

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14.5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。

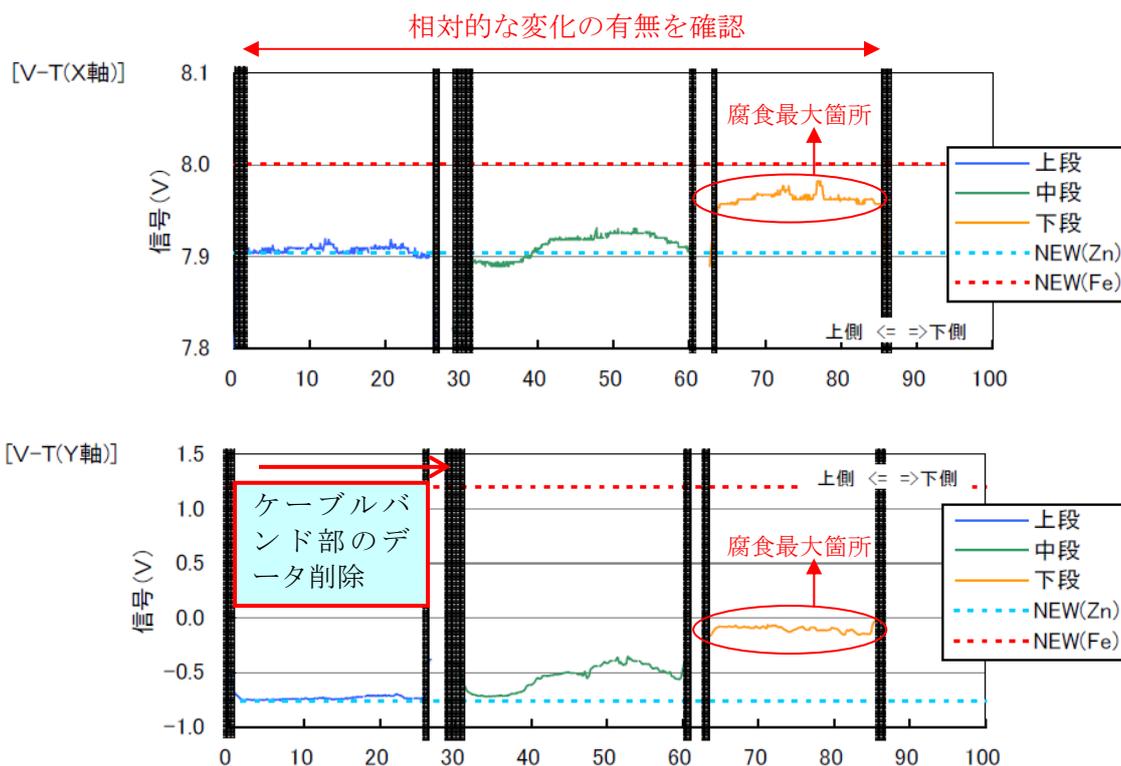


図-14.5 電圧変化グラフ

全磁束法は、QAに移動する。

## 2) 開封調査

### (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。

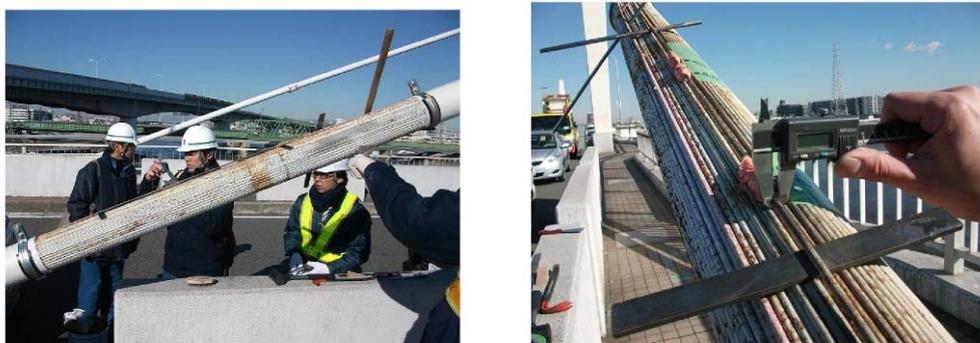


写真 14. 2 開封調査状況

## 2) 評価方法

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 14. 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

