

鋼管間止水凍土の内部応力および凍着応力の安全性評価

（株）精研 正会員 ○森内 浩史
 （株）精研 正会員 上田 保司
 （株）精研 正会員 生頼 孝博

1. 目的 パイプルーフ工法において、凍土による鋼管間の止水が考えられる。前報¹⁾では、鋼管に荷重を作用させた場合の凍土の鋼管変形への追随性を調べた。本報では、実施工で想定される凍土に荷重が作用する場合の実験と構造解析から、凍土の内部応力および凍着応力の安全性を評価した。また、地山掘削時における鋼管の露出が、鋼管間止水凍土の安全性に及ぼす影響を調べた。

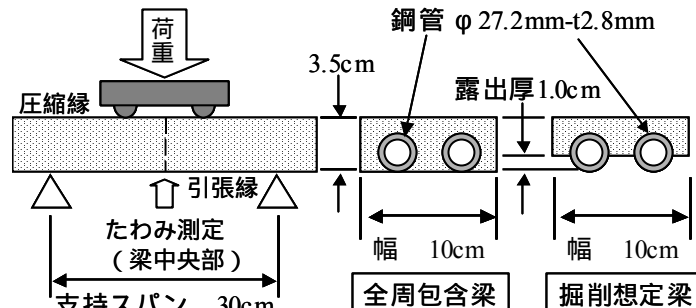


図1 実験模式図

2. 実験および解析方法 図1に実験模式図を示す。鋼管はSGP（φ27.2mm）を、試料土は豊浦砂を用いた。供試体は鋼管全周を凍土で覆った全周包含梁と、鋼管の下端部を露出させた掘削想定梁の2つを用いた。歪速度は0.15%/min、実験温度は-2～-20で三等分点曲げ実験を行った。

この2種類の梁について、鋼管と凍土の凍着が切れない完全合成梁として構造解析²⁾を行った。鋼管および凍土単体の曲げ実験から、解析に必要な鋼管および凍土の応力-歪曲線のモデル化を行った。

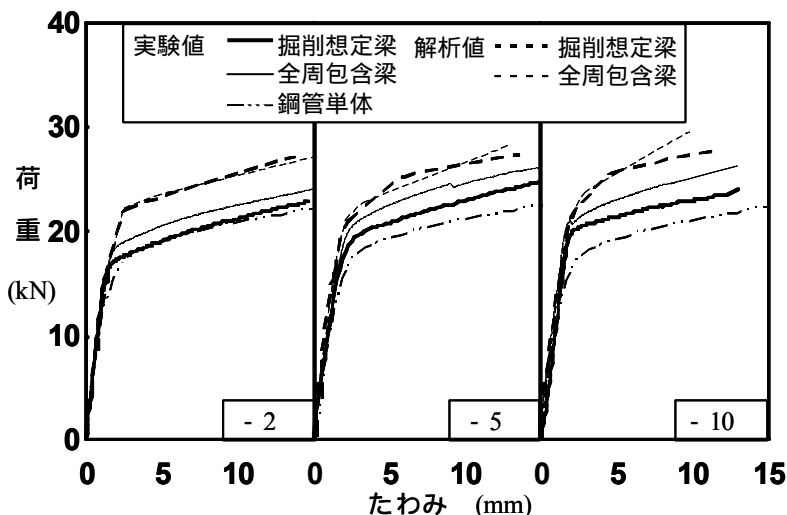


図2 荷重-たわみ曲線の例

3. 実験結果と構造解析結果 図2に、実線で各温度における荷重-たわみ曲線の実験値を、破線で構造解析による解析値を示す。比較のため、図中に2点鎖線で鋼管単体の結果も示す。

すべての荷重-たわみ曲線の実験値において、載荷初期はたわみの増加に伴って荷重がほぼ直線的に増加する。その後、荷重の増加は緩やかになり、より小さな増加勾配に移行する。全周包含梁および掘削想定梁の荷重は、温度が低いほど鋼管単体の荷重を大きく上回る。これは、凍土の力学的寄与によると考えられる。また、いずれの温度でも、掘削想定梁の荷重は全周包含梁を下回る。これは、掘削想定梁では凍着面積が全周包含梁よりも小さく凍着が切れやすいので、凍土による補強効果²⁾が小さいためと考えられる。

載荷初期の荷重がほぼ直線的に増加する領域では、解析値は実験値とほぼ一致しているが、荷重の増加勾配が緩やかな領域では、解析値は実験値を上回る。また、解析値と実験値との差は、掘削想定梁の方が全周包含梁よりも大きい。これは、掘削想定梁が全周包含梁よりも早期に凍着が切れるため、構造解析の条件である完全合成梁として挙動する期間が短いことが原因と考えられる。

全周包含梁および掘削想定梁について、梁中央部における凍土の圧縮縁および引張縁での応力、鋼管の引張応力、凍土と鋼管の凍着応力を解析した。図3に-5における解析結果を示す。図中に破線で、凍土単体の実験から求めた凍土の圧縮および引張強度、凍着せん断実験から求めた凍着せん断強度³⁾も併記する。凍土の

キーワード 凍土、パイプルーフ工法、凍着、止水

連絡先 〒542-0066 大阪市中央区瓦屋町2丁目11番16号（株）精研 TEL:06-6768-5031 FAX:06-6768-1508

圧縮および引張応力は、どちらの梁でもたわみの増加に伴って増加する。凍土の圧縮応力は二つの梁の間に差はほとんどなく、凍土の圧縮強度の 1/2 以下である。凍土の引張応力は全周包含梁の方が掘削想定梁よりも大きく、最終的には凍土の引張強度近くに達する。凍着応力もたわみの増加に伴って増加するが、掘削想定梁の方が全周包含梁よりも大きく、たわみ増加の途中で凍着せん断強度を上回る。以上の結果から - 5 の場合、全周包含梁は凍土の引張縁における凍土の破壊、掘削想定梁では凍着切れによって梁が破壊すると考えられる。

