

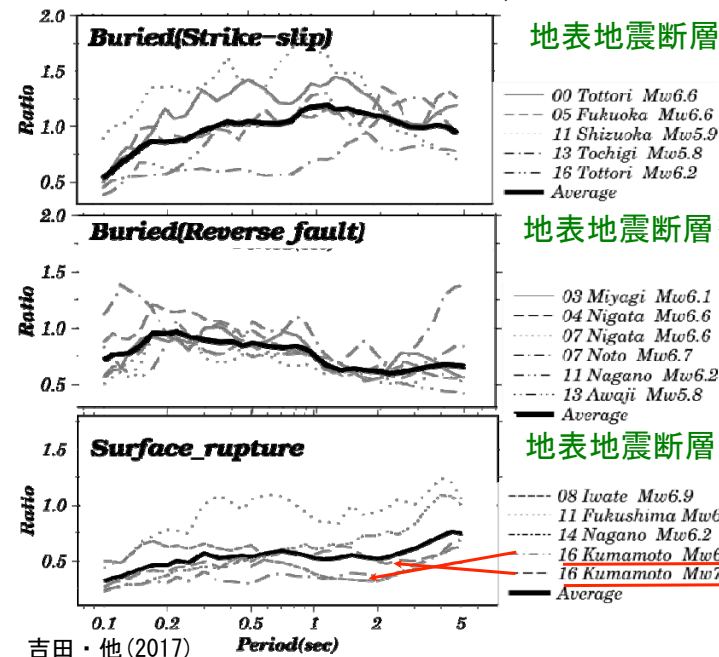
話題提供：地震動

香川敬生
(鳥取大学 工学部附属 地域安全工学センター)

地震工学委員会
断層帯近傍における地震動メカニズム検討小委員会
(平成28年度～30年度)

委員長：香川敬生（鳥取大）、副委員長：吉見雅行（産総研）
幹事長：後藤浩之（京都大）
委員：池田隆明（長岡技科大）、大島光貴（清水建設）、近藤 香（大日本コンサルタント）、
津田健一（清水建設）、盛川 仁（東工大）

