

壁高欄用充填モルタルの特性評価

— 環境温度と施工法の違いが自己充填性に及ぼす影響 —

武藤 あかね¹・三岡 善平²・林 承燦³・木村 定雄⁴

¹ 学生員 日本ヒューム (株) 技術開発センター (〒105-0004 東京都港区新橋 5-33-11)
E-mail: a-muto@nipponhume.co.jp (Corresponding Author)

² 日本ヒューム (株) 技術開発センター (〒105-0004 東京都港区新橋 5-33-11)
E-mail: z-mioka@nipponhume.co.jp

³ 正会員 (株) デーロス・ジャパン 企画開発部 (〒921-8005 石川県金沢市間明町 2-70)
E-mail: scim@deros-japan.co.jp

⁴ 正会員 金沢工業大学教授 環境土木工学科 (〒924-0837 石川県白山市八東穂 3-1)
E-mail: s.kimura@neptune.kanazawa-it.ac.jp

土木学会インフラ健康診断書 (2020 年版) などによると、全国の約 10%の道路橋が早期あるいは緊急に措置が必要であり、さらに建設後 50 年を経過した橋梁の割合は、2019 年時点の約 27%から、10 年後の 2029 年時点には約 52%に急増するとされている。近年では、橋梁上部工の効率的なリニューアル技術として、プレキャスト製の床版と壁高欄とを接合する床版取替技術が開発されている。筆者らは、床版と壁高欄を接合する目地部の充填モルタルが 20°Cの環境において、その要求性能を満たすことを確認している。しかし、実施工時の環境温度と施工法の影響を考慮した研究は見当たらない。本論では、室内の実験によって充填モルタルの基本特性を評価し、現場環境を模擬した実験によって現場適用性を評価した。これらの特性をふまえ、実施工時の留意事項を提案した。

Key Words : floor slab renewal, concrete barrier, precast products, non-shrink grout

1. はじめに

土木学会インフラ健康診断書 (2020 年版) などによると、全国の約 10%の道路橋が早期あるいは緊急に措置が必要であり、さらに建設後 50 年を経過した橋梁の割合は、2019 年時点の約 27%から、10 年後の 2029 年時点には約 52%に急増するとされている²⁾。このため、近年では、橋梁上部工の効率的なリニューアル技術として、プレキャスト製の床版と壁高欄とを接合する床版取替技術が開発されている。筆者らは、図-1に示すような、床版と壁高欄とをアンカー筋で接続し、その間隙部分 (以下、目地部と称す。) に壁高欄用充填モルタル (以下、充填モルタルと称す) を充填し、その付着力のみで接続する簡易な工法を開発している。

2. 環境温度と施工法

既往の知見では、充填モルタルが環境温度 20°Cの条件下においては要求性能を満足することを確認している。しかし、実施工時の環境温度と施工法の影響を考慮した

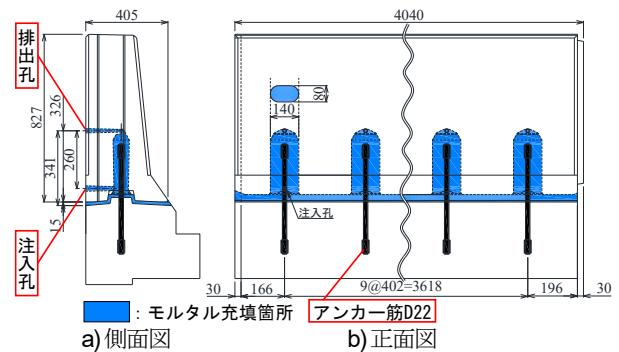


図-1 床版と壁高欄

研究は見当たらない。これらの影響について、室内の確認実験によって充填モルタルの基本特性を評価し、実施工時を模擬した供試体を用いた現場適用性の確認実験によって実施工時の留意事項を提案することが、本研究の目的である。

表-1は、充填モルタルが具備すべき要求性能として、壁高欄と床版の接合技術に起因する、設計施工上の要求性能 (3 項目) である。本来では、自己充填性は流動性および材料分離抵抗性の両者から評価される性質である。しかし、本稿では自己充填性と流動性とを近い性能として評価し、材料分離抵抗性とは別に評価した。また、フレッシュ性状の特性の他、硬化後の強度についても評

価した。表-2は、実施工時の環境温度と施工法の影響を模擬した、施工条件に伴う変動要因（4項目）である。ここでは、環境温度の他、施工法については練混ぜ水量、作業時間、再攪拌の有無を設定した。

本稿は、壁高欄用充填モルタルの特性について、施工条件の変動をうけた充填モルタルが設計施工上の要求性能を満足するか、その特性を基本特性と現場適用性に大別してそれぞれ実験によって評価し、実施工時の最適な留意事項を提案したものである。

3. 基本特性の確認実験

本研究すべての実験で対象とする充填モルタルは、プレミックス材の2種類である。モルタルAはポルトランドセメント、高炉スラグ、炭酸カルシウムおよび珪砂（Gmax=2.5mm、密度不明）から成る材料で、表-1の要求性能を満足する従来製品である。モルタルBはモルタルAと同じ成分で、珪砂（Gmax=0.8mm、密度2.62g/cm³）と微細なポリエステル短繊維（直径0.03mm、長さ3mm、混入率0.06vol%）を混入したもので、表-1の要求性能を満足するよう開発された製品である。両材料は25kg/袋の袋詰めであり、袋単位で使用するものである。

(1) 自己充填性

充填モルタルは壁高欄と床版の目地部に充填可能な流動性を有し、わずかな目地部の間隙から漏出しない性能が求められる。本研究では本要求性能を自己充填性と設定し、実験によって実験要因の影響を評価する³⁾。

実験ケースを表-3に示す。自己充填性は漏斗試験⁴⁾およびフロー試験⁵⁾により評価した。練上り温度は環境温度と同じとなるように調整した。

実験方法を以下に示す。充填モルタルの練混ぜは高速ハンドミキサーで3分間攪拌し、直後に漏斗試験およびフロー試験を各2回行った。なお、時間が経過した後の試料については、両試験前に30秒間再攪拌を施すものと、施さない試料を用意し比較した。本稿では再攪拌の有効性の確認のため、再攪拌を施した結果のみ記述する。

実験結果およびその考察を以下に示す。環境温度の影響を示した実験結果を図-2に示す。図中の網掛けはフロー値の管理範囲の305±35mmを示しており、範囲内であれば自己充填性を満足するものとして評価した。

