

コンクリートの補修完了の簡易検査方法に関する検討

山田悠二¹, 樫原弘貴¹, 江本幸雄¹

福岡大学工学部

概要：本研究では、シリンダーを用いた簡易透気試験のひび割れ補修に対する検査方法としての適用可能性について検討することを目的に、ひび割れを模擬的に導入した供試体に対し、簡易透気試験により補修前後での透気性の評価を行った。その結果、本試験方法のひび割れ補修に対する検査方法としての適用できる可能性が示唆された。

1. はじめに

地方の小規模な自治体などでは、構造物の維持管理のための資金繰りが困難な場合もあることから、幅が小さなひび割れなどの軽微な構造物の損傷については、専門の業者に委託することなく、構造物の管理者である自治体の職員が自ら応急的に補修を行うという取り組みが広がりつつある¹⁾。

その一方で、たとえ軽微な損傷に対する補修であっても、専門的な知識や技術力の不足から、十分な補修が行えていないケースが生じることも懸念される。したがって今後、このような取り組みを促すと共に、持続可能なものへとしていくためには、補修に対する品質の保証が必要になると考えられる。そのためには、補修箇所の良否を検査し、補修が十分でないと判断された場合には、改めて補修を行うというサイクルの構築が必要になってくるものと考えられる。

しかしながら現状では、ひび割れなどに対する補修の良否の検査方法について、オーソライズされているものは存在していない。そこで本研究では、ひび割れに対する補修を対象に、透気性の変化に着目して、補修の良否を検査する方法について検討する。

一般に現場におけるコンクリートの透気性の測定については、ダブルチャンバーを用いた方法が広く普及している。一方で、このダブルチャンバーは比較的に高価なものであり、また外部電源が必要となる。そこで本研究では、試験に必要な器具を安価に調達でき、さらに外部電源を必要としないため、ダブルチャンバーを用いた方法よりも簡易に実施することが可能なシリンダーを用いた透気試験方法（以下、簡易透気試験と称する）に着目した。本試験方法は既往の研究により、ダブルチャンバーを用いて実施した透気試験と相関

があることなども報告されている^{2), 3)}。

本検討では、簡易透気試験のひび割れ補修に対する完了検査方法としての適用性を確認することを目的に、ひび割れを導入した供試体に対し、補修前後での透気性を簡易透気試験により評価した。具体的には、模擬的なひび割れとしてスリットを導入した供試体、および圧縮载荷によりコンクリートにひび割れを導入した供試体に対して、スリット部分およびひび割れ部分への補修材の注入前後での透気性の変化について評価を行った。

2. 簡易透気試験方法について

本試験方法では、コンクリートのひび割れ注入に用いられるボンドシリンダーの先端をカットし、切断面を紙やすりなどで研磨したもの（図-1 a）を試験装置（シリンダーの内径：30mm、容量約40ml）として使用する。また、シール材としてエアコン室外機の接続の際に用いられるパテを使用する。これらは量販店などで安価に入手可能であるものとなっている。

測定の様子および測定の原理は図-1 b) および図-1 c) に示すようになり、シングルチャンバー方式とした透気試験方法である。以下に試験の手順を示す。

まず、試験を実施する箇所の表面の塵や汚れを、アセトンを染み込ませたウエスなどを用いて拭き取る。そして、エアコンの室外機用パテを試験装置の先端に装着したものを、測定箇所に密着させる。このとき、パテは直径が100mm程度となるように引き伸ばす。

ピストンを引いてストッパーで固定し、300秒経過した後、ストッパーを外して復圧させ、試験装置の先端からリングまでの距離について、ノギスを用いて小数点以下2桁まで読み取る。読み取った測定値に試験装置の断面積

