

漁港施設の空洞調査（小型地中レーダを使用して空洞状況を調査します。）

表-2.1 機 材 一 覧

名 称	型 式	数 量	仕 様	メーカ一
J E J -55A 本体表示部	NJJ-67	1	インパルス方式 送信出力約80V _{P-P}	日本無線(株)
ア ン テ ナ	NJJ-77	1	発信周波数帯域 1GHz～ 400MHz	日本無線(株)
小型地中レーダ	NJJ-640	1	使用周波数：500MHz	日本無線(株)

空洞調査機材一覧



図-2.1 地中レーダ探査の作業状況図

地中レーダ探査状況

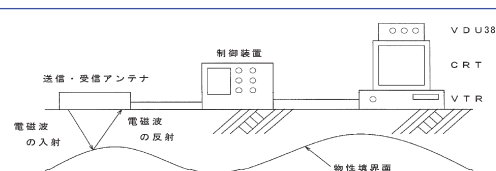
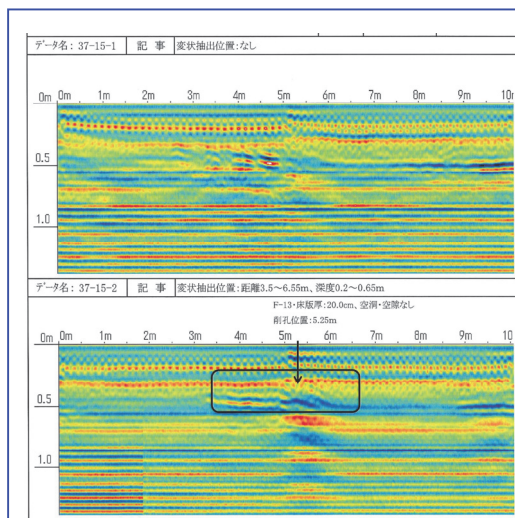


図-2.3 地中探査概念図

地中電磁波・反射波

φ19mmドリルにて削孔

ファイバースコープで観察・記録

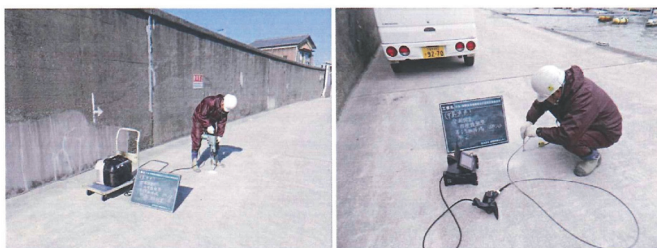


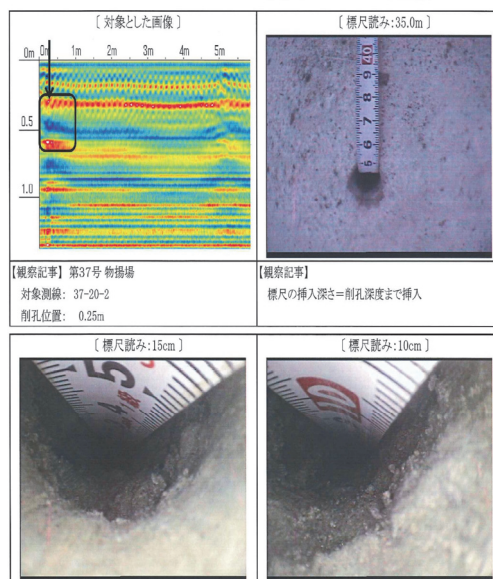
図-2.2 内視鏡観察の作業状況図

ファイバースコープ観察・記録
(地中レーダでの異常箇所)



地点番号：F-14

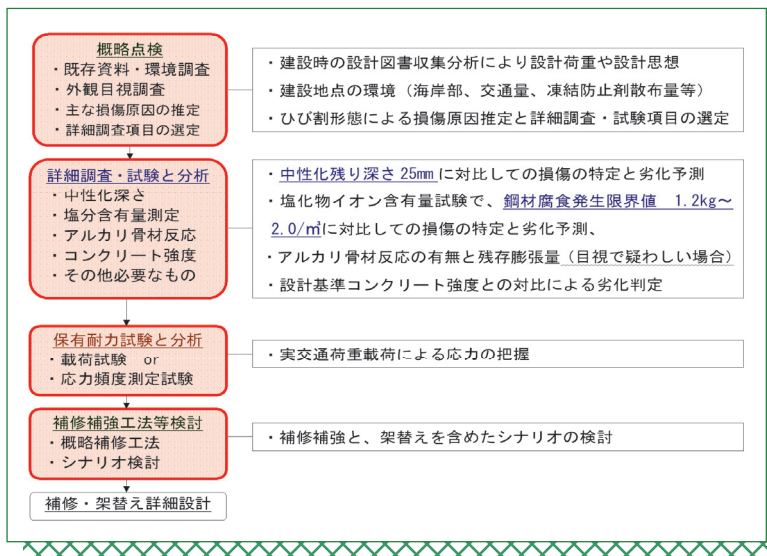
作業名：CCDカメラによる空洞観察



内部撮影



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（補修程度E）

1）断面はつり調査結果

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1桁（PC鋼線束5本）を採用した3次元構造である。

設計荷重はT144であり、後継荷重も6kg/2軸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値で、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、ひび割れが生じないため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、後継等の塩害施設には多く支障を持つ構造である。

しかし、昭和時代の桁は、近頃のように底荷対策（鉄筋被り、塗装鉄筋等）が施されていないため、特に応力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。

