

疑似点震源モデルに基づく 1900年宮城県北部の地震における鳴瀬川堤防サイトでの地震動の評価

Seismic Waveform Estimation at the Site of Naruse River Dike
during the 1900 Northern Miyagi Prefecture Earthquake based on the Pseudo Point-Source Model

秦 吉弥	Yoshiya HATA	(大阪大学大学院工学研究科)
常田賢一	Ken-ichi TOKIDA	(大阪大学大学院工学研究科)
酒井久和	Hisakazu SAKAI	(法政大学デザイン工学部)
一井康二	Koji ICHII	(広島大学大学院工学研究院)
静間俊郎	Toshiro SHIZUMA	((株)篠塚研究所)
丸山喜久	Yoshihisa MARUYAMA	(千葉大学大学院工学研究科)

鳴瀬川流域では、概ね50年間隔(1900年・1962年・2003年)で宮城県北部を震源とするM6.5程度の内陸地殻内地震が繰返し発生している。その中でも1900年宮城県北部の地震は、鳴瀬川堤防の極近傍に震源を有しており、鳴瀬川堤防の耐震性評価を行う上で想定地震として考慮する必要性が示唆される。そこで本稿では、疑似点震源モデルを用いて、1900年宮城県北部の地震において鳴瀬川堤防に作用した地震動を推定した結果について報告する。さらに、得られた推定結果に基づいて、鳴瀬川堤防の耐震性評価の際に考慮すべき想定地震に関して基礎的な検討を行った。

キーワード：強震動，河川堤防，想定地震，サイト特性，地震観測 (IGC : E-8)

1. はじめに

大規模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¹⁾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必要となる。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)や地震危険度の特性(対象地点と活断層の位置関係)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、著者ほか^{2),3),4)}によって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されている。一方で、河川堤防においては、地震動推定手法に関する検討⁵⁾が十分であるとは言い難い。

宮城県・鳴瀬川堤防は、①1962年4月30日に発生した宮城県北部を震源とする気象庁マグニチュード6.5の地震(以後、1962年宮城県北部の地震^{6),7)}と呼ぶ)、②1978年宮城県沖地震、③2003年7月26日に発生した宮城県北部を震源とする気象庁マグニチュード6.4の地震(以後、2003年宮城県北部の地震と呼ぶ)、④2011年東北地方太平洋沖地震による強震動の作用に起因した被災が報告⁸⁾⁻¹⁸⁾されており、鳴瀬川堤防を対象にした調査・研究^{19),20)}が近年盛んに行われている。さらに、著者らによる独自のヒアリング調査の結果や鳴瀬川流域に対する宮城県北部の歴史

地震(約50年間隔地震)の位置関係(図-1参照)などを勘案すれば、1900年5月12日に発生した宮城県北部を震源とする気象庁マグニチュード6.5²¹⁾の地震(以後、1900年宮城県北部の地震²¹⁾と呼ぶ：図-1参照)による強震動の作用によって鳴瀬川堤防が被災していた可能性(堤防は当時も存在しており詳細な報告は無いが被災していたかも知れない可能性)が高いことが示唆される。今後の河川堤防の耐震性評価のためにも、1900年宮城県北部の地震において鳴瀬川堤防に作用した地震動を推定することは重要である。これまで著者ら^{22),23)}は、①1962年宮城県北部の地震、

