

(14) 人工泥岩の一軸圧縮試験

国鉄 鉄道技術研究所 ○桜井 孝
高橋昭教

1. まえがき

トンネルの膨圧現象、地すべりの発生に、泥岩などの泥質岩が問題となることが多い。このような地山の力学特性を求めるために、次のような方法がとられている。

- 1) ボーリングコアによる力学試験
- 2) 原位置力学試験
- 3) 乱した試料の物理的・化学的試験からの想定
- 4) 弾性波速度値からの想定

しかし、問題となる泥質岩は、健全なものではなく、潜在的にせん断すべり面などの弱面を持っていることが多く、ボーリングでは力学試験の供試体採取することができない。また、泥質岩では、試料採取後の含水状態の変化などにより、その強度特性が大きく異なることがある。そのため、採取試料を粉砕し、再び押し固めたものを供試体とし、これについて力学試験をする方法を検討した。押し固めてできた供試体を「人工泥岩」¹⁾と呼ぶことにする。今回の報告では検証されていないが、試験によって得られた力学値は、地山の力学値の最低限度を示すものと考えている。

2. 人工泥岩の作成²⁾

人工泥岩に用いた試料は、岩手県一戸町で実施したボーリングコアを用いた。これは第三紀中新世、門ノ沢層に属するシルト質泥岩である。図1、表1に試料の土質試験結果を示す。なお、門ノ沢層に属するシルト岩、泥岩のボーリングコアによる岩石試験結果によると、密度 $2.2 \sim 2.3 \text{ g/cm}^3$ 、圧縮強さ $12.1 \sim 20.4 \text{ MPa}$ 、含水比が $13 \sim 14\%$ となっている。図2に人工泥岩作成手順を示す。作成された人工泥岩は力学試験終了後、再度粉砕することにより、同一試料で繰返し作成することができる。図3に、今回試作した人工泥岩作成装置を示す。ピストンの加圧により作成される人工泥岩は、直径 35 mm 、長径比 $2:1$ になるように粉砕試料および加える水の量を調整し、そのまま力学試験の供試体とした。

今回、このような装置で、どのような人工泥岩が作成されるのか皆目見当がつかなかったため、表3に示すように、加圧荷重、加圧時間及び設定含水比を種々変え、合計29個の人工泥岩を作成した。加圧荷重は $10 \sim 200 \text{ kN}$ の範囲としたが、密度 2.5 g/cm^3 で深度換算すると $400 \sim 8000 \text{ m}$ の深さとなる。設定含水比 W_n とは、乾燥粉砕試料の重量に対する加えた水の重量であるが、練り混ぜている間の蒸発等があるため、後の議論に用いる含水比は、力学試験終了時の破断片について測定した含水比 W_n を用いている。

人工泥岩作成時のピストンの貫入状況の例を図4に示す。図には、初期荷重 10 kN かけた後の貫入量が示されている。図では加圧荷重を適宜変えた、設定含水比 30% 、加圧荷重 100 kN と、設定含水比 18% 、加圧荷重 50 kN の例を示しているが、含水比の違いにより貫入量、すなわち作成される人工泥岩の密度が大きく異なることがわかる。

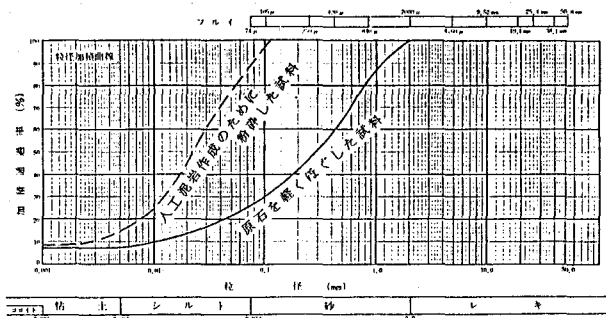


図 1 試料の粒径加積曲線

表 1 試料の物性

真比重 G_s	2.68
液性限界 w_L	79.0 %
塑性限界 w_p	43.2 %
塑性指数 I_p	35.8 %
土質分類	MH

図5は、加圧荷重と人工泥岩の密度の関係を、加圧時間を無視して示したものであるが、加圧荷重が大きい程、高密度の人工泥岩が作成されるということにはなっていない。添字で力学試験後の含水比の値を示している。試験後含水比と人工泥岩の密度の関係を図6に示した。含水比が10%以下の2試料を除くと、両者に強い相関が表われている。この2例は、乾燥粉碎試料に加える水の量が少なすぎるため、十分混ぜ合すことができなかったものである。

