

泊発電所

震源を特定せず策定する地震動について (コメント回答)

平成27年6月12日
北海道電力株式会社

1. 2008年岩手・宮城内陸地震に関する知見	6
2. 地震観測記録の収集	17
3. 地震観測記録の分析・評価	36
4. 基盤波の選定	120
5. 中長期的な取り組み	127

No.	指摘事項	指摘時期
1	岩手・宮城内陸地震について、距離減衰式による検討を行うこと。	平成27年3月20日 審査会合
2	岩手・宮城内陸地震の相対的地盤増幅率の検討について、地盤条件を考慮していない旨を記載すること。また、フーリエスペクトルを用いた検討も実施すること。	平成27年3月20日 審査会合
3	岩手・宮城内陸地震のKiK-net観測点(東成瀬および一関東)について、水平動の再現性および中小地震での地盤同定結果を示すこと。また、地形による影響を確認すること。	平成27年3月20日 審査会合
4	荒砥沢ダムの地盤情報を示すこと。	平成27年3月20日 審査会合
5	栗駒ダムの監査廊の観測記録について、ダム堤体の影響を確認すること。	平成27年3月20日 審査会合

検討概要

【1. 2008年岩手・宮城内陸地震に関する知見】

- 岩手・宮城内陸地震に関する地震学的特徴を把握するため、震源域内の余震分布およびインバージョン解析・フォワード解析等の震源特性に関する要素に着目し、知見を収集・整理する。
 - 浅い位置でエネルギーの放出が行われたことが、震源域近傍のいくつかの観測点で大加速度が観測された大きな要因のひとつになっている可能性がある。
 - 一方で、震源等のモデル化に関して、観測記録の再現性の向上や複雑な破壊過程の要因特定などの課題が示されている知見もある。
- ⇒広範囲で得られたそれぞれの観測記録を説明できるモデルとしては、現時点で十分ではない。

【課題1】⇒中長期的取り組み

- 上記を踏まえると、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。

- しかしながら、震源等のモデル化に関する精緻化には、相応の期間が必要である。
- 更に岩手・宮城内陸地震の取り扱いに関して、中央防災会議においても更なる検討が必要であるとしている。

当社としては、安全側の評価として、2008年岩手・宮城内陸地震で得られた観測記録の収集・分析を実施する。

【2. 地震観測記録の収集】

- 以下の条件で地震観測記録を収集する。
 - 防災科学技術研究所のK-NET観測点およびKiK-net観測点のうち、断層最短距離30km以内の観測点における観測記録(16地点)
 - 岩手宮城内陸地震の震源近傍に位置する荒砥沢ダムおよび栗駒ダムの観測記録(2地点)
- 収集した観測記録について、以下の観点で観測記録を抽出し、抽出された観測記録を考察する。
 - 加藤ほか(2004)の応答スペクトルを上回る記録
 - K-NET観測点については、上記の観点に加え、AVS30≧500m/sとなる記録

震源近傍の観測記録(計18地点)

- ①K-NET(8地点)
 - ・AKT019(雄勝)
 - ・AKT023(椿台)
 - ・IWT010(一関)
 - ・IWT011(水沢)
 - ・IWT012(北上)
 - ・IWT015(川尻)
 - ・MYG004(築館)
 - ・MYG005(鳴子)
- ②KiK-net(8地点)
 - ・AKTH04(東成瀬)
 - ・AKTH06(雄勝)
 - ・IWTH04(住田)
 - ・IWTH20(花巻南)
 - ・IWTH24(金ヶ崎)
 - ・IWTH25(一関西)
 - ・IWTH26(一関東)
 - ・MYGH02(鳴子)
- ③ダム(2地点)
 - ・荒砥沢ダム
 - ・栗駒ダム

抽出した観測記録(計8地点)

- ・IWT010(一関)
- ・AKTH04(東成瀬)
- ・IWTH20(花巻南)
- ・IWTH24(金ヶ崎)
- ・IWTH25(一関西)
- ・IWTH26(一関東)
- ・荒砥沢ダム
- ・栗駒ダム

加藤ほか(2004)の応答スペクトルを上回る。

●抽出した観測記録について、記録の分析・評価を実施したうえで、基盤波の選定を実施する。

【3. 地震観測記録の分析・評価】

- 観測記録を収集した結果、敷地に影響が大きいと考えられるものとして抽出した観測記録について、以下の記録の分析・評価を実施する。
 - 地盤応答等による特異な影響の評価(地盤情報の収集、各種知見の収集・整理、相対的地盤増幅率の評価、地質および速度構造に関する検討、地形の影響に関する検討)
 - 基盤波を算定するモデルの妥当性確認(観測記録を用いた地盤同定およびはざとり解析、地盤同定に関する検討(再現性の確認、探索範囲等の変更、中小地震を用いた検討))

抽出した観測記録(計8地点)

- ・IWT010(一関)
- ・AKTH04(東成瀬)
- ・IWTH20(花巻南)
- ・IWTH24(金ヶ崎)
- ・IWTH25(一関西)
- ・IWTH26(一関東)
- ・荒砥沢ダム
- ・栗駒ダム

●地盤応答等による特異な影響の評価
●基盤波を算定するモデルの妥当性確認

基盤波として選定可能

- ・IWT010(一関)
- ・IWTH20(花巻南)
- ・IWTH24(金ヶ崎)
- ・IWTH26(一関東)(水平)
- ・栗駒ダム(右岸地山)

基盤波として選定困難

- ・AKTH04(東成瀬)
- ・IWTH25(一関西)
- ・荒砥沢ダム

【課題2】⇒中長期的取り組み
●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、はざとり解析および震源特性を踏まえた検討が必要
⇒現時点で信頼性の高い基盤地震動の評価は困難

	IWT010 (一関)	IWTH25 (一関西)	AKTH04 (東成瀬)	IWTH20 (花巻南)	IWTH24 (金ヶ崎)	IWTH26 (一関東)	荒砥沢ダム	栗駒ダム
地盤情報 (基盤相当のVs)	730m/s	1810m/s	1500m/s	430m/s	540m/s	680m/s	600m/s (J-SHIS)	700m/s 程度以上
地盤応答等による特異な影響	地盤の非線形性、特異な増幅特性の有無	—	●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	—	—	●地表記録に地盤の非線形性の影響が含まれている	●右岸地山の観測記録に地盤の非線形性の影響が含まれている ●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	—
	上部構造物の影響の有無	—	—	—	—	—	●監査廊の観測記録にダム堤体の影響が含まれている	●監査廊の観測記録にダム堤体の影響が含まれている
	その他要因の有無	特になし	●地表記録にトランポリン効果、ロッキング振動の影響が含まれている	●地表記録に観測点周辺の地形の影響が含まれている	特になし	特になし	●地表記録に観測点周辺の地形の影響が一部含まれていると考えられる	●右岸地山付近に地表の変状がみられる
基盤波を算定するモデルの妥当性	●地盤状況を踏まえ、観測記録を採用	●観測記録にトランポリン効果等の影響がみられることから、はざとり解析は困難	●水平方向は、表層のVsが極端に小さい ●上下方向は、観測記録の伝達関数を再現できていない ⇒観測記録に地盤の非線形性、周辺地形による影響が含まれており、地表記録を再現できていないことから、はざとり解析は困難	●概ね妥当な地盤モデルが作成でき、はざとり解析が可能	●概ね妥当な地盤モデルが作成でき、はざとり解析が可能	●水平方向は、本震記録による伝達関数などに一定の整合がみられる ●上下方向は、観測記録の伝達関数を再現できていない ⇒観測記録に地盤の非線形性、周辺地形による影響が含まれているものの、水平方向は、地表記録を概ね再現できることから、はざとり解析を実施	●観測記録にダム堤体等の非線形性の影響がみられることから、はざとり解析は困難	●右岸地山の観測点は、硬質な岩盤の地表面に設置 ●右岸地山は、特異な増幅傾向を示していない地域 ⇒右岸地山の観測記録を採用
基盤波としての評価	●基盤波として選定可能	●信頼性の高い基盤地震動の評価は困難	●信頼性の高い基盤地震動の評価は困難	●基盤波として選定可能	●基盤波として選定可能	●水平方向は、基盤波として選定可能と判断	●信頼性の高い基盤地震動の評価は困難	●右岸地山は、基盤波として選定可能

検討概要

【4. 基盤波の選定】

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。

基盤波として選定可能(5地点)

- ・IWT010(一関)
- ・IWTH20(花巻南)
- ・IWTH24(金ヶ崎)
- ・IWTH26(一関東)(水平)
- ・栗駒ダム(右岸地山)

現時点において、基盤波として選定可能と考えられる記録から最も保守的な基盤波を選定

- ・IWTH24(金ヶ崎)
- ・IWTH26(一関東)(水平)
- ・栗駒ダム(右岸地山)

基盤波として選定困難(3地点)

- ・AKTH04(東成瀬)
- ・IWTH25(一関西)
- ・荒砥沢ダム

- 課題解決に向けた取り組みを関係機関と連携して実施する。

- 敷地の地盤物性に応じた基盤地震動を評価
⇒IWTH24(金ヶ崎), IWTH26(一関東)(水平)および栗駒ダム(右岸地山)を震源を特定せず策定する地震動に考慮する。

- IWTH24(金ヶ崎), IWTH26(一関東)(水平), および栗駒ダム(右岸地山)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、2004年北海道留萌支庁南部地震の基準地震動とともに基準地震動に追加する。

【5. 中長期的な取り組み】

- 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ります。

- 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、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。

- ・震源や地盤等のパラメータの精緻化と観測記録との再現性向上
- ・震源域全体の地盤構造等の各種調査
- ・観測点の地盤調査を含めたはぎとり解析等
- ・上記の検討を踏まえた信頼性の高い基盤波の算定

- 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・地盤増幅特性に関して、関係機関と連携して検討を進めている。

- 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。

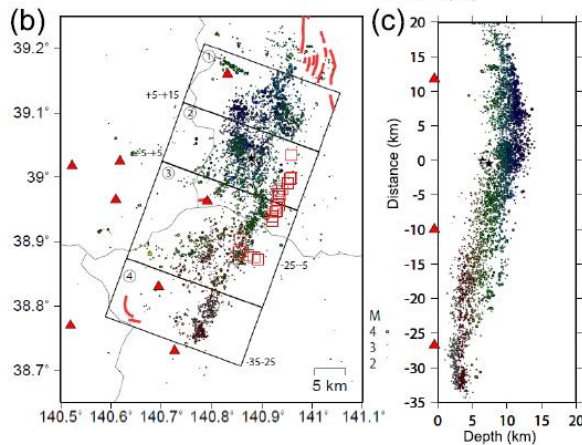
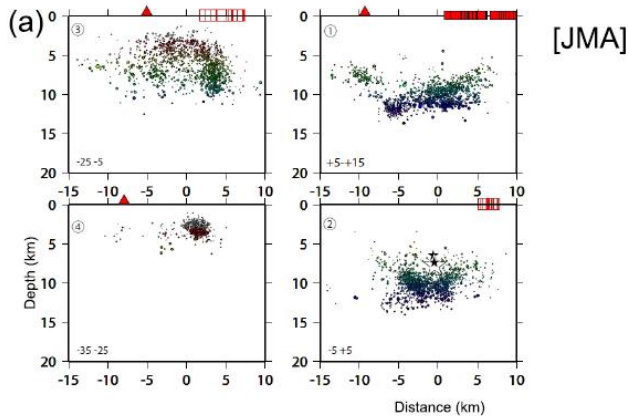
1. 2008年岩手・宮城内陸地震に関する知見

7 1. 2008年岩手・宮城内陸地震に関する知見

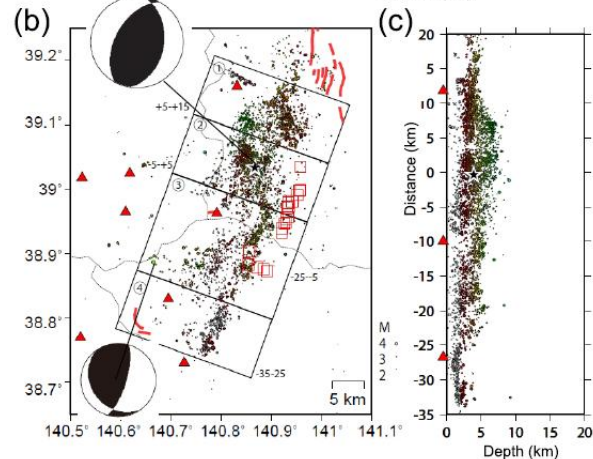
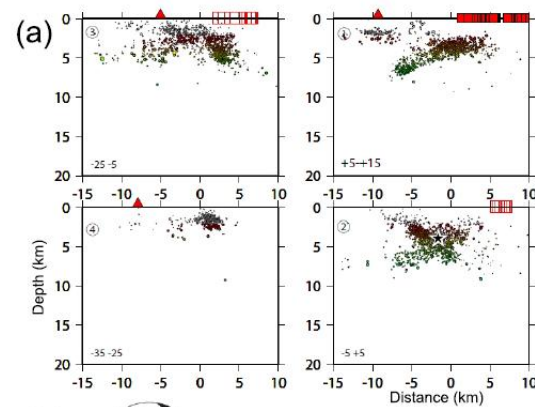
再掲 (3/20審査会合資料)

余震分布に関する既往の研究 (Okada et al. (2012))

- 2008年岩手・宮城内陸地震の気象庁一元化震源による余震分布は、上端、下端とも浅い特徴を有している。また、Okada et al. (2012)は、緻密な臨時地震観測網の記録を用いて震源の再決定を行っており、気象庁一元化震源よりも系統的に更に浅くなることを示している。
- 再決定された余震分布から、ごく浅部の地表付近が余震分布上端と考えられる。



気象庁一元化震源



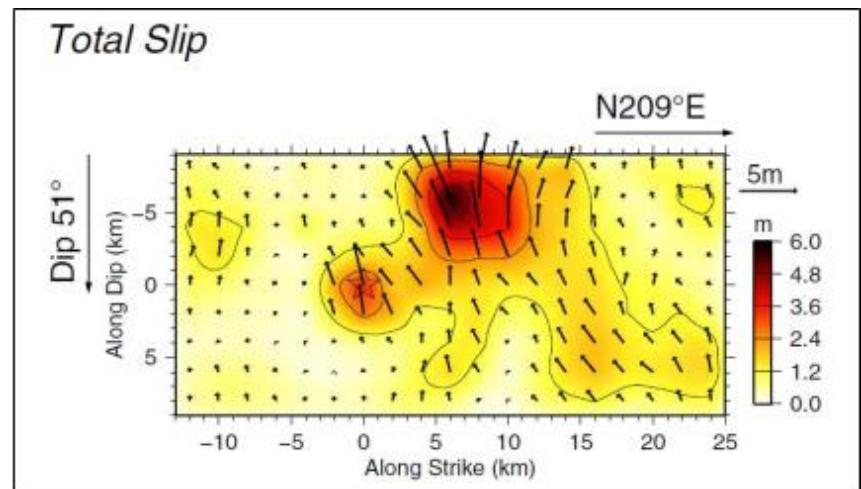
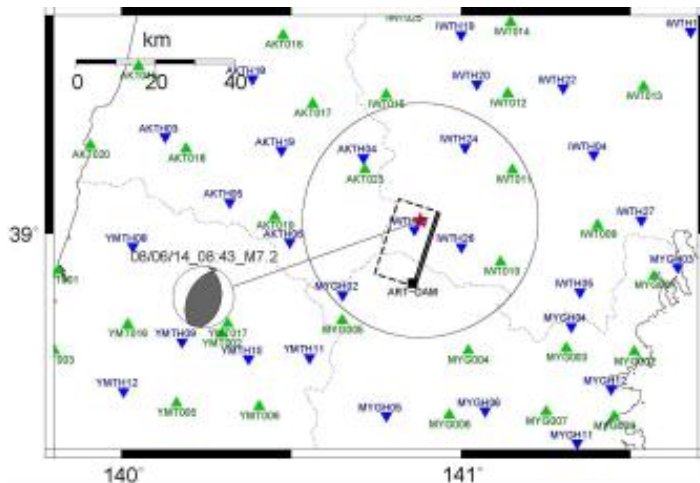
Okada et al. (2012)による震源再決定

1. 2008年岩手・宮城内陸地震に関する知見

再掲 (3/20審査会合資料)

インバージョン解析に関する既往の知見 (Asano and Iwata(2011))

- 2008年岩手・宮城内陸地震の強震動シミュレーション解析はこれまでも多くの研究者が実施しているが、荒砥沢ダムの記録も含めた検討としては、Asano and Iwata(2011)のインバージョン解析がある。この検討では、すべり量の大きい箇所は浅部に決定されている。



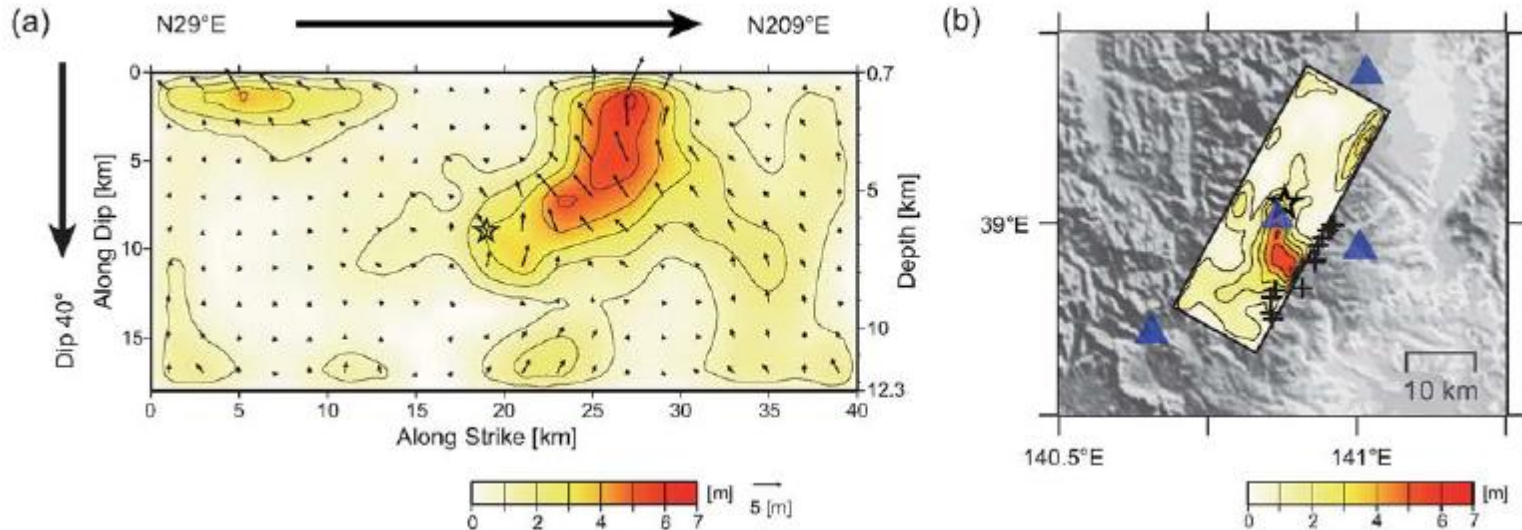
Asano and Iwata(2011)のインバージョンモデル

1. 2008年岩手・宮城内陸地震に関する知見

再掲 (3/20審査会合資料)

インバージョン解析に関する既往の知見 (Suzuki et al. (2010))

- Suzuki et al. (2010)では、震源極近傍の強震動記録を用いて、インバージョン解析を実施している。
- この検討では、すべり量の大きい箇所は浅部に決定されている。
- IWTH25(一関西)で観測された大きな最大加速度は、特に南部の浅い位置にある大きなすべり域から生成されたとしている。なお、ダム観測点については、検討対象外となっている。

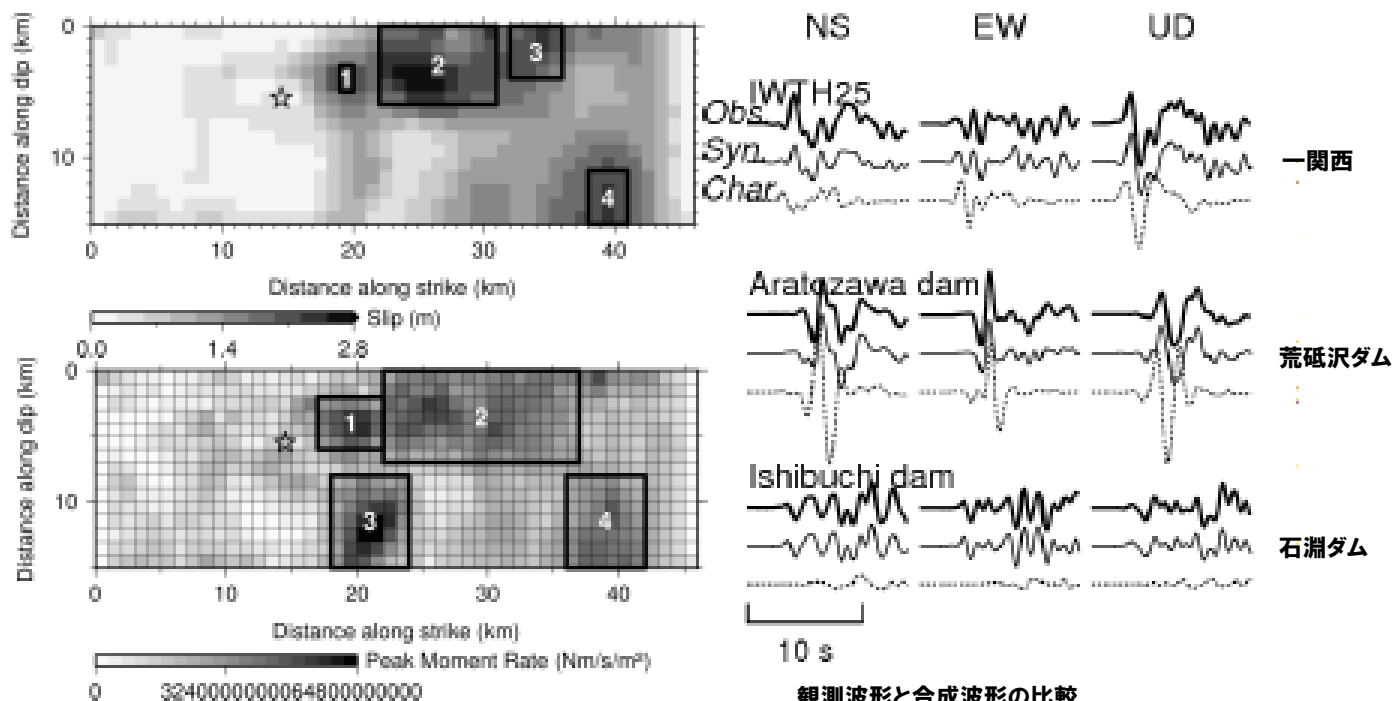


1. 2008年岩手・宮城内陸地震に関する知見

再掲(3/20審査会合資料)

インバージョン解析に関する既往の知見 (吉田ほか(2014))

- 吉田ほか(2014)では、震源極近傍の強震動記録を用いて、震源モデルを構築し、震源近傍での地震動記録の再現を試みている。
- この検討では、すべり量分布および最大すべり速度(PMR)分布を参考に特性化震源モデルを構築した結果、浅部に大きなアスペリティが設定されている。
- すべり量より構築した特性化震源モデルは、IWITH25(一関西)の観測波形は説明できなかったとしている。
- PMR分布より構築した特性化震源モデルは、IWITH25(一関西)および荒砥沢ダムを含む多くの観測点での観測波形を説明できたものの、記録を再現できていない観測点もあり、さらに検討を進めているとしている。



(上)すべり量分布
(下)PMR分布. 両分布は右側が走向方向(南側)

観測波形と合成波形の比較

Obs(太実線):観測波形

Syn(実線):逆解析モデルからの合成波形

Char(点線):特性化震源モデルからの合成波形

1. 2008年岩手・宮城内陸地震に関する知見

再掲(3/20審査会合資料)

インバージョン解析に関する既往の知見 (引間・瀬瀬(2013))

- 引間・瀬瀬(2013)では、西傾斜の断層面に加えて、東傾斜の断層面を仮定し、強震波形とGPSデータにより震源過程を推定している。
- この検討では、すべり量の大きい箇所が震源の南側かつ、東傾斜の断層面の浅部に決定されており、断層極近傍のデータを含めて、観測値の再現が従来の検討(引間・他(2008))よりも向上したとしている。
- 東傾斜の断層面が存在する可能性が高いという結果が得られたが、このような極めて複雑な破壊過程の要因は現状では不明であり、可能性として火山地域の地質・応力等の条件の影響を受けている可能性が考えられるとしている。なお、ダム観測点については、検討対象外となっている。

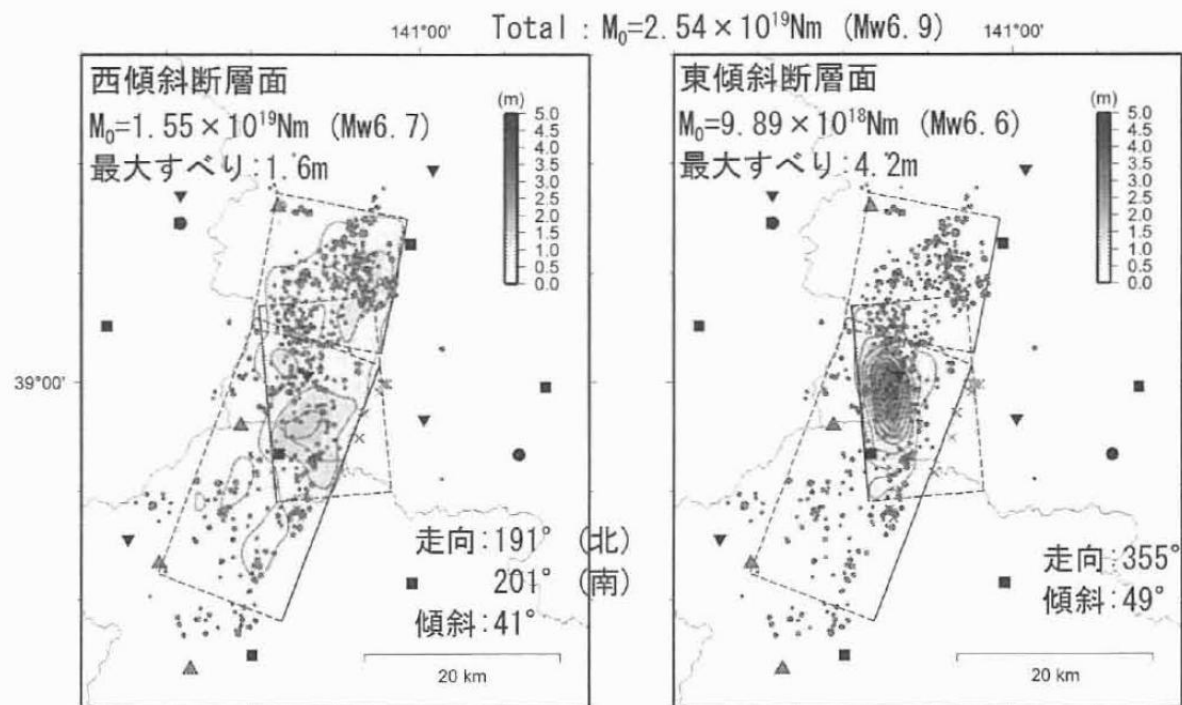


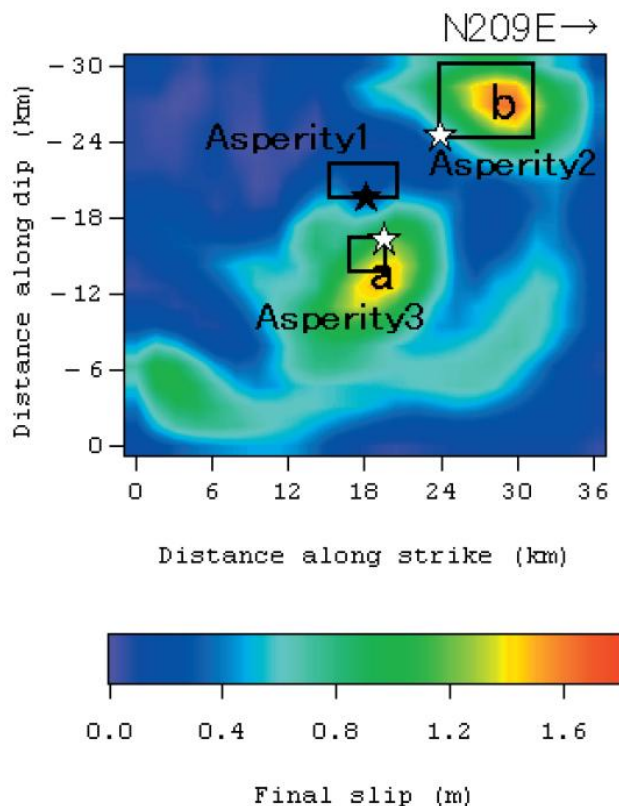
図 強震波形・GPSのジョイントインバージョンにより得られたすべり分布。余震を合わせて示す。☆:破壊開始点, ▲:火山, ●:K-NET, ▼:KiK-net, ■:GEONET。

