

日本内陸における地表及び潜在断層地震の 地震動特性に関する基礎的検討

吉田 昌平¹・香川 敬生²・野口 竜也³

¹ 学生会員 鳥取大学大学院工学研究科（〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南四丁目 101 番地）

E-mail:D16t4003B@edu.tottori-u.ac.jp

² 正会員 博士(理) 鳥取大学大学院工学研究科（〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南四丁目 101 番地）

E-mail:kagawa@cv.tottori-u.ac.jp

³ 正会員 博士(工) 鳥取大学大学院工学研究科（〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南四丁目 101 番地）

E-mail:noguchit@cv.tottori-u.ac.jp

近年、国内では大規模な内陸地殻内地震が頻発しており、幾つかの地震では地表地震断層の出現が確認されている。内陸地殻内地震における地表地震断層の有無が地震動特性に大きな影響を与えることが、既往の研究より知られているが、国内の内陸地殻内地震に対する評価は未だ十分になされていない。本検討では、近年国内で発生した内陸地殻内地震を対象として、スペクトル距離減衰式から算出される標準的な加速度応答スペクトルに対する観測で得られる加速度応答スペクトルの偏差に着目することで、地表及び潜在断層地震の地震動特性の違いについて検討した。その結果、地表地震断層が出現した場合は、出現しない場合と比較すると、周期帯 0.1-1.0 秒程度で地震動が弱くなる傾向が見られた。

Key Words: *Inland crustal earthquake, Surface fault rupture, Buried fault rupture, Ground motion characteristics*

1. はじめに

近年、1995 年兵庫県南部地震をはじめ、大規模な内陸地殻内地震が頻発している。幾つかの地震では、震源断層の断層変位が地表面まで達することで生じる地表地震断層(以下、地表断層と称す)の出現が確認されている。国内で地表断層が確認された地震として、1995 年兵庫県南部地震、2008 年岩手・宮城内陸地震、2011 年福島県浜通り地震、2014 年長野県北部地震、2016 年熊本地震が挙げられる。これらの地震に対する地震後の調査から、断層近傍にもかかわらず、地表断層近傍およびその周辺で建物被害が比較的軽微であったことが共通して報告されている¹⁾⁴⁾。このことから、地表断層の有無によって放射される地震動特性が異なることが示唆される。

Somerville⁵⁾は、国内外 10 個の M7 クラス内陸地殻内地震を対象に、スペクトル距離減衰式⁶⁾から算出される標準加速度応答スペクトルに対する強震観測記録の加速度応答スペクトルの偏差に着目して、地表断層の有無による地震動特性の違いを分析している。その結果、地表断層が出現しなかった地震(以下、潜在断層地震と称す)は

出現した場合(以下、地表断層地震と称す)と比較すると周期 0.3 秒~3.0 秒で、地震動が 1.5 倍程度強くなることを示した(図-1 参照)。また、Kagawa et al.⁷⁾は、地震動特性の違いを説明するために、震源インバージョンから得られたすべり量分布を特性化し、震源断層パラメーターから地表及び潜在断層地震の震源特性の違いをまとめている。その結果、断層破壊領域やアスペリティ分布、応力降下量、すべり速度に有意な差があることを確認した。しかし、これら既往の研究⁵⁾⁷⁾で解析対象とされている地震は、2000 年以前に発生したもので、日本国内で発生した地震は 1995 年兵庫県南部地震に限られている。

国内では、1995 年兵庫県南部地震以降、内陸地殻内地震が頻発しており、地表断層が出現した地震も幾つか存在する。また、防災科学技術研究所の K-NET および KiK-net を中心とした国内の強震観測網が整備されたことで、強震観測記録が多く得られるようになり、地震動特性の評価の高精度化を期待できる。そこで、本検討では国内の内陸地殻内地震を対象に、地表及び潜在断層地震の地震動特性の違いを把握することを目的とした検討を行った。簡便法や詳細法などの強震動予測において、

