

91 モデル化した中詰材のせん断抵抗実験について

防衛大学校土木学教室 ○ 香月 智

同 上 石川 信隆

砂防・地すべり技術センター 鈴木 宏

同 上 佐野 清

1. 緒言

鋼製枠砂防構造物における中詰材のせん断抵抗力を厳密に評価するためには、各種の因子、すなわち、①礫材の形状、②礫材の寸法、③礫材の重量または単位体積重量、④礫材の表面の粗度、⑤礫材の強度（もろさ）、⑥礫材の剛性、⑦礫材の詰め込みの密度、⑧中詰材全体の形状、⑨各因子のバラツキ等を考慮しなければならない。著者らは、中詰材のせん断抵抗を実験的に評価する方法を研究しているが、このように多くの因子がかかわると、どの因子が最も重要であるか、またはどの因子の組合せがせん断抵抗力に最も重要な影響を及ぼすかを判定することは非常に困難である。また、碎石を用いる実験においては、せん断変形面外への漏出防止する側壁面が必要となり、この側壁面の摩擦の影響¹⁾をどうしても考慮しなければならない。そこで、本研究は、これらの実験上の問題点を取り除いたうえで、より基礎的に中詰材のせん断抵抗力の基本メカニズムを解明するために、中詰材をコンクリート円筒要素にモデル化して、室内実験において単純せん断枠内にモデル中詰材を詰め、そのせん断抵抗力～変位関係や中詰材の移動軌跡を求め、

考察を行ったものである。

2. 実験方法の概要

(1) 実験装置および計測項目 実験装置は、幅30cmの鋼板を使用した単純せん断枠中にコンクリート円筒要素の中詰材を詰めて、図-1に示すように単純せん断変形中の荷重と変位を測定するものである。使用した鋼板は、厚さ12mmのものであり、L型鋼のフランジを溶接することにより大きな剛性を持たせている。また上板は、中央部が開口した構造となっており、この中に上載荷重板を置き、これを通して中詰材上方から垂直方向の上載荷重が加えられるものとした。せん断荷重は、枠上端に油圧ジャッキを用いて水平に加えるものとした。計測項目は、このせん断荷重と荷重点の水平変位量である。なお、せん断変形にともなう中詰材の動きもトレースした。

(2) 中詰材 実際の中詰材は直径が15 cm以上の礫材であるが、本実験では、図-2のように4種類のコンクリ

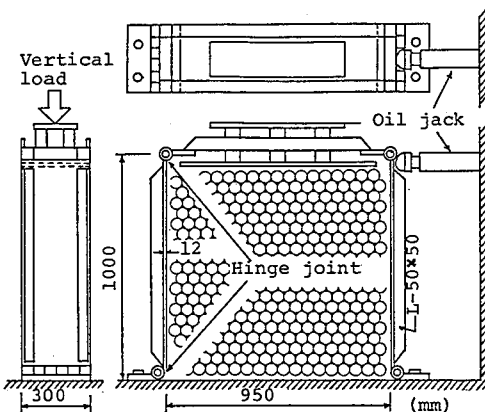


圖-1 實驗裝置

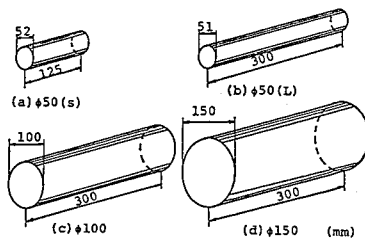


圖-2 中詰材

ート円筒要素を用いた。これは、① 中詰材の挙動を2次元モデル化できる。② 2次元面外への中詰材の移動がないため、漏出を防止する側壁板との間に生ずる摩擦の影響を取り除くことができる。③ 中詰材の形状を単純化することにより、要素形状の影響を取り除くことができ、また移動軌跡を観察できる等の利点があるためである。中詰材の詰め方(配列システム)の種類としては、隣合う中詰材がほぼ接触する

ように、最も密に詰める密詰めの場合と、隣合う要素の間隔があいている緩詰めの場合の2種類を組み合わせる実験を行った。表-1に実験ケース区分ごとの中詰材の諸元を示す。

