が 1 回, ついで, 最大震度 6 強の余震が 2 回発生し, 規模の大きな余震が多数発生した。このようにマグニチュード 6 以上の 4 つの余震が発生した活発な余震活動のため被害が拡大したと推測されている。震源域の活褶曲帯の地質・地形のため地すべり被害が際立った (気象

庁, 2005, 増川, 2006)。気象庁により「平成 16 年 (2004 年) 新潟県中越地震」, 英語名称を「The Mid Niigata prefecture Earthquake in 2004」と命名された (気象庁, 2004b)。

4.1 川西ダム

4.1.1 ダム諸元及び特徴

川西ダム (Fig. 14 (新潟県十日町地域振興局農業振興部, 2013)) は, 農業用水の貯水のみを目的とした中心遮水型フィルダムであり, 県営かんがい排水事業川西地区により新潟県十日町市 (旧: 中魚沼郡川西町) の一級河川信濃川水系南沢川に 1972 年度に着工し 1980 年度に竣工した。完成後 20 年以上を経過しており長期供用ダムに数えられるダムである。基礎地盤は魚沼層群の泥岩と未固結砂岩及び凝灰角礫岩の互層である (高橋, 1980)。堤高 43m, 堤頂長 170m, 堤体積 348 千 m^3 , 受益面積 460ha に対して有効貯水量は 1,118 千 m^3 である。1977 年 (昭和 52 年) に築堤が完了し, 翌年 1978 年 (昭和 53 年) には横綱北の湖関 (当時) による地固め式が行われたとの記録がある (新潟県十日町地域振興局, 2007)。



Fig. 14 川西ダム
Overall view of Kawanishi Dam

4.1.2 地震時の状況

堤体の変状は, 堤頂部の保護アスファルト舗装に幅 2~10mm, 深さが最大で約 75cm の上下流方向のクラックが 10 箇所程発生し, 右岸地山と堤体との境界部で 16cm の沈下が生じた。堤体上流斜面では左岸中位標高から法尻にかけて全体に沈下が観察された。特に, Fig. 15 (新潟県, 2006) に示すように堤体左岸側の張りブロック部の変状 (30cm 程度の陥没と段差) が顕著であった。放流水路沿いに埋設された浸透水導水管が損傷し洪水吐からの浸透水が混入し濁っていたことから, 正確な浸透水量は不明である。左岸の管理棟はコンクリート基礎にクラックが発生し大きく損傷した。その他の被災として洪水吐や取水設備など多くの付帯設備が被災した。堤頂部は, 被災箇所の舗装面から深さ 80cm までコアを掘削し, 松葉沢ダム (隣接の地震時に施工中であった県営防災ダム) のコア材料を使用して復旧した。堤体上流斜面は被災箇所の堤体材料を撤去し, 現堤体材料と購入碎石のブレンド材料を使用して復旧した (新潟県農地部, 2006)。



Fig. 15 川西ダムの上流斜面の被災状況
Damage of upstream slope

震央とダム位置の関係を Fig. 16 に示す。前述の「平成 13 年 (2001 年) 芸予地震」の佐古ダムの震央距離 43.9km よりも川西ダムは震央に近く (震央距離: 15.6km), 本ダムでの地震動は内陸直下型の地震動に相当すると考えられる。本ダムは, 監査廊を有していないことから, 下流法尻と左岸地山, 堤頂部中央の三箇所に地震計が設置され, 下流法尻は下流広場の表層地盤内, 左岸地山は表層岩盤内に埋設されている。観測された最大加速度値を Table 4 に示す。本ダムでは, 下流法尻の観測点での観測記録を入力加速度と見なしている。入力加速度は, 上下流方向が大きい三方向ともに同程度の最大加速度値を観測している。鉛直方向の地震動が水平動の大きさと同程度であるのは, 震源が浅い震央距離の小さい地震の観測記録の特徴と考えられる (増川, 2002b)。三観測点ともに同程度の最大加速度値を観測しており, 観測点位置の相違や堤体内での振動の増幅があまりない, また, 左岸地山での上下流方向と鉛直方向の二方向の最大加速度値は入力加速度の最大加速度値より減少しているが, ダム軸方向は増加している。堤頂部中央では上下流方向の最大加速度値に近いダム軸方向の最大加速度値が観測されており, 堤頂部中央ではダム軸方向へも上下流方向と同程度に振動していたと考えられる。入力加速度相当の加速度応答スペクトル (減衰定数は 5%) を Fig. 17 に示す。三方向ともにほぼ照査用下限加速度応答スペクトルより大きな加速度応答値であり, 図らずも実際に耐震性能照査を受けたことに相当している。上下流方向には 0.4 秒程度の周期に卓越したピークが認められ, 基礎地盤の応答特性と考えられる。左岸地山の加速度応答スペクトルを Fig. 18 を示す。下流法尻の加速度応答スペクトル (Fig. 17) に比較して短周期領域の加速度応答値が減少しているが, ほぼ照査用下限加速度応答スペクトルより大きな加速度応答値である。下流法尻に比較して卓越したピークがない加速度応答値である。地震動の観測点位置の違いによる加速度応答スペクトルを比較するため, 下流法尻と左岸地山の両観測点の加速度応答スペクトルを Fig. 19 に重ねて示す。太線が下流法尻, 細線が左岸地山の三方向成分である。両観測点のそれぞれの三方向成分は類似した加速度応答値である。計測震度は下流法尻で 5.8 であり, 震度 6 弱, 左岸地山で 5.7 であり, 震度 6 弱となる。

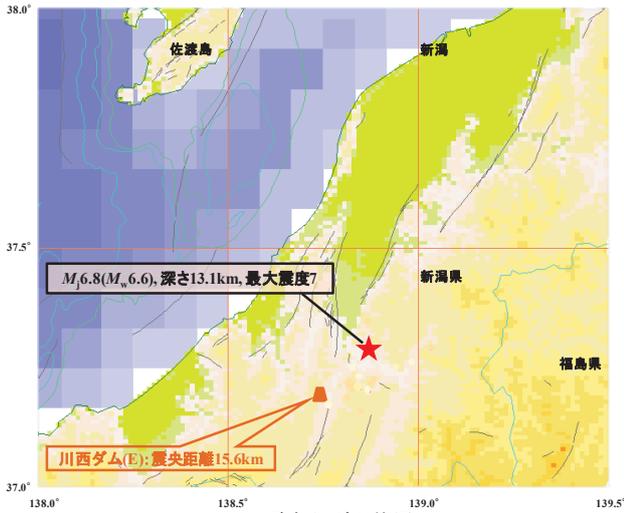


Fig. 16 震央とダム位置
Epicenter and dam position

Table 4 観測記録の最大加速度
Maximum acceleration of the observation record

		The Mid Niigata prefecture Earthquake in 2004(2004.10.23)			
		Stream	Longitudinal	Vertical	
Crest EL. 217.40 m H=43.0 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	-582.5	517.6	429.8	
	Maximum Acc. Ratio	1.04	1.16	1.06	
Left abutment EL. 214.10 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	435.6	545.6	-254.4	
	Maximum Acc. Ratio	0.78	1.23	0.63	
Toe of downstream-slope EL. 183.30 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	-558.8	-444.7	-405.6	
	Maximum Acc. Ratio	1.00	1.00	1.00	

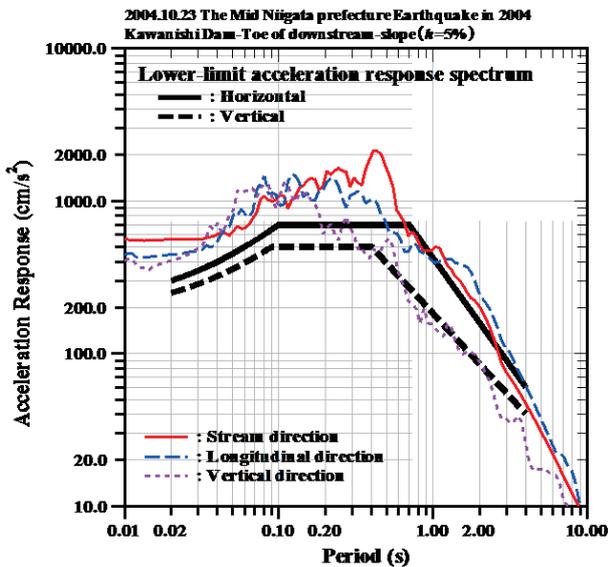


Fig. 17 加速度応答スペクトル (下流法尻)
Acceleration response spectrum (Toe of downstream-slope)

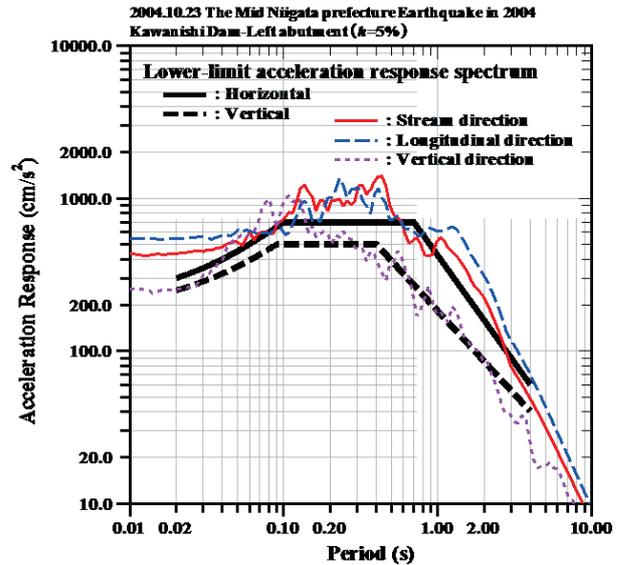


Fig. 18 加速度応答スペクトル (左岸地山)
Acceleration response spectrum (Left abutment)

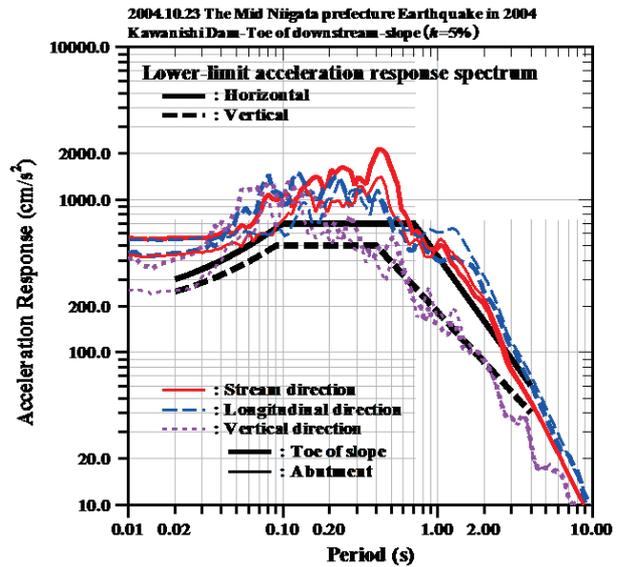


Fig. 19 加速度応答スペクトル (下流法尻と左岸地山)
Acceleration response spectrum (Toe of downstream-slope and left abutment)

川西ダムで観測された地震動は、震央が近い地震のため振動が減衰せずに加速度応答スペクトルは鉛直方向を含めた三方向ともに大きな加速度応答値であった。震央が近い前述の「平成13年(2001年)芸予地震」の佐古ダムの加速度応答スペクトルと比較するため Fig. 20 を示す。太線が佐古ダム、細線が本ダムの三方向成分である。Fig. 20 に示されるように川西ダムでは、0.2秒程度の短周期領域の加速度応答値が三方向とも同程度の大きさである。また、川西ダム(細線)では図に提示している0.01~10秒までの全周期領域に加速度応答値がある。一方、佐古ダムでは3秒以上の長周期領域の加速度応答値が川西ダムに比較して非常に小さく、佐古ダムの方が震央から離れた地震による地震動であるにもかかわらず、長周期領域の加速度応答値は小さい。これは、フィルダム型式の川西ダムの基礎地盤が重

力式コンクリートダムである佐古ダムの基礎岩盤より柔らかいため、基礎地盤で地震動の長周期領域の波動が増幅されたと考えられる。佐古ダムでは鉛直方向の加速度応答スペクトル（短破線）が他の二方向の加速度応答値に比較して小さい。佐古ダムでは震源深さが深く、震央距離も川西ダムに比較して小さいことから、川西ダムのように、震源の深さが浅く、震央距離が小さい場合には鉛直方向の地震動も大きいと考えられるが、今後さらに、地震観測記録の蓄積による分析から明らかにできると考える。

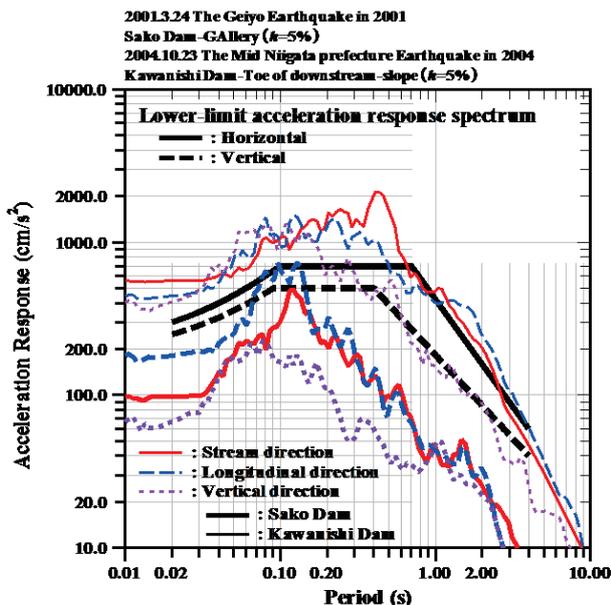


Fig. 20 加速度応答スペクトル（佐古ダムの河床部監査廊と川西ダムの下流法尻）

Acceleration response spectrum (Gallery of Sako Dam and toe of downstream slope of Kawanishi Dam)

「平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震」の川西ダムの地震時の状況から、地震時の堤頂の振動は、上下流方向のみ大きく振動せずに、ダム軸方向にも同程度の振動が観測される場合がある。さらに、短周期領域に比較的大きな加速度応答値が観測され、照査用下限加速度応答スペクトルに匹敵する地震動が観測された。このような強震動を受けても堤体は修復可能な範囲の損傷にとどまり、近代的な設計・施工に基づく農業用大ダムの耐震性能は確保されている。

V 平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震

岩手県内陸南部で 2008 年 6 月 14 日、8 時 43 分に $M_j7.2$ ($M_w6.9$) の「平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震」が発生した。宮城県栗原市一迫及び岩手県奥州市衣川区で最大震度 6 強を観測し、関東・中部地方にかけて震度 1 以上を観測した。震源は、北緯 39.0° 、東経 140.9° 、深さ 8km、横ずれを伴う逆断層型の地殻内で発生した地震である。大規模な山体崩壊や土砂崩れ、河道閉塞などの斜面・土砂災害が発生した（気象庁、2011a）。震度 6 強を観測し

た衣川区では $1,816.5\text{cm/s}^2$ （全方向成分合成）、独立行政法人防災科学技術研究所が運用する基盤強震観測網（KiK-net）の震源断層直上の観測点（一関西：IWTH25）で $4,022\text{cm/s}^2$ （全方向成分合成）の最大加速度が記録された（独立行政法人防災科学技術研究所、2011）。気象庁により「平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震」、英語名称を「The Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008」と命名された（気象庁、2008a）。

5.1 荒砥沢ダム（藍染湖：アイゼンコ）

5.1.1 ダム諸元及び特徴

荒砥沢ダム（Fig. 21（東北農政局迫川上流農業水利事業所、1999））は、北上川水系工事実施基本計画の改定に伴い宮城県の治水事業との共同化が図られ、農業用水の貯水と洪水調節を目的とする多目的の中心遮水ゾーン型ロックフィルダムとして、国営迫川上流農業水利事業により宮城県栗原市の一級河川北上川水系二迫川に 1981 年に着工し 1998 年に竣工した。洪水期間の空容量を利用して下流の洪水調整機能を付加するため、洪水吐側溝部上流端にオリフィス形式の洪水吐を併設している。基礎岩盤は安山岩及び石英安山岩である。堤高 74.4m、堤頂長 413.7m、堤体積 3,048 千 m^3 、受益面積 3,790ha に対して有効貯水量は 13,510 千 m^3 である。



Fig. 21 荒砥沢ダム
Overall view of Aratozawa Dam

5.1.2 地震時の状況

ダム左岸上流で大規模な山体崩壊（幅約 900m、斜面長約 1,300m、面積約 98ha、滑落崖の最大落差は約 150m の国内で発生が確認された地すべりで最大規模の地すべり土塊 67,000 千 m^3 ）が発生し（林野庁東北森林管理局、2009）、貯水池内の有効貯水容量内に約 1,500 千 m^3 が流入したと推定された。この貯水池への流入土砂量は、100 年間の堆砂容量の 2 倍強に匹敵し、非洪水期の有効貯水量 13,510 千 m^3 の約 11%に相当する。堤体等での顕著な被害は生じず、貯水・構造機能は確保されていた。特徴的な被災として Fig. 22 に示すように、堤頂の沈下と揺さぶりによると考えられる二カ所の層別沈下計測点の塩化ビニル製管のマンホールからの突出しが生じた。写真後方の青線で示したほぼ常時満水位より高標高の裸地が崩壊地である（増川ら、2008a、

増川ら, 2009)。Fig. 23に洪水吐越しに貯水池と崩壊地(左上の山頂付近まで裸地となっている箇所が崩壊部最上部の滑落崖), Fig. 24に崩壊地からダムに向かって貯水池への流入土砂を示す(左奥の白っぽい長方形がダム堤体上流法面)。この被災に対して, 流入土砂全量の排土は地すべり土塊の安定性を損なう恐れがあることから, 流入土砂のうち約560千 m^3 を排土するとともに排土法面の安定対策を実施した。さらに, 不足貯水容量については水収支を再算定し, 代替貯水池を新設する災害復旧事業を平成20~22(2008~2010)年度に実施している(竹谷, 2011, 鎌田, 2012, 小澤ら, 2013)。この事業による排土作業のためダンプカー街道化した堤頂(堤頂保護アスファルトの損傷防止と工期短縮のため一方通行とし空荷車が堤長を右岸から左岸へ通行, 土砂搬出車は堤体下流法面の腹付け道路を通行)をFig. 25に示す。