流下時間の値は、モルタルAおよびモルタルBともに練混ぜ水量が大きく、環境温度が高くなるほど、小さくなる傾向がある。フロー値では、モルタルAとモルタルBの特徴が現れ、微細な繊維分を含むモルタルBは小さくなる傾向がある。また、環境温度が20℃を基準として±10℃変化すると、フロー値は約5~20%変動する。

表-1 設計施工上の要求性能

項目	設定内容
自己充填性 (流動性)	幅 405mm, 高さ 15mm, 延長距離 4,040mm, 打上げ高さ 341mmの目地部を充填可能である。
材料分離抵抗性	打上げ高さ 341mmの範囲で鉛直方向に細骨材の分布が偏らない。
強度特性	壁高欄本体の圧縮強度 40N/mm ² と同等以上の強度が材齢7日で得られる。

表-2 施工条件に伴う変動要因

項目	設定内容
環境温度(℃)	現場の作業環境温度の変動
練混ぜ水量(kg/袋)	配合強度選定の問題
作業時間(hr)	現場の作業時間の変動
再攪拌の有無	現場の作業時間の変動による打継

表-3 自己充填性の確認実験 実験ケース

練混ぜ水量(kg/袋)	環境温度(℃)	経過時間(hr)	再攪拌	
モルタル A	10	0.0	有	
		0.5		
		1.0		
モルタル B	30	1.0		無
		2.0		
		2.0		

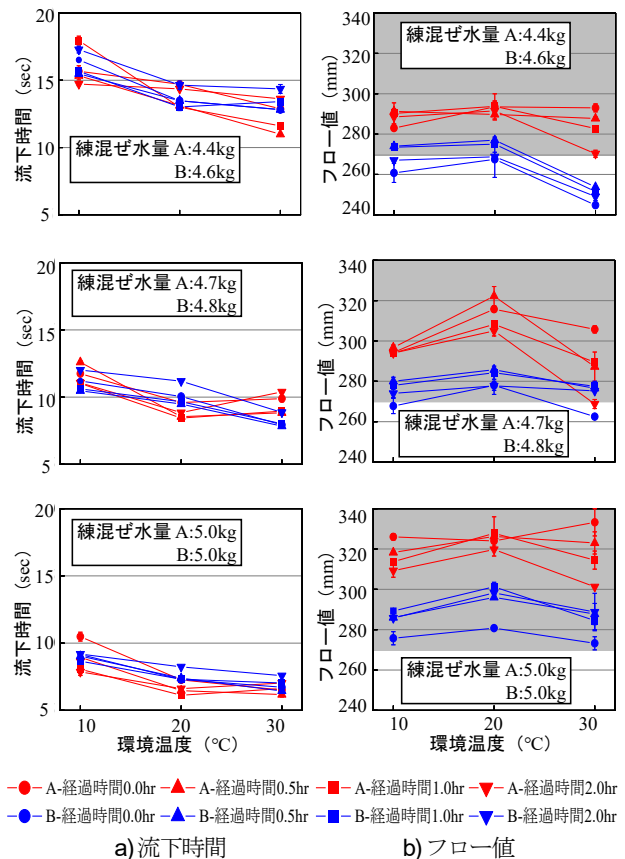


図-2 環境温度の影響

経過時間の影響を示した実験結果を図-3に示す。流下時間の値は、経過時間にかかわらず、ある程度一定の値となる傾向がある。これは、各経過時間の試験前に施した再攪拌の効果と考えられる。フロー値をみると、モルタル B では、練混ぜ水量が 4.6kg と小さい場合、30℃の環境では管理範囲を下回る。これは繊維混入などによって粘性が高まるためと考えられる。

自己充填性の確認実験から得られた特性を以下に示す。フロー値でみると、環境温度が 30℃程度と高く経過時間が長くなると、水分の蒸発およびモルタルの凝結が促進され、流動性は低下する傾向である。10℃程度と低くなると、流下時間でみると流動性が低下する傾向がみられた。また、経過時間が 2.0hr までは再攪拌の実施によって、充填に要する作業時間が変動した場合でも流動性を確保できる可能性が高いことがわかった。このことから、練混ぜ水量はモルタル A では 4.7kg~5.0kg に、モルタル B では 5.0kg 程度にする必要がある。このように、環境温度および経過時間を十分考慮し、漏斗試験、フロー試験の両試験によって流動性を確認し、練混ぜ水量を設定する必要がある。

(2) 材料分離抵抗性

本接合技術は、床版のアンカー筋が入るためのアンカーボルト孔が壁高欄側にあり、鉛直方向に 341mm の高さを充填モルタルで打ち上げる必要がある。充填モルタルは、水、セメント、細骨材、高炉スラグおよびポリエステル短繊維で構成され、各成分の密度は異なる。そのため、重力によって鉛直方向に均質な成分分布にならず、硬化後の強度発現に影響を及ぼす可能性がある。

よって、充填モルタルには打上げ高さ 341mm の範囲で、鉛直方向に成分の分布が偏らない性能が求められる。本研究では本要求性能を材料分離抵抗性と設定し、実験によって実験要因の影響を評価する。

実験ケースを表-4に示す。実施工時の目地部の打上げ高さが 341mm であることから、図-4に示す実形状を模擬した円筒容器(φ150mm, 高さ350mm)を用いて実験を行った。充填モルタルを構成する成分のうち、0.15mm の金属製ふるいを用いて残留した細骨材の絶乾状態の質量や粒径分布を骨材ふるい分け試験⁹⁾により確認することで、材料分離が発生しているか否かを評価した。1 回の試料量は圧縮試験用の円柱供試体型枠(φ50mm, 高さ100mm, 0.2ℓ)の一定容積とした。

実験方法を以下に示す。自己充填性の確認実験と同じく、最初の攪拌を3分間実施した。その後、ただちに標準試料を打設すると同時に、円筒容器にモルタルを充填し、30分間静置させた後、鉛直高さが 0~100mm, 100~210mm および 210~320mm の約 110mm 間隔で試料を採取した。試料は、円筒容器の鉛直高さが 0mm, 110mm,

