

付録一 3 詳細調査要領

目 次

新技術を活用した調査手法.....	1
第 1 章 必須調査.....	2
1 鋼塗膜調査.....	3
2 鋼製パイルベント橋脚調査.....	10
3 RCパイルベント橋脚調査.....	22
4 ケーブル詳細調査.....	25
5 洗掘詳細調査.....	37
第 2 章 損傷確認時調査.....	44
6 鋼床版疲労調査.....	45
7 鋼製橋脚隅角部疲労調査.....	48
8 金属製高欄の超音波調査.....	52
第 3 章 損傷原因特定調査.....	55
9 コンクリートの健全性調査.....	56
10 塩害調査.....	65
11 アルカリ骨材反応調査.....	68

◇ 新技術を活用した調査手法

✓ 橋梁点検における現状と新技術活用の利点

橋梁点検における国の動向（積極的な新技術を採用）、人口減少に伴う橋梁点検に係る技術者の減少（人的資源の枯渇）、従来の通常点検では確認が困難（コスト増加）であった不可視部（水中部など）の点検方法のあり方を踏まえ、大阪市においても規模の異なる多種多様な橋梁を管理する効率的な維持管理を実施するために、従来の橋梁点検方法だけでなく、経済性や効率性、高度化等を踏まえて新技術を積極的に活用していく必要がある。

新技術を活用することで、点検の効率化（現場作業時間の短縮や省人化、点検費用の縮減、交通渋滞に伴う社会的・経済的損失の軽減）を確保できる橋梁を対象として積極的に活用を図る。さらに、交通規制を伴い社会的・経済的損失が大きく、点検費が膨大となり得る長大橋、多径間高架橋、特殊橋等の重要橋梁に対して、点検の高度化（確実な点検記録の保存、点検後の客観的なデータ比較、非破壊検査ロボット等の併用）を図り、損傷評価、原因推定による精度の高い状態把握が可能となる新技術の利活用に取り組む必要がある。

✓ 新技術活用における基本方針

大阪市としての新技術の活用における基本方針を以下に示す。

- ①これまで不可視部分となっていた箇所の点検や点検作業の効率化が図られること
- ②新技術活用により点検作業のみだけでなく、補修工事まで含めた一連の維持管理サイクルにおいて、コスト縮減効果が図られること
- ③コストメリットは図れないものの、記録の質の向上や品質の向上が図られること

✓ 橋梁点検における現状と新技術活用の利点

調査の実施にあたっては、新技術の活用検討を行うこと。なお、新技術は年々情報が更新されているため、新技術に関する最新情報を基に検討することを原則とする。

また、新技術の活用については、監督職員と協議の上で決定すること。

第 1 章 必須調査

1 鋼塗膜調査

1.1 調査概要

鋼塗膜の詳細調査では、目視調査を実施する。

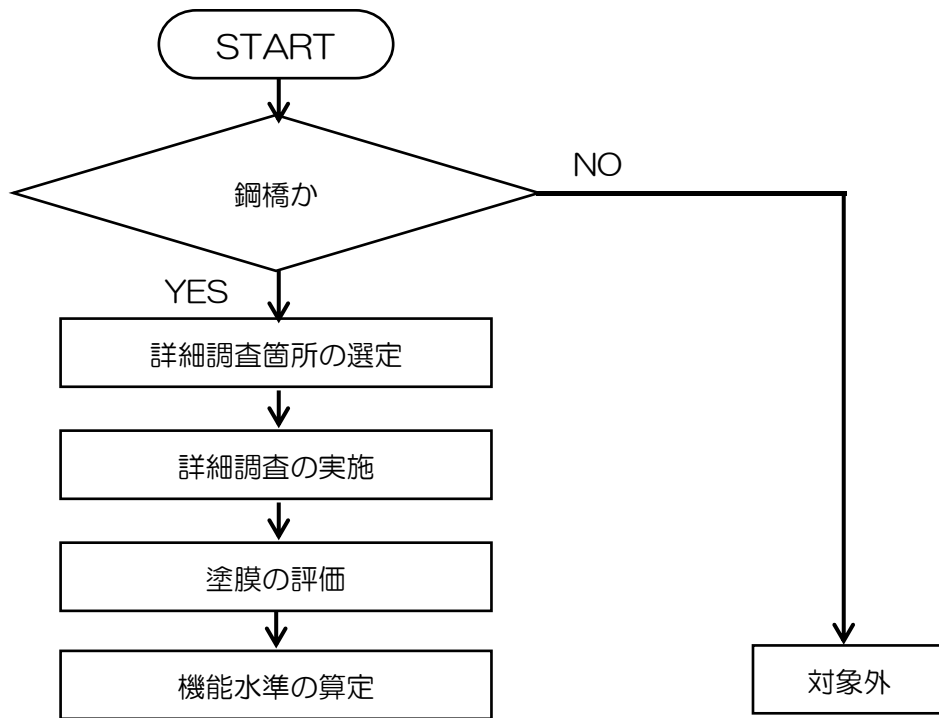


図 1.1 鋼塗膜調査のフロー

詳細調査の流れ：点検計画の方法：鋼橋か否かを判定し、鋼橋を要調査、鋼橋以外は対象外とする。目視によって腐食の状況を点検し、詳細調査箇所を選定する。詳細調査箇所は、最も腐食の激しい径間と平均的な径間の2径間に対して、桁の端部と中央部、内桁と外桁、ウェブ面と下フランジ面の計8箇所/径間×2径間=16箇所とする。(単径間の橋梁の場合は8箇所)

機能水準の算定：目視調査の結果から、塗膜の機能水準を算定する。

「桁端部」の定義

桁端部は、通気性が悪く、また構造物の連続性が途切れる部位であり、路面排水処理の不備や伸縮装置の漏水等により桁が長期間に渡って湿潤状態になるなど、最も厳しい環境下に曝される箇所である。したがって、ここで示す「桁端部」とは、橋座面上と定義する。(下図(a)の場合)

また、地形等の特徴から桁下空間が確保されず、風通しが悪いなど良好な環境が望めない範囲についても「桁端部」に含めるものとする。(下図(b)の場合)

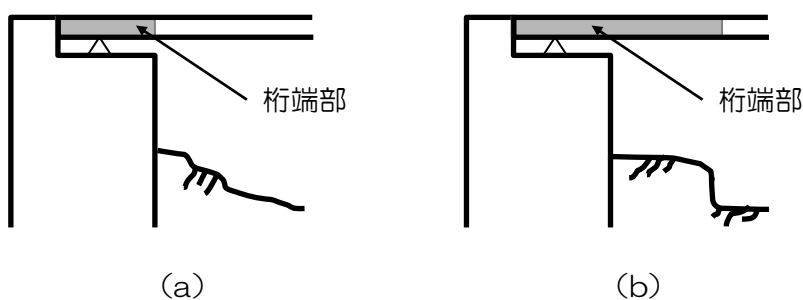


図 1.2 桁端部の定義

1.2 試験方法および評価方法

目視調査は、「さび」、「はがれ」、「白亜化」、「われ」、「ふくれ」の5項目について、評価を行う。

(1) さび

さびは、「付録-1 損傷程度の評価要領」の「①腐食」評価判定基準 a~e と対応付けて下表に示す評価点を記入する。

表 1.1 さびの状態と評価点

詳細調査における さびの評価基準	詳細点検における腐食の評価基準 (付録-1 損傷程度の評価要領 ①腐食)		
	区分	一般的状況	
		損傷の深さ	損傷の面積
さび評価点			
3	a	損傷なし	
2	b	小	小
1	c	小	大
0	d	大	小
0	e	大	大

表 1.2 損傷の深さ

区分	一般的状況
大	鋼材に著しい膨張が生じている、又は明らかな板厚減少等が視認できる
小	錆は表面的であり、著しい板厚減少は視認できない

※錆の状態（層状・孔食等）によらず、板厚減少等の有無で評価

表 1.3 損傷の面積

区分	一般的状況
大	着目部分の全体に錆が生じている、又は着目部分に広がりのある発錆箇所が複数ある
小	損傷個所の面積が小さく局部的である


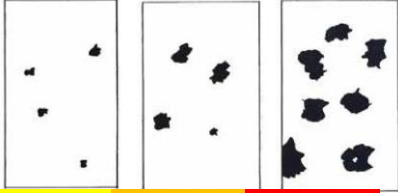


※大小の閾値の目安は 50%

(2) はがれ

はがれは、下記に示すはがれ標準図を従い、評価点 3~0 点の評価を行う。

ここに示す「はがれ」とは、上塗り塗膜の消耗（さびを伴うもの含む）によるはがれと、施工不良等による塗膜剥離によるはがれの 2 種類があり、劣化状況に応じて標準図を使い分ける。

表 1.4 はがれの状態と評価点

 <p style="text-align: center;">2 点 1 点 0 点</p>	 <p style="text-align: center;">2 点 1 点 0 点</p>
<p>上塗り塗膜（さびを伴うもの含む）はがれの標準図¹⁾</p>	<p>施工不良等によるはがれ標準図</p>
	
<p>上塗り塗膜（さびを伴うもの含む）はがれの例（0 点）</p>	<p>施工不良等によるはがれの例（0 点）</p>

(3) 白亜化

白亜化は、下表に示す白亜化の標準図を従い、評価点 3~0 点の評価を行う。

表 1.5 白亜化の状態と評価点

評価点	外観状態
	白亜化
3	ほとんど変化なし
2	僅かに白っぽい
1	かなり白っぽい
0	ほとんど真っ白である






評価点	状態	標準画像 ¹⁾
3	ほとんど変化なし	→ 1 
2	僅かに白っぽい	→ 2 
1	かなり白っぽい	→ 3 
0	ほとんど真っ白である	→ 4  5 

図 1.3 白亜化の標準図

(4) われ

われは、下表に示すわれの標準図を従い、評価点 3~0 点の評価を行う。

表 1.6 われの状態と評価点

評価点	発生状態
3	われなし
2	われが点在している
1	大きなわれが生じている
0	大きなわれが、全体にわたって生じている

われの種類	標準図
線状われ	
鳥足状われ	
不規則われ	

図 1.4 われの標準図

(5) ふくれ

ふくれは、下表に示すわれの標準図を従い、評価点 3~0 点の評価を行う。

表 1.7 ふくれの状態と評価点

評価点	発生状態
3	0%以上 0.03%未満
2	0.03%以上 0.3%未満
1	0.3%以上 5%未満
0	5.0%以上

発生面積	0.03%	0.3%	5.0%
標準図			

図 1.5 ふくれの標準図¹⁾

1.3 機能水準の算定

機能水準は、調査部位毎に目視調査結果の「さび」、「はがれ」の評価点から、下表に示す組合せ表に従い、評価する。

最も腐食の激しい径間と平均的な径間でのウェブと下フランジの調査結果計4箇所を平均して算定する。なお、中央部外面系は更に外桁と内桁とで平均した値とする。桁端部は、外桁と内桁で損傷の大きな方を採用する。

		詳細点検：腐食 (a~e)			
		e、d	c	b	a
		詳細調査：さび (3~0)			
		0	1	2	3
詳細調査： はがれ (3~0)	0	機能水準2	機能水準4	機能水準6	機能水準8
	1	機能水準4	機能水準6	機能水準6	機能水準8
	2	機能水準4	機能水準6	機能水準8	機能水準8
	3	機能水準4	機能水準6	機能水準8	機能水準10

※鋼塗膜の評価は、H18年度以前は全て目視調査結果で行ってきたが、判断に定量的な基準を含める目的から、H19年度よりH23年度まで基盤試験の結果も反映させることとした。しかし、H23年度に実施した機能水準算定方法に関する検討の結果、基盤試験結果を考慮した機能水準の算定結果が、目視による塗替要否判断と感覚的に合わないことが明らかとなったため、基盤試験結果を機能水準の算定要素からは除くものとした。その結果、基盤試験は実施されているものの、記録のみにとどまっており、有効活用されていないことから、R8年度からは実施しない方針とした。

2 鋼製パイルベント橋脚調査

2.1 対象橋梁

鋼製パイルベント橋脚を有する橋梁を表 2.1 に示す。以下の橋梁を対象に、鋼製パイルベント橋脚調査を実施する。

表 2.1 鋼製パイルベント橋脚を有する橋梁一覧

No.	OBAS No.	橋梁名	建設年度	点検グループ
1	E18084	新喜島橋	1963	①
2	C18085	南放出橋	1964	①
3	N13053	城島小橋	1965	①
4	ES21146	鳴戸橋	1966	①
5	C28033	瓦屋橋	1996	①
6	E24018	今津諸口橋	1970	①
7	E18087	天永橋	1973	①
8	E24017	徳庵橋	1976	①
9	E24015	徳庵南小橋	1976	①
10	E24014	徳庵上小橋	1978	①
11	N23041	大吹橋	1959	②
12	N23043	三国橋	1960	②
13	N13057	左門小橋	1964	②
14	C28053	弁天橋	1967	②
15	N13050	千船大橋	1938	③
16	N13051	千北橋	1938	③
17	W07025	静波橋	1985	④
18	E18048	南葦橋	1960	⑤
19	E17034	香蘭橋	1961	⑤
20	E17036	東中宮橋	1965	⑤
21	E18050	大喜橋	1974	⑤

2.2 調査概要

本調査では、鋼製パイルベント橋脚の全ての部材（鋼杭）の水中部の損傷を調査する。水上部の損傷は、詳細点検の対象である。調査範囲（図 2.4）について、鋼杭の腐食および変形を調査する。調査手法のフローを図 2.1、調査内容のフローを図 2.2 に示す。

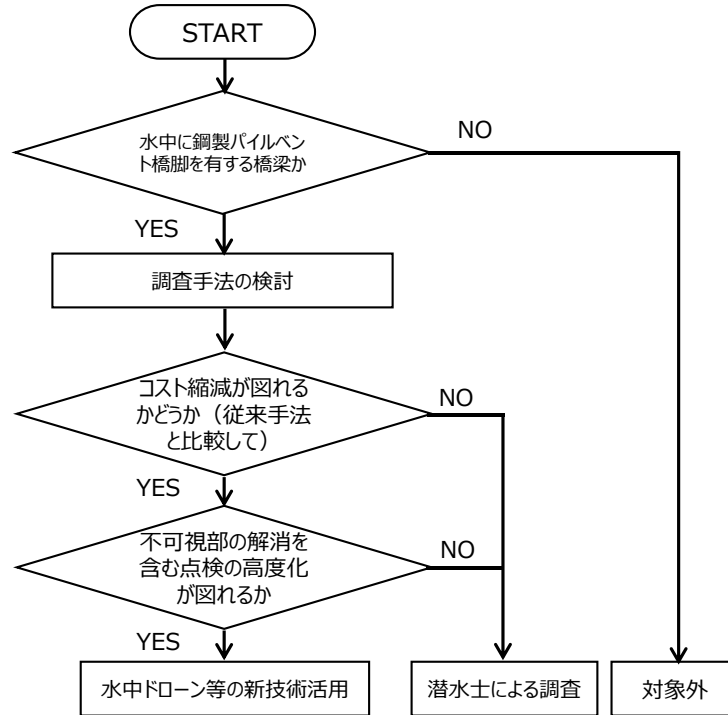


図 2.1 鋼製パイルベント橋脚調査のフロー

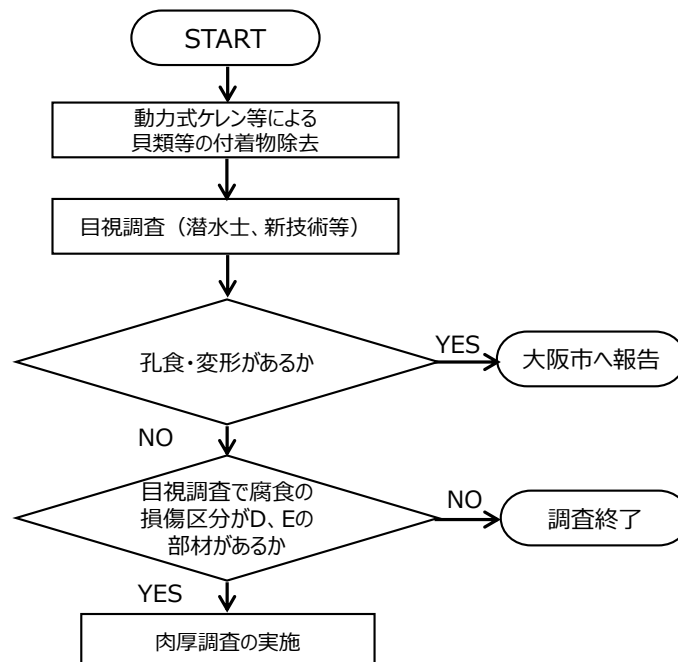


図 2.2 鋼製パイルベント橋脚調査内容のフロー

2.3 調査範囲

1) 概要

「港湾の施設の維持管理技術マニュアル（改訂版），（財）沿岸技術研究センター，平成30年7月 p.215）」によれば、「海水中においては、L.W.L.付近で集中腐食が生じている場合でも、L.W.L.-2.0m 以深では腐食速度はあまり変化しないことから、肉厚測定の下限を L.W.L.-2.0m としてもよい。」とされていることから、調査範囲は、H.W.L.からL.W.L.-2.0m とする。ただし、L.W.L.-2.0m で腐食が発見された場合には、川底まで調査する。

寝屋川本川は、寝屋川市付近まで感潮区間となっているように、大阪市域の河川は、堰、水門による水位制御がなければ大阪湾の干満の影響を受けている。

大阪港の潮位変動の例を図 2.3 に示すが、潮位変動は、OP（大阪湾最低潮位）±0m から OP+2.0m の範囲とみなせる。そこで、調査範囲は以下とする。（図 2.4）。

$$H.W.L. = OP + 2.0m$$

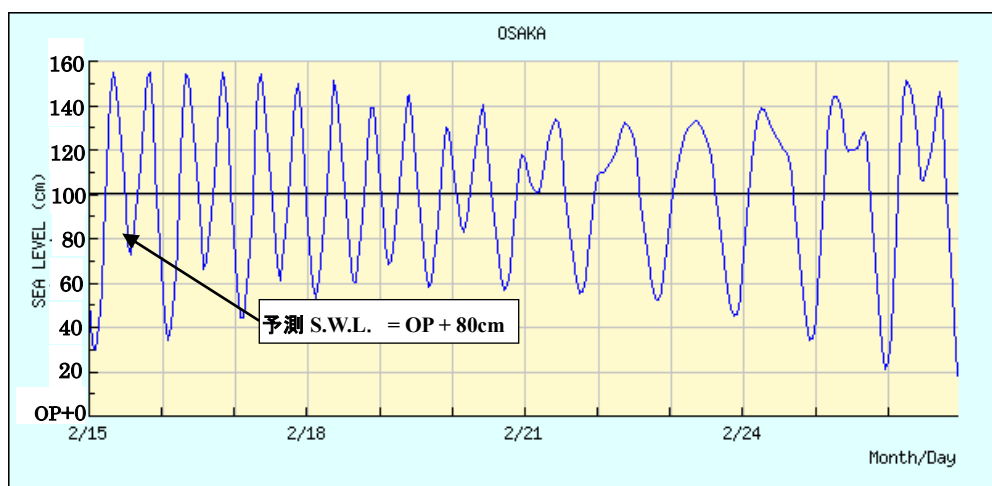
$$L.W.L.-2.0m = OP - 2.0m$$

現在は、各鋼製パイルベント橋脚において OP 等のレベルを示すマークがうたれていないため、各橋脚において、調査時の水位（S.W.L.）から以下の手順で OP + 2.0m から OP -2.0m をほぼ包含する調査範囲を設定する。

