報告　既設漁港施設の維持管理のための簡易的な老朽化診断法の精度向上に関する研究

藤田孝康[*1]・冨川裕一[*2]・伊達重之[*3]・笠井哲郎[*4]

要旨：膨大かつ様々な立地条件にある漁港施設の維持管理を効率的に行うためには，一定の精度を確保し，かつ簡便な老朽化診断手法の確立が求められる。本報告は，既存漁港施設の簡易的な老朽化診断手法として反発度法，および機械インピーダンス法について，圧縮強度に影響する測定値の特性，測定箇所，骨材比，劣化前後および計測位置の研磨前後等に関する室内試験の検討と，既存漁港施設での原位置調査を行い，これらの手法の有効性を検討した。その結果，機械インピーダンス法は，反発度法と比較して，精度が高く，研磨しなくても打撃応答波形の検討を行うことで，簡易に強度推定が可能であることが確認された。

キーワード：漁港施設，ストックマネジメント，老朽化診断，コンクリートの圧縮強度

1.　はじめに

漁港施設を有する漁港は，2,909 が全国に点在し [1)]，膨大な既存ストックとしての漁港施設があり，これら施設の老朽化が懸念されている [2)]。

一方，漁港施設は，構造形式が数多く，その大部分が市町村管理である [3)]。市町村管理者は，維持管理予算の確保が困難であること，専門的知識を有する技術者を確保し難いという課題を抱えている [4)]。

また，漁港施設における診断手法は，調査者による評価のばらつきや精度向上，簡易診断手法の開発，老朽化予測や LCC 算定の精度向上など，今後改善されることが求められている課題が多い。特に，漁港施設の診断手法は，目視・計測における診断者の知識・技能の違いによるばらつきや対象施設の立地条件（例えば，埋没や消波工設置による見落とし）による制約などがあるため，一定の精度があり，かつ簡易的な手法が求められている [5)]。

著者らは前報で，既存漁港施設を対称とした簡易な老朽化診断手法として，コンクリートを打撃した反発度から圧縮強度を求める反発度法，および衝撃弾性波のうちハンマーでコンクリートを打撃し，その際に得られる打撃応答波形から圧縮強度を推定する機械インピーダンス法について，既存漁港施設を対象にした原位置調査を行い，それらの適用性を検討した [4)]。

その結果，主な結論は，以下のとおりであった。

1)　反発度法は，測定面を研磨することで漁港施設への適用が可能である。
2)　機械インピーダンス法は，研磨しなくとも反発度法より，コアによる圧縮強度試験結果に近くなる傾向があった。また，本手法は，得られた定量データを解析することによって，精度向上が可能であり，現地での簡易的に圧縮強度推定ができる可能性が示唆された。

そこで，本報告では，前回報告を踏まえ，両手法の測定値の違い，測定箇所や測定回数，および表面が劣化した場合の影響について検討し，両手法の漁港施設への適用について，室内試験と既設の漁港施設で現位置調査を行ったので報告する。

2.　漁港施設と反発度法および機械インピーダンス法

2.1 漁港施設の特徴

前回報告したように，我が国の漁港施設は，1960 年代以降，着実な整備が行われ，現在，膨大なストックを有している。

一方，漁港施設は，以下の特徴があり，このような特徴を踏まえた老朽化診断手法の確立が求められている [4)]。

1)　主要部材がコンクリートであることが多く，特に，無筋コンクリートの割合が高い。
2)　防波堤のような延長距離が長い構造物が多い。
3)　波浪による影響や海水による劣化を受けやすい。

図-1　漁港施設における老朽化の状況

2.2　反発度法および機械インピーダンス法

漁港施設は，その構造が無筋コンクリートの割合が高

*1（一社）水産土木建設技術センター　調査研究部　（正会員）
*2 東海大学大学院　工学研究科土木工学専攻
*3 東海大学　工学部土木工学科　博（工）　（正会員）
*4 東海大学　工学部土木工学科　教授　工博　（正会員）

