## 敦賀発電所2号炉

# 震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価について (浦底 - 内池見断層の地震動評価)

## 平成30年4月27日 日本原子力発電株式会社



## 敦賀発電所2号炉 地震動評価に関する主要な論点

No.	主要な論点
7	地震動評価については,特に,敷地に近い断層の評価にあたって検討した内容を説明すること。 (平成28年2月4日 第326回審査会合)



主要な論点を踏まえ,震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価について検討結果を示す。 断層長さや地下構造モデル等の地震動評価の入力条件については,平成27年11月5日設置変更許可申請に基づく。





目次

1.検討方針		5			
2.知見の整理					
2.1 震源極近傍における地震動の特徴に関する知見		10			
2.2 すべり分布,すべり速度等に関する知見		17			
2.3 地震観測記録の再現解析		23			
2.4 震源極近傍における被害分析		31			
2.5 まとめ		35			
3.震源モデルの設定法					
3.1 震源モデルの設定法		38			
3.2 2016年熊本地震での検証		46			
3.3 まとめ		55			
4.浦底 - 内池見断層の地震動評価					
4.1 震源モデルの設定		57			
4.2 断層モデル手法による地震動評価		75			
4.3 まとめ		94			
5.全体まとめ		96			
6.参考文献		98			
補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について ・・・・・・・・・・・・・・					
補足説明資料2 浦底 - 内池見断層の設定について ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・					
参考資料 基準地震動Ssについて					



## 申請以降の追加検討内容

設置変更許可申請(2015年)以降,2016年熊本地震で震源極近傍の地震観測記録が得られたこと等を踏まえ,以下の通り追加検討を行った。

:申請以降に新規追加, :申請以降に内容を充実,-:申請内容と同じ

目次		追加検討内容	
1.検討方針		2016年熊本地震で得られた知見等を踏まえ,震源モデルの設定法の検証等を追加。	
2.知見の整理     2.1 震源極近傍における地震動の特徴に関する知見     2.2 すべり分布,すべり速度等に関する知見     2.3 地震観測記録の再現解析     2.4 震源極近傍における被害分析     2.5 まとめ		2016年熊本地震で震源極近傍の地震観測記録が得られたこと等を踏まえ,最新の 知見を収集・整理。	
<ul> <li>3.震源モデルの設定法</li> <li>3.1 震源モデルの設定法</li> <li>3.2 2016年熊本地震での検証</li> <li>3.3 まとめ</li> </ul>	-	- - • 2016年熊本地震の観測記録を用いて,申請時における震源モデル設定法の有効 性を確認(生玉他(2017))し,震源モデル設定法の検証として追加。 • さらに地盤非線形の影響を低減する観点から生玉他(2017)の地盤条件等を見直 し,再検討を実施。	
4. 浦底 - 内池見断層の地震動評価	-	-	
4.1 震源モデルの設定		-	
4.2 断層モデル手法による地震動評価		-	
4.3 まとめ	-	-	
5.全体まとめ		追加検討を踏まえて再新	
6.参考文献		坦川(快討)で頃よんし史利。	
補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について		生玉他(2017)からの地盤条件等の見直し内容を記載。	
補足説明資料2 浦底 - 内池見断層の設定について	-	-	
参考資料 基準地震動Ssについて	-	-	



### <sup>1. 検討方針</sup> 検討用地震の選定(1/2)

浦底 - 内池見断層(長さ21km)等による6地震を検討用地震として選定した。



検討用地震として選定した活断層

断層名	断層長さ	マグニ チュード
安島岬沖断層 , 和布 - 干飯崎沖断層 , 甲楽城断層	76km	M8.0
浦底 - 内池見断層	21km	M7.0
ウツロギ峠北方 - 池河内断層	24km	M7.1
野坂断層,B断層,大陸棚外縁断層	49km	M7.7
C断層	18km	M6.9
白木 - 丹生断層	15km	M6.8



### 1. 検討方針 検討用地震の選定(2/2)

Noda et al. (2002)の手法による検討用地震の応答スペクトルを示す。

- (1)安島岬沖断層,和布 干飯崎沖断層,甲楽城断層(M8.0,等価震源距離 25.3km)
- (2) 浦底 内池見断層

(M7.0,等価震源距離 10.6km)

(3) ウツロギ峠北方 - 池河内断層

(M7.1,等価震源距離 13.6km)

(4)野坂断層, B断層,大陸棚外縁断層

(M7.7,等価震源距離 17.0km)

(5)C断層

(M6.9,等価震源距離 11.0km)

- (6) 白木 丹生断層
  - (M6.8,等価震源距離 10.5km)

 (1)安島岬沖断層,和布 - 干飯崎沖断層,甲楽城断層 (2)浦底 - 内池見断層

 (3)ウツロギ峠北方 - 池河内断層
 (4)野坂断層,B断層,大陸棚外縁断層

 (5)C断層
 (6)白木 - 丹生断層





### <sup>1. 検討方針</sup> 審査ガイド要求事項と検討方針

#### 震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価(審査ガイドから抜粋)

- 1) 震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価においては,地表に 変位を伴う断層全体(地表地震断層から震源断層までの断層全 体)を考慮した上で,震源モデルの形状及び位置の妥当性,敷地 及びそこに設置する施設との位置関係,並びに震源特性パラメー タの設定の妥当性について詳細に検討されていることを確認する。
- 2) これらの検討結果を踏まえた評価手法の適用性に留意の上,各種の不確かさが地震動評価に与える影響をより詳細に評価し,震源の極近傍での地震動の特徴に係る最新の科学的・技術的知見を踏まえた上で,さらに十分な余裕を考慮して地震動が評価されていることを確認する。特に,評価地点近傍に存在する強震動生成領域(アスペリテリィ)での応力降下量などの強震動の生成強度に関するパラメータ,強震動生成領域同士の破壊開始時間のずれや破壊進行パターンの設定において,不確かさを考慮し,破壊シナリオが適切に考慮されていることを確認する。
- 3) なお、震源の極近傍での地震動の特徴に係る最新の科学的・技術的知見を取り込んだ手法により、地表に変位を伴う国内外被害地震の震源極近傍の地震動記録に対して適切な再現解析を行い震源モデルに基づく短周期地震動、長周期地震動及び永久変位を十分に説明できていることを確認する。この場合、特に永久変位・変形についても実現象を適切に再現できていることを確認する。さらに、浅部における断層のずれの進展の不均質性が地震動評価へ及ぼす影響を検討するとともに、浅部における断層のずれの不確かさが十分に評価されていることを確認する。
- 4) 震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価においては,破壊伝 播効果が地震動へ与える影響について,十分に精査されていることを確認する。また,水平動成分に加えて上下動成分の評価が適切に行われていることを確認する。

#### 審査ガイドを踏まえた検討方針

- 従来の震源断層だけのモデル(深部断層)に加えて,震源断層上端から地表地震断層まで(浅部断層)を含めて断層全体をモデル化(浅部断層+深部断層)する。
- 震源極近傍における地震動の特徴等に関する 知見を収集・整理し,震源モデルの設定方法を 検討する。
- 2016年熊本地震では,地表地震断層の近傍で 永久変位も含めた地震観測記録が得られてい ることから,その記録の再現解析を行い,震源 モデル設定方法の妥当性を検証する。
- 浦底 内池見断層に対し,上記で検討した震源モデルの設定方法に基づいて地震動評価を行う。評価に際しては,破壊シナリオを適切に考慮し,十分な余裕を考慮する。



## 目次

1. 検討方針

#### 2.知見の整理

- 2.1 震源極近傍における地震動の特徴に関する知見
- 2.2 すべり分布, すべり速度等に関する知見
- 2.3 地震観測記録の再現解析
- 2.4 震源極近傍における被害分析
- 2.5 まとめ
- 3. 震源モデルの設定法
  - 3.1 震源モデルの設定法
  - 3.2 2016年熊本地震での検証
  - 3.3 まとめ
- 4. 浦底 内池見断層の地震動評価
  - 4.1 震源モデルの設定
  - 4.2 断層モデル手法による地震動評価
  - 4.3 まとめ
- 5.全体まとめ
- 6.参考文献

参考資料 基準地震動Ssについて



## 概要

#### 地表地震断層が現れ,震源域近傍で観測記録が得られた地震を対象として既往の知見を収集し,震源が敷地に極 めて近い場合の地震動に関する特徴を整理した。

		地震名等	文献	選定理由(着眼点)
2.1	震源極近傍における	理論的考察	理論地震動研究会(1994),野津 (2006), <u>Hisada and Bielak(2003) 1</u>	震源極近傍における地震動の特徴
	心宸町の行倒に関 する知日	1992年ランダース地震	Hisada and Bielak(2004)	について整理されているため。
	y ovhju	2016年熊本地震	岩田(2016)	
	2.2 すべり分布,すべり 速度等に関する知 見	統計的検討	Kagawa et al.(2004) <sup>2</sup>	
2.2		2014年長野県北部地震	引間他(2015)	   震源インバージョンの結果として,
		2016年熊本地震	Kubo et al.(2016),引間(2016),引 間・三宅(2016),Asano and Iwata (2016)	すべり速度時間関数が示されてい るため。
	地震観測記録の再 現解析	1992年ランダース地震	田中他(2017a)	
2.3		1999年集集地震	金田他(2017)	
		2011年福島県浜通り地震	田中他(2017b)	震源域近傍で得られた地震観測記
		2014年長野県北部地震	田中他(2017b)	録の再現解析が行われているため。
		2016年熊本地震	入倉 · 倉橋 (2017), 生玉他 (2017), 久田 · 田中 (2017)	
2.4	震源極近傍における 被害分析	1999年集集地震	久田(2004)	震源近傍における被害分布につい
		2011年福島県浜通り地震	久田他(2012)	て,断層変位によるものと揺れによ
		2014年長野県北部地震	石川·久田(2017)	るものを区分して整理されているた
		2016年熊本地震	Hisada et al.(2017)	め。

下線は浦底 - 内池見断層の地震動評価で直接用いている知見。

1 地震動評価手法に関する知見として用いている。
 2 震源パラメータの設定に関する知見として用いている。



2. 知見の整理 2.1 震源極近傍における地震動の特徴に関する知見

## 理論的考察 理論地震動研究会(1994)

#### 時間領域の表現

せん断くい違い型点震源によって3次元均質等方線形な全無限弾性体中の任意点xに生じるn方向変位u<sub>n</sub>(x,t)



- 振幅の距離減衰は,近地項は1/r<sup>4</sup>,中間項は1/r<sup>2</sup>,遠地項は1/rである。
- ・永久変位は近地項と中間項から生じ,1/r<sup>2</sup>で減少する。

#### 周波数領域の表現

$$k_P = rac{\omega}{lpha} = rac{2\pi}{l_P}$$
 ,  $k_S = rac{\omega}{eta} = rac{2\pi}{l_S}$ 

- $k_s r = \omega r / \beta = 2\pi r / l_s < 1$ のときには,相対的に近地項の寄与が大きくなり遠地項の寄与が小さくなる。すなわち,波の波長 $l_s$ に対して距離rが数倍以下ならば近地項が卓越する(P波も同様)。
- この条件を満たす が小さな低周波数(長周期)領域,rが小さな震源近傍では近地項が卓越する。

理論地震動研究会(1994)より抜粋・加筆

k, k, P波, S波の波数, l, l, P波, S波の波長



### 理論的考察 野津(2006)

野津(2006)では,統計的グリーン関数法に近地項および中間項の影響を取り入れるための定式化がなされ,遠地 項のみを考慮した場合と近地項・中間項・遠地項を考慮した場合の震源スペクトル比が示されている。

(1)式の絶対値は,r / が小さいとき1より大きく,r / が中間的な値のときにいったん1より小さくなり,r / が大きいときには1に漸近する。すなわち,r / が小さいときには近地項と中間項を無視することにより地震動を 過小評価する可能性があり,r / が中間的な値のときは近地項と中間項を無視することにより地震動を過大評 価する可能性があるとされている。



👉 ifhTh

震源極近傍における地震動の特徴が整理されており,地表断層が現れる場合,地表断層の近傍では断層のくい違い運動による大変位が発生し,長周期成分の卓越する波形となるとされている。

また,地震動に関する理論的検討から,断層の極近傍では近 地項や中間項の寄与による長周期パルス・永久変位が断層平 行方向に現れることが示されている。





Hisada and Bielak(2003)より抜粋・加筆



## 1992年ランダース地震 Hisada and Bielak(2004)

1992年ランダース地震を対象として,波数積分法(Hisada and Bielak(2003))を用いた強震動計算が行われている。 計算結果は,断層近傍の観測記録に見られる断層直交成分のディレクティビティパルス及び断層平行成分のフリン グステップをよく表現しているとされている。



実線:計算, 破線:記録

Hisada and Bielak(2004)より抜粋・加筆



## 2016年熊本地震 岩田(2016)

👍 げんてん

2016年熊本地震の本震時に震度7となった益城町宮園及び西原村小森における加速度記録を積分して,速度及び 変位記録が求められており,加速度記録を用いた変位量の推定は誤差が含まれていると考えられるが,両地点と も北北東方向の移動量と沈降量は地殻変動情報とほぼ一致しており信頼できるものと考えられるとされている。



## 目次

#### 1. 検討方針

#### 2.知見の整理

2.1 震源極近傍における地震動の特徴に関する知見

#### 2.2 すべり分布, すべり速度等に関する知見

- 2.3 地震観測記録の再現解析
- 2.4 震源極近傍における被害分析
- 2.5 まとめ
- 3.震源モデルの設定法
  - 3.1 震源モデルの設定法
  - 3.2 2016年熊本地震での検証
  - 3.3 まとめ
- 4. 浦底 内池見断層の地震動評価
  - 4.1 震源モデルの設定
  - 4.2 断層モデル手法による地震動評価
  - 4.3 まとめ
- 5.全体まとめ
- 6.参考文献
- 補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について
- 補足説明資料2 浦底 内池見断層の設定について

参考資料 基準地震動Ssについて



## 統計的検討(浅いアスペリティと深いアスペリティの関係) Kagawa et al. (2004)

Somerville et al.(1999)が内陸地震のスケーリング則の構築に用いた地震に,日本の内陸地震及び近年の大地震の非一様すべりモデルを加え,Somerville et al.(1999)の基準を深さ5kmよりも浅いすべりと深いすべりに適用する ことで,浅いアスペリティと深いアスペリティの特徴が整理されており,深いアスペリティのすべり速度は浅いアスペ リティの2倍程度とされている。

Figure 7 shows the depth distribution of the slip velocities  $V_{eff}$  for the same asperity data. Again, slip velocities on the deep asperities are about twice those of the shallow asperities: 133 ± 60 cm/s and 286 ± 164 cm/s respectively.

