

# 「スリムクリート®」の港湾構造物リニューアル工事への適用

石 関 嘉 一 平 田 隆 祥  
 澁 田 安 浩

## Harbor Structure Renewal with “SLIM-crete”

Yoshikazu Ishizeki Takayoshi Hirata  
 Yasuhiro Futita

### Abstract

SLIM-crete is a high-ductility and high-strength mortar, with a strength exceeding  $180 \text{ N mm}^{-2}$  in terms of compression and  $11 \text{ N mm}^{-2}$  in terms of tension. This material is known as ultra-high strength fiber-reinforced concrete (UFC). Ordinary UFC needs to be cured at a high temperature after its production at a precast factory, which greatly limits its applications. In contrast, SLIM-crete can be cured at a normal temperature owing to its special mixture. This increases its potential applicability and decreases the costs on site or for site precasting. In this paper, we present a summary of SLIM-crete development. We inspected the pumping of SLIM-crete. Furthermore, we discuss its use in the repair of a pier affected by salt breeze damage.

### 概 要

「スリムクリート®」は、圧縮強度 $180\text{N}/\text{mm}^2$ 以上、引張強度 $8.8\text{N}/\text{mm}^2$ 以上の材料強度を持つ高じん性高強度モルタルであり、超高強度繊維補強コンクリート(Ultra high strength Fiber reinforced Concrete : 以下UFCと表記)と呼ばれる材料に含まれる。既往のUFCは給熱養生が必要なため工場生産のプレキャストが基本であり、適用対象に制約があった。しかし、スリムクリートは、特殊な配合とすることにより、給熱養生が不要な現場打設を可能とした。このためプレキャスト部材では施工不可能な大規模の構造物において現場打設が可能となった。また、高い耐久性を有するため、劣化環境化の構造物の要求される補修材料としての適用も可能である。本論文では、開発したスリムクリートの概要と共に、運搬性能、ポンプ圧送性についての検証結果を述べる。さらに、実構造物への適用事例として、塩害を受けた棧橋の補修工法について述べた。

### 1. はじめに

近年、超高強度かつ高じん性な超高強度繊維補強コンクリート(Ultra high strength Fiber reinforced Concrete: 以下UFCと表記)は、優れた材料特性を生かして構造部材に適用することにより、構造部材の断面縮小、使用材料の減少、長期耐久性の向上など多くの合理化が図られている次世代の建設材料として期待されている<sup>1)</sup>。

UFCは、超高強度モルタルと高強度鋼繊維で構成<sup>2)</sup>されており、 $150\text{N}/\text{mm}^2$ 以上の圧縮強度と $5\text{N}/\text{mm}^2$ 以上の引張強度を持つ材料と定義されている。2004年には、土木学会より超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)<sup>3)</sup>(以下「指針」と表記)が発行されており、今後、これらの材料を使用した構造物は増加すると予想される。しかし、既存のUFCは給熱養生が必要なため、工場生産が基本であり、設計や施工に大きな制限を生じてしまう。また、給熱養生に必要な設備の建設コストや熱養生のエネルギーコスト、運搬コスト等により通常のコンクリート構造物と比較して著しいコストの増加となってしまう。これらの要因から既存のUFCは設計者や施工業者からの使用を敬遠されており、高性能にもかかわらず羽田空港D滑走路建設以降の使用量が激減してい

る。

そこで、著者らは、設計や施工に影響が少なく、型枠に直接打設可能な常温で硬化するUFC材料として、高じん性高強度モルタル「スリムクリート」を開発した<sup>2)</sup>。

常温硬化型UFC「スリムクリート」は常温で高強度を発現するプレミックス材<sup>4)</sup>を使用するため、給熱養生が不要となり製造場所を選ばなくなった。また、給熱養生のコストや運搬のコストが削減されたことにより、大幅なコスト縮減に寄与している。さらに、スリムクリートはレディーミクストコンクリートと同様に、施工場所の近隣の生コンプラントで製造<sup>5)</sup>できるため、施工可能な地域が増大し、既存のUFCと比較して機動性が飛躍的に向上した。

