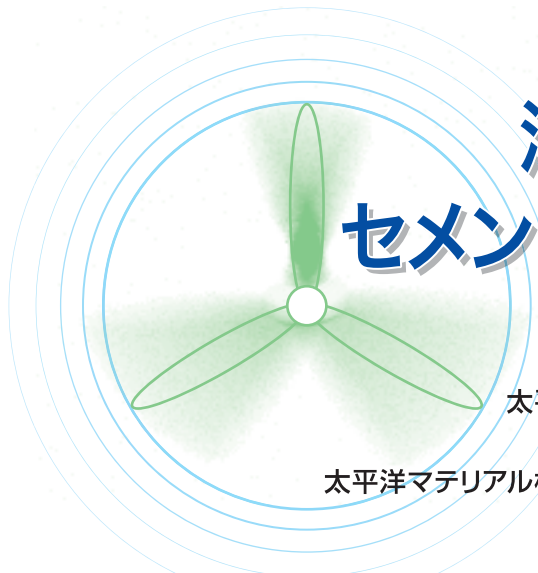




洋上風力発電設備向け セメント系高強度グラウト材の開発

太平洋マテリアル株式会社 開発研究所機能性材料グループ主席 柴垣 昌範

太平洋マテリアル株式会社 東北支店長 山下 直樹

太平洋マテリアル株式会社 営業本部機能性材料営業部インフラ製品担当部長 保井 渉

1 はじめに

温室効果ガス排出を実質ゼロとする「2050年カーボンニュートラル」への取り組みが活発化している中で、再生可能エネルギーの重要性が増している。再生可能エネルギーのうち風力発電、その中でも洋上風力発電への期待が高まっている。

洋上風力発電は、陸上風力発電と比較して景観へ与える影響が少なく、周りに障害物がないため設備の大型化が可能となる。事業規模も大きく大量導入が可能含めた海域面積が世界第6位の日本¹⁾において、洋上風力発電は大きなポテンシャルをもつ発電方式である。世界的にみると、洋上風力の累積導入量は2023

年に72.7GWまで増加し、これまで欧州が牽引していたが中国における導入量が増加し、累積・年間導入量で欧州を上回った(表-1)。洋上風力事業は規模が大きいため、巨額の投資が必要とされる。現状では、設計・構造・材料・管理にわたり、建設から運用後の保険加入が必要とされ、国際認証機関の認証取得が必須とされている。日本国内では、政府として2030年10GW、2040年30～45GWの案件形成、産業界として2040年までに国内調達比率60%の目標が設定された²⁾。

洋上風力発電設備には数万点にも及ぶ部品や材料が使用されている。一方で、国内には大型風車のメーカーがなく海外から輸入する必要があり、グラウト材料についても国際認証を取得した国内メーカーはなく、輸入に依存している状況にあ

る。これらを国内で製造できれば地産地消により産業の大きな振興につながるとともに、日本経済を維持する上でも洋上風力発電事業の国産化が必要とされている。

当社は再生可能エネルギーの切り札である洋上風力発電事業の材料参入に向け、風車基礎に使う高強度グラウト材「太平洋プレユーロックスOFW」を開発した。本製品は、海洋インフラ部門において世界最大規模の認証機関であるDNV社において、国内メーカーとして初となるグラウト材の国際認証を取得した。

本稿では、新たに開発した洋上風力発電向け高強度グラウト材「太平洋プレユーロックスOFW」について、適用箇所、グラウト材の品質設計・性能、洋上での施工管理体制、国際認証の取得について紹介する。

2 洋上風力発電設備の基礎に使用されるグラウト材の適用箇所

2-1 洋上風力発電設備の型式

洋上風力発電設備は、図-1に示す通り発電機を海底に固定する「着床式」と、発電機を洋上に浮かべる「浮体式」の2種類がある。着床式は一般的に水深が50mより浅い海域に適用され、頑強で大型の発電機を設置できる。一方の浮体式では発電機の大きさや発電効率が制限されるが、場所を選ばず大量に設置することが可能である。欧米では着床式が主流で、世界的にはコストが安価なモノパイル型が最も多く用いられており、日本においても現時点では着床式が主

