

経験的サイト增幅・位相特性を考慮した 強震動推定手法に基づく既往の大規模地震 における鳴瀬川堤防沿いでの強震動の評価

秦 吉弥¹・酒井久和²・野津 厚³・一井康二⁴・丸山喜久⁵・角田光法⁶

¹正会員 日本工営株式会社 中央研究所 (〒300-1259 茨城県つくば市稻荷原2304)

E-mail: hata-ys@n-koei.jp

²正会員 広島工業大学 工学部建築工学科 (〒731-5193 広島県広島市佐伯区三宅2-1-1)

E-mail: h-sakai@cc.it-hiroshima.ac.jp

³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

⁴正会員 広島大学大学院 工学研究院 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1)

E-mail: ichiikoji@hiroshima-u.ac.jp

⁵正会員 千葉大学大学院 工学研究科 (〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33)

E-mail: ymaruyam@tu.chiba-u.ac.jp

⁶学生会員 広島大学大学院 工学研究科 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1)

E-mail: m113195@hiroshima-u.ac.jp

地震被災事例の分析では、当該地点の地震動を推定することが非常に重要である。本研究では、既往の大規模地震(1978年宮城県沖地震、2003年宮城県北部の地震、2011年東北地方太平洋沖地震)において繰り返し被災している鳴瀬川堤防を対象とし、既往の研究で提案している経験的サイト增幅・位相特性を考慮した地震動の推定手法を適用することにより、各地震における堤防沿いの地震動の評価を行った。具体的には、中小地震観測記録や常時微動H/Vスペクトルの特性などに基づいて、鳴瀬川堤防の個別地点におけるサイト特性をそれぞれ評価し、特性化震源モデルを用いた強震波形計算を行うことで地震動を推定した。その際、2003年宮城県北部の地震に対しては、特性化震源モデルの構築を新たに実施し、鳴瀬川堤防の対象区間への適用性について確認を行った。

Key Words : river dike, strong motion, seismic observation, microtremor measurement, site effects, fault model, the 1978 off Miyagi Prefecture Earthquake, the 2003 northern Miyagi Prefecture Earthquake, the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

1. はじめに

大地震による被災事例をもとに、その原因を評価する上で、当該地点の地震動を精度良く推定することは非常に重要である。例えば、道路盛土や河川堤防のような線状の土構造物では、被災・無被災箇所が混在する事例が多く、各地点における地震動の評価が重要である。しかしながら線状構造物では、地盤震動の特性(サイト特性)や対象断層との位置関係がそれぞれ地点ごとに異なってくる。そのため、道路盛土においては、地点ごとにこれらの特性を考慮した地震動を推定する手法が検討^{1,2,3}されている。

宮城県鳴瀬川堤防では、既往の大規模地震(1978年宮城県沖地震、2003年宮城県北部の地震、2011年東北地方

太平洋沖地震)において河川堤防の被災が数多く発生した。鳴瀬川堤防を対象にした調査・研究^{4,5}が近年盛んに行われているが、当該地点における地震動は十分に明らかになっていない。今後の河川堤防の耐震性評価のためにも、鳴瀬川堤防の被災地点ならびに無被災地点における地震動を推定することは非常に重要である。

そこで本研究では、経験的サイト增幅・位相特性を考慮した強震動評価手法^{6,7}を用いて、1978年宮城県沖地震、2003年宮城県北部の地震、2011年東北地方太平洋沖地震における鳴瀬川堤防沿い(左岸・右岸の11k~31k)での地震動を推定した。その際、1978年宮城県沖地震および2011年東北地方太平洋沖地震では、既往の特性化震源モデル^{8,9,10}を利用した。一方で、2003年宮城県北部の地震については、対象地域における地震動の推定に適した特



図-1 2003年宮城県北部の地震による観測記録の分布



図-2 2011年東北地方太平洋沖地震による観測記録の分布

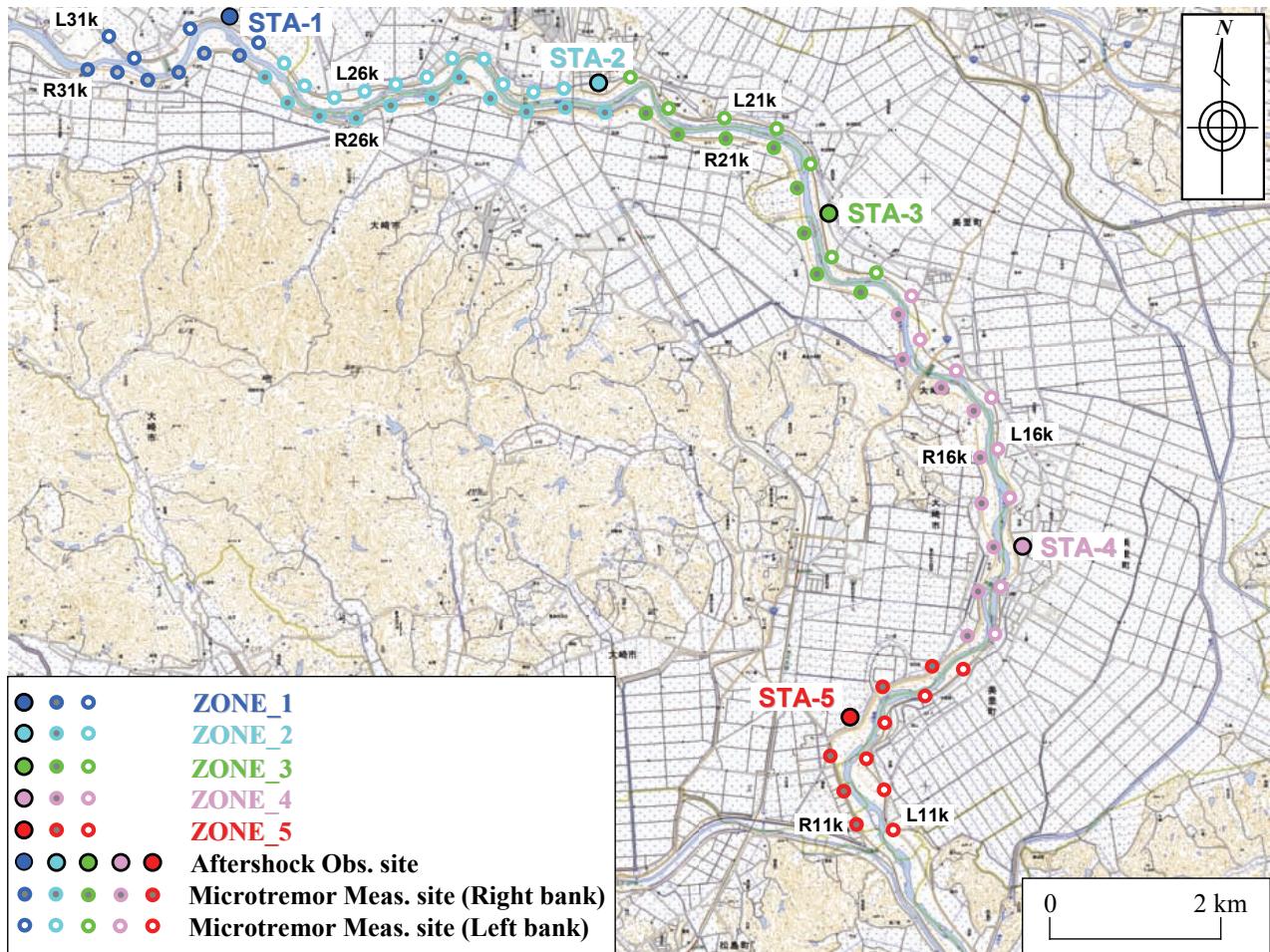


図-3 鳴瀬川堤防沿い(対象区間11k~31k)における地震観測地点・常時微動計測地点と、地盤震動特性によるゾーニング

性化震源モデルの構築が未実施であったため、新たなモデルの提案を行った。

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¹¹⁾、鳴瀬川堤防沿いの対象区間とその周辺の強震観測点におけるサイト增幅特性(3.(4)節参照)のピーク周波数などを

考慮して0.2–3.0Hzの速度波形に主に着目した。

なお、本研究は、(公社)土木学会地震工学委員会によるリスク評価に基づく道路構造物・ネットワークの耐震設計に関する合同委員会(委員長:澤田純男・多々納裕一(京都大学防災研究所教授))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。



写真-1 鳴瀬川堤防沿いでの常時微動計測状況

2. 強震観測記録の整理

本研究では、図-1、図-2、図-3に示すように鳴瀬川堤防沿いにおける左岸ならびに右岸の11k～31kを検討対象とする(以後、対象区間と呼ぶ)。図-1および図-2は、対象区間周辺における既存強震観測点^{12),13),14)}の分布と、2003年宮城県北部の地震および2011年東北地方太平洋沖地震において得られた強震観測記録(最大加速度PGA、気象庁計測震度)をそれぞれ示したものである。なお、1978年宮城県沖地震では、後述する開北橋において本震観測記録が得られている。図-1および図-2に示すように、対象流域周辺では、宮城県の震度観測点(役所名は2012年9月現在のもので統一)のほかに、気象庁¹²⁾や(独)防災科学技術研究所¹³⁾の強震観測点(JMA涌谷やK-NET古川など)も存在している。また、比較的近傍の位置関係にある観測点間(例えば、美里町役場と松山支所、南郷支所と鹿島台支所など)でも、本震観測記録の特性に差異が生じておらず、両観測点間でのサイト特性の違いによるものである推察される。すなわち、対象区間の被災・無被災の各地点における地震動の評価のためには、当該地点のサイト特性を適切に評価する必要がある。

3. サイト特性の評価

(1) 常時微動計測の実施

本検討では、対象区間での地盤震動特性を把握することなどを目的として、図-3に示すように、鳴瀬川堤防沿い(左岸ならびに右岸の11k～31k)を対象に概ね0.5kの間隔で常時微動計測を実施した(ただし、右岸27.5kおよび左岸30.0kでは未実施である)。また、後述する余震観測地点でも同様に常時微動計測を実施した。写真-1に左岸

11.0kでの常時微動計測状況を示す。計測地点は全て堤内地側(余震観測地点での計測は堤外地側)の主に堤体法尻付近であり、計測機器¹⁵⁾は物探サービス(株)製GEO-NET1-2S3D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^{16),17)}では、水平2成分の平均をとった。計測時間は、1計測点あたり11分間とし、サンプリング周波数は100Hzとした。雑振動が大きい場合には、時間帯や実施日を変えて再度計測を行った。

図-4および図-5に左岸および右岸における常時微動計測結果(常時微動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^{16),17)}を採用した。すなわち、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、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い、バンド幅0.05HzのParzen Windowで平滑化したのちに、常時微動H/Vスペクトルを算出し、その平均をとった。評価振動数範囲としては、使用した微動計測器の性能¹⁵⁾および強震波形計算の再現性⁷⁾などを考慮して0.2～10Hzとした。

図-4および図-5に示すとおり、常時微動H/Vスペクトルの形状やピーク周波数を比較すると、計測地点ごとの差異が比較的小さい区間と大きい区間が見受けられる。例えば、上流側では0.3Hzならびに1Hz付近にピーク周波数を有するスペクトル形状を有しているのに対し、下流側では0.3Hz付近のピーク周波数は不明瞭で1Hz付近のピーク周波数がより顕著に表れている。

(2) ゾーニングの実施

本検討では、図-3、図-4、図-5に示すように常時微動H/Vスペクトルによる地盤震動特性に基づいて対象流域のゾーニングを実施した。ゾーニングの方法としては、私見に基づく方法^{2),3)}、アンケート調査結果に基づく方法¹⁸⁾、DGS値^{19),20),21)}に基づく方法などが考えられるが、本検討ではDGS値を用いた定量的方法を採用した。DGS値は常時微動H/Vスペクトルの2地点間(STATION_1-5:後述する5つの余震観測地点、SITE:常時微動計測地点)の比率の常用対数をとり、対象周波数fの範囲(0.2～3Hz)において積分した値^{19),20),21)}であり次式で表わされる。

$$DGS = \sum \left| \log \left(\frac{R_{SITE}(f)}{R_{STATION_1-5}(f)} \right) \right| \cdot \Delta f \quad (1)$$

各余震観測地点では、(1)式での分子と分母が同値となり、DGS値は0.0となる。常時微動の各計測点におけるDGS値を5つの余震観測点に対してそれぞれ計算し、DGS値が最も0.0に近くなるゾーンを探査することで、図-3、図-4、図-5に示すように対象区間を5つのゾーンに分割した。

