

建設省土木研究所 正会員 ○千田 昌平
 建設機械化研究所 正会員 相沢 林作
 研 精 研 正会員 加藤 哲治

はじめに

現在一般に施工されている凍結工法は、地中に一定間隔で凍結管を埋設したいわゆる管列凍結によって行なわれているが、この方法は冷却面が制約されているために凍土造成に時間がかかるという欠点をもつ。

高志¹⁾は円管と平板の凍結理論に凍結効率という考えを導入して、平板凍結が円管凍結よりも時間的、熱量的に優れていることを示しているが、実験的に凍結効率の比較を行なった例はない。これを確かめるために、建設機械化研究所の構内に実験用ビットを造り、実物大の凍結管と鋼矢板凍結板を用いて管列凍結と簡易平板による凍結の屋外実験²⁾を行い、実験結果をもとにして凍結効率の比較を試みた。

その結果、平板の凍結効率が管列の凍結効率よりも優れていることが確認された。

1 実験方法

1-1 テストビット

テストビットは図-1に示すように、長さ7m×巾5m×深さ4mの寸法で、所定の平面寸法に地表面より2mまで掘削し、その後テストビットの広さの矩形に軽量鋼矢板を建込み、その外周に高さ2mの盛土を行なった。実験中の水位確保のためビット内は軟質ビニールシートを内張り、凍結管などの設置後実験用砂で埋戻した。砂の締固め密度は湿潤状態で 2.13 t/m^3 で、その他の諸値は表-1の通りである。

1-2 凍結管と簡易凍結平板

管列は80cm間隔に深さ4mの凍結管(外径101.6mm ϕ)4本を並べ、簡易凍結平板は深さ4mのⅡ型鋼矢板にU字形角パイプ(100×50mm)を取付けたもの5枚を並べた。その配置は、図-1に示す通りである。

1-3 計測

凍土の成長を知るために、両グループとも8本の測温管を図-1のように配置し、GL-2.0、3.0mの深さの地中温度を測定した。また両グループの凍結負荷熱量を知るために温度計をブラインヘッダーの出入口に、流量計を出口に取付けて、各グループのブラインの温度差と流量を測定した。

2 実験結果

凍土の形状は両グループとも、造成凍土厚に対して管列と平板の長さが短かいために、図-1の平面図のように断面形状は小判型となり、連続した管列と平板の凍結のようにはならなかったが、既知の理論を使うことで解析的に傾向をつかむことはできた。図-2は測温による結果と、管列及び平板の理論^{3), 4)}による凍土成長の経時変化を示したものである。図-3はこの

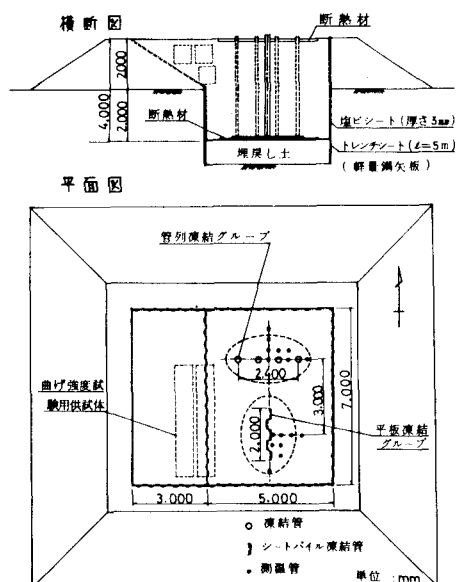


図-1 テストビットと配置図

項 目	測定値	試験法および試料の状態
比 重 G_s	2.62	JIS A 1202
最 大 寸 法	5.0 mm	" 1204
粗 粒 率	2.98	" 1102
最大乾燥密度 γ_{dmax}	1.88 t/m^3	" 1210
最適含水比 w_{opt}	13.0 %	突固め方法 1.1-b法
単位体積重量 (湿潤飽和) 密	2.13 t/m^3 ($w=15.5\%$)	JIS A 1104 (内径35cm×内高29cm) ジャッキアップ機ハイプレ ータで充分締固め
透水係数 k	$1.84 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$	JIS A 1218 試験前 $w=12.5\%$ $\gamma_d=1.900 \text{ t/m}^3$ $e=0.38$

表-1 試験用砂の諸値

ときの凍結負荷をブラインの温度差と流量から求めた結果と理論による結果を示したもので、理論負荷は凍土が小判型であるため、冷却面に対しては管列又は平板理論を適用し、冷却面の両端には円管理論を適用した。

