

論文 コンクリート充填不良箇所への固結材注入による補修方法確認試験

池野 誠司^{*1}・小林 薫^{*2}・坂本 淳^{*3}・梁 俊^{*4}

要旨：コンクリート充填不良箇所をはつり取らずに固結材を注入することにより、充填不良箇所の固結度を健全なコンクリートと同等な状態まで向上させる補修方法の検討を行っている。本試験では充填不良箇所を模擬して製作した角柱試験体に対し、切込み溝等の事前処理をパラメータとして、充填不良部への固結材の注入を数種類実施し、空隙への充填率や曲げ強度の確認を行った。結果、切込み溝による補修を行った試験体は、充填不良部を有さない基準試験体と比較し、同等またはそれ以上の曲げ強度となるのを確認した。

キーワード：充填不良, 固結度, 補修, 削孔, 切込み溝, 充填率

1. はじめに

通常、新設構造のコンクリート充填不良箇所の補修方法は、不良箇所のコンクリートを取り除き、新たにポリマーセメントモルタルなどの断面修復材を充填することが行われる(図-1)。健全側のコンクリートにはプライマー等の接着剤を塗り、充填箇所から剥離しないように対処しているが、経年劣化によって最終的には塊状のコンクリート剥落が生じる危険性を有する状態となる。

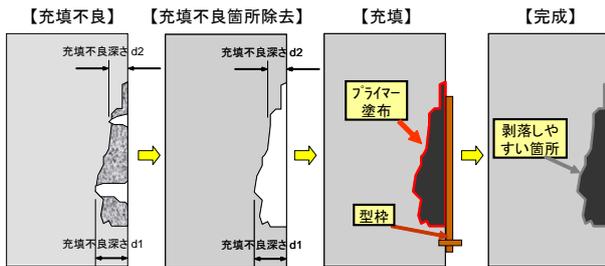


図-1 通常のコンクリート充填不良箇所補修方法¹⁾

そこで現在、コンクリート充填不良箇所を取り除くことなく、不良箇所のコンクリート固結度を健全なコンクリートの固結度と同等以上に向上させる補修方法の検討を行っている。本稿では充填不良箇所への固結材充填による補修方法について、比較検討するための確認試験を実施したのでその内容を報告する。

なお、検討する補修方法については、補修後に充填不良部を有さないコンクリート部材と同等以上の曲げ強度が得られることを目標とした。

2. 補修方法の概要

新たに検討を行っている補修方法は、充填不良箇所をはつり取らずに、固結材を充填させることで補修を行うことを基本としている。そのため、構造上の弱点となり易いはつり面を生じることが無いことから、以下のよう

な効果が期待できる。

- ・経年的な界面剥離が生じにくい。
- ・はつり部周辺の強度および耐久性を低減しない。

固結材の注入は、充填不良箇所表面からの含浸による方法や、切込み溝や削孔の事前処理後に表面シールを行い、注入孔を設けて注入する方法がある(図-2)。

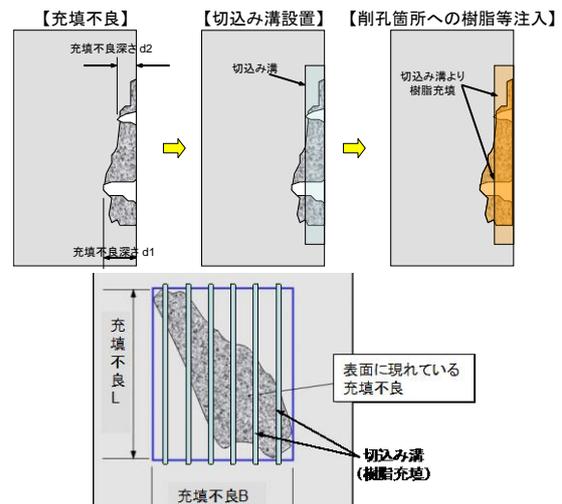


図-2 切込み溝設置による固結材注入方法

なお、今回実施した試験体への固結材の充填は、基礎試験とし全て鉛直下向きに行った。

3. 固結材充填補修方法効果確認試験

充填不良部の補修方法を検討するための基礎データ取得のため、100×100×400mm角柱試験体(W/C=40%)を用いて、検討候補の補修方法の効果確認試験を行った。本試験で用いた試験体は、充填不良部を有さない健全なコンクリート試験体であるが、各種方法による補修効果の程度把握を目的とした。なお固結材の注入は、低粘度(500±200mPa・s[23℃])のエポキシ樹脂を、切込み他実

