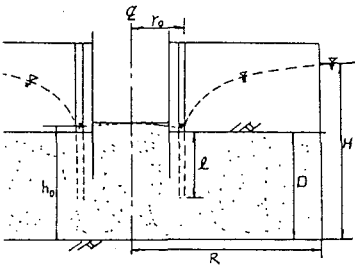


不完全貫入状態での掘削地の湧水流量の算定法

岡山大学工学部 ○西垣 誠
姫路市役所 萩原 亘
岡山県庁 山本哲也

1. はじめに

根切り工事における地下水低下の為にディープウェルを図-1のように設けて地下水位を低下させる。このような排水設計において、排水施設が帯水層全層にわたって設けられるのではなく、帯水層の途中までしか貫入されていない場合が多い。このような条件の排水流量の算定式として、従来より数種の式が提案されている。本報告では、これらの提案式の妥当性を数値解析による浸透解析により検討した結果について述べる。



2. 不完全貫入井による排水流量の算定

図-1に示すような被圧帯水層での不完全貫入井による排水流量(Q_{00})は次式より求められる。

$Q_{00} = Q_0 G \quad (1) \quad \text{ここで、} \quad Q_0 = \frac{2\pi kD(H-h_0)}{\ln(R/r_0)} \quad (2)$

図-1 被圧帯水層での不完全貫入の算定式

すなわち Q_0 は完全貫入状態での排水流量である。したがって G の値は不完全貫入によってどの程度の割合だけ流出流量が減少するかを示している。 G の値に関しては多くの提案式があり、それを表-1に示す。

表-1 被圧帯水層での G 関数

G 関数	備考	G 関数	備考
$G_K = \frac{l}{D} \left[1 + 7 \sqrt{\frac{r_0}{2l}} \cos\left(\frac{\pi}{2} \frac{l}{D}\right) \right] \quad (2)$	Kozeny(1933) ¹⁾	$G_1 = \frac{\ln(R/r_0)}{\frac{D}{2l} \ln\left(\frac{\pi l}{2r_0}\right) + 0.1 + \ln(R/2r_0)} \quad (5)$	de Glee ²⁾
$\frac{l}{D} \ll 1$ において	酒井重治郎 ²⁾	$G_F = \sqrt{\frac{l}{D}} \sqrt{\frac{2D-l}{D}} \quad (6)$	Forchheimer ³⁾
$G_S = \frac{l}{D} \left[1 + 7 \sqrt{\frac{r_0}{2l}} \right] \quad (3)$		$l < 0.3D$	エヌ・カ・ギリンスキル ⁴⁾
$G_M = \frac{\ln(R/r_0)}{\frac{D}{2l} \left[2 \ln\left(\frac{4D}{r_0}\right) - F\left(\frac{l}{D}\right) \right] - \ln\left(\frac{4D}{R}\right)} \quad (4)$	Muskat ⁵⁾	$G_G = \frac{l}{D} \frac{\ln(R/r_0)}{\ln(1.62l/r_0)} \quad (7)$	
なお $F\left(\frac{l}{D}\right) = \frac{\ln \left[\frac{\Gamma(0.875 \frac{l}{D}) \Gamma(0.125 \frac{l}{D})}{\Gamma(1-0.875 \frac{l}{D}) \Gamma(1-0.125 \frac{l}{D})} \right]}{\ln \left[\frac{\Gamma(0.875 \frac{l}{D}) \Gamma(0.125 \frac{l}{D})}{\Gamma(1-0.875 \frac{l}{D}) \Gamma(1-0.125 \frac{l}{D})} \right]}$		$G_B = \frac{l}{D} \frac{\ln(R/r_0)}{\ln(1.32 l/r_0)} \quad (8)$	ウニ・デ・バアンキン ⁶⁾
ここで $\Gamma(x)$ はガンマ関数		$G_{F2} = \sqrt{\frac{l+0.5r_0}{D}} \sqrt{\frac{2D-l}{D}} \quad (9)$	Forchheimer ³⁾