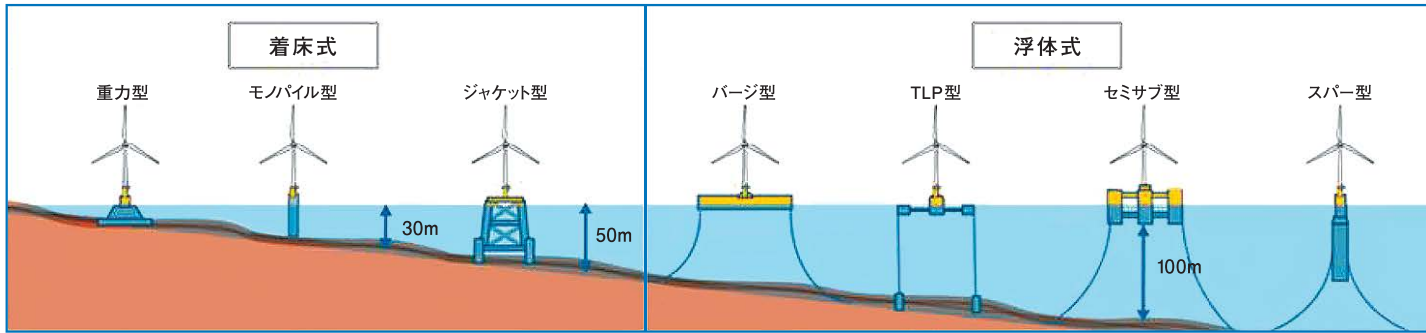


図-1 洋上風力発電設備の型式⁴⁾

流となっている。一方で洋上風力発電の発電量を増やすにあたり、近海の水深が深い日本では設置場所に制限が少ない浮体式も視野に入れているが、技術的な問題、コストや電力輸送の観点からの課題も多く、現在さまざまな検討が行われている。

2-2 グラウト材の適用箇所

モノパイル型基礎で風車を建設する場合、海底にモノパイル（以下、MP）と呼ばれる鋼管杭を打ち込み、その上部にMPと風車タワーの接合部に当たるトランジションピース（以下、TP）を被せることによりMPの傾斜を補正・調整する(図-2)。当社が開発した高強度グラウト材太平洋プレユーロックスOFWは、TPとMPの空隙を充填する材料として適用される。一般的には施工する空間内部の海水を押し上げながらグラウト材で置換させ充填する。また、ジャケット型基礎のパイルとジャケットの接合部にも同様に適用可能である。

いることより、材料設計において近年の気温上昇も考慮し、環境温度40℃、グラウト材の練上り温度48℃までの高温下に対応でき得る材料となっている。標準配合例を表-2に示す。

3-2 グラウト材の練混ぜ

本製品の練混ぜは、国内機械メーカーと共同開発した専用のミキシングプラント(写真-1)を使用する。高粘性のグラウト材を高速で練混ぜることができ、プラント1台当たり

最大10m³/時間以上のモルタル供給が可能とする。

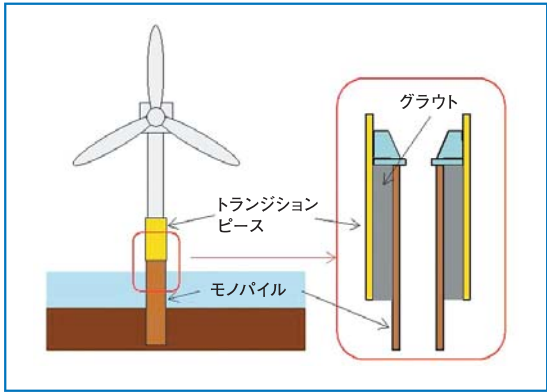


図-2 TPとMPの間でのグラウト接合のイメージ⁵⁾

表-2 太平洋プレユーロックスOFWの標準配合例

区分	環境温度範囲(℃)	テーブルフロー(mm)	プレユーロックスOFW(kg)	練混ぜ水量(kg)	練上量(L)
単位量(kg/m ³)	3～40 (練上り温度: 最大48℃以下)	240～320	1935	286	1000
バッチ配合			3000(2フレコン)	444	約1500



