

I-B 326

斜杭式人工島の耐震解析

鳥取大学工学部 正会員 上田 茂

竹中土木 正会員 河原林 英彰

竹中工務店 正会員 濱田純次 山田弘道 西中川剛

1. はじめに

斜杭式人工島とは、海上都市、海上空港などの巨大人工島を図1に示すような斜杭2本の組杭とフラットスラブを連結した構造とする人工島である。斜杭式人工島の特徴は、傾斜角 20° の斜杭からなる組杭の方向を1スパン毎に 90° ずつ変える杭配置とし、地震力などの任意方向から作用する水平荷重に効率よく対抗するところにある。その構造の耐震性の検討を実施したので以下に報告する。

2. 計算条件

設置海域は水深21mで海底表層に厚さ30mの軟弱な沖積粘土層があり、その下には支持層となる堅固な洪積砂層があると想定した。震度法による検討では港湾の施設の技術上の基準・同解説に従い、地域別震度0.15、地盤種別係数1.2、重要度係数1.2より設計震度0.20とした。動的解析においては、洪積砂層を工学的基盤とし第一種地盤に対応するため、入力地震動の最大震度は地域別震度0.15に第一種地盤種別係数0.8と重要度係数1.2を乗じた値0.144とした。基盤の地震動波形は1968年十勝沖地震において八戸港の地表で観測された地震波を工学的基盤に引き戻した地震動波形と1978年宮城県沖地震において大船渡港の岩盤上で観測された地震動波形を用いた。沖積粘土層の土質条件は単位体積重量 1.5 tf/m^3 、一軸圧縮強度 0.4 z tf/m^2 （ z は深度[m]）、初期せん断弾性係数 100 z tf/m^2 と想定した。

3. 動的解析モデル

3次元動的解析は、図2のような連続したスラブの組杭2組の部分（ $20\text{m} \times 7\text{m}$ ）を取りだし、構造モデルと地盤モデルで構成するモデルとし、基盤を振動させると直接に杭に伝達される振動と、地盤モデルが振動し地盤反力バネを介して杭に伝達される振動を考慮する。スラブの端部は無限に同じモデルが連続する条件とし巨大人工島をモデル化している。地盤のせん断弾性係数と減衰定数のひずみ依存性を考慮するため、重複反射理論により繰り返し計算を行った結果の一例を表1に示す。平均的ひずみは最大ひずみの65%とした。各地震波の計算結果の各層 i の G_i/G_0 より平均的な地盤反力バネ（ $G_i/G_0 \times 296 \text{ z } \ell_i [\text{tf/m}]$ ）と地盤せん断バネ（ $G_i/G_0 \times 100 \text{ z } A_i/d_i [\text{tf/m}]$ ）を求めて、FEMプログラムNASTRANを用いて線形動的解析を行った。ここに、 G_0 は各層の初期せん断弾性係数（ tf/m^2 ）、 G_i は各入力波の各層でのひずみに対応するせん断弾性係数、 z は深度（m）、 ℓ_i は杭要素長（m）、 A_i は地盤モデルの断面積（ m^2 ）、 d_i は地盤モデルの厚さ（m）である。また、地盤の減衰定数は重複反射理論の結果を用い、構造物の減衰定数は0.02とした。杭の付加質量は海中で付加質量係数1.0を考慮した。

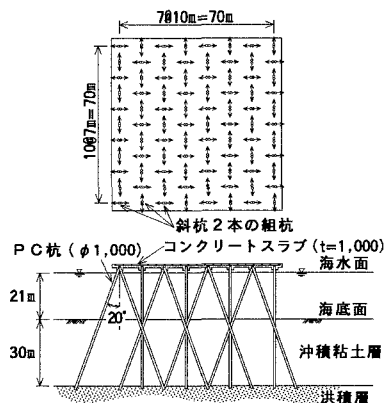


図1 斜杭式人工島

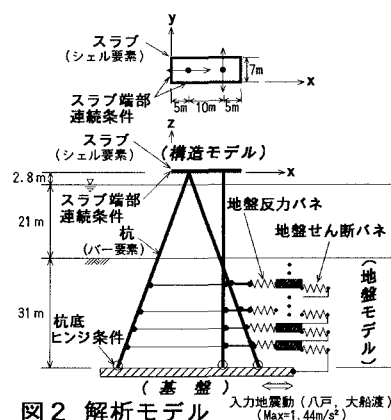


図2 解析モデル

表1 $\gamma-G$ と $\gamma-h$ の計算結果（八戸）

深度 z (m)	平均的 ひずみ γ (%)	G/G_0	減衰 定数 h
0.35	3.36	0.10	0.202
1.75	2.02	0.12	0.189
4.20	0.56	0.24	0.146
7.05	0.30	0.35	0.121
9.90	0.25	0.38	0.113
...	...	...	...
26.80	0.16	0.46	0.094
29.60	0.14	0.48	0.090

4. 静的解析モデル

静的解析モデルは、図2の動的解析モデルと同じものとし、通常実施される静的解析である地盤モデルを固定とした（地盤モデルがない場合と等価）場合（モデルA）と、地盤モデルにも地震荷重を加えた場合（モデルB）の2つのモデルを検討した。その時の地震荷重は水平震度0.20より求め、すべての荷重が+x方向の場合（ケース記号：A1, B1）と杭および地盤が+x方向でスラブが-x方向（逆位相）の場合（A2, B2）の2ケースを各モデルについて検討した。一軸圧

縮強度より地盤の弾性係数を推定し、地盤反力バネ定数を 12.8×10^4 (tf/m)、地盤せん断バネ定数を $4.32 \times A_i/d_i$ (tf/m)と推定した。

5. 解析結果

図3に動的解析の八戸、大船渡の入力波各々のモーメント最大時（HM, OM）と軸力最大時（HA, OA）について、静的解析のA1, A2, B1, B2について、-x方向に傾斜している杭の解析結果を分布図で示す。動的解析では、八戸波の結果は大船渡波より全て大きな値となったのは、構造物の固有周期が0.65秒程度であるが地盤の固有周期が約1.8秒で、長周期成分を多く含む八戸波により地盤がより大きく振動し構造物も大きく振動するためと考えられる。静的解析についてはA1とA2の結果はB1, B2に比較し小さな値となった。モデルAでは地盤を反力バネのみでしか評価していないがモデルBでは地盤の変位も考慮しているための影響と考えられる。HMとOMをB1およびB2が、HAとOAをA1が比較的良く似た結果を表現している。これより、従来の静的解析（A1）では動的解析結果の軸力を表現できるが、モーメントについてはかなり過小評価となっている。スラブに逆位相の荷重を作用させたA2でも杭頭モーメントが多少改善される程度である。モデルBでは変位、モーメント、軸力とも十分動的解析結果を表現している。杭の中間部のせん断力がいずれの静的解析でも動的解析より小さな値となっている。これは動的反力バネは静的反力バネに比べ非常に大きな値であるので、地盤より作用する力が動的解析では大きいためと考えられる。

6. まとめ

今回は斜杭式人工島の耐震解析として静的解析と動的解析を実施し比較検討を行った。従来の静的解析よりも地盤の変位も考慮した静的解析の方がよく動的解析結果を表していることがわかった。

図3 解析結果

