

高知港の耐津波防波堤の破壊限界点に着目した維持更新の考え方の提案

国土交通省 四国地方整備局 高松港湾空港技術調査事務所 正会員 ○竹田晃 富本正 谷定大輔

1. はじめに

逼迫する東南海・南海地震等による被害の軽減対策が急がれる高知港において、「多重防護」の考え方の下、「最大クラスの津波」の来襲も想定しつつ、「発生頻度の高い津波」に対して、港湾及び背後地を効率的、効果的に防護するための対策のあり方について検討が行われている。一方で、第一線防波堤においては、過去に台風による被災経験があり、その多くは消波ブロックが沈下したことによる不完全被覆から発生する衝撃砕破力が原因であった。本稿では、一般的な防波堤から耐津波設計として機能向上を図ることで、変動状態における破壊限界点も向上していることを説明し、その限界点に着目した維持更新の考え方を提案するものである。



写真1 高知港第一線防波堤平面写真

2. 要求性能等について

高知港の第一線防波堤において、二つのレベルの津波を設定している。一つは、2003年中央防災会議「東南海、南海等の地震に関する専門調査会」公表のモデルを震源とした「発生頻度の高い津波」を設計津波とし、もう一つは、2013年内閣府「南海トラフの巨大地震（第二次報告）」公表のモデルを震源とした「最大クラスの津波」である。設計津波については、越流は許容しつつも防波堤の堤体でしっかりと防護することを目的とした「安全性」としている。設計津波を超える津波については、粘り強さを付与することでできる限りその場に止まることを目的とし、背後地の津波到達時間の遅延や被災後の港湾機能の早期復旧を目標としている。防波堤天端高は、津波に対する防護効果と被災後の防波堤の復旧時間短縮、延いては港湾機能の早期復旧を促す狙いから、地震後もできる限り現況天端高を維持できる高さとして、地震に伴う沈下量分を事前対策として嵩上げすることとしている。

3. 第一線防波堤の安定性照査

第一線防波堤のうち、防波堤（南）の代表的な対策断面と安定性照査結果を図1と表1に示す。なお、偶発状態の津波波力の計算は、国土交通省港湾局「防波堤の耐津波設計ガイドライン」に示される方法に則り、変動状態の波浪の計算は、港湾の技術基準（平成19年）に示される方法に則り照査した。そのため、偶発状態の結果は安全率で示し、変動状態の結果は耐力作用比で示すことを基本としている。表1から偶発状態にはかなりの耐力側に余裕があり、変動状態は耐力側に余裕がないことが分かる。これは、二つの要因から説明できる。一つは、津波波力の計算式の特徴で、計算に用いている静水圧差の式は、天端を越流した後の防波堤港内外の水位差が大きくなるほど、安定性を失うように計算式が成り立っている。津波シミュレーションから防波堤（南）の港内外の時刻歴水位を図2に示す。図2を見ると港内外の水位差はほとんど無く、特に天端を越流し

表1 第一線防波堤の安定性照査（代表断面）

	変動状態（波浪50年確率波） 地震前（偶発状態作用前）	偶発状態 地震後（設計津波）	偶発状態 地震後（最大クラスの津波）	変動状態（波浪50年確率波） 地震後（偶発状態作用後）
潮位	H.H.W.L	H.W.L	H.W.L	H.H.W.L
滑動	1.21 ≥ 1.0	5.42 ≥ 1.2	2.67 ≥ 1.0	1.03 ≥ 1.0
転倒	2.09 ≥ 1.0	8.62 ≥ 1.2	4.28 ≥ 1.0	1.81 ≥ 1.0
底面反力(kN/m2)	443	243	316	470

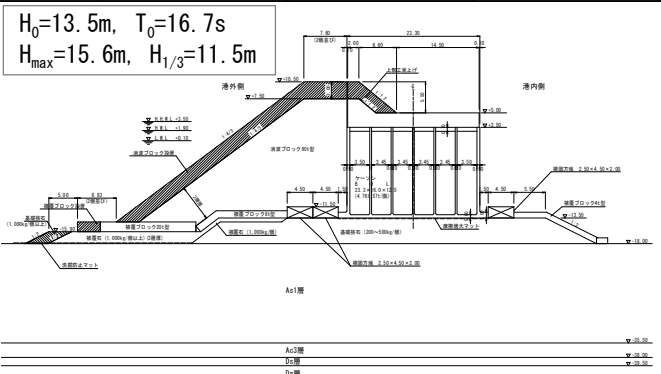


図1 防波堤（南）の対策断面（代表断面）

た後の水位差はかなり小さいことから、堤体に作用する津波波力はそれほど大きくはないことにある。二つ目は、天端高の設定で述べたように、地震に伴う沈下後の波浪（50 年確率波）（以下、設計波浪）で堤体が安定することを目的としていることにある。沈下前の変動状態と比較して、沈下後の変動状態は、堤体が受ける波力の影響と比較して作用する浮力の影響が大きいため、浮力によって多くの耐力を失ったためである。ここで、地震に伴う沈下量は、地殻変動量、加震に伴う沈下量及び過剰間隙水圧消散に伴う沈下量の合計とし、代表断面では約 3.0m となったことから浮力の影響が分かる。加震に伴う沈下量は、二次元有効応力解析 FLIP を用いて計算し、加震後の残留変形図を図 3 に示す。

