

脱 気 水 の 圧 縮 性 に つ い て

あ ぼし ひさ お
網 干 寿 夫*
さ さ き やすし
佐 々 木 康**

1 ま え が き

三軸試験や一軸圧密試験で間ゲキ水压を測ろうとする時には、間ゲキ水压測定系路に脱気水を使うよう提唱されてきた。

とくに透水係数の小さい粘土試料の供試体などの間ゲキ水压を正確に測定するためには、測定値の時間的遅れ (Time Lag) に対して十分な考慮をはらわねばならない。

それで測定装置としては供試体からの水の流入を許さないようくふうがこらされている。

もし、その装置の系路内に空気が残存していると、圧力変化に応じた空気の体積変化のために、供試体と間ゲキ水压測定装置との間には水の流出が生じるであろう。

測定系路内の空気を全部水と置き換えることができても、脱気してない水の圧縮性が脱気水より非常に大きければ供試体に流入する水の量が無視できなくなることであろう。

また、負の間ゲキ水压を測定する時には測定系路内の水が負圧によって気化すると、やはり供試体に水の流入が生ずるわけである。

ところで脱気水とは一体何だろうか。

脱気水の明確な定義も、そのつくり方も明らかにされてはいない。

ここでは次に述べるような方法によって脱気した水をつくり、溶存空気量と圧縮性について行なった実験の結果を報告して、脱気水の定義の明確化への参考に供したい。比較検討のために水道水、蒸留水についても脱気水と同様、圧縮性と溶存空気量を検査して、それらが測定間ゲキ水压に与える影響について考察した。

