

コンクリート構造物の劣化部はつり範囲の特定技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 27～平 30

担当チーム：寒地保全技術研究グループ（耐寒材料）

研究担当者：島多昭典、菊田悦二、林田宏、内藤勲、
野々村佳哲、樫木俊一、川村浩二、中村直久、
高玉波夫、高田尚人、太田日出春、渡辺淳、
鈴木哲

【要旨】

本研究は、コンクリート構造物の凍害によって表面から進行する劣化に対する対策の一つである断面修復工法において、補修後に再劣化等が生じない確実な施工とするために、断面修復を施す劣化部分の範囲や深さについて、計測手法や設計手法を提案することを目的としている。凍害劣化部の断面修復においては、劣化部を確実に除去しないと再劣化の要因となることが既往の研究で明らかとなっている。一般的に補修設計時に行われている凍害劣化部の特定方法は、平面的な劣化範囲はコンクリート表面の目視と打音検査、劣化深さは限られた箇所では採取したコアによる目視や超音波伝播速度の計測等で行われている。しかしながら、劣化の進行は必ずしも一様ではないため、劣化部を部分的に残した施工となり、結果として再劣化が生じてしまった事例もある。このことから本研究では、劣化範囲と深さの精度を向上させる手法等についての検討を行う。

平成 27 年度は、凍害劣化の深さや範囲を特定する手法として、既存の非破壊検査手法の適用性について検討するため、実際のコンクリート構造物による劣化調査を実施した。凍害劣化が生じやすい構造物のコンクリート端部において、超音波透過法による測定を行い、コンクリート内部の深さ方向の劣化程度や劣化範囲の面的な分布の把握を試みた。また、供試体における検証も実施するため、凍結融解作用を与えた供試体の作製を行った。

その結果、現段階では明確なはつり深さと範囲を特定できないが、超音波透過法を用いて解析したコンクリート端部の劣化分布によって、ある程度の精度で劣化深さや劣化範囲を確認することができた。

キーワード：断面修復工法、凍害劣化、劣化深さ、劣化範囲、超音波透過法

1. はじめに

昨今の公共インフラの大きな課題として、増え続ける老朽化したコンクリート構造物の維持管理問題がある。積雪寒冷地のコンクリート構造物は凍害の影響を常に受ける厳しい環境にあり、老朽化したコンクリート構造物の増加と共に凍害によって劣化したコンクリートへの対策も重要な課題となっている。このようなコンクリート構造物を安心して利用するためには、適切な補修等によるコンクリート構造物の長寿命化が必要不可欠である。凍害によって劣化したコンクリートの補修対策の一つとして、コンクリートの表面の劣化部分を除去して補修材等で埋め戻す断面修復工法がある。しかし、修復後の断面修復箇所にひび割れや剥離が生じる再劣化が起きることも少なくない。このような再劣化の要因の一つは、劣化した部分を確実に除去していないことに起因することが既往の研究¹⁾²⁾で明らかとなっている。断面修復工法の補修においては、傷んだ劣化部分を完全に除去することが原則であるが、コンクリートの劣化状態や補修範囲を的確に判断する手法が未だ十分に確立していないのが現状である。ま

た、積雪寒冷環境下における既存補修工法の耐久性についても明確ではなく、的確な補修効果が担保されているわけではない。

本研究課題は、断面修復工法において除去する劣化部分、いわゆるはつり部分を明確化することにより、断面修復工法による補修効果の信頼性を向上させ、補修したコンクリート構造物の要求性能を出来るだけ長い期間満足させることを目的としている。したがって、補修効果が適切に得られるはつり範囲やはつり深さを特定する方法、言い換えれば、除去すべき劣化部分の範囲や深さの測定精度を向上させる方法等を検討する必要がある。コンクリートの凍害劣化の程度や劣化深さは、従来のコア採取による圧縮強度試験や既往の研究成果である超音波測定等³⁾⁴⁾で測定可能であるが、コンクリート内部の劣化程度やその深さは一様ではない。そのため、一般的な設計におけるはつり深さや範囲は、部分的な採取コア等の情報から推定された劣化深さで設計されることが多い。その結果、実際にはつった後のはつり面に部分的に劣化部が残存している場合も多く、その状態で断面修復が施工され、結果として再劣