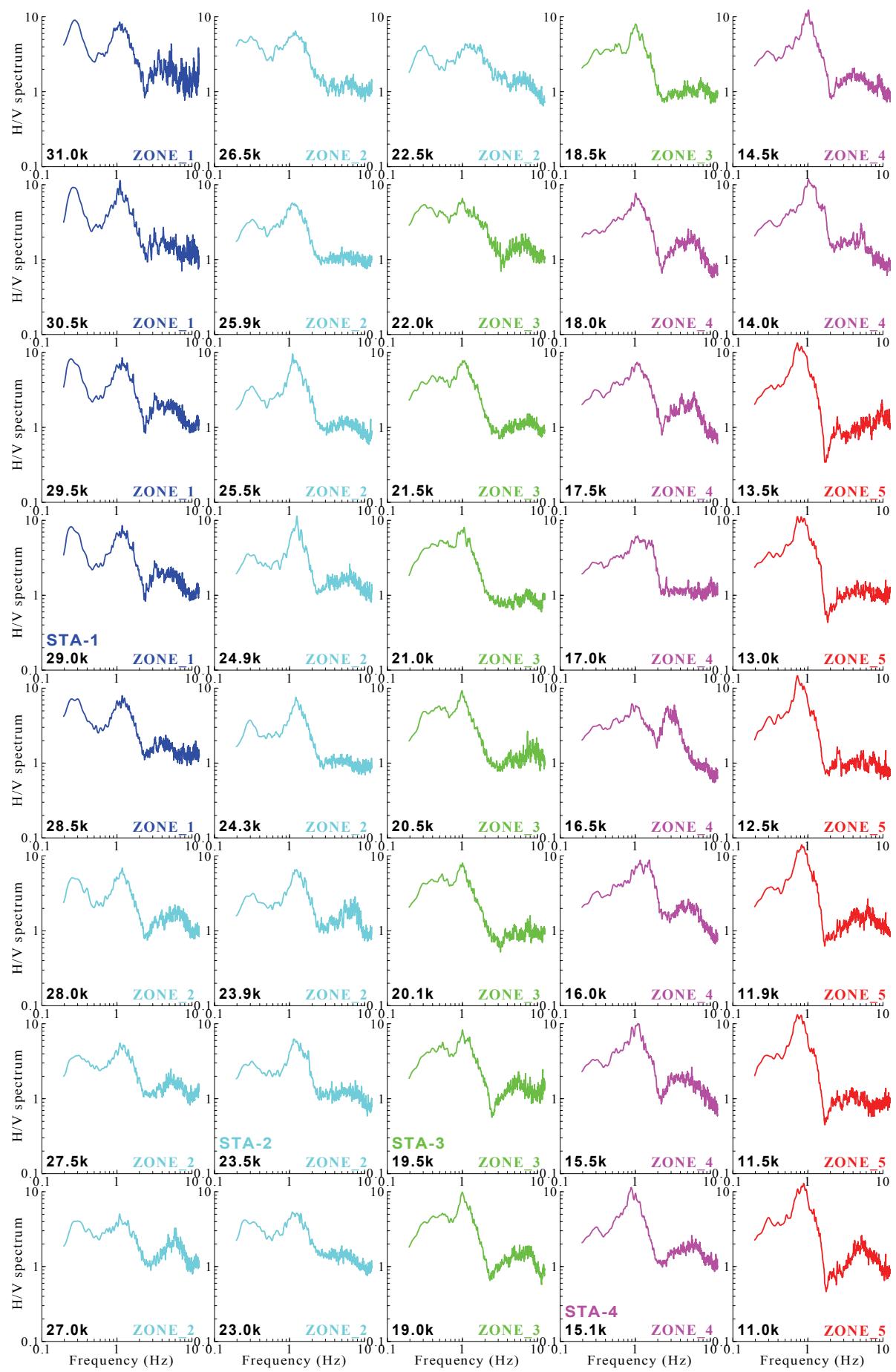


図4 鳴瀬川堤防(11k~31k)の左岸における常時微動H/Vスペクトル (STA-1～STA-4は余震観測地点)

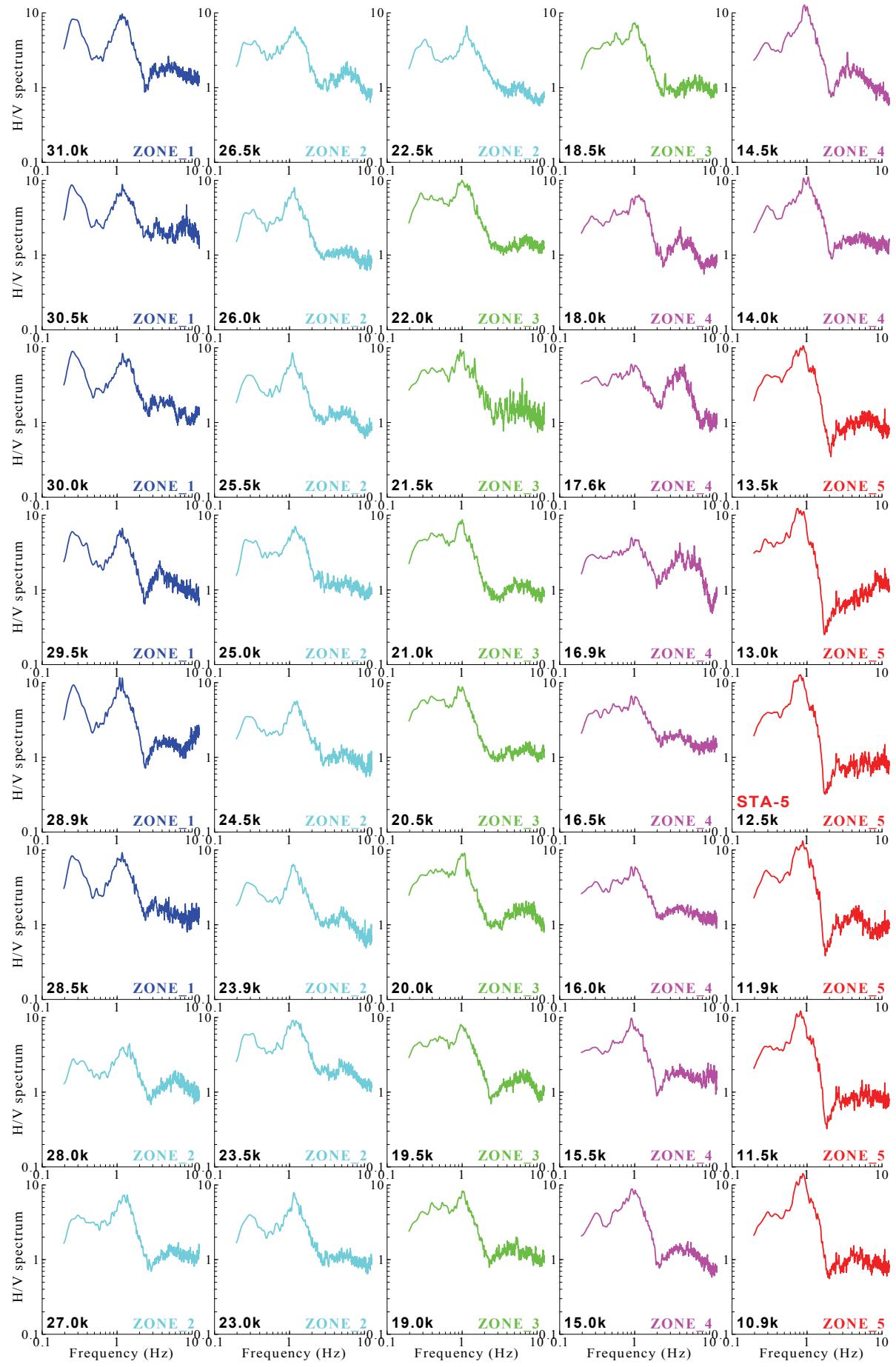


図-5 鳴瀬川堤防(11k~31k)の右岸における常時微動H/Vスペクトル (STA-5は余震観測地点)

表-1 鳴瀬川堤防の余震観測地点(左岸29.0k, 左岸23.5k, 左岸19.5k, 左岸15.1k, 右岸12.5k)で得られた中小地震観測記録の一覧

No.	Year/Month/Day	Hour : Min. (JST)	Latitude (deg.)	Longitude (deg.)	Depth (km)	Source region	JMA Mag.
EQ-01	2011/11/02	10:43	39.005	141.775	63	Off Iwate Pref.	Mj4.3
EQ-02	2011/11/17	17:34	38.806	142.035	47	Off Miyagi Pref.	Mj4.7
EQ-03	2011/11/20	08:48	38.438	142.202	37	Off Miyagi Pref.	Mj4.1
EQ-04	2011/11/20	10:23	36.710	140.587	9	Northern Ibaraki Pref.	Mj5.3
EQ-05	2011/11/20	10:25	36.720	140.622	4	Northern Ibaraki Pref.	Mj4.8
EQ-06	2011/11/24	04:24	37.330	141.612	45	Off Fukushima Pref.	Mj6.1
EQ-07	2011/11/24	19:25	41.750	142.887	43	Off Urakawa	Mj6.2
EQ-08	2011/11/26	10:43	38.845	142.112	44	Off Miyagi Pref.	Mj4.5
EQ-09	2011/11/27	10:07	37.622	141.597	46	Off Fukushima Pref.	Mj4.2
EQ-10	2011/11/29	03:53	38.627	141.928	48	Off Miyagi Pref.	Mj4.4
EQ-11	2011/12/02	09:50	38.185	141.775	56	Off Miyagi Pref.	Mj4.6
EQ-12	2011/12/03	13:16	38.883	141.978	50	Off Miyagi Pref.	Mj4.4
EQ-13	2011/12/03	15:42	37.343	141.567	44	Off Fukushima Pref.	Mj4.3
EQ-14	2011/12/05	04:20	38.178	141.767	56	Off Miyagi Pref.	Mj4.4
EQ-15	2011/12/06	10:26	38.025	141.860	46	Off Miyagi Pref.	Mj4.4
EQ-16	2011/12/08	04:26	38.113	142.718	30	Off Miyagi Pref.	Mj4.6
EQ-17	2011/12/12	11:34	38.242	142.198	39	Off Miyagi Pref.	Mj4.3
EQ-18	2011/12/18	15:08	38.652	142.153	42	Off Miyagi Pref.	Mj4.5
EQ-19	2011/12/20	15:26	40.055	142.698	29	Off Iwate Pref.	Mj5.0
EQ-20	2011/12/21	11:06	39.632	142.110	49	Off Iwate Pref.	Mj4.7
EQ-21	2011/12/22	05:10	36.977	141.160	30	Off Fukushima Pref.	Mj4.6
EQ-22	2011/12/27	16:33	38.283	142.130	36	Off Miyagi Pref.	Mj4.3
EQ-23	2012/01/01	14:27	31.427	138.565	397	Near Tori Island	Mj7.0
EQ-24	2012/01/06	01:47	38.715	142.352	36	Off Miyagi Pref.	Mj4.9
EQ-25	2012/01/06	08:28	37.495	141.932	29	Off Fukushima Pref.	Mj4.5
EQ-26	2012/01/07	19:43	37.230	141.422	56	Off Fukushima Pref.	Mj4.7
EQ-27	2012/01/09	07:13	39.340	142.063	48	Off Iwate Pref.	Mj5.1
EQ-28	2012/01/12	12:20	36.967	141.303	33	Off Fukushima Pref.	Mj5.9
EQ-29	2012/01/12	14:37	38.377	142.622	28	Off Miyagi Pref.	Mj5.5
EQ-30	2012/01/14	18:57	40.143	142.472	34	Off Iwate Pref.	Mj4.7
EQ-31	2012/01/18	17:55	38.618	141.908	48	Off Miyagi Pref.	Mj4.3
EQ-32	2012/01/23	20:45	37.058	141.190	51	Off Fukushima Pref.	Mj5.1
EQ-33	2012/01/26	05:42	38.175	141.692	51	Off Miyagi Pref.	Mj5.2
EQ-34	2012/01/28	09:22	40.152	142.426	36	Off Iwate Pref.	Mj5.7
EQ-35	2012/02/08	21:01	37.865	138.170	14	Near Sado Island	Mj5.7
EQ-36	2012/02/10	06:52	38.382	140.800	107	Center Miyagi Pref.	Mj4.4
EQ-37	2012/02/12	04:55	38.725	142.187	42	Off Miyagi Pref.	Mj4.6
EQ-38	2012/02/14	12:27	36.220	141.633	59	Off Ibaraki Pref.	Mj5.6
EQ-39	2012/02/14	15:21	36.217	141.597	54	Off Ibaraki Pref.	Mj6.0
EQ-40	2012/02/15	15:28	37.780	141.632	47	Off Fukushima Pref.	Mj4.8
EQ-41	2012/02/16	14:09	38.545	142.075	42	Off Miyagi Pref.	Mj4.3
EQ-42	2012/02/19	14:54	36.750	140.588	7	Northern Ibaraki Pref.	Mj5.2