2 試験した水

水道水 何も手を加えない水道水そのまま。

蒸留水 電熱式蒸留器によって蒸留したもの。

脱気水 図-1 のような装置によって脱気したもの。

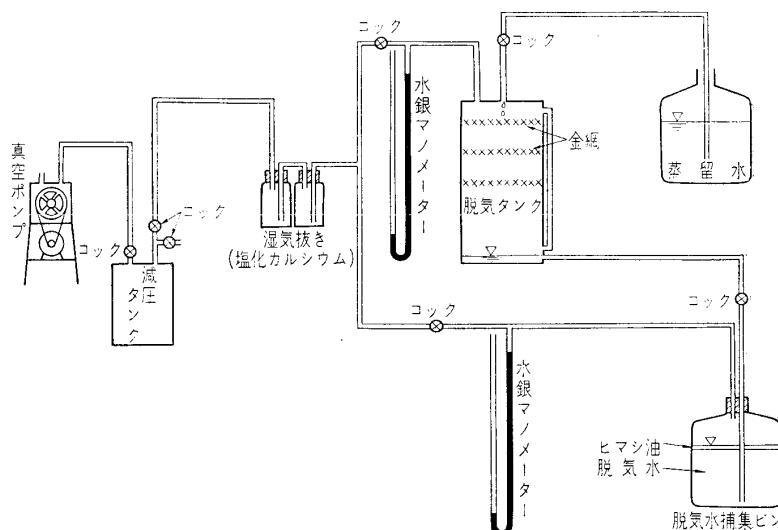


図-1 脱 気 水 製 造 装 置

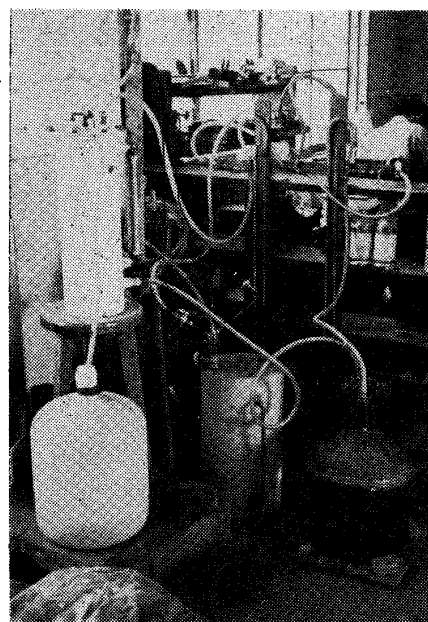


写真-1 脱気水製造装置

脱気水製造装置は図のように、脱気タンク、真空ポンプ、捕集ビンなどからなっている。

脱気タンクおよび脱気水捕集ビンは真空ポンプによって負圧をかけ、脱気タンク内で脱気された水は水位差によって捕集ビンに捕集される。

脱気タンク内には3段に配置された金網があり、タンク上部のコックから点滴される水が小さな滴状になってタンク内の空気に接触する面積ができるだけ大きくなる

* 広島大学工学部教授 工博

** 建設省土木研究所

ようになっている。

このコックを調節することによって脱気時間が調節される。

脱気水捕集ビン内にはあらかじめヒマシ油が入れてあり、捕集した水は空気に触れないようになっている。空気とのシャ断にヒマシ油を用いたのは、水より軽い、水と化合しない、三軸試験用のゴムスリーブを損傷しない、などの理由による。

3 溶存空気量

水に溶存する空気量を直接定量する試験法には適当なものがない。それで「ミラー (Miller) の変法」と呼ばれる滴定検査を採用して溶存酸素量を検査し、その値で脱気の程度を比較することにした。

試験結果は表-1のとおりであり、これによれば、水道水、蒸留水の間にはその溶存酸素量の差は見られない。

脱気装置によって得

られた脱気水も、脱気後に空気にさらされた場合には、その中に含まれる溶存酸素量は水道水、蒸留水と変わらない。

脱気水の捕集ビンにヒマシ油を入れて、空気に触れないようにした場合には溶存酸素量は、水道水、蒸留水に比べて約 1/2.5 しかないとわかる。

それで次に述べる圧縮性の試験には脱気水はヒマシ油を用いて空気に触れないように保存されたものを用いた。

4 圧力変化に対応する水の体積変化—圧縮性

試験装置の概要を図-2に示す。圧力セルの中に、検水を入れた三角フラスコを置き、温度変化を防ぐための水をセルのなかばまで入れて、空気圧によって検水に圧力をかけるようにしたものである。

検水を入れた三角フラスコ全体が圧力セルの中にあり、フラスコにかかる内圧および外圧は等しいため、検水の圧力が上昇してもその容器であるフラスコの容積変化は無視してよい。

