

報告 初期強度発現性に優れる超速硬材料を使用した急速補修工事

高木 聡史*1・盛岡 実*2・嶋田 陽一*3・後藤 精一*4

要旨：初期強度発現性に優れる超速硬モルタル（DSM）を用いて、製鉄所構内のコークス炉消火車軌道の道床補修を検討した。DSM は流動性に優れ、初期強度発現性に優れる。その一方で硬化時の水和発熱が大きいと、粗骨材（玉砂利）の併用による発熱量の低減効果を確認した。また、高温での可使時間の確保が困難なため、遅延剤の追加添加量と可使時間の関係を把握して体系化した。以上の検討結果を踏まえて実施工に臨んだ。その結果、締め固めを必要とせず流し込み施工ができ、十分な可使時間を確保しつつ材齢 1 時間で実用強度を発現し、消火車の運行を停止することなく補修工事を実現することが可能となった。

キーワード：超速硬材料，初期強度，水和発熱，遅延剤，粗骨材，急速補修

1. はじめに

製鉄所の土木設備は供用劣化の進展状況に応じ、維持補修を行っており、コンクリート構造物も多く計画補修が必要となってきた。しかしながら、一般に補修を行う際には設備の稼働を休止させることになる。一方、最近では鉄の需要が伸びているため、製鉄所の設備の稼働率は非常に高い状態にある。設備の稼働を休止させることは生産性の低下やコストアップにつながるため避けなければならない。このため、製鉄所のコンクリート構造物の補修では、設備の稼働を止めることなく補修工事を可能とする特殊な急速施工が必要となっている。

著者らは、従来の超速硬性材料よりも初期強度の発現性に優れる超速硬モルタルの開発に成功している^{1),2)}。この材料は流動性にも優れ、流し込みが可能のため締め固めを必要としない。したがって、急速施工を可能にするものと考えられる。しかしながら、この材料は水和発熱が大きいことや、高温での可使時間確保が困難であるといった課題があった。実施工への適用にあたってはこれら課題の改善策の検討が不可欠

である。

そこで、本研究では、超速硬材料を適用するに際して、水和発熱量の低減対策として粗骨材の配合を検討することとした。また、高温での可使時間を確保するために遅延剤の追加添加を検討し、遅延剤の追加量と可使時間の関係を調べることにした。そしてその検討結果を踏まえて、設備の稼働を止めることなく、急速補修工事を行ったので報告する。

2. 施工計画

2.1 施工対象

製鉄所構内にあるコークス工場の消火車軌道のコンクリート道床を施工対象とした。消火車軌道は鋼を製造する際の原料となるコークスを高炉へと横持ちしながら高温状態にあるコークスの消火も兼ねる設備である。鋼の原料であるコークスの供給が途絶えると、高炉を稼働することができなくなるため、コークスの消火車軌道は製鉄所の設備の中でも重要なものとなっている。今回、操業制約上、急速施工が条件である消火車軌道の改造補修箇所をとりあげた。

*1 電気化学工業(株) 無機材料研究センター (正会員)

*2 電気化学工業(株) 無機材料研究センター グループリーダー 博士(工学) (正会員)

*3 環境エンジニアリング(株) 君津支店 建設部 部長代理 (非会員)

*4 新日鐵化学(株) 君津コークス事業部 君津製造所 土建設備技術 マネジャー (非会員)

2.2 使用材料

図 - 1 に本研究で使用した超速硬モルタル（以下，DSM: Dense and Speedy Mortar）の粉末 X 線回折法（XRD）による同定結果を示す。この結果はプレミックスモルタル製品を篩によって分級し，300 ミクロン以下のものについて測定した結果である。DSM は結晶性化合物としてカルシウムアルミネートを主体としている。

表 - 1 に DSM の材料構成の概要を示した。DSM はカルシウムアルミネートを主成分とし，結合材の一部にシリカ質微粉末が配合されている。また，添加剤として，凝結促進剤，凝結遅延剤，膨張物質が配合されている。骨材はケイ石系骨材が配合されている。

DSM はプレミックスモルタルであり，水を加えて練り混ぜるだけで超速硬モルタルを調製できるものである。DSM の練り混ぜ水量は，DSM の 1 袋 25kg に対して 3.1 リットルである。本研究ではさらに，水和発熱量の低減を目的として，粗骨材を配合した。粗骨材は最大粗骨材寸法（Gmax）が 10mm の天然粗骨材，いわゆる玉砂利を使用した。粗骨材は DSM の 1 袋 25kg に対して 10kg とした。

