

凍 上 (1)

正會員 原 田 千 三*

要 旨：凍上内殊に永久凍上内に構造物基礎を建造する場合、凍上力の數値を示し、之が對策を叙述せしものである。

内 容

§ 1 構造物變形の原因

§ 2 凍上時に於ける構造物の安定條件

§ 1 構造物變形の原因

永久凍上内に各種構造物：建物、鐵道、道路、橋梁、燈塔、給水塔、貯水池、井戸等を建造せし場合、永久凍上層の有する特性を十分認識しなかつた爲、之等構造物が變形或は破壊した例は、シベリヤ開發史上多く見るところであつて、吾等は北滿の永久凍上層の賦存すべき地域に文化的施設を行ふに當り、先人失敗の轍を覆まざる爲め十分の調査研究をなし置かねばならぬ。

之等地域に於ける構造物を變形、破壊に到らしたる原因は種々あるが、其の主因をなすものは地盤の凍上である。茲には凍上に就いて説述する事とする。

凍上は其の發展性より2つに分けて考察するが便である。即ち

1) 凍上は、土粒、間隙内に存する水が、液體より固體に變れる時、即ち凍結する時、其の容積を増加するに因るものであるが、然し此の凍上は顯著なものでない。水の容積膨脹係數は約9%に過ぎないからである。

茲に注意すべきは、中谷博士の研究に據り、土は凍結する際収縮する。土内の含有水は勿論其の容積を増すが、空餘多き爲結局、収縮する。但し地盤の鉛直上方向は霜柱作用等に據り高さを増す。即ち凍上を生起するものである。而して純粋な砂は絕對に凍土を生せず、又緻密微小なる粘土は凍上量比較的少ないのに対し、砂を含める砂は最も凍上顯著である。之は土内水の成氷状態、賦存状態より見て、粒狀氷又は霜降狀氷に對し、霜柱狀氷の顯著に發達せる模様を見て首肯されるところである。但

§ 3 凍上對策

§ 4 應 用

し之等種々の氷は地質のみならず、土内の水分、凍結速度、其他因子にも依據する。

2) 凍上を著大に生起せしめる主因は、土内に空餘及氷のレンズを形成するに基據する。之等の形成條件は土質粒子状態、毛細管作用、水分水分の補給状態、温度變化速度、等に依存するのであつて、中谷博士が明確に呈示せられてゐる。「業務の友」[科學]誌等にて御覽を願ふ事とし、茲ではソ聯の凍上及其の對策に關する調査研究を對象として夫を紹介すべき意圖の下に進んで行く方針である。

イ、エス、ウォロフディン技師の調査に據れば、次の如く述べてゐる。

草や灌木が地表面を覆ふてゐる處は、凍土が殊に著しい。之は草木の根によつて地表面が破られ濕氣が滲透し易いからである。又土地の起伏の影響を受けて濕潤は可成りの水壓を持つて凍結土被下へ流れ込み、夫は凍結し氷の間層を形成し、其の爲著大な凍上を生起するに至る。

又土地の凍結時に於ける膨脹増大は、其の土體內に於ける熱の流れる方向及強さに關聯する。即ち熱の流れの方向がたゞ1方向である場合は膨脹は少なくなり、流れが種々の方向である場合には大となる。

普通の構造物基礎の場合、土地の冷却は2方向から行はれる。即ち地表面上部からと構造物基礎表面(石やコンクリート其他材料の表面)からとである。

此の外、零下温度が土地の凍上に及ぼす影響も留意し

なければならぬ。鐵道路館を調査したところに據ると、凍上を生起する部分にスラッグの30~40cm厚の層を置いた箇所は、著しく凍上を減少せしめ得た。時には路盤の凍土を全く無からしめ得た。又スコゴロディノ永久凍土層研究所の研究に據ると、凍上が著大に生起するのは地表から1~1.5mの範囲内だけである。斯かる深さに於ける地層は温度-6°である事から説明が付くと思ふ。實驗室で研究したるに、砂質粘土内に在る間隙水が、液體から固體へ完全に變移するのは-6°乃至-8°なる温度の時であり、此の時にのみ土容積の膨脹が生起する。

土内に深く、例へば3m以上も深くに存在するコクリート石、木で出来てゐる樞脚、樞脚基礎、建物の基礎或は鑽孔の挿入鐵管でも、或る場合には凍上を生起する之は地表から次第に凍結が進行し、土は基礎と堅く凍着し、其の結果、凍上時若し凍上力に對し其の反作用となるべき力が不足する時には、構造物基礎は凍上を惹起するに至るからである。従つて、若し土と基礎との凍着が欠如してゐるならば、地表方向へむかふ凍土力は基礎面に切して生じるが僅かの摩擦力を除いては、基礎垂直表面に影響を及ぼさないであらう。

