

薄肉断面への充填を可能とした高耐久性モルタル 「スリムフローグラウト™」の開発と適用

西澤 彩 川西 貴士 武田 篤史
石関 嘉一 平田 隆祥

Development of Highly Durable Mortar “Slim Flow Grout” that can be Filled to Thin Section and its Case Study

Aya Nishizawa Takashi Kawanishi Atsushi Takeda
Yoshikazu Ishizeki Takayoshi Hirata

Abstract

The underside of a pier is often degraded owing to salt damage and is difficult to manage. Furthermore, it is necessary to repair the deteriorated part before using the pier since it is an important distribution base. Therefore, we developed a highly durable mortar: "Slim Flow Grout". This is characterized by the fact that it can be filled by pumping from below into the narrow cover on the lower surface. In this study, we conducted a pumping experiment to demonstrate filling on the underside of the floor slab that uses a mortar. The filling property and high adhesion to the existing concrete were confirmed. In addition, it could be applied to the repair work of the pier, and the prescribed quality could be ensured.

概要

港湾構造物は、塩害による劣化が生じやすい。特に、栈橋の下面は維持管理が困難な部位であるため、耐久性の高い補修材料が求められる。加えて、栈橋は重要な物流拠点である場合が多く、構造物を供用しながら、劣化部を改修することが求められる。そこで、薄肉断面への圧送充填を可能とした高耐久性モルタル「スリムフローグラウト™」を開発し、栈橋上面を供用しながら栈橋下面のかぶり部に本モルタルを充填することで、構造物の高耐久化を可能にした。耐久性が高い材料を用いることで、かぶり厚さを低減できるが、狭隘なかぶり部に下面から圧入充填する場合は、閉塞や未充填が生じるリスクがある。本論文では、高耐久性モルタルを用いた圧送実験および床版下面への圧入充填実験により、その圧送性および充填性を検証し、既設コンクリートとの高い付着性を確認した。さらに、海上栈橋下面の改修工事に本技術を適用し、所定の品質を確保できることを確認した。

1. はじめに

港湾構造物は、海洋の塩分が浸透して鋼材腐食が生じやすく、鋼材の腐食膨張圧によりかぶりコンクリートのひび割れや剥落が生じる事例が多い(Photo 1)。そのため、構造物内部への塩分の浸透を抑制することが重要である。特に、栈橋下面の床版や梁の劣化部は、維持管理が困難な部位であり、ライフサイクルコストを低減するために、耐久性の高い補修材料が求められる。加えて、栈橋等の港湾構造物は、重要な物流拠点である場合が多く、栈橋上面を供用しながら、改修工事を行うことが求められる。そこで、薄肉断面への圧送充填を可能とした高耐久性モルタル「スリムフローグラウト™」を開発し、栈橋上面を供用しながら栈橋下面のかぶり部に本モルタルを充填することで、構造物の高耐久化を可能にした。

一般に、栈橋を供用しながら栈橋の床版および梁の下面を補修する場合の工法として、左官工法、吹付け工法および充填工法が挙げられる。左官工法は、短期間に広範囲の補修を行うことは困難である。また吹付け工法は、

リバウンドが発生するため、飛散防止の養生のコストが増大する。一方、圧送による充填工法は、短期間に広範囲の補修が可能であり、材料のリバウンドが生じない。しかし、補修材料のブリーディングや空気泡が既設床版との界面に滞留することにより、未充填部の発生および既設コンクリートとの付着性の低下が懸念される。

また、補修材料には、塩害に対する耐久性の向上を目



Photo 1 栈橋下面の塩害による劣化の例
Example of Salt Damage on the Underside of the Pier

的として、超高強度のセメント系材料の採用が増加している。これは、耐久性が高い超高強度の補修材料を用いることで、ライフサイクルコストの低減や補修箇所のかぶり厚さの低減が可能になることによる。しかし、超高強度の材料は、水粉体比が極めて小さく粘性が高いため、圧送負荷の増大や、狭隘な薄肉断面に充填する場合に、閉塞や未充填が生じるリスクがある。

そのため、薄肉断面への圧入充填による栈橋下面の補修においては、補修材料の塩害に対する耐久性、圧送性、充填性および既設コンクリートとの付着性の検討が必要であった。本論文では、スリムフローグラウトの開発にあたり、本モルタルの品質および耐久性を確認した。次に、圧送実験および実構造物を模擬した床版下面への圧入充填実験を行い、その圧送性、充填性および既設コンクリートとの付着性を検証した。さらに、供用中の海上栈橋の改修工事に、本技術を適用した結果を述べる。

2. スリムフローグラウトの品質

2.1 使用材料および配合

スリムフローグラウトは、大林組保有技術の「スリムクリート®」を改良し、狭隘部への充填性をさらに高めた高耐久性モルタルである。スリムクリートは、耐久性が高く、高い圧縮強度および引張強度を有する超高強度繊維補強コンクリート(Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete, 以下UFCと称す)であり、鋼繊維を混入する。一方、スリムフローグラウトは、かぶり部の補修に使用するため、引張強度を付与する必要がない。そのため、鋼繊維を混入しないこととした。繊維無添加の場合、外力などによりひび割れが生じた際に、破片が剥落する危険があるため、剥落防止やひび割れ抵抗性の向上を目的として、ナイロン繊維を混入した。

