# 特性化震源モデルに基づく既往の大規模地震における一関市舘ニュータウンでの地震動の評価

秦 吉弥1・中村 晋2・駒井 尚子3・魚谷 真基4・常田 賢一5

 <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>正会員 日本大学 工学部土木工学科(〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1) E-mail: s-nak@civil.ce.nihon-u.ac.jp
 <sup>3</sup>学生会員 大阪大学 工学部(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1) E-mail: skomai@civil.eng.osaka-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: muotani@civil.eng.osaka-u.ac.jp
 <sup>5</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: tokida@civil.eng.osaka-u.ac.jp

岩手県一関市にある中里地区舘ニュータウンの宅地造成斜面では、2011年東北地方太平洋沖地震におい て斜面崩壊を伴う深刻な被害が発生した.一方、2008年岩手・宮城内陸地震においては、当該斜面は無被 災であった.これらの大規模地震時において当該斜面に作用した地震動を推定することは、宅地造成斜面 の耐震性評価手法の精度向上などを図る上でたいへん有意義である.そこで本稿では、当該斜面近傍にお いて地震観測を実施し、得られた記録に基づいてサイト特性を評価した.そして、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き、2008年岩手・宮城内陸地震ならびに2011年東北地方太平洋沖 地震において当該斜面に作用した強震波形を評価した結果について報告する.

Key Words: ground motion, site effects, seismic observation, fault model, residential fill slope

## 1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震の強震動の作用により, 造成宅地の被害が広範囲にわたり多発した<sup>1),2,3)</sup>. 岩手県 一関市に位置する中里地区舘ニュータウン(以後, 舘NT と呼ぶ)では,宅地造成斜面が崩落するなどして,建物 の全壊1棟,大規模半壊7棟,半壊8棟などを含む深刻な 被害が発生した.被災の詳細については,橋本による研 究成果<sup>4)</sup>を参照されたい.被災地点(および無被災地点) での地震動を推定することは,当該地点における地震動 の特性や被災機構などを分析し,地震応答解析の精度の 検証などを通じた造成宅地の耐震性評価の高度化などを 今後実施していく上で非常に重要<sup>9</sup>である.

この点に関して著者らは、2011年東北地方太平洋沖地 震によって被災した宮城県内の造成宅地(仙台市太白区 緑ヶ丘<sup>6</sup>),青葉区折立<sup>7</sup>),青葉区西花苑<sup>8</sup>),泉区南光台<sup>9</sup>, 山元町太陽ニュータウン<sup>10</sup>),白石市緑が丘<sup>11</sup>),福島県内 の造成宅地(福島市伏拝あさひ台団地<sup>12</sup>),茨城県内の造 成宅地(東海村南台団地<sup>13</sup>)を中心に、本震時における強 震波形を事後評価している.しかしながら,これまで岩 手県内の造成宅地を評価対象とはしていない.

さらに、上述した既往の検討ケース<sup>613</sup>では、いずれ も被害地震である2011年東北地方太平洋沖地震のみを評 価対象としているものの、舘NTは、2008年岩手・宮城 内陸地震において無被災であった.すなわち、舘NTの 造成宅地では、地震毎に被害の有無が異なっていること から、被害地震(2011年東北地方太平洋沖地震)だけでな く、無被害地震(2008年岩手・宮城内陸地震)における舘 NTでの地震動を評価し、比較検討を行うことは大変有 意義<sup>14</sup>であると考えられる.

そこで本稿では、舘NTにおいて臨時の地震観測を行い、得られた記録に基づき、サイト増幅・位相特性を評価することによって、2008年岩手・宮城内陸地震(以後、2008年地震と呼ぶ)ならびに2011年東北地方太平洋沖地震(以後、2011年地震と呼ぶ)において、舘NTの造成斜面に作用した地震動を評価した結果について報告する.

なお、本研究は、2011年東北地方太平洋沖地震6学協 会東北支部学術合同調査委員会(委員長:真野明(東北大 学教授))<sup>15</sup>が実施している委員会活動の一環として実施 したものである.

