

Title	弱面を含む岩盤の力学的挙動に関する考察（第二報）
Author(s)	山本, 和夫
Editor(s)	
Citation	大阪府立工業高等専門学校研究紀要, 1974, 7, p.87-98
Issue Date	1974-02-20
URL	http://hdl.handle.net/10466/13043
Rights	

弱面を含む岩盤の力学的挙動に関する考察 (第二報)

Considerations on Mechanical Behavior in Rock Masses with Joints (Second Report)

山 本 和 夫*

Kazuo YAMAMOTO**

(昭和48年9月12日 受理)

Summary

This paper is a continuation of the previous paper. In order to clarify the effect of geological discontinuous planes(joints) involved in rock masses on their mechanical behaviours, stress, displacement and failure in rock slope are discussed experimentally with two-dimensional block-jointed models.

Joints in models are not filled. Inclination of slope is 45° . Uniform strip load is applied at the upper surface. The results obtained are as follows:

- (1) Joints remarkably affect on stress distribution. Typical inclinations of joints cause stress concentration and arching phenomena. The load being increased, these phenomena disappear gradually.
- (2) As inclination of joints to horizontal axis approaches the frictional angle of joints, slip along joints arises and failure strength goes down rapidly.
- (3) As the inclination of joints is steeper than that of slope, slip along bottom arises.

あ ら ま し

前報¹⁾に引続いて岩盤内に存在する地質学的分離面(ジョイント)の岩盤の力学的挙動におよぼす影響を解明するために、2次元のブロック・ジョイントッド・モデルを用いて、岩盤斜面の応力・変形および破壊状態を実験的に考察を加えている。

本報に用いたモデルにおいてはジョイントは未充填のままとし、斜面の傾きは 45° とし、荷重として帯状の上載分布荷重を作用させている。実験結果を要約するとつぎのようである。

(1) このモデルの応力状態におよぼすジョイントの影響は著しく、ある特定の傾きになると著しい応力集中現象およびアーチング現象を引起す。これらの現象は荷重の増加とともに小さくなり、応力は等分布化の傾向を示す。

(2) このモデルの変位はジョイントに沿うすべり、底板におけるすべり、ブロックおよびジョイントにおける圧縮および圧着変位よりなる。ジョイントの水平軸からの傾きがジョイントのまさつ角に近づくにつれて、ジョイントに沿うすべりが生ずる。ジョイントの傾きが斜面より少し急になると、底板におけるすべりを発生させる。

(3) このモデルの破壊強度と破壊モードにおよぼすジョイントの影響は著しく、とくに層ジョイントに沿うすべりが生じやすい増合には、ほとんど荷重を支持することはできない。

* 土木工学科 ** Department of Civil Engineering

1. ま え が き

前報で述べたように、岩盤の強度・変形・破壊等の力学的挙動は、内在する種々の地質学的分離面によって非常に大きく影響される。本報では岩盤構造物として岩盤斜面を取上げ、斜面内の応力・変形・破壊状態について、2次元のブロック・ジョイントッド・モデルにより考察したものである。従来より主として取扱ってきた岩盤モデルでは、ジョイントにペーストを充填してきたが²⁾、本報の実験においてはジョイントを充填せずに、岩石材料のアナロジーとしたブロックを直接積み重ねたモデルを用いている。

岩盤斜面に関する研究は、最近の山岳部における高速道路の建設が盛んに行なわれている状況において非常に重要な研究の1つであり、従来より Terzaghi³⁾, Muller⁴⁾, Trollope⁵⁾ 等多数の研究者によって研究されている。しかし、本報で目的とするのは岩盤斜面の安定性を論ずることではなくて、ブロック・ジョイントッド・モデルの力学的挙動を説明することである。したがって、ここでは実験より得られた結果を観察し、考察を加えている。

2. 実 験 概 要

2-1 実験方法および装置

本報で対象にした岩盤斜面モデルは、写真1に示されるように、ブロックを単にモザイク状に積み重ねた2次元モデルで、ジョイントとして数本の平行な層ジョイントとそれに直交して千鳥状にあるクロスジョイントが存在する。ジョイントの間隔 d は 5 cm, 上載荷重幅 T は 30 cm ($6 \times d$), 斜面の傾斜および高さはそれぞれ $\alpha = 45^\circ$, $H = 50$ cm ($10 \times d$) と一定にした。層ジョイントの鉛直軸からの傾き θ として、 0° , $\pm 30^\circ$, $\pm 45^\circ$, $\pm 60^\circ$, 90° の8種類を選ん



写真1 実験装置と岩盤斜面モデル



写真2 応力測定装置

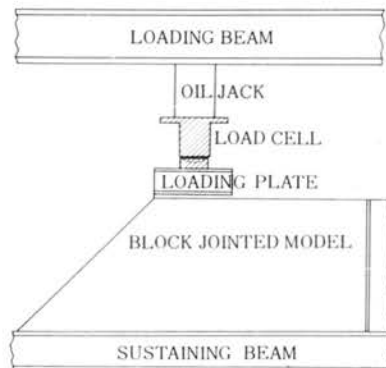


図1 実験装置

弱面を含む岩盤の力学的挙動に関する考察（第2報）

だ。なお、 θ の符号は層ジョイントが山側から谷側に流れている方向を順目 \oplus として、反対に谷側から山側に向いている方向を逆目 \ominus と定義する。

