

Program pentru calculul unui perete îngropat

© 2015 Victor Matei Petrescu

1. Modelarea peretelui și a interacțiunii dintre el și teren

Se consideră că peretele are o lungime mult mai mare decât dimensiunile secțiunii transversale, ceea ce permite efectuarea calculului pentru o zonă cu grosimea egală cu unitatea, după cum se arată în figura 1.

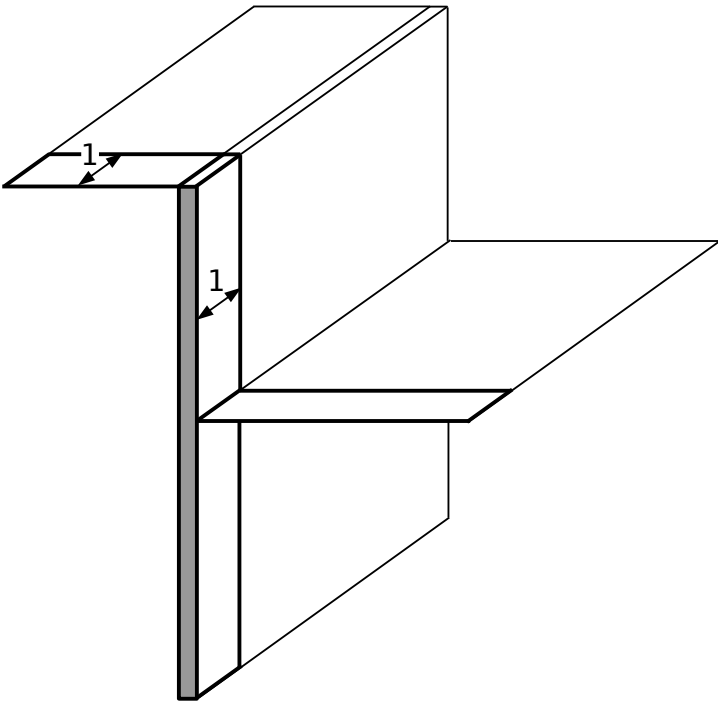


Figura 1 - Zona din perete și din masivul de pământ de care se ține seama în calcule

Peretele se împarte în n segmente și se modelează ca o bară elastică iar terenul se înlocuiește cu $n+1$ resorturi, aflate la capetele celor n segmente, conform figurii 2, a și b. Resorturile sunt descrise prin curbe de variație a presiunii în funcție de deformație de tipul celei prezentate în figura 2 c. Deoarece nu se ține seama de deplasările pe verticală ale peretelui, fiecare segment va avea 4 grade de libertate, conform figurii 2 a, iar rigiditățile unui segment se vor calcula cu relațiile (1):

$$\begin{aligned}
 k_{11}=k_{33} &= \frac{1}{\frac{l}{G \cdot A_f} + \frac{l^3}{12 \cdot E \cdot I}} ; & k_{13}=k_{31} &= \frac{-1}{\frac{l}{G \cdot A_f} + \frac{l^3}{12 \cdot E \cdot I}} ; & k_{22}=k_{44} &= \frac{\frac{2 \cdot l}{3} + \frac{2 \cdot E \cdot I}{l \cdot G \cdot A_f}}{\frac{l^2}{6 \cdot E \cdot I} + \frac{2}{G \cdot A_f}} ; \\
 k_{24}=k_{42} &= \frac{\frac{l}{3} - \frac{2 \cdot E \cdot I}{l \cdot G \cdot A_f}}{\frac{l^2}{6 \cdot E \cdot I} + \frac{2}{G \cdot A_f}} ; & k_{12}=k_{21}=k_{14}=k_{41} &= -k_{34} = -k_{43} = -k_{23} = -k_{32} = \frac{1}{\frac{2}{G \cdot A_f} + \frac{l^2}{6 \cdot E \cdot I}} \quad (1)
 \end{aligned}$$

În relațiile (1):

k_{ij} - forță în blocajul gradului de libertate i (conform figurii 2 a), cauzată de o deplasare egală cu 1 după direcția gradului de libertate j ;

E - modul de elasticitate longitudinal al materialului din care e făcut peretele;

G - modul de elasticitate transversal: $G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}$;

ν - coeficientul lui Poisson;

A - aria secțiunii peretelui: $A = t \cdot 1$, unde t este grosimea peretelui;

A_f - arie echivalentă pentru calculul deformațiilor datorite forței tăietoare: $A_f = 0.8 \cdot A$;

I - momentul de inerție al secțiunii peretelui: $I = \frac{1 \cdot t^3}{12}$.

