

礫質軟岩の変形性とせん断強度の関係

土木研究所 正会員 ○吉永 寿幸
 土木研究所 正会員 山口 嘉一
 長崎河川国道事務所 非会員 中山 雅文

1. はじめに

近年、我が国においては、良好な岩盤を持つダムサイトが少なくなり、全域が軟岩で構成されているサイトトや、全体としては硬岩で構成されているものの比較的規模の大きい断層・破碎帯などの弱層が存在しているサイトにおけるダム建設を所要の安全性を確保したうえで合理的に実施する必要に迫られている。ダム建設にあたって、これらの軟岩や弱層（以下、軟岩と総称）については、強度、変形性といった力学特性の評価が重要になってくる。また、両者の関係についての知見は、合理的な調査、設計値評価に大きく寄与する。しかし、比較的大粒径の礫を含む礫質岩の場合、直径 30cm 径の剛板を用いた一般的な平板載荷試験^{1)、2)}では、適切な変形性評価が困難で、より大型の平板を用いなければならない場合^{3)、4)}がある。

本研究では、原位置せん断試験が 60cm×60cm のせん断断面を形成して実施すること^{1)、2)}に着目し、礫質軟岩を対象に実施した原位置せん断試験の本載荷と垂直荷重のみによる予備載荷の結果を基に、変形性（変形係数および弾性係数）とせん断強度の関係について検討を行った。

2. 試験方法

原位置せん断試験には、ブロックせん断試験とロックせん断試験がある^{1)、2)}が、本試験においては通常の岩盤で一般的に採用されているブロックせん断試験を実施した。想定せん断断面は 60cm×60cm の正方形とした。

本試験は、凝灰亜角礫層と呼ばれる固結～未固結状の第四紀更新世の堆積物である火山麓扇状地堆積物が分布しているダムサイトにおいて、火山礫を比較的少量に含み、基質が砂主体で、火山灰をほとんど含まない粗粒な岩相 (Tbss) が卓越している横坑内の CL1 級岩盤に対して実施

した。表-1 に横坑内の 8 箇所で行った土質試験（現場密度および現場透水試験、掘削土を用いた室内試験）の結果を示す。

試験箇所は横坑において直線上に 6 箇所設定し（ブロック No.1～6）、それぞれにおいて本載荷と予備載荷を行った。まず、載荷装置と岩盤のなじみを確保することや測定機器の作動状態を点検するために、垂直荷重のみの予備載荷を実施した。次の本載荷では、ある一定の垂直荷重を載荷した後、斜め方向から載荷する傾斜荷重を段階的に増加させ、破壊に至るようにした。近年、ダムサイトにおいては、せん断試験結果のばらつきを考慮して強度定数を評価するという観点から、本載荷の初期の垂直荷重を 250、980kN/m² の 2 種類とし、各荷重当たりの試験数を増やす方法（最低 2 個ずつの計 4 個）^{1)、2)}を採用している。本試験では、245、980kN/m² の 2 つの初期の垂直荷重を 6 つの試験箇所に交互に設定した。図-1 に 1～6 ブロックにおける試験前のせん断断面のスケッチを示す。礫の含有率はブロックにより異なるが、基質は粗粒砂でよくしまっているものの軟質である。

表-1 土質試験結果

| 試料番号 | 湿潤密度 (t/m ³) | 乾燥密度 (t/m ³) | 透水係数 k (cm/s) | 含水比 (%) | 粒度区分 (%) | | | | |
|------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|---------|----------|-----|------|------|------|
| | | | | | 粘土 | シルト | 砂 | 礫 | 石 |
| ① | 2.174 | 2.121 | 1.48×10 ⁻⁴ | 2.5 | 0.7 | 2.0 | 8.1 | 11.2 | 78.0 |
| ② | 2.140 | 2.040 | 1.42×10 ⁻⁴ | 4.9 | 1.0 | 4.6 | 16.8 | 28.6 | 49.0 |
| ③ | 2.196 | 2.102 | 6.79×10 ⁻⁵ | 4.5 | 1.6 | 4.8 | 15.4 | 31.2 | 47.0 |
| ④ | 2.261 | 2.150 | 8.62×10 ⁻⁵ | 5.2 | 1.1 | 3.9 | 13.7 | 36.3 | 45.0 |
| ⑤ | 2.176 | 2.047 | 8.36×10 ⁻⁵ | 6.3 | 1.9 | 4.7 | 20.7 | 66.7 | 6.0 |
| ⑥ | 2.280 | 2.180 | 1.47×10 ⁻⁴ | 4.6 | 1.0 | 4.3 | 13.4 | 29.3 | 52.0 |
| ⑦ | 2.326 | 2.219 | 6.53×10 ⁻⁵ | 4.8 | 1.6 | 4.6 | 17.7 | 53.1 | 23.0 |
| ⑧ | 2.588 | 2.463 | 3.15×10 ⁻⁴ | 5.1 | 0.5 | 3.1 | 15.1 | 33.3 | 48.0 |