スリムクリートはマトリックスが緻密な構造のため、中性化、凍結融解抵抗性、塩分浸透性抵抗性等の耐久性が、普通コンクリートや高強度コンクリートと比較して著しく向上している。特に塩分浸透抵抗性は著しく高い<sup>6)</sup>ため、鉄筋かぶり<sup>7)</sup>が2cmの場合、鉄筋が腐食に至るまでに200年を要することから、設計耐用年数100年に設定することが可能となった。そのため、塩害による鉄筋腐食が激しい飛沫帯などの鉄筋構造物や劣化補修の断面修復材等のリニューアルに適している。

塩害による劣化構造物の補修は、通常劣化部を除去した後、ポリマーモルタルセメントで修復し、塩分浸透を防止する目的で補修部表面をエポキシ樹脂で被覆<sup>7)</sup>する。しかし、エポキシ樹脂は10年程度で劣化し、再被覆を行わなければならない。そのため、ライフサイクルコスト(以下「LCC」と表記)が増加してしまう。そこで、設計対応年数100年のスリムクリートを塩害で劣化した構造物の断面修復材として用いることにより、定期的な補修が不要になりLCCが低下することとなる。スリムクリートを断面修復材として使用する場合、施工性が重要な課題となる。そのため、施工現場までの運搬やポンプ圧送性を検証しなければならない。

本報告は、スリムクリートの基本物性とスリムクリートの運搬性能、ポンプ圧送性等の施工性の検証および実際のリニューアル工事に適用したスリムクリートの施工性の実証について論述した。

## 2. スリムクリートの基本物性

### 2.1 構成材料

スリムクリートのモルタル部分は、セメント等の反応性微粉末と微粉細骨材を混合したプレミックス粉体、水、細骨材、および特殊高性能減水剤(SP)で構成されている。また、空気量は消泡剤を用いて、5%以下に調整した。このモルタルは給熱養生等の特殊な養生を行わなくても常温で十分な強度特性を発現できるものである。配合をTable 1に示す。

鋼繊維には一般建設用鋼繊維とは異なる高強度鋼繊維を使用した。使用した鋼繊維をPhoto 1に示す。高強度鋼繊維は、延伸製法により製造された自動車タイヤに使用するスチールコードである。表面は真ちゅうでメッキされている。一般的な建設用鋼繊維の引張強度1,000N/mm<sup>2</sup>に対して、高強度鋼繊維の引張強度は2,000N/mm<sup>2</sup>以上で、形状はすべて直線状である。

### 2.2 スリムクリートのフレッシュ性状および凝結時間

モルタルのフレッシュ性状は、モルタルフロー値260±30mmで、スランプフロー値800±100mmと流動性が良好であり、間隙が30mm以下の偏狭部においても閉塞することなく充填が可能である。なお、モルタルの品質試験項目および判定基準をTable 2、モルタルフローをPhoto 2に示す。

スリムクリートの凝結時間をFig.1に示す。スリムクリートの凝結は環境温度によって異なる。打設時期により、打込みに要する時間も変化するため、打設時期により運搬時間を考慮しなければならない。

### 2.3 スリムクリートの硬化特性

スリムクリートは高じん性高強度であり、圧縮強度180N/mm<sup>2</sup>以上、引張強度8.8N/mm<sup>2</sup>以上の材料強度を有している。また、収縮ひずみは材齢190日において

Table 1 配合  
Mix Proportion

W/B (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				補強繊維(kg)
	水	プレミックス	細骨材	減水剤	
15.5	230	1830	330	32	157

