

# 漁港における「粘り強い」構造への アスファルトマットの適用と施工について —追直漁港-5.5m岸壁(改良)基礎マウンドへの適用事例—

室蘭開発建設部 室蘭港湾事務所 第2工務課 ○近藤 瑞希  
佐藤 朱美  
斉藤 真樹

重力式係船岸の基礎マウンドには一般的に中割石(30~300kg/個)が用いられるが、津波来襲時には、津波の流れにより基礎マウンドの石材が洗掘されて支持力が低下し、堤体が前傾して係船利用に甚大な支障が生じることが明らかである。そこで、基礎マウンドの洗掘を防いで係船岸を「粘り強い」構造とし、津波来襲時の施設被害を最小限に抑えるべく、アスファルトマットを使用した対策工を検討し実施したので報告する。

キーワード：粘り強い構造、耐津波対策、捨石マウンド、洗掘、アスファルトマット

## 1. はじめに

東日本大震災(平成23年3月11日)の発生以前は、漁港の防波堤や岸壁を設計する際は、波力、土圧、地震力などを外力とし、津波による外力は考慮していなかった。土圧などの外力に耐える構造物とすれば、津波の外力に対しても一定の耐力を有すると考えられていたためである。

しかしながら、東日本大震災の際に津波が作用した施設では、引き波による堤体の滑動、強い流れによる基礎マウンドの洗掘に伴う堤体の傾斜などの大きな被害(写真-1)が生じたことから、津波対策の考え方を見直し、水産庁から「平成23年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方」<sup>1)</sup>が示された。

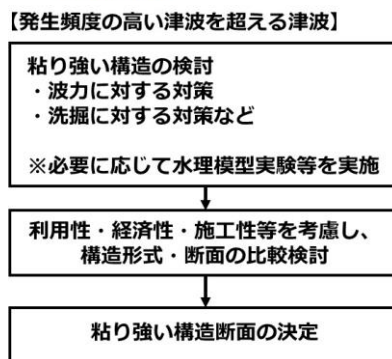
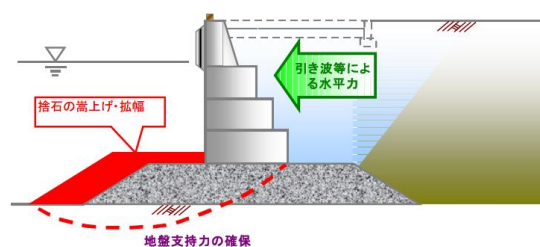
この見直しにより漁港施設の主要な防波堤や岸壁は、地震や津波の発生時及び発生後において一定の機能を保ち、発生頻度の高い津波を超える津波に対しても、全壊しにくく全壊に至る時間を少しでも長く伸ばすことが可能となる構造上の工夫(以下「粘り強い構造」という)が必要とされた(図-1)。

追直漁港でも、北海道圏域計画において水産物生産・流通拠点漁港に位置付けられていることを受け、主要な陸揚岸壁を大規模災害発生後の漁業活動の早期再開を図る耐震・耐津波対策施設として、改良するための検討を行っている。

これまで、全道でも漁港の既設岸壁に耐津波対策を行った事例が少ないため、追直漁港における対策工法の検討内容と現地施工について報告する。



写真-1 東日本大震災被災状況(八戸漁港)



出典：「平成23年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方」P78

図-1 粘り強い構造のイメージ(岸壁)<sup>1)</sup>

## 2. 追直漁港-5.5m岸壁改良の検討

### (1) 追直漁港と岸壁改良箇所について

追直漁港は、北海道南西部の内浦湾東部に位置する第3種漁港であり、沖合底びき網漁業やサケ定置網、刺網等の沿岸漁業、周辺海域で操業する道内外のイカ釣り漁業における道内有数の水揚げを誇る地域水産業の「流通拠点」であり重要な役割を担っている漁港である（写真-2）。

