

# 埋立護岸における吸出し・液状化対策に関する実証実験

松本典人\*・阿部龍介\*\*・池内章雄\*\*\*・廣木智秀\*\*\*\*

\* (財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

\*\* 前 (財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

\*\*\* (財) 沿岸技術研究センター 調査部 調査役

\*\*\*\* 前 国土交通省北陸地方整備局 新潟港湾空港技術調査事務所 前任建設管理官

福井港海岸の既設護岸において、現地実証実験結果及び各種観測機器計測結果の解析から、現況の評価と最適な整備手法の検討を実施し、現地における最適な改良断面の選定を行った。

キーワード：護岸、改良、液状化対策、吸出し防止

## 1. はじめに

福井港海岸(福井地区)は、福井県北部を流れる九頭竜川(1級河川)の河口付近に位置し、当海岸背後には県内有数の工業団地であるテクノポート福井及び国家石油備蓄基地が立地している。当海岸では護岸前面において侵食が生じ、さらに日本海特有の冬期風浪と相俟って、護岸前面の消波ブロックの飛散・沈下、越波による護岸背後水叩きの吸出し・陥没被害が進んでいる。そのため、護岸防護機能の確保を目的に H16 年度より侵食対策及び液状化対策として離岸堤及び護岸の直轄事業が着手されている。本稿は護岸について、検討経緯及び実証実験(H22実施)結果の考察をとりまとめる。

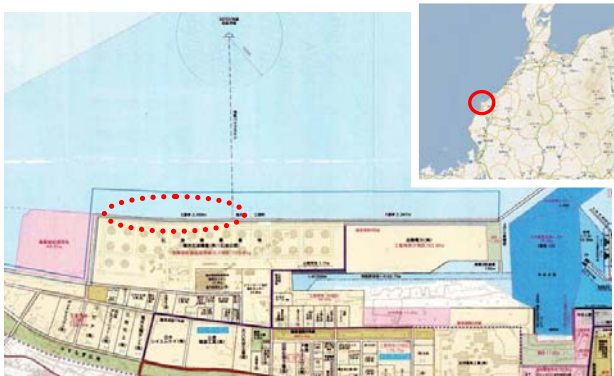


図-1 対象地域



図-2 護岸部の吸出しによる影響

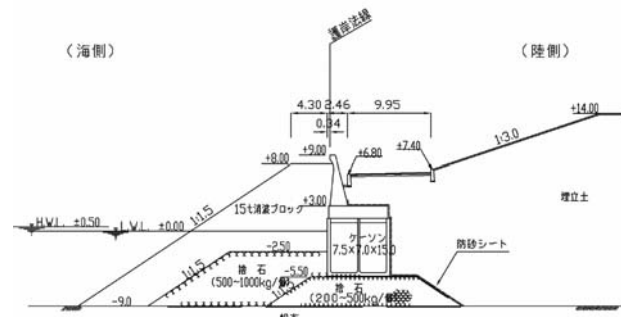


図-3 護岸部の標準断面図

## 3. 護岸の課題とこれまでの検討結果

護岸部の改良に際し、以下の課題が挙げられた。

- ① 背後土砂の吸出しによる水叩きの陥没等の防止
- ② 地震時の液状化等に対する護岸の安定性の確保
- ③ 来襲波浪による消波ブロックの飛散、沈下の防止

### 3.1 背後土砂の吸出しによる水叩きの陥没等の防止

護岸の吸出しによる水叩きの陥没等の要因として、図-4に示す3パターンが考えられた。

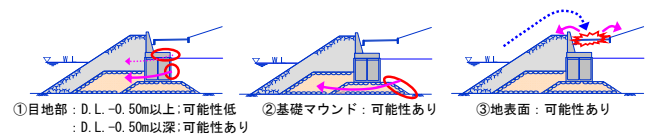


図-4 護岸の吸出しによる水叩きの陥没等の要因

## 2. 改良対象となった護岸の被災状況

吸出しにより発生した外周道路の状況を図-2に示す。現在、港湾の護岸施設設計において、土圧低減及び背後の吸出し防止を兼ねた裏込め石をケーソン背面に投入する断面が一般的であるが、当該施設は、図-3に示すように、堤体背後を直接土砂にて埋め戻す断面となっており、目地材や基礎マウンド上の防砂シート等が損傷した場合、直ちに背後土砂が吸い出されてしまう構造となっていた。