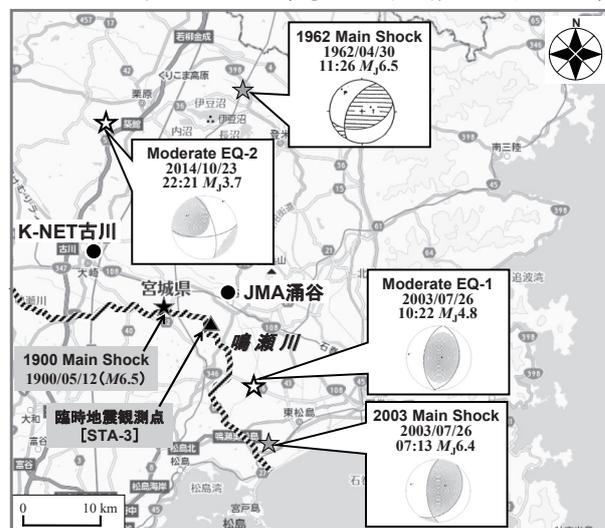


図-1 鳴瀬川周辺で発生した宮城県北部の歴史地震

②1978年宮城県沖地震, ③2003年宮城県北部の地震, ④2011年東北地方太平洋沖地震による鳴瀬川堤防付近の地震動を評価しているが, 1900年宮城県北部の地震を対象とはしていない。

地震動推定手法は, 本震観測記録を利用する手法²⁴⁾と断層モデルに基づく手法²⁵⁾に大別されるが, 1900年宮城県北部の地震を対象とする場合, 我が国における強震観測網が当時整備されていなかったことや震源断層の諸元が十分に明らかになっていないことなどを考慮すれば, 両推定手法の採用はともに困難であるといえる。そこで本検討では, 疑似点震源モデルを採用する。疑似点震源モデルのイメージの一つとして, 強震動の生成に関わる各々のサブイベントに対し, その内部におけるすべりの時空間分布を詳細にはモデル化せず, 各々のサブイベントが生成する震源スペクトルのみをモデル化するという点が挙げられる。

疑似点震源モデルは野津²⁶⁾によって提案・開発された地震動推定手法であり, 海溝型地震²⁶⁾・スラブ内地震²⁷⁾・内陸地殻内地震²⁸⁾⁻³²⁾に適用され, 断層モデルに基づく手法と同等もしくはそれ以上の精度で地震動の推定が可能であることが報告²⁶⁾⁻³²⁾されている。しかしながら, いずれも我が国で近年発生した大規模地震(我が国の強震観測網が比較的密に整備されて以降に発生した大規模地震)を対象としており, 100年程度昔に発生した歴史地震(本稿のケースでは1900年宮城県北部の地震)を対象とはしていない。

上述した背景を踏まえ本稿では, STA-3(鳴瀬川堤防左岸19.5k付近)において臨時の地震観測を実施し, 得られた地震観測記録と疑似点震源モデルの組合せに基づいて, 1900年宮城県北部の地震時に鳴瀬川堤防の臨時地震観測点(STA-3: 図-1参照)の位置相当に作用した強震動を推定した結果について報告する。

2. 臨時地震観測によるサイト増幅特性の評価

本検討では, STA-3(堤外地側)付近においてボアホール型地震計を埋設し, 臨時地震観測³³⁾を実施した。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³⁴⁾を採用した。地震計はAS-3250A, データロガーはLS-7000XTを使用した。その結果, 宮城県北部を震源とする地震(2014/10/23 22:21 M_j 3.7; 以後, 2014年宮城県北部の地震と呼ぶ)による観測記録(図-2(Moderate EQ-2)参照)などが得られた。

図-3は, STA-3におけるサイト増幅特性(地震基盤～地

表)に対して, JMA 涌谷およびK-NET 古川(図-1参照)における既存のサイト増幅特性(地震基盤～地表)^{35),36)}を比較したものである。サイト増幅特性の評価では, 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³⁷⁾した。具体的には, STA-3とK-NET 古川で同時に得られた中小地震観測記録を対象に, 2地点間の距離の違いによる補正^{38),39)}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 古川における既存のサイト増幅特性³⁶⁾に掛け合わせることで設定した。

図-3に示すとおり, STA-3におけるサイト増幅特性は, JMA 涌谷およびK-NET 古川のものとはピーク周波数やスペクトル形状などの特徴が大きく異なっている。すなわちこれは, 鳴瀬川堤防周辺の既存強震観測点で得られた記録を鳴瀬川堤防(STA-3)における地震動の推定に直接利用できないことを示唆するものである。

