

国土防災技術株式会社 正員 ○源 大樹
東北大大学院 正員 今村文彦

1.はじめに

既存の海岸構造物において、計画津波高を考慮した防波堤もあるが、動的な外力としての評価は十分に行われていない。また、数値シミュレーションから算出される津波高はあくまでも予測値なので、それ以上の津波が襲来することで構造物を越流し、背後地に影響が出る可能性もあると考えられる¹⁾。(水谷ら, 2002)

本研究では、動的外力として朝倉ら(2000)により提案された陸上構造物に対する津波外力²⁾を用いて護岸の安定解析を行い、一つの設計レベルだけではなく仕様規定から導かれるレベルを超える外力やそれ以下の外力についても性能を具体的に示して設計する方法について検討する^{3), 4)}。ここで期待できる護岸の性能とは①津波の侵入の抑止②津波エネルギーの低減③津波遡上時間の遅延であり、これら性能を満たすためには越波しないように堤体の高さを決め、転倒・滑動をさせないことが必要になってくる。

2. 解析条件

2.1 想定地震及び対象地域

想定地震は中央防災会議にて公表された想定東南海・南海地震M8.6、対象地域は被災地の一つとされる徳島県由岐町沿岸とする。

2.2 護岸の標準断面及び土質条件

護岸の標準断面及び土質条件をFig. 1に示す。残留水位は通常、前面潮位差(H.W.L-L.W.L)の1/3~2/3程度とするが、今回は危険側を取って最高潮位(H.H.W.L)との差の2/3に設定する。また、護岸前面及び裏のり地盤には傾斜がないものとする。

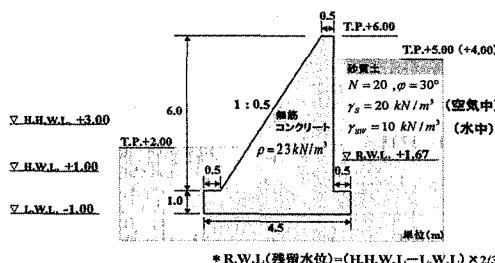


Fig. 1 護岸の標準断面概要図

2.3 津波の高さ

想定東南海・南海地震による津波遡上計算シミュレーションの計算結果から由岐町沿岸には最大波高7.0m程度、最大浸水深6.0m程度の津波が襲来すると予測される。そこで解析に使用する津波浸水深は天端高を基準に2.0、3.0、4.0(天端高)、5.0、6.0mの5通りとする。また、裏のり地盤高をT.P.4.0、5.0mの2通りで考え、計10通りの安定解析を行う。

3. 安定解析(滑動・転倒)

3.1 護岸に作用する荷重

護岸に作用する荷重は①堤体重量②土圧③仮想背面と堤体の間の重量④浮力⑤残留水圧⑥揚圧力⑦津波波力になる。土圧は仮想背面を考慮に入れ、クーロン土圧の公式

$$p = \frac{1}{2} K_A \gamma_i H^2 \cdots (1)$$

$$K_A = \frac{\cos^2(\phi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\alpha + \delta) \left\{ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \cos(\alpha - \beta)}} \right\}^2} \cdots (2)$$

により求める。ここで

K_A : 主働土圧係数、 γ_i : 土の単位体積重量

H : 堤体の高さ、 ϕ : 土の内部摩擦角

α : 仮想背面と鉛直面のなす角

β : 地表面と水平面のなす角、 δ : 壁面摩擦角

$\alpha + \delta$: 土圧の作用方向と水平面とのなす角

3.2 護岸に作用する波力

津波は遡上する際、浅水変形により波高が高くなると碎波限界波高で碎波し、段波となり構造物に衝突する。本研究では朝倉ら(2000)により提案された陸上構造物に作用する津波遡上波圧公式

$$p(z) = (3\eta - z)\rho g \cdots (3)$$

にて津波波圧を評価する。ここで

η : 遡上水深、 ρ : 流体の密度、 g : 重力加速度

z : 陸上地面を基準とした上向きの正の座標

したがって、(3)式を構造物に作用する長さ z について積分すれば構造物に働く水平波力が求まることがある。高さ H の構造物に働く津波の水平波力は $0 \leq$

$z \leq 3\eta$ のとき

$$F = 0.5\rho gH(6\eta - H) \cdots (4)$$

また、今回は波の分裂現象については考慮しない。

3.3 安定解析

安定解析は「港湾の施設の技術上の基準・同解説」より、滑動・転倒とともに安全率 1.2 を基準にして行うこととする^⑤。また、安定解析は津波時のみ検討を行うものとする。