## 2. 本震観測記録の整理

図-1は、2008年地震および2011年地震における舘NT周 辺の強震記録(3成分合成最大加速度値PGA(Gal)および 気象庁計測震度<sup>16</sup>)の分布状況を示す.図-1に示すとおり、 平泉町役場では、2008年地震と2011年地震による観測地 震動の指標値に大きな差異はみられないものの、一関イ ンターチェンジ(以後、一関IC.と呼ぶ)および旧・K-NET一関(観測期間:1996/06/01~2012/10/29)では、2011年 地震による観測地震動のほうが非常に大きくなっている. また、一関IC.と旧・K-NET一関は、比較的近距離の位 置関係にあるものの、両地震による観測地震動の指標値 には比較的大きな差異が確認でき、サイト特性の影響が 示唆される.

図-2は、(独)産業技術総合研究所による地質図<sup>17</sup>に舘 NTとその周辺の既存強震観測点(図-1参照)をプロット したものであるが、3観測点位置での地質種別は共通で あるものの、舘NTでは地質種別が周辺3観測点と異なっ ているのが読み取れる.

すなわち、舘NTではサイト特性などの影響で、一関 I.C.や旧・K-NET一関などとは異なる特性の地震動が本 震時に作用していた可能性が考えられる.したがって、 2008年地震ならびに2011年地震における舘NTでの地震動 評価の際には、南台団地での余震観測記録に基づいたサ イト特性の評価が必要不可欠である.

## 3. 常時微動計測の実施

舘NTでの地震観測の開始(地震計の設置)に先立ち, 図-3に示すように, 舘NT内おける斜面崩壊地点(2地点) および余震観測地点の計3地点において常時微動計測を 実施した.計測時間は11分間とし,サンプリング周波数 は100Hzとした. 微動計としては,(株)東京測振製のサ ーボ型速度計(VSE-15D-6)を採用した.計測方向は,水 平2成分と鉛直成分の計3成分であり,後述する常時微動 H/Vスペクトルの計算では,水平2成分の平均をとった.

図-4に常時微動計測結果(常時微動H/Vスペクトル)を示す.図-4には、旧・K-NET一関における常時微動H/V スペクトル<sup>18)</sup>についても同時に示す.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<sup>18,19)</sup>を採用 した.具体的には、まず、微動の速度時刻歴に対して、 まず、0.1Hzのハイパスフィルターを施した.次に、11



図-1 2008年地震および2011年地震による観測記録の分布



図-2 舘NT周辺の既存強震観測点での地質分布



図-3 舘NTでの常時微動計測地点および地震観測地点



分間(ほぼ163.84秒×4区間)の時刻歴の中で、雑振動が小 さい163.84秒の区間を3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で平滑化したのちに、H/Vスペクトルを算出し、 その平均をとった.なお、評価する周波数範囲としては、 後述するサイト増幅特性の評価周波数帯域などとの整合 性を考慮して0.2~10Hzとした.

図-4に示すとおり, 舘NT内おける斜面崩壊地点(2地 点)と余震観測地点の比較では, ピーク周波数やスペク トル形状などの常時微動HVスペクトルの特性が概ね類 似しており, 地震計設置地点としての妥当性が確認でき る.一方で, 図-4に示すとおり, 舘NT(計3地点)と旧・ K-NET一関の比較では, 常時微動HVスペクトルの特性 に比較的大きな差異が見受けられる.これは, 舘NTの 造成宅地を対象とした被災・無被災のシミュレーション を今後実施する際に, 旧・K-NET一関で得られた記録を 入力地震動として直接転用できないことを示唆するもの である.

## 4. 地震観測の実施

舘NT内(図-3参照)においてボアホール型地震計<sup>20)</sup>を埋 設することで地震観測を実施した. 観測期間は,約3週 間(2011/06/02~2011/06/25)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3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.

表-1に舘NTと旧・K-NET一関で同時に得られた主要な 地震(中小地震)観測記録の一覧を示す.表-1に示すとお



り、観測イベントのほとんどは、2011年地震の余震である.しかしながら、2008年地震の震源域で発生した中小地震(EQ-12:表-1参照)も観測イベントの中に含まれていることが読み取れる.

