

基于模量法评价碎石土路基 压实效果的试验研究

郭肖红¹, 罗敏敏^{2*}, 周江²

(1. 浙江中材工程勘测设计有限公司, 浙江 杭州 310022; 2. 浙江大学建筑设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310028)

摘要: 针对碎石土路基的工程特点, 通过模拟实际工况, 采用承载板试验和便携式落锤弯沉仪检测不同含石量及加筋情况下碎石土路基的反应模量、动回弹模量。基于试验结果, 分析了不同含石量和加筋情况对碎石土路基反应模量、动回弹模量的影响。研究表明, 在同一压实度下, 碎石土路基反应模量和动回弹模量随含石量的增加而增加, 且压实度越高, 增大含石量对提高碎石土路基反应模量、动回弹模量作用越显著; 在相同压实度下, 碎石土路基反应模量和动回弹模量随加筋层数的增加而增加, 且在较低压实度下, 加筋对提高碎石土路基反应模量、动回弹模量作用更显著。基于填土体(包括加筋土体)压实度与模量之间的内在联系, 提出了反应模量、动回弹模量与压实度之间的函数关系。结合公路路基设计规范, 建立了碎石土路基反应模量和动回弹模量的评定标准。本文研究成果对工程实践中碎石土路基压实效果评价具有指导意义和借鉴价值。

关键词: 碎石土路基; 压实效果; 承载板试验; 便携式落锤弯沉仪; 反应模量; 动回弹模量

中图分类号: TU411

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2021)02-0110-08

Evaluation of compaction effect of gravel soil subgrade by modulus method

GUO Xiao-hong¹, LUO Min-min^{2*}, ZHOU Jiang²

(1. Zhejiang Zhongcai Engineering Surver Design Co., Ltd., Hangzhou 310022, China;

2. The Architectural Design and Research Institute of Zhejiang University Co., Ltd., Hangzhou 310028, China)

Abstract: According to engineering characteristics of gravel soil subgrade, and through simulating the actual working conditions, this paper has applied the bearing plate test and the portable falling weight deflectometer to detect the reaction modulus and dynamic resilience modulus of gravel subgrade under different gravel content and reinforcement conditions. Based on the test results, the effects of different gravel content and reinforcement conditions on the reaction modulus and dynamic resilience modulus of gravel subgrade are analyzed. The results showed that under the same compaction degree, the reaction modulus and dynamic resilience modulus of gravel subgrade increase with the increase of gravel content, and the higher the compaction degree, the more significant increasing effect of the gravel content on the improvement of the reaction modulus and dynamic resilience modulus. The reaction modulus and dynamic resilience modulus increase with the increase of the number of reinforced layers, especially when the compaction degree is low. Based on the intrinsic connection between the compaction degree and the modulus of the filled soil (including the reinforced soil), the functional relations between the reaction modulus, the dynamic resilience modulus and the compaction degree are proposed. Referring to the design specification of highway subgrade, this paper proposes the evaluation criteria of reaction modulus and dynamic resilience modulus of different parts of gravel soil subgrade. The research results have practical significance for testing and evaluating the compaction effects of gravel soil subgrade in engineering practice.

Key words: gravel soil subgrade; compaction effect; bearing plate test; portable falling weight deflectometer (PFWD); reaction modulus; dynamic resilience modulus

收稿日期: 2021-01-19

作者简介: 郭肖红(1982—), 女, 吉林抚松人, 高级工程师。主要从事岩土设计与地质灾害防治的工作。E-mail: 314418080@qq.com。

*通讯作者: 罗敏敏(1988—), 男, 浙江绍兴人, 博士。主要从事岩土工程设计与岩土工程测试。E-mail: zjluominmin@163.com。

0 引 言

在公路建设中, 路基填土的压实问题一直受到工程界的重视。在路基填筑施工中, 均需要分层摊铺、碾压和质量检测。细粒土压实效果的检测与评价已有一套比较成熟和公认的方法, 可按照有关的规范^[1] 和标准^[2] 执行, 如灌水法、灌砂法、蜡封法以及环刀法等直接密度测试法; 而对于碎石土路基, 虽然已有其力学特性^[3]、压实特性^[4-5] 的研究成果报道, 但压实效果检测与评价方法^[6] 尚不成熟。

目前, 对碎石土路基填土压实效果的检测有核子密度仪法^[7]、剪切波法^[8]、表面波法^[9-10] 等间接密度检测法, 但其工作参数受碎石土颗粒级配、粗颗粒含量等因素的影响较大, 对料源变化大的路段需要多次标定, 影响检测效率和评价结果。若沿用细粒土路基的检测方法, 会发现在干密度的确定、检测指标的适用性、评价方法的合理性等方面存在问题。在某些情况下, 即使路基填土达到设计的压实度, 但其强度指标仍不满足要求^[11]。因此, 有必要对碎石土路基压实效果和力学性能的检测与评价方法作进一步探讨。

