

漁港施設における表面 P 波法による
簡易機能（老朽化）診断手法
適用マニュアル（案）

平成 28 年 4 月

国立研究開発法人水産研究・教育機構
水産工学研究所

本マニュアルは、漁港施設のうちのコンクリート構造物を対象として、その圧縮強度、ひび割れ深さや内部空隙の状態に関する表面 P 波法を用いた評価方法を示すものである。

なお、本マニュアルは、平成 27 年 4 月に水産工学研究所のホームページに掲載したところであるが、平成 27 年度水産庁委託調査「水産基盤施設の長寿命化対策検討調査」における検討結果等を反映させ、平成 28 年 4 月に改めて公表するものである。

I. 総説

本総説は、「維持管理の手順と本マニュアルの位置づけ」「本マニュアルの構成」「本マニュアルの制約」を示す。

【解説】

1. 維持管理の手順と本マニュアルの位置づけ

漁港施設における維持管理の手順は図 1 の通りである。施設の現況把握の後、機能診断の実施、保全対策工事を実施している。その中の機能診断においては図 2 の通り、目視や簡単な計測による簡易調査と、必要に応じて行うコア採取などの詳細調査がある。

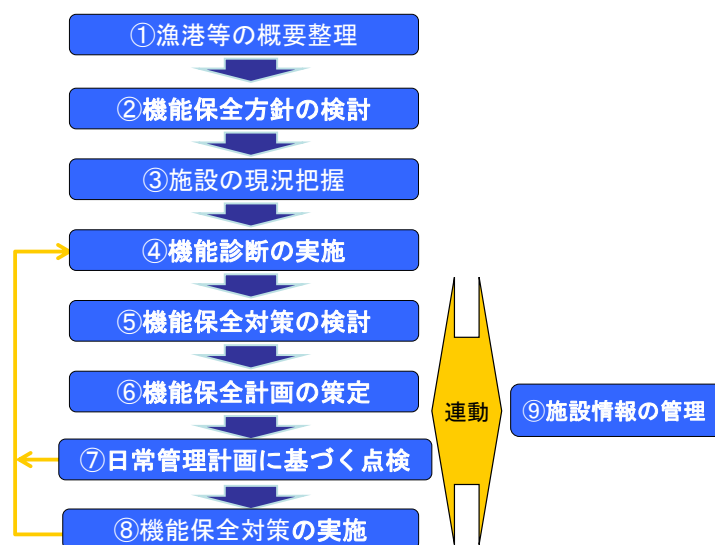


図 1 漁港施設の維持管理の手順¹⁾

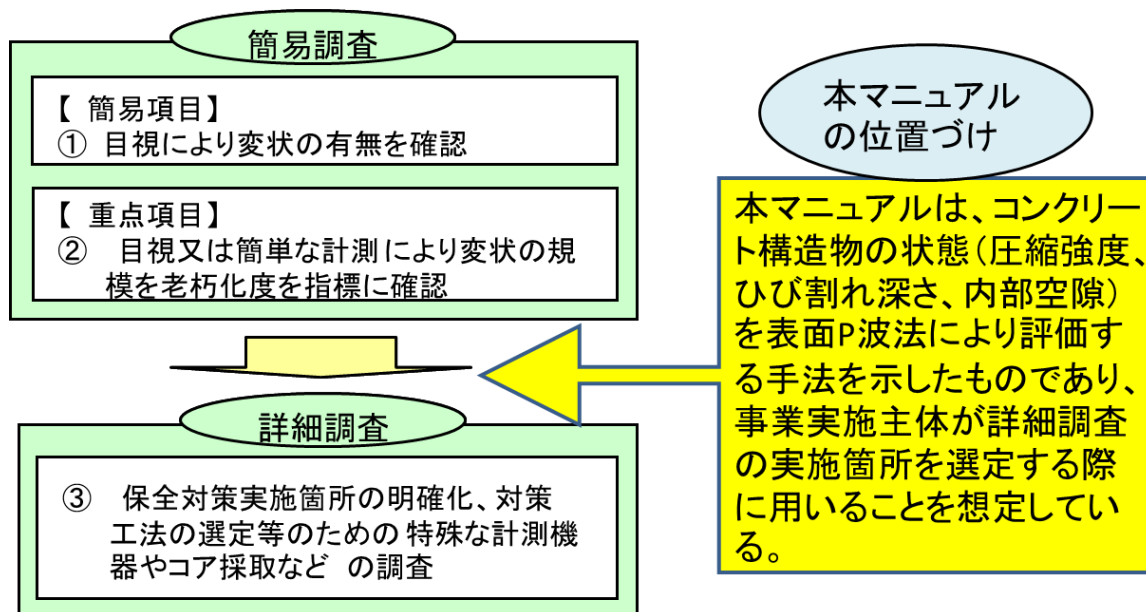


図2 機能診断において行う調査内容¹⁾及び
コンクリート構造物の機能診断フロー中における本簡易機能診断手法の位置づけ

しかしながら、従来の漁港施設の機能診断は、機能診断結果にばらつきがある、膨大な量があり多くの調査時間・費用が必要である等の問題があり、簡易で迅速な機能診断が求められている。

「衝撃弾性波法」の中の「表面P波法」は、コンクリート構造物の圧縮強度や空隙、ひび割れ深さ等の状態を定量的に判断できること、ハンマーとセンサーを用いるのみで、比較的長い部材に対応でき、簡便で迅速に測定ができることによりその問題点の解決につながる。

特に詳細調査の調査実施箇所については、定量的な判断ではなく目視の結果等で決めているが、本手法を用いることにより、定量的にコンクリートの状態を評価することができ、適切な詳細調査実施箇所の選定につながる。

こうしたことから本マニュアルでは、コンクリート構造物の状態（コンクリートの圧縮強度、ひび割れ深さ、内部空隙）を把握できる表面P波法を用いて、コンクリート構造物の品質に問題があると考えられる箇所の評価方法について示している。この評価方法は、事業実施主体が詳細調査の実施箇所選定のために用いることを想定している。