2) 調査範囲の設定法

- ① 調査日時における大阪港の予測潮位を気象庁の下記のホームページより入手し、その予測潮位を各橋脚における予測 S.W.L. とする。

https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/suisan/s_kinki.php



出典) 気象庁：https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/suisan/s_kinki.php

図 2.3 大阪港の潮位変動の例

② 予測 S.W.L. = OP+0.8m とすると (図 2.3)、現地での実際の水位 S.W.L. より以下とする。

$$\text{H.W.L.} = \text{S.W.L.} + 1.2\text{m}$$

$$\text{L.W.L.} - 2.0\text{m} = \text{S.W.L.} - 2.8\text{m}$$

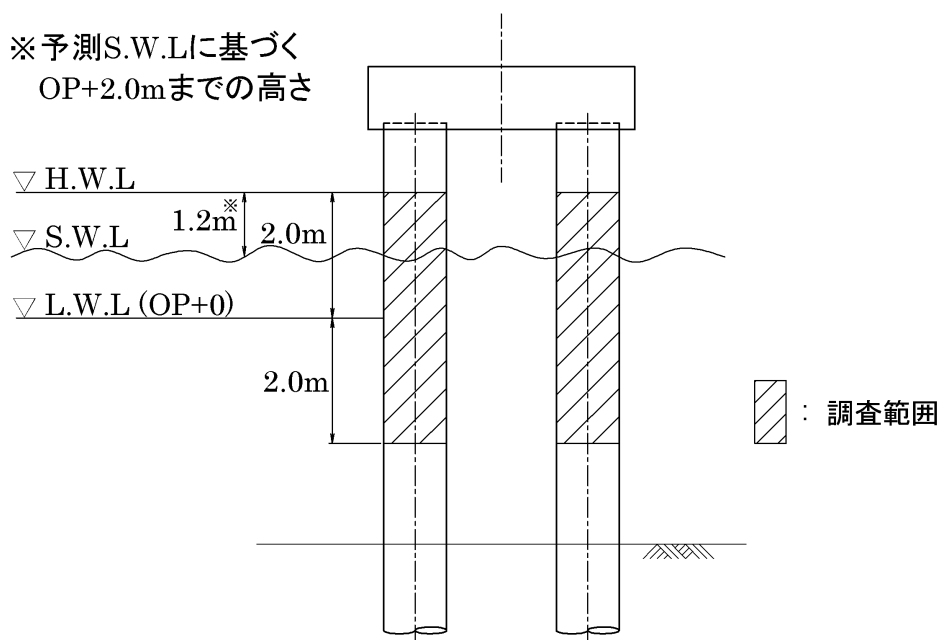


図 2.4 調査範囲

2.4 貝類等の付着物除去

鋼製パイルベントには、一般的に貝類もしくは藻が付着してパイルベントを目視できない状態になっている。そのため、目視調査に先立ち、動力式ケレン等により調査範囲にとどまらず全長にわたり貝類もしくは藻を除去する。その際、除去した貝類、藻を回収のうえ、産業廃棄物として処分する。

参考例として、静波橋の鋼製パイルベント橋脚調査時において、確認された付着物を下記に示す。



図 2.5 鋼製パイルベントの付着物状況（静波橋）

2.5 潜水土による目視調査

1) 調査方法

潜水土により目視調査を行う（図 2.6）。水深が浅く、船舶が航行できない場合には、陸上からアクセスする（図 2.7）。

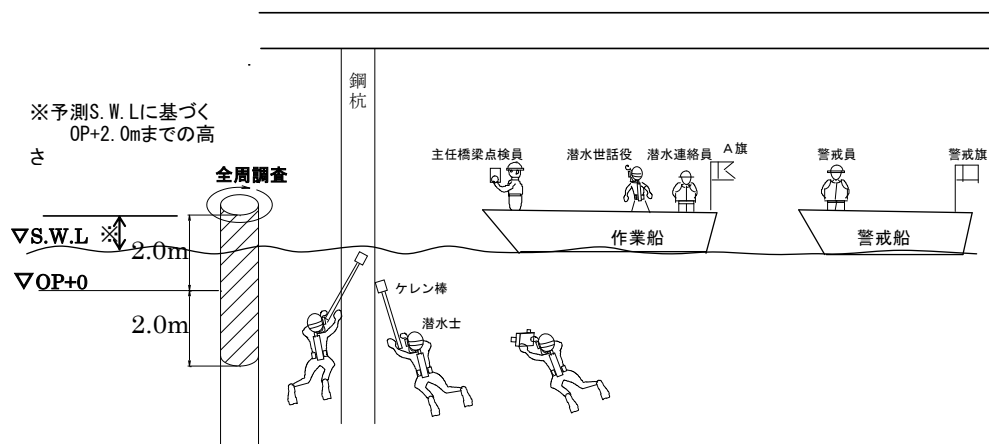


図 2.6 潜水土による目視調査（船舶使用）

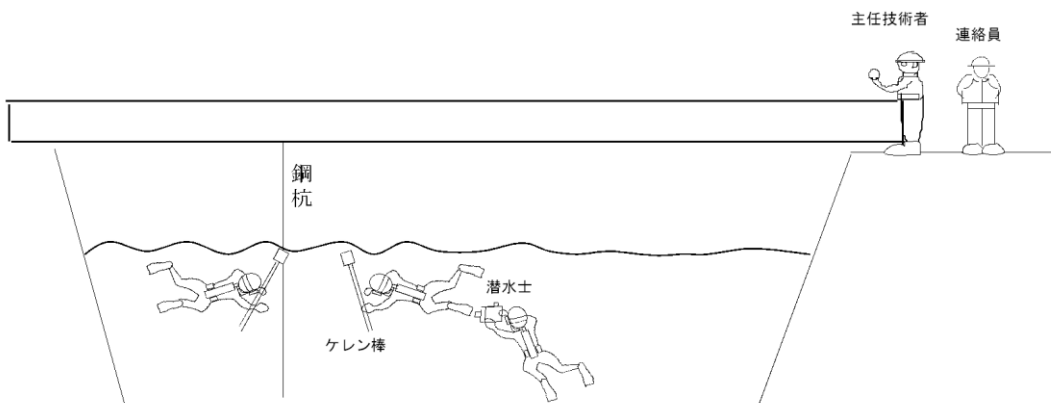


図 2.7 潜水土による目視調査（陸上アクセス）

目視調査は、前述の調査範囲の全周について行い、外観、以下の損傷（①～④）の箇所および程度が把握できるように写真撮影を行う。

- ① 腐食あるいは漂流物等の衝突による著しい損傷（開孔等）の有無・箇所・形状寸法
- ② 孔食の有無・箇所・形状寸法
- ③ 発錆（赤橙色）の有無・箇所・範囲
- ④ 軽微な衝突痕の有無・箇所・範囲

以上に加え部材の基本緒元を確認するために、鋼管では部材の円周（直径を計算）を、H鋼（上一本木橋）では全幅・全高を計測する。

2.6 損傷区分

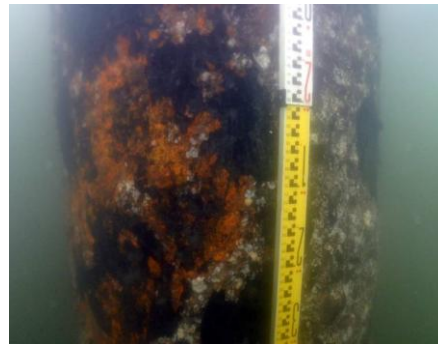
潜水土による目視調査に基づき、鋼材の腐食および変形について損傷区分（表 2.2）を評価する。

表 2.2 鋼材の腐食および変形の損傷区分

損傷区分	評価基準
A	• 変状なし
B	• 点錆（点状の発錆）がある
C	• 面的な発錆の面積が鋼杭の水中部面積の 30%未満 • 軽微な衝突痕がある
D	• 面的な発錆の面積が鋼杭の水中部面積の 30%以上
E	• 孔食（大きな開口含む）がある • 衝突等による変形がある



（参考）損傷区分 C



（参考）損傷区分 D

2.7 肉厚測定

1) 概要

橋梁において、鋼材の損傷区分が D、E の部材がある場合には、表 2.3 に示す箇所において肉厚測定を行う。

肉厚測定には、超音波厚み計を用いる。超音波厚み計の接触子を定められた測定点（後述）でそれぞれ3回ずつあてて測定し、その平均値を測定値とする。

測定点の研磨前、研磨後、仮補修後の状態を写真撮影する。

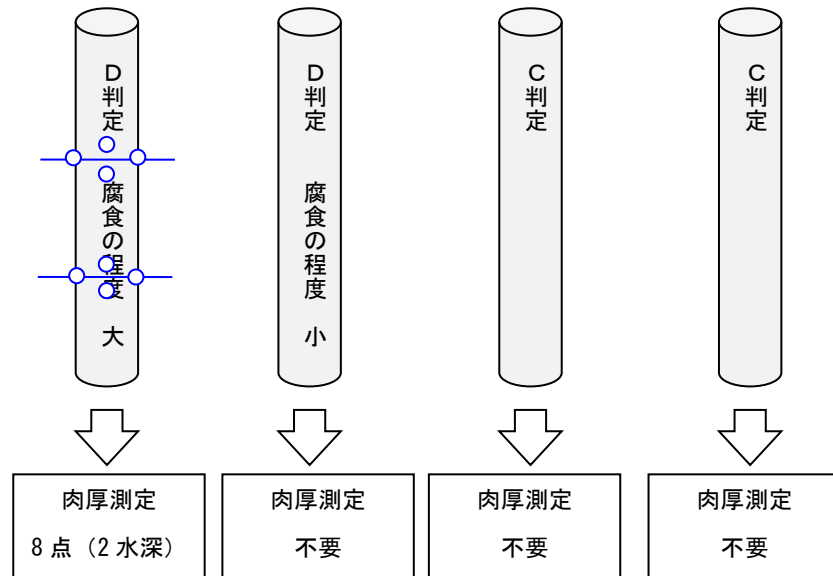
表 2.3 肉厚測定箇所

損傷区分	肉厚測定箇所
D の部材がある	D の鋼杭のなかから、腐食の程度が最も大きな 1 つの鋼杭を選定し、次の水深にて肉厚測定を行う。 <ul style="list-style-type: none">・腐食の程度が最も大きい水深・腐食しているが、その程度が最も小さい水深
E の部材がある	1) E の鋼杭のなかから、腐食の程度が最も大きな 1 つの鋼杭を選定し、次の水深にて肉厚測定を行う。 <ul style="list-style-type: none">・腐食の程度が最も大きい水深・腐食しているが、その程度が最も小さい水深 2) 補修範囲を検討するために、D、E の他の鋼杭において、次の水深にて肉厚測定を行う。ただし、方向（上流、下流、右岸、左岸）は、1)の結果、最も腐食していた方向に限定する。 <ul style="list-style-type: none">・腐食の程度が最も大きい水深・腐食範囲の上端・腐食範囲の下端

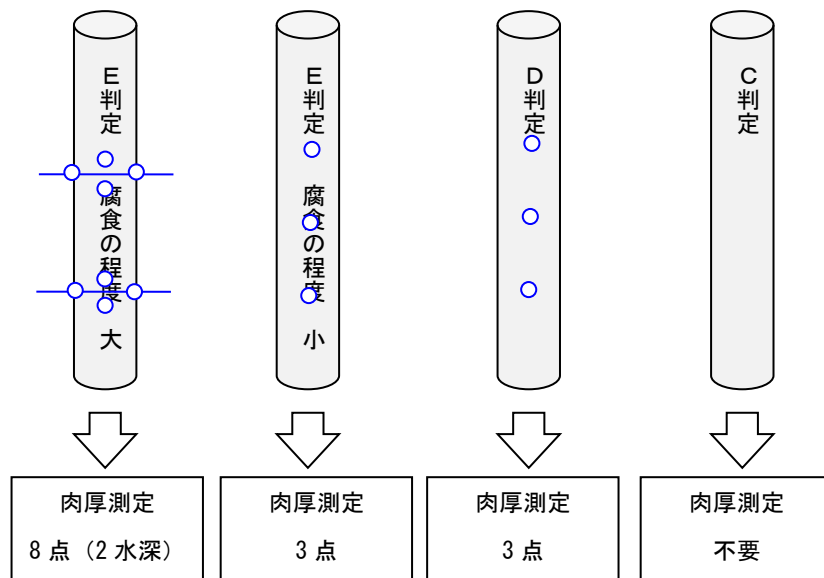
※1 水深とは、ある1つの水深における断面まわりのこと

常時水中及び土中にある場合の鋼管杭の設計腐食しろは、道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編（（社）日本道路協会、平成 14 年）では、1mm、阪神高速道路公団設計基準（平成 7 年）では 2mm を標準とするとされている。常時水中より厳しい腐食環境である感潮区間では、設計腐食しろは、2mm は確保されていたと考えられる。そこで、肉厚測定結果において、1 水深における平均腐食量が 2mm より大きい場合には、腐食しろを超えて腐食が進み耐力低下の可能性があるので、損傷区分を E とする。

D 判定の部材がある場合



E 判定の部材がある場合



(参考図) 肉厚測定箇所

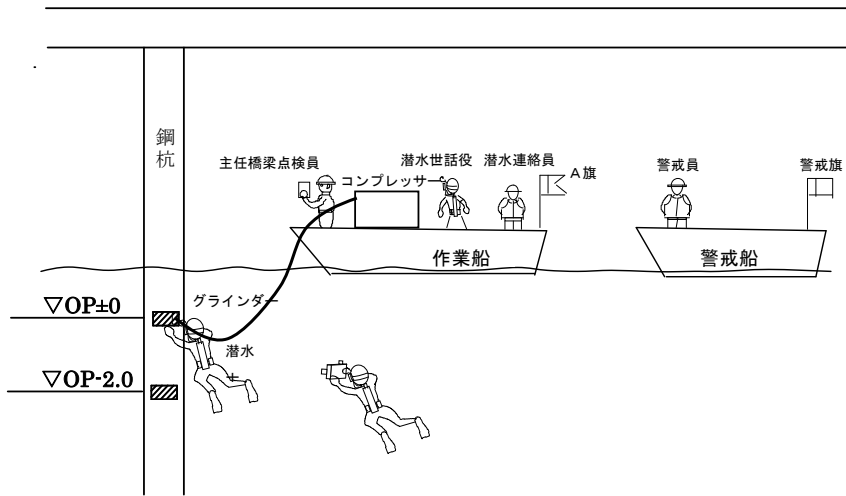


図 2.8 肉厚測定（船舶使用）

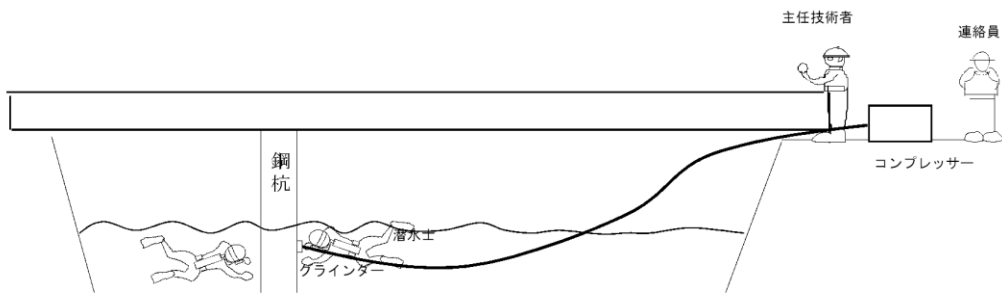


図 2.9 肉厚測定（陸上アクセス）

2) 肉厚測定点

肉厚を測定する点は、鋼管は4箇所、H鋼（上一本木）は3箇所とする（図 2.10）。

肉厚測定点では、ほぼ 100mm 四方を対象として、水中グラインダーなどで鋼材面を研磨し、鋼材の地肌を露出させる。1つの肉厚測定点においては、5点に厚み計の探触子を当て、1点あたり3回、鋼材の肉厚を測定する。15の測定値の平均値をその肉厚測定点の肉厚とする。

測定した水深の上部工等からのレベルを記録する。

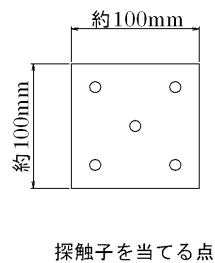
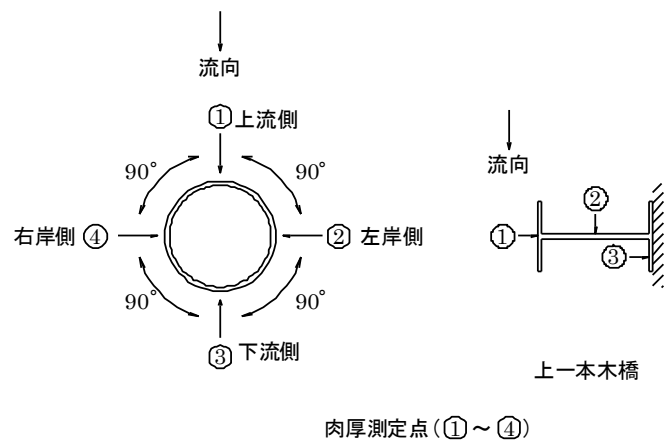


図 2.10 肉厚測定点

3) 測定点の補修

測定点は、鋼材の地肌を露出させたため腐食が進行するため、測定後に水中硬化接着剤（ジョイナーW）等にて仮補修を行う（下記写真8）。

2.8 必要機材

鋼製パイルベント橋脚調査は、水中という特殊条件下での調査である。潜水士による調査の品質を確保するために必要な機材を表 2.4 に示す。

表 2.4 鋼製パイルベント橋脚調査に必要な機材

機材	概要
潜水用機材	ポンベ、ダイビングスーツ、フィン等（写真1）
水中用有線電話	潜水士と作業船上の主任技術者等との連絡に必要（写真2）
作業船	立会者、主任技術者、潜水士3名など10名程度の乗員、水中グライダのコンプレッサーを含む機材を置ける広さが必要（写真3）
コンプレッサー	グライダの動力源として用いられる、圧縮空気を製造する機械（写真3）
水中カメラ	河川が濁っている場合には部材に非常に近接して撮影する必要があるため、ある程度の範囲が撮影できるように超広角レンズ、ライトを装着した水中カメラが必要（写真4）
動力式ケレン棒	貝類および藻の除去に必要（写真5）
水中グライダー	肉厚測定時の研磨のために必要で、コンプレッサーからの圧縮空気でグライダーが回転（写真6）
超音波厚み計	肉厚測定時に必要（写真7 UDM750）
仮補修材	肉厚測定点の仮補修に必要（写真8 ジョイナーW）