### 14. 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。

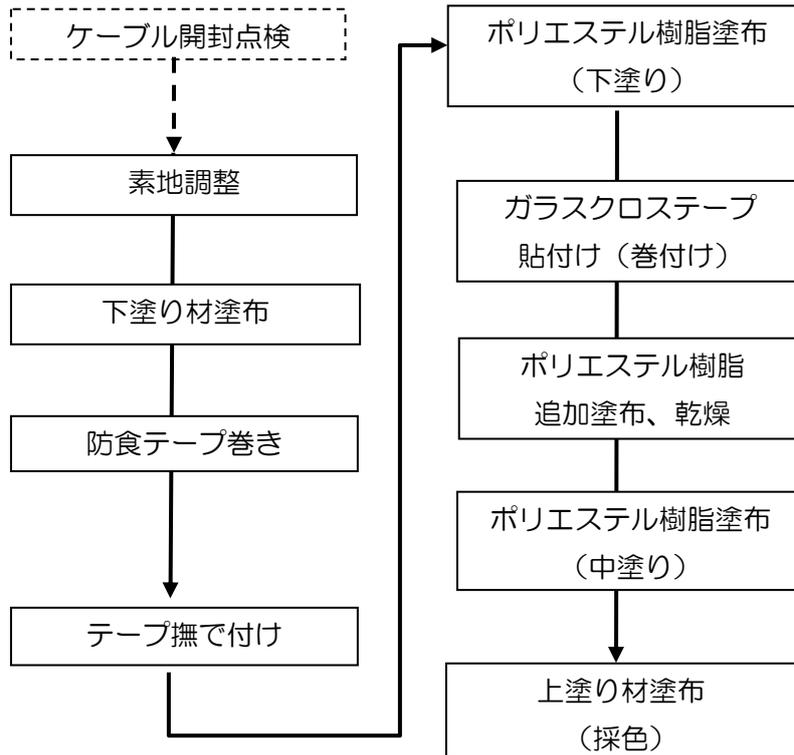


図14. 6 ケーブル復旧フロー



下塗り材塗布



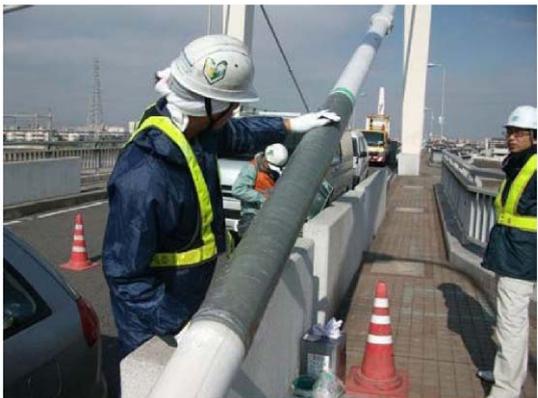
防食テープ巻き付け



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14.3 ケーブル復旧状況

### 14.3.2 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。

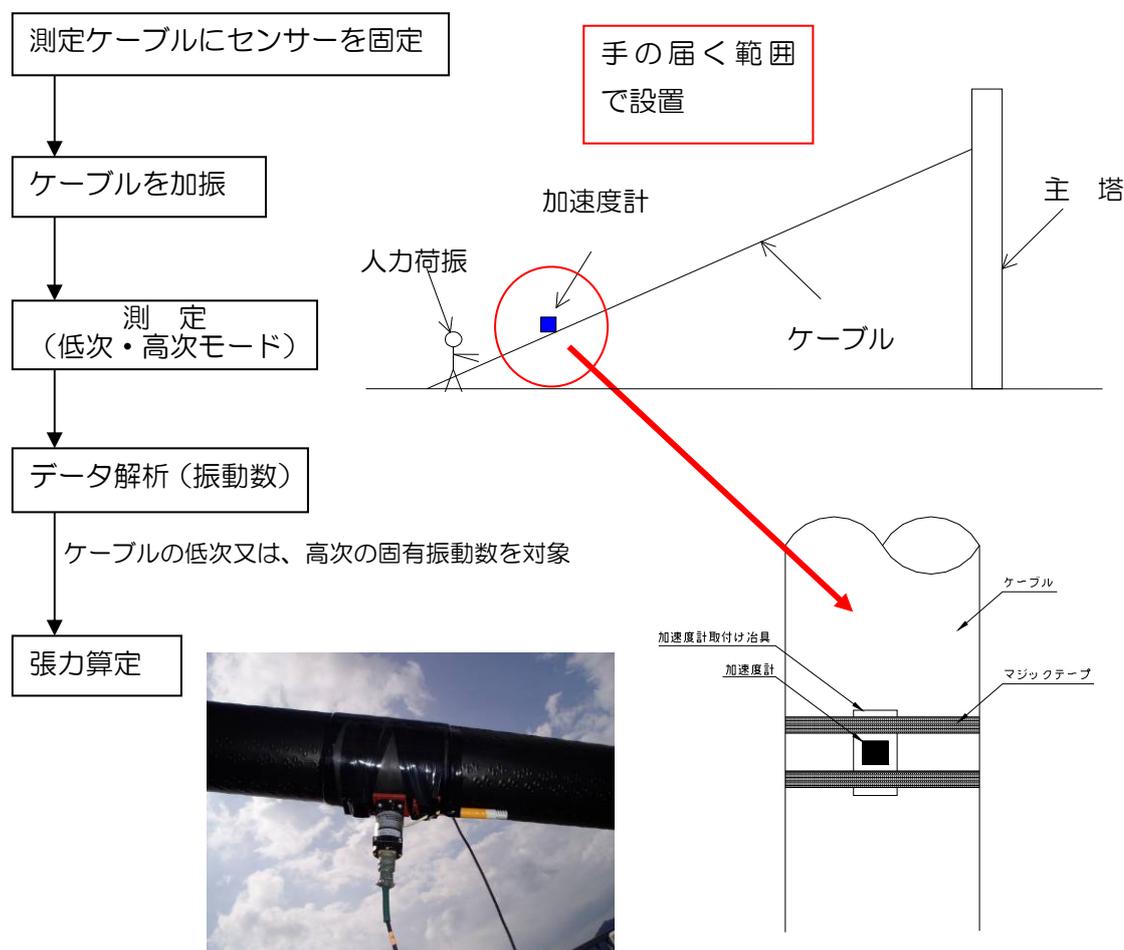
#### 1) 使用器具および材料

- 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/s<sup>2</sup>)

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/m<sup>2</sup>)

I：断面二次モーメント(m<sup>4</sup>)

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14.3 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