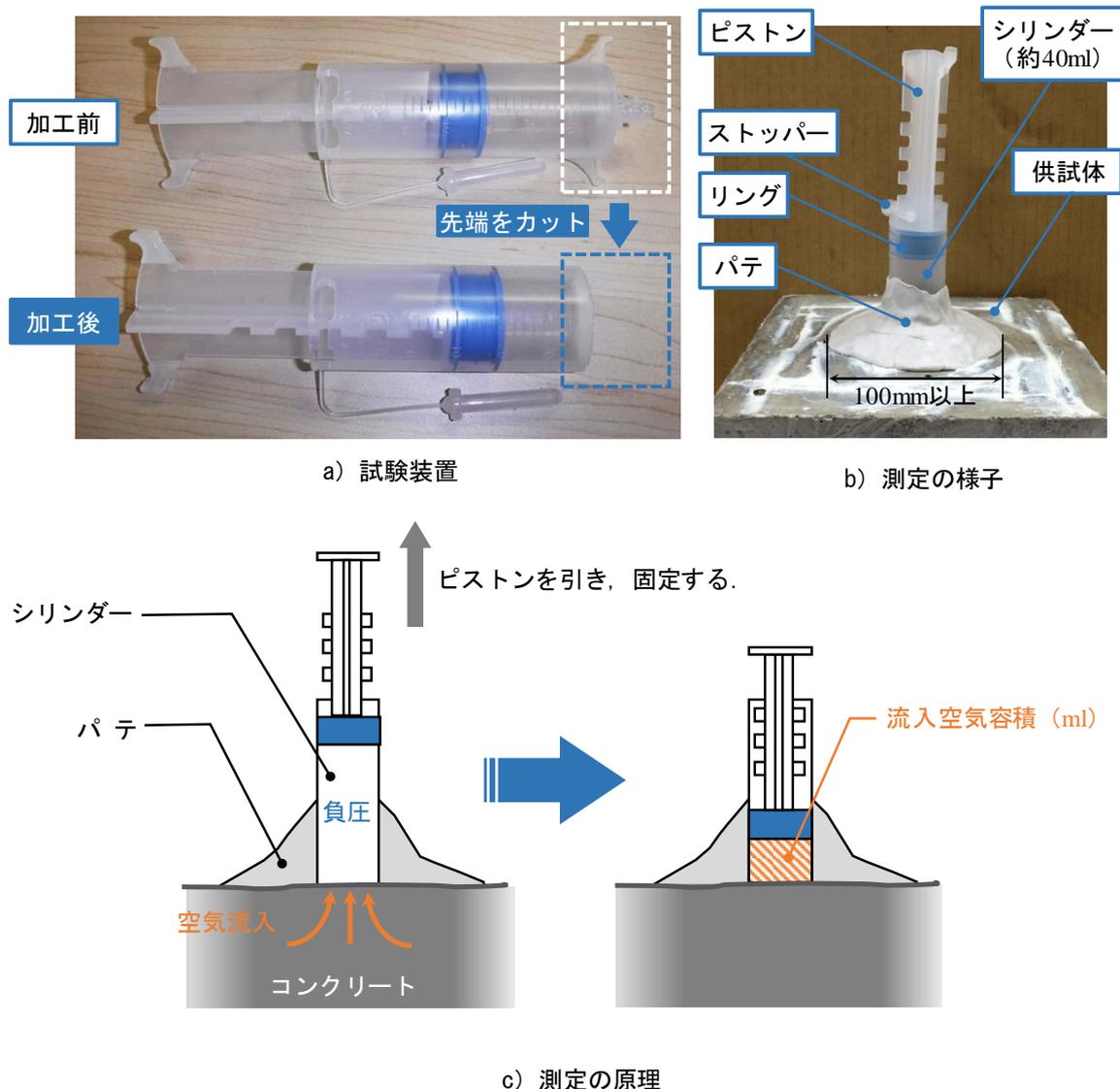


図-1 簡易透気試験の概要

(7.065cm²) を乗じたものを V_1 とする。

また、シリンダーごとにキャリブレーションとして、ガラス板を対象に上述と同様の測定を行い、この測定によって得られた値を試験装置のキャリブレーション値 V_0 とする。この値を V_1 から差し引いたものを、この試験での測定値である流入空気容積 (ml) とする。

