

1410 コンクリート構造物の部分断面修復に適した小型吹付け工法の開発

正 [土] ○近藤 健一 (西日本旅客鉄道株式会社)

正 [土] 坂本 保彦 (西日本旅客鉄道株式会社)

松川 欣司 (BASF ポゾリス株式会社)

Development of spraying method with a small equipment suited for partial repair of concrete structure

Ken-ichi KONDO, West Japan Railway Company 2-4-24, Sibata, Kita-ku, Osaka City

Yasuhiko SAKAMOTO, West Japan Railway Company

Kinji MATSUKAWA, BASF Pozzolite Ltd.

The hand trowelling method is mainly applied to repair a partial concrete structure. The hand trowelling method has an advantage of not requiring a large scale equipment, however the finish level is dependent on the skill level of workmanship when repairing places behind the rebars and at the cross section of rebars, where it is difficult to fill the repair materials & to press the repair materials to the structure sufficiently. In this way the quality of the finish varies dependently on the workmanship. In order to be able to secure a certain quality level of the repair compared with hand trowelling method, a spraying method with a small equipment was specifically developed to apply for a partial structural repair, which is reported herewith.

Keywords :: Concrete structure, maintenance, partial structural repair, securing quality, spraying method

1. はじめに

山陽新幹線(新大阪～博多間)は、1972年に新大阪～岡山間(158km)、1975年に岡山～博多間(402km)が開業した。山陽新幹線全延長(560km)に対して橋りょう、高架橋が4割弱(211km)を占め、そのうちコンクリート橋は約9割(192km)と大半を占めている。当時の技術の粋を集めて建設された山陽新幹線であったが、一部の高架橋などでは、完成後わずか30年を経たずして、鉄筋腐食や浮きなどの変状が顕在化した。平成11年に発生した山陽新幹線トンネル内でのコンクリート塊落下事故、同時期に発生した山陽新幹線高架橋からのコンクリート片の落下事故を契機として、当社はコンクリート構造物の維持管理手法の整理を行った。その成果が「コンクリート構造物補修の手引き」¹⁾、「コンクリート構造物維持管理の手引き」²⁾であり、当社では、その内容に従い、コンクリート構造物の健全性確保のため、断面修復などの補修を実施している。

2. 補修工法の現状

中性化や塩害が原因となった鉄筋腐食や浮きなどの変状に対するコンクリートの補修には、断面修復工法が多く用いられている。断面修復工法は、部分断面修復工法(Fig.1)と全面断面修復工法(Fig.2)に分類される。

以下に、部分断面修復工法と全面断面修復工法の概要を述べる。

(1) 部分断面修復工法

部分断面修復工法は主にこてを使用した人手による左官工法(Fig.1)が適用されている。本工法は一般的な工法であり実績も多いが、以下のメリット、デメリットがある。メリットは、設備が小規模で済むことである。作業に大容

量の電源も不要で、車両も器具運搬用の2tトラック等があれば十分である。また、器具類が軽量であり、高所作業車を利用して施工できる。小規模な修繕対象が点在している状況において適用しやすい工法である。一方、デメリットは、修繕を行う躯体の鉄筋背面や鉄筋交差部は非常に狭隘であるため、補修材料を密実に充填するためには作業員の技量が必要となる。劣化因子の躯体への侵入を防止するためには、補修材が密実に充填されていることが必要であり、空隙が多ければ、補修部分が剥離して再変状が生じる恐れもある。仕上がりが作業員に依存する点は改善すべき点である。



Fig.1 部分断面修復工法(左官工法)

(2) 全面断面修復工法

全面断面修復工法はRC高架橋床版一面の断面修復が必要な場合などに適用され、主に吹付け工法(Fig.2)により施工される。補修部に高圧空気の補助により補修材が当たるため、作業員に依存することが少なく密実に材料が充填されるというメリットがある。しかしながら、高架橋下部への大規模設備の設置及び大掛かりな足場の設置が必要

であるというデメリットがある。そのため、部分断面修復には不向きであり、従来の吹付け工法の適用範囲はコスト面で見合う大規模な修繕時のみである。

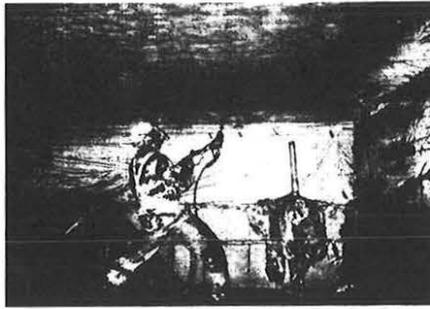


Fig.2 全面断面修復工法（吹付け工法）

3. 開発方針

本開発では、左官工法に代わる部分断面修復に適した吹付け機を開発することを目的とした。Fig.3は、今回の開発方針の概念を示したものである。左官工法と全面断面修復用吹付け工法のメリットを採用し、デメリットを改良することを方針とした。特に「安定した品質」と「作業性」の確保に重点を置いて開発を行った。

