

土木研究所資料

フィルダム基礎となる砂礫層の パイピング抵抗性評価

平成12年7月

建設省土木研究所
ダム部フィルダム研究室

Copyright © (2000) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文章による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

フィルダム基礎となる砂礫層のパイピング抵抗性評価

フィルダム研究室	室長	山口 嘉一
	研究員	山本 重樹
	元研究員	今林 豊 [*]

要 旨

近年、ダム基礎地盤の地質条件が厳しくなり、砂礫地盤上にもダム、特にフィルダムを建設しなければならない事例が増加しつつある。ダム基礎地盤には、貯水に伴う大きい浸透圧が作用するため、設計時にそのパイピング抵抗性を精度良く評価し、必要に応じて適切な浸透流対策を施さなければならない。本資料では、フィルダム基礎となる砂礫層から凍結サンプリング法により採取した乱さない試料と攪乱再構成試料に対して室内パイピング試験を実施し、そのパイピング抵抗性を評価した。また、砂礫材料の粒度分布に基づくパイピング抵抗性の間接評価や、円礫である砂礫層のほかに角礫である碎石に対しても室内パイピング試験を行い礫の形状の違いによるパイピング抵抗性を比較し、対象砂礫材料のパイピング抵抗性を総合的に評価した。

キーワード: フィルダム, 基礎, 砂礫, パイピング, 凍結サンプリング

^{*}建設省九州地方建設局嘉瀬川ダム工事事務所（平成8年4月から平成11年3月までの3年間、フィルダム研究室に在籍）

ま え が き

砂礫基礎上にフィルダムを建設する際、調査・設計段階に、そのパイピング抵抗性を精度良く評価し、必要に応じて適切な浸透流対策を施す必要がある。

今回は、フィルダムの建設が予定されている砂礫層のパイピング抵抗性を精度良く評価するために、凍結サンプリング法により採取した乱さない試料と攪乱再構成試料に対して室内パイピング試験を実施した。その結果、乱さない試料は基質部分の十分な結合力により、攪乱再構成試料よりもかなり大きいパイピング抵抗性を有していることがわかった。また、砂礫材料の粒度分布に基づくパイピング抵抗性の間接評価や、砂礫層から採取した円礫のほかに角礫である碎石に対しても室内パイピング試験を実施してパイピング抵抗性に与える礫形状の影響についても検討し、対象とした砂礫材料のパイピング抵抗性の総合評価を行った。

目 次

まえがき

1. 研究の概要	1
2. 乱さない試料に対する室内パイピング試験	2
2.1 乱さない試料の採取方法と試料の物性	2
2.2 試験方法	3
2.3 試験結果	6
3. 再構成試料に対する室内パイピング試験	9
3.1 試料	9
3.2 最大・最小密度試験	12
3.2.1 試験方法	12
3.2.2 試験結果	14
3.3 攪乱再構成試料に対する室内パイピング試験	18
3.3.1 試験方法	18
3.3.2 試験結果	19
4. 考察	23
4.1 検討項目	23
4.2 砂礫材料の乱さない試料と攪乱再構成試料を用いたパイピング抵抗性の比較	24
4.3 砂礫材料の粒度分布に基づくパイピング抵抗性の間接評価	28
4.3.1 粒度分割法	29
4.3.2 kenney diagram による内部安定性評価	31
4.4 円礫と角礫のパイピング抵抗性の比較	33
5. まとめ	38
参考文献	39
参考資料	41

1. 研究の概要

本研究では、フィルダムの建設が予定されている砂礫層を構成する砂礫材料のパイピング抵抗性を精度良く評価するために、凍結サンプリング法により採取した乱さない試料と攪乱再構成試料に対して室内パイピング試験を実施した。さらに、砂礫材料の粒度分布に基づくパイピング抵抗性の間接評価や、砂礫層構成試料である円礫と角礫である砂岩碎石のパイピング抵抗性の比較検討を行う。

本研究の主目的は以下のとおりである。

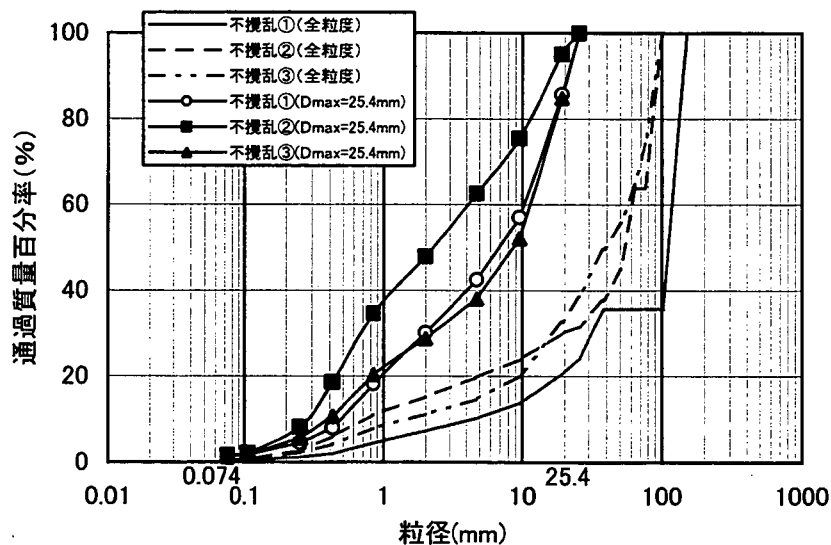
- ① 凍結サンプリング法により採取した砂礫材料の乱さない試料に対して室内パイピング試験を実施し、そのパイピング抵抗性を精度良く評価する。
- ② ①と同じ砂礫材料の攪乱再構成試料の室内パイピング試験結果と①の結果を比較検討し、対象砂礫材料のパイピング抵抗性を総合的に評価する。
- ③ 対象砂礫材料の粒度分布曲線よりパイピング抵抗性を間接的に評価する。
- ④ 今回対象とした砂礫材料（円礫）と砂岩碎石（角礫）のパイピング抵抗性について比較し、礫形状の違いによるパイピング抵抗性に与える影響の評価を行う。

2. 乱さない試料に対する室内パイピング試験¹⁾

2.1 乱さない試料の採取方法と試料の物性

試料には、第四紀の砂礫層から凍結サンプリング法²⁾により採取した直径約 150mm の乱さないコア試料を高さ約 150mm に整形したものを用いた。図-2.1 に、後述の室内パイピング試験により破壊した供試体構成試料の粒度分布曲線を示す。凍結させた地盤からボーリングによりコア試料を採取したため扁平な形状を有し、ふるい分けでは大礫に分類される土粒子が比較的多かった。そこで、粒度分布曲線としては、全粒度のものと粒径 25.4mm 以下の部分のみの粒度の 2 種類の粒度を描いている。なお、供試体解体時の観察から室内パイピング試験時において底面からの水の流れを阻害するような大礫の存在は認められなかった。

試験対象とした砂礫層については、室内パイピング試験と同様に凍結サンプリング法により採取した乱さない試料を用いた静的強度および動的反力・強度試験ほか多くの室内土質試験が実施されている³⁾。文献 3) 中の上部砂礫層が今回の試験対象とした砂礫層にあたる。そのため、室内パイピング試験結果の解析、考察に際しては適宜文献 3) より物性値を引用する。



全粒度の場合

試料名	D_{60} (mm)	D_{30} (mm)	D_{10} (mm)	U_c	U_c'
不攪乱①	117.7	31.3	4.5	26.2	1.8
不攪乱②	60.7	19.1	0.7	82.0	8.1
不攪乱③	56.6	16.5	1.5	37.5	3.2

$D_{max}=25.4$ mmの場合

試料名	D_{60} (mm)	D_{30} (mm)	D_{10} (mm)	U_c	U_c'
不攪乱①	10.5	2.0	0.4	26.3	1.0
不攪乱②	4.3	0.6	0.2	21.5	0.4
不攪乱③	11.8	2.4	0.3	39.3	1.6

図-2.1 乱さない試料の粒度分布

2.2 試験方法

凍結サンプリング法により採取した乱さない試料に対する室内パイピング試験の手順を以下に示す。

① 供試体の湿潤密度の測定

直径約 150mm、高さ約 150mm に整形した凍結状態の円柱形試料（写真－2.1 参照）の湿潤密度をノギス法により測定する。

② 供試体の作製

供試体は、図－2.2 に示すように、凍結試料をゴムスリーブ 2 枚（厚さ 0.2mm と 1mm の各 1 枚）で包み、内径 155mm の透水円筒の中に入れて、ゴムスリーブの上下端を透水円筒の側面に O リングで締め付け、透水底板とカラーで透水円筒を挟んで作製する。

③ 供試体の室内パイピング試験装置への設置

②で作製した供試体を図－2.3 にその構成を示す室内パイピング試験装置に設置する。

④ 側圧の載荷

試料周面沿いの漏水を防止するために、49kPa の側圧を空圧により加える。

⑤ 供試体の解凍

24 時間以上放置して試料を解凍させる。

⑥ 動水勾配の設定

室内パイピング試験においては、図－2.3 から明らかなように供試体底面に上昇流が発生する動水勾配 i を作用させる。供試体に作用させる動水勾配 i は第 1 段階で約 5、その後約 2 ずつ上昇させる。なお、動水勾配 i は供試体の上下面水頭差を試料高さで除して求める。

⑦ 動水勾配と透水量の測定

動水勾配 i を算出するための載荷水頭は供試体の下部に間隙水圧計を設置して、管理・記録する。また、各動水勾配時の安定流量を測定して、次の動水勾配段階へ移行する。

⑧ 目視観測

室内パイピング試験時の供試体、特にその上面の状況変化を観察し、限界動水勾配の判定に利用する。

⑨ 乾燥密度、含水比、粒度の測定

破壊した供試体の全構成試料を乾燥して乾燥密度と含水比を求め、さらにそれを粒度試験に供す。



写真-2.1 凍結サンプリング法により採取した乱さない試料（不攪乱①）

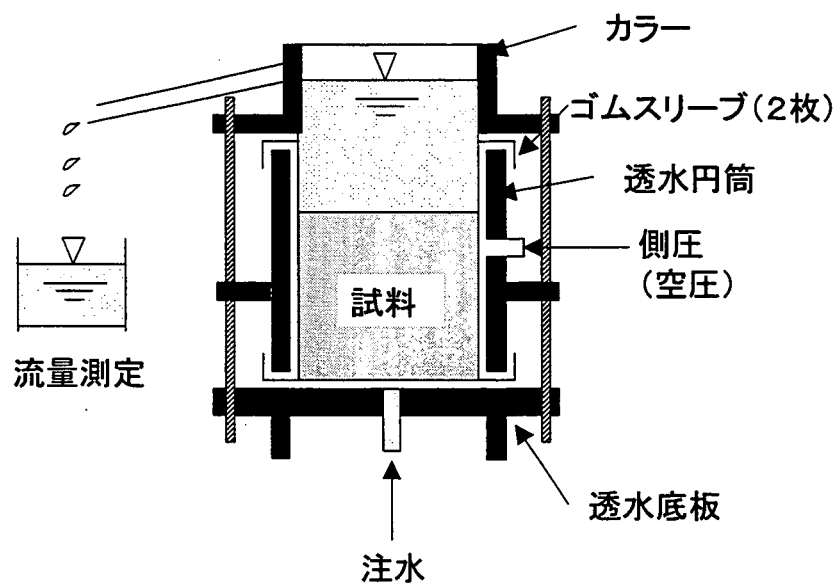


図-2.2 供試体構成の詳細

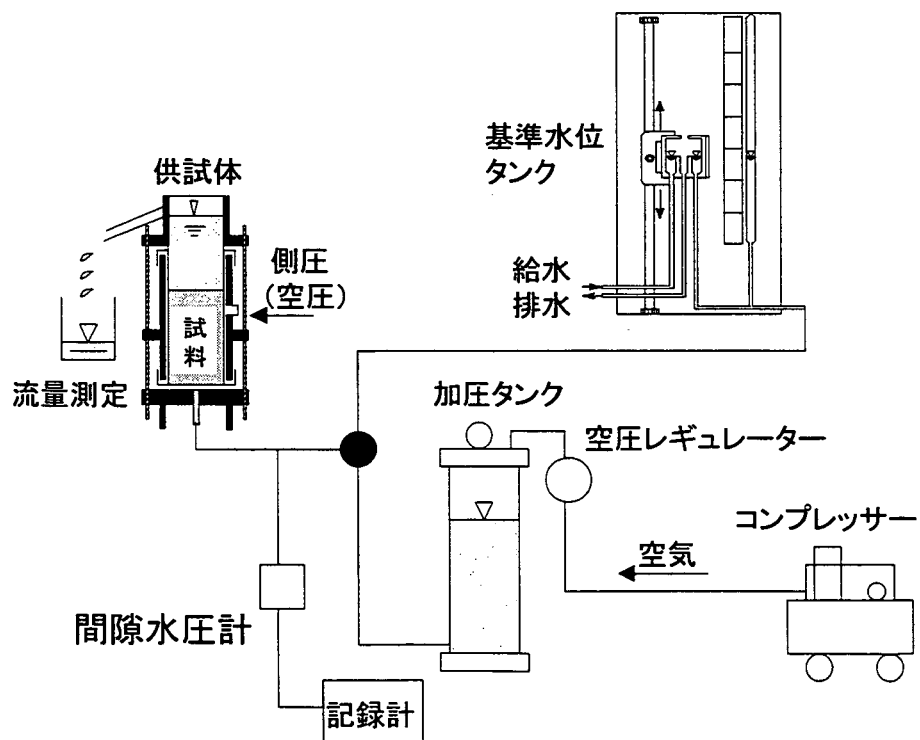


図-2.3 室内パイピング試験装置の構成 (乱さない試料用)

2.3 試験結果

室内パイピング試験の結果として得られた動水勾配と流量および透水係数の関係をそれぞれ図-2.4、2.5に示す。これらの図から、3本の供試体とも動水勾配の増加にほぼ比例して流量が増加し、流量急増点において一挙に全体破壊に至っていることがわかる。この時点の動水勾配を限界動水勾配 i_f と定義する。また、試験中の供試体上面の観察において、 i_f に至るまでの動水勾配段階において局所的な噴砂現象は全く見られなかった。

表-2.1に供試体の諸元と試験結果の一覧を示す。表中の間隙比 e は表-2.2で求めた合成比重 G を用いて求めた。合成比重 G とは粒径区分ごとの重みつき平均比重で、粒径の区分は表-2.2に示すとおり粒径 $0.075\text{mm} \sim 4.76\text{mm}$ 未満には土粒子の密度 ρ_s を使用し、粒径 $4.76\text{mm} \sim 25.4\text{mm}$ には絶対比重 G_b を用いて次式により算出した。

$$G = 1 / \sum (D_i / G_i) \quad \cdots (2.1)$$

ここに、 D_i : 粒径区分毎の質量百分率、

G_i : 粒径区分毎の絶対比重 G_b もしくは土粒子の密度 ρ_s 。

なお、合成比重の算出にあたっては粒径 25.4mm 以下の粒度を対象とし、不攪乱①の粒度で $G=2.558$ 、不攪乱②の粒度で $G=2.620$ 、不攪乱③の粒度で $G=2.549$ となった。

表-2.1中に示した試料の乾燥密度 ρ_d は $2.032 \sim 2.364\text{t/m}^3$ 、間隙比 e は $0.082 \sim 0.254$ であり、試験対象とした砂礫層は良く締まった状態にあることがわかる。この ρ_d や e の状態は、凍結サンプリングの特徴から、小礫や砂分により構成されている部分のみというよりも砂礫層全体の密度状態を表しているものと考えられる。

3本の供試体の透水係数は $0.4 \sim 2.0 \times 10^{-3}\text{cm/s}$ の範囲に分布し、別途実施された同一砂礫層の直径 300mm の凍結サンプリング供試体の透水係数 $0.8 \sim 2.2 \times 10^{-3}\text{cm/s}$ と大きな差がない。このことから、室内パイピング試験における直径 150mm の供試体において、大礫の存在による水流の阻害はなかったものと考えられる。

3本の供試体の限界動水勾配 i_f は約 30 と礫質土としてはかなり大きな値を示している。このことは、再構成礫質土を用いた既往の室内パイピング試験結果⁴⁾との比較からも明らかであるが、詳細については第3章における今回試験対象とした砂礫層から採取した攪乱試料を再構成したものに対する室内パイピング試験により明らかにする。

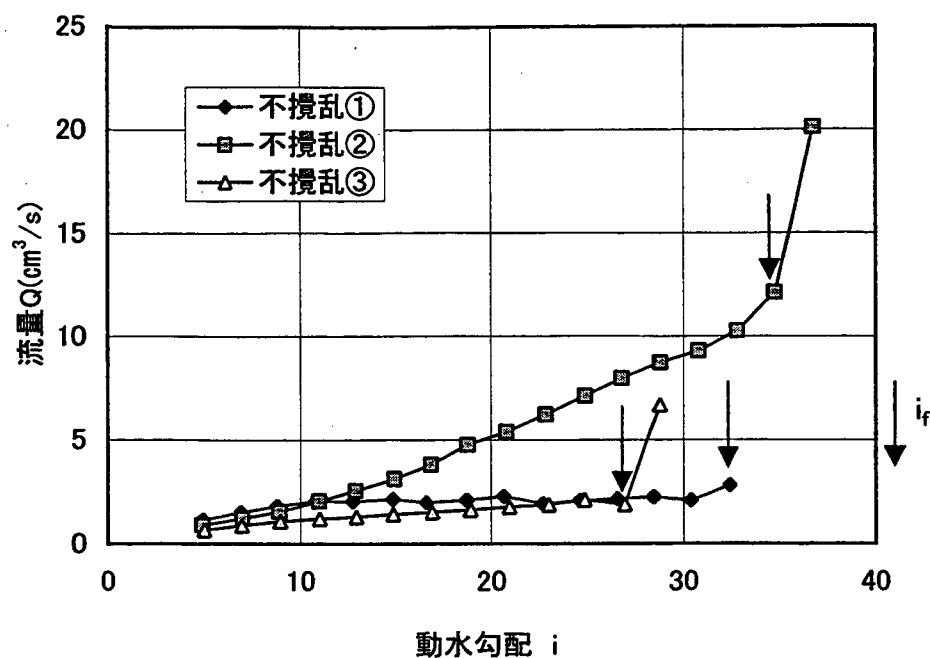


図-2.4 動水勾配と流量の関係

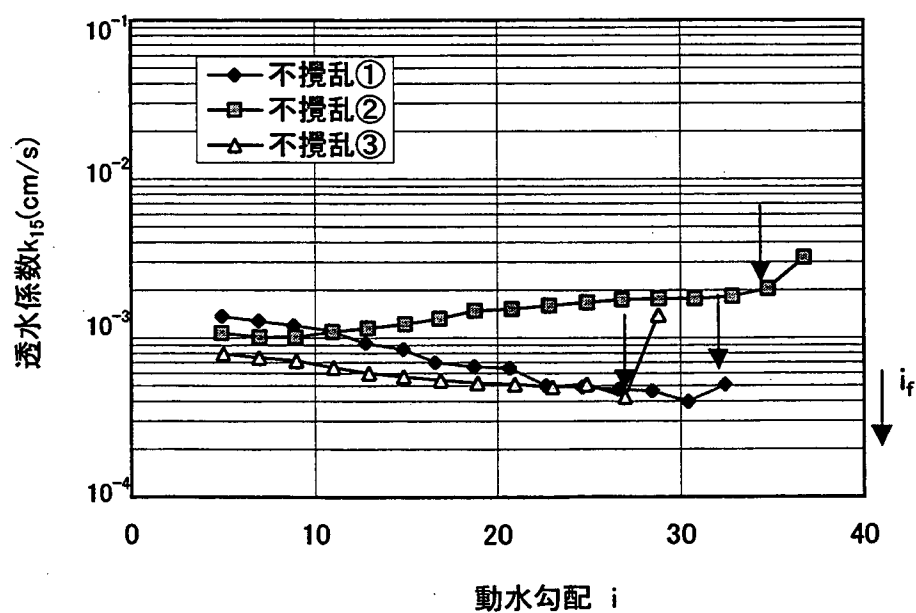


図-2.5 動水勾配と透水係数の関係

表-2.1 供試体の諸元と試験結果の一覧

試料名	合成比重 G	含水比 w(%)	乾燥密度 $\rho_d(t/m^3)$	間隙比 e	限界動水勾配 i_f	i_f 時の透水係数 $k_{15}(cm/s)$
不攪乱①	2.558	5.35	2.364	0.082	32.43	5.08×10^{-4}
不攪乱②	2.620	7.84	2.188	0.197	34.82	2.03×10^{-3}
不攪乱③	2.549	11.11	2.032	0.254	26.97	4.24×10^{-4}

