

令和6年能登半島地震で被災した供用中の岸壁 における早期復旧・解放について

古川 知弥¹・梅坂 清嗣¹・杉原 友和¹

¹伏木富山港湾事務所 建設管理官室 （〒934-0021 富山県射水市堀岡新明神字西浜205-150 ）

令和6年能登半島地震で被災した伏木富山港伏木地区の供用中の岸壁エプロン復旧工事において、船舶の荷役作業を止めることなく、工事エリアを限定しながら安全且つ迅速に行った復旧工事事例について報告する。

キーワード 災害復旧，新技術，工期短縮，コスト縮減

1. はじめに

富山県高岡市に位置する伏木富山港 伏木地区は、小矢部川の河口港として古くから発達した港であり、富山県内の製造企業が必要とする原材料の調達や製品出荷のほか、中古自動車の輸出など、富山県の経済活動を支える国内外の物流拠点として機能している。

現在、外港地区内にバイオマス発電所が立地し、2022年7月から営業運転され、本格的に燃料（木質ペレット）の輸入が開始された。

発電の燃料として使用される木質ペレット等は貨物船 1 隻あたりの取扱量が多く荷役作業に概ね 4～5 日を要することから、後続の貨物船が能登沖で渋滞（滞船）する問題が発生している。

また、2022 年 11 月から伏木富山地区における富山県内のガソリン等の石油製品の取り扱いが、内港から外港の万葉ふ頭で取り扱いがシフトされたことから、滞船への影響に加え背後のふ頭用地不足が生じている。

このように取り扱い貨物の増加による混雑が実現化している万葉ふ頭については、能登半島地震による被災施設の早期復旧が求められており、工事実施後の早期に施設開放が可能な復旧工事の実施事例として紹介するものである。

2. 能登半島地震による被害状況

伏木富山港（伏木地区）では、液状化による、万葉ふ頭1号・2号岸壁のエプロン部の沈下、岸壁背後のふ頭用地・臨港道路が沈下・隆起による段差や舗装の亀裂の他、伏木港大橋・伏木港陸橋の橋梁アプローチ部擁壁の傾斜による舗装の沈下、段差、亀裂及び右岸5号物揚場でブロックの傾斜、背後地の沈下等の被害が生じている。

その内、本稿で報告する万葉ふ頭1号・2号岸壁の被災は、裏埋土砂が液状化し、ケーソン部とエプロン部において3cmから7cmの段差やひび割れが生じ、荷役作業に支障をきたしていた。

また、2024年2月にエプロン部の空洞化調査、2024年6月に水準測量を実施した結果、一部の箇所において隙間（空間）があることを検出したが、エプロン部に危険（陥没）に繋がるような空洞は生じていないものと判断された。



図-1 伏木富山港 伏木地区 万葉ふ頭 1



図-2 万葉ふ頭の荷役状況（木質ペレット，原塩）

3. 復旧工法の検討

(1)復旧の条件

万葉ふ頭1号・2号岸壁の復旧方針は、沈下が生じているエプロン舗装の段差を解消することとした。

また、一般にエプロン部は海側に向かって勾配を設けるが、本施設では、背後の野積み場の高さの兼ね合いも含め、ケーソンの陸側端部を基点として陸側に向かって勾配を設けることとした（図-3）。

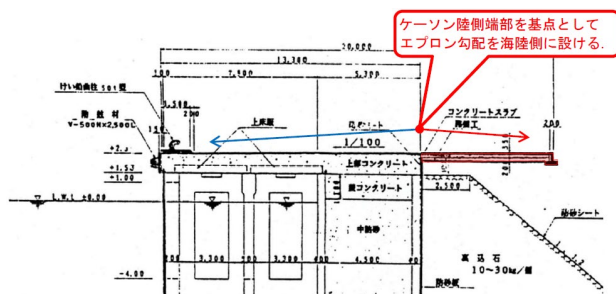


図-3 万葉岸壁の復旧範囲

(2)復旧工法の選定

a)当該施設の状況整理

ここでは、当該施設の被災状況を鑑み、エプロン舗装部の復旧工法について表-1に示す。エプロン舗装部の復旧は、被災状況や工事期間の施設の供用状況にもよるが、一般的に、「撤去・打替え工法」や「オーバーレイ補修工法」による施工実績が多い。