モルタルやコンクリートの調製はペール缶とハンドミキサーを用いて行い，次の手順で行った。まず，練り水を量りとり，攪拌しながらモルタルを徐々に投入してモルタルを調製する。次いで，粗骨材を投入して攪拌しコンクリートを調製するというものである。こうすることで，攪拌時に付加を最小限に抑えつつコンクリートの調製が可能となる。

2.3 実験項目と実験方法

(1) コンシステンシー

モルタルのコンシステンシーは， J_{14} 漏斗流下時間およびスランプフローによって評価した。また，コンクリートのコンシステンシーはスランプフローによってのみ評価した。 J_{14} 漏斗流下時間は JSCE-F 541「充てんモルタルの流動性試験方法」に準じて測定した。スランプフロー値は JIS に準じて測定した。

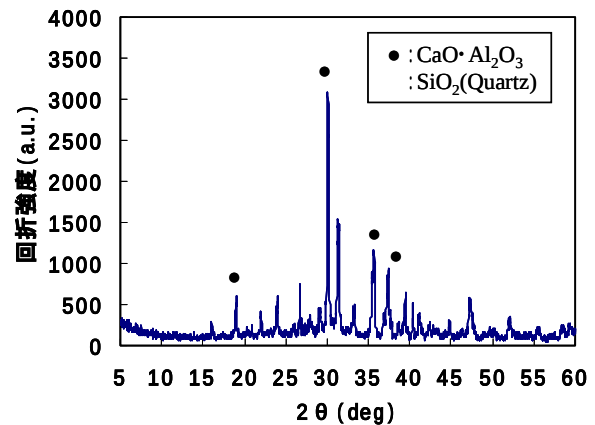


図 - 1 DSM の XRD 測定結果

表 - 1 DSM の材料構成

	材料構成
結合材	カルシウムアルミネート シリカ質微粉末
添加剤	凝結促進剤 凝結遅延剤 膨張性物質
細骨材	ケイ石系細骨材

(2) 可使時間

可使時間は温度上昇と密接な関係があることが明らかにされていることより，熱電対によってコンクリートの温度を測定し，練り上がりから 1 上昇した時点を可使時間とした。これは，予備試験にて，練り上がりからの上昇温度と可使時間の関係を詳細に調べた結果から決定したものである。

(3) 圧縮強度

圧縮強度は，10φ×20mm の円柱供試体を作製して JIS A 1108 に準じて測定した。測定材齢は 1 時間，2 時間，3 時間とした。

(4) 発熱挙動の確認

モルタルやコンクリートの発熱挙動は，コンクリート製型枠内に厚さ 10cm，縦 100cm，横 60cm の大きさで打設し，中心部の温度を熱電対

によって計測することで評価した。これは施工対象が既設コンクリートの一部をはつりとして補修を行うためである。すなわち、既設コンクリートによって拘束（付着）を受けるため、温度ひび割れの影響を検討するにあたりコンクリート製型枠内に打設して評価することが必要と考えたためである。また、温度ひび割れの有無についても観察した。

3. 予備試験および実施工

3.1 予備試験

(1)粗骨材配合による発熱量の低減効果確認

図 - 2 にモルタルおよびコンクリートの発熱を示した。モルタルの最高到達温度は約 73 になった。一方、コンクリートの最高到達温度は約 62 であり、コンクリートとすることで 10 以上の低減が実現できた。

図 - 3 および図 - 4 にモルタルとコンクリートの打設・硬化後のひび割れ発生状況を示した。図 - 3 のモルタルでは、厚さ 10cm でも温度ひび割れが発生した。この場合には、ひび割れ幅が約 0.5mm の貫通ひび割れのほかに、発熱によって水分逸脱が助長されたために発生したと思われる 0.05 ~ 0.2mm 程度の幅の多くのひび割れが認められた。一方、コンクリートの図 - 4 では、温度ひび割れは発生しなかった。このように、コンクリートにすることで温度ひび割れの発生を抑制できることが明らかとなった。しかしながら、発熱によって水分逸脱が助長されたために発生したと思われる幅 0.05mm 以下の微細なひび割れがわずかに認められた。したがって、湛水養生や湿布養生を行うなどして、水分逸脱を防止する措置が必要と考えられる。

