

浜岡原子力発電所津波監視海洋レーダの観測性能評価

中部電力(株) 正会員 ○横洲 弘武
 中部電力(株) 正会員 橋詰 正広
 国際航業(株) 非会員 柳谷 紗代

1. はじめに

中部電力(株)浜岡原子力発電所では、前面海域に襲来する津波を監視するため短時間観測の津波監視海洋レーダを設置している。海洋レーダの観測性能については、既往の研究より一定規模の地震性本震津波は検知可能であることを確認済みである。しかし、近年インドネシアなどで発生している海底地すべりなどの非地震性津波や、本震津波発生後の余震津波は、その周期性や海面の揺動影響から地震性の本震津波に比べ海洋レーダで捉えにくい可能性がある。これら津波についても、防災上の観点から観測の重要性は高いため、観測性能評価を行った。

2. 津波波形の条件整理

(1) 非地震性津波

非地震性津波については、浜岡原子力発電所にて想定している海底地すべりによる津波（約 10 ケース）のうち 2 ケースを選定し、検証を行うこととした。想定された海底地すべり津波は、南海トラフにおけるプレート型地震から発生する津波と比較すると規模は小さい。海底地すべり津波の中でも規模の大きいものと、小さいものの 2 ケースとした。それぞれの津波の初期水位分布のスナップショットを図-1 に示す。

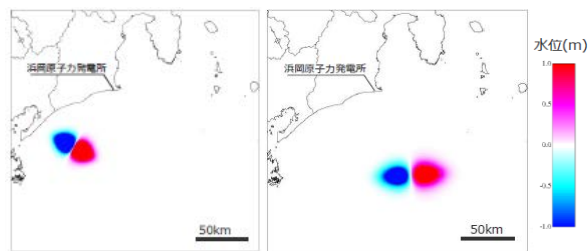


図-1 初期水位（左：規模大、右：規模小）

(2) 地震性余震津波

余震津波の検知性能は、本震津波および余震津波の高さに依存すると考えられるため、規模の異なる大中小 3 ケースを検討した。過去に実施した津波シミュレーション結果から選定することとし、津波高大（20m 級）、津波高中（10m 級）、津波高小（6m 級）の 3 ケースを抽出した。その組合せはケース 1（本震 20m 級、余震 10m 級）、ケース 2（本震 6m 級、余震 20m 級）、ケース 3（本震 6m 級、余震 10m 級）とした。本震と余震の時間差は既往研究の知見より、数値シミュレーション上、余震検知の可能性の高い時間として 2 時間（ケース 1， 3）または 1 時間（ケース 2）とした。

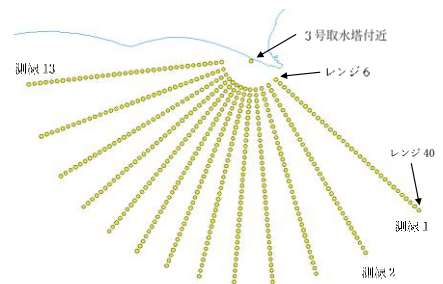


図-2 海洋レーダ観測範囲

3. 仮想津波観測実験による津波流速の抽出および観測性能評価

(1) 津波流速の抽出

レーダの観測性能は海象条件により異なることが確認されており、ここでは観測可能な海象条件として 2 パターン（有義波高 1m 未満および有義波高 1m～3m）について検討することとした。また、流速計算条件は、1 分 FFT、60 秒出力および 2 分、FFT30 秒出力の 2 パターン、測線は 3 本（測線 No3、5、7）とした（図-2）。2. のケースについて数値シミュレーションを行い非地震性津波および余震津波波形を作成した。一例として余震津波のケース 3（本震 6m 級、余震 10m 級、時間差 2 時間）の測線 No5 における津波シミュレーション波形を図-3 に示す。

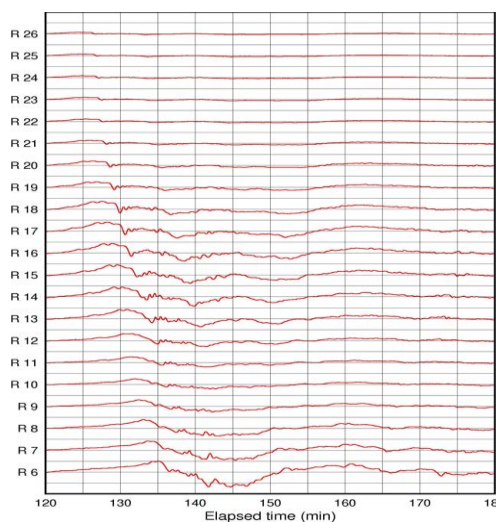


図-3 津波シミュレーション波形

仮想津波観測実験では、上記計算した数値シミュレーション値に実際に海洋レーダによって観測されたデータ（ノイズ含）を合成して模擬波形を作成する。過去のデータを参考に、有義波高 1m 未満は 2016/7/25～7/30（以下、低波浪）、有義波高 1m～3m は 2016/1/5～1/12（以下、高波浪）の期間を採用することとした。結果の一例として、高波浪における余震津波ケース 3、測線 No5（2 分 FFT、30 秒出力）のレンジ No9～24（沖合 13km～36km）における結果を図-4 に示す。