しかしながら、当該施設は、港湾管理者や利用者等の要望から、早期の供用再開が求められており、復旧工事の期間が長引けば、それだけ供用への支障が生じてしまう恐れがある。

このため、本検討では、「撤去・打替え」や「オーバーレイ補修工法」の他に、養生期間が短く、かつ早期に供用再開が可能な工法を抽出して比較検討を実施し、総合的な判断から、当該復旧工事の方法を選定することとした。

b)注入工法の整理

本検討では、当該施設への適用性等も鑑み、養生期間が短く、かつ早期に供用再開が可能な工法を抽出した。

現在、修復工法としては、当該施設の港湾に限らず、建築分野（建屋の床の修復等）や道路、空港舗装等においても実績がある「注入工法」も候補とした。

「注入工法」は、ウレタン樹脂やモルタル等を空隙部分に注入し、その圧力で舗装版を押し上げて、段差等を解消することができる。また、施工においても、常に高さの確認を行いながら注入を行えるため、ミリ単位での管理が可能である。更に、養生期間が短く、早期に供用を再開することも可能である。

本検討では、モルタル系やウレタン樹脂系等の複数の注入工法を抽出し、比較検討を実施し、当該施設に適用可能な工法を抽出した（表-1）。

表-1 復旧工法の比較検討（一次選定）

補修方法	リフトアップ工法	高強度ウレタン注入工法 (アプコン工法)	ダイヤグラウト工法
施工・完成イメージ	 ジャッキアップ グラウト注入	 補修前の状態 段差により排水機能に不具合が発生 補修後の状態 段差が解消され排水機能が改善された	 ダイヤグラウト工法
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> ・沈下や不均沈下が生じたコンクリート舗装版の補修工法。 ・油圧ジャッキでコンクリート舗装版を持ち上げ、隙間にグラウトを注入する工法。 ・リフトアップ作業は、コンピュータ制御および管理による省力化が図られている。 ・リフトアップ後、PC版の下に充填するグラウトとPC版との付着を防止することにより、繰り返し施工が可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ・地震等によって生じた地盤沈下や舗装下に生じた空洞や空隙等、ウレタン樹脂を注入して補修する工法である。 ・補修に際し、大掛かりなコンクリート舗装版の取壊しや開削工事を必要としない工法である。 ・既存のコンクリート舗装版に約16mm程度の削孔を設けてウレタン樹脂を注入する補修工法であるため、短期間に補修が可能である。 ・ウレタン樹脂は、注入後2時間程度で強度を発現するため、施設の供用に影響を与えない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ダイヤグラウト工法は、コンクリート舗装版と路盤の間の間隙や、コンクリート舗装版下の空隙に超速硬型裏込め材を注入する工法。 ・コンクリート舗装版に生じた段差をジャッキで調整し、路盤とコンクリート版の空洞充填をおこなう工法。
性能等	<ul style="list-style-type: none"> ・ジャッキアップを行い、コンクリート舗装版を持ち上げ、注入孔を削孔してグラウトを注入する。 ・流動性が高く固化するのに時間を要するので、注入材量が空隙部より逸脱してしまう可能性がある。空隙部に限定的に注入できない可能性がある。 ・水が存在していると材料が希釈され、材料の分離を引き起こす可能性がある。 ・グラウト系の工法であるため、自己でサイズアップを図れない。 ・密度（比重）約800kg/m³とウレタン樹脂に比べて重い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・沈下したコンクリート舗装版を削孔して樹脂を注入することで、ウレタン樹脂の発泡圧力で舗装版を押し上げることが可能であり、段差や沈下を修正することができる。 ・コンクリート舗装版下の空隙や空洞部分を充填することができ、路盤等のゆがみ、バタつき等も改善することができる。 ・少量の滞留水、潤滑状態であれば発泡しながら間隙の方向へ水分を押し出しながら形成されていくもので影響はあまりない。 ・ウレタン樹脂は密度（比重）62kg/m³と軽量であるため注入材が原因での再沈下の可能性が少ない。 ・ウレタン樹脂は、環境に安全なノンフロン、土壌へも影響がない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・グラウト練り上がり後2時間で所定の強度が得られる。 ・コンクリート舗装版よりも施工後の養生期間が短い。 ・流動性が高く固化するのに時間を要するので、注入材量が空隙部より逸脱してしまう可能性がある。空隙部に限定的に注入できない可能性がある。 ・水が存在していると材料が希釈され、材料の分離を引き起こす可能性がある。 ・グラウト系の工法であるため、自己でサイズアップを図れない。 ・密度（比重）約800kg/m³とウレタン樹脂に比べて重い。
判定	△	◎	△