検水の体積変化は、三角フラスコのフタに接合したメスピペットによって読みとる。メスピペットの最小目盛りは 1/1000 cc である。

メスピペット内の検水とセル内の空気とは、比較的粘度の小さい絶縁オイルで隔てられて、検水が試験中に空気と接触しないようになっている。

圧力の検定は水銀マンノメーターを用いて行ない、表-

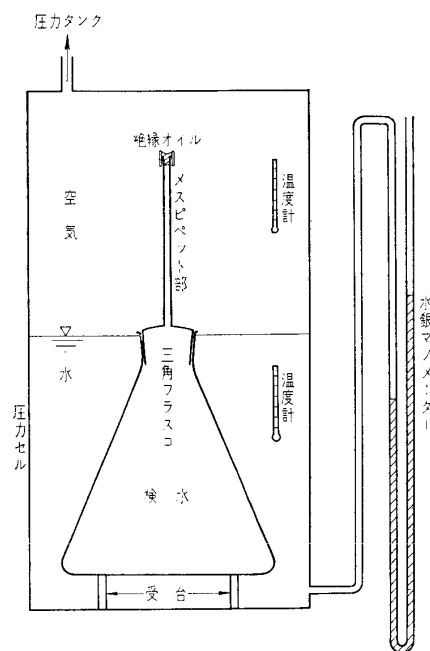


図-2 圧縮試験装置

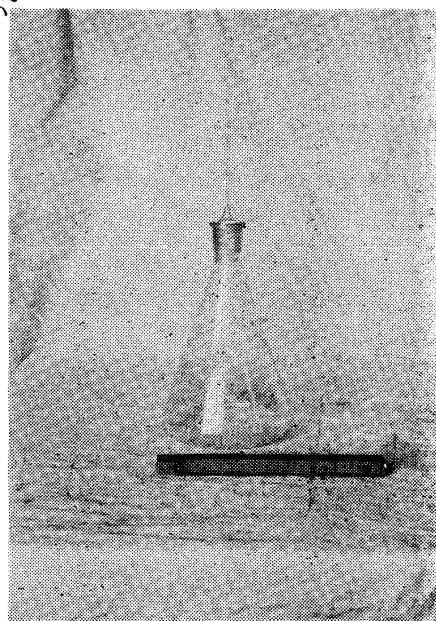


写真-2 三角フラスコとメスピペット

2の値はセル底部の圧力を用いて求められたものである。最大圧力は 1.6 kg/cm² 程度である。

温度はセル内の空気中および水中の2カ所で測定されたが、試験中の温度変化は両者とも 1°C 以下であって、ここに使用した最小目盛り 1°C の温度計ではその変化量は正確には読みとれない。水中においた温度計によれば、みかけの温度変化はおおよそ平均して、加圧時に +0.2°C、減圧時に -0.2°C 程度である。

圧縮試験の結果を表-2に示す。ただし圧縮係数 β は

表-2 圧縮試験結果

検 水	圧縮係数 (cm ³ /kg)	
	加 圧 時	減 圧 時
脱 気 水	-4.2 × 10 ⁻⁵	-4.3 × 10 ⁻⁵
蒸 留 水	-4.3 "	-4.2 "
水 道 水	-4.1 "	-4.4 "

写真の説明を付すので

$$\beta = \frac{\Delta V}{V} \cdot \frac{1}{\Delta p}$$

V : 水の体積

ΔV : 水の体積変化量

Δp : 圧力変化量

である。

表-2 にあげた値は、水道水、蒸留水、脱気水の3種の水について、それぞれ数回行なった試験結果の平均値である。圧縮試験時の測定温度変化は先述のように正確さを期しがたいため、これによる補正を行わずに算出した平均値である。

これによると、水道水、蒸留水、脱気水の間には圧縮係数の相違は見られず、 $4.1 \sim 4.4 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{kg}$ の値である。 $(t=16 \sim 18^\circ\text{C}, p=0 \sim 1.6 \text{ kg/cm}^2)$

一般に水の圧縮係数は $t=20^\circ\text{C}$ において $p=0 \sim 500$ 気圧の変化に対して $\beta=4.37 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{kg}$ 程度といわれている¹⁾。

表-2 に示すように加圧時および減圧時とでは圧縮係数が異なるものが多い。これは加圧過程および減圧過程での温度変化による影響と考えられるが、さきに述べたように圧縮試験中の精密な温度変化の測定が困難であるためさだかではない。しかし温度に対する水の体膨張係数がほぼ $0.15 \sim 0.30 \times 10^{-3} (1^\circ\text{C})$ という比較的大きな値であることを考慮すれば、わずかの温度変化に対して表-2 のような見かけの圧縮係数の差が加工過程と減圧過程とで生ずるであろうことは容易に推定される。またメスピペット内の検水と空気とは先述のように絶縁オイルで隔てられているため、圧縮係数測定の際のメニスカスの形が加圧時と減圧時とで異なることはない。

なお、圧縮試験前後の溶存酸素量を比較してみると、表-3 のようになる。当然のことながら水道水、蒸留水では試験前後に溶存酸素量の有意な差はみられない。しかし、脱気水では試験後の溶存酸素量は蒸留水、水道水と同程度にまで増加している。表中、水道水の溶存酸素量が試験後で増加しているのは試験時の温度差による影響である。脱気水で試験後の溶存酸素量が増加しているのは、圧縮試験中の検水は、空気と隔てられているから圧縮試験中に溶解したものではなく、おそらく試験後に溶解したものと考えられる。