鉴于现行国内外路基设计理论和方法主要采用反应模量和动回弹模量来表示路基的抗变形能力, 本文针对碎石土路基的特点建立路基模型, 通过承载板试验和便携式落锤弯沉仪 (PFWD) 试验检测不同工况下碎石土路基的反应模量和动回弹模量, 建立反应模量、动回弹模量与压实度之间的定量关系, 以实现快速、可操作性强的碎石土路基的压实效果检测与评价方法, 为工程实践提供借鉴。

1 试验方案

1.1 试验材料

试验采用人工配制的碎石土作为回填材料 (图 1), 最大粒径 $d_{max}=26\text{ mm}$, 分别按含石量 $G=30\%$ 、 50% 、 75% 配制。根据公路标准^[12], 对配制好的碎石土进行筛分试验和振动台试验 (干土法), 不同含石量碎石土的最大干密度如表 1 所示, 本次试验

用碎石土和规范^[13] 推荐碎石土集料的级配曲线如图 2。对抗壁的黏性土进行室内土工试验得到其密度 $\rho=1.89\text{ g/cm}^3$, 含水率 $\omega=13.6\%$, 黏聚力 $c=36\text{ kPa}$, 内摩擦角 $\varphi=22^\circ$ 。

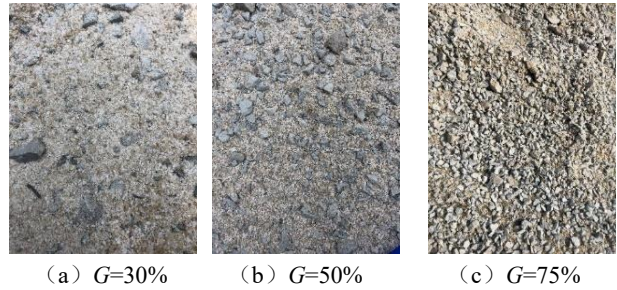


图 1 不同含石量碎石土示意图

Fig. 1 Diagram of different gravel soil with different stone contents

表 1 碎石土参数
Table 1 Gravel soil parameters

土类	含石量 $G/\%$	最大干密度 $\rho_{dmax}/(\text{g/cm}^3)$
碎石土	30	1.95
	50	2.00
	75	2.09

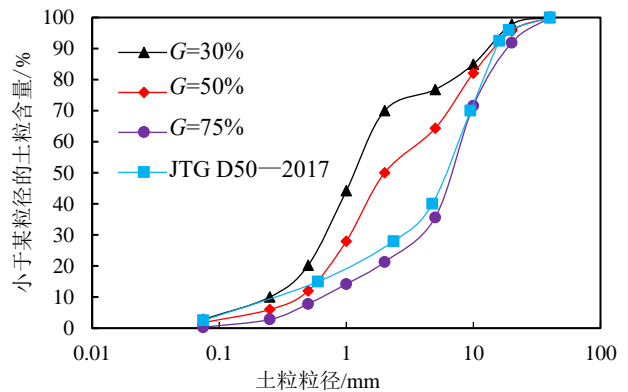


图 2 不同含石量碎石土级配曲线

Fig. 2 Gradation curve of different gravel soil with different stone contents

采用的加筋材料为聚乙烯塑料双向拉伸土工格栅, 其质量为 360 g/m^2 , 网格尺寸为 $33\text{ mm}\times 33\text{ mm}$, 肋条宽 3 mm , 厚 1 mm 。按照相关标准^[14] 进行拉伸试验, 得到筋材的抗拉强度和延伸率特性指标如表 2。

表 2 筋材参数
Table 2 Reinforcement parameters

方向	5%定拉伸强度/(kN/m)	5%割线模量/(kN/m)	极限抗拉强度/(kN/m)	断裂延伸率/%
横向	19.61	392.20	30.32	13.72
纵向	19.45	389.00	29.94	11.73

1.2 试验方法

在黏性土地基中开挖直径 1.5 m、深 1.0 m 的试验坑^[15]。按表 3 的试验方案共进行 3 组 13 项模型试验。对于每项试验,分 6 层回填碎石土,每层填土压实后的高度 15 cm,总回填高度 90 cm,筋材布设方式如图 3。试验模型填筑完成后,依次进行承载板试验、PFWD 试验和灌砂试验。灌砂试验用以检验碎石土填筑的实际压实度,承载板试验和 PFWD 试验要点描述如下:

表 3 试验方案
Table 3 Test plan

压实度/%	加筋层数 n	含石量 G /%
90		30
	0	50
		75
	2	75
	3	75
94	0	
	2	75
	3	
98		30
	0	50
		75
	2	75
	3	75