滑動に関する安定解析は次式によって行う

$$1.2 \leq \frac{\mu(W-U)}{P} \cdots (5)$$

μ : 摩擦係数 0.6 (コンクリートと砂)

W : 鉛直下向きの力、 U : 鉛直上向きの力

P : 堤体に働く水平方向の力

また、転倒に関する安定解析は次式によって行う

$$1.2 \leq \frac{W \cdot t - M_u}{M_p} \cdots (6)$$

t : 力の作用線から堤体の後趾趾までの距離

M_u : 鉛直上向きの力のモーメント

M_p : 水平方向の力のモーメント

3.4 解析結果

裏のり地盤高 T.P. 5.0 および 4.0m に対応する安全率を Fs5, Fs4 とすると解析結果は以下のとおりである。

Table.1 各浸水深に対する安全率

浸水深(m)	滑動Fs5	転倒Fs5	滑動Fs4	転倒Fs4
2.00	2.69	1.52	2.05	1.22
3.00	1.69	0.97	1.39	0.83
4.00	1.30	0.75	1.10	0.66
5.00	1.16	0.67	1.00	0.60
6.00	1.12	0.65	0.96	0.58

4. 性能設計

4.1 性能マトリックス

性能設計を進めていくために重要なものは性能マトリックスであり、各シナリオにおける施設の性能を具体的に示すものである。まず、設計レベル(外力レベル)を決め、それに対して性能レベルを設定し、マトリックスの枠組とする。そのマトリックスをもとに今後、建設予定及び既設の構造物に対して性能照査を行い、背後地との関係から要求される重要度に当たはまる護岸を設計する。

Table.2 に本研究における性能マトリックスを示す。設計レベルは浸水深を 2.0~6.0m(5.0, 6.0m は越流あり)、性能レベルは安全率 1.0, 1.2 を境界値にタイプ I ~ III に区分し設定するものとする。

Table.2 の A~C は施設の重要度を示しており、A:非常に重要、B: 重要、C: 普通である。重要度については、背後地の条件から評価される必要があり、仮に背後地が民家の密集する地域の場合、浸水深 6.0m のときは安全率を 1.0 以上確保しておくことが非常に重要であるということになる。

Table.2 性能マトリックス表

設計レベル ↓	性能レベル 小 ← (被害の程度) → 大		
	I	II	III
2.0	B	C 普通	
3.0		B	C
4.0			B 重要
5.0	A 非常に重要		
6.0		A	

性能レベル
タイプI: 安全率 1.2 以上
タイプII: 安全率 1.2~1.0
タイプIII: 安全率 1.0 以下

4.2 考察

前述での背後地の条件より、性能マトリックスにおいて浸水深 2.0~4.0m まで B 以上、5.0~6.0m まで A の重要度を確保したいとするが、解析結果から浸水深 2.00m のときは B 以上を確保することができるが浸水深が 3.00m 以上になると転倒の安全率が 1.0 を下回り B 以上を確保することができないことになる。このようにして性能評価が可能となる。

5. おわりに

今後の課題として以下の二点を挙げる

- 具体的な照査項目の設定
- 構造物の破壊に対する検討

安全率を照査項目として性能照査を行うことは間接的に性能設計を行うことに留まるので、より具体的な照査項目を設定することが望まれる。また、本研究は護岸が破壊されないことを前提で行われているが、実際には破壊されることで機能を示さなくなる可能性も考えられる。これら課題を解消するためには本ケースに合わせた水理実験が必要不可欠であり、護岸に作用する波圧の評価を十分に行わなければいけないと思われる。

参考文献

- 1) 水谷 将 (2002), 津波波力を考慮した新しい設定外力算定法, 海工論文集 第 49 卷 pp.731-735.
- 2) 朝倉ら (2000), 護岸を越流した津波による波力に関する実験, 海工論文集 第 47 卷 pp.911-915.
- 3) 高橋 重雄 (2003), 海域施設の性能設計の考え方とその適用, 水工学に関する夏期研修講義集, pp.B-1-1~22.
- 4) 高橋ら (2003), 性能設計の高潮対策施設への適用に関する基本的な考え方, 港湾空港技術研究資料, No.1042, pp.1-27.
- 5) 日本港湾協会 (1999), 港湾の施設の技術上の基準・同解説