#### 5. サイト増幅特性の評価

図-5は、舘NT(地震観測地点:図-3参照)におけるサイ ト増幅特性、および既存強震観測点(図-1参照)における サイト増幅特性を重ね合せたものである. 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. 舘NT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、旧・K-NET一関と舘NTで同時に 得られた地震観測記録(表-1参照)を対象に、両地点の震 源からの距離の違いによる補正<sup>21,22)</sup>を考慮したフーリエ スペクトルの比率(舘NT/旧・K-NET一関)を計算した. 次に、この比率を旧・K-NET一関におけるサイト増幅特 性<sup>23</sup>に掛け合わせることによって、 舘NTにおけるサイト 増幅特性を評価24,25)した.一方で、文献23)において評価 されていない大泉町役場および一関IC.のサイト増幅特 性についても,本震前の中小地震観測記録に基づき,フ ーリエスペクトルの比率(大泉町役場/旧・K-NET一関, もしくは一関I.C./旧・K-NET一関)を計算し、上記と同 様の方法を用いて評価した.

図-5に示すとおり、旧・K-NET一関および一関I.C.にお けるサイト増幅特性に対する舘NT(地震観測地点)のサ イト増幅特性の差異は、評価周波数帯域(0.2~10Hz)の 全域にわたって非常に大きい.一方で、舘NTと大泉町 役場のサイト増幅特性は比較的類似していることが読み

No.	Year/Month/Day	Hour : Min. (JST)	Latitude (deg.)	Longitude (deg.)	Depth (km)	Source region	JMA Mag.
EQ-01	2011/06/03	09:05	37.302	143.832	57	Off Fukushima Pref.	Mj6.1
EQ-02	2011/06/04	01:00	36.990	141.210	30	Off Fukushima Pref.	Mj5.5
EQ-03	2011/06/04	12:37	38.272	141.265	76	Off Miyagi Pref.	Mj4.4
EQ-04	2011/06/07	05:10	37.772	141.600	48	Off Fukushima Pref.	Mj4.6
EQ-05	2011/06/09	07:11	39.040	142.442	34	Off Iwate Pref.	Mj5.0
EQ-06	2011/06/10	00:40	37.895	141.652	49	Off Miyagi Pref.	Mj4.4
EQ-07	2011/06/10	03:15	40.152	142.395	37	Off Iwate Pref.	Mj4.7
EQ-08	2011/06/10	22:39	38.618	141.903	48	Off Miyagi Pref.	Mj4.4
EQ-09	2011/06/11	07:35	38.363	142.222	36	Off Miyagi Pref.	Mj5.0
EQ-10	2011/06/14	22:06	37.812	143.582	50	Off Sanriku	Mj6.0
EQ-11	2011/06/14	23:56	39.490	142.528	28	Off Iwate Pref.	Mj5.3
EQ-12	2011/06/15	01:51	39.043	140.872	5	Southern Inland Area of Iwate Pref.	Mj3.8
EQ-13	2011/06/18	20:31	37.617	141.820	28	Off Fukushima Pref.	Mj6.0
EQ-14	2011/06/20	00:49	38.523	141.920	44	Off Miyagi Pref.	Mj4.1
EQ-15	2011/06/21	13:39	38.670	142.022	45	Off Miyagi Pref.	Mj4.1
EQ-16	2011/06/22	10:39	39.178	142.180	52	Off Iwate Pref.	Mj4.0
EQ-17	2011/06/22	23:58	40.063	142.913	23	Off Iwate Pref.	Mj5.5
EQ-18	2011/06/23	06:50	39.947	142.590	36	Off Iwate Pref.	Mj6.9
EQ-19	2011/06/23	19:35	39.467	141.607	57	Off Miyagi Pref.	Mj5.3
EQ-20	2011/06/25	09:44	39.678	142.127	48	Off Iwate Pref.	Mj4.3

表-1 舘NTで得られた地震観測記録の一覧



取れる.しかしながら,0.2~0.8Hzおよび8~10Hzの周波 数帯域において,舘NTと大泉町役場のサイト増幅特性 の差異が大きくなっている.したがって,周辺の強震観 測点(旧・K-NET一関,一関I.C.,大泉町役場)で得られ た観測記録を舘NTの宅地造成斜面の解析に直接利用す ることは適切でないと考えられる.

