

論文 粘性調整剤を使用したモルタルの物性と法面吹付けへの応用

中島 康宏^{*1}・水島 一行^{*2}・山本 賢司^{*3}・盛岡 実^{*4}

要旨: 法面のフリーフレーム工法では、仕上がりの美観を得るため、モルタルを吹き付けた後にコテ等を用いて整形する工程が求められている。この吹付けに急結剤を使用するとモルタルの地山への付着性は良いが、過剰な急結性が付与され、整形ができない問題を有する。急結剤に換わり、有機系の粘性調整剤を使用したモルタルについて、フローロスを促す性能、凝結性状、強度発現性、中性化、及び寸法安定性に関して評価し、法面吹付けへの応用を検討した。

キーワード: 法面、吹付け、混和剤、フローロス、圧縮強度、中性化、寸法変化

1. はじめに

近年、コンクリート構造物が耐久性を重視した材料設計となりつつあるが、その波は、斜面安定化を目的とした法面保護工事にも波及しつつある。この工事では、ゆるやかな勾配での施工、施工個所付近に大型機材が搬入できる等の好条件が確保できる場合には、種子吹付け工法、モルタル吹付け工法、及びプレキャストコンクリートブロック法枠工法などが用いられる。しかしながら、施工条件の厳しい山岳地や急峻地では、搬入できる機材が限定される上に高い崩落防止の効果を持つ構造体を形成しなければならない。従来の一般的なモルタル吹付け工法では、体積に比較して表面積が非常に大きいことから収縮量が大きく、また、さらに湿潤養生が困難なことから、クラックの発生確率が高くなる現象が多く見受けられる。クラックが発生すると、そこから風化や侵食による劣化が進行し、特にクラックから侵食した雨水により吹付け背面の地山が流出し、空洞化することが問題となっている¹⁾。空洞が生じると地山とモルタルの密着性が損なわれ、最悪の場合には、自重に耐えられずに滑動を生じることが懸念

される。このモルタル吹付け工法は、耐用年数が20年程度との報告がある^{2),3)}。このような背景の中で、フリーフレーム工法の利用範囲が拡大しつつある⁴⁾。この工法は、フレキシブルな法枠を斜面に組んでモルタルを吹き付けるものであり、受圧構造体として十分に機能させることが可能となる。これまで、この工法では、吹付け用モルタルとして現場での固練りモルタルが使用されてきたが、モルタル品質の安定化、圧送距離の長距離化、及び施工工期の短縮化を図るために、生コン工場よりポンプ圧送性の良好なモルタルを搬送し、現場にてモルタルを多量に圧送して、吹付け直前に急結剤を混和し、所定位置にモルタルが定着した後はダレが生じないようにする方法が増えつつある。一方、フレームの景観上、吹付けモルタルに整形を要する個所では、モルタルにある程度の可使用時間が求められており、急結剤では必ずしも法面吹付け用混和剤としての要求物性を満足しない。ダレさせない性能を付与しつつ、十分な可使用時間を有するという、急結剤では相容れない性能を両立することが求められている。さらに、混和剤は取り扱いが容易であることから液状で

*1 電気化学工業(株) セメント・特混研究所 工修 (正会員)

*2 電気化学工業(株) セメント・特混研究所

*3 電気化学工業(株) セメント・特混研究所 工修 (正会員)

*4 電気化学工業(株) セメント・特混研究所 工博 (正会員)

あること、また、医学的安全性の観点から中性から弱酸性であることが求められているが、施工現場では、アルカリ性の急結剤が多く用いられている。本研究では、有機系の粘性調整剤について、モルタルの物性を詳細に調査し、法面吹付けへの応用を検討した。

2. 試験方法

2.1 使用材料、配合

粘性調整剤として、有機系の液体混和剤である A 剤を使用した。また、比較のために、無機系急結剤である B 剤を使用した。混和剤の物理性状を Table.1 に示す。A 剤は pH が 5.3, B 剤では 11.5 である。物性試験はモルタルにて行い、配合はセメント/砂比が 1/3, セメント/水比が 50% であり、ポリカルボン酸系高性能減水剤にてモルタルのフローを調製した。セメントは市販の普通ポルトランドセメントを、砂は新潟県姫川産のものを使用した。