3. 疑似点震源モデルの構築

疑似点震源モデル²⁶⁾は, 従来の特性化震源モデルよりも

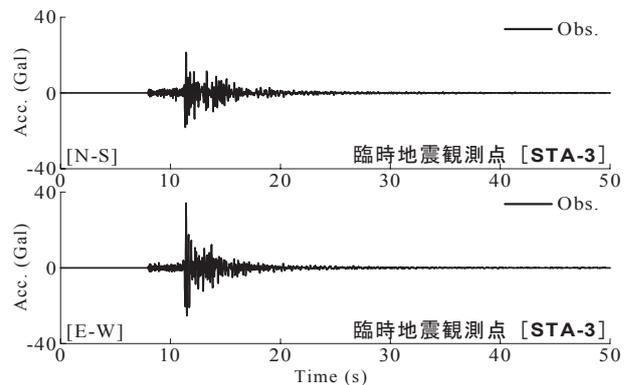


図-2 2014年宮城県北部の地震による観測波形

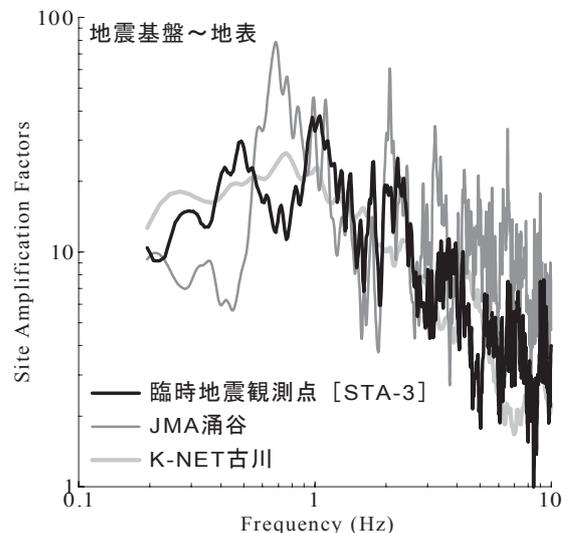


図-3 サイト増幅特性(地震基盤～地表)の比較

更に単純化された震源モデルであり、サブイベントの破壊に起因する震源スペクトルはオメガスクエアモデル⁴⁰⁾に従うと仮定する。これに伝播経路特性^{38),39)}とサイト増幅特性(図-3 参照)を乗じることにより、STA-3 での地震動のフーリエ振幅を評価した。評価したフーリエ振幅と、STA-3 で得られた 2014 年宮城県北部の地震による観測記録(図-2 参照)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⁴¹⁾を実施することにより強震波形を計算した。

図-4 は、2003 年宮城県北部の地震による JMA 涌谷(図-1 参照)での観測波と、観測波のフーリエ位相を余震記録(2003/07/26 10:22 M_j 4.8; 図-1 における Moderate EQ-1 参照)に置き換えた波形を比較したものである。なお、地震動の特性をフーリエ振幅とフーリエ位相に分けて整理した場合、フーリエ位相は伝播経路特性とサイト特性で決まっている場合が多く、サブイベントの破壊がフーリエ位相特性に及ぼす影響の詳細を評価する必要性は小さいことを確認するために、上記のプロセスを実施している。図-4 に示すように、観測波と置換波は良い一致を示しており、強震動推定手法(波形形状の評価手法)の適用性が示唆される。

疑似点震源モデルにおける入力パラメータは、サブイベント一つあたり、位置情報(緯度・経度・深さ)、破壊時刻、地震モーメント M_0 、コーナー周波数 f_c である。表-1 に設定した入力パラメータの一覧を示す。本稿では、サブイベントの位置情報として、1900 年宮城県北部地震の震源²¹⁾を採用した。一方で、サブイベントの地震モーメント M_0 は、2003 年宮城県北部の地震の特性化震源モデル⁴²⁾における地震モーメントの最大値を採用した。これは、宮城県北部を震源とする比較的規模の大きな歴史地震の中で強震観測記録に基づく地震モーメントの推定結果が得られているのは 2003 年宮城県北部の地震のみであること、本稿において 1900 年宮城県北部の地震による疑似点震源の数を一つとしていること、などを考慮して当該推定結果の最大値を採用するに至った。コーナー周波数 f_c は、2003 年宮城県北部の地震の特性化震源モデル⁴²⁾におけるせん断波速度とアスペリティの面積から Brune の式^{43),44)}を用いて算定した。