## 5. 強震動評価手法

#### (1) 特性化震源モデル

#### (a) 2008年岩手・宮城内陸地震

本稿では、図-6に示す野津20による特性化震源モデル

を採用した.この断層モデルは、余震分布に基づいて矩 形断層面を仮定し、気象庁の震源を含むように形状を設 定している.断層面の長さは36kmおよび幅は30kmであ る.波形インバージョンによる最終すべり量分布<sup>27</sup>にお いて、比較的すべり量の大きい領域に3つのサブイベン ト(SMGA\_1, SMGA\_2, SMGA\_3)<sup>28)</sup>を配置したモデルで ある.表-2に特性化震源モデルの断層パラメターの一覧 を示す.破壊伝播は、気象庁の震源から放射状に2.6km/s の速度で広がると仮定し、Q値については佐藤・巽によ る東日本の内陸部での推定値<sup>29</sup>を採用した.

この震源モデルは、舘NTに比較的近いK-NET一関(図-1参照)を含む既存強震観測点で得られた本震観測記録を 一定の精度で評価可能なモデル<sup>20</sup>である.ただし、サイ ト位相特性としてEQ-12(図-1および図-6参照)による観 測地震動を採用したケース(5.(2)参照)での適用性につい ては確認できていないため、本研究において追加検討を 行った.詳細については、5.(3)で述べる.

## (b) 2011年東北地方太平洋沖地震

本稿では、図-6に示す野津<sup>20,30</sup>によるSPGAモデルを採 用した. なお、震源モデルを構成するサブイベントはス ーパーアスペリティという名称でもともと呼ばれていた. しかしながら、海溝型地震のサブイベントの呼称はその 後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と呼ぶことがよ り適切である<sup>31)</sup>. そこで本稿では、当該震源モデルのサ ブイベントをSPGAと呼ぶ.



表-2 2008年地震の特性化震源モデルのパラメターの一覧

表-3 2011年地震の特性化震源モデルのパラメターの一覧

図-7 サイト位相特性の評価に利用した観測波形の加速度時刻歴

図-6に宮城県沖のサブイベント(SPGA 1, SPGA 2, SPGA 3, SPGA 4)と舘NTとの位置関係,表-3にモデル パラメターの一覧を示す. この震源モデルは、太平洋沿 岸沿いの既存強震観測点などで得られた本震観測記録を 一定の精度で評価可能なモデル<sup>29,30,32)</sup>である.ただし, 舘NTに比較的近いK-NET一関(図-1参照)での適用性につ いては確認できていないため、本研究において追加検討 を行った.詳細については、5.(3)で述べる.

また、この震源モデルでは、気象庁による破壊開始点 を含む走向203deg.および傾斜10deg.の断層面を仮定し, 破壊伝播速度を3.0km/sとしている。地震調査研究推進本 部の提案値<sup>33)</sup>に基づいて基盤のS波速度は3.9km/sおよび 密度は3.1t/m<sup>3</sup>である. *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<sup>20</sup>を採用している.

## (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34,35)を適用した. 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>21)</sup>で実数、 P(f)は伝播経路特性<sup>21)</sup>で実数,G(f)はサイト増幅特性(4.参 照)で実数,O(f)は対象地点での中小地震観測記録のフー リエ変換で複素数、IO(f)」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.

フーリエ位相特性(O(f), |O(f)|,)の取り扱いについては, 図-6に示すとおり、SMGAもしくはSPGAの近傍で発生 した地震として、2008年地震ではEQ-12(表-1参照)、 2011年地震ではEQ-09(表-1参照)をそれぞれ採用した. 図-7にEQ-09およびEQ-12によって、旧・K-NET一関お よび舘NT(地震観測地点:図-3参照)において同時に観 測された地震動の加速度時刻歴を示す.



式(1)からわかるように、本手法では、統計的グリー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、現地で得られた中小地震記録(図-7参照)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>.

