# 常時微動計測および臨時地震観測に基づく 1923年大正関東地震による 大規模地すべり地での強震動の推定

秦 吉弥1・釜井 俊孝2・王 功輝3・大川 雄太郎4

 <sup>1</sup>正会員 大阪大学 大学院工学研究科(〒565-0871大阪府吹田市山田丘2-1) E-mail: hata@civil.eng.osaka-u.ac.jp
 <sup>2</sup>京都大学防災研究所 斜面災害研究センター(〒611-0011京都府宇治市五ケ庄) E-mail: kamai.toshitaka.3z@kyoto-u.ac.jp
 <sup>3</sup>京都大学防災研究所 斜面災害研究センター(〒611-0011京都府宇治市五ケ庄) E-mail: wanggh@landslide.dpri.kyoto-u.ac.jp
 <sup>4</sup>学生会員 大阪大学 大学院工学研究科(〒565-0871大阪府吹田市山田丘2-1) E-mail: yokawa@civil.eng.osaka-u.ac.jp

1923年大正関東地震の地震動の作用によって、地震峠・震生湖・根府川地すべりに起因した人的被害を 伴う深刻な被害が報告されている。本震時にこれらの地すべり地に作用した地震動を評価することは、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大変有意義である。そこで本稿では、当該地すべり 地において常時微動計測および臨時地震観測をそれぞれ実施し、得られた記録などに基づいて経験的サイ ト増幅・位相特性を評価した。そして、特性化震源モデルに基づく強震動シミュレーションを実施し、 1923年大正関東地震時に地すべり地に作用した地震動をそれぞれ評価した。

Key Words : landslide, Jishin Pass, Shinsei Lake, Nebugawa Station, the 1923 Kanto Earthquake

## 1. はじめに

1923年(大正12年)9月1日に発生した南関東を震源とす る大規模地震(以後,1923年大正関東地震と呼ぶ)では, 震源域を中心に数多くの地すべりが発生<sup>10</sup>した.その中 でも,地震峠(現在の相模原市緑区鳥屋)で発生した地す べり(以後,地震峠地すべりと呼ぶ)<sup>20</sup>,震生湖(現在の秦 野市今泉)で発生した地すべり(以後,震生湖地すべりと 呼ぶ)<sup>33</sup>,東海道本線根府川駅(現在の小田原市根府川)で 発生した地すべり(以後,根府川地すべりと呼ぶ)<sup>40</sup>は, いずれも人的被害を伴う非常に大規模なものであった. これらの大規模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,当該地すべり地での地盤震動特性の評 価,および1923年大正関東地震の際に作用した地震動の 評価は,非常に重要<sup>500</sup>である.

これまで著者ら<sup>620</sup>は、大規模地震時に地すべり地に 作用した地震動を評価する試みを継続的に実施している. しかしながら対象とした大規模地震は、いずれも我が国 における強震観測網<sup>21</sup>が本格的に整備された時代の比較 的近年に発生したものとなっており、いわゆる歴史地震 を対象とはしていない.

上述した背景を踏まえ本稿では、まず、地震峠地すべり地・震生湖地すべり地・根府川地すべり地を対象に (以後、対象地すべり地と呼ぶ:図-1参照)、常時微動計 測および臨時地震観測を実施<sup>20</sup>した.次に、得られた計 測・観測記録に基づき、対象地すべり地におけるサイト 増幅特性およびサイト位相特性をそれぞれ評価した.最 後に、評価したサイト特性と既存の特性化震源モデル<sup>23</sup>)



の組合せに基づいて、1923年大正関東地震時に対象地す べり地に作用した地震動をそれぞれ評価した.

#### 2. 常時微動計測

図-2,図-3,図-4の左側に、地震峠地すべり、震生湖 地すべり、根府川地すべり周辺における既存の強震観測 点<sup>24,27)</sup>の分布を示す.なお、対象地すべり地において強 震観測点は設置されていない.図-2,図-3,図-4(いずれ も左側)に示すように、対象地すべり地近傍では、既存 強震観測点は存在しておらず,対象地すべり地における 地盤震動特性(サイト特性)を評価する際に,周辺の既存 強震観測点で観測された地震動を援用できない可能性が ある.そこで,対象地すべり地とその周辺の既存強震観 測点において常時微動計測を実施<sup>20</sup>した.