1. 2008年岩手・宮城内陸地震に関する知見

再掲 (3/20審査会合資料)

フォワード解析に関する既往の知見 (野津(2011))

- 野津(2011)では、2008年岩手・宮城内陸地震におけるやや短周期帯域の地震動を再現するのに適した特性化震源モデルを作成している。
- この検討では、野津(2010)における波形インバージョンで得られたすべり量分布を参考に3つのアスペリティを設定しており、最も面積の大きいアスペリティは、浅部に設定されている。
- 作成された特性化震源モデルによりK-NET観測点およびKiK-net観測点の地震動を再現した結果、IWT H25(一関西)を含め概ね良好に再現されたとしているが、ダム観測記録は、検討対象外となっている。



2008年岩手・宮城内陸地震の特性化震源モデルのパラメタ

	Asperity1	Asperity2	Asperity3
破壊開始点東経 (deg)	140.880	140.872	140.843
破壊開始点北緯 (deg)	39.028	38.970	39.023
破壊開始点深さ (km)	8.0	4.9	11.1
長さ (km) × 幅 (km)	6.0 × 3.0	8.0 × 6.0	3.0 × 3.0
M_0 (Nm)	0.56E+18	4.00E+18	1.00E+18
相対破壊開始時刻 (s)	0.00	2.8	1.7
破壊伝播速度 (km/s)	2.6	2.6	2.6
ライズタイム (s)	0.29	0.58	0.29
分割数	5 × 5 × 5	8 × 8 × 8	5 × 5 × 5

2008年岩手・宮城内陸地震の特性化震源モデル。背後のコンターは波形インバージョンで得られたすべり量分布

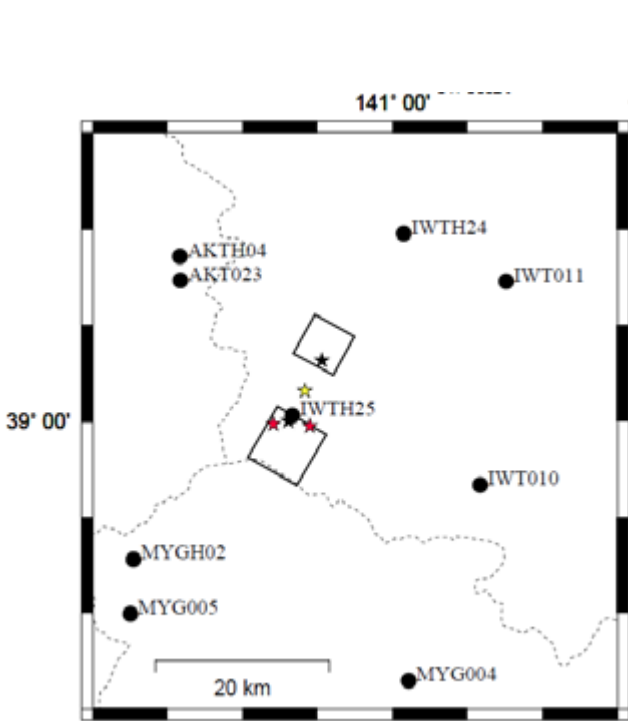
★は全体の破壊開始点、☆は各アスペリティの破壊開始点。

1. 2008年岩手・宮城内陸地震に関する知見

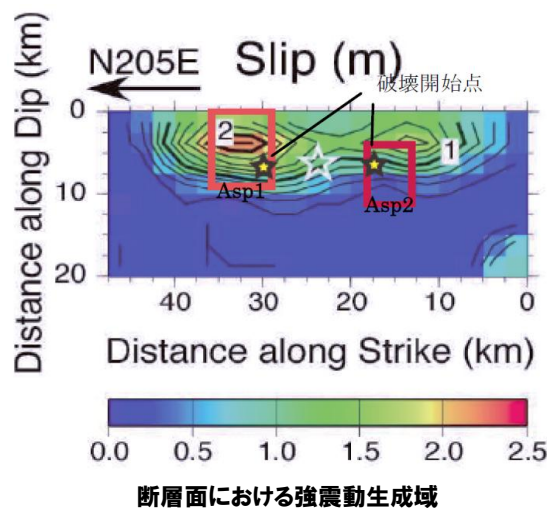
再掲 (3/20審査会合資料)

フォワード解析に関する既往の知見 (入倉・倉橋(2008))

- 入倉・倉橋(2008)では、震源極近傍の強震動記録を用いて、フォワード・モデリングにより強震動が再現可能な震源モデルの構築を試みている。
- この検討では、堀川(2008)のすべり量分布を参考に震源モデルを構築した結果、発震点の南側浅部にやや大きなアスペリティ、北側に面積が半分程度のアスペリティが設定されている。
- 但し、このモデルでは、IWTH25(一関西)の観測記録に見られる上下動の非対称性は説明できず、別の要因(トランポリン効果など)を考える必要があるとしている。なお、ダム観測記録は、検討対象外となっている。



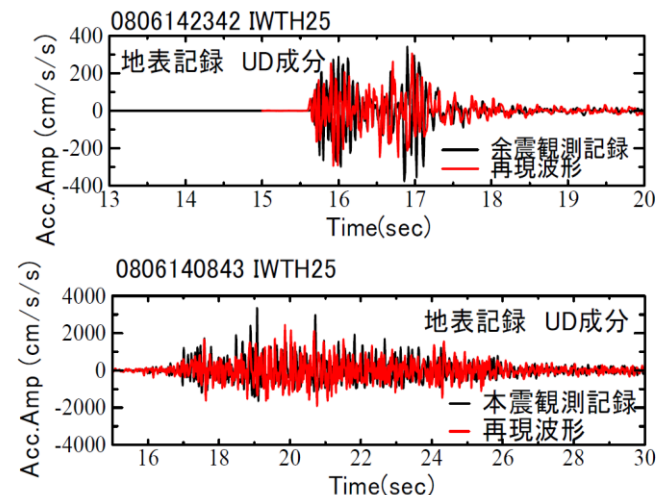
強震動生成域と解析に使用した観測点(一部)



断層面における強震動生成域

	Asp1	Asp2
走向		209
傾斜角		40
すべり角		104
長さ	6.8km	5.1km
幅	8.5km	6.8km
応力降下量	16.45MPa	14.1MPa
地震モーメント	2.86E+16Nm	1.47E+18Nm

震源モデルの諸元



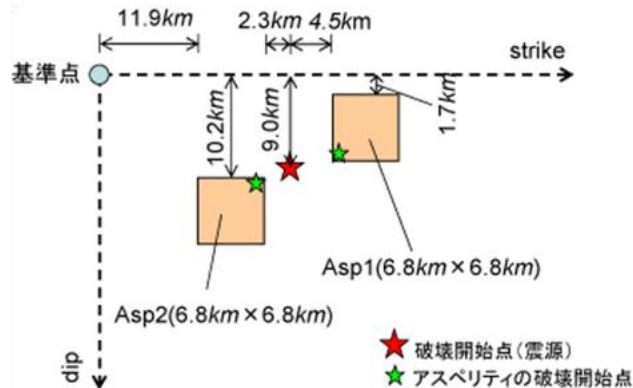
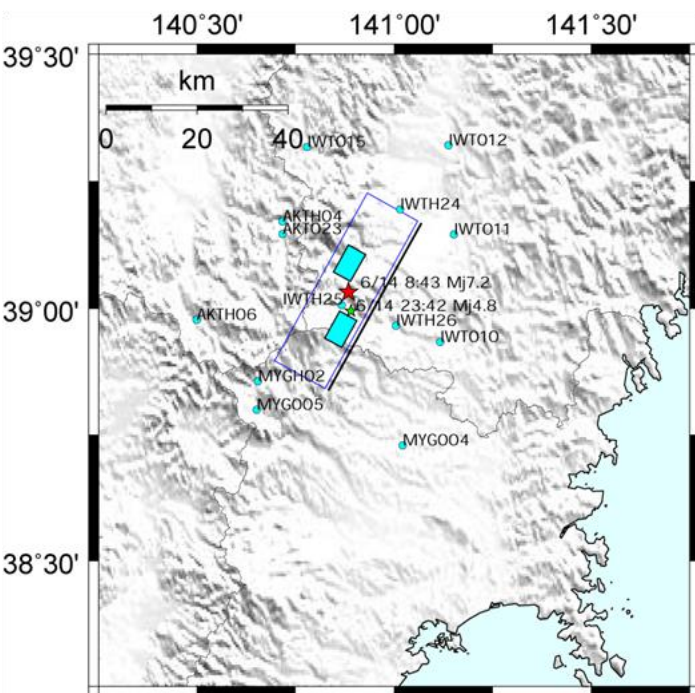
上図: IWTH25(一関西)地表における余震の再現波形と再現波形のスペクトル。
 下図: IWTH25(一関西)地表における本震の再現波形と再現波形のスペクトル。

1. 2008年岩手・宮城内陸地震に関する知見

再掲(3/20審査会合資料)

フォワード解析に関する既往の知見(釜江(2008))

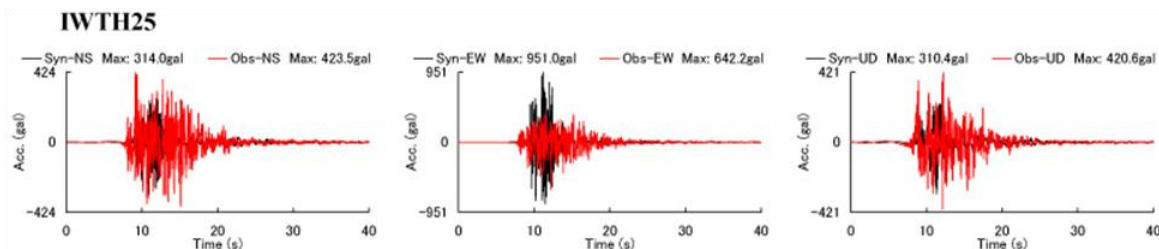
- 釜江(2008)では、経験的グリーン関数法を用いたフォワード・モデリングにより2008年岩手・宮城内陸地震の震源モデルの評価を試みている。
- 解析の結果、震源の北と南にそれぞれ1つずつアスペリティを配置する震源モデルとなっており、震源の北側にアスペリティを配置することにより震源より北側の観測点において、波形の再現性が向上したとしている。
- 2つのアスペリティの応力降下量は、これまでの内陸地殻内地震の平均値に近い値になったとしている。なお、本検討において、ダム観測記録は、検討対象外となっている。



本震のメカニズム等

走向	209
傾斜角	51
すべり角	83
基準点(緯度)	39.172N
基準点(経度)	141.059E
基準点(深さ)	1.77km

	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)	S (km ²)	Mo (Nm)	$\Delta\sigma$ (MPa)
Asp1	209	51	104	6.8 × 6.8	1.70×10^{18}	13.8
Asp2	209	51	104	6.8 × 6.8	1.70×10^{18}	13.8



(IWTH25(一関西))合成波形と観測波形の比較(0.2Hz~10Hz)

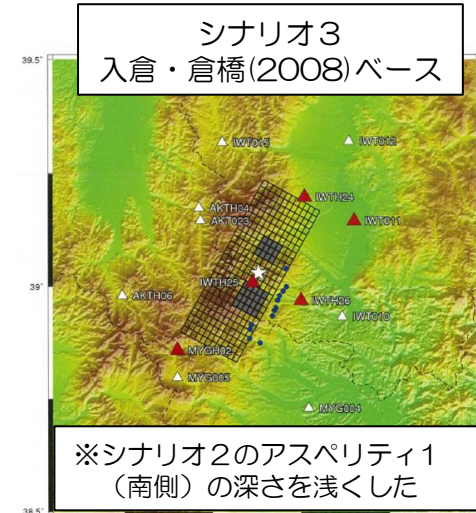
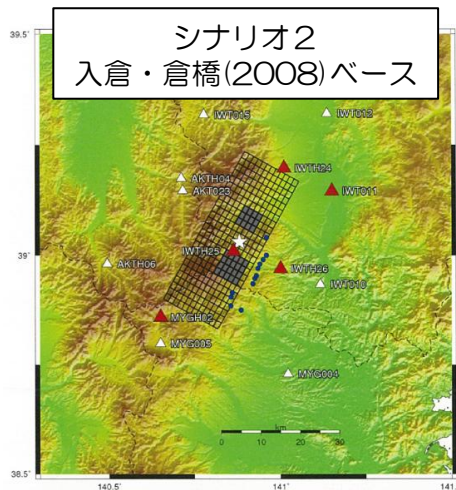
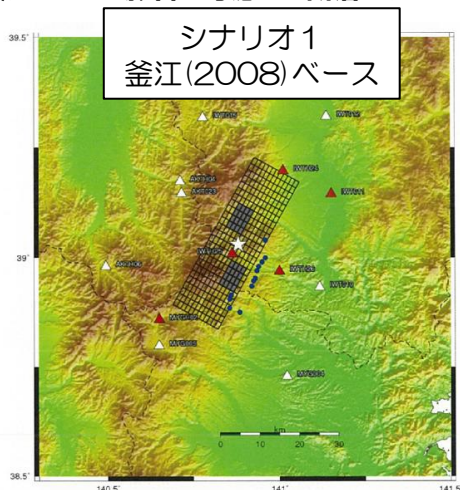
1. 2008年岩手・宮城内陸地震に関する知見

再掲(3/20審査会合資料)

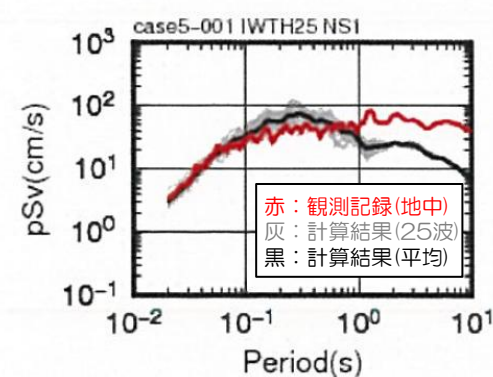
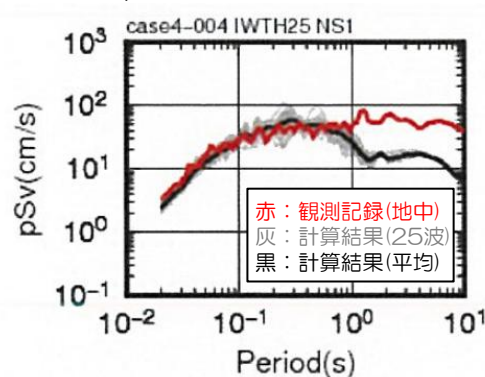
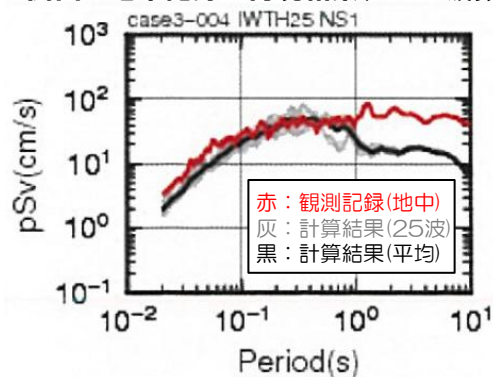
フォワード解析に関する既往の知見(JNES(2014))

- 独立行政法人原子力安全基盤機構による「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」(2014)では,2008年岩手・宮城内陸地震の地震動再現解析を検討している。
- シナリオ1およびシナリオ2では,IWTH25(一関西)の短周期成分がやや過小評価であり,さらに,シナリオ2のアスペリティを浅くしたモデル(シナリオ3)においても,依然としてやや小さめである可能性があるとしている。なお,ダム観測点については,検討対象外となっている。

破壊シナリオの影響を考慮した断層モデルの設定



一関西の地中記録の再現結果(SGFと波数積分法のハイブリッド)



1. 2008年岩手・宮城内陸地震に関する知見

再掲(3/20審査会合資料)

まとめ

- 地震後実施された緻密な臨時地震観測から求められる2008年岩手・宮城内陸地震の余震分布上端は、気象庁一元化震源よりも系統的に更に浅くなることを示しており、ごく浅部の地表付近が余震分布上端と考えられる。
- 本震記録を説明するいくつかの震源モデルから、2008年岩手・宮城内陸地震については、震源およびすべり量の大きい箇所が浅かったことが考えられる。
- 上記の知見を踏まえると、浅い位置でエネルギーの放出が行われたことが、震源域近傍のいくつかの観測点で大加速度が観測された大きな要因のひとつになっている可能性がある。
- 一方で、震源等のモデル化に関して、観測記録の再現性の向上や複雑な破壊過程の要因特定などの課題が示されている知見もあり、広範囲で得られたそれぞれの観測記録を説明できるモデルとしては、現時点で十分ではない。

2. 地震観測記録の収集

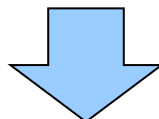
2. 地震観測記録の収集

再掲(3/20審査会合資料)

2008年岩手・宮城内陸地震に関する知見等

【2008年岩手・宮城内陸地震に関する知見】

- 地震学的知見を踏まえると、浅い位置でエネルギーの放出が行われたことが、大加速度記録の要因のひとつになっている可能性がある。
- 一方で、震源等のモデル化に関して、観測記録の再現性の向上や複雑な破壊過程の要因特定などの課題が示されている知見もあり、広範囲で得られたそれぞれの観測記録を説明できるモデルとしては、現時点で十分ではない。



上記の知見を踏まえた現時点における当社としての判断

- 2008年岩手・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に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。
- しかしながら、震源等のモデル化に関する精緻化には、相応の期間が必要である。
- 更に2008年岩手・宮城内陸地震の取り扱いに関して、中央防災会議においても更なる検討が必要であるとしている。[※]
[※]中央防災会議(2013)では、2008年岩手・宮城内陸地震について、地表地震断層が現れた地震、或いは、不明瞭な地震の何れに分類するかについては、更なる検討が必要であるとしている。
- 以上を踏まえて、当社としては、安全側の評価として、2008年岩手・宮城内陸地震で得られた観測記録の収集・分析を実施する。

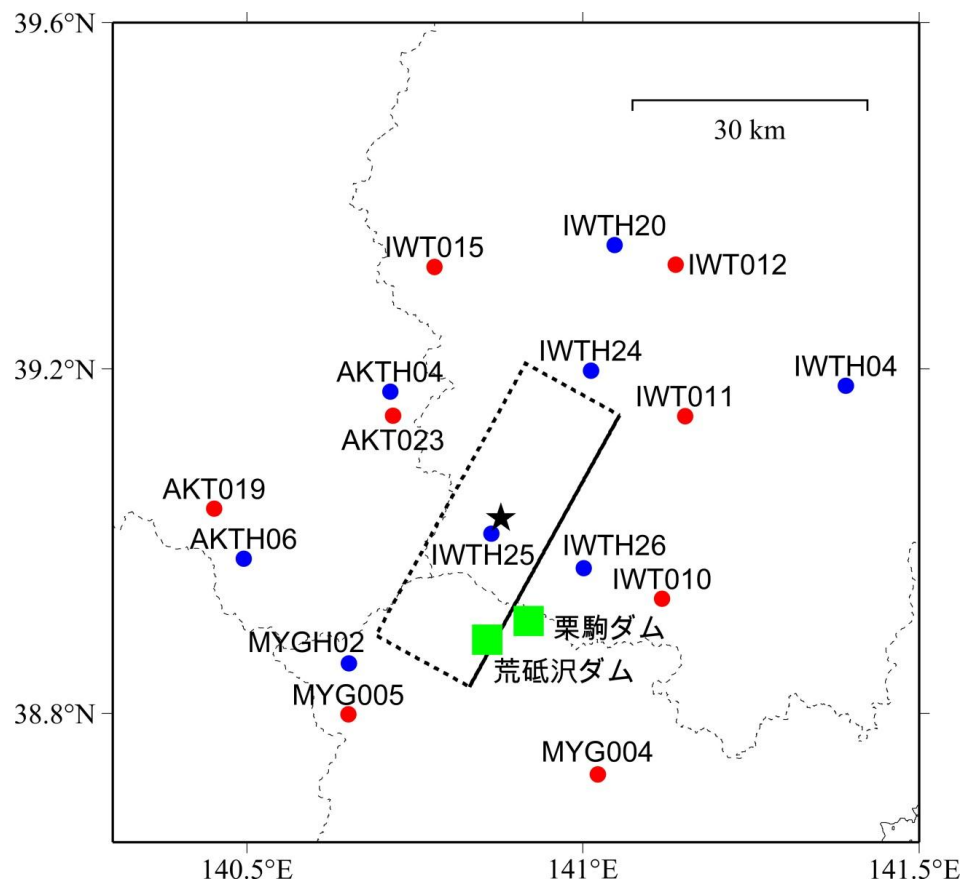
2. 地震観測記録の収集

再掲(3/20審査会合資料)

地震観測記録の収集対象

- 防災科学技術研究所のK-NET観測点およびKiK-net観測点のうち、断層最短距離30km以内の観測点を対象に収集する。(16地点)
- あわせて、本地震の震源近傍に位置している荒砥沢ダム、栗駒ダムの地震観測記録も収集する。(2地点)
(ダムの観測記録については、宮城県より受領)

2008年岩手・宮城内陸地震の震源位置と周辺観測点

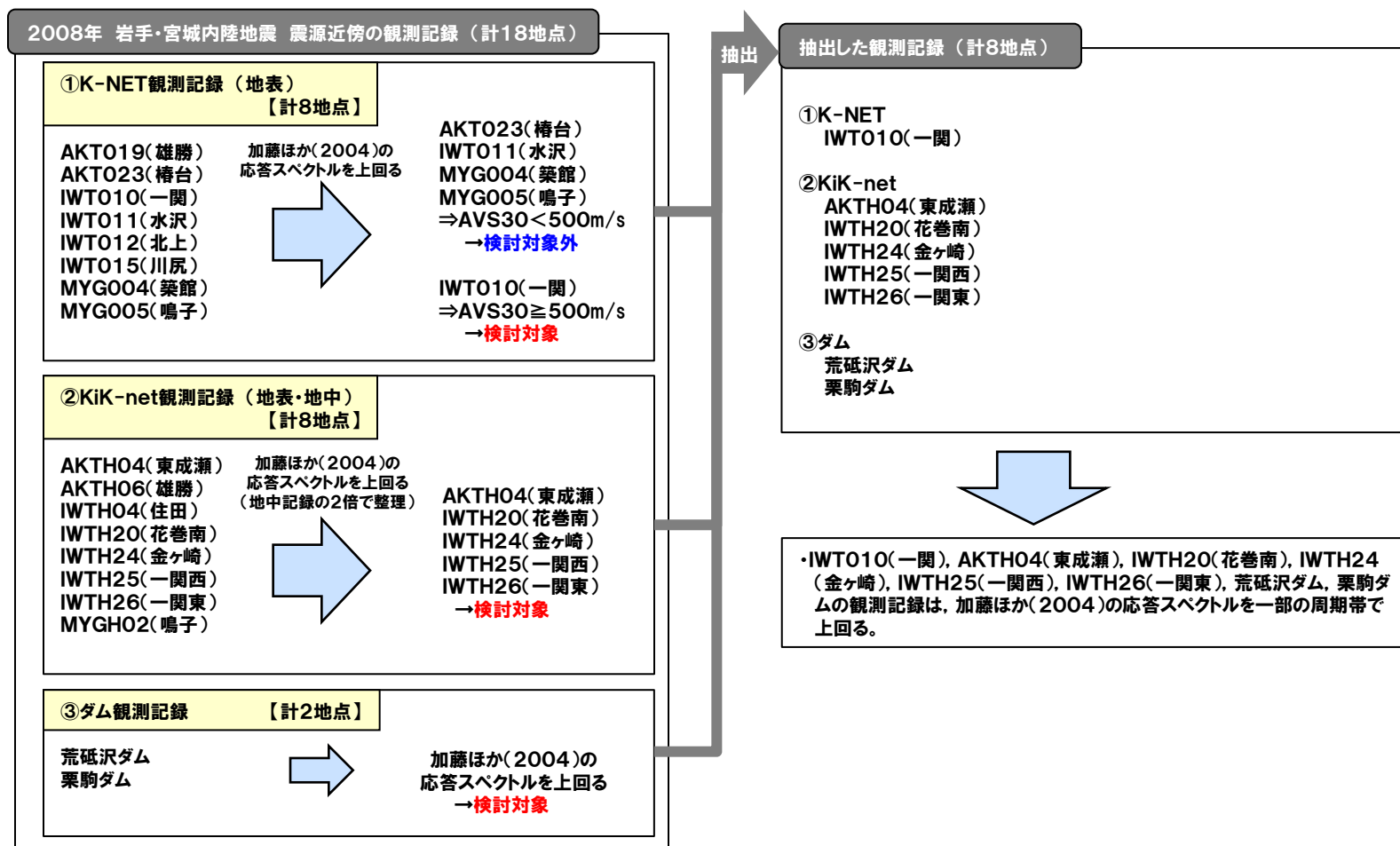


		観測地点名	
K-NET (8地点)	AKT019	雄勝	
	AKT023	樺台	
	IWT010	一関	
	IWT011	水沢	
	IWT012	北上	
	IWT015	川尻	
	MYG004	築館	
	MYG005	鳴子	
KiK-net (8地点)	AKTH04	東成瀬	
	AKTH06	雄勝	
	IWTH04	住田	
	IWTH20	花巻南	
	IWTH24	金ヶ崎	
	IWTH25	一関西	
	IWTH26	一関東	
	MYGH02	鳴子	
ダム (2地点)	-	荒砥沢ダム	
	-	栗駒ダム	

地震観測記録の収集・検討

- 収集した観測記録について、以下の観点で観測記録を抽出し、抽出された観測記録の考察を行う。
- ・加藤ほか(2004)の応答スペクトルを上回る記録(KiK-net観測点の記録は、地中記録の2倍で整理)
 - ・K-NET観測点については、上記の観点に加えAVS30*が500m/sを上回っている観測点における記録