Fig. 22 堤頂での変状
Damage at the dam crest of Aratozawa Dam



Fig. 23 貯水池越しの左岸上流地山の山体崩壊
Destructed area by landslide over reservoir of Aratozawa Dam



Fig. 24 貯水池に流入した崩壊土砂
Inflow of destructed area by landslide into reservoir of Aratozawa Dam



Fig. 25 流入土砂排土運搬用のダンプカー
Dump truck for excavation on the crest of Aratozawa Dam

震央とダム位置の関係をFig. 26に示す。本ダムは, 近年の堤高の高いロックフィルダムでの一般的な地震計設置位置である河床部監査廊, 堤高に対して中間標高に位置する中心遮水ゾーン内のコア部と最大断面堤頂部の三箇所に地震計が設置されている。観測された最大加速度値をTable 5に示す。本ダムでは, 河床部監査廊の観測点での観測記録を入力加速度と見なしている。河床部監査廊の感震器の計測容量1,000 cm/s^2 を超える加速度が記録されている。荒砥沢ダムと同様に内陸直下型の地震動を受けた前述の「平成16年(2004年)新潟県中越地震」の川西ダムの下流法尻の最大加速度値(Table 4)に比較して2倍程度と極めて大きな地震動である。この非常に大きな地震動に対して, 堤頂部では入力加速度の1/2となる最大加速度値を観測し, 堤体内で振動が増幅されず, 逆に堤体内で振動が減衰した状況の応答加速度が観測される特徴的な地震時挙動が現われた。河床部監査廊から最大断面堤頂部に向かって水平動(上下流・ダム軸方向)の伝播は減少していながら, 鉛直動はあまり減少せずに伝播している現象は特徴的である。発生ひずみに対して非線形性の剛性と減衰を有している土質材料により造成されるフィルダム, 加えて動的特性の異なる土質材料によるゾーン構造を有するロックフィルダムの強震動時のこの特徴的な応答挙動を強震観測記録などにより解明することが重要である。入力加速度相当の加速度応答スペクトル(減衰定数は5%)をFig. 27に示す。ダム軸方向は0.5~1秒程度の周期領域で照査用下限加速度応答スペクトルより加速度応答値は小さいが, 他の二方向はともにほぼ照査用下限加速度応答スペクトルより大きな加速度応答値である。0.5秒以下の短周期領域では三方向とも照査用下限加速度応答スペクトルより大きな加速度応答値であり, 短周期領域の波動が大きな地震動である。0.1秒前後の短周期領域で, 加速度応答値は大きい, 卓越したピークはない。鉛直方向は0.04~0.08秒の短周期領域の範囲に大きな加速度応答値がある。計測震度は基部監査廊で5.7であり, 震度6弱となる。前述の川西ダムの下流法尻での5.8より小さく左岸地山での5.7と同じである。

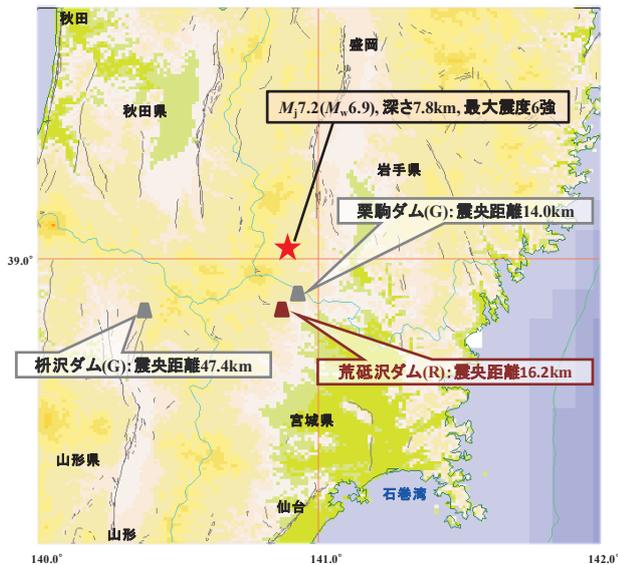


Fig. 26 震央とダム位置
Epicenter and dam position

Table 5 観測記録の最大加速度
Maximum acceleration of the observation record

		The Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008 (2008.6.14)		
		Stream	Longitudinal	Vertical
Crest EL. 279.4 m H=74.4 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	-525.3	-455.4	-621.9
	Maximum Acc. Ratio	0.51	0.51	0.90
Core EL. 250.0 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	-534.9	-477.9	-469.8
	Maximum Acc. Ratio	0.52	0.53	0.68
Foundation EL. 205.0 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	1023.8	-898.9	691.4
	Maximum Acc. Ratio	1.00	1.00	1.00

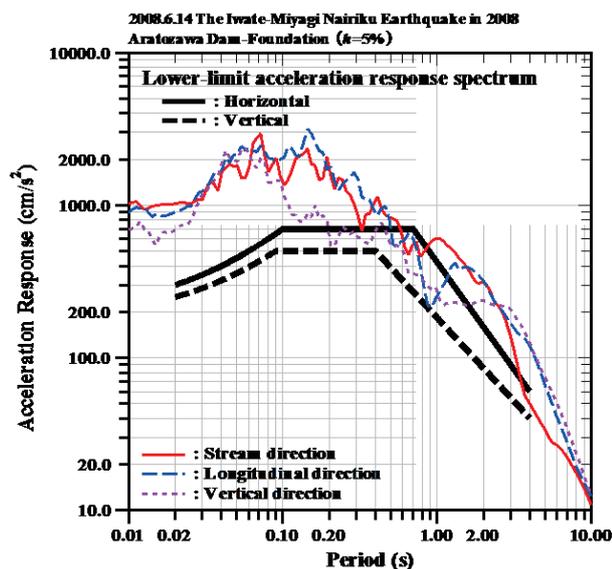


Fig. 27 加速度応答スペクトル (河床部監査廊)
Acceleration response spectrum (Foundation)

「平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震」と同様に内陸直下の逆断層型によって発生した「平成 16 年 (2004 年) 新潟県中越地震」の川西ダムの下流法尻にて観測された地震動の加速度応答スペクトルとの比較を Fig. 28 に示す。太線が川西ダム (下流法尻), 細線が本ダムの河床部監査廊の三方向成分である。提示した 0.01~10 秒の全周期領域での

加速度応答値は本ダムの方が大きく, 最大加速度値に関して荒砥沢ダムが川西ダムの 2 倍程度と極端に大きいことと相応している。0.2 秒以下の短周期領域での本ダムの加速度応答値が大きく, さらに, 0.3~2 秒程度の周期領域では川西ダムの加速度応答値が本ダムの加速度応答値より概ね大きく, 本ダムの短周期領域での加速度応答値が大きい特徴がある。このように両地震ともに震源に近い直下型の地震動であるが, 加速度応答値は異なっている。これは, 本ダムの基礎地盤は計画時に重力式コンクリートダムの築造が検討されたほど硬質な基礎地盤であること (増川, 2008b), さらに, 震源域のアスペリティによる起震断層の破壊方向, これに伴う地震動の収斂 (キラールパルス) などの震源域に近いことによる震源の破壊特性が地震動の振動数特性に影響していると考えられる (増川, 2006, 増川, 2008b)。今後さらに, 地震観測記録の蓄積による分析から明らかにできると考える。このように照査用下限加速度応答スペクトルに匹敵する地震動を受けても本ダムの貯水機能など重要な機能は損なわれておらず, 前述の川西ダムでも本ダムと同様に照査用下限加速度応答スペクトルより大きな加速度応答値となる地震動に対して修復可能な程度の被災あったことを踏まえても, 近代的な設計・施工に基づく農業用大ダムの耐震性能は確保されていると考えられる。

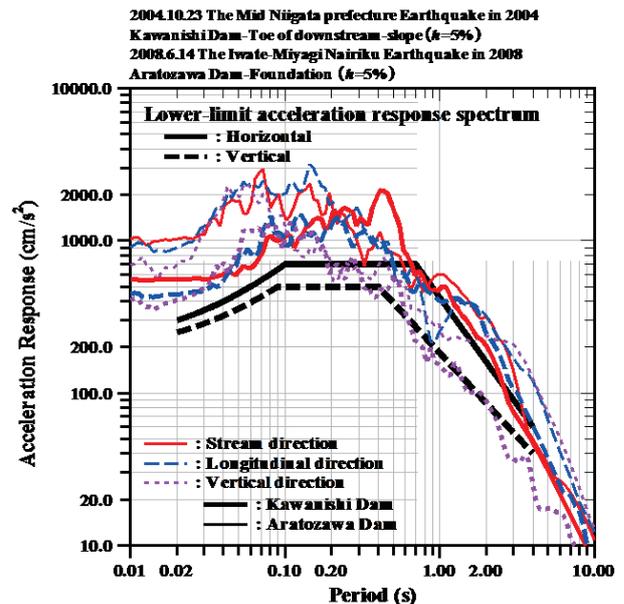


Fig. 28 加速度応答スペクトル (川西ダムの下流法尻と荒砥沢ダムの河床部監査廊)
Acceleration response spectrum (Toe of downstream-slope of Kawanishi Dam and foundation of Aratozawa Dam)

5.2 栗駒ダム

5.2.1 ダム諸元及び特徴

栗駒ダム (Fig. 29 (宮城県栗駒ダム管理事務所, 2013)) は, 北上川総合開発の一環として, 県営防災ため池事業が採択され, 洪水調節, 鉍毒防止, かんがい用水補給, 発電を目的とする補助多目的の重力式コンクリートダムとして築造された。宮城県栗原市の一級河川北上川水系迫川支川

三迫川に1950年に着工し1961年に竣工した。完成後20年以上を経過しており長期供用ダムに数えられるダムである。基礎岩盤は玉山安山岩である。堤高57m、堤頂長182m、堤体積120千 m^3 、受益面積2,690haに対して有効貯水量は12,758千 m^3 である（宮城県栗駒ダム管理事務所，2013）。



Fig. 29 栗駒ダム
Overall view of Kurikoma Dam

5.2.2 地震時の状況

堤頂の門柱にクラックが発生したが（過去の地震による既存のクラックの拡大とも考えられる）、大きな被災は受けていない。池敷斜面の五箇所に土砂崩壊が発生し、堤体左岸近傍の上流部で発生した崩壊が最大であった。左岸の堤体下流側のフーチング部に大きな落石がありフーチングのエッジ部を破損した（石垣，2008，島本ら，2008，国土交通省国土技術政策総合研究所，2008，増川ら，2009）。

震央とダム位置の関係を前述の荒砥沢ダムと同一図のFig. 26に示す。本ダムは前述の荒砥沢ダムより震源に約2.2km近い。本ダムは、一般的な重力式コンクリートダムと異なる特徴的な地震計設置位置となっている。基部監査廊、堤頂部は左右岸地山取付け部に近い監査廊上端にそれぞれ左岸堤頂部監査廊と右岸堤頂部監査廊、下流右岸地山の四箇所に地震計が設置されている。観測された最大加速度値をTable 6に示す。本ダムでは、基部監査廊の観測点での観測記録を入力加速度と見なしている。同一地震による荒砥沢ダムの最大加速度値（Table 5）に比較して本ダムの最大加速度値は小さく、震央距離の大小に関係した最大加速度値が観測されていない。また、上下流方向の最大加速度値が他の二方向の1/2弱と小さい。鉛直方向の最大加速度値が大きい特徴があり、本ダムと同様に内陸直下型の地震動を受けたと考えられる前述の「平成16年（2004年）新潟県中越地震」の川西ダムの鉛直方向の最大加速度値が水平動の最大加速度値と同じ程度の大きさ（Table 4）であったのと特徴が同じである。この鉛直方向の最大加速度値が上下流・ダム軸方向より大きい、または、匹敵する大きさである特徴は、本ダムが極めて震源に近いとと考えられる。「平成7年（1995年）兵庫県南部地震」でも鉛直方向の地震動が大きく観測されたと同様に浅い震源による地震動の特徴（増川，2002b）であると考えられるが、今後さらに、地震観測記録の蓄積することで明らかにできると考える。左岸堤頂部監査廊のダム軸方向でほぼ重力加速度に達する最大加速度値が観測されている。左岸堤頂部監査廊の上下流方向での加速度比が約2.5と前述の内陸地震動で

ある「平成13年（2001年）芸予地震」での同一のダム型式である佐古ダムの4.5に比較して小さく、入力加速度は本ダムの方が約2.8（ $=270.6\text{cm/s}^2/98.1\text{cm/s}^2$ ）倍と大きく、フィルダムの応答特性の特徴である入力加速度が大きくなると応答加速度が小さくなる傾向と合致する。しかし、フィルダムの動的な材料非線形性をコンクリートダムも同様に有していると考えられない。さらに、同一ダムでの入力加速度と加速度比の関係ではないので、個々のダムの特徴である可能性もあり観測記録の蓄積が必要である。入力加速度相当の加速度応答スペクトル（減衰定数は5%）をFig. 30に示す。0.2秒以下の短周期領域では照査用下限加速度応答スペクトルより大きな加速度応答値であり、同一地震による前述の荒砥沢ダム（Fig. 27）と同様に短周期領域が卓越する直下型の地震動の特徴であると考えられる。また、上下流方向の最大加速度値が他の二方向に比較して小さいため、上下流方向の加速度応答値が小さい。ダム軸方向の最大加速度値が上下流方向より大きい観測結果と相応し、ダム軸方向の加速度応答値が大きくなっている。荒砥沢ダムに比較して最大加速度値が小さいことから短周期領域での加速度応答値も小さい。観測点位置の違いによる加速度応答スペクトルを比較するため、下流右岸地山の加速度応答スペクトルをFig. 31を示す、基部監査廊と下流右岸地山の両観測点の加速度応答スペクトルをFig. 32に重ねて示す。太線が基部監査廊、細線が下流右岸地山の三方向成分である。両観測点では上下流方向の短周期領域での加速度応答値に相違があるが、他の二方向は類似した加速度応答値であり、特に、長周期領域では加速度応答値は三方向ともほぼ重なっている。前述の内陸地震動である「平成13年（2001年）芸予地震」での同一のダム型式である佐古ダムの加速度応答スペクトル（Fig. 3）と比較すると、加速度応答値の大きさは異なっているが、両ダムともに0.1秒前後の周期領域に加速度応答値の最大値があり、内陸地震動及び重力式コンクリートダムの基礎岩盤の応答特性が現われていると考えられる。計測震度は基部監査廊で5.5であり、震度6弱、下流右岸地山で5.4であり、震度5強となる。下流右岸地山の最大加速度値は基部監査廊の最大加速度値より大きい、両観測点の計測震度が小数点一桁のわずかな差となっているのは、Fig. 32から基部監査廊（太実線）の大きな最大加速度値が観測されたダム軸方向の加速度応答値が0.1~0.2秒の周期領域で大きく、一方、下流右岸地山の上下流方向の加速度応答値は0.04秒付近の周期が大きいためと考えられる。

Table 6 観測記録の最大加速度
Maximum acceleration of the observation record

		The Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008 (2008.6.14)		
		Stream	Longitudinal	Vertical
Crest right abutment EL. 200.0 m H=57.0 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	534.9	-511.1	323.5
	Maximum Acc. Ratio	1.98	1.11	0.80
Crest left abutment EL. 200.0 m H=57.0 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	666.1	921.9	436.7
	Maximum Acc. Ratio	2.46	2.00	1.09
Gallery EL. 157.3 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	-270.6	461.3	-402.1
	Maximum Acc. Ratio	1.00	1.00	1.00
Right abutment EL. 183.0 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	-421.3	463.3	297.7
	Maximum Acc. Ratio	1.56	1.00	0.74

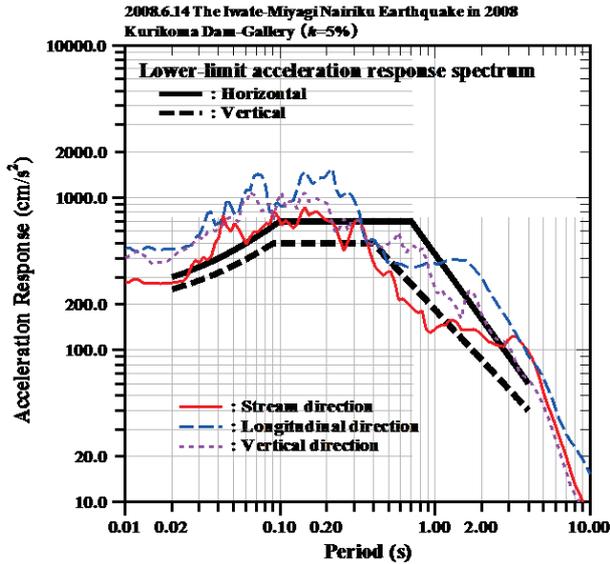


Fig. 30 加速度応答スペクトル (基部監査廊)
Acceleration response spectrum (Gallery)

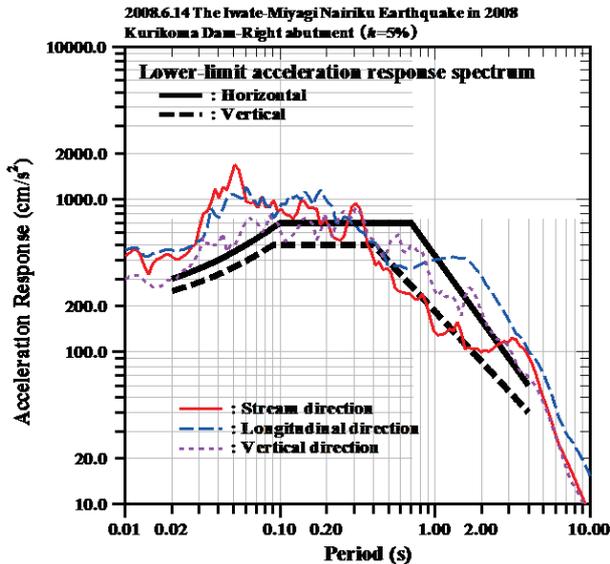


Fig. 31 加速度応答スペクトル (下流右岸地山)
Acceleration response spectrum (Right abutment)

