

沿岸域での津波による列車への影響評価の検討

東北大学 学生会員 島村 宗一郎
 東北大学大学院 正会員 今村 文彦
 東北大学大学院 正会員 阿部 郁男

1. はじめに

我々は、過去にさまざまな津波による被害を経験してきた。その度に、津波に対する対策を改善・実施してきたが、2004年インド洋大津波によるスリランカでの列車被害（富田ら，2005）の例から、沿岸での列車への対応が依然として不十分であると思われる。津波による列車被害は、人的さらには社会的にも大きな影響を及ぼすことから、既往の列車に対するの改善・構築が非常に重要であると考えられる。

図-1では、津波による列車被害の分類を表している。津波による列車への影響評価を検討することにより、これら一つ一つの被害形態に対応する指標を設けることが出来れば、減災システムの構築するための重要な判断材料となる。本研究では、浸水だけでなく、転倒も考慮するために、津波波力の算定方法（Yeh, 2007）を用いて、列車の転倒限界の浸水高の推定する。そして、転倒限界の浸水深と津波数値解析結果との比較を行ない、減災システムへの適応法の検討を行う。

2. 検討手法

(1) 津波波力の算定

本研究では、Yeh (2007)の津波波力の算定方法を用いた。Yeh (2007)では、津波波力を対象領域が一樣な傾斜の海岸であるとした上で、それぞれの力を浸水高(h)のみで表している。ここで、津波波力とは、静水圧と動水圧、浮力、サージ力、漂流物衝撃力、砕波力の6つの合力であるとしている。この算出方法により、列車の転倒限界を浸水高であらわすことができる。さらに、その値を津波数値解析の結果や地方自治体が発行している浸水予測マップと比較することで津波により列車が転倒するか否かが判断できる。

(2) 津波による列車の転倒の検討

津走行中の列車では、一定の横圧が一定時間かかることにより、列車は脱線・転倒するのだが、今回は転倒

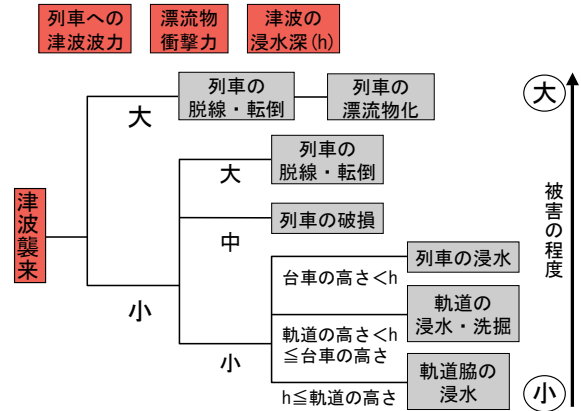


図-1. 津波による列車の被害分類

のみを検討した。波襲来時には列車が停車しているということが前提であるからだ。停車中の列車に対して横圧がかかった場合には、図-2のA点を中心に転倒すると考え、A点まわりのモーメントの釣り合いより、転倒限界を求めた。また、サージ力と漂流物衝撃力、砕波力は浸水高や漂流物の設定が困難なため、今回は津波波力を静水圧と動水圧、浮力の3つの合力と考えている。以上より、津波による列車の転倒限界を表す式は以下のようになる。

$$F_{st} \cdot x + F_d \cdot x = (Mg - F_f) \cdot \frac{B_r}{2} \quad (1)$$

$$F_{st} = \rho g A (h - H_b) \quad (2)$$

$$F_f = \rho g B (h - H_b) \quad (3)$$

$$F_d = \frac{1}{2} \rho C_d A (hu^2)_{\max} \quad (4)$$

$$\frac{(hu^2)_{\max}}{gR^2} = 0.125 - 0.235 \frac{z}{R} + 0.11 \left(\frac{z}{R} \right)^2 \quad (5)$$

ここで、 F_{st} は静水圧、 F_d は動水圧、 F_f は浮力、 x はA点からの距離、 B_r は軌道の幅、 h は浸水高、 H_b は台車の高さ、 A は津波の流れに対する列車の投影面積(列車の高さ×長さ)、 B は、列車の底面積、 z は軌道の標高、 R は津波遡上高、 C_d は形状抗力係数(=2.0)である。また、仙石線の列車の規格は、JR東日本の列車の諸元表を用いた。