(2)粗骨材配合によるコンシステンシーの変化

DSM の J_{14} 漏斗流下時間は約 10 秒であった。充填モルタルとしては十分なコンシステンシーを有するものと考えられる。図 - 5 にモルタルおよびコンクリートのスランプフロー値を示した。モルタルのスランプフロー値は約 800mm となった。一方、コンクリートのスランプフロー値はモルタルよりも小さい値となった。

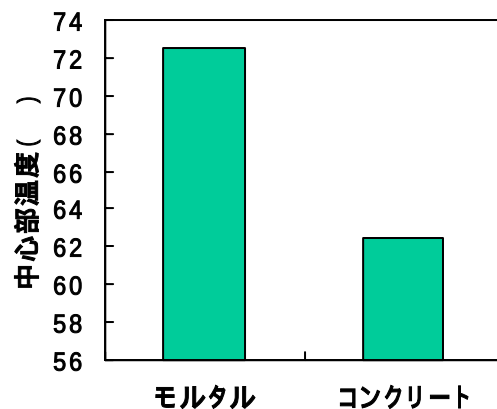


図 - 2 モルタルおよびコンクリートの発熱

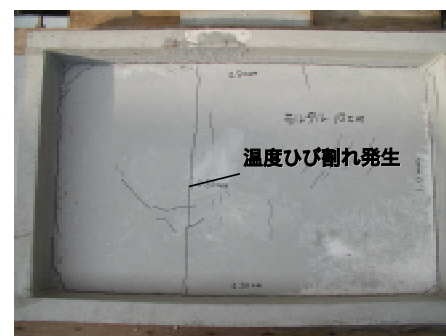


図 - 3 モルタルの観察結果

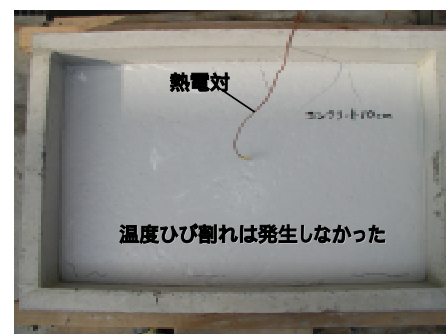


図 - 4 コンクリートの観察結果

しかしながら、約 700mm の値を有しており、十分なコンシステンシーを有するものと考えられる。

なお、予備試験の結果から粗骨材使用量をモルタル 1 袋あたり 5kg とした場合には発熱量の低減が充分でなかった。粗骨材使用量を 15kg とした場合にはスランプフローが 600mm 程度まで小さい値となった。このため、粗骨材使用量はモルタル 1 袋あたり 10kg に設定した。

粗骨材を 10kg 加えることにより、結合材量は 1m^3 あたり約 173kg 低減できる。

(3) 遅延剤の追加添加量と可使時間の関係

DSM の基礎物性を検討した実験結果より、30 以上の条件においては遅延剤の追加添加が必要になるものと考えられた。夏季には 30 を越えるため、遅延剤の追加添加量と可使時間の関係を把握しておく必要がある。

図 - 6 に 30、35 および 40 における遅延剤追加添加量と可使時間の関係を示した。

練り混ぜから流し込み作業を終えてペール缶やハンドミキサの洗浄を行う作業に要する時間は 10 分以上必要と考えられる。また、材齢 1 時間で実用強度を得るためには可使時間を一定時間以内に設定する必要もある。そこで、可使時間が 10 分から 25 分となるような遅延剤の追加添加量について見る。30 では、適切な遅延剤の追加添加量は 0.2% 程度と考えられる。また、35 では 0.4% 程度、40 では 1.0% 程度がそれぞれ最適な遅延剤の追加添加量と考えられる。この結果を踏まえて、施工当日の気温から遅延剤の追加添加の有無、そして、追加添加が必要な場合にはその添加率を決定することとした。

3.2 実施工

実施工は 7 月 30 日に行われた。この日の天気は晴れ。気温は 32 であり、遅延剤の追加添加が必要と判断された。遅延剤の追加添加率は予備試験の結果から 0.3% に設定した。

図 - 7 に施工対象を示した。消火車が運行しているコークス工場消火車軌道の様子である。消火車はほぼ 1~2 時間の間隔で往来するため急速補修工事が不可欠である。