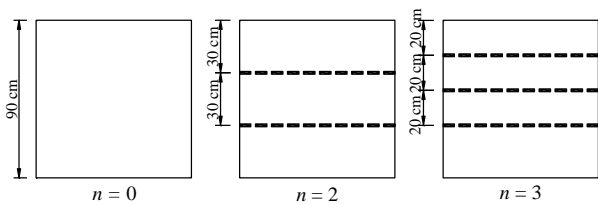


图 3 筋材布设方案

Fig. 3 Reinforcement layout scheme

(1) 承载板试验

承载板试验参照相关标准^[16]进行,选用直径 30 cm、厚度 20 mm 的圆形刚性承载板;用最大压力为 50 kN 的液压千斤顶加载,配以压力传感器读取分级荷载;由 4 只地锚和主副梁提供反力;用对称布置的 3 个百分表(精度为 0.01 mm)监测沉降。

采用承载板试验测定路基反应模量时,有两种荷载控制方法^[17],当路基较软时用 0.127 cm 的沉降量控制承载板的荷载;若路基较为坚硬难以达到 0.127 cm 沉降量时,以 0.07 MPa 作为承载板的控制荷载。对于压实后的碎石土路基,本次试验采用后者。加载共分为 7 级,每级荷载增量为 35 kPa

(2.4 kN),持续 15 min 或达到沉降量相对稳定(相邻两次沉降差小于 0.01 mm),读取沉降值后施加下一级荷载,直至试验结束。

(2) 便携式落锤弯沉仪(PFWD)试验

PFWD 检测是一种能够对路基承载能力进行快速检测的新型检测方法,具有检测效率高、操作简单、设备便携、对场地要求低等优点,可实现现场即时测量。其原理可归纳为:将一固定重量的落锤(质量为 10 kg),在某一规定的高度释放,使其在重力作用下运动,冲击安放在检测层位上的载荷板而产生类似正弦波的冲击荷载。由于受到冲击荷载的作用,载荷板与检测部位共同出现竖向位移,形成弯沉^[18],从而实现对结构物在施加动荷载后产生的弯沉值、动应变和动应力等参数的检测,然后依据 Boussinesq 理论计算用于描述路基动力特性的动态变形模量指标—— E_{vd} 。虽然路基是一种弹塑性体,其本构关系具有明显的非线性,但由于 PFWD 的落锤对路基表面施加动荷载时,落锤对路基的作用时间非常短,一般情况下不超过 20 ms,路基还未出现塑性变形,荷载就已经卸除,即可以认为在落锤的冲击下路基主要产生了弹性变形,测得的变形以回弹变形为主^[19]。将所得的路基动态变形模量 E_{vd} 值近似当作路基动回弹模量 E_p 值,即:

$$E_p = \frac{\pi}{4} \times \frac{2pa(1-\mu_0^2)}{l} = \frac{\pi pa(1-\mu_0^2)}{2l} \quad (1)$$

式中: p 为单位压力, MPa; a 为载荷板半径, m; μ_0 为泊松比, 本文的碎石土取 $\mu_0=0.25$; l 为实测载荷板中心弯沉峰值, m; E_p 为路基动回弹模量, MPa。

依据相关标准^[16]进行 PFWD 测试。试验选取 5 个测点,每个点测试 3 次,最后每组测试结果取平均值,测点位置如图 4 所示。

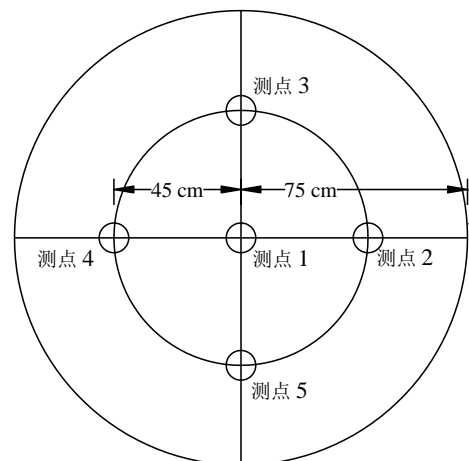


图 4 PFWD 测点布置

Fig. 4 Arrangement of PFWD measurement points

2 试验结果

2.1 压实度测试结果分析

通过灌砂法对模型碎石土路基的压实度进行检测, 试验结果如表 4。由表 4 可知, 通过灌砂法检测得到的压实度与目标压实度的误差不超过 1%, 说明试验模型填筑过程中压实度控制良好。

表 4 压实度测试结果

Table 4 Compaction test results		%
目标压实度	含石量 G	灌砂法实测压实度
90	30	89.4
	50	89.6
	75	89.1
94	75	93.5
	30	97.2
98	50	97.3
	75	97.6

2.2 反应模量测试结果分析

(1) 荷载与沉降 ($P-s$) 关系曲线

将各碎石土路基承载板试验得到的荷载与沉降监测结果绘制成 $P-s$ 曲线, 如图 5 和图 6 所示。由图 5 可知, 填料压实度对碎石土路基沉降的影响比含石量大, 提高压实度可以明显减少沉降量; 含石量对碎石土路基沉降也有一定程度的影响, 在相同压实度的条件下, 各级荷载下碎石土路基的沉降量随着含石量增大而减小。由图 6 可知, 加筋对碎石土路基沉降的影响不如填料压实度影响大, 但在相同压实度条件下, 加筋可以明显减小碎石土路基的沉降量; 且填料压实度越低时, 加筋减小沉降的效果越明显。

