MASTER® BUILDERS
ポゾリス

マスターフロー® 9500

洋上風力発電設備用超高強度グラウト材

マスターフロー® 9500：洋上風力発電設備の設置に最適な超高強度グラウト材

マスターフロー® 9500は、洋上風力発電設備の設置に使用できる、超高強度、疲労耐久性を持つセメントベースのグラウト材です。風力発電プロジェクトの耐久性、時間効率、安全性を高めることに貢献します。

通常、マスターフロー® 9500はトランジションピースとモノパイルの間、スチールジャケット内など、風力発電設備の基礎のグラウト接続部に使用されます。

大規模なポンプでの施工を前提とした調合

- 優れた疲労耐久性が求められる風力発電設備用グラウト材
- 苛酷な洋上条件及び0℃付近の極低温環境でも施工可能なグラウト材
- 高い強度と疲労耐久性が重要になる25mm ～ 600mmの空隙充填

メンテナンスフリーな風力発電所の運用

マスターフロー® 9500は長期耐久性があり、迅速、安全かつコスト効率の高い洋上風力発電設備の建設が可能になります。風力発電設備は特殊であり、安全かつ耐久性のある設置を行うには、すべてのコンポーネントを正しく設計し、組み合わせることが重要です。マスターフロー® 超高強度グラウト材は性能が高く、長期にわたって風力発電所をメンテナンスフリーで運用していくことが可能です。

マスターフロー® 9500のメリット

高い疲労耐久性
動的荷重への耐久性

早期強度発現性
工事全体を迅速化

安全な設置
高い初期及び最終強度

低温環境でも対応
0℃でも使用でき、設置に適する時間帯が短くても施工が可能

実証済みの高い品質
DNV GLによって実証、認証済み

優れた耐久性
長期にわたり荷重の伝達を実現

マスターフロー® 9500の認証

MASTER BUILDERS ポゾリス® は、パートナーの皆様のニーズを理解し、現代の風力発電所の建設と探査で起こり得るリスクを低減することで、風力発電業界をさらなる成功へと導くソリューションです。

マスタービルダーズはDNV-OS-C502ガイドラインに基づき、マスターフロー® 9500の洋上風力設備の設置への適用の正当性についてDNV GL社に検証を依頼しました。実証過程において、DNV GL社は様々な室内試験、実物大試験を実施し、更に設置ガイドラインおよび品質保証関連文書の検証を行いました。

実証過程では、以下に代表される様々な外部試験機関で試験が行われました。

- オールボー大学　土木工学科実験室: デンマーク
- ノルウェー、ホヴィックにあるDNV GL社の試験施設
- ミュンヘン工科大学: ドイツ
- LGAI科学技術センター : (スペイン)

DNV GL社によって、グラウト材製造設備・施設、工場生産管理の監査も行われ、高い評価を得ました。

DNV GL社による結論と推奨事項

- 定義された監査項目に従ってDNV GL社がマスターフロー® 9500の認証プログラムを実施し、無事終了
- 疲労寿命の試験を行い、DNV-OS-C502に基づいた応力条件における疲労寿命の予測値と比較し同等であることを確認
- マスターフロー® 9500は繰り返し荷重への耐久性で、鉄筋コンクリート並みの性能を発揮
- 極めて高い弾性係数が壊れにくい効果をもたらす
- 模擬施工試験の結果により、マスターフロー® 9500の機能性が確認され、意図した用途に適したグラウト材であることを証明
- マスターフロー® 9500は長時間にわたる優れたポンプ圧送性と流動性を発揮。太さ2インチのホースを使って、長さ200m、高さ20mまでポンプ圧送することが可能
- マスターフロー® 9500は環境温度が0℃でも施工が可能

TYPE APPROVAL
DNV·GL
DNV-OS-C502

マスターフロー® 9500
認証番号
TAK000001

上記検証プログラムに基づき、DNV GL社から認証書が発行されました。この認証書はマスターフロー® 9500が強度、耐久性、機能において特定の要件を満たしていることを書面で保証しています。

低温でも優れた強度

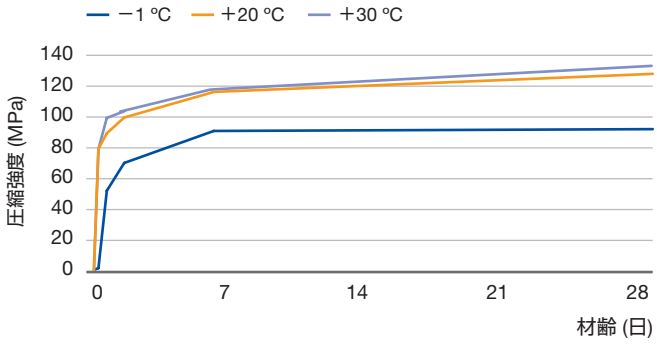
マスターフロー® 9500の力学特性

圧縮強度

マスターフロー® 9500の圧縮強度に関しては、150×300mm の円柱から75mm の立方体、40×40×160mmの角柱まで、様々なサイズの供試体を使用し、EN 12390-3に基づいて試験を行いました。150×300mmの円柱を用いた、材齢毎のマスターフロー® 9500の強度を測定した結果を図1に示します。

圧縮強度-150×300mmの円柱

図. 1



曲げ強度 - 割裂引張強度

40×40×160mmの角柱を使用し、EN 196-1に基づいて曲げ強度を測定しました。割裂引張強度に関しては、φ100×200mmの円柱を使用し、EN 12390-5に基づいて測定しました。結果を表1に示します。

表. 1

材齢	曲げ強度（MPa）	引張強度（MPa）
28日	18.4	8.6

静弾性係数・動弾性係数

静弾性係数に関しては、EN 13412に基づき100×200mmの円柱を使用し、水中で28日養生して測定しました。結果を表2に示します。低温での動弾性係数に関しては、German Committee of Reinforced Concrete（ドイツ鉄筋コンクリート委員会）の「コンクリート構造物の保護と補修」に関するガイドライン（Rili-SIB DAfStb）に基づき、角柱を使用して水中で養生して測定しました。結果を図2に示します。

