ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2007
Seria: BUDOWNICTWO z. 111 Nr kol. 1756

Jan GASZYŃSKI

Instytut Geotechniki
Politechnika Krakowska

KONSOLIDACJA POROWATEJ WARSTWY NASYCONEJ CIECZĄ Z UWZGLĘDNIENIEM WPŁYWU TEMPERATURY

Streszczenie. W pracy podano rozwiązanie zagadnienia początkowo-brzegowego dla konsolidującej warstwy porowatej z polem temperatury. Przeanalizowano właściwości funkcji opisującej osiadanie brzegu w zależności od parametrów termicznych ośrodka, dla początkowej i końcowej chwili procesu.

CONSOLIDATING POROUS LAYER WITH FLUID AND FIELD OF THE TEMPERATURE

Summary. The paper presents solution of the system of equations for consolidation of porous medium where pores are filled by a low compressible liquid. The skeleton stress, pore pressure and field temperature are coupled. The solution of an initial-boundary value problem for an uniaxial strain state for the consolidating layer has been analyzed.

1. Wstęp

Analiza stanów naprężenia i odkształcenia w gruncie pozostaje ciągle jednym z najczęściej podejmowanych tematów zarówno w badaniach eksperymentalnych, jak i rozważaniach teoretycznych. Przyczyny tego należy upatrywać w potrzebie rozwiązywania zagadnień związanych z budownictwem oraz inżynierią i ochroną środowiska. Zakres tej tematyki jest bardzo obszerny. Wynika on zarówno z faktu pojawiania się problemów geotechnicznych w każdym procesie inwestycyjnym (posadowienie budowli), jak i zadaniach związanych z wykorzystaniem środowiska gruntowego przy magazynowaniu i transporcie odpadów oraz energii. Do grupy tych zagadnień należą problemy przechowywania i transportu energii cieplnej w ośrodku gruntowym.

Ruch ciepła w gruncie powoduje zmiany jego temperatury, mające wpływ na stan naprężeń. Rezultatem tego są odkształcenia, mogące mieć wpływ na obiekty posadowione na gruncie. Te zagadnienia są przedmiotem dalszej części pracy. Rozważane jest zadanie konsolidacji warstwy gruntu z uwzględnieniem wpływu temperatury. Do rozwiązania zadania przyjęto model termokonsolidacji [1], [6], [7]. W szczególności dokonano oceny wpływu na osiadanie warstwy gruntu w jednoosiowym stanie odkształcenia.

2. Równania termokonsolidacji

Rozważana jest konsolidująca warstwa gruntu o miąższości h, spoczywająca na nieodkształcalnym podłożu. Proces konsolidacji wywołuje równomiernie rozłożone obciążenie q_0. Przyjmuje się, że w szkielecie gruntowym i cieczy określone jest pole temperatury, mające wpływ na stany naprężeń. Zakłada się, że pola naprężeń w szkielecie, ciśnień w cieczy i temperatury są ze sobą sprzężone, a sposób tego sprzężenia opisuje model termokonsolidacji [7]. Stan procesu opisują następujące funkcje:

- w - przemieszczenie w kierunku z, prostopadłym do brzegu (osiadanie),
- σ_z - naprężenie w szkielecie,
- σ - ciśnienie cieczy w porach,
- ϑ - temperatura wywołana procesem konsolidacji $\left(\vartheta = T - T_0\right)$,
- T - temperatura bezwzględna w chwili t, T_0 - w chwili początkowej t_0.

W jednoosiowym stanie deformacji równania tego modelu mają postać:

$$
\begin{gathered}
Ew_{,zz} + \frac{H}{R}\sigma_{,z} - \frac{E}{T_0} b_3 \vartheta_{,z} = 0 \\
\sigma_{,zz} = \frac{1}{kR}\dot{\sigma} - \frac{H}{kR}\dot{w}_{,z} + \frac{E}{kRT_0} b_2 \dot{\vartheta} \\
\vartheta_{,zz} = \left(b_0 + \frac{E}{R} b_2^2\right)\frac{E}{\lambda_T T_0}\dot{\vartheta} + \frac{E}{R\lambda_T} b_2 \dot{\sigma} + \frac{E}{\lambda_T} b_3 \dot{w}_{,z}
\end{gathered}
\tag{1}
$$

