## 現場モデルの応力解析に基づく凍着曲面の凍着安全性評価

(株)精研 技術本部 正会員 隅谷 大作 (株)精研 技術本部 正会員 上田 保司 (株)精研 技術本部 正会員 生頼 孝博

1.はじめに 凍結工法では、凍着を維持することは重要である、凍着面上の位置によって、せん断応力の向きや大きさが異なる凍着曲面での凍着維持条件は不明で、その安全性を定量的に評価することができなかったが、前回、凍着曲面での凍着維持条件を室内実験 1)によって明らかにした、今回は、この実験結果に基づく凍着維持の評価法を現場モデルに適用し、施工に係わる幾つかの因子について、凍着安全性を調べた、

2.現場モデルおよび評価法 図1に,トンネル間の拡幅を想定した現場モデルを示す.土質は均質な砂質土または粘性土とした.凍着面に発生する応力は,弾性 FEM 解析によって算出した.図2に,砂質地盤における凍土厚4m,凍着面温度-10 ,施工深度 GL-25m の場合の凍着面に発生するせん断応力 および垂直応力 nの解析による分布を示す.なお,現場モデルは左右対称であるため,図1中の左側の凍着面での分布である.

凍着せん断強度  $_s$ は,凍着面への垂直応力  $_n$ にる増強効果  $^{2)}$ を考慮した式(1)で算出した値を用いた.ここで,  $_0$ は  $_n$ が  $_0$ の  $^{2)}$ ときの凍着せん断強度であり,図  $_3$ に示す先行研究における実験値  $^{2),3)}$ を用いた.また, $_a$  は実験から求められる定数である.凍着面の温度は,貼付凍結管によって,凍着面全域で一定温度に保たれているものとする.

本報では,凍着維持の安全性を,式(2)で定義する凍着安 $S_{fa} = \frac{\sum \left( \ _{s} \cdot \varDelta S \right)}{\sum \left( \ \cdot \varDelta S \right)} = \frac{R_{s}}{W_{s}}$  (2)全率  $S_{fa}$ によって評価する.

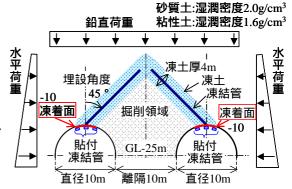


図1 トンネル間の拡幅を想定した現場モデル

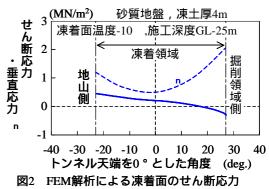


図2 FEM解析による凍着面のせん断応力 および垂直応力 nの分布例

着せ

ん 断 1.0

0.0

2.0 (MN/m<sup>2</sup>)

ここで, S は凍着面における微小面積, $R_s$  は凍着せん断強度  $_s$  に基づく凍着面全域の全せん断抵抗荷重, $W_s$  はせん断応力 に基づく凍着面全域に作用する全せん断荷重である.図 1 中に示す基本数値において,凍着面温度,凍着面積,施工深度,土質を変化させながら解析を行い,これらの因子による  $S_{fa}$  の変化から凍着維持の安全性を評価した.なお,図 2 の場合では,式(2)による  $S_{fa}$  は 8.4 である.

3・評価結果 3・1・凍着面温度の影響 図 4 に,凍着面温度と  $S_{fa}$ と 0 -5・-10・-15・-20・-25 凍着面温度( ) の関係を示す.凍着面温度が低下するにつれて, $S_{fa}$ は増加することが確認で 図3 凍着せん断強度 の実験値 きる.図 5 に,砂質地盤での凍着面温度の変化に伴う  $W_s$ と  $R_s$ の変化を示す.凍土に作用する上載荷重は凍着面温度の影響を受けないため, $W_s$ は一定値である.また,図 3 に示したように,  $_0$  は凍着面温度の低下に伴って増加するため,  $_s$  に基づく  $R_s$  も温度の低下に伴って増加する.したがって, $R_s$  と  $W_s$  との比である  $S_{fa}$  は増加することになる.

