

京都大学工学部 正員 山本和夫

京都大学大学院 学生員 有岡正樹

1. まえがき 筆者らは現在までいろいろの不連続面を有する岩盤模型(特にブロックを積み重ねた模型)に対してその力学的特性を明らかにするため、光弾性ゲージ等を使用して実験を行ってきた。今回は前回に引続いて岩石材料のアナログとしてモルタルブロックを使用して、それらを積み重ねた不連続性岩盤模型について実験を系統的に行ない、かつそれらの模型に適用されるべき理論的解析の方法について考察を行ない、以下に報告する。

2. 実験概要

1). 模型材料と模型の作成 岩石材料として $5.5 \times 5.5 \times 5.5 \text{ cm}$ のモルタルブロック(産量配合比 $c : s : w = 1 : 2 : 0.6$)を使用し、不連続面材料(以下バインダーと呼ぶ)としてセメントとフライアッシュとを混合したペースト状のものを使用した(産量配合比 $c : f : w = 1 : 1 : 1.2$)。また、それらの力学的諸性質を次に示す。

モルタル: 圧縮強度 30.5 kg/cm^2 , 弾性係数 $2.5 \sim 2.8 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$, ポアソン比 $0.23 \sim 0.26$

バインダー: 弾性係数 $2.0 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$, 付着強度 10.2 kg/cm^2 , まる付着係数 0.611 。

なおバインダーの付着強度とまる付着係数の値は二面せん断試験により求めた値である。模型は1ヶ月間、水中養生($20 \pm 1^\circ \text{C}$)を経たモルタルブロックを厚さ 3 mm のバインダーに包みこみ二次的にモザイク状に積み重ねて作成した。

2). 実験装置および方法

実験はクレー式万能試験機(100t)を用いて模型表面に静的垂直荷重をかける行なった。応力および変下の測定は各荷重段階毎にペーパージージ、光弾性ゲージおよびダイヤルゲージにより行ない、逐次破壊の状況は肉眼で観察した。写真-1は実験装置および光弾性ゲージを接着したセット状の模型を示す。写真-2はペーパージージおよびダイヤルゲージセットの様子を示す。

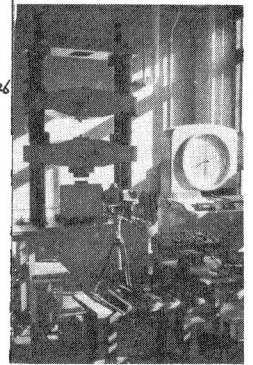


写真-1

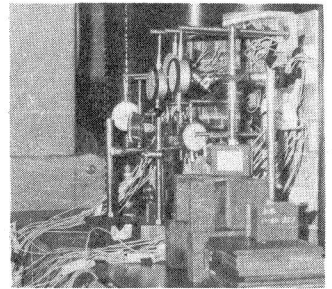


写真-2

3. 実験結果とその考察 実験に岩石材料の寸法、形態および最荷状態により5種類の模型について行なったが、こゝでは $S_x = 3$ ($c : f$ ブロックの厚さ長さ $T : 荷重巾$)の場合に対して剛性載荷(模型1)とたわみ性載荷(模型2)の2つについて、主に模型1の結果を図示しながら2つを対比して考察を加える。

1). 逐次破壊状況 図-1は模型1の逐次破壊状況を示す。図中A B面に沿った不連続面に第1のひびわれが生ずる場合が最も多く、全実験の約40%に達した。それによってB C面に沿ってひびわれが生ずる場合も多く、最終的破壊状況は全ての実験においてほぼ同一でその荷重もモルタルブロック自身の破壊強度にほぼ等しく、荷重を載っているモルタルブロックが破壊するまでは支障力を有する。A B面に沿って生ずる場合はAにおける局部引張破壊、B C面に生ずる場合はCにおける局部せん断破壊がそれぞれ支配的であり、その後順次ひびわれが下部に進展していくものと考えられる。また