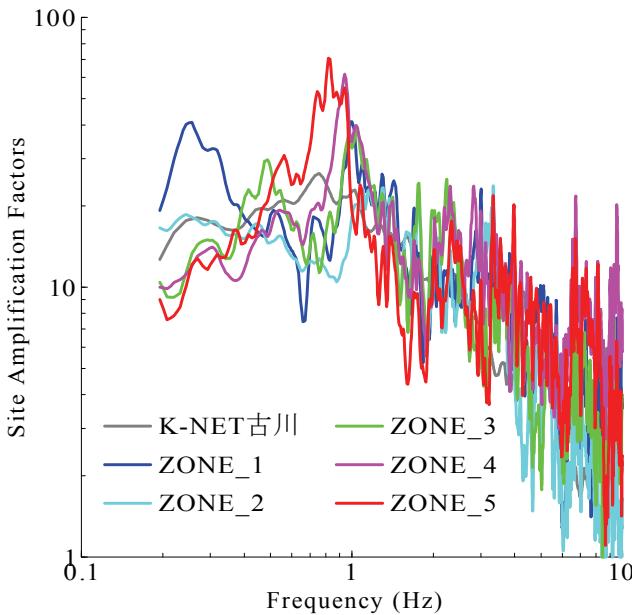


図-6 鳴瀬川堤防の地震観測地点におけるサイト增幅特性

(3) 中小地震観測の実施

本検討では、左岸29.0k, 左岸23.5k, 左岸19.5k, 左岸15.1k, 右岸12.5k(いずれも堤外地側)の計5地点においてボアホール型地震計¹⁵⁾²²⁾を埋設し、中小地震観測を実施した。地震計のサンプリング周波数は100Hzとした。トリガー加速度レベルは設定せず、常時観測を継続するシステム¹⁵⁾²²⁾を採用した。地震計は東京測振(株)製AS-3250A、データロガーは白山工業(株)製LS-7000XTを使用した。観測期間は、2011年11月1日～2012年2月20日までの約3か月間で全5地点において共通である。表-1に観測された主要な地震の一覧を示す。表-1に示すとおり、得られた地震記録の大半は、2011年東北地方太平洋沖地震の震源域で発生した中小地震(余震)の記録である。

(4) サイト增幅特性の評価

図-6に対象区間内での地震観測地点(左岸29.0k, 左岸23.5k, 左岸19.5k, 左岸15.1k, 右岸12.5k)におけるサイト增幅特性の推定結果を示す。同図には、比較対象としてK-NET古川におけるサイト增幅特性²³⁾についても示す。なお、本稿におけるサイト增幅特性は、全て地震基盤～地表の地震動の增幅特性である。サイト增幅特性は、中小地震観測記録を利用し、既存強震観測点とのスペクトル比に基づいて設定¹⁷⁾²⁰⁾²⁴⁾した。具体的には、対象区間内での地震観測地点と、K-NET古川で同時に得られた中小地震の観測記録(表-1参照)を対象に、2地点間の距離の違いによる補正²⁵⁾²⁶⁾を考慮したフーリエスペクトルの比率を計算し、この比率をK-NET古川におけるサイト增幅特性²³⁾に掛け合わせることによって設定した。図-7に

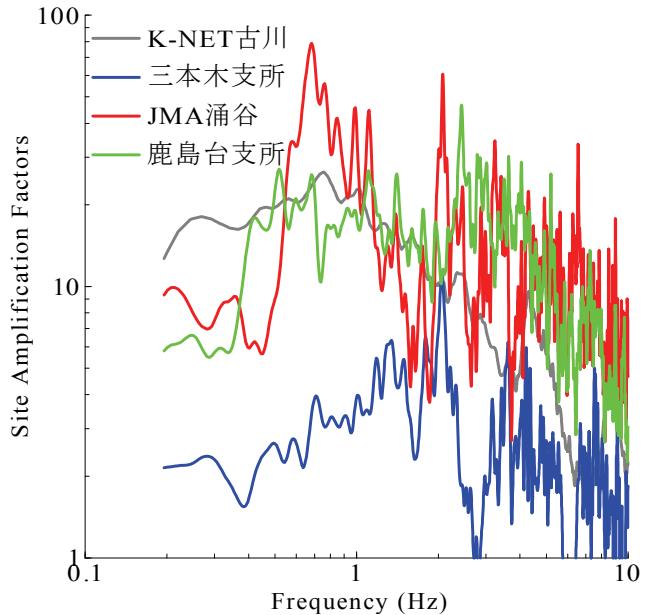


図-7 鳴瀬川堤防周辺の既存強震観測点でのサイト增幅特性¹⁷⁾

は、比較対象として対象流域周辺の既存強震観測点におけるサイト增幅特性¹⁷⁾を示す。

図-6と図-7を比較すると、対象区間内での地震観測地点におけるサイト增幅特性は、周辺のK-NET古川やJMA涌谷などのものと特徴が大きく異なっている。さらに、図-6に示すように、対象区間内においてもサイト增幅特性の特徴が異なっている。すなわち、3.(1)の常時微動H/Vスペクトルの差異からも推論されるとおり、対象区間内でも本震時の地震動は、1つに代表させるのが極めて困難であることが改めて確認できる。

4. 地震動評価手法

(1) 特性化震源モデル

a) 1978年宮城県沖地震

1978年宮城県沖地震による地震動の推定には野津・菅野⁸⁾⁹⁾によるアスペリティモデルを採用した。図-8にアスペリティと対象地域の位置関係、表-2にモデルパラメターの一覧を示す。この震源モデルは、開北橋(図-8参照)での本震観測記録の速度波形やフーリエスペクトルを一定の精度で評価可能なモデルである。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の提案値²⁷⁾に基づいている。すなわち、破壊伝播は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²⁸⁾を採用している。

表-2 1978年宮城県沖地震の特性化震源モデルのパラメター

断層パラメター	AP_1	AP_2
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(sec)	0.25	0.25

表-3 2003年宮城県北部の地震の特性化震源モデルのパラメター

断層パラメター	AP_1	AP_2	AP_3
破壊開始時刻(h:m:s)	07:13:31.5	07:13:32.4	07:13:34.1
地震モーメント(Nm)	2.0×10^{17}	4.0×10^{16}	7.0×10^{17}
長さ(km)	2.0	1.5	4.0
幅(km)	2.0	1.0	3.5
面積(km ²)	4.0	1.5	14.0
ライズタイム(sec)	0.21	0.13	0.39

表-4 2011年東北地方太平洋沖地震の特性化震源モデルのパラメター

断層パラメター	SA1_1	SA1_2	SA1_3	SA2	SA3_1	SA3_2	SA3_3
破壊開始時刻(h:m:s)	14:46:43.5	14:46:46.9	14:47:33.4	14:47:26.3	14:47:57.1	14:48:04.4	14:48:15.0
地震モーメント(Nm)	8.0×10^{18}	8.0×10^{18}	4.0×10^{18}	2.1×10^{19}	3.0×10^{18}	3.0×10^{18}	5.0×10^{18}
長さ(km)	3.0	4.0	4.0	3.5	3.0	3.0	6.0
幅(km)	2.0	3.0	2.0	3.0	4.0	4.0	2.0
面積(km ²)	6.0	12.0	8.0	10.5	12.0	12.0	12.0
ライズタイム(sec)	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2
サイト位相特性として採用する余震	EQ-29	EQ-29	EQ-29	EQ-29	EQ-32	EQ-32	EQ-32

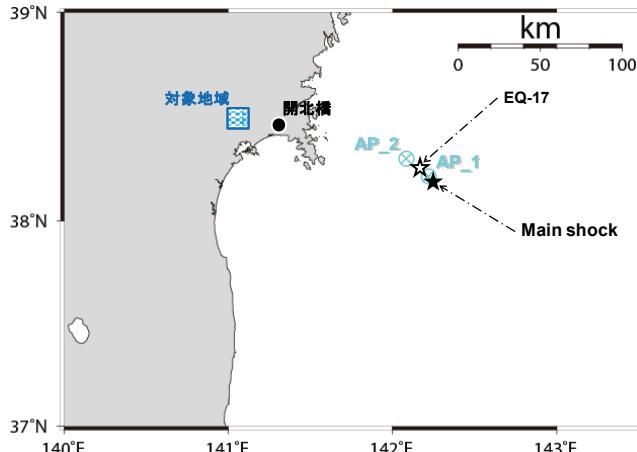


図-8 1978年宮城県沖地震の特性化震源モデル

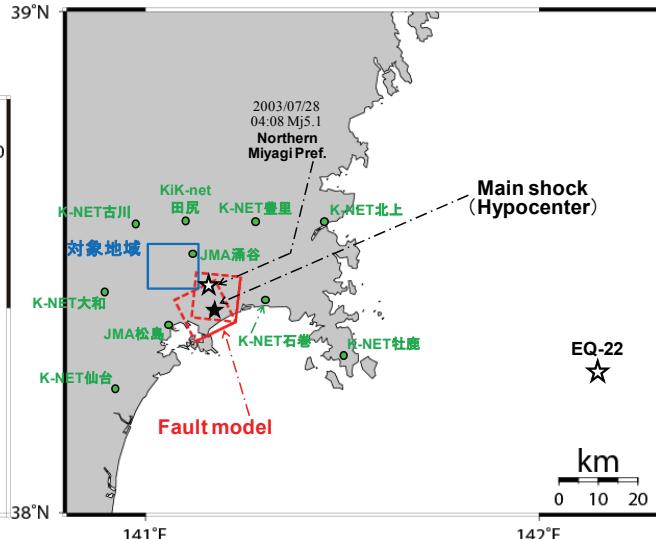


図-9 2003年宮城県北部の地震の矩形断層モデルと周辺観測点

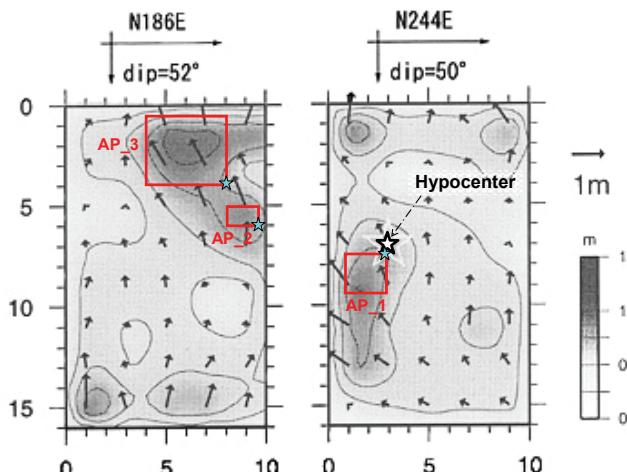


図-10 2003年宮城県北部の地震の特性化震源モデル[文献28]に加筆

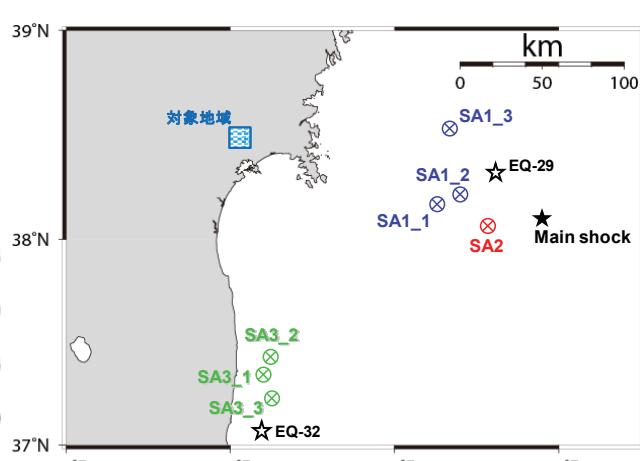


図-11 2011年東北地方太平洋沖地震の特性化震源モデル

b) 2003年宮城県北部の地震

2003年宮城県北部の地震に関しては、対象地域における地震動の推定に適した特性化震源モデルがこれまで構築されていないため、本研究で新たに震源モデルの構築を行った。まず、断層面としては、文献28)に基づき、余震分布に基づく西傾斜の断層面(走向186deg・傾斜52deg)と北西傾斜の断層面(走向244deg・傾斜50deg)の2枚の断層面を仮定した。気象庁の震源(図-9のMain shock(Hypocenter))は後者の断層面上にある。断層面の長さは10km、幅は15kmであり、2枚の断層面で共通である。これらの断層面を地表面に垂直に投影したものを図-9に示す。図-10に示す波形インバージョンによる最終すべり量分布²⁸⁾において、比較的すべり量の大きい領域に矩形のアスペリティを3つ配した特性化震源モデルを試行錯誤の結果により構築した。

表-3に特性化震源モデルの断層パラメーターの一覧を示す。破壊伝播は、図-10の小さい☆印から放射状に広がると仮定²⁹⁾し、その速度は2.6km/sとした。ライズタイムについては、アスペリティの幅と破壊伝播速度から片岡らの経験式³⁰⁾で算定される値とした。基盤のS波速度は3.5km/s、密度は2.7t/m³とした。 Q 値については、東日本の内陸部での推定値²⁶⁾を採用した。

c) 2011年東北地方太平洋沖地震

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¹⁰⁾によるスーパーアスペリティモデルを採用した。図-11に宮城県沖ならびに福島県沖におけるスーパーアスペリティと対象地域の位置関係、表-4にモデルパラメーターの一覧を示す。この震源モデルは、太平洋沿岸沿いの既存強震観測点で得られた本震観測記録の速度波形やフーリエスペクトルを一定の精度で評価可能なモデルである。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²⁷⁾に基づいて基盤のS波速度は3.9 km/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²⁶⁾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、上述した1978年宮城県沖地震の震源モデルのパラメーターと同様である。

