

締固め土の透水係数の異方性

On the anisotropy of permeability of compacted soils

こん

どう

たけし

武*

1. ま え が き

自然の地層および人工の盛土構造物内の浸透流解析において、これを二次元流れとして取扱う場合には鉛直方向・水平方向の透水係数の違い、すなわち透水係数の異方性を考慮に入れることは、近年の解析手法の発展もあって容易なものになっている。一方、人工の盛土構造物に限って考えれば、その施工方法によってそれは層状不均質物体として構築されると考えられるが、構造物全体としては均質異方性物体として解析上は取り扱われている場合が多い。また層状構造をなさない均質物体と考えられる土塊であっても、ミクロな土粒子構造からこれを見れば、透水係数は異方性を示すと考えられる。

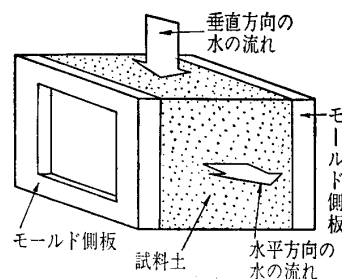
しかし、現状ではこの異方性に対して、定量的に十分に明らかになっているとはいえず、解析・設計に際しては各々適当に透水係数の値が定められているのが普通であろう。

以上のことから、締固め土の透水係数の異方性を明らかにすることは意義があり、第18回土質工学研究発表会においてもこの異方性に関するテーマに基づく発表に対し、山上・宇野¹⁾により一般報告・総括されている。

著者もこの透水係数の異方性の解明に興味をもつ一人であり過去に行った実験^{2),3)}によって得られた2, 3の知見について以下報告する。

2. 材料および実験

締固め土の透水係数の異方性について、同一の供試土に対して締固め仕事量が作用した方向の透水係数とそれに直交する方向の透水係数を測定出来る特殊な立方体のモールドを考案し、それを用いて実験を行ったものである。この報告で用いたモールドは10cm角立方体のものと20cm角立方体のものの二種でモールド内の水の流れの模式図を図一1に示す。実験に際して、試料の締固めは特殊なランマー（打撃面形状は正方形で5cm×5cm, 7cm×7cm, 重量は2.5kgf, 5.0kgf, 落下高さはそれぞれ30cmのもの）を用いて行った。一方、透水試験についてはJISに準じて行い、変水位透水試験法を採用した。測定はまず図一1に示す垂直方向の水の流れに対して行い、ついで水平方向の水の流れに対して行い、測定時の動水勾配は1付近として



図一1 流れの模式図

いる。以下、締固め仕事量の作用した方向の水の流れに関する透水係数を k_v 、それと直交する方向の水の流れに関する透水係数を k_h で表す。そして、異方性の指標として、これらの係数の比 k_h/k_v を用いて、実験結果の整理を計るものとする。

ここで報告する内容は次の三種類の実験結果である。

- ① 締固め曲線に対応する土試料の透水係数の異方性
 - ② 礫含有率と透水係数の異方性との関係
 - ③ 土試料の層形成が透水係数の異方性に及ぼす影響
- 以下、上記の実験方法等について説明する。

2.1 締固め曲線に対応する土試料の透水係数の異方性

この実験は土の締固め曲線上の土試料がどのような透水係数の異方性をもつかを明らかにしようとしたものである。材料は真比重2.72, 最適含水比16.2%, 最大乾燥密度1.771 t/m³, 74μm 通過質量百分率20.6%のものである。試料の作製は所定の含水比に調節したものを所定の密度が得られるように少量の土を徐々に締め固め、出来るだけ層の影響のないように行ったものである。使用したモールドは10cm角のものである。

2.2 礫含有率と透水係数の異方性との関係

この実験は礫含有率が透水係数の異方性に与える影響について検討するために行ったものである。

この実験の供試土の物理性状は表一1に示すとおりである。

試料の作製は各々締固め曲線を求め、最適含水比、最大乾燥密度の状態になるように締め固めたものである。なお、水分調整は礫混合土全体について行ったものである。モールドは20cm角のものを用い、JISの第1の方法に相当する締固め仕事量を加えて出来るだけ層の影響を少なくする

*三重大学教授 農学部

表—1 供試土の物理性状

試料	土粒子比重	コンシステンシー			粒度			最大乾燥密度 (t/m^3)	最適含水比 (%)
		LL %	PL %	PI %	粘土 %	シルト %	砂 %		
S	2.63	—	—	—	10.0	7.9	82.1	1677	16.4
P	2.69	45.3	21.0	24.3	36.0	14.0	50.0	1665	21.0
E	2.71	53.7	36.2	17.5	14.0	41.0	45.0	1341	34.2
K	2.73	45.1	30.3	14.8	14.6	34.4	51.0	1701	19.6

