

岩盤のせん断試験方法

Method for in-situ direct shear test on rocks

1 適用範囲

この基準は、軟岩から硬岩までの原位置岩盤を対象としたブロックせん断試験及びロックせん断試験について規定する。

注記 この試験法は、マサなどの風化軟岩や泥岩などの堆積軟岩を含む軟岩から節理などの不連続面を含む硬岩に適用する。また、比較的厚さのある断層、破碎帯、シームにも適用することができる。

2 引用規格・基準

なし。

3 用語及び定義

この基準で用いる主な用語及び定義は、次による。

3.1

ブロックせん断試験

試験対象の岩盤上にコンクリートブロックを打設し、そのブロックを介して直下の岩盤をせん断する試験（図1参照）。

3.2

ロックせん断試験

試験対象の岩盤の一部を原位置でブロック状に切り出し、その岩盤をコンクリートでカバーしたうえで直接せん断する試験（図2参照）。

3.3

試験体

原位置で打設した岩盤上のコンクリートブロック、ならびに原位置で岩盤上の一部をブロック状に切り出しコンクリートでカバーした岩盤ブロック。

3.4

垂直荷重

垂直荷重用ジャッキにより試験体上面に対して垂直方向から載荷する荷重をいい、傾斜荷重とは、傾斜荷重用ジャッキにより試験体前面の傾斜面に対して載荷する荷重。

3.5

せん断変位

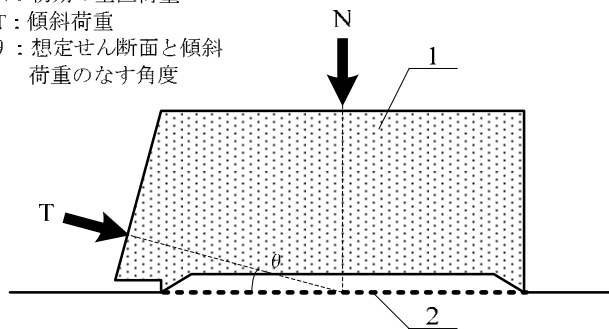
せん断方向に測定した試験体の変位。

3.6

岩盤のせん断強さ

ブロックせん断試験及びロックせん断試験によって得られる破壊点での想定せん断面に作用するせん断応力。

N : 初期の垂直荷重
T : 傾斜荷重
 θ : 想定せん断面と傾斜荷重のなす角度

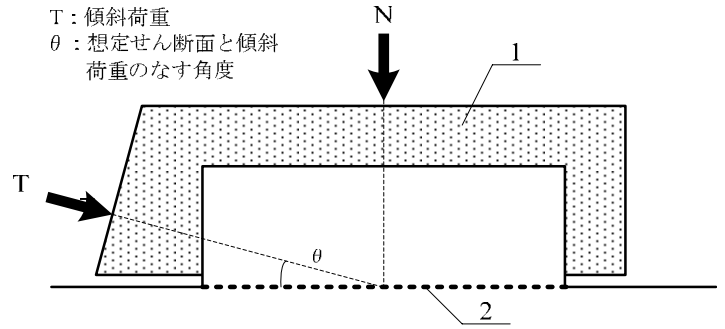


1 コンクリートブロック

2 想定せん断面

図 1 - ブロックせん断試験体

N : 初期の垂直荷重
T : 傾斜荷重
 θ : 想定せん断面と傾斜荷重のなす角度



1 カバーコンクリート

2 想定せん断面

図 2 - ロックせん断試験体

4 試験装置

4.1 載荷装置

4.1.1 一般事項

載荷装置は、垂直荷重用ジャッキと傾斜荷重用ジャッキおよび支柱、反力ブロックなどの補助器具から構成され、次に示す条件を満たすものとする。

4.1.2 垂直荷重用および傾斜荷重用ジャッキ

ジャッキは、計画最大荷重以上の載荷能力と変形に追従できる十分なストロークを持ち、油圧などによる所定の荷重の保持及びスムーズな荷重増減ができるものものとする。

注記 ジャッキの載荷能力およびストロークについては、対象とする岩盤の強度・変形特性や試験目的に応じて適切な容量のものを選ぶ。

4.1.3 支柱

十分な剛性を持つ鋼管や H 型鋼を使用し、端面が載荷軸に対して直角なものとする。

4.1.4 反力ブロック

試験中に破壊が生じることのない十分な大きさと強度を持つものとする。

4.1.5 載荷板

十分な剛性を持つ鋼板とする。

4.1.6 ローラー

せん断変位の拘束やモーメントの発生を防止するための十分な剛性を持つ丸鋼棒や鋼球などとする。

4.1.7 球座

十分な剛性を持つものとする。垂直荷重用および傾斜荷重用ジャッキの両方にそれぞれ用いる。

4.2 測定装置

4.2.1 一般事項

測定装置は垂直荷重と傾斜荷重を測定する荷重計，変位を測定するための変位計，基準梁，基準梁支持台で構成され，次に示す条件を満たすものとする。