これまで、護岸部の吸出し防止対策について、平成 16 年度、及び平成 19 年度に、第 1、2 期の試験施工、及び現地計測等が実施されている。

これらの試験施工結果、及び現地計測等の結果から、護岸の吸出しの主な原因は、目地部及び基礎マウンド部から生じている可能性があるとして唆している。また、吸出し防止対策には、目地部を遮断する工法が効果的であり、改良体を目地部の下端まで基礎マウンドに密着する必要があるため、高圧噴射攪拌工法に加え、下端部に薬液注入工法を行う工法が最も有効であると考えられた。

### 3.2 地震時の液状化に対する護岸の安定性の確保

地震時の裏埋土の液状化に対する護岸の安定性を検討するために実施した液状化判定結果を図-6 に示す。地下水水位以下となる B2 層は概ねレベル 1 地震時において、「I：液状化する」か「II：液状化する可能性が高い」と判定され液状化対策が必要と考えられた。また、As1 層については、レベル 1 地震動に対する液状化対策の必要がないと考えられたが、レベル 2 地震動作用時には液状化の可能性があり、変形量照査を行い、地震時変位量を確認する必要があると考えられた。

液状化対策工法単独で考えた場合、地盤を静的に締め固める工法が経済的であるが、マウンドからの吸出し対策と組み合わせて考えた場合には、経済性および確実性において固化処理系の工法が優位と考えられた。

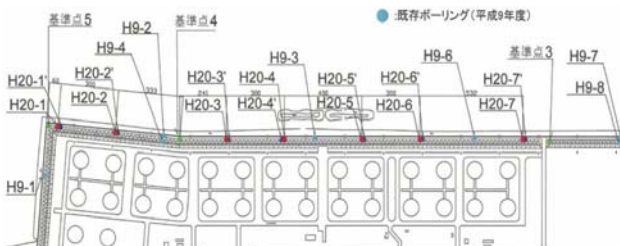


図-5 ボーリング調査位置図

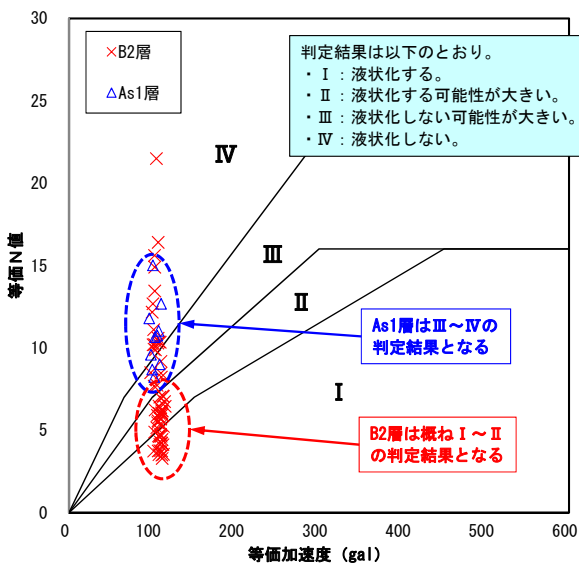


図-6 液状化判定結果

### 3.3 来襲波浪による消波ブロックの飛散、沈下の防止

消波工の変状の直接の発生要因である来襲波浪を低減させることが有効な対策の一つであり、護岸前面海域に離岸堤(潜堤)整備が開始されている。来襲波浪の低減は、課題①に対しても、吸出しを誘発する大量の越波を防止することなどに寄与すると考えられる(本稿では、紙幅の関係で、護岸本体の改良を対象とし、離岸堤(潜堤)に係る内容については省略する)。

## 4. 現地実証実験

H22 年度に、これまでの検討結果を踏まえ、「護岸の地震時の液状化対策」及び「基礎マウンド部からの吸出し防止対策」の両者の対策を兼ね備える工法として、「溶液型薬液注入工法案」及び「深層混合処理工法案」について、経済性・施工性・改良効果を把握するための「現地実証実験」が実施された。

