

2021 年度 海洋・港湾構造物設計士 資格認定試験（記述問題）

解答例

本解答例は、港湾・構造物設計士会（DEMPHIS 会）に所属する有志（有資格者）が本資格の普及を目的として、独自に作成したものです。本資格認定機関である（一財）沿岸技術研究センター（CDIT）が公式に発表したものではありません。従って、本解答例が正解を保証するものではないことをあらかじめご承知置きの上、ご活用下さい。

海洋・港湾構造物設計士会  
【DEMPHIS 会】

2021年度（R3年度） 海洋・港湾構造物設計士記述問題 解答例

【共通問題】

問題（1）

技術基準対象施設の設計にあたっては、設計段階において当該施設の施工条件を十分踏まえる必要があるが、稀に、施工上の制約から設計どおりの施工が不可能若しくは著しく困難なことから、工事着手段階で設計変更が必要になる場合がある。

外海離島において重力式防波堤（被覆ブロック被覆堤）を設計する場合、施工が不可能若しくは著しく困難な設計を行わないよう、設計段階で配慮しておくべき施工条件（施工上の制約）のうち、特に重要と考える事項を3つあげ、その理由を説明せよ。（200～400字程度）

※問題文中「被覆ブロック被覆堤」は「消波ブロック被覆堤」の誤記

設計上考慮すべき施工条件① 直立壁の製作ヤード

重力式防波堤を構成する直立壁にはケーソンが広く用いられる。ケーソンは陸上ヤードかドック（ドライドックもしくはフローティングドック）にて製作される。施工性および経済性など総合的な観点から製作ヤード選定を行ったうえで、製作可能な最大面積を検討し、直立壁の寸法を決定する必要がある。

設計上考慮すべき施工条件② 資材調達性

現地およびその周辺で調達可能な材料を調査・検討し、設計上考慮する特性を定める必要がある。特に消波ブロックについては経済的に製作や運搬が可能であることを確認し、必要に応じてケーソン式混成堤等の他の構造形式の採用を検討する。

設計上考慮すべき施工条件③ 曳航経路

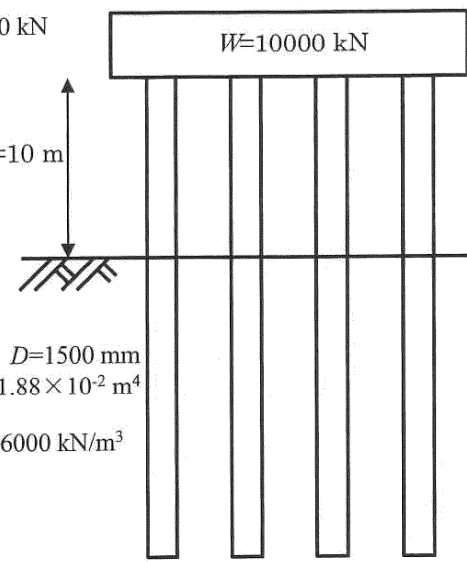
ケーソン製作ヤードから防波堤設置位置までの曳航運搬の経路を検討する。ケーソンの喫水制限を確認したうえで、転覆あるいは傾斜しないように浮遊時の安定検討を実施する必要がある。

(390字)

問題（2）

以下の鋼管杭を有する直杭式栈橋の固有周期を求めよ。解答にあたっては、必ず計算の導出過程を記載すること。なお、固有周期の算定においては、上部工重量のみを考慮する。また、鋼管杭の根入れ長は十分に長く、無限長の杭として扱うことができるものとし、杭の特性値  $\beta$ 、および、杭頭に水平荷重  $H_t$  が作用したときの杭頭水平変位  $y_t$  の関係は以下のとおりとする。

係留施設法線方向の杭1列当たりの上部工重量  $W$  : 10000 kN  
 係留施設法線方向の杭1列当たりの杭本数 : 4本  
 杭頭から海底地盤までの長さ  $h$  : 10 m  
 地震時の横方向地盤反力係数  $k_{CH}$  : 16000 kN/m<sup>3</sup>  
 鋼管杭の杭径  $D$  : 1500 mm  
 鋼管杭の断面二次モーメント  $I$  :  $1.88 \times 10^{-2}$  m<sup>4</sup>  
 鋼管杭（鋼材）のヤング率  $E$  :  $2.00 \times 10^5$  N/mm<sup>2</sup>