4.2.2 荷重計

荷重計は，十分な容量および精度を持ち，振動や使用環境条件に耐え得るものとする。荷重計の容量は，計画最大荷重以上とし，精度は計画最大荷重の $\pm 1\%$ 以内とする。

注記 ジャッキの油圧を測定して作用荷重を算出する方法を取る場合には，事前に校正を行い必要な精度が確保されることを確認する。

4.2.3 変位計

変位計は，試験中に発生する変位に対して十分な測定ストロークを持ち，測定ストロークの 0.1% 以下の読み取りが可能なダイヤルゲージまたは電気式変位計を用いる。試験前および試験後に正常に動作することを確認する。

4.2.4 基準梁

十分な剛性を持つ鋼管や H 型鋼とする。

4.2.5 基準梁支持台

基準梁を確実に支持できるものとする。

5 試験体の作製

5.1 試験箇所の選定

試験箇所は，対象とする岩盤を代表する試験位置で適切に選定する。

注記 試験位置は地質状況や設計条件などを考慮して選定し，また，傾斜荷重の載荷方向は，構造物を建設した場合にせん断応力が作用する方向や岩盤の性状などを考慮して定める。

5.2 試験個数

試験個数は，同一の性状を有する岩盤について 4 個を標準とする。試験箇所の岩盤の性状が同一であることを地質観察やその他の方法により確認する。

5.3 試験体の形状および寸法

- a) ブロックせん断試験の想定せん断面は，縦 600mm×横 600mm の正方形を標準とする。

注記 1 試験体は，図-1 に示すような形状で，高さ 300～400mm とする場合が多い。

- b) ロックせん断試験の試験岩盤ブロックの想定せん断面は，縦 600mm×横 600mm の正方形を標準とする。試験岩盤ブロックは厳密に 600mm×600mm の寸法で切り出すことは不可能であるため，切り出し後に形状を測定する。

注記 2 試験体は，図-2 に示すような形状で，カバーコンクリートを含め高さ 300～400mm とする場合が多い。

- c) コンクリートブロックまたはカバーコンクリートの前面は，傾斜荷重を載荷するための傾斜を持たせる。想定せん断面と傾斜荷重のなす角度は 15° 程度を標準とする。試験体前部の下面は，岩盤と密着しないように縁切りを確実に行う。

注記 3 不連続面の影響などを考慮する必要がある場合には，a)および b)に示した寸法より大きくしてもよい。

5.4 試験体の作製

- a) 試験体は，試験装置の設置および作業上の影響が試験箇所に及ばないよう調査坑壁面あるいは他の試験体と十分な間隔をもって作製する。

- b) 試験箇所は、発破などによる緩みや損傷のある部分を取り除くため深さ 200～300mm 程度は掘り下げる。試験箇所が地下水位より下に位置し湧水がある場合には、排水溝を試験箇所周辺に設け、試験体周辺の排水を確実にしておく。
- c) ブロックせん断試験のブロックを打設する部分およびその周囲は、浮き石を除去し、大きな凹凸が無いように手掘りによって入念に仕上げる。打設面の仕上げは、せん断面を確実に岩盤内に形成させるために、数十 mm 程度盛り上げるように整形する。
- d) ロックせん断試験の試験岩盤ブロックは、カッターまたはラインドリリングによって切り出した後、緩めないように手掘りによって入念に仕上げる。
- e) コンクリートブロックまたはカバーコンクリートは、十分な強度を有するようにし、必要に応じて配筋をして補強する。カバーコンクリートと試験岩盤ブロックの周辺岩盤との縁切りを確実に行う。

