

エタノール/ベントナイトスラリー止水壁の移流分散解析

清水建設(株) 正会員 ○石川 明 浅田素之 川口正人 堀内澄夫

1. はじめに エタノール/ベントナイト止水壁とは、エタノール(EtOH)とベントナイトを一定の割合で混合したスラリーを原地盤に攪拌混合して構築するもので止水性、自己修復性の高い止水壁である。スラリー中のエタノールは揚水井で回収することを考えており、揚水中の地下水、あるいは止水壁内エタノール濃度の経時変化を数値解析により評価した。解析には移流分散の汎用解析コード¹⁾を用いた。

2. 解析条件

解析モデル エタノール/ベントナイト止水壁を壁厚 60cm, 深さ 20m、半径 50m の円筒形状で施工するものとし、円筒形状を 15°に分割したモデルで解析を行い、その結果を円筒形状に積分した(図 2)。図 2 でメッシュの細くなっている部分が止水壁である。円筒中心部を揚水井と想定し、0～30 日までは止水壁施工期間として放置し、30 日後から節点水頭を 18m 低下させた。

初期条件、境界条件(図 1 参照)を以下に示す。

円筒外周 (r=145m) h=0m at t=0～∞日

円筒中心(揚水井)(r=0m) h=0m at t=0～30 日

h=-18m at t=30～∞日

止水壁(r=49.4～50.0m) C=C₀=0.2 at t=0 日

物性 原地盤の透水係数を 1×10^{-1} 、 1×10^{-2} 、 1×10^{-3} (cm/s) の 3 パターンとし、スラリーの透水係数、分子拡散係数は別途行った透水試験、拡散試験結果²⁾からそれぞれ 2.0×10^{-8} (cm/s)、 3.7×10^{-6} (cm²/s) とした。その他のパラメーターは代表値を想定し、表 1 に示す値を採用した。特に E/B スラリーの有効間隙率は実際にはエタノールと水が置換するにつれて変化すると考えられるが、本解析では 0.4 の一定値として解析した。不飽和浸透特性は図 3 に示す浸透特性を用いた。また、エタノールは水より密度が小さいため、密度流れが発生するが、(1)式でその特性を表した。

$$\rho = \rho_0(1 + c\varepsilon) \quad (1) \quad \rho_0 = 1.0(\text{g/cm}^3), \varepsilon = -0.15$$

ここで、 ρ : 溶媒の密度(g/cm³)、c: エタノール濃度(%)である。

表 1 解析に用いた物性

パラメーター	単位	解析Case	原地盤	E/Bスラリー
透水係数 k	cm/s	1	1×10^{-1}	
		2	1×10^{-2}	2×10^{-8}
		3	1×10^{-3}	
初期EtOH濃度	%	共通	—	20
有効間隙率 n _e	—		0.4	0.4
体積密度	g/cm ³		1.9	1.9
縦分散係数 a _T	m		2.0	2.0
横分散係数 a _L	m		0.2	0.2
分子拡散係数 a _m	cm ² /s		3.7×10^{-5}	3.7×10^{-5}

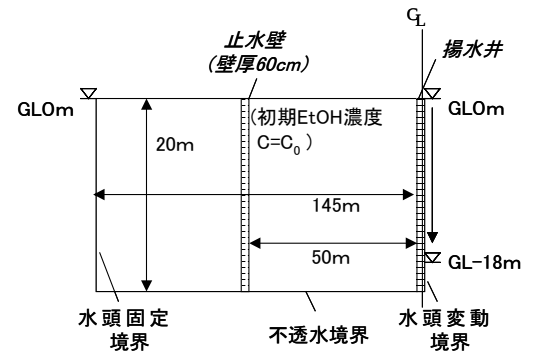


図1 解析の初期条件・境界条件

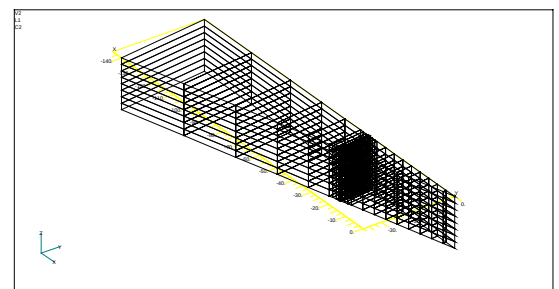


図2 解析メッシュ図

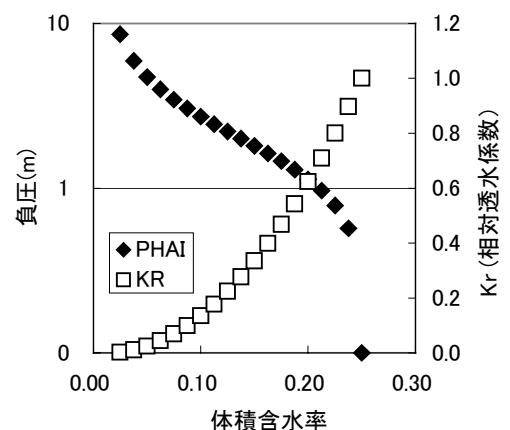


図3 不飽和浸透特性

Key Words : 移流分散、数値解析、スラリー止水壁

〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 Tel 03-3820-5519 Fax 03-3820-5959