3. 実験結果と考察

(1) せん断抵抗力～変位関係に及ぼす詰め込み方の影響

図-3および4に円筒長さ12.5cmの要素を用いた場合の実験(case 1～case 6)における密詰めの場合と緩詰めの場合におけるせん断抵抗力～変位関係を示す。これら全般を通じて、同一実験パラメータにおける結果は良く一致しており、コンクリート円筒要素を用いると中詰材要素の形状および配列が標準化され、実験の再現性が高まっていることがわかる。図-3と4を比較すると、密詰めの場合には、当初弾性的に抵抗が増し、変位10mm付近を境にやや硬化型に近い弾塑性応答を示す。一方、緩詰めの場合には、変位量2mm付近を境に抵抗が徐々に低下する軟化型の弾塑性応答を示している。また同じ上載荷重ごとの最大せん断抵抗力を比べると、密詰めの場合の総重量は、緩詰めの場合の約1.1倍であるにもかかわらず、そのせん断抵抗力は、緩詰めの場合の約3倍の大きさに達している。これは、同じ中詰材であってもその詰め方によって、せん断抵抗力に著しい違いが生じることを示している。

(2) せん断抵抗力～変位関係に及ぼす中詰材要素径の影響

図-5に緩詰めで上載荷重のない場合におけるせん断抵抗力～変位関係を要素径が5cm、10cm、15cmの場合について示し比較検討した。これより、要素径が5cm、10cmの場合のせん断抵抗力～変位関係はほぼ一致するのに対し、要素径が15cmの場合には、他の2つより著しく大きなせん断抵抗力が得られている。これは、後で考察するすべり面の形状が、他の2つと

表-1 実験ケースと中詰材配列

Case No	中詰材 長さ(cm) 直径(cm)	詰め方	配列要素 個、個、段	総数 (個)	総重量 (kgf)	間隔比	上載荷重 (kgf)
1	12.5 5.2	密詰め	18,17,20	350	203	0.16	0
2							167
3							299
4		緩詰め	15,14,22	319	185	0.23	0
5							167
6							299
7	30.0 5.1	密詰め	18,17,20	350	480	0.16	0
8							167
9							299
10		緩詰め	15,14,22	319	438	0.30	0
11							167
12							299
13		10.0 緩詰め	8,7,11	83	440	0.31	0
14		15.0 緩詰め	5,4,8	36	408	0.32	0

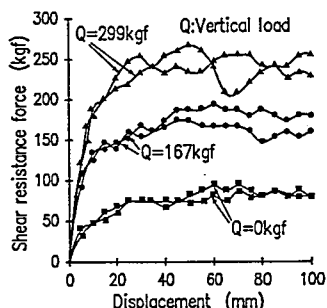


図-3 せん断抵抗力～変位関係(φ50(S), 密詰め)

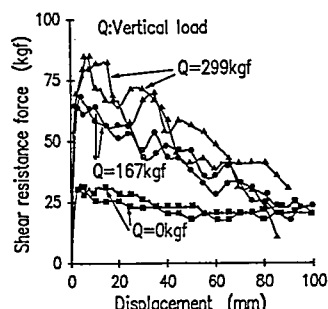


図-4 せん断抵抗力～変位関係(φ50(S), 緩詰め)

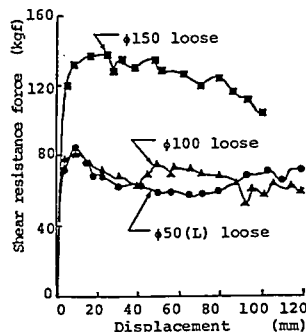


図-5 せん断抵抗力～変位関係に及ぼす中詰材要素径の影響

全く異なるためと考えられる。

(3) 上載荷重の影響 図-3および4において、上載荷重 Q を増加させるにともなう、最大せん断抵抗力が増加していることが分る。図-6には、全実験における底面応力と最大せん断応力との関係を示した。ここで、底面応力とは、中詰材および上載荷重の全重量を中詰材の底面積で除したものであり、最大せん断応力とは、最大せん断抵抗力を同じく中詰材の底面積で除したものである。これより以下のことが分る。① 全般的に底面応力の増大にともない最大せん断応力が増大する傾向にあるが、その割合は緩詰めの場合に比し密詰めの方が大きいことが認められる。これは、密詰めの方が上載荷重による影響が大きいことを意味している。