*1 東日本旅客鉄道(株) JR 東日本研究開発センター フロンティアサービス研究所 主席 (正会員)

*2 東日本旅客鉄道(株) JR 東日本研究開発センター フロンティアサービス研究所 課長 博(工) (正会員)

*3 大成建設(株) 技術センター 土木技術研究所 土木構方法研究室 主任研究員 修(工) (正会員)

*4 大成建設(株) 技術センター 土木技術研究所 土木構方法研究室 副主任研究員 博(工) (正会員)

表-1 各種補修方法確認試験

補修方法	補強無し (基準試験体)	切込み(幅 8mm×2 列) + エポキシ樹脂	切込み(幅 8mm×2 列) + エポキシ樹脂 + ステンレス棒(φ3mm)	削孔(φ7mm×2 本) + エポキシ樹脂	削孔(φ7mm×2 本) + エポキシ樹脂 + ステンレス棒(φ3mm)
試験体概要図					
試験体外観					
曲げ強度	4.84N/mm ²	7.29N/mm ²	10.1N/mm ²	4.34N/mm ²	5.51N/mm ²

施の面を上面として直接流し込む形とした。

検討ケース、および曲げ強度試験結果(載荷材齢 14 日:水中養生 7 日+補強, 気中養生 7 日)の結果を表-2 に示す。試験体数は、各ケース共に 1 本ずつである。

試験体に削孔を行ってエポキシ樹脂を注入した 2 ケースは、いずれも補強を行わない基準試験体と同程度の曲げ強度であった。しかし、切込みを行って同様に樹脂を注入した 2 ケースは、いずれも曲げ強度が大きく増加し補修効果が高いことが確認された。また、切込みおよび削孔とも、鋼材を挿入して補強すると曲げ強度が増加することが分かった。

4. 充填不良部を有する角柱試験体による補修方法検討

4.1 試験体形状

3.の試験結果を参考に、充填不良部を有する角柱試験体を製作し、検討補修方法の確認を行った。本試験に使用する試験体は、補修の実施も考慮し 150mm×150mm×530mm の角柱試験体を使用した。充填不良部は試験体長尺方向の中央に設け、高さ 75mm 奥行き 150mm とし、その長尺方向の区間は 2 種とした。A タイプは充填不良区間が曲げ載荷試験における等曲げ区間 150mm の内外に連続したもの(長さ 250mm)であり、B タイプは等曲げ区間より内側のみとしたもの(100mm)とした(図-3)。A タイプは主に充填不良部に充填された補修材による固結度を検証するためのものであり、B タイプはそれに加

えて健全部と充填不良部との界面の固結度も検証するためのものである。

4.2 試験体配合

充填不良部のコンクリートの配合は、健全部のコンクリートの配合に対し、モルタル分を減ずる配合とした。その配合は、別途実施した製作試験の結果、モルタル容積を基本配合に対し 40%に低減した配合とした(表-1)。

