

对切向冻胀力沿桩侧表面分布的探讨

Discussion on the Distribution of Tangential Frost Heaving Forces
along the Lateral Surface of Pile

刘 鸿 绪

(黑龙江省低温建筑科学研究所)

提 要 试验观测表明, 切向冻胀力沿桩侧表面的分布规律, 其峰值随冻深的发展而下移, 并随着冻土沿试桩位移的增大, 冻胀力出现松弛, 但未能进一步说明为什么出现位移, 在什么条件下产生位移。本文提出新的解释, 即由于地基土温降收缩, 后期出现拉应力及裂缝, 致使冻结强度大大降低, 切向冻胀力相应下降。

关键词 切向冻胀力 冻结强度 分布 温降收缩

研究作用于季节冻结层之中桩上的切向冻胀力沿深度的实际分布及其随时间的变化, 是对冻土工程应用方面有着很大实用价值的课题。前苏联学者做了很多工作, Далматов(1957)在伊加尔卡第一次取得了这方面的成果。在 B.O.奥尔洛夫及 H.A.崔托维奇都有过阐述。中国学者在青藏高原也进行了切向冻胀力沿桩侧表面分布的试验。

1 试验结果及分析

前苏联学者 K. E. Ерепeв 在伊加尔卡季节活动层的正冻粉质亚粘土中, 测得作用于试桩上相对切向冻胀力的分布规律。分析其规律可得出: 1) 相对冻胀力最大值最初出现在接近地表处, 随着冻深增大, 向冻结界面方向下移, 并达到约三分之一冻深处; 2) 平均单位切向冻胀力随已冻层的温度下降而增高, 而随着冻土沿试桩位移的增大, 冻胀力出现松弛现象(Цытович, 1972)。

在土相对于基础剪切位移的条件下, 切向应力的削弱则是由于基础接触点冰晶体的部分破坏, 以及再结晶时晶体的方位向着使冻层对基础位移的阻力降低的方向改变所造成的(Вялов, 1959; Далматов, 1957; Орлов, 1962, 1977)。

中国科学院兰州冰川冻土研究所的学者于 1975 年在青藏高原试验场也做了同样测试, 并得出类似结论。将同一深度范围与基础接触土体的冻结过程分成初始冻结, 积极冻结, 冷却和过冷却四个阶段。切向冻胀力增长的主要阶段为初始阶段及积极冻结阶段, 在第三阶段中切向冻胀力的增长已极为有限了(童长江, 1982)。

土温自土体冻结温度至 -5°C 范围, 切向冻胀力随土温降低而增长, 可看成一线性关系, 至 -10°C 范围, 土温降低对冻胀力的作用仍可看成是递增关系, 而后切向冻胀力

随时间延续的衰减作用占主导地位(童长江等, 1985)(图 1)。

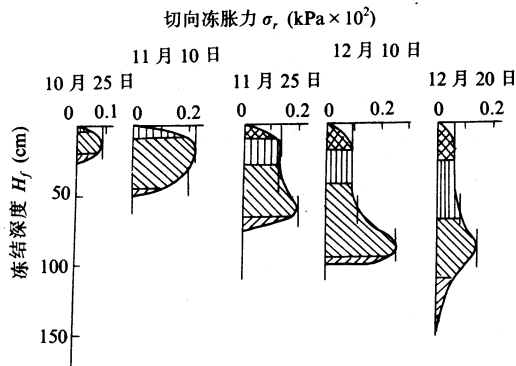


图 1 基础侧面的切向冻胀力图

2 笔者的解释

中国科学院兰州冰川冻土研究所室内实验得出的冻结温度, 按 -5°C 计算, 其长期冻结强度不少于 0.4 MPa , 而切向冻胀力的最大值也不超过 0.3 MPa , 当切向冻胀力不超过长期冻结强度值时, 是会产生滑移的。

切向冻胀力的受力过程应该是: 土冻结时所产生的冻胀力在冻结界面附近(剧烈相变区内), 土冻结要膨胀, 土与基础冻结在一起, 基础是不动的, 因此产生切向冻胀力。该力的大小取决于三个方面的因素: 1) 土的冻胀性类别。其性质与土的冻结敏感性、土中含水量以及地下水位等有关; 2) 基侧表面与土冻结在一起的冻结强度。其数值与负温度、接触面上所作用法向压应力的大小以及其表面的粗糙程度等有关; 3) 已冻结土层的厚度。

当地基土层强冻胀性土、桩土之间的冻结强度足够大时, 冻土层越厚, 冻土层的刚度(抗弯)越大, 有效冻胀应力的分布面积越广, 切向冻胀力也就越大, 实际是双层地基受力体系(图 2)。随着时间的推移, 气温继续降低(翌年春暖气温回升除外), 其结果将导致冻结界面向下方转移, 基础侧面各点(固定不动)如 A 点(图 2), 冻土的温度继续下降, 随着土温的降低, 冻结强度与负温度呈比例地提高, 冻层继续加厚, 刚度不断加大, 因而切向冻胀力理应稳定增长, 沿深度呈上大下小的分布趋势, 但事实不是这样, 其原因是上部地基土受气温波动的影响大。冻结初期, 温度不太低, 处于剧烈相变区内, 土的冻胀和冻胀力与日负温度呈线性增长, 冻土层中的水平冻胀力为压应力, 即增加了冻土与基侧表面之间剪切面上的正应力, 正应力的加大使其抗剪强度相应提高, 传递切向力的能力增强。由于冻土层的厚度逐渐增大, 所以切向冻胀力之值也随之加大。

