

III-328

海水混入砂地盤内のシールドトンネル間横坑接続に伴う凍結工の凍土強度の考察

帝都高速度交通営団 正員 宮原 良明
 大成建設 株式会社 南部 邦彦
 株式会社 精 研 ○正員 加藤 哲治

1. まえがき

河川横過工法としてスタートした我国の凍結工法は、シールド工法の発展に連れて、多種多様な使われ方をしている。近年、シールド機の大型化と高深度化に伴い、凍結工の施工も複雑化し、更にシールド工法の海底下施工の増加により塩分混入土の凍結施工が増えている。塩分混入凍土の特性については、高志、生頼^{1) 2)} や田中³⁾ の室内試験に基づいた基礎研究が有るが、現場施工面から取り上げた検討例がないので、晴海運河に隣接した砂質土層で施工された換気室立坑と複線シールドトンネルを接続防護する凍結工事につき、次の3点について検討を加えてみた。

- ① 現場における塩分濃度の分布について、
- ② 設計強度と室内強度試験結果の比較、
- ③ 氷点降下に伴う凍土成長の遅れについて、

2. 施工概要

施工概要は図-1に示す通りで、地層は東京第2粘土層を挟んで上下に東京砂層がある洪積層で、砂層のN値は40~50以上、透水係数 $10^{-4} \sim 10^{-3}$ cm/sec、間隙水圧0.25MPa(2.5kgf/cm²)の地盤である。立坑築造時に採取した湧水の塩分濃度が2.7重量%であったため、強度設計は塩分濃度2.7%として計画された。施工は、先ず換気室立坑を地下連続壁、逆巻きコンクリートで降し、立坑内から両シールドトンネルに向かって水平に凍結管を埋設し、シールドセグメントには貼付凍結管を取付けて、箱型の凍土壁を造成し、その中を全断面掘削して場所打ちコンクリートにより横坑トンネルを構築した。

3. 塩分濃度と凍土強度について

凍土の強度は土質、温度、塩分濃度等に依存し、施工計画書の強度計算に使用された設計強度は表-1に示す通りで、圧縮強度は先行実験に基づいた一軸強度試験の耐力、曲げ強度は同じく曲げ試験結果の降伏強度が使われている。そこで、現場の凍土の強度を確認し、設計強度と比較するために

- ① 凍結管埋設穿孔時の湧水と砂質土(攪乱)の採取、
- ② 横坑掘削時の砂質土(不攪乱)の採取、
- ③ 横坑掘削時の凍結砂質土(不攪乱)の採取、

を行ない、塩分濃度測定、一軸圧縮試験及び曲げ強度試験を行なった。図-2は穿孔時の湧水採取場所とその湧水の塩分濃度を示し、下欄の()内の数字は同時に採取した砂質土(攪乱)に含まれる間隙水の塩分濃度を示す。湧水の塩分濃度が砂質土内間隙水の塩分濃度よりもかなり高い事が判る。図-3は不攪乱砂質土の採取場所とその砂質土に含まれる間隙水の塩分濃度とを示し、攪乱土と同様の傾向が見られる。これは、不

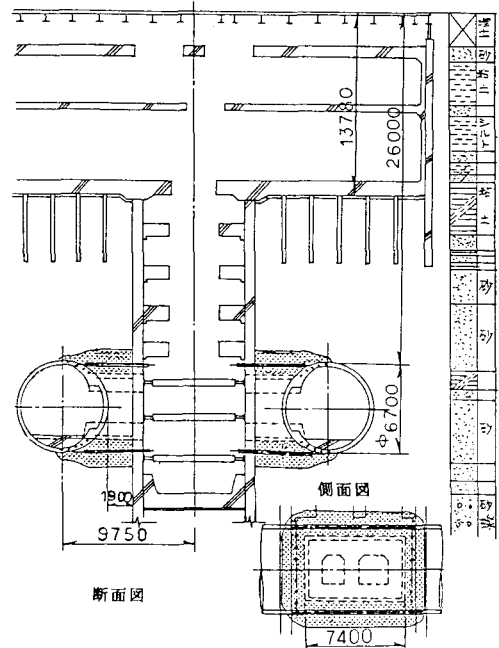


図-1 施工概要

設計使用強度と塩分0%時の参考強度

凍土平均温度	-14℃	
塩分濃度	2.7%	0%
圧縮強度 σ_{uc}	2.2MPa (220t/m ²)	5.8MPa (580t/m ²)
曲げ強度 σ_{ub}	1.3MPa (130t/m ²)	3.4MPa (340t/m ²)

表-1 設計強度例

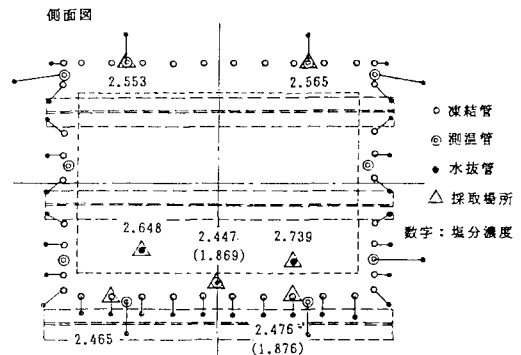


図-2 湧水(及び不攪乱試料)採取場所

攪乱土の塩分濃度が現地盤の塩分濃度を示し、湧水は築造工事などによる地盤の乱れによって海水との間にパスが出来たために濃度が高くなったものと考えられる。

図-4は攪乱砂質土と湧水を混合して土圧相当の上載荷重で締め固めた供試体の一軸圧縮試験結果と -14°C における不攪乱砂質土の試験結果を示す。図中の◎は -14°C 凍土の設計強度である。図-5は攪乱土の曲げ試験の結果と -14°C の不攪乱土の結果を示し、◎は圧縮同様 -14°C 凍土の設計強度を示す。図-4、5より、室内試験による一軸圧縮強度(q_u)と曲げ強度($\sigma_{\max}$)の関係は $-10^{\circ}\text{C} \sim -20^{\circ}\text{C}$ で $\sigma_{\max} = 1/2 q_u$ になっており、また、室内試験の結果と設計強度の関係は