G/H面に生ずる場合には荷重および支持部の不均一性の影響により、最下流部において曲げ引張りを生ずるためであらうと考へられる。以上のことより、同一実験でもセプト時のみならず状態の変動により第1のひびわれは必ずしも同一のところに生ずるとは断言できないところから、不連続性基礎盤の複雑性があり、その興味深きところでもある。また模型2においてはおおむね均一荷重(50~70 kg/cm²)でG/H面にひびわれを生ずるのと同様であった。これは後述するように、たわみ性載荷により載荷面直下の応力集中度が高いことから、支持面での曲げ引張りを誘発するものであろう。しかし十分な高さを有するモデルにおいても果して同様にG/H面から第1ひびわれを生ずるかは疑問である。いま剛性載荷の場合において、 η が変化するにつれて第1ひびわれが生ずる荷重にどのような変化がみられるかを実験結果から示すと $\eta = 1$ で 160 kg, $\eta = 1/2$ で 730 kg, $\eta = 1/3$ で 100 kg と η が小さくなるに従っておおよそ値となる。これは同一の荷重強度でも載荷面下のひびわれ面数が増えるほどはひびわれが入り易いことを表わしている。

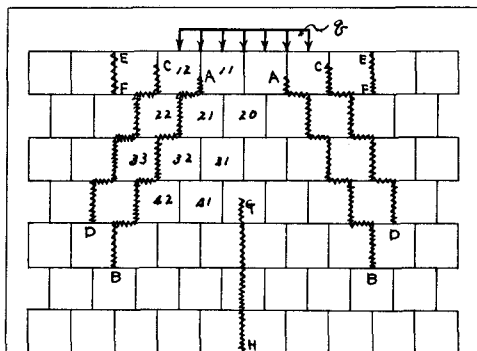
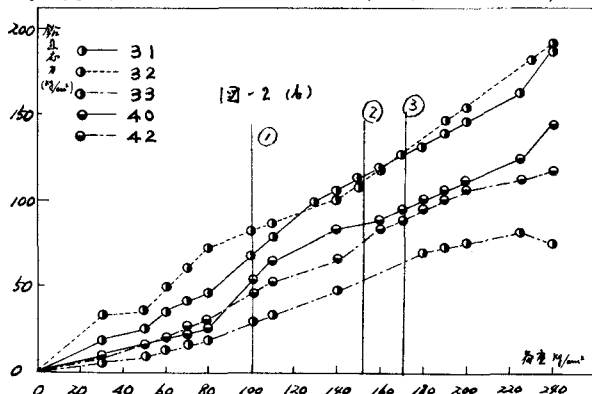
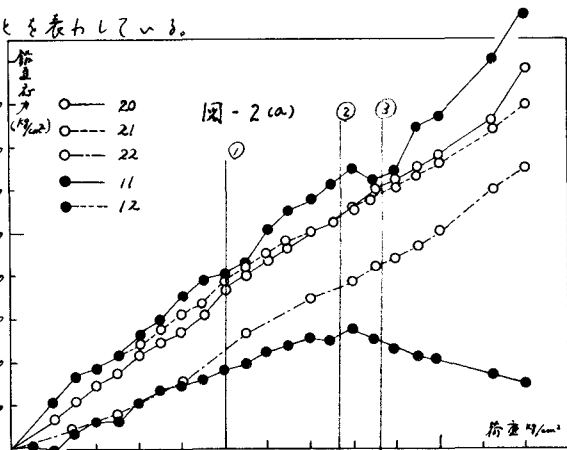


図-1 模型1の一次破壊状況

- 1) AB 90~110 kg/cm²
 2) CD 110~130 kg/cm²
 3) EF 130~170 kg/cm²
 破壊荷重 280~300 kg/cm²