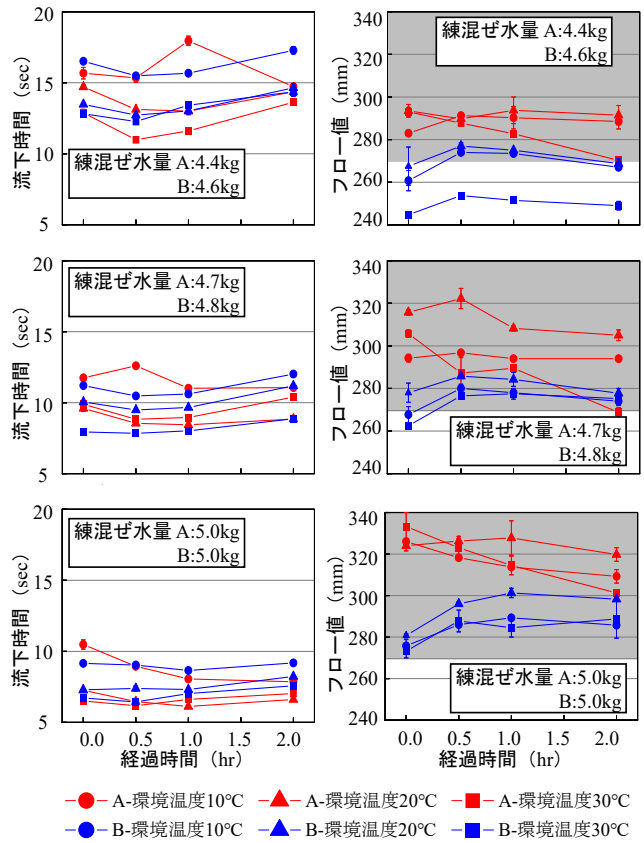


図-3 経過時間の影響

表-4 材料分離抵抗性の確認実験 実験ケース

練混ぜ水量(kg/袋)	下端からの鉛直高さ(mm)*	試料状態
モルタル A	4.4	標準試料
	4.7	
	5.0	
モルタル B	4.6	鉛直高さ別に採取した試料
	4.8	
	5.0	

*鉛直高さ別に採取した試料のみ設定した。

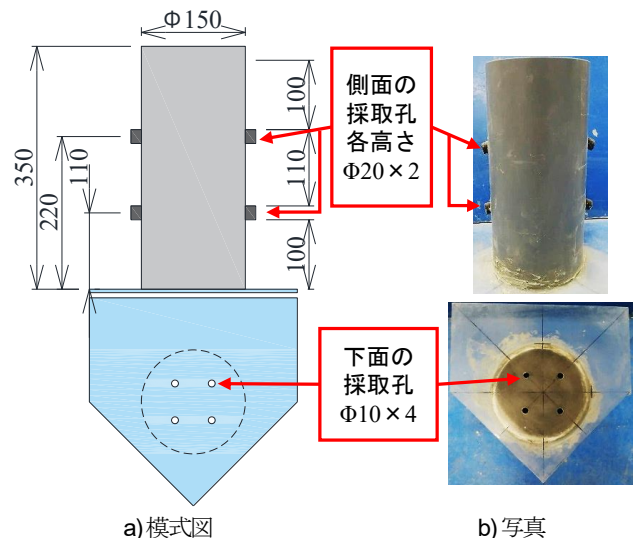


図-4 実形状を模擬した円筒容器

220mmの位置に設けた直径20mmの採取孔から採取し、一定容積(φ50mm, 高さ100mm)に取り分けた。採取した試料は、ふるいを用いてセメント等の微粉末を水洗いして0.15mm以上の粒子を抽出した。試料は100±3℃に設定した恒温送風機に3~4時間入れ、試料の質量が変動しなくなる絶乾状態まで乾燥させた。試料の質量(以下、絶乾砂質量と称す)を計測した。その後、骨材のふるい分け試験を金属製網ふるい(公称目開き: 2.5, 2.0, 1.18, 0.6, 0.3, 0.15mmの6種類)を用いて、振動機で1分間、人力でさらに1分間のふるい分けを実施した。環境温度は23±2℃とし、試行回数は3回とした。なお、同一のバッチの試料を用いた圧縮強度については、後述の(3)材料分離抵抗性と強度特性の関係に示す。これは、モルタルの構成成分の鉛直方向における変動が強度に及ぼす影響を評価するためである。

実験結果およびその考察を以下に示す。円筒容器から鉛直高さ別に採取した試料中の絶乾砂質量と鉛直高さの変動との関係を図-5に示す。モルタルBは、練混ぜ水量の全水準で鉛直高さの変動が絶乾砂質量に及ぼす影響は小さい。しかし、モルタルAは練混ぜ水量が大きいほど各鉛直高さの絶乾砂質量の差が大きくなり、鉛直高さが低いほど絶乾砂質量が大きくなる、材料分離の傾向が示された。これは、モルタルAはGmaxが2.5mmと大きいことと、流下時間が同程度のモルタルBに比べフロー値のみ大きく粘性が低い特性であることが原因と考えられる。

粒径加積曲線を図-6に示す。図の凡例は、300, 200, 100は下端からの鉛直高さ(mm)を示し、Nは標準試料を示す。モルタルAの通過質量百分率の差が最大となった条件は、練混ぜ水量5.0kg、鉛直高さ300~100mmの間において、粒径1.20mmに33%の差が生じた。このことから、モルタルAは練混ぜ水量が大きいと粒径の大きい細骨材が下方に沈降しやすく、相対的に粒径の小さい細骨材が上方に多く留まる傾向がある。モルタルBは、細骨材の90%以上が粒径d=0.15~0.3mmの粒子で構成されており、モルタルAと比較すると一部の粒径に偏った粒径分布である。そのため、鉛直高さや練混ぜ水量が変動しても粒径分布の変動が小さく、鉛直方向に材料分離が発生しにくい傾向があることがわかった。

材料分離抵抗性の確認実験から得られた特性を以下に示す。本実験では、充填モルタルの鉛直方向における材料分離の発生状況を、一定容積に含まれる絶乾砂質量と、その粒径分布をもとに評価した。モルタルAのような、細骨材の粒径分布が均等な充填モルタルを使用する場合、練混ぜ水量が大きいと鉛直方向に材料分離が発生している可能性が高くなる傾向がある。一方、モルタルBのように、細骨材の粒径分布が偏っている材料は材料分離が発生しにくいことがわかった。