比較検討の結果、モルタル系の注入工法は「自己でサイズアップを図ることが困難であること」、「流動性の高い材料であり空隙部の逸走してしまう可能性があること」、「ジャッキアップに必要な電源を確保する必要があること」等から、当該施設においては、被災状況の特徴等も総合的に鑑みた上で「高強度ウレタン注入工法」

とした。

以上を踏まえ、「コンクリート打替え工法」、「オーバーレイ補修工法（半たわみ性）」及び「注入工法（高強度ウレタン注入工法）」の比較検討結果を示す（表2）。

表-2 注入工法の比較検討（二次選定）

補修方法	コンクリート舗装打替工法 (原形復旧)	高強度ウレタン注入工法 (アップコン工法)	半たわみ性舗装によるオーバーレイ補修工法 (段差解消等の補修)
施工・完成イメージ		<p>補修前の状態</p>  <p>補修後の状態</p> 	
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート舗装は、セメント・砂・砂利等を練り混ぜて作られたコンクリートによって舗装されたものであり、港湾施設等で供用している荷役機械等の重荷重に対して耐久性を有する。 ・港湾のエプロン舗装において、多数の施工実績がある。 ・コンクリート舗装版をプレキャスト（工場製品）とすることも可能である。工場製品とすることで、現場作業を省力化することができる。 ・打替え工法は、現場打ち工法及びプレキャスト工法ともに、既設舗装版の取壊しが必要であるため、その期間、エプロンを占有する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・地震等によって生じた地盤沈下や舗装下に生じた空洞や空隙等、ウレタン樹脂を注入して補修する工法である。 ・補修に際し、大掛かりなコンクリート舗装版の取壊しや開削工事が必要としない工法である。 ・既存のコンクリート舗装版にφ16mm程度の穿孔を設けてウレタン樹脂を注入する補修工法であるため、短期間に補修が可能である。 ・ウレタン樹脂は、注入後2時間程度で強度を発現するため、施設の供用に影響を与えない。 ・沈下したコンクリート舗装版を削孔して樹脂を注入することで、ウレタン樹脂の発泡圧力で舗装版を押し上げることが可能であり、段差や沈下を修正することができる。 ・コンクリート舗装下の空隙や空洞部分を充填することができ、路盤等のゆるみも改善することができる。 ・ウレタン樹脂を注入することで、路盤のバタつき等も解消することができる。 ・ウレタン樹脂は、環境に安全なノンフロン、土壌へも影響がない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・半たわみ性舗装は、母体となるアスファルト混合物の空隙に、特殊セメントミルクを浸透させた舗装である。 ・セメントミルクの浸透深さによって全浸透型と半浸透型がある。 ・特殊セメントミルクの種類には普通タイプ・早強タイプ・超速硬タイプがあり、各タイプの浸透作業後の養生時間はそれぞれ3日、1日、3時間程度である。 ・一般の密粒度アスファルト舗装に比べて、塑性変形抵抗性、明色性、耐油性および難燃性に優れている。 ・アスファルト舗装よりも対流動静、耐油性及び難燃性に優れている。 ・コンクリート舗装よりも施工後の養生期間が短い。 ・コンクリート舗装よりも寿命が長い。また、硬化時の収縮や外気温差により、施工後に微細な収縮ひび割れが発生することがある。 ・技術基準に従い、アスファルト舗装と同等の舗装構成とする場合、当該施設の沈下や段差量（平均沈下量：50mm程度）から鑑みると、既設コンクリート舗装上からオーバーレイするだけでは、供用時に直ちに破損等が生じるため、性能を担保することが困難である。
施工期間 ($\alpha=1.65$)	○ 90日 ×（取壊し期間(3バッチで約1カ月強)・養生期間含む）	◎ 10日 ○	×（性能を確保することが困難） — （性能を確保することが困難なため省略）
判定	△ （施工期間中、供用が困難なため）	○	× （性能を確保できないため）