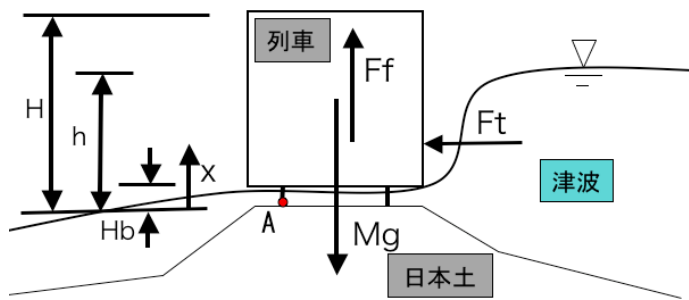


図-2. 津波により列車にかかる力

(3) 津波数値解析

今回、宮城県の太平洋沿岸を走る仙石線(松島海岸 陸前小野)を対象地域とし、影響評価を行った。仙石線への影響評価を行う上で対象とする津波は、西暦869年7月13日(貞観11年5月26日)に発生した津波で、東北日本を襲った歴史津波の中でも最大規模のもの1つとされている貞観津波とし、菅原ら(2001)で提案されている断層パラメータを用いて、津波の初期波形求めた。また、津波の浸水予測計算の支配方程式として、連続式と Navier-Stokes 方程式を水深方向に積分した、非線形長波理論を用いた。計算に用いた地形データとマニング粗度係数データは中央防災会議の公開データを利用した。また、海岸構造物に関しては、全く機能しないという最悪のケースについて考えるために、堤防や水門、陸閘などの構造物は取り除いた状態で計算を行なった。

3. 検討結果

モーメントのつり合いの式(1)に津波波力の式(2)~(5)を代入しhについて解くと、 $h = 1.13\text{m}$ という値が得られた。浸水高1.1mを仙石線での津波による列車の転倒限界の浸水高とし、貞観津波における津波数値解析の結果と比較を行ない、図-3のようになった。

日本を代表する鉄道会社のJR東日本では、津波発生時に、防災事業計画等に准じて、予想浸水域(津波注意区間)の外に列車または乗客を安全に避難誘導をするようにしている。ただし、列車の移動規制や津波到達までの時間規制によって、列車や乗客が津波到達までに津波注意区間外への避難が完了できない場合が考えられる。そこで、列車の津波への耐波性があるという特徴を活かし、津波注意区間内でも、より列車被害を減らすことのできる区間(待機可能区間)への避難を考える。逆に、津波によって列車被害がみられる区間を要避難区域とすることを提案する。今回、列車被害を転倒であるとすると、列車の

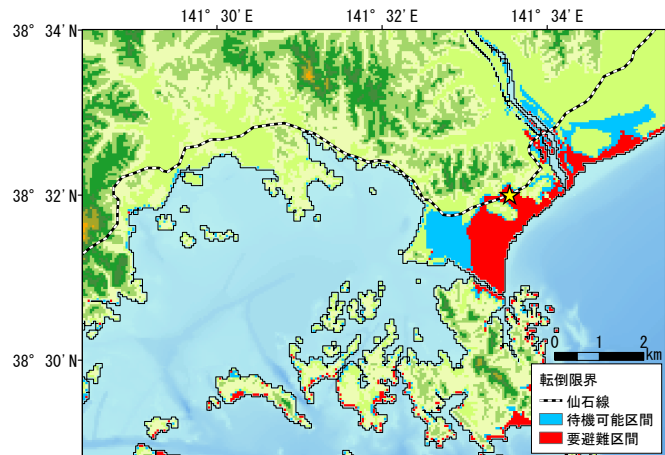


図-3. 要避難区間と待機可能区間

転倒限界の浸水高を閾値とみなすことができる。つまり、図-3は軌道上の予想浸水区間を要避難区間と待機可能区間の2つに区分した浸水予測図となっていることが分かる。さらに、この結果から野蒜駅(図-3の星マーク)周辺では、要避難区間となっているので、多大な被害を防ぐために、区間内での列車の停車はもちろん、進入も必ず防ぐような対応を考える必要があると言えるだろう。

4. 結論

本研究の仙石線における数値解析結果より、津波による列車の転倒限界の浸水高は、1.1mであることが分かった。さらに、対象の地域における列車の規格や軌道データが取得可能であれば、この方法を用いることにより既存の浸水マップと比較することで、要避難区間と待機可能区間の情報を加えることが出来るようになった。しかし、津波波力の再現性や列車の転倒限界の整合性に課題が残るために、今後のさらなる検討が必要になってくるだろう。

謝辞

本研究を実施する上で、JR関係の担当者の方々に資料の提供や打ち合わせのお時間を頂いた。また、修士1年の宇川弘朗さんには、アドバイスを頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 富田孝史ら、インド洋大津波のスリランカ南西部における津波実態・被害調査報告, 海岸工学論文集, 第52巻, pp.1406-1410, 2005.
- 菅原大輔ら、西暦869年貞観津波による堆積作用とその数値復元, 津波工学研究報告, 第18巻, pp.1-10, 2001
- 上浦正樹, 須長誠, 小野田滋, 鉄道工学, 森北出版, 2000
- 首藤ら、津波の事典, 朝倉書店, 2007
- H, Yeh. (2007) : Design Tsunami Forces for Onshore Structures. Journal of Disaster Research, Vol.2, No.6, pp.531-536