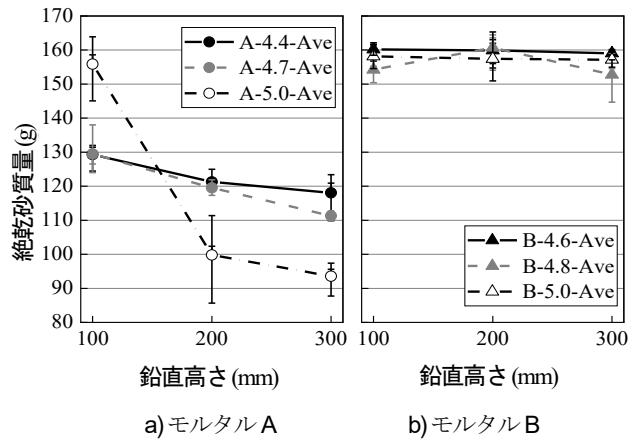


図-5 絶乾砂質量と鉛直高さの変動との関係

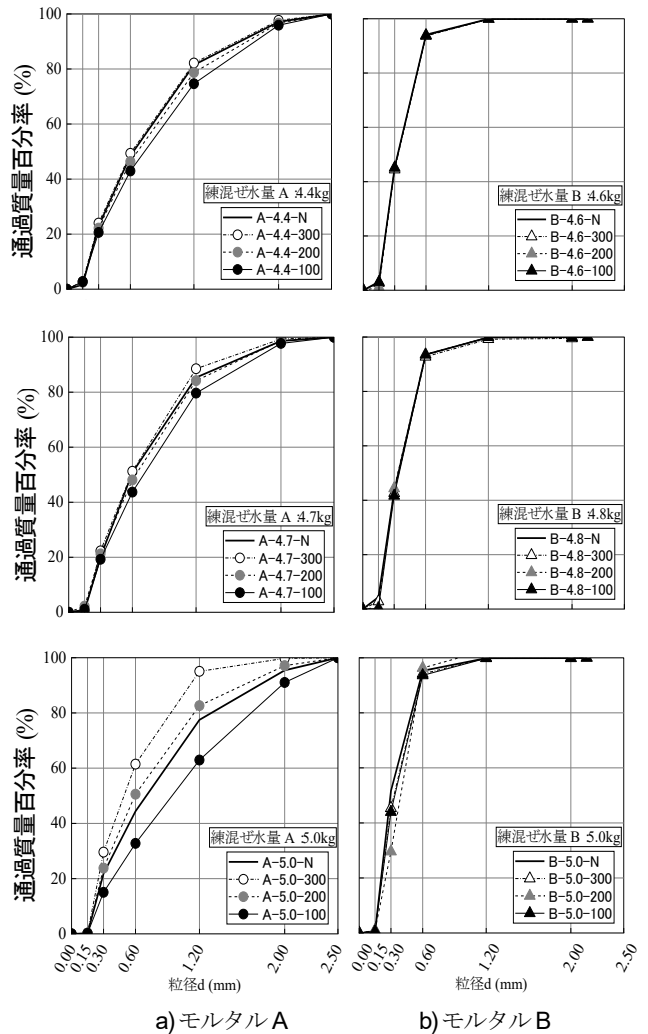


図-6 粒径加積曲線

(3) 材料分離抵抗性と強度特性の関係

充填モルタルは、壁高欄本体の圧縮強度40N/mm²と同等以上の強度が、材齢7日で要求される。これは、リニューアルの工期のうち、交通規制の期間を短縮するためである。よって、材齢7日という比較的短期間で目標強度40N/mm²以上を満足する必要がある。本研究では、本要求性能を強度特性と設定し、実験によって実験要因の

影響を評価する。なお、床版と壁高欄との接合部の剛性は、実車衝突実験⁷⁾によって十分であることは確認されている。よって、本項目では充填モルタル自体の圧縮強度に着眼し、その性能を確認する。また、前述の(2)材料分離抵抗性から、鉛直高さ 330mm の範囲で鉛直方向に均質な成分分布でない可能性が高いことがわかっているため、同一の試料を用いて硬化後に目標強度 40N/mm² を満足するかどうか、確認する。

実験ケースを表-5に示す。強度特性は、円柱供試体の圧縮強度試験⁸⁾によって確認した。試料の攪拌および採取方法は、前述の確認実験と同じとした。打設後は材齢 7、14 日まで封かん養生とし、試験日の 2 日前までに打設面の平面研磨を実施した。

実験結果および考察を以下に示す。まず、練混ぜ水量の変動と圧縮強度の関係(標準試料)を図-7に示す。図中のσ7は材齢7日強度、σ14は材齢14日強度を示す。モルタルAは、練混ぜ水量が大きくなると圧縮強度はσ7で9%、σ14で8%低下し、ばらつきがやや小さくなる傾向がある。モルタルBは、練混ぜ水量が増加すると、圧縮強度はσ7で18%、σ14で15%に低下する傾向があり、ばらつきは練混ぜ水量の全水準において小さい傾向にある。

次に、鉛直方向の成分分布の変動が強度に及ぼす影響を評価する。標準試料の実験結果から、両材料ともに材齢7日で目標強度 40N/mm² を満足することから、以降は材齢7日の強度のみについて述べる。一定容積のモルタルに含まれる絶乾砂質量と圧縮強度の関係を図-8に示す。

鉛直高さ別に採取した試料をみると、モルタルAは圧縮強度が増加するとき絶乾砂質量も増加しており、正の相関関係の傾向がみられる。モルタルBは、練混ぜ水量と鉛直高さの変動が絶乾砂質量および圧縮強度に及ぼす影響は小さい。ここで、鉛直高さ別に採取した試料について正の相関関係に近い傾向がみられたことから、積率相関係数を算出し評価した。絶乾砂質量と圧縮強度(材齢7日)の関係の相関データを図-8に示す。モルタルAをみると、明らかにデータ全体の傾向から外れた実験値(練混ぜ水量 5.0kg、鉛直高さ 100mm)を外れ値として除外し、評価した。絶乾砂質量とσ7(N/mm²)は、相関係数 $r=0.850$ と非常に強い正の相関関係がみられる。

このことから、モルタルAは絶乾砂質量と圧縮強度との間に強い正の相関関係があり、材料成分の変動が圧縮強度に影響を及ぼすことがわかった。一方、モルタルBは絶乾砂質量と圧縮強度σ7(N/mm²)との間に相関係数 $r=0.422$ と弱い正の相関関係がある。このことから、モルタルBは絶乾砂の質量と圧縮強度の間に強い相関関係はみられず、材料成分の変動が圧縮強度に及ぼす影響は小さいことがわかった。

表-5 材料分離抵抗性と強度特性の関係 実験ケース

練混ぜ水量 (kg/袋)	下端からの鉛直高さ (mm)*	材齢 (day)	試料状態	
モルタル A	4.4	100 (0~100)	標準試料	
	4.7			
	5.0			
モルタル B	4.6	200 (120~230)		鉛直高さ別に採取した試料
	4.8			
	5.0			