比較検討の結果、当該施設の復旧工法は、「注入工法（高強度ウレタン注入工法）」とする。

4. 高強度ウレタン注入工法の実施

高強度ウレタン注入工法は、次の手順で実施した。

- ・現地調査を行いエプロンとケーソンの段差を測定し、施工するエプロン舗装の選定とウレタン樹脂の概算注入量を算出。また、舗装版のタイバー等の連結鉄筋の有無を確認し、削孔の位置・範囲を設定。
- ・ドリルで舗装版を貫通するまで削孔し、エポキシ樹脂注入の準備。
- ・ドラム缶入りの2種類の薬剤を所定の割合でポンプにて圧送し、削孔箇所に専用のロートを取付、注入機材でエポキシ樹脂をエプロン舗装の下に注入、エプロン舗装とケーソン端部の段差を確認し、孔を変えながらエポキシ樹脂を注入して段差を解消していく。
- ・エポキシ樹脂を注入後に孔を3cm程度の厚さにモルタルで塞いで注入作業は完了する。
- ・削孔からモルタルまでの作業は、1日で最大4枚程度。なお、段差を解消した舗装版のケーソン側で角欠けが確認された箇所には、幅10cm程度を研り、繊維入り早強モルタルで、補修を行った。



図-5 注入工法（削孔）



図-6 注入工法（ウレタン注入状況）



図-7 補修工（舗装版切断）



図-11 合板による養生状況

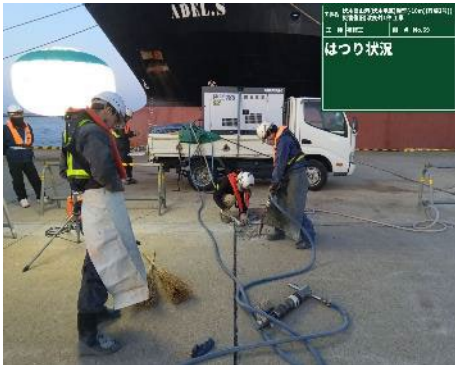


図-8 補修工（舗装版はつり）



図-9 補修工（断面修復）



図-10 万葉ふ頭の被災状況（復旧前）

5. 施工時の課題とその解決方法

供用している岸壁での復旧工事となることから、船舶が接岸していないタイミングや荷役作業の隙間での施工が必須となることから、事前に港湾利用者（港運会社）との念密な調整を実施した。船舶の入出港の頻度・定時制を確認し、荷役作業を行わない土日の作業を基本とし、荷役の作業がある平日に振替休日を取ることを前提に作業工程を検討。また、施工期間が冬期であること、船舶スケジュールも流動的になる可能性があることから、臨機に対応できるよう作業準備を進めた。2月から3月は時化による船舶の入出港日時の変更が多々発生したが、想定内であったため、臨機に作業日時の変更し対応を図る事ができた。

また、港湾管理者や利用者等より強い要望があった、早期の復旧・供用についても、復旧完了箇所を即日解放することで荷役作業への支障を最低限することができた。

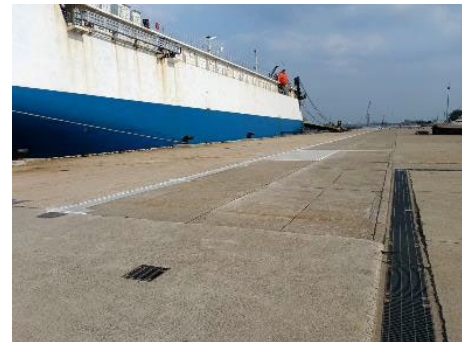


図-11 万葉ふ頭状況（復旧完了後）

謝辞：本復旧工事にあたり、設計並びに施工を担当した受注者及び港湾管理者・利用者のご協力により、共用施設で狭隘な施工範囲等の厳しい施工条件においても令和7年3月と令和6年度内に工事を完了することができ、ここに感謝の意を表します。