写真-1に一例として,地震峠地すべり地での常時微動 計測状況を示す.計測日は,2016年9月10日である.計 測は昼間に実施し,同型の微動計(ともに白山工業(株) 製の一体型微動探査兼地震計機器<sup>28)</sup>)を採用した.計測 方向は水平二成分と鉛直成分の計三成分であり,後述す る常時微動HVスペクトルの計算では,水平二成分の平



図-4 根府川地すべりとその周辺の既存観測点における常時微動HVスペクトルとサイト増幅特性(地震基盤~地表)

均を採用した.計測時間は、いずれも一計測点あたり約 30分間の単点計測とした.

常時微動HVスペクトルの計算処理方法<sup>30</sup>としては, まず,微動の加速度時刻歴に対して0.1Hzのハイ・パス フィルターを施した.次に,雑振動が比較的小さい 163.84秒の区間を七区間抽出し,フーリエスペクトルの 計算を行った.最後に,バンド幅0.05HzのParzen Window で平滑化した後に,HVスペクトルを算出し,七区間の 平均をとった.評価振動数の範囲としては,使用した微 動計測器の性能<sup>30</sup>などを考慮して0.2~10Hzとした.

図-2,図-3,図-4(いずれも中央)は、対象地すべり地 とその周辺の既存強震観測点における常時微動H/Vスペ クトルを比較したものである.図-2,図-3,図-4(いずれ も中央)に示すように、地震峠地すべり地とSK-net津久 井、震生湖地すべり地とSK-net中井、根府川地すべり地 とSK-net真鶴におけるH/Vスペクトルの特徴(ピーク周波 数やスペクトル形状など)がそれぞれ比較的類似してい る.しかしながら、類似性が比較的高い周波数帯域だけ でなく比較的低い周波数帯域も見受けられることから、 対象地すべり地における地盤震動特性(サイト特性)につ いてより詳細な検討を行うため、対象地すべり地(の近 傍)において地震計を臨時設置し、地震観測を実施した.

#### 3. 臨時地震観測

臨時地震観測は、一体型微動探査兼地震計機器<sup>28</sup>を対 象地すべり地の地表に設置することで実施<sup>20</sup>した. 観測 期間は、2016年9月11日~12月30日の約四か月間である. 観測条件として、サンプリング周波数は100Hz、および 観測方向はNS, EW, UDの三成分とし、トリガー加速度レ ベルは設定せずに、常時観測を継続するシステムとした. その結果、以下に示すような地震の記録が対象地すべり 地と周辺のK-NET観測点(地震峠地すべり地とK-NET相



写真-1 常時微動計測状況の一例(地震峠地すべり地)

模原,震生湖地すべり地とK-NET秦野,根府川地すべり 地とK-NET小田原)において同時に得ることができた.

- ・EQ-1:2016/09/13 19:12 77km 埼玉県南部(MJ4.9)
- ・EQ-2:2016/11/2205:59 25km福島県沖 (MJ7.4)
- ・EQ-3:2016/12/28 21:38 11km 茨城県北部(M<sub>J</sub>6.3)

上記EQ-1~3は、いずれも1923年大正関東地震の震源 域(南関東地域)外で発生した地震であり、サイト位相特 性の評価に使用すること困難であるが、サイト増幅特性 の評価に資することは十分に可能であると考えられる.

#### 4. サイト増幅特性の評価

図-2, 図-3, 図-4(いずれも右側)は、対象地すべり地 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 比較したものである. なお、本稿では全て地震基盤~地 表相当のサイト増幅特性となっている. 対象地すべり地 におけるサイト増幅特性の評価手順は以下のとおりであ る.まず、対象地すべり地と周辺のK-NET観測点(地震 峠地すべり地とK-NET相模原,震生湖地すべり地とK-NET秦野, 根府川地すべり地とK-NET小田原)で同時に 得られた地震観測記録(EQ-1~3)を対象に(3.参照),両 地点の震源からの距離の違いによる補正30,31)を考慮した フーリエスペクトルの比率(地震峠地すべり地/K-NET 相模原,震生湖地すべり地/K-NET秦野,根府川地すべ り地/K-NET小田原)を計算した、次に、これらの比率 をK-NET観測点における既存のサイト増幅特性<sup>32</sup>に掛け 合わせることによって、対象地すべり地におけるサイト 増幅特性を評価した.