いという特徴があり，これらの老朽化は，ひび割れ，剥離，空洞などの欠陥の大きさおよびコンクリートの圧縮強度を把握することで評価される。また，無筋コンクリート構造物は，構造物表層部の圧縮強度が老朽化に関する客観的指標として重要であるとされている[6]。さらに，コンクリート圧縮強度を評価する手法は，対象施設から採取したコンクリートコアの強度試験（JIS A1108）から求める方法が最も信頼できる方法とされるものの，施設本体の損傷を伴い，試験のためのコストや時間が課題とされている[7]。

そこで，前回報告に引き続き，本報告でも既存の漁港施設へ適用するための手法として，以下の 2 点から反発度法と機械インピーダンス法を検討した[4]。

1) 測定方法が簡便である
2) 計測時間が短く，多点連続計測も可能

図-2　反発度法（左）と機械インピーダンス法（右）の測定状況

3.　試験および調査方法

3.1 反発度法と機械インピーダンス法，および圧縮強度試験による測定値と測定箇所の比較（室内試験）

反発度法と機械インピーダンス法，および圧縮強度試験の測定値と測定箇所の影響を比較するために，水セメント比（W/C）を 35，50，65％とした角柱供試体（300×300×600mm）を作製し，これらの供試体を反発度法と機械インピーダンス法で測定し，推定強度を求めた。角柱供試体の概観を**図-3** に示す。また，角柱供試体の使用材料およびコンクリート配合を**表-1，2** に示す。

両手法による測定箇所は，上面，上面から 10cm の側面（高さ 0-20cm），上面から 30cm の側面（高さ 20-40cm），上面から 50cm の側面（高さ 40-60cm），および下面の 5 箇所とした。また，これらの測定終了後，それぞれの測定箇所からコア（φ75mm）を採取し，圧縮強度試験（JIS A 1108）を実施した。

3.2 反発度法と機械インピーダンス法による測定回数と骨材分離の影響（室内試験）

反発度法と機械インピーダンス法における測定値への測定回数の影響を確認するために，3.1 で示した角柱供試体（W/C；35，50，65％，300×300×600mm）を再作製して，両手法による測定を実施した。測定箇所は，上面から 10cm の側面（高さ 0-20cm）とし，打撃回数を 25，50，100 回と変えて測定した。

また，粗骨材の分離の影響が両手法での測定に与える影響を確認するために，角柱供試体の上面から高さ 0～20cm，高さ 20～40cm，高さ 40～60cm の 3 つに区分し，フレッシュコンクリートの試料採取（JIS A1115）とフレッシュコンクリートの洗い試験（JIS A1112）を実施し，測定箇所ごとの粗骨材質量と粒径別の粗骨材質量を測定し，測定箇所ごとのコンクリート質量での骨材比を算出した。なお，打設時の振動締固めは内部振動機を用い，上面から 5 箇所に 10 秒ずつ挿入して行った。

図-3　角柱供試体の概観

3.3 反発度法と機械インピーダンス法による表層部劣化の影響（室内試験）

コンクリート表層部の違いが反発度法と機械インピーダンス法における測定値への影響を確認するために，3.2 で示した角柱供試体の測定を実施していない1側面を塩酸（希釈濃度：3.3%）に5～10mm浸漬し，24時間静置して劣化させた面を，ウォータージェットで洗い，測定面とした。

図-4に表層部を劣化させた角柱供試体の概観を示す。

表-1　角柱供試体の使用材料

	種類	記号	物性または主成分
セメント	普通ポルトランドセメント	C	密度：3.16g/cm^3,比表面積：3300cm^2/g
細骨材	菊川支流産山砂	S	密度：2.59g/cm^3,吸水率：2.18%,粗粒率：2.42
粗骨材	青梅産硬質砂岩砕石	G	密度：2.70g/cm^3,吸水率：,0.62%最大寸法：20mm
混和剤	AE減水剤	Ad1	リグニンスルホン酸化化合物とポリオールの複合体
	AE助剤	Ad2	変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤
	高性能AE減水剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系化合物