※地表から深さ30mまでの平均S波速度



2. 地震観測記録の収集

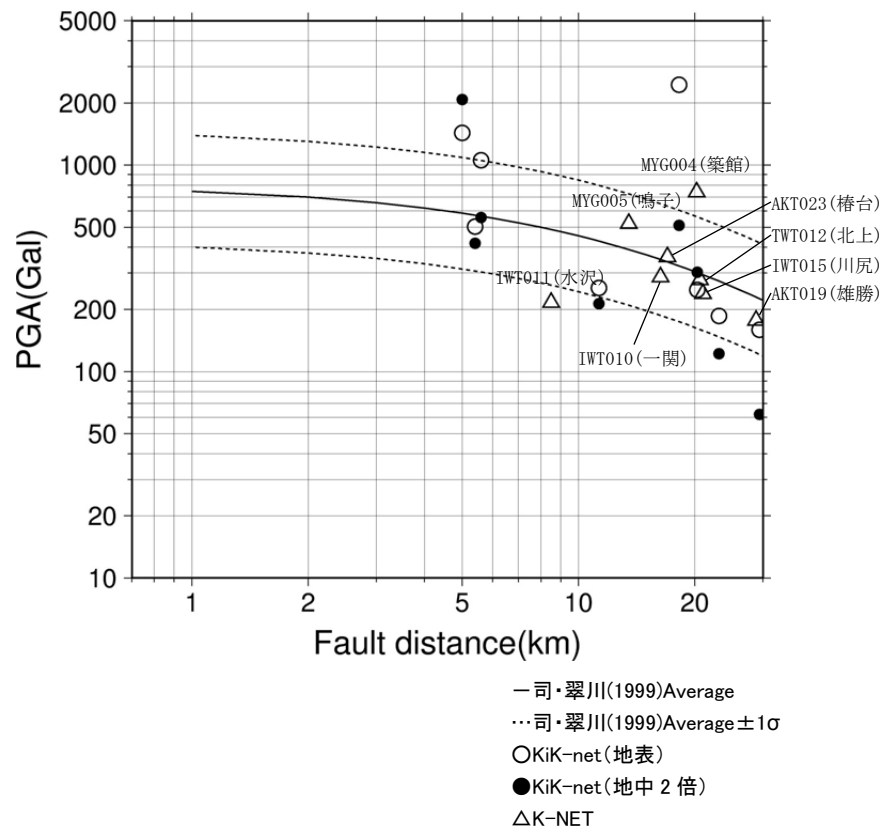
K-NET観測点の観測記録

- K-NET観測点のうち、MYG004(築館)は、司・翠川(1999)の距離減衰式の+1σを上回る。
- 一方で、IWT011(水沢)は、司・翠川(1999)の距離減衰式の-1σを下回る。

K-NETの最大加速度

観測点			断層最短距離 (km)	AVS30 (m/s)	最大加速度 (Gal)		
					水平 (NS)	水平 (EW)	鉛直 (UD)
K-NET (地表)	AKT019	雄勝	29	310	159	177	140
	AKT023	樺台	17	429	359	359	248
	IWT010	一関	16	668	219	287	210
	IWT011	水沢	9	250	151	216	213
	IWT012	北上	21	214	278	237	142
	IWT015	川尻	21	417	197	238	123
	MYG004	築館	20	430	740	678	224
	MYG005	鳴子	14	351	440	521	666

断層最短距離: Suzuki et al.(2010)による震源断層モデルに基づく

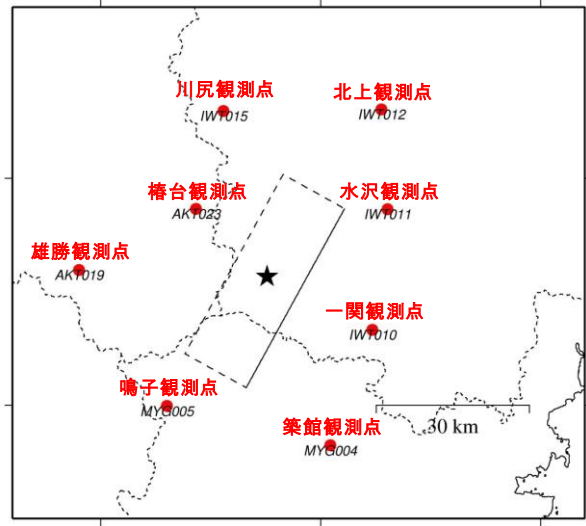
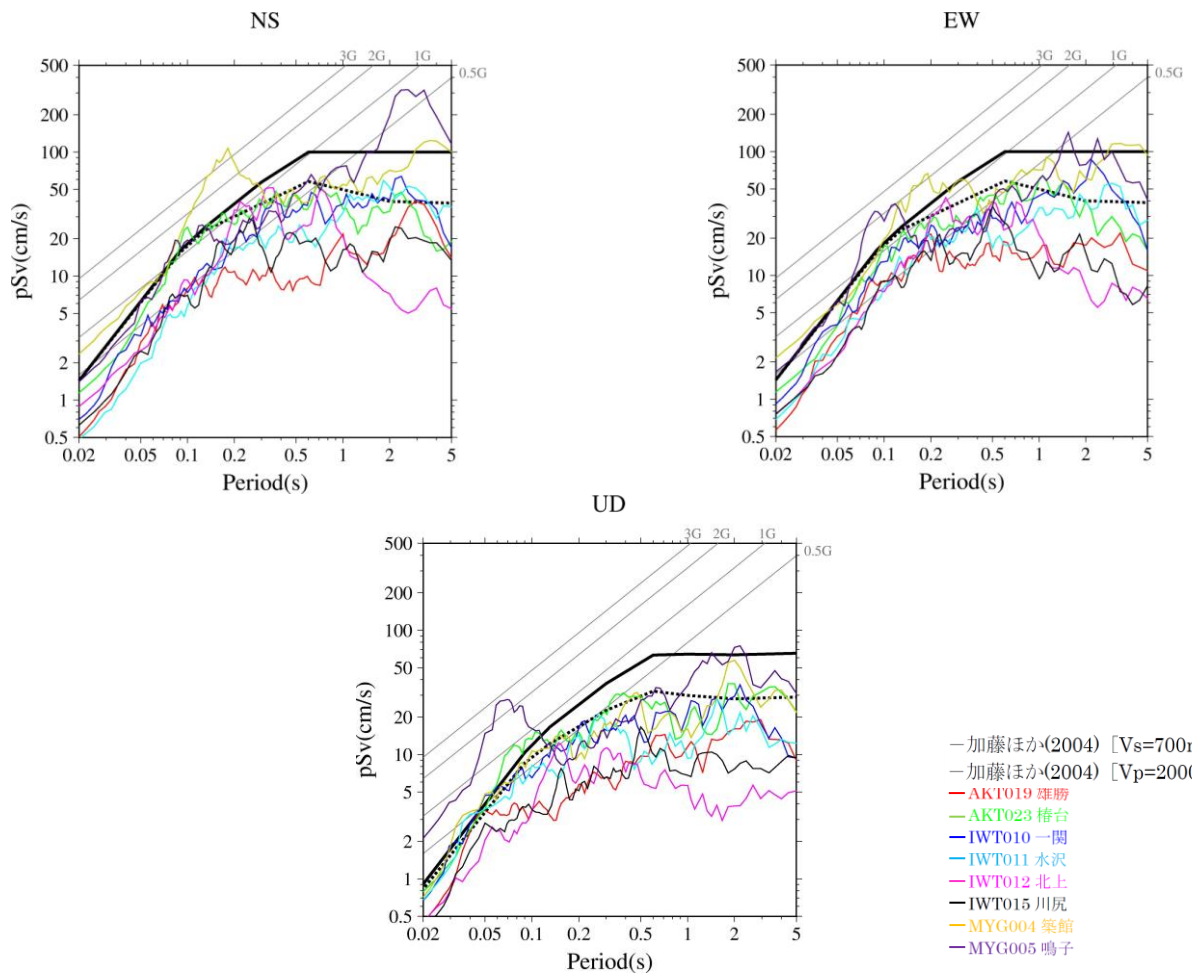


2. 地震観測記録の収集

一部加筆修正 (3/20審査会合資料)

K-NET観測記録と加藤ほか(2004)との比較

●K-NET観測記録では、AKT023(樺台), IWT010(一関), IWT011(水沢), MYG004(築館), MYG005(鳴子)が加藤ほか(2004)の応答スペクトルを一部の周期帯で上回る。



観測点位置図

- 加藤ほか(2004) [Vs=700m/s] ...加藤ほか(2004) [Vs=2200m/s]
- 加藤ほか(2004) [Vp=2000m/s] ...加藤ほか(2004) [Vp=4200m/s]
- AKT019 雄勝
- AKT023 樺台
- IWT010 一関
- IWT011 水沢
- IWT012 北上
- IWT015 川尻
- MYG004 築館
- MYG005 鳴子

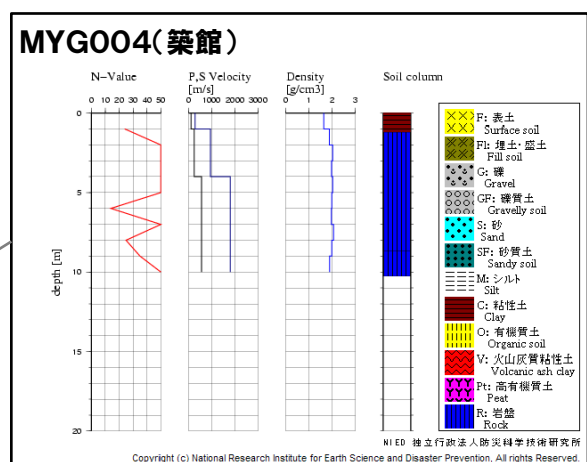
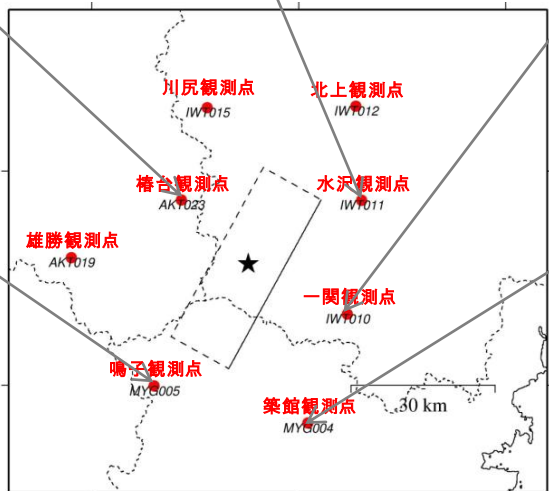
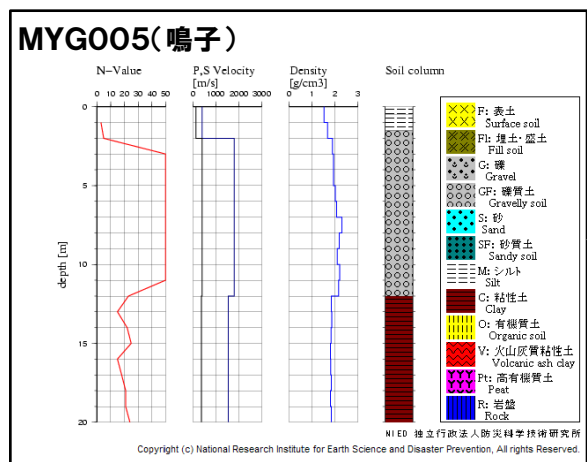
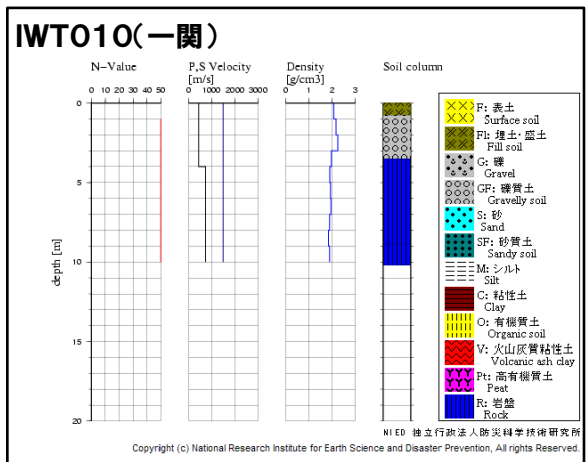
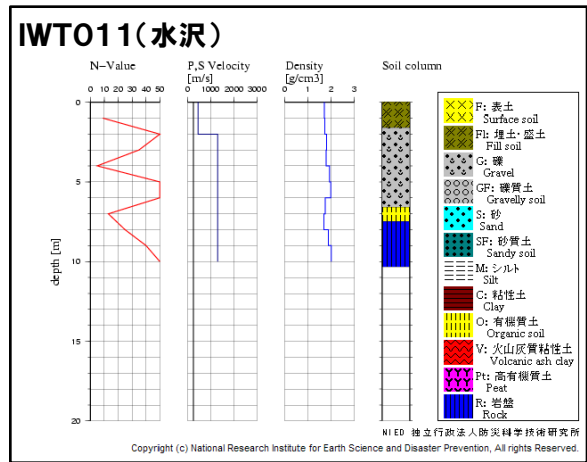
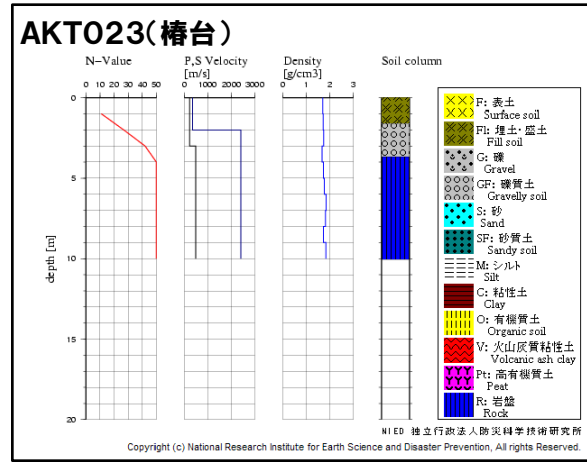
K-NET観測記録の応答スペクトルと加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較

2. 地震観測記録の収集

一部加筆修正 (3/20審査会合資料)

K-NET観測点の地質構造

- K-NET観測記録において、加藤ほか(2004)の応答スペクトルを上回る観測点のうちAVS30が500m/s以上と推定されるのは、IWT010(一関)である。
- なお、IWT010(一関)は、司・翠川(1999)の距離減衰式の $\pm 1\sigma$ の範囲内にある。



Copyright (c) National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, All rights Reserved.

2. 地震観測記録の収集

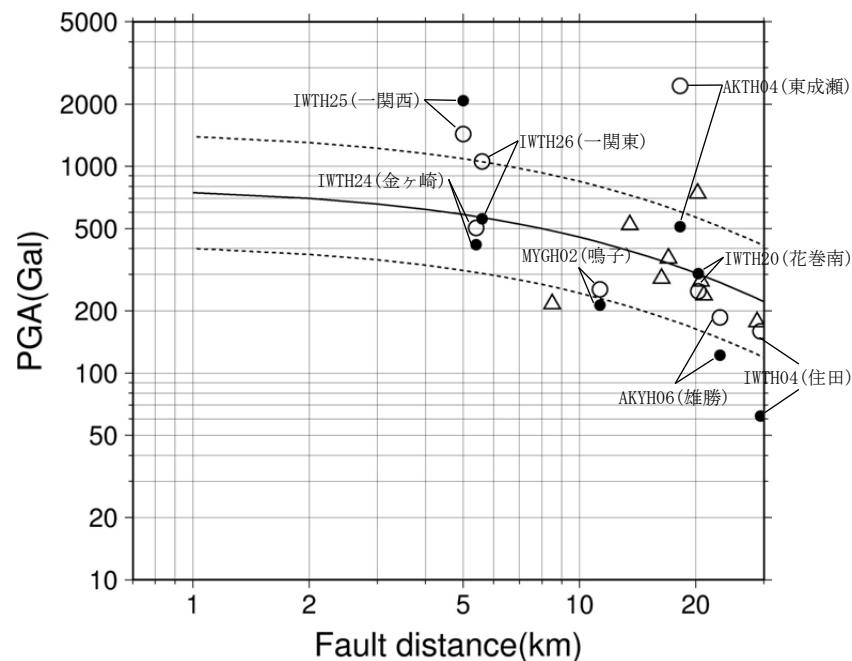
KiK-net観測点の観測記録

- KiK-net観測点のうち、AKTH04(東成瀬)およびIWTH25(一関西)は、司・翠川(1999)の距離減衰式の+1σを上回る。
- なお、IWTH25(一関西)は、地中記録の2倍も司・翠川(1999)の距離減衰式の+1σを上回る。また、AKTH06(雄勝)、IWTH04(住田)、MYGH02(鳴子)の地中記録の2倍は、司・翠川(1999)の距離減衰式の-1σを下回る。

KiK-netの最大加速度

観測点		断層最短距離 (km)	AVS30 (m/s)	最大加速度(Gal)			
				()内：地中記録			
				水平(NS)	水平(EW)	鉛直(UD)	
KiK-net (地表・ 地中)	AKTH04	東成瀬	18	459	1318 (173)	2449 (255)	1094 (138)
	AKTH06	雄勝	23	455	180 (42)	186 (61)	140 (47)
	IWTH04	住田	29	456	126 (31)	159 (28)	115 (24)
	IWTH20	花巻南	20	289	249 (107)	240 (151)	136 (68)
	IWTH24	金ヶ崎	5	486	503 (209)	435 (169)	342 (121)
	IWTH25	一関西	5	506	1143 (1036)	1433 (748)	3866 (681)
	IWTH26	一関東	6	371	888 (278)	1056 (211)	927 (167)
	MYGH02	鳴子	11	399	254 (106)	230 (96)	233 (54)

断層最短距離：Suzuki et al.(2010)による震源断層モデルに基づく



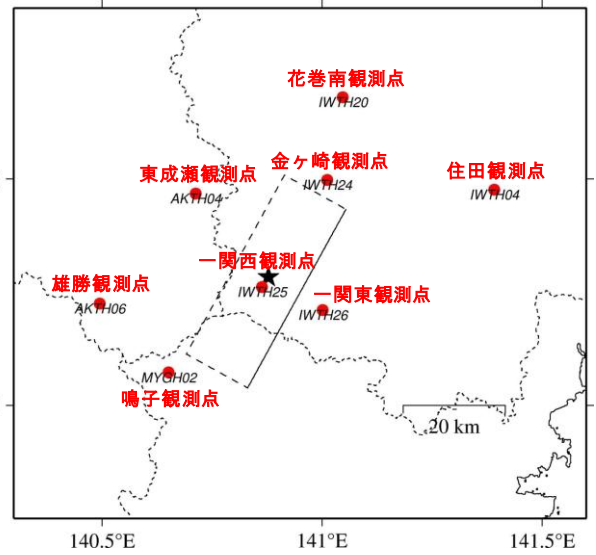
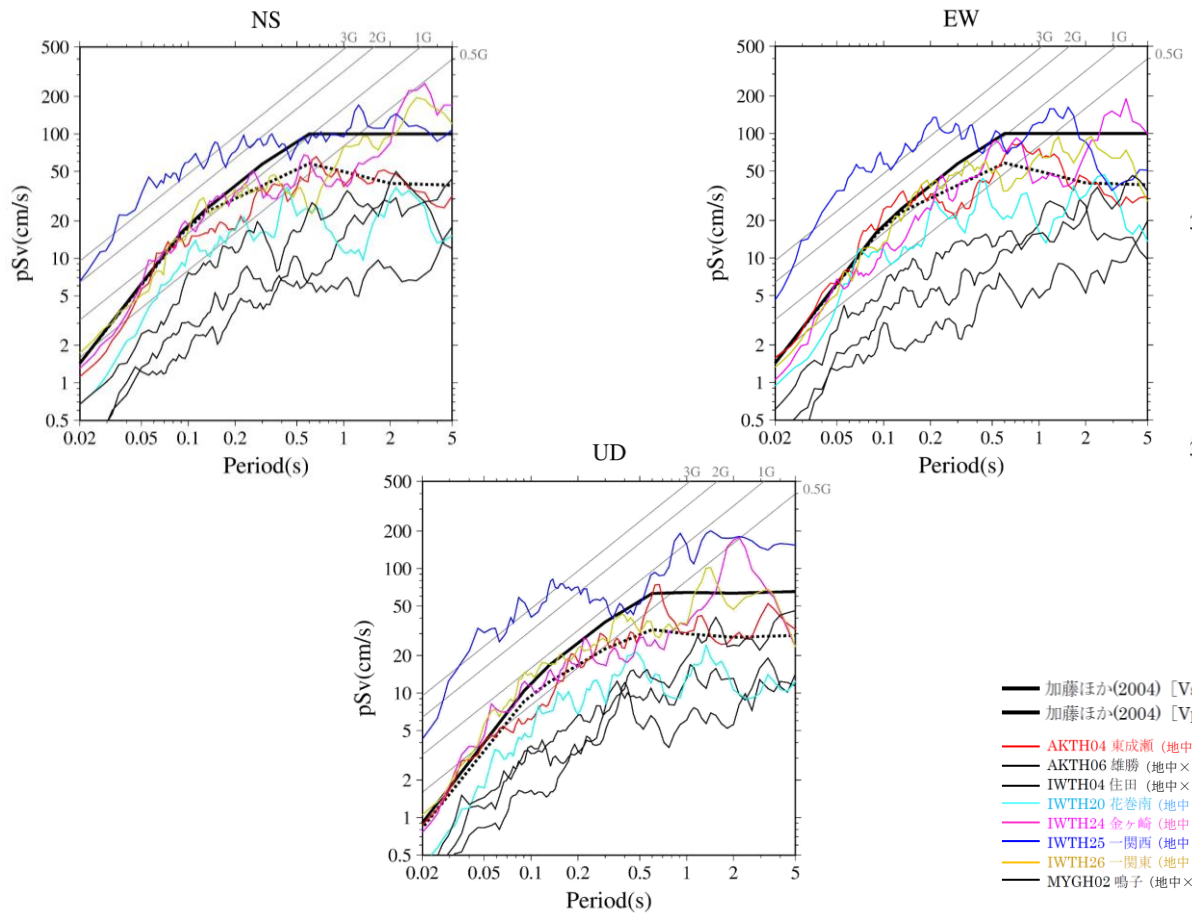
- 司・翠川(1999)Average
- 司・翠川(1999)Average ± 1σ
- KiK-net(地表)
- KiK-net(地中 2 倍)
- △ K-NET

2. 地震観測記録の収集

一部加筆修正 (3/20審査会合資料)

KiK-net観測記録と加藤ほか(2004)との比較

- KiK-net観測記録(地中記録の2倍)では, AKTH04(東成瀬), IWTH20(花巻南), IWTH24(金ヶ崎), IWTH25(一関西), IWTH26(一関東)が加藤ほか(2004)の応答スペクトルを一部の周期帯で上回る。
- なお, KiK-net観測記録(地中記録の2倍)について, IWTH25(一関西)が司・翠川(1999)の距離減衰式の $+1\sigma$ を上回り, AKTH04(東成瀬), IWTH20(花巻南), IWTH24(金ヶ崎), IWTH26(一関東)は, $\pm 1\sigma$ の範囲内にある。



観測点位置図

- 加藤ほか(2004) [$V_s=700\text{m/s}$] - - - 加藤ほか(2004) [$V_s=2200\text{m/s}$]
- 加藤ほか(2004) [$V_p=2000\text{m/s}$] - - - 加藤ほか(2004) [$V_p=4200\text{m/s}$]
- AKTH04 東成瀬 (地中×2)
- AKTH06 雄勝 (地中×2)
- IWTH04 住田 (地中×2)
- IWTH20 花巻南 (地中×2)
- IWTH24 金ヶ崎 (地中×2)
- IWTH25 一関西 (地中×2)
- IWTH26 一関東 (地中×2)
- MYGH02 鳴子 (地中×2)

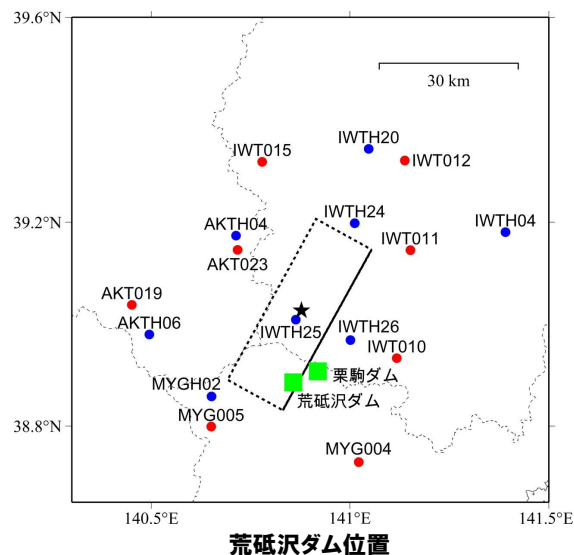
KiK-net観測記録の応答スペクトルと加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較

2. 地震観測記録の収集

再掲(3/20審査会合資料)

荒砥沢ダム概要

所在地	宮城県
事業者	宮城県土木部/東北農政局
水系名	北上川
河川名	二迫川
竣工年	1998年
ダム形式	ロックフィルダム
最低基礎面標高	EL. 205m
天端標高	EL. 279.4m
堤高	74.4m
堤長	413.7m



- ・ダム基礎地盤の地質年代: 新第三紀中新世
- ・基礎岩盤: 頁岩, 凝灰岩互層および安山岩の進入

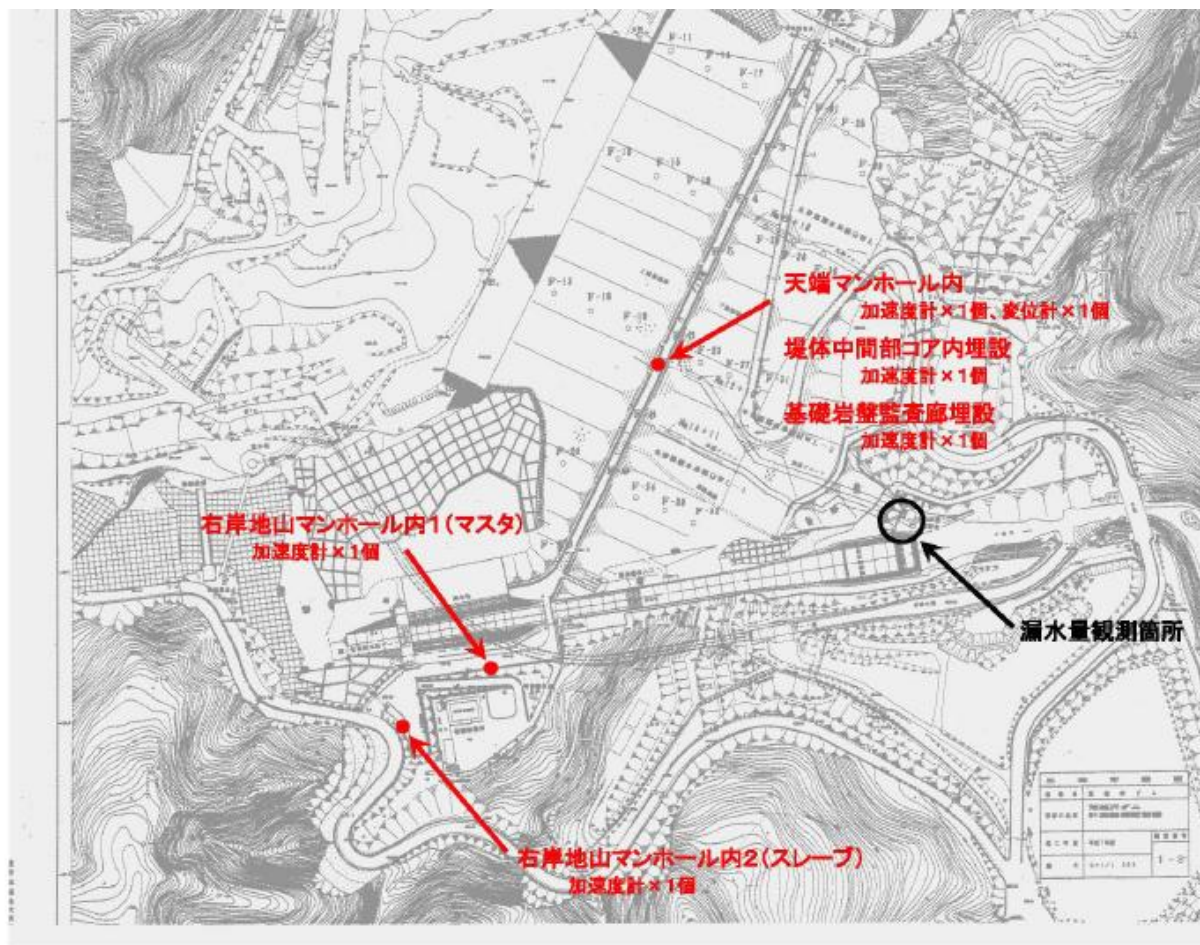
荒砥沢ダムの地盤(国総研資料 第733号「国土交通省所轄ダムの地震動計測装置」)