「安定した品質」の確保は、吹付け性状の安定化、密実性および付着強度が課題となる。「作業性」は、軽量化、移動性、作業時間、材料詰りが課題となる。移動性を確保するため、足場を設置せず高所作業車で作業できることを目指した。

4. 小型吹付け機

Fig.4は今回開発した小型吹付け機である。本機の構成はタンク加圧部、タンク部、吹付けエア供給部、ホース及びノズル部から構成される。使用方法は、Fig.4の①材料タンク部に別途練混ぜた補修材料を1袋投入し、②の材料押出用エア供給部から空気をコンプレッサーより供給し、③空気圧により①タンク部を加圧し補修材料を押出す。加圧した材料は、④吹付け用エア供給部より供給

した空気により、⑤ホースを經由して⑥吹付けノズルより材料を吹付ける。

本機の特徴は、コンプレッサーの空気圧により、材料供給することで従来の吹付け工法で必要であったポンプを省略したことである。そのため、従来の吹付け施工のように大きな電力も必要とせず設備を小型化できる。従来は地上のポンプが、足場上部まで補修材料を圧送するという役割を持っていたが、本機は、部分断面修復で使用する材料は箇所ごとではわずかですむことから、地上から圧送するのではなく高所作業車の中にタンクを入れ、練混ぜた材料をタンク内に入れる方法をとることで大規模な足場を省略できる。(fig.5) また、従来にも部分断面修復を吹付けで行うための取り組みがなされているが、作業員が手で持つ部分が重くなるために実用化されないケースが多く見られた。このため、吹付けノズル部と材料タンク部をホースにより分離することで、作業員が持つ必要のある部分を1kg以下に収め、作業性を向上させた。

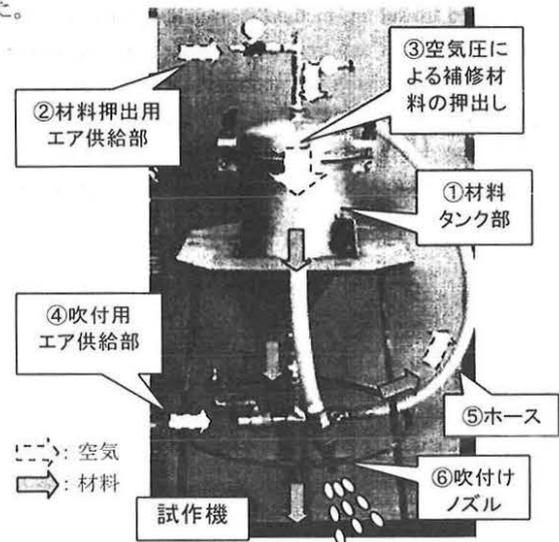


Fig.4 小型吹付け機

種別	部分断面修復	全面断面修復
工法	左官工法(人手)	吹付工法(機械式)
適用	 <p>部材に部分的に浮き等の変状が生じている場合に適用される</p>	 <p>部材の広範囲にわたり変状が生じている場合に適用される</p>
メリット	・高所作業車を利用して点在する現場の移動作業が容易	・品質が比較的安定している
デメリット	・鉄筋背面や交差部周辺などの施工が困難 ・熟練作業員が必要 ・作業員による仕上がりの差が生じ、品質の確保が困難な場合がある	・設備が大規模となり、足場架設が必要 ・機器の洗浄処理などに手間がかかる

左官工法及び吹付工法のメリットを採用し、デメリットを改良

「安定した品質の確保」と「作業性」に重点を置き、左官工法で施工困難な部分断面修復箇所へ特化した吹付け工法の開発

Fig.3 開発方針



Fig.5 作業イメージ

5. 性能確認試験

(1) 試験概要

小型吹付け機の性能を確認するため、当社認定断面修復材料の中で比較的施工実績が多い3種類の吹付け材料について、室内試験、現地試験による性能確認試験を実施した。室内試験では、施工性の比較のため左官工法による施工も併せて行った。

(2) 室内試験

3種類の吹付け材料および1種類の左官材料について、現場構造物の鉄筋配置状況やはつり状況を踏まえた模擬試験体に、吹付け作業およびコテによる充填作業を施工困難な上向きで実施し、吹付け機に要求される吹付け性状の安定度、モルタルの充填性、層間・界面付着強度等の評価試験を行った。使用材料の練混ぜ水量、温度、時間などは、メーカー推奨範囲内で実施した。

