

論文 実在コンクリート構造物における劣化原因推定及び各種手法の適用

Application of various methods for estimating the causes of deterioration in real concrete structures

○大橋 優樹^{*1}・宮脇 正嗣^{*1}・白川 順菜^{*2}・伊代田 岳史^{*3}

Yuki OHASHI, Masashi MIYAWAKI, Ayana SHIRAKAWA and Takeshi IYODA

要旨：近年、更新時期を迎えるコンクリート構造物が加速度的に増加しており、構造物の維持管理が社会的課題となっている。そこで非破壊検査の需要が高まり、簡易的な点検手法が増えているが、劣化原因を正確に把握することは難しい。そこで本研究では、実構造物の更新に伴い、非破壊検査による劣化推定を行った。非破壊検査では目立った劣化は確認されず、本構造物は健全であると判定されたが、三つの部材から採取したコアで室内実験を行った結果、コア強度の低い部材もあり同一構造物でも部材毎の劣化度合いは異なることが確認された。

キーワード：非破壊検査、コア分析、凍害、中性化

1. はじめに

高度経済成長期に集中的に整備された社会インフラ等の供用年数が50年を超え、更新時期を迎えるコンクリート構造物が増加しており、コンクリート構造物の維持管理が社会的な課題となっている。そのため、コンクリート構造物を定期的に点検し、健全性を評価した情報を基に適切な処置を行うことでコンクリート構造物の長寿命化を図ることが必要であると考えられる。そのコンクリート構造物の診断の際に用いられる様々な手法の中でも、コンクリート構造物を破壊することなく点検できるというメリットから非破壊検査の需要が高まり、コンクリート構造物の簡易的な点検手法が増えている。しかしながら、コンクリートの劣化は化学的要因や環境条件など様々な要因が複雑に絡み合っており発生しているため、非破壊検査によってコンクリート構造物の劣化原因を正確に把握することは難しい。

そこで本研究では、更新に伴って取り壊される樋門を対象に、非破壊検査（目視調査・表面吸水試験・シュミットハンマーによる強度推定・超音波試験）を実施することによる劣化推定を試みた。その後、対象構造物から部材毎に採取したコア供試体を用いて室内試験（圧縮強度試験、空隙率試験、促進中性化試験）を行い非破壊試験結果との比較を行うことにより非破壊試験によるコンクリート構造物の劣化原因推定の妥当性を検討した。

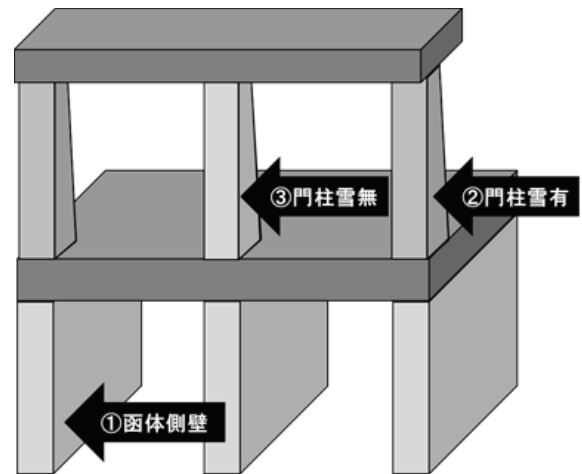


図-1 対象構造物の部材名とコア採取箇所

2. 対象構造物概要及び周辺環境

2.1 対象構造物

図-1 に対象構造物の部材名とコアを採取した箇所を示す。対象の構造物は山形県の最上川流域に建設された樋門であり、供用開始から62年が経過した構造物である。

2.2 周辺環境

対象構造物の建設された地域は、冬季は積雪が非常に多い寒冷地であり凍害の危険性がある地域であるが、凍結防止剤は散布されていなかった。函体は水の流れがあり、函体側壁表面は非常に多くの砂のような付着物が確認された。

