

CMI 報告

水中コンクリート構造物の 非破壊検査手法に関する研究

渡邊 晋也

1. はじめに

水中コンクリート構造物の調査手法の確立を目指し、施工技術総合研究所では、東海大学海洋学部の迫田教授と共同で調査手法および調査に用いる試験機の開発を行っている。その中で得られた知見の一部について報告する。

水中に設置された我が国のコンクリート構造物の歴史は約 115 年前に遡る。港湾構造物では 1892 年横浜港防波堤工事（横浜市）、ダムでは、1900 年に竣工した布引五本松ダム（神戸市）などがある。明治時代以降、多くのコンクリートが水中へと設置されてきた。これらのコンクリートは、水中で劣化したものもあれば、布引五本松ダムや小樽港北防波堤のように、供用開始約 110 年を経ても現役で役目を果たしている構造物もある。

既設構造物のアセットマネジメントを行う場合、適切な点検・調査を行い、既設構造物の現状を把握しなければならない。現在、我が国には港湾構造物だけでも、防波堤総延長 558.5 km、岸壁総延長 886.5 km を有している。しかしながら、水中におけるコンクリート構造物の点検・調査は大半の構造物において行われていない。また、実施されている場合でも、潜水士による目視観察が中心で客観的な評価が成されていないものと考えられる。一方で、コンクリートコアを採取し、調査を行う方法も考えられるが、労力・コストともに負担が大きく、広範囲に調査ができないことも考えられる。

そこで、筆者らは水中で簡易にコンクリートの品質調査を行う為の水中非破壊試験機を作製した。本報告

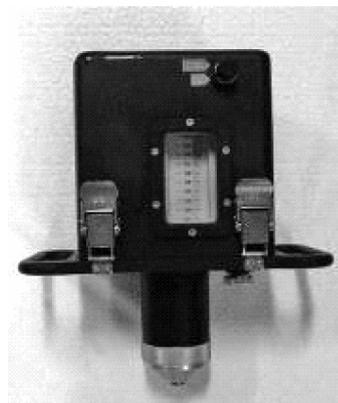
は、水中非破壊試験機の概要とその試験機を用いて海中に約 100 年間曝されたコンクリート構造物の調査を行った結果についてまとめたものである。

2. 水中非破壊試験の概要

(1) 試験機の概要

①水中反発度法

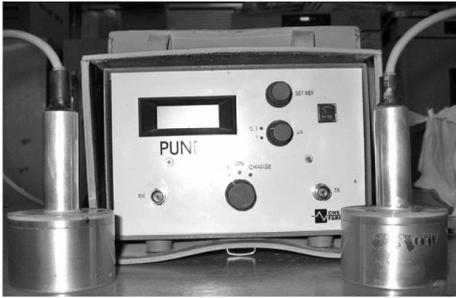
水中リバウンドハンマー試験機を写真—1に示す。水中リバウンドハンマーは記録式の NR 型リバウンドハンマー試験機を用いた。本研究では、市販の NR 型リバウンドハンマーに防水性・耐圧性を付与させる為に、専用のハウジングケースを製作した。ハウジングケースの材質は耐食アルミニウムで耐圧水深は 60 m である。ハウジングケースの寸法は縦 27 cm、横 25 cm、奥行き 13 cm である。陸上での重量は 4.1 kg、水中での重量は 1.1 kg となっている。したがって、潜水士一人でも簡易に取り扱え、水中での反力を必要としないのが特徴である。また、市販の NR 型リバウンドハンマーには特に改良を加えていない。



写真—1 水中リバウンドハンマー試験機

②水中超音波法

水中超音波試験機を写真—2に示す。この試験機は、市販の超音波試験機を用いているが、発振子および受振子とケーブルの接続場所に樹脂を用いて防水加工を施している。本研究で使用した発振子はジルコン酸チタン酸鉛セラミックで 54 kHz の超音波を発生させることが可能である。水中超音波試験機の計測方法は、発振子および受振子のみを水中に入れる方法を採用した。したがって、計測する際、コンクリートに発振子および受振子を当てる潜水士と超波伝播時間を陸上および船上で記録する記録係の 2 人 1 組で行う。超音波試験機は、電気信号の減衰などを考慮して、ケーブルの長さを 10 m としている。