2.2 測定項目および測定方法

試験環境温度は特に断りのない限り、20℃にて行った。

(1) フロー試験

セメント、砂、水、及び減水剤をモルタルミキサーにて混練してフロー値を 200mm に調整したものを便宜上、ベースモルタル、また、ベースモルタルに混和剤を混和したものを吹付けモルタルとする。ベースモルタルのフロー値の 200mm は長距離圧送を意識したものである。図解したものを Fig.1 に示す。両者のモルタルフローの差異をフローロス量と定義する。測定は、JIS R 5201 に準拠して行った。フローコーンにモルタルを詰め込み、フローコーンを上方に取り去り、15 回タッピングした後のモルタルの直径を測定した。5℃環境下でも同様に試験した。

(2) 始発時間

ASTM C 403 に準拠してプロクター貫入抵抗値を測定し、始発時間を求めた。

(3) 圧縮強度試験

JIS R 5201 に準じて材齢 28 日に測定した。た

だし、供試体は 24 時間で脱型し、以後、28 日まで 20℃の水中養生とした。

Table.1 Physical properties of additives used

	Form	Main component	pH	Density (g/cm ³)
A	liquid	Acrylic based	5.3	1.0
B		Na ₂ O:8% SiO ₂ :23%	11.5	1.3

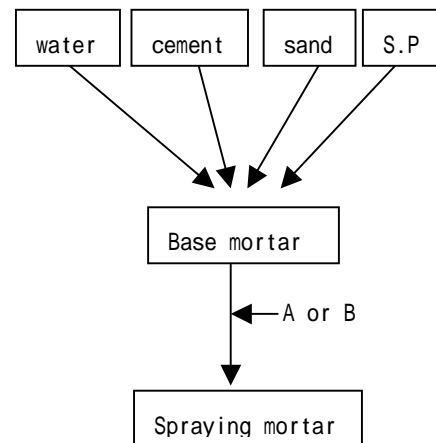


Fig. 1 Experimental illustration

(4) 中性化試験

4×4×16cm の供試体を材齢 14 日まで 20℃の水槽内で養生し、以後、30℃、相対湿度 60%、CO₂ 濃度 10% の環境にて促進中性化を行なった。所定の材齢にて供試体を 4×4cm の面にて切断し、この面にフェノールフタレインアルコール溶液を塗布し、中性化深さを測定した。

(5) 寸法変化率

JIS A 6202(B)に準じて寸法変化率を測定した。材齢 14 日まで 20℃の水槽内で養生し、以後、20℃、相対湿度 60% の環境下にて養生した。

3. 実験結果および考察

(1) フロー試験

粘性調整剤である A 剤と、急結剤である B 剤とで、フロー値 200mm のベースモルタルに両者を混和した場合の混和量とフローロス量を比較した。結果を Fig.2 に示す。混和量は、セメントに対して外割で混和した値である。使用し

たフローコーンの下部の内径が 100mm であることから、値が 100mm を示した場合には、モルタルが変形していないことを意味する。両者とも混和量の増加とともにフローロス量は増加するが、極大値が存在し、A 剤を使用した場合には、3%の混和量にて最も高い値を示し、それ以上の混和量では小さい値を示した。一方、B 剤では 10%の混和量にて最も高い値を示し、それ以上の混和量では A 剤と同様に小さい値を示した。これら液状の混和剤を多量に混和すると、混和剤から供給される水量が多くなり、モルタルの実質の水/セメント比が必然的に高くなってしまふことから極大値が存在すると思われる。ここで、筆者らは、実際の吹付け試験とフロー試験の結果を照査した結果、モルタルをダレさせないためには、モルタルのフロー値を 130mm 以下にする必要があることを確認している。今回の初期フロー値が 200mm のモルタルでは 70mm 以上のフローロス量を与える必要があり、この 70mm のラインを評価の指標として論述する。70mm 程度のフローロス量を付与するのに必要な混和剤量は、A 剤が 2%であるのに対して、B 剤はその 3 倍の 6%の量が必要となる。

次に、A 剤と B 剤とで 5 環境下にて同様に測定した結果を Fig.3, Fig.4 にそれぞれ示す。Fig.3 に示されるように粘性調整剤である A 剤では、5 環境下においても、混和量に対するフローロス量は 20 の場合と同等であり、フローを制御する性能に温度依存性が認められない。一方、Fig.4 に示されるように急結剤である B 剤を使用した場合には、20 の場合と比較して、いずれの混和量においてもフローロス量が小さくなる現象が認められた。A 剤はアニオン性の高分子によって、カチオン性のセメント粒子を凝集させていると推測される。一方、B 剤では、セメントの水和を促進して急結性を付与することでフローを制御していると考えられる。水和反応は温度依存性があることから、B 剤では、低温でのフローを制御する性能が