太宗漁業は沖合底びき網漁業であるが、そのうち主要魚種であるスケトウダラは、船上で箱詰めされたものについて仲買人を通じ、国内のほか韓国へも継続的に輸出されており、今後も輸出量の増加が見込まれている。

このため地元漁協では、漁獲物の付加価値を向上させるべく、アルミコンテナの導入や沖合底びき網漁船への海水電解装置、製氷施設の導入など、衛生管理対策を積極的に取り組んでいる。

こうした状況の中、東日本大震災により津波が来襲し第一線用地の浸水や係留漁船の損傷に加え、近隣のホタテガイ養殖施設の破損などの大きな被害が発生した（写真-3, 4）。

これを受け、主に沖合底びき網漁船が利用する第1港区-5.5m岸壁において、衛生管理対策を推進するため屋根付き岸壁への改良と併せ、大規模地震・津波災害が発生した場合でも漁業活動の早期再開を図るため、耐震・耐津波対策を実施することとした。

岸壁の耐震・耐津波を強化する範囲は、室蘭市地域防災計画では、当漁港を緊急輸送に関わる輸送拠点（備蓄集積拠点）として位置付けている（図-2）ことも踏まえ、圏域内で「流通拠点」の役割が果たせるよう、通常時に本岸壁で陸揚げを行っている地元漁船を沖合底びき網、サケ定置網、刺網、小型定置網、たこ箱漁業を対象漁業として設定し、盛漁期における操業漁船の階層、隻数、1隻当たりの陸揚時間を勘案し、必要バース長を150mとして設定した。

また、本岸壁を利用している漁船は、現状で漁獲物を満載せず吃水調整して接岸・陸揚げしており、これら非効率な実態を踏まえ、-5.0mから-5.5mへの岸壁増深改良を併せて実施することとした。

### (2) 想定される地震と津波による既設構造の検討

室蘭市地域防災計画における想定地震は、中央防災会議の「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査部会」で予測した海溝型地震のうち、室蘭市に最も影響のある「三陸沖北部地震」となっている。

また、同防災計画において想定する津波は、次の二つのレベルの津波となっている。

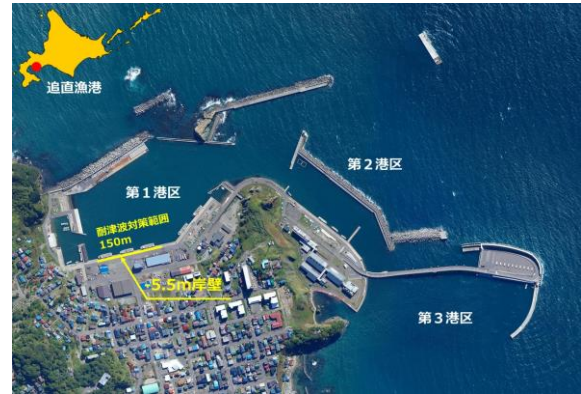


写真-2 追直漁港施設位置図



写真-3 追直漁港内浸水被害状況



写真-4 ホタテ養殖漁業被害状況

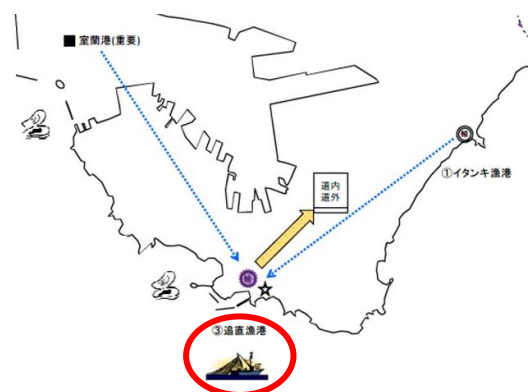


図-2 水産物流通圏域図（室蘭圏域）

- a) 発生頻度は極めて低いものの、発生すれば甚大な被害をもたらす最大クラスの津波（以下、「レベル2津波」という）
- b) 最大クラスの津波に比べて発生頻度が高く、津波高は低いものの大きな被害をもたらす津波（以下、「レベル1津波」という）

