

Ⅲ－A 303 インディケータクリギングによる透水係数場の推定と浸出量の評価

京都大学大学院	正会員	大西有三
京都大学大学院	正会員	○田中 誠
川崎製鉄	正会員	田近久和

1. はじめに

岩盤の透水性は内在する亀裂に支配され、その分布は不均質である。一方、岩盤の透水係数を知るための調査は、物理的・経済的に大きな制約を受けるため、調査によって岩盤の透水性の空間分布を完全に知ることは不可能である。また、通常、原位置透水試験には計測下限値が存在し、透水性の小さい部分の透水係数を計測することはできず、単に透水係数が計測下限値以下であるという情報だけが得られる。本研究では、インディケータクリギングを用いて、計測された透水係数を補間するとともに計測下限値以下の透水係数を推定し、モンテカルロシミュレーションによって透水係数場を発生させ、浸出量を評価する方法を提案する¹⁾。

2. インディケータクリギングによる浸出量の評価

インディケータクリギングは、推定対象の値そのものでなく、推定対象量が特定の値（閾値と呼ぶ）を超過する累積確率分布の空間分布を求めるものである。複数の閾値を設定することにより、各点における推定対象量の累積確率分布が折れ線の形で求められる。これにより、推定対象量の計測結果が計測下限値以下であっても、計測値を計測下限値で代用することなく、計測下限値以下であるという情報を利用することができる。詳細は、文献²⁾を参照されたい。

3. 原位置透水試験と浸出量の計測

本研究では、釜石鉱山において行われた岩盤浸透実験を対象とした。実験は、Fig. 1に示す領域で行われた。この領域において、深さ8mのボーリング孔を4本掘削し、各孔に1mのステージを設けて注水試験により透水係数を計27箇所において計測した。一辺15mの正方形領域の中央に直径1.7m、深さ5mのテストピットを掘削し、ピット部分を除く正方形領域に深さ40cmとなるように水を張った。この状態を保ち、テストピットに浸出する水の流量を計測したところ、浸出量は280l/dayとなった。

4. インディケータクリギングによる浸出量の評価

実験をシミュレートするため、Fig. 2に示す境界条件を設定した。

透水係数を計測したボーリング孔の内壁をボアホールテレビで観察して亀裂頻度（単位面積あたりの亀裂トレース長さ）を求め、同一地点での透水係数と亀裂頻度との相関を調べたところ、Fig. 3に示す相関が得られた。これに基づき、地表面において計測されている1m×1mの領域の亀裂頻度を透水係数に換算し、補助データとして用いた。この操作により、Fig. 4に示す透水係数の累積頻度が得られ、閾値が設定された。透水係数場は、計測値を単純に幾何平均したもの（計測下限値以下のものは計測下限値とした）を全体の均質な透水係数とした場合（Case A）、亀裂頻度を考慮して透水係数データを増やし、インディケータクリギングによって計測下限値以下の透水係数をも推定した場合（Case B）、Case Bにさらにテストピットを横切る亀裂（顕在亀裂）のみ確定論的に透水量係数を $2.5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$ と与えた場合（Case C）の3通りを考えた。これらの解析ケースをTable 1に整理して示す。解析結果をTable 2およびFig. 5に示す。

5. 結論

本研究により、次のことが明らかになった。

1. 透水係数の計測データに計測下限値以下のものが含まれている場合、亀裂頻度データを参照してインディケータクリギングを用いることにより、計測下限値以下の値を考慮して透水係数場の推定・補間を行うこと

キーワード：インディケータクリギング、透水性、モンテカルロシミュレーション、岩盤、原位置試験

連絡先：〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科 Tel./Fax: 075-753-5129

が可能である。

- 浸出量に大きな影響を持つと考えられる亀裂は、インディケータクリギングによる透水係数場の推定とは別に確定的に取り扱った方が、現実の計測結果に近い解析結果が得られた。

今後は、より詳細な検討を行い、本研究で提案した手法の妥当性・有効性を確認する予定である。

参考文献 1)大西ら：地盤工学研究発表会（投稿中）、1998. 2) Ohnishi *et al.*: Proc. 1st Asian Rock Mech. Symp. 1, 3-8, 1997.