Table 2 品質試験項目および判定基準  
Quality Control Parameter

試験項目	判定基準
モルタルフロー(mm)	260mm±30mm
スランプフロー(mm)	800mm±100mm
空気量(%)	4.5%以下



Photo 1 高強度鋼繊維  
High-Strength Steel Fiber



Photo 2 モルタルフロー  
Mortar Flow

Table 3 試験項目および特性値  
Material Tests

試験項目	特性値	試験方法
圧縮強度	180N/mm <sup>2</sup>	JIS A 1108
ひび割れ発生強度	8.0 N/mm <sup>2</sup>	JIS A 1113
引張強度	8.8 N/mm <sup>2</sup>	JSCE127-3.2.3
ヤング係数	4.6×10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup>	JIS A 1149
ポアソン比	0.2	ゲージ貼り付けにより測定
熱膨張係数	10.7×10 <sup>-6</sup> /°C	JCI「マスコンクリートのひび割れ制御指針2008」に準拠
クリープ係数	0.7	指針に準拠

660×10<sup>-6</sup>程度である。なお、試験項目および物性値をTable 3、自己収縮ひずみおよび始発後日数をFig. 2に示す。

### 2.4 スリムクリートの耐久性

UFCは通常のコングリートと比較して、著しくマトリックスが緻密であるため、高い耐久性を有している。Fig.3に凍結融解試験における2試験体の相対動弾性係数を示す。また、Fig.4に塩分浸透における見かけの拡散係数を示す。

凍結融解試験300サイクル終了時における相対動弾性係数は、2試験体ともほぼ100%であり低下が認められなかった。また、10%NaCl水溶液の浸せき12ヶ月における