4. 強震動評価に基づく想定地震の選定

図-5 および図-6 に 1900 年宮城県北部の地震による STA-3(図-1 参照)での推定地震動の加速度波形および速度波形を示す。ここに、地盤の非線形挙動の取り扱いにつ

表-1 疑似点震源モデルのパラメータの一覧

	Location			Seismic Moment M_0 (Nm)	Corner Frequency (Hz)
	Latitude (deg.)	Longitude (deg.)	Depth (km)		
Subevent	38.533	141.050	15	0.7E+18	0.50

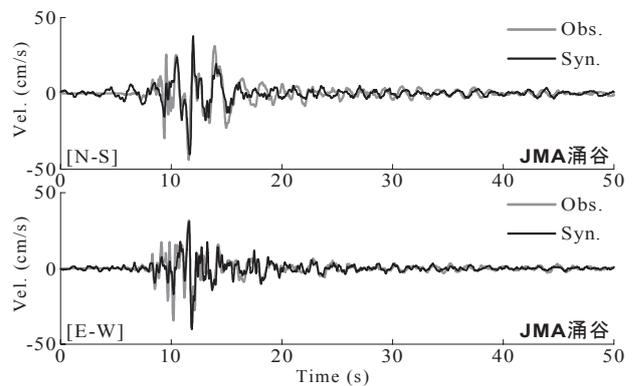


図-4 サイト位相特性の類似性の確認

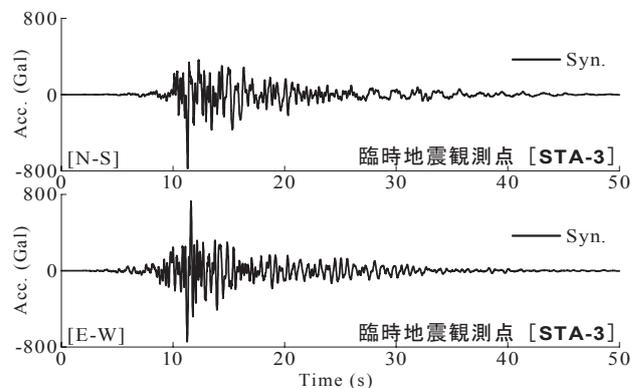


図-5 STA-3 での推定地震動(加速度波形)

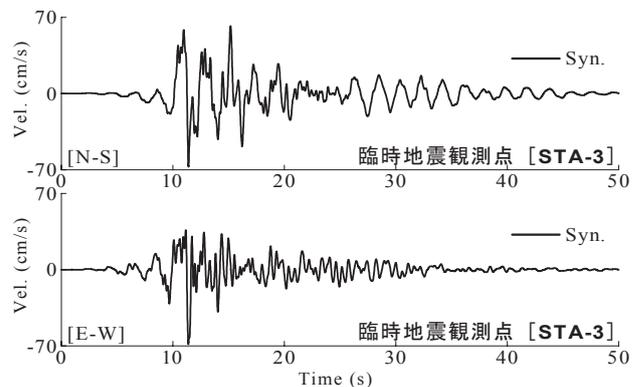


図-6 STA-3 での推定地震動(速度波形)

いて、サイト増幅特性(地震基盤～地表: 図-3 参照)に基づいて直接得られる地震動は地盤の非線形挙動の影響を考慮されていない地震波であるため、この地震波に対して線形/非線形の重複反射理論を適用することによって、図-5 および図-6 に示す地震動は、工学的基盤～地表における地盤の非線形挙動の影響を考慮したものとなっている。図-5 および図-6 に示すとおり、PGA が 800Gal 程度および PGV が 70cm/s 程度に達しており、鳴瀬川堤防の被災・