表-2　角柱供試体のコンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m³)				混和剤(kg/m³)			実測値	
			W	C	S	G	Ad1	Ad2	SP	空気量 (%)	スランプ (cm)
35	42.8	4.5	162	463	717	998	−	0.009	3.70	4.5	15.5
50	45.8		167	334	809	998	1.67	0.003	−	4.0	15.8
65	47.2		172	265	854	998	1.06	0.004	−	4.3	11.0

表層部の劣化前，劣化後および劣化後に研磨した 3 つの条件（劣化前，劣化後研磨前，劣化後研磨後）に対し，反発度法と機械インピーダンス法での測定を行った。これらの測定箇所は，上面から 30cm の中央部とし（高さ 20-40cm），測定回数は 50 回とした。ただし，いずれの手法も全ての測定値を用い，反発度法で従来言われている ±20%以上を無効としないこととした。なお，供試体表面は，電動ディスク研磨機（100mm ディスクグラインダ，粒度＃60）を用いて研磨した（表層約 1mm）。

図-4　表層部を劣化させた角柱供試体の概観

3.4 反発度法と機械インピーダンス法による既存漁港施設での現位置調査

既存漁港施設は，神奈川県三浦市にある三崎漁港の西山防波堤と城ヶ崎 4 号係船岸壁を対象とした（図-5 参照）。これらの構造形式，建設年次，測定箇所等は，表-3 のとおりである。

これらの漁港施設において，研磨前後での反発度法，機械インピーダンス法による測定を行い，同一箇所でコアを採取して圧縮強度試験（JIS A 1108）を実施した。測定回数は，25，50 回とし，研磨は，前回報告同様，目視によってコンクリート表面に凹凸がないと判断できる程度（約 1mm）に電動ディスク研磨機（100mm ディスクグラインダ，粒度＃60）を用いて行った。

図-5　西山防波堤（左），城ヶ崎 4 号係船岸壁（右）

それぞれの施設は，設計図書等が残されていないため，改良等の履歴不明であり，材料の配合なども不明であったものの，無筋コンクリート構造であることが想定された。

表-3　既存漁港施設における構造形式，建設年次，および測定箇所等

漁港名	施設名	構造形式	建設年次	測定項目，測定点数
三崎漁港	西山防波堤	崩壊ブロック積，上部工場所打ち（無筋コンクリート）	昭和28年	・圧縮強度試験：3箇所 ・反発度法 研磨前後でそれぞれ25，50回測定（3cm間隔メッシュ） ・機械インピーダンス法 研磨前後でそれぞれ25，50回測定（3cm間隔メッシュ）
	城ヶ崎4号係船岸壁	コンクリートブロック式（無筋コンクリート）	昭和36年	

4.　結果と考察

4.1 反発度法と機械インピーダンス法，および圧縮強度試験による測定値と測定箇所の比較（室内試験）

反発度法，機械インピーダンス法による測定箇所ごとの推定強度とコア採取による平均圧縮強度の結果を図-6 に示す。なお，反発度法の推定は，いずれも 25 回の打撃を行って，これらの反発度（R 値）の平均値からコンクリート強度を推定した（推定強度=-18.04+1.27R_0[8]）。また，機械インピーダンス法の測定，および推定強度は，「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）」に準拠し，25 回の打撃を行って推定した（推定強度=2.98×機械インピーダンス値（ZR）-13.35[9]）。

3 つの方法で測定した圧縮強度を比較すると，いずれの W/C においても平均圧縮強度＞機械インピーダンス法＞反発度法の順となる傾向にあり（図-6 参照），前報と同様に機械インピーダンス法は，反発度法と比較して，コアによる平均圧縮強度に近い値となった [4]。また，反発度法の上面と高さ 0-20cm の推定強度を除いて，全ての推定強度と平均圧縮強度が上面から下面になるにつれ，強度が大きくなる傾向があった。この傾向は，島ら [10]が報告した内容と一致するものである。

