

## 着床式洋上風力発電設備を対象とした模型振動実験の基礎検討 — 海底面固定条件における風車模型の振動特性 —

港湾空港技術研究所 正会員 ○大矢 陽介  
 港湾空港技術研究所 正会員 小原 陵  
 港湾空港技術研究所 正会員 小濱 英司

### 1. 目的

国内で整備が進められている洋上風力発電設備は、建設実績が少なく、地震被害の経験も少ない。着床式基礎構造の地震時の挙動は支持地盤の影響が大きく、建設サイトにおける大規模地震時の挙動については不明確な点が多い。本研究では着床式洋上風力発電設備を対象に、港湾域における大規模地震時の挙動を把握することを目的に模型振動実験を実施した。本報告では、風車模型の振動特性を把握するために実施した海底面固定の固定条件における実験結果について報告する。

### 2. 実験内容

検討は5MWのモノパイル式基礎の風車<sup>1)</sup>を対象に、縮尺比は1/35として曲げ剛性の相似則を満足するように設計した。図1に模型断面とセンサー類の配置、図2に実験状況の写真を示す。実機のタワー部のテーパーを模型で考慮することが困難なため、文献2)を参考に風車構造の高さ方向に区画に分け、区画毎の剛性に合わせた鋼管を用いて製作した。実験に用いた加速度波形およびフーリエスペクトルを図3に示す。加速度波形は工学基盤における2Eとして設定された波形を模型実験で入力し、振動台上のセンサーで計測された波形である。

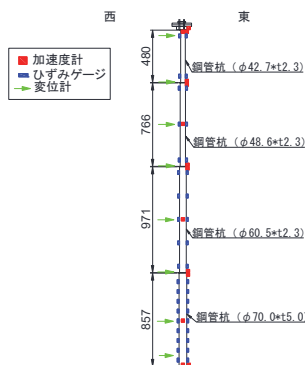


図1 模型断面とセンサーの配置

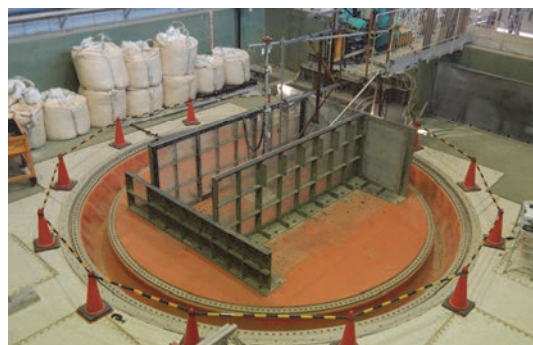
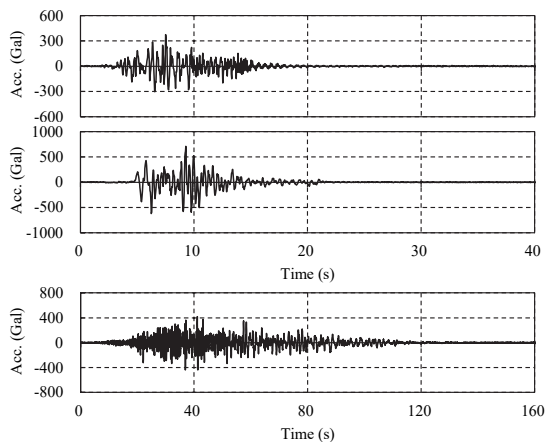
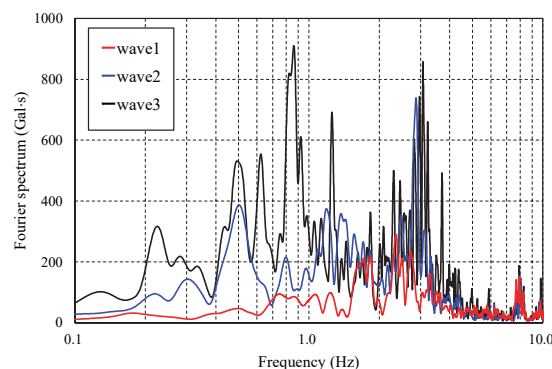


図2 実験状況



a) 加速度波形 (上から wave1, wave2, wave3)



b) フーリエスペクトル

図3 入力地震動 (振動台で計測された波形. wave1のみ2E波の振幅2倍)

キーワード 洋上風力発電設備, 着床式基礎, 模型振動実験, レベル2地震動

連絡先 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1 港湾空港技術研究所 TEL: 046-844-5058