深いアスペリティのすべり速度は浅いアスペリティの2倍程度となっている。



アスペリティのすべり速度と深さの関係

Kagawa et al.(2004)より抜粋・加筆



## 2014年長野県北部の地震 引間他(2015)

地表地震断層が確認された2014年長野県北部の地震(Mj6.7)について,断層上の深部から浅部までの高分解能な時空間すべり分布が推定され,強震動生成との関係について検討されている。

すべり速度時間関数について, 深部は立ち上がりが鋭く最大速 度も大きいが,浅部は相対的に 最大速度が小さく幅広であるとい う違いが見られたとされている。

また,深部では短周期の地震動 を多く放出し,浅部では最終すべ 36'48' り量は大きかったものの,強震動 の生成は相対的に小さかったと 考えられるとされている。



引間他(2015)より抜粋



2016年熊本地震について、マルチタイム ウィンドウ線形波形インバージョン法に基 づき、断層破壊過程が推定されている。 破壊開始点付近のすべり量は小さいが 短周期地震動の放射は強く、破壊開始 点から北東に10~30kmの領域はすべり 量は大きいが短周期地震動の放射は弱 いことが示唆されるとされている。







## 2016年熊本地震 引間(2016),引間·三宅(2016)

2016年熊本地震について,強震波形を用いた震源インバージョン解析により,震源過程が推定されている。

すべり速度時間関数から,益城町の直下に 相当する北側断層の南側付近(Bの範囲) では時間幅が短いことから,短周期成分を 大きく放出した可能性があるとされている。

また,断層の浅部では時間幅が長く,最大 速度は相対的に小さいことから,短周期成 分の放出は少ないが,最終すべり量は大き いと解釈することもできるとされている。







## 2016年熊本地震 Asano and Iwata (2016)

2016年熊本地震に対し,マルチタイムウィ ンドウ線形波形インバージョン法に基づき, 断層破壊過程が推定されている。

布田川断層沿いの最浅部のすべり量は1 ~4mであり,地表破壊の出現と整合してい るとされている。

また,モーメント解放の継続時間は,浅部 の方が深部より長いとされている。







モーメントレート関数 Asano and Iwata (2016) より抜粋・加筆



#### 1. 検討方針

#### 2.知見の整理

- 2.1 震源極近傍における地震動の特徴に関する知見
- 2.2 すべり分布, すべり速度等に関する知見

#### 2.3 地震観測記録の再現解析

- 2.4 震源極近傍における被害分析
- 2.5 まとめ
- 3.震源モデルの設定法
  - 3.1 震源モデルの設定法
  - 3.2 2016年熊本地震での検証
  - 3.3 まとめ
- 4. 浦底 内池見断層の地震動評価
  - 4.1 震源モデルの設定
  - 4.2 断層モデル手法による地震動評価
  - 4.3 まとめ
- 5.全体まとめ
- 6.参考文献
- 補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について
- 補足説明資料2 浦底 内池見断層の設定について

参考資料 基準地震動Ssについて



### 2. 知見の整理 2.3 地震観測記録の再現解析 1992年ランダース地震等 田中他(2017a)

2016年熊本地震,1992年ランダース地震,2014年長野県北部の地震を対象に理論的手法を用いて震源近傍で得られた観測記録の再現解析が行われている。

震源逆解析において感度が高いと考えられる観測点近傍の地震発生層以浅の小断層を対象に,震源逆解析のすべ り速度時間関数を規格化Yoffe関数で近似することで,観測記録及び震源逆解析の結果を再現できることが示されて いる。





#### 2. 知見の整理 2.3 地震観測記録の再現解析 1999年集集地震 金田他(2017)

1999年集集地震を対象に理論的手法を用いて震源近傍で得られた観測記録の再現解析が行われている。

震源逆解析において感度が高いと考えられる観測点近傍の地震発生層以浅の小断層を対象に、震源逆解析のすべ り速度時間関数を規格化Yoffe関数で近似することで、観測記録及び震源逆解析の結果を再現できることが示されて いる。



深さ3km以浅を対象としている。

度時間関数を規格化Yoffe関数で近似





### 2011年福島県浜通り地震 田中他(2017b)

2011年福島県浜通り地震を対象に理論的手法(波数積分法)を用いて震源近傍で得られた観測記録の再現解析が 行われている。

地震発生層以浅の平均的なすべり速度時間関数として,震源インバージョンの結果から規格化Yoffe関数を設定し, 地震発生層以深に強震動レシピによるすべり速度時間関数を適用した評価と組み合わせることで観測記録を良く再 現できるとされている。





🜗 げんてん

## 2014長野県北部地震 田中他(2017b)

2014年長野県北部地震を対象に理論的手法(波数積分法)を用いて震源近傍で得られた観測記録の再現解析が行われている。

地震発生層以浅の平均的なすべり速度時間関数として,震源インバージョンの結果から規格化Yoffe関数を設定し, 地震発生層以深に強震動レシピによるすべり速度時間関数を適用した評価と組み合わせることで観測記録を良く再 現できるとされている。



26

地表地震断層の近傍域の強震動予測のため、フリング・ステップを有する長周期 地震動も含むように従来のSMGAからなる特性化震源モデルが拡張され,拡張特 性化震源モデルが提案されている。

2016年熊本地震のように地表地震断層が出現するような規模の大きい地殻地震 が発生した場合、断層極近傍域においてフリング・ステップを有する長周期地震動 が生成される可能性が高く、このような長周期地震動は、地震発生層以浅に長周 期地震動生成域(LMGA)を設定してHisada and Bielak(2003)で開発された理論的 地震動評価法を用いて評価可能なことが明らかになったとされている。

Time\_sec

速度

Time\_sec



Time sec

Time\_sec

入倉・倉橋(2017)より抜粋・加筆

Time sec

Time sec

変位

KMMH03

33'00

MM003



録の比較

黒:観測記録

赤:合成波形

# 2. 知見の整理 2.3 地震観測記録の再現解析 2016年熊本地震 生玉他(2017)

地表地震断層極近傍における強震動及び永久変位の評価を行うため,地表面から震源断層までの断層全体を含め たモデルの設定法および地震動の計算法が提案されている。

この考え方が2016年熊本地震における地表地震断層近傍の観測記録の再現解析により検証され,観測記録の特徴 を良く再現できており,有効であることを確認したとされている。



👉 iFhT h

# 2. 知見の整理 2.3 地震観測記録の再現解析 2016年熊本地震 久田・田中(2017)

地表地震断層近傍の断層変位を考慮した修正強震動予測レシピが提案され,KiK-net益城と西原村の強震記録の再 現検討が行われている。

KiK-net益城では観測波と計算波はよく一致するとされ,西原村でも2つの修正震源モデル により,観測記録が非常 に良く再現されていると結論づけられている。

<モデル化の考え方>

新田田切入

ALC: N. H. A. H.

(#1012177)

64.48

MILEN A.

MARKING &

- 地震発生層内では、従来の強震動レシピに準拠した震源断層モデルを 設定。
- 地震発生層以浅の大すべり領域は,地震発生層内の強震動生成域と 同程度の長さ及びすべり量を持つとしてモデル化。
- その他の背景領域では,地震発生層内の背景領域と同じすべり量を設定。
- すべり速度関数は,地震発生層内は強震動レシピによる中村・宮武関数を,地震発生層以浅は規格化Yoffe関数による滑らかな関数形を採用。

Chris.

Jkr-

20km

Altere Bill

24

T-59418

オペリスショ

有当川原藩(320m)

すべりふうの

wannet wannet

(1) 修正震源モデル(1) (図 13 モデルの地震発生

展以深のアスペリティーにすべり量を2倍

wattent: wattent

目標気新聞(the)

日前3.新春(12)の

地震動評価手法は理論的手法(波数積分法)。

128.0

Dent

Oktr

344

230

11000

NTH

● 地震発生層上端を深さ3kmとしている。

R.K. opt 22 Md

8 X H

10100

修正震源モデル :地震発生層以浅の大すべり領域のすべり量を1.4倍の4.1mに設定し、 すべり角を200°から225°に、すべり速度関数も約3割短縮したモデル

修正震源モデル :出ノロ断層を加え,大すべり領域のすべり量を3.3m,出ノロ断層のすべり角を225°としたモデル



二つの修正震源モデルを使用した断層近傍強震動(西原村)の再現

② (#エ素調モデル2) (図13 モデルの布田川・日奈久断層に加え、出ノロ断層を追加) 震源逆解析モデルを使用した断層近傍強震動(益城町と西原村)の再現

三/ 口新聞 13km

🜗 ifhTh

久田・田中(2017)より抜粋・加筆

#### 1. 検討方針

#### 2.知見の整理

- 2.1 震源極近傍における地震動の特徴に関する知見
- 2.2 すべり分布, すべり速度等に関する知見
- 2.3 地震観測記録の再現解析

#### 2.4 震源極近傍における被害分析

- 2.5 まとめ
- 3.震源モデルの設定法
  - 3.1 震源モデルの設定法
  - 3.2 2016年熊本地震での検証
  - 3.3 まとめ
- 4. 浦底 内池見断層の地震動評価
  - 4.1 震源モデルの設定
  - 4.2 断層モデル手法による地震動評価
  - 4.3 まとめ
- 5.全体まとめ
- 6.参考文献
- 補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について
- 補足説明資料2 浦底 内池見断層の設定について

参考資料 基準地震動Ssについて



2. 知見の整理 2.4 震源極近傍における被害分析
 1999年台湾集集地震 久田(2004)



## 2011年福島県浜通り地震 久田他(2012)

2011年福島県浜通り地震(Mj7.0)の地震動レベルや地表断層の極近傍における建物被害の特徴が整理されている。

甚大な建物の被害は,地表地震断層の直上による地盤変状 (断層すべりや地盤傾斜)に起因し,強震動による甚大な被害 は殆ど無く,断層の近傍で推定される震度も5強から6弱程度 であることが分かったとされている。

また,地表地震断層の直上の建物では,最大で80cmにも達 する断層すべり変位の影響により,大きな変形や傾斜による 被害が生じたが,耐震性に劣る1棟の寺院の山門を除き,倒 壊した建物は無かったとされている。





福島県浜通り地震による地表地震断層と 断層の近傍での悉皆調査地点



久田他(2012)より抜粋・加筆



2014年長野県北部の地震(Mi6.7)発生後,地表地震断層の近傍で 建物被害調査が実施されている。

明瞭な地表地震断層が出現した大出地区や城山地区では,断層の 直上の建物には断層ズレに起因する基礎への被害(破壊やクラッ ク)や建物傾斜が見られたが,断層直上以外ではほとんど被害は確 認されず、強い地震動は生じなかったと推定されたとされている。



IFhTh

(株林市)

(単語) (\$18)

2016年熊本地震における地表地震断層の近傍(南阿 蘇村,下陳,高木)を中心に,建物被害調査が実施さ れている。

下陳地区の地盤条件は良好と考えられており、全半壊 したのは断層直上に位置する非常に古い木造住宅で 強震動による被害というよりも断層ずれに伴う地盤変 状による強制変形による被害であったとされている。

2000年以降の新しい建物は、べた基礎や上部構造の 高い耐震性能,軽い屋根等の効果と併せて,地表地 一震断層の直上でもほぼ例外なく軽微な被害であったと されている。







surface fault (Damage grade 3)

a) An old wooden house (left) on the (b) A very old wooden house on the surface fault of the front (left: Damage grade 3), and the back (right: a very old warehouse of damage grade 1)

Building (c)



(c) Surface faulting (left) and a very old wooden house on the fault (center and right)

