

アーチ凍土の力学的挙動について（その1） —粘土凍土におけるモデル実験結果—

（株）精研 正会員 森 保史* 北川 貴由*

（株）精研 正会員 ○伊豆田 久雄**

1. はじめに

地盤凍結工法において、アーチ形状の凍土壁の検討や設計が行われている。凍土自体の力学特性に関してはこれまで多くの要素実験が行われているが、構造体凍土に関しては円板および円筒の研究がされてはいるものの、アーチ¹⁾についてはほとんど行われていない。このため、室内においてアーチ凍土を作製し、载荷実験からアーチ凍土の力学特性を調べた。

2. 実験装置・方法

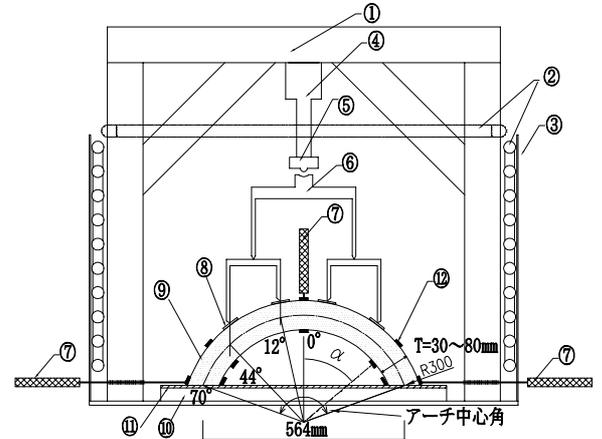
図1に示すように、供試体寸法はアーチ中心角 140° 、半径 300 mm、厚さ 30~80 mm、奥行 200 mmとした。試料土は、これまでに数多くの力学特性が調べられている藤の森粘土を用い、供試体の温度は、凍土壁の設計で用いられる -12°C （供試体内分布は $\pm 1.5^\circ\text{C}$ ）とした。

供試体作製方法を以下に述べる。飽和状態（含水比 62%）のスラリーを、鉄製のアーチ型枠に流し込んだ。この型枠内にU字型凍結管（ $\phi 10$ mm銅管）を、ほぼ均等間隔に6系統設置した。両端部の鉄板（⑪）の外側に、貼付凍結管を設置した。これらに -25°C のブラインを循環することで急速凍結して供試体を作製した。作製完了後は端部の凍着を損なわないように、アーチ型枠や貼付凍結管を外した。なお、供試体中にアイスレンズは確認されなかった。

载荷および計測方法を図1に示す。実験は、前面以外をブライン循環用の冷却管（②）や鉄板・防熱材（③）で囲われた低温ボックス内で行った。前面は、プラスチックボードとスタイロフォームからなる取り外しが可能な防熱壁とした。载荷は、ヒンジ構造による鉛直4点等荷重方式とし、载荷点は、アーチ頂部を 0° として左右の振り角を α とすると、 $\alpha = 12^\circ$ と 44° とした。変位速度制御が可能なスクリージャッキ（最大 200 kN:④）を用いて、変位速度を 1 mm/分とした。ジャッキの先端にはロードセル（⑤）を取り付け、荷重をリアルタイムで計測した。なお、測定された荷重を奥行長で割って「kN/m」の単位にしたものを用いて実験結果を整理した。また载荷位置における凍土のへこみを防止するため、供試体と接する部分には載荷板（⑧）を挟んだ。変位計（⑦）は、アーチ凍土の頂部（ $\alpha = 0^\circ$ ）の鉛直方向、端部（ $\alpha = 70^\circ$ ）の水平方向をリアルタイムで計測した。歪みゲージを頂部、肩部（ $\alpha = 50^\circ$ ）、端部の内外面に設置し、ひずみ量を計測した。

3. 実験条件

凍土厚 T による影響を調べるために、 T を 80 mm（Aシリーズ）、55 mm（Bシリーズ）、30 mm（Cシリーズ）と変化させて実験した。前報の実験¹⁾では、端部を凍着させただけであったが、本実験では、端部水平変位の抑制を目的として、端部に追加凍土や鋼材を加えた実験も行った。端部を凍着だけさせている実験を「o」、凍土を追加した実験を「f」、鋼材と凍土を追加した実験を「s」とし、実験シリーズに添え字を加えて表記する。これらの実験条件、名称の一覧を表1に、端部の状況を図2に示す。