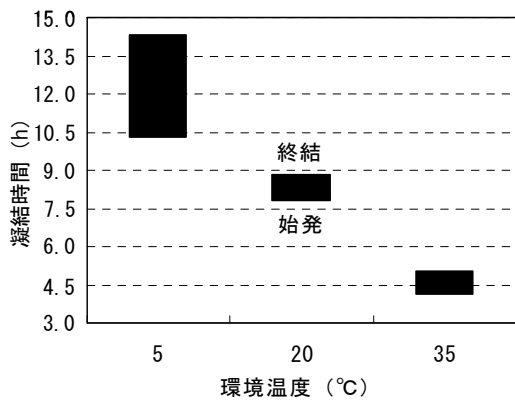


Fig. 1 「スリムクリート」の凝結時間  
Condensation time for Slim cret

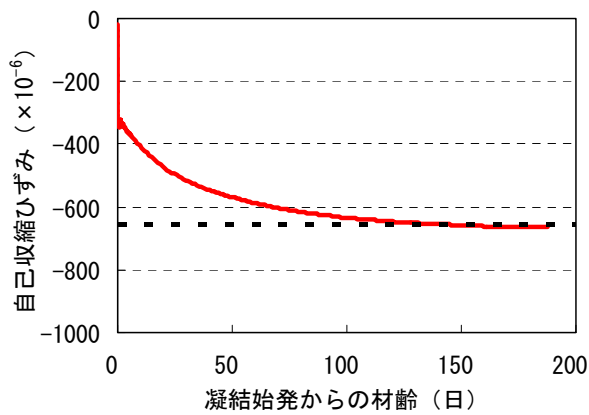


Fig. 2 自己収縮ひずみおよび始発後日数  
Auto Shrinkage Strain

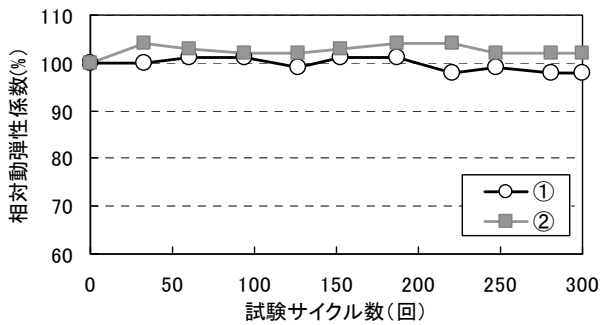


Fig. 3 凍結融解試験結果  
Test result to Freezing and Thawing

見かけの拡散係数は0.0032 cm<sup>2</sup>/年であった。よって、スリムクリートは通常のコンクリートと比較して、著しく耐久性が高い材料である。

### 3. 施工性の検証

#### 3.1 実験概要

スリムクリートは加熱養生が不要なことから、通常のレディーミクストコンクリートと同様にアジテータ車で運搬し、現場打設をできることがメリットである。現場

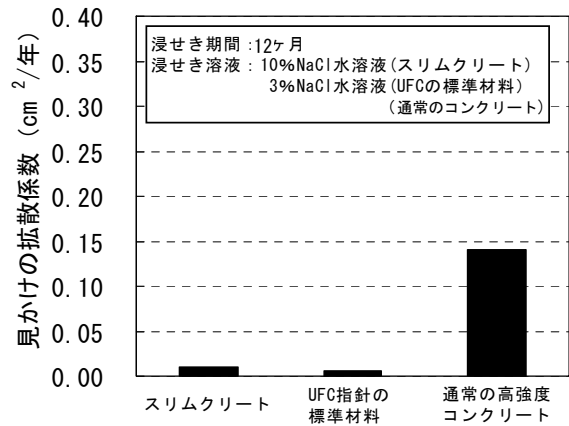


Fig. 4 塩分浸漬試験結果  
Salt dipping test result

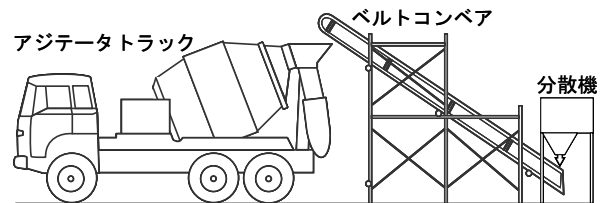


Fig. 5 鋼繊維投入方法  
Steel fiber injection method



Photo 3 分散機  
Dispersion machine of the steel fiber

打設のメリットを十分に発揮するためにはポンプ圧送が不可欠である。そこで、本検討ではスリムクリートをポンプ圧送した場合の施工性を検証した。

3.1.1 練混ぜおよび繊維投入 練混ぜ設備は通常の生コンプラントを使用した。練混ぜ方法はプレミックスおよび細骨材をミキサ内に投入し、30秒間練り混ぜ、高性能減水剤および水を投入して7分間練り混ぜた後、トラックアジテータ車に排出するものである。その後、Fig.5に示すように、分散機とベルトコンベアを用いて、トラックアジテータ車内に鋼繊維を添加してした。今回使用した分散機をPhoto3に示す。なお、練混ぜ量は2.0m<sup>3</sup>とした。

3.1.2 運搬距離および運搬時間 Table4に長距離運搬の実験ケースを示す。実験の実施時期は夏期、標準期および冬期の3シーズンとし、時期に応じた運搬時間を設定した。

3.1.3 ポンプ圧送性 スリムクリートを現場打設する場合、流し込みによる施工では、トラックアジテータ車が進入できない狭い場所や足場等の設備が無い場所では打設数量に限られ、大量に打設することは困難である。また、モルタルの粘性が高く繊維が著しく多い材料のポンプ圧送は、閉塞等の危険が伴うとされている。そこで、今回の実験は、ポンプ圧送を評価する目的で、実際にトラックアジテータ車にて運搬されたスリムクリートを用いてポンプ圧送を実施した。

使用したポンプは、Photo4に示す定置式10m<sup>3</sup>タイプ電動モーターである。配管の全長は60mとし、途中に3mの上り下り勾配を設置して、構造物上部から下部へスリムクリートを圧送する際の模擬とした。配管先端の8mはフレキシブルホースを設置し、機動性を向上させている。配管径はポンプ出口で125mmであり、テーパ管にて75mmに絞った。なお、配管概略図をFig.6に示す。また、実際の配管状況をphoto5に示す。

### 3-2 実験結果

#### 3.2.1 運搬距離および運搬時間

(1) フレッシュ性状 スランプフロー試験結果をFig.7に示す。スランプフロー値は出荷時および荷下ろし時ともに目標値を満足した。一方で、スランプフローはいずれのケースでも荷卸時に小さくなる傾向を示したが、フローロスは最大でも20mm程度であり、打込み等に影響は与えないと考えられる。また、スランプフロー値は出荷時および荷卸時ともに目標値を満足した。