化が生じてしまったケース¹²⁾がある。

平成 27 年度は、凍害劣化の深さや範囲を特定する手法として、既存の非破壊検査手法の適用性について検討を行った。実際のコンクリート構造物において、超音波透過法による劣化調査を行い、既往の研究における測定方法³⁾を参考に、測点位置等を検討して劣化深さの面的な分布を把握するための測定を試みた。また、これらの検討した測定方法について、供試体による検証も行うため、凍結融解作用を与えた供試体の作製も行った。以上の測定結果等について報告する。







2. 既存の非破壊検査手法による劣化調査

2.1 構造物の劣化調査

2.1.1 対象構造物

調査対象とした構造物と部位は、樋門構造物のゲート支柱とした。ゲート支柱は角部が凍害劣化で欠損しやすい部位である。劣化調査では、目視においてコンクリートの劣化状態が異なる 3 樋門のゲート支柱を比較することとした。表-2.1 に各樋門の供用年数とゲート支柱のコンクリートの状態を示す。本調査時において、A 樋門は供用34年、B 樋門は供用38年、C 樋門は供用44年であり、A 樋門と C 樋門で10年の差がある。目視におけるコンクリートの劣化状態は、C 樋門の劣化が一番大きく、次いで A 樋門であり、B 樋門は A 樋門よりも供用年数は多いが A 樋門よりも劣化していない状態であった。

表-2.1 各樋門の供用年数とコンクリートの劣化状態

樋門名	A樋門	B樋門	C樋門
供用年数 (建設年次)	供用34年 (1981年)	供用38年 (1977年)	供用44年 (1971年)
右岸			
左岸			
ゲート支柱 コンクリート の劣化状態			

2.1.2 測定方法

測定方法は、ゲート支柱の角部を発信・受信子で直角方向に挟んで斜めに超音波を透過させる超音波透過法で行った。なお、測定箇所を対面ではなく斜めに挟んで測定する方法を斜角法とも言い、超音波透過法の測定方法の一つ⁴⁾である。超音波透過法の原理は、一定の速度で発信子から発信される超音波がコンクリート内部を通過して受信子に到達するまでの時間を測る方法であり、コンクリートの場合、内部に空隙やひび

割れ等の劣化があると、超音波は空隙等を避けながら通過するため、超音波が到達する時間は長くなる。発信子と受信子の測定間隔が同じ場合、超音波の速度は一定のため、コンクリート内部の劣化の有無で超音波の到達時間は変化する。したがって、同じ測定間隔で到達時間が長いとコンクリートは劣化していることになる。なお、コンクリートの劣化程度の評価は、測定間隔を到達時間で除すことで算出される超音波伝播速度を指標とすることが一般的であり、健全なコンクリートの一般的な超音波伝播速度の数値は、3,500～4,500m/sec程度である⁵⁾とされている。

測点は、図-2.1 に示すように、それぞれの樋門におけるゲート支柱の端部を5cmおよび10cmの等間隔に測線を引き、各測線において5cm間隔で角部の頂点から外に向かって測点を設定した。各ゲート支柱の測線数は、A 樋門が15本、B 樋門が5本、C 樋門が横4本、縦5本とした。写真-2.1 に測定状況を示す。測定で得られた到達時間から超音波伝播速度を算出し、構造物の深さ方向の超音波伝播速度分布を求めて、測定範囲におけるコンクリート内部の劣化状況（劣化深さと劣化範囲）の確認を行った。