表-2.2 合成比重

試料名 粒径区分 (mm)	不攪乱①		不攪乱②		不攪乱③	
	質量百分率 D (%)	比重／密度 G_b/ρ_s	質量百分率 D (%)	比重／密度 G_b/ρ_s	質量百分率 D (%)	比重／密度 G_b/ρ_s
* 25.4~19.1	14.4	2.478	4.9	2.478	15.1	2.478
* 19.1~9.52	28.7	2.449	19.7	2.449	32.8	2.449
* 9.52~4.76	14.5	2.415	12.9	2.415	14.1	2.415
** 4.76~0.85	24.3	2.669	28.0	2.669	17.7	2.669
** 0.85~0.075	18.1	2.803	34.5	2.803	20.4	2.803
*** 合成比重 G	—	2.558	—	2.620	—	2.549

*絶乾比重 G_b , **土粒子の密度 ρ_s ,

***合成比重 $G=1/\sum(D_i/G_i)$

D_i :粒径区分毎の質量百分率,

G_i :粒径区分毎の絶乾比重 G_b もしくは土粒子の密度 ρ_s 。

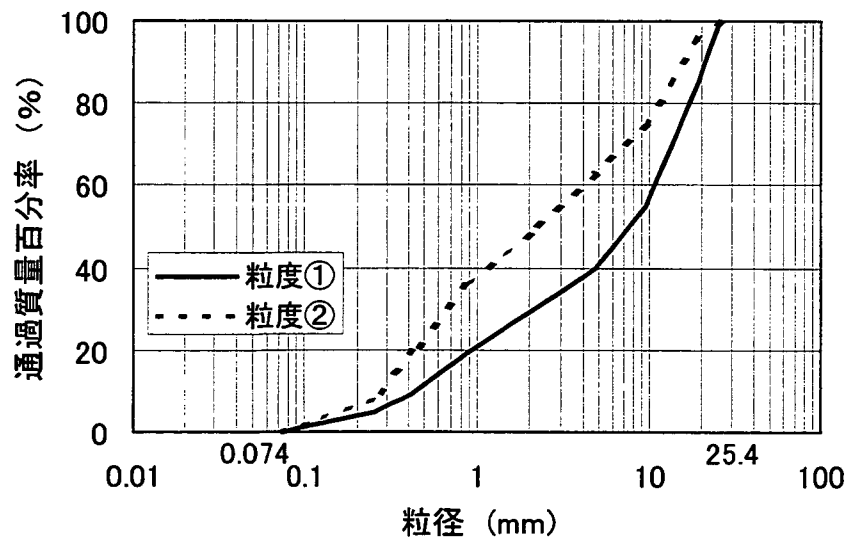
3. 再構成試料に対する室内パイピング試験⁵⁾

3.1 試料

本章では、第2章において凍結サンプリング法により採取した乱さない試料を用いて室内パイピング試験を実施した第四紀の砂礫層の攪乱再構成試料に対しても室内パイピング試験を行うことにより、対象砂礫層のパイピング抵抗性を総合的に評価するための資料を得ることを目的としている。そのため、試料には、乱さない試料を採取した砂礫層から採取した攪乱試料を25.4mm～0.074mmまでの各ふるいで分級し、図-2.1に示した乱さない試料の粒度を参考に図-3.1に示す2種類の粒度に調整したものを用いた。なお、図中の粒度①は不攪乱①と③の粒径25.4mm以下の粒度を、また粒度②は不攪乱②の粒径25.4mm以下の粒度を参考に設定した。

また、本章においては、礫質土のパイピング抵抗性に与える礫形状の影響についても検討するために、円礫である砂礫(写真-3.1参照)のほか角礫である茨城県筑波山産の砂岩碎石(写真-3.2参照)も準備した。設定粒度は円礫である砂礫と同じ図-3.1に示す2種類である。

表-3.1、3.2に粒径区分ごとの土粒子の密度あるいは礫の絶乾比重と、粒径区分ごとの質量百分率から算出した合成比重を示す。前章でも説明したが、合成比重 G の算定にあたっては、これらの表に示すとおり粒径4.76mm未満では土粒子の密度 ρ_s 、4.76mm以上では絶乾比重 G_b を用いた。これより、試料の合成比重 G は円礫の粒度①で2.554、粒度②で2.621、角礫の粒度①で2.669、粒度②で2.680となり、若干、角礫の方が比重が大きい。



試料名	Dmax(mm)	D ₆₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₁₀ (mm)	U _c	U _{c'}
粒度①	25.4	10.8	2.17	0.5	24.0	1.00
粒度②	25.4	4.15	0.68	0.27	15.4	0.40

図-3.1 試料の設定粒度分布

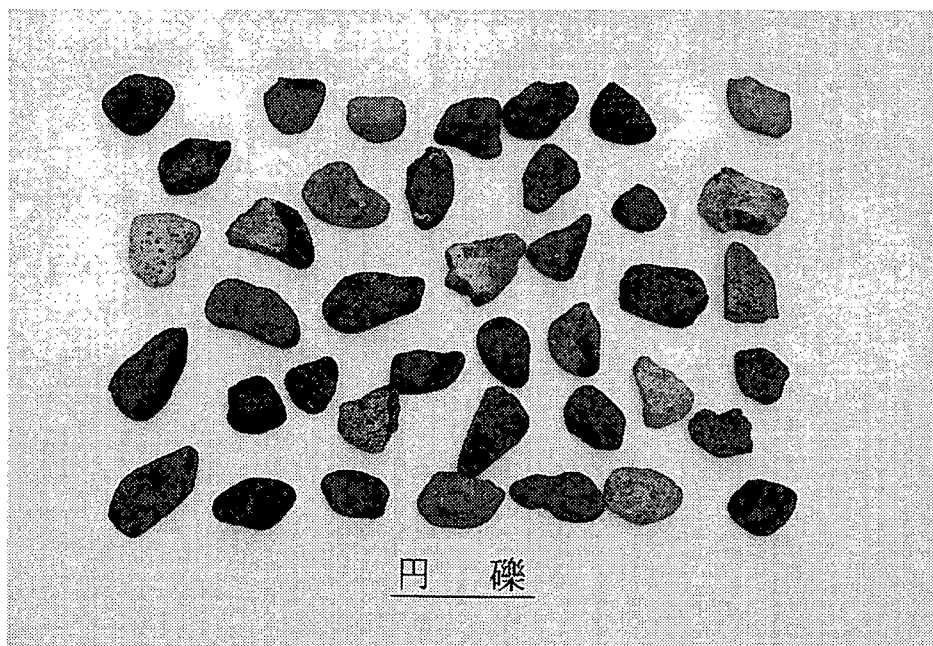


写真-3.1 円礫 (粒径 19.0mm~25.4mm)

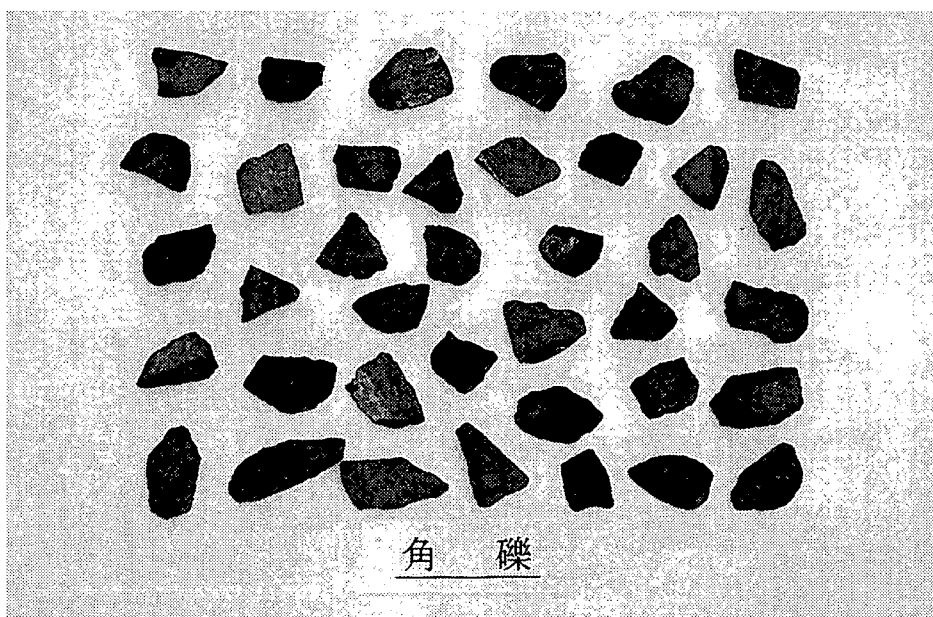


写真-3.2 角礫 (粒径 19.0mm~25.4mm)

表-3.1 合成比重算出表 (円礫)

試料名 粒径区分 (mm)	粒度 ①		粒度 ②	
	質量百分率 D (%)	比重／密度 G_b / ρ_s	質量百分率 D (%)	比重／密度 G_b / ρ_s
* 25.4~19.1	15.0	2.478	5.0	2.478
* 19.1~9.52	30.0	2.449	20.0	2.449
* 9.52~4.76	15.0	2.415	12.5	2.415
** 4.76~0.85	21.0	2.669	27.5	2.669
** 0.85~0.075	19.0	2.803	35.0	2.803
*** 合成比重 G	—	2.554	—	2.621

*絶乾比重 G_b , **土粒子の密度 ρ_s ,

***合成比重 $G=1/\sum(D_i/G_i)$

D_i :粒径区分毎の質量百分率,

G_i :粒径区分毎の絶乾比重 G_b もしくは土粒子の密度 ρ_s 。

表-3.2 合成比重算出表 (角礫)

試料名 粒径区分 (mm)	粒度 ①		粒度 ②	
	質量百分率 D (%)	比重／密度 G_b / ρ_s	質量百分率 D (%)	比重／密度 G_b / ρ_s
* 25.4~19.1	15.0	2.651	5.0	2.651
* 19.1~9.52	30.0	2.654	20.0	2.654
* 9.52~4.76	15.0	2.648	12.5	2.648
** 4.76~0.85	21.0	2.689	27.5	2.689
** 0.85~0.075	19.0	2.705	35.0	2.705
*** 合成比重 G	—	2.669	—	2.680

*絶乾比重 G_b , **土粒子の密度 ρ_s ,

***合成比重 $G=1/\sum(D_i/G_i)$

D_i :粒径区分毎の質量百分率,

G_i :粒径区分毎の絶乾比重 G_b もしくは土粒子の密度 ρ_s 。

3.2 最大・最小密度試験

3.2.1 試験方法

乱さない試料と再構成試料のパイピング抵抗性を比較するためには、再構成試料の乾燥密度は乱さない試料の乾燥密度に合わせて供試体を作製することが望ましい。しかし、乱さない試料については、凍結サンプリング法を用いているため供試体の直径が 150mm でもかなりの大礫を含有する砂礫層の全粒度での密度に近い値になっていると推察される。一方で室内パイピング試験用モールドの大きさの制約から再構成試料の最大粒径 $D_{\max}$ は 25.4mm としている。そのため、 $D_{\max}=25.4\text{mm}$ の試料を乱さない試料と同じ乾燥密度にまで締固めることはかなり困難か、不可能であると考え。そこでここでは、最大・最小密度試験を実施することにより室内パイピング試験用の供試体の設定密度について検討する。なお、この試験は円礫、角礫ともに実施する。

最大・最小密度試験には、図-3.2 に示す室内パイピング試験用の透明なアクリル製の内径 150mm、高さ 200mm の円筒形モールドを使用した。設定粒度に調整した気乾状態の試料をモールド内に静かに置き、約 50mm の高さに充填した状態の供試体質量と高さを計測した。高さの計測位置は、図-3.3 に示す箇所 25 点である。この状態の乾燥密度を最小乾燥密度 $\rho_{\min}$ 、この値と合成比重から求めた間隙比を最大間隙比 $e_{\max}$ とした。また、最小乾燥密度状態を初期状態として、頭部直径 40mm の木槌を用い、20mm の振幅で、モールド全周をムラなく打撃して締め固めた。打撃回数 25、50、75、100、150、200、300、500 の時点で供試体高さを図-3.3 に示す 25 点で測定し、打撃回数と乾燥密度および間隙比の関係を求めた。この結果に基づき最大乾燥密度 $\rho_{\max}$ と最小間隙比 $e_{\min}$ を決定する。

3.2.2 試験結果

円礫（砂礫）材料と角礫（砂岩碎石）材料に対する最大・最小密度試験の結果をそれぞれ表-3.3 と表-3.4 に示す。

図-3.4 に打撃回数と乾燥密度 ρ_d の関係を示す。打撃回数 100 回を超えた辺りからは、円礫、角礫とも粒度①より細粒分の多い粒度②の乾燥密度が大きくなっている。また、円礫と角礫を比較した場合、角礫の方がよく締まる傾向にある。

図-3.5 に打撃回数と間隙比 e の関係を示す。粒度②では礫の形状による打撃回数の増加に伴う間隙比の低減傾向に違いは見られないが、粒度①については角礫より円礫の初期間隙比が小さいことがわかる。しかし、打撃回数 200 回以上では粒度や礫形状に関係なく間隙比 0.4 付近に収束している。

図-3.6 に打撃回数と投入時の乾燥密度 ρ_{d0} に対する乾燥密度 ρ_d の比 (ρ_d/ρ_{d0}) の関係を示す。これによると、円礫より角礫の方が密度増加の割合が大きい傾向を示している。

これらの結果をもとに、まず最小乾燥密度 ρ_{dmin} は材料投入時の打撃回数 0 回時の乾燥密度として、その時の間隙比を最大間隙比 e_{max} とした。

また、打撃回数と乾燥密度および間隙比の関係をみると、円礫、角礫ともに 500 回打撃時においても完全に収束していないことがわかる。しかし、目視観察結果によると打撃回数 50 回を超えると材料分離が急激に進行することがわかり、ここでは材料分離があまり促進しない 50mm 層厚あたり 50 回打撃時の乾燥密度を最大乾燥密度 ρ_{dmax} とし、その時の間隙比を最小間隙比 e_{min} とした。

また、円礫である砂礫材料の最大・最小密度試験結果に着目すると、試験における最大打撃回数 500 回の時でも乾燥密度は粒度①で 1.834t/m^3 、粒度②で 1.879t/m^3 と乱さない試料の $2.032\sim 2.364\text{t/m}^3$ よりかなり小さい。そのため、材料分離を抑えて均質な供試体を作製するという観点から決定した最大乾燥密度は粒度①で 1.810t/m^3 、粒度②で 1.788t/m^3 とさらに小さい。この密度差の原因は前項で述べたとおりである。ただし、室内パイピング試験結果の比較にあたってはこの密度差を考慮する。

表-3.3 最大・最小密度試験結果（円礫）

合 計 打撃回数 (回)	粒度① G=2.554		粒度② G=2.621		
	乾燥密度 $\rho_d(t/m^3)$	間隙比 e	乾燥密度 $\rho_d(t/m^3)$	間隙比 e	
0(投入)	1.743	0.465	1.700	0.542	$\leftarrow \rho_{dmin}, e_{max}$
25	1.773	0.440	1.728	0.517	
50	1.810	0.411	1.788	0.466	$\leftarrow \rho_{dmax}, e_{min}$
75	1.813	0.409	1.807	0.450	
100	1.819	0.404	1.824	0.437	
150	1.819	0.404	1.827	0.435	
200	1.831	0.395	1.847	0.419	
300	1.840	0.388	1.858	0.411	
500	1.834	0.393	1.879	0.395	

表-3.4 最大・最小密度試験結果（角礫）

合 計 打撃回数 (回)	粒度① G=2.669		粒度② G=2.680		
	乾燥密度 $\rho_d(t/m^3)$	間隙比 e	乾燥密度 $\rho_d(t/m^3)$	間隙比 e	
0(投入)	1.693	0.576	1.729	0.550	$\leftarrow \rho_{dmin}, e_{max}$
25	1.763	0.514	1.797	0.491	
50	1.812	0.473	1.837	0.459	$\leftarrow \rho_{dmax}, e_{min}$
75	1.815	0.471	1.857	0.443	
100	1.826	0.462	1.871	0.432	
150	1.847	0.445	1.883	0.423	
200	1.869	0.428	1.892	0.416	
300	1.878	0.421	1.917	0.398	
500	1.917	0.392	1.929	0.389	