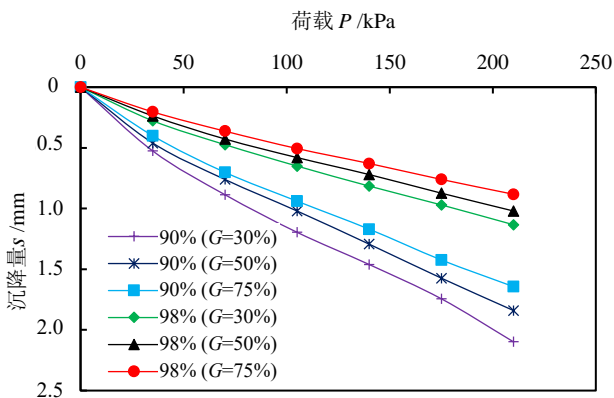


图 5 含石量对碎石土路基 $P-s$ 曲线的影响 ($n=0$)

Fig. 5 $P-s$ curve of different gravel soil subgrade under different stone contents ($n=0$)

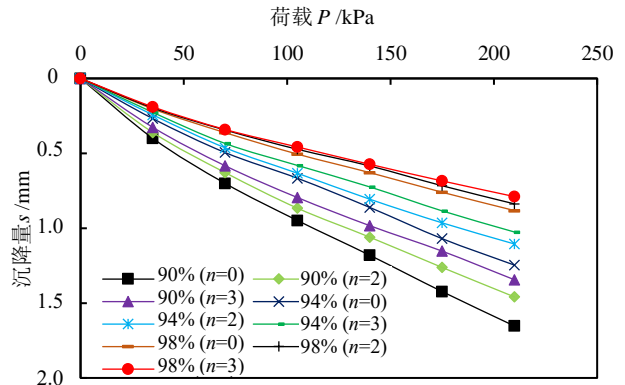


图 6 加筋对碎石土路基 $P-s$ 曲线的影响 ($G=75%$)

Fig. 6 $P-s$ curve of reinforced and unreinforced gravel soil subgrade under different compaction degrees ($G=75%$)

(2) 反应模量的影响因素分析

根据试验结果, 按下式计算路基反应模量^[17]:

$$K_{30} = \frac{P}{s} \quad (2)$$

$$K = 0.4K_{30} \quad (3)$$

式中: p 为控制荷载, 即 0.07 MPa; s 为控制荷载对应的沉降量, m; K_{30} 为地基系数, MPa/m; K 为路基反应模量, MPa/m。

基于计算结果, 绘制碎石土路基反应模量随含石量及加筋层数的变化曲线 (图 7 和图 8)。由图 7 和图 8 可知, 碎石土路基的反应模量随着压实度、含石量和加筋层数的增加而增加, 但填料压实度对碎石土路基反应模量的影响比含石量和加筋的影响更大。加筋可提高碎石土路基的反应模量, 且随着加筋层数的增加而增大; 填料压实度较低时, 加筋提高碎石土路基反应模量的效果更好。

2.3 动回弹模量测试结果分析

通过对碎石土路基进行 PFWD 试验, 并按式(1)计算动回弹模量 E_p 。 E_p 随含石量和加筋层数的变化规律如图 9 和图 10 所示。

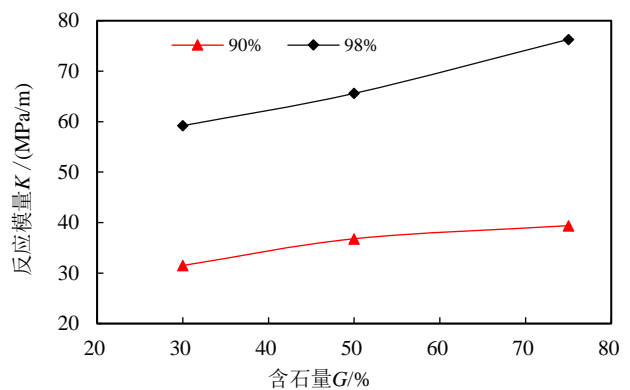


图 7 反应模量随含石量的变化曲线 ($n=0$)

Fig. 7 Curves of reaction modulus with different stone contents ($n=0$)

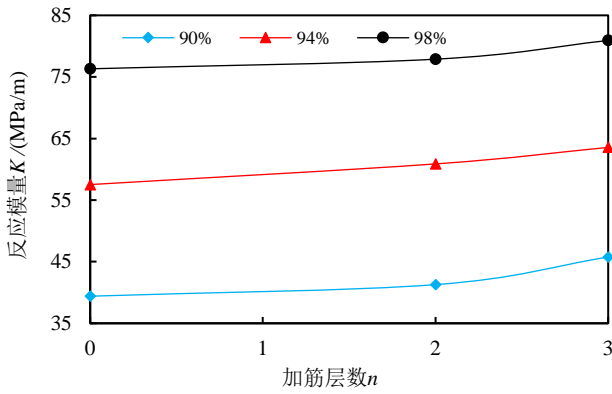


图 8 反应模量随加筋层数的变化曲线 (G=75%)
Fig. 8 Curves of reaction modulus with different reinforcement layers (G=75%)

