

荒砥沢ダム(右岸地山)(森ほか(2011))

- 荒砥沢ダム周辺には、新第三紀中新世の葛峰層、これを不整合に覆って小野松沢層が分布しており、ダム建設時の試験結果によれば、両者の物性値の差は顕著であるとしている。
- 荒砥沢ダム右岸においては、岩手・宮城内陸地震に伴い、右岸管理用道路上に3か所の段差が発生し、道路から貯水池側下方の土留擁壁や取水塔背後の法面保護工にも、道路段差の延長上に亀裂が多数発生したとしている。
- 荒砥沢ダム右岸に発生した変状について、トレンチ調査、地表踏査などを行った結果、これらの変状は、硬質な葛峰層と軟質な小野松沢層の境界である不整合面付近にひずみと変形が集中したことが原因であるとしている。

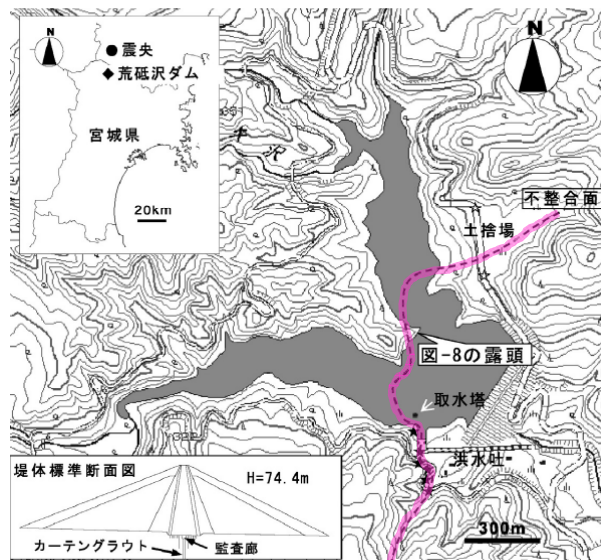


図-1 位置図 ★：右岸変状箇所，☆：開口亀裂。国土地理院 1/25,000地形図「切留」に加筆。

(森ほか(2011)に加筆)

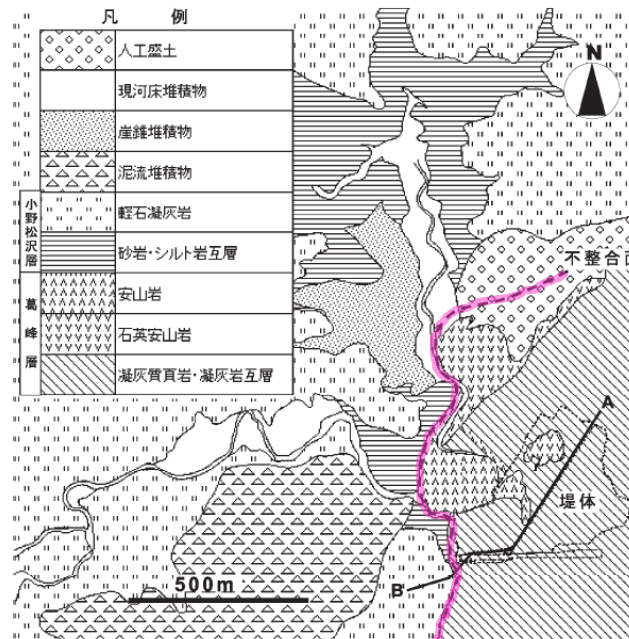


図-2 貯水池周辺地質図 A-Bは図-3の断面位置。

(森ほか(2011)に加筆)

表-1 岩相ごとの物性値比較表 数字は平均値 変形係数は孔内水平載荷試験，P波・S波速度はPS検層による。

層名	岩相	単位体積重量(g/cm ³)	変形係数(MN/m ²)	一軸圧縮強度(kN/m ²)	P波速度(km/s)	S波速度(km/s)
小野松沢層	軽石凝灰岩	1.50 (18)	76 (2)	2,035 (9)	1.22 (17)	0.49 (17)
	シルト岩	1.69 (7)	174 (6)	5,517 (12)		
	砂岩	1.96 (8)	383 (5)	15,536 (8)		
葛峰層	石英安山岩	2.58 (8)	3,402 (7)	79,218 (8)	2.63 (34)	1.08 (34)
	凝灰質頁岩	2.38 (17)	2,506 (14)	51,206 (17)		
	凝灰岩	2.37 (28)	2,018 (16)	44,197 (28)		

()はデータ数

荒砥沢ダム(右岸地山)(森ほか(2011))

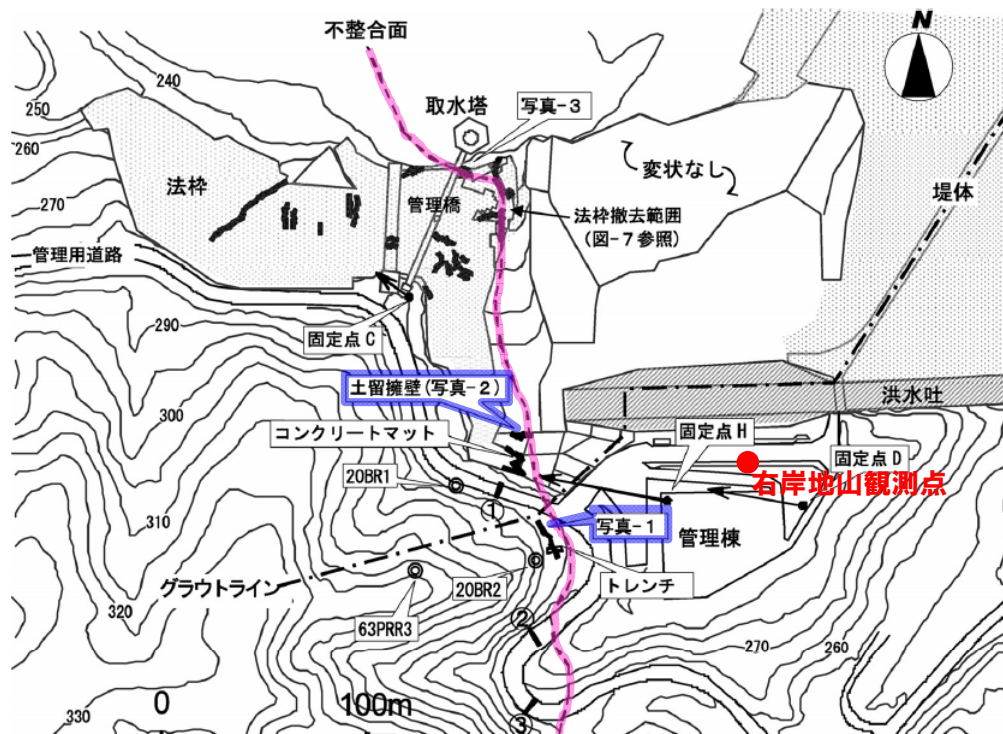


図-4 右岸変状位置図 太い実線が亀裂や段差などを表す。
(森ほか(2011)に加筆)



写真-1 尾根部で確認された13cmの段差 写真位置は図-4参照.

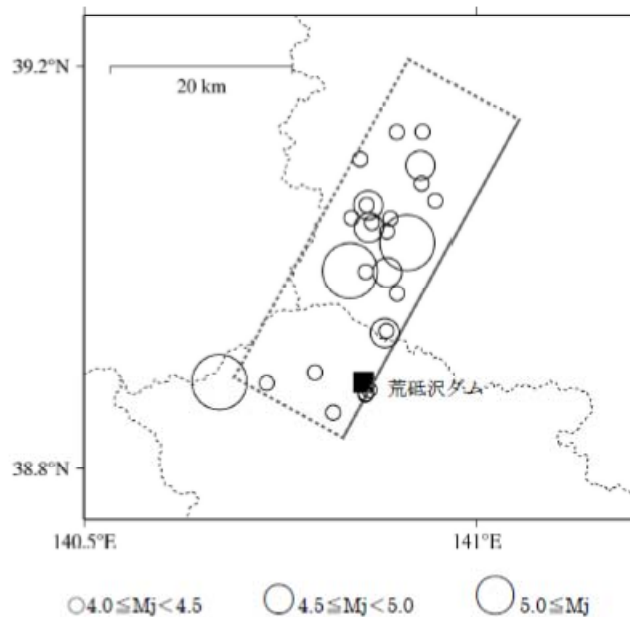


写真-2 土留擁壁への亀裂
右端のリップラップの盛り上がりは施工当時のもの.

3.4 荒砥沢ダム

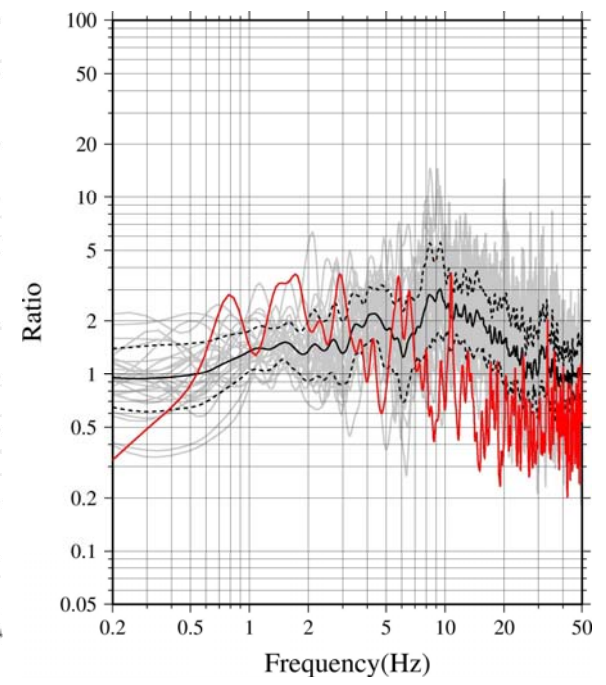
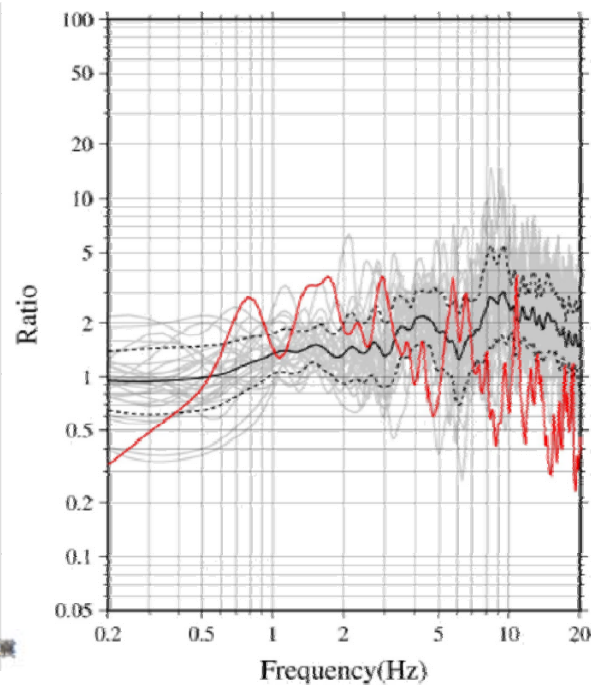
荒砥沢ダム(右岸地山)

- 荒砥沢ダム(右岸地山)について、2008年岩手・宮城内陸地震を含む観測記録を用いて、H/Vスペクトルを算定した。
- 余震と比べて本震では、ピーク周波数のずれや高周波数側(短周期側)においてH/Vスペクトルの低下がみられることから、本震記録には地盤の非線形性の影響が含まれていると考えられる。



※計 27 地震

検討地震の震央分布



(参考)~50Hz

灰色:余震 27 記録 黒:余震 27 記録の平均(実線=平均値,点線=平均値±1σ)

赤:2008年岩手宮城本震

H/Vスペクトル

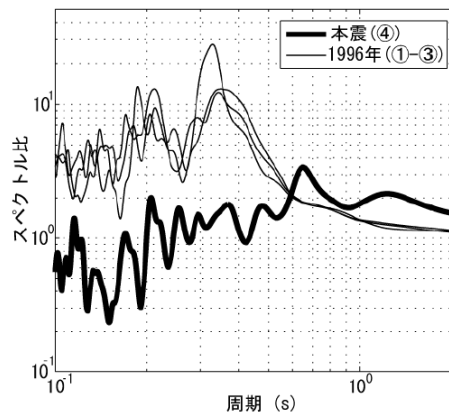
3.4 荒砥沢ダム

荒砥沢ダム(監査廊)(田原・大町(2010))

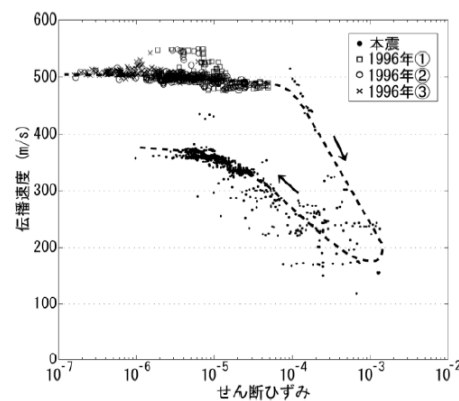
- 岩手・宮城内陸地震本震による最大加速度値は、監査廊に対して天端では半減しており、この特異な地震応答特性は、フィルダムを構成する土質材料の非線形動的特性との関連性が強いと推察して検討している。
- 天端と監査廊のスペクトル比から、岩手・宮城内陸地震本震のスペクトル形状が1996年の地震と大きく異なり、短周期成分がダムで大きく減衰し、1996年の一次周期よりも明らかに伸長しているとしている。
- 岩手・宮城内陸地震の主要動時に 10^{-3} を超える大きなひずみレベルに達したことに伴い、ダム堤体コア内のS波伝播速度が減少したとしている。
- また、主要動後、S波伝播速度は徐々に増加する傾向を示したが本震終了時では、当初値に戻らず、約1年かけて回復する過程が確認されたとしている。

	年月日	M	上下流方向最大加速度		
			監査廊	コア中間	ダム天端
①	1996. 8. 11	5.9	0.28	0.81	1.05
②	1996. 8. 11	5.7	0.33	0.66	1.14
③	1996. 8. 11	4.8	0.3	0.42	0.87
④	2008. 6. 14	7.2	10.24	5.35	5.25