図 - 8 に補修箇所の施工前状況を示した。補修箇所は高圧エアにて掃除を行い、水打ちを施し打設に備えた。補修の打設厚さは最大で 70mm であり、平均で 50mm 程度であった。図 - 9 には同箇所の図面を示した。

図 - 10 に材料調製の作業状況を示した。モルタルを先行して調製し、粗骨材を後から加えてコンクリートを調製した。

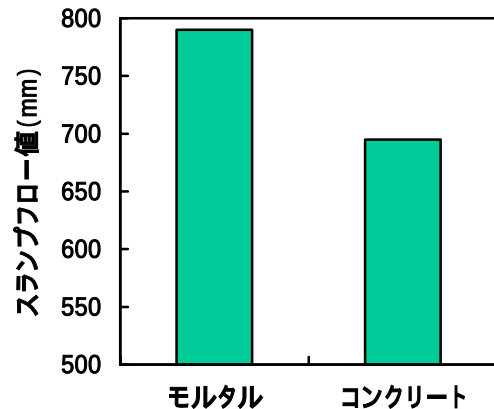


図 - 5 モルタルおよびコンクリートのスランプフロー値

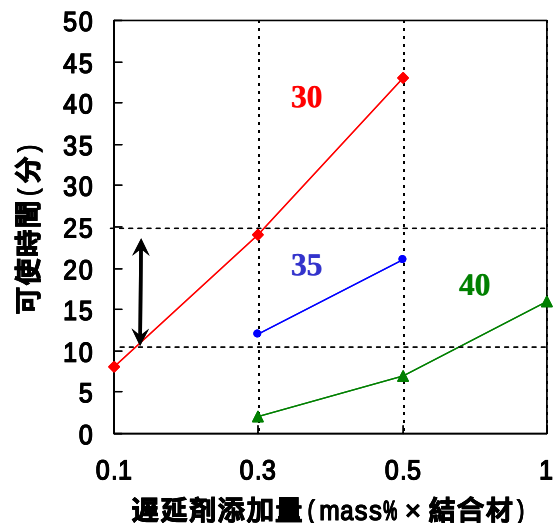


図 - 6 遅延剤追加添加量と可使時間の関係

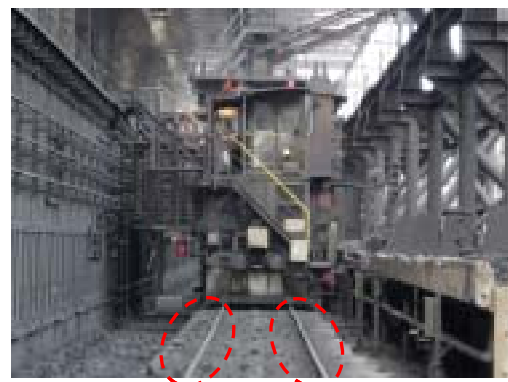


図 - 7 消火車走行中の消火車軌道

図 - 11 にコンクリートの流し込み施工の状況を示した。片側からの流し込みにて充填性は良好であった。締め固めは行わなかった。



図 - 8 補修箇所の施工前状況

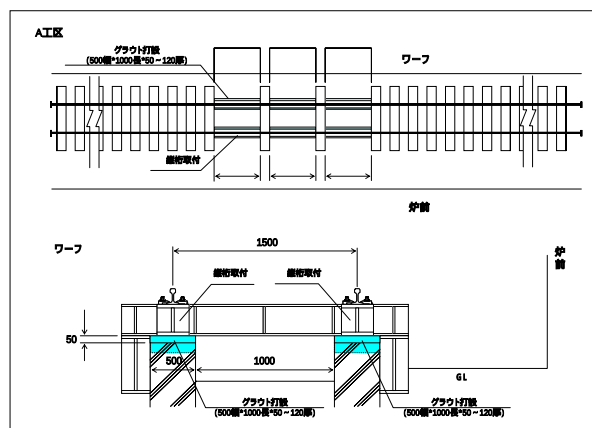


図 - 9 施工箇所の図面

図 - 12 に打設したコンクリートの湛水養生の様子を示した。湛水養生は打設後 15 分後から 3 時間まで行った。なお、湛水下深さは約 5mm である。

図 - 13 に打設箇所に設置した熱電対により測定したコンクリート温度を示した。熱電対は図 - 9 に示した施工箇所の中心部に設置した。打設から 20 分程度で温度が上昇しはじめ、40 分程度で最高温度に到達している。その際の温度は約 55 であった。予備試験では厚さを 100mm に設定して行い、その際のコンクリート温度は約 62 であった(図 - 5)。そして、温度ひび割れは発生しなかった。実施工では最大の厚さが 70mm であったため、コンクリート温度は予備試験の時よりも小さい値を示した。温度ひび割れの危険性がより小さくなったと考えられる。