やや広範囲の地震動 に見られる特徴



地表地震断層を生じた地震と生じなかった地震
の地震動とスペクトル距離減衰式
(Morikawa and Fujiwara, 2013) との比較

地表地震断層を生じなかった地震
横ずれ断層

地表地震断層を生じなかった地震
逆断層

- ・震源断層から30km以内
- ・200Galを超える場合は
AVS30 > 500m/s
の硬質地盤のみ

地表地震断層を生じた地震

熊本の2地震は同規模の
平均よりも有意に小さい

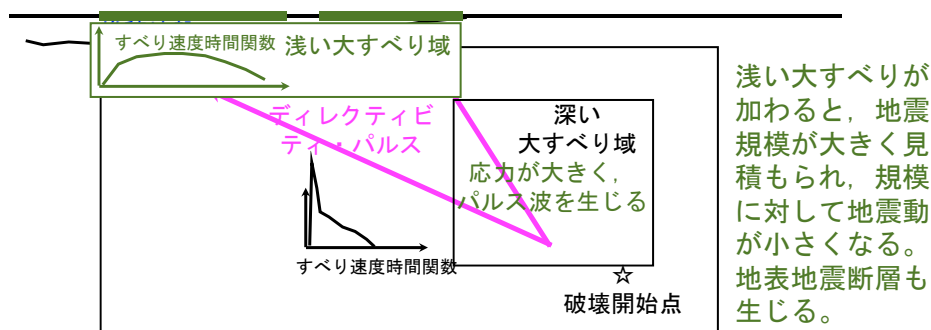
視点を変えると

【潜在断層地震】

- ・深い大すべり域は応力が大きく、すべり速度関数も短周期のパルスを持ち、ディレクティビティ・パルスを生じて地震動は大きい

【地表断層地震】

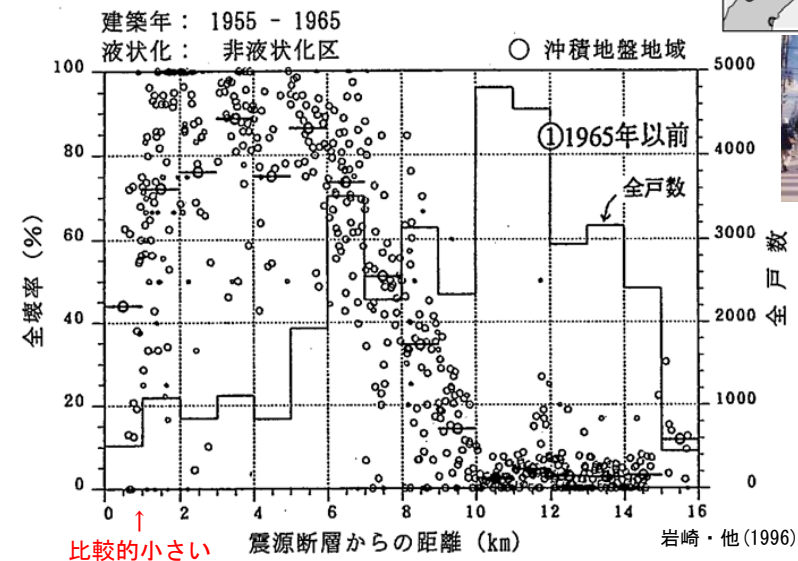
- ・浅い大すべり域が加わり、地表地震断層を生じるが、すべり時間関数の継続時間が長く、強震動には寄与しない。
- ・強震動は潜在地震と変わらなものの、地震モーメントが大きくなり、規模の割に地震動は小さいと評価される。



もう少し震源断層近傍では...