4.2 反発度法と機械インピーダンス法による測定回数と骨材の影響（室内試験）

反発度法，機械インピーダンス法による測定回数ごとの推定強度の結果を表-4 に示す。なお，推定強度の推定方法は，4.1 と同様とした。反発度法の推定強度は，測

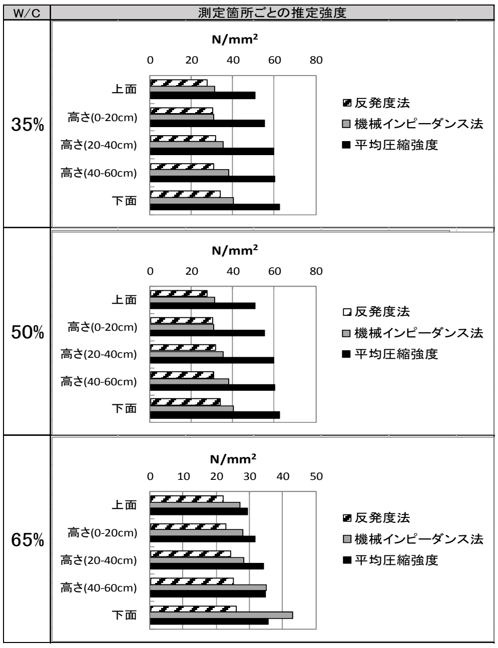

図-6　測定箇所ごとの推定強度および平均圧縮強度

定回数が増えるほど推定強度が大きくなる傾向があり，変動係数も増加した。一方，機械インピーダンス法の推定強度は，反発度法と同様の傾向を示しているものの，変動係数は横ばいの傾向や減少する傾向も見られた。いずれの手法も測定回数が増えるほど，推定強度が大きくなる傾向があるのは，同一箇所を 25～100 回と打撃することにより，コンクリート表層が締固まり，見掛け上の推定強度が増加することも影響したものと推察される。

図-7 に両手法での 100 回の推定強度を 100 としたとき，25，50 回での推定強度の割合を算出し，示した。反発度法は，80.9 以上となり，機械インピーダンス法は，90.6 以上となった。反発度法の推定強度は，50 回以上の測定値によって，概ね 90%となり，測定対象の状況によっては，機械インピーダンス法より多くの測定回数が必要になることが示唆された。

表-5 にそれぞれの測定箇所における粒径ごとの粗骨材を示す。いずれの W/C でも角柱供試体の上面から下面になるほど，全骨材比が増加している。このようなコンクリート打設後の粗骨材比の違いが 4.1 で述べた供試体の上面から下面になるほど，強度が大きくなる 1 つの要因となっていると考えられる。一般には粒径の大きい骨材ほど分離（下方への沈降）が多いと考えられるが，それぞれの高さにおける粒径ごとの骨材比を見ると，粒径 10～15mm の分離が最も大きくなる傾向となった。