**(3) 「粘り強い」構造の検討**

既設構造（図-3）について、上記津波で安定性を検討したところ、レベル2津波作用時に不安定となることが確認されたため、「粘り強い」構造の検討を行った。

改良設計に当たり既設構造物（スリットケーソン）の健全性を評価したところ、コンクリートの圧縮強度、中性化、塩化物イオン濃度に問題はなく、構造物の性能低下はほとんどない状態であった。

また、岸壁水深については、既設ケーソン下のマウンド天端が-5.7mあり、堤体前面のマウンド天端を-5.2mから-5.5mに増深すれば利用上の支障がないため、この状態で堤体の安定照査と洗掘の検討を行うこととした。

**a) 堤体の安定照査**

既設堤体はレベル1津波の引き波時（前面水位が最も低下し、かつ堤体背後の残留水位が埋立て地盤高と同じ状態）に堤体に作用する水平力が増大し、安定性が厳しくなることから、対策として経済性と施工性から既設ケーソンに横梁を設置しグラウンドアンカーを支持層に定着することで、堤体の変位を抑えることとした。

**b) 津波水位の検討**

発生頻度の高い津波を超える津波を発生させる波源として、レベル2津波を発生させる地震（北海道庁モデル2012）をもとに津波シミュレーションを行い、岸壁前の安定限界津波水位を算出した。

安定限界津波水位とは、レベル1地震動及びレベル1津波に対する安定性照査により、設定した堤体の断面諸元に対し、レベル1津波引き波時の安定照査方法により、堤体の安定性が限界となる引き波水位である。

算定した結果、安定限界水位はレベル2津波の最低水位よりも低くなったため、対象とする津波水位はレベル2津波水位とした（図-4）。

**c) 津波外力（流速）の算定**

レベル2津波の外力（流速）を数値波動水路（CADMAS-SURF）により検討することとし、検討モデルは、改良範囲の代表断面を設定し、以下に示す条件で検討した。

- ・ 潮位：L.W.L. ±0.0
- ・ 対象津波：レベル2津波「最大クラスの津波を発生させる地震（北海道庁モデル2012）」
- ・ 入射波形：津波の平面シミュレーション結果より、波形（押し波、引き波）を選定

- ・ 断面条件：ケーソンNo.13（レベル2津波最低水位発生断面）

レベル2津波時における最大流速の計算結果を表-1、図-5に示す。

**d) 海底地盤・基礎捨石の洗掘**

津波流速に対する基礎捨石の安定質量Mはイスバッシュ式（1）より算定する。

$$M = \frac{\pi \cdot \rho r \cdot U^6}{48 \cdot g^3 \cdot y^6 \cdot (Sr - 1)^3 \cdot (\cos \theta - \sin \theta)^3} \quad (1)$$

