

DONET 海底地震計の地震動特性の把握

課題責任者

武村 俊介 東京大学地震研究所

著者

武村 俊介*¹, 江本 賢太郎*², 山谷 里奈*³

*¹ 東京大学地震研究所, *² 九州大学, *³ 防災科学技術研究所

キーワード: DONET, 海底地震計, 強震動, サイト増幅, OpenSWPC

1. はじめに

日本国内はMOWLAS (Aoi et al., 2020 [1]) による地震観測網の拡充により、多様な地震現象 (通常の地震に加えスロー地震など) を捉え、地震物理、強震動生成メカニズムの解明や巨大地震準備状況のモニタリングなどに活用されてきた。2011 年以降は、海洋研究開発機構により DONET が、2016 年以降は防災科学技術研究所により S-net が構築され、現在では巨大地震震源域周辺についてもリアルタイム観測が進んでいる。巨大地震発生域周辺で発生する地震現象の正確な理解、それらがプレート境界に及ぼす影響を評価するには、DONET や S-net などの海底地震計記録を正確に理解することが必要不可欠である。本報告書では、1944 年東南海地震の震源域周辺に敷設された DONET1 の地震動記録を活用し、海底地震計で得られた地震波形の特徴について、投稿済みのプレプリントを基にその概要をまとめた。

詳細については、Takemura, Emoto & Yamaya 2023 <https://doi.org/10.1186/s40623-023-01778-8> を御覧ください。

2. DONET 海底地震計記録の特徴

図 1a に 2014 年 11 月 30 日に海溝より海側のフィリピン海プレート内で発生した地震の DONET と陸上観測点の F-net の記録を示す。図 1a 真ん中図の青線が DONET で得られた 1-2 Hz および 2-4 Hz の速度波形エンベロープで、実線が水平動、点線が上下動を示す。比較のために F-net の速度波形エンベロープを黒線で示している。発震時刻からの経過時間 50 秒以下に見える大振幅は S 波で、その後 S 波のエネルギーは時間経過の増大に伴いゆるやかに減少する S 波コーダが確認できる。

S 波コーダは陸域観測網での解析から、領域全体の平均的な地震波散乱特性、震源放射エネルギーと観測点特有のサイト増幅効果により振幅の大小が決まることが知られており (例えば、Sato et al., 2012 第 3 章[2])、DONET と F-net のコーダ振幅の差から、大きなサイト増幅があったことが想像される。そこで、S 波最大振幅と S 波コーダ振幅の距離依存性を確認した。S 波コーダ振幅は各観測点で、経過時間 70-90 秒の間で平均をとった。

図 1a 右を見ると、DONET の水平動 (青く塗りつぶされたひし形) は上下動や F-net より S 波最大振幅が大きく、サイト増幅の効果がうかがえるが、上下動 (青い中抜き

ひし形) は F-net の S 波最大振幅と同様の距離減衰傾向を示し、サイト増幅の効果が顕著ではない。一方で、速度波形エンベロープの図から明らかな通り、S 波コーダ振幅は水平動も上下動もどちらも F-net と比べて大きい。

観測から得られた結果を簡単にまとめると、(1) 陸域観測点と比べて S 波コーダの振幅は水平動と上下動共に大きい、しかし、(2) 上下動の S 波最大振幅は陸域の F-net と同様な距離減衰特性を示しており、(3) S 波と S 波コーダで増幅特性が異なる可能性がある、ということである。これらの現象を現実的な地震波伝播シミュレーションで模擬し、海底地震計で得られた観測地震動の特性を明らかにする。

3. 地震波伝播シミュレーション

地震波伝播シミュレーションには OpenSWPC [3] を利用した。地震波速度構造モデルは全国 1 次地下構造モデル [4] を仮定し、DONET 観測点と海岸線沿いの F-net 観測点を含む領域を、0.025 km で離散化し、0.001 s 毎に地震波伝播を評価した。シミュレーションには地球シミュレータを利用し、2000 Vector Elements、32 TB のメモリを使用した。より詳細な計算諸元は <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1674758/v1> を御覧ください。

