

二重壁構造を持つ海面処分場に生じる変動水圧の解析

九州大学大学院 学生会員○河野 信貴      フェロー会員 善 功企

正会員 陳 光斉      正会員 笠間 清伸

1. 目的

現在、陸上での処分場整備が、非常に困難となっており、海面での立地・処分が主流となりつつある。処分場建設技術の多くは、陸上処分場を対象に開発されてきた経緯があり、海面処分場特有の諸問題に対処するため、陸上とは違った技術の開発が新たに求められている。

筆者らは、このような現状を踏まえ、海面の廃棄物最終処分場の埋立護岸に関する技術的な信頼性について検討を行っている。本文では、埋立護岸に作用する波浪により処分場内に発生する変動水圧に着目し、差分分解と理論式による解析解を比較し、検討した。

2. 内容

差分分解

今回解析に用いた海面処分場のモデルを図-1 に示す。波浪が差し掛かる遮水壁(鋼矢板)部に作用する水圧  $P_b$  の時系列変化を微小振幅波理論により式 (1)で与えた。次に、地盤内を伝播する水圧  $P_m$  を圧密方程式型の基礎方程式(式 (2))でモデル化した。二次元差分法を用いて、式 (2)を表-1 に示した条件の下で解くことにより、波が経過する間に地盤内で発生する間隙水圧分布の時系列変化を調べた。表-1 に示した差分法の解析基本ケースは、地震や台風などの事故で鋼矢板が破損した場合を想定している。解析結果から、変動水圧の影響について考察した。

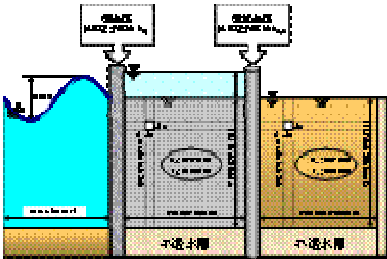


図-1 解析モデル図

表-1 差分法解析基本データ

| 解析条件  |     | 基本ケース    |                        |                        |                        |
|-------|-----|----------|------------------------|------------------------|------------------------|
|       |     | 距離       | 波高                     | 波周期                    | 波速                     |
| 地盤条件  | 粘土質 | 遮水壁位置    | 0                      | 10                     | 10                     |
|       |     | 埋立護岸位置   | 10                     | 10                     | 10                     |
|       |     | 水中単位重量   | 1.02 × 10 <sup>4</sup> | 1.02 × 10 <sup>4</sup> | 1.02 × 10 <sup>4</sup> |
|       |     | 水中単位重量   | 1.02 × 10 <sup>4</sup> | 1.02 × 10 <sup>4</sup> | 1.02 × 10 <sup>4</sup> |
|       |     | 透水係数     | 1.0 × 10 <sup>-7</sup> | 1.0 × 10 <sup>-7</sup> | 1.0 × 10 <sup>-7</sup> |
|       |     | 埋立護岸透水係数 | 5.1 × 10 <sup>-7</sup> | 5.1 × 10 <sup>-7</sup> | 5.1 × 10 <sup>-7</sup> |
|       |     | 圧密係数     | 0.5                    | 0.5                    | 0.5                    |
|       |     | 水平透水係数   | 10                     | 10                     | 10                     |
|       |     | 埋立護岸透水係数 | 10                     | 10                     | 10                     |
|       |     | 圧密係数     | 0.5                    | 0.5                    | 0.5                    |
| 鋼矢板条件 | 鋼矢板 | 遮水壁位置    | 0                      | 10                     | 10                     |
|       |     | 埋立護岸位置   | 10                     | 10                     | 10                     |
|       |     | 水中単位重量   | 1.02 × 10 <sup>4</sup> | 1.02 × 10 <sup>4</sup> | 1.02 × 10 <sup>4</sup> |
|       |     | 水中単位重量   | 1.02 × 10 <sup>4</sup> | 1.02 × 10 <sup>4</sup> | 1.02 × 10 <sup>4</sup> |
|       |     | 透水係数     | 1.0 × 10 <sup>-7</sup> | 1.0 × 10 <sup>-7</sup> | 1.0 × 10 <sup>-7</sup> |
|       |     | 埋立護岸透水係数 | 5.1 × 10 <sup>-7</sup> | 5.1 × 10 <sup>-7</sup> | 5.1 × 10 <sup>-7</sup> |
|       |     | 圧密係数     | 0.5                    | 0.5                    | 0.5                    |
|       |     | 水平透水係数   | 10                     | 10                     | 10                     |
|       |     | 埋立護岸透水係数 | 10                     | 10                     | 10                     |
|       |     | 圧密係数     | 0.5                    | 0.5                    | 0.5                    |

$$P_b = -\frac{\gamma_w \cdot H}{2 \cosh(\lambda \cdot h_f)} \sin 2\pi \left( -\frac{t}{T} \right) \quad \dots (1)$$

$$C_v \left( \frac{\partial^2 P_m}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P_m}{\partial z^2} \right) = \alpha \frac{\partial P_m}{\partial t} \quad \dots (2)$$