3. 数値解析との検討結果

表-1の提案式の適用性を検討する目的で有限要素法による軸対称浸透解析を用いた。解析のモデルは図-2,3に示すように $r_0=0.3$ m と $r_0=10$ m の2つのケースを対象とし、その掘削深度を2種類に変えて検討した。検討結果を表-2に示す。またその誤差を表-3に示す。これらの結果より、次の事がわかる。井戸半径が小さい場合には、Muskatの(4)式はきわめて良い精度で不完全貫入状態を表現していることがわかる。しかし、井戸半径が大きくなるとMuskatの式は適用できないことが分かる。G関数は、本来、次の条件を満足しなければならない。

$$0 < G < 1$$

このように考えると、Konzenyの式、Muskatの式、de. Gleeの式、ギリンスキルおよびバブンキンの式は、もはや、すべての r_0 に対しての条件を満足しないようで、制約範囲内でのみ成立する式であると考えても良い、Forchheimerの(6)式は、掘削半径に関係なく成立するものとして提案されているが、これは大きな誤りである。Forchheimerの(9)式は、掘削の側壁と、掘削底部からの総湧水流量を求める式として提案されている。

今回の4つのケースを対象とするかぎり、(9)式は、簡単な式であるにもかかわらず、数値シミュレーションした結果と良く一致することがわかる。このように考えると、ここで検討した8個の式の中で、Forchheimerの(9)式が不完全貫入状態の掘削面からの排水流量の算定にきわめて有効であると言える。

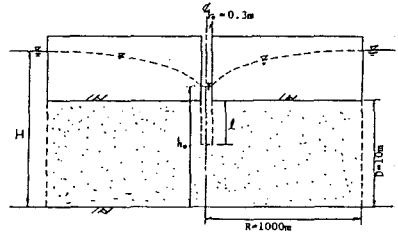


図-2 $r_0=0.3$ mのモデル

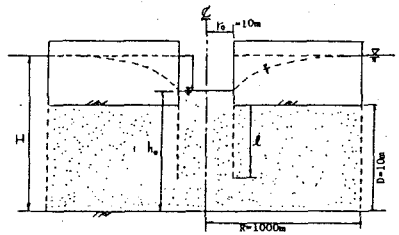


図-3 $r_0=10$ mのモデル

表-2 提案式の検討

G	$r_0=0.3$ m		$r_0=10$ m	
	$l=1.5$ m	$l=5$ m	$l=1.5$ m	$l=5$ m
G_1	0.50	0.82	0.93	0.98
G_2	0.47	1.06	2.00	3.70
G_3	0.48	1.11	1.90	4.00
G_4	0.46	0.81	-0.78	2.71
G_5	0.38	0.58	1.26	1.15
G_{F1}	0.45	0.78	0.45	0.78
G_6	0.59	1.23	-0.48	-10.31
G_8	0.64	1.31	-0.43	-5.54
G_{F2}	0.47	0.79	0.94	1.11

参考文献

- 1) Leonards, G. A.: Foundation Engineering, McGraw-Hill, 1962, pp. 287-290.
- 2) 酒井軍治郎: 地下水の水理解析法, 地下水技術センター, 1980, pp. 60.
- 3) Muskat, M.: The flow of homogeneous fluids through porous media, McGraw-Hill, 1937, pp. 273-274.
- 4) Todd, D. K.: Ground Water hydrology, John Wiley & Sons, 1959, pp. 106-108.
- 5) べ. べ. クリメントフ, ゲ. ゲ. アイハチェフ (外尾. 永井訳): 地下水の力学, ラテイス刊, 1967, pp. 258-262.

表-3 提案式の精度

G_i/G_1	$r_0=0.3$ m		$r_0=10$ m	
	$l=1.5$ m	$l=5$ m	$l=1.5$ m	$l=5$ m
G_2/G_1	0.94	1.29	2.15	3.78
G_3/G_1	0.96	1.35	2.04	4.08
G_4/G_1	0.92	0.99	-0.84	2.77
G_5/G_1	0.76	0.71	1.35	1.17
G_{F1}/G_1	0.90	0.95	0.48	0.80
G_6/G_1	1.18	1.50	-0.52	-10.52
G_8/G_1	1.28	1.60	-0.46	-5.65
G_{F2}/G_1	0.94	0.96	1.01	1.13