

舞鶴港における将来計画を見据えた岸壁の老朽化対策に関する技術的検討について

川端 稔教¹

¹近畿地方整備局 神戸港湾空港技術調査事務所 設計班（〒651-0082兵庫県神戸市中央区小野浜町7-30）。

舞鶴港第2ふ頭地区岸壁（水深-9m、施設延長330m）は、ケーソン式岸壁70mと栈橋式岸壁260mから構成されており、特に栈橋式岸壁のうち176mは、1929年から1938年に築造された既設重力式岸壁の前面にコンクリートウェル（※1956年から1958年施工）を脚柱とした横栈橋を採用している。他方、当該岸壁は、市街地に近く利便性が良いことから近年はクルーズ等の旅客船バースとしての利用も多く、港湾計画では、水深-10mの位置付けがなされており、将来の増深計画への対応も見据えた形での老朽化対策に関する技術的検討が必要となった。

キーワード 設計, 老朽化対策, 予防保全

1. はじめに

舞鶴港（図-1）は、本州日本海側のほぼ中央に位置する重要港湾で、京都府北部の地域開発拠点として、また近畿の日本海側の門戸港として重要な役割を担っており、その歴史は古く、1898年軍港の建設に着手して以来、海軍基地として整備され栄えている。

また、今回の対象施設となる「舞鶴港第2ふ頭地区岸壁（水深-9m）330m」は、西港地区に位置している。西港地区は、商港として発展し、1908年から1913年にかけて第1ふ頭地区を埋立完成させて以来、昭和初期から太平洋戦争直前まで当時の朝鮮・満州との対外貿易で物資の交流が盛んに行われてきた。

対象施設は、第2ふ頭地区として1929年から1938年にかけて整備され、現在もその当時築造された重力式岸壁を土留め護岸として利用し、昭和1956年から1958年年台に延長176mをコンクリートウェル杭（以下「コンクリートウェル部」という）による栈橋式構造により築造し、現在56年が経過している状況である。またこの他にも対象施設の84mは鋼管杭（以下「栈橋部」という）による栈橋式構造で増深改良、70mを重力式構造（以下「ケーソン部」という）で延伸し、現在、水深-9m、延長330m、岸壁2バースとして、完成自動車、紙・パルプ、セメント等を取り扱い利用されている。

他方、当該岸壁は、市街地に近く利便性が良いことから近年はクルーズ等の旅客船バースとしての利用も多く、外航・内航クルーズ需要に対応するため、港湾計画では、昨年（2014年12月）旅客船埠頭として水深-10m、

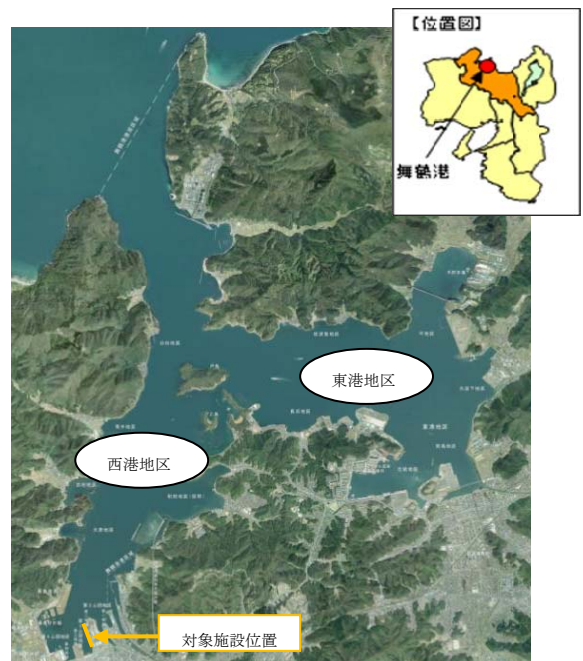


図-1 舞鶴港全景

延長330mの岸壁1バースとして計画決定されたところである。

このような状況から、これら老朽化した構造物を適切に評価した上で老朽化対策を実施し、更には、港湾計画の変更により、将来計画を見据えた形での検討を行うことが必要となった。

本稿では、施設の現況調査結果に基づく施設の変状及び劣化状態に関する評価の扱い、対策工の選定に至るまでの検討プロセス及び技術的課題とその対応等について報告する。

2. 基本設計の設計方針

(1) 設計する上での適用基準

港湾施設を維持していくには、港湾の施設の技術上の基準・同解説¹⁾（以下「港湾基準」という）や港湾の施設の維持管理技術マニュアル²⁾に基づき、自然状況、利用状況や将来計画、重要度、施設の構造形式や構成する部材の構造特性などに基づき、適切に維持していく必要がある。

