# 1741年渡島大島の地震の震源域における 経験的サイト増幅・位相特性の評価

秦 吉弥1・中嶋 唯貴2・小山 真紀3・鍬田 泰子4・山内 政輝5・山田 桂吾6

 <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 北海道大学 大学院工学研究院 (〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8) E-mail: nakashima@eng.hokudai.ac.jp
<sup>3</sup>正会員 岐阜大学 流域圏科学研究センター (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1) E-mail: maki\_k@gifu-u.ac.jp
<sup>4</sup>正会員 神戸大学 大学院工学研究科 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1) E-mail: kuwata@kobe-u.ac.jp
<sup>5</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: myamauchi@civil.eng.osaka-u.ac.jp
<sup>6</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: kyamada@civil.eng.osaka-u.ac.jp

1741年渡島大島の地震では、渡島半島西側の沿岸域における巨大津波の来襲に起因した深刻な人的被害が記録されている。当該地震に関する津波の研究はこれまで多数報告されているが、地震動に着目した研究は見当たらない。そこで本稿では、1741年渡島大島の地震時に沿岸域に作用した弱震動を今後評価していくための基礎的検討として、乙部町・江差町・上ノ国町(石崎および小砂子)・松前町の計五地域におけるサイト増幅・位相特性を、近年発生した中小地震観測記録に基づき評価した結果について報告する。

#### Key Words : seismic observation, site effect, weak motion, the 1741 Oshima-Ohshima Earthquake, tsunami evacuation, instantaneous instrumental seismic intensity

#### 1. はじめに

近年,南海トラフ沿いの海溝型巨大地震(以後,南海 トラフ巨大地震と呼ぶ)<sup>1)2)</sup>や日本海における大規模地震 (以後、日本海大規模地震と呼ぶ)<sup>3</sup>の発生により、非常 に大きな地震動の作用とともに、主に沿岸部では巨大津 波の来襲についても同時に予想されており, 前者の地震 動の作用が後者の津波避難に影響を及ぼすことが懸念さ れる.この点に関して著者ほか<sup>414</sup>は、南海トラフ巨大 地震や日本海大規模地震による地震動予測,および1993 年北海道南西沖地震や2011年東北地方太平洋沖地震によ る地震動推定を実施し、地震動の作用が津波避難に及ぼ す影響に関する検討を継続的に行っている. しかしなが ら,いずれも未来にその発生が懸念されている想定地震 もしくは比較的近年に発生した被害地震に主眼を置いた 検討となっており、古文書などにその発生記録が残され た過去の被害地震(いわゆる歴史地震)をこれまで対象と していない.

そこで本稿では、1741年渡島大島の地震(図-1参照)<sup>15)</sup>

を検討対象として取り上げる.図-1に示すとおり,渡島 半島西側の沖合約60kmに位置する渡島大島は火山島で あり,江戸時代の寛保元年(1741)年に大噴火を起こし, 渡島半島西側の沿岸域に巨大津波が来襲した記録が残さ れており(例えば,写真-1参照),この津波による死者は 2,000人超<sup>16</sup>とされている.写真-1に示す最大の津波被災 地となった現在の上ノ国町石崎(以後,石崎地区と呼ぶ) における津波高は,20m以上であったと概算<sup>16</sup>されてい る.上述したとおり,1741年渡島大島の地震に関する津 波に焦点を当てた研究は多くの成果がこれまで報告<sup>17</sup>さ れているが,地震動に焦点を当てた研究<sup>18</sup>は数少ない. 1741年渡島大島の地震によってどの程度の大きさの地震 動(弱震動であると推察<sup>18</sup>される揺れ)が渡島半島西側の 沿岸域に作用したのかを推定することは重要である.

本稿では、1741年渡島大島の地震による弱震動推定を 実施するための基礎的検討として、渡島半島西側の沿岸 域の既存強震観測点・臨時地震観測点の位置相当でのサ イト増幅特性およびサイト位相特性を、近年発生した中 小地震観測記録に基づき評価した結果について報告する.