1995年兵庫県南部地震 (M7.3) の神戸市域
震源断層からの距離と(罹災証明に基づく)全壊率

震源断層域だが近傍に地表地震断層は無い

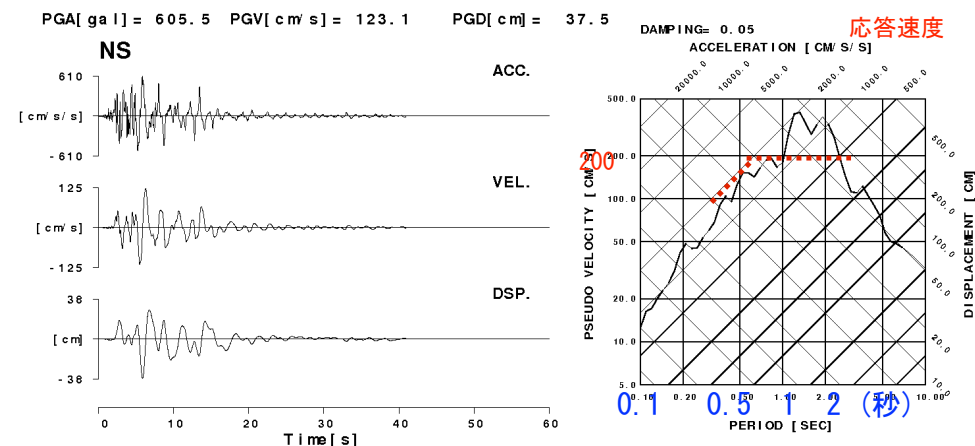


震源断層から10km程度以内で被害が大きく、強震動の影響が及んでいる。

実際に、強い揺れが観測されている

1995年兵庫県南部地震（M7.3）の神戸市域

震源断層域だが近傍に
地表地震断層は無い



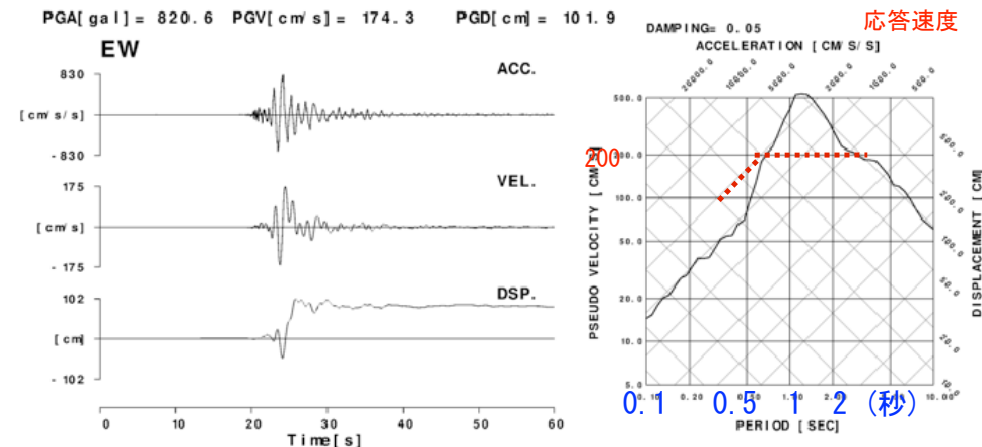
JR鷹取：震度6強
周辺は震度7

- ・ 周期1～2秒が特に大きい。
- ・ それよりも短周期でも十分に大きい。
- ・ 大きな被害を生じるタイプの地震動

実際に、強い揺れが観測されている

平成28年熊本地震（M7.3）の益城町

震源断層域かつ近傍に
地表地震断層が見られる



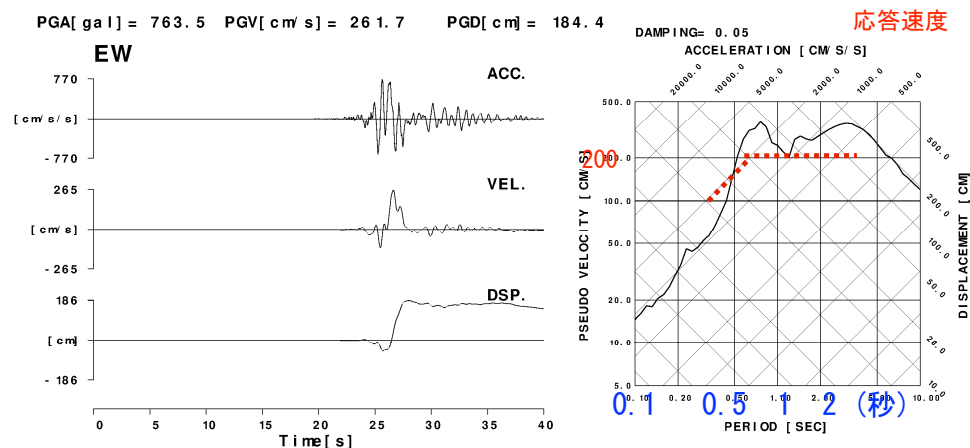
熊本県益城町宮園：震度7
（自治体震度計）

- ・ 周期1秒程度まで大きい。
- ・ ピークも兵庫県南部地震と同程度以上。
- ・ 非常に破壊力がある。
- 実際、近傍に被害有り。

実際に、強い揺れが観測されている

平成28年熊本地震（M7.3）西原村

震源断層域かつ近傍に
地表地震断層が見られる



こういった強震動の成因は？

熊本県西原村小森：震度7
（自治体震度計）

- ・ 周期1秒程度まで大きい。
- ・ ピークも兵庫県南部地震と同程度以上。
- ・ 非常に破壊力がある。
- 実際、周辺に被害有り。

しかし、地表地震断層ごく近傍では...

2016年熊本地震益城町郊外



地表地震断層近傍では、断層変位による被害は見られるが、地震動による被害は小さいように思われる。 → 過去の地震でも同様の傾向



1943年鳥取地震



1974年伊豆半島東方沖地震



1990年フィリピン地震



1995年兵庫県南部地震



地表面地震断層近傍のレストラン

1999年トルコKocaeli地震



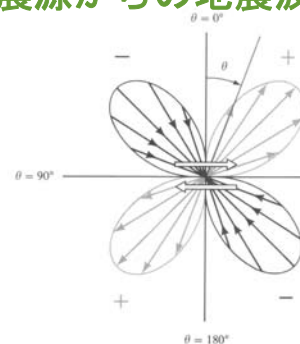
1999年台湾集集地震

2011年福島県浜通地震

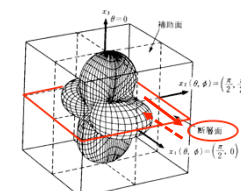
2014年長野県神城断層地震 でも...

