

接続凍結工における圧抜き管の凍結土圧軽減効果

(株) 精研 ○正会員 上田保司
 (株) 精研 正会員 松岡啓次
 (株) 精研 正会員 生頼孝博

1. 緒言 既設洞道間の接続などに凍結工法を用いる場合、凍土内部で閉塞状態にある未凍結土を介して既設構造物に作用する凍結土圧を軽減するために圧抜き管が設置される。圧抜き管の最適配置方法の確立を目的に、先行研究の凍結土圧解析手法¹⁾を用いたモデル解析から圧抜き管による凍結土圧軽減効果を調べた。

2. 解析手法 図1に示すように凍結膨張に伴う半径方向の凍結土圧 P_r が円筒内部の未凍結土に発生すると、未凍結土は軸方向に伸長しようとして構造物との接触面に凍結土圧 P_{zu} が作用する。圧抜き管が存在すると、未凍結土が管から圧密排水されて凍結土圧は軽減される。土の三軸凍上特性²⁾に基づく各方向への凍結線膨張率、構造物の力学変形、未凍結土の圧密を連立した凍結土圧解析法¹⁾を用いて図2のモデルで凍土成長に伴う P_{zu} の経時変化を解析し、加えて圧密排水無しとの解析結果と比較した。硬質及び軟弱地盤を想定して洪積及び沖積シルトの諸数値²⁾を用い、凍結体積膨張率を3%として三軸凍上特性から凍結線膨張率を求めた。構造物の力学特性は先行研究¹⁾と同じである。未凍結土の圧密収縮は軸方向に生じず、半径方向にのみ生じるとした。

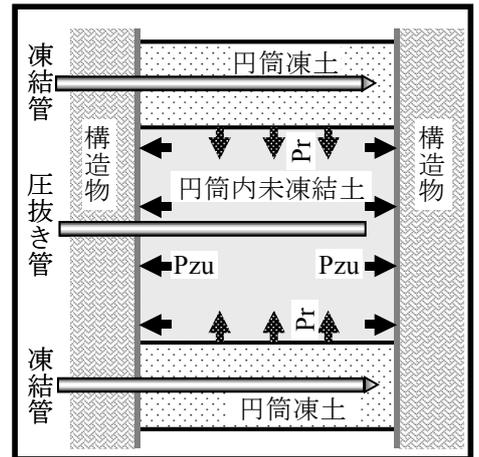


図1 圧抜き管解析モデル（縦断面）

圧密を考慮する場合は図2に示すように凍結面との距離を半径とする圧抜き管周囲の有効円が P_r によって圧密されるとした。以降は有効円の直径を d_e とし、管と円筒中心との芯ずれ距離を r とする。 P_r が一定であっても圧密量は時間に依存するが、本モデルではさらに凍土成長に伴って P_r も増加するので、図3に示すように微小時間 $(\Delta t = t_i - t_{j-1})$ に発生した土圧 (ΔP_{rj}) が圧密期間 $(t_i - t_j)$ にもたらす圧密量を累積して所定の時刻 (t_i) での有効円の半径収縮量 (Δd_{e_i}) を求めた。ただし圧密は半径方向の有効応力 $P_{r0} + P_r$ が圧密降伏応力 P_y を超える場合に生じる。

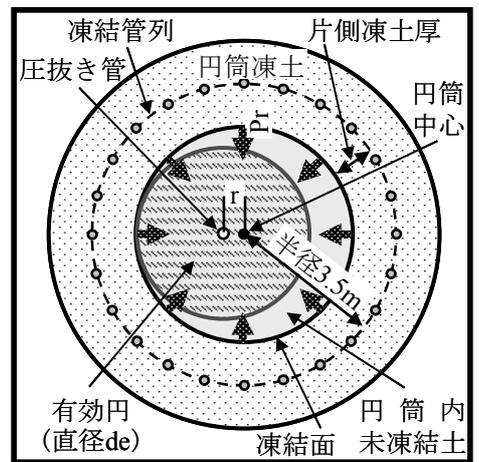


図2 圧抜き管解析モデル（横断面）

P_{r0} は凍結前の初期有効応力である。以上を式で表すと、

$$\Delta d_{e_i} = \sum_{j=2}^{i-1} \{U(T_j) m_v \Delta P_{rj}\} \quad (1) \quad T_j = \frac{C_v(t_i - t_j)}{d_{e_j}^2} \quad (2)$$

m_v , C_v は体積圧縮係数及び圧密係数である。 $U(T_j)$, T_j は圧密度及び時間係数で、サンドドレーン工法などで用いられる Barron の円筒圧密理論に基づく時間係数-圧密度曲線³⁾から $U(T_j)$ を求めた。圧抜き管の配置として図4に示す1～4本の場合を扱い、2～4本配置では各管の有効円の重なる部分の圧密を2重に計算しないようにした。また図5に例を示すように3本及び4本配置

