

論文

埋設型枠背面の空洞におけるセメント系材料の補修方法に関する検討

水野 剣一*1, 谷口 修*2, 綾野 克紀*3

Study for Repair Methods of Cementitious Material for Cavity of Concrete Behind Precast Concrete Panel

Kenichi MIZUNO*1, Osamu TANIGUCHI*2 and Toshiki AYANO*3

要旨：埋設型枠を使用したコンクリートは、埋設型枠背面の充填状況を把握できないため、充填不良の発生予防や空洞検知が重要であるとともに、その補修方法の確立も重要である。本研究では、実物大の試験体を構築し、自然発生させた空洞や豆板に対し、打音、衝撃弾性波法、電磁波レーダとドリル削孔調査により空洞調査の精度の比較を行った。補修方法に関しては、着色したセメントスラリーを空洞部に注入後、コア採取や埋設型枠の撤去により細部まで充填できることを確認した。また、補修箇所の圧縮強度は使用したコンクリートの呼び強度以上であり、付着強度や中性化速度係数は健全部と同程度であり、許容できる範囲であった。

キーワード：埋設型枠、空洞調査、セメントスラリー、補修

1. はじめに

近年の高齢化により型枠大工などの熟練技能者の不足が見込まれる中、生産性向上に寄与する埋設型枠の使用の実績が多くなっている。また、国土交通省では平成 30 年 6 月に「コンクリート構造物における埋設型枠・プレハブ鉄筋に関するガイドライン」が発表されるなど、ますます埋設型枠が使用されやすい環境が整えられてきている。

通常の木製や金属製の型枠を使用したコンクリートでは、型枠脱型後にコンクリートの表面状態から豆板などの充填不良を目視で確認できるが、埋設型枠を使用した場合には目視で埋設型枠内部の充填状況を把握できない。このため充填不良の発生予防や検知が重要であるとともに、発生した空洞に対しての補修方法を確立しておくことも重要である。補修方法は、埋設型枠をはつり取って補修することが有効であるが、すべてはつり取ることが困難な場合や時間を要することもあり、補修材を型枠外部から注入する方法も有効と考えられる。

そこで本研究では、まず埋設型枠内部へ注入するセメント系の補修材料の選定のために、小型試験体にて補修材料の注入性能を比較した。その後、埋設型枠を使用した実大規模の試験体を構築し、自然発生させた空洞や豆板に対し、打音、衝撃弾性波法、

電磁波レーダとドリル削孔調査により空洞調査の精度の比較を行った。さらに、選定した補修材料を注入して充填状況の確認、補修箇所の圧縮強度、埋設型枠との付着強度、補修部の中性化速度について検討したものである。

2. 小型試験体による実験

2.1 試験体概要

小型試験体の概要図を図-1 に示す。試験体は注入時の状況がわかるように表面にアクリル板を設置して空洞を設けたケース（試験体 1,2）と埋設型枠を想定して試験体内部に空洞があるケース（試験体 3）とした。試験体に設置した四角形、台形、三角形の模擬空洞は、型枠に発泡スチロールを固定してモルタルを打設し、硬化後に発泡スチロールをアセトンで溶かして作成した。また、模擬豆板は、コンクリートからモルタル分を除去した粗骨材を設置することにより作成した。

2.2 補修材料・注入方法

補修材料は、プレミックス製品の無収縮モルタルと無収縮セメントスラリーを使用した。無収縮モルタルは NEXCO 試験法 312 の規格に適合したものであり、無収縮セメントスラリーは石灰系膨張材などをセメントに配合したものである。各配合と各補修

*1 五洋建設（株）技術研究所 土木技術開発部 主任

*2 五洋建設（株）技術研究所 土木技術開発部 担当部長

*3 岡山大学大学院 環境生命科学研究科 教授

材の充填モルタルの流動性試験方法 (JSCE - F541) による流下時間などの試験結果を表-1 に示す。

注入方法としては、まず空洞と豆板に水通しをして注入箇所を湿潤させたのち、電動ポンプを使用して、注入孔から補修材を注入した。使用した電動ポンプは吐出量約 2.7l/分、最大吐出圧 1.4MPa である。また、補修材を注入するための管の内径は、セメントスラリーでは 9.5mm とし、モルタルでは 12mm とした。

