

清水建設 土木技術部 正員 山田正男

1. 水が凍結するとき、凍結膨張を拘束すれば 21150 t/m^3 ¹⁾の膨張圧力が生じるといわれているが、粒径 20μ 以下の微粒子を含む飽和土が凍結するときでも凍結膨張の拘束条件によって大なり小なり凍結膨張が生じて周囲構造物がさまざまな損傷をうけることは古くから知られている事実である。土の凍結膨張現象は、地盤凍結工法の大きな問題で、凍結膨張が周囲におよぼす影響の予測とその対策はきわめて重要である。本文は、道路の両側にある建物間の地下連絡路を地盤凍結工法を用いて構築するとき、土の凍結膨張が隣接構造物におよぼした影響の中²⁾、特に建物の変位挙動を述べたものである。

2. 施工場所としての与条件 図-1, 3は施工場所の断面図と平面図である。冷凍機運転開始時には、A, B棟の主体コンクリート工事は終了済みで、凍結領域は、A, B棟の外壁(地下2階はRC 60cm厚さ、地下3階は25cm厚さの無筋の仮壁)で拘束されている。この外壁のすぐ外側は掘削用土留として直径40cmのM.I.P柱列が施工されている。凍結領域の真上には、10mごとに施工継手をもつ古い下水暗渠が埋設されており、この暗渠内の常時水位は40cm程度で、その流速は約 1 m/sec である。暗渠の2m上はアスファルト舗装で交通量が多く、かつこの舗装下には図-1のように、ガス管、水道管などが埋設されている。

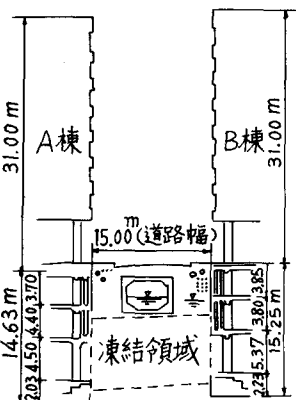


図-1 凍結工法採用場所の断面図

図-2は土層構成と凍結管、測温管の配置図である。特に砂レキ層内の水はポンプで揚水しきれものではなく、砂レキの最大寸法は約15cmで、大小さまざまな粒径の砂レキ層であるので、凍結工法が選定された。アーチ内部に8本の凍結管を増設する理由は、A, B棟の施工速度が異なるので、両建物の地下3階までのコンクリート工事の終了後に、凍結領域の地下水流を測定し、その結果に基づいて合理的な凍結管の配置を決定する時間的余裕が与えられなかったこと、また凍土アーチ内の導坑掘削用土留などの条件と同時期に考慮するためである。凍結管は、A, B両棟側からそれぞれ埋設して、埋設完了グループ別に逐次冷却開始とした。

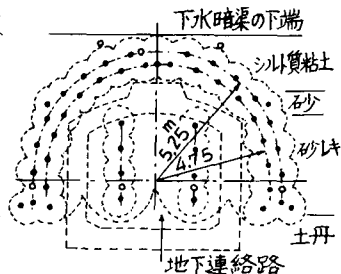


図-2 凍結管(●)と測温管(○)の配置

3. 土の凍結膨張による建物の変位挙動

3.1 現場観察と建物の上方変位測定結果 A, B棟の構造が剛性であるから土の凍結膨張の建物に対する影響の程度を事前に予測することは困難であった。そこで凍土と接する地下3階の地下壁は仮壁として計画し、この地下壁に凍結膨張の影響を吸収させることにした。当然ながら図-4(a)のように9月7日に地下壁に微小キレツを確認した。この微小キレツは肉眼で観察できないが、コンクリートの白華現象によって明瞭にキレツとわかつたもので、アーチ内掘削が半分程度終了する時侯まで、わづかづつ成長したが、掘削終了と同時に停止した。さうに詳述すると、9月1日時侯で、砂

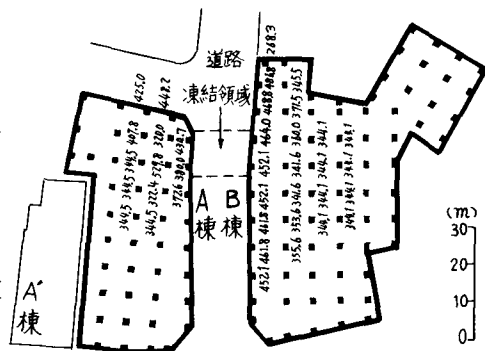


図-3 A, B棟建物の平面的位置関係と地下3階の柱に作用する荷重(ton)

、砂レキ部が凍結終了となり、全凍結領域はカマボコ状凍土となったことが確認されているので、この時点以後におけるシルト質粘土の凍結成長によって図-4(a)に示すキレツが本格的に生じたものと思われる。図-5はB棟地下3階の柱の上方変位の最大値である。