※鉛直高さ別に採取した試料のみ設定した。

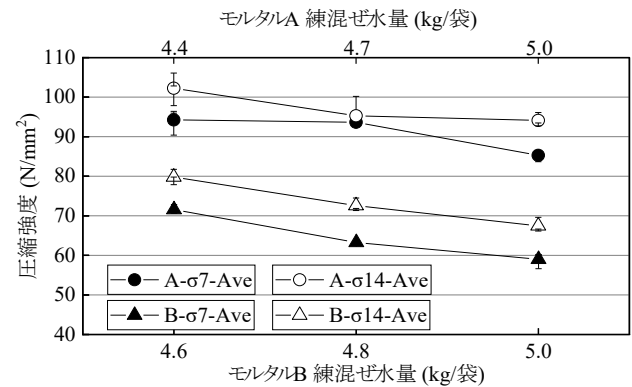
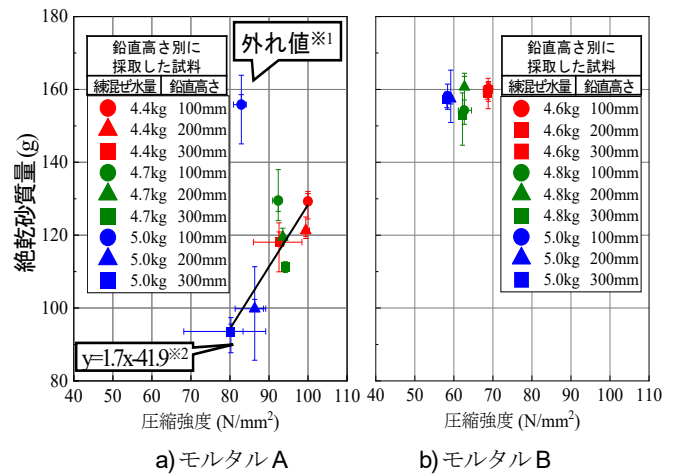


図-7 練混ぜ水量の変動と圧縮強度の関係



※1 モルタル A, 練混ぜ水量 5.0kg, 鉛直高さ 100mm

※2 外れ値を除いた近似式: $y = 1.7x - 41.9$

図-8 絶乾砂質量と圧縮強度σ7との関係

(4) 基本特性のまとめ

基本特性の確認実験から得られた、充填モルタルの基本特性を以下にまとめる。

- ① 自己充填性：環境温度が 30℃程度と高く経過時間が長くなると、水分の蒸発およびモルタルの凝結が促進され、流動性が低下する傾向があり、環境温度 10℃程度するとき、流下時間における流動性が

低くなる傾向があるため、環境温度を十分考慮して練混ぜ水量を設定する必要がある。一方、経過時間が 2.0hr までは再攪拌を施すことによって、一定の流動性を確保できる。

- ② 材料分離抵抗性：モルタル A のように、粒径分布が 0.15~2.00mm の範囲で均等な充填モルタルを使用する場合、練混ぜ水量が大きいと鉛直方向に材料分離が発生する可能性が高い。また、モルタル B のように粒径分布が偏った充填モルタルを使用する場合、練混ぜ水量が変動したとき鉛直方向に材料分離が発生しにくい可能性が高い。
- ③ 材料分離抵抗性と強度特性の関係：モルタル A は、材料の特性から目標強度の 40N/mm² を上回る傾向にあり、実験値の多少のばらつきが実施工時に及ぼす影響は小さい。一方、モルタル B は鉛直方向に材料分離が発生しづらい傾向であることもあり、練混ぜ水量および鉛直高さの変動が強度に及ぼす影響は小さい。また、絶乾砂質量が大きくなるほど強度が大きくなる正の相関関係にあり、この傾向は練混ぜ水量が大きくなるほど強い傾向がみられた。このことから、鉛直方向における充填モルタルの材料分離が、圧縮強度に影響を及ぼすものの、目標強度は満足することがわかった。

4. 現場適用性の確認実験

前述の基本特性をふまえ、現場環境を模擬した実規模実験によって、充填モルタルの現場適用性を評価する。

(1) 実験概要

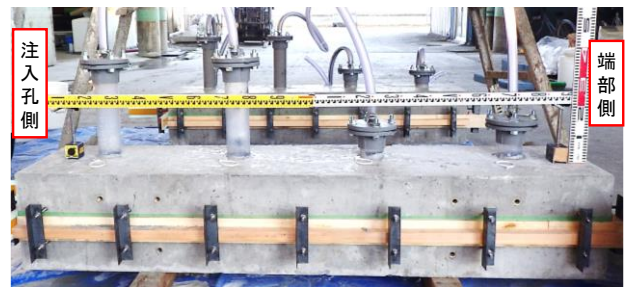
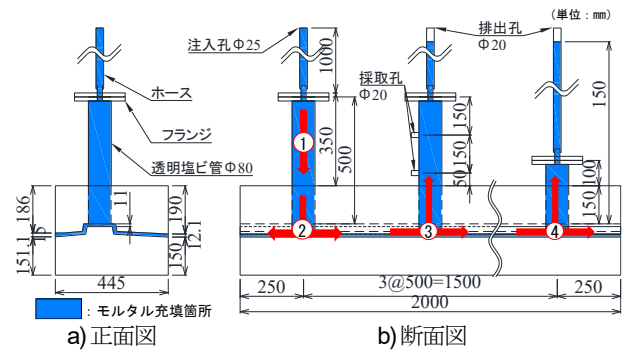
現場適用性の確認実験は、自己充填性の実規模実験⁹⁾、自己充填性の確認実験（漏斗試験およびフロー試験）、空気量試験および圧縮強度試験の 4 つの試験を、表-6 に示す実験ケースで行った。ここでは、とくに自己充填性に着目して評価した。なお、実験は屋外で実施し、環境温度およびフレッシュモルタルの材料温度は、充填開始前に測定した。各実験の概要について以下に述べる。自己充填性の実機での確認実験は図-9 に示すように、壁高欄を模擬した上部材（凹の形状）と、床版を模擬した下部材（凸の形状）との 2 種類で、両部材の目地部は 15mm（最小で 11mm）となるよう確保し、その側面には充填モルタルの漏出防止のため、木製の型枠を当てて固定した目地部の表面はすべて目粗し処理を施し、吸水防止剤を塗布した。これは、実施工時と同じ目地部の処理方法である。なお、上部材の左側（図-9-b）左）に設けた直径 80mm の穴に同径の高さ 350mm の円筒（塩ビ製）を接続し、さらに内径 25mm、長さ 1,000mm のホー