①反力架台 ②冷却管 ③防熱壁 ④鉄板・スタイロフォーム・ガラスウール ⑤ジャッキ ⑥ロードセル ⑦変位計 ⑧載荷板 ⑨供試体 ⑩貼付管 ⑪鉄板 ⑫歪みゲージ

図1 実験装置模式図

表1 実験条件、名称一覧

シリーズ	実験名	凍土厚T(mm)	端部追加部材
A	Ao	80	無
	Af		追加凍土
	As		鋼材+追加凍土
B	Bo	55	無
C	Co	30	無
	Cf		追加凍土

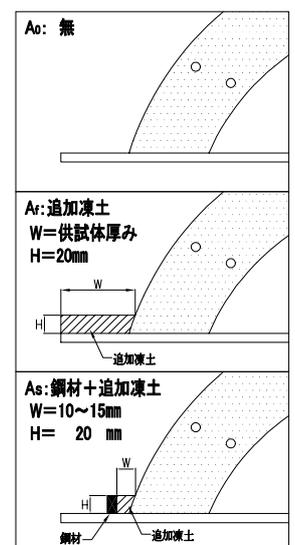


図2 端部状況図

<キーワード> アーチ凍土、モデル実験、変形挙動、载荷実験、凍結工法

連絡先 * 〒112-0002 東京都文京区小石川 1-12-14 (株) 精研 東京支店 凍結本部 TEL 03-5689-2355

** 〒542-0066 大阪府中央区瓦屋町 2-11-16 (株) 精研 凍結本部 TEL 06-6768-5039

4. 実験結果

1) 荷重 W , 頂部鉛直変位 δv , 端部水平変位 δh の経時変化:

図3にA₀実験を例として、 W , δv , δh の経時変化を示す。 δv は、荷重開始直後は荷重板と凍土との接触の関係から緩やかに増加したが、端部水平変位 δh は凍着しているため、ある荷重から緩やかに増加した。このとき、供試体端部付近で小さい音がたびたび確認された。この音はアーチ端部の局所的な凍着部の滑りなどにより生じたものと思われる。荷重は最大に達した後は、緩やかに減少した。 δv , δh ともに、変位は増加傾向が続き、供試体にクラックが目視で確認された後に実験を終了した。主なクラックの発生箇所は、頂部内面、肩部外面であった。また他の実験において、実験終了後に端部を観察すると、内面は粘土凍土の一軸圧縮試験²⁾時のように側方(アーチ中心方向)に膨れたり、外面は凍土厚方向の1~2cmの範囲で1~2mm浮き上がって(剥離)いたりしている状態が見られた。

2) 荷重 W ~頂部鉛直変位 δv 曲線: 図4にAシリーズの実験の W ~ δv 曲線を示す。各実験で得られた W ~ δv 曲線において、勾配が直線から外れはじめる荷重を比例限界荷重 W_p (●)とした。また、最大荷重を W_{max} (○)とした。端部が凍着のみの場合(A₀)においても、追加凍土(Af)や鋼材(As)を加えた場合とほぼ同様の W ~ δv 曲線であった。このことから、 W_p 後のA₀においても端部は拘束されていることが分かった。

3) 応力分布: W_p 時にアーチ凍土の内面、外面に発生する応力をそれぞれ σ_{in} , σ_{out} とし、横軸に角度 α をとった図5に、内面、外面で歪み量の差が大きいCシリーズの実験の応力分布を示す。 σ_{in} のデータは「W型」、 σ_{out} のデータは「M型」の分布傾向が見られた。また、頂部、端部では σ_{out} が σ_{in} よりも圧縮側であり、肩部では逆であり、各部位で曲げが働いていることが分かった。これらは、A, Bシリーズの実験においても同様の傾向が見られた。

4) 比例限界荷重 W_p , 最大荷重 W_{max} と凍土厚の関係: 本実験で得られた W_p , W_{max} と凍土厚 T の関係を、図6に示す。端部を補強したAf, As, Cs実験の W_{max} は、端部を補強しないA₀, C₀実験に比べて大きくなることがわかった。 W_p においてもその傾向は見られた。すなわち、端部水平変位を抑制した場合は、抑制しない場合に比べて、 W_{max} , W_p は大きくなることを確認された。なお、 W_p は W_{max} の40~60%の範囲であった。