2.1.3 測定結果

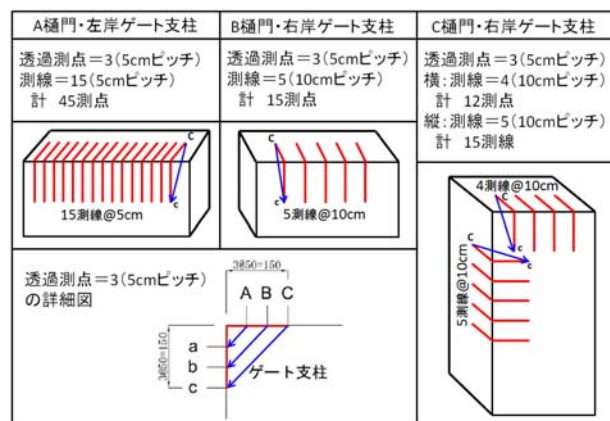


図-2.1 各ゲート支柱の超音波測点箇所



写真-2.1 超音波測定状況

図-2.2に、各ゲート支柱の超音波伝播速度分布を示す。各ゲート支柱共に、隅角部付近に近づくほど超音波伝播速度は遅い状態となっており、隅角部から劣化の程度が大きくなっていくことがわかる。深さ方向に関しては、表面付近の超音波伝播速度は遅く、内部の超音波伝播速度が速いことから、表面のほうが劣化は大きく、表面から内部に向かって劣化が進行していることがわかる。今回の結果では、部分的に劣化している箇所や、ゲート支柱毎に劣化の程度が異なっており、劣化範囲と劣化深さは一様ではないことが確認できた。現段階では明確なはつり深さと範囲を特定できないが、超音波伝播速度の分布を求めることによって、はつり深さや範囲の閾値を特定できる可能性があることがわかった。この結果を踏まえ、室内実験における供試体での検証を実施し、はつり深さと範囲の閾値を特定する指標等についての検討を今後行う予定である。

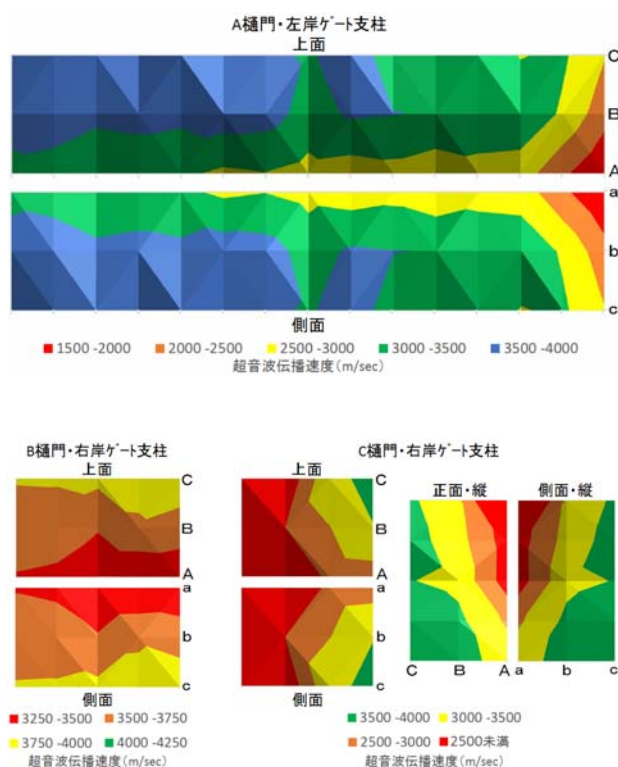


図-2.2 各ゲート支柱の超音波伝播速度分布

3. 室内実験による検証

3.1 劣化供試体の作製

上述した実構造物における劣化調査の結果から、劣化程度に伴うはつり深さと範囲を特定するための判定指標等について、供試体での室内実験による検証を行うこととした。平成27年度は、凍害劣化の程度が異なる

供試体を作製した。表-3.1に示すコンクリートの配合を用いて、2種類の10cm×10cm×40cmの角柱供試体を作製（水中養生20℃、材齢28日）し、これに、JIS A1148（A法）とRILEMのCDF法⁷⁾による凍結融解作用を与えることで劣化した供試体の作製を行った。

JIS A1148（A法）では、-18℃～5℃の範囲で水中凍結水中融解作用（1サイクル約4時間）を与え、終了サイクルを100サイクル、200サイクル、300サイクルの3ケースとした。なお、1面のみを劣化させるため、5面はエポキシ樹脂系接着剤でコーティング処理を施した。