写真-1 専用ミキシングプラント

3 太平洋プレユーロックスOFWの概要

3-1 グラウト材の品質設計

本製品は洋上風力発電設備の構造グラウトとして、必要な条件を満足する特別に開発されたプレミックス材である。セメントと厳選された細骨材をベースに、当社が保有する特殊混和材技術およびプレミックス材の製造技術を生かしたセメント系高強度グラウト材である。優れた流動性や施工性はもちろんのこと、水中不分離性、高い強度発現性、長期耐久性など高性能なパフォーマンスを発揮する。また、日本で計画される多くの洋上風力発電設備は夏場の施工も想定されて

3-3 洋上風力発電基礎に適した品質性能

(1)作業性

高い流動性ととも、洋上での施工トラブルを考慮して長い可使時間(作業性時間)を有する。試験法ASTMC1437に準拠したテーブルフロー試験結果を図-3、写真-2に示す。

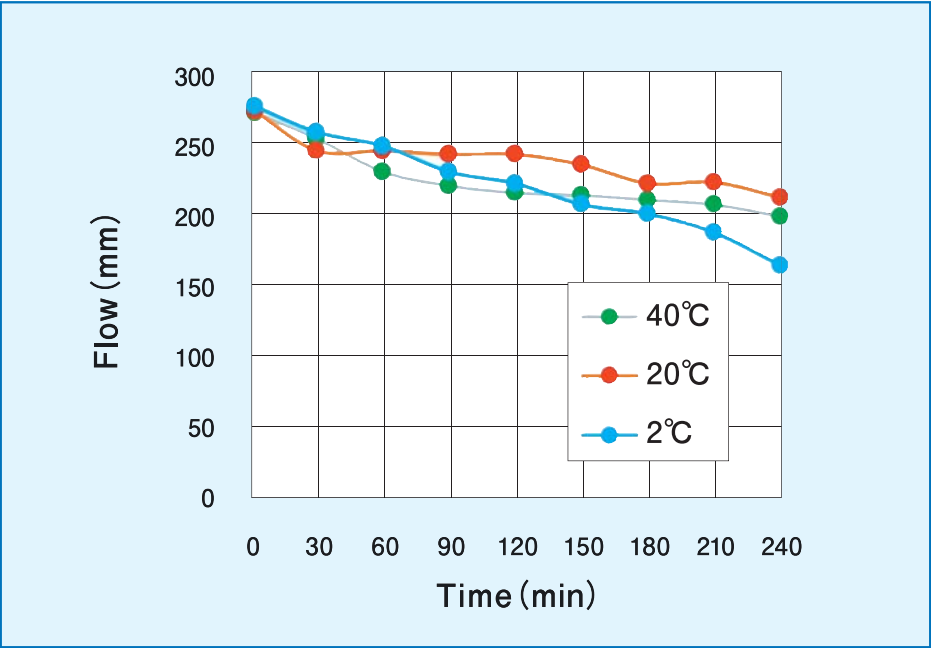


図-3 フロー値の経時変化

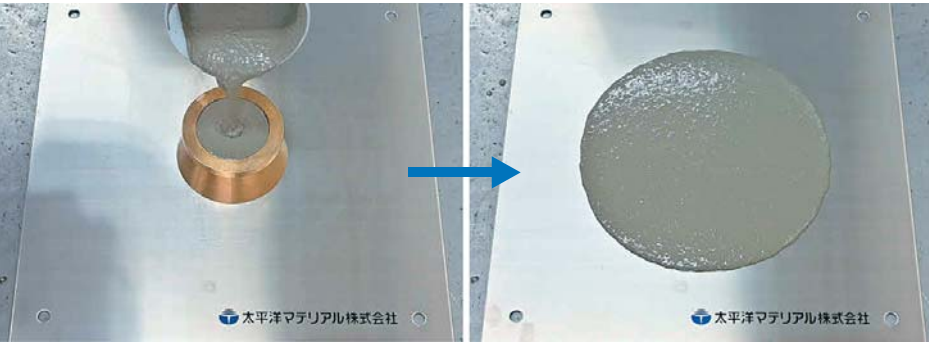


写真-2 テーブルフロー試験状況

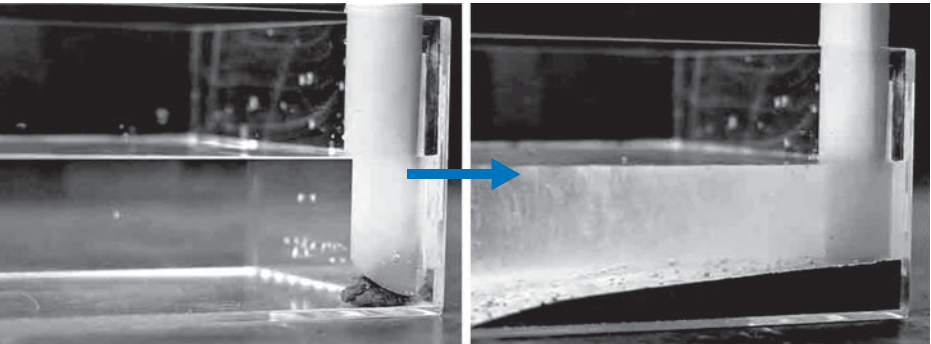


写真-3 グラウト材の水中充填状況

(2)高充填性

最小間隙30mmから施工可能であり、シアキーを有する空隙も密実に充填が可能である。

(3)水中不分離性

適度な不分離性を有し、静水環境下において最大自由落下高さ50cmの範囲で施工が可能である(写真-3)。