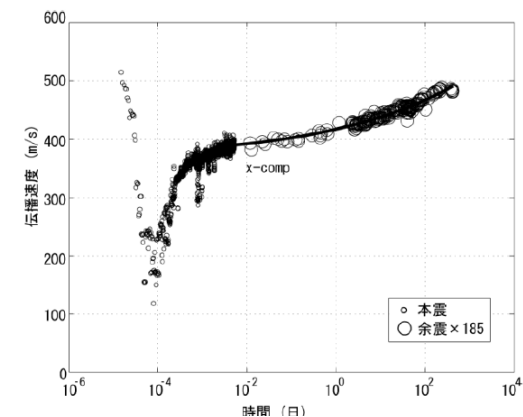
左表:使用した観測記録
(最大加速度値(m/s²))



スペクトル比
(天端/監査廊, 上下流方向)



本震時動的ひずみと伝播速度の関係
(監査廊-天端間, 上下流方向)



S波伝播速度の回復過程
(監査廊-天端間, 上下流方向)

荒砥沢ダム(監査廊)(波多野ほか(2010))

- 地震時の堤体のせん断ひずみを地震応答記録の堤体変位から推定した結果、本震の最大せん断ひずみが 1.9×10^{-3} となったとしている。また、ロックフィルダムにおいて、 10^{-3} 台のせん断ひずみ領域まで実測値から同定したケースは国内外で初めてになるものであるとしている。
- 荒砥沢ダムをモデル化した再現解析より、強震動によって堤体のせん断ひずみが増加し、堤体剛性の低下と減衰定数の増加によって、堤体の応答倍率が低下したものと考えられるとしている。

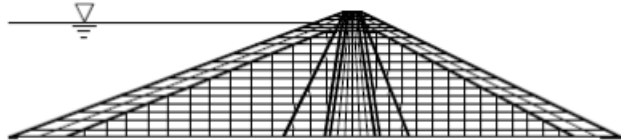


図-6 解析モデル メッシュ分割

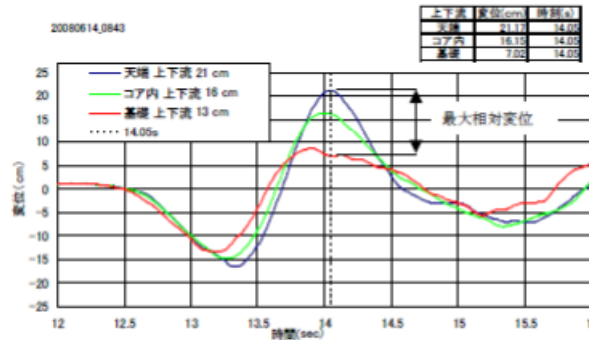


図-8 岩手・宮城内陸地震における荒砥沢ダムの堤体の変位波形

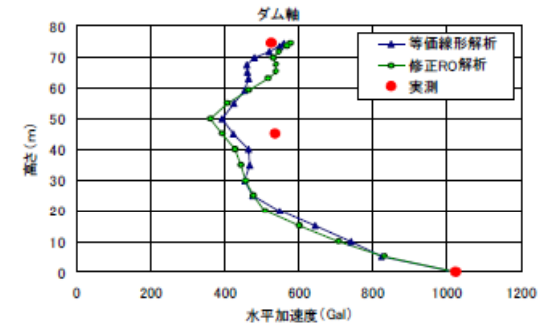


図-13 岩手・宮城内陸地震におけるダム軸最大加速度分布(全時刻)の比較(水平方向)

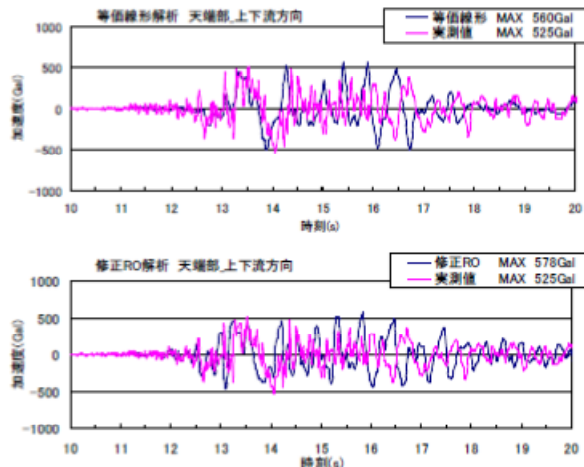


図-15 天端部の加速度時刻歴波形の比較

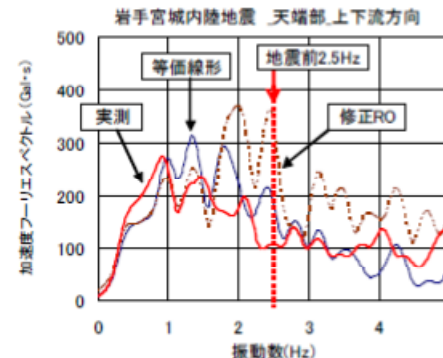


図-17 岩手・宮城内陸地震 天端部の加速度フーリエスペクトルの比較

3.4 荒砥沢ダム

荒砥沢ダム(監査廊)(国土交通省ほか(2008))

- ダム天端の上流法肩部(ロック部上)において最大20cm程度の沈下が計測された。また、堤体の沈下により層別沈下計のパイプが約40cm突出したとしている。
- 下流ロック部のリップラップと洪水吐きシュート部の導流壁との隣接部では、ロック部の15cm程度の沈下痕跡が確認できたとしている。
- 荒砥沢ダムにおける加速度記録より、ダムの本震加振中の非線形挙動により固有周期が長周期化したため、天端応答として、天端の最大加速度はダム基礎の半分程度に抑えられたと推察している。



写真-5.22 堤体の沈下により約40cm突出した層別沈下計のパイプ



写真-5.23 リップラップと洪水吐き導流壁との隣接部のロック部の沈下痕跡

3.4 荒砥沢ダム

●岩手・宮城内陸地震については、荒砥沢ダムとその他の観測点で観測された本震記録の加速度レベル(短周期側の地震動レベル)に大きな差異がみられることから、それらの要因について、以下の検討方針に基づき詳細検討を実施する。

●本震観測記録の加速度レベルが大きい荒砥沢ダムについて、岩手・宮城内陸地震震源近傍の5地点との地盤増幅の相違※を把握する。

●なお、検討に用いる観測記録は、荒砥沢ダム[監査廊]の観測記録を用いる。

※ 荒砥沢ダムで得られた観測記録と震源近傍の5地点の観測記録の応答スペクトル比を求め、増幅の相違(相対的地盤増幅率)を評価する。

$$\Delta G(T) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \log \left[\frac{Sa_{1,m}(T)}{Sa_{2,m}(T)} \cdot \frac{X_{1,m}}{X_{2,m}} \right]$$

$\Delta G(T)$: Sa_2 に対する地盤増幅率(相対的地盤増幅率)

$Sa_1(T)$: 荒砥沢ダム[監査廊]

$Sa_2(T)$: KiK-net一関東[地中](IWTH26)

KiK-net金ヶ崎[地中](IWTH24)

KiK-net東成瀬[地中](AKTH04)

KiK-net鳴子[地中](MYGH02)

栗駒ダム[右岸地山]

X_1 : Sa_1 の震源距離

X_2 : Sa_2 の震源距離

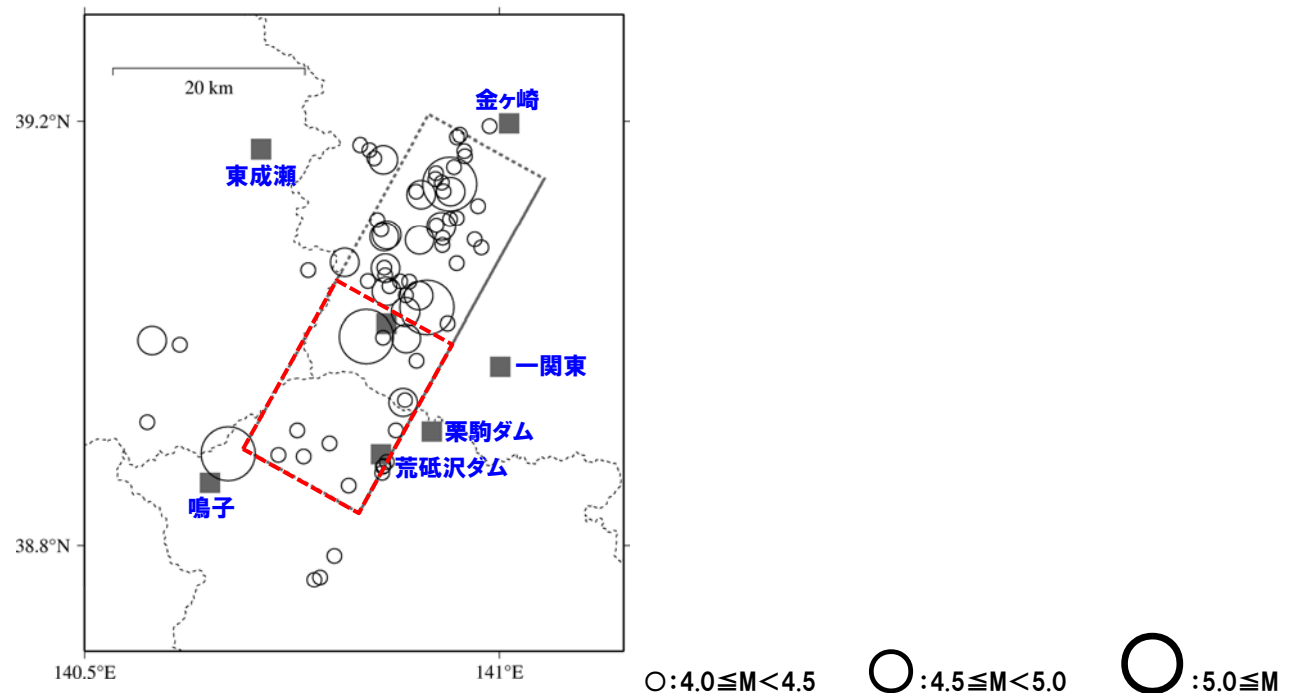
検討対象地震

- 以下の条件に基づき、検討地震を選定する。
 - ・荒砥沢ダムで観測記録が得られている2008年～2013年の地震
 - ・ $M \geq 4.0$ の内陸地殻内地震(2008年岩手・宮城内陸地震の本震は除外)^{※1}
 - ・検討対象地震の範囲は、本震のアスペリティ位置を踏まえ、本震の震源領域中心～南側の地震^{※2}

- 検討地震の震央分布は、以下の赤枠内の通り。(地震諸元は、気象庁による)

※1 一般的な地盤増幅特性を評価するため、中小地震を用いる。

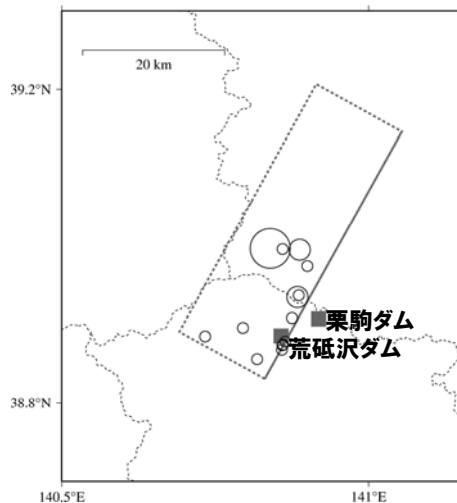
※2 2008年岩手・宮城内陸地震は、震源領域の南側の活動(主なアスペリティは、震源領域の中心～南側)が地震の特徴を主に表しているため、この範囲を検討対象とすることで、本震時の各観測点間の特徴を把握する。



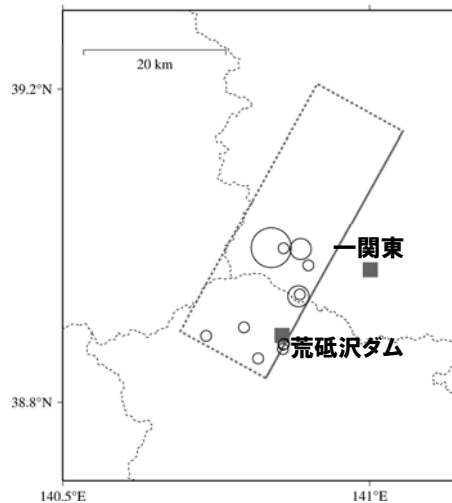
3.4 荒砥沢ダム

荒砥沢ダムを対象とした相対的地盤増幅率

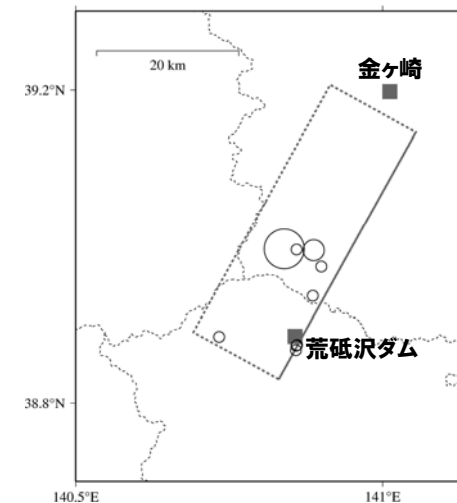
●震源近傍に位置する5地点を基準とした荒砥沢ダムの相対的地盤増幅率を評価する。



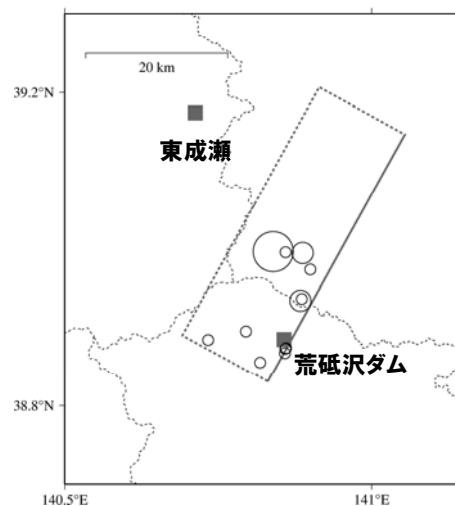
荒砥沢ダム[監査廊]/栗駒ダム[地山]