シミュレーション結果は図 1b に示した通りで、S 波最大振幅は陸域観測点と同様の距離減衰のトレンドであるのに対し、S 波コーダの振幅は海底地震計 (青いひし形) で大きい。ここで、極浅部の軟弱地盤 (海底下数十 m、S 波速度 0.5 km/s 未満) の効果を含めていないため、水平動は観測のように大振幅しないことに注意が必要である。

全国 1 次地下構造モデルをモデル 0 として、堆積層の速度を増加させる、海水をなくすなどの検討を重ねた結果、海底下の厚い堆積層が S 波コーダ増幅の原因であることをつきとめた。

4. まとめと今後の展望

DONET 観測波形と地球シミュレータを用いた地震波伝播シミュレーションにより、DONET 海底地震計での S 波コーダは領域の平均的な地震波散乱特性ではなく、堆積層内にトラップされた地震波エネルギーにより形成されていることがわかった。そのため、陸域の岩盤点 (F-net) を基準点としたコーダ波規格化法によるサイト増幅の補

正が困難であることを明らかにした。

この知見は、S-net を含め世界中の海底地震計で役立つと考えられる。海底地震計による実用的なサイト増幅補正法の開発をし、海底地震計が捉えた多様な地震現象の詳細を明らかにすることで、巨大地震準備状況の解明やモニタリングを目指す。

謝辞

防災科学技術研究所 DONET (Aoi et al., 2020 [1]; <https://doi.org/10.17598/NIED.0008>) の強震記録を利用しました。おの より OpenSWPC [3]をダウンロードして利用しました。

文献

- [1] Aoi, S., Asano, Y., Kunigu, T., Kimura, T., Uehira, K., Takahashi, N., Ueda, H., Shiomi, K., Matsumoto, T., & Fujiwara, H., MOWLAS: NIED observation network for earthquake, tsunami and volcano, Earth, Planets, and Space, 72:126, 2020 年 9 月
- [2] Sato, H., Fehler, M., & Maeda, T., Seismic Wave Propagation and Scattering in the Heterogeneous Earth Structure, 2nd ed., Springer-Verlag, 2012 年
- [3] Maeda, T., Takemura, S., & Furumura, T., OpenSWPC: an open-source integrated parallel simulation code for modeling seismic wave propagation in 3D heterogeneous viscoelastic media, Earth, Planets, and Space, 69:102, 2017 年 7 月
- [4] Koketsu, K., Miyake, H., & Suzuki, H., Japan Integrated Velocity Structure model version 1, Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering, 1-4, 2012 年 9 月

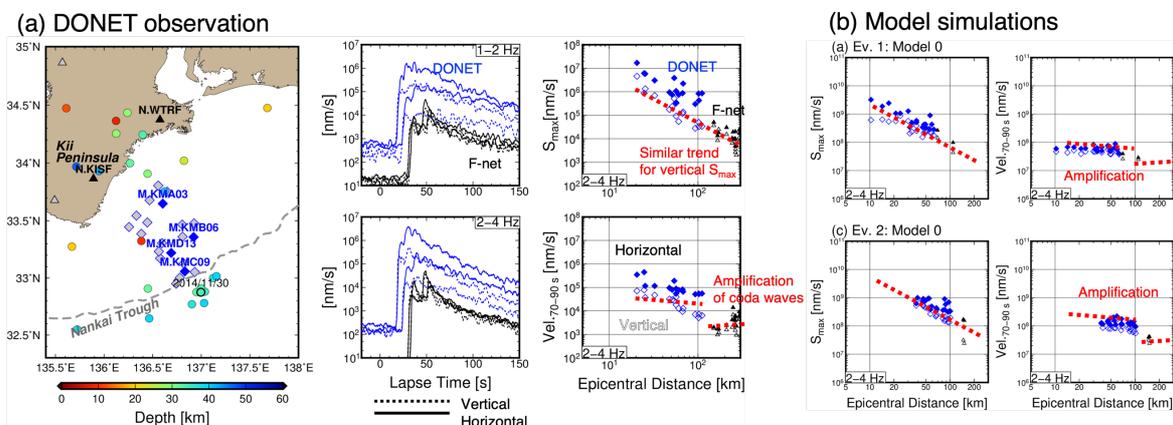


図 1. (a) 観測点と震源位置の地図、2014 年 11 月 30 日に発生した地震による観測波形エンベロープ、S 波最大振幅と S 波コーダ振幅の分布、(b) 地震波伝播シミュレーションによる再現。