(2) 計算手法

本研究では、経験的サイト增幅・位相特性を考慮した強震動評価手法^{6,7)}を適用した。この方法では、まず式(2)により統計的グリーン関数を生成する。

$$A(f) = S(f) \cdot P(f) \cdot G(f) \cdot \frac{O(f)}{|O(f)|_p} \quad (2)$$

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²⁵⁾で実数、 $P(f)$ は伝播経路特性²⁵⁾で実数、 $G(f)$ はサイト增幅特性(3.(4)節参照)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(2)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(2)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³¹⁾を行うことで、大地震による波形が求まる。なお、Parzen Window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⁷⁾。

(3) サイト位相特性の評価

フーリエ位相特性(対象地点での中小地震観測記録のフーリエ変換 $O(f)$)の取り扱いについては、観測波と置換波による比較検討^{32,33)}を行い、対象地震ごとにそれぞれ適切な中小地震を選定した。具体的には、1978年宮城県沖地震では、図-8に示すように、当該地震のアスペリティの近傍で発生したEQ-17(東北地方太平洋沖地震の余震；表-1参照)を採用した。この地震は、1978年宮城県沖地震の本震を観測した開北橋では観測されていないため、次節で述べる検証に用いることはできないが、発生位置の観点から選定した。2011年東北地方太平洋沖地震では、図-11に示すように、宮城県沖および福島県沖にあるスーパーアスペリティの近傍で発生した余震であるEQ-29とEQ-32(表-1参照)をサブイベントごとにそれぞれ使い分けた。これらの地震は次節で述べる検証にも利用する。2003年宮城県北部の地震に関しては、対象地点ごとに中小地震観測記録を使い分けた(詳細については次節で述べる)。具体的には、対象地域に比較的近いJMA涌谷、K-NET古川、K-NET大和(図-9参照)では、EQ-22(表-1参照)を採用した。その他の観測点(JMA松島、K-NET仙台、KiK-net田尻、K-NET豊里、K-NET石巻、K-NET牡鹿、K-NET北上)では、図-9に示すように震源断層内での余震(2003/07/28 04:08 Mj5.1 14km)を採用した。

(4) 適用性の確認

a) 1978年宮城県沖地震

図-12は、開北橋(図-8参照)での1978年宮城県沖地震による速度波形(観測波)と地震動推定結果(推定波)を比較^{8,9)}したものである。なお、両波形は、ともに0.2–3.0Hzのバンドパス・フィルタを施した速度波形となっている。また、先に述べたように、鳴瀬川堤防での地震動の推定に用いる予定のEQ-17は開北橋で観測されていないため、

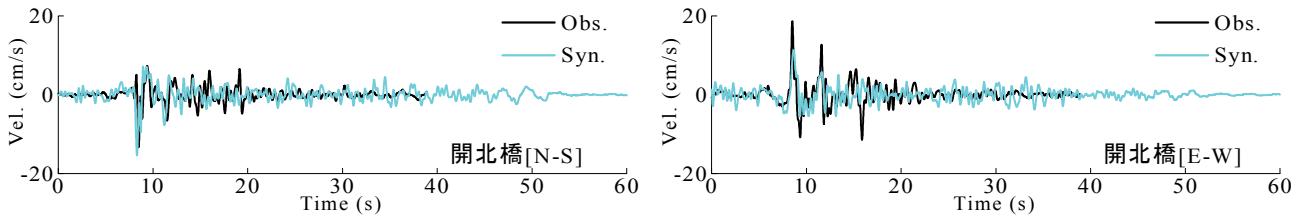


図-12 1978年宮城県沖地震による開北橋での強震観測記録の再現（速度波形：0.2–3.0Hz）[文献8)9)に加筆]

ここでは文献8)9)と同様、2005年宮城県沖の地震の余震（2005/10/24 18:34 Mj4.8 39km）を用いた。図-12に示すとおり、速度パルスの振幅や周期の再現性を確認することができ、観測波と推定波は良い一致を示している。すなわち、野津・菅野による既往の特性化震源モデルの妥当性が改めて確認できる。さらに、図-8に示すとおり、開北橋は、対象地域とアスペリティモデルの間に位置していることから、対象地域における1978年宮城県沖地震での地震動を一定の精度で推定できる可能性が示唆される。

b) 2003年宮城県北部の地震

図-13は、対象観測点(図-9参照)での2003年宮城県北部の地震による速度波形(0.2–3.0Hz)を観測波と推定波で比較したものである。なお、図-13における推定波のフーリエ位相特性は、断層内で発生した余震(2003/07/28 04:08 Mj5.1 14km)により観測点で得られたフーリエ位相特性に基づいている。図-13に示すとおり、観測波と推定波は全体に良い一致を示しているものの、対象地域の西側に位置するK-NET古川およびK-NET大和では周期3秒程度の後続位相が過小評価となっている。ここで、図-4および図-5の常時微動観測結果に立ち返ると、対象区間の中で比較的西に位置するZONE_1等では常時微動H/Vスペクトルに周期3秒程度のピークが見られ、K-NET古川と同様、周期3秒程度の地震動が生じやすいゾーンである可能性がある。従って、同様の条件で鳴瀬川堤防での地震動を推定すると、ゾーンによっては周期3秒程度の後続位相を過小評価することが懸念される。

そこで、図-14に基づき、K-NET古川等において後続位相が過小評価となっている原因を考察する。図-10に示すとおり、当該地震の断層面上ですべり量の大きい部分は比較的浅い所に集中しており、周期3秒程度の地震動は主にここから励起されたと考えられる。これとK-NET古川周辺の盆地構造の影響により長周期の後続位相が生成されたと考えられる。しかしながら、上記で選定した余震(2003/07/28 04:08 Mj5.1 14km)はより深い所で発生しており、盆地構造への入射角が異なるために後続位相の一一致度が低下しているものと推察される。当該地震の余震は断層面の深部で発生しているものが多く、断層面の浅部で発生した中小地震の選択は困難である。

そこで、対象地域を取り囲むように存在するJMA涌谷、K-NET古川、K-NET大和でのフーリエ位相特性として、盆地構造への入射角という観点では類似している宮城県沖の中小地震(EQ-22：図-9および表-1参照)を採用した結果を図-15に示す。なお、ここでは、表層地盤の非線形応答の効果を考慮してグリーン関数を補正する方法⁹⁾¹⁰⁾を採用している。具体的には、堆積層における平均的なS波速度の低下率を表すパラメーターとして $\nu_1=0.90$ 、堆積層における平均的な減衰定数の増分を表すパラメーターとして $\nu_2=0.005$ をそれぞれ採用し、非線形性の影響を考慮した波形合成を行った。図-15に示すとおり、前述の推定結果(図-13参照)と比較して推定精度が明らかに向上しており、観測波と推定波が良い一致を示している。

図-16、図-17、図-18は、観測波と推定波のフーリエ振幅スペクトル、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%)をそれぞれ比較したものである。ここに、JMA涌谷、K-NET古川、K-NET大和でのフーリエ位相特性について、EQ-22を採用している。図-16、図-17、図-18に示すように、観測波と推定波のスペクトルが良い一致を示している。

以上のように、本稿で提案した2003年宮城県北部の地震の特性化震源モデルとEQ-22の観測記録を利用することにより、対象地域を取り囲むように存在するJMA涌谷、K-NET古川、K-NET大和での地震動がいずれも良好に再現できることから、鳴瀬川堤防における地震動の推定も同様の条件で実施することとした。

c) 2011年東北地方太平洋沖地震

図-19は、対象地域に比較的近いJMA涌谷およびK-NET古川での2011年東北地方太平洋沖地震による速度波形(0.2–3.0Hz)を観測波と推定波で比較したものである。なお、K-NET大和では、4.(3)で選定したEQ-29の観測記録が得られていない。また、ここでも、表層地盤の非線形応答の効果を考慮してグリーン関数を補正する方法⁹⁾¹⁰⁾を採用しており、非線形パラメーターとして $\nu_1=0.80$ および $\nu_2=0.030$ をそれぞれ採用し、非線形性の影響を考慮した波形合成を行った。図-19に示すとおり、観測波と推定波は良い一致を示しており、野津によるスーパー・アスペリティモデルと強震波形計算手法の対象地域への適

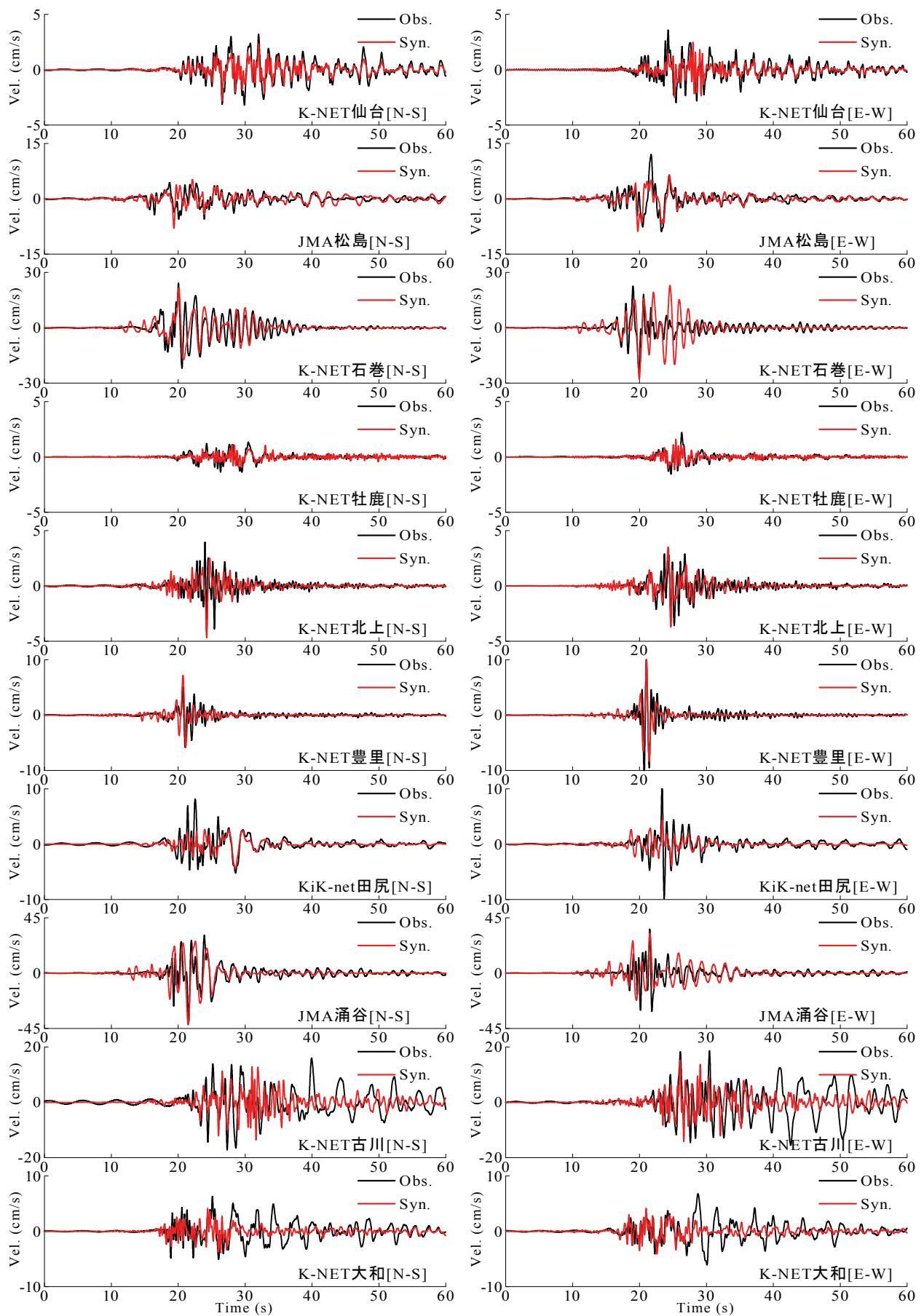


図-13 2003年宮城県北部の地震による震源域周辺の観測点での強震観測記録の再現 (速度波形: 0.2–3.0Hz)

(断層内で発生した余震の位相を用いた場合)