表-6 現場適用性の確認実験 実験ケース

練混ぜ水量 (kg/袋)	下端からの鉛直高さ (mm) ^{※1}	試料状態 ^{※2}
モルタル A	4.4 4.7 5.0	標準試料
	275 (200 ~ 350)	
モルタル B	4.6 4.8 5.0	鉛直高さ別に採取した試料
	125 (50 ~ 200)	

※1 鉛直高さ別に採取した試料のみ設定した。

※2 材料分離抵抗性と強度特性の関係のみ確認した。



c) 全体像

図-9 自己充填性の実規模実験 実験装置 (2m)

スを接続した。ホースの先端の注入孔から目地部までの鉛直高さ 150cm を水頭差として、充填モルタルを実験装置の目地部の鉛直方向の下方から注入し、右側の排出孔まで打上げて充填完了とした。打設面が十分に凝結しているのを確認後、下部材から上部材を取り外し、下部材の充填状況の平面写真を撮影した。写真から目地部全体における空気溜まりの面積率を計算し、自己充填性を評価した。現場環境での検討を要する条件として、基本特性で最も流動性が低い傾向の、環境温度 10℃以下の平均 6.6℃とした。ただし、実施工時の壁高欄の延長距離は 4m であるため、2m の実験で支障がないことを確認後、2 組の上・下部材を連結して 4m で実験を行った。

なお、モルタル A は 4m の距離が充填可能であることを実施工において確認している。よって、本実験ではモルタル B の練混ぜ水量の最小の水準 4.6kg で確認する。

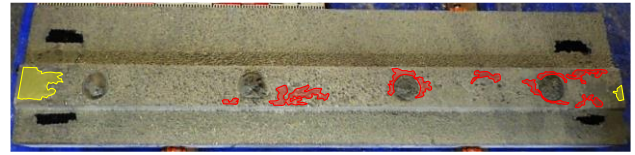
自己充填性の現場適用性の評価のため、実規模実験と同じ試料を用いてフロー試験と漏斗試験を行った。さらに、同じ試料を用いて空気量試験を行った。これは、充

充填モルタルの空気量の基本特性を把握したうえで、空気溜まりの発生状況を確認し、実規模実験における自己充填性の評価をするためである。なお、自己充填性の確認試験および空気量試験（無注水式）¹⁰⁾は、充填開始前のモルタルを用いて各2回ずつ実施した。

圧縮強度試験は、(3)材料分離抵抗性と強度特性の関係を確認するために行い、試験法も同じとした。標準試料は、充填開始前に試料を採取した。鉛直高さ別に採取した試料は、上部材上面からの鉛直高さが50mm、200mmの位置にある採取孔から試料を採取して供試体を作製した。本実験では材齢7日のみを対象とした。

実験方法を以下に示す。試料の攪拌および採取方法は、前述の基本特性の確認実験と同じとした。1回の実規模実験で1袋25kgのモルタルを2~3袋使用し、練混ぜは1袋ずつ行った。モルタルを供試体の目地部へ充填開始する前に、自己充填性の確認試験および空気量試験を実施した。あわせて、圧縮強度試験の標準試料を打設した。その後、ホースを含め目地部との水頭差が150cmの位置にある注入孔からモルタルを注入した。打継の際は、注入前に30秒間再攪拌を実施した。目地部からの水頭差40cmまで下方から充填されたことを確認した後、ホースを固く結んで閉塞させた。充填完了から30分経過後、圧縮強度試験の鉛直高さ別に採取した試料を採取し、円柱供試体の型枠に打設した。充填完了からさらに6~7時間経過後、モルタルが凝結し十分に流動性を失ったことを確認した後、油圧ジャッキとクレーンを用いて下部材から上部材を取り外した。下部材の真上からモルタルの充填状況を撮影した。実験終了後は上・下部材に固着したモルタルを高圧洗浄機によって洗い流し、自然乾燥させた。次の実験開始前に、目粗し面に再度吸水防止剤を塗布した。試験回数は1回とした。

充填モルタルの空気溜まりの分析および自己充填性の評価方法について述べる。写真-1に空気溜まりの評価区分を示す。図中に黄色で示した両端部の空気溜まりは、実施工時は空気抜きの処理を両端部に施すため、発生しにくい。よって、充填モルタルの自己充填性の評価には影響しないものとし、評価の参考値とした。一方、図中に赤色で示した中央部の空気溜まりは、両端部に接しておらず、空気抜きできないものである。これは、充填モルタルと壁高欄の一体化を妨げ、上部工全体の剛性を低減させる可能性が高い。よって、中央部の空気溜まりは、充填モルタルの自己充填性の評価の指標とする。区分したモルタルの空気溜まりの各面積は、下部材の平面写真から面積計算ソフトを用いて算出した¹⁰⁾。その後、空気溜まりの面積を目地部全体（寸法：幅445mm、延長距離2,000mm）の平面面積で除して空気溜まりの面積率（%）とし、自己充填性を評価した。

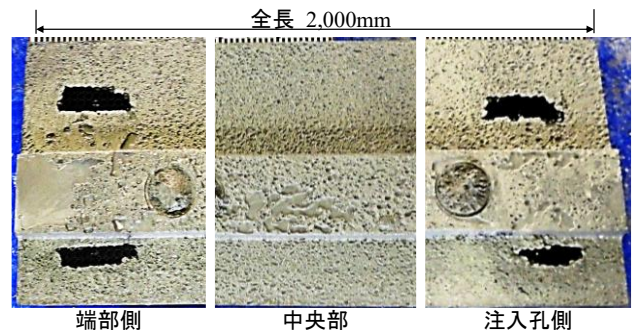


(実験条件：モルタルA 練混ぜ水量5.0kg)

