

津波防潮堤の設計高さについての考察

Consideration for design height of seawall against tsunami

神田 順¹Jun Kanda¹

Abstract: Tsunami wave heights are examined in terms of annual maxima modeled by an extreme value distribution with upper and lower bounds. Since only a few significant tsunamis were observed during 100 years for example, the uncertainty is extremely high but it may be reasonable to assume that the upper bound value exists. The expected total cost is often used to find the optimum design value for reliability-based structural design. The cost-up ratio for buildings against earthquakes or winds is generally low as the structure is only a part of building, but it is expected that the increase of seawall height dramatically increases the initial cost and does not compensate the reduction of expected failure cost. Some numerical examples are introduced and discussed for sites in Sanriku coastal district.

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震により、三陸海岸全域は津波に襲われ、多くの被害、犠牲者を出した。防潮堤によって守られたまちもあるが、大半は防潮堤高さを超える津波により、家屋の流出をもたらした。

岩手県では、10m–15m 程度の高さの防潮堤の建設により 100 年に 1 度程度の津波に対しては財産を守るが、それを超える津波に対しては避難により生命を守るという方針が示されている。

平坦な市街地の場合では、多くの犠牲者を出した地区もあるが、漁村集落においては、被害は大きいものの犠牲者は限定的にとどめることのできた地区も多い。

そもそも津波波高の推定は、大きな不確実性を有するので、確率的に予測することとなる。被害想定は、標高の低い地区の面積や建築密度などによる。

防潮堤の建設は、景観や生活習慣の面からの抵抗もあるが、ここでは、初期建設費と期待損失費の和である総期待費用の検討により、どの程度の高さが望ましいか考察する。

2. 津波波高の確率モデル

津波波高については、明治三陸津波、昭和三陸津波、チリ地震津波と平成三陸津波を年最大値とみなし、検討期間 200 年に対してグンベル確率紙にプロットし、それらを近似するように、上下限を有する極値分布^[1]のパラメータを設定した。

結果を、山田町と唐丹町の場合について、Fig.1 と Fig.2 に示す。上限値の設定は、恣意性をもつものであ

り、地震学的に確定できると言えないが、ここでは、仮に 20m とした。

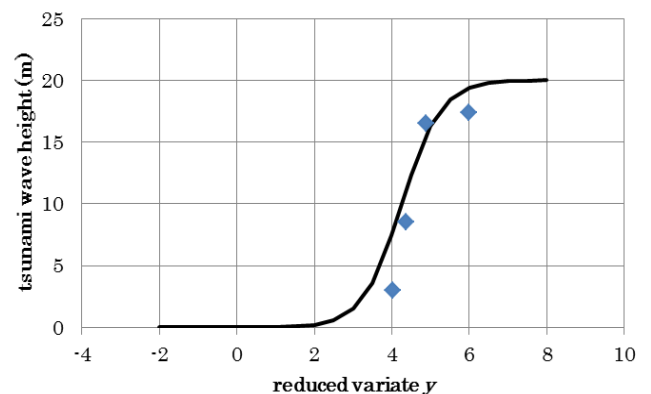


Figure 1. Probability model for tsunami wave height at Tohni-cho

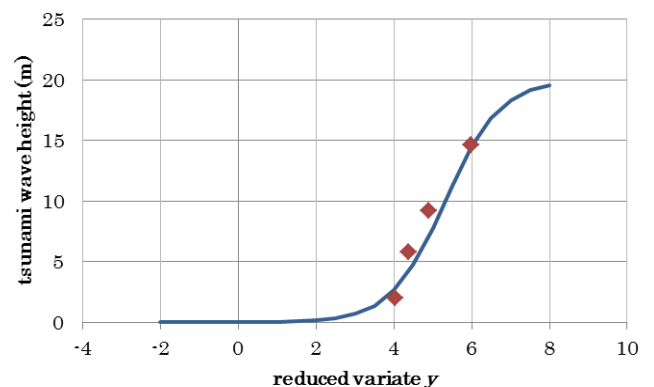


Figure 2. Probability model for tsunami wave height at Yamada-cho

津波波高データは、東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ（土木学会海岸工学委員会）による速報値を参考にした。分布の傾向は異なるが、それぞれ確率モデルとして、良い近似を与えている。

1 : 日大理工 教員 建築、Architecture, CST Nihon-U

3. 総費用最小化原理による考察

構造安全性の設計目標値を議論するにあたり、総費用最小化原理を応用することができる^[2]。一般の建築物では、耐震性や耐風性を高めるために設計荷重値を増大させても、初期建設費の増加は小さく、建物破壊時の損失費用の発生確率を低下させることにより、初期建設費と期待損失費の総和の最小値により最適な設計目標値を得ることができる。