2.3 注入結果

注入結果の一覧を表-2、試験体の切断面を図-2 に

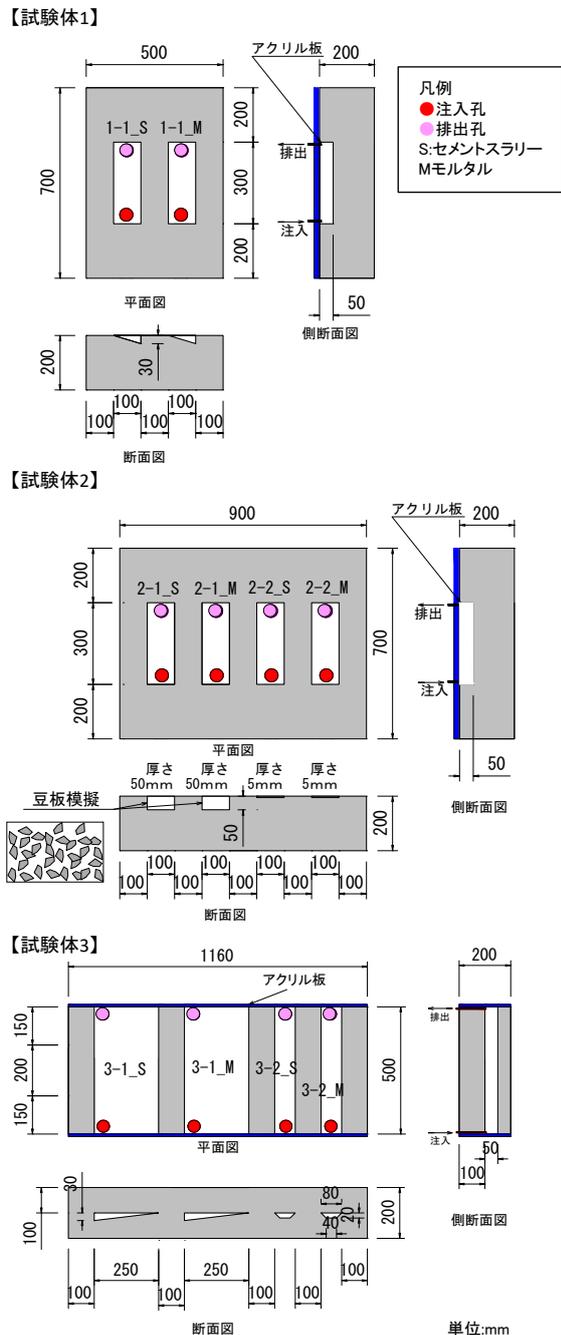


図-1 小型試験体の概要図

示す。セメントスラリーとモルタルどちらも台形や三角形の鋭角部に対して注入できることが確認された。また、凹凸のある模擬豆板においても注入が可能であった。厚さ 5mm の空洞では、モルタルの場合は閉塞して注入できず、セメントスラリーの場合は一部空気溜まりができたものの注入が可能であった。このため、5mm 程度でも確実に注入できるセメントスラリーを用いて実大規模の試験体によって検証を行うこととした。

表-1 補修材の配合と試験結果

補修材の種類	プレミックス材 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	練上がり温度 (°C)	J14ロート流下時間 (s)	材齢28日の圧縮強度 (N/mm ²)
モルタル	1913	325	32	6	60.3
セメントスラリー	1,544	484	33	5	71.9

表-2 小型試験体の注入結果一覧

No.	空洞位置	空洞形状	最大厚さ	補修材	判定
1-1_S	表面付近	三角形	30mm	セメントスラリー	○
1-1_M				モルタル	○
2-1_S	表面付近	豆板	10mm	セメントスラリー	○
2-1_M				モルタル	○
2-2_S	表面付近	四角形	5mm	セメントスラリー	○
2-2_M				モルタル	×
3-1_S	内部	三角形	30mm	セメントスラリー	○
3-1_M				モルタル	○
3-2_S				セメントスラリー	○
3-2_M	台形	30mm	モルタル	○	