## (3) 適用性の確認

図-8は、旧・K-NET一関において2008年地震および 2011年地震によって観測された速度波形(観測波)に対し て、強震動推定結果(推定波)を比較したものである.な お、図-8では先行研究<sup>9,11)</sup>と同様に、02-3Hzのバンド・ パスフィルタを施した速度波形について比較を行ってい る.さらに、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(ともに減衰定数5%)を観測波と推定波 (いずれもフィルタ処理無の加速度波形)で比較したもの を図-9に示す.



図-8および図-9に示すとおり、旧・K-NET一関において、推定波は比較的良好に観測波を再現できている.このように、野津<sup>20,29,30</sup>による特性化震源モデル(5.(1)参照)、震源域におけるサブイベントに対応させたサイト位相特性(5.(2)参照)、経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震動評価手法<sup>34,35</sup>(5.(2)参照)の組み合わせは、 舘NT近くの旧・K-NET一関における地震動の再現にも 有効であることが確認できたので、同じ組み合わせを舘 NTの造成宅地における地震動の推定にも適用する.

## 6. 舘ニュータウンにおける推定地震動の特徴

図-10は、2008年地震および2011年地震による舘NT(地 震観測地点位置相当:図-3参照)での推定地震動の速度 時刻歴(0.2-3Hz)である.図-10と図-8を比較すると、舘 NTの推定地震動は、旧・K-NET一関の観測地震動に対して、速度振幅には大きな差異はないものの、継続時間が比較的長くなる傾向があり、この傾向は、2008年地震ならびに2011年地震おいても確認できる.

図-11には、2008年地震および2011年地震による舘NT での推定地震動の加速度時刻歴(フィルタ処理なし)を、 2011年地震における宅地造成斜面の土塊の滑動方向<sup>4</sup>に ついて示す.図-11に示すように、2008年地震よりも 2011年地震のほうが、加速度振幅が大きく、地震動の継 続時間も長くなっており、舘NTにおける被災(2008年地 震)・無被災(2011年地震)の実績に対して矛盾していな いのが確認できる.

図-12は、舘NTにおける推定地震動の加速度時刻歴 (図-11参照)に基づく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(ともに減衰定数5%)を,2008 年地震(図-11(上)参照),2011年地震(0~70s:図-11(下)



図-13 2011年地震による舘NTでの推定地震動の応答スペクトルの特徴

参照),2011年地震(0~180s:図-11(下)参照)の3ケース で比較したものである.図-12に示すように,2011年地 震(0~180s)の応答スペクトルは,2008年地震の応答スペ クトルに対して,0.6~2.5sの周期帯域で連続的に上回っ ているのが読み取れる.これは,宅地造成斜面の被災に 影響を及ぼす地震動の周期帯域が0.6~2.5s付近にあるこ とを示唆するものであり,地すべりを対象とした先行研 究<sup>37)</sup>から得られた既往の知見と概ね一致する.さらに, 図-12に示すとおり,0.6~2.5sの周期帯域では,2008年地

震と2011年地震(0~70s)による応答スペクトルが比較的 類似していることから,2011年地震による推定地震動の 後半部分(70~180s:図-11参照)が,0.6~2.5sの周期帯域 における応答スペクトルの卓越に寄与しているのが推察 できる.

図-13は、1.で述べた2011年地震によって被災した造成 宅地(土塊滑動方向)に作用した推定地震動<sup>の13)</sup>の絶対加 速度応答スペクトルおよび相対速度応答スペクトル(と もに減衰定数5%)に対して、舘NTでの推定地震動によ る応答スペクトル(図-12参照)を重ね合せたものである. 図-13に示すとおり、上述した0.6~2.5sの周期帯域に着目 すると、舘NT(黒色)の推定地震動(図-11参照)と西花苑 (桃色)の推定地震動<sup>®</sup>による応答スペクトルが比較的類 似していることが読み取れる. 舘NTと西花苑では, 2011年地震による強震動の作用によって,いずれも住家 の基礎部分にまですべり破壊が進行する深刻な被害が報 告<sup>499</sup>されており,両地点での推定地震動の特性と被災形 態が調和的な結果を示した.

## 7. まとめ

本研究では、2008年岩手・宮城内陸地震および2011年 東北地方太平洋沖地震において一関市舘ニュータウンの 宅地造成斜面に作用した強震波形を、現地で行った臨時 地震観測によって得られた記録に基づいて評価した.得 られた知見を以下に示す.