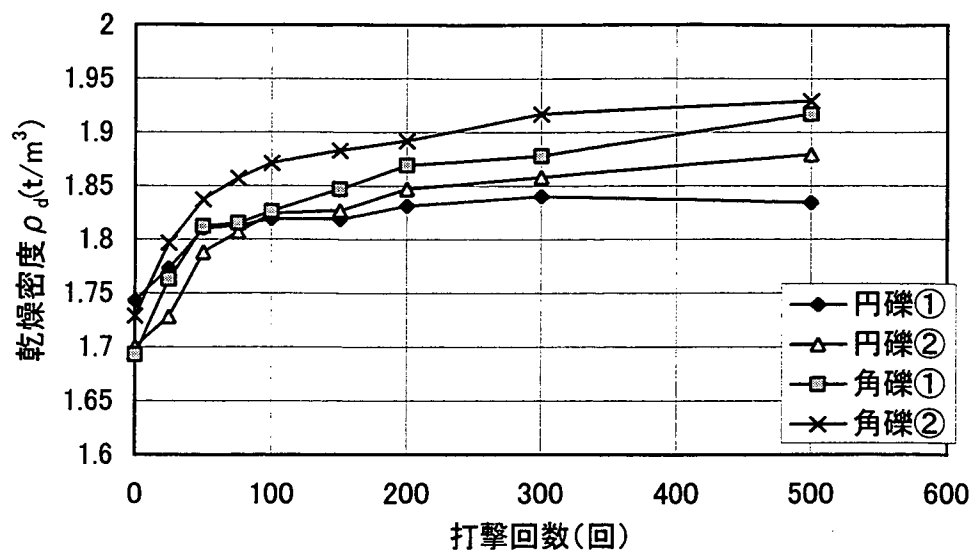


図-3.4 打撃回数と乾燥密度の関係

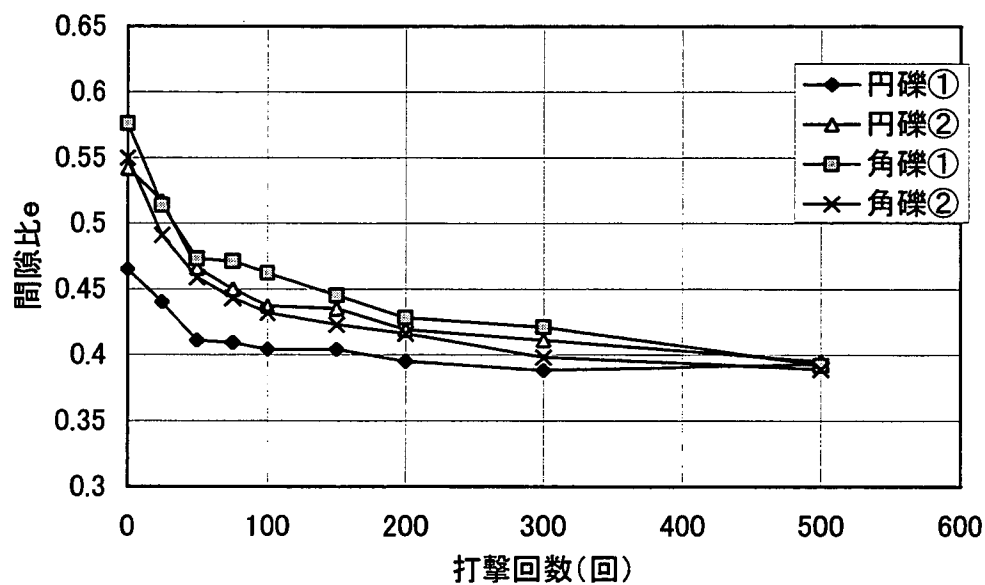


図-3.5 打撃回数と間隙比の関係

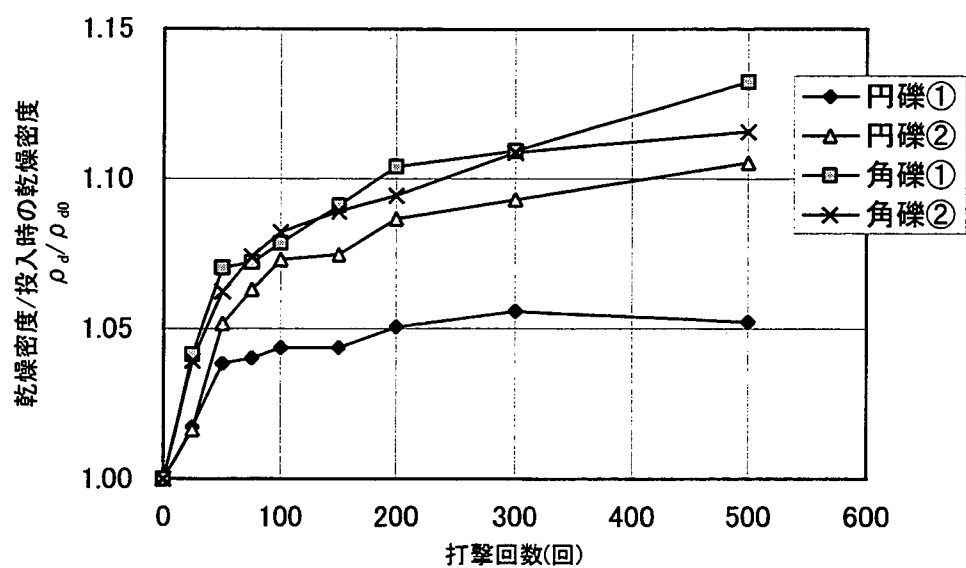


図-3.6 打撃回数と(乾燥密度/投入時の乾燥密度)の関係

3.3 攪乱再構成試料に対する室内パイピング試験

3.3.1 試験方法

室内パイピング試験では、2 粒度（粒度①、②）の円礫および角礫試料を内径 150mm、高さ 200mm の円筒形モールド内に、円礫については最大・最小乾燥密度状態、また角礫については最大乾燥密度状態に設定した供試体を作製した。最小乾燥密度供試体は試料をモールド内に静かに置くことで作製し、また、最大乾燥密度供試体は 4 層（1 層約 50mm）に分けて投入した試料を最大密度試験で用いた木槌で各層 50 回打撃（合計 200 回打撃）することにより作製した。なお、目視観測結果によると、最大乾燥密度供試体作製時に極端な材料分離の発生は見られず、ほぼ均質な供試体が作製できたと考える。

室内パイピング試験装置の構成を図-3.7 に示す。供試体への注水には基準水位タンクが上下可能な装置を使用した。基本的な試験方法は乱さない試料に対する試験の方法にほぼ準拠したが、動水勾配 i は約 0.1 刻み（供試体上下端の水頭差 $20\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ 刻み）で上昇させ、各動水勾配段階では安定流量を測定するとともに供試体の変状を観察した。

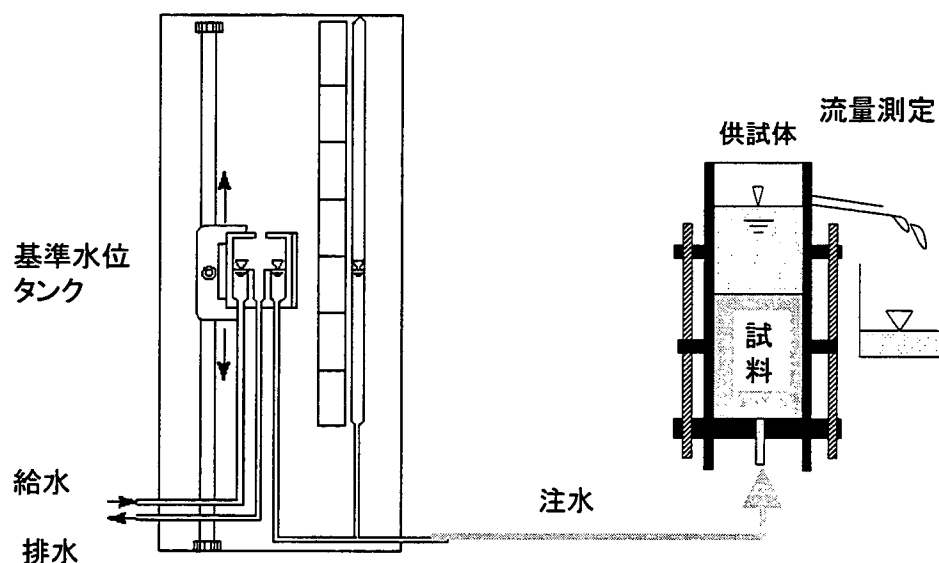


図-3.7 室内パイピング試験装置の構成（攪乱再構成試料用）

3.3.2 試験結果

(1) 円礫

室内パイピング試験の結果として得られた動水勾配 i と流量 Q および透水係数 k の関係をそれぞれ図-3.8、3.9 に示す。これらの図から、4 本の供試体とも動水勾配の増加にほぼ比例して流量が増加していることがわかる。また、同じ密度条件であれば細粒な試料（粒度②）ほど流量が小さく、同一粒度であれば密度の小さい試料ほど流量は大きい一般的な傾向を示した。透水係数に関しては、どの供試体も動水勾配が 0.5 付近までは透水係数が徐々に低減し、その後一定の透水係数となり最終的には増加に転じて破壊に至る傾向を示す。

乱さない試料に対する試験と同様に、流量増加の明瞭な開始点における動水勾配を限界動水勾配 i_f と定義した。なお、目視観察結果によると、 i_f 付近の動水勾配時点から供試体表面において噴砂現象が見られるようになった。供試体の密度条件と室内パイピング試験結果を表-3.5 に示す。なお、比較的安定した透水係数が得られている状態の透水係数を初期透水係数 k_{i15} と定義している。ここで示した乾燥密度と表-3.3 で示した最大・最小密度試験結果の 0 回、50 回の結果を比較すると、特に 50 回打撃においてパイピング試験で用いた乾燥密度の方がかなり大きくなっている。これは、最大・最小密度試験では 1 層(50mm)のみで試験を行ったのに対して、パイピング試験では 4 層(50mm×4)で締固めているため、表-3.3 に示した最大・最小密度試験結果からも明らかのように、1 層あたり 50 回の打撃では密度増加が収束していないことによる積層効果により上層打撃時に下層も締固められたことが原因であると考えられる。しかし、前述したように、各層 50 回打撃（合計 200 回打撃）の乾燥密度でも乱さない試料のそれに比べればかなり小さい。

透水係数に関しては攪乱再構成試料 4 本の透水係数は $0.7 \sim 5.3 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ の範囲に分布しているが、これは乱さない試料の透水係数の範囲 $0.4 \sim 2.0 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ より 1 オーダ以上大きい。これは、乱さない試料の中央には水流を阻害するような大礫が存在することはなかったが、試料は粒径 25.4mm 以下の基質部分だけで構成されているのではなく、それよりも粒径が大きくそれ自体は不透水性とみなせる礫も含まれていることによる。また、攪乱再構成試料 4 本の供試体の限界動水勾配 i_f は約 1~4 となっており、乱さない試料の約 30 に対してかなり小さな値を示している。

参考のために、円礫と角礫のパイピング試験時と最大・最小密度試験時の供試体間隙比の関係を整理したものを図-3.10 に示す。

(2) 角礫

円礫と同様に室内パイピング試験の結果から得られた動水勾配 i と流量 Q および透水係数 k の関係をそれぞれ図-3.11、3.12 に示す。これらの図から、2 本の供試体とも動水勾配の増加にほぼ比例して流量が増加しているが細粒な試料（粒度②）ほど流量が小さくなっていた。また、円礫の同じ密度条件の供試体と流量を比較するとほぼ同程度の値を示している。透水係数に関しては、2 本の供試体とも円礫の場合と同様に初期的な動水勾配段階において透水係数が徐々に低減し、その後一定の透水係数となり最終的には増加に転じて破壊に至る傾向を示す。

目視観察結果によると、円礫と同様に、 i_f 付近の動水勾配時点から供試体表面において噴砂現象が見られるようになった。供試体の密度条件と室内パイピング試験結果を表-3.6 に示す。

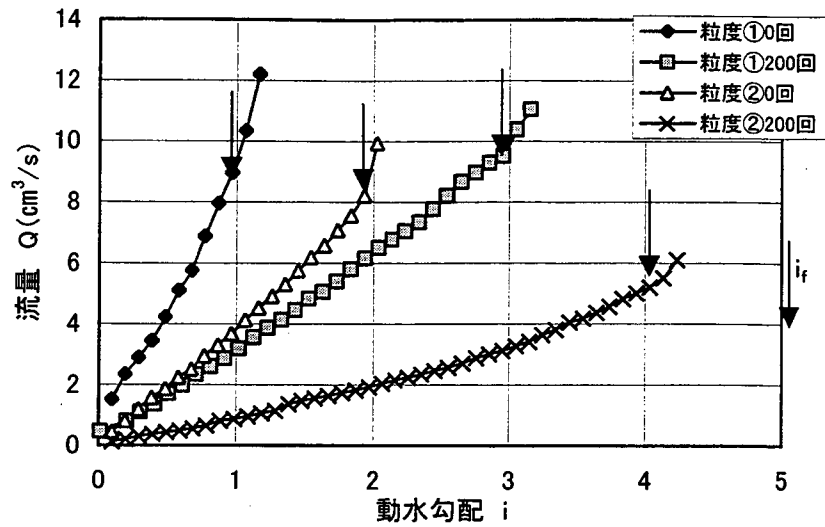


図-3.8 動水勾配と流量の関係（円礫）

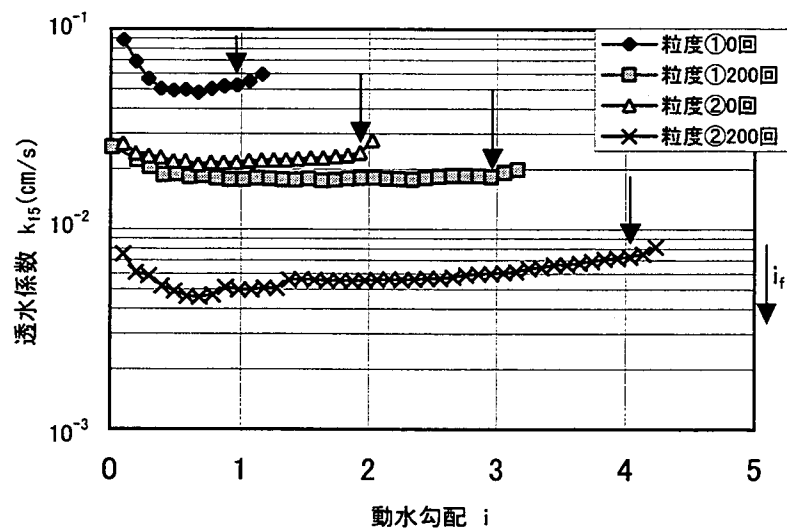


図-3.9 動水勾配と透水係数の関係（円礫）

表-3.5 室内パイピング試験結果の一覧（円礫）

試料名	打撃回数	乾燥密度 $\rho_d(\text{t/m}^3)$	間隙比 e	限界動水勾配 i_f	i_f 時の透水係数 $k_{15}(\text{cm/s})$	初期透水係数 $k_{i15}(\text{cm/s})$
粒度①	0回	1.772	0.441	0.969	5.24×10^{-2}	5.02×10^{-2}
	200回	1.883	0.356	2.955	1.82×10^{-2}	1.77×10^{-2}
粒度②	0回	1.721	0.523	1.929	2.41×10^{-2}	2.22×10^{-2}
	200回	1.868	0.403	4.035	7.28×10^{-3}	5.60×10^{-3}

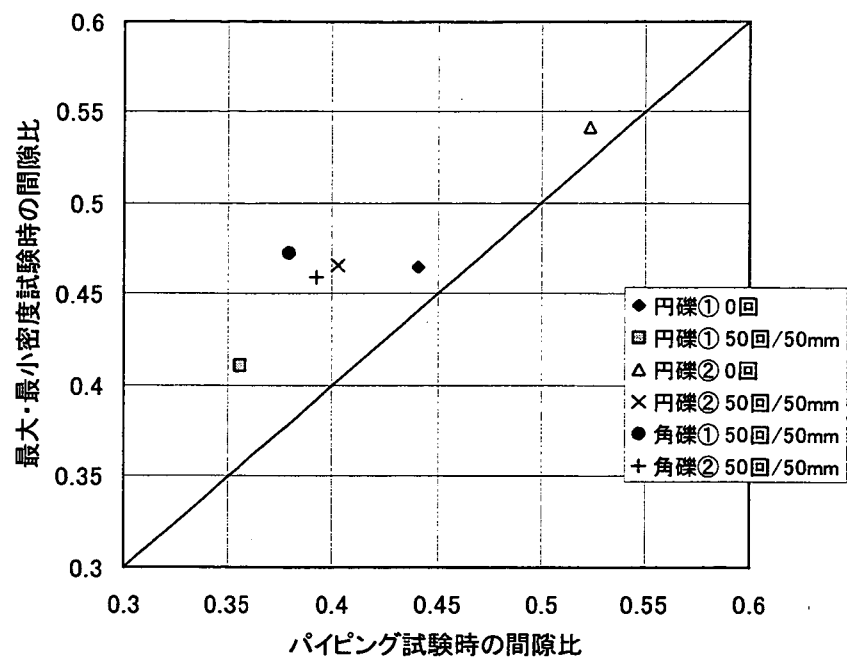


図-3.10 パイピング試験時の間隙比と最大・最小密度試験時の間隙比の関係

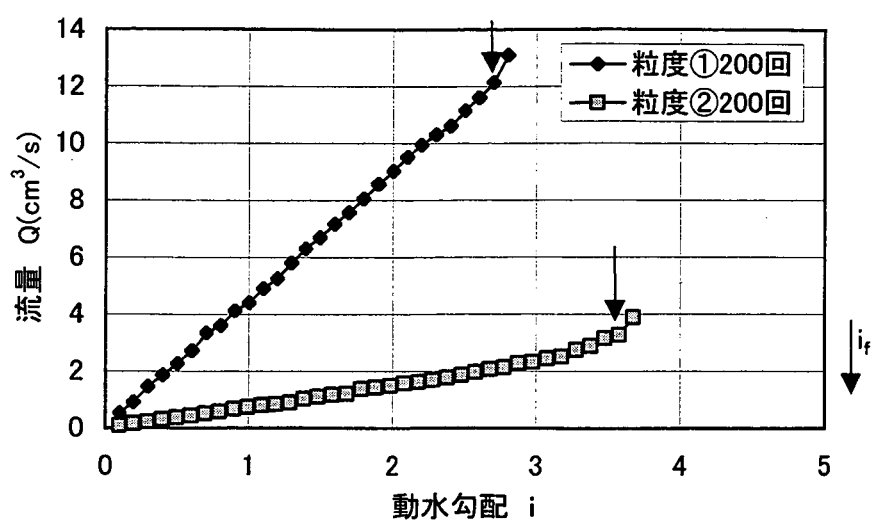


図-3.11 動水勾配と流量の関係（角礫）

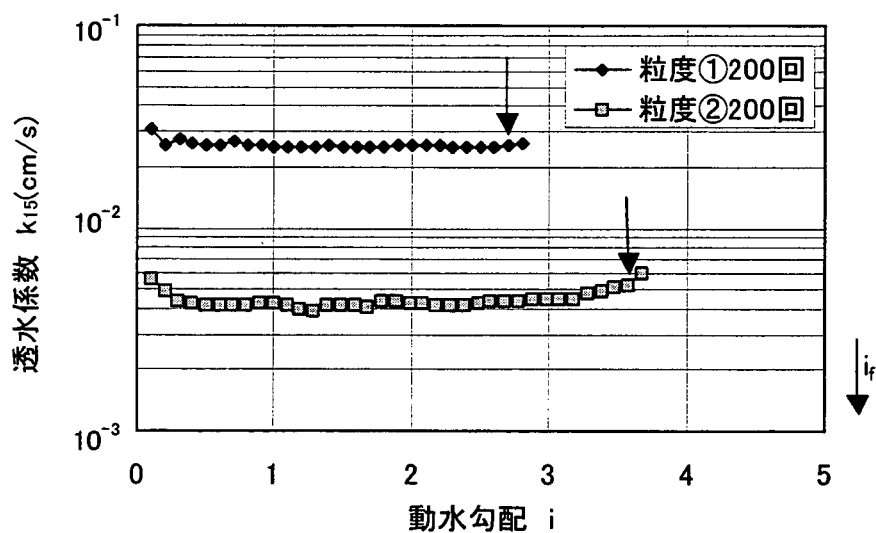


図-3.12 動水勾配と透水係数の関係（角礫）

表-3.6 室内パイピング試験結果の一覧（角礫）

試料名	打撃回数	乾燥密度 $\rho_d(t/m^3)$	間隙比 e	限界動水勾配 i_f	i_f 時の透水係数 $k_{15}(cm/s)$	初期透水係数 $k_{15}(cm/s)$
粒度①	200回	1.935	0.379	2.703	2.54×10^{-2}	2.56×10^{-2}
粒度②	200回	1.925	0.392	3.571	5.20×10^{-3}	4.23×10^{-3}

4. 考 察

4.1 検討項目

本章では、円礫である砂礫材料の凍結サンプリング法により採取した乱さない試料と攪乱再構成試料に対する室内パイピング試験結果を詳細に比較することで、試験対象とした砂礫材料のパイピング抵抗性を詳細に評価する。また、試験対象の砂礫材料のパイピング抵抗性に関して、室内パイピング試験による直接的評価のみならず粒度分布に基づく間接的評価も併せて行う。さらに、円礫と角礫（砂岩碎石）に対する室内パイピング試験結果を比較することにより礫形状の違いによるパイピング抵抗性の差についても考察し、試験対象である砂礫層のパイピング抵抗性を総合的に評価する。

4.2 砂礫材料の乱さない試料と攪乱再構成試料を用いたパイピング抵抗性の比較

表-4.1 に、試験対象の砂礫材料の乱さない試料と攪乱再構成試料の諸元とパイピング試験結果を示す。この結果より乱さない試料の限界動水勾配 i_f は約 30 であり、礫質土としてはかなり大きな値である。間隙比は攪乱再構成試料の 0.3~0.5 に対し、乱さない試料で 0.08~0.25 と乱さない試料の方がかなり小さい。また、今回の試験に用いた乱さない試料には扁平な大礫が多く含有されていたことを考慮して、粒径 25.4mm 以下の部分の間隙比を礫率補正により求めると 0.29~0.64 となり、攪乱再構成試料と差がないことがわかる。しかし、図-2.1 の乱さない試料の粒度分布から明らかなように、粒径 25.4mm 以上の粒子の質量百分率が 60~80% 程度であることから礫率補正の精度は低いと考え、以下の考察では礫率補正しない値を用いることとした。

図-4.1、4.2 に乱さない試料と攪乱再構成試料の動水勾配と流量の関係、動水勾配と透水係数の関係をそれぞれ示す。透水係数に関しては攪乱再構成試料 4 本の透水係数は $0.4 \sim 9.0 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ の範囲に分布しているが、これは乱さない試料の透水係数の範囲 $0.4 \sim 2.0 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ より 1 オーダ以上大きい。また、攪乱再構成試料 4 本の供試体の限界動水勾配 i_f は約 1~4 となっており、乱さない試料の 30 に対してかなり小さな値を示している。