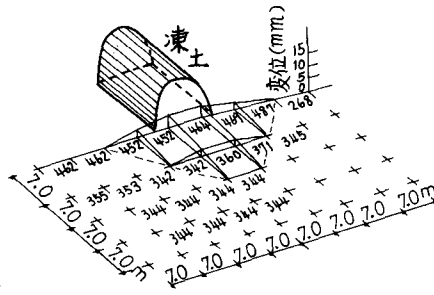


図-5 B棟地下3階の各柱に作用する荷重(ton)と各柱の最大上方変位

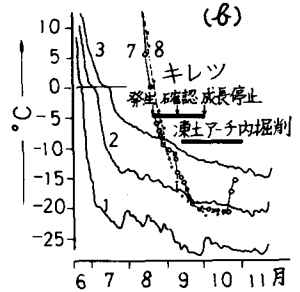
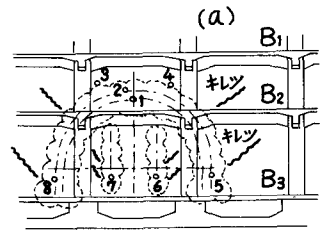


図-4 A棟地下壁表面から2m凍土内における各測温管の指示温度とB棟地下壁に生じた微小キレツ発生状況
(a) 地下壁のキレツ
(b) 各測温管の温度
(図中の数字は測温管番号)

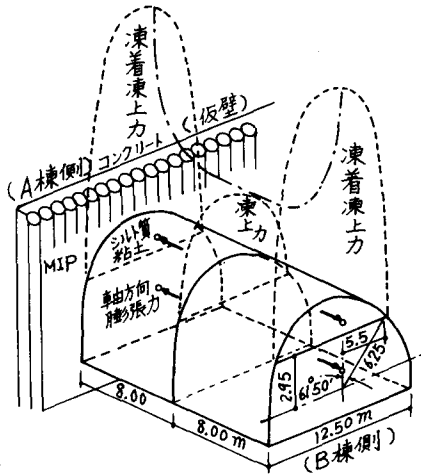


図-6 地下壁に作用する凍着凍上力と壁面に直角に作用する膨張力のモデル図

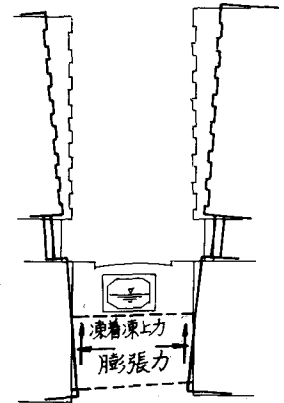


図-7 ビルの変位モデル図

3.2 考察 凍上力は、物体の下面に作用して物体を押上げる力と、土と物体とが凍着している側面に作用する力とにわけられ、前者は地盤凍上力、後者は凍着凍上力またはせりあげ凍上力といわれている。V. F. Zhurkov (1957)³⁾は基礎に関する経時凍着凍上力の計算式を提案しているが、計算用諸定数の見積誤差が計算値に敏感であるので、実用計算式としては考慮の余地があるといわれている。この解析モデルは簡単であるので、本文の場合には適用できない。

図-6は、A、B棟地下壁に作用する凍着凍上力、膨張力および下水暗渠に作用する凍上力のモデル図である。図-6に示す経時凍着凍上力を一般式で表示することはむづかしいので、ここでは図-5を参考にして、凍着凍上力の大きさの推定にとどめる。

いま、 R を凍着凍上力の合力とすると次の関係が示される。

(建物の一部をもちあげる最小作用力) $\leq R < (\text{凍着面積})(\text{凍着と破壊する力})$

ここに、3.1の記述を参照し、凍着面積とは凍着凍上力の作用する最大面積(9月30日時点)で、図-6によればシルト質粘土では 18.4 m^2 である。ここでは、凍着を破壊する力に対して凍土のせん断抵抗力を考慮すれば、地下壁接触部の約 -8°C におけるシルト質粘土のせん断強度は約 35 kg/cm^2 であるから(凍着面積)(せん断強度)は 6440 t となる。一方、図-5で建物のもちあげられけ部分の重量を概算すると約 5000 t である。したがって、 $5 \times 10^3 \leq R < 6.4 \times 10^3 \text{ t}$ となる。

4. あとがき 地下壁に作用する凍着凍上力は建物のせりあげと、地下壁のキレツ発生に寄与したものと思われる。このキレツ幅は 0.3 mm 程度であったが仮壁であるので問題となるトラブルはなかった。凍結工法では、やや過大と思われる凍土に期待する場合もあるが、安全施工上やむをえないであろう。

1), 3) N. A. Tsytovich: Principles of Geocryology. Obukher Institute of Permafrost Studies. Moscow. 1957. Part II, Chapter III, Translated by V. Poppe, Ottawa, 1966.

2) 山田正男: 凍土アーチによる凍上現象と掘削面の断熱養生法, 土と基礎, N0.537, 1968.