何が起きているのか？

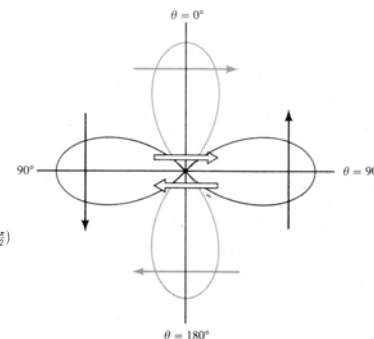
【震源からの地震波放射の影響】



S波

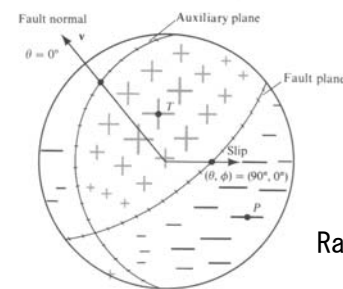


理論地震動研究会(1994),
「地震動」, 鹿島出版会



Transverse : θ, ϕ

Radial : r

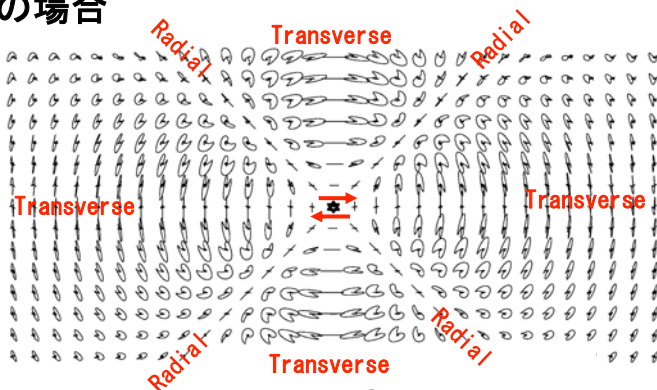


点震源の
Radiation Pattern

Aki and Richards (1980)

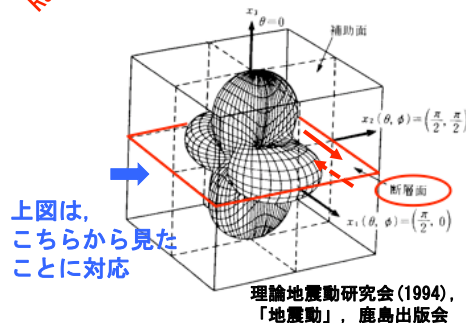
点震源(深さ7.5km)の場合

右図は, 2kmメッシュ
の各計算点で, 速度
波形から粒子軌跡を
図化したもの



横ずれ特有の四象限型放射
特性 (Radiation Pattern)
が見られる。

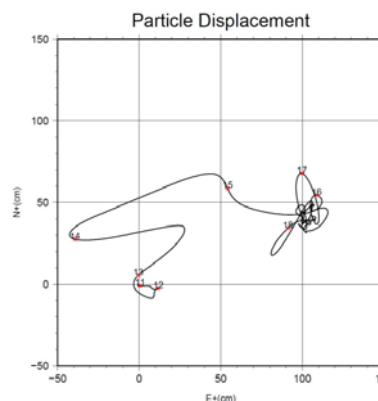
理論的な地震動放射に対応
震央の揺れはゼロ



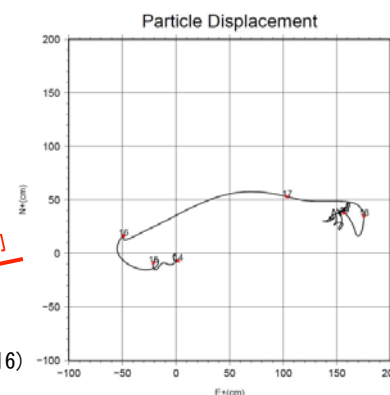
上図は,
こちらから見た
ことに対応

理論地震動研究会(1994),
「地震動」, 鹿島出版会

震源断層近傍で見られた断層平行方向への強い揺れ



益城町宮園 (益城町役場)