Związki fizyczne zapiszemy w postaci:

$$
\sigma_z = Ew_{,z} + \frac{Q}{R}\sigma - \left(b_1 - \frac{Q}{R} b_2\right)\frac{E}{T_0}\vartheta \tag{2}
$$

$$\sigma = Qw_{,z} + R\theta - b_2 \frac{E}{T_0} \vartheta$$

W równaniach (1) i (2) występują parametry materiałowe ośrodka:

- A, N, Q, R – stałe Biota,
- k – współczynnik przepuszczalności,
- λ_T – współczynnik przewodnictwa cieplnego,
- α_T^s, α_T^c, α_T^{sc} – współczynniki liniowej rozszerzalności cieplnej szkieletu, cieczy oraz wpływu rozszerzalności cieplnej szkieletu na wydatek cieczy i odwrotnie,
- ρ, c_v – gęstość właściwa i ciepło właściwe ośrodka.

Tutaj i dalej przyjęto oznaczenia:

$$H = Q + R, \quad M = A - \frac{Q^2}{R}, \quad E = 2N + M, \quad K = A + \frac{2}{3}N, \quad B = \frac{E \cdot R^2}{E \cdot R + H^2},$$

$$b_0 = \rho \cdot c_v \frac{T_0}{E}, \quad b_1 = \left(3K\alpha_T^s + Q\alpha_T^{sc}\right)\frac{T_0}{E}, \quad b_2 = \left(Q\alpha_T^{sc} + R\alpha_T^c\right)\frac{T_0}{E}, \tag{3}$$

$$b_3 = b_1 - \frac{Q}{R}b_2, \quad b_4 = \frac{E}{R}b_2 - \frac{H}{R}b_3, \quad b_5 = b_0 + \frac{E}{R}b_2^2 + b_3^2.$$

Warunki początkowe

Uwzględniając właściwości układu równań (1), zapiszemy warunki początkowe w postaci [4], [5]. [7]:

$$Ew_{,zz}^o + \frac{H}{R}\sigma_{,z}^o - \frac{E}{T_0}b_3\vartheta_{,z}^o = 0,$$

$$\sigma^o - Hw_{,z}^o + \frac{E}{T_0}b_2\vartheta^o = 0, \; t = t_o, \tag{4}$$

$$\left(b_0 + \frac{E}{R}b_2^2\right)\frac{1}{T_0}\vartheta^o + \frac{1}{R}b_2\sigma^o + b_3 w_{,z}^o = 0.$$

Warunki brzegowe

Przyjmując poprzednio przyjęte założenia o obciążeniu warstwy oraz że górny brzeg warstwy jest przepuszczalny, dolny nieprzepuszczalny i podobnie dla temperatury, zapiszemy warunki brzegowe w postaci:

Dla z = 0: $\sigma_z = -q_o H(t)$, $\sigma = 0$, $\vartheta = 0$. (5)

Dla z = h: $w = 0$, $\sigma_{,z} = 0$, $\vartheta_{,z} = 0$. (6)

Tak sformułowane zagadnienie początkowo brzegowe stanowi podstawę do konstrukcji rozwiązania zadania.

3. Rozwiązanie zadania

Do rozwiązania zadania wykorzystamy transformację Laplace'a, zdefiniowaną związkami:

$$\begin{aligned}
&\left[\overline{w}(z,s), \overline{\sigma}_z(z,s), \overline{\sigma}(z,s), \overline{\vartheta}(z,s)\right] = \int_0^\infty \left[w(z,t), \sigma_z(z,t), \sigma(z,t), \vartheta(z,t)\right]\cdot \exp(-st)dt, \\
&\left[w(z,t), \sigma_z(z,t), \sigma(z,t), \vartheta(z,t)\right] = \int_s \left[\overline{w}(z,t), \overline{\sigma}_z(z,t), \overline{\sigma}(z,t), \overline{\vartheta}(z,t)\right]\cdot \exp(st)ds
\end{aligned} \tag{7}$$

Po wykonaniu tej transformacji na układzie równań (1) oraz warunkach początkowych (4) i warunkach brzegowych (5,6) otrzymamy:

$$\begin{aligned}
&E\overline{w}_{,z} + \frac{H}{R}\overline{\sigma} - \frac{E}{T_0} b_3 \overline{\vartheta} = -\frac{1}{s} q_0, \\
&\overline{\sigma}_{,zz} = \frac{s}{kR}\overline{\sigma} - \frac{sH}{kR}\overline{w}_{,z} + \frac{sE}{kRT_0} b_2 \overline{\vartheta}, \\
&\overline{\vartheta}_{,zz} = \left(b_0 + \frac{E}{R} b_2^2\right)\frac{sE}{\lambda_T T_0}\overline{\vartheta} + \frac{sE}{R\lambda_T} b_2 \overline{\sigma} + \frac{sE}{\lambda_T} b_3 \overline{w}_{,z}.
\end{aligned} \tag{8}$$