本モルタルの配合をTable 1に示す。粉体には専用プレミックス粉体を使用し、水粉体比は12.6%とした。流動性の向上および収縮低減を目的に、高性能減水剤および収縮低減剤を添加した。

2.2 スリムフローグラウトの物性

本モルタルの品質管理項目をTable 2に示す。フレッシュモルタルの品質のうち、フロー試験の状況をPhoto 2に示す。高い充填性を得るために、フローの管理値は290±30mmとした。

室内にて、同一配合で59バッチから採取した円柱供試体φ50×100mmの圧縮強度(標準養生, 28日材齢)のヒストグラムをFig. 1に示す。1バッチから圧縮強度試験体を3本採取し、3本の平均圧縮強度を個数1とする。母数59個の平均圧縮強度は184N/mm²、標準偏差は10.8N/mm²であった。正規分布を仮定し、下限側危険率5%となる値は166N/mm²であった。安全側に考慮して、圧縮強度の特性値は、UFCの指針²⁾と同様に150N/mm²と設定した。

空気量は圧縮強度の品質を確保するため、品質管理値

Table 1 配合
Mortar Mix Proportion

水粉体比 (%)	単体量 (kg/m ³)			混和剤添加量 (kg/m ³)		繊維添加率 (vol. %)
	W	P	S	SR	SP	NF
W/P	水	専用プレミックス粉体	細骨材	収縮低減剤	高性能減水剤	ナイロン繊維
12.6	230	1830	331	20	22	0.3

Table 2 品質管理項目
Quality Control Items of the Mortar

フレッシュモルタルの品質管理項目			硬化モルタルの品質管理項目
フロー (0打)	空気量	練上がり温度	圧縮強度 (標準養生 材齢28日)
JIS R 5201	JIS A 1128	JIS A 1156	JIS A 1108
290±30mm	3.5%以下	10℃以上	150N/mm ² 以上

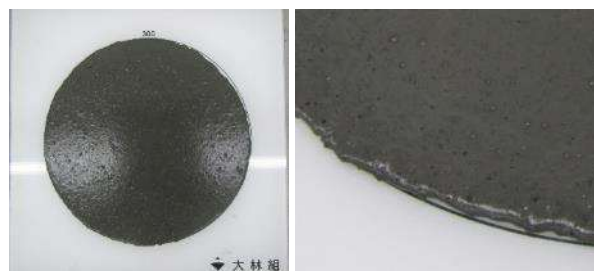


Photo 2 フロー試験の状況
Flow Test Status

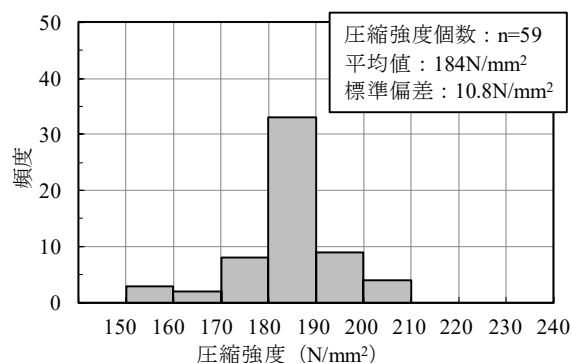


Fig. 1 圧縮強度のヒストグラム
Compression Strength Histogram

を3.5%以下とした。

2.3 塩害および中性化に対する耐久性

塩化物イオンの浸透に対する耐久性を評価するため、JSCE-G572-2010「浸せきによるコンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験方法(案)」に準拠して、EPMA(Electron Probe Micro Analyzer, 電子線マイクロアナライザ)法により塩化物イオン濃度分布を測定した。

本モルタルの硬化物を、海中の塩化物イオン濃度の約3倍に相当する濃度10%の塩化ナトリウム溶液に、20℃の室内で1年間浸せきした。浸せき後、20×20×10mm程度の大きさに整形し、塩化物イオン浸透面を上面にして5×5mmの範囲をEPMA法により測定した。

見かけの拡散係数は、試験体表面からの深さ方向の距離と塩化物イオン濃度の関係から最小二乗法により当てはめた拡散方程式の回帰式³⁾より算出した。

Fig. 2(左)に、EPMA分析マッピングを示す。塩化物イオンの浸透範囲は約0.6mmであり、塩化物イオンは、ごく表層部にとどまっていることがわかる。見かけの拡散係数は、0.0009cm²/年であり、著しく小さい。

また、大気中のCO₂による中性化に対する耐久性を評価するため、JIS A 1153-2012「コンクリートの促進中性化試験方法」に準拠し、CO₂濃度5%の温度20℃湿度60%の室内で1年間の促進試験を行った。促進期間1年において、Fig. 2(右)に示すように、中性化している領域は認められなかった。