ここに、

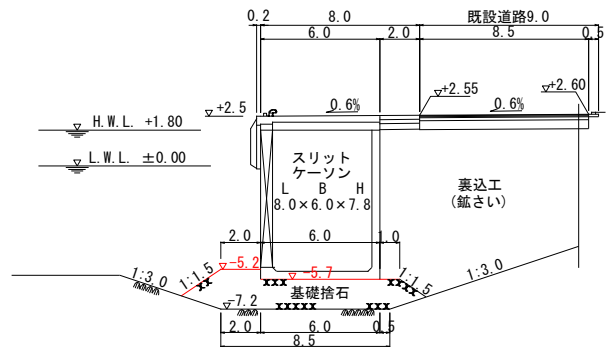


図-3 既設構造物 標準断面図

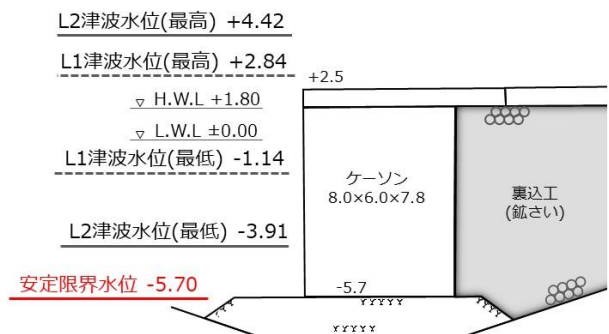


図-4 安定限界水位の概念図

表-1 レベル2津波における最大流速算出結果

対象津波	ケース	流速最大値 (m/s)	
		捨石上面	上部天端
安定限界津波 (レベル2津波)	押し波	2.79	4.00
	引き波	1.04	2.96

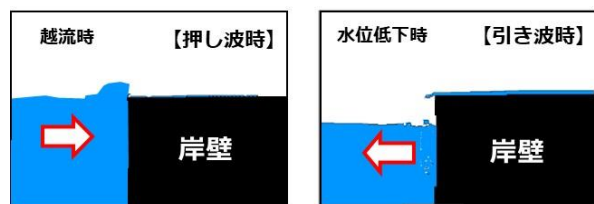


図-5 計算結果スナップショット（引き波）

- $M$ ; 安定質量 (t) 、
- $\rho_r$ ; 捨石の密度 (2.65t/m<sup>3</sup>)
- $\rho_o$ ; 海水の密度 (1.03t/m<sup>3</sup>)
- $U$ ; 捨石天端における流速 (表-1より2.79m/s)
- $g$ ; 重力加速度 (9.81m/s<sup>2</sup>)
- $\gamma$ ; イスパッシュの定数 (1.08)
- $S_r$ ; 捨石等の海水に対する比重 ( $\rho_r / \rho_o = 2.573$ )
- $\theta$ ; 水路床の軸方向の斜面勾配 (1:1.5より33.7°)

捨石の安定質量

$M = 0.66 \text{ t} = 660 \text{ kg/個} > 95 \text{ kg/個}$  (中割石の中央値)

すなわち安定限界波 (レベル2津波) の流速に対する捨石の安定質量は660kg/個以上となり、中割石では質量不足のため洗掘される結果となった。このため捨石マウンドに対して粘り強い構造 (洗掘対策) を検討することとした。

(4) マウンド洗掘対策工法の選定

マウンド洗掘対策工法は「平成23年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方」に基づき、基礎マウンド天端および法面の保護工法について検討した (図-6)。

a) 対策工法の比較

本岸壁の前面で計画水深-5.5mを確保する必要がある。ケーソン底面のマウンド天端は-5.7mで、前面のマウンド天端を-5.2mから-5.7mまで下げることが可能であり、マウンドを被覆する場合、許容厚さは20cm (= -5.5m -

5.7m) までとなる。

これを踏まえ、根固被覆 (工法①)、アスファルトマット (工法②)、セメント固化処理 (工法③) について検討した結果を表-2に示す。

根固被覆工法 (工法①) は、被覆材の厚さが20cm以内に収まらず計画水深を確保できないため、別途仮設対策が必要となり施工性、経済性に劣ることから採用不可とした。

セメント固化処理 (工法③) は、被覆材が必要ないため計画水深は問題ないが、構造特性で信頼性が低いこと、施工にあたり充填材の漏れの問題が解消できず施工管理が困難のため採用不可となった。

アスファルトマット (工法②) は防波堤や離岸堤の洗掘防止工として採用実績があり、後述のとおり計画水深を確保でき、施工性、耐久性に優れ、環境への影響もないことから、構造的な信頼性が高く、特殊な施工方法を必要としない。