なお、漁港施設の強度推定を非破壊で行う場合の測定方法については、別途「漁港施設における機械インピーダンス法を用いたコンクリート強度推定運用マニュアル（案）」
http://nrife.fra.affrc.go.jp/seika/inpidansuhoumanyuaru/inpitannsu_index.htm
1が参考となる。

2. 本マニュアルの構成

本マニュアルの構成は、「Ⅰ 総説」で本マニュアルの位置づけを、「Ⅱ 漁港施設における表面 P 波法による簡易機能診断手法適用マニュアル」で表面 P 波法の原理、適用対象、具体的な測定方法、データ処理方法、データ評価を、「Ⅲ 適用例」で具体的な事例を示した。なお、Ⅱでは、試験装置として、アプライドリサーチ社製の測定装置 (iTECS-6V2) (以下「iTECS」(アイテックス) という。) を事例として用いた。

3. 本マニュアルの制約

本マニュアルは、既存文献を参考とするとともに、表面 P 波法の特性や漁港構造物への適用、試験方法等を検討するため、室内実験を行うとともに漁港施設での調査を実施し策定したものである。本マニュアル策定後、より良い手法があれば随時取り入れ、本マニュアルの充実を図っていく必要がある。

Ⅱ. 漁港施設における表面 P 波法による簡易機能診断手法適用マニュアル ^{2) 3) 4) 5) 6)}

1. 適用範囲

本マニュアルは、表面 P 波法を用いて、漁港におけるコンクリート構造物の状態（コンクリートの圧縮強度、ひび割れ深さや内部空隙）を把握するための測定及び評価方法を規定する。

【解説】

(1) 表面 P 波法の試験方法の特徴、測定原理

コンクリート構造物の老朽化状態を客観的に把握する手法として、局部的な破壊試験から強度を推定する方法等があるものの、施設本体の損傷を伴うこと、試験によるコストや時間を必要とすること等の問題点がある。このような問題に対し、構造物の破壊を伴わない非破壊試験法は、比較的簡便にその老朽化状況を把握できることから簡易的な老朽化状態の推定や詳細調査の予備的調査手法として用いられている。

1) 表面P波法の特徴

衝撃弾性波法のうち「表面P波法」は、ハンマーの打撃によってコンクリート表面に弾性波を発生させ、コンクリート表面に設置したセンサーにより、その弾性波を受信する手法である（**図 3** 参照）。弾性波は**図 4** に示すように、進行方向に平行に振動する縦弾性波（P波）、進行方向と直角に振動する横弾性波（S波）、表面を鉛直方向に振動するレイリー波（R波）が存在する。

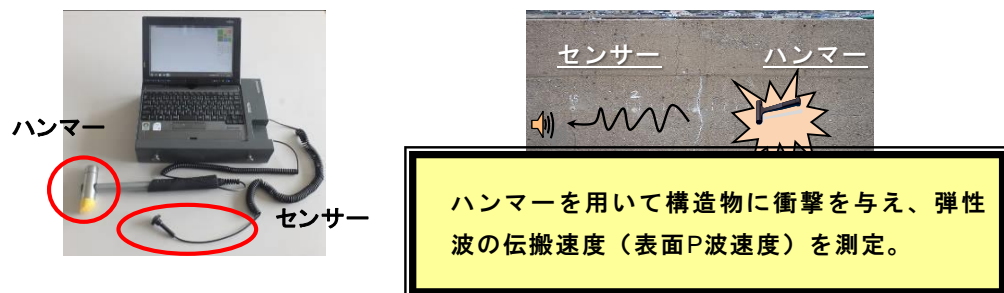


図 3 衝撃弾性波法「表面P波法」について

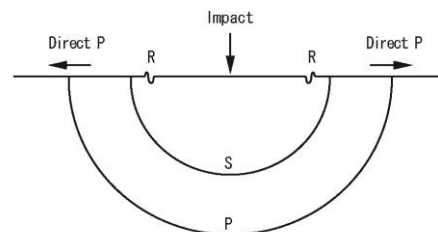


図 4 コンクリート版表面の衝撃点で発生した弾性波 ⁷⁾

図 5 は、弾性波の受信点をコンクリート表面に設置した場合の受信点におけるP波、S波、R波の波形を模式的に示したものである。**図 5** に示すように、受信点の波形は、最初にP波が到達する。そのため、弾性波の初期到達時の立ち上がりを検知することが出

来れば、受発信点間の距離とP波の到達時間により、表面を伝わるP波の伝搬速度（以下、「表面P波速度」という）を計測することが出来る。

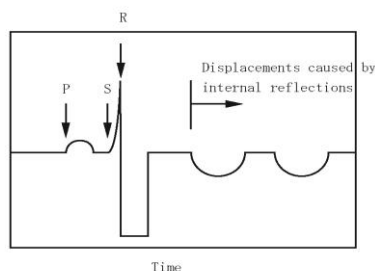


図5 受信されるP波、S波、R波の模式図⁷⁾

2) 表面P波法の適用

表面P波速度については、圧縮強度やひび割れ深さ、内部空隙と関係がある。

ア) 圧縮強度との関係

目視では分からないコンクリートの圧縮強度について表面P波速度より推定することができる。岩野ら⁸⁾は66種類の配合のコンクリート円柱体で弾性波速度と圧縮強度を測定し、両者の関係式を室内実験の結果より提示した(式(1))。その結果、表面P波速度が大きくなればなるほど、圧縮強度が大きくなる傾向を示している。

$$f_c = 1.224 \times 10^{-17} \times V_p^{5.129} \quad (1)$$

f_c : 圧縮強度 (N/mm²)

V_p : 表面P波速度 (m/s)

一方、重松ら⁹⁾の室内実験の結果でも、供試体の圧縮強度が大きい程、表面P波速度が大きくなる結果となっている。また、表1に示すように、一定の配合条件下におけるコンクリートの品質と表面P波速度の関係が示されており、速度が低下する程品質が下がることが示されている。