## 15 洗掘状況調査

### 15.1 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-15.1に示す。

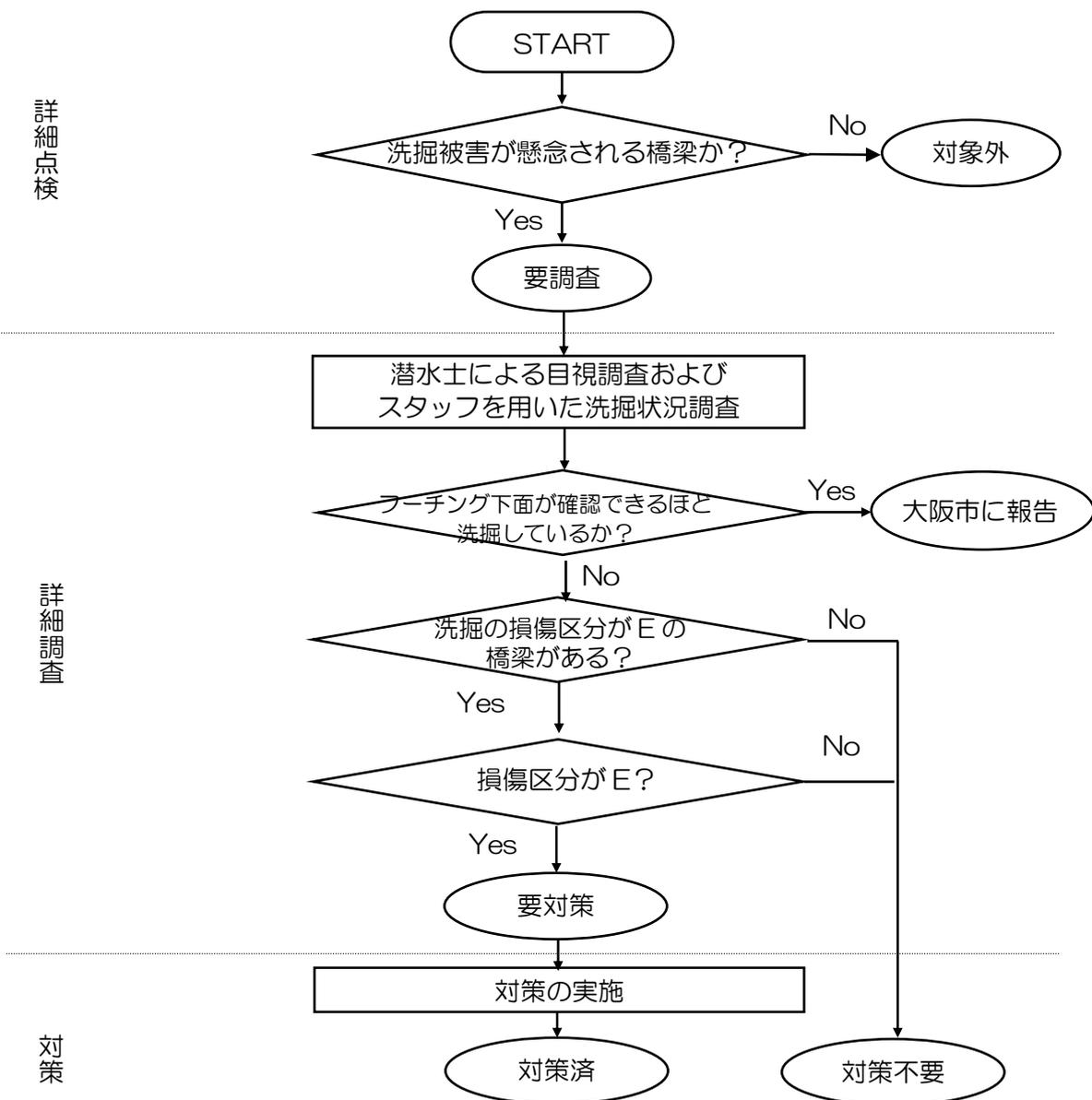


図-15.1 洗掘深さ調査のフロー

## 15.2 潜水士による洗掘状況調査

### 1) 調査方法

潜水士により目視調査を行う(図-15.2)。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-15.3)。