以上から、アスファルトマットを採用することとした。

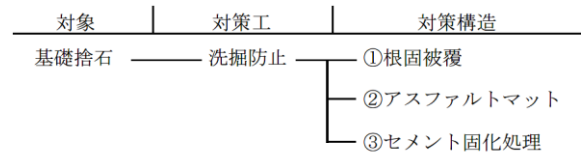


図-6 基礎捨石の洗掘防止対策

表-2 対策工法比較表

	①根固被覆	②アスファルトマット	③セメント固化処理
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>基礎捨石の表面、前面に根固被覆工を設置し、洗掘を防止する工法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>基礎捨石の表面、前面にアスファルトマットを敷設し、洗掘を防止する工法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>基礎捨石の空隙にセメントを充填し、洗掘を防止する工法</li> </ul>
利用性(水深)	計画水深を超過するため不可 <input type="checkbox"/> x	計画水深以深での対応が可能 <input type="checkbox"/> o	計画水深以深での対応が可能 <input type="checkbox"/> o
構造特性	流速に応じた重量を確保することで構造的な信頼性は高い <input type="checkbox"/> o	変形追従性により、捨石との一体性が期待でき、流速に応じた厚さを確保することで構造的な信頼性が高い <input type="checkbox"/> o	捨石粒径が大きいため、未充填箇所の発生が想定され、信頼性が低い。 <input type="checkbox"/> x
施工性	工種が多く施工日数も多いため岸壁占用期間が最も長い。 既設マウンドを掘り下げる必要が生じるため仮設工の検討が必要 <input type="checkbox"/> Δ	陸上からのクレーン据付作業のみのため、施工日数が最も短い、岸壁占用期間が最も短い。 漁船の稼働時間をさけてフレキシブルに施工が可能 <input type="checkbox"/> o	クラウド管を挿入する補助工法が必要(ただし、拘束圧がないため充填材の管理が困難) 工種は少なく施工期間も短いコンクリートが固化するまでの養生期間が必要 <input type="checkbox"/> Δ
環境性	床掘時に浮泥等が拡散する可能性があり汚濁防止対策が必要 <input type="checkbox"/> Δ	環境基準に準拠した溶出試験で無害であることが確認されているため、周辺海域の水質に対して影響がない <input type="checkbox"/> o	打設したコンクリートにより打設箇所周辺の汚濁防止対策が必要 <input type="checkbox"/> Δ
耐久性	一般的な工法であり特に問題ない <input type="checkbox"/> o	供用開始後50年以上経過した実構造物から採取した試料で、長期耐久性が確認されている。 <input type="checkbox"/> o	固結したマウンドの前面が洗掘された場合は、洗掘孔に追従しないため、固結部分のひび割れや破損が懸念される。 <input type="checkbox"/> x
経済性	単位断面当り概算工費 ¥194,200/m <input type="checkbox"/> x	単位断面当り概算工費 ¥184,600/m <input type="checkbox"/> Δ	単位断面当り概算工費 ¥109,300/m <input type="checkbox"/> o
評価	x	o	x

**b) アスファルトマット規格の算定**

アスファルトマットは、耐津波対策として外郭施設の洗掘防止工の実績はあるが、係船岸の基礎マウンドの耐津波対策としては実績はないため、外郭施設での所要厚の算定法を準用することとした。

必要厚さは、海底水粒子速度（＝前述の捨石天端における流速）と洗掘防止用アスファルトマットの厚さの関係<sup>2)</sup>（図-7）から、厚さは15cmとなり、マウンド上にマットを敷設しても計画水深を確保できることがわかった。

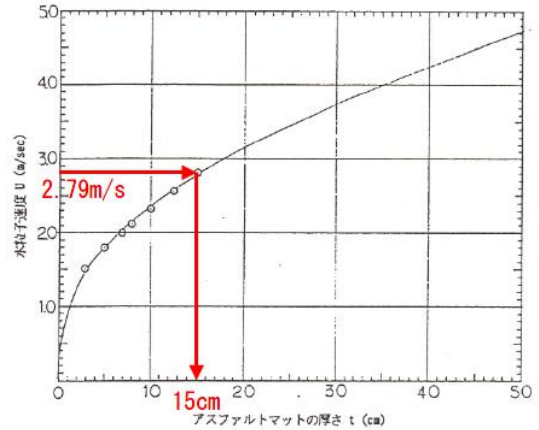


図-7 波による海底水粒子速度と洗掘防止用アスファルトマットの厚さの関係

**3. 追直漁港-5.5m岸壁改良の施工**

**(1) 漁業活動に配慮した施工制約等**

当該岸壁の改良工事は既設構造に手を加える必要があるため、岸壁を利用している沖合底引き網漁業への影響が必要最小限となるよう、対岸の岸壁に代替バースを整備した上で、利用船舶を移動させながら施工を行うこととした。