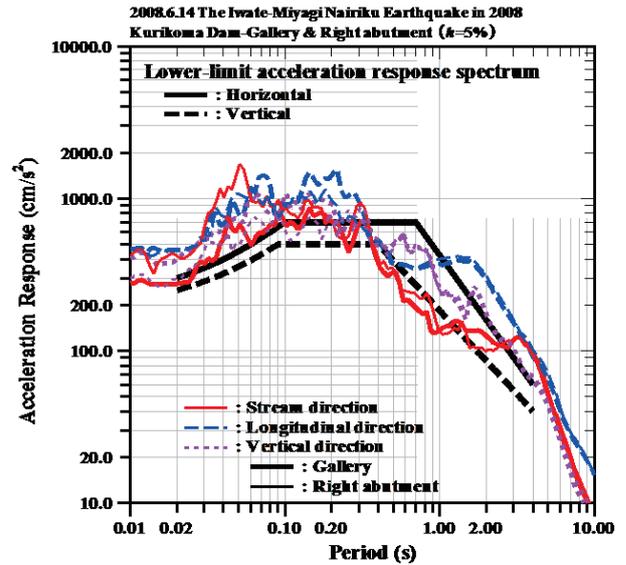


Fig. 32 加速度応答スペクトル (基部監査廊と下流右岸地山)
Acceleration response spectrum (Gallery and right abutment)

5.3 柘沢ダム

5.3.1 ダム諸元及び特徴

柘沢ダム (Fig. 33 (農林水産省東北農政局土地改良技術事務所, 2008a)) は, 昭和 26 年 (1951 年) 国土総合開発法により特定地域として山形県の東北端の本地区が最上総合開発事業に取り上げられた一環として, 昭和 27 年 (1952 年) に国営泉田川農業水利事業により山形県最上郡金山町の一級河川最上川水系柘沢川に農業用水の貯水のみを目的とした重力式コンクリートダムとして 1955 年に本体着工し 1963 年に竣工した。完成後 20 年以上を経過しており長期供用ダムに数えられるダムである。安山岩類を基礎岩盤とし, 堤高 65.8m, 堤頂長 194.8m, 堤体積 156 千 m³, 受益面積は 3,489ha (うち 1,185ha は畑) に対して有効貯水量は 6,751 千 m³ であり, 現在では, 稲作を中心とした農業経営が受益地区で展開されている。

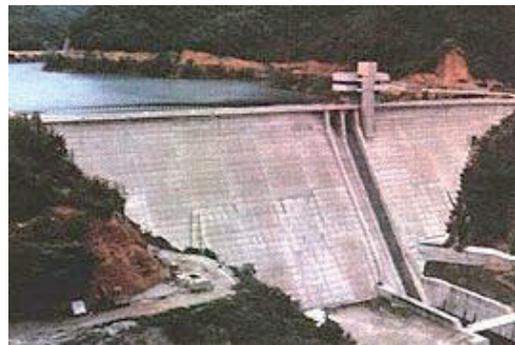


Fig. 33 柘沢ダム
Overall view of Masuzawa Dam

5.3.2 地震時の状況

震央とダム位置の関係を前述の荒砥沢ダムと同一図の Fig. 26 に示す。栗駒ダム及び荒砥沢ダムに比較して本ダムの位置は震央から 30km 以上離れている。本ダムは, 重力式コンクリートダムでの一般的な地震計設置位置である河

床部監査廊と堤頂部の二箇所に地震計が設置されている。観測された最大加速度値を **Table 7** に示す。本ダムでは、河床部監査廊の観測点での観測記録を入力加速度と見なしている。前述の栗駒ダムの最大加速度値 (**Table 6**) に比較して最大加速度値は 1/10 以下と小さいが、堤頂での加速度比は同程度となっている。前述の内陸地震動である「平成 13 年 (2001 年) 芸予地震」での同一のダム型式である佐古ダムの最大加速度値 (**Table 1**) と比較しても最大加速度値は小さい。さらに、両地震の規模 (本地震は $M_j7.2$, 「平成 13 年 (2001 年) 芸予地震」は $M_j6.7$)、震源の深さ (本地震は 7.8km, 「平成 13 年 (2001 年) 芸予地震」は 46.5km) や同程度の震央距離 (本ダムは 47.4km, 佐古ダムは 43.9km) と諸条件の相違を考慮しても本ダムの入力加速度の最大加速度値は小さい。前述の荒砥沢ダムと栗駒ダムの入力加速度の最大加速度値の相違のように震源との位置関係による地震動の振動数特性や震源と本ダムが火山フロントを挟んだ位置関係であることも影響し (森川ら, 2006), 地震動が減衰していると考えられる。入力加速度相当の加速度応答スペクトル (減衰定数は 5%) を **Fig. 34** に示す。照査用下限加速度応答スペクトルよりかなり小さい加速度応答値であり、三方向ともに類似した加速度応答値である。また、卓越した複数のピークがあり、基礎岩盤の応答特性を反映していると考えられる。同一地震による同一のダム型式である前述の栗駒ダムの加速度応答スペクトル (**Fig. 30**) との比較を **Fig. 35** に示す。太線が栗駒ダムの基部監査廊、細線が本ダムの河床部監査廊の三方向成分である。本ダムでの最大加速度値が極めて小さいため、加速度応答値は栗駒ダムの加速度応答値より小さい。しかし、栗駒ダムに比較して、震央距離が大きいいため、短周期領域での加速度応答値が小さく、加速度応答値が長周期領域にシフトしている。前述の内陸地震動である「平成 13 年 (2001 年) 芸予地震」での同一のダム型式であり、かつ同程度の震央距離である佐古ダムの加速度応答スペクトル (**Fig. 3**) と地震動の応答特性を比較するため両ダムの加速度応答スペクトルを **Fig. 36** に示す。太線が佐古ダムの河床部監査廊、細線が本ダムの河床部監査廊の三方向成分である。0.1 秒前後の短周期領域での加速度応答値が本ダムは、佐古ダムに比較して小さく、1 秒以上の長周期領域の加速度応答値が逆に佐古ダムに比較して大きく、長周期領域での加速度応答値の減少が小さい地震動である。「平成 15 年 (2003 年) 十勝沖地震」の二つのダム (美生ダム及び幕別ダム) の入力加速度相当の加速度応答スペクトル (**Fig. 12**) と長周期領域での加速度応答値の相違の比較を **Fig. 37** に示す。太線が美生ダムのコンクリートダム部の河床部監査廊、中太線が幕別ダムの左岸地山、及び細線が本ダムの河床部監査廊の三方向成分である。1 秒以上の長周期領域で本ダムは美生ダムの加速度応答値と同程度の大きさであり、美生ダムと同様に長周期領域での加速度応答値の右下がりの加速度応答値の減少傾向が照査用下限加速度応答スペクトルよりも小さい。長周期領域の波動を含む地震動の特徴が現われている。本ダムの計測震度は 3.7 であり、震度 4 となる。

Table 7 観測記録の最大加速度
Maximum acceleration of the observation record

		The Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008 (2008.6.14)		
		Stream	Longitudinal	Vertical
Crest EL. 245.8 m H=65.8 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	-108.4	45.3	-49.9
	Maximum Acc. Ratio	2.39	1.36	1.68
Gallery EL. 183.0 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	45.5	-33.3	29.7
	Maximum Acc. Ratio	1.00	1.00	1.00

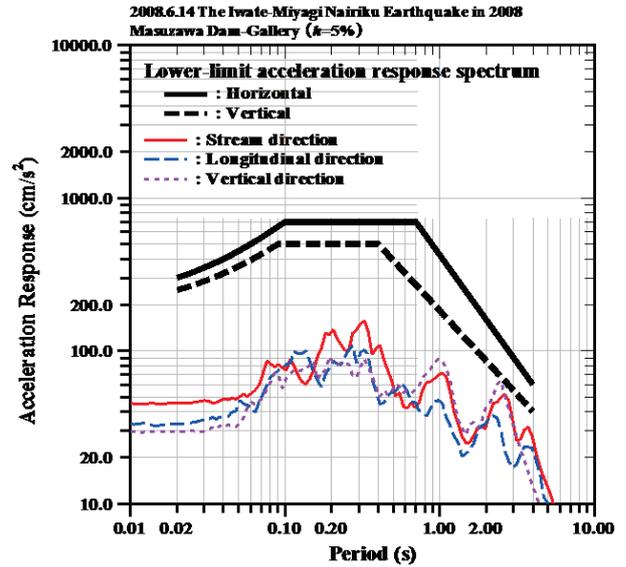


Fig. 34 加速度応答スペクトル (河床部監査廊)
Acceleration response spectrum (Gallery)

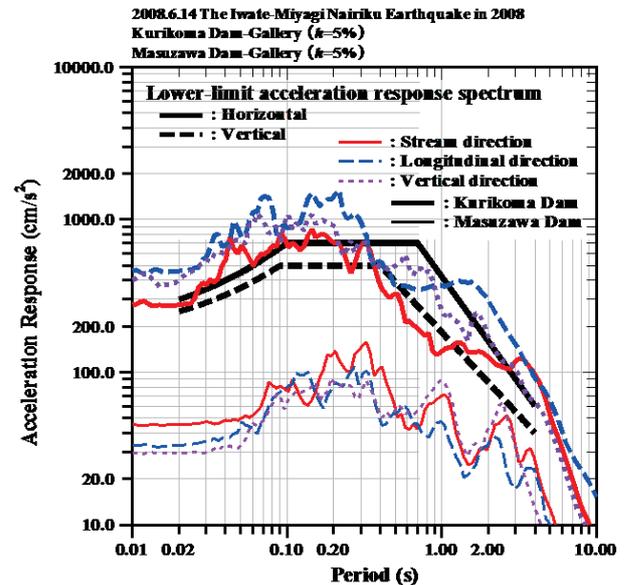


Fig. 35 加速度応答スペクトル (栗駒ダムの基部監査廊と枳沢ダムの河床部監査廊)
Acceleration response spectrum (Gallery of Kurikoma Dam and Masuzawa Dam)

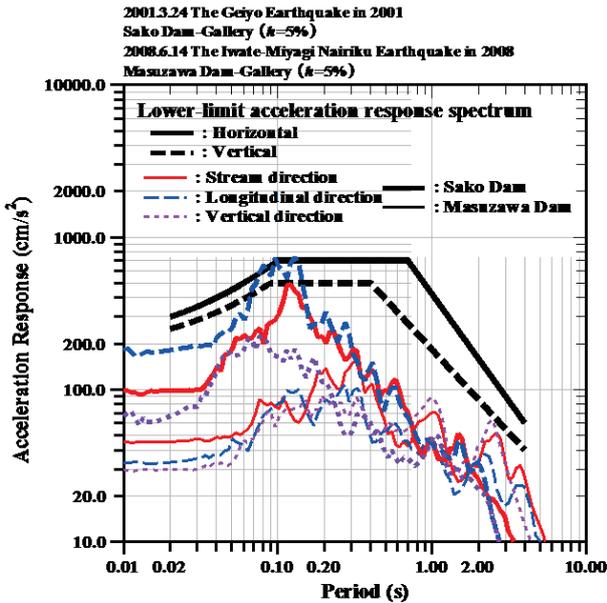


Fig. 36 加速度応答スペクトル (佐古ダムと枡沢ダムの河床部監査廊)
Acceleration response spectrum (Gallery of Sako Dam and Masuzawa Dam)

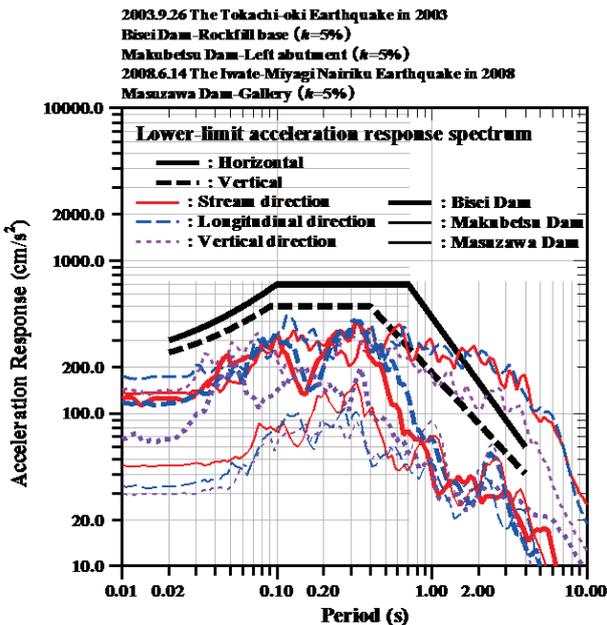


Fig. 37 加速度応答スペクトル (美生ダムのコンクリート部分河床部監査廊と幕別ダムの左岸地山と枡沢ダムの河床部監査廊)
Acceleration response spectrum (Gallery of gravity at Bisei Dam, left abutment of Makubetsu Dam and gallery of Masuzawa Dam)

「平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震」の荒砥沢ダム、栗駒ダム及び枡沢ダムの地震時の状況から、地震時の堤頂の振動は、上下流方向に必ずしも大きく振動せずに、ダム軸方向や鉛直方向にも同程度、あるいはさらに大きな振動が観測される場合がある。また、内陸直下で発生する地震動では、短周期領域に比較的大きな加速度応答値が観測され、設定している照査用下限加速度応答スペクトルに匹敵する地震動が観測された。さらに、このような照査用下限加速度応答スペクトルに匹敵する地震動を受けても近

代的な設計・施工に基づく農業用大ダムでは耐震性能が確保されている。

VI 岩手県沿岸北部の地震 (2008 年 7 月 24 日)

岩手県沿岸北部で 2008 年 7 月 24 日、0 時 26 分に $M_j 6.8$ ($M_w 6.9$) の「岩手県沿岸北部の地震」が発生した。青森県の五戸町古館、八戸市南郷区、八戸市内丸、階上町道仏及び岩手県野田村野田で最大震度 6 弱を観測し、近畿地方の一部にかけて震度 1 以上を観測した。震源は、北緯 39.7° 、東経 144.6° 、深さ 108km、太平洋プレートの沈み込む方向に張力軸を持つ正断層型で太平洋プレート内部 (二重地震面の下面) のスラブ内で発生した地震である。短周期が卓越した地震動のため最大震度 6 弱に対して被害が比較的小さい特徴があった。余震活動は低調であった (気象庁, 2008b, 気象庁, 2011a)。地震後に最大震度 6 強を観測した岩手県整備の岩手県洋野町大野の震度観測点に地震後の現地調査で震度計台座と地面の間に数ミリの隙間が見られた。このため、7 月 25 日に気象庁の臨時震度計を洋野町役場大野庁舎内に設置した。両方の震度計で観測された 4 回の地震の震度データから、岩手県整備震度計は気象庁臨時震度計に比較して震度階級で 1 以上 (計測震度で平均 1.6) 大きな震度を観測していることが判明した。気象庁は防災上取り扱われる震度の品質管理の観点から気象庁が発表する震度の品質としては適切でないと判断した。この岩手県大野震度計で観測された震度は不明として取り扱い、岩手洋野町大野の震度を除き、最大震度は震度 6 強から、上記の 5 か所にて観測した震度 6 弱に変更された (気象庁, 2008c, 気象庁, 2008d)。

6.1 葛丸ダム (葛丸湖)

6.1.1 ダム諸元及び特徴

葛丸ダム (Fig. 38 (東北農政局山王海鹿妻農業水利事業所, 1999)) は、農業用水の貯水のみを目的とした中心遮水ゾーン型ロックフィルダムであり、国営山王海農業水利事業により岩手県花巻市の一級河川北上川水系葛丸川に 1978 年に本体着工し 1991 年に竣工した。完成後 20 年以上を経過しており長期供用ダムに数えられるダムである。流紋岩類を基礎地盤とし、堤高 51.7m、堤頂長 220m、堤体積 678 千 m^3 、受益面積は 4,180ha (うち 160ha は畑) に対して有効貯水量は 4,650 千 m^3 である。受益地区では、これまでの恒常的な用水不足から事業完了後は用水の安定した供給によって一つの生産団地としてのもち水稻の作付面積・生産量とも全国 1 位を誇り、岩手県内一の総合果樹産地となっている。同事業にて造成した山王海ダム (詳細は 7.3.1 に後述) と本ダムを取水・導水のそれぞれのトンネルで連結し、非かんがい期に本ダム上流の葛丸川から取水し導水トンネルにて一時的に山王海ダムに貯水し、かんがい期に貯水したと同一水量を葛丸ダムへ放水する。二つのダム間で農業用水のやり取りが可能な親子ダム方式を採用している (増川, 2003)。



Fig. 38 葛丸ダム
Overall view of Kuzumaru Dam

6.1.2 地震時の状況

震央とダム位置の関係を Fig. 39 に示す。内陸で発生した地震であるが、本ダムは震央から離れている。本ダムは、近年の堤高の高いロックフィルダムでの一般的な地震計設置位置となっている。河床部監査廊、堤高に対して中間標高に位置する中心遮水ゾーン内のコア部と最大断面堤頂部の三箇所に地震計が設置されている。観測された最大加速度値を Table 8 に示す。本ダムでは、河床部監査廊の観測点での観測記録を入力加速度と見なしている。本地震は震源が深く、ダム位置も震央からある程度離れており直下型地震に相当しないと考えられるが、河床部監査廊の鉛直方向の最大加速度値が他の二方向の最大加速度値に比べて大きい。堤頂部での上下流方向の最大加速度値が大きく、加速度比も約7と大きくなっている。堤体内での上下流方向への振動の増幅が卓越していると考えられる。入力加速度相当の加速度応答スペクトル(減衰定数は5%)を Fig. 40 に示す。照査用下限加速度応答スペクトルと比較すると、小さい加速度応答値であるが、照査用下限加速度応答スペクトルに概ね類似した相似形の加速度応答値である。上下流方向(実線)の0.2秒付近の周期と鉛直方向(短破線)の0.45秒付近の周期に顕著なピークがある。内陸地震の前述の「平成16年(2004年)新潟県中越地震」の川西ダム及び「平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震」の荒砥沢ダムの加速度応答スペクトル(Figs. 17, 27及び28)と比較して、小さな最大加速度値に対応し、小さな加速度応答値である。本ダムの加速度応答スペクトルは、長周期領域での加速度応答値が小さく、2秒以上の加速度応答値は非常に小さく、長周期領域での加速度応答値の減少傾向が照