Fig.6 - Building damage on the surface faults in the Shimojin area (see the locations of buildings in Fig.2(b))10



Hisada et al.(2017)より抜粋・加筆



地表地震断層が現れ,震源域近傍で観測記録が得られた地震を対象として既往の知見を収集し, 震源が敷地に極めて近い場合の地震動に関する特徴を整理した。

震源極近傍における地震動の特徴

- 理論地震動研究会(1994)の理論的検討から,震源極近傍では近地項や中間項の影響が顕著 になる。
- •野津(2006)では,震源極近傍においては近地項・中間項の影響が無視できないため,統計的グリーン関数法にこれらの影響を取り入れる手法が提案されている。
- Hisada and Bielak(2003)によると、地震動に関する理論的検討から、断層の極近傍では近地項 や中間項の寄与による長周期パルス・永久変位が断層平行方向に現れるとされている。
- このような震源極近傍における地震動の特徴は、1992年ランダース地震や2016年熊本地震における地表地震断層の近傍観測点の地震観測記録に現れている。

すべり分布,すべり速度等に関する知見

- Kagawa et al.(2004)によると、深いアスペリティのすべり速度は浅いアスペリティの2倍程度と されている。
- 引間他(2015)によると、2014年長野県北部地震について、深部では短周期の地震動を多く放出し、浅部では最終すべり量は大きかったものの、強震動の生成は相対的に小さかったと考えられるとされている。
- 2016年熊本地震のすべり速度時間関数について, Kubo et al.(2016), 引間(2016)及び Asano and Iwata(2016)では, いずれも深部は立ち上がりが鋭く最大速度が大きいKostrov型, 浅部は幅広で最大速度が小さい形状になっており整合的である。



地震観測記録の再現解析

- 1992年ランダース地震,1999年集集地震,2014年長野県北部地震等の地震観測記録の再現 解析について,金田他(2017),田中他(2017a)等では,いずれも地震発生層以浅の領域に対 してなだらかな形状を持ったすべり速度時間関数を適用し,理論的手法で評価することで,震源 極近傍の地震動の特徴が概ね再現されており整合的である。
- 2016年熊本地震の地震観測記録の再現解析について、入倉・倉橋(2017)、生玉他(2017)、 久田・田中(2017)では、いずれも従来のSMGAモデルや強震動予測レシピによるモデルに加 えて、地震発生層以浅の領域を理論的手法で評価することで、震源極近傍の地震動の特徴が 概ね再現されており整合的である。

被害分析

・地表地震断層を伴う地震における断層近傍の建物の被害について,久田(2004),久田他 (2012)等では,断層変位に起因する被害は見られるものの,強震動に起因する被害は小さいと する分析結果が示されている。



- ・ 震源極近傍では近地項や中間項の影響が顕著になる。理論的手法では近地項や遠地項が考慮されているが,統計的グリーン関数法では一般に遠地項のみで評価されるため,震源極近傍では近地項・中間項の影響を確認し,過小評価しないようにする必要がある。
- ・ 地震発生層以浅の領域による地震動への影響は,主に長周期成分にみられる。
- ・ 強震動予測レシピに加えて, 地震発生層以浅の領域を理論的手法で評価することで, 震源近傍の 地震動の特徴を再現できる。


### 目次

- 1. 検討方針
- 2. 知見の整理
  - 2.1 震源極近傍における地震動の特徴に関する知見
  - 2.2 すべり分布, すべり速度等に関する知見
  - 2.3 地震観測記録の再現解析
  - 2.4 震源極近傍における被害分析
  - 2.5 まとめ
- 3. 震源モデルの設定法
  - 3.1 震源モデルの設定法
  - 3.2 2016年熊本地震での検証
  - 3.3 まとめ
- 4. 浦底 内池見断層の地震動評価
  - 4.1 震源モデルの設定
  - 4.2 断層モデル手法による地震動評価
  - 4.3 まとめ
- 5.全体まとめ
- 6.参考文献
- 補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について
- 補足説明資料2 浦底 内池見断層の設定について

参考資料 基準地震動Ssについて



知見の整理を踏まえて,震源が敷地に極めて近い場合においては,震源断層(深部断層)に加え,震源断層から地 表面まで(浅部断層)の断層全体をモデル化し,深部断層をハイブリット合成法(統計的グリーン関数法+理論的手法),浅部断層を理論的手法で地震動を評価する。

【深部断層】

・ 強震動予測レシピ等を参考にパラメータを設定する。

【浅部断層】

• 理論的手法で地震動を評価する上で必要な下記のパラメータを設定する。

すべり量 すべり速度時間関数 最大すべり速度 ライズタイム





強震動予測レシピ等を参考にパラメータを設定する。



生玉他(2017)より抜粋



理論的手法で地震動を評価する上で必要な下記のパラメータを設定する。

すべり量 すべり速度時間関数 最大すべり速度 ライズタイム

浅部断層は,深部断層のアスペリティ部分と背景領域部分にそれぞれ対応するすべりとして,深部断層アスペリティ 直上部分に浅部断層大すべり域,深部断層背景領域直上部分に浅部断層小すべり域を設定してモデル化する。



生玉他(2017)より抜粋



#### 3. 震源モデルの設定法 3.1 震源モデルの設定法 **浅部断層の設定( すべり量)**

大すべり域,小すべり域のすべり量については,以下のように設定する。

大すべり域のすべり量 $D_{large(i)}$  (a ~ cから適切に選択)



# 小すべり域のすべり量D<sub>small(浅)</sub>

大すべり域のすべり量 $D_{large(3)}$ に,深部断層のアスペリティのすべり量 $D_{a(R)}$ と背景領域のすべり量 $D_{b(R)}$ の比を考慮して設定

$$D_{small(\mathcal{K})} = D_{large(\mathcal{K})} \frac{D_{b(\mathcal{K})}}{D_{a(\mathcal{K})}}$$



### 3. 震源モデルの設定法 3.1 震源モデルの設定法 浅部断層の設定( すべり速度時間関数)

浅部断層に対するすべり速度時間関数については,深部断層に対する理論計算で用いるすべり速度時間関数と同 じ関数型を用いることとするが,すべり量や最大すべり速度については浅部断層固有の値を設定する。

深部断層のすべり速度時間関数として三角形関数を用いることとする。





最大すべり速度

- Kagawa et al. (2004)を参考として, 浅部断層の大すべり域の最大すべり速度は, 深部断層のアスペリティの最大すべり速度の半分とする。
- 浅部断層の小すべり域の最大すべり速度についても深部断層の背景領域の最大すべり速度の半分とする。
- 深部断層のアスペリティ及び背景領域の最大すべり速度は、それぞれのすべり量の2倍をライズタイムで割ることで求める。この時のライズタイムはSomerville et al. (1999)に基づき設定する。

ライズタイム

浅部断層の大すべり域及び小すべり域のライズタイムは,設定したすべり量の2倍を最大すべり速度で除して求める。





### 地震動評価手法

知見整理の結果,震源近傍では近地項や中間項の影響が顕著になり,また,地震発生層以浅の領域による地震動 への影響は主に長周期成分にみられる。そのため,浅部断層は近地項,中間項,遠地項を考慮できる理論的手法 (波数積分法)で評価する。

深部断層については,統計的グリーン関数法の適用性を確認した上でハイブリット合成法(統計的グリーン関数法+理論的手法(波数積分法))で評価する。

深部断層と浅部断層の地震動評価結果を,断層面の破壊遅れ時間を考慮して時刻歴上で足し合わせることにより, 深部断層+浅部断層の地震動を作成する。 野津(2006)の震源スペクトル比((近地項+中間項+遠地項)/遠地項)を用い



### 目次

- 1. 検討方針
- 2. 知見の整理
  - 2.1 震源極近傍における地震動の特徴に関する知見
  - 2.2 すべり分布, すべり速度等に関する知見
  - 2.3 地震観測記録の再現解析
  - 2.4 震源極近傍における被害分析
  - 2.5 まとめ
- 3.震源モデルの設定法
  - 3.1 震源モデルの設定法
  - 3.2 2016年熊本地震での検証
  - 3.3 まとめ
- 4. 浦底 内池見断層の地震動評価
  - 4.1 震源モデルの設定
  - 4.2 断層モデル手法による地震動評価
  - 4.3 まとめ
- 5.全体まとめ
- 6.参考文献
- 補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について
- 補足説明資料2 浦底 内池見断層の設定について

参考資料 基準地震動Ssについて



2016年熊本地震(Mj7.3)では,地表地震断層近傍の地震観測記録(西原村小森及びKiK-net益城)が得られたため, これらの再現解析により,震源モデルの設定法の妥当性を検証した。

震源モデルは生玉他(2017)を用いる。



👍 ifhTh

震源モデルは,小穴他(2017)の特性化震源モデル に,背景領域及び浅部断層を付加して設定した。 Asano and Iwata(2016)の震源インバージョン結果を参考に統計的グリーン関数法を用いて推定(補足説明資料1参照)。

浅部断層の大すべり域はアスペリティ1の直上に配置し,その平均すべり量は,西原村において国土地理院の緊急 GNSS観測で約2mの沈降が確認されていることや,西原村の地震観測記録の変位波形に約2mの永久変位が観測 されていることを参考に4mとした。

深部断層はハイブリッド合成法(統計的グリーン関数法と波数積分法),浅部断層は波数積分法により地震動を評価した。





# 震源モデルの設定(断層パラメータ)(1/2)

#### 2016年熊本地震の再現解析に用いる断層パラメータ

< 巨視的断層パラメータ>

断層パラメータ		記号	単位	設定結果	設定根拠	
	6	布田川断層	-	-	55 °	Asano and Iwata(2016)
	ניין	日奈久断層	-	-	25 °	Asano and Iwata(2016)
(店4	× 4	布田川断層	-	-	65 °	Asano and Iwata(2016)
1頃1	计用	日奈久断層	-	-	72 °	Asano and Iwata(2016)
	すべり	)角	-	-	0~45°	Asano and Iwata(2016)を参考に領域ごとに設 定
策図ト	北谷さ	浅部	dep	km	0	地表
的眉上	小小て	深部	dep	km	2	Asano and Iwata(2016)を参考に設定
		布田川断層	L	km	28	Asano and Iwata(2016)
断層	長さ	日奈久断層	L	km	14	Asano and Iwata(2016)
		全体	L	km	42	Asano and Iwata(2016)
	布田川	浅部	${\tt W}_{\tt s}$	km	2.2	Asano and Iwata(2016)を地表まで延長
杀到高	断層	深部	$W_{d}$	km	18.0	Asano and Iwata(2016)
的間面	日奈久	浅部	W	km	2.1	Asano and Iwata(2016)を地表まで延長
	断層	深部	W	km	18.0	Asano and Iwata(2016)
		浅部	Ss	km <sup>2</sup>	91.0	Asano and Iwata(2016)を地表まで延長
断層	面積	深部	$S_{d}$	km²	756.0	Asano and Iwata(2016)
		合計	S	km <sup>2</sup>	847.0	S=S <sub>d</sub> +S <sub>s</sub>
	剛性	率	μ	N/m <sup>2</sup>	3.12E+10	μ = 2
	S波速	度		km/s	3.4	小穴他(2017)による
密度				g/cm <sup>3</sup>	2.7	小穴他(2017)による
	破壊伝播	<b></b> 種速度	Vr	km/s	2.7 ~ 3.0	小穴他(2017)により,領域ごとに設定
	地震モー	・メント	$M_0$	N∙m	4.42 × 10 <sup>19</sup>	F-net
ŧ	ーメントマグ	ニチュード	$M_W$	-	7.0	M <sub>W</sub> =(logM <sub>0</sub> -9.1)/1.5
	平均すく	べり量	D	m	1.87	$D=M_0/(\mu S_d)$

