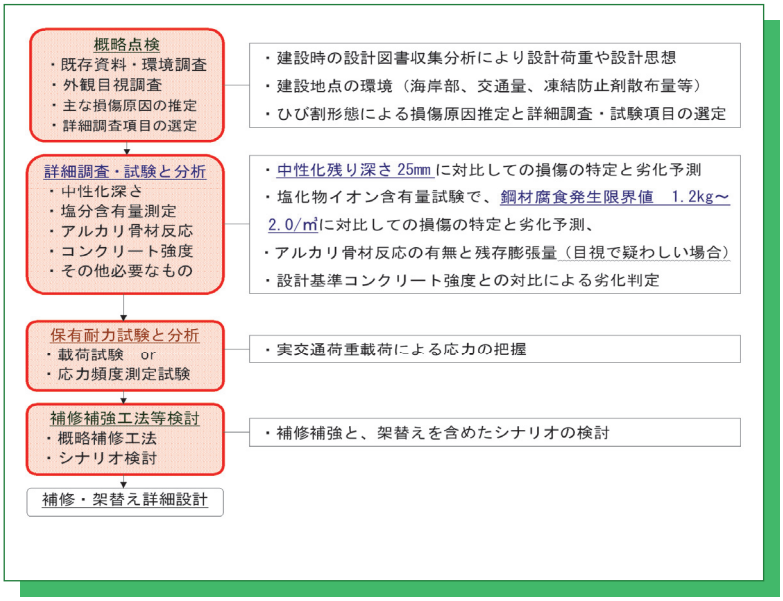
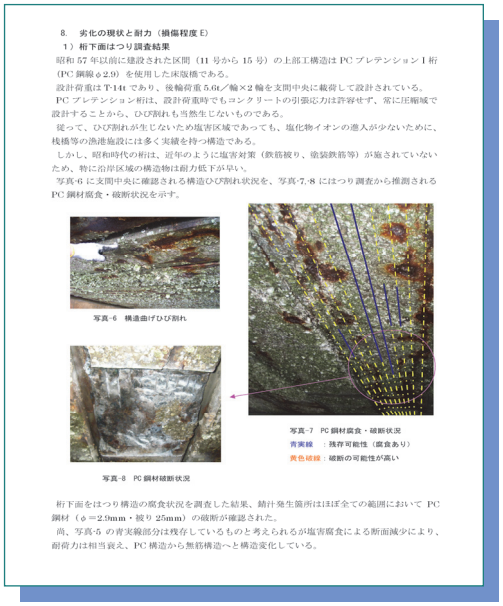
漁港施設の詳細調査保全対策業務（ストックマネジメント業務以後の詳細業務）



詳細調査対策フロー



8. 劣化の現状と耐力（損傷程度 E）

1）桁下面はつり調査結果

昭和 57 年以前に建設された区間（11 号から 15 号）の上部工構造は PC プレテンション I 桁（PC 鋼線 φ2.9）を使用した床版橋である。

設計荷重は T-14t であり、後輪荷重 5.6t／輪×2 輪を支間中央に載荷して設計されている。

PC プレテンション桁は、設計荷重時でもコンクリートの引張応力は許容せず、常に圧縮域で設計することから、ひび割れも当然生じないものである。

従って、ひび割れが生じなければ塩害区域であっても、塩化物イオンの進入が少ないために、桟橋等の漁港施設には多く実績を持つ構造である。

しかし、昭和時代の桁は、近年のように塩害対策（鉄筋被り、塗装鉄筋等）が施されていないため、特に沿岸区域の構造物は耐力低下が早い。

写真-6 に支間中央に確認される構造ひび割れ状況を、写真-7,8 にはつり調査から推測される PC 鋼材腐食・破断状況を示す。

写真-6 構造曲げひび割れ

写真-7 PC 鋼材腐食・破断状況
青実線 ：残存可能性（腐食あり）
黄色破線：破断の可能性が高い

写真-8 PC 鋼材破断状況

桁下面をはつり構造の腐食状況を調査した結果、錆汁発生箇所はほぼ全ての範囲において PC 鋼材（φ＝2.9mm・被り 25mm）の破断が確認された。

尚、写真-5 の青実線部分は残存しているものと考えられるが塩害腐食による断面減少により、耐荷力は相当衰え、PC 構造から無筋構造へと構造変化している。

はつり調査

7. 損傷劣化要因の考察

1）中性化

中性化は、大気中の二酸化炭素がコンクリート内に侵入し炭酸化反応を起こすことにより、細孔溶液の PH が低下する現象である。これにより、コンクリート内部の鋼材に腐食の可能性が生じる。鋼材腐食の進行により、ひび割れの発生、かぶりコンクリートの剥離・剥落、鋼材の断面欠損による耐荷力の低下が生じるものである。

