

(32) 層理面を含んだ岩盤模型のせん断試験

建設省土木研究所 正会員 ○ 永山 功
建設省土木研究所 片平 博

1. はじめに

ダムの基礎岩盤は、これに作用する荷重に対して十分安全であるように設計されなければならない。このため、ダムの設計にあたっては、各ダムサイトにおいて原位置岩盤のせん断試験を実施しその強度を把握している。しかしダム基礎全体の岩盤の強度をこのような試験によって確認することは事実上不可能であるから、実際には横坑やボーリング孔での岩盤の観察結果を岩盤分類の形でとりまとめ、これとせん断試験結果とを対応させることによって、ダム基礎全体の強度を評価している。したがって、岩盤分類の方法は岩盤の強度に及ぼす諸因子を正しく反映したものでなければならない。

岩盤分類の方法には、電研式、土研式、斉藤・菊地式などいくつかの方法が提案されているが、基本的にこれらの分類は、①岩盤を構成する岩片の硬さ、②岩盤内の亀裂の間隔、③岩盤内の亀裂の状態をその分類要素としている。これらの分類要素が岩盤の強度に少なからず関係していることは、多くの原位置せん断試験結果より明らかであるが、岩盤分類と岩盤のせん断強度の対応は必ずしもよいとはいえない場合がある。これは上記の3要素のほかに岩盤の強度に影響を与える因子があるためと考えられる。このような因子の一つとして、④岩盤内の亀裂の卓越方向をあげることができる。

本報文では、岩盤内の亀裂（平行な層理を想定）の方向が岩盤のせん断強度に及ぼす影響を石膏模型を用いた室内実験によって検討した結果について述べる。

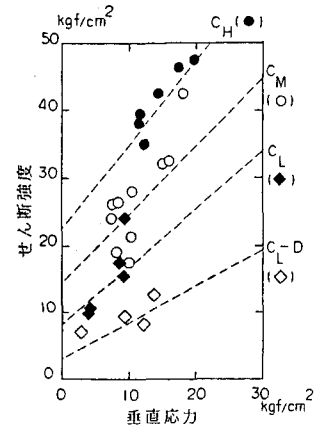


図-1 岩盤のせん断試験の結果

2. 原位置せん断試験結果の考察

原位置岩盤のせん断強度は、岩盤分類による各岩級毎に最低4個以上の供試体を作製し、その試験結果を基に決定されるが、その結果は例えば図-1のように大きなばらつきを有し、また岩級間のせん断強度の範囲に重複する部分が生じることも多い。このような試験結果のばらつきを生じる原因としては種々のものが考えられるが、岩盤の強度がこれを構成する岩片の強度と大きく異なることを考えると、岩盤内の亀裂がこれに大きく関係しているものと思われる。

さて図-2は、岩盤の原位置せん断試験に準拠して行ったコンクリートのせん断試験結果を示したものである（ただし、せん断面積は70cm×70cmである）。試験結果は高い直線性を示し、モルタルと骨材の混合物からなるコンクリートの材料的不均一性は、せん断試験結果にほとんど影響を与えないことがわかる。次に図-3は、一度せん断破壊させた岩盤供試体を、垂直荷重

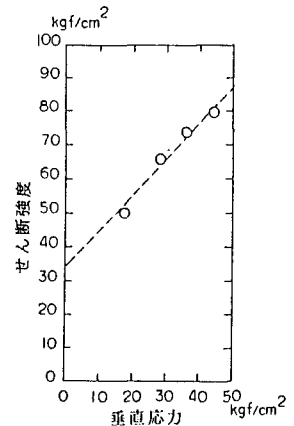


図-2 コンクリートのせん断試験の結果

を種々に変えて再度せん断させる“二度押し試験”の結果を示したものである。この場合も試験結果は高い直線性を示している。せん断を繰り返す毎にせん断面の状態は徐々に変化していくと考えられるため、これは同一供試体に対する試験結果を示していないともいえるが、岩盤内の亀裂の状態が一定であれば、試験結果には大きなばらつきが生じないことがわかる。

3. 石膏模型による原位置せん断試験の結果とその考察

3. 1. 概説

岩盤のせん断強度は岩盤内に存在する亀裂によって左右されると考えられるが、原位置岩盤試験ではこのような検討をシステムチックに行うことは不可能に近い。そこで、石膏（石膏：水＝1：0.63）によって理想的な層理面を含む岩盤模型を作製し、岩盤内の亀裂（層理面）の方向が岩盤のせん断強度に及ぼす影響について検討した。

3. 2. 実験装置の概要

実験装置の概要を図-4 に示す。岩盤模型は図-5 に一例を示すような構造とした。層理面は15分ほど間隔をおきながら、各1cmの層に石膏を打設することによって作製した。各供試体の層理面の方向を表-1 に示す。なお供試体が層理面沿いに分断する可能性があったので、実験結果に影響を与えないと思われる範囲で供試体を図-5 のように鉄筋で補強した。試験中の供試体の挙動は、ダイヤルゲージ式変位変換器と埋設型ひずみゲージによって測定した。