<深部の断層パラメータ>

		+						
断	<b>曾バラメータ</b>	記号	単位	設定結果	設定根拠			
	地震モーメント	$M_{0a}$	N∙m	2.70 × 10 <sup>19</sup>	M <sub>0a</sub> = M <sub>0ai</sub>			
ゲスペリティ・ 全体 ティ・	短周期レベル	А	N∙m/s²	1.14 × 10 <sup>19</sup>	A= $(A_{ai}^{2})^{0.5}$			
	面積	Sa	km <sup>2</sup>	220	S <sub>a</sub> = S <sub>ai</sub>			
	面積比	S	-	0.26	<sub>S</sub> =S <sub>a</sub> /S			
	地震モーメント	M <sub>0ai</sub>	N∙m	1.87 × 10 <sup>19</sup>	$M_{0ai}{=}\;\mu\;D_{ai}S_{ai}$			
	短周期レベル	A <sub>ai</sub>	N∙m/s²	5.39 × 10 <sup>18</sup>	$A_{ai}=4$ <sup>2</sup> $_{ai}(S_{ai}/)^{0.5}$			
	面積	S <sub>ai</sub>	km <sup>2</sup>	120	小穴他(2017)による			
アス	平均すべり量	D <sub>ai</sub>	m	5.0	小穴他(2017)による			
ペリティ1	すべり角	-	-	35 °	小穴他(2017)による			
	応力降下量	ai	MPa	6.0	小穴他(2017)による			
	破壊伝播速度	Vr	km/s	3.0	小穴他(2017)による			
	ライズタイム	t <sub>ai</sub>	S	1.55	Somerville et al.(1999): t <sub>ai</sub> =2.03 × 10 <sup>-9</sup> × (M <sub>0</sub> × 10 <sup>7</sup> ) <sup>1/3</sup>			
	すべり速度	$V_{ai}$	m/s	6.5	$V_{ai}=D_{ai}/t_{ai} \times 2$			
	地震モーメント	M <sub>0ai</sub>	N∙m	5.99 × 10 <sup>18</sup>	$M_{0a}$ = $\mu D_a S_a$			
	短周期レベル	$A_{ai}$	N∙m/s²	8.52 × 10 <sup>18</sup>	$A_{ai}=4$ <sup>2</sup> $_{ai}(S_{ai}/)^{0.5}$			
	面積	Sai	km²	64	小穴他(2017)による			
アス	平均すべり量	D <sub>ai</sub>	m	3.0	小穴他(2017)による			
ペリテ	すべり角	-	-	45 °	小穴他(2017)による			
ר 2	応力降下量	ai	MPa	13.0	小穴他(2017)による			
	破壊伝播速度	Vr	km/s	2.7	小穴他(2017)による			
	ライズタイム	t <sub>ai</sub>	S	1.55	Somerville et al.(1999): $t_{ai}=2.03 \times 10^{-9} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$			
	すべり速度	V <sub>ai</sub>	m/s	3.9	$V_{ai}=D_{ai}/t_{ai} \times 2$			



# **震源モデルの設定(断層パラメータ)(2/2)**

#### 2016年熊本地震の再現解析に用いる断層パラメータ

<深部の断層パラメータ>

	断層パラン	<b>レータ</b>	記号	単位	設定結果	設定根拠		
	地震モーメント		M <sub>0ai</sub>	N∙m	2.25 × 10 <sup>18</sup>	$M_{0a} = \mu D_a S_a$		
4	短周期レベル		A <sub>ai</sub>	N∙m/s²	5.41 × 10 <sup>18</sup>	$A_{ai}=4$ $^{2}$ $_{ai}(S_{ai}/)^{0.5}$		
	面	積	Sai	km <sup>2</sup>	36	小穴他(2017)による		
ノス	平均す	べり量	Dai	m	2.0	小穴他(2017)による		
Ξ	すべ	り角	-	-	0 °	小穴他(2017)による		
アイ	応力降	峰下量	ai	MPa	11.0	小穴他(2017)による		
3 破壊伝播速度 V <sub>r</sub> km/s 3.0 小穴他(2017)によ	小穴他(2017)による							
	ライズ	ቃተム	t <sub>ai</sub>	s	1.55	Somerville et al.(1999): $t_{ai}$ =2.03 × 10 <sup>-9</sup> × (M <sub>0</sub> × 10 <sup>7</sup> ) <sup>1/3</sup>		
	すべ!	〕速度	V <sub>ai</sub>	m/s	2.6	$V_{ai}=D_{ai}/t_{ai} \times 2$		
	地震t	->>>	M <sub>0b</sub>	N∙m	1.72 × 10 <sup>19</sup>	M <sub>0b</sub> =M <sub>0</sub> -M <sub>0a</sub>		
	背景领	頁域幅	Wb	km	18	W <sub>b</sub> =W		
	面	積	Sb	km <sup>2</sup>	536	S <sub>b</sub> =S <sub>d</sub> -S <sub>a</sub>		
	平均す	べり量	Db	m	1.03	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$		
	すべり角	布田川 断層	-	-	35 °	Asano and Iwata(2016)を参考に設定		
背景		日奈久 断層	-	-	0 °	Asano and Iwata(2016)を参考に設定		
領域	実効	応力	b	MPa	3.0	<sub>b</sub> =0.2 a(アスペリティ2の aを用いた)		
	破壊伝播	布田川 断層	Vr	km/s	3.0	小穴他(2017)を参考に設定		
	速度	日奈久 断層	Vr	km/s	3.0	小穴他(2017)を参考に設定		
	ライズタイム		t <sub>b</sub>	s	1.55	Somerville et al.(1999): $t_b=2.03 \times 10^{-9} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$		
	すべ!	)速度	Vb	m/s	1.3	$V_b = D_b / t_b \times 2$		
	Q值		Q <sub>0</sub> f <sup>a</sup>	-	62f <sup>0.87</sup>	小穴他(2017)による (佐藤(2016)のQ(f)=62f <sup>0.87</sup> , 1Hz以下で一定)		
	f <sub>max</sub>		f <sub>max</sub>	Hz	4.0	小穴他(2017)による		

< 浅部の断層パラメータ>

			<u> </u>				
	断層パラメ	<b>、</b> ータ	記号	単位	設定結果	設定根拠	
	地震モーメント		$M_{0as}$	N∙m	2.52 × 10 <sup>18</sup>	$M_{0as} = \mu D_{as} S_{as}$	
	面積		Sas	km²	20	小穴他(2017)による	
*	平均す	べり量	D <sub>as</sub>	m	4.0	観測記録を説明できるように設定	
すべり	すべ	り角	-	-	55 °	観測記録を説明できるように設定	
域	破壊伝	播速度	Vr	km/s	3.0	小穴他(2017)による	
	すべり	)速度	$V_{\text{as}}$	m/s	3.2		
	ライズ	タイム	t <sub>as</sub>	s	2.47	$t_{as}=D_{as}/V_{as} \times 2$	
	地震モーメント		$M_{0bs}$	N∙m	1.82 × 10 <sup>18</sup>	$M_{0bs} = \mu \ D_{bs} S_{bs}$	
	背景領域幅		$W_{\text{bs}}$	km	2.2	W <sub>b</sub> =W	
Γ	面積		S <sub>bs</sub>	km²	71	S <sub>bs</sub> =S <sub>s</sub> -S <sub>as</sub>	
	平均す	平均すべり量		m	0.82	$D_{bs}=D_{as} \times (D_b/D_{ai})$ ( $D_{ai}$   $dSMGA1 \ge bc$ )	
小す	すべい号	布田川 断層	-	-	35 °	観測記録を説明できるように設定	
ベリ域	タイリ里	日奈久 断層	-	-	10 °	観測記録を説明できるように設定	
	破壊伝播	布田川 断層	Vr	km/s	3.0	小穴他(2017)を参考に設定	
	速度	日奈久 断層	Vr	km/s	3.0	小穴他(2017)を参考に設定	
	すべり速度		$V_{\text{bs}}$	m/s	0.7	Kagawa et al.(2004)を参考として , 背景領域(深 部)のVbの半分とする	
	ライズタイム		t <sub>bs</sub>	S	2.47	$t_{bs}=D_{bs}/V_{bs} \times 2$	



### 震源モデルの設定(すべり速度時間関数)

すべり速度時間関数は三角形関数,浅部断層の大すべり域の最大すべり速度は,深部断層のアスペリティ1の最大 すべり速度の1/2とした。





# 前述のとおり設定した震源モデルを用いて,西原村小森とKiK-net益城で得られた観測記録の再現解析を行った。

再現解析に用いる地盤モデルは,益城町と西原村ともに小穴他(2017)の益城町の地盤モデルとした。また,観測記録 と計算結果とも小穴他(2017)で「工学的基盤」とされる上面で評価した。(補足説明資料1参照)

加速度波形の場合,深部断層だけでも深部断層と浅部断層の足し合わせでも計算結果に大きな差は生じず,どちらも 観測記録のNS, EW, UD成分を再現できる。



・観測記録については,2016年熊本地震の本震記録に基づき同定した小穴他(2017)による地盤モデルを用いて工学的基盤上面におけるはぎとり波として評価。 ・計算結果については,全国1次地下構造モデルを小地震記録でチューニングした小穴他(2017)による地盤モデルを用いて工学的基盤上で評価。



益城町の速度波形の場合,深部断層だけでも深部断層と浅部断層の足し合わせでも計算結果に大きな差は生じず, どちらも観測記録のNS, EW, UD成分を良〈再現できる。

西原村の速度波形の場合,深部断層だけでは観測記録のEW成分に対して過小評価となるが,浅部断層も考慮することで観測記録のNS,EW,UD成分を良〈再現できる。



益城町の変位波形の場合,深部断層だけでも深部断層と浅部断層の足し合わせでも計算結果に大きな差は生じず, どちらも観測記録のNS, EW, UD成分を良〈再現できる。

西原村の変位波形の場合,深部断層だけでは観測記録のEW,UD成分に対して過小評価となるが,浅部断層も考慮することで観測記録のNS,EW,UD成分を良く再現できる。



益城町,西原村とも,短周期から長周期の広帯域で観測記録と概ね整合している。

浅部断層の影響は,益城町では小さいが,断層に近い西原村では,特にEW方向とUD方向において,深部断層だけでは過小評価となる長周期成分の再現に寄与している。



### まとめ

震源モデルの設定法

知見の整理を踏まえて,震源が敷地に極めて近い場合においては,震源断層(深部断層)に加え,震源断層から地表面まで(浅部断層)の断層全体を含めた震源モデルを設定する。

- 深部断層をハイブリット合成法(統計的グリーン関数法 + 理論的手法),浅部断層を理論 的手法で地震動を評価する。
- 深部断層については,強震動予測レシピ等を参考にパラメータを設定する。
- 浅部断層については,理論的手法で地震動を評価する上で必要なパラメータを設定する。

2016年熊本地震での検証

2016年熊本地震(Mj7.3)における地表地震断層近傍の地震観測記録(西原村小森及びKiKnet益城)の再現解析を通して,震源モデル設定法の妥当性を検証した。

- ・ 深部断層は小穴他(2017)の特性化震源モデルに対して背景領域を考慮した。
- 小穴他(2017)に対して地表から深さ2kmまでの領域を浅部断層として付加し,理論計算に必要なパラメータを設定した。
- 深部断層だけでは西原村小森の観測記録に対し過小評価となるが,浅部断層を考慮することで良く再現できることを確認した。
- ・ 震源モデル設定法が妥当であることを確認した。



### 目次

- 1. 検討方針
- 2. 知見の整理
  - 2.1 震源極近傍における地震動の特徴に関する知見
  - 2.2 すべり分布, すべり速度等に関する知見
  - 2.3 地震観測記録の再現解析
  - 2.4 震源極近傍における被害分析
  - 2.5 まとめ
- 3. 震源モデルの設定法
  - 3.1 震源モデルの設定法
  - 3.2 2016年熊本地震での検証
  - 3.3 まとめ
- 4. 浦底 内池見断層の地震動評価
  - 4.1 震源モデルの設定
  - 4.2 断層モデル手法による地震動評価
  - 4.3 まとめ
- 5.全体まとめ
- 6.参考文献
- 補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について
- 補足説明資料2 浦底 内池見断層の設定について

参考資料 基準地震動Ssについて



### 敷地及び敷地周辺の地下構造評価方針

敷地及び敷地周辺の地下構造は,各種調査や検討結果を基に総合的に評価した。





#### 4. 浦底 - 内池見断層の地震動評価 4.1 震源モデルの設定 地震動評価に用いる地下構造モデル

PS検層や微動アレイ探査等の各種調査結果に基づき地下構造モデルを設定した。 地震発生層は4~18kmに推定されるため,断層上端深さ4km,断層下端深さ18kmと設定した。



平成27年11月5日設置変更許可申請以降,大深度ボーリング調査を実施しており説明性向上のため追加。



震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価(審査ガイドより)	具体的对応
1) 震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価においては, 地表に変位を伴う <u>断層全体(地表地震断層から震源断 層までの断層全体)を考慮した上で, 震源モデルの形状 及び位置の妥当性,敷地及びそこに設置する施設との位 置関係,並びに<u>震源特性パラメータの設定の妥当性</u>に ついて詳細に検討されていることを確認する。</u>	<ul> <li>従来の震源断層だけのモデル(深部断層)に加えて,震源断層上端から地表地震断層まで(浅部断層)を含めて断層全体をモデル化(浅部断層 + 深部断層)する。</li> <li>原子炉建屋等の重要施設と地表地震断層の離隔距離を正確に再現した震源モデルを設定する。</li> <li>深部断層については強震動予測レシピを参考に設定し,浅部断層については長周期に影響を与えると考えられることから理論的手法に必要なパラメータを設定する。また,これらのパラメータ設定の妥当性を2016年熊本地震における地震観測記録の再現解析を通して検討する。</li> </ul>
2) これらの検討結果を踏まえた評価手法の適用性に留意の上, <u>各種の不確かさが地震動評価に与える影響をより詳細に評価し</u> ,震源の極近傍での地震動の特徴に係る最新の科学的・技術的知見を踏まえた上で, <u>さらに十分な余裕を考慮して地震動が評価されていることを確認する。特に,</u> <u>評価地点近傍に存在する強震動生成領域(アスペリテリィ)での応力降下量などの強震動の生成強度に関するパラメータ</u> , <u>強震動生成領域同士の破壊開始時間のずれや破壊進行パターンの設定</u> において,不確かさを考慮し,破壊シナリオが適切に考慮されていることを確認する。	<ul> <li>浅部断層については、大すべり域の設定範囲やすべり角の設定が 地震動評価に与える影響を検討し、影響の大きなすべり角の設定 について不確かさとして考慮する。深部断層については、下記、 のとおり不確かさとして考慮する。</li> <li>下記の点を考慮することでさらに十分な余裕を考慮する。</li> <li>浅部断層のすべり分布について、アスペリティ直上の地表から深 部断層上端までのすべての領域を大すべり域とする。</li> <li>浅部断層の破壊伝播速度について、深部断層と同じ値とし、より波 が重なり合う設定とする。</li> <li>短周期レベルの不確かさとしてレシピ平均の1.5倍を考慮する。</li> <li>破壊開始点を複数(5ヶ所)設定することで様々な破壊進行パターン を考慮する。また、断層のすべり角についても不確かさを考慮する。</li> </ul>