4. 変動状態の破壊限界点の算定

被災形態から不完全被覆を仮想することで、設計波浪に伴う破壊限界点を算定する。ここで破壊限界点を定義しておく必要がある。破壊限界点とは、仮想する不完全被覆の状態において破壊モード（滑動、転倒）を算定し、破壊モードの安定性がクリティカルとなる不完全被覆の状態（消波ブロック沈下量）を破壊限界点とする。算定手順は、①消波ブロック沈下量をパラメトリックに変化させ、沈下した消波ブロックと上部工天端の間に不完全被覆が生じたことを仮想する。沈下量毎に設計波浪を作用させ、破壊モードの安定性を計算する。②その後、偶発作用（設計津波に先行する地震動が作用）による沈下量を加味した後、10 年確率波（復旧までに 1～3 年程度の期間を想定）を作用させ、破壊モードの安定性を計算する。①②の算定結果を表 2 に示す。偶発作用前の変動状態においては必要な耐力を十分有し、破壊限界点は最大で 2.5m となっている。偶発作用後の変動状態においては復旧までの短い期間を想定した 10 年確率波を作用させると、破壊限界点は最大で 1.5m となった。このことから、耐津波設計として機能向上を図ることで、地震前後の変動状態に応じて破壊限界点が異なることが分かった。

5. 破壊限界点に着目した維持更新の考え方

代表断面での計算では、逼迫する東南海・南海地震等を見据えると破壊限界点は 1.5m となる。継続した維持管理によって、消波ブロックの沈下量が破壊限界点 1.5m に近づくと、早期に対策を施すこととなる。しかし、破壊限界点までにはまだ余裕があると判断されれば、他の施設を優先的に維持更新することも考えられる。

6. おわりに

本稿では、耐津波設計として機能向上を図ることで、変動状態における破壊限界点も向上していることを説明した。一方で、高度経済成長期に集中的に整備された港湾施設の更新時期を迎える中、港湾管理者においては厳しい財政事情の下、維持・改良費用の縮減が必要不可欠な状況である。そのため、破壊限界点に着目することで、維持管理費用の縮減や更新施設の優先順位立案の判断として活用できる可能性がある。

ただし、被災メカニズムが十分に解明できていないこと、復旧までの 1～3 年程度の期間に設計波浪相当の波が来襲する可能性も十分にあることから、破壊限界点の手前で早めに対策を施すことが望ましい。

参考文献

1)国土交通省港湾局：防波堤の耐津波設計ガイドライン，平成 25 年 9 月。 2)高橋重雄・大木泰憲・下迫健一郎・諫山貞雄・石貫国朗：台風 9918 号による護岸の被災とその対策に関する水理模型実験，港研資料，No. 973

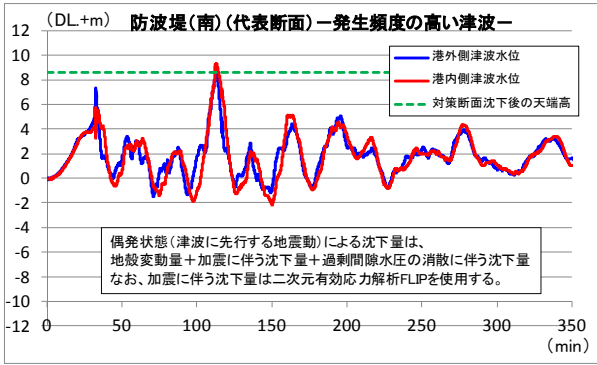


図 2 津波シミュレーション（代表断面）

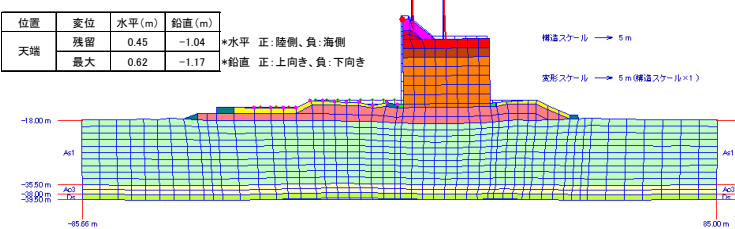


図 3 二次元有効応力解析 FLIP（残留変形図）

表 2 破壊限界点の算定結果

波浪	変動状態(波浪) 地震前(偶発状態作用前)		変動状態(波浪) 地震後(偶発状態作用後)	
	50年確率波		10年確率波	
潮位	H.H.W.L		H.W.L	
消波ブロック沈下量	滑動	転倒	滑動	転倒
0	1.218 ≥ 1.0	2.093 ≥ 1.0	1.399 ≥ 1.0	2.391 ≥ 1.0
1	1.171 ≥ 1.0	1.940 ≥ 1.0	1.187 ≥ 1.0	1.877 ≥ 1.0
1.5	1.142 ≥ 1.0	1.856 ≥ 1.0	1.057 ≥ 1.0	1.617 ≥ 1.0
2	1.085 ≥ 1.0	1.728 ≥ 1.0	0.958 < 1.0	1.437 ≥ 1.0
2.5	1.027 ≥ 1.0	1.607 ≥ 1.0	0.878 < 1.0	1.301 ≥ 1.0
3	0.972 < 1.0	1.497 ≥ 1.0	0.588 < 1.0	0.978 < 1.0