În figura 3 c sunt prezentate curbele de variație a presiunii în funcție de deformație pentru resorturile 1 și 2 din figura 3 b, unde:

p_{a1}, p_{p1}, p_{01} - presiunea activă, pasivă și în stare de repaus corespunzătoare resortului 1;

p_{a2}, p_{p2}, p_{02} - presiunea activă, pasivă și în stare de repaus corespunzătoare resortului 2;

k_1 - coeficientul de reacțiune inițial al resortului 1;

k_2 - coeficientul de reacțiune inițial al resortului 2;

Deformațiile resorturilor corespunzătoare presiunilor menționate mai sus sunt date de relațiile (2):

$$y_{a1} = \frac{p_{01} - p_{a1}}{k_1} ; y_{p1} = \frac{p_{01} - p_{p1}}{k_1} ; y_{a2} = \frac{p_{02} - p_{a2}}{k_2} ; y_{p2} = \frac{p_{02} - p_{p2}}{k_2} \quad (2)$$

Deoarece presiunea preluată de un resort nu variază liniar, este necesar un calcul iterativ. În primul pas se consideră pentru resorturile 1 și 2 coeficientul de pat $k^{(1)} = k_1 + k_2$ și că presiunea în stare de repaus $p_0 = p_{01} + p_{02}$ acționează asupra peretelui. În pașii următori de calcul, coeficientul k se modifică astfel încât presiunea preluată de fiecare resort să nu depășească valoarea de pe curba din figura 2 c, corespunzătoare deplasării, conform relațiilor (3):

$$y_i \leq y_{p1} \rightarrow p_{i1} = p_{p1} ; y_{p1} < y_i \leq y_{a1} \rightarrow p_{i1} = p_{01} - k_1 \cdot y_i ; y_i > y_{a1} \rightarrow p_{i1} = p_{a1} ;$$

$$y_i \leq y_{a2} \rightarrow p_{i2} = p_{a2} ; y_{a2} \leq y_i \leq y_{p2} \rightarrow p_{i2} = p_{02} - k_2 \cdot y_i ; y_i > y_{p2} \rightarrow p_{i2} = p_{p2} ; k^{(i+1)} = \frac{p_0 - p_i}{y_i} \quad (3)$$

În relațiile (3):

y_i - deplasare obținută în pasul de calcul i ;

$p_i = p_{i1} + p_{i2}$ - presiune obținută în pasul i ;

$k^{(i+1)}$ - coeficient de pat care va fi utilizat în pasul $i+1$;

