

立命館大学工学部 正会員 勝見 武
立命館大学大学院 学生員 ○石森洋行
京都大学大学院 学生員 遠藤和人
立命館大学工学部 正会員 深川良一
京都大学大学院 正会員 嘉門雅史

1. はじめに

近年、汚染物質の拡散防止の機能だけではなく浄化の機能も併せもつ地下水汚染対策工法として、Funnel-and-Gate System (FGS) と呼ばれる反応壁を用いた浄化システム (図1 参照) が注目を集めている¹⁾²⁾。FGS は掘削工事を伴うため他の対策工法に比べて初期費用が高くなる傾向があることから、要求性能水準を満たしつつ効率的な設計が求められる。そこで本研究では、地下水に溶解した汚染物質への適用を対象とし、FGS の性能に影響を与える要因を浸透流解析により評価した。

2. 解析手法と解析条件

解析平面図とそのメッシュ図を図2、3に示す。地下水の流向はx軸方向で、動水勾配 $i = 1/100$ と仮定し、Funnelの厚さを1mとしている。その他の解析条件は図中に示す通りである。解析は表1に示すように、Gateの幅 (W_{gate})、Gateの長さ (L_{gate})、Gateの透水係数 (k_{gate})、Funnelの幅 (W_{funnel})、Funnelの角度 (θ_{funnel}) をそれぞれパラメトリックに変化させて実施した。FGSの性能を表わす指標としては、浄化性能、集水性能が挙げられる。これらの性能を定量化するため、Retention Time および Capture Zone を解析により評価した。Retention Time は地下水のGate内での滞留時間で、これが大きいほど汚染物質を十分に減衰できる。なお、減衰速度は、対象とする汚染物質および反応剤とその量に依存する。Capture Zone は汚染地下水の捕捉可能範囲を表わす。一般に、地下水に溶け込んだ汚染物質の挙動には、移流・分散・吸着・減衰現象を伴うが、ここでは移流現象のみを対象とし、有限要素法により平面2次元飽和定常条件にて解析を行った。

3. 解析結果と考察

解析結果を図4～8に示す。これらの結果より、Retention Time への影響が顕著なパラメータは、Gateの厚さと透水係数、Funnelの幅であった。Gateが厚くなるほど、Retention Timeは線形的に増加する (図5)。Gate

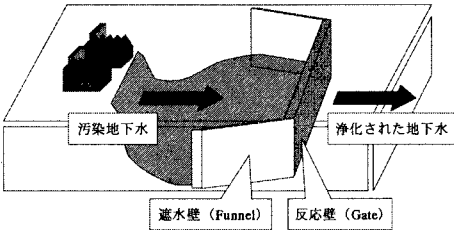


図1 FGSの概念図

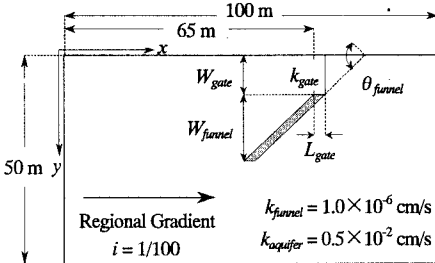


図2 解析平面図

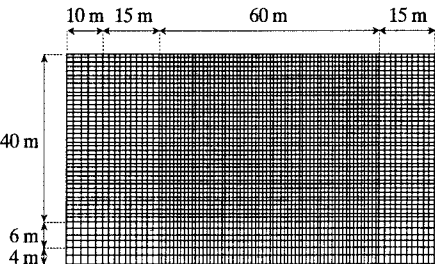


図3 解析メッシュ図

表1 解析条件

	AQUIFER	GATE			FUNNEL		
	$k_{aquifer}$ (cm/s)	W_{gate} (m)	L_{gate} (m)	$k_{gate}/k_{aquifer}$	W_{funnel} (m)	θ_{funnel} (deg)	k_{funnel} (cm/s)
Case1	0.5×10^{-2}	2 ~ 12	1	10	8	180	1.0×10^{-6}
Case2	0.5×10^{-2}	4	1 ~ 11	10	8	180	1.0×10^{-6}
Case3	0.5×10^{-2}	4	1	0.1 ~ 1000	8	180	1.0×10^{-6}
Case4	0.5×10^{-2}	4	1	10	2 ~ 32	180	1.0×10^{-6}
Case5	0.5×10^{-2}	4	1	10	8	20 ~ 180	1.0×10^{-6}

