

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

秦 吉弥¹・駒井 尚子²・釜井 俊孝³・王 功輝⁴・野津 厚⁵

¹ 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

² 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

³ 京都大学防災研究所 斜面災害研究センター (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail: kamai@landslide.dpri.kyoto-u.ac.jp

⁴ 京都大学防災研究所 斜面災害研究センター (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail: wanggh@landslide.dpri.kyoto-u.ac.jp

⁵ 正会員 (独)港湾空港技術研究所 地震動研究チーム (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

E-mail: nozu@pari.go.jp

宮城県仙台市泉区南光台の造成宅地では、1978年宮城県沖地震(Mj7.4)および2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)において深刻な被害が発生した。これらの大規模地震時において南光台の造成宅地に作用した地震動を推定することは、造成宅地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、南光台における既往被災地点を中心に、高密度の地震アレー観測を実施し、得られた記録などに基づいて、これらの大規模地震時における当該地点での強震波形を評価した。その結果、1978年宮城県沖地震と2011年東北地方太平洋沖地震の両地震においてともに被災が集中している地点では、推定地震動のやや短周期成分が卓越することなどがわかった。

Key Words : strong motion, site effects, seismic observation, SPGA, frequency component

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)において被災した幾つかの宮城県内の造成宅地(例えば、仙台市太白区緑ヶ丘、仙台市泉区南光台、白石市緑が丘など)は、1978年宮城県沖地震(Mj7.4)の際にも深刻な被災を受けている^{1,2)}。仙台市泉区南光台(当時、泉市南光台)の造成宅地では、1978年宮城県沖地震の際、大規模な地面の亀裂や盛上りを伴う深刻な被害が生じたことが報告³⁾されている。さらに、2011年東北地方太平洋沖地震の際には、強震動の作用による地盤の変状を伴う深刻な被害が再度発生している。具体的には、地盤の変状の多くは、切土と盛土の境界部における引張クラックであるが、支谷を埋めた盛土末端部で圧縮域が形成され、緩傾斜の変動ブロックに発展している。変動ブロックは、幹線道路でも形成され、道路の隆起・クラックの発生によって、交通に支障を生じた。また、南光台6丁目に位置する主谷の出口では盛土斜面が崩壊し(写真-1参照)、5棟の住宅

に被害が発生した。被災の詳細については、釜井ほかによる一連の研究成果^{4,5,6)}を参照されたい。

これまで著者らは、造成宅地(仙台市太白区緑ヶ丘団地⁷⁾、仙台市青葉区折立団地⁸⁾、仙台市青葉区西花苑⁹⁾、宮城県山元町太陽ニュータウン¹⁰⁾、白石市緑が丘団地¹¹⁾、福島市伏拝あさひ台団地¹²⁾、東海村南台団地¹³⁾など)に作



写真-1 南光台6丁目の盛土斜面の被災状況

用した2011年東北地方太平洋沖地震時における強震波形を評価している。その際、いずれのケースも被害が発生した2011年東北地方太平洋沖地震のみを評価対象としていた。しかしながら、仙台市泉区南光台の造成宅地(以後、対象地点と呼ぶ)では、上述のように繰り返し地震被害が発生していることから、1978年宮城県沖地震ならびに2011年東北地方太平洋沖地震(以後、対象地震と呼ぶ)において対象地点に作用した地震動を評価し、比較検討を行うことは、造成宅地の耐震性評価手法の精度向上などを図る上で大変有意義¹⁴⁾であると考えられる。

また、造成宅地の地震時の安定性を考える上で、造成地の震動特性を把握しておくことは重要であるが、現地での実測に基づいた研究事例^{15),16),17)}は少ない。現地において直接、地震観測などを行い、得られた記録に基づいて造成地の震動特性を評価することも重要である。

そこで本研究では、まず、対象地点において高密度の地震アレー観測を実施し、得られた記録に基づいてサイト特性を評価した。次に、評価したサイト特性に基づいて、対象地震において対象地点(地震アレー観測地点)に作用した強震波形をそれぞれ評価した。最後に、評価した地震動を比較することで、対象地点の被災に影響を及ぼした地震動の特徴についても言及した。

なお、本研究における地震動の検討では、まず、大きな地震被害に結びつきやすいと考えられるやや短周期帯域(0.5–2.0Hz)¹⁸⁾、盛土の被災に影響を及ぼす地震動の周波数帯域¹⁹⁾などを考慮して0.2–3.0Hzの速度波形に着目した。次いで、より広帯域の周波数成分を含む加速度波形および相対速度応答スペクトルなどに着目した。

2. 本震観測記録の整理

図-1は、2011年東北地方太平洋沖地震における南光台周辺の強震記録の分布状況を示す。図-1には、各観測点における3成分合成最大加速度値PGA(Gal)、N-S成分のSI値(cm/s)²⁰⁾、気象庁計測震度²¹⁾も同時に示している。なお、1978年宮城県沖地震の際には、後述するように(図-8参照)、対象地点の周辺にSmall-Titan南光台東小学校²²⁾や八乙女駅(震度計)²³⁾は存在しておらず、対象地点から強震記録の得られている塩竈工場-S²⁴⁾までは13km、開北橋^{25),26)}までは約40kmもそれぞれ離れている。

図-1に示すように、2011年東北地方太平洋沖地震に対しては、Small-Titan南光台東小学校(東側)と八乙女駅(西側)などで強震記録が得られているものの、PGAの値に非常に大きな差異が生じているのが読み取れる。また、青葉区雨宮(南側)では、PGAや計測震度の値が周辺観測点に比べて小さくなっている。図-2は、(独)産業技術総

合研究所の地質図²⁷⁾に南光台と周辺の既存強震観測点をプロットしたものであるが、4観測点の位置相当の地質種別はまちまちとなっており、強震記録の差異に影響を及ぼしている可能性が考えられる。

したがって、比較的接近している観測点同士(南光台を取り囲む観測点同士)でも、本震時の地震動特性に差異が生じており、対象地点と周辺観測点との間に地震動特性の差異が生じている可能性は否定できない。対象地震における対象地点での強震動は、対象地点(後述する地震観測地点)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。

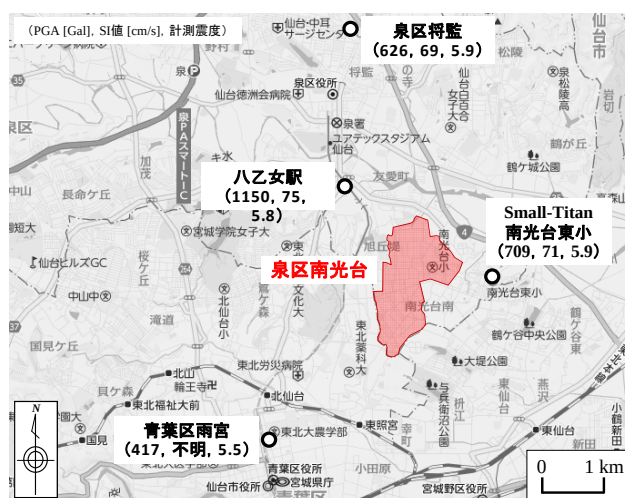


図-1 南光台周辺の観測記録(2011年東北地方太平洋沖地震)

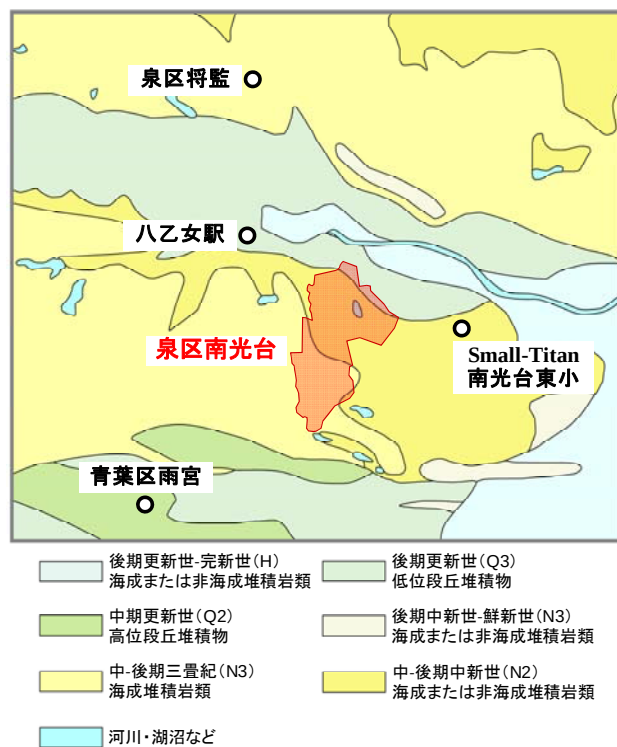


図-2 南光台とその周辺の強震観測点における地質状況

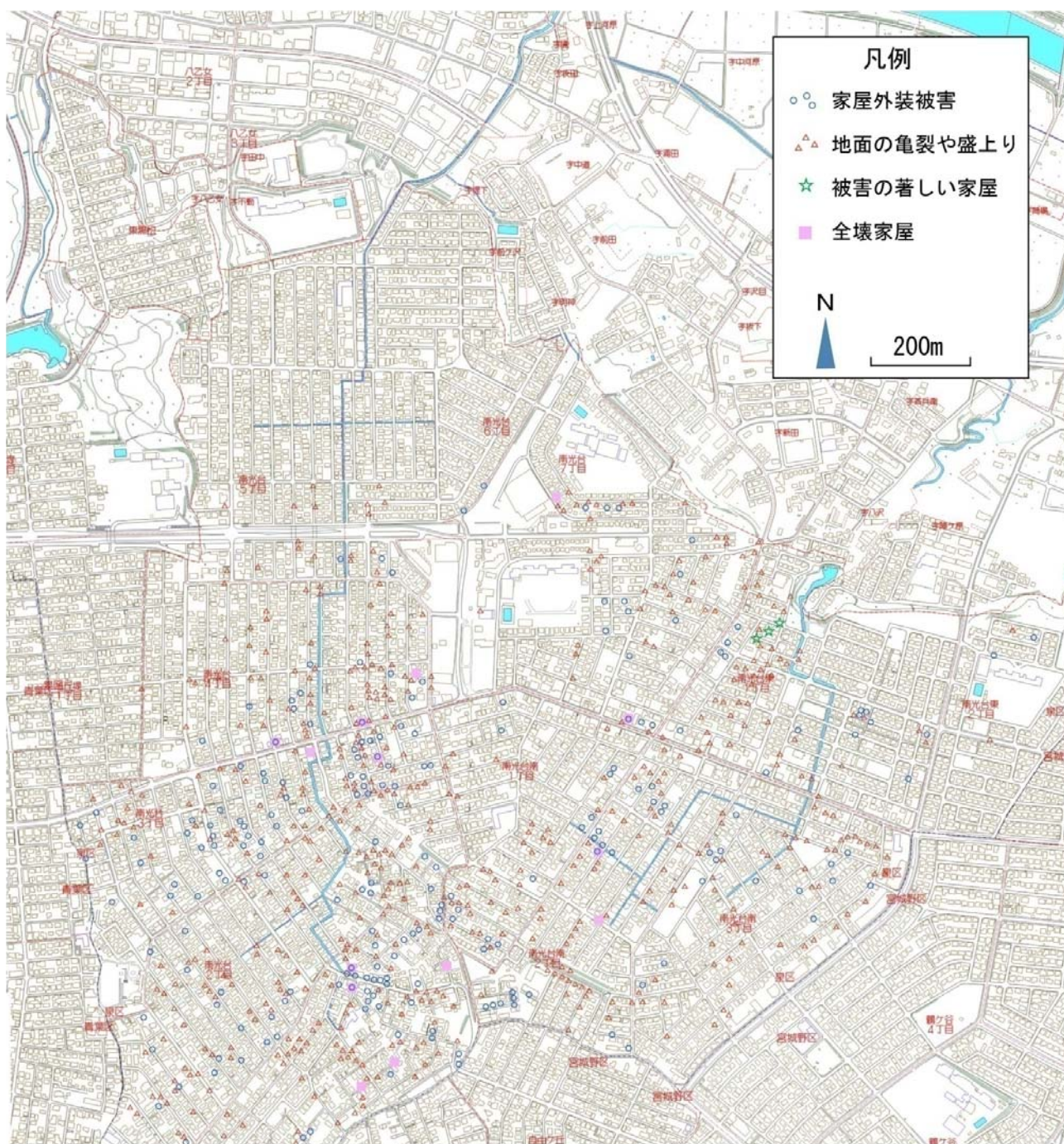


図-3 1978年宮城県沖地震における南光台での被災状況（文献3）をもとに作成）

3. 地震アレー観測の実施

図-3は、既存の文献資料³⁾に基づき1978年宮城県沖地震による南光台での被災地点をプロットしたものであり、図-4は、釜井ほか^{4,5,6)}による調査結果に基づいた2011年東北地方太平洋沖地震による南光台での被災状況であり、図-5は、図-3と図-4を同じ地図上で重ねあわせたものである。図-5に示すように、1978年宮城県沖地震と2011年東北地方太平洋沖地震の両地震による被災が集中している地点は、南光台3丁目・4丁目付近(STA-3(後述)付近)