表1 縦波速度とコンクリートの品質 (岡田ら¹⁰⁾)
(コンクリート単位容積質量 2,400kg/m³)

速度 (m/s)	評価
4,570 以上	優
3,660~4,570	良
3,050~3,660	やや良
2,130~3,050	不良
2,130 以下	不可

(参考；実構造物の圧縮強度推定手法)

岩野ら⁸⁾は、以下の通り、既設構造物での圧縮強度の推定方法を示している。

- 1) コアを採取する位置で表面P波速度を測定し、式(1)により暫定推定強度を求める。
- 2) 暫定推定強度と採取したコアの圧縮強度から補正比率($k = \text{コア圧縮強度} / \text{暫定推定強度}$)を求める。

3) 任意の位置で表面 P 波速度を測定し、その位置での暫定推定強度を式(1)により求め、2)により求めた補正比率(k)を乗じて補正する。

イ) ひび割れ深さととの関係

目視では分からないひび割れ深さについて、重松ら⁹⁾は室内実験において供試体にひび割れを設け、ひび割れが表面 P 波速度に及ぼす影響を検討した。表面 P 波速度の低下率は、ひび割れ位置とその深さがわかっていることから理論的に算出した。その理論値と測定値より表面 P 波速度の低下率を表 2 に示す。測定値より算出された表面 P 波速度の低下率は、理論値より算出されたものと比較してその誤差は一割以内に収まり、測定値より算出された表面 P 波速度は、理論値と同様低下していることが分かる。

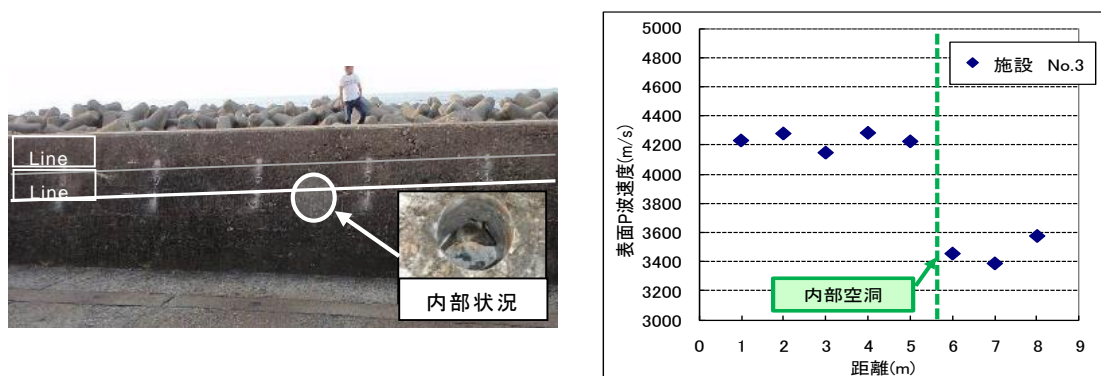
表 2 表面P波速度の低下率

ひび割れの種類※	表面 P 波速度の低下率 (%)		A/B
	測定値より算出 (A)	理論値より算出 (B)	
25-1	-0.85	-0.78	1.1
25-2	-0.88	-0.80	1.1
50-1	-2.62	-2.98	0.9
50-2	-2.94	-3.08	1.0

※ひび割れの種類：ひび割れ深さ－ひび割れ本数

ウ) 内部空隙との関係

内部空隙については、図 6 の藤田ら¹¹⁾の現地調査による報告では、漁港施設でひび割れの発生は確認されていないものの、表面 P 波速度が急激に低下した箇所があった。当該箇所について、コア採取したところ、内部では 10cm 四方程度の空洞が確認され、速度低下は内部空洞が影響したことが示された。こうしたことから、内部空隙によって表面 P 波速度が低下することが確認された。



(1) 内部空隙状況

(2) 表面 P 波速度

図 6 内部空隙確認箇所における表面 P 波速度

(2) 制約条件

ハンマーで衝撃を与える箇所とセンサーの設置箇所の距離は 0.2m 以上 9m 以内とする。測定は、コンクリート構造物の同一平面内において行うものとする。

(3) 適用対象構造物

対象となるコンクリート構造物は、上記(2)に示す条件で調査可能な構造物とし、基本的に重力式の防波堤、係船岸、護岸等の上部工について適用するものとする。

2. 試験装置

(1) ハンマー

コンクリート構造物に物理的な衝撃を与えることができるものとする。ハンマーは衝撃用加速度計とし、入力波を精度良く検知できるものとする。

(2) センサー

ハンマーによって入力された弾性波を受信するために十分な感度及び分解能をもつものとする。

(3) 計測装置

計測装置は、ハンマー、センサーの出力信号を時間波形として表示及び記録でき、サンプリング時間間隔、計測時間長、トリガーなどが測定に必要な条件の範囲で設定可能で、弾性波の到達時刻が測定できるものとする。

【解説】

試験装置の例として、アプライドリサーチ社製の測定装置 (iTECS) を示す (図 3 参照)。iTECS の取扱注意事項として、以下があげられる。

- ・ハンマーは、380g の CTS 用 (日東建設社製) の衝撃用加速度計であれば、漁港施設において適切に表面 P 波速度が伝搬することができ、長期使用に耐えることができる。
- ・試験装置の電源は、携帯型の電池 (バッテリーセット) を用意し常時繋いでおくこととする。夏期や冬期は、測定器の電池やバッテリーセットの電池の消耗が著しいため、それぞれ温度対策を行い、予備電池を多めに準備する。
- ・ケーブル及びケーブル接続部は、断線または破損しやすいため、慎重に作業を行う。

