

機械インピーダンスによるコンクリート水路構造物の強度推定

ESTIMATION OF STRENGTH OF WATERWAY CONCRETE BY MEANS OF THE MECHANICAL IMPEDANCE MEASUREMENT

日東建設株式会社 久保 元 金田 重夫 久保 元樹
アプライドリサーチ株式会社 境 友昭
北見工業大学 岡田 包儀

コンクリート構造物の強度を測定する手法としては、リバウンドハンマが広く普及している。また、国交省では、弾性波速度による強度推定手法を導入している。しかし、両者の測定法は、表面劣化が進行した測定面では前処理無しで実施することは困難な状況である。本研究では、経年劣化が進行した水路構造物を対象に機械インピーダンス法による前処理を必要としない強度推定手法の検討・測定手法の提案を行うものである。

キーワード：強度推定，機械インピーダンス

1. まえがき

現在，農業分野における水利施設では，基幹的な農業用排水路の延長が約4万5千kmに達し，ダム，頭首工，用排水機場等は約7千箇所となり，その資産価値は再建費で25兆円と推計されている。このような状況の中，財政制約の下で，農業水利施設についても機能診断に基づく適切な維持・管理を施す予防保全対策によるストックマネジメント手法の確立が喫緊の課題となっている。



写真-1 水路構造物の表面劣化

適切な維持・管理を施すには，現状を知ることが極めて重要である。コンクリート構造物では，コンクリートの現有強度，構造物としての有効寸法，鉄筋コンクリートでは更に，鉄筋の配置，被り深さ，などの情報である。供用中の構造物について，これらの情報を得る手段として，非破壊検査技術が有用なツールとなる。非破壊検査法の原理や手法など特徴は様々なものが開発されている。鉄筋の配置，被りについては，電磁波レーダや電磁誘導法があり，ほぼ確立された技術となっている。一方，強度では，ほぼ非破壊で推定する方法としてリバウンドハンマがある。また，国交省では新設構造物を対象として縦弾性波速度による強度推定手法を導入している²⁾。しかしながら，非破壊検査技術は，コンクリートの表面を測定対象とするため，写真-1に示すような表面では，その適用が難しいというのが実状である。だからと言って，コンクリート表面の研磨作業の実施や，破壊検査であるコアリングを実施するのでは，調査時間が掛かるとともに費用も膨大となることから現実的ではない。そこで，ある程度表面が劣化していても強度推定が可能とされている機械インピーダンス法³⁾を適用することを考慮し，本論ではその適用方法について実験的に検討した。

2. 水路コンクリートの状況と調査方法

2.1 試験の目的と試験方法の考え方

経年劣化した水路コンクリートの強度試験に機械インピーダンス法を適用する場合の試験方法の把握とその適用性確認を目的として，実水路コンクリートを対象として試験を行った。試験対象とし

た水路は、建設後約 40 年を経過し、表面部は写真-1 に示すように劣化が進行している。コンクリート表面では、表層付近の粗骨材を被覆していたモルタル分が損失しており、細・粗骨材が露出した状態となっている。劣化の要因としては、土粒子を含む流水によるすり減り作用が主要因と推定される。このような状況では、表面を研磨する以外にリバウンドハンマ法を適用することが出来ないと考えられる。そこで、表面劣化深さを確認するため、表面を研磨しながらリバウンドハンマによる反発度測定を行った。図-1 に研磨深さと反発

