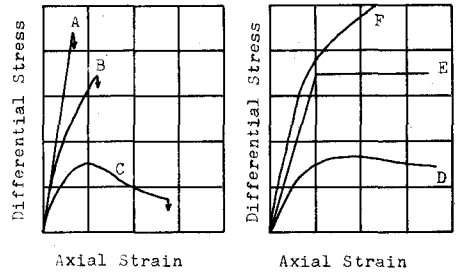


## 1. まえがき

ぜい性破壊を示す材料（たとえば、モルタル、コンクリート、岩石）の応力とひずみの関係は、同一の材料であつても、拘束性、荷重経路（比例荷重、定順序荷重）、荷重速度などその他多くの要因によつて異なる。Handin は拘束圧によつて異なる応力とひずみの関係を、次のように分類している。図-1は模式的に図示したものである。曲線Aは Very brittle な特性を示し、最終強度まで弾力的である。曲線Bは brittle な特性を示し、破壊の前に残留ひずみが少し発生する。曲線Cは transitional な特性を示し、変形抵抗が完全に消滅しないで、応力に峰状の最大値が現われる。曲線Dは moderate ductile な特性を示し、破壊が分散的に発生し、応力に鋭い峰状の最大値が現われない。曲線Eは ductile な特性を示し、降伏点が明瞭に現われて、それ以下の応力では、弾力的であり、それ以上の応力では流動を示す。曲線Fも ductile な特性を示すが降伏点が明瞭に現われず、ひずみ硬化を伴う点で、曲線Eと区別される。



Kinds of Characteristics of  
Deformations in Rocks

Fig.1

三軸圧縮応力状態の応力とひずみの関係は、主に、慣例的な二主応力が常に等しい三軸圧縮試験機で求められた。したがつて、中間主応力を考慮した変形特性を得ることができなかつた。

ここでは、中間主応力を任意に得ることができる三軸圧縮試験機を使用して、供試体の作製が容易な立方体モルタルに、種々の三軸圧縮応力状態を与え、応力とひずみの関係を実験的に求めた。そして、最小主応力および中間主応力と変形定数、そして平均応力と変形特性との関係を考察し、変形特性の遷移を検討した。

| Water/Cement | Sand/Cement | Curing Method                   |
|--------------|-------------|---------------------------------|
| 65 %         | 2.0         | 27days in water<br>1 day in air |

Table 1

## 2. 実験概要

## (1) 供試体および使用材料

モルタルやコンクリートの変形特性が岩石のそれと異なる要因の一つは、モルタルやコンクリートには、肉眼で観察できる大きな空隙が存在することである。しかしながら、モルタルの変形特性と岩石の変形特性との間には、多くの点で共通点を見出すことができるであろう。

実験に使用したセメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は豊浦産標準砂である。配合、養生条件は表-1に示す。モルタルの練り混ぜは、電動式モルタルミキサーを使用し、作製方法はコンクリート標準示方書に従つた。1回の打設量は  $10.8 \times 10.8 \times 10.8$  cm の立方供試体 5 個とした。

## (2) 実験方法

実験に使用した三軸圧縮試験機を、写真-1に示す。本機は互いに直交する三軸に、同時にまたは独立に、任意の荷重を加えることができるもので、本体のほか、比例載荷装置、ひずみ制御装置、ひ

ずみ測定装置より構成される。表-2に、載荷装置の性能を示す。

供試体のひずみは加圧盤間の変位を、加圧盤間にとりつけた差動トランスで電圧に変換させ、その出力をXYレコーダーに記録することによつて求めた。供試体と加圧盤との摩擦係数は約0.5であつた。この摩擦は供試体の応力分布、変形および破壊の様式にも影響を与える。摩擦係数はテフロンシートにシリコングリスを塗布したものを、供試体と加圧盤の間に入れることにより、約0.02になつたしかしながら、テフロンシートの変位を除くため、テフロンシートとグリスを使用しなかつた。

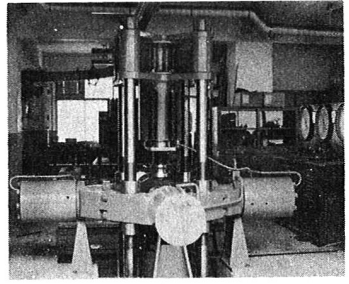


Photo. 1

### 3. 実験結果とその考察

#### (1) ポアソン比

モルタルは常に等方、等質で、しかも各荷重段階で線形弾性体の挙動を示すものとすれば、応力の増分とひずみの増分との関係は次のようになる。

|         |         |                    |
|---------|---------|--------------------|
| 自 荷 能 力 | 鉛 直 軸   | 200, 100, 50, 20 t |
|         | 水 平 軸   | 100, 50, 20, 10 t  |
| ラムストローク | 各シリンダー  | 100mm              |
| 圧縮間隔調整  | 上下シリンダー | 200mm              |
|         | 水平シリンダー | 150mm              |
| ラムスピード  | 各シリンダー  | 25mm/min           |
| 圧縮手法    | 各 軸     | 20, 10, 5 cm       |