表—2 混入礫配合比

粒径(mm)	2.0~4.8	4.8~9.52	9.52~19.1	19.1~25.4
配合比(%)	40	30	20	10

ようにした。混入した礫は表—2に示すような配合比をもつものである。

2.3 土試料のランマーの締固めによる層形成が透水係数の異方性に及ぼす影響

土の透水係数の異方性には土試料のランマーの締固めによる層形成も大きな影響を与えると考えられることから、層の形成の影響の程度を明らかにするために行ったものである。

材料の物理性状は真比重 2.70、最適含水比 18.7%、最大乾燥密度 $1.692 t/m^3$ 、 $74\mu m$ 通過質量百分率 43.7%のものである。

試料の作製は 20cm 角モールドを用い、層数は 1~5 層とし、最適含水比に調節した土を最大乾燥密度になるように計量し、所定の試料厚さ（各層ごとに）までランマーの打撃面に何の処理もしないまま締固めを行った。

試料作製時の層の定量的評価として、各層ごとに層上部と層下部の密度を直径 2 cm、高さ 1 cm のサンプラーで各々数個サンプリングして、一層の密度の粗密を測定した。密度の測定は各層当たり粗密部分それぞれ 4~10 個のサンプリングを行い、その平均値を各層の粗密部分の密度とした。この密度の粗密によって層の影響を考察しようとしたものである。

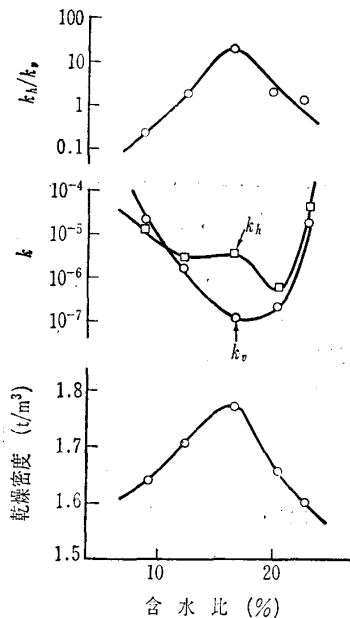
3. 結果および考察

2.1 の結果を図—2に示す。これは 3 種類の土について行ったもののうちの 1 例である。

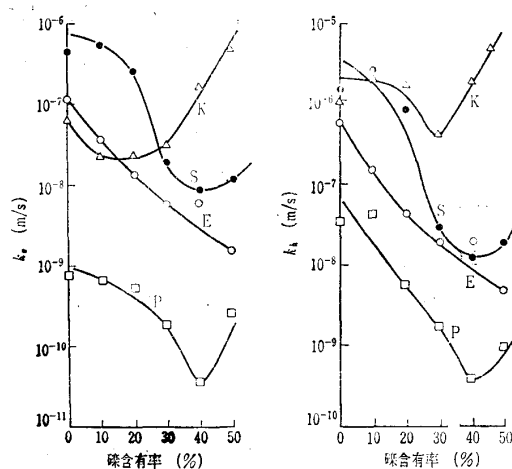
測定結果からは、最適含水比で k_h/k_v が最大になり、これより湿潤側・乾燥側でも k_h/k_v は小さくなり、ときには 1 以下になることがみられる。この実験において締固めに伴う層の形成の影響を一応無視出来ると仮定すると、締固め曲線上の乾燥側、湿潤側における土粒子配列の相違に伴い、間隙形状、間隙寸法およびその分布など透水に関与する土の要因が変ることから、透水係数の異方性が発現するものと考えられる。

次に 2.2 の実験の結果を示したものが図—3、図—4である。

図—3によれば礫含有率と透水係数との関係は二方向の



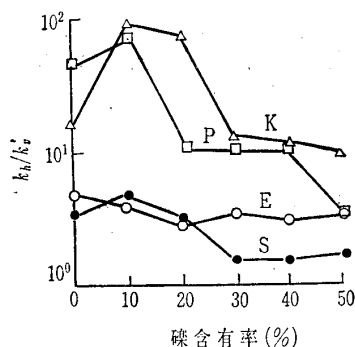
図—2 締固め曲線と異方性



図—3 礫含有率と透水係数との関係

透水係数とも、ある礫含有率のところで最小値を示すような結果となっており、これは一般にいわれている結果と一致していることが分かる^{4),5)}。

図—4から、礫含有率と透水係数の異方性との関係は、礫含有率が小さい時は異方性が大きく、礫含有率が大きくなるにつれて異方性は小さくなってあまり変化しなくなる傾向がみられる。この実験の礫含有率の範囲ではまだ礫含有率の増大とともに乾燥密度は増加している状態であるが、礫以外の間隙部分の土の乾燥密度はあまり変化していない結果が、これとは別に得られている。つまり、礫混合土の乾燥密度の増加は、密度の大きな礫の含有率の増大に起因