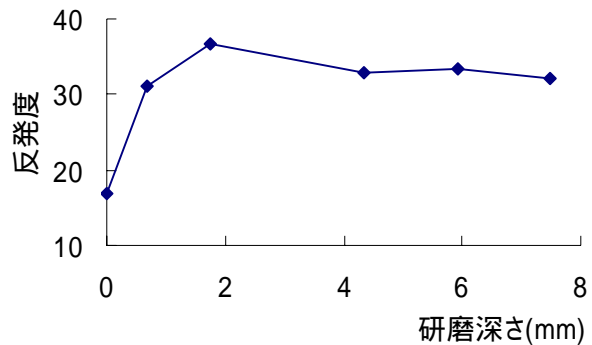


図1 研磨深さの反発度

度の関係を示す。この水路では深さ約 2mm の研磨でフレッシュな面が現れ、反発度も収束していることがわかる。この事実から、この水路コンクリートの場合、一見著しい表面劣化を呈しているようであるが、その深さは比較的浅く、コンクリート本体部の強度に対する影響は軽微であると考えられる。勿論全ての水路コンクリートがこの事例のように表層数 mm の劣化部を除けば健全である訳ではないが、ほとんどの場合、劣化層の深さは表層数 mm に留まっていると考えられる。

2.2 適用した試験方法

試験は、水路コンクリートの環境状態の違いを考慮し、写真-2 に示すように(a)気中部、(b)気水境界部、(c)常時水中部を対象とした。試験は、同一点を連続 50 回打撃し強度推定値を測定する、という方法で行った。これは、同一点を連続的に打撃することによって劣化部を潰し、表層研磨と同等の効果が得られるかどうかを確認するためのものである。このため、打撃に使用するハンマのヘッド重量を 190g のものと 552g のもの 2 種類を用意し、このハンマ質量(190g, 552g)をパラメータとして、劣化部のハツリ落とし効果について検討した。なお、リバウンドハンマについても同様に 50 回連続打撃を行った。

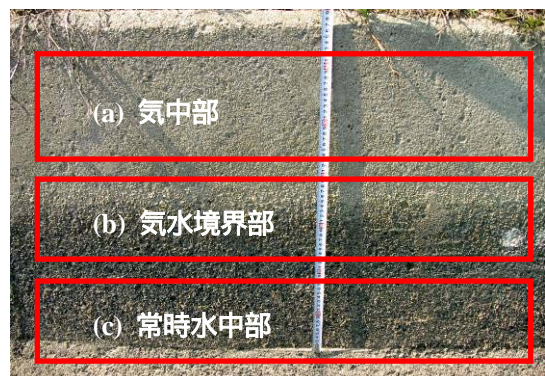


写真-2 試験箇所

3. 試験の結果

3.1 コンクリートテストの試験結果(強度指標値、表面劣化指標値)

図-2 に打撃回数と強度指標値(質量 190g の場合は、コンクリートテストによる推定強度)の変動関係を示す。図にはハンマ質量が 190g と 552g の場合を示している。190g ハンマの場合、打撃の進行とともに強度指標値が収束する傾向を示しているが、強度指標値自体は必ずしも増加するとは言えない。一方、552g ハンマでは、打撃の進行とともに強度指標値が収束する方向に向かい、さらに強度指標値が増加する傾向を示している。次に、表面劣化指標値について述べる。表面劣化指標値は、ハンマがコンクリートに衝突するときの速度と反発するときの速度の比を求めたもので、反発係数の逆数となる。完全弾性体の場合に 1 となり、表面の劣化度合いが激しいほど大きな数値となる。図-3 に打撃回数と劣化指標値の関係を示す。190g ハンマおよび 552g ハンマともに、打撃の進行とともに劣化指標値が 1 に収束しながら低下する傾向を示している。連続打撃によって表面の劣化状況が改善されていることがわかる。

表 1 は、50 回打撃後の強度、表面劣化指標値を比較したものである。表中の比率は、5 回研磨後の

フレッシュな面での測定値を1とした時の強度推定値の率である。試験対象とした構造物は、同一コンクリート配合であり、研磨部での測定値が、ほぼこの構造物コンクリートの強度を示しているものと考えられる。表に示すように、強度指標値は、ハンマヘッド質量 190g では、気水境界部、常時水中部での値が小さく、50 回打撃後でも強度推定値として十分ではない。これに対し、552g の場合、常時水中部での比率は 0.92 とやや小さいものの、気中部、気水境界部ではほぼ同等の値となっている。