写真1 潜水用機材



写真2 水中用有線電話



写真3 作業船



写真4 水中カメラ



写真5 動力式ケレン棒



写真6 グラインダー



写真7 超音波厚み計



写真8 仮補修材

3 RCパイルベント橋脚調査

3.1 対象橋梁

RCパイルベント橋脚を有する橋梁を表 3.1 に示す。以下の橋梁を対象にRCパイルベント橋脚調査を実施する。

表 3.1 RCパイルベント橋脚を有する橋梁一覧

No.	OBAS No.	橋梁名	建設年度	点検グループ
1	E18084	新喜島橋	1963	①
2	C28041	新戎橋	1963	①
3	E18085	南放出橋	1964	①
4	E24058	昭明橋	1965	①
5	E24134	徳栄橋	1966	①
6	C28033	瓦屋橋	1966	①
7	C28029	安堂寺橋	1967	①
8	E18083	北新喜島橋	1971	①
9	E18086	南新喜島橋	1971	①
10	S25039	成清橋	1977	①
11	C28037	相合橋（中央区）	1983	①
12	N23041	大吹橋	1959	②
13	N14061	上高浜橋	1970	②
14	N14062	井高野橋	1974	②
15	C28015	京橋	1924	③
16	W07021	福栄橋	1963	④
17	E17039	東大宮橋	1951	⑤
18	E18048	南莖橋	1960	⑤
19	E17034	香蘭橋	1961	⑤
20	E17035	西中宮橋	1967	⑤
21	E18053	新今福中橋	1972	⑤
22	E02031	大東橋	1975	⑤
23	E02030	東友渕橋	1981	⑤

3.2 調査概要

本調査では、RCパイルベント橋脚の全ての部材（RC杭）の水中部の損傷を調査する。水上部の損傷は、詳細点検の対象である。調査範囲について、RC杭における重大な損傷が無いかを調査する。調査手法のフローを図 3.1、調査内容のフローを図 3.2 に示す。

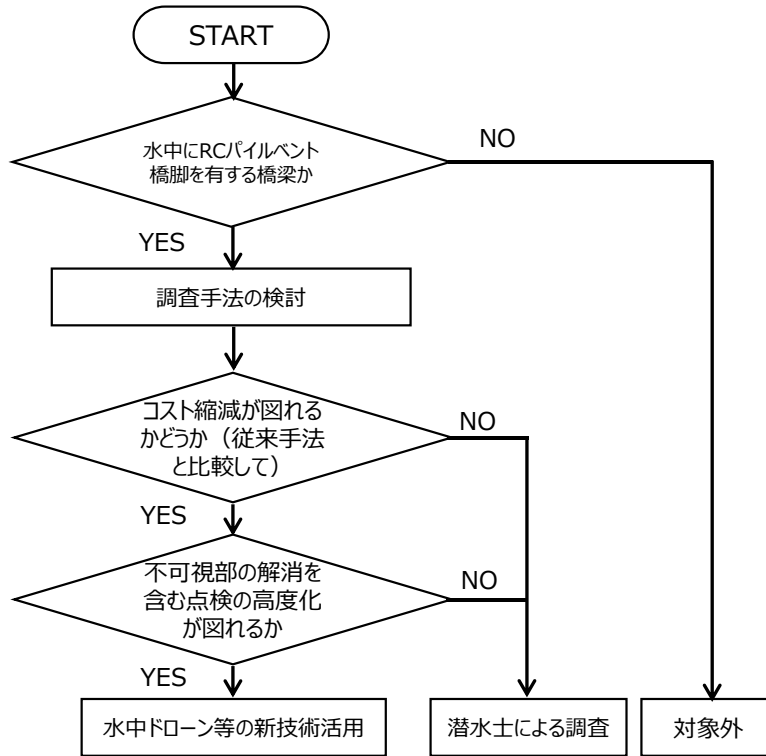


図 3.1 RCパイルベント橋脚調査手法のフロー

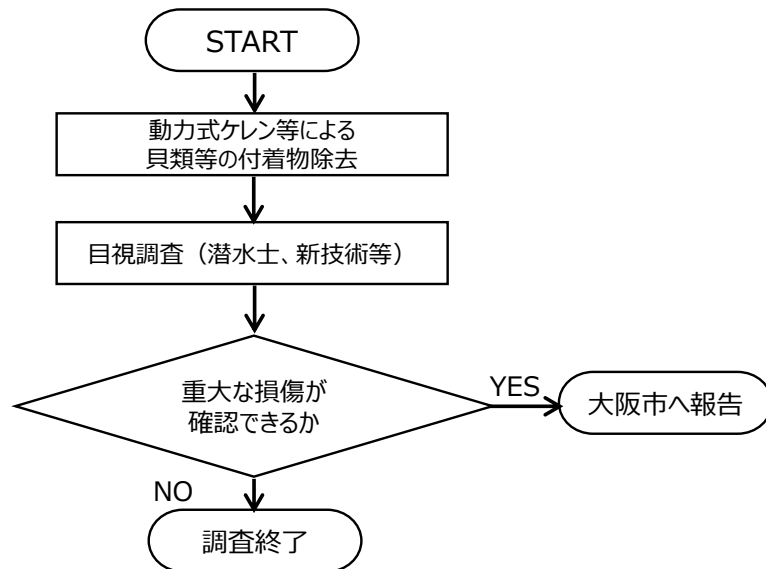


図 3.2 RCパイルベント橋脚調査内容のフロー

3.3 調査手法および損傷区分

調査範囲および潜水土による目視調査手法は『鋼製パイルベント橋脚調査』に準ずる。

4 ケーブル詳細調査

4.1 対象橋梁

ケーブル調査を実施する橋梁は、以下に示す10橋を対象とする。

表 4.1 ケーブル調査対象橋梁一覧表

NO	橋名	利用区分	車線数	建設年	ケーブル皮膜	ケーブル本数	ケーブル径 (mm)	橋梁形式	点検グループ
1	浮庭橋	歩道橋	—	2009年	不明 (金属外筒管は無いと思われる)	20本	φ100 (推定値)	吊橋	①
2	折鶴橋	歩道橋	—	1981年	塗装	16本	φ50	斜張橋	①
3	大和橋	車道橋 (歩道あり)	1 (一方通行)	1974年	FRP、被覆材 (ポリエチレン)	4本	125 (122+2.5)	斜張橋	②
4	中島新橋	車道橋 (歩道あり)	2	1991年	PE管	28本	φ100 (推定値)	斜張橋	②
5	川崎橋	歩道橋	—	1978年	不明 (アルミ外筒管と思われる)	20本	φ50.70	斜張橋	②
6	豊里大橋	車道橋 (歩道あり)	4	1970年	ガラス繊維強化 プラスチック(FRP)	8本	φ272.214	斜張橋	③
7	かもめ大橋	車道橋 (歩道あり)	4	1999年	不明	80本	不明	斜張橋	③
8	菅原城北大橋	車道橋 (歩道あり)	4	1989年	オーバーラップ 管 タールエポキシ	44本	φ200 (推定値)	斜張橋	③
9	常吉大橋	車道橋 (歩道あり)	2	1999年	不明	24本	不明	斜張橋	③
10	此花大橋	車道橋 (歩道あり)	6	1990年	不明	—	不明	吊橋	④

4.2 ケーブル腐食調査

4.2.1 調査概要

本調査ではケーブルの腐食調査を実施する。

ケーブルの腐食調査方法には近接目視による方法、渦流探傷法や全磁束法等の非破壊調査及び開封検査による微破壊検査があるが、詳細調査では構造物に与える影響が少ない渦流探傷法による非破壊検査で調査することを基本とする。

渦流探傷法では目視により錆汁やケーブルカバーの損傷があった橋梁のケーブルに対して実施する。本手法ではケーブル内または同種ケーブル間での相対評価による腐食可能性の最大箇所を抽出することを目的とする。

渦流探傷法で最大箇所を抽出した箇所は、その腐食量を調査することとし、腐食量の調査は全磁束法または開封検査で実施する。

全磁束法では計測機器の適用範囲が限定的である。ケーブル径（被覆含む）が125mm以下の場合は適用可能であるが、それ以上のケーブル径の場合には対応可能かどうかを調査する必要がある。

全磁束法で対応不可能な箇所や全磁束法での調査結果でE判定となった場合は開封検査を行う。開封検査にあたっては、復旧箇所に水が溜まり損傷の要因となる可能性もあるため、復旧を行う際は十分な止水対策を行うとともに、開封検査時にはなるべく開封範囲を少なくし、不必要なダメージを与えないことに留意する必要がある。

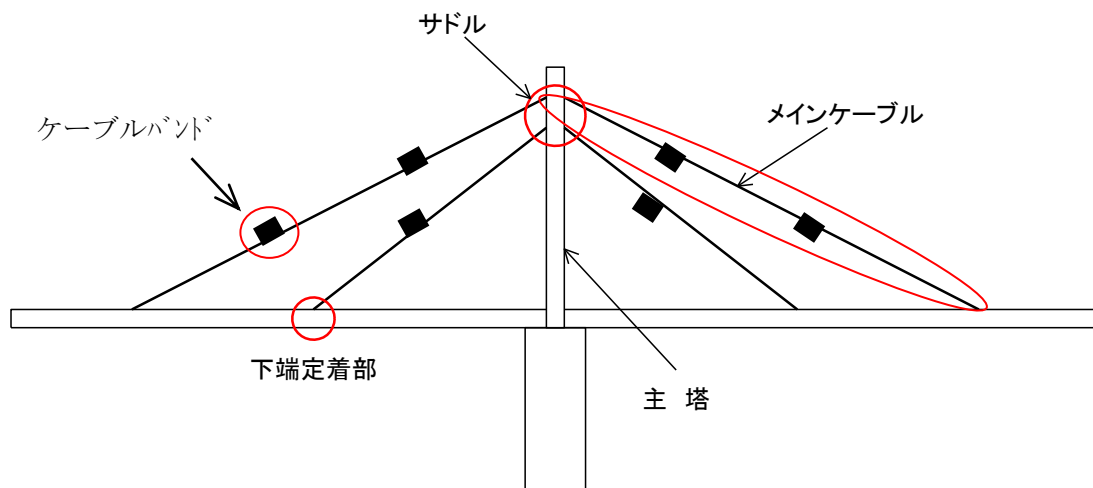


図 4.1 ケーブルを有する長大橋の調査着目箇所

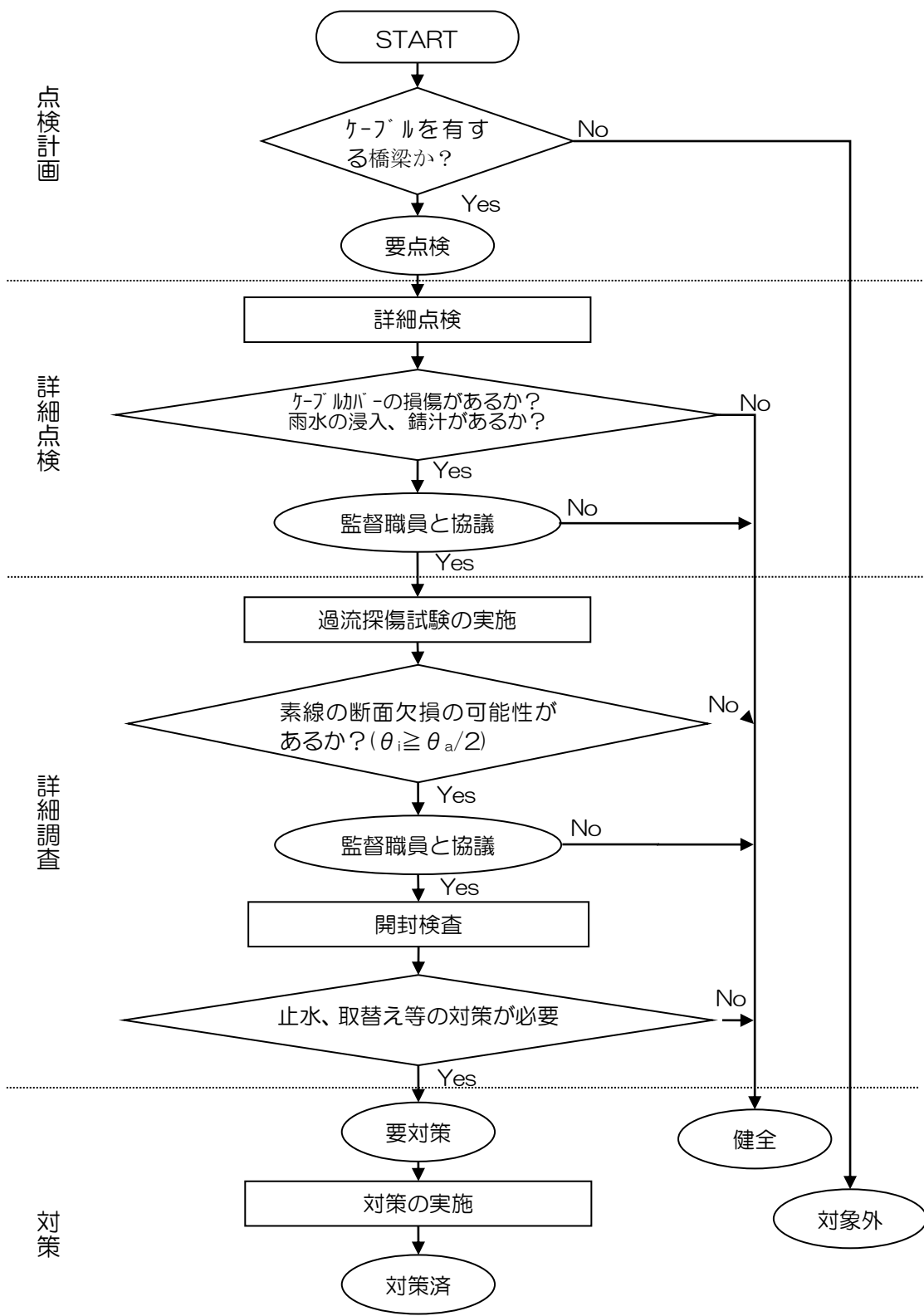


図 4.2 ケーブル腐食調査のフロー

点検計画の方法：ケーブルを有する橋梁かを確認し、ケーブルを有していれば要調査、なければ対象外とする。

詳細点検の方法：目視によってケーブルカバー、ケーブル定着部、ケーブルバンドなどから錆汁や漏水の有無を確認し、無ければ健全、あれば監督職員と協議の上、要調査対象を選定する。

詳細調査の方法：腐食が懸念されるケーブルを有する橋梁に対し、全ケーブルの渦流探傷調査を行う。素線の断面欠損が懸念される場合は最大箇所1箇所に対して全磁束法による調査または開封検査を行い腐食量の確認を行う。

対策の方法：必要な対策手法の検討を行う。

4.2.2 調査方法および評価方法

ケーブル腐食調査の方法と評価方法を以下に示す。

1) 渦流探傷調査

(1) 使用器具および材料

- ① 渦流探傷測定機器：(図 4.3 参照)
- ② 記録装置：記録装置は、探傷器から得られたデジタル出力を記録するもので、目的に適した方式、性能を持つものとする。
- ③ 発電機：調査に必要な電力が得られる性能を持つものとする。

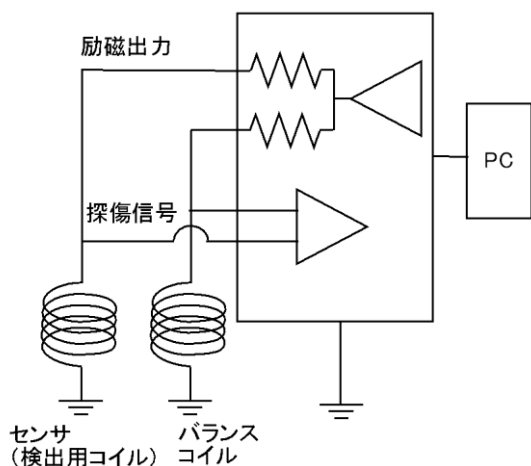


図 4.3 左：渦流探傷調査用機器構成 右：渦流探傷法測定状況

(2) 測定方法

図 4.3 の渦流探傷調査用機器のうち、センサーをケーブルに設置し、ケーブル上端から下端までを移動させて計測する。ケーブル上端が計測困難な場合は相対評価の可能な範囲（最低下端より高さ 10m）は調査を実施すること。

(3) 評価

① 方法 I：腐食可能性判定

センサーはあらかじめ、亜鉛めっきのある素線とない素線で計測を行い、図 4.4 に示す交流電流を流した場合に計測される電圧の X 成分と Y 成分データによる腐食評価基準グラフを作成する。そのグラフ上に計測データをプロットして腐食の可能性について評価を行う。

腐食の可能性に関しては亜鉛めっきなしのラインと亜鉛めっき有りのラインからなる角度 θ_a と、亜鉛めっきありのラインと計測データとの最大角度 θ_i で評価する。

評価式： $\theta_i \geq \theta_a / 2$ ：腐食可能性有り

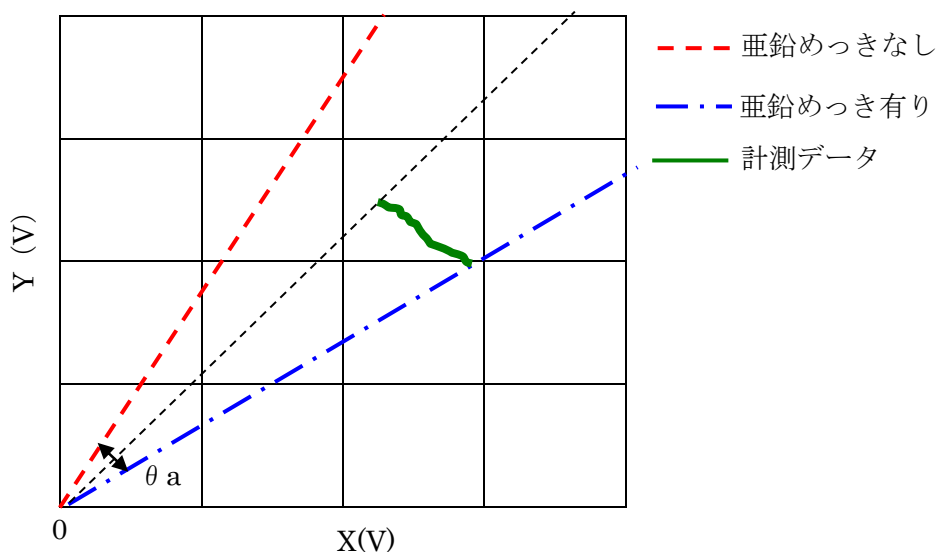


図 4.4 腐食評価基準グラフ

※なお、今回示している評価式は、平成 23 年度業務で実施した試行点検で確認された範囲で、開封の結果が表面錆であったことを根拠にしている。

② 方法Ⅱ：腐食最大位置の判定

計測されたデータの相対評価で腐食の可能性及び最大箇所を評価する。図 4.5 に示す電圧変化グラフを作成し、同一ケーブル内の相対的な変化で最大位置を確認する。最大位置の確認の際には、電圧変化グラフのX軸およびY軸のデータからそれぞれ最大位置を確認し、両軸での最大位置を照合する。なお、素線以外の磁性体の存在がある場合はデータが変化する可能性があるため、それらのデータを除外すること。