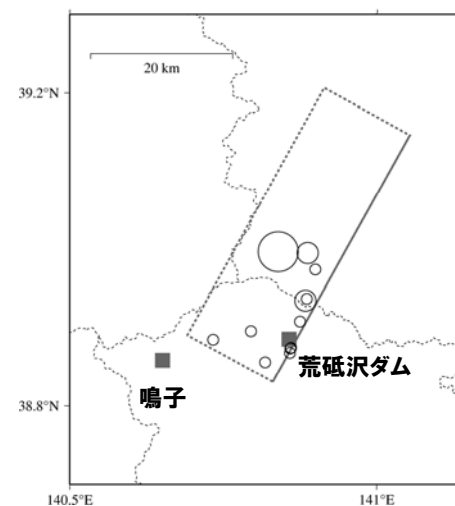
荒砥沢ダム[監査廊]/KiK-net一関東



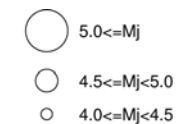
荒砥沢ダム[監査廊]/KiK-net金ヶ崎



荒砥沢ダム[監査廊]/KiK-net東成瀬



荒砥沢ダム[監査廊]/KiK-net鳴子



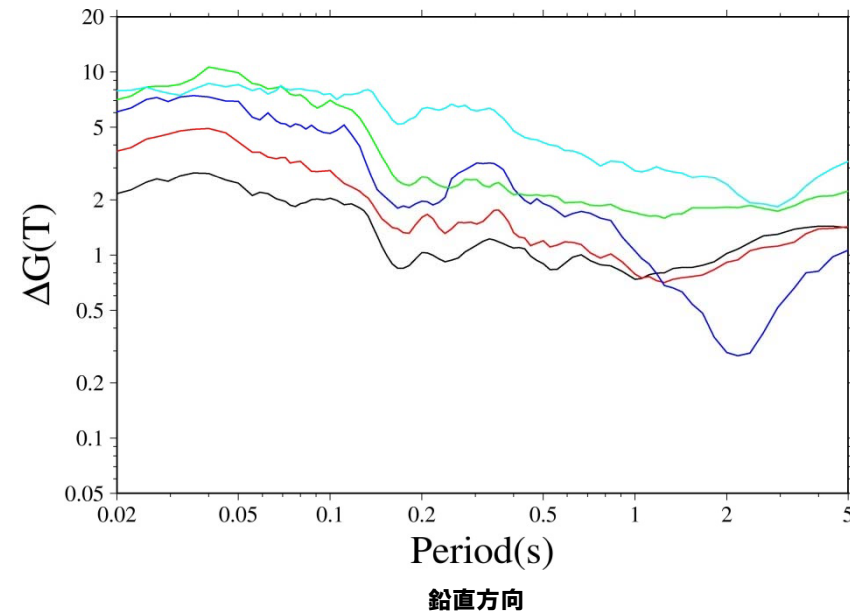
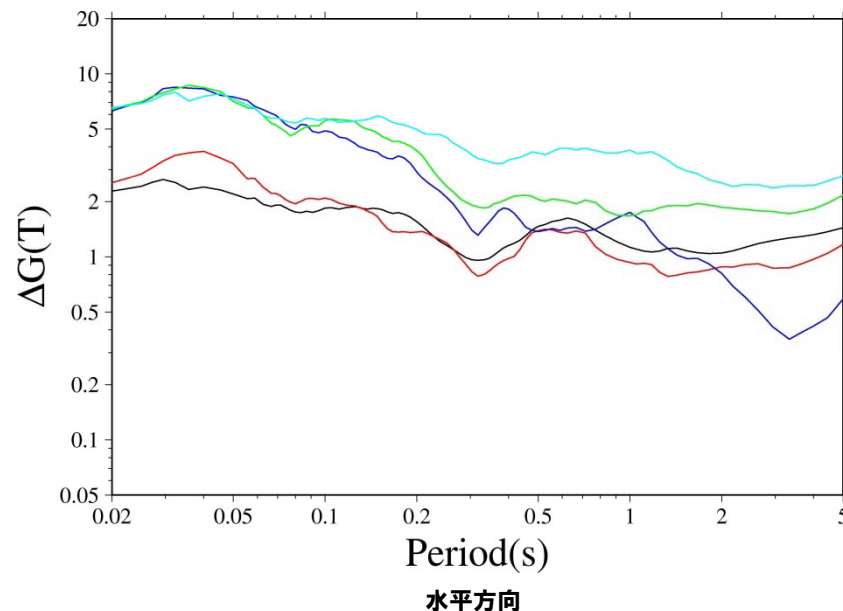
3.4 荒砥沢ダム

荒砥沢ダムを対象とした相対的地盤増幅率

●震源近傍に位置する5地点を基準とした荒砥沢ダムの応答スペクトル比(=相対的地盤増幅率)は、以下の通り。

荒砥沢ダム[監査廊]／栗駒ダム[右岸地山]
 荒砥沢ダム[監査廊]／KiK-net-関東[地中]
 荒砥沢ダム[監査廊]／KiK-net金ヶ崎[地中]
 荒砥沢ダム[監査廊]／KiK-net東成瀬[地中]
 荒砥沢ダム[監査廊]／KiK-net鳴子[地中]

相対的地盤増幅率は平均を示す

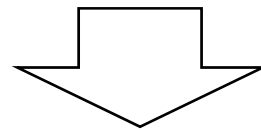


●震源近傍に位置する5地点と比較し、荒砥沢ダムは岩手・宮城内陸地震の本震の特徴を踏まえた相対的地盤増幅率が短周期側で大きい傾向にある。

3.4 荒砥沢ダム

まとめ

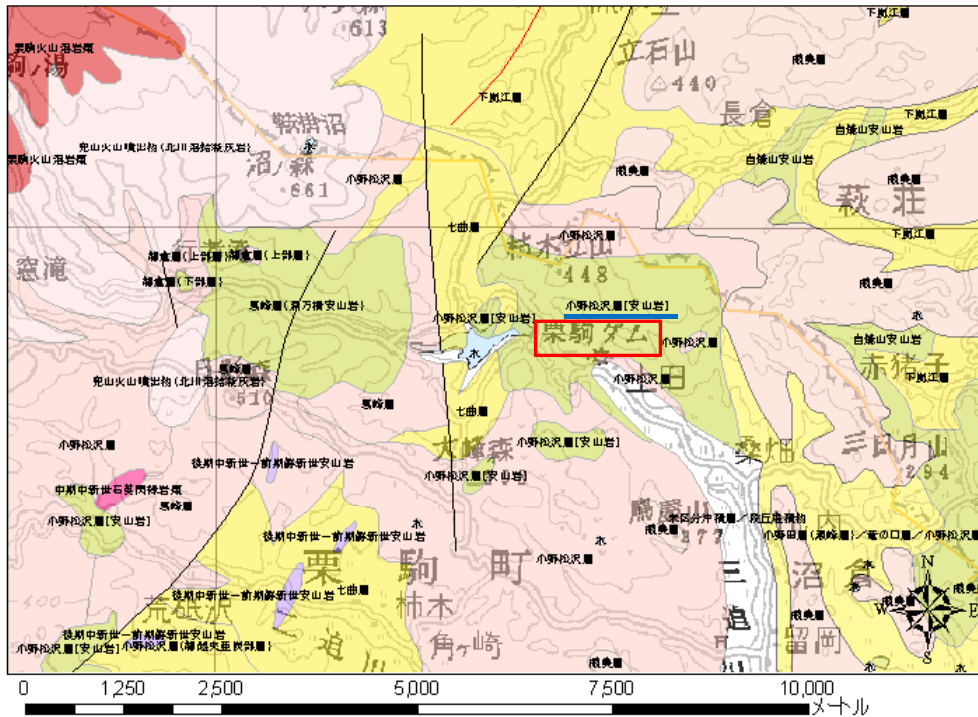
- 荒砥沢ダム右岸付近では、岩手・宮城内陸地震に伴う地質境界の不整合面付近でのひずみと変形を原因とした段差などの変状が発生している。
- 荒砥沢ダム(右岸地山)の本震観測記録は、岩手・宮城内陸地震を含む観測記録の分析より、地盤の非線形性の影響がみられる。
- 荒砥沢ダム(監査廊)においては、岩手・宮城内陸地震によるロックフィルダム堤体の強非線形性によるS波伝播速度の低下、せん断ひずみの増加に伴う堤体剛性の低下と減衰定数の増加がみられる。また、ダム堤体の変形や沈下がみられることから、監査廊の観測記録には、それらの影響が含まれているものと考えられる。
- 観測記録に関する検討より、荒砥沢ダムは、本震震源域南部で発生する地震に対して、他の観測点よりも大きく増幅する地域と考えられる。



- 荒砥沢ダムについては、岩手宮城内陸地震の本震記録に地盤の非線形の影響、ロックフィルダム堤体の強非線形性や変形による影響が含まれていること、および荒砥沢ダムが本震震源域南部で発生する地震に対して、他の観測点よりも大きく増幅する地域と考えられる。
- 地盤やロックフィルダム堤体の非線形性の影響および大加速度が発生した要因を特定するため、地盤構造等の調査、調査結果を踏まえたはぎとり解析および震源特性を踏まえた検討等が必要である。それらの検討には相応の期間が必要であり、現時点で信頼性の高い基盤地震動の評価は困難である。

栗駒ダムの地盤構造

●東北建設協会(2006)によると、栗駒ダムの地震観測点の基盤地質について、地層は小野松沢層(安山岩)、岩相は安山岩溶岩及び火山角礫岩、硬軟区分は軟岩～中硬岩とされている。



栗駒ダム周辺地質図(東北建設協会(2006)に加筆)

栗駒ダム基盤地質の特徴(東北建設協会(2006))

地層	小野松沢層(安山岩)
時代	後期中新世
岩相	安山岩溶岩及び火山角礫岩
硬軟区分	軟岩～中硬岩

東北地方デジタル地質図凡例(東北建設協会(2006)に加筆)

地質年代(Ma)	岩石区分	堆積物・堆積岩					火山岩類					
		礫岩	砂岩	泥岩	凝灰岩	火山灰	石炭岩	建長質(流紋岩・デイサイト)			苦鉄質(安山岩・玄武岩)	
		Q3c	Q3s	Q3m	Q3t	Q3db	Q1ai	Q1av	Q1pf	Q1bv	N3bi	N3bv
第四紀	完新世	H	Hc	Hs	Ht	Hdb		Hav	Hpf	Hbv		
更新世	Q3	Q3c	Q3s	Q3m	Q3t	Q3db			Q3pf	Q3bv		
	Q2	Q2c	Q2s	Q2m	Q2t	Q2db		Q2av	Q2pf	Q2bv		
	Q1	Q1c	Q1s	Q1m	Q1t	Q1db	Q1ai	Q1av	Q1pf	Q1bv		
鮮新世	N3B	N3Bc	N3Bs	N3Bm	N3Bt		N3bai	N3bav		N3bi	N3bv	
	N3A	N3Ac	N3As	N3Am	N3At		N3ai	N3av		N3abi	N3bv	
	N2	N2c	N2s	N2m	N2t		N2ai	N2av		N2bi	N2bv	
中新世	N1	N1c	N1s	N1m	N1t		N1ai	N1av		N1bi	N1bv	
	PG4	PG4c	PG4s	PG4m	PG4t			PG4av			PG4bv	
	PG3	PG3c	PG3s	PG3m			PG3ai					
始新世	PG2						PG2ai	PG2av				
	PG1				PG1t							

Ma: 100万年前 年代尺度はGradstein et al. (2004)による

3.5 栗駒ダム

栗駒ダムの地盤構造

- 栗駒ダム建設時の試錐記録および増川ほか(2014)によると、栗駒ダム地域の基礎岩盤は安山岩とされている。
- 防災科学技術研究所の地震ハザードステーション(J-SHIS)による栗駒ダム地点の地盤モデルでは、第1層のVsは600m/sとされている。



J-SHISによる地盤モデル位置

No.	LOWER DEP(m)	THK (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)
1	11	11	600	2000
2	295	284	1100	2500
3	301	6	1400	3000
4	736	435	1700	3500
5	1227	491	2100	4000
6	2313	1086	3100	5500
7	7313	5000	3300	5700
8	-	-	3400	6000

J-SHISによる地盤モデル

栗駒ダム(右岸地山)の微動アレイ観測による地盤構造の検討

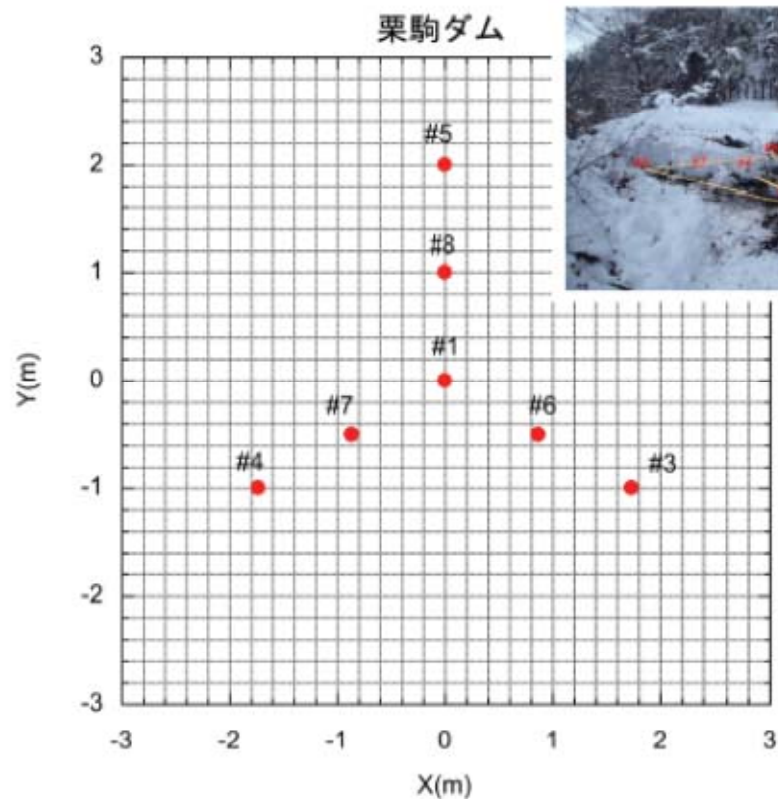
- 栗駒ダム(右岸地山)の基盤までの地盤構造を検討するため、栗駒ダム(右岸地山)観測点と同等の地盤が露頭していると考えられる地点での常時微動のアレイ観測を実施している。