動弾性係数

図. 2

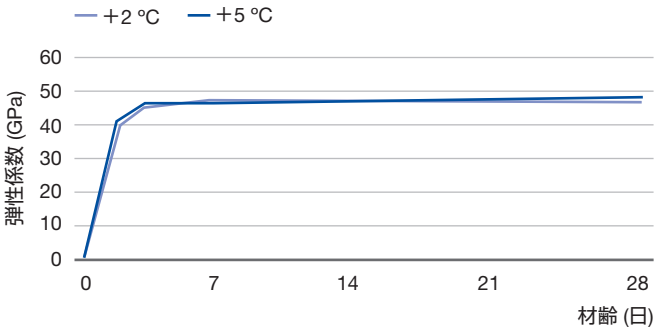


表. 2

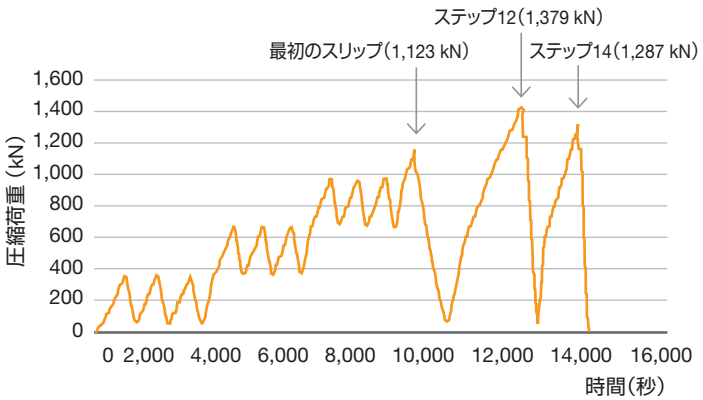
材齢	弾性係数（GPa）	ポアソン比
28日	50.9	0.199

グラウト材接合部の一軸荷重耐荷力

太さの異なる鋼管2本を同心に配置し、その輪状の隙間にマスターフロー® 9500を充填したものを用意し、圧縮環境下でのグラウト材接合部の一軸荷重耐荷力の試験を行いました。グラウト接合部を予め規定された荷重の載荷と緩和の繰り返しを行い、その後最初のスリップが発生するまで軸圧縮荷重を増大させました。その後、グラウト接合部に荷重をかけ、せん断応力によって一軸荷重耐荷力を測定しました。一軸荷重耐荷力試験の結果を図3に示します。

圧縮荷重耐荷力の結果

図. 3



マスターフロー® 9500は、同様の試験条件で使用された他のグラウト材の2倍以上の一軸圧縮荷重耐荷力を示しました。

長期容積安定性

収縮を補正済みの配合

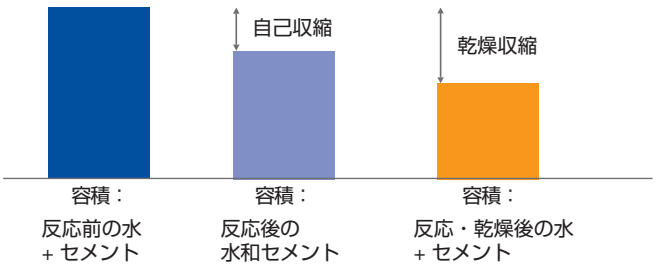
容積安定性は、洋上風力電力設備の基礎部分の長期耐久性において最も重要な要素です。そのため、洋上のグラウト材接合部に使用されるグラウト材の有効性の実証においては、自己収縮の検証が非常に重要です。

自己収縮とは？

自己収縮は、水とセメント系材料の化学反応によって起こる現象です。反応前のコンポーネントの容積は通常、最終製品、つまり水和反応後のセメントの容積よりも大きくなります（図4）。自己収縮は湿潤状態でも起こる可能性がありますが、乾燥収縮は乾燥状態でのみ発生します。

容積変化の測定結果

図. 4



水とセメントの反応前後の容積変化

自己収縮が及ぼす影響

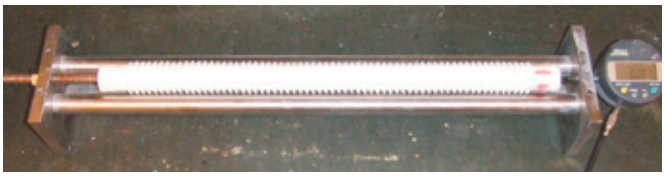
自己収縮が起こると、グラウト材接合部でスチールとグラウト材の間が剥離する可能性があり、その結果、洋上風力電力設備から基礎部分へ応力が伝わらなくなります。

収縮性評価

自己収縮は、オールボー大学で開発された手法を用いて測定しました。マスターフロー® 9500を混ぜた後、長さ約410mm、直径30mmのプラスチックの蛇管にグラウト材を充填し、管の両端をプラスチックストッパーで密封し、20℃で温度管理された部屋に置きました。凝結終結の後、マイクロメーターを使用し、各試験サンプルの長さを時間関数として測定しました（図5）。

自己収縮を測定したマイクロメーター

図. 5

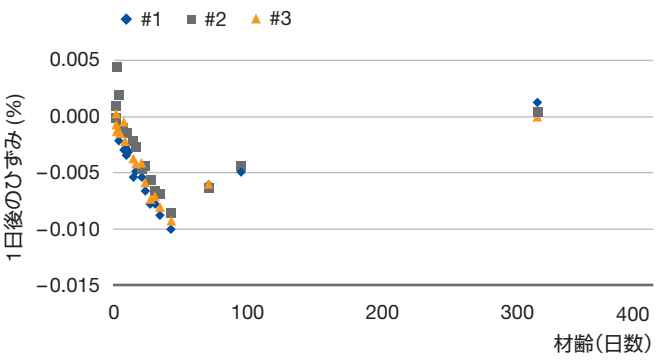


試験結果

マスターフロー® 9500の自己収縮の結果を、図6に示します。約1年後でも、自己収縮はゼロという測定結果になりました。最大自己収縮も、市場で入手可能な他の洋上グラウト材と比べ、ほんのわずかです。また、図6からは、マスターフロー® 9500の収縮補正効果がはっきりと示されています。

自己収縮の長期測定結果

図. 6



優れた疲労耐久性

動的荷重耐性

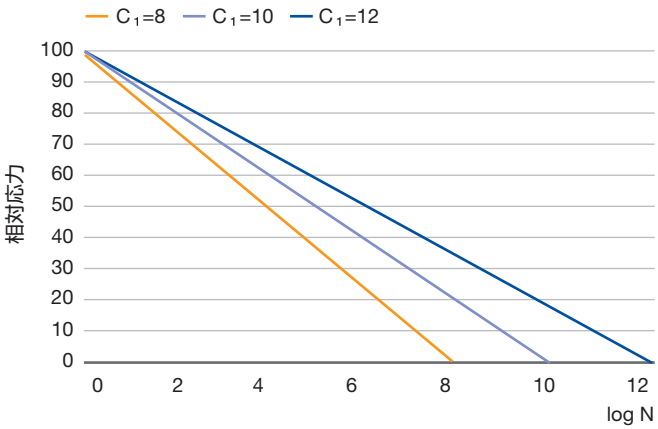
疲労耐久性とは、材料が繰り返し荷重にさらされた際に発生する、進行性かつ局所性の構造的な損傷に対する耐性です。公称最大応力値は破壊応力限度内であり、降伏応力限度内とすることが可能です。

