

路面永久变形的实验研究

叶 国 铮

(湖南大学, 长沙)

柔性路面在行驶车轮长期重复荷载作用下会逐渐产生积累的永久变形, 它会直接影响到路面的平整度和使用质量。二十多年来, 各国对此进行了大量的试验研究, 并制订了不少考虑永久变形和车辙的柔性路面设计体系和计算方法。我国柔性路面设计理论和设计方法均只考虑路面的弹性变形。随着我国四化建设事业的飞速发展, 汽车轴重和公路交通量不断增大, 分道行驶的渠化交通使不少公路出现不同程度的永久变形甚至车辙破坏。为了探索柔性路面的永久变形特性, 过去几年在路面疲劳研究的同时也进行了永久变形的重复荷载试验。

试验在湖南大学室内路面试槽中进行。土基为轻亚粘土, 其粘粒、砂粒和粉粒各占18%, 46%和36%; 液限为26, 塑限为15, 塑性指数为11。石灰土采用二级石灰, $\text{CaO} + \text{MgO}$ 含量为71.2%。石灰剂量为8%(重量计)。路面试槽尺寸为 $6 \times 3 \times 2 \text{ m}$ 。土层厚度为1700 mm, 平均压实度为0.96。石灰土层的平均压实度为0.95。

试验装置为可沿试槽两边钢轨移动的反力钢桁架, 承载力为500kN。桁架下装100kN脉冲千斤顶, 用承载板可分层测定土基和灰土的弹性模量。

石灰土的弹性模量随龄期而增长, 但增长的速度随龄期的增加而减缓, 一般是五六年后接近于最大值(图1)。

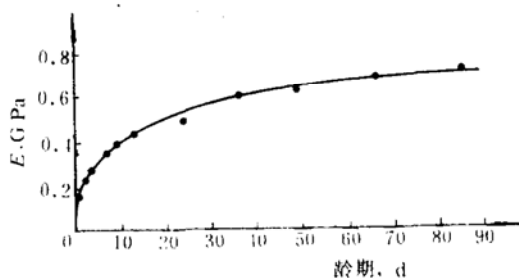


图1 灰土弹性模量随龄期的增长关系

重复荷载试验使用了PME-50A液压疲劳试验机, 施荷频率为5.5~6Hz, 作用的重复荷载为20~100kN。

土基顶面的弹性变形 l_{e0} 和永久变形 l_{p0} 是用预埋于土基表面的位移传感器测定的。灰土顶面的弹性变形 l_{e1} 和永久变形 l_{p1} 是利用弯沉仪装上自制的应变式位移传感器测定的。电测装置采用了Y6D-3动态应变仪和SC-16示波器。灰土顶面位移也可用千分表量测。

灰土层的永久应变 ε_p 按下式计算:

$$\varepsilon_p = (l_{p1} - l_{p0})/h$$

式中 h 为灰土层厚度, 以 mm 计。

l_{p1} 和 l_{p0} 分别为灰土顶面和土基顶面的永久变形, 均以 mm 计。

路面永久变形的结构试验参数列于表 1。

表 1

路面结构编号	灰土厚度 (mm)	承载板直径 (mm)	E_0 (kPa) $\times 10^2$	E_1 (kPa) $\times 10^2$
1	200	140	357	5250
2	200	140	520	6341
3	200	140	520	5250
4	200	140	520	5250
5	200	157.5	420	4600
6	200	140	480	5720
7	21	107.5	624	6180
8	21.60	107.5	560	6860
9	20	100	570	6860
10	19.20	100	466	6760
11	20	100	508	6340

重复荷载试验时, 首先固定一条位移零线, 测量不同加荷次数下的位移-时间波形曲线。一次荷载的波峰与波谷的间距为弹性变形 l_{el} , 不同加荷次数时波形曲线波谷与零线的间距则为永久变形 l_{p1} 。2 号断面土基变形历程曲线示于图 2, 2 号断面灰土顶面变形历程曲线示于图 3。

图 2 土基顶面弯沉历程曲线

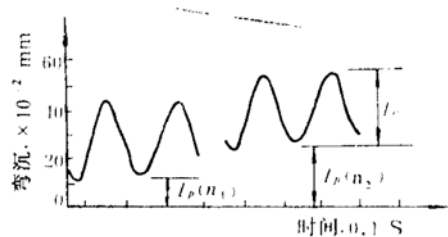
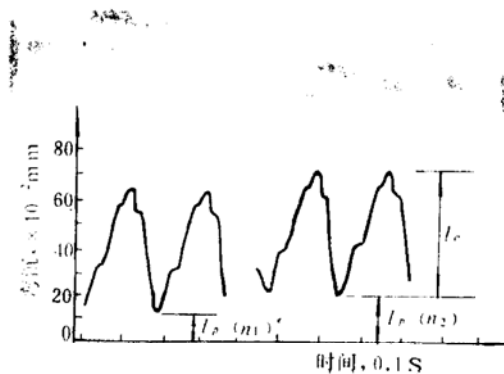