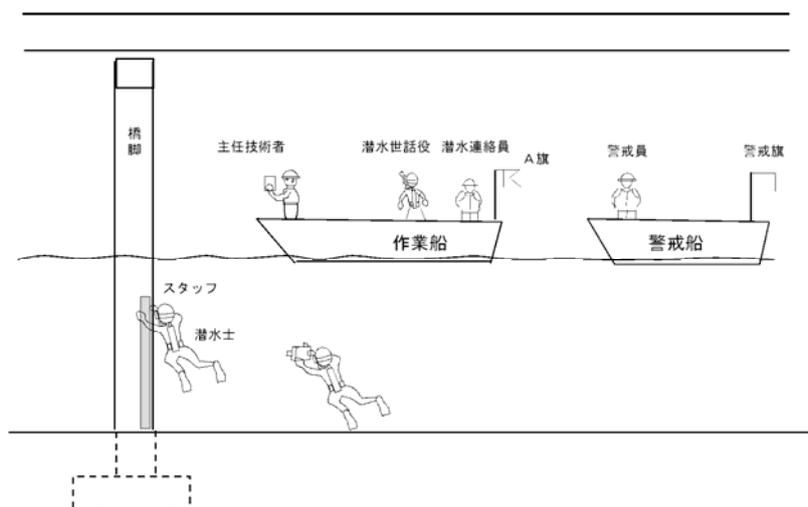


図-15.2 潜水士による目視調査（船舶使用）

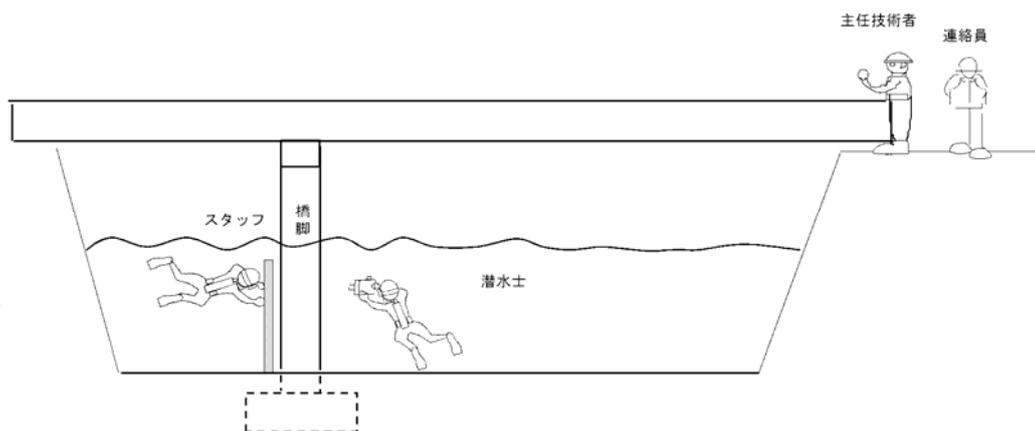


図-15.3 潜水士による目視調査（陸上アクセス）

## 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

## 15.3 