\_\_\_\_\_

#### 

👉 ifhTh

#### 震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価(審査ガイドより)

3) なお,震源の極近傍での地震動の特徴に係る<u>最新の科学的・技術的知見</u>を取り込んだ手法により,<u>地表に変位を伴う国内外被害地震の震源極近傍の地震動記録に対して適切な再現解析を行い,震源モデルに基づく短周期地震動,長周期地震動及び永久変位を十分に説明できていることを確認する。この場合,特に永久変位・変形についても実現象を適切に再現できていることを確認する。さらに,<u>浅部における断層のずれの進展の不均質性</u>が地震動評価へ及ぼす影響を検討するとともに,<u>浅部における断層のずれの不</u>館であれていることを確認する。</u>

4) 震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価においては, <u>破壊伝播効果</u>が地震動へ与える影響について,十分に 精査されていることを確認する。また,水平動成分に加え て上下動成分の評価が適切に行われていることを確認す る。 具体的対応

震源極近傍での知見整理結果に基づいて震源モデルの設定方法を検討する。

2016年熊本地震本震では,震源近傍観測点において永久 変位が観測されていることから,その地震観測記録の再現 解析を通して,震源モデル設定方法の妥当性を確認する。 浅部断層については,大すべり域,小すべり域を設定する ことでずれの進展の不均質性を考慮する。 すべり角についても不確かさを考慮する。

破壊開始点を複数(5ヶ所)考慮することで,破壊伝播効果 が敷地での揺れに与える影響を考慮する。



#### 4. 浦底 - 内池見断層の地震動評価 4.1 震源モデルの設定

# 浦底 - 内池見断層の地質調査結果(断層分布)

地質調査結果による浦底 - 内池見断層の断層分布図



断層分布図

第321回審査会合資料5より抜粋・加筆



# 震源モデルの設定

従来の震源断層だけのモデル(深部断層)に加えて,断層上端から地表地震断層まで(浅部断層)を含めて断層全体をモデル化(浅部断層 + 深部断層)。



断層配置図

- ・ 深部断層の上端深さは4kmとして設定
- 断層タイプは,ボーリング等の調査結果を参考に,地 震動評価上は傾斜角90度の左横ずれ断層として設定 し,すべり角はレシピに基づき0°と設定
- 長さは断層の存在が明瞭な範囲約21kmと設定
- アスペリティとその直上に配置する大すべり域はサイト 直下に配置



震源モデルの設定根拠を補足説明資料2に示す。



震源モデルの形状及び位置の妥当性,敷地及びそこに設置する施設との位置関係



(第536回審査会合資料2より抜粋・加筆)



モデル化の概要



浅部断層のすべり分布について,アスペリティ直上の地表から深部断層上端までのすべての領域を大すべり域とする。



# 深部断層の設定





# 浅部断層の設定







# 浅部断層の設定

大すべり域のすべり量を地質調査結果に基づき250cmに設定する。





### 不確かさの設定

浦底 - 内池見断層の断層モデルによる評価においては,下記の通り不確かさを設定する。

·深部断層の上端深さについて深さ3kmまで浅〈したケースを考慮

・新潟県中越沖地震の知見を踏まえ短周期の地震動レベルを1.5倍としたケースを考慮

・地質調査結果を基にすべり角について斜めずれを考慮

破壊開始点の位置については,破壊の伝播方向による影響を考慮するため複数の位置に設定することとし,断層 面の両下端,アスペリティの両下端及び下端中央に設定する。

ケース	破壊 開始点	アスペリティ 位置	断層 上端深さ	短周期 レベル	すべり角
基本的な 震源要素	複数設定	サイト直下位置	4km	レシピ 平均	0 °
断層上端深さの 不確かさを考慮	複数設定	サイト直下位置	3km	レシピ 平均	0 °
短周期レベルの 不確かさを考慮	複数設定	サイト直下位置	4km	1.5倍	0 °
すべり角の 不確かさを考慮	複数設定	サイト直下位置	4km	レシピ 平均	- 37.6 °

▲ :不確かさを独立して考慮するパラメータ :不確かさを重畳して考慮するバラメータ

地質調査により水平変位量は鉛直変位量の約1.3倍と得られていることに基づいて設定。



4. 浦底 - 内池見断層の地震動評価 4.1 震源モデルの設定 震源モデルの設定(1/5)







4. 浦底 - 内池見断層の地震動評価 4.1 震源モデルの設定 震源モデルの設定(2/5)

断層上端深さの不確かさを考慮した震源モデル図





断層配置図



#### 基本ケース,短周期レベルの不確かさを考慮した震源パラメータ

断層パラメータ	深部断層	·····································		断層パラメータ	深部断層	設定方法
			ア	面積(km <sup>2</sup> )	49.24	$S_a = r^2$ , $r = (7 M_0^2) / (4A_aR)$ , $R = (S / )^{0.5}$
断層長さ(km)	21.0	断層位直を基に設定	スペ	平均すべり量(cm)	93.9	$D_a = {}_D D$ , ${}_D = 2.01$
		  地質調査結果(高角度北東傾斜,左構ずれ主		地震モーメント(N・m)	1.62 × 10 <sup>18</sup>	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
傾斜角(°)	90	体)を踏まえ地震動評価上は90°として設定	1	応力降下量(MPa)	13.9	_a=(S ∕ S <sub>a</sub> )
				面積(km <sup>2</sup> )	244.76	$S_b = S - S_a$
すべ!1角(。)	0	傾斜角90°の左横ずれ断層としたことを踏ま	背黒	平均すべり量(cm)	37.2	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
		えてレシピに基づき0。に設定	領	地震モーメント(N・m)	3.19 × 10 <sup>18</sup>	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
新國幅(km)	14.0	地震発生層と傾斜角から設定	琙	実効応力(MPa)	2.8	<sub>b</sub> =0.2 a
	14.0			Q値	50f <sup>1.1</sup>	佐藤他(2007)
断層面積(km <sup>2</sup> )	294.0	S=L(断層長さ)×W(断層幅)		f <sub>max</sub>	8.3	香川他(2003)
断層上端深さ(km)	4	微小地震の発生深さの上下限や地下構造を		断層パラメータ	浅部断層	設定方法
断層下端深さ(km)	18	参照して設定		剛性率(N/m <sup>2</sup> )	2.19 × 10 <sup>10</sup>	$\mu = \frac{2}{2}, = 2.6g / cm^3$
破壊伝播形式	同心円状	同心円状			0.00	=2.9km / S(浅部町層の平均値)   Kagawa et al.(2004)より浅部のすべり速度
	4 91 1018	M = (S / (4.24 + 10.11))(20 / 107)	7	Lち上かり時間(SeC)	3.93	が深部のすべり速度の半分となるように設定
	4.01 × 10 <sup>10</sup>	$M_0 = \{37, (4.24 \times 10^{-11})\}^{-10} / 10^{-10}$	ᄎ	面積(km <sup>2</sup> )	31.4	$S=L \times W$
モーメントマクニチュート	6.4	M <sub>w</sub> = (logM <sub>0</sub> - 16.1) / 1.5	9 ベ	平均すべり量(cm)	250.0	地質調査に基づき設定(D <sub>large(浅)</sub> )
剛性率(N/m <sup>2</sup> )	3.50 × 10 <sup>10</sup>	$\mu = 2$ , =2.7g / cm <sup>3</sup> , =3.6km / s	り域	地震モーメント(N・m)	1.72 × 10 <sup>18</sup>	M <sub>0large(浅)</sub> = µ S <sub>large (浅)</sub> D <sub>large (浅)</sub>
平均すべり量(cm)	46.7	D=M <sub>0</sub> / ( μ S)	小	面積(km <sup>2</sup> )	52.6	S=L×W
平均応力降下量(MPa)	2.3	= $(7  {}^{1.5} / 16) \times (M_0 / S^{1.5})$	タベ	平均すべり量(cm)	99.1	D <sub>small(浅)</sub> =D <sub>large(浅)</sub> ×(D <sub>b(深)</sub> /D <sub>a(深)</sub> )
破壊伝播速度(km/s)	2.59	Vr=0.72	り域	地震モーメント(N・m)	1.14 × 10 <sup>18</sup>	M <sub>0small(浅)</sub> =µS <sub>small (浅)</sub> D <sub>small (浅)</sub>
立ち上がり時間(sec)	0.74	$Tr=2.03 \times 10^{-9} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$		地震モ-メント(N·m)	2.86 × 10 <sup>18</sup>	$M_{O(\texttt{K})} \texttt{=} M_{Osmall(\texttt{K})} \texttt{+} M_{Olarge(\texttt{K})}$
短周期レベル(N・m/s²) <sup>1</sup>	$\mathbb{A}_{1}^{1} \mathbb{A}_{1}^{1} \mathbb{A}_{2}^{1} = \frac{1}{8.95 \times 10^{18}} \mathbb{A}_{2.46 \times 10^{17} \times (M_{0} \times 10^{7})^{1/3}}$		砐	g壊伝播速度(km/s)	2.59	深部断層と同じ値に設定 2

1 短周期の地震動1.5倍ケースでは,短周期領域のフーリエスペクトルの比が基本ケースの1.5倍となるように設定する。

2 浅部断層の破壊伝播速度について,深部断層と同じ値とし,より波が重なり合う設定とする。



#### 4. 浦底 - 内池見断層の地震動評価 4.1 震源モデルの設定 震源モデルの設定(4/5)

#### すべり角の不確かさを考慮した震源パラメータ

断層パラメータ	深部新屋	設定方法		断層パラメータ	深部断層	設定方法
			ア	面積(km <sup>2</sup> )	49.24	$S_a = r^2$ , $r = (7 M_0^2) / (4A_aR)$ , $R = (S / )^{0.5}$
断層長さ(km)	21.0	断層位置を基に設定		平均すべり量(cm)	93.9	$D_a = {}_D D$ , ${}_D = 2.01$
		地质調本社田(古名広北市)の一大株式な大	닏	地震モーメント(N・m)	1.62 × 10 <sup>18</sup>	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
傾斜角(°)	90	地員調査結果(商用度北宋傾料,左傾911土) 体)を踏まえ地震動評価上は90°として設定	1	応力降下量(MPa)	13.9	_a=(S ∕ S <sub>a</sub> )
				面積(km <sup>2</sup> )	244.76	$S_b = S - S_a$
<b>すべり角</b> (°)	- 37.6	地質調査結果より設定	背黒	平均すべり量(cm)	37.2	$D_b = M_{0b} \checkmark (\mu S_b)$
新國幅(km)	14.0	地電発生層を傾斜色など記字		地震モーメント(N・m)	3.19 × 10 <sup>18</sup>	$M_{0b} = M_{0} - M_{0a}$
	14.0	地展光工作に限約用が50以上	珧	実効応力(MPa)	2.8	<sub>b</sub> =0.2 a
断層面積(km <sup>2</sup> )	294.0	S=L(断層長さ)×W(断層幅)		Q值	50f <sup>1.1</sup>	佐藤他(2007)
断層上端深さ(km)	4	_ 微小地震の発生深さの上下限や地下構造を 参照して設定		f <sub>max</sub>	8.3	香川他(2003)
	18			断層パラメータ	浅部断層	設定方法
				<b>剛性</b> 率(N/m <sup>2</sup> )	$2.19 \times 10^{10}$	$\mu = \frac{2}{2}$ , =2.6g / cm <sup>3</sup>
破壊伝播形式	同心円状	同心円状			2.1.0 / 10	<u>=2.9km / s(浅部断層の平均値)</u>
地震モーメント(N・m)	4.81 × 10 <sup>18</sup>	M <sub>0</sub> = {S ∕ (4.24 × 10 <sup>-</sup> <sup>11</sup> )} <sup>2.0</sup> ∕ 10 <sup>7</sup>	<u>7</u>	なち上がり時間(sec)	3.93	Kagawa et al. (2004)より浅部のすべり速度  が深部のすべり速度の半分となるように設定
モーメントマク゛ニチュート	6.4	M <sub>w</sub> = (logM <sub>0</sub> - 16.1) ∕ 1.5	大す	面積(km <sup>2</sup> )	31.4	S=L×W
	$350 \times 10^{10}$	$\mu = \frac{2}{2} - 27a/cm^3 - 36km/s$	べ	. 平均すべり量(cm)	250.0	地質調査に基づき設定(D <sub>large(浅)</sub> )
	0.00 × 10	μ - , -2.79 cm , -0.0km / 3	り域	地震モーメント(N·m)	1.72 × 10 <sup>18</sup>	M <sub>0large(浅)</sub> = µ S <sub>large (浅)</sub> D <sub>large (浅)</sub>
平均9八リ重(CM)	46.7	$D=M_0 7 (\mu S)$	小	面積(km <sup>2</sup> )	52.6	S=L × W
平均応力降下量(MPa)	2.3	= $(7  ^{1.5} / 16) \times (M_0 / S^{1.5})$		平均すべり量(cm)	99.1	$D_{\text{small}(\mathbb{B})} = D_{\text{large}(\mathbb{B})} \times (D_{b(\mathbb{F})} / D_{a(\mathbb{F})})$
破壊伝播速度(km/s)	2.59	Vr=0.72	り 域	地震モーメント(N·m)	1.14 × 10 <sup>18</sup>	$M_{\text{Osmall}(3)} = \mu S_{\text{small}(3)} D_{\text{small}(3)}$
立ち上がり時間(sec)	0.74	$Tr=2.03 \times 10^{-9} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$		地震モーメント(N·m)	2.86 × 10 <sup>18</sup>	$M_{O(\check{\mathbb{X}})}=M_{Osmall(\check{\mathbb{X}})}+M_{Olarge(\check{\mathbb{X}})}$
短周期レベル(N・m/s²)	8.95 × 10 <sup>18</sup>	A=2.46 × $10^{17}$ × (M <sub>0</sub> × $10^7$ ) <sup>1/3</sup>	砐	皮壊伝播速度(km/s)	2.59	深部断層と同じ値に設定

