

サイト特性置換手法に基づく 2014 年長野県神城断層地震における 滝ノ平地すべり地での強震波形の評価

Seismic Waveform Estimation at the Takinodaira Landslide Site
during the 2014 Kamishiro Fault Nagano Prefecture Earthquake based on Site-effect Substitution Method

秦 吉弥	Yoshiya HATA	(大阪大学大学院工学研究科)
村田 晶	Akira MURATA	(金沢大学理工研究域)
釜井俊孝	Toshitaka KAMAI	(京都大学防災研究所)
王 功輝	Gonghui WANG	(京都大学防災研究所)

2014 年長野県神城断層地震では、震源域である小谷村滝ノ平付近において大規模な地すべり(滝ノ平地すべり)が発生した。この地すべりの発生により、JR 大糸線が約 2 週間にわたって運休するなどの深刻な被害が報告されており、滝ノ平地すべり地に作用した本震時の強震動を、地盤震動特性を考慮して精度良く推定することは非常に重要である。本稿では、滝ノ平地すべり地での強震動をサイト特性置換手法に基づいて推定した結果について報告する。その際、周辺の既存強震観測点で得られた本震記録を再現することで、地震動推定手法の適用性を確認した。

キーワード：強震動，サイト特性，地震観測，常時微動計測，地震地すべり (IGC : E-8)

1. はじめに

2014 年 11 月 22 日 22 時 8 分頃に発生した長野県北部を震源とする気象庁マグニチュード 6.7 の地震(以後、2014 年長野県神城断層地震と呼ぶ)では、震源域で多くの地すべりが確認¹⁾²⁾³⁾されている。その中でも図-1 の枠内写真に示すように、JR 大糸線白馬大池駅近く(北東方向へ約 800m の位置にある小谷村滝ノ平付近)では大規模な地すべりが発生し、大糸線を約 2 週間も途絶させ、交通ネットワークに深刻な被害を及ぼした。この地すべり(以後、滝ノ平地すべりと呼ぶ)の発生機構を評価することは重要であり、そのためには本震時に当該地すべり地に作用した地震動を推定する必要がある。

地すべりが交通ネットワークの途絶に及ぼす影響に関して、既に著者ら⁴⁾は、2007 年新潟県中越沖地震によって発生した青海川地すべり地(JR 青海川駅構内における大規模な地すべりにより信越本線が約 2 か月間運休⁵⁾)での地震動を評価している。さらにこれまで著者らは、1968 年十勝沖地震による剣吉地すべり地⁶⁾、1995 年兵庫県南部地震による仁川地すべり地⁷⁾、2004 年新潟県中越地震による東竹沢地すべり地⁸⁾、2008 年岩手・宮城内陸地震による荒砥沢地すべり地⁹⁾、2011 年東北地方太平洋沖地震による葉ノ木平地すべり地¹⁰⁾、2011 年東北地方太平洋沖地震による神長地すべり地¹¹⁾、2011 年福島県浜通り地震による上釜戸地すべり地¹²⁾に作用した地震動をそれぞれ推定しており、地震地すべりの発生メカニズムの更なる解明など

のためにも地すべり地における地盤震動特性や強震動の評価は非常に重要であり、今後更にこれらの知見を積み重ねていく必要¹³⁾がある。

そこで本稿では、滝ノ平地すべり地の近傍において地震観測等を実施し、得られた記録に基づいてサイト特性(サイト増幅特性やサイト位相特性などの地盤震動特性を総称してサイト特性と呼ぶ)を評価した。そして、サイト特性置換手法¹⁴⁾を用いて、本震時に滝ノ平地すべり地に作用した強震波形を推定した結果について報告する。



図-1 滝ノ平地すべり地の近くに臨時設置した地震観測点

2. サイト特性の評価

2.1 本震観測記録の整理

図-2 に滝ノ平地すべり地周辺における既存強震観測点 (K-NET 白馬¹⁵⁾ および SK-net 小谷¹⁶⁾ の分布状況を示す。さらに、図-2 には、2014 年長野県神城断層地震において地すべり地周辺の観測点で得られた記録(最大加速度値 PGA, 最大速度値 PGV(ともに 3 成分合成), 気象庁計測震度)の分布についても同時に示す。なお、同図中内に記載されている距離は震源深さを指している。図-2 に示すとおり、K-NET 白馬と SK-net 小谷では、本震観測記録の地震動指標値に有意な差異が見られ、気象庁計測震度に関しては震源からの様な距離減衰とはなっておらず、各強震観測点におけるサイト特性の影響が示唆される。

図-3 は、産業技術総合研究所¹⁷⁾による地質図に対して、滝ノ平地すべり地と周辺の既存強震観測点の分布(図-2 参照)をプロットしたものであるが、滝ノ平地すべり地、K-NET 白馬、SK-net 小谷における地質種別はまちまちとなっており、滝ノ平地すべり地と周辺観測点では、2014 年長野県神城断層地震による地震動の特性に差異が生じていた可能性は否定できない。したがって、2014 年長野県神城断層地震における滝ノ平地すべり地に作用した強震動は、滝ノ平地すべり地における地盤震動特性(サイト増幅・位相特性)を評価した上で推定することが肝要である。

