

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

金田 拓也^{*1} 富川 裕一^{*2} 藤田 孝康^{*3} 笠井 哲郎^{*4}

Proposed Method for Simple Deterioration Diagnosis of Existing Fishing Port Facilities Using Impact-Echo by

Takuya KANEDA^{*1}, Yuuichi TOMIKAWA^{*2}, Takayasu FUJITA^{*3} and Tetsuro KASAI^{*4}

(Received on Mar. 28, 2014 and accepted on May. 15, 2014)

Abstract

Existing fishing port facilities form a huge stock for which deterioration diagnosis and repair construction have started throughout Japan. Hence a simple and precise method for the deterioration diagnosis is needed. This study aimed to develop a simple deterioration diagnosis method applicable to fishing port facilities, and a proposed method using impact-echo was extensively tested through the inspection of existing structures. The results provided a quantitative measure of the immediacy of countermeasures, prediction of the timing of follow-up inspection, and a simple deterioration diagnosis method. Availability of the proposed method was confirmed through tests at existing fishing port facilities.

Keywords: Fishing port facilities, Maintenance, Concrete structure, Impact echo method, P-wave speed

1. はじめに

我が国の漁港は、全国に約2,900港存在し膨大な既存ストックを有している。漁港施設の建設は、1960年代の高度成長期に始まり、2000年には建設費用の累計が10兆円、2005年には累計施設延長が5,000kmを超えている。建設後30年を超える施設が全体の約40%に達し、施設の老朽化が懸念されている¹⁾。

このような状況の中、水産庁は、計画的な維持管理を進め、既存施設の長寿命化と今後の維持管理費用の縮減を図ることを目的に、平成20年4月に水産物供給基盤機能保全事業を創設した²⁾。各漁港の管理者は、本事業の補助を受け、順次、各漁港において維持管理の取り組みとして、機能保全計画を策定し機能診断や保全対策工事等を進めているところである。

施設数が多く、多様な構造形式がある漁港施設の管理は、大部分において市町村が行っている。しかし市町村は、維持管理に関する予算の制限や専門的知識を有する技術者を確保し難い状況にある。また、調査診断技術は、機能診断手法の明確化と精度の向上、点検・診断手法の簡易化、老朽化予測とLCC算定の精度向上など、改善が望まれる様々な課題を有している。特に機能診断の精度は、目視・計測における診断者の知識・技能の違いによる影響が大きいことや³⁾、目視では対策実施時期等の予測が困難などの課題がある。このような漁港施設の維持管理を適切に行うため、的確で簡易な機能診断手法の確

立が求められている。

本報告は、漁港施設の機能診断の一手法として、長大なコンクリート構造物に適用でき、容易に操作ができる衝撃弾性波法を用いて漁港施設の調査を実施した。これにより対策が必要な漁港施設の定量的な値の提示や、再調査実施時期の推定、簡易な機能診断手法の提案を行った。また、本診断手法を漁港施設に適用して確認した。

2. 漁港施設の維持管理の現状と課題

2.1 漁港施設の維持管理の現状

漁港施設における維持管理は⁴⁾、Fig.1に示すとおり、まず①機能保全方針の設定、②施設の現況把握、③機能診断の実施、④機能保全対策の検討を行う。これらの一連の検討過程を経て、⑤機能保全計画の策定を行い、機能保全計画に基づき、計画的な⑥保全対策工事を実施すると共に、⑦定期的な点検（定期点検等）による施設の老朽化のモニタリングを行う。最後に、⑧一連のデータを蓄積活用して効率的な維持・管理を行うものである。

この中で機能診断は、保全対策工事実施箇所を決める重要な位置づけにあり、この機能診断を実施するため、既存施設の老朽化調査を、①簡易調査（簡易項目）、②簡易調査（重点項目）および③詳細調査の3段階に分けて行う事としている。その具体的な内容についてはTable 1に示す。①簡易調査（簡易項目）により変状が確認できた場合には②簡易調査（重点項目）を実施する。また、③詳細調査は、簡易調査では保全対策を行うべきかどうかの判断が困難な箇所等において、老朽化要因や老朽化