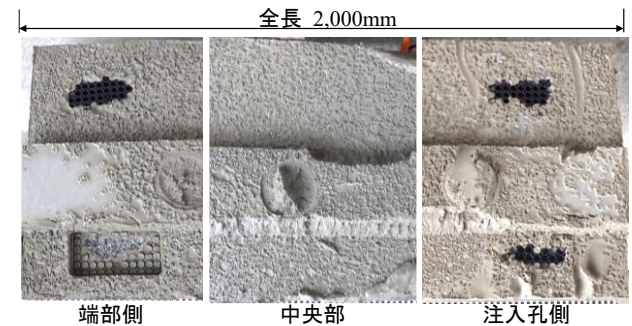
写真-1 充填モルタルの空気溜まりの評価区分

表-7 実規模実験における各実験の結果

	練混ぜ水量 (kg/袋)	流下時間 (sec)	フロー値 (mm)	空気量 (%)	空気溜まりの面積率	
					中央部(%)	両端部(%)
モルタルA	4.4	18	315	1.9	0.1	1.1
	4.7	15	333	1.2	0.3	3.7
	5.0	14	333	0.7	2.7	1.6
モルタルB	4.6	18	275	2.2	0.0	0.8
	4.8	14	289	2.0	0.2	3.9
	5.0	12	294	2.1	0.2	3.3



a) 実験条件：モルタルA 練混ぜ水量5.0kg



b) 実験条件：モルタルB 練混ぜ水量5.0kg

写真-2 充填モルタルの空気溜まりの発生状況

(2) 実験結果および考察

実験結果を表-7に、空気溜まりの発生状況を写真-2に示す。流下時間とフロー値をみると、両材料ともに、練混ぜ水量が大きいとき流動性は大きくなる傾向である。各試験値をみると、同程度の練混ぜ水量のとき両材料間の流下時間の差は小さいのに対し、フロー値はモルタルAの方が大きい傾向である。

空気量をみると、モルタルAは練混ぜ水量が大きくなると空気量が1.0%低下する傾向がある。これは、モルタルAは流動性が高く、粘性が低いことから、モルタル

中のエアが抜けやすいことが原因と考えられる。一方で、モルタルBは練混ぜ水量が変動したとき、2.0%程度に収まっている。これは、モルタルBは練混ぜ水量が増加しても流動性が低く粘性が高いことから、モルタル中のエアが抜けにくいことが原因と考えられる。

空気溜まりの面積率をみると、まず、中央部および両端部を合計した空気溜まりの総面積率は、両材料の練混ぜ水量の最小水準（モルタル A：4.4kg，モルタル B：4.6kg）では 1%程度で、中水準から最大水準（モルタル A：4.7～5.0kg，モルタル B：4.8～5.0kg）では4.0%程度と急増している。これは、本実験では水頭差を利用して充填しており、練混ぜ水量が小さく充填モルタルの密度が大きいほど、充填時の圧力は大きくなると考えられる。

さらに、この内訳をみると、モルタルAの練混ぜ水量 5.0kg のときのみ、空気溜まりは両端部が減少し中央部が増加している。両材料ともに他の条件では両端部の空気溜まりのみ増加している。これは、図-10 に示すように、流下時間が 15sec 以下、かつフロー値が 300mm 以上と流動性が高い場合、モルタルの粘性が非常に低いためコンクリートの目粗し面とモルタルとの接触する角度が小さくなり空気が残りやすいと考えられる。他の条件では、粘性が高いためコンクリートの目粗し面とモルタルとの接触する角度が大きくなり、空気が残りにくいと考えられる。

さらに、モルタル A の練混ぜ水量 5.0kg の条件は、前述の基本特性の確認実験においても、材料分離抵抗性が低下する傾向を示しており、本実験時においても他の条件よりも充填モルタルの表面に水分が多くみられたことから、材料分離が発生している可能性が高い。よって、充填時の圧力を調節しても、壁高欄との接触面に水分が多くなることから、充填モルタルとしての要求性能を満たすとは言いがたい。

また、2 組の上・下部材を連結した 4m の実験装置を用いて、自己充填性の確認実験を、モルタル B の練混ぜ水量の最下限の条件である、4.6kg で行った。その結果を、写真-3に示す。これをみると、写真右から順に、注入孔側、連結部分、注入孔から 4m 先の端部側まで、大きな空気溜まりの発生はみられない。よって、比較的粘性の高いモルタル B の練混ぜ水量の最小水準においても、実施工時と同じ延長距離 4m の目地部を充填可能であることが確認できた。

最後に、圧縮強度試験の結果を変動要因別に図-11 に示す。モルタル A の鉛直高さ 200～350mm のとき、強度に変動がみられる。しかしながら、両材料において、材齢 7 日で目標強度 40N/mm² を満足することを確認できた。

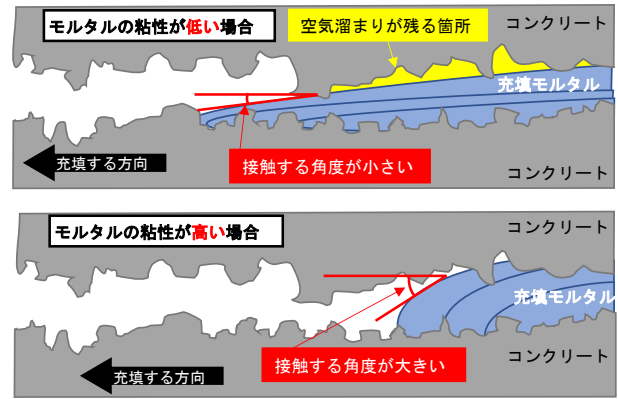


図-10 モルタル充填時の模式図

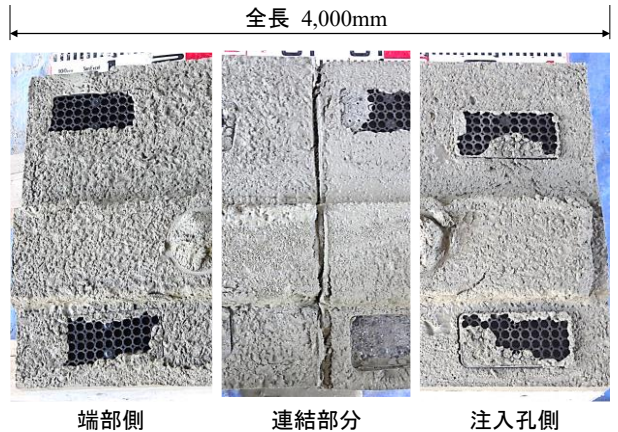


写真-3 自己充填性の実規模確認実験

(4m の充填状況の拡大図)

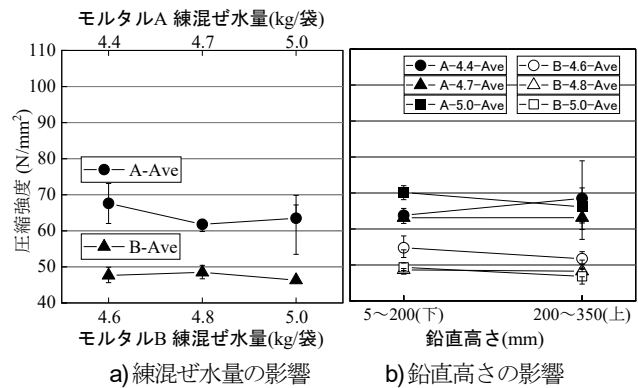


図-11 圧縮強度と変動要因との関係

(3) 現場適用性のまとめ (留意事項の提案)