2.2 常時微動計測および余震観測の実施

本研究では、①滝ノ平地すべり地、②地すべり地周辺に設けた地震計設置候補地点(臨時地震観測点:図-1 参照)、③K-NET 白馬、④SK-net 小谷の 4 地点において常時微動計測を実施した。計測時間は、1 計測点あたり 30 分間とし、サンプリング周波数は 100Hz とした。計測方向は、N-S と E-W の水平 2 成分と鉛直成分の計 3 成分であり、一体型微動探査兼地震計機器(白山工業(株)製 JU210)¹⁸⁾を採用した。図-4 に常時微動計測結果(H/V スペクトル)を示す。常時微動 H/V スペクトルの計算処理方法としては、既往の方法¹⁹⁾を採用した。図-4 に示すとおり、滝ノ平地すべり地とその周辺の臨時地震観測点(後述)では、0.2~10Hz の周波数帯域において、常時微動 H/V スペクトルがほぼ一致しており、これらの地点では、サイト特性(地盤震動特性)が類似しているものと考えられる。したがって、以降の記載では、臨時地震観測点で得られた記録に基づいて滝ノ平地すべり地のサイト特性(地盤震動特性)を評価する(臨時地震観測点を滝ノ平地すべりと読み換える)。一方で、K-NET 白馬や SK-net 小谷における常時微動 H/V スペクトルのピーク周波数やスペクトル形状は、滝ノ平地す

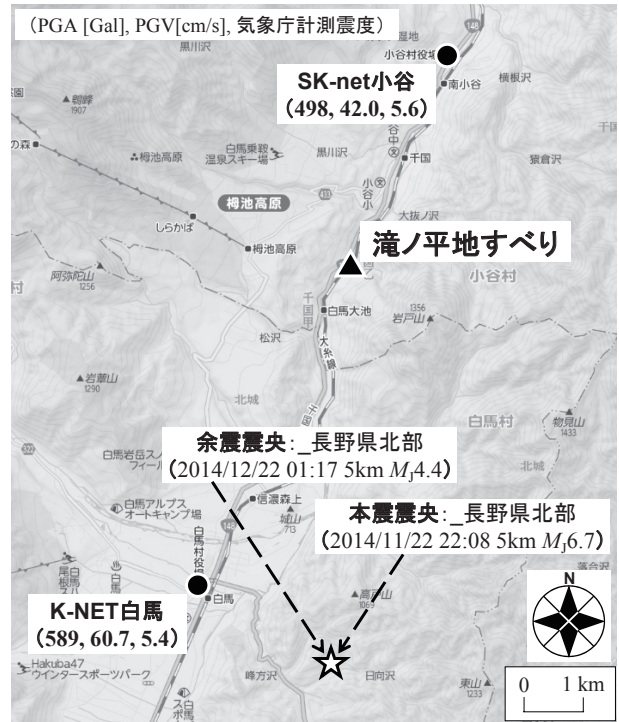


図-2 既存強震観測点の分布

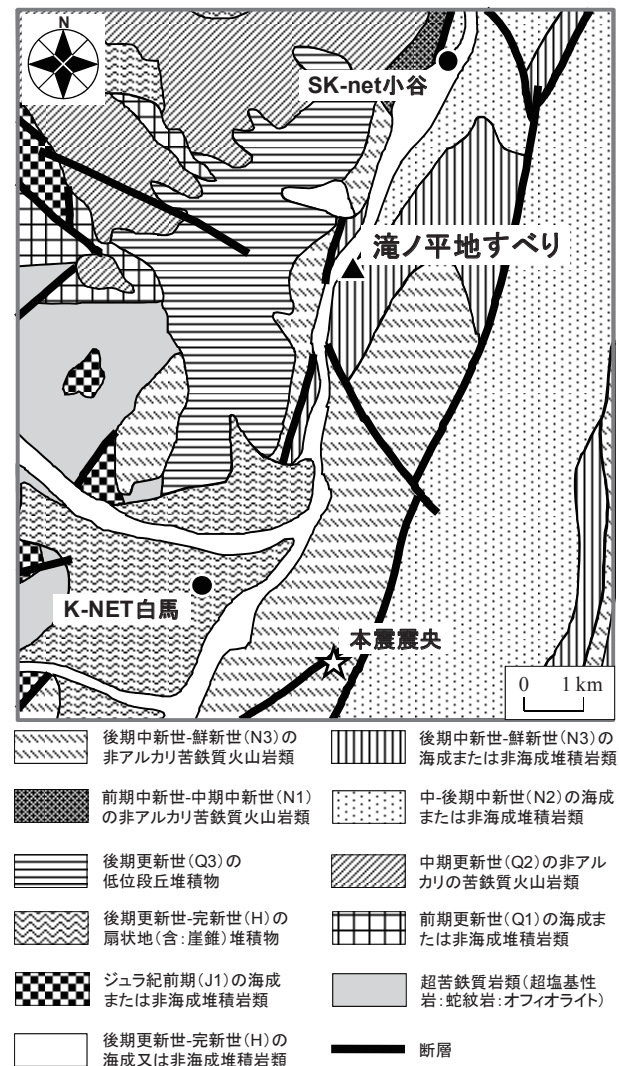


図-3 地質の分布(地質図 Navi¹⁷⁾に基づいて作成)