图 3 灰土顶面弯沉历程曲线



对十一种灰土路面结构进行重复荷载试验的结果汇总列于表 2。

表 2

路面结构编号	重复应力 σ_z , (kPa)	加荷次数 n	土基顶面永久变形 l_{p0} (mm)	灰土顶面永久应变 ϵ_p
1	500	$0-7 \times 10^6$	$0-1.18$	$0-0.0180$
2	358	$0-1.2 \times 10^7$	$0-1.08$	$0-0.0114$
3	860	$0-9.1 \times 10^4$	$0-2.02$	$0-0.0161$
4	802	$0-4 \times 10^5$	$0-1.93$	$0-0.0313$
5	642	$0-2.1 \times 10^5$	$0-2.28$	$0-0.0134$
6	650	$0-3.8 \times 10^5$	$0-1.56$	$0-0.0253$
7	980	$0-2.7 \times 10^5$	$0-1.78$	$0-0.0420$
8	1500	$0-9 \times 10^5$	$0-2.39$	$0-0.0610$
9	1590	$0-3 \times 10^5$	$0-1.49$	$0-0.0591$
10	1451	$0-1.5 \times 10^5$	$0-1.66$	$0-0.0440$
11	1528	$0-2.2 \times 10^5$	$0-1.59$	$0-0.0510$

根据试验结果画出了几个典型断面的土基永久变形和灰土永久应变随加荷次数而变化的半对数曲线图(图 4 和图 5)。

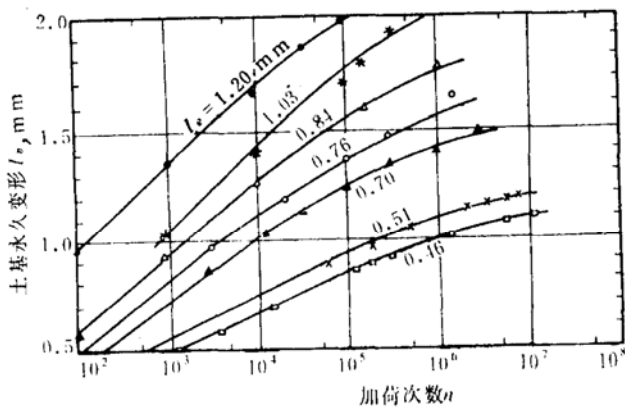


图 4 土基永久变形-加荷次数的关系曲线

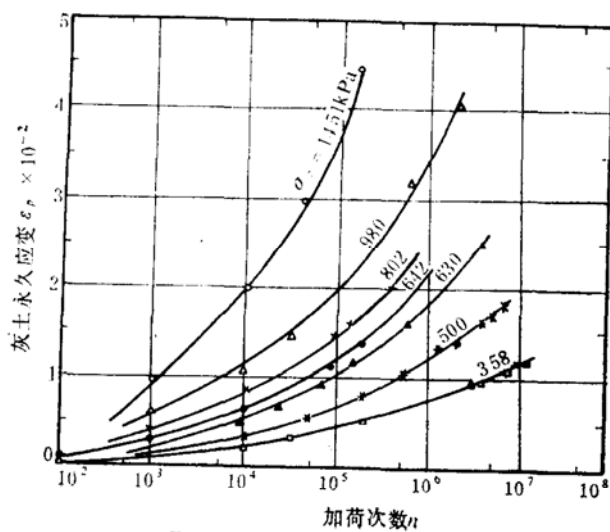


图 5 灰土永久应变-加荷次数关系曲线

由图可见,土基永久变形随土基弹性弯沉和加荷次数的增加而增大。当加荷次数一定时,土基弹性弯沉越小,即土基强度越高,永久变形值便越小。

灰土层的永久应变随加荷压力和加荷次数的增大而增大。在一定的加荷次数下,加荷压力越大,灰土的永久应变也越大。

试验表明,在同一个路面断面,达到一定的加荷次数时,灰土层的永久变形一般均大于土基的永久变形。这是由于路面断面中灰土层承受了比土基要大的压力,因而灰土层的永久变形也就大些。

对试验数据进行多元回归分析,可得亚粘土土基永久变形与加荷次数的关系为:

$$l_p = l_e(0.3 + 0.2 \lg n)$$

式中 l_e ——土基回弹弯沉,以mm计;

n ——加荷次数。

复相关系数 $R = 0.94$ 。

灰土的永久应变与加荷次数的关系为:

$$\epsilon_p = 5.45 \times 10^{-6} (0.01 \sigma_z)^{1.02} (\lg n)^{2.88}$$

式中 σ_z ——垂直压力,以kPa计;

n ——加荷次数。

复相关系数 $R = 0.95$ 。

上面的关系式提供了预估公路土基和石灰土路面永久变形的实验依据。

参 考 文 献

- [1] J. Verstraten, J.E. Romain and V. Veverka, The Belgin road research Center's Overall approach to Asphalt Pavement Structural Design, Proc. 4th Int. Conf. on Structural Design of Asphalt Pavement, 1977, pp. 298-323.
- [2] Yeh Guozheng, Zhou Hanto, Li Zhimin and Zhou Zhixue, Fatigue Behavior of lime-soil, Proc. XVII World Road Congress, Sydney, Australia 8-15 Oct. 1983.
- [3] Brown, S.F., The Development and Implementation of Analysical Pavement Design for British Condition, Proc. 5th Conf. on Structural Design of Asphalt Pavements, 1982, pp. 3-7.
- [4] Jacob Uzan, Permenent Deformation in Pavement Design and Evaluation, Bearing Capacity of Road and Airfirds, Proc. II, pp658-669.