*1 (独) 水産総合研究センター

*2 工学研究科土木工学専攻修士課程

*3 (一社) 水産土木建設技術センター

*4 工学部土木工学科教授

箇所・範囲の特定および保全対策の必要性の検討等のために実施するものである。

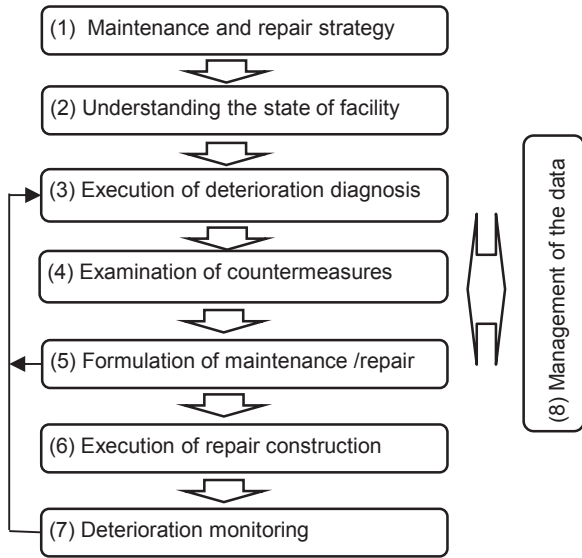


Fig.1 Procedure of fishing port facility maintenance⁴⁾.

Table 1 Type and procedure of deterioration inspection⁵⁾.

Inspection type	Objective	Procedure
Simple inspection for general items.	Visual observation of changes.	Visual observation with inspection form.
Simple inspection for important items.	Confirm deterioration level with visual observation or simple measurement.	Simple measurement for estimation of deterioration level with convex, measure, crack scale and inspection form.
Detailed inspection.	Identify the cause and extent of the deterioration for repair countermeasures.	Core sampling for compressive strength estimation. Changes in shape of elements. ASR test.

2.2 漁港施設の維持管理の課題・問題点

漁港施設は、コンクリートが主要材料の施設割合が多く、特に無筋コンクリートの割合が多い。また、防波堤のように延長距離が長い構造物が多い。さらに沿岸域に設置されているため、波浪による影響や海水による劣化を受けやすいといった特徴がある。

こうした漁港施設に多いコンクリート構造物の機能診断上の課題・問題点として、以下が挙げられる。

- 1) 簡易調査で行われるコンクリート構造物の計測・目視による機能診断は、実施者によりばらつきがあること。

- 2) 簡易調査で行われるコンクリート構造物の計測・目視による機能診断では対策実施時期等の予測が困難であること。
- 3) 簡易調査や詳細調査で行われる機能診断は、膨大な施設があり、多くの調査時間・費用が必要であること。

3. 衝撃弾性波法の既往の研究と漁港施設への適用

コンクリート構造物の状態を客観的に把握する手法として、詳細調査において、コア採取による圧縮強度推定等の局所的な破壊試験から強度を推定する方法が実施されている。しかし本手法は施設本体の損傷を伴うこと、試験のコストや時間が生じ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。

3.1 表面P波法の特徴

非破壊試験法である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 (Fig.2参照)。

弾性波は Fig.3 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。

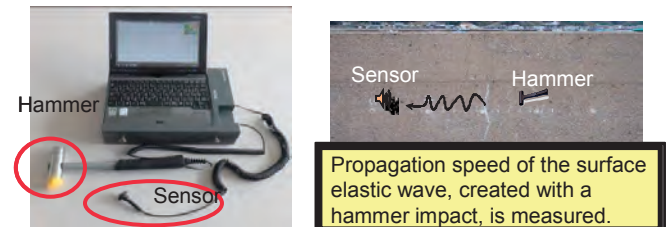


Fig.2 Impact-echo apparatus and the P-wave measuring procedure

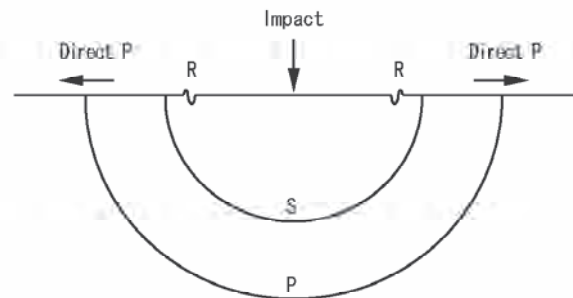


Fig.3 Elastic wave propagation from the impact point at concrete surface⁶⁾.