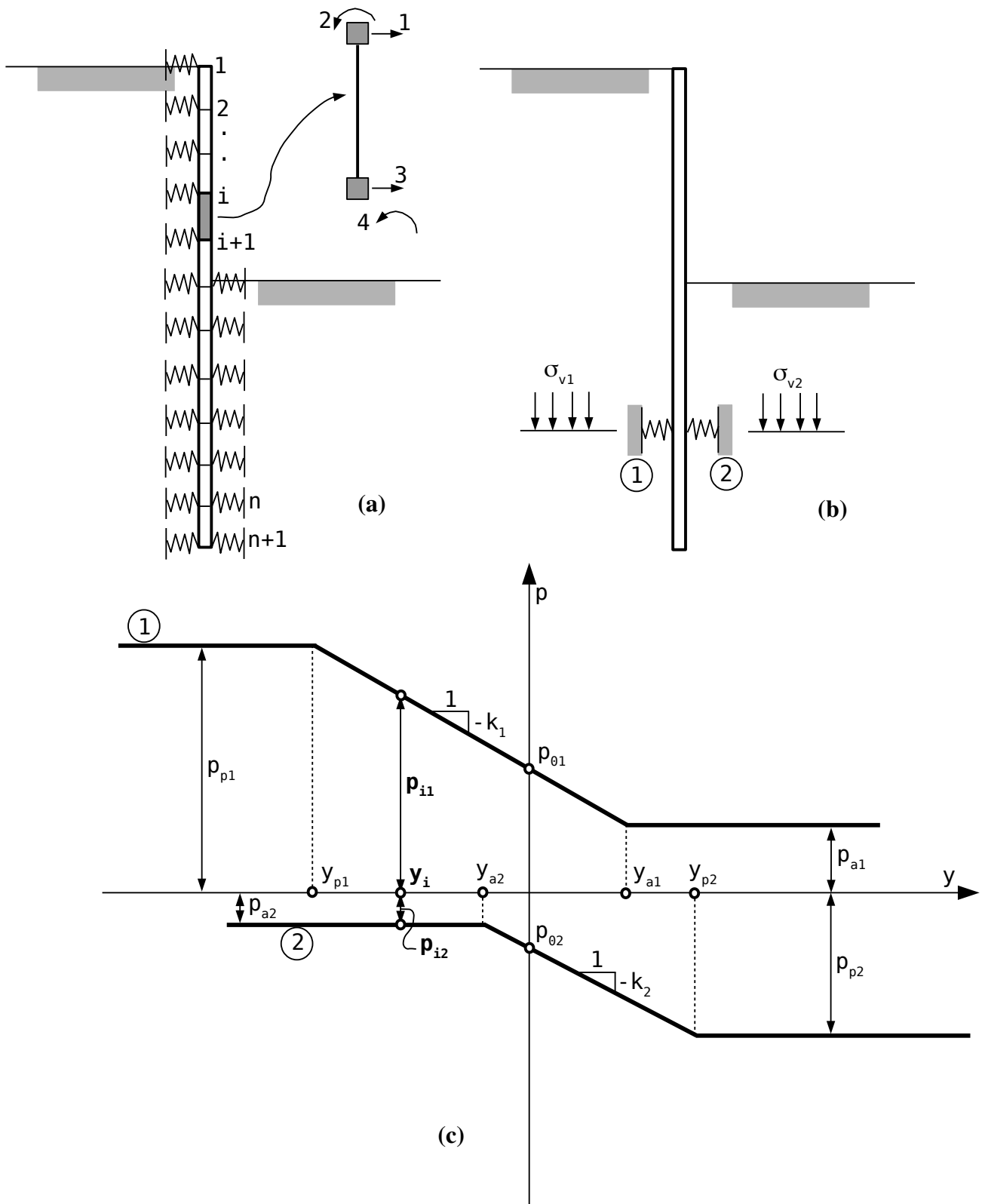


Figura 2 - Modelarea peretelui și a interacțiunii dintre perete și pământ

Presiunile p_{a1} , p_{p1} , $p_{\theta1}$, p_{a2} , p_{p2} și $p_{\theta2}$ se calculează conform relațiilor (4), în care:

- σ_{v1} , σ_{v2} - presiuni verticale efective la nivelul resorturilor 1 și 2 (figura 2 b);
- Φ , c - unghiul de frecare și coeziunea pământului de la nivelul resorturilor 1 și 2;

$$\begin{aligned}
p_{a1} &= \sigma_{v1} \cdot \tan^2(45^\circ - \Phi/2) - 2 \cdot c \cdot \tan(45^\circ - \Phi/2) ; \\
p_{p1} &= \sigma_{v1} \cdot \tan^2(45^\circ + \Phi/2) + 2 \cdot c \cdot \tan(45^\circ + \Phi/2) ; \\
p_{01} &= \sigma_{v1} \cdot (1 - \sin \Phi) ; \\
p_{a2} &= \sigma_{v2} \cdot \tan^2(45^\circ - \Phi/2) - 2 \cdot c \cdot \tan(45^\circ - \Phi/2) ; \\
p_{p2} &= \sigma_{v2} \cdot \tan^2(45^\circ + \Phi/2) - 2 \cdot c \cdot \tan(45^\circ + \Phi/2) ; \\
p_{02} &= \sigma_{v2} \cdot (1 - \sin \Phi) ;
\end{aligned} \tag{4}$$

Presiunea verticală efectivă σ_v se obține prin scăderea presiunii apei din presiunea verticală totală. Pentru calculul presiunilor apei, drumul parcurs de apă pe lângă perete se împarte în segmente corespunzătoare cu straturile geologice, după cum se arată în figura 3.