上部工においては、13 号物揚桟橋（昭和 49 年建設）と 22 号物揚桟橋（昭和 56 年建設）、下部工においては 11 号 P11 橋脚と 23 号 P2 橋脚の梁部の試験状況を写真-3 に示す。

試験結果、何れの物揚桟橋においても中性化は進行（MAX23mm）していなかった。

13 号主桁（はつり面にフェノール滴散布）

22 号主桁（ドリル法）

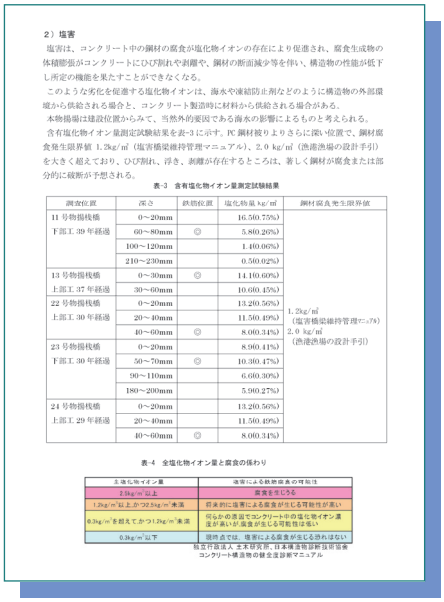
【コア断面図】 【中性化状況写真】

11 号 P11 橋脚（コアにフェノール滴散布）

23 号 P2 橋脚（コアにフェノール滴散布）

写真-3 はつり及びドリル法及びコアによる中性化試験状況

中性化試験



2）塩害

塩害は、コンクリート中の鋼材の腐食が塩化物イオンの存在により促進され、腐食生成物の体積膨張がコンクリートにひび割れや剥離や、鋼材の断面減少等を伴い、構造物の性能が低下し所定の機能を果たすことができなくなる。

このような劣化を促進する塩化物イオンは、海水や凍結防止剤などのように構造物の外部環境から供給される場合と、コンクリート製造時に材料から供給される場合がある。

本物揚場は建設位置からみて、当然外的要因である海水の影響によるものと考えられる。

含有塩化物イオン量測定試験結果を表-3 に示す。PC 鋼材被りよりさらに深い位置で、鋼材腐食発生限界値 1.2kg/㎥（塩害橋梁維持管理マニュアル）、2.0 kg/㎥（漁港漁場の設計手引）を大きく超えており、ひび割れ、浮き、剥離が存在するところは、著しく鋼材が腐食または部分的に破断が予想される。

表-3 含有塩化物イオン量測定試験結果

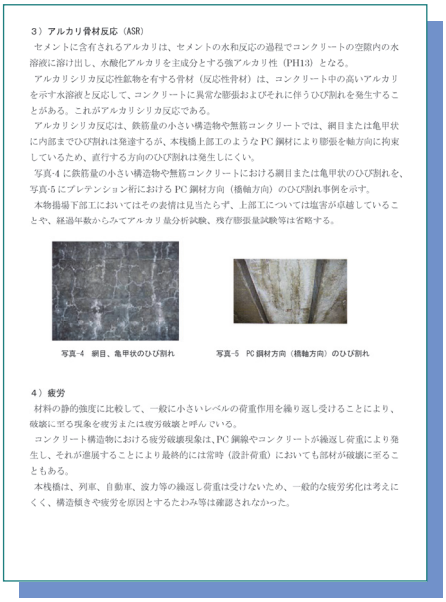
調査位置	深さ	鉄筋位置	塩化物量 kg/㎥	鋼材腐食発生限界値
11 号物揚桟橋 下部工 39 年経過	0～20mm		16.50.75%)	1.2kg/㎥ (塩害橋梁維持管理ﾏﾆｭｱﾙ) 2.0 kg/㎥ (漁港漁場の設計手引)
	60～80mm	◎	5.80.20%)	
	100～120mm		1.40.06%)	
	210～230mm		0.50.02%)	
13 号物揚桟橋 上部工 37 年経過	0～30mm	◎	14.10.60%)	
	30～60mm		10.60.45%)	
22 号物揚桟橋 上部工 30 年経過	0～20mm		13.20.56%)	
	20～40mm		11.50.49%)	
	40～60mm	◎	8.00.34%)	
23 号物揚桟橋 下部工 30 年経過	0～20mm		8.90.41%)	
	50～70mm	◎	10.30.47%)	
	90～110mm		6.60.30%)	
	180～200mm		5.90.27%)	
24 号物揚桟橋 上部工 29 年経過	0～20mm		13.20.56%)	
	20～40mm		11.50.49%)	
	40～60mm	◎	8.00.34%)	

