第７章　対策後のモニタリング

7.1　モニタリング

モニタリングは、施工後の状況変化、当初品質の維持状況を継続的に把握し、対策後の施設状態等を検証するものである。

モニタリングは、各対策工法の性能の発揮状況を確認できる調査及び外観目視を行うことで対策工法の要求性能を保持しているか否かの判定を行う。

【解　説】

本項では、有機系被覆工法とパネル被覆工法を対象にモニタリング手法、モニタリング結果の評価と判定例について記載する。

7.2　着目すべき変状

対策工法に生じる変状の形態や想定される発生要因は、工法・材料の特性により異なることから、モニタリングに当たっては、対象となる対策工法に特化した変状に着目する必要がある。

【解　説】

対策工法の要求性能の検証や、進行の有無、今後の再対策の必要性を検討するためには、対策工法に生じる変状形態と発生要因等を踏まえ、モニタリング時の着目点を明確にする必要がある。

既往の補修事例やモニタリング等の情報から、モニタリング時の参考として対策工法ごとに想定される変状形態と発生要因等について**表 7.2-1**、**表 7.2-2** のとおり整理した。

表 7.2-1　有機系被覆工法の想定される変状形態と発生要因等（例）

変状形態	変状の状態	想定される変状要因
被覆の膨れ	被覆材が盛り上がって膨らんだ状態	接着不良や施工時の空気の巻き込み等の施工不良、湿潤面での施工による水分の気化、裏面からの被圧水
被覆の割れ	被覆材に裂け目・割れ目や欠損部がある状態	流下物（礫、流木等）の衝突等の物理的外力 紫外線による劣化
被覆の変色	被覆材が変色している状態	紫外線による劣化、苔や微生物の付着
被覆の剥がれ	浮き、膨れの状態であった被覆が母材から剥がれる状態	被覆材の変状に伴う付着力の低下や腐食因子の侵入
錆汁	母材である鋼矢板が腐食している状態	

表 7.2-2　パネル被覆工法の想定される変状形態と発生要因等（例）

変状形態	変状の状態	想定される変状要因
パネル材の欠損、ひび割れ	パネル材に欠損やひび割れがある状態	流下物（礫、流木等）の衝突等の物理的外力、笠コン目地位置等による応力集中
パネル材の摩耗	パネル材表面のコンクリートがすり減っている状態	流水や流下物（礫等）の衝突による摩耗
パネル材の分離、剥落	パネル材が裏込めコンクリートから一部又は完全に剥がれた状態	接続金具の溶接強度低下
目地部の劣化	目地材が硬化し、欠損やひび割れ、脱落が生じた状態	紫外線による劣化、裏込めコンクリートの伸縮、水掛かり
目地部の段差	目地部で段差やズレが生じている状態	局部的な土質不良、溶接強度低下
錆汁	母材である鋼矢板が腐食している状態	腐食因子の侵入

7.3　有機系被覆工法のモニタリング

有機系被覆工法のモニタリングは、目視及び簡易計測により実施する。また、モニタリング結果の評価は、モニタリングにより把握された変状度及び簡易計測結果に基づき判定する。

【解　説】

(1) モニタリング手法

有機系被覆工法のモニタリング手法は、目視と簡易計測（打音調査）のほか、必要に応じ付着力及び膜厚を測定する。

(2) 評価と判定

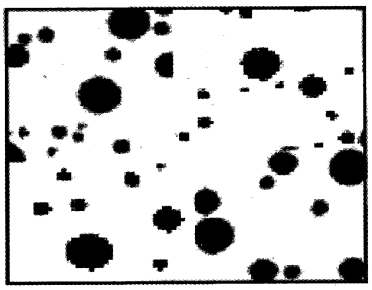
有機系被覆工法のモニタリング結果は、被覆材の変状程度と母材の腐食の有無に着目し表 7.3-1 の５段階に分類する。