よって、本モルタルの塩害および中性化に対する耐久性は、スリムクリートの技術評価報告書⁴⁾に示す耐久性と同等に著しく高いことを確認した。

3. 圧送性

補修工事においては、吐出量が小さく省スペースの小型のポンプや、機動性向上のため配管径の小さい圧送システムが求められる場合が多い。水粉体比が極めて小さい材料は、粘性が高いため、圧送負荷が増大する。コンクリートのポンプ施工指針⁵⁾では、圧縮強度が120N/mm²程度、水粉体比が20%までのコンクリートに関する記述は多く認められる。しかし、さらに高強度で低水粉体比のコンクリートを用いた、吐出量10m³/h以下の小規模圧送に関する実験報告は少ない。そのため、超高強度の本モルタルを圧送するにあたり、管内圧力損失と吐出量の関係を求める必要があった。

そこで、小型の圧送システムを考慮して、スクイーズ式ポンプによる圧送実験を行い、ホース径や圧送距離の違いが、管内圧力および吐出量に与える影響を検討した。

3.1 圧送実験の概要

圧送実験の概要をFig. 3に、使用機材の概要をTable 3に示す。まず、ホース径が小さい40A(41.6mm)の耐圧ホースを用いて、吐出圧力を1.7~2.4MPaの4段階に変化させ、圧送距離10mの場合の吐出圧力と吐出量を測定した。

次に、吐出圧力に対する吐出量を増加させるため、ホース径50A(52.9mm)の耐圧ホースを用いて、圧送距離を20、40、および50mの3水準に変化させた。ポンプの吐出圧力を1.5MPaおよび1.8 MPaの2水準として、管内圧力と吐出量を測定した。管内圧力は、フラッシュダイアフラム型圧力計を所定の位置に設置し、動ひずみ計を用いて測定した。時間当たりの吐出量は、3Lのモルタルが排出さ

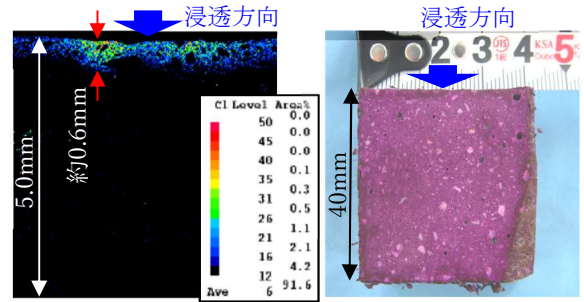


Fig. 2 塩分浸漬試験によるEPMA分析マッピング (左)および中性化促進試験結果(右)

EPMA Analysis Mapping by Salt Immersion Test (Left) and Accelerated Carbonation Test (Right)

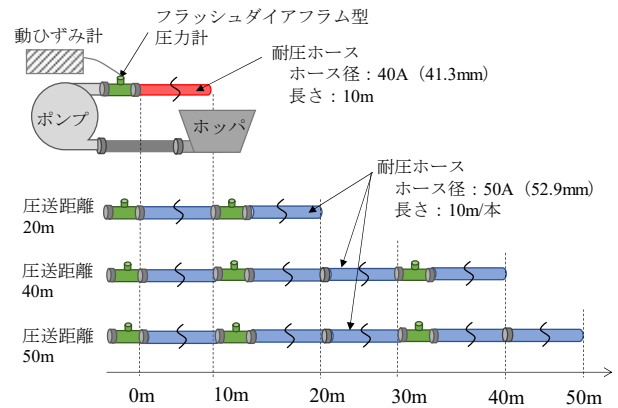


Fig. 3 圧送実験の概要
Schematic Diagram of Pumping Experiment

Table 3 圧送実験の使用機材の概要
Equipment used for Pumping Experiment

モルタルポンプ	スクイーズ式ポンプ (最大吐出圧力: 2.5MPa, 吐出量: 最小50L/min, 最大100L/min)
ホッパー	スクリュー式ホッパー
モルタルホース	耐圧ホース (内径40A(41.3mm), 長さ10m) 耐圧ホース (内径50A(52.9mm), 長さ10m/本)
圧力計	フラッシュダイアフラム型圧力計 (最大圧力5MPa)

れる時間を3回測定し、その平均で算出した。その結果から、圧送距離と管内圧力の関係および、ホース径の違いによる吐出量と管内圧力損失の影響を整理した。

3.2 圧送実験の結果と考察

3.2.1 圧送距離と管内圧力の関係 ホース径50Aにおける圧送距離と管内圧力の関係をFig. 4に示す。圧送距離の増加に伴い、吐出量が大きくなった。ポンプ吐出口圧力を1.8MPaとし、圧送距離が50mの場合、吐出量を0.5m³/h程度確保できることが分かった。また、圧送距離によるものの、ポンプ吐出圧力を1.5MPaから1.8 MPaに増加すると、吐出量は15~30%程度多くなった。吐出圧力がさらに高いポンプを用いることで、吐出量を増加で

ることが分かった。

また、圧送距離を変化させても、圧送距離が10mまでに管内圧力が大幅に低下した。これは、圧送に耐圧ゴムホースを使用したため、管内圧力がポンプ付近で耐圧ゴムに吸収されたことが考えられる。ポンプ吐出口付近の配管を、耐圧ホースではなく、圧力が吸収されない鋼管を用いることで、同じ吐出圧力において、さらに吐出量を増大できると考えられる。