ここで、 $\lambda = 2\pi/L$  : 波数、 $C_v$  : 圧密係数、 $H$  : 波高、 $D$  : 水深、 $\gamma_w$  : 海水の単位体積重量である。

理論式による解析解

ここでは差分分解と比較するため、以下の理論式により均一地盤への波の変動水圧の影響を調べた。理論式では波浪が差し掛かる地盤の左端を  $x=0$  として、その地点の水面  $h(0,t)$  が式(3)で表される周期変動をしたとき、地盤内の地下水位変動の伝播は式(4)で計算できる。

$$h(0,t) = D + \Delta h_0 \cos \sigma t \quad \dots (3)$$

$$h(x,t) = D + \Delta h_0 e^{-\alpha x} \cos(\sigma t - \alpha x) \quad \dots (4)$$

表-2 差分法解析ケース

| 解析ケース  | 鋼矢板の換算透水係数<br>$k_{eq}(m/s)$ | 地盤の透水係数<br>$k(m/s)$   | 波の周期<br>$T(s)$ |
|--------|-----------------------------|-----------------------|----------------|
| Case0  | $1.36 \times 10^{-2}$       | $1.36 \times 10^{-3}$ | 5              |
| Case1  | $1.36 \times 10^{-2}$       | $1.36 \times 10^{-3}$ | 5              |
| Case2  | $1.36 \times 10^{-2}$       | $1.36 \times 10^{-4}$ | 5              |
| Case3  | $1.36 \times 10^{-2}$       | $1.36 \times 10^{-3}$ | 5              |
| Case4  | $1.36 \times 10^{-2}$       | $1.36 \times 10^{-2}$ | 10             |
| Case5  | $1.36 \times 10^{-2}$       | $1.36 \times 10^{-2}$ | 20             |
| Case6  | $1.0 \times 10^{-9}$        | $1.36 \times 10^{-3}$ | 5              |
| Case7  | $1.0 \times 10^{-8}$        | $1.36 \times 10^{-2}$ | 5              |
| Case8  | $1.0 \times 10^{-7}$        | $1.36 \times 10^{-2}$ | 5              |
| Case9  | $1.0 \times 10^{-6}$        | $1.36 \times 10^{-2}$ | 5              |
| Case10 | $1.0 \times 10^{-5}$        | $1.36 \times 10^{-2}$ | 5              |
| Case11 | $1.0 \times 10^{-4}$        | $1.36 \times 10^{-2}$ | 5              |
| Case12 | $1.0 \times 10^{-3}$        | $1.36 \times 10^{-2}$ | 5              |

ただし、 $a = \sqrt{\sigma S / 2kD}$  ここで、 $\Delta h_0 = H/2$ ,  $S$ :貯留係数（対象地盤が自由地下水面を持つので0.1とした） $k$ :透水係数、 $\sigma = 2\pi/T$ である。

#### 差分法と理論式による解析解との比較

図-2は差分法により求めた、基本ケースにおける負の変動水圧影響距離の時系列変化である。汚濁物質が、漏れ出す危険性のある負の変動水圧に着目した。負の変動水圧の影響距離が最大になる時間は $t=T$ 時であり、またその影響距離は約9mとなった。

図-3は差分法(Case4,5)および理論式によりそれぞれ算出した、各周期ごとの変動水圧の影響距離である。どちらも周期が大きいほど波の影響が伝わる距離が同じように大きくなる。基本ケースである $T=5s$ 時では、変動水圧の影響距離は約10mとなっている。

図-4は、差分法(Case1~3)および理論式によりそれぞれ算出した、地盤の透水係数 $k$ を変化させた時の変動水圧の影響距離である。横軸の透水係数は対数表示にした。図-4より差分法、理論解ともにほぼ同じ値となった。また $k$ を $10^{-6}m/s$ 以下に小さくすると波の影響が地盤にほぼ伝わっていないことが分かる。