べり地でのそれと大きく異なっており、滝ノ平地すべり地とその周辺観測点におけるサイト特性(地盤震動特性)が類似しているとは言い難い。

そこで本研究では、地盤震動特性の類似性(図-4 参照)および電源供給条件などを考慮して、図-1 に示すように滝ノ平地すべり地の周辺(地すべり地から南西方向に約 600m の箇所)において地震計を設置し、臨時地震観測を実施した。地震計は一体型微動探査兼地震計機器(白山工業(株)製 JU210)¹⁸⁾を採用し、サンプリング周波数は 100Hz とした。トリガーレベルは設定せず、常時観測を継続するシステムとした。観測期間は、地すべり地への応急復旧工事が完了した 2014 年 12 月 20 日～26 日の約 1 週間であり、サンプリング周波数は 100Hz、観測方向は N・S・E・W・U・D の計 3 成分である。その結果、長野県北部を震源とする中小地震(2014/12/22 01:17 5km M_j 4.4: 図-2 参照)による記録を得ることができた。この中小地震は、図-2 に示すように本震の震源とほぼ同じ位置で発生しており、サイト位相特性の要素地震(後述)として適している可能性が高い。

2.3 サイト増幅特性の評価

図-5 に滝ノ平地すべり地におけるサイト増幅特性と、その周辺の K-NET 白馬および SK-net 小谷におけるサイト増幅特性^{20),21)}を示す。滝ノ平地すべり地(地震観測地点)におけるサイト増幅特性は、滝ノ平地すべり地と K-NET 白馬で同時に得られた余震観測記録(図-2 参照)を対象に、伝播経路特性^{22),23)}の違いを考慮したフーリエスペクトルの比率(滝ノ平地すべり地/K-NET 白馬)を計算し、この比率を K-NET 白馬における既存のサイト増幅特性²⁰⁾に掛け合わせることによって地震基盤～地表相当のサイト増幅特性を設定²⁴⁾した。なお、距離の違いによる補正としては、気象庁発表の震源からの距離に基づく幾何減衰に関する補正と非弾性減衰²²⁾に関する補正を行い、非弾性減衰を表す Q 値は、先行研究²⁵⁾による成果を参考に、佐藤・巽による東日本内陸部の Q 値²³⁾を適用した。

図-5 に示すとおり、滝ノ平地すべり地とその周辺の既存強震観測点におけるサイト増幅特性を比較すると、ピーク周波数やスペクトル形状などの特徴が着目する周波数帯域(0.2～10Hz)において異なっており、当該地すべり地でのサイト特性を考慮して地すべりの原因となった地震動の推定の必要性が示唆される。具体的には、滝ノ平地すべり地では、本震観測記録が得られている K-NET 白馬および SK-net 小谷(被害無)に対して、ほぼ全周波数帯域においてサイト増幅特性の値が連続的に上回っていることから、周辺よりも大きな地震動が本震時に滝ノ平地すべり地に作用していた可能性が読み取れる。