3.2.2 ホース径の違いによる吐出量と管内圧力損失の関係への影響 ホース径40Aおよび50Aの場合の、吐出量と管内圧力損失の関係をFig. 5に示す。管内圧力損失は、各実験での吐出圧力を圧送距離で除して算出した。

ホース径40Aおよび50Aともに、吐出量と管内圧力損失は概ね線形関係を示した。ホース径を1.25倍にすると、管内圧力損失は約5分の1に小さくなり、吐出量の増大に対する管内圧力損失の増分も小さくなった。配管の内径を大きくすることで、吐出量の増大および長距離の圧送が可能になる。

4. 充填性および付着性

2.3節より、本モルタルは、塩分の浸透に対して著しく高い耐久性を有することが認められた。そのため、塩害に対する耐久性を確保するためのかぶり厚さを低減できる。塩害に対する耐久性および薄肉断面への充填性を考慮して、本モルタルを用いた補修の断面厚さは30mmに設定した。しかし、下面から圧入して本モルタルを広範囲に充填させる場合、圧送負荷の増大や未充填部の発生が懸念された。また既設コンクリートとの界面に、空気泡が滞留することにより、既設コンクリートとの付着性が確保できない懸念があった。

そこで、断面厚さ30mmの狭隙部に、本モルタルを下面から圧入充填し、その充填性および既設コンクリートとの付着性を検討した。

4.1 圧入充填実験の概要

圧入充填実験の概要図をFig. 6に示す。既設のコンクリート床版を模擬した試験体の下面を、実施工と同様にチップングにより10mm程度の凹凸で目粗しし、吸水調整剤を塗布した。床版下面のチップング面から30mmの位置に幅1.2m、長さ4.5mの亚克力型枠を設置した。下面型枠の中心に圧入孔を設け、下面型枠の四隅に空気抜き孔としてグラウトホースを設置した。

本モルタルの圧入は、3章と同じスクイーズ式ポンプ(最大吐出圧力2.5MPa)を用いて行った。圧送は、ホース径が50A(52.9mm)で長さ10mの耐圧ホースを用いた。断面厚さ30mmの狭隙部に充填するため、圧入孔に高い圧力でモルタルを充填すると型枠が変形する恐れがあった。そこで、圧入孔手前の管内圧力が約0.1MPaとなるよう、ポンプ吐出圧力を調整し、約0.7MPaとした。

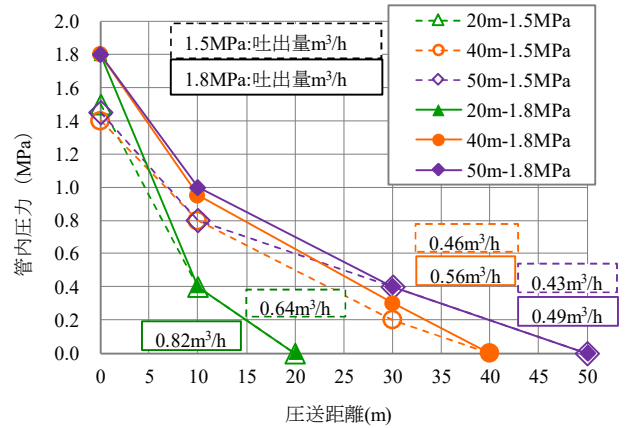


Fig. 4 圧送距離と管内圧力の関係
Relationship between Pumping Distance and Pipe Pressure

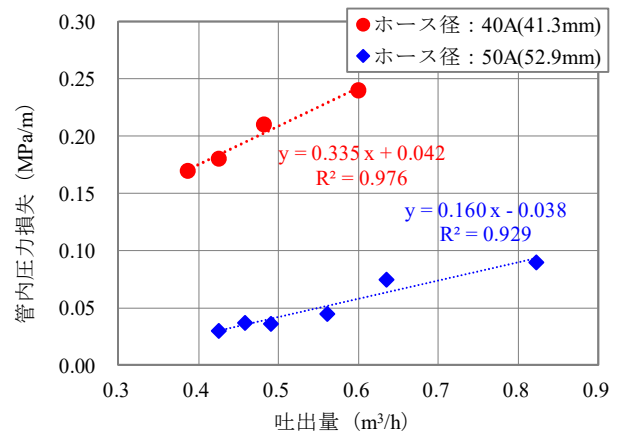


Fig. 5 吐出量と管内圧力損失の関係
Relationship between Discharge Rate and Pressure Loss in Pipe