疲労の発生

材料が載荷と除荷の繰り返しにさらされると疲労が発生します。載荷が特定の閾値を上回ると、微細な亀裂が形成され始めます。亀裂が次第に臨界のサイズに達すると、突如、構造物の破壊を引き起こします。洋上コンクリート構造物の設計基準DNV-OS-C502は、疲労寿命の予測において最大・最小応力水準を考慮する方法に関する設計ガイドラインを提供しています（図7）。

DNV-OS-C502に基づく疲労

図. 7



計算式の定義

疲労は以下の式に基づいて計算を行っています。

$$\log_{10} N = C_1 \cdot \frac{\left(1 - \frac{\sigma_{max}}{C_5 \cdot f_{rd}}\right)}{\left(1 - \frac{\sigma_{min}}{C_5 \cdot f_{rd}}\right)}$$

各項目の定義

C_1 = 大気中の構造物の場合は12

C_1 = 水中の構造物で、圧縮-圧縮領域において変動が発生する応力ブロックの場合は10

C_1 = 水中の構造物で、圧縮-引張領域において変動が発生する応力ブロックの場合は8

$\sigma_{max.}$ = 数値として最大の圧縮応力、各応力ブロック内の平均として計算

$\sigma_{min.}$ = 数値として最小の圧縮応力、各応力ブロック内の平均として計算（引張=0の場合）

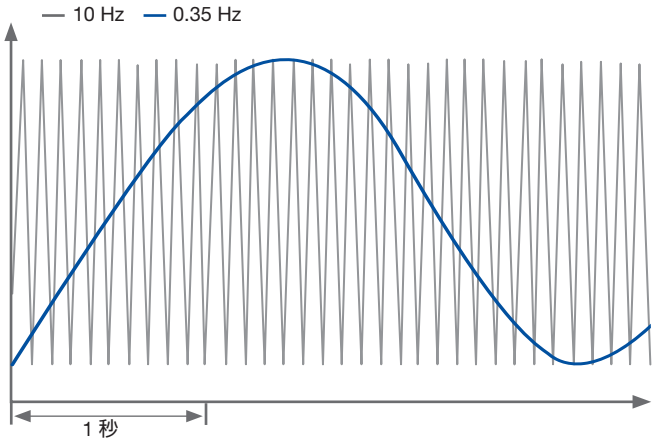
C_5 = 各グラウト材固有の強度低下ファクター マスターフロー® 9500の場合はC5= 0.85を使用

繰り返し荷重下での測定結果

繰り返し載荷下でのマスターフロー® 9500の挙動を、直径60mm、高さ120mmの円柱状の試験サンプルを用いて調査しました。大気中、水中、両方の疲労耐久性の評価を行っています。洋上風力発電設備の基礎部分に対する波動の影響をシミュレーションするため、大気中で行った試験は高振動条件(10 Hz)で実施し、水中で行った試験は低振動条件(0.35 Hz)で実施しました(図8)。

大気中、水中の疲労耐久性

図. 8

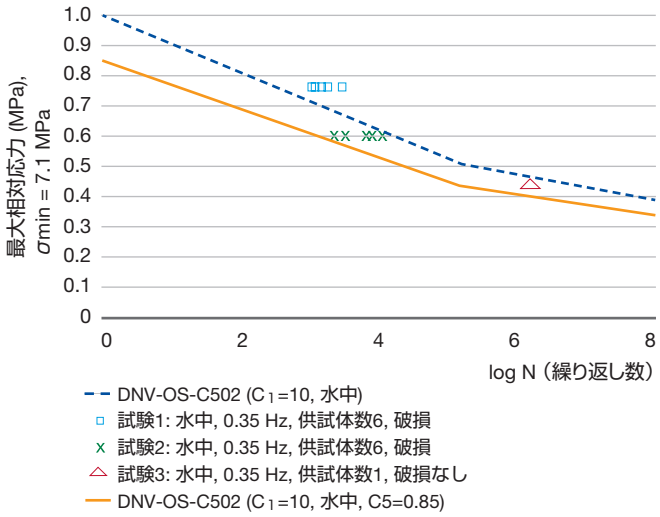


鉄筋コンクリートと同等の優れた結果

繰り返し載荷下での試験で観測した破断繰り返し数は、DNV-OS-C502に基づいた予測と一致しています(図9)。マスターフロー® 9500は、繰り返し載荷下でも鉄筋コンクリートと同等の優れた性能を示すと結論づけられます。試験の結果、鉄筋コンクリート向けのDNV-OS-C502における疲労寿命予測式を使って、疲労設計を実施できると結論づけられました。

疲労寿命の予測

図. 9



施工実績: リバプール湾(英国) - Gwynt Y Mor風力発電プロジェクト
モノパイル式で160機のタービンを設置、モノパイルとトランジションピースの間にマスターフロー® 9500を施工
グラウト材充填作業は2℃でも良好に進みました。
@FoundOcean Ltd

MASTER® BUILDERS
ポゾリス

マスターフロー® 9600

ボルト接合型モノパイル基礎用
洋上風力グラウト材

マスターフロー® 9600：バルク供給型洋上風力グラウト材

マスターフロー 9600は、ボルト接合型モノパイル基礎のスカート部充填材として使用するために特別に開発された、新しい画期的な洋上風力グラウト材です。
サイロからの材料提供と連続混合・圧送システムによる施工により、他の作業と並行してグラウト材を施工することができ、グラウト作業が基礎工事完了までの足でまといになることはありません。

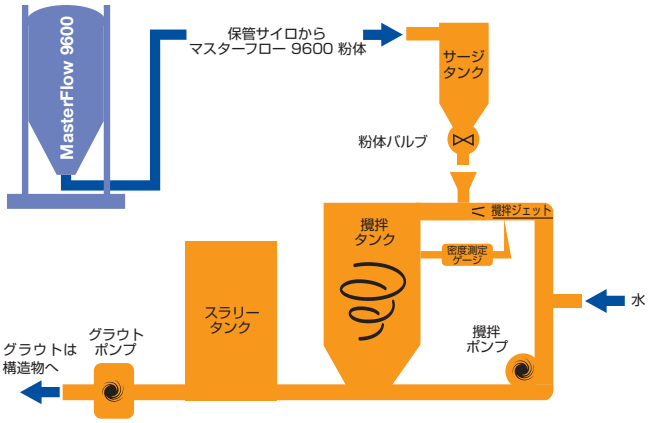
推奨用途

本製品はサイロからの供給、連続的な混合及び圧送が一連の動きで機能して、短時間で大容量の施工を可能とする用途のために特別に配合されています。

- ボルト接合されたモノパイル基礎のスカート部のグラウト充填
- 過酷な洋上環境や2℃程度の低温環境下でのグラウト充填

マスターフロー 9600 は、ボルト接合部を持つモノパイル基礎用に特別に設計されており、特にボルトを腐食から守るためのグラウト材に適しています。60MPa以上の圧縮強度を持つスカート部の充填材として、ポート着岸時のスカート部への点荷重による凹みを防ぎます。