実験装置は図1に示すように、支持底板としてH型鋼梁上にブロックを1個づつ積み重ねてモデルを作成し、载荷はモデル上面より厚さ10mmのゴム板2枚、幅TのH型鋼载荷板、荷重計を介して、不動の大形梁に取付けた油圧ジャッキにより行なった。山側のモデル端は鉛直方向に配置したH型鋼によって、水平山側方向への変位を拘束している。変位は荷重段階毎に写真撮影し、あらかじめブロックの表面にマークした測点をフィルム上でコンパレータを用いて読取り、その変化より測定した（精度は約1/10mm）。ブロックに生ずる応力（ひずみ）は写真2に示すように、ブロック表面にロゼットゲージを貼付して測定した。

2-2 実験材料

岩石材料のアナロジーとして用いた石こうは5×5×10cmの直方体で、水と焼石こうを重量比W/P=1で配合されたものであり、その性質を表1に示す。石こうの一軸圧縮強度とW/Pとの関係は図2に示す。

表1 石こうの力学的性質

単位体積重量 γ_p	1.2g/cm ³
一軸圧縮強度 σ_c	24.6kg/cm ²
初期弾性係数 E_0	10×10 ⁴ kg/cm ²
半強度弾性係数 E_{50}	3×10 ⁴ kg/cm ²
圧裂引張強度 σ_t	-3.2kg/cm ²
静止まさつ角 ϕ_f	34°

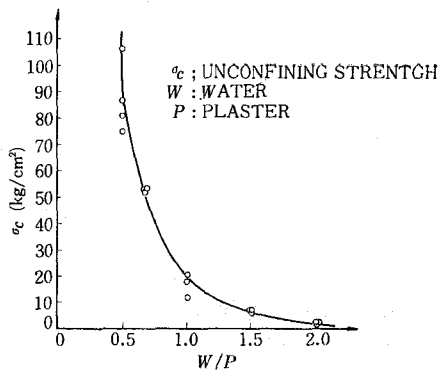


図2 石こうの一軸圧縮強度とW/Pの関係

3. 実験結果

3-1 応力状態

従来の実験よりブロック・ジョイント・モデルにおける応力分布は等方等質の弾性体に

おけるものと比べて、一般に载荷中心線近くに集中する傾向が明らかになっているが、比較検討のため、弾性体として有限要素法によって計算された応力分布を図3に示す。これによると、この斜面の傾き ($\alpha=45^\circ$) においては半無限弾性体におけるものより、谷側の応力が小さくなっているが、余り斜面の影響は見られない。以下に各層ジョイント傾斜角について、実験結果の一例を示す。

図4に層ジョイントの傾斜角 $\theta=0^\circ$ の場合の主応力の大きさとその方向を示す。荷重方向と層ジョイント方向が一致するので、载荷幅直下のブロックのみに応力は伝達され、最大主応力方向もほぼ鉛直であり、主応力の大きさも各深さではほぼ等しく、あたかも载荷幅大の鉛直柱のような挙動を示している。荷重の増大とともに座屈現象が著しくなるが、応力分布には余り変化は見られなかった。

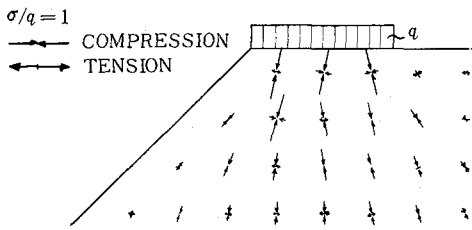


図3 弾性体における応力分布 (FEM による)

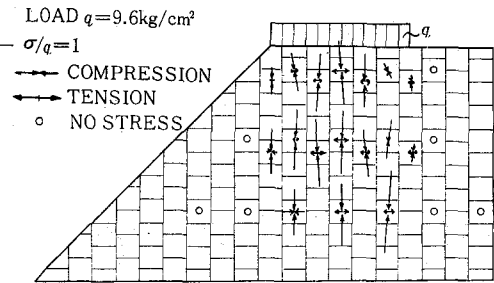


図4 主応力の大きさと方向 ($\theta=0^\circ$)

図5 (a), (b) に $\theta=30^\circ$ の場合の応力状態を示す。最大主応力方向はほぼ層ジョイント方向に平行であるが、山側ブロックでは最大主応力方向は逆にクロスジョイント方向に近くなっている。深さの変化についてみると、 $z=2/3 T$ の深さでは目立った応力集中は見られないが、 $z=T$ の深さになるとアーチング現象が現われ、3つの応力伝達柱が観察される。つぎに荷重が増加するにつれて、応力集中の度合が若干少なくなって等分布化される。

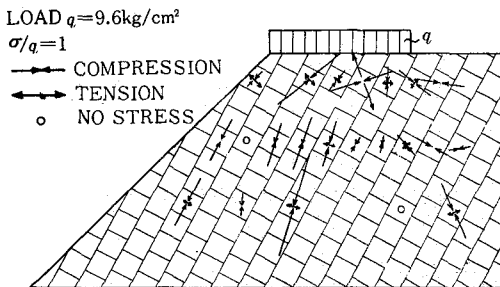


図5 (a) 主応力の大きさと方向 ($\theta=30^\circ$)