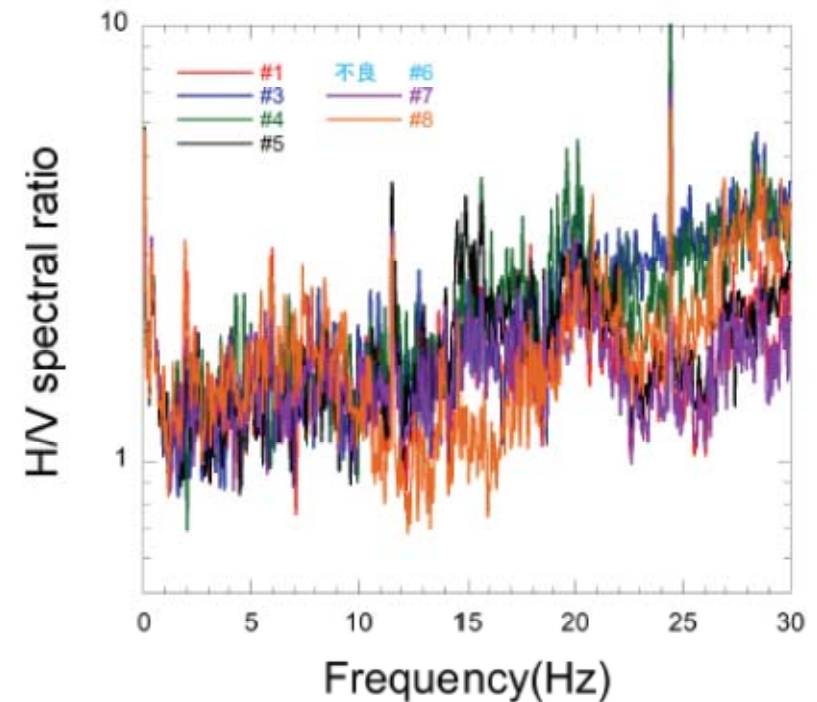
微動アレイ観測位置

栗駒ダム(右岸地山)の微動アレイ観測による地盤構造の検討

●微動アレイ観測は、観測点を半径2m程度内に配置している。



観測点配置



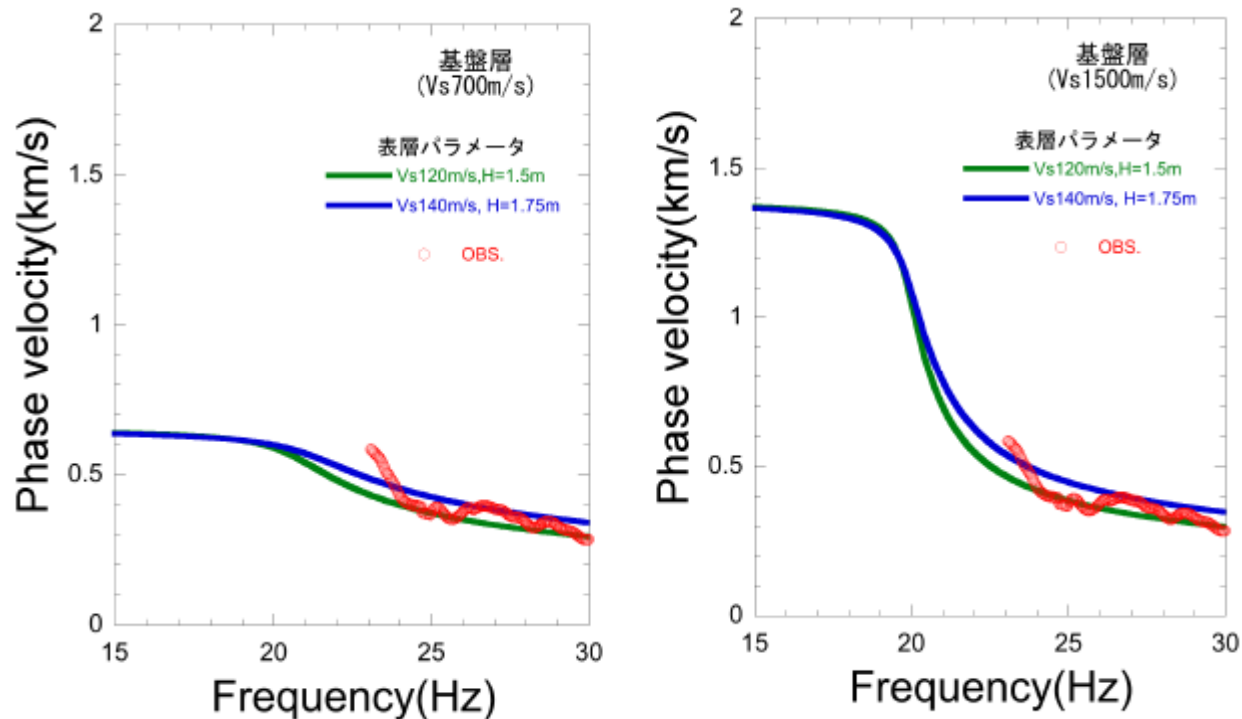
微動H/Vスペクトル

●常時微動観測記録のH/Vスペクトルによると、地盤の卓越振動数は20Hz程度となっており、表層が非常に薄い可能性が示唆される。

3.5 栗駒ダム

栗駒ダム(右岸地山)の微動アレイ観測による地盤構造の検討結果

- 微動アレイ観測による平均的な位相速度を用いて地盤モデルについて検討する。
- 検討においては、微動H/Vスペクトルによる表層地盤の卓越振動数(20Hz程度)を考慮した地盤モデル(2層モデル)により検討する。
 - 表層(1層目): 1/4波長則から卓越振動数が20HzとなるVsとH(層厚)の組み合わせのうち、位相速度の説明性のよい $V_s=120\text{m/s}\cdot H=1.5\text{m}$ および $V_s=140\text{m/s}\cdot H=1.75\text{m}$ を仮定
 - 基盤(2層目): $V_s=700\text{m/s}$ および 1500m/s を仮定

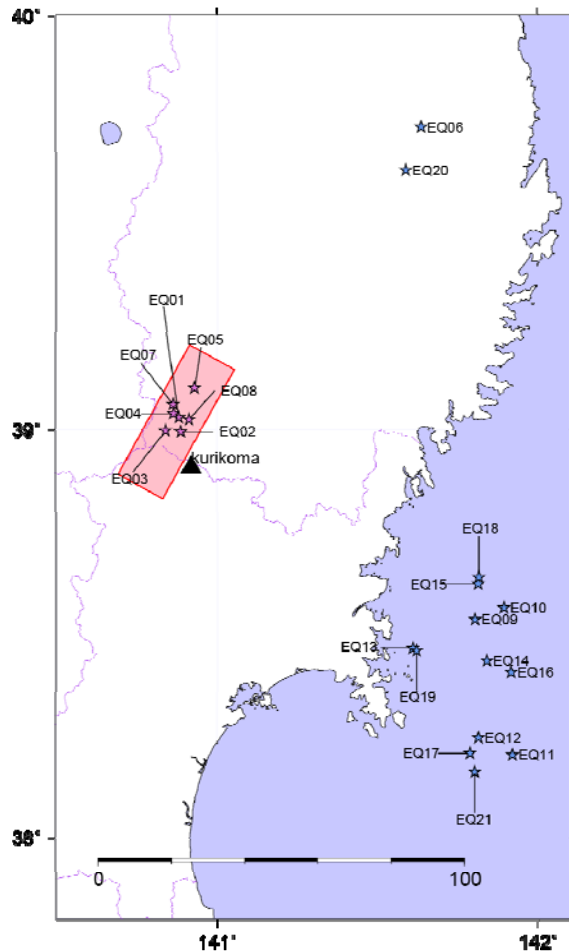


2層モデルによる位相速度

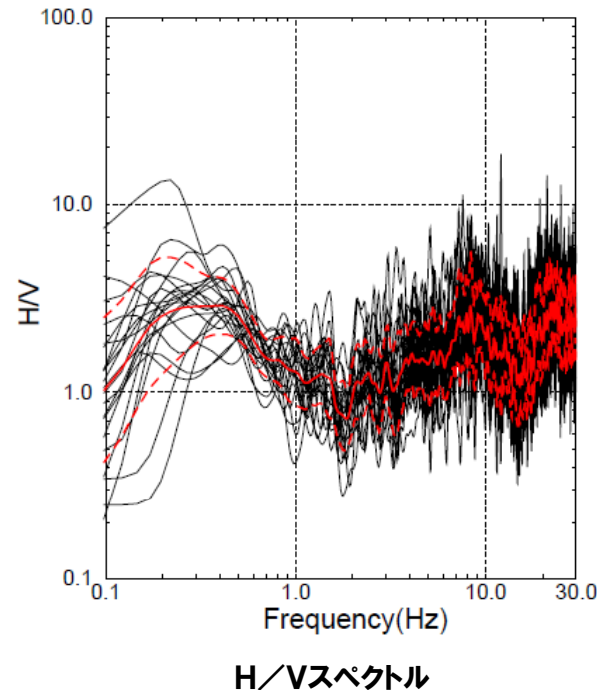
- 微動アレイ観測により得られた位相速度から、表層地盤が非常に薄く、基盤となる2層目のS波速度が700m/s程度より大きいと推定される。

栗駒ダム(右岸地山)の拡散波動場理論を用いた地盤構造の検討

● 基盤までの地盤構造については、微動アレイ観測により、表層地盤が非常に薄く、基盤となる2層目のS波速度が700m/s程度より大きいと推定される。ここでは、さらに深部の地盤構造確認のため、栗駒ダム(右岸地山)のH/Vスペクトルに基づき、拡散波動場理論(Kawase et al. (2011))を用いて地盤モデルを同定する。



地盤同定に用いる地震の震源分布
(赤:内陸地殻内地震、青:海溝型地震)



H/Vスペクトル

- 観測H/Vと理論H/V(Kawase et al. (2011))が適合するように地盤モデルを探索

$$\frac{H(0, \omega)}{V(0, \omega)} = \sqrt{\frac{2\alpha_H |\text{TF}_1(0, \omega)|}{\beta_H |\text{TF}_3(0, \omega)|}}$$

α_H : 基盤でのVp

β_H : 基盤でのVs

$\text{TF}_1(0, \omega)$: 基盤に対する地表の水平動の伝達関数

$\text{TF}_3(0, \omega)$: 基盤に対する地表の上下動の伝達関数

- 山中(2007)のGAとSAのハイブリッドヒューリスティック法により地盤モデルを同定
- J-SHISの地盤モデルを参考に探索範囲を設定
(深部についてはJ-SHISモデルで固定)

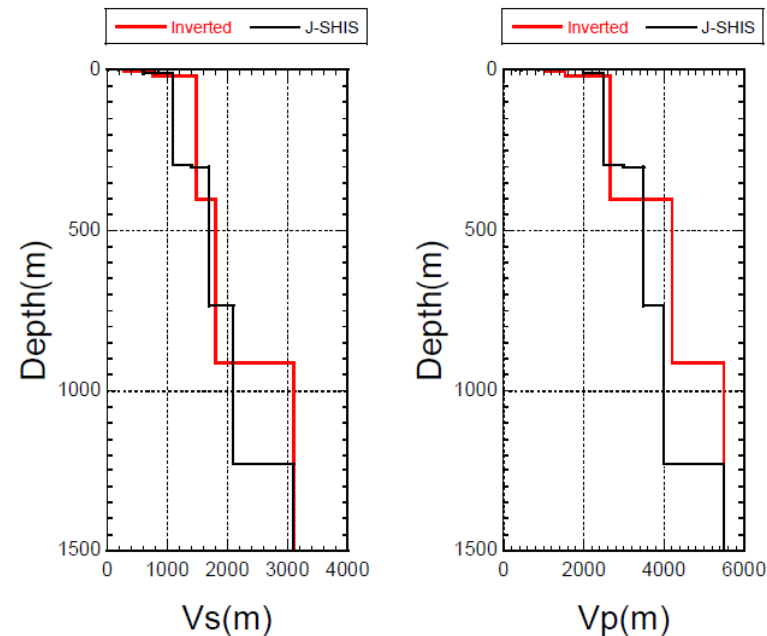
地盤同定方法

栗駒ダム(右岸地山)の拡散波動場理論を用いた地盤構造の検討結果

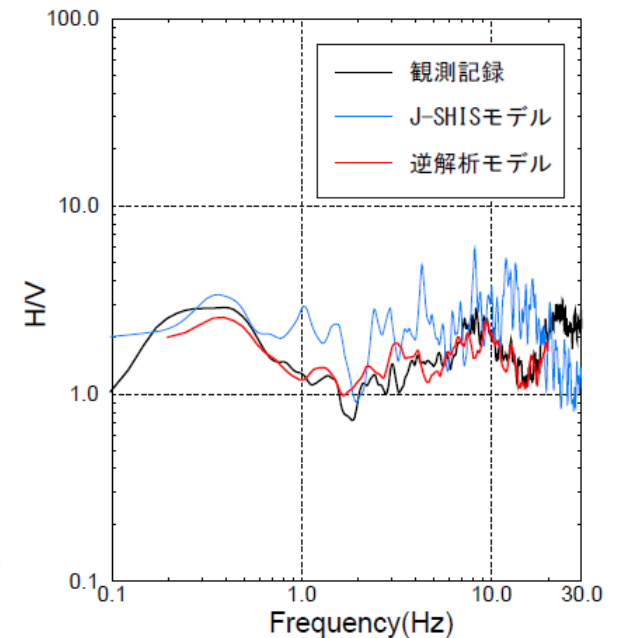
- 同定された地盤モデルは、基盤以深では、地表から深くなるとともにVs・Vpが大きくなっており、特異な傾向はみられない。なお、地盤モデルの浅部については、微動アレイ観測により推定される地盤モデルと概ね整合しているが、今後も栗駒ダム地震観測点の地盤モデルについての更なる信頼性向上に努めていく。