3. 3. 模型材料の物性

模型材料の物性は、模型作製時にφ10cm×20cmのテストピースを作製して求めた。この結果、弾性係数 63,000kgf/cm²、一軸圧縮強度140kgf/cm²を得た。

3. 4. 模型実験の結果

(1) せん断強度

各供試体のせん断試験結果を図-6 に示す。なお供試体の数はそれぞれ2個であり、このため試験値のばらつきは求め得ないが、図-6 を見る限りその大きさは比較的小さいものと考えられる。

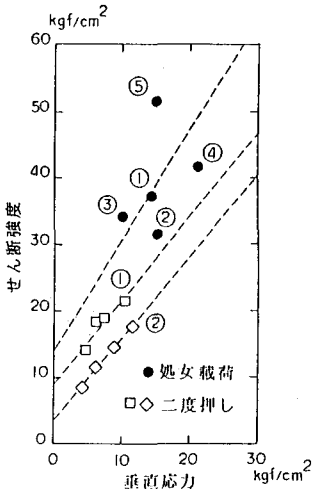


図-3 岩盤の二度押し試験の結果

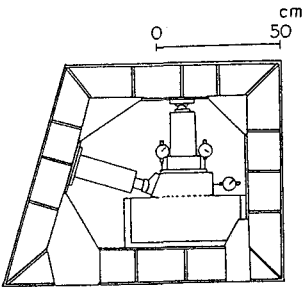


図-4 模型せん断試験装置

表-1 石膏模型の層理面の方向

層理の傾斜	記号	凡 例
層理なし	+	
0°	×	
15°	◇	
45°	○	
90°	■	
-45°	●	
-15°	◆	

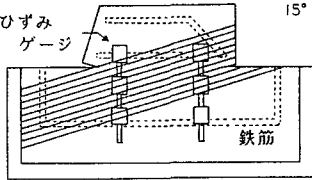


図-5 石膏模型と層理面

せん断強度の大きさは層理面の傾斜（せん断ジャッキ側に落ちる傾斜を正とする）によって次のようになっている。

水平 < 15° < -45° < 層理なし・その他

また、図-7 は層理面の方向とせん断面の状態との関係を示したものである。

層理面が石膏模型の構造の弱点であるとすれば、水平な層理面をもった供試体のせん断強度が最も小さく、層理面の傾斜角が徐々に大きくなれば、その影響は徐々に小さくなる。原位置岩盤のせん断試験法のような一面せん断試験ではその応力分布が複雑であり、破壊現象の正確な解析は困難であるが、図-8 のような破壊モデルを考えて極限状態における水平方向の見かけのせん断強度を求めると

$$\tau_{0a} = \frac{\tau_a + \sigma_t \tan \theta}{1 - f \tan \theta} \quad f_a = \frac{f + \tan \theta}{1 - f \tan \theta}$$

のようになる。ここに σ_t は石膏の引張強度、 θ は層理面の傾斜角である。図-6 より層理面と石膏のせん断強度を比較すると、石膏の引張強度が 0 でも層理面の傾斜が 20° 以上になると、層理面の存在はせん断強度に影響を及ぼさなくなる。これは実験結果と一致している。一方、層理面が負の傾斜となる場合、層理面沿いに滑りが生じ、続いて各層に曲げ破壊が生じることが予想される。層理沿いの滑りが生じやすい条件は、ジャッキ

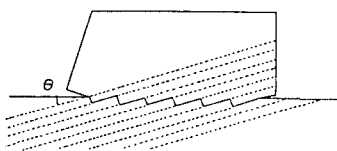


図-8 せん断破壊の模式図

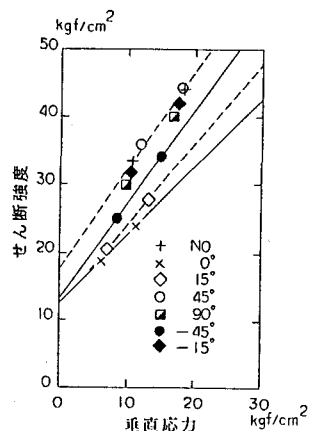
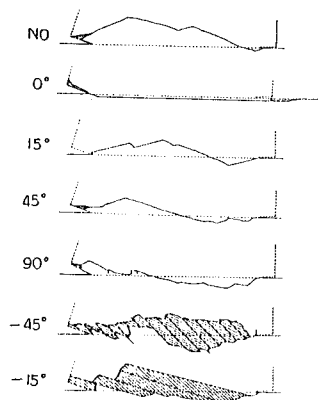


