

# 佐渡島の玄関口である両津港の定期航路安定を目指した耐震改良設計

北陸地方整備局 新潟港湾空港技術調査事務所 非会員 ○八木 一樹  
 北陸地方整備局 新潟港湾空港技術調査事務所 非会員 武田 均  
 北陸地方整備局 新潟港湾空港技術調査事務所 非会員 藤井 武  
 北陸地方整備局 新潟港湾空港技術調査事務所 非会員 宗村 大成

## 1 はじめに

両津港(湊地区)岸壁(水深 7.5m)(以下「4号岸壁」という)は、供用後約 40 年以上が経過し、老朽化が進んでいることに加え、港湾計画上、大規模地震発生時に緊急物資輸送等の拠点となる耐震強化岸壁に位置付けられている。

本稿は、定期航路フェリーが利用する供用中の岸壁において、耐震改良施工時の影響に配慮しつつ、レベル 2 地震動の影響後も定期航路が利用する施設として機能させるための検討を行った耐震改良設計について報告するものである。

に近接してフェリーターミナルや、渡船橋等の付帯施設が設置され、先端部は土留めが無い。

設計区間は元付部 123m、先端部 52m であり、可動橋 23m の設計は今後行う予定である。



図-2 設計対象区間

## 2 設計条件

### 2.1 既存施設の状況・構造

4号岸壁は、供用から 40 年以上経過し、2015 年に実施した点検では、主要部材である鋼材の貫通孔が確認され緊急的な補修を行うなど、施設の老朽化が顕在化し、抜本対策が必要な状態である。

(図-1 参照)



図-1 設計対象施設位置 (4号岸壁)

4号岸壁の区間割を図-2 に示す。また既設構造は図-3 に示すように栈橋式構造である。

元付部の土留めは矢板式、重力式が混在し、背後

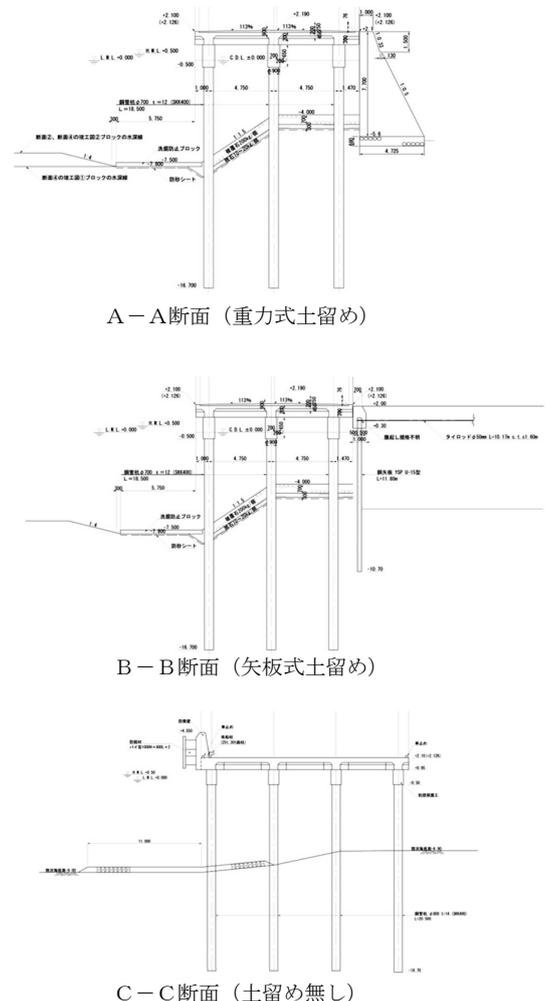


図-3 既設断面図

## 2. 2 設計条件及び性能規定値

4号岸壁を利用する対象船舶は、カーフェリーと緊急時の物資輸送を行う自衛隊の支援船とした。また、緊急時にはジェットフォイルの係留も想定する。レベル2地震動は、想定し得る最大級の地震動として「新潟県南西沖地震」、「M6.5直下型地震」を比較検討し安全側となる地震動により安定性照査を実施した。

改良設計における課題を以下に示す、

- a) 毎日、新潟港と両津港を結ぶ定期航路が利用しており、運航体制への影響を最小限とする必要がある。
- b) 既設岸壁の部材を再利用できるかを検討するとともに、岸壁背後のフェリーターミナルや渡船橋等の既設構造物への配慮が必要となる。
- c) 新潟県が岸壁背後の埋立を行うため、構造形式の調整が必要である。