写真一 水中超音波試験機

(2) 測定方法

①水中反発度法

水中反発度の測定方法は、陸上の反発度法で規定されている JIS A 1155「コンクリートの反発度の測定法」に準拠している。本研究では、打撃方向をコンクリート測定面に対して垂直にして行った。したがって打撃方向による反発度の補正は行っていない。

②水中超音波法

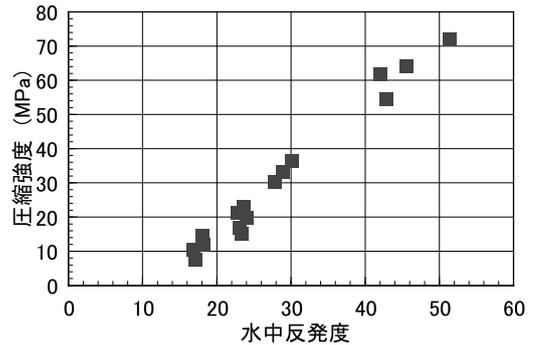
陸上の超音波試験には、受振子と振動子が共用された振動子を用いる一探触子法と受振子と振動子を2個用いた二探触子法がある。本研究では、二探触子法を用いることにした。二探触子法における振動子および受振子の配置には、コンクリートの相対する面に振動・受振子を対向させて配置する対称法（直接法）、振動・受振子を斜めに設置する斜角法（半直接法）、および振動・受振子を同一面上に配置する表面法（間接法）などがある。橋脚などの小さい部材の場合は対称法で測定ができるが、岸壁、ダム、水路、ケーソンなど対称側に受振子を設置できないコンクリート構造物もある。このことから、本研究では、表面法を用いてコンクリートの品質を調査する方法について検討を行った。この方法は、陸上において主にコンクリートのひび割れ深さを推定する際に用いられることが多い。本研究の対象は、水中にあるコンクリートであることから、ひび割れの測定はできないことが、予備研究で判明している。したがって、水中超音波法は、含水したコンクリート内部を伝播する超音波の速度を評価する試験方法である。

表面法の測定方法は、両端子を同時に離していく方法で測定を行った。測定距離は両端子の中心から 50 mm, 100 mm と 50 mm 間隔で 1,000 mm までとした。また、陸上の超音波測定には測定端面とコンクリート面の間に空隙が生じないように両者を十分に密着させなくてはならない。通常、グリース等を用いるが、水中超音波測定試験の場合、水が両者の間に生じる空隙を埋める役割があることから、特にグリース等の接触媒体を使用しなくてもよいと考えられる。

(3) 試験機の前備試験

①水中反発度法

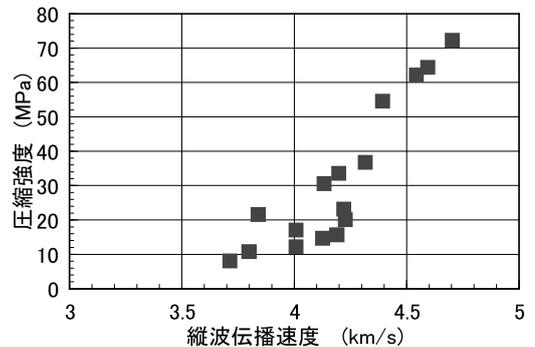
4種類の強度が異なるコンクリートを作製し、室内にて水中反発度とコンクリートの圧縮強度の関係について検討した結果を図一に示す。その結果、陸上のリバウンドハンマー試験同様に、反発度とコンクリートの圧縮強度には相関性が見られた。このことから、水中においても、リバウンドハンマーを用いることでコンクリートの圧縮強度を推定することは可能である。



図一 水中反発度と圧縮強度の関係

②水中超音波法

リバウンドハンマー試験同様に、4種類の強度が異なるコンクリートを作製し、室内にて超音波縦波伝播速度とコンクリートの圧縮強度の関係を検討した結果、図二に示すとおり両者には相関があることが判明した。



図二 水中縦波伝播速度と圧縮強度の関係

以上の結果、水中反発度法と水中超音波法を用いることで水中におけるコンクリート構造物の強度推定を可能にすることができた。この試験方法を用いて既設構造物の調査を行った。

