

動的外力を受ける海洋構造物—地盤系の動的安全性評価に関する基礎的研究

鹿児島大学大学院 学生会員 ○伊藤 圭祐
 鹿児島大学大学院 田中 望
 鹿児島大学工学部 正会員 河野 健二
 鹿児島大学工学部 正会員 木村 至伸

1. 初めに

新エネルギー開発の中で、クリーンエネルギーである風力発電は将来の電力供給の一つとして有効であると考えられる。しかし、風力発電が可能な地域の多くは山間部に集中し国定公園に指定されている等の理由で風車の建造が困難になっている。そこで、陸上よりも風速の安定性が高く、開発空間の広大な海洋環境が注目されている。しかし、海洋環境は自然条件が厳しく、浮力、静水圧、等の独特な外力に加え、波力、地震力等の外力を受けるため、その特性を評価する研究が行われてきた。本研究では、海洋構造物が動的な外力である波力及び地震力を受ける場合に対して、地盤の影響を考慮した線形動的応答解析を行い、その応答特性の評価を行い信頼性評価について基礎的な検討を行った。また、海洋環境下での経年劣化時における地震動応答、波力を受け続けることで生じる疲労強度についてモンテカルロ・シミュレーションを用いて信頼性を検討した。

2. 解析概要

本研究では、図-1 に示すようなジャケット型の海洋構造物を解析モデルとして動的特性を評価する。解析モデルは二次元モデルで表し、節点数 24、要素数 44、全幅 20.0m、全長 90.0m である。構造物基礎として地盤—基礎系の下部構造物を二自由度系（水平、回転方向）のバネ—ダッシュポット系モデルに変換し、地盤—基礎—構造物系の動的相互作用を考慮した動的応答解析を行う動的サブストラクチャー法を用いた。上載荷重として節点 1 に 300kN、5、12、18 にそれぞれ 500kN を載荷している。各部材は全て鋼材とし、断面は円形中空断面となっており、要素 40～42 をスパー部とし浮力を考慮し単位体積重量を 0.1kg/m^3 とした。また、表-1 には、地盤—基礎—構造物系を考慮した場合の固有周期を表記している。波力や地震動を受ける場合では、比較的低次の振動の影響を受けるので一次から五次での固有周期を考慮した。解析方法として地震動の解析は時間刻み 0.01(sec)として固有値解析を行い、波力では増分法を用いた Newmark の β 法により時刻歴応答解析を行った。ここで、地震動はタイプII地震動の二種地盤である鷹取駅周辺地盤で観測された兵庫県南部地震 Takatori を最大化速度 300gal で基準化した入力地震動を用いた。次に、不規則性のある波力を評価する為に、微小振幅波理論を適用し、海面運動に関しては Bretschneider 型のパワースペクトル密度関数を使用し、有義波高 5m、有義波周期 12sec とした。

3. 応答評価

図-2 は、タワー頂点(節点 1)における時刻歴変位応答である。上段は地震波が、下段は波力の作用時となっており、地盤波速度(以下

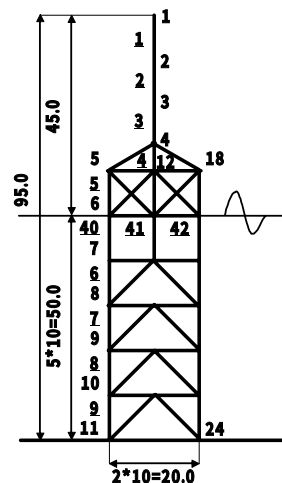


図-1 解析モデル

表-1 固有周期(地盤波速度)

GroundVel(m/s)	100	200	300	fix
1st	1.22	1.07	1.03	0.96
2nd	0.57	0.53	0.52	0.50
3rd	0.34	0.30	0.29	0.27

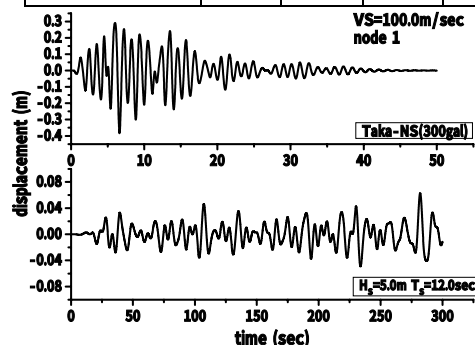


図-2 時刻歴変位応答

VS)が 100.0m/sec 時の結果となっている。図-2 を見てみると、地震作用時は入力地震動の振動特性の影響が顕著に表れており、波力作用時は有義波周期の影響を受け振動周期が長くなる事が分かる。

次に、図-3、図-4 は、地震動と波力が作用した際のタワー部(節点 1~4)とジャケット部(節点 5~11)における各節点の変位応答の最大値(1)、曲げ応力応答の最大値(2)を示しており、基礎固定時から VS を 100.0m/sec~300.0m/sec に変化させている。図-3、4(1)より各 VS における変位モードの支配的な影響は一次モードであるといえる。図-3、4(2)より地震波が作用する場合、タワー部に曲げ応力が集中し、波力が作用する場合、構造物下部に曲げ応力が集中している事が見て取れる。また、VS の変化による影響も地震波と波力とは逆になっていることも分かる。