*1 芝浦工業大学大学院 理工学研究科社会基盤学専攻

Dept. of Civil Engineering, Shibaura Institute of Technology

*2 西武建設（株）土木事業部エンジニアリング部企画課

Civil Engineering Division, Seibu Construction Co., Ltd

*3 芝浦工業大学 工学部先進国際課程（兼務 土木工学科）

Dept. of Civil Engineering, Shibaura Institute of Technology

3. 非破壊試験の実施

先に述べた対象構造物に対して、目視調査、簡易吸水試験、簡易透気試験・シュミットハンマーによる強度推定・超音波試験を実施した。目視調査を行った結果、目立った外傷はほとんど確認されなかった。

3.1 簡易吸水試験

使用した表面吸水試験装置を図-2 に示す。表面吸水試験法はコンクリート内への水の浸透のしやすさを非破壊で測定するもので、コンクリート表層の劣化抵抗性の評価手法として開発されている¹⁾。本装置は開発された手法と同様のシステムを小型化したもので、コンクリート表面部分にシリンダーを吸着させて試験を行い、コンクリートの水分浸透抵抗性を評価できる。試験の際、真空ポンプにて試験装置をコンクリート表面に吸着させる必要があるが、前述した通り、側壁には土のような付着物が多く存在し試験装置が吸着せず、研磨紙にて研磨してから再度壁面に吸着させることを試みたが、吸着させることができなかった。

3.2 超音波試験

使用した簡易超音波試験装置を図-3 に示す。本装置はコンクリート面に受信子及び送信子を押し付けることで受信子と送信子の間の 150mm を伝播する超音波速度が計測される。図-4 に示す函体側壁内の A～D 地点で測定した。なお、D の 30cm では付着物が多く凹凸が大きかったため計測できなかった。結果を図-5 に示す。概ね計測高さが高いほど超音波速度もやや大きい値を示す傾向が確認されたが、明確な違いは確認されなかった。また、中性化の進行や、塩化物イオンの浸透と異なり、竣工時の健全な状態の超音波速度が未知であるため、超音波速度のみで構造物の健全性を把握することは難しいと考えられる。

3.3 シュミットハンマー強度推定

シュミットハンマー法によって得られた樋門の表面強度の推定結果を示す。測定面は、砥石で平滑に磨いて表面の付着物を除去した 15cm×10cm の範囲に 3cm 間隔に縦横の線を引いて、その交点を測点とした。測定値はばらつきがある上に異常な値を示す箇所もあるので、統計的に信頼のおける平均値を求めるために、15 点のうち 10 点の値を平均した結果を表-1 に示す。どちらの部材においても現在一般的に用いられている設計基準強度 21N/mm² 以上の推定強度が得られた。

3.4 非破壊試験による劣化原因推定

ここまで目視点検に加えて、簡易吸水試験、超音波試験、シュミットハンマーの結果を示した。超音波試験から部材毎の超音波速度の違いは確認されず、シュミットハンマー法による推定強度も、どちらの部材においても現在一般的に用いられている設計基準強度

