

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

藤井 武¹・八木 一樹¹・宗村 大成¹

¹新潟港湾空港技術調査事務所 設計室 (〒951-8011 新潟県新潟市中央区入船町4丁目3778番地)

供用後約40年以上が経過し老朽化が進む両津港(湊地区)岸壁(-7.5m)：4号岸壁は、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常時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。

キーワード 両津港, 耐震改良, 岸壁設計, ジャケット式栈橋

1. はじめに

両津港は佐渡の東北に深く入り込んだ両津湾の最奥部に位置し、佐渡の玄関口として佐渡航路全体の乗降客数の約9割が利用し、取扱貨物量も島内4港全体の約9割を占めている。観光面では「佐渡島の金山」の世界文化遺産登録を目指しており、登録後には更なる観光客の増加が見込まれると共に、「あいぽーと佐渡」や「おんでこドーム」などが「みなとオアシス佐渡両津」に登録され、佐渡の物流・人流・観光の拠点となっている。

両津港(湊地区)岸壁(水深7.5m)(以下「4号岸壁」という)は、1979年に建設され、新潟港と両津港を結ぶ

定期航路が利用する施設として供用されている。

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、施設の老朽化が進んでおり、機能維持のためには早期に抜本対策が必要な状態である。

また、大規模地震等の災害が発生した場合の緊急物資輸送、緊急避難を海上輸送に依存せざるを得ない離島において、海上交通と陸上交通との結節点に防災機能を確保することが必要不可欠であり、2016年に港湾計画の一部変更により耐震強化岸壁に位置付けられた。(図-1、図-2参照)



図-1 両津港位置及び定期航路



図-2 設計対象施設位置(4号岸壁)

2. 設計条件及び性能規定値の設定

(1) 既存施設構造

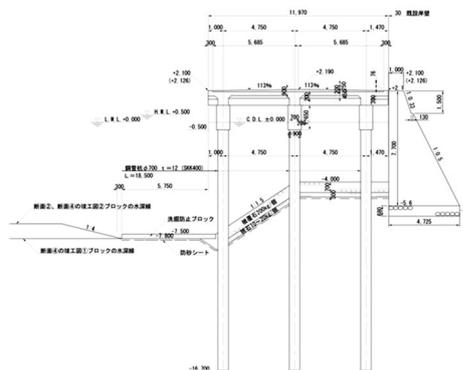
岸壁の既設構造及び区間割を図-3、4に示す。

4号岸壁は、図に示すように栈橋式構造である。土留めは矢板式、重力式が混在し、先端部は土留めが無い。背後にはフェリーターミナルが近接し、渡船橋等の付帯施設が設置してある。

本稿では、図-3に示す元付部123m及び先端部52mの耐震改良設計を報告する。なお、車両が乗降する可動橋部分の設計は今後行う予定である。



図-3 設計対象区間



a) A-A断面 (重力式土留め)

b) B-B断面 (矢板式土留め)

c) C-C断面 (土留め無し)

図-4 既設断面図

(2) 設計条件及び課題

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、ジェットフォイルの係留岸壁が耐震強化岸壁ではないことから、緊急時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強さを持つ地震動として「新潟県南西沖地震」、「M6.5直下地震」を比較検討し安全側となる地震動を設定した。

改良設計の課題としては、

- 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) 既設構造物をどこまで残置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-5に課題箇所を示す。



図-5 港湾計画図と課題

(3) 性能規定値の設定

性能規定は、レベル2地震発生後に、緊急物資のみならず、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
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』(照用震度 : kh=0.17)
L2地震動	「新潟県南西沖」及び「M6.5直下地震」
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

(1) 設計区間

4号岸壁において岸壁背後の制約条件が異なることから、構造形式の検討は元付部と先端部を分けて検討することとした。

(2) 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案と新設する案①～④を抽出し、構造形式の1次選定を行った。