3. 試験技術者

本マニュアルに基づいて試験を行う技術者は、試験方法の原理及び試験装置に関する知識並びにコンクリートに関する基礎的知識をもつ者とする。

4. 試験装置の校正及び点検

(1) 試験装置の校正

試験技術者は、定められた期間ごと又は異常が確認された場合に、試験装置の校正を装置製造業者又はその代理者に依頼して行う。

(2) 試験装置の点検

試験技術者は、試験前後に試験装置の動作に異常のないことを確認する。

【解説】

iTECS の例として、以下があげられる。

- ・試験装置の校正は、原則として、1年に1回、メーカーによる検定を行う。

5. 測定手順

本手法の測定手順は、「事前準備」、「測定場所の決定」、「測定」、「データ検証」、「データ評価」とする。

【解説】

測定手順は、図7に示すように、まず、測定のための「事前準備」を行う。現地にて、「測定場所の決定」を行って、「測定」する。測定後、「データ検証」を行い、表面P波速度を算出した上で、「データ評価」を実施し、コンクリート構造物の評価を行う。

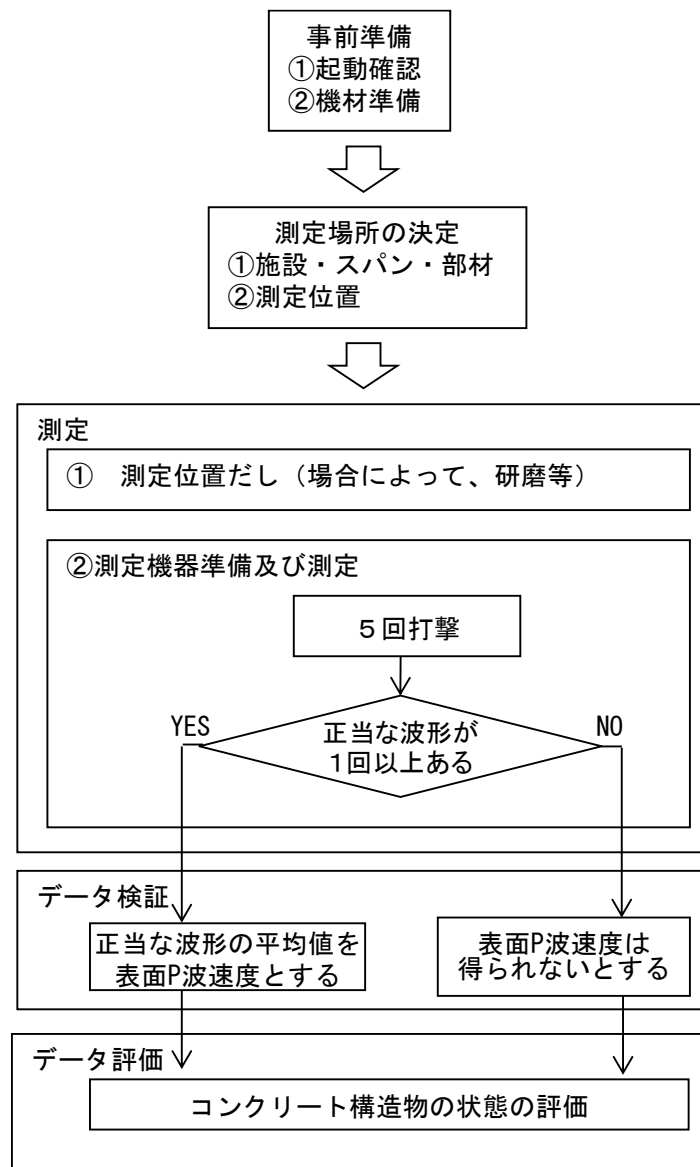


図7 測定フロー図

5. 1 事前準備

事前準備は、「起動確認」、「機材準備」の順で実施する。

【解説】

(1) 起動確認

試験装置の起動確認を実施する。また、調査前に測定が一通りできるよう確認をしておく。

(2) 機材準備

機材準備は、iTECS 一式 (PC 含む)、バッテリーセット、位置出し用測定機材 (メジャー、チョーク、グラインダー等) 等の調査機材を用意する。また、必要に応じて、調査のためのはしご、足場、日傘等を用意する。

5. 2 測定場所の決定

測定場所の決定は、「施設・スパン・部材の選定」、「測定位置の選定」の順で実施する。

【解説】

(1) 施設・スパン・部材の選定

施設の選定にあたっては、「5.5 データ評価」を参考にし、施設を選定するものとする。

本実施箇所としては、潮位によって海面下となる場所を選定しない。また、コンクリート表面が乾いていることを確認する。

弾性波速度は、材料の特性によって変化する。鉄筋コンクリート構造物のように、コンクリート中に鉄筋がある場合、弾性波速度に鉄筋の影響が出ることが想定され、コンクリート自体の弾性波速度を正しく測定できないことがある。そのため、実施箇所近傍に鉄筋がある場合、測定位置として望ましくない。実施箇所が限定され、鉄筋が近傍にある場合、測定における側線は、鉄筋に近接する平行な側線を避け、側線と鉄筋がなす角度を45度となるようにする。

測定間隔は0.2m以上9m以内とし、それ以上の測定間隔がある場合には、分割して計測を行う。

(2) 測定位置の選定

打撃点と受信点は、可能な限り、ひびわれ、表面劣化、剥離などの老朽化、変状から離れた平らな場所を選定するとともに、ゴミ、ほこりは取り除いておく。また、カキや藻類などの付着物がある場所、粗骨材の露出が著しい場所は可能な限り避けて選定する。

なお、打撃点と受信点の間隔が大きくなる場合、表面P波はコンクリート表層部の状態によって表面よりも内部を速く伝わる。このため、表面P波速度を複数回計測し、その相対値を比較して老朽化箇所を判定するような場合には、測定間隔を可能な限り統一することが望ましい。

5. 3 測定

測定は、「測定位置出し」、「試験装置準備」、「測定」の順で実施する。

【解説】

(1) 測定位置出し

入力点と受信点の測定位置をチョーキング等して実施する（**図 8** 参照）。測定位置の選定で記述したように、付着物や粗骨材が露出している場所は、可能な限り、その場所を避ける必要があるが、全体的に付着物がある場合や粗骨材が露出している場合等は**図 9**の様に表面を研磨材やグラインダー等で削って、測定を実施する。