西原村小森 (西原村役場)

断層走向

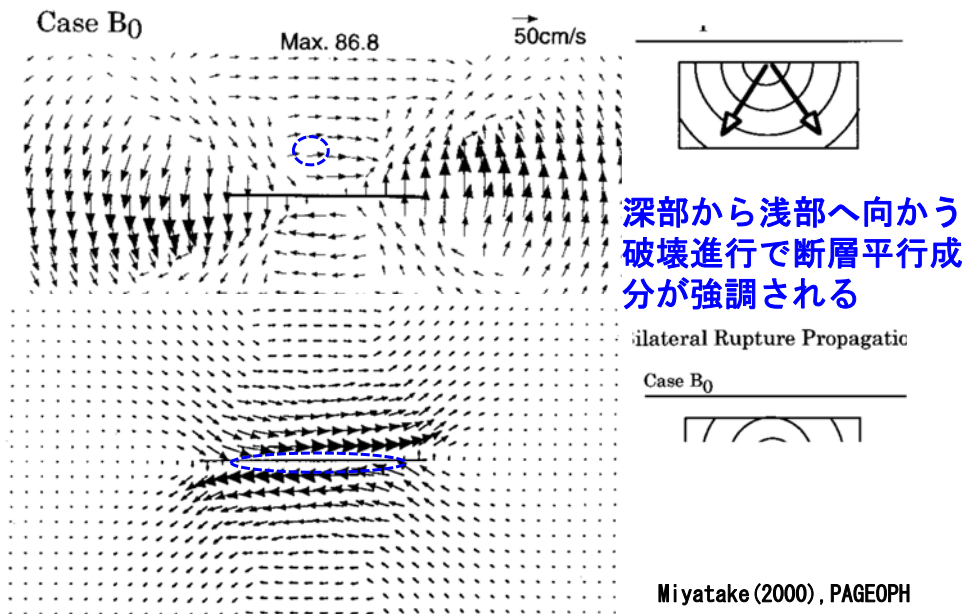
岩田(2016)

