

巨大津波の防御水準に関する検討

国立岐阜工業高等専門学校非常勤講師 正会員 中村 徹立

1. 目的

時間的に生起確率が変化する海溝型地震による巨大津波対策の防御水準を経済性、および国民の受忍限度の観点から評価する手法を、東日本大震災のエリアにおける人口1万人、防御海岸延長1km、1km²の住居系地区でモデル的に検討する。

2. ハザードの設定

海溝型地震の回帰年は、地震調査研究推進本部の長期評価¹⁾による平均発生間隔を使用した。東日本大震災は5連動と考へ、単独領域の地震とMw9の巨大連動地震の間に2~4連動地震を想定し、それらの回帰年は、単独領域平均と5連動の600年を按分した。地震母集団の合計生起確率を変えないよう想定連動地震の生起回数に連動数を乗じた回数を単独地震の生起回数から控除して回帰年は修正した。

モデル地域は宮城県気仙沼市付近を想定し、平面図上で波源域中心からの伝播距離を計測し、(1)式の津波モーメントMt²⁾により最大及び平均の津波高を推定する。ここに津波全振幅H、伝播距離Δである。

$$Mt = \log H + \log \Delta + 5.8 \quad (1a)$$

$$\text{最大津波全振幅 } H_{\max} = 2 * \text{平均津波全振幅 } H \quad (1b)$$

断層の深さ、角度、岩盤剛性率を一定とすれば、(2)式より地震モーメントMoは、断層の幅、延長、ずれ量の3要素の積に比例する。簡単のため3要素はそれぞれMoの1/3乗に、周期は断層幅に比例すると仮定し、(2)式によりMwから地震モーメントMoを算定し、断層諸元を設定する。

$$\log Mo = 1.5 * Mw + 9.1 \quad (2a)$$

$$Mo = \text{震源断層面積} * \text{ずれ量} * \text{岩盤剛性率} \quad (2b)$$

各領域の単独地震、想定連動地震について、時間経過に伴う生起確率を長期評価¹⁾のパラメータを使用し、ポアソン課程及びBPT課程により算出し、図1に例示する。

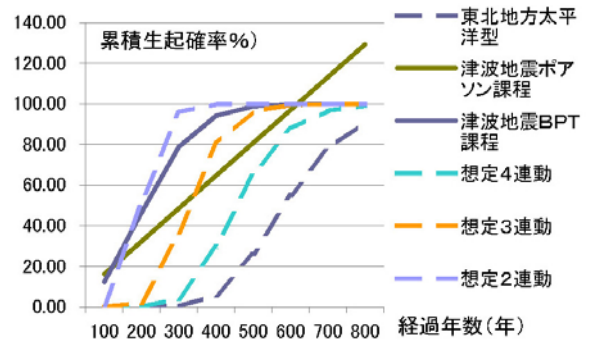


図1 津波波源地震の累積生起確率

3. 越流量の算定

津波の流速³⁾は(3)式において、水深Hを験潮所地点の全国平均水深2.5mとする。陸地に遡上する際のエネルギー損失を安全側で無視すれば、これを津波の遡上流速とみなせる。

$$V = \text{津波高 } \eta * (g / \text{水深 } H)^{1/2} \quad (3)$$

津波の防潮堤からの越流量Qは、図2によりモデル化した。越流水深部分の越流量q1は遡上流速Vで越流し、防潮堤の表法面に流速Vで衝突する打上流の法面に平行成分q2はエネルギー保存則により法面を遡上し、越流量q1に加算されると仮定した。

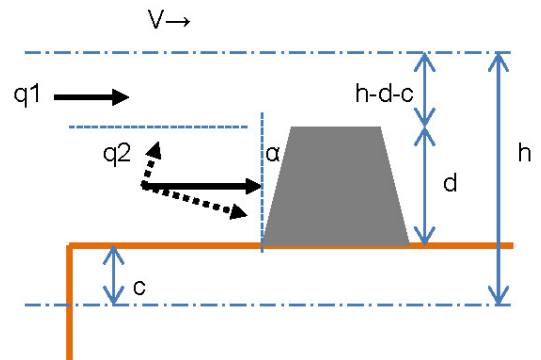


図2 大津波の越流量モデル

4. 防潮堤の安定性照査

二次元鉛直壁への津波の作用力は、朝倉等の二次元水路での実験結果⁵⁾から、Fr数2で静水圧hの3倍となる。これは静水圧hとFr数2の速度水頭2hの和に相当する。防潮堤は二次元的構造物であり、3hが作用するものとし、滑動、転倒、浮上に対する安定性を照査した。巨大津波での重力コンクリート擁壁の破壊回避には、表・裏法勾配5分程度とし、滑動防止の剪断キー、引波での浮上防止のドレーンまたは杭が必要とな