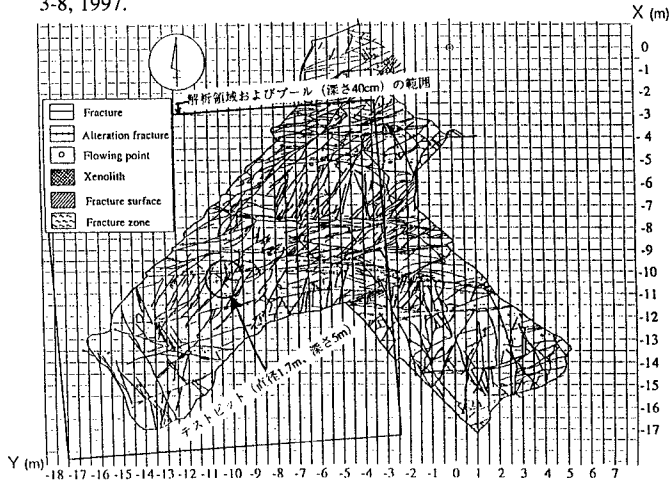


Fig. 1 解析領域および地表面亀裂のスケッチ

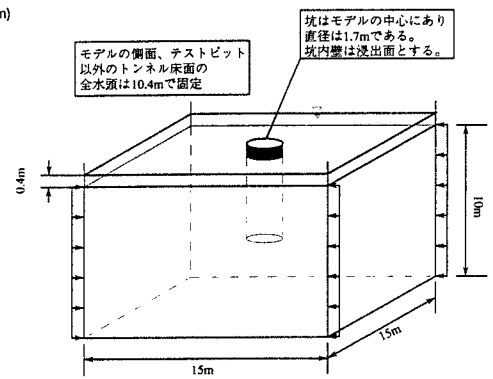


Fig. 2 境界条件

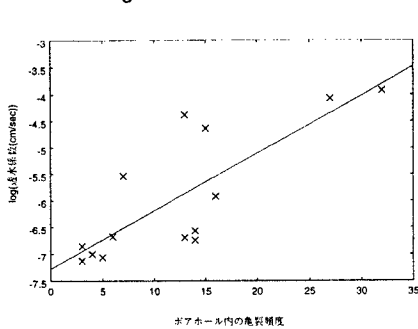


Fig. 3 透水係数と亀裂頻度との相関

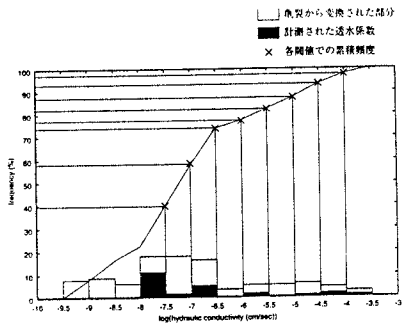


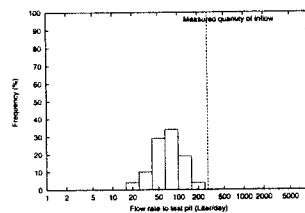
Fig. 4 透水係数の累積頻度および閾値

Table 1 解析ケース

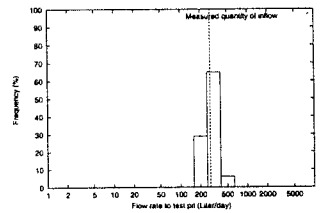
Case	透水係数場推定手法	顕在亀裂
A	(幾何平均・均質)	考慮しない
B	インディケータクリギング*	考慮しない
C	インディケータクリギング*	考慮する