査用下限加速度応答スペクトルの長周期領域での減少より大きい。このことは、本地震が前述のように短周期領域が卓越した地震動であったことが影響していると考えられる。計測震度は3.4であり、震度3となる。計測震度3.4は震度4に近い計測震度ではあるが、ダムが供用中に頻繁に経験する地震動である。

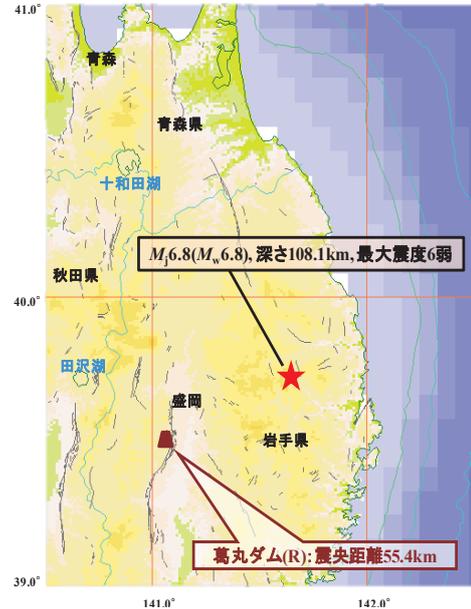


Fig. 39 震央とダム位置
Epicenter and dam position

Table 8 観測記録の最大加速度
Maximum acceleration of the observation record

		The Northern Coast of Iwate Prefecture(2008.7.24)		
		Stream	Longitudinal	Vertical
Crest EL. 273.85 m H=51.7 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	-310.4	-139.2	-96.8
	Maximum Acc. Ratio	7.21	4.76	1.93
Core EL. 248.00 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	92.2	-54.7	60.6
	Maximum Acc. Ratio	2.14	1.87	1.21
Foundation EL. 217.10 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	43.1	29.2	50.1
	Maximum Acc. Ratio	1.00	1.00	1.00

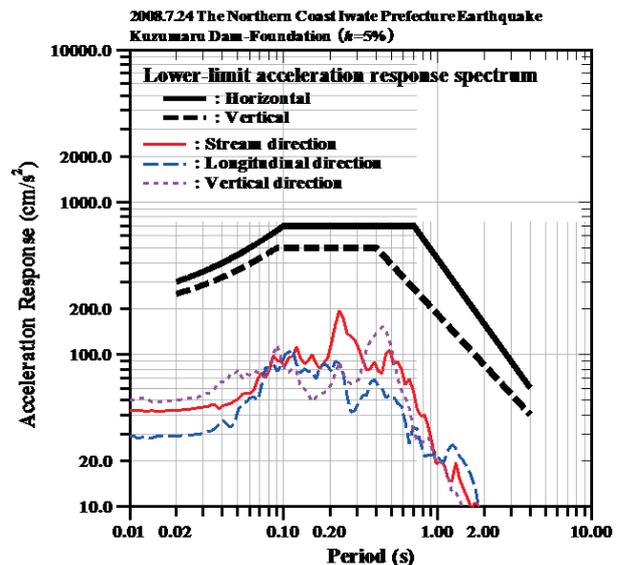


Fig. 40 加速度応答スペクトル(河床部監査廊)
Acceleration response spectrum (Foundation)

「岩手県沿岸北部の地震」の葛丸ダムの地震時の状況から、本地震動は短周期が卓越した地震動が特徴であったことから、本ダムでも長周期領域での加速度応答値の減少が大きくなり、2秒以上の長周期領域では加速度応答値が非常に小さい地震動である。

VII 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震

太平洋三陸沖(牡鹿半島の東南東約130km付近)で2011年3月11日、14時46分にMj9.0(Mw9.1)の「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」が発生した。宮城県栗原市で最大震度7、宮城県13市町村、福島県11市町、茨城県8市、栃木県5市町で震度6強、宮崎県、沖縄県以外の45都道府県で震度1以上を観測した。震源は、北緯38.1°、東経142.9°、深さ24km、日本海溝沿いの沈み込み帯の大部分である三陸沖中部から茨城県沖までの太平洋プレートと陸のプレートの境界の広い範囲を震源域として発生した逆断層型の地震である。前震は3月9日にMj7.3(Mw7.4)、最大余震は3月11日、15時15分に発生したMj7.6の茨城県沖の地震(最大震度6強:茨城県銚田市)であり、震源域内や付近の余震・誘発地震はマグニチュード7.0以上が6回、マグニチュード6.0以上が97回に及んだ。また、本地震以降、長野県北部から新潟県中越地方、静岡県東部、秋田県内陸北部、茨城県南部及び長野県中部でも最大震度5強以上を観測する地震が発生するなど、余震活動域以外でも活発な地震活動が生じた。津波観測施設で東日本の太平洋沿岸を中心に非常に高い津波を福島県相馬で9.3m以上、宮城県石巻市鮎川で8.6m以上を観測し、さらに、北海道から鹿児島県にかけての太平洋沿岸や小笠原諸島で1m以上の津波を観測し、現地調査では10mを超える津波の痕跡を確認した(気象庁, 2011b, 気象庁, 2012a, 気象庁, 2012b)。本地震の震源の領域は、震源として未知の規模であり、869年貞観の三陸沖地震と1896年三陸沖地震級の津波地震が同時に再来したとの見解がある。地震動と津波により東京電力(株)福島第一原子力発電所での原子力発電建屋の水素爆発により放射性物質の管理区域外への放出が発生した。このため、放射線被ばくの防止のため警戒区域が設定され、10万人を超える被災者が屋内退避や警戒区域外へ避難し、極めて深刻な2次被害が発生した。2013年9月1日現在で、死者18,703人、行方不明者2,674人、負傷者6,220人、避難者数61,355人、全壊126,574棟、半壊272,302棟、一部破損759,831棟である(消防庁災害対策本部, 2013)。死者の90%以上が水死で、被害の多くは津波によるものである。広範囲の地震動と津波のため、このような史上未曾有の死傷・不明者と被害を生じ、政府はこの地震による震災の名称を「東日本大震災」とした。気象庁により「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」、英語名称を「The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake」と命名された(気象庁, 2011c)。

7.1 大志田ダム(菜魚湖:ナナコ)

7.1.1 ダム諸元及び特徴

大志田ダム(Fig. 41(岩手県一戸町役場産業課農村整備係, 2013))は、農業用水の貯水のみを目的とした重力式コンクリートダム(ゲートレス)であり、国営馬淵川沿岸農業水利事業により青森県二戸郡二戸町の一級河川馬淵川水系平糠川に拡張レア工法を用いて1997年に本体着工し2004年に竣工した。チャート類を基礎岩盤とし、堤高63.7m、堤頂長165m、堤体積148千 m^3 、受益面積は2,191ha(うち2,174haは畑)に対して有効貯水量は8,600千 m^3 であり、受益地区で主要作物(レタスなど)の定植・防除用水として活用され、冬作物の促成アスパラガスにも貢献している。また、リンゴの品質向上にも貢献している。



Fig. 41 大志田ダム
Overall view of Ooshida Dam

7.1.2 地震時の状況

震央とダム位置の関係をFig. 42に示す。本ダムは、本地震で検討したダムのなかで最も北に位置するダムである。このFig. 42には本地震での後述する他の地震観測記録を整理した9ダムの岩洞ダム、山王海ダム、葛丸ダム、豊沢ダム、相川ダム、岩堂沢ダム、二ツ石ダム、柘沢ダム及び千五沢ダムの位置も示す。本ダムは、重力式コンクリートダムでの一般的な地震計設置位置である河床部監査廊と堤頂部の二箇所に地震計が設置されている。観測された最大加速度値をTable 9に示す。本ダムでは、河床部監査廊の観測点での観測記録を入力加速度と見なしている。上下流方向の加速度比は、前述の各地震での重力式コンクリートダムのうち「平成13年(2001年)芸予地震」の佐古ダムの上下流方向の加速度比4.5について大きな加速度比である。本ダムは、堤頂長/堤高比(L/H)が2.59(=165m/63.7m)とL/Hが大きい佐古ダム(L/H=6.77)に比較して堤頂長/堤高比が小さい。堤頂長/堤高比が大きい程、地山拘束の影響が小さく、振動しやすいと考えられるが、両ダムの観測結果からは、加速度比は堤頂長/堤高比に影響されていないと考えられる。入力加速度相当の加速度応答スペクトル(減衰定数は5%)をFig. 43に示す。前述の「平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震」の柘沢ダムの加速度応答スペクトル(Fig. 34)に類似しているが、柘沢ダムのような卓越したピークはない。計測震度は、3.6であり震度4となる。地震の規模は最大級であったが、震央距離が大きいため地震動は減衰しており、本ダムが供用中に度々に経験

すると考えられる地震動であった。

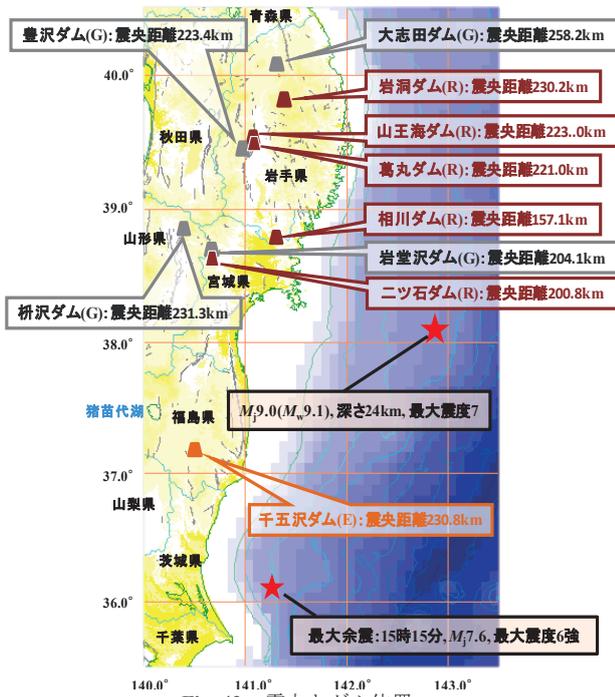


Fig. 42 震央とダム位置
Epicenter and dam position

Table 9 観測記録の最大加速度
Maximum acceleration of the observation record

		The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake		
		Stream	Longitudinal	Vertical
Crest EL. 392.70 m H=63.7 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	164.9	-98.7	-46.0
	Maximum Acc. Ratio	3.26	2.34	1.20
Gallery EL. 335.70 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	50.6	42.1	-38.3
	Maximum Acc. Ratio	1.00	1.00	1.00

事務所, 2008b)) は, 国営岩手山麓開拓建設事業により岩手県盛岡市の一級河川北上水系丹藤川に農業用水と発電を目的とした傾斜遮水ゾーン型アースロックダムとして1956年に本体着工し1960年に竣工した。ダムサイトが主要都市である盛岡から遠隔の地であるためコンクリートダム築造は資材運搬費かさむことからフィルダム型式とされた。しかし, 寒冷地のため施工可能期間が限られる上に発電との共同事業のために工期短縮が優先されることから, 傾斜遮水型とされた日本で初めての大規模な土石混合型ダムである。遮水性ゾーンの盛立て工法は, 上流ゾーンはリフト高2~3mの低リフト工法, 一方, 下流ゾーンはリフト高10mの高リフト工法を採用した。完成後20年以上を経過しており長期供用ダムに数えられるダムである。チャート類を基礎地盤とし, 堤高40m, 堤頂長351m, 堤体積850千m³, 受益面積は8,345ha(うち5,869haは畑)に対して有効貯水量は46,300千m³であり, 水稻, 野菜, 園芸, 畜産など多様な農業が受益地区で展開されている。農業用ダムの中でも有効貯水量が大きなダムに数えられている (Fig. 45 (中嶋, 2003))。



Fig. 44 岩洞ダム
Overall view of Ganndou Dam

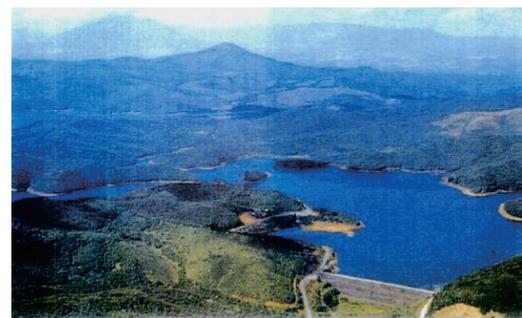


Fig. 45 岩洞ダム
Overall view of Ganndou Dam

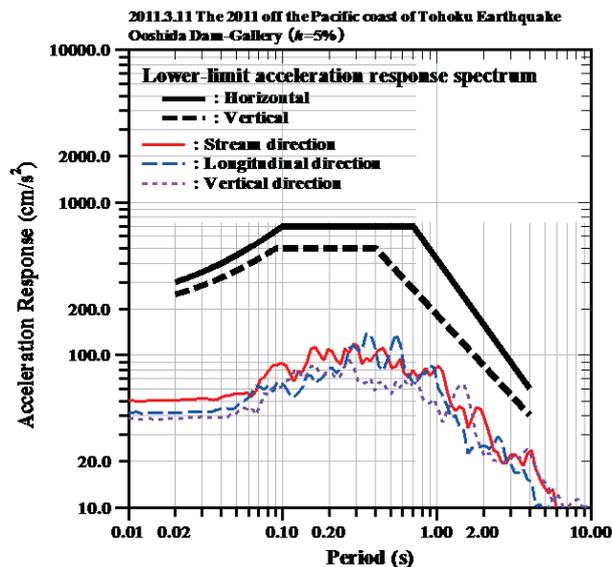


Fig. 43 加速度応答スペクトル (河床部監査廊)
Acceleration response spectrum (Gallery)

7.2 岩洞ダム (岩洞湖)

7.2.1 ダム諸元及び特徴

岩洞ダム (Fig. 44 (農林水産省東北農政局土地改良技術

7.2.2 地震時の状況

震央とダム位置の関係を前述の「大志田ダム」で提示した Fig. 42 に示す。本ダムは, 監査廊を有していないことから, 下流法尻の基礎地盤相当, 最大断面堤頂部と右岸地山の管理棟の三箇所に地震計が設置されている。ただし, 管理棟に設置されている地震計観測記録は参考とされている。観測された最大加速度値を Table 10 に示す。本ダムでは, 下流法尻の観測点での観測記録を入力加速度と見なし

ている。下流法尻での上下流方向とダム軸方向の加速度最大値はほぼ同じであり、基礎での地震動の増幅の方向による相違はない。堤頂部では、上下流方向よりダム軸方向の最大加速度値が大きく、堤体内でのダム軸方向への振動の増幅が卓越する特徴が現われている。堤頂部では加速度比は4程度であり、前述の「岩手沿岸北部の地震」の葛丸ダムの上下流方向の加速度比の約7 (Table 8) に比較して小さい、葛丸ダムの約 40cm/s^2 に比較して本ダムは約 65cm/s^2 と入力加速度値が大きく、フィルダムでの応答特性の特徴である入力加速度が大きくなると応答加速度が小さくなる傾向となっているか、または、本ダムの堤高が葛丸ダムよりも少し低いことから堤体内での振動の増幅が小さいと考えられる。入力加速度相当の加速度応答スペクトル (減衰定数は5%) を Fig. 46 に示す。0.2秒の周期での加速度応答値が大きく、短周期及び長周期領域で緩やかに減少する特徴的な加速度応答値である。計測震度は3.9であり、震度4となる。前述の大志田ダムと同様に、地震の規模は史上最大級であったが、震央距離が大きいため地震動は減衰しており、本ダムが供用中に度々に経験すると考えられる地震動であった。

Table 10 観測記録の最大加速度
Maximum acceleration of the observation record

		The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake		
		Stream	Longitudinal	Vertical
Crest EL. 700.50 H=40.0 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	254.9	290.3	-104.0
	Maximum Acc. Ratio	3.91	4.41	2.77
Toe of downstream-slope EL. 671.51 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	-65.2	-65.8	37.5
	Maximum Acc. Ratio	1.00	1.00	1.00

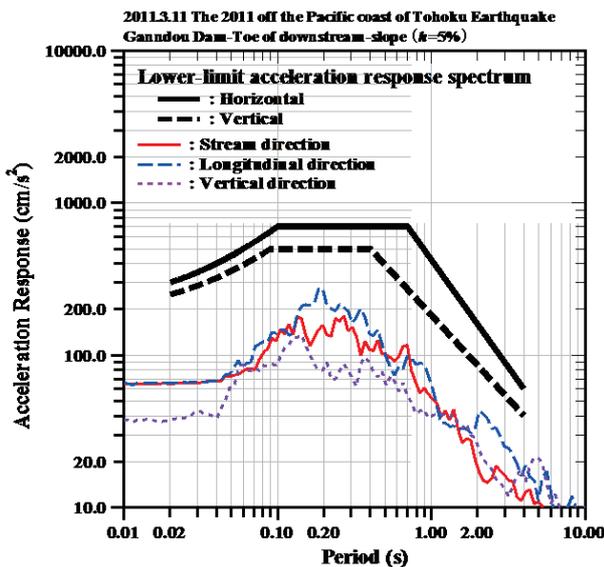


Fig. 46 加速度応答スペクトル (下流法尻)
Acceleration response spectrum (Toe of downstream-slope)