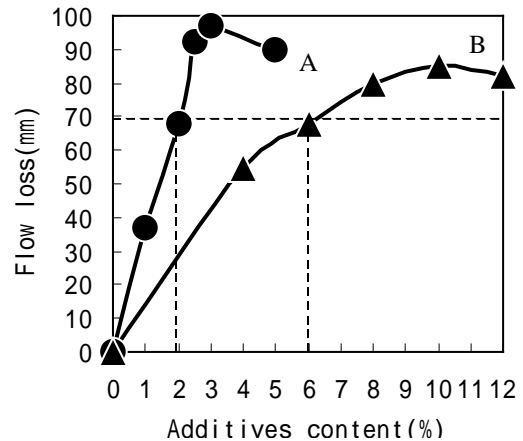


Fig.2 Relationship between flow loss and Additives content

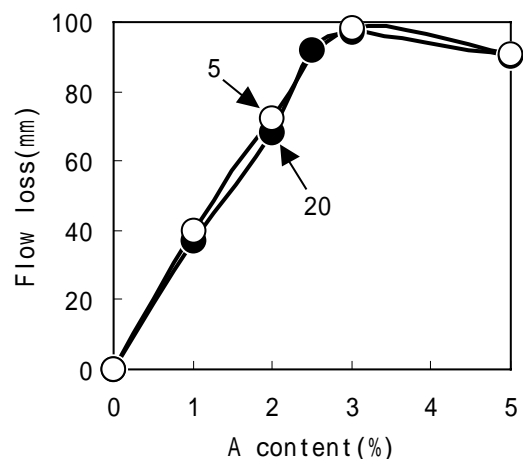


Fig.3 Relationship between flow loss and A content

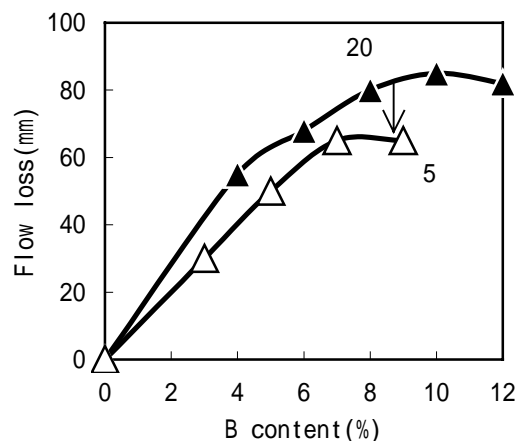


Fig.4 Relationship between flow loss and B content

低下したものと推察される。急結剤である B 剤では、5 においても 20 と同等のフローロス量を得るためには混和量を増やさなければならないことが示唆された。

以下、吹付けにおいてはダレさせない性能が最も重視されることから、フローロス量を法面吹付け混和剤に求められる綱要の性能に位置付けて、A 剤と B 剤とで同じだけフローロス量を付与した場合でのモルタルの諸物性を比較した。

(2) 始発時間

同一のフローロス量を付与した場合の可使用時間を比較するために、フローロス量と始発時間の関係でまとめた結果を Fig.5 に示す。A 剤の混和量を増加し、モルタルにフローロス量を付与しても始発時間には、ほとんど影響を及ぼさない。一方、急結剤である B 剤を使用した場合には、混和量を増加しフローロス量を大きくするほど、始発時間は短くなった。これは、B 剤が急結剤であるため、フローロス量と連動して過剰な急結性能までもが付与されてしまうためである。この関係は普遍的なものであり、急結剤を使用する上で、両者の性状は切り離せない性状であろう。この現象は、さらに高い環境温度下では、より顕著化することが予想される。一方、粘性調整剤である A 剤を使用した場合には、フローロス量に対する始発時間の変化は少ない。これは大きなフローロス量を与えた場合でも始発時間を 3 時間以上に保つことができることを意味している。したがって、A 剤を用いればダレを防止でき、一方で十分に整形を行うことができると予想される。

(3) 圧縮強度試験

Fig.6 にフローロス量と材齢 28 日の圧縮強度の関係を示す。混和剤を混和していない Plain と比較して、A 剤、もしくは B 剤を使用することで強度は小さくなり、フローロス量が大きくなると圧縮強度は、それに比例して小さい値を示している。混和剤の違いで比較すると、B 剤に比べて A 剤は強度発現性に優れる結果となった。これは次のように考察することができる。

