

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とその最大余震 における盛土被災地点での地震動の推定

秦吉弥¹・一井康二²・常田賢一³・野津厚⁴・横田聖哉⁵・金田和男⁶

¹日本工営(株)中央研究所主任研究員
(〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原2304)

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

²広島大学大学院工学研究院准教授 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1)

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

³大阪大学大学院工学研究科教授 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

E-mail:tokida@civil.eng.osaka-u.ac.jp

⁴(独)港湾空港技術研究所地震動研究チームリーダー (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

E-mail:nozu@pari.go.jp

⁵(株)高速道路総合技術研究所道路研究部土工研究室長 (〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1)

E-mail:s.yokota.aa@ri-nexco.co.jp

⁶東日本高速道路(株)技術部技術企画課係長 (〒100-8979 東京都千代田区霞が関3-3-2)

E-mail:k.kaneta.aa@e-nexco.co.jp

2011年東北地方太平洋沖地震により、那珂I.C.周辺的高速道路盛土が崩壊し、常磐自動車道の通行が一部不全に陥る一要因となった。この経験を踏まえた今後の道路盛土の耐震性評価のためにも、崩壊地点における地震動の推定は非常に重要である。そこで本研究では、まず、崩壊地点近傍での余震観測結果および常時微動計測結果などに基づいて、当該地点におけるサイト特性を評価した。そして、サイト特性置換手法を用いて本震ならびに最大余震における被災地点での地震動を推定した。なお、推定地震動の適用性については、既存強震観測点での記録を再現し、一定の精度で推定可能であることを確認した。

Key Words : Earthquake motion, embankment, site effect, aftershock observation, microtremor measurement

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震(M_w 9.0)では、高速道路盛土において路面陥没や法面崩落が発生し、車線確保が困難な箇所が多数確認された¹⁾。その中でも、茨城県那珂市の那珂I.C.周辺的高速道路盛土(常磐自動車道上り線92.4km: 以後、被災地点とよぶ)では、写真-1に示すように道路盛土本体に最も大きな崩落が発生した^{1),2)}。崩壊地点での応急復旧工事では、崩落土砂4,700m³に対し、延べ作業員約2,000人・時間および延べ作業機械約100台が投入され、6日間で盛土復旧を完了させている¹⁾。被災地点の盛土は、水平基盤を有する概ね左右対称の両盛土²⁾であり、既往の大規模地震において盛土崩壊が多数報告されている傾斜基盤上での片盛土^{3),4),5)}とは、盛土

構造などが大きく異なっており、今後の道路盛土の耐震性評価のためにも、被災地点での地震動を推定することは非常に重要である⁶⁾。そこで本研究では、サイト特性置換手法⁷⁾を用いて、2011年東北地方太平洋沖地震の本震(M_w 9.0)および茨城沖の最大余震(M_w 7.8)における被災地点での地震動を推定した。

具体的には、まず、崩壊地点近傍での余震観測結果および常時微動計測結果などに基づいて、被災地点におけるサイト特性を評価した。次に、サイト特性置換手法⁷⁾を用いて被災地点周辺の既存強震観測点での記録の再現解析を行い、地震動推定手法の適用性を確認した。最後に、サイト特性置換手法を用いて2011年東北地方太平洋沖地震の本震および最大余震における被災地点での地震動を推定した。なお、本研究における地震動の検討では、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^{8),9)}を含む0.2~2.0Hzの速度波形に主に着目することとした。

本研究は、(社)土木学会地震工学委員会が設けた「性能を考慮した道路盛土の耐震設計・耐震補強に関する研究小委員会(委員長:常田賢一(大阪大学大学院工学研究科 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 検討対象地点での被災状況¹⁾



(a) 本震



(b) 茨城県沖の最大余震

図-1 最大速度(3成分合成PGV)と計測震度の分布

2. 強震観測記録の整理

図-1に被災地点周辺の既存強震観測点での最大速度値PGV(3成分合成)および計測震度の分布を示す。被災地点では、本震時に地震観測が実施されておらず、最も近い既存強震観測点は那珂市役所(SK-net 那珂)である。那珂市役所では、本震時の波形記録は得られているものの、最大余震については震度階のみ記録されており波形記録は残されていない。

図-1に示すとおり、水戸I.C.とK-NET水戸のように、比較的近傍の位置関係にあるにも関わらず地震動の大きさが異なっている場合がある。これは、各強震観測点におけるサイト特性が影響しているためと考えられ、那珂市役所と被災地点についても地震動特性が異なっている可能性がある。

3. 地盤震動特性の評価

(1) 常時微動計測と余震観測

まず、余震観測にあたり、被災地点周辺の地盤震動特性の評価、及び被災地点と地盤震動特性が類似した地震計設置地点を選定するため、図-2に示す地点において常時微動計測を実施した。計測地点は、被災地点周辺の高速道路の側道(P-1~P-8およびP-10~P-15)、後述する余震観測ならびにボーリング・PS検層実施地点(P-9)である。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。計測方向は水平2成分と鉛直成分の計3成分であり、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-3に各計測地点での常時微動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¹⁰⁾を採用した。図-3に示すとおり、被災地点(P-10~P-12)と余震観測地点(P-9)では、常時微動H/Vスペクトルがほぼ一致しており、これらの地点では、サイト特性が類似している可能性が極めて高いと考えられる。しかし、那珂市役所(既存強震観測点)における常時微動H/Vスペクトルのピーク周波数やスペクトル形状は、被災地点と異なっていることから、那珂市役所と被災地点におけるサイト特性(地盤震動特性)が類似しているとは言い難い。一方で、被災地点とその周辺の高速道路の側道での常時微動H/Vスペクトルを比較すると、ピーク周波数やスペクトル形状などがそれぞれまちまちであり、地盤震動特性が場所毎に異なっている可能性が高い。特に、被災地点や余震観測地点では、他の計測地点よりも4Hz付近に明瞭かつ急激なピークを示している。これは、常時微動H/Vスペクトルの縦軸の解釈には留意する必要があるものの、被災地点や余震観測地点では、4Hz付近が非常に大きく卓越する局所的な地盤震動特性を有している可能性を示唆している。