4. 鋼管間止水凍土の安全性評価 図3に縦の一点鎖線で示すように、鋼管の引張応力がパイプルーフ工法における短期許容応力度⁴⁾（設計強度）に達するたわみでは、二つの梁ともに各応力の解析値はそれぞれの強度を下回っており、この範囲内の荷重では、凍土は凍着切れやクラックを生じることなく鋼管変形に追随するといえる。

鋼管応力が短期許容応力度⁴⁾に達した時点での各応力の計算値を、実験より得た各強度で除した応力比によって、全周包含梁および掘削想定梁の安全性を評価した。

応力比と温度との関係を図4に示す。全周包含梁では、いずれの温度でも凍土の引張応力比が最も小さいことから、その安全性は凍土の引張応力で評価するべきである。一方、掘削想定梁では、いずれの温度でも凍着応力比が最も小さいので、その安全性は凍着応力で評価するべきである。凍着応力比は、0 ~ - 10 の間では - 5 付近でピークを示し、- 10 以降では温度が低いほど増加する。鋼管と凍土との凍着力を高めるには凍土温度を低くすることが望ましいが、掘削想定梁では、- 5 付近の高い温度で凍土を維持しても、- 20 で維持する場合と同程度の安全性を確保できる。

- 5 の条件で、掘削想定梁における露出厚を変化させて応力比を求めた結果を、図5に示す。露出厚が小さい場合は、凍土の引張応力比が最も小さい。露出厚が増加すると、凍土の引張応力比は増加するのに対して凍着応力比は減少し、露出厚が 3mm（凍着面積が全周包含梁の 78%）となる時点で両者の大小関係は逆転する。なお、凍土の圧縮応力比は露出厚によってほとんど変化せず、3種類の応力比の中で最小になることはない。以上から、鋼管の露出が小さい場合は梁の安全性は凍土の引張応力で評価するべきであり、露出が大きい場合には梁の安全性は凍着応力で評価するべきである。

5. まとめ 1) 鋼管間止水凍土の安全性は、鋼管の露出が少ない場合は凍土の引張応力で決まり、露出が多くなると凍着応力で決まる。2) - 5 付近の高い凍土温度でも、- 20 の凍土と同程度の凍着安全性を確保できる。3) 鋼管の露出の有無に係わらず、パイプルーフ工法の設計の範囲では、凍土は凍着切れやクラックを生じずに鋼管変形に追随する。

文献 1) 森内他：土木講演予稿集，-377, pp.753-754, 2003. 2) 上田他：土木論文集, No.694, -57, pp.81-90, 2001. 3) 森内他：雪氷予稿集, pp.186, 2003. 4) 斉藤重治：パイプルーフ工法・地盤，理工図書, pp.58-61, 1982.

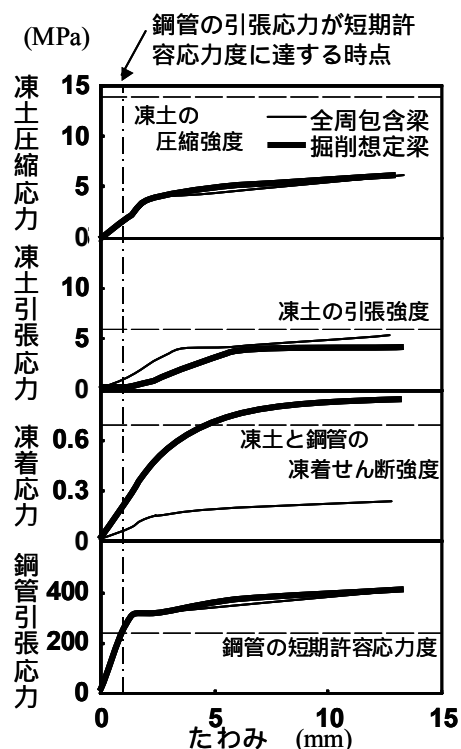


図3 応力分布の解析例（- 5）

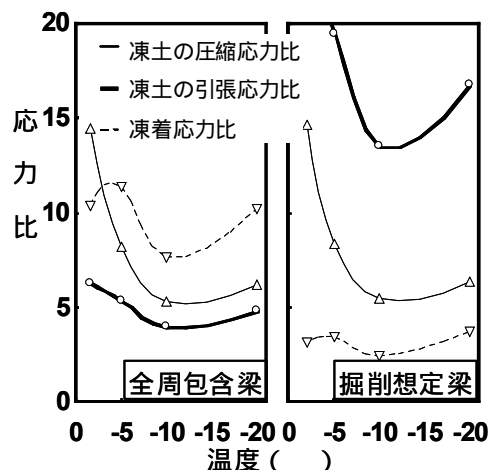


図4 応力比と温度との関係

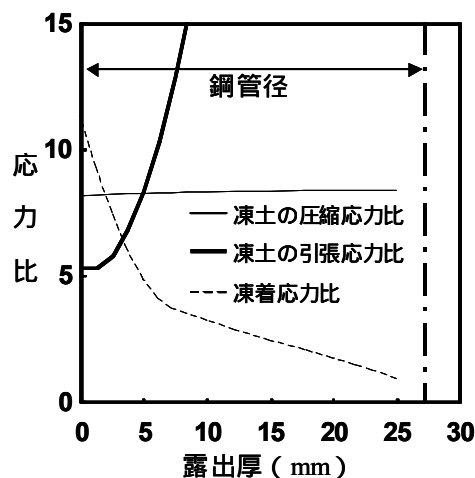


図5 応力比と露出厚との関係（- 5）