CDF法では、角柱を半分切断し、10cm×10cm×20cmとした供試体を図-3.1に示す概要図のように、+20℃～-20℃までの範囲で、10K/hの定速で4時間冷却、-20℃で3時間保持、同じ定速で+20℃まで4時間加熱、+20℃で1時間保持し、12時間1サイクルで一面凍結融

表-3.1 コンクリートの配合

配合ケース	セメントの種類	Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位置量(kg/m ³)				Slump (cm)	Air (%)
					W	C	S	G		
AE	普通ポルト	20	55.0	45.0	155	282	854	1149	9.0	5.5
non-AE	普通ポルト	20	55.0	45.0	175	318	846	1137	9.0	1.9

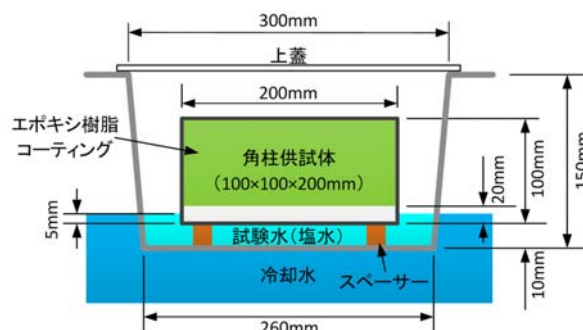


図-3.1 CDF法のイメージ図

解作用を与え、終了サイクルを14サイクル、28サイクル、56サイクルの3ケースとした。

図-3.2にJIS A1148（A法）で作製した劣化供試体の相対動弾性係数の一例を示す。各供試体において、それぞれ100サイクル、200サイクル、300サイクルで凍結融解作用の付与を終了しているため、相対動弾性係数の異なる、いわゆる、劣化程度の異なる供試体を作製したことになる。写真-3.1にCDF法で作製した劣化供試体の一例を示す。non-AEコンクリートの供試体における終了サイクルが14サイクルと28サイクルで、劣化面の表面のスケーリングの程度が異なる供試体を作製

JIS A1148(A法)・non-AE 供試体

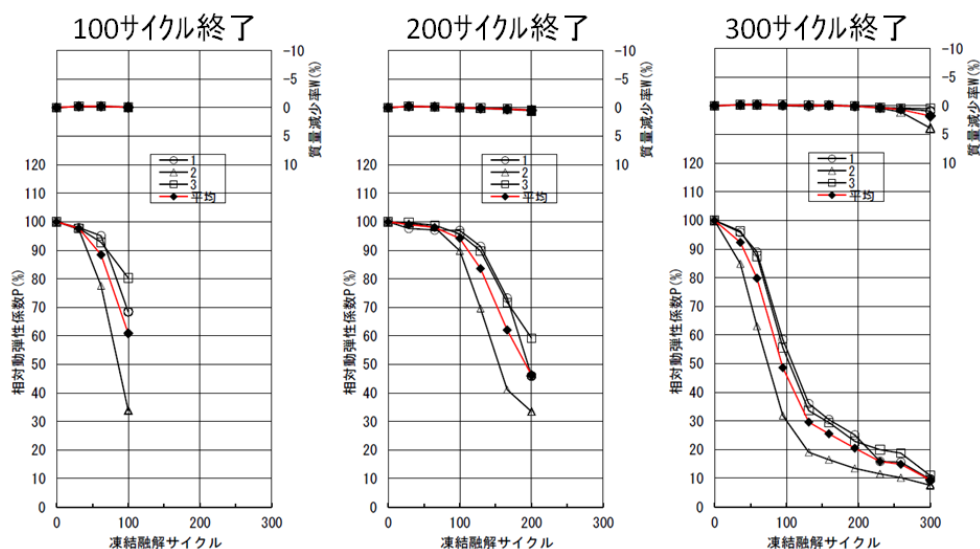


図-3.2 各サイクルで終了した供試体の相対動弾性係数の例

CDF法			
AE供試体		non-AE 供試体	
28サイクル終了	56サイクル終了	14サイクル終了	28サイクル終了
スケーリング量 0.044 0.063 (g/cm ²)	スケーリング量 0.214 0.205 (g/cm ²)	スケーリング量 0.464 0.605 (g/cm ²)	スケーリング量 1.091 1.069 (g/cm ²)