浅部断層の破壊伝播速度について,深部断層と同じ値とし,より波が重なり合う設定とする。


#### 4. 浦底 - 内池見断層の地震動評価 4.1 震源モデルの設定 震源モデルの設定(5/5)

#### 断層上端深さの不確かさを考慮した震源パラメータ

断層パラメータ	深部断層	設定方法		断層パラメータ	深部断層	設定方法
			アスペリティ 背景	面積(km <sup>2</sup> )	55.24	$S_a = r^2$ , $r = (7 M_0^2) / (4A_aR)$ , $R = (S / )^{0.5}$
断層長さ(km)	21.0	断 僧 位 直 を 基 に 設 定		平均すべり量(cm)	100.6	$D_a = {}_D D$ , ${}_D = 2.01$
	90	地質調査結果(高角度北東傾斜,左横ずれ主 体)を踏まえ地震動評価上は90°として設定		地震モーメント(N・m)	1.95 × 10 <sup>18</sup>	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
(個斜角(°) 				応力降下量(MPa)	13.7	$a=(S \land S_a)$
	0	傾斜角90°の左横ずれ断層としたことを踏ま えてレシピに基づき0°に設定		面積(km <sup>2</sup> )	259.76	$S_b = S - S_a$
 すべり角(°)				平均すべり量(cm)	39.3	$D_{b} = M_{0b} \checkmark (\ \mu \ S_{b})$
			領	地震モーメント(N・m)	3.57 × 10 <sup>18</sup>	$M_{\mathrm{0b}} = M_{\mathrm{0}} - M_{\mathrm{0a}}$
新層幅(km)	15.0	地震発生層と傾斜角から設定	坝	実効応力(MPa)	2.7	<sub>b</sub> =0.2 <sub>a</sub>
				Q値	50f <sup>1.1</sup>	佐藤他(2007)
断層面積(km <sup>2</sup> )	315.0	S=L(断層長さ)×W(断層幅)		f <sub>max</sub>	8.3	香川他(2003)
断層上端深さ(km)	3	微小地震の発生深さの上下限や地下構造を		断層パラメータ	浅部断層	設定方法
断層下端深さ(km)	18	参照して設定		剛性率(N/m <sup>2</sup> )	2.19 × 10 <sup>10</sup>	$\mu = \frac{2}{1000}, = 2.6g / cm^3$
破壊伝播形式	同心円状	同心円状				=2.9km / s(浅部断層の平均値)   Kagawa et al.(2004)より浅部のすべり速度
+地電エ_ イント(Ni.m)	5 52 × 1018	$M = (S / (4.24 \times 10^{-11}))^{20} / 10^{7}$	7	Zち上かり時間(sec)	3.84	が深部のすべり速度の半分となるように設定
	J.JZ X 10	M <sub>0</sub> - (37 (4.24 × 10 )) 77 10	大すべり城	面積(km <sup>2</sup> )	23.55	S=L × W
モーメントマグニチュード	6.4	M <sub>W</sub> = (logM <sub>0</sub> - 16.1) ∕ 1.5		平均すべり量(cm)	250.0	地質調査に基づき設定(D <sub>large(浅)</sub> )
剛性率(N/m <sup>2</sup> )	3.50 × 10 <sup>10</sup>	$\mu = 2$ , =2.7g / cm <sup>3</sup> , =3.6km / s		地震モーメント(N·m)	1.29 × 10 <sup>18</sup>	M <sub>0large(浅)</sub> = µ S <sub>large (浅)</sub> D <sub>large (浅)</sub>
平均すべり量(cm)	50.1	D=M <sub>0</sub> / ( μ S)	小	面積(km <sup>2</sup> )	39.45	S=L × W
平均応力降下量(MPa)	2.4	=(7 $^{1.5}$ / 16) × (M <sub>0</sub> / S <sup>1.5</sup> )	す べ	平均すべり量(cm)	97.7	D <sub>small(法)</sub> =D <sub>laroe(法)</sub> ×(D <sub>b(深)</sub> /D <sub>a(深)</sub> )
破壊伝播速度(km/s)	2.59	Vr=0.72	り 域	地震モーメント(N・m)	8.44 × 10 <sup>17</sup>	$M_{\text{Osmall}(3)} = \mu S_{\text{small}(3)} D_{\text{small}(3)}$
立ち上がり時間(sec)	0.77	$Tr=2.03 \times 10^{-9} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$		地震モーメント(N・m)	2.13 × 10 <sup>18</sup>	$M_{O(\texttt{K})} = M_{Osmall(\texttt{K})} + M_{Olarge(\texttt{K})}$
短周期レベル(N・m/s²)	9.37 × 10 <sup>18</sup>	A=2.46 × $10^{17}$ × (M <sub>0</sub> × $10^7$ ) <sup>1/3</sup>	破	g壊伝播速度(km/s)	2.59	深部断層と同じ値に設定 1

浅部断層の破壊伝播速度について,深部断層と同じ値とし,より波が重なり合う設定とする。



## 目次

- 1. 検討方針
- 2. 知見の整理
  - 2.1 震源極近傍における地震動の特徴に関する知見
  - 2.2 すべり分布, すべり速度等に関する知見
  - 2.3 地震観測記録の再現解析
  - 2.4 震源極近傍における被害分析
  - 2.5 まとめ
- 3. 震源モデルの設定法
  - 3.1 震源モデルの設定法
  - 3.2 2016年熊本地震での検証
  - 3.3 まとめ
- 4. 浦底 内池見断層の地震動評価
  - 4.1 震源モデルの設定

#### 4.2 断層モデル手法による地震動評価

- 4.3 まとめ
- 5.全体まとめ
- 6.参考文献
- 補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について
- 補足説明資料2 浦底 内池見断層の設定について

参考資料 基準地震動Ssについて



統計的グリーン関数法における放射係数の設定

SH波及びSV波の放射特性に,釜江他(1990)による振動数に依存するモデルを用いた。ここで,パラメータ $f_1$ ,  $f_2$ は釜江他(1990)に従い,  $f_1$ =0.5Hz,  $f_2$ =5Hzと設定する。

 $R_{\theta\phi}(f) = \frac{(\log(f_2) - \log(f))R_{\theta\phi0} + (\log(f) - \log(f_1))R_{\theta\phim}}{\log(f_2) - \log(f_1)}$ 

- $R_{\theta\phi0}$ : 震源とサイトの位置関係及びすべり方向から理論的 に評価される放射係数
- R<sub>θφm</sub>:高周波数で等方放射として平均化された放射係数
- f<sub>1</sub>, f<sub>2</sub>:理論的な放射から等方的な放射へと遷移する周波数帯





### 断層モデル手法による地震動評価方針(2/2)

深部断層をハイブリット合成法(統計的グリーン関数法 + 理論的手法),浅部断層を理論的手法で地震動を評価する。

深部断層と浅部断層の地震動評価結果を,断層面の破壊遅れ時間を考慮して時刻歴上で足し合わせることにより, 深部断層 + 浅部断層の地震動を作成する。

深部断層 浅部断層 ハイブリッド合成法 (統計的グリーン関数法 + 理論的手法) (波数積分法)) Linear 理論的手法(波数積分法) 波数積分法 統計的グリーン関数法 0.5Hz 1Hz Linear 周波数 断層全体 時刻歴上で足し合わせる



## 震源が敷地に近い場合の地震動評価結果(基本ケース)(1/4)

浦底 - 内池見断層の断層全体(浅部断層 + 深部断層)と震源断層(深部断層)のみの基本ケースの評価結果を比較して示す。

断層全体を考慮した効果は,長周期側(約0.5秒以上)に現れている。



👉 iFhTh

# 震源が敷地に近い場合の地震動評価結果(基本ケース)(2/4)



# 震源が敷地に近い場合の地震動評価結果(基本ケース)(3/4)



# 震源が敷地に近い場合の地震動評価結果(基本ケース)(4/4)



断層浅部を考慮し,波数積分法を用いて評価したことにより,地表での永久変位が評価できている。



## 震源が敷地に近い場合の地震動評価結果(断層上端深さの不確かさを考慮)(1/4)

破壊開始点1

破壞開始点2 —— 破壞開始点3

破壊開始点4

破壊開始点5

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果:浦底 - 内池見断層 断層上端深さの不確かさを考慮



擬似速度応答スペクトル

👉 ifhTh

# 震源が敷地に近い場合の地震動評価結果(断層上端深さの不確かさを考慮)(2/4)



# 震源が敷地に近い場合の地震動評価結果(断層上端深さの不確かさを考慮)(3/4)

破壊開始点3



# 震源が敷地に近い場合の地震動評価結果(断層上端深さの不確かさを考慮)(4/4)





## 震源が敷地に近い場合の地震動評価結果(短周期レベルの不確かさを考慮)(1/4)

破壊開始点1

破壞開始点2 —— 破壞開始点3

破壊開始点4

破壊開始点5

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果:浦底 - 内池見断層 短周期レベルの不確かさを考慮



擬似速度応答スペクトル

👉 ifhTh

# 震源が敷地に近い場合の地震動評価結果(短周期レベルの不確かさを考慮)(2/4)



86

# 震源が敷地に近い場合の地震動評価結果(短周期レベルの不確かさを考慮)(3/4)

破壊開始点3



# 震源が敷地に近い場合の地震動評価結果(短周期レベルの不確かさを考慮)(4/4)







### 震源が敷地に近い場合の地震動評価結果(すべり角の不確かさを考慮)(1/4)

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果∶浦底 - 内池見断層 すべり角の不確かさを考慮



擬似速度応答スペクトル



# 震源が敷地に近い場合の地震動評価結果(すべり角の不確かさを考慮)(2/4)



# 震源が敷地に近い場合の地震動評価結果(すべり角の不確かさを考慮)(3/4)



# 震源が敷地に近い場合の地震動評価結果(すべり角の不確かさを考慮)(4/4)



すべり角の不確かさを考慮したことにより,地表での上下方向の永久変位が評価できている。



震源が敷地に近い場合の地震動評価結果(全ケース)

基本震源モデル	
断層上端深さの不確かさ	—— – 破壞開始点1 —— – 破壞開始点2 —— – 破壞開始点3 —— – 破壞開始点4 —— – 破壞開始点5
短周期レベルの不確かさ	<b></b> 破壊開始点1 破壊開始点2 破壊開始点3 破壊開始点4 破壊開始点5
すべり角の不確かさ	—·-破壊開始点1—·-破壊開始点2—·-破壊開始点3—·-破壊開始点4—·-破壊開始点5



擬似速度応答スペクトル



まとめ

震源が敷地に近い場合の地震動評価として,浦底 - 内池見断層を対象に地震動評価を行った。

- ・地表に変位を伴う断層全体(地表地震断層から震源断層までの断層全体)を考慮したモデル 化を行った。
- 深部断層は基本的に強震動予測レシピに基づきパラメータを設定し、統計的グリーン関数法と
  と波数積分法とのハイブリッド合成法にて地震動を計算した。
- 浅部断層は地質調査結果に基づきすべり量を設定し、波数積分法を用いて地震動を計算した。
- 深部断層と浅部断層の地震動を時刻歴上で足し合わせることで、断層全体を考慮した地震動 を評価した。
- 浅部断層を付加することで断層近傍の地震動の特徴である長周期パルス及び永久変位が評価できていることを確認した。
- すべり角の不確かさを考慮したことにより,地表での上下成分の長周期パルス及び永久変位 も評価できていることを確認した。