3. 実験概要

3.1 スリット供試体を用いた実験の概要

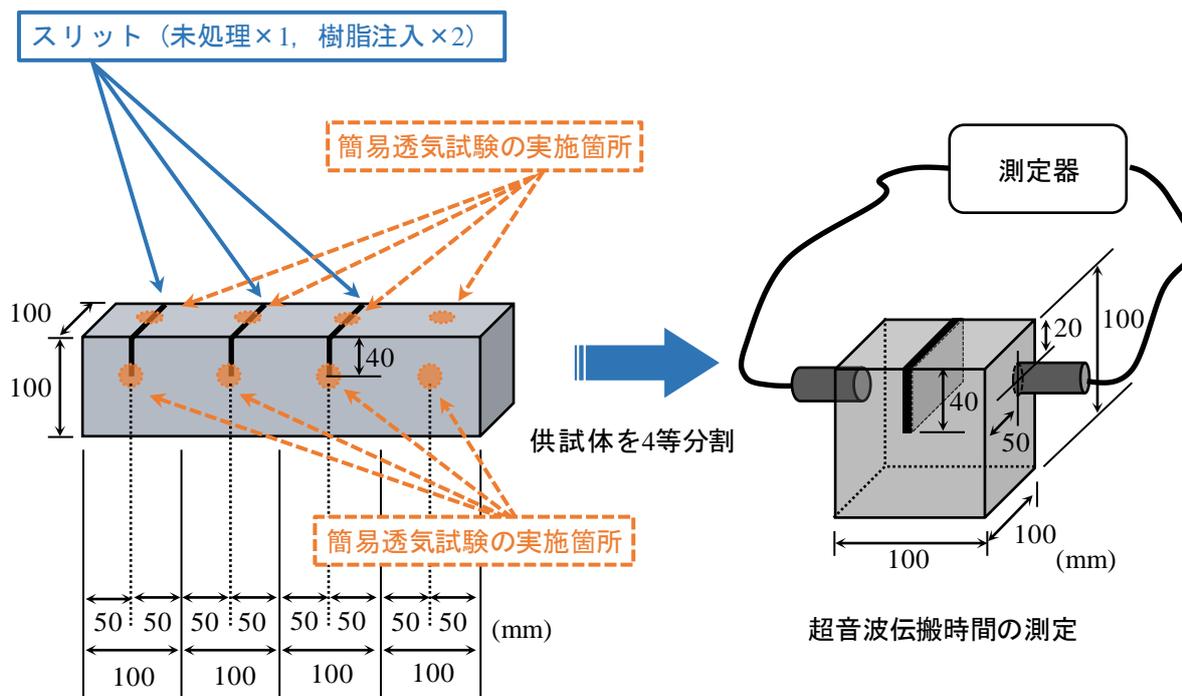
(1) スリット供試体の作製

図-2 の図中左側に供試体の概要を示す。供試体作製には W/C=45%, 55% のモルタルを用いた。モルタルを用いた理由としては、予備実験により、後述のスリットの導入の際に粗骨材とステンレス板が噛み合い、ステンレ

ス板の引き抜きが困難であることを確認したためである。

ステンレス板 (厚さ: 0.2, 0.4, 0.8mm, 幅: 100mm) を深さ 40mm となるよう供試体の 3 箇所へ挿入し、模擬的なひび割れ (スリット) を導入したものを各スリット厚さで 2 体ずつ作製した。1 供試体に対し、スリットを設けない箇所 (ひび無し) と、スリットを導入した箇所を 3 箇所設けた。スリットを導入した 3 箇所は、未処理のケース (ひび有り) と、スリット部が乾燥および湿潤の状態でエポキシ系の樹脂を注入したケース (補修 (乾燥) および補修 (湿潤)) を設けた。なお、湿潤状態はエポキシ系樹脂の注入直前にスポイトで水をスリット部に滴下したものとした。

エポキシ系樹脂の注入量は、スリットの容



図ー２ スリット供試体の概要と各測定位置

表ー１ 供試体のケース（その１）

ケース	スリット	補修方法
ひび無し	無し	無し
ひび有り		
補修（乾燥）	0.2mm 0.4mm 0.8mm	乾燥状態のモルタルに対しエポキシ系樹脂を注入。
補修（湿潤）		スポイトで水を滴下し、スリット部を濡らした状態でエポキシ系樹脂を注入。

積を満たす量とした。また、エポキシ系樹脂の注入は、供試体を7日間の湿布養生後、気中で28日間養生後に行った。供試体のケースの一覧を表ー1に示す。

(2) 簡易透気試験の実施箇所

簡易透気試験は、スリット供試体の打設面と側面に対し、図ー2の図中左側に示す位置で行った。なお、測定にあたり、打設面を測定する場合には側面をパテによりシールし、側面を測定する場合には打設面をシールした。また、簡易透気試験を行う直前には高周波式水分計により供試体の表面含水率も測定した。