3. 地震動の推定

3.1 推定手法の流れ

3. で得られた知見を踏まえ、本研究では、サイト特性置

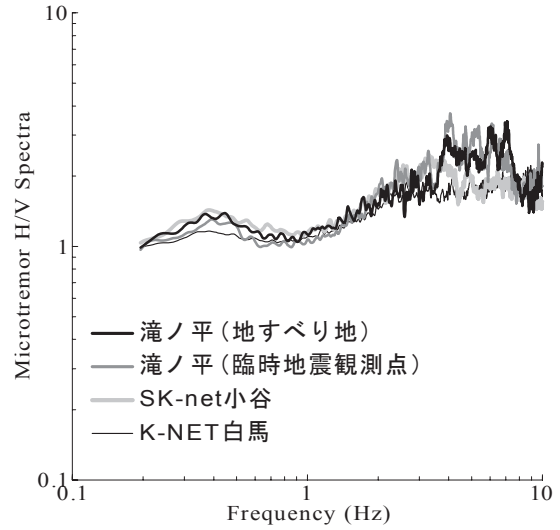


図-4 常時微動 H/V スペクトルの比較

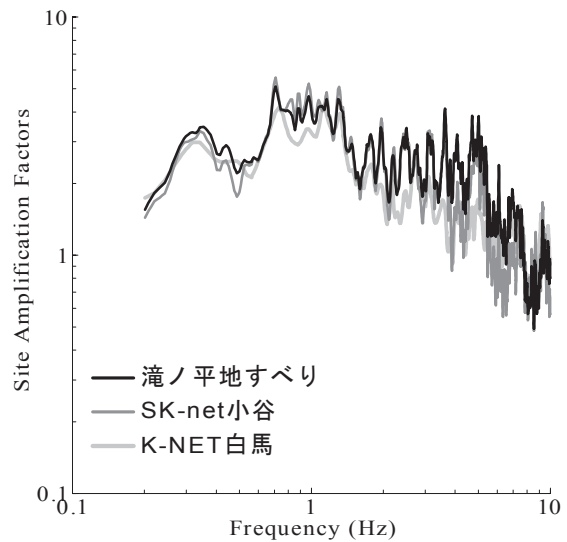


図-5 サイト増幅特性(地震基盤～地表)の比較

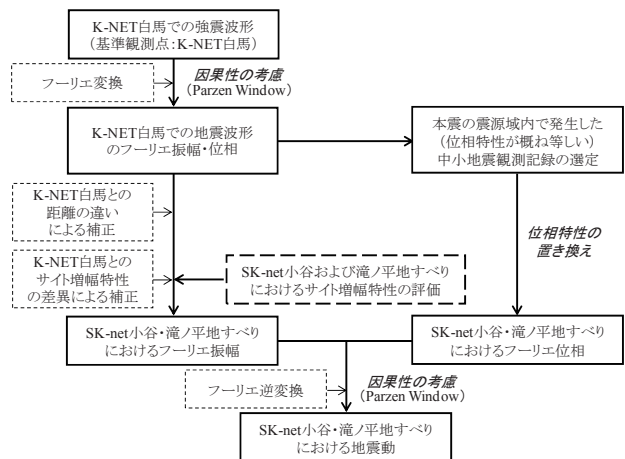


図-6 サイト特性置換手法に基づく地震動推定フロー

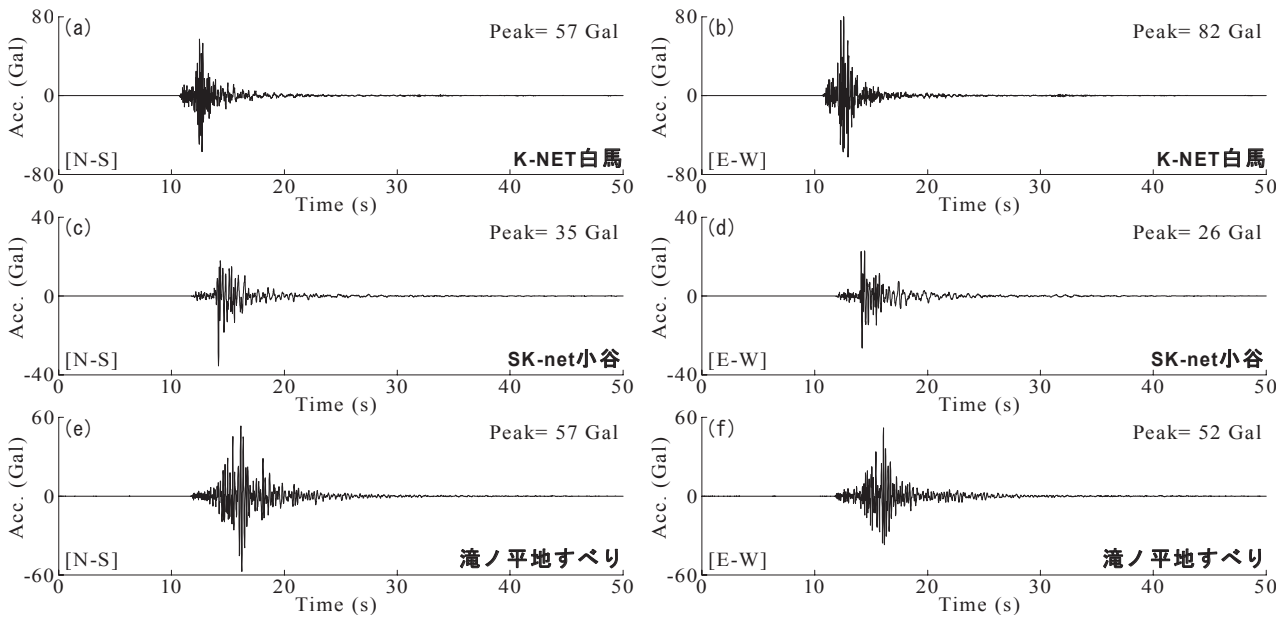


図-7 長野県北部を震源とする余震(サイト位相特性の要素地震)による観測地震動の加速度時刻歴

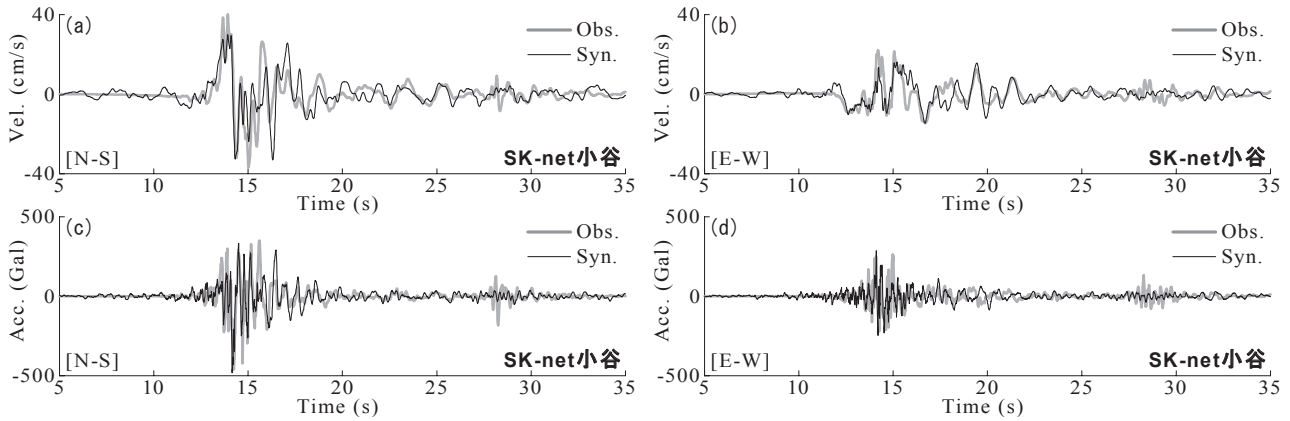


図-8 地震動推定手法の適用性確認(速度波形および加速度波形)