また、維持管理は、施設を構成する構造物又は部材が保有する性能が要求されるレベルを下回ることのないように、維持管理計画に定める供用期間において継続して実施すべきものとなっている。

しかし、老朽化対策を実施する場合、通常、設計当時の基準を満たすように実施するが、杭の打ち替え等構造に影響が出る場合は現行基準を満たすよう設計する等、施設の置かれている状況に応じて実施する必要がある。

このため、今回老朽化対策の実施にあたり、以下の3点に注目して検討を行った。

- ① 施設は、これまで増深・延伸を行うため経過年数の異なる複数の構造物によって構成されている。
- ② 施設中央部に位置するコンクリートウェル杭は、築造後56年を経過する等、老朽化の懸念がある。
- ③ 現在、貨物を取り扱っているが、将来旅客船ふ頭として、増深する計画がある。

今回対象施設は、ケーソン部（本体部：築造後30年）70m、コンクリートウェル部（本体部：築造後56年）176m、栈橋部（本体部：築造後23年及び44年）84mと3つの構造形式の区間から構成され、それぞれ設計年度が違うことから、同一施設内で複数の港湾基準に基づき設計されている状況にある。

このため、維持管理を行うにあたっては、補修を実施する場合は、それぞれの整備年度の基準に基づいて行う等、施設として同一の港湾基準を用いて維持管理を行えない状況となっている。



図-2 舞鶴港第2ふ頭地区全景

一方、今回の老朽化対策を行う際に、岸壁の更新が施設の大部分を占めるようならば、施設を運用しやすくするため、岸壁全体に現行基準を適用することを検討することを提案した。

また、対象施設は、事業採択後に将来増深する計画が策定され、本設計においても将来増深した場合に手戻りが発生しないようにする必要がある。

以上より、今後の維持管理を見据えて同一施設を同一の基準で管理し、かつ将来計画を見据えた場合でも手戻りがないよう老朽化対策を実施するとして、施設を現行基準の要求性能を満たすように設計することとした。

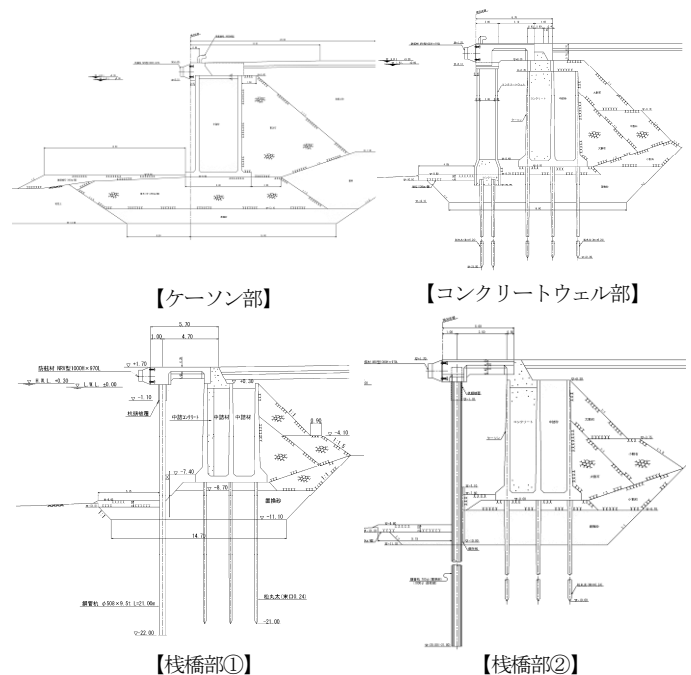


図-3 舞鶴港第2ふ頭地区断面

(2) 施設の現況評価

対象施設は、施設箇所や部材でも整備年度が異なるため、各施設毎に評価ができるように現況調査を実施し、施設の健全度評価を実施した。

なお、今回の調査では、測量（水準測量、法線移動量測量）、現地調査（空洞化調査、目視調査、潜水目視調査、鉄筋腐食調査、コンクリート劣化調査、肉厚測定、電位測定、陽極消耗量調査）を実施した。

a) 潜水目視調査結果

潜水目視調査を実施したが、当初、外観に大きな変状等は確認されなかった。しかし、施設の一部が50年以上を経過しているため詳細な調査が必要と判断し、付着物を部分的に除去し、表面の劣化・損傷状況等を更に詳細に点検することとした。その結果、コンクリートウェル杭において、貫通孔や錆汁並びに粗骨材の露出が多数見つかかり、また粗骨材露出箇所付近のコンクリートは非常に脆くなっている状態で、コンクリートウェル杭が局所的に劣化していることが判明した。