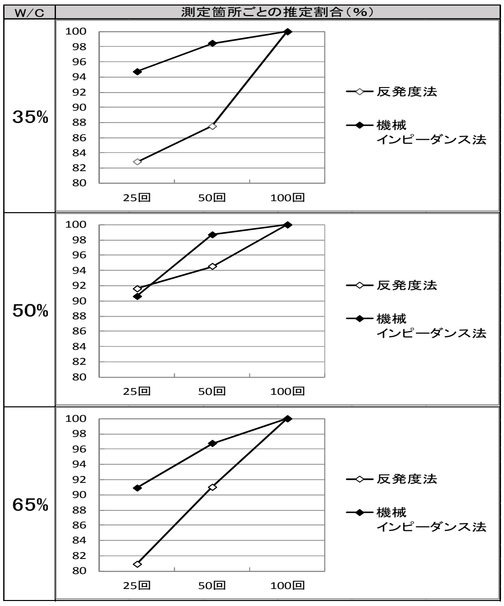

図-7　反発度法，機械インピーダンス法による測定回数100回の推定強度を100とした推定強度の割合

表-4　反発度法，機械インピーダンス法による測定回数ごとの推定強度，変動係数

W/C		35%			50%			65%		
測定回数		25回	50回	100回	25回	50回	100回	25回	50回	100回
反発度法	推定強度 (N/mm^2)	27.4	28.9	32.6	21.8	22.5	23.8	16.1	18.1	19.9
	変動係数（%）	12.8%	12.8%	16.6%	11.9%	12.4%	16.4%	18.0%	21.5%	24.6%
機械インピーダンス法	推定強度 (N/mm^2)	35.7	37.1	37.7	26.9	29.3	29.7	22.1	23.5	24.3
	変動係数（%）	14.7%	18.2%	18.2%	30.8%	27.6%	27.9%	36.2%	33.3%	30.7%

*1：反発度法の推定強度は、推定強度＝−18.04＋1.27R_0によって求めた[7]。
*2：機械インピーダンス法の推定強度は、推定強度＝2.98×機械インピーダンス値（ZR）−13.35によって求めた[8]。

表-5　角柱供試体の測定箇所ごとの骨材比

w/c		35%		50%		65%	
測定箇所	粒径(mm)	粒径別骨材比(%)	全骨材比(%)	粒径別骨材比(%)	全骨材比(%)	粒径別骨材比(%)	全骨材比(%)
高さ(0-20cm)	5～10	5.6	39.7	4.9	37.7	4.7	38.7
	10～15	20.2		19.2		20.5	
	15～20	13.9		13.6		13.5	
高さ(20-40cm)	5～10	6.0	41.2	6.2	43.0	5.9	43.4
	10～15	21.2		22.9		24.1	
	15～20	14.0		13.9		13.4	
高さ(40-60cm)	5～10	6.9	44.6	7.7	47.5	6.3	47.0
	10～15	24.0		25.2		26.1	
	15～20	13.6		14.6		14.6	

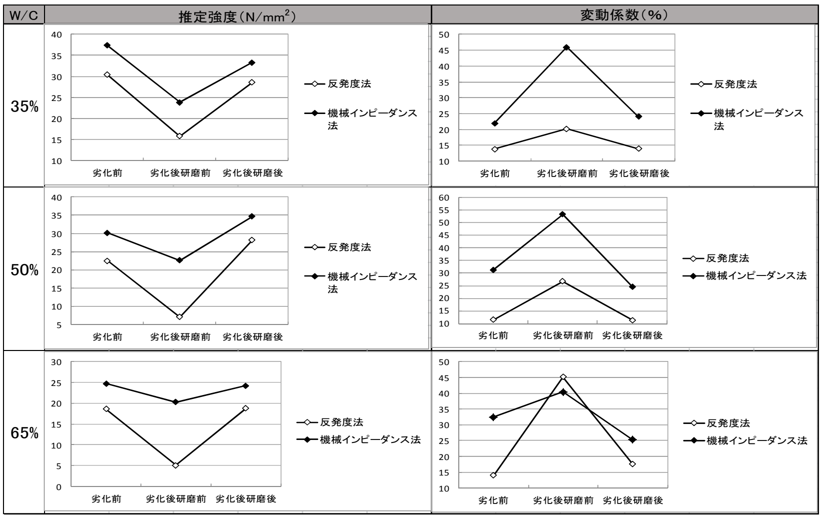

図-8　表層部の状態における反発度法，機械インピーダンス法の推定強度，変動係数

4.3 反発度法と機械インピーダンス法による表層部劣化の影響（室内試験）

反発度法，機械インピーダンス法による劣化前，劣化後研磨前，劣化後研磨後の推定強度と変動係数を**図-8** に示す。いずれの W/C，表層部の状態でも反発度法より，機械インピーダンス法の推定強度が大きい傾向となり，これは前報 [4]および今回の室内試験結果と同様な結果となっている。