また、現地施工に当たっては工事施工手順から、厳寒期での施工を余儀なくされたため、冬期施工におけるマットの品質管理や、厚さがあるアスファルトマットの敷設における出来形管理に工夫を行った。

**(2) アスファルトマットの品質管理（配合条件）**

本来、アスファルトマットは感温性の高い粘弾性体であるため、低温域で弾性、高温で粘性に近い性状を示し、使用するアスファルトマットの配合条件（針入度）への影響が大きいため、使用環境等に合わせ検討される。

道内の実績を調べると表-3に示すとおり、春季～秋季（3月～11月）と冬季（12月～2月）では、ストレートアスファルト（Stas）と、ブローンアスファルト（Blas）の配合を調整し針入度を変えて施工されていることが分かった。

特に厳寒期には施工中の破損を防止するため、アスファルトマットの針入度が大きい方が有利となるが、目標針入度を上限値の60<sup>3)</sup>に近づけると、管理試験（試験温度20℃）で曲げ強度が基準値（1.0N/mm<sup>2</sup>以上<sup>4)</sup>）を下回る恐れがあった（図-8）。

このため、低温下でのアスファルトマットのたわみ性（施工性）や、敷設後の捨石上へのなじみ（凹凸へのマットの安定性）を考慮し、当該現場では針入度は実績のある50を採用することとした。

**(3) アスファルトマットの出来形管理**

通常、外郭施設などで使用する洗掘防止マットの目地は、5cm程度であり敷設後の吸出し等への対応を考慮し、重ね合わせ目地（図-9）としているが、本工事で使用する

表-3 北海道内の工事におけるアスファルトマットの敷設時期と針入度

工事場所	年度	製作時期	敷設時期	針入度	As割合	
					StAs	BlAs
胆振	2014	10月～11月	11月～12月	40	6	4
	2015	10月	11月～12月	40	6	4
	2016	11月	11月～12月	40	6	4
	2017	10月	11月～12月	40	6	4
	2018	10月～11月	1月～2月	52	7	3
	2019	9月～12月	1月～2月	48	7	3
	2020	9月～10月	1月～2月	50	7	3
	2021	10月～12月	1月～2月	50	7	3
	2022	10月～11月	1月～2月	50	7	3
	オホーツク	2019	11月	1月～2月	49	7
2020		11月～12月	1月～2月	49	7	3
2021		11月～12月	1月～2月	49	7	3
2022		11月	1月～2月	49	7	3
釧路	2020	8月～11月	8月～11月	36	5	5
勇払	2020	10月	1月～2月	50	7	3
苫前	2021	5月	5月	35	5	5
天塩	2021	6月	6月	35	5	5
様似	2021	9月	9月	35	5	5
	2021冬	11月～12月	12月～1月	50	7	3