Wyeliminowanie transformaty przemieszczenia, wyliczonej z równania (8_1), z równań przepływu (8_2) i przewodnictwa (8_3) daje po przekształceniach:

$$\begin{aligned}
&\overline{\sigma}_{,zz} - \frac{s}{kB}\overline{\sigma} - \frac{s}{kT_0} b_4 \overline{\vartheta} = \frac{1}{k}\frac{H}{ER} q_0, \\
&\overline{\vartheta}_{,zz} - \frac{sE}{\lambda_T T_0} b_5 \overline{\vartheta} - \frac{s}{\lambda_T} b_4 \overline{\sigma} = -\frac{1}{\lambda_T} b_3 q_0.
\end{aligned} \tag{9}$$

Jest to sprzężony układ dwóch niejednorodnych równań różniczkowych zwyczajnych. Rozwiązanie równań (9) znajdujemy jako sumę całek: szczególnej dla równania niejednorodnego i ogólnej równania jednorodnego:

$$\begin{aligned} \overline{\sigma} &= \overline{\sigma}_{og} + \overline{\sigma}_{sz}, \\ \overline{\vartheta} &= \overline{\vartheta}_{og} + \overline{\vartheta}_{sz}. \end{aligned} \tag{10}$$

Całka szczególna układu niejednorodnego spełnia układ równań:

$$\begin{aligned} \overline{\sigma}_{sz,zz} - \frac{s}{kB}\overline{\sigma}_{sz} - \frac{s}{kT_0} b_4 \overline{\vartheta}_{sz} &= \frac{1}{k}\frac{H}{ER} q_0, \\ \overline{\vartheta}_{sz,zz} - \frac{sE}{\lambda_T T_0} b_5 \overline{\vartheta}_{sz} - \frac{s}{\lambda_T} b_4 \overline{\sigma}_{sz} &= -\frac{1}{\lambda_T} b_3 q_0. \end{aligned} \tag{11}$$

Po rozwiązaniu układu (11) mamy:

$$\overline{\sigma}_{sz} = \frac{b_3 b_4 + \dfrac{H}{R}}{b_4^2 - \dfrac{E}{B}} q_0 \tag{12}$$

$$\overline{\vartheta}_{sz} = -\frac{\dfrac{1}{B} b_3 + \dfrac{H}{ER} b_4}{b_4^2 - \dfrac{E}{B}} T_0 q_0 \tag{13}$$

Całka ogólna spełnia układ równań:

$$\begin{aligned} \overline{\sigma}_{og,zz} - \frac{s}{kB}\overline{\sigma}_{og} - \frac{s}{kT_0} b_4 \overline{\vartheta}_{og} &= 0, \\ \overline{\vartheta}_{og,zz} - \frac{sE}{\lambda_T T_0} b_5 \overline{\vartheta}_{og} - \frac{s}{\lambda_T} b_4 \overline{\sigma}_{og} &= 0. \end{aligned} \tag{14}$$

Rozwiązanie tego układu równań zapiszemy w postaci:

$$\overline{\sigma}_{og} = \overline{G}_{,zz} - \frac{sE}{\lambda_T T_0} b_5 \overline{G},$$
$$\overline{\vartheta}_{og} = \frac{s}{\lambda_T} b_4 \overline{G}. \tag{15}$$

gdzie $\overline{G}(z,s)$ jest funkcją spełniającą tożsamościowo równanie (14_2) oraz równanie:

$$\left[d_z^4 - \left(\frac{s}{kB} + \frac{sE}{\lambda_T T_0} b_5 \right) d_z^2 - \left(b_4^2 - \frac{E}{B} b_5 \right) \frac{s^2}{k\lambda_T T_0} \right] \overline{G}(z,s) = 0 \tag{16}$$