- ・基礎岩盤位置の岩級区分 CH~B級
- ・P波速度 EL.205m~200m $V_p=2.5\sim 3.2\text{km/s}$

2. 地震観測記録の収集

再掲(3/20審査会合資料)

荒砥沢ダム 地山の概要および地震観測位置



※宮城県より受領した図面に加筆

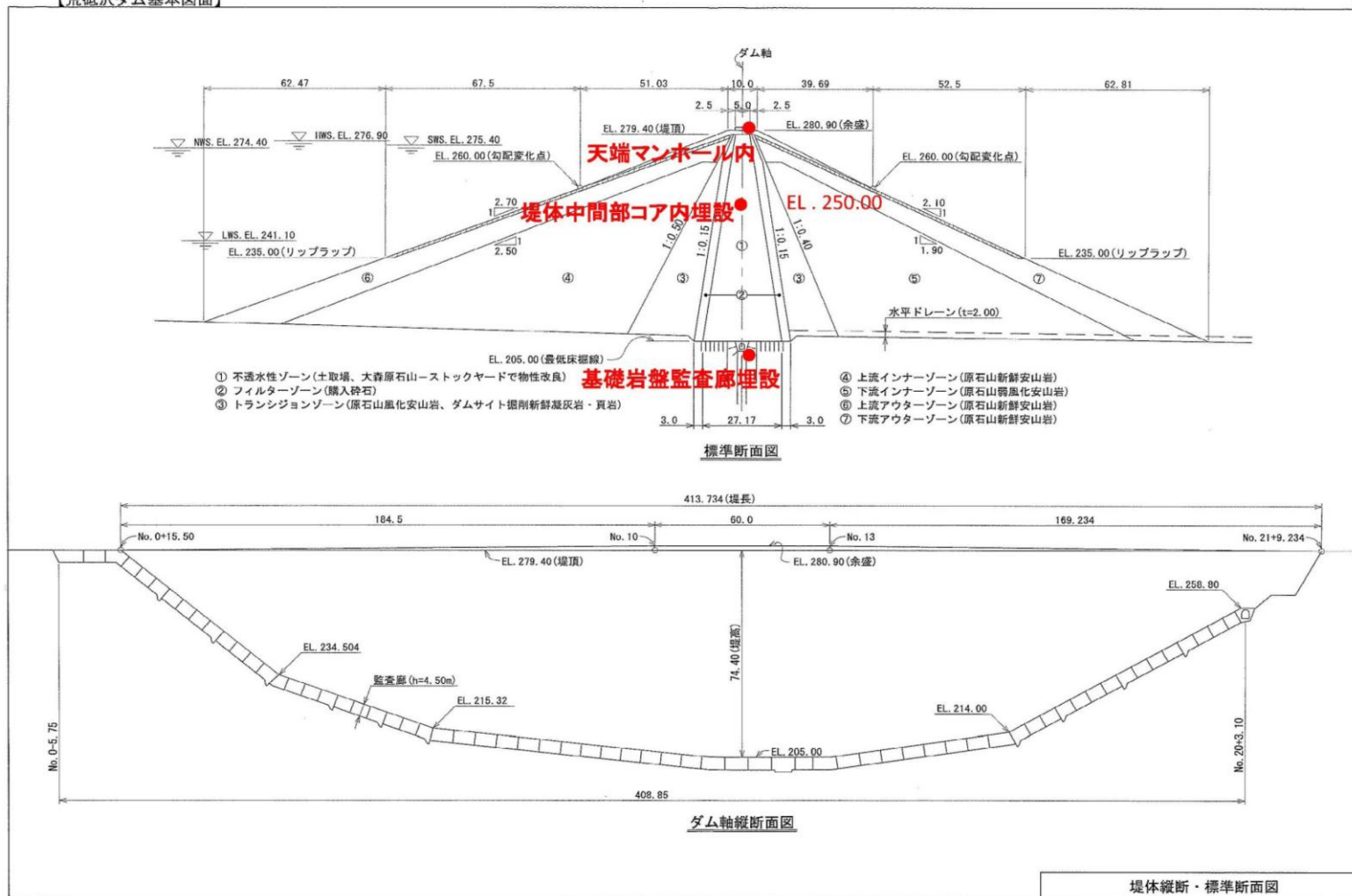
2. 地震観測記録の収集

再掲(3/20審査会合資料)

荒砥沢ダム構造および地震観測位置

【荒砥沢ダム基本図面】

①-2



ダム形式: 中央コア型ロックフィルダム

堤頂長: 413.7m

堤高: 74.4m

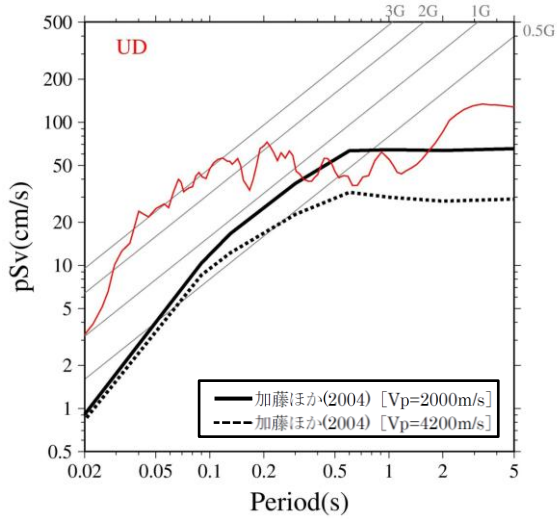
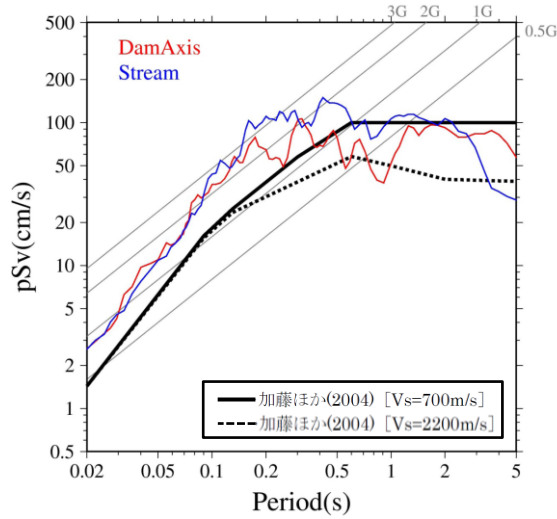
※宮城県より受領した図面に加筆

2. 地震観測記録の収集

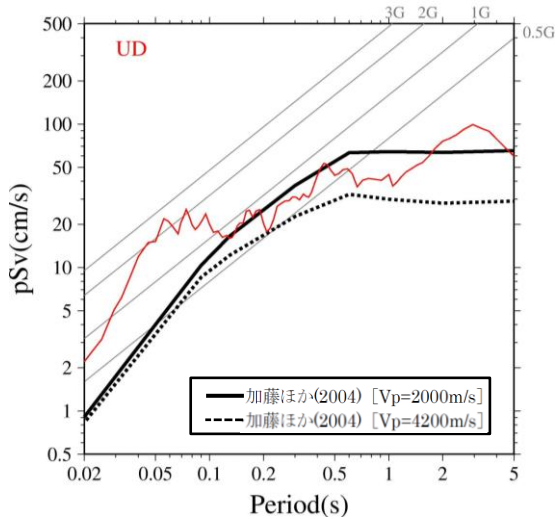
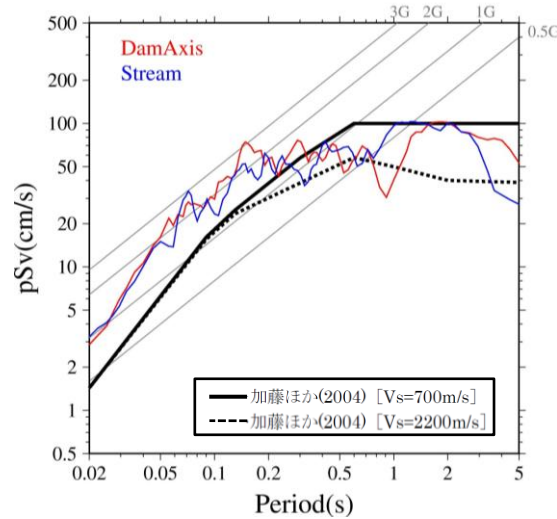
再掲 (3/20審査会合資料)

荒砥沢ダム の観測記録

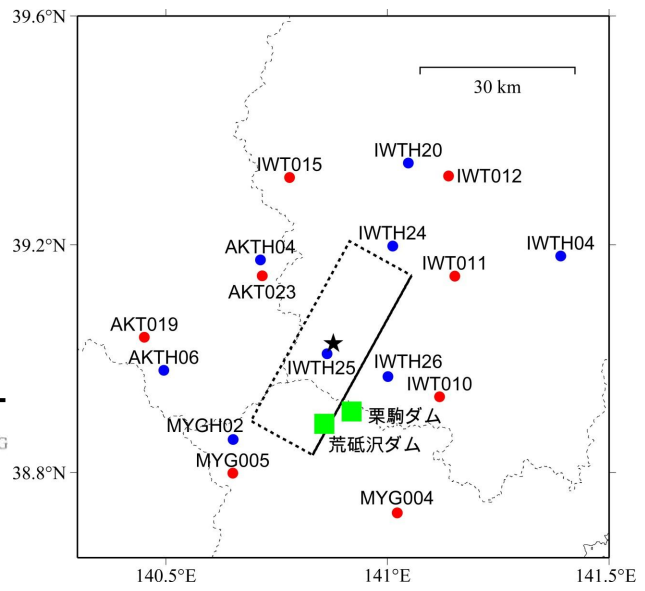
● 荒砥沢ダムの観測点では、加藤ほか(2004)の応答スペクトルを一部の周期帯で上回る。



荒砥沢ダム [右岸地山] 観測点による応答スペクトルと加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較



荒砥沢ダム [監査廊] 観測点による応答スペクトルと加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較



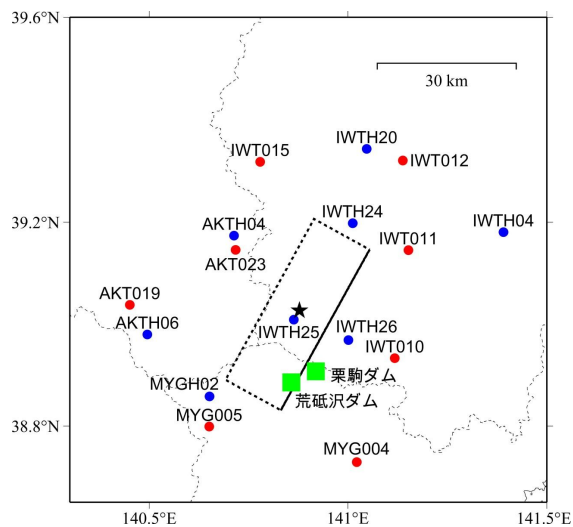
荒砥沢ダム位置

2. 地震観測記録の収集

再掲 (3/20審査会合資料)

栗駒ダムの概要

所在地	宮城県
水系名	北上川
河川名	迫川支川三迫川
竣工年	1961年
ダム形式	重力式コンクリートダム
堤高	57.2m
堤長	182.0m

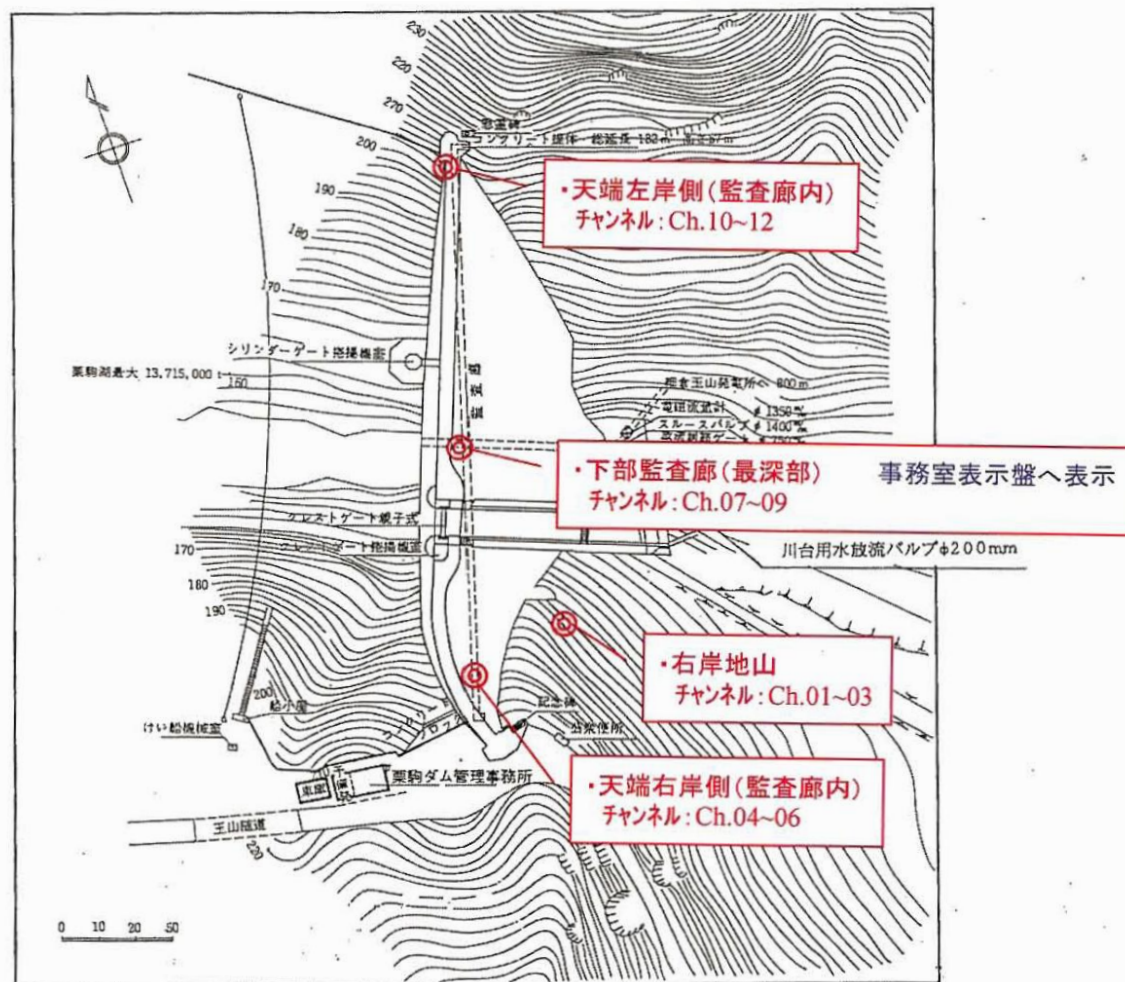


栗駒ダム位置

2. 地震観測記録の収集

再掲(3/20審査会合資料)

栗駒ダム 地山の概要および地震観測位置



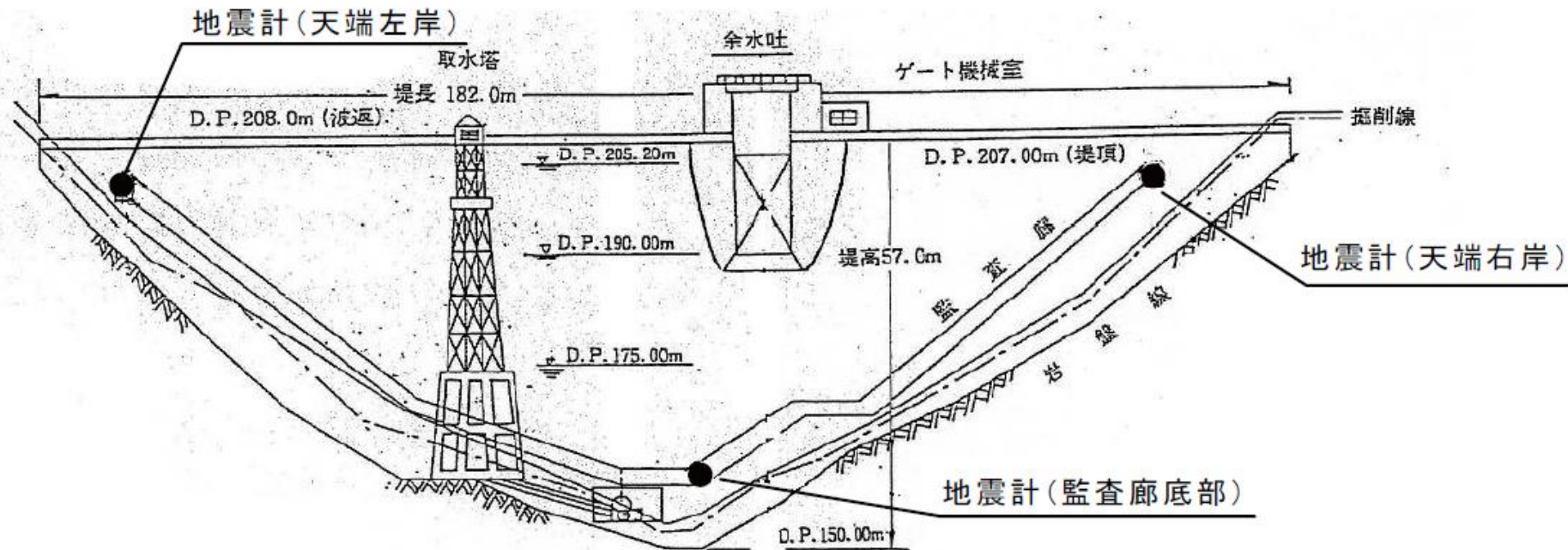
※宮城県より受領した図面に加筆

正面図

2. 地震観測記録の収集

再掲(3/20審査会合資料)

栗駒ダムの構造および地震観測位置



※宮城県より受領した図面に加筆

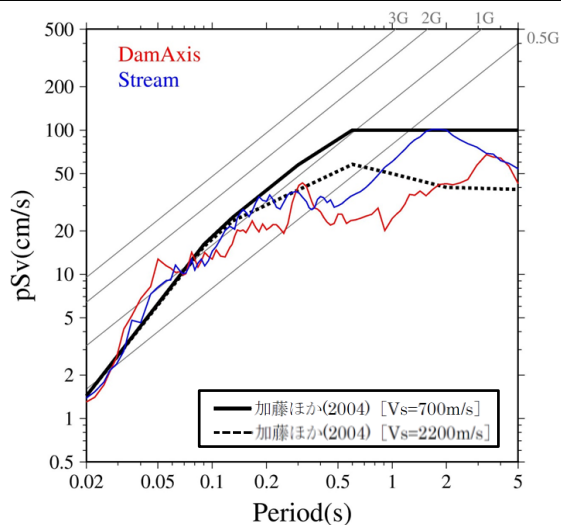
ダム形式: 重力式コンクリートダム
 堤頂長: 182.0m
 堤高: 57.2m

2. 地震観測記録の収集

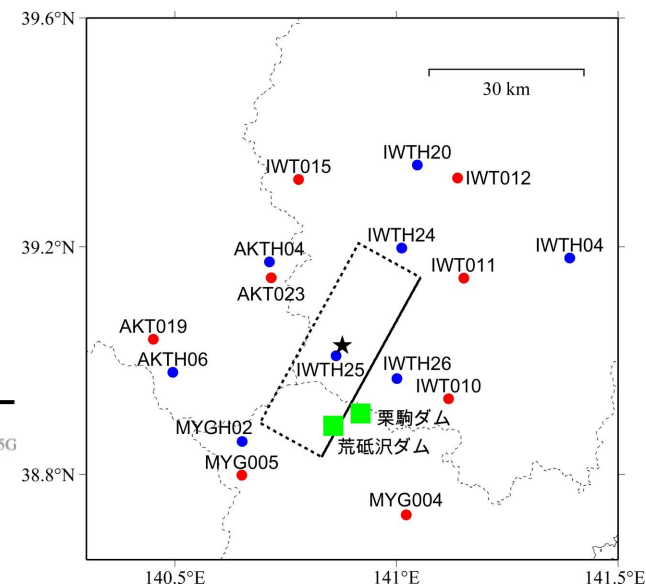
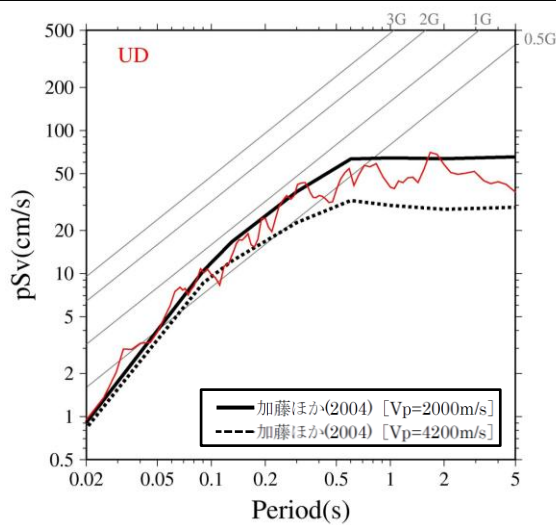
一部加筆修正 (3/20審査会合資料)

栗駒ダムの観測記録

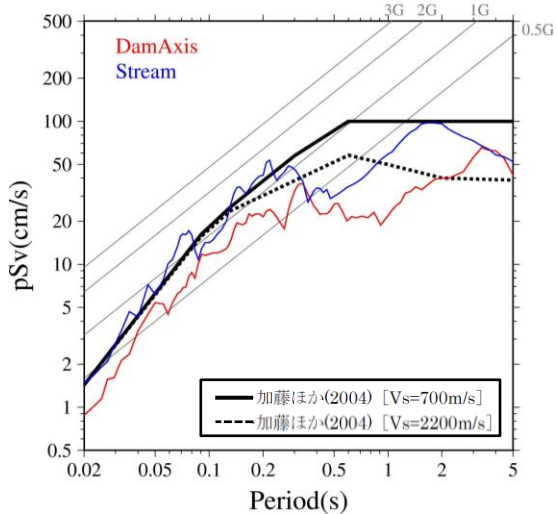
● 栗駒ダムの観測点では、加藤ほか(2004)の応答スペクトルを一部の周期帯で上回る。



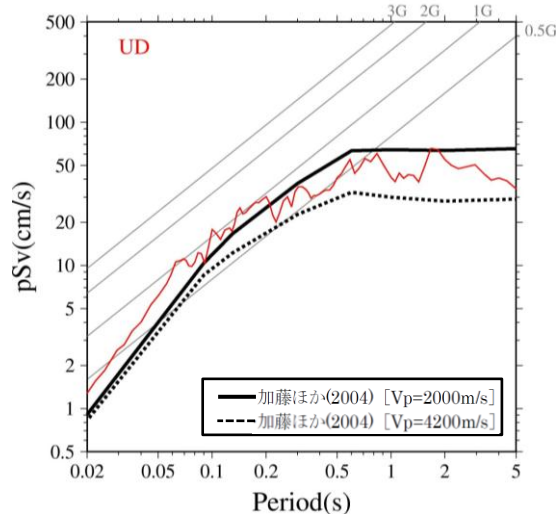
栗駒ダム [右岸地山] 観測点による応答スペクトルと加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較



栗駒ダム位置



栗駒ダム [監査廊] 観測点による応答スペクトルと加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較

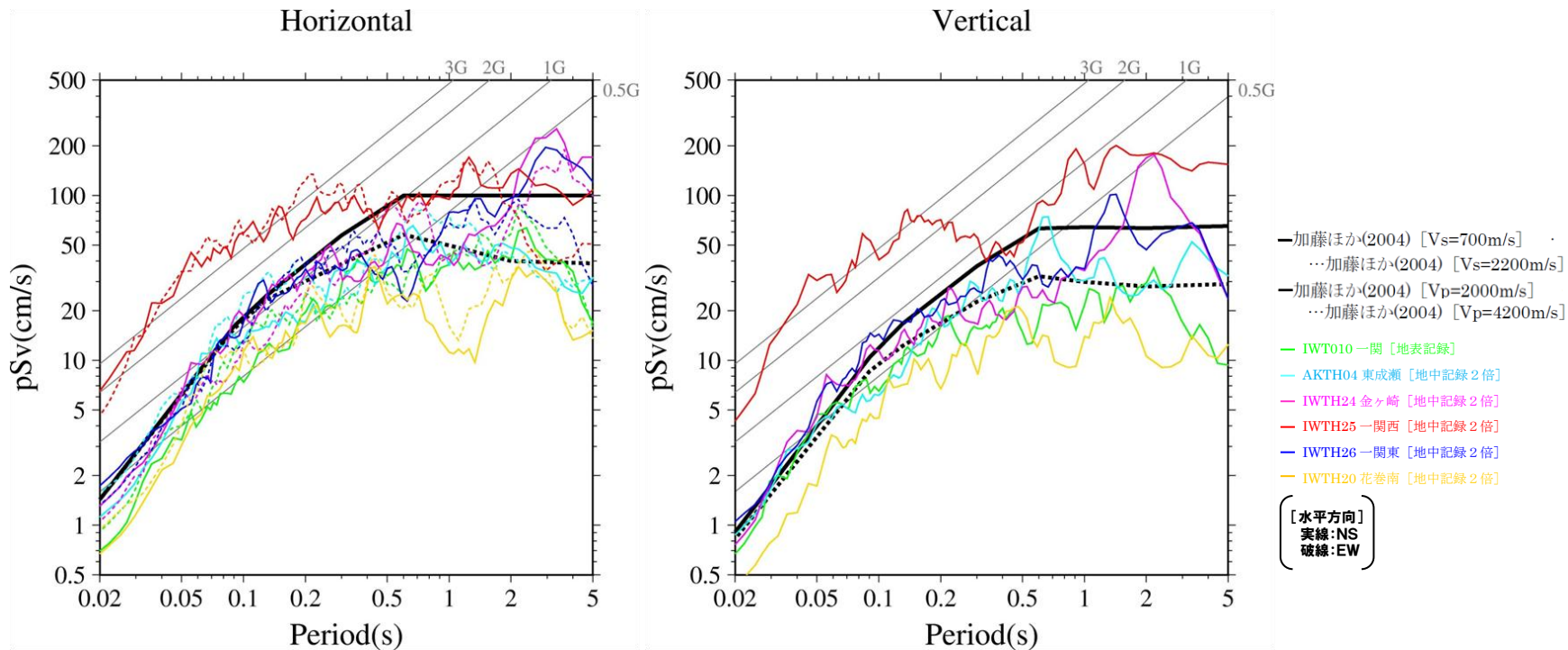


2. 地震観測記録の収集

再掲(3/20審査会合資料)

