凍土内アイスレンズの成長

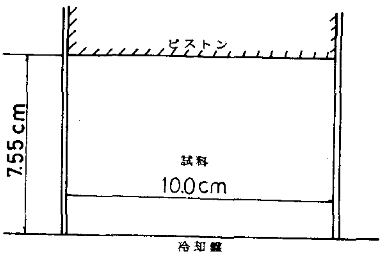
宮城県 正員 ○鈴木昌寿
東北学院大学 〃 新田譲

1. まえがき

地盤が冷却されると，土の中の水が凍結して氷の層ができ，寒気が継続すると漸次氷層が下部に広がってゆく。凍上部分の強度増加に伴い地盤の支持力が著しく増大するが，氷層ができるために地表面が隆起する。この現象を凍上という。地盤の凍結によって最も問題となるのは，この凍上である。凍上は地下水位から水の供給がなければ大きな量に達することはない。いいかえると，凍上が起きると土の中の水の量は固体となった水と液体の水分を合計すれば含水量としては非常に大きい量になる。本実験では凍土中のアイスレンズの成長と凍上量，吸水量の移動を観測し，凍上量と吸水量の相関性について考察したものである。

2. 実験方法および試料

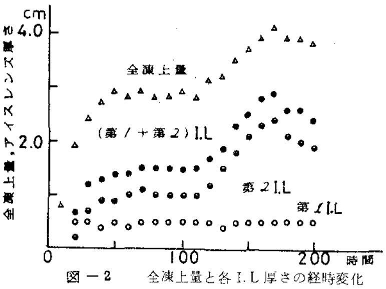
凍上試験機を用い，試料を2週間水締めを行ない，土を飽和させ拘束応力零，凍結中は水の供給が自由，冷却温度−8°Cに保って連続冷却し，凍上量，吸水量及び試料土の物理条件などから凍上，吸水量との関連性を求めアイスレンズの成長をも観測した。試料は飽和度100%，PH 6.94，粒度分布はシルト分79.7%，粘土分12%，供試体直径は10cmのアクリルシリンダー内にセットした。図−1は冷却開始時の供試体状況で，直径10cmの透明なアクリル樹脂モールドに供試体高7.55cmの試料をつめる。拘束圧を零，給排水を自由にして，下面より−8°Cで冷却を行なう。



図−1 冷却開始時の供試体

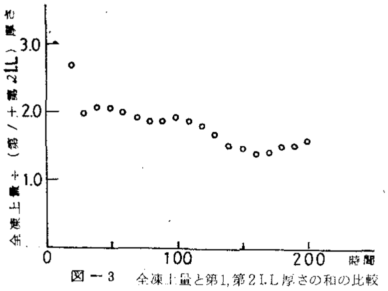
3. 実験結果

図−2は全凍上量と各I.L(アイスレンズ)厚の経時変化である。第1 I.Lは発生後，急激な成長を見せたが，あまり厚みを増すことなく数時間でその成長は止まった。これに対して第2 I.Lは約70時間は増加を続けたが，その後40時間はその成長は殆ど止まった。しかし第1 I.Lと対照的に110時間後再び急激な増加を始めた。これは第1 I.Lと第2 I.Lの大きな違いである。この図より全凍上量はI.L厚に大きく影響されることが明白である。その影響する度合を示したのが図−3である。これより時間を経過するごとに全凍上量に対するI.L厚の影響する割合が大きくなっている。しかしその影響する割合が1.0，つまり全凍上量＝全アイスレンズ厚さになることは実際に考えられない。本実験では全凍上量に対するI.L厚さの影響度合は1.4〜2.0の間に存在している。



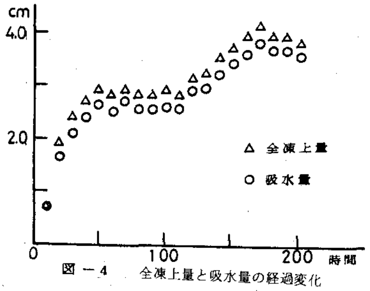
図−2 全凍上量と各I.L厚さの経時変化

凍上量と吸水量の変化を図−4に示す。吸水量W(cm)は吸水した容積V_w(cm³)を供試体断面積A(78.52)で除した$W = V_w/A$で表わされる。全凍上量hとWの曲線は凸の曲線を描いているが，必ずしも滑らかとはいえない。しかし全凍上量と吸水量は別の測定機で独立に測定しているにもかかわらず両者が同じような変化を示していることは，単に測定上のバラツキでなく長時間の凍上挙動に関連するものと考えられる。凍上量と吸水量の差は吸水の凍結膨張に起因しているものと考えられる。これを確認するためにhとWの関係を図−5で