図-4 港湾計画図と課題

性能規定は、レベル2地震発生後に、緊急物資輸送の荷役のみならず、カーフェリーが速やかに就航する必要があるため、フェリーの接岸・荷役可能な規定値を設定した。特に可動橋との接続が重要となるため、クリアランスを確認したうえで、許容される変位量を規定し設計の目標値とした。主な設計条件と性能規定値を表-1に示す。

表-1 設計条件及び性能条件

適用基準	港湾の施設の技術上の基準・同解説(2018年5月)	
計画水深	C.D.L. -7.50m	
天端高	C.D.L. +2.10m	
設計条件	エプロン	幅員:20.0m 勾配:1/100(海側へ片勾配)
	対象船舶	カーフェリー(佐渡汽船) ジェットフォイル(佐渡汽船) 多用途支援艦(海上自衛隊)
	耐震強化施設分類	「特定(緊急物資輸送対応)」、「特定(幹線貨物輸送対応)」
	L1地震動	対象波形 : 9304『両津港』(照査用震度 : kh=0.17)
L2地震動	「新潟県南西沖地震」及び「M6.5直下型地震」	
性能規定値	水平変位量	50cm以内
	岸壁の法線の出入り	断面間の相対変位量50cm以内
	堤体傾斜角	3°以内
	栈橋の沈下	20cm以内
	栈橋部と背後地の段差	30cm以内

## 3 岸壁構造形式の検討

### 3. 1 元付部の構造形式

供用への影響を最小限とする観点から、既設構造物を補強する改良方法として有効と考えられる3案と新設する案の下記①～④を抽出し構造形式の1次選定を行った。

- ・案①上部工、栈橋杭を残置した「水中梁工法」
- ・案②栈橋杭を補強する「RC巻き立て工法」
- ・案③栈橋杭を増設する「増杭工法」
- ・案④上部工・栈橋杭を新設する「新設栈橋式」

案①②は、既設構造を活かす工法であるものの、現地での施工期間が長く、工費も安価にはならなかった。案③も既設栈橋杭を残置しながらの改良となり、増杭の施工性が悪く優位ではなかった。

施工性、経済性、維持管理等の総合的な比較を行った結果、新設する案④の「新設栈橋式」を採用した。

なお、重力式構造については、床掘が必要となり背後土留めやターミナルにも影響することから採用は困難と判断した。

また、既設土留め部の耐震改良は背後ターミナルへの影響が少ない高圧噴射攪拌工法による固化改良を採用している。

次に一般的なRC栈橋の場合、着手から供用再開まで期間を要することから現地施工期間の短縮を図るため、2次選定として「RC栈橋」と「ジャケット式栈橋」の比較検討を行った。

「ジャケット式栈橋」は、ジャケット部を工場製作することやプレキャスト部材が多いことから、

現地作業を12ヶ月程度短縮することが可能となる。また、4号岸壁は冬期にカーフェリーが着岸できるように単年度の施工期間も限られ、現地作業の省力化は施工性や供用への影響において優位である。