Pierwiastki równania charakterystycznego określają związki:

$$r_1^2 = \frac{s}{k\lambda_T T_0} \rho_1^2, \quad r_2^2 = \frac{s}{k\lambda_T T_0} \rho_2^2. \tag{17}$$

tutaj oznaczono:

$$\rho_1^2 = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{B} \sqrt{\frac{\lambda_T T_0}{k}} + E b_5 \sqrt{\frac{k}{\lambda_T T_0}} + \frac{\mu}{\sqrt{k\lambda_T T_0}} \right]$$
$$\rho_2^2 = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{B} \sqrt{\frac{\lambda_T T_0}{k}} + E b_5 \sqrt{\frac{k}{\lambda_T T_0}} - \frac{\mu}{\sqrt{k\lambda_T T_0}} \right] \tag{18}$$
$$\mu^2 = \left(\frac{1}{B} \sqrt{\frac{\lambda_T T_0}{k}} - E b_5 \sqrt{\frac{k}{\lambda_T T_0}} \right)^2 + 4 b_4^2$$

Funkcja $\overline{G}(z,s)$ dana jest związkiem:

$$\overline{G} = c_1 sh\left(\sqrt{\frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}}} \rho_1 z \right) + c_2 ch\left(\sqrt{\frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}}} \rho_1 z \right) + c_3 sh\left(\sqrt{\frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}}} \rho_2 z \right) + c_4 ch\left(\sqrt{\frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}}} \rho_2 z \right) \tag{19}$$

Stąd całki ogólne poszukiwanych funkcji $\overline{\sigma}_{og}$ i $\overline{\vartheta}_{og}$:

$$\overline{\sigma}_{og} = \left(\frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}} \rho_1^2 - \frac{s}{\lambda_T T_0} E b_5 \right) \left[c_1 sh\left(\sqrt{\frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}}} \rho_1 z \right) + c_2 ch\left(\sqrt{\frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}}} \rho_1 z \right) \right] +$$

$$+ \left(\frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}} \rho_2^2 - \frac{s}{\lambda_T T_0} E b_5 \right) \left[c_3 sh\left(\sqrt{\frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}}} \rho_2 z \right) + c_4 ch\left(\sqrt{\frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}}} \rho_2 z \right) \right] \tag{20}$$

$$\overline{\vartheta}_{og} = \frac{s}{\lambda_T} b_4 \left[c_1 sh\left(\sqrt{\frac{s}{k\lambda_T T_0}} \rho_1 z \right) + c_2 ch\left(\sqrt{\frac{s}{k\lambda_T T_0}} \rho_1 z \right) + c_3 sh\left(\sqrt{\frac{s}{k\lambda_T T_0}} \rho_2 z \right) + c_4 ch\left(\sqrt{\frac{s}{k\lambda_T T_0}} \rho_2 z \right) \right] \tag{21}$$

Dalej zajmiemy się wyznaczeniem transformaty przemieszczenia brzegu warstwy konsolidującej. Podstawiając otrzymane rezultaty (12-13, 19-21) do równania (8_1) i całkując względem zmiennej z, otrzymamy po przekształceniach:

$$\overline{w} = \sqrt{\frac{\sqrt{k\lambda_T T_0}}{s}} \frac{1}{\rho_1} \left(-\frac{H}{ER} \frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}} \rho_1^2 + \frac{s}{\lambda_T T_0} \left(\frac{H}{R} b_5 + b_3 b_4 \right) \right) \left(c_1 sh\left(\sqrt{\frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}}} \rho_1 z \right) + c_2 ch\left(\sqrt{\frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}}} \rho_1 z \right) \right)$$

$$+ \sqrt{\frac{\sqrt{k\lambda_T T_0}}{s}} \frac{1}{\rho_2} \left(-\frac{H}{ER} \frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}} \rho_2^2 + \frac{s}{\lambda_T T_0} \left(\frac{H}{R} b_5 + b_3 b_4 \right) \right) \left(c_3 sh\left(\sqrt{\frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}}} \rho_2 z \right) + c_4 ch\left(\sqrt{\frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}}} \rho_2 z \right) \right)$$

$$- \frac{2\frac{H}{R} b_3 b_4 + \frac{E}{B} b_3^2 - \frac{E}{R}}{b_4^2 - \frac{E}{B}} \frac{1}{E} q_0 z + c_0 \tag{22}$$