- ・案①上部工、栈橋杭を残置したままの「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。

維持管理性、施工性、経済性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た。本稿では詳細を割愛する。

1次選定で新設栈橋式を採用したが、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ことから現地施工期間の短縮を図るため、「RC栈橋」と「ジャケッ ト式栈橋」の比較検討を行った。

「RC栈橋」の施工期間は3年を想定している。単年度毎に区間を分け栈橋の撤去・据付を行うことで、冬季は岸壁の使用できる。「ジャケッ ト式栈橋」は、施工期間が「RC栈橋」と同じ3年であるが、ジャケッ ト部の工場製作が可能で現地作業が1年短縮でき、冬季の岸壁使用も可能であるため、「ジャケッ ト式栈橋」が優位である。

比較検討の結果「ジャケッ ト式栈橋」を選定した。

図-6に元付部の比較断面図を示す。

(3)先端部の構造形式

先端部は、現在、土留めや背後構造物が無い状態であるが、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、床掘が可能であるため、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、ケーソン式の方が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-7に先端部の比較断面図を示す。

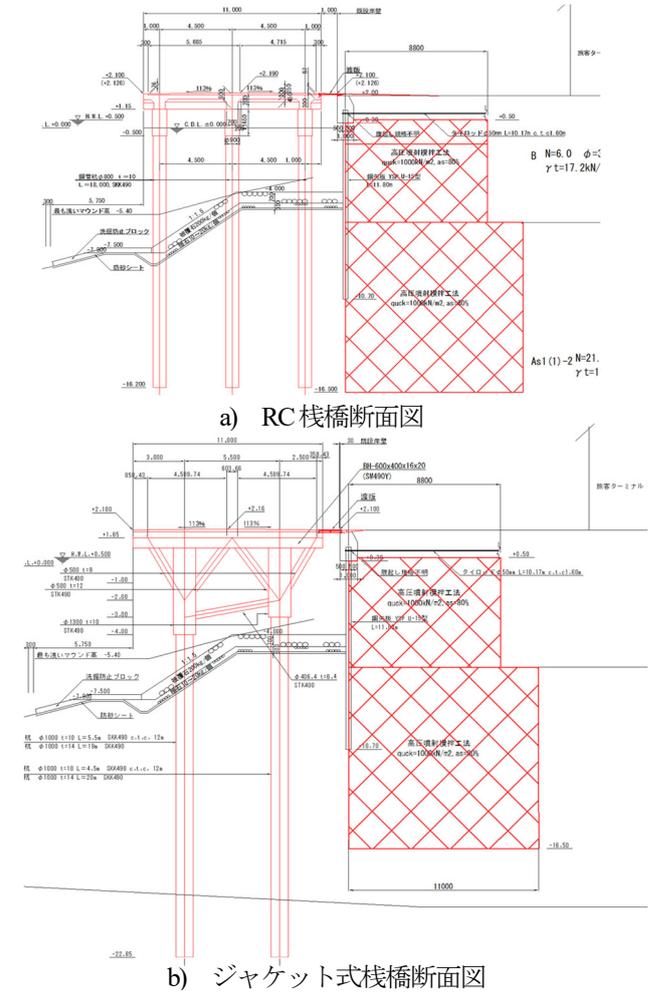


図-6 元付部の比較断面図

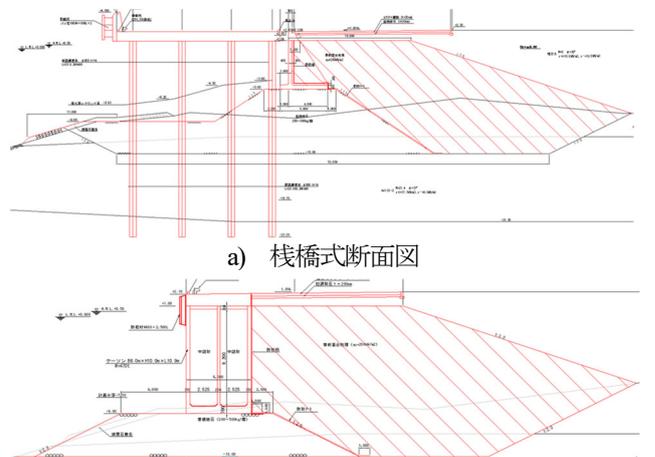


図-7 先端部の比較断面図

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。

(1)ジャケット式栈橋の照査結果

4号岸壁の法線位置における残留天端変位量が46cmであり、船舶が接岸時に可動橋が利用できる50cm以内に収まっている(表-2参照)。

また、背後既設土留め部の変位量の解析結果は17cm

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・S _d /R _d)	地震時	0.89 < 1.0	OK
	支持力(m・S _d /R _d)	接岸時	0.96 < 1.0	OK
	根入れ長(m)	—	16.60 > β/3.0=10.5	OK
レグ	応力(m・S _d /R _d)	地震時	0.66 < 1.0	OK
斜材外	応力(m・S _d /R _d)	接岸時	0.69 < 1.0	OK
水平材	応力(m・S _d /R _d)	接岸時	0.67 < 1.0	OK