そこで、本研究では、被災地点極近傍の住家の庭先(写真-2および図-2(b)参照)において2011年5月27



(a) 広域



(b) 被災地点近傍（拡大図）

図-2 常時微動計測位置



写真-2 被災盛土と余震観測地点

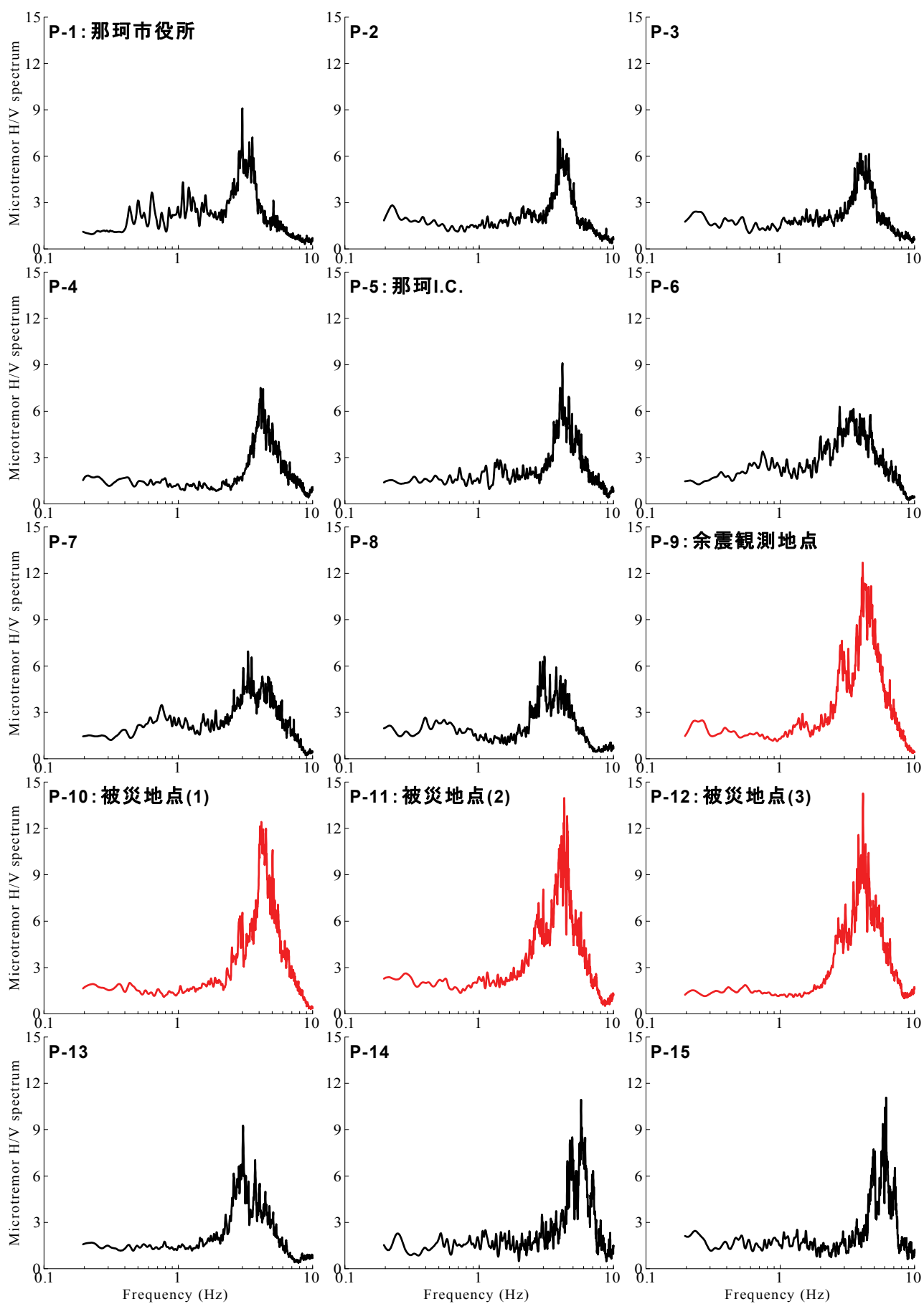


図-3 常時微動H/Vスペクトルの比較

日に地震計を設置し、7月15日まで約50日間の余震観測を実施した。地震計はボアホール型の加速度計¹¹⁾であり、サンプリング周波数は100Hzとした。観測方向は、盛土断面方向(N35° W)、道路延長方向(N55° E)、鉛直方向の計3成分である。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とした。

(2) サイト増幅特性

図-4に被災地点(=余震観測地点)におけるサイト増幅特性(地震基盤～工学的基盤)と、その周辺の強震観測点におけるサイト増幅特性¹²⁾(地震基盤～工学的基盤)を示す。被災地点におけるサイト増幅特性は、まず、被災地点とK-NET水戸で同時に得られた余震観測記録を対象に、両地点の距離の違いによる補正^{13),14)}を考慮したフーリエスペクトルの比率(被災地点/K-NET水戸)を計算し、この比率をK-NET水戸における既存のサイト増幅特性¹²⁾に掛け合わせることで地震基盤～地表相当のサイト増幅特性を評価した。そして、得られたサイト増幅特性(地震基盤～地表)を、余震観測地点において実施したボーリング・PS検層の結果に基づく地盤解析モデル(図-5参照)による伝達関数(工学的基盤～地表)で除することによって、被災地点におけるサイト増幅特性(地震基盤～工学的基盤)を算定した。那珂市役所、水戸I.C.、日立南太田I.C.のサイト増幅特性についても、本震前(那珂市役所)もしくは本震後(水戸I.C.および日立南太田I.C.)の中小地震観測記録に基づき同様の方法を用いて評価した。ここで、せん断波速度 $V_s = 300\text{m/sec}$ 以上(またはN値50以上)が連続している地盤を工学的基盤とした。なお、那珂市役所、水戸I.C.、日立南太田I.C.では、道路橋示方書(H14)による換算式¹⁵⁾を用いて、既往のボーリング結果によるN値の深度分布¹⁶⁾よりせん断波速度 V_s を推定した(図-6に那珂市役所での一例を示す)。図-4に示すとおり、被災地点とその周辺の強震観測点では、サイト増幅特性に明確な差異が確認できる。このことは、被災地点と周辺の既存強震観測点では本震時の地震動が大幅に異なっていたことを示しており、被災地点におけるサイト特性を考慮して本震時の地震動を推定する必要性が高いことを示唆している。

4. 地震動推定手法

本研究では、サイト特性置換手法⁷⁾を用いて、被災地点およびその周辺の強震観測点(以後、推定点とよぶ)における地震動の推定を行った。この手法は、被災地点周辺における基準観測点で得られた本震記録に対し、サイト増幅特性の補正を行うことにより推定点における本震時の地震動のフーリエ振幅を推定し、一方、推定点における本震時の地震動のフーリエ位相には、推定点で観測された余震によるフーリエ位相を採用することにより、推定点にお

る本震時の地震動を推定する手法である。

図-7および図-8に地震動推定の一連の流れを示す。まず、基準観測点としては那珂市役所(本震)もしくはK-NET水戸(最大余震)を選定した。これは、被災地点に最も近い観測点は、那珂市役所であるものの、茨城沖の最大余震時の波形データが那珂市役所では残されていないためである。図-9は、那珂市役所とK-NET水戸における本震もしくは最大余震の観測記録のフーリエスペクトル(水平2成分合成)と線形時のサイト増幅特性(図-4参照)を比較したものである。図-9に示すように、スペクトル形状だけでなくピーク周波数についても地震観測記録のフーリエスペクトルと線形時のサイト増幅特性が概ね類似していることから、地震時の地盤の多重非線形効果の影響¹⁷⁾は比較的小さく、那珂市役所(本震)とK-NET水戸(最大余震)は、それぞれ基準観測点としての適用性が高いものと考えられる。