表-4 全塩化物イオン量と腐食の係わり

全塩化物イオン量	塩害による鉄筋腐食の可能性
2.5kg/㎥以上	腐食を生じる
1.2kg/㎥以上かつ2.5kg/㎥未満	将来的に塩害による腐食が生じる可能性が高い
0.3kg/㎥を超えかつ1.2kg/㎥未満	何らかの原因でコンクリート中の塩化物イオン濃度が高い状態が生じる可能性は低い
0.3kg/㎥以下	現時点では、塩害による腐食が生じる恐れはない

独立行政法人 土木研究所、日本構造物診断技術協会
コンクリート構造物の健全度診断マニュアル

塩分含有量試験



3）アルカリ骨材反応（ASR）

セメントに含有されるアルカリは、セメントの水和反応の過程でコンクリートの空隙内の水溶液に溶け出し、水酸化アルカリを主成分とする強アルカリ性（PH13）となる。

アルカリシリカ反応性鉱物を有する骨材（反応性骨材）は、コンクリート中の高いアルカリを示す水溶液と反応して、コンクリートに異常な膨張およびそれに伴うひび割れを発生することがある。これがアルカリシリカ反応である。

アルカリシリカ反応は、鉄筋量の小さい構造物や無筋コンクリートでは、網目または亀甲状に内部までひび割れは発達するが、本桟橋上部工のような PC 鋼材により膨張を軸方向に拘束しているため、直行する方向のひび割れは発生しにくい。

写真-4 に鉄筋量の小さい構造物や無筋コンクリートにおける網目または亀甲状のひび割れを、写真-5 にプレテンション桁における PC 鋼材方向（橋軸方向）のひび割れ事例を示す。

本物揚場下部工においてはその表情は見当たらず、上部工については塩害が卓越していることや、経過年数からみてアルカリ量分析試験、残存膨張量試験等は省略する。

写真-4 網目、亀甲状のひび割れ

写真-5 PC 鋼材方向（橋軸方向）のひび割れ

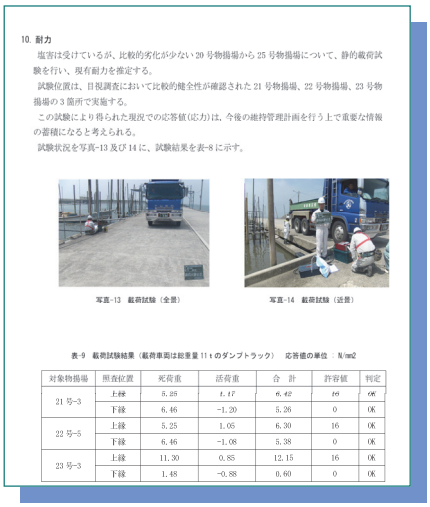
4）疲労

材料の静的強度に比較して、一般に小さいレベルの荷重作用を繰り返し受けることにより、破壊に至る現象を疲労または疲労破壊と呼んでいる。

コンクリート構造物における疲労破壊現象は、PC 鋼線やコンクリートが繰返し荷重により発生し、それが進展することにより最終的には常時（設計荷重）においても部材が破壊に至ることもある。