表-3 圧縮試験前後の溶存酸素量

検 水	溶存酸素量 (p.p.m.)	
	圧縮試験前	圧縮試験後
脱 気 水	1.54	10.49
蒸 留 水	—	10.15
水 道 水	12.63	10.34

5 ま と め

以上の結果をまとめると、脱気水のつくり方については、次のようである。

溶存酸素量の大小で比較すると図-1 のような装置を用いれば“脱気水”が得られることがわかる。ただし、ここで“脱気水”というのは、空気にさらされた水に比べて溶存空気量が比較的小さい水という意味である。どの程度小さければ脱気水といい得るか。すなわち脱気水の定量的な定義については、さらに深い考察と実験が必要であらうが、圧縮性という観点からだけいえば、脱気水を定義することは無意味である。

脱気装置で脱気した水も空気にさらされることによって溶存酸素量が増大して、脱気しない水と同量の酸素が溶存するようになる。この実験は脱気水の圧縮性に主眼がおかれたために、このような脱気水の溶存酸素量が空気に触れることによって増大する過程の時間的変化の様子は追求されなかった。

空気にさらされると溶存酸素量が増大するから、“脱気水”を“脱気水として”用いるためには空気に触れぬよう十分注意しなければならない。また保存するにも空気とのシャ断に意を用いなければ脱気しない水と溶存空気量は変わりなくなるであらう。

なおまた、溶存空気量は水の温度によって大きく変化する。溶存酸素量と温度との関係を図示すれば図-3 のようになる。この図を見てもわかるように温度が高くなるにつれて溶存空気量は減少し、 100°C で煮沸することによってこれに溶存する空気のほとんどを追い出してしまいうことができる。

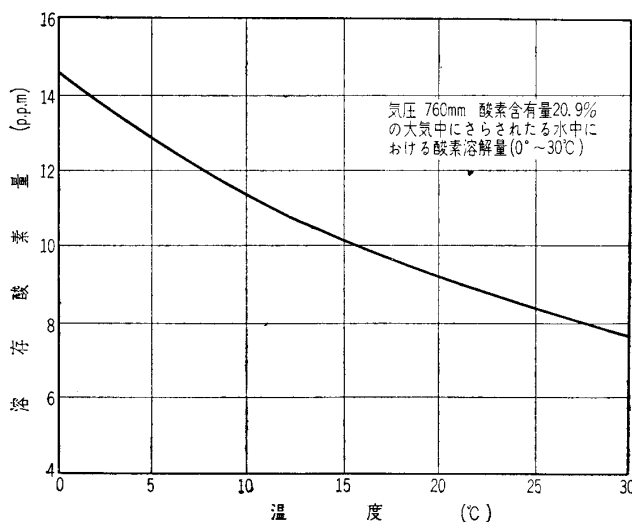


図-3 温度と水中酸素溶解度

脱気水として boiled water—煮沸水を使用するよう指導した文献²⁾も見かけるが上のような観点からすればうなずけるところである。

ところで圧縮性についてはこの実験によれば脱気水も脱気していない水も圧縮係数はほとんど同じ値である。

圧縮性の試験中三角フラスコの中には残留気泡はもちろん無いが、減圧時にも気泡が生じるようなことはなかった。それでこのように目に見えるほどの気泡が無い時

には圧縮性は測定間ゲキ水圧に顕著な時間的遅れを生ぜしめないであろうと考えられる。なぜなら、いま仮に間ゲキ水圧を測定しようとする供試体から零指示計まで 0.3 cm φ、長さ 1 m の銅管で間ゲキ水を連絡したとすればその容積は約 10 cc となり Volume Factor : V は、圧縮係数の実験値の最大値 $4.4 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{kg}$ を用いて次のような値になる。

$$V = 10(\text{cc}) \times 4.4 \times 10^{-5} (\text{cm}^2/\text{kg}) \\ = 4.4 \times 10^{-7} (\text{cm}^5/\text{g})$$