#### 2. 石崎地区における臨時地震観測

図-1 は、渡島半島西側の沿岸域に設置されている既 存強震観測点 19,20,21)の分布である. 図-1 に示すとおり, 1741 年渡島大島の地震による津波来襲による甚大な被 害が発生した現在の乙部町から松前町まで概ね一定の間 隔で強震観測点が既存設置されているものの, K-NET 江差~K-NET 小砂子の間は比較的長距離を有している こと、1.で述べた最大の被災地である石崎地区には地震 観測点が設けられていないことから、本研究では、石崎 地区の市街地において地震観測を臨時実施した. アレー 観測の期間は、2016年8月29日~2017年4月1日の約 215 日間である. 地震観測システムとしては既往研究 2)23)を参考に、地震計は加速度計(ボアホール型地震計)、 データロガーは白山工業(株)製 LS-7000XT をそれぞれ採 用した. また, 観測条件として, サンプリング周波数は 100Hz、観測方向は三成分(N-S. E-W. 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.

その結果,石崎地区と K-NET 小砂子において以下に 示す中小地震による観測記録を同時に得ることができた.

- •EQ-1:2016/09/25 13:03 13km 津軽海峡(M<sub>J</sub>3.7)
- ・EQ-2:2016/09/26 14:13 29km 浦河沖(M<sub>J</sub>5.4)

・EQ-3:2017/03/27 07:31 31km 北海道南西沖(M<sub>3</sub>5.0) 上記の観測地震の中で EQ-3 は、図-1 に示すとおり、渡 島大島近くで発生した北海道南西沖を震源とする地震で あるため、サイト位相特性の評価に利用できる可能性が 高いことから、以後、Phase-EQ と呼ぶこととする.

# 3. サイト特性の評価

図-2は、渡島半島西側の沿岸域の既存強震観測点にお けるサイト増幅特性を重ね合せたものである.ここに、 本稿でのサイト増幅特性は、いずれも地震基盤〜地表相 当の地盤震動特性を表している.K-NET江差,K-NET小 砂子,K-NET松前のサイト増幅特性は既存のものを採用 した.乙部町役場、JMA清部、JMA松前のサイト増幅特 性は、二つの観測点(乙部町役場とK-NET江差、JMA清 部とK-NET松前、JMA松前とK-NET松前)で同時に得ら れた地震観測記録を対象に、伝播経路特性<sup>24/25)</sup>の違いを 考慮したフーリエスペクトルの比率(乙部町役場/K-NET江差、JMA清部/K-NET松前、JMA松前/K-NET松 前)を計算し、この比率をK-NET江差、K-NET小砂子、 K-NET松前における既存のサイト増幅特性を評価した.

図-2に示すように、サイト増幅特性の特徴であるピー





写真-1 寛保津波と渡島大島噴火(函館市中央図書館所蔵)

図-1 1741年渡島大島の地震による震源と、渡島半島西側の沿 岸域(津波来襲地域)における地震観測点の分布



ク周波数やスペクトル形状が既存強震観測点ごとに大き く異なっていることから,渡島半島西側の沿岸域におけ るサイト増幅特性は一様であるとは言い難い.

2.で述べたとおり, Phase-EQは, 渡島大島近くで発生した北海道南西沖を震源とする地震であり(図-1参照), サイト位相特性の評価に関して利用が可能であると考え





られる. 図-3は、Phase-EQによる同時観測記録の加速 度時刻歴を、乙部町役場、K-NET江差、石崎地区、K-NET小砂子、K-NET松前において比較したものである. さらに、観測された加速度波形(図-3参照)に対して基準 振幅1.0で基準化し、渡島大島の震源(震央)からの地震 動の到来時間<sup>12)</sup>に関する補正を施したものを図-4に示す.

図-3および図-4に示すように、サイト位相特性の特徴 である波形形状が臨時地震観測点・既存強震観測点ごと に大きく異なっていることから、渡島半島西側の沿岸域 におけるサイト位相特性は一様であるとは言い難い.

すなわち,サイト増幅特性(図-2参照)のみならず,サ イト位相特性(図-4参照)の観点からも渡島半島西側の沿 岸域におけるサイト特性(地盤震動特性)には差異が見受 けられることから,1741年渡島大島の地震による津波来 襲地域に作用した弱震動の特性にも大きな違いが生じて いた可能性が高いことが示唆される.