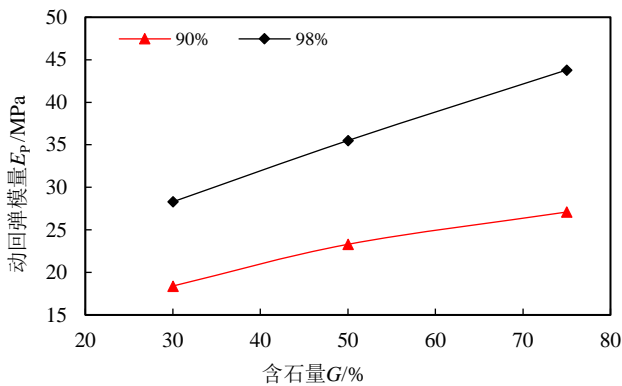


图 9 动回弹模量随含石量的变化曲线 (n=0)
Fig. 9 Curve of dynamic resilience modulus with different stone contents (n=0)

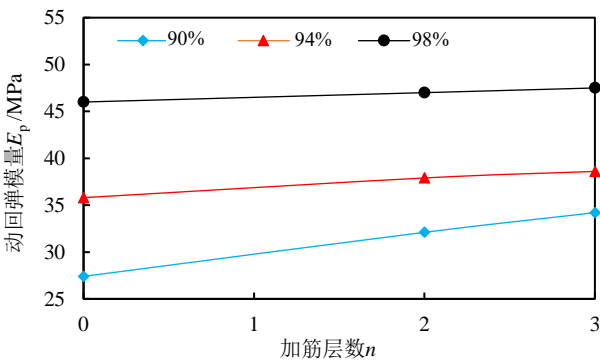


图 10 动回弹模量随加筋层数的变化曲线 (G=75%)
Fig. 10 Curves of dynamic resilience modulus with different reinforcement layers (G=75%)

由图 11 可知,在压实度不变时,碎石土路基的动回弹模量随含石量增大而提高。而且压实度越高,增大含石量对提高碎石土路基动回弹模量作用更显著。

由图 12 可知,在压实度不变时,碎石土路基的动回弹模量随加筋层数的增大(加筋间距的减

小)而提高。压实度 90%时, n=3 相较于 n=0 动回弹模量提高了 24.8%; 压实度 94%时, n=3 相较于 n=0 动回弹模量提高了 7.8%; 压实度 98%时, n=3 相较于 n=0 动回弹模量提高了 3.3%。证明压实度较低时,增大加筋层数(减小加筋间距)对提高碎石土路基动回弹模量更有效。

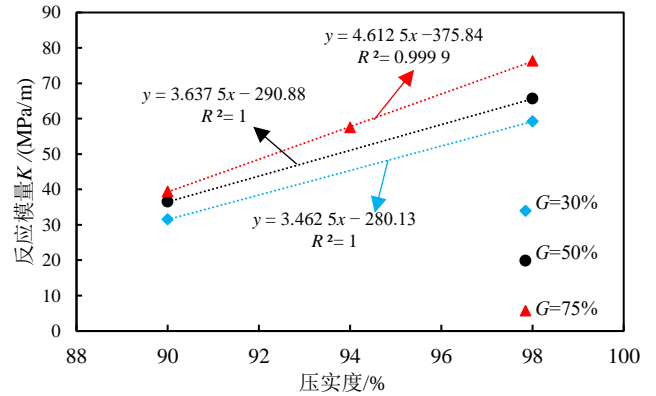


图 11 反应模量与压实度相关性曲线 (n=0)
Fig. 11 Correlation between reaction modulus and compaction degrees (n=0)

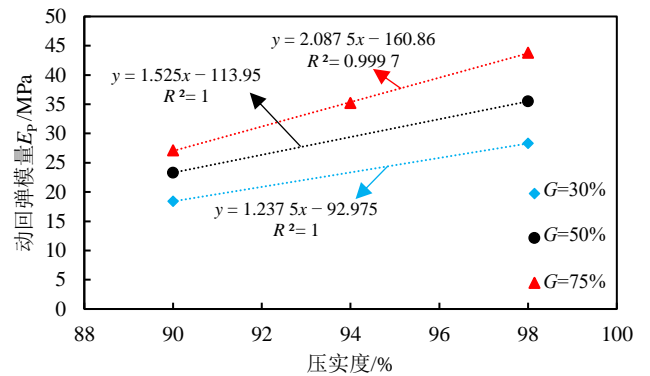


图 12 动回弹模量与压实度相关性曲线 (n=0)
Fig. 12 Correlation between dynamic resilience modulus and compaction degrees (n=0)