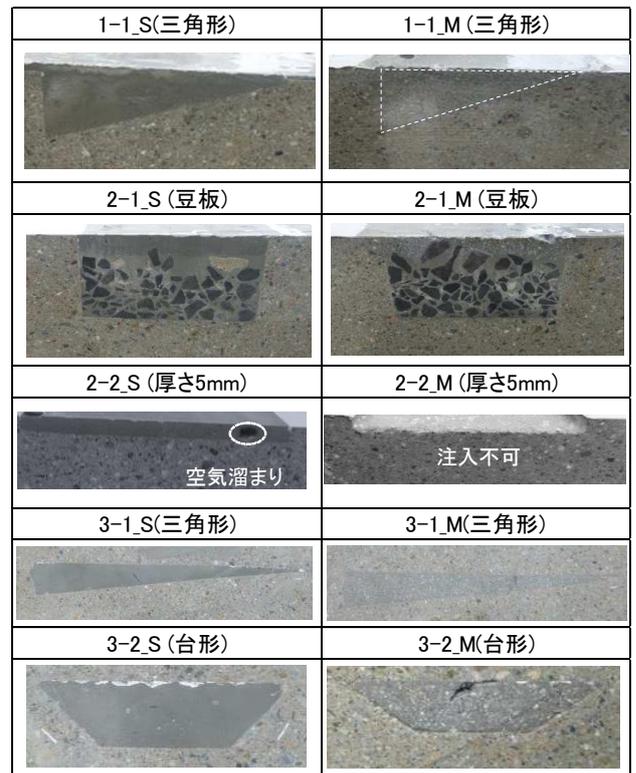


図-2 小型試験体の切断面

3. 実大規模試験体の構築

3.1 試験体概要

(1) 構造

試験体は、既設構造物を増し厚で補強する構造とし、埋設型枠を使用することを想定した。また、勾配を有する構造とすることで充填したコンクリートの空気が抜けにくく、空洞が発生しやすい構造としている。増し厚部のコンクリートの厚さは 192mm とし、充填するコンクリート内には主筋 D41, 配力筋 D19 を 250mm ピッチで配置し、埋設型枠背面から主筋まで芯かぶり 150mm の構造とした。また、試験体の既設構造物については、打継ぎ面処理剤と高圧ジェット水洗浄により目荒した。想定した試験体の断面図と正面図を図-3 に示す。

(2) 埋設型枠

使用した埋設型枠は長さ 30mm のビニロン短繊維を混入した厚さ 60mm の高強度モルタル製（曲げ強度 8.0N/mm²）であり、1800×1500mm のパネル形状である。充填するコンクリートと接する部分は、打継ぎ面処理剤と高圧ジェット水洗浄により目荒しし繊維が露出したものである（図-4 参照）。埋設型枠と既設コンクリートとはパネル 1 枚あたり、12 箇所をセパレータで固定した。型枠同士の接合は突き合せのみとした。

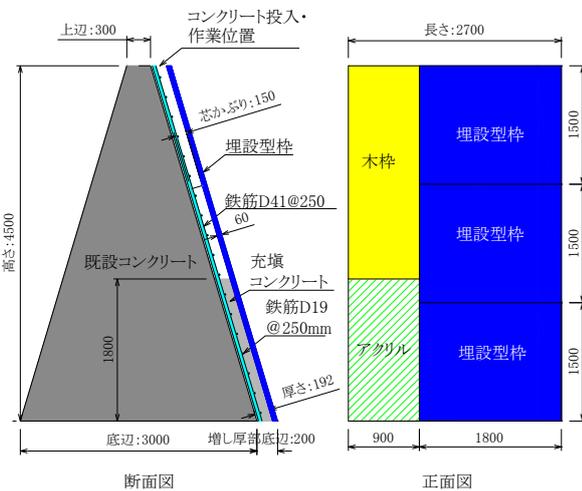


図-3 実大規模試験体の断面図と正面図



図-4 埋設型枠の目荒し部

(3) 充填コンクリートと打設方法

増し厚部に充填したコンクリート（以下：充填コンクリートと称す）は、狭隘部に空洞や豆板を自然発生しやすくするためにスランプ 11.5cm を用いた。表-3 に使用したコンクリートの諸元を示す。

充填コンクリートの打設方法はコンクリートポンプ車の筒先にサニーホースを接続して打設した。バイブレータが挿入しにくい構造であるため、直径 50mm の高周波バイブレータを打設面まで挿入するために塩ビ管をガイド管として打設面まで挿入した（図-5 参照）。