であることが読み取れる。

そこで本研究では、図-5に示すように、被災が集中している地域(STA-3)と、その周辺地域(STA-1, 2, 4, 5)の計5地点(STA-1～5)において地震計を設置し、中小地震観測(地震アレー観測)を実施した。ここに、5地点において同時観測としたのは、5地点で同じ地震観測記録を用いて、サイト増幅特性を評価(後述)することで、5つの観測点間の地盤震動特性の差異を直接的に評価するためである。

観測期間は2012年11月27日～2013年2月27日の3か月間

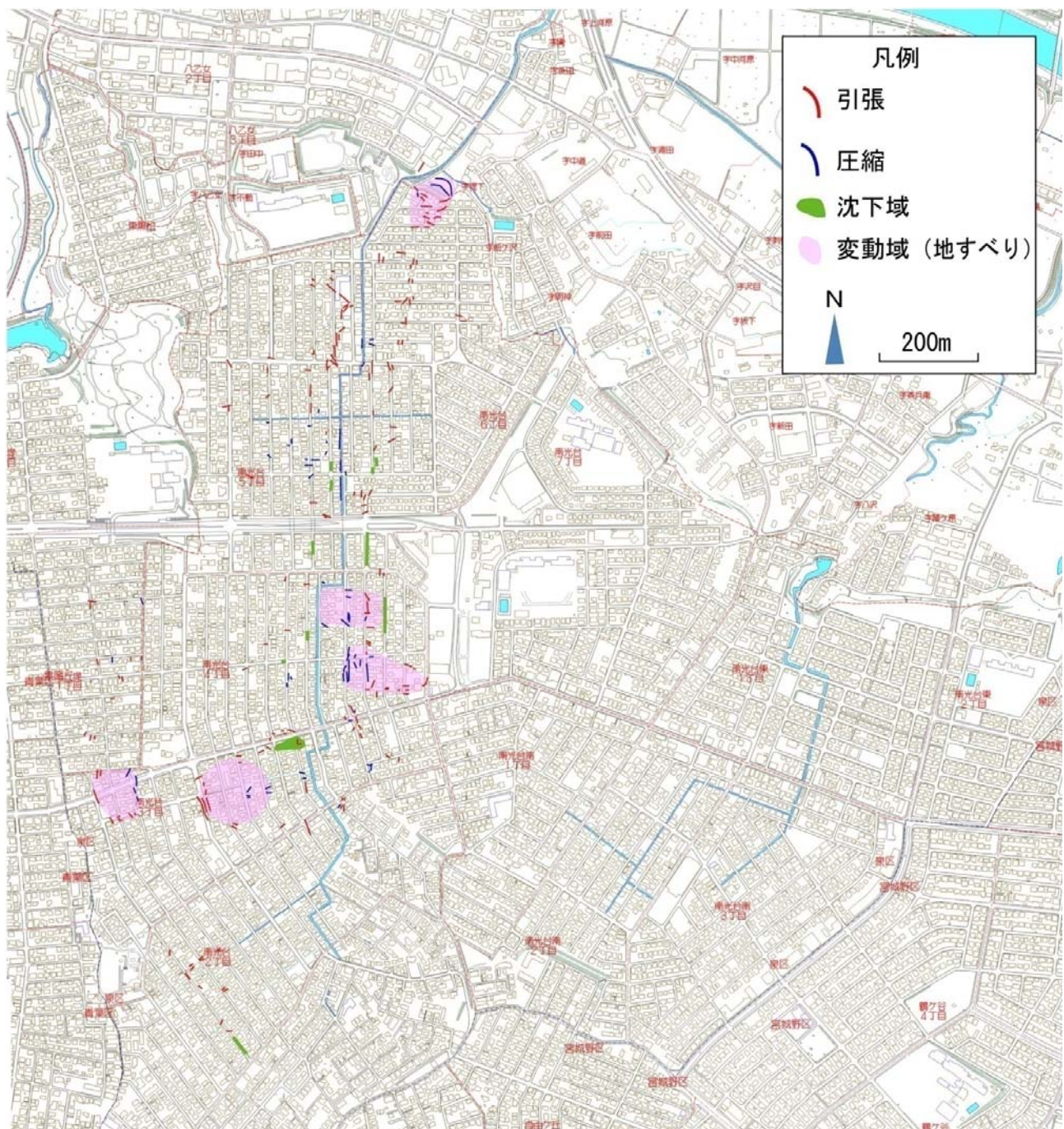


図-4 2011年東北地方太平洋沖地震における南光台での被災状況（文献4),5,6をもとに作成）

であり、地震計は加速度計（一体型微動探査兼地震計機器²⁹⁾）を採用した。また、観測条件として、サンプリング周波数は100Hz、観測方向は3成分（N-S方向、E-W方向、U-D方向）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を採用した。なお、観測期間、地震観測システム、観測条件は、5地点（STA-1～5）で共通である。表-1には、5地点（STA-1～5）で同時に得られた主要な中小地震観測記録の一覧を示す。

4. サイト増幅特性の評価

図-6および図-7には、5地点（STA-1～5：図-5参照）におけるサイト増幅特性（地震基盤～地表）と、周辺の既存強震観測点（泉区将監、青葉区雨宮、Small-Titan南光台東小学校：図-1参照）におけるサイト増幅特性（地震基盤～地表）²⁹⁾を示す。対象5地点（STA-1～5）におけるサイト増幅特性は、まず、対象5地点とK-NET仙台（図-8および図-15（ともに後述）参照）で同時に得られた中小地震観測記録（表-1参照）を対象に、両地点の距離の違いによる補正

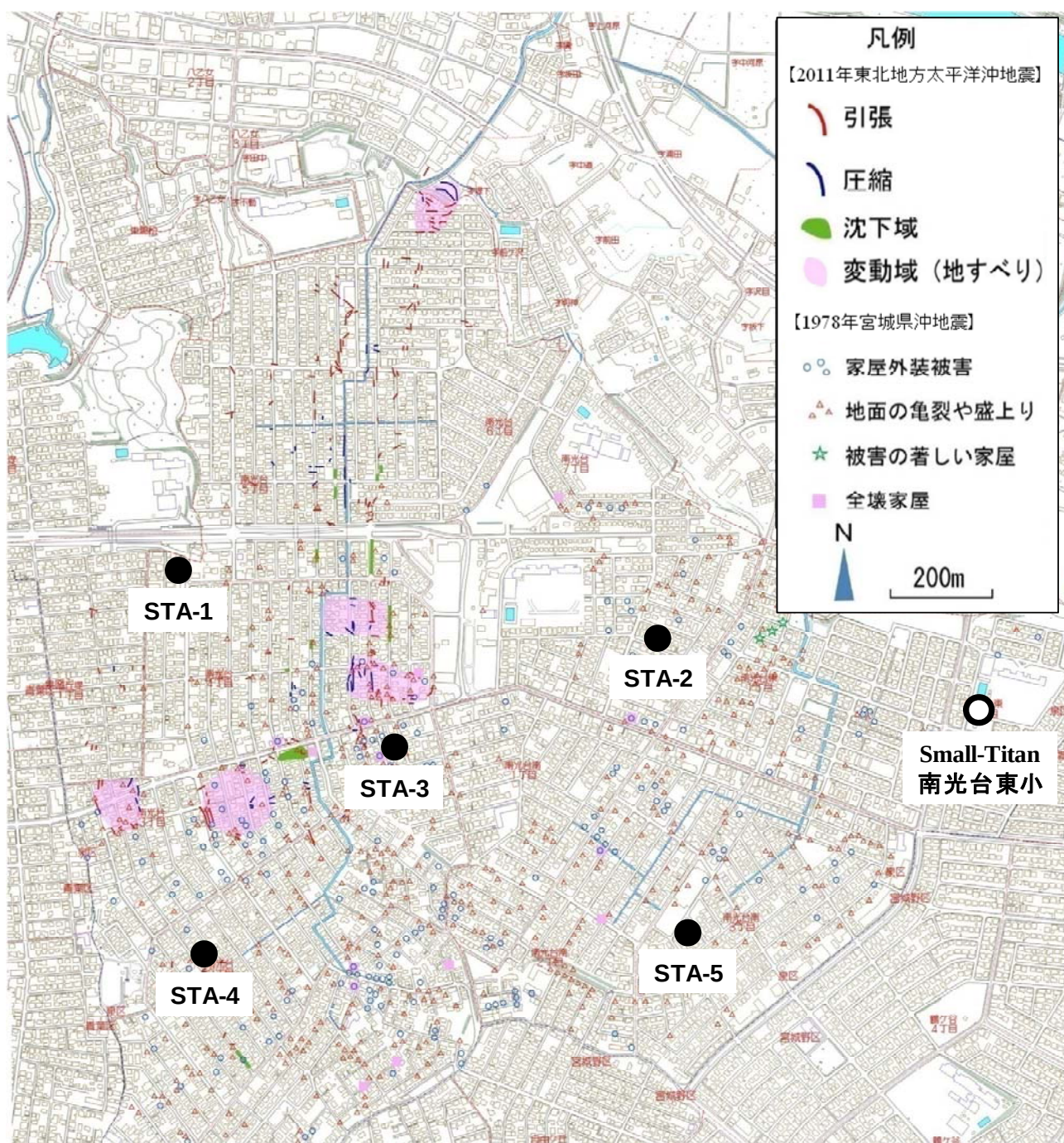


図-5 1978年宮城県沖地震と2011年東北地方太平洋沖地震における南光台での被災状況、および臨時地震観測地点の分布
(1978年宮城県沖地震による被災種別：家屋外装被害、地面の亀裂や盛り、被害の著しい家屋、全壊家屋台：図-3参照)
(2011年東北地方太平洋沖地震による被災種別：引張、圧縮、沈下域、変動域(地すべり)：図-4参照)

³⁰⁾³¹⁾を考慮した水平2成分合成のフーリエスペクトルの比率(対象5地点(STA-1～5)/K-NET仙台)を計算し、この比率をK-NET仙台における既存のサイト増幅特性³²⁾に掛け合わせるによって評価³³⁾³⁴⁾³⁵⁾した。なお、同時観測地震(表-1参照)はいずれも遠方で発生した中小地震であり、震源からの距離と比較して、観測点間(対象5地点(STA-1～5)とK-NET仙台)の距離は非常に短いため、距離の違いによる補正の影響は非常に小さかったことを付

記しておく。

図-7に示すとおり、泉区将監、青葉区雨宮、Small-Titan南光台東小学校のサイト増幅特性を比較すると、対象地点に比較的近いSmall-Titan南光台東小学校では、スペクトルの形状が他観測点と異なっている。