一般に零指示計 (Null indicator) を用いた計測器自体の Volume Factor は 10^{-6} のオーダーであるからこの程度の水の圧縮性は十分無視できるわけである。

ところで、さらに圧力が下がって負圧となったときに、気泡が生じるかどうか、どの程度の負圧で生じるかという問題はこの実験の結果からは明らかにされない。

しかしおそらく、温度変化が与える影響の方がもっと重要であろう。図-3 に見るように温度が低いほど、溶存空気量は大きいから、一般に室温より低い水道水を直接間ゲキ水圧測定系路に用いると温度上昇にとまって、溶存され得なくなった空気は遊離してくるおそれは多分にある。実際、三軸室に水道水を満して室温に放置した時にしばしばその透明セルに小さな気泡がたくさん付着していることを観察する機会も多い。その気泡の量を定量的に表現することはむずかしいが、圧縮性の試験に用いたと同じ三角フラスコに水道水を入れて、室温に放置すると温度の上昇とともに、気泡が現われ、増えてくることを定性的には観察することができる。

脱気水も空气にふれると水道水と同程度の酸素を溶解していることから考えると、脱気した後に低温で空气にさらして、徐々に温度を上げていくとおそらく水道水と

同様に気泡が生ずる可能性があるであろう。

したがって間ゲキ水圧測定系路に用いる水は脱気した後に空气にふれないように保存して脱気水を用いることも気泡が生じないという点からは重要であるが、温度上昇にも十分留意しなければならないであろう。

以上要約すると次のようである。

- (1) 脱気水、蒸留水、水道水の圧縮係数に差はない。
- (2) 脱気水は空气にさらされると空气を溶解して、もはや脱気水ではなくなる。
- (3) 温度変化に対応した溶存空気量の変化のため、気泡を生じて測定間ゲキ水圧に時間的遅れ (Time Lag) を生ぜしめる可能性がある。
- (4) 負圧に対して気化する現象については今後検討してみなければならぬ問題である。
- (5) 実際に間ゲキ水圧を測定するときには測定系路内の空气を全部水と置き換えた後にこの水の温度が上昇しないように気をつけねばならぬ。
- (6) この水はとくに“脱気水”を使う必要はない。

6 あとがき

この報告は著者の 1 人が広島大学大学院在学中に行なった実験をとりまとめたものである。とりまとめるに際して、土木研究所土質研究室長山村和也氏に検討していただいたことを記して感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 理科年表, 丸善発行
- 2) Bishop & Henkel: The Measurement of Soil Properties in the Triaxial Test.

(原稿受付, 1966. 7. 7)

土質工学スライド「土質試験法」販売のお知らせ

すでにお知らせしましたように、スライド編集委員会の 2 年間にわたっての労作であるスライドができ上がり、現在販売しております。広くご利用されることをおすすめします。なお、申込みは前金にて学会へお申込みください。

内	容
1 ハカリ	11-A 室内 CBR 試験
2 土の粒度および物理試験のための試料調整法	11-B 現場 CBR 試験
3 土粒子の比重試験	12-A 透水試験 (定水位)
4 土の含水量試験	12-B 透水試験 (変水位)
5 粒度試験	13 土の圧密試験
6 土の液性限界試験	14 直接せん断試験
7 土の塑性限界試験	15 三軸圧縮試験
8 遠心含水当量試験	16 一軸圧縮試験
9 収縮常数試験	17 締固めて作る安定処理土の一軸圧縮試験
10 土の突固め試験	
定 価 : 25,000 円 1 組コマ数 : 311 コマ	