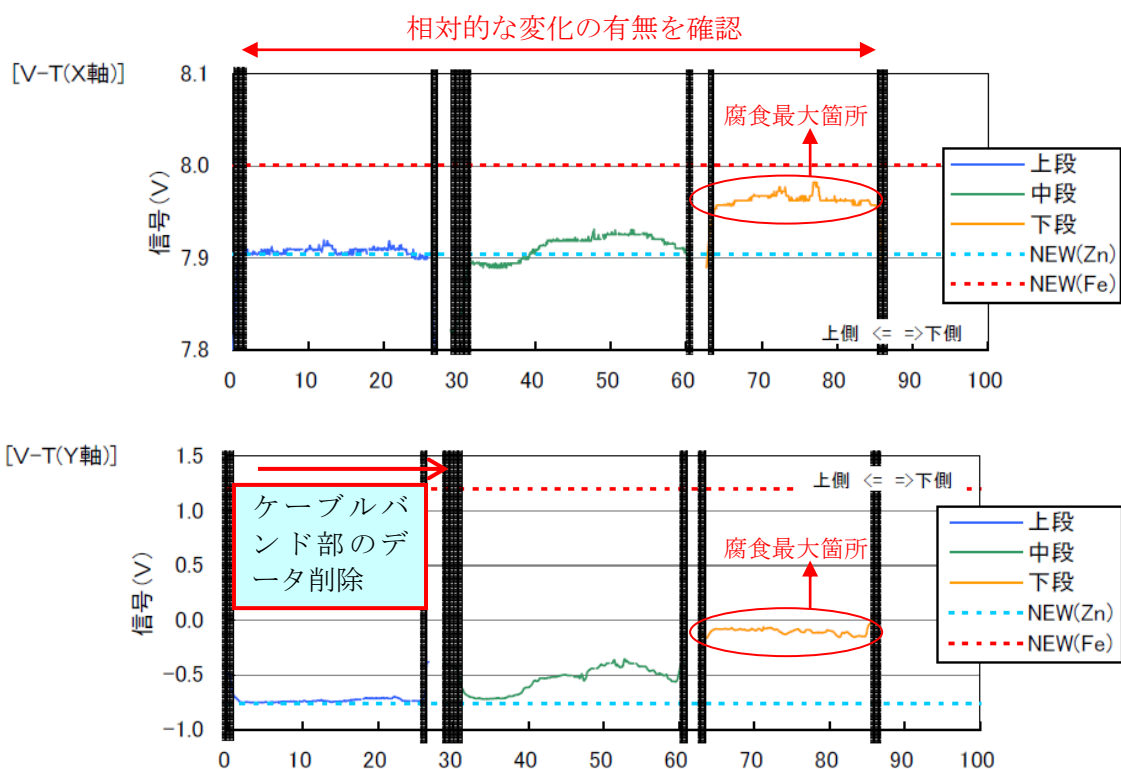


図 4.5 電圧変化グラフ

2) 開封目視調査・くさび割り調査

(1) 使用器具および材料

- ① 開封用機材：素線を傷つけないような機材とする。
- ② 楔：木製のものとする。
- ③ 復旧材料：磁性体でなく、耐久性・水密性に優れた材料とする。

(2) 調査方法

開封調査は開封範囲を 1.5m程度とする。開封する際には両端にケーブル止めを設置し、ケーブルカバーが損傷しないよう留意すること。

開封した箇所を写真撮影するとともに、腐食の状態（表層、内部）・腐食範囲・断面欠損の有無（孔食含む）を詳細に目視で確認する。

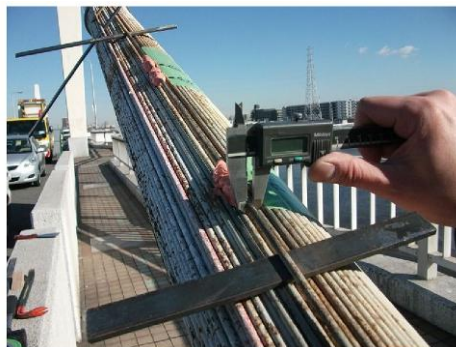


写真9 開封調査状況

(3) 調査方法

ケーブルの素線は腐食により孔食による断面欠損が生じると著しく耐力が低下するとともに、特に疲労や延性に影響が生じる。したがって、腐食の評価は、断面欠損のある素線の本数の全体との比率で評価を行う。

表 4.2 ケーブル調査評価基準

損傷区分	評価基準
A	・変状なし
B	・点錆がある
C	・表面錆のある素線が全体の 30%未満
D	・表面錆のある素線が全体の 30%以上
E	・破断している素線がある ・断面欠損量が素線断面積の 5%以上

4.2.3 復旧方法

磁性体でなく、耐久性・水密性に優れた材料とする。

参考に防食テープによる復旧方法を示す。

酸化重合硬化型防食テープによる防食テープ巻きとその上から FRP 補強を行う。

既存 FRP カバーとの取合い部はFRPカバーにラップし、雨水等の浸入防止を図る。

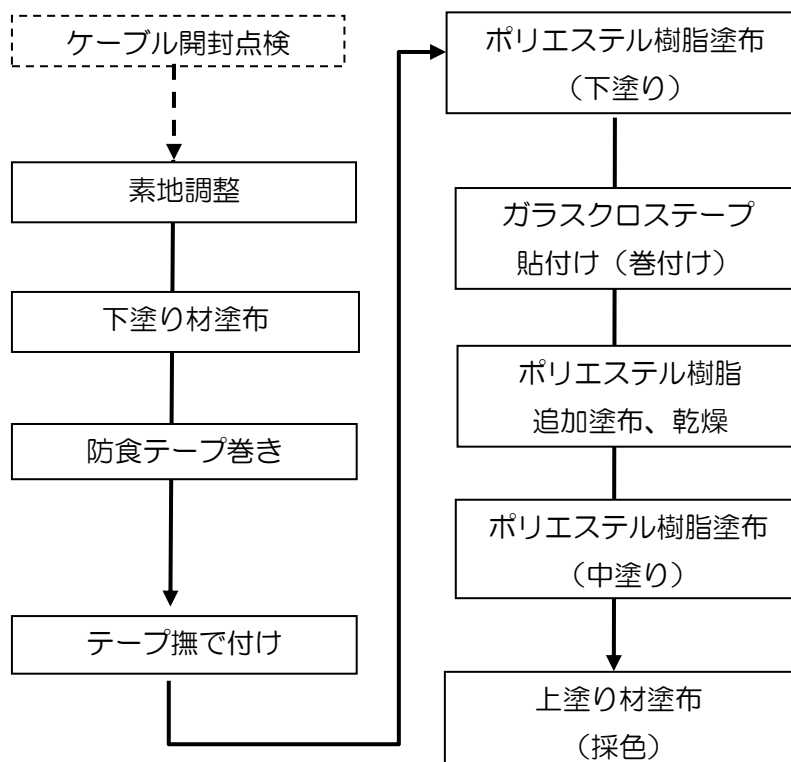


図 4.6 ケーブル復旧フロー



下塗り材塗布



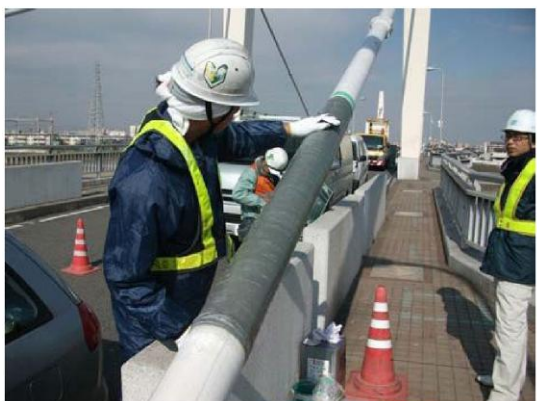
防食テープ巻き付け



ガラスクロステープ巻き付け



樹脂塗布含浸（FRP下塗り工程完了）



乾燥硬化後ペーパー掛け



上塗り材塗布（1回目）

写真10 ケーブル復旧状況

4.2.4 調査方法および評価方法

ケーブル張力調査の方法と評価方法を以下に示す。

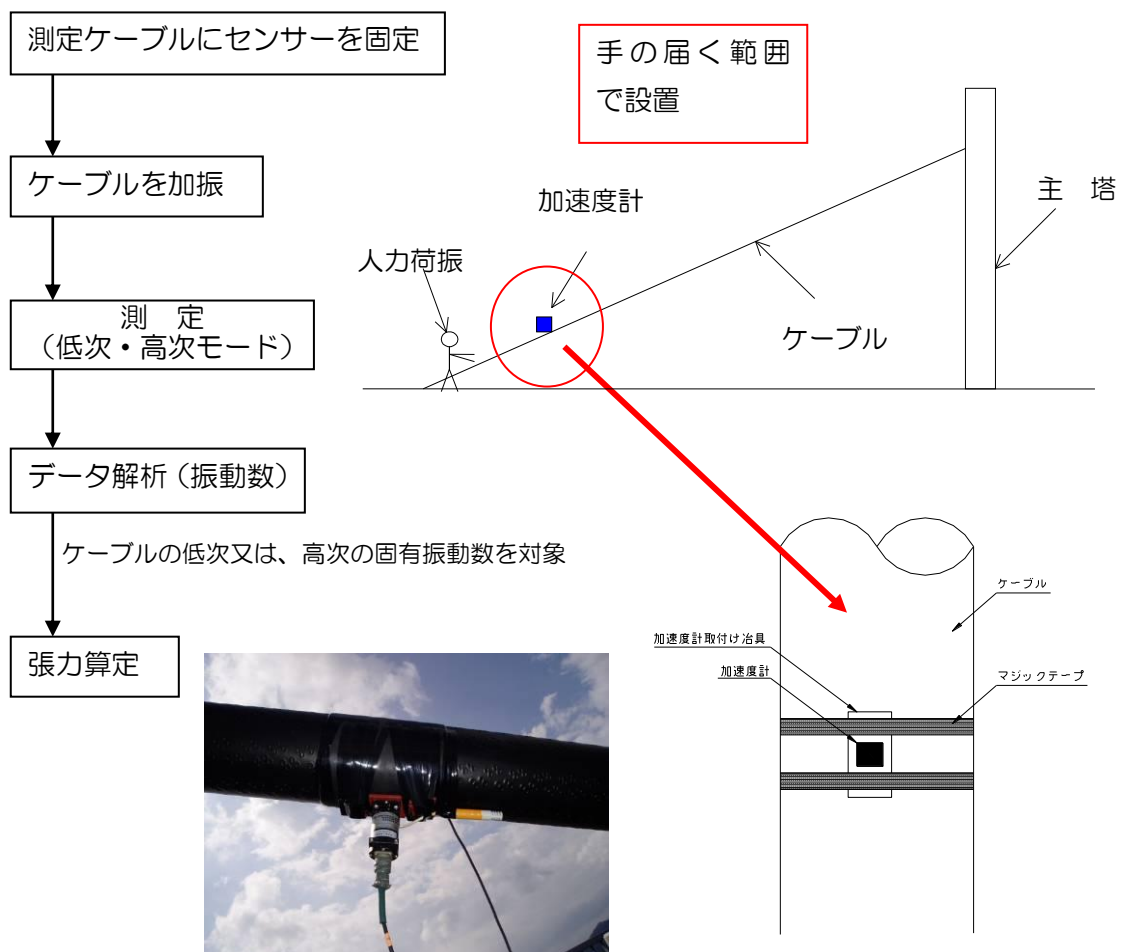
1) 使用器具および材料

- ① 加速度計：対象橋梁のケーブル規模により、求める振動を調査できるもの。
- ② 記録装置：記録装置は、探傷器から得られたデジタル出力を記録するもので、目的に適した方式、性能を持つものとする。
- ③ 発電機：調査に必要な電力が得られる性能を持つものとする。

2) 測定方法

ケーブル張力測定方法は、低次（1、2次）固有振動数を用いる方法と、高次振動法によるケーブル張力測定法があり、いずれの方法を用いても良いものとする。

測定ケーブルに加速度計センサーを取り付け、人力による強制加振もしくは風・大型車両などによる常時微動により直接ケーブルの振動特性（低次、又は高次固有振動数）を計測する。この固有振動数とケーブルの張力との関係は、ケーブルの曲げ振動の振動方程式から導いた振動法の実用式による方法と、複数の高次の固有振動数とモード次数お関係式から直接、張力と曲げ剛性を同時に求める方法がある。



3) 評価方法（低次の固有振動法）

求められた振動波形から固有値解析を行い、1次または2次モードの振動周波数（Hz）を算定する。算定された振動周波数を以下の式に代入し張力を求める。

$$\left. \begin{aligned} T &= \frac{w}{g} (f_2 l)^2 \left\{ 1 - 4.40 \frac{C}{f_2} \right\} && (60 \leq \xi) \\ T &= \frac{w}{g} (f_2 l)^2 \left\{ 1.03 - 6.33 \frac{C}{f_2} - 1.58 \left(\frac{C}{f_2} \right)^2 \right\} && (17 \leq \xi \leq 60) \\ T &= \frac{w}{g} (f_2 l)^2 \left\{ 0.882 - 85.0 \left(\frac{C}{f_2} \right)^2 \right\} && (0 \leq \xi \leq 17) \end{aligned} \right\} \cdots (1)$$

T：張力(kN)

A：係数(N/s²)

w：単位重量(0.0125 kN/m)

ℓ：ケーブル長さ(m)

g：重力加速度

E：ヤング率(N/m²)

I：断面二次モーメント(m⁴)

F2：ケーブルの逆対称1次固有振動数(2次)

上式(1)は、ξの値により使用する式が異なるため、推定張力からξを算出して各ケーブルに適合する式を確定する。

$$C = \sqrt{\frac{EIg}{wl^4}}, \xi = \sqrt{\frac{T}{EI}} l,$$

求められた張力と建設当初または初回計測張力と比較を行い、変動がないかを確認する。このとき、変動量が多い場合には変動要因について特定し、必要に応じ対策するのが望ましい。以下に変動の大きい場合の判定例を示すが、現地状況に応じて適宜検討を行い判定するのが望ましい。

4) 評価方法（高次の固有振動法）

高次振動法によるケーブル張力測定方法は、特許があるため、以下の問い合わせ先にて確認すること。

問い合わせ先

神鋼鋼線工業株式会社 PC鋼線事業部 営業部

東京支店 〒141-8688 東京都品川区北品川5-9-12 ONビル TEL:03-5739-5252 FAX:03-5739-5250
大阪支店 〒541-0041 大阪府大阪市中央区北浜2-6-18 淀屋橋スクエア TEL:06-6223-0671 FAX:06-6201-3476

関連特許（権利者：神戸製鋼所）

特許番号 3313028 「張力のかかっているケーブルの曲げ剛性および張力の測定方法」

特許番号 3550296 「構造物の張力および曲げ剛性の測定方法」

表 4.3 ケーブル張力調査評価基準

損傷区分	評価基準
A	・変化なし
B	—
C	—
D	—
E	設計値と比較の場合 : ±15%以上の変動 建設時導入値と比較の場合 : ±10%以上の変動 初期計測値と比較の場合 : ± 5%以上の変動

5 洗掘詳細調査

5.1 対象橋梁

流域面積が大きい河川では特に洗掘が懸念されることから、淀川、神崎川、大和川に架かる橋梁 31 橋を特に洗掘が懸念される橋梁として抽出した。なお、洗掘は進行することで構造安定性への影響が大きいことが懸念される。そのため、対象橋梁 31 橋以外で水中に橋脚・橋台を有する橋梁についても目視点検により変状が確認された場合は、洗掘詳細調査の実施について監督職員と協議すること。また、対象橋梁以外で洗掘詳細調査を実施した場合は、継続的な把握を行うために、調査対象橋梁リストに追加すること。

表 5.1 洗掘が特に懸念される橋梁一覧（31 橋）

No.	OBAS No.	橋梁名	建設年度	桁下条件	パイルベント	点検グループ
1	N13053	城島小橋	1965 年	神崎川	鋼	①
2	N13054	城島橋	1964 年	神崎川	—	①
3	N14039	小松橋	1962 年	神崎川	—	①
4	N14061	上高浜橋	1970 年	安威川	RC	②
5	N23043	三国橋	1960 年	神崎川	鋼	②
6	N23041	大吹橋	1959 年	神崎川	鋼、RC	②
7	N14040	緑風橋	1991 年	神崎川	—	②
8	S25006	阪堺大橋	1986 年	大和川	—	②
9	S25004	大和橋	1973 年	大和川	—	②
10	S20001	吾彦大橋	1976 年	大和川	—	②
11	N23048	神崎橋	1978 年	神崎川	—	②
12	N23012	十八条大橋	1969 年	神崎川	—	②
13	WN27028	新淀川大橋	1969 年	淀川	—	②
14	ES21014	行基大橋	1972 年	大和川	—	②
15	ES21013	下高野橋	2014 年	大和川	—	②
16	ES26008	瓜破大橋	1981 年	大和川	—	②
17	N13051	千北橋	1938 年	神崎川	鋼	③
18	N13050	千船大橋	1938 年	神崎川	鋼	③
19	N23047	毛斯倫大橋	1970 年	神崎川	—	③
20	N23045	神洲橋	1973 年	神崎川	—	③
21	N14098	新大吹橋	1998 年	神崎川	—	③
22	N14038	西江口橋	1989 年	神崎川	—	③
23	N14037	江口橋	1965 年	神崎川	—	③
24	WN27026	長柄橋	1978 年	淀川	—	③
25	E17003	菅原城北大橋	1989 年	淀川	—	③
26	E17001	豊里大橋	1970 年	淀川	—	③
27	ES26007	高野大橋	1954 年	大和川	—	③
28	ES26006	明治橋	1988 年	大和川	—	③
29	ES26001	第一新明治橋	1979 年	大和川	—	③
30	WN27030	新十三大橋	1966 年	淀川	—	④
31	WN27029	十三大橋	1931 年	淀川	—	④

