

I - B 245

非線形特性を有する大型海洋構造物の動的応答解析

株式会社 長 大 正 員 草道 香成
鹿児島大学工学部 正 員 河野 健二

1.まえがき 海洋構造物に作用する外力の中で主要なものとなるのは波力である。この動的外力が構造物の動的応答に及ぼす影響を明確にしておくことは、海洋構造物の設計を合理的で信頼性のあるものにするためには重要であると思われる。また、設計波を超えるような波浪が襲来した場合を考えると塑性領域での検討も必要であると考えられる。よって、本研究では、波力を受ける有脚式海洋構造物をモデル化し、時刻歴応答解析と不規則振動論を用いた動的解析を行った。また、脚部材に非線形特性を導入し、海洋構造物が設計波力に相当する波力を受けるときの応答に及ぼす影響について検討した。

2.解析モデル 図-1に本研究で用いた解析モデルを示す。水深は50mで構造物の高さ60m、幅480mである。脚部材は鋼管を使用している。デッキは完全に剛なものとし重量のみを考慮して、脚部材上のバネと減衰によって支持されているものとする。デッキ重量は各部材に70tf均等に作用するモデルとした。このモデルを用いて、脚の部材径を変えて応答にどのような影響があるか検討した。本研究では脚部材の非線形特性として、WenのVersatileモデルを導入し非線形復元力とした。また、今回の解析では地盤との関連および軸方向の変形については考慮していない。

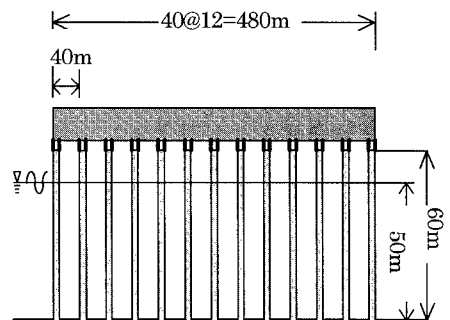


図-1 モデル図

3.解析法と解析結果 本研究では、波力をBretschneider型のパワースペクトル密度関数と修正モリソン式を用いて表し、構造物を形状関数によって質点系モデルとして取り扱った。この際、波力は脚部に分散して作用するが、これを脚上部に作用する等価波力として置き換え、線形応答解析と脚部の非線形特性を考慮した非線形応答解析を行った。図-2は、固有振動数2.2(rad/s)の構造物に対して波の平均波高5m、平均周期10s、非線形モデルの降伏点変位を線形時のrms応答変位の3倍とした時の線形時の応答と、非線形を考慮した時の1本目の脚部材の時刻歴応答変位である。非線形を考慮した場合の応答は、線形時の2倍程度になっており、また永久変位も見られる。線形モデルの応答の周期が延びている所で非線形性が大きくなっていることが分かる。また、図-3は、この時の履歴曲線を示したものであるが、変位が大きくなっている所では履歴曲線も大きなループを描き、このループで囲まれる面積が減衰効果になっていると考えられる。図-4は、構造物の脚部材の直径を変えた各モデルにおけるrms応答変位をプロットした図で、横軸は構造物の固有振動数である。波の平均波高を5m、平均周期を10sとして与え、非線形モデルの降伏点変位は、線形時のrms応答変位の2倍と3倍の2パターンを線形応答と一緒にプロットしたものである。線形モデルの応答は、構造物の固有振動数が波の卓越周期から離れるに従って減少している。一方、降伏点変位を線形時のrms応答の2倍とした非線形モデルの場合、応答は