図-6に示すとおり、対象5地点(STA-1～5)のサイト増幅特性を比較すると、地点毎にピーク周波数やスペクトル形状などの特性に差異が生じている。STA-1, 2, 5のサ

表-1 対象5地点(STA-1～5)で同時に得られた地震観測イベントの一覧

No.	Year/Month/Day	Hour : Min. (JST)	Latitude (deg.)	Longitude (deg.)	Depth (km)	Source region	JMA Mag.
EQ-01	2012/11/27	18:55	38.308	141.885	62	Off Miyagi Pref.	Mj4.0
EQ-02	2012/12/03	13:57	36.342	140.727	91	Off Ibaraki Pref.	Mj4.3
EQ-03	2012/12/07	17:18	38.018	143.867	49	Off Sanriku	Mj7.3
EQ-04	2012/12/07	17:31	37.918	143.855	30	Off Sanriku	Mj6.6
EQ-05	2012/12/12	09:19	36.983	141.427	32	Off Fukushima Pref.	Mj4.7
EQ-06	2012/12/15	05:37	38.647	142.457	40	Off Miyagi Pref.	Mj4.8
EQ-07	2012/12/15	13:27	37.297	141.348	59	Off Fukushima Pref.	Mj5.3
EQ-08	2012/12/15	14:46	36.822	141.208	32	Off Ibaraki Pref.	Mj5.0
EQ-09	2012/12/18	19:25	38.303	141.893	46	Off Miyagi Pref.	Mj4.5
EQ-10	2012/12/21	17:07	38.642	141.813	48	Off Miyagi Pref.	Mj5.2
EQ-13	2012/12/29	16:19	37.067	141.182	51	Off Fukushima Pref.	Mj5.0
EQ-14	2012/12/29	23:59	38.717	142.195	41	Off Miyagi Pref.	Mj5.5
EQ-15	2012/12/30	08:05	36.962	141.392	35	Off Fukushima Pref.	Mj5.1
EQ-16	2013/01/04	22:52	38.898	142.293	75	Off Fukushima Pref.	Mj4.4
EQ-17	2013/01/07	22:53	37.862	142.452	41	Off Miyagi Pref.	Mj4.9
EQ-18	2013/01/10	21:48	37.513	141.472	48	Off Fukushima Pref.	Mj5.0
EQ-19	2013/01/13	12:17	39.143	142.311	48	Off Iwate Pref.	Mj4.8
EQ-20	2013/01/14	15:53	37.183	141.537	47	Off Fukushima Pref.	Mj4.9
EQ-21	2013/01/24	06:31	37.782	141.625	47	Off Fukushima Pref.	Mj4.8
EQ-22	2013/01/28	03:41	36.570	140.560	74	Northern Ibaraki Pref.	Mj4.8
EQ-24	2013/02/01	19:55	38.480	142.252	42	Off Miyagi Pref.	Mj4.2
EQ-25	2013/02/02	23:17	42.701	143.227	102	Southern Hidaka District	Mj6.5
EQ-26	2013/02/05	22:31	38.660	142.155	42	Off Miyagi Pref.	Mj4.6
EQ-27	2013/02/09	13:43	36.843	141.358	33	Off Ibaraki Pref.	Mj5.2
EQ-28	2013/02/11	12:45	38.650	142.150	41	Off Miyagi Pref.	Mj4.5
EQ-29	2013/02/13	11:21	38.428	141.895	56	Off Miyagi Pref.	Mj4.7
EQ-30	2013/02/16	10:30	38.253	141.847	58	Off Miyagi Pref.	Mj4.3
EQ-31	2013/02/16	10:32	37.343	141.575	45	Off Fukushima Pref.	Mj4.7
EQ-32	2013/02/22	00:34	38.305	141.913	64	Off Miyagi Pref.	Mj4.7
EQ-33	2013/02/24	13:55	36.967	140.693	21	Hamadori Fukushima Pref.	Mj4.5
EQ-34	2013/02/26	01:19	38.252	141.783	57	Off Miyagi Pref.	Mj4.4
EQ-35	2012/02/26	21:46	38.712	142.220	41	Off Miyagi Pref.	Mj4.9

イト増幅特性は比較的類似しているものの、STA-3およびSTA-4のサイト増幅特性は、0.8Hz付近に明瞭なピーク周波数を有しており、特に、STA-3ではその傾向がより顕著に表れている。STA-3およびSTA-4は、対象地震に

よる被災が比較的多く確認されている地点の周辺にそれぞれ位置しており(図-3、図-4、図-5参照)、0.8Hz付近の周波数成分を含んだ地震動が造成宅地の被災に影響を及ぼしている可能性が示唆される。

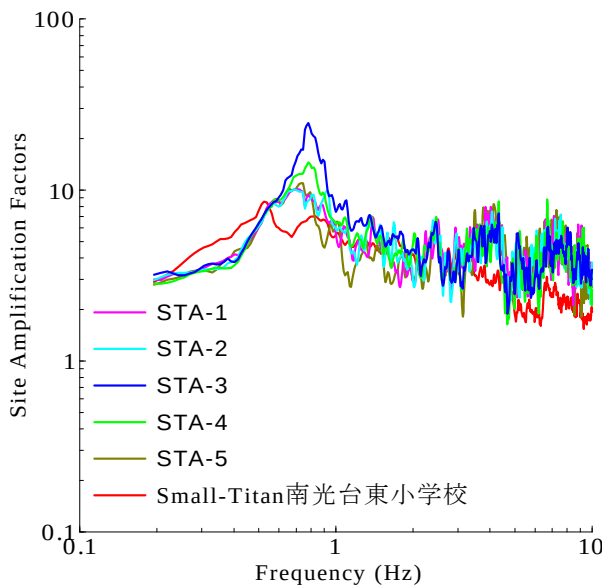


図-6 南光台におけるサイト増幅特性(地震基盤～地表)の比較

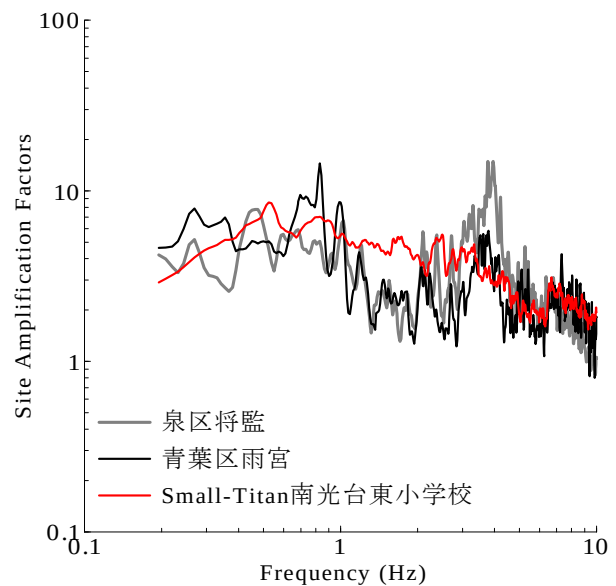


図-7 既存強震観測点におけるサイト増幅特性²⁹⁾の比較

表-2 1978年宮城県沖地震の震源モデルパラメータ

断層パラメータ	SPGA1	SPGA2
破壊開始時刻(h:m:s)	17:14:25	17:14:30.8
地震モーメント(Nm)	1.2×10^{19}	4.8×10^{18}
長さ(km)	4.0	3.0
幅(km)	3.0	3.0
面積(km ²)	12.0	9.0
ライズタイム(s)	0.25	0.25

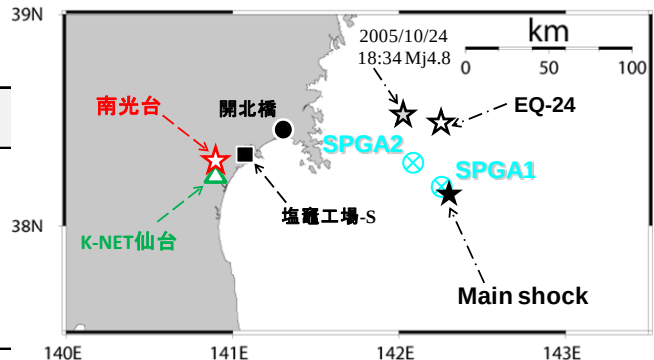


図-8 1978年宮城県沖地震におけるSPGAモデル

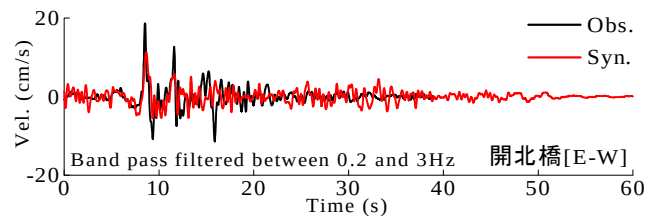
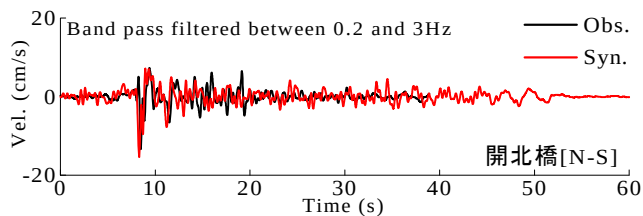


図-9 1978年宮城県沖地震における地震動推定手法の適用性の確認

5. 1978年宮城県沖地震による地震動の評価

(1) 特性化震源モデル

対象地点のサイト特性を考慮して地震動を推定する手法には、対象サイト周辺で得られた地震記録に対して補正を施す方法³⁰⁾、震源モデルに基づく強震波形計算法などがあるが、1978年宮城県沖地震の場合、対象地点から塩竈工場-Sまでは13km、開北橋までは約40kmもそれぞれ離れているため(図-8参照)、後者の強震波形計算法を採用した。その際、震源モデルとしては、野津・菅野³⁷⁾³⁸⁾による特性化震源モデルを採用した。この震源モデルでは、もともと、震源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³⁹⁾。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。

図-8にSPGAと対象地点の位置関係、表-2にモデルパラメータの一覧を示す。この震源モデルは、図-9に示すように、開北橋(図-8参照)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³⁷⁾³⁸⁾である(なお、塩竈工場-Sは本震時における地盤の非線形挙動の影響が非常に強く検討対象から除外している)。また、この震源モデルでは、震源付近の密度、S波速度、走向、傾斜、破壊開始点、破壊伝播速度は、いずれも地震調査研究推進本部

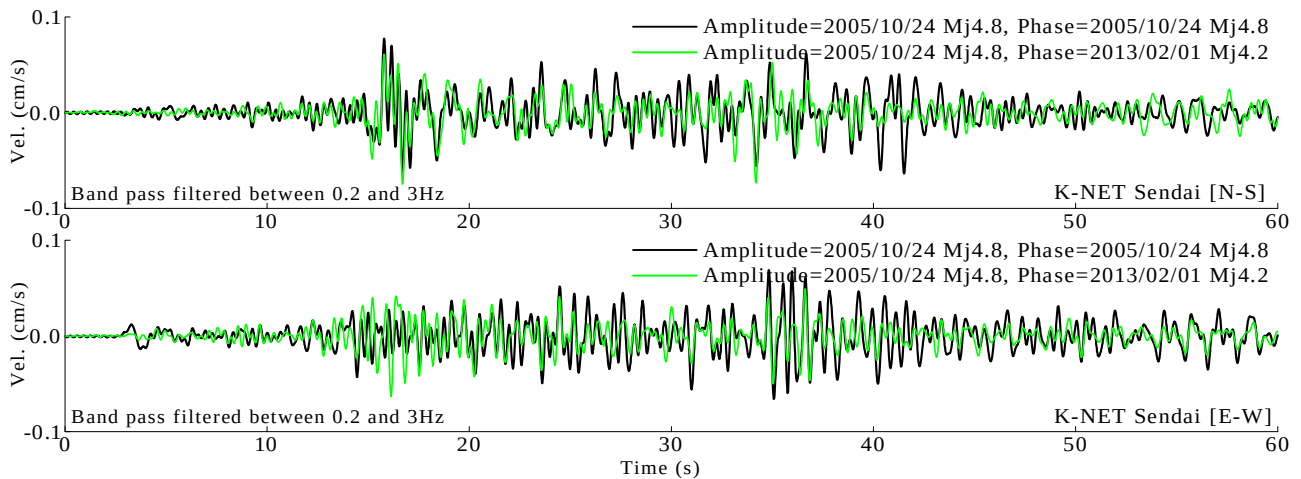


図-10 1978年宮城県沖地震の強震動評価におけるサイト位相特性の評価

の提案値⁴⁰⁾に基づいている。すなわち、破壊伝播速度は3.0km/s、基盤のS波速度は3.9km/s、密度は3.1t/m³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³⁰⁾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⁴¹⁾⁴²⁾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。