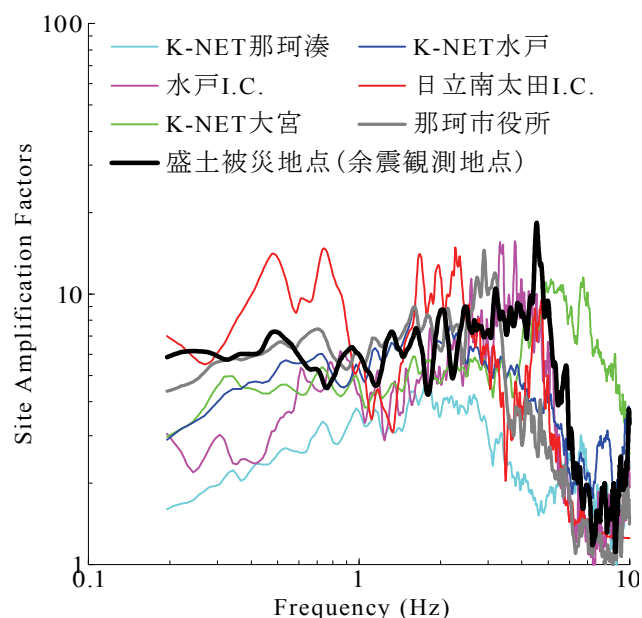


図-4 サイト増幅特性(地震基盤～工学的基盤)の比較

土層性状	層厚 (m)	深度 (m)	密度 (t/m^3)	S波速度 (m/s)
表土	0.6	0.6	1.84	130
砂質ローム	0.9	1.5	1.79	130
ローム (粘土質)	2.0	3.5	1.76	150
粘性土	1.3	4.8	1.88	170
砂礫	3.2	8.0	2.02	260
工学的基盤			2.13	330

図-5 余震観測地点でのPS検層結果に基づく1次元地盤解析モデル

土層性状	層厚 (m)	深度 (m)	密度 (t/m ³)	S波速度 (m/s)
表土	0.8	0.8	1.78	140
粘性土	3.1	3.9	1.75	130
粘性土 (砂混じり)	1.4	5.3	1.82	230
砂礫	2.6	7.9	1.98	250
工学的基盤			2.08	360

図-6 那珂市役所でのボーリング結果に基づく1次元地盤解析モデル

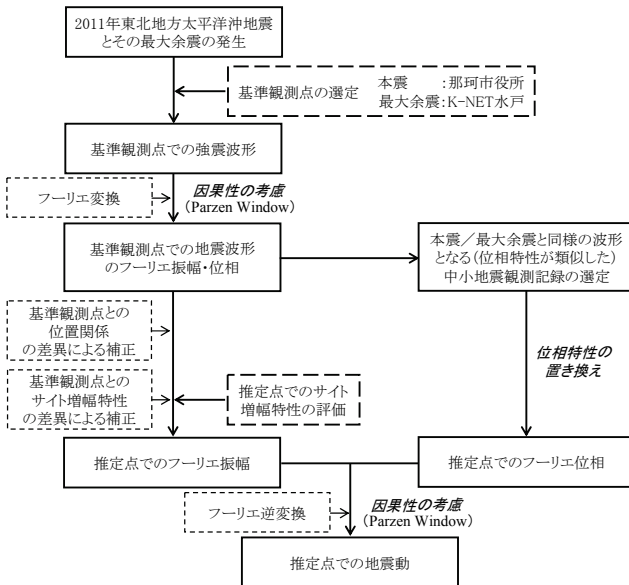


図-7 サイト特性置換手法による地震動推定のためのフレームワーク

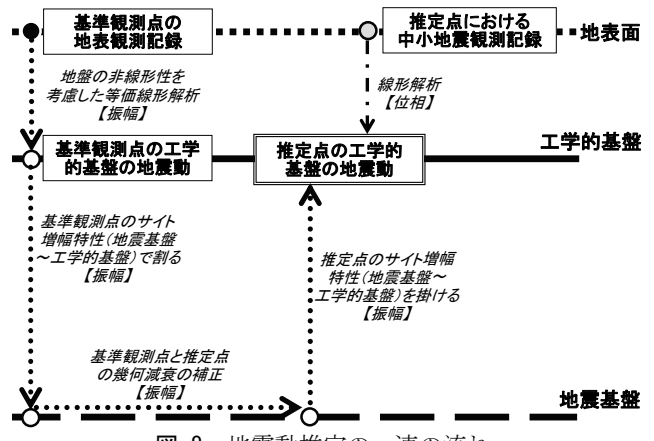
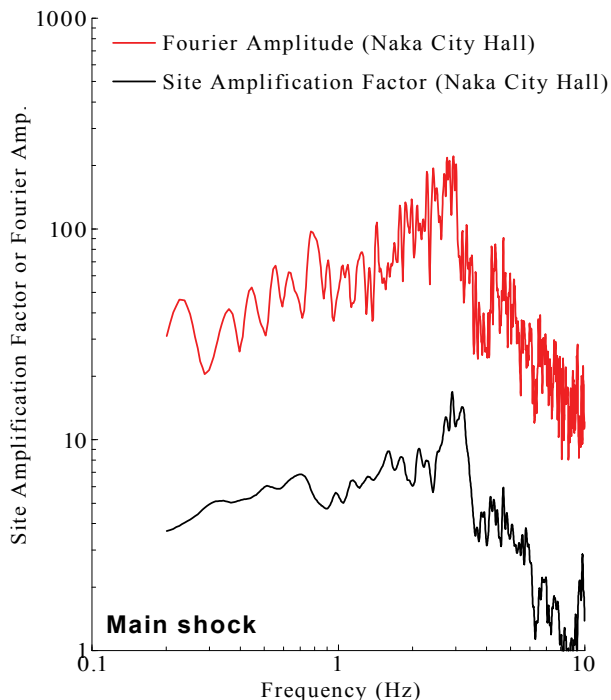


図-8 地震動推定の一連の流れ

次に、那珂市役所(本震)における地表の観測記録に対して地盤の非線形性¹⁸⁾を考慮した等価線形解析¹⁹⁾を適用して、工学的基盤相当の地震動を計算した。そして、工学的基盤相当波のフーリエ振幅を計算し、これに那珂市役所と推定点の距離の違いによる補正^{13),14)}を施し、さらに那珂市役所と推定点のサイト増幅特性(図-4参照)の比を乗じることにより、推定点の工学的基盤におけるフーリエ振幅を推定した。その際、水平2成分(NSとEW成分もしくはN35° WとN55° E成分)それぞれについて同様の計算を行った。