また，反発度法の推定強度は，劣化後の研磨前の値が機械インピーダンス法と比較して，大きく減少する傾向があり，このときの変動係数が顕著に大きくなっていることから，反発度法は，既存漁港施設への適用する場合，研磨がより重要であることを示している。

4.4 反発度法と機械インピーダンス法による既存漁港施設での現位置調査

三崎漁港における西山防波堤と城ヶ崎4号係船岸壁における反発度法，機械インピーダンス法および圧縮強度試験の結果を**表-6**に示す。なお，反発度法による推定強度は，4.1～4.3と同様に推定しているものの，±20%を無効とした[8]。機械インピーダンス法は，打撃応答波形におけるZAとZRが非対称で波形が乱れたものは無効とした[11]。

反発度法の推定強度は，研磨前後で大きくなり，前報同様，コア採取による平均圧縮強度に近づき，変動係数も減少する結果となった。西山防波堤における推定強度は，平均圧縮強度(c)と比較して，25.7～37.3％にとどまっており，城ヶ崎4号係船岸壁では，28.3～51.5％であった。また，研磨を実施しても37.3～51.5％と平均圧縮強度（c)と比較して，かなり過小となり，さらに，変動係数も大きくなる傾向であった（**表-6**参照）。この結果は，従来いわれている対象の材料，対象の表面状態，測定箇所の骨材等の反発度がばらつくとされていることを裏付けている[7), 8)]。

反発度法は，既存漁港施設へ適用の場合，従来いわれているように，研磨を前提とし，ある程度無効となる測定値があることも踏まえて，多めの測定を行うとともに，採取コアによる圧縮強度試験を併用すべきである[7), 8)]。

一方，機械インピーダンス法は，反発度法と同様，研

表-6　三崎漁港における反発度法，機械インピーダンス法による推定強度

漁港名		三崎漁港							
施設名		西山防波堤				城ヶ崎4号係船岸壁			
測定方法		25回測定		50回測定		25回測定		50回測定	
		研磨前	研磨後	研磨前	研磨後	研磨前	研磨後	研磨前	研磨後
反発度法	推定強度(a)(N/mm^2)	7.8	11.3	10.7	12.2	11.1	20.2	10.6	19.7
	変動係数（%）	32.1%	24.8%	27.1%	19.7%	18.9%	15.8%	22.6%	16.2%
	a/c（%）	25.7%	37.3%	35.3%	40.3%	28.3%	51.5%	27.0%	50.2%
機械インピーダンス法	推定強度(b)(N/mm^2)	26.7	28.3	22.2	22.3	31.2	31.2	26.1	26.8
	変動係数（%）	55.4%	16.5%	62.2%	31.0%	21.2%	27.2%	43.2%	34.6%
	b/c（%）	88.2%	93.2%	73.3%	73.6%	79.4%	79.6%	66.4%	68.3%
コア採取による圧縮強度試験	平均圧縮強度(c)（コア3本の平均値，N/mm^2)	30.3				39.2			

*1：反発度法の推定強度aは、$a=-18.04+1.27R_0$によって求めた[7]。
*2：機械インピーダンス法の推定強度bは、b＝2.98×機械インピーダンス値（ZR)-13.35によって求めた[8]。

磨前後で推定強度は，平均圧縮強度(c)に近づき，変動係数も減少した。また，これらの推定強度は，研磨前で79.4～88.2%，研磨後に79.6～93.2%と平均圧縮強度に近い傾向があった。前報では，本手法の研磨前で±20%，研磨後で±10%程度になることを報告しており，本報告は，これらと比較して，同程度の結果となった[4)]。なお，25回，50回を比較すると，西山防波堤における反発度法で，50回測定の方が平均圧縮強度(c)に近づく傾向があったものの，それ以外はこのような傾向はなかった。