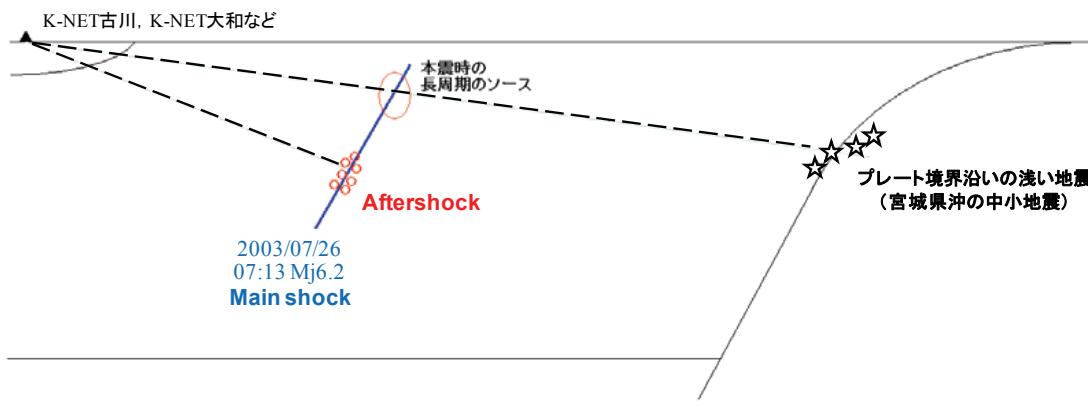


図-14 2003年宮城県北部の地震によるサイト位相特性に関する一考察

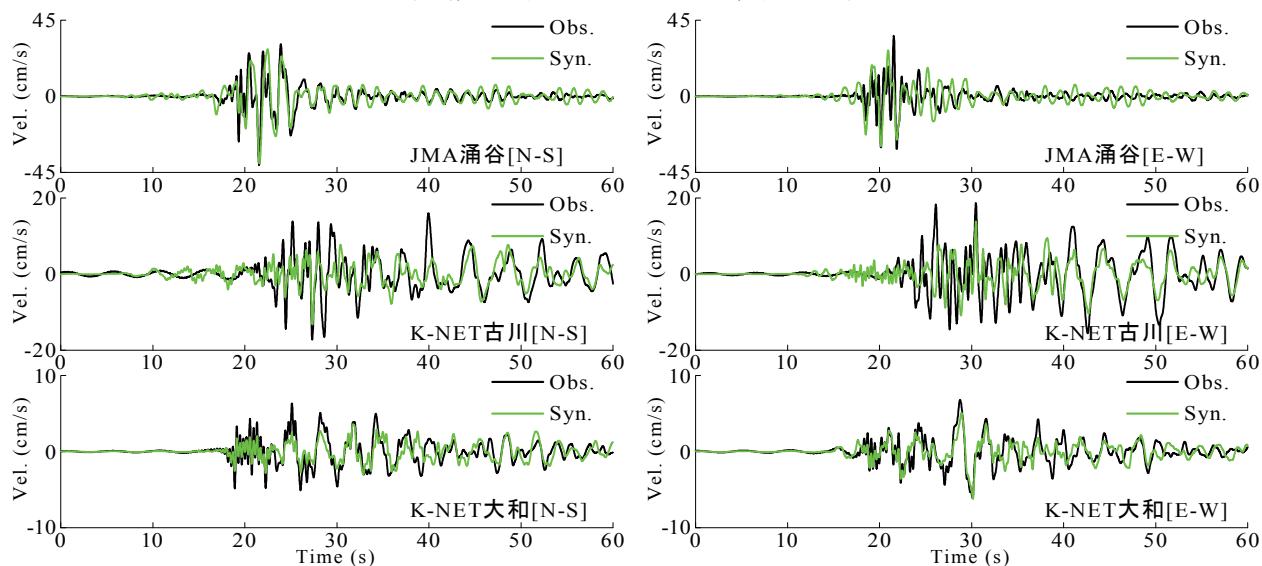


図-15 2003年宮城県北部の地震による鳴瀬川堤防周辺の観測点での強震観測記録の再現（速度波形：0.2–3.0Hz）
(EQ-22の位相を用いた場合)

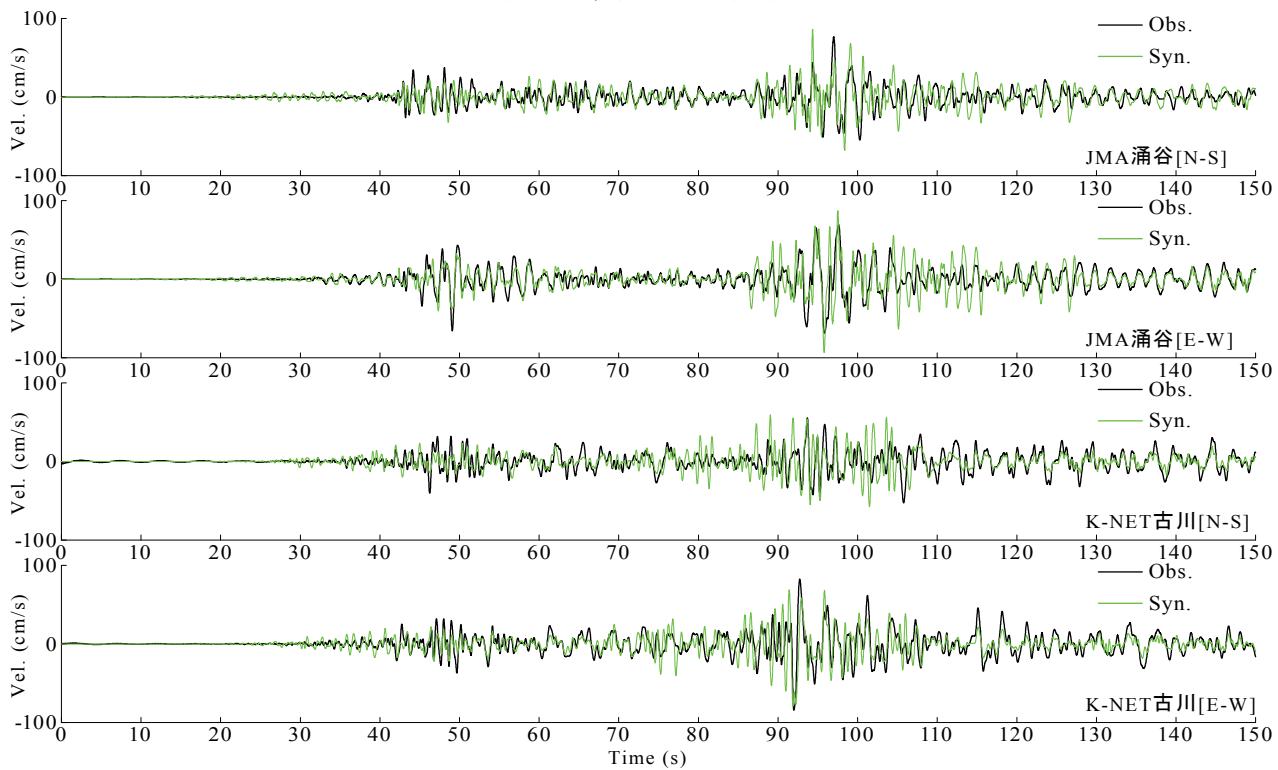


図-19 2011年東北地方太平洋沖地震によるJMA涌谷およびK-NET古川での強震観測記録の再現（速度波形：0.2–3.0Hz）

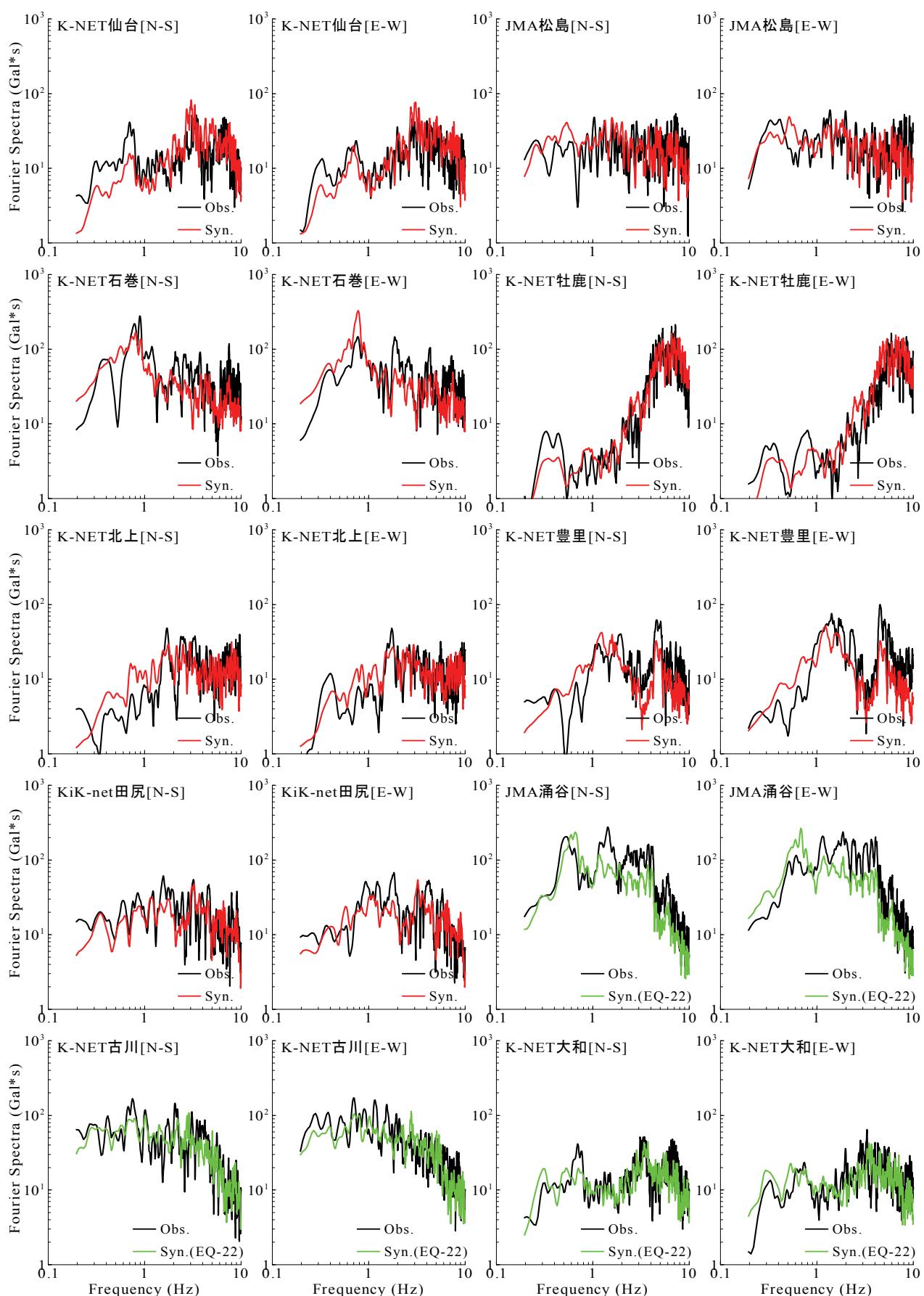


図-16 2003年宮城県北部の地震による鳴瀬川堤防周辺の観測点でのフーリエスペクトルの再現 (Parzen Window(0.05Hz))