なお、距離の違いによる補正については、気象庁発表の震源からの距離に基づいて実施した。本研究では、基準観測点と推定点が比較的近いため、距離の取り方に関する問題は比較的小さい。しかし今後、基準観測点と推定点がかなり離れているケースなどを対象とする場合、距離の取り扱い方法が重要な検討項目となる可能性がある(例えばアスペリティからの最短距離を用いる等の配慮が必要となる可能性がある)。

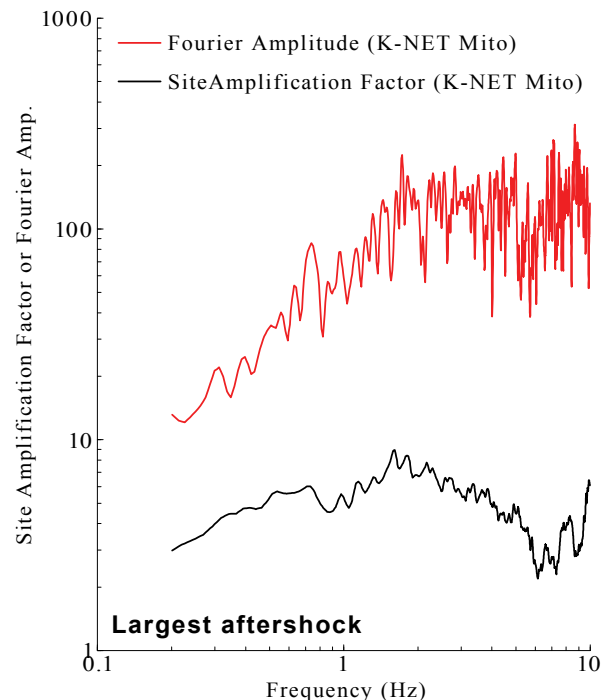


図-9 地震動のフーリエスペクトルと線形時のサイト増幅特性の比較

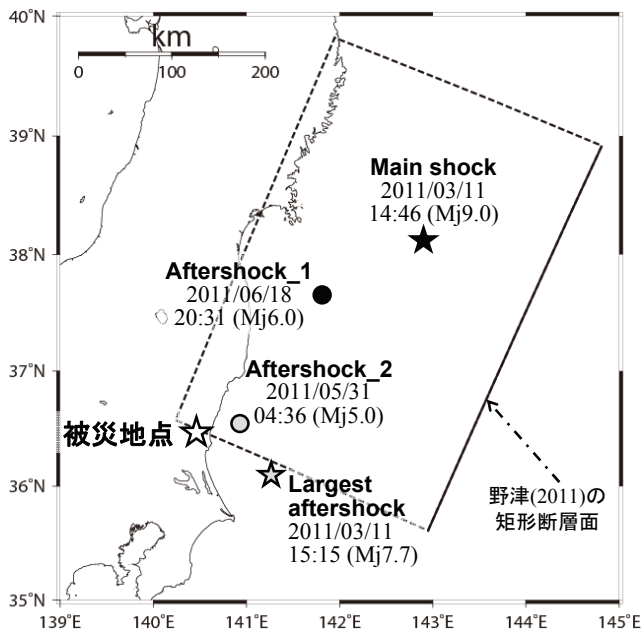


図-10 サイト位相特性の評価に用いた余震イベント

最後に、得られたフーリエ振幅と余震記録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²⁰⁾を行うことにより、推定点における本震時の地震動を推定した。なお、このとき用いる余震記録としては、推定点(被災地点を除く)における本震記録のフーリエ位相と余震記録のフーリエ位相の類似性を検討²¹⁾した上で、図-10に示す**Aftershock_1**による推定点での記録(工学的基盤相当に引戻した2E波)を採用した。

また、これと同様の手順をK-NET水戸(最大余震)における観測記録に対しても行うことにより、推定点における最大余震時の地震動を推定した。このとき用いる余震記録としては、推定点(被災地点を除く)における本震観測記録のフーリエ位相と余震観測記録のフーリエ位相の類似性を検討²¹⁾した上で、図-10に示す**Aftershock_2**による推定点での記録(工学的基盤相当に引戻した2E波)を採用した。

5. 地震動推定結果

(1) 既存強震観測点

図-11および図-12に被災地点周辺の既存強震観測点における本震時ならびに最大余震時の速度波形(観測波)と強震動推定結果(推定波)を比較したものを示す。なお、ここでは本研究で主に着目する周波数帯域に合わせて0.2~2.0Hzのバンド・パスフィルタを施した速度波形について比較している。図-11および図-12に示すとおり、強震観測点ごとのサイト増幅特性やサイト位相特性の違いにより、観測点間の振幅や波形形状の違いは大きいにも関わらず、観測波と推定波は比較的良好な一致を示している。すなわちこれは、上述した被災地点における本震時のサイト特性を入力として、サイト特性置換手法を適用すれば、本震時ならびに最大余震時における被災

地点での地震波形を一定の精度で推定できる可能性が高いことを示唆している。

(2) 被災地点

図-13、図-14、図-15は、本震時ならびに最大余震時の被災地点における推定速度および加速度波形である。なお、速度波形については、図-11および図-12と同様に0.2~2.0Hzのバンド・パスフィルタを施した波形(図-13参照)と、被災地点のサイト増幅特性のピーク周波数(図-4参照)を勘案してフィルタ処理していない波形(図-14参照)について示している。推定地震波形(加速度波形：図-15参照)による計測震度(水平2成分)は、6.0(本震)および5.4(最大余震)と算定され(ただし、工学的基盤の露頭での値)、図-1で示した周辺の既存強震観測点での記録よりも若干大きくなっている。

図-16は、推定地震波形(図-15参照)による加速度・速度応答スペクトル(減衰5%)を示したものである。図-16には、既往の大規模地震における道路盛土被災地点(2004年新潟県中越地震における堀之内I.C.、2007年能登半島地震における縦-38、2009年駿河湾の地震における東名高速道路)での推定地震動^{23),24),25)}による応答スペクトルについても同時に示している。図-16に示すとおり、本震時の応答スペクトルは、対象周期帯において既往の推定波による応答スペクトルを概ね包絡しているのが読み取れる。さらに、最大余震時の応答スペクトルについては、2007年能登半島地震における縦-38での応答スペクトルと同等程度であるのが確認できる。比較対象の既往推定波は、内陸地殻内地震やスラブ内地震によるものであり、地震動の継続時間が短いことを勘案すれば、巨大海溝型地震である2011年東北地方太平洋沖地震の本震と茨城沖の最大余震において、被災地点に作用した地震動(地震力)は、地震動の継続時間も長く、極めて大きなものであったと推察される。