作成された人工泥岩の密度 ρ に対する、作成のための三条件、加圧荷重 F (kN)、加圧時間 T (分)、試験後含水比 W_n (%) の重相関を求めると下式が得られた。

$$\rho = 2.19 + 2.93 \times 10^{-4} F + 2.85 \times 10^{-4} T - 1.07 \times 10^{-2} W_n$$

($R = 0.935$)

一方、含水比についての単相関をみると、

$$\rho = 2.20 - 1.02 \times 10^{-2} W_n \quad (R = 0.916)$$

となっており、含水比が他の二条件に比べて、人工泥岩の密度を支配していることが明らかである。加圧荷重を大きくしても、密度が大きくなる理由は、含水比30%以上の人工泥岩における飽和度は100%近くになっているため、今回の材料では加圧による排水が行われにくく、間隙水圧が高くなったためと思われる。また、今回の加圧時間も、通常の圧密試験に比べると小さなものである。

3. 人工泥岩の一軸圧縮試験²⁾

作成された人工泥岩について、一軸圧縮試験を実施した。図7及び図8に、代表的な応力-ひずみ線図を示す。

図7は、加圧荷重100kN、加圧時間10分としたときの応力-ひずみ線図である。図中に試験後含水比を示してある。試験後含水比を10%以下、20%台、30%以上に分けてみると、含水比10%以下のものは明瞭なピーク強度を示し、ぜい性的な破壊状況を示している。そのときの破壊ひずみは0.9%であった。岩石の一軸圧縮試験では、通常残留強さを示さないが、今回の人工泥岩では、図に明らかなように一定の残留強度値を示している。含水比20%台の人工泥岩についても、10%以下のものに比べて、延性的ではあるがピークが認められる。このときの破壊ひずみは3~4%である。さらに、ピーク後に残留強さを示している。しかし、30%以上のものでは、明瞭なピークを示さず、完全軟化状態にあり、ひずみ量が5~10%に達してから、残留時の平衡状態になっている。

一方、図8には、設定含水比を18%としたときの応力-ひずみ線図を示している。試験後含水比は12~15%とほぼ同じものとなっており、そのときのピーク強度、残留強さもほぼ同じものとなっている。

作成された人工泥岩のピーク強度 σ_c に対する、作成のための

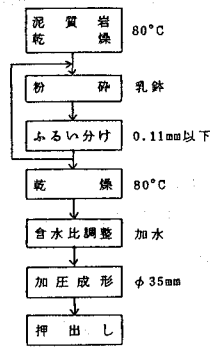


図2 人工泥岩作成フロー

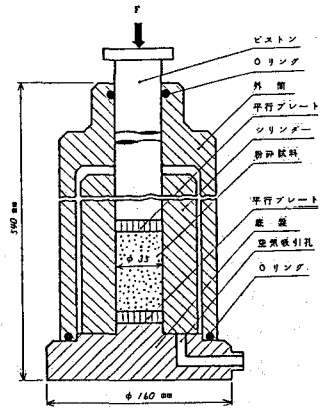


図3 人工泥岩作成装置

表2 人工泥岩作成一覧

加圧荷重 設定 含水比 (%)	10	25	50	100	200
10	—	—	—	15 (10) 22 (10)	—
15	—	—	29 (5)	16 (10)	—
18	27 (5)	26 (5)	23 (40) 24 (30) 28 (5)	25 (5)	—
20	—	—	—	17 (10)	—
25	—	—	—	18 (10) 7 (11) 8 (10) 9 (60) 11 (5)	—
30	14 (10)	13 (10) 21 (10)	12 (10)	6 (10) 10 (10)	—
35	—	—	—	19 (10)	—
35.7	1 (5)	—	—	—	—
40	—	—	—	20 (10) 3 (10) 4 (10) 5 (10)	—
44.3	—	—	—	—	2 (7)