Table. 2

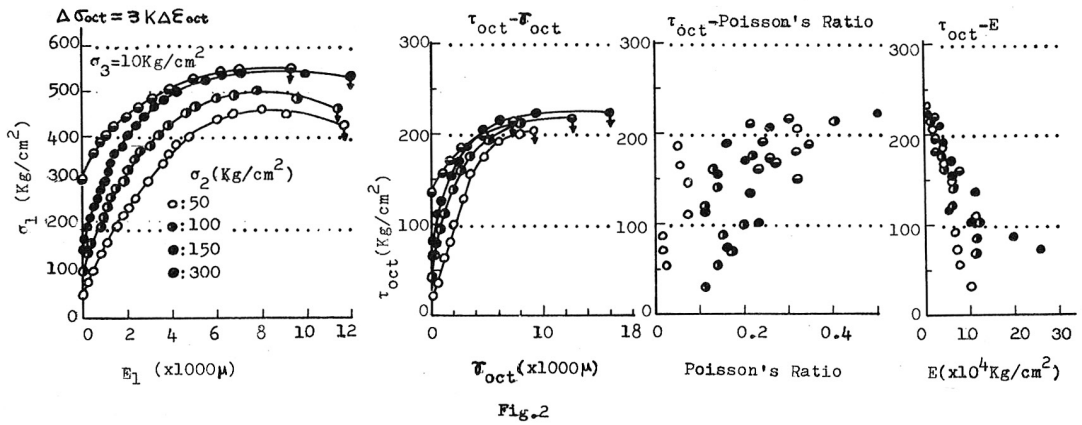


Fig. 2

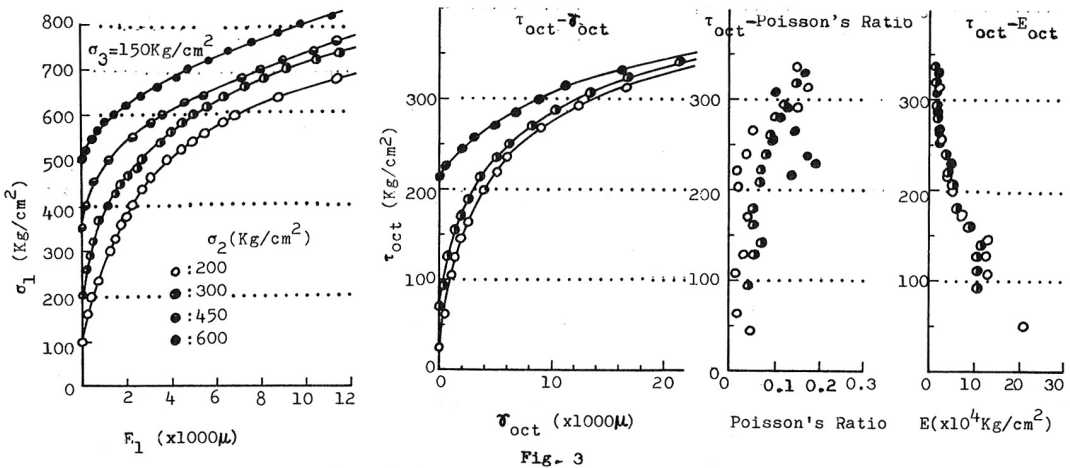


Fig. 3

$$\Delta T_{oct} = G \Delta \sigma_{oct}$$

ここで  $K$  は体積弾性係数,  $G$  はせん断弾性係数である。接線弾性係数 ( $E$ ) およびポアソン比 ( $\nu$ ) で  $K$  をあらわすと, 次のようになる。