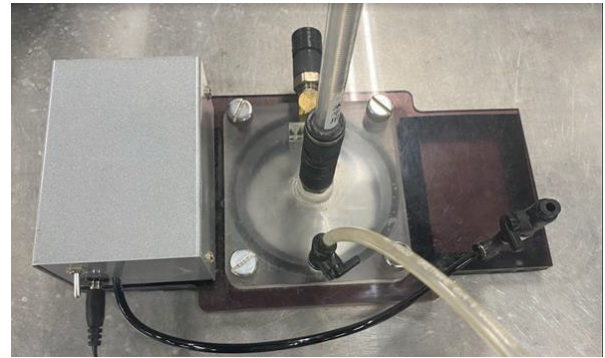


図-2 表面吸水試験装置



図-3 簡易超音波試験装置

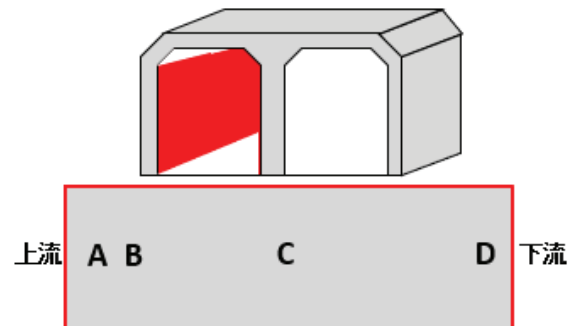


図-4 超音波試験実施箇所

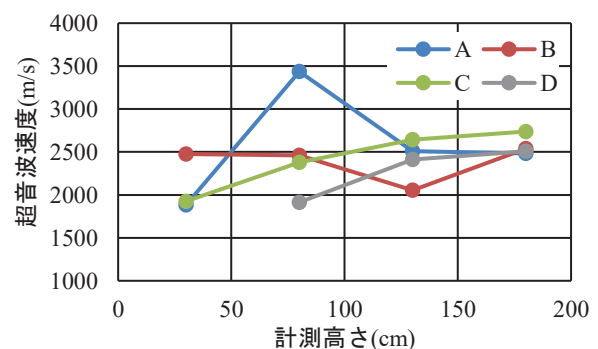


図-5 超音波試験実施箇所

表-1 シュミットハンマー法による推定強度

	函体側壁	門柱
推定強度(N/mm ²)	28.3	33.2

21N/mm²以上の推定強度が得られた。これらの結果より本構造物は部材毎の違いは見られず健全であると判定した。

4. コア供試体を用いた室内試験

4.1 コアの採取位置と環境条件

採取したコアはφ75×220mmの円柱供試体で、図-1に示した異なる部材である。①函体の内壁（以下、函体側壁とする）、②門柱雪掛かりが有る箇所（以下、門柱雪有とする）、③門柱雪掛かりが無い箇所（以下、門柱雪無とする）の3か所から採取した。函体側壁は、高い湿度で保たれた環境にあった。門柱雪有は積雪があり、融雪水による水分供給がある。一方で門柱雪無は屋根があり積雪が無く、水の供給は少ない環境であった。

4.2 コアを用いた分析

本研究では、1本のコアからできるだけ多くの情報を得るため、既往の研究²⁾を参考に、図-6に示すようにコアをA(中性化部)とB(健全部)に切断し、中性化深さ測定、促進中性化試験、空隙率試験を行った。また、これとは別のコアを用いて圧縮強度試験も行った。

4.3 中性化深さ測定

フェノールフタレイン法を用いて中性化深さ測定を行った。結果を表-2に示す。函体側壁が著しく小さい結果となった。これは前述した構造物表面の砂のような付着物と、流水による高い湿度により中性化が進行しなかったことが原因として考えられる。また同じ門柱であっても、門柱雪有に対して、門柱雪無の中性化深さが大きい結果となった。門柱雪有では、冬季は積雪によって大気が遮断された状態となり中性化の進行が抑制されたと考えられる。

4.4 促進中性化試験

コンクリート自体の中性化抵抗性を確認するために、コアの健全部（中性化が進行していない内部コンクリート）を用いて促進中性化試験を実施した。アルミテープでシールすることで一面開放とし、中性化促進装置を用いて20℃、RH60%、CO₂濃度5%の環境に静置した。1, 4, 8週目に供試体を割裂し、中性化深さを測定した。門柱雪無の8週目に関しては中性化の進行が早かったため1, 4, 5週目に測定した。促進期間と中性化深さの関係を図-7に示す。函体側壁、門柱雪有に関してはほとんど同じ中性化深さとなったが、門柱雪無は著しく中性化深さが大きくなった。同じ構造物に異なるコンクリートを打設していることは考えにくいいため、打設後の環境の違いが、中性化の進行し易さだけでなく、コンクリート自体の中性化抵抗性にも影響を及ぼしたと考えられる。