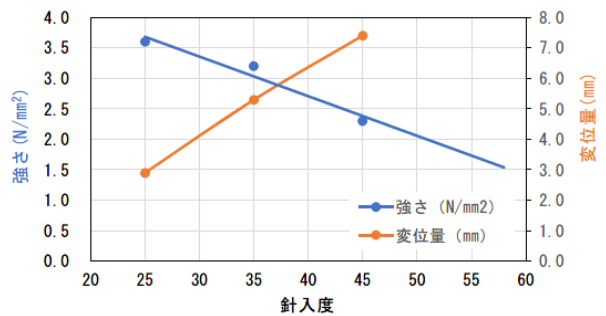


図-8 針入度と曲げ強さ・変位量の関係

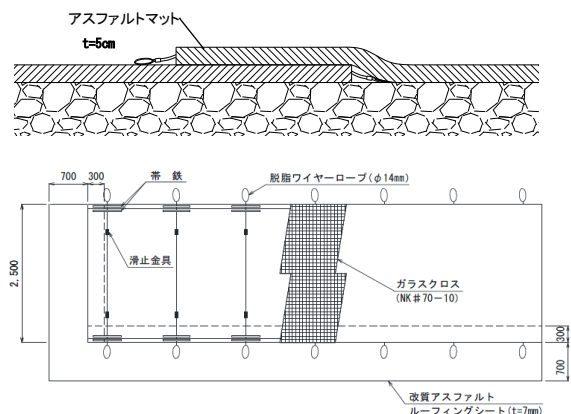


図-9 アスファルトマットの重ね合わせ（イメージ）

るアスファルトマットは厚さが15cmと厚く、重ね合わせ目地とすると、既定の計画水深が確保できないため、マットの据付けを突き合わせ目地（図-10）とすることで、計画水深を確保することとした。

ただし、突き合わせ目地とした場合には、捨石マウンドの凹凸により目地の一部に開きができることが予想されたため、マット端部にマットと同品質のルーフィングシートを取り付けることとし目地部の開きに対応した。

また、冬期施工においても追従性を向上させるため、針入度も高く設定したことで、施工性も向上させることができた。

#### 4. おわりに

既設構造物の改良に当たっては、利用調整や限られた作業ヤードでの施工方法の検討などが重要になるが、今回、粘り強い構造としてアスファルトマットを適用することにより、既設構造物に大きく手を加えることなく、利用への影響も最小限に抑えた上で「粘り強い構造」に改良することが可能となった。

また、実施工により本工法は施工性が非常に良好で、他の工法に比べても工事期間の大幅な短縮や、省人化が図れることがわかった（写真-5,6）。

既設構造へ耐津波対策を実施する施設において、計画水深以上での改良など、本検討と同一条件下では「粘り強い構造」としてのアスファルトマットの適用性は高いと考える。本報告が今後の耐津波対策検討の一助になれば幸いである。

今後も引き続き、追跡調査（モニタリング）を行いアスファルトマットの敷設状況を確認する予定である。

謝辞：本報告に当たり、日本海上工事（株）に北海道内の工事におけるアスファルトマット実績データや、施工実例をご提供いただいた。ここに記して謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 平成 23 年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方（H26.1.23 水産庁漁港漁場整備部整備課長通知）
- 2) 水産公共関連民間技術確認審査・評価報告書 洗掘防止用アスファルトマット 一社）漁港漁場新技術研究会
- 3) 漁港工事施工管理の手引き P74 社団法人）全国漁港協会

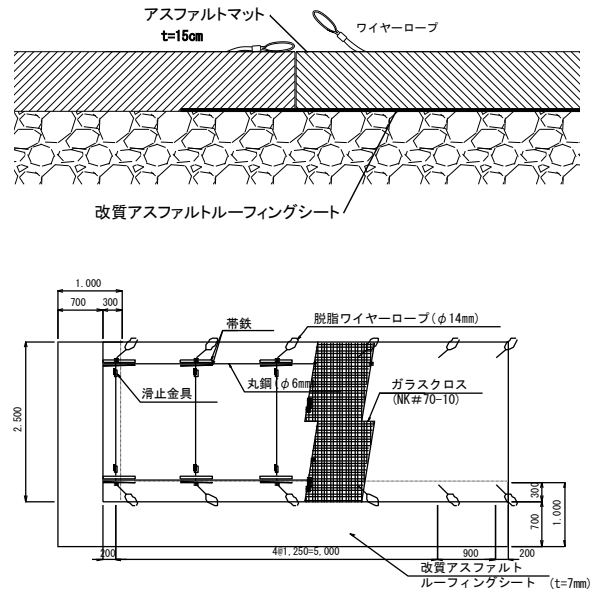


図-10 アスファルトマット構造図（追直漁港）



写真-5 アスファルトマット現地製作状況



写真-6 アスファルトマット現地据付状況

- 4) 港湾の施設の技術上の基準・同解説 P493 日本港湾協会