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-15.1）を評価する。

表-15.1 洗掘の損傷区分

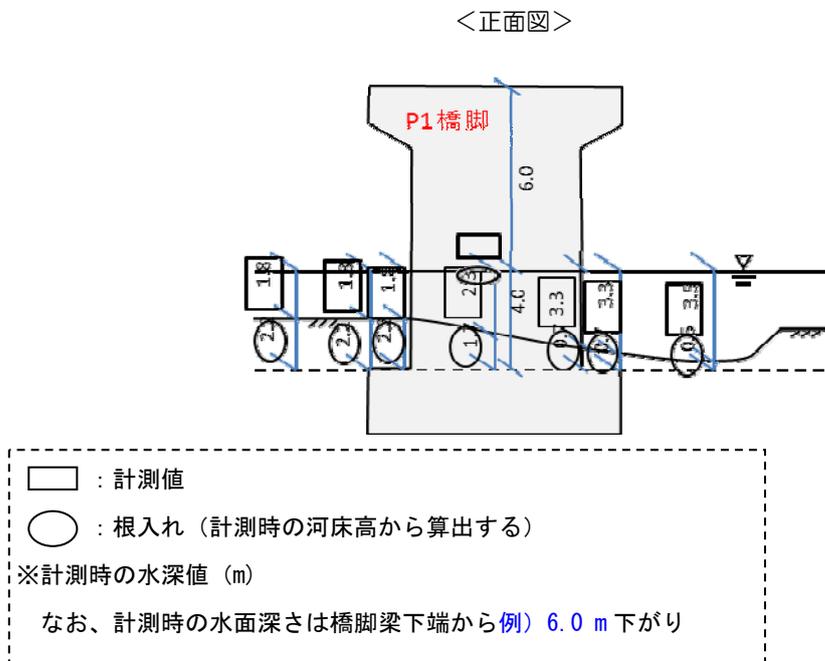
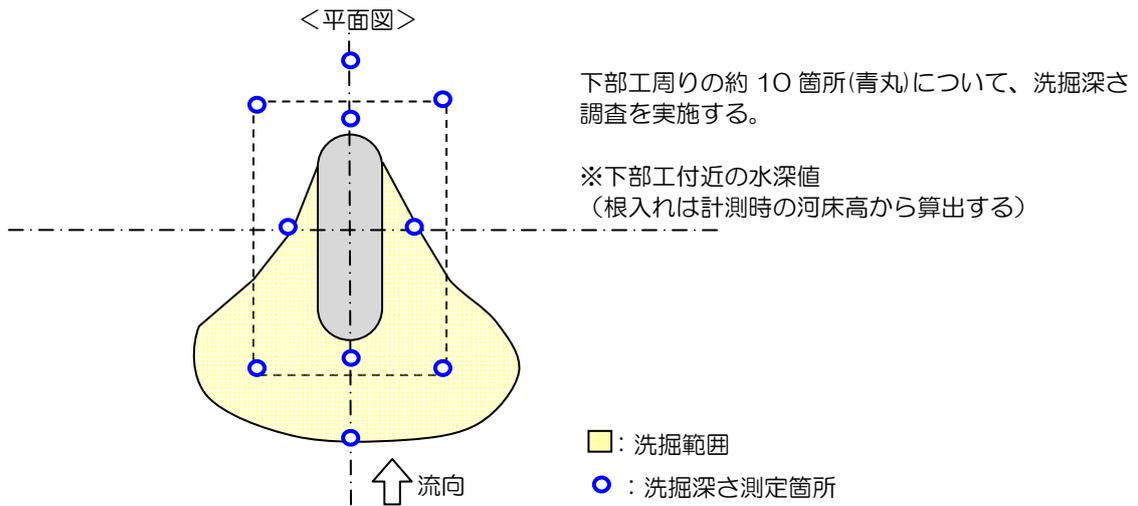
損傷区分	評価基準
A	洗掘はない
B	—
C	洗掘している
D	フーチング上面が確認できるほどの洗掘
E	フーチング下面が確認できるほどの洗掘

