

### III-489 アベイラビリティ理論による泥水式シールドの処理プラントの選定に関する一考察

東京電力 正会員 竹内友章  
 東京電力 正会員 須田嘉彦  
 東京電力 正会員 桑原弘昌  
 清水建設 正会員 ○河野重行

1. はじめに：昨今の地下開発に対する需要の急激な増大に伴い、シールド技術の発展はめざましい。しかしながら、そうした技術の進歩にもかかわらず、地盤物性値などシールド工事に影響する要因には、なお多くの不確実性が介在し、それらの定量的な取り扱いが設計・計画において重要な問題となっている。従来、これらの不確実性に対処するために、サンプルデータの平均値をとったり、統計処理を行ない、設計上安全側の値をとるなど確定論的に処理している。そのため、実際の物性値等のばらつきを考慮することができず、その結果、解析精度に疑問が残ったり、不経済な設計になる場合があった。最近、確率論の研究および開発が進み、このような不確実性に対処できるようになってきた。本研究においては、確率論のひとつであるアベイラビリティ理論 ([1]および[2]) の適用により、地盤の物性値のばらつきを考慮した泥水式シールドの処理プラントの濾過能力の選定に関する一検討方法を試みた。

2. アベイラビリティモデル：濾過能力の選定においては、濾過面積のみが影響を与えることから、シールド予定線に沿って得られる掘進速度、地盤の細粒分含有率、自然含水比等のデータから、必要濾過面積を算出し、泥水処理プラントの濾過能力を決定している。

しかしながら、一般に、地盤の細粒分含有率は場所によって、ばらついており、その結果、必要濾過面積も図-1に示すように、ばらつくことになるために、確率論的な取り扱いが必要になってくると考えられる。濾過能力を低く設定すると、地盤の物性値から計算された必要濾過面積が濾過能力を超過する度合いが多くなり、逆に、高く設定すると、ほとんど超過しなくなり、必要以上の濾過能力を有することになる。

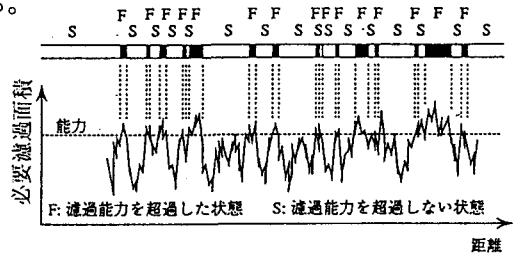


図-1 アベイラビリティモデル

本研究においては、統計的には均質な砂地盤を仮定し、濾過能力の超過を、図-1に示すようにモデル化する。FおよびSは、各々濾過能力の超過および非超過の状態を表す。アベイラビリティとは、任意の場所において、濾過能力を超過しない状態である確率と定義される。いま、図-1におけるFとSの継続長さは各々指数分布に従うと仮定し、過去のデータ等から、一度超過した時の平均超過長さ  $l_f$  を推定すると、Fの継続長さ、つまり、超過長さ  $l$  の確率分布は平均発生率  $\mu_f = 1/l_f$  を用いて以下の式で表される。

$$f_l(l) = \mu_f \cdot \exp(-\mu_f \cdot l) \quad (1)$$

Sの平均発生率  $\lambda_s$  は、未知であり、以下の式により得られる。

$$\lambda_s = P_{Fu} / l_f (1 - P_{Fu}) \quad (2)$$

$P_{Fu}$  は、シールド予定線に沿った任意の一点において、ある濾過能力を超過する確率である。ここでは、数箇所において得られた細粒分含有率等のデータから求めた必要濾過面積の集合より、その統計量を推定し、統計的均質におけるエルゴード性を仮定して、任意の一点での必要濾過面積のばらつきとし、 $P_{Fu}$  が得られる。本報告では、紙面の都合上、 $P_{Fu}$  は得られたものとして話を進める。

いま、任意の長さLを持つシールドにおいて、L内で一箇所でも、超過が発生する確率(以後、処理能力超過確率  $P_F(L)$  と呼ぶ。)は、以下の式で表される。

$$P_F(L) = 1 - (1 - P_{Fu}) \cdot \exp \{ -P_{Fu} L / (1 - P_{Fu}) \ell_f \} \quad (3)$$

また、シールド予定線上の任意の地点で、超過が見られない場合、その地点から任意の距離L内で超過した部分の合計長さの平均値 $L_e$ は次の式で表される。

$$L_e = L - \mu_f L / (\lambda_s + \mu_f) - \lambda_s \{ 1 - \exp - (\lambda_s + \mu_f) L \} / (\lambda_s + \mu_f)^2 \quad (4)$$