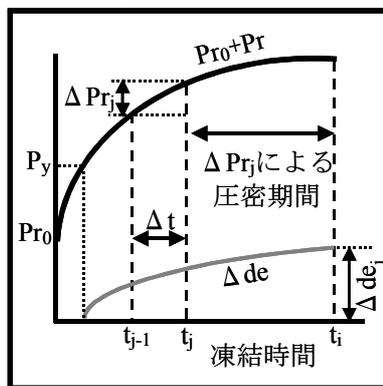


図3 圧密経時変化の模式図

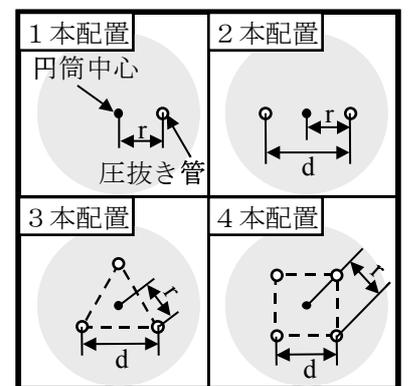


図4 圧抜き管配置パターン

凍土、凍結膨張、凍結土圧、圧密

では、正三角形及び正方形領域の内側の d_e をサンドドレーン工法と同様にそれぞれ $1.05d$, $1.13d$ とした³⁾。ここで d は圧抜き管の設置間隔である。

3. 解析結果 まず図4の各配置で r を $1.0m$ で同一として解析した。凍土は最初各凍結管の周囲に造成され、未凍結土の変形が各凍結管の間に逃げて P_{zu} が発生しないので、各円柱凍土が繋がって円筒凍土が完成(閉塞)する凍結日数11日目以降を解析の対象とした。実施工では圧抜き管を介して計測される未凍結土の間隙水圧の上昇から凍土の閉塞が確認される。図6の硬質地盤では20日目以前で各配置の P_{zu} に差は無く、排水無しの場合との差も無い。これは前述のように Pr_0+Pr_j が P_y を超えず圧密が生じないためである。

20日目以降は圧抜き管の本数が多いほど早期に排水無しの場合の P_{zu} を下回る。凍結管列からの片側凍土厚が $1.0m$ に達する43日目では設置本数が多いほど P_{zu} は小さく、1本及び2本配置の P_{zu} は排水無しの場合の80~90%程度であるが、3本配置では63%、4本配置では43%と急に小さくなる。凍結土圧軽減が十分でない場合は圧抜き管の本数を増やすと有効である。なお、実施工では凍土閉塞後に未凍結土を直接抜き取る方法もある。図7の軟弱地盤では凍土閉塞後すぐに圧密が生じて各配置の P_{zu} は排水無しの P_{zu} を下回り、硬質地盤の場合と同様、設置本数が多いほど排水無しとの差が大きい。43日目では1本配置でも P_{zu} が排水無しの場合の54%と小さく、硬質地盤と異なり1本の設置でも十分な凍結土圧軽減効果を得ることができる。2~4本配置の P_{zu} は排水無しの43%、25%、22%であり、圧抜き管の設置本数が同じであれば軟弱地盤での軽減効果は硬質地盤よりも大きい。次に圧抜き管の複数本設置時に設置間隔が施工限界に近くなる $r=0.5m$ から、片側凍土厚 $1.0m$ での凍結面の位置 $r=2.5m$ までの範囲で r を変化させて P_{zu} を解析した。図8及び図9に示すように硬質・軟弱地盤とも r が $0.5m$ から増加するにつれて P_{zu} は減少するが、 $1.5m$ よりも大きい領域では逆に r の増加に伴い P_{zu} は増加する。 r が増加して有効円の直径 d_e が小さくなると圧密の進行は早くなるが、同時に有効円の面積が減少するので圧密量は低減する。 r に対する P_{zu} の増加・減少はこの2つの理由でおこる。また $r=1.0\sim 1.5m$ の範囲で P_{zu} はほぼ最小に近く r による変化も小さい。つまりこの範囲に圧抜き管を設置すれば十分な凍結土圧軽減効果が得られ、孔曲がり等の施工誤差の影響も少なくできる。