$$(\text{圧縮}) \quad \sigma_c = 2/3 q_u$$

$$(\text{曲げ}) \quad \sigma_b = 0.8 \sigma_{\max} = \sigma_y$$

になっている。

4. 凍土の氷点降下に伴う凍土成長の遅延

現場で採取された地下水の塩分濃度2.7%より NaCl_2 換算される氷点降下は約 -1.5°C と目されるので、今該当地盤の氷点降下を -1.5°C として氷点降下に伴う凍土成長の遅延を検討してみる。凍土成長の計算は通常管列理論によって行なわれるので、同様の方法により氷点降下の無い場合と氷点 -1.5°C の場合について計算し、比較してみた。計算結果は図-6の通りで、氷点降下 -1.5°C の地盤の凍土成長は無い場合に比べて約1割（片側凍土厚1mで約1週間）遅れる事になる。図中の○は测温結果から測点位置が -1.5°C になった時の測点位置と時間の関係をプロットしたもので、計算結果と良く合っている事が判る。

5. まとめ

塩分混入地盤の凍結を計画する場合、凍土強度の低下に注意を払うばかりでなく、凍土成長の遅れについても考慮しておく必要がある。塩分混入砂地盤を凍結する場合の問題点として、幾つかの問題点が整理されたので、それをまとめると次のようになる。

- ① 凍土強度の低下は先行研究に示される様に、相当大きいので、事前に地下水を採取して強度検討をしておく必要がある。
- ② 塩分濃度を評価する時、採取地下水の塩分濃度と地盤の塩分濃度との間に相当の差があるので、地盤含有濃度だけで凍土の塩分濃度評価をするのは危険である。
- ③ 曲げ強度は一般的に圧縮強度の半分程度と言われているが、本検討の結果もそれを裏付けている。
- ④ 塩分混入凍土の設計をする時、構造物周辺が海水混入により塩分高濃度に成り易いので注意が必要である。

最後に、本論文をまとめる上で、ご協力いただいた帝都高速度交通営団8号線晴海A線工区の工事関係者に感謝の意を表します。

6. 参考文献

- 1) 高志, 生頼, 山本, 岡本: 砂質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 第302号 1974年10月 pp.43-52
- 2) 生頼, 山本, 伊豆田: 塩分含有凍土の曲げ強度に及ぼす塩分濃度・温度の影響 第21回土質工学研究発表会 1986年 pp.885-886
- 3) 田中, 堀: 塩分濃度を考慮した凍土の曲げクリープ特性について 第19回土質工学研究発表会 1984年 pp.755-756

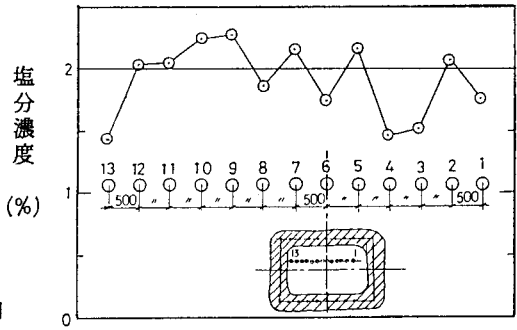


図-3 不攪乱未凍土の塩分濃度分布

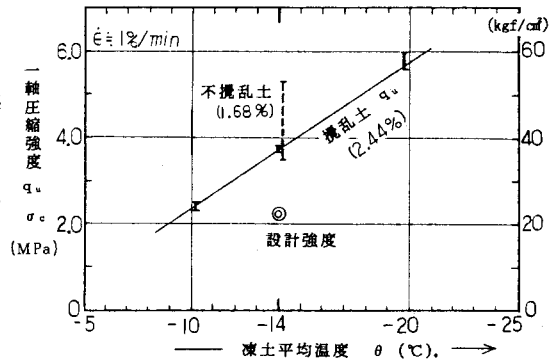


図-4 一軸圧縮強度試験結果の比較

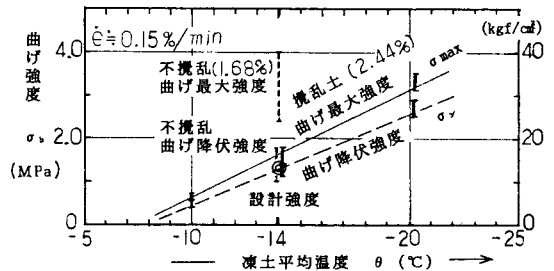


図-5 曲げ強度試験結果の比較

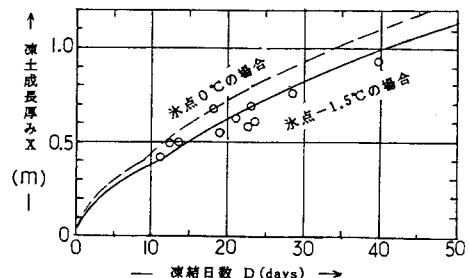


図-6 管列理論による凍土成長比較