表-4.1 供試体の諸元とパイピング試験結果一覧

試料名	打撃回数	合成比重 G	含水比 w(%)	乾燥密度 $\rho_d(\text{t/m}^3)$	間隙比 e	限界動水勾配 i_f	i_f 時の透水係数 $k_{15}(\text{cm/s})$
不攪乱①	—	2.558	5.35	2.364	0.082	32.43	5.08×10^{-4}
不攪乱②	—	2.620	7.84	2.188	0.197	34.82	2.03×10^{-3}
不攪乱③	—	2.549	11.11	2.032	0.254	26.97	4.24×10^{-4}
粒度①	0回	2.554	1.34	1.772	0.441	0.969	5.24×10^{-2}
	200回	2.554	1.34	1.883	0.356	2.955	1.82×10^{-2}
粒度②	0回	2.621	1.22	1.721	0.523	1.929	2.41×10^{-2}
	200回	2.621	1.22	1.868	0.403	4.035	7.28×10^{-3}

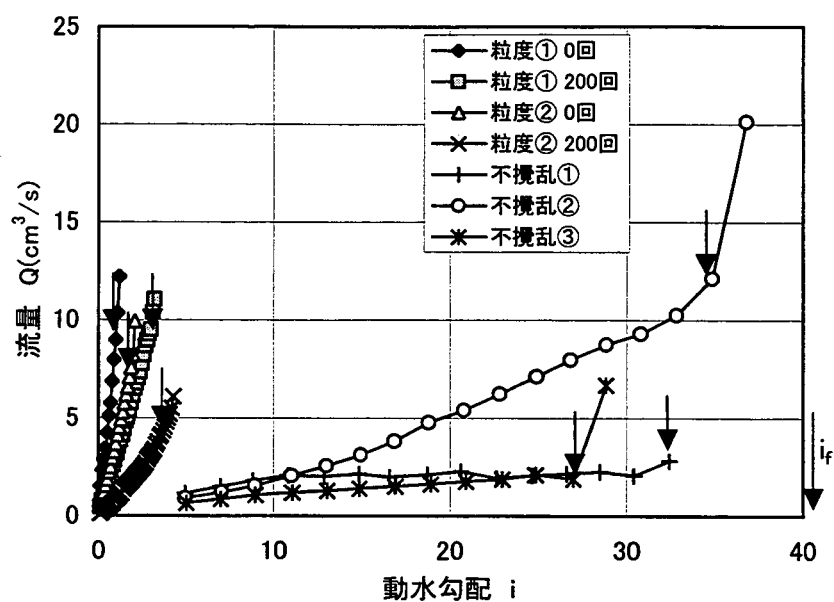


図-4.1 乱さない試料と攪乱再構成試料の動水勾配と流量の関係

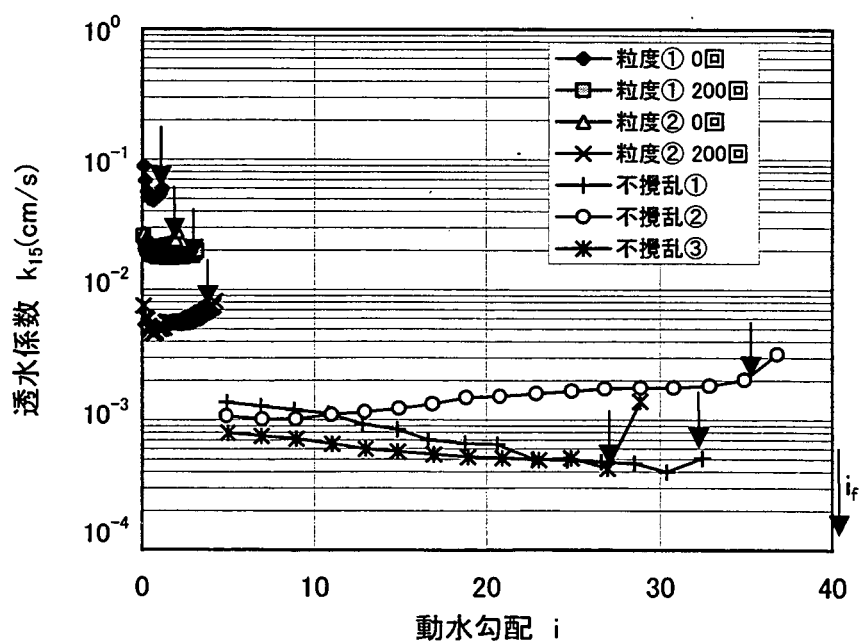


図-4.2 乱さない試料と攪乱再構成試料の動水勾配と透水係数の関係

図-4.3 に乱さない試料と攪乱再構成試料に対する室内パイピング試験結果から得られた間隙比 e と限界動水勾配 i_f の関係を示した。なお、図中には Terzaghi の理論限界動水勾配 $i_{ct}=(Gs-1)/(1+e)$ 、 Gs :比重($=2.6$)、 e :間隙比)と e の関係式も併せて描いている。この図から 200 回打撃の供試体の i_f は Terzaghi の理論解のそれよりもかなり大きいものの、凍結サンプリング法による乱さない試料の $i_f=30$ に比べるとかなり小さい。なお、乱さない試料の間隙比 e は $0.08 \sim 0.25$ の範囲に分布したが、凍結サンプリングによるため扁平な大礫を多く含有しており、礫率補正が成り立つとすると再構成試料の間隙比とその範囲についてはほとんど差がない。また Terzaghi の理論限界動水勾配式の傾向から攪乱再構成試料の間隙比 e を小さくできたとしても i_f が 30 までにも大きくはならないことは容易に予測できる。

この結果より、試験対象の砂礫層は原位置状態においてかなりの結合力を有し、攪乱再構成した場合よりもかなり大きいパイピング抵抗性を有していることがわかった。

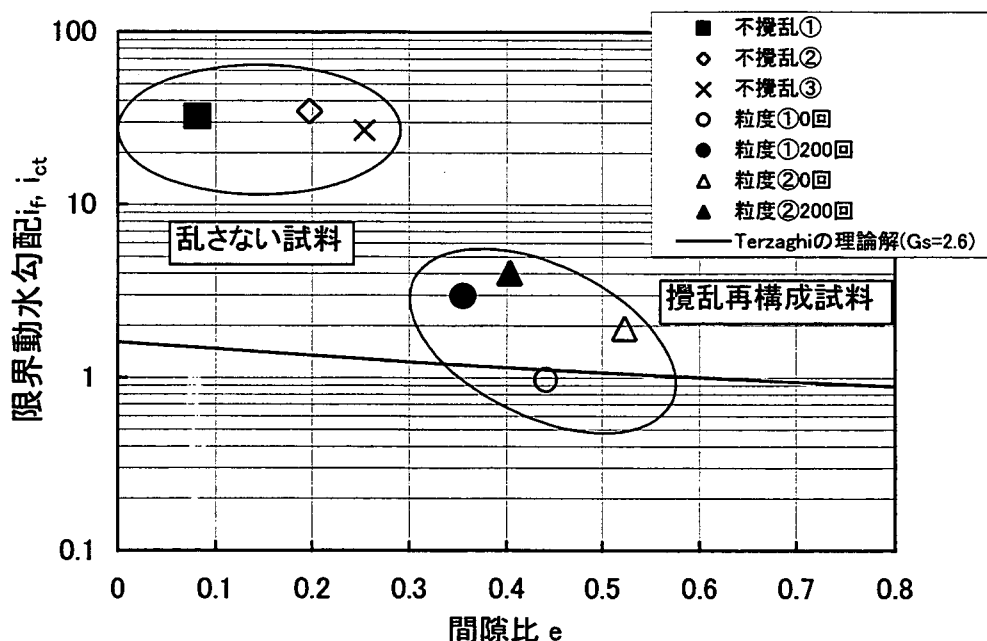


図-4.3 間隙比と限界動水勾配の関係

図-4.4 に乱さない試料と攪乱再構成試料の均等係数と限界動水勾配の関係を示す。なお、乱さない試料の均等係数は $D_{\max}=25.4\text{mm}$ の値を採用している（図-2.1 参照）。この図からも均等係数については両試料であまり大きな差がないに関わらず、乱さない試料は攪乱再構成に比べて約1オーダーも大きいパイピング抵抗性を有していることがわかる。

これらの結果より、試験対象の砂礫層は原位置状態においてかなりの結合力を有し、攪乱再構成した場合よりもかなり大きいパイピング抵抗性を有していることがわかった。

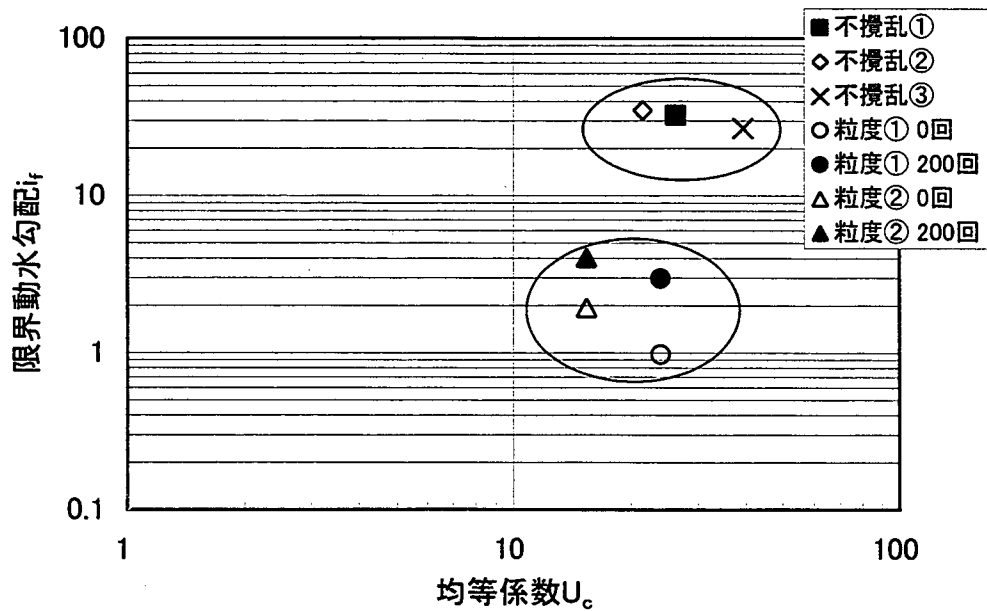


図-4.4 均等係数と限界動水勾配の関係

4.3 砂礫材料の粒度分布に基づくパイピング抵抗性の間接評価

砂礫材料の内部安定性(internal stability)とは、対象砂礫材料の相対的粗粒分の空隙から相対的細粒分が浸透や振動といった外力の载荷により流亡しないことを意味する。例えば、パイピング抵抗性に関してみると、内部安定的な粒度を有している場合には Terzaghi の理論動水勾配付近の動水勾配時にパイピングが発生するが、内部不安定的な粒度を有している場合には Terzaghi の理論動水勾配の $1/3 \sim 1/5$ 程度の動水勾配で相対的細粒分が流亡し、破壊に至る⁶⁾。内部安定性の評価は、実際にパイピング試験をして検証するのが最も望ましいが、既往の研究成果からは、対象となる砂礫材料の粒度分布から判定する方法が提案されている^{6), 7), 8)}。ただし、内部不安定と評価された場合でも、それはあくまでその可能性を有していることを意味しているということで、粒度分布に基づく基準をそのまま設計に適用すると、かなり保守的な設計になる恐れがあることも指摘されている。今回の砂礫材料については、図-4.5 に示す別途原位置で採取した試料の全粒度より求めた3つの代表粒度分布(粗・中・細粒度)と図-3.1 に示した $D_{\max}=25.4\text{mm}$ の再構成試料の2つの粒度分布を2種類の粒度判定方法で分析し、その内部安定性の判定を行った。

4.3.1 粒度分割法

粒度分割法では、粒度曲線を任意の粒径で粗粒部と細粒部に分割し、両者の間で以下のフィルタ則を満足するか否かを検討する。なお、分割点の範囲は極端に偏った部分での検討を避けるため、 $D_{10} \sim D_{90}$ までの範囲とした。

$$f = D'_{15}/d'_{85} \leq 4 \quad \cdots (4.1)$$

ここに、 D'_{15} ：粗粒部の 15% 通過粒径、 d'_{85} ：細粒部の 85% 通過粒径。

図-4.6、4.7 にそれぞれ全粒度と $D_{\max}=25.4\text{mm}$ の粒度の分割点の粒径と $f=D'_{15}/d'_{85}$ の関係を示す。これらの図より、 $D_{\max}=25.4\text{mm}$ においては全ての分割点で $f=D'_{15}/d'_{85} \leq 4$ を満足しているのに対し、全粒度を対象とした場合は粗・中粒度の分割点の粒径 $D \leq 10\text{mm}$ で一部不安定となっているが、その値の基準値 4 からの隔たりは小さく、対象とした砂礫層は概ね内部安定的な粒度を有していることがわかる。

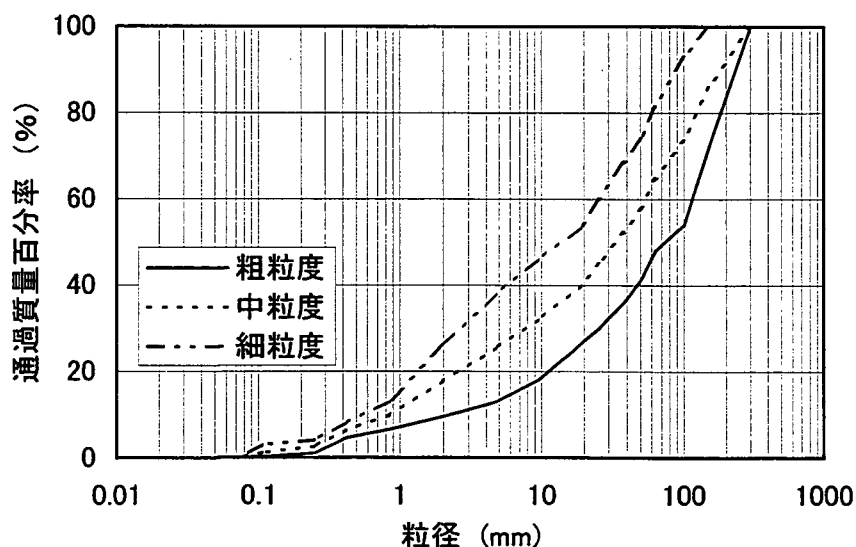


図-4.5 砂礫層の粒度分布（全粒度）

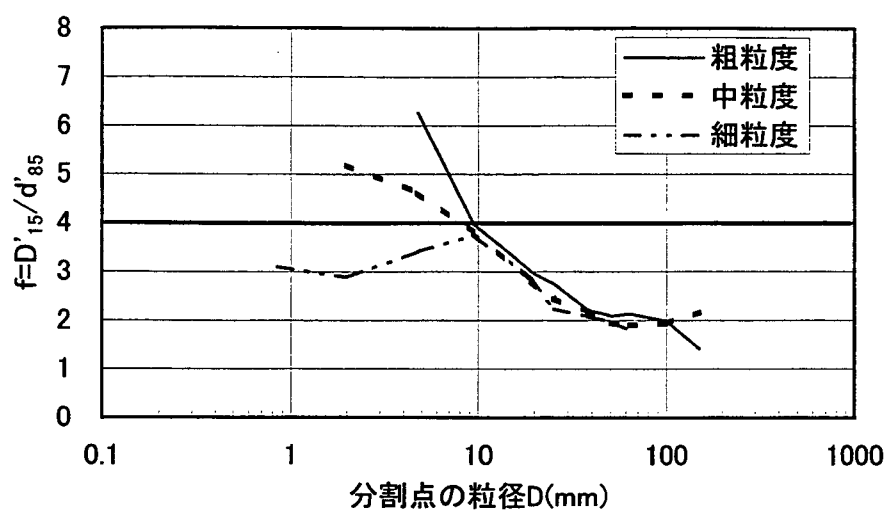


図-4.6 粒度分割法による内部安定性評価(全粒度)

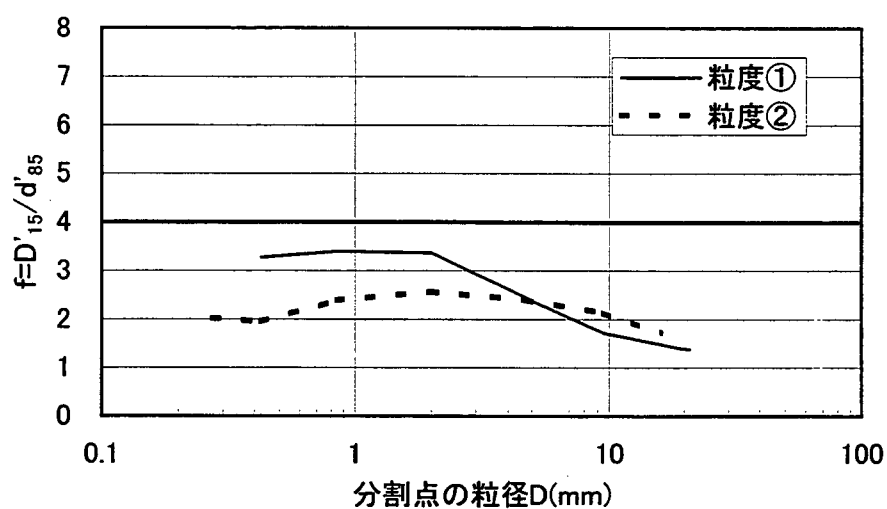


図-4.7 粒度分割法による内部安定性評価 ($D_{\max}=25.4\text{mm}$)

4.3.2 Kenney diagramによる内部安定性評価⁶⁾

砂礫材料のある粒度 D よりも小さい粒度を持つ土粒子の含有率を F 、粒径 D よりも大きく $4D$ よりも小さい土粒子の含有率を H として、図-4.5 に示した全粒度と図-3.1 に示した $D_{\max}=25.4\text{mm}$ の再構成試料の2つの粒度に対して F と H の関係をそれぞれ示したのが図-4.8、図-4.9 である。なお、その定義から $H+F=1$ が上限線となる。

$F-H$ 関係図において、内部安定性の適用範囲はその均等係数 U_c により以下のように規定されている。

$$U_c \leq 3 \quad \cdots \quad F=0.0-0.3 \quad \cdots (4.2)$$

$$U_c > 3 \quad \cdots \quad F=0.0-0.2 \quad \cdots (4.3)$$

$F-H$ 関係図より $H \geq 1.3F$ を常に満たせば内部安定性、そうでなければ内部不安定性とみなす。

全粒度および $D_{\max}=25.4\text{mm}$ 粒度ともに U_c は3以上であるため、 $F-H$ 関係図による内部安定性評価は $F=0.0 \sim 0.2$ の範囲で行うことになる。図-4.8、図-4.9 から $D_{\max}=25.4\text{mm}$ 粒度の粒度②を除いて、 $F \geq 1.3F$ を満たさない部分があり、粒度的には内部不安定要因があることがわかる。

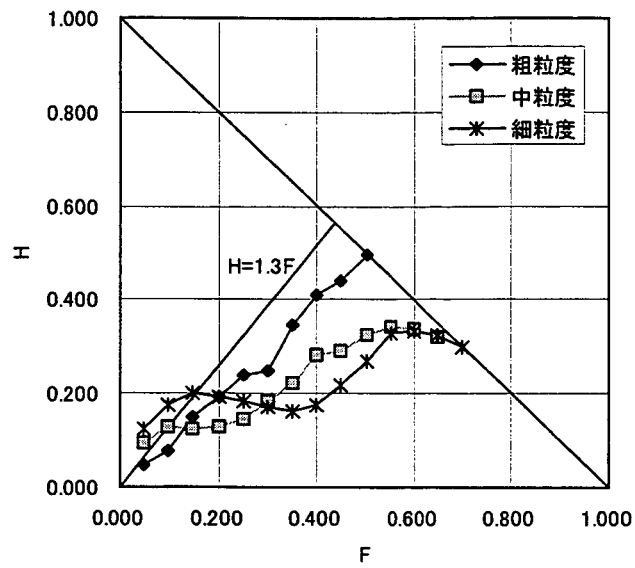


図-4.8 Kenney diagram による内部安定性評価(全粒度)