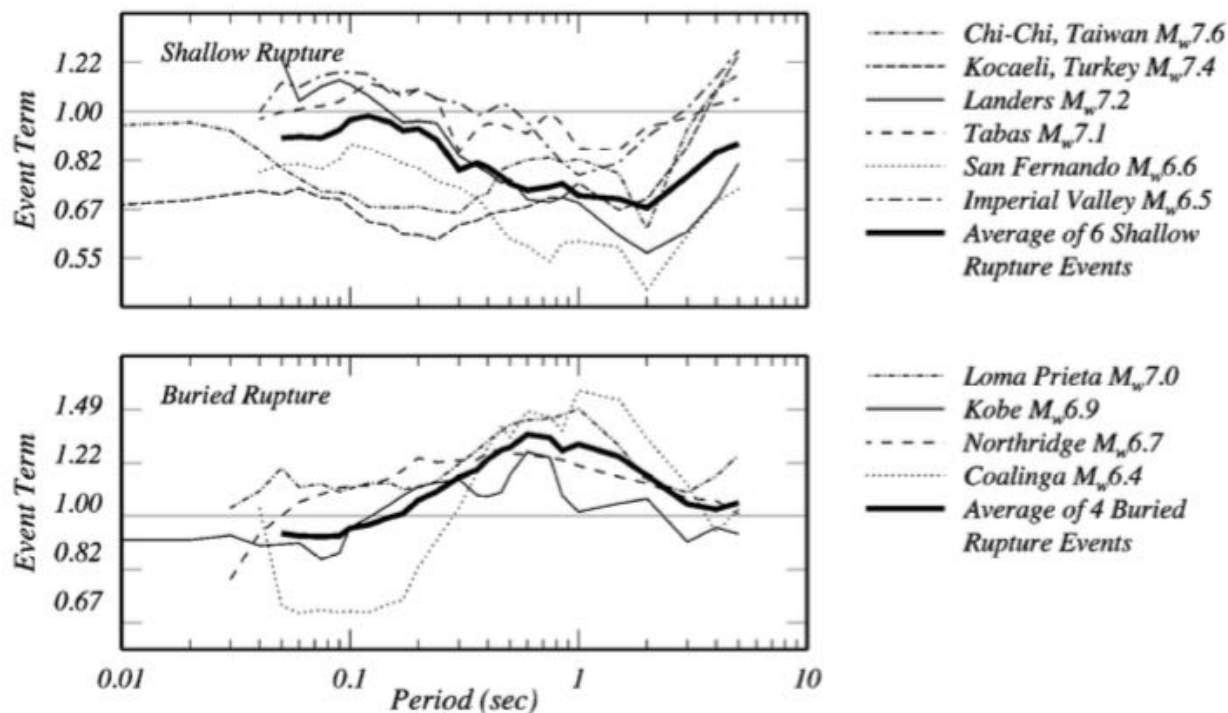


図-1 スペクトル距離減衰式⁹⁾で算出された標準加速度応答スペクトルに対する各地震の観測応答スペクトルの偏差⁵⁾

地表あるいは潜在の地震タイプによる地震動特性の差異やバラツキを評価することは、地震防災の観点から非常に重要な情報になると考える。

2. 対象地震

本検討では、2000 年以降に国内で発生した 14 個(横ずれ断層：5 個、逆断層：8 個、正断層：1 個)の内陸地殻内地震(M_w 5.8-7.0)を対象とした。表-1、表-2 に対象地震の震源断層パラメータをまとめる。また、図-2 に対象地震と各地震の CMT 解を示す。表-1 の Mech. は断層破壊型式で、横ずれ断層を SS、逆断層を RV、正断層を NM で各々示している。地震モーメント M_0 (Nm) は、防災科学技術研究所の広帯域地震観測網 F-net⁸⁾ で得られた結果であり、Reference は解析で用いる震源断層のすべり量分布の引用先を示している。

地表断層の有無については、地震発生後に大学、産業技術総合研究所等、多くの機関により現地調査が実施されている。表-1 に示すように、本検討の対象地震では、2008 年岩手・宮城内陸地震⁹⁾、2011 年福島県浜通り地震¹⁰⁾、2014 年長野県神城断層地震¹¹⁾、2016 年熊本地震¹²⁾で地表断層の出現が確認された。2000 年鳥取県西部地震は、地表断層の有無が議論される地震であるが、明瞭な地震断層が報告されていないため、本検討では潜在断層地震として扱う。海底面地下で生じた 2005 年福

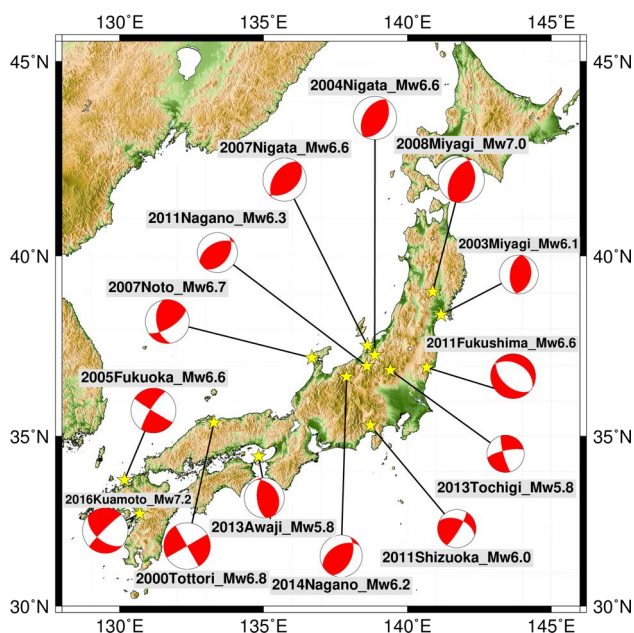


図-2 解析対象の内陸地殻内地震(M_w 5.8-7.0)

岡県西方沖地震、2007 年石川県能登半島地震、2007 年新潟県中越沖地震では、現地調査が困難なため地表断層の有無は把握されていない。Kagawa et al.⁷⁾ は地表断層が浅部アスペリティ(5km 以浅)に起因することを数値シミュレーションから説明しており、これらいずれの地震もインバージョン結果では、浅部にすべりの大きい領域を

表-1 内陸地殻内地震および各地震の震源断層パラメーター

地震	Mech.	Mo(Nm)	Mw	Reference	地表地震断層
2000 年鳥取県西部地震	SS	8.62E+18	6.8	Iwata et al. ¹³⁾	無
2003 年宮城県北部地震	RV	1.53E+18	6.1	Hikima and Koketsu ¹⁴⁾	無
2004 年新潟県中越地震	RV	7.53E+18	6.6	Asano and Iwata ¹⁵⁾	無
2005 年福岡県西方沖地震	SS	7.80E+18	6.6	Asano and Iwata ¹⁶⁾	無
2007 年石川県能登半島地震	RV	1.36E+19	6.7	Asano and Iwata ¹⁷⁾	無
2007 年新潟県中越沖地震	RV	9.30E+18	6.6	Miyakoshi et al. ¹⁸⁾	無
2008 年岩手宮城内陸地震	RV	2.72E+19	6.9	Cultrera et al. ¹⁹⁾	有
2011 年長野県北部地震	RV	2.13E+18	6.2	気象庁 ²⁰⁾	無
2011 年静岡県東部地震	RV	8.38E+18	5.9	気象庁 ²¹⁾	無
2011 年福島県浜通り地震	NM	9.58E+18	6.6	引間 ²²⁾	有
2013 年栃木県北部地震	SS	5.54E+17	5.8	染井ほか ²³⁾	無
2013 年淡路島地震	RV	5.47E+17	5.8	気象庁 ²⁴⁾	無
2014 年長野県神城断層	RV	2.76E+18	6.2	気象庁 ²⁵⁾	有
2016 年熊本地震	SS	4.42E+19	7.1	浅野 ²⁶⁾	有