2.4 反应模量、动回弹模量与压实度相关性分析

为进一步认识碎石土路基的模量与压实度的对应关系,对所测碎石土路基反应模量、动回弹模量与压实度进行相关性分析,得到反应模量、动回弹模量与压实度相关程度,如图 11~14 所示。反应模量、动回弹模量与压实度之间的相关系数 R^2 均大于 0.96,即反应模量、动回弹模量与压实度之间存在很好的正相关性。图 11 和图 12 显示,在不加筋 (n=0) 时,反应模量、动回弹模量与压实度拟合曲线的斜率随含石量的增大而增大;由图 13 和图 14 可知,在 G=75%时,反应模量、动回弹模量与压实度拟合曲线的斜率随加筋层数的增大而减小。

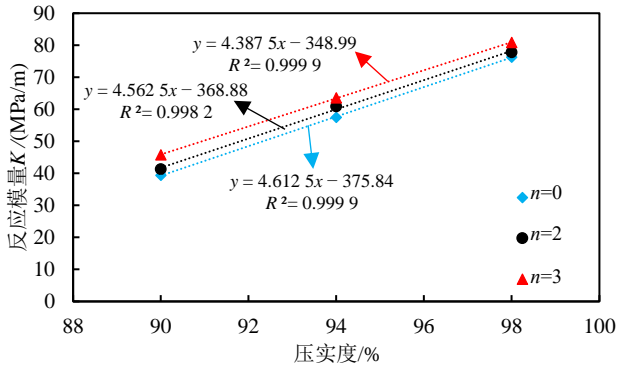


图 13 反应模量与压实度相关性曲线 ($G=75\%$)
 Fig. 13 Correlation between reaction modulus and compaction degrees ($G=75\%$)

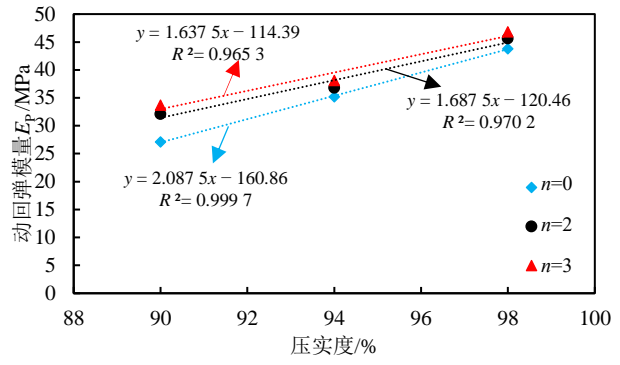


图 14 动回弹模量与压实度相关性曲线 ($G=75\%$)
 Fig. 14 Correlation between dynamic resilience modulus and compaction degrees ($G=75\%$)

3 试验成果工程应用建议

根据试验得到的反应模量、动回弹模量与压实度的相关关系式,可计算得到不加筋($n=0, G=75\%$)和加筋($n=3, G=75\%$ (加筋间距 20 cm))碎石土

路基在不同压实度情况下对应的路基反应模量和动回弹模量值。据此,在实际工程中,可以用反应模量和动回弹模量代替压实度来检测和评价碎石土路基的压实效果。结合公路路基设计规范^[1]相关要求,提出如表 5 和表 6 所示的基于反应模量、动回弹模量的碎石土路基压实效果评价方法。

表 5 基于反应模量、动回弹模量的碎石土路基压实效果评定标准 ($G=75\%$)

Table 5 Evaluation criteria for compaction effect of gravel soil subgrade based on reaction modulus and dynamic resilience modulus ($G=75\%$)

路基部位	路面底面以下深度/m	高速、一级公路			二级公路			三、四级公路			
		压实度/%	反应模量 K /(MPa/m)	动回弹模量 E_p /MPa	压实度/%	反应模量 K /(MPa/m)	动回弹模量 E_p /MPa	压实度/%	反应模量 K /(MPa/m)	动回弹模量 E_p /MPa	
上路床	0~0.3	≥96	≥67.0	≥41.1	≥95	≥62.3	≥38.7	≥94	≥57.8	≥36.4	
下路床	轻、重等及重交通	0.3~0.8	≥96	≥67.0	≥41.1	≥95	≥62.3	≥38.7	≥94	≥57.8	≥36.4
	特重、极重交通	0.3~1.2	≥96	≥67.0	≥41.1	≥95	≥62.3	≥38.7	—	—	—
上路堤	轻、重等及重交通	0.8~1.5	≥94	≥57.8	≥36.4	≥94	≥57.8	≥36.4	≥93	≥53.1	≥34.1
	特重、极重交通	1.2~1.9	≥94	≥57.8	≥36.4	≥94	≥57.8	≥36.4	—	—	—
下路堤	轻、重等及重交通	1.5 以下	≥93	≥53.1	≥34.1	≥92	≥48.5	≥31.8	≥90	≥39.3	≥27.1
	特重、极重交通	1.9 以下	≥93	≥53.1	≥34.1	≥92	≥48.5	≥31.8	≥90	≥39.3	≥27.1