換手法¹⁴⁾を用いて、滝ノ平地すべり地およびSK-net 小谷(以後、推定点と呼ぶ)における地震動の推定を行った。この手法は、滝ノ平地すべり地周辺における基準観測点(ここでは、K-NET 白馬を採用²¹⁾)で得られた2014年長野県神城断層地震による観測地震動に対し、サイト増幅特性の補正を行うことにより推定点における地震動のフーリエ振幅を推定し、一方、推定点における地震動のフーリエ位相は、推定点で観測された余震(中小地震)によるフーリエ位相で近似することにより、2014年長野県神城断層地震における推定点での地震動を推定する手法である。

図-6に地震動推定の一連の流れを示す。まず、基準観測点としては、これまで数多くの記録が得られているK-NET 白馬を選定した。次に、2014年長野県神城断層地震における基準観測点での観測地震動のフーリエ振幅を計算し、これに基準観測点(K-NET 白馬)と推定点(SK-net 小谷もしくは滝ノ平地すべり地)の距離の違いによる補正^{22),23)}を施し、さらに基準観測点と推定点のサイト増幅特性(図-5参照)の比率(推定点/基準観測点)を乗じること

より、推定点における地震動のフーリエ振幅を推定した。その際、水平2成分(NSおよびEW成分)それぞれについて同様の計算を行った。ここに、距離の違いによる補正は、2.3と同様である。最後に、得られたフーリエ振幅と中小地震観測記録のフーリエ位相を組み合わせ、因果性を考慮したフーリエ逆変換²⁶⁾を行うことにより、2014年長野県神城断層地震による推定点での地震波形を推定した。なお、このとき用いる中小地震観測記録(サイト位相特性の要素地震となる記録)としては、本震と同じ震源域で発生した中小地震(2014/12/22 01:17 5km $M_j4.4$: 図-2参照)における推定点での観測波形(図-7参照)を採用した。図-7に示すように、K-NET 白馬・SK-net 小谷・滝ノ平地すべりで得られたサイト位相特性の要素地震となる記録を比較すると、観測地震動の波形形状に有意な差異が確認できることから、滝ノ平地すべり地とその周辺の既存強震観測点では、サイト増幅特性のみならず(図-5参照)、サイト位相特性についても違いがあることが読み取れる。

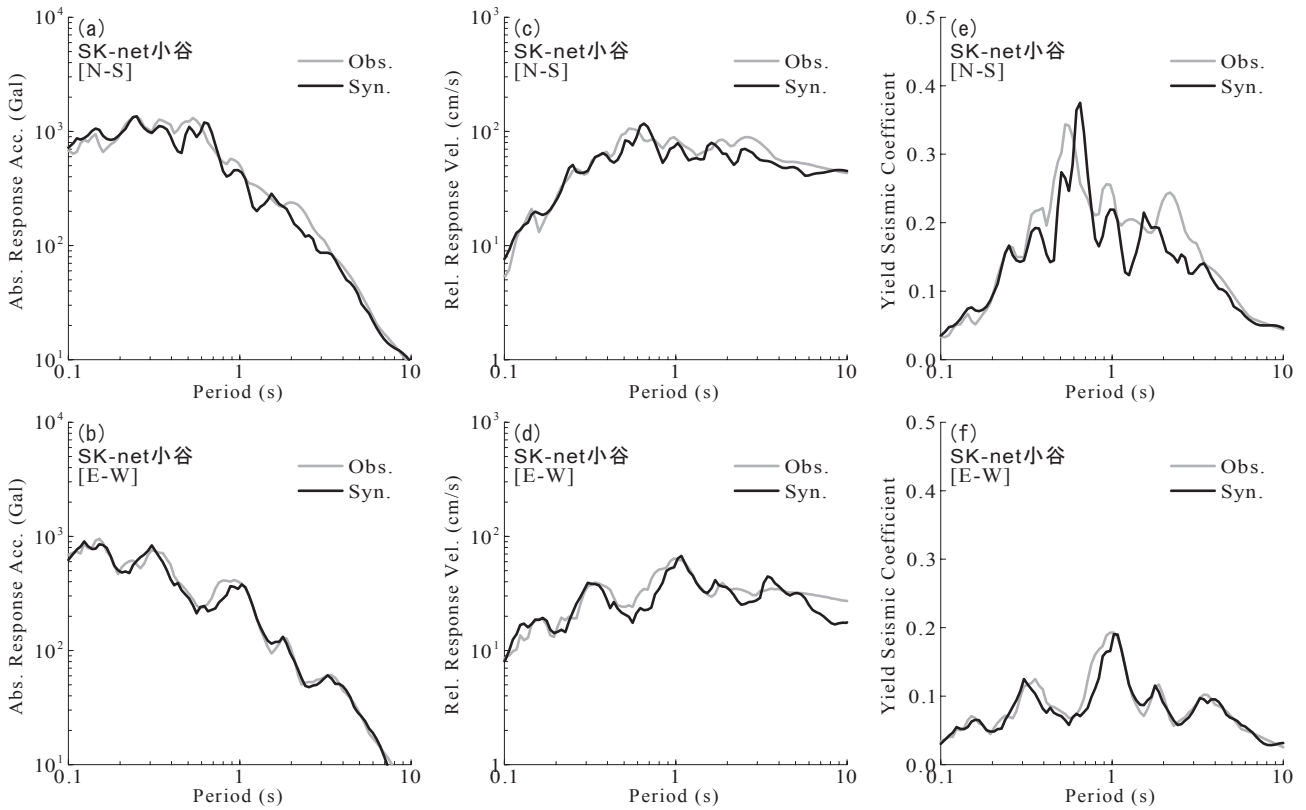


図-9 地震動推定手法の適用性確認(応答スペクトルおよび片側必要強度スペクトル)

