

エネルギー線法による遡上津波解析の石巻平野への適用性に関する研究

防衛大学校 学生会員 ○堀田 祐貴
 防衛大学校 正会員 多田 毅
 防衛大学校 正会員 宮田 喜壽

1. はじめに

東日本大震災による津波により、東北から関東にかけて甚大な被害がもたらされた。津波防災を考える上で、陸上を遡上する津波波力の推定に必要な流速や浸水深をいかに高精度で効率よく推定するかは重要な問題である。近年、米国土木学会(ASCE)により、津波波力推定のための流況の推定法としてエネルギー線法(Energy Grade Line Analysis, EGLA)¹⁾が提案された。これは比較的簡便な手法で、任意の遡上限界点から汀線までの1本の測線に沿って、最大浸水深と流速の1次元プロファイルを推定することができる。既往の研究²⁾により、仙台平野において本手法の有効性が確認された。しかし、他の地域での検証例は決して多くなく、遡上限界点と汀線の間には河川や山などの障害物を挟むような地形の影響を受ける場所では、本手法の利用には不安が残る。そこで、本研究ではエネルギー線法を、仙台平野より複雑な地形を含む石巻平野に適用し、その有効性を検証する。

2. 解析方法

(1) エネルギー線法

エネルギー線法は、ある遡上限界点から汀線に対し直角的な測線を設定し、式(1)から(4)を用いて遡上限界点側から汀線側に向かって1次元的に比水頭 E_g を数値積分してゆく手法である。(図-1)

$$E_{g,i} = E_{g,i-1} - (\phi_i + s_i) \Delta x_i \quad (1)$$

$$s_i = g n^2 Fr_i^2 / h_{i-1}^2 \quad (2)$$

$$Fr_i = \alpha (1 - x_i/x_R)^{1/2} \quad (3)$$

$$h_i = E_{g,i} / (1 + 0.5 Fr_i^2) \quad (4)$$

$$u_i = Fr_i \sqrt{gh_i} \quad (5)$$

ここで、 E_g は比水頭、 ϕ は底面勾配、 s は摩擦損失勾配、 Δx は x 方向の刻み幅、 Fr はフルード数、 h は最大浸水深、 n はマンニングの粗度係数、 α は汀線でのフルード数である。さらに式(5)を用いて最大浸水深に対応する流速 u を算定し、外力推定に利用することもできる。

(2) 対象領域および使用データ

本研究は石巻周辺を対象とする(図-2)。地盤高は国土地理院、基盤地図情報(数値標高モデル)5mメッシュデータから取得した。また、検証のために東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループによる痕跡調査の結果を用いた。解析対象とする側線は、河川や山などの影響を受けず仙台平野と平均的な地形と類似した側線 A、測線が河川上を通り遡上距離が石巻の平均より長い側線 B、遡上限界点が山の裏側にある側線 C の3本に設定した。図-2において、赤丸は浸水深、青丸は遡上高の実測値を示しており、測線を中心とした2500m以内のものを検証点として使用する。汀線でのフルード数 α は1.0とし、

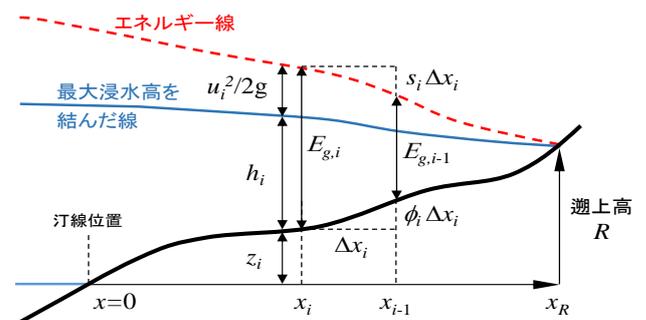


図-1 エネルギー線法のご概念

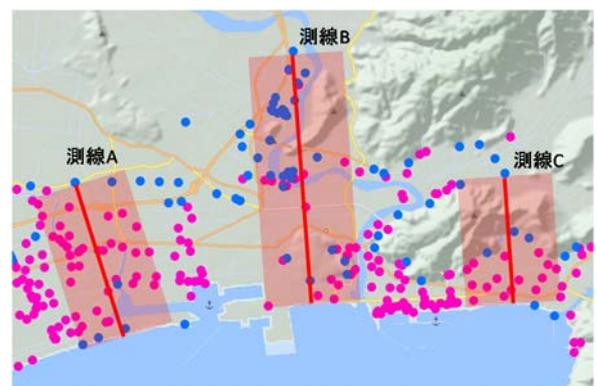


図-2 石巻平野における痕跡データと測線

キーワード 遡上津波, エネルギー線法, EGLA, 石巻平野

連絡先 〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL.046-841-3810 Email : tada@nda.ac.jp