本桟橋は、列車、自動車、波力等の繰返し荷重は受けないため、一般的な疲労劣化は考えにくく、構造損きや疲労を原因とするたわみ等は確認されなかった。

ｱﾙｶﾘ骨材反応試験　疲労



10. 耐力

塩害は受けているが、比較的劣化が少ない 20 号物揚場から 25 号物揚場について、静的載荷試験を行い、現有耐力を推定する。

試験位置は、目視調査において比較的健全性が確認された 21 号物揚場、22 号物揚場、23 号物揚場の 3 箇所で実施する。

この試験により得られた現況での応答値(応力)は、今後の維持管理計画を行う上で重要な情報の蓄積になると考えられる。

試験状況を写真-13 及び 14 に、試験結果を表-8 に示す。

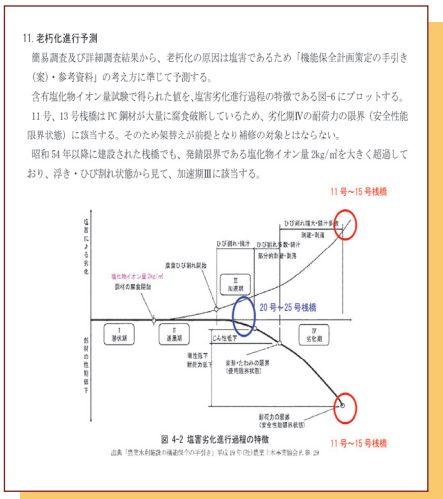
写真-13 載荷試験（全景）

写真-14 載荷試験（近景）

表-9 載荷試験結果（載荷車両は総重量 11ｔのダンプトラック） 応答値の単位 ：N/mm2

対象物揚場	照査位置	死荷重	活荷重	合 計	許容値	判定
21 号-3	上縁	5.25	1.17	6.42	16	OK
	下縁	6.46	-1.20	5.26	0	OK
22 号-5	上縁	5.25	1.05	6.30	16	OK
	下縁	6.46	-1.08	5.38	0	OK
23 号-3	上縁	11.30	0.85	12.15	16	OK
	下縁	1.48	-0.88	0.60	0	OK

載荷試験による耐力確認



11. 老朽化進行予測

簡易調査及び詳細調査結果から、老朽化の原因は塩害であるため「機能保全計画策定の手引き（案）・参考資料」の考え方に準じて予測する。

含有塩化物イオン量試験で得られた値を、塩害劣化進行過程の特徴である図-6 にプロットする。

11 号、13 号桟橋は PC 鋼材が大量に腐食破断しているため、劣化期Ⅳの耐荷力の限界（安全性能限界状態）に該当する。そのため架替えが前提となり補修の対象とはならない。

昭和 54 年以降に建設された桟橋でも、発錆限界である塩化物イオン量 2kg/㎥を大きく超過しており、浮き・ひび割れ状態から見て、加速期Ⅲに該当する。

11 号～15 号桟橋

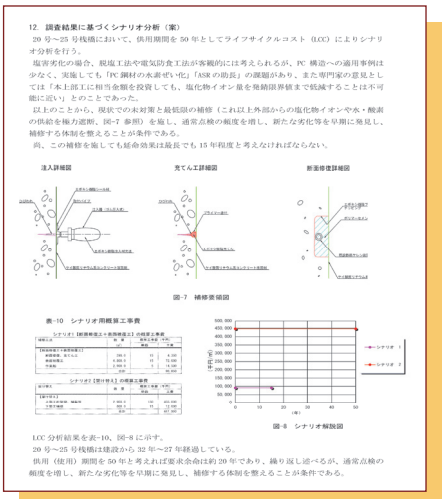
20 号～25 号桟橋

11 号～15 号桟橋

図 4-2 塩害劣化進行過程の特徴

出典「農業水利施設の機能保全の手引き」平成 19 年（社）農業土木事業協会 P. 29

老朽化進行予測



12. 調査結果に基づくシナリオ分析（案）

20 号～25 号桟橋において、供用期間を 50 年としてライフサイクルコスト（LCC）によりシナリオ分析を行う。

塩害劣化の場合、脱塩工法や電気防食工法が客観的には考えられるが、PC 構造への適用事例は少なく、実施しても「PC 鋼材の水素ぜい化」「ASR の助長」の課題があり、また専門家の意見としては「本上部工に相当金額を投資しても、塩化物イオン量を発錆限界値まで低減することは不可能に近い」とのことであった。

以上のことから、現状での未対策と最低限の補修（これ以上外部からの塩化物イオンや水・酸素の供給を極力遮断、図-7 参照）を施し、通常点検の頻度を増し、新たな劣化等を早期に発見し、補修する体制を整えることが条件である。

尚、この補修を施しても延命効果は最長でも 15 年程度と考えなければならない。

注入詳細図　充てん工詳細図　断面修復詳細図

図-7 補修断面図

表-10 シナリオ別概算工事費

図-8 シナリオ解説図

LCC 分析結果を表-10、図-8 に示す。

20 号～25 号桟橋は建設から 32 年～27 年経過している。

供用（使用）期間を 50 年と考えれば要求余命は約 20 年であり、繰り返し述べるが、通常点検の頻度を増し、新たな劣化等を早期に発見し、補修する体制を整えることが条件である。

LCC によるｼﾅﾘｵ検証

株式会社　建設技術センター