Występujące w równaniu (22) współczynniki: c_0, ... c_4 należy wyznaczyć z warunków brzegowych. Po ich uwzględnieniu i przekształceniach otrzymamy:

$$c_0 = -\sqrt{\frac{\sqrt{k\lambda_T T_0}}{s}} \frac{1}{\rho_1} \left(-\frac{H}{ER} \frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}} \rho_1^2 + \frac{s}{\lambda_T T_0} \left(\frac{H}{R} b_5 + b_3 b_4 \right) \right) \left(\begin{array}{l} c_1 sh\left(\sqrt{\frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}}} \rho_1 h \right) + \ldots \\ c_2 ch\left(\sqrt{\frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}}} \rho_1 h \right) \end{array} \right)$$

$$- \sqrt{\frac{\sqrt{k\lambda_T T_0}}{s}} \frac{1}{\rho_2} \left(-\frac{H}{ER} \frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}} \rho_2^2 + \frac{s}{\lambda_T T_0} \left(\frac{H}{R} b_5 + b_3 b_4 \right) \right) \left(\begin{array}{l} c_3 sh\left(\sqrt{\frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}}} \rho_2 h \right) + \ldots \\ c_4 ch\left(\sqrt{\frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}}} \rho_2 h \right) \end{array} \right) \tag{23}$$

$$+\frac{2\frac{H}{R}b_3b_4+\frac{E}{B}b_3^2-\frac{E}{R}}{b_4^2-\frac{E}{B}}\frac{1}{E}q_0h$$

$$c_2=p_1\cdot\frac{1}{\rho_1^2-\rho_2^2}\cdot\frac{\sqrt{k\lambda_T T_0}}{s}\cdot\frac{q_0}{s}-p_2\cdot\frac{\rho_2^2}{\rho_1^2-\rho_2^2}\cdot\frac{\lambda_T T_0}{s}\cdot\frac{q_0}{s}$$

$$c_4=-p_1\cdot\frac{1}{\rho_1^2-\rho_2^2}\cdot\frac{\sqrt{k\lambda_T T_0}}{s}\cdot\frac{q_0}{s}+p_2\cdot\frac{\rho_1^2}{\rho_1^2-\rho_2^2}\cdot\frac{\lambda_T T_0}{s}\cdot\frac{q_0}{s}$$

$$c_1=-c_2\cdot th\left(\sqrt{\frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}}}\rho_1 h\right),\qquad c_3=-c_4\cdot th\left(\sqrt{\frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}}}\rho_2 h\right)$$

gdzie p_1 i p_2 dane są związkami:

$$p_1=\frac{\frac{H}{R}(b_5-1)+\left(\frac{E}{B}\frac{b_5}{b_4}-b_4\right)b_3}{b_4^2-\frac{E}{B}},\qquad p_2=\frac{\frac{1}{B}\frac{b_3}{b_4}+\frac{H}{RE}}{b_4^2-\frac{E}{B}}\tag{24}$$

Uwzględniając otrzymane rezultaty, zapiszemy transformatę osiadania brzegu warstwy konsolidującej: $\overline{w}_0=\overline{w}(z=0,s)$:

$$\overline{w}_0=-\left(p_1-p_2\rho_2^2\sqrt{\frac{\lambda_T T_0}{s}}\right)\left(z_1\rho_1^2+z_2\sqrt{\frac{k}{\lambda_T T_0}}\right)\sqrt{\frac{\sqrt{k\lambda_T T_0}}{s}}\frac{1}{\rho_1^2-\rho_2^2}\frac{q_0}{\rho_1 s}\cdot th\left(\sqrt{\frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}}}\rho_1 h\right)+$$

$$-\left(-p_1+p_2\rho_1^2\sqrt{\frac{\lambda_T T_0}{s}}\right)\left(z_1\rho_2^2+z_2\sqrt{\frac{k}{\lambda_T T_0}}\right)\sqrt{\frac{\sqrt{k\lambda_T T_0}}{s}}\frac{1}{\rho_1^2-\rho_2^2}\frac{q_0}{\rho_2 s}\cdot th\left(\sqrt{\frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}}}\rho_2 h\right)+$$

$$+\left(\frac{2\frac{H}{RE}b_3b_4+\frac{H^2}{R^2E}+\frac{1}{B}b_3^2}{b_4^2-\frac{E}{B}}+\frac{1}{E}\right)\frac{hq_0}{s}\tag{25}$$

