

49 礫中詰材のせん断抵抗力に関する実験的研究

防衛大学校土木工学科 ○香月智、石川信隆、加瀬典文
砂防・地すべり技術センター 鈴木 宏

1. 緒言

鋼製枠砂防構造物の複合構造物としての特性を生かすために、鋼製枠と中詰材のせん断抵抗力を同時に考慮した解析法の開発が望まれる。このため著者らの行った実験によると¹⁾、この共同作用を考慮した解析を行うためには、北島の式²⁾による評価法ではせん断変形と対応していないので、中詰材のせん断変形とせん断抵抗力の関係を明らかにすることが必要であることが判明した。

そこで本研究は、この中詰材のせん断抵抗力～変位関係を明らかにするために、改良された矩形型単純せん断枠と階段型単純せん断枠を用いた実験を行い、①中詰材の種類および上載荷重の各パラメータの影響、②これらのパラメータの影響を一つの弾塑性挙動にまとめる無次元化式の提案とその適用性、③矩形枠と階段型枠との相違等について考察し、そのうえで中詰材のせん断抵抗力～変位関係を表わす実験式を提案したものである。また、礫圧分布についても考察した。

2. 矩形単純せん断枠実験の概要

2.1 実験装置および計測項目

実験装置は、図-1に示すように幅95cm、高さ100cm、奥行幅30cmの、枠自体はせん断抵抗力を持たない矩形単純せん断枠である。ところで、一昨年に行った実験では¹⁾、中詰材の漏出防止のために、一枚の鋼製側壁板を設置したため、中詰材と漏出防止板との間に発生する摩擦の影響を取り除くことができなかった。よって本装置では、図-2に示すような方形の鋼製枠を、枠の間にコロを挟みながら積み上げるものに改良した。計測項目は、枠上端に作用する水平荷重P（中詰材のせん断抵抗力）、荷重作用点の水平変位 δ 、および単純せん断枠の前・後壁面に働く中詰材圧である。中詰材圧は、図-3に示す土圧計を改良した礫圧計によって計測した。

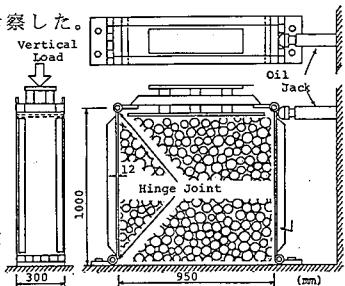


図-1 矩形単純せん断枠実験装置

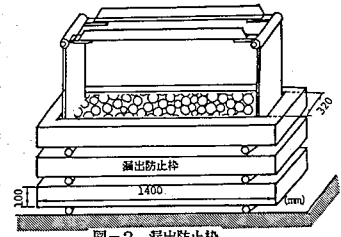


図-2 漏出防止枠

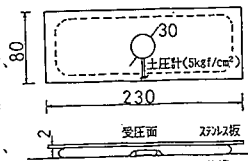


図-3 礫圧計

2.2 中詰材

実験に用いた中詰材は、角張った形状を持って礫径の異なる単粒度碎石6号、単粒度碎石4号、割栗石と形状が丸い玉砂利の4種類である。各礫材のもつ基礎的な諸元値を表-1に示す。ここで、表-1に示した内部摩擦角については、図-4に示す平面寸法32cm×42cmの一面せん断箱によって測

定されたものである。

2.3 実験ケース

実験ケースは、中詰材の種類と上載荷重の大きさを組み合わ

表-1 中詰材

種別	単粒度碎石6号	単粒度碎石4号	割栗石	玉砂利
粒径範囲(mm)	6~12	20~30	40~80	10~40
粒径標準	1.0mm	2.5mm	6.0mm	3.0mm
重量平均径(mm)	9.5	22	53	27
形状	角あり	角あり	角あり	丸い
弾比重	2.55	2.67	2.61	2.70
内部摩擦角(°)	36	48	51	45
枠圧(kg/cm ²)	4.05	4.15	3.94	4.33
せん断山頂荷重(L/a ²)	1.49	1.52	1.45	1.53
間隙比	0.714	0.757	0.80	0.699

表-2 矩形単純せん断枠実験ケース

ケース	礫種類	上載荷重(上載圧力)(kgf/cm ²)	後面圧力 σ_v (kgf/cm ²)
CASE1	単粒度碎石6号(10mm)	0 (0)	0.142
CASE2		167 (0.053)	0.200
CASE3		299 (0.105)	0.247
CASE4	単粒度碎石4号(25mm)	0 (0)	0.145
CASE5		167 (0.053)	0.204
CASE6		299 (0.105)	0.250
CASE7	割栗石(60mm)	0 (0)	0.138
CASE8		167 (0.053)	0.187
CASE9		299 (0.105)	0.243
CASE10	玉砂利(30mm)	0 (0)	0.152
CASE11		167 (0.053)	0.210
CASE12		299 (0.105)	0.256