注記 4 コンクリートブロックの着岩面には、付着を確実にを行うためモルタルを塗込むことが望ましい。

注記 5 配筋は，一般に直径 9～20 mmの鉄筋が使われることが多い。

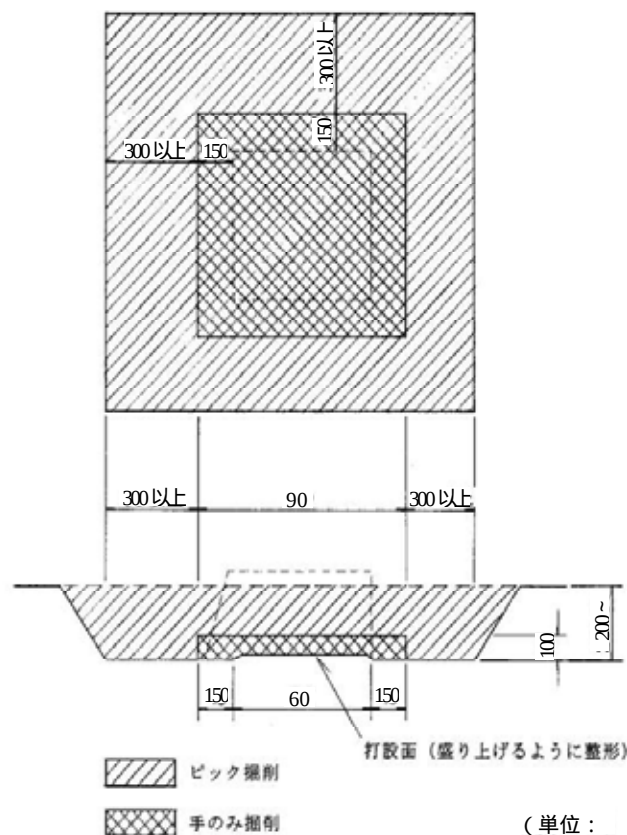


図 3 - 試験箇所の整形範囲

6 試験装置の組立て

試験装置は、 載荷装置と測定装置から構成される。

注記 試験装置の組み立て例を図 4 に示す。

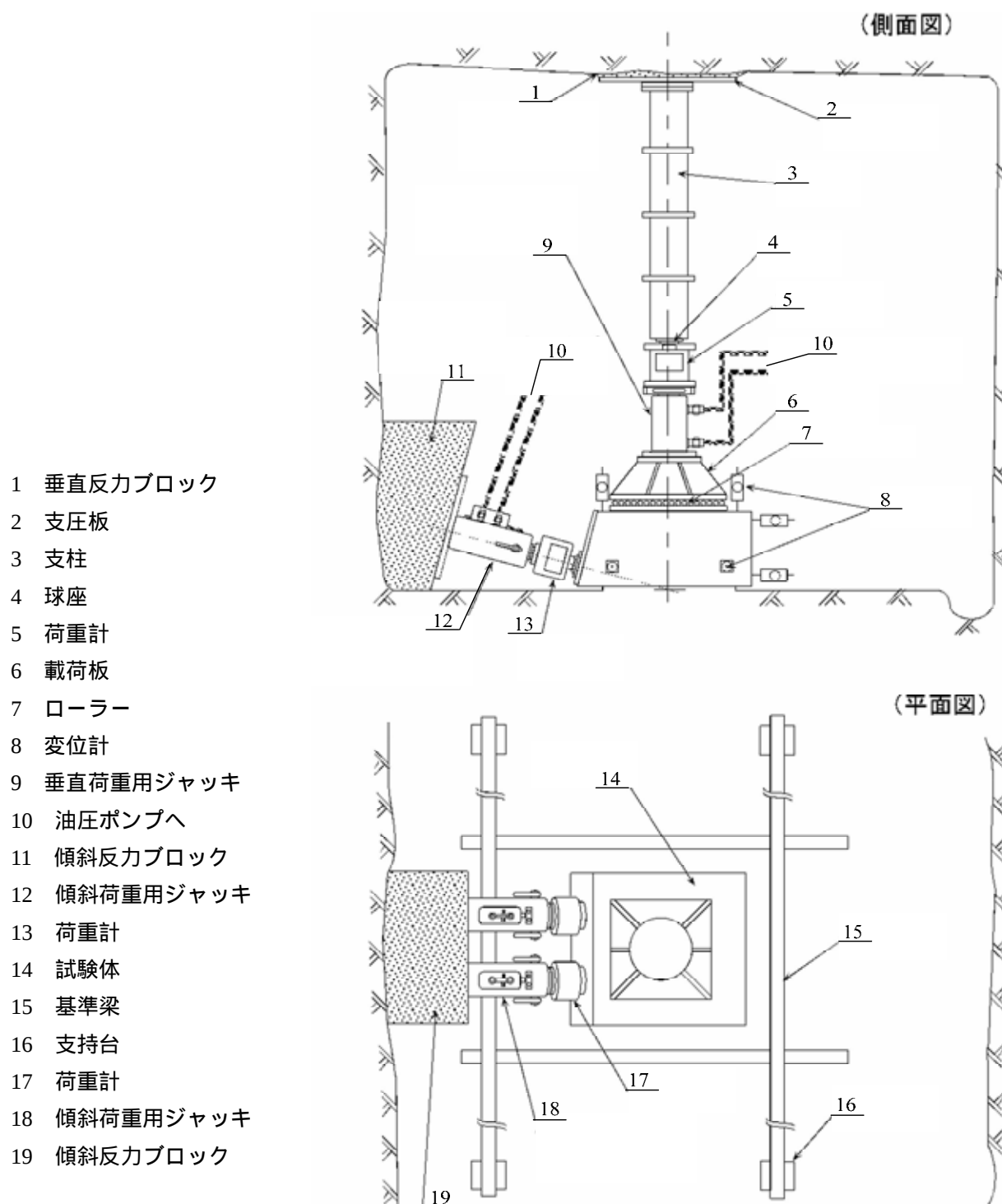


図 4 - せん断試験装置の組立例

6.1 載荷装置

- a) 垂直荷重用ジャッキは、垂直荷重の作用線が試験体および載荷板の中心軸¹⁾と一致するように設置する。

注¹⁾ 試験体の中心軸とは、想定せん断面の中心を通る法線を指す。

- b) 傾斜荷重用ジャッキは、傾斜荷重の作用線と垂直荷重の作用線が、想定せん断面の中心で交差するように設置する。
- c) 載荷板は、載荷方向に対して垂直に設置する。
- d) 支柱および垂直反力ブロックは、垂直荷重に対して確実に反力が取れるように設置する。

注記 1 支柱および垂直反力ブロックは、転倒または落下することのないよう、組立てにあたっては十分留意する。また、支柱は垂直荷重の作用線上に設置する。

- e) 傾斜反力ブロックは、傾斜荷重に対して確実に反力が取れるように設置する。

注記 2 傾斜反力ブロックの浮上がりが予想される場合は、浮上がり防止用ジャッキを入れる。

- f) 試験体と垂直荷重用ジャッキの間に、ローラーを等間隔に設置する。

注記 3 大きなせん断変位に対する垂直荷重の垂直性を保つため、ローラーの摩擦は極力少ないことが望ましい。

6.2 測定装置

- a) 変位計は、基準梁に確実に固定する。
- b) 変位計は、垂直変位 4 点、せん断変位 4 点、側方変位 2 点に設置するのが標準であり、各面に対して垂直に設置する（図 5）。