横ずれ断層震源近傍で見られる断層直交方向のパルス波ではなく,
断層平行成分が卓越していた。

強震観測による永久変位は, 測地学的な観測によるものと良い
対応を示した。

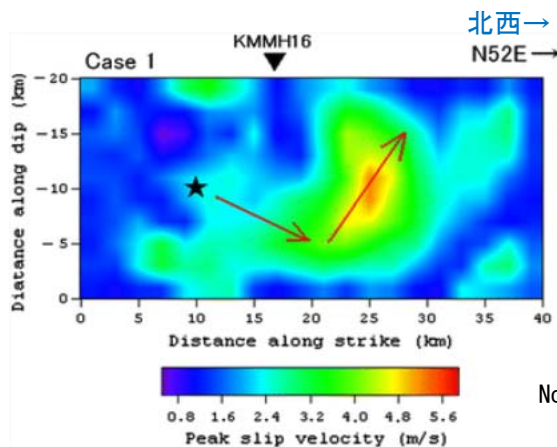
【震源断層での破壊進行の影響】

横ずれ断層で断層平行成分が大きくなる破壊進行



断層をはさんで揺れの方が逆転するので、断層直上は揺れない

経験的グリーン関数によるもの（周期0.5秒以上）

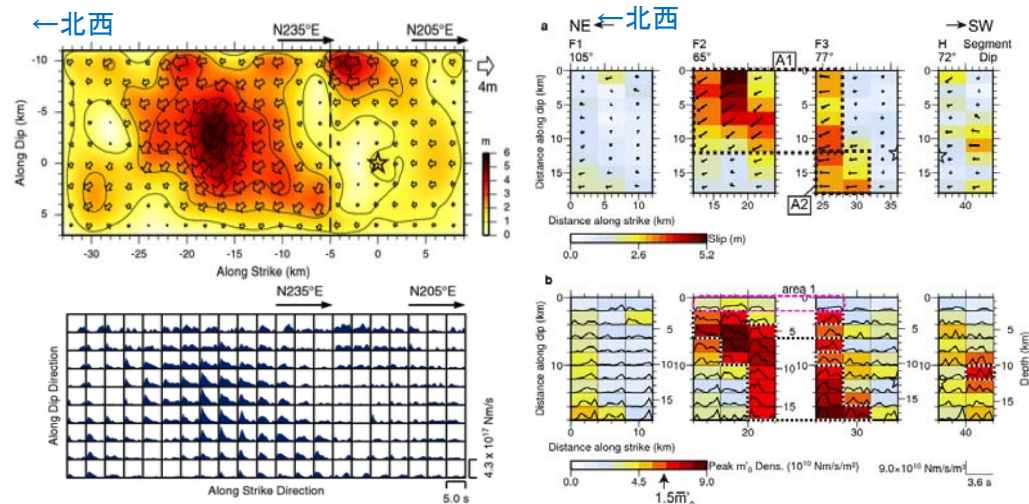


最大すべり速度の分布と破壊進行方向

浅部のすべり速度は深部に比べて小さいが、絶対値は十分に大きい。また、大きなすべりが深部から浅部へと進行したことが示唆される。

震源インバージョン解析による断層破壊モデル

理論グリーン関数によるもの（いずれも周期2秒以上）

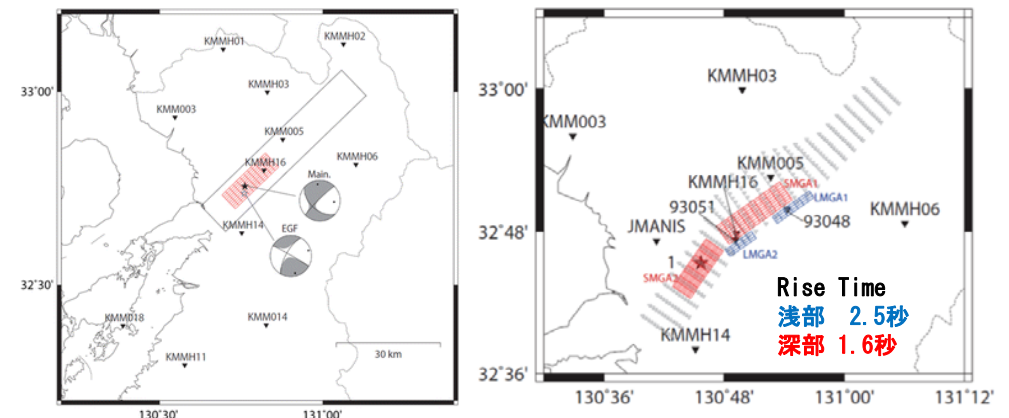


Asano and Iwata (2016)

上：すべり量とすべり方向の分布，下：Moment Rate Function

浅い大すべりのMoment Rate Functionは最大値が小さく、継続時間が長い傾向

特性化震源モデル



Irikura et al. (2017)

入倉・倉橋 (2017)

周期0.1～5秒
経験的グリーン関数法

周期1秒以上
理論グリーン関数

SMGA(Strong Motion Generation Area) 益城町宮園、西原村小森の長周期パルのみで強震動（短周期）は再現できる。 スを説明するため、浅いすべりを追加。