施工方法



特徴と効果

優れた耐久性
- 寸法安定性（硬化収縮抑制）
- モノパイル構造全体の腐食抑制効果

確実な物理特性
- 基礎設計に相応のグラウト強度 - EN 206規格 C60クラス相当
- 優れた強度発現性

徹底した品質管理体制
- 工場で製造されたプレミックス製品
- サイロに充填 - 天候の影響を受けない
- 輸送・保管中に材料分離が発生しない

2 °C

迅速・安全でコスト合理性に優れている
- バルク供給なのでクレーン操作が不要
- 速い施工性：20m³/h 以上
- グラウト充填作業が基礎完成の足でまといにならない
- 閉鎖系でのグラウト施工のため、天候の影響を受けず、粉塵も発生しない
- 最小限のデッキスペースで施工可能

デッキ上モノパイル

ボルト接合部とグラウトのオーバーフロー

MASTER® BUILDERS
ポゾリス

マスターフロー® 9800

バルク供給対応型
洋上風力グラウト材

生産性・安全性向上へ革新的ソリューション

マスターフロー® 9800：洋上風力基礎用グラウト材

マスターフロー® 9800は、革新的な高強度・高耐久性のセメント系特殊グラウト材です。洋上風力発電建設 プロジェクトの耐久性、作業効率などを高めます。

マスターフロー 9800は設計強度60-90MPaが求められる基礎設備に適するようデザインされております。長期にわたり耐久性を保持し、速い施工性と強度発現で最もコスト効率の良い風力発電所建設を可能にします。

- プレ及びポストパイリング技術による一般的なジャケット基礎でのグラウト接合部
- 優れた疲労耐久性と長期にわたる耐久性
- 施工可能な気象条件が短時間しかない箇所におけるグラウト工事
- 20mm ～ 600mmの空隙充填、2℃から42℃の洋上グラウト工事で適用可能

効率の良い風力発電設備に

MBCCグループはパートナーのニーズを理解し、現代の風力発電所の建設と拡大におけるリスクを低減します。

- マスターフロー 9800グラウト材は認定された工事会社よって施工されます
- 製品の物性について第3者機関による認定を取得
- 品質保証の一環として工事毎に施工手順書を作成

マスターフロー® 9800 様々な特長

2℃ to 42℃
製品の品質について徹底管理
広範な温度範囲で安定した品質を提供

High output
≥ 20m³/h
≥ 20 m³/hの施工スピードにより、施工好適時間が短い場面でも短時間で施工を完了

早期強度発現
早い時間で強度が発現することでアーリーエイジサイクリング（EAC）による劣化リスクを低減

認証
洋上風力発電設備向けに特化した第3者機関による認証を取得

気象に左右されない
密閉されたサイロで保管され、雨天の影響を受けずに施工が可能

高耐久性
風力発電タービン用グラウトとして20年以上の高耐久性を保証

マスターフロー® 9800
概要と特長

マスターフロー 9800は、グラウト作業の生産性と安全性の向上を目的とした、連続式混合・圧送装置を用いて施工されるバルク供給型の洋上風力グラウト材です。

この製品は長期的な耐久性があり、洋上風力発電所の設置を迅速かつ確実に、そして低コストで行うことができます。

特長	優位性	効果
施工スピード ≥ 20 m^3/h	■ 早いグラウティング作業 ■ 限られた気候環境で早期工事可能	■ 全体の工事コスト削減 ■ 時間短縮
早期強度発現	■ アーリーエイジサイクリングのリスク低減	■ コスト低減・時短 ■ 安全で高品質な施工
バルク供給型製品	■ 埠頭でのクレーン作業・吊り上げ・移動・倉庫が不要	■ 作業時の安全性向上 ■ コスト最適化
閉鎖系で連続的プロセスで練り混ぜ作業が可能	■ 粉じん発生を低減 ■ 大雨でもグラウト作業が可能	■ クリーンな作業環境 ■ グラウト施工のコスト削減
製品はサイロに貯蔵し攪拌ジェットミキサー(RJM)を使用	■ グラウト製造装置と工程を簡素化 ■ オープントップコンテナを使用しない ■ グラウト材製造の作業面積を縮小可	■ デッキレイアウトを最適化し追加の基礎部材搭載の余地を確保
自己収縮を限りなく低減	■ 容積を安定化 ■ 弾性係数が低くグラウトが脆くなりにくい ■ グラウト接合部が強ばらない	■ メンテナンスコスト低減
高い疲労耐久性	■ 動的負荷に強い	■ 優れた耐久性と長期物性の信頼性
専門機関による認証; 独立した外部機関による試験	■ 認証された品質 ■ 全ての工程が管理されている	■ 認定業者による施工 ■ リスク管理性の向上
品質の管理	■ 原料及び完成品とも徹底管理されたプレミックス製品 ■ 安定した配合で輸送・保管時に骨材分離が発生しない ■ 穏やかな水和熱	■ 厳しい洋上環境でも最適化された製品品質

洋上グラウト作業のコスト効率アップ

マスターフロー 9800は、海洋構造物のグラウト施工の生産性と安全性に革命をもたらします。結果的に施工コストとエネルギーコストを大幅に削減することができます。
マスターフロー 9800は、洋上でのグラウト施工の課題を克服すること、つまり海洋構造物にグラウトを施工する際の生産性と安全性を大幅に向上させることを目的として、数年間にわたる開発の成果から生まれました。
他の追随を許さない作業面でのメリットは、基礎工事の全体的なコスト削減に大きく貢献します。マスターフロー9800は、袋形態ではなくサイロで出荷されます。天候を問わず岸壁での保管が容易になり 船のデッキレイアウトの柔軟性を高めます。優れた流動特性により、2インチのグラウト配管を介して材料を注入することができ、鋼材の設計とコストに効果を付与することができます。

グラウト関連プロジェクトコスト

洋上基礎工事で使用するグラウト材は 基礎工事全体のコストに大きく影響します。グラウト関連プロジェクト・コスト（GRPC）で考慮しなければならない項目は： グラウト製品の選択、グラウト施工法、グラウトの物理特性、グラウト施工作業に関連するリスク（例： プロジェクト計画の遅れなど）。それにより億単位のコスト削減も可能です。

マスターフロー 9800は、他の製品と比較して、早い段階でプロジェクト計画に組み込むことで、洋上風力発電プロジェクトにおける基礎工事の全体的なコストを10 ～ 15%削減することができます。
マスターフロー 9800の技術的特性と組み合わせ、運用上の利点によって、グラウト接合部の極めて高い耐久性を確保しながら、基礎の施工時に大幅な時間とコストの削減を可能にします。

マスターフロー 9800の優れた特性と、認定施工業者による特殊な機器を用いた作業という利点を組み合わせることで、環境と安全が大幅に改善されます。マスターフロー9800の決定的な利点は、サイロを用いたシステムであることです。

