

防潮堤（胸壁）の被災に対するリダンダンシー解析の適用に関する考察

国土交通省 国土技術政策総合研究所 正会員 浅井 正
国土交通省 国土技術政策総合研究所 正会員 ○永廣 迪

1. はじめに 2011年東北地方太平洋沖地震津波により沿岸の防潮堤が多く被災した。防潮堤等、海岸線に沿って整備される防護施設は延長が長く、一度被災すると復旧に多大な時間と費用を要する。また、被災調査や維持管理の点検においても多大な労力を求められるため、今後の津波対策において、整備・維持管理の効率化が求められている¹⁾。このため、橋梁の維持管理などに用いられているリダンダンシー解析の考え方を参考に、防潮堤の構造の冗長性や脆弱性等のリダンダンシーについて被災事例にもとづき検討・評価し、復旧や点検調査の効率化に向けた課題について考察した。なお、本論文では、防潮堤のうち港湾で整備事例の多い胸壁に着目して検討を行っている。

2. リダンダンシー解析²⁾ AASHTOのLRFD基準では、リダンダンシーを「橋が、損傷状態において、設計上の機能を維持できる性質」として定義し、FCM (Fracture Critical Member) を「破壊すると橋梁の崩壊や機能不全を招く、引張を受ける部材またはその一部」と定義している。そして、構造系からある部材を取り除いた後の橋梁の残耐力を分析し、損傷シナリオを想定するリダンダンシー解析を行っている。解析により得られたリダンダンシーの評価をもとに、構造部材に対する点検の重点化等を行い、維持管理の効率化に反映されている。このような考え方を参考に、設計波を超える津波に対する胸壁の構造上の冗長性や脆弱性を抽出し、リダンダンシーとして評価して整理し、今後の津波対策の効率化に対する観点をとりとまとめた。

3. 胸壁の被災事例にもとづく冗長性、脆弱性の抽出

(1) 胸壁背後の洗掘による脆弱性の発現：今次津波は設計波を超えた地域が多いため、防潮堤の天端高を超えて流下する越流により背後の地盤が大きく洗掘し、堤体の転倒に至った事例が国総研及び港空研の実施した被災調査報告³⁾等に示されている。大船渡港における被災事例を**写真-1**に示す。背後地盤の洗掘により、転倒の際の支点が海側にずれるため抵抗モーメントが

減少し、構造的な脆弱性が増加すると考えられる。また、堤体底面が地盤と接触する面積の減少により端趾圧が増加するため脆弱性が増加することも考えられる。

(2) 設計天端高の設定における冗長性の確保：**図-1**は、東北3県の主要な港湾における、今次津波を受けた海岸堤防の設計天端高の設定方法を示す。設計津波は発生頻度の高い津波もしくは既往津波である、石巻港、相馬港、小名浜港では高潮時の潮位により設計天端高が決まっており、設計津波高との差は1.7m~4.3mである。この差の分、設計波を超える津波に対する冗長性が確保されると期待される。ただし、天端高を高くした場合、同じ設計波高に対して相対的に天端幅が小さくなり、設計断面が縦長になるため、転倒に対する脆弱性が増加することも考えられる。



写真-1 胸壁背後の洗掘による被災例 (大船渡港茶屋前地区)

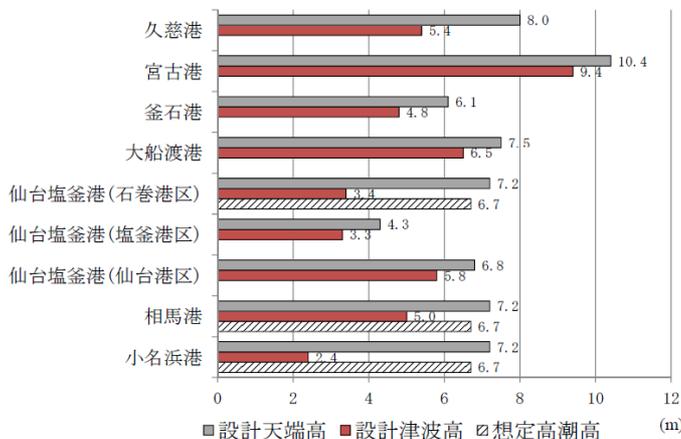


図-1 東北3県の各港湾の設計波高の考え方

キーワード 2011年東北地方太平洋沖地震津波, 胸壁, リダンダンシー解析, 冗長性, 脆弱性, 洗掘
連絡先 〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1 TEL 046-835-5024 FAX 046-844-5068

4. 胸壁構造に対するリダンダンシーの評価

3. で抽出した冗長性、脆弱性をパラメタとして標準的な断面に対する試設計を行い、リダンダンシーの評価を行った。胸壁構造は被災事例から重力式単塊型とした。

(1) 胸壁背後の洗掘の影響：図-2 は、洗掘により堤体下の地盤が流出したと仮定して、洗掘長/堤体幅による転倒安全率と端趾圧の変化を示す。天端高が 4.8m 以上の断面では、滑動で断面が決まるため転倒安全率は 1.3 程度になる。洗掘により抵抗モーメントが減少するため安全率が緩やかに減少するが、洗掘が 15%進んだ状況でも安全率 1.1 を確保している。この時の端趾圧は、堤体が地盤と接する面積の減少により急激に増大し 500kN/m² を超えている。越流による背後地盤の乱れからの地盤反力の低下も考えられるため、フーチング設置等により堤体背後の地盤の崩壊を防ぐことが、胸壁の脆弱性を低減し被災を防ぐ上で重要と考えられる。