表面劣化指標値の変動から、ハンマ質量を問わず、同一点の連続打撃によって表面劣化部が圧縮され表面状態の改善につながる事が分かったが、強度推定値はハンマ質量によってその推定精度に違いが出ている。連続打撃によって表面の劣化層が完全に取除かれるわけではなく、フレッシュな面の上に表面劣化層を圧縮した層が存在することになる。軽量ハンマでは打撃力が小さいため、この層の影響を拭いきれず、強度指標値が低下すると考えられる。

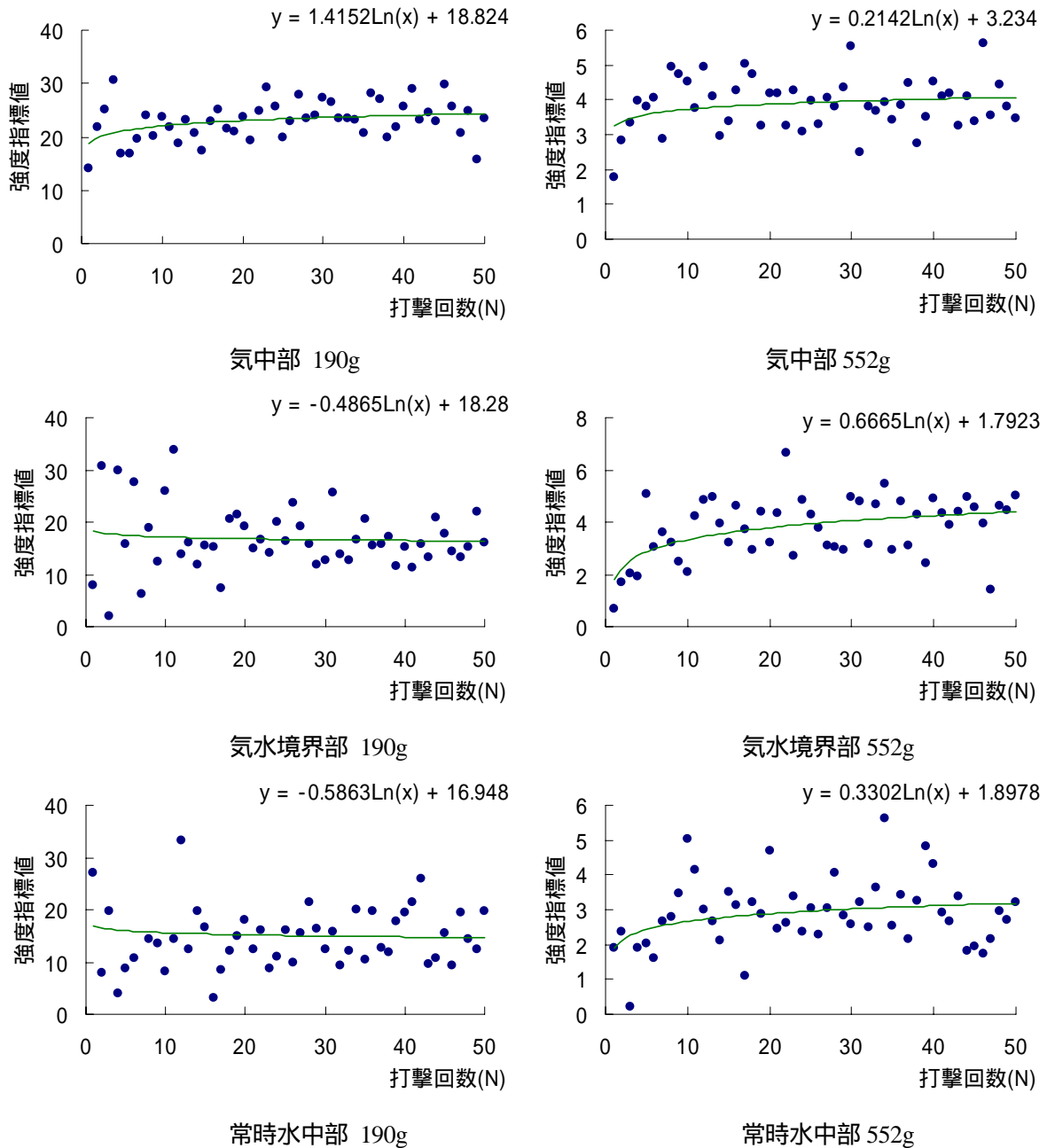


図-2 連続打撃による強度指標値の変化

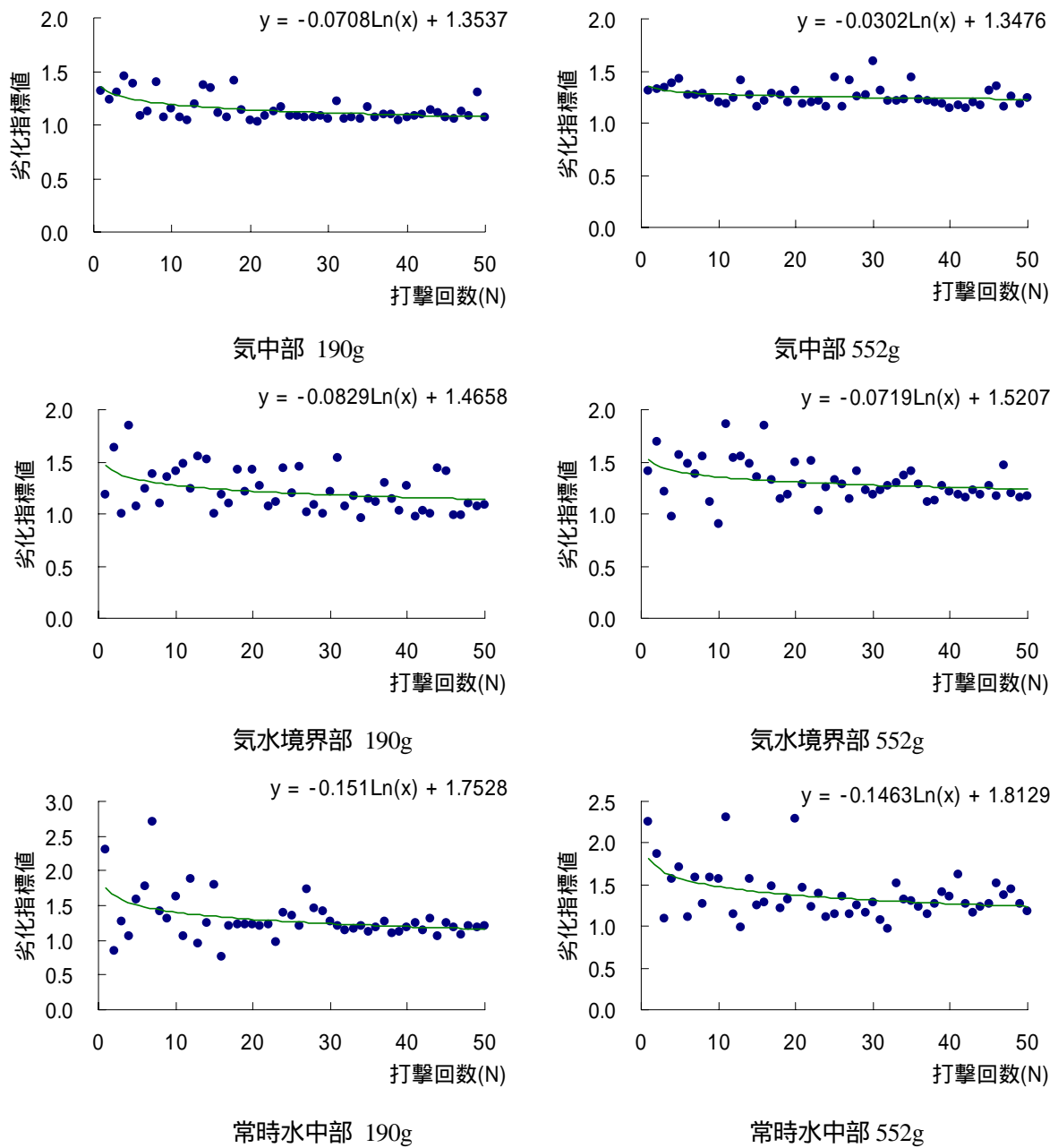


図-3 連続打撃による表面劣化指標値の変化