ジェミニ風力発電所で証明された卓越性

高強度グラウト「マスターフロー 9800」が採用されたのは、そのユニークな材料投入及び施工方法のおかげで、基礎工事の一環である洋上グラウト作業の時間を大幅に短縮することができたからです。ジェミニ洋上風力発電所の150基の基礎は、1基あたり平均32分でグラウト施工が完了しました。

マスターフロー 9800を使用することで、従来の材料を使用した場合よりもはるかに高い速度でグラウトを施工することができ、その結果、船舶の周回経路への影響が軽減され、プロジェクト建設の時間とコストを削減することができました。

洋上プロジェクトを より確実なものに

マスターフロー 9800は、マスタービルダーズのエキスパートにより、特に風力発電や石油・ガス産業で使用される洋上設備の基礎への適用を目的として開発されました。 典型的な用途としては、鋼製ジャケット基礎などのグラウト接合、例えば、パイル-スリーブやスタブ-イン-パイル接合などが挙げられます。その他の典型的な用途としては、損傷や腐食した基礎の脚部充填、構造補強、クランプ補修などがあります。

製品の認証

マスタービルダーズでは、業界の専門家や様々な試験機関に依頼して、マスターフロー 9800を洋上風力用途で使用するための認証評価を行いました。評価プロセスを通じて、以下の活動が行われました。

- 試験方法・手順・範囲の定義と検証
- 低温2℃から広い温度範囲でのラボ試験
- DNVGL-ST-C502基準に沿った疲労耐久性評価
- 多様なモックアップへの注入、大規模なポンプ圧送試験を行い 評価・観察
- EN 206基準の原材料を使用しているかの検証
- DAfStBガイドラインに従った製造、生産管理の検証
- 第3者機関による材料評価試験の実施
- 大規模サイズのモックアップで施工性を検証
- 風車のジャケット基礎のグラウト接合部など、洋上でのグラウト適性の評価

検証結果

検証プログラムが正常に完了し、マスターフロー 9800が特定の強度、耐久性、機能、用途の要件に適合しており、製品が目標とする洋上設備の建設用途に適合していることが書面で認証されております。

形式認証

DNVGLは、マスターフロー 9800の性能をDNVGL-ST-C502 海洋コンクリート構造物のガイドラインに沿って認証しました。DNVGLの代表者は、広範な実験室試験とモックアップ試験に立ち会い、施工方法説明書と品質保証書の妥当性を確認しました。 型式承認証明書TAK00000RW は、2017年初頭にDNVGLから授与されました。

外部の専門家がグラウト施工したモックアップを検査

DNV

TYPE APPROVAL CERTIFICATE

Master Builders Solutions Belgium NV

フレッシュモルタルの優れた特性

低温でも完璧なワーカビリティ

流動性とワーカビリティ

EN 12 350-8およびDAfStBの自己充填性コンクリート（SCC）のガイドラインに基づいて、フレッシュグラウトのコンシステンシーについて、流動性、流動保持性を測定しました（図１）

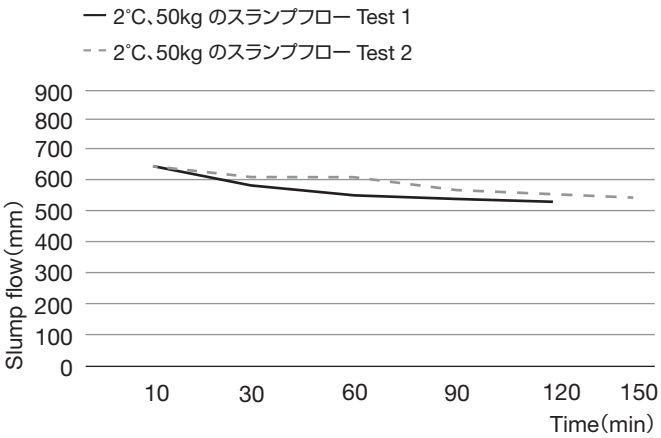
フレッシュグラウト材の特性値は、最も条件の厳しい水量範囲の最小の練混ぜ水量を用いて測定しました。各温度での流動特性と流動保持性は図２～３に示すとおりです。

エイブラムズコーンを使用したコンクリートスランプ試験

図.1

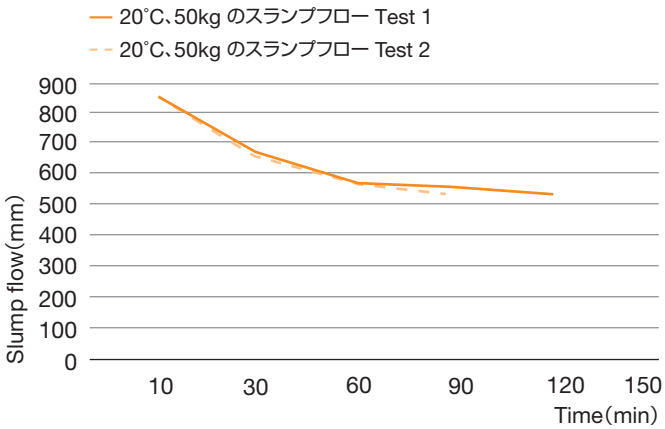
2℃時の流動特性

図.2



20℃時の流動特性

図. 3



空気量と単位

空気量は、容積１リットルのエアメーターを用いて測定しました（図1）。また、同じ1リットルの容器を用いて、フレッシュモルタルの単位容積質量を測定しました。空気量と単位容積質量の結果を表１に示します。

表. 1

空気量（%）	単位容積質量（kg/L）
max. 2.9	2.3

空気量測定

図. 4

圧縮強度

長期にわたり応力を伝達

マスターフロー 9800の圧縮強度は、EN 12390-3に準拠して、100mm立方体を用いて試験しました。試験温度が、2℃、5℃、20℃で圧縮強度を評価しました。各温度で、材齢3日および7 日に3個の立方体を、材齢28日に6個の立方体を試験して強度を測定しました。図5は、圧縮強度の平均値を材齢と試験温度別にプロットしたデータです。

圧縮強度特性

洋上基礎の構造でエラーの無い設計をする観点から、マスターフロー 9800の設計強度は、EN 12390-3に準拠して、12個の直径150mm高さ300mmの円柱型供試体で測定しました。