注記 1 これらの位置以外にも、試験体周辺岩盤の沈下や浮上りを測定する必要がある場合は、適切な位置に変位計を設置する。

- c) 荷重計は、荷重の作用線と荷重計の中心軸とが一致するように設置する。

注記 2 荷重計はできるだけ試験体に近い位置に設置することが望ましい。ただし、垂直荷重用の荷重計は、試験装置の全体配置や測定作業の都合上、支柱と支圧板の間に設置してもよい。

- d) 基準梁は、試験体とは独立して設置し、基準梁支持台に固定する。

注記 3 基準梁は、試験中に振動や温度変化の影響を受けないよう留意する。

- e) 基準梁支持台は、試験中に周辺岩盤が変形しても影響されないよう試験体から十分離れた位置で確実に岩盤に固定する。

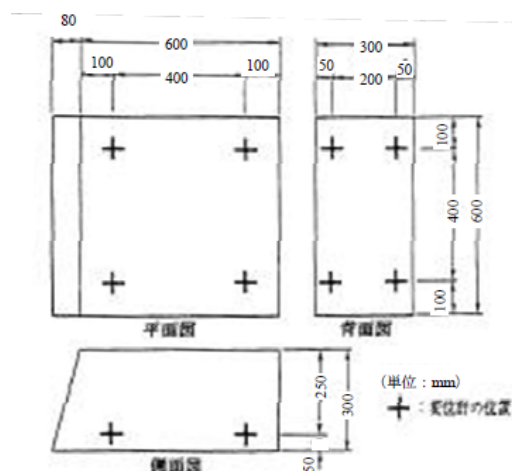


図 5 - 変位計配置の例

7 試験方法

7.1 荷重の種類

荷重は、垂直荷重と傾斜荷重の2種類からなり、傾斜荷重は垂直方向分力とせん断方向分力に分解される(図6)。初期の垂直荷重は、傾斜荷重を載荷する直前から試験終了までの間、その荷重を一定に保持する必要がある。初期の垂直荷重は、試験体破壊時の応力状態が構造物が実際に受ける応力状態の前後の値となるように定める。

注記 広い応力範囲における岩盤のせん断強度特性を評価する場合には、試験体ごとに初期の垂直荷重を変えて試験することが有効である。

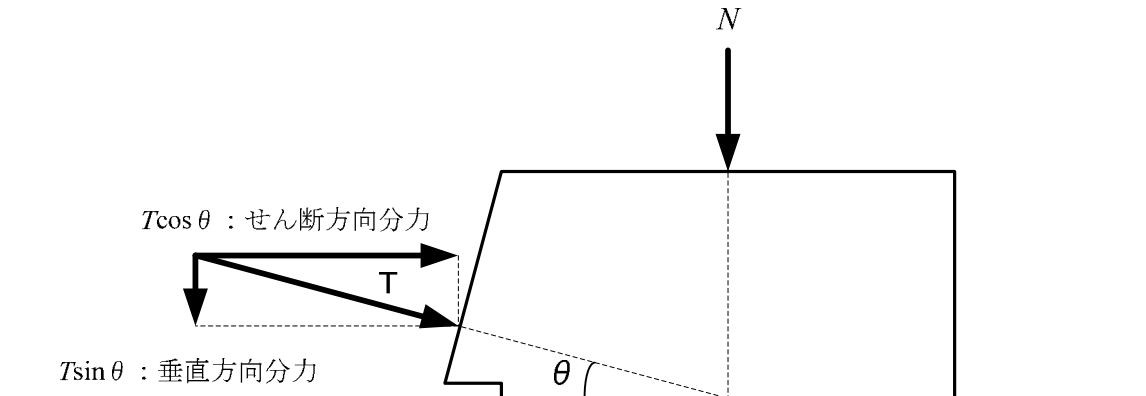


図6 - 荷重の種類

7.2 載荷過程

7.2.1 予備載荷

- 載荷装置と岩盤のなじみを確保することや測定器の作動状態を点検するために垂直荷重の予備載荷を行う。予備載荷における最大荷重は、その試験体に設定された初期の垂直荷重を越えない範囲とする。