まとめ

●抽出された観測記録の応答スペクトルと加藤ほか(2004)の応答スペクトルについて比較する。

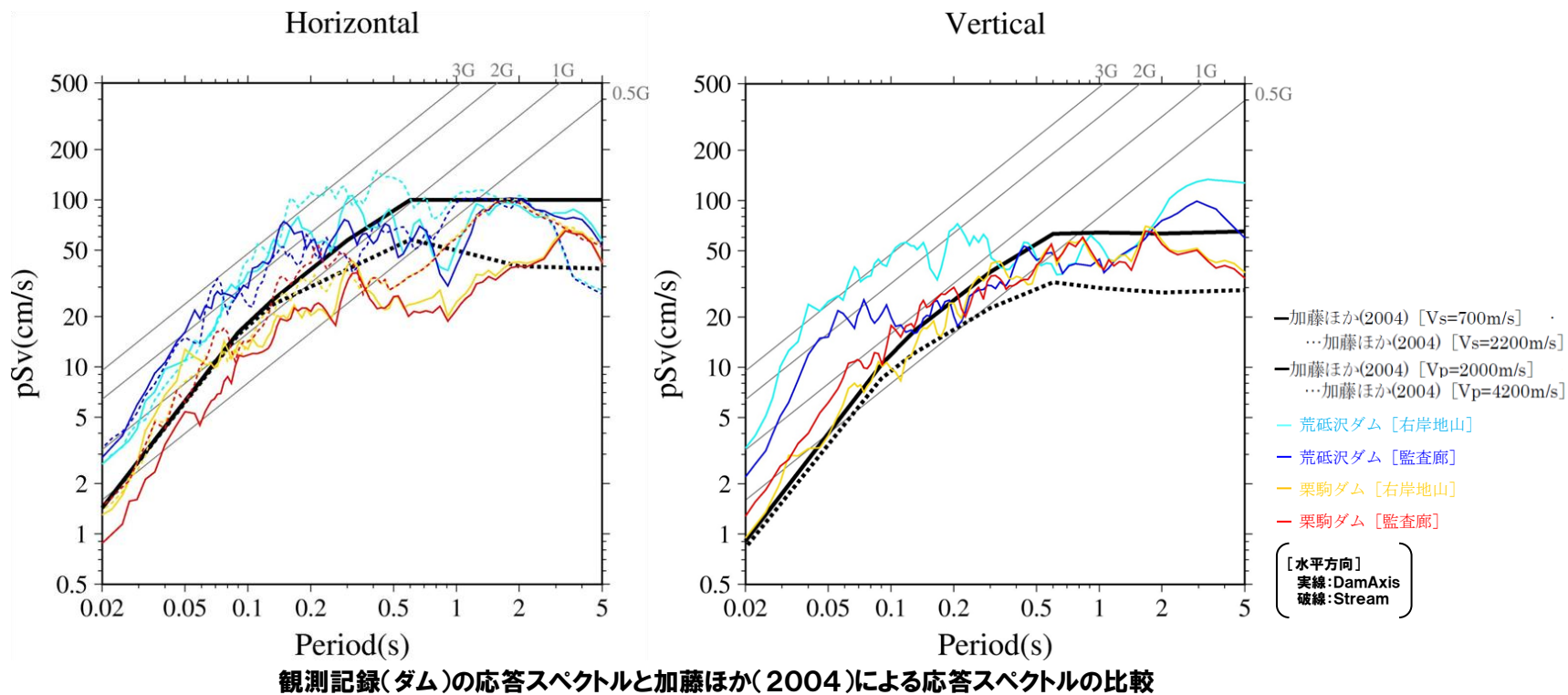


観測記録(K-NETおよびKiK-net)の応答スペクトルと加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較

2. 地震観測記録の収集

再掲(3/20審査会合資料)

まとめ

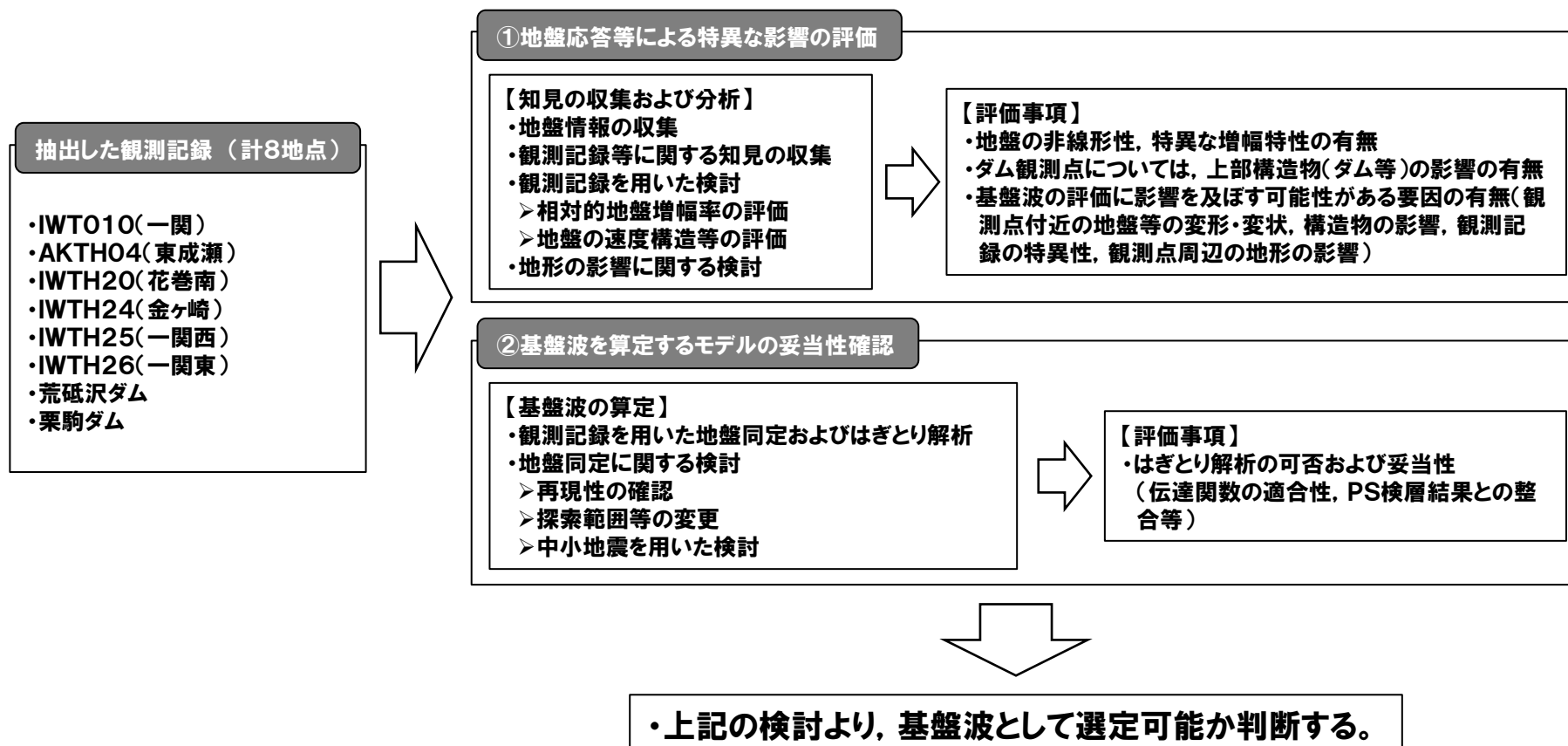


●IWTO10(一関), AKTH04(東成瀬), IWTH20(花巻南), IWTH24(金ヶ崎), IWTH25(一関西), IWTH26(一関東), 荒砥沢ダム, 栗駒ダムの観測記録は, 加藤ほか(2004)の応答スペクトルを一部の周期帯で上回る。

3. 地震観測記録の分析・評価

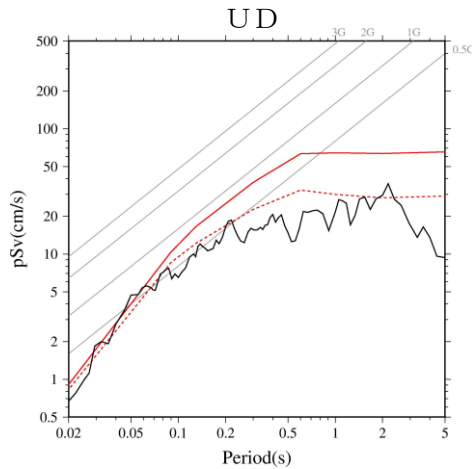
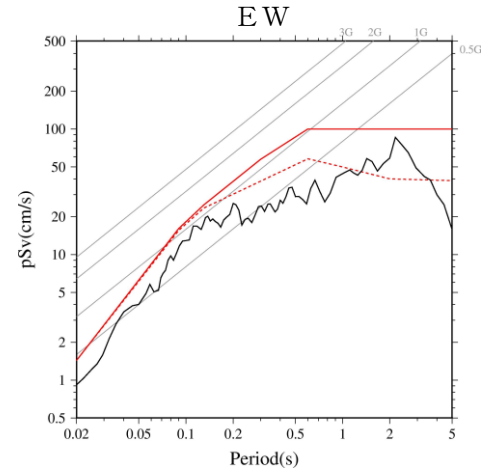
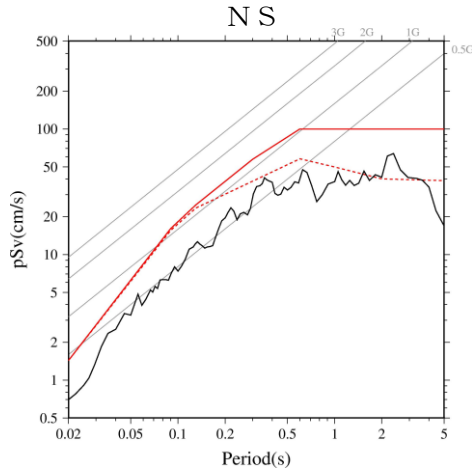
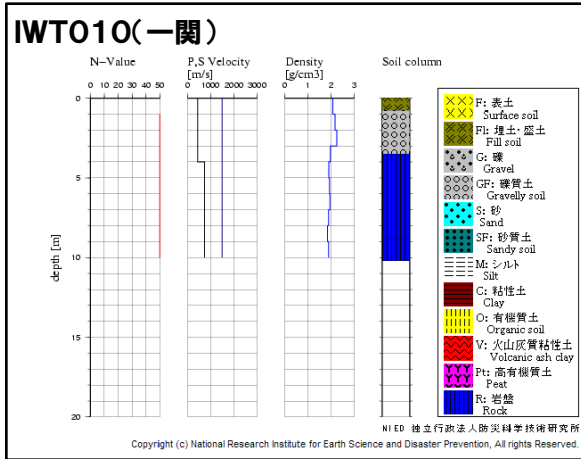
3. 地震観測記録の分析・評価

- 前項の観測記録の収集において、敷地に及ぼす影響が大きいと考えられるものとして抽出した観測記録について、以下の観点で記録の分析・評価を実施する。
 - ・地盤応答等による特異な影響の評価(地盤情報の収集, 各種知見の収集・整理, 相対的地盤増幅率の評価, 地質および速度構造に関する検討, 地形の影響に関する検討)
 - ・基盤波を算定するモデルの妥当性確認(観測記録を用いた地盤同定およびはぎとり解析, 地盤同定に関する検討(再現性の確認, 探索範囲等の変更, 中小地震を用いた検討))

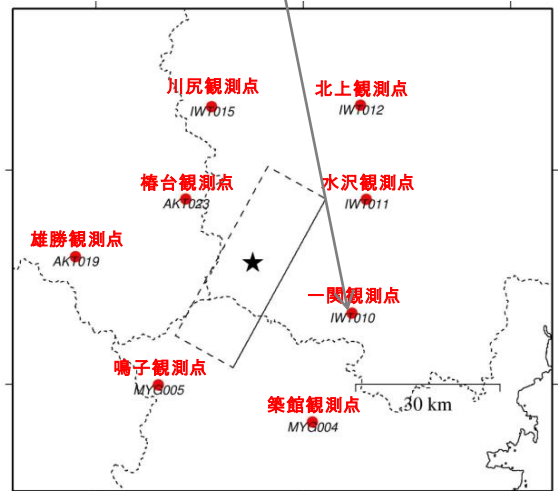


K-NET観測点に関する検討

●K-NET観測点のうち、加藤ほか(2004)の応答スペクトルを上回る観測記録(IWT010(一関))について、地盤情報を収集整理し、基盤地震動としての評価を実施する。



— IWT010一関
 - 加藤ほか(2004) [Vs=700m/s] ... 加藤ほか(2004) [Vs=2200m/s]
 - 加藤ほか(2004) [Vp=2000m/s] ... 加藤ほか(2004) [Vp=4200m/s]



●IWT010(一関)は、表層のVsは430m/sであるが、深さ4mでVs=730m/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。

3.2 KiK-net—関西観測点

一部加筆修正 (3/20審査会合資料)

KiK-net—関西観測点に関する既往の知見 (Aoi et al. (2008))

- 上向きの地震動の振幅が下向きの2倍以上も大きい上下非対称な地震動は、線形・非線形の波動伝播理論では説明できず、トランポリン上で跳ねている物体の運動に類似していることから、トランポリンモデルを提唱している。
- 弾性的な振る舞いと粒状的な振る舞いの中間的振る舞い(トランポリンモデル)による模擬波形は、一関西観測点(KiK-net)で観測された非常に大きな加速度波形の性質をよく再現していると評価。

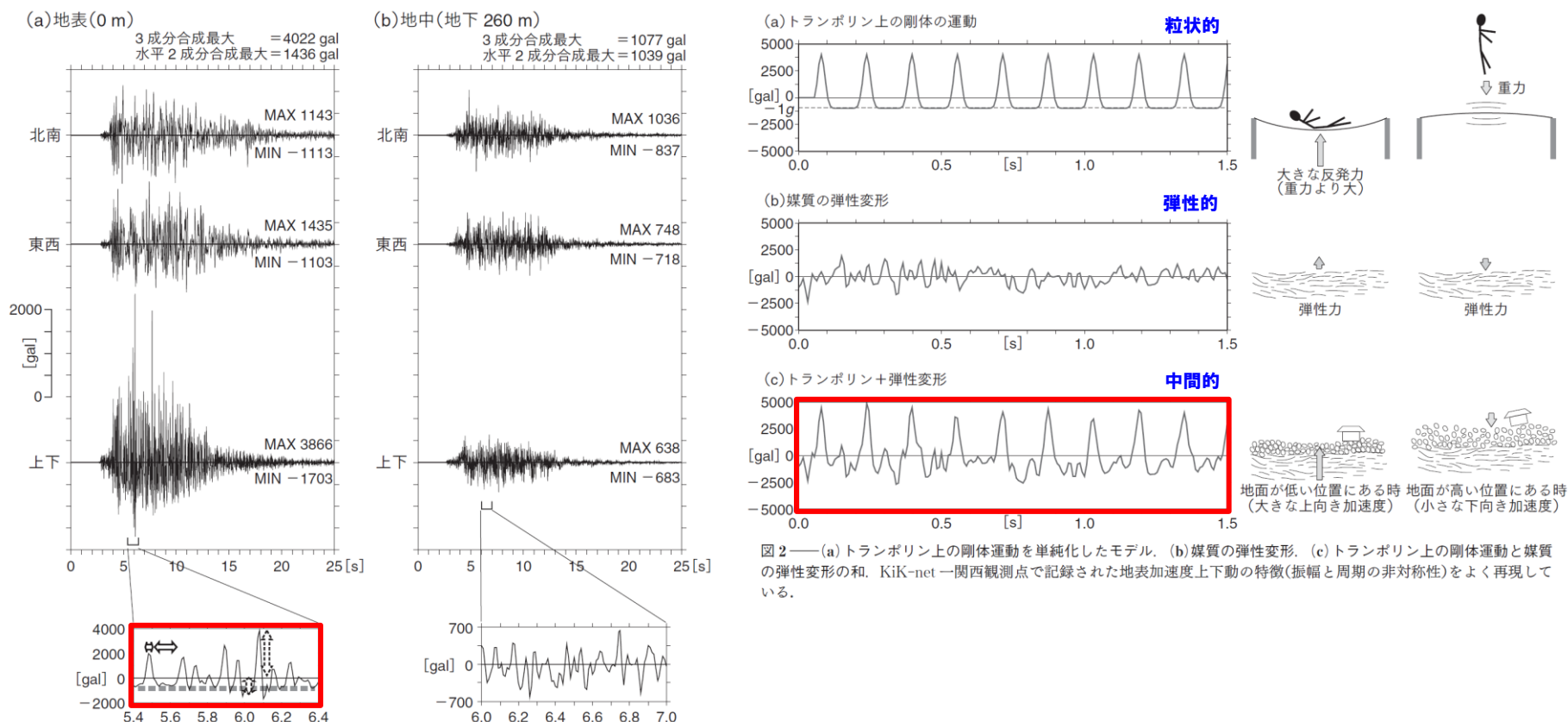


図1 — KiK-net 一関西観測点で記録された加速度記録(左は地表, 右は地中-260 m)。波形右側に示した MAX, MIN はそれぞれプラス(北, 東, 上)方向, マイナス(南, 西, 下)方向の最大加速度(gal)。最下段は, 下動に関し, 最大値を含む1秒間の波形の拡大図。地表の拡大図中の矢印は振幅(点線)と周期(実線)の非対称性を, 太点線は $-1g$ の頭打ちを示す。

KiK-net—関西観測点に関する既往の知見 (大町ほか(2011))

- 一関西観測点で観測された極めて大きな強震記録(上下動)は、強大な地震動入力によって地震観測小屋がロッキング振動で浮き上がり、地面と再接触した際の衝撃力の影響が強く反映している可能性が高いことを指摘している。
- 観測小屋が基礎の浮き上がりを伴うロッキング応答をする時、基礎と地面と再接触する際の衝撃力で、上向きのパルス状大加速度が発生することを振動台実験と数値解析で確認。
- 2次元FEMを用いて、観測小屋の浮き上がりと地盤との接触を含む非線形解析を行い、地表記録と類似した地震応答解析結果が得られたとしている。

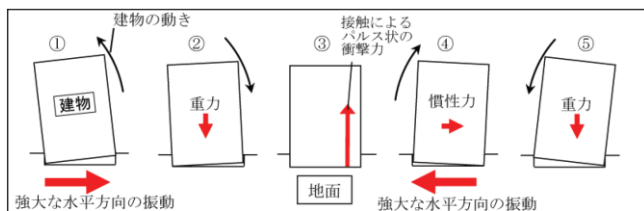
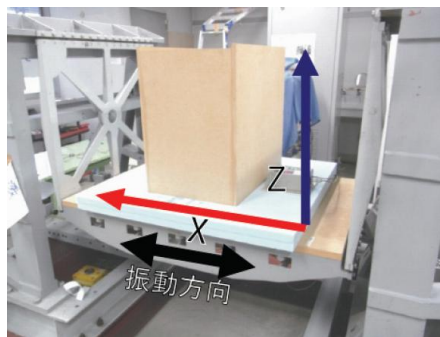


図8 強大な水平入力地震動による浮き上がりを伴うロッキング振動の模式図

ロッキング振動模式図



振動台実験 模型図と応答加速度結果

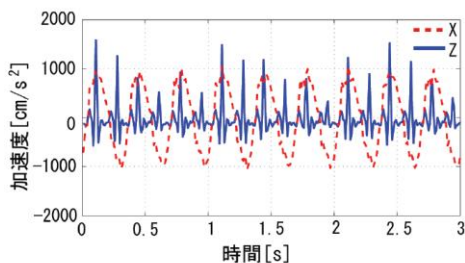


図10 最大加速度900gal入力時の水平方向(X)と上下方向(Z)の応答加速度

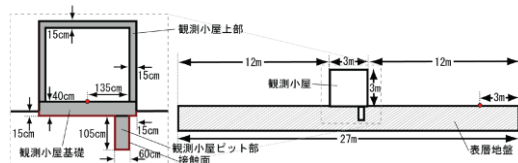


図16 有限要素モデル概要図

表2 有限要素解析モデルの物性値

	密度 (t/m³)	ポアソン比	ヤング率 (GPa)	粘着力	摩擦係数
観測小屋上部	0.85	0.20	6.8	-	-
観測小屋基礎	2.4	0.20	22	-	-
観測小屋ビット部	0.50	0.20	1.9	-	-
表面地盤	1.6	0.33	0.51	-	-
接触面	-	-	-	0	0.50

有限要素解析モデル概要図, モデル物性値

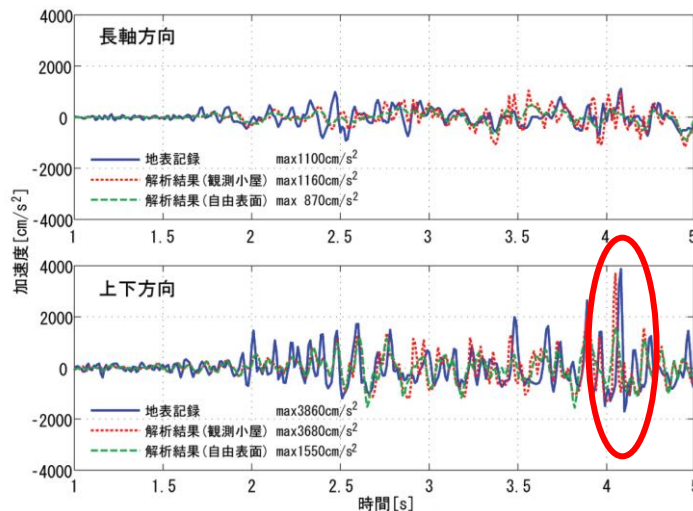


図17 本震の強震時加速度時刻歴の比較

3.2 KiK-net—関西観測点

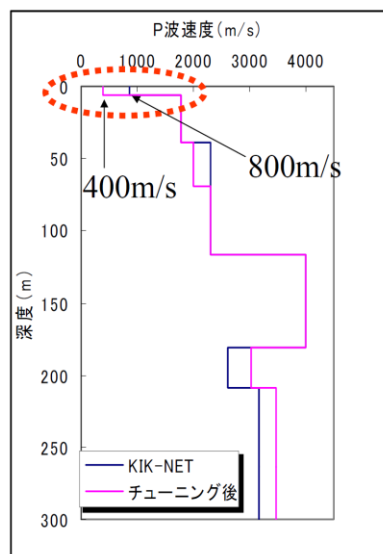
一部加筆修正 (3/20審査会合資料)

KiK-net—関西観測点に関する既往の知見 (入倉・倉橋(2008))

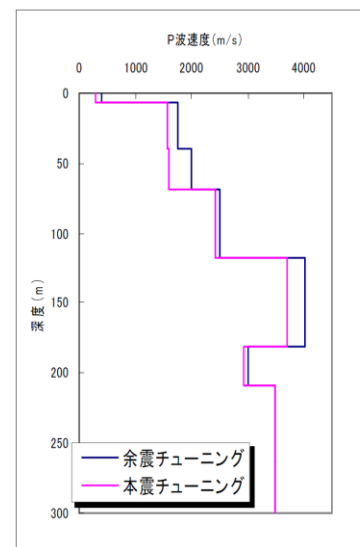
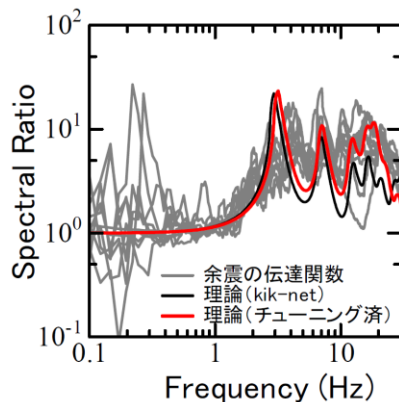
- KiK-netボーリングデータによる理論伝達関数は、観測記録から推定される伝達関数と比較して、高周波帯域で過小評価と考えられるため、余震記録および本震記録を用いて地盤構造を再評価。
- 再評価した地盤モデルから計算された理論伝達関数を用いて、地中記録から地表波形を再現すると観測記録にほぼ対応することを指摘。
- 但し、このモデルでは、観測記録に見られる上下動の非対称性は説明できず、別の要因(トランポリン効果など)を考える必要があるとしている。

主な地盤構造の変更点

第一層のP波速度

850m/s → 400m/s に変更により
高周波の振幅を大きくする。

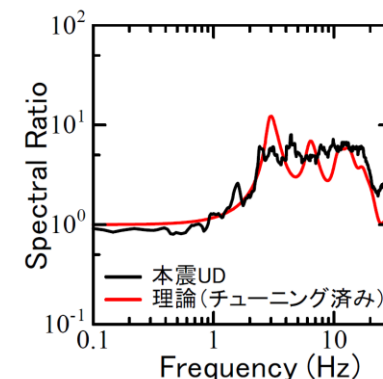
余震記録を考慮した地盤構造の再評価



本震記録を考慮した地盤構造の再評価

振幅を下げるために、Q値を劇的に小さくしている。

各層 Q=10程度



3.2 KiK-net—関西観測点

再掲(3/20審査会合資料)

●岩手・宮城内陸地震については、IWTH25(一関西)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IWTH25(一関西)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、IWTH25(一関西)[地中]の観測記録を用いる。

※ IWTH25(一関西)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)

$Sa_1(T)$: KiK-net一関西[地中](IWTH25)

$Sa_2(T)$: 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

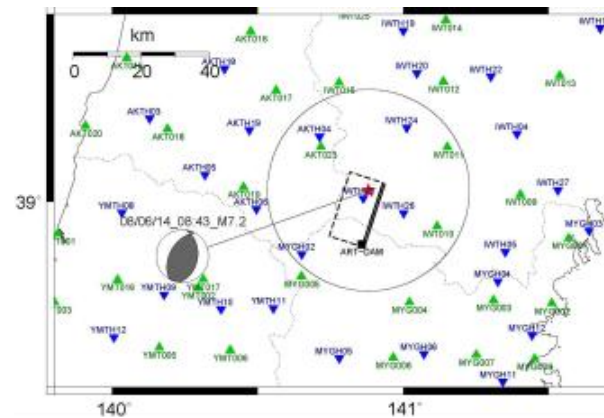
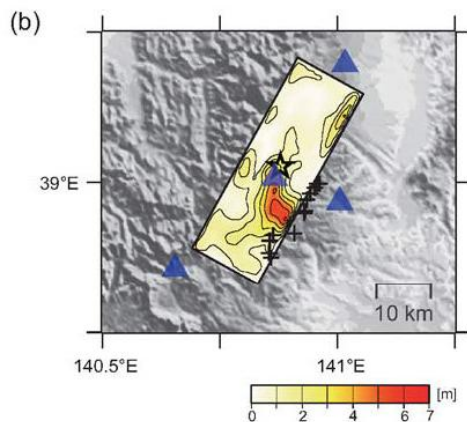
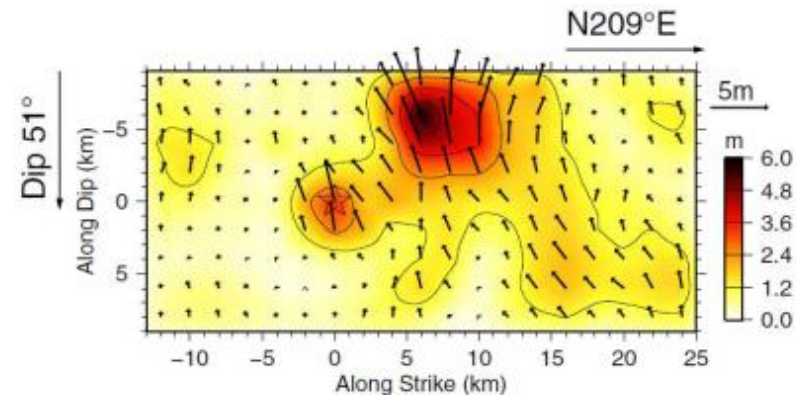
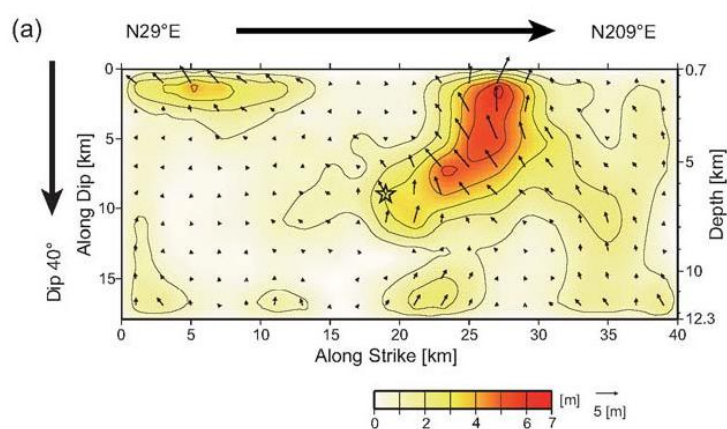
X_2 : Sa_2 の震源距離

3.2 KiK-net—関西観測点

再掲 (3/20審査会合資料)

岩手・宮城内陸地震本震のアスペリティ位置に関する知見

- 2008年岩手・宮城内陸地震は、震源領域の中心～南側に主なアスペリティがあるとされている。



(1) Suzuki et al. (2010)