SS: Strike Slip, RV: Reverse Slip, NM: Normal Slip

表-2 内陸地殻内地震および各地震の震源断層パラメーターと解析に用いた地震数

地震	Length(km)	Width(km)	Strike	Dip	観測記録数
2000 年鳥取県西部地震	33	21	150	90	9
2003 年宮城県北部地震	18	10	203	47.5	10
2004 年新潟県中越地震	28	18	212	47	8
2005 年福岡県西方沖地震	26	18	132	90	6
2007 年石川県能登半島地震	30	16	58	60	4
2007 年新潟県中越沖地震	28	18	30	40	7
2008 年岩手宮城内陸地震	43	17	209	40	10
2011 年長野県北部地震	17	11	30	35	11
2011 年静岡県東部地震	8	12	31	80	6
2011 年福島県浜通り地震	40	16	158	62	11
2013 年栃木県北部地震	12	7	165	80	9
2013 年淡路島地震	10	6	175	60	7
2014 年長野県神城断層地震	24	15	25	61	9
2016 年熊本地震	46	16	131	53	11

有していないことから、本検討では潜在断層地震として扱う。

3. 解析手順

各地震の地震動特性を比較する方法を説明する。震源断層すべり面から、30km 以内に設置されている防災科学技術研究所の強震観測点 K-NET および KiK-net(地表)の強震観測記録を取得する。福岡西方沖地震、石川県能登半島、新潟県中越沖地震は、震源断層が海底面下に存在し、30km 以内に存在する強震観測点で得られる強震観測記録のみでは十分な検討ができないため、対象

範囲を 40km に拡張することで、解析に使用できる強震観測記録を補った。また、非線形応答の影響を防ぐために、最大加速度が 200gal を上回るサイトでは、AVS30 が 500m/s 以上のサイトの強震観測記録を用いた。最終的に選定した強震観測記録数を表-2 に、2000 年鳥取県西部地震及び 2007 年新潟県中越沖地震で選定した観測点の例を図-3、図-4 に各々示す。表-2 からわかるように、2007 年石川県能登半島地震を除いては、概ね 10 個程度の強震観測記録を得ることができた。

地表面の強震観測記録は、地震基盤上の堆積層に起因したサイト増幅の影響が含まれている。サイト増幅の影響を取り除くため、野津・長尾²⁷⁾によって評価されたサ

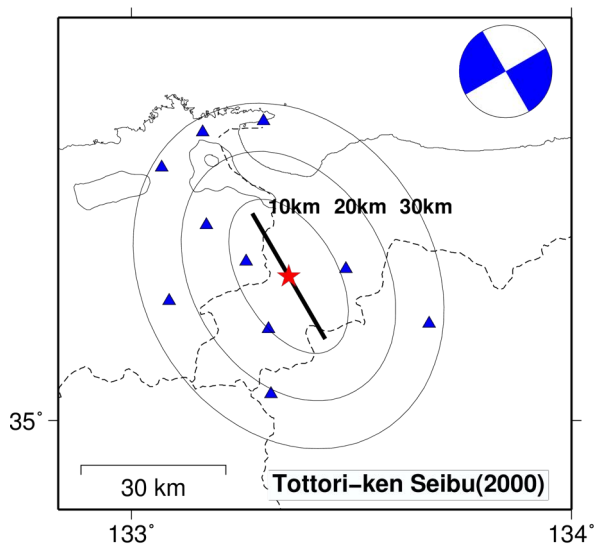


図-3 2000年鳥取県西部地震の震源断層と対象観測点

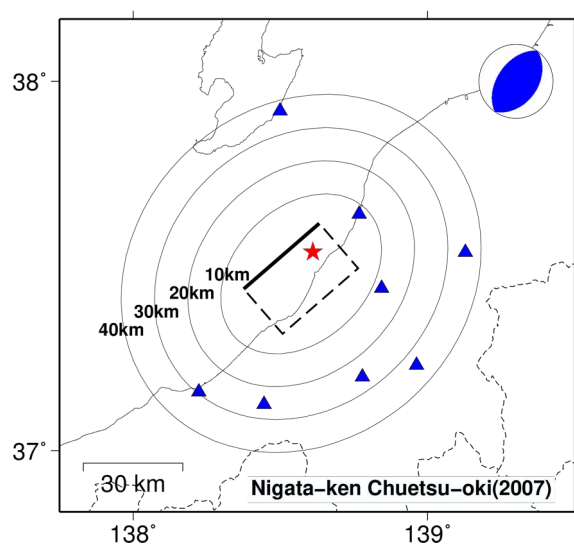


図-4 2007年新潟県中越沖地震の震源断層と対象観測点

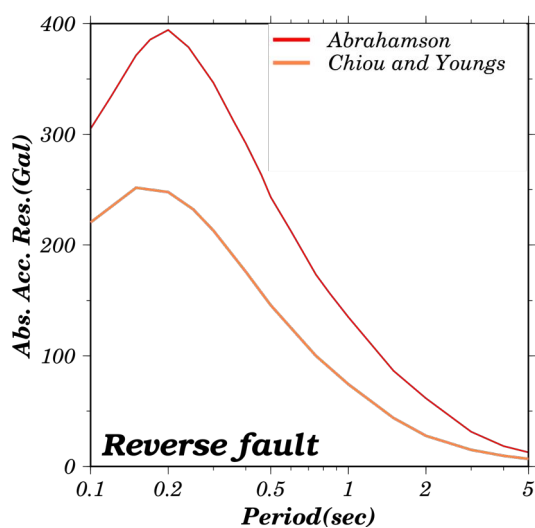
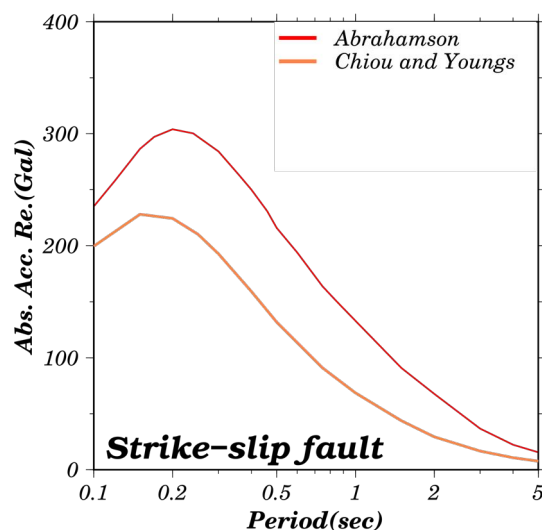