注記1 ただし、初期の垂直荷重の値が小さい場合にはその限りではない。

- 予備載荷は繰り返し載荷とする。載荷パターンは3回の階段状繰り返し載荷を標準とし、対象岩盤の状況に応じて設定する(図7)。

注記2 載荷速度は岩質によって決定するが、予備載荷開始から終了まで一定にすることが望ましい。

7.2.2 本載荷

- 予備載荷終了後に初期の垂直荷重を載荷・保持し、破壊点に至るまでの傾斜荷重による載荷を本載荷とする。初期の垂直荷重による垂直変位が収束した段階で傾斜荷重を載荷する。

注記1 載荷速度は岩質によって決定するが、本載荷開始から終了まで一定にすることが望ましい。

- 載荷は漸増載荷を基本とする。載荷パターンは対象岩盤の状況に応じて設定する(図7)。

注記2 試験の諸条件によっては載荷と保持を繰り返す階段載荷としてもよい。

- 破壊点の確認後、本載荷を終了する。

注記3 本載荷に引き続き残留強さや摩擦抵抗を求めることもある。残留強さとは、破壊点の確認後もジャッキの加圧操作を継続し、傾斜荷重が一定になり始める点における想定せん断面に作

用するせん断応力をいうのが一般的である。また、摩擦抵抗とは、本載荷終了後、あらためて初期の垂直荷重を載荷し、本載荷と同様の試験方法で傾斜荷重を載荷した時、傾斜荷重がほぼ一定値を示すところの想定せん断面に作用するせん断応力をいう。

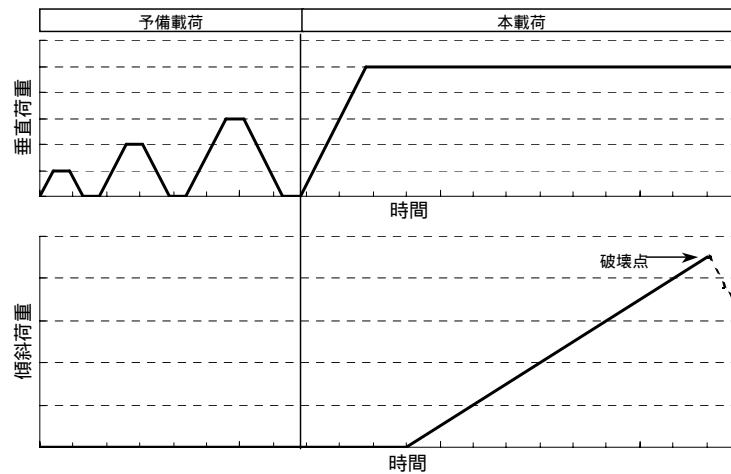


図 7 - 載荷パターンの一例

7.3 荷重および変位の測定

予備載荷時と本載荷時に、垂直荷重および傾斜荷重とそれぞれに応じた試験体の変位を測定する。測定は載荷速度に従って設定した一定時間間隔で行うことを原則とする。

注記 破壊点付近では、より正確な破壊点を把握するために測定間隔を短くすることが望ましい。

8 試験結果の整理

8.1 予備載荷

測定データにもとづいて垂直応力 - 垂直変位曲線を作成する。

8.2 本載荷

- a) せん断応力 - せん断変位曲線，せん断応力 - 垂直変位曲線を作成する。本載荷時のせん断応力および垂直応力は，次式で算出する。

$$\text{せん断応力} \quad \tau = \frac{T \cdot \cos \theta}{A}$$

$$\text{垂直応力} \quad \sigma = \frac{N + T \cdot \sin \theta}{A}$$

ここに、 T ：傾斜荷重（MN）

N ：初期の垂直荷重（MN）

A ：せん断面積（想定せん断面の面積）（ m^2 ）

θ ：傾斜荷重と想定せん断面（試験体底面）のなす角度（ $^\circ$ ）

- b) 試験体の変位軌跡図を作成する。
c) せん断応力 - せん断変位曲線で破壊点を求める。

注記 岩盤のせん断時の応力 - 変位曲線上には，図 8 のように破壊点の他に次の特異点がある。

浮上り点

せん断応力 - せん断変位関係の変曲点
残留状態を示す点

- d) 破壊点でのせん断応力 - 垂直応力の関係を整理し、岩盤のせん断強度特性を求める。岩盤のせん断強度特性は、図 9 のせん断応力 - 垂直応力図からクーロンの破壊規準により求め、次式で表示することを標準とする。