図—4 礫含有率と異方性

するものと判断される。一方、透水係数の異方性に対しては粒径の大きい礫よりも土の方がはるかに大きな影響を与えるものと考えられることから、礫含有率が増加するに伴って礫以外の間隙内を占める土の部分が少なくなることは、試料の透水に影響する因子の占める比重が相対的に低下することに対応する。そしてこのことから透水係数の異方性が小さくなるものと考えられる。

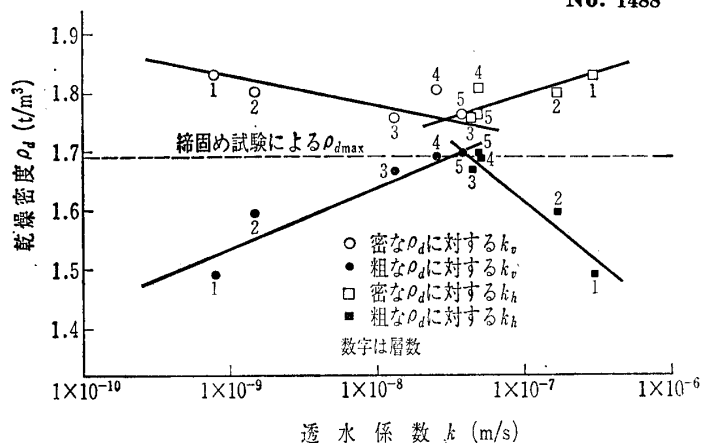
次いで、2, 3の実験結果を示したものが図—5, 図—6である。

図—5は縦軸に乾燥密度、横軸に透水係数（対数目盛）をとり、一つの層の中で粗な密度の部分（層の下部）と密な密度の部分（層の上部）との各々の密度と、鉛直方向透水係数と水平方向透水係数との関係が各々の図示の記号をもって示されている。

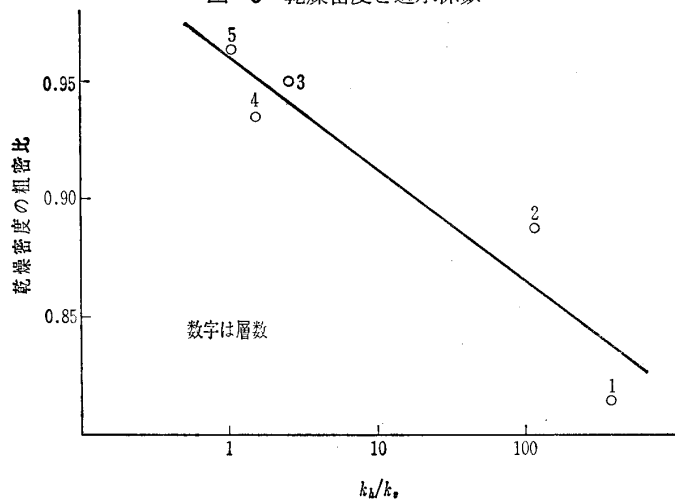
いま、鉛直方向透水係数と密な部分の乾燥密度との関係（○印で表されたもの）と水平方向透水係数と粗な部分の乾燥密度との関係（■印で表されたもの）をみると、両者とも乾燥密度の増加と共に透水係数は小さくなっている。このことは同一の土に関していえば一般的に観察される現象である。一方、密な乾燥密度に対する水平方向の透水係数（□印）や、疎な乾燥密度に対する垂直方向の透水係数（●印）は、前の傾向とは逆の関係を示しており、通常、理解される現象とは言い難いものがある。以上のことから鉛直方向透水係数には層の中の密な乾燥密度の部分が卓越して影響を与え、また水平方向透水係数には同様に粗な乾燥密度の部分が卓越して影響を与えているものと推論される。