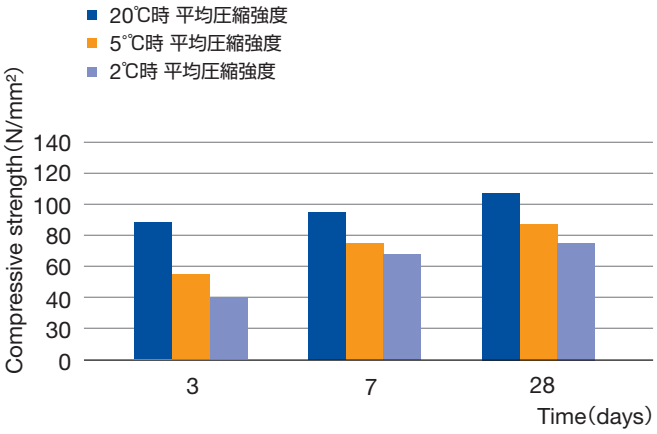
EN 1992-1-1に基づき、以下の式を用いて96MPaの設計圧縮強度を算出しました。
DIN 1045によると、この材料はC80/95相当の製品に分類されます。

$$Xk(n) = mx \times (1 - kn \times Vx)$$

Xk(n) = 設計圧縮強度
mx = 平均圧縮強度
kn = 1.888 [-]
Vx = 変動係数

2℃、5℃、20℃の圧縮強度

図. 5



換算係数

150/300mm円柱から100mm立方体への換算係数は、20℃での平均圧縮強度をもとに決定しました（表2）。

表. 2

100 mm 立方供試体	150/300 mm 円柱供試体	換算係数
104.8 MPa	99.7 MPa	0.95

優れた早期強度発現性

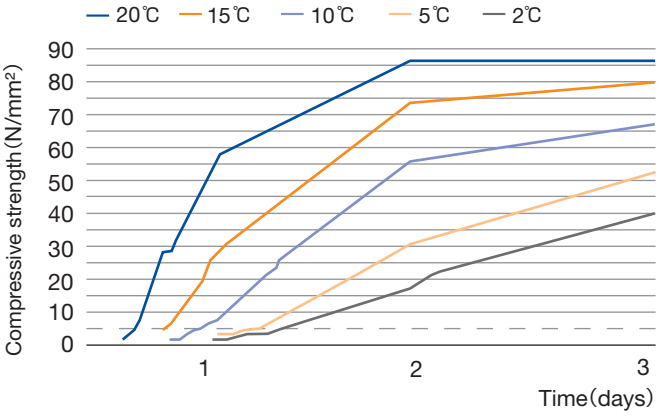
アーリーエイジサイクリングでのリスク低減

マスターフロー 9800の早期強度発現を100mm立方供試体で測定しました。試験は20℃、15℃、10℃、5℃、2℃の温度で行われ、グラウト材、練混ぜ水、鋼製の型枠は所定の温度に予め調整された状態で実施しました。圧縮強度試験は、EN 12390-3に準拠して行いました。

図6は、マスターフロー 9800の2～20℃の初期材齢の強度発現性を示しています。

低温でも早期に強度発現

図. 6



2つの重要な値

- 5MPaのグラウト強度は、施工可能な気象条件の基準、グリッパーの解放の基準、アーリーエイジサイクリングの影響を受けない基準と一般的に考えられています。マスターフロー 9800は、20℃で約14時間、2℃の場合でも48時間以内にこの値を達成しています。
- 20MPaはグラウトの耐凍害性における基準とされています。マスターフロー 9800は、20℃であれば18時間以内に、2℃ の場合は72時間以内にこの値に到達します。

アーリーエイジサイクリングでのリスク低減

DNV GLのガイドラインDNVGL-ST-0126によると、グラウト材の初期硬化過程とその後の初期の強度発現過程では、グラウト充填された鋼製部材間は非常に限定的な動きしか許容されていません。これは、グラウト層が鋼製部材間で適切な荷重伝達を機能するために重要です。

グラウト材の硬化過程中に、グラウト材と鋼材の接地面で軸方向の動きが最大設定値を超える可能性がある場合、適切な手段を用いて動きを制限・防止しなければなりません。

グラウトの硬化段階でのこの動きを制御する方法の一つは、機械的に固定して動きを止めることですが、アーリーエイジサイクリングを抑制するもう一つの方法は、必要な可使時間を確保した上で可能な限りグラウト材の強度を急速に高めることです。

アーリーエイジサイクリングを防ぐ条件としては圧縮強度5MPa以上になりますが、マスターフロー 9800では10℃以下の環境条件では24時間以内、2℃でも32時間以内に達成することが可能です。

モルタル物性の最適化

安定した配合と脆性ファクターの低減

骨材分離安定性

グラウトの骨材分離安定性は、自己充填性コンクリートについて定めたDAfStBのガイドラインに基づいて試験、評価されました。
最大練混ぜ水量で温度が2℃、5℃、20℃のグラウトをプラスチック製のシリンダーに流し込んで、材料の硬化後、シリンダーを軸方向に半分に切断し、硬化したグラウト材の内部の骨材分布を目視で評価しました。図7は、円筒の高さ500mmの範囲で骨材の沈降が見られないことを明確に示しています。また、切断面に見える骨材は均一に分布していることがわかります。

曲げ強度

DIN EN 12390-5に準拠した供試体（L x W x H = 150 x 150 x 700mm）を用いて、マスターフロー 9800の材齢28日の曲げ強度を測定しました。曲げ強度の平均値を表3に示します。

弾性係数

マスターフロー 9800グラウトの静的および動的弾性係数を、DIN 1048-5に準拠し、3個の円柱型供試体（直径150mm 高さ300mm）を用いて、20℃で28日間水中養生して試験しました。その結果は表3に示します。

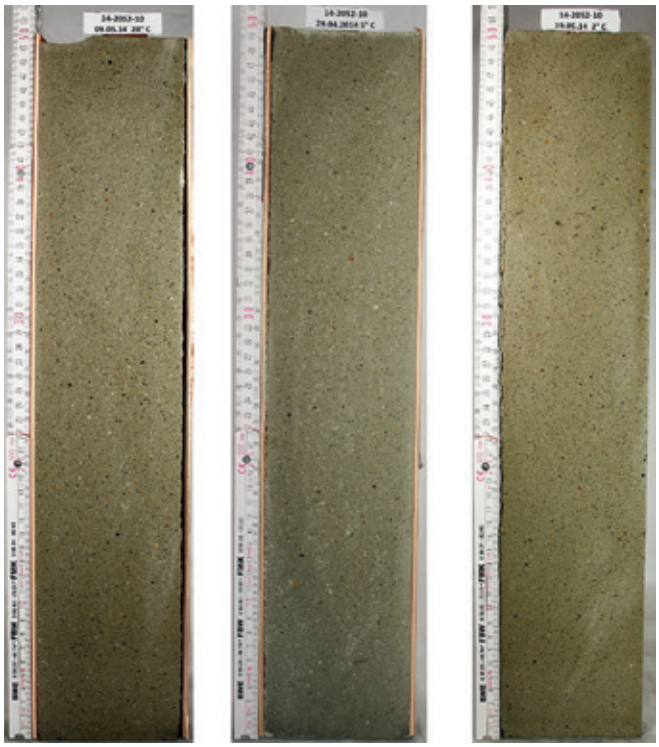
曲げ強度と弾性係数

表. 3

曲げ強度（MPa）	静的弾性係数（GPa）	動的弾性係数（GPa）
10.4	34.1	41.3

骨材の沈降は見られない

図. 7



長期容積安定性

収縮補償済みの配合

自己収縮

自己収縮は、水とセメント系材料の化学反応によって起こる現象です。反応前のコンポーネントの体積は通常、最終製品であるセメント水和物の体積よりも大きいのが普通です（図8参照）。 自己収縮は、乾燥状態でのみ発生する乾燥収縮とは対照的に、材料が湿潤状態でも発生します。