防潮堤の場合は、建築物と異なり、設計津波高さを増大させると、津波による水平力は高さの2乗、転倒モーメントは3乗に比例することになるので、急な割合でコストが増大することが考えられる。ここでは、1990年に完成した唐丹小白浜の防潮堤（高さ12.5m 長さ420m）が当時10億円であったことを参考に、4mで10億円、20mで50億円と仮定した。

損失費に対しては、防潮堤を越流したことによって浸水域において2mを超える領域が概ね大破以上の被災となると考えることができるが、当然ながら地形によって大きく左右される。ここでは、4mで5億円、20mで45億円となるケースを基本として、Fig.1のモデルによる、100年超過確率をもとめ、横軸に設計津波高さをとり、初期建設費、期待損失費、総費用を Fig.3 に図示した。同様な設定で山田町に対しては、Fig.4 が得られる。

いずれの場合も、津波高さの超過確率の減少による期待損失費の低減よりも、防潮堤を高くすることによる建設費増が大きく、防潮堤を高くするほどに総費用も増加するという結果をしめしている。

次に、損失費として、一般の建物の倒壊のように、荷重レベルによって変化しないケースを想定する。損失費としては、大きめに50億円を設定した。それぞれ図中、期待損失費として $Pf \times Cf2$ および期待総費用として Total2 の点線で示す。

唐丹町の場合は、津波波高確率モデルの上限値近傍での勾配が急で、最小値が上限値に達するまで発生しない。一方、山田町の場合は、上限値20mに対して、8m近傍に最小値が現れる。

現実的には、より高い津波波高による被害は、標高の高い地区までが被害を受けることから、一般に防潮堤を高くするほど、経済的には非合理的であると推論される。

さらに、この議論をすでに建設済みの防潮堤があって、一部破損しているような唐丹小白浜の防潮堤の場合にあてはめると、現状の12.5mまでは補修費用のみで、かさ上げをすることによる費用増は、初期建設費

と類似の増加が見込まれるとすると、かさ上げによる防災の費用効果は極めて低いことが指摘できる。

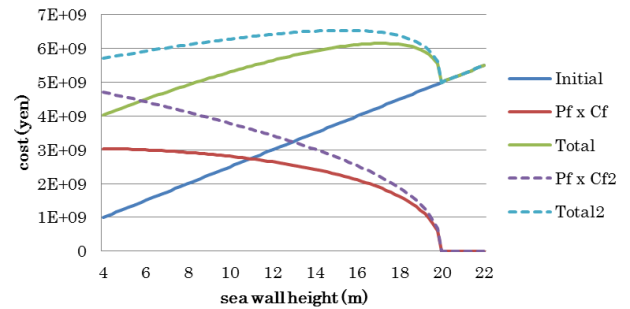


Figure 3 Cost estimation for seawall at Tohni for 100 years

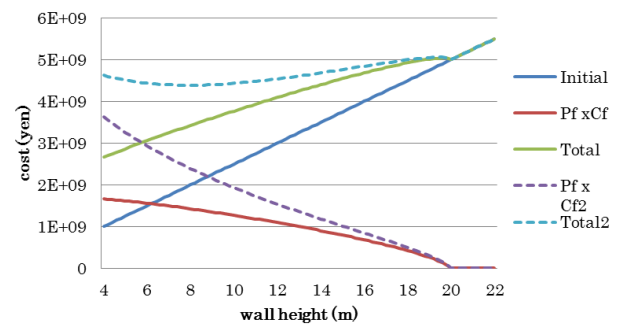


Figure 4 Cost estimation for sea wall at Yamada for 100 years

20m を上限とする議論は、地震学的に十分検証されたものでなく、また初期建設費や津波波高による損害費用推定などは、より具体的に、それぞれの地域ごとに数値をあてはめた検討が望まれるが、ここで示したモデルは、ある程度、一般的な傾向を示していると考えられる。

4. まとめ

筆者の提案する極値分布モデルを三陸の津波高さの確率モデルにあてはめた。それをもとに、防潮堤高さをパラメータとして、越流時に予想される被災費用の期待値を求め、総費用最小化原理をあてはめたところ、防潮堤建設が防災的な経済合理性を持たない可能性を示唆することができた。

5. 参考文献

- [1] J. Kanda: Application of an empirical extreme value distribution to load models, *J. Research of N.I.S.T.*, 99, 4, pp.413-420, 1994.
- [2] J. Kanda and B. Ellingwood: Formulation of Load Factors Based on Optimum Reliability, *Structural Safety*, 9, pp.197-210, 1991.