

報告 擬石に適用した高流動カラーモルタルの硬化特性

松本典人^{*1}・坂本佳理^{*1}・鈴木重哉^{*2}・佐野清史^{*3}

要旨：本報告は、河川の水制工に使用する擬石の被覆材料として用いた高流動カラーモルタルについて、硬化後の耐磨耗性、耐衝撃性、耐凍害性および中性化抵抗性の耐久性をビニロン繊維を混入した高流動カラーモルタルおよび普通モルタルとの比較から調べたものである。高流動カラーモルタルは、水セメント比を小さくして 70N/mm^2 程度の高強度にすることによって良好な耐久性を確保することが確認できた。

キーワード：擬石、高流動カラーモルタル、増粘剤、耐磨耗性、耐衝撃性、耐凍害性

1. はじめに

近年、環境保全や景観向上をめざしたコンクリート材料の開発が行われている。良好な景観を形成するためには、コンクリート自体の美観向上を図り周囲の環境と違和感なく同化させることが大切である。例えば、河川構造物では砂防ダム、水制工や護床工などの表面形状を人工的に「岩」、「岩場」として表現させるものとして、コンクリートやモルタルを使用した擬岩・擬石工法が注目を浴びている。従来の擬岩・擬石は公園や水族館などのディスプレイの一種として用いられることが多かったが、擬岩・擬石を河川や海などの外力条件などが厳しい場所に適用する際には、色彩や形状だけでなく、硬化後の耐久性の検討が必要であると考えられた。本報告は、河川の水制工に使用した擬石の表面被覆材料として適用した増粘剤系高流動カラーモルタルの硬化後の耐磨耗性、耐衝撃性、耐凍害性および中性化抵抗性の耐久性について検討した結果を報告する。

2. 擬石の仕様

本報告で対象とした擬石は河川の水制工として使用するもので、ダム水放流時に対して安定であり、渇水期に露出しても周囲の岩、石に対して違和感のない石肌の形状とする必要があった。擬石の主な要求性能を以下に示す。

- 比 重： 5.0t/m^3 以上
- 重 量： 1t 以上(0.2m^3 程度)
- 外形寸法： $0.5\sim 1.2\text{m}$
- 設計強度：河川構造物と同等($\sigma_{28}=21\text{N/mm}^2$)以上
- 景観性：周囲の自然石と違和感がないこと
- 耐久性：耐磨耗性、耐衝撃性、耐凍害性に優れること
- 美 観：白華現象がでにくいこと等

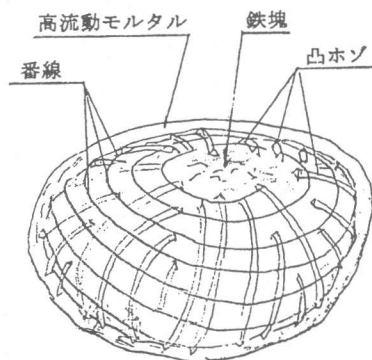


図1 擬石のイメージ図

図1および図2に擬石のイメージ図および型枠組立図を示す。所要の比重を得るため、型枠内部に鉄塊を芯材

*1 東洋建設(株)鳴尾研究所材料研究室研究員(正会員)

*2 東洋水研(株)大阪営業所長

*3 東洋建設(株)鳴尾研究所材料研究室長(正会員)

として埋め込んだ。型枠は、自然石を型どりした特殊シリコンゴムを内面に貼り付けた FRP 型枠を使用した。芯材となる鉄塊は、モルタルとの付着などを向上させるため、縦方向に高さ 10mm 程度の凸ほぞおよび横方向にφ3mm の番線をそれぞれ約 50mm 間隔で配置した。比重の確保のため芯材と型枠のかぶりりが 40～50mm 程度となり、この空隙部分に表面被覆材として、増粘剤を用いた高流動カラーモルタルを充填した。

