

# 大型振動台実験によるスリップジョイントを有する洋上風車の耐震性能の評価

鹿島建設(株) 正会員 ○藤井愛弓 松木 聡 山沢哲也 征矢陽光  
(株)小堀鐸二研究所 酒向裕司 鈴木芳隆

## 1. 背景および目的

洋上風力発電の基礎形式は、欧州ではモノパイル式の採用実績が最も多い。モノパイル(MP)とトランジションピース(TP)の既存の接合方式はボルト接合やグラウト接合が一般的であるが、その他の新しい方式としてスリップジョイントがある。この方式は、MPとTPとの接合部をコニカル形状とし、これらを嵌合するだけの構造であり(図-1)、施工性向上や維持管理費の軽減が期待できる。この構造を日本国内で適用するには、耐震性の検証が必要になる。本稿では、本構造の地震に対する構造安全性の検証を目的として実施した、縮小試験体による振動台実験の結果を報告する。

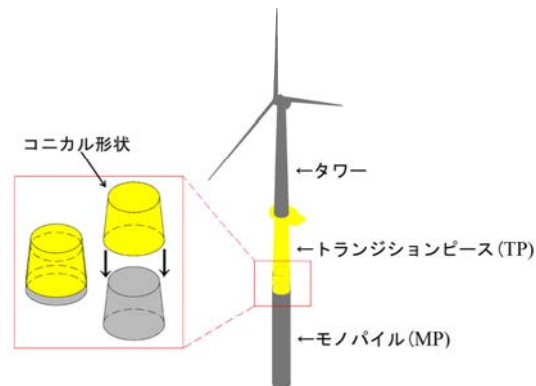


図-1 スリップジョイントの概念



写真-1 実験状況

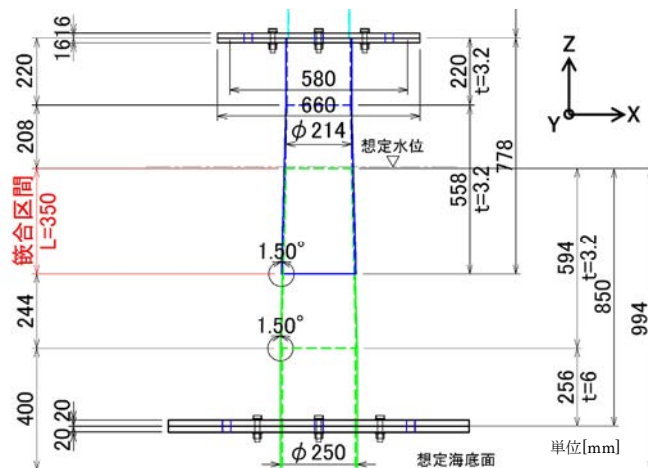


図-2 スリップジョイント嵌合部詳細

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体

写真-1 に実験状況を、図-2 に本実験で使用した試験体のスリップジョイント嵌合部詳細を示す。本実験では10MW級の大型風車を想定し、試験体は実機の1/30縮尺で作成した。洋上風力分野の基準の規定による許容製作誤差範囲内で製作したスリップジョイント試験体(#1)に加え、楕円度が許容誤差を超過した試験体(#2)と、TPとMPそれぞれのコニカル部の相対角度差が許容誤差を超過した試験体(#3)を製作した。これら試験体を比較し、コニカル部分の形状の違いが振動特性に与える影響を評価することとした。加えて、既存の接合方式を模擬した、MPとTP一体型の試験体(#4)および破壊モードの確認のためのアルミ試験体(#5)を製作した(表-1)。なお、試験体における発生応力および振動特性が実機と合うように相似則を考慮し、試験体に付加マスを設置した。

表-1 試験体一覧

名称	タイプ	材質	平面	立面
#1	スリップジョイント (許容製作誤差範囲内)	鋼材 SS400		
#2	スリップジョイント (楕円誤差超過)	鋼材 SS400		
#3	スリップジョイント (相対角度誤差超過)	鋼材 SS400		
#4	一体型 (既存工法を模擬)	鋼材 SS400		
#5	スリップジョイント ※破壊モード確認用	アルミ材 A1050		