$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_{CH} D}{4EI}}$$

$$y_t = \frac{(1 + \beta h)^3 + 2}{12EI \beta^3} H_t$$

直杭式栈橋の固有周期  $T_s$  は下式により算出される。

$$T_s = 2\pi \sqrt{W/gK}$$

ここに、

- $T_s$  : 栈橋の固有周期 (s)
- $W$  : 杭1列あたりの上部工重量 (=10000 kN)
- $g$  : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)
- $K$  : 栈橋のバネ定数 (kN/m)

栈橋のバネ定数  $K$  は杭頭に水平荷重  $H_t$  (単位 : kN) が作用したときの杭頭水平変位  $y_t$  (単位 : m) より下式のとおり算出される。

$$K = 4H_t/y_t$$

ここで、係数4は杭1列あたりの杭本数であり、栈橋に作用する水平力を各杭が均等に分担することを仮定したものである。

栈橋の各杭に単位荷重 1kN が作用したときに杭頭に発生する水平変位を算出することで、栈橋の固有周期  $T_s$  を求める。

$$\beta = \sqrt[4]{(k_{CH} D / 4EI)} = \sqrt[4]{(16000 \times 1.5 / (4 \times 2.0 \times 10^8 \times 0.0188))} = \sqrt[4]{(16.0 \times 10^{-4})} = 0.2 \text{ m}$$

よって、杭頭水平変位  $y_t$  の式より、杭4本あたりの杭頭バネ  $K$  は以下のとおりとなる。

$$K = 4 \times (12EI \beta^3) / ((1 + \beta h)^3 + 2) = 4 \times (12 \times 2.0 \times 10^8 \times 0.0188 \times 0.2^3) / ((1 + 0.2 \times 10)^3 + 2) = 4.97 \times 10^4 \text{ kN/m}$$

よって、固有周期  $T$ (s)は、以下のよう求められる。

$$T_s = 2\pi \sqrt{(W / (g \times k))} = 2 \times 3.14 \times \sqrt{(10000 / (9.81 \times 4.97 \times 10^4))} = \mathbf{0.9 \text{ s}}$$

### 問題（3）

港湾構造物に利用される摩擦増大マットの材質および摩擦係数について説明した上で、ケーソン式防波堤に摩擦増大マットを適用した場合のメリットとその理由および留意点について説明せよ。（200～400字程度）

#### 材質および摩擦係数

摩擦増大マットはアスファルト合材の中に補強材および吊り上げ用のワイヤーロープを埋め込んでマット状に成形したものである。摩擦増大マットを使用しない場合、施設の滑動に対する安定性の照査に用いるコンクリートと捨石の静止摩擦係数は0.60とすることが一般的であるが、摩擦増大マットを使用することで摩擦係数を0.75程度とすることができる。

#### メリットとその理由

ケーソン式防波堤に対し摩擦増大マットすることのメリットは施設の滑動に対する安定性の照査が有利となることである。堤体幅が滑動照査で決定している場合、摩擦増大マットにより堤体幅を減少させることができる可能性がある。

#### 留意点

摩擦増大マットの留意点は長期耐久性に対する配慮が挙げられる。特に寒冷地や亜熱帯地域、潮間帯等の特殊な海象条件においては長期耐久性において厳しい環境条件となることが考えられるため、適用の可否を含めて慎重な検討を行うことが望ましい。

(399字)

### 問題（4）

各種の地盤調査、土質試験や計測、観測で得られる計測値から地盤定数の特性値を求める手順を説明せよ。説明には「地盤定数への変換」、「地盤のモデル化」、「変動係数に基づく補正」の語句を用いること。（200～400字程度）

以下の①～④に示す手順により計測値から最終的に性能照査に用いる地盤定数の特性値を求める。

- ① 各種の地盤調査、土質試験や計測、観測で得られた計測値に対し、試験法ごとに定められた各種補正方法等により地盤定数への変換を行う。
- ② 得られた導出値の特性（例：地盤の深さ方法の分布が一樣、深さ方向に直線的に増加するなど）を地層区分ごとに整理し、地盤をモデル化する。
- ③ 地盤定数の特性値は導出値の算術平均ではなく統計的な平均値の推定誤差を勘案して設定する。個々の性能照査で地盤調査法や土質試験法に依存したばらつきの程度を個別に考慮することは難しいため、土質試験法の信頼度がデータのばらつきに現れると仮定し、変動係数に基づく補正を施す。
- ④ 変動係数に基づく補正を行うときのデータ数  $n$  が10個未満の場合は統計的な信頼性が劣るため、データ数に関する補正を行う。データ数が10個以上の場合、補正は不要となる。

