

洋上風力用繊維入りグラウト注入材の疲労強度特性について

○(株)熊谷組 土木事業本部土木設計部 吉田 健治

1. はじめに

東日本大震災以降、風力発電については、陸上の建設適地が限定されることから洋上での活用が期待されている。モノパイル基礎はその施工性の高さと経済性から洋上風力発電における実績が最も多く、今後も主流になる基礎形式と考えられる。モノパイル形式を採用した場合、モノパイルとトランジションピースの接合方法として、グラウト接合が一般に採用される。

洋上風車は風・波による繰り返し作用を受けるため、疲労耐久性の確保が重要になる。しかしながら、グラウト材そのものに対する強度特性や疲労特性は現状で明らかになっていない。

本研究ではグラウト接合に用いるグラウト材について、疲労試験を実施して耐久性状を明らかにするとともに、繊維補強により引張特性・疲労特性を向上させることを目的とする。

2. グラウト材の物性

2.1 試験配合

グラウト材の曲げ疲労強度を向上させるために、PVA繊維(ビニロン繊維)を添加させた配合とした(表-1)。

PVA繊維(繊維長12mm)を0vol%(プレーン)、1.0vol%および1.5vol%とした時の各種物性値の測定した。

2.2 試験項目と試験方法

グラウト材の物性を評価した試験方法と試験項目を表-2に示す。コンシステンシーはフローの広がり20cmに到達するまでの時間および1分および5分経過後のフロー値を測定した。圧縮強度および弾性係数は円柱供試体($\phi 5 \times 10$ cm)、曲げ・圧縮強度は角柱供試体($4 \times 4 \times 16$ cm)にて試験を実施した。

2.3 試験結果

2.3.1 フレッシュ性状試験結果

グラウト材のフロー試験の経時変化をFig.2に示す。PVA繊維を多く添加するほど流動性が低下する傾向が認められた。作業性を考慮するとPVA繊維の添加量は1.0vol%が適当である。

2.3.2 硬化性状試験結果

円柱供試体($\phi 5 \times 10$ cm)の圧縮強度試験(JIS A 1108)の結果を図-3に示す。養生方法は20℃封かん養生とし、所定材齢での強度発現性を確認した。PVA繊維添加量ごとの円柱供試体の圧縮強度は同程度の値を示した。この結果からPVA繊維は圧縮強度には大きな影響を与えないと考えられる。

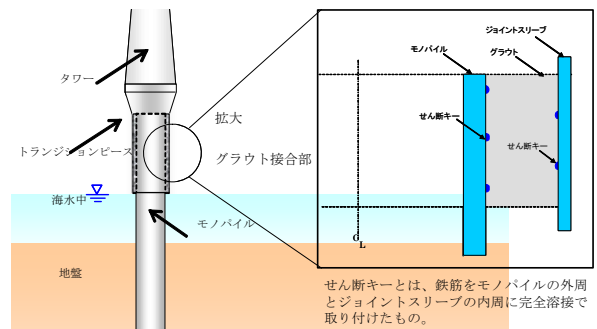


図-1 モノパイル基礎概要図

表-1 配合一覧

No.	水/グラウト材 (%)	PVA繊維 (vol%)	試験温度 (°C)	練混ぜ時間
①	22.8	0	20	ハンドミキサー (500rpm 2分)
②	22.8	1.0	20	
③	22.8	1.5	20	

表-2 試験方法

試験項目	試験方法
コンシステンシー	20cmフロー時間 JASS15 M-103 準拠
	1分フロー値 (測定容器 $\phi 50$ mm 高さ100mm)
	5分フロー値
単位容積質量試験	JIS A 1171 準拠 (測定容器 500cc)
圧縮強度	JIS A 1108 準拠
弾性係数	JIS A 1149 準拠
曲げ・圧縮強度	JIS R 5201 準拠

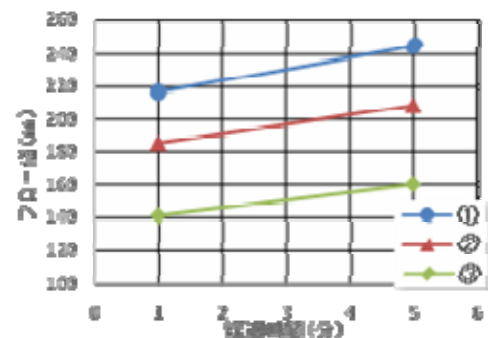


図-2 フロー試験結果

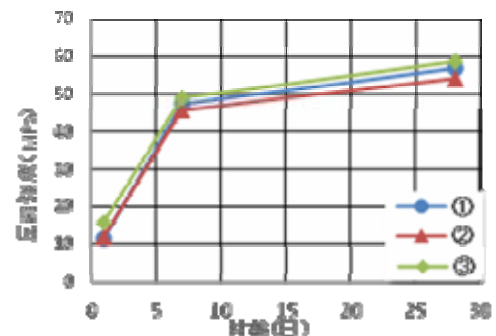


図-3 圧縮試験結果

キーワード：洋上風力発電、モノパイル、グラウト接合、マックスAZ、繊維補強グラウト材

連絡先 〒162-8557 東京都新宿区津久戸町2-1 株式会社熊谷組土木事業本部 TEL 03-3235-8622

3. グラウト材曲げ疲労試験方法の検討(開発)