3. 適用例：統計的に均質とみなされる砂層に施工されるシールドを考え、過去の実績等から、3cm/分の掘進速度を仮定し、濾過能力の平均超過長さを求めたものが図-2である。また、その速度をもって掘進する場合の、シールド予定線上の任意の一点における必要濾過面積は、地盤調査の結果等から平均値156m<sup>2</sup>、標準偏差63m<sup>2</sup>を持つ正規分布に従うと推定される。この条件下で、種々の濾過能力Auを持つプラントを選定した場合の、それぞれの濾過能力に対する超過確率を示したものが図-3である。シールドの延長距離の増加とともに超過確率は増加するが、増加の度合いは減少し、1.0に近づいていくのがわかる。例えば、3000mを越えるシールドに対しては、濾過能力が260m<sup>2</sup>以下のプラントでは、その区間のどこかで濾過能力を超過する可能性が、非常に高いことを示している。逆に、500m以下のシールドの場合、300m<sup>2</sup>の濾過能力を持つプラントでは、超過能力を超過する可能性が3割程度に減少することを示している。次に、超過が起こる部分の大きさ、つまり処理能力超過平均長を示したものが、図-4である。この結果、260m<sup>2</sup>以上の濾過能力を持つプラントでは、超過する割合が、全区間長の5%以下であり、問題ないと思われる。しかし、180m<sup>2</sup>の濾過能力では35%の部分が超過するため、能力的に充分とはいえないと思われる。参考までに、260m<sup>2</sup>の濾過能力を持つプラントを使用したときの種々の掘進速度に対する処理能力超過平均長を示したものが、図-5である。掘進速度により、処理能力超過平均長が大きく影響されるのがわかる。

4. おわりに：本研究は、確率論のひとつであるアベイラビリティ理論を用いて、泥水式シールド工事の処理プラントの最適濾過能力の選定方法に関するひとつの提案を示したものである。今後は、処理能力を超過した場合の対処方法やプラント設備の投資費や管理費等を総合的に考慮することにより、より実用的な手法になると考えられる。

参考文献：[1] A.H.S. Ang and W.H. Tang, Probability Concepts in Engineering Planning and Design, Vol.II- Decision, Risk, and Reliability, John Wiley and Sons,1984. [2] S.Kohno, Reliability-based Design of Tunnel Support Systems, Ph.D. Thesis, Univ. of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL, 1989.

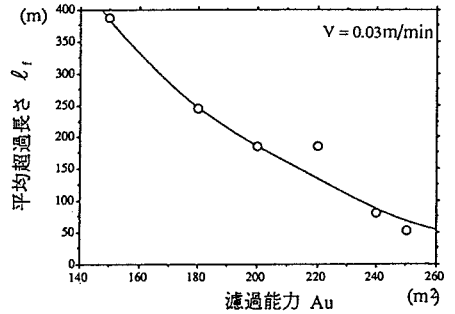


図-2 平均超過長さの推定

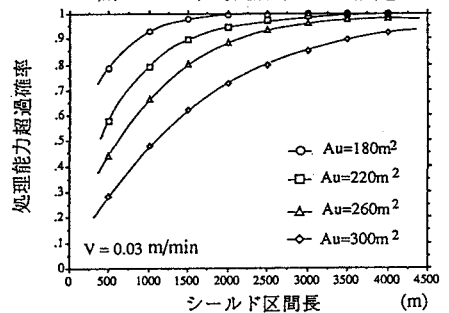


図-3 処理能力超過確率

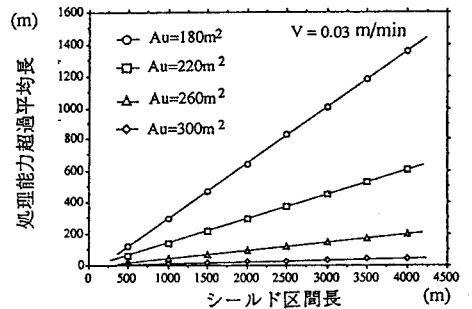


図-4 処理能力超過平均長 (その1)

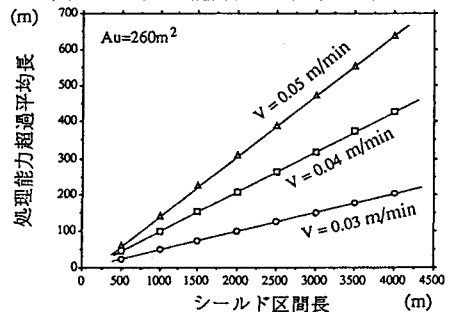


図-5 処理能力超過平均長 (その2)