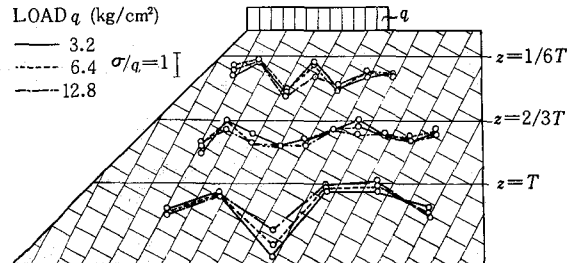


図5 (b) 荷重増加に伴う最大主応力の変化 ($\theta=30^\circ$)

図6 (a), (b) に $\theta=45^\circ$ の場合の応力状態を示す。この場合、 $z=2/3 T$ までの浅い域では载荷中心線近くに载荷応力の3倍もの応力集中を示している。それに比べて谷側のブロックではほとんど無応力状態に近くなっている。しかし、さらに深くなって $z=T$ の深さになると、逆に载荷中心線近くの応力が減って、その両側で大きくなるアーチング現象が見られる。また、

最小主応力として大きな引張応力が見られる。つぎに荷重が増加するにつれて、全体的に谷側の応力が減少して山側の応力が増加し、 $z=T$ の深さの谷側のアーチの支柱も山側に移動していくのが見られる。

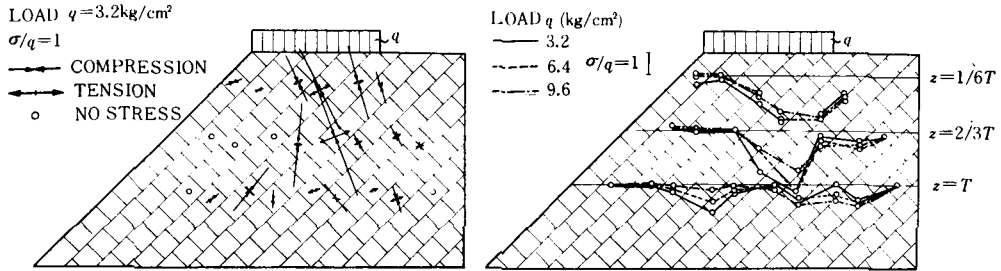


図6 (a) 主応力の大きさと方向 ($\theta=45^\circ$) 図6 (b) 荷重増加に伴う最大主応力の変化 ($\theta=45^\circ$)

図7 (a), (b) に $\theta=60^\circ$ の場合の応力状態を示す。この場合、载荷中心線近くにおいて、かなりの応力集中が生じ、とくに谷側の応力は極めて小さく無応力に近い。最大主応力の方向は浅い域ではほぼ鉛直に近く、 $z=T$ の深さになると山側の主応力が傾いている。また、この場合にも最小主応力として大きな引張応力が見られる。つぎに荷重が増加するにつれて、浅い域 $z=T/6$ においては、応力は谷側より山側へと移動するのが見られ、無応力域は斜面より载荷中心線近くまで広がるのが見られる。

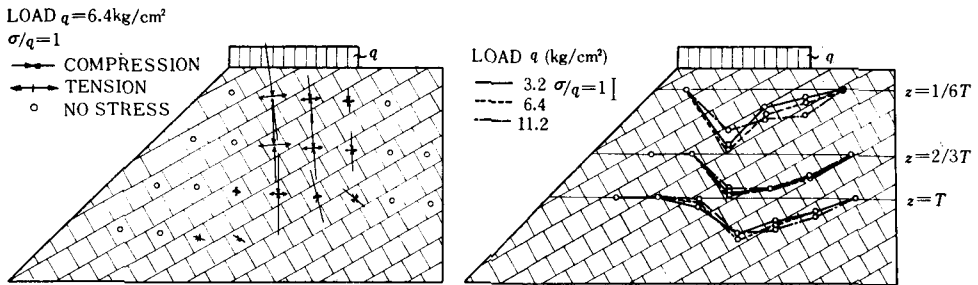


図7 (a) 主応力の大きさと方向 ($\theta=60^\circ$) 図7 (b) 荷重増加に伴う最大主応力の変化 ($\theta=60^\circ$)

図8に $\theta=90^\circ$ の場合の応力状態を示す。この場合、応力分布はほぼ複合パスカルの分布を示しており、最大主応力の方向は谷側および山側とも鉛直でなく、鉛直方向より $\pm 10^\circ$ 前後傾いている。荷重の増加に伴う応力分布の変化は余り見られない。

図9 (a), (b) に $\theta=-30^\circ$ の場合の応力状態を示す。この場合、 $\theta=30^\circ$ の場合と丁度山側と谷側を左右逆にしたような応力状態となる。深部の $z=T$ においてアーチング現象が見られる。谷側にごく近い部分のブロックの応力はかなり小さい。荷重の増加につれて、山側への応力の偏向が見られ、 $z=2/3T$ 、 $z=T$ の深さではアーチの崩壊が見られ、応力の集中は少なくなつて等分布化される。