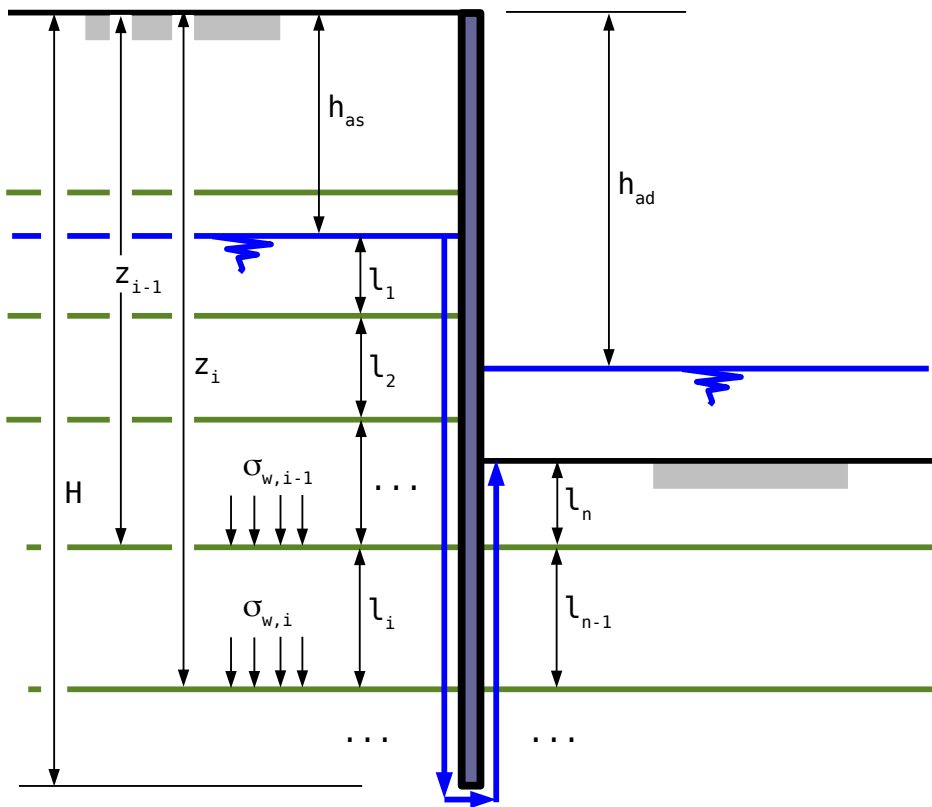


Figura 3 - Curgerea apei prin pământ

Presiunile apei se calculează conform relațiilor (5):

$$\begin{aligned}
\sigma_{w,i} &= \sigma_{w,i-1} + \gamma_w \cdot l_i \cdot (1 - i_i) ; \\
\sigma_{w,0} &= 0 ; \\
i_i &= \frac{\Delta h}{k_i \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{l_i}{k_i} \right)} ;
\end{aligned} \tag{5}$$

În relațiile (5):

$\sigma_{w,i-1}$ și $\sigma_{w,i}$ - presiunile apei la capetele segmentului i ;

γ_w - greutatea specifică a apei;

i_i - gradientul hidraulic pe segmentul i ;

l_i - lungimea segmentului i ($l_i = z_i - z_{i-1}$);

k_i - coeficientul de permeabilitate al pământului din cuprinsul segmentului i ;

Δh - diferența de nivel hidrostatic între cele 2 fețe ale peretelui ($\Delta h = h_{as} - h_{ad}$);

Coeficienții de reacțiune inițiali k_1 și k_2 din relațiile (2) și figura 2 c se consideră direct proporționali cu presiunile verticale efective σ_{v1} și σ_{v2} reprezentate în figura 2 b. În program se declară ca dată de intrare pentru fiecare strat geologic raportul dintre k și σ_v , care se vor nota în continuare cu k_s . Astfel, coeficienții de reacțiune k_1 și k_2 ai resorturilor 1 și 2 din figura 2 b se calculează cu relațiile (6), unde $k_{s,i}$ reprezintă raportul caracteristic stratului i , al cărui efect asupra peretelui este modelat prin resorturile 1 și 2.

$$k_1 = k_{s,i} \cdot \sigma_{v1} ; k_2 = k_{s,i} \cdot \sigma_{v2} \quad (6)$$

Pentru a se ține seama de efectul unor eventuale șpraițuri sau ancoraje, programul permite modelarea unor reazeme prin adăugarea unor resorturi suplimentare. Datele de intrare pentru un reazem sunt adâncimea și deplasarea permisă. Rigiditatea resortului se calculează iterativ, astfel încât deplasarea permisă să nu fie depășită, conform relației (7):

$$k_{r,i+1} = (k_{r,i} + k_{p,i}) \cdot \frac{y_i}{\Delta} - k_{p,i} \quad (7)$$

În relația (7):