埋設型枠部では打設時にコンクリートが途中で詰る現象が発生して、豆板や空隙が発生したが、アクリル部ではこのような現象はなかった。このため、今回の実験の場合においてこれらの現象は、では狭隘部で充填がし難いことに加え、埋設型枠背面の摩擦抵抗が大きいことも充填不良が発生した要因と考えられる。

表-3 充填コンクリートの諸元

配合名	W/C (%)	s/a (%)	単体量(kg/m ³)					スランプ (cm)	圧縮強度 σ_c (N/mm ²)
			水	セメント	細骨材	粗骨材 (2005)	AE 減水剤		
24-12-20H	54.9	50.6	170	310	894	941	3.41	11.5	30.9



図-5 増し厚部のコンクリート打設状況

3.2 空洞調査

(1) 調査方法

最下部の埋設型枠に発生した試験体空隙を対象として、打音検査、衝撃弾性波、電磁波レーダによって空洞を調査した。衝撃弾性波は iTECS 法とし、電磁波レーダは GSSI 社製の SIR-EZ を使用した。調査箇所は、300mm 間隔で格子状に測線を設け、衝撃弾性は測線の交点、電磁波レーダは測線上に対して実施した。検査後には測線の交点全点に対してドリル削孔を実施し、内視鏡で変状の有無を目視確認して各種検査の精度を検証した。

(2) 調査結果

種々の調査方法によって得られた結果を図-6 に示す。なお、図-6 の番号は削孔位置番号である。図-6 の斜線部は打音検査で異常と判断される箇所であり、ドリル削孔の結果から埋設型枠の背面に空洞が発生していることが確認されている。打音検査、衝撃弾性波、電磁波レーダはどれも同じ位置の変状を検知できていたものの、電磁波レーダでは他の調査で変状がない位置でも異常がみられた。この原因として、測定位置の周辺に埋設型枠内にアンカーがあり、それらを捉えていると推測される。なお、衝撃弾性波による空洞の判定方法は、図-7 に示すように速度波形において、ハンマーの衝撃波が空洞などの境界面で反射することで、多重反射の振幅が大きいと考えられるため、その箇所を空洞位置とした。また、電磁波レーダによる空洞の判別は、図-8 のように埋設型枠境界面で他と異なる反射をしている箇所を空洞位置とした。補修材充填後に埋設型枠をは

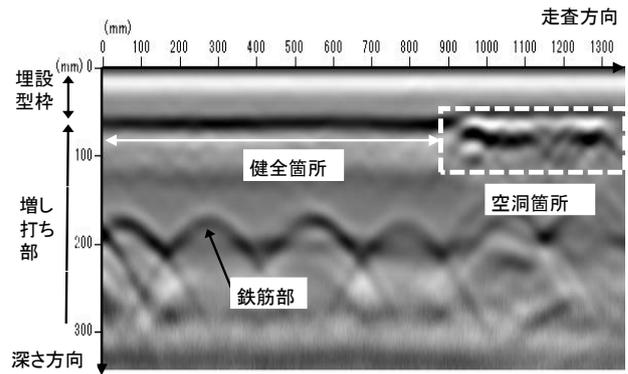


図-8 電磁波レーダによる空洞の判別方法

つり取った結果、打音検査で検出した位置周辺のみに変状が発生していることを確認した。これらの結果から、面的に検知しやすい方法は打音検査であり、埋設型枠背面の 0.12~0.2m² 程度の空洞を検知できることが確認された。

4. セメントスラリーによる補修

4.1 注入方法

セメントスラリー（以下：補修材と称す）の注入方法は、小型試験体と同じように注入管の内径を 9.5mm とし、空洞箇所の上端下端を削孔した位置から水通し後、電動ポンプにて補修材を注入した（図-9 参照）。充填部分を判別しやすくするため、主成分が酸化鉄である赤色顔料を補修材に添加した。使用時の補修材の流下時間は 5s であった。