後日、打設箇所の観察を行ったが、温度ひび割れや乾燥収縮によるひび割れ等の発生は認められなかった。粗骨材の配合によって水和発熱を低減できたため、温度ひび割れ発生抑制に寄与したと考える。また湛水養生を行ったことが乾燥によるひび割れの発生を効果的に抑制したものと考えられる。

図 - 14 に品質管理を行うための供試体採取の様子を示した。これは、施工箇所のすぐ側である。よって、品質管理供試体の強度は施工箇所のコンクリート強度に近似すると考える。



図 - 10 材料調製の作業状況



図 - 11 コンクリートの流し込み状況

また 図 - 15 に初期材齢の圧縮強度を示した。材齢 1 時間より 20N/mm^2 以上の値を示した。消火車が補修箇所を通過した時点ではすでに 20N/mm^2 以上の強度を発現していたことになる。

以上のように、初期強度発現性に優れる DSM を適用することにより、急速補修工事を実現することが可能となった。

4. まとめ

初期強度発現性に優れる超速硬材料を用いて急速補修工事を検討し、以下の成果を得た。

- (1) DSM は流動性に優れ、初期強度発現性に優れる。その一方で硬化時の水和発熱が大きいため、粗骨材（玉砂利）の併用による発熱量の低減効果を確認した。DSM の 1 袋 25kg に対して、10kg の玉砂利を配合することによって、流動性を損ねることなく、厚さ 100mm までの範囲で温度ひび割れの発生を抑制できることが明らかとなった。
- (2) 高温での可使用時間の確保が困難なため、遅延剤の追加添加量と可使用時間の関係を把握して体系化した。30 以上では遅延剤の追加添加が必要であり、30 では 0.2% 程度、35 では 0.4% 程度、40 では 1.0% 程度が最適な添加量と考えられた。
- (3) 予備試験の検討結果を踏まえて実施工に臨み、締め固めを必要とせず流し込み施工ができ、十分な可使用時間を確保しつつ材齢 1 時間で実用強度を発現し、消火車の運行を停止することなく補修工事を実現することが可能となった。

謝辞：

本施工を行うにあたって、環境エンジニアリング㈱の石黒繁氏および田口尚彦氏にご協力頂きました。また、電気化学工業㈱の上村豊氏および勝田義康氏にご助力頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 盛岡実，高木聡史：高流動・超速硬モルタル組成物、超速硬高流動モルタル、及びそれを用いた超速硬・高流動コンクリート，特願 2004-253932 号，2004.7



図 - 1 2 コンクリートの湛水養生の様子

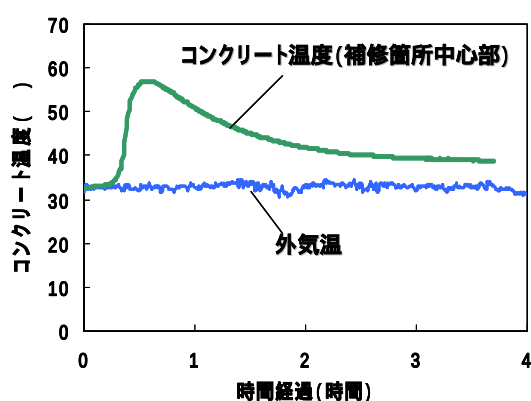


図 - 1 3 打設したコンクリートの温度



図 - 1 4 品質管理用の供試体採取の様子

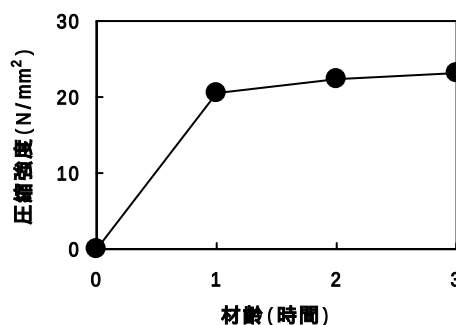


図 - 1 5 圧縮強度の測定結果