2) 応力状態 図-2は模型1の場合の載荷重量と鉛直応力の関係を示す。これは当然のことであるが剛性載荷の影響により載荷面直下より左右にいくらかずれた位置において鉛直応力のピーク(例えば20と21の間の)と比較すれば明らかに低くなる。深く下るに従ってその影響は小さくなることは明らかならう。つまりひびわれの発生との関連において考へてみる。図中①は第1にひびわれを生じた荷重(この場合図-1のG/H面に第1ひびわれを生じた)を示し、②~③はひびわれの成長に進行しているときの荷重レベルである。この図において、第1にひびわれが生ずるまでの状態では同図に併記した Boussinesq の弾性解とくらべて、第3層、第4層の比較的深部ではその傾向が似ているのに反して、第1層、第2層の浅いところではいくらか異なるようである。また荷重①のところで各層の応力変化にわづかち差が認められるだけに、荷重②~③では、各層



破壊の急激な進行にともない、とくに上部部での変化が著しくその後は荷重と下のフロッグにおいて、応力分配が変化するようである。これは応力集中の位置が低下に移動する傾向を示す。図-3は模型1における各フロッグの主応力の分布とその方向を示す。①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿に引張主応力が発生していることがわかる。これはBousinesqの弾性解にみえては見られぬ現象である。模型2においては模型1よりも荷重低下への応力集中が著しく荷重の増大とともにその傾向は顕著である。これはひびわれの進行にともない側方向への応力の伝播度小さくなるためである。深部におけるやはり模型1と同一様Bousinesqの解に近い。引張主応力の生じている領域は模型1よりも広い。

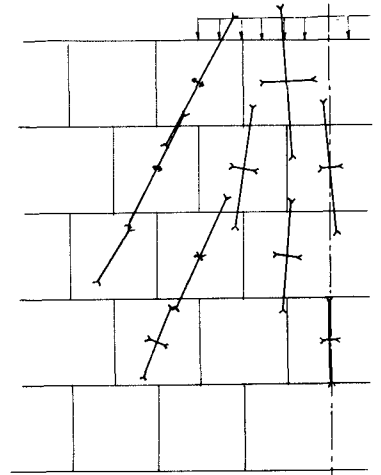


図-3

3) 低下沈下 図-4は模型1における荷重-沈下曲線である。これより荷重①から②ひびわれが生じたところから③のひびわれが生ずる範囲まで、フロッグは、③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿に急激な変化がみられ、荷重の増大とともに急に低下の回復がみられる現象が起きている。実験回数が多いほど、ひびわれの折角がでる側方向への応力の伝播の急激に減り、ひびわれは生じないかと考えられる。また荷重低下のフロッグではひびわれの進行による変動は小さい。以上実験より得られた現象を述べ、若干の考察を加えた。

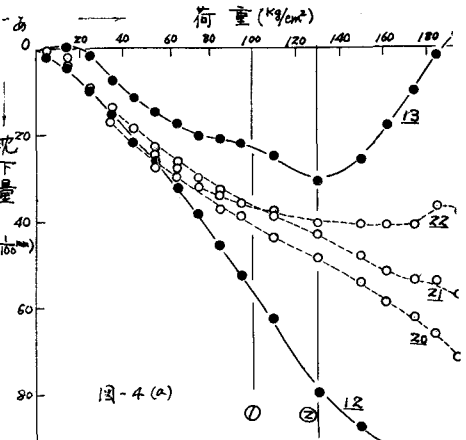


図-4(a)

4. 理論的解析へのアプローチ

この種の不連続体モデルに対する理論的解析へのアプローチとして、林、Trallapalaの研究があげられるが、向有ともバインジャーの性質を主としていっている中で実際の現象を十分説明することはできない。ここに筆者らが考えたこの種のモデルに対する理論的解析法について述べよう。すなわちこの種の不連続体の挙動は林の提案している2つの割合(ひびわれ上面、T:荷重中)、 $\frac{1}{2}$ (ひびわれ断面、F:荷重伝達)のみをパラメータとするのではなく、バインジャーの性質およびフロッグの移動(回転および平行移動)もその要素として考慮に入れようというものである。それによって実験にみえて得られる局部的引張開口による破壊現象もよく説明できると期待している。そこで筆者らは上記のことを十分に考慮に入れたモデルとして図-5に示す2つのモデルをとり、モデルを考えた。以下各例は