両図よりブライン出入口平均温度 $\theta_b = -25^\circ\text{C}$ に対して管列は冷却面温度 $\theta_c = -23^\circ\text{C}$ 、平板は $\theta_c = -20^\circ\text{C}$ として計算仕直すと、理論計算の結果と実験値が合うことが判る。この温度差はブラインの表面熱伝達率や、凍結板の形状などによって生じたものと考えられる。

3 凍結効率

凍結効率を η_f とすると

$$\eta_f = Q_L / Q_T \quad \dots\dots\dots (1)$$

と表わされ、ここに

Q_L : 水を凍結するのに用いられた熱量 (潜熱)

Q_T : 冷却開始より或時間までの全凍結負荷熱量である。

管列の凍結効率は、図-4のように凍結開始より平板凍結へ移行する時点までは円管理論を、移行後には平板理論を適用した。

3-1 実験結果と理論による結果

図-2の凍土成長曲線を用いて冷却面に対しては管列又は平板凍結、両端に対しては円管凍結と考えて凍土量を求め、潜熱を考慮して Q_L を計算し、図-3よりそのときまでの全凍結負荷熱量 Q_T を計算して(1)式により凍結効率を求めると図-4の▲と●印のようになる。通常の管列と平板を考えて、円管理論を適用した両端部の凍土量による潜熱とその部分の凍結負荷量を差引いて計算すると△と○印のようになる。一方凍結効率の理論式を用いて冷却面温度を管列 $\theta_c = -23^\circ\text{C}$ 、平板 $\theta_c = -20^\circ\text{C}$ として計算すると実線①、②のようになる。

4 まとめ

実験により造成した凍土の形状は小判型であったが、ブライン流量や凍結板の形状などに起因する冷却面の温度差を修正することで実験結果と理論が合うので、この理論結果を通常の管列と平板の凍結に適用しても大きな誤りは生じないと考えられる。本実験では、平板の凍結効率は時間に無関係に約45%と一定であるが、管列の凍結効率は平板よりも悪く、最小の凍結効率約20%強(平板の約1/2)を示す時点が存在している。

おわりに、本実験は建設省総合技術開発プロジェクトの一つ、新地盤改良技術開発のうち、“小規模凍結工法技術開発”に関して、同開発に関する研究委員会(委員長、遠藤浩三)の指導のもとに、行なわれた研究の一部であることを付記する。

参考文献 1)高志「地盤凍結工法 V」 第40巻 第456号

2) (社)日本建設機械化協会「小規模凍結工法の技術開発に関する研究報告書」昭、54. 3.

3)戸部、秋元「凍土内温度分布計算式とその応用」昭、53. 日本冷凍協会学術講演会論文集

4)高志、和田、「地盤凍結工法 I」冷凍 第36巻 第408号

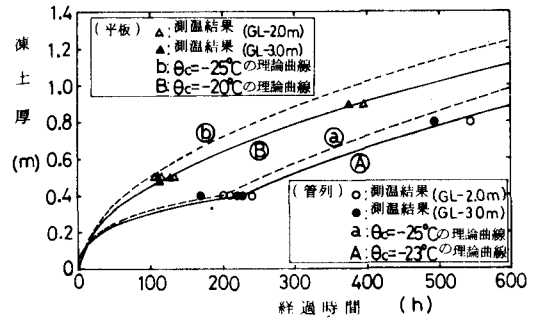


図-2 管列と簡易平板の凍土成長

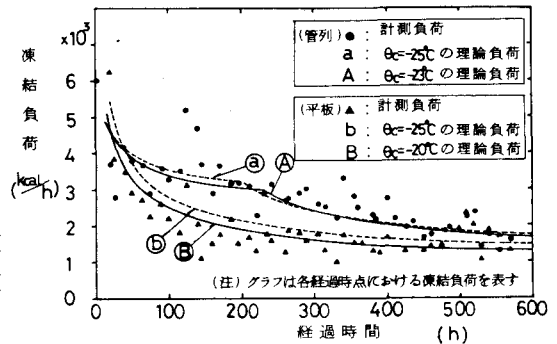


図-3 管列と簡易平板の凍結負荷

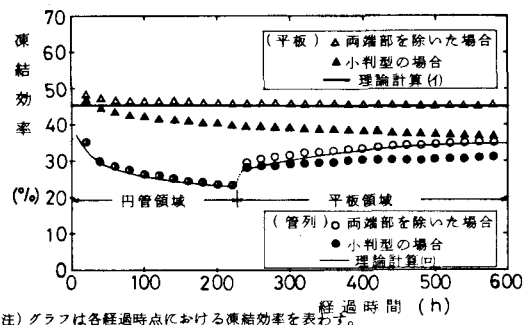


図-4 管列と簡易平板の凍結効率