図-2,図-3,図-4(いずれも右側)に示すように,地震 峠地すべり地とSK-net津久井,震生湖地すべり地とSKnet中井,根府川地すべり地とSK-net真鶴では,サイト増 幅特性の特徴(ピーク周波数やスペクトル形状など)がそ れぞれ類似していることが読み取れる.これらの類似性 は、2.で述べた常時微動H/Vスペクトルに関する類似性 (図-2,図-3,図-4(いずれも中央)参照)に対して調和的 であることから,本稿で評価した対象地すべり地におけ るサイト増幅特性の適用性が示唆される.

#### 5. 地震動の評価

#### (1) 特性化震源モデル

本稿では、野津<sup>23</sup>による特性化震源モデルを援用した. ただし、この震源モデルは、1703年元禄関東地震と1923 年大正関東地震を包絡する地震を対象とし、南関東地域 にSPGAを三つ配置したモデルであるため、本稿では(野



図-5 Phase-EQによってSK-net観測点(対象地すべり地とサイト増幅特性が類似)で観測された地震動の加速度時刻歴の比較

津厚博士との私信により), 1923年大正関東地震時に活動したと考えられている西側の二つのSPGA(SPGA\_1, SPGA\_2:図-1参照)を取り出したモデルを採用した.なお、このような震源モデルは、モデルを構成するサブイベントはアスペリティという名称で呼ばれていた.しかしながら、海溝型地震のサブイベントの呼称は今日大きく変化しており、現時点での定義に即して言えば、当該震源モデルのサブイベントはSPGA(Strong-motion Pulse Generation Area)と呼ぶことがより適切<sup>33)</sup>であるため、本稿においても震源モデルのサブイベントをSPGAと呼ぶ.

図-1にSPGAと対象地すべり地の位置関係,表-1にモデルパラメターの一覧を示す.この震源モデルは,震源域における震度データ<sup>34)</sup>を一定の精度で再現可能なモデル<sup>23)</sup>である.なお,Q値については,佐藤・巽による東日本の海溝型地震での推定値(Q=114f<sup>092</sup>)<sup>31)</sup>を採用した.

#### (2) 強震波形計算手法

本研究では,経験的サイト増幅・位相特性を考慮した 強震波形計算手法<sup>39</sup>を採用した.この方法では,まず式 (1)により統計的グリーン関数を生成する.

$$A(f) = S(f) \cdot P(f) \cdot G(f) \cdot \frac{O(f)}{|O(f)|_{p}}$$
(1)

ここに、A(f)は地表における統計的グリーン関数のフー リエ変換で複素数、S(f)は中小地震の震源特性<sup>30</sup>で実数、 P(f)は伝播経路特性<sup>30</sup>で実数、G(f)はサイト増幅特性(4.参 照)で実数、O(f)は現地(後述)で観測された中小地震記録 のフーリエ変換で複素数、|O(f)<sub>p</sub>はその絶対値に対して バンド幅0.05HzのParzen Windowを適用したものである.

式(1)からわかるように、本手法では、統計的グリー

表-1 特性化震源モデル<sup>23</sup>のパラメータの一覧

Parameters	SPGA_1	SPGA_2
Strike (deg.)	294	
Dip (deg.)	16	
Seismic moment (Nm)	$1.6 \times 10^{19}$	$1.5 \times 10^{19}$
Length (km)	4.5	6.4
Width (km)	4.5	6.4
Rise time (s)	0.43	0.62
Partition number	5×5×5	5×5×5
Q value	$Q = 114 f^{0.92}$	
Density (kg/m <sup>3</sup> )	$2.9 \times 10^{3}$	
Shear wave velocity (km/s)	3.7	
Rupture velocity (km/s)	2.6	

ン関数のフーリエ振幅は、震源特性・伝播経路特性・サ イト特性の積として求め、統計的グリーン関数のフーリ エ位相としては中小地震記録のフーリエ位相を用いる. 式(1)をフーリエ逆変換し、経験的グリーン関数法と同 様の重ね合わせ<sup>30</sup>を行うことで、大地震による波形が求 まる.なお、Parzen Window(添字pで表示)は因果性を満 足する地震波を生成する目的で用いられている<sup>39</sup>.