図−3 全凍上量と第1,第2 I.L厚さの和の比較

示す。水の凍結膨張率が0.09であることを考慮すると理論的にれ＝1.09Wになる。今回の実験でほゞ全凍上量が吸水量その凍結膨張量の和となっていて理論値，実測値がほゞ一致しているのがわかる。図－6は第1 I.Lが発生する以前に生じていた第1霜降状凍土による凍上量の変化を示した。このようになるのはさまざまな原因が考えられるが，大きな原因は凍結速度が考えられる。凍結速度が速ければ土粒子間の間ゲキ水が殆んど移動することなく凍結してしまうのでこのようになると思われる。図から凍結前線から離れている凍土においても凍上量は微少ながら増減していることがわかる。

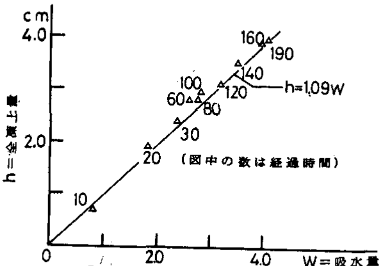


図－4　全凍上量と吸水量の経過変化

4．考察

(1)．未凍結の凍上による排水圧密現象

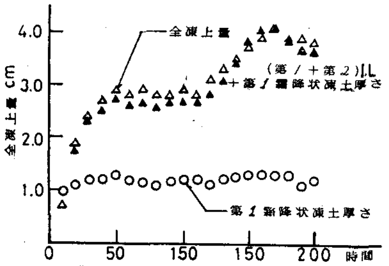
凍結開始時の2～3時間水分移動量は排水状態であった。このことは土質，拘束応力が影響するものと考えられる。拘束応力零といっても，そのことが凍結開始時の段階で表われたと思われる。排水状態であった理由として凍結が開始され凍結前線が上昇するにつれ試料土は凍結してある凍上力が発生するがピストン重力が生じているので未凍結土部分で排水圧密状態が生ずる。さらに図－6より開始時から10時間で第1 I・Lは発生してなく，第1霜降状凍土による凍上量が全凍上量と等しくなるはずが，第1霜降状凍土による凍上量が全凍上量より大きいという矛盾した結果になった。これは未凍結土の圧密が行なわれたと考えれば説明できる。



図－5　凍上量と吸水量の関係

(2)．凍結初期における補水

図－5によると多少のバラツキはあるがh＝1.09Wの傾向を示している。初期(0～90)時間でh＞1.09W，これは初期段階では凍上力に直接関係する水は吸水量の他に未凍結土中が含有していた含水量も併せていることも察知される。凍結が進行し含有された水が使用されると，凍上に関与する水分は外部からの補給によるものと考えられる。



図－6　第1霜降状凍土による凍上量の変化

(3)．凍土内の水分移動

凍上量は外部からの水分移動が必要不可欠である。凍結前線附近のI・Lまたは霜降状凍土には未凍結土からの水分移動が発生するので，この附近の凍上量の変化は理論および実測からも理解される。しかし実際にはなんらかの水分移動により第1 I・L，第2 I・Lが発生後も凍結前線から離れている第1霜降状凍土の凍上量に変化が見られる。氷の中を水を通過することはできない(Horiguchi and Miller 1980)。したがって第1 I・Lおよび第2 I・Lが成長して氷の層を形成した時点ではI・Lの下部には未凍結土からの水分移動は考えられない。これらの二つの現象は相反しているが高志等は凍上内アイスレンズに関する室内実験においてこの現象を「復氷」という言葉で説明している。本実験で説明すると第2 I・Lが供試体横断面に拡がり一つの層となった時点から，未凍結土側から移動してきた水分は先ず第2 I・L高温側で析出し，低温側では第1，第2 I・L間の凍土内を通って第1 I・L高温側で析出する。同様に第1 I・L以下についても生じ，第1霜降状凍土にも水分が移動し，凍上量が微増すると考えられる。