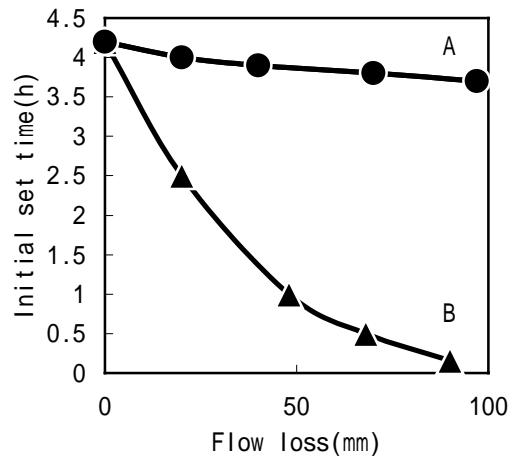


Fig.5 Relationship between initial set time and flow loss

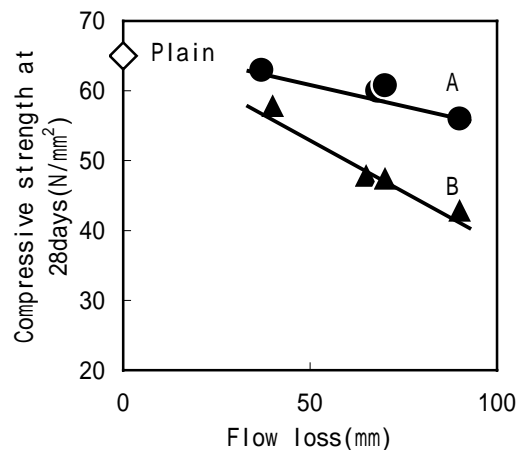


Fig.6 Relationship between compressive strength at 28days and flow loss

B 剤は A 剤と比較して同一のフローロス量を得るための混和剤の使用量が多く、それに伴い混入する水量が多くなっており、これが影響していると考えられる。また、既往の研究で無害骨材を使用したモルタルの圧縮強度試験においてもアルカリ物質を混和したことによる強度低下が報告されており⁵⁾、水和に影響を及ぼしていると考えられる。

(4) 促進中性化

粘性調整剤である A 剤と急結剤である B 剤を用いて同一のフローロス量を付与したモルタルの各材齢での中性化深さを比較した結果を Fig.7 に示す。A 剤、B 剤ともに 70mm のフ

ローロス量を付与した場合の中性化深さを比較したものであり、セメントへの各混和量は、A 剤が 2%、B 剤が 6%である。いずれの系においても促進中性化の材齢の進行とともに中性化深さは増大した。一方、混和剤の種類で比較すると、B 剤を使用した場合は中性化されやすいのに対して、A 剤を使用した場合には Plain との差が少ない結果となった。つまり、B 剤よりも A 剤を使用したモルタルの方が中性化に対する抵抗性が高い。B 剤の中性化深さが大きい理由として Fig.6 で示したように、圧縮強度が小さい値となることが影響している。一般に、強度と中性化には相関関係があることから、圧縮強度の高い A 剤を使用したモルタルの方が中性化の進行が緩慢になったと考えられる。

(5) 寸法安定性

粘性調整剤である A 剤と急結剤である B 剤とで、各材齢での寸法変化をまとめた結果を Fig.8 に示す。A 剤、B 剤ともに 70mm のフローロス量を付与した場合の寸法変化を評価したものであり、セメントへの各混和量は、A 剤が 2%、B 剤が 6%である。いずれの系でも材齢 14 日以降の気乾養生では、材齢の進行とともに収縮が大きくなった。A 剤を使用したモルタルと Plain が同等の収縮率であるのに対して、B 剤を使用したモルタルは収縮率が 200 μ 程度大きい結果となった。A 剤と比較して、B 剤を使用した場合が収縮率の大きい理由としては定かではないが、A 剤と同等のフローロス量を得るための混和量が多く、それに伴う水の混入量が多くなるのが理由の 1 つとして考えられる。

(6) 実施工例

9 月に岡山県津山市にて粘性調整剤である A 剤を使用して法面保護工事の試験施工を行った。工法はフリーフレーム工法であり、ユニット式のフリーフォームを使用した。補強鉄筋のサイズは D19 であり、鉄筋交差アンカー (D19, L=1m) を 0.1 本/m² 使用し、補助アンカー (D16, L=0.8m) を 0.8 本/m² 使用している。フレーム断面は幅 0.5m、深さ 0.8m 程度であり、枠スパ