Characteristics of Ground Motion at DONET in Nankai

Project Representative

Shunsuke Takemura Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

Authors

Shunsuke Takemura^{*1}, Kentaro Emoto^{*2}, Lina Yamaya^{*3}

^{*1}Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, ^{*2}Kyushu University, ^{*3}National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

Keywords : DONET, Ocean Bottom Seismometer, Ground motion, Site amplification, OpenSWPC

1. OBS networks in Japan

Nation-wide seismic networks of MOWLAS (Aoi et al. 2020[1]) can catch various seismic phenomena in inland and offshore regions across Japan. Recent developments of ocean bottom seismometers (OBSs), such as DONET and S-net, provide us opportunities to investigate detailed seismicity around the megathrust zones. To achieve a quantitative understanding of offshore seismic phenomena (regular and slow earthquakes), the characteristics of seismic wave propagation around OBSs are important. In this report, we summarized characteristics of high-frequency seismic wave propagation around DONET stations, which were deployed near the hypocenter of the 1944 Tonankai earthquake.

This report was written based on the following paper: Takemura, Emoto, & Yamaya (2023) <https://doi.org/10.1186/s40623-023-01778-8>

2. Ground motions at DONET stations

Figure 1a shows observed DONET records during an intraslab earthquake that occurred on 30 November 2014. In the middle panels of Figure 1a, envelopes of filtered seismograms at frequencies of 1-2 and 2-4 Hz. Envelopes of both horizontal (solid line) and vertical (dotted line) at DONET stations (blue lines) are much larger than those at F-net stations (black lines). S-wave coda is considered as a superposition of multiple scattered waves within the medium, and then differences in coda amplitudes at each station reflect local site amplifications (Sato et al., 2012, Ch. 3 [2]). Due to large coda amplitudes in both components, thus, we expected large site amplifications of S waves.

Coda amplitudes at DONET stations (blue symbols in the right bottom panel), which are average amplitudes during lapse times of 70-90 s, are much larger than those at F-net stations (black symbols). However, maximum S-wave amplitudes (S_{max}) of the vertical component at DONET stations obey similar attenuation characteristics to those at F-net stations. In other words, significant amplification expected from coda amplitudes at DONET stations was not observed in vertical S_{max} .

3. Ground motion simulation

To clarify different amplification characteristics between S_{max} and S-wave coda at DONET stations, we conducted numerical simulations of seismic wave propagation around DONET stations via OpenSWPC (Maeda et al., 2017 [3]) using a local 3D seismic velocity model of Koketsu et al. (2012)[4]. The model volume was discretized by a uniform interval of 0.025 km. The time step in our calculations was 0.001 s. Our simulation required the computational resource of 2,000 Vector elements of the Earth Simulator and 32 TB of memory. Here, we did not assume thin (< 50 m) and very low velocity ($V_s < 0.5$ km/s) layers, and consequently, effects of site amplifications at DONET stations are expected to be weaker compared to observations.

Simulation results are illustrated in Figure 1b. As shown in the right panels of Figure 1a, S_{max} at both F-net and DONET stations obeyed similar attenuation characteristics as a function of epicentral distance. In contrast, coda amplitudes at DONET stations were 0.5-1 order larger than those at F-net stations. Our simulation can reproduce the basic features of observed ground motions at DONET stations.