上部桁	応力(m・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 ² < 400kN/m ²	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

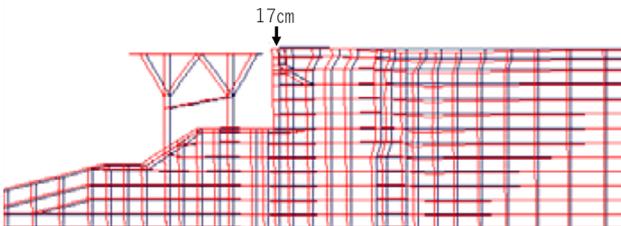


図-8 ジャケット式栈橋の変形量解析結果 (FLIP)

表-3 構造決定要因

		決定要因	概要
鋼管杭	規格	φ 1000mm t14mm (SKY490)	陸側から海側へ慣性力が作用する時のレベル1地震動による変動状態の照査で決定。
	根入深度	D. L. -22.85m (L=24.5m)	変動状態(接岸時) 接岸時の防舷材反力作用時の照査で決定。
レグ	規格	φ 1300mm t10mm (SKY490)	永続・変動状態で決定する規格ではNGとなるため、偶発状態の照査に必要な規格を決定。
内側斜材(法直)	規格	φ 500mm t12mm (SKY490)	永続・変動状態で決定する規格ではNGとなるため、偶発状態の照査に必要な規格を決定。
内側斜材(法平)	規格	φ 500mm t9mm (SKY490)	永続・変動状態で決定する規格ではNGとなるため、偶発状態の照査に必要な規格を決定。
外側斜材	規格	φ 500mm t9mm (SKY400)	永続・変動状態で決定する規格ではNGとなるため、偶発状態の照査に必要な規格を決定。
水平材	規格	φ 406.4mm t6.4mm (SKY400)	永続・変動状態で決定する規格ではNGとなるため、偶発状態の照査に必要な規格を決定。
上部桁	規格	BH-600×400 ×16×20 (SM490Y)	変動状態(接岸時) 接岸時の防舷材反力作用時の照査で決定。

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結果となった(図-8参照)。

構造諸元については、鋼管杭及び上部桁を除く部材がレベル1における規格ではNGとなるため、レベル2で決定している(表-3参照)。

(2)ケーソン式の照査結果

ジャケット式栈橋と同様に4号岸壁の法線位置における残留天端変位量が46cmであり、船舶が接岸時に可動橋が利用できる50cm以内に収まっている(表-4, 図-9参照)。

表-4 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	
網位		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
	軸距圧	193.08kN/m ²	177.83kN/m ²	651.51kN/m ²	653.98kN/m ²
	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