$k_{r,i+1}$ - rigiditatea resortului prin care se modelează reazemul, care se va folosi în pasul $i+1$;

$k_{r,i}$ - rigiditatea resortului prin care se modelează reazemul în pasul i ;

$k_{p,i}$ - rigiditatea resortului prin care se modelează efectul pământului asupra peretelui în pasul i ;

y_i - deplasarea peretelui calculată în pasul i ;

Δ - deplasarea permisă de reazem;

2. Interfața programului

Programul fiind scris în limbajul JavaScript, interfața constă într-o pagină în format HTML care conține o casetă pentru introducerea unui text. Datele de intrare se scriu în felul următor:

straturi **n**

h_1 γ_{s1} n_1 w_1 Φ_1 c_1 k_{s1} k_1
 h_2 γ_{s2} n_2 w_2 Φ_2 c_2 k_{s2} k_2
...
 h_n γ_{sn} n_n w_n Φ_n c_n k_{sn} k_n

segmente **n_{ws}**

t **t** e **e** v **v** h **h**

he **h_e**

has **h_{as}** had **h_{ad}**

qs **q_s** qd **q_d**

reazeme **m**

z_1 **Δ_1**

...

z_m **Δ_m**

presiuni **k**

z_{p1} **p_1**

...

z_{pk} **p_k**

unde:

n - număr de straturi geologice;

h_i - grosimea stratului i (m);

γ_{si} - greutatea specifică (greutatea volumică a scheletului solid) a stratului i (kN/m^3);

n_i - porozitatea stratului i ($((V_p / V_s) \cdot 100)$);

w_i - umiditatea stratului i ($((m_w / m_s) \cdot 100)$);

Φ_i - unghiul de frecare al stratului i ($^\circ$);

c_i - coeziunea stratului i (kPa);

k_{si} - raportul dintre coeficientul de reacțiune inițial și presiunea verticală efectivă (m^{-1});

k_i - coeficientul de permeabilitate al stratului i (m/s);

n_{ws} - număr de segmente în care va fi împărțit peretele;
 t - grosimea peretelui (m);
 e - modulul de elasticitate al materialului peretelui (kPa);
 ν - coeficientul lui Poisson;
 h - înălțimea peretelui (m);
 h_e - adâncimea excavației (m);
 h_{as} - adâncimea la care se găsește nivelul apei în stânga (m);
 h_{ad} - adâncimea la care se găsește nivelul apei în dreapta (m);
 q_s - încărcare distribuită pe suprafața terenului din stânga (kPa);
 q_d - încărcare distribuită pe suprafața terenului din dreapta (kPa);
 m - număr de reazeme;
 z_i - adâncimea la care se găsește reazemul i (m);
 Δ_i - deplasarea permisă de reazemul i (m);
 k - număr de puncte utilizate pentru definirea unei diagrame de presiuni adiționale orizontale;
 z_{pi} - adâncimea punctului i ;
 p_i - presiunea în punctul i .

Pagina cu formularul include 2 imagini care ilustrează parametrii menționați mai sus, după cum se arată în figura 4.

Form with input data for the analysis of a diaphragm wall - Mozilla Firefox

file:///home/johnsmith/Prog/JJS_en/Wal/fom.html

Analysis of a diaphragm wall

Soil and wall parameters:

Number of layers:

Layer 1:

$h_1 =$ m

$\gamma_{s1} =$ KN/m^3

$n_1 =$

$w_1 =$

$\Phi_1 =$ °

$c_1 =$ kPa

$k_1 =$ m/s

Layer 2:

$h_2 =$ m

$\gamma_{s2} =$ KN/m^3

$n_2 =$

$w_2 =$

$\Phi_2 =$ °

$c_2 =$ kPa

Done

Form with input data for the analysis of a diaphragm wall - Mozilla Firefox

file:///home/johnsmith/Prog/JJS_en/Wal/fom.html

Wall parameters:

$t =$ m

$E =$ kPa

$\nu =$

$H =$ m

Underground water:

$h_{wl} =$ m

$h_{wr} =$ m

Excavation depth:

$h_e =$ m

Distributed loads:

$q_l =$ m

$q_r =$ m

Number of supports:

Additional pressures

Number of points:

FORM -> TEXT

(the text below must be copied in page [wall.html](#))

Done

Figura 4 - Pagina "form.html"