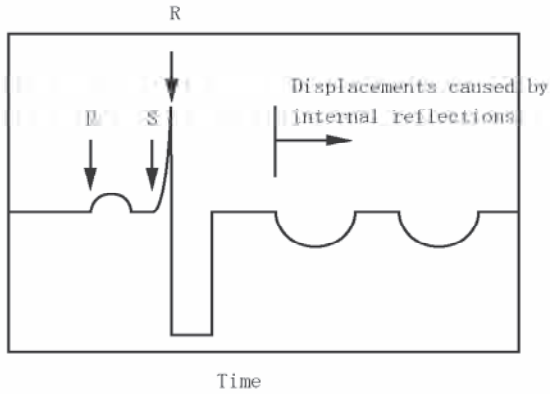


Fig.4 Approximate diagram of P, S and R waves⁶⁾.

Fig.4 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。Fig.4 のように受信点には最初に 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。

3.2 表面 P 波法の適用

(1) 圧縮強度等との関係

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可能性がある。

岩野らは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⁷⁾、両者の関係式を提示した(式(1))。

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

f_c : コンクリートの圧縮強度

V_p : 表面 P 波速度

また、以下の手順による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 =コア圧縮強度/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、式(1)により暫定推定強度を求め2)により求めた補正比率(k)を乗じて補正する。

本手法により、漁港の既設構造物でも1箇所のコア圧縮強度を調査すれば、任意の位置で表面P波速度を測定することで、その位置のコンクリートの圧縮強度を式(1)を用いて推定できることを示した。

また、重松らの室内実験の結果でも⁸⁾、供試体の圧縮強度が低い程、表面P波速度が低くなり、両者には高い相関があることを示している。

更に、文献9)ではTable 2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波速度の関係を示している。

會田は¹⁰⁾、砂防堰堤の表面P波速度とボーリング結果および諸外国で設定されている表面P波速度による判定基準を参考に、コンクリート製砂防堰堤の健全度評価としてTable 3を示した。これに基づき補修工事対象施設等の選定を行うとしている。

以上、表面P波速度法により既設漁港コンクリート構造物の評価が可能であると考えられる。

Table 2 Surface P-wave speed and concrete quality⁹⁾.

Unit weight of concrete: 2400 kg/m ³	
Surface P-wave speed (m/s)	Evaluation
More than 4570	Excellent
3660 - 4570	Good
3050 - 3660	Slightly good
2130 - 3050	Poor
Less than 2130	Bad

Table 3 Soundness evaluation of sand control dam¹⁰⁾

Surface P-wave speed (m/s)	Soundness evaluation
More than 3300	Good
2800 - 3300	Slightly good
2000 - 2800	Slightly poor
Less than 2000	Poor

(2) ひび割れ深さとの関係

目視では分からないひび割れ深さについて、表面P波速度より定量的に推定することができる可能性がある。

重松ら⁸⁾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分かっていることから理論的に算出できる。その理論値と測定値より表面P波速度の低下率を算出しTable 4に示す。表より測定値から算出された表面P波速度の低下率は、理論値のそれと比較してその誤差は1割以内となっている。このことは、表面P波速度の測定によりひび割れ深さを評価できることを示すものである。

Table 4 Decreasing rate of surface P-wave speed.