② 単純せん断砕においては、主応力面と破壊面とも自由に回転するので、このグラフの傾きをみかけの内部摩擦角 ϕ' とすると、要素径5cm(長さ12.5cm)の密詰めの場合には、 $\phi' = 29.6^\circ$ 、緩詰めの場合には $\phi' = 10.9^\circ$ となっており、他の要素の場合には密詰め緩詰めの場合に応じて、概ねそれぞれの線上に近い値を示している。③ これは、中詰材要素の大きさが変わっても、スベリ面の形状が同じ場合にはその最大せん断応力は、ほぼ同じクーロンの破壊基準線の上にあることを示している。

(4) 要素の移動とスベリ面 写真-1に要素径5cmの場合のせん断変形中の要素の挙動を示す。写真-1(a)の密詰めの場合には、全体的に初期の配列を乱さずに水平層状に変形している。一方、写真-1(b)の緩詰めの場合には、斜め方向にスベリ面が発生し底面下部に三角形の不動領域が形成されていることが認められる。図-7(a)~(d)には、それぞれ直径5cm密詰め、5cm緩詰め、10cm緩詰め、15cm緩詰めにおける実験開始から上端せん断変位置 $\delta = 10$ cmまでにおける、各中詰要素中心の移動軌跡図を示す。これより、① 写真-1(a)と図-7(a)の密詰めの場合には水平層状にスベリ面が出来るのに対し、写真-1(b)と図-7(b)の緩詰めの場合には、底面下部に形成される三角形不動領域に沿って明瞭なスベリ面が発生していることが分る。② 図-7(c)より、要素径10cmの場合も要素径5cmの緩詰めの場合と良

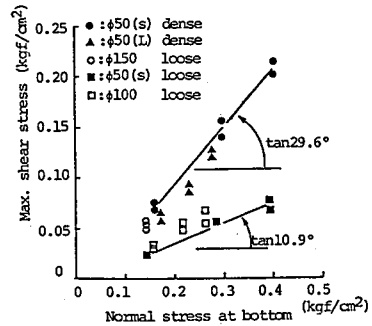
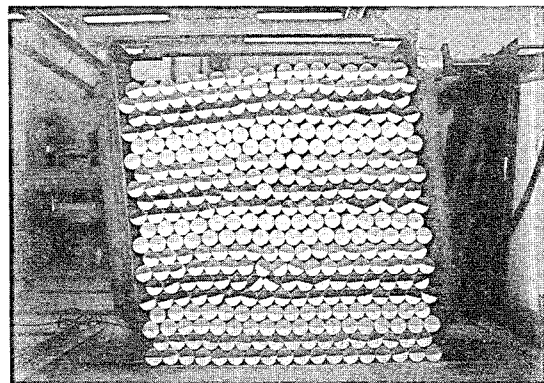
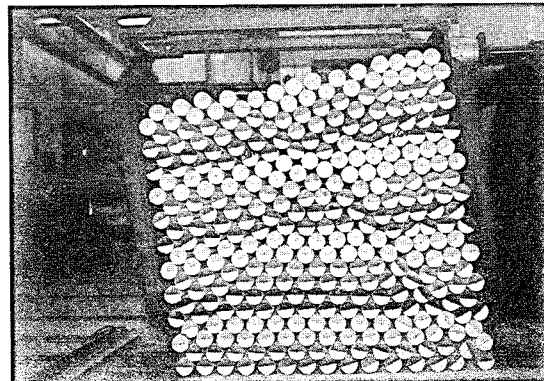


図-6 底面における最大せん断応力~垂直応力関係



(a) 密詰め(上端変位90mm)



(b) 緩詰め(上端変位125mm)

写真-1 中詰材要素の挙動($\phi 50(L)$)