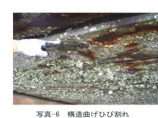


写真6



写真7

断面はつり調査の結果、設計発生箇所はほぼ全ての範囲においてPC鋼材（φ=25mm・被り25mm）の破断が確認された。

尚、写真8の背表側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、耐荷力は相当減衰、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反応を起こすことにより、鉄筋表面の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ある。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号物揚機橋（昭和40年建設）と22号物揚機橋（昭和56年建設）、下部工においては11号P11橋脚と23号P12橋脚の現部の試験状況を写真3に示す。

試験結果、何れの物揚機橋においても中性化は進行（MAX2.3mm）していた。

13号主桁（はつり面にフェノール塗布後）

22号主桁（ドリル後）

【コア断面図】

【中性化状況写真】

11号P11橋脚（コアにフェノール塗布後）

23号P12橋脚（コアにフェノール塗布後）

写真3 はつり及びドリル後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生じ、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により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。

本物揚機橋は建設後から、自然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鋼材よりさらに低い位置で、鋼材腐食発生限界値1.2kg/m²（塩害橋梁維持管理マニュアル）、2.0kg/m²（熱浸漬塩設計手引）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/m ²	鋼材腐食発生限界値
11号物揚機橋	0~25mm	◎	15.50(750%)	1.2kg/m ² (塩害橋梁維持管理マニュアル) 2.0kg/m ² (熱浸漬塩設計手引)
	25~50mm	◎	5.80(280%)	
	50~75mm	◎	1.40(68%)	
	75~100mm	◎	0.50(24%)	
22号物揚機橋	0~25mm	◎	14.10(680%)	1.2kg/m ² (塩害橋梁維持管理マニュアル) 2.0kg/m ² (熱浸漬塩設計手引)
	25~50mm	◎	10.00(475%)	
	50~75mm	◎	13.20(630%)	
	75~100mm	◎	8.00(380%)	
23号物揚機橋	0~25mm	◎	8.90(415%)	1.2kg/m ² (塩害橋梁維持管理マニュアル) 2.0kg/m ² (熱浸漬塩設計手引)
	25~50mm	◎	10.30(475%)	
	50~75mm	◎	6.00(280%)	
	75~100mm	◎	5.90(275%)	
24号物揚機橋	0~25mm	◎	13.20(630%)	1.2kg/m ² (塩害橋梁維持管理マニュアル) 2.0kg/m ² (熱浸漬塩設計手引)
	25~50mm	◎	11.50(545%)	
	50~75mm	◎	8.00(380%)	
	75~100mm	◎	8.00(380%)	

表4 全塩化物イオン量と腐食の関わり

全塩化物イオン量	塩害による腐食発生状況
0.3kg/m ² 以下	腐食は発生しない
0.3kg/m ² 以上0.5kg/m ² 未満	腐食は発生する可能性がある
0.5kg/m ² 以上1.2kg/m ² 未満	腐食は発生する可能性がある（腐食速度が速い）
1.2kg/m ² 以上2.0kg/m ² 未満	腐食は発生する（腐食速度が速い）
2.0kg/m ² 以上	腐食は発生する（腐食速度が速い）

補修計画立案・工事費算出・日本建築学会監修「塩害橋梁維持管理マニュアル」に基づき塩害発生状況を確認する。

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骨材を有する骨材（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生じることがある。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、膨張量の小さい構造物や無筋コンクリートでは、目まはれひび割れは発生しない。直行する方向のひび割れは発生しない。

写真4に膨張量の小さい構造物や無筋コンクリートにおける目まはれひび割れのひび割れを、写真5にプレテンション桁におけるPC鋼材方向（補修方向）のひび割れを、写真6に下部工においてはその表面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、耐荷力は相当減衰、PC構造から無筋構造へと構造変化している。

写真4 断面、亀裂のひび割れ

写真5 PC鋼材方向（補修方向）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すことにより、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鋼線束が繰り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。

本橋は、列車、自動車、波力等の繰り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、構造損傷や疲労の原因とするため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、比較的低劣化が少ない20号物揚機から25号物揚機について、静的載荷試験を行い、耐力を推定する。

試験位置は、目視調査において比較的安全性が確認された21号物揚機、22号物揚機、23号物揚機の3箇所で行われる。

この試験により得られた現況での応答値（耐力）は、今後の維持管理計画を行う上で重要な情報の提供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（全量）

写真14 載荷試験（近景）

表8 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	調査位置	死荷重	活荷重	合計	許容値	判定
21号-3	上線	5.23	1.17	6.40	10	OK
	下線	6.46	-1.20	5.26	0	OK
22号-5	上線	5.23	1.05	6.28	16	OK
	下線	6.46	-1.08	5.38	0	OK
23号-3	上線	11.30	0.85	12.15	16	OK
	下線	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（第2版）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号物揚機はPC鋼材が大量に腐食しているため、劣化図中の耐荷力の限界（安全性限界状態）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物揚機でも、劣化限界である塩化物イオン量3kg/m²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~13号物揚機

20号~25号物揚機

図4-2 塩害劣化進行過程の特徴

図5 塩害劣化進行過程の予測（図4-2の塩害劣化進行過程の予測）

老朽化進行予測

12. 調査結果に基づくシナリオ分析（例）

20号~25号物揚機において、使用期間を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。

塩害劣化の発生、塩害防止対策の費用は年間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鋼材の劣化防止」に「ASRの発生」の懸念があり、また専門家の意見としては「本工事により相当金額を投資しても、塩化物イオン量を低減し構造を補修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、現状での対策と塩害防止の対策（これ以上上部からの塩化物イオンや、鋼材の供給を極力抑制、図7参照）を実施し、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。

図7 補修体制を整えることが条件である

図8 シナリオ分析結果

LCC分析結果を表10、図8に示す。

20号~25号物揚機は建設から20年~27年経過している。

使用（使用）期間を50年と考えると、残存寿命は約20年であり、繰り返す必要がある。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