図 8 測定位置設定状況



図 9 研磨状況

(2) 測定器機準備及び測定

入力点と受信点の間隔を測定し記録する。ハンマーとセンサーで入力波、出力波を計測し表面 P 波速度のデータを得る。

iTECS の手順例を以下に示す。

【手順】

PC 立ち上げ前に、測定機器の準備として

- ①ハンマー・ケーブルの取り付け、
- ②センサー・ケーブルの取り付けを行う。

PC の電源を入れると、

- ③自動的に windows 及び付属ソフトの iTECS6 が立ち上がる。
- ④画面右上の設定ボタン（黄色）を選択（**図 10**）

- 1) 測定条件の設定 測定項目：弾性波速度を選択
- 2) 入力点と受信点の間隔を設定（1m 以上の設定は注 1 を参照）
- 3) 保存ファイルを作る場合は、プロジェクト名を変更。キーボード画面にて入力（プロジェクト名の上で選択）又は直接入力。
- 4) 戻る（緑）を選択する。



図 10 設定について

- ⑤分析パラメータの入力点、受信点の間隔が2)と同じ事を確認。違っている場合は変更する。
- ⑥速度測定 (緑) を選択する。速度測定 (緑) が打撃待ちのメッセージにかわると測定 (打撃) OK
- ⑦ (1) で位置だしした入力点をハンマーで打撃し、受信点において表面 P 波をセンサーで受信する事によって実施する。なお、打撃は測定対象物に対し、垂直に打撃を行うことを基本とする。
- ⑧波形を確認し、入力点、受信点で表面 P 波が図 11 のように、立ち上がりが捉えられている場合、保存を選択、ファイル名を入れ保存する。
- ⑨連続して測定する場合は、速度測定 (緑) を選択、以後⑥から⑧の繰り返し5回分のデータを捉える。5回連続して行っても表面 P 波速度が捉えられない場合は、表面 P 波速度が捉えられないものとして処理する。

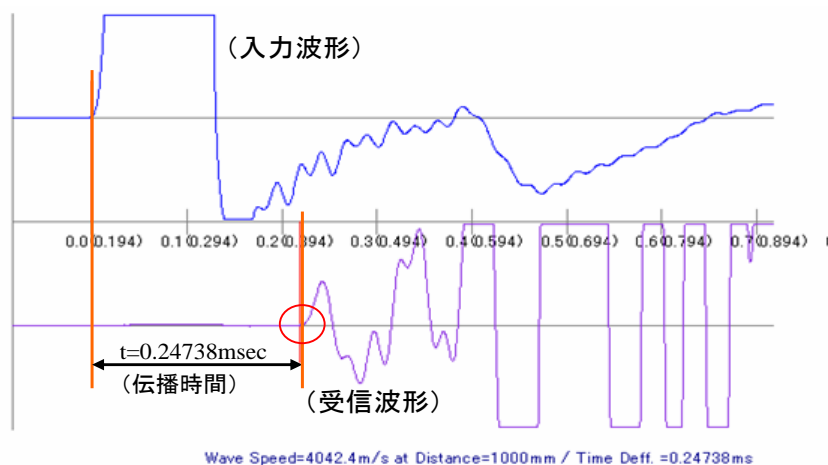


図 11 測定状況

(注1：入力点と受信点の距離について；図12)

入力点と受信点の距離がある一定の距離（1 m）以上は画面上・プログラム上表示できない。このため、例えば入力点と受信点の距離が3 mの岸壁の計測では、図12のとおりセンサー距離を1/10の300mmとし、弾性波速度を計算（弾性波速度398.2m/s）

①させ、後でこの速度を10倍（3982m/s）して正式な値とする。なお、②より時間差が出ているので（753.4 μm：μ=100万分の1）、ここからでも弾性波速度を計算できる。（3 m ÷ 753.4 μm = 3,982m/s）

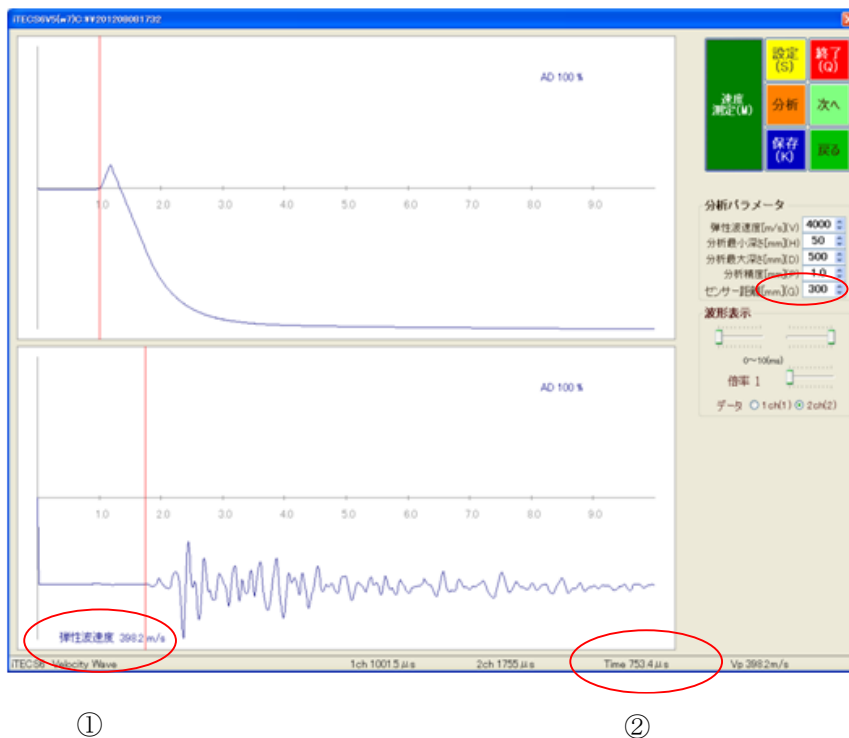


図12 入力点と受信点の距離（センサー距離）について

5. 4 データ処理

データ処理は、「データ取得」、「波形確認」、「表面 P 波速度推定」の順で実施する。

【解説】(図 13)