図10 (a), (b) に $\theta=-45^\circ$ の場合の応力状態を示す。この場合、 $\theta=45^\circ$ の場合と同様に载荷中心線近くに応力は集中しているが、谷側のブロックにも応力の伝達が見られ、アーチング現

象も $z=2/3 T$ より深い域で見られる。荷重が増加するにつれて等分布化される。

図11 (a), (b) に $\theta=-60^\circ$ の場合の応力状態を示す。この場合、 $\theta=60^\circ$ の場合と同様に載荷

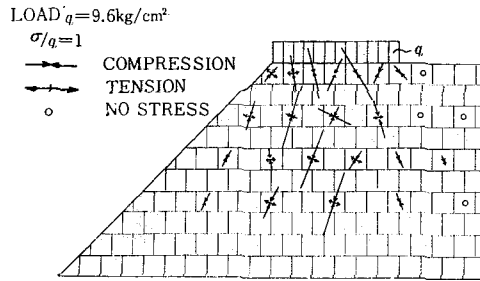


図8 主応力の大きさと方向 ($\theta=90^\circ$)

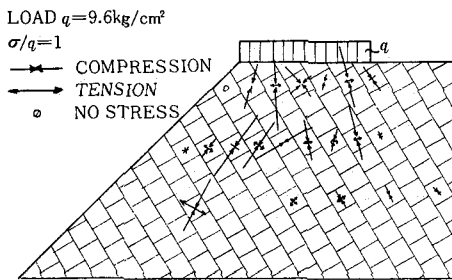


図9 (a) 主応力の大きさと方向 ($\theta=-30^\circ$)

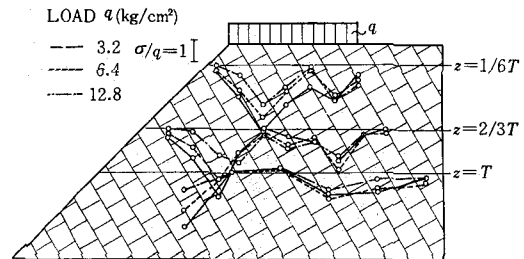


図9 (b) 荷重増加に伴う最大主応力の変化 ($\theta=-30^\circ$)

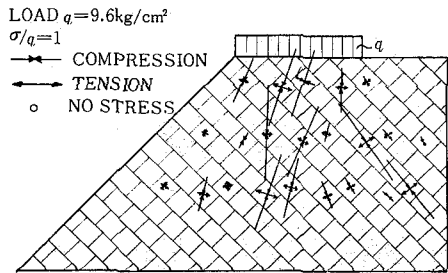


図10 (a) 主応力の大きさと方向 ($\theta=-45^\circ$)

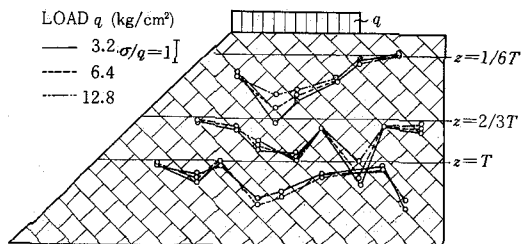


図10 (b) 荷重増加に伴う最大主応力の変化 ($\theta=-45^\circ$)

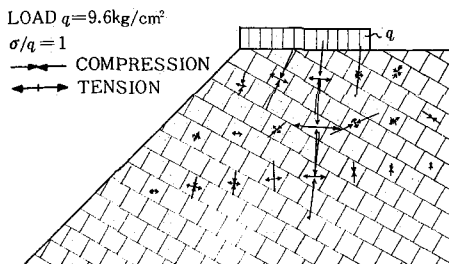


図11 (a) 主応力の大きさと方向 ($\theta=-60^\circ$)

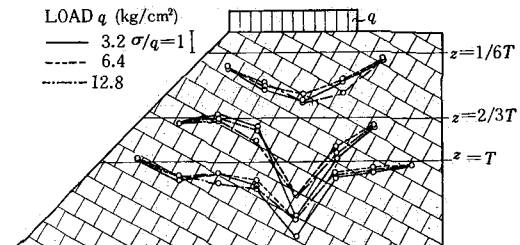


図11 (b) 荷重増加に伴う最大主応力の変化 ($\theta=-60^\circ$)

中心線近くに著しい応力集中を示し、荷重応力の3倍にも達する。最大主応力の方向も鉛直に近い。しかし、 $\theta=60^\circ$ の場合に見られるような極端な無応力域は見られない。荷重が増加するにつれて、少し応力集中度は低くなる程度で余り変化は見られない。

3-2 変形状態

ブロック・ジョイントッド・モデルにおける変位は、ジョイントに沿うすべり、ブロックの回転、ブロックおよびジョイント間の変形、座屈等より生ずる。以下に実験結果の一例を示す。

図12に $\theta=0^\circ$ の変位状態を示す。変位量は最大約 3 mm と小さく、この量の大部分は初期荷重段階で載荷幅内のブロックにおいて生じ、その後荷重が増加しても変位の増加は停滞する。しかし、破壊近い荷重になると、座屈による横方向（面外変位も含む）へのはらみ出し変位とブロックの圧潰によって鉛直変位がまた増加する。