図-6 せん断試験結果



■ は破砕された部分

図-7 せん断面の形状

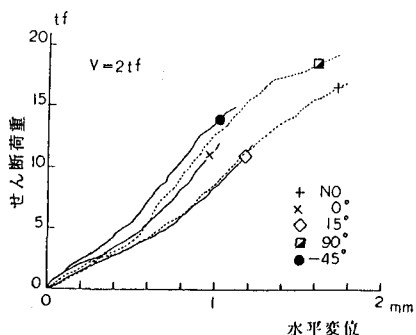


図-9 せん断試験中の水平変位

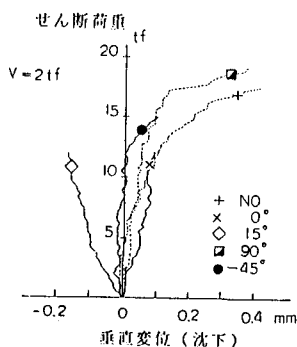


図-10 せん断試験中の垂直変位

荷重の合力方向と層理面の方向が鋭角である場合であり、また曲げ破壊が生じやすい条件は、せん断ジャッキの作用方向と層理面の方向が直角に近い場合である。今回の実験においては層理面の傾斜角が -45° の場合が最もこの条件を満足しており、したがってせん断強度が小さくなると考えられる。これは実験結果と一致している。

(2) 変位

次に、供試体の水平変位と垂直変位の履歴を図-9、図-10に示す。水平変位については層理面の傾斜角との間に明瞭な関係は得られなかった。垂直変位についても、層理面の傾斜角が 15° の場合に初期に沈下が生じ、また層理面の傾斜角が 90° の場合、層理面がない場合に大きな浮き上がりが見られるが、その理由は明確でない。むしろ、これらの結果は載荷状態の微妙な差に起因し、破壊直前まで供試体は均一体のように挙動していると考えらる方が妥当であるように思われる。

(3) ひずみ

埋設型ひずみゲージについては、その構造、埋設方法に若干問題があり、今回の実験ではあまりよいデータは得られなかった。今後、その構造、埋設方法について検討する必要があるが、比較的よいデータが得られた例を図-11に示す。図はせん断面の垂直応力、せん断応力、最小主応力を示したものである。ひずみの測定値は破壊直前まで弾性的で、破壊は脆性的である。しかし、ひずみ測定値の異常は供試体の破壊よりも早く生じており、これは微視的な破壊の進行を示すものとも考えられるが、測定値の信頼性にも若干問題があり、この点については今後の検討課題としたい。

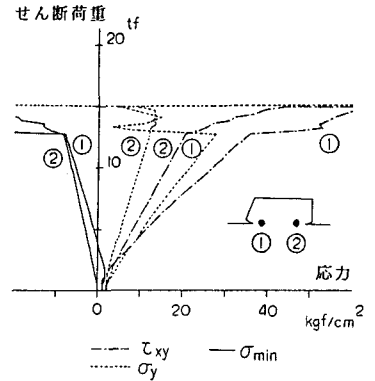


図-11 せん断試験中の応力変化

4. まとめ

層理面を含む岩盤のせん断強度について、その試験結果をまとめると以下ようになる。

●層理面沿いの滑り破壊型：層理の傾斜角 = 0° , 15°

供試体は層理面沿いにせん断している。せん断強度は均一体のそれよりも小さい。

●各層の曲げ破壊型：層理の傾斜角 = -45°

層理面が剥離し、各層の曲げによって供試体が破壊している。この結果、想定せん断面はかなり破碎された形となっている。せん断強度は均一体のそれよりもやや小さい。

●せん断破壊型：層理面の傾斜角 = 45° , 90° , -15°

供試体はほぼ想定せん断面付近でせん断破壊をしており、層理面の影響はほとんどない。せん断強度は均一体のそれとほぼ等しい。

なお今回の実験結果では、供試体の変位に対する層理面の影響は少なかった。

今後は次の点を考慮してさらに検討を進める予定である。

- ① 供試体内の内部ひずみを正確に把握し、層理面がせん断強度に及ぼす影響を詳細に検討する。
なお、埋設型ひずみゲージはその埋設方法に問題があり、今後は二次元模型を作製し、表面にひずみゲージを貼付けるなどの方法を検討する必要がある。
- ② 層理面のせん断強度が比較的大きかったため、層理面の傾斜角の影響が比較的小さくなった。
今後は層理面のせん断強度が小さい場合について検討し、より明確に層理面の影響を確認する必要がある。
- ③ その他、複雑な不連続面を含む岩盤模型についてもその不連続面の影響を把握する必要がある。

(32) Shear Test of Gypsum Modeling Stratiform Rock

Isao NAGAYAMA

Hiroshi KATAHIRA

Public Works Research Institute

Ministry of Construction

Shear strength of rock mass is affected by many factors including (1) strength of rock itself, (2) spacings of discontinuities in rock mass and (3) conditions of discontinuities. Incline of discontinuities is also an important factor to be considered, when a load is applied to rock mass. The strata of rock mass are considered as kind of discontinuities in rock mass. Stratiform rock models were made and their shear strength was tested in the same manner of in-situ shear test of rock mass. Several angles were adopted between the direction of shear and the plane of strata.

The result of tests were as follows:

[TYPE 1] Sliding along the strata (angle = 0° , 15°)

The models are sheared along the strata. The shear strength is lower than that of uniform rock mass models.

[TYPE 2] Fracture of strata by bending (angle = -45°)

Each stratum is peeled off and fractured by bending. The shear strength is a little lower than that of uniform rock mass models.

[TYPE 3] Shear along rock (angle = 45° , 90° , -15°)

The models are sheared along the shear plane which is independent of strata. The shear strength is not different from that of uniform rock mass models.