Upper Depth (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Density (t/m ³)
0	282	1030	1.9
4	767	1549	2.15
20	1489	2663	2.25
401	1810	4210	2.35
913	3100	5500	2.6
1999	3300	5700	2.7
6999	3400	6000	2.75

同定された地盤モデル



同定された地盤モデルとJ-SHISによるモデルの比較



H/Vスペクトルの比較

栗駒ダム(右岸地山)の地盤構造に関する検討結果

- 栗駒ダム(右岸地山)の地盤については、地質および速度構造から相応の硬さの地盤であると考えられる。
- 栗駒ダム(右岸地山)観測点は、硬質な岩盤の地表面に設置されていることから、解放基盤表面に相当する観測点であると考えられる。

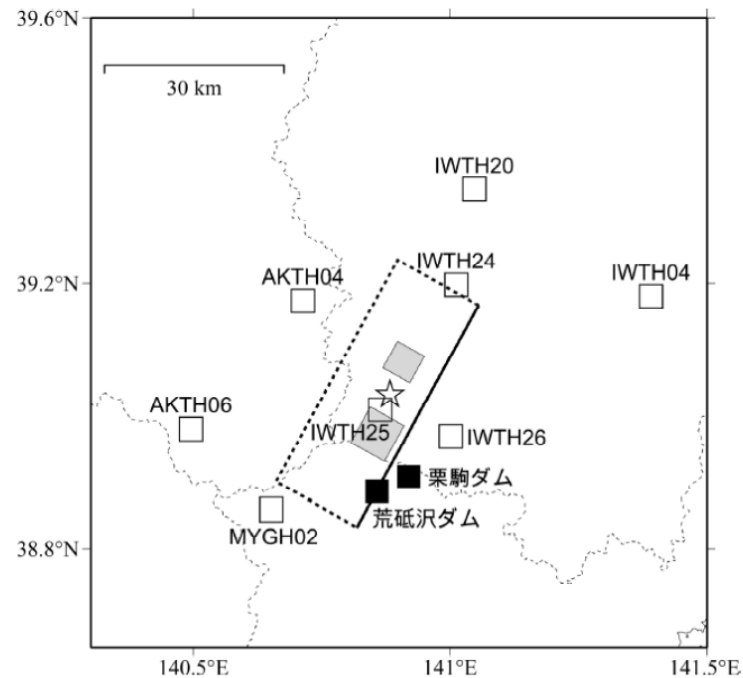
栗駒ダム(右岸地山)の観測記録の分析

●栗駒ダム(右岸地山)の観測記録について、特異性の有無を確認するため、栗駒ダム(右岸地山)の観測記録が耐専スペクトルで再現できるか確認する。

栗駒ダム(右岸地山) 本震の耐専スペクトル適用性に関する検討

2008年岩手・宮城内陸地震の観測記録について、電力共通研究ではざとり解析を行った結果を照合し、本地震が耐専スペクトル※で評価可能か確認を行う。

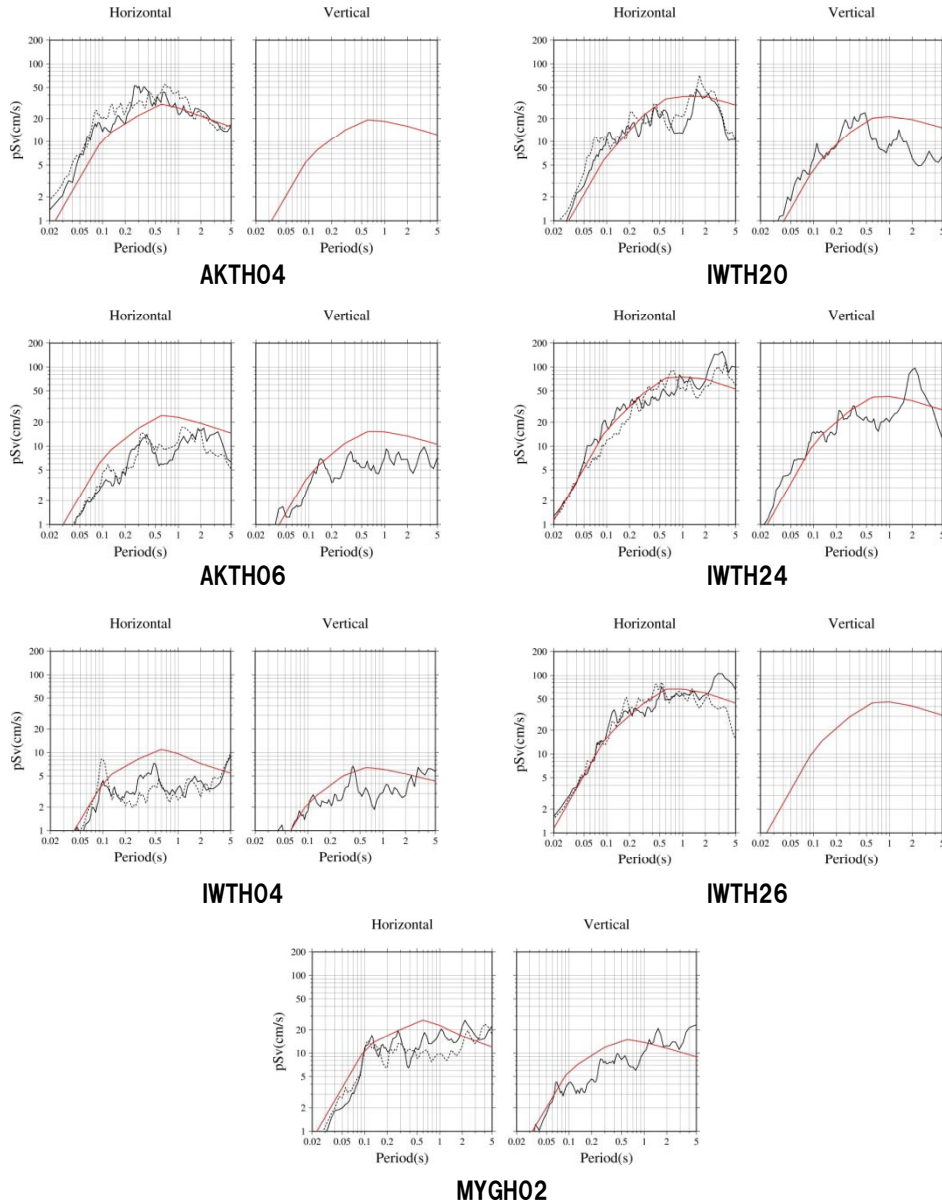
※等価震源距離の算定のための震源モデルとしては、JNES(2014)シナリオ3を用いる。



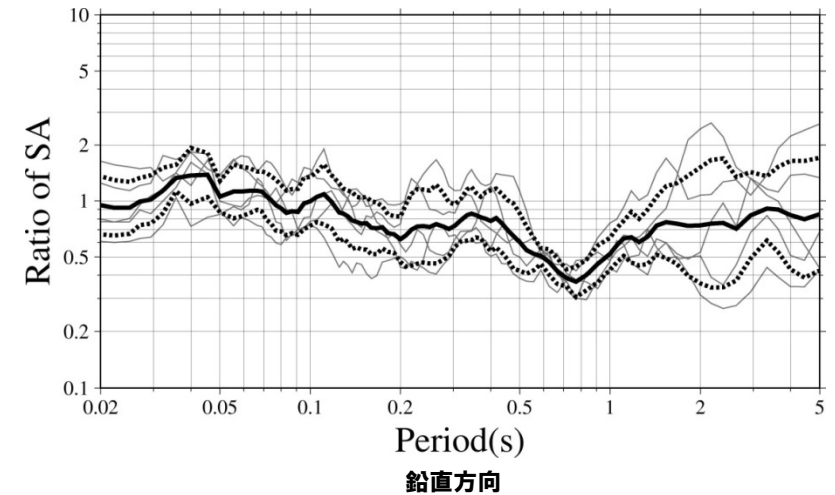
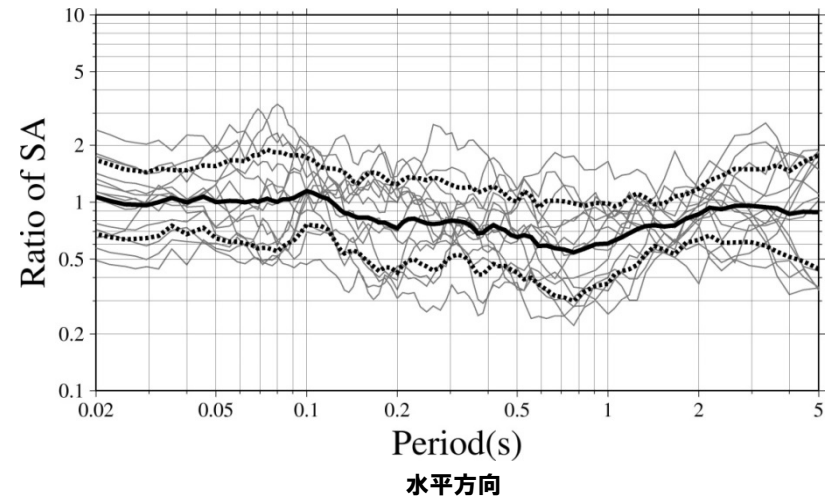
記録 No.	観 測 点	dep. (m)	Vsb (m/s)	Vpb (m/s)	地表PGA(Gal)			Xeq (km)	はぎ とり	
					NS	EW	UD		H	V
1	AKTH04 東成瀬	100	1500	3000	1318	2449	1094	24.0	△	×
2	AKTH06 雄勝	100	1100	2560	180	186	140	32.7	○	○
3	IWTH04 住田	106	2300	4000	126	159	115	48.0	○	○
4	IWTH20 花巻南	156	430	1720	249	240	136	34.7	○	○
5	IWTH24 金ヶ崎	150	540	1930	503	435	342	17.3	○	○
6	IWTH25 一関西	260	1810	3180	1143	1433	3866	11.1	—	—
7	IWTH26 一関東	108	680	1830	888	1056	927	17.0	○	×
8	MYGH02 鳴子	203	2205	5370	254	230	233	23.1	△	○

※:一関西については、先の検討よりサイト特性の影響がありうる事から、本検討からは除外
 ※:Vs, Vpbは、各地点の地中観測点深度におけるPS検層結果を用いる

栗駒ダム(右岸地山) 本震の耐専スペクトル適用性に関する検討



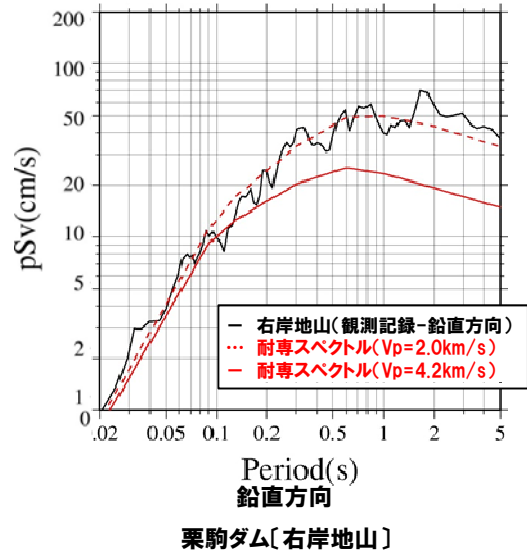
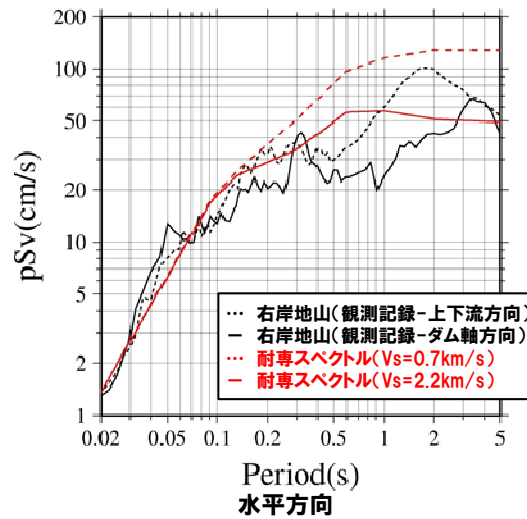
●2008年岩手・宮城内陸地震については、ばらつきはあるものの、耐専スペクトルで概ね評価可能



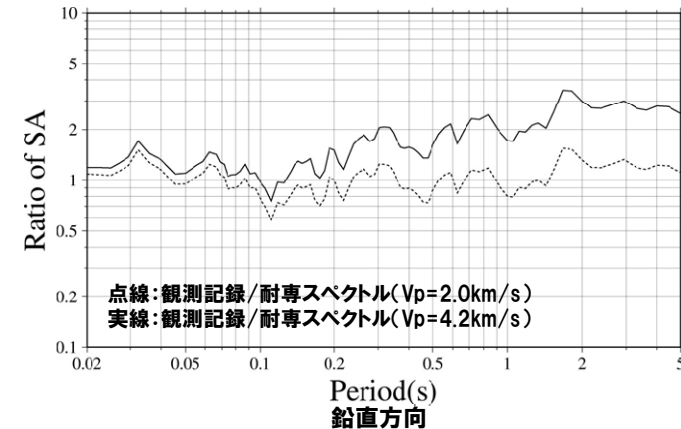
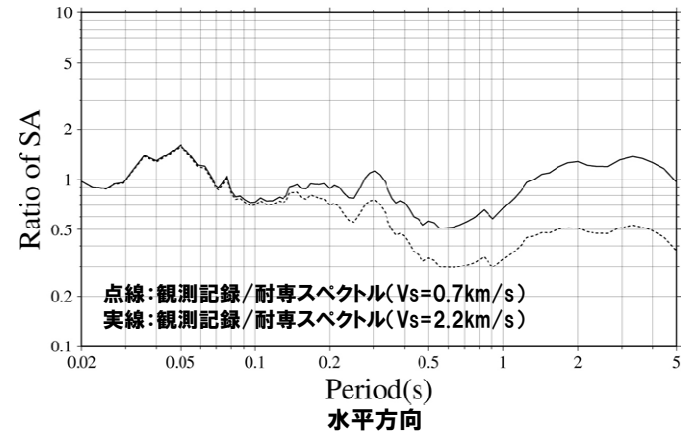
3.5 栗駒ダム