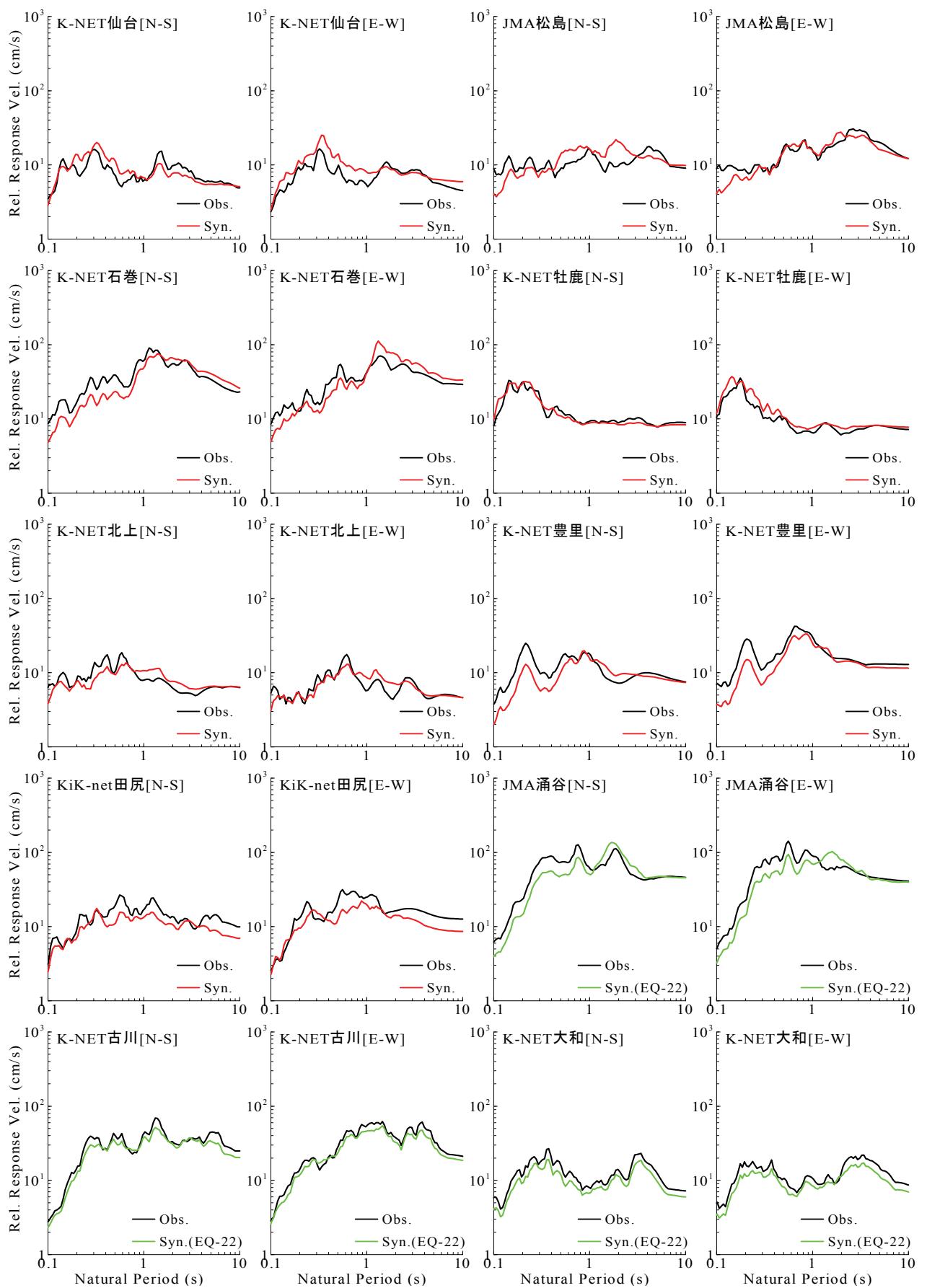


図-17 2003年宮城県北部の地震による鳴瀬川堤防周辺の観測点での相対速度応答スペクトルの再現（減衰定数：5%）

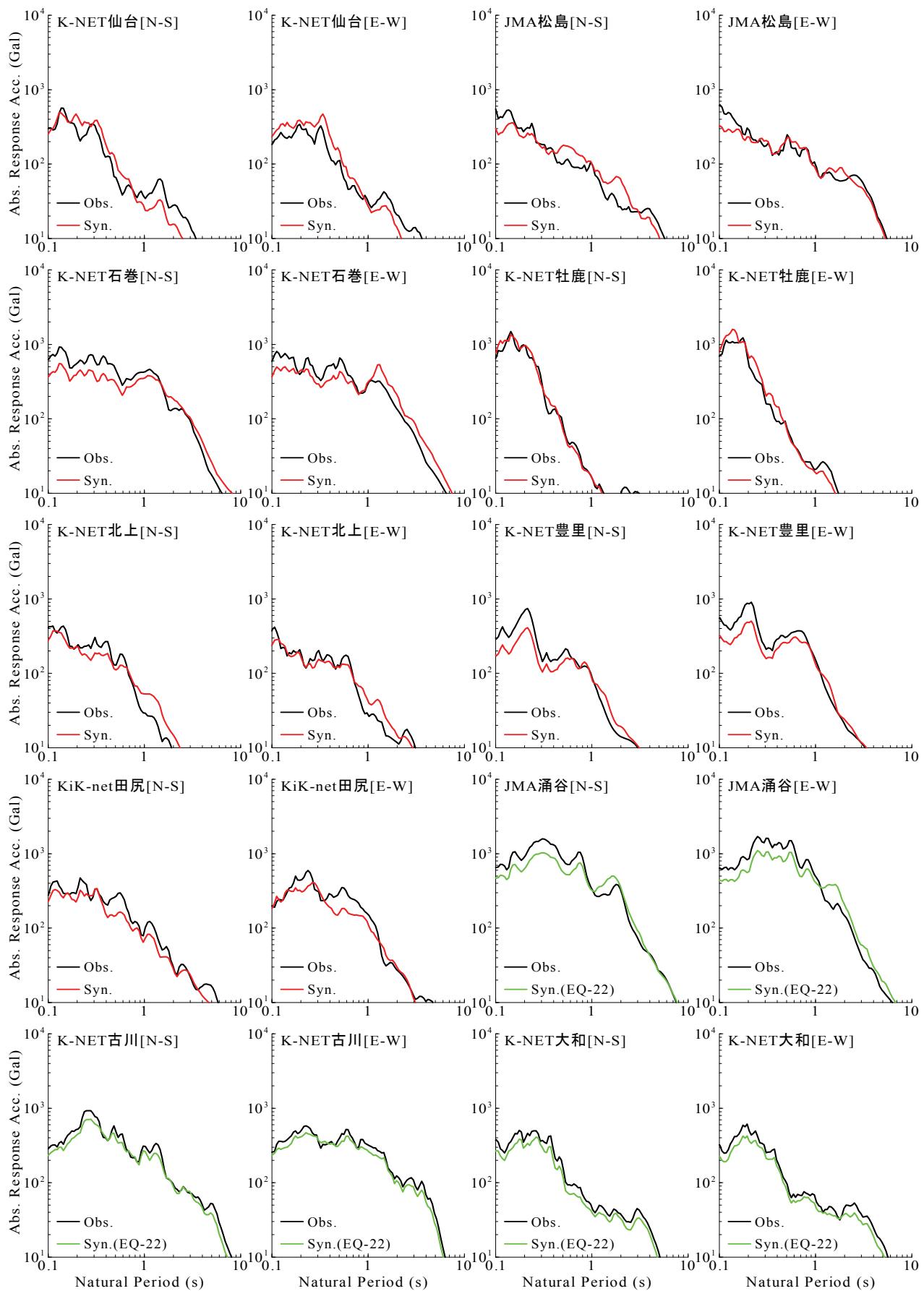


図-18 2003年宮城県北部の地震による鳴瀬川堤防周辺の観測点での絶対加速度応答スペクトルの再現（減衰定数：5%）

用性が確認できる。

5. 対象区間における地震動の推定

(1) 推定方法

本検討では、4.で述べた方法により、対象区間内における鳴瀬川堤防沿いの地震動を概ね0.5k間隔で推定した。その際、地震動評価の際に必要となる位置情報(緯度・経度)は、常時微動計測地点および地震観測地点のもの(図-3参照)を採用した。すなわち、鳴瀬川堤防沿いにおける地震動の評価地点の総数は、80地点となる。

サイト增幅特性に関しては、基本的には各ゾーンで小地震観測記録に基づいて設定されたもの(図-6参照)を用いたが、同一ゾーン内においても詳しく見ると常時微動H/Vスペクトルの特性に差異が見受けられる。そこで、既往の研究³⁾³⁵⁾で行ったように、同一ゾーン内における地震観測地点と微動計測地点での常時微動H/Vスペクトル(図-4および図-5参照)の比較に基づき、各ゾーンでの地震観測地点におけるサイト增幅特性(図-6参照)に対して補正(微修正)を加えることによって、鳴瀬川堤防沿いの常時微動計測地点(図-3参照)におけるサイト增幅特性を評価した。このとき、既往の研究³⁾³⁵⁾では、常時微動H/Vスペクトルのピーク周波数の違いに着目した文献36)の方法を用いたが、本検討ではピーク周波数およびピーク振幅の違いに着目した文献37)の方法を用いた。

サイト位相特性に関しては、4.(3)および4.(4)で選定された地震により各ゾーンの地震観測地点で得られた記録を採用した。ただし、各ゾーンでの地震観測記録(水平動)に対して、地震動評価地点(微動計測地点)ごとに堤体横断・縦断方向への座標変換を行った。このとき、既往の研究³⁾³⁵⁾では、各微動計測地点において設定されたサイト位相特性に対して、上記のサイト增幅特性のピーク周波数の補正量に応じてサイト位相地震波の時間軸を伸縮補正していたが、本検討では最新の知見³⁹⁾を踏まえ、サイト位相地震波の時間軸の補正を実施していない。

(2) 推定結果

図-20および図-21に鳴瀬川堤防の代表地点⁵⁾である右岸13.0k、左岸20.5k、左岸30.5kにおける堤体横断方向における速度波形(0.2–3.0Hz)および加速度波形(フィルタ処理なし)を示す。図-20および図-21に示すように、同じ対象地震でも代表地点によって振幅特性や波形形状に違いがあることが確認でき、2003年宮城県北部の地震のケースでは、その違いが非常に大きくなっている。

図-22は、鳴瀬川堤防の代表地点⁵⁾での推定加速度波形(図-21参照)に対する相対速度・絶対加速度応答スペク

トル(ともに減衰定数5%)である。図-22に示すように、2011年東北地方太平洋沖地震のケースでは、代表3地点での応答スペクトルの差異が比較的小さいのに対し、1978年宮城県沖地震および2003年宮城県北部の地震のケースではその差異が大きくなっている。特に、2003年宮城県北部の地震のケースでは、左岸20.5k地点での推定地震動の応答スペクトルが、右岸13.0kおよび左岸30.5k地点での応答スペクトルを包絡している。

図-23、図-24、図-25は、対象3地震(1978年宮城県沖地震、2003年宮城県北部の地震、2011年東北地方太平洋沖地震)による鳴瀬川堤防沿いの推定地震動による計測震度(堤体横断・縦断方向の水平2成分で計算)の分布である。図-23、図-24、図-25に示すように、1978年宮城県沖地震のケース(図-23参照)では11k~13k付近、2003年宮城県北部の地震のケース(図-24参照)では19k~22k付近、および2011年東北地方太平洋沖地震のケース(図-25参照)では16k付近においてそれぞれ計測震度の値が大きくなっている。計測震度の大きい区間は対象3地震ごとに異なっていることが読み取れる。

6.まとめ

本研究では、既往の研究で提案した経験的サイト增幅・位相特性を考慮した強震動評価手法を適用し、既往の大規模地震(1978年宮城県沖地震、2003年宮城県北部の地震、2011年東北地方太平洋沖地震)において繰り返し被害を受けている鳴瀬川堤防における地震動を推定した。本研究において得られた知見を以下に示す。

- (1) 鳴瀬川堤防の対象区間(11k~31k)では、サイト特性が対象区間内で大きく変化しており、1つのサイト特性で代表させることができない。また、周辺の既存強震観測点におけるサイト特性との差異も大きく、既存強震観測点で得られた本震記録を鳴瀬川堤防の対象区間(11k~31k)に転用することはできない。
- (2) 鳴瀬川堤防の対象区間(11k~31k)における地震観測結果からサイト特性を評価し、さらに、常時微動計測結果に基づいてサイト特性を補間・評価することによって、特性化震源モデルを用いた強震波形計算を実施し、既往の大規模地震(1978年宮城県沖地震、2003年宮城県北部の地震、2011年東北地方太平洋沖地震)における鳴瀬川堤防の対象区間内(11k~31k)の全域にわたる水平動を推定した。
- (3) 対象3地震(1978年宮城県沖地震、2003年宮城県北部の地震、2011年東北地方太平洋沖地震)における推定地震動による計測震度が大きい区間は地震毎に異なっている。

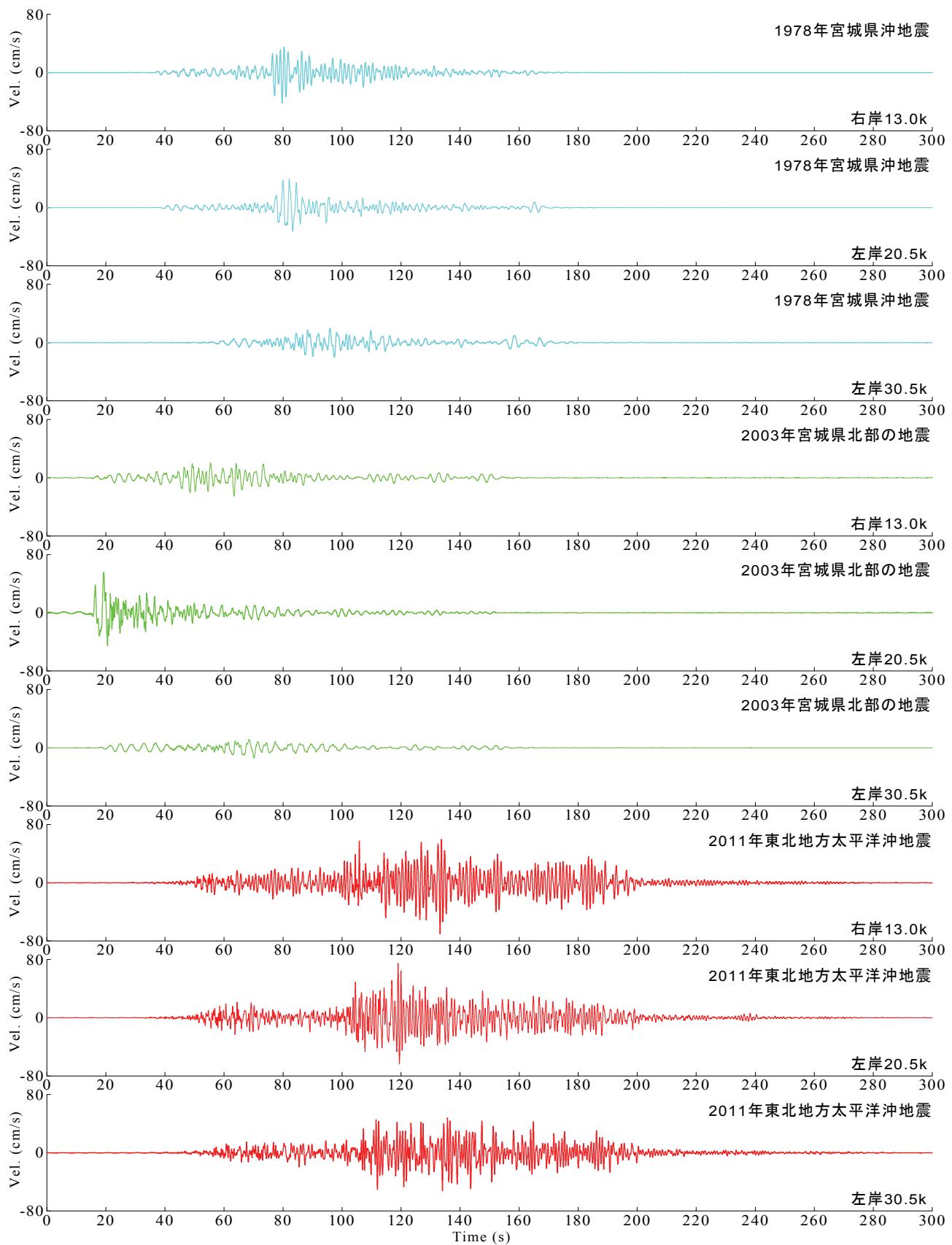


図-20 鳴瀬川堤防の代表地点⁵⁾での推定地震動 (速度波形 : 0.2–3.0Hz)