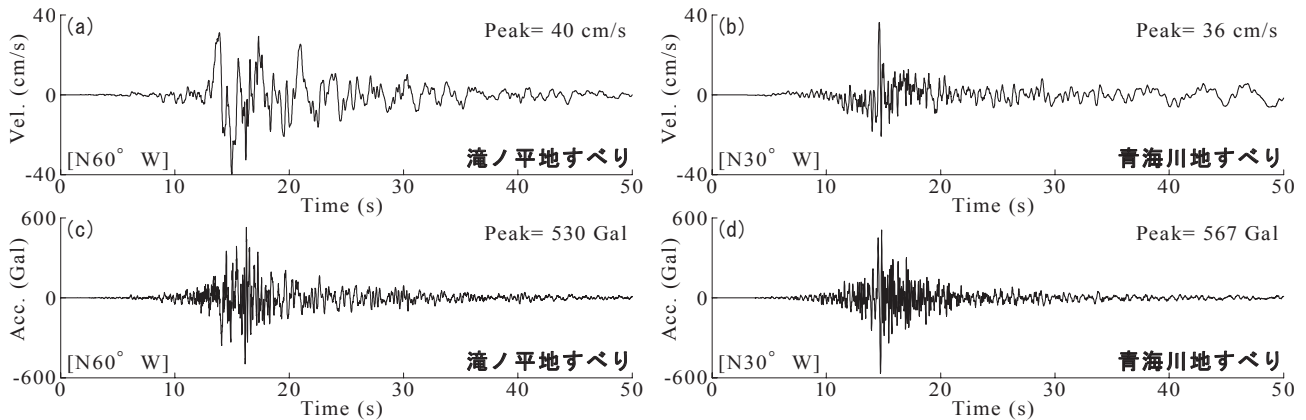


図-10 滝ノ平地すべり地における推定地震動とその特徴(速度波形および加速度波形)

3.2 推定手法の適用性

図-8 に 2014 年長野県神城断層地震における SK-net 小谷での観測記録(観測波)と地震動推定結果(推定波)を, 速度波形および加速度波形について比較したものを示す. 図-8 に示すとおり, 推定波は比較的良好に観測波を再現できている. 図-9 には, 観測波と推定波による比較を, 左から順に, 絶対加速度応答スペクトル(減衰定数 5%), 相対速度応答スペクトル(減衰定数 5%), 片側必要強度スペクトル²⁷⁾について示す. ここに, 片側必要強度スペクトルは, 斜面上(傾斜基盤上)にすべり土塊(弾完全塑性 1 質点系モデル)を仮定し, 土塊-斜面間の相対変位を許容値(残留変位 10cm)に抑えるために必要な最大摩擦力(任意の残留変位に留めるために必要な設計水平震度)を土塊の固有周期

毎に計算したものである. 図-9 に示すとおり, 観測波と推定波によって計算された絶対加速度応答スペクトル(同図(a),(b)), 相対速度応答スペクトル(同図(c),(d)), 片側必要強度スペクトル(同図(e),(f))がそれぞれ比較的良好一致を示している. これらの一致度は, 上述した滝ノ平地すべり地とその周辺の強震観測点の比較による常時微動 H/V スペクトル(図-4)ならびにサイト増幅特性(図-5)の類似性(一致度)よりも十分に高いことが読み取れる.

図-8 および図-9 における比較によって得られた知見を踏まえれば(観測波と推定波の類似性を踏まえれば), 2014 年長野県神城断層地震に対するサイト特性置換手法の適用性が, 少なくとも滝ノ平地すべり周辺の SK-net 小谷(基準観測点からの距離: 9.8km)に関して検証されたと考えら

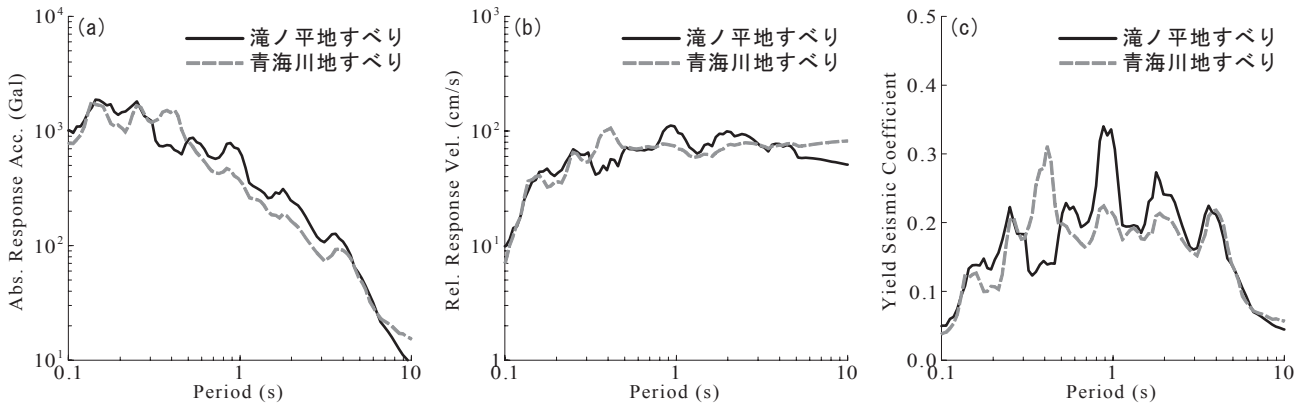


図-11 滝ノ平地すべり地における推定地震動とその特徴(応答スペクトルおよび片側必要強度スペクトル)