Table 2 解析結果（単位：l/day）

Case	幾何平均	標準偏差	中央値
A	11.3	—	11.3
B	74.7	0.25	73.4
C	280	0.10	282



(a) Case B



(b) Case C

Fig. 5 浸出量の出現頻度

Ⅲ - A 304

土 留 壁 の 浸 透 解 析

中央開発株式会社 正会員 氏原 剛
 日本鉄道建設公団 正会員 青木一二三 米澤 豊司
 正会員 北川 修三 丸山 修
 鉄道総合技術研究所 正会員 小島 謙一

1. はじめに

従来、地山の切取部には、もたれ式の土留壁が採用されている。しかし、近年良質な栗石の入手難、熟練栗石工の減少によって確実な施工及び管理体制を維持するのが困難になりつつあるとの現状を勘案し、土留壁の改善が要求されている。そこで新工法として、切取土留壁の背面に鉛直及び水平ドレーンを配置し、これにロックボルト工を組み合わせることで補強した複合構造の土留壁が考えられる。本報告は、新土留壁の効果並びに設計手法を確立するために、その基本的な浸透性能を有限要素法解析によって検証することを目的とする。またここでは、解析検討の全体の流れ、解析手法の説明及び浸透解析の基本的なケースの結果について報告する。

2. 解析の概要

解析は、実規模斜面を対象に、排水工法及び地山補強工法を組み合わせる工法別に、浸透流解析、応力解析及び安定解析を行い対策工法の効果を比較・評価し、工法選定の基礎資料とする。

解析手法は、実規模切取斜面に設置された、土留壁背面の排水工（栗石、鉛直ドレーン）の工法別の比較を行うために、有限要素法による浸透及び応力解析の結果を反映した極限平衡法による円弧すべり（簡便法）安定解析とした。図-1に解析の流れを示す。

表-1に解析を実施したケースを示す。③のケースでは、応力解析および安定解析は、3次元浸透解析結果の鉛直ドレーンの中心を通る断面とドレーン間の中心を通る断面をそれぞれを実施する。また、④については③の結果を考慮して、③の2断面の内、安定上最も厳しい断面を選定し、安定計算のみに補強材を追加して安定性の検討を行った。

3. 解析条件

(1)検討断面

北陸新幹線建設での実績をもとに、断面形状及び寸法を下記の通り設定した。

●壁高(切取斜面高)7m、●土留壁前面勾配 1:0.35、●背面勾配 1:0.30、●裏込栗石天端幅 0.30m、●基礎地盤の層厚 5m

(2)解析に使用する物性値

切取地山及び地盤の透水係数は一般的な値を設定した。また栗石の透水係数は、土質試験結果をもとに設定した。表-2に浸透解析に使用した物性値を示す。切取地山は砂質土を想定し、また不飽和状態での浸透特性を考慮し、Van-Genuchtenの方法で不飽和透水係数を水分特性曲線より推定した。また不飽和領域の負の圧力水頭 ψ と有効飽和度 S_e の関数として次式が提案されている。

キーワード：土留壁、有限要素法、浸透、不飽和特性

連絡先 〒169-8612 東京都新宿区西早稲田 3-13-5 TEL03-3208-3708 FAX03-3208-3572

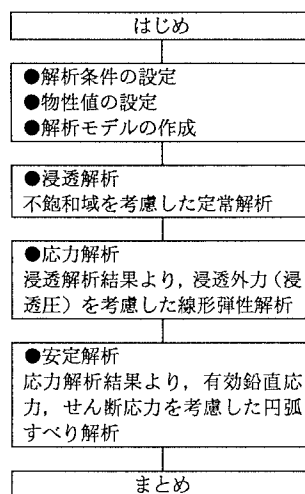


図-1 解析の流れ

表-1 解析ケース

	浸透解析	応力解析	安定解析
①従来土留壁(裏込栗石)	2次元	2次元	2次元
②壁体のみ	2次元	2次元	2次元
③壁体+鉛直ドレーン	3次元	2次元×2	2次元×2
④壁体+鉛直ドレーン+補強材	—	—	2次元

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}, \quad S_e = \left\{ \frac{1}{1 + (\alpha \cdot \phi)^n} \right\}^{1-1/n}, \quad k_r = S_e^{1/2} \cdot \left[1 - \left\{ 1 - S_e \left(\frac{1}{1-1/n} \right) \right\}^{1-1/n} \right]^2$$

ここに、 S_e ：有効飽和度、 θ ：負の圧力水頭に対する体積含水率、 θ_s ：飽和体積含水率、 θ_r ：最小体積含水率、 ϕ ：負の圧力水頭、 α 、 n ：水分特性曲線を規定するパラメータ、 k_r ：比透水係数