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

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³⁰⁾で実数、 $P(f)$ は伝播経路特性³⁰⁾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、 $|O(f)|_p$ 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⁴³⁾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⁴²⁾。

(3) サイト位相特性の評価

フーリエ位相特性の取り扱いについては、1978年宮城県沖地震のSPGAの近傍で発生した地震として、対象地点での強震波形の計算にはEQ-24(表-1参照)を採用した。図-8に示すとおり、EQ-24の震央は、開北橋を対象とした強震波形計算(図-9参照)³⁷⁾³⁸⁾において、フーリエ位相特性として採用している2005年10月24日18時34分に発生

した宮城県沖を震源とする地震(Mj4.8)の震央の極近傍である。そこで、EQ-24と宮城県沖の地震(2005/10/24 18:34)の位相特性の類似性について、対象地点に比較的近い強震観測点(図-8参照)であり、かつ両地震による地震波形データがともに得られているK-NET仙台の記録⁴⁴⁾を用いて検討を行った。

図-10は、K-NET仙台での宮城県沖の地震(2005/10/24 18:34)による地盤地表面の速度波形(観測波)と、観測波のフーリエ振幅を利用してフーリエ位相のみEQ-24によるフーリエ位相に置き換えた合成速度波形(置換波)を比較⁴⁵⁾⁴⁶⁾したものである。なお、両速度波形にはともに本研究で主に着目する周波数帯に合わせて0.2–3Hzのバンド・パスフィルタを施した。図-10に示すとおり、観測波と置換波は非常に良い一致を示している。このように、K-NET仙台では、両地震の間で伝播経路特性が十分に共有され、フーリエ位相が類似したものになっていると考えられる。したがって、開北橋と対象地点で異なる地震の位相特性を用いることの影響は大きくないと判断される。図-11にはEQ-24によって得られた対象地点での時刻歴加速度波形を示す。

(4) 強震動推定結果

図-12および図-13は、対象5地点(STA-1~5)における1978年宮城県沖地震時の推定速度・加速度波形である。なお、速度波形については、図-12でも図-9と同様に、0.2–3Hzのバンド・パスフィルタを施している。図-12および図-13に示すとおり、対象5地点(STA-1~5)の推定地震動を比較すると、波形形状に関して地点間の差異はそれほど大きくないものの、他地点と比較してSTA-3の速度振幅ならびに加速度振幅が大きくなっていることが読み取れる。

図-14は、対象5地点(STA-1~5)での推定地震動の加速度時刻歴(図-13参照)による相対速度応答スペクトル(減

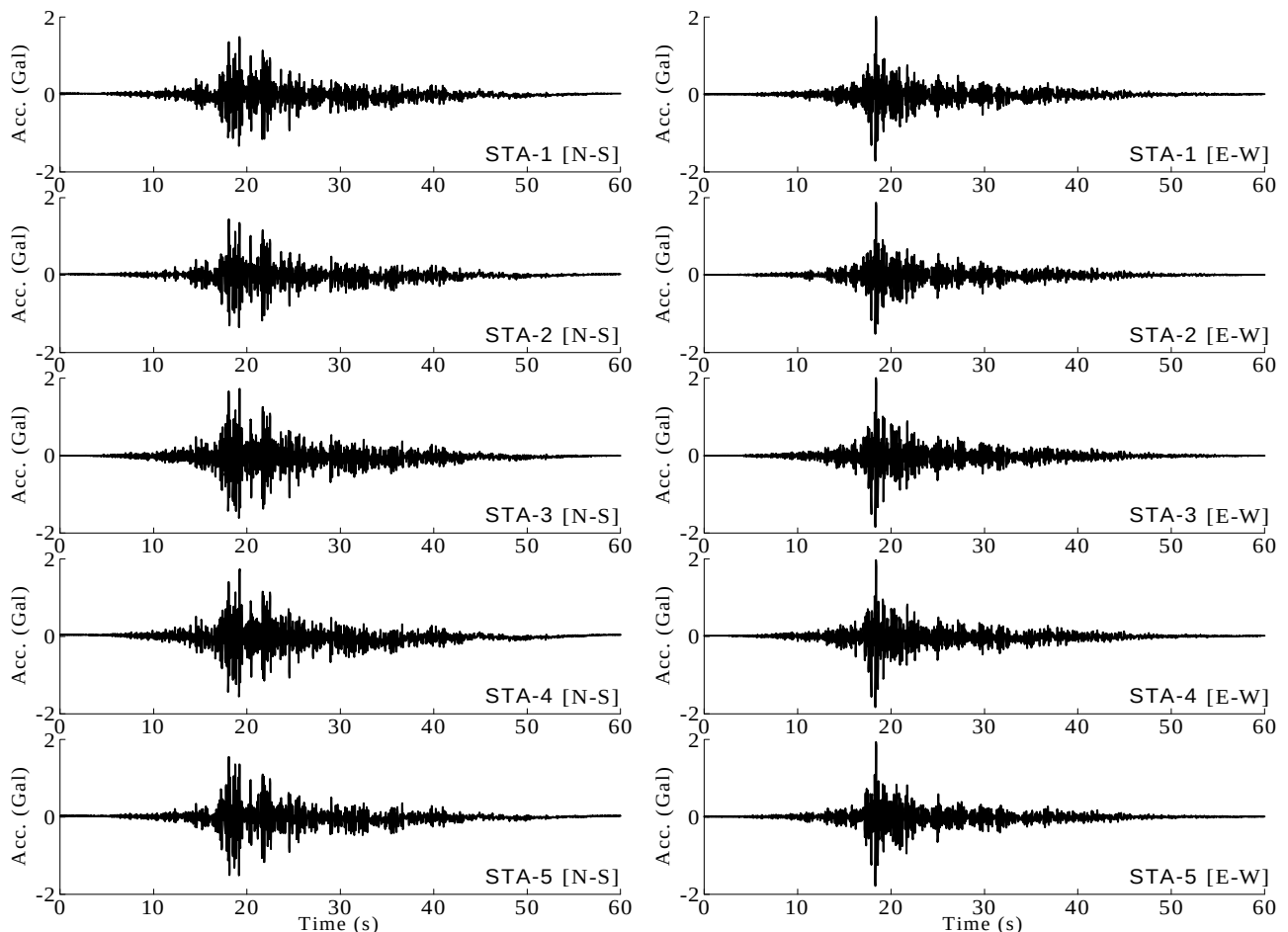


図-11 強震動評価におけるサイト位相特性の評価に用いたEQ-24による観測地震動の加速度時刻歴

衰定数5%)を比較したものである。図-14に示すとおり、STA-3の応答スペクトルが0.5sよりも長周期帯域で他者を上回っていることが読み取れる。これは、0.5sよりも短周期帯域(2Hzよりも高周波帯域)の地震動成分は、造成宅地の被災にそれほど大きな影響を及ぼしていない可能性を示唆するものである。なお、2011年東北地方太平洋沖地震による推定地震動との比較については、7.で詳述する。

6. 2011年東北地方太平洋沖地震による地震動の評価

(1) 特性化震源モデルおよび強震波形計算手法

2011年東北地方太平洋沖地震による地震動の推定には、野津⁴⁷⁾⁴⁸⁾によるSPGAモデルを採用した。これは、Small-Titan南光台東小学校の本震記録に対して、拡張型サイト特性置換手法⁷⁾⁸⁾¹⁰⁾¹²⁾⁴⁹⁾を適用する方法も考えられるが、5.で述べた1978年宮城県沖地震による強震動評価と同様の手法を採用したためである。

図-15に宮城県沖のサブイベント (SPGA1, SPGA2,

SPGA4)と対象地点の位置関係、表-3にモデルパラメータの一覧を示す(対象地点において影響の大きいSPGA1, SPGA2, SPGA4だけを考慮した)。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⁴⁷⁾⁴⁸⁾⁵⁰⁾である。ただし、対象地点に比較的近いSmall-Titan南光台東小学校(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、6.(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⁴⁰⁾に基づいて基盤のS波速度は3.9km/sおよび密度は3.1t/m³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³⁰⁾を採用している。すなわち、破壊伝播速度、S波速度、密度、Q値については、5.(1)で述べた1978年宮城県沖地震の震源モデルのパラメータと同様である。

強震波形計算手法としては、5.(2)で述べた1978年宮城県沖地震による強震動評価と同様に、経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震動評価手法⁴¹⁾⁴²⁾を適用した。詳細については、5.(2)を参照されたい。