2 凍土時に於ける構造の安定條件

普通の構造物基礎(土地が凍結せざる場合である)を計算する場合には、基底の土の強さ或は基礎杭表面の摩擦力に對してのみ考慮を拂へば良い。此の場合には基礎に働く外力はたゞ上から下へ向ひ、基礎の安定なる爲には、次の不等式が成立する。

$$P + G < N + T$$

茲に、P—基礎上部の荷重。

G—基礎の自重。

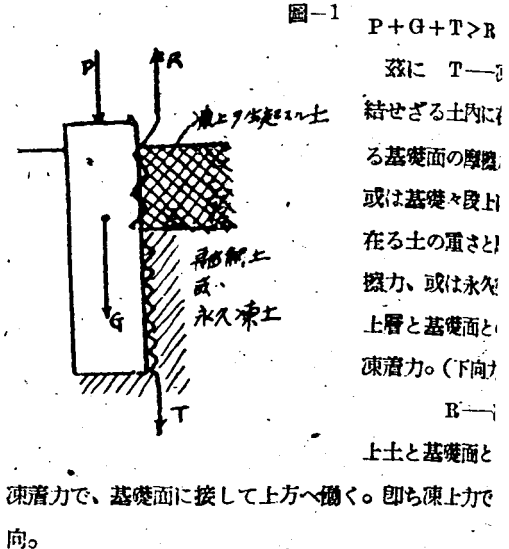
N—基底に於ける土の強さ。

T—基礎面に沿う土の摩擦力(締着力)

此の條件は凡ゆる種類の基礎に對しても、亦永久凍土層の賦存する場合にも、亦凍結すべき地表土層を有する場合に對しても、要するに之等土層が融解してゐる或る一定期間に對しては成立する。

然るに土地が凍結してゐる時や土地土層が凍土を生起してゐる期間中に於ては、構造物の安定は次の不等式

に基礎する。(圖-1参照)



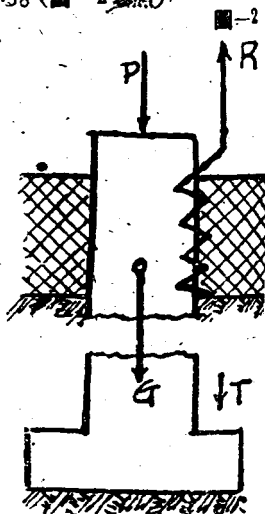
基礎に働く力が上記の不等式を成立してゐる場合に土地が凍上する時地表凍結層に龜裂が這入り、構造物依然として不變状態を持續する。即ち土地は凍上する構造物は凍上せず原位置のままである。

反之、若し凍着力Rが基礎に働く諸力よりも大であれば、 $R - P$ なる上向力が土内基礎に生起し、其の梁次の如き2種の變形を誘發せしめる。

1) 若し基礎に働く此の上向力が基底部に於ける諸力融解土と基礎との摩擦力よりも小であるならば、基礎は其の上部で水平方向に切り離され、其の上部は凍土層と共に持ち上げられる。(圖-2参照)

勿論此場合、基礎材料の強度弱く上向力、(凍着力或は凍上力である)により破壊切断されるを條件とする。

2) 若し上向破壊力が締着力よりも大であるならば、基礎全體が基底から離れて、凍土土層と共に持ち上げられる。(圖-3参照)



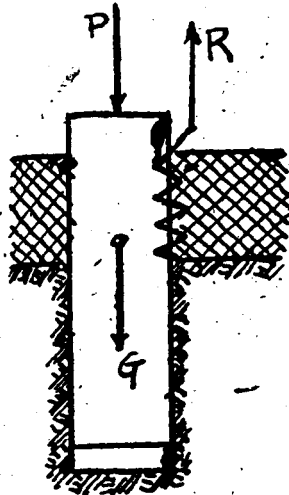


圖-2

基礎安定上必要な諸力を合成分析して、攻究した結果總て、構造物基礎を建造する際に考慮すべき重要事項として次の3つを擧げよう。

- 1) 土地の凍上げ其の上層に於て生起し、土と構造物表面との凍着する事に依つて基礎に作用する
- 2) 基礎に作用する

る諸力の或るものは例へば(凍上力)、地温に依據して變化し、其の結果基礎物體內に破壊應力を生起し得る。

13 凍上対策

寒地に於ける構造物變形の主因は土地の上層の凍上であるから、構造物建造に當り先づ第一に凍上因子たる水地質的諸條件及熱的諸條件を考究し、土地の凍上並に其の構造物に及ぼす作用を減小除外する様努めねばならぬ。