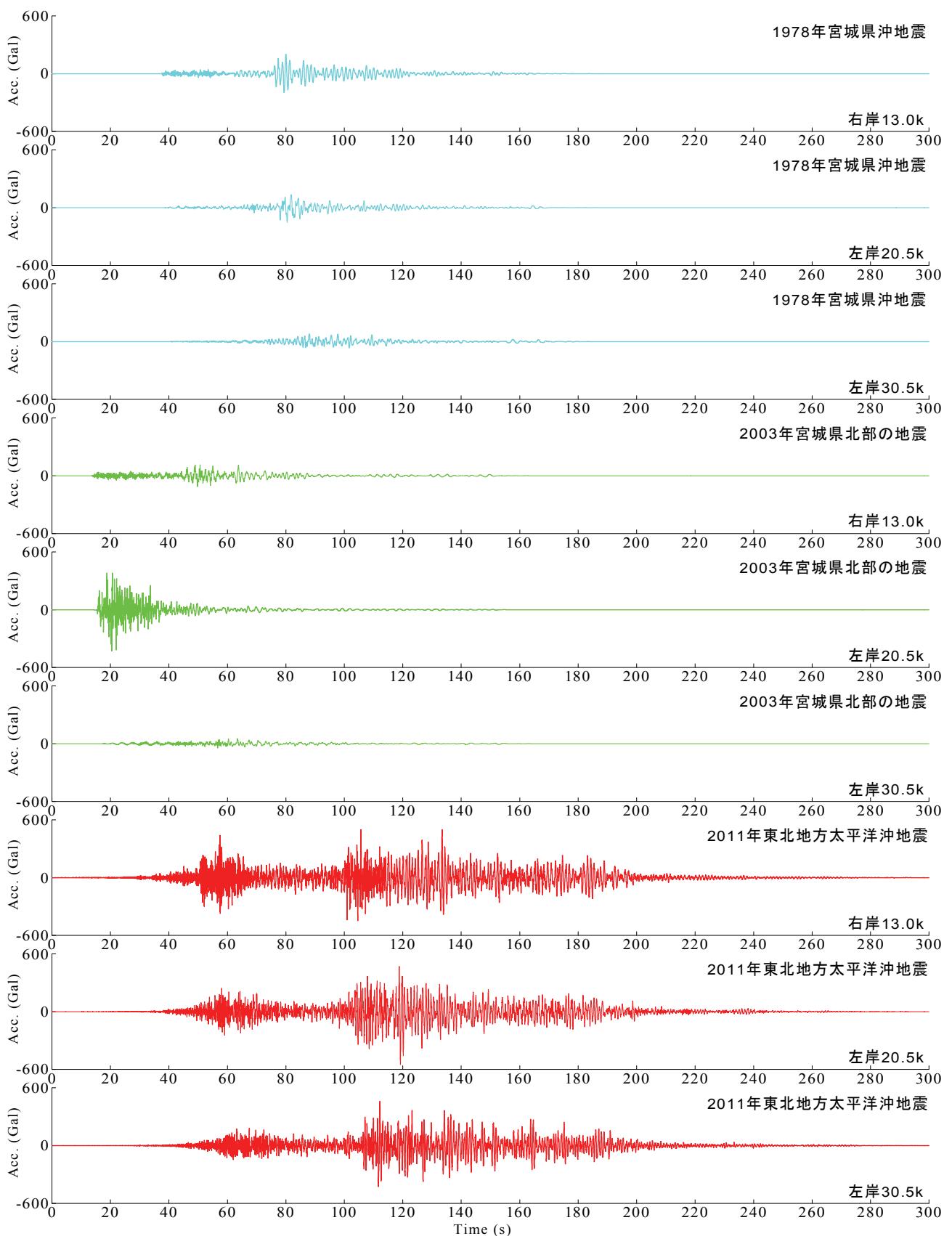


図-21 鳴瀬川堤防の代表地点⁵⁾での推定地震動（加速度波形：フィルタ処理なし）

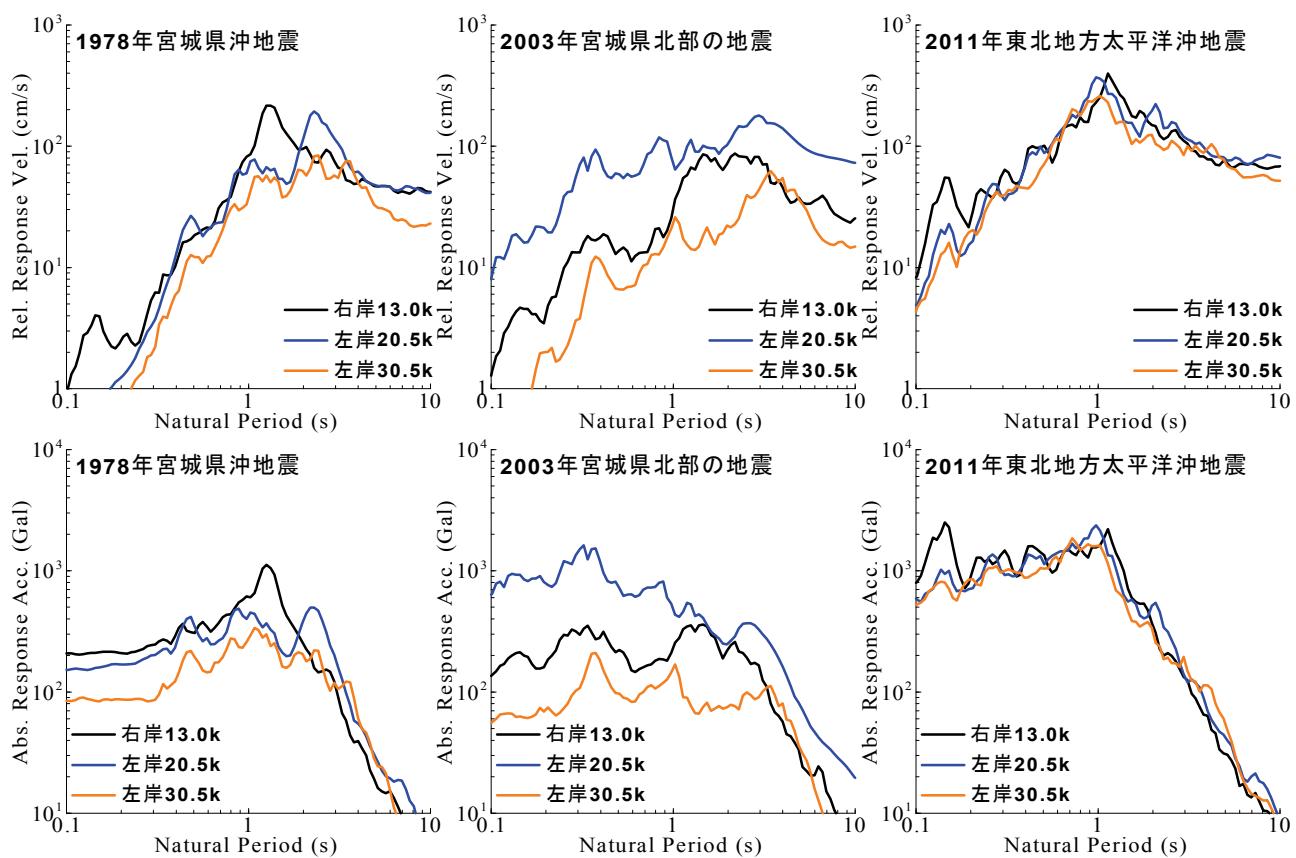


図-22 鳴瀬川堤防の代表地点⁵⁾での推定地震動による応答スペクトル (減衰定数 : 5%)

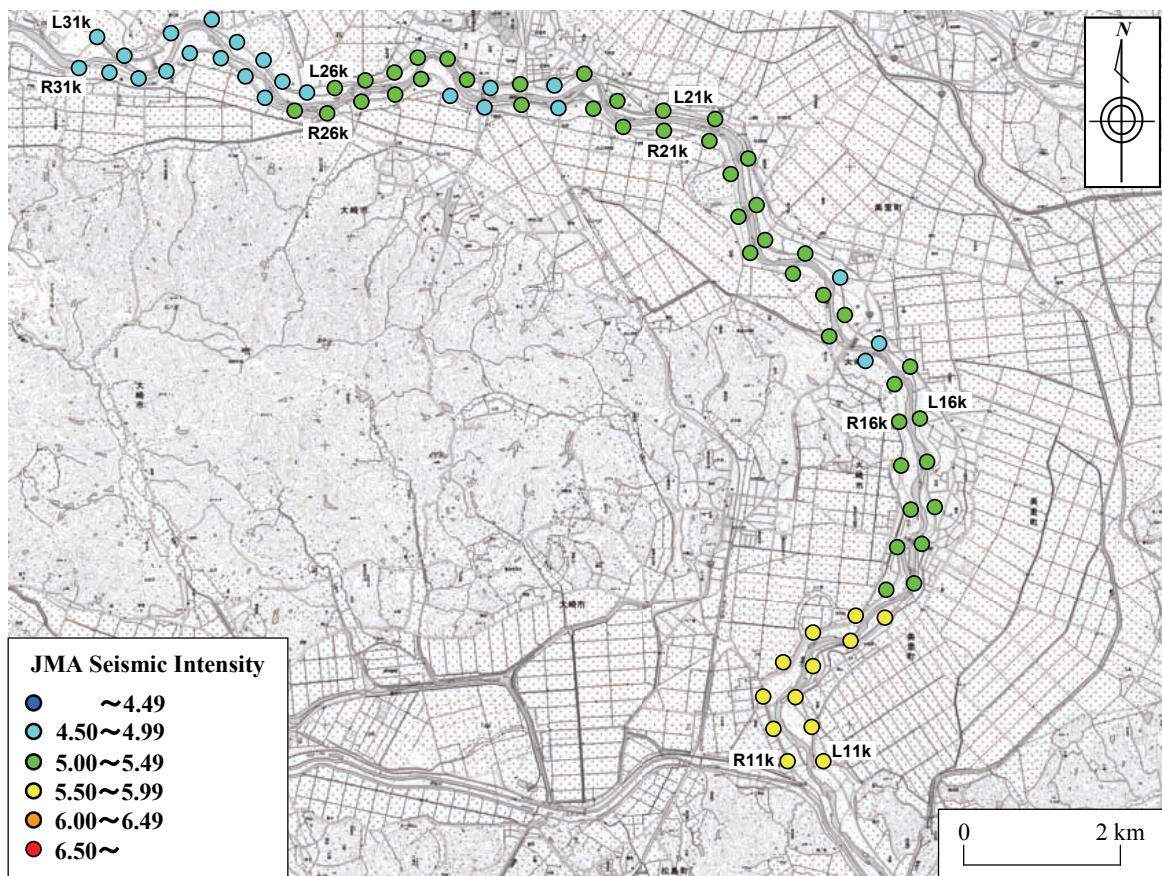


図-23 鳴瀬川堤防沿いの推定地震動による計測震度の分布 (1978年宮城県沖地震)