表-1 50回打撃後強度・劣化指標の推定値(機械インピーダンス法)

ハンマ	190g ハンマ			552g ハンマ		
	強度指標値	比率	劣化指標値	強度指標値	比率	劣化指標値
気中部(a)	24.4	1.20	1.08	4.07	1.17	1.23
気水境界部(b)	16.4	0.80	1.14	4.40	1.27	1.24
常時水中部(c)	14.7	0.72	1.16	3.19	0.92	1.24
5回研磨後	20.4	1.00		3.47	1.00	

3.2 打撃力波形

機械インピーダンス法で強度推定を実施する場合、打撃力波形には幾つかの制限がある。その一つは、打撃力波形がピーク値に対してほぼ左右対称の釣鐘型となっていることである。実際には、表面の塑性化、打撃時の塑性変形などによりやや前半の裾野が広がる傾向を示すが、機械インピーダンス法ではこの性質を利用して表面の塑性化の度合い(劣化度合い)を検出している。ピークが複数生じることが、打撃によって表層部の細骨材が破損しているか、あるいは表面近傍の骨材が剥離している状況を意味する。図-4 にハンマ質量 190g と 552g の打撃力波形を示す。打撃力波形は 50 回の連続打撃の内、初回の打撃力波形と 50 回目の打撃力波形を示している。打撃力波形から明らかなように、打撃開始時では複数のピークがあり、左右対称波形とは異なっている。これに対し、50 回目の打撃力波形は、いずれの状態であってもピークが一つで、かつピークに対してほぼ対称な波形となっており、コンクリートテストで強度推定が可能な状態であることがわかる。