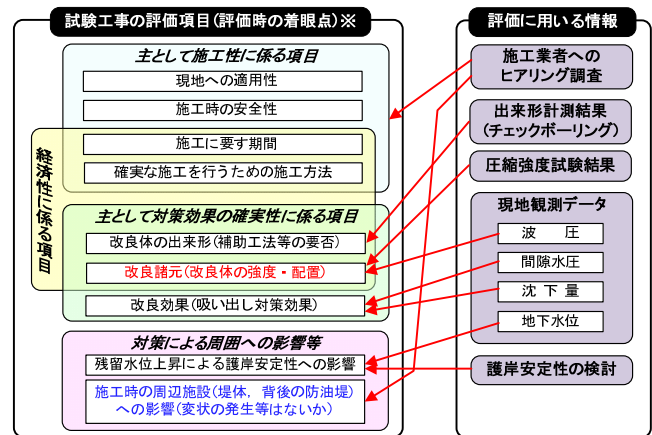
### 4.1 現地実証実験の主な目的

実証実験の主な目的を以下に示す。ここで、実証実験の評価項目等を図-7 に示す。

- ① 改良効果の確認：吸出し対策効果・周辺への影響
- ② 施工性の検証：施工の確実性・施工性
- ③ 経済性の追求：経済的工法・改良諸元の設定

### 4.2 現地実証実験ケース

3. 章の結果を基に、最適な吸出し防止・液状化対策工法の組合せについて検討を行い、現地実証実験ケースを決定した。現地実験ケースを表-1 及び表-2 に示す。また、現地実験の位置を図-8 に示す。目地部の吸出し対策工、液状化対策工及び補助工法との組み合わせにより、溶液型薬液注入工法案 (Y 工区 Y-1~Y-4; 4 ケース)、深層混合処理工法(接板式)案 (S 工区 S-1~S-2; 2 ケース) とし、目地部及びマウンド部の補助工法との組み合わせにより、合計 6 ケースについて試験を行った。



※図中の赤字の項目は主としてY工区の関連項目、青文字は主としてS工区の関連項目、黒文字は両工区共通の項目を示す。

図-7 実証実験工事の評価項目

表-1 現地実証実験の試験ケース (Y工区)

項目	溶液型薬液注入工法案 (Y工区)			
	Y-1工区	Y-2工区	Y-3工区	Y-4工区
鋼矢板	+3.0mより建込(ケソン)使用 ・SP-III型×3枚			・地表面より建込(ケソン)無し ・SP-III型×1枚
目地部 溶液型薬液注入工法の改良強度		100kN/m <sup>2</sup> (シカ濃度8%)		50kN/m <sup>2</sup> (シカ濃度6%)
目地部 溶液型薬液注入工法の改良体配置		φ1,250 (t' 71.0m) ×11本(2列配置)	φ2,500 (t' 72.0m) ×3本(1列配置)	φ1,250 (t' 71.0m) ×11本(2列配置)
液状化対策兼基礎マウンド部 吸出し防止対策工法の改良強度		100kN/m <sup>2</sup> (シカ濃度8%)	70kN/m <sup>2</sup> (シカ濃度7%)	50kN/m <sup>2</sup> (シカ濃度6%)
補助工法	補助工法無し	セメントベントナイト注入工法 (マウンド内充填)	薬液注入工法 (懸濁タイプ)	セメントベントナイト注入工法 (マウンド表面)
標準断面図				

表-2 現地実証実験の試験ケース (S工区)

項目	深層混合処理工法案 (S工区)	
	S-1工区	S-2工区
液状化対策工法の改良強度	深層混合処理工法: 100kN/m <sup>2</sup> 高圧噴射攪拌工法: 3,000kN/m <sup>2</sup>	
補助工法 (吸い出し対策)	補助工法無し (必要に応じ事後対策で実施)	薬液注入工法 (恒久グラウト材)※前打ち
標準断面図		
平面図		