空気量の測定結果をFig.8に示す。荷卸時の空気量は、運搬時の回転により空気を巻き込み、出荷時よりも大きくなることも予想されたが、いずれのケースにおいても出荷時と荷卸時で変化なく、2%程度で安定した。

(2) 硬化物性 圧縮強度試験結果をFig.9に示す。

圧縮強度は、いずれのケースでも出荷時と荷卸時で191~201N/mm<sup>2</sup>の範囲内であり、運搬による影響は認められなかった。

#### 3.2.2 ポンプ圧送性

(1) 圧送試験 吐出量と圧力をFig.10に示す。吐出量を変化させ圧送を実施した結果、吐出量の増加に伴い管内圧力は上昇した。また、各吐出量において閉塞も無く、ポンプの圧送限界圧力14Mpaを下回り、良好に圧送ができた。ただし、圧送終了後、下り配管部に繊維が凝集する少量のファイバボールが発生していたので、現場施工の場合、圧送条件を充分検討する必要がある。なお、Photo5にスリムクリートの吐出状況を示す。



Photo 4 定置式10m<sup>3</sup>タイプポンプ  
10m<sup>3</sup> pump

Table 4 長距離運搬の実験ケース  
Case of the long distance tranceptort

実験ケース	運搬時間 (hr)	運搬距離 (km)	実施時期
1	1.0	23	夏期
2	2.5	52	標準期
3	4.0	100	冬期

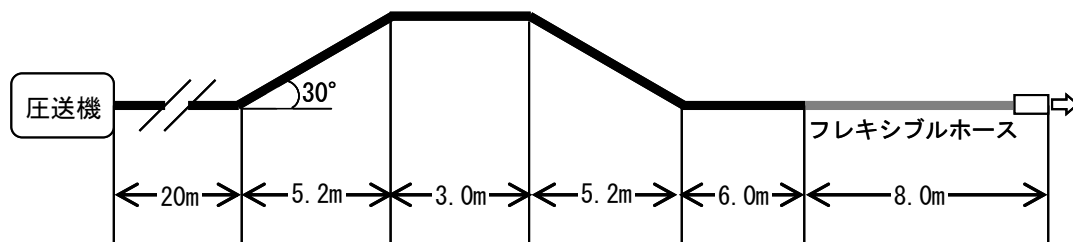


Fig. 6 配管概略図  
The plumbing of the pump

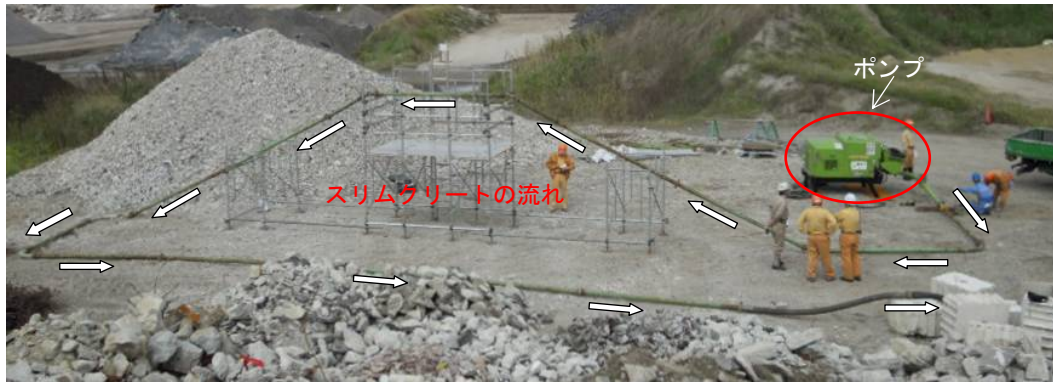


Photo 5 配管状況

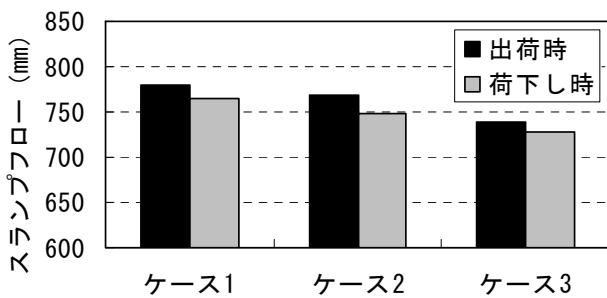


Fig. 7 スランプフロー  
Slump flow