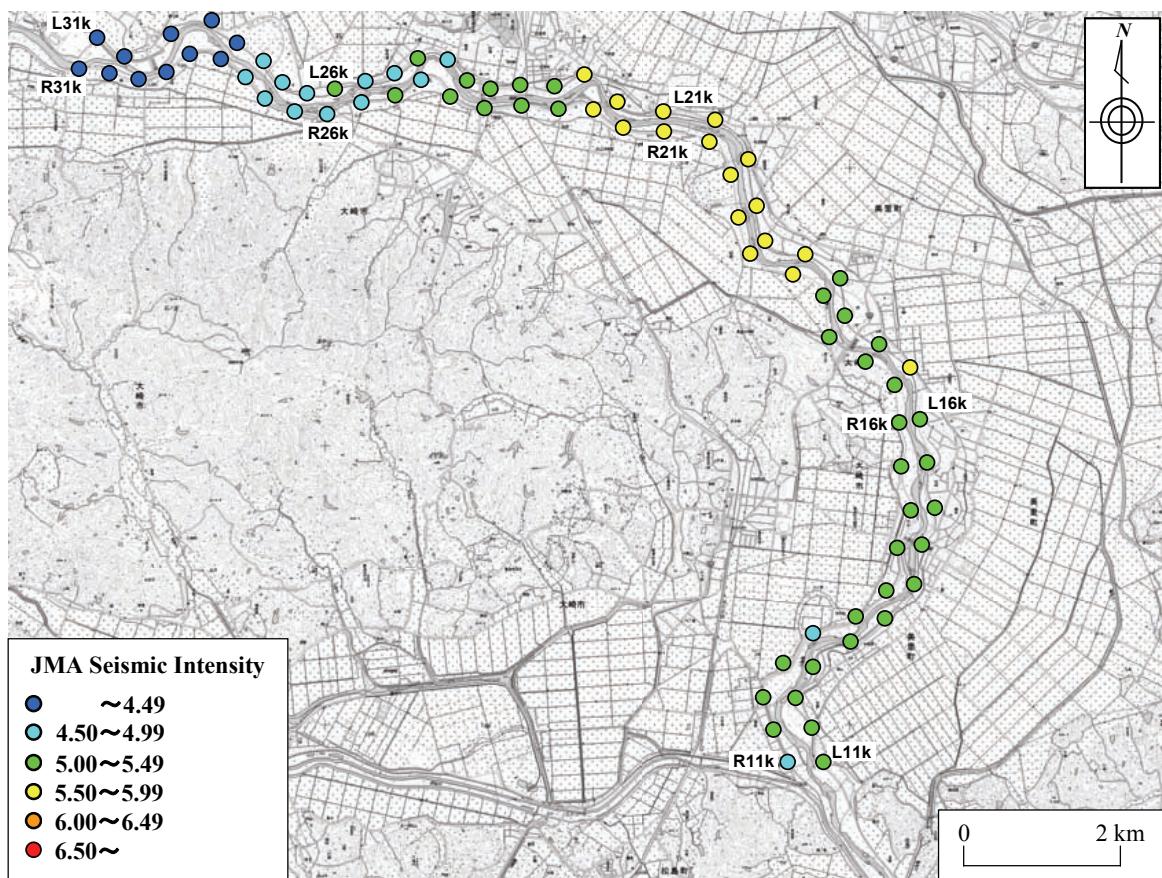


図-24 鳴瀬川堤防沿いの推定地震動による計測震度の分布（2003年宮城県北部の地震）

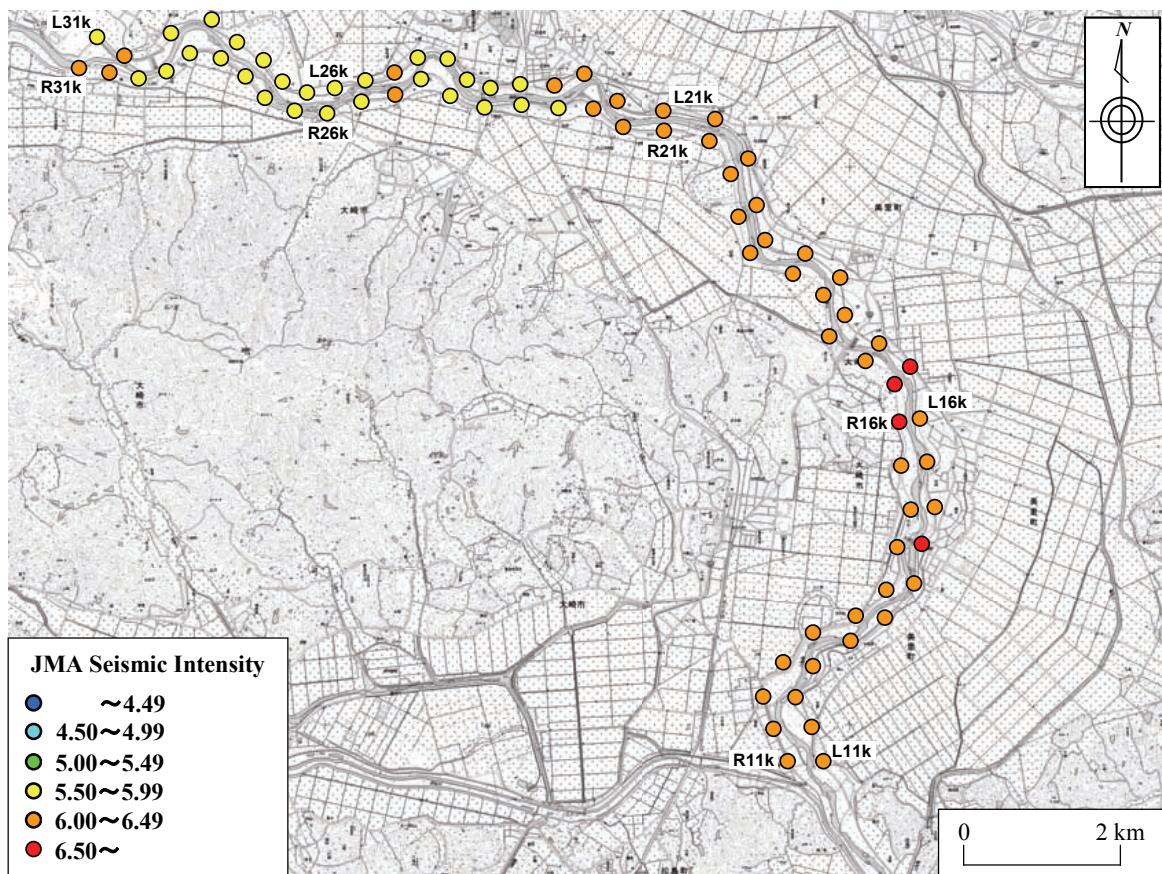


図-25 鳴瀬川堤防沿いの推定地震動による計測震度の分布（2011年東北地方太平洋沖地震）

今後は、本稿で推定した鳴瀬川堤防沿いの地震動と、鳴瀬川堤防の地震被災事例との関係についての考察⁴⁰⁾を行うことで、フラジリティカーブの構築⁴¹⁾を含む被災分析をより詳細に行っていく予定である。

謝辞：本研究では、気象庁JMA、(独)防災科学技術研究所K-NET/KiK-net、国土交通省MLIT、宮城県による地震観測データを利用させていただきました。また、常時微動計測および臨時余震観測の実施に際して、宮城県大崎市民、美里町民、涌谷町民の皆様にお世話になりました。鳴瀬川堤防沿いなどでの常時微動計測の実施にあたっては、角礼雄氏および村上陽平氏(広島大学大学院工学研究科)にご協力いただきました。静間俊郎主任研究員((株)篠塚研究所)には、推定地震動の利活用方法等に関して有意義なご意見をいただきました。(公社)土木学会地震工学委員会リスク評価に基づく道路構造物・ネットワークの耐震設計に関する合同委員会の委員の皆様には、貴重なご意見をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 秦吉弥、一井康二、加納誠二、土田孝、今村孝志：盛土の耐震診断に基づく高速道路の通行機能の耐震性評価、土木学会論文集 F, Vol.65, No.1, pp.50-58, 2009.
- 2) 秦吉弥、一井康二、加納誠二、土田孝、柴尾享、今村孝志：常時微動計測に基づく高速道路盛土の入力地震動設定法の検討、土木学会論文集 F, Vol.65, No.4, pp.529-541, 2009.
- 3) 秦吉弥、一井康二、村田晶、野津厚、宮島昌克：経験的サイト增幅・位相特性を考慮した線状構造物における地震動の推定とその応用－2007年能登半島地震での道路被災を例に－、土木学会論文集 A, Vol.66, No.4, pp.799-815, 2010.
- 4) 国土交通省東北地方整備局北上川等堤防復旧技術検討会：北上川等堤防復旧技術検討会 報告書(本編)，国土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所，193p., 2011.
- 5) 渕岡良介、島袋ホルヘ、酒井久和、谷本俊輔：河川堤防に対する強震継続時間が長い地震動の影響について、土木学会地震工学委員会強震継続時間が長い地震動に対する土木構造物の耐震性検討小委員会、地盤WG報告書, pp.11-138, 2012.
- 6) 古和田明、田居優、岩崎好規、入倉孝次郎：経験的サイト增幅・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, Vol.512, pp.97-104, 1998.
- 7) 野津厚、長尾毅、山田雅行：経験的サイト增幅・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.
- 8) 野津厚、菅野高弘：経験的サイト增幅・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.
- 9) 野津厚、菅野高弘：経験的サイト增幅・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.
- 10) 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ASPERITYモデルの提案、日本地震工学会論文集, Vol.12, No.2, pp.21-40, 2012.
- 11) 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帶の成因に学ぶ－、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.
- 12) 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.
- 13) 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.
- 14) 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.
- 15) 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.
- 16) 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.
- 17) 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增幅特性、広島大学大学院工学研究科研究報告, Vol.60, No.1, 2011.
- 18) 一井康二、秦吉弥、村田晶：道路盛土の耐震性評価のための地震動設定手法に関するアンケート調査、土木学会論文集 A1(地震工学論文集 31-b), Vol.68, No.4, pp.I_40-I_53, 2012.
- 19) 秦吉弥、一井康二、野津厚：近接設置された強震観測点における地盤震動特性の評価、地盤と建設、地盤工学会, Vol.29, No.1, pp.107-114, 2012.
- 20) 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.
- 21) Hata, Y., Ichii, K. and Nozu, A.: Preliminary study on variation of ground motion indices within very small distance, *Proc. of 15th World Conference on Earthquake Engineering*, No.0851, Lisbon, Portugal, 2012.
- 22) 秦吉弥、一井康二、山田雅行、常田賢一、竹澤請一郎、柴尾享、満下淳二、村田晶、古川愛子、小泉圭吾：中小地震観測および常時微動計測に基づく道路盛土の地震応答特性の評価、土木学会論文集 A1(地

- 震工学論文集 31-b), Vol.68, No.4, pp.I_407-I_417, 2012.
- 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增幅特性とこれを用いた強震動評価事例, 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, pp.336-341, 2007.
 - 25) 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.
 - 26) 佐藤智美, 異音樹: 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.
 - 27) 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.
 - 28) 関口春子, 青井真, 本多亮, 功刀卓, 先名重樹, 藤原広行: K-NET, KiK-net による 2003 年 7 月 26 日宮城県沖の地震の地震動・地震過程, 日本地震学会秋季大会講演予稿集, A084, 2003.
 - 29) 池田隆明, 釜江克宏, 三輪滋, 入倉孝次郎: 強震動予測のレシピを用いた 2003 年 7 月 26 日宮城県北部の地震(Mj6.2)の強震動シミュレーション, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.517-518, 2004.
 - 30) 片岡正次郎, 日下部毅明, 村越潤, 田村敬一: 想定地震に基づくレベル 2 地震動の設定方法に関する研究, 国土交通省国土技術政策総合研究所研究報告, No.15, 2003.
 - 31) 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.
 - 32) 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.
 - 33) 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.
 - 34) 野津厚, 盛川仁: 表層地盤の多重非線形効果を考慮した経験的グリーン関数法, 地震, 第 2 輯, Vol.55, pp.361-374, 2003.
 - 35) 秦吉弥, 一井康二, 野津厚: 経験的サイト增幅・位相特性を考慮した八戸市賀子渡における強震動の推定, 地盤と建設, 地盤工学会, Vol.27, No.1, pp.23-31, 2010.
 - 36) 長尾毅, 平松和也, 平井俊之, 野津厚: 高松港における被害地震の震度再現に関する研究, 海洋開発論文集, 土木学会, Vol.22, pp.505-510, 2006.
 - 37) 長尾毅, 山田雅行, 野津厚: 常時微動 H/V スペクトルを用いたサイト增幅特性の経験的補正方法に関する研究, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.56A, pp.324-333, 2010.
 - 38) 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.
 - 39) 長尾毅, 山田雅行, 野津厚: 設計用入力地震動評価における位相特性の補正方法に関する研究, 土木学会論文集 A1(地震工学論文集 31-b), Vol.68, No.4, pp.I_13-I_19, 2012.
 - 40) 酒井久和, 秦吉弥, 渡岡良介, 吉澤睦博: 既往地震の鳴瀬川河川堤防の被害に基づく簡易耐震性評価手法の検討, 第 32 回地震工学研究発表会講演論文集, 土木学会, 2012. (this issue)
 - 41) 秦吉弥, 静間俊郎, 酒井久和, 一井康二, 丸山喜久, 村上陽平: フラジリティカープに基づく河川堤防の地震時被災確率に関する基礎的研究, 第 32 回地震工学研究発表会講演論文集, 土木学会, 2012. (this issue)

(2012. 9. 21 受付)

STRONG MOTION ESTIMATION ALONG THE NARUSE RIVER DIKE DAMAGED BY THE PAST LARGE SCALE EARTHQUAKES BASED ON EMPIRICAL SITE AMPLIFICATION AND PHASE EFFECTS

Yoshiya HATA, Hisakazu SAKAI, Atsushi NOZU, Koji ICHII,
Yoshihisa MARUYAMA and Mitsunori KADOTA

The evaluation of strong motions with high resolution is very important to clarify the mechanism of earthquake damage. In this study, seismic waveform evaluation was conducted at numerous sites along the Naruse River dike based on empirical site amplification and phase effects. The waveforms were evaluated for the 1978 off Miyagi Prefecture Earthquake, the 2003 northern Miyagi Prefecture Earthquake and the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. The estimated seismic waveforms will be useful in the detailed study of the earthquake damage along the Naruse River dike.