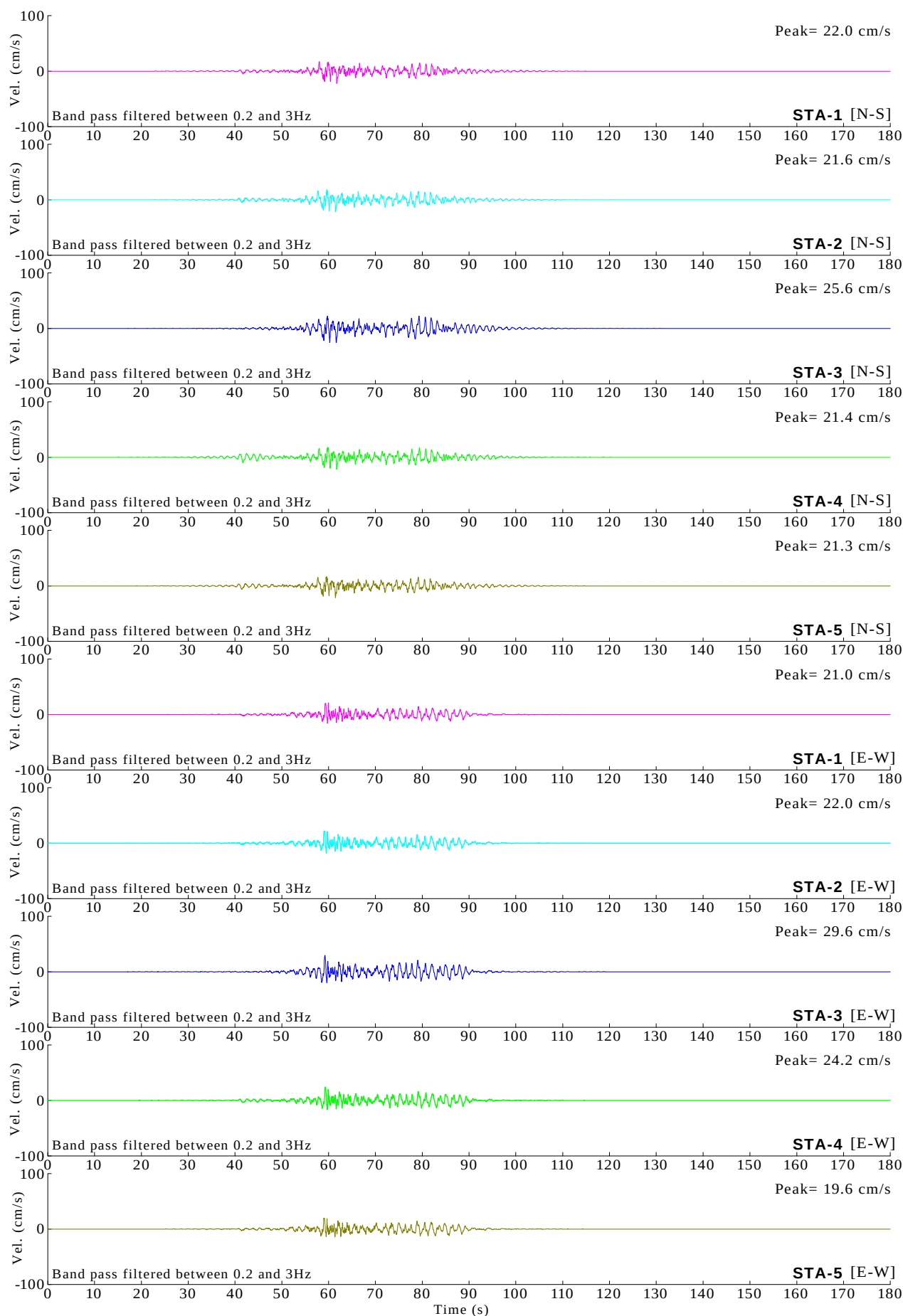


図-12 1978年宮城県沖地震における南光台での推定地震動の速度時刻歴

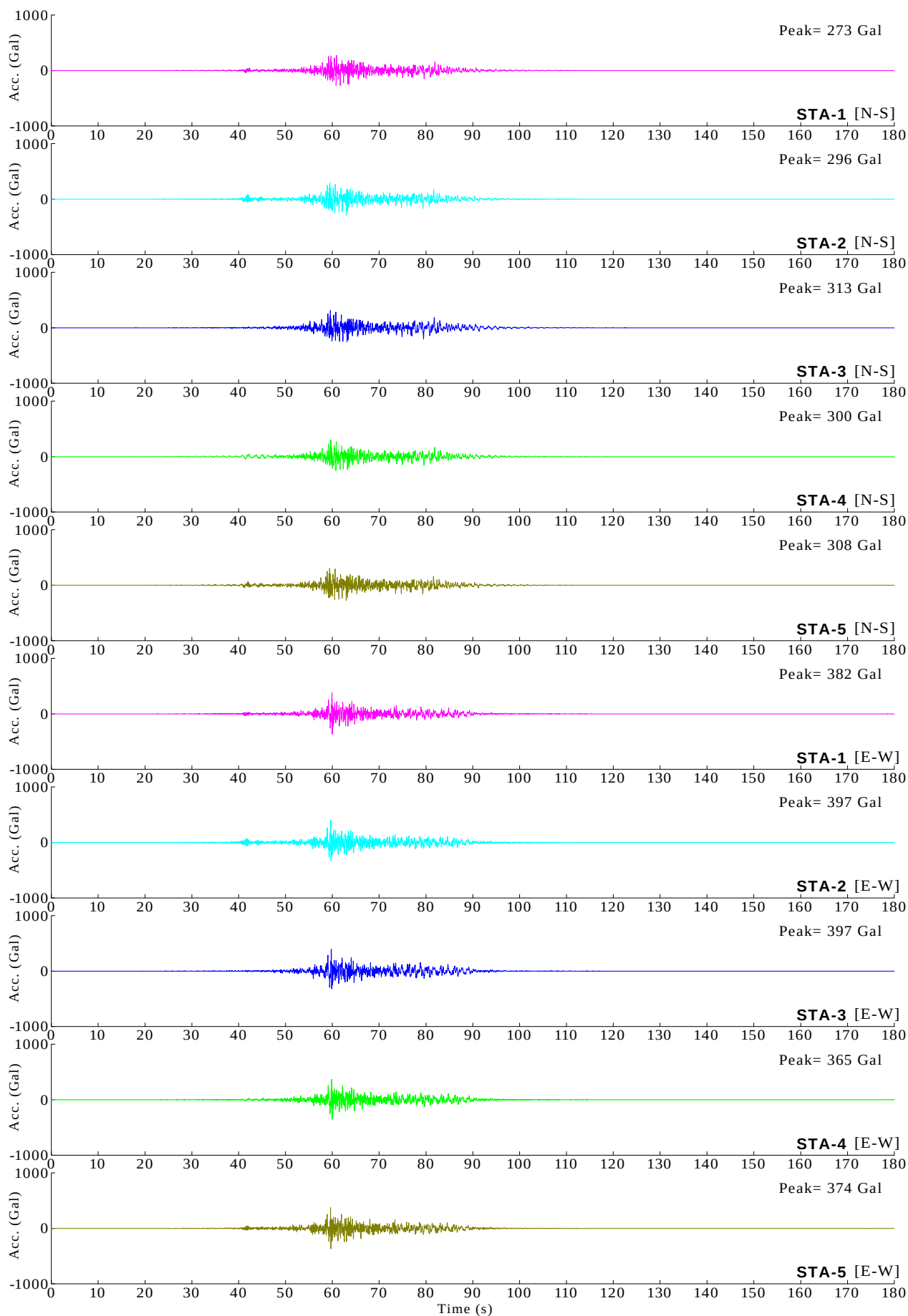


図-13 1978年宮城県沖地震における南光台での推定地震動の加速度時刻歴

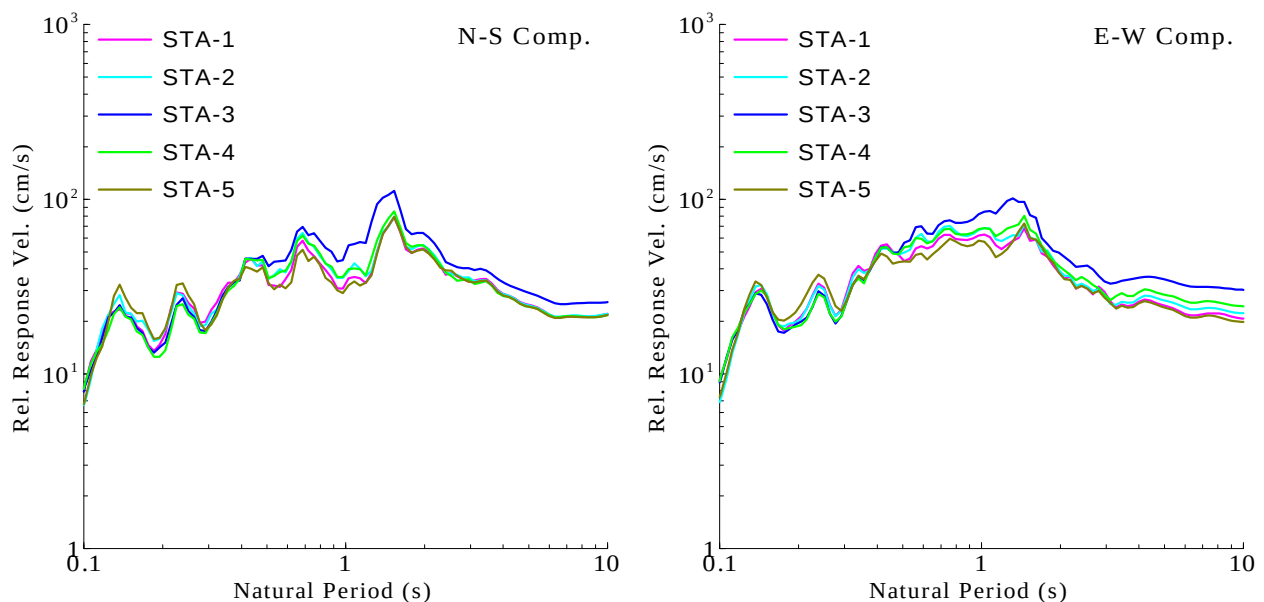


図-14 1978年宮城県沖地震における南光台での推定地震動の相対速度応答スペクトル(減衰定数5%)

表-3 2011年東北地方太平洋沖地震の震源モデルパラメーター

断層パラメーター	SPGA1	SPGA2	SPGA4
破壊開始時刻(h:m:s)	14:46:43.5	14:46:46.9	14:47:26.3
地震モーメント(Nm)	8.0×10^{18}	8.0×10^{18}	2.1×10^{19}
長さ(km)	3.0	4.0	3.5
幅(km)	2.0	3.0	3.0
面積(km ²)	6.0	12.0	10.5
ライズタイム(s)	0.17	0.25	0.25

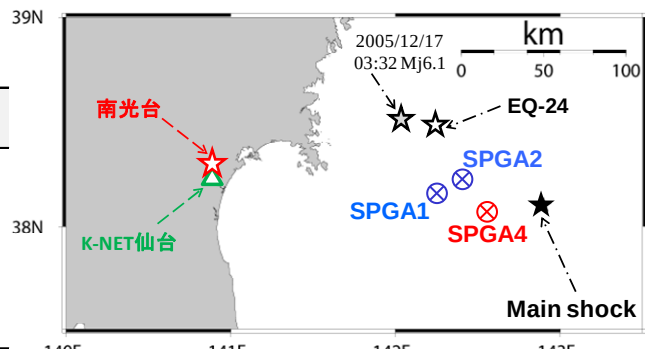


図-15 2011年東北地方太平洋沖地震におけるSPGAモデル

(2) サイト位相特性の評価

式(1)におけるフーリエ位相特性の取り扱いについては、2011年東北地方太平洋沖地震のSPGAの近傍で発生した地震として、対象地点での強震波形の計算にはEQ-24(表-1参照)によって得られた対象地点での時刻歴加速度波形(図-11参照)を採用した(すなわち、5.(3)で述べた1978年宮城県沖地震によるフーリエ位相の評価と同様であり、1978年宮城県沖地震および2011年東北地方太平洋沖地震に対し共通して採用したことになる)。ただし、EQ-24によるSmall-Titan南光台東小学校での地震観測記録は得られていない。

図-15に示すとおり、EQ-24の震央は、太平洋沿岸沿いや内陸寄りの既存強震観測点を対象とした強震波形計算⁴⁷⁾⁴⁸⁾⁵⁰⁾において、フーリエ位相特性として採用している2005年12月17日3時32分に発生した宮城県沖を震源とする地震(Mj6.1)の震央の極近傍である。そこで、EQ-24と宮城県沖の地震(2005/12/17 03:32)の位相特性の類似性について、対象地点に比較的近い強震観測点(図-15参照)であり、かつ両地震による地震波形データがともに得られているK-NET仙台的記録⁴⁴⁾を用いて検討を行った。

図-16は、K-NET仙台での宮城県沖の地震(2005/12/17 03:32)による地盤地表面の速度波形(観測波)と、観測波のフーリエ振幅を利用してフーリエ位相のみEQ-24によるフーリエ位相に置き換えた合成速度波形(置換波)を比較したものである。なお、両速度波形にはともに本研究で主に着目する周波数帯に合わせて0.2–3Hzのバンド・パスフィルタを施した。図-16に示すとおり、観測波と置換波は非常に良い一致を示している。このように、K-NET仙台では、両地震の間で伝播経路特性が十分に共有され、フーリエ位相が類似したものになっていると考えられる。したがって、Small-Titan南光台東小学校と対象地点で異なる地震の位相特性を用いることの影響は大きくないと判断される。

(3) 地震動推定手法の適用性の確認

図-17は、Small-Titan南光台東小学校で得られた2011年東北地方太平洋沖地震時の速度波形(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-17においても図-9および図-16と同様に、0.2–3Hz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