図中、点線で記入してある乾燥密度はJISの突固め試験で得られた最大乾燥密度である。

図—6は締固め土の層形成が透水係数の異方性に与える影響を評価しようとしたもので、縦軸に一つの層の中の乾燥密度の粗密比（疎な部分の乾燥密度／密な部分の乾燥密度）、横軸に透水係数の異方性（対数目盛）を表したもので、図中左上から右下に向って層数が5層から1層という関係にある。5層、4層、3層のところで多少データのばらつきがあるものの、層の数の多い程（すなわち、層の厚さが小さい程）粗密比が1に近く、層の数が少なくなる



図—5 乾燥密度と透水係数



図—6 異方性に及ぼす成層の影響

程（すなわち、層の厚さが大きくなる程）粗密比が小さくなり透水係数の異方性が大きくなることが分かる。

ここでは層の形成を一つの層内における乾燥密度の粗密比でその影響をみようとしたものであり、図—5の結果とも合わせて、透水係数の異方性に与える土の層の影響の程度が理解できるものと考えられる。

4. まとめと今後の問題点

以上著者の実験結果を示して、締固め土の透水係数の異方性について述べてきたが、土試料内の成層状態が異方性に大きく影響を与えていることが一つの実験例ではあるが明らかになった。このことは実物スケールの土構造物を対象とする場合に構造物を層状不均質物体として解析を行う必要性のあることを示していると考えられ、自由水面を持った流れの解析については特別な工夫が必要となると考えられる。

また、実験上土試料が均質となるように工夫して行った結果についても透水係数の異方性が認められている。これらの結果については試料作製時の層の形成を出来るだけ排除するようにしたものであることから、一応層の影響を無視して考え、土の締固め時の含水比の影響による土粒子構造の影響からくる異方性とも考えられる。この点に関して

も異方性に影響を与える因子を可能なかぎり分離して実験を行い、各々の因子の影響を明らかにすることも今後の問題点であろう。

参 考 文 献

- 1) 山上拓男・宇野尚雄：第18回土質工学会研究発表会一般報告および総括，土と基礎，Vol. 31, No. 10, pp. 25~29, 1983.
- 2) 近藤 武：堤体内浸透の異方性について，農業土木学会京都

支部シンポジウムテキスト，1976.

- 3) 近藤 武：土の透水係数の異方性について，三重大学農学部学術報告，No. 56, 1978.
- 4) 久楽勝行・三木博史・真下陽一・関 一雄：締固め度が礫混じり粘性土の工学的性質に及ぼす影響，土木技術資料，22-7, 1980.
- 5) 三国英四郎：フィルタイプダムしや水壁材料の性質と締固めに関する研究（その1），土と基礎，Vol. 10, No. 1, 1962.
(原稿受理 1984. 7. 30)

土質工学会発行

土質基礎工学ライブラリー

A 5 判 布クロス上製本 送料 1 冊 350円

	ページ数	会員特価	定 価
1 軟弱地盤の調査・設計・施工法	310ページ	3,200円	4,200円
3 掘削のポイント（第1回改訂版）	399ページ	3,800円	4,900円
4 土質調査試験結果の解釈と適用例（第1回改訂版）	365ページ	3,400円	4,400円
7 土と基礎実用数式・図表の解説	443ページ	4,100円	5,300円
9 土と構造物の動的相互作用	567ページ	4,200円	5,500円
10 日本の特 殊 土	356ページ	3,200円	4,200円
11 土留め構造物の設計法	358ページ	3,900円	5,000円
12 切 土 ノ リ 面	395ページ	4,000円	5,200円
13 軟弱地盤における工事実施例（その2）	375ページ	4,600円	5,900円
14 実施例に見る構造物基礎	310ページ	3,900円	5,000円
15 土質工学における化学の基礎と応用	326ページ	3,400円	4,500円
16 風化花崗岩とまさ土の工学的性質とその応用	316ページ	3,500円	4,500円
17 掘削用機械・特殊な掘削	285ページ	3,000円	3,900円
18 土と基礎の沈下と変形の実態と予測	301ページ	3,200円	4,200円
19 建設工事と地下水	319ページ	3,400円	4,400円
20 緑化・植栽工の基礎と応用	319ページ	3,400円	4,400円
21 土と基礎の物理探査	308ページ	3,400円	4,400円
22 土と基礎のコンピュータ・プログラム	427ページ	4,600円	6,000円
23 土の凍結—その制御と応用—	268ページ	3,000円	3,900円
24 土 質 地 震 工 学	366ページ	3,900円	5,000円
25 海外工事と土—東南アジアと中近東のケース—	319ページ	3,300円	4,200円
26 建設計画と地形・地質	238ページ	2,500円	3,200円

発売：(社)土質工学会 ☎03-251-7661(代)

〒101 東京都千代田区神田淡路町2-23(菅山ビル4階)