また、要求性能を保持しているか否かの判定は、鋼材面の露出状況と母材の腐食状況に着目し、変状度に応じて実施する。

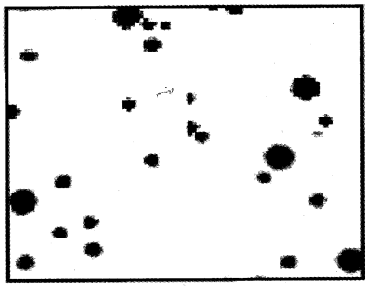
必要に応じて行う付着力及び膜厚に対する判定と評価方法は、表 7.3-2 及び表 7.3-3 のとおりである。

表 7.3-1　有機系被覆工法のモニタリング結果の判定と評価（例）

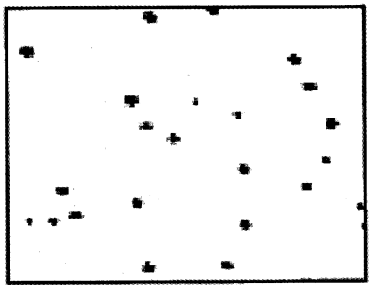
変状度	モニタリング（目視）結果	判　定	対応例
a	全面的に被覆の変状が著しく、鋼材が腐食している状態（錆汁あり） 変状面積率が 10%以上である。	要求性能を保持していない（要求性能が著しく低下、又は低下している状態）。	必要に応じてモニタリング計画を見直す（モニタリング頻度を見直す。性能低下の原因究明の詳細調査を検討する。）。
b	局所的に被覆の変状が著しく、鋼材が腐食している状態（錆汁あり） 変状面積率が 0.3%以上 10%未満である。		
c	局所的に鋼材まで達する被覆の変状が生じ、鋼材面が露出している、又は鋼材の腐食が認められる。 変状面積率が 0.03%以上 0.3%未満である。	要求性能を保持している。	モニタリング計画に基づきモニタリングを継続する（従来とおり。）。
d	軽微な変状が局所的に見られるが、健全な状態 変状面積率が 0.03%未満である。		
e	初期状態と殆ど変化なく、健全な状態		



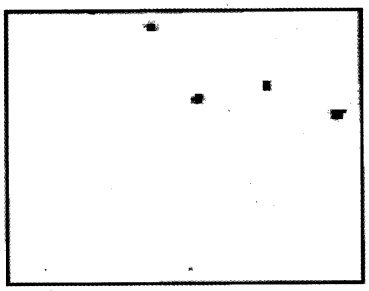
（変状面積率＝10%）



（変状面積率＝3%）



（変状面積率＝0.3%）



（変状面積率＝0.03%）

※変状面積率は、港湾鋼構造物腐食・補修マニュアル（2009 年版）を参照し、一部修正。

図 7.3-1　変状面積率の評価基準

表 7.3-2　簡易計測結果（付着力）の判定と評価（例）

付着力	判　定	対応例
1.5N／mm^2未満	要求性能を保持していない。	必要に応じてモニタリング計画を見直す（モニタリング頻度を見直す。性能低下の原因究明の詳細調査を検討する。）。
1.5N／mm^2以上	要求性能を保持している。	モニタリング計画に基づきモニタリングを継続する（従来とおり。）。

※付着力の値は、有機系被覆工法の付着性の品質規格値を目安。試験方法は JIS K 5600-5-7 を参照する。

表 7.3-3　簡易計測結果（膜厚）の判定と評価（例）

膜厚	判　定	対応例
設計膜厚未満	設計膜厚を満たしていない。	必要に応じてモニタリング計画を見直す（モニタリング頻度を見直す。性能低下の原因究明の詳細調査を検討する。）。
設計膜厚以上	設計膜厚を満たしている。	モニタリング計画に基づきモニタリングを継続する（従来とおり。）。