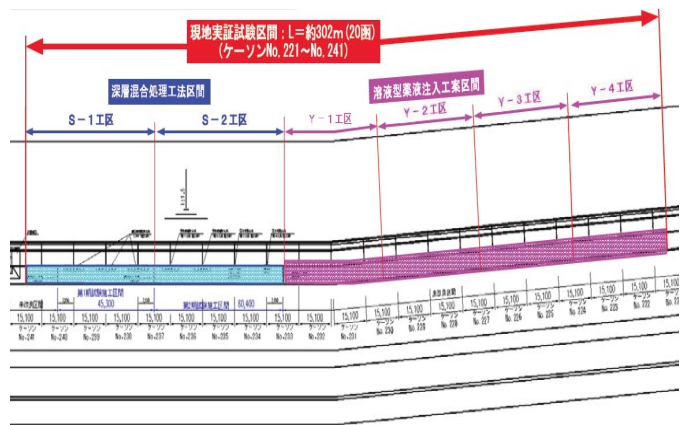


図-8 現地実証実験位置

- ・ Y-3 工区で実施した薬液注入によるマウンド表面被覆は、削孔時に地盤が乱れ、そこに薬液が逸走することにより設計強度を満足しない部分が生じた。
- ・ 目地部について、Y-1 工区では、ケーソン等に沿って薬液が逸走することによる強度の低下が見られたが、Y-2 及び Y-4 工区では強度の低下は認められなかった。これは、補助工法で注入したCBが目地部についても一次注入の効果を発揮したためと考えられた。

### 4.3 実験結果及び考察

実験結果の概要を以下に示す。なお、いずれのケースにおいても、薬液、セメントベントナイト (以下、CB) 等の漏洩は認められなかった。また、実証実験に伴う地盤の隆起や堤体などの変状も認められなかったことから、当該実験の範囲内では、当該工法が周辺地盤や堤体へ与える影響がないことを確認できた。

#### (1) 対策効果の確実性の検証

##### 【Y工区 (溶液型薬液注入工法案) について】

- ① 局所的に固結度が低い箇所が見られたが、全体に薬液が浸透した改良体が形成されていた。
- ② 補助工法の有無は、出来形には大きく影響しないが、改良強度に対し、以下の影響が確認された。

- ③ 改良強度について、各工区で設定した目標強度は一部下回る箇所があったものの、設計基準強度 (基礎マウンドからの伝達圧力に対して吸出し対策として必要な強度  $q_{\text{ack}}=46\text{kN/m}^2$ ) はいずれも確保できた。

##### 【S工区 (深層混合処理工法案) について】

深層混合処理工法は経済性も考慮し、接円式を用いた。

- ① 改良体下端と基礎マウンドとの間に残る未改良範囲は、最大30cm程度であった (事後に間詰めが必要)。
- ② S-2 工区で実施した間詰め工法 (薬液注入工法 (懸濁型)) では、マウンドとの間の間詰めが不十分な箇所 (固結していない状態) が確認された。また、固結した箇所でも、後施工で実施した深層混合処理によ

る改良の振動で、改良体が乱されていた。

- ③ 改良体で囲まれる未改良部分（ダイヤ状の部分）については、基本的には未改良の状態であった。
- ④ 改良強度については、設計強度を確保していた。

**(2) 施工性の評価**

**【Y 工区（溶液型薬液注入工法案）について】**

- ① 施工性に特に問題はなかった。
- ② 目地部の鋼矢板施工方法について、Y-4 工区で実施した簡略化案（ケーシング無しで地表より矢板（Ⅲw 型）1 枚を打設）は、Y-1～3 工区で実施した工法（ケーシング挿入し、目地部を確認した後に矢板（Ⅲ型 × 3 枚）を打設）に比べて、施工性が良い。
- ③ Y-2 工区で実施した CB で捨石内を充填する工法については、CB が地表にオーバーフロー（全体の 50%以上（96 本中 49 本））し、注入量が過大であることが確認された。

**【S 工区（深層混合処理工法案）について】**

- ① 深層混合処理工法は地盤抵抗が大きいこと（削孔時にジャーミングが発生、事前土質調査で得られる N 値以上の抵抗）、大型機械を使用するためヤードが狭いことなどから、施工が困難であった。
- ② 一般的な羽根切り攪拌式の工法では抵抗が大きく施工不能となり、練り込み攪拌式に切り替えたが、改良材を吐出せず攪拌後、再度改良材を吐出しながら攪拌する必要があるなど施工工数が増加した。