表 6 基于反应模量、动回弹模量的加筋碎石土路基压实效果评定标准 (加筋间距 20 cm)

Table 6 Evaluation criteria for compaction effect of reinforcement gravel soil subgrade based on reaction modulus and dynamic resilience modulus (Reinforcement spacing 20 cm)

路基部位	路面底面以下深度/m	高速、一级公路			二级公路			三、四级公路			
		压实度/%	反应模量 K /(MPa/m)	动回弹模量 E_p /MPa	压实度/%	反应模量 K /(MPa/m)	动回弹模量 E_p /MPa	压实度/%	反应模量 K /(MPa/m)	动回弹模量 E_p /MPa	
上路床	0~0.3	≥96	≥72.2	≥42.8	≥95	≥67.8	≥41.2	≥94	≥63.4	≥39.5	
下路床	轻、重等及重交通	0.3~0.8	≥96	≥72.2	≥42.8	≥95	≥67.8	≥41.2	≥94	≥63.4	≥39.5
	特重、极重交通	0.3~1.2	≥96	≥72.2	≥42.8	≥95	≥67.8	≥41.2	—	—	—
上路堤	轻、重等及重交通	0.8~1.5	≥94	≥63.4	≥39.5	≥94	≥63.4	≥39.5	≥93	≥59.0	≥37.9
	特重、极重交通	1.2~1.9	≥94	≥63.4	≥39.5	≥94	≥63.4	≥39.5	—	—	—
下路堤	轻、重等及重交通	1.5 以下	≥93	≥59.0	≥37.9	≥92	≥54.7	≥36.3	≥90	≥45.9	≥33.0
	特重、极重交通	1.9 以下	≥93	≥59.0	≥37.9	≥92	≥54.7	≥36.3	≥90	≥45.9	≥33.0

4 结 论

本文通过模拟碎石土路基的实际工况,采用承载板试验和PFWD试验研究不同含石量和不同加筋情况下碎石土路基的压实效果,基于试验结果与分析,可得到以下结论:

(1) 碎石土路基的反应模量和动回弹模量与填筑压实度存在内在联系和良好的一致性,可采用路基的反应模量和动回弹模量检测评价其压实效果。

(2) 同一压实度下碎石土路基反应模量和动回弹模量随含石量的增加而增加,且压实度越高,增大含石量对提高碎石土路基反应模量、动回弹模量作用更显著。

(3) 相同压实度下碎石土路基反应模量和动回弹模量随加筋层数的增加而增加,在较低压实度下,加筋对提高碎石土路基反应模量、动回弹模量作用更显著。

(4) 结合公路路基设计规范,基于本次试验成果,提出了采用反应模量和动回弹模量评定碎石土及加筋碎石土路基压实效果的检验标准。

参考文献

- [1] 中交第二公路勘察设计研究院. 公路路基设计规范: JTJ D30—2004[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [2] 郭庆国. 粗粒土的工程特性及应用[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1998.
- [3] INDRAWAN I G B, RAHARDJO H, LEONG E C. Effects of coarse-grained materials on properties of residual soil[J]. *Engineering Geology*, 2006, 82(3): 154-164.
- [4] DAEHYEON K, JONG K R. Resilient behavior of compacted subgrade soils under the repeated triaxial test[J]. *Construction and Building Materials*, 2007, 21(7): 1470-1479.
- [5] SHARMA J N, MOHINDER P, DAYAL C. Propagation characteristics of Rayleigh waves in transversely isotropic piezo thermo elastic materials[J]. *Journal of Sound and Vibration*, 2005, 284(1): 227-248.
- [6] 闫秀萍. 关于土石混合料填筑路基压实检测方法的探讨[J]. *公路交通科技*, 2001, 8(4): 40-42.
YAN Xiu-ping. Discussion on testing method of compaction of subgrade filled with earth-rock mixture[J]. *Highway Traffic Technology*, 2001, 8(4): 40-42.
- [7] 杨怡, 陈梦成, 雷茂锦. 核子密度仪在高速公路中的应用[J]. *公路与汽运*, 2005(5): 95-97.
YANG Yi, CHEN Meng-cheng, LEI Mao-jin. Application of nuclear density meter in freeway[J]. *Highway and Motor Transport*, 2005(5): 95-97.
- [8] 李少波, 张献名, 智胜英. 路基压实度剪切波测试新技术[J]. *公路交通科技*, 2008, 3(3): 32-37.
LI Shao-bo, ZHANG Xian-ming, ZHI Sheng-ying. Subgrade compaction shear wave test new technology[J]. *Highway Traffic Technology*, 2008, 3(3): 32-37.
- [9] 李青山, 张献民, 李红英. 路基压实度的瞬态瑞雷波检测法[J]. *河北工业大学学报*, 2003, 3(2): 27-30.
LI Qing-shan, ZHANG Xian-min, LI Hong-ying. Transient rayleigh wave detection method for subgrade compaction[J]. *Journal of Hebei University of Technology*, 2003, 3(2): 27-30.
- [10] 刘长发, 赵明阶, 汪魁. 土石混填路基压实度波动计算模型研究[J]. *重庆交通大学学报: 自然科学版*, 2011, 6(3): 63-66.
LIU Chang-fa, ZHAO Ming-jie, WANG Kui. Study on calculation model of compaction degree fluctuation of soil-rockfilled roadbed[J]. *Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science Edition*, 2011, 6(3): 63-66.
- [11] 王从贵. 动态变形模量 E_{vd} 与地基系数 K_{30} 的相关性研究[J]. *路基工程*, 2004(2): 4-7.
WANG Cong-gui. The correlation between dynamic deformation modulus E_{vd} and foundation coefficient K_{30} [J]. *Subgrade Engineering*, 2004(2): 4-7.
- [12] 中华人民共和国交通部. 公路土工试验规程: JTG E40—2007[S]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- [13] 中华人民共和国交通运输部. 公路沥青路面设计规范: JTG D50—2017[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2017.
- [14] 中华人民共和国水利部. 土工合成材料测试规程: SL 235—2012[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012.
- [15] 徐超, 胡荣, 贾斌. 土工格栅加筋土地基承载板试验研究[J]. *岩土力学*, 2013, 34(9): 2515-2520.
XU Chao, HU Rong, JIA Bin. Experimental study of geogrid-reinforced soil foundation by plate load test[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2013, 34(9): 2515-2520.
- [16] 中华人民共和国铁道部. 铁路工程土工试验规程: TB 10102—2004[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2004.
- [17] 黄晓明, 李昶, 马涛. 路基路面工程[M]. 南京: 东南大学出版社, 2016.