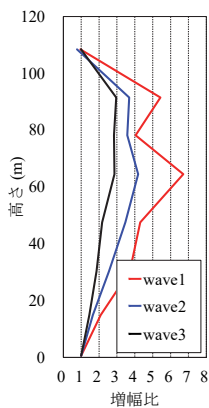
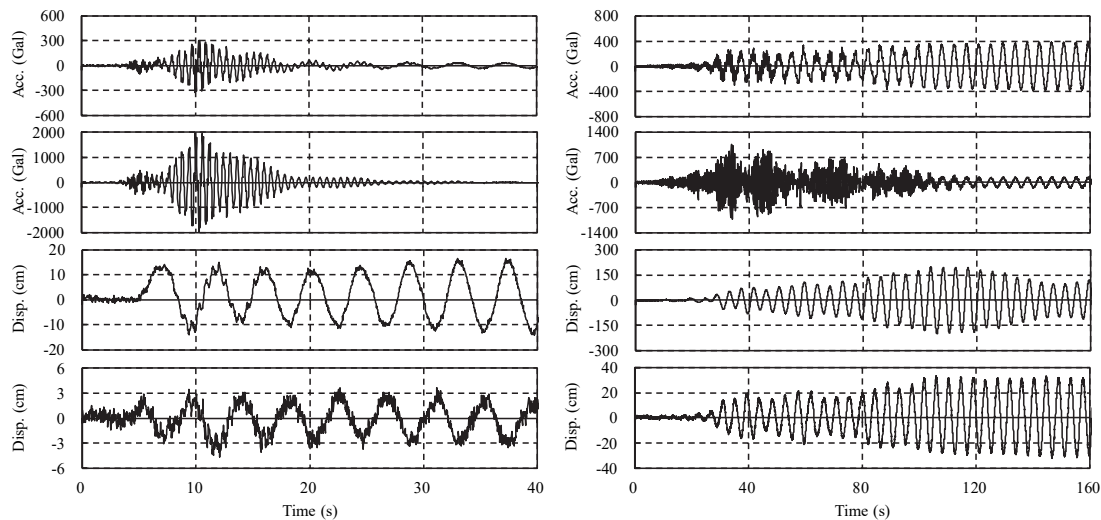


図4 入力に対する加速度の増幅比



a) wave1

b) wave3

図5 時刻歴波形（上から、模型上部加速度、模型中央加速度、模型上部変位、模型中央変位）

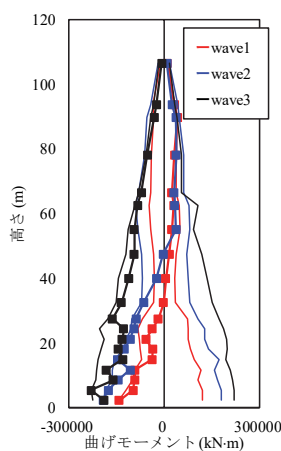
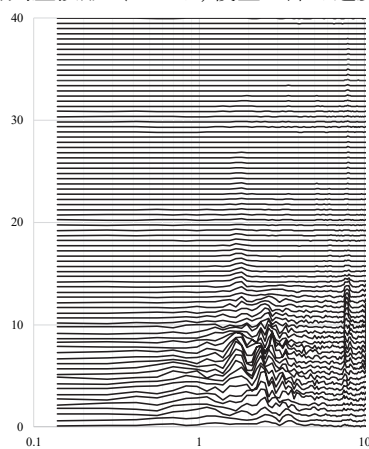
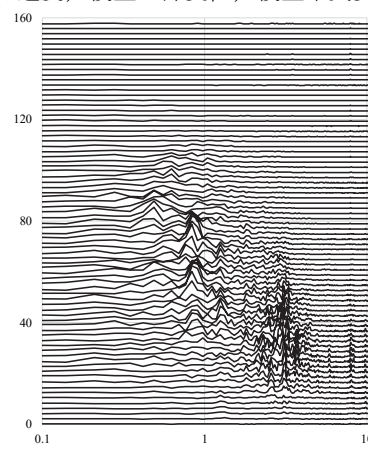


図6 曲げモーメントの深度分布



a) wave1



b) wave3

図7 入力地震動のランニングスペクトル（縦軸：時間 (s)、横軸：周波数 (Hz)）

### 3. 実験結果（数値は実物換算後の値）

スイープ加振実験で得られた模型の固有振動数は1次モードで0.24 Hz、2次モードで1.69 Hzとなった。

図4に加速度振幅の入力に対する各計測位置における増幅比を示す。増幅比は模型高さ中央付近で大きく増幅し、入力地震動の加速度振幅が小さく卓越振動数が高いwave1が最も増幅比が大きかった。図5に模型上部と中央の加速度と水平変位の時刻歴波形を示す。加速度の波形は、加振開始直後は高振動成分が見られるが、すぐに2次の振動数での振動となり、加振後半では1次の振動数での振動となった。変位の波形は、加振中には1次の振動数に2次の振動数が重畳し、加振後半では増幅する傾向が見られ、wave3の方が増幅傾向は強かった。模型上部と中央では位相差が確認できた。

図6にひずみから求めた曲げモーメントの分布を示す。全てのケースで最大値は固定位置で発生したが、最大値発生時の分布はwave1およびwave2は正負が反転する2次モード形状、wave3は1次モード形状となった。図7に入力地震動のランニングスペクトルを示す。wave1はフーリエスペクトルと相似の形状が地震動継続時間の中に現れているのに対して、wave3は継続時間ともにスペクトルが変化し、加速度のピーク付近では約3 Hzの高振動数成分、加振後半では0.8 Hz以下の低振動数成分が現れた。wave3では、加振後半で加振振動数が1次モードの振動数に近づいたため、加振後半での振幅の増大に繋がり、曲げモーメントが他のケースとは異なる分布形状になったと考えられる。

**参考文献** 1) J. Jonkman, S. Butterfield, W. Musial and G. Scott: Definition of a 5-MW Reference Wind Turbine for Offshore System Development, Technical Report NREL/TP-500-38060, 2009. 2) 三好俊康, 熊谷隆宏, 清宮理, 松本正一郎: 重力式支持構造物を有する洋上風力発電タワーの動的安全性評価方法に関する実験的研究, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.75, No.4(地震工学論文集第38巻), pp.I\_10-I\_24, 2019.