# 4. まとめ

本稿では、渡島半島西側の沿岸域の既存強震観測点 (乙部町〜松前町)および臨時地震観測点(上ノ国町石崎) におけるサイト特性を、近年発生した中小地震観測記録 に基づき評価した、今後は、評価したサイト特性に基づ いて1741年渡島大島の地震による弱震動の推定を行って いきたいと考えている.

謝辞:本研究では、北海道震度情報ネットワークシステム、(国研)防災科学技術研究所K-NET、気象庁JMAによる地震観測波形データをそれぞれ使用しました.本研究の遂行にあたり、公益財団法人鹿島学術振興財団2015・2016年度研究助成「地域特性を考慮した津波避難困難区域の抽出〜強震動予測と歩行実験によるハイブリッド評価〜」の一部を使用しました.記して謝意を表します.

#### 参考文献

- 南海トラフの巨大地震モデル検討会:南海トラフの 巨大地震モデル検討会(第二次報告),強震断層モデ ル編一強震断層モデルと震度分布について一,内閣 府防災情報ホームページ,2012. (2017 年 8 月 29 日閲 覧)
- 2) 南海トラフの巨大地震モデル検討会:南海トラフの 巨大地震モデル検討会(第二次報告),津波断層モデ ル編―津波断層モデルと津波高・浸水域等について 一,内閣府防災情報ホームページ,2012.(2017年8月 29日閲覧)
- 国土交通省:日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書,国土交通省ホームページ,43p.,2014. http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\_blog/daikibojishinc housa/(2017年8月29日閲覧)

- 5) 湊文博,奏吉弥,常田賢一,鍬田泰子,小山真紀, 植田裕也:高密度常時微動計測・臨時地震観測に基 づく南海トラフ巨大地震における和歌山県広川町で の津波避難不可能時間算出のための強震動評価,土 木学会論文集 A1, Vol.72, No.4, pp.I\_68-81, 2016.
- 6) 秦吉弥,湊文博,山田雅行,鍬田泰子,小山真紀, 中嶋唯貴,常田賢一:強震動作用中の津波避難困難時間に関する評価精度とその向上策一南海トラフ巨大地震における駿河湾沿岸域を対象として一,構造工学論文集,土木学会,Vol.62A, pp.259-272, 2016.
- 7) 秦吉弥, 湊文博,常田賢一,青木伸一,鍬田泰子, 小山真紀:南海トラフ巨大地震における静岡県沿岸 域での推定地震動の作用が津波避難に及ぼす影響, 土木学会論文集 B3, Vol.72, No.2, pp.I\_1-6, 2016.
- 8) 湊文博,奏吉弥,村上啓介,山田雅行,鍬田泰子, 小山真紀,中嶋唯貴,常田賢一:高密度臨時地震観 測に基づく南海トラフ巨大地震における宮崎市沿岸 部での津波避難困難時間算出のための強震動予測, 地域安全学会論文集, No.29, pp.53-62, 2016.
- 9) 秦吉弥,中嶋唯貴,湊文博,鍬田泰子,小山真紀, 常田賢一:高密度臨時地震観測に基づく南海トラフ 巨大地震における高知県南国市津波来襲予想地域で の強震動の予測,第 36 回地震工学研究発表会講演論 文集,土木学会, Paper No.920, 2016.
- 10) 湊文博,秦吉弥,藤木昂,山田雅行,鍬田泰子,小 山真紀,中嶋唯貴,常田賢一:津波避難困難時間に 影響を及ぼす強震動の周波数帯域に関する基礎的検 討,第36回地震工学研究発表会講演論文集,土木学 会,Paper No.923, 2016.
- 11) 湊文博, 秦吉弥, 中嶋唯貴, 小山真紀, 鍬田泰子, 山田雅行, 常田賢一: 避難余裕時間に基づく津波避 難困難区域の抽出手法に関する適用性の評価—1993 年北海道南西沖地震による奥尻島青苗地区を例とし て一, 土木学会論文集 B3, Vol.72, No.2, pp.I\_509-514, 2016.
- 12) 湊文博,秦吉弥,山田雅行,鍬田泰子,小山真紀, 中嶋唯貴,常田賢一:高密度常時微動計測に基づく 1993 年北海道南西沖地震における奥尻島青苗地区で の強震動と避難不可能時間の評価,土木学会論文集 A1, Vol.72, No.4, pp.I 884-894, 2016.
- 13) 山内政輝,秦吉弥,村田晶,鍬田泰子,小山真紀, 中嶋唯貴,宮島昌克,常田賢一:地域特性を考慮した津波避難困難区域の評価一能登半島北方沖の想定 地震による石川県輪島市舳倉島を例として一,土木 学会論文集 A1, Vol.73, No.4, 2017. [掲載決定]
- 14) 山内政輝,秦吉弥,鍬田泰子,小山真紀,中嶋唯 貴:津波避難困難時間の算定を目的とした強震動の 評価―山形県酒田市飛島を例として―,土木学会論 文集 B3, Vol.73, No.2, pp.I\_222-227, 2017.
- 15) 例えば,宇佐美龍夫,石井寿,今村隆正,武村雅之, 松浦律子:日本被害地震総覧 599-2012,東京大学出 版会,724p.,2013.
- 16) 例えば,長谷川成一:1741 年に蝦夷地・北部日本海 沿岸地域を襲った寛保津波,なゐふる(日本地震学会