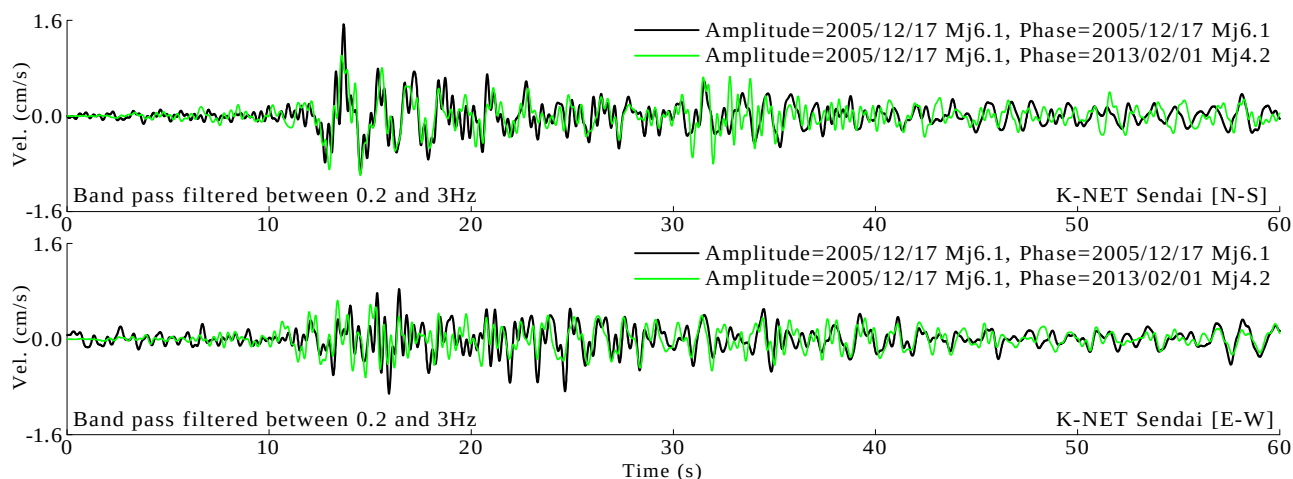


図-16 2011年東北地方太平洋沖地震の強震動評価におけるサイト位相特性の評価

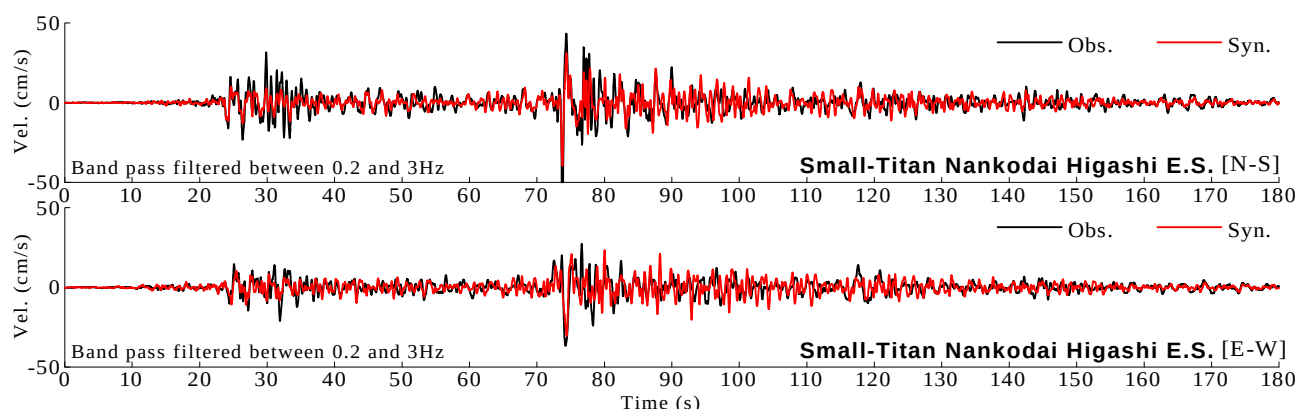


図-17 2011年東北地方太平洋沖地震における地震動推定手法の適用性の確認(1) (速度波形による検討)

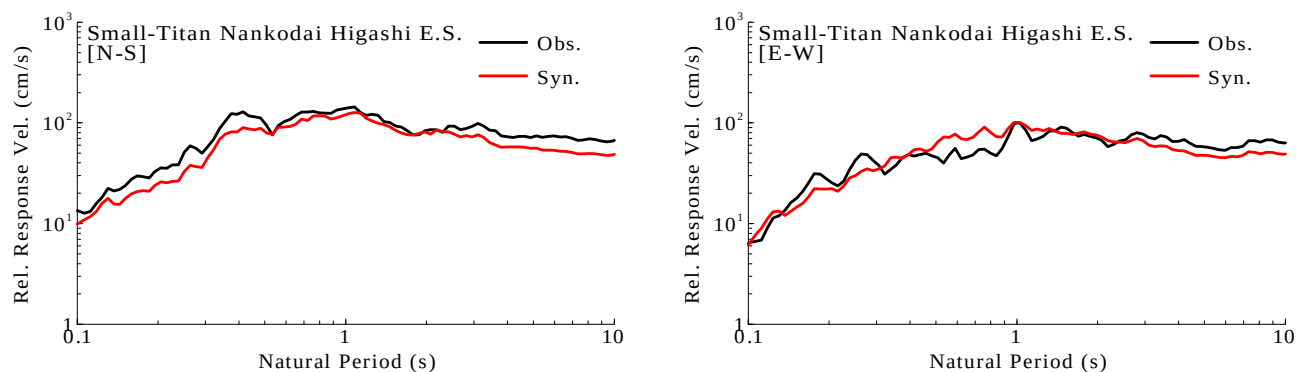


図-18 2011年東北地方太平洋沖地震における地震動推定手法の適用性の確認(2) (相対速度応答スペクトルによる検討)

行った。さらに、相対速度応答スペクトル(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-18に示す。

図-17および図-18に示すとおり、Small-Titan南光台東小学校において、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⁽⁴⁷⁾⁽⁴⁸⁾によるSPGAモデル(6.(1)参照)、宮城県沖のサブイベントに対応させたサイト位相特性(6.(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⁽⁴⁾⁽⁴²⁾(5.(2)参照)の組み合わせは、対象地点近くのSmall-Titan南光台東小学校における地震動

再現にも有効であることが確認できたので、同じ組み合わせを対象地点における地震動の推定にも適用する。

(4) 地震動推定結果および推定地震動の比較

図-19および図-20は、対象5地点(STA-1～5)における2011年東北地方太平洋沖地震時の推定速度・加速度波形である。なお、図-19でも図-9と同様に、0.2～3Hzのバンド・パスフィルタを施している。図-19および図-20に示すとおり、対象5地点(STA-1～5)の推定地震動を比較すると、波形形状に関して地点間の差異はそれほど大きく