三上ら[6)]は，海岸構造物の既存堤防（20箇所）でコアによる平均圧縮強度と機械インピーダンス法による測定値を比較して，機械インピーダンス法の測定値からコア平均圧縮強度を推定するために，これを堤防施設に適用する場合の補正式(1)を提案している（Y：コアによる平均圧縮強度N/mm^2，X：機械インピーダンス法による推定強度N/mm^2）。

$$Y = 1.07X + 8.46 \quad (R^2 = 0.73) \tag{1}$$

同様に，前報分3箇所を含む5箇所分の関係は，(2)式となり，(1)式より高い相関となった。

$$Y = 1.76X - 12.97 \quad (R^2 = 0.94) \tag{2}$$

データの蓄積が少ないため，継続的な蓄積が必要なものの，打撃応答波形による処理に加え，±20%程度の誤差を想定すれば，研磨しなくとも，コアによる平均圧縮強度に近い値が推定できるものと考えられる。

5. まとめ

反発度法および機械インピーダンス法を既存漁港施設への簡便な老朽化診断手法としての適用性を検討し，以下の結論を得た。

1) 反発度法は，新設，既設ともに，平均コア圧縮強度より，推定強度が低い傾向があった。また，研磨前後の差が大きいため，既存漁港施設への適用は，JIS等で指摘されているように，研磨が必須，多めの測定回数，構造形式や建設年次ごとにコアによる圧縮強度を併用する等が必要であることが確認された。
2) 機械インピーダンス法は，新設，既設ともに，反発度法より，推定強度が平均コア圧縮強度と近づく傾向があった。反発度法同様，表層の状態や骨材の影響があるものの，反発度法と比較すると，研磨前後の影響は小さく，研磨しなくとも平均コア圧縮強度に近い値が得られる。また，打撃応答波形を考慮した圧縮強度との関係が蓄積されれば，簡易な圧縮強度測定法として活用できるものと考えられる。

以上より，漁港施設の簡易的な圧縮強度推定は，機械インピーダンス法を適用し，データ蓄積することが重要である。今後は，立地場所，構造形式，建設年次が異なる既存漁港施設の圧縮強度換算式を提案していく予定である。

なお，本研究における現地調査は，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」により調査した結果を筆者らがとりまとめたものである。

謝辞：

現地調査の実施にあたって，水産工学研究所の漁港施設室長である金田氏に尽力いただいた。また，水産庁，神奈川県，および日本ミクニヤ㈱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) 公益社団法人全国漁港漁場協会：2013漁港漁場漁村ポケットブック，p22，p67，2013.9
2) 梅津啓史，林浩志，三上信雄：漁港施設のこれまでの整備状況と今後の維持・更新対策の必要性，水産工学，Vol.46，NO.2，pp.181-186，2009
3) 水産庁漁港漁場整備部，財団法人漁港漁場漁村技術研究所：効率的な維持更新方策の検討調査報告書，pp.31-51，2006.3
4) 藤田孝康，金田拓也，冨川裕一，伊達重之：漁港施設の維持管理における簡易的な老朽化診断手法の適用に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.2，pp.1303-1308，2014.6
5) 三上信雄，藤田孝康，極檀邦夫，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.131，NO.2，pp.1555-1560，2009
6) 三上信雄，藤田孝康，保坂三美，極檀邦夫，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老朽化診断手法に関する研究，海洋開発論文集，vol.26，pp.165-170，2010.6
7) 公益社団法人日本コンクリート工学協会：コンクリート診断技術’14[基礎編]，pp.97-109，2014.2
8) 社団法人日本材料学会：シュミットハンマーによる実施コンクリートの圧縮強度判定方法指針（案），材料試験，第7巻，第59号，pp.426-430，1958.8
9) http://nrife.fra.affrc.go.jp/seika/inpidansuhoumanyuaru/inpitannsu_index.html
10) 島弘，水口裕之，和田寿夫，河野清：材料分離が流動化コンクリートの硬化後の諸性質に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.6，No.1，pp.5-8，1984.6
11) 三上信雄，藤田孝康，保坂三美，極檀邦夫，重松宏和，笠井哲郎：海岸保全施設の維持管理における簡易的な老朽化診断手法の適用に関する研究，海洋開発論文集，第25巻，pp.181-186，2009.6