以上のことから「ジャケット式栈橋」を選定した。図-5に比較断面図を示す。

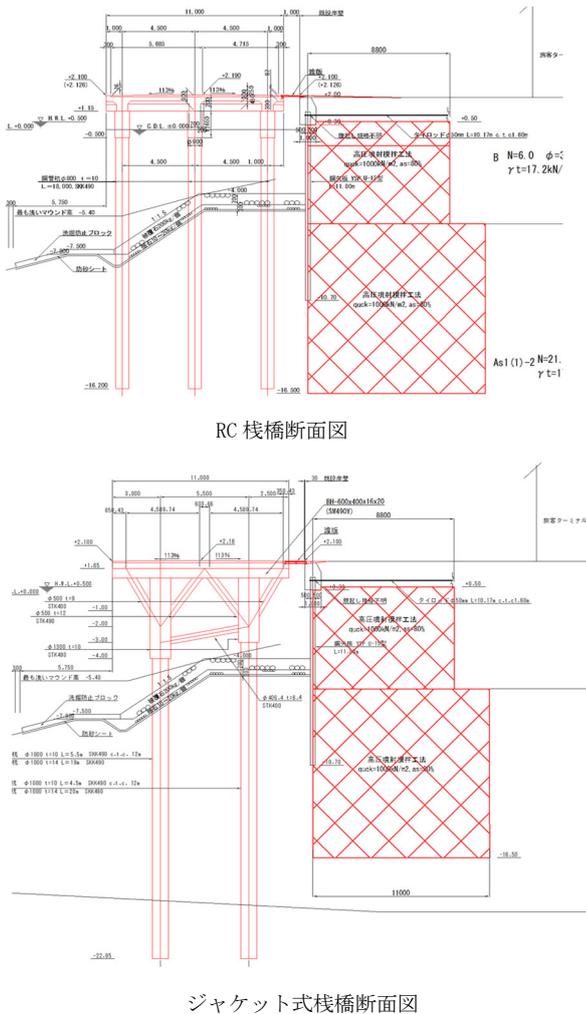


図-5 元付部の比較断面図

### 3. 2 先端部の構造形式

先端部の背後は、新潟県の背後埋立事業が計画されていることから、それらを考慮しつつ、重力式も含めた比較検討を行った。

「栈橋式」は、栈橋部に加え土留め部も新設することとなり経済性では不利である。「ケーソン式」では、岸壁本体が土留めを兼ね、別途土留めを設ける必要がない。また、施工性においても、ケーソン式は工種が少なく優位である。

以上より、総合的な比較検討で「ケーソン式」を選定した。図-6に比較断面図を示す。

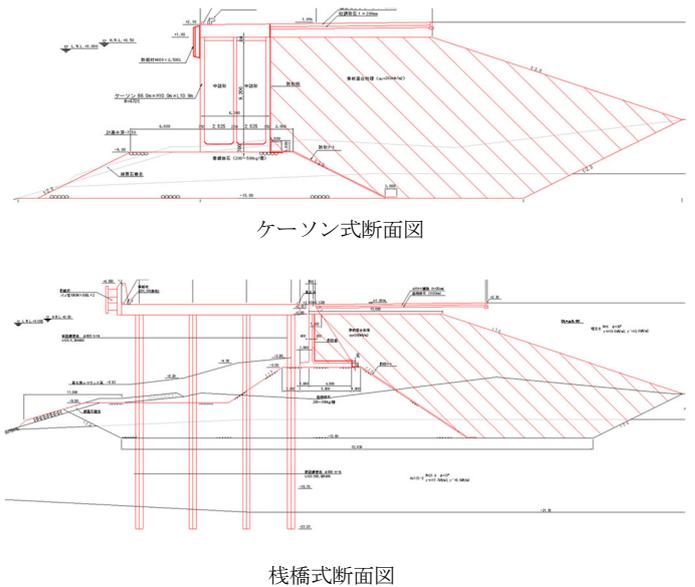


図-6 先端部の比較断面図

## 4 性能照査結果

性能照査については、永続状態・変動状態(レベル1)・偶発状態(レベル2)の各外力条件で照査を行い、安定性を満足する断面を決定した。

### 4. 1 元付部の照査結果

照査結果を表-2に示す。偶発状態(レベル2)の岸壁の法線位置における残留天端変位量は46cmであり、可動橋が利用できる50cm以内に収まっている。また、背後既設土留め部の変位量は17cmであり、土留め部とジャケット式栈橋の離隔が100cmであることから接触しないことを確認した。

表-2 ジャケット式栈橋の安定性照査結果

#### ●永続状態・変動状態照査結果

鋼管杭	応力( $m \cdot S_d / R_d$ )	地震時	0.89 < 1.0	OK
	支持力( $m \cdot S_d / R_d$ )	接岸時	0.96 < 1.0	OK
根入れ長(m)		—	16.60 > $\beta / 3.0 = 10.5$	OK
レグ	応力( $m \cdot S_d / R_d$ )	地震時	0.66 < 1.0	OK
斜材外	応力( $m \cdot S_d / R_d$ )	接岸時	0.69 < 1.0	OK
水平材	応力( $m \cdot S_d / R_d$ )	接岸時	0.67 < 1.0	OK
上部桁	応力( $m \cdot S_d / R_d$ )	地震時	0.81 < 1.0	OK

#### ●偶発状態照査結果 (新潟県南西沖地震)

栈橋残留天端変位量	0.46m < 0.5m	OK	栈橋護岸の相対変位量	0.17m < 1.0m	OK
栈橋沈下量	0.06m < 0.20m	OK	栈橋残留傾斜角	0.4° < 3°	OK
栈橋護岸間段差	0.17m < 0.3m	OK	改良体背後段差	0.15m < 0.3m	OK
改良体最大せん断応力	332kN/m <sup>2</sup> < 400kN/m <sup>2</sup>	OK			
栈橋鋼管杭	2か所で限界曲率を超える杭は存在しない	OK			
支持力作用耐力比	最大値 0.57 < 1.0	OK			
ジャケット部材作用耐力比	最大値 0.95 < 1.0	OK			

## 4. 2 先端部の照査結果

照査結果を表-3 に示す.偶発状態(レベル 2)の岸壁の法線位置における残留天端変位量が 46cm であり, 50cm 以内に収まっている.