注) 表示の例 15 (10) : 15は試験番号、(10)は加圧時間 (分) を示す。

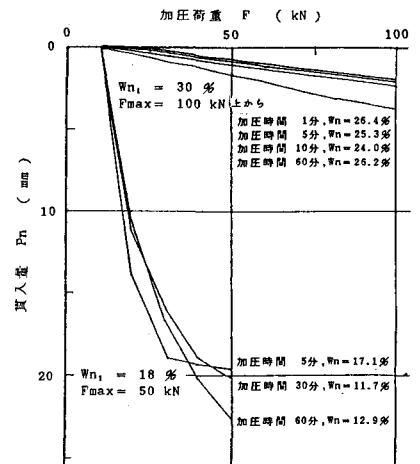


図4 加圧荷重とピストンの貫入量

三条件についての重相関を求めると下式となる。

$$\log \sigma_c = 1.40 + 4.05 \times 10^{-4} F + 1.75 \times 10^{-3} T - 4.39 \times 10^{-2} Wn$$

$$(R = 0.912)$$

一方、試験後含水比についての単相関を求めると、

$$\log \sigma_c = 1.46 - 4.35 \times 10^{-2} Wn$$

$$(R = 0.909)$$

となっており、ピーク強度は人工泥岩の密度と同様に、含水比に支配されていることがわかる。

このため、今回の作成方法では、希望する強度の人工泥岩を作成するためには、含水比を調整すればよいことになる。

図9に、試験後含水比に対する人工泥岩のピーク強さを示した。また、図10に同じく残留強さを示した。この図には、ピーク時に完全に破断し、残留強さの得られなかったものは示していない。得られた残留強さも含水比と強い相関を持ち、ピーク強さの20％程度となっているものが多い。

一軸圧縮試験後の人工泥岩の破断状況を写真1に示す。含水比の大きいものでは、このように明瞭なせん断面を持ち、せん断面には鏡肌（油目）が形成されていた。これは、せん断面に沿って水がしみ出てきたものと想像される。