凍結,現場モデル,凍着,曲面,解析

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

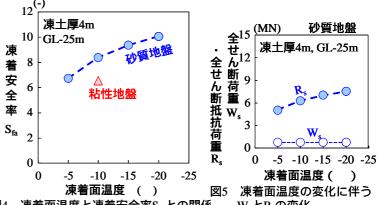
3 - 2 . 凍着面積の影響 図6に,凍着面 積と Sfa との関係を示す .砂質および粘性地盤 とも,凍着面積の増加に伴って,Sfaは直線的 に増加することが確認できる.図7に,砂質 地盤での凍着面積の変化に伴う W。と R。の変 化を示す.凍着面積の変化に伴う上載荷重の 変化は,初期上載荷重に比べ,わずかである ため、W、は凍着面積に依らずほぼ一定値とな る.また,R<sub>s</sub>は,凍着面積が増加するにつれ て,直線的に増加する.したがって,Sfaは直 線的に増加することになる.

3 - 3 . 施工深度の影響 図8に,施工深 度と Sfa との関係を示す .砂質および粘性地盤 とも,深くなるほどSfaは減少するが,大深度 ほど Sfa の減少勾配は緩やかになり、一定値に 収束する傾向を示す. 図9に,砂質地盤での 施工深度の変化に伴う W。と R。の変化を示す. W。は、深度に応じて上載荷重が増加すること から,直線的に増加する.また,深度に応じ て増加した 「が,式(1)の効果によって 。 を増加させるため, R。も直線的に増加する.

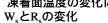
W、とR、の荷重変化を深度Dの一次関数で 表し,式(2)にあてはめると,Sfaを次式で表す ことができる.

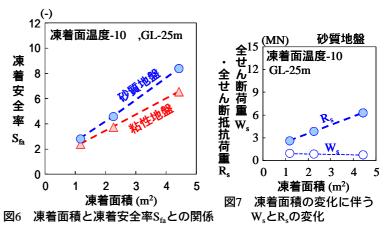
$$S_{fa} = \frac{R_s}{W_c} = \frac{b \times D + c}{e \times D} = \left(\frac{b}{e}\right) + \left(\frac{c}{e \times D}\right) \quad (3)$$

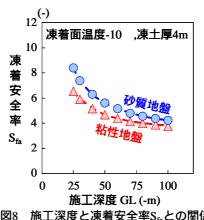
式(3)の右辺第1項の(b/e)は,凍着せん断強度

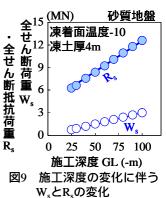


凍着面温度と凍着安全率Saとの関係









の垂直応力依存性によって決まる定数であり、図8 施工深度と凍着安全率S<sub>fa</sub>との関係

深度の影響を全く受けない.また,第2項の $(c/(e \times D))$ は, $S_{fa}$ がDの双曲線関数であることから, $S_{fa}$ の減少 勾配が D の増加に伴って緩やかになることが確かめられる.したがって,大深度施工でも,垂直応力 。に よる凍着せん断強度。の増強効果によって、ある一定の凍着安全率が確保されることがわかった。

凍着面温度,凍着面積,施工深度とSaとの関係を示した図4,図6,図8において, いずれの条件でも、砂質地盤の方が粘性地盤よりも S<sub>6</sub> は大きいため、砂質地盤の方が凍着維持は安全である. しかし,両者の違いは小さいことがわかる.

4.まとめ 凍着維持条件に基づく評価法を現場モデルに適用し,凍着維持の安全性を調べた.以下に得 られた結果を示す . (1)砂質地盤の方が粘性地盤よりも凍着維持は安全であるが , 土質による相違は小さい . (2)凍着面の温度低下や凍着面積の増加によって,凍着維持の安全性が増すことを,定量的に確かめることが できた . (3)施工が深くなるほど凍着安全率は減少するが , その減少勾配は深くなるほど緩やかになり , 大深 度でもある一定値以上の凍着安全率が確保される.

(文献)1)隅谷他(2005):土木講演集, -349.2)上田他(2004):雪氷,66 巻 2 号,pp.497-503.3)森内他(2003):雪 氷予稿集,p.186.