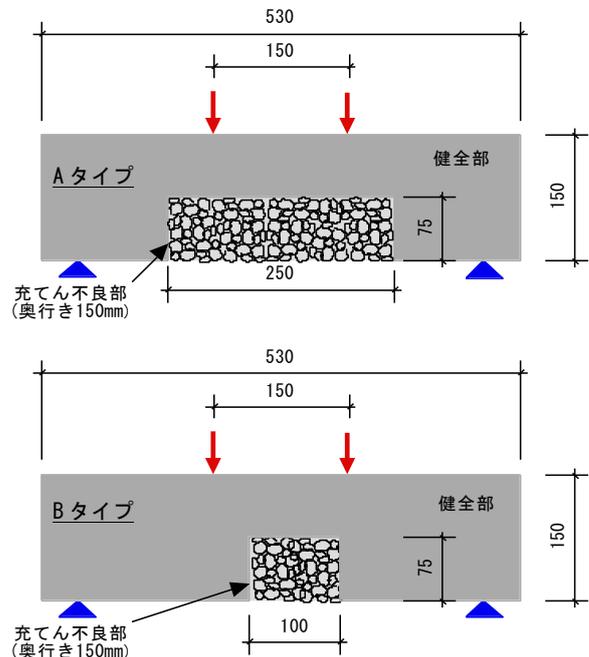


図-3 試験体形状 (A タイプ, B タイプ)

表-2 試験体配合

配合種別	Gmax (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
						水 W	普通 セメント C	細骨 材 S	粗骨材 (2013) G1	粗骨材 (1305) G2	AE 減水剤
ベース配合	20	8± 2.5	4.5 ±1.5	55.0	40.0	155	282	747	453	679	C× 0.15%
充填不良部配合 (モルタル-60%低減)						62	113	300			

4.3 試験体製作方法

試験体コンクリートの打設は、充填不良部を打ち込み上面として打設を行った。製作順序は（写真-1）の通りである。

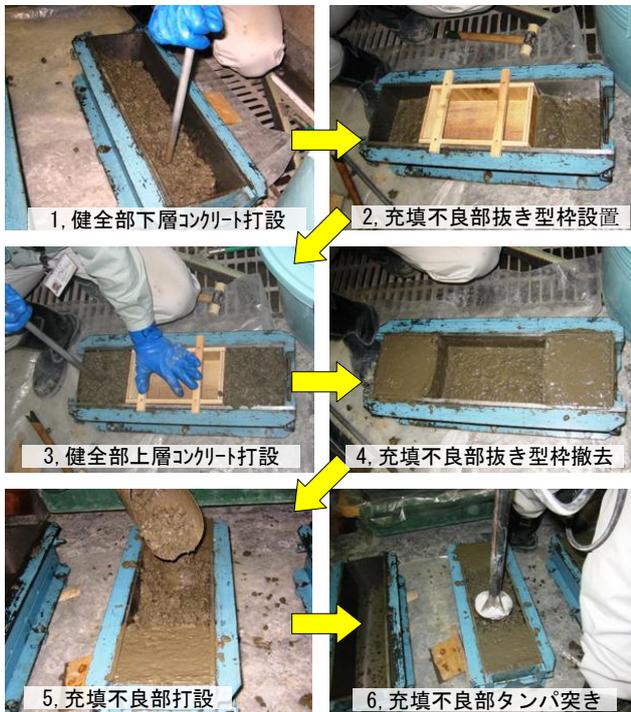


写真-1 充填不良試験体打設

脱型後は材齢 28 日までは標準水中養生，その後は室内での気中養生として，補修の有無に関わらず材齢約 42 日で曲げ強度試験を実施した。

硬化した試験体を写真-2 に示す。

4.4 充填不良部を有する角柱試験体の補修

比較検討を行った各補修方法について，A,B それぞれのタイプに対し補修を行った。実施した補修方法について，表-3,4 に示す。なお，試験体の補修はコンクリート材齢 28 日で実施しており，その材齢におけるベースコ