模擬供試体に小型吹付け機により吹付けを行っている状況をFig.6に示す。3種類の材料による吹付け作業は多少差があるものの、仕上がりに差は無かった。左官工法は鉄筋裏の擦付け作業が捗らず吹付けに比べかなり作業時間を要した。

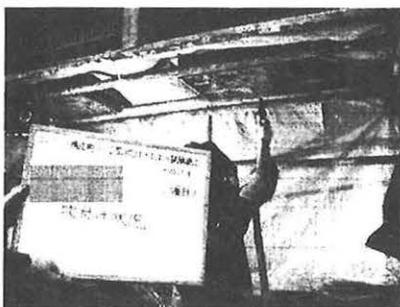


Fig.6 吹付け状況 (室内試験)

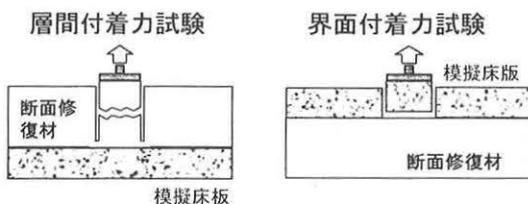


Fig.7 付着力試験方法

Table.1 付着力試験の要求性能

項目	試験方法	要求される性能
層間付着強さ = 補修材料 内部での付 着力	層間付着力実 地試験 JRWCT A1-2003	各測定値が 1.0N/mm ² 以上
界面付着強さ = 構造物と補 修材の間の 付着力	界面付着力実 地試験 JRWCT A3-2003	各測定値が 1.0N/mm ² の85% 以上かつ平均値が 1.0N/mm ² 以上

付着力試験は、「コンクリート構造物補修の手引き」¹⁾に準じて実施した。層間付着力試験は、Fig.7に示すように、材齢28日に直径70mm(内径68mm)のコアリングを行い、モルタル面の乾燥後、鋼製のアタッチメントをエポキシ接着剤で取り付け、建研式接着力試験器で付着強度を測定した。界面付着力試験は、模擬床版側にあらかじめ設定しておいた界面付着力実地試験コアで、建研式付着力試験を実施した。層間・界面付着力に要求される性能をTable.1に示す通りである。

付着強度試験結果をFig.8、9に示す。Fig.8より、層間付着強度は、どの材料・工法も各測定値が規格値1.0N/mm²を上回っている事を確認した。界面付着強度も、各測定値(個値)が規格値0.85N/mm²を、平均値が規格値1.0N/mm²を上回っている事を確認した。小型吹付け機による施工で一定の品質を確保できることを室内試験で確認した。

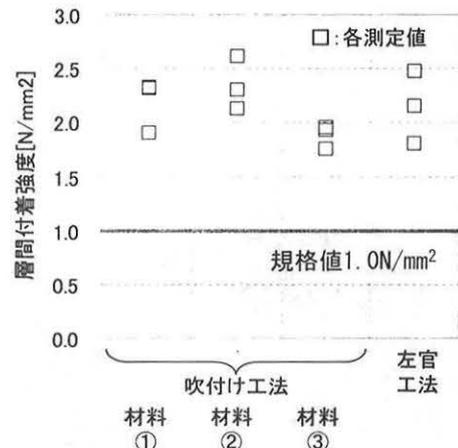


Fig.8 層間付着力試験結果 (室内試験)

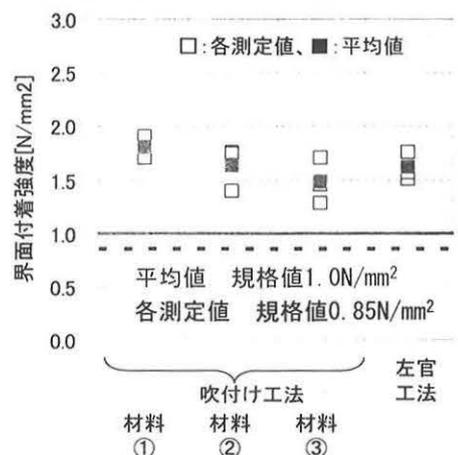
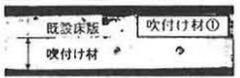


Fig.9 界面付着力試験結果 (室内試験)

また、本吹付け機と左官工法の充填性を確認するため、施工が困難と考えられる上向き施工で実施した各試験体を切断し空隙状況を確認した (Table.2)。各試験体に多少の空隙が見られたが特に問題となるような大きな空隙は見られなかった。左官用材料では1層目と2層目の間に空気層が見られたことから、配筋のため充填作業が十分できなかったことが伺える。ただし左官仕上げの試験体は1体のみであり、コテ充填の可否については試験体を増やす等して検証を行う必要がある。以上を考慮しても、小型吹付け機による吹付けは十分コテ充填と同等以上の充填性があると判断する。