(1) データ取得

iTECS の付属の分析用ソフトによって実施する。データを別途 PC に移し解析することもできる。まず、センサー距離を入力点と受信点の距離に合わせ、「ファイルを開く」のボタンを押して弾性波速度のデータを抽出する。

(2) 波形確認

入力波の立ち上がり及び受信波の立ち上がりを確認し、立ち上がりがそれぞれあるのかどうか波形の確認を行う。立ち上がりが検出できない場合には、表面 P 波速度が検出できないとする。

(3) 表面 P 波速度推定

入力波形の立ち上がりの箇所と、受信波形の立ち上がりの箇所から、それぞれの時間を読み取り、その時間差とセンサー距離から速度を算定する。得られた表面 P 波速度は平均する。

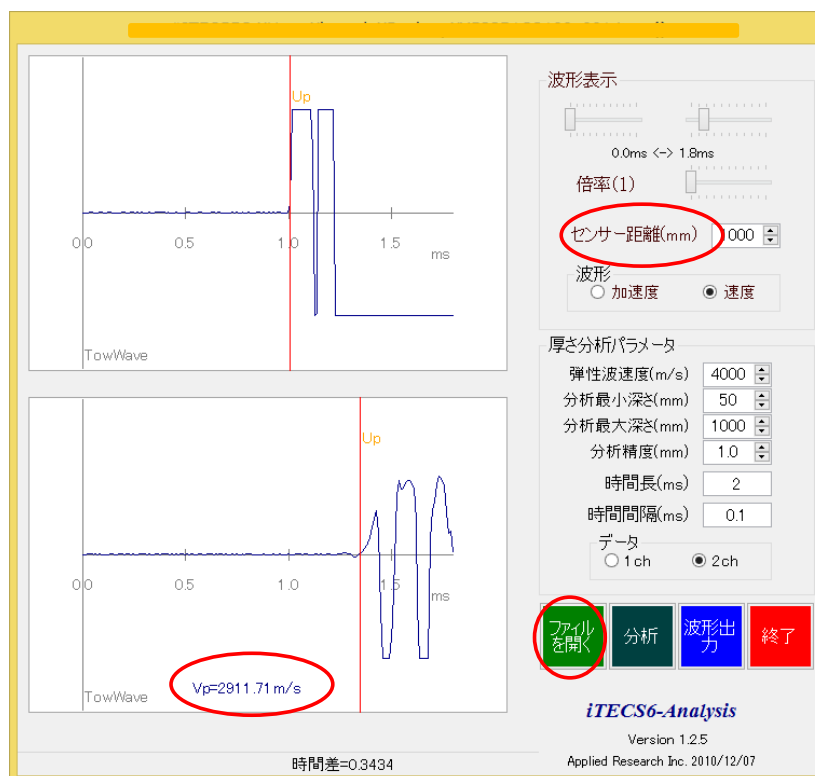


図 13 データ処理について

5. 5 データ評価

得られた表面 P 波速度は以下の通り評価する。

- (1) ひび割れのないコンクリート構造物において、表面 P 波速度が、基準値より下回る箇所がある場合は、その状態に問題がある可能性がある。
- (2) コンクリートの品質がほぼ同一と考えられるひび割れのないコンクリート構造物の表面 P 波速度について、その値が最も低下した箇所において、その状態に問題がある可能性がある。
- (3) ひび割れ等を跨いだ箇所を含め、経年的に調査を実施し、急激に表面 P 波速度が低下した箇所において、その状態に問題がある可能性がある。

なお、別途、コア採取及び圧縮強度試験を行っている場合は、これらのコア強度と比較してデータを検証する。

【解説】

表面 P 波速度の低下した箇所は、圧縮強度の低下、ひび割れ深さの進展、内部空隙等の可能性がある。このため、(1)表面 P 波速度の基準値との比較、(2)調査箇所間での表面 P 波速度の比較、(3)経年での表面 P 波速度の比較、を行い詳細調査実施箇所の選定を行う。(図 2)。

(1) 表面 P 波速度と基準値との比較

表面 P 波速度と基準値との比較により、詳細調査の実施の可否を判断する。

ひび割れを跨がない箇所を対象として、設計基準強度 18(N/mm²)の構造物において表面 P 波速度が 3,800(m/s)未満、又は、設計基準強度 24(N/mm²)の構造物において表面 P 波速度が 4,000(m/s)未満の場合はコンクリートの状態に問題がある可能性がある。各設計基準強度における表面 P 波速度の基準値を表 3 に示す。なお、この基準値は、図 3 に示す 380g のハンマーを用い、打撃点と受信点の間隔を 1m として測定したデータを基に算定したものである。このため、対象施設の表面 P 波速度を基準値と比較する場合は、同様の手法で計測する必要がある。