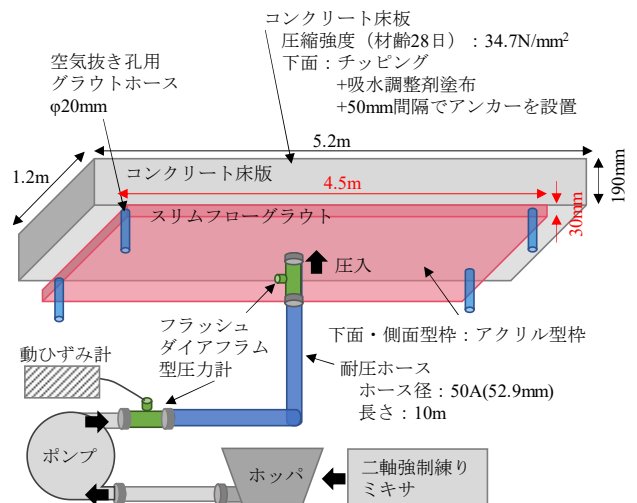


Fig. 6 圧入充填実験の概要図
Schematic Diagram of Press-fit Filling Experiment

4.2 圧入充填実験の結果および考察

4.2.1 圧入充填状況 側面型枠内のスリムフローグラウトの充填状況をPhoto 3に示す。側面および下面の亚克力型枠から目視確認したところ、圧入孔から両側に均等に流動しており、 $4.5 \times 1.2 \text{m} \times$ 厚さ 30mmの狭隘部に、管内圧力が大きく変動することなく圧入充填ができた。本モルタルが床版コンクリートに接した点から、流動する本モルタルの先端までの距離は約600mmであり、流動勾配は5%であった。圧入開始から30分後に、四隅すべての空気抜き孔から本モルタルが排出したことを確認し、圧入を完了した。吐出圧力が0.7MPaの場合、吐出量は約 $0.32 \text{m}^3/\text{h}$ であった。3章のFig. 5と比較すると、同一吐出圧力に対する吐出量は小さい。これは、モルタルを自由空間に排出する場合に比べて、狭隘部に圧入する場合は、管内圧力が高まったことが原因であると考えられる。

4.2.2 充填性の確認 本モルタルが硬化した後に、床版の長辺を端部から0.3mの位置(Fig. 7の青色の点線)で切断し、充填性を確認した。切断面の一部をPhoto 4に示す。床版コンクリートと本モルタルの界面の充填性に着目し、界面の空隙長さの割合を充填率として評価した。界面の空隙部の長さを測定し、全長4.5mに対する、空隙部の総延長を除いた長さの割合を算出した。

Photo 4に示すように、本モルタルは、圧入充填により断面厚さ30mmの空間に密実に充填できることが分かった。床版コンクリートと本モルタルの界面に空隙が少なく、充填率は92.5%であった。本モルタルは狭隘部に充填できる流動性と適度な粘性を有しているため、モルタル上部の床版コンクリートのはつり面の凹凸にモルタルが入り込み、空気の滞留を抑制できたと考えられる。

4.2.3 付着性の確認 直接引張試験により本モルタルと床版コンクリートとの付着性を評価した。床版の端部10点(Fig. 7の赤色の丸印)の直径100mmのコアを採取し、コアの両端部に治具を接着した。材齢11週に、引抜試験装置を設置した油圧式万能試験機を用いて、引張速度 $0.06 \pm 0.04 \text{N}/\text{mm}^2$ で直接引張試験を実施した。

試験状況と試験体の破壊状況をPhoto 5に示す。引張強度の平均は $2.3 \text{N}/\text{mm}^2$ であった。破壊状況は、いずれの試験体も母材コンクリート破断であり、本モルタルとの界面での破壊は認められなかった。そのため、本モルタルの引張強度は、母材コンクリートの引張強度以上であり、高い付着性を有する。本モルタルと床版コンクリートの一体性が確保されることを確認した。本モルタルの水粉体比が低く、ブリーディングが生じないことに加え、適度な粘性で密実に充填できたことにより、高い付着性が得られたと考える。

5. 供用中の某海上栈橋改修工事への適用事例

5.1 某海上栈橋改修工事の概要

当該工事は、重要物流拠点である海上栈橋(延長180m, 幅20m)を、供用しながら改修を行う工事である。栈橋

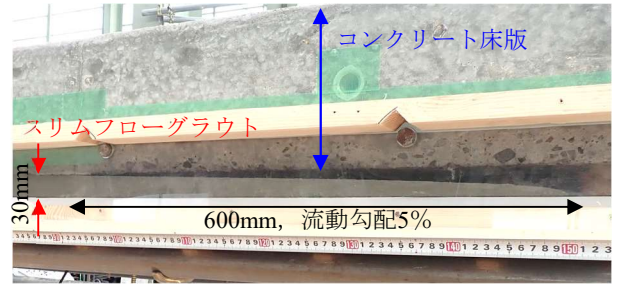


Photo 3 充填状況(側面部)
Filling Status (Side Surface)

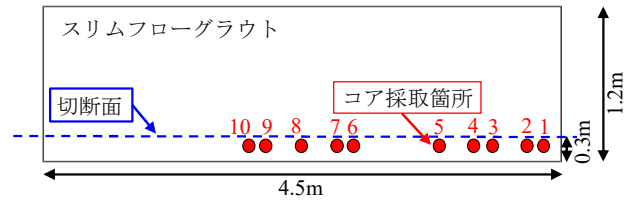


Fig. 7 切断位置とコア採取位置(平面図)
Cutting Position and Core Sampling Position (Plan View)