文献¹⁾より、 $k=1.0 \times 10^{-3}$ に比較的近い値の場合の、 $\theta_s=0.365$ 、 $\theta_r=0$ 、 $\alpha=0.17$ 、 $n=1.39$ を与えて図-2の関係が得られ、解析に使用した。

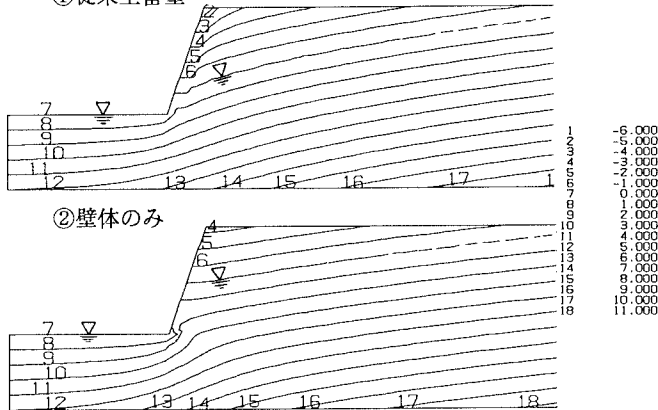
(3)境界条件

初期水位を切取地山のり尻の高さに設定し、瞬時に擁壁背面から離れた位置の水位を天端の高さまで上昇させた場合の定常浸透流解析を行った。なお、左端の境界はのり尻の高さに水頭を固定した（図-3参照）。

4. 解析結果

2次元モデルの①従来土留壁と②壁体のみの浸透解析の結果は、土留壁背面の全水頭を比較すると、①が $H=6.4\text{m}$ ($\Delta H=1.4\text{m}$)、②が $H=8.1\text{m}$ ($\Delta H=3.1\text{m}$)となり、裏込栗石の排水効果が現れ、順当な結果を得た（図-4参照）。

①従来土留壁



②壁体のみ

図-4 水頭コンター図

5. おわりに

本報告の解析結果及び解析手法を用いて、ドレーン材の排水効果を把握するための3次元浸透解析²⁾及び土留壁背面の排水対策工の違いによる切取斜面の安定性の照査³⁾に関する一連の検討を行っている。

なお今後も切取土留壁の新形式の開発において、耐震、耐雨の各種試験や施工実績の広範囲な調査、研究を行っていく予定である。

【参考文献】1)西垣・楠見：不飽和土の浸透特性の評価に関する考察，不飽和土の工学的性質研究の現状シンポジウム発表論文集，昭和62年12月，(社)土質工学会

2)米澤・青木・館山・小島・北川・丸山：土留壁ドレーン材の3次元浸透解析：土留壁の応力・安定解析，第53回土木学会年次学術講演会，1998.10

3)西原・青木・米澤・北川・館山・秋田：土留壁の応力・安定解析，第53回土木学会年次学術講演会，1998.10

表-2 解析に使用した物性値

	透水係数 (cm/s)	比貯留係数 (1/m)
切取地山	1.0×10^{-3}	1.5×10^{-5}
支持地盤	1.0×10^{-7}	3.3×10^{-6}
裏込栗石	1.2×10^{-0}	7.0×10^{-6}

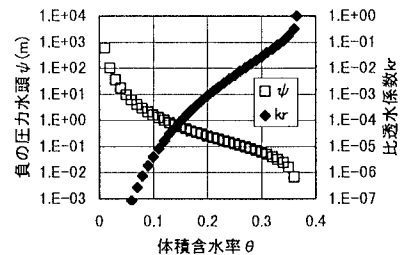


図-2 不飽和状態の浸透特性

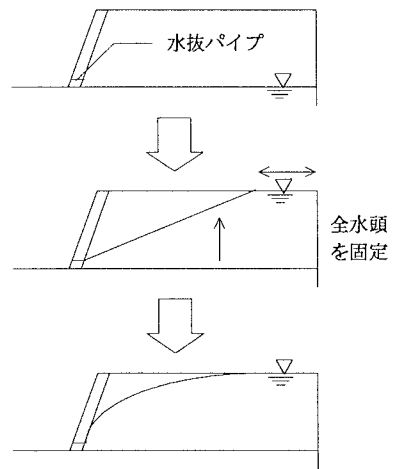


図-3 浸透解析の境界条件