Type of crack *	Decreasing rate		A/B
	Measured (A)	Estimated (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

*Type of crack: crack depth - number of cracks

伝搬時間からひび割れ深さを求める代表的な試験方法として修正BS法、Tc-To法がある^{11),12)}。修正BS法は、ひび割れ開口部から発信子と受信子をそれぞれ2種類の等距離に設置し、それぞれ計測された弾性波の伝搬時間 (t_1 および t_2) からひび割れ深さ(d)を式(2)より評価する方法である。

$$d = a \sqrt{\frac{4t_1^2 - t_2^2}{t_2^2 + t_1^2}} \quad (2)$$

d: ひび割れ深さ
 a: ひび割れとセンサーの距離
 t_1, t_2 : ひび割れとセンサーの距離が a および 2a の場合の弾性波伝搬時間

Tc-To 法は、健全部とひび割れ開口部の2箇所が発信子と受信子を等間隔(2a)で設置し、それぞれ計測された伝搬速度(T_o および T_c)からひび割れ深さ(d)を、式(3)より評価する方法である。

$$d = a \sqrt{\left(\frac{T_c}{T_o}\right)^2 - 1} \quad (3)$$

d: ひび割れ深さ
 a: ひび割れと受信子の距離
 T_o, T_c : 発信子と受信子の距離が 2a の場合の健全部とひび割れ開口部での計測された伝搬時間

(3) 内部空隙との関係

藤田ら¹³⁾の漁港施設の現地調査では、ひび割れの発生が確認されていないにもかかわらず、表面P波速度が急激に低下した箇所が報告されている。当該箇所について、コア採取した所、内部に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波速度が低下する可能性があると考えられる。

(4) 漁港施設への表面P波法の適用

衝撃弾性波法のうち表面P波法については、3.1や3.2(1)~(3)に示したように、コンクリート構造物の比較的長い部材に対応ができ、試験方法がハンマーとセンサーを用いるのみで、簡便で迅速に測定ができ、コンクリート構造物の老朽化の特徴であるコンクリートの圧縮強度やひび割れ等を定量的に把握できるという特徴がある。前述の漁港施設の課題・問題点 2.2 1)については、表面P波法の特徴より、コンクリートの圧縮強度等の状態を定量的に判断が出来ること、2.2 2)については、定量的な値の経年変化の傾向より、対策実施時期等が予測できる可能性があること、2.2 3)については、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、により漁

港施設への課題・問題点の解決につながると考えられる。しかし、漁港施設への適用方法が明示されていない。

こうしたことから、表面P波法を用いて漁港施設の調査を実施し、その適用性についての検討を行った。

4. 現地調査の概要

4.1 実施場所

実施場所は、新潟県筒石漁港・能生漁港、青森県宇鉄漁港、岡山県寄島漁港の防波堤、護岸、物揚場、船揚場等の4漁港15施設である。これらの施設は構造形式から無筋コンクリート構造であることが推定された。

これら4漁港の施設を対象として、表面P波速度の計測とコア採取による圧縮強度の推定を行った。表面P波速度の計測は、ひび割れの無い1m間隔で実施した。コアは表面P波速度の計測を行った位置の中心部分で採取した。コアによるコンクリート圧縮強度試験は、JIS A 1108に準拠して行った。

また、表面P波速度の経年的な変化について検討するために、2010年に調査を実施している寄島漁港の三郎3号防波堤上部工のスパン4、スパン5の上部と下部のスパン間隔5mで調査を行った(Fig.5, 6参照)。なお、スパン4はひび割れがなく、スパン5は幅1mmのひび割れがあり、ひび割れを跨いで計測を行った。ひび割れの状況は2010年調査時と変化がなかった。



Full view

Span No. 5

Fig.5 Targeted structures of the diagnosis in 2010.

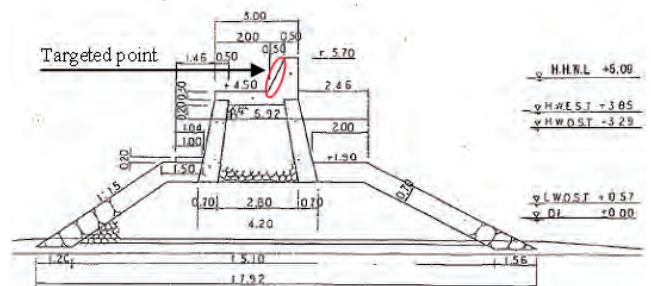


Fig.6 Cross-section of Yorishima Saburo No.3 breakwater.