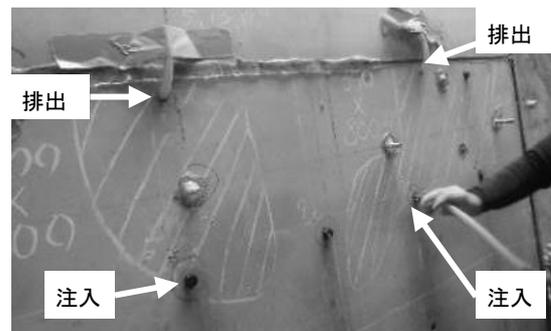


図-9 注入状況

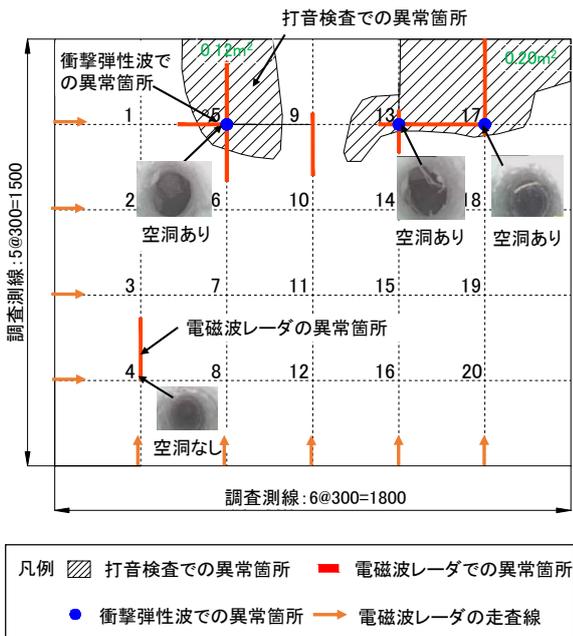


図-6 空洞調査結果

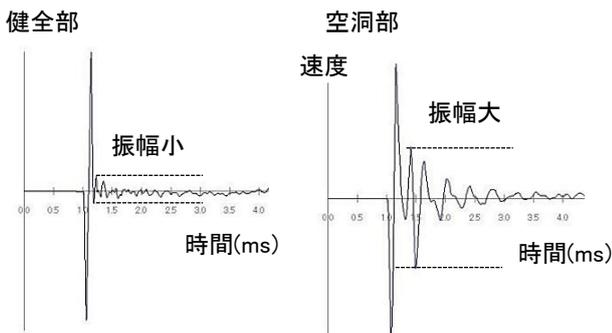


図-7 衝撃弾性波による空洞の判別方法

4.2 充填結果と圧縮試験結果

充填状況を確認するため、直径 100mm のコアを補修部は削孔位置番号 No5, 13 付近、健全部は削孔位置番号 No8, 16 付近で採取した。補修部の採取したコアの写真を図-10 に示す。写真の赤い部分が補修材の充填箇所であり、この写真から豆板部の隙間が数 mm 程度でも注入でき、さらに充填コンクリートの内部まで補修材が注入されていた。

コア抜きした供試体は、埋設型枠を含めて長さ

200mm に切断し、圧縮強度試験を実施した。試験時のコンクリート材齢は 49 日であり、補修材の材齢は 28 日である。コア採取した試験体（補修材を充填した箇所と健全部）と注入した補修材単体の標準養生した材齢 28 日の圧縮強度結果を図-11 に示す。補修部の圧縮強度は、健全部に比べて、やや低下がみられたものの使用したコンクリートの呼び強度以上であった。

補修部1(削孔位置番号No.5付近)