図13に $\theta=30^\circ$ の変位状態を示す。この場合も最大変位量は約 3 mm と小さく、荷重の増加に伴う変位過程は一点鎖線で分けられた3つの領域によって異なる。このうち、谷側の領域では層ジョイントに沿う変位、山側の領域ではクロスジョイントに沿う変位、中間の載荷板下の領域では蛇行変位を示している。これは中間領域のくさび状の部分岩盤モデル内下部に押し込められて、そのため両側の領域がそれぞれ谷側および山側に押し広げられていることを示す。

図14に $\theta=45^\circ$ の変位状態を示す。この場合、一点鎖線で示す境界線によって谷側の大変位領域と山側の小変位領域に分けられる。大変位領域の変位は層ジョイントに沿い、荷重が増加して $q=11.2 \text{ kg/cm}^2$ になると、底面のすべりが生じて、20 mm もの大きな変位を示す。小変位領域の変位は鉛直方向に 2 mm 以下となっている。

図15に $\theta=60^\circ$ の変位状態を示す。この場合、一点鎖線で示すように、一端が斜面に出ている

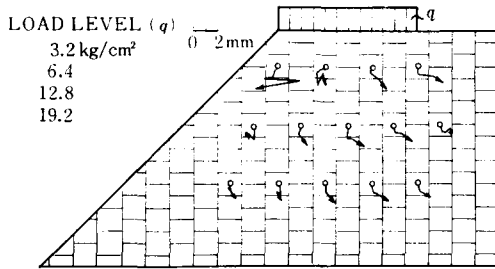


図12 荷重増加に伴う変位過程 ($\theta=0^\circ$)

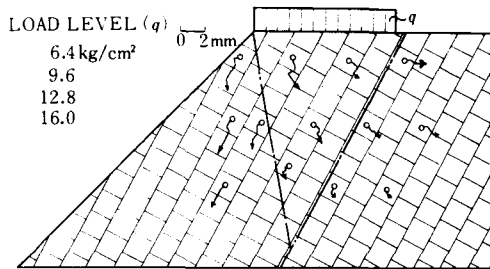


図13 荷重増加に伴う変位過程 ($\theta=30^\circ$)

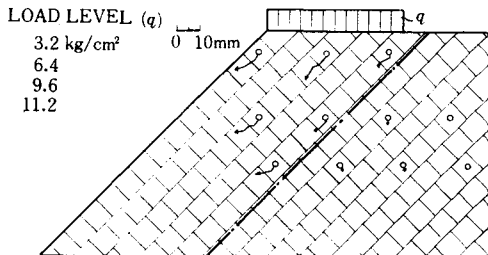


図14 荷重増加に伴う変位過程 ($\theta=45^\circ$)

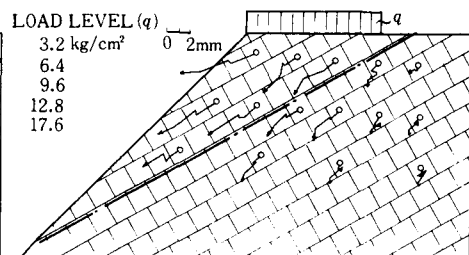


図15 荷重増加に伴う変位過程 ($\theta=60^\circ$)

る層ジョイントに沿うブロックと底板に当たっている層ジョイントに沿うブロックに分けられる。前者では一点鎖線の層ジョイントに沿うすべり変位が見られ、後者では山側ほど変位は小さくなって、その変位方向も鉛直方向に近づいているのが見られる。さらに変位過程をみると、 $q=3.2\text{ kg/cm}^2$ の初期荷重段階まではジョイントの圧着と層ジョイントに沿う小さなすべりが見られ、その後変位は停滞して、 $q=9.6\text{ kg/cm}^2$ になると一点鎖線で示す層ジョイントに沿う大きなすべりが生じているのがわかる。

図16に $\theta=90^\circ$ の変位状態を示す。この場合、変位量は約 3 mm と小さく、変位方向もほぼ鉛直方向である。荷重が増加すると、 $z=T$ を境界にして、浅い域で山側に、深い域で谷側への水平変位が見られ、小さな相対変位が生じている。

図17に $\theta=-30^\circ$ の変位状態を示す。一点鎖線で示すクロスジョイントと底面をすべり面として、谷側では約 20 mm の水平方向の大変位が生じており、山側では鉛直方向に変位が生じている。

図18に $\theta=-45^\circ$ の変位状態を示す。変位量は全体に約 3 mm と小さく、変位方向も斜面にごく近い部分のクロスジョイントに沿うものを除いて、ジョイント方向に関係なく鉛直方向となっている。

図19に $\theta=-60^\circ$ の変位状態を示す。変位量は全体に約 2 mm と小さく、荷重の増加につれて、クロスジョイントに沿う浮上り現象が見られる。これは応力集中によって個々のブロックに回転変位がおり、ブロック中央点で測定しているために、その点の変位が浮上って測定されたものと考えられる。