栗駒ダム(右岸地山) 耐専スペクトルを用いた検討

耐専スペクトルを用いて、栗駒ダム(右岸地山)で得られた2008年岩手・宮城内陸地震観測記録の再現について検討した。等価震源距離算定のための震源モデルは、JNES(2014)シナリオ3を用いた($X_{eq}=14.6\text{km}$)。



栗駒ダム[右岸地山]



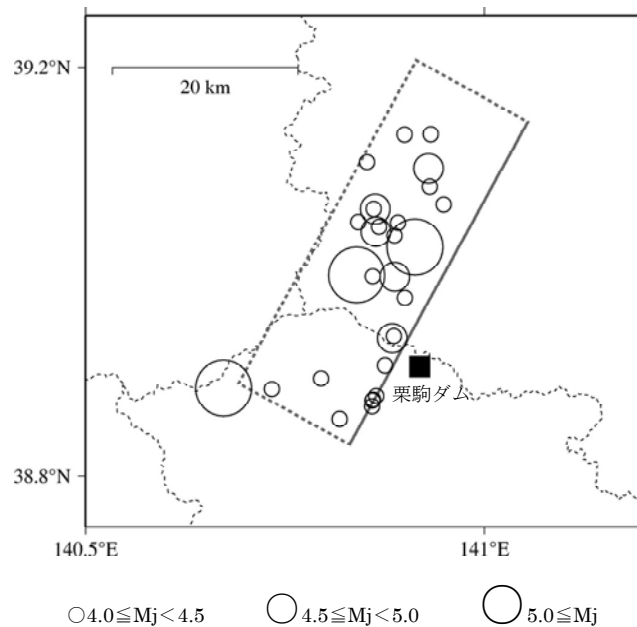
栗駒ダム[右岸地山]

●栗駒ダム(右岸地山)については、耐専スペクトルで2008年岩手・宮城内陸地震観測記録を短周期側において概ね再現可能。

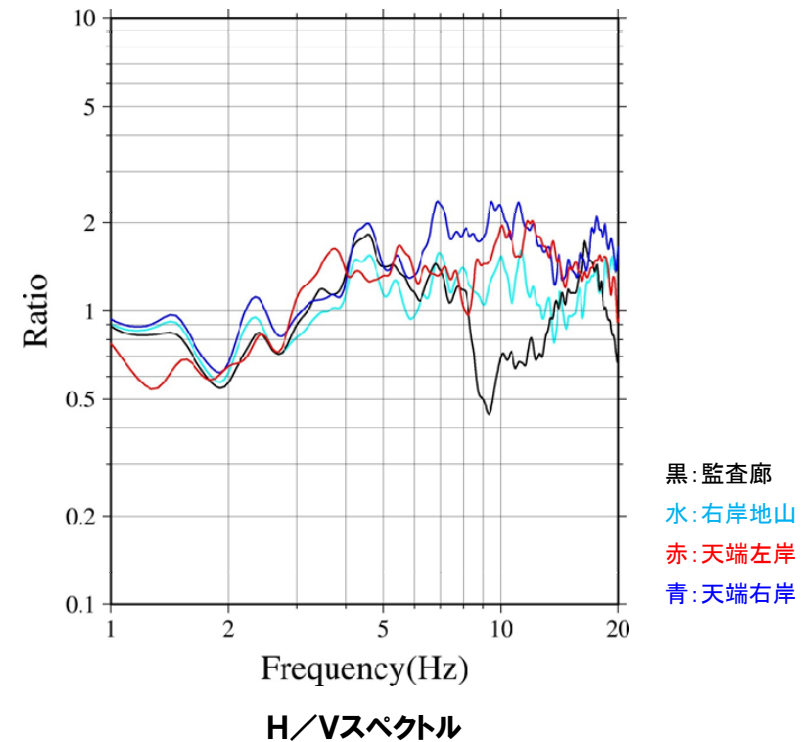
3.5 栗駒ダム

栗駒ダム(監査廊)

- 栗駒ダム観測点における2008年岩手・宮城内陸地震の余震記録を用いてH/Vスペクトルを算定した。なお、水平方向は上下流(Stream)方向の観測記録を用いた。
- 余震記録のH/Vスペクトルの平均によると、監査廊の約10Hzにおいて谷となっているのに対し、右岸地山・天端左岸・天端右岸では同様の傾向はみられない。



検討地震の震央分布

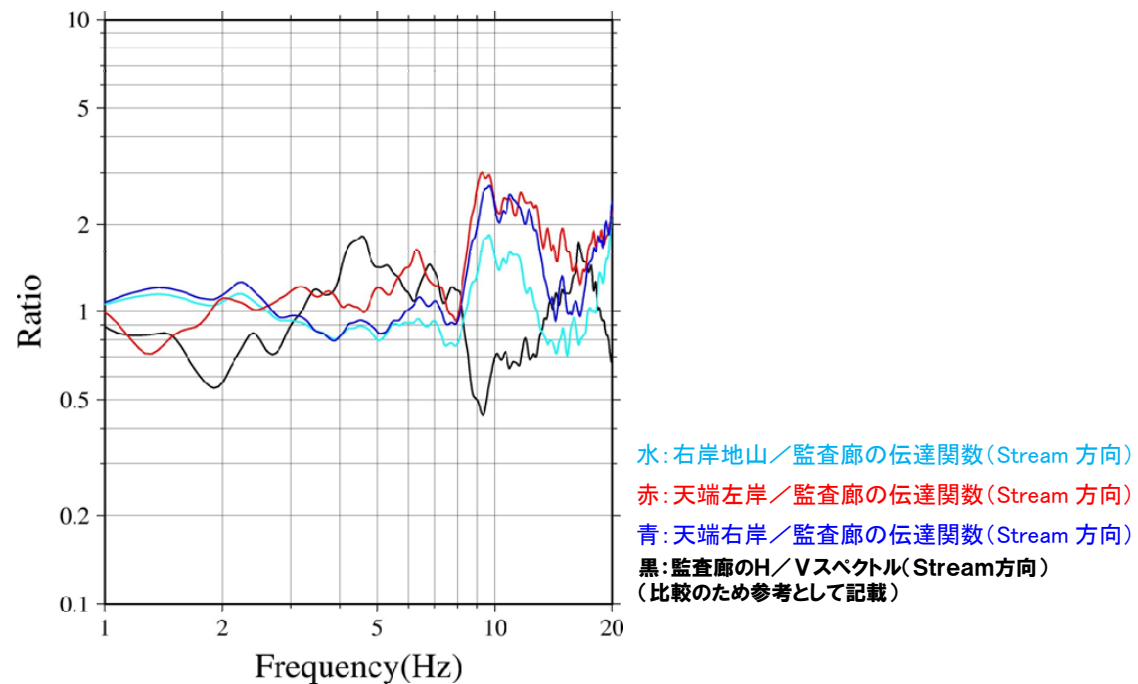


H/Vスペクトル

3.5 栗駒ダム

栗駒ダム(監査廊)

- 栗駒ダム観測点における2008年岩手・宮城内陸地震の余震記録を用いて、上下流(Stream)方向の観測記録の監査廊に対する各観測点の伝達関数を算定した。
- 天端左岸・天端右岸における伝達関数の平均では、約10Hzにピークがみられることから、ダム堤体の固有周期の影響により監査廊のH/Vスペクトルの約10Hzが谷となっているものと考えられる。

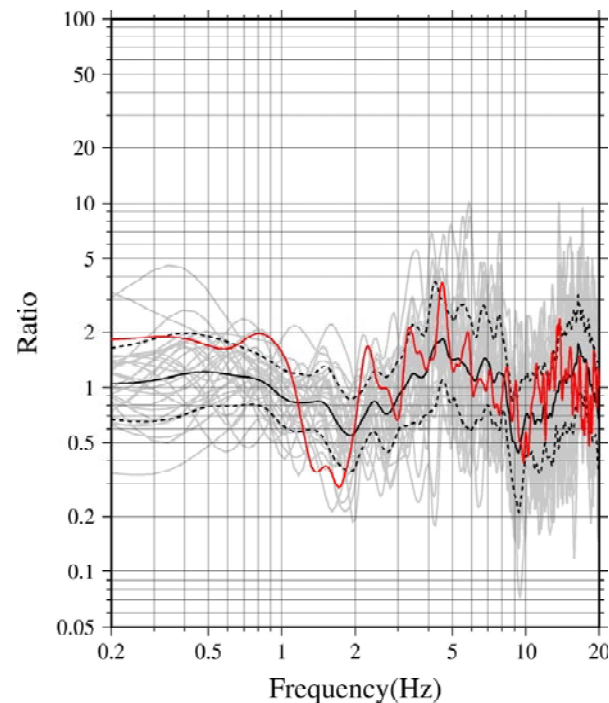


伝達関数

3.5 栗駒ダム

栗駒ダム(監査廊)

- 栗駒ダム(監査廊)について、2008年岩手・宮城内陸地震本震記録と余震記録のH/Vスペクトルを比較した。なお、水平方向は上下流(Stream)方向の観測記録を用いた。
- 本震記録のH/Vスペクトルにおいて約10Hzで谷となっており、余震記録の傾向と整合していることから、監査廊の本震記録には、ダム堤体の影響が含まれていると考えられる。



灰色:余震 29 記録 黒:余震 29 記録の平均(実線=平均値, 点線=平均値 $\pm 1\sigma$)

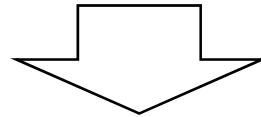
赤:2008年岩手宮城本震

監査廊のH/Vスペクトル

3.5 栗駒ダム

まとめ

- 栗駒ダム(右岸地山)の地盤については、地質および速度構造から相応の硬さの地盤であると考えられる。
- 栗駒ダム(右岸地山)観測点は、硬質な岩盤の地表面に設置されていることから、解放基盤表面に相当する観測点であると考えられる。
- 栗駒ダム(右岸地山)については、耐専スペクトルで短周期側において評価可能であり、特異な増幅傾向を示していない地域であると考えられる。
- 栗駒ダム(監査廊)の観測記録には、ダム堤体の影響が含まれていると考えられる。



- 栗駒ダム(右岸地山)の観測記録は、基盤地震動として評価可能と考えられ、監査廊の観測記録には、ダム堤体の影響が含まれていると考えられることから、栗駒ダムの観測記録は、右岸地山を採用する。

まとめ(1/2)

- IWT010(一関)は、表層の V_s は430m/sであるが、深さ4mで $V_s=730$ m/sの層となっており、観測記録の応答スペクトルは、一部の周期帯で加藤ほか(2004)を上回る。
- KiK-net観測点のうち、IWTH25(一関西)については、地表記録にトランポリン効果、ロッキング振動の影響などが含まれており、観測記録の伝達関数を用いた地盤同定によるはざとり波の算定は困難と考えられること、IWTH25(一関西)が本震震源域南部で発生する地震に対して、他の観測点よりも大きく増幅する地域と考えられることから、現時点で信頼性の高い基盤地震動の評価は困難である。
- KiK-net観測点のうち、AKTH04(東成瀬)およびIWTH26(一関東)は、地盤同定により得られた地盤モデルの表層の V_s が極端に小さいことや観測記録の伝達関数を再現できていないことから一次元波動論によるはざとり解析の適用が困難であり、現時点では信頼性の高い基盤地震動の評価は困難である。
- IWTH20(花巻南)、IWTH24(金ヶ崎)は、概ね妥当な地盤モデルを作成でき、はざとり解析を実施した結果、一部の周期帯で加藤ほか(2004)を上回る結果となった。
- 荒砥沢ダムについては、岩手・宮城内陸地震の本震記録に地盤の非線形の影響、ロックフィルダム堤体の強非線形性や変形による影響が含まれていると考えられること、荒砥沢ダムが本震震源域南部で発生する地震に対して、他の観測点よりも大きく増幅する地域と考えられることから、現時点では信頼性の高い基盤地震動の評価は困難である。
- 栗駒ダム(右岸地山)の観測記録は、基盤地震動として評価可能と考えられ、監査廊の観測記録には、ダム堤体の影響が含まれていると考えられることから、栗駒ダムの観測記録は、右岸地山を採用する。

まとめ(2/2)

●前項までの整理・検討結果と、それらを踏まえた判断をまとめると以下の通り。

- ・IWT010(一関), IWTH20(花巻南), IWTH24(金ヶ崎)および栗駒ダムは、基盤波として選定可能である。
- ・上記以外のAKTH04(東成瀬), IWTH25(一関西), IWTH26(一関東)および荒砥沢ダムは、各々の観測点において観測記録に特異な傾向等がみられることから、基盤波の評価が困難な状況にあり、それらの要因を特定し、信頼性の高い基盤地震動を評価するため、地盤構造等の調査、はざとり解析および震源特性を踏まえた検討が必要である。検討には相応の期間を要することから、現時点では信頼性の高い基盤地震動の評価は困難である。