6. まとめ

本研究では、サイト特性置換手法を用いて、2011年東北地方太平洋沖地震の本震と茨城沖の最大余震による那珂I.C.周辺の高速道路盛土の被災地点での地震波形を推定した。得られた知見を以下に示す。

- 1) 常磐自動車道上り線92.4kpと周辺の強震観測点では、サイト特性の差異が大きく、常磐自動車道上り線92.4kpの被災盛土地点における地震動の推定には、観測記録の直接的な転用は困難であり、当該地点でのサイト特性を適切に評価した上で地震動を推定する必要がある。
- 2) サイト特性置換手法を利用すれば、2011年東北地方太平洋沖地震の本震と茨城沖の最大余震による常磐自動車道上り線92.4kp周辺の観測点における工学的基盤相当の強震波形を一定の精度で再現することが可能である。

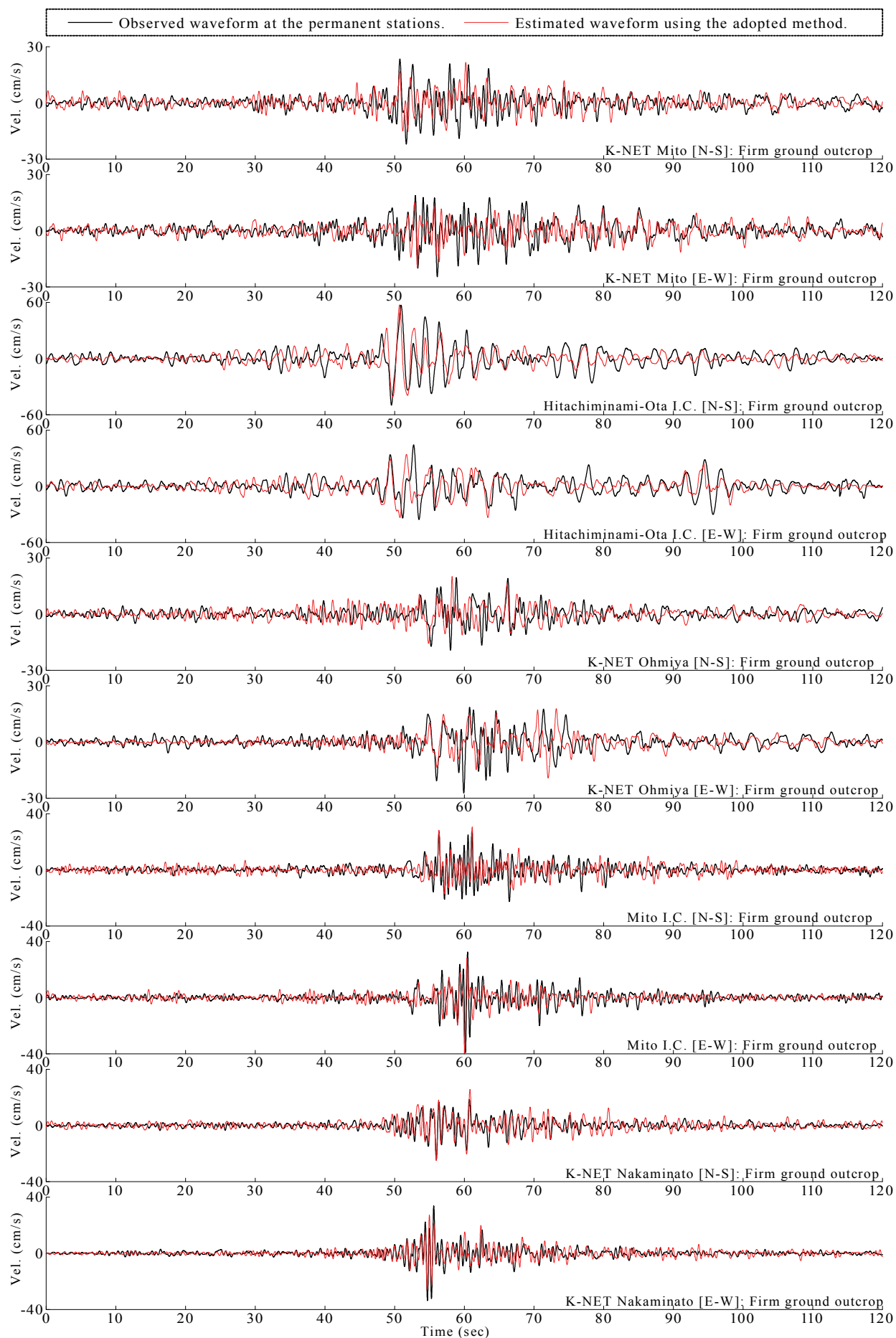


図-11 地震動推定手法の妥当性確認【本震】（速度波形：0.2～2.0Hz）

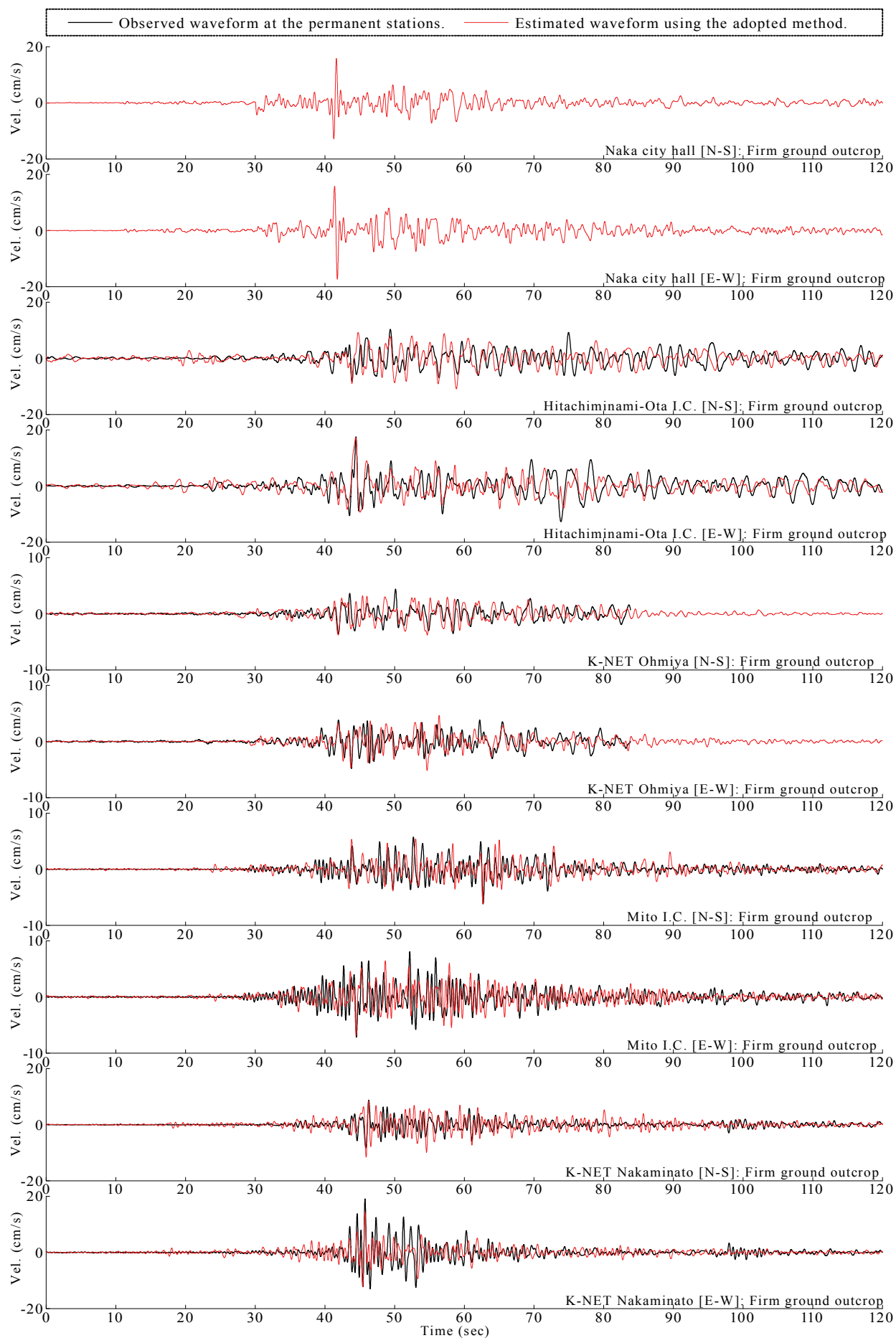


図-12 地震動推定手法の妥当性確認【茨城沖の最大余震】（速度波形：0.2～2.0Hz）

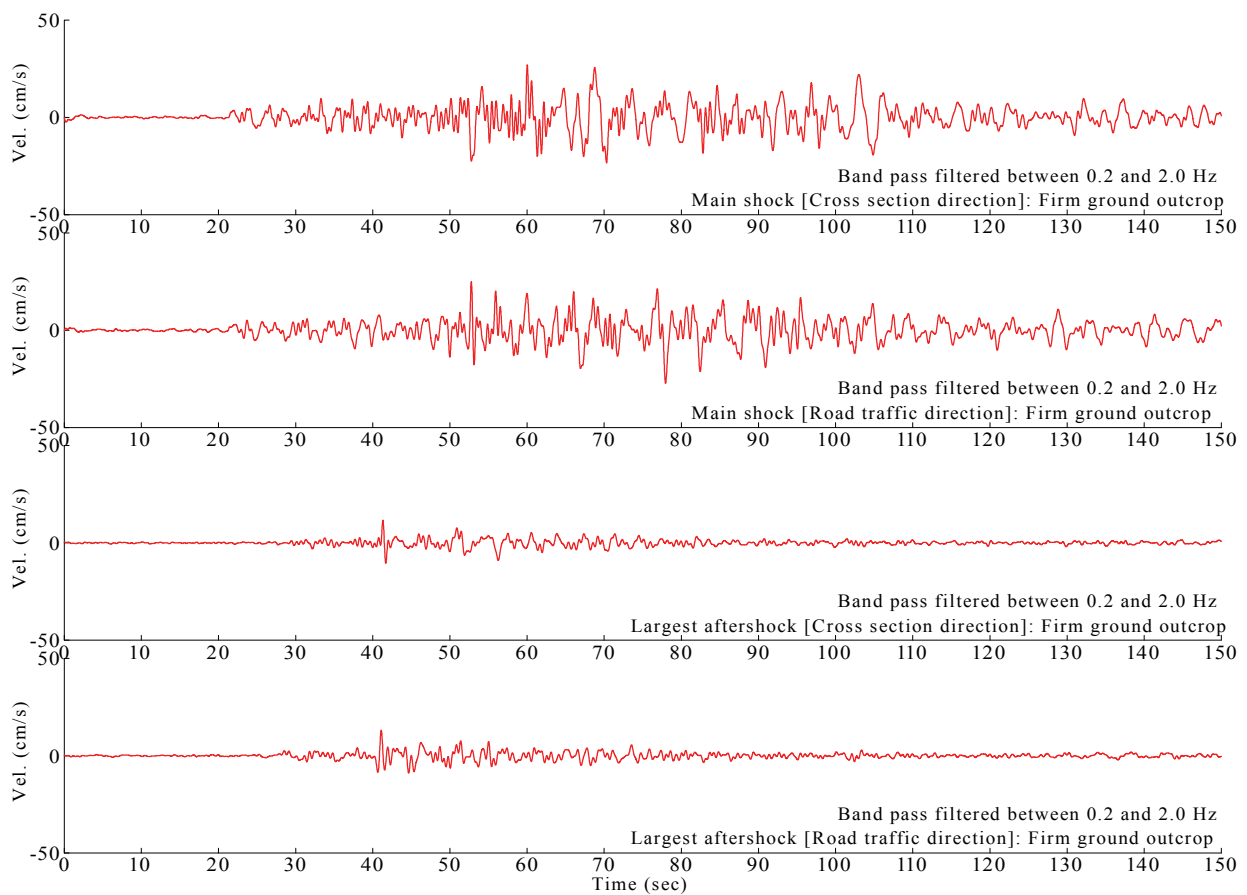


図-13 盛土被災地点における推定速度波形[工学的基盤相当の2E波] (0.2~2.0Hz)