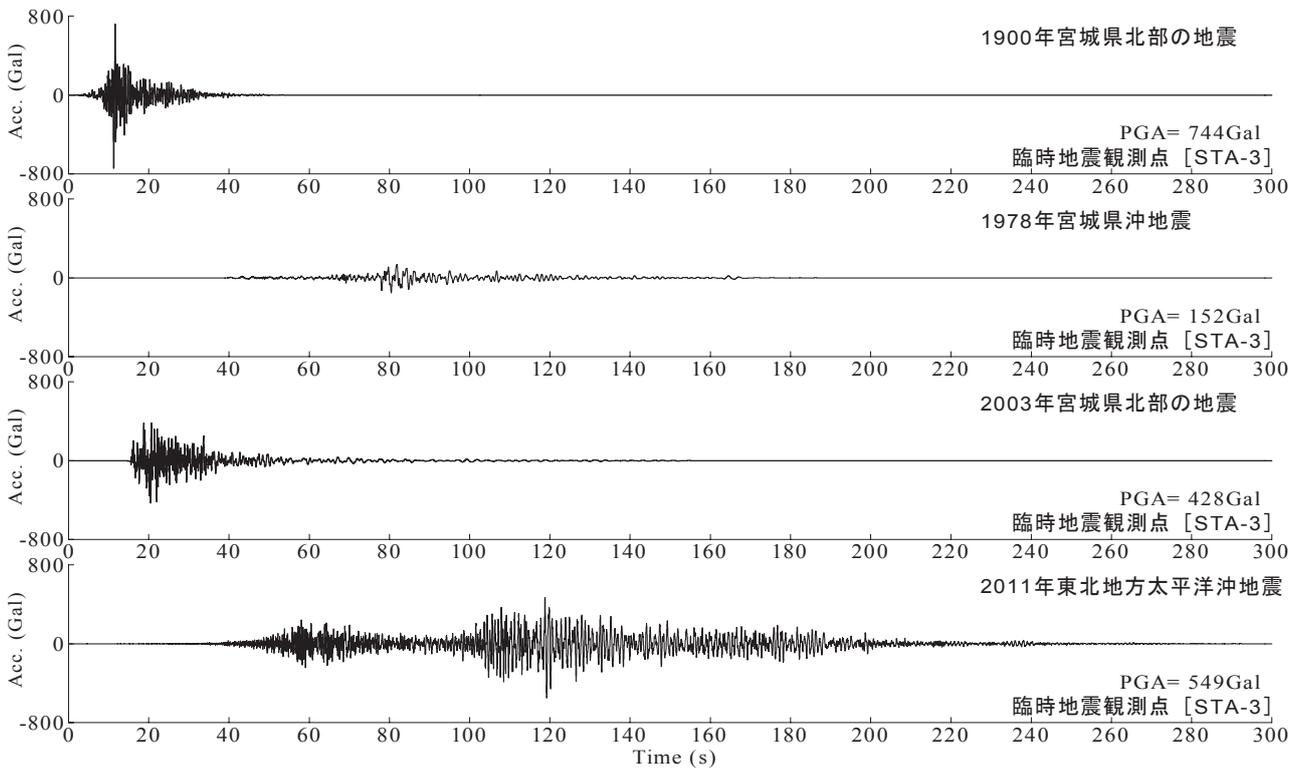


図-7 鳴瀬川堤防の耐震性検討に用いる地震動に関する検討(加速度波形の比較)