$$K = E/3(1-2\nu)$$

$$G = E/2(1+\nu)$$

以後使用される  $E$  と  $\nu$  は上述の関係で求めたものである。

図-2と図-3は最小主応力と中間主応力がある一定値に保ち, 定順序載荷したものの結果である。最小主応力が  $10 \text{ kg/cm}^2$  のとき,  $\nu$  は破壊時に急激に増加するが, それ以外ではほぼ一定の値を示すこと, 中間主応力の増加に伴って,  $\nu$  が増加することがわかる。すなわち, 最小主応力が  $10 \text{ kg/cm}^2$  の場合, 中間主応力が  $50 \text{ kg/cm}^2$  であると,  $\nu$  は  $0.1$  以下で,  $300 \text{ kg/cm}^2$  であると,  $\nu$  は約  $0.27$  で一定値となり, 中間主応力はモルタルの変形抵抗を弱め, モルタルを延性化してゆく。最小主応力が  $150 \text{ kg/cm}^2$  の場合, 中間主応力が小さい間は,  $\nu$  は最小主応力が  $10 \text{ kg/cm}^2$  の場合とあまり差がないようであるが荷重の増加とともに  $\nu$  は増加してゆることが認められる。このような傾向は最小主応力が小さい場合には認められなかった。しかしながら, 中間主応力がある一定値に達すると, もはや荷重増加に伴って  $\nu$  は増加しなく, 一定値を保つようである。図-5の中間主応力  $600 \text{ kg/cm}^2$  はそれを示している。

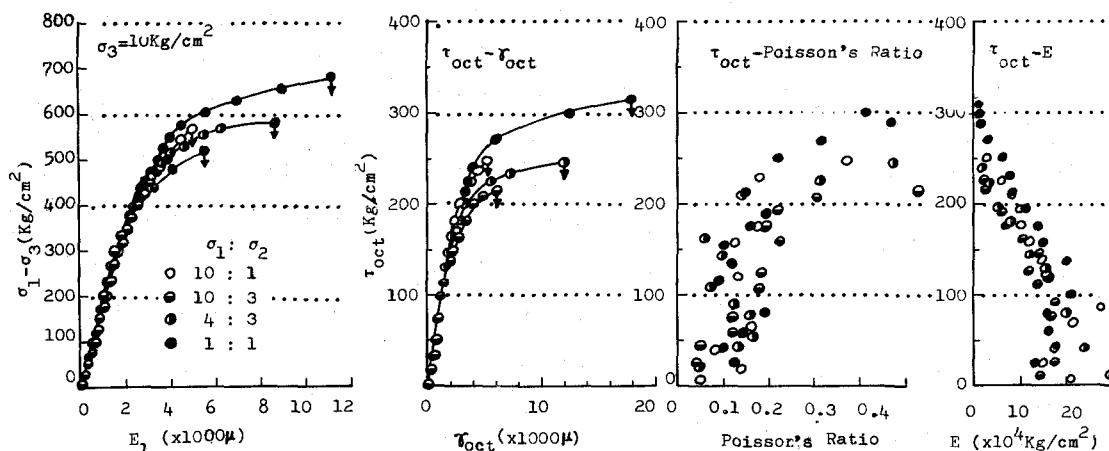


Fig. 4

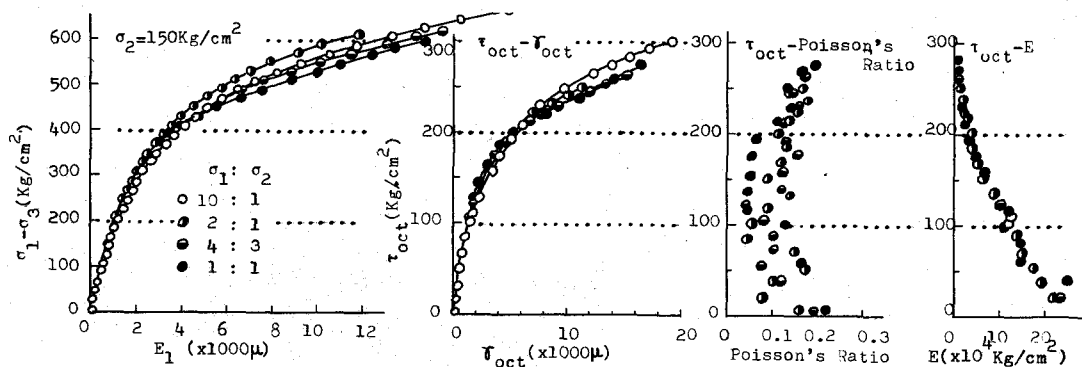


Fig. 5

図-4と図-5は、最小主応力をそれぞれ  $10 \text{ kg/cm}^2$  と  $150 \text{ kg/cm}^2$  で一定にし、最大主応力と中間主応力を、図中に示す比率で比例載荷したものの結果である。ここで認められる傾向は、最小主応力が大きいほど、 $\nu$  の変化範囲がせまいことである。すなわち、中間主応力が変形に与える影響は、最小主応力の増加とともに減少するようである。