$$\tau_f = c + \sigma_f \cdot \tan \varphi$$

ここに、 τ_f ：岩盤のせん断強さ（MN/m²）

σ_f ：破壊時の垂直応力（MN/m²）

c ：岩盤の粘着力（MN/m²）

φ ：岩盤のせん断抵抗角（°）

注記 残留強さ、摩擦抵抗を求めた場合は、本載荷と同様に、せん断応力 - 垂直応力図を用いて整理し、クーロンの破壊規準によりそれぞれの強度特性を求める

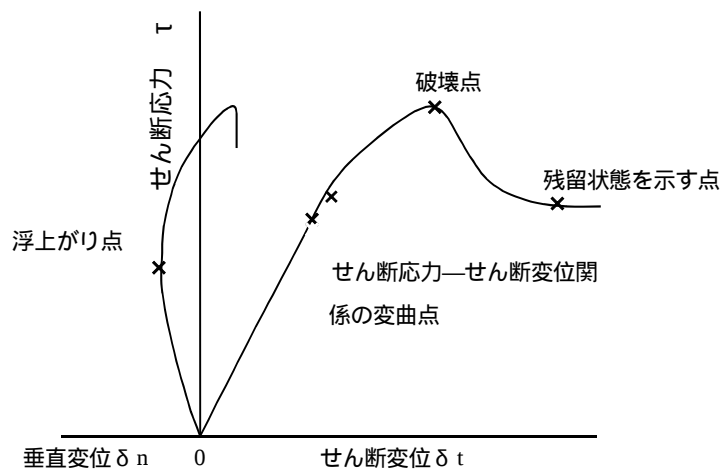


図 8 - 特異点の概念図

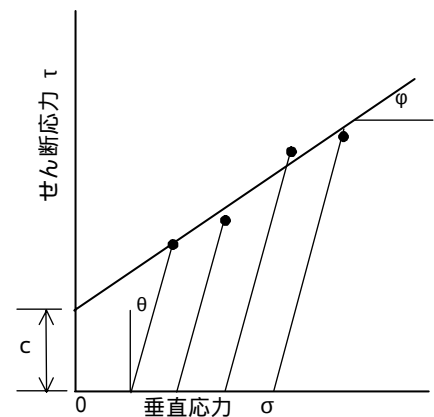


図 9 - せん断応力 - 垂直応力関係図

9 報告事項

9.1 一般事項

試験結果について次の事項を報告する。

注記 試験結果の報告にあたっては、必要な表、図および写真を添付する。

9.2 試験箇所の位置図

9.3 試験箇所の岩盤状況

- a) 試験箇所の岩盤状況について、岩種、岩質、節理や亀裂などの不連続面の状況を記載する。
- b) 岩盤分類が行われている場合には、試験箇所の岩盤分類と適用した岩盤分類基準を記載する。
- c) 試験前の試験箇所のスケッチ図、写真を添付する。
- d) 必要に応じて、湧水の状況などを記載する。

9.4 試験方法

- a) 試験の種別（ブロックせん断またはロックせん断）
- b) 試験体の形状と作製方法など
- c) 載荷方法（載荷装置、載荷パターンなど）
- d) 測定方法（測定装置、変位計配置など）

9.5 試験結果

- a) せん断応力 - せん断変位、垂直変位曲線
- b) 試験体の変位軌跡図
- c) 破壊点での垂直応力とせん断強さ、およびせん断強度特性

注記 残留強さや摩擦抵抗を求めた場合には、それぞれの強度特性を記載する。

9.6 破壊面の観察結果

試験終了後試験体を裏返して破壊面を観察し、次の事項について報告する。

- a) 岩盤側と試験体側の破壊面のスケッチ図と写真
- b) 破壊面の状況

9.7 この基準と部分的に異なる方法を用いた場合は、その内容

9.8 その他特記すべき事項