キーワード：巨大津波、便益費用分析、受忍限度、津波流速、防潮堤

連絡先：岐阜県本巣市上真桑2236番2 CZC10765@nifty.com

る。高さ5 m以上の3面張り土堤は、天端保護工、裏法護岸を強化すれば、巨大津波に対抗できる。

5. 便益費用の算定

モデル地区で堤防高4～16 mの防御施設費用を概算し、便益費用比を算定し、図3に期待値と津波モーメント、発生間隔、初期水位の変動に伴う概ね90%の信頼性限界を示す。便益Bは、各津波波源地震の生起確率に、対策前後の浸水深に応じた被害率の差を乗じて、合算した。被害率は浸水深0～3 mで0～1で直線補完とした。土構造は減価しないため、当初100年の費用は、土構造建設費Eに非土構造建設費(護岸、付帯工事) 4/3 Eを加算し、200年以降の100年毎の費用は、非土構造建設費4/3 E(更新費)とした。巨大津波の発生間隔600年間の合計費用9 E、合計便益6 Bとなり、初期の便益費用比2/3以上で長期平均の便益費用比は1以上となり、先行投資が可能である。経済評価上、防御資産価値に比例した防御投資が可能となるため、防御区域に人口資産を集約し、防潮堤は、経済的に妥当な最大規模が望ましい。

6. 受忍限度

図4のとおり防潮堤は、打上高が天端高を超えれば越流するため、避難場所・重要施設等が立地する高台は巨大津波の打上高以上が必要である。内陸に向かう避難路は、遡上水位以上であれば水没せず、津波波力も作用しない方向であるため、土堤での整備が可能である。防潮堤を設ける場合は堤内地盤を嵩上げしても完全越流の越流量、浸水深は変わらず、堤内地盤嵩上げ効果は期待できない。ゲート等の耐用年数が100年以内の構造は、その期間の生起確率に留意した段階的の整備が妥当である。受忍限度は国民のコンセンサスで決まるが、ここでは百年確率事象の被害率10%、千年確率で50%とし、図5に示す。M9で被害率50%以下となる堤防高10 m以上が適当である。

7. まとめ

- 1) 高頻度の単独領域の津波と稀な巨大津波の間で発生可能性のある中頻度の連動地震による大津波に対しては構造的防御での被害軽減が、巨大津波に対しては人口資産の集中により高度の防御を図り構造的に壊滅的被害の回避を図ることが望ましい。
- 2) 巨大津波の遡上流速は大きく、その越流量、流体力、遡上高は越流量公式で算定されるものより大きい。
- 3) 高台、避難場所は巨大津波の打上高以上とする必要がある。4) 避難成功率の向上のため、経済活動が行われる沿岸低地には海岸線と直交方向で、遡上水深以上の天端高の盛土避難路の整備が望ましい。また、堤防からの越流確率予報、津波高に応じたエリア別の避難指示が有効と考える。

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部 三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)、2011
- 2) 阿部勝征 地震と津波のマグニチュードに基づく津波高の予測 地震研究所彙報 東京大学 64巻51-69、1989
- 3) 改訂 海岸保全施設築造基準解説、88p 4) 日本機械学会編 機械工学便覧 A5-103
- 5) 朝倉良介他 護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究 海岸工学論文集 第47巻 2000、911-915

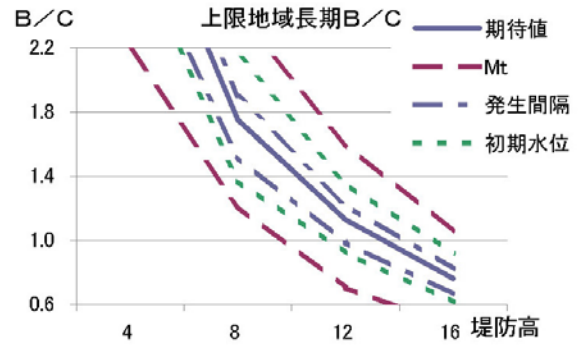


図3 防潮堤高とB/Cの信頼性限界

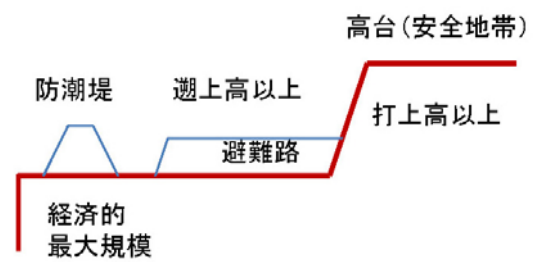


図4 津波防御と遡上高、打上高の関係

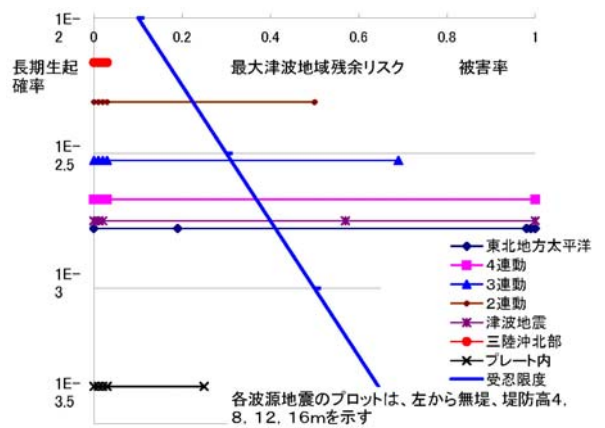


図5 津波の受忍限度