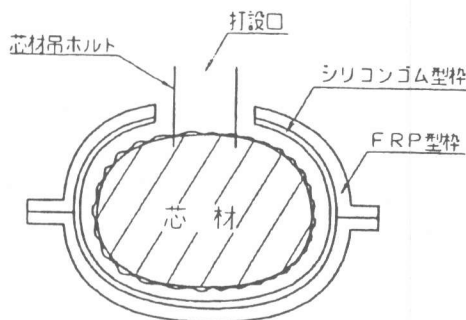


図 2 擬石型枠組立図

擬石の製作は、型枠上部に設けた注入孔を介して高流動カラーモルタルを充填し、型枠脱型後、擬石を養生マットで覆い十分散水し、さらに乾燥防止のためビニルシートで覆う方法で湿润養生を施した。材齢 4 週間以降まで経過した後、ワイヤブラシやサンドペーパーなどを用いて表面を処理した後、自然石の色彩を模擬するためにモルタルのベース色と同系統の塗料を塗布し、最後に塗料の表面保護膜を塗り仕上げを行った。

表面被覆材として高流動カラーモルタルを適用した主な理由を以下に示す。

- かぶり 40～50mm、鉄塊の凸ほぞおよび番線が配置される密閉空隙を型枠上部に設けられた注入孔 1 箇所から打込んで充填できる材料であること。
- 擬石が部分的に欠けた場合、コンクリートは粗骨材が現れるため違和感がでる可能性があるが、カラーモルタルは粗骨材がなく色彩に与える影響が少ない。
- 増粘剤を用いることでブリーディングの発生が抑制されるため結果的にモルタル内の水分移動も抑制され、白華現象が普通モルタルに比べて少なくなると考えられる。

3 被覆モルタルの配合

表 1 および表 2 にそれぞれ使用材料およびセルロース系増粘剤を用いた高流動カラーモルタル(記号: SWM)の配合を示す。高流動カラーモルタルの配合について、水セメント比は、設計強度を満足する中で、主に耐磨耗性、耐衝撃性、中性化抵抗性などの耐久性の確保を目的として設定した。顔料の添加量は自然石の色彩との比較から抽出した。増粘剤および高性能 AE 減水剤の添加量は、増粘剤系高流動コンクリートで一般的に用いられる添加量[1]を参考にして、所要の流動性および材料分離抵抗性を得られる添加量を実験により抽出した。高流動カラーモルタルの品質管理基準の目標値は、充填性等を考慮して①スランプフ

表 1 使用材料

セメント		早強ポルトランドセメント 比重: 3.13 比表面積: 4480 cm ² /g
細骨材	海砂(70%)	比重: 2.56 吸水率: 1.36 F.M.: 2.65
	砕砂(30%)	比重: 2.54 吸水率: 1.83 F.M.: 3.17
増粘剤		低界面活性型水溶性セルロースエーテル 2%水溶液 粘度: 10,000cp
顔 料		複合酸化物系無機顔料 (茶)
ビニロン繊維		φ 0.66mm×30mm、比重: 1.30
高性能 AE 減水剤		ポリアルキルカルボン酸エーテルと 架橋ポリマー複合
AE 減水剤		リグニンスルホン酸化合物ポリオール複合体

表 2 高流動カラーモルタルの配合

CASE	記 号	W/C (%)	単 位 量 (kg/m ³)			増粘剤 W×%	高性能 AE 減水剤 C×%	ビニロン 繊維 × vol%	顔料 C×%
			W	C	S				
本配合	SWM	40	230	575	1381	0.20	2.30	—	0.60
比較配合 1	SWM-VF	40	235	588	1358	0.20	2.50	1.0	0.60
比較配合 2	NM	55	280	509	1307	0.25 ^{*)}	—	—	0.60

*) AE 減水剤

表 3 モルタルのフレッシュ性状および強度特性

CASE	スランプ フロー (cm)	空気量 (%)	ブリーディング 率 (%)	ボックス 試 験 (cm)	強度特性(標準養生 材齢 4 週)		
					圧縮強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)
SWM	67.5	4.8	0.0	0.8	74.2	9.6	4.7
SWM-VF	72.0	3.8	0.0	3.3	73.1	8.6	4.3
NM	53.0	4.4	3.54	—	44.1	6.3	3.9

ロー=70±5cm、②空気量=4.5±1.5%とした。なお、高流動カラーモルタルの配合は、水セメント比 W/C=40%および単位水量 W=約 180kg/m³ の増粘剤系高流動コンクリートの配合(SF=65cm 程度)から粗骨材を除いたモルタルの配合(SF=80cm)を基に、品質管理基準の目標値を満足する範囲内で単位水量を少なくした配合である。