3. 解析結果

井戸からの揚水量 図4に原地盤の透水係数を変化させた場合の、揚水量の経時変化を示す。本解析では不透水境界まで止水壁を挿入したモデルのため、止水壁を回り込む地下水の流れはない。したがって、定常状態に達するまでの地下水の揚水対象は止水壁内のたまり水の揚水が支配的となり、定常状態後は止水壁を通過した地下水を揚水することになる。こうした状況では、原地盤の透水係数が高いほうが止水壁内の水位低下が早いため、 $k=1.0 \times 10^{-1}$ cm/s の解析ケースが最も早く100日以内に定常状態に達した。

揚水中のエタノール濃度 図5に揚水した地下水中のエタノール濃度の経時変化を示す。図4、図5よりCase1のエタノール濃度は、揚水量が定常状態になる時刻付近から、ほぼ一定かつ低い濃度になっていることがわかる。また、Case3のように揚水量が定常状態になる時間が長い解析ケースほど、揚水中のエタノール濃度が高くなった。揚水量が早く定常になったCase1では、止水壁の内側の大部分が短期間で地盤の不飽和領域と接する状態になるため、エタノールと水の置換が進みにくい状態になったと考えられる。

止水壁内のエタノール濃度

図6に深さ2.5m部分、図7に深さ17.5m部分の止水壁スラリー内のエタノール濃度変化を示す。30日までは井戸揚水をしていないため、壁内のエタノールは密度流れと分子拡散の作用で地盤に拡散した。30日以内に約30%のエタノールが上記の作用により拡散した結果となった。井戸揚水後は止水壁内に動水勾配が生じてエタノールの移流が発生し壁外へのエタノール流出が早くなった。止水壁の深度が深いほど動水勾配が大きくなるため、深さ17.5m部分のほうが2.5m部分より置換速度が速い。解析結果より100日後に2.5m部分で約60%、17.5mで80%のエタノールが地下水と置換した。

4. 結論 エタノール/ベントナイトスラリー止水壁内のエタノールの挙動を移流分散解析により評価した。その結果、以下のことが判明した。

- (1) 回収されるエタノール濃度は、揚水量（地下水位低下速度）と関係する。止水壁内の地盤をゆっくり不飽和にしたほうが、回収エタノール濃度が高くなる。
- (2) 密度流れと分子拡散作用によって止水壁の施工期間内（30日間）に約30%のエタノールが土中に拡散する。
- (3) エタノールと水の置換速度は止水壁にかかる動水勾配が大きいほうが速くなる。

5. おわりに 不飽和部分の止水壁内、地盤内のエタノールの挙動については、今回の解析ではエタノールの揮発と生物分解を考慮しなかったため正確に評価できていない。今後の課題としたい。

6. 謝辞 本研究はアルコール専売事業特別会計研究開発委託費により(社)アルコール協会からの再委託事業として実施したものである。発表を許可していただいた、通商産業省並びにアルコール協会に感謝いたします。

参考文献

- (1) Gour-Tsyh Yeh, Jing-Ru Cheng, Hwai-Ping Cheng: 3DFEMFAT Users' Manual of a 3-Dimensional Finite Element Method of Flow and Transport through Saturated-Unsaturated Media, The Pennsylvania State University.
- (2) 石川、浅田、川口、堀内：エタノール/ベントナイトスラリー止水壁のエタノール濃度拡散の評価、第35回地盤工学研究発表会（投稿中）

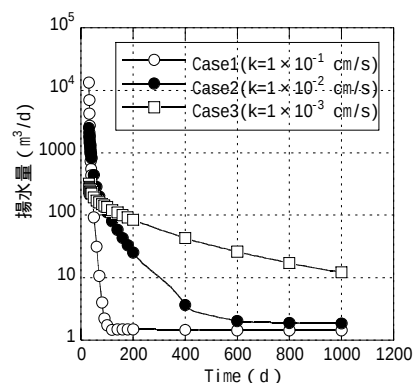


図4 井戸からの揚水量

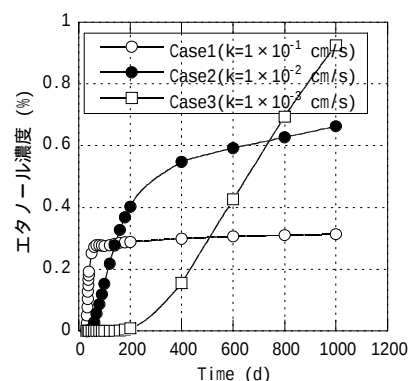


図5 揚水中のエタノール濃度

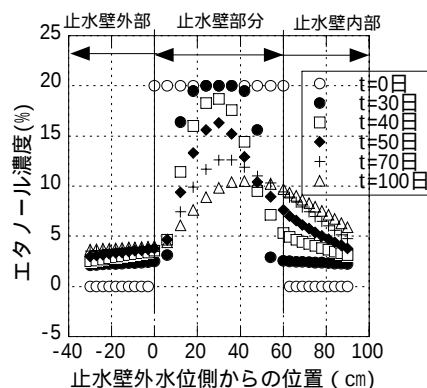


図6 止水壁内のエタノール濃度(深さ2.5m)

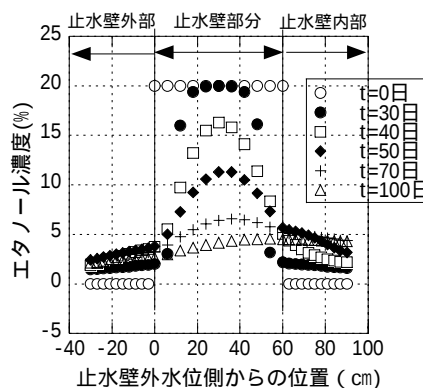


図7 止水壁内のエタノール濃度(深さ17.5m)