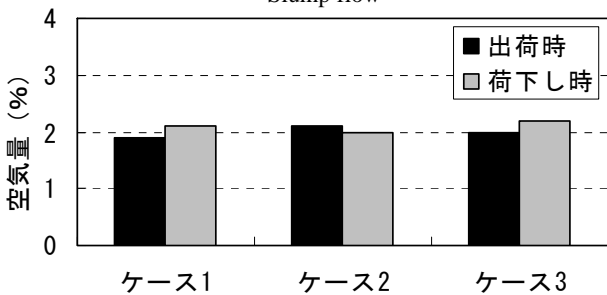


Fig. 8 空気量  
Air content

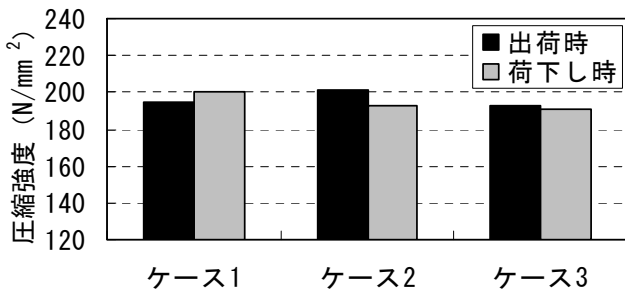


Fig. 9 圧縮強度  
Compressive strength

(2) スランプフロー、空気量および圧縮強度  
Table5に圧送前後のスランプフロー圧縮強度を示す。スランプフロー値は圧送前808mm、圧送後803mmであった。空気量は圧送前1.7%、圧送後1.8%であった。両者とも圧送前後に大きな変化は認められなかった。Photo7にスランプフローを示す。また、材齢28日、標準水中養生における圧送前後の圧縮強度は、Fig.11に示すように圧送前

Pumping

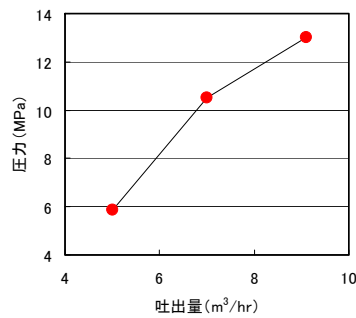


Fig. 10 吐出量と圧力  
Discharge and pressure



Photo 6 吐出状況  
Discharge state

Table 5 圧送前後のスランプフロー値と空気量  
Slump flow and air before and after the pumping

採取	スランプ フロー値 (mm)	空気量 (%)
圧送前	808	1.8
圧送後	803	1.7

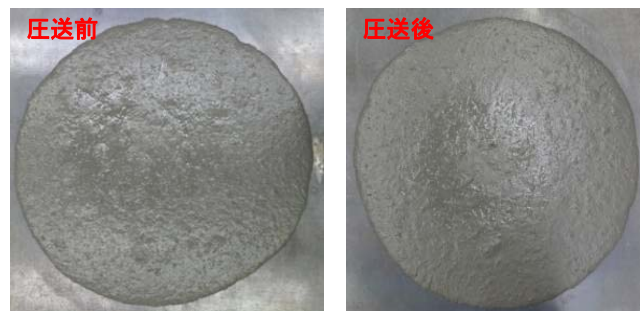


Photo 7 圧送前後のスランプフロー  
Slump flow before and after pumping

190 N/mm<sup>2</sup>、圧送後204 N/mm<sup>2</sup>であり、どちらも特性値180N/mm<sup>2</sup>を大きく上回った。圧送により空気量が減少したため、圧送後の圧縮強度は増加したと考えられる。よって、圧送による圧縮強度の低下はないことが確認できた。

