

京都大学 正員 工博 村山 朔郎
 京都大学 理博 奥田 節夫
 東京都交通局 正員 遠藤 浩三
 東京都交通局 正員 ○村田 浩

1. はじめに

輻輳化の一端を占める大都市事情により近年東京、大阪における上下水道、地下鉄等の特殊部工事に地盤凍結工法が採用され、いづれも成功をおさめている。この工法は地盤を凍結し、固結することにより構造物を安全に、しかも確実に築造できる方法であるが、一方実施にあたり解明せねばならない諸問題が残されている。即ち(1)凍結、解凍時の凍工の土質力学的問題点、(2)凍結機構における熱力学的問題点であるが、特に土木工学上 1)凍工の体積変化、2)凍工の強度、3)凍結下のコンクリートの受ける影響 4)地下水流速と凍結範囲との相関関係等が問題点と考えられる。ここに東京都交通局地下鉄建設工事において凍結工法を採用し、事前にこれらを現地で調査、試験を行ったので報告するものである。

2. 凍工の体積変化 (東京都港区、金杉橋際 昭和38年12月実施)

凍工の体積変化は工質、含水量、温度等に影響される。一般的に透水性のある土質は凍結進行に伴い間隙水が比較的逃げ易いといはれている。そこで非透水性の土質をサンプリングし、 -30°C の CaCl_2 ブライン中に120時間浸し測定の結果最大1%の線膨張が認められ、解凍後は0.28%収縮した。

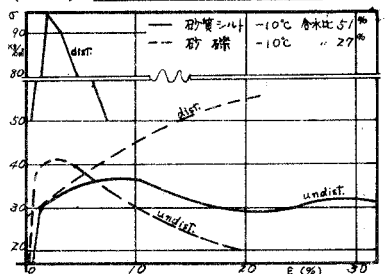
膨張する際の膨張力(寒冷地では普通これを凍工力と呼んでいる)が如何程であるかは目下研究されており、定量的に判明していない。しかし凍上力以上の荷重があれば凍上力を押え、小さくすることができよう。凍結箇所附近に他の構造物があれば、凍土の体積変化を一定考慮し、必要とあればその措置を講ずべきである。

3. 凍土の強度 (実施箇所は同上、昭和40年2月～11月)

凍土の強度は凍結温度、土質、含水量に左右されるが、一般的に圧縮強度は温度が低い程、また同一温度の場合は粒径の大きい程大であり、温度一定の場合は土質により或る含水量の時最大値を認めるとされている。

現地での攪乱、不攪乱試料を採取し、モールドし試験の結果は第1図のとおりである。この結果を基にして温度と圧縮強度の関係、含水比と圧縮強度の関係、含水比と曲げ強度の関係等は目下作成中で、講演会当日までに間に合えば発表したい。

(第1図) 凍土の圧縮強度と含水比との関係



4. 凍結下のコンクリートの受ける影響 (実施は同上、凍結深凝内)

コンクリートは -5°C ～ -10°C の凍土面に近接して打設せざるを得ない。従って何等かの保護を行わねばならず、凍結時に如何なる影響があるかを現場において種々の養生方法のしとにコンクリートの

温度降下の観察および圧縮強度試験を行った。

その結果は表-1のとおりであるが、水和熱は早強セメントでも普通セメントでも殆んど変らず打設後20時間目位が最大となり、約45℃～50℃である。しかし凍害よりの防護上、早強セメントを使用し σ_c を小さくし、コンクリートの打設後の温度降下を25℃/day以内にすることが望ましい。

なお σ_c は標準養生への約90%であった。

5. 地下水流と凍結範囲との相関関係 (東京都品川正、五反田大橋際 昭和40年8月～12月)

ブライン冷却方式において地下水流が大であるときは、それが冷却管の熱負荷や、特に凍結速度に重大な影響をもつことは予想されているがまだその文献は乏しい。

地下水流の測定方法は第3図のように投入管中に蛍光染料およびNaClを入れ、また測定管内に電気伝導度計を設置、その到達を待ち受けた。測定の結果7m附近に河川流下の方に0.046 $\frac{cm}{sec}$ の最大流速を認めた。一方管内にカーバイドを投入加熱後の低下温度分布を測定し(第4図)、また上流側には凍結単管を埋設、その周辺に温度計27点を設置して地中温度分布を測定した(第5図)。その後、解凍状態を視察した。

その結果、矢張り7m附近の凍結面の生長が延び縮みの状態にあることが判明した。そこで止水を目的にセメント、ベントナイト液を注入し測定により凍結面が急速に生長したのを認め、効果大であった。また解凍し長時間その凍結を保っていた。地下水流速も測定したが注入層より約5m離隔された所であり、遺憾ながら地下水流速と凍結範囲との定量的相関関係は得られなかった。

このように注入等を実施し流速減速を計れば凍結生長を助長、また凍結管相互の干渉を考へれば凍結は更に促進され、解凍し24時間ほどの停電に対して安全であることが確認された。

6. まとめ

以上凍結工法における諸問題を述べたが、これ以外凍土のフリーフ、断熱凍結版の凍結状態等の実験も併せ行った。これは別の機会をみて発表したい。

19世紀末に開発されたこの地盤凍結工法は諸技術の進歩と、それに加えて諸外国に類例をみない京都大学防災研究所における一連の実験と理論的解析が結果し極めて有効な工法となつた。そして工事計画にあつては以上のような問題点を摘出し、検討し、対処すれば確実に施工できる確信を得た次第である。

参考文献: 高志 勤 (大阪精研平成 理博) 土壤凍結工法 [I]～[V] (日本冷凍協会)

(表-1) コンクリートの圧縮強度

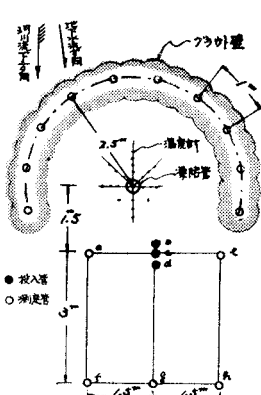
No.	養生方法	セメント	σ_{70}	備 考
No.1-A	板 板	15 $\frac{cm}{mm}$	普通	184 $\frac{kg}{cm^2}$
No.2-A	断熱板	51 $\frac{cm}{mm}$	・	185 $\frac{kg}{cm^2}$ 断熱板の養生効果
No.3-A	断熱板+断熱材	66 $\frac{cm}{mm}$	・	181 $\frac{kg}{cm^2}$ 断熱材の養生効果
No.4-A	断熱板+断熱材+断熱材	200 $\frac{cm}{mm}$	・	200 $\frac{kg}{cm^2}$ 断熱材の養生効果
No.5-A	断熱板	60 $\frac{cm}{mm}$	・	191 $\frac{kg}{cm^2}$ 断熱材の養生効果
No.6-A	断熱板	300 $\frac{cm}{mm}$	早強	271 $\frac{kg}{cm^2}$ ストック 養生効果
No.8	標準養生	普通	200	111 $\frac{kg}{cm^2}$ 養生効果
No.10	・	早強	297	130 $\frac{kg}{cm^2}$ 養生効果

(第2図)

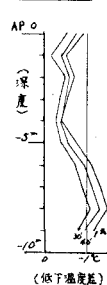
工管状況図



(第3図) 7m外、測定管位置図



(第4図) カーバイド投入後の低下温度分布



(第5図) 凍結面生長図