高流動カラーモルタルの硬化後の耐磨耗性、耐衝撃性、耐凍害性および中性化抵抗性の耐久性評価を行うため、表 2 に示す 2 種類のモルタルについても試験を併せて実施した。比較配合 1(記号：SWM-VF)は、モルタルの引張強度、耐衝撃性、耐磨耗性および靱性の向上を目的として、ビニロン繊維を 1.0vol%混入した高流動カラーモルタルとした。比較配合 2(記号：NM)は、呼び強度 24N/mm²(W/C=55%)の普通コンクリート配合から粗骨材を除いた普通モルタルとした。

各種モルタルのフレッシュ性状および強度特性を表 3 に示す。モルタルの充填性を評価するため、SWM および SWC-VF のモルタルはボックス試験[2]を併せて実施した。ただし、ボックス試験の障害部分は、擬石の仕様に合わせるためφ4mm の鉄筋を約 50mm ピッチで配筋した。SWM および SWM-VF は所要の品質管理基準を満足した。しかし、SWM-VF はボックス試験結果が SWM に比べて大きくなり、試験終了後、障害部を観察するとビニロン繊維が集積してモルタルの流動を妨げる様子が伺えたことから、今回製作する擬石の被覆モルタルとして適用するには、充填性が低下する傾向を示した。また、モルタルの色の変化を観察するために、90×90×厚さ約 50mm の供試体を約 1 年間屋外暴露し目視観察を行った。SWM および SWM-VF は、各色とも NW に比べて白華の溶出が少なくベース色がはっきりと保たれていた。これは、高流動カラーモルタルは、材料分離抵抗性を付与する増粘剤の添加によりブリーディングが抑制されたこと、および普通モルタルに比べて水セメント比が小さくより密実なモルタルになることなどから、モルタル中の毛細管空隙内の水分移動が抑制され水酸化カルシウムの溶出も減少したためと考えられる。

4. 実験概要

4.1 掃流磨耗試験

流水や土砂流などによるすり減り等の磨耗作用(掃流磨耗特性)を調べるため掃流磨耗試験を行った。掃流磨耗を対象とした試験装置[3]は、半円環状アーチ形の供試体(内径 130mm、外形 250mm、高さ 100mm)の内曲面(摩擦面 204cm²)に、磨耗材(粒径 1.2~5mm の花崗岩質海砂)を 3 kg 混入した水に 3 枚羽根のスクリーにより流速 11m/sec の掃流作用を与えて磨耗させるものを用いた。試験は、各種モルタルそれぞれ供試体 2 体について行い、試験開始から 4、8 時間後のコンクリートの磨耗量を測定した。モルタルの磨耗量は試験前後の供試体重量差とし、次式によって単位磨耗量を求めた。

$$Ru = (Wa - Wn) / (A \times \rho_0)$$

Ru: 単位磨耗量(cm³/cm²)

Wa: 試験前供試体重量(g)

Wn: 試験後供試体重量(g)

A: 磨耗面の面積(cm²)

ρ_0 : 単位容積質量(g/cm³)

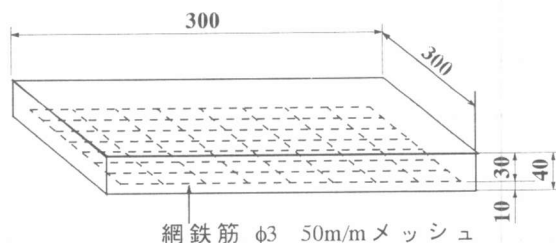


図3 衝撃磨耗試験供試体(網筋有り)

4.2 衝撃磨耗試験

土石流などによる衝撃磨耗特性を調べるため、小柳らが提案した鋼球落下方式による衝撃磨耗試験[4]を行った。試験装置は、上部に取り付けたパイプから、直径 51mm・重さ 536g の鋼球を落下高さ 1m から自由落下させ、供試体衝撃角度 20° で配置した供試体面に衝撃を加えるものである。試験は SWM のモルタルについて行った。供試体は擬石のかぶり 40mm を考慮して 300×300×40mm の角柱供試体とし、無筋の供試体および図3に示すような鉄塊の凸ほぞと番線をモデル化するため鉄筋をかぶり 10mm で配筋した供試体の 2 種類の供試体を作成した。試験は、衝撃(鋼球落下回数)を 50、100、200、300 回を加えた後、コンクリートの磨耗面積および磨耗深さを測定した。モルタルの磨耗量は、磨耗体積(磨耗面積×深さ)によって定量的な評価を行った。

