

各種試験における土の透水係数の補正に関する検討

鉄道総合技術研究所 正会員 ○小島 謙一 松丸 貴樹

1. はじめに

都市部などでは地下空間の利用が、年々増えている。地下構造物の施工においては、地下水の変動に伴う周辺への影響が懸念される場合も多く、構造物が近接した箇所では無視することができない。地下水位の変動については、FEMなどの浸透流解析によって事前や事後の評価を行うことが多い。浸透流解析では土の透水特性に関するパラメータを適切に定めることが必要となる。特に、砂や砂礫の透水係数は影響度が大きく、これを適切に定めることが解析精度を向上するためには重要である。

透水係数は現地試験や室内試験で定めることが多いが、求める試験法によって大きく値が変わる。本論文では、原位置や室内での透水試験から求まる透水係数を収集し統計解析を行い、試験法ごとの透水係数のばらつきを評価した上で、試験法ごとに異なる透水係数を補正に関する検討を行った。

2. データ概要

対象とした試験法は、原位置における単孔式透水試験（非定常回復法・非定常注水法・定常揚水法）と室内で再構成した供試体の室内透水試験（定水位法・変水位法）である。土質は砂および砂礫としているが、単孔式透水試験（定常揚水法）については砂礫のみ、室内透水試験の変水位法は、細粒分が多い砂についてのみのデータであった。収集したデータ（全て20%粒径 D_{20} が得られている）の一覧を表-1に示す。

データ整理においては同じ土質に対して複数の試験での透水係数が得られているわけではないことから、異なる土の透水係数を横並びで評価する必要がある。そこで、本論文では土の物理特性として従来から透水係数との相関性が示されている20%粒径： D_{20} で正規化して評価することとした。図-1,2に一例として横軸に D_{20} 、縦軸に単孔式透水試験（非定常回復法）ならびに室内透水試験（定水位法）による透水係数の関係を示す。いずれも、 D_{20} と透水係数に正の相関があることが確認できる。また、砂と砂礫に分類してプロットしたが、大きな傾向の違いは見られなかったことから、以降は砂と砂礫の分類は行わないこととした。

3. 統計解析

収集したデータについて透水係数を D_{20} で除し、その対数をとった値（ $\log(k/D_{20})$ ）について統計解析を行った。試験法ごとの $\log(k/D_{20})$ のヒストグラムを図-3に示す。いずれの試験法から求まる透水係数についても $\log(k/D_{20})$ が正規分布の形状を示していることがわかる。すなわち、 k/D_{20} が対数正規分布形状を示している。図中には $\log(k/D_{20})$ の平均値 μ と分散 σ も併せて示しているが、試験法によって平均値・分散が異なることがわかる。試験法ごとの分類の中で取扱っている土質は異なるが、それぞれの D_{20} の平均値や分散が概ね同一であると仮定すると、透水係数 k の平均値

表-1 模型盛土の概略と計測器配置

試験法		データ数	
		砂礫	砂
単孔式 透水試験	非定常 回復法	112	202
	非定常 注水法	47	51
	定常 揚水法	23	3
室内 透水試験	定水位	21	57
	変水位	-	69

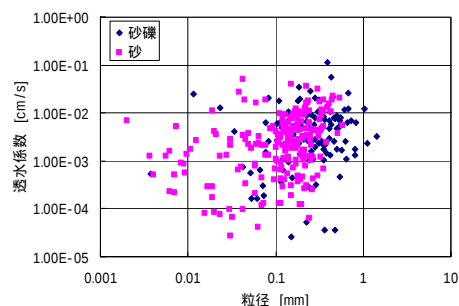


図-1 D_{20} と透水係数の関係
(単孔式透水試験（非定常回復法）)

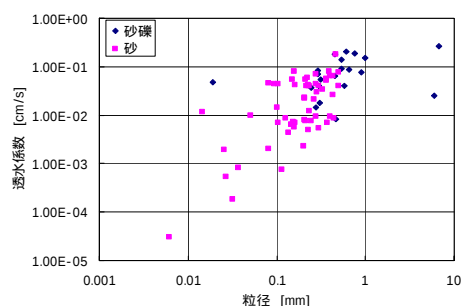
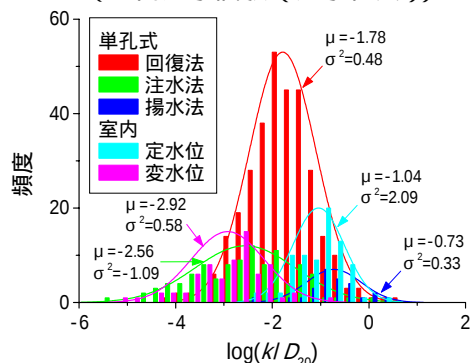


図-2 D_{20} と透水係数関係
(室内透水試験（定水位法）)

図-3 $\log(k/D_{20})$ のヒストグラム

キーワード 盛土, 浸透, 振動実験, 間隙水圧

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7261

や分散が大きく異なることとなる。そこで、試験法ごとに k/D_{20} の平均値 (10^{μ}) と上限値 ($10^{\mu+\sigma}$) および下限値 ($10^{\mu-\sigma}$) を図-4 に示す。これより、 k/D_{20} の分布幅は試験法ごとで大きくは変わらないものの、平均値が2オーダー程度ばらつくことがわかる。