4. 基盤波の選定

検討方針

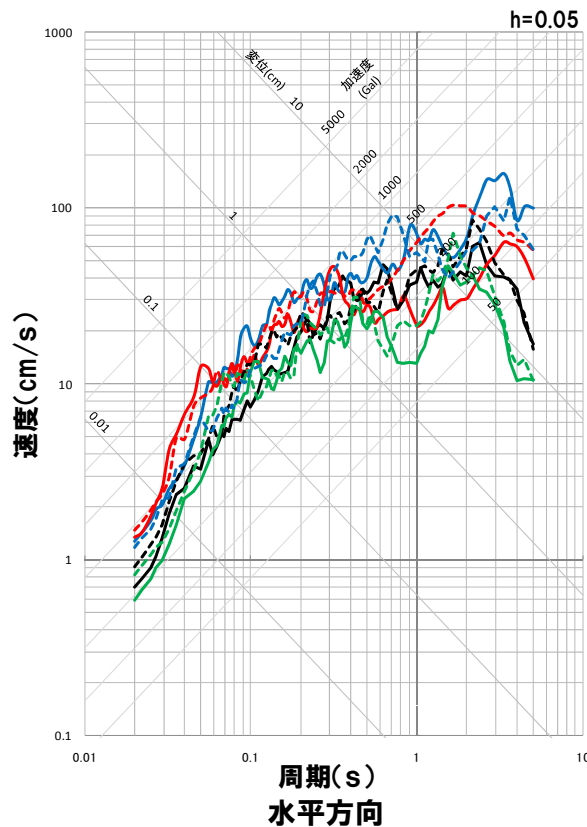
- 地震学的知見を踏まえると、岩手・宮城内陸地震の基盤地震動評価に震源の面的な拡がりや震源の複雑な破壊過程による各観測記録への影響が考えられることから、広範囲で得られた観測記録と整合する震源特性の評価（震源モデルの構築）を行い、震源特性を明らかにする必要がある。
- 現時点において信頼性の高い基盤地震動の評価が困難であると判断された観測点については、基盤波として選定が困難な要因を特定し、信頼性の高い基盤地震動を評価するため、地盤構造等の調査、はぎとり解析および震源特性を踏まえた検討が必要。



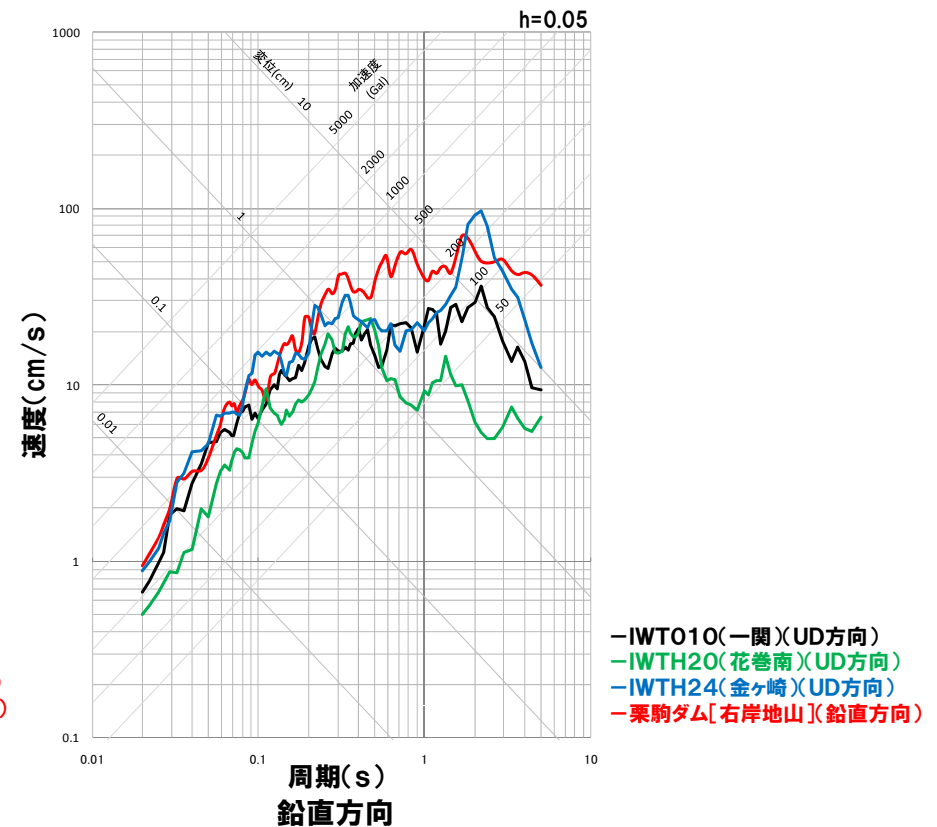
- 岩手・宮城内陸地震については、震源モデルおよび地盤増幅特性に関する課題を解明する必要があるが、検討には相応の期間を要するため、安全側の評価として、現時点の知見に基づき可能な限り観測記録を採用する。
- 採用が困難な観測記録についても、更なる安全性向上のため、分析・検討を継続的に実施し、その成果を地震動評価に反映する。
- 課題解決に向けた取り組みについては、関係機関と密に連携して、検討を進める。

基盤波の選定

- 基盤波として選定可能なIWT010(一関), IWTH20(花巻南), IWTH24(金ヶ崎)および栗駒ダムの観測記録の比較より, 最も保守的な基盤波を選定する。



応答スペクトル図



- 最も保守的な基盤波として, IWTH24(金ヶ崎)および栗駒ダムを選定する。
- なお, 選定されたIWTH24(金ヶ崎)および栗駒ダムは, 震源ごく近傍で得られた観測記録であり, 十分な保守性を有していると考えられる。

基盤地震動評価

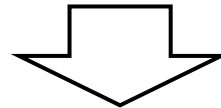
●基盤波として選定したIWTH24(金ヶ崎)および栗駒ダムについて、敷地の地盤物性に応じた基盤地震動を評価する。

●IWTH24(金ヶ崎)について、はぎとり波算定位置の V_s は、PS検層では 540m/s 、観測記録に基づく地盤同定結果では V_s は 584m/s となっており、原子力発電所の解放基盤表面における $V_s = 700\text{m/s}$ 以上と比べると速度の遅い岩盤上の地震動であると考えられる。

⇒IWTH24(金ヶ崎)のはぎとり波は、安全側の判断として基盤地震動に採用可能

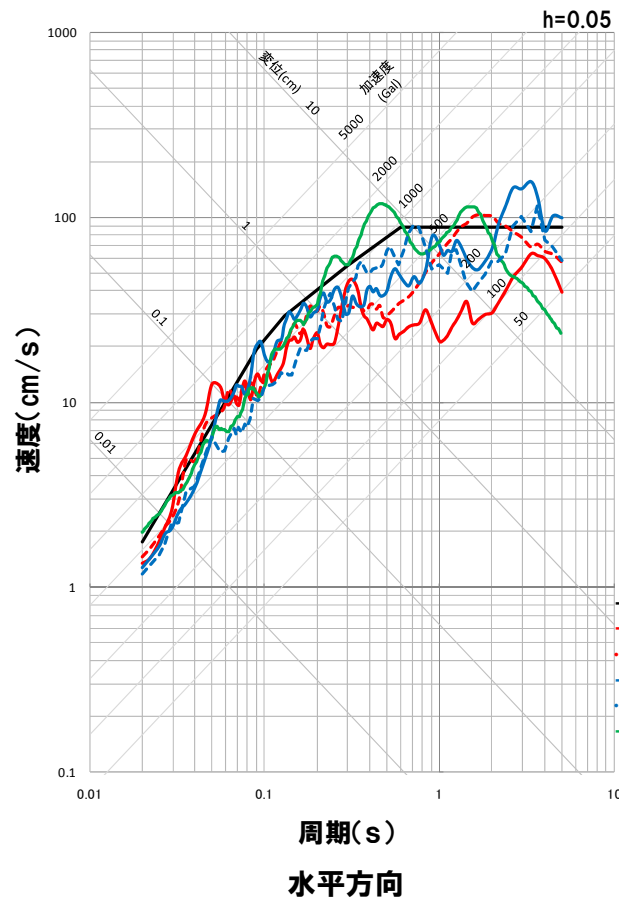
●栗駒ダムの地震観測点の地盤については、地質および速度構造から相応の硬さの地盤であると考えられる。また、栗駒ダムについては、耐専スペクトルで評価可能であり、特異な増幅傾向を示していない地域であると考えられる。

⇒栗駒ダム(右岸地山)の観測記録は、基盤地震動に採用可能

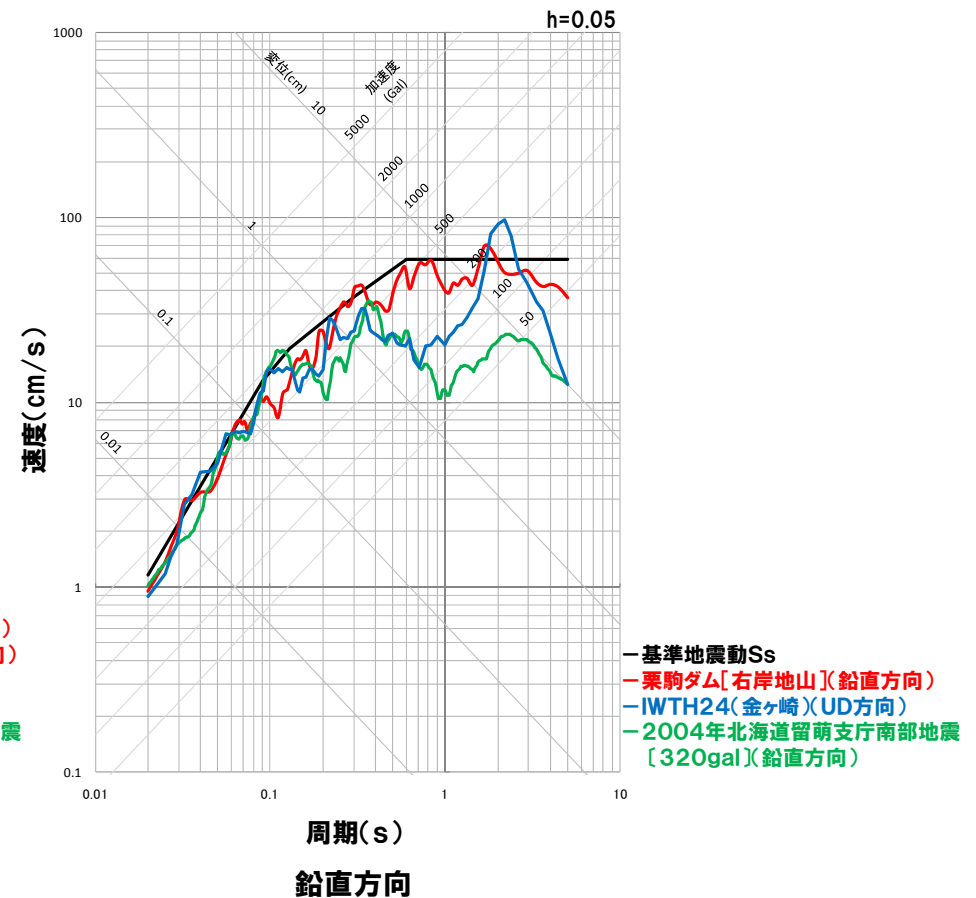


・ IWTH24(金ヶ崎)のはぎとり波および栗駒ダム(右岸地山)の観測記録を震源を特定せず策定する地震動に考慮する基盤地震動として採用する。

震源を特定せず策定する地震動に反映する地震動



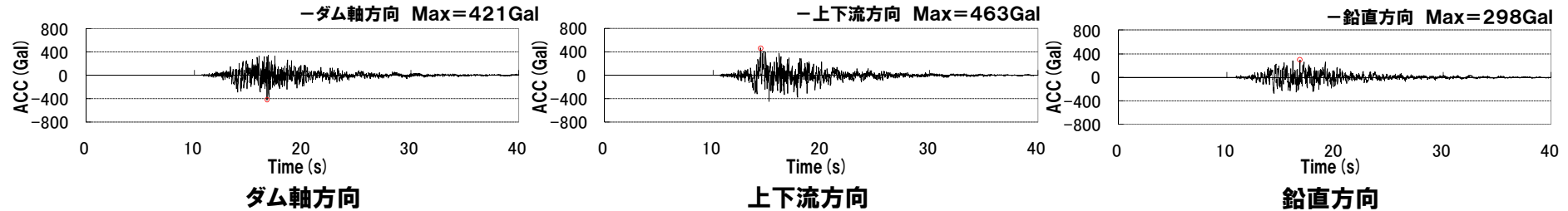
応答スペクトル図



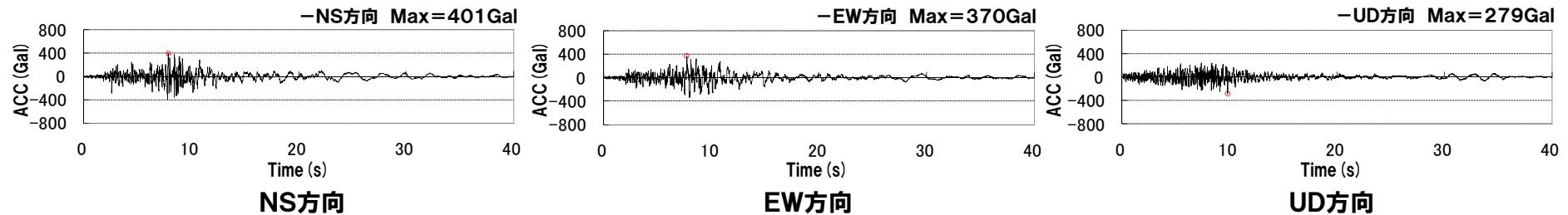
- 震源を特定せず策定する地震動として、2004年北海道留萌支庁南部地震の基盤地震動に加え、IWTH24(金ヶ崎)および栗駒ダムの基盤地震動を考慮する。
- 2004年北海道留萌支庁南部地震、IWTH24(金ヶ崎)および栗駒ダムは、基準地震動の応答スペクトルを一部の周期帯で上回ることから、基準地震動に追加する。

震源を特定せず策定する地震動に反映する地震動

栗駒ダム [右岸地山]



IWTH24(金ヶ崎)



2004年北海道留萌支庁南部の地震



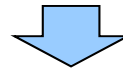
時刻歴波形

5. 中長期的な取り組み

課題認識と事業者としての更なる取り組み

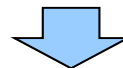
【現状の課題認識】

- 地震学的知見を踏まえると、岩手・宮城内陸地震の基盤地震動評価に震源の面的な拡がりや震源の複雑な破壊過程による各観測記録への影響が考えられることから、広範囲で得られた観測記録と整合する震源の評価(震源モデルの構築)を行い、震源特性を明らかにする必要がある。
- 現時点において信頼性の高い基盤地震動の評価が困難であると判断された観測点については、基盤波として選定が困難な要因を特定し、信頼性の高い基盤地震動を評価するため、地盤構造等の調査、はぎとり解析および震源特性を踏まえた検討が必要。