7.3 山王海ダム (平安の湖)

7.3.1 ダム諸元及び特徴

山王海ダム (Fig. 47 (都築, 2001)) は、農業用水の貯水のみを目的とした中心遮水ゾーン型ロックフィルダムであり、国営山王海 (二期) 農業水利事業により岩手県紫波郡

紫波町の一級河川北上川水系滝名川に 1990 年に本体着工し 2001 年に竣工した。安山岩を基礎地盤とし、堤高 61.5m、堤頂長 241.6m、堤体積 1,049 千 m³、受益面積は 3,890ha (畑はなし) に対して有効貯水量は 37,600 千 m³ である。本ダムは、新たな水源確保の必要性から、近代フィルダムの草分け的ダムとして完成した旧山王海ダム (堤高 37.4m、堤頂長 150m、堤体積 276 千 m³、有効貯水量 9,594 千 m³) を嵩上げし (堤高 37.4m から 61.5m の 24.1m 増)、有効貯水量を 4 倍弱に増加した。Fig. 48 に、旧山王海ダムによって利水を継続し、下流に新堤 (嵩上げ堤体) を築造している状況と、新・旧堤体のダム軸が平行していない状況が捉えられている (農林水産省東北農政局土地改良技術事務所, 2008c)。かんがい専用ダムとしては貯水容量が全国一の規模となり自流域の滝名川だけでは十分に水量を確保できないため、前述のように葛丸ダムと親子ダムとして効率的な水運用を図っている。堤体下流斜面に「平安」の文字が植樹されており、旧ダムの建設時の願いである永遠に水争いが無い平穏の願いを引き継いでいる (増川, 2003)。



Fig. 47 山王海ダム
Overall view of Sannoukai Dam



Fig. 48 旧山王海ダムと嵩上げ山王海ダム
Overall view of old Sannoukai Dam and raising Sannoukai Dam

7.3.2 地震時の状況

震央とダム位置の関係を前述の「大志田ダム」で提示した Fig. 42 に示す。近隣に葛丸ダム及び豊沢ダムが位置している。本ダムは、近年の堤高の高いロックフィルダムでの一般的な地震計設置位置である河床部監査廊、堤高に対して中間標高に位置する中心遮水ゾーン内のコア部と最大断面堤頂部の三箇所に地震計が設置されている。さらに、嵩上げダムである特殊性から旧堤体の地震時挙動を把握するため旧堤体の撤去した堤頂部の撤去面にも地震計が設置されている。観測された最大加速度値を Table 11 に示す。本ダムでは、河床部監査廊の観測点での観測記録を入力加速度と見なしている。旧堤体の堤頂部の撤去面の観測点の標高はコア部の観測点の標高よりわずかに低い標高であるが、堤頂部より大きな最大加速度値であり旧堤体内での振動の増幅は大きくなっている。これは、旧堤体がアースフィルであることから嵩上げ堤体に比較して堤体が柔らかい(剛性が小さい)ためと考えられる。嵩上げ堤体内では、標高が高くなるに従い最大加速度値は大きくなっており、嵩上げ堤体内で振動が増幅されている。入力加速度相当の加速度応答スペクトル(減衰定数は5%)を Fig. 49 に示す。プレート境界で発生し、震源が離れている地震動にもかかわらず、直下型地震動に対して設定した照査用下限加速度応答スペクトルに類似した0.1~0.7秒の周期領域で平坦な加速度応答値である。加速度応答値を大きくすると照査用下限加速度応答スペクトルに一致するような照査用下限加速度応答スペクトルに相似な加速度応答値である。しかし、長周期領域での加速度応答値の右下がりの減少傾向が照査用下限加速度応答スペクトルよりも小さい。計測震度は4.0であり、震度4となる。

Table 11 観測記録の最大加速度
Maximum acceleration of the observation record

		The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake		
		Stream	Longitudinal	Vertical
Crest El. 307.5 m H=61.5 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	-235.4	-217.4	-144.5
	Maximum Acc. Ratio	4.12	4.01	3.23
Core El. 276.0 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	-115.1	-96.9	-83.5
	Maximum Acc. Ratio	2.02	1.79	1.87
Foundation El. 242.0 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	57.1	-54.2	44.7
	Maximum Acc. Ratio	1.00	1.00	1.00
Old crest El. 280.0 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	-247.5	-183.8	-107.8
	Maximum Acc. Ratio	4.33	3.39	2.41

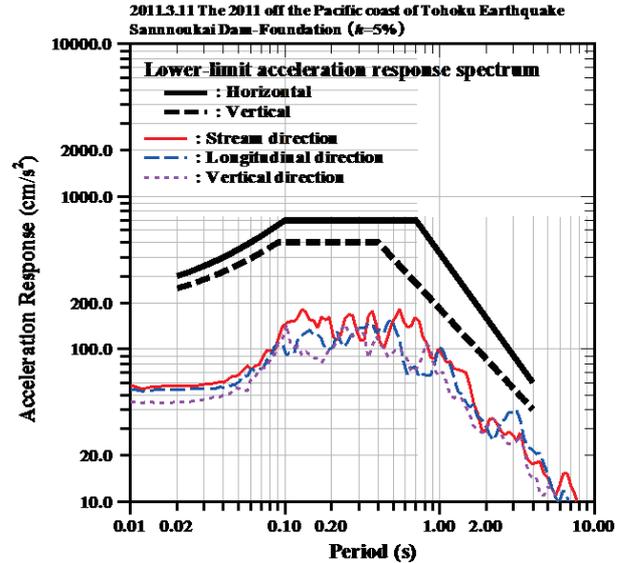


Fig. 49 加速度応答スペクトル(河床部監査廊)
Acceleration response spectrum (Foundation)

7.4 葛丸ダム(葛丸湖)

7.4.1 ダム諸元及び特徴

前述の「VI 岩手県沿岸北部の地震(2008年7月24日)」の「6.1 葛丸ダム」に同じである。

7.4.2 地震時の状況

震央とダム位置の関係を前述の「大志田ダム」で提示した Fig. 42 に示す。前述のように特徴的な水運用を実施している山王海ダムに隣接しているダムである。地震計設置位置は前述の「VI 岩手県沿岸北部の地震(2008年7月24日)」の「6.1 葛丸ダム」に同じである。観測された最大加速度値を Table 12 に示す。本ダムでは、河床部監査廊の観測点での観測記録を入力加速度と見なしている。本ダムの震央距離は前述の山王海ダムより震央に2km近く、入力加速度相当の最大加速度値は山王海ダム(Table 11)より本ダムが大きい。この最大加速度値の大きさの相違は、震央距離による加速度減衰よりも両ダムでの基礎地盤の応答特性の相違であると考えられる。堤体内のコア部ではダム軸方向の加速度比が上下流方向よりも大きい、堤頂部では上下流方向の加速度比が大きくなり最大加速度値も上下流方向が大きくなっている。この現象は、「岩手県沿岸北部の地震」の増幅の特性(Table 8)と異なっており、発生した地震動の振動数特性が影響していると考えられる。入力加速度相当の加速度応答スペクトル(減衰定数は5%)を Fig. 50 に示す。前述の山王海ダムの Fig. 49 と比較して、0.2秒付近の周期の加速度応答値が大きい。山王海ダムと同様に長周期領域での加速度応答値の右下がりの減少傾向が照査用下限加速度応答スペクトルよりも小さい。計測震度は4.2であり、震度4となる。

同一ダムでの異なる地震による地震動の加速度応答スペクトルの相違を比較するため、前述の「VI 岩手県沿岸北部の地震(2008年7月24日)」の「6.1 葛丸ダム」での加速度応答スペクトル(Fig. 40)と本地震での加速度応答スペクトルとを Fig. 51 に重ねて示す。太線が前述の「岩手県

沿岸北部の地震」, 細線が本地震の三方向成分である。本地震は内陸で発生した「岩手県沿岸北部の地震」と異なり, 長周期領域の加速度応答値の減少が小さい地震動である。

Table 12 観測記録の最大加速度
Maximum acceleration of the observation record

		The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake		
		Stream	Longitudinal	Vertical
Crest EL. 273.85 m H=51.7 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	-311.5	-262.9	-139.6
	Maximum Acc. Ratio	4.39	4.19	2.42
Core EL. 248.00 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	110.0	-109.0	82.8
	Maximum Acc. Ratio	1.55	1.74	1.43
Foundation EL. 217.10 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	-71.0	-62.8	57.8
	Maximum Acc. Ratio	1.00	1.00	1.00

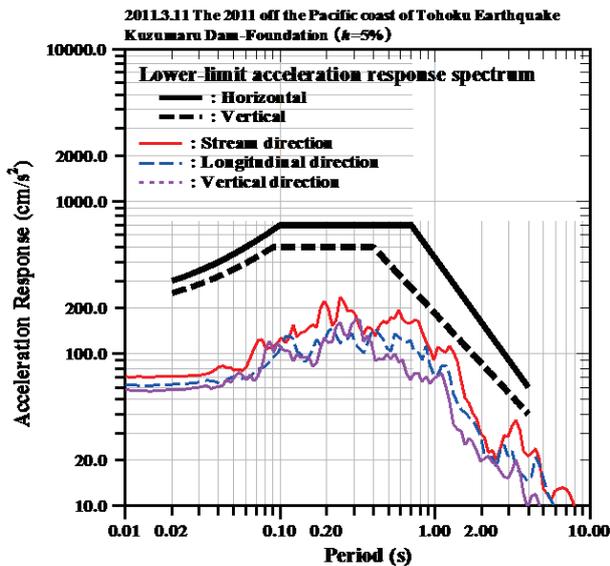


Fig. 50 加速度応答スペクトル (河床部監査廊)
Acceleration response spectrum (Foundation)

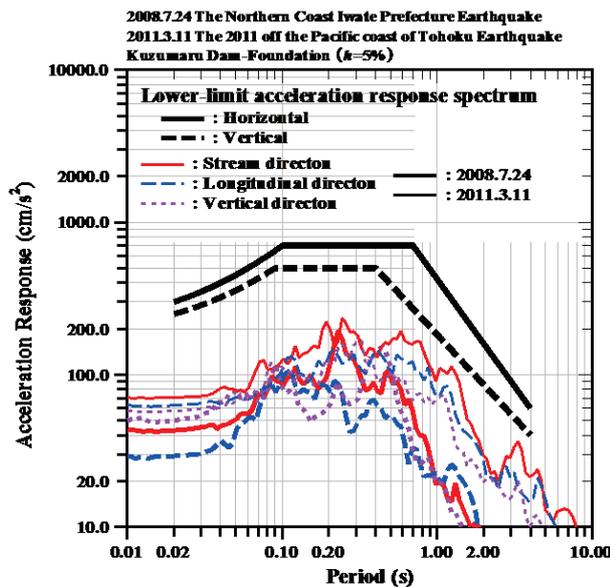


Fig. 51 「岩手県沿岸北部の地震」(河床部監査廊)と「平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震」の加速度応答スペクトル (河床部監査廊)
Acceleration response spectrum (Foundation) at “The Northern Coast Iwate Prefecture” and “The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake”

7.5 豊沢ダム (豊沢湖)

7.5.1 ダム諸元及び特徴

豊沢ダム (Fig. 52) は, 農業用水の貯水のみを目的とした重力式コンクリートダムであり, 国営豊沢川農業水利事業により岩手県花巻市の一級河川北上川水系豊沢川に 1949 年に本体着工し 1961 年に竣工した。花崗岩類を基礎岩盤とし, 堤高 59.1m, 堤頂長 150m, 堤体積 130 千 m³, 受益面積は 5,316ha (畑はなし) に対して有効貯水量は 19,856 千 m³ であり, 受益地区では安定的な用水が確保され, 水稻のほか小麦, 大豆が作付されている。完成後 20 年以上を経過しており長期供用ダムに数えられるダムである。



Fig. 52 豊沢ダム
Overall view of Toyosawa Dam

7.5.2 地震時の状況

震央とダム位置の関係を前述の「大志田ダム」で提示した Fig. 42 に示す。前述の山王海ダム及び葛丸ダムに近接したダムである。本ダムは, 重力式コンクリートダムの一般的な地震計設置位置である河床部監査廊と堤頂部の二箇所に地震計が設置されている。観測された最大加速度値を Table 13 に示す。本ダムでは, 河床部監査廊の観測点での観測記録を入力加速度と見なしている。前述の山王海ダムや葛丸ダムと震央距離はほぼ同距離 (山王海ダム: 223.0km, 葛丸ダム: 221.0km と本ダム: 223.4km) であるが, 両ダムの基礎での最大加速度値 (Tables 11 及び 12) のおよそ 45cm/s² 以上に比較して本ダムの最大加速度値は小さい。さらに, 震央距離が大きな大志田ダム (震央距離 258.2km) の最大加速度値 (Table 9) の 40 弱~50cm/s² よりも小さいことから, それぞれのダムでの最大加速度値の大きさの相違は, 震央距離による加速度減衰よりも各ダムの基礎岩盤の応答特性の相違であると考えられる。堤頂部では上下流方向が他の二方向成分の 2 倍程度の加速度比となる 3.45 であり, 前述の大志田ダムと同程度の加速度比である。入力

加速度相当の加速度応答スペクトル（減衰定数は5%）を Fig. 53 に示す。Table 13 のように河床部監査廊での 30～40cm/s² 程度の最大加速度値であることから、照査用下限加速度応答スペクトルよりかなり小さい加速度応答値である。上下流方向の短周期領域では他の二方向よりも大きな加速度応答値であるが、三方向ともに提示した 0.01～10 秒までの全周期領域ではほぼ同程度の加速度応答値である。長周期領域での加速度応答値の右下がりの減少傾向が照査用下限加速度応答スペクトルよりも小さい。計測震度は 3.4 であり、震度 3 となる。

Table 13 観測記録の最大加速度
Maximum acceleration of the observation record

		The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake		
		Stream	Longitudinal	Vertical
Crest EL. 301.40 m H=59.1 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	140.7	-50.2	-45.8
	Maximum Acc. Ratio	3.45	1.67	1.45
Gallery EL. 248.50 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	40.8	-30.1	31.6
	Maximum Acc. Ratio	1.00	1.00	1.00

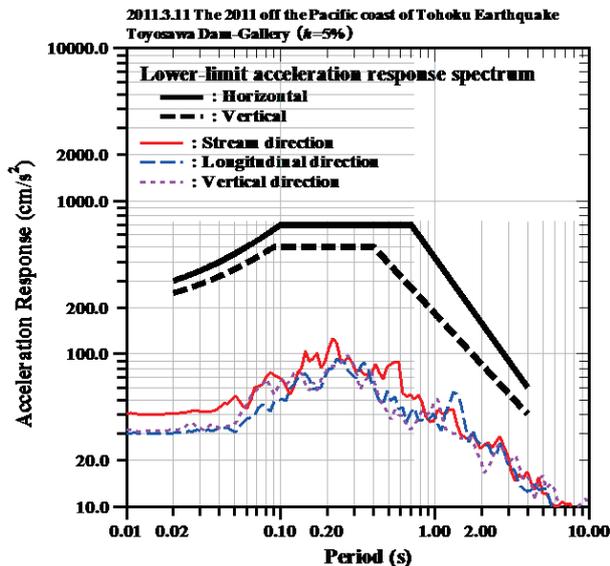


Fig. 53 加速度応答スペクトル（河床部監査廊）
Acceleration response spectrum (Gallery)

7.6 相川ダム（まさぼう湖）

7.6.1 ダム諸元及び特徴

相川ダム（Fig. 54（東北農政局藤沢開拓建設事業所，1999）は、農業用水の貯水のみを目的とした中心遮水ゾーン型ロックフィルダムであり、国営藤沢開拓建設事業により岩手県東磐井郡藤沢町の一級河川北上川水系相川に1993年に本体着工し1996年に竣工した。二疊紀堆積岩の粘板岩を基礎地盤とし、堤高40.3m、堤頂長168m、堤体積344千m³、受益面積は508ha（うち488haは畑）に対して有効貯水量は1,600千m³である。



Fig. 54 相川ダム
Overall view of Aikawa Dam

7.6.2 地震時の状況

震央とダム位置の関係を前述の「大志田ダム」で提示した Fig. 42 に示す。本ダムは、本地震で検討したダムのなかで最も震央に近いダムである。本ダムは、河床部監査廊と最大断面堤頂部の二箇所に地震計が設置されている。観測された最大加速度値を Table 14 に示す。本ダムでは、河床部監査廊の観測点での観測記録を入力加速度と見なしている。前述の岩洞ダム（Table 10）、山王海ダム（Table 11）及び葛丸ダム（Table 12）に比較して、入力加速度相当の最大加速度値は100cm/s²程度と大きく、震央に近いことを反映した観測値となっている。入力加速度相当の最大加速度値が三方向ともにほぼ同じ大きさであるが、堤頂部では上下流方向の最大加速度値が大きく、ダム軸方向と鉛直方向の二方向は同程度となっており、上下流方向の加速度比が大きく、堤体内での上下流方向への振動の増幅が卓越している。入力加速度相当の加速度応答スペクトル（減衰定数は5%）を Fig. 55 に示す。前述の岩洞ダム（Fig. 46）、山王海ダム（Fig. 49）及び葛丸ダム（Fig. 50）に比較して、最大加速度値が大きかったことから、加速度応答値は大きくなっており、最大加速度値が本ダムに次いで大きな葛丸ダムの加速度応答スペクトルの短周期領域の加速度応答値を大きくしたような加速度応答値である。入力加速度相当の最大加速度値が上下流方向とダム軸方向ともにほぼ同じであるため、提示した 0.01～10 秒の全周期領域での加速度応答値は両方向ともほぼ同じである。鉛直方向の最大加速度値が他の二方向に比較してわずかに小さいことから、提示した 0.01～10 秒の全周期領域での加速度応答値も他の二方向に比較して小さくなっている。計測震度は 4.4 であり、震度 4 となる。上記のように加速度応答値も前述の岩洞ダ

