

地下水流動保全工法の設計における安全率

清水建設株式会社 正会員 高坂 信章

1. はじめに

長大地下構造物の建設により地下水流動阻害現象が発生し、この対策として地下水流動保全工法が適用される事例が増加してきている。この工法の基本方式は、井戸型の施設を構造物の上流側と下流側に設置し、これを通水管で連結して地下水の流動を確保するものである。したがって、最も重要な設計項目は、施設の設置間隔である。設置間隔の設計に大きく影響する要因のひとつとして、井戸損失に相当する集水・涵養施設の流入・流出抵抗が挙げられる¹⁾。しかし、集水・涵養施設の性能は、施工方法や洗浄方法などの要因に支配され、これを正確に定量的に評価することは難しく安全率という形で設計に盛り込まざるを得ない。

本報文では、安全率の与え方として3つの方法を提唱する。さらに、モデルケースにおける設計計算により、安全率の与え方によって得られる集水・涵養施設の設置間隔の違いを評価し、その特性について論じる。

2. 評価基準値

地下水流動保全工法の影響評価、設計において表-1に示す4段階の評価基準値を定め、検討を進める²⁾。これらにより、調査、影響予測、計測管理に対する不確実性、長期運転にともなう能力低下を考慮することができる。対策工法は設計値 ε_3 （初期性能目標値）を満足するように設計するが、この際に集水・涵養施設の能力低下に関する安全率を考慮する必要がある。

表-1 地下水流動保全工法の評価基準値

評価基準	記号	基準値の意味	設定方法	具体例
限界値	ε_0	対象地域において地下水の変動により、周辺環境に何らかの影響及ぼす可能性がある値。超えてはならない基準値。	想定される地盤環境への影響（現象項目）とこれを誘発する地下水変動（要因項目）の関係から決定する。	$\varepsilon_0=1.0\text{m}$
許容値	ε_1	対策工法の必要性を判断するための基準値。影響評価による変動量 ε が ε_1 より大きい場合、対策を検討する。	限界値に地盤調査や影響予測における不確実性を考慮して設定する。	$\varepsilon_1=0.8\text{m}$
管理値	ε_2	長期的な稼働により性能低下が発生したときに、メンテナンス実施時期を判定するための基準値。長期的性能目標値。	許容値にモニタリングの誤差、メンテナンス対応までの時間的余裕などを考慮して設定する。	$\varepsilon_2=0.7\text{m}$
設計値	ε_3	対策工法の設計を行う際に目標値として設定する基準値。初期性能目標値。	管理値に長期的な目詰まりによる性能低下を考慮して設定する。	$\varepsilon_3=0.5\text{m}$

3. 安全率の考え方

集水・涵養施設の能力低下に対する安全率の与え方として、以下の3手法が提案できる。

(1) 施設の能力低下として評価する方法 集水・涵養施設の能力低下を直接的に評価して設計する。数値解析的な手法では、集水・涵養施設の周辺に低透水性ゾーンを仮定する。簡易計算手法では、井戸効率 η に相当する安全率 $F_{s1}=1/\eta$ を設計に盛り込む（以下 F_{s1} 法とよぶ）。能力低下がない場合の集水・涵養能力 A_0 に対して、 $A=A_0/F_{s1}=\eta A_0$ という能力を用いて設計する。過去の施工実績などからこの値が設定できるならば、最も厳密に安全率を評価する方法といえる。

(2) 設計値に安全率を考慮する方法 評価基準値として設定した設計値 ε_3 にさらに安全率 F_{s2} を見込んで、より厳しい設計目標値 $\varepsilon_4=\varepsilon_3/F_{s2}$ を定め、これを満足するように設計する方法（以下 F_{s2} 法とよぶ）。例えば、表-1に基づき設定された設計値 ε_3 が0.5mで、これに安全率 $F_{s2}=1.5$ を考慮すると $\varepsilon_4=0.33\text{m}$ となり、これを満足するように設計する。

(3) 設計結果に安全率を考慮する方法 安全率を見込まずに設計した結果に、最終的に安全率 F_{s3} を盛り込む方法（以下 F_{s3} 法とよぶ）。例えば、設計計算の結果として施設の設置間隔 $a=30\text{m}$ が得られたとき、これに安全率 $F_{s3}=1.5$ を考慮して、 $a'=a/F_{s3}=20\text{m}$ を設計結果として採用する。

キーワード：地下水，流動保全工法，設計，安全率，設置間隔

連絡先：〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設株式会社 技術研究所 TEL 03-3820-5519

安全率をどのように考慮するかにより、同じ安全率（例えば、 $F_s=1.5$ ）を採用しても異なる設計結果が得られる。以下で試算を行い、各手法の設計結果を比較する。

4. 各手法による設計結果の比較

透水係数 $1 \times 10^{-4} \text{m/s}$ 、厚さ 10m の帯水層を完全に遮断する半長 500m、半幅 10m の構造物が建設された場合を想定する。水位変動量の設計値は $\phi_3=1.0\text{m}$ とする。対策工法として、構造物に接する形で半径 0.2m の井戸型の集水・涵養施設を設置する。地下水の流動方向と構造物は直交するものとし、地下水の動水勾配 I を 4 通りに変化させた場合について検討を行った。設計は井戸型施設に対する簡易設計法³⁾による。