(387字)

問題（5）

潮位の設定において問題となる高潮の発生要因として主なものを2つ挙げ、それぞれの要因が海面の上昇に与える影響について説明せよ。（200～400字程度）

高潮の発生要因は気圧低下による海面の吸い上げと風による吹き寄せが挙げられる。

気圧低下による海面の吸い上げ

台風や低気圧の中心付近では気圧が周辺より低いため、大気が海面を押し付ける力が周囲より弱くなり、海面が上昇する。これを吸い上げ効果と呼ぶ。海面気圧が1hPa低下して十分に時間が経過し、海面がその海面気圧にバランスがとれたとき、海面は通常より約1cm盛り上がる。

風による吹き寄せ

台風などに伴う強い風が沖から海岸に向かって吹くと海水は海岸に吹き寄せられ、海岸付近の海面が上昇する。これを吹き寄せ効果と呼ぶ。東京湾や大阪湾など湾口を南にもつ内湾に沿って台風が北上する場合、湾口から湾奥に向かって風が長時間吹くことになり、海面は湾奥に向かって高くなる。湾奥における海面の上昇量は概ね風速の2乗に比例し、湾長が長いほど、湾の水深が浅いほどに大きくなる。

(365字)

【選択問題 I】

問題（1）

係留施設の構造形式の選定に考慮すべき事項について、自然条件・利用条件・施工条件の観点から、それぞれ200字程度で説明せよ。

自然条件の観点

係留施設の構造形式の選定に考慮すべき自然条件のうち主要なものに地盤条件（土の力学的性質）が挙げられる。我が国における港湾の大部分は河口付近または湾内に位置している。一般的にこのような場所では沖積層が発達し、軟弱地盤を形成していることが多い。

軟弱地盤に係留施設を築造する場合、地盤に対する負荷の小さい構造形式が採用されることが多く、地盤条件は構造形式の選定にとって重要な要因となる。

(197字)

利用条件の観点

係留施設の構造形式の選定に考慮すべき利用条件には、船舶の種類とその荷役形態が挙げられる。

石油タンカー用の係留施設ではマニホールド位置が船舶中央付近に限定されるため、荷役機械は係留施設上を移動する必要がなく、接岸・係留・荷役に必要な機能を個々に備えるドルフィン構造が一般的に採用される。一方、石炭船用の係留施設では船倉の隅々まで荷役機械が動く必要があり、横棧橋が採用されることが多い。

(198字)

施工条件の観点

係留施設の構造形式の選定に考慮すべき施工条件には、工期や施工ヤードの制約が挙げられる。

気象・海象条件や海上工事に伴う濁り影響の問題等により施工時期が限定される場合、プレハブ化などの現地作業を最小とする工法（構造形式）による急速施工の採用を検討する。

重力式係船岸の施工におけるケーソンヤード、ブロックヤード等の陸上製作施設に制約がある場合、ケーソン等の構造寸法に制限を受ける。

(194字)

問題（2）

下図に示すように、軸力  $N$  と水平力  $P$  を受ける薄肉の円形鋼管柱が床に剛結されている。

- 1) 鋼管柱の降伏軸力  $N_y$  を求めよ。
- 2) 軸力が降伏軸力の 50%であったとき、柱が基部（最下部）で降伏するときの水平力  $P_y$  を求めよ。このとき、軸力による付加モーメントは考慮しなくてよい。
- 3) 栈橋の鋼管杭の耐荷性能について、「径厚比 ( $D/t$ )」と「軸力」の影響を踏まえて 100 字程度で述べよ。

なお、解答にあたっては、必ず計算の導出過程と単位を記載すること。計算にあたって、円周率は 3.0 で計算してよい。

降伏点	$\sigma_y=200$ [N/mm <sup>2</sup> ]
ヤング係数	$E=200$ [kN/mm <sup>2</sup> ]
外径	$D=1000$ [mm]
厚さ	$t=10$ [mm]
断面係数	$Z=7.3 \times 10^6$ [mm <sup>3</sup> ]
断面二次モーメント	$I=3.6 \times 10^9$ [mm <sup>4</sup> ]