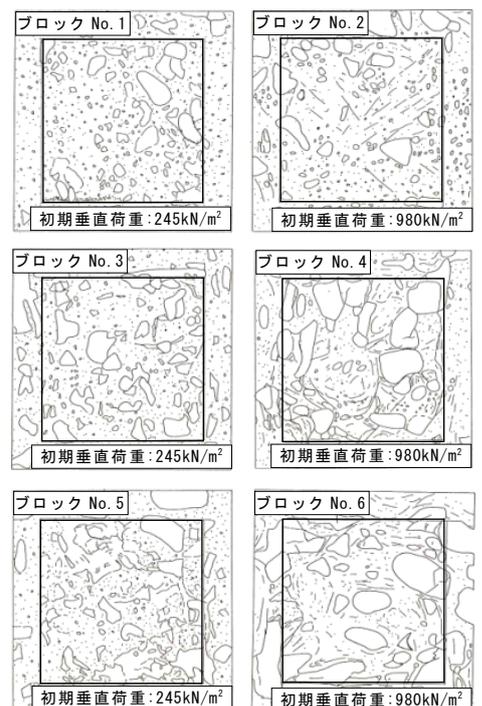


図-1 せん断断面のスケッチ

3. 試験結果

予備載荷試験結果からは、平板載荷試験において変形係数や弾性係数を算定する方法と同様に、測定結果に基づいて応力-変位曲線を作成し、これをもとに変形係数 D と接線弾性係数 E_t を算定する。

本載荷試験結果からは、破壊時のせん断応力 τ と垂直応力 σ の関係を作成し、モール・クーロンの破壊基準により岩盤の粘着力 c を求める。図-2 に原位置せん断試験結果とともに、内部摩擦角 ϕ を 35° とした場合の強度評価を示す。

3.1 変形係数 (D) と接線弾性係数 (E_t) の関係

予備載荷試験結果から評価した変形係数 (D) と接線弾性係数 (E_t) の関係を図-3 に示す。変形係数と接線弾性係数の相関性は高く、両者の関係はほぼ原点を通る直線として近似できている。概ね $E_t=2 \cdot D$ の関係にあることが読みとれる。

3.2 変形係数 (D) および接線弾性係数 (E_t) と粘着力 c の関係

予備載荷試験結果から評価した変形係数 (D) と本載荷試験結果から得られた粘着力 c の関係を図-4 に、同様に接線弾性係数 (E_t) と粘着力 c の関係を図-5 に示す。図中には回帰式の他に、回帰式と同じ勾配で試験の最低値を通過する式を下限式として併せて示す。両関係ともに、ある程度の相関性が認められるが、データ数が少ないこともあり、データのばらつきが見られる。また、データの存在範囲を考慮したうえで、強度評価上安全側の判断から、図-4 の下限式によると、変形係数 $D=500, 1,000, 1,500\text{MPa}$ に対応した粘着力は $c=0.416, 0.916, 1.416\text{MPa}$ である。 $E_t=2 \cdot D$ を考慮し、図-5 の下限式によると、接線弾性係数 $E_t=1,000, 2,000, 3,000\text{MPa}$ に対応した粘着力は $c=0.492, 0.892, 1.292\text{MPa}$ となる。

4. 考察

本研究では、礫質軟岩における原位置せん断試験結果を基に、変形性と粘着力の関係について検討を行った。その結果、変形係数 D と接線弾性係数 E_t は、概ね $E_t=2D$ の相関関係にあることがわかった。また、変形性とせん断強度の関係はばらつきがあるものの、ある程度の相関性を見いだすことができた。今後も同様なデータの累積が必要と考えている。