**【補助工法について】**

補助工法として、Y-3 工区、S-2 工区で実施した基礎捨石マウンド表面を薬液注入工法で被覆する工法は、削孔時にジャーミング現象が発生し、作業効率が悪かった。また、基礎捨石への薬液注入後も地盤に貫通する孔が残置されるため、裏埋土の薬液注入時、薬液の逸走等を招き、改良体の形成に支障をきたす場合があった。

**5. まとめ**

福井港護岸の最適な吸出し防止・液状化対策工法を検討するために実施した現地実証実験結果から、下記のことわかった。

- ・ 深層混合処理工法案については、現地の埋立砂質土が締まっているため、地盤抵抗が大きく、作業ヤードも狭いため施工性に課題があった。また、深層混合処理工法は接円式を採用したため、吸出し防止対策を確実にするためには、改良体と改良体の間隙を間詰めする必要があると考えられたことから、経済性でも溶液型薬液注入工法案より劣る結果となった。
- ・ 溶液型薬液注入工法案の改良諸元等については、出来形確認の結果、補助工法を行っていないY-1 工区でも、出来形に不具合は確認されなかったことから、補助工法（逸走防止対策）は不要と判断した。また、目地部には強大な波力が作用することが懸念されたが、波圧計

測結果より、当該施設は比較的目地材等が健全であり、目地部に作用する圧力は前面波圧の 1/10 程度であった。なお、改良強度は、目地部、液状化対策部ともに、マウンドからの圧力伝達に対し、吸出し対策工として必要な強度を採用することとした。

※ 改良強度について、当該箇所土質の特性として、室内配合試験と現地強度との強度比が、「浸透固化処理工法技術マニュアル」に示される一般値（2.0）より大きくなる傾向があることに留意が必要である（表-3 参照）。

表-3 改良強度の強度比

工区・施工部位	Y-1工区		Y-2工区		Y-3工区		Y-4工区		
	目地部	一般部	目地部	一般部	目地部	一般部	目地部	一般部	
設計強度 (kN/m <sup>2</sup> )	100				70		50		
配合目標強度 (kN/m <sup>2</sup> )	200				140		100		
配合(シリカ濃度)	8%				7%		6%		
室内配合試験結果 (kN/m <sup>2</sup> )	343	235	377	233	260	203	209	209	
①室内配合試験結果の同配合の平均 (kN/m <sup>2</sup> )※	290				203		209		
②現地強度 (kN/m <sup>2</sup> )	97	146	140	121	84	57	67	48	
	①/②	2.99	1.99	2.07	2.40	3.45	3.56	3.12	4.35
【特記事項】	※工区毎に試料採取を行っているが、連続区間であり、場所による土質(粒径分布等)の相違は少ないため、配合試験結果を平均値で評価することとした。								

最後に、当該施設で実施した実証実験結果から、吸出し防止及び液状化対策として適用した溶液型薬液注入工法を他施設で実施する場合の適用条件および留意事項を以下に示す。

- ① 当該施設で採用した改良を実施した場合、背後地盤の透水性が低下し、残留水位が若干上昇(当該施設ではD.L. +0.60m→+1.00m)することから、これを許容できること、あるいは排水対策等が必要となる。なお、水位の上昇量については、施設、対策工法、対策範囲等により異なると想定される。
- ② 改良体に作用する変動水圧については、対象箇所の土質、目地材や防砂シートの有無や、施設の劣化・損傷状況等により異なる。
- ③ 薬液の逸走防止対策(補助工法)の要否は、現況地盤の緩み等の発生状況、目地材や防砂シート等の損傷状況、および基礎捨石間の空隙への土砂の詰まり具合等により異なるため留意が必要である。実施に当たっては試験施工により改良可能か確認することが望ましい。
- ④ 当該施設で採用した溶液型薬液注入工法は、既に吸出しにより地盤の緩み等が発生している箇所に適用することは困難と考えられるため、別途対策が必要となる。また、空洞等の発生が想定される場合は、大型機材の通行で陥没等の恐れがあり、事前に調査が必要と考えられ、さらに、そのような箇所が多々ある場合には、溶液型薬液注入工法では、薬液が逸走し良好に改良できない可能性がある。

**参考文献**

1) 「浸透固化処理工法技術マニュアル(2010 年版), 平成 22 年 6 月, (財)沿岸技術研究センター, P107」