

リスクを含む LCC による防波堤設計の代替案比較法

中央大学大学院 ○学生会員 井上 修一
中央大学 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

近年公共事業においてもリスクに対する関心が高まっている。同時にサービスの質の向上を目的として、PFI 方式のような事業形態も増えつつある。このような場合には官公庁が単体で事業を行っていくのとは異なり、契約当事者間でのリスク分担が不可欠となる。つまり、リスクとコストの分担が求められる時代となっている。ところが、公共事業の場合リスクの構成要素として構造物の被災に関するものの占める割合は大きいにも関わらず、必ずしもこれらが定量的に評価されているとはいえない。

一方、近年 ISO2394、国交省『土木・建築にかかる設計の基本』を契機として、信頼性設計法の導入が期待されている。信頼性設計法では破壊の可能性を定量的にコントロールすることが可能であるため前述の問題点に対して有効な設計法であるといえる。

このようなことをふまえると、今後は設計の段階で構造物リスクを明確することと、意思決定者である発注者が設計代替案の合理的な比較ができる方法が必要であると考えられる。そこで本研究では代表的な構造物である防波堤を対象に、耐震設計で考えられているような性能マトリクスを含む形で防波堤の設計を位置付け、設計代替案の定量的比較検討方法を提案することを目的とする。性能マトリクスの形で設計代替案の比較を行った際に、最終的な意思決定の基準としてライフサイクルコスト(LCC)最小化が考えられる。このため、防波堤の全体系安定性に最も影響の高い滑動量に着目し変形量に応じて LCC の算定も行う。

2. 滑動限界状態の性能マトリクスの提案

耐震設計などで知られている性能マトリクスは図 1 のように表される。これは構造物が健全な状態であるときにある荷重が作用したときの荷重レベルと損傷の度合いとが 1 対 1 で表現されている。耐震を考えるような構造物は基本的には損傷を受けた時点で修復をするという考え方に基づいて作られている。

一方、防波堤はいったん建設してしまえば基本的にメン

目標性能 荷重の規模	損害無し 修復 不要	損害有り 修復 必要	機能不全 間接費用 小	機能不全 間接費用 中	機能不全 間接費用 大
1年間最大規模	●	●	●	●	●
10年間最大規模	●	●	●	●	●
耐用年数中最大規模	●	●	●	●	●

図 1 耐震性能マトリクスの例

目標性能 想定期間	限界滑動量 に達しない	限界滑動量を 一回上回る	限界滑動量を 稀に二回上回る	限界滑動量を 数回上回る	限界滑動量を 頻繁に上回る
10年間	●	●	●	●	●
25年間	●	●	●	●	●
供用期間	●	●	●	●	●

図 2 防波堤の滑動量に対する性能マトリクスの例

テナンスフリーである。しかしながら、毎年繰り返し高波を受けた場合、わずかずつではあるが滑動量(損傷)を確実に蓄積する。このような耐震設計とは異なった損傷の考え方にはそれに応じた性能マトリクスが必要であると考えられる。本研究では防波堤の滑動性能について図 2 のような性能マトリクスを提案する。

つまり、損傷無しの状態である供用開始直後からの期間に対して防波堤がどのような滑動性能を持つのかを表現するというものである。

3. 期待滑動量の計算

上記の性能マトリクスを作成するにあたっては、防波堤ケーソンが供用期間中のどの時期にどのような滑動が生ずるのかを追う必要がある。また、滑動量の発生は高波の規模や材料特性など確率的要因によるものであるから、それらを反映したものである必要がある。そこで本研究では下迫・高橋(1998)¹⁾の方法を参考に期待滑動量を計算しこれによってある期間における滑動性能を表すこととした。

4. LCC の算定

防波堤の LCC は次のような式によって表すことができる。

$$LCC = C_i + E \left[\sum_{j=1}^{50} \frac{C_{fj}}{(1+r)^j} \right] \quad \dots(1)$$

ここに、

C_i : 初期建設費, C_{fj} : j 年目の被災時コスト, r : 社会的割引率

キーワード: 性能設計, 性能マトリクス, ライフサイクルコスト

連絡先: 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部土木工学科設計工学研究室 Tel: 03-3817-1816

上述のとおり、防波堤はメンテナンスフリーであるという考え
方から初期建設費以外は被災した場合の復旧費用のみと
なる。また式(1)の第2項は一般的には $P_f \cdot C_f$ とする場合が
多いが、ここではある滑動量に達した時には必ずそれに
応じた復旧費用が生じるとし、確率的な部分は期待滑動量の
計算中に含まれているためこのような形とした。また被災時
コストを現在価値に換算するための社会的割引率は4%と
した。滑動量の大きさによって復旧費用は異なってくるため、
ここでは被災となる限界滑動量を0.3m, 2m, 4mとしそれぞ
れの滑動量に達したときに、初期建設費に対して
70%, 100%, 125%の復旧費用が必要であるとして計算を行
うこととした。なお本研究では、 C_f には被災による間接費用
は考慮しないこととし、これをLCCと定義して用いている。