(3) 超音波伝搬速度による評価

簡易透気試験を実施した 100×100×400mm のスリット供試体を 100×100×100mm の立方

体状に切断したものに対し、スリット部をセンサーで挟む形（透過法）で超音波伝搬時間 t を測定した。なお、供試体とセンサーの間にはグリスを塗布した。センサーはスリットの中心になるように設置した。測定した超音波伝搬時間を用いて、式（1）より超音波伝搬速度を算出した。

$$v=L/t \quad (1)$$

ここに、 v ：超音波伝搬速度（km/sec.）、 L ：探触子間距離（=100mm）、 t ：超音波伝搬時間（sec.）である。

3.2 ひび割れコンクリート供試体を用いた実験の概要

(1) ひび割れコンクリート供試体の作製

ひび割れコンクリート供試体は、土木学会規準である「けい酸塩系表面含浸材の試験方法（案）（JSCE-K 572-2012）」を参考に作製した。図ー3に供試体の作製手順について示す。

まず、乾燥した状態の円柱コンクリート（φ100mm×高さ200mm、W/C=55%）を、底部が密閉された塩ビ管（φ105mm×高さ200mm）の内部に設置した。その後、塩ビ管と円柱コンクリートの隙間に低粘性タイプのエポキシ系樹脂を流し込んだ。エポキシ系樹脂の硬化後、上部および底部から25mm程度ずつ切り出して除外したものを、さらに500mmの高さとなるよう切り出した。その後、万能試験機