自己収縮が起こると、グラウト接合部でグラウトが鋼材から剥離する可能性があり、その結果、洋上風力発電設備から基礎に作用する応力の伝達が不十分となる可能性があります。

容積安定性は、洋上風力発電設備の基礎の長期的な耐久性において最も重要です。そのため、自己収縮特性を検証することは、洋上のグラウト接合部で使用されるグラウト材の有効性の検証において重要となります。

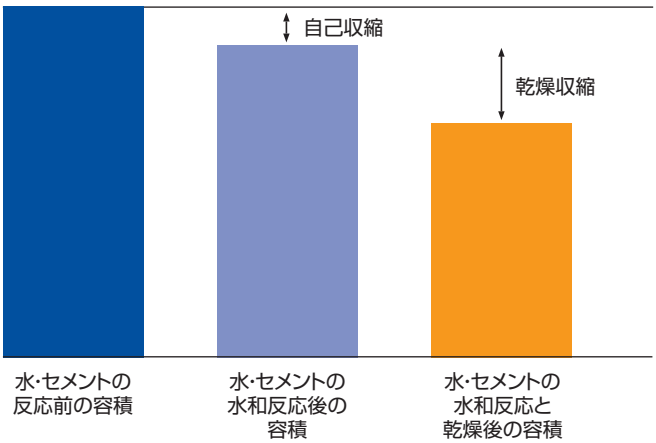
シュライビンガー法による測定

グラウト材の自己収縮性は、温度20℃でシュライビンガー法を用いて測定しました。最初の14日間は、乾燥収縮が起こらないようにサンプルを封緘保存しました。測定は、グラウト材を型枠に打設してから約90分後に開始しました。図9に、養生中の自己収縮量とグラウト温度の変化を示します。

マスターフロー 9800の自己収縮は、収縮補償技術と特殊な化学混和剤によって最小限に抑えられています。
図9に示した結果は、グラウト材の自己収縮に起因すると思われるクラックの発生が著しく減少していることを明示しています。

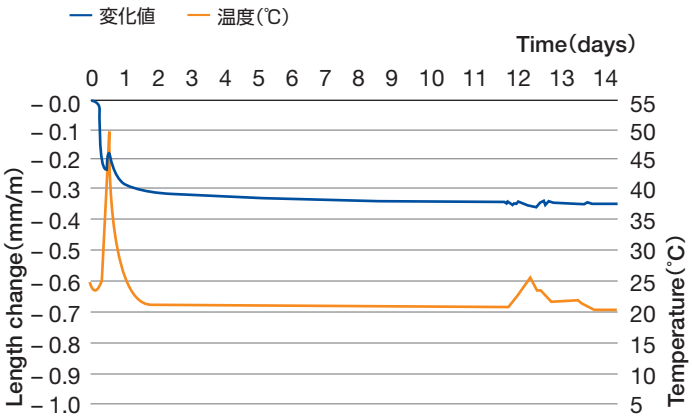
セメントと水の反応前後の容積変化

図. 8



14日後：自己収縮の測定値はゼロに近い

図. 9



優れた疲労耐久性

繰り返しの応力を制御

疲労耐久性とは、材料が繰り返し荷重にさらされた際に発生する、進行性かつ局所性の構造的な損傷に対する耐性です。公称最大応力値は、材料の破壊応力限度内であり、降伏応力限度内となります。

疲労耐久性

疲労は、材料に応力を繰り返し与えることで発生します。応力がある一定の閾値を超えると、微細なひび割れが発生し始めます。最終的にひび割れが臨界のサイズに達すると、構造体は突然破壊されてしまいます。

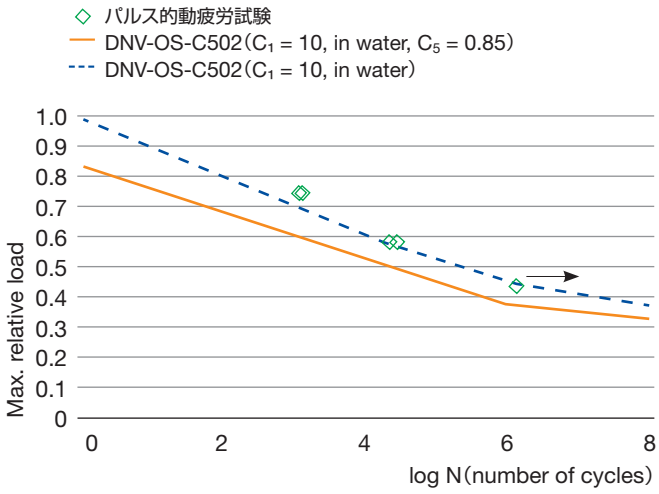
直径100mm×高さ200mmの円柱型供試体を用いて、繰返し荷重を受けた際のマスターフロー 9800の性質を調べました。グラウト材の疲労耐久性試験は、供試体を水中に浸せきした状態で、4Hzの周波数で実施しました。

DNV GL 規格による疲労の分散化

測定された繰返し荷重下での破壊までのサイクル数は、DNVGL-ST-C502による予測値とよく一致しています（図10）。 以上より、マスターフロー 9800を用いたグラウト接合部の疲労特性の設計は，DNVGL-ST-502に示された疲労寿命予測のための公式を適用することができると結論付けられます。 さらに、DNV GL規格に準拠した疲労式にC5係数0.85を用いることで、安全な疲労特性予測を行うことができます。