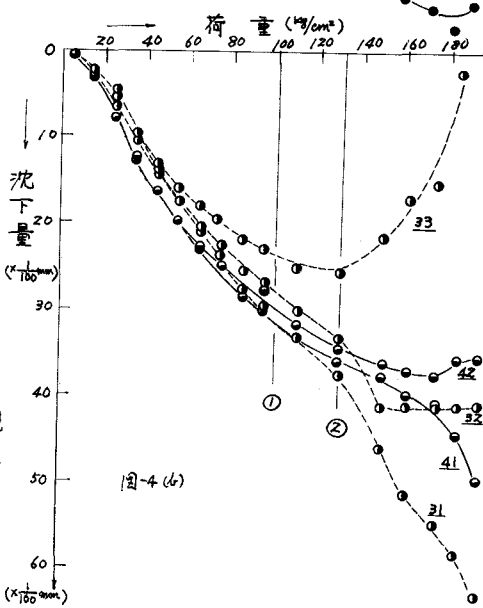


図-4(b)

フロップの変位成分(水平,鉛直および回転変位)を未知数とし,各側面フロップの3つの変り合い条件式から多元連立一次方程式を導き,電子計算機と利用して解析する方法を簡単に説明する。モデルはすべて二次元の取り扱いを行う方向変位法として行うので,各フロップ(図-6に示す)に各節について2個,各フロップ全体として合計8個のバネの伸縮,回転による隣接するフロップから力を受けつるものとす。

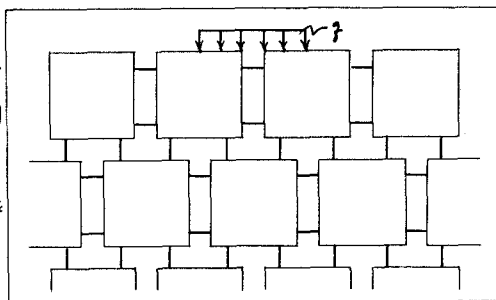


図-5 理論的解析のためのモデル

バネは各フロップ間を通じずみとびせん断ひずみ方向に比例した力に抵抗するものとしてバネ定数によりバネ定数は決まる。したがって、このモデルではこの個々の未知数の存在する3個の変り合い条件式から各フロップの3つの変位が決定できる。ここで局部引張破壊および局部せん断破壊の条件式で検討して、もし破壊に達しているバネがあればそのバネを取り去ってやり、また新しい変り合い条件式から各フロップの変位を決定し検討する。もし破壊に達しない場合はこれをいっくう繰り返して同様に検討を終る。この繰り返し操作により、説明しにくいこの種の模型の逐次破壊現象をよく説明できることが期待される。解析結果については当日発表したい。

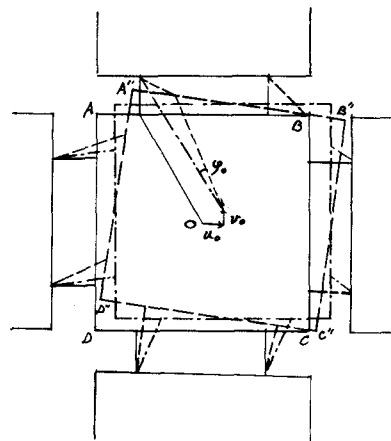


図-6.

参考文献

- 1) 林正夫：7-プログラムと基礎的な力状態および安定性に関する研究 技術研究所報告 環 63011, 1963
- 2) Trollope, D. H. and Brown, E. T.: Pressure Distributions in some Discontinua, Water Power August 1965.