図-5 標準加速度応答スペクトルの比較

イト増幅特性を用いた。地表面観測記録からサイト増幅特性により堆積層の影響を取り除くことで、地震基盤相当の強震記録を得ることができる。さらに、得られた地震基盤上の強震記録から、線形加速度法により加速度応答スペクトルを算出した後、スペクトル距離減衰式から算出される標準加速度応答スペクトルで除する。すなわち、標準値に対する観測値の偏差に着目することで、地震動特性の違いを検査することができる。さらに、震源断層を取り囲むように選定した全観測点を平均することで、放射特性による影響を取り除いた。なお、海底面下に震源断層が存在する 2005 年福岡県西方沖地震、2007 年石川県能登半島沖地震、2007 年新潟県中越沖地震は強震観測点が一部の方向に限られるため、放射特性の影響を十分に取り除けていない可能性があることに注意さ

れたい。

4. スペクトル距離減衰式

強震動予測手法の一つとして、簡便かつ安定的である距離減衰式が一般的に広く用いられている。距離減衰式は、過去に発生した数多くの地震のデータを統計的に処理することで、地震規模や断層最短距離等のパラメーターから平均的な最大加速度や速度、応答スペクトルなどの地震動特性値を得ることができる。

本検討では、米国の次世代型距離減衰式の開発プロジェクト(Next Generation of Ground Motion Attenuation Model (NGA) Project) で提案された Chiou and youngs²⁸⁾によるスペクトル距離減衰式を採用した。西村²⁹⁾は、国内で発生し

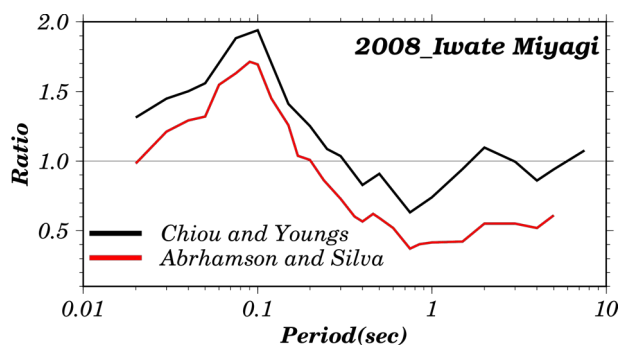


図-6 推定加速度応答スペクトルの周期特性の比較

た内陸地殻内地震の強震観測記録と NGA の 5 モデルと内山・翠川³⁰⁾のモデルの応答スペクトルを比較することによって、スペクトル距離減衰式の精度の検証をしている。その結果、周期 1 秒程度の周期帯で Chiou and Youngs²⁶⁾の提案モデルが観測値と最も精度良く対応することが示された。また Chiou and Youngs²⁶⁾の提案モデルは AVS30 の適用上限が 1500m/s と広く、インピーダンス比を 2 と仮定することで、地震基盤相当(3000m/s)の応答スペクトルへ容易に拡張することができる。これらを参考に、本検討では Chiou and Youngs²⁶⁾のスペクトル距離減衰式を用いた。

このスペクトル距離減衰式は、地震規模を示すマグニチュード、断層面最短距離、断層上端深さ、断層破壊メカニズム、上盤効果、浅部および深部の地盤構造の違いを主目的変数として、PGA, PGV, 水平方向の加速度応答スペクトルを算出することが可能である。本検討では震源深さの違いに依存する地震動強さの変化を一定とするために、断層上端深さの深さ依存性を考慮していない。また、上盤効果も考慮していない。

5. 適用性の確認

本検討で用いたスペクトル距離減衰式²⁶⁾は、既往の研究のもの⁹⁾とは異なる。そこで、既往の研究⁹⁾の結果と矛盾が生じないように、両スペクトル距離減衰式を比較して大きな相違がないことを確認する必要がある。図-5 に Mw:7.0, 断層最短距離:30km, AVS₃₀:760m/s とした横ずれ及び逆断層で算出した両モデルの標準加速度応答スペクトルの比較を示す。図中より、両断層タイプとも既往の研究⁹⁾で用いられた Abrahamson and Silva⁹⁾のモデルが全周期帯で大きい。特に逆断層の短周期帯域(0.1-0.3sec)で最も差が大きく、1.5 倍程度の差が見られる。両スペクトルに差が生じた要因として、サイト増幅の扱いや統計的处理に用いられている強震観測記録数の違いなどが考えられる。