DNVGL-ST-C502規格による耐疲労性能

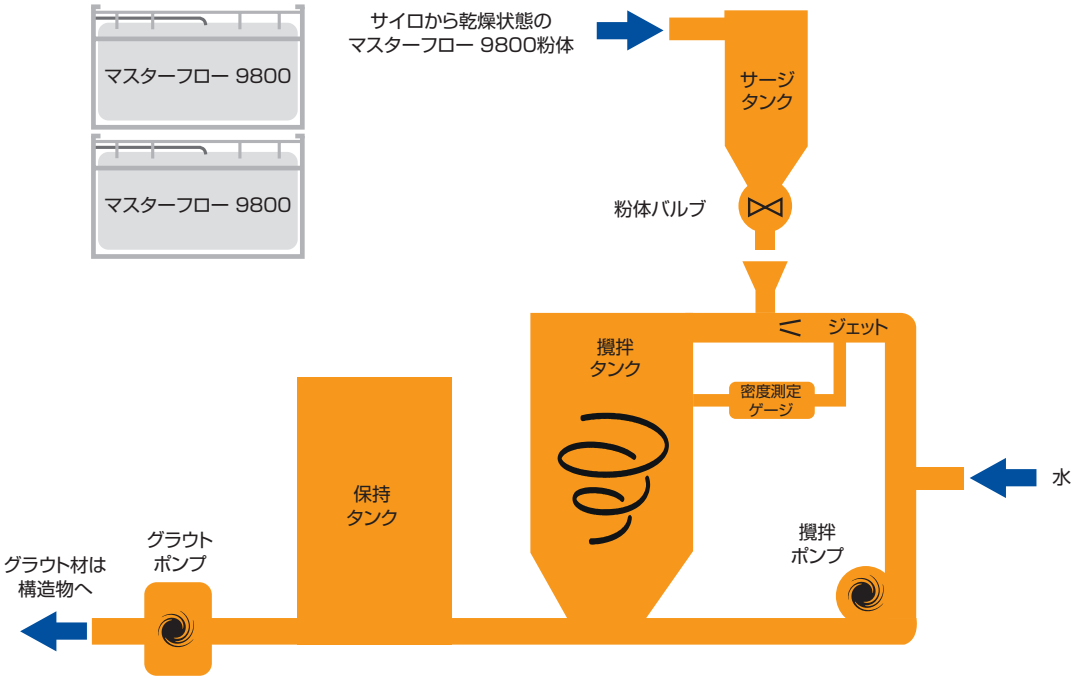
図. 10



循環型ジェットミキサーによるスピード施工

大容量のグラウト材に対し循環型ジェットミキサーを用いる工事例

図. 12



ケーススタディ

従来のフレコン袋で提供されるグラウト材を使用した洋上グラウト施工と、サイロに入ったマスターフロー 9800を使用した画期的なグラウト施工を、4本足のジャケット型基礎で比較してみました。

このデータは、70基のジャケット型基礎からなるプロジェクトに基づいています。

特長	循環型ジェットミキサー	標準的なパンミキサー
施工効率	≥ 20 m^3/h	8 m^3/h
ジャケットへのグラウト施工完了時間	2 .5時間	≥ 10時間
玉掛け技能者の必要人数	不要	2
クレーン及びクレーンオペレーター	不要	必要
デッキスペース	縦型サイロ; 設置面積: 20フィートコンテナ1基分	20フィートコンテナ5基分平積みで必要
ジャケット1基当たりの廃棄グラウト量	0.4 m^3	2.2 m^3
必要な動力	水、空気、電力	水、空気、電力、ディーゼル発電機

マスターフロー® 9800の優れた施工性

モックアップ試験による性能の証明

マスターフロー 9800の製品特性や施工性を評価するために、いくつかのモックアップ試験を行いました。 そのプレミックス粉体はバルクサイロで試験場に運ばれ、グラウト材が混合され、通常洋上グラウト作業に使用される長さ80mの-2インチグラウトホースを通じてポンプから注入されました。試験中は、グラウトの物理的特性とフレッシュモルタルの性状を確認する典型的な品質管理試験が行われました。

グラウトの機械特性の評価

グラウト接合部の充填をシミュレーションするために、実際の洋上作業で行われるのと同じ方法で、いくつかの模擬型枠にグラウト材を施工しました。 これにより、型枠を取り外した後、硬化したマスターフロー 9800のコア抜き供試体強度と骨材分離安定性を評価することで、グラウトの機械的特性を確認することもできました（図11）。

圧縮強度試験の結果

品質確認試験の結果、事前のラボ試験で得られたものと同様の結果が得られ、グラウト工事でのマスターフロー 9800の施工容易性が明確に示されました。 壁面から採取した75mm立方体および円筒形コア（比1/1）について測定した圧縮強度の結果を表4に示します。

ラボで採取した立方供試体とコア抜き供試体の強度

表. 4

立方供試体強度 75 mm立方	コア抜き供試体強度 直径100mm/高さ 100mm
115 MPa	112 MPa

コア抜き供試体の評価状況

図. 11

MASTER BUILDERS ポゾリス®

マスターエア®
AEコンクリートのソリューション

マスターブレース＊＊
コンクリート強化のソリューション

マスターキャスト®
コンクリートブロック製品のための
ソリューション

マスターセム＊＊
セメント製造のソリューション

マスターエマコ®
コンクリート補修のソリューション

マスターイース®
施工性改善のためのソリューション

マスターフィニッシュ®
型枠作業に向けたソリューション

マスターフロー®
精密グラウトのソリューション

マスターファイバー®
繊維補強コンクリートのソリューション

マスターグレニウム®
高い流動性を持つコンクリートの
ソリューション

マスターインジェクト＊＊
コンクリート注入のソリューション

マスターキュアー®
コンクリート養生のソリューション

マスターライフ®
耐久性強化のソリューション

マスターマトリックス®
自己充填コンクリート
レオロジー調整のためのソリューション

マスターペル®
止水コンクリートのソリューション

マスターポリヒード®
高機能汎用コンクリートのソリューション

マスターポゾリス®
汎用的なコンクリートのソリューション

マスタープロテクト®
コンクリート保護のソリューション

マスターレオビルド®
流動性を持つコンクリートのソリューション

マスターレオシュア®
優れたレオロジー保持のためのソリューション

マスターロック®
地下構造物向けのソリューション

マスターシール®
防水とシーリングのソリューション

マスターセット®
凝結遅延コントロールのソリューション

マスターシュア®
ワーカビリティ改善のソリューション

マスタートップ®
産業床および商業床のソリューション

マスターエックスシード®
コンクリート用
最先端早強剤のソリューション

ユークリート®
厳しい環境下の床材ソリューション

＊＊日本未発売

本商品についてのお問い合わせは：全国共通フリーダイヤル 電話 0120-300-590 ／ ファックス 0120-200-314

ポゾリス ソリューションズ株式会社

本社 〒253-0071 神奈川県茅ケ崎市萩園2722 ㈹ TEL 0467-84-9640 / FAX 0467-84-9648

www.master-builders-pozzolith.com

LINE公式アカウント

● ®の製品は世界各国におけるMBCCグループの登録商標です。
● ここに記載された事項は、標準的な試験法に準拠した弊社の実験データにもとづくものでありますが、多岐にわたる条件下での実際の現場結果を確実に保証するものではありません。
● 万が一本資料に提示する以外の方法や分野で本商品をご使用頂く場合には、ご使用者側にて調査検討下さいますようお願い 致します。
● 本記載事項は、新しい知見により予告なく変更する場合がございますのでご了承ください。
● ポゾリス ソリューションズ（株）は、ISO9001品質マネジメントシステム の認証を取得しています。

2023.06