4.2 現地調査での表面 P 波の計測方法

表面P波速度の調査は、Fig.2の衝撃弾性波測定装置を用いて測定した。測定の際コンクリート表面のセンサーで受信する受信点と、ハンマーで打撃する発信点（打撃点）について、漁港施設は波浪および海水によってコンクリート表層部の劣化が生じているため、電動ディスク研磨機を用い平滑に研磨した。また、表面P波速度は同一点で5回測定し、その平均値で評価した。

5. 結果および考察

5.1 対策が必要な施設の定量的な値の提示

現地調査における表面 P 波速度とコア圧縮強度の結果をもとに、それぞれの調査箇所において、3.2(1)に示した暫定推定強度、補正比率 k を算定し、圧縮強度が $18(\text{N}/\text{mm}^2)$ となる表面 P 波速度を推定した。推定した速度の平均値は $3,265(\text{m}/\text{s})$ (標準偏差; $429(\text{m}/\text{s})$, 変動係数; 13.1%) であった。この値および、3.2(1)で示したコンクリートの圧縮強度と表面 p 波速度の結果等から、設計基準強度が $18(\text{N}/\text{mm}^2)$ の施設に対しては、表面 p 波速度 $3,300(\text{m}/\text{s})$ 以下を対策が必要な施設として判別することとした。

内部空隙については、今回の調査では該当する箇所は見られず、表面 P 波速度の定量的な値と内部空隙との関係は不明であった。これより、圧縮強度のみに着目し、今回、対策が必要な施設の定量的な値を提示した。なお、この値については、4 漁港 15 施設の事例調査であるので、今後とも精度向上の検討を行う必要があると考える。

5.2 表面 P 波速度の経年的な変化の検討

Fig.7 は、同一箇所における 3 年経過に伴う表面 P 波速度の変化を示したものである。ひび割れがないスパン 4 では平均して約 $450\text{m}/\text{s}$ の速度の低下、ひび割れがあるスパン 5 では約 $830\text{m}/\text{s}$ の速度の低下となった。ひび割れがないスパンでは、コンクリートの表面 P 波速度は低下傾向が見られたが、ひび割れのあるスパンは、さらなる低下が見られた。スパン 4 の結果は、福手ら¹⁴⁾の海水循環水槽を用いた 20 年間の試験での 5 年目以降の圧縮強度の低下傾向と同様の低下傾向となっている。しかしながら、低下割合については、今回 10% 以上となっている。この値が一般的なコンクリート構造物の低下割合と比較して妥当なものなのかは、事例報告や検討結果が少なく判断は難しいが、この間に起こった東日本大震災の影響も含め、検討する必要があるものと考えられる。

金田ら¹⁵⁾によると銚子漁港のひび割れのある岸壁では、表面 P 波速度の急激な低下が見られ、その原因として東日本大震災の影響でひび割れ内部に空隙が広がった可能性を示している。これらより、ひび割れのあるスパン 5 については、経年的なコンクリートの劣化に加え、ひび割れ内部で空隙が何らかの形で広がり、さらなる表

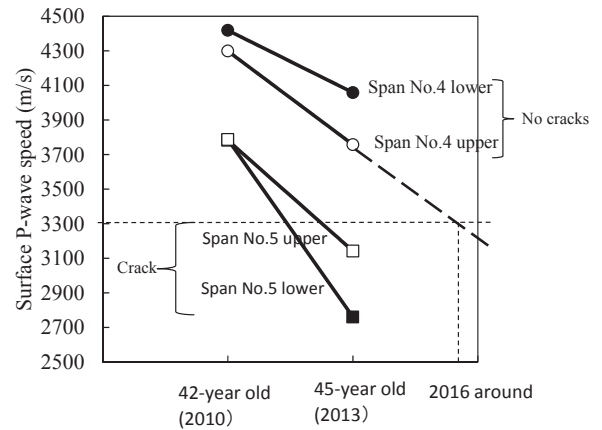


Fig.7 Changes in P-wave speed of Yorishima Saburo No.3 breakwater.