[18] 凌建明, 苏华才, 谢华昌, 等. 路基土动态回弹模量的试验研究[J]. 地下空间与工程学报, 2010, 6(5): 919-925.
LING Jian-ming, SU Hua-cai, XIE Hua-chang, et al. Experimental research on dynamic rebound modulus of subgrade soil[J]. Chinese Journal of Underground Space

and Engineering, 2010, 6(5): 919-925.

[19] 程晓明. 土石混填路基压实特性与数值模拟[D]. 西安: 长安大学, 2012.

CHENG Xiao-ming. Study on characteristic and numerical simulation for earth-rock subgrade[D]. Xi'an: Chang'an University, 2012.

【简 讯】

中国土木工程学会 2021 年学术年会会议通知（一号通知）

中国土木工程学会学术年会是紧密围绕国家发展战略, 聚焦我国土木工程行业发展热点的前瞻性、基础性、应用性的高端学术交流活动, 具有很强的科技引领与示范作用, 是我国土木工程行业最具品牌影响力的学术活动。

学会 2021 年学术年会将在湖南长沙召开, 欢迎中国土木工程学会会员、业内专家学者、以及广大科技工作者踊跃参加, 共同探讨城市更新与土木工程高质量发展事宜, 现将有关事项通知如下:

会议主题与内容:

今年学术年会主题为“城市更新与土木工程高质量发展”, 顺应了时代发展要求, 会议内容涵盖城市更新、工业化、数字化、智能化等新理论与实践, 具体内容包括: 绿色低碳建设、“后疫情时代”城市更新、“碳达峰、碳中和”健康建筑、绿色建造、数字建造、韧性城市、智慧城市、智能交通、数字市政、现代桥隧、地下空间高效开发与利用、城市防灾减灾、土木工程高质量发展等。

会议时间与地点:

会议时间: 2021 年 9 月 (暂定)

会议地点: 湖南长沙

论文征集与出版:

本届学术年会将广泛征集近年来未在国内外刊物或论文集上发表过的与会议主题相关的论文,

投稿以电子邮件方式发送至会务组指定邮箱, 所投稿件经专家审核后收录到《年会论文集》, 并由中国建筑工业出版社出版, 优秀论文将推荐至《土木工程学报》(增刊), 经学报审稿通过后发表。

欢迎广大作者踊跃投稿, 来稿请注明作者详细通讯地址、E-mail 邮箱及联系方式。论文投稿格式与《土木工程学报》要求一致。

论文投稿指定邮箱: cces2021@163.com。

重要日期:

2021 年 5 月 1 日, 开始接受论文投稿

2021 年 7 月 10 日, 论文全文投稿截止

2021 年 8 月 1 日前, 通知论文是否录用, 并发出论文修改通知

2021 年 9 月 (暂定), 会议召开

参会报名:

参会注册报名, 详见学术年会二号通知

会务组联系方式:

中国建筑第五工程局有限公司

联系人: 蒋婧、邹友清

联系电话: 0731-85699928

学会联系人: 李丹、包雪松、孙志勇、张洁

联系电话: 010-58934710、58933071

学会网址: www.cces.net.cn