補修部2(削孔位置番号No.13付近) 赤い部分は補修材



図-10 コア抜きした供試体

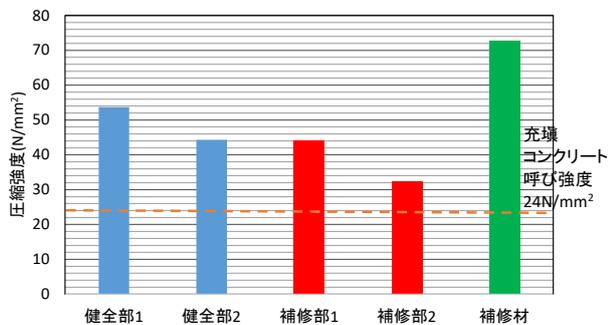


図-11 圧縮強度試験結果

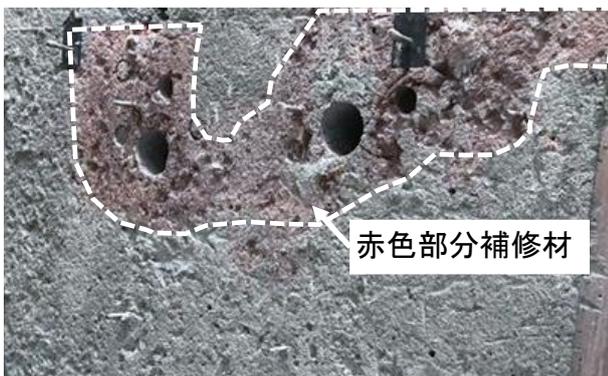


図-12 埋設型枠撤去後の補修部分

さらに、埋設型枠をはつり取り、面的な充填状況を確認したところ(図-12 参照)、空洞や豆板に充填できていることを確認した。これらの結果から埋設型枠に対して打音検査で変状部を推定し、その位置に対して補修材を注入することで、周辺部に行き渡り、豆板や空洞を補修できることを確認した。

4.3 付着試験結果

充填コンクリートを補修材で補修した箇所と埋設型枠との付着強度を測定するため、コンクリート構造物用断面修復材の試験方法 (JSCE-K 561) を参考に付着試験を実施した。図-13 に示すように直径 52mm のコアドリルで埋設型枠表面から 100mm 切込みを入れた後、エポキシ樹脂系接着剤で直径 50mm の鋼製接着板を埋設型枠表面に張り付け、接着剤硬化後、接着板を単軸引張試験によって破断させた。この破断時の張力を破断した断面積で割り付着強度を算出した。使用した試験機器は、測定範囲 0~20.00kN で測定精度 0.01kN である。

付着試験の実施箇所と試験体の写真を図-14、付着強度結果を図-15 に示す。補修箇所は、補修材と埋設型枠の境界面、充填コンクリート内部の補修箇所

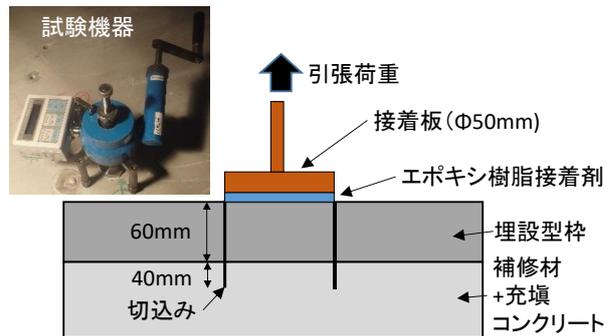


図-13 付着試験の概要図

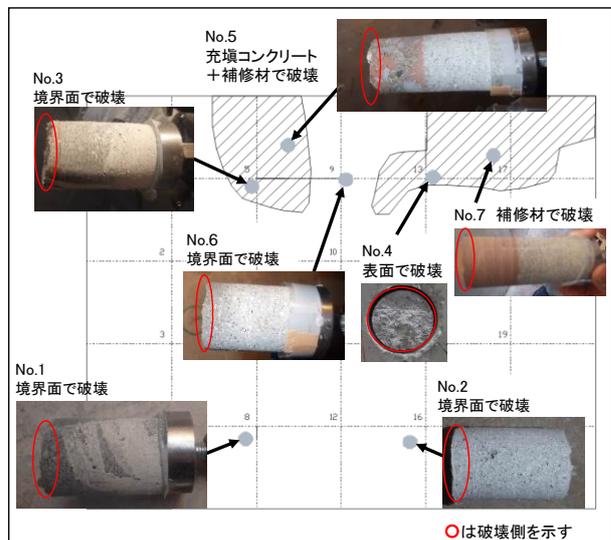


図-14 付着試験の実施箇所と試験体写真

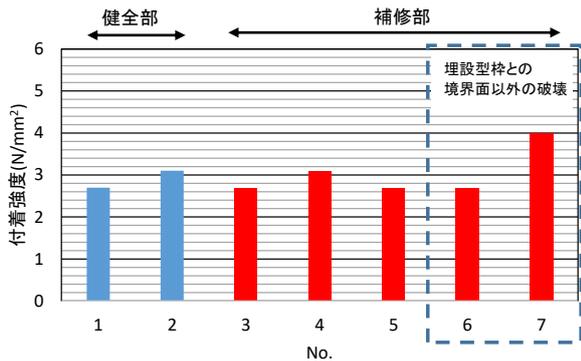


図-15 付着強度結果

および埋設型枠内部で破壊が生じた。健全部は、埋設型枠と充填コンクリートの界面で破壊した。補修箇所では測定した 5 箇所においては、概ね健全部と同程度の付着強度が得られた。また、表面保護工法の設計施工指針（案）¹⁾の断面修復工法に記載されている 1.0N/mm^2 以上も超えていることを確認した。