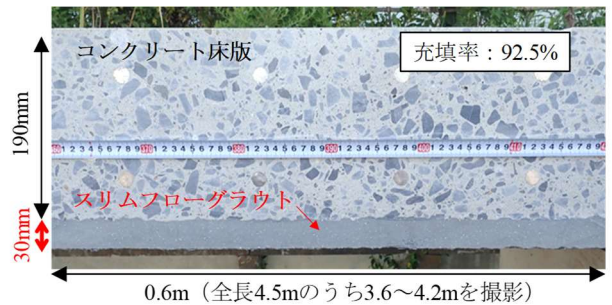


Photo 4 床版の切断面
Cut Surface of Floor Slab

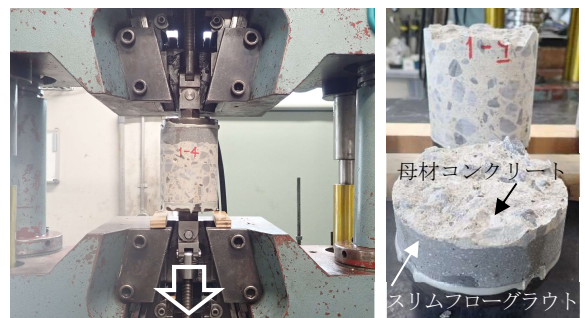


Photo 5 直接引張性試験の状況(左)と破壊状況(右)
Tensile Adhesion Test Status (Left) and
Fracture Status (Right)

の俯瞰図をFig. 8に示す。当該栈橋は、建設後約50年が経過しており、床版や梁の下面に塩害によるコンクリートのひび割れや剥落が生じていた。事前の調査で、鉄筋傍の塩化物イオン濃度は、多い箇所では $5 \text{kg}/\text{m}^3$ 以上であり、鋼材腐食発生限界濃度⁶⁾を上回っていた。補修が必要であったが、栈橋下面は維持管理が困難であるため、メン

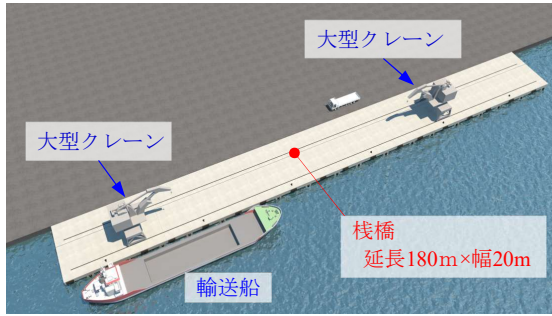


Fig. 8 栈橋の俯瞰図
Pier Overhead View

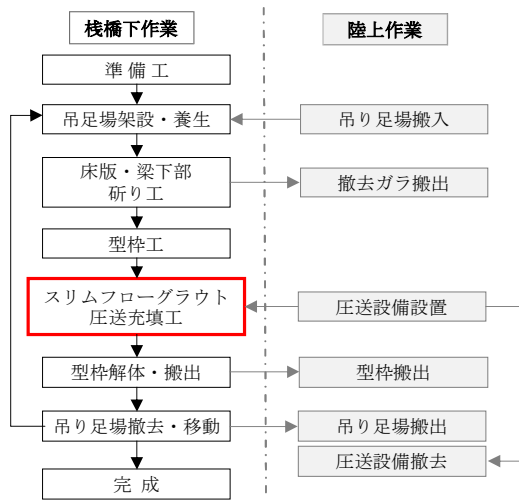


Fig. 9 施工手順
Construction Procedure

テナンスの観点から、耐久性の高い補修を求められた。また、当該栈橋は、日々輸送船が発着し、大型クレーンによる輸送作業が行われているため、栈橋上面から補修を行うことはできない。そのため、栈橋下に吊り足場を設置し、栈橋下から施工を進める必要があった。

そこで、耐久性が高く、下面から改修が可能なスリムフローグラウトを適用することとした。床版部および梁部ともに、断面厚さ30mmのスリムフローグラウトにより、塩害に対する耐久性の高い層を設け、鉄筋の腐食を抑制できる。

施工手順をFig. 9に示す。栈橋下の作業足場は、高潮の際に海水に浸せきするため、圧送機材は地上の栈橋両端部の限られた敷地に設置し、打込み箇所まで本モルタルを圧送する計画とした。資材の搬入出および圧送機材の設置以外の作業は、すべて栈橋下で行う。圧送距離は最短で30m、最長で140mであった。補修の概要をFig. 10に、スリムフローグラウトの充填施工の概要をFig. 11に示す。床版部は、1区画約4.8×4.8mの床版下面のかぶりコンクリート60mmをチップングにより撤去し、はつり面に吸水防止剤を塗布した。次に、既存のかぶり厚さよりも薄肉の、断面厚さ30mmの位置に型枠を設置した。床版下面の中央1か所の圧入孔から本モルタルを充填した。