（2）観測性能評価

3（1）で得られた津波流速に対して観測性能評価を行った。解析対象地点は、測線 No3, 5, 7 のレンジ No6～26（沖合 9km～40km）とした。観測性能については、波形の一致度を示す①VR（Variance Reduction）、②津波第一波ピークの出現時の流速誤差、時間差（以下、最大流速差と時間差）および③Navarrete et al. (2020) による総合誤差の 3 つの評価を行った。

一例として、余震津波ケース 3 の 2 分 FFT、30 秒出力の結果を以下に示す。図-6 に VR の計算結果を、図-7 に測線 5 における最大流速差と時間差を示す。VR では 20 レンジ近くまでは再現性が高いことが確認できた。また、流速が大きく第一波ピークが明瞭なケース 3 は最大流速差と時間差の分布幅は小さくなっていた。

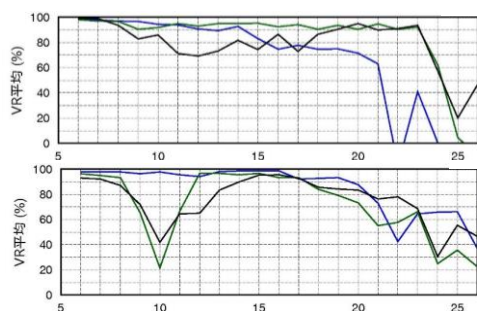


図-6 余震津波の VR（上：高波浪、下：低波浪）

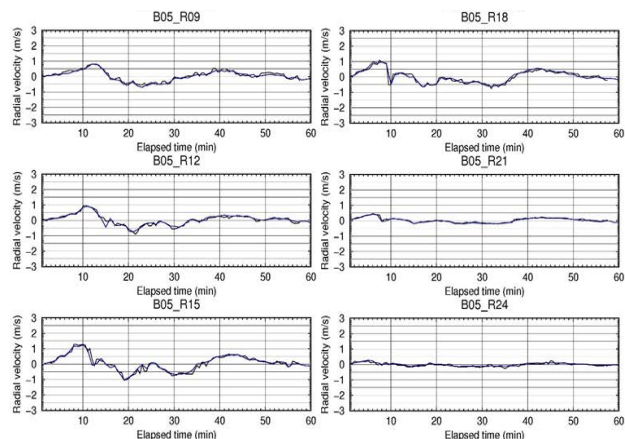


図-4 余震津波波形ケース 3

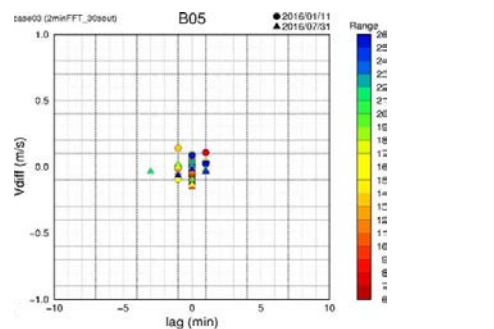


図-7 最大流速差と時間差（測線 No 5）

③の総合誤差は、「時間差」を示す式 1、「流速の最大振幅差」を示す式 2、「波形の一致度」を示す式 3 の 3 式を用いて、式 4 のように表現される。

$$\Delta T = \min \left\{ \frac{L(\eta_{obs}, \eta_{pred})}{lag_{max}}; 1 \right\} \quad \text{式 1}$$

$$\Delta H = \min \left\{ \left| \frac{H_{obs} - H_{pred}}{H_{obs}} \right|; 1 \right\} \quad \text{式 2}$$

$$\Delta F = \min \left\{ \frac{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (\eta_{pred}(t+L) - \eta_{obs}(t))^2}{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (\eta_{obs}(t))^2}; 1 \right\} \quad \text{式 3}$$

$$E(s)_i = \alpha \Delta T_i + \beta \Delta H_i + \gamma \Delta F_i \quad \text{式 4}$$

ここで、 $\alpha + \beta + \gamma = 1$ である。

α 、 β 、 γ の重みは、津波高の誤差にウェイトを置き、 $(\alpha, \beta, \gamma) = (0.1, 0.8, 0.1)$ とした。余震津波ケース 3 の結果を図-8 に示す。時間間隔は 1 分より 30 秒が誤差小であることが確認できた。

総合評価として、非地震性津波のうち、大規模なケースは海洋レーダで検知可能であるが、小規模なケースはここでは結果は割愛するが検知困難であった。また余震津波は、いずれもケース 1～3 について観測性能は高く、沖合 30km 程度まで VR が 80 程度と高いことを確認した。また総合誤差も 2 分 FFT30 秒出力の場合、誤差も 0.2 程度と低く、観測性能は高いことを確認できた。

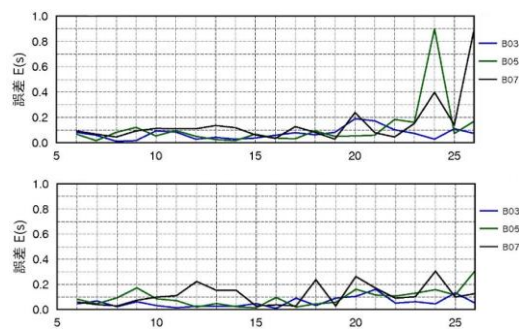


図-8 総合誤差（上：60 秒、下 30 秒）

キーワード 海洋レーダ、津波観測性能、非地震性津波、余震津波

連絡先 〒437-1695 静岡県御前崎市佐倉 5561 中部電力㈱原子力安全技術研究所 TEL0537-85-2353