4.4 中性化試験結果

充填コンクリートの補修箇所での中性化に対する影響を確認するために、補修部と健全部において実大規模試験体から直径 100mm のコアを採取し、促進中性化試験方法（JIS-A-1153）に従って実施し、比較を行った。中性化を行う面は埋設型枠を除去した充填コンクリートの境界面付近を対象とし、その他の面はエポキシ樹脂でシールをし、中性化促進期間は 4 週間とした。図-16 のように、促進後に中心で切断し、切断面をフェノールフタレイン溶液で噴霧し、中性化深さを測定した。測定位置は直径を 4 分割した 5 箇所とした。

中性化深さは健全部で 1~7 mm、補修部で 0~7 mm であり、平均値を用いて算出した中性化速度係数では、図-16 に示すように補修部は健全部に比べ同程度以上の結果であった。

補修部の中性化速度係数が小さくなった理由は、セメントスラリー単体での中性化速度係数は小さく、セメントスラリーが空洞の細部まで充填がされて健全部よりも小さくなったものと考えられる。

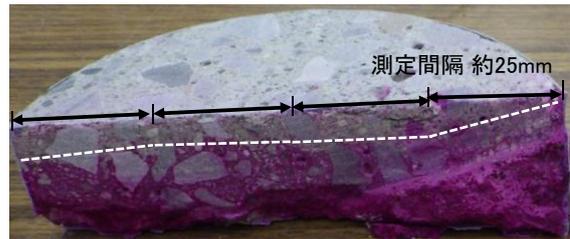
5. まとめ

本研究は、実物大試験として検討した一例であり、埋設型枠背面に発生した空洞の調査方法や補修方法について検討を行ったものである。

本研究で得られた知見を以下に示す。

(1) 小型試験体において、台形、三角形の鋭角部では無収縮モルタルと無収縮セメントスラリーどちらも注入できることが確認された。ただし、厚さ 5mm の空洞では、モルタルでは注入できないが、

健全部 中性化速度係数 $2.6\text{mm}/\sqrt{\text{週}}$



補修部 中性化速度係数 $1.6\text{mm}/\sqrt{\text{週}}$

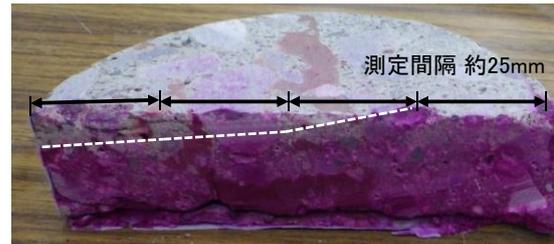


図-16 中性化試験結果

セメントスラリーの場合には注入可能であり、5mm 程度の非常に小さい空洞の補修方法としては、セメントスラリーが有効であった。

- (2) 厚さ 192mm で主筋 D41 が配置された部分に対し、スランプ 12cm のコンクリート充填作業において、特に埋設型枠部ではコンクリート充填が妨げられることがわかった。この原因として、型枠背面の摩擦抵抗が大きいことも要因であると考えられる。
- (3) 埋設型枠背面に自然発生した空洞や豆板に対して、埋設型枠撤去して発生状況を確認した結果、打音検査、衝撃弾性波、電磁波レーダにて $0.12\sim 0.2\text{m}^2$ 程度の空洞を検知できることが示唆された。ただし、空洞の大きさや埋設型枠の厚さなどに影響されると考えられるため、これらを今後詳細に検討する必要がある。
- (4) 埋設型枠背面に自然発生した空洞や豆板に対して、セメントスラリーを注入したところ、5mm 以下の細部にも充填できていることが確認された。
- (5) 補修部の圧縮強度は、健全部に比べてやや低下がみられたものの、使用したコンクリートの呼び強度以上であった。
- (6) 補修部の付着強度や中性化速度係数は、健全部と同程度であることが確認された。

参考文献

- 1) 土木学会：表面保護工法設計施工指針（案）[鋼種別マニュアル編]，コンクリートラブラリー119，pp.220-221，2005. 8