広報誌), No.54, pp.7, 2006.

- 17) 例えば, Satake, K.: Volcanic origin of the 1741 Oshima-Oshima tsunami in the Japan Sea, *Earth Planets Space*, Vol.59, pp.381-390, 2007.
- 18)都司嘉宣,上田和枝,佐藤賞史,西畑剛,佐藤一 敏:寛保元年(1741)渡島大島噴火津波の発生原因, 日本火山学会講演予稿集, pp.81, 1996.
- 19) 北海道防災会議:北海道地域防災計画,総務部危機 対策局危機対策課,234p.,2016.
- 20) Aoi, S., Kunugi, T., and Fujiwara, H.: Strong-motion seismograph network operated by NIED: K-NET and KiKnet, *Journal of Japan Association for Earthquake Engineering*, Vol.4, No.3, pp.65-74, 2004.
- 21) Nishimae, Y.: Observation of seismic intensity and strong ground motion by Japan Meteorological Agency and local governments in Japan, *Journal of Japan Association for Earthquake Engineering*, Vol.4, No.3, pp.75-78, 2004.
- 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, Vol.68, No.4, pp.I\_407-417, 2012.

- 23) 秦吉弥,中嶋唯貴,湊文博,鍬田泰子,小山真紀, 常田賢一:短期間の臨時地震観測によりサイト増幅 特性を広域評価する試み一南海トラフ巨大地震にお ける高知県南国市の津波来襲予想地域を例として一, 第 51 回地盤工学研究発表会概要集, pp.1899-1900, 2016.
- 24) 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, No.6A, pp.1865-1894, 1983.
- 25) 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.
- 26) 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.

(2017.8.29 受付)

# EVALUATION OF EMPIRICAL SITE AMPLIFICATION AND PHASE EFFECTS ALONG COASTAL AREA OF WESTERN OSHIMA PENINSULA, JAPAN, FOCUSED ON THE 1741 OSHIMA-OHSHIMA EARTHQUAKE

## Yoshiya HATA, Tadayoshi NAKASHIMA, Maki KOYAMA, Yasuko KUWATA, Masaki YAMAUCHI and Keigo YAMADA

During the 1741 Oshima-Ohshima Earthquake, the serious damage with huge tsunami is occurred along coastal area of western Oshima Peninsula, Japan. Thus, a lot of previous studies were focused on the tsunami. On the other hand, we will approach the weak motion estimation during the 1741 main shock. As one of preliminary studies for the estimation, the empirical site amplification and phase effects were evaluated based on the recent earthquake observation records in this paper. The evaluated site effects will be useful for the future estimation of weak motions with a pseudo point-source model.