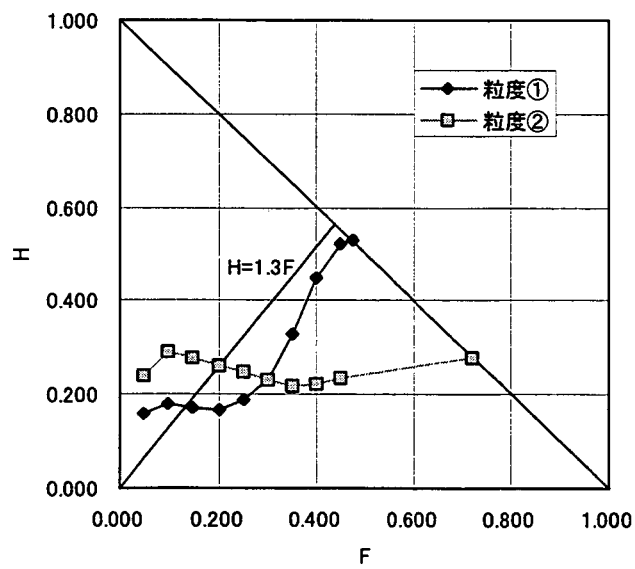


図-4.9 Kenney diagram による内部安定性評価($D_{\max}=25.4\text{mm}$)

4.4 円礫と角礫のパイピング抵抗性の比較

円礫と角礫の再構成試料に対するパイピング試験結果を比較することにより、パイピング抵抗性に及ぼす礫形状の影響について検討する。

図-4.10 に動水勾配 i と流量 Q の関係を示す。また、図-4.11 に動水勾配 i と透水係数 k_{15} の関係を示す。両図には限界動水勾配も描いている。円礫、角礫ともにパイピング試験を実施しているのは、200 回打撃の最大乾燥密度供試体のみである。両図より、供試体の透水係数や限界動水勾配については、相対的に細粒分の多い粒度②の方が透水係数が小さく、限界動水勾配が大きいという粒度の違いによる差は見られるものの、同じ設定粒度であれば礫形状による差は見られない。一般に、円礫の強度は角礫の強度より小さいと考えられているが、今回実施したパイピング試験結果からは、パイピング抵抗性に対する礫形状の差の影響は見られなかった。

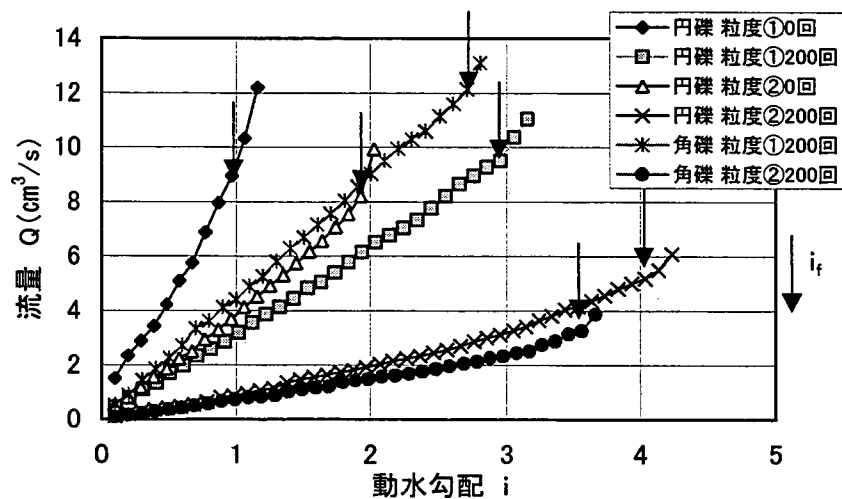


図-4.10 動水勾配と流量の関係

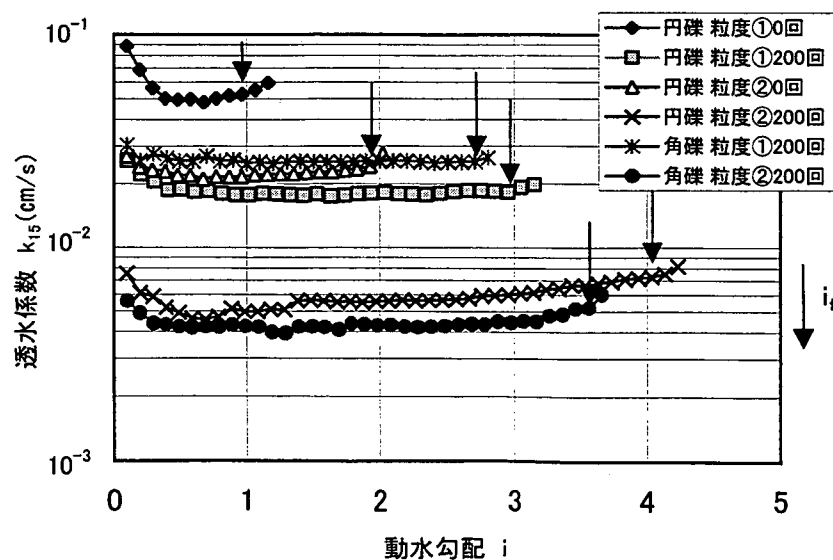


図-4.11 動水勾配と透水係数の関係

初期透水係数 k_{i15} と、10%粒径と間隙比の積 $D_{10} \cdot e$ との関係を図-4.12 に示す。図中には、円礫、角礫ごとの近似直線を示しているが、これからも礫形状による差がないことがわかる。また、図-4.13 に $D_{10} \cdot e$ と i_f 時の透水係数 k_{15} の関係を示す。 i_f 時の透水係数と初期透水係数に大きな差がないことから明らかなように $D_{10} \cdot e$ と k_{15} の関係に礫形状の影響はほとんどないことがわかる。

図-4.14 に間隙比 e と限界動水勾配 i_f の関係を示す。この図からも礫形状による限界動水勾配の差はなく、密度が影響していると考えられる。

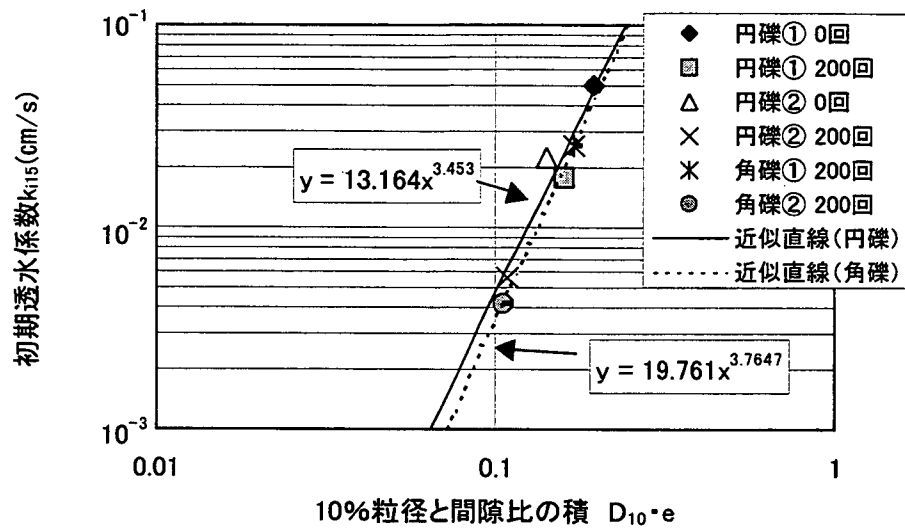


図-4.12 10%粒径と間隙比の積と初期透水係数の関係

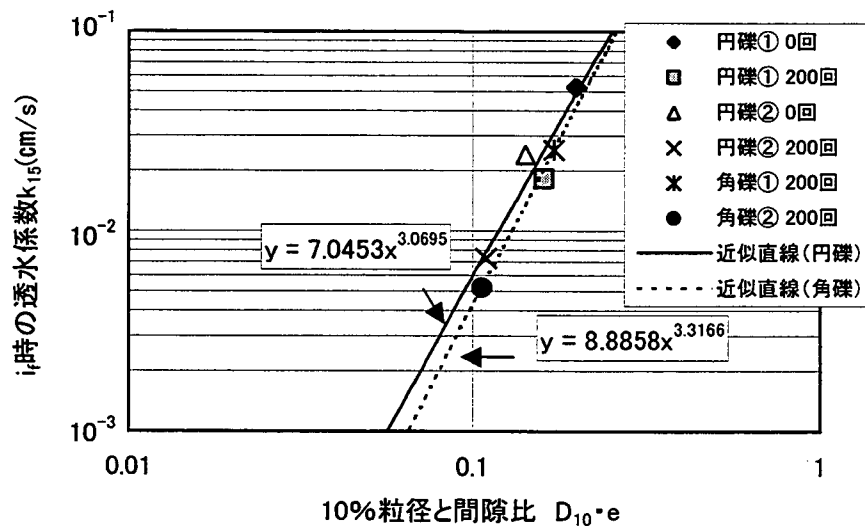


図-4.13 10%粒径と間隙比の積と i_f 時の透水係数の関係

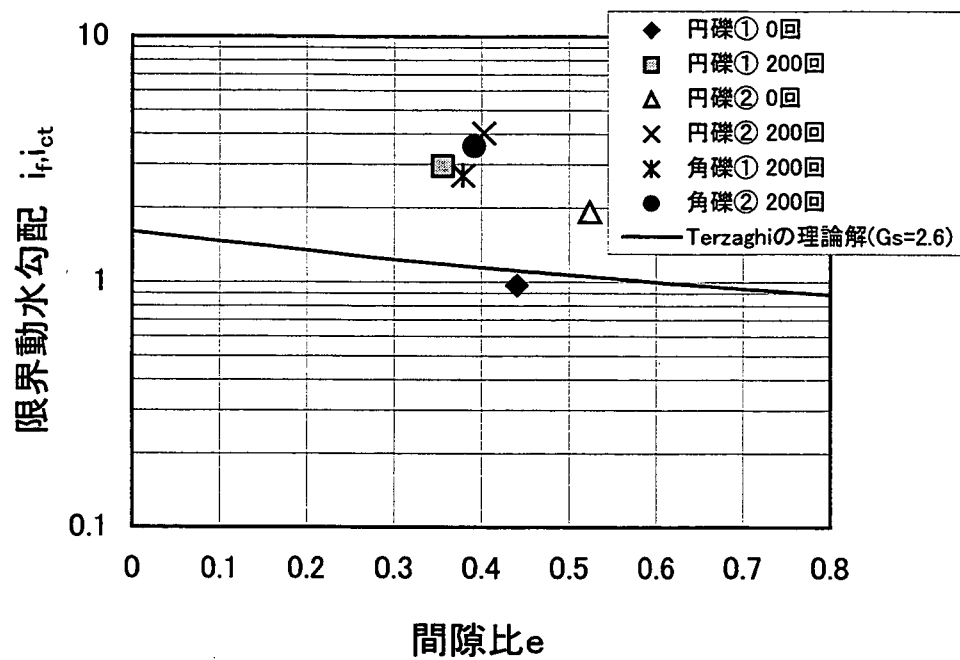


図-4.14 間隙比と限界動水勾配の関係

図-4.15 に i_f 時の透水係数 k_{15} の対数値と限界動水勾配 i_f の関係 ($\log k_{15} - i_f$ 関係)、図-4.16 に i_f 時の透水係数 k_{15} の対数値と限界動水勾配 i_f の関係 ($\log k_{15} - \log i_f$ 関係) を示す。また、限界動水勾配と透水係数の関係式として Sichart の式⁹⁾と中部電力の式¹⁰⁾を描いている。以下にこれらの式を示す。

$$\text{Sichart の式} \quad i_f = 1/(1.5 \times (k)^{1/2}) \quad \cdots(4.4)$$

$$\text{中部電力の式} \quad i_f = (1.671 \times 10^{-2}/k)^{0.623} \quad \cdots(4.5)$$

ここに、 i_f : 限界動水勾配、 k : 透水係数で cm/s 単位。

これらの図より、試験対象の砂礫の透水係数と限界動水勾配には既往の研究成果に見られる負の相関があることがわかる。また、試験対象の砂礫における関係は既往の研究成果である Sichart の式と中部電力の式との中間範囲に位置し、これらの式と比較的近いものとなっている。

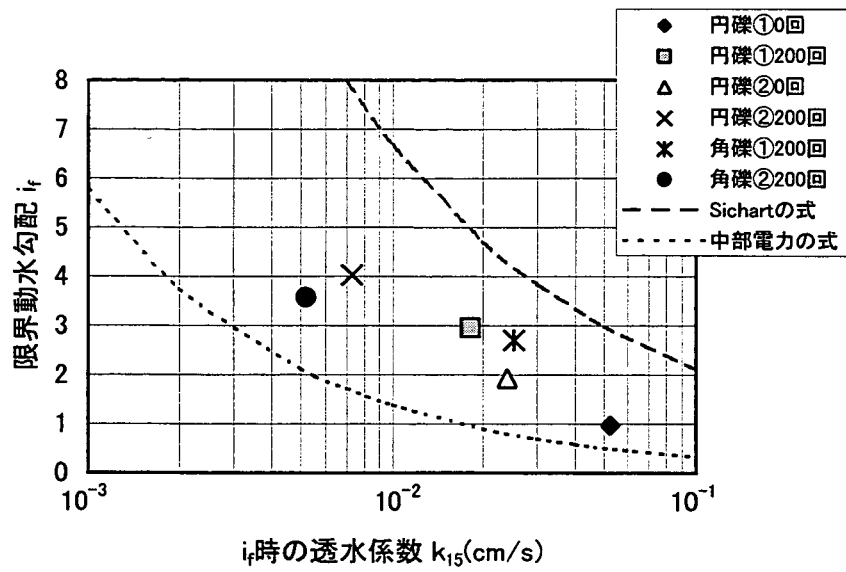


図-4.15 i_f 時の透水係数と限界動水勾配の関係($\log k_{15}$ - i_f 関係)

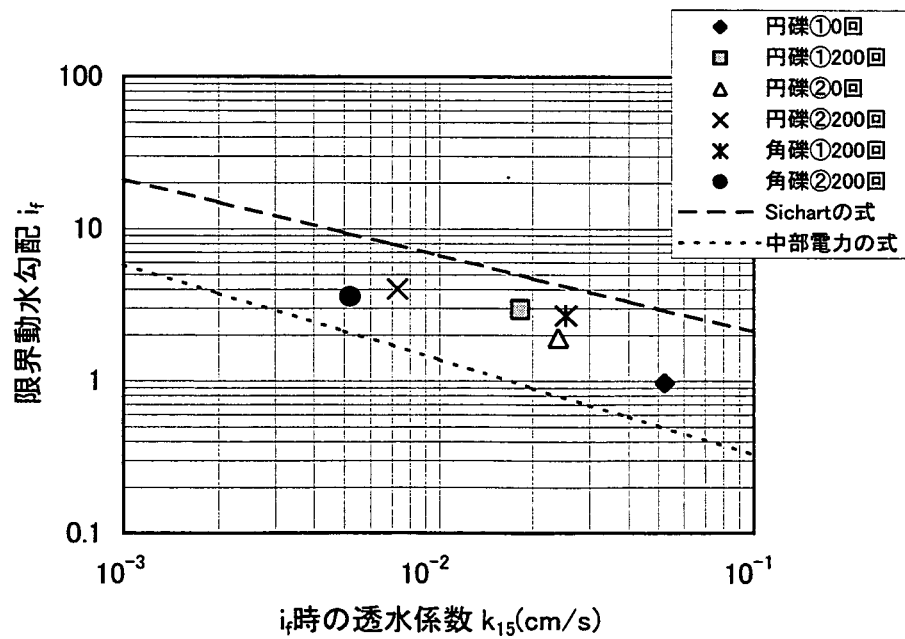


図-4.16 i_f 時の透水係数と限界動水勾配の関係($\log k_{15}$ - $\log i_f$)

5. まとめ

フィルダムの建設が予定されている砂礫層のパイピング抵抗性の総合評価を行った結果、次のような結論を得た。

- (1) 試験対象の凍結サンプリング法により採取した乱さない試料の限界動水勾配 i_f は約 30 と、礫質土としてはかなり大きな値を示した。
- (2) 試験対象の攪乱再構成試料の限界動水勾配 i_f は約 1~4 となっており、乱さない試料の約 30 に対してかなり小さな値を示した。
- (3) 凍結サンプリング法により試料を採取した砂礫層のパイピング抵抗性は再構成試料よりもかなり大きい原因として、基質部分がかなり固結していたことが考えられる。また、砂礫層のような礫質土のパイピング特性評価に際して、凍結サンプリング法による乱さない試料の利用が極めて有効であると考ええる。
- (4) 粒度分布より間接的に内部安定性を判定した結果、対象とした砂礫層は粒度分割法では概ね内部安定な、一方 kenney diagram によると概ね内部不安定な粒度を有していることがわかった。しかし、内部不安定の判定結果はあくまでその可能性を有していることを意味しているのであって、そのまま設計に適用することはかなり保守的な対応となる。
- (5) 再構成試料に対するパイピング試験結果から、同じ粒度であれば礫形状の違い（円礫か角礫か）によるパイピング抵抗性の差は見られなかった。
- (6) フィルダムの基礎地盤の未処理部に発生する浸透流の動水勾配は 1~2 程度であることから、対象とした砂礫層のパイピングに対する抵抗性は十分大きいことがわかる。

参 考 文 献

- 1) 今林 豊, 山口嘉一, 川崎将生, 吉田 等: 凍結サンプリング法による礫質土の乱さない試料に対する室内パイピング試験, 第33回地盤工学研究発表会講演集, pp.1851-1852, 1998年7月.
- 2) 時松孝次, 大原淳良: 講座-地盤の熱的問題-, 凍結サンプリング, 土と基礎, Vol.38, No.11, pp.61-68, 1990年11月.
- 3) 中村 昭, 安田成夫, 太田直之, 高橋三津彦: 凍結採取法による不攪乱砂礫材料の静的強度及び動的変形・強度特性, 建設省土木研究所資料, 第3325号, 1995年1月.
- 4) 山口嘉一, 松本徳久, 横井一秀: 粒度範囲の広い砂のパイピング特性, 第25回土質工学研究発表会講演集, pp.1677-1678, 1990年6月.
- 5) 山口嘉一, 山本重樹: 乱さない試料と再構成試料を用いた礫質土のパイピング抵抗性評価, 第35回地盤工学研究発表会講演集, pp.97-98, 2000年6月.
- 6) Kenny, T.C. and Lau, D.: Internal stability of granular filters, Can. Geotechnical Journal, Vol.22, pp.215-225, 1985.
- 7) Lowe III, J. and Binger, W.V.: Second Annual Uscold Lecture-Tarbela Dam Project, Pakistan-, 1982.
- 8) 松本徳久, 山口嘉一, 山野雅彦: フィルタ基準に関する考察, ダム技術, No.38, pp.17-30, 1990年2月.
- 9) J.タロブル(進藤一夫訳): 岩盤力学, 森北出版, 第4刷, pp.279, 1971年9月.
- 10) 朝倉喜美男, 長谷川英明: 土質材料のパイピングに対する抵抗性とフィルターの有効性について, 中部電力(株)総合技術研究所研究報告書, 1970年7月.