参考文献

- 1) 土木学会：原位置岩盤試験法の指針,2000年12月.
- 2) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説,2004年6月.
- 3) 川崎将生,佐藤英隆,山口嘉一,中村 昭：礫岩の不均質性に着目した平板載荷試験,岩盤力学に関するシンポジウム講演会論文集,pp.256~260,1996年2月.
- 4) 山口嘉一,川崎将生,岡部 登：フィルダム軟岩基礎の変形性評価の高精度化,建設省土木研究所資料,No.3750,2000年9月.

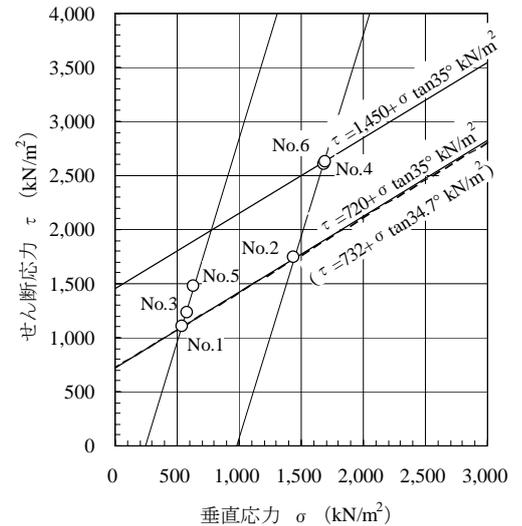


図-2 原位置せん断試験結果 ($\phi=35^\circ$)

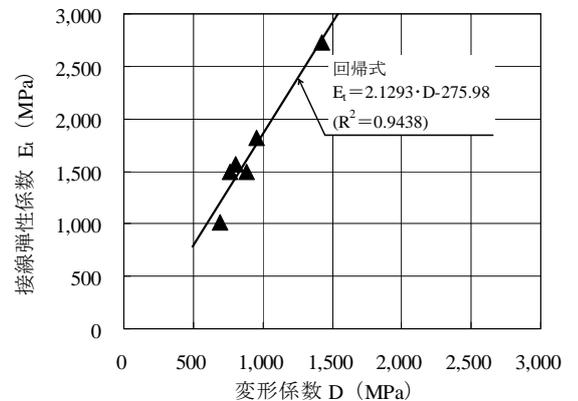


図-3 変形係数と接線弾性係数の関係

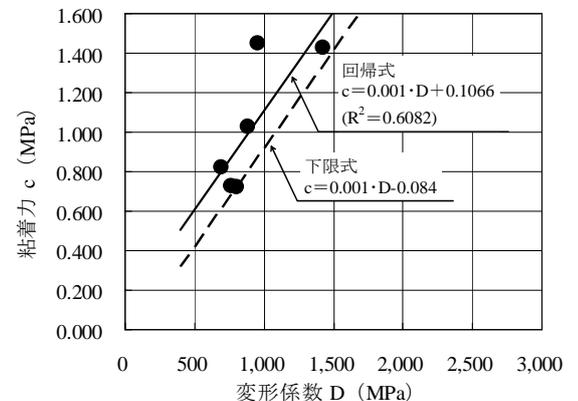


図-4 変形係数と粘着力の関係

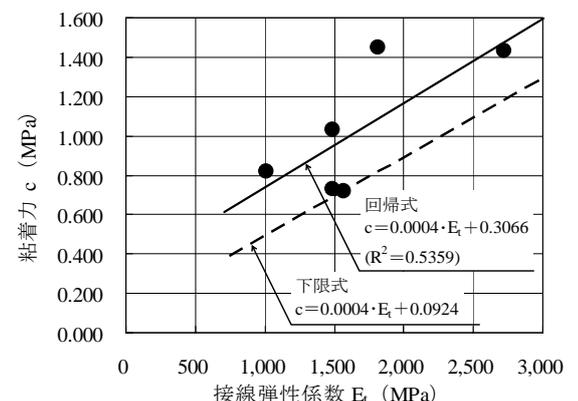


図-5 接線弾性係数と粘着力の関係