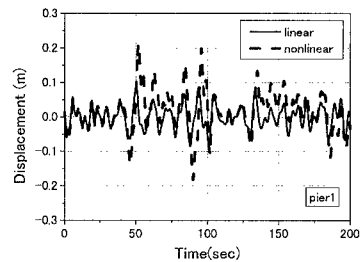


図-2 変位の時刻歴応答

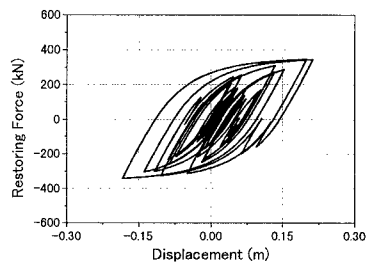


図-3 非線形復元力特性

1.8(rad/s)を超えた辺りから急激に増加し、2.1(rad/s)少し超えた所でピークを示している。また、降伏点変位を線形 rms 応答の 3 倍とした場合は、線形時の応答より若干大きな値をとるが、前のパターンのような傾向は見られない。この時はまったく非線形特性が出ていない訳ではなく、非線形復元力特有の履歴減衰が働き、応答の増幅を抑制しているものと思われる。このように降伏点変位の大きさによって、非線形特性の影響は全く異なってくるのが分かる。図-5 は、固有振動数 2.2(rad/s)の非線形モデルについて、この場合は降伏点変位を 0.15m として、脚部材それぞれの最大変位を示している。脚部材ごとの変動は 0.05m～0.07m 程度あり、各脚柱において応答は異なってくるのが分かる。また、平均周期 12s の場合が応答値も変動も 1 番大きくなっており、入力波の位相差とスパンの関連によってこのような結果になると思われ、非線形特性を考慮すると、波の周期、構造物の固有振動数だけではなく波長や構造物のスパンも大きな影響を及ぼすと考えられる。図-6 は、構造物の固有振動数 2.2(rad/s)の非線形モデルに関して、降伏点変位を線形モデルに対して平均波高 5m、平均周期 10s として入力した時の rms 応答変位の 2 倍と設定し、限界値を rms 変位の 4 倍とした時の、平均周期 10s、平均波高 4m、5m、6m として入力した場合の 1 本目の脚部材に関する応答超過に対する確率を示したものである。横軸は波力が作用する継続時間($T_0 = 2.83\text{sec}$)であり、その増加に伴い限界値を超過する確率は増大する。また、平均波高が大きくなる程、信頼性の減少は速くなっている。図-7 は、構造物の強度が確率特性を有する場合の波力に対する応答に関する信頼性指標 β を示したものである。図-6 の応答超過の確率と同様に平均波高 5m、平均波高 10s に対する線形モデルの応答を基準とし、降伏点変位は線形時の rms 応答の 2 倍とした非線形モデルの変位に関する信頼性指標 β である。非線形特性を考慮すると復元力と変位の対応が複雑となるため、変位に関する信頼性指標 β を検討した。信頼性と同様に波力の継続時間が増すにつれ、 β は減少し、破損の確率が高まることを示している。また、基準とした波高を超える場合の β は、非常に早く減少し、非線形を考慮した場合影響が大きいことが分かる。

4.あとがき 海洋構造物の動的応答に関して、部材の非線形特性を考慮して波力が応答評価に及ぼす影響について検討した。動的応答および信頼性に及ぼす影響は、構造物の卓越周期、入力波の平均周期に大きく関係し、非線形特性を考慮するとその関係はさらに複雑になり、その影響を把握する必要があると思われる。今回の解析では、できる限り簡単なモデルを用いたが、より複雑なモデルによる解析、また地盤との関係については今回考慮していないため、これらについても検討が必要であると思われる。

参考文献 1)橋本努、「長大海洋構造物の動的応答特性に関する検討」、土木学会西部支部講演概要集、p90-91、1997.3.21

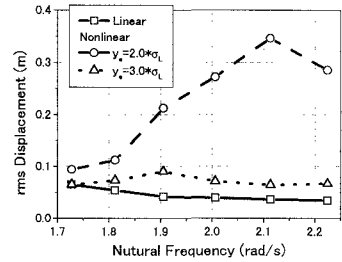


図-4 降伏点変位の影響

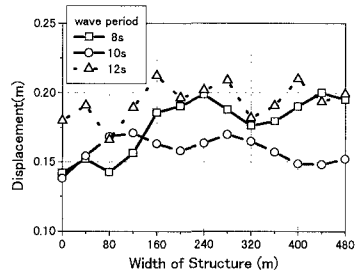


図-5 各脚柱における最大変位

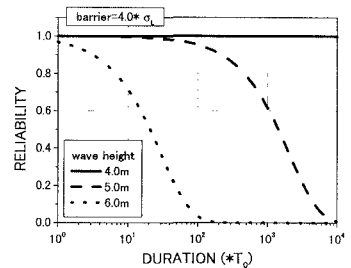


図-6 応答超過の確率

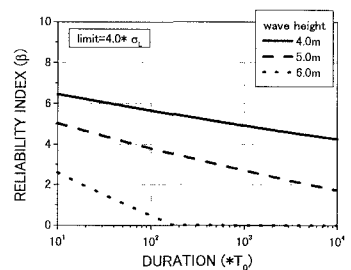


図-7 変位に関する信頼性指標