こうして選定をした箇所は、事業実施主体において、コア圧縮強度試験の実施や内部空隙の調査等の詳細調査を実施する。

図 14 に本手法を用いた簡易機能診断手法適用フロー(例)を示す。

表 3 各設計基準強度における表面 P 波速度の基準値

設計基準強度(N/mm ²)	18	21	24	27	30
表面P波速度(m/s)	3800	3900	4000	4100	4200

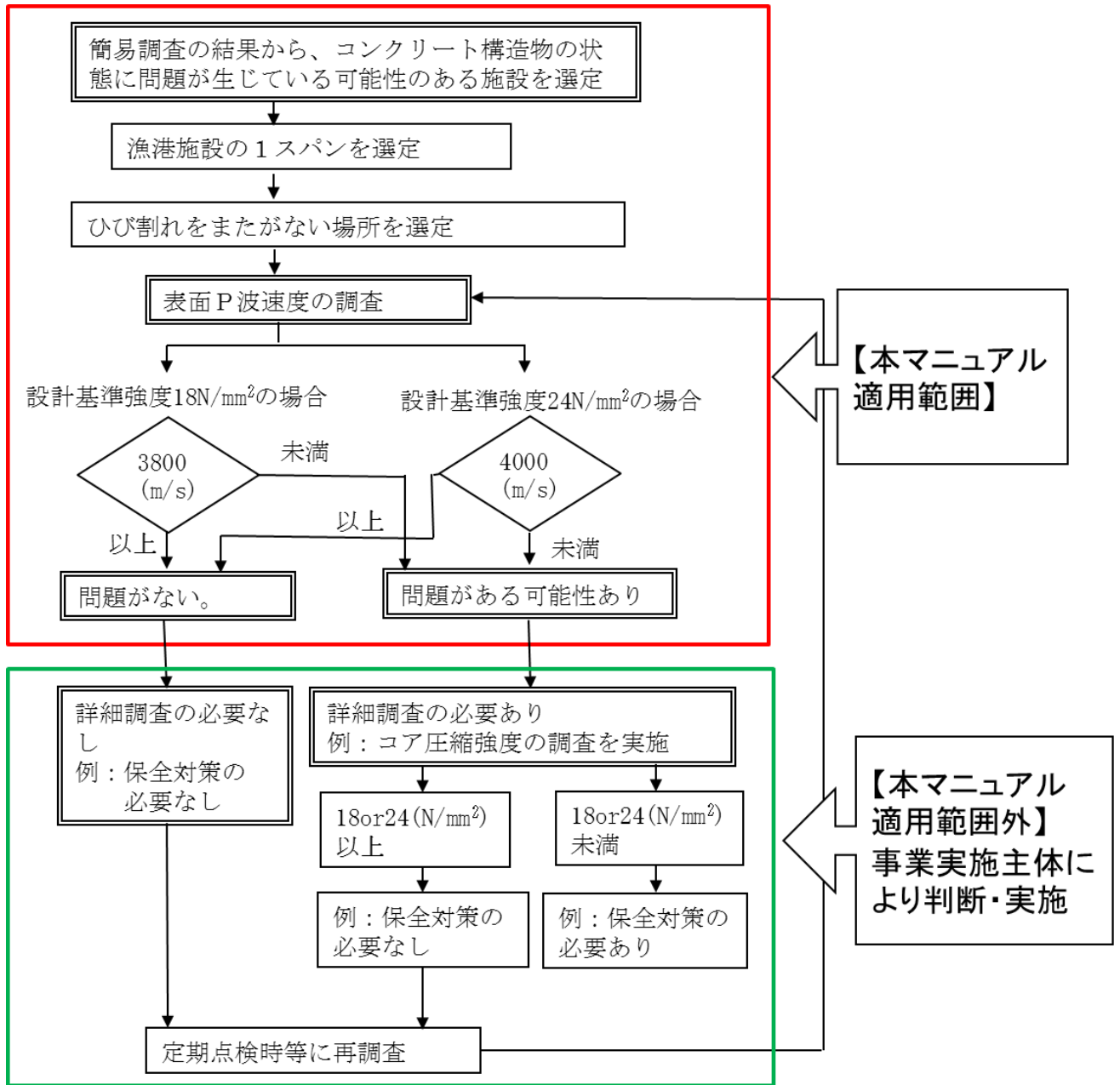


図14 簡易機能診断手法適用フロー図（例）

(2) 調査箇所間での表面 P 波速度の比較

コンクリートの品質がほぼ同一（同一工種で同一時期に整備された施設等）と考えられるひび割れのない箇所において、スパン毎や 1m 間隔などでの調査を実施する。そのうち表面 P 波速度の低い箇所では、圧縮強度の低下や内部空隙が存在する可能性がある。

(3) 経年変化における表面 P 波速度の比較

ひび割れ等を跨いだ箇所も含め、経年的に調査を実施する。急激に速度が低下した場合には、圧縮強度の低下や、内部空隙の発生、ひび割れの進展等が考えられる。

(4) 設計耐用年数が経過した施設

目視ではひび割れがなく健全に見える場合においても、設計耐用年数（50 年等）が経過した場合には、圧縮強度や内部空隙の発生等のコンクリートの劣化が進展しているのかどうか確認を行うため、表面 P 波速度を計測し調査を実施する。

6. 報告

報告する事項は次の通りである。

- (1) 試験年月日、試験場所、試験者名
- (2) 構造物とコンクリートに関する記録
- (3) 測定箇所の概要（構造物の概要、測定箇所位置図、コンクリートの強度など）
- (4) 測定装置の型式
- (5) 表面 P 波速度推定結果
- (6) 評価結果

【解説】

報告書の例を以下に示す。

(1) 試験年月日		試験場所		試験者名	
(2) 構造物とコンクリートに関する記録					
(3) 測定場所の概要（構造物の概要、測定箇所位置図、コンクリートの強度など）					
(4) 測定装置の形式					
(5) 表面 P 波速度推定結果					
(6) 評価結果					

Ⅲ. 適用例⁴⁾

防波堤上部工において、表面 P 波法を適用した例を示す。図 15 に示すスパン 1～5 において 5m 間隔で実施した。このうちスパン 5 の 1～2m のみ幅 1mm のひび割れが確認されたことから、スパン 5 については、1m 毎に表面 P 波速度を測定した。図 16 にスパン毎の表面 P 波速度を示す。また、図 17 にスパン 5 における 1m 間隔の表面 P 波速度を示す。ひび割れがある 1～2m 間を除くと、スパン 5 の 3～4m 間、4～5m 間が 3,800(m/s) を下回ることから、本箇所について、コンクリート構造物の状態に問題がある可能性がある。