れるので、次章では同手法を用いて滝ノ平地すべり地(基準観測点からの距離: 5.9km)における地震動を推定する。

4. 滝ノ平地すべりにおける強震動の推定

図-10(a),(c)に 2014 年長野県神城断層地震における滝ノ平地すべり地での推定地震動(速度波形および加速度波形)を主要滑動方向(N60°W)について示す。一方で、図-10(b),(d)には、比較対象として、滝ノ平地すべりと同じく交通ネットワークの途絶を引き起こした 2007 年新潟県中越沖地震における青海川地すべり地(1. 参照)での推定地震動(速度波形および加速度波形)³⁾を主要滑動方向(N30°W)について同時に示す。図-10(a),(c)と図-10(b),(d)を比較すると、両地すべり地における最大速度値 PGV ならびに最大加速度値 PGA にはともに大きな差異はないものの、波形形状には有意な差異が確認できる。

図-11(a),(b),(c)は、絶対加速度応答スペクトル、相対速度応答スペクトル、片側必要強度スペクトルを滝ノ平地すべり地と青海川地すべり地における推定地震動(図-10(c),(d))について比較したものである。図-11(a),(b)に示すように、絶対加速度応答スペクトルおよび相対速度応答スペクトルの比較では、両地すべり地での地震応答の最大値を示すスペクトルの値やその形状が類似している。一方で、図-11(c)に示すように、片側必要強度スペクトルの比較では、ピーク周期が滝ノ平地すべりでは 0.9s および青海川地すべりでは 0.4s と異なっているものの、そのピーク値(設定した残留変位(10cm)に留めるために必要な設計水平震度の最大値)は、ともに 0.3 程度の値を示していることが読み取れる。なお、図-11 に示すように、ピーク周期 0.4s と 0.9s における両地すべり地での相違は、片側必要強度スペクトルだけでなく、絶対加速度応答・相対速度応答スペクトルにおいても同時に確認できる。一方で、交通ネ

ットワークの途絶を引き起こす可能性がある地すべり地において耐震補強などを施す場合、その設計水平震度の値として 0.3 という値が一つの目安になると考えられる。

5. まとめ

本研究では、2014 年長野県神城断層地震における滝ノ平地すべり地での地震動をサイト特性置換手法に基づき評価した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 滝ノ平地すべり地と周辺の既存強震観測点(K-NET白馬およびSK-net小谷)では、サイト増幅特性およびサイト位相特性に有意な差異が確認でき、滝ノ平地すべり地での強震動評価において、K-NET白馬およびSK-net小谷における本震観測記録の転用が最適であるとは言い難い。
- (2) サイト特性置換手法を利用すれば、2014年長野県神城断層地震によるSK-net小谷(滝ノ平地すべり地に最も近い既存強震観測点)での観測地震動を比較的精度良く再現することが可能である。
- (3) 2014年長野県神城断層地震による滝ノ平地すべり地での推定地震動は、同じく交通ネットワークの途絶を引き起こした2007年新潟県中越沖地震による青海川地すべり地での推定地震動に対して一定の類似性を有している。

今後は、評価した地震波形を入力地震動とした動的解析や振動台実験などを実施していきたいと考えている。

謝辞

本研究の遂行にあたり、長野県(SK-net)および(国研)防災科学技術研究所(K-NET)による地震観測記録を使用しました。常時微動計測および地震観測などの現地踏査の実施にあたっては、小谷村および白馬村の住民の皆様にご多大のお世話になりました。また本研究では、科学研究費補助金・基盤研究B「街の揺れ方の観測研究—造成斜面での地震応答観測網の構築と脆弱斜面抽出手法の確立—」