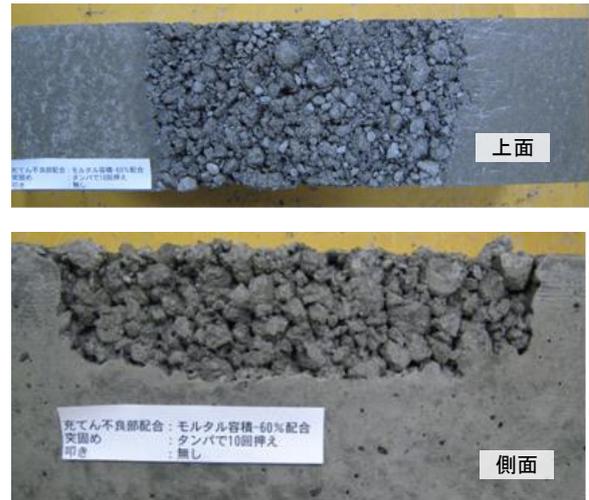


写真-2 硬化試験体（Aタイプ）

表-3 補修方法一覧（その1）

試験体種別 補修方法	試験体タイプ	
	Aタイプ	Bタイプ
【健全】		
【補修なし】		
【検討方法 a】 エポキシ樹脂 表面含浸		

表-4 補修方法一覧（その2）

試験体種別 補修方法	試験体タイプ	
	Aタイプ	Bタイプ
【検討方法 b】 切込み幅 8mm×2列 + エポキシ樹脂		
【検討方法 c】 切込み幅 3mm×4列 + 鋼材 Φ0.8mm×4列 + エポキシ樹脂		
【検討方法 d】 削孔 φ7mm (45°) ×2列 + エポキシ樹脂		

コンクリートの圧縮強度は平均で 40N/mm²であった。また、使用する固結材は 3. で使用したエポキシ樹脂とした。

4.5 補修作業状況

各検討方法の補修内容について、以下に述べる。

【検討方法 a】表面含浸

エポキシ樹脂を充填不良部の中央付近から樹脂を流し込み、樹脂上面が下がらなくなるまで充填。

【検討方法 b】切込み幅 8mm×2列

切込みは大型カッターを使用。樹脂は、充填不良部中央付近の切込み部から流し込み充填した。切込み部以外の充填不良部への充填は行わなかった。



写真-3 検討方法 b 樹脂注入状況

【検討方法 c】（切込み幅 3mm + 鋼線 Φ0.75mm）× 4列

切込みはハンドカッターを使用（写真-4）。樹脂は、切込み深さが浅いため、検討方法 a と同様に充填不良部中央付近から全体的に流し込んだ。健全部の切込み部には別途、樹脂を流し込んだ。



写真-4 検討方法 c 切込み作製状況

なお、鋼線の反りにより所定の位置に鋼線を設置することが困難であったため、速硬化のエポキシ樹脂により鋼線を数箇所点付けしている。

【検討方法 d】削孔 φ7mm (45°) × 2列

削孔はハンマドリルを使用。φ5.5mm のドリル刃で予

備削孔した後、φ7mmで仕上げた。削孔中・後は、掃除機で削孔されたコンクリート粉じんを吸い取った。樹脂は削孔された孔のみに流し込んだ。充填不良部の孔に樹脂を流し込むと、空隙を通じて周囲へ逸散するため、孔上部の樹脂上面が下がらなくなるまで充填した。

4.6 樹脂充填率および樹脂硬化後状況

前項で示した要領で樹脂を充填した試験体について、樹脂充填前後の試験体質量を測定し、樹脂充填率を求めた。充填率は、充填不良部に充填された樹脂の容積を、同部の空隙体積により除したものである。なお樹脂容積の算出では、健全部に施された切込み部または削孔部には100%樹脂が充填されたものと仮定し除外している。また、樹脂の比重は製品技術資料に示されている値(1.15)を使用した。

充填率 = 充填不良部樹脂充填容積 / 同部空隙容積
結果を表-5に示す。

表-5 試験体樹脂充填率

検討方法	試験体形状	充填率(%)			
		n			av.
		1	2	3	
【検討方法 a】 表面含浸	Aタイプ	26	21	22	23.0
	Bタイプ	21	23	20	21.3
【検討方法 b】 切込み幅 8mm×2	Aタイプ	27	29	25	27.0
	Bタイプ	28	27	31	28.7
【検討方法 c】 切込み幅 3mm×4	Aタイプ	23	20	24	22.3
	Bタイプ	21	20	23	21.3
【検討方法 d】 削孔φ7mm(45°)	Aタイプ	16	15	16	15.7
	Bタイプ	16	15	19	16.7