ム (Fig. 46), 山王海ダム (Fig. 49) 及び葛丸ダム (Fig. 50) に比較して大きいため, これらのダムの震度 4 (計測震度はそれぞれ 3.9, 4.0 及び 4.2) よりも計測震度が 4.4 と震度 4 としては大きくなっている。

Table 14 観測記録の最大加速度
Maximum acceleration of the observation record

		The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake		
		Stream	Longitudinal	Vertical
Crest EL. 98.50 m H=40.3 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	-451.9	-332.3	-334.1
	Maximum Acc. Ratio	4.32	3.27	3.52
Foundation EL. 55.50 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	104.5	101.7	94.9
	Maximum Acc. Ratio	1.00	1.00	1.00



Fig. 56 岩堂沢ダム
Overall view of Ganndouzawa Dam

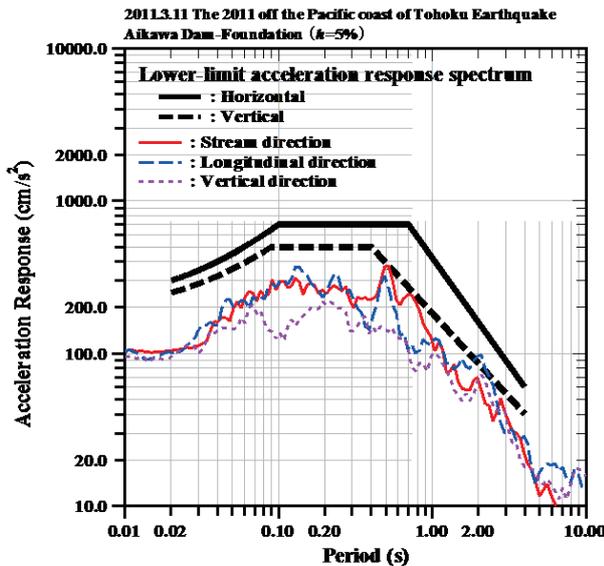


Fig. 55 加速度応答スペクトル (河床部監査廊)
Acceleration response spectrum (Foundation)

7.7 岩堂沢ダム

7.7.1 ダム諸元及び特徴

岩堂沢ダム (Fig. 56 (宮城県大崎地方ダム総合事務所, 2013)) は, 農業用水の貯水のみを目的とした重力式コンクリートダム (ゲートレス) であり, 国営かんがい排水事業大崎地区により宮城県大崎市の一級河川北上川水系大谷川岩堂沢に拡張レア工法を用いて 2001 年に本体着工し 2009 年に竣工した。新第三紀系の二つ森層安山岩類を基礎岩盤とし, 堤高 68m, 堤頂長 200m, 堤体積 235 千 m³, 受益面積は 10,425ha (畑はなし) に対して有効貯水量は 1,300 千 m³ である。大崎市他 3 町に展開する大崎耕土と称される宮城県内有数の穀倉地帯への農業用水の供給を担っている。

7.7.2 地震時の状況

震央とダム位置の関係を前述の「大志田ダム」で提示した Fig. 42 に示す。後述の二ツ石ダムに近接したダムである。本ダムは, 重力式コンクリートダムでの一般的な地震計設置位置である河床部監査廊と堤頂部の二箇所に加えて右岸地山のリム (グラウト) トンネルの合計三箇所に地震計が設置されている。観測された最大加速度値を Table 15 に示す。本ダムでは, 河床部監査廊の観測点での観測記録を入力加速度と見なしている。右岸地山の最大加速度値は, 河床部監査廊の最大加速度値に比較して大きい。堤頂部の上下流方向とダム軸方向の加速度比が同程度となっており, 堤体内での振動の増幅に方向による相違が現れていない。前述の大志田ダム及び豊沢ダムに比較して震央に近い (それぞれ 258.2km 及び 223.4km, 本ダムは 204.1km), 最大加速度値 (それぞれ Tables 9 及び 13) も大きくなっている。本ダムもこれらの両ダムともに加速度比は同程度の 3~4 弱程度となっており, 30~60cm/s² 程度の入力加速度に対して重力式コンクリートダムは, 堤高や堤体積に影響されずに振動の増幅が生じていると考えられる。入力加速度相当の加速度応答スペクトル (減衰定数は 5%) を Fig. 57 に示す。三方向ともに最大加速度値が同程度のため, 三方向とも類似した加速度応答値となっており, 1 秒以下の周期領域では三方向の加速度応答値がほぼ重なっており, 方向による特徴が現われていない。しかし, 1 秒以上の長周期領域では異なる加速度応答値である。0.1~0.2 秒の短周期領域の加速度応答値が大きく, 長周期領域での加速度応答値が穏やかに減少する。前述の大志田ダムの Fig. 43 や豊沢ダムの Fig. 53 の加速度応答スペクトルと比較して 0.1~0.2 秒の短周期領域で大きな加速度応答値である。地震動の観測点位置の違いによる加速度応答スペクトルを比較するため, 右岸地山のリムトンネルの加速度応答スペクトルを Fig. 58 に示す。河床部監査廊と右岸地山のリムトンネルの両観測点の加速度応答スペクトルを Fig. 59 に重ねて示す。太線が河床部監査廊, 細線が右岸地山の三方向成分である。河床部監査廊より右岸地山の最大加速度値が大きいことから, 加速度応答値も大きくなっている。右岸地山の 0.2~1 秒の加速度応答値が大きくなっており, 右岸地山の応答特性が現われていると考えられる。2 秒以上の長周期領域では両観測点の加速度応答値は重なっており, 異なる観測点

での応答特性が現われていない。計測震度は河床部監査廊で3.9であり、震度4、右岸地山のリムトンネルで4.2であり、震度4となる。右岸地山は河床部監査廊の最大加速度値より大きいことと、加速度応答値も0.2~1秒で大きいことが計測震度の差となっていると考えられる。

Table 15 観測記録の最大加速度
Maximum acceleration of the observation record

		The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake		
		Stream	Longitudinal	Vertical
Crest EL. 411.0 m H=68.0 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	218.3	201.7	82.7
	Maximum Acc. Ratio	3.63	3.20	1.54
Gallery EL. 351.3 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	-60.2	63.1	53.8
	Maximum Acc. Ratio	1.00	1.00	1.00
Right abutment EL. 411.0 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	-83.8	69.8	78.0
	Maximum Acc. Ratio	1.39	1.11	1.45

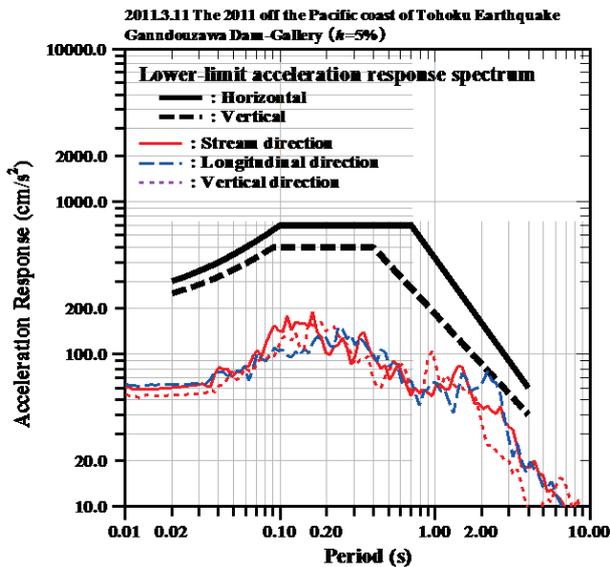


Fig. 57 加速度応答スペクトル (河床部監査廊)
Acceleration response spectrum (Gallery)

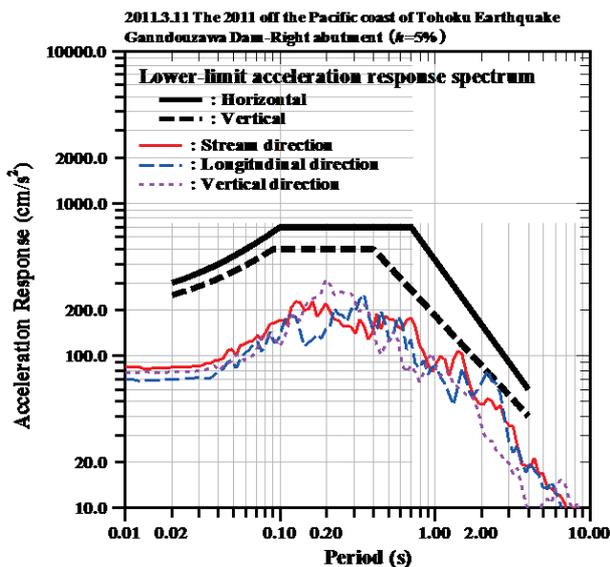


Fig. 58 加速度応答スペクトル (右岸地山リムトンネル)
Acceleration response spectrum (Right abutment)

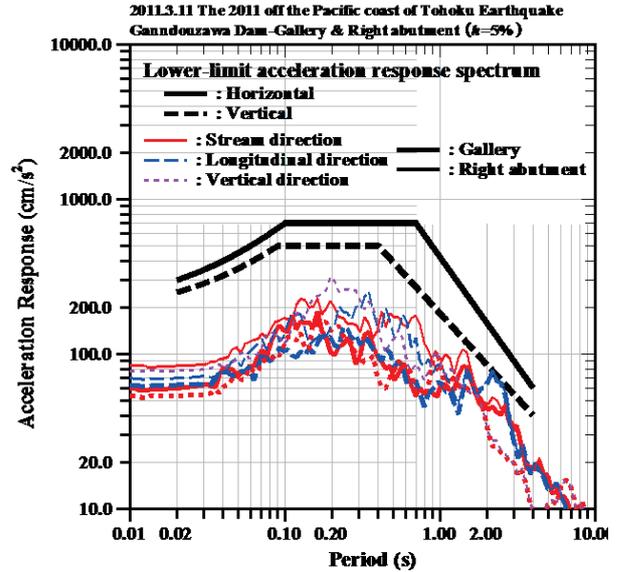


Fig. 59 加速度応答スペクトル (河床部監査廊と右岸地山リムトンネル)
Acceleration response spectrum (Gallery and right abutment)

7.8 ニツ石ダム

7.8.1 ダム諸元及び特徴

ニツ石ダム (Fig. 60 (農林水産省東北農政局土地改良技術事務所, 2008d)) は、農業用水の貯水のみを目的とした中心遮水ゾーン型ロックフィルダムであり、国営かんがい排水事業鳴瀬川地区により宮城県加美郡加美町の一級河川鳴瀬川水系ニツ石川に1997年に本体着工し2008年に竣工した。新第三紀中新世魚取沼層の凝灰岩類及び流紋岩を基礎地盤とし、堤高70.5m、堤頂長439m、堤体積2,256千m³、受益面積は9,736ha(畑はなし)に対して有効貯水量は9,700千m³である。大崎市他1市5町に展開する大崎耕土と称される宮城県内有数の穀倉地帯への農業用水の供給を担っている。コア敷幅は貯水深と同一長さを確保している。

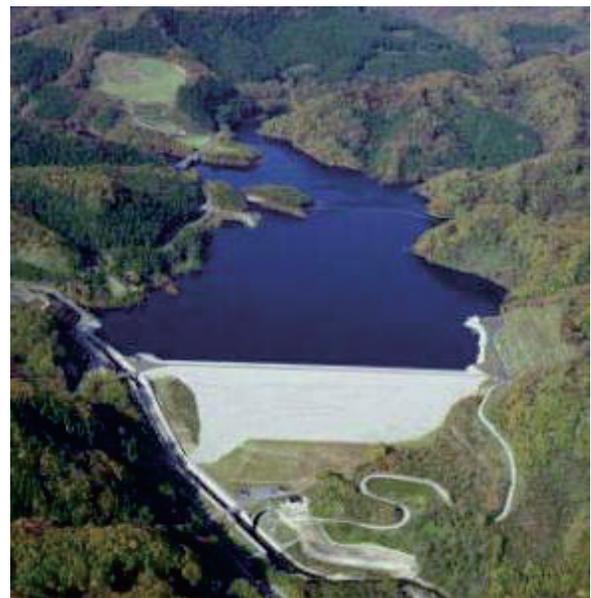


Fig. 60 ニツ石ダム
Overall view of Futatsuishi Dam

7.8.2 地震時の状況

震央とダム位置の関係を前述の「大志田ダム」で提示した Fig. 42 に示す。前述の岩堂沢ダムに隣接し、震央距離もほぼ同じ (岩堂沢ダム 204.1km と本ダム 200.8km) である。本ダムは、近年の堤高の高いロックフィルダムでの一般的な地震計設置位置と同様に、河床部監査廊、堤高に対して中間標高に位置する中心遮水ゾーン内のコア部と最大断面堤頂部、これらに加えて左岸地山のリム (グラウト) トンネルの四箇所に地震計が設置されている。観測された最大加速度値を Table 16 に示す。本ダムでは、河床部監査廊の観測点での観測記録を入力加速度と見なしている。前述の岩堂沢ダムの右岸地山と同様に本ダムの左岸地山の最大加速度値は河床部監査廊の最大加速度値に比較して大きい。堤頂部の鉛直方向の最大加速度値はダム軸方向よりも大きく、さらに、鉛直方向の加速度比が三方向の中で最も大きく、堤頂に向かって鉛直動が増幅されている。振動の増幅は、河床部監査廊からコア部までに比較し、コア部から堤頂部の間での増幅が急激に大きくなっている。入力加速度相当の加速度応答スペクトル (減衰定数は 5%) を Fig. 61 に示す。前述の岩堂沢ダム (Fig. 57) と類似した加速度応答値である。岩堂沢ダムと比して 0.1~1 秒の周期領域に卓越したピークがある。地震動の観測点位置の違いによる加速度応答スペクトルを比較するため、左岸地山のリムトンネルの加速度応答スペクトルを Fig. 62 に示す。河床部監査廊と左岸地山のリムトンネルの両観測点の加速度応答スペクトルを Fig. 63 に重ねて示す。太線が河床部監査廊、細線が左岸地山の三方向成分である。左岸地山の三方向の 2 秒以下の周期領域の加速度応答値が大きくなっており、上下流方向 (細実線) は 0.3~2 秒の周期領域にいて加速度応答値が大きくなり、ダム軸方向 (細破線) は 0.2 秒に卓越したピークがあり、鉛直方向 (細短破線) は 1~2 秒以下の周期領域全体での加速度応答値が大きくなっている。このように両観測点での加速度応答値の相違が明確である。計測震度は河床部監査廊で 4.1 であり、震度 4、左岸地山のリムトンネルで 4.7 であり、震度 5 弱となる。左岸地山は河床部監査廊の最大加速度値より 1.4~1.8 倍程度大きいことと、加速度応答値も大きくなっていることが計測震度の大きな差となっていると考えられる。

Table 16 観測記録の最大加速度
Maximum acceleration of the observation record

		The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake		
		Stream	Longitudinal	Vertical
Crest El. 243.5 m H=70.5 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	-165.2	-137.5	155.8
	Maximum Acc. Ratio	2.18	1.84	2.84
Core El. 200.0 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	-97.6	87.2	58.3
	Maximum Acc. Ratio	1.29	1.17	1.06
Foundation El. 169.5 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	-75.7	-74.7	-54.8
	Maximum Acc. Ratio	1.00	1.00	1.00
Left abutment El. 243.5 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	-109.3	-127.1	-96.3
	Maximum Acc. Ratio	1.44	1.70	1.76

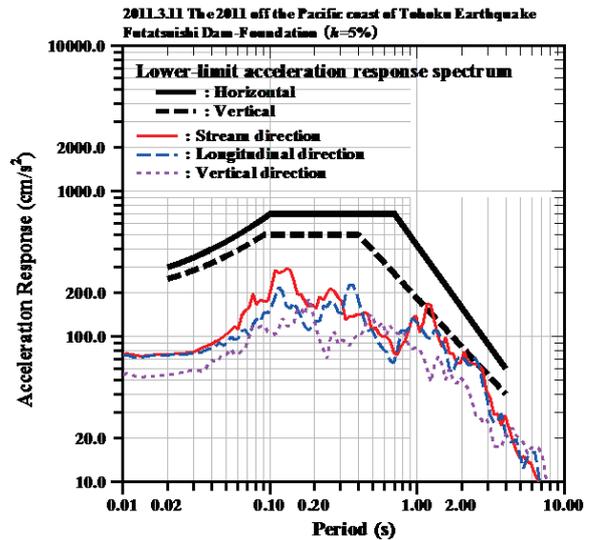


Fig. 61 加速度応答スペクトル (河床部監査廊)
Acceleration response spectrum (Foundation)

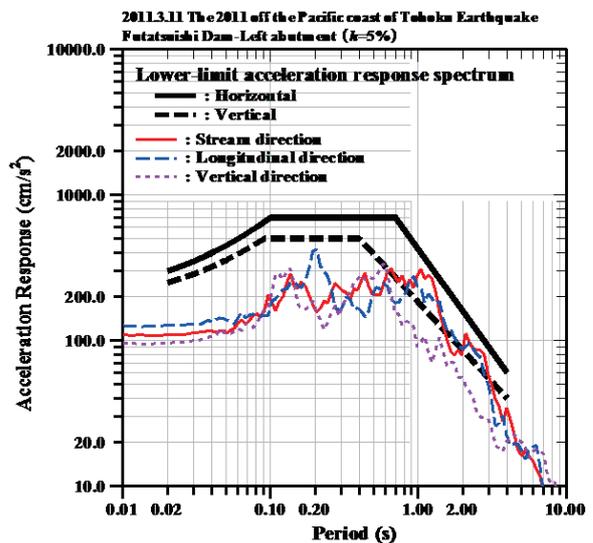


Fig. 62 加速度応答スペクトル (左岸地山リムトンネル)
Acceleration response spectrum (Left abutment)