(3) モニタリング結果の記録

モニタリング結果は**表 7.3-4** に示すモニタリング結果記録様式に記録し、各有機系被覆工法の性能発揮状況を確認するための情報として適切に整理、保存する。

表 7.3-4　モニタリング結果記録様式（例）（有機系被覆工法）

基本情報				
モニタリング実施者	○○土地改良調査管理事務所			
地　区　名	△△市××地先			
施　設　名	○○排水路			
鋼矢板護岸の型式、延長	自立型、鋼矢板、　Ⅱ　W型　○○m			
施設規模（B×H）	○○×○○			
対策実施前の写真				
適用工法	工法名称	有機系被覆工法		
	施工年月	令和 ○○年○月○○日	メーカー名	○○建設
	要求性能	変状ｃ以上（変状ｃ、(d)、ｅ）		

モニタリングの実施の有無	
有機系被覆工法の外観	☑ 目視　☐ 打音調査

モニタリング結果（付着力）※実施する場合のみ記録する			
実施段階	実施年月日	測定値	要求性能に対する判定
施工時	令和 ○年○月○日	1.8 N/mm^2	☑ 保持 ☐ 保持しない
供用中	令和 ○年○月○日	1.8 N/mm2	☑ 保持 ☐ 保持しない

モニタリング結果（膜厚）※実施する場合のみ記録する			
実施段階	実施年月日	測定値	設計膜厚に対する判定
施工時			☐ 満たす ☐ 満たさない
供用中			☐ 満たす ☑ 満たさない

モニタリング結果（外観）		
実施段階	写　真	初期欠陥の有無
施工時		☐ 塗膜の膨れ ☐ その他の変状 【塗膜の膨れ以外に確認された変状種別】 特になし

実施段階	写真（全景）	変状度	要求性能に対する判定
供用中	 写真（変状部の近景） 	☐ a ☐ b ☐ c ☑ d ☐ e	☑ 保持 ☐ 保持しない 所　見 さびや膨れが点在し、軽微な変状が局所的に見られるが健全な状態である。要求性能を保持している。このため、今後も施設監視を継続し、関係者間で情報を開示、共有する。

※表 7.3-1 に基づき変状度の評価を行う。

7.4　パネル被覆工法のモニタリング

パネル被覆工法のモニタリングは、目視及び簡易計測により実施する。また、モニタリング結果の評価は、モニタリングにより把握された変状度及び簡易計測結果に基づき判定する。なお、詳細調査（自然電位測定）は可能な場合に実施する。

【解説】

(1) モニタリング手法

パネル被覆工法のモニタリング手法は、目視及び簡易計測（補修材の変位と沈下の計測）を基本とする。なお、詳細調査（自然電位測定）は、モニタリングに要する費用や装置の管理等を考慮し、実施可能な場合に行う。

(2) 評価と判定

1) 目視による評価と判定

パネル被覆工法のモニタリング結果は、パネル被覆工法の変状程度と母材の腐食の有無に着目し**表 7.4-1** の５段階に分類する。

また、要求性能を保持しているか否かの判定は、パネルの変状の有無と母材の腐食状況に着目し、変状度に応じて実施する。

表 7.4-1　パネル被覆工法のモニタリング（目視）結果の判定と評価（例）

変状度	モニタリング（目視）結果	判　定	対応例
a	パネルが全体的に脱落し、露出した裏込めコンクリートの分離、剥落、ひび割れが生じ、鋼材が腐食している状態（錆汁あり）	要求性能を保持していない（要求性能が著しく低下、又は低下している状態）。	必要に応じてモニタリング計画を見直す（モニタリング頻度を見直す。性能低下の原因究明の詳細調査を検討する。）。
b	パネルが部分的に脱落し、露出した裏込めコンクリートの分離、剥落、ひび割れが生じ、鋼材が腐食している状態（錆汁あり）		
c	パネルが部分的に脱落し、露出した裏込めコンクリートにひび割れが生じている状態（鋼材の腐食は生じていない。）	要求性能を保持している。	モニタリング計画に基づきモニタリングを継続する（従来とおり。）。
d	パネル材の軽微な変状が局所的に見られるが、健全な状態		
e	初期状態と殆ど変化なく、健全な状態		