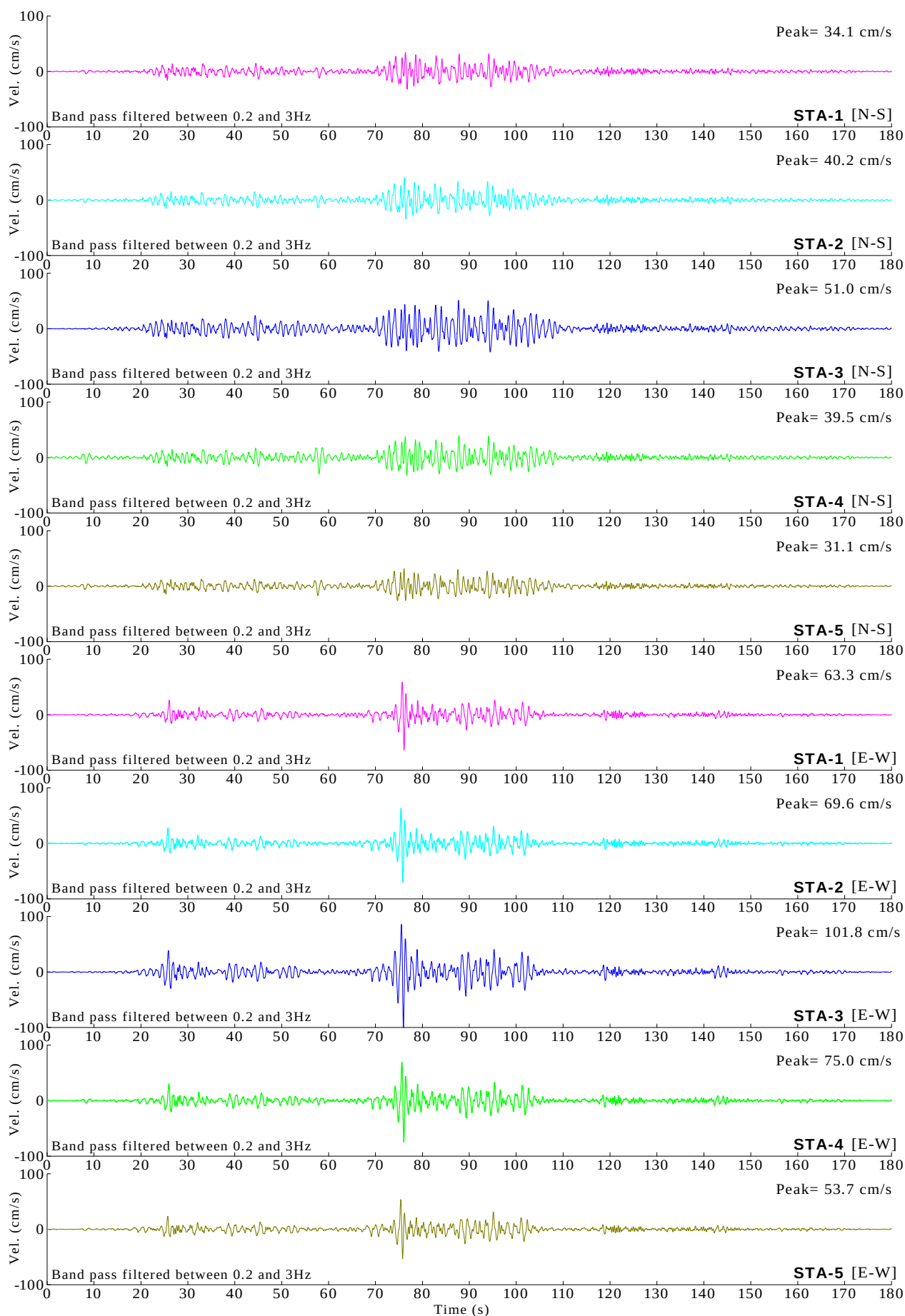


図-19 2011年東北地方太平洋沖地震における南光台での推定地震動の速度時刻歴

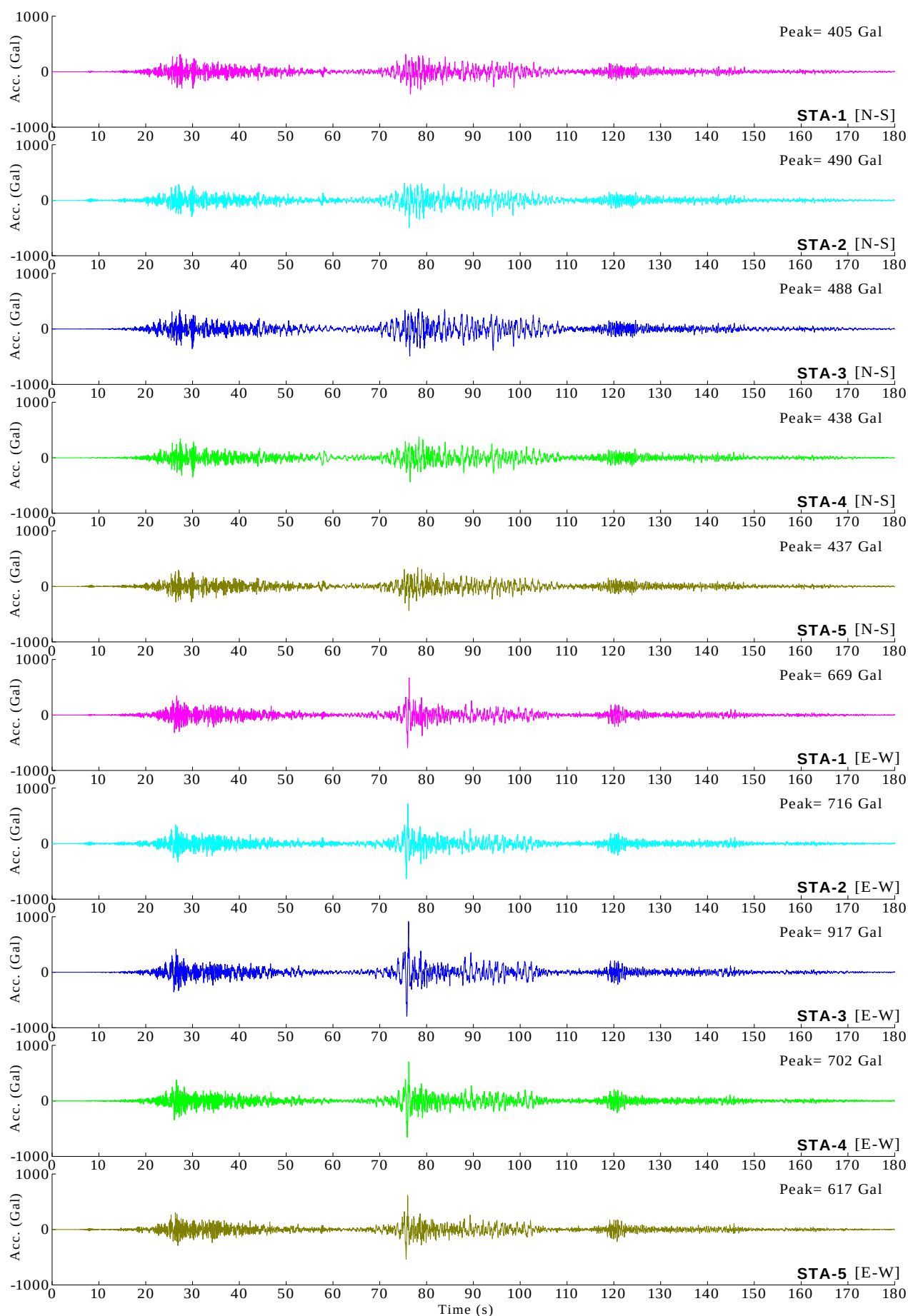


図-20 2011年東北地方太平洋沖地震における南光台での推定地震動の加速度時刻歴

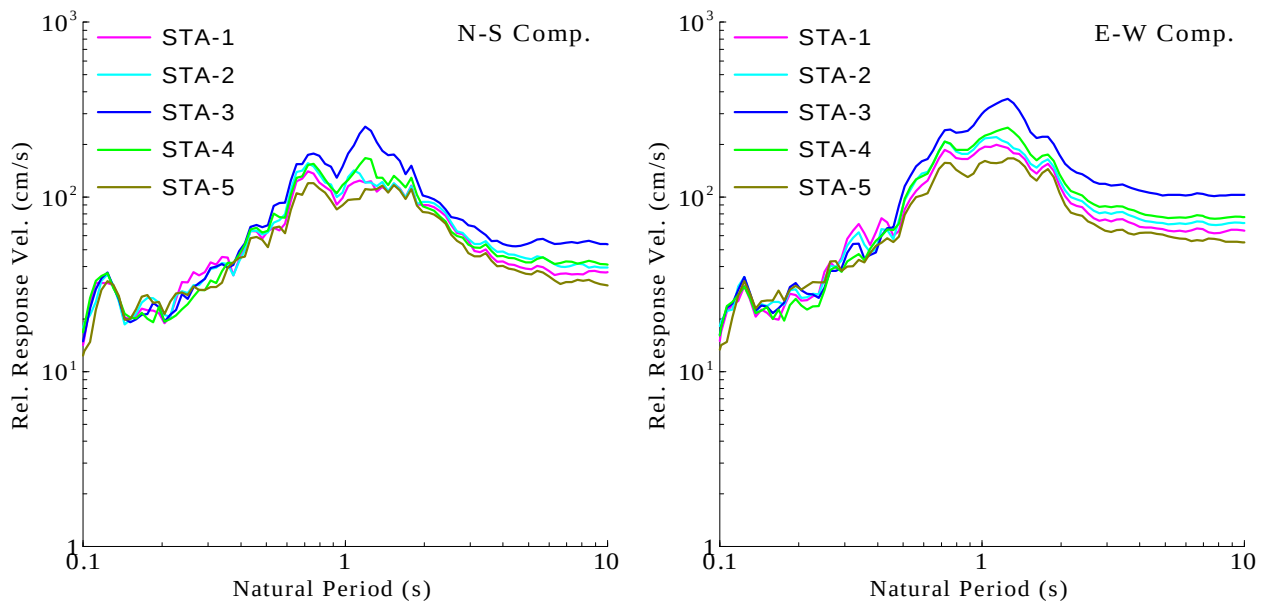


図-21 2011年東北地方太平洋沖地震における南光台での推定地震動の相対速度応答スペクトル(減衰定数5%)

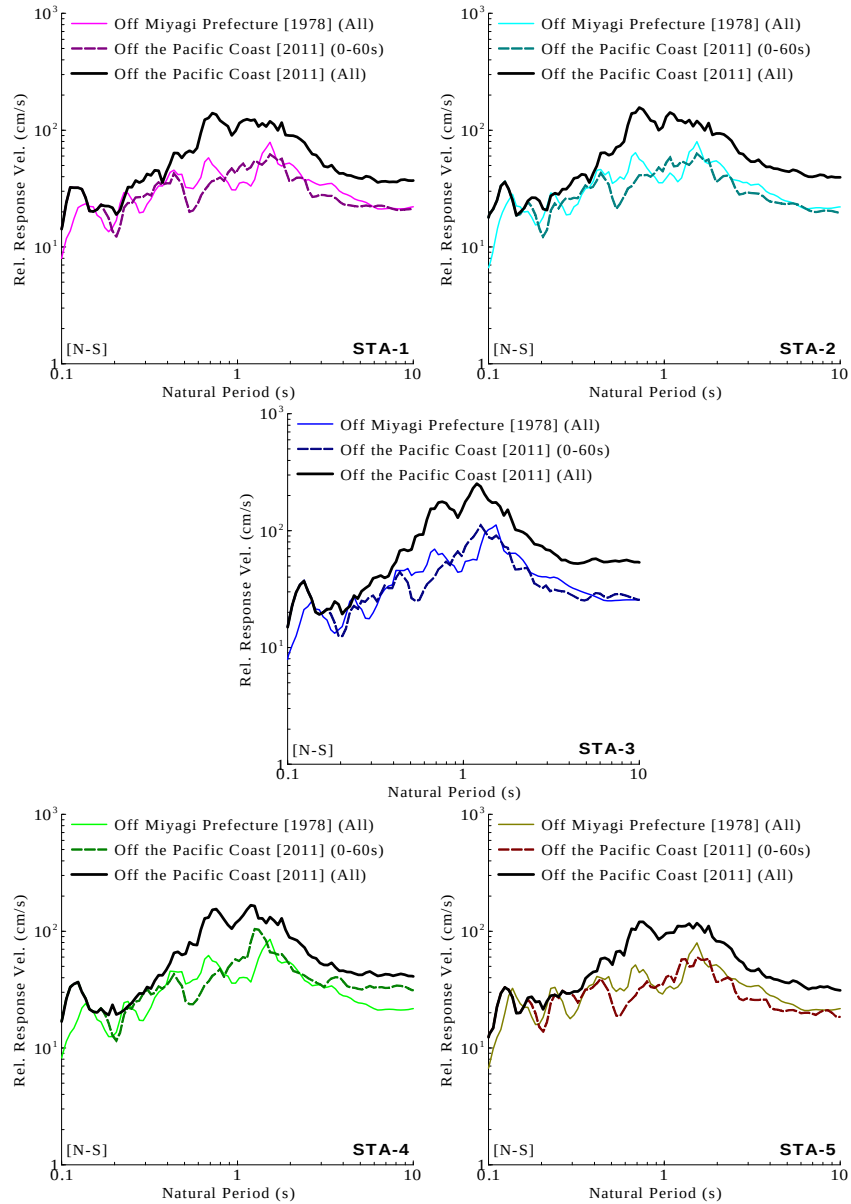


図-22 1978年宮城県沖地震と2011年東北地方太平洋沖地震における南光台での相対速度応答スペクトルの比較 (N-S成分)

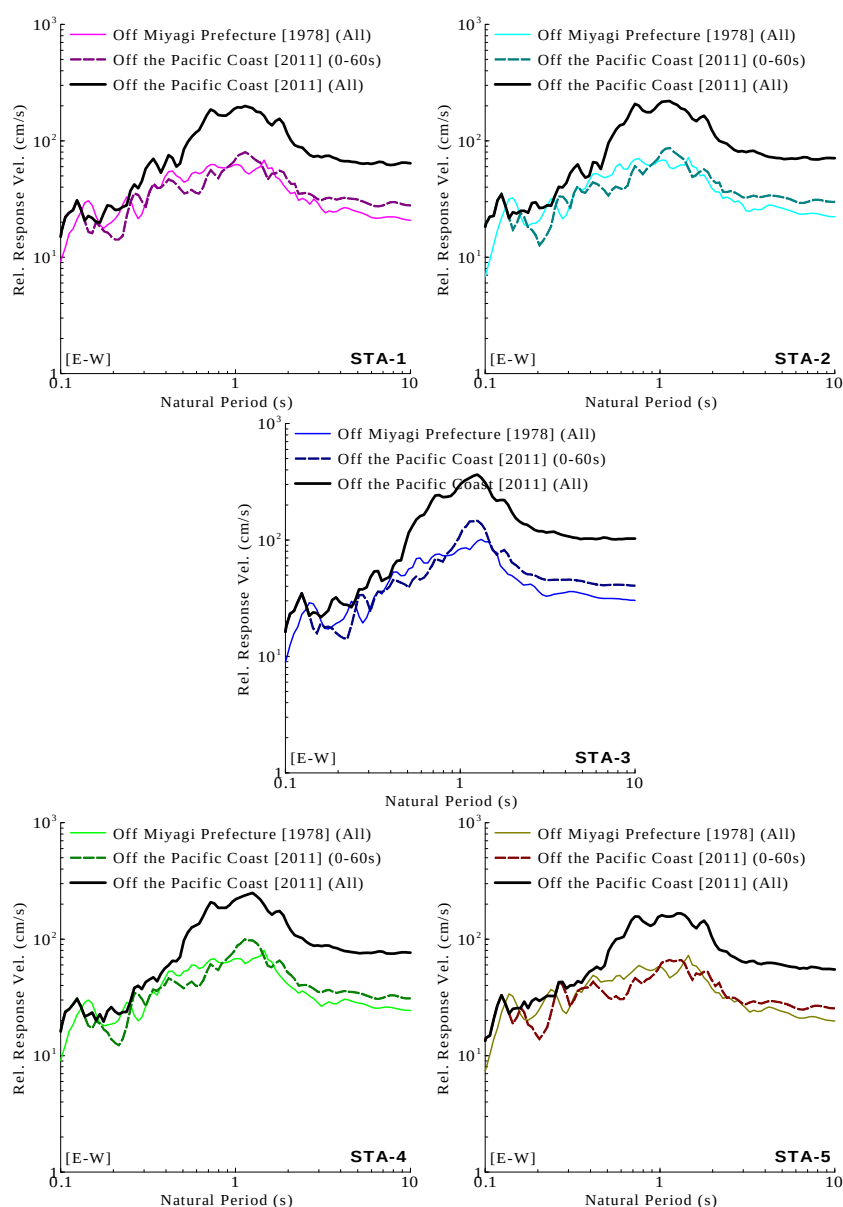


図-23 1978年宮城県沖地震と2011年東北地方太平洋沖地震における南光台での相対速度応答スペクトルの比較（E-W成分）

ない。しかしながら、他地点と比較してSTA-3の速度振幅（最大速度値PGV）ならびに加速度振幅（最大加速度値PGA）が大きくなっており、その傾向はE-W成分でより顕著に表れていることが読み取れる。