(2) Asano and Iwata (2011)

3.2 KiK-net—関西観測点

再掲(3/20審査会合資料)

検討対象地震

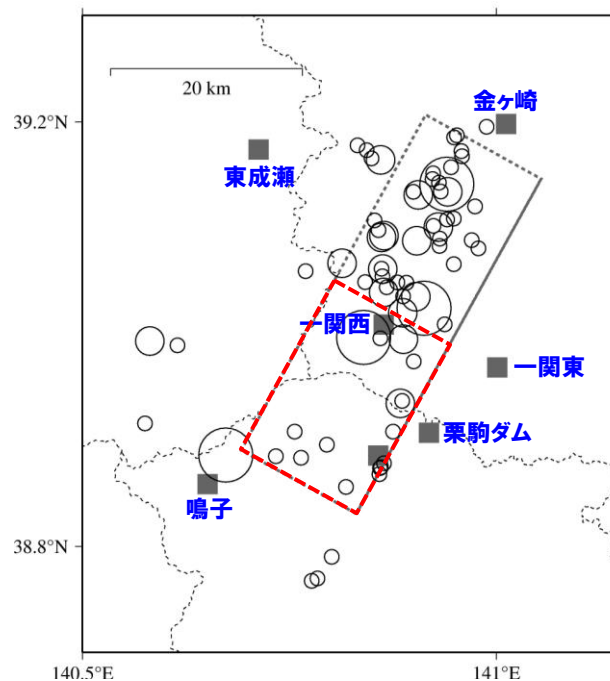
●以下の条件に基づき、検討地震を選定する。

- ・IWTH25(一関西)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。

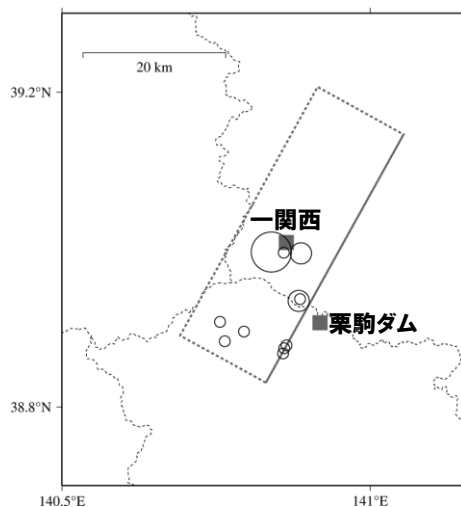
○: $4.0 \leq M < 4.5$ ○: $4.5 \leq M < 5.0$ ○: $5.0 \leq M$

3.2 KiK-net—関西観測点

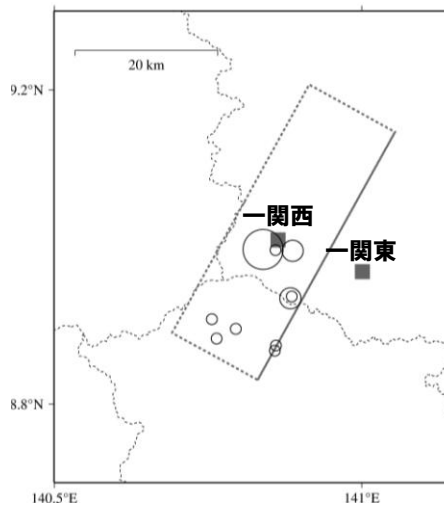
再掲(3/20審査会合資料)

IWTH25(一関西)を対象とした相対的地盤増幅率

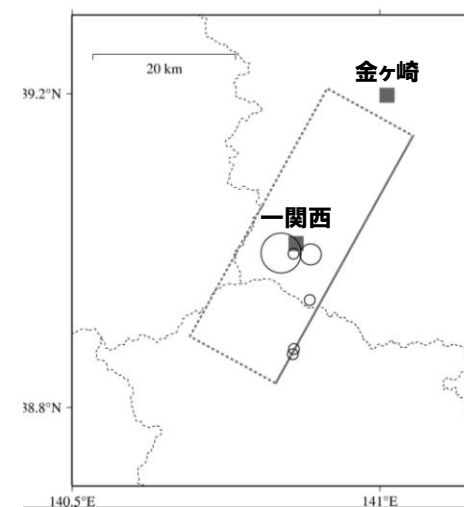
● 震源近傍に位置する5地点を基準としたIWTH25(一関西)の相対的地盤増幅率を評価する。



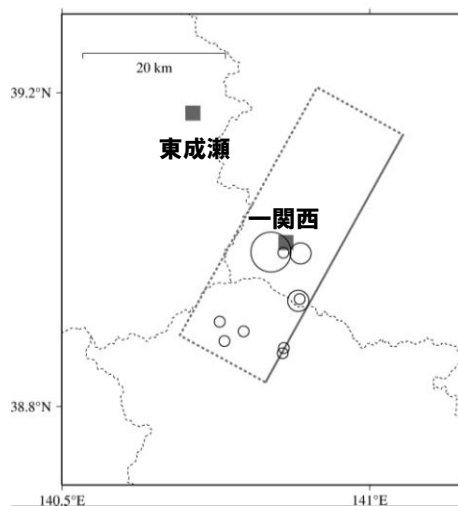
IWTH25(一関西)/栗駒ダム[地山]



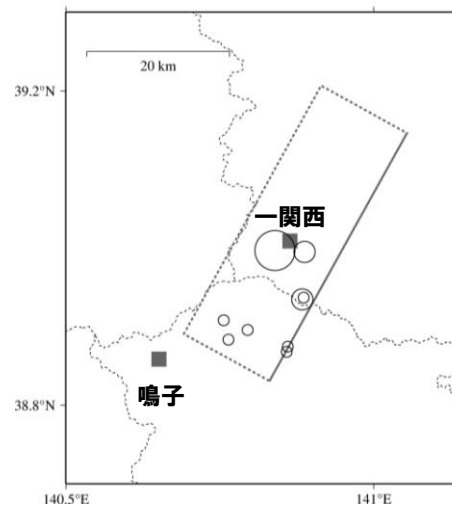
IWTH25(一関西)/KiK-net一関東



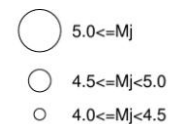
IWTH25(一関西)/KiK-net金ヶ崎



IWTH25(一関西)/KiK-net東成瀬



IWTH25(一関西)/KiK-net鳴子



3.2 KiK-net—関西観測点

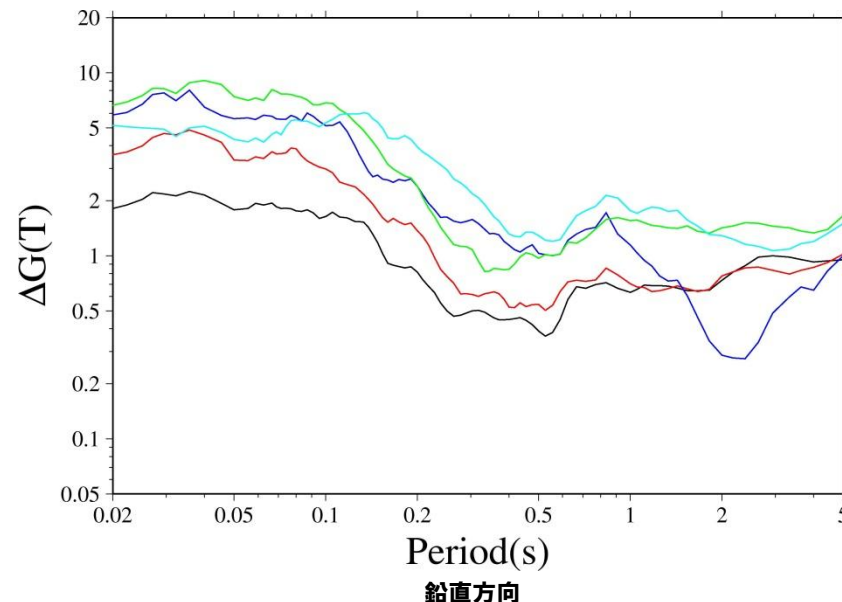
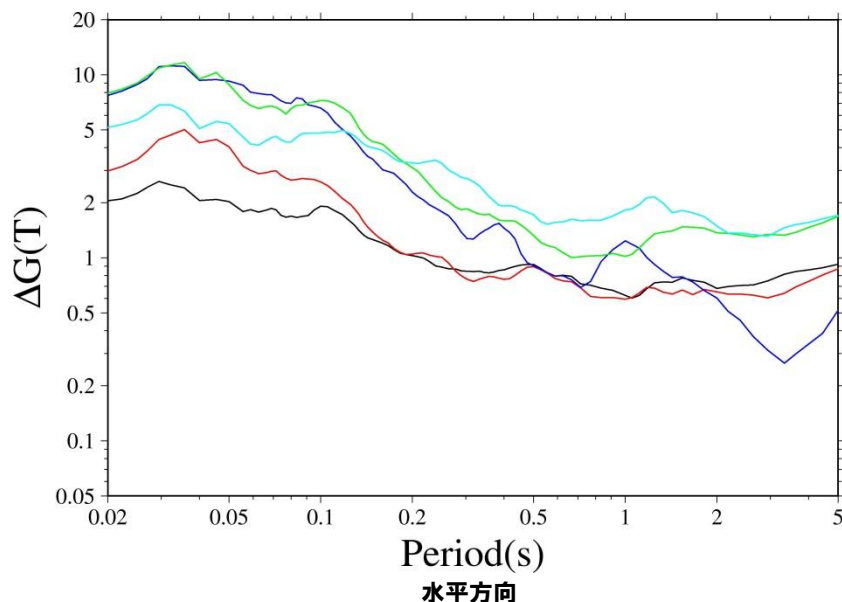
一部加筆修正(3/20審査会合資料)

IWITH25(—関西)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IWITH25(—関西)の応答スペクトル比(=相対的地盤増幅率)は、以下の通り。

— 関西[地中] / 栗駒ダム[右岸地山]
 — 関西[地中] / KiK-net—関東[地中]
 — 関西[地中] / KiK-net金ヶ崎[地中]
 — 関西[地中] / KiK-net東成瀬[地中]
 — 関西[地中] / 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、IWITH25(—関西)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。

※ 各観測点における地盤条件(速度構造等)の補正を実施していない。

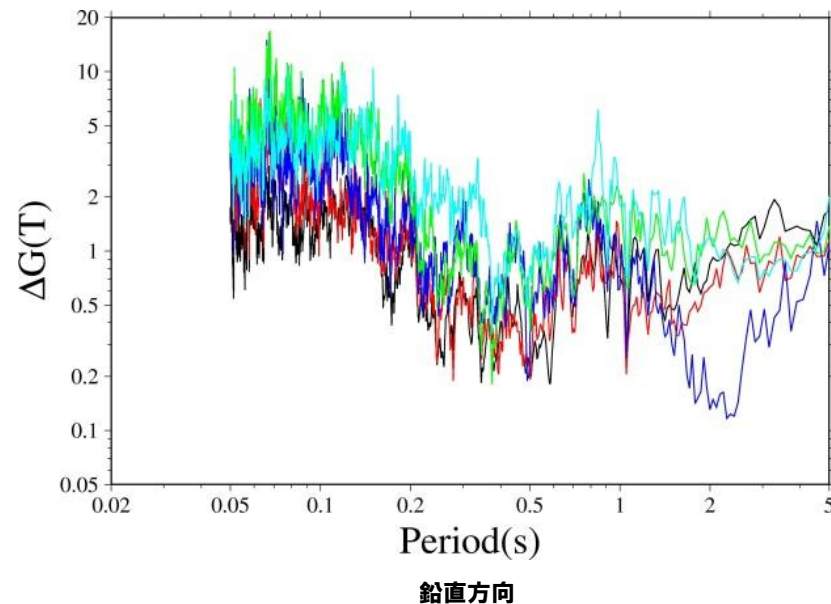
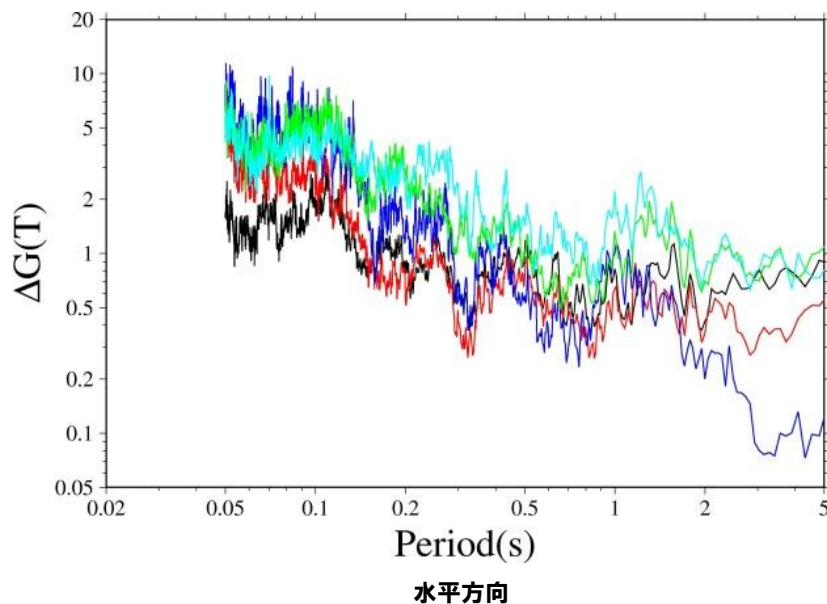
3. 2 KiK-net—関西観測点

IWTH25(—関西)を対象とした相対的地盤増幅率

- 参考として、フーリエスペクトルを用いて、同様の検討を行った。
- 震源近傍に位置する5地点を基準としたIWTH25(—関西)のフーリエスペクトル比は、以下の通り。

—関西[地中]／栗駒ダム[右岸地山]
 —関西[地中]／KiK-net—関東[地中]
 —関西[地中]／KiK-net金ヶ崎[地中]
 —関西[地中]／KiK-net東成瀬[地中]
 —関西[地中]／KiK-net鳴子[地中]

フーリエスペクトル比は平均を示す



- 震源近傍に位置する5地点と比較し、応答スペクトル比(=相対的地盤増幅率)と同様にIWTH25(—関西)は岩手・宮城内陸地震の本震の特徴を踏まえたフーリエスペクトル比が短周期側で大きい傾向※にある。

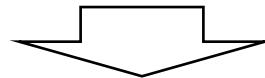
※ 各観測点における地盤条件(速度構造等)の補正を実施していない。

3.2 KiK-net—関西観測点

再掲(3/20審査会合資料)

まとめ

- Aoi et al.(2008)は、一関西観測点において非常に大きな加速度(上下動)が記録されたことに加えて、上向き地震動の振幅が下向きの2倍以上も大きいという、明瞭に上下非対称な波形形状を示していることを指摘し、このような現象を説明するために、地盤が示す挙動をトランポリンのような性質をもつものとして説明する新しい物理モデルを提示している。
- 大町ほか(2011)は、一関西観測点の地表で観測された極めて大きな強震記録(上下動)は、地震観測小屋がロッキング振動で浮き上がり、地面と再接触した際の衝撃力の影響が強く反映している可能性が高いと指摘。
- 入倉ほか(2008)は、余震記録および本震記録より地中地震計設置層から地表までの理論伝達関数を評価し、地中の観測記録から地表の地震動を推定している。推定された地表の地震動は、ほぼ観測記録に対応するが、観測記録に見られる上下動の非対称性は説明できず、別の原因(例えば、トランポリン効果など)を考える必要があると指摘。
- 観測記録に関する検討より、IWTH25(一関西)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。



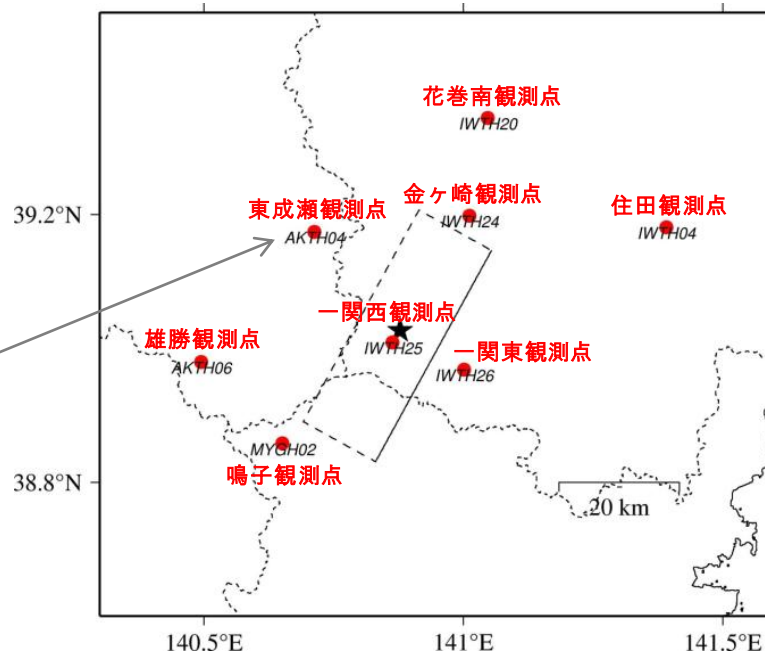
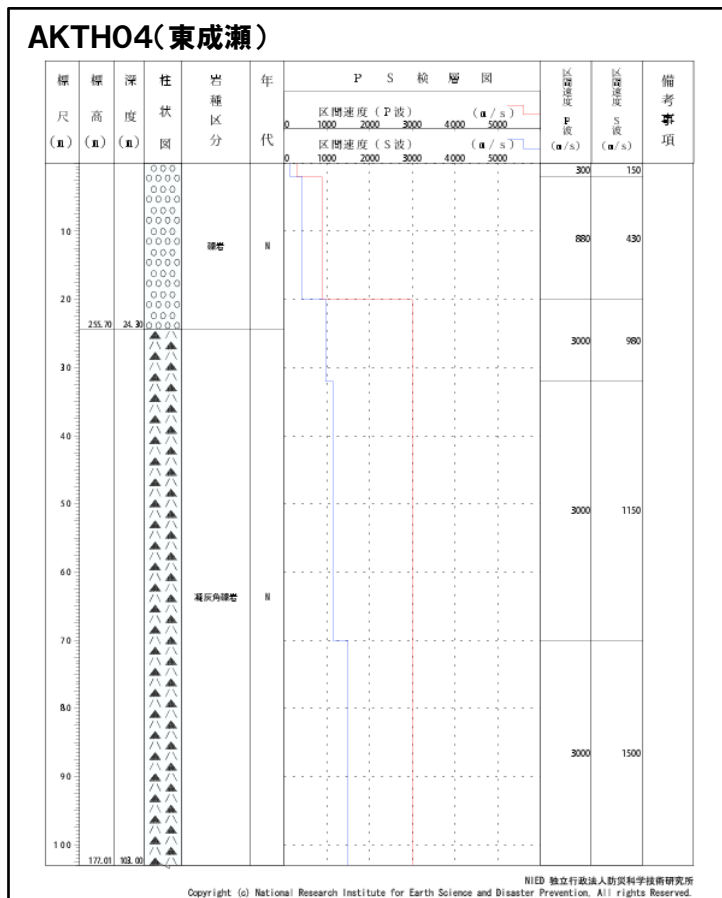
- IWTH25(一関西)については、地表記録にトランポリン効果、ロッキング振動の影響などが含まれており、観測記録の伝達関数を用いた地盤同定によるはぎとり波の算定は困難と考えられる。また、IWTH25(一関西)が本震震源域南部で発生する地震に対して、他の観測点よりも大きく増幅する地域と考えられる。
- トランポリン効果、ロッキング振動の要因や大加速度が発生した要因を特定するため、地盤構造等の調査、調査結果を踏まえたはぎとり解析、および震源特性を踏まえた検討が必要である。それらの検討には相応の期間が必要であり、現時点で信頼性の高い基盤地震動の評価は困難である。

3. 地震観測記録の分析・評価

3.3 KiK-net東成瀬観測点

KiK-net東成瀬観測点に関する検討

●KiK-net観測点のうち、加藤ほか(2004)の応答スペクトルを上回る観測記録(AKTH04(東成瀬))について、基盤地震動を評価することを目的とした観測記録のはざとり解析を実施する。



3.3 KiK-net東成瀬観測点

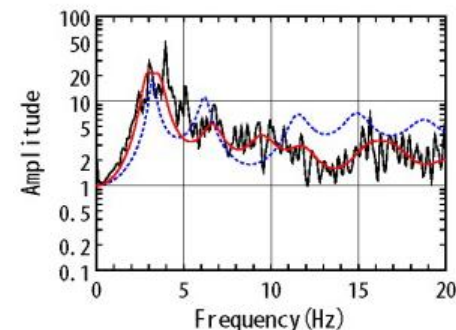
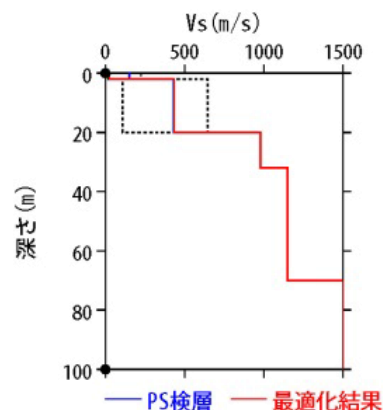
一部加筆修正(3/20審査会合資料)

AKTH04(東成瀬)

- AKTH04(東成瀬)の観測記録について、KiK-netボーリングデータを初期値として、観測記録の伝達関数を再現できるように地盤同定を実施。
- 得られた地盤モデルは、水平方向において表層のVsが極端に小さい。また、上下方向においては、観測記録の伝達関数を再現できていない。

地盤同定結果(水平)

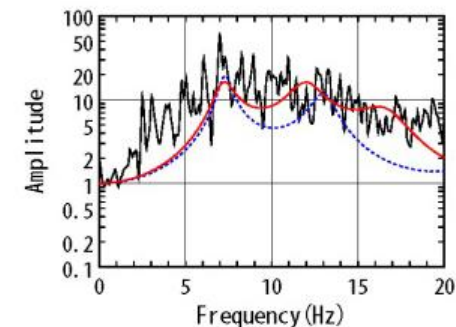
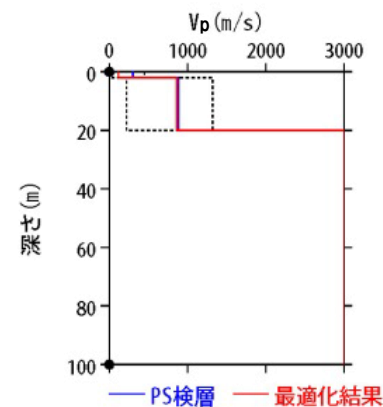
No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm ³)	S波速度(m/s)					減衰定数	
				Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	ho	α
1	2	0	1.64	150	15	225	25	0.17	0.142	0.283
2	18	2	1.64	430	108	645	433	1.01		
3	12	20	2.22	980	980	980	980	1.00		
4	38	32	2.22	1150	1150	1150	1150	1.00		
5	30	70	2.22	1500	1500	1500	1500	1.00		
6	—	100	2.22	1500	1500	1500	1500	1.00		



伝達関数の比較(水平)

地盤同定結果(上下)

No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm ³)	P波速度(m/s)					減衰定数	
				Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	ho	α
1	2	0	1.64	300	30	450	116	0.39	0.078	0.000
2	18	2	1.64	880	220	1320	861	0.98		
3	12	20	2.22	3000	3000	3000	3000	1.00		
4	38	32	2.22	3000	3000	3000	3000	1.00		
5	30	70	2.22	3000	3000	3000	3000	1.00		
6	—	100	2.22	3000	3000	3000	3000	1.00		

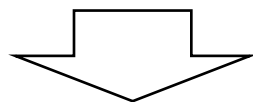


伝達関数の比較(上下)

3.3 KiK-net東成瀬観測点

AKTH04(東成瀬)観測点に関する詳細検討

●AKTH04(東成瀬)観測点については、2008年岩手・宮城内陸地震の本震記録を用いて、観測記録のはざとり解析のための地盤同定を実施したが、得られた地盤モデルは、水平方向において表層のVsが極端に小さいことや上下方向において観測記録の伝達関数を再現できていないことから、信頼性の高い基盤地震動の評価は困難であると判断している。



- 上記の検討を踏まえ、観測記録のはざとり解析のための地盤同定について、検討条件を変えた以下の検討を行った。
- 本震を用いた地盤同定に関する検討(再現性の確認)
 - 本震を用いた地盤同定に関する検討(探索範囲等の変更)
 - 中小地震を用いた地盤同定に関する検討
 - 地形の影響に関する検討

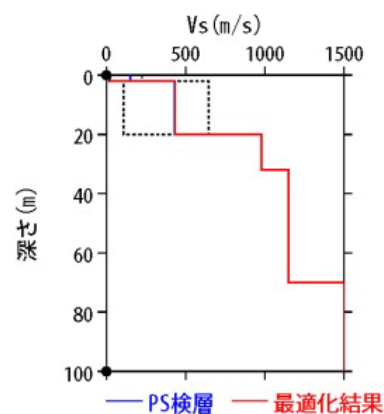
3.3 KiK-net東成瀬観測点

AKTH04(東成瀬) 本震を用いた地盤同定に関する検討(再現性の確認)

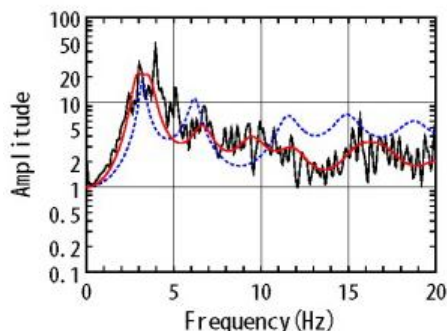
- 観測記録を用いた地盤同定により得られた地盤モデル(水平)を用いて、応答スペクトルの再現性を確認した結果、NS方向については地表記録が概ね再現できているが、EW方向については地表記録の短周期側が再現できていない。

地盤同定結果(水平)

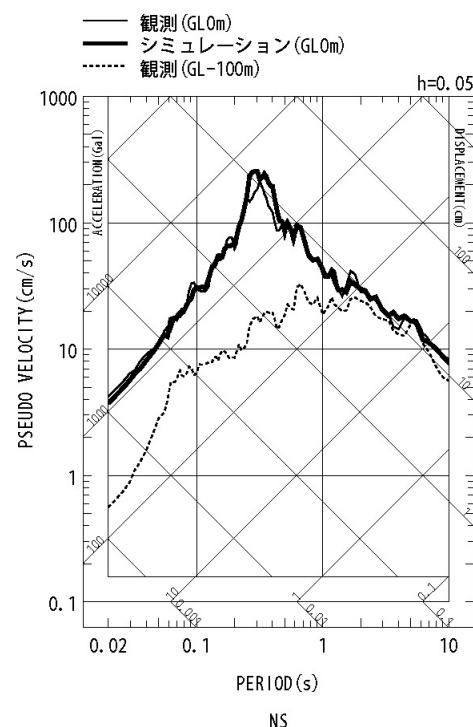
No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm ³)	S波速度(m/s)					減衰定数	
				Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	ho	α
1	2	0	1.64	150	15	225	25	0.17		
2	18	2	1.64	430	108	645	433	1.01		
3	12	20	2.22	980	980	980	980	1.00	0.142	0.283
4	38	32	2.22	1150	1150	1150	1150	1.00		
5	30	70	2.22	1500	1500	1500	1500	1.00		
6	—	100	2.22	1500	1500	1500	1500	1.00		