3-3 破壊状態

ブロック・ジョインテッド・モデルの破壊モードはつぎの4つに分けられる。

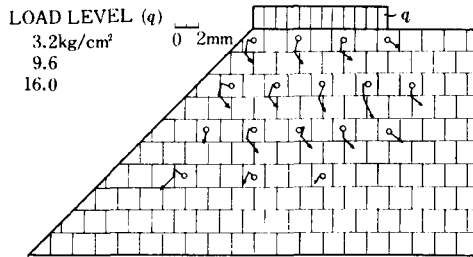


図16 荷重増加に伴う変位過程 ($\theta=90^\circ$)

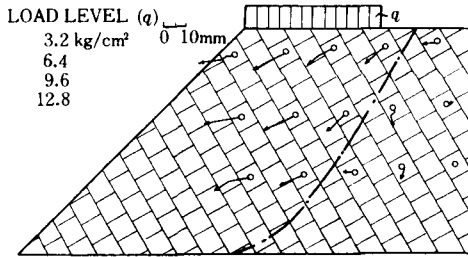


図17 荷重増加に伴う変位過程 ($\theta=-30^\circ$)

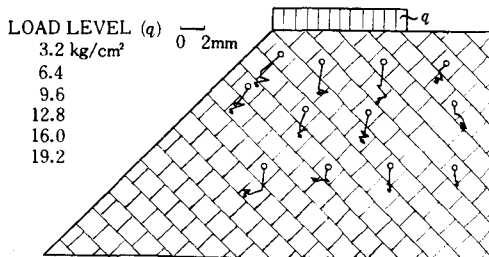


図18 荷重増加に伴う変位過程 ($\theta=-45^\circ$)

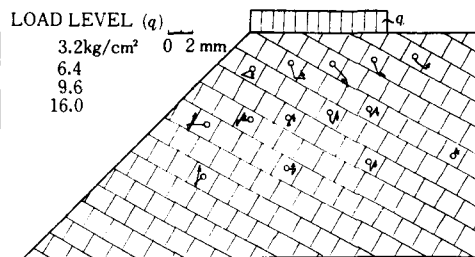


図19 荷重増加に伴う変位過程 ($\theta=-60^\circ$)

- (A) ジョイントに沿うすべり破壊
- (B) ジョイントと部分的に岩石ブロックを横切るすべり破壊
- (C) 載荷板下の岩石の圧潰
- (D) 座屈破壊

ここでは破壊を上載荷重に対する支持力が急減した点で定義する。以下に実験例を示すが、写真は肉眼で観察できる変位量の大きい場合のみを示す。

$\theta=0^\circ$ の場合、載荷幅のブロックが柱状の座屈現象を示し、面外破壊を含む水平方向のはらみ出しおよび載荷幅内のブロックの圧潰により破壊に至る。破壊荷重は $q_f=19.2 \text{ kg/cm}^2=0.78 \sigma_c$ で、破壊モードは *D* である。

$\theta=30^\circ$ の場合、ブロックの圧潰により破壊に至る。ブロックの破壊は載荷板直下に限られず、アーチング現象による深部における応力集中に見られるように、深部のブロックの圧潰も多い。破壊荷重は $q_f=22.4 \text{ kg/cm}^2=0.91 \sigma_c$ で、破壊モードは *C* である。

$\theta=45^\circ$ の場合、写真3に示すように層ジョイントの開口が目立ち、初期破壊は応力の集中しているブロックに見られるが、最終的には底面におけるすべりを誘発して破壊に至る。破壊荷重は低く $q_f=12.2 \text{ kg/cm}^2=0.5 \sigma_c$ で、破壊モードは *A* である。

$\theta=60^\circ$ の場合、写真4に示すように谷側のブロックの層ジョイントに沿うすべりとそれに伴って山側におこる応力集中によるブロックの圧潰により破壊に至る。破壊荷重は $q_f=17.6 \text{ kg/cm}^2=0.72 \sigma_c$ で、破壊モードは *A* と *C* の混合である。

$\theta=90^\circ$ の場合、最も安定した状態であるので、載荷板直下のブロックが粉々に圧潰して破壊に至る。したがって破壊荷重も最大で $q_{0f}=28.8 \text{ kg/cm}^2=1.17 \sigma_c$ で、破壊モードは *C* である。

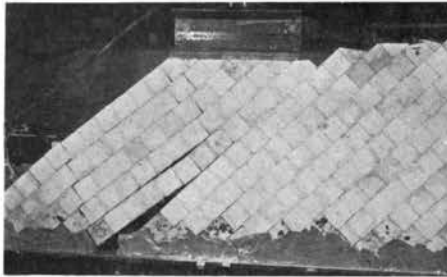


写真3 破壊状態 ($\theta=45^\circ$)



写真4 破壊状態 ($\theta=60^\circ$)



写真5 破壊状態 ($\theta=30^\circ$)