## (2) 接線弾性係数

図-2と図-3で  $\tau_{oct} \sim E$  の関係をみると、最小主応力が小さい場合、中間主応力の大きさによつて  $E$  は変化し、最小主応力が大きい場合、ほとんど中間主応力の影響が生じないことがわかる。

## (3) 平均応力

主応力を立方供試体の各面に作用させると、供試体の八面体面上には八面垂直応力が作用し、次のように示される。

$$\sigma_{oct} = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) / 3$$

ここで  $\sigma_{oct}$  は八面体垂直応力を示す。

図-6は載荷中、常に  $\sigma_{oct}$  が一定値となるように、最大主応力を載荷し、最小主応力を除荷しそして中間主応力を一定に保つて、測定した結果を示す。この図の  $\tau_{oct} \sim \sigma_{oct}$  より、平均応力の増加に伴い変形特性がぜい性から延性に遷移すること、そして破壊までのひずみが増加することがわかる。ここで、平均応力が  $600 \text{ kg/cm}^2$  の曲線はひずみ硬化をもつた延性特性を示し、他の曲線と異なつた傾向を示している。しかしながら、金属でみられるひずみ硬化とは異なり、流動が同時に生じており、見かけ上のひずみ硬化といえる。平均応力をさらにあげた状態で、この曲線を求めると、さらに横軸寄りの曲線として得られた。これは供試体全体が延性的な挙動を示すため、平均応力が  $300 \sim 450 \text{ kg/cm}^2$  では延性的な挙動が分散的に発生して、わずかであるため、ぜい性特性を示すのであろう。なおこのことは図-7に示す結果からも認められる。図-7は静水圧的にある荷重まで載荷し、そして除荷した結果より、各荷重までに発生した残留ひずみを求めたものである。図-7で平均応力が  $450 \text{ kg/cm}^2$  までは、大きな残留ひずみは認められないが、それ以上の平均応力では残留ひずみが増加している。すなわち、平均応力の増加に伴うモルタルの延性化を示す。

## (4) せん断応力による容積変化

土質力学では、砂などの圧縮試験で観察される、せん断応力による容積変化をダイラタンシーと定義しているが、図-2の  $\tau_{oct} \sim \epsilon_{oct}$  曲線はそれに似た傾向を示している。前述したように、この関係は平均応力一定の荷重条件で求めたものであるから、平均応力の変化による容積変化はありえないが、 $\epsilon_{oct}$  (八面体垂直変位) は、 $\tau_{oct}$  とモルタルの延性化によつて生じたと考えることができる。なお、 $\sigma_{oct}$  が増加すると  $\epsilon_{oct}$  も増加しているが、図-7で、平均応力の増加に伴つてひずみが増加することからも明らかなように、これはモルタルの延性化がモルタル全体に拡大してゆくことを示すものであろう。

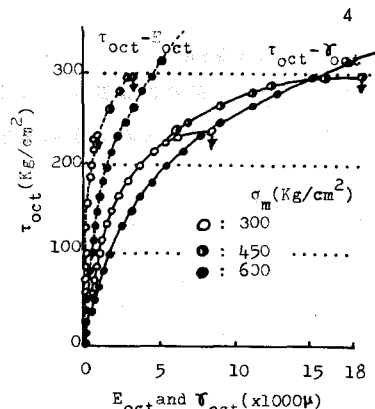


Fig. 6

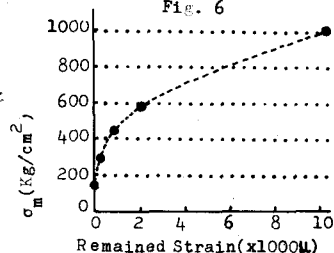


Fig. 7

# On the Characteristics of Deformation of Rock-like Brittle Materials

Toshikazu Kawamoto, Kazumasa Tomita

and Masatsugu Akimoto

Dept. of Civil Engrg. Nagoya Univ.

It has been well known that deformation of materials such as mortar, concrete and rock present various characteristics under the states of stress.

As the characteristics of deformation are measured by the conventional triaxial compressive machine that can present the state of stress to be equal each other between two principal stresses, the influence of middle principal stress on the characteristics of deformation could not be obtained so far.

In this paper, the characteristics of deformation of cement mortar are obtained experimentally by using the pure triaxial compressive machine, which is designed for subjecting cubic specimens (  $10.8 \times 10.8 \times 10.8$  cm in this case ) to combined loads, and the transitions from brittle to ductile deformation are investigated.

Consequently, it is found as follows:

- (1) The influence of middle principal stress on the characteristics of deformation decreases with the increase of minor principal stress.
- (2) The mortar becomes ductile with the increase of mean stress.
- (3) The volume of mortar is changed by shear stress.