部分的か全体的かの判断は、図 7.4-1 に示すように、ブロック間隔が等分になるよう、概ね1m幅を目安にブロック化し、それぞれのブロックにパネル材の脱落が生じているかを判定する。

パネル材の脱落が生じているブロックが全体の 50%以上の場合を全体的、50%未満の場合を部分的と判断する。

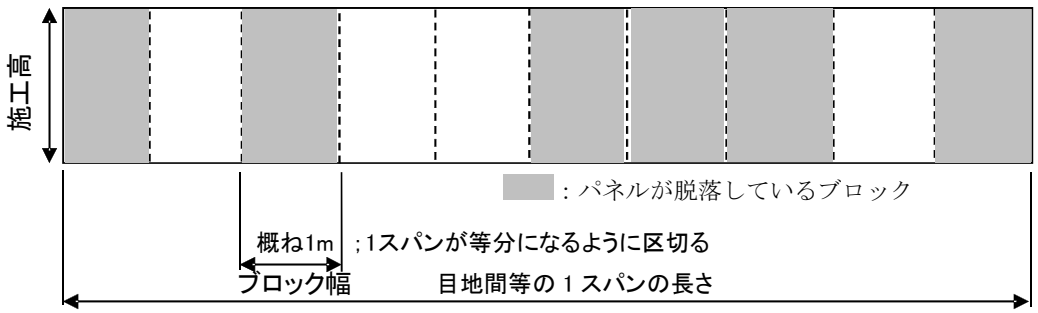


図 7.4-1　全体的、部分的の考え方

2) 簡易計測による評価と判定

パネル被覆工法の簡易計測によるモニタリング結果は、表 7.4-2 及び表 7.4-3 に基づき判定する。

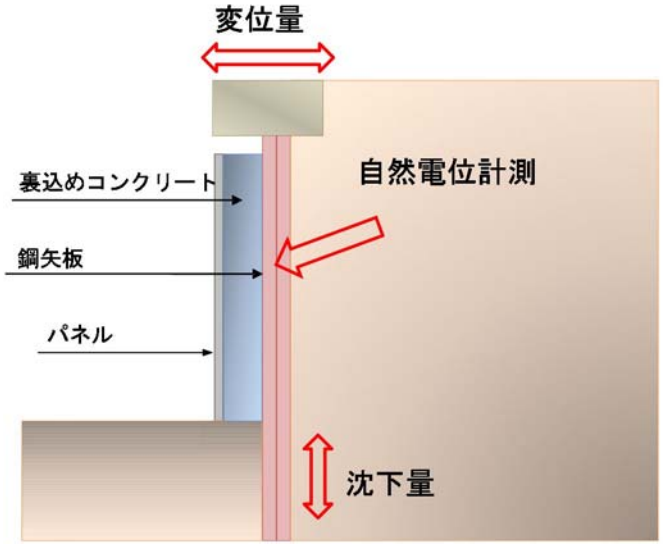


図 7.4-2 簡易計測イメージ

表 7.4-2　簡易計測結果（変位）の判定と評価（例）

変　位	判　定	対応例
進行性あり	鋼矢板の構造耐力は保持されていない。	必要に応じてモニタリング計画を見直す（モニタリング頻度を見直す。性能低下の原因究明の詳細調査を検討する。）。
進行性なし	鋼矢板の構造耐力は保持されている。	モニタリング計画に基づきモニタリングを継続する（従来とおり。）。

表 7.4-3　簡易計測結果（沈下）の判定と評価（例）

変　位	判　定	対応例
進行性あり	鋼矢板の構造耐力は保持されていない。	必要に応じてモニタリング計画を見直す（モニタリング頻度を見直す。性能低下の原因究明の詳細調査を検討する。）。
進行性なし	鋼矢板の構造耐力は保持されている。	モニタリング計画に基づきモニタリングを継続する（従来とおり。）。