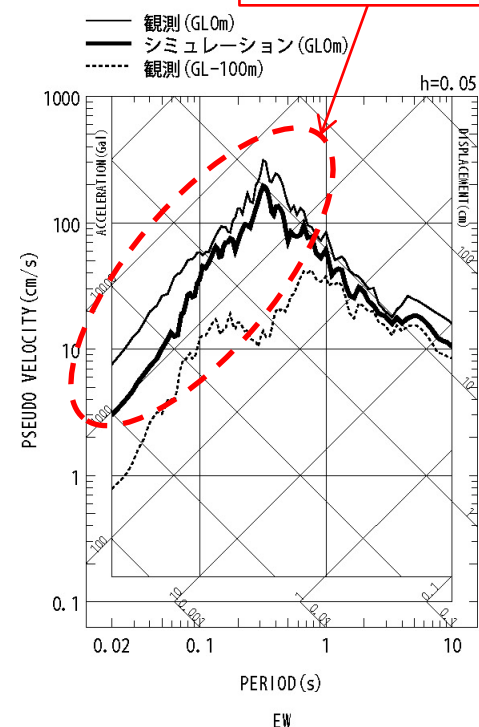
伝達関数の比較(水平)



黒: 観測記録
赤: 最適化結果
青: PS 検層



応答スペクトルの比較(水平)



短周期側が再現
できていない

3.3 KiK-net東成瀬観測点

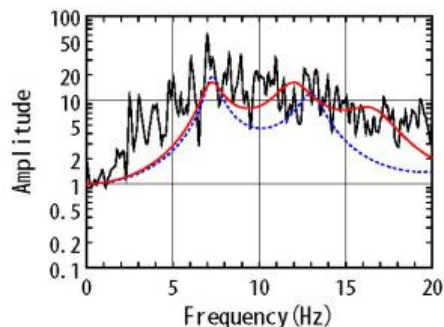
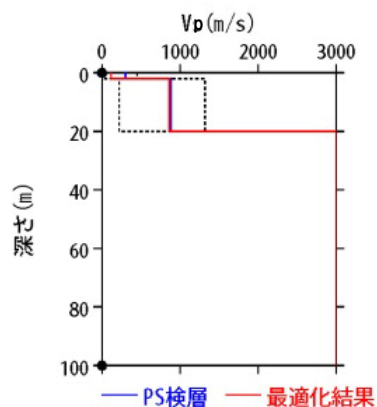
再掲(3/20審査会合資料)

AKTH04(東成瀬) 本震を用いた地盤同定に関する検討(再現性の確認)

- 観測記録を用いた地盤同定により得られた地盤モデル(上下)を用いて、応答スペクトルの再現性を確認した結果、地表記録の短周期側が再現できていない。

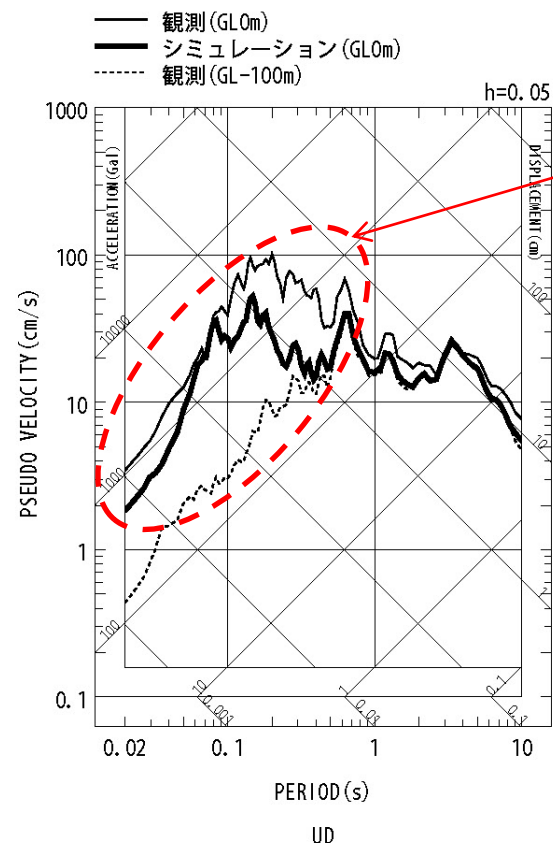
地盤同定結果(上下)

No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm ³)	P波速度(m/s)					減衰定数	
				Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	ho	α
1	2	0	1.64	300	30	450	116	0.39	0.078	0.000
2	18	2	1.64	880	220	1320	861	0.98		
3	12	20	2.22	3000	3000	3000	3000	1.00		
4	38	32	2.22	3000	3000	3000	3000	1.00		
5	30	70	2.22	3000	3000	3000	3000	1.00		
6	—	100	2.22	3000	3000	3000	3000	1.00		



黒:観測記録
赤:最適化結果
青:PS 検層

伝達関数の比較(上下)



応答スペクトルの比較(上下)

3.3 KiK-net東成瀬観測点

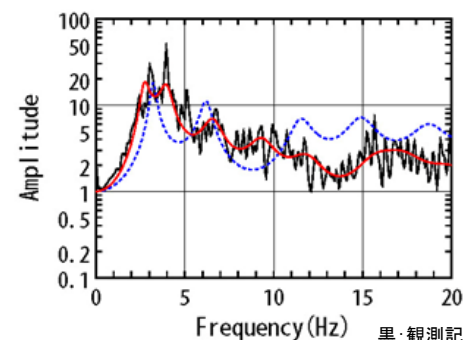
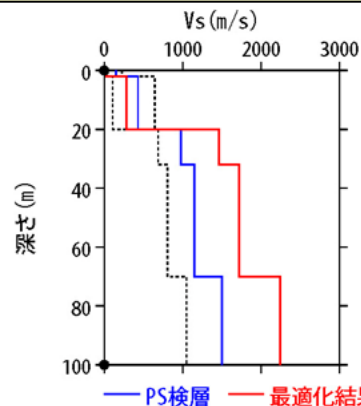
AKTH04(東成瀬) 本震を用いた地盤同定に関する検討(探索範囲等の変更)

- 観測記録を用いた地盤同定(水平)により得られた地盤モデルは、表層のVsが極端に小さくなっていることから、Vsの探索範囲を変更したケースおよび減衰定数の同定範囲を変更したケースについて地盤同定結果を整理した。
- 得られた地盤モデルは、従来の同定結果と同様、表層のVsが極端に小さくなっている。

地盤同定結果(水平)

No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm ³)	S波速度 (m/s)					減衰定数	
				Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	ho	α
1	2	0	1.64	150	15	225	25	0.17	0.093	0.088
2	18	2	1.64	430	108	645	283	0.66		
3	12	20	2.22	980	686	1470	1465	1.49		
4	38	32	2.22	1150	805	1725	1719	1.49		
5	30	70	2.22	1500	1050	2250	2243	1.50		
6	—	100	2.22	1500	1050	2250	2243	1.50		

No. 3~6層をPS検層値で固定

↓
No. 3~6層を同倍率で変動

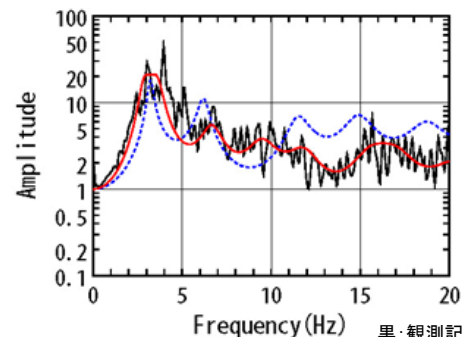
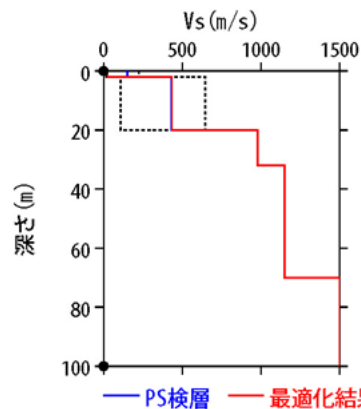
伝達関数の比較(水平)

黒:観測記録
赤:最適化結果
青:PS検層

地盤同定結果(水平)

No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm ³)	S波速度 (m/s)					減衰定数	
				Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	ho	α
1	2	0	1.64	150	15	225	25	0.17	0.180	0.367
2	18	2	1.64	430	108	645	435	1.01	0.127	0.250
3	12	20	2.22	980	980	980	980	1.00		
4	38	32	2.22	1150	1150	1150	1150	1.00		
5	30	70	2.22	1500	1500	1500	1500	1.00		
6	—	100	2.22	1500	1500	1500	1500	1.00		

全層一定で同定

↓
No. 1層とNo. 2層以深で分割

伝達関数の比較(水平)

黒:観測記録
赤:最適化結果
青:PS検層

3.3 KiK-net東成瀬観測点

AKTH04(東成瀬) 本震を用いた地盤同定に関する検討(探索範囲等の変更)

- 観測記録を用いた地盤同定(上下)により得られた地盤モデルは、観測記録の伝達関数を再現できていないことから、Vpの検索範囲を変更したケースおよび減衰定数の同定範囲を変更したケースについて地盤同定結果を整理した。
- 得られた地盤モデルは、従来の同定結果と同様、観測記録の伝達関数を再現できていない。

地盤同定結果(上下)

No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm ³)	P波速度(m/s)					減衰定数	
				Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	ho	α
1	2	0	1.64	300	30	450	55	0.18	0.091	0.000
2	18	2	1.64	880	220	1320	958	1.09		
3	12	20	2.22	3000	2100	4500	4227	1.41		
4	38	32	2.22	3000	2100	4500	4227	1.41		
5	30	70	2.22	3000	2100	4500	4227	1.41		
6	—	100	2.22	3000	2100	4500	4227	1.41		

No. 3~6層をPS検層値で固定



No. 3~6層を同倍率で変動

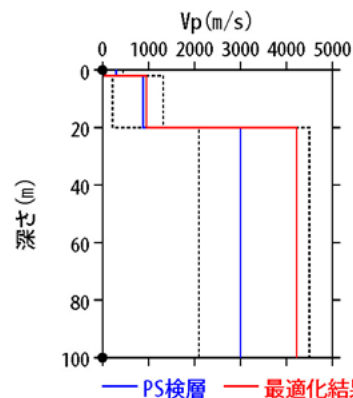
地盤同定結果(上下)

No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm ³)	P波速度(m/s)					減衰定数	
				Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	ho	α
1	2	0	1.64	300	30	450	109	0.36	0.370	0.183
2	18	2	1.64	880	220	1320	947	1.08	0.036	1.000
3	12	20	2.22	3000	3000	3000	3000	1.00		
4	38	32	2.22	3000	3000	3000	3000	1.00		
5	30	70	2.22	3000	3000	3000	3000	1.00		
6	—	100	2.22	3000	3000	3000	3000	1.00		

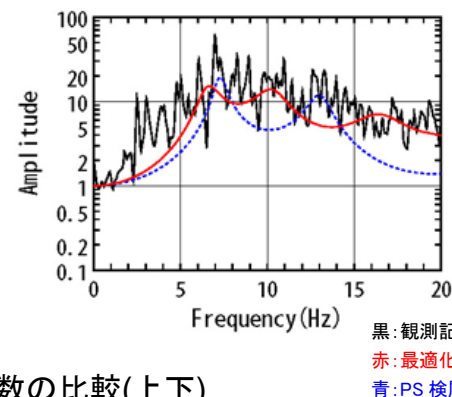
全層一定で同定



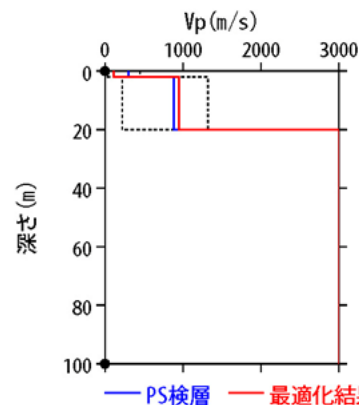
No. 1層とNo. 2層以深で分割



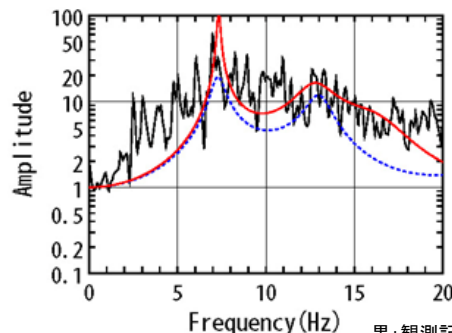
— PS検層 — 最適化結果

黒:観測記録
赤:最適化結果
青:PS検層

伝達関数の比較(上下)



— PS検層 — 最適化結果

黒:観測記録
赤:最適化結果
青:PS検層

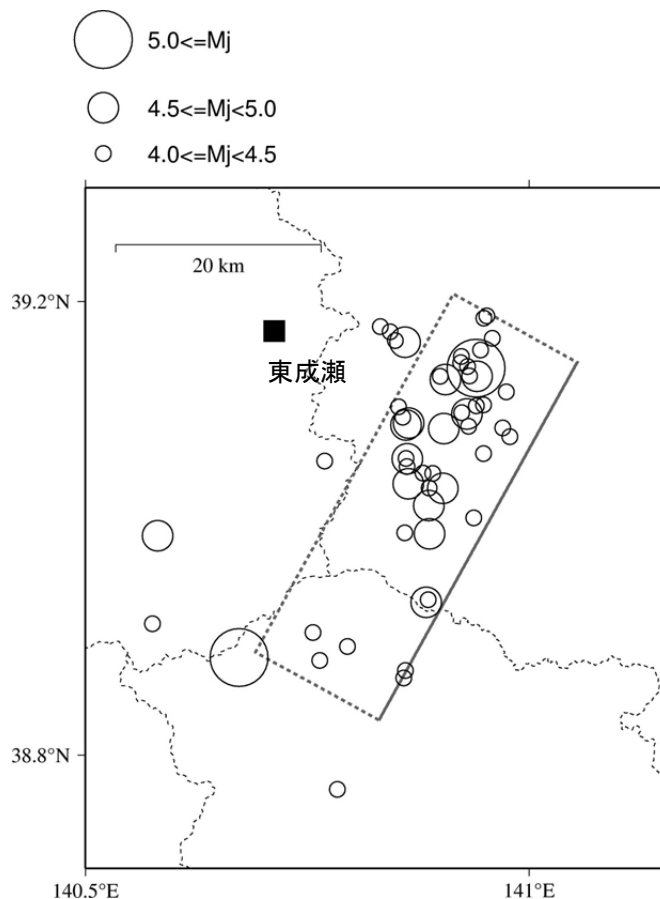
伝達関数の比較(上下)

3.3 KiK-net東成瀬観測点

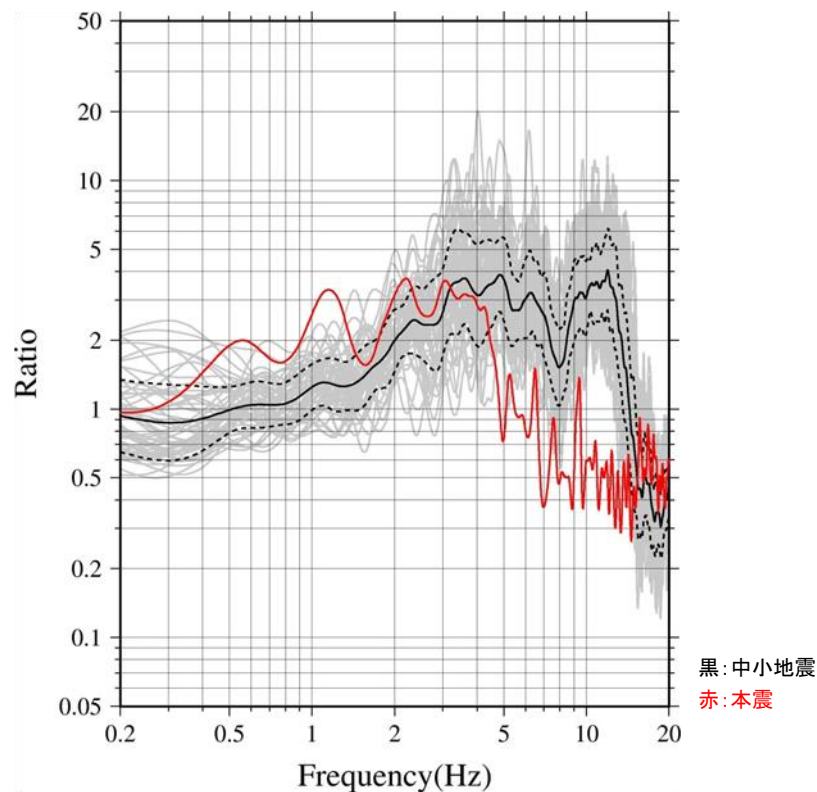
一部加筆修正(3/20審査会合資料)

AKTH04(東成瀬) 中小地震を用いた地盤同定に関する検討

- 2008年岩手・宮城内陸地震の本震および中小地震の地表記録を用いてH/Vスペクトルを算定した。
- 中小地震と比べて本震では、5Hz程度より高周波数側(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、本震記録に地盤の非線形性の影響が含まれていると考えられる。



検討地震の震央分布



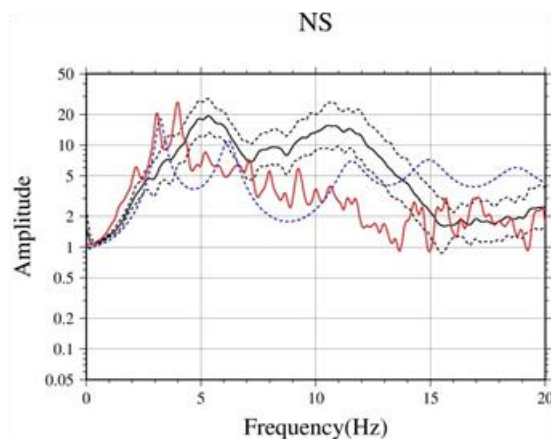
H/Vスペクトル

3.3 KiK-net東成瀬観測点

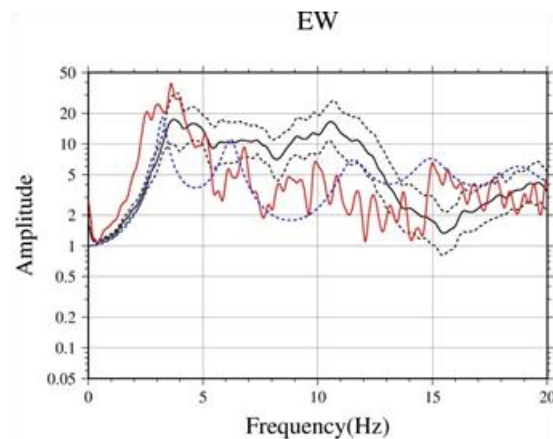
再掲(3/20審査会合資料)

AKTH04(東成瀬) 中小地震を用いた地盤同定に関する検討

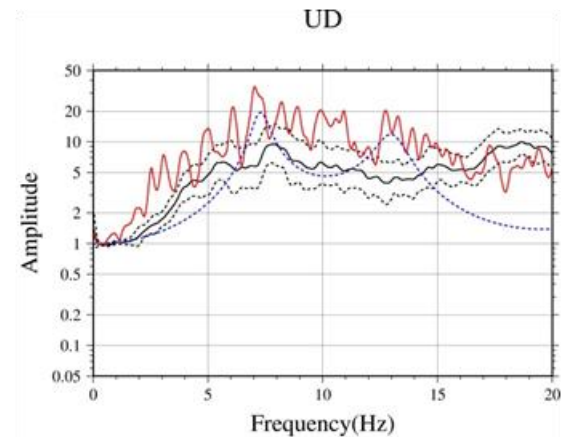
- 2008年岩手・宮城内陸地震の本震および中小地震について、地表記録と地中記録の伝達関数を算定した。
- NS方向とEW方向について、中小地震と比べて本震では、5Hz程度より高周波数側(短周期側)において倍率が小さくなっており、10Hz弱においてその傾向は顕著である。
- UD方向について、中小地震と比べて本震では、全体的に倍率が大きくなっている。
- 本震による伝達関数と中小地震による伝達関数および中小地震による伝達関数とPS検層結果による伝達関数の傾向が大きく異なることから、中小地震による伝達関数を用いた地盤同定により、本震のはぎとり解析のための地盤モデルを作成することは困難と考えられる。



NS方向



EW方向



UD方向

黒: 中小地震
赤: 本震
青: PS 検層

伝達関数

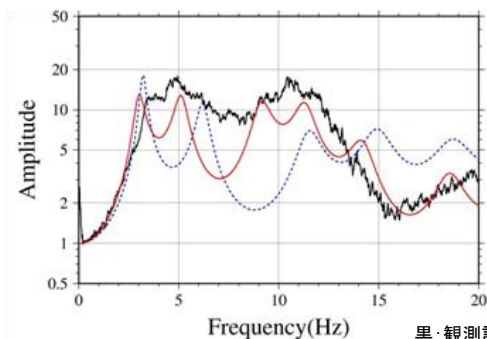
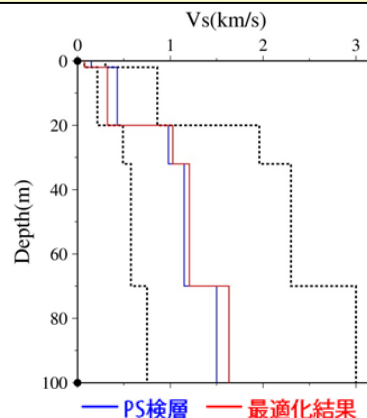
3.3 KiK-net東成瀬観測点

AKTH04(東成瀬) 中小地震を用いた地盤同定に関する検討

- 中小地震による伝達関数を用いた地盤同定により、本震のはぎとり解析のための地盤モデルを作成することは困難と考えられるが、念のため、中小地震を用いて線形領域における地盤同定を実施した。
- 得られた地盤モデル(水平)は、水平動の観測記録の伝達関数を再現できていない。
- 表層のVsは、いずれのケースも概ね探索範囲の下限であり小さくなっている。また、No. 1層の探索範囲の下限を変更したケースでは、深部において、VsがPS検層結果と乖離している。

地盤同定結果(水平)

No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm ³)	S波速度 (m/s)					減衰定数	
				Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	h ₀	α
1	2	0	1.64	150	75	300	75	0.50	0.145	0.464
2	18	2	1.64	430	215	860	322	0.75		
3	12	20	2.22	980	490	1960	1028	1.05		
4	38	32	2.22	1150	575	2300	1206	1.05		
5	30	70	2.22	1500	750	3000	1633	1.09		
6	—	100	2.22	1500	750	3000	1633	1.09		



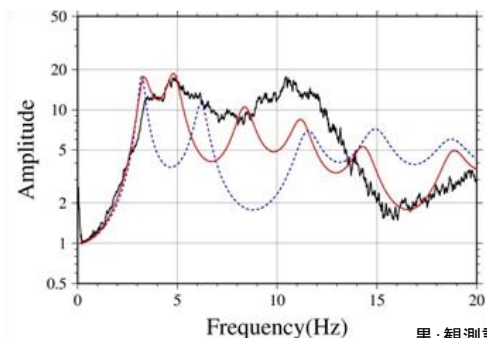
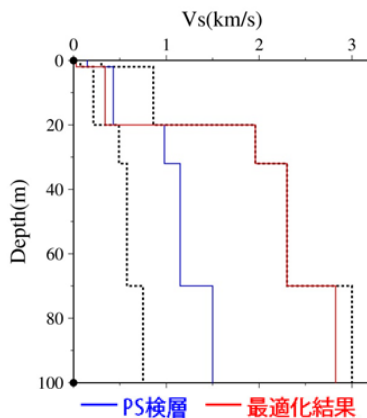
伝達関数の比較(水平)

黒:観測記録
赤:最適化結果
青:PS検層

地盤同定結果(水平)

No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm ³)	S波速度 (m/s)					減衰定数	
				Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	h ₀	α
1	2	0	1.64	150	15	300	30	0.20	0.160	0.511
2	18	2	1.64	430	215	860	340	0.79		
3	12	20	2.22	980	490	1960	1960	2.00		
4	38	32	2.22	1150	575	2300	2300	2.00		
5	30	70	2.22	1500	750	3000	2825	1.88		
6	—	100	2.22	1500	750	3000	2825	1.88		

No. 1層の下限を変更



伝達関数の比較(水平)

黒:観測記録
赤:最適化結果
青:PS検層

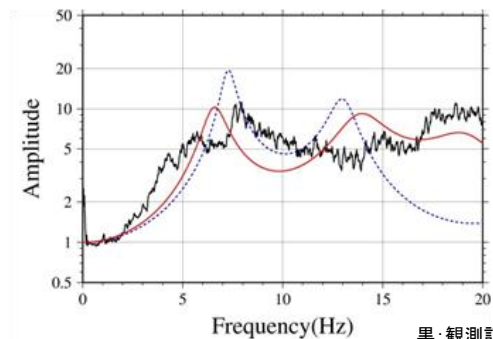
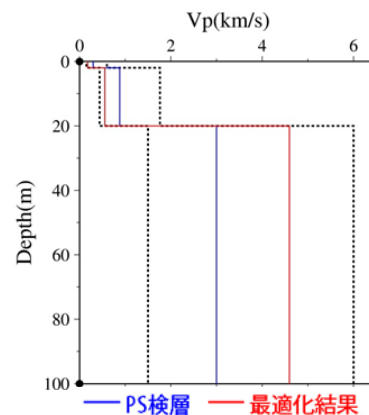
3.3 KiK-net東成瀬観測点

AKTH04(東成瀬) 中小地震を用いた地盤同定に関する検討

- 得られた地盤モデル(上下)は、上下動の観測記録の伝達関数を再現できていない。
- 深部において、得られたVpがPS検層結果と乖離している。

地盤同定結果(上下)

No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm ³)	P波速度 (m/s)					減衰定数	
				Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	h ₀	α
1	2	0	1.64	300	150	600	178	0.59	0.089	0.000
2	18	2	1.64	880	440	1760	555	0.63		
3	12	20	2.22	3000	1500	6000	4597	1.53		
4	38	32	2.22	3000	1500	6000	4597	1.53		
5	30	70	2.22	3000	1500	6000	4597	1.53		
6	—	100	2.22	3000	1500	6000	4597	1.53		



伝達関数の比較(上下)

黒: 観測記録
赤: 最適化結果
青: PS 検層

- 中小地震を用いた線形領域における地盤同定は、水平動・上下動ともに観測記録の伝達関数を再現できていないことから、1次元波動論によるはぎとり解析の適用が困難である。

3.3 KiK-net東成瀬観測点

AKTH04(東成瀬) 地形の影響に関する検討

●AKTH04(東成瀬)観測点は、少し小高い丘の上であり、すぐ後ろは急な崖地形となっているとされている。この地形の影響について、傾向を概略検討する。

(参考)地震観測点の状況

引用元:<http://www.eqh.dpri.kyoto-u.ac.jp/~masumi/eq>

京都大学防災研究所山田真澄:岩手・宮城内陸地震被害調査報告

観測小屋



東成瀬(KiK-net AKTH04)



観測点は少し小高い丘の上にある。
すぐ後ろは急ながけになっている。

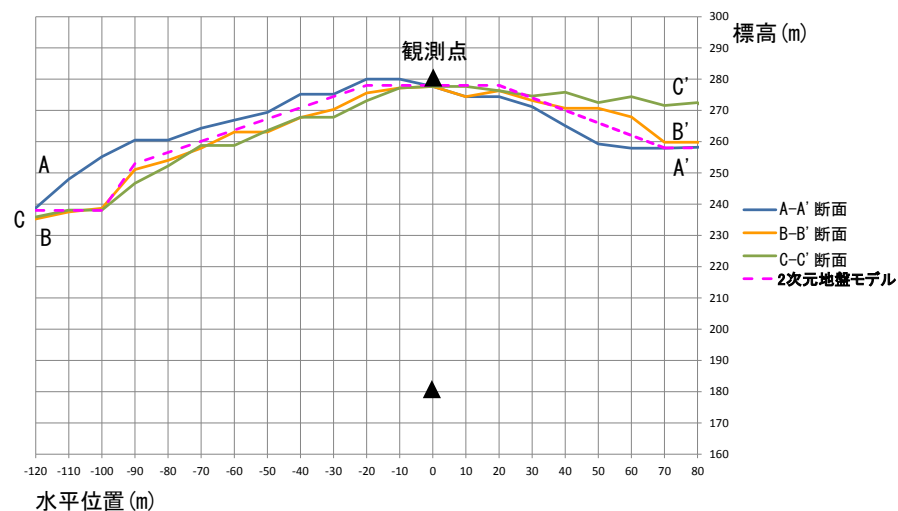
3.3 KiK-net東成瀬観測点

AKTH04(東成瀬) 地形の影響に関する検討

●AKTH04(東成瀬)観測点は、周囲が崖地形となっていることから、国土地理院の数値標高モデル(DEM)を用いた複数の断面を確認し、周辺地形を簡易的に考慮した2次元地盤モデルとする。