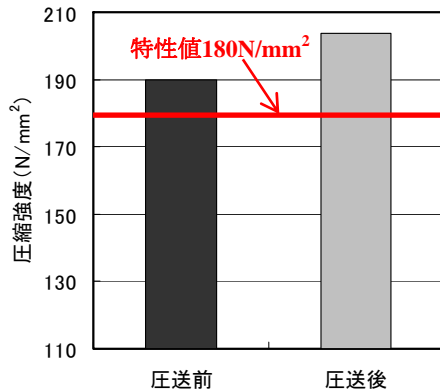


Fig. 11 圧送前後の圧縮強度  
Compressive strength before and after pumping

#### 4. 実施工におけるスリムクリートの施工性の実証

##### 4.1 施工概要

対象とした構造物は、大型船舶が接岸する棧橋の下部のRC構造物であり、長年の塩害による鉄筋腐食によりかぶりコンクリートの劣化が発生していた。Photo8, 9に今回補修した棧橋構造物の全体および下部の状況を示す。補修箇所は塩害による鉄筋腐食と波浪により、梁、柱の一部が断面欠損をしていた。Photo10, 11の梁および柱の劣化部除去状況を示す。これまで、通常はポリマーモルタルセメントにて断面修復を行い、樹脂で防食被覆を行っていたが、防食被覆の耐用年数は10年程度であり、10年後には再被覆を行う必要がある。そこで、モルタル構造が緻密で塩分浸透抵抗性が高く、鋼繊維の腐食もないため、防食被覆が不要となるスリムクリートによる防食補修工事を行った。スリムクリートを採用することにより、工期の短縮が図れ、維持管理が容易になるためLCCが大幅に縮減できると判断した。

補修の際は劣化部を鉄筋裏30mmまで除去し、腐食鉄筋を健全な鉄筋と交換した。その後、上部に打設孔を設けた型枠を設置した。

##### 4.2 ポンプ圧送による打設

補修箇所へのスリムクリートの打設はポンプを用いて実施した。打設場所は棧橋下の梁と柱のため、ポンプの配管をPhoto12に示すように、ポンプの配管を陸上から棧橋下への下り配管とした。打設は配管先端のフレキシブルホースを直接型枠に挿入し、作業員が手作業で行った。作業状況をPhoto13に示す。

圧送条件はポンプ圧送試験で良好であった吐出量  $7.0\text{m}^3/\text{hr}$  とし配管長は鋼管15m、フレキシブルホース8mの合計23mとした。圧送状況はPhoto14に示すように閉塞や脈動の発生も無く、良好に打設が完了した。当初、下り配管部にファイバーボールの発生を懸念していたが、今回圧送でファイバーボールは発生しなかった。理由として、棧橋下への下り配管は2mであり、ポンプ圧送試験



Photo 8 補修した棧橋構造物の全体  
Whole of the repaired pier



Photo 9 補修した棧橋構造物の下部  
Lower part of the repaired pier



Photo 10 梁劣化部除去  
Removal of the beam deterioration department



Photo 11 柱劣化部除去  
Removal of the pillar deterioration department

時の3mより1m短いため、スリムクリートへの負荷が低減されたと考えられる。

#### 4.3 フレッシュ性状および圧縮強度

Table6にフレッシュ性状および圧縮強度を示す。圧送前後のスランプフローおよび空気量に大きな変化は認められなかった。また、圧縮強度は、圧送後に若干の増加が認められた。これは、ポンプ圧送による圧力によりモルタル中の空気が減少したためと考えられる。

#### 4.4 仕上がり

Photo15, 16に梁および柱部の仕上がり状況を示すように、ひび割れや未充填等の不具合も無く、平滑な仕上がりとなった。ただし、スリムクリートはマトリックスが緻密なため、型枠の細かい傷や汚れを転写しやすい。よって、型枠は新品を使用するか、傷や汚れが無いことを充分確認する必要がある。