サイト位相特性を表すO(f)の取り扱いについて,3.で 述べたとおり本稿では、1923年大正関東地震の震源域内 で発生した中小地震による観測記録が対象地すべり地内 (臨時地震観測点)において得られていない.そこで、サ イト増幅特性とサイト位相特性の相関性<sup>37)</sup>を考慮して、 対象地すべり地とサイト増幅特性が比較的類似している SK-net観測点(SK-net津久井,SK-net中井,SK-net真鶴)で 得られた地震記録をそれぞれ採用した.中小地震のイベ ントとしては既往研究<sup>23)</sup>と同様に、2012年1月28日7時43 分に発生した山梨県東部・富士五湖を震源とする地震 (Phase-EQ:図-1参照)を採用した.図-5にSK-net津久井,





SK-net中井, SK-net真鶴でPhase-EQによって同時に観測 された地震動の加速度時刻歴を比較したものを示す.

#### (3) 強震動推定結果

図-6は、1923年大正関東地震における対象地すべり地 での推定地震動の速度波形を比較したものである.なお、 当該波形に関してバンド・パスフィルタなどの処理は施 していない.図-6に示すとおり、地震峠・震生湖・根府 川地すべり地において推定速度波形の振幅や波形形状な どの特徴が大きく異なっていることがわかる.特に、震 生湖地すべり地では、地震峠地すべり地および根府川地 すべり地に対して非常に大きな地震動が推定される結果 となった(ただし、震生湖地すべり地はSPGA\_1の近傍 に位置しているため(図-1参照)、過大評価している可能 性があることに留意されたい:野津厚博士との私信).

図-7は、対象地すべり地における推定地震動(図-6参照)による相対速度応答スペクトル(減衰定数5%)を比較したものである.図-7に示すとおり、地震峠・震生湖・ 根府川地すべり地における応答スペクトルの特徴(卓越 周期など)が明らかに異なっている.特に、震生湖地す べり地では、地震地すべりに比較的大きな影響を及ぼす 地震動の周期帯域(04sよりも長周期側)<sup>39</sup>において非常 に大きな速度応答値を示している.さらに図-7には、 2016年熊本地震の本震によって益城町の市街地(TMP03 地点)で観測された強震動(EW成分)<sup>39</sup>に基づく相対速度 応答スペクトル(減衰定数5%)<sup>40</sup>も同時に示しているが、 震生湖地すべり地における推定地震動の相対速度応答ス ペクトルに対して概ね類似していることが読み取れる.





図-6および図-7により得られた上記の知見によれば, 1923年大正関東地震において対象地すべり地に作用した 地震動の特徴はそれぞれ大きく異なっていたものと推察 される.特に,震生湖地すべり地に作用した地震動の大 きさ(速度応答スペクトル)は,TMP03での強震記録<sup>39,40</sup> と同等程度であった可能性がある.

### 6. まとめ

本研究では、1923年大正関東地震において地震峠地す べり地・震生湖地すべり地・根府川地すべり地に作用し た地震動を,臨時地震観測によって得られた記録などに 基づいて評価した.得られた知見を以下に示す.

(1) 地震峠地すべり地とSK-net津久井, 震生湖地すべり 地とSK-net中井, 根府川地すべり地とSK-net真鶴で は、常時微動HWスペクトルやサイト増幅特性の特 徴がそれぞれ類似している.

(2) 1923年大正関東地震によって地震峠地すべり地・震 生湖地すべり地・根府川地すべり地に作用した地震 動の特徴はそれぞれ大きく異なっている.特に,震 生湖地すべり地では、比較的大きな地震動が作用し たものと推察され、その速度応答スペクトルは、 2016年熊本地震の本震によるTMP03地点での観測地 震動と同等程度であった可能性を有している.

今後は、本稿での推定地震動を用いた実験や動的解析 などを行うことによって、地すべりのメカニズム等につ いてより詳細な検討を実施していきたいと考えている.

