エネルギー線法による遡上津波解析の仙台平野への適用に関する研究

防衛大学校　学生会員　○野中小百合
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

平成 23 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震が発生，東北地方から関東にかけて特に津波による甚大な被害をもたらした．復興のため津波防災を考える上で，陸上を遡上する津波波力推定に必要な流速．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．これは従来と比較して簡便な手法で，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高と流速の 1 次元プロファイルを推定することができる．しかし EGLA の有効性の確認のため実際の被災事例を用いた検証は極めて少ない．また EGLA を日本で適用する際，米国と日本の地形や土地利用種別の違い等について考慮する必要がある．特に汀線付近におけるフルード数，粗度係数，測線上の地盤高については流速．浸水深に多大な影響を与える．

本論文では，エネルギー線法を仙台平野に適用し，東北地方太平洋沖地震における津波痕跡データ [2](図 1)を用いてその有効性を検証した．

2.　EGLA の概要

EGLA は，ある遡上限界点から海岸線に対し直角な測線を設定し，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 を計算してゆく手法である．

$$E_{g.i+1} - E_{g.i} = (\emptyset_i + s_i)\Delta x_i \qquad (1)$$

$$s_i = gn^2 Fr_i^2 / h_i^{1/3} \qquad (2)$$

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

$$h_i = E_{gi}/1 + (Fr_i^2/2) \qquad (4)$$

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，n はマニングの粗度係数，Fr はフルード数，αは汀線でのフルード数，h は最大浸水深である．エネルギー線法の概念を**図 2** に示す．この方法は数値シミュレーションと比較し計算が容易である．

図 1　仙台平野における痕跡データと測線

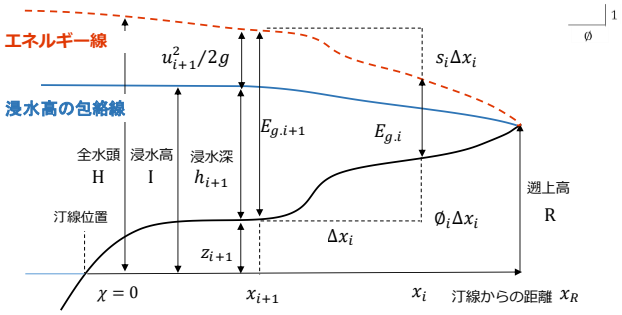

図 2 エネルギー線法の概念

３．EGLA の仙台平野への適用

3.1 パラメータの検討

EGLA を仙台平野に適用する際，米国と日本の地形や土地利用種別の違い等により土地利用ごとの粗度係数 n と汀線におけるフルード数αの 2 種類のパラメータを考慮する必要がある．

キーワード：津波遡上解析，エネルギー線法，仙台平野
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

そこで ASCE の推奨値，日本で使われる小谷らによる値，現地の住宅地の密度を考慮して小谷らによる値を調整した本研究の値の 3 組について検討した．結果，本研究の調整値が観測浸水高を最も良好に再現できた．

表 1 本研究で使用した粗度係数 n および汀線におけるフルード数αの比較

		ASCE	小谷	小谷調整
粗度係数 n	低密集住宅地	0.030	0.040	0.030
	森林域	0.030	0.030	0.030
	田畑．平地	0.025	0.020	0.020
フルード数 α		1.300	1.000	1.000

3.2 地盤高と浸水高の逆転に対する処置の検討

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る．ASCE は始点(遡上限界点)の地盤高を測線上の最高地点と同標高まで持ち上げる補正を推奨しているが，仙台平野では浸水高を著しく過大評価してしまう．本研究では始点はそのままとし，逆転部分の地盤を水面以下に切り下げる処理を提案した．図 3 に両者の比較の例を示す．

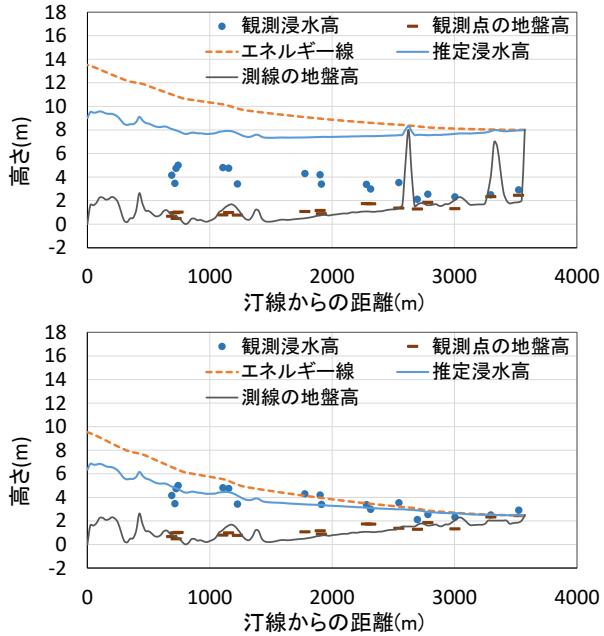

図 3 地盤高と浸水高の逆転に対する処置の 比較（上：ASCE，下：本研究）

3.3 結果．考察

平野全域の 64 測線 1 つ 1 つの EGLA 推定浸水高を算出し，測線周辺 500m の痕跡データの観測浸水高と比較した．このとき ASCE の推奨する値と ASCE の地盤補正手法，本研究の値，切り下げる地盤補正手法を組み合わせた 4 パターンを適用させ比較した．

結果，本研究の値と切り下げる地盤補正手法の場合が最も測線上の観測浸水高の再現率が高いことが確認できた．

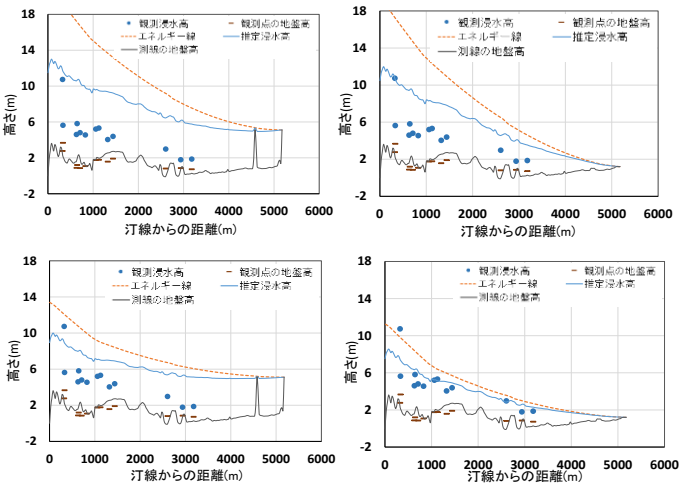

図 4 汀線からの距離と浸水高の関係
（右上:ASCE 係数×ASCE 地盤補正）
（左上:ASCE 係数×切り下げ地盤補正）
（右下:小谷調整係数×ASCE 地盤補正）
（左下:小谷調整係数×切り下げ地盤補正）

4．まとめ

仙台平野における EGLA を適用する際，係数は小谷調整係数，地盤高の処置については切り下げ地盤補正の 2 つを組み合わせたものが最も観測浸水高の再現性が高いことを確認した．

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), 4016093. doi:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001565

2) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ：東北 地方太平洋沖地震津波情報，http://www.coastal.jp/ttjt/index.php, (2017 年 9 月 29 日確認)