土地利用から粗度係数を割り当てる。水田・畑は 0.02, 河川は 0.025, 工場・住宅地は 0.04, その他は 0.03 とした。また EGLA で浸水高を推定する際, 地形によっては地盤高と浸水高の逆転が生じる場合があり, 有意な結果が得られない。本研究では始点はそのままとし, 逆転部分の地盤を水位以下に切り下げる処理を行った。

3. 結果と考察

各側線での計算結果を図-3, 図-4, 図-5 にそれぞれ示す。

測線Aでは, 遡上距離が2000~2500m付近を除き, 予測浸水高は実測値と比較的良好に一致している。

測線 B では, 汀線付近の予測浸水高が実測値よりも過大評価された。これは実際の津波が河川上を遡上したことで平均的な地形よりも遠くまで達したにもかかわらず, 平均的な地形に準じた粗度係数を与えたためであると考えられる。そのため, 粗度係数の値を慎重に検討する必要がある。現段階では, 測線上の一部分でも河川上を遡上する津波に対しては, 本手法をそのままでは適用できないことに留意する必要がある。

測線 C では, 予測浸水高と実測値が良好に一致しているように見える。しかし, 地点 B は汀線から見て山の裏側に位置する。その測線上を津波が遡上するためには 100m 以上の高さが必要であり, 現実には山を迂回して遡上したと考えられる。エネルギー線法を適用した側線は, 現実とは遡上距離も地形の状況も異なり, 結果が一致していることに疑問が残る。ここで, 測線 B の例から, 河川上を遡上した津波はより長い距離を遡上することが考えられるため, 測線 C においては遡上距離が伸びた分の損失が, 河川上を遡上した際に打ち消されたと考えられる。そのため, 測線 C の様に汀線と計算を開始する遡上限界点の間に, 遡上距離が大きく変化するような山などの大きな障害物を挟む場合には, 本手法に迂回の効果を導入する必要がある。

4. おわりに

本研究では, 仙台平野と同様の比較的一様な地形においてエネルギー線法が有効であることが確認できた。しかし, 河川上を遡上する場合や汀線と遡上限界点の間に山を挟む場合などに対する対策が必要であることが明らかとなった。現時点では河川や山を避けて本手法を使用する必要がある。今後は, 本手法をそのまま適用できない地形の判別法や, その原因および補正手法などについて詳しく検討し, エネルギー線法をより広い範囲に適用できるよう改良することを目指す。

参考文献

- 1) Chock, G. Y. K. (2016). Design for Tsunami Loads and Effects in the ASCE 7-16 Standard. *Journal of Structural Engineering*, 142(11), 04016093.
- 2) Tada, T., Miyata, Y., & Bathurst, R. J. (2018). Energy Grade Line Analysis of Tsunami run-up on the Sendai Plain after the 2011 Tohoku earthquake. *Coastal Engineering*, 140(March), 306-315.

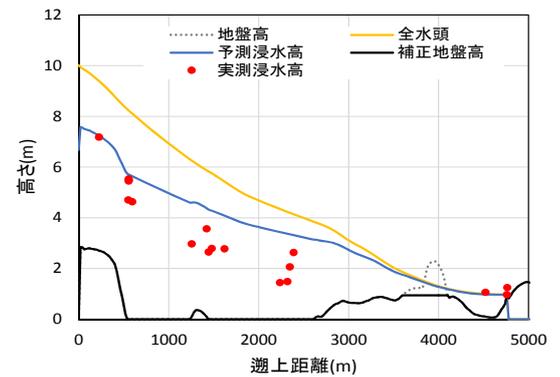


図-3 解析結果(測線 A)

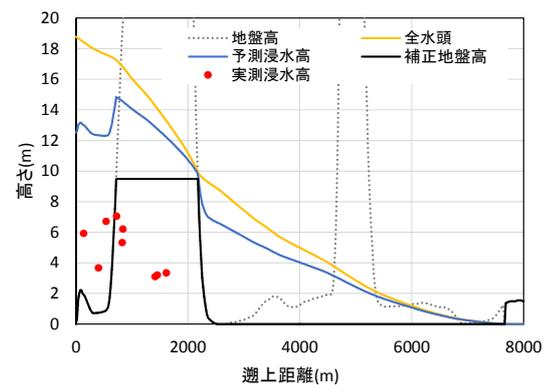


図-4 解析結果(測線 B)

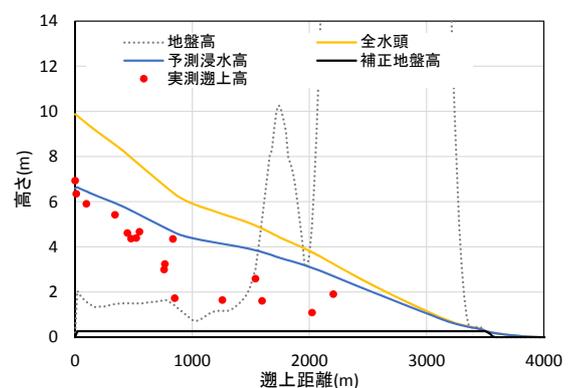


図-5 解析結果(測線 C)