## 目次

- 1. 検討方針
- 2. 知見の整理
  - 2.1 震源極近傍における地震動の特徴に関する知見
  - 2.2 すべり分布, すべり速度等に関する知見
  - 2.3 地震観測記録の再現解析
  - 2.4 震源極近傍における被害分析
  - 2.5 まとめ
- 3. 震源モデルの設定法
  - 3.1 震源モデルの設定法
  - 3.2 2016年熊本地震での検証
  - 3.3 まとめ
- 4. 浦底 内池見断層の地震動評価
  - 4.1 震源モデルの設定
  - 4.2 断層モデル手法による地震動評価
  - 4.3 まとめ
- 5.全体まとめ
- 6.参考文献
- 補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について
- 補足説明資料2 浦底 内池見断層の設定について

参考資料 基準地震動Ssについて



震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価について下記の通りまとめる。

- ・地表地震断層が現れ、震源域近傍で観測記録が得られた地震を対象として既往の知見を 収集し、震源が敷地に極めて近い場合の地震動の特徴を整理した。
- 上記の結果を踏まえて,震源が敷地に極めて近い場合においては,震源断層(深部断層)に 加え,震源断層から地表面まで(浅部断層)の断層全体を含めた震源モデルを設定した。
- 2016年熊本地震での地表地震断層近傍における観測記録の再現解析を行ったところ,震源 近傍における地震動の特徴である長周期パルスや永久変位が評価できており,本震源モデ ル設定法を用いれば震源に極めて近い場合の地震動評価が可能であることを確認した。
- 本震源モデル設定法に基づいて浦底 内池見断層による地震動評価を行い,震源近傍に おける地震動の特徴である長周期パルスや永久変位が評価できていることを確認した。



## 目次

- 1. 検討方針
- 2.知見の整理
  - 2.1 震源極近傍における地震動の特徴に関する知見
  - 2.2 すべり分布, すべり速度等に関する知見
  - 2.3 地震観測記録の再現解析
  - 2.4 震源極近傍における被害分析
  - 2.5 まとめ
- 3. 震源モデルの設定法
  - 3.1 震源モデルの設定法
  - 3.2 2016年熊本地震での検証
  - 3.3 まとめ
- 4. 浦底 内池見断層の地震動評価
  - 4.1 震源モデルの設定
  - 4.2 断層モデル手法による地震動評価
  - 4.3 まとめ
- 5.全体まとめ

#### 6.参考文献

補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について

補足説明資料2 浦底 - 内池見断層の設定について

参考資料 基準地震動Ssについて



#### 6. 参考文献 参考文献(1/2)

- Noda, S., K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M. Tohdo and T. Watanabe (2002) : RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations Between Seismological DATA and Seismic Engineering, Istanbul, 16-18 October.
- 原子力規制委員会(2013):基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド
- Hisada, Y. and J. Bielak (2004) : Effects of Sedimentary Layers on Directivity Pulse and Fling Step , Proceedings of 13th World Conference on Earthquake Engineering , Paper No.1736 .
- ・ 岩田知孝(2016):益城町宮園・西原村小森本震記録の解析,京都大学防災研究所地震災害研究部門強震動研究分野,http://sms.dpri.kyotou.ac.jp/topics/masiki-nishihara0428ver2.pdf
- 引間和人·中村亮一·植竹富一(2015):2014年長野県北部の地震(Mj6.7)の震源過程~震源近傍の広帯域地震波形を考慮した解析~(2015):日本地震学 会秋季大会講演予稿集, S15-14, pp.87.
- Kubo, H., W. Suzuki, S. Aoi and H. Sekiguchi (2016): Source rupture processes of the 2016 Kumamoto, Japan, earthquakes estimated from strong-motion waveforms, Earth, Planets and Space, Vol.68, No.161.
- 引間和人(2016):強震波形を用いた2016年熊本地震の本震・前震の震源過程解析,日本地震工学会第12回年次大会梗概集.
- ・ 引間和人、三宅弘恵(2016): 観測記録により推定された震源断層モデルに見られる特徴,第44回地盤震動シンポジウム,日本建築学会, pp.26-33.
- Asano, K. and T. Iwata (2016) : Source rupture processes of the foreshock and mainshock in the 2016 Kumamoto earthquake sequence estimated from the kinematic waveform inversion of strong motion data, Earth, Planets and Space, Vol.68, No.147.
- 田中 信也・金田 惇平・引間 和人・久田 嘉章(2017a): 地震発生層以浅に適用可能なすべり速度時間関数の評価(その2) 規格化Yoffe 関数に基づく近似式, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 21146, pp.291-292.
- ・ 金田 惇平・田中 信也・引間 和人・久田 嘉章(2017):地震発生層以浅に適用可能なすべり速度時間関数の評価(その1) 1999 年集集地震を対象とした検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 21147, pp.293-294.
- ・ 田中 信也・引間 和人・久田 嘉章(2017b):震源インバージョン結果に基づく地震発生層以浅におけるすべり速度時間関数の評価,日本地震工学会論文集, 第17巻,第5号.
- 入倉孝次郎・倉橋奨(2017):震源断層近傍の長周期地震動評価のための特性化震源モデルの拡張 2016年熊本地震(Mw7.0)の断層近傍地震動による検 証 ,日本地震工学会第13回年次大会梗概集.
- 生玉真也・川里健・川上洋介・納所昌広・小穴温子・壇一男・鳥田晴彦・岡田康男(2017):地表地震断層極近傍における強震動及び永久変位の評価のための震源モデルの設定法,断層帯近傍における地震動評価に関するシンポジウム論文集.
- ・ 久田嘉章・田中信也(2017):2016年熊本地震の地表地震断層近傍の強震動特性と建物被害調査,第45回地盤震動シンポジウム,日本建築学会,pp.8-23.
- 久田嘉章(2004):震源域の強震動と被害,2004年度建築学会大会(北海道)振動部門PD資料.
- ・ 久田嘉章·久保智弘·松澤佳·松本俊明·田邊朗仁·森川淳(2012):2011年福島県浜通り地震の地表地震断層の近傍における建物被害調査,日本地震工学 会論文集,第12巻,第4号(特集号),pp.104-126.
- 石川理人・久田嘉章(2017):2014年長野県神城断層地震における建物被害調査,日本地震工学会第13回年次大会梗概集.
- Hisada, Y., J. Kaneda, A. Teramoto, M. Murakami, Y. Masuzawa, Y. Yanagida, T. Shindo, H. Suzuki, S. Sakai, K. Mori, K. Nakano, Y. Tojo, K. Kimoto, S. Tanaka and W. Kobayashi (2017): Strong Ground Motions and Damage Investigation of Buildings near the Surface Faulting of the 2016 Kumamoto Earthquake in Japan, Proceedings of 16th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No.5001.
- 理論地震動研究会(1994):地震動 その合成と波形処理 , 鹿島出版会
- 野津厚(2006):統計的グリーン関数法に近地項と中間項を導入するための簡便な方法,第12回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.190-193.





- Hisada, Y. and J. Bielak (2003) : A Theoretical Moethod for Computing Near-Fault Ground Motions in Layered Half-Spaces Considering Static Offset Due to Surface Faulting, with a Physical Interpretation of Fling Step and Rupture Directivity, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.93, No.3, pp.1154-1168.
- Kagawa, T., K. Irikura and P. G. Somerville (2004): Differences in ground motion and fault rupture process between the surface and buried rupture earthquakes, Earth Planets Space, Vol.56, No.1, pp.3-14.
- Somerville, P., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith and A. Kowada (1999) : Characterizing Crustal Earthquake Slip Models for the Prediction of Strong Ground Motion, Seismological Research Letters, Vol.70, No.1, pp.59-80.
- Wu, C. J., M. Takeo, and S. Ide: Source process of the Chi-Chi earthquake: A joint inversion of strong motion data and global positioning system data with a multifault model, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.91, No.5, 2001
- 松田時彦(1975):活断層から発生する地震の規模と周期について,地震第2輯,第28巻,pp.269-283.
- ・ 松島信一・室谷智子・吾妻崇・入倉孝次郎・北川貞之(2010):内陸地殻内の長大断層で発生する地震に関するスケーリング則,北海道大学地球物理学研究 報告, No.73, pp.117-127.
- ・ 小穴温子・壇一男・宮腰淳一・藤原広行・森川信之・前田宣浩(2017):統計的グリーン関数法を用いた2016年熊本地震本震の特性化震源モデルの推定,日本地球惑星科学連合2017年大会, SCG70-P04.
- ・ 佐藤智美(2016):スペクトルインバージョンに基づ〈熊本地震と前震・余震等の震源・伝播・サイト特性,日本地球惑星科学連合2016年大会,MIS34-P71.
- 入倉孝次郎·三宅弘恵(2001):シナリオ地震の強震動予測,地学雑誌, Vol.110, No.6, pp.849-875.
- Geller, R. J. (1976): Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.66, No.5, pp.1501-1523.
- Boatwright, J. (1988) : The seismic radiation from composite models of faulting, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.78, No.2, pp.489-508.
- 壇一男・渡辺基史・佐藤俊明・石井透(2001):断層の非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化,日本建築学会構造系論文集,第545号,pp.51-62.
- Eshelby, J. D. (1957) :The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion, and related problems, Proceedings of the Royal Society, A241, 376-396.
- ・ 佐藤智美・壇一男・岡崎敦・羽田浩二(2007):若狭湾周辺の地殻内地震の記録を用いたスペクトルインバージョン解析,日本地震学会2007年秋季大会,講演予稿集,P03-066.
- 香川敬生・鶴来雅人・佐藤信光(2003):硬質サイトの強震観測記録に見られる高周波低減特性の検討,土木学会地震工学論文集, P\_315, CD-ROM.
- ・ 釜江克宏・入倉孝次郎・福知保長(1990):地域的な震源スケーリング則を用いた大地震(M7級)のための設計用地震動予測,日本建築学会構造系論文報告集,第416号,pp.57-70.



## 目次

- 1. 検討方針
- 2.知見の整理
  - 2.1 震源極近傍における地震動の特徴に関する知見
  - 2.2 すべり分布, すべり速度等に関する知見
  - 2.3 地震観測記録の再現解析
  - 2.4 震源極近傍における被害分析
  - 2.5 まとめ
- 3.震源モデルの設定法
  - 3.1 震源モデルの設定法
  - 3.2 2016年熊本地震での検証
  - 3.3 まとめ
- 4. 浦底 内池見断層の地震動評価
  - 4.1 震源モデルの設定
  - 4.2 断層モデル手法による地震動評価
  - 4.3 まとめ
- 5.全体まとめ
- 6.参考文献
- 補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について 補足説明資料2 浦底-内池見断層の設定について

参考資料 基準地震動Ssについて



#### 補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について 小穴他(2017)による特性化震源モデルについて

# 小穴他(2017)では,統計的グリーン関数法を用いて,2016年熊本地震の本震の観測記録をできるだけ再現するよう特性化震源モデルの推定が行われている。

< モデル化の考え方 >

- 震源モデルは,強震動生成域SMGAのみモデル化。
- SMGAの位置と面積は, Asano and Iwata(2016)の震源インバージョンの領域内で, 観測記録を説明できるように試行錯誤的に設定。
- SMGAのすべり量は, Asano and Iwata(2016)や引間(2016)のインバージョン結果を参照しつつ,計算結果の変位波形の振幅の大きさと長周期 帯の応答スペクトルが観測記録と概ね整合するように設定。
- 応力降下量は,計算結果の加速度波形と速度波形の振幅の大きさ,短周期帯の応答スペクトルが観測記録と概ね整合するように設定。
- 断層全体の破壊開始点は気象庁の震源位置とし,布田川断層側の破壊開始点はそれよりも深い位置の断層南端部に設定。
- 破壊伝播速度は,益城町直下に位置する布田川断層の小さい方のSMGAで2.7km/s,日奈久断層のSMGAと布田川断層の大きい方のSMGAで 3km/sに設定。



2016年熊本地震の特性化震源モデル(小穴他(2017))



#### 補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について 2016年熊本地震の本震観測記録について(工学的基盤波の推定)

本震観測記録については,表層地盤の影響を取り除くため2016年熊本地震本震の地表記録と地中記録の伝達関数に合うように同定された地盤モデルを用いて基盤上の地震動として評価した。この同定地盤モデルは,益城町,西原村とも小穴他(2017)におけるKiK-net 益城に対する本震同定地盤モデルを用い,地震動の推定位置も小穴他(2017)で「工学的基盤」とされる上面(G.L.-101m, Vs1,470m/s) とした。



本震記録に基づく同定地盤モデル(KiK-net 益城,小穴他(2017))

👍 if hT h

# 補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について 2016年熊本地震の再現計算に用いる地盤モデルについて

再現計算に用いる地盤モデルは,小穴他(2017)によるKiK-net益城に対する地盤モデルを用いる。

小穴他(2017)では,地震動評価に用いる地震基盤から工学的基盤までの1次元地下構造モデルを設定するため,全国1次地下構造モ デル(Koketsu et al.(2012))を初期モデルとし,小地震観測記録のH/Vスペクトルを参照しながら卓越振動数が整合するようチューニン グして地盤モデルが推定されている。