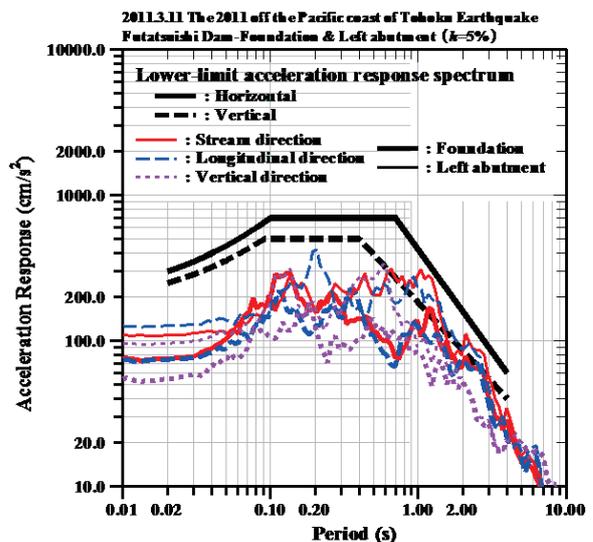


Fig. 63 加速度応答スペクトル (河床部監査廊と左岸地山リムトンネル)
Acceleration response spectrum (Foundation and Left abutment)

7.9 柘沢ダム

7.9.1 ダム諸元及び特徴

前述の「V 平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震」の「5.3 柘沢ダム」に同じである。

7.9.2 地震時の状況

震央とダム位置の関係を前述の「大志田ダム」で提示した Fig. 42 に示す。本ダムの位置はこれまでのダムと異なり火山フロントの太平洋側ではなく日本海側に位置するダムである。地震計設置位置は前述の「V 平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震」の「5.3 柘沢ダム」に同じである。観測された最大加速度値を Table 17 に示す。本ダムでは、河床部監査廊の観測点での観測記録を入力加速度と見なしている。入力加速度相当の最大加速度値が鉛直方向で大きいのが特徴的であるが、堤頂部では上下流方向、ダム軸方向、鉛直方向の順に大きな最大加速度値が観測される一般的な傾向が現われている。前述の岩洞ダムと同程度の震央距離 (岩洞ダムは 230.2km, 本ダムは 231.3km) であるが、入力加速度相当の最大加速度値は岩洞ダムに比較して小さくなっている (Table 10)。さらに、前述の震央距離が大きな大志田ダム (258.2km) と比較しても小さい (Table 9)。前述の「平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震」時に本ダムで観測された入力加速度相当の最大加速度値 (Table 7) より鉛直方向を除いて小さく、堤頂部での加速度比も鉛直方向が小さいが水平動に関してはほぼ同程度の増幅となっている。内陸地震とプレート境界で発生した地震とでは地震動の振動数特性が異なると考えられるが、両地震動に対して類似した応答特性が現われている。入力加速度相当の加速度応答スペクトル (減衰定数は 5%) を Fig. 64 に示す。前述の大志田ダムに類似した加速度応答スペクトル (Fig. 43) である。本ダムより震央に近い岩堂沢ダム (204.1km) に比較して、最大加速度値が 1/2 倍程度 (Table 15) であるため、1 秒以下の短周期領域の加速度応答値は岩堂沢ダムの加速度応答スペクトル (Fig. 57) に比較して小さい。前述の「V 平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震」の「5.3 柘沢ダム」での地震観測記録の加速度スペクトル (Fig. 34) と本地震での地震観測記録の入力加速度相当の加速度応答スペクトルとの比較を Fig. 65 に示す。太線が前述の「平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震」の三方向成分、細線が本地震の三方向成分である。最大加速度値は本地震の方が小さいが、両地震の加速度応答値はほぼ重なっており、両地震でも同じように複数の卓越したピークがある。しかし、0.5 秒以下の短周期領域での「平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震」の加速度応答値が大きい。また、0.5 秒以上の長周期領域の加速度応答値は本地震の方がやや大きい。計測震度は 3.7 であり、震度 4 となる。「平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震」でも計測震度 3.7 であり、上記のように加速度応答値がほぼ重なっていることに相応している。

Table 17 観測記録の最大加速度
Maximum acceleration of the observation record

		The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake		
		Stream	Longitudinal	Vertical
Crest EL. 245.8 m H=65.8 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	-66.1	44.7	-38.3
	Maximum Acc. Ratio	2.39	1.67	1.11
Gallery EL. 183.0 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	27.6	26.8	-34.5
	Maximum Acc. Ratio	1.00	1.00	1.00

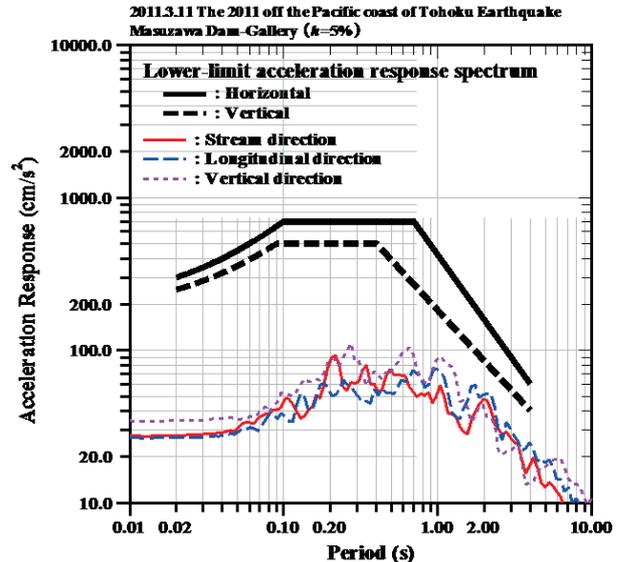


Fig. 64 加速度応答スペクトル (河床部監査廊)
Acceleration response spectrum (Gallery)

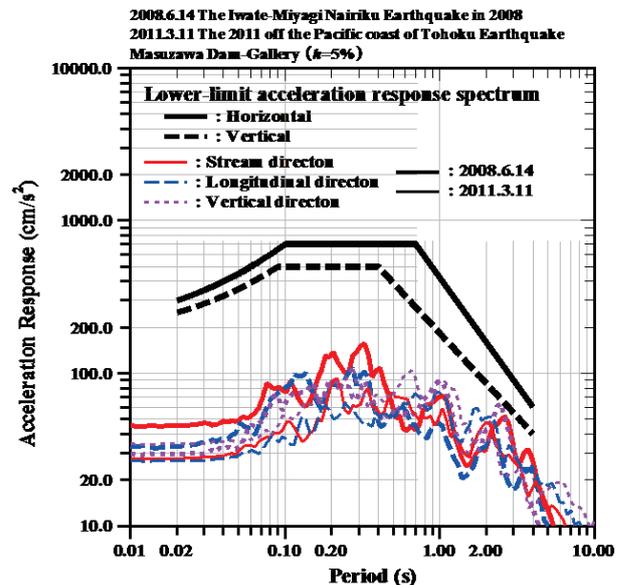


Fig. 65 「平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震」 (河床部監査廊) と「平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震」の加速度応答スペクトル (河床部監査廊)
Acceleration response spectrum (Gallery) at “The Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008” and “The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake”

7.10 千五沢ダム (母畑湖)

7.10.1 ダム諸元及び特徴

千五沢ダム (Fig. 66 (農林水産省東北農政局土地改良技術事務所, 2008e)) は、農業用水と洪水調整を目的とした中心遮水ゾーン型アースダムであり、国営母畑開拓建設事

業により福島県石川郡石川町の一級河川阿武隈川水系北須川に 1969 年に本体着工し 1975 年に竣工した。変性岩を基礎地盤とし、堤高 43m、堤頂長 176.5m、堤体積 347 千 m³、受益面積は 2,093ha（うち 1,191ha は畑）に対して有効貯水量は 11,600 千 m³ であり、受益地区できゅうり等野菜園芸や果樹の生産に活用されている。本ダムは最大洪水流量が 1,350m³/s と非常に大きく、設計洪水流量は、設計当時この地域として最も大きい 12m³/s/km² の比流量を適用しゲート付きシュート式の洪水吐を採用した。



Fig. 66 千五沢ダム
Overall view of Sennegosawa Dam

7.10.2 地震時の状況

震央とダム位置の関係を前述の「大志田ダム」で提示した Fig. 42 に示す。本ダムは、本地震で検討したダムの中で最も南側に位置するダムである。本ダムは、監査廊を有していないことから下流地山、下流法尻先の基礎地盤と最大断面堤頂部の三箇所に地震計が設置されている。観測された最大加速度値を Table 18 に示す。本ダムでは、下流地山の観測点での観測記録を入力加速度と見なしている。震央距離は比較的大きい (230.8km) が大きな最大加速度値が観測されている。同程度の震央距離である岩洞ダム (230.2km) の最大加速度値 (Table 10) と比較しても極めて大きい。堤頂部では三方向ともに同程度の最大加速度値が観測され、堤頂の鉛直方向及びダム軸方向が上下流方向と同程度に振動する特徴的な堤体内での増幅が観測されている。鉛直方向の加速度比が最も大きく、ダム軸方向、次いで上下流方向の順の大きさの加速度比である。さらに、堤頂部の加速度比は本地震での他のダムのうちで比較的小さく、入力加速度が大きくなると応答加速度が小さくなるフィルダムでの応答特性の特徴が現われていると考えられる。入力加速度相当の加速度応答スペクトル (減衰定数は 5%) を Fig. 67 に示す。本地震に対してこれまで検討したダムのなかで最も照査用下限加速度応答スペクトルに近い大きな加速度応答値であり、0.3 秒付近の周期での加速度応答値が大きい。観測点位置の違いによる地震動の加速度応答スペクトルを比較するため、下流法尻先の基礎地盤の加速度応答スペクトルを Fig. 68 に示す。上記の下流基礎地盤の加速度応答スペクトルと比較して、0.2 秒以下の短周期領域でも加速度応答値が大きくなっている。両観測点の加速度応答スペクトルを Fig. 69 に重ねて示す、太線が下流地山、細線が下流法尻先の基礎地盤の三方向成分である。後者の観測点では、上下流方向とダム軸方向の 0.6 秒以下の短周期領域での加

速度応答値が大きくなっており、鉛直方向では 0.06 秒付近の周期に卓越したピークがある。計測震度は下流地山で 4.7 であり、震度 5 弱、下流法尻先の基礎地盤で 4.9 であり、震度 5 弱となる。下流法尻先の基礎地盤は下流左岸に対して加速度比が約 1.3~2.5 であり、加速度応答値も大きくなっていることが計測震度の差となったと考えられる。下流法尻先では加速度応答値は大きくなっているが、この観測点での加速度応答スペクトルは Fig. 68 に対して Fig. 67 のように短周期領域での加速度応答値が大きくなっているため、体感に強く感じる周期領域 (1~2.5 秒の周期領域 (童ら, 1996)) の加速度応答値が大きくならず計測震度 0.2 のわずかな増加にとどまったと考えられる。

Table 18 観測記録の最大加速度
Maximum acceleration of the observation record

		The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake		
		Stream	Longitudinal	Vertical
Crest EL. 365.0 m H=43.0 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	-369.5	371.5	311.8
	Maximum Acc. Ratio	1.47	2.55	3.02
Toe of downstream-slope EL. 331.0 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	315.4	259.2	257.7
	Maximum Acc. Ratio	1.26	1.78	2.50
Down-stream abutment EL. 326.0 m	Maximum Acc. (cm/s ²)	251.2	145.6	-103.2
	Maximum Acc. Ratio	1.00	1.00	1.00

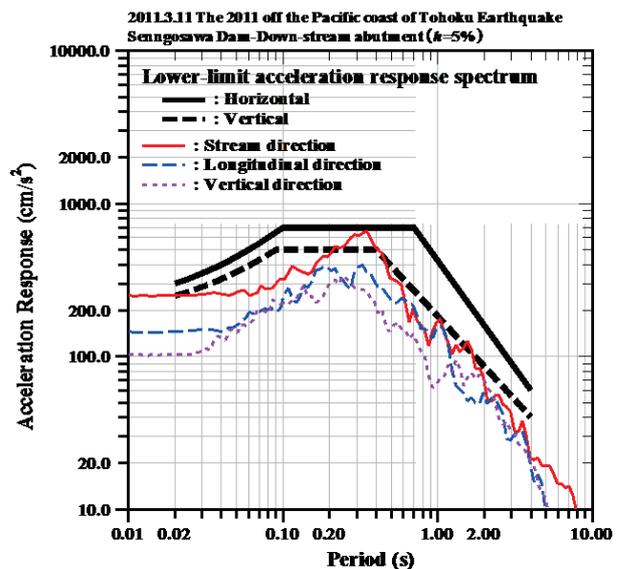


Fig. 67 加速度応答スペクトル (下流基礎地盤)
Acceleration response spectrum (Down-stream abutment)

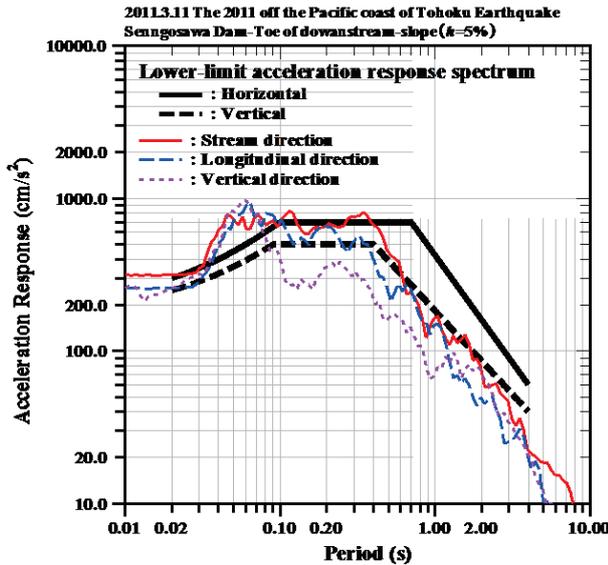


Fig. 68 加速度応答スペクトル（下流法尻先の基礎地盤）
Acceleration response spectrum (Toe of downstream-slope)

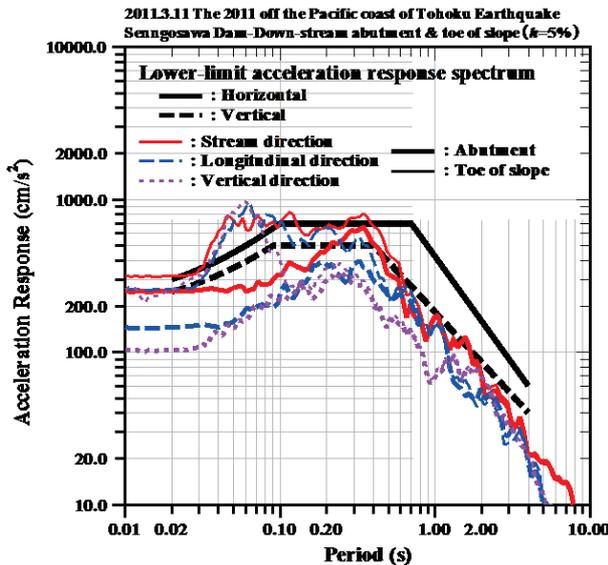


Fig. 69 加速度応答スペクトル（下流基礎地盤と下流法尻先の基礎地盤）
Acceleration response spectrum (Down-stream abutment and toe of downstream-slope)

「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」によるダムで観測された入力加速度相当の加速度応答は、概ね長周期になるに従い低減する傾向が照査用下限加速度応答スペクトルの長周期領域で設定されている減少傾向よりも小さい (Figs. 43, 46, 49, 50, 53, 55, 57, 61, 64 及び 67)。プレート境界で発生した「平成 15 年（2003 年）十勝沖地震」での震央距離が大きなダム型式の異なる二つのダムでも同様の傾向 (Fig. 12) である。さらに、地震時の堤頂の振動は、上下流方向に必ずしも大きく振動せずに、ダム軸方向や鉛直方向にも同程度の振動が観測される場合がある。

Ⅷ 結 言

21 世紀初頭の 10 年間（2001 年～2011 年 3 月）において発生した日本付近の主な被害地震（国立天文台，2013）の 13 地震のうち以下の六つの地震での合計 16 の農業用大ダムの強震観測記録を収集し、整理した。①「平成 13 年（2001 年）芸予地震」の佐古ダム，②「平成 15 年（2003 年）十勝沖地震」の美生ダム及び幕別ダムの二ダム，③「平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震」の川西ダム，④「平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震」の荒砥沢ダム，栗駒ダム及び柘沢ダムの三ダム，⑤「岩手県沿岸北部の地震（2008 年 7 月 24 日）」の葛丸ダム，及び⑥「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」の大志田ダム，岩洞ダム，山王海ダム，葛丸ダム，豊沢ダム，相川ダム，柘沢ダム，岩堂沢ダム，二ツ石ダム及び千五沢ダムの 10 ダムである。収集した地震観測記録から、観測点毎の最大加速度値と加速度比及び入力地震動に関して加速度応答スペクトルの分析を実施した。

農業用大ダムの耐震性能照査に対して、合理的かつ実際的な入力地震動の設定のため、内陸直下型地震やプレート境界の遠地地震による種々のダム型式のダムでの地震観測記録の蓄積が必要である。さらに、ダム堤体の地震時挙動の解明に基づいた地震時安全点検の重点的な点検箇所や留意箇所などのダムの管理の合理・高度化にも地震観測記録は不可欠である。今後も農業用ダムの地震時の安全性に寄与できるように農業用大ダムの地震観測記録の収集と分析に努めたい。