4. 結言 接続工における圧抜き管の凍結土圧軽減効果の設置本数及び硬軟質地盤による違いを定量的に確認できた。また、十分な凍結土圧軽減効果が得られ施工誤差の影響も少なくできる圧抜き管の設置範囲が得られた。文献1)上田他(2000):土木講演集, III-B352. 2)山本他(1994), 雪氷, Vol.56, No.4, 325-333. 3)千田昌平: 軟弱地盤改良工法, 鹿島出版会。

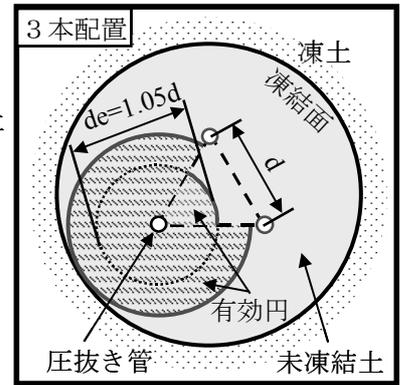


図5 圧抜き管有効円の例

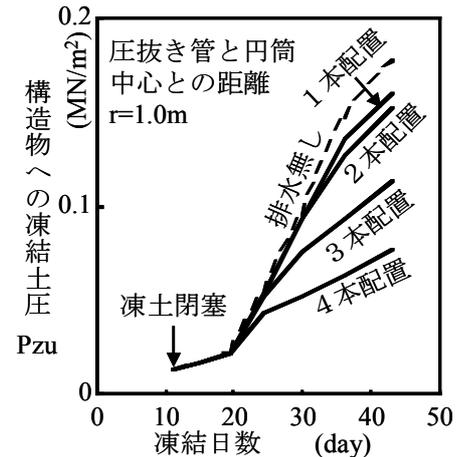


図6 Pzuの経時変化(硬質地盤)

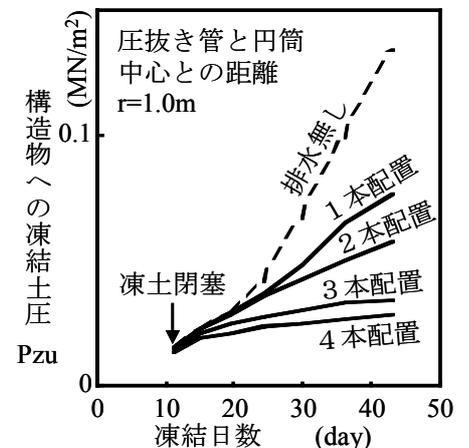


図7 Pzuの経時変化(軟弱地盤)

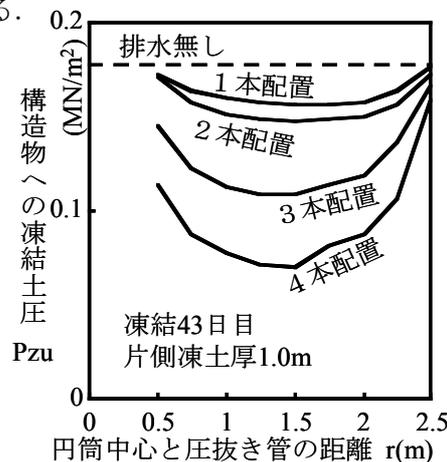


図8 rとPzuとの関係(硬質地盤)

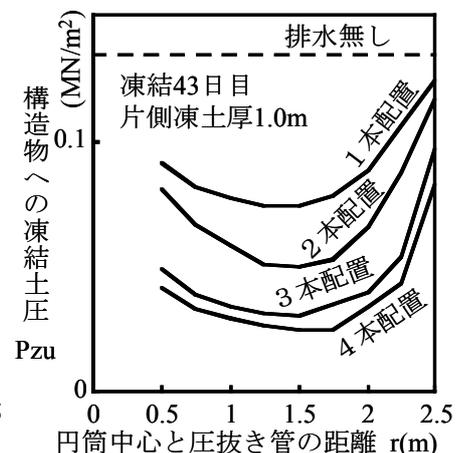


図9 rとPzuとの関係(軟弱地盤)