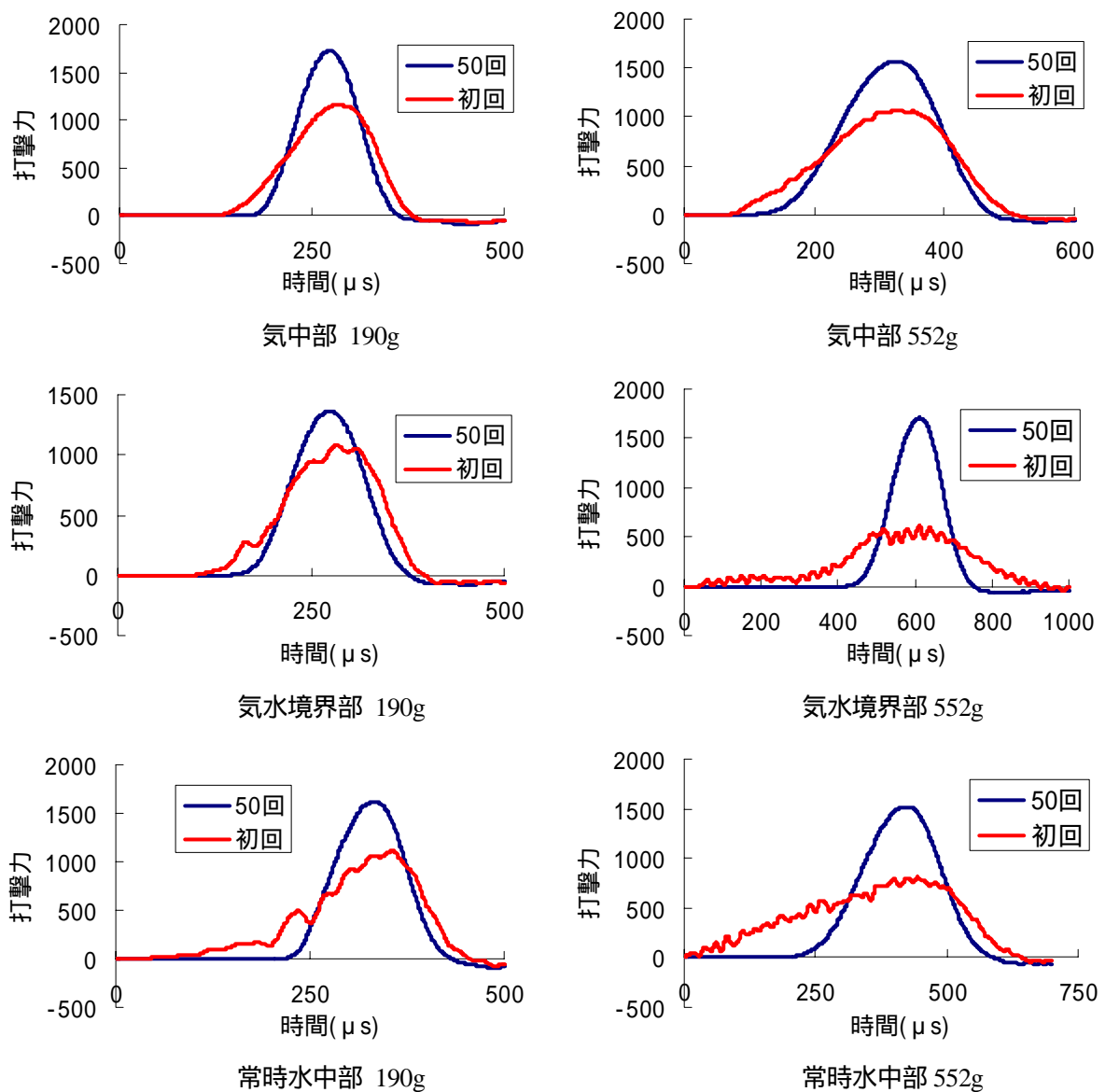


図-4 連続打撃による打撃力波形の変化

3.3 リバウンドハンマの測定結果

リバウンドハンマの打撃回数と反発度の関係を図-5 に示す。測定結果は、機械インピーダンス法と同様に、打撃の進行とともに反発度が収束する傾向を示している。ただし、気中部の打撃回数 20 回～30 回の間に見られるように、一部分だけ反発度の低いデータが全箇所で見られる。これは、リバウンドハンマの打撃力が大きく、モルタル分が破壊に至ってしまったためと考えられる。ここから、さらに続けて打撃を継続すると、破壊された部分が再度潰され、測定値は通常に戻る。

図-5 右下に、50 回打撃後の反発度の推定値を示す。比率は 5 回研磨後のフレッシュな面での測定値を 1 とした時の反発度推定値の率である。全箇所において、比率が 1 より大きく、気中部および常時水中部においては、約 30% 大きい結果となった。リバウンドハンマは反発度を計測する装置であり、同一点を連続打撃するという方法では、測定点下面の粗骨材の影響を受けやすいためと考えられる。