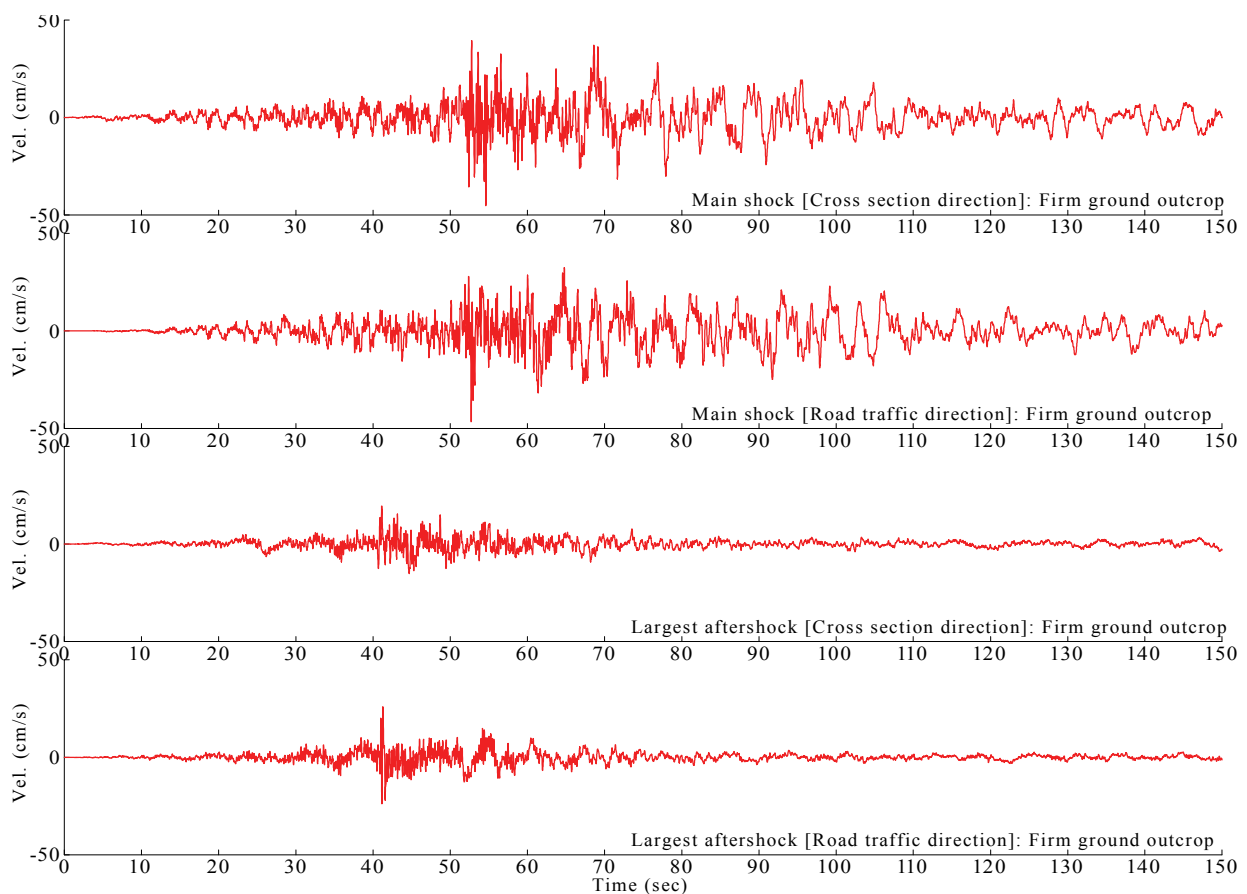


図-14 盛土被災地点における推定速度波形[工学的基盤相当の2E波] (フィルタなし)

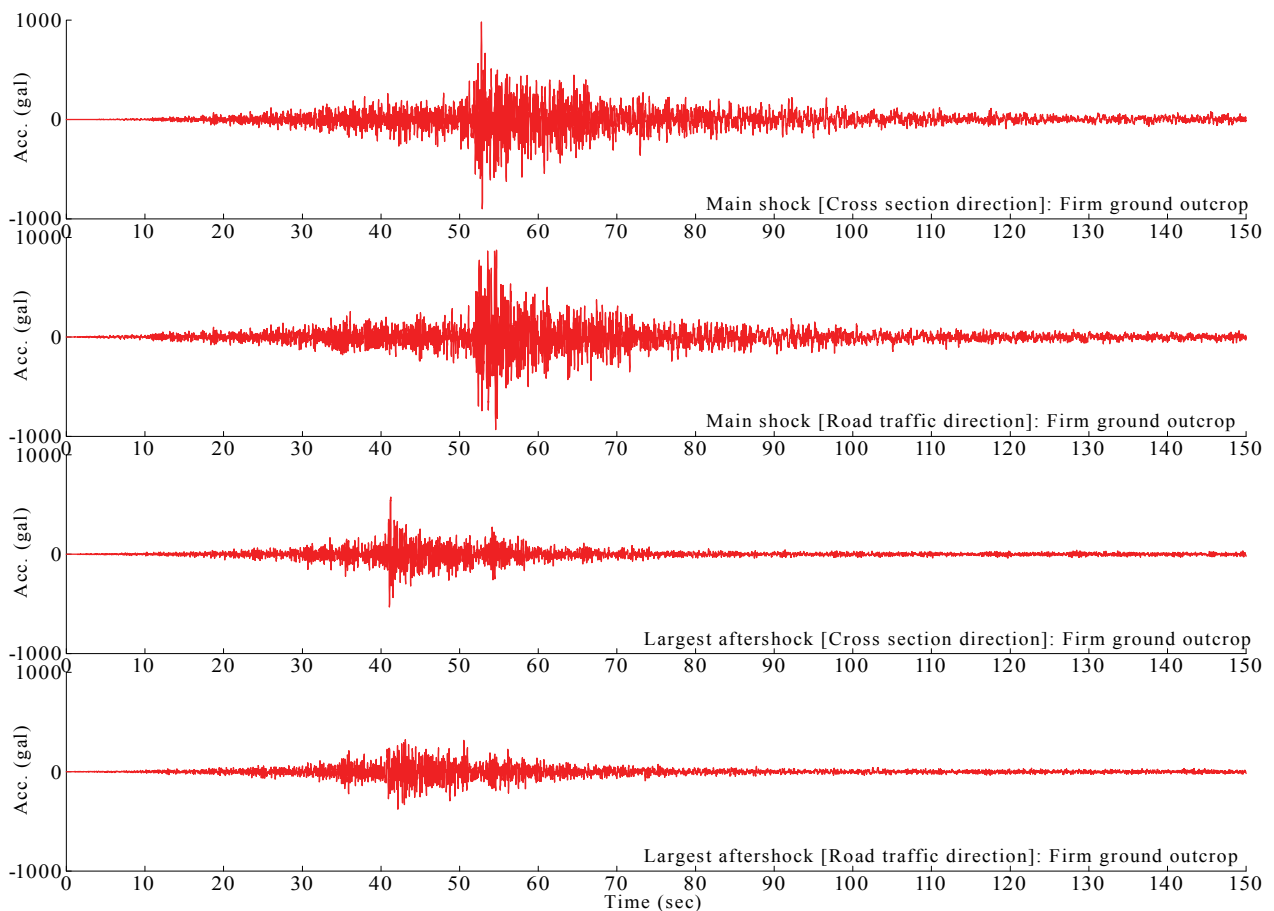


図-15 盛土被災地点における推定加速度波形[工学的基盤相当の2E波]