謝辞:地震峠地すべり地・震生湖地すべり地・根府川地 すべり地における踏査,常時微動計測,臨時地震観測の 実施の際には,現地の住民・関係者の皆様のご支援・ご 協力いただきました.神奈川県(東京大学地震研究所: SK-net),(国研)防災科学技術研究所K-NET,気象庁JMA, 国土交通省MLITによる地震観測波形データを利用しま した.本研究の遂行にあたっては,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―」(JP 26282110)および科学研究費補助金・若手研究A「超高密 度地震観測に基づく宅地造成斜面におけるダイナミック 地すべり挙動の広域的評価(JP15H05532)」の一部をそれ ぞれ使用しました.ここに記して謝意を表します.

#### 参考文献

- 例えば、井上公夫:関東大震災と土砂災害、古今書 院、225p., 2013.
- 例えば、田中正央、森正樹:丹沢山地北部における 最近の山崩れに起因する浸食量の推定、地理学評論、 Vol.49, No.4, pp.236-248, 1976.
- 例えば、千木良雅弘、鈴木毅彦、笠間友博:関東地 震による震生湖地すべりの地質構造とその将来的意 義、平成 28 年度京都大学防災研究所研究発表講演会 資料、Paper No.D06, 2017.
- 例えば,釜井俊孝: Squeeze 型地すべりの発生機構— 1923 年根府川駅地すべり一,日本地すべり学会誌, Vol.27, No.4, pp.1-8, 1991.
- 野津厚,一井康二:性能設計の発展型としての Evidence-Based Design の提案とその実現に向けた課題, 第 13 回日本地震工学シンポジウム論文集,日本地震 工学会, pp.3073-3080,2010.
- 6) 秦吉弥,野津厚:被害地震の揺れに迫る一地震波形 デジタルデータ CD 付き一,大阪大学出版会,2016.
- 7) 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.
- 8) 秦吉弥, 鍬田泰子, 王功輝, 釜井俊孝: 1995 年兵庫

県南部地震における仁川地すべり地での強震動の評価,日本地すべり学会誌,Vol.51,No.5, pp.23-28, 2014.

- 9) 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.
- 10) 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.
- (11) 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.
- 12) 秦吉弥,中村晋,野津厚:経験的サイト増幅・位相 特性を考慮した 2008 年岩手・宮城内陸地震における 河道閉塞地点での地震動の評価,日本地震工学会論 文集, Vol.11, No.5, pp.41-52, 2011.
- 13) 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.
- 14) 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*<sub>w</sub>9.0) based on empirical site amplification and phase effects, *Proc. of International Symposium on Earthquake-induced Landslides*, Kiryu, Japan, pp.661-668, 2012.
- (15) 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.
- 16) Hata, Y., Yoshikawa, T., Minato, F., Tokida, K., Murata, A., Miyajima, M., Yamada, M. and Hada, K.: Evaluation of seismic response characteristics of terrace slope based on array measurement of microtremor, *Proc. of 12th International Symposium on Landslides*, Napoli, Italy, pp. 1077-1082, 2016.
- 17) 吉田武,秦吉弥,釜井俊孝,王功輝,中嶋唯貴,湊 文博:経験的サイト増幅・位相特性を考慮した 1993 年北海道南西沖地震における奥尻港地すべり地での 強震動の評価,地域安全学会論文集, No.29, pp.75-84, 2016.
- 18) 秦吉弥,村田晶,釜井俊孝,王功輝: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,地盤と建設, Vol.33, No.1, pp.115-121, 2015.
- 19) 秦吉弥,一井康二,中島祐一,倉岡千郎,伊藤圭 一:2008 年岩手・宮城内陸地震により発生した沼倉 裏沢地すべりの動的解析,日本地震工学会大会-2008 梗概集, pp.154-155, 2008.
- 20) 秦吉弥:地震地すべり地に作用した強震波形の推定 とその特徴,平成 26 年度日本地すべり学会シンポジ ウム講演集―大規模地震に備えた地すべり技術の展 望―, pp.22-25, 2014.