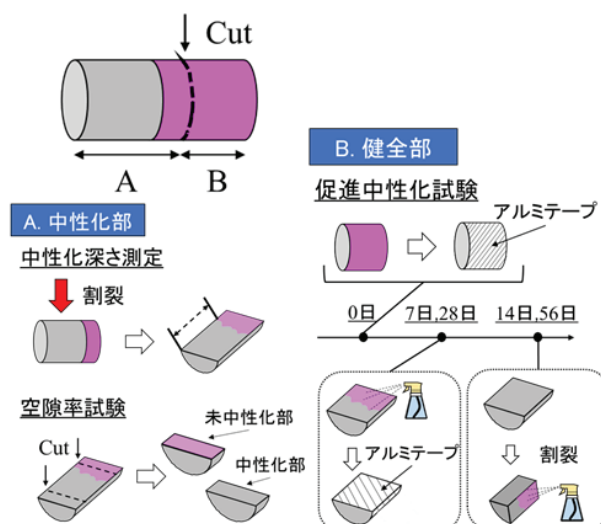


図-6 コア使用方法

表-2 中性化深さ

	函体側壁	門柱雪有	門柱雪無
中性化深さ	1.37mm	13.78mm	70.77mm

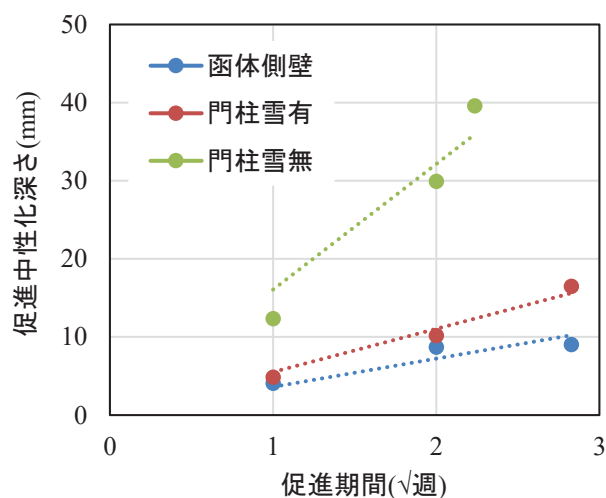


図-7 促進中性化試験結果

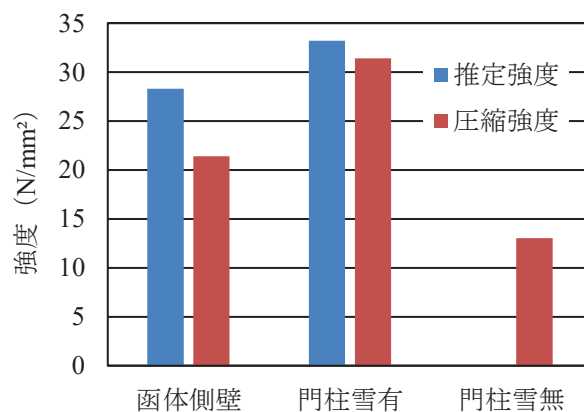


図-8 部材毎の推定強度と圧縮強度

4.5 コア供試体による圧縮強度試験

採取したコアの両端部を 10mm 程度切断して、φ75×150mm の円柱供試体を作製し、JIS A 1108 に準拠して圧縮強度試験を実施した。シュミットハンマー法による推定強度と共に図-8 に示す。推定強度では、函体側壁と門柱雪無で大きな差は見られなかったが、圧縮強度では 7N/mm² の差がみられた。また、門柱雪無では門柱雪有の 4 割程度の圧縮強度しかなく、部材毎に全く異なる圧縮強度であることが分かった。これらより、シュミットハンマー法による推定強度と圧縮強度には乖離がみられることにより、コア採取による圧縮強度試験の必要性があると言える。また、部材毎に圧縮強度が大きく異なる可能性があり、一部材からのみの調査では構造物の健全性について判断できないと考えられる。

4.6 空隙率試験

図-6 に示すようにコアから健全部を取り除いたコアから中性化部と未中性化部をそれぞれ採取し、以下の式(1)を用いて空隙率を算出した。各供試体を水で満たした容器に入れて真空ポンプにて減圧することで飽水状態にした後、飽水状態の水中質量、表面乾燥飽水状態質量をそれぞれ測定した。その後、40℃の乾燥炉にて質量が恒量になるまで乾燥させ、絶乾質量を測定した。