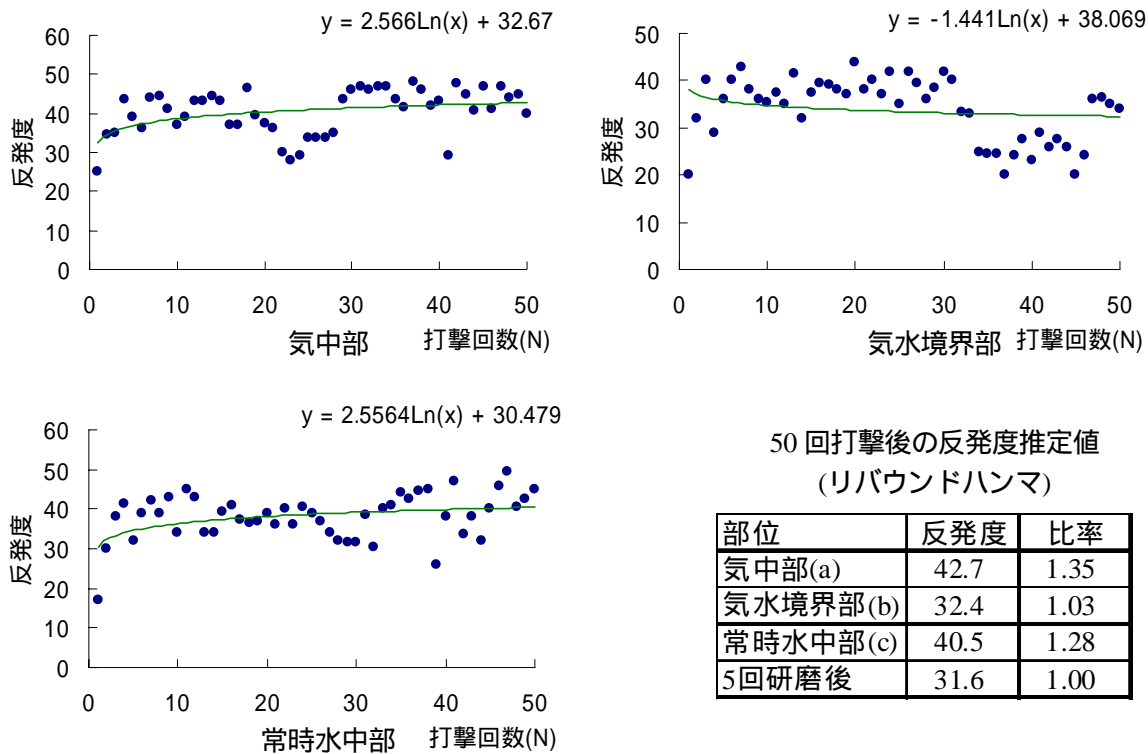


図-5 連続打撃による反発度の変化

4. まとめ

表面劣化が激しいコンクリートを対象として、表面打撃式の強度推定方法の適用が可能か検討を行った結果、表面処理を全く行わない状況では、強度推定に適した打撃力波形が得られないことがわかった。その対応策として、表面研磨ではなく、劣化部分を打撃によって圧縮し、研磨と同等の効果が得られるか実験的に検討を行った結果、ハンマ質量が十分であれば、十数回の打撃によって強度推定が可能となることがわかった。

【参考文献】

- 1) 久保元樹他：機械インピーダンスによる表層劣化コンクリートの強度推定に関する実験的検討，農業農村工学会北海道支部研究発表会講演集，第 57 回，pp.30-35，2008〔引用論文〕
- 2) 岩野聡史他：非破壊・局部破壊試験によるコンクリート構造物の品質検査に関する共同研究衝撃弾性波法その 8 衝撃弾性波法(iTECS 法)によるコンクリート構造物の圧縮強度推定手順の検証，日本非破壊検査協会 H19 年度秋季大会講演概要集，pp.107-110
- 3) 久保元・金田重夫・久保元樹・極壇邦夫：ハンマ打撃によるコンクリート強度の推定，会誌コンクリート工学，5 月号 Vol.44,No.5,pp41-44,2006.5