- 21) Nozu, A.: Current status of strong-motion earthquake observation in Japanese ports, *Jour. of Japan Association for Earthquake Engineering*, Vol.4, No.3, pp.79-83, 2004.
- 22) 秦吉弥, 釜井俊孝, 王功輝: 1923 年関東地震による 大規模地すべり地での地盤震動特性に関する基礎的 評価, 第 56 回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp.262-263, 2017.
- 23) 野津厚: 1703 年元禄地震の震度分布と整合的な SPGA モデルの作成事例,土木学会論文集 A1, Vo.70, No.4, pp.I\_1089-1095, 2014.
- 24) 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.
- 25) Nishimae, Y.: Observation of seismic intensity and strong ground motion by Japan Meteorological Agency and local governments in Japan, *Jour. of Japan Association for Earthquake Engineering*, Vol.4, No.3, pp.75-78, 2004.
- 26) Uehara, H. and Kusakabe, T.: Observation of strong earthquake motion by National Institute for Land and Infrastructure Management, *Jour. of Japan Association for Earthquake Engineering*, Vol.4, No.3, pp.90-96, 2004.
- 27) 鷹野澄, 纐纈一起, 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」 一歴史と展望―講演集, 防災科学技術研究所資料, No.264, pp.119-122, 2005.
- 28) 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.
- 29) 秦吉弥, 湊文博,山田雅行,常田賢一,魚谷真基: 和歌山県串本町における高密度常時微動計測,物理 探査, Vol.68, No.2, pp.83-90, 2015.
- 30) 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, No.6A, pp.1865-1894, 1983.
- 31) 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.
- 32) 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.
- (M<sub>x</sub>9.0)を対象とした
  SPGA モデルによる強震動評価事例, 土木学会論文集 A1, Vol.69, No.4, pp.I\_872-888, 2013.
- 34) 神田克久,武村雅之:震度データから推察される相 模トラフ沿いの巨大地震の震源過程,日本地震工学 会論文集, Vol.7, No.2, pp.68-79, 2007.
- 35) 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.
- 36) 入倉孝次郎,香川敬生,関口春子:経験的グリーン 関数を用いた強震動予測方法の改良,日本地震学会 秋季大会講演予稿集,No.2, B25, 1997.
- 37) 例えば,澤田純男,盛川仁,土岐憲三,横山圭樹:

地震動の位相スペクトルにおける伝播経路・サイト 特性の分離,第10回日本地震工学シンポジウム論文 集, pp.915-920, 1998.

- 38) Hata, Y., Wang, G. and Kamai, T.: Preliminary study on contribution of predominant frequency components of strong motion for earthquake-induced landslide, *Proc. of IAEG XII Congress*, Torino, Italy, pp.685-690, 2014.
- 39) Hata, Y., Goto, H. and Yoshimi, M.: Preliminary analysis of strong ground motions in the heavily damaged zone in Mashiki Town, Kumamoto, Japan, during the main shock

of the 2016 Kumamoto Earthquake ( $M_W$ 7.0) observed by a dense seismic array, *Seismological Research Letters*, Vol. 87, No.5, pp.1044-1049, 2016.

40) 秦吉弥,後藤浩之,吉見雅行,古川愛子,盛川仁, 池田隆明,香川敬生:2016 年熊本地震での震災帯の 成因究明を目的とした益城町の市街地における強震 動の広域・高密度評価に関する試み,第44回地盤震 動シンポジウム論文集(2016 年熊本地震で何が起きた か),日本建築学会,pp.35-46,2016.

(2017.8.29 受付)

# STRONG MOTION ESTIMATION AT LARGE SCALE LANDSLIDE SITES WITH HUMAN CASUALTIES IN KANAGAWA PREFECTURE, JAPAN FOR THE 1923 KANTO EARTHQUAKE BASED ON MICROTREMOR MEASUREMENTS AND TEMPORARY EARTHQUAKE OBSERVATION

# Yoshiya HATA, Toshitaka KAMAI, Gonghui WANG and Yutaro OKAWA

Jishin Pass, Shinsei Lake and Nebugawa Station in Kanagawa Prefecture, Japan, large scale landslides with human causalities were caused by the 1923 Kanto Earthquake. It is necessary to have a better understanding on the seismic response of the landsides during the 1923 main shock with high accuracy by taking into account site effects. In this study, we evaluated the seismic waveforms at the landslide sites based on temporary observation records of microtremor and earthquakes. The estimated waveforms and findings will be useful for the future study on seismic performance of a landslide site in mountainous area.