

まえがき：筆者は粘性地山中のロックボルト、吹付コンクリートの効果を求めるため、粘土とアルミパイプによる簡単なモデル実験を行い、粘土中のロックボルトの軸力を測定し、報告した。粘土中のロックボルト、吹付コンクリートの効果を明確にするためには、ロックボルト単体の実験では不十分であり、多数のボルトおよび吹付コンクリートとトンネル地山との一体化した実験モデルが不可欠である。ロックボルト、吹付コンクリートの原理を解明するためのモデル実験として、粘土そのものやモルタルの配合に工夫を行つた各種のモデル実験が報告されているが、自重により破壊するモデル実験の例は未だ報告されていない。

筆者は自重場にあるトンネル周辺地盤とロックボルト、吹付コンクリートの力学原理を明確にし、さらに粘性地山中のロックボルト、吹付コンクリートの設計法を提案するため、自重で容易に破壊する寒天に着目し、寒天およびその修正材料について各種の基礎実験を行い報告した。その結果、寒天に重量比で66%（寒天重量に対し）のおがくずを混合させることにより約 10° 程度の内部摩擦角を有し、しかもせん断破壊の生ずるモデル材料を開発することができた。

今回の報告は、寒天のみの材料と、改良された寒天材料について（1）円形素掘の場合、（2）ロックボルトと吹付コンクリートで補強された場合、の実験例である。寒天材料の製作と実験の概要については文献^{4,5}を参照されたい。

実験例：その1 図-1に示す供試体（空洞直径 164mm ）を用い、せん断強度より引張強度の小さな材料（寒天濃度 1.5% ）により、円形空洞の素掘の場合、補強された場合について実験を行った。写真-1は寒天中に埋め込むボルトと円形空洞の型枠を示し、写真-2は寒天流し込み終了時の全景である。図-1に供試体の概形と寒天の水平圧力を測定する装置を示す。図-2はボルトの軸力の測定法を示す。ここにいうボルトの軸力測定とは寒天の押し出し圧の測定である。ボルトの軸力の測定結果を図-3、-4に示す。図-3は各計測時の各ボルトに作用する寒天の押し出し圧を示し、図-4は各ボルトに作用する押し出し圧の時間的变化を示している。図-5は寒天の水平圧力（側圧）の測定結果の1例である。写真-3(a-c)と写真-4(a-c)にそれぞれボルトなし、ありの場合の自重による円形空洞周辺の破壊の状態を示す。

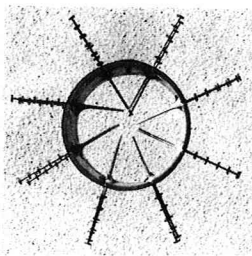


写真-1: ボルトと空洞の型枠

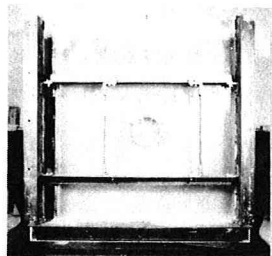


写真-2: 試験装置と空洞模型

図-5の結果から、寒天の側圧はほぼ静水圧に等しいことを実証できた。また図-3の結果から直立時の寒天

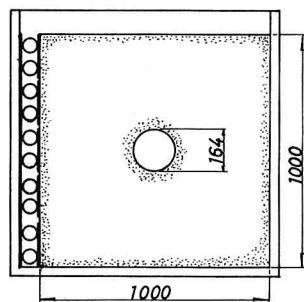


図-1: モデル寸法と水平圧測定装置

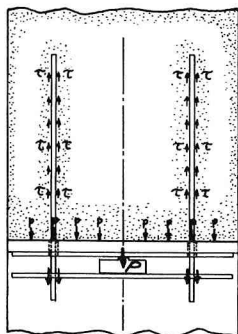


図-2
ボルト軸力の測定法

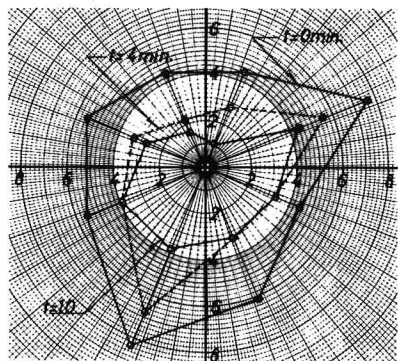


図-3: ボルトの軸力の分布 ($t=0, 4, 10$ 分)

の平均押し出し圧 σ_r は
 $10 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ になる。円形空
 洞の変形を説明する
 ため一様な外圧 $\sigma_r = \sigma_0$ とトンネル内
 壁に σ_r が作用する場合のトンネル壁面の
 半径方向変位 U_r を求
 めると次式になる。

$$U_r = (\sigma_0 - \sigma_i) \times \frac{R}{2\mu}$$

$$\mu = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{400}{2(1+0.5)} = 133 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_0 = 41 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}, \sigma_i = 10 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$R = \frac{D_0}{2} = \frac{16.4}{2} = 8.2 \text{ cm}$$

$$\therefore U_r = (41 - 10) \times \frac{8.2}{2 \times 133} = 0.98 \text{ cm}$$

変形後の直径 D' は

$$D' = D_0 - 2U_r = 14.4 \text{ cm}$$

実測値は写真-4(a)から
 $D' = 14.5 \text{ cm}$ であり、ボ
 ルトと吹付コンクリ
 の効果を内圧に置換す
 る方法の妥当性を示し
 たものである。従って
 円形空洞周辺の破壊が
 発生せず地山が弾性体
 と近似できる場合には
 ボルトと吹付コンクリ