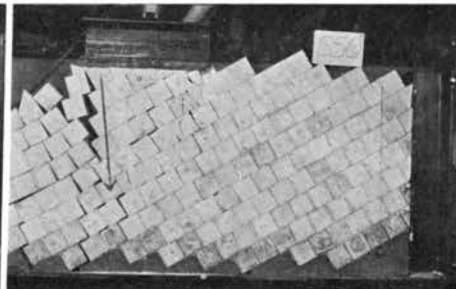


写真6 破壊状態と応力伝達機構

$\theta = -30^\circ$ の場合、**写真5**で示すように、クロスジョイントに沿うすべりとそれに伴う層ジョイントの開口および底面のすべりによって破壊に至る。破壊荷重は $q_f = 15.4 \text{ kg/cm}^2 = 0.63 \sigma_c$ で、破壊モードは **B** である。

$\theta = -45^\circ$ の場合、ブロックの圧潰により破壊に至るが、載荷板直下のブロックの圧潰が著しい。破壊荷重は $q_f = 22.4 \text{ kg/cm}^2 = 0.91 \sigma_c$ で、破壊モードは **C** である。

$\theta = -60^\circ$ の場合、広範囲のブロックの圧潰により破壊に至る。破壊荷重は $q_f = 24.0 \text{ kg/cm}^2 = 0.98 \sigma_c$ で、破壊モードは **C** である。

4. 考 察

4-1 応力伝達機構

実験より得られた応力状態を総括すると、このモデルにおける特徴的現象と見なされるものは、著しい応力集中現象とアーチング現象である。著しい応力集中現象はつぎの2つに大別できよう。

(1) $\theta = \pm 45^\circ, \pm 60^\circ$ に見られるようなクロスジョイントに沿う階段状の一連のブロックにおける応力集中現象

(2) $\theta = \pm 30^\circ, \pm 45^\circ$ に見られるようなアーチング現象に伴う深部での応力集中現象

(1)については、破壊寸前の非常に極限な状態を示す**写真6**に見られるように、クロスジョイントに沿う階段状の一連のブロックが、矢印で示すような荷重支持機構を構成するためにおこる現象と解される。この場合、応力状態の**図7**に示すように、個々のブロックは丁度割裂状態にあり、矢印と直交する方向に大きな引張応力が生じている。したがって、ブロックは荷重により回転し、まわりのジョイントは開口されて、矢印方向の一連のブロックは点接触に近い状態で連なっているものと推測される。このような応力伝達機構を示すのは、層ジョイント方向よりも矢印で示す方向が鉛直に近い場合、すなわち $\theta = \pm 45^\circ, \pm 60^\circ$ および 90° の場合である。しかし、 $\theta = 90^\circ$ ではブロックが最初から安定状態にあって、ブロックの回転を起しにくいので、応力集中は少ない。逆にジョイント方向が矢印で示す方向より鉛直に近い場合、すなわち $\theta = 0, \pm 30^\circ$ の場合、層ジョイントに沿う応力伝達が卓越するものと考えられる。

(2)については、(1)で述べた2つの方向に余り大きな差がない場合、すなわち $\theta = \pm 30^\circ, \pm 45^\circ$ の場合、上記2種の応力伝達機構が発達して、両者の間に存在するブロックには余り応力が伝達しなくなる。この現象は応力を集中的に伝達するブロックがアーチを形成していると考えることができる。しかし、荷重が増加するにつれて、一度開口したジョイントがブロックの沈下によって閉塞して、このアーチング現象は次第に消滅されて、応力は等分布化されていくものと考えられる。したがって、応力伝達機構は荷重板と表面ブロックおよび個々のブロック間の初期接触状態と荷重増加に伴う変位による接触状態の変化に左右される。

4-2 ジョイントおよび底板におけるすべり

実験より得られた変位状態をつぎのように大別できよう。

(1) ジョイントに沿うすべり

(2) 底板におけるすべり

(3) ブロックおよびジョイントにおける圧縮および圧着変位

このうち、(3)による変位はブロックの大きさや弾性係数より、本実験の荷重レベルでは高く4 mm 前後に限られるので、 $\theta = 0^\circ, 30^\circ, 90^\circ, -45^\circ, -60^\circ$ の場合はほとんどこれによる変

位と解される。この変位状態においても、この種のモデルの特徴的傾向としてのブロックの回転なども含まれる。ここでは大変位を示す(1), (2)の変位状態について考察する。まず、層ジョイントに沿うすべりは順目の場合の $\theta=45^\circ, 60^\circ$ に見られるが、これはジョイント間のまさつ角 ϕ_f が 34° 、付着力が0であることおよび層ジョイントの一端が斜面に出ているかどうかを考慮すれば、層ジョイントの水平軸からの傾き $(90^\circ-\theta)$ が ϕ_f と斜面の傾き $\alpha=45^\circ$ の範囲内にあるとき、すなわち $56^\circ > \theta > 45^\circ$ のとき、ブロックの自重だけで層ジョイントに沿うすべりが生ずるものと考えられ、実際モデルの作成は困難である。したがって、 θ が 56° より 90° に大きくなるにつれてすべりにくくなり、逆に 45° より 0° に小さくなるにつれてもすべりにくくなると考えられる。例えば、図13に示すように $\theta=30^\circ$ の場合、载荷左端近くの層ジョイントに沿うすべりが生じようとしても、底板によって抑制されて、一点鎖線で示すくさび形のもの押し込まれることによって、谷側のブロックをわずかに移動させるに止まっている。逆目の場合、逆にクロスジョイントに沿うすべりが $\theta=-30^\circ$ に見られるが、 $\theta=-45^\circ$ では見られない。これはクロスジョイントに沿うすべり面は図17に示すような形となるので、そのすべり面の角度が 45° に近いときに最もすべり易くなるものと考えられる。しかし、上記のジョイントに沿うすべりは、底板におけるすべりと全く無関係には生じ得ないものであり、ジョイントと底板を結ぶ1つのすべり面のすべり抵抗と外力によるすべり面上に働くせん断力を考慮しなければならぬことはもちろんである。