凍上対策として普通に用ひられてゐる方法として

- 1) 構造物近傍の排水を良好ならしめる事。
- 2) 構造物周圍の土壤を良排水性材料(砂、砂利、礫)で以て置換填充する事。

此の2方法を同時に實施しても、必ずしも土地の凍上を完全に根絶し得るとは限らず、否寧ろ凍上を幾分減小し得ると云ふ方が妥當であらう。

然し根絶より結構であり究極の目的ならんも、幾分でも減小、輕微になし得たと云ふ事が、1里の道も1歩より始まるの譬への如く、究極の目的への接近であり、科學、技術は斯かる基礎的な捨石的な多くの勞作が積もり積もつて遂に立派な大きな實を結ぶものである事を忘却してはならない。

上記凍上対策の方法も至極平凡であるが、平凡な分

り切つたところに却つて解明の困難さが伏在してゐるのであつて、之等平凡な方法を最も有効に適用するので却つて苦心と研究とを要するのである。

前述せし如く、構造物的變形の主因は土と構造物表面との凍着力である。従つて此の凍着力を如何にして減小するかを攻究しなければならぬ。

凍着力は、主として、土の濕り度、土の粒狀度、土の過度凍結速度及基礎構成材料に基礎する。之等要因と凍着力との關係を示せるものが、圖-4及表-1である。

圖-4

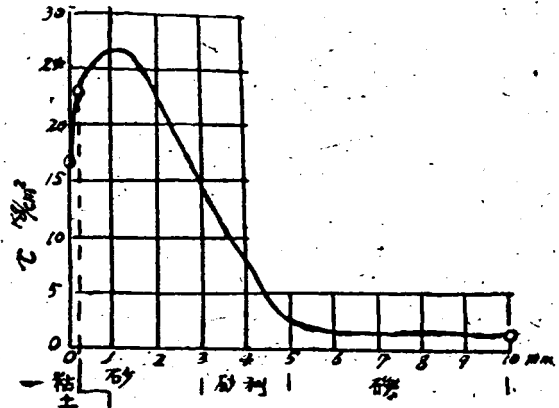


圖-4 凍着力(て)と粘土、砂、砂利及礫の粒度との關係。

表-1 各種土壤と木材との凍着力。

土壤名稱	主要粒mm	溫度℃	飽水率%	凍着力kg/cm ²
粘 土	0.10	-10	77	15.3
砂 細	0.25	-10	76	23.3
同 中	1.00	-10	78	26.8
同 天 然	3+0.25	-10	79	21.7
同 粗	3+2	-10	79	19.1
砂 利	5.0	-10	77	2.6
礫	10.0	-10	79	0.9

又實用上興味ある資料を表-2及表-3に掲げよう。

表-2 礫と木材との凍着力

凍 着 材 料	實 験 條 件	土の濕度(電量にて) %	溫 度 ℃	凍 着 力 J kg/cm ²
徑10~20mm礫と氣乾木材	水で洗へる清純な礫	- 1.4	- 9.9	0.9

径10-02mm礫と飽和木材	沈泥土溶液を3回注げる礫	2.8	-10.5	1.6
同上	粘土溶液を3回注げる礫	1.4	-10.4	2.1
同	間隙を氷で満たせる礫	27.9	-9.5	27.3
同	間隙を粘土で満たせる礫	24.2	-10.2	31.6

表-3 温度-0.2°及-1.2°なる場合、土と木、土とコンクリートとの凍着力

凍着材料	温度-0.2°なる場合		温度-1.2°なる場合			
	潤湿度 %	凍着力 J kg/cm ²				
沈泥土と木材	°	20.9	22.4	32.6	48.3	51.2
	J	3.6	7	8.9	7.1	7.6
粘土と木材	°	27.1	22.4	26.4	37.3	56.5
	J	2.9	3.2	5.9	13.3	11.8
砂土と木材	°	12.1	6.7	10.1	13.3	16.5
	J	1.3	2.8	4.0	7.2	8.2
沈泥土とコンクリート	°	—	16.0	33.0	44.0	53.0
	J	—	4.4	6.0	9.2	3.1
粘土とコンクリート	°	—	17.8	26.3	36.2	43.9
	J	—	7.8	4.8	6.4	5.8
砂土とコンクリート	°	—	5.8	11.7	12.1	16.1
	J	—	2.8	6.4	7.0	11.0