- ・各方法とも、計測ごとの充填率の変動は小さかった。
- ・最も充填率の高い方法は、検討方法 b (切込み幅 8mm×2列)であり、A・B共に28%程度の充填率であった。また、最も充填率が小さい方法は検討方法 d(斜め45°方向に削孔)で、A・B共に16%程度の充填率であった。
- ・充填不良部上面から樹脂を流し込んだ、検討方法 b と c は A・B 共ほぼ同等の充填度となった。樹脂が硬化し脱型後の状況を表-6, 7 に示す。

表-6 樹脂充填状況 (その1)

方法	Aタイプ	Bタイプ
【a】 表面含浸		
【b】 切込 8mm		

表-7 樹脂充填状況 (その2)

方法	Aタイプ	Bタイプ
【c】 切込 3mm		
【d】 削孔 φ7mm		

4.7 曲げ強度試験

曲げ強度試験は、JIS A 1106 (コンクリートの曲げ強度試験方法) に準じて行うこととし、図-3 に示した状態に試験体を試験機に設置して、3等分点荷方式により荷重した。なお、支持ローラと接する面はコンクリート打設上面となるため、石膏により不陸調整を行った。曲げ強度試験の実施状況を、写真-5 に示す。



写真-5 曲げ荷重試験状況

荷重時のコンクリート材齢は約42日、充填されたエポキシ樹脂の材齢は約14日であり、ベースコンクリートの圧縮強度は平均で46N/mm²であった。

試験結果を表-8に示す。

表-8 曲げ強度試験結果

開発方法	形状	曲げ強度(N/mm ²), 破壊位置※				曲げ強度比 (健全 100)
		n			av.	
		1	2	3		
健全(基準)	-	3.17, M	2.99, M	3.05, M	3.07	100
補修なし	A	1.39, M	1.38, M	1.33, M	1.37	45
	B	1.12, K	1.13, K	1.27, M	1.17	38
【方法 a】 表面含浸	A	5.39, K	4.40, K	3.99, K	4.59	150
	B	2.78, K	3.07, K	2.57, K	2.81	92
【方法 b】 切込 8mm	A	5.17, M	4.26, K	3.93, K	4.45	145
	B	2.52, K	3.53, K	3.02, K	3.02	98
【方法 c】 切込 3mm	A	4.13, M	4.20, K	-	4.01	131
	B	2.64, K	2.87, K	-	2.99	97
【方法 d】 削孔 φ7mm	A	3.39, K	3.07, K	3.25, M	3.42	111
	B	2.02, K	1.83, M	-	1.93	63

※M:曲げ区間で破壊, K:健全部と充填不良部の境界で破壊

【充填不良部補修なし】

- 充填不良部を有さない基準試験体（健全）に対して、曲げ強度は顕著に低下し、曲げ強度は A・B 共に基準試験体の 40%程度であった。
- A タイプについてはいずれも曲げ区間内で破壊しており、同区間内の任意の最弱部で破壊したと思われる。B タイプは、健全部と充填不良部の界面で破壊するが多かった。

【表面含浸および切込み補修（検討方法 a, b, c）】

- 曲げ強度は、A タイプ(充填不良区間=250mm)では、いずれも充填不良部を有さない基準試験体より曲げ強度は 1.4 倍程度増加した。B タイプ(同区間=100mm)では、表面含浸の検討方法 a で若干強度が低下しているものの、切込み補修を行った検討方法 b, c ではいずれも基準試験体とほぼ同等の強度が得られた。また、全ての破壊は健全部と充填不良部の界面で生じた（写真-6）。
- 破壊形態は、健全部と充填不良部の界面で破壊する場合はほとんどであったことから、充填不良部は樹脂により確実に補修されたものと考えられる。また、樹脂充填により耐力が向上した曲げ区間部に比べて、健全部と充填不良部の界面の方が弱部となったことから、このような破壊形態を呈したと思われる。
- 以上より、検討方法 b, c は健全なコンクリート部材と比較し、同等以上の曲げ強度となることを確認できた。