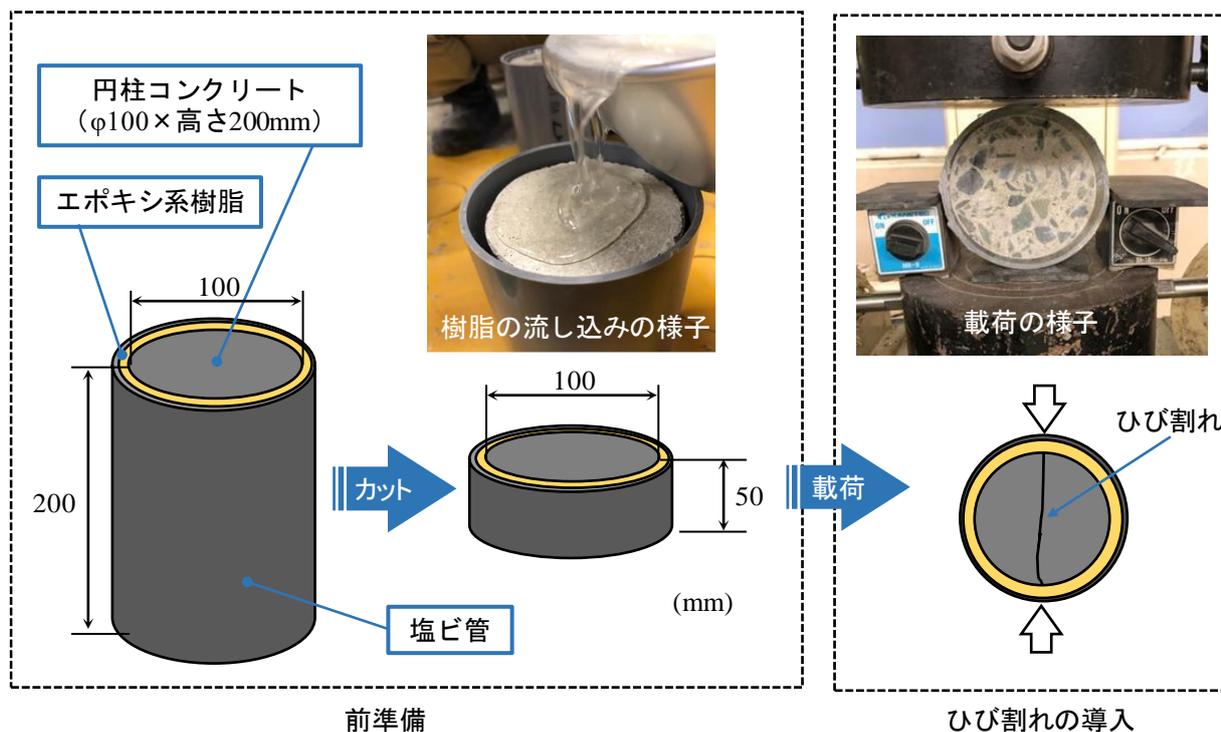


図-3 ひび割れコンクリート供試体の作製

表-2 供試体のケース（その2）

ケース	樹脂の注入量	補修方法
補修（乾燥）	5ml, 10ml	乾燥状態でエポキシ系樹脂を注入。
補修（湿潤）		供試体を吸水させた後、エポキシ系樹脂を注入。

で載荷し、ひび割れを導入した。

ひび割れを導入した後は、エポキシ系樹脂の注入を行った。このとき、乾燥状態のまま注入を行ったケース（補修（乾燥））と、供試体を24時間吸水させてから注入を行ったケース（補修（湿潤））を設けた。また、エポキシ系樹脂の注入量は5mlとした場合とその2倍の量の10mlとした場合の2ケースとした。供試体のケース一覧を表-2に示す。いずれの供試体もエポキシ系樹脂の注入後、28日間気中で養生することで乾燥させた。

（2）簡易透気試験の実施について

ひび割れコンクリート供試体に対し、中心部分を対象として簡易透気試験を行った。こ

のとき、供試体の底面（測定面と反対の面）はパテおよびアルミテープでシールした状態とした。また、簡易透気試験を実施する直前に高周波式水分計により供試体の表面含水率の測定も行った。

4. 実験結果および考察

4.1 スリット供試体を用いた実験結果

簡易透気試験結果を図-3から図-6に示す。なお、図中の凡例は、スリットを導入していないものを「ひび無し」、スリットを導入し樹脂を注入していないものを「ひび有り」、エポキシ系樹脂を注入したものは「補修（乾燥）」および「補修（湿潤）」として示した。また、供試体の表面含水率を高周波水分計により計測した結果、いずれの供試体も4.5~6%の範囲であり、含水率による簡易透気試験結果への影響は小さいものと考えられる²⁾。流入空気容積は1ケースに対し2体ずつ作製した供試体の平均値を示した。

まず、樹脂の注入の有無で比較すると、スリットの厚さによらず、ひび有りに対し、補修（乾燥）および補修（湿潤）の流入空気容積は小さい傾向にあり、樹脂の注入の有無での透気性の変化を確認できた。また、スリット厚さで比較すると、0.2mmとした場合に補修（乾燥）や補修（湿潤）の流入空気容積が多

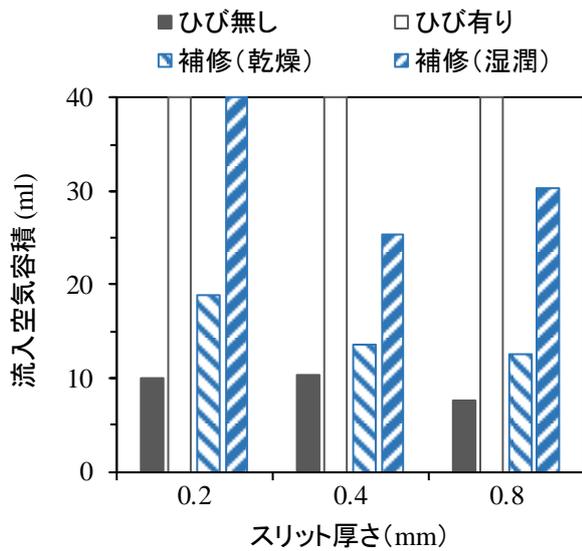


図-3 打設面における簡易透気試験結果 (W/C=45%)

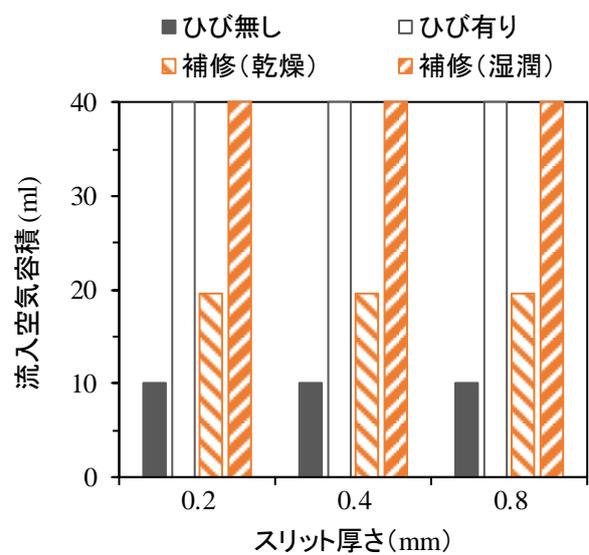


図-5 側面における簡易透気試験結果 (W/C=45%)

