

III-8

砂礫地盤の凍結サンプリングにおける地中温度の計測管理

清水建設 ㈱ 技術研究所 正会員 ○後藤 茂 赤川敏 西尾伸也

1. まえがき 現地盤から採取した試料を用い、室内動的試験により液化化強度などを求めるときに密な砂などでは試料採取時の乱れが結果に大きく影響することが知られている。¹⁾ 今回、不攪乱試料の採取が困難な砂礫地盤において、地中温度計測システムを用いた地盤凍結状態の管理を行いながら凍結サンプリング法を適用することにより、乱れのない試料が採取でき、液化化強度などの動的特性が明らかになった。^{2) 3) 4)}

凍結サンプリング法の適用にあたっては凍結膨張を生じさせることなく地盤を凍結させること、十分に強度が得られた後に試料を採取することなどに留意せねばならない。土の凍結膨張は凍結の進行状態の影響を強く受け、凍結土の強度も温度に強く支配される事から⁵⁾、地中の温度状態を把握しておくことが重要である。今回は地下水位以上の不飽和な層からも試料を採取しており、凍結土は飽和度が低いほど強度が小さいことから⁵⁾ サンプリング時の乱れを防ぐために、特に試料採取位置での温度を厳密に管理する必要があった。本文では今回実施した凍結サンプリング法における地盤凍結の概要と、地中温度計測システムによる原位置での計測管理について報告する。

2. 地盤状況 試料採取は千葉県中部の万田野砂礫層で行なった。万田野砂礫層は上総層群の上部に位置する第四期洪積世の地層である。砂礫層の礫分は50~60%であり、最大の粒径は80mm程度である。礫の形は角の丸い比較的扁平なものが多い。礫の40%以上はチャートであり非常に堅硬であった。図-1 試料採取地の土質柱状図と標準貫入試験のN値を示す。

3. 地盤凍結の概要 地盤内に凍結管を埋設し、小型凍結プラントを用いて約-30℃に冷却したブラインを循環させることにより地盤を凍結させた。凍結管は全長9.5m、限定凍結長さ4mのものを用い、図-2に示すように群状に5本配置した。

凍結予定領域の周囲に注水管を設け、凍結期間中に地盤内へ注水を行なった。この処置により地下水位以上の不飽和な層からも不攪乱試料を採取することができた。

地盤内の温度は熱電対を平面的に4ヶ所、深度方向に5点、計20点埋設して計測した。図-3に地中温度の経時変化を示す。凍結膨張に関しては凍結領域の周辺に傾斜計を設置して地盤内変位を計測したが、凍結期間中に凍結膨張は生じなかった。

約4週間の地盤凍結の後に深礎工法によりGL.-6mまで掘削して試料採取が可能な状態に地盤が凍結していることを確認した。

4. 地中温度の計測管理 地盤の凍結状態を把握するために埋設した熱電対は図-4に示す地中温度計測システムに接続し計測管理した。このシステムは所定の時間毎に地中温度を計測し、

CRT上に経時変化を表示するとともに、フロッピーディスクにデータとして保存する機構になっている。

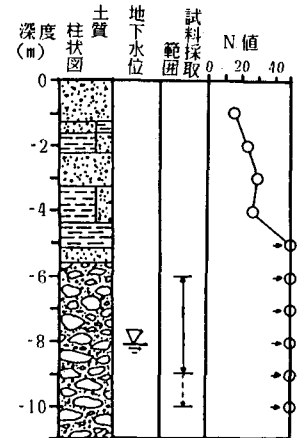


図-1 試料採取地の土質性状

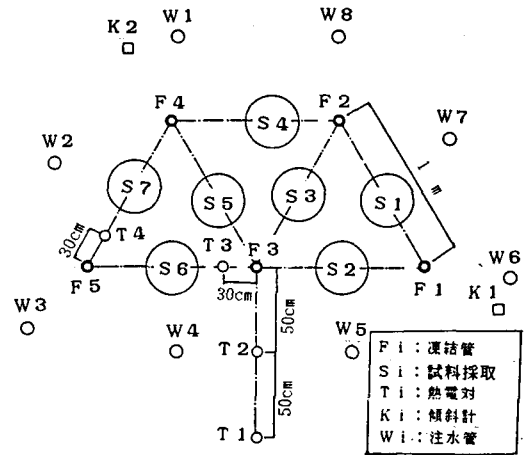


図-2 凍結管等の平面配置図

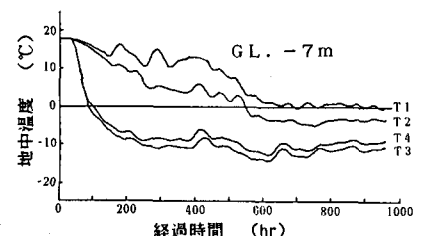


図-3 地中温度の経時変化

また、このシステムには実際にコアリングを行う場所の温度を把握できるように、以下のようにして凍結領域内の温度を推定するプログラムが組み込んである。

凍結の進行が比較的ゆっくりしていることから、凍結領域内の温度分布は準定常状態であると考えることができ、同一平面上の任意の点(X, Y)の温度は次式で表すことができる。⁵⁾

$$\theta = \sum_{i=1}^N A_i \log(R_i) + A_{N+1} \quad (1)$$

$$R_i = \sqrt{(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2} \quad (2)$$