ートを内圧の効果で表わすことの有効性を示した例といえる。

実験例：その2 寒天におがくずを混合し製作した材料を用いて実験例-1
 と同一の条件で破壊実験を行った。写真-5はおがくず入り寒天の1軸圧縮
 試験のせん断破壊の状態である。写真-6(a~c)は素掘りの場合の破壊例の
 一部であり、せん断破壊の様子が明らかである(写真-3、-4と比較)。詳細に
 ついてはOHPにより説明を行う。

参考文献

- (1) 安井将文「粘土中のボルト軸力の測定とその考察」第35回土木学会年次学術講演会 講演概要集Ⅲ-p536
- (2) 小田英一他「トンネル周辺地山への塑性域内のすべり線……」第34回土木学会年次学術講演会 講演概要集Ⅱ-p563
- (3) 河野広隆他「ロックボルトの作用効果についての模型実験」第35回土木学会年次学術講演会 講演概要集Ⅲ-p532
- (4) 岡本繁三「素掘り坑の強さに関する弾性学的考察(上)」土木学会論文集 昭和22年、p60~79
- (5) 安井将文「トンネル破壊に関するモデル実験」第30回土木学会関東支部年次研究発表会講演集 p143
- (6) 安井将文「寒天を用いたトンネルモデルによる周辺地山の破壊実験」明星大学研究紀要 -理工学部-第17号 p137~153.

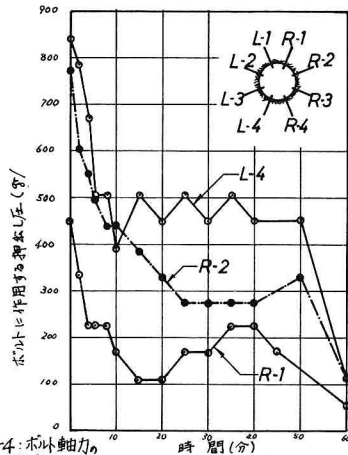


図-4: ボルト軸力の
時間的变化

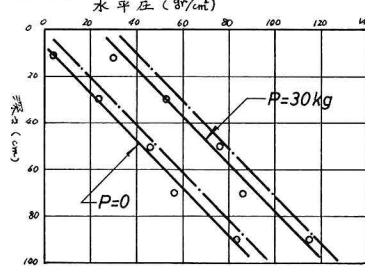
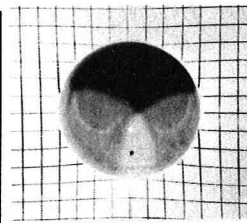
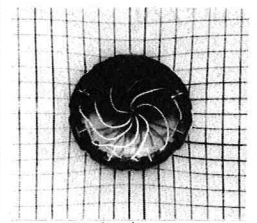


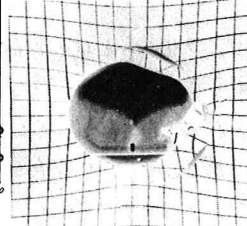
図-5: 寒天の水平圧の測定結果



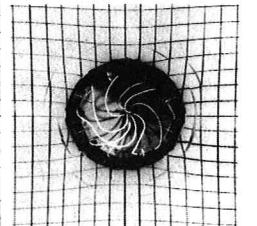
(a) $t=0$ 分



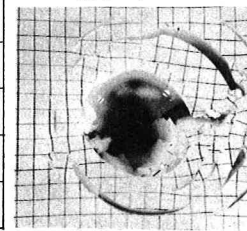
(a) $t=0$ 分



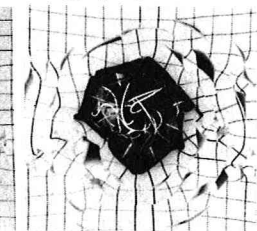
(b) $t=30$ 分



(b) $t=15$ 分



(c) 最終状態



(c) 最終状態

写真-3: 素掘り空洞の破壊

写真-4: ボルト補強の場合

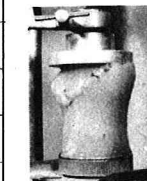
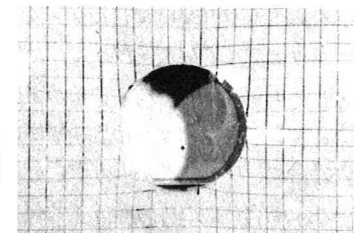
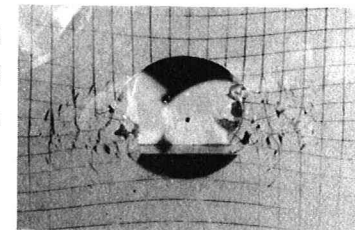


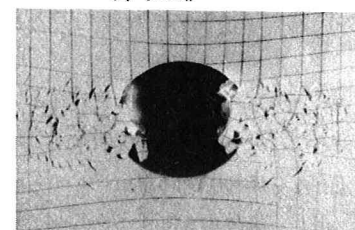
写真-5: おがくず入り
寒天の破壊



(a) $t=0$



(b) $t=20$ 分



(c) $t=25$ 分

写真-6: おがくず入りの円形空洞の破壊