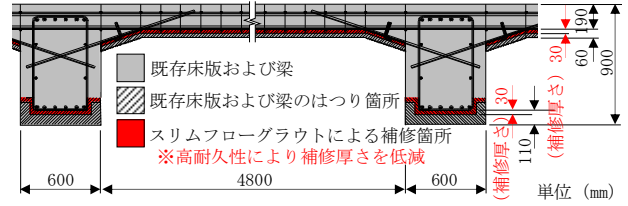


Fig. 10 補修の概要(断面図)
Schematic Diagram of Repair

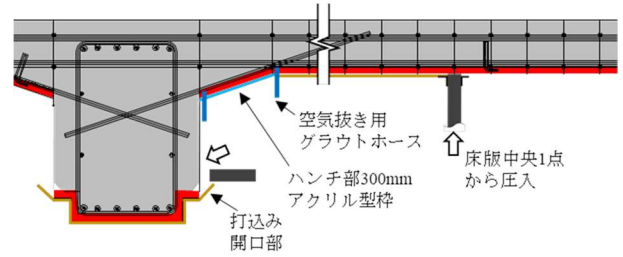


Fig. 11 充填施工の概要(断面図)
Schematic Diagram of Filling Construction



Photo 6 トラックアジテータへの繊維投入状況
Status of Fiber Feeding into Truck Agitator

床版4辺の端部300mmにアクリル型枠を設置し、4辺端部にモルタルが充填したことを確認した。さらに床版の四隅の空気抜き用グラウトホースからモルタルが排出したことを確認し、圧入を完了した。

梁部は、床版部と同様に、下面のかぶりコンクリート110mmを撤去したのち、はつり面に吸水調整剤を塗布し、断面厚さ30mmの位置に型枠を設置した。梁の側面に打込み開口部を設け、対面する側部の開口部にモルタルが充填されたことを確認して、打込みを完了した。

5.2 スリムフローグラウトの製造

当該工事では、1日に床版1か所と梁を2か所程度の打ち込む計画とし、打込み量が1.5m³程度であった。近隣のレディーミクストコンクリート工場に繊維添加前のベースモルタルを1日に1バッチ製造し、現場までトラックアジテータで運搬した。現場に到着後、トラックアジテータにナイロン繊維を投入し、攪拌した。繊維の投入状況をPhoto 6に示す。

Table 4 繊維混入率試験の結果
Results of Fiber Mixing Ratio Test

試料採取箇所	繊維混入率(vol. %) ※1			参考規格値※2
	試料1	試料2	平均	
前半	0.34	0.33	0.34	0.24~0.36
中間	0.33	0.33	0.33	0.24~0.36
後半	0.34	0.34	0.34	0.24~0.36
平均	—	—	0.34	0.29以上

※1 設計混入率： 0.30vol. %

※2 参考規格値： 設計混入率の100±20%かつ
3回の平均値が設計混入率の95%以上
(NEXCO施工管理要領)

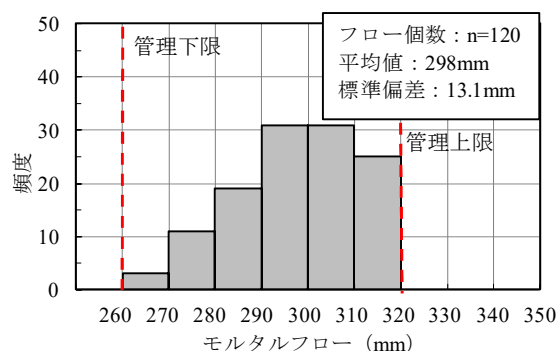


Fig. 12 モルタルフローのヒストグラム
Mortar Flow Histogram

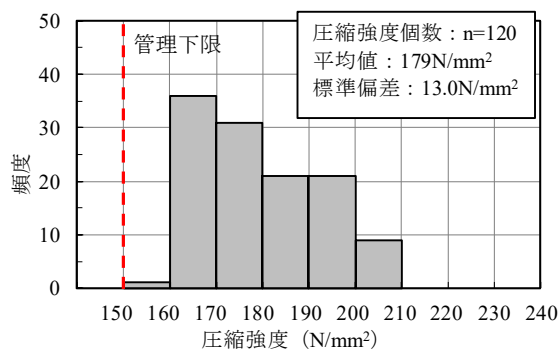


Fig. 13 圧縮強度のヒストグラム
Compression Strength Histogram

トラックアジテータのドラム内での繊維の分散性を確認するために、排出を3段階の前半・中間・後半に分け、各段階で2試料の計6試料を採取し、JSCE F-554「鋼繊維補強コンクリートの鋼繊維混入率試験方法」に準拠して、繊維混入率を測定した。

試験結果をTable 4に示す。繊維混入率のばらつきはほとんど無く、トラックアジテータの攪拌によって、繊維の均一な分散性を確保できることを確認した。

次に、施工した120バッチのスリムフローグラウトの品質試験結果について、モルタルフローのヒストグラムをFig. 12に、標準養生28日材齢の圧縮強度のヒストグラム