※上高浜橋は安威川に架かる橋であるが、神崎川との分岐地点であることから対象橋梁として整理した。

5.2 調査概要

本調査では、橋脚の洗掘被害が懸念される橋梁の洗掘状況を調査する。調査のフローを図 5.1 に示す。

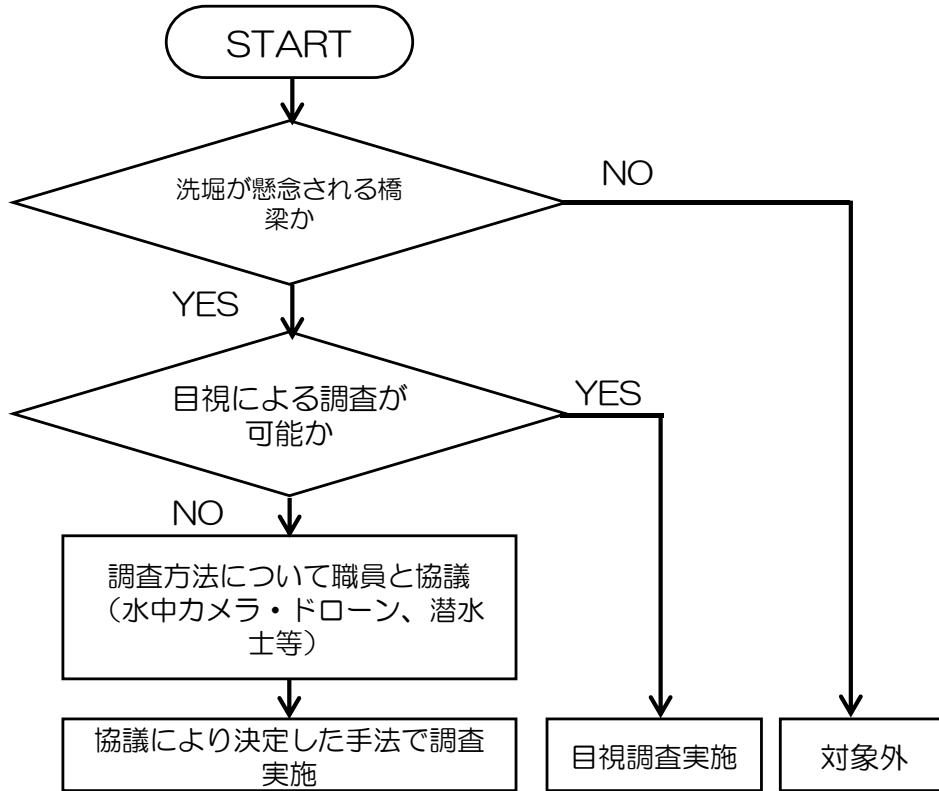


図 5.1 洗掘詳細調査のフロー

5.3 潜水士による洗掘詳細調査

1) 調査方法

潜水士により目視調査を行う（図 5.2）。水深が浅く、船舶が航行できない場合には、陸上からアクセスする（図 5.3）。

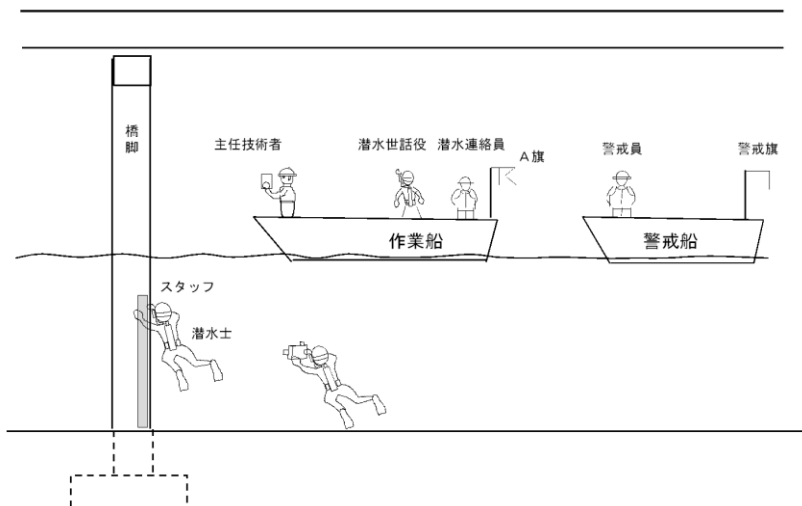


図 5.2 潜水士による目視調査（船舶使用）

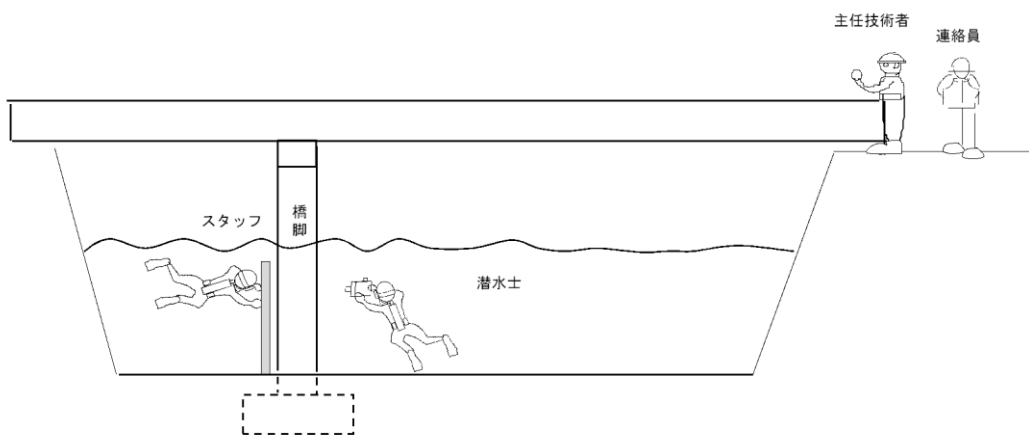


図 5.3 潜水士による目視調査（陸上アクセス）

2) 留意点

目視調査は、前述の調査範囲の全周について行い、洗掘損傷の有無・箇所・形状寸法が把握できるように目視調査および写真撮影を行う。また、以下の事項に留意する。

- 橋梁軸線がずれていないか
- 橋台・橋脚躯体の傾斜、沈下、ひびわれ等の変状がないか
- 橋台、橋脚周辺の河床低下はないか
- フーチング上面又は下面が露出していないか
- 洗掘深さは進行していないか
- 対策工に変状はないか

等

5.4 損傷区分

潜水土による目視調査に基づき、洗掘について損傷区分（表 5.2）を評価する。

表 5.2 洗掘の損傷区分

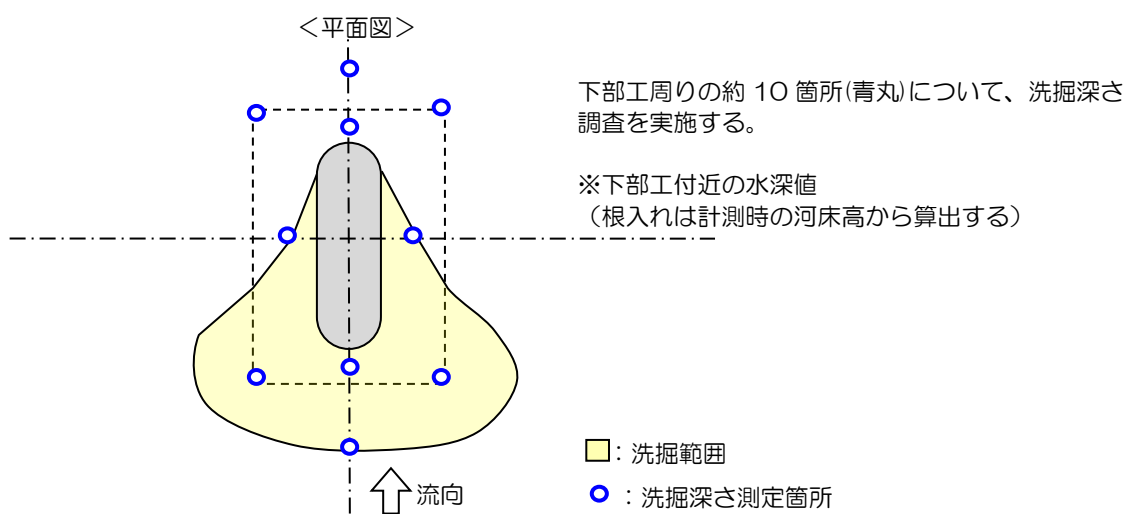
区分	一般的状況
a	損傷なし
b	—
c	基礎周辺の底質が流水のため洗掘されている
d	—
e	基礎周辺の底質が流水のため著しく洗掘されている

5.5 洗掘深さ測定箇所

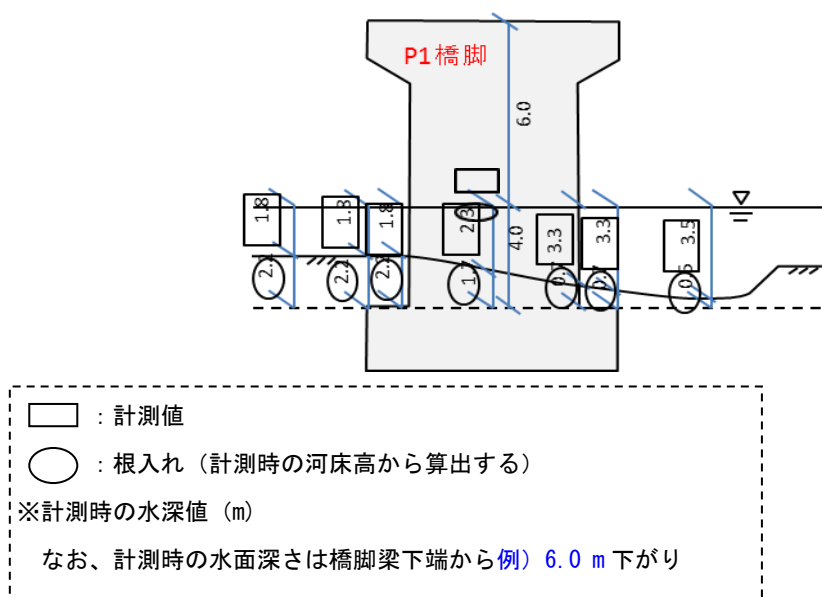
国土交通省では、スタッフによる洗掘深さ計測を標準として、詳細な調査が必要な場合に潜水土により目視調査を行っている。

大阪市においては、前述のように流域面積等の条件から調査橋梁が31橋としたが、これ以外にも目視点検で洗掘が懸念される橋梁が確認された場合は調査を実施する必要がある。潜水土により目視調査およびスタッフを用いた洗掘詳細調査を実施する場合は以下の通り、洗掘深さを測定する。

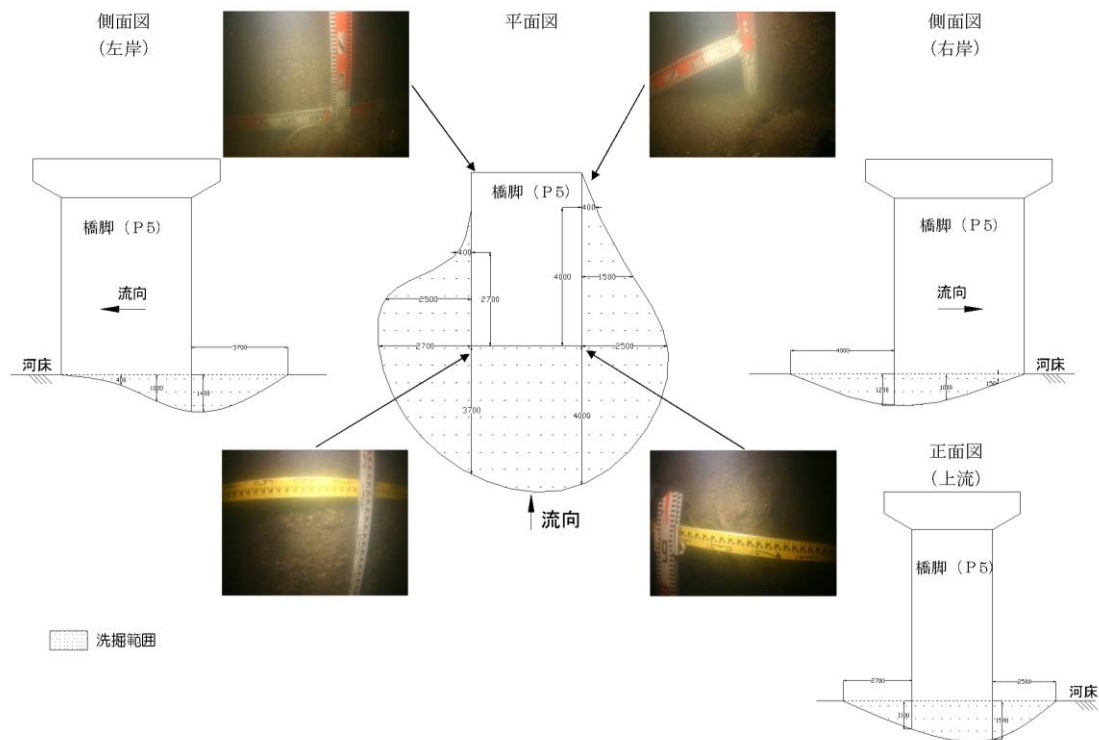
潜水土による調査では、橋脚の周囲の河床を全て目視し、洗掘深さをスタッフにより計測し、図化する。



<正面図>



三国橋での試行調査例を以下に示す。



5.6 必要機材

洗掘詳細調査は、水中という特殊条件下での調査である。調査の品質を確保するために必要な機材を表 5.3 に示す。

表 5.3 洗掘詳細調査に必要な機材

機材	概要
潜水用機材	ポンペ、ダイビングスーツ、フィン等
水中用有線電話	潜水土と作業船上の主任技術者等との連絡に必要
作業船	立会者、主任技術者、潜水土 3 名など 10 名程度の乗員、機材を置ける広さが必要
水中カメラ	河川が濁っている場合には部材に非常に近接して撮影する必要があるため、ある程度の範囲が撮影できるように超広角レンズ、ライトを装着した水中カメラが必要
スタッフ	洗掘深さ計測に必要

第2章 損傷確認時調査

6 鋼床版疲労調査

6.1 調査概要

鋼床版の詳細調査では、詳細点検で塗膜割れやき裂が確認された箇所に対して磁粉探傷試験（JIS Z 2320）を実施する。また、必要に応じて応力頻度測定も実施する。鋼部材の主な非破壊検査方法の種類と特徴を7.1の表7.1に示し、鋼床版疲労き裂の主な発生箇所を図6.1に示す²⁾。

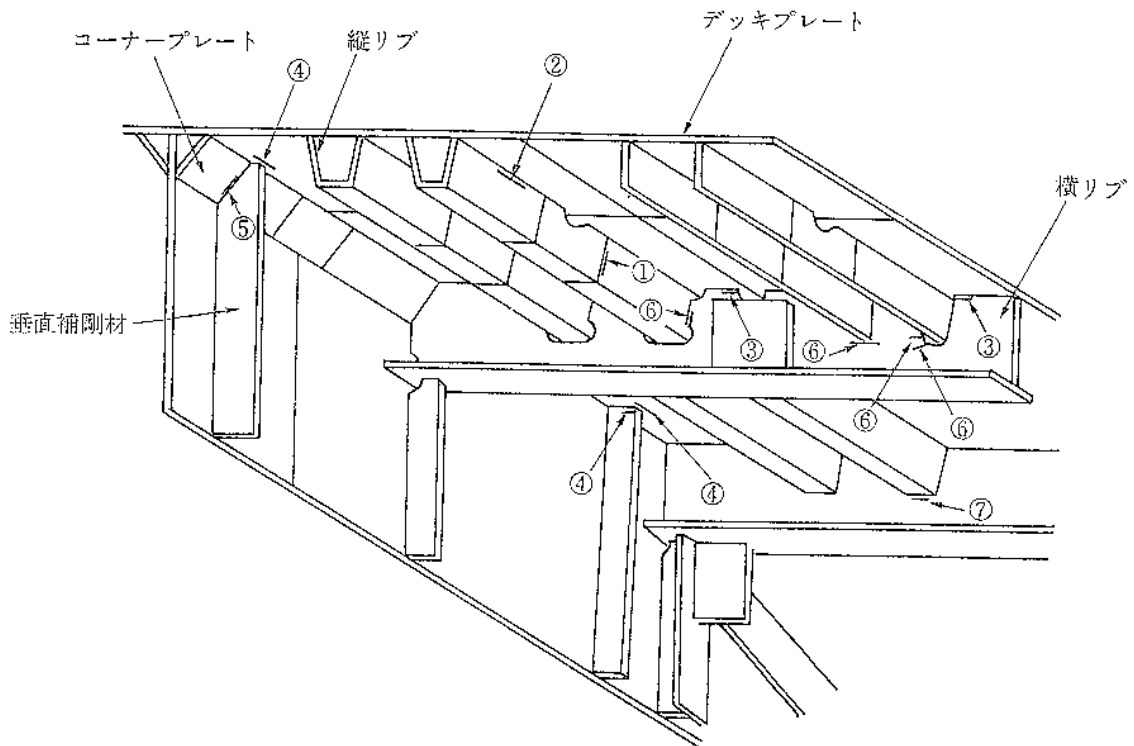
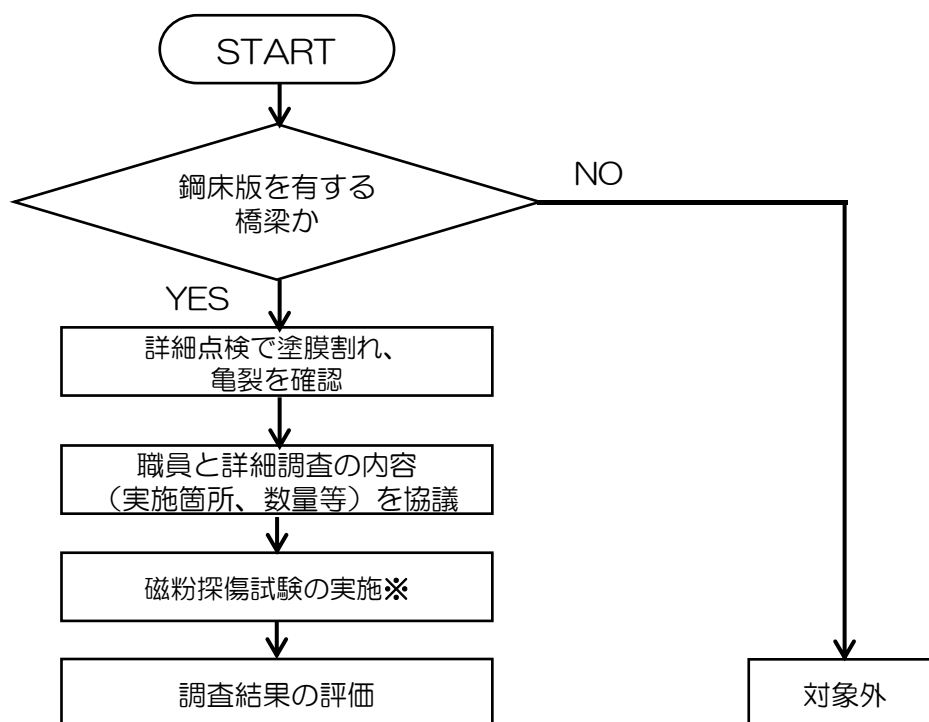