ここで、 θ は温度、Nは凍結管の本数、 X_i と Y_i は凍結管の位置、 A_i が温度分布に関する係数であり未知数として取りあつかわれる。

(1)式は A_i に関する一次方程式であるので、適当な境界条件を与えることにより、容易に A_i の値が求められ、凍結領域内の同一平面上での温度分布を推定できる。図-5は熱電対 T_2 、 T_3 の温度の実測値等を境界条件とした時の T_4 の温度の推定値と実測値の比較である。上記の推定方法の誤差要因としては、熱電対等の設置位置のズレや温度の準定常状態仮定等によるものが考えられるが、推定誤差(推定値と実測値の差)は平均が 0.1°C 、標準偏差が 0.83°C 程度であり、実用上は問題にならないと思われる。

図-6に試料採取開始時の地中温度の平面分布(GL-6m)を示す。また、熱電対は深度方向にも5点設置しており、各深度毎の温度を推定することにより、図-7に示すように、深度方向の温度分布も求めることができる。このように任意な方向の温度分布が求められることから、凍結面の進行方向や進行速度なども把握することが可能である。

5. あとがき
砂礫地盤の凍結サンプリングにおいて、地中温度計測システムを用い地盤の凍結状態を管理した。上記システムは所定の時間毎に地中温度を実測するとともに、凍結領域全体の温度を推定する機能を持っている。温度の推定値と実測値の差である推定誤差は偏りもほとんどなく、また、標準偏差も 0.83°C 程度と小さいことから、実用上は問題にならない。上記システムを用いることにより凍結領域全体の温度分布が把握でき試料採取の開始時期や採取位置を合理的に判断することが可能になり、乱れない試料が採取できた。

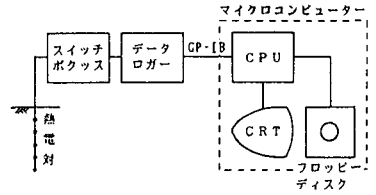


図-4 地中温度計測システムの概念図

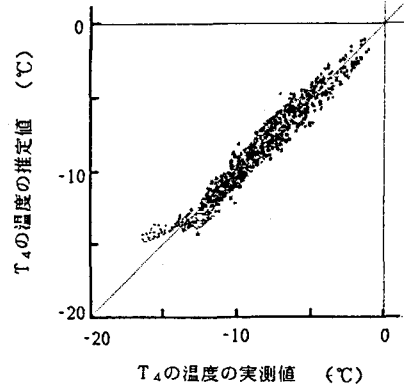


図-5 地中温度の実測値と推定値の比較

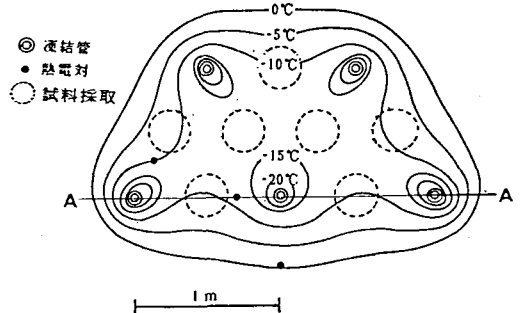


図-6 試料採取時の温度の平面分布

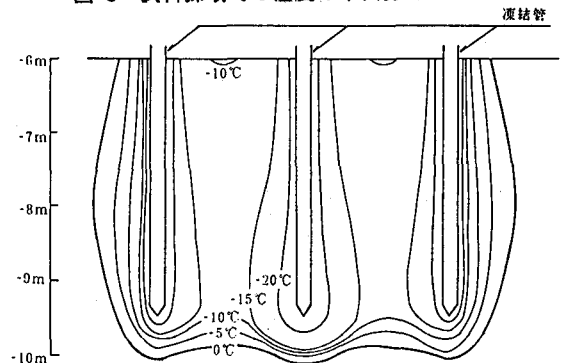


図-7 試料採取時の温度の深度分布(図-6のA-A断面)

- 参考文献 (1) Yoshimi, Y., et al. (1984): "Undrained cyclic shear strength of dense Niigata sand." S. & F., Vol. 24, No. 4 pp. 131-145. (2) 後藤ら(1986): 原位凍結による洪積砂礫試料の採取、第21回土質工学研究発表会。 (3) 西尾ら(1986): 大型三軸セルを用いたS波速度の測定、第21回土質工学研究発表会。 (4) 社本ら(1986): 洪積砂礫地盤の真の液化強度、第21回土質工学研究発表会。 (5) 後藤ら(1980): 室内試験における凍結土の強度および変形特性、清水建設研究所報告、Vol. 33, pp 37-49. (6) 戸部、秋元(1979): 凍土内の温度分布計算式とその応用、冷凍、第54巻、第622号、pp 3-11