Tutaj przyjęto oznaczenia:

$$z_1=-\frac{H}{RE},\qquad z_2=\frac{H}{R}b_5+b_3b_4\tag{26}$$

Dokonując odwrócenia transformacji Laplace'a na (25), możemy wyznaczyć osiadanie brzegu. Operacja ta zwykle wymaga obliczenia złożonych całek [3], tak też jest i w tym przypadku. Ważne rezultaty, mianowicie osiadanie w chwili początkowej i końcowej procesu konsolidacji, można jednak uzyskać w stosunkowo prosty sposób. Wykorzystamy do tego celu twierdzenia graniczne [3] orzekające, że:

$$\lim_{s\to 0} s\cdot\overline{w}(s) = \lim_{t\to\infty} w(t), \quad \lim_{s\to\infty} s\cdot\overline{w}(s) = \lim_{t\to 0} w(t) \tag{27}$$

Należy więc obliczyć odpowiednie granice dla funkcji (25). Mamy oczywiście:

$$\lim_{s\to\infty}\frac{\operatorname{th}\left(\sqrt{\frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}}}\rho_i h\right)}{\sqrt{\frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}}}} = 0, \quad \lim_{s\to 0}\frac{\operatorname{th}\left(\sqrt{\frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}}}\rho_i h\right)}{\sqrt{\frac{s}{\sqrt{k\lambda_T T_0}}}} = \rho_i h \qquad i = 1,2 \tag{28}$$

Stąd otrzymujemy początkowe i końcowe osiadanie warstwy:

$$w_0(t\to 0) = \left(\frac{2\frac{H}{RE}b_3b_4 + \frac{H^2}{R^2E} + \frac{1}{B}b_3^2}{b_4^2 - \frac{E}{B}} + \frac{1}{E}\right)hq_0 \tag{29}$$

$$w_0(t\to\infty) = -(p_1z_1 + p_2z_2)hq_0 + \left(\frac{2\frac{H}{RE}b_3b_4 + \frac{H^2}{R^2E} + \frac{1}{B}b_3^2}{b_4^2 - \frac{E}{B}} + \frac{1}{E}\right)hq_0 = \frac{1}{E}hq_0 \tag{30}$$

Zakładając brak wrażliwości ośrodka na zmiany temperatury, otrzymamy z (29) przy uwzględnieniu (3):

$$w(t\to 0) = \frac{H}{RE + H^2}hq_0 \tag{31}$$

4. Uwagi końcowe

Otrzymane wyniki, mimo że stanowią fragment pełnego rozwiązania zagadnienia brzegowego dla warstwy konsolidującej, pozwalają podjąć dyskusję o właściwościach tego rozwiązania. Tak więc jest widoczne, że końcowe osiadanie brzegu warstwy dane wzorem (30) opisuje taka sama zależność, jak dla ośrodka niewrażliwego na temperaturę. Inaczej jest z początkowym osiadaniem warstwy. Jest ono różne w przypadku ośrodka wrażliwego na temperaturę i niewrażliwego. O wielkości tych różnic decydują termiczne właściwości ośrodka. Mimo że nie jest to uwidocznione przykładem obliczeniowym, widać z otrzymanego rozwiązania wpływ stosunku współczynników przewodnictwa i przepuszczalności na przebieg procesu konsolidacji.

Literatura

1. Biot M.A.: General theory of three-dimensional consolidation. J. Appl. Phys., 1941, No. 12, 155
2. Coussy O.: Mechanics of Porous Continua. John Willey & Sons, 1995.
3. Doetsch G.: Praktyka przekształcenia Laplace'a. PWN, Warszawa 1964.
4. Gaszyński J.: Identyfikacja modelu konsolidacji Biota na podstawie realizacji jednoosiowego zadania brzegowego. Archiwum Hydrotechniki PAN, 1984, XXXI, t. 1-2, 125-135.
5. Gaszyński J., Szefer G.: Konsolidacja półprzestrzeni lepko-sprężystej obciążonej siłą skupioną. Rozprawy Inżynierskie, 1975, 23.3, 375-391.
6. Kowalski S.J.: Thermomechanics of Drying Process of Fluid-Saturated Porous Media. Drying Technology, 1994, Vol 12, No. 4, 453-482.
7. Strzelecki T.: Równania termokonsolidacji gruntów i skał. Geotechnika i Budownictwo Specjalne, AGH, XXIX 2006, 285-299.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Tomasz Strzelecki