

モノパイル式洋上風車グラウト接合部の挙動に関する研究
(その1 静的繰返し载荷実験)

清水建設株式会社 正会員 ○田中颯馬 村瀬史弥
清水建設株式会社 西山恒平 石井大吾

1. はじめに

モノパイル式洋上風車のモノパイル (MP) とトランジションピース (TP) 間の接合ではグラウト接合が用いられることが多い。グラウト接合部は設計のクライテリアである地震時の想定荷重に対し、グラウトに生じる応力が DNV 基準¹⁾で定められる閾値を下回るよう設計される。一方で、地震時の荷重が作用した後のグラウト接合部の挙動に着目した研究は少ない。本報では、地震時の繰返し荷重を受けた後のグラウト接合部の挙動を実験的に確認した結果を報告する。

2. 実験計画

試験体は図 1 に示す 2 体であり、基準¹⁾に基づいて設計された 3MW クラス洋上風車のコンカル式グラウト接合部を基に 1/10 縮尺で製作した。ただし、グラウ

ト厚さは基準で定められた最小厚さの 40mm とした。実験変数はグラウト接合部長さ L であり、試験体 No.1 は $L=1140\text{mm}$ (基準準拠)、No.2 は No.1 の $1/2$ の $L=570\text{mm}$ (基準非準拠) とした。使用した鋼材とグラウトの材料特性をそれぞれ表 1 と表 2 に示す。

加力装置は図 2 に示す通りであり、鉛直ジャッキで曲げモーメント M と軸力 N を、水平ジャッキでせん断力 Q を作用させた。加力荷重は発電時、暴風波浪時、地震時の 3 ケースを想定し、別途実施した解析に基づいて表 3 に示す荷重値を決定した。加力サイクルを図 3 に示す。各加力ケースにおいて 10 回ずつの静的正負交番繰返し载荷を行った。

表 1 使用鋼材の材料特性

鋼材	規格	降伏点 (N/mm^2)	引張強さ (N/mm^2)	弾性係数 (kN/mm^2)	使用部位
PL6①	SM490A	387	567	206	No.1:TP No.2:TP, MP
PL6②		392	570	208	No.1:MP

表 2 グラウトの材料特性

試験体	圧縮強度 (N/mm^2)	割裂引張強度 (N/mm^2)	弾性係数 (kN/mm^2)	ポアソン比	材齢 (日)
No.1	153	6.3	52	0.20	42
No.2	131	5.7	52	0.20	34

表 3 加力荷重

荷重レベル	N (kN)	Q (kN)	M (kNm)
発電	51	10	61
暴風波浪時	60	30	215
地震時	86	80	261

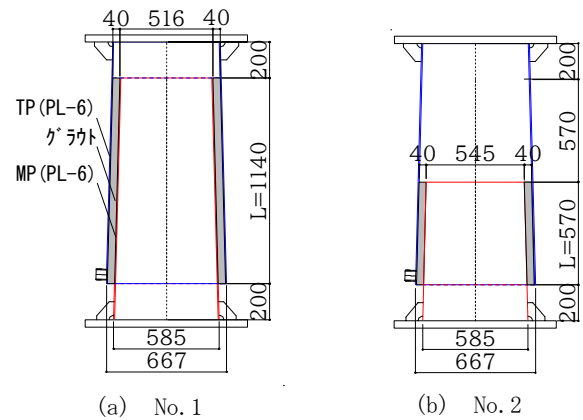


図 1 試験体

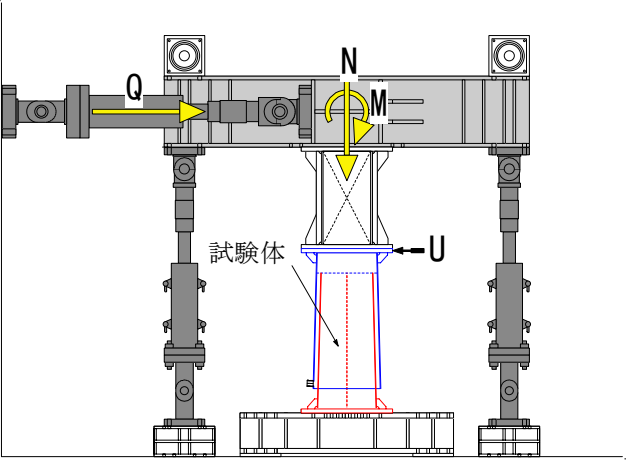


図 2 加力装置

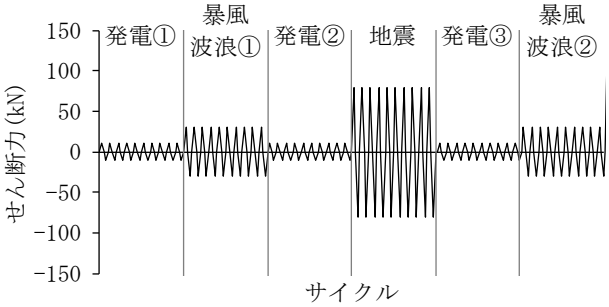


図 3 加力サイクル

キーワード 洋上風車, モノパイル, グラウト接合, 繰返し载荷
連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目 16-1 清水建設株式会社 土木技術本部 E-mail: f.tanaka@shimz.co.jp