- (1) 舘ニュータウンの宅地造成斜面と周辺の既存強震観 測点では、サイト特性が異なっているため、舘ニュ ータウンでのサイト増幅・位相特性を考慮して、 2008年岩手・宮城内陸地震時および2011年東北地方 太平洋沖地震時の地震動をそれぞれ推定する必要が ある.
- (2) 野津によるSMGAモデルと、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組み合わせを利

用すれば、2008年岩手・宮城内陸地震における旧・ K-NET一関で得られた強震波形を一定の精度で再現 することが可能である.

- (3) 野津によるSPGAモデルと,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組み合わせを利 用すれば,2011年東北地方太平洋沖地震における 旧・K-NET一関で得られた強震波形を一定の精度で 再現することが可能である.
- (4) 舘ニュータウンでの推定地震動は、2008年岩手・宮 城内陸地震よりも2011年東北地方太平洋沖地震のほ うが、加速度振幅が大きく、地震動の継続時間も長 くなっており、舘ニュータウンにおける既往の被 災・無被災実績と矛盾していない。
- (5) 2011年東北地方太平洋沖地震による舘ニュータウン での推定地震動は、2008年岩手・宮城内陸地震によ る推定地震動に対して、絶対加速度・相対速度応答 スペクトルが0.6~2.5sの周期帯域で連続的に上回っ ており、宅地造成斜面の被災に影響を及ぼす地震動 の周期帯域が0.6~2.5s付近にあることが示唆される.
- (6) 2011年東北地方太平洋沖地震による舘ニュータウンでの推定地震動は、仙台市青葉区西花苑での推定地震動に対して、0.6~2.5sの周期帯域の応答スペクトルが類似しており、両地点での被災形態(住家の基礎部分にまで及ぶすべり破壊)とも調和的である.

今後は,推定した強震動を用いて,造成斜面の滑動変 形量に関する検討<sup>38,39</sup>,崩壊範囲に関する検討<sup>8,40,43</sup>を実 施していきたいと考えている.

謝辞:(独)防災科学技術研究所K-NET, NEXCO東日本, 岩手県による地震観測波形データ,および気象庁の震源 データを使用させていただきました.さらに,岩手県一 関市の住民の皆様には,常時微動計測や地震観測の実施 などにおいてご支援をいただきました.2011年東北地方 太平洋沖地震6学協会東北支部学術合同調査委員会の委 員の皆様には,本研究の遂行に関して有意義なご意見を いただきました.ここに記して深く御礼申し上げます.

#### 参考文献

- 金井俊孝:平成 23 年(2011年)東北地方太平洋沖地震 によって発生した造成地盤の地すべり,自然災害科 学(東日本大震災速報), Vol.30, No.2, pp.193-197, 2011.
- 若松加寿江,吉田望,清田隆:造成地の被害,土木 学会東日本大震災被害調査団緊急地震被害調査報告 書,第6章,2011.
- 村尾英彦, 釜井俊孝, 太田英将: 地震による都市域 斜面災害-2011 年東北地方太平洋沖地震を例として 一, 応用地質, Vol.53, No.6, pp.292-301, 2013.
- 4) 橋本隆雄:2011 年東北地方太平洋沖地震による館ニ ュータウン大規模盛土滑動崩落被害の原因分析,土 木学会論文集 A1(地震工学論文集 32), Vol.69, No.4,

pp.I\_148-I\_160, 2013.