#### 15.4 洗掘深さ測定箇所

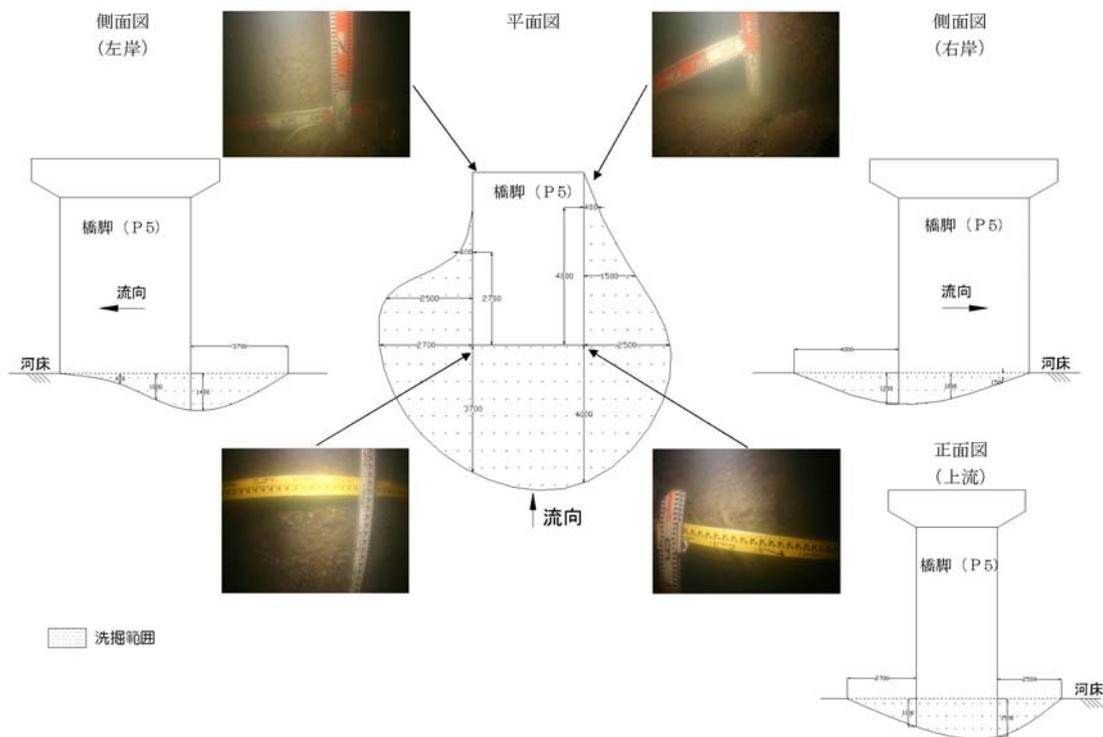
国土交通省では、スタッフによる洗掘深さ計測を標準として、詳細な調査が必要な場合に潜水土により目視調査を行っている。

大阪市においては、前述のように調査橋梁が11橋と限定されているため、精度が良い潜水土により目視調査およびスタッフを用いた洗掘状況調査とする。

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。



三国橋での試行調査例を以下に示す。



### 15.5 必要機材

洗掘状況調査は、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-15.2に示す。

表-15.2 洗掘状況調査に必要な機材

機材	概要
潜水用機材	ポンベ、ダイビングスーツ、フィン等
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