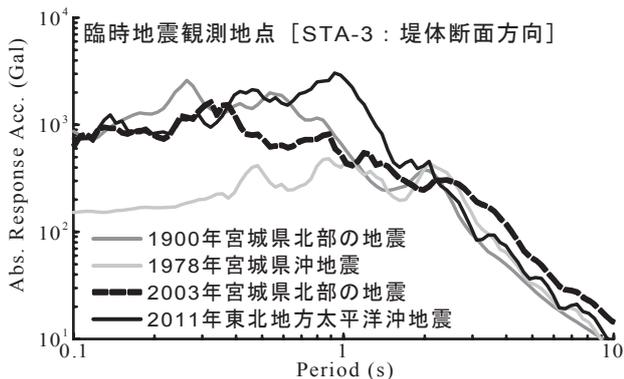


図-8 鳴瀬川堤防の耐震性検討に用いる地震動に関する検討(絶対加速度応答スペクトルの比較)

無被災実績に基づいて構築された fragility curve⁴⁵⁾ による被災確率を考慮すれば、1900年宮城県北部の地震による強震動の作用によって鳴瀬川堤防は被災していた可能性が高い。また、図-6に示すように、速度波形のN-S成分のみにおいて長周期波群が25秒以降に確認できる。

図-7は、1900年宮城県北部の地震によるSTA-3での推定地震動の加速度波形(図-5参照)に対して、先行研究⁴⁶⁾によって推定された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STA-3での推定地震動の加速度波形を比較したものである。加速度波形の成分は、いずれもSTA-3における堤体断面方向(N80°E-N100°W)である。図-7に示すとおり、加速度振幅PGAについては1900年宮城県北部の地震のケースが最

も大きくなっているものの、地震動の継続時間については2011年東北地方太平洋沖地震のケースが最も長くなっている。

図-8は、STA-3での推定地震動の加速度波形(図-7参照)による絶対加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-8に示すように、一般に盛土等の土構造物の地震被災に大きな影響を及ぼす地震動の周期帯域^{47),48),49)}と比較的良好な相関が見られるやや短周期帯域⁵⁰⁾と呼ばれる周期1秒付近の周期帯域において、2011年東北地方太平洋沖地震の応答スペクトルが他者を大きく上回っている。

よって、図-7および図-8より得られた知見を踏まえれば、鳴瀬川堤防の耐震性評価に用いる地震動(いわゆるレベル2地震動)としては、2011年東北地方太平洋沖地震によって鳴瀬川堤防に作用したと推定される地震動(図-7の最下段に示す一例参照)を採用するのが適切であると考えられる。

5. まとめ

本稿では、鳴瀬川堤防左岸19.5k付近において臨時の地震観測を実施し、得られた地震観測記録と疑似点震源モデルの組合せに基づいて、1900年宮城県北部の地震時に鳴瀬川堤防に作用した強震動を推定した。得られた知見を以

下に示す.

- (1) 鳴瀬川堤防周辺の既存強震観測点 (JMA 涌谷および K-NET 古川) で得られた記録を鳴瀬川堤防における地震動の推定に直接利用することはできない.
- (2) 1900 年宮城県北部の地震時に鳴瀬川堤防に作用した強震動は、PGA が 800Gal 程度および PGV が 70cm/s 程度であると推定され、鳴瀬川堤防の地震被災に関する既往のフラジリティカーブの被災確率を考慮すれば、1900 年宮城県北部の地震によって鳴瀬川堤防は被災していた可能性が高い.
- (3) 既往の大規模地震 (1900 年宮城県北部の地震, 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) による鳴瀬川堤防での推定地震動の比較検討結果によれば、鳴瀬川堤防の耐震性評価に用いる地震動 (レベル 2 地震動) としては、2011 年東北地方太平洋沖地震による推定地震動を採用するのが適切である (ただし、鳴瀬川周辺の詳細な活断層分布に関する詳細調査の実施に関する課題が残されていることを付記しておく).

今後は、推定した入力地震動を用いて、鳴瀬川堤防での動的有効応力解析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、(国研)防災科学技術研究所 K-NET および気象庁 JMA による地震観測記録を使用しました. また、(国研)防災科学技術研究所 F-net の震源メカニズム解を使用しました. (一財)国土技術研究センター第 16 回研究開発助成の一部を使用させていただきました. 記して謝意を表します.