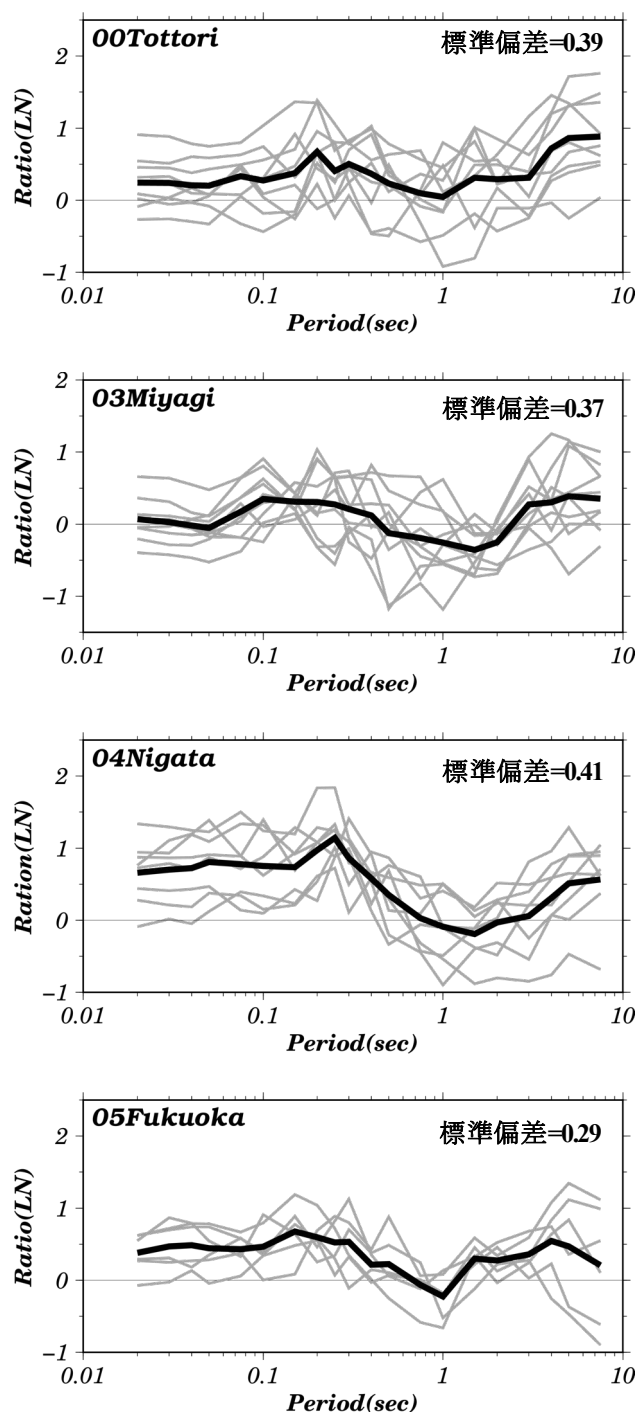


図-7 スペクトル距離減衰式²⁶⁾で算出された加速度応答スペクトルに対する各地震の観測加速度応答スペクトルの偏差(縦軸; 自然対数)

周期特性を比較するために、2008 年岩手・宮城内陸地震を対象として、スペクトル距離減衰式の標準加速度応答スペクトルに対する実地震動の加速度応答スペクトルの偏差(応答スペクトル比)を比較する。手順は上述に従うが、Abrahamson and Silva⁹⁾のスペクトル距離減衰式では、AVS₃₀を用いた明確な地盤分類ができないため、比較には地表面上の強震観測記録を使用した。得られた応

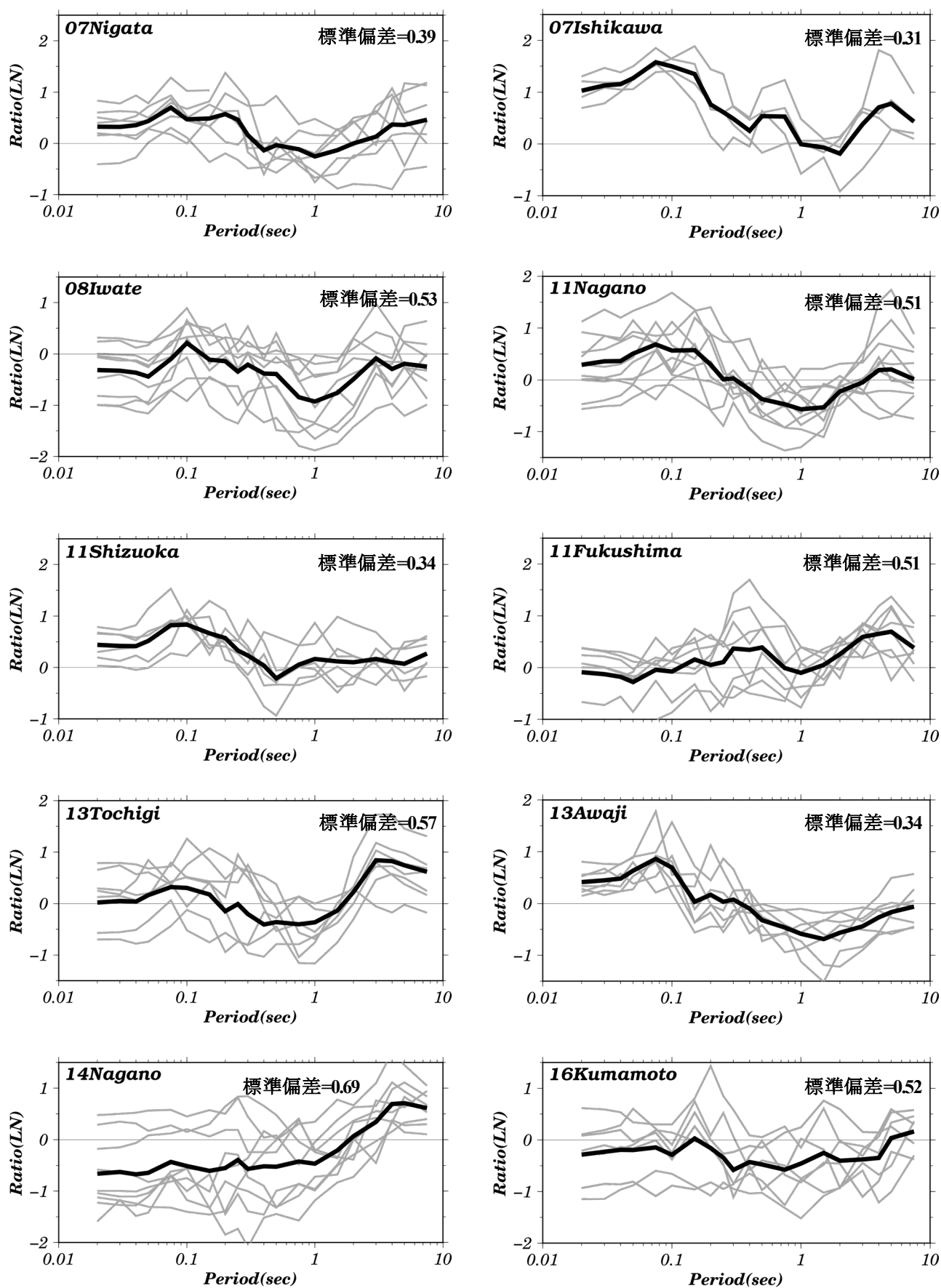


図-7(続き) スペクトル距離減衰式²⁶⁾で算出された加速度応答スペクトルに対する各地震の観測加速度応答スペクトルのからの偏差(縦軸；自然対数表示)