Table.2 供試体切断結果

充填状況	切断面の空隙状況	空隙率
 吹付け材①		1.2%
 吹付け材②		0.7%
 吹付け材③		1.9%
 左官用材料		4.9%

(3) 現地試験

室内試験で確認した3種類の吹付け材料について、現地実構造物(2箇所)にて上向きおよび横向きの方について試験を実施した。その結果、どの材料も問題なく吹付けが行えた。吹付け機としては、ホースの取り回しも良く材料の詰まりもなく良好であった。Fig.10に吹付け試験状況を示す。

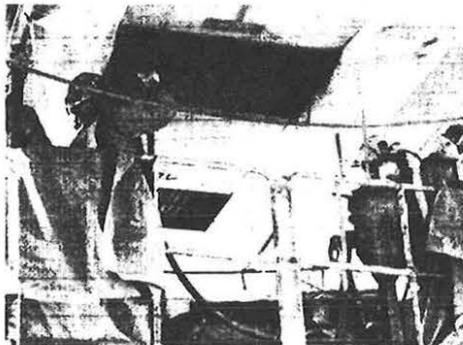


Fig.10 吹付け試験状況 (現地試験)

付着力試験結果を Fig.11 に示す。付着力試験はコンクリート構造物補修の手引き¹⁾に準じて実施したが、2現場ともに母材コンクリートの強度が不足していたため、付着強度が規格の $1\text{N}/\text{mm}^2$ を満足しなかった。そこで、付着試験で採取したコアを使用して直接引張試験を実施した。その結果、吹付け材①の上向き施工の測定値が小さかったものの、どの材料も、各測定値(個値)が規格値 $0.85\text{N}/\text{mm}^2$ を、平均値が規格値 $1\text{N}/\text{mm}^2$ を上回っていた。小型吹付け機による施工で一定の品質を確保できたとと言える。

施工効率は、材料1袋の吹付け時間は2~3分、吹付け速度(吹き付けのみ)は両現場とも7~12分/1層/ m^2 であった。

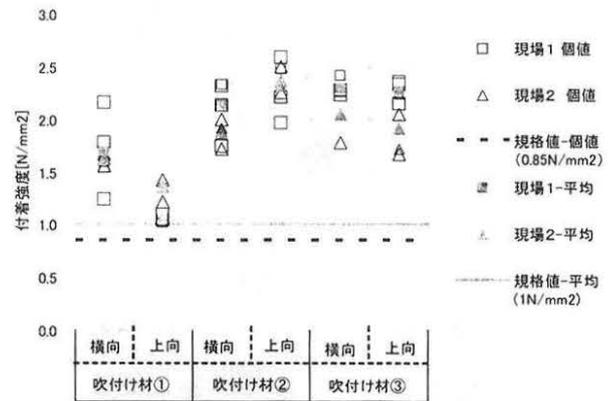


Fig.11 付着力試験結果 (現地試験)

6. まとめ及び考察

左官工法に代わる部分断面修復工法に適した吹付け機の開発を行った。今回の室内および現地試験の結果より、本機の性能について以下のことが分かった。

- ① 使用した3種類の吹付け用断面修復材は、各社推奨練混ぜ水量内で多少の差はあるが安定した吹付けが可能であった。
- ② 本試験に使用した3種類の吹付け用断面修復材を本機により施工しても断面修復材の強度・付着性は確保できた。
- ③ 本機は、モルタルリバウンドが従来吹付け機より少なく、ホースなど取り回しも良く、材料詰まりは起きにくい。また、作業終了後の清掃も簡単に行えるなど作業性が良かった。

本試験結果より、適用に当たっての私見を以下に述べる。

- ① 本機の施工効率は作業の連続性等に左右され易い。数 m^2 程度の面積がある方が安定(効率的)するものと思われる。
- ② 本機は大面積の断面修復に有効とは思われない。0.1 m^2 程度以上が点在する箇所、大型の吹付け機を持ち込むには効率的ではない5 m^2 程度の面積に向くと考えられる。

【謝辞】

本現地試験にあたっては、大鉄工業株式会社に多大なご協力を頂きました。この場をお借りしまして、お礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 『コンクリート構造物補修の手引き』/平成20年4月/西日本旅客鉄道株式会社 鉄道本部施設部
- 2) 『コンクリート構造物維持管理の手引き』/平成18年3月/西日本旅客鉄道株式会社 鉄道本部施設部
- 3) 『コンクリート構造物の部分断面修復における小型吹付け工法の開発』/平成21年9月/第65回土木学会年次学術講演会
- 4) 「メンテナンス・省力化特集号」特集論文「コンクリート建造物の診断面修復における小型吹付工法の開発」/JREA誌2009年10月号