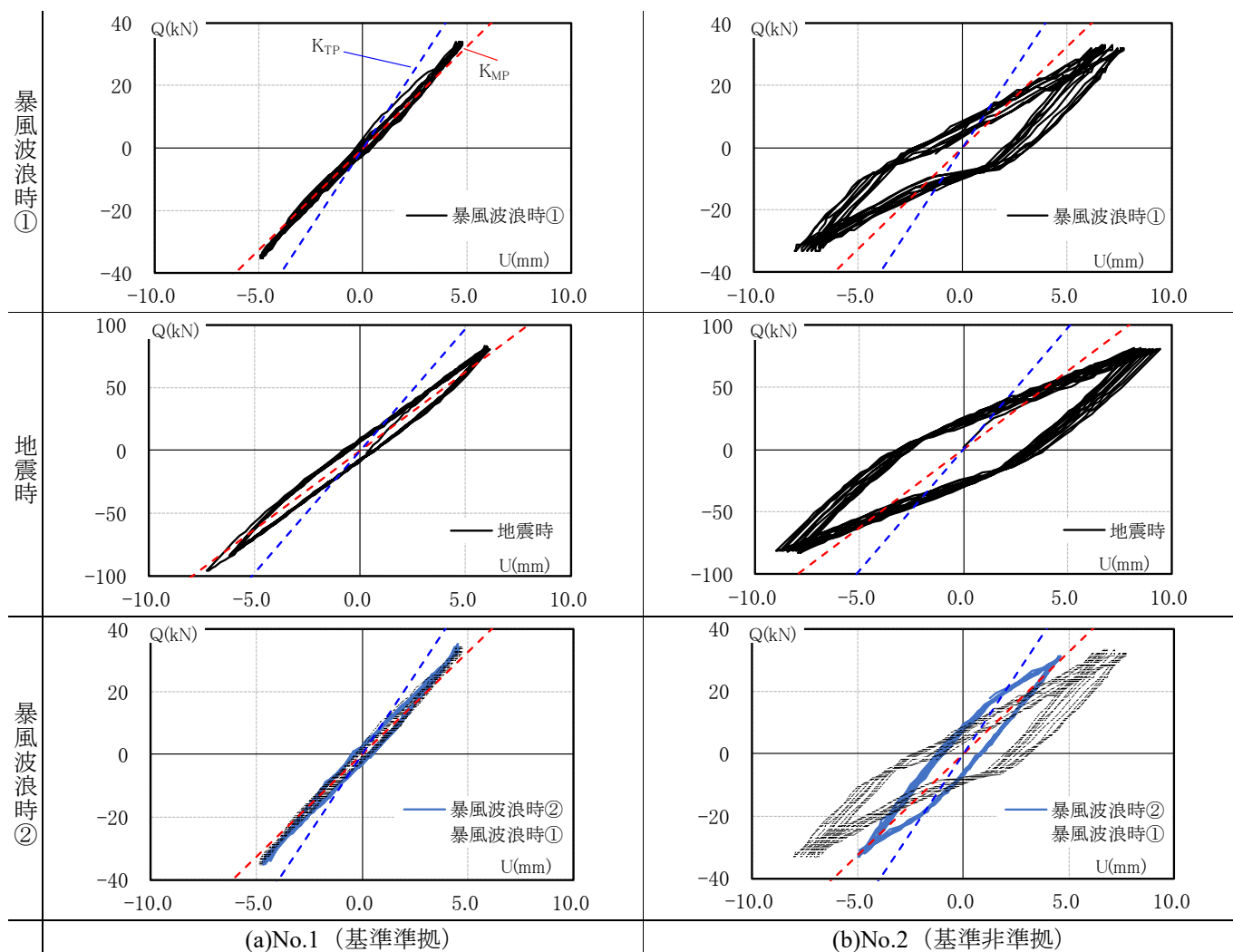


図 4 セン断力 Q -試験体頂部水平変位 U 関係

3. 実験結果

暴風波浪時と地震時の試験体のせん断力 Q -試験体頂部水平変位 U 関係を図 4 に示す (U の計測位置は図 2 参照)。図中には試験体剛性の計算値として、MP あるいは TP の最小断面 (MP 頂部、TP 頂部) が試験体全長にわたり一様に連続していると仮定した場合の計算値 K_{MP} (赤点線)、 K_{TP} (青点線) を併せて示す。図 4 の暴風波浪時①と②の Q - U 関係を比較し、地震時の繰返し荷重を受けたグラウト接合部の挙動を確認する。

試験体 No.1 では Q - U 関係は線形的な挙動を示しており、暴風波浪時①と②で Q - U 関係の差異は小さい。基準に基づいて適切なグラウト接合部長さが確保されている場合、地震時の荷重を受ける前後でグラウト接合部の挙動に変化はほとんど生じないことがわかる。また、暴風波浪時、地震時ともに、 Q - U 関係の割線剛性は K_{MP} と良く対応している。

試験体 No.2 では Q - U 関係は平行四辺形型のスリップ性状を示し、グラウトにひび割れが生じていると推

測される。また、暴風波浪時②では①と比べて Q - U 関係の割線剛性が増加した。グラウト接合部長さが基準に基づく長さより短い場合は、地震時の繰返し荷重を受ける前後でグラウト接合部の挙動に変化が生じることがわかる。計算剛性との比較では、暴風波浪時②の Q - U 関係の割線剛性は K_{MP} と良く対応している。

4. まとめ

モノパイル式洋上風車のグラウト接合部を対象に繰返し載荷実験を実施し、設計のクライテリアである地震時の繰返し荷重を受ける前後のグラウト接合部の挙動の変化を荷重変形関係を比較することで実験的に確認した。基準に基づいて適切なグラウト接合部長さが確保されていれば、地震時の荷重を受ける前後でグラウト接合部の性能がほとんど変化しないことが確認できた。

参考文献

- 1) Det Norske Veritas : Support structures for wind turbines, DNV-ST-0126, Edition:December,2021