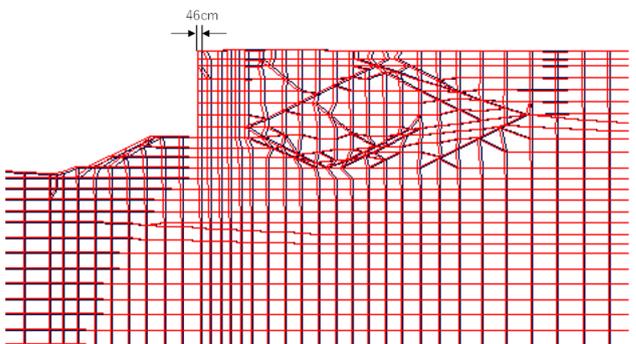


図-9 ケーソン式の変形量解析結果 (FLIP)

(3)異なる構造形式の照査(相対変位の確認)

各区間において「ケーソン式」と「ジャケット式栈橋」を選定した。耐震強化岸壁で同施設内で異なる構造形式の場合、地震時の挙動が異なるため、相対的な挙動の確認が必要となる。

レベル2地震動の照査を行う際にFLIP解析で挙動の時刻歴がわかるため、各区間の変位量の差を確認して、評価を行った。

レベル2地震動作用後における「ケーソン式」と「ジャケット式栈橋」での新潟県南西沖地震の時刻歴による変位量を図-10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。

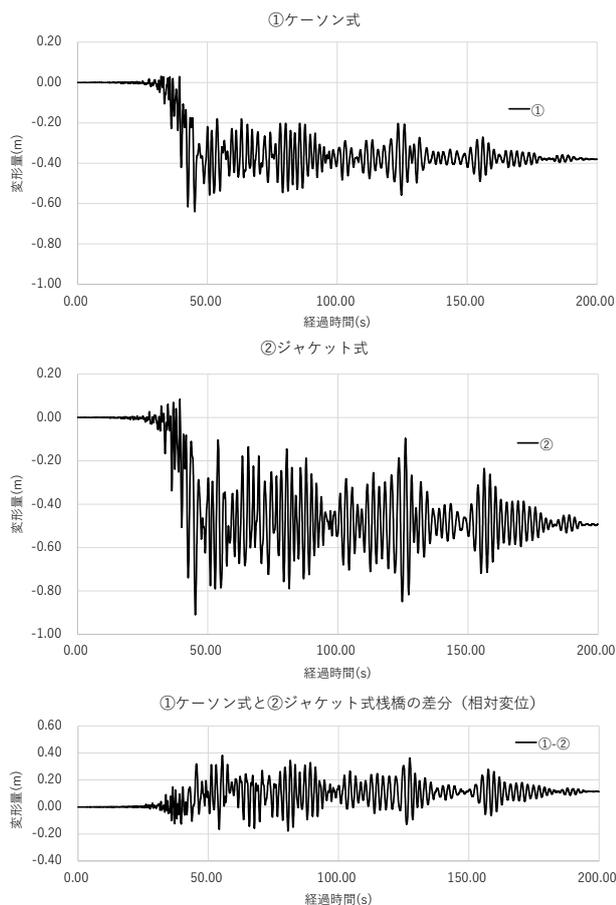


図-10 時刻歴の水平変位量
(新潟県南西沖地震の場合)

水平変位量は地震動が作用している間最大40cm程度相対変異が生じるが、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、表-1に示す性能規定値の「断面間の相対変位量50cm以内」を満たし、レベル2地震後においても耐震強化岸壁の性能を確保することが可能であると判断した。

5. あとがき

今回検討を行った当該岸壁において、レベル2地震後も性能が確保できる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」を選定した。

また、岸壁背後の制約条件が異なること、供用への影響に配慮したことから1施設に2構造を採用し、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確認した。

改良工事完了後は、レベル2地震発生後、支援船、カーフェリー、ジェットfoilが安全に係留できる性能を有する施設となり、佐渡島の航路の安定に寄与出来るものと考えている。

また、本稿の内容が、類似構造における検討手法の参考になることを期待したい。