図-1 に安全率 F_s と設計結果として得られる設置間隔 a の関係を、安全率の与え方による比較で示した。 F_{s3} 法では、その定義から安全率と設置間隔は反比例の関係になる。他の方法でも安全率に対する設置間隔の変化傾向は同様であるが、 F_{s1} 法により得られる設置間隔は常に F_{s3} 法よりも大きい。 F_{s1} 法が最も厳密に現象を考慮した方法といえるので、 F_{s3} 法は安全側の結果を与える。 F_{s2} 法は、動水勾配が小さいときは F_{s3} 法とほぼ同じ結果を算出するが、動水勾配が大きかつ安全率を大きくとった場合には F_{s1} 法よりも大きめの設置間隔が算出される。これは危険側の設計となる可能性がある。図-2 は各方法について、安全率を考慮した時の設置間隔 a と安全率 1.0 に対する設置間隔 $a_{1.0}$ の比 ($a/a_{1.0}$: 設置間隔低減率) を安全率との関係で示した。 F_{s1} 法、 F_{s3} 法では動水勾配による差がみられず、安全率により一義的に $a/a_{1.0}$ が決定できる。両図より、 $a/a_{1.0} = 1/F_s = 1/F_{s1}^{0.63}$ の関係が認められ、 $F_{s3} = (1/\eta)^{0.63}$ が得られる。図-3 に示すこの関係より、井戸効率 η を仮定して F_{s3} を求め、 F_{s3} 法により設計できる。 $\eta < 0.5$ の範囲で、大きな安全率をとる必要があることがわかる。

5. おわりに

以上のように、安全率の取り方により設計結果は大きく変わる。精密な調査・設計を行っても、安全率の取り扱い方が全てを決する可能性があるため、慎重な設定が必要である。換言すれば、安全率の取り扱いやその値が明確でなければ、精密な調査や設計が無駄になる。安全率の大きさは流動保全対策工法の信頼性そのものであり、安定した高い効率の工法を開発することが、この問題の解決策といえる。

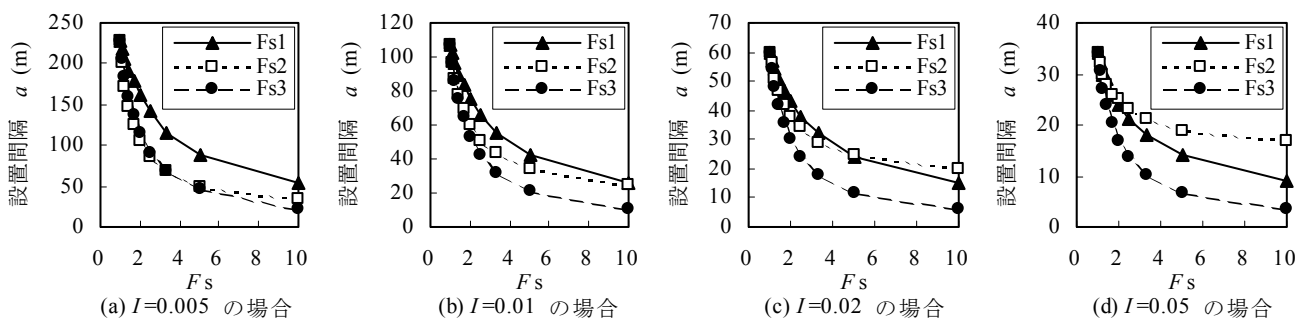


図-1 安全率の与え方による設計計算結果の比較

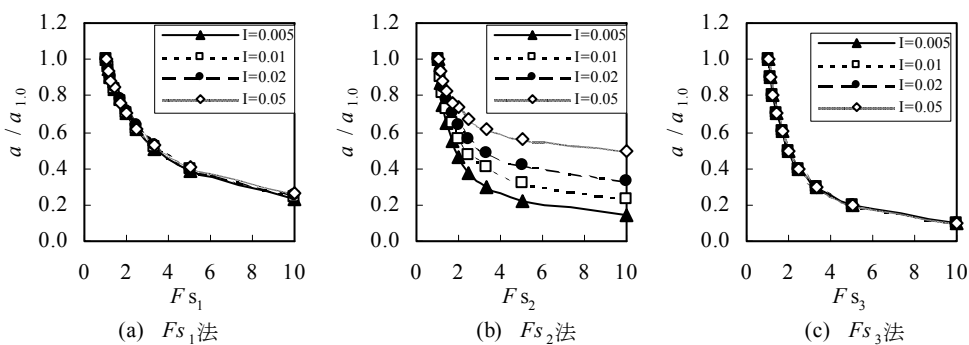


図-2 安全率による設置間隔低減率の変化

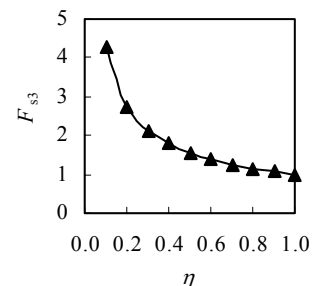


図-3 井戸効率 η と F_{s3} の関係

【参考文献】

- 1) 高坂信章：地下水流動保全工法における通水施設設置間隔，土木学会第 57 回年次学術講演会，III-746，pp.1491-1492，2002.
- 2) 地下水流動保全工法，地下水地盤環境に関する研究協議会 地下水流動保全に関する研究委員会，pp. 3.10 - 3.11，2002.
- 3) 高坂信章：地下水流動保全工法の設計の考え方，地下水地盤環境に関するシンポジウム'99，pp.115-134，1999.