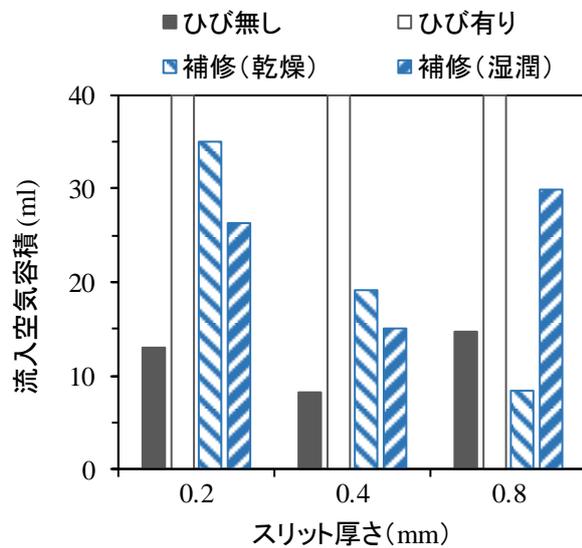


図-4 打設面における簡易透気試験結果 (W/C=55%)

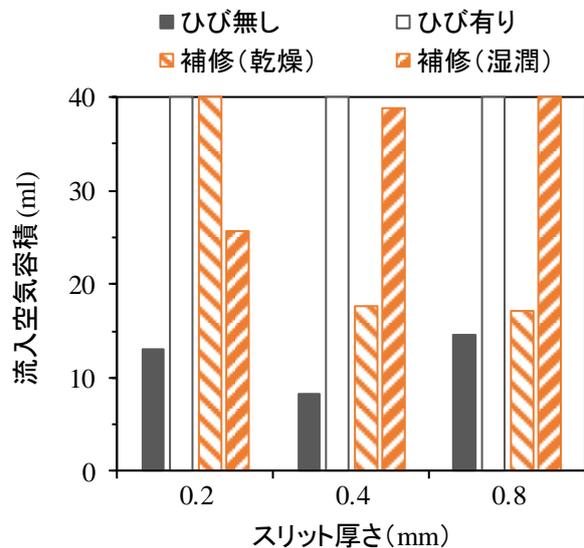


図-6 側面における簡易透気試験結果 (W/C=55%)

い傾向にあった。これはスリットが薄い場合、スリット部分の空気が抜けにくく、樹脂が密実に注入されにいたため補修部が疎になったことなどが影響したのではないかと推察される。樹脂を注入したもので比較すると、湿潤状態で樹脂の注入を行った補修(湿潤)では、乾燥状態で樹脂を注入した補修(乾燥)よりも流入空気容積が大きい傾向にあった。これは湿潤状態で樹脂を注入した場合に加水分解が生じ⁴⁾、モルタルと樹脂の界面が疎になったことが影響したと考えられる。

打設面と側面での結果を比較すると、どち

らの場合もひび無しに比べて補修(乾燥)および補修(湿潤)の流入空気容積が大きい傾向や、補修(乾燥)よりも補修(湿潤)の方が流入空気容積は大きい傾向にあった。打設面では側面と比べて表面に凸凹が多く、粗い面となっている。実構造物においては、必ずしも表面が平滑であるとは限らないため、この結果は実構造物でも本試験方法を十分に適用できることを示唆するものであるといえる。