(4)施工性

最長200mかつ最大高低差25mの距離の圧送が可能である。

(5)高強度性

優れた早強性、長期にわたり安定した高い強度発現、高い弾性係数を有し、従来品よりも高い衝撃耐久性を発揮する。圧縮強度および曲げ強度、割裂引張強度の測定例を表-3に示す。

(6)疲労耐久性

海洋の風、波荷重などの繰り返し作用による疲労の影響を考慮した高い疲労耐久性を有し、荷重が生じる風車接合部への適用が可能である。構造グラウトの国際型式認証機関であるDNV社の疲労耐久性試験(DNVGL-ST-C502)に従い、動的荷重を加えた構造グラウトの疲労寿命を評価した。図-4に圧縮疲労試験によるS-N曲線図を示す。洋上風力分野で求められる欧州の疲労耐久基準を満足した性能を有することが確認できた。

3-4 施工管理体制

本製品の確実かつ高い施工品質を確保することを目的に、専用の施工管理者制度(Grout Professional 制度)を採用している。本製品を取り扱う際は当社が認定した施工管理者を配することとし、実際にグラウト作業を行う施工者は施工管理者の指示に従うこととしている。認定された施工管理者は、現場におけるグラウト材の製造、品質管理、圧送、充填に関して責任をもって取り組む体制としている。

表-3 圧縮、曲げ、割裂引張各強度の測定例

試験項目	試験方法	試験結果(20℃)
圧縮強度(28d) N/mm ²	EN 12390-3	131
曲げ強度(28d) N/mm ²	EN 196-1	20
割裂引張強度(28d) N/mm ²	EN 12390-6	8.8