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 秦吉弥, 一井康二, 加納誠二, 土田孝, 柴尾亨, 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.
- 4) 秦吉弥, 一井康二, 村田晶, 野津厚, 宮島昌克: 経験的サイト増幅・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一, 土木学会論文集 A, Vol.66, No.4, pp.799-815, 2010.
- 5) 秦吉弥, 酒井久和, 野津厚, 一井康二, 丸山喜久, 角田光法: 経験的サイト増幅・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, 第 32 回地震工学研究発表会講演論文集, 土木学会, Paper No.2-240, 2012.
- 6) 河野俊夫, 仁田交市, 松本聡, 堀内茂木, 岡田知己, 開原貴美, 長谷川昭, 堀修一郎, 海野徳仁, 鈴木将之: 1962 年宮城県北部地震 (M6.5) 震源域における微小地震活動, 地震第 2 輯, 第 46 巻, pp.85-93, 1993.
- 7) 武村雅之: 1900 年および 1962 年宮城県北部地震の被害データと震度分布, 歴史地震, 第 20 号, pp.201-221, 2005.
- 8) 土木学会東北支部 1978 年宮城県沖地震調査委員会: 1978 年宮城県沖地震調査報告書, 土木学会東北支部, pp.37-98, 1980.
- 9) 建設省東北地方建設局北上川下流工事事務所: 1978 年 6 月 12 日宮城県沖地震による河川構造物等被害状況写真集, 108p., 1978.
- 10) 国土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所: S53 宮城県沖地震鳴瀬川吉田川被害状況, 堤防の地震に対する点検結果, 1/37-9/37, 1978.
- 11) 国土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所: 河川管理施設地震災害資料集 (鳴瀬川水系鳴瀬川), 地震災害資料総括表, 1979.
- 12) 渦岡良介, 加納誠二, 佐々木哲也, 藤岡一頼, 山本一敏, 南大輔: 土構造物の地震時変形事例に基づく性能規定方法の調査検討, 土構造物の地震時における許容変形と性能設計に関する研究委員会報告書, 地盤工学会, pp.19-78, 2007.
- 13) 鳴瀬川堤防検討会, 国土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所: 緊急復旧工事 4 箇所毎の被災メカニズムの推定, 宮城県北部地震に伴う鳴瀬川堤防被災メカニズムの検討報告書, 第 4 章, 2005.
- 14) 国土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所: 2003 年宮城県北部の地震による被災箇所一覧表, 鳴瀬川左岸・右岸, 2003.
- 15) 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.
- 16) 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 委員会資料 (第 1~5 回), 公開資料, 2011.
- 17) (一財)国土技術研究センター: 河川堤防耐震対策緊急検討委員会 (第 1~4 回), 公開資料, 2011.
- 18) 応用地質株式会社: 平成 22 年度北上川水系堤防被災状況把握業務報告書, 国土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所, 2011.
- 19) 渦岡良介, 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.
- 20) 酒井久和, 秦吉弥, 渦岡良介, 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, Paper No.2-356, 2012.
- 21) 武村雅之: 1900 年宮城県北部地震のマグニチュードと震源位置の再評価—1962 年および 2003 年の地震との関連性—, 地震第 2 輯, 第 58 巻, pp.41-53, 2005.
- 22) 秦吉弥, 酒井久和, 一井康二: 宮城県北部を震源とする歴史地震による鳴瀬川流域での強震動の評価, 第 50 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp.2015-2016, 2015.
- 23) 秦吉弥, 酒井久和, 静間俊郎, 野津厚, 一井康二,