写真-3.1 CDF法で作製した供試体の表面状態

したことになる。

次年度に、これらの供試体を用いて劣化測定の見直しを行う予定である。

4. まとめ

平成27年度に実施した研究結果をまとめると以下の通りである。

- (1) 実構造物の劣化調査において、超音波透過法によって面的に劣化分布を解析した結果、劣化深さや劣化範囲をある程度の精度で測定することができた。
- (2) 現段階でははつり深さやはつり範囲を特定できないが、超音波伝播速度の分布から、はつり深さやはつり範囲の閾値を特定できる可能性がある。

(3) 作製した供試体に凍結融解作用を付与し、終了サイクルを変えることでコンクリートの劣化程度を変化させた供試体を作製した。次年度に、これらを用いて劣化測定の見直し実験を実施する予定である。

参考文献

- 1) 河川樋門コンクリートの凍害劣化と再劣化に関する調査：内藤勲，田口史雄，石谷隆始，畠秀樹，出合寿勇，寒地土木研究所月報，No.678，報文，pp.17-26，2009.11
- 2) A study on Re-deterioration of Surface-coated Sluice Structures due to Frost Damage：Isao Naitoh, Fumio Taguchi, Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures (FramCoS-7)，pp.1077-1083，2010.5
- 3) 補修したコンクリート構造物の凍害による再劣化診断手法に関する検討：内藤勲，田口史雄，畠秀樹，第66回（平成23年度）土木学会年次学術講演会，pp.143-144，2011.9
- 4) 魚本健人，加藤潔，広野進：コンクリート構造物の非破壊検査，森北出版，p.29，1990
- 5) 魚本健人，加藤潔，広野進：コンクリート構造物の非破壊検査，森北出版，pp.37-39，1990
- 6) コンクリート診断技術10 [基礎編]：公益社団法人日本コンクリート工学会，p.113，2010.1
- 7) Jochen Stark ほか（訳：太田利隆ほか）：コンクリートの耐久性第2版，社団法人セメント協会，pp.200-202，2003.8

TECHNIQUES TO DETERMINE THE RANGE OF DETERIORATION TO BE REMOVED FROM CONCRETE STRUCTURE

Budget : Grants for operating expenses General account

Research Period : FY2015-2018

Research Team : Cold-Region Maintenance Engineering
Research Group (Materials Research
Team)

Author : SHIMATA Akinori, KIKUTA Etsuji, HAYASHIDA
Hiroshi, NAITOH Isao, NONOMURA Yoshinori,
KASHIKI Syunichi, KAWAMURA Koji,
NAKAMURA Naohisa, TAKADAMA Namio,
TAKADA Naoto, OOTA Hideharu, WATANABE Jun,
SUZUKI Satoshi

Abstract :

One of remedial measures for concrete structures is a patching repair method, by which degraded area is removed and restored with the application of new concrete or repairing materials. However, existing studies have pointed out that further deterioration occurs due to frost damage unless the degraded area is removed and repaired completely. Currently, repair designs are based on results from limited areas of examination. As a consequence, it is often the case that a structure given a patching repair method undergoes recurring deterioration because the degraded area partially remains.

In this context, this study has focused on techniques to improve the accuracy of assessing the range and depth of deterioration. This year, an attempt has been made to comprehend the planar distribution of deterioration depth and range within an existing concrete structure by using an ultrasonic wave transmission method which is already known as a non-destructive inspection method.

As a result, the ultrasonic wave transmission method enabled us to grasp the distribution of deterioration degree at the end of concrete member but the removal depth and range could not be clearly established.

Key words : patching repair method, frost damage, deterioration depth, deterioration range, ultrasonic wave transmission method