Table 5 圧送機械
Pumping Machine

ポンプ	・ピストン式ポンプ(最大吐出圧力:10.7MPa) ・吐出量:最大5.0m³/時間
ホース	・鋼製圧送管(管径50A(52.9mm)) ・耐圧ゴムホース(ホース径50A(52.9mm))



Photo 7 使用したポンプとモルタルの荷卸し状況
Used Pump and Mortar Unloading Situation



Photo 8 栈橋床版下面への圧入状況
Situation of Press-fitting Underside of Pier

をFig. 13に示す。モルタルフローおよび圧縮強度は、品質管理値を満足した。圧縮強度の下限側危険率5%となる値は、158N/mm²であった。

以上より、現場施工においても、所定の品質を満足するスリムフローグラウトを供給できることを確認した。

5.3 圧送および充填状況

圧送機械の概要をTable 5に、使用したポンプとモルタルの荷卸し状況をPhoto 7に示す。また、床版下面の圧入状況をPhoto 8に示す。床版下面の1区画約4.8×4.8m×厚さ30mm に1時間程度で圧入を完了する計画とした。そのため、吐出量は0.7m³/h必要であった。3章のFig. 6より、吐出量0.7m³/hのときの径50Aの圧送管の圧力損失は、0.07MPa/mであり、圧送距離が最長140mの場合には、必要な吐出圧力が10MPaとなる。そこで、3章の圧送実験に使用したスクイーズ式ポンプよりも最大吐出圧力が高い、小型のピストン式ポンプを選定した。3.2.1項の結果から、圧送ホースにおける圧力損失を低減するため、ポンプ吐出口から打込み箇所付近まで鋼製の圧送管を用い、打込

み箇所近傍では施工が容易な耐圧ゴムホースを用いた。最長圧送距離の施工時に管内圧力を測定したところ、ポンプ吐出口付近は約10MPaで、吐出量は約0.7m³/hであり、当初の計画通り床版1区画を約1時間で圧入充填できた。

梁部については、施工箇所まで同様に圧送し、梁側面の片側から打込みを行った。梁部の打込み状況をPhoto 9に示す。最長圧送距離の施工時において、ポンプ吐出口のホース内の圧力は約10MPa、吐出量は約0.8m³/hであり、梁1か所を約15分で充填できた。

打込みから7日後に脱型し、水分逸散防止のため、養生剤を塗布した。施工完了状況をPhoto 10に示す。床版部、梁部ともに、0.5m角あたり1か所のハンマーを用いた打撃による充填の確認を行い、確認箇所すべてに本モルタルが充填できたことを確認した。

6. まとめ

本論文では、床版および梁の下面のかぶり部30mmの薄肉断面への充填を可能とした高耐久性モルタル「スリムフローグラウト」の圧送性、充填性および既設コンクリートとの付着性について検証した結果を示した。さらに供用中の海上栈橋改修工事への適用結果を示した。ここで得られた知見を以下に示す。

- 1) 本モルタルの塩害に対する耐久性は、塩分浸せき試験における見かけの拡散係数が0.0009cm²/年であり、著しく高いことを確認した。
- 2) 粘性が高い低水分比の本モルタルの圧送において、吐出量と管内圧力損失との間に相関関係が認められた。
- 3) 床版下面の長さ4.5m、断面厚さ30mmの狭隘部に下面から本モルタルを圧入充填した結果、その充填率は92.5%であった。上面のコンクリート床版と本モルタルの界面に空隙は少なく、密実に充填できることを確認した。
- 4) 本モルタルを床版下面に圧入充填した試験体から採取した10本のコア試験体を用いて、直接引張試験を行った結果、いずれの試験体も母材破断であり、高い付着性を有することを確認した。本モルタルとコンクリート床版の一体性が確保されることを確認した。
- 5) 海上栈橋を供用しながら栈橋下面を改修する工事に本技術を適用し、所定の品質を満足する本モルタルを供給できることを確認した。床版1区画約4.8×4.8m×厚さ30mmに約1時間で圧入充填でき、未充填や閉塞などなく施工できた。

今後、港湾構造物の耐久性を向上し、長寿命化およびライフサイクルコストを低減できる本技術を、改修工事に多く適用していきたい。



Photo 9 栈橋梁部下面の打込み状況
Placement Status of the Beam Part



Photo 10 栈橋下面の施工完了状況
Completion Status of the Underside of the Pier

謝辞

本研究の実施にあたり、宇部興産株式会社の皆様にご協力頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 平田隆祥他：常温硬化型UFCの現場打設による護岸構造物のリニューアル，コンクリート工学年次論文集，Vol. 36，No. 2，2014.6，pp. 1249-1254
- 2) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針（案），No. 113，2004
- 3) 森大介：RPCMの塩化物浸透に関する拡散理論による考察，第56回セメント技術大会講演要旨，pp. 176-177，2002
- 4) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリート「スリムクリート」に関する技術評価報告書，技術推進ライブラリーNo. 10，2012.3
- 5) 土木学会：コンクリートのポンプ施工指針，No. 135，pp. 17-76，2012
- 6) 土木学会：コンクリート標準示方書設計編，p.156，2017