の透水係数が大きくなると Retention Time は減少するが、地盤との透水係数比 ($k_{gate}/k_{aquifer}$) が 10 以上になれば Retention Time は減少しなくなる (図 6)。これは、Gate の透水係数を向上させても、Gate 背面の地盤の透水係数が Gate のそれよりも著しく低いために、Gate からの地下水の流出を妨げているためと考えられる。なお、周辺地盤の透水係数 $k_{aquifer}$ のオーダーを変化させて同条件で解析を試みた場合、Retention Time にも同オーダーの変化がみられた。Funnel の幅は大きいほど、Retention Time は減少する (図 7)。これは集水範囲が増加し、Gate 単位

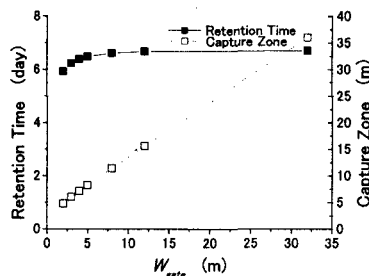


図 4 Gate の幅の影響

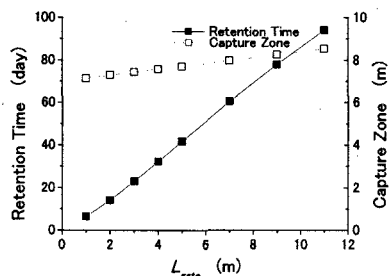


図 5 Gate の厚さの影響

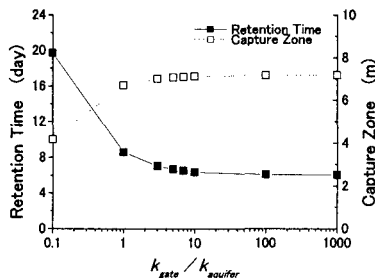


図 6 Gate の透水係数の影響

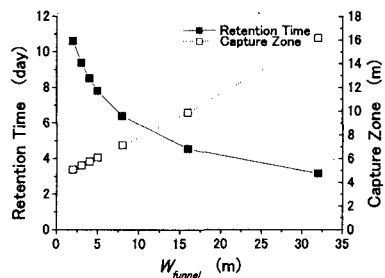


図 7 Funnel の幅の影響

幅当りの汚染水の流入処理量が増加したためと考えられる。なお、図 8 に示すように、Funnel の角度が 90° 以下の場合、角度の減少に伴って Retention Time は増加した。しかしながら、本解析の条件は W_{funnel} 一定で行っており、角度の減少は Funnel の実質長さの増加を意味することから、効率的ではないと考えられる。なお、文献²⁾では、流入量は $\theta = 180^\circ$ のときに Gate への流入流量が最大となることが示されている。また、Funnel の角度の有効性は、地下水流向が変動する場合や不均一な地盤に対して有効と考えられる。

Capture Zone への影響が顕著となったパラメータは、Gate の幅と透水係数、Funnel の幅であった。Gate の幅が大きくなれば Capture Zone は線形的に増加し、その勾配はほぼ 1 に近いことから、Gate の幅がそのまま Capture Zone に影響すると考えられる (図 4)。Gate と地盤の透水係数比の増加に伴い Capture Zone は増加するが、透水係数比 10 以上では Capture Zone は増加しない。これは Retention Time の場合と同様の理由と考えられるが、周辺地盤の透水係数 $k_{aquifer}$ のオーダーを変化させて同条件で解析を試みても、Capture Zone には変化がみられなかった。Funnel の幅は大きくなるほど Capture Zone は増加した。

4. 結び

Funnel-and-Gate System に及ぼす要因を浸透流解析によって調べた結果、設計には透水係数比 ($k_{gate}/k_{aquifer}$) 10 以上、 $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ の条件が有効であり、さらに性能評価を行う上で Gate の幅と厚さ、Funnel の幅を検討する必要があることが示唆された。今後は、この解析結果に基づいて、要求された性能水準から Gate や Funnel の最適幾何学条件を決定する手順を確立するとともに、汚染物質の分散・減衰現象が FGS に性能に及ぼす影響を検討し、リスク低減の考え方から FGS の有効性を議論する必要がある。

参考文献

- 1) Gavaskar, A.R., Gupta, N., Sass, B.M., Janosy, R.J., and O'Sullivan, D. (1998): *Permeable Barriers for Groundwater Remediation*, Battelle Press, Columbus, Ohio.
- 2) Starr, R.C. and Cherry, J.A. (1994): In situ remediation of contaminated ground water: The funnel-and-gate system, *Ground Water*, Vol.32, No.3, pp.465-476.