面 P 波速度の低下が引き起こされたと考える。

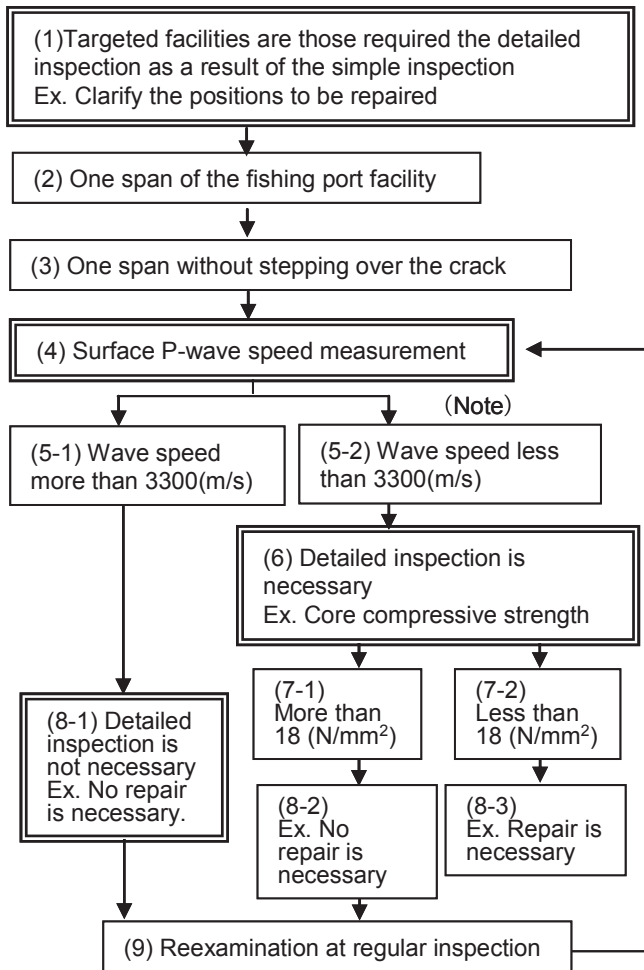
また、スパン 4 の上部について、表面 P 波速度が 5.1 で示した対策が必要な値である $3,300(\text{m}/\text{s})$ になる時期について、3 年間の傾向から直線近似すると、Fig.7 の破線の通り 2.5 年後の 2016 年頃に $3,300(\text{m}/\text{s})$ となることが予測される。これより、その時期に対策が必要かどうか確認を行うため、再度調査を行う必要がある。ただし、表面 P 波速度の経年的な変化の傾向については、数事例の短期間 (3 年間) の調査であるので、今後ともその精度向上のための検討を行う必要がある。

6. 簡易機能診断手法の漁港施設への適用

6.1 簡易機能診断手法の提案

表面 P 波速度を用いた簡易診断手法 (以下、「簡易機能診断手法」という) について、Fig.8 のフローを提案する。「(1)機能診断時または定期点検時の簡易調査時の結果から、詳細調査を実施する必要がある施設を対象」とする。また、「その例として、保全対策を行うかどうかの判断が困難な箇所について、保全対策実施箇所の明確化のため実施」する。そうした場所において、「(2)漁港施設の 1 スパンを対象」、「(3)(2)のうちひび割れをまたがない場所を対象」とし、当該箇所でも「(4)表面 P 波速度の調査」を実施する。「(5-1)表面 P 波速度が $3,300(\text{m}/\text{s})$ 以上」の場合は、「(8-1)詳細調査の必要なし。例として、保全対策の必要なし」と判断する。その後「(9)定期点検時等に再調査」を実施する。その実施時期は、定期点検時等に行うことができると考えられる。

また、「(5-2)表面 P 波速度が $3,300\text{m}/\text{s}$ 未満」の場合は、「(6)詳細調査の必要あり。例として、コア圧縮強度の調査を実施」し、「(7-1)圧縮強度が $18(\text{N}/\text{mm}^2)$ 以上」の場合には、「(8-2)例として保全対策の必要なし」。「(7-2)圧縮強度が $18(\text{N}/\text{mm}^2)$ 未満」の場合には、「(8-3)例として保全対策の必要あり」となり、その検討を行うこととする。



(Note) When concrete design strength is 18(N/mm²)

Fig.8 Procedure of the simple deterioration diagnosis method.