靠近上部土层水平方向应力状态的变化过程如下: 冻结初期, 水平冻胀压应力很大, 温降收缩应力相对很小, 表现出大的压应力。随后, 水平冻胀力停止增长, 压应力将达到最大值, 其温降收缩应力相对很小可不予考虑。继续降温, 已有压应力为收缩拉应力所抵消, 表现出零应力。温度仍下降, 即产生拉应力(张力)。随着地温的再度降

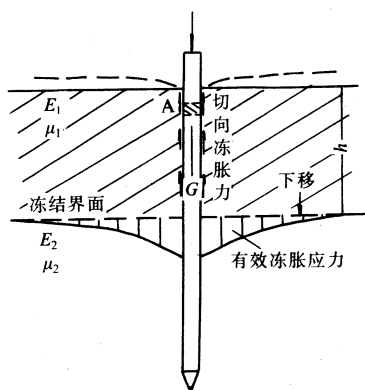


图2 切向冻胀力的受力过程示意图

低, 水平拉应力超过受拉呈脆性破坏(Вялов, 1981)的冻土的抗拉强度时, 便出现裂缝, 并很快扩展成季节冻结层之内的裂缝多边形(刘鸿绪, 1990)(图3)。

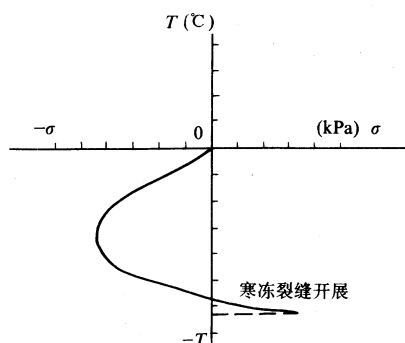


图3 水平应力状态的变化示意图

土层的水平向由初冬产生很大压应力到深冬出现很大拉应力, 在这一变化的时期中, 该土层中的冻结强度、竖向抗剪强度随之变化, 冻结强度变化, 切向冻胀力也相应发生变化。土层出现水平张力以后, 土与桩侧表面上抗剪切的能力将大大削弱, 也即冻结强度大幅度下降。虽然下移的冻结界面处所产生的冻胀应力在逐渐减少, 但冻土层的厚度在不断增长, 有效冻胀应力作用面在迅速增大, 总冻胀力的增长远比冻结界面下移, 其冻胀应力减小来得大, 所以切向冻胀力越来越大, 当大到冻结强度无法承受时, 即出现相对位移, 位移出现后又进一步松弛了该面上的冻结强度, 表现在切向冻胀力的降低上。相对移动到某一位置, 当切向冻胀力等于冻结强度时即刻终止。

季节活动层上部冻胀性地基土中的桩侧表面处, 土温在 -10°C (缓慢相变区后部)以前, 原位观测的冻结强度与室内(模型)实验结果一致, 但用无侧限条件冻结完成的试验其结果要偏小, 土温降到 -15°C 以下时, 原位测试的冻结强度要比室内实验结果小。

综上所述, 可以得到以下结论:

(1) 切向冻胀力沿桩侧表面峰值下移并靠近地表处其数值下降, 主要是因为冻土层

先冻结膨胀, 然后温降收缩, 冻结强度先增大而后减小所致;

(2) 室内冻结强度试验, 如果不考虑土层水平方向冻结膨胀, 尤其是温降收缩的作用过程, 其结果是不宜直接应用在实际工程设计中的;

(3) 室内切向冻胀力试验, 如果不考虑土层与基侧表面之间冻结强度在冻结过程中的变化, 其结果是不宜直接应用在实际工程设计中的;

(4) 对受气温影响较大土层中的抗剪强度来说, 地基土上部的冻土层是各向异性的, 其竖向的抗剪强度数值与该土层中水平应力的变化有着密切的关系, 实际应用时要充分考虑这一因素;

(5) 在实验室进行季节冻结层内实际工程的模拟试验时, 如不考虑冻土层水平向膨胀与收缩应力的变化过程, 对试验结果要分析其影响的程度而后再使用。

参 考 文 献

- 刘鸿绪, 1990. 对土冻结过程中若干冻胀力学问题的高榷. 冰川冻土, 12(3): 269—280
- 童长江, 1982. 基础的冻胀力. 见: 中国地理学会冰川冻土学术会议论文集. 北京: 科学出版社
- 童长江等, 1985. 土的冻胀与建筑物冻害防治. 北京: 水利电力出版社
- Вялов С С, 1959. Геологические свойства и несущая способность мерзлых грунтов Изд-во АН СССР
- Вялов С С, 1981. Расчёты на прочность и ползучесть при искусственной замаразливании грунтов
- Далматов Б И, 1957. Воздействие морозного пучения грунтов на фундаменты сооружений Л. Госстройиздат
- Орлов В О, 1962. Криогенное пучение тонкодисперсных грунтов Изд-во АН СССР
- Орлов В О, 1977. Пучение промерзающих грунтов и его влияние на фундаменты сооружений Л. Стройиздат
- Цытович Н А, 1972. Механика мерзлых грунтов М Высшая школа