謝辞：本報告をまとめるにあたって、農林水産省東北農政局整備部設計課，東北農政局管内の土地改良調査管理事務所及び農林水産省北陸農政局整備部設計課，農林水産省中国四国農政局整備部設計課，北海道開発局農業水産部農業設計課及び北海道開発局帯広開発建設部，各県の関係機関，土地改良区等から貴重な地震観測記録の貸与及び種々の資料のご提供を頂いたことを記して感謝の意を表します。また、農林水産省農村振興局整備部設計課には、本報告をとりまとめる機会を頂きましたことを記して、感謝の意を表します。ダム諸元などは農林水産省（2009）と「ダム便覧 2013」（一般財団法人日本ダム協会，2013）を参考にした。記して感謝の意を表します。震央距離の計算には、国土地理院の測量計算サイトの「No. 2 距離と方位角の計算」（国土地理院，2013），震央及びダム位置の描画に“SEIS-PC for Windows”（石川ら，1997），地震波形の加速度応答スペクトル及び三方向成分の計測震度の算出に強震記録の表示用プログラムの“ViewWave”（鹿嶋，2007），及び、加速度応答スペクトルの表示には“Ngraph for Windows”（石坂，2010）を用いた。これらの開発者にここに記して感謝致します。

参考文献

浅野勇・豊田裕道・森山英樹・増川晋（1997）：鹿児島県薩摩地方地震による農地・農業用施設の被害，農業土木学会誌，65(6)，53-57
 独立行政法人防災科学技術研究所（2011）：地震時の観測最大加速度のギネス認定，http://www.bosai.go.jp/press/pdf/20110111_01.pdf
 福島正人・館石和秋・渋谷靖（1993）：幕別ダム基礎地盤の反射法

- による地質調査, 水と土, 93, 14-20
- 北海道開発局帯広開発建設部 (2003): 平成15年十勝沖地震による帯広開発建設部管内被災概要国営かんがい排水事業 幕別ダム周辺部被災状況,
<http://www.ob.hkd.mlit.go.jp/hp/bousai/pdf/jisin19.pdf>
- 一般財団法人日本ダム協会 (2013),
<http://damnet.or.jp/Dambinran/binran/TopIndex.html>
- 石垣利浩 (2008): 平成20年岩手・宮城内陸地震による宮城県内の被害の概要, 特別報告 平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震による農地・農業用施設の被害報告, 水と土の知(農業農村工学会誌), 76(8), 6
- 石川有三・中村浩二 (1997): SEIS-PC for Windows95, 地球惑星科学関連学会1997年大会予稿集, 78
- 石坂智 (2010): Ngraph for Science and Engineering,
<http://www2e.biglobe.ne.jp/~isizaka/>
- 岩手県一戸町役場産業課農村整備係 (2013): ○馬淵川沿岸地区農業水利事業とは,
http://www.town.ichinohe.iwate.jp/nourin/kakari/nouson_seibi/kokuei/kokuei.htm
- 鎌田知也 (2012): 事業紹介荒砥沢ダム直轄災害復旧事業の概要, ARIC 情報, 一般社団法人 農業農村整備情報総合センター
- 鹿嶋俊英 (2007): ViewWave,
http://iisee.kenken.go.jp/staff/kashima/software_j.html
- 気象庁 (1996a): 気象庁告示第四号,
http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/nc/k19960215001/k19960215001.html
- 気象庁 監修 (1996b): 「震度」を知る一知識と活用一, (株)ぎょうせい, 東京
- 気象庁 (2001a): 気象庁マグニチュード検討委員会の検討結果について, <http://www.jma.go.jp/jma/press/0104/23a/mate00.pdf>
- 気象庁 (2001b): 報道発表資料 平成13年3月26日 気象庁 平成13年3月24日15時28分ころ安芸灘で発生した地震の命名について, <http://www.jma.go.jp/jma/press/0103/26b/mate.pdf>
- 気象庁 (2003a): 地震年報 平成13年 (CD-ROM), 財団法人 気象業務支援センター, 東京
- 気象庁 (2003b): 報道発表資料 平成15年9月26日 気象庁 平成15年9月26日04時50分頃に発生した地震の命名について,
<http://www.jma.go.jp/jma/press/0309/26i/meimei030926.pdf>
- 気象庁 (2004a): 地震年報 平成15年 (CD-ROM), 財団法人 気象業務支援センター, 東京
- 気象庁 (2004b): 災害時地震速報 平成16年(2004年)新潟県中越地震, 災害時自然現象報告書 2004年第7号,
http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji_200407.pdf
- 気象庁 (2005): 地震年報 平成16年 (CD-ROM), 財団法人 気象業務支援センター, 東京
- 気象庁 (2008a): 災害時地震速報 平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震, 災害時自然現象報告書 2008年第1号,
http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji_200801.pdf
- 気象庁 (2008b): 災害時地震速報 平成20年7月24日の岩手県沿岸北部の地震, 災害時自然現象報告書 2008年第2号,
http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji_200802.pdf
- 気象庁 (2008c): 2008年7月24日00時26分ころの岩手県沿岸北部の地震について岩手県で震度6強, 報道発表資料 平成20年7月4日2時00分,
<http://www.jma.go.jp/jma/press/0807/24a/kaisetsu200807240200.pdf>
- 気象庁 (2008d): 岩手県洋野町大野の震度データについて一本年7月の岩手県沿岸北部の地震の最大震度を6強から6弱に修正一, 報道発表資料 平成20年10月29日,
<http://www.jma.go.jp/jma/press/0810/29a/kaisetsu200810291630.pdf>
- 気象庁 (2011a): 地震年報 2008年 (CD-ROM), 財団法人 気象業務支援センター, 東京
- 気象庁 (2011b): 災害時地震・津波速報 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震, 災害時自然現象報告書 2011年第1号,
http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji_201101/saigaiji_201101.pdf
- 気象庁 (2011c): 平成23年3月11日14時46分頃の三陸沖の地震について(第2報), 報道発表資料 平成23年3月11日16時20分, <http://www.jma.go.jp/jma/press/1103/11c/201103111620.pdf>
- 気象庁 (2012a): 地震年報 2011年 (CD-ROM), 財団法人 気象業務支援センター, 東京
- 気象庁 (2012b): 第1章 地震, 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震調査報告 第1編, 気象庁技術報告, 第133号,
<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/gizyutu/133/CHAPTER1.pdf>
- 国土技術政策総合研究所河川研究部水資源研究室 (2010): * 照査用下限加速度応答スペクトル, 大規模地震に対する耐震性能照査について, ダムテクランド/水資源研究室,
<http://www.nilim.go.jp/lab/fdg/l2/data/3l2-data.pdf>
- 国土地理院 (2013): 距離と方位角の計算, 測量計算サイト,
<http://surveycalc.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/bl2stf.html>
- 国土交通省北海道開発局 (2011): 第4節 農業農村整備事業の技術, 北海道開発局のあゆみ 60年,
<http://www.hkd.mlit.go.jp/topics/archives/60-2/nougyou/01.pdf>
- 国土交通省国土技術政策総合研究所 (2008): 5. ダム, 平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震被害調査報告, 国土技術政策総合研究所資料, 486, 112-114,
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0486pdf/ks0486.pdf>
- 国立天文台 (2013): 理科年表 平成26年, 第87冊, 175-176, 丸善, 東京
- 増川晋・浅野勇・田頭秀和・堀俊和 (1995): 緊急報告・兵庫県南部地震による農業水利施設の被害, 農業土木学会誌, 63(3), 1-5
- 増川晋・安中正実 (1997): 盛土構造物の地震後の調査と対策の事例, 小特集・震災後の対策を考える一5, 農業土木学会誌, 65(9), 29-34
- 増川晋・向後雄二・浅野勇・林田洋一 (2002a): 地震観測による複数のフィルダムの地震時挙動, 農業工学研究所報告, 第41号, 19-59, <http://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2010650622.pdf>
- 増川晋 (2002b): レベル2地震動を受けるフィルダムの塑性破壊の解明, プロジェクト研究成果シリーズ 382 フィルダム等の進行性破壊現象の解明, 農林水産省農林水産技術会議事務局編, 382, 39-40
- 増川晋 (2003): 8.1.1 ロックフィルダムの高上げによる機能更新一山王海ダムーフィルダム, 建設材料ー地域環境の創造一,

- 202-203, 朝倉出版, 東京
- 増川晋 (2005) : 平成 15 年 (2003 年) 十勝沖地震によるダムの地震時挙動, 平成 17 年度農業土木学会全国大会講演要旨集, 550-551,
<http://soil.en.a.u-tokyo.ac.jp/jsidre/search/PDFs/05/05005-47.pdf>
- 増川晋・中西憲雄 (2005) : 宮城県沖の地震 (2003 年 5 月 26 日) における農業用大ダムの地震時挙動, 農業工学研究所報告, 第 44 号, 105-138,
http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/naro-se/nkou44-4.pdf
- 増川晋 (2006) : 平成 16 年 (2004 年) 新潟県中越地震—地震と地震動一, 特集: 平成 16 年 (2004 年) 新潟県中越地震対応, 農村工学研究所技報, 第 205 号, 5-15,
http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/205-02.pdf
- 増川晋・中里裕巨 (2008a) : 荒砥沢・小田ダムおよび荒砥沢ダム上流大規模地すべり調査報告, 特別報告 平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震による農地・農業用施設の被害報告—4, 水士の知 (農業農村工学会誌), 76(8), 7-9
- 増川晋 (2008b) : 岩手・宮城内陸地震調査概要—荒砥沢ダムの被災状況について—, 第 64 回ダム施工技術講習会テキスト, 財団法人日本ダム協会, 81-93
- 増川晋・安中正実・林田洋一 (2008c) : 堤頂長/堤高比の異なるシリコンダム模型の振動実験, <特集>模型実験の動向, 土と基礎 (地盤工学会誌), 56(10), 16-19
- 増川晋・浅野勇・田頭秀和・林田洋一 (2009) : 農業用大ダムの被災状況と地震時挙動, 小特集 平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震による農地・農業用施設の被害報告—2, 水士の知 (農業農村工学会誌), 77(7), 7-10
- 増川晋・田頭秀和・黒田清一郎・林田洋一 (2012) : 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震による国営農業用フィルダムの被害, 農業工学研究所技報, 第 213 号, 217-241,
http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/213No15.pdf
- 宮城県栗駒ダム管理事務所 (2013) : 栗駒ダムの概要,
<http://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/91289.pdf>
- 宮城県大崎地方ダム総合事務所 (2013) : 岩沢ダム概要,
<http://www.pref.miyagi.jp/soshiki/osdam/gddam.html>
- 森川信之・神野達夫・成田章・藤原広行・福島美光 (2006) : 東北日本の異常震域に対応するための最大振幅および応答スペクトルの新たな距離減衰式補正係数, 日本地震工学会論文集, 6(1), 23-27
- 中嶋哲生 (2003) : 岩洞ダムの生い立ち, 株式会社アスタス, 東京
- 新潟県 (2006) : 新町新田地区のため池災害 (川西ダム), 新潟県中越地震～農地・農業用施設の復旧復興に向けて～ 4 技術資料 4-3 災害復旧工事例 3,
http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/eq_act04-3.pdf
- 新潟県農地部 (2006) : 2)ダム堤体と附帯施設の復旧～新たな被災 (川西ダム) 1・2, 新潟県中越地震～農地・農業用施設の復旧記録 (技術資料編)～, 32-37,
http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/P32_37-1.pdf,
http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/P32_37-2.pdf
- 新潟県十日町地域振興局 (2007) : 川西ダムの概要,
http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Simple/P3-7tookamati.pdf
- 新潟県十日町地域振興局農業振興部 (2013) : 川西ダム, 長福寺ダム, 坪山ダム, 松葉沢ダム, 五升苗ダム, にいがた農業水利施設百選「十日町川西の河岸段丘を潤すダム群」,
https://www.pref.niigata.lg.jp/tokamachi_nogyo/1356764666517.html
- 農林水産省 (2009) : 農林水産省所管の実施中及び完成ダム一覧,
<http://www.maff.go.jp/j/press/nousin/mizu/pdf/091222-06.pdf>
- 農林水産省中国四国農政局四国土地改良調査管理事務所 (2011) : 国営かんがい排水事業道前道後平野地区について 農業農村 (NN) しこくみち, 四国土地改良調査管理事務所だより, 8, 6,
<http://www.maff.go.jp/chushi/kj/yontyou/pdf/4-1.pdf>
- 農林水産省東北農政局土地改良技術事務所 (2008a) : 泉田川, あなたの街の農業農村整備施設,
http://www.maff.go.jp/tohoku/nouson/kokuei/totikai/shisetsu/photo_ya_magata/izumitagawa.html
- 農林水産省東北農政局土地改良技術事務所 (2008b) : 岩手山麓, あなたの街の農業農村整備施設,
http://www.maff.go.jp/tohoku/nouson/kokuei/totikai/shisetsu/photo_iw_ate/iwate_sanroku.html
- 農林水産省東北農政局土地改良技術事務所 (2008c) : 山王海 (二期), あなたの街の農業農村整備施設,
http://www.maff.go.jp/tohoku/nouson/kokuei/totikai/shisetsu/photo_iw_ate/sannokai2.html
- 農林水産省東北農政局土地改良技術事務所 (2008d) : 鳴瀬川, あなたの街の農業農村整備施設,
http://www.maff.go.jp/tohoku/nouson/kokuei/totikai/shisetsu/photo_mi_yagi/narusegawa.html
- 農林水産省東北農政局土地改良技術事務所 (2008e) : 母畑, あなたの街の農業農村整備施設,
http://www.maff.go.jp/tohoku/nouson/kokuei/totikai/shisetsu/photo_fukushima/bobata.html
- 林野庁東北森林管理局 (2009) : 「山地災害の記録」(平成 20 年岩手・宮城内陸地震),
http://www.rinya.maff.go.jp/tohoku/introduction/gaiyou_kyoku/annai/p amph/sanchi_kiroku.html
- 島本和仁・佐藤信光・大町達夫・川崎秀明・岩井慎治 (2008) : 2008 年岩手・宮城内陸地震によるダムの被害調査報告, ダム工学会, 6-7, http://www.jsde.jp/saigai/1_saigai_iwate-miyagi_report.pdf
- 消防庁災害対策本部 (2013) : 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震 (東日本大震災) について (第 148 報),
<http://www.fdma.go.jp/bn/higaihou/pdf/jishin/148.pdf>
- 総務省消防庁 (2004) : 出光興産 (株) 北海道製油所野外タンク貯蔵所火災の火災原因調査結果,
http://www.fdma.go.jp/html/new/pdf/040622_idemitsu.pdf
- 総務省消防庁 (2013) : 参考資料 1 昭和 39 年新潟地震昭和石油株式会社新潟製油所火災, 石油コンビナート等防災体制検討報告書,
http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/houdou/h25/2503/250328_1houdou/05_houdoushiryousanko_01-04.pdf
- 小澤興宏・宮森俊充・鎌田知也・米谷勝弘・竹谷喜代春 (2013) : 真空圧密工法 (高真空 N&H 工法) による調整造成工法, 水士の

- 知 (農業農村工学会誌), 81(12), 43-47
- 田頭秀和・宗岡寿美・辻修・土谷富士夫・矢沢正士 (2005) : 平成 15 年 (2003 年) 十勝沖地震の農用施設被害報告, 農業土木学会誌, 73(9), 29-33
- 高橋英 (1980) : 川西ダムの工事経過と試験湛水, 水と土, 41, 11-21
- 竹谷喜代春 (2011) : 工事報告: 迫川上流・荒砥沢ダム災害復旧事業調整池造成工事, 土木學會誌, 96(11), 2-3
- 寺端弘勝・瓜生和幸・竹谷幸晴・渡辺秀博 (2000) : 美生ダムの試験湛水について, 水と土, 123, 13-21
- 童華南・山崎文雄 (1996) : 地震動強さ指標と新しい気象庁震度との対応関係, 生産研究, 48(11), 548,
<http://repository.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/dspace/bitstream/2261/53004/1/sk048011009.pdf>
- 友野文典 (2002) : 佐古ダムの試験湛水について, 水と土, 131, 43-60
- 東北農政局藤沢開拓建設事業所 (1999) : 拓農創水—藤沢開拓事業誌—
- 東北農政局迫川上流農業水利事業所 (1999) : 荒砥沢ダム 技術誌
- 東北農政局山王海鹿妻農業水利事業所 (1999) : 葛丸ダム—技術誌—
- 都築慶剛 (2001) : 山王海ダムの再開発—先達の願いを 21 世紀に—, 水と土, 2001, グラビア
- 横山仁伸・加茂榮哉・林進・南雲人 (2005) : 幕別ダム試験湛水の浸透流況, 水と土, 143, 19-27

受理年月日 平成 25 年 1 2 月 9 日

Input Seismic Motion of Dams for Irrigation by Large-Scale Earthquakes for 10 Years of the Early 21st Century

MASUKAWA Susumu*, KURODA Seiichiro*, HAYASHIDA Yoichi* and TAGASHIRA Hidekazu*

Facilities and Geotechnical Engineering Research Division, Engineering Analysis*

Summary

From the seismic observation records, the authors analyzed the seismic behavior of the 16 large dams for irrigation focused on maximum acceleration, maximum acceleration ratio (dynamic acceleration amplification characteristic at dam body) and acceleration response spectrum (dynamic characteristic of the input earthquake motion to dam body) in the six earthquakes among 13 large-scale earthquakes occurred near Japan for ten years of the early 21st century, from January 2001 to March 2011. The earthquakes were (1) "The Geiyo Earthquake in 2001"(2001.3.24, M_w 6.8), (2) "The Tokachi-oki Earthquake in 2003"(2003.9.26, M_w 8.3), (3) "The Mid Niigata prefecture Earthquake in 2004"(2004.10.23, M_w 8.6), (4) "The Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008"(2008.6.14, M_w 6.9), (5) 2008.7.24 the northern coast Iwate Prefecture earthquake (M_w 6.9), and (6) "The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake"(2011.3.11, M_w 9.1). The dams were Sako Dam, Bisei Dam, Makubetsu Dam, Kawanishi Dam, Aratozawa Dam, Kurikoma Dam, Masuzawa Dam, Ooshida dam, Ganndou Dam, Sannnoukai Dam, Kuzumaru Dam, Toyosawa Dam, Aikawa Dam, Ganndouzawa Dam, Futatsuishi Dam and Senngosawa Dam.

Key words : Large dam for irrigation, Large-scale earthquake, Seismic observation, Input seismic motion, Seismic behavior