上表より凍着力の最小なるは、清純な礫であるが、然し其の内に粘土や沈泥が混着すると又潤湿度を増加すると、凍着力は著しく増大するを知る。

之より根を土壌側壁と基礎側面との間隙を礫や砂利で以て埋戻すのは凍上力減小上有效なるを知る。

然し基礎周囲を礫や砂利で取り巻いても、粘土や沈泥が混入するのを防止しなければ、凍上に対する其の有効性を間もなく失なつてしまふ。故に置換せる礫や砂利の上部を透水性の妙い材料で覆はねばならぬ。此の材料として、油類、タール及其他不凍結液體類が考慮されるが現在攻究中である。

土の凍着力を減小する爲に、凍上を生起する土を礫や砂利で置換する以外に、尙表面をスラグ等で覆ひ保温する。

兎に角、構造物基礎を考慮する際、凍着力は比較的大きいのであるから、之に對抗する強さを基礎に與へればもう十分だと考へてはならぬ。更に土を乾燥する事、大氣水を構造物の存在する附近土壌内に浸透せしめない事、基礎面に沿うて置かれた填充材料を保温するや被う

覆材を用ふる事、最後に礫や砂利で基礎を取り巻く事から方法を凡て同時に行ふを要するのである。

構造物基礎底面が永久凍土層の上にある時には、永久凍土層が融解すれば、構造物が不等沈下を生ずる虞れある。斯かる不等沈下は、土が飽水して居り、土内のレンズや空隙を含有して居り、夫が融解状態に變遷に融解體となつた時に起るのである。乾燥せる堅牢土内では、融解後でも上記の如き現象は起らない。基底に於ける土が緩められ融解を惹起する原因として次2つを擧げ得る。

- 1) 上部からの熱の傳導に因る(建物内の暖房設置り)
- 2) 構造物建造後、該地風の自然條件が變化するに因普通南面に在る基礎壁下の永久凍土は融解沈下するに、北面に在る基礎壁に沿う永久凍土面は上昇する。土地の融解に因り構造物が變形する場合の根本的對としては、建設せんとする場所を適當に擇ぶ事である。建設せんと確定せし場所が不適當であるが分明い場所より遠からざるところに、水空洞を有せざる良質

。地區が見付かつた時には、其處へ變更するが上策である。

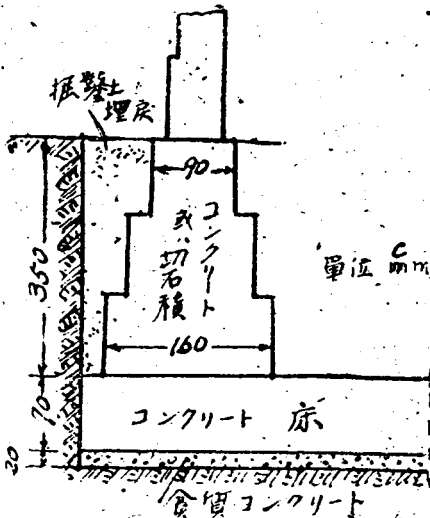
若し構造物を該地區へ變更し得ない時には、基礎を沈下せしめないやらの対策を講ぜねばならぬ。此の対策に就ては次節で述べる事とする。

§4 應 用

石造の貯水塔や筒筒所建物は機脚庫建物に比して遙かに變形を生じない。之は、恐らく、貯水塔や筒筒所建物は単一合體的となつてゐる爲安定上好影響を與へ、土地が凍上並に融解する時に生起する變形を微小ならしむるに因るのであらう。最大の變形を生ずるのは、機脚庫建物の如く窓孔の多い長い且軽い建物に生ずる。

永久凍土層地域に於て今迄に建造された多くの建築物に對する實際的經驗と學理的研究に基據して、之等地域に構造物基礎を建造する際の要領を説明せう。こゝでは石造貯水塔を例に採り、圖-5、6、及圖-7なる3代表型を選び解説を加ふる事とする。

圖-5 土質良好なる場合



之等孰れの場合も、基礎の深さは給水管を地下室へ聯繋すべき構造上の必要さから定められてゐる。管は、土地の凍結深度の如何に關せず、2.5~3m深に設置されてゐるので、貯水塔基礎の深さは従つて大となつてゐる。