洋上風力設備は繰返し応力を受けるため使用部材の耐久性を評価する必要があるが、モルタルの耐久性評価方法はほとんど無いのが現状である。

そこで(社)日本道路協会の「舗装調査・試験方法便覧」に記載されているコンクリートの曲げ疲労試験方法(B070T)を参考にし、モルタルでの評価方法の検討を行った。

4×4×16 cmで作製した角柱供試体を材齢 28 日標準養生後、保管期間を温度 20±1℃、湿度 60±5%の恒温湿室内で 4 週間以上保管し試験を実施した。疲労破壊繰返し回数 200 万回を超える応力を基準とし応力比で 0.5~0.7 程度範囲内の 4~5 段階で測定を実施した。

4. グラウト材曲げ疲労試験結果のまとめ

繊維混入の有無による違いを比較するため、図-5 に各応力値を静的強度で除して応力比表示した S-N 線図(分布図)を示す。なお、破壊したポイントについては■, ◇で表示し、非破壊の結果については●, ○で表示している。図中に示した直線は破壊したデータの対数近似曲線である。

応力比 0.6~0.63 のレベルで両者を比較すると繊維無しの試験体は全て破壊し、繊維入り試験体は全て非破壊であったことから、繊維入り材料の疲労強度増加の効果が確認できる。200 万回繰返し载荷における疲労限強度の増加は応力比レベルで 0.1 程度となっている。

5. 試験結果のまとめと今後の課題

試験結果から得られた知見を以下に示す。

- ・ PVA 繊維添加量を 1vol%, 1.5vol%と増加すると繊維無しのグラウト材に比較して流動性が低下することを確認した。添加量の増加に伴い単位容積質量は低下する。
- ・ 円柱供試体の圧縮試験を行った結果、繊維入りグラウト材の圧縮強度・弾性係数は繊維無しのものとほぼ変化がなかった。
- ・ PVA 繊維添加量が増えると引張強度が増加する傾向があることが認められた。
- ・ グラウト材の疲労試験用治具を製作し、曲げ疲労試験を実施した。
- ・ 曲げ疲労試験の結果、繊維入りグラウト材の疲労限が応力比レベルで 0.1 程度、繊維無しグラウト材に比較して向上することを確認した。

繊維補強材を添加しない材料に比較して、繊維入りグラウト材は引張強度特性・疲労強度特性・靱性の点で向上することが確認できた。ただし、疲労強度試験自体非常に結果のバラツキが大きく、今後さらにデータを蓄積していくことが望まれる。また、引張強度のさらなる向上も課題である。

謝辞：疲労試験実験治具製作に関しては群馬県産業技術センター荻野様からアドバイスを頂きました。また、要素試験の実施と結果の整理については秩父コンクリート工業(株)中島様、新井様のご協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

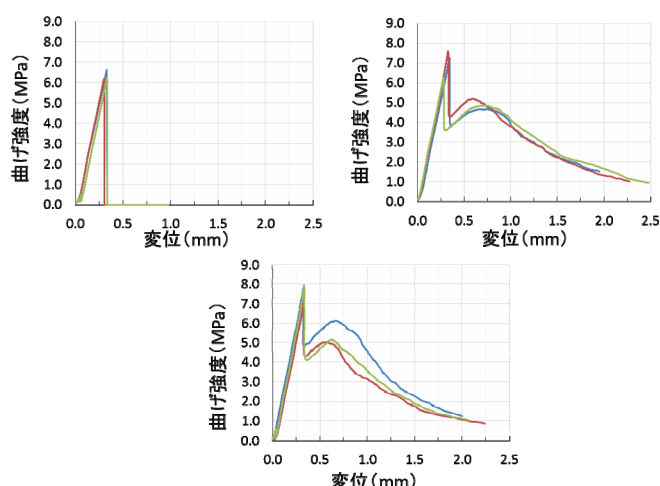


図-4 曲げ試験の応力—変位曲線

表-3 曲げ強度試験結果

No.	PVA繊維 (vol%)	曲げ強度(Mpa)			
		材齢7日		材齢28日	
		破断時 応力	破断後 最大応力	破断時 応力	破断後 最大応力
①	0	4.74	—	6.34	—
②	1.0	6.17	4.34	7.02	4.92
③	1.5	7.00	7.50	7.57	5.43

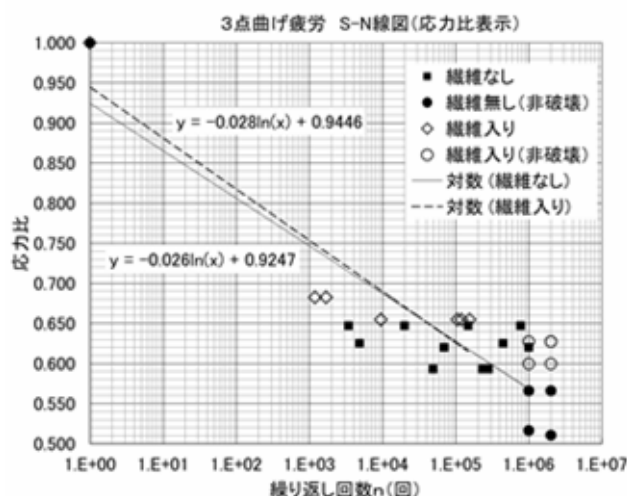


図-5 曲げ疲労試験結果