【課題解決に向けた取り組み】

- 広範囲で得られた観測記録と整合する震源の評価(震源モデルの構築)を行い、震源特性を明らかにする。
 - 現時点において信頼性の高い基盤地震動の評価が困難であると判断された観測点については、各観測点に関する更なる知見(地盤情報等)を収集する。
 - 上記を踏まえ、震源特性および地盤情報等を考慮した信頼性の高い基盤地震動を評価する。
- ・現在、広範囲な震源域の観測記録を説明できる震源モデルや知見が十分でないことを踏まえ、震源域全体の地盤構造等の各種調査を進める。
 - ・震源域の地盤構造等を踏まえ、広範囲な観測記録との整合性を高めた震源モデルの再構築を行うことで、現在は不足している震源や地盤等のパラメータの精緻化と再現性の向上を図る。
 - ・地盤やダム堤体の非線形性の影響等を取り除くため、観測点の地盤調査を含めたはぎとり解析等の検討を進める。
 - ・上記を踏まえ、震源特性および地盤特性の両面の影響を考慮した信頼性の高い基盤波の算定を図る。



- 震源モデル・地盤増幅特性に関して、関係機関と連携して検討を進めているところであり、それらの検討は包括的に評価・分析を進める必要があるため、相応の期間を要するが、今後も継続して検討に取り組み、これらの成果を地震動評価に適切に反映させていく。
- なお、地質・地形学的知見に基づいた震源特定に関する知見拡充調査・検討についても、関係機関と連携して検討を進める。

震源モデル・地盤増幅特性に関する知見拡充調査・検討

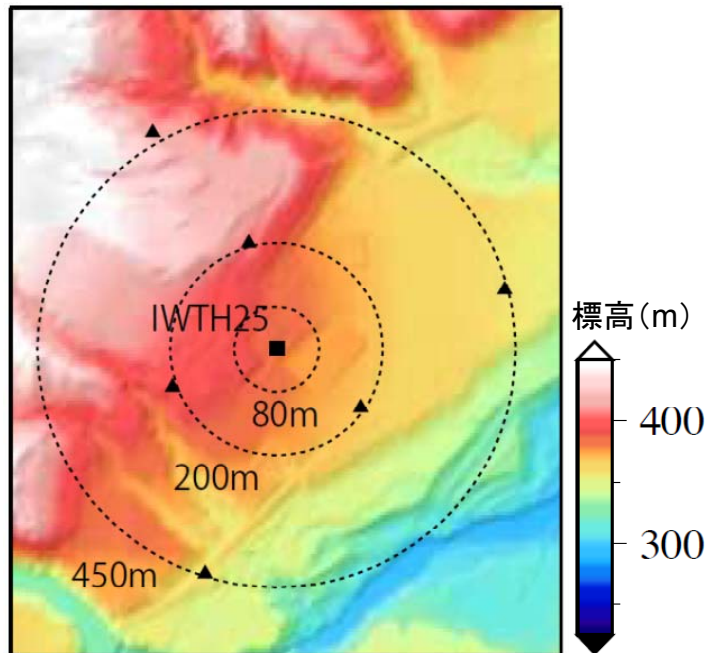
【主な知見拡充調査・検討】

○震源モデルの検討

- ・震源近傍の観測記録をより説明可能な震源モデルを策定し、岩手・宮城内陸地震の震源特性の特徴を検討する*。

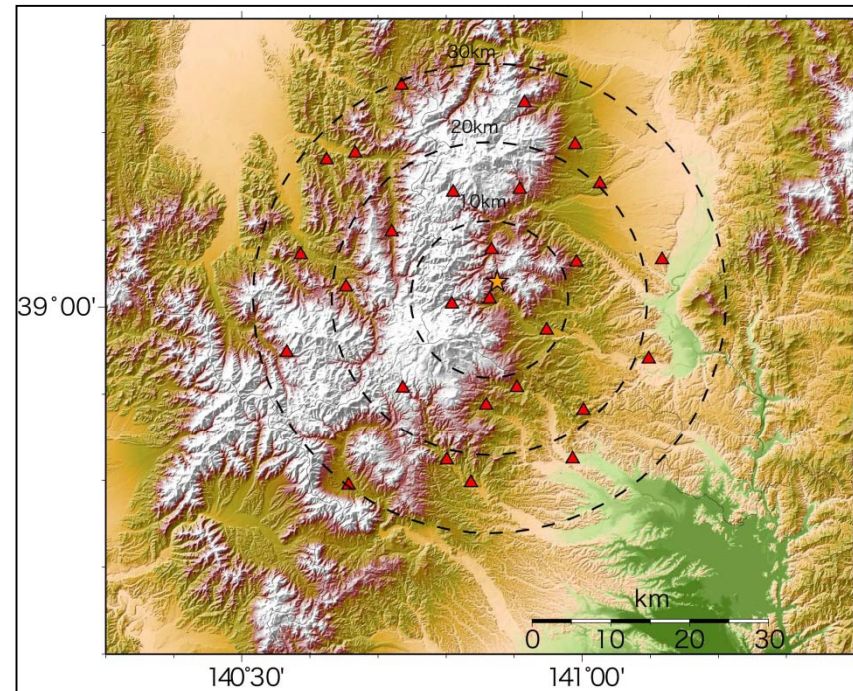
○地盤増幅特性に関する検討

- ・一関西(KiK-net)や荒砥沢ダムでは大加速度記録が観測されていることも踏まえ、観測点の地盤物性に関する調査を実施する。
(例)一関西微動アレイ観測*、荒砥沢ダム弾性波探査・臨時地震観測、栗駒ダム弾性波探査*
 - ・岩手・宮城内陸地震では地震発生層の上端深さが浅いことが各種観測から推測されており、地震発生層とその基盤構造の関係把握等を目的として地震波干渉法のための微動測定(震源付近)を実施する*。
- *事業者としては、これらの成果を地震動評価に適切に反映させていく。



※国土地理院の標高データを使用

一関西微動アレイ観測*



地震波干渉法のための微動観測点(震源付近)*

5. 中長期的な取り組み

震源特定に関する知見拡充調査・検討

北方延長部の地質構造調査

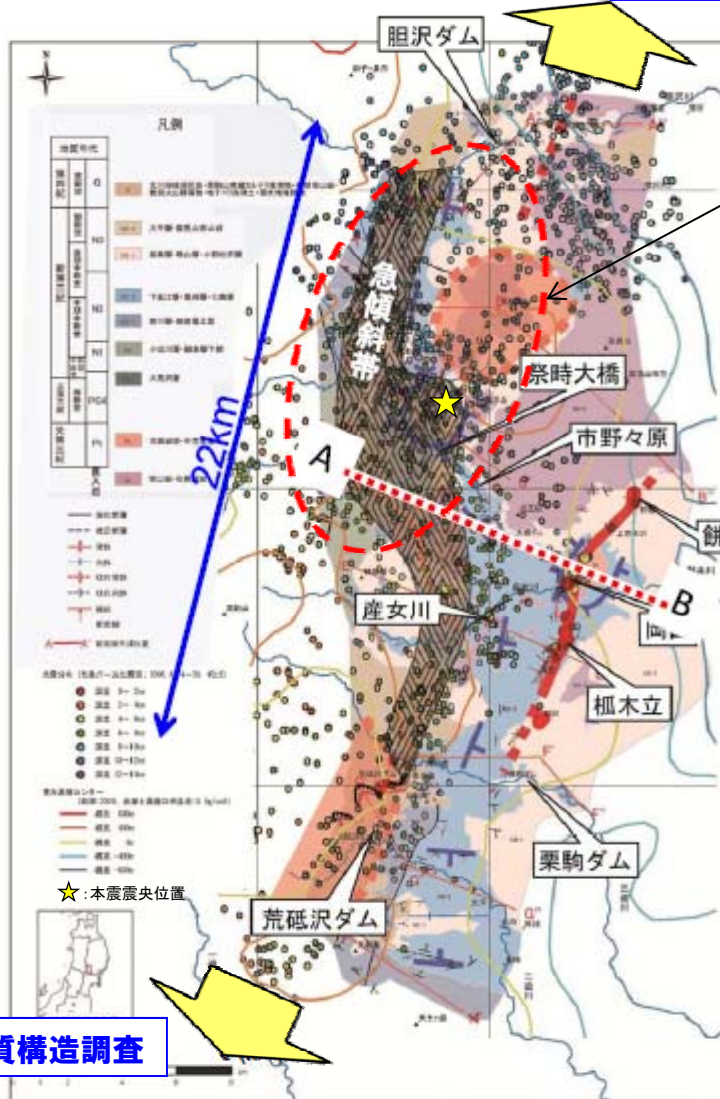
既往断層露頭の精査
新たな露頭の探索

より広範囲での河成段丘面の分布図作成
段丘面区分に基づくTT値の精査

【主な知見拡充調査・検討】

- ・震源域全体の変動地形の特徴をより詳細に把握するために、北方、南方の段丘面区分に基づくTT値の精査、地表踏査等による地質構造調査を実施する。
- ・当該断層の運動像を更に明確にするために、これまで褶曲帯で認められている断層露頭について断層破碎部性状をより詳細に分析する。また、調査地点の少ない褶曲帯の北部について調査を充実させる。
- ・また、未公表のトレンチ調査結果も含めて知見の再整理を行っていく。

南方延長部の地質構造調査



2008年岩手・宮城内陸地震震源域の地質構造と余震分布

- Tomomi Okada, Norihito Umino, Akira Hasegawa, and Group for the aftershock observations of the Iwate–Miyagi Nairiku Earthquake 2008(2012):Hypocenter distribution and heterogeneous seismic velocity structure in and around the focal area of the 2008 Iwate–Miyagi Nairiku Earthquake, NE Japan–Possible seismological evidence for a fluid driven compressional inversion earthquake, Earth Planets Space, 64, 717–728.
- Kimiyuki Asano, Tomotaka Iwata(2011):Characterization of Stress Drops on Asperities Estimated from the Heterogeneous Kinematic Slip Model for Strong Motion Prediction for Inland Crustal Earthquakes in Japan, Pure and Applied Geophysics Volume 168, 105–116.
- Wataru Suzuki, Shin Aoi, Haruko Sekiguchi(2010):Rupture Process of the2008 Iwate–Miyagi Nairiku, Japan, Earthquake Derived from Near–Source Strong–Motion Records, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.100, No.1, 256–266.
- 吉田邦一・宮腰研・倉橋奨・入倉孝次郎(2014):震源直上の強震記録を用いた2008年岩手・宮城内陸地震の震源モデルとすべり速度に基づく特性化震源モデル, 日本地震学会講演予稿集2014年度秋季大会, 167
- 引間和人・瀬戸一起(2013):2008年岩手・宮城内陸地震の震源過程～東・西傾斜の複数枚断層を仮定した再解析～, 日本地震学会講演予稿集 巻2013年度秋季大会, 63
- 野津厚(2011):内陸地殻内地震によるやや短周期地震動の再現に適した震源のモデル化手法, 港湾空港技術研究所報告, 第50巻第4号, 133–195.
- 入倉孝次郎・倉橋奨(2008):2008年岩手・宮城内陸地震の震源モデルと強震動—なぜ4000ガルの強震動が生成されたのか?—, 日本活断層学会2008年度秋季学術大会, http://danso.env.nagoya-u.ac.jp/jsafr/pdfs/2008fprograms/2008f_S02.pdf
- 釜江克宏(2008):2008年岩手・宮城内陸地震(Mj7.2)の震源のモデル化(暫定版), http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/jishin/iwate_miyagi_1.html
- 独立行政法人原子力安全基盤機構(2014):基準地震動策定のための地震動評価手引き:震源極近傍の地震動評価
- 中央防災会議首都直下地震モデル検討会(2013):首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書
- 加藤研一・宮腰勝義・武村雅之・井上大榮・上田圭一・壇一男(2004):震源を事前に特定できない内陸地殻内地震による地震動レベル—地質学的調査による地震の分類と強震観測記録に基づく上限レベルの検討—, 日本地震工学会論文集, 第4巻, 第4号, 46–86.
- Shin Aoi, Takashi Kunugi, Hiroyuki Fujiwara(2008):Trampoline Effect in extreme Ground Motion, Science, Vol.322, 727–730.
- 大町達夫・井上修作・水野剣一・山田雅人(2011):2008年岩手・宮城内陸地震のKiK-net—関西における大加速度記録の成因の推定, 日本地震工学会論文集, 第11巻, 第1号, 32–47.

- 森一司・馬場富士雄・橋本智雄・藤田慶太(2011):2008年岩手・宮城内陸地震に伴う荒砥沢ダム右岸の地表変状について, 応用地質, 第52巻, 第2号, 55-61
- 田原徹也・大町達夫(2010):観測記録に基づく中央コア型ロックフィルダムの非線形地震応答特性, 土木学会第65回年次学術講演会, 1299-1300.
- 波多野圭亮・佐藤信光・富田尚樹(2010):岩手・宮城内陸地震の強震動に対するロックフィルダムの地震応答挙動の再現解析, 平成22年度水資源機構技術研究発表会.
- 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・独立行政法人建築研究所(2008):平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震被害調査報告.
- 社団法人東北建設協会(2006):建設技術者のための東北地方の地質.
- 増川晋・黒田清一郎・林田洋一・田頭秀和(2014):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, 農村工学研究所技報, 第215号, 185-217.
- Hiroshi Kawase, Francisco J.Sanchez-Sesma, Shinichi Matsushima(2011):The Optimal Use of Horizontal-to-Vertical Spectral Ratios of Earthquake Motions for Velocity Inversions Based on Diffuse-Field Theory for Plane Waves, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.101, No.5, 2001-2014
- 山中浩明(2007):ハイブリッドヒューリスティック探索による位相速度の逆解析, 物理探査, 第60巻, 第3号, 265-275