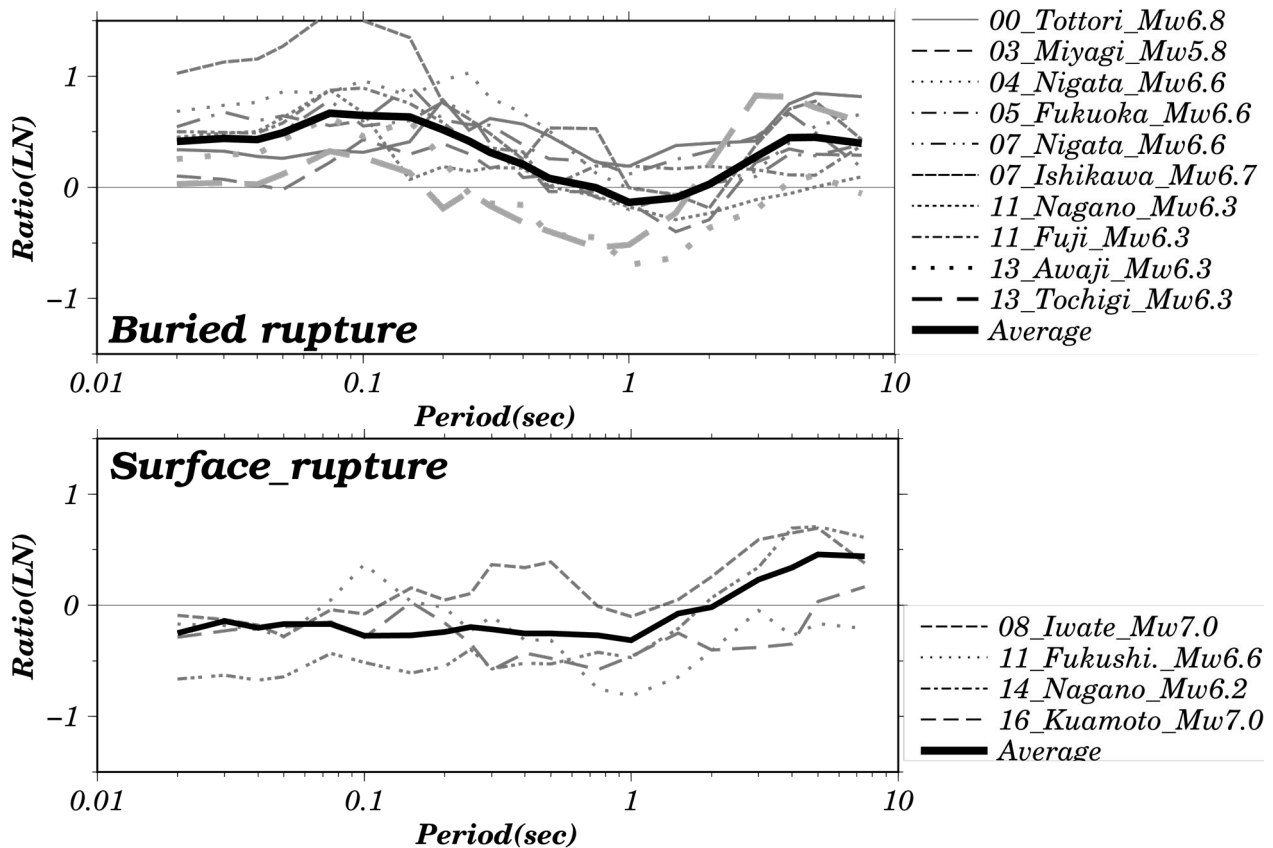


図-9 地表および潜在断層地震の応答スペクトル比(縦軸；自然対数表示)

答スペクトル比の比較結果を図-6 に示す。図-5 より明らかなように Chiou and Youngs²⁶⁾の応答値は Abrahamsn and Silva⁶⁾のものより小さく算出されるため、応答スペクトル比は Chiou and Youngs²⁶⁾のモデルで除したものが全周期帯で上回る。しかし、両応答スペクトル比とも全周期帯で周期特性に大きな相違は見られない。したがって、Chiou and Youngs²⁶⁾のモデルを採用しても、レベル差を除いては、Somerville⁵⁾の検討結果と周期特性に大きな相違は生じないと考える。

6. 結果と考察

各地震の応答スペクトル比を図-7, 図-8 に示す。灰色線が各観測点の結果、黒線が全観測点の平均を示している。また、周期 0.1~2.0 秒以下の標準偏差(自然対数)の平均値を同様に示し、各観測点間のバラツキを評価している。図の見方として、縦軸の応答スペクトル比を自然対数で表示していることに注意されたい。すなわち、ゼロはスペクトル距離減衰式より算出された標準応答スペクトルと同値である。そのため、ゼロを上回る場合は標準応答スペクトルより地震動が強く、ゼロを下回る場合は標準応答スペクトルより地震動が弱いと解釈できる。

図-7, 図-8 に示されるように、各地震の標準偏差は概ね 0.3-0.6 であり、震源断層の複雑な断層破壊や地盤の

非線形応答、伝播経路の違いに起因したばらつきと考えられる。またアスペリティからの距離の影響を受けている可能性も考えられる。スペクトル距離減衰式は、断層面からの最短距離を目的変数として応答スペクトルが算出される。しかし、実際の地震はアスペリティから強い地震動が放出されるため、断層面周辺の観測点でもアスペリティから遠距離であれば地震動特性は弱く、逆に近距離であれば地震動特性は強くなる。このように、アスペリティから対象サイトまでの距離に起因した地震動特性のばらつきも一要因として考えられ、この現象に対する補正を今後検討していく必要がある。