参 考 資 料

- (1) 乱さない試料に対する室内パイピング試験結果の数値データ
- (2) 最大・最小密度試験結果の数値データ
- (3) 攪乱再構成試料に対する室内パイピング試験結果の数値データ

乱さない試料に対する室内パイピング試験結果の数値データ

供試体
不攪乱①

12.4-12.55

断面積A cm²
175.82

補正係数
1.027

試験 動水勾配	測定時間 t	透水量 V	透水量 Q	透水係数 k	透水係数 k _{i15}
i	sec	g	cm ³ /s	cm/s	cm/s
4.914	60	68.8	1.1467	1.33E-03	1.36E-03
6.944	60	90.9	1.5150	1.24E-03	1.27E-03
8.844	30	54.1	1.8033	1.16E-03	1.19E-03
10.81	30	61.8	2.0600	1.08E-03	1.11E-03
12.841	30	61.1	2.0367	9.02E-04	9.26E-04
14.872	30	64.3	2.1433	8.20E-04	8.42E-04
16.64	30	59.8	1.9933	6.81E-04	7.00E-04
18.737	30	63.2	2.1067	6.39E-04	6.57E-04
20.637	30	68.4	2.2800	6.28E-04	6.45E-04
22.668	30	58.1	1.9367	4.86E-04	4.99E-04
24.633	30	61.9	2.0633	4.76E-04	4.89E-04
26.599	30	64.8	2.1600	4.62E-04	4.74E-04
28.498	30	67.7	2.2567	4.50E-04	4.63E-04
30.398	30	62	2.0667	3.87E-04	3.97E-04
32.429	30	84.5	2.8167	4.94E-04	5.07E-04

供試体
不攪乱②

4.95-5.1

断面積A cm²
175.96

補正係数
1.027

試験 動水勾配	測定時間 t	透水量 V	透水量 Q	透水係数 k	透水係数 k _{i15}
i	sec	g	cm ³ /s	cm/s	cm/s
4.899	30	27	0.9000	1.04E-03	1.07E-03
7.017	30	36.4	1.2133	9.83E-04	1.01E-03
8.937	30	46.4	1.5467	9.84E-04	1.01E-03
10.989	30	61.7	2.0567	1.06E-03	1.09E-03
12.975	30	76.6	2.5533	1.12E-03	1.15E-03
14.961	30	93.6	3.1200	1.19E-03	1.22E-03
16.881	30	114.5	3.8167	1.28E-03	1.32E-03
18.8	30	143.1	4.7700	1.44E-03	1.48E-03
20.786	30	161.9	5.3967	1.48E-03	1.52E-03
22.839	30	186.9	6.2300	1.55E-03	1.59E-03
24.891	30	213.4	7.1133	1.62E-03	1.67E-03
26.811	30	239.2	7.9733	1.69E-03	1.74E-03
28.863	30	261.9	8.7300	1.72E-03	1.77E-03
30.782	30	278.9	9.2967	1.72E-03	1.76E-03
32.835	30	307.6	10.2533	1.77E-03	1.82E-03
34.821	30	363.5	12.1167	1.98E-03	2.03E-03
36.74	30	603.2	20.1067	3.11E-03	3.19E-03

供試体
不攪乱③

12.25-12.4

断面積A cm²
175.89

補正係数
1.055

試験 動水勾配	測定時間 t	透水量 V	透水量 Q	透水係数 k	透水係数 k _{i15}
i	sec	g	cm ³ /s	cm/s	cm/s
4.983	120	79.3	0.6608	7.54E-04	7.95E-04
6.976	120	105	0.8750	7.13E-04	7.52E-04
8.97	120	128.8	1.0733	6.80E-04	7.18E-04
11.03	120	144	1.2000	6.19E-04	6.53E-04
13.02	120	156.1	1.3008	5.68E-04	5.99E-04
14.88	120	169.8	1.4150	5.41E-04	5.70E-04
16.94	120	183.7	1.5308	5.14E-04	5.42E-04
18.93	120	196.6	1.6383	4.92E-04	5.19E-04
20.93	60	106.7	1.7783	4.83E-04	5.10E-04
22.99	60	113.1	1.8850	4.66E-04	4.92E-04
24.85	60	127	2.1167	4.84E-04	5.11E-04
26.97	60	114.3	1.9050	4.02E-04	4.24E-04
28.83	60	401.1	6.6850	1.32E-03	1.39E-03

砂礫の最大密度・最小密度試験

試験名		円 礫	粒度名				粒度①	(供試体No. 1/1)		試験者		
砂礫の含水比 ω		(%)	1.34				供試体直径 D (cm)		15.00	モールド質量 (g)		5720
砂礫の密度 $G_b + \rho_s$		(g/cm ³)	2.554				供試体断面積 A (cm ²)		176.71	(モールド+砂礫)質量 (g)		7721
							底板円錐部体積 V1 (cm ³)		196.6	砂礫の質量 W (g)		2001
投入	残高測定 T (cm)	19.00	20.01	19.94	20.24	19.49	平均 19.78	供試体	高さ H (cm)	25.08-T	5.30	
		19.93	20.05	19.63	19.33	20.32			体積 V (cm ³)	H×A+V1	1133.2	
		19.66	19.65	19.33	19.72	19.91			湿潤密度 ρ_s (g/cm ³)	W/V	1.766	
		20.21	20.02	19.91	19.78	19.16			乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	$\rho_s / (1 + \omega / 100)$	1.743	
		19.78	20.04	19.43	20.41	19.58			間隙比 e	$[(G_b + \rho_s) / \rho_d] - 1$	0.465	
	観察記録	—										
合計 25回 の打撃	残高測定 T (cm)	19.60	19.77	19.84	19.84	20.15	平均 19.89	供試体	高さ H (cm)	25.08-T	5.19	
		20.07	19.73	19.86	19.91	20.44			体積 V (cm ³)	H×A+V1	1113.7	
		19.68	19.71	19.42	20.06	20.00			湿潤密度 ρ_s (g/cm ³)	W/V	1.797	
		20.52	19.88	20.20	19.75	19.38			乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	$\rho_s / (1 + \omega / 100)$	1.773	
		19.78	19.98	19.98	19.96	19.77			間隙比 e	$[(G_b + \rho_s) / \rho_d] - 1$	0.440	
	観察記録	試料上面は凸となり、モールド周辺部の砂分は下部に落下して5~10mmの礫が目立つが中央部には砂分が多く留まっている。モールドと接する厚さ5cmの下部半分は砂分となる。										
合計 50回 の打撃	残高測定 T (cm)	19.99	20.24	19.89	19.80	20.39	平均 20.02	供試体	高さ H (cm)	25.08-T	5.06	
		20.32	20.24	19.85	20.04	20.11			体積 V (cm ³)	H×A+V1	1090.8	
		19.70	19.66	19.41	20.30	20.22			湿潤密度 ρ_s (g/cm ³)	W/V	1.834	
		20.36	19.99	20.00	20.17	19.33			乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	$\rho_s / (1 + \omega / 100)$	1.810	
		19.84	20.13	20.25	20.26	19.93			間隙比 e	$[(G_b + \rho_s) / \rho_d] - 1$	0.411	
	観察記録	試料上面は更に凸となり、モールド周辺部の砂分は下部に更に落下して10mmの礫が目立つが中央部には砂分が多く留まっている。モールドと接する厚さ5cmの下部半分以上は砂分となる。										
合計 75回 の打撃	残高測定 T (cm)	20.03	20.33	19.93	20.02	20.62	平均 20.03	供試体	高さ H (cm)	25.08-T	5.05	
		20.34	20.07	19.85	20.05	20.54			体積 V (cm ³)	H×A+V1	1089.0	
		19.87	19.84	19.43	20.24	20.38			湿潤密度 ρ_s (g/cm ³)	W/V	1.837	
		20.36	19.95	19.89	20.34	19.28			乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	$\rho_s / (1 + \omega / 100)$	1.813	
		19.77	20.22	19.81	19.59	19.91			間隙比 e	$[(G_b + \rho_s) / \rho_d] - 1$	0.409	
	観察記録	試料上面は更に凸となり、モールド周辺部の砂分は下部に更に落下して10mmの礫が目立つが中央部の砂分は徐々に減少している。モールドと接する厚さ5cmの下部3cmは砂分がほとんどを占める。										
合計 100回 の打撃	残高測定 T (cm)	20.15	20.47	19.93	19.50	20.58	平均 20.05	供試体	高さ H (cm)	25.08-T	5.03	
		20.41	20.12	19.83	20.00	20.66			体積 V (cm ³)	H×A+V1	1085.5	
		19.49	19.86	19.44	20.47	20.46			湿潤密度 ρ_s (g/cm ³)	W/V	1.843	
		20.41	19.97	20.03	20.41	19.30			乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	$\rho_s / (1 + \omega / 100)$	1.819	
		19.83	20.07	20.30	19.66	19.93			間隙比 e	$[(G_b + \rho_s) / \rho_d] - 1$	0.404	
	観察記録	試料上面は合計75回打撃と変化は少ないが、中央部の砂分はやや少なくなり周辺部の10mm付近の礫は打撃により踊る。										
合計 150回 の打撃	残高測定 T (cm)	19.98	20.56	19.99	19.55	20.69	平均 20.05	供試体	高さ H (cm)	25.08-T	5.03	
		20.20	20.12	19.86	20.00	20.68			体積 V (cm ³)	H×A+V1	1085.5	
		19.81	20.05	19.52	20.57	20.19			湿潤密度 ρ_s (g/cm ³)	W/V	1.843	
		20.44	20.02	19.00	20.46	19.29			乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	$\rho_s / (1 + \omega / 100)$	1.819	
		19.81	20.31	20.47	19.76	19.87			間隙比 e	$[(G_b + \rho_s) / \rho_d] - 1$	0.404	
	観察記録	中央部の砂分がモールド周辺部に移動し、10mm付近の礫が現れた。周辺部の10mm付近の礫が打撃により踊る。モールドと接する厚さ5cmの下部は砂分で上部は5~10mmの礫が目立つ。										
合計 200回 の打撃	残高測定 T (cm)	20.07	20.42	20.08	19.97	20.56	平均 20.09	供試体	高さ H (cm)	25.08-T	4.99	
		20.39	19.74	19.87	19.82	20.16			体積 V (cm ³)	H×A+V1	1078.4	
		20.18	20.10	19.48	20.22	20.75			湿潤密度 ρ_s (g/cm ³)	W/V	1.856	
		19.84	20.16	20.06	20.69	19.37			乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	$\rho_s / (1 + \omega / 100)$	1.831	
		19.75	20.83	20.02	19.80	19.84			間隙比 e	$[(G_b + \rho_s) / \rho_d] - 1$	0.395	
	観察記録	試料上面の70%は10mm以上の礫が占め、中央部にはまだ砂分が残っている。周辺部の10mm付近の礫が打撃により踊る。モールドと接する厚さ5cmの下部は砂分で上部は10mm付近の礫が目立つ。										
合計 300回 の打撃	残高測定 T (cm)	20.06	19.66	20.05	20.08	20.74	平均 20.12	供試体	高さ H (cm)	25.08-T	4.96	
		20.48	20.17	19.90	19.93	20.57			体積 V (cm ³)	H×A+V1	1073.1	
		20.55	20.16	19.60	20.70	19.97			湿潤密度 ρ_s (g/cm ³)	W/V	1.865	
		20.24	19.86	20.06	20.81	19.46			乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	$\rho_s / (1 + \omega / 100)$	1.840	
		19.97	20.37	19.88	19.93	19.78			間隙比 e	$[(G_b + \rho_s) / \rho_d] - 1$	0.388	
	観察記録	合計200回の打撃と変化は少ないが、中央部の砂分は減少し直径5cmほどの範囲に残っている。										
合計 500回 の打撃	残高測定 T (cm)	19.92	19.76	19.74	20.81	20.43	平均 20.10	供試体	高さ H (cm)	25.08-T	4.98	
		20.61	20.19	19.97	20.12	19.99			体積 V (cm ³)	H×A+V1	1076.6	
		19.93	20.06	19.96	19.95	20.90			湿潤密度 ρ_s (g/cm ³)	W/V	1.859	
		20.06	20.30	20.30	20.44	19.38			乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	$\rho_s / (1 + \omega / 100)$	1.834	
		19.90	20.10	20.02	20.00	19.71			間隙比 e	$[(G_b + \rho_s) / \rho_d] - 1$	0.393	
	観察記録	試料上面は10mm以上の礫が目立ち、中央部の砂分は直径3cmほどの範囲に残っている。モールドと接する厚さ5cmの下部は砂分で上部は10mm付近の礫が非常に目立つ。										

砂礫の最大密度・最小密度試験

試料名 円 礫		粒度名 粒度②		(供試体No. 1/1)		試験者	
砂礫の含水比 ω (%)		1.22		供試体直径 D (cm)		15.00	モールド質量 (g)
砂礫の密度 $G_s + \rho_s$ (g/cm ³)		2.621		供試体断面積 A (cm ²)		176.71	(モールド+砂礫)質量 (g)
				底版円錐部体積 V ₁ (cm ³)		196.6	砂礫の質量 W (g)
投入	残高測定の定 T (cm)	19.22	19.06	19.20	19.23	19.05	平均
		19.52	19.46	19.03	19.04	19.46	19.28
		19.45	18.87	19.21	19.48	19.27	
		19.52	19.60	19.31	19.22	19.56	
		19.71	18.85	19.48	19.03	19.14	
	観察記録	—					
合計 25回の打撃	残高測定の定 T (cm)	19.70	19.25	19.40	19.60	19.15	平均
		17.79	19.51	19.26	19.40	19.55	19.39
		20.00	19.05	19.38	19.03	19.34	
		19.86	19.74	19.56	19.69	19.50	
		19.63	18.92	19.74	19.39	19.22	
	観察記録	モールド周辺部の砂分が下に落下し、試料上面がやや上に凸になる。モールドと接する厚さ5mmの下部の方が若干砂分が多くなる。					
合計 50回の打撃	残高測定の定 T (cm)	20.03	19.65	19.44	19.87	19.32	平均
		20.03	19.59	19.18	19.64	19.20	19.62
		20.32	19.46	19.39	19.87	19.48	
		19.95	19.73	19.49	19.84	19.69	
		19.35	19.12	19.65	19.84	19.38	
	観察記録	試料上面が明瞭に上に凸となり、モールド周辺部の砂分は下部に落下して5~10mmの礫が目立ってくる。モールドと接する厚さ5mmの下部半分は砂分が非常に多くなる。					
合計 75回の打撃	残高測定の定 T (cm)	19.98	19.19	19.48	20.08	19.34	平均
		19.97	19.66	19.39	19.80	19.68	19.69
		20.68	19.59	19.43	19.87	19.57	
		19.96	19.64	19.37	19.60	19.57	
		19.81	19.35	20.00	19.98	19.25	
	観察記録	試料上面は更に若干上に凸となり、中央部付近は5mm前後の礫が目立ち始める。モールドと接する厚さ5mmの下部半分は砂分となる。					
合計 100回の打撃	残高測定の定 T (cm)	20.02	19.14	19.31	19.68	19.81	平均
		20.01	19.48	19.35	19.87	19.59	19.75
		20.39	19.73	19.53	20.09	19.73	
		20.06	19.62	19.63	19.91	19.95	
		19.80	20.03	20.02	19.77	19.22	
	観察記録	試料上面は更に上に凸となり、モールド周辺部の5~10mm前後の礫は打撃により踊りが大きい。モールドと接する厚さ5mmの下部より半分は砂分となる。					
合計 150回の打撃	残高測定の定 T (cm)	19.90	19.10	19.44	19.93	19.60	平均
		20.12	19.35	19.49	19.63	19.76	19.76
		20.11	19.72	19.53	20.07	19.67	
		19.99	19.69	19.48	20.20	20.15	
		20.00	19.90	20.07	19.83	19.30	
	観察記録	打撃によりモールド周辺部の0mm前後の礫が踊ると同時に、周辺部の砂分がモールドの方に寄った感がある。モールド周辺部は5~10mm前後の礫が目立つ。モールドと接する厚さ5cmの下部より2/3は砂分となる。					
合計 200回の打撃	残高測定の定 T (cm)	20.26	19.23	19.47	19.90	20.01	平均
		20.51	19.60	19.44	19.63	19.84	19.83
		20.32	19.70	19.54	20.07	19.88	
		20.28	19.59	19.38	19.96	19.85	
		19.92	19.89	20.08	19.91	19.40	
	観察記録	試料上面の凸の状態は変化はないが、モールド周辺部は5~10mm前後の礫が目立つ。試料上面中央部付近は5mm前後の礫が目立ってくる。モールドと接する厚さ5cmの下部より3/4は砂分となる。					
合計 300回の打撃	残高測定の定 T (cm)	20.21	19.37	19.70	20.35	19.89	平均
		19.96	19.76	19.69	19.66	19.50	19.87
		19.82	19.77	19.73	20.45	20.26	
		20.29	19.66	19.68	19.60	19.93	
		19.82	20.21	20.23	19.83	19.50	
	観察記録	モールド周辺部に20mm前後の礫が目立ってきた。モールド周辺部以外でもまだ砂分は多く見られ、中央部付近では5mm前後の礫がやや目立つ。					
合計 500回の打撃	残高測定の定 T (cm)	19.84	19.84	19.79	19.97	20.01	平均
		20.34	19.63	19.61	19.98	19.75	19.94
		20.33	19.78	19.77	20.15	19.66	
		20.25	19.73	19.74	20.58	19.83	
		20.17	19.98	20.25	20.00	19.62	
	観察記録	モールド周辺部付近に10~20mm前後の礫が集中してきた。モールドと接する部分には5mm前後の礫が多い。試料上面中央部は砂分がやや減少した感がある。モールドと接する厚さ5cmの下部より3/4は砂分である。					