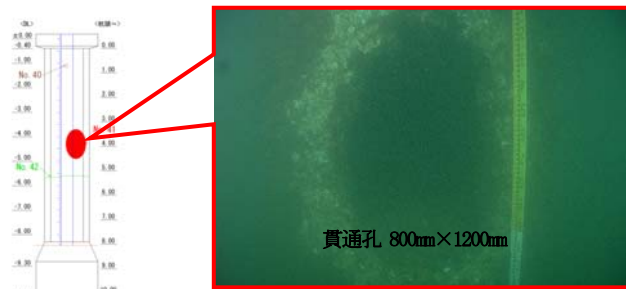
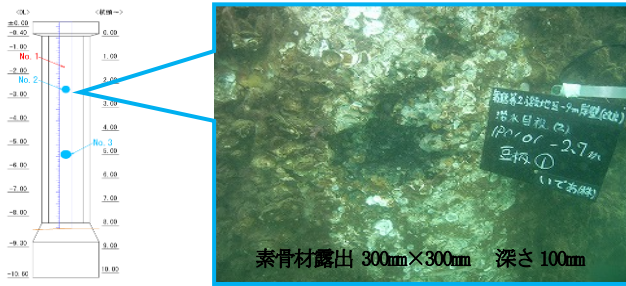


図-4 コンクリートウェル杭状況

b) 鉄筋腐食調査結果

はつり試験による鉄筋腐食調査では、コンクリートウェル部で、梁に腐食が確認されたが、栈橋部では、ほぼ確認されなかった。一方、非破壊試験による自然電位測定では、今回の調査箇所全てで90%以上の確率で腐食ありの結果となった。

また栈橋下面の一部では鉄筋が露出している箇所が確認された。



【コンクリートウェル部】

【栈橋部】



栈橋下面部の鉄筋露出状況
図-5 鉄筋腐食調査状況

c) コンクリート劣化調査

圧縮強度試験の結果、全ての箇所でも24N/mm²を下回る箇所はなく、コンクリートは健全な状態であることが判明した。

また中性化試験の結果も、当面の間は、中性化による腐食が生じる恐れはないと判定された。

塩分含有量試験の結果、多くの箇所でも腐食発生限界塩化物イオン濃度2.0kg/m³を上回っており、鉄筋の腐食が進行し易い環境にあることが判明したが、L.W.L. 以下では、酸素の供給が極めて少ないため、塩分濃度は高くても、鉄筋が腐食する可能性は低いと判断した。

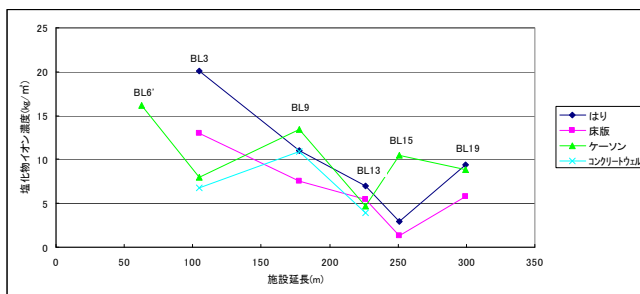


表-1 塩化物含有量分布

(3) 調査結果まとめ

ケーソン部、コンクリートウェル部、栈橋部において現況調査結果からそれぞれ現況評価を実施した。

a) ケーソン部

ケーソン本体は、築造後30年を経過しているが、大きな変状はなく、良好な状態であった。

一方、エプロン部における空洞化調査を実施したところ空洞化が確認される等施設の一部に老朽化対策を実施する必要があることが判明した。

b) コンクリートウェル部

コンクリートウェル杭に800mm×1200mmの貫通孔が見つかる等早急な対策が求められる状況にあることが判明した。

またコンクリートウェル杭の圧縮強度試験結果は十分な強度を示していたものの、陥没箇所や粗骨材露出箇所が多数見付き、施設の健全度評価をどのように取り扱うかが重要なポイントとなった。

他方、築造後76年を経過している土留め護岸は、外観も大きな変状等は見つからず、塩化物は高い値を示しているものの圧縮試験の結果も十分な強度を有していたため、健全な状態であると判断した。