現場適用性の確認実験から得られた知見を基に、壁高欄用充填モルタルの実施工時の留意事項を以下にまとめる。

- ① 自己充填性：モルタル A のような流動性が非常に高い充填モルタルは、練混ぜ水量が大きいと粘性が低下し、目粗し面との接触する角度が小さくなり空気が残りやすくなるため、壁高欄との付着面積が減少する。同時に、充填後のモルタル上面の全体に水分が移動するため、さらに付着面積は減少する。対策として、充填開始前に流動性試験の結果が適正であるかを確認する。

- ② 材料分離抵抗性と強度特性の関係：下方から充填した場合、鉛直高さの変動は圧縮強度に多少影響しても、目標強度は満足する。ただし、練混ぜ水量の大きい水準は留意する必要がある。

5. おわりに

本実験の結果から、壁高欄用充填モルタルの基本特性および現場適用性について評価することができた。以下に本研究で得られた結論を示す。

- ① 現場の環境温度が 30℃程度と高くなると、水分の蒸発およびモルタルの凝結が促進され、流動性が低下する傾向があるため、環境温度を考慮して練混ぜ水量を調節する。
- ② モルタルの打継の際は、経過時間が 2.0hr までは再攪拌を施すことにより、流動性が確保できる可能性が高い。
- ③ モルタルに配合された細骨材の粒径分布によっては、鉛直方向に材料分離が発生する可能性が高いため、粒径分布の偏った細骨材が配合された材料を使用することが望ましい。練混ぜ水量、鉛直高さ、再攪拌の有無および材齢が変動したとき、全条件でおおむね目標強度 40N/mm² を満足することから、細骨材の材料分離が発生していても強度に与える影響は小さい。しかし、練混ぜ水量が大きいと強度のばらつきが大きい可能性がある。
- ④ 流動性試験の結果が自己充填性に影響するため、実施工時に充填モルタルを充填する際に、充填開始前の試験結果が適正であるかを確認する。

本稿は、壁高欄用充填モルタルの基本特性と現場適用性を評価し、実施工時の留意事項を提案したものである。今後は、材料分離抵抗性と自己充填性との関係性の確認と、実施工時の充填状況の確認を行う。

謝辞：本研究は第一筆者が金沢工業大学および同大学大学院に在籍中の研究成果である。研究ならびに各実験の遂行には、多くの学生にご助力いただいた。ここに感謝を申し上げる。

REFERENCES

- 1) 土木学会：2020 インフラ健康診断書（道路部門），p. 10, 2020. [Japan Society of Civil Engineers: *Japan's Infrastructure Grades 2020 & Introduction of Maintenance Technologies*, p. 14, 2021.]
- 2) 国土交通省 道路局：道路メンテナンス年報（平成 30 年度・一巡目），p. 60, 2019.
- 3) 武藤あかね，三岡善平，煙山史，林承燦，木村定雄：壁高欄用充填モルタルの温度変化および経過時間がフレッシュ性状に及ぼす影響，土木学会第 76 回年次学術講演会概要集，VI-224，2021. [Muto, A., Mioka, Z., Kemuriyama, T., Lim, S. and Kimura, S.: Effect of temperature change and elapsed time of filling mortar for wall balustrade on fresh properties, *Proceedings of the 76th Annual Conference of the Japan Society of Civil Engineers*, VI-224, 2021.]
- 4) JSCE-F 541-2013：充填モルタルの流動性試験方法 [JSCE-F 541-2013：Test method for flowability of filling mortar]
- 5) JASS 15 M-103：セルフレベリング材の品質基準
- 6) JIS A 1102：骨材のふるい分け試験方法 [JIS A 1102：Method of test for sieve analysis of aggregates]
- 7) 日本道路協会：防護柵の設置基準・同解説 ボラードの設置基準，p. 111, 2021.
- 8) JSCE-G 505-2018：円柱供試体を用いたモルタルまたはセメントペーストの圧縮強度試験方法（案）[JIS A 1102：Test method for compressive strength of mortar and cement paste using cylindrical specimens]
- 9) 武藤あかね，三岡善平，煙山史，林承燦，木村定雄：壁高欄用充填モルタルの流動性・材料分離抵抗性・充填性の評価，土木学会第 77 回年次学術講演会概要集，CS19-07，2022. [Muto, A., Mioka, Z., Kemuriyama, T., Lim, S. and Kimura, S.: Evaluation of fluidity, material separation resistance, and fillability of filling mortar for wall balustrade, *Proceedings of the 77th Annual Conference of the Japan Society of Civil Engineers*, CS19-07, 2022.]
- 10) JIS A 1128-2019：フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法—空気室圧力方法 [JIS A 1128-2019: Method of test for air content of fresh concrete by pressure method]
- 11) !0_0! Excel「長さ・面積測定」（参照日：2023.1）
<https://www.vector.co.jp/soft/win95/art/se312811.html>

(Received September 30, 2022)

(Accepted January 6, 2023)

EVALUATION OF THE CHARACTERISTICS OF FILLING MORTAR FOR
CONCRETE BARRIER
- EFFECT OF ENVIRONMENTAL TEMPERATURE AND CONSTRUCTION
METHOD ON SELF-FILLING PERFORMANCE -

Akane MUTO, Zempei MIOKA, Lim SEUNG-CHAN
and Sadao KIMURA

According to the 2020 Japan Society of Civil Engineers Infrastructure Health Examination, about 10% of road bridges nationwide require early or urgent measures. In addition, the percentage of bridges passing 50 years since construction is expected to increase rapidly from about 27% in 2019 to about 52% in 2029, 10 years later. In recent years, as an efficient renewal technology for bridge superstructures, girder replacement methods that join precast floor slabs and concrete barriers have been developed. The authors have confirmed that their filler material (non-shrink grout) for the joints that join the floor slabs and concrete barriers satisfies the required performance in a 20°C environment. However, the characteristics when subjected to variations in the field environment have not been elucidated. In this paper, the basic characteristics were determined by indoor experiments, and the field applicability was determined by experiments simulating the field environment. Conclusively, we confirmed the characteristics of the filling mortar for the concrete barrier and formed a recommendation for the specification conditions for actual construction.