#### 差分法による鋼矢板の換算透水係数 $k_{eq1}$ の感度分析

図-5に、鋼矢板の換算透水係数 $k_{eq1}$ をパラメーターとした $t=T$ 時の地盤中の浸透力分布図を示す(Case6,10~12)。鋼矢板、鋼管矢板の幅は、ともに0.5mとした。 $k_{eq1}$ を $10^{-9} \sim 10^{-6}m/s$ まで大きくしても浸透力は発生しなかった。しかし $k_{eq1}$ を $10^{-5}m/s$ にすると、微少ながら浸透力が護岸から1m付近まで発生している。それから $k_{eq1}$ を次第に大きくしていくと、浸透力が発生する範囲が徐々に広がっていき、 $k_{eq1}$ が $10^{-3}m/s$ となった時点で、波の変動水圧の影響は鋼管矢板地点(護岸から10m)まで達する。今回の解析では、鋼管矢板の換算透水係数 $k_{eq2}$ を $10^{-8}m/s$ で一定としていたが、 $k_{eq2}$ の評価を変えることにより到達距離は変化すると予想される。

### 3. 結論

- 1)負の変動水圧が最も広範囲まで及ぶ時間は周期の時である。
- 2)各周期ごとの変動水圧の影響距離、地盤の透水係数を変化させた時の変動水圧の影響距離は、理論値と解析値がほぼ同じになった。
- 3)今回の条件地盤では周期5s、波高6mの波の変動水圧の最大影響距離は10m以下であった。
- 4)今回の条件では、鋼矢板の換算透水係数 $k_{eq1}$ または地盤の透水係数 $k$ を $10^{-6}m/s$ 以下にすると変動水圧の影響が地盤に伝わらない。

参考文献：社団法人地盤工学会：土と基礎実用数式・図表の解説,pp131~138,1987

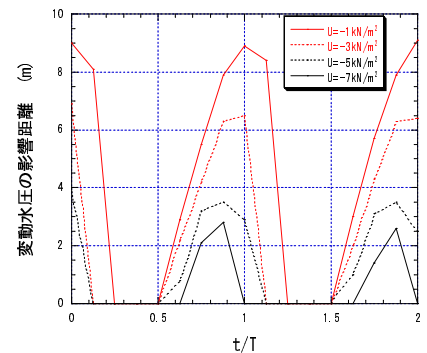


図-2 変動水圧の時系列変化(Case0)

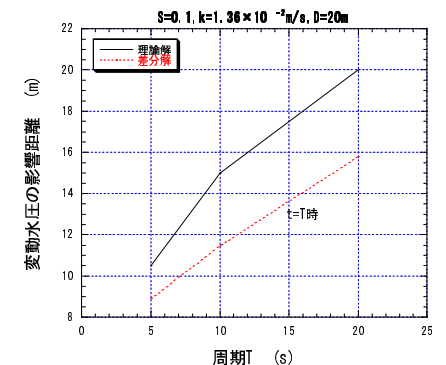


図-3 各周期における  
変動水圧の影響距離

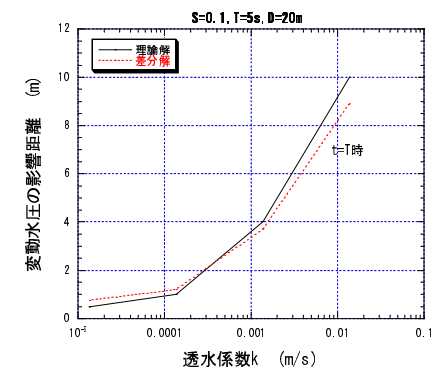


図-4 各透水係数における  
変動水圧の影響距離

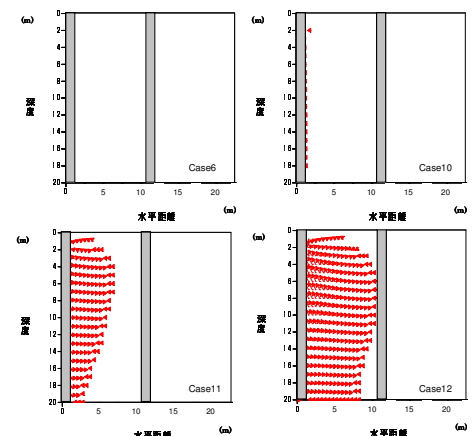


図-5 地盤中の浸透力分布図 ( $t=T$ 時)