せて表-2に示す1,2ケースとした。

3. 矩形単純せん断枠のせん断抵抗力~変位関係

3.1 上載荷重の影響

図-5に単粒度砕石6号の場合のせん断抵抗力~変位関係を示す。これより中詰材のせん断抵抗力~変位関係は、硬化型の弾塑性挙動を示し、そのせん断抵抗力の大きさは上載荷重の大きさに対し、ほぼ比例的に増加していることが認められる。

3.2 礫種類の影響

図-6には上載荷重を載せない場合のせん断抵抗力~変位関係を礫材の種類ごとに比較して示している。これより、中詰材の粒径が大きくなるにつれて中詰材のせん断抵抗力が明瞭に大きくなっていることが認められる。特に、玉石はその形状が丸いにもかかわらず、ほぼ粒径に応じてせん断抵抗力の増大が認められる。

3.3 せん断抵抗力~変位関係の無次元化

実験結果によると、中詰材の種類や、その重さ(上載荷重を含めた)によってせん断抵抗力は異なっている。そこで、次式によって無次元化することにより、その弾塑性挙動を標準化することを試みる。

$$M = \frac{P \cdot h_1 / B}{\sigma_u \cdot h_2^2 \cdot \tan \phi} \quad (1)$$

ただし、 M : 無次元化されたせん断抵抗力、 P : 計測されたせん断抵抗力、 h_1 : P を計測した高さ、

B : せん断枠の奥行き幅、 σ_u : 各実験ケースごとの底面における垂直応力 $\{ = (W + P_2) / A \}$ 、 W : 中詰材の全自重、 P_2 : 上載荷重、 A : 底面積、 h_2 : 中詰材の詰込み高さ、 ϕ : 中詰材の内部摩擦角。

また、計測された上端変位量も次式によるせん断変形量 γ として評価するものとした。

$$\gamma = \delta / h_1 \quad (2)$$

図-5に示した単粒度砕石6号の全ての実験結果を、式(1)、(2)によって処理した無次元化せん断抵抗力~せん断変形関係を図-7に示す。これより、上載荷重による影響はほとんど式(1)によって標準化され、一つの弾塑性挙動群にまとめられることがわかる。そこで各礫材ごとに平均したうえで、各礫材ごとの無次元化せん断抵抗力~せん断変形関係を比較したものを図-8に示す。これより、式(1)によって図-6に見られたような礫材ごとのせん断抵抗力の相違がなくなり、異種礫材間においても、ほぼ一つの弾塑性挙動群にまとめられることがわかる。

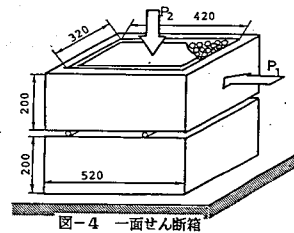


図-4 一面せん断箱

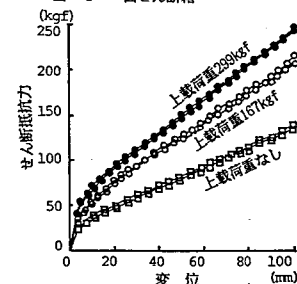


図-5 せん断抵抗力~変位関係に及ぼす上載荷重の影響 (単粒度砕石6号、粒径10mm)

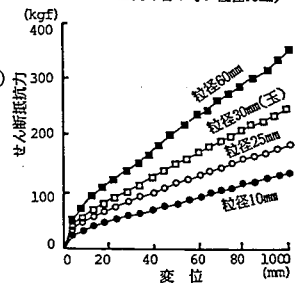


図-6 せん断抵抗力~変位関係に及ぼす礫種類の影響 (上載荷重なし)

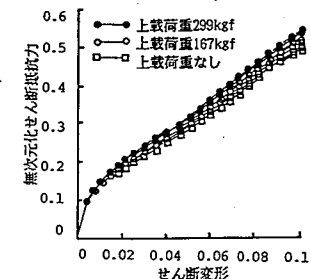


図-7 無次元化せん断抵抗力~せん断変形関係に及ぼす上載荷重の影響 (単粒度砕石6号、粒径10mm)