図 6.1 鋼床版疲労き裂の主な発生箇所²⁾

磁粉探傷試験は試験箇所表面および比較的浅い位置の損傷を検出することが可能であり、その検出能力は渦流探傷試験と比較して高い。また、損傷については形状や大きさを視認できるため、確認精度が高いといった特徴を有する。しかし、試験の感度や精度を評価し、検査結果の信頼性を高めるためにも事前に対比試験片を用いて欠陥の判定精度を確認しておくことが重要である³⁾。



※：必要に応じて、一次スクリーニングとして渦流探傷試験による調査を実施してもよい。ただし、渦流探傷試験で疲労亀裂が認められた場合は、損傷の程度・範囲を確認するための磁粉探傷試験を実施すること。

図 6.2 鋼床版疲労調査のフロー

詳細調査の流れ：床版の種類と構造を確認し、鋼床版であれば対象、なければ対象外とする。目視によって疲労が懸念される損傷（塗膜割れ、き裂）の有無を確認し、損傷を確認した場合は詳細調査の内容（実施箇所、数量等）について職員と協議する。協議の結果、調査が必要な疲労が懸念される損傷に対して磁粉探傷試験を実施し、き裂の有無・程度を確認する。

6.2 試験方法および評価方法

鋼床版の疲労調査の方法および評価方法を以下に示す。

1) 使用器具および材料

- ① 探傷器：形式、試験周波数、指示の表示方法は、試験の目的に合った性能をもつものとする。
- ② 記録装置：記録装置は、探傷器から得られたデジタル又はアナログ出力を記録するもので、目的に適した方式、性能をもつものとする。
- ③ 対比試験片：対比試験片は試験装置の整合性能の確認、基準感度を含む試験条件の設定及び確認のために用いる。

2) 測定方法

- ① 前処理：試験箇所表面に付着している汚れ、油、塗膜等は検出感度に影響するため、除去する。また、焼損を防ぎ、通電をよくするために、試験箇所の電極の接触部分をきれいに研磨する。
- ② 磁化：磁束が欠陥になるべく多くさえぎられる方向かつ、試験面になるべく平行になるよう磁化方法を選定し、表面だけでなくより深い所までの磁束密度が飽和磁束密度に近くなるように電流の種類や電流値、探傷ピッチ等を選定する。
- ③ 磁粉の適用：磁粉を欠陥部以外の箇所になるべく付着させず、欠陥部になるべく多く吸着させ、コントラストの高い欠陥磁粉模様が形成されるように適用する。
- ④ 観察：磁粉模様が形成された後に磁粉模様の観察を行う。確認された磁粉模様が欠陥によるものであると判定しにくいときは、脱磁を行い必要に応じて表面状態を変更して再試験を行う。
- ⑤ 後処理：試験終了後、必要に応じて脱磁、磁粉除去、防錆処理等を行う。

3) 評価

磁粉模様の有無及びその位置、磁粉模様およびその分類等を記録・確認する。き裂であれば寸法等を記録する。

4) 修復

塗膜を除去した場合は、部分補修（塗り替え）を実施する。

7 鋼製橋脚隅角部疲労調査

7.1 調査概要

鋼製橋脚隅角部疲労の詳細調査では、磁粉探傷試験（JIS Z 2320）を実施する。

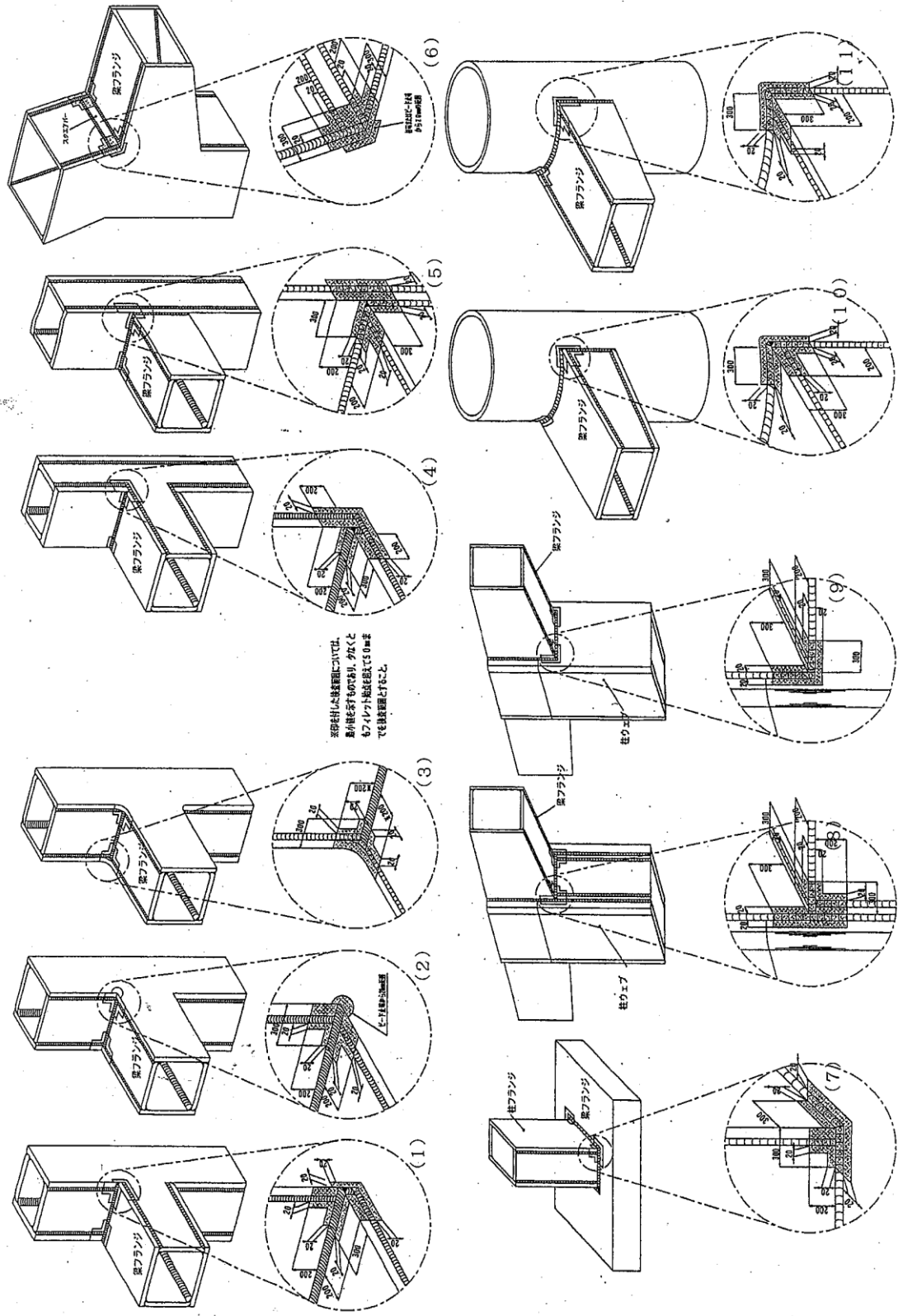
鋼部材の主な非破壊検査方法の種類と特徴を表 7.1 に示し、鋼製橋脚隅角部疲労調査の主な調査箇所を図 7.1 に示す。⁴⁾

強磁性体を磁化した場合、表面および表面直下の比較的浅い部分にきず等があると、その部分から磁束が漏洩し不連続部との境界に磁極が生じる。この現象を利用して、亀裂の形状や寸法の確認等ができる非破壊試験を磁粉探傷試験という。

鋼製橋脚隅角部疲労調査は初期の施工不良を確認することが目的として実施していたが、疲労は今後も発生する可能性のある損傷である。したがって、鋼製橋脚隅角部において詳細点検時に塗膜割れや亀裂等を確認した場合に必要な応じて調査を実施する。

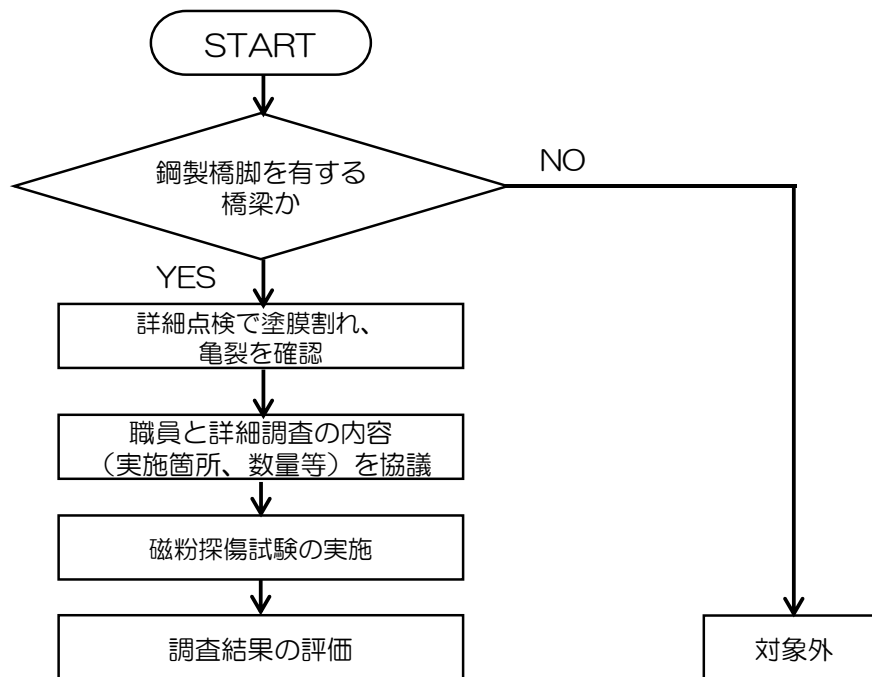
表 7.1 鋼部材の主な非破壊検査方法の種類と特徴³⁾

種 類	概 要	長 所	短 所
磁粉探傷試験 JIS G 0565	きれつ部分に磁粉を吹き付け電磁石や永久磁石により磁界を発生させ、きれつ部分に滞留した磁粉（一般に蛍光磁粉を用いる）に紫外線を照射して損傷部として検出する。	①表面きれつの形状および寸法の測定精度に優れる。 ②微細なきれつの長さを測定するのに有効である。	①内部欠陥は検出できない。 ②きれつの検出には塗膜を除去する必要がある。 ③表面の凸凹が著しい場合には結果の判定を誤りやすい（アンダーカット、ビート波目）。
渦流探傷試験 JIS G 0568	交流を流したコイルに発生する渦電流の変化を電気的信号として探知し信号の振幅および位相から損傷部の程度を把握する方法。	①表面に現れたきれつの検出に適している。 ②塗膜上からの検査が可能。 ③検査時間が短い。	①内部欠陥は検出できない。 ②正確な寸法測定は困難。



添付資料の検査範囲については、
 最小検査寸法を必ず、かつ、
 67mm以上の検査範囲で0.5mm
 での検査範囲とする。

図 7.1 主な調査箇所



※：必要に応じて、一次スクリーニングとして渦流探傷試験による調査を実施してもよい。ただし、渦流探傷試験で疲労亀裂が認められた場合は、損傷の程度・範囲を確認するための磁粉探傷試験を実施すること。

図 7.2 鋼製橋脚隅角部疲労調査のフロー

詳細調査の流れ：橋脚の種類を判定し、鋼製橋脚であれば対象、鋼製橋脚でなければ対象外とする。目視によって疲労が懸念される損傷（塗膜割れ、き裂）の有無を確認し、損傷を確認した場合は詳細調査の内容（実施箇所、数量等）について職員と協議する。協議の結果、調査が必要な疲労が懸念される損傷に対して、磁粉探傷試験を実施し、き裂の有無・程度を確認する。

7.2 試験方法および評価方法

磁粉探傷試験は試験箇所表面および比較的浅い位置の損傷を検出することが可能であり、その検出能力は渦流探傷試験と比較して高い。また、損傷については形状や大きさを視認できるため、確認精度が高いといった特徴を有する。しかし、試験の感度や精度を評価し、検査結果の信頼性を高めるためにも事前に対比試験片を用いて欠陥の判定精度を確認しておくことが重要である³⁾。

1) 使用器具および材料

- ① 探傷器：形式、試験周波数、指示の表示方法は、試験の目的に合った性能をもつものとする。
- ② 記録装置：記録装置は、探傷器から得られたデジタル又はアナログ出力を記録するので、目的に適した方式、性能をもつものとする。
- ③ 対比試験片：対比試験片は試験装置の整合性能の確認、基準感度を含む試験条件の設定及び確認のために用いる。

2) 測定方法

- ① 前処理：試験箇所表面に付着している汚れ、油、塗膜等は検出感度に影響するため、除去する。また、焼損を防ぎ、通電をよくするために、試験箇所の電極の接触部分をきれいに研磨する。
- ② 磁化：磁束が欠陥になるべく多くさえぎられる方向かつ、試験面になるべく平行になるよう磁化方法を選定し、表面だけでなくより深い所までの磁束密度が飽和磁束密度に近くなるように電流の種類や電流値、探傷ピッチ等を選定する。
- ③ 磁粉の適用：磁粉を欠陥部以外の箇所になるべく付着させず、欠陥部になるべく多く吸着させ、コントラストの高い欠陥磁粉模様が形成されるように適用する。
- ④ 観察：磁粉模様が形成された後に磁粉模様の観察を行う。確認された磁粉模様が欠陥によるものであると判定しにくいときは、脱磁を行い必要に応じて表面状態を変更して再試験を行う。
- ⑤ 後処理：試験終了後、必要に応じて脱磁、磁粉除去、防錆処理等を行う。

3) 評価

磁粉模様の有無及びその位置、磁粉模様およびその分類等を記録・確認する。亀裂であれば寸法等を記録する。

8 金属製高欄の超音波調査

8.1 調査概要

本調査は、埋込型アルミニウム製高欄を対象に、高欄及び路面境界部や目視不可能な地覆内埋設部の腐食・劣化状況及び位置を調査する非破壊調査の一種で、掘削による調査前のスクリーニングの目的で実施するものである。

調査原理は超音波発信子を対象部位に密着させ、超音波を発信し、受信機に戻る時間と超音波強度を測定し、対象の形状を観測し傷や腐食の有無及び位置を推測する。

調査には垂直波（P波）と表面波（SH波）を利用する。

損傷位置＜観測点からの距離 L(m)＞については、物質を伝わる超音波速度 V(m/sec) が物質の弾性係数と密度で決定されるため、発信から損傷部にて反射し受信するまでの往復時間 T (sec) を測定することで