→ 対象構造物の周期帯に応じた地震動のモデル化が必要

断層帯近傍における地震動評価に関するシンポジウム概要

2017/11/18

全16編

(うち招待1)
参加者78名

1. 常時微動計測および臨時地震観測に基づく2016年熊本地震における阿蘇市内の文化財建造物に作用した地震動の評価
秦吉弥, 一井康二, 山田桂吾, 片山潤一, 山内政輝
2. 熊本平野における広帯域強震動評価のための浅部・深部統合地盤モデルの構築
先名重樹, 若井淳, 神高, 藤原広行
3. 2点同時微動観測を用いた益城町赤井地区における基盤傾斜の推定の試み
飯田剛史, 飯山かほり, 宮本崇, 盛川仁, 後藤浩之, 秦吉弥
4. 重力探査を用いた熊本県益城町市街地周辺の三次元基盤構造の推定
荒木俊, 野口竜也, 駒澤正夫, 有村翔也, 田村充宏, 中山圭, 盛川仁, 飯山かほり, 宮本崇, 秦吉弥, 吉見雅行, 香川敬生, 後藤浩之
5. 動力学的断層破壊シミュレーションによるモデル断層近傍における地震動の比較〜地表に断層が現れない場合と現れる場合〜
山田雅行, 今井隆太, 高橋恵, 藤原広行
6. 動力学的断層破壊シミュレーションによる2016年熊本地震本震の断層極傍における強震動と永久変位の再現
ドルジャバラム サロル, 堀一男, 入江紀嘉, 小穴温子, 藤原広行, 森川信之
7. 日本内陸における地表および潜在断層地震の地震動特性と震源特性に関する検討
吉田昌平, 香川敬生, 野口竜也
8. 横ずれ断層近傍強震動への破壊伝播の影響
香川敬生, 吉田昌平, 野口竜也
9. 地表地震断層極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
生玉真也, 川里健, 川上洋介, 納所昌広, 小穴温子, 堀一男, 鳥田晴彦, 岡田康男
10. 阿蘇大橋近傍の斜面崩壊を対象とした推定地震動による斜面崩壊の予測技術に関する一検討
近藤香, 本橋英樹, 李騰龍, 河戸克志
11. 1943年鳥取地震の鹿野断層における微動および地中レーダー探査による断層調査
野口竜也, 上野太士, 香川敬生, 吉田昌平, 西田良平
12. 熊本県益城町における長期微動観測の実施と地震波干渉法の適用
宮本崇, 盛川仁, 飯山かほり, 後藤浩之, 秦吉弥
13. 平成28年熊本地震における倒壊IC記録
豊増明希, 後藤浩之, 澤田純男, 高橋良和
14. パックプロジェクション法による2016年熊本地震の初期震源過程の解析
大島光貴
15. 経験的グリーン関数法を用いた2017年長野県南部の地震の震源のモデル化と強震動シミュレーション
池田隆明, 小島由記子, 高瀬裕也, 佐藤京
16. 物理モデルに基づく断層近傍での地震動シミュレーション
津田健一, 川辺秀憲

建築を含めて多くの投稿・参加があり, この問題に関する関心の高さをうかがわせる。

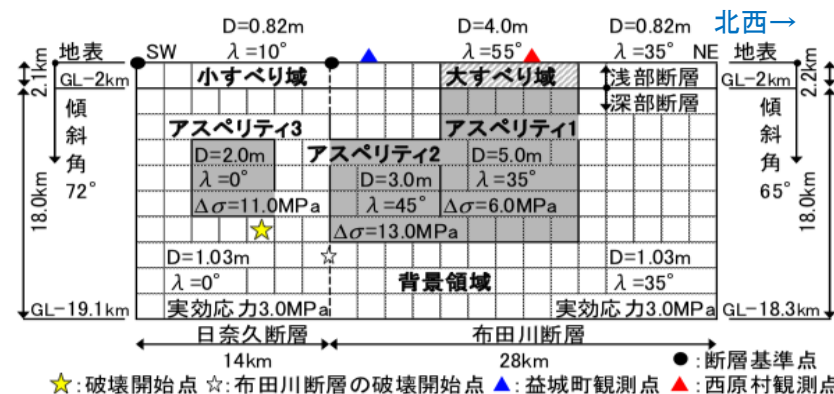
動力学シミュレーションの結果も報告されている。

論文集CD-Rより

特性化震源モデル

周期0.64秒以上

統計的グリーン関数法+理論グリーン関数(波数積分)