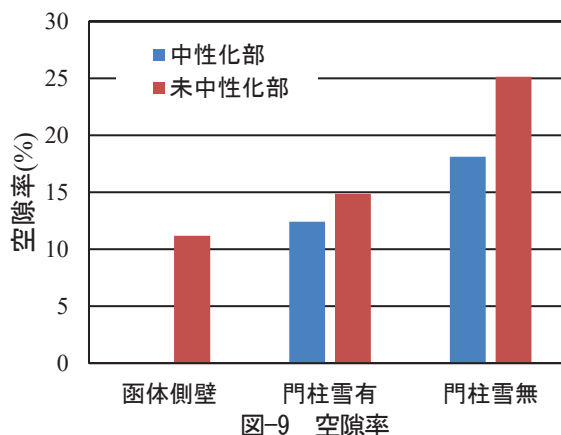
$$\text{空隙率}(\%) = \frac{W2 - W1}{W2 - W3} \times 100 \quad (1)$$

ここに、W1：絶乾質量(g)、W2：表面乾燥飽水状態質量(g)、W3：水中質量(g)

それぞれの空隙率を図-9 に示す。函体側壁は中性化深さが小さく、中性化部のみを採取することができなかった。中性化部に対して未中性化部の方が空隙率が大きな結果となった。これは炭酸化によって空隙が充填されたことが要因として考えられる。門柱の雪の有無で比べると、門柱雪無の空隙率が非常に大きな結果となり、促進中性化試験、及び圧縮試験の結果と概ね整合性がとれる結果となった。

4.7 室内試験による劣化原因推定

構造物から採取したコアを用いて中性化深さ測定、促進中性化試験、圧縮強度試験、空隙率試験を実施したところ、中性化の進行や、圧縮強度が部材毎に異なった。一方、中性化抵抗性や空隙率が変わらないと考えられていた内部の健全なコンクリートにおいても、中性化抵抗性、空隙率が部材毎に異なる結果が得られた。このように、同じ構造物でも水掛かりの有無や、置かれている環境によって部材の劣化の程度は大きく変化することが確認された。これらの結果を踏まえ、門柱の積雪の有無でコンクリートの空隙率や中性化抵抗性に大



きな違いが確認されたことから、内部に微細クラックが生じているのではないかと考えた。門柱雪有は冬季に入ると部材全体が積雪に覆われ、常に氷点下に維持されていたのに対し、門柱雪無では積雪が無く凍結融解作用が生じていたと考えられることから、内部の微細クラック及び圧縮強度低下の原因は凍害であると考えた。

非破壊試験による劣化原因推定では、本構造物の部材毎の違いは確認されず、健全であると判断されたが、コアを用いた室内試験を実施したところ、非破壊試験では把握できなかった部材毎の圧縮強度や中性化速度、中性化抵抗性の違いを確認することができた。このように非破壊試験だけでは分からないことも多く、コア採取によって得られる情報が非常に多いことから、構造物からコアを採取し、室内試験を実施することによる劣化原因推定が有効であると考えられる。

5. まとめ

- (1) コア分析の結果から晒される環境の違いによって圧縮強度や空隙率、中性化抵抗性に大きな違いがあり、劣化の程度は大きく変化することが確認された。
- (2) 非破壊試験だけでは得られない情報が多く、コア採取によって得られる情報が非常に多いことから、構造物からコアを採取し、室内試験を実施することによる劣化原因推定が有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 林和彦, 細田暁: 表面吸水試験によるコンクリート構造物の表層品質評価法に関する基礎的研究, 土木学科論文集, Vol.69, No.1, 82-89, 2013
- 2) 伊代田岳史, 本名英理香: コンクリート構造物の炭酸化進行における雨掛かり等の環境条件と影響とその進行メカニズムの検討, コンクリート工学論文集, 第 28 巻, pp.113-122, 2017