3. 既設構造物の概要

(1) 構造物の概要

調査を行った函館港弁天地区防波護岸は、1910～1919年にかけて施工された防波護岸である。函館港は

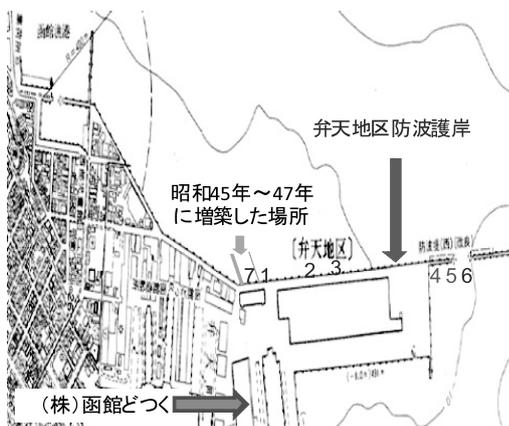
1890～1892年にかけて廣井勇博士によって調査、設計報告が行われ、その後1896～1899年にかけて函館港改良工事によって近代的な港湾建設がなされた我が国の近代港湾の先駆けの港湾構造物である。その後、第2期工事として、本研究で調査した弁天地区防波護岸や西防波堤などが建設されてきた。弁天地区防波護岸の代表的な構造は、コンクリートブロック積み混成堤である。

(2) 調査場所

本研究で調査を行った場所の全体図を写真—3に示す。四角で囲んだ所が、調査対象である弁天地区防波護岸である。防波護岸の裏手には(株)函館どつくの乾ドックがある。この防波護岸は、明治43年(1910年)から大正7年(1918年)にかけて製作された。建設当時は、2つの防波護岸から構成されていた。その後、昭和45年から47年(1970～1972年)に2つの防波護岸を1つにする工事が行われ、現在の状態となった。本調査では、明治43年ごろに製作されたコンクリートブロックと大正7年ごろに製作されたコンクリートブロックおよび昭和45年に建造されたコンクリートケーソンについて調査を行った。調査場所の詳細を図—3に示す。図中の数字は、建設状況や工事記録をもとに推測した年代の古い順を表している。本研究で



写真—3 調査を行った場所の全体図



図—3 調査を行った場所の詳細図

は、コンクリートブロックの製作年代を次のように考えた。1：明治43年，2，3：大正初期，4，5，6：大正後期（大正7年ごろ），7：昭和45年から47年。以下、この数字を図の凡例に用いる。

4. 調査方法および結果

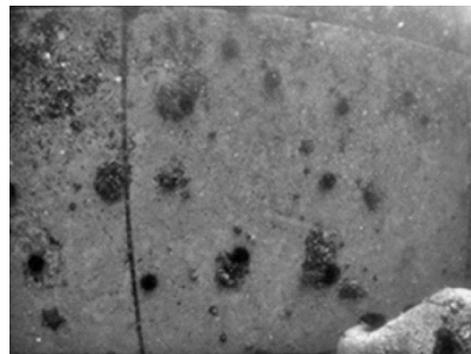
(1) 調査方法

現地調査では、はじめに潜水士がコンクリートブロック表面の目視観察を行った。その後、エアーサンダーを用いて、測定対象のコンクリートブロックの表面を研磨した後、水中超音波試験機を用いて表面法より縦波伝播時間を計測した。計測距離は、50 mm 毎1,000 mm まで測定を行った。次に、水中リバウンドハンマー試験機を用いて水中反発度の計測を行った。本調査では2項目の水中非破壊検査を行っている。

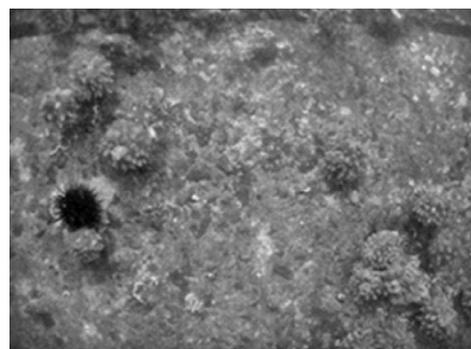
(2) 調査結果

① 目視検査

潜水士による目視検査を行った結果を写真—4に示す。明治43年、大正初期および昭和45年に製作されたコンクリートブロックは、骨材の露出等は無く健全なコンクリートであることが推測される。しかしながら、大正後期に製作されたコンクリートブロックは、粗骨材が露出して表面が劣化していることが確認された。