- たとえば、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, 釜井俊孝, 野津厚, 王功輝:拡張型サイト 特性置換手法に基づく 2011 年東北地方太平洋沖地震 における仙台市緑ヶ丘団地での強震動の評価, 土木 学会論文集 A1, Vol.69, No.2, pp.153-158, 2013.
- 7) 秦吉弥, 釜井俊孝, 王功輝, 野津厚: 拡張型サイト 特性置換手法に基づく 2011 年東北地方太平洋沖地震 における仙台市折立団地での強震動の評価, 土木学 会論文集 A1(地震工学論文集 32), Vol.69, No.4, pp.I\_298-I\_310, 2013.
- 春吉弥,駒井尚子,常田賢一,魚谷真基:2011 年東 北地方太平洋沖地震における仙台市青葉区西花苑で の斜面崩壊,地盤工学会誌,Vol.61, No.9, pp.14-17, 2013.
- 9) 秦吉弥,駒井尚子,釜井俊孝,王功輝,野津厚: SPGA モデルに基づく 1978 年宮城県沖地震および 2011 年東北地方太平洋沖地震における仙台市泉区南 光台での強震動の評価,第 33 回地震工学研究発表会 講演論文集,土木学会, 2013. (this issue)
- 10) 秦吉弥,野津厚,常田賢一:2011 年東北地方太平洋 沖地震で被災した盛土での余震観測と地震動の評価, 日本地震工学会論文集, Vol.13, No.3, pp.56-59, 2013.
- 11) 秦吉弥,釜井俊孝,王功輝,野津厚:スーパーアス ペリティモデルと経験的サイト増幅・位相特性を考 慮した 2011 年東北地方太平洋沖地震における白石市 緑が丘団地での強震波形の評価,第 51 回日本地すべ り学会研究発表会講演集, No.3-06, pp.111-112, 2012.
- 12) 秦吉弥,中村晋,野津厚:地盤非線形応答時のサイ ト増幅特性の評価-2011 年東北地方太平洋沖地震に よる福島市の造成盛土崩壊地点での地震動の推定-, 地盤工学ジャーナル, Vol.7, No.1, pp.139-149, 2012.
- 13) 秦吉弥, 釜井俊孝, 王功輝: 茨城県東海村南台団地 における地盤震動特性の評価, 第 10 回地盤工学会関 東支部発表会 (Geo-Kanto 2013) 発表講演集, Vol.10, No.A0018, 2013.
- 14) 秦吉弥,高橋良和,秋山充良,後藤浩之,野津厚: SPGA モデルに基づく 2011 年東北地方太平洋沖地震 における愛宕高架橋および稗田高架橋での強震動の 推定,第16回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関す るシンポジウム講演論文集,土木学会,pp.109-116, 2013.
- 真野明:東日本大震災に関する東北支部学術合同調 査委員会の活動,土木学会誌, Vol.98, No.9, pp.44-45, 2013.
- 16) 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.
- 17) 鹿野和彦,星住英夫,巖谷敏光,酒井彰,山元孝広, 牧本博,久保和也,柳沢幸夫,奥村公男:(資料・解 説)地質図に用いる用語,記号,模様,色及び凡例の 表示に関する基準とその解説,地質調査所月報,第 51巻,第12号, pp.657-678,2000.
- 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.

- 19) 秦吉弥,一井康二,酒井久和,野津厚:宮城県・鳴 瀬川流域周辺の強震観測点における常時微動 H/V ス ペクトルとサイト増幅特性,広島大学大学院工学研 究科研究報告, Vol.60, No.1, 2011.
- 20) 秦吉弥,一井康二,常田賢一,柴尾享,山田雅行, 満下淳二,小泉圭吾:アレー計測を利用した道路盛 土の地震応答特性の評価,地盤の環境・計測技術に 関するシンポジウム 2010 論文集,地盤工学会, pp.21-26, 2010.
- 21) 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.
- 22) 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.
- 23) 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.
- 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) Hata, Y., Ichii, K. and Nozu, A.: Preliminary study on the difference of indexes of seismic motions observed at adjacent sites, *Proc. of 2nd International Conference on Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering*, pp.42-50, Taormina, Italy, 2012.
- 26) 野津厚:内陸地殻内地震によるやや短周期地震動の 再現に適した震源のモデル化手法,港湾空港技術研 究所報告, Vol.50, No.4, pp.133-195, 2011.
- 27) 野津厚:波形インバージョンにより推定された最近のわが国における内陸地殻内地震の震源過程,港湾空港技術研究所報告, Vol.49, No.3, pp.111-155, 2010.
- 28) Miyake, H., Iwata, T. and Irikura, K.: Source characterization for broadband ground-motion simulation: kinematic heterogeneous source model and strong motion generation area, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.93, pp.2531-2545, 2003.
- 29) 野津厚: 2011 年東北地方太平洋沖地震を対象とした スーパーアスペリティモデルの提案,日本地震工学 会論文集, Vol.12, No.2, pp.21-40, 2012.
- 30) 野津厚,山田雅行,長尾毅,入倉孝次郎:海溝型巨 大地震における強震動パルスの生成とその生成域の スケーリング,日本地震工学会論文集,Vol.12, No.4, pp.209-228, 2012.
- 31) 野津厚: 南海トラフ地震(Mw9.0)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(地震工学論文集 32-b), Vol.69, No.4, pp.I\_872-I\_888, 2013.