## 16 金属製高欄の超音波調査

### 16.1 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。

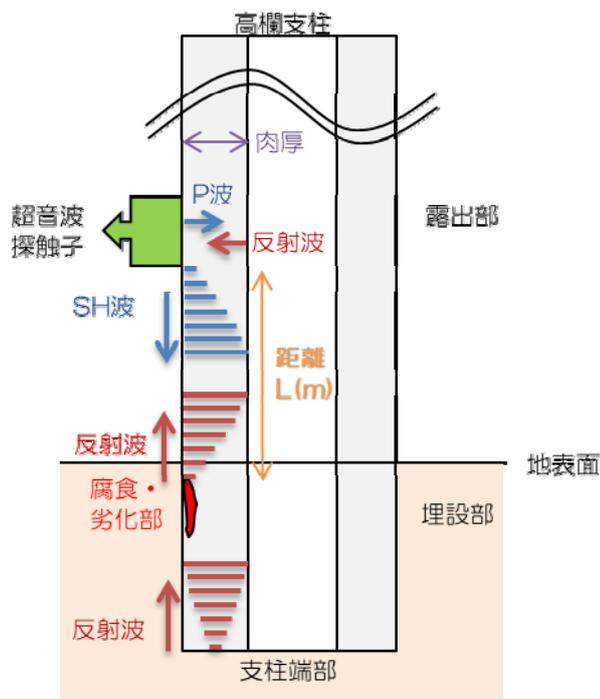


図 16.1 調査原理イメージ

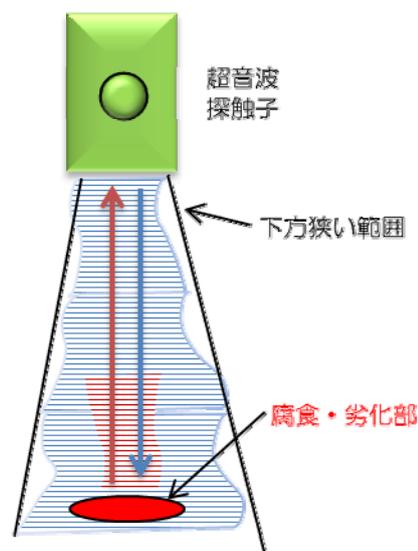


図 16.2 SH 波のイメージ

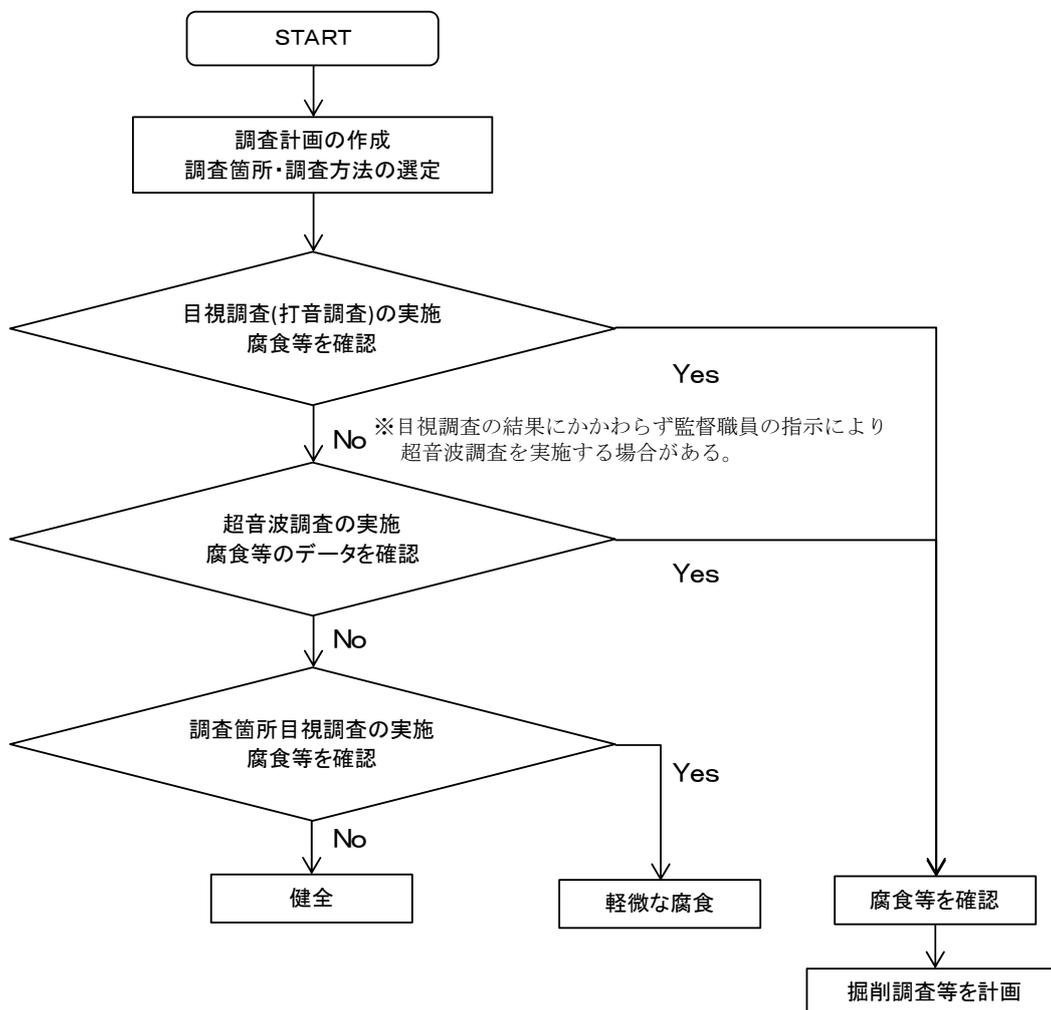
観測点から損傷位置までの距離 L(m) を基に、例として地表よりの距離に換算することで損傷位置が算出される。