4.3 凍結融解試験

各種モルタルについて、材齢 14 日まで標準養生を行った 10×10×40cm 供試体を用いて、「JIS A 6204 付属書 2」(水中凍結融解法)にしたがって凍結融解試験を行った。

4.4 促進中性化試験

各種モルタルについて、材齢 4 週まで標準養生を行った 10×10×40cm 供試体を、温度 20℃、湿度 60%、炭酸ガス濃度 5% の環境下で 1、3、6 ヶ月間暴露させた。中性化深さは、割裂した供試体の破断面に 1% フェノールフタレイン溶液を噴霧し、供試体側面から発色しない部分の深さの平均値を測定した。

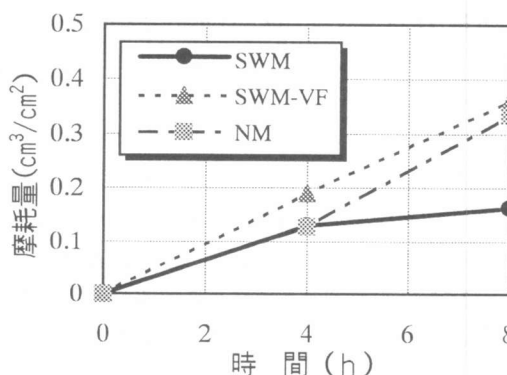


図4 単位磨耗量

5. 実験結果

5.1 掃流磨耗試験

掃流磨耗試験の結果を図4に示す。SWMはSWM-VFに比べて、4、8時間後の単位磨耗量が小さくなり、ビニロン繊維の混入による掃流磨耗の向上の効果は認められなかった。また、SWMはNMに比べて、4時間後の単位磨耗量がほぼ同等、8時間後が小さくなった。掃流磨耗の場合、コンクリートの単位磨耗量は、圧縮強度が大きくなるに伴い小さくなり、圧縮強度が 60N/mm^2 以上の高強度になると鋼繊維やポリマ繊維による繊維補強の耐磨耗性の効果は認められない[3]との報告があり、モルタルにおいても同じことが言えるものと考えられる。

5.2 衝撃磨耗試験

鋼球落下による衝撃磨耗試験の結果を図5に示す。網筋有りの場合、鋼球落下回数が35回程度でひび割れが生じ落下回数300回の平均磨耗体積が 4cm^3 程度であった。網筋無しの場合、落下回数が8回程度で供試体が破壊し磨耗体積の測定不可能であった。厚さ40mmと比較的薄い供試体にかぶり10mmで網筋を配筋することは、耐衝撃性に有効であることが確認できた。

5.3 凍結融解試験

凍結融解試験の結果を図6に示す。凍結融解300サイクル終了時点で、NWがSWMおよびSWM-VFに比べて、各種モルタルの空気量がほぼ同等であったにも関わらず相対動弾性係数が小さくなった。これは、SWMおよびSWM-VFがNMに比べて水セメント比が小さく強度が大きかったことが主たる要因と考えられるが、いずれのモルタルも相対動弾性係数が85%以上確保できた。