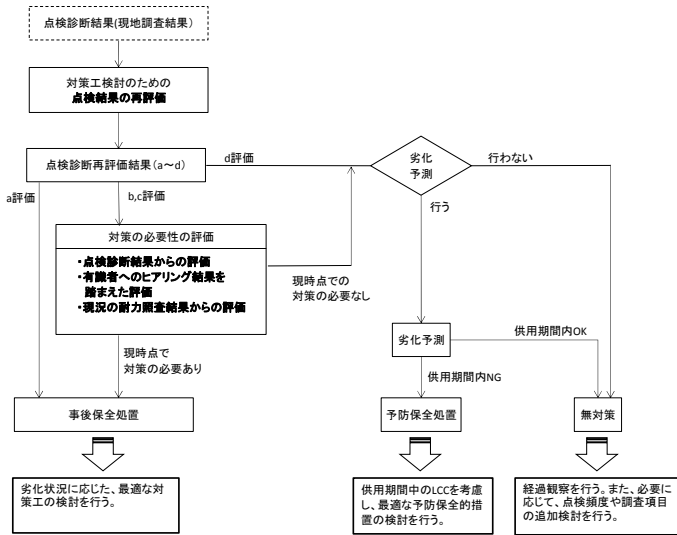
c) 栈橋部

栈橋下面部の一部で鉄筋が露出し離れている状況が確認されたが、鋼管杭は健全な状態であり、施設全体としては比較的健全な状態であった。また、塩化物イオン濃度が高いことから老朽化対策として予防保全処置が必要であると判明した。また、土留め護岸はコンクリートウェル部と同様で問題なかった。

3. 対策工の選定

(1) 検討プロセス

対策工の選定に当たり、現地調査結果を元に対策工検討のための点検結果の再評価を実施し、その点検診断再評価結果に基づきそれぞれ部材ごとにa～d評価をつけ、劣化状況に応じた、最適な対策工の検討を実施した。



劣化度判定	部位・部材の状態
a	部材の性能が著しく低下している状態
b	部材の性能が低下している状態
c	部材の性能低下はないが、変状が発生している状態
d	変状が認められない状態

表-2 検討フロー

(2) 技術的課題と対応策

コンクリートウェル部におけるコンクリートウェル杭の取扱が非常に難しい状況であった。当初、コンクリートウェル杭は、圧縮試験は問題ない結果であったため、健全であると評価することが妥当ではないかと考えた。

しかし、全杭にて潜水目視調査を追加し附着物を除去して杭の状態を確認したところ、コンクリートウェル部に大規模な貫通孔が確認され、現状で耐力を有していない状況が確認されたこと、かつ陥没箇所や粗骨材露出箇所が随所で確認され、その付近は特に脆くなっている状況が確認されていることから、コンクリートウェル杭は非常に劣化が進行している状況ではないかと考えた。

一方、コンクリートウェル杭は他に事例もなく、またコンクリートウェル杭を評価するマニュアル等はない。このため評価の妥当性をどうするかが問題となった。

このため、有識者へヒアリングを実施し、杭の評価の妥当性を確認した上で、適切な評価を行えるようにした。その結果、コンクリートウェル杭は築造後50年以上経

過したコンクリート構造物で、老朽化により脆くなっている箇所がある。また、現在変状がない箇所でも、貫通孔の箇所のように、外力が働いた際に大きな変状に進行する可能性も考えられること。また、粗骨材露出箇所では、錆汁の露出状況やかぶり不足により杭中の鉄筋が腐食し、既に残存耐力を有していない可能性が高いことが考えられたため、部材としての評価をa評価とし事後保全処置が必要であると判断した。

また、岸壁の中央に位置し、施設全延長の5割近くを占める重要な構造区間であるため、これらの状況を勘案した結果、施設の性能が低下している状態であると判断し、コンクリートウェル部全体の評価をA評価（施設の性能が低下している状態）とした。

以上から、コンクリートウェル杭については、コンクリートウェル杭を利用した構造検討を検討したが、杭自体の残存耐力を有していない可能性が高いこと、また他に事例もなく今後の維持管理を行いにくいことも含め比較検討を行った結果、部分的な補修対策ではなく、抜本的な対策により補修を行う必要があると判断できたため、撤去・更新することとした。