$$L(m) = V(m/sec) \times T(sec) \div 2$$

より求められる。下図に調査原理イメージと SH 波のイメージを示す。

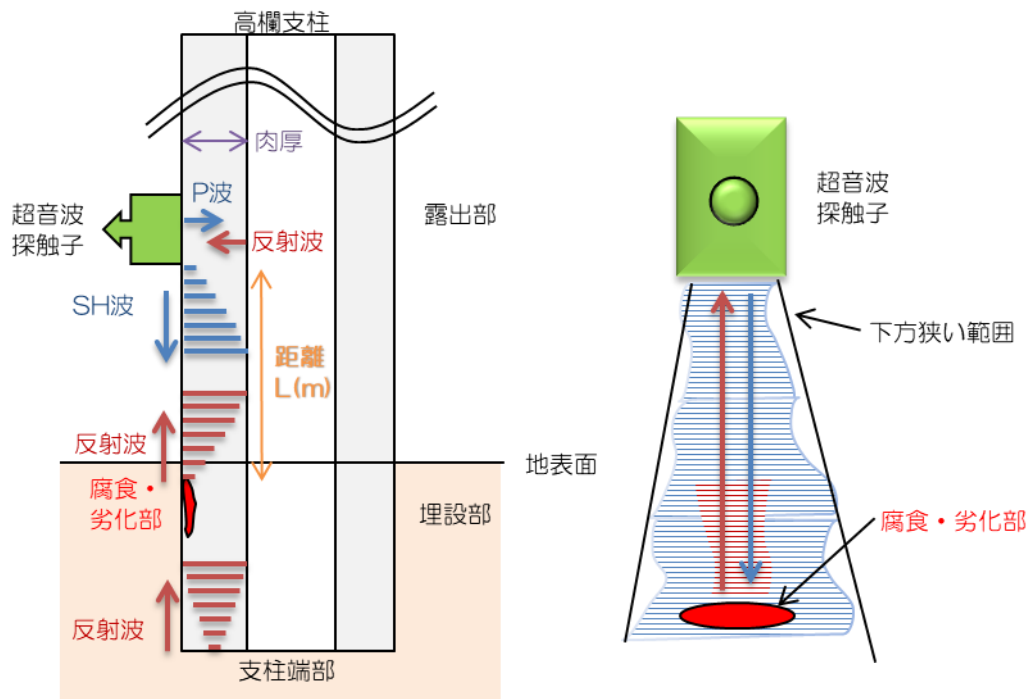


図 8.1 左：調査原理イメージ 右：SH 波のイメージ

観測点から損傷位置までの距離 L(m) を基に、例として地表よりの距離に換算することで損傷位置が算出される。

健全部の肉厚は垂直波（P波）の往復時間 T (sec) で求められ、減肉率などは反射した波形の強さと波形と測定器にて用意された評価曲線等を利用して決定される。

なお、超音波発信子の表面波分散角が比較的狭いため、測定対象により複数箇所の測定が必要となる。

また、ガードレールや標識等の他金属製支柱にも適用可能である。
調査フローの例を以下に挙げる。

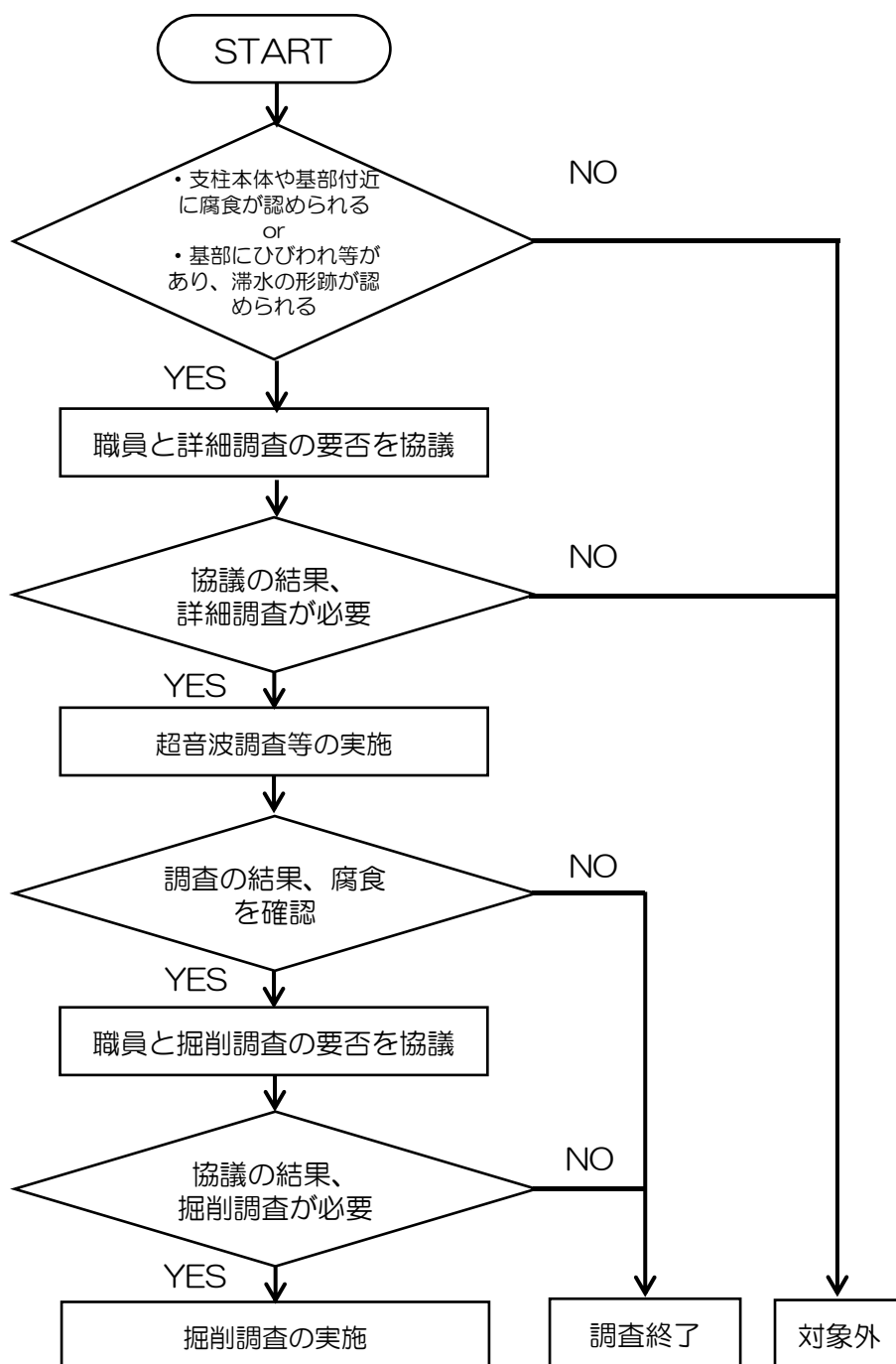


図 8.2 金属製高欄の超音波調査のフロー

詳細調査の流れ：高欄等の金属製支柱を対象とする。金属製支柱や基部付近に腐食やひびわれ等を確認した場合は職員との協議により詳細調査の要否を決定する。協議の結果、詳細調査が必要な場合は超音波調査を実施し、損傷の有無を確認する。調査の結果、損傷が確認された場合、掘削調査の必要性について協議し、必要に応じて掘削調査を実施する。

8.2 試験方法および評価方法

調査方法は調査対象の金属高欄に対し調査位置を決定し、超音波センサーを取り付け、超音波の反射時間及び波形を観測し、記録する。調査対象高欄は目視により損傷や状態なども観察し、観測結果と共に腐食・亀裂状況や位置、減肉率などを決定する。なお、打音調査も併用する場合がある。

評価方法としては表 8.1 を基に健全部の肉厚、損傷位置や腐食の程度などを目視観察結果と共に観測箇所毎にまとめる。

表 8.1 超音波調査評価基準

損傷区分	評価基準
A	・変状なし
B	—
C	・微細な腐食が認められる
D	—
E	・腐食や亀裂が認められる

なお、E 判定の損傷が確認された場合は、監督職員に現状の報告を行い、掘削による確認調査等の実施が必要かどうかを打ち合わせすること。

参考測定機器

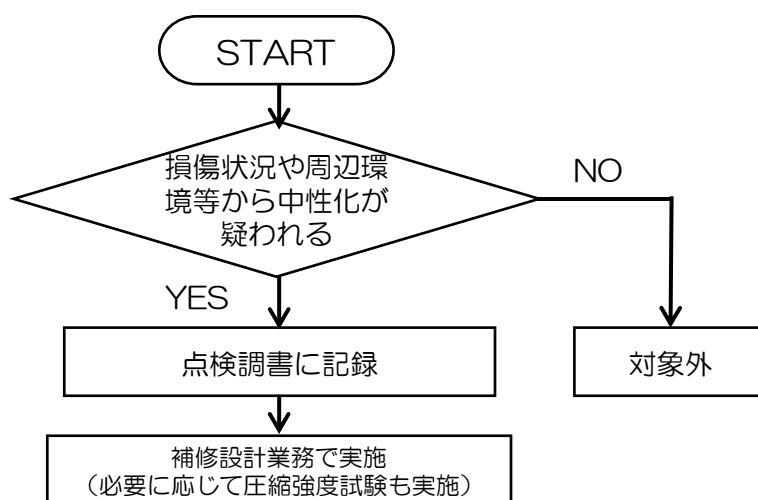
鋼製埋設支柱路面境界部腐食調査装置 NETIS（新技術）登録 No. KT-130057-V
鋼管[®]-埋設部腐食判定・診断システム

また、新たな調査方法などが確立された場合は、監督職員との協議の上実施を行う。

第 3 章 損傷原因特定調査

9 コンクリートの健全性調査

コンクリートの健全性を調査するため、中性化深さ調査を実施する。また、中性化深さが過大な橋梁は、コンクリートの品質の低下が懸念されるため、圧縮強度調査を実施する。ただし、特定事象の有無を確認するために必ずしも実施する必要はなく、損傷原因を特定することを目的として、補修設計業務において実施することを基本とする。



※：橋梁の状態をより詳細に把握したうえで健全性を診断するために必要であれば、点検業務で実施してもよい

図 9.1 コンクリートの健全性調査のフロー

詳細調査の流れ：中性化深さ調査：主桁、RC床版、橋脚、橋台を対象としたコンクリート部材において、中性化が疑われる場合は職員との協議により詳細調査の要否を決定する。協議の結果、詳細調査が必要な場合は中性化深さ調査を実施し、調査箇所は、それぞれ1箇所とする。

圧縮強度調査：中性化深さ調査において、コンクリートの品質低下が懸念されるコンクリートに対し、職員との協議により圧縮強度試験の要否を決定する。調査要否は、上部工、下部工毎に中性化試験結果をふまえて判断する。

9.1 中性化深さ調査

9.1.1 調査概要

中性化深さの詳細調査では、ドリル法による中性化深さ試験⁵⁾を実施する。

コンクリートの中性化深さの測定方法にはコア法やはつり法等があるが、詳細調査では構造物に与える影響が少ない簡易なドリル法によって測定する。

試験の実施者は、紅色についての色覚が正常であり、コンクリート構造物およびその劣化に関する知識を十分に有している必要がある。

9.1.2 試験方法および評価方法

(1) 使用器具および材料

- ① 電動ドリル：携帯型振動式ドリルとし、JIS C 9605 に規定するもの又はこれに準ずるもの。
- ② ドリルの刃：コンクリート削孔専用で、直径 10 mmのもの。
- ③ ノギス：JIS B 7507 に規定する M 形ノギスで、最大測定長が 150 mmまたは 200 mmのもの。
- ④ ろ紙：JIS P 3801 に規定するろ紙で、直径が 185 mm程度のももの。
- ⑤ フェノールフタレイン
：JIS K 8799 に規定するフェノールフタレイン。
- ⑥ エタノール：JIS K 8102 に規定する 1 級。
- ⑦ 水：蒸留水又はイオン交換水。
- ⑧ 試験液：JIS K 8001 に従って調製した 1%フェノールフタレインエタノール溶液。エタノール(95)(JIS K 8102)を 90ml はかり取り、その中にフェノールフタレインを 1.0g 加え、更に、100ml になるまで水を加えて調製する。

参考：試験液の調製方法は、JIS K 8001 に従うことを原則とするが、JIS K 8101 に規定するエタノール(99.5)を使用し、以下の方法により調整しても良い。

エタノール(99.5)(JIS K 8101)を 85ml はかり取り、その中にフェノールフタレインを 1.0g 加え、更に、100ml になるまで水を加えて調製する。

(2)測定方法

- ① 試験箇所にモルタルあるいはタイルが貼ってある場合は予めそれらを剥がし、コンクリート面を露出させておく（備考1）。
- ② 試験紙は、ろ紙に噴霧器等を用いて試験液（1%フェノールフタレインエタノール溶液）を噴霧し吸収させる。
- ③ 試験操作は2名の技術者により行う。一人の技術者は、電動ドリルをコンクリート壁面・柱・梁などの側面に直角に保持し、ゆっくり削孔する。他の技術者は、削孔開始前に、試験紙を削孔粉が落下する位置に保持し、落下した削孔粉が試験紙の一部分に集積しないように試験紙をゆっくり回転させる。落下した削孔粉が試験紙に触れて紅色に変色したとき、直ちに削孔を停止する（備考2）。
- ④ ドリルの刃を孔から抜き取り、ノギスのデプスバーと本尺の端部を用いて孔の深さをmm単位で小数点以下一桁まで測定し、中性化深さとする。
- ⑤ 試験する箇所は依頼者と協議して定めるが、特定箇所の中性化深さを求める場合は、相互に3cm程度離れた削孔5箇所について試験を行い、最小値と最大値を除く3箇所の平均値を中性化深さとする。

備考1 モルタル又はタイル貼り仕上げで、下地コンクリートの中性化深さが明確に判定できる場合は、予め仕上げを剥離することなく試験を実施してもよい。

備考2 ③の作業が技術者1名で行えるような器具を用いる場合は、技術者1名で試験を実施してよい。

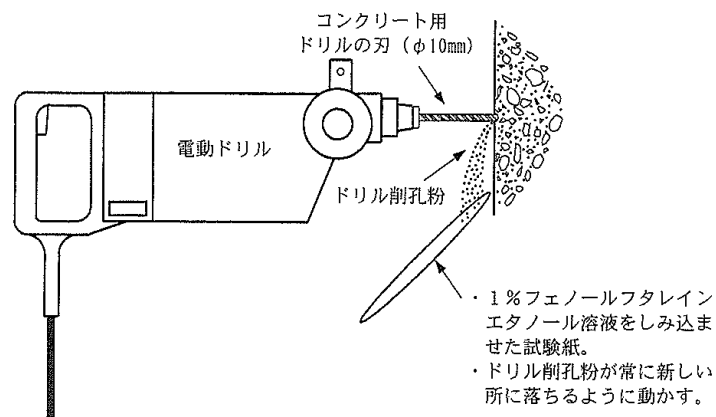


図 9.2 ドリル削孔粉を用いた中性化深さ試験

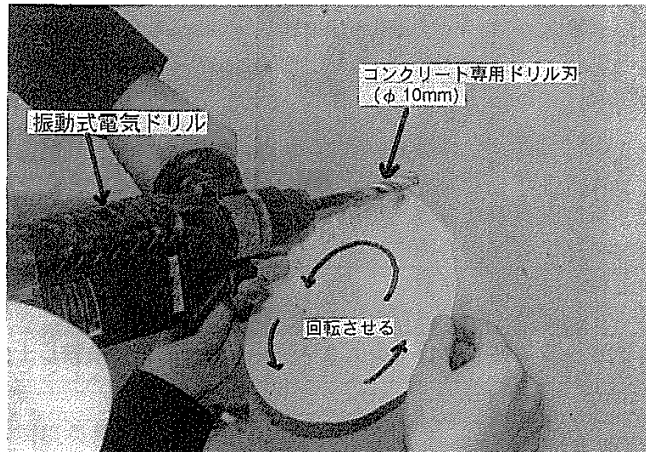


図 9.3 ドリルによる削孔粉とろ紙の動かし方

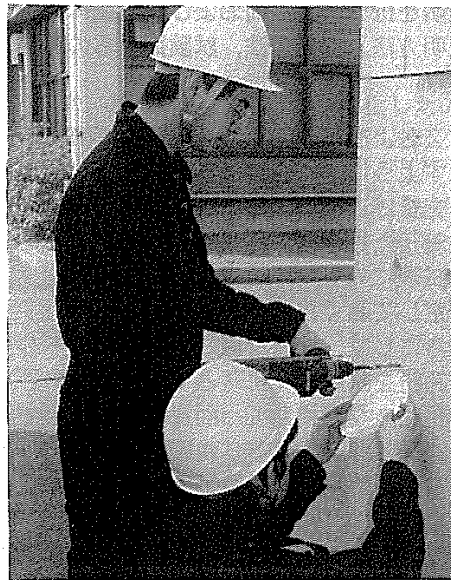


図 9.4 試験技術者の作業姿勢

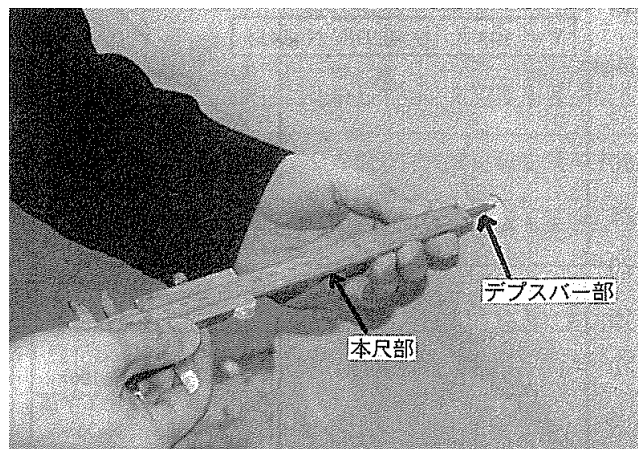


図 9.5 削孔深さの測定状況

(3) 評価

特定個所の中性化深さを求める場合は、削孔 3 個の平均値を算出し、小数点以下一桁に丸めて平均中性化深さとする。

削孔 3 個の値は、それらの平均値からの偏差が±30%以内でなければならない。削孔 3 個の値のうち、いずれかの値の偏差が±30%を越える場合は、粗骨材の影響が考えられるため、新たに 1 孔を削孔し、削孔 4 個の平均値を求めて平均中性化深さとする。また、新たに削孔した 4 個目の値の偏差が、最初の 3 個の平均値に対して±30%を越える場合は、更に 1 孔を削孔する。この場合は、削孔 5 個の平均値を平均中性化深さとする。

備考 3 平均値からの偏差(%) = [(個々の値 - 平均値) / 平均値] × 100

コンクリートの品質の低下が懸念される橋梁を抽出にあたっては、コンクリート最低設計基準強度の 18N/mm² (道路橋示方書 I 共通編) を想定し、これを下回るコンクリートは、コンクリートの品質低下が懸念されると判断する。

セメント水比とコンクリートの圧縮強度は、直線関係にあることから、 $f_c=18\text{N/mm}^2$ となる時の水セメント比を実験データより導くと、水セメント比が 83%の時に、最低設計基準強度を下回る計算となる。(付録-10_点検マニュアル Q&A 集 参照)

そこで、水セメント比が 83%を下回ると考えられる橋梁を抽出し、コンクリートの圧縮強度を確認することで健全性の評価を行うこととする。

具体的には、経過年数に対する中性化深さが、水セメント比 83%のコンクリートの中性化進行予測値を上回る橋梁を抽出する。(図 9.6 黄色範囲部)

水セメント比83%のコンクリートの中性化進行予測

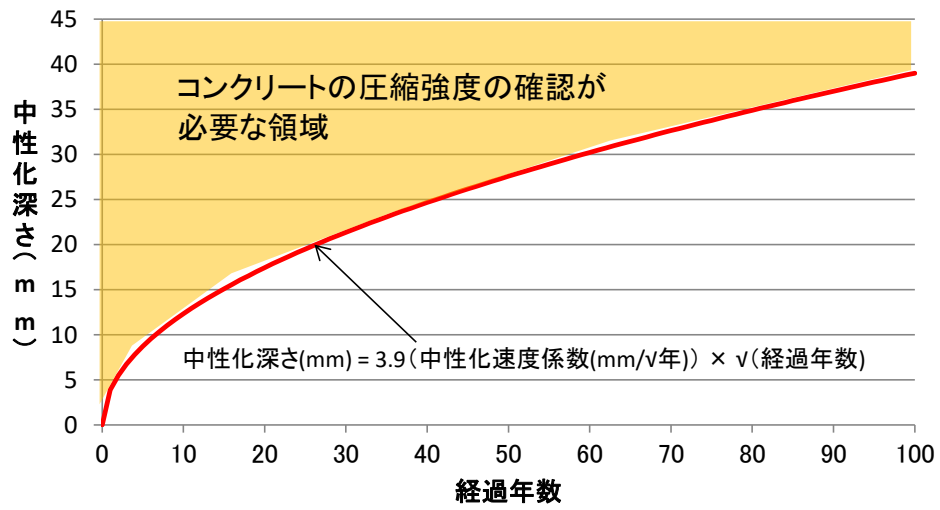


図 9.6 水セメント比 83%のコンクリートの中性化進行予測

(4) 修復

削孔した孔は、試験終了後にセメントペースト、モルタルまたはコーキング材を充填して修復する。

9.2 圧縮強度試験

9.2.1 調査概要

上部工においてはシュミットハンマーによる反発硬度より圧縮強度を、下部工においてはコア採取により圧縮強度室内試験を実施し、圧縮強度を調査する。

9.2.2 シュミットハンマーによる反発硬度試験方法および評価方法

JSCE-G 504:2013「硬化コンクリートのテストハンマー強度の試験方法」に基づき、シュミットハンマーでコンクリート表面を打撃して反発硬度を測定し、その反発硬度からコンクリート圧縮強度を推定する。

1箇所での測定は、互いに3cm以上の間隔を持った20点以上について測定し、全測定値の算術平均をその箇所の測定反発度(R)とする。この測定反発硬度に打撃角度補正を行った値を用いて、コンクリートの圧縮強度を推定する。

調査箇所は、「9.1.2 試験方法および評価方法 (3)評価」に示される、コンクリートの品質低下が懸念される部位で実施する。

シュミットハンマーによるコンクリートの圧縮強度は、シュミットハンマー計算方法のフローチャートによって、日本材料学会の提案式、傾斜角に対する補正値を用いて算出する。

表 9.1 傾斜角による補正値

反撥度 R	傾斜角に対する補正値 (ΔR)			
	+90°	+45°	-45°	-90°
10	—	—	+2.4	+3.2
20	-5.4	-3.5	+2.5	+3.4
30	-4.7	-3.1	+2.3	+3.1
40	-3.9	-2.6	+2.0	+2.7
50	-3.1	-2.1	+1.5	+2.2
60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7