(2) 設計天端高の設定による影響：図-3 は、設計天端高を津波で設定する場合と高潮の場合について、それぞれ設計津波に対する安全率の変化を示したものである。どの断面も滑動で断面が決まる。高潮で設定した断面について、設計津波に対する安全率は滑動が約 2.6 (約 2.4 倍)、転倒が約 2.8 (約 2.0 倍) であり、転倒に対する余裕及びその増加率が比較的小さい。断面が縦長になり、転倒しやすい構造になるためと考えられる。

図-4 は、設計津波に対する天端高への余裕高を 0m ~ 3m の範囲で設定した場合について、設計津波の振幅の増大にともなう安全率と端趾圧の変化を示す。設計津波高が小さく天端高が低い場合、断面は転倒で決まるため余裕がない。滑動の安全率は 2.0 を超えるものもある。津波の振幅が 4m を超える場合、断面が滑動で決まるが転倒安全率は 1.2~1.25 程度で、冗長性はそれほど大きくない。余裕高による差はほとんどない。端趾圧は津波の振幅が 3m~4m で最大となり、これより振幅の大きな範囲でも総じて高い値を示す。余裕高が大きいと断面幅が相対的に小さくなるため端趾圧は大きくなり、振幅 4m で余裕高なしの端趾圧が 269 kN/m² に対して余裕高 3m の場合では 752kN/m² となる。

これらの特性を考慮して、余裕高設定やフーチン設置等を適切に行うことが、設計津波を超える津波に対する脆弱性を低減し被災を防ぐ上で重要と考えられる。

5. おわりに

本論文で検討した胸壁の被災におけるリダンダンシーの評価をもとに、胸壁の粘り強い構造

の検討や維持管理の効率化への反映をしていきたい。

謝辞 被災調査の実施には国土交通省港湾局、東北地方整備局、岩手県、宮城県及び福島県の各位からご協力いただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献 1) 交通政策審議会港湾分科会防災部会 (2012) : 港湾における津波対策のあり方について (答申)。2) たとえば、日本構造連盟 (2010) : 鋼トラス橋のリダンダンシー評価手法の開発と合理的維持管理への適用。3) 高橋ら (2011) : 港空研資料 No.1231。

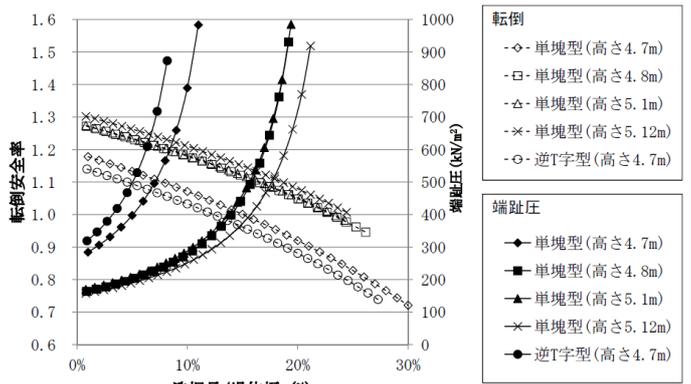


図-2 洗掘長の増加による転倒安全率と端趾圧の変化

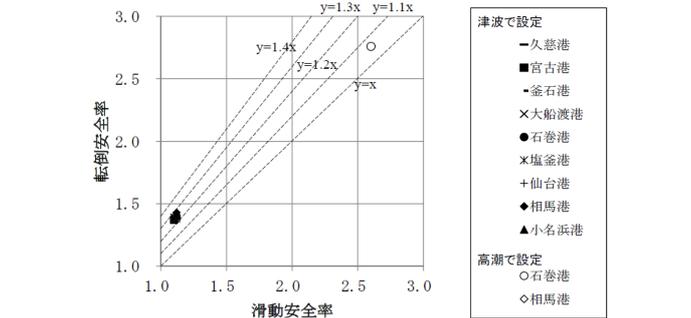
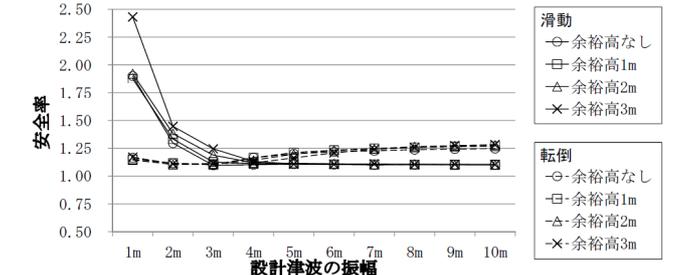
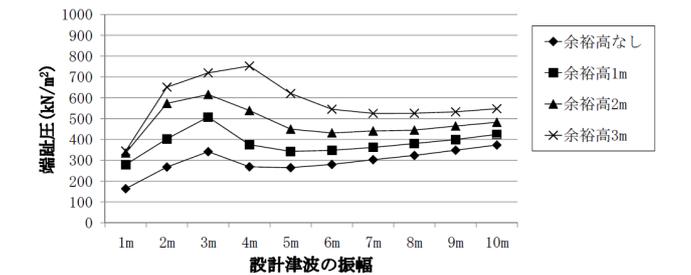


図-3 天端高の余裕の確保による安全率の変化



(a) 安全率 (滑動・転倒)



(b) 端趾圧

図-4 天端高の余裕による津波に対する安全率の変化