(26282110)の一部を使用しました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 小松原琢, 八木浩司, 宮地良典, 水野清秀: 2014年11月22日長野県北部の地震(M=6.7)による小谷村中谷地区および白馬村堀之内地区の地すべりと側方流動, 日本地すべり学会誌, Vol.52, No.1, pp.36-39, 2015.
- 2) 古谷元, 畠俊郎, 渡部直喜, 後藤聡, 土井一生, 川崎一朗: 2014年11月22日の長野県北部を震源とする地震で発生した斜面災害の概要, 日本地すべり学会誌, Vol.52, No.1, pp.40-44, 2015.
- 3) 小長井一男, 吉見雅行, 秦吉弥, 後藤浩之, 池田隆明: 2014年長野県北部の地震 地震被害調査速報, 土木学会誌, Vol.100, No.2, pp.8-11, 2015.
- 4) 秦吉弥, 酒井久和, 一井康二, 野津厚, 丸山喜久: サイト特性置換手法に基づく2007年新潟県中越沖地震における青海川地すべり地での地震動の評価, 土木学会論文集 A1, Vol.68, No.2, pp.265-270, 2012.
- 5) 釜井俊孝, 村尾英彦: 2007年新潟県中越沖地震による柏崎市及び周辺地域の斜面災害, 第47回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp.287-290, 2008.
- 6) 秦吉弥, 釜井俊孝, 王功輝: 経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震動評価手法に基づく1968年十勝沖地震における剣吉中学校造成斜面での強震波形の評価, 日本地すべり学会誌, Vol.52, No.2, pp.26-31, 2015.
- 7) 秦吉弥, 鉄田泰子, 王功輝, 釜井俊孝: 2013年淡路島付近の地震による観測記録を利用した1995年兵庫県南部地震における仁川地すべり地での地震動の推定, 地盤と建設, 地盤工学会, Vol.31, No.1, pp.13-20, 2014.
- 8) 秦吉弥, 野津厚, 釜井俊孝: 経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震動評価手法に基づく2004年新潟県中越沖地震における東竹沢地すべり地での地震動の推定, 日本地すべり学会誌, Vol.49, No.2, pp.51-60, 2012.
- 9) 秦吉弥, 大角恒雄, 野津厚, 釜井俊孝: 経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震動評価手法に基づく2008年岩手・宮城内陸地震における荒砥沢地すべり地での地震動の推定, 日本地すべり学会誌, Vol.47, No.5, pp.247-254, 2010.
- 10) 秦吉弥, 王功輝, 釜井俊孝, 末峯章, 野津厚: サイト特性置換手法に基づく2011年東北地方太平洋沖地震における葉ノ木平地すべりでの地震動の推定, 日本地すべり学会誌, Vol.49, No.3, pp.109-118, 2012.
- 11) Hata, Y., Wang, G., Nozu, A. and Kamai, T.: Strong motion estimation at the Kanaga Landslide, Nasukarasuyama City, induced by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (M_w 9.0) based on empirical site amplification and phase effects, *Proc. of International Symposium on Earthquake-induced Landslides*, pp.663-670, Kiryu, Japan, 2012.
- 12) 秦吉弥, 王功輝, 釜井俊孝: 余震観測記録に基づく2011年東北地方太平洋沖地震および2011年福島県浜通りの地震における上釜戸地すべり地での地震動の評価, 日本地すべり学会誌, Vol.50, No.5, pp.209-218, 2013.
- 13) 釜井俊孝: 年間特集 阪神淡路大震災から15年を経て～わかったこと, わからなかったこと～斜面災害編, 自然災害科学, Vol.29, No.1, pp.3-15, 2010.
- 14) Hata, Y., Nozu, A. and Ichii, K.: A practical method to estimate strong ground motions after an earthquake based on site amplification and phase characteristics, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.101, No.2, pp.688-700, 2011.
- 15) Aoi, S., Kunugi, T. and Fujiwara, H.: Strong-motion seismograph network operated by NIED: K-NET and KiK-net, *Jour. of Japan Association for Earthquake Engineering*, Vol.4, No.3, pp.65-74, 2004.
- 16) 鷹野澄, 額瀨一起, 工藤一嘉, 古村孝志, 山中佳子, 卜部卓, 土井恵治: 首都圏強震動総合ネットワーク SK-net, 記念シンポジウム「日本の強震観測50年」—歴史と展望—, (独)防災科学技術研究所, pp.119-122, 2005.
- 17) 産業技術総合研究所: 地質図表示システム(地質図Navi), 地質調査総合センターホームページ, 2013. [最終閲覧日: 2015年9月14日].
- 18) 先名重樹, 安達繁樹, 安藤浩, 荒木恒彦, 飯澤清典, 藤原広行: 微動探査観測システムの開発, 第115回物理探査学会学術講演会講演論文集, pp.227-229, 2006.
- 19) Hata, Y., Nakamura, S., Nozu, A., Shibao, S., Murakami, Y. and Ichii, K.: Microtremor H/V spectrum ratio and site amplification factor in the seismic observation stations for 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake, *Bulletin of the Graduate School of Engineering, Hiroshima University*, Vol.59, No.1, 2010.
- 20) 野津厚, 長尾毅, 山田雅行: スペクトルインバージョンに基づく全国の強震観測地点におけるサイト増幅特性とこれを利用した強震動評価事例, 日本地震工学会論文集, Vol.7, No.2, pp.215-234, 2007.
- 21) Hata, Y., Murata, A. and Miyajima, M.: Preliminary report on strong motion estimation at damaged and non-damaged clusters in Kamishiro District, Hakuba Village during a large earthquake (M_{JMA} =6.7) in northern Nagano Prefecture, central Japan, *Journal of JSCE Disaster Fact Sheets*, Paper No.FS2015-E-0001, 2015.
- 22) Boore, D.M.: Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.73, pp.1865-1894, 1983.
- 23) 佐藤智美, 巽誉樹: 全国の強震記録に基づく内陸地震と海溝性地震の震源・伝播・サイト特性, 日本建築学会構造系論文集, No.556, pp.15-24, 2002.
- 24) (社)日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻), 国土交通省港湾局監修, pp.336-341, 2007.
- 25) 秦吉弥, 村田晶, 野津厚, 宮島昌克: サイト特性置換手法に基づく2011年長野・新潟県境地震における栄村横倉集落での地震動の評価, 日本地震工学会論文集, Vol.12, No.2, pp.60-77, 2012.
- 26) 野津厚, 長尾毅, 山田雅行: 経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震動評価手法の改良—因果性を満足する地震波の生成—, 土木学会論文集 A, Vol.65, No.3, pp.808-813, 2009.
- 27) 澤田純男, 土岐憲三, 村川史朗: 片側必要強度スペクトルによる盛土構造物の耐震設計法, 第10回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.3033-3038, 1998.

(2015年6月2日 受付)