図-21は、対象5地点（STA-1～5）での推定地震動の加速度時刻歴（図-20参照）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-21に示すとおり、N-S成分およびE-W成分ともにSTA-3の応答スペクトルが0.5sよりも長周期帯域で他者を上回っていることが読み取れる。これは、1978年宮城県沖地震の推定地震動による相対速度応答スペクトルの比較（図-14参照）と同様の傾向であり、0.5sよりも長周期帯域（2Hzよりも低周波帯域）の地震動の成分が造成宅地の被災に影響を及ぼしている可能性を示唆するものである。

7. 南光台における推定地震動の特徴

(1) 時刻歴波形

図-12と図-19、および図-13と図-20をそれぞれ比較すると、2011年東北地方太平洋沖地震による推定速度・加速度波形は、1978年宮城県沖地震による推定速度・加速度波形に対して、地震動の継続時間が長く、速度・加速度振幅も大きくなっていることが読み取れる。

一方で、1978年宮城県沖地震による推定速度・加速度波形（図-12および図-13参照）と、2011年東北地方太平洋沖地震による推定速度・加速度波形の時刻歴前半部分（0～60s：図-19および図-20参照）を比較すると、波形の特徴（速度振幅、加速度振幅、波形形状など）が比較的類似していることが読み取れる。

(2) 相対速度応答スペクトル

図-22および図-23は、対象5地点(STA-1～5)における対象地震による推定地震動の加速度時刻歴(図-13および図-20参照)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。なお、図-22および図-23には、7.(1)での考察を踏まえて、2011年東北地方太平洋沖地震による推定加速度波形の前半部分(0～60s：図-20参照)による相対速度応答スペクトル(減衰定数5%)についても同時に示している。

図-22および図-23に示すとおり、2011年東北地方太平洋沖地震(波形全体)による応答スペクトルは、1978年宮城県沖地震による応答スペクトルを対象とする周期帯域(0.1～10s)においてほぼ包絡している。一方で、2011年東北地方太平洋沖地震(前半部分)の応答スペクトルは、1978年宮城県沖地震の応答スペクトルと全周期帯域にわたって類似しているのが読み取れる。

したがって、2011年東北地方太平洋沖地震によって対象地点に作用した地震動(波形全体)は、1978年宮城県沖地震によって対象地点に作用した地震動よりもかなり大きなものであったと考えられる。しかしながら、1978年宮城県沖地震および2011年東北地方太平洋沖地震(前半部分)によって対象地点に作用した地震動の大きさには、大きな差異はなかったものと推察される。

8. まとめ

本研究では、1978年宮城県沖地震(Mj7.4)および2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)において仙台市泉区南光台の造成宅地に作用した強震波形を、高密度アレー観測によって得られた中小地震観測記録に基づいて評価した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 仙台市泉区南光台の造成宅地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、造成宅地でのサイト増幅・位相特性を考慮して、1978年宮城県沖地震および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) 高密度地震アレー観測記録に基づいて評価したサイト増幅特性(地震基盤～地表)の南光台の造成宅地内での比較によると、1978年宮城県沖地震ならびに2011年東北地方太平洋沖地震による被災が比較的多く確認されている地点のサイト増幅特性は、周辺のサイト増幅特性と比較して、0.8Hz付近に明瞭なピーク周波数を有している。
- (3) 野津・菅野による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、1978年宮城県沖地震における開北

橋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) 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Small-Titan南光台東小学校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。
- (5) 南光台の造成宅地内での推定地震動は、波形形状に関する差異はそれほど大きくないものの、1978年宮城県沖地震ならびに2011年東北地方太平洋沖地震による被災が比較的多く確認されている地点では、周辺と比較して、速度波形振幅、加速度波形振幅、さらに0.5sよりも長周期帯域の相対速度応答が有意に大きくなっている。
- (6) 上記(2)および(5)の知見を踏まえれば、1978年宮城県沖地震時および2011年東北地方太平洋沖地震時に南光台の造成宅地に作用した地震動のやや短周期帯域の成分が、造成宅地の被災に大きな影響を及ぼしている可能性が高い。
- (7) 2011年東北地方太平洋沖地震による南光台の造成宅地での推定地震動(波形全体)は、1978年宮城県沖地震による推定地震動に対して、地震動の継続時間が長くなっており、相対速度応答スペクトルが全周期帯域(0.1～10s)において上回っている。一方で、1978年宮城県沖地震による地震動と2011年東北地方太平洋沖地震による地震動(前半部分)の特徴(速度振幅、加速度振幅、波形形状など)は比較的類似している。

今後は、推定した強震波形を用いた実験や動的解析などを行うことによって、造成宅地の被災メカニズム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： 神山眞 東北工業大学名誉教授には、数多くの困難の中で得られた貴重なSmall-Titan観測点での地震波形データを提供していただきました。また、国土技術政策総合研究所地震防災研究室より提供を受けた強震記録を利用しました。さらに、(独)防災科学技術研究所K-NETおよび宮城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。宮城県仙台市泉区南光台の住民の皆様には、地震観測の実施などにおいて多大なるご支援をいただきました。ここに記して深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 若井明彦, 佐藤真吾, 三辻和弥, 森友宏, 風間基樹, 古関潤一：東北地方太平洋沖地震による被害調査報告；地域別編 宮城県内陸—仙台市内の造成宅地を中心に—, 地盤工学ジャーナル, Vol.7, No.1, pp.79-90,

- 2012.
- 2) 古関潤一, 若井明彦, 三辻和弥: 東北地方太平洋沖地震災害調査報告—宮城県内陸部の被害—, 地盤工学会誌, Vol.59, No.6, pp.40-43, 2011.
- 3) 羽鳥謙三: 地盤災害—地質学者の覚え書き—, フィールド・スタディ文庫4, (株)之潮, 2009.
- 4) 釜井俊孝: 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.
- 5) 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—, 応用地質, Vol.53, No.6, pp.292-301, 2013.
- 6) 釜井俊孝: 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(第2報), 2011年東北地方太平洋沖地震災害調査報告(2011年6月30日公開版), 京都大学防災研究所斜面災害研究センター, 2011. <http://landslide.dpri.kyoto-u.ac.jp/I-RCL.html>
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 秦吉弥, 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.
- 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ヶ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, 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: 東海村南台団地での地震観測と地震動の評価, 第10回地盤工学会関東支部発表会(Geo-Kanto 2013)発表講演集, No.A0018, 2013.
- 14) 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.
- 15) 釜井俊孝, Aurelian C.T., 村尾英彦: 2004年新潟県中越地震による郊外住宅地の斜面災害, 宅地地盤の安全性と性能評価に関するシンポジウム発表論文集, 地盤工学会, pp.17-24, 2005.
- 16) 釜井俊孝: 平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震による斜面災害, 自然災害科学, Vol.27, No.2, pp.189-198, 2008.
- 17) Wang, G., Suemine, A., Hata, Y. and Kamai, T.: On the initiation and movement of Hanokidaira landslide from the 2011 Tohoku Earthquake, Japan, *Proc. of International Symposium on Earthquake-induced Landslides*, Kiryu, Japan, pp.369-377, 2012.
- 18) 川瀬博: 震源近傍強震動の地下構造による増幅プロセスと構造物破壊能—1995年兵庫県南部地震での震災帯の成因に学ぶ—, 第10回日本地震工学シンポジウムパネルディスカッション資料集, pp.29-34, 1998.
- 19) 秦吉弥, 野津厚, 一井康二, 酒井久和: 盛土構造物の残留変形に影響を及ぼす地震動の周波数帯域に関する基礎的検討, 第32回地震工学研究発表会講演論文集, No.2-239, 2012.
- 20) Housner, G. W.: Intensity of earthquake ground shaking near the causative fault, *Proc. of 3rd World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand, pp.94-115, 1965.
- 21) 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.
- 22) Kamiyama, M., Matsukawa, T. and Anazawa, M.: Strong ground motions observed by Small-Titan during the 2011 Great East Japan Earthquake, *Joint Conference Proc. of 9th International Conference on Urban Earthquake Eng. / 4th Asia Conference on Earthquake Eng.* (CD-ROM), 10p., Tokyo, Japan, 2012.
- 23) 秦吉弥, 秋山充良, 高橋良和, 後藤浩之: 常時微動H/Vスペクトルに基づく2011年東北地方太平洋沖地震における仙台市地下鉄高架橋被災地点での地震動の評価, 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.117-122, 2013.
- 24) 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.
- 25) 建設省土木研究所: 土木構造物における加速度強震記録(No.2), 土木研究所彙報, 第33号, 1978.
- 26) 松岡一成, 片岡正次郎, 金子正洋: 東北地方太平洋沖地震で得られた開北橋の強震記録, 日本地震工学会・大会—2011梗概集, pp.502-503, 2011.
- 27) 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.
- 28) 先名重樹, 安達繁樹, 安藤浩, 荒木恒彦, 藤原広行: 微動探査観測システムの開発, 地球惑星連合大会2006予稿集(CD-ROM), S111-P002, 2006.
- 29) 秦吉弥, 一井康二: 2011年東北地方太平洋沖地震による被災地点周辺の既存強震観測点におけるサイト増幅特性の評価, 広島大学大学院工学研究科研究報告, Vol.61, No.1, 2013.
- 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 (BSSA)*, Vol.73, 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.
- 33) (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.
 - 34) 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.
 - 35) 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.
 - 36) 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 (BSSA)*, Vol.101, No.2, pp.688-700, 2011.
 - 37) 野津厚, 菅野高弘: 経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震動評価手法—内陸活断層地震および海溝型地震への適用性の検討—, 港湾空港技術研究所資料, No.1120, 2006.
 - 38) 野津厚, 菅野高弘: 経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震動評価手法—因果性と多重非線形効果に着目した改良—, 港湾空港技術研究所資料, No.1173, 2008.
 - 39) 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.
 - 40) 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.
 - 41) 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.
 - 42) 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.
 - 43) 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.
 - 44) 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.
 - 45) 野津厚: 2008 年 9 月 11 日十勝沖の地震(M7.1)による地震動のフーリエ位相特性, 第 44 回地盤工学研究発表会講演概要集, No.747, pp.1493-1494, 2009.
 - 46) 野津厚: 2011 年東北地方太平洋沖地震による震源付近の地震動の特徴, 第 66 回土木学会年次学術講演会講演概要集, I-484, pp.967-968, 2011.
 - 47) 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.
 - 48) 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.
 - 49) Hata, Y., Nozu, A., Nakamura, S., Takahashi, Y. and Goto, H.: Strong motion estimation at the elevated bridges of the Tohoku Shinkansen damaged by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake based on extended site effects substitution method, *Proc. of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake*, pp.418-429, Tokyo, Japan, 2012.
 - 50) 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.

(2013. 9. 19 受付)

STRONG MOTION ESTIMATION AT RESIDENTIAL AREA IN NANKODAI, IZUMI WARD, SENDAI CITY FOR THE 1978 OFF MIYAGI PREFECTURE EARTHQUAKE AND THE 2011 OFF THE PACIFIC COAST OF TOHOKU EARTHQUAKE

Yoshiya HATA, Shoko KOMAI, Toshitaka KAMAI,
Gonghui WANG and Atsushi NOZU

In Nankodai, a residential area in Sendai City, a serious damage was caused by the 1978 off Miyagi Prefecture Earthquake (Mj7.4) and the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (Mw9.0). To better understand the mechanism of the damage, it is necessary to have a better understanding on the seismic response of the residential area during the 1978 and 2011 events with high accuracy by taking into account site effects. In this study, we evaluated the seismic waveforms at the damage area based on moderate earthquake observation records with very high density. Furthermore, based on the estimated waveforms, we discussed the characteristics of ground motion which influenced the seismic damage of the residential area. The estimated waveforms and related discussion will be useful in future study of seismic performance of residential areas.