「(4)表面 P 波速度の調査」は、Fig.2 の衝撃弾性波測定装置を用いて測定する。測定の際コンクリート表面のセンサーで受信する受信点と、ハンマーで打撃する発信点（打撃点）は、漁港施設は波浪および海水によってコンクリート表層部の劣化が生じやすいため、電動ディスク研磨機を用い平滑に研磨を行う。なお、表面 P 波速度は同一点で 5 回測定し、その平均値で評価する。

ひび割れ箇所におけるひび割れ深さの推定は 3.2(2) にその算定方法を示したが、理論値からの推定となり、漁港施設への適用については、さらに検討の必要がある。

こうした調査により、保全対策を行うかどうかの判断が困難であり、詳細調査を実施する必要があるコンクリート構造物について、その評価が可能となる。これにより、詳細調査実施箇所や保全対策工事実施箇所を選定することができ、効率的・効果的な維持管理となると考える。

6.2 簡易機能診断手法の現地への適用

本フローについて、岡山県寄島漁港三郎 3 号防波堤上部工で適用を行った (Fig.5, 6 参照)。本防波堤は、小規模な変状があったものの、施設の機能に影響する変状は

なかった。しかし、共用開始から 45 年が経過し、現時点で当該施設が所用の強度を有しているかを確認するため、詳細調査が必要な箇所として選定した。なお、2011 年に本防波堤のスパン 4 において、同趣旨でコア圧縮強度等の詳細調査が実施されており、詳細調査の必要な箇所として妥当な箇所であると考えた。表面 P 波速度の調査を、スパン 1~5 の 5m 間隔で行った。そのうちスパン 5 の 1~2m 区間のみ幅 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。

Fig.9 にスパン毎の表面 P 波速度を示す。ひび割れの無いスパン 1~4 は、表面 P 波速度が 3,300(m/s)以上であり、保全対策の必要なしと判断した。2011 年にスパン 4 で調査したコア圧縮強度の結果では、50.9(N/mm²)となり、今回の保全対策が必要でないという結果と一致した。

Fig.10 に、スパン 5 における 1m 間隔の表面 P 波速度を示す。ひび割れのある 1~2m の区間以外の各区間について 3300(m/s)以上であることから保全対策の必要がないと判断した。

なお、本提案はひび割れの評価について示していないが、今回、スパン 5 のひび割れについて計測した。ひび割れ深さを 3.2(2)で示した Tc-To 法により表面 P 波速度

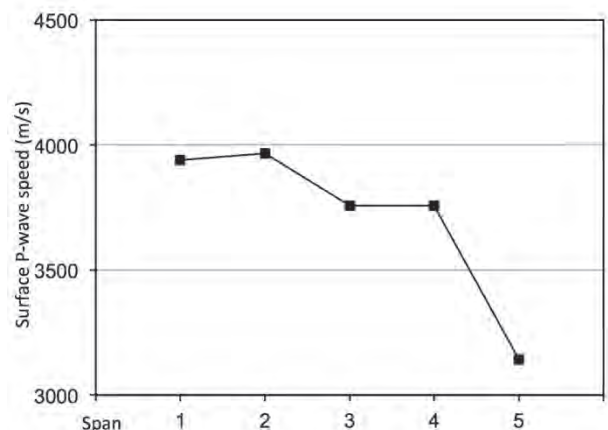


Fig.9 P-wave speed by span of Yorishima Saburo No.3 breakwater.

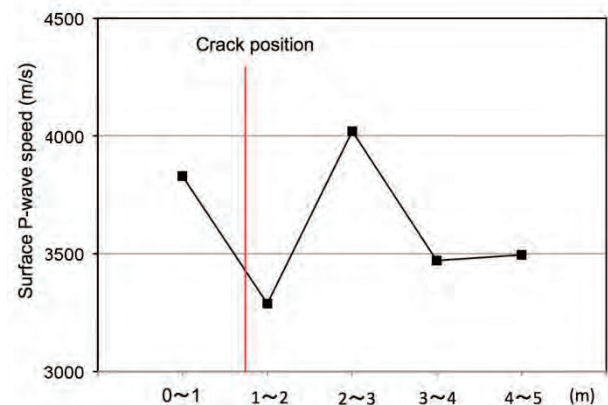


Fig.10 P-wave speed of every 1 m of span 5, Yorishima Saburo No.3 breakwater.