1) 鋼管柱の降伏軸力

鋼管柱の降伏軸力  $N_y$  は鋼管柱の断面積  $A_s$  と降伏点  $\sigma_y$  より以下のとおり算出される。（円周率を 3.0 として計算）

$$N_y = A_s \sigma_y = \frac{\pi}{4} (D^2 - (D - 2t)^2) \times \sigma_y = 5940 \text{ kN}$$

2) 軸力が降伏軸力の 50%のときの柱が基部で降伏するときの水平力

軸力による付加曲げモーメントを考慮しない場合、鋼管柱に曲げモーメント  $M$  と軸方向圧縮力  $N$  が作用するときの発生応力  $\sigma_s$  は以下のとおり算出される。

$$\sigma_s = \sigma_c + \sigma_{bc} = N/A + M/Z$$

ここで、

$\sigma_c$  : 断面に作用する軸方向圧縮力による圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bc}$  : 断面に作用する曲げモーメントによる最大圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$N$  : 断面に作用する軸方向圧縮力 (N)

$M$  : 断面に作用する曲げモーメント (N・mm)

題意より  $N/A = 0.50 \times \sigma_y$  であるため、柱が基部で降伏するとき  $M/Z = 0.50 \times \sigma_y$  となる。よって、柱基部に発生する曲げモーメント  $M$  は下式により算出される。

$$M = 0.50 \sigma_y Z = 730 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

対象の鋼管柱は片持ち梁であることを考慮し、曲げモーメント $M$ が発生するときの鋼管柱の作用水平力 $P_y$ は以下のとおりとなる。

$$P_y = M/L = 73 \text{ kN}$$

ここで、

$M$  : 基部に発生する曲げモーメント (=730kN・m)

$L$  : 鋼管柱基部から水平力 $P_y$ の作用位置までの距離 (=10m)

### 3) 栈橋の鋼管杭の耐荷性能

径厚比 ( $D/t$ ) が小さな鋼管杭は局部座屈による耐力低下が起これにくい、径厚比が大きな鋼管杭は全塑性モーメントに達する前に耐力低下が生じる。この傾向は軸力 $N$ と降伏軸力 $N_y$ の比である軸力比 ( $N/N_y$ ) が大きいほど顕著となる。

(105 字)



### 問題（3）

港湾鋼構造物の電気防食工法には、一般に流電陽極方式が用いられている。流電陽極方式の基本原理と適用範囲について600字程度で説明せよ。なお、説明にあたっては、以下の用語を用いること。

「防食電位」、「防食電流密度」、「防食率」

#### 基本原理

流電陽極方式は鋼材よりも卑（マイナス側）な電位の金属であるアルミニウム、マグネシウム、亜鉛等の陽極を鋼構造物に接続し、両金属間の電位差で発生する電流を防食電流として利用する電気防食工法である。陽極を取り付けられた鋼構造物は次第に卑な電位になり、防食電位に達すると腐食が抑制される。流電陽極方式は外部電源方式と異なり外部の直流電源を必要としないため、維持管理が容易であり、電源のないところでも施工可能であるため広く用いられている。

鋼材の電位を防食電位より卑な値まで分極するために要する鋼材単位表面積当たりの電流を防食電流密度と呼ぶ。防食電流密度は水温、流速、波高、水質等によって変動し、河川水や諸排水の流入するところでは一般に所要防食電流は増大する。高流速や河川水の混入等で変化の激しい環境ではきめ細かな電位制御を行うために外部電源方式が採用されることもある。

#### 適用範囲

流電陽極方式を含む電気防食工法の適用範囲は平均干潮面以下である。平均干潮面以下の防食率は一般に90%が用いられる。

平均干潮面以上については被覆防食による防食を行うことが必要である。ただし、平均干潮面から朔望平均干潮面までの間は海水に浸漬する時間が短いため、防食率が若干劣ること、また平均干潮面の直下部は腐食しやすい箇所であることから、平均干潮面～朔望平均干潮面以下-1mの範囲は電気防食と被覆防食を併用することが望ましい。

(594字)