図-9 に地表および潜在断層地震の応答スペクトル比をまとめる。図より、地表および潜在断層地震で地震動特性は明瞭に異なる傾向が見て取れる。潜在断層地震は、周期 0.1-1.0 秒程度でゼロラインを 2 倍程度(自然対数で 0.7 程度)上回り、地表断層地震は、ゼロラインと同等もしくは下回る傾向を示した。したがって、地表断層地震が全周期帯で潜在断層地震を下回り、特に周期 0.1-0.2 秒程度で最も差が大きい。地表及び潜在断層地震の地震動特性に差が出る要因として、浅部でのすべりの大きい領域の有無が一因として挙げられる。浅部地盤では地殻構成物質が十分に固結していないため、応力降下量が小さく、強い地震動を放射しないと考えられる。地表断層地震は浅部にすべり領域を有していることが多く、強い

地震動を放射していない可能性が考えられる。地表および潜在断層地震の震源特性に関する検討も今後進めていく必要がある。

地表断層地震の数は少ないものの、潜在断層地震が強い地震動を放射する傾向は、既往の研究⁹⁾結果と調和的である。しかし、本検討で示した地震動特性は、既往の研究結果⁹⁾より短周期帯域で卓越する傾向が見られた。この理由として、本検討は逆断層を基本としているのに対して、既往の研究⁹⁾は横ずれ断層を基本として解析しているため、ディレクティビティの影響が含まれている可能性が考えられる。また、日本国内と国外の地盤の違いに起因した地震動特性の違いが見られる可能性も考えられるため、国内の地震に限らず、国外の内陸地殻内地震に対しても同様の検討をしていく必要があると考える。

7. まとめ

国内の内陸地殻内地震を対象に地表及び潜在断層地震の地震動特性の違いを明らかにするために、2000 年以降に国内で発生した内陸地殻内地震 14 個を対象に、スペクトル距離減衰式から得られる推定加速度応答スペクトルに対する各地震の観測加速度応答スペクトルの偏差に着目した分析を試みた。各地震とも 10 個程度の強震観測記録を得ることができ、さらにサイト増幅特性を用いることで堆積層に起因したサイト増幅の影響を取り除き、解析の高精度化を図った。解析の結果、地表および潜在断層地震の地震動特性には明確の違いがあり、周期 0.1-1.0 秒程度において、地表断層地震より潜在断層地震の地震動が 2.0 倍程度大きくなるような傾向が見て取れた。

今後は、震源インバージョンにより得られた震源すべり分布より、地震動特性に違いが出る原因を震源特性から検討したいと考えている。また、既往の研究結果と比較すると、地震動の卓越周期帯に差が見られたため、国内に限らず国外の地震に対しても同様の検討を実施していきたい。

謝辞：本検討には、(独)防災科学技術研究所の K-NET および KiK-net の強震観測記録を使用しました。解析の際に用いましたサイト増幅特性は、港湾空港技術研究所の野津厚博士に提供して頂きました。震源断層にすべり量分布は、多くの研究者の成果を(財)地域地盤環境研究所の宮腰研博士がとりまとめたものを提供して頂きました。一部の図の作成には、GMT を使用しました。ここに記して、関係諸氏に感謝申し上げます。

参考文献

1) 久田 嘉章, 久保 智弘, 松澤 佳, 松本 俊明, 田邊 朗

- 仁, 森川 淳: 2011 年福島浜通り地震の地表地震断層近傍における建物被害調査, 日本地震工学論文集, 第 12 巻, 第 4 号(特集号), pp. 104-126.
- 2) 久田 嘉章, 石川 理人: 2014 年 11 月 22 日長野県北部地震での地表地震断層近傍での建物被害 (速報), <<http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/Open/report/2014-11-Nagano-EQ-hisada.pdf>> (2016/01/20 閲覧).
- 3) 松田 磐余: 1995 年兵庫県南部地震の地震断層と地形から見た被害状況, 総合都市研究, 第 57 巻, pp. 5-18, 1995.
- 4) 香川 敬生, 吉田 昌平, 上野 太士: 平成 28 年熊本地震被災域における余震および微動観測の速報 - 益城町における地表断層周辺と地形変化に着目して -, 地球惑星連合大会, MIS34-P75, 2016.
- 5) Somerville, P. G.: Magitude scaling of the fault rupture directivity pulse, Physics of the Earth and Planetary Interiors, 137, pp. 201-212, 2003.
- 6) Abrahamson, N. A., W. J. Silva: Empirical response spectral attenuation relations for shallow crustal earthquakes, Seismological Research Letters, Volume 68, Number 1, pp. 94-127, 1997.
- 7) Kagawa, T., K. Irikura, P. G. Somerville: Differences in ground motion and fault rupture process between the surface and buried rupture earthquake, Earth Planets Space, 56, pp. 3-14, 2004.
- 8) 福山 英一, 石田 瑞穂, D. S. Dreger, 川井 啓廉: オンライン広帯域地震データを用いた完全自動メカニズム決定, 地震第 2 輯, 51, pp. 149-156, 1998.
- 9) 遠田 晋次: 2008 年岩手・宮城内陸地震に伴う地表地震断層, <http://tohoku-geo.ne.jp/information/daich49_13.html> (2016/01/12 閲覧).
- 10) 栗田 泰夫, 楮原 京子, 杉山 雄一, 吉岡 敏和, 吾妻 崇, 安藤 亮輔, 丸山 正: 2011 年福島県浜通り地震に伴う湯ノ岳断層の地表ベクトル, 地球惑星連合大会, MIS036-P107, 2011.
- 11) 岡田 真介, 石村 大介, 丹羽 雄一, 遠田 晋次: 長野県北部の地震にともなう地表地震断層, <http://irides.tohoku.ac.jp/media/files/topics/20141209_report_nagano.pdf> (2016/01/12 閲覧).
- 12) 熊原 康弘, 後藤 秀昭, 中田 高, 松多 信尚, 石山 達也, 石黒 聡士, 廣内 大助, 堤 浩之, 渡辺 満久, 鈴木 康弘: 2016 年熊本地震・地表地震断層に関する緊急地震速報, <http://www.aig.or.jp/disaster/files/201604_kumamoto002.pdf#search=熊本地震+熊原+地表仁断層>, (2016/5/20 閲覧).
- 13) Iwata, T., H. Sekiguchi, Y. Matsumoto, H. Miyake, K. Irikura: Source process of the 2000 western Tottori Prefecture earthquake and near source strong ground motion, paper present at 2000 Fall Meeting Seisml, Soc. Japan, Tsukuba, 2000.
- 14) Hikima, K., K. Koketsu: Source processes of the foreshock, mainshock and largest aftershock in the 2003 Miyagi-Ken Hokubu, Japan, earthquake sequence, Ear. Pla. Spa., 56, pp. 87-93, 2004.
- 15) Asano, K., T. Iwata: Source rupture process of the 2004 Chuetsu, mid Nigata Prefecture, Earthquake Inferred from Waveform Inversion with Dense Strong Motion Data, Bull. Seism. Soc. Am., 99, pp. 123-140,