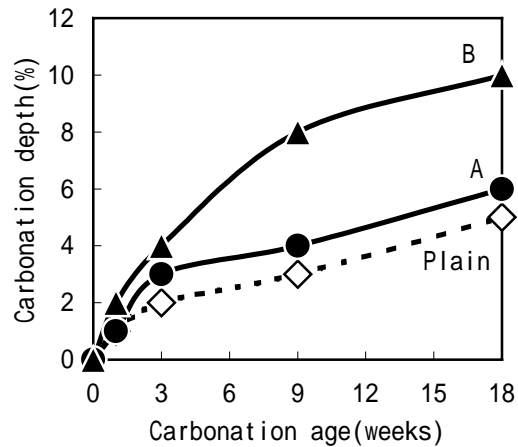


Fig.7 Relationship between carbonation depth and carbonation age

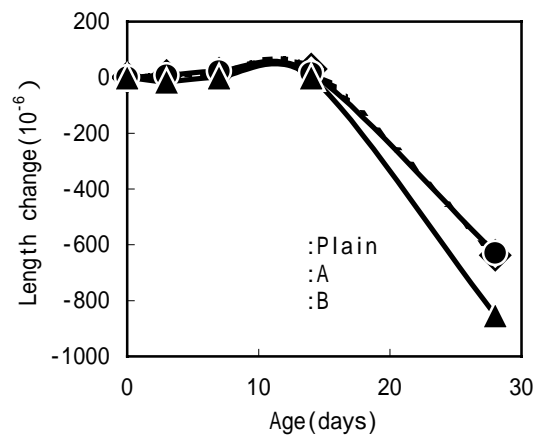


Fig.8 Relationship between length change and age

Table.2 Overview of mortar

Slump (cm)	Temp (°C)	W/C	C/S	Cement (kg/m ³)
16	23	0.5	1/3	500

ンが 3m 程度である。吹付け現場が洞門の上部であることから大型機器が搬入できず、モルタルを吹付け現場まで 3 インチ管にて 200m 程度、圧送した。使用したモルタルの概略を Table.2 に示す。A 剤の混和量はセメントに対して 3% であり、A 剤の混和位置から吹付けモルタルが吐出されるまでの距離は 20m である。施工状況の写真を Fig.9, Fig.10 に示す。吹付け量 4m³/h にて試験した結果、大きなダレを生じることな

く施工することが可能であった。縦方向のフレームには 1m 間隔で金網を挿入しているために、急結性のない A 剤にて、厚み 800mm 程度に吹き付けても剥落を生じることなく十分に施工可能であること、また、モルタルに十分な可使用時間が得られ、コテによる整形が容易であることを確認した。

以上をまとめると有機系の粘性調整剤は、実機吹付においてもダレさせることなく、その上、十分な可使用時間を確保でき、アルカリ性の液体急結剤と比較して耐久性のあるフレームとすることが可能であると思われる。

4. まとめ

有機系の粘性調整剤である A 剤と無機系の急結剤である B 剤とでモルタルにて物性を比較し、粘性調整剤の法面への適応を検討した結果、以下の結論が得られた。

- (1) 急結剤である B 剤と比較して、粘性調整剤である A 剤は、低混和率で同等のフローロス量を付与することが可能であった。
- (2) 急結剤である B 剤では、フローロス量と連動して過剰な急結性まで付与されてしまうが、粘性調整剤の A 剤を使用した場合には十分な可使用時間を確保することが可能であった。
- (3) 圧縮強度に関しては、B 剤と比較して A 剤の方が高い強度発現性を示した。
- (4) 耐中性化に関しては、B 剤と比較して A 剤の方が優れる結果となった。これは B 剤を使用したモルタルよりも A 剤を使用したモルタルの方が強度発現性に優れる結果に起因した現象であると考えられる。
- (5) B 剤と比較して、A 剤を使用したモルタルは寸法安定性に優れる結果となった。
- (6) A 剤を法面保護工事の吹付けに使用した結果、ダレや剥落を生じることなく、法面吹付け用混和剤として十分に適応可能であることを確認した。



Fig.9 Photograph of free frame(spraying)



Fig.10 Photograph of free frame (after spraying)

謝辞：実施工で試験するにあたり、日本基礎技術(株)より、御協力いただきました。深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 植本直之：コンクリート吹付けのり面の変状とその対策工，第 18 回日本道路会議論文集，18th，pp.1044-1045，1989
- 2) 内藤清司，山田泰宏：斜面安定におけるコンクリートの現状，基礎工，Vol.26，No.10，pp.78-81，1998
- 3) 周建敏ほか：老朽化したモルタル吹付け法面の維持管理システムと修復工に関する研究，建設マネジメント研究論文集，Vol.8，pp.149-159，2000
- 4) 長岡信玄：エコ工法を目指すフリーフレーム工法，セメント・コンクリート，No.537，pp.41-48，1991
- 5) 安部道彦，友沢史紀，田村公一，真野孝次：アルカリ骨材反応試験における添加アルカリの種類に関する検討，コンクリート工学年次論文集報告，Vol.10，No.2，1998