平面図
(国土地理院・電子国土Webに加筆)

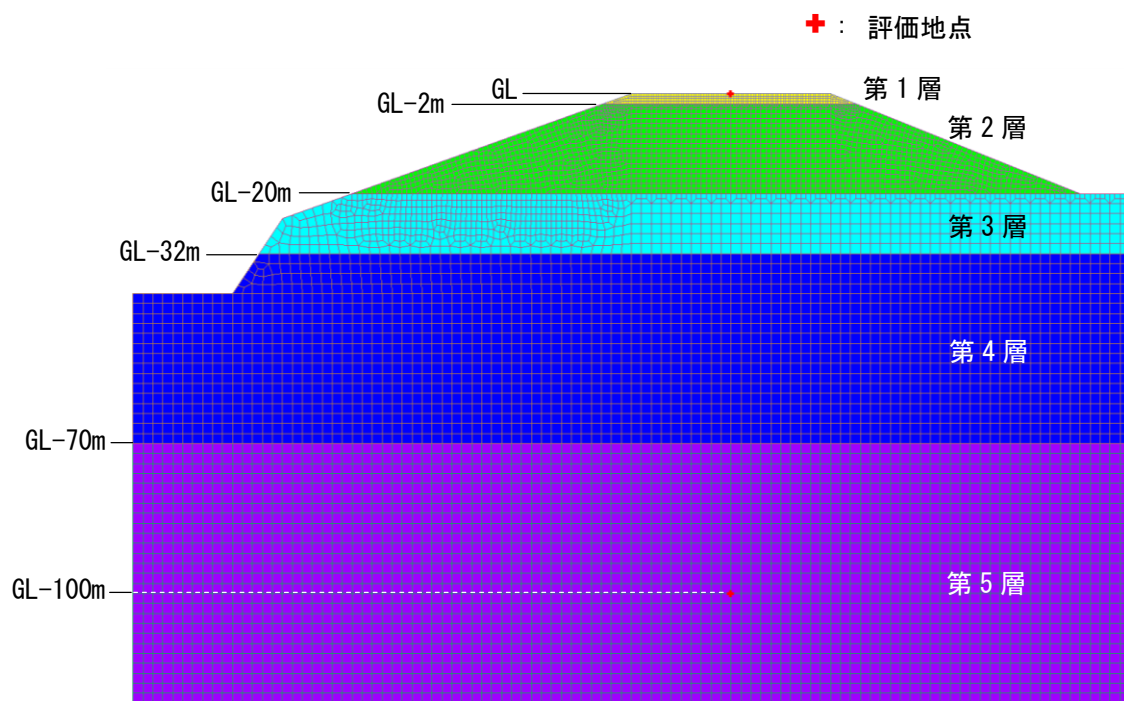


断面図

3.3 KiK-net東成瀬観測点

AKTH04(東成瀬) 地形の影響に関する検討

- 2次元地盤モデルは、地震観測点におけるPS検層結果の層境界を用いて、観測点周辺の地形を簡易的に考慮した2次元FEMモデルとする。
- 地中観測点位置(GL-100m)に対する地表観測点位置の伝達関数($2E/E+F$)を算出し、地震観測点位置の1次元地盤モデルによる伝達関数と比較する。



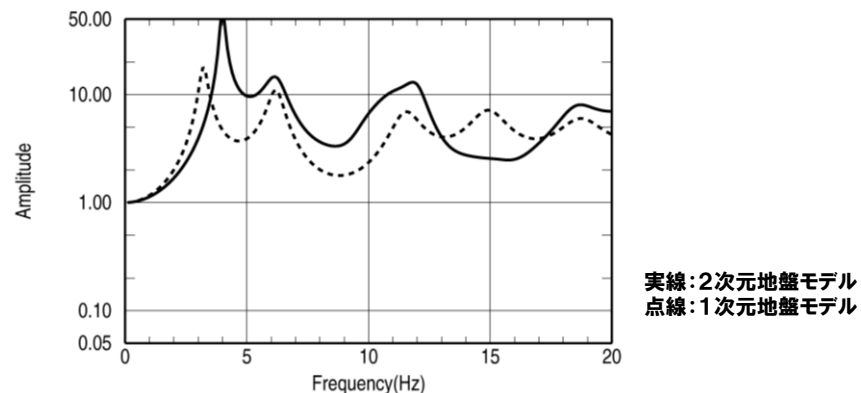
2次元地盤モデル

地盤物性値

	P波速度 Vp(m/s)	S波速度 Vs(m/s)	密度 ρ(g/cm ³)
第1層	300	150	1.64
第2層	880	430	1.64
第3層	3000	980	2.22
第4層	3000	1150	2.22
第5層	3000	1500	2.22

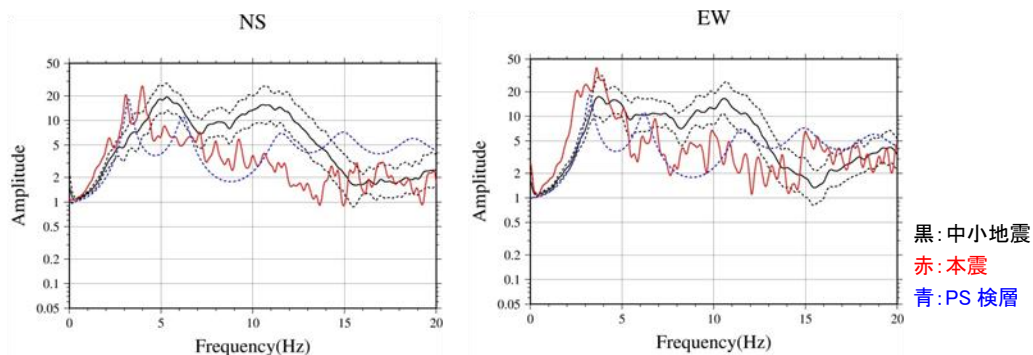
3.3 KiK-net東成瀬観測点

AKTH04(東成瀬) 地形の影響に関する検討



伝達関数 (GL(2E)/GL-100m(E+F))

- 2次元地盤モデルと1次元地盤モデルの伝達関数を比較すると、5Hzおよび10Hz付近で2次元地盤モデルの結果が大きく、15Hz付近では2次元地盤モデルの結果が小さくなっており、1次元地盤モデルと差異がみられることから、AKTH04(東成瀬)観測点の観測記録には、周辺地形による影響が含まれているものと考えられる。
- なお、中小地震の観測記録にみられる5Hz付近および10Hz付近で伝達関数が大きくなる傾向と同様に、2次元地盤モデルの5Hzおよび10Hz付近で伝達関数が大きくなっている。



NS方向

EW方向

観測記録の伝達関数(地表/地中)

3.3 KiK-net東成瀬観測点

AKTH04(東成瀬) まとめ

【本震記録を用いた検討】

- AKTH04(東成瀬)観測点について、本震記録を用いて観測記録のはぎとり解析のための地盤同定を実施した結果、得られた地盤モデルのうち水平方向については、表層のVsが極端に小さい。また、上下方向については、観測記録の伝達関数を再現できていない。

【詳細検討】

①本震記録を用いた検討

- ・本震記録を用いた地盤同定により得られた地盤モデルを用いて、応答スペクトルの再現性を確認した結果、水平および上下ともに地表記録を再現できていない。
- ・探索範囲等を変更し地盤同定を実施した結果、得られた地盤モデルのうち水平方向については、従来の同定結果と同様に表層のVsが極端に小さい。また、上下方向については、観測記録の伝達関数を再現できていない。

②中小地震記録を用いた検討

- ・本震および中小地震の地表記録を用いたH/Vスペクトルより、本震記録に地盤の非線形性の影響が含まれていると考えられる。
- ・中小地震を用いて線形領域における地盤同定を実施した結果、得られた地盤モデルは、水平・上下とも観測記録の伝達関数を再現できていないことから、1次元波動論によるはぎとり解析の適用が困難である。

③地形の影響に関する検討

- ・2次元地盤モデルと1次元地盤モデルの伝達関数に差異がみられることから、AKTH04(東成瀬)観測点の観測記録には、周辺地形による影響が含まれているものと考えられる。

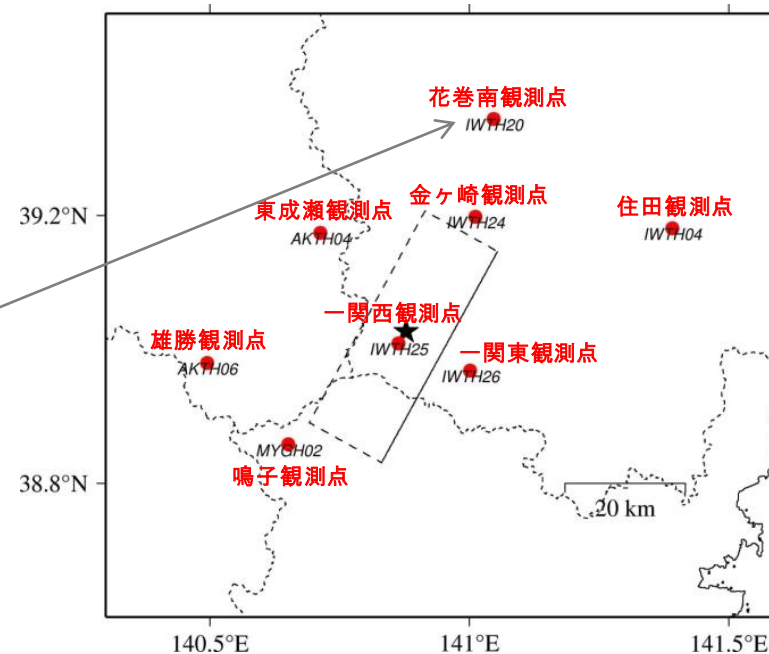
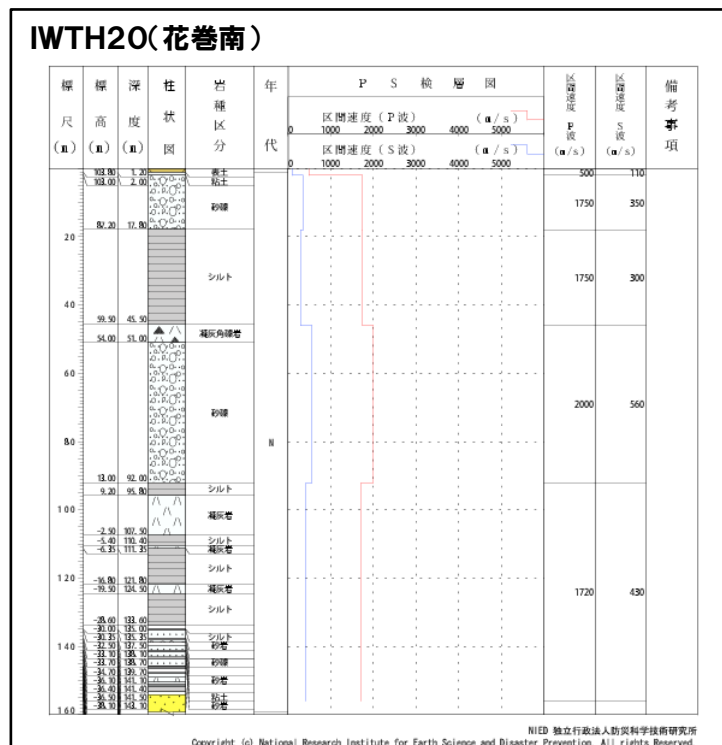
- AKTH04(東成瀬)については、観測記録に地盤の非線形性の影響、周辺地形による影響が含まれており、観測記録と整合する地盤モデルが同定できず、地表記録も再現できていないことから、現時点で信頼性の高い基盤地震動の評価は困難である。

3. 地震観測記録の分析・評価

3.4 KiK-net花巻南観測点

KiK-net花巻南観測点に関する検討

●KiK-net観測点のうち、加藤ほか(2004)の応答スペクトルを上回る観測記録(IWTH20(花巻南))について、基盤地震動を評価することを目的とした観測記録のはざとり解析を実施する。



3.4 KiK-net花巻南観測点

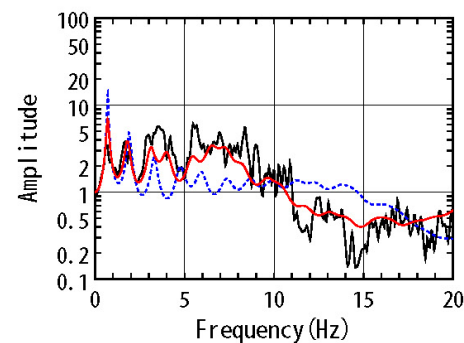
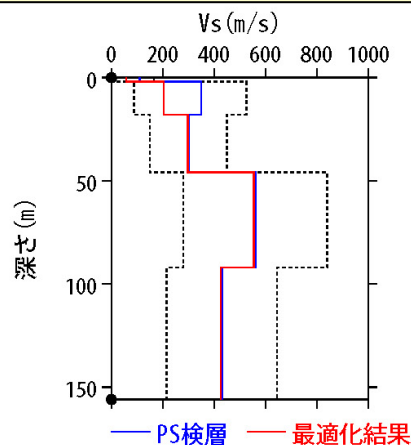
再掲(3/20審査会合資料)

IWTH20(花巻南)

●IWTH20(花巻南)の観測記録について、KiK-netボーリングデータを初期値として、観測記録の伝達関数を再現できるように地盤同定を実施。

地盤同定結果(水平)

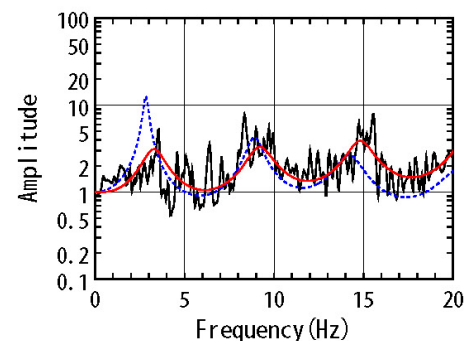
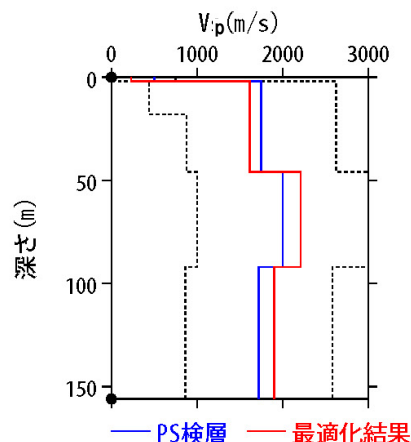
No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm ³)	S波速度 (m/s)					減衰定数	
				Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	ho	α
1	2	0	1.64	110	11	165	57	0.52	0.093	0.269
2	16	2	1.78	350	88	525	203	0.58		
3	28	18	1.78	300	150	450	298	0.99		
4	46	46	1.91	560	280	840	555	0.99		
5	64	92	1.77	430	215	645	426	0.99		
6	—	156	1.77	430	215	645	426	0.99		



伝達関数の比較(水平)

地盤同定結果(上下)

No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm ³)	P波速度 (m/s)					減衰定数	
				Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	ho	α
1	2	0	1.64	500	50	750	231	0.46	0.709	1.000
2	16	2	1.78	1750	438	2625	1613	0.92		
3	28	18	1.78	1750	875	2625	1613	0.92		
4	46	46	1.91	2000	1000	3000	2210	1.11		
5	64	92	1.77	1720	860	2580	1900	1.10		
6	—	156	1.77	1720	860	2580	1900	1.10		



伝達関数の比較(上下)

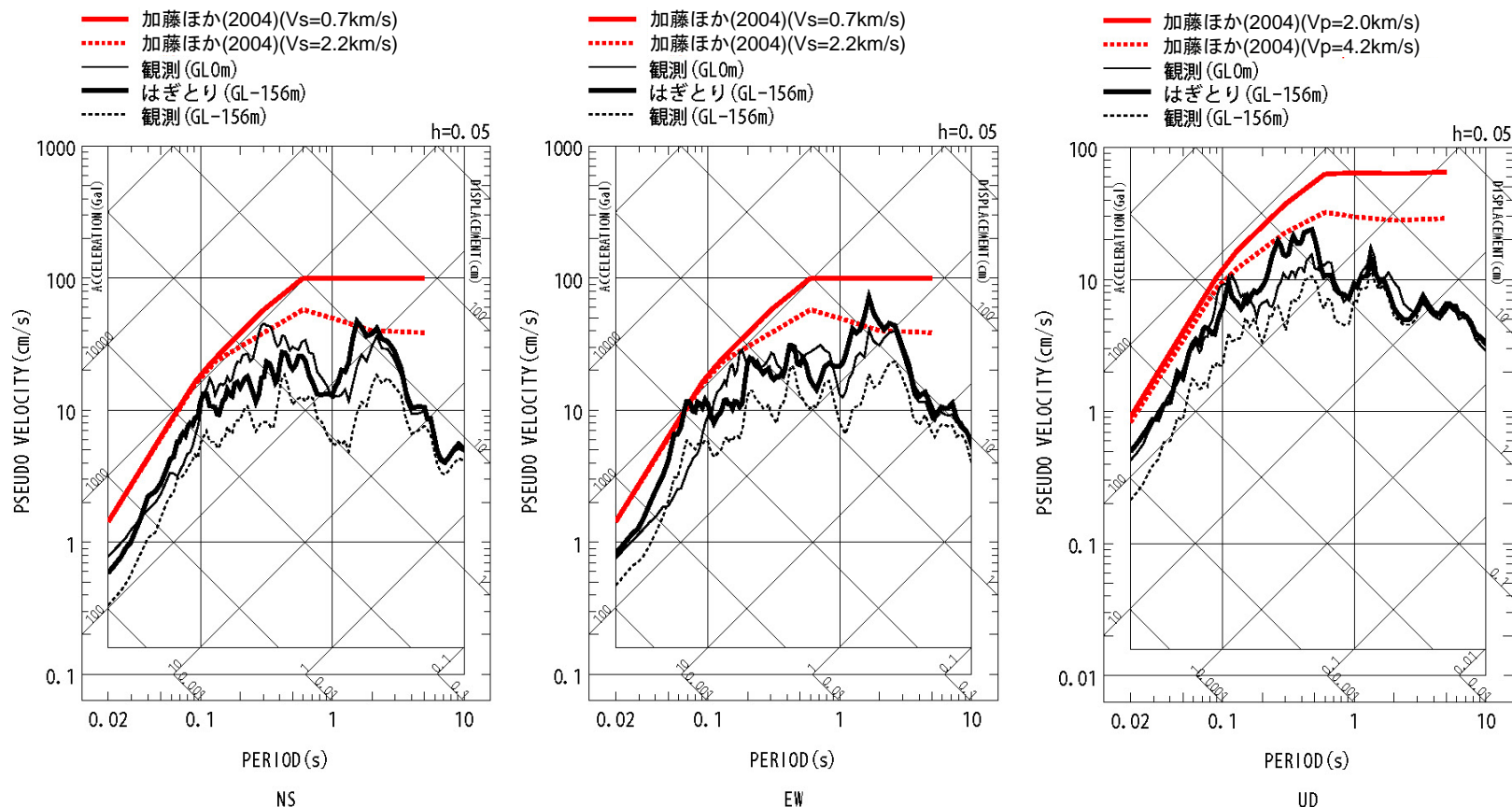
※電力共通研究「東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震動評価手法の高度化に関する研究」にて検討を実施

3.4 KiK-net花巻南観測点

一部加筆修正 (3/20審査会合資料)

IWTH20(花巻南)

●地盤同定により得られた地盤モデルを用いて、IWTH20(花巻南)のはぎとり解析を実施。



●IWTH20(花巻南)は、概ね妥当な地盤モデルを作成でき、はぎ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。

3.5 KiK-net金ヶ崎観測点

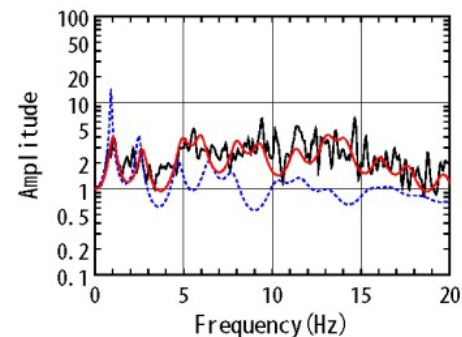
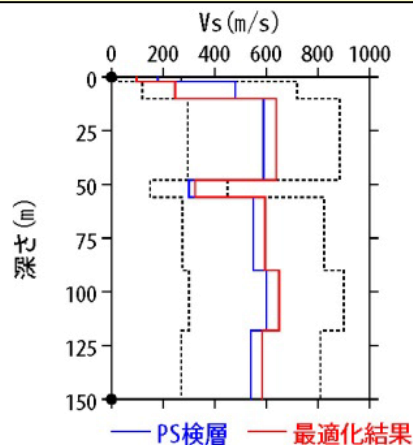
再掲(3/20審査会合資料)

IWTH24(金ヶ崎)

●IWTH24(金ヶ崎)の観測記録について、KiK-netボーリングデータを初期値として、観測記録の伝達関数を再現できるように地盤同定を実施。

地盤同定結果(水平)

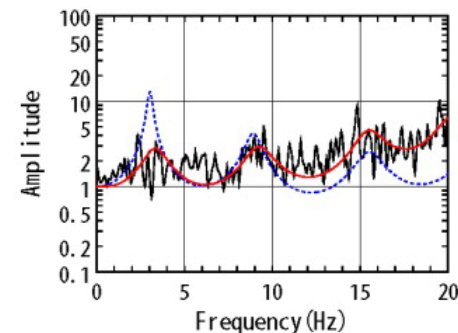
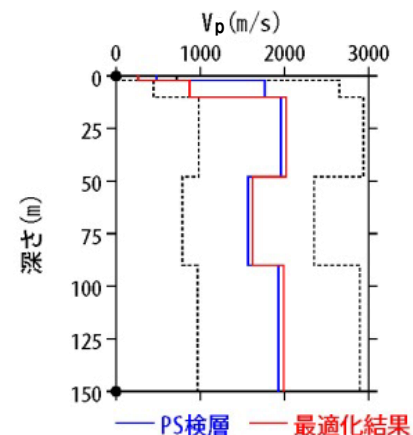
No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm ³)	S波速度(m/s)					減衰定数	
				Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	ho	α
1	2	0	1.64	180	18	270	97	0.54	0.174	0.682
2	8	2	1.79	480	120	720	247	0.51		
3	38	10	1.89	590	295	885	638	1.08		
4	8	48	1.68	300	150	450	324	1.08		
5	34	56	1.68	550	275	825	595	1.08		
6	28	90	1.87	600	300	900	649	1.08		
7	32	118	1.87	540	270	810	584	1.08		
8	—	150	1.87	540	270	810	584	1.08		



伝達関数の比較(水平)

地盤同定結果(上下)

No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm ³)	P波速度(m/s)					減衰定数	
				Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	ho	α
1	2	0	1.64	480	48	720	262	0.55	0.812	1.000
2	8	2	1.79	1770	443	2655	871	0.49		
3	38	10	1.89	1960	980	2940	2021	1.03		
4	8	48	1.68	1570	785	2355	1619	1.03		
5	34	56	1.68	1570	785	2355	1619	1.03		
6	28	90	1.87	1930	965	2895	1990	1.03		
7	32	118	1.87	1930	965	2895	1990	1.03		
8	—	150	1.87	1930	965	2895	1990	1.03		



伝達関数の比較(上下)

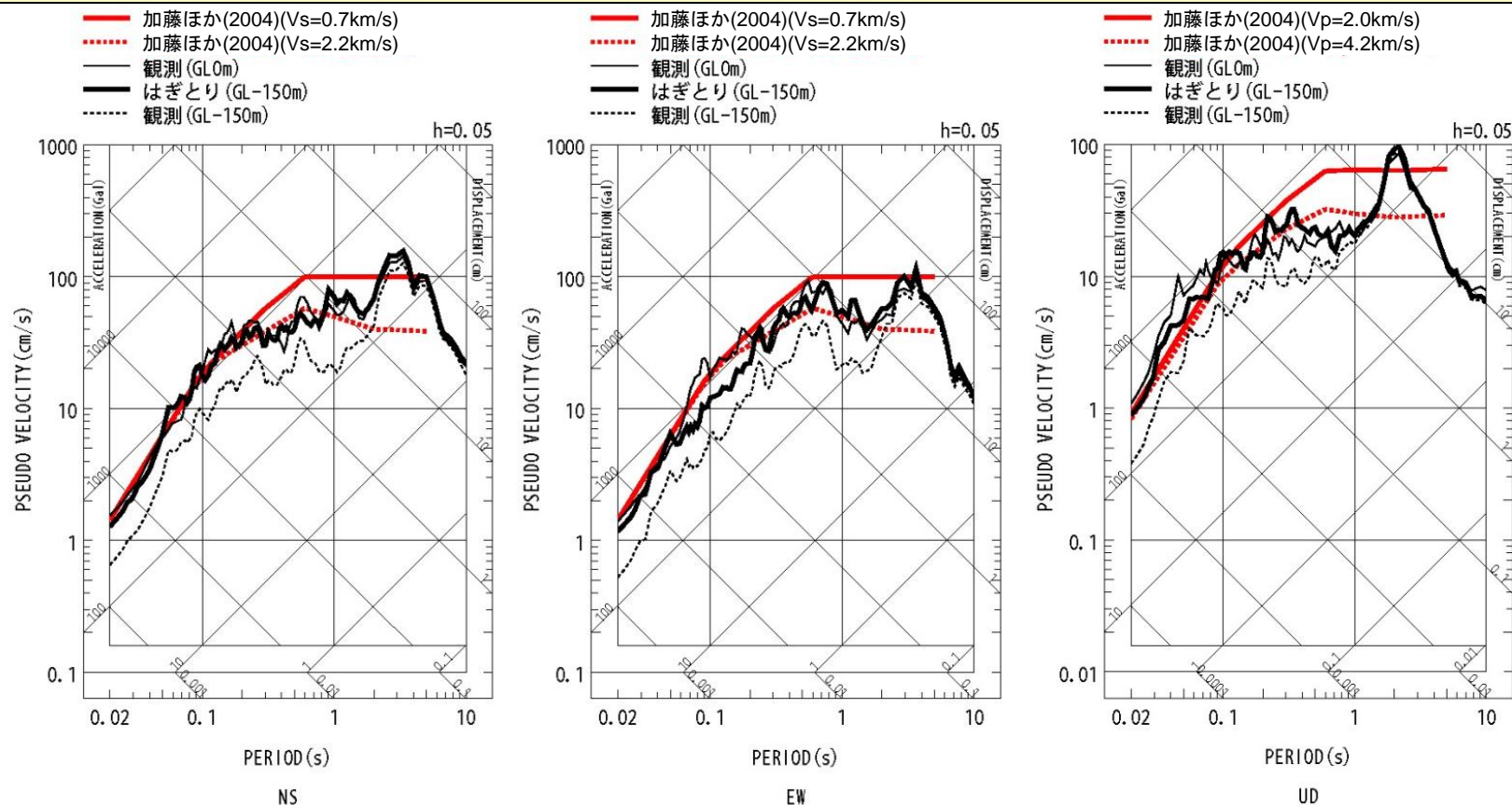
※電力共通研究「東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震動評価手法の高度化に関する研究」にて検討を実施

3.5 KiK-net金ヶ崎観測点

一部加筆修正 (3/20審査会合資料)

IWTH24(金ヶ崎)

●地盤同定により得られた地盤モデルを用いて、IWTH24(金ヶ崎)のはぎとり解析を実施。



●IWTH24(金ヶ崎)は、概ね妥当な地盤モデルを作成でき、はぎ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。