- 2009.
- 16) Asano, K., T. Iwata : Source process and near-source ground motion of the 2005 West off Fukuoka Prefecture earthquake, *Earth Planets Space*, 58, pp.93-98, 2006.
 - 17) Asano, K., T. Iwata : Source rupture process of the 2007 Noto Hanto, Japan, earthquake estimated by the joint inversion of strong motion and GPS data, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 101, pp.2467-2480, 2011.
 - 18) Miyakoshi, K., S. Kurahashi, K. Irikura, A. Okazaki : Source modeling of the 2007 Nigata-ken Chuetsu-oki earthquake, 7th General Assembly of Asian Seismological Commission and Seismological Society of Japan, X4-059, 2008.
 - 19) Cultrera, G., G. Ameri, A. Sarao, A. Cirella, A. Emolo: Ground motion simulation within shakemap methodology: application to the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku(Japan) and 1980 Irpinia(Italy) earthquake, *Geophysical Journal International*, 193(1), pp. 220-237, 2013.
 - 20) 気象庁 : 3 月 12 日長野県北部の地震 -近地震強震波形による震源過程解析(暫定)-, <<http://www.seisvol.kisho.go.jp/eq/sourceprocess/event/201103120359near.pdf>> (2016/1/20 閲覧)
 - 21) 気象庁 : 3 月 15 日静岡県東部の地震 -近地震強震波形による震源過程解析(暫定)-, <<http://www.seisvol.kisho.go.jp/eq/sourceprocess/event/20110315near.pdf>> (2016/1/20 閲覧)
 - 22) 引間 和人: 2011 年福島県浜通り地震(Mj7.0)の震源過程, 地震第 2 輯, 64, pp. 243-256, 2012.
 - 23) 染井一寛, 宮腰研, 入倉孝次郎: 2013 年 2 月 25 日栃木県北部の地震の震源モデルと強震動シミュレーション, 日本地球惑星科学連合大会 2014 年予稿集, SSS23-P19, 2014
 - 24) 気象庁: 4 月 13 日淡路島付近の地震 -近地震強震波形による震源過程解析(暫定)-, <<http://www.seisvol.kisho.go.jp/eq/sourceprocess/event/20130413near.pdf>>, (2016/1/20 閲覧).
 - 25) 気象庁: 11 月 22 日長野県北部の地震 -近地震強震波形による震源過程解析(暫定)-, <<http://www.seisvol.kisho.go.jp/eq/sourceprocess/event/20141122near.pdf>>, (2016/1/20 閲覧).
 - 26) 浅野 公之 : 平成 28 年(2016 年)熊本地震の震源過程, <http://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/kasano/pdf/2016KumamotoEQ_v20160417.pdf?search=浅野+熊本地震+震源過程>(2016/5/20 閲覧).
 - 27) 野津 厚, 長尾 毅 : スペクトルインバージョン法に基づく全国の港湾等の強震観測点におけるサイト増幅特性, 港湾空港技術研究所資料, No.1112, 2005.
 - 28) Chiou, B. S. -J., R. R. Youngs : Chiou and Youngs PEER-NGA empirical ground motion model for the average horizontal component of peak and acceleration and pseudo-spectral periods of 0.01 to 10 seconds, Interim Report Issued for USGS Review, 71pp, 2006.
 - 29) 西村 利光 : NGA プロジェクトの距離減衰式と日本の距離減衰式の比較, 日本建築学会大会学術講演, pp.873-874, 2010.
 - 30) 内山 泰生, 翠川 三郎 : 震源深さの影響を考慮した工学基盤における応答スペクトルの距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, No. 606, pp. 81-88, 2006.
 - 31) Wessel, P. and Smith, W. H. F.: Free software helps map and display data, *EOS Trans., Amer. Geophys. U.*, Vol. 72, No. 41, p. 441, 1991.

DIFFERENCE IN GROUND MOTION CHARACTERISTICS BETWEEN THE SURFACE AND BURIED RUPTURE INLAND CRUSTAL EARTHQUAKE IN JAPAN

Shohei YOSHIDA, Takao KAGAWA and Tatsuya NOGUCHI

Recently, large scale inland crustal earthquake have occurred frequently in Japan, and some of them have surface rupture. Existence of surface rupture significantly affects on ground motion characteristics, however, inland crustal earthquake in Japan has not previously analyzed except for the 1995 Kobe earthquake. In this study, we analyzed difference of ground motion characteristics between the surface and buried rupture earthquakes in Japan. Ground motion characteristics were compared from the deviation of the observed response spectrum with average response spectrum calculated from spectrum attenuation relationship. As a result, ground motion characteristics by buried rupture earthquake is two-times larger than those by surface rupture earthquake in frequency range between 0.1 and 1.0 seconds.