5.4 促進中性化試験

促進中性化試験の結果を図7に示す。SWMおよびSWM-VFは、促進中性化開始時から6ヶ月後においても中性化深さが0mmであった。NM

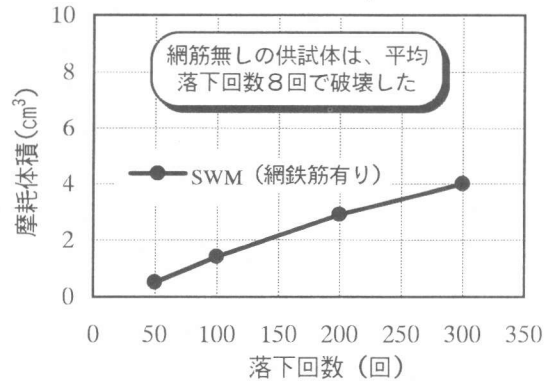


図5 鋼球落下による衝撃磨耗試験結果

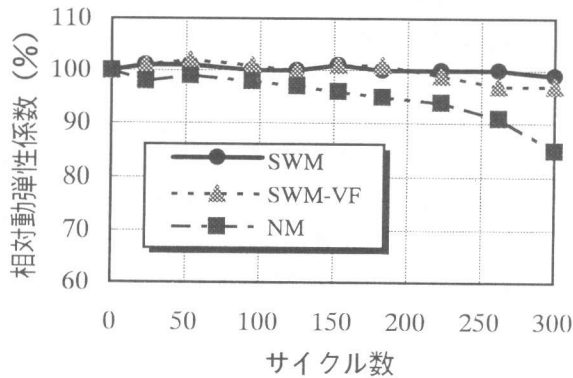


図6 凍結融解試験結果

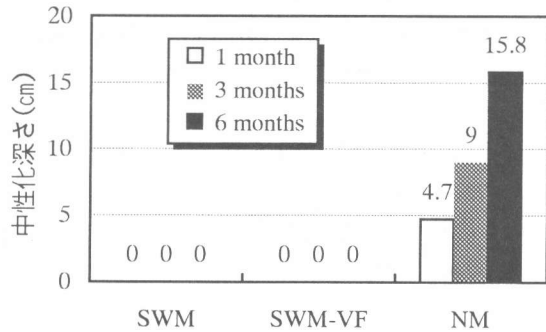


図7 促進中性化試験結果

は、促進中性化の期間が長期になるほど中性化深さが進行した。これは、高流動カラーモルタルは普通モルタルに比べて、水セメント比が小さいことおよび単位セメント量が多いことが主たる要因と考えられる。

6. まとめ

本報告は、河川の水制工に使用する擬石の表面被覆材料として用いた増粘剤系高流動カラーモルタルについて、フレッシュ性状および硬化後の耐磨耗性、耐衝撃性、耐凍害性および中性化抵抗性の耐久性をビニロン繊維を混入した高流動カラーモルタルおよび普通モルタルの比較から調べた。本実験の範囲内でわかったことを以下に示す。

- (1) 高流動カラーモルタルは、ビニロン繊維を混入することにより、スランプフローがほぼ同等であってもボックス試験装置の障害部に繊維が集積してボックス試験値が大きくなり、充填性が低下する傾向を示した。
- (2) 高流動カラーモルタルは普通モルタルに比べて、約1年の屋外暴露試験体の観察によると白華の溶出が少なくベース色がはっきり保たれていた。
- (3) 高流動カラーモルタルは普通モルタルに比べて、圧縮強度が高強度(70N/mm²程度)であることから耐掃流磨耗性が向上した。また、ビニロン繊維の混入による耐掃流磨耗性の向上効果は、本実験の範囲内では認められなかった。
- (4) 高流動カラーモルタルの耐衝撃性が供試体中に網筋を配筋することで改善されたことから、擬石の芯材である鉄塊に凸ほぞおよび番線を設けることが、モルタルとの付着の向上だけでなく耐衝撃性が向上することが確認できた。
- (5) 高流動カラーモルタルは普通モルタルに比べて、圧縮強度が高強度(70N/mm²程度)であることから耐凍害性が向上することが確認できた。
- (6) 高流動カラーモルタルは普通モルタルに比べて、水セメント比が小さく単位セメント量が多いことから中性化抵抗性が向上することが確認できた。

参考文献

- [1] 例えば、井深隆志・山本 良・西川正夫・濱田秀則：増粘剤系高流動コンクリートの配合設計に関する研究—その3：配合設計の手順と補正案の提案—、第50回年次学術講演会講演概要集V、pp.1094-1095、1995.9
- [2] 佐野清史・福手 勤・守分敦郎・濱崎勝利：増粘剤を用いた省力化施工コンクリートの過密配筋部材への適用性について、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.16、No.1、pp.141-146、1994.6
- [3] 杉田英明・永松武明・藤本 浩：耐磨耗性コンクリートの評価とその施工、電力土木、No.223、pp.63-72、1989.11
- [4] 小柳 洽・河合 敦・近藤吉信：コンクリートの衝撃磨耗について、セメント技術年報、No.41、pp.237-240、1987