5. 解析結果および考察

以上をふまえて例題となる断面を用いてLCC及び性能
マトリクスによる設計代替案の比較を試みた。

図3は代替案比較の際の基準となる断面で、現行設計法
を満たす最小の堤体幅である。これをもとに表1のように堤
体幅を0.5mずつ変化させてそれぞれについて試算を行っ
た。図4は供用後の年数に対して限界滑動量を上回る回
数を図2のイメージで表したもので、図5は各堤体幅対
するLCCと、CASE0に対してのLCCの低減率を示したも
のである。この結果ではLCCで見た場合、堤体幅を現行設
計法よりも1.0m程度増加させた方が安いということになる。

ここで図2の性能マトリクスにおいて、重要度によって決ま
る要求性能を示す線が図4中の直線①のようである場合を

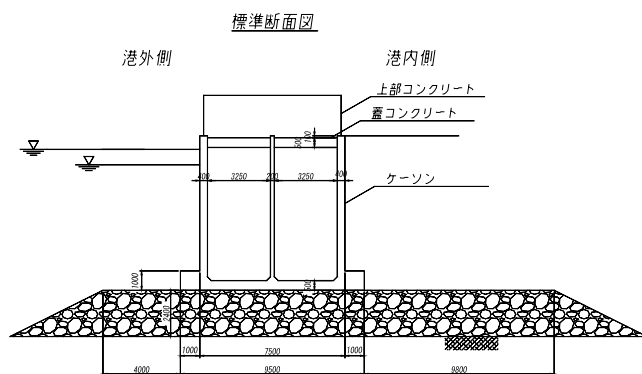


図3 解析対象(CASE0)

表1 検討 CASE

	堤体幅 (m)	フーチング幅 (m)	備考
CASE0	7.50	1.00	基準断面
CASE1	8.00	1.00	堤体幅 増加
CASE2	8.50	1.00	
CASE3	9.00	1.00	
CASE4	9.50	1.00	

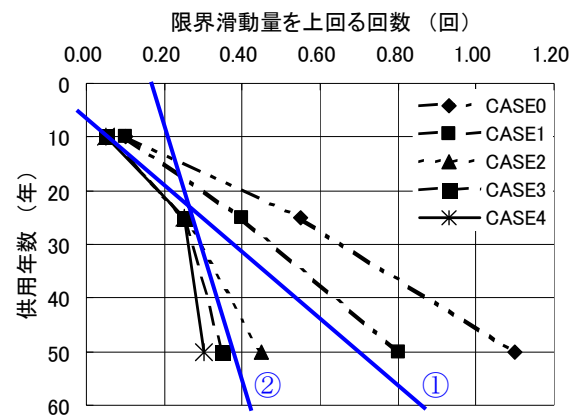


図4 解析結果(性能マトリクス表示)

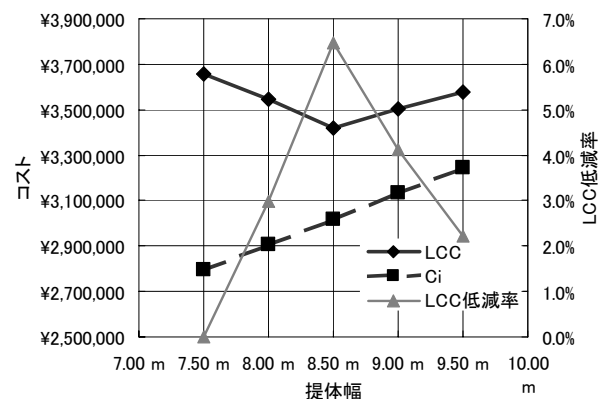


図5 解析結果(LCC)

仮定すると、目標性能を満足していないCASE0,1は設計
代替案から排除される。さらに直線②の場合はLCC最小
化断面であるCASE2も排除される。図4中の直線①・②は
あくまで仮定ではあるが、LCC最小化のみで意思決定を行
うよりも、被災時間間接費用などの(発注者が決める)重要度
を考慮しつつLCCを最小化するのが良いということが言え
る。特に、間接費用を考慮しなければLCCの算定はある程
度汎用化できることを考えると、設計代替案の比較方法と
しては[LCC]+[性能マトリクス]で行うのが良いと考えられる。

6. まとめと今後の課題

本研究は設計技術者の立場から意思決定の基準を示すこ
とと、性能表示を目標に行ってきた。上述の方法を用いる
ためには、発注者が如何にして図4中に要求性能を示す
線を引くかが鍵となる。したがって今後はこれまでとは逆に
発注者という立場から性能マトリクスに向かった研究を行っ
ていく必要がある。

参考文献

- 1) 下迫健一郎・高橋重雄(1998):期待滑動量を用いた混成防波
堤直立部の信頼性設計法,港湾技術研究所報告,第37巻第3号
- 2) 長尾 毅:破壊確率を考慮した防波堤の期待総費用最小化に
関する研究,JCOSSAR2000 論文集,pp441-448