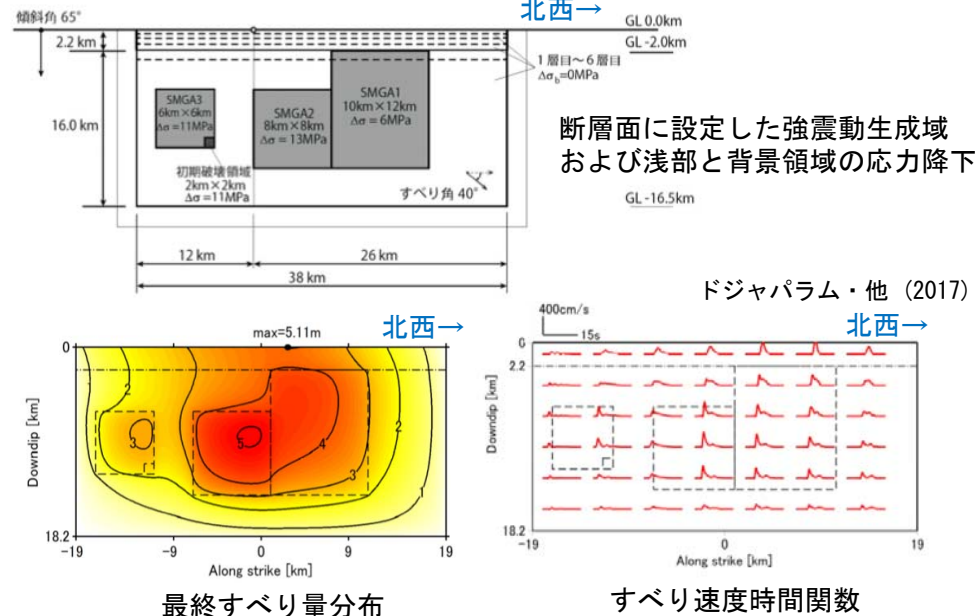


生玉・他 (2017)

浅部の大すべりを含むアスペリティは, 深部に比べて最終すべり量が大きいものの, 実効応力が小さい。

動力学的シミュレーションによるモデル化

北西→



ドジャバラム・他 (2017)

北西→

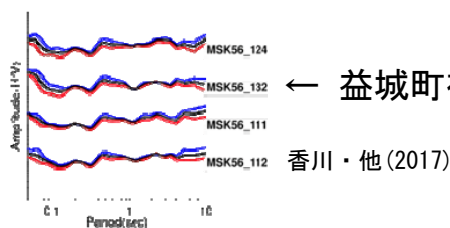
浅い大すべりのすべり速度時間関数は最大値が小さく, 継続時間が長い

地表地震断層ごく近傍の地盤震動特性

・地表地震断層近傍で震動被害が軽微な地域の微動H/Vにピークが無い

1943年鳥取地震鹿野断層近傍 → 10m毎の微動H/Vスペクトル比

熊本地震益城町郊外の地表地震断層近傍でも同様の傾向が見られた



← 益城町福原

香川・他 (2017)

野口・他 (2017)

まとめ

- ・熊本地震本震で生じた地表地震断層近傍の強震観測記録には、地殻変動と整合する永久変位が見られた。
- ・地表地震断層近傍では、断層に平行する方向が大きい強震動が観測された。
- ・地表地震断層ごく近傍では、変位による被害は大きいものの強震動による影響は小さいと思われる事例が散見された。
- ・このような地震動は、横ずれ断層破壊が深部から浅部へ向かって進行すること、また浅く大きな断層すべりの速度が小さく継続時間が長いことで定性的に説明できる。
- ・熊本地震本震の地震動をやや遠方まで評価すると、距離減衰式による平均よりも有意に小さいものであった。
- ・地表地震断層ごく近傍での微動観測では、H/Vスペクトル比に明瞭なピークが見られない事例が得られた。

(2016年熊本地震が突き付けた) 今後の課題

- ・浅部大すべりによる長周期パルスの生成可能性を踏まえた強震動評価の合理的な実施が必要である。
- ・断層浅部の(動力学的)破壊を制御する合理的なパラメータの設定について、さらなる検討が必要である。
- ・地表地震断層近傍における表層地盤の物性、特に断層すべりのような大変形時の挙動についての検討が望まれる。その結果は、動力学的な破壊モデルにフィードバックされる必要がある。
- ・地表地震断層近傍の地震動の定量的評価には、その実態を観測する必要がある。地震計や変位計を高密度に設置するには限界があるため、防犯カメラやドライブレコーダーなどの映像機器の利活用体制を整えることが望まれる。

以上の検討結果を積み重ね、断層近傍強震動評価の高度化に反映させることが望まれる。