4-3 破壊強度と破壊モード

実験より得られた破壊状態を先述した破壊までの応力および変位の過程をも同時に考え合わせて考察しよう。これによると層ジョイントが水平な $\theta=90^\circ$ では応力集中が比較的少なく、したがって破壊強度は最も大きく、ブロック自身の一軸圧縮強度 σ_c にほぼ等しい荷重でブロックが圧潰して破壊に至る。図20に破壊強度および破壊モードと層ジョイントの傾きを示す。層ジョイントの水平軸からの傾き $(90^\circ-\theta)$ がジョイントのまさつ角 ϕ_f に近づくにつれて、層ジョイントのすべりが生じて強度は急減する。その後、 $(90^\circ-\theta)$ が斜面の傾きを越えると底板によってすべりが抑制されて強度はまた大きくなり、破壊もブロックの圧潰によるものが卓越してくる。しかし、この場合、応力集中および座屈が生じて、 $\theta=90^\circ$ に比べて低い荷重でブロックは圧潰する。逆目の場合もクロスジョイントの傾きによつて、順目とはほぼ同様な傾向を示すが、強度の減少は順目の場合より全体に少なく、強度が小さくなる角度も少しずれる。これはクロスジョイントに沿うすべり面の傾きおよび応力集中の度合を考慮することによって理解できる。したがって先の応力および変位状態をも考え合わせて、とくにジョイントに沿うすべりおよび応力集中による強度低下に十分な配慮が必要であろう。

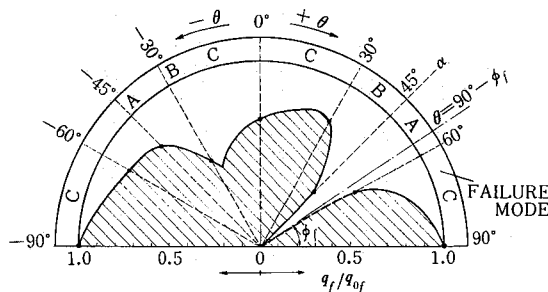


図20 破壊強度および破壊モードにおよぼす層ジョイントの傾き

5. む す び

本報は付着力のないジョイントよりなるブロック・ジョイント・モデルの岩盤斜面において、その力学的挙動におよぼすジョイントの影響について実験的に考察を加えた。得られた結果を要約するとつぎのようである。

(1) 層ジョイントの鉛直軸からの傾き θ が $\pm 45^\circ$, $\pm 60^\circ$ の場合には、クロスジョイントに沿って階段状に並ぶ一連のブロックにおいて、応力が伝達され、そこでは荷重強度の2~3倍の応力集中を示す。

(2) 層ジョイントの傾き θ が $\pm 30^\circ$, $\pm 45^\circ$ の場合には、深部においてアーチング現象が現われ、荷重中心線近くで小さな応力域が生じてくる。しかし、荷重の増加とともにアーチングは崩壊し、応力は等分布化される。

(3) 順目の場合、層ジョイントの水平軸からの傾き $(90^\circ - \theta)$ がジョイントのまさつ角 ϕ_f に近づくと、層ジョイントに沿うすべりが生じ、斜面の傾き α を過ぎると底板によってすべりが抑制されてくる。逆目の場合、クロスジョイントに沿うすべりが生ずるが、順目ほど顕著には現われない。

(4) 破壊強度と破壊モードにおよぼすジョイントの傾きの影響は著しく、とくに層ジョイントに沿うすべりが生じ易い角度では、ほとんど荷重を支持することはできない。

以上本報より得られた結果と前報で提案した理論との比較検討はまたの機会に譲る。

最後に本実験を行なうに当って、多大の御協力をいただいた米田光明君(現在兵庫県庁勤務)に深く感謝します。

参 考 文 献

- 1) 山本和夫：弱面を含む岩盤の力学的挙動に関する考察，大阪府立高専研究紀要，第6巻，pp. 69-80, 1973.
- 2) 山本和夫・有岡正樹：不連続性基盤の応力・変形および破壊に関する模型実験，材料，第18巻，第187号，pp. 314-324, 1969.
- 3) Terzaghi, K.: Stability of steep slopes on hard unweathered rock, *Geotechnique*, vol. 12, no. 4, pp. 251-270, 1962.
- 4) Muller, L.: The stability of rock bank slopes and the effect of rock water on same, *Int. Jour. Rock Mechanics and Mining Sciences*, vol. 1, pp. 475-504, 1964.
- 5) Trollope, D.H.: Mechanics of rock slopes, *Trans. Society of Mining Engineers*, vol. 220, no. 3, pp. 275-281, 1961.