# 補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について 2016年熊本地震本震記録の基盤波推定方法の見直し

2016年熊本地震本震記録について,観測記録に含まれると考えられる表層地盤の非線形の影響を考慮し,以下の通り生玉他(2017)からはぎとり方法を見直した。

- ・生玉他(2017)では,はぎとり解析に用いる観測記録について,西原村小森は地表記録しかないことから,KiK-net益城も含めて地表記録を用いることで統一していた。また,観測記録,計算結果とも小穴他(2017)による小地震記録に基づき同定した地盤モデルを用いて工学的基盤上面における地震波を推定していた。
- ・見直し後の評価では、観測記録に含まれると考えられる表層地盤の非線形の影響を 低減するため、はぎとり解析に用いる観測記録を地表記録から地中記録に変更し、は ぎとり解析に用いる地盤モデルを小地震記録に基づき同定した結果(小穴他(2017)) から本震記録に基づき同定した結果(小穴他(2017))に変更した。



地盤の非線形による本震時と小地震時の地盤増幅特性の違いを考慮すると,本震観測記録に基づき同定した結果を用いてはぎとり解 析を行うことで,より適切に表層地盤の影響を低減できる。従って見直し後の基盤波は,生玉他(2017)の基盤波よりも精度が向上して いる。また,加速度波形や擬似速度応答スペクトルの短周期側について,計算結果による観測記録の再現性も向上している(次頁以降 参照)。

変更項目		小穴他(2017)	生玉他(2017)	見直し後
はぎとり	KiK-net益城	地中記録	地表記録	<u>地中記録</u>
観測記録	西原村小森	- (対象外)	地表記録	地表記録
はぎとり地盤モデル		本震記録に基づき同定 (P102参照)	小地震記録に基づき同定 (P103参照)	<u>本震記録に基づき同定</u> (P102参照)
対象周期 (帯域フィルター)		周期0.2秒~10秒	<ul> <li>·KiK-net益城の計算結果のみ周期</li> <li>0.2秒~10秒</li> <li>・上記以外については観測,計算結</li> <li>果ともフィルター無し</li> </ul>	周期0.2秒以上

小穴他(2017)においてKiK-net益城に対して推定された地盤モデルを西原村小森にも適用した。



2016年熊本地震の再現解析について,基盤波推定方法見直し前後の比較を示す。



加速度波形(KiK-net益城)





速度波形(KiK-net益城)





変位波形(KiK-net益城)



#### <sup>補足説明資料1</sup> 2016年熊本地震の再現解析について 基盤波推定方法見直し前後の比較(KiK-net益城 擬似速度応答スペクトル)



擬似速度応答スペクトル(KiK-net益城)




加速度波形(西原村小森)





速度波形(西原村小森)





👉 iFhTh



擬似速度応答スペクトル(西原村小森)

## 補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について 2016年熊本地震本震記録の基盤波推定方法見直しのまとめ

2016年熊本地震本震記録の基盤波推定方法の見直しについて下記の通りまとめる。

2016年熊本地震本震記録について,観測記録に含まれると考えられる表層地盤の非線形の影響を考慮し,以下の通り生玉他(2017)からはぎとり方法を見直した。

- 生玉他(2017)では、はぎとり解析に用いる観測記録について、西原村小森は地表記録しかないことから、KiK-net益城も含めて地表記録を用いることで統一していた。また、観測記録、計算結果とも小穴他(2017)による小地震記録に基づき同定した地盤モデルを用いて工学的基盤上面における地震波を推定していた。
- ・見直し後の評価では、観測記録に含まれると考えられる表層地盤の非線形の影響を低減するため、はぎとり解析に用いる観測記録を地表記録から地中記録に変更し、はぎとり解析に用いる地盤モデルを小地震記録に基づき同定した結果(小穴他(2017))から本震記録に基づき同定した結果(小穴他(2017))に変更した。

地盤の非線形による本震時と小地震時の地盤増幅特性の違いを考慮すると,本震観測記録に 基づき同定した結果を用いてはぎとり解析を行うことで,より適切に表層地盤の影響を低減でき る。従って見直し後の基盤波は,生玉他(2017)の基盤波よりも精度が向上している。また,加速 度波形や擬似速度応答スペクトルの短周期側について,計算結果による観測記録の再現性も向 上している。



### 目次

- 1. 検討方針
- 2.知見の整理
  - 2.1 震源極近傍における地震動の特徴に関する知見
  - 2.2 すべり分布, すべり速度等に関する知見
  - 2.3 地震観測記録の再現解析
  - 2.4 震源極近傍における被害分析
  - 2.5 まとめ
- 3.震源モデルの設定法
  - 3.1 震源モデルの設定法
  - 3.2 2016年熊本地震での検証
  - 3.3 まとめ
- 4. 浦底 内池見断層の地震動評価
  - 4.1 震源モデルの設定
  - 4.2 断層モデル手法による地震動評価
  - 4.3 まとめ
- 5.全体まとめ
- 6.参考文献
- 補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について
- 補足説明資料2 浦底 内池見断層の設定について

参考資料 基準地震動Ssについて



## 浦底 - 内池見断層に関する文献調査結果

#### 【浦底セグメントに関する主な文献】

・「新編 日本の活断層(1991)」,「近畿の活断層(2000)」及び「活断層詳細デジタルマップ(2018)」によれば,立石岬から猪ヶ池の西方を経て明神崎付近に至る約3~4km区間の山地 西縁部に,NW-SE方向で北東側隆起の活断層又は推定断層が示されている。

・「若狭湾東部(1980a)」によれば,上記活断層等の南東方の延長海域において,長さ約2km, NW-SE方向で,北東側隆起の伏在推定断層が示されている。

#### 【田結 - 内池見リニアメントに関する主な文献】

・「近畿の活断層(2000)」及び「活断層詳細デジタルマップ(2018)」によれば,敦賀市余座付近から田結付近に至る約3~3.2km区間にN-S~NNW-SSE方向で東側隆起の推定活 断層又はリニアメントが示されている。



断層名	61浦底断層	
長さ	3km	
確実度		
変位の向き	北東隆起	

確実度 :活断層であることが確実なもの 確実度 :活断層であると推定されるもの 確実度 :活断層の疑いがあるリニアメント

断層名	7浦底断層	6田結	19内池見	
長さ	3.5km	1.4km	1.8km	
確実度		L	L	
変位の向き	北東隆起	北東側隆起	東側隆起	
確実度 :活断層であることが確実なもの				

確実度 :活断層であると推定されるもの し:連続性に富むシャープなリニアメント

断層名	浦底断層	(名称無し)
長さ	約4km(図読)	約3km(図読)
確実度	活断層	推定活断層
変位の向き	北東隆起	東側隆起

活 断 層:過去に繰り返し動いてきた跡が地形に現れ,今後 も活動を繰り返すと考えられる断層 推定活断層:地形的な特徴により活断層の存在が推定される が現時点では明確には特定できないもの

断層名	名称なし
長さ	約2km
確実度	伏在推定断層
変位の向き	北東隆起

断層(顕在):地質構造が海底面に現れているもの(太線) 断層(伏在):地質構造が海底面に現れていないもので,構造運動が 海底下にある層準までに終わっているもの(細線) 推定断層:海底地形,周辺陸上地質等から推定される地質構造[破線]



### 浦底 - 内池見断層の評価概要





# 湖足説明資料2 浦底 - 内池見断層の設定について 資料 浦底セグメントの最新活動時期,運動方向及び端点の評価

・浦底セグメントを確認した音波探査記録と,端部の音波探査記録を以下に示す。





## 福定説明資料2 浦底 - 内池見断層の設定について 資料 田結 - 内池見セグメントの最新活動時期,運動方向及び端点の評価

・田結 - 内池見セグメントを確認した音波探査記録と, 端部の音波探査記録を以下に示す。

・田結 - 内池見セグメントの南方延長が敦賀断層(敦賀北部セグメント)と交わる地点を田結 - 内池見セグメントの南端とした。





# 福定説明資料2 浦底 - 内池見断層の設定について 資料 浦底セグメント・田結 - 内池見セグメントの傾斜角の評価

・浦底セグメント,田結-内池見セグメントは高角度の断層である。





## 補足説明資料2 浦底 - 内池見断層の設定について 資料 浦底セグメントの最新活動時期の評価





## 湖足説明資料2 浦底 - 内池見断層の設定について 資料 浦底セグメントの運動方向の評価

第536回審査会合 資料2加筆

- ・ 浦底断層の最新活動時の変位センスを把握するため,ボーリングコアを用いた条線観察を行った。
- ・岩盤部における最新活動面の条線測定の結果,最新活動面の変位センスは斜めずれ(レイク角 39°S)であり,水平変位量は鉛直変位量の 約1.3倍である。
- ・海上音波探査,トレンチ調査及びボーリング調査の結果から,運動方向は北東側隆起の逆断層成分を伴う左横ずれ断層と評価する。



#### 条線観察結果

	測定位置		最新活動面		
孔番	標高 (m)	<b>深度</b> (m)	走向	傾斜	レイク角
H24-B5-1	9.09	81.99	N 32 ° W	82 ° NE	14 ° S
H24-B6-1	-31.59	73.80	N 33 ° W	80 ° NE	42 ° S
H24-B8-1	0.41	7.19	N 37 ° W	60 ° NE	53 ° S
H24-B8-8	-23.51	32.39	N 32 °W	52 ° NE	48 ° S
H24-B9-1	2.04	6.58	N 35 ° W	58 ° NE	65 ° S
H24-A-2	31.63	15.29	N 32 °W	78 ° NE	68 ° S
H24-A-3	33.86	13.39	N 34 °W	74 ° NE	58 ° S
H24-A-4	35.30	12.36	N 35 ° W	65 ° NE	45 ° S
H24-A-5	36.76	11.28	N 37 ° W	70 ° NE	3 ° S
H24-A-6	9.98	29.00	N 29 ° W	89 ° NE	21 ° S
			平均	匀	39 ° S

	凡例
◎/	:浦底断層の条線を確認したボーリング孔
(殺畜) (嫌終)	:浦底断層を捕えたボーリング孔
ш	:リニアメント
$\bigtriangledown$	:トレンチ, 剥ぎ取り露頭

#### 調査位置図



補足説明資料2 浦底 - 内池見断層の設定について

資料 田結 - 内池見セグメントの最新活動時期の評価



第2図 掘削地点周辺の地形および地質図.活断層分布は岡田ほか(2005)および産業技術総合研究所・東海大学(2011). A、B:内池見周辺の地形図.地形図は昭和22年地理調査所発行1/25000地形図教賞および杉津による.C:内池見周辺の地 質図.地質は栗本ほか(1999)に基づく.D:本研究で使用したコアの掘削位置.



- ・山田他(2015)では,内池見において,群列ボーリングおよびパーカッション採土器によって掘削されたコアに基づき,池見断層の活動性の検討を行っている。 (山田他(2015)における池見断層は,当社の田結・内池見Sgに相当)
- ・断層の南端位置は,岡田他(2005),産業総合技術研究所、東海大学(2011)に基づき,上図の通り示されている。
- ・断層両側の地層の対比による上下変位から,池見断層の活動について,少なくとも95ka以前,38~30ka,19~7kaに断層の活動イベントがあったと考えられ, K-Ahテフラを含む地層も十分な上下変位量があることから,池見断層は<u>7ka以降</u>に活動した可能性が高いとしている。

山田圭太郎・加藤茂弘・岡田篤正・石村大輔(2015):福井県敦賀市内池見における池見断層の地下形状と活動性,活断層研究, Vol.42, p.55 - p.71



### 目次

- 1. 検討方針
- 2. 知見の整理
  - 2.1 震源極近傍における地震動の特徴に関する知見
  - 2.2 すべり分布, すべり速度等に関する知見
  - 2.3 地震観測記録の再現解析
  - 2.4 震源極近傍における被害分析
  - 2.5 まとめ
- 3.震源モデルの設定法
  - 3.1 震源モデルの設定法
  - 3.2 2016年熊本地震での検証
  - 3.3 まとめ
- 4. 浦底 内池見断層の地震動評価
  - 4.1 震源モデルの設定
  - 4.2 断層モデル手法による地震動評価
  - 4.3 まとめ
- 5.全体まとめ
- 6.参考文献
- 補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について
- 補足説明資料2 浦底 内池見断層の設定について

#### 参考資料 基準地震動Ssについて



#### 参考資料 基準地震動Ssについて 応答スペクトルに基づく地震動評価結果

応答スペクトルに基づく地震動評価にあたっては, Noda et al. (2002)の手法の適用性を検討した上で, 浦底 - 内池見断層を含めた6つの検討用地震全てに適用して評価した。

上記を踏まえ,短周期側は「浦底-内池見断層」,長周期側は「安島岬沖断層,和布-干飯崎沖断層,甲楽城 断層」のスペクトルを包絡する基準地震動S<sub>S</sub>-Dの応答スペクトルを設定した。



擬似速度応答スペクトル



### 基準地震動Ssの策定(速度応答スペクトル)

震源特定して策定する地震動として,基準地震動S<sub>S</sub>を10波策定(S<sub>S</sub>-D,S<sub>S</sub>-1~9) 震源特定せず策定する地震動として,2波を基準地震動S<sub>S</sub>として選定(S<sub>S</sub>-10,11)