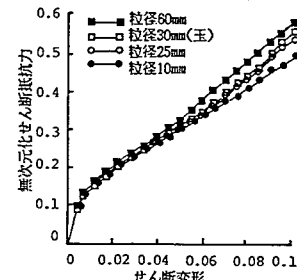


図-8 無次元化せん断抵抗力~せん断変形関係に及ぼす礫種類の影響 (矩形単純せん断枠)

4. 階段型単純せん断枠実験の概要

4. 1 実験装置

実験装置は、図-9に示すような幅120cm、高さ100cm、奥行き幅30cmの枠を縦横に3分割し階段状にしたものである。各結合部はピン結合となっているため、各区画内の中詰材は枠全体の変形に応じて同じせん断変形をする。また中詰材の詰められた隣接する区画部は、壁面を設けていないため、中詰材はその間を自由に移動できる構造となっている。また、実物の枠ダムに後背地に貯砂が貯って

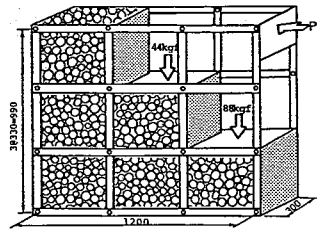


図-9 階段型単純せん断枠実験装置
表-3 階段型単純せん断枠実験ケース

ケース	中詰材	上載荷重	ケース	中詰材	上載荷重
CASE1	単粒度砕石6号	なし	CASE5	純果石	なし
CASE2	(10mm)	あり	CASE6	(60mm)	あり
CASE3	単粒度砕石4号	なし	CASE7	玉砕材	なし
CASE4	(25mm)	あり	CASE8	(30mm)	あり

枠ダムに上載荷重として作用することの影響をみるために、図-9に示すような44kgf、および88kgfの上載荷重を載荷する場合の実験も行った。

4. 2 実験ケース

矩形枠実験のものと同じ4種類の中詰材を用い、上載荷重を載せる場合と載せない場合の組合せにより、表-3に示す8ケースの実験を行った。

5. 階段型単純せん断枠実験のせん断抵抗力～変位関係

図-10に単粒度砕石4号(粒径25mm)のせん断抵抗力～変位関係を示す。これより、上載荷重を加えると抵抗力が増すことがわかる。図-11に式(1)、(2)による無次元化せん断抵抗力～せん断変形関係を示す。これより、階段枠においても式(1)、(2)による無次元化は、上載荷重の影響をうまく標準化できることがわかる。図-12には、矩形枠の場合と同様に各中詰材ごとに平均化した無次元化せん断抵抗力～せん断変形関係を比較図示する。これより、階段枠の場合には、矩形枠の場合ほどうまく一つの弾塑性挙動にまとめることはできないが、概ねまとまった弾塑性挙動になることが認められる。

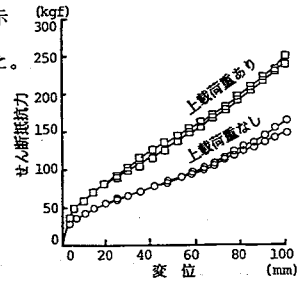


図-10 せん断抵抗力～変位関係に
及ぼす上載荷重の影響
(単粒度砕石4号、粒径25mm)

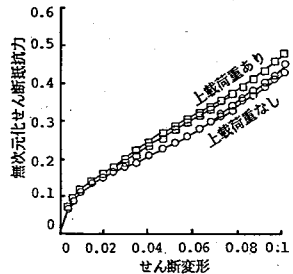


図-11 無次元化せん断抵抗力
～せん断変形関係に及ぼす上載荷重の影響
(単粒度砕石4号、粒径25mm)

6. 無次元化せん断抵抗力～せん断変形関係の実験式の提示

式(1)、(2)によって標準化された弾塑性挙動をせん断変形量の関数として表わす。実験式の形として図-13に示す次式を提案する。

$$M = a \times \left(\frac{\delta}{h}\right) + b \times \left(\frac{\delta}{h}\right)^c \quad (3)$$

ただし、M: 式(1)の形で求められる無次元化せん断抵抗力、

δ : 堤体の上端変位量、h: 中詰材(堤体)の高さ、a、b、c: 実験定数である。最少2乗法によって求められた実験式は次式のようになった。

矩形枠の場合

$$M = 4.44 \times \left(\frac{\delta}{h}\right) + 0.169 \times \left(\frac{\delta}{h}\right)^{0.2} \quad (4)$$

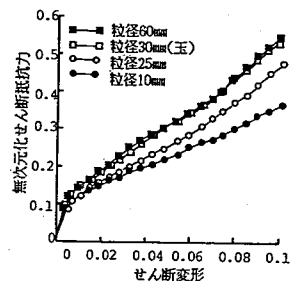


図-12 無次元化せん断抵抗力
～せん断変形関係に及ぼす中詰材の影響
(階段型単純せん断枠)