を用いて推定すると、32cmとなった。しかし、このひび割れは、幅 1mm のひび割れであり、漁港施設簡易調査の調査様式¹⁶⁾によるとc判定(部材の性能低下はないが、変状が発生している状態)となり、構造体として問題がないと判断される。ひび割れの評価も含めた簡易機能診断手法に関しては、今後の検討課題であると考えられる。

以上、岡山県の寄島漁港三郎第3防波堤に本簡易機能診断手法を適用したところ問題がないと判断された。今後、適用事例を増やし、本手法の妥当性について確認する必要がある。

7 まとめ

本研究では、衝撃弾性波法の漁港施設への適用について、検討した結果を以下に示す。

- (1) 衝撃弾性波法は、比較的長い部材に対応し、簡便で迅速に測定ができ、コンクリートの強度やひび割れ等を定量的に把握できることから、漁港施設の診断手法として適用性が高い。
- (2) 漁港施設における表面P波速度とコアによるコンクリート圧縮強度試験より、漁港施設ごとに設計基準強度に相当する表面P波速度を推定した。この結果から、設計基準強度が18(N/mm²)の施設において、3,300(m/s)を対策が必要な表面P波速度として示した。
- (3) 現地調査より、表面P波速度の経年変化を把握した。これにより、再調査実施時期を推定した。
- (4)(2)・(3)の検討を踏まえ、漁港施設に対する簡易機能診断手法を提案し(Fig. 8)、ひび割れがない場合の実構造物への適用を試みた。
- (5)(4)の簡易機能診断手法について漁港施設に適用したところ、本手法はこれらに適用が可能であると判断された。

以上より、漁港施設に適用可能な簡易機能診断手法を提案した。本手法を適用することにより、詳細調査や保全対策実施箇所の選定が可能となり、効率的・効果的な維持管理につながるものと考えられる。今後も適用事例やデータを蓄積し、その精度向上を図る予定である。

なお、本研究の一部は、水産庁平成25年度水産基盤調査委託事業「漁港漁場施設の性能既定化等技術検討」により調査したデータをもとに、筆者らがとりまとめたものである。

謝辞：

調査の実施にあたり、新潟県、青森県、青森県外ヶ浜町および岡山県の関係者の方々に多大なご協力をいただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 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
- 2) 漁港漁場漁村ポケットハンドブック編集委員会: 漁港漁場漁村ポケットブック2012. 社団法人全国漁港漁場協会, 東京, p66, 2012
- 3) 三上信雄, 藤田孝康, 保坂三美, 極壇邦夫, 重松宏和, 笠井哲郎: 沿岸構造物の効率的な維持管理のための簡易的な機能診断手法に関する研究, 海洋開発論文集, Vol. 26, pp. 165-170, 2010. 6
- 4) 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), pp9, 東京, 2012.
- 5) 水産庁漁港漁場整備部: 機能保全計画策定の手引き(案), pp1-9, 東京, 2012
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 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
- 9) 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
- 10) 會田和広: 砂防施設の劣化診断と維持管理のあり方について, 建設物価 2009・3月号, pp. 26-29, 東京, 2009
- 11) 日本コンクリート工学会: コンクリート診断技術' 12[基礎編], pp113-114, 東京, 2012
- 12) 谷川恭雄監修: コンクリート構造物の非破壊検査・診断法, pp. 52, セメントジャーナル社, 東京, 2004
- 13) 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機能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
- 14) 福手勤, 濱田秀則, 山本邦夫, 海洋環境に20年間暴露されたコンクリートの耐久性に関する研究, 土木学会論文集, No442, V-16, pp. 43-52, 1992-2
- 15) 金田 拓也・ 間辺本文・ 藤田孝康・ 岡野崇裕・ 笠井哲郎・ 高橋涼・ 豊原俊: 衝撃弾性波法による沿岸構造物の経年劣化に関する基礎的研究, 平成 25 年度土木学会全国大会第 68 回年次学術講演会, pp1049-1050, 2012
- 16) 水産庁漁港漁場整備部: 機能保全計画の手引き(案), pp3-37, 東京, 2012.