表-3 ケーソン式の安定性照査結果

### ●永続状態・変動状態照査結果

設計状態		永続状態		レベル1地震動	
潮位		LWL	HWL	LWL	HWL
滑動	検討点 (ケーソン下端)	0.06 < 1.0	0.02 < 1.0	0.67 < 1.0	0.67 < 1.0
転倒	検討点 (ケーソン下端)	0.08 < 1.0	0.05 < 1.0	0.76 < 1.0	0.76 < 1.0
	端趾圧	193.08kN/m <sup>2</sup>	177.83kN/m <sup>2</sup>	651.51kN/m <sup>2</sup>	653.98kN/m <sup>2</sup>
	偏心傾斜荷重	i = 0.1※	i = 0.1※	0.98 < 1.0	0.96 < 1.0
	円弧すべり	0.73 < 1.0	0.71 < 1.0	—	—

### ●偶発状態照査結果

照査項目	性能規定値		偶発状態 (新潟県南西沖地震)		偶発状態 (M6.5直下型地震)
岸壁天端変位量	0.5m	>	0.38m	>	0.46m
岸壁沈下量	0.2m	>	0.147m	>	0.153m
岸壁残留傾斜角	3°	>	0.3°	>	0.4°
岸壁護岸間段差	0.3m	>	0.05m	>	0.06m

## 4. 3 異なる構造形式の照査 (相対変位確認)

同施設内で異なる構造形式を採用した場合, 地震時の挙動が異なることから, 相対的な変位の確認を行った.

レベル2地震動のFLIP解析より挙動の時刻歴を出力し, 各区間の変位量を重ね合わせることで, 評価を行った.

新潟県南西沖地震の時刻歴による変位量を図-7 に示す. 変位量±0.0 は岸壁法線位置を示し, 負の数値は海側への変位量である. 水平変位量は地震動が作用している間最大 40cm 程度相対変位が生じるが, 地震動の収束に伴い, 残留変位量が約 10cm 程度に収まることから, 性能規定値の「断面間の相対変位量 50cm 以内」を満たし, 耐震強化岸壁の性能を有していると判断できる.

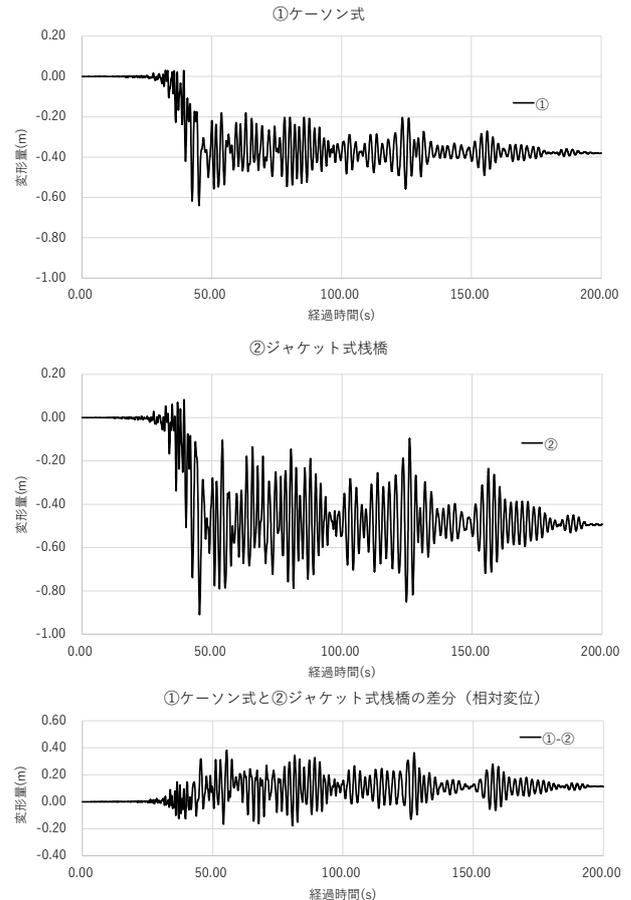


図-7 時刻歴の水平変位量  
(新潟県南西沖地震の場合)

## 5 まとめ

耐震改良断面の検討を行い, 施工性等を総合的に比較し, 管内直轄岸壁で初めて「ジャケット式栈橋」を選定, 制約条件の違いから 1 施設に 2 構造を採用した. レベル 2 地震後においても岸壁の機能を確保していることを性能照査により確認した.

今後, 未設計の可動橋部分の検討や現地施工に向けて, 問題が生じないかフォローアップを行っていく.