砂礫の最大密度・最小密度試験

試料名		角 礫		粒度名		粒度①		(供試体 No. 1/1)		試 験 者		
砂礫の含水比 ω (%)				0.32		供 試 体 直 径 D (cm)		15.00		モー ル ド 質 量 (g)		5719
砂礫の密度 $G_b + \rho_s$ (g/cm ³)				2.669		供 試 体 断 面 積 A (cm ²)		176.71		(モー ル ド + 砂 礫) 質 量 (g)		7721
						底 板 円 錐 部 体 積 V1 (cm ³)		196.6		砂 礫 の 質 量 W (g)		2002
投 入	残 高 測 定 T (cm)	19.35	19.14	19.19	19.85	19.06	平 均	供 試 体	高 さ H (cm)	25.08-T	5.56	
		19.71	19.57	19.67	19.49	19.66			体 積 V (cm ³)	H×A+V1	1179.1	
		20.00	19.05	19.86	19.67	19.72			湿潤密度 ρ_s (g/cm ³)	W/V	1.698	
		19.93	19.25	18.96	19.66	19.23			乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	$\rho_s / (1 + \omega / 100)$	1.693	
		19.53	19.31	19.89	19.97	19.33			間 隙 比 e	$([G_b + \rho_s] / \rho_d) - 1$	0.576	
	観 察 記 録	—										
合 計 25回 の 打 撃	残 高 測 定 T (cm)	19.76	19.19	19.77	19.77	20.20	平 均	供 試 体	高 さ H (cm)	25.08-T	5.29	
		20.31	19.58	19.70	19.72	19.56			体 積 V (cm ³)	H×A+V1	1131.4	
		20.02	19.17	19.85	20.42	19.83			湿潤密度 ρ_s (g/cm ³)	W/V	1.769	
		20.21	19.75	19.20	19.77	19.15			乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	$\rho_s / (1 + \omega / 100)$	1.763	
		19.88	20.37	20.00	20.13	19.48			間 隙 比 e	$([G_b + \rho_s] / \rho_d) - 1$	0.514	
	観 察 記 録	試料上面は若干凸となる。モー ル ド 周 辺 部 の 砂 分 は 下 部 に 落 下 し、礫 が 目 立 つ け る。 モー ル ド と 接 す る 厚 さ 5cm の 下 部 に は 砂 分 が 多 く な る が 最 下 部 に 集 中 は し て い な い。										
合 計 50回 の 打 撃	残 高 測 定 T (cm)	20.10	19.25	19.98	20.22	19.66	平 均	供 試 体	高 さ H (cm)	25.08-T	5.12	
		20.21	19.79	19.69	20.15	19.73			体 積 V (cm ³)	H×A+V1	1101.4	
		20.22	20.18	19.92	20.66	20.13			湿潤密度 ρ_s (g/cm ³)	W/V	1.818	
		20.27	19.92	19.32	20.00	20.04			乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	$\rho_s / (1 + \omega / 100)$	1.812	
		20.07	19.93	20.05	19.99	19.64			間 隙 比 e	$([G_b + \rho_s] / \rho_d) - 1$	0.473	
	観 察 記 録	試料上面は更に凸となり、モー ル ド 周 辺 部 の 砂 分 は 下 部 に 更 に 落 下 し て 5 ~ 10mm の 礫 が 目 立 つ が 中 央 部 に は 多 く の 砂 分 が 溜 ま っ て い る。モー ル ド と 接 す る 厚 さ 5cm の 下 部 半 分 に は 砂 分 が 多 く な る。										
合 計 75回 の 打 撃	残 高 測 定 T (cm)	20.36	19.33	19.99	20.48	19.42	平 均	供 試 体	高 さ H (cm)	25.08-T	5.11	
		20.39	19.52	19.55	20.14	19.88			体 積 V (cm ³)	H×A+V1	1099.6	
		19.93	19.74	19.96	20.39	20.47			湿潤密度 ρ_s (g/cm ³)	W/V	1.821	
		20.27	19.70	20.05	20.21	20.22			乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	$\rho_s / (1 + \omega / 100)$	1.815	
		19.47	20.14	19.73	20.19	19.83			間 隙 比 e	$([G_b + \rho_s] / \rho_d) - 1$	0.471	
	観 察 記 録	試料上面は更に凸となり、モー ル ド 周 辺 部 の 砂 分 は ほ ぼ 落 下 し て 10mm の 礫 が 目 立 つ が 中 央 部 に は ま だ 砂 分 が 残 っ て い る。モー ル ド と 接 す る 厚 さ 5cm の 下 部 半 分 に は 砂 分 が 多 く な る。										
合 計 100回 の 打 撃	残 高 測 定 T (cm)	20.40	19.45	19.76	20.15	20.12	平 均	供 試 体	高 さ H (cm)	25.08-T	5.07	
		20.42	19.87	19.47	20.24	19.83			体 積 V (cm ³)	H×A+V1	1092.5	
		20.02	20.01	19.91	20.34	20.08			湿潤密度 ρ_s (g/cm ³)	W/V	1.832	
		20.10	20.02	19.43	19.88	19.40			乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	$\rho_s / (1 + \omega / 100)$	1.826	
		20.25	20.56	20.50	20.09	20.00			間 隙 比 e	$([G_b + \rho_s] / \rho_d) - 1$	0.462	
	観 察 記 録	試料上面は更に若干凸になり、中 央 部 の 砂 分 は や や 少 な く な り 10mm 以 上 の 礫 が 目 立 つ。 モー ル ド と 接 す る 厚 さ 5cm の 下 部 半 分 は 砂 分 と な る。										
合 計 150回 の 打 撃	残 高 測 定 T (cm)	20.40	19.34	19.92	20.11	20.56	平 均	供 試 体	高 さ H (cm)	25.08-T	5.00	
		20.57	19.39	19.42	20.23	19.82			体 積 V (cm ³)	H×A+V1	1080.2	
		20.03	20.03	19.94	20.79	19.99			湿潤密度 ρ_s (g/cm ³)	W/V	1.853	
		20.47	20.13	19.49	20.69	19.59			乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	$\rho_s / (1 + \omega / 100)$	1.847	
		20.59	20.04	19.96	20.58	19.93			間 隙 比 e	$([G_b + \rho_s] / \rho_d) - 1$	0.445	
	観 察 記 録	試料上面は更に若干凸になり、10mm 以 上 の 礫 が 非 常 に 目 立 ち、中 央 部 の 砂 分 は 少 な く な っ て 小 礫 が 目 立 つ け る。モー ル ド と 接 す る 厚 さ 5cm の 下 部 半 分 が 砂 分 で 上 部 が 10cm 前 後 の 礫 が 目 立 つ。										
合 計 200回 の 打 撃	残 高 測 定 T (cm)	20.20	19.37	20.00	20.64	19.89	平 均	供 試 体	高 さ H (cm)	25.08-T	4.93	
		20.21	19.97	19.50	19.93	20.17			体 積 V (cm ³)	H×A+V1	1067.8	
		21.50	19.94	19.80	20.30	20.26			湿潤密度 ρ_s (g/cm ³)	W/V	1.875	
		20.74	19.99	19.50	19.94	20.38			乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	$\rho_s / (1 + \omega / 100)$	1.869	
		20.44	20.27	20.59	20.24	19.95			間 隙 比 e	$([G_b + \rho_s] / \rho_d) - 1$	0.428	
	観 察 記 録	合 計 150 回 打 撃 と 変 化 は 少 な い が、試 料 上 面 中 央 部 の 砂 分 は ほ ぼ 下 部 に 落 下 し 非 常 に 少 な い。										
合 計 300回 の 打 撃	残 高 測 定 T (cm)	20.19	19.42	19.71	20.80	20.43	平 均	供 試 体	高 さ H (cm)	25.08-T	4.90	
		20.65	20.07	19.94	20.38	20.06			体 積 V (cm ³)	H×A+V1	1062.5	
		20.26	20.03	20.05	20.54	20.04			湿潤密度 ρ_s (g/cm ³)	W/V	1.884	
		20.58	19.94	19.50	19.89	19.46			乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	$\rho_s / (1 + \omega / 100)$	1.878	
		20.46	20.55	20.69	20.69	20.09			間 隙 比 e	$([G_b + \rho_s] / \rho_d) - 1$	0.421	
	観 察 記 録	試料上面は更に若干凸になり、10mm 以 上 の 礫 が 非 常 に 目 立 ち 砂 分 は ほとんど 見 ら れ な い。打 撃 に よ り モー ル ド 周 辺 部 の 礫 の 踊 り が 多 い。モー ル ド と 接 す る 厚 さ 5cm の 下 部 半 分 が 砂 分 上 部 が 10cm の 礫 が 目 立 つ。										
合 計 500回 の 打 撃	残 高 測 定 T (cm)	20.20	19.50	19.90	20.80	19.95	平 均	供 試 体	高 さ H (cm)	25.08-T	4.78	
		20.66	20.60	20.12	20.49	20.29			体 積 V (cm ³)	H×A+V1	1041.3	
		20.33	19.94	19.84	20.85	20.41			湿潤密度 ρ_s (g/cm ³)	W/V	1.923	
		20.49	20.18	19.51	20.94	20.38			乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	$\rho_s / (1 + \omega / 100)$	1.917	
		20.80	20.65	20.70	19.84	20.11			間 隙 比 e	$([G_b + \rho_s] / \rho_d) - 1$	0.392	
	観 察 記 録	合 計 300 回 打 撃 と 変 化 は 少 な い が、試 料 上 面 中 央 部 付 近 に は 2 ~ 5mm の 小 礫 が や や 見 ら れ る。										

砂礫の最大密度・最小密度試験

試料名		角 礫		粒度名		粒度②		(供試体No. 1/1)		試 験 者		
砂礫の含水比 ω (%)				0.38		供 試 体 直 径 D (cm)		15.00		モー ル ド 質 量 (g)		5721
砂礫の密度 $G_b + \rho_s$ (g/cm ³)				2.680		供 試 体 断 面 積 A (cm ²)		176.71		(モー ル ド + 砂 礫) 質 量 (g)		7823
						底 板 円 錐 部 体 積 V1 (cm ³)		196.6		砂 礫 の 質 量 W (g)		2102
投 入	残 高 測 定 T (cm)	19.11	19.24	19.01	18.98	19.41	平 均	供 試 体	高 さ H (cm)	25.08-T	5.74	
		19.79	19.44	19.17	19.39	19.18			体 積 V (cm ³)	H×A+V1	1210.9	
		19.49	19.37	19.27	19.32	19.36			湿 潤 密 度 ρ_r (g/cm ³)	W/V	1.736	
		19.40	19.10	19.22	19.18	19.02			乾 燥 密 度 ρ_d (g/cm ³)	$\rho_r/(1+\omega/100)$	1.729	
		19.79	19.59	19.50	19.33	19.79			間 隙 比 e	$[(G_b + \rho_s)/\rho_d]-1$	0.550	
	観 察 記 録	—										
合 計 25回 の 打 撃	残 高 測 定 T (cm)	19.73	19.69	19.24	19.35	19.66	平 均	供 試 体	高 さ H (cm)	25.08-T	5.48	
		20.08	19.73	19.46	19.63	19.45			体 積 V (cm ³)	H×A+V1	1165.0	
		19.88	19.55	19.51	19.55	19.56			湿 潤 密 度 ρ_r (g/cm ³)	W/V	1.804	
		19.78	19.50	19.43	19.38	19.25			乾 燥 密 度 ρ_d (g/cm ³)	$\rho_r/(1+\omega/100)$	1.797	
		19.89	19.74	19.74	19.56	19.65			間 隙 比 e	$[(G_b + \rho_s)/\rho_d]-1$	0.491	
	観 察 記 録	モー ル ド 周 辺 部 の 砂 分 が 下 部 に 落 下 し、試 料 上 面 は 若 干 上 に 凸 に なる。 モー ル ド と 接 す る 厚 さ 5cm の 下 部 の 方 に 若 干 砂 分 が 多 く 感 じ ら れ る。										
合 計 50回 の 打 撃	残 高 測 定 T (cm)	19.92	19.58	19.46	19.67	19.68	平 均	供 試 体	高 さ H (cm)	25.08-T	5.34	
		20.21	19.75	19.55	19.82	19.66			体 積 V (cm ³)	H×A+V1	1140.2	
		20.00	19.70	19.60	19.78	19.74			湿 潤 密 度 ρ_r (g/cm ³)	W/V	1.844	
		19.98	19.52	19.64	19.60	19.71			乾 燥 密 度 ρ_d (g/cm ³)	$\rho_r/(1+\omega/100)$	1.837	
		19.67	20.00	19.81	19.56	19.77			間 隙 比 e	$[(G_b + \rho_s)/\rho_d]-1$	0.459	
	観 察 記 録	モー ル ド 周 辺 部 の 砂 分 が 下 部 に 落 下 し、試 料 上 面 は 更 に 若 干 上 に 凸 に なる。周 辺 部 は 5～10mm の 礫 が 目 立 ち 始 め る。モー ル ド と 接 す る 厚 さ 5cm の 下 部 半 分 は 砂 分 と なる。										
合 計 75回 の 打 撃	残 高 測 定 T (cm)	20.22	19.84	19.54	19.80	19.70	平 均	供 試 体	高 さ H (cm)	25.08-T	5.27	
		20.31	19.78	19.64	19.95	19.64			体 積 V (cm ³)	H×A+V1	1127.9	
		20.35	19.80	19.59	19.86	19.84			湿 潤 密 度 ρ_r (g/cm ³)	W/V	1.864	
		20.03	19.60	19.76	19.87	19.43			乾 燥 密 度 ρ_d (g/cm ³)	$\rho_r/(1+\omega/100)$	1.857	
		19.64	19.98	19.48	19.61	19.88			間 隙 比 e	$[(G_b + \rho_s)/\rho_d]-1$	0.443	
	観 察 記 録	試 料 上 面 が 明 瞭 に 上 に 凸 と な り、中 央 部 付 近 は 5mm 前 後 の 礫 が 目 立 ち 始 め る。 モー ル ド と 接 す る 厚 さ 5cm の 下 部 よ り 半 分 以 上 用 は 砂 分 と なる。										
合 計 100回 の 打 撃	残 高 測 定 T (cm)	20.22	19.85	19.60	20.08	19.80	平 均	供 試 体	高 さ H (cm)	25.08-T	5.22	
		20.53	19.66	19.69	20.06	19.75			体 積 V (cm ³)	H×A+V1	1119.0	
		20.25	19.84	19.64	20.09	19.81			湿 潤 密 度 ρ_r (g/cm ³)	W/V	1.878	
		20.05	19.63	19.67	19.85	19.39			乾 燥 密 度 ρ_d (g/cm ³)	$\rho_r/(1+\omega/100)$	1.871	
		19.57	19.98	19.90	19.77	19.80			間 隙 比 e	$[(G_b + \rho_s)/\rho_d]-1$	0.432	
	観 察 記 録	打 撃 に よ り モー ル ド 周 辺 部 の 10mm 前 後 の 礫 が 踊 る と 同 時 に、周 辺 部 の 砂 分 が モー ル ド の 方 に 若 干 寄 っ て く る。 モー ル ド と 接 す る 厚 さ 5cm の 下 部 よ り 2/3 が 砂 分 と なる。										
合 計 150回 の 打 撃	残 高 測 定 T (cm)	20.40	19.93	19.68	20.12	19.80	平 均	供 試 体	高 さ H (cm)	25.08-T	5.18	
		20.07	19.67	19.75	20.00	19.88			体 積 V (cm ³)	H×A+V1	1112.0	
		20.76	19.89	19.50	20.08	19.76			湿 潤 密 度 ρ_r (g/cm ³)	W/V	1.890	
		20.29	19.79	19.69	19.90	19.44			乾 燥 密 度 ρ_d (g/cm ³)	$\rho_r/(1+\omega/100)$	1.883	
		19.47	19.76	19.90	19.98	19.97			間 隙 比 e	$[(G_b + \rho_s)/\rho_d]-1$	0.423	
	観 察 記 録	合 計 100 回 の 打 撃 と 変 化 は 少 な い が、打 撃 に よ り 周 辺 部 の 10mm 前 後 の 礫 の 踊 り が 多 い。 モー ル ド と 接 す る 厚 さ 5cm の 下 部 よ り 3/4 が 砂 分 と なる。										
合 計 200回 の 打 撃	残 高 測 定 T (cm)	20.31	19.96	19.70	20.19	19.64	平 均	供 試 体	高 さ H (cm)	25.08-T	5.15	
		20.58	19.73	19.72	20.20	19.88			体 積 V (cm ³)	H×A+V1	1106.7	
		20.24	19.95	19.73	20.23	19.83			湿 潤 密 度 ρ_r (g/cm ³)	W/V	1.899	
		20.24	19.64	19.73	20.04	19.43			乾 燥 密 度 ρ_d (g/cm ³)	$\rho_r/(1+\omega/100)$	1.892	
		19.36	20.08	20.06	20.10	19.69			間 隙 比 e	$[(G_b + \rho_s)/\rho_d]-1$	0.416	
	観 察 記 録	周 辺 部 は 打 撃 に よ り 礫 の 踊 り が 多 く、5mm 以 上 の 礫 が 目 立 つ。試 料 上 面 の 凸 の 状 態 に 変 化 は な い。 中 央 部 付 近 の 砂 分 の 動 き は 少 な い。モー ル ド と 接 す る 厚 さ 5cm の 下 部 よ り 3/4 は 砂 分 で あ る。										
合 計 300回 の 打 撃	残 高 測 定 T (cm)	20.51	19.98	19.59	20.30	20.07	平 均	供 試 体	高 さ H (cm)	25.08-T	5.07	
		20.17	19.56	19.75	20.13	20.00			体 積 V (cm ³)	H×A+V1	1092.5	
		20.49	20.05	19.84	20.10	19.99			湿 潤 密 度 ρ_r (g/cm ³)	W/V	1.924	
		20.09	19.73	19.90	20.30	20.15			乾 燥 密 度 ρ_d (g/cm ³)	$\rho_r/(1+\omega/100)$	1.917	
		19.44	20.30	20.27	19.89	19.76			間 隙 比 e	$[(G_b + \rho_s)/\rho_d]-1$	0.398	
	観 察 記 録	合 計 200 回 打 撃 と 変 化 は 少 な い が、試 料 上 面 中 央 部 付 近 は 5mm 付 近 の 礫 が 若 干 目 立 ち 始 め る。										
合 計 500回 の 打 撃	残 高 測 定 T (cm)	20.55	20.01	19.95	20.51	20.12	平 均	供 試 体	高 さ H (cm)	25.08-T	5.03	
		20.35	19.43	19.84	19.96	19.68			体 積 V (cm ³)	H×A+V1	1085.5	
		19.98	20.28	19.86	20.23	19.95			湿 潤 密 度 ρ_r (g/cm ³)	W/V	1.936	
		20.39	20.00	19.94	20.09	20.13			乾 燥 密 度 ρ_d (g/cm ³)	$\rho_r/(1+\omega/100)$	1.929	
		20.27	19.82	20.23	19.94	19.84			間 隙 比 e	$[(G_b + \rho_s)/\rho_d]-1$	0.389	
	観 察 記 録	試 料 上 面 中 央 部 付 近 は 5～10mm 前 後 の 礫 が 若 干 目 立 ち 始 め、砂 分 が 減 少 し た 感 が あ る。モー ル ド 周 辺 部 の 礫 は 打 撃 に よ り 踊 り、10mm 前 後 の 礫 が 多 く なる。モー ル ド と 接 す る 厚 さ 5cm の 下 部 か ら 3/4 は 砂 分 で あ る。										

攪乱再構成試料に対する室内パイピング試験結果の数値データ(円礫)

供試体 粒度①0回 断面積A (cm ²)	試験 動水勾配	測定時間 t	透水量 V	透水量 Q	透水係数 k	透水係数 k _{i15}	コメント
	i	sec	g	cm ³ /s	cm/s	cm/s	
176.71 補正係数 0.859	0.097	120	211.4	1.513	1.03E-01	8.84E-02	変化なし
	0.194	120	328.3	2.350	7.99E-02	6.86E-02	変化なし
	0.291	120	404.0	2.892	6.55E-02	5.63E-02	変化なし
	0.387	120	480.6	3.440	5.84E-02	5.02E-02	変化なし
	0.484	120	590.9	4.230	5.75E-02	4.94E-02	モールド側壁の1ヶ所よりエアがやや多く出て、透水量が増加した
	0.581	120	712.0	5.097	5.79E-02	4.97E-02	中央部付近よりエアがやや多く出て透水量が増加した
	0.678	120	804.4	5.758	5.60E-02	4.81E-02	水位上昇と同時にモールド側壁よりエアが多量に出て、透水量測定中にも時々出る
	0.775	120	960.6	6.876	5.84E-02	5.02E-02	上面より2cm下部のモールド側壁で0.5mm以下の砂粒約10個が踊る
	0.872	120	1112.5	7.964	6.02E-02	5.17E-02	上面より2cm下部のモールド側壁で0.5mm以下の砂粒約30個が踊る
	0.969	120	1252.2	8.964	6.10E-02	5.24E-02	水位上昇と同時にモールド側壁よりエアが多量に出て、透水量測定中にも出る
	1.065	120	1444.9	10.343	6.39E-02	5.49E-02	上面より2cm下部のモールド側壁で1mm以下の砂粒約10個が踊る
	1.162	120	1704.4	12.201	6.92E-02	5.94E-02	下部のモールド側壁には上面より下部12cmまで水みちが明瞭に見られ、水面がやや揺れているのがわかる。

砂粒が踊ること、水みちが明瞭なこと、透水量が急増したことから、破壊したものと思われる。

攪乱再構成試料に対する室内パイピング試験結果の数値データ(円礫)