3) 詳細調査（自然電位測定）による評価と判定

パネル被覆工法の自然電位測定によるモニタリング結果は、**表 7.4-4** に基づき判定する。

表 7.4-4　詳細調査（自然電位測定）結果の判定と評価（例）

自然電位（E）	判　定	対応例
E≦-350mV	90%以上の確率で腐食あり	必要に応じてモニタリング計画を見直す（モニタリング頻度を見直す。性能低下の原因究明の詳細調査を検討する。）。
-350mV＜E≦-200mV	不確定	再対策は不要だが、多少劣化が始まった時期のため、以降のモニタリング時期を早めるなどの対応をとる。
-200mV＜E	90%以上の確率で腐食なし	モニタリング計画に基づきモニタリングを継続する（従来とおり。）。

資料：「ASTM　C876 による自然電位の鋼材腐食の評価基準」

【参考　自然電位測定】

健全なコンクリートは強アルカリ性を示し、内部の鋼材が不動態化するため－100～－200mV の電位を示すが、腐食が進行すると電位はマイナス側に変化する。

自然電位測定は、上記の鋼材腐食と電位の関係を利用し、コンクリート中の鋼材の電位を測定することによって腐食状態を推定する手法である。

パネル被覆工法の施工後の鋼矢板の自然電位は-100～-200mV 程度となることが予測される。このため、対策実施時の値（初期値）に対し、継時的に自然電位を計測し、電位の低下が認められなければ腐食の進行は無いと言える。

3) モニタリング結果の記録

モニタリング結果は、**表 7.4-5** に示すモニタリング結果記録様式を参考に記録し、各パネル被覆工法の性能発揮状況を確認するための情報として適切に整理、保存する。

表 7.4-5　モニタリング結果記録様式（例）（パネル被覆工法）

基本情報				
モニタリング実施者	○○土地改良調査管理事務所			
地　区　名	△△市××地先			
施　設　名	○○排水路			
鋼矢板護岸の型式、延長	自立型、普通鋼矢板、　Ⅱ　W型　○○m			
施設規模（B×H）	○○×○○			
対策実施前の写真				
適用工法	工法名称	有機系被覆工法		
	施工年月	令和 ○○年○月○○日	メーカー名	○○建設
	要求性能	変状度ｃ以上（変状度ｃ、(d)　ｅ） ※実施する場合は自然電位-350mV以上		

モニタリングの実施の有無		
パネル被覆工法の外観	☐ 実　施	☐ 未実施
簡易計測（変位量、沈下の有無）	☑ 実　施	☐ 未実施
自然電位計測	☐ 実　施	☑ 未実施

モニタリング結果（変位量、沈下計測）※実施する場合のみ記録する			
実施段階	実施年月日	計測値	鋼矢板の構造性能に対する判定
施工時	令和 ○年○月○日	変位量：0mm 沈下量：0mm	☐ 保持 ☐ 保持しない
供用中	令和 ○年○月○日	変位量：0mm 沈下量：0mm	☑ 保持 ☐ 保持しない

モニタリング結果（自然電位計測）※実施する場合のみ記録する			
実施段階	実施年月日	測定値	要求性能に対する判定
施工時			☐ 保持 ☐ 保持しない
供用中			☐ 保持 ☐ 保持しない

モニタリング結果（パネル被覆工法の外観）		
実施段階	写真	初期欠陥の有無
施工時		☑ パネル材のひび割れ、はらみ出し ☐ その他の変状 【確認された変状種別】 特になし

実施段階	写真	変状度	要求性能に対する判定
供用中		☐ a ☐ b ☐ c ☑ d ☐ e	☑ 保持 ☐ 保持しない 所　見 ひび割れがあり、軽微な変状が局所的に見られるが健全な状態である。要求性能を保持している。このため、今後も施設監視を継続し、関係者間で情報を開示、共有する。

※表 7.4-1 に基づき変状度の評価を行う。