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。



## 16.2 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 16.1 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 16.1 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<sup>®</sup>-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。

## 参考文献一覧

- 1) (社) 日本鋼構造協会、鋼橋塗膜調査マニュアル、JSS IV-03、1993年
- 2) (社) 日本道路協会、鋼道路橋塗装便覧、1990年
- 3) (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
- 4) (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
- 5) (社) 土木学会、コンクリート標準示方書【維持管理編】、2007年
- 6) 松井・前田、道路橋のRC床版の劣化度判定法の一提案、土木学会論文集 第374号/I-6、1986年10月
- 7) 阪神高速道路公団、道路橋RC床版のひびわれ損傷と耐久性、平成3年
- 8) 国土交通省道路局国道・防災課、橋梁定期点検要領(案)、平成16年3月、pp.18
- 9) (社) 日本コンクリート工学協会、JCI規準集(1977-2002)、2002年
- 10) (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、2001年
- 11) (社) 日本道路協会、鋼橋の疲労、平成9年5月
- 12) 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
- 13) (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
- 14) (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
- 15) (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、2001年
- 16) (独) 鉄道総合技術研究所、鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)コンクリート構造物、平成19年1月
- 17) (社) 土木学会、コンクリート標準示方書【維持管理編】、2007年
- 18) (社) 日本道路協会、鋼橋の疲労、平成9年5月
- 19) (財) 阪神高速道路管理技術センター、阪神高速道路における鋼橋の疲労対策、平成17年7月
- 20) (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
- 21) (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
- 22) (財) 道路保全技術センター、橋梁点検・補修の手引き、平成13年7月
- 23) 日本道路公団、コンクリート片はく落防止対策マニュアル、平成12年11月
- 24) (財) 道路保全技術センター、第三者被害を防止するための橋梁点検要領(案)、平成12年5月
- 25) 既設橋梁の耐荷力照査実施要領(案)
- 26) (財) 道路保全技術センター、応力頻度測定要領(案)、平成8年3月
- 27) (社) 日本道路協会、鋼橋の疲労、平成9年5月
- 28) (財) 鉄道総合技術研究所、鋼構造物補修・補強・改造の手引き、平成4年7月
- 29) (社) 日本道路協会、鋼道路橋の疲労設計指針、平成14年3月
- 30) (社) 日本鋼構造協会、鋼構造物の疲労設計指針・同解説、1993年4月
- 31) (財) 沿岸技術研究センター、港湾の施設の維持管理技術マニュアル、平成19年10月