We conducted additional simulations using heterogeneous models: a model without sedimentary layers (Model 1), a model without a seawater layer (Model 2), and a model without both sedimentary and seawater layers (Model 3). We did not show the details of the simulation results here. Our simulation results suggest that the coda waves at DONET stations were mainly caused by oceanic sediments beneath the stations, although coda waves at F-net stations were constructed by a superposition of scattered waves within the crust. Due to the difference in coda excitation mechanisms, site amplifications expected from coda waves at DONET stations were incorrect for site correction of S waves.

4. Conclusions and future perspectives

We found a difference in the coda excitation mechanism in the observed and simulated seismograms at DONET and F-net stations. Consequently, site amplifications at DONET stations expected from coda waves were overestimated. To better achieve monitoring and quantitative analysis of offshore seismic phenomena, we carefully estimate site amplifications at OBSs of S-net and DONET.

Acknowledgement

We used DONET continuous strong motion records downloaded from the NIED website (Aoi et al., 2020 [1]; <https://doi.org/10.17598/NIED.0008>). In our simulations, we used OpenSWPC (Maeda et al. 2017 [3]) version 5.20 (<https://doi.org/10.5281/zenodo.3712649>)

References

- [1] Aoi, S., Asano, Y., Kunigu, T., Kimura, T., Uehira, K., Takahashi, N., Ueda, H., Shiomi, K., Matsumoto, T., & Fujiwara, H., MOWLAS: NIED observation network for earthquake, tsunami and volcano, Earth, Planets, and Space, 72:126, September 2020
- [2] Sato, H., Fehler, M., & Maeda, T., Seismic Wave Propagation and Scattering in the Heterogeneous Earth Structure, 2nd ed., Springer-Verlag, 2012
- [3] Maeda, T., Takemura, S., & Furumura, T., OpenSWPC: an open-source integrated parallel simulation code for modeling seismic wave propagation in 3D heterogeneous viscoelastic media, Earth, Planets, and Space, 69:102, July, 2017
- [4] Koketsu, K., Miyake, H., & Suzuki, H., Japan Integrated Velocity Structure model version 1, Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering, 1-4, September, 2012

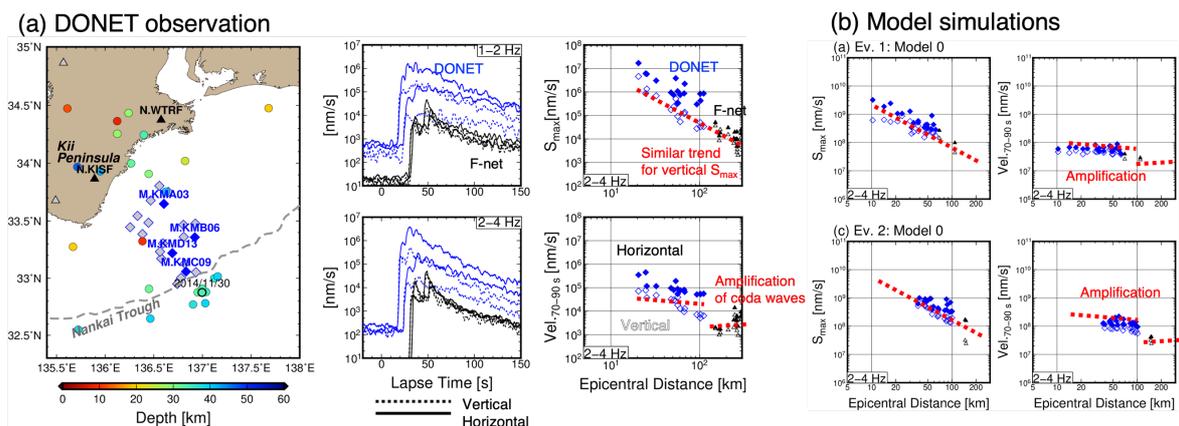


Figure 1. (a) Observed seismogram envelopes and amplitudes at DONET and F-net stations during an earthquake that occurred on 30 November 2014. Blue symbols and lines denotes observations of DONET. Black ones are F-net. (b) Numerical simulation of ground motions at DONET stations.