4. 補正係数の提案と妥当性の検証

文献では原位置透水試験(揚水試験, 単孔式透水試験(定常法・非定常法))から得られた透水係数に関する比較がなされており、揚水試験が最も精度のよい試験法である、単孔式透水試験(非定常)は揚水試験の値と比較すると過小

である、単孔式透水試験(定常)は揚水試験と比較すると1オーダー程度の違いであり概ね同程度の値となる、ことが述べられている。前述の図-3, 4 では単孔式透水試験の定常・揚水法に比べ、非定常・回復法や注水法の k/D_{20} の値が小さくなっており、用いたデータの D_{20} の平均値が同じであると仮定すれば、文献の傾向と概ね一致していることが確認できる。そこで、単孔式透水試験(定常・揚水法)から得られる透水係数を基本として、この透水係数の平均値となる補正係数 α を提案した。補正係数 α はそれぞれの試験法から求まる $\alpha k/D_{20}$ の平均値が、単孔式透水試験・揚水法の k/D_{20} の平均値とほぼ同等となるための係数とし、各試験法における値を表-2 のように求めた。補正した透水係数における平均値等を図-5 に示す。

補正係数 α の妥当性について検証するために単孔式透水試験について、非定常・回復法ならびに注水法の透水係数 k が共に得られている計128組のデータを、横軸に回復法の透水係数、縦軸に注水法の透水係数を図-6 にプロットし、補正の前後について比較した。なお、図-6 は横軸・縦軸とも対数軸である。補正前に比べて補正後は概ね1:1のライン付近にシフトしており、適切な補正が行われていることがわかる。

5. まとめ

本論文では浸透流解析での適切な透水係数の設定方法として試験法ごとのばらつきを評価し、粒径で正規化した透水係数が概ね対数正規分布の形状を示すが、平均値や分

散が大きく異なることがわかった。これを基に、既往の文献を参考に、ばらつきを補正する係数を提案した。今後は実際現場の解析へ適用し、妥当性を検討していく予定である。

謝辞：データは、(独) 鉄道・建設運輸施設整備支援機構ならびに中央開発(株)よりご提供いただきました。末筆ながら、感謝の意を表します。

参考文献 乾一幸, 石川明, 三宅紀治, 石崎長俊, 清水孝昭, 古茶直己: 建築分野での透水性評価1 - 砂礫層における簡便法(単孔式透水試験と Creager 法)の精度 -, 日本建築学会大会学術講演概要集, pp.551-552, 2005.

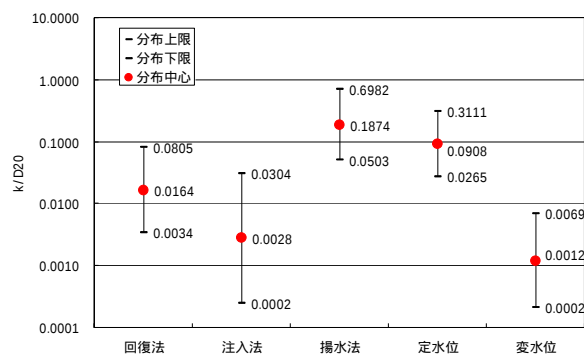


図-4 試験法ごとの平均値・分布上下限のばらつき

表-2 提案した補正係数

試験法		補正係数
単孔式 透水試験	非定常 回復法	11
	非定常 注水法	68
	定常 揚水法	—
室内 透水試験	定水位	2
	変水位	160

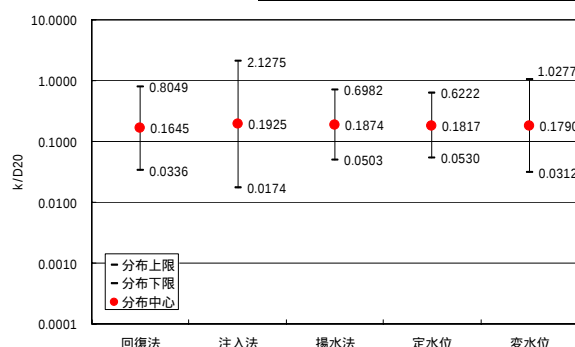


図-5 補正後の平均値・分布上下限のばらつき

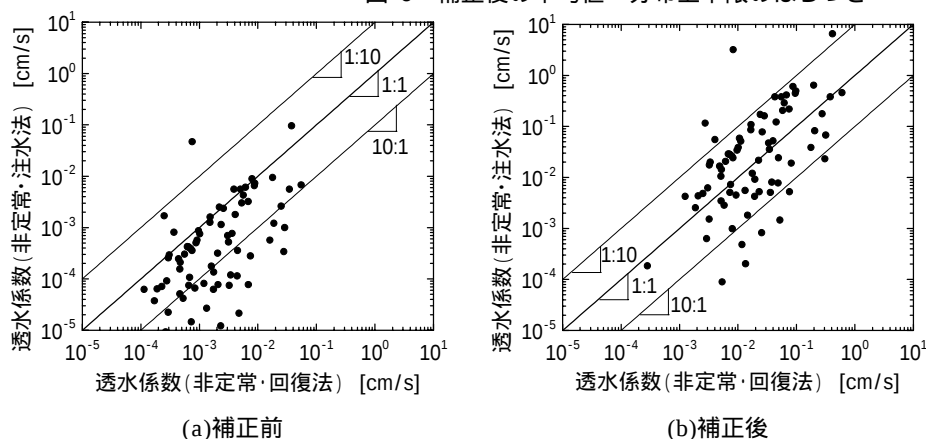


図-6 提案した補正係数の効果の比較