供試体 粒度①200回 断面積A(cm ²) 補正係数	試験	測定時間	透水量	透水量	透水係数	透水係数	コメント
	動水勾配 i	t sec	V g	Q cm ³ /s	k cm/s	k ₁₁₅ cm/s	
176.71 0.859	0.012	300	161.4	0.462	2.99E-02	2.57E-02	変化なし
	0.204	180	166.6	0.795	2.57E-02	2.21E-02	変化なし
	0.306	180	232.0	1.107	2.39E-02	2.05E-02	変化なし
	0.408	180	282.9	1.350	2.18E-02	1.87E-02	変化なし
	0.509	120	238.3	1.706	2.20E-02	1.89E-02	変化なし
	0.611	120	276.7	1.981	2.13E-02	1.83E-02	変化なし
	0.713	120	326.2	2.335	2.15E-02	1.85E-02	変化なし
	0.815	120	362.7	2.596	2.10E-02	1.80E-02	水位上昇と同時にモールド側壁より大きなエアが出る
	0.917	120	399.5	2.860	2.06E-02	1.77E-02	水位上昇と同時にモールド側壁の1ヶ所よりやや多くエアが出る
	1.019	120	445.2	3.187	2.06E-02	1.77E-02	水位上昇と同時にモールド側壁の1ヶ所よりやや多くエアが少量出る
	1.121	120	496.8	3.556	2.10E-02	1.80E-02	水位上昇と同時にモールド側壁の2ヶ所よりやや多くエアが出る
	1.223	120	540.1	3.866	2.08E-02	1.79E-02	水位上昇と同時にモールド側壁の4ヶ所よりやや多くエアが出る
	1.325	120	577.9	4.137	2.06E-02	1.77E-02	水位上昇と同時にモールド側壁の1ヶ所より少量のエアが出る
	1.426	120	621.4	4.448	2.05E-02	1.76E-02	水位上昇と同時にモールド側壁の3ヶ所と中央部付近の1ヶ所よりやや多くエアが出る
	1.528	120	674.7	4.830	2.08E-02	1.79E-02	水位上昇と同時にモールド側壁の1ヶ所と中央部付近の1ヶ所よりやや多くエアが出る
	1.630	120	705.5	5.050	2.04E-02	1.75E-02	水位上昇と同時にモールド側壁よりエアが少量出る
	1.732	120	754.5	5.401	2.05E-02	1.76E-02	水位上昇と同時にモールド側壁よりやや多くエアが出る
	1.834	120	809.0	5.791	2.08E-02	1.79E-02	水位上昇と同時にモールド側壁より大きくエアが出る
	1.936	120	859.8	6.155	2.10E-02	1.80E-02	水位上昇と同時にモールド側壁よりエアが少量出る
	2.038	120	908.7	6.505	2.11E-02	1.81E-02	水位上昇と同時にモールド側壁全体よりやや多くエアが出る
	2.140	120	945.6	6.769	2.08E-02	1.79E-02	水位上昇と同時にモールド側壁よりやや多くエアが出る
	2.241	120	984.4	7.047	2.07E-02	1.78E-02	水位上昇と同時にモールド側壁よりやや多くエアが出る
	2.343	120	1025.2	7.339	2.06E-02	1.77E-02	水位上昇と同時にモールド側壁よりやや多くエアが出る
	2.445	120	1086.0	7.774	2.10E-02	1.80E-02	水位上昇と同時にモールド側壁より多くエアが出る
	2.547	120	1148.3	8.220	2.13E-02	1.83E-02	透水量測定中モールド側壁よりひんばんにエアが出る
	2.649	120	1210.5	8.665	2.15E-02	1.85E-02	透水量測定中モールド側壁と中央部付近よりひんばんにエアが出る
	2.751	120	1253.5	8.973	2.15E-02	1.85E-02	水位上昇と同時にモールド側壁よりやや多くエアが出る
	2.853	120	1297.8	9.290	2.14E-02	1.84E-02	水位上昇と同時にモールド側壁よりやや多くエアが出る
	2.955	120	1329.4	9.516	2.12E-02	1.82E-02	水位上昇と同時にモールド側壁よりやや多くエアが出る
	3.057	120	1449.6	10.377	2.24E-02	1.92E-02	モールド側壁から4cm離れた試料上面で0.5mm以下の砂粒十個が踊ったり止まったりする
	3.158	120	1543.9	11.052	2.31E-02	1.98E-02	モールド側壁から4cm離れた試料上面で0.5mm以下の砂粒十個が踊ったり止まったりする

攪乱再構成試料に対する室内パイピング試験結果の数値データ(円礫)

供試体 粒度②0回 断面積A (cm ²) 補正係数	試験 動水勾配	測定時間 t	透水量 V	透水量 Q	透水係数 k	透水係数 k _{i15}	コメント
	i	sec	g	cm ³ /s	cm/s	cm/s	
176.71 0.859	0.096	300	159.6	0.457	3.12E-02	2.68E-02	変化なし
	0.193	180	170.8	0.815	2.78E-02	2.39E-02	変化なし
	0.289	180	248.3	1.185	2.70E-02	2.32E-02	変化なし
	0.386	120	218.3	1.563	2.67E-02	2.29E-02	変化なし
	0.482	120	260.4	1.864	2.55E-02	2.19E-02	変化なし
	0.579	120	312.6	2.238	2.55E-02	2.19E-02	水位上昇と同時にモールド側壁より大きなエアが出る
	0.675	120	350.2	2.507	2.44E-02	2.10E-02	モールド側壁より小さなエアが2つ出る
	0.771	120	411.3	2.944	2.51E-02	2.16E-02	変化なし
	0.868	120	460.9	3.299	2.50E-02	2.15E-02	水位上昇と同時にモールド側壁と中央部付近より多量のエアが出る
	0.964	120	514.2	3.681	2.51E-02	2.16E-02	水位上昇と同時にモールド側壁より小さなエアが2つ出る
	1.061	120	576.3	4.125	2.56E-02	2.20E-02	モールド側壁よりやや多くエアが出る
	1.157	120	631.6	4.521	2.57E-02	2.21E-02	水位上昇と同時にモールド側壁よりわずかにエアが出る
	1.254	120	686.9	4.917	2.58E-02	2.22E-02	モールド側壁と中央部付近よりやや多くエアが出る
	1.350	120	740.8	5.303	2.58E-02	2.22E-02	透水量測定中モールド側壁より時々エアが少量出る
	1.446	120	803.7	5.753	2.62E-02	2.25E-02	供試体最下部のモールド側壁で0.5mmの砂粒数個が踊る
	1.543	120	863.5	6.181	2.64E-02	2.27E-02	水位上昇と同時にモールド側壁と中央部付近より多量のエアが出る
	1.639	120	918.0	6.571	2.64E-02	2.27E-02	0.5mm前後の砂粒数個が踊るがしばらくして止まる
	1.736	120	989.1	7.080	2.69E-02	2.31E-02	透水量測定中モールド側壁より時々エアが少量出る
	1.832	120	1056.0	7.559	2.72E-02	2.34E-02	透水量測定中モールド側壁より時々エアが少量出る
	1.929	120	1147.5	8.214	2.81E-02	2.41E-02	透水量測定中モールド側壁より時々エアが少量出る
	2.025	120	1388.5	9.939	3.24E-02	2.78E-02	水位上昇と同時にモールド側壁の全体より多量のエアが出る

砂粒が踊っている1ヶ所の真下に長さ4cmの水みちが見られること、透水量が増加傾向を示すことから、破壊したものと思われる。

攪乱再構成試料に対する室内パイピング試験結果の数値データ(円礫)

供試体 粒度②200回 断面積A(cm ²) 176.71 補正係数 0.859	試験	測定時間	透水量	透水量	透水係数	透水係数	コメント
	動水勾配 i	t sec	V g	Q cm ³ /s	k cm/s	k _{it5} cm/s	
	0.098	720	109.8	0.131	8.77E-03	7.53E-03	変化なし
	0.197	420	103.7	0.212	7.09E-03	6.09E-03	変化なし
	0.295	360	129.1	0.308	6.82E-03	5.86E-03	変化なし
	0.394	300	126.8	0.363	6.07E-03	5.21E-03	変化なし
	0.492	300	149.5	0.428	5.73E-03	4.92E-03	変化なし
	0.591	240	134.9	0.483	5.39E-03	4.63E-03	変化なし
	0.689	240	155.9	0.558	5.33E-03	4.58E-03	変化なし
	0.787	240	183.3	0.656	5.48E-03	4.71E-03	モールド側壁よりわずかにエア-
	0.886	180	168.7	0.805	5.98E-03	5.14E-03	変化なし
	0.984	180	181.9	0.868	5.81E-03	4.99E-03	変化なし
	1.083	120	133.4	0.955	5.81E-03	4.99E-03	変化なし
	1.181	120	148.9	1.066	5.94E-03	5.10E-03	変化なし
	1.280	120	160.8	1.151	5.93E-03	5.09E-03	モールド側壁よりわずかにエア-
	1.378	120	190.4	1.363	6.52E-03	5.60E-03	水位上昇と同時にモールド側壁より少量 のエア-が出る
	1.476	120	205.2	1.469	6.55E-03	5.63E-03	変化なし
	1.575	120	217.5	1.557	6.52E-03	5.60E-03	変化なし
	1.673	120	229.0	1.639	6.45E-03	5.54E-03	モールド側壁よりやや大きなエア-が数個 出た
	1.772	120	242.8	1.738	6.46E-03	5.55E-03	水位上昇と同時にモールド側壁より少量 のエア-が数個出る
	1.870	120	254.2	1.820	6.41E-03	5.51E-03	変化なし
	1.969	120	269.5	1.929	6.46E-03	5.55E-03	モールド側壁より大きなエア-が1つ出た
	2.067	120	285.1	2.041	6.51E-03	5.59E-03	モールド側壁より小さなエア-が1つ出た
	2.165	120	301.3	2.157	6.57E-03	5.64E-03	変化なし
	2.264	120	313.2	2.242	6.52E-03	5.60E-03	モールド側壁より小さなエア-が1つ出た
	2.362	120	327.5	2.344	6.54E-03	5.62E-03	水位上昇と同時にモールド側壁の2ヶ所よ りやや多くエア-が出る
	2.461	120	344.2	2.464	6.60E-03	5.67E-03	水位上昇と同時にモールド側壁より小さな エア-が数個出る
	2.559	120	358.6	2.567	6.61E-03	5.68E-03	水位上昇と同時にモールド側壁とモールド より3cm離れた所からやや多くエア-が出る
	2.657	120	378.2	2.707	6.71E-03	5.76E-03	モールド側壁より小さなエア-が1つ出た
	2.756	120	402.0	2.878	6.88E-03	5.91E-03	水位上昇と同時にモールド側壁と中央部 よりエア-が数個出る
	2.854	120	420.3	3.009	6.95E-03	5.97E-03	水位上昇と同時にモールド側壁より小さな エア-が数個出る
	2.953	120	436.4	3.124	6.97E-03	5.99E-03	モールド側壁より小さなエア-が1つ出る

3.051	120	457.2	3.273	7.07E-03	6.07E-03	モールド側壁より小さなエア-が1つ出る
3.150	120	477.5	3.418	7.15E-03	6.14E-03	水位上昇と同時にモールド側壁の2ヶ所よりやや大きなエア-が出る
3.248	120	508.9	3.643	7.39E-03	6.35E-03	水位上昇と同時にモールド側壁と中央部付近よりエア-が多く出る
3.346	120	531.8	3.807	7.50E-03	6.44E-03	水位上昇30秒後にモールド側壁よりやや多くエア-が出る
3.445	120	565.6	4.049	7.74E-03	6.65E-03	透水量測定時にモールド側壁より小さなエア-が時々出続ける
3.543	120	582.8	4.172	7.75E-03	6.66E-03	水位上昇と同時にモールド側壁よりやや多くエア-が出る
3.642	120	609.9	4.366	7.89E-03	6.78E-03	水位上昇と同時にモールド側壁よりやや多くエア-が出る
3.740	120	637.7	4.565	8.04E-03	6.91E-03	水位上昇と同時にモールド側壁より少量エア-が出る
3.839	120	672.8	4.816	8.27E-03	7.10E-03	水位上昇と同時にモールド側壁より多くエア-が出て、以後も時々出続ける
3.937	120	698.9	5.003	8.37E-03	7.19E-03	水位上昇と同時にモールド側壁より多くエア-が出て、以後も時々出続ける
4.035	120	725.3	5.192	8.47E-03	7.28E-03	水位上昇と同時にモールド側壁より多くエア-が出て、以後も時々出続ける
4.134	120	769.2	5.506	8.77E-03	7.53E-03	水位上昇と同時にモールド側壁より多くエア-が出て、以後も時々出続ける
4.232	120	852.2	6.100	9.50E-03	8.16E-03	水位上昇と同時にモールド側壁より多くエア-が出て、以後も時々出続ける

透水量が増加傾向を示すことから破壊したものと思われる

攪乱再構成試料に対する室内パイピング試験結果の数値データ(角礫)

供試体 粒度①200回 断面積A(cm ²) 補正係数 0.859	試験 動水勾配	測定時間 t sec	透水量 V g	流量 Q cm ³ /s	透水係数 k cm/s	透水係数 k ₁₁₅ cm/s	コメント
	i						
	0.100	240	150.0	0.537	3.54E-02	3.04E-02	変化なし
	0.200	180	190.5	0.909	2.99E-02	2.57E-02	変化なし
	0.300	120	204.2	1.462	3.21E-02	2.76E-02	変化なし
	0.400	120	260.5	1.865	3.07E-02	2.64E-02	変化なし
	0.501	120	316.4	2.265	2.98E-02	2.56E-02	変化なし
	0.601	120	380.0	2.720	2.98E-02	2.56E-02	変化なし
	0.701	120	467.4	3.346	3.14E-02	2.70E-02	変化なし
	0.801	120	504.4	3.611	2.97E-02	2.55E-02	変化なし
	0.901	120	576.8	4.129	3.02E-02	2.59E-02	変化なし
	1.001	120	615.1	4.403	2.90E-02	2.49E-02	モールド側壁より大きなエアが1つ出る
	1.101	120	684.7	4.901	2.93E-02	2.52E-02	変化なし
	1.201	120	734.0	5.254	2.89E-02	2.48E-02	水位上昇と同時にモールド側壁より大きなエアが1つ出る
	1.301	120	811.4	5.808	2.95E-02	2.53E-02	水位上昇と同時にモールド側壁より大きなエアが数個出る
	1.401	120	880.8	6.305	2.97E-02	2.55E-02	モールド側壁より小さなエアが1つ出る
	1.502	120	935.8	6.699	2.93E-02	2.52E-02	水位上昇と同時にモールド側壁より大きなエアが数個出る
	1.602	120	1000.8	7.164	2.95E-02	2.53E-02	水位上昇と同時にモールド側壁の1ヶ所より大きなエアが数個出る
	1.702	120	1057.6	7.571	2.93E-02	2.52E-02	モールド側壁より大きなエアが1つ出る
	1.802	120	1124.3	8.048	2.95E-02	2.53E-02	水位上昇と同時にモールド側壁より3cm離れた2ヶ所よりエアがやや多く出る
	1.902	120	1196.2	8.563	2.97E-02	2.55E-02	水位上昇と同時にモールド側壁より小さなエアが少量出る
	2.002	120	1260.9	9.026	2.97E-02	2.55E-02	水位上昇と同時にモールド側壁の全体より多くエアが出る
	2.102	120	1328.9	9.513	2.98E-02	2.56E-02	水位上昇と同時にモールド側壁より小さなエアが少量出る
	2.202	120	1389.3	9.945	2.98E-02	2.56E-02	水位上昇と同時にモールド側壁の2ヶ所よりやや多くエアが出る
	2.302	120	1439.9	10.307	2.95E-02	2.53E-02	水位上昇と同時にモールド側壁の1ヶ所よりやや多くエアが出て、30秒後に同じ所よりエアが多く出る
	2.402	120	1481.2	10.603	2.91E-02	2.50E-02	水位上昇と同時にモールド側壁の1ヶ所よりやや多くエアが出る
	2.503	120	1557.8	11.151	2.93E-02	2.52E-02	水位上昇と同時にモールド側壁の1ヶ所より少量のエアが出る
	2.603	120	1620.9	11.603	2.93E-02	2.52E-02	試料上面の下部2cmのモールド側壁で0.5mm前後の砂粒数個漏る
	2.703	120	1695.1	12.134	2.96E-02	2.54E-02	水位上昇と同時にモールド側壁の1ヶ所より少量のエアが出て、以後も時々出る
	2.803	120	1830.6	13.104	3.08E-02	2.65E-02	試料上面のモールド側壁2ヶ所で1mm以下の砂粒数個が漏り、うち1ヶ所の真上の水面が揺れて水の噴き出し明確にわかる

水の噴き出しが明確にわかることと、透水量が増加傾向を示すことから、破壊したものと思われる

攪乱再構成試料に対する室内パイピング試験結果の数値データ(角礫)

供試体 粒度②200回 断面積A (cm ²) 補正係数 0.859	試験 動水勾配 i	測定時間 t sec	透水量 V g	流量 Q cm ³ /s	透水係数 k cm/s	透水係数 k _{i15} cm/s	コメント
	0.099	900	102.7	0.098	6.48E-03	5.57E-03	変化なし
	0.198	600	119.4	0.171	5.69E-03	4.89E-03	変化なし
	0.298	420	112.5	0.230	5.10E-03	4.38E-03	変化なし
	0.397	360	126.6	0.302	5.02E-03	4.31E-03	変化なし
	0.496	300	129.2	0.370	4.91E-03	4.22E-03	変化なし
	0.595	240	121.8	0.436	4.83E-03	4.15E-03	変化なし
	0.694	240	144.4	0.517	4.91E-03	4.22E-03	変化なし
	0.794	240	164.6	0.589	4.89E-03	4.20E-03	変化なし
	0.893	180	141.9	0.677	4.99E-03	4.29E-03	モールド側壁より小さなエアが1つ出た
	0.992	180	155.5	0.742	4.92E-03	4.23E-03	変化なし
	1.091	180	169.9	0.811	4.90E-03	4.21E-03	変化なし
	1.190	120	117.1	0.838	4.63E-03	3.98E-03	変化なし
	1.290	120	125.3	0.897	4.59E-03	3.94E-03	変化なし
	1.389	120	144.7	1.036	4.91E-03	4.22E-03	変化なし
	1.488	120	155.1	1.110	4.91E-03	4.22E-03	モールド側壁の1ヶ所よりエアが多く出た
	1.587	120	164.3	1.176	4.88E-03	4.19E-03	モールド側壁よりエアがやや多く出た
	1.687	120	170.2	1.218	4.76E-03	4.09E-03	供試体中心部付近の2ヶ所よりエアがやや多く出た
	1.786	120	192.6	1.379	5.09E-03	4.37E-03	変化なし
	1.885	120	200.9	1.438	5.03E-03	4.32E-03	モールド側壁よりエアがやや多く出た
	1.984	120	209.0	1.496	4.97E-03	4.27E-03	変化なし
	2.083	120	221.1	1.583	5.01E-03	4.30E-03	変化なし
	2.183	120	227.3	1.627	4.91E-03	4.22E-03	変化なし
	2.282	120	236.4	1.692	4.89E-03	4.20E-03	変化なし
	2.381	120	248.0	1.775	4.91E-03	4.22E-03	変化なし
	2.480	120	260.1	1.862	4.95E-03	4.25E-03	変化なし
	2.579	120	274.9	1.968	5.03E-03	4.32E-03	水位上昇と同時にモールド側壁の1ヶ所よりエアが少量出た
	2.679	120	288.2	2.063	5.08E-03	4.36E-03	水位上昇と同時にモールド側壁の全体よりエアが少量出た
	2.778	120	297.7	2.131	5.05E-03	4.34E-03	変化なし
	2.877	120	318.0	2.276	5.22E-03	4.48E-03	水位上昇と同時にモールド側壁の1ヶ所よりエアが少量出た
	2.976	120	325.6	2.331	5.16E-03	4.43E-03	変化なし
	3.075	120	341.8	2.447	5.24E-03	4.50E-03	水位上昇と同時にモールド側壁と供試体中央部付近よりやや多くエアが出た
	3.175	120	351.8	2.518	5.23E-03	4.49E-03	水位上昇と同時にモールド側壁よりエアが少量出た
	3.274	120	384.9	2.755	5.54E-03	4.76E-03	水位上昇と同時にモールド側壁よりエアがやや多く出た
	3.373	120	403.6	2.889	5.65E-03	4.85E-03	水位上昇と同時にモールド側壁よりエアがやや多く出た
	3.472	120	441.2	3.158	6.00E-03	5.15E-03	水位上昇と同時にモールド側壁よりエアが多量に出た
	3.571	120	458.2	3.280	6.05E-03	5.20E-03	水位上昇と同時にモールド側壁よりエアが少量出た
	3.671	120	543.6	3.891	6.98E-03	6.00E-03	水位上昇と同時にモールド側壁よりエアが多く出て、以後も時々出続ける

透水量が増加傾向を示すことから破壊したものと思われる。