なお、ケーソン部では空洞化箇所について事後保全処置を実施し、栈橋部では、栈橋上部工において、供用期間中のLCCを考慮し、スパン別に対策工法を検討し経済的な対策工法を検討することとした。

(3) 技術的検討結果

今回、コンクリートウェル部について、コンクリートウェル杭を利用した構造検討を実施したが、コンクリートウェル杭自体の残存耐力を有していないこと、また他に事例もなく今後の維持管理を行いにくいことも含め比較検討を行った結果、部分的な補修対策ではなく、抜本的な対策により補修を行う必要があると判断できたため、撤去・更新することとし、コンクリートウェル部についても鋼管杭での栈橋式構造を採用することとした。

なお、ケーソン部は、背後を軽量盛土での置換、栈橋部は、栈橋上部工に対して変状対策（ひび割れに対する表面処理や剥離・剥落に対する断面修復）や塩化物イオン対策として電気防食工法を行う等の予防保全処置の他、前面深層混合処理及び背後の軽量盛土で既存不適格への対策を行うこととした。

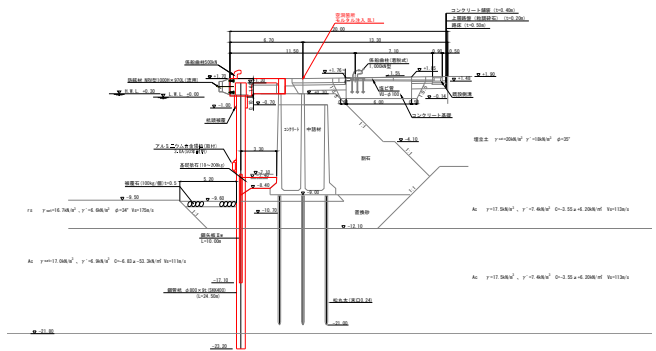


図-6 老朽化対策断面（コンクリートウェル部）

4. 将来計画の確認

通常、岸壁の設計において岸壁前面を増深する場合岸壁前面の土砂等が撤去されることから、岸壁の安定性が悪くなり対策を講じる必要がある。

しかし、本岸壁は現在貨物を取り扱っているが、将来計画では旅客船埠頭としての利用となるため、増深した場合、利用条件が変更され、上載荷重が30KNから10KNへと変わることとなる。

このため、各断面において岸壁の安定性を確認したところ増深した場合でも、特に対策を行わなくても問題ないことが判明した。

よって、今回の老朽化対策を実施することで、将来の安定性も問題ないことが確認できた。

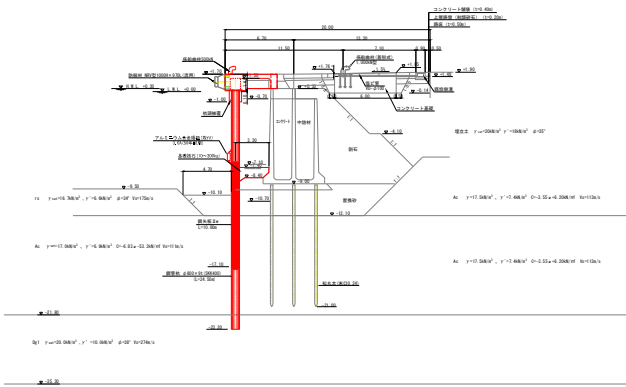


図-7 増深時断面（コンクリートウェル部）

5. おわりに

今回、コンクリートウェル杭を用いた栈橋式構造は他に事例もなく、その技術的評価を判断する手法はない。一方でこのように事例のない構造物を評価していくことは今後もあるため、類似の実績を増やしていき、かつ最新の知見を踏まえ、その知見を反映できるものは反映する等、評価やその対策を行う際に他の施設へもフィードバックしていけるようにしていく必要がある。

今回、コンクリートウェル杭においては、杭の調査結果から、施設の評価を再検討し、その健全度について有識者の意見も踏まえつつ検討を実施した。港湾における老朽化対策は今後も増えていくことから、今後事例のない施設でも、検討プロセスを整理した上で今回のフローに必要に応じて更新しながらよりよい結論が導けるように、また、最新の知見を考慮しながら評価していけるようにする必要がある。

また、老朽化対策事業としては、予防保全計画に基づき実施していく必要がある。このため、現況評価を詳細かつ適切に実施していく必要がある。

6. 参考文献

- 1) (社) 日本港湾協会；港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月
- 2) (財) 沿岸技術研究センター；港湾の施設の維持管理技術マニュアル 平成19年10月