5. 終わりに

本実験から、鉛直荷重が作用したアーチ凍土の、変形特性や応力分布を知ることができた。更に、アーチ凍土の降伏荷重は、追加凍土や鋼材を加えて端部水平変位を抑制することで大きくなることも確認された。

文献:

1) 森保史ら: 鉛直荷重が作用するアーチ型凍土の変形挙動, 土木学会第58回年次学術講演会, 2003. 2) 高志勤ら: 均質な粘土凍土の一軸圧縮強度に関する実験的研究, 土木学会論文報告集, No.315, pp83~93, 1981.

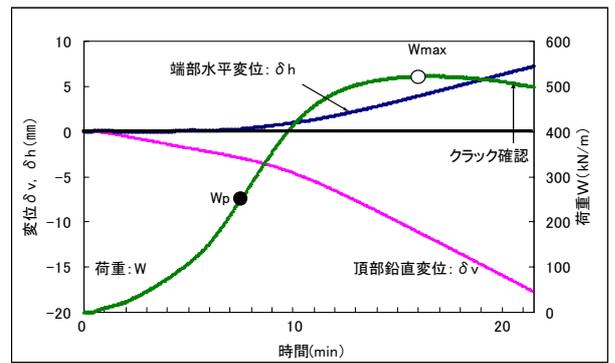


図3 荷重 W , 変位 δ の経時変化(A₀実験)

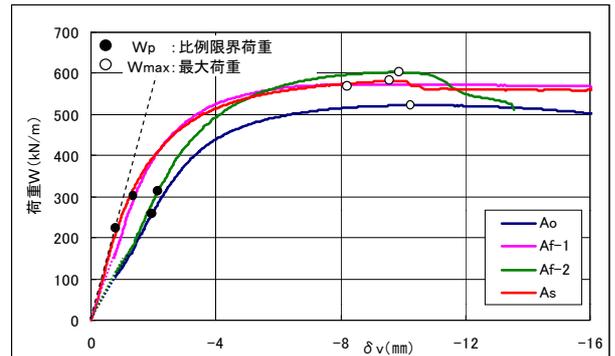


図4 荷重 W ~頂部鉛直変位 δv 曲線(Aシリーズ)

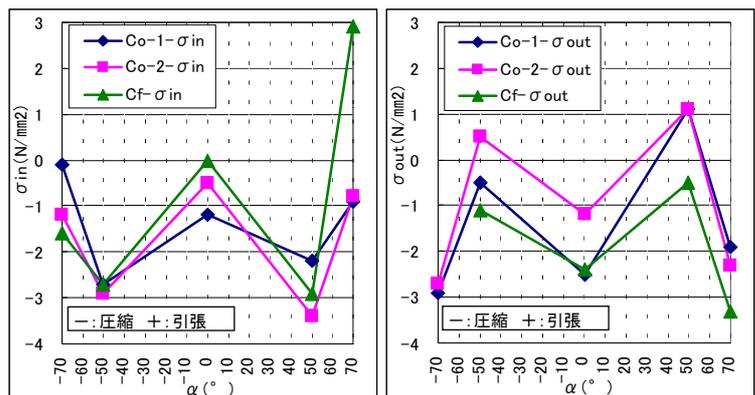


図5 W_p 時の応力 σ_{in} , σ_{out} 分布(Cシリーズ)

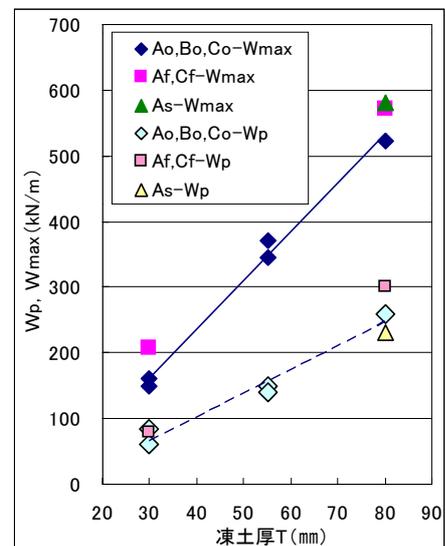


図6 W_p , W_{max} と T の関係