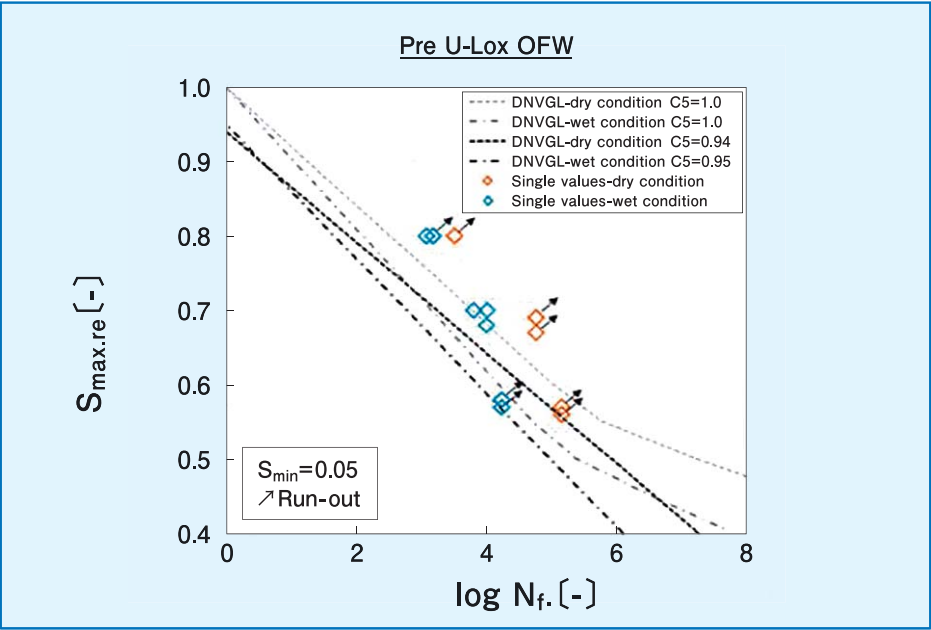


図-4 圧縮疲労試験によるS-N曲線図

3-5 DNV国際型式認証の取得

当社は洋上風力発電事業における材料参入に向け、世界三大認証機関の一つで船舶、洋上施設、海洋インフラ関係の認証では世界一の件数を誇るDNV社(ノルウェー・オスロ)の国際型式認証を取得すべく取り組んだ。複数年を要したが2024年2月に国内メーカーとして初(世界で7社目)のグラウト材の国際認証を取得した。

本認証はグラウト材の製造管理体制、材料品質・保証体制はもちろんのこと、洋上での施工管理体制、リスクマネジメントまで一連のプロセスが含まれている。材料認証は監査官立ち会いのもと厳しい審査が行われた。実際の洋上施工を模擬したモックアップ試験で十分な検証を行い、材料の適用(施工)条件が決定された。本製品は3~40℃を適用温度範囲とするため、モックアップ試験は低温(2℃)、標準温度、高温(40℃)の3つの環境条件にて行った。認証試験の一例として、圧送高低差25mを含む圧送距離200mのポンプ圧送試験を行い、良好な圧送性を実証することができた。

4 おわりに

本稿では、当社が開発した洋上風力発電設備の風車基礎に用いる高強度

グラウト材「太平洋プレユーロックスOFW」について紹介した。本製品が国内メーカーとして初の国際認証を取得したことで、これまでは海外からの輸入に頼らざるを得なかったグラウト材を国内で製造・調達できるようになった。洋上風力発電は再生可能エネルギーの切り札であり、日本の技術力を生かせる産業の一つになることが期待されている。当社は本製品の販売に向け供給および配送体制を整備していくとともに、「2050年カーボンニュートラル」への積極的な取り組みを継続し、エネルギー自給率向上に貢献していきたい。

【参考文献】

- 1) JICE一般財団法人国土技術研究センター: 意外と知らない日本の国土, <https://www.jice.or.jp/knowledge/japan/commentary03>
- 2) 経済産業省資源エネルギー庁: 洋上風力発電に関する国内外の動向等について, 2023年11月, https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/green_power/pdf/008_04_00.pdf
- 3) 公益財団法人自然エネルギー財団: 洋上風力発電の動向世界と日本における現状[第5版], https://www.renewable-ei.org/pdf/download/activities/202404_Offshorewindinfo.pdf
- 4) 国土交通省港湾局: 2050年カーボンニュートラル実現のための基地港湾のあり方検討会~基地港湾の配置及び規模~, 令和4年2月, p.5, <https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001467102.pdf>

5) 経済産業省産: 業構造審議会保安・消費生活用製品安全分科会第16回電力安全小委員会資料, 3-2参考資料(洋上風力統一的解説), 平成30年3月12日, p.16, https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/denryoku_anzen/pdf/016_03_02.pdf

しばがき・まさのり

【著者略歴】

1995年 株式会社小野田
(現 太平洋マテリアル株式会社)入社
現在 同社開発研究所機能性材料グループ主席

やました・なおき

【著者略歴】

1985年 小野田セメント株式会社
(現 太平洋セメント株式会社)入社
現在 太平洋マテリアル株式会社東北支店長

やすい・わたる

【著者略歴】

2007年 太平洋マテリアル株式会社入社
現在 同社営業本部機能性材料営業部インフラ製品担当部長