- 32) 野津厚,若井淳:東北地方太平洋沖地震を対象とし た震源モデルの検証―震源モデル作成時に対象とし ていなかった地点での地震動の計算結果―,日本地 震工学会・大会―2012 梗概集, pp.76-77, 2012.
- 33) 地震調査研究推進本部:宮城県沖地震を想定した強 震動評価(一部修正版)について,2005.
- 34) 古和田明,田居優,岩崎好規,入倉孝次郎:経験的 サイト増幅・位相特性を用いた水平動および上下動 の強震動評価,日本建築学会構造系論文集,No.512, pp.97-104,1998.
- 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) 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.
- 38) 魚谷真基,常田賢一,秦吉弥,村上考輝:改良 O 型 Newmark 法に基づく 2011 年東北地方太平洋沖地震に おける被災盛土の残留変形量の評価,地盤と建設, Vol.31, No.1, 2014. (Accepted)
- 39) 魚谷真基,常田賢一,秦吉弥,北口峻輝,林訓裕: 改良 O型 Newmark 法を用いた想定地震時における道 路盛土の残留変形量の評価,Kansai Geo-Symposium 2013 講演論文集,地盤工学会,2013.(Accepted)
- 40) 駒井尚子,秦吉弥,常田賢一,一井康二:崖条例による建築禁止距離を踏まえた地震時における斜面崩壊範囲の評価―2011 年芸予地震によって被災した造成宅地を例として一,第 52 回日本地すべり学会研究発表会講演集, No.1-11, pp.20-21, 2013.
- 41) 駒井尚子,秦吉弥,常田賢一:2011 年東北地方太平 洋沖地震における福島市伏拝あさひ台団地での斜面 崩壊範囲の評価,第10回地盤工学会関東支部発表会 (Geo-Kanto 2013)発表講演集,Vol.10, No.A0004, 2013.
- 42) 駒井尚子,秦吉弥,常田賢一:2004 年新潟県中越地 震における高町団地での強震動と斜面崩壊範囲の評 価,Kansai Geo-Symposium 2013 講演論文集,地盤工 学会,2013. (Accepted)
- 43) 駒井尚子,秦吉弥,常田賢一,魚谷真基:大規模地 震時における宅地造成斜面の崩壊範囲の評価に関す る基礎的検討,第 33 回地震工学研究発表会講演論文 集,土木学会,2013.(this issue)

(2013.9.19受付)

# STRONG MOTION ESTIMATION AT RESIDENTIAL AREA IN TATE NEW TOWN, ICHINOSEKI CITY DURING THE 2008 IWATE-MIYAGI INLAND EARTHQUAKE AND THE 2011 OFF THE PACIFIC COAST OF TOHOKU EARTHQUAKE BASED ON THE EMPIRICAL SITE AMPLIFICATION AND PHASE EFFECTS

## Yoshiya HATA, Susumu NAKAMURA, Shoko KOMAI, Masaki UOTANI and Ken-ichi TOKIDA

In Tate New Town, a residential area in Ichinoseki City, fill slope was damaged by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (Mw9.0), while it was not damaged by the 2008 Iwate-Miyagi Inland Earthquake (Mj7.2). To better understand the mechanism of the damage, it is necessary to have a better understanding on the seismic response of the fill slope during not only the 2011 event but also the 2008 event with high accuracy by taking into account site effects. In this study, we evaluated the seismic waveforms in the residential area based on moderate earthquake observation records. Furthermore, based on the estimated waveforms, we discussed the threshold ground motion which influences the seismic damages of the residential fill slope. The estimated waveforms and related discussion will be useful in future study of seismic performance of fill slope.