キーワード 洋上風車基礎, スリップジョイント, 振動台実験, 耐震性能

連絡先 〒107-8477 東京都港区元赤坂 1-3-8 鹿島建設(株) 土木設計本部 03-6735-1567

## 2.2 実験内容

本実験は3軸加振(水平XY、鉛直Z)が可能な大型振動台を使用して行った。表-2に入力地震波を示す。本実験では、極めて稀に発生する地震動(以下、極稀地震)3波形を入力波とした。それぞれの波形において、安全性確認のため実加速度の50%で加振した後、実加速度での加振を行った。加振時間は相似則に従い、実加振時間の $1/\sqrt{30}$ 倍とした。各試験体には加速度計およびひずみゲージを設置した。また、試験体の全体変位はモーションキャプチャーによって測定した。

## 3. 実験結果

### 3.1 最大加速度分布の比較

#1 試験体(スリップジョイント)と#4 試験体(既存工法を模擬)に関して、八戸波(EW)を与えた際の最大加速度分布を図-3に示す。

#1 と#4 の最大加速度の高さ分布は類似し、また、試験体基部からの高さ3.7m付近で確認された最大加速度も約1600galで概ね同様の値であった。

コンカル部分の形状を変化させた試験体(#2、#3)の結果においては、最大加速度分布に関して#1との明確な差は確認されなかった。

### 3.2 破壊モードの確認

#1~#4の鋼材の試験体において、極稀地震相当の地震波を与えた後でも試験体の破壊は確認されなかった。

#5 試験体(アルミ材)に関しては、破壊モード確認のため、加振力を上げて载荷し、#1~#4 試験体の4.5倍相当の地震波を与えた際に試験体の破壊が確認された。写真-2、3に実験後の試験体写真を示す。スリップジョイントの銜合区間において局部座屈は確認されず、銜合区間より上方の、コンカル部と直管部の接続部において局部座屈が確認された。

表-2 入力地震波

	波形	最大入力加速度	方向
①	八戸 (EW)	180gal (実加速度50%)	X
②			XZ
③			XYZ
④		360gal (実加速度100%)	X
⑤			XZ
⑥			XYZ
⑦	神戸 (NS)	180gal (実加速度50%)	X
⑧			XZ
⑨			XYZ
⑩		360gal (実加速度100%)	X
⑪			XZ
⑫			XYZ
⑬	ランダム A	200gal (実加速度50%)	X
⑭		400gal (実加速度100%)	

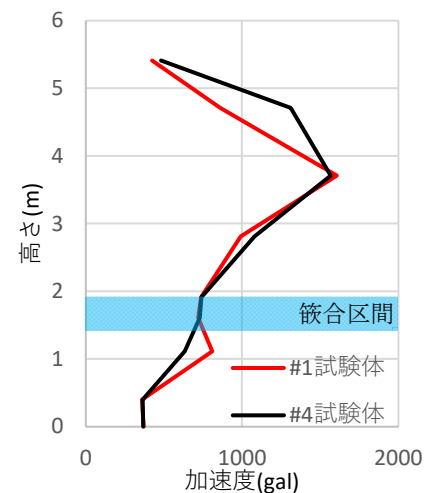


図-3 最大加速度分布(八戸 EW)

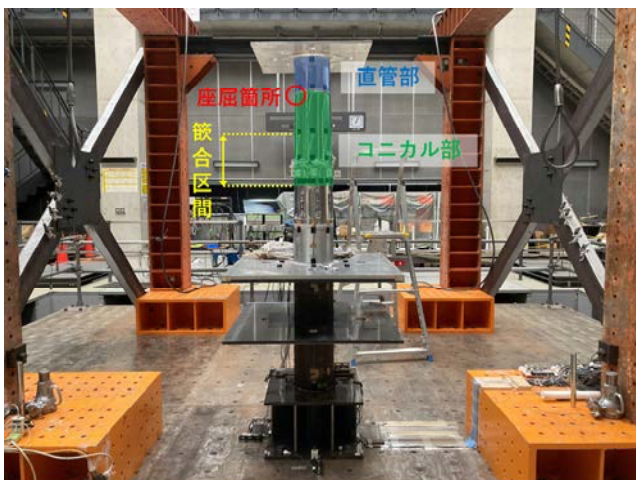


写真-2 #5 試験体座屈状況(遠景)



写真-3 #5 試験体座屈状況(近景)

## 4. まとめ

本検討によって得られた知見を下記に示す。

- (1) 極稀地震に対するスリップジョイントの構造安全性を確認した。
- (2) スリップジョイントと既存工法において、振動特性に明確な差はなかった。
- (3) スリップジョイント銜合区間での先行破壊はなかった。

## おわりに

本実験は、(一財)日本海事協会、(株)小堀鐸二研究所、鹿島建設(株)の共同研究の一環として実施された。