- 丸山喜久：サイト特性を考慮した推定地震動に基づく河川堤防の通行機能に着目した被害関数の評価—大規模地震による鳴瀬川堤防の被災を例に一，第34回地震工学研究発表会講演論文集，土木学会，Paper No.576，2014.
- 24) 例えば，秦吉弥，中村晋，野津厚：本震観測記録を利用した地震動推定手法の精度とその向上策—2008年岩手・宮城内陸地震における震源域を対象として一，土木学会論文集 A1，Vol.69，No.2，pp.186-205，2013.
- 25) 例えば，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一，港湾空港技術研究所資料，No.1173，2008.
- 26) 野津厚：強震動を対象とした海溝型巨大地震の震源モデルをより単純化する試み—疑似点震源モデルによる2011年東北地方太平洋沖地震の強震動シミュレーション，地震第2輯，第65巻，pp.45-67，2012.
- 27) 若井淳，長坂陽介，野津厚：疑似点震源モデルによる2003年5月26日宮城県沖のスラブ内地震の強震動シミュレーション，土木学会論文集 A1，Vol.70，No.4，pp.1_818-829，2014.
- 28) 秦吉弥，野津厚：疑似点震源モデルを用いた内陸地殻内地震による強震波形の評価—2005年福岡県西方沖の地震への適用例一，土木学会第67回年次学術講演会講演概要集，I-245，pp.489-490，2012.
- 29) 秦吉弥，野津厚，丸山喜久，酒井久和：疑似点震源モデルを用いた内陸地殻内地震による強震波形の評価—2007年新潟県中越沖地震への適用例一，日本地震工学会大会—2012梗概集，pp.80-81，2012.
- 30) 秦吉弥，野津厚：疑似点震源モデルを用いた内陸地殻内地震による強震波形の評価—2000年鳥取県西部地震への適用例一，日本地震工学会大会—2012梗概集，pp.74-75，2012.
- 31) 秦吉弥，野津厚：疑似点震源モデルを用いた内陸地殻内地震による強震波形の評価—2007年能登半島地震への適用例一，第48回地盤工学研究発表会講演概要集，pp.1915-1916，2013.
- 32) Hata, Y. and Nozu, A.: Pseudo point-source models for shallow crustal earthquakes in Japan, *Proc. of the Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, Paper No.630, Istanbul, Turkey, 2014.
- 33) 秦吉弥，常田賢一，湊文博，吉川登代子，藤木昂：鳴瀬川堤防沿いにおける常時微動計測および臨時地震観測，第54回日本地すべり学会研究発表会講演集，pp.202-203，2015.
- 34) 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.
- 35) 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.
- 36) 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.
- 37) (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.
- 38) 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.
- 39) 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.
- 40) Aki, K.: Scaling law of seismic spectrum, *Journal of Geophysical Research*, Vol.72，pp.1217-1231，1967.
- 41) 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一，土木学会論文集 A，Vol.65，No.3，pp.808-813，2009.
- 42) 秦吉弥，酒井久和，静間俊郎，野津厚，一井康二，丸山喜久：サイト特性を考慮した推定地震動に基づく堤防道路の通行機能に着目した被害関数の評価—大規模地震による鳴瀬川堤防の被災を例に一，土木学会論文集 A1，Vol.71，No.4，pp.1_894-914，2015.
- 43) Brune, J. N.: Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, Vol.75，pp.4997-5009，1970.
- 44) Brune, J. N.: Correction, *Journal of Geophysical Research*, Vol.76，pp.5002，1971.
- 45) 秦吉弥，静間俊郎，酒井久和，一井康二，丸山喜久，村上陽平：フラジリティカーブ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，Paper No.2-241，2012.
- 46) 秦吉弥，常田賢一：鳴瀬川流域の土構造物を対象とした耐震性評価における想定地震に関する一考察，平成27年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集，Paper No.0303，2015.
- 47) 秦吉弥，一井康二，野津厚，酒井久和：大規模地震による盛土の残留変形に影響を及ぼす入力地震動の周波数帯域に関する一考察，第58回地盤工学シンポジウム平成25年度論文集，地盤工学会，pp.225-232，2013.
- 48) 秦吉弥，一井康二，野津厚，酒井久和：高盛土の残留変形に影響を及ぼす入力地震動の周波数帯域に関する基礎的検討，地盤工学ジャーナル，Vol.9，No.4，pp.747-759，2014.
- 49) 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.
- 50) 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一，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.

(2015年6月2日 受付)