a) 明治43年頃に製作されたコンクリートブロック



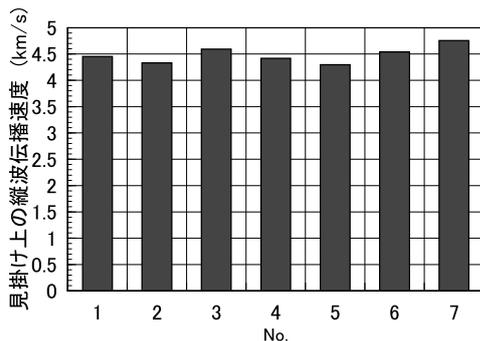
b) 大正後期頃に製作されたコンクリートブロック

写真—4 コンクリートブロックの表面状態

②水中超音波

水中超音波試験の結果から各測定場所における見掛け上の縦波伝播速度を図一4に示す。

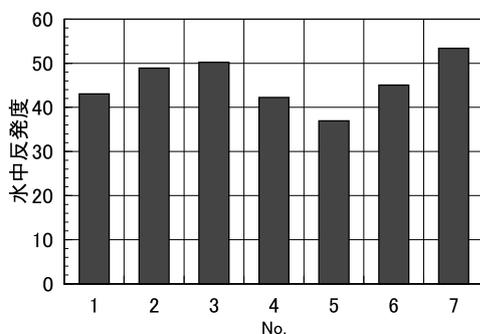
その結果、見掛け上の縦波伝播速度は、4.30～4.75 km/sという既往の研究と比較して速い伝播速度が得られた。また、全体的に大正時代に製作されたコンクリートブロックの縦波伝播速度は低い結果が得られた。その中でも、表面に粗骨材が露出していたNo.5に関して、他のコンクリートブロックより速度が遅い結果が得られた。



図一4 各測定場所における見掛け上の縦波伝播速度

③水中反発度

水中リバウンドハンマー試験により得られた各測定場所の水中反発度を図一5に示す。測定の結果、水中反発度は37.0～53.4と長年月海中に曝されたコンクリートには既往の研究と比較して大きな値を示した。このような結果が得られた理由として、コンクリートに火山灰を混入させていることが考えられる。火山灰を混入することで、ポズラン反応により長期間強度が発現したものと推測される。また、水中反発度の結果では、昭和時代に製作されたコンクリートが調査した場所では最も大きな値を示した。水中超音波試験同様に、No.5の大正後期時代の値が他のコンクリートブロックより低い値となった。



図一5 各測定場所における水中反発度

④推定圧縮強度

水中非破壊試験法の水中超音波試験および水中リバ

ウンドハンマー試験の測定結果を用いて複合法にてコンクリートの圧縮強度を推定した。推定式は以下の式を用いている。

$$F = -18.55 + 1.27Va + 1.47R \quad (式1)$$

ここで、F：推定圧縮強度 (MPa)，Va：見掛け上の縦波伝播速度 (km/s)，R：水中反発度

その結果、算出した推定圧縮強度は、41.2～66.0 MPaという結果が得られた。既往の研究結果によると、同地域の乾ドックから得られた100年経過したコンクリートコア供試体の圧縮強度は、凍結融解作用を受けているにもかかわらず30～34 MPaの圧縮強度が得られている。その結果から、本調査で推定した41.2～66.0 MPaは環境条件、目視観察および非破壊試験の結果から判断して適当な推定圧縮強度ではないかと推測できる。したがって、約100年間海中に曝されたコンクリートではあるが、品質は良くあまり劣化を起こしていないことが推測できる。

以上のことから、筆者が提案した水中非破壊試験機を用いることで、水中にあるコンクリート構造物の検査を実施することが可能であることが判った。

5. おわりに

本報告では、水中における土木構造物のアセットマネジメントを実施していく上で、最も重要となる「現状の把握」について検討した結果についてである。

戦後から現在にかけて建設された数多くのコンクリート構造物は、老朽化の一途を辿っている。これらの構造物を適切に維持管理し、末永く使用することは、今の社会にとって最も適切であると考えられる。

施工技術総合研究所では、社会のニーズに沿ったいろいろな土木構造物の調査方法の構築および維持・管理手法の検討などを研究していき、社会に貢献をしていきたいと考えている。

最後に、本報告は日本コンクリート工学協会 主催の2008年度コンクリート工学年次論文集に投稿したものを加筆・修正をしたものである。

JICMA

【筆者紹介】

渡邊 晋也 (わたなべ しんや)
 (株)日本建設機械化協会
 施工技術総合研究所
 研究第二部
 研究員