図-5(1)は、地震動作用時における VS を変化した時の信頼性指標、(2)に海洋環境下における経年劣化を考慮する為、曲げ剛性の低下に変動係数 20%の変動性を与え、許容応力を同時に低減させた信頼性指標を示している。(1)では、地盤が基礎固定時に近づくにつれ信頼性が低下していくことがわかるが基礎固定であっても安全側にあるといえる。(2)では、基礎固定では低減を考慮した場合、信頼性指標が 2.5 以下であり常に危険側にあるといえる。

海洋構造物にとって波力は頻繁に作用する外力であり、疲労によるダメージを考慮する必要がある。図-6(1)は、1 回の作用波の継続時間を 10^4 sec と仮定し、その作用波の作用回数による疲労ダメージ D の期待値 E(D)を示している。疲労ダメージ D はマイナー則を使用し疲労強度の基準として 70MPa の曲げ応力が 10^6 回作用したら破損するとした。なお疲労の蓄積に関しては長い時間を要し、作用波に関して波高、周期の不規則性の影響は免れない。そこで波高、周期にモンテカルロ・シミュレーションを適用し、その期待値を採用した。図-6(1)より $10^2 \sim 10^3$ の作用回数で D が 0.1 から 0.5 程度と疲労ダメージの蓄積が見て取れる。図-6(2)は、同節点における信頼性指標の作用波の継続時間による変化を示している。実線は許容応力が初期状態を、破線は疲労ダメージ(D=0.5 と仮定)を受けた事による許容応力の低下を考慮したものである。図-6(2)より、実線に対し、破線の信頼性が大きく低下していることが分かる。

4. まとめ

地震波と波力では、地盤波速度の影響、応答卓越点において違いが生じており特に、地震波作用時におけるタワー部の応力は波力作用時の倍近くの応答を示している。また、構造物の信頼性に対しても地震動に対し経年劣化を考慮すると何らかの損傷を受ける可能性があり、地震動に対する強度確保が重要になる。波力に対しては高い信頼性を維持できる可能性が高いが、継続的な荷重であるため疲労に関する評価を考慮することが重要になると思われる。

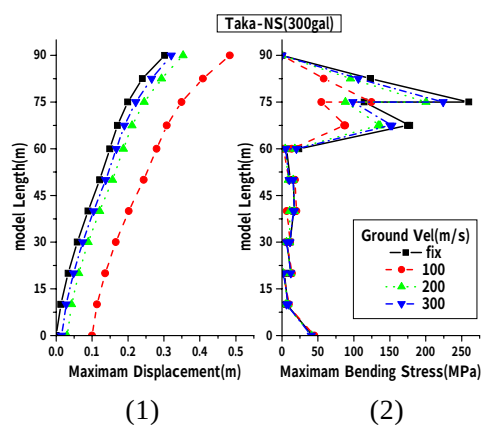


図-3 応答最大値(地震動)

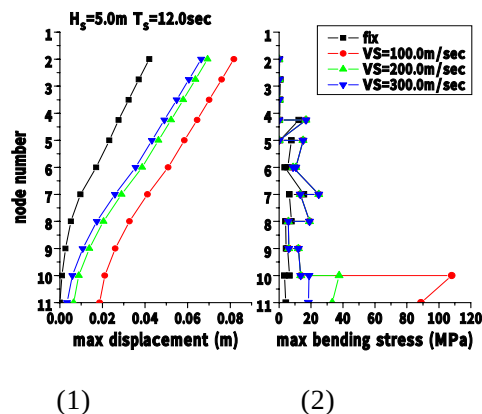


図-4 応答最大値(波力)

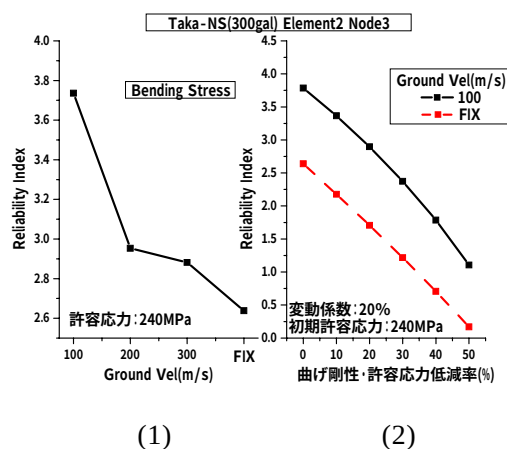


図-5 信頼性(地震動)

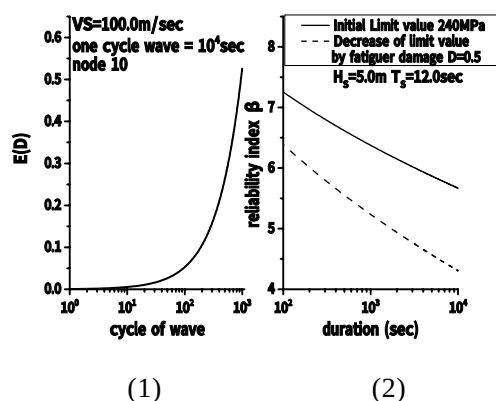


図-6 信頼性(波力)