し底面下部に三角形の不動領域が形成されていることが認められる。図-7(a)~(d)には、それぞれ直径5cm密詰め、5cm緩詰め、10cm緩詰め、15cm緩詰めにおける実験開始から上端せん断変位置 $\delta = 10$ cmまでにおける、各中詰要素中心の移動軌跡図を示す。これより、① 写真-1(a)と図-7(a)の密詰めの場合には水平層状にスベリ面が出来るのに対し、写真-1(b)と図-7(b)の緩詰めの場合には、底面下部に形成される三角形不動領域に沿って明瞭なスベリ面が発生していることが分る。② 図-7(c)より、要素径10cmの場合も要素径5cmの緩詰めの場合と良

く似た移動軌跡であるが、図-7

(d) の要素径 15 cm の場合は、全体的に、むしろ図-7 (a) の密詰めの場合に近い水平層状の傾向を示している。これは枠全体の大きさと要素の大きさの相対的な関係によるものかと思われるが、詳細については今後の検討課題である。③ 以上の三角形スベリ面を形成する場合とそうでない場合の分類は、先に述べたせん断抵抗力～変位関係の傾向と良く対応している。すなわち、せん断スベリ面が山形の形状となる場合には、せん断抵抗力は比較的小さなものとなり、またせん断抵抗力～変位関係は軟化型となる。一方、せん

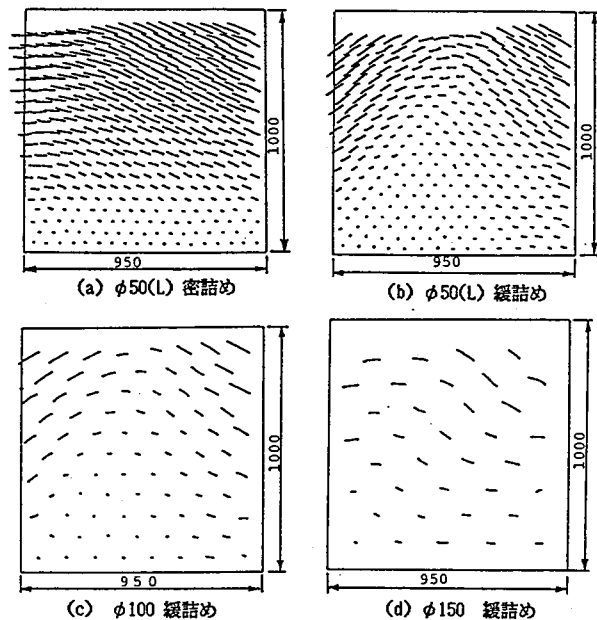


図-7 中詰材の移動軌跡

断スベリ面が水平層状となる場合には、せん断抵抗力は比較的大きなものが得られ、せん断抵抗力～変位関係は硬化型となる。④ 著者らは、個別要素法を用いてせん断抵抗力を解析的に評価している²⁾が、上記の傾向は数値計算結果と良く一致している。

4. 結 言 本研究は、モデル化したコンクリート円筒要素による中詰材を用いて、その単純せん断変形にともなうせん断抵抗力～変位関係を実験的に検討したものであるが、その成果を要約すると以下のようになる。

(1) 中詰材のせん断抵抗力～変位関係は、せん断変形にともなって中詰材内部に形成されるスベリ面の形状の影響を著しく受ける。

(2) 水平層状のスベリ面を形成する密詰めの場合には、そのせん断抵抗力～変位関係は硬化型の弾塑性応答を示し、またそのせん断抵抗力は、比較的大きなものが得られるが、山形のスベリ面を形成する緩詰めの場合には、そのせん断抵抗力～変位関係は、軟化型の弾塑性挙動となり、またそのせん断抵抗力は小さくなる。

(3) スベリ面の形状が変わらない場合には、要素径が変化してもそのせん断抵抗力～変位関係にはほとんど差異が生じない。

なお、本実験において防衛大学校本科学学生奥田将樹氏に多大なご支援を頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 香月智, 石川信隆, 大平至徳, 鈴木宏: 鋼製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) 香月智, 石川信隆, 大平至徳, 鈴木宏: 鋼製砂防構造物における中詰材のせん断抵抗解析に関する一考察, 構造工学論文集, Vol.35A, pp.1309~1317, 1989年3月.