鉛直荷重が作用するアーチ型凍土の変形挙動

(株)	精研	正会員	0	森	保史*	吉田	聡志**
(株)	精研	須藤	圭祐**		正会員	伊豆田	久雄**

1. はじめに:地下深くに大きな空間を築造する研究が盛んに行われている。道路・鉄道・ビルなどが過密状態 にある都市部において、都市機能を減退させない(地上を占有しない)で地下に大空間を築造することが、重要な 研究課題の一つとなっている。トンネル内や立坑から埋設された凍結管で造成する「アーチ型凍土」の、いろい ろな利用を検討している。これまでに凍土の力学特性に関する実験は数多くみられるが、鉄材に凍着したアーチ 型凍土の実験や文献は見あたらない。水平方向からの外力や地盤バネが作用しないという最も変位しやすいアー チ型凍土をモデルとして想定し、鉛直荷重のみを作用させる条件下で室内実験を行い、1)アーチ型凍土の変形 挙動とクラックの発生位置、2)アーチ端部へのジベル設置による変形挙動への影響を調べた。

2.実験装置・方法:アーチ型凍土および実 験装置を図1に示す。鉄板を曲げ加工して作成 したアーチ型枠を立てた状態で、含水比 54%の 藤の森粘土(スラリー状)を投入する。この時 すでに型枠内外には、U字型の凍結管(φ 10 銅 管:薄肉)が均等に8系統設置されている。試 料投入後、この凍結管に-25℃のブラインを循 環させ急速凍結し凍土を造成する。凍土造成完 了後、ブラインの循環を一時止め、型枠を外す。 次にアーチ型凍土はまだ立てた状態にあるの で凍土を起こし、4 点載荷装置、変位計を設置 する(図1の状態)。約-17℃のブラインを再循 環させ凍結管列の間に設置した熱電対(●)と 凍土表面に設置した熱電対(○) で、凍土の各 測点の温度が2℃程度の差であることを確認 した後に載荷を開始した。載荷は油圧ジャッキ



実験装置概要図(凍着面が曲面の場合) 図 1

で段階的に(8kN刻み)に荷重を増加させる方法で行い、荷重毎の変位量を 測定した。なお、実験装置およびアーチ型凍土の雰囲気温度は-5℃程度に保 った。その結果、載荷中もアーチ型凍土の温度分布に変化のないことが確認 された。

3. アーチ型凍土端部の条件:アーチは、端部の固定条件によって変形挙 動が大きく変わると考えられた。そこで本実験では、端部の条件を図2のよ うに、①凍着・非凍着、②凍着面が平面・曲面(アーチ中心軸が設置する曲 面の頂部より外側)、③ジベルが有る・無い(凍着面は曲面)という場合の実 験を行い、それぞれの条件でアーチ型凍土の変形挙動を観察した。

4. 実験結果:条件が異なる場合の荷重Wとアーチ頂部の鉛直変位量の関 係を図3~5に示す。ここでは複数回の実験データを平均化させている。図 中に示したフレーム解析は、アーチ端部を完全に拘束した場合と水平方向を 自由にした場合の計算結果である。なお実験中の凍土温度が-16℃であった ので、変形係数E50を600MPaとし¹⁾、フレーム解析を行った。

1 凍着 非凍着 2 曲面 平面 φ5×30mm×20本×2列 3 ジベル有り ジベル無し

図2 アーチ端部の条件

キーワード アーチ型凍土、モデル実験、変形挙動、載荷実験 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 大阪市中央区瓦屋町 2-11-16 (株) 精研

凍結本部 TEL 06-6768-5039

100

実験値:非凍着

凍着・非凍着の影響:アーチ型凍土の端部を凍着 させた場合と非凍着の場合の実験結果を、図3に示 す。凍着の場合(◆)、載荷開始から直線的に変位は 増加した。ある荷重を超えると端部の凍着が切れ始 め水平方向(外側)に変位し、アーチ型凍土の頂部 内面に引張クラックが発生し瞬時に破断した。実験 データとフレーム解析を比較すると、載荷前半では 端部を固定した結果と一致するが、荷重が 70kN を超 えると変位は解析結果より大きくなった。これは荷 重増加に伴い水平方向への作用力が凍着力を上回り、 アーチ端部の凍着が切れ、水平に変位し始めたため と考えられる。非凍着の場合 (●)、載荷開始と同時 に大きく変位すると予想したが、荷重 30kN までは凍 着の実験結果と同様にフレーム解析(固定)の結果と 一致した。荷重が 30kN 以上になると変位の増加は大 きくなり、凍着の場合と同じように頂部にクラック が発生し破断した。変位が増え始めた後の実験値の 傾きは、水平方向を自由にしたフレームの解析の傾 きとよく合った。なお載荷開始時に変位が解析より 小さくなったのは、凍着防止のために塗布したグリ スの粘性や鉛直荷重による押さえつけなどの影響で、 端部に摩擦抵抗が発生したためと考えられる。

平面・曲面の影響:アーチ型凍土の凍着面を曲面にした場合の実験結果を図4に示す。曲面の場合(〇)、凍着面積が増えたにもかかわらず平面の場合に比べて変位しやすかった。本実験では凍着面積の影響よりも、鉛直荷重が曲面接線方向へ作用する傾向が強くなり、端部が水平変位しやすくなり、鉛直変位も大きくなったと考えられる。このことからアーチ型凍土の変形挙動を調べるにあたって、凍着面の形状は重要な要因の一つであることが分かった。

ジベル設置の影響:曲面に多くのジベルを設置し、



図5 ジベル設置の影響(曲面・凍着)

端部の固定をより強固にした場合の実験結果を図5に示す。ジベルを設置した場合(■)、載荷前半では変位しに くいが、荷重が 150kN を超えると変形しやすくなった。本実験においてアーチ頂部内面に引張クラックや凍着が すべて切れている様子は見られなかったことから、150kN 付近でジベル周辺の凍土(端部)が降伏したために変形 が大きくなったと考えられる。また、フレーム解析と比較すると、荷重 150kN までは固定の結果と良く合い、そ れ以上の荷重では、水平方向が自由な場合の傾きに比べて小さくなった。

5. おわりに:アーチ型凍土の端部にジベルを設置し強固に拘束すると、アーチ凍土内面が降伏を始める鉛直変 位は増加しアーチ型凍土の強度は上がることが本実験で確認された。また、凍着面の形状によって変位量が左右 されることも実証された。載荷速度やアーチ形状の影響、ジベルの効果、発生応力など不明な点はあるが、今後 更に研究を進めこれらを検証できればアーチ凍土を有効に活用できるようになると考えられる。最後に、本実験 の実施に当たり、東京都立大学名誉教授の山本稔先生から貴重なご助言をいただいたことを付記する。

〔参考文献〕1) 高志勤・生頼孝博・山本英夫・岡本純: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, pp. 83~93, 1981.

-752-