階段型枠の場合（最も安全側の値：単粒度砕石6号の場合）

$$M = 2.57 \times \left(\frac{\delta}{h}\right) + 0.156 \times \left(\frac{\delta}{h}\right)^{0.2} \quad (5)$$

図-14に矩形枠の場合の実験値と提案式を比較図示する。これより提案式は実験値に良く一致することが認められる。

7. 礫圧の分布形状

図-15に矩形枠実験の上端変位 $\delta=10\text{mm}$ までの間に得られた前・後壁面の礫圧分布を示す。これより、前面の礫圧はせん断変形の増大にかかわらずほぼ一定の三角形分布を保っている。この大きさを主働土圧係数 $K_v=0.3$ と仮定して求めた主働土圧曲線と比較するとほぼ主働土圧よりも小さな値を示している。一方、後壁面ではせん断変形の増加にともなって当初の三角形分布から、堤体頂部の方が大きい台形状にその礫圧分布が増加することがわかる。よって、この前壁面と後壁面との礫圧の差が中詰材全体のせん断抵抗力と釣り合っていることが推察される。

図-16には階段型枠実験の例を示す。これより、階段型枠においても前壁面の傾向は、矩形枠とほぼ同じ傾向を示している。しかし、後壁面側は矩形枠の場合と異なり、底面側が大きな礫圧として増加する三角形分布をしていることが認められる。

8. 結言

本研究は、礫材のせん断抵抗力～変位関係について矩形単純せん断枠および階段型単純せん断枠を用いたモデル実験を行ったものである。本研究の成果を要約すると以下ようになる。

① 矩形枠の中詰材のせん断抵抗力～変位関係は、変形硬化型の弾塑性挙動を示し、その抵抗力は中詰材自重および上載荷重が大きくなるにつれて増加する。また、中詰材の礫種類においては、礫径の増加につれて大きくなる。

② 階段型枠の中詰材のせん断抵抗力～変位関係も矩形枠と同じ変形硬化型の弾塑性挙動を示す。

③ 中詰材の弾塑性挙動は、式(1)、(2)の無次元化式を用いて整理すると、矩形枠、階段型枠ごとにほぼ一つの弾塑性挙動に標準化することができる。

④ 標準化された弾塑性挙動は、式(4)、(5)による実験式によって、無次元化せん断抵抗力～せん断変形関係の関数式として表わすことができる。

⑤ せん断変形に応ずる中詰材圧の変化は、前壁面では、主働土圧によってほぼ変化しないのに対し、後壁面では、矩形枠の場合は頂部の方が大きい台形状に、階段型枠の場合には底部の方が大きい三角形分布によって増加することが認められた。

参考文献：1) 香月智・石川信隆・大平至徳・鈴木宏：鋼製枠砂防構造物における中詰材のせん断抵抗モデル実験について、昭和63年度砂防学会研究発表会概要集、pp.161～162、昭和63年5月。
2) 鋼製砂防構造物委員会：鋼製砂防構造物設計便覧、昭和62年10月。

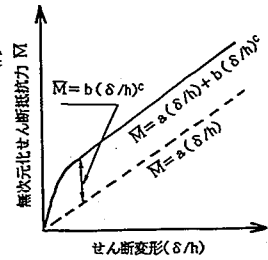


図-13 実験式の形

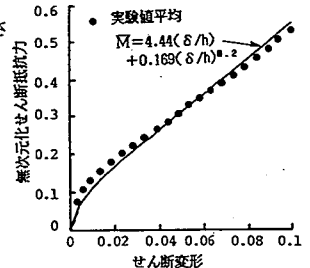


図-14 実験値と実験式の比較 (矩形単純せん断枠)

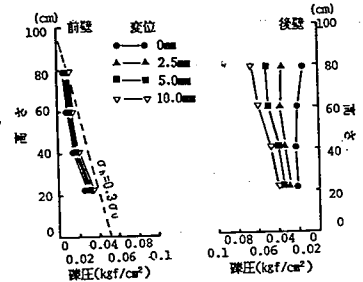


図-15 礫圧分布の変化 (矩形単純せん断枠)

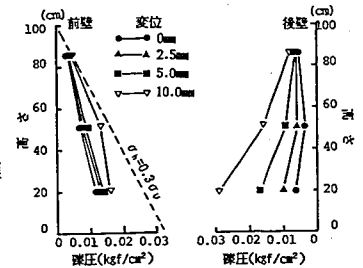


図-16 礫圧分布の変化 (階段型単純せん断枠)