以上より、スリムクリートはポンプを使用することにより、流し込み打設が困難な場所へ施工することが可能であることを実証した。

#### 4.5 大震災後

今回の施工は東日本大震災において、地震と津波で甚大な被害を受けた場所で実施されたものである。スリムクリートの被災状況を確認する目的で、現地調査を行った。その結果、ひび割れ、欠けおよびはく離はく落等の変状も無く、健全な状態を保っていた。よって、スリムクリートは耐震性や耐衝撃性が優れていることを実証した。なお、被災後の梁部の状況をPhoto17に示す。

Table 6 フレッシュ性状および圧縮強度  
Fresh property and compressive strength

採取	スランプ フロー (mm)	空気量 (%)	材齢28日 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
圧送前	768	2.1	192
圧送後	748	2.0	195



Photo 15 梁部仕上がり状況  
Finish of the Slim Creat beam

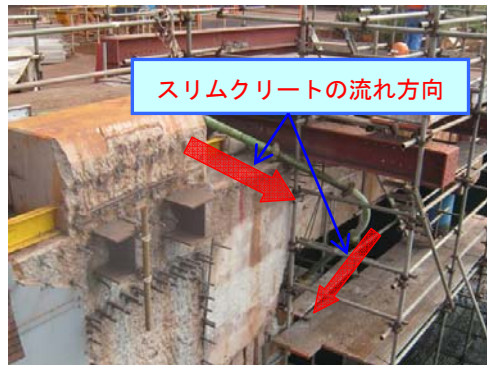


Photo 12 ポンプ圧送の下り配管  
Outbound plumbing



Photo 13 型枠への打設状況  
Construction of the Slim Creat



Photo 14 型枠へのポンプ圧送状況  
Pumping to a form



Photo 16 柱部仕上がり状況  
Finish of the Slim Creat pillar

## 5. まとめ

本研究より以下の知見が得られた。

- 1) スリムクリートは凍結融解抵抗性が高く、塩化物イオンの見かけの拡散係数が著しく小さいため、通常のコンクリートと比較して、著しく耐久性が高いことが確認できた。
- 2) アジテータ車の運搬がスリムクリートのフレッシュ性状および硬化物性に与える影響は小さいことが確認された。
- 3) ポンプ圧送がスリムクリートのフレッシュ性状および硬化物性に与える影響は小さいことが確認された。
- 4) スリムクリートのポンプ圧送性は脈動や閉塞が無く良好であることが確認された。
- 5) 実施工においても、圧送前後のフレッシュ性状および硬化物性に大きな変化は認められなかった。
- 6) スリムクリートはポンプを使用することにより、流し込み打設が困難な場所へ施工することが可能であることを実証した。
- 7) 実施工におけるスリムクリートの仕上がりは、ひび割れや未充填等の不具合も無く、平滑な仕上がりとなった。
- 8) スリムクリートを塩害の厳しい補修工事に用いることにより、工期の短縮が図れ、維持管理がほとんど不要となり、LCCが大幅に縮減できることが実証できた。
- 9) スリムクリートは耐震性や耐衝撃性が優れていることを確認できた。

### 参考文献

- 1) 武田篤史，他：常温硬化型高じん性高強度モルタル「スリムクリート®」の屋内ブリッジへの適用，大林組技術研究所報，No.74，2010年



Photo 17 被災後の梁部「スリムクリート」  
Slim Creat beam after the earthquake disaster

- 2) 石関嘉一，他：鋼繊維の種類が高強度高じん性セメント複合材料の引張特性に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，vol31，No.1，2010年9月，pp215-pp220
- 3) 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)，コンクリートライブラリー113，(2004)
- 4) 玉滝浩司，他：超高強度繊維補強コンクリートによる大型部材製造(その1 製造方法の検討)，土木学会第66回年次学術講演会，2011年9月，pp413-PP414
- 5) 吉田浩一郎，他：超高強度繊維補強コンクリートによる大型部材製造(その2 実機プラントでの製造)，土木学会第66回年次学術講演会，2011年9月，pp415-PP416
- 6) 石関嘉一，他：常温硬化型U F Cのポンプ圧送試験および現場施工，土木学会第66回年次学術講演会，2011年9月，pp395-PP396
- 7) コンクリート工学会：「コンクリート診断技術' 03[基礎編]」，2003