表 9.2 材令係数による補正値

材令 (日)	28	100	300	500	1000	3000
α	1.0	0.78	0.70	0.67	0.65	0.63

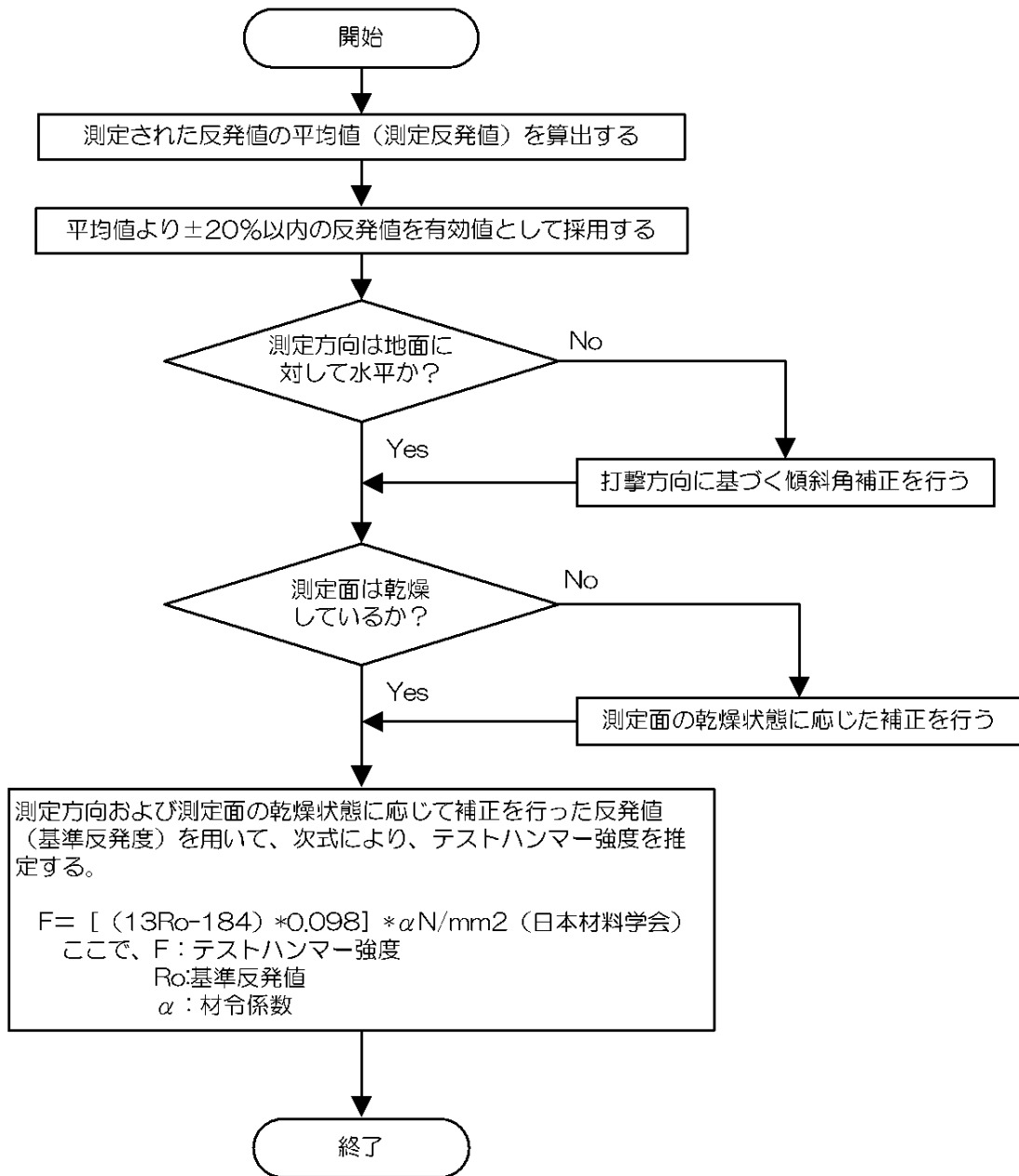


図 9.7 シュミットハンマーによる反発硬度試験フロー

9.2.3 コアの圧縮試験による圧縮強度調査方法および評価方法

圧縮強度・静弾性係数の調査手法は、JIS A 1108「コンクリートの圧縮試験方法」および JIS A 1149「コンクリートの静弾性係数試験方法」により行うことを基本とする。

試料の採取箇所は、コンクリートの表面にひび割れがないところから採取する。また、かぶりより内側の部位を整形して試料とする。（これは、一般にかぶり部はひび割れが顕著なため試料を整形することが難しいということと、部材深部の方は表面付近より強度が低い傾向があるという指摘があるためである。）

試料の寸法については、JIS A 1107 に示される規定に従う。以下に要点を示す。

- ・コア供試体の寸法は、一般に粗骨材寸法の 3 倍未満としてはならない。
- ・コア供試体の高さとの比は、1.90~2.10 とし、どのような場合にも 1.0 以下としてはならない。
- ・コア供試体の高さが直径の 2 倍より小さい場合には、試験で得られた圧縮強度に補正係数を乗じて直径の 2 倍の高さをもつ供試体の強度に換算する。

表 9.3 供試体の寸法による補正係数（JISA1107）

高さとの比 h/d	補正係数	備考
2.00	1.00	h/d がこの表に示す値の中間にある場合、補正係数は補間して求める。
1.75	0.98	
1.50	0.96	
1.25	0.93	
1.00	0.87	

コア供試体の直径は 100mm が理想であるが、コア採取部の配筋状況および粗骨材の最大寸法が概ね 25mm 程度であることを勘案し、75mm(25mm の 3 倍)以上とする。

供試体の採取数量は、1 橋梁あたり 2 箇所とし、圧縮強度が低い場合や 2 箇所で大きくばらつきがみられた場合には、別途数量を増やすことが望ましい。

ただし、過密配筋により直径 75mm 以上のコア供試体を採取できない場合は、必要に応じて小径コアによる圧縮強度試験^{6) 7)}の実施について職員と協議する。なお、小径コアによる静弾性係数試験は、測定値のばらつきが大きく、精度技術が確立されていない。

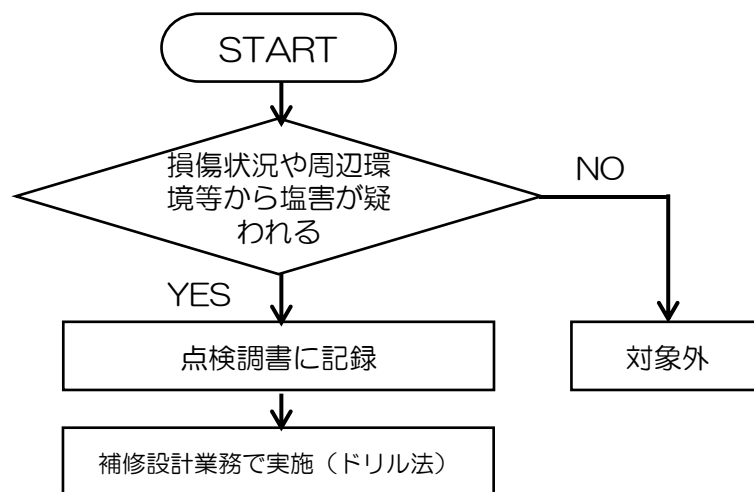
なお、削孔した孔は、試験終了後にセメントモルタル、ポリマーセメントモルタルを充填して修復する。

10 塩害調査

10.1 調査概要

塩害の詳細調査では、ドリル法による含有塩分量調査を（JIS A 1154）実施する。コンクリートの含有塩分量の調査は、JCI-SC8⁸⁾ によってコンクリートコアを採取し、スライスして粉碎したものを JIS A 1154 の電位差滴定法によって含有塩分量を測定するのが一般的であるが、この方法では試料の採取位置や数量に制約を受けることやコアのスライスや粉碎に費用を要すること等から、試料の採取にはコンクリートハンマードリルによる削孔粉を用いる方法（ドリル法⁹⁾）を採用する。

ただし、特定事象の有無を確認するために必ずしも実施する必要はない。損傷原因や進行性を特定することを目的として実施される調査であり、補修設計業務において実施する。



※：橋梁の状態をより詳細に把握したうえで健全性を診断するために必要であれば、点検業務で実施してもよい

図 10.1 塩害調査のフロー

詳細調査の流れ：詳細点検において、塩害が疑われる損傷を発見した場合、職員と詳細調査の要否を協議し、必要に応じて実施する。詳細調査は含有塩分量試験（ドリル法）を実施し、塩害の評価を行う。

10.2 試験方法および評価方法

ドリル法による含有塩分量調査は、以下の方法により実施する。

1) 試料採取箇所

塩害調査では、かぶり比較的大きく鉄筋の間隔も広い下部構造（橋台または橋脚）を対象として、塩化物イオン試験を行う。*

調査箇所数は、1橋梁あたり1箇所を原則とし、橋梁の規模が大きい場合には、5径間あたり1箇所程度を目安に調査箇所を増やす。調査箇所数を複数とする場合には、周辺環境の違いなどを考慮して、なるべく離れた箇所を選定する。

橋台または橋脚の中での試料採取位置は、主な塩分の供給原因・構造物の形状・風向き・上部構造との位置関係などを総合的に考慮して、外部からの塩分が付着しやすい位置とする。また、今後も調査位置近傍で定期的に試料採取を行うことを考慮し、作業の容易さや美観に与える影響なども検討したうえで、試料採取位置を決定する。

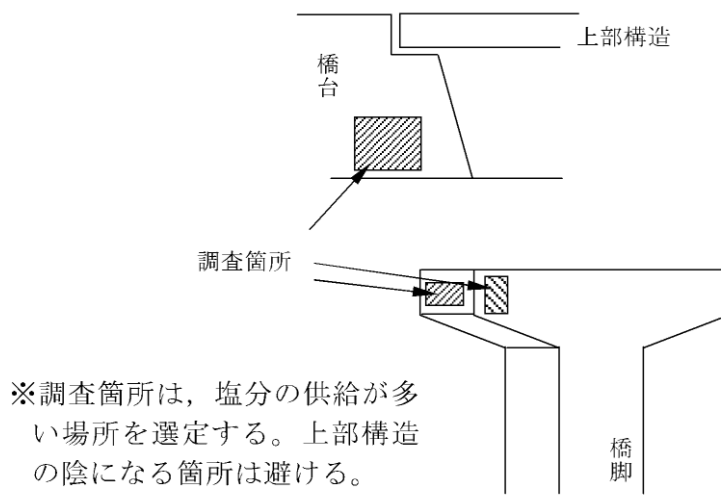


図 10.2 試料の採取箇所の例

※ 構造物の健全度を詳細に調査するという目的からは、塩分が比較的付着しやすく、かつかぶりも小さくなりがちな上部構造の桁下面などで試料採取を行って、塩化物イオン量の試験を行うのが理想的である。しかし、このような箇所には、鉄筋や PC 鋼材などが密に配置されているので、調査時の試料採取のために鉄筋等を傷つけてしまうおそれがあるため、下部構造を対象とした。

2) 使用器具および材料

- ① コンクリートハンマードリル：携帯型振動式ドリルとし、JIS C 9605 に規定するもの又はこれに準ずるもの。
- ② ドリルの刃：コンクリート削孔専用で、直径 20 mmのもの。
- ③ 分析装置：JIS A 1154 に準じて硬化コンクリート中の塩化物イオン濃度を測定できるもの。

3) 測定方法

- ① RC レーダー等によって鉄筋の位置とかぶり厚さを測定する。
- ② 試料の採取位置を、鉄筋に当たらないように水平方向約 5cm 間隔で 3 点決定する。
- ③ 4 点の試料の採取位置をコンクリートハンマードリルによって削孔し、深さ方向に 0~30mm (表面部)、30~60mm (中間部)、60~90mm (深部)、90~120mm (深部) の試料を採取する。
- ④ 試料の採取位置の近傍において中性化深さを測定する (中性化深さ調査 参考)。
- ⑤ 収集した試料の含有塩分量を JIS A 1154 に準じて分析する。

4) 評価

鉄筋位置の塩化物イオン濃度を記録する。鉄筋位置の塩化物イオン濃度が発錆限界濃度 ($1.2\text{kg}/\text{m}^3$) を超える場合は、要対策とする。

5) 修復

削孔した孔は、試験終了後にセメントペースト、モルタルまたはコーキング材を充填して修復する。

1.1 アルカリ骨材反応調査

1.1.1 調査概要

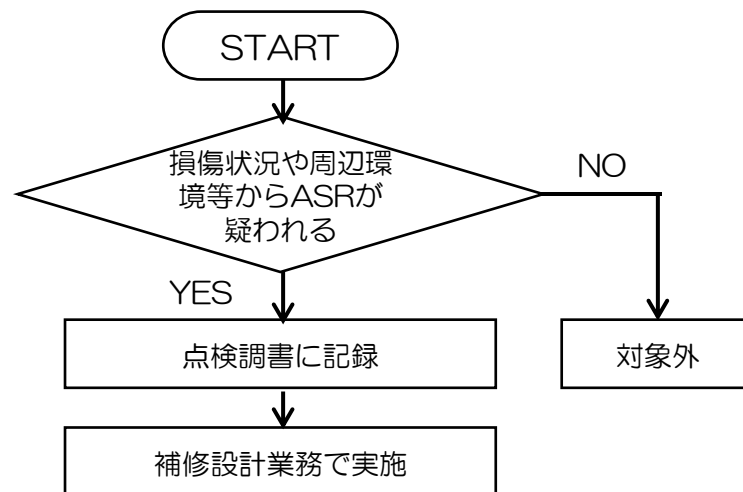
アルカリ骨材反応の詳細調査では、反応性骨材か否かを確認する試験や膨張量を調べる試験を実施する。

ただし、特定事象の有無を確認するために必ずしも実施する必要はない。損傷原因や進行性を特定することを目的として実施される調査であり、必要に応じて点検業務または補修設計業務において実施する。

アルカリ骨材反応は骨材がセメント内のアルカリ分と反応して膨張し、ひび割れや鉄筋破断を引き起こす損傷である。アルカリ骨材反応か否かを確認するための方法には、

- 1) 骨材の岩種および反応性鉱物の種類とその量を調べるための試験（岩石学的試験：偏光顕微鏡観察、粉末X線回折、SEM-EDXA（走査型電子顕微鏡）、赤外線吸収スペクトル分析等）
- 2) 骨材のアルカリシリカ反応性を確認する試験（化学法（JIS A 1145）、モルタルバー法（JIS A 1146）、促進モルタルバー法（ASTM C 1260）等）
- 3) 残存膨張量を捉える試験（促進養生試験（JCI-DD2（JCI-S-011-2017）））に大別される。

本要領では、今後の進行を確認する促進養生試験によってアルカリ骨材反応か否かを判定することを基本とする。（状況によって、アルカリ骨材反応によって生じる白色析出物（反応リム）に対する二酸化珪素含有試験実施の必要性も検討する。）



※：橋梁の状態をより詳細に把握したうえで健全性を診断するために必要であれば、点検業務で実施してもよい

図 1.1.1 アルカリ骨材反応調査のフロー

詳細調査の流れ：詳細点検において、アルカリ骨材反応が疑われる損傷を発見した場合、職員と詳細調査の要否を協議し、必要に応じて実施する。詳細調査を実施する場合は二酸化珪素含有試験や促進養生試験によってアルカリ骨材反応か否かを確認し、アルカリ骨材反応であれば対策を検討する。

11.2 調査方法および評価方法

以下に、促進養生試験（JCI-DD2（JCI-S-011-2017））の内容を示す。¹⁰⁾

なお、点検業務において実施する場合、点検工期限内に完了することが困難である場合は、促進養生試験法としてカナダ法を適用してもよい。

<JCI-DD2法>

1) 使用器具および材料

- ① コンクリートコアドリル：直径 100mm、長さ 250mm 以上のコアが採取できるもの
- ② 湿気箱：温度 40℃、湿度 100%の条件が維持できるもの

2) 測定方法

- ① 直径 100mm、長さ約 250mm 以上のコアを採取し（JIS A 1107）、乾燥や炭酸化の影響を受けないように現地で抜き取り、直ちに厳重に密封し試験室に運ぶ。
- ② 供試体に金属製バンドを取り付け、恒温室内にて膨張量を測定した後、温度 40℃、相対湿度 100%の湿気箱にて残存膨張量を測定する。

3) 評価

上記の測定で 0.1%以上の膨張量が確認できた場合に残存膨張性ありと判定する。

4) 修復

コンクリートコアを採取した孔は、採取後にポリマーセメント等によって修復する。採取本数については、現地状況に応じて採取すること。

<カナダ法>

1) 使用器具および材料

- ① コンクリートコアドリル：直径 100mm、長さ 250mm 以上のコアが採取できるもの
- ② 湿気箱：温度 40℃、湿度 100%の条件が維持できるもの

2) 測定方法

- ① 直径 100mm、長さ約 250mm 以上のコアを採取し（JIS A 1107）、乾燥や炭酸化の影響を受けないように現地で抜き取り、直ちに厳重に密封し試験室に運ぶ。
- ② 供試体に金属製バンドを取り付け、恒温室内にて膨張量を測定した後、温度 40℃、相対湿度 100%の湿気箱にて残存膨張量を測定する。

3) 評価

上記の測定で 0.1%以上の膨張量が確認できた場合に残存膨張性ありと判定する。

4) 修復

コンクリートコアを採取した孔は、採取後にポリマーセメント等によって修復する。
採取本数については、現地状況に応じて採取すること。

参考文献一覧

- 1) (社)日本橋梁建設協会、橋梁技術者のための塗装ガイドブック、2000年
- 2) (社)日本道路協会、鋼橋の疲労、平成9年5月
- 3) (社)日本鋼構造協会、土木鋼構造物の点検・診断・対策技術、2005年
- 4) 国土交通省道路局国道課、鋼製橋脚隅角部の疲労損傷臨時点検要領、平成14年5月
- 5) (社)日本非破壊検査協会、ドリル削孔粉を用いたコンクリート構造物の中性化深さ試験方法 NDIS 3419 1999、1999年
- 6) 日本国土開発 佐原 晴也 (独)土木研究所 森濱 和正 錢高組 野永 健二 前田建設工業 渡部 正 小径コアによる実構造物コンクリートの圧縮強度の推定 土木学会 平成15年9月
- 7) (株)錢高組・前田建設工業(株)・日本国土開発(株)、(独)土木研究所、小径コア試験による新設の構造体コンクリート強度測定要領(案)、2006年5月
- 8) (社)日本コンクリート工学協会、コンクリート構造物の腐食・防食に関する試験方法ならびに規準(案) JCI-SC8、1987年4月
- 9) (社)日本コンクリート工学協会、コンクリートの診断技術 基礎編 2024年
- 10) (社)日本コンクリート工学協会、コンクリート構造物のコア試料による膨張率の測定方法、JCI-S-011-2017