図-7に一例として、W/C=45%の供試体における流入空気容積と超音波伝搬速度の関係を示す。これより、両者に右肩下がり傾向

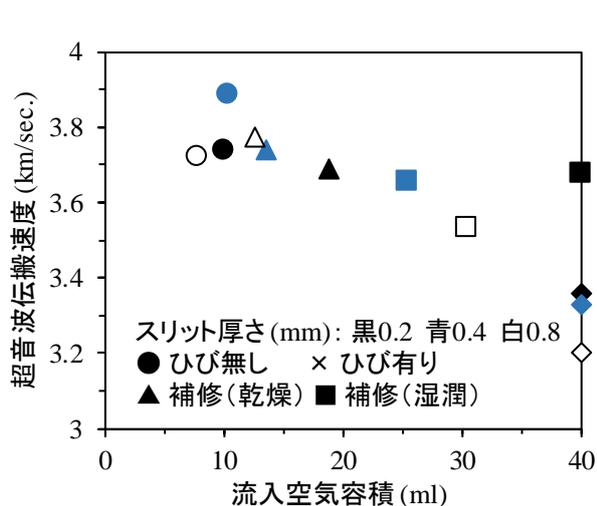


図-7 超音波伝搬速度と流入空気量の関係

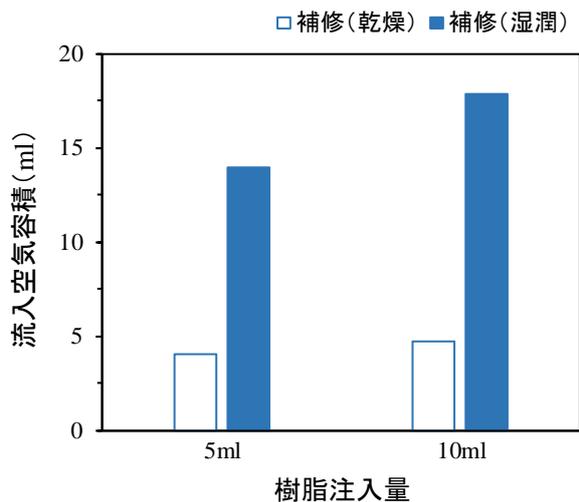


図-8 ひび割れコンクリート供試体の流入空気量

が確認できる。スリットの部分に空隙などが多く存在し疎な場合、超音波が空隙を迂回することから伝搬経路が複雑となり、伝搬速度は低下したと考えられる。一方、スリットの部分が疎なほど透気性は高いため、流入空気容積は大きくなったと考えられる。これより、超音波伝搬速度と流入空気容積の比較からは、簡易透気試験による評価の妥当性が窺えた。

4.2 ひび割れコンクリート供試体を用いた実験結果

図-8に簡易透気試験結果を示す。なお、高周波水分計により測定した表面含水率は、いずれの供試体も4~5%の範囲であった。乾燥状態で補修したものは、樹脂の注入量による流入空気量の差はなかった。一方、湿潤状態では注入量が少ない方が流入空気量は小さかった。樹脂の注入量が多いほど、ひび割れが密実に充てんされ、流入空気量が低下することを予想していたが、これと反する結果となった。これについては今後の課題としたい。また、樹脂の注入時における供試体の状態で比較すると、湿潤状態で補修を行った場合(補修(湿潤))には、乾燥状態で補修した場合(補修(乾燥))よりも流入空気量が多く、この点においてはひび割れコンクリート供試体においても、簡易透気試験による補修効果の評価が可能であることが確認できた。

5. まとめ

本研究では、シリンダーを用いた簡易透気

試験のひび割れ補修の完了検査としての適用性について、スリット供試体とひび割れコンクリート供試体により検討した。その結果、いずれの供試体も補修条件の違いによる透気性の変化を確認できたことから、本試験方法をひび割れ補修の良否を検査する方法として適用できる可能性があることが示唆される。

謝辞

本研究は九州建設技術管理協会の支援を受けて実施した。ここに付記し、関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 武田秀人：橋梁メンテナンスサイクル構築を目指した上山市の取り組み—継続的な橋梁維持管理を見据えた管理方法—，土木学会誌，Vol.104，No.2，2019
- 2) 三宅純平，山田悠二，渡辺健，橋本親典：各種要因がシリンダーを用いた簡易透気試験に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.38，No.1，pp1995-2000，2015
- 3) 面矢建次郎，渡辺健，小谷健太，関川昌之，橋本親典：シリンダーを用いた簡易透気試験による実大コンクリート壁を対象とした表層品質評価の検討，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，Vol.18，2018
- 4) 樹脂プラスチック材料協会 HP：www.jushiplastic.com