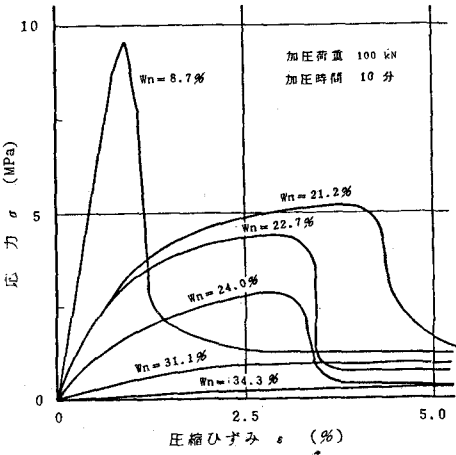


図7 一軸圧縮試験による応力－ひずみ線図

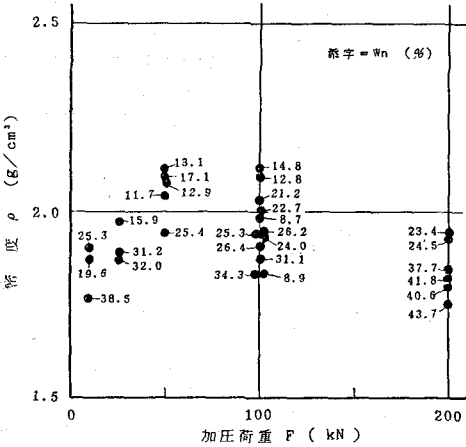


図5 加圧荷重と密度

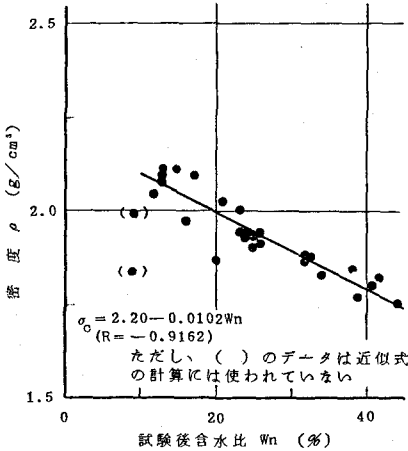


図6 試験後含水比と密度

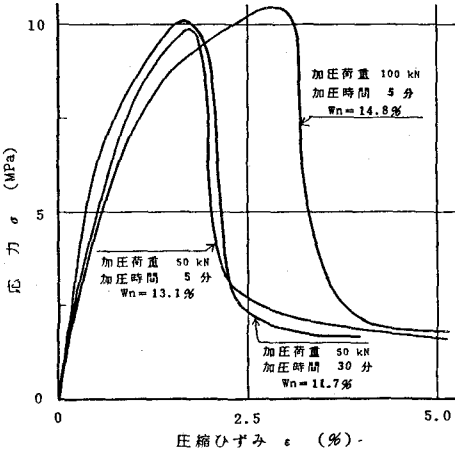


図8 一軸圧縮試験による応力－ひずみ線図

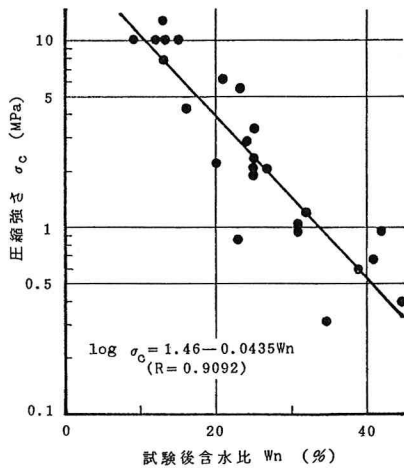


図9 試験後含水比と一軸圧縮強さ

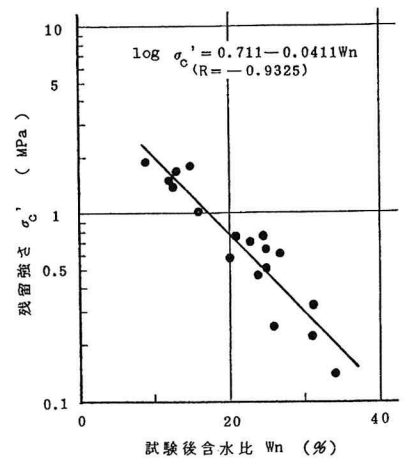


図10 試験後含水比と残留強さ

4. まとめ

1) 人工泥岩作成の条件として、乾燥試料に加える水の量、加圧荷重、加圧時間の三つをあげ、種々条件を変えて人工泥岩を作成した。その結果、人工泥岩の密度は、今回の作成方法では加圧荷重、加圧時間にはあまり支配されず、主として加えた水の量によることが明らかとなった。また、作成された人工泥岩の一軸圧縮強さは密度に強く関連するため、希望する密度、圧縮強さの人工泥岩を作成するためには、含水比を調整すればよい。

2) 人工泥岩の一軸圧縮強度試験を実施したところ、その破壊形態、変形特性は含水比に強く依存することがわかった。含水比30%以上の試料では明瞭なピークを示さず完全軟化状態となっているが、30%以下の試料ではピークを示した後に残留強さを維持している。

3) 地山の強度は、健全な供試体の強度と、地山内の不連続面の残留強さの間にあるとすれば、今回得られた残留強さは、地山強度の最低値を示しているものと考えることができる。また、残留強さの大きさは含水比によるため、このような泥質岩については、試料採取時の含水比から地山の強度が想定できる可能性がある。

5. 謝辞

本報告をまとめるにあたって、有益な助言をいただいた鉄道技術研究所吉川地質研究室長に厚く御礼申しあげます。

〔引用文献〕

- 1) 仲野良紀：比地スベリ母岩（泥岩）の軟弱化と物性の変化について（その2）、土と基礎12-12、(1964)。
- 2) 桜井 孝・高橋昭教：人工泥岩の物理的・力学的性質、鉄道技術研究所速報No.A-85-2 (1985)。
- 3) 足立紀尚・林正之：軟岩の力学特性に及ぼす不連続面の影響、土木学会論文集、305、pp97~110、(1981)。

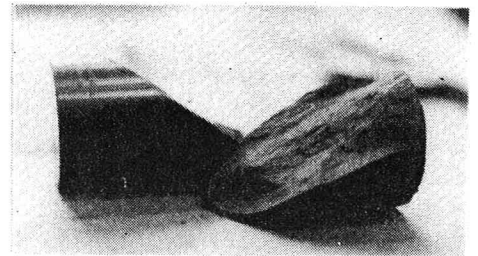


写真1 破断面の様相

(14) UNIAXIAL COMPRESSION TEST OF ARTIFITIAL MUDSTONE

Railway Tech.Res.Inst.,JNR

Takashi SAKURAI

Akinori TAKAHASHI

It is important to determine the strength of fractured rockmass which is impossible to get or make the testing specimen. As a way to discuss it, artifitial mudstone is made from dried and crashed natural mudstone, which is put into the cylinder with inner diameter of 35 mm and pressed to reconsolidate. Pressing load, loading time and water content are selected as the parameters to make it with the ranges of 1-20 t, 1-60 minutes and 10-45 %, respectively.

As the testing results, the density and uniaxial compressive strength of artificial mudstone are mainly controlled with water content. The failure mode in uniaxial compression test is also determined by water content. And it is shown that both peak and residual strengthes of artifitial mudstone become lower as water content increases.