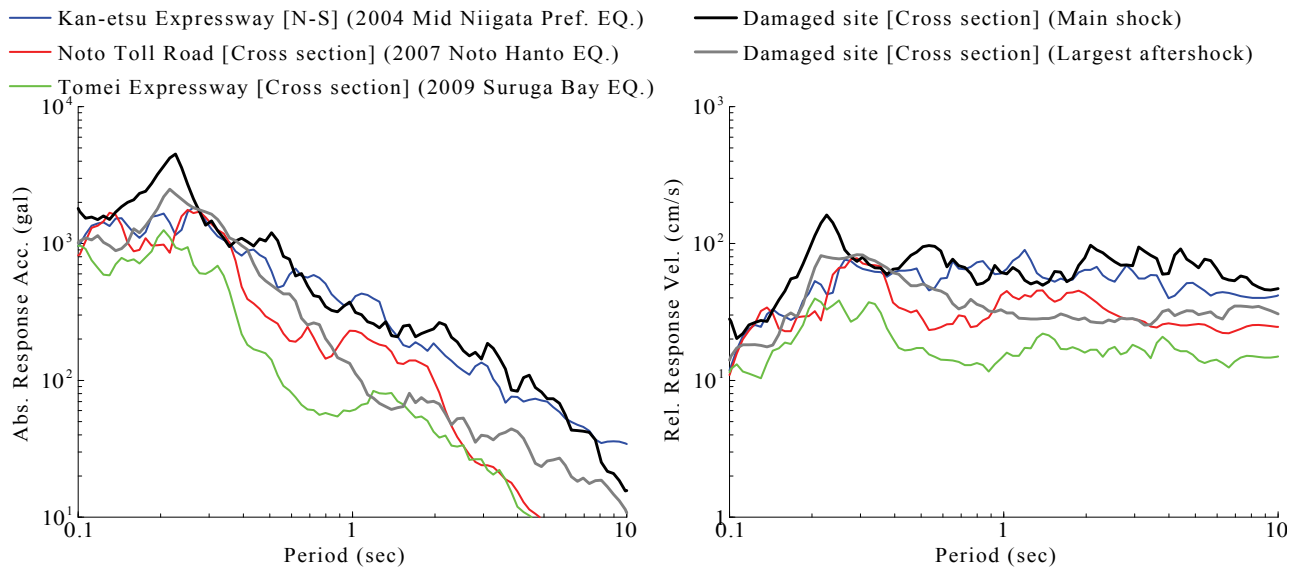


図-16 応答スペクトル(減衰5%)の比較

- 3) 常磐自動車道上り線92.4kpの被災盛土地点における本震時の推定地震動は、既往の大規模地震(内陸地殻内地震・スラブ内地震)における道路盛土被災地点での推定地震動の応答スペクトルを概ね包絡しており、巨大海溝型地震による地震動の継続時間の影響などを勘案すれば、当該地点において作用した地震動(地震力)は、極めて大きなものであったと推察される。

今後は、推定した強震動を用いた動的FEM解析を実施するなどして、常磐自動車道上り線92.4kpにおける高速道路盛土(両盛土)の被災メカニズムの解明をさらに進めていきたいと考えている。

謝辞：本研究では、NEXCO東日本、茨城県(那珂市役所)、(独)防災科学技術研究所K-NET/KiK-netによる地震観測記録を使用させていただきました。ここ

に記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 矢崎敏之：東日本大震災におけるNEXCO東日本の対応、高速道路の被害と復旧状況，土木学会誌，Vol.96, No.7, pp.20-21, 2011.
- 2) 横田聖哉：高速道路盛土の地震被害と復旧，土木学会平成23年度全国大会研究討論会 研-09資料，地震工学委員会 性能を考慮した道路盛土の耐震設計・耐震補強に関する研究小委員会，pp.3-4, 2011.
- 3) 常田賢一，小田和広，鍋島康之，江川祐輔：新潟県中越地震における道路施設の被害水準と道路機能の特性，土木学会地震工学論文集，Vol.26, pdfNo.9, 2005.
- 4) 一井康二，栗原園実，柴尾享，田森賢太郎，桑野将司，秦吉弥：斜面の地震被災の有無における地形の影響の統計的分析—2007年能登半島地震における能登有料道路の事例から—，日本地すべり学会誌，Vol.48, No.4, pp.198-206, 2011.
- 5) Hata, Y., Ichii, K. and Tokida, K.: A probabilistic evaluation of the size of earthquake induced slope failure for an embankment, *Georisk*, Vol.5, No.4, 2011. (in press)
- 6) 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，pp.3073-3080, 2010.
- 7) 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.
- 8) 川瀬博：震源近傍地震動の地下構造による増幅プロセスと構造物破壊性能—1995年兵庫県南部地震での震災域の成因に学ぶ—，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.
- 9) 野津厚，井合進，一井康二，沼田淳紀：ケーソン式岸壁の変形に寄与する地震動の振動数成分，レベル2地震に対する土構造物の耐震設計シンポジウム発表論文集，地盤工学会，pp.311-318, 2000.
- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) 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.
- 14) 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，Vol.556, pp.15-24, 2002.
- 15) (社)日本道路協会：道路橋示方書，V耐震設計編，丸善，2002.
- 16) たとえば，(独)防災科学技術研究所：茨城県土木部提供データ，統合化地下構造データベースジオ・ステーション(Geo-Station)，2009.
- 17) 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.
- 18) 安田進，山口勇：種々の不撓乱土における動的変形特性，第20回土質工学研究発表会講演集，pp.539-542, 1985.
- 19) 吉田望，末富岩雄：DYNEQ: 等価線形法に基づく水平成層地盤の地震応答解析プログラム，佐藤工業(株)技術研究所報，pp.61-70, 1996.
- 20) 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.
- 21) たとえば，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.
- 22) 野津厚：2011年東北地方太平洋沖地震の震源モデル(暫定版)—デジタルデータ付き—，港湾空港技術研究所地震防災研究領域研究ノート，No.39, 2011.
- 23) 秦吉弥，一井康二，丸山喜久，福島康宏，酒井久和，中村晋：位相を考慮したサイト特性置換手法の震源近傍地点での適用—2004年新潟県中越地震における検討—，構造工学論文集，土木学会，Vol.57A, pp.340-353, 2011.
- 24) 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—，土木学会論文集A，Vol.66, No.4, pp.799-815, 2010.
- 25) 秦吉弥，一井康二，野津厚，古川愛子，常田賢一：経験的サイト増幅・位相特性を考慮した2009年駿河湾の地震における東名高速道路盛土崩落地点での地震動の推定，土木学会論文集A，Vol.66, No.4, pp.673-690, 2010.

STRONG MOTION ESTIMATION AT THE EMBANKMENT
OF THE JOBAN EXPRESSWAY
DAMAGED BY THE 2011 OFF THE PACIFIC COAST
OF TOHOKU EARTHQUAKE AND ITS LARGEST AFTERSHOCK
BASED ON SITE EFFECTS SUBSTITUTION METHOD

Yoshiya HATA, Koji ICHII, Ken-ichi TOKIDA, Atsushi NOZU,
Seiya YOKOTA and Kazuo KANETA

Slope failure occurred in an embankment of the Joban expressway during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake and its largest aftershock. Therefore, evaluation at this site with high resolution of the strong seismic motion is very important to clarify the landslide mechanism. In this study, seismic waveform at this site was estimated based on empirical site amplification and phase effects. The estimated seismic waveform will be useful for rational safety assessment of road embankments.