【削孔補修（検討方法 d）】

- 曲げ強度は、A タイプでは充填不良部を有さない基準試験体と同程度であったが、B タイプは基準試験体の 0.6 倍程度となった。
- 破壊形態は、曲げ区間内で破壊した場合、および健全部と充填不良部の界面で破壊した場合の試験体数は半々であった。検討方法 a~c に比べてこれらの方法は充填率が低く、充填不良部上面までは樹脂が充填されていないことから、樹脂が充填されていない部分を起点として曲げ破壊が生じる場合が多かったと思われる。（写真-6）
- 以上より、検討方法 d は健全なコンクリート部材と比較し、曲げ強度が低くなることを確認された。

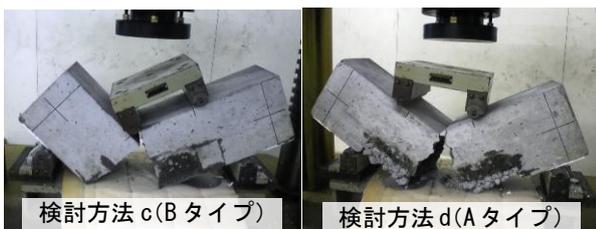


写真-6 曲げ強度試験破壊状況

4.6 曲げ強度と充填率の相関

各試験体の曲げ強度と樹脂充填率の相関を（図-4, 5）に示す。このように、充填率と曲げ強度には高い相関性

がみられ、充填率が高いほど曲げ強度は高くなる傾向であった。また、同じ充填率の場合、B タイプに比べて A タイプの方が曲げ強度は高い傾向が見られた。

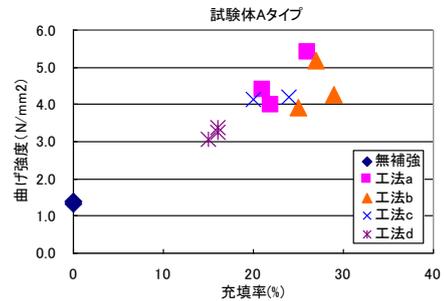


図-4 充填率と曲げ強度の関係（Aタイプ試験体）

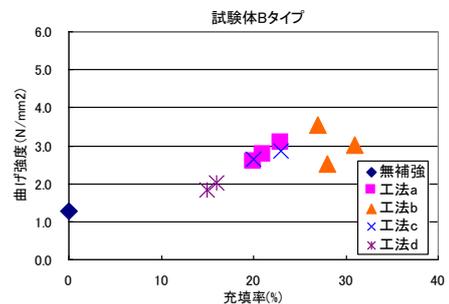


図-5 充填率と曲げ強度の関係（Bタイプ試験体）

5. まとめ

コンクリート充填不良箇所をはつきり取らずに補修を行う方法の検討に関連し、角柱試験体を使用した固結材注入による補修方法の確認試験を行った。結果、以下の内容が確認された。

- 1) 補修方法の効果確認試験として、健全な角柱試験体を使用して、各種補修方法実施後の曲げ強度試験を実施した。結果、削孔後にエポキシ樹脂を注入したケースは補強基準試験体と同程度の曲げ強度であったが、切込み溝作製後に同様に注入したケースは曲げ強度が大きく増加した。
- 2) 充填不良部を有する角柱試験体を使用して各種補修方法実施後の曲げ強度試験を行った。結果、補修を行わなかった試験体は、充填不良部を有さない基準試験体と比較し、曲げ強度は 40%程度に低減したが、切込み溝による補修を行った試験体は、同等またはそれ以上の曲げ強度となった
- 3) 2)の曲げ強度試験結果において、充填率と曲げ強度には高い相関性がみられ、充填率が高いほど曲げ強度は高くなる傾向が見られた。

参考文献

- 1) (社)日本コンクリート工学協会編：『コンクリート診断技術’07 [基礎編] pp8-9, 2007. 1