圖-6 土質不異なる場合

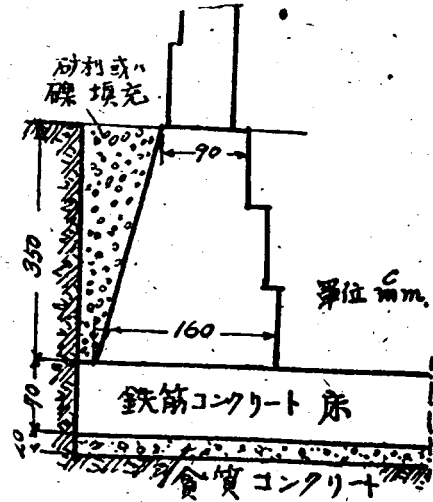


圖-7 土質最悪なる場合

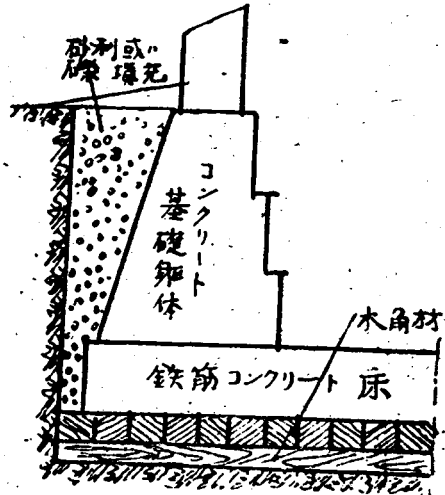


圖-5 は乾燥せる堅牢な土(砂、砂利、礫、岩等)の場合の基礎型式である。コンクリート床は貯水塔基底全體に亘つて設置されて居り、地下水が地下室へ浸入するのを防止する。此の床のコンクリートは、 $R_{28}=150 \text{ kg/cm}^2$ セメント含有量 280 kg/m^3 以上たるを要する。

此の上に在る基礎躯体は圓形壁をなして連続一體となつて居る。該部のコンクリートは、 $R_{28}=110 \text{ kg/cm}^2$ セメント含有量 180 kg/m^3 以上のもので築造する。根脚側壁と基礎の間隙は振發土を以て填充する。元來此の基礎型式は普通の場基礎と何等異なるところがない。永久凍土

層が在る場合でも亦凍結と融解とを交互に繰り返す土地である場合でも、全く普通の凍結を生じない土と同様に建れば良いのである。

圖一六は、基礎底部の土質は前者と同一であるが、上部は過飽水及凍上を生起する粘土質或は沈泥質土で覆はれてゐる場合の基礎型式を示す。本構造の前者との相違は、基礎外面が圓錐形をなしてゐる事、土と基礎面との凍着力を減少する目的で砂利或は礫で以て根間空隙を填充してゐる事及コンクリート床に鐵筋が這入つてゐる事、を挙げ得る。

圖一七は融解して泥潭状と化する過飽水粘土質並に沈泥質土に適する基礎型式である。構造は前の圖一六とよく類似してゐるが、基礎底部に3重に木角材を積み重ねてゐる點が異なつてゐる。特別の場合として、此の角材の下の土を砂や砂利で以て置換する事がある。

構造物基礎の許容應力は、凡ての場合に於て、基礎に在る土の性質に應じ標準示方書に準據して決める。此の際土は融解してゐると考へ、即ち構造物上の凍土は低下し得るものと假定する。(了)

會費納入に就て御注意

本會々員の會費は下記の通り規定されて居ります。尙正會員、准會員には會誌を二種配布の關係上臨時會費を納入願ふ事に成りますから御承知下さい。

會員種別	年 額 會 費			第1期分	第2期分
	會 費	臨時會費	合 計	自1月至6月	自7月至12月
正 會 員	1200	600	1800	900	900
准 會 員	900	400	1300	600	600
學 生 會 員	600	—	600	300	300
副 會 員	600	—	600	300	300

備考 ◎會費の納期は第1期分3月、第2期分は9月の2回に分納願ふ事に成つて居ります、納入の通知が御手元へ参りましたら直に御拂込下さい。

◎會費納入に就ては送附します振替用紙御利用下さいますと拂込料金不要です、御旅行其他御不在の場合でも拂込に支障なき様御配慮願ひます、尙振替貯金事務を取扱はざる地方に在住の方は爲替其他適當の方法にて御送金下さい。

◎新入會員の會費並轉格の場合は月割計算とします。

◎會費御拂込後領收書は普通御送り致しません、特に必要の場合又は御不審の點あります場合は御一報下さい

御 願 ひ

轉居、轉勤等の場合は必ず其都度御通知下さい。會員名簿の訂正、會誌發送其他會務處理上特に御願ひ致します。