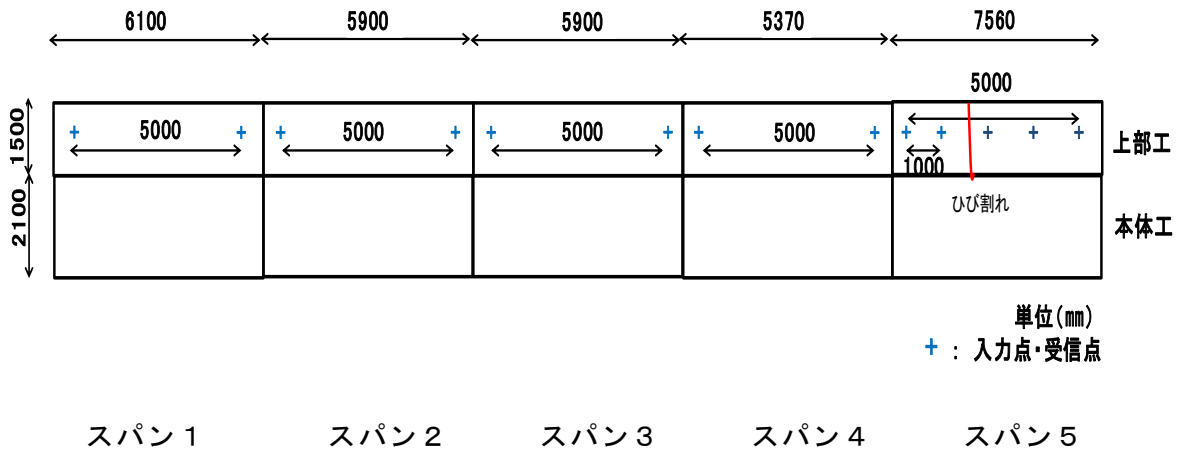


図 15 防波堤上部工の測定位置

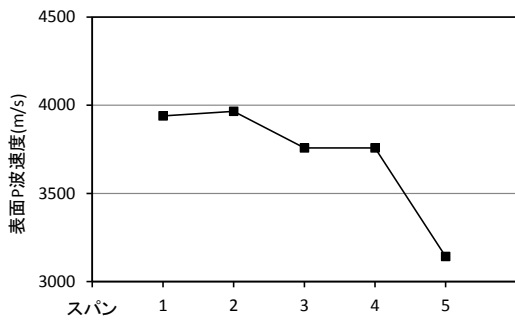


図 16 防波堤上部工におけるスパン毎の表面 P 波速度

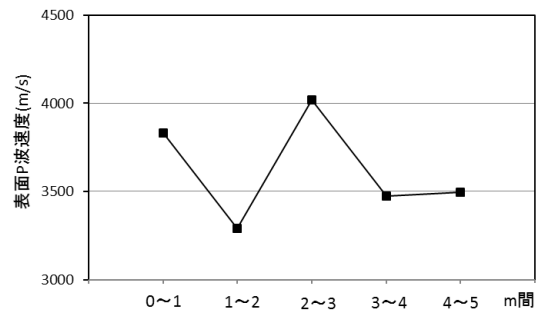


図 17 防波堤上部工スパン 5 の 1m 毎の表面 P 波速度

《参考文献》

- 1) 水産庁漁港漁場整備部：水産基盤施設ストックマネジメントのためのガイドライン(案), 2014.
- 2) 三上信雄, 藤田孝康, 極壇邦夫, 笠井哲郎：既設漁港コンクリート構造物の表層部劣化診断への衝撃弾性波法の適用, コンクリート工学年次論文集, Vol. 31, No. 2, pp. 1555-1560, 2009. 7
- 3) T. Kaneda, Y. Yoshizuka, T. Fujita, T. Okano, T. Kasai, S. Date, T. Nishizaki; ProPosed method for simPle deterioration diagnosis of existing fishing Port facilities using imPact-echo,IALCCE2014
- 4) 金田 拓也、富川 裕一、藤田 孝康、笠井 哲郎;衝撃弾性波法による漁港構造物の簡易機能診断手法の提案, 東海大学紀要工学部 Vol.54, No.1, 2014, pp.7-14
- 5) (独) 土木研究所・(社) 日本非破壊検査協会：非破壊・微破壊試験によるコンクリート構造物の検査・点検マニュアル, 2010. 8
- 6) 一般社団法人日本非破壊検査協会：コンクリートの非破壊試験－弾性波法－第2部衝撃弾性波法 NDIS2426-2, 2014
- 7) Mary Sansalone, Jiunn-Ming Lin, and William B. Streett, A Procedure for Determining P-Wave SPeed in Concrete for Use in ImPact-Echo Testing Using a P-Wave SPeed Measurement Technique, ACI MATERIALS JOURNAL, pp. 531-539, 1997
- 8) 岩野聡史, 森濱和正, 渡部正：衝撃弾性波法と微破壊試験の併用による構造体コンクリートの圧縮強度推定方法の提案, 土木学会論文集 E3(材料・コンクリート構造), vol169, no2, pp138-153, 2013
- 9) 重松宏和, 三上信雄, 極壇邦夫, 笠井哲郎：衝撃弾性波法による沿岸構造物の劣化診断に関する基礎研究, コンクリート工学年次論文集, vol. 32No. 1, pp. 1703-1708, 2010. 6
- 10) 岡田清, 六車熙編：コンクリート工学ハンドブック, pp. 520-532, 朝倉書店, 東京, 1981
- 11) 藤田孝康, 岡野崇裕, 安藤 亘, 浅川典敬, 田根秀昭, 三上信雄：漁港施設における効率的な維持管理のための老朽化診断手法に関する研究, 日本沿岸域学会 2011 年第 24 回研究討論会, 2011

謝辞：本成果は、水産庁水産基盤調査委託事業「漁港漁場施設の性能規定化等技術検討」により調査したデータ等を取りまとめたものである。現地試験の実施にあたって、青森県外ヶ浜町、新潟県、岡山県、神奈川県、茨城県、千葉県の関係者の皆様のご協力いただいた。本成果の作成にあたって、青森県の関係者、北海道大学大学院横田教授、土木研究所寒地土木研究所三上上席研究員のご指導を頂いた。また、現地試験の実施及び本成果の作成にあたって、東海大学笠井教授のご指導・ご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。