

文章编号:1671-8879(2007)05-0001-05

基于抗变形能力的级配碎石组成设计方法

马 磊,王秉纲

(长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室,陕西 西安 710064)

摘 要:级配碎石的主要缺陷是易产生较大的塑性变形。在分析现行级配组成设计方法的基础上,根据连续密级配碎石的加州承载比(CBR)试验和利用研制的柔性材料剪切性能测试仪进行的剪切性能试验结果,对基于抗变形能力的级配碎石组成设计方法进行了研究。结果表明:以 CBR 值和剪切强度为组成设计的性能控制参数, CBR 值应不小于 180%, 剪切强度应大于 0.52 MPa; 以最大粒径、泰波(Taibol)级配指数 n 值和基于双指标控制的关键筛孔及其通过率合理变化范围作为级配控制参数, 最大粒径宜为 31.5 mm, 要求不高时可以放宽到 37.5 mm; n 值控制在 0.45~0.50 之间, 以 0.50 为宜; 4.75、2.36、0.60、0.075 mm 筛孔应作为关键筛孔予以控制; 通过率应在基于双指标控制的合理变化范围内。由此提出了基于抗变形能力的级配碎石组成设计方法, 通过试验路应用表明, 该设计方法可以有效控制级配碎石的塑性变形。

关键词:道路工程; 级配碎石; 塑性变形; 级配组成; 设计方法; 剪切强度; 加州承载比(CBR)

中图分类号: U416.214

文献标志码: A

Graded and broken stone composing design method based on deformation resistance

MA Biao, WANG Bing-gang

(Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education,
Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: The primary disadvantage of the graded and broken stone is easy to lead the obvious plastic deformation. According to the testing results of CBR and the shear performance using the flexible material shear performance tester, the composing design method based on deformation resistance was studied. The result indicates that: it should take CBR and the shear strength as the performance controls parameter during the design; CBR should not be less than 180%, and shear strength should be greater than 0.52 MPa; it should take the maximum grain size, n value of Taibol equation, key sieve pores and its rational change range as the grade controls parameter; the maximum grain size should be 31.5 mm, may be broaden to 37.5 mm while request isn't high; the n value should be controlled between 0.45 and 0.50, suitably is 0.5; some sieve pores as 4.75 mm, 2.36 mm, 0.60 mm, 0.075 mm, should be controlled as key sieve pores, their passing rate should be within the rational change range based on the double control index. The

收稿日期:2006-11-10

基金项目:国家西部交通建设科技项目(200231881205)

作者简介:马 磊(1972-),男,甘肃会宁人,副教授,博士, E-mail:mb@gl.chd.edu.cn.

graded and broken stone composing design method based on deformation resistance was put forward. The testing road shows that the design method can effectively control the plastic deformation of graded and broken stone. 4 tabs, 5 figs, 10 refs.

Key words: road engineering; graded and broken stone; plastic deformation; grade composing; design method; shear strength; California bearing ratio

0 引言

级配碎石是一种应用极为广泛的筑路材料,常作为路面基层或底基层。尤其是作为一种散体材料,其非线性特点和良好的排水性能,可“吸收”半刚性基层裂缝尖端的应力应变,减少和延缓路面反射裂缝的产生,改善路面结构排水性能,因而被国内外应用于沥青面层与半刚性基层之间设置的柔性过渡层,形成“倒装结构”。为此,国内外对级配碎石的材料组成、力学特性和透水性能等开展了大量研究,对其级配组成及其设计方法做了相关规定。文献[1]提出:“对于级配集料,主要控制颗粒的组成,特别是最大粒径、5、0.5、0.075 mm以下颗粒的含量以及塑性指数”。

工程实践表明,级配碎石作为路面柔性结构层的主要缺陷是易产生较大的塑性变形。这种塑性变形的本质是粒料之间的剪切变形,因此,可以直接利用级配碎石的抗剪切变形能力来有效地控制塑性变形^[2-10]。目前,国内外衡量无粘结粒料强度及变形能力的经典指标是加州承载比(CBR)值,同时也是评价级配碎石力学特性的主要指标。动三轴试验得出的动弹性模量也被用于评价级配碎石的强度与抗变形能力,但级配碎石的级配组成设计主要由 CBR 值控制。本文在对现行级配组成设计方法分析的基础上,针对级配碎石的塑性变形,根据连续密级配碎石的 CBR 试验和利用自行研发的柔性材料剪切性能测试仪进行的剪切性能试验结果,提出采用 CBR 值与剪切强度共同评价级配碎石的抗变形能力,得出了基于 CBR 值和剪切强度双指标控制的级配碎石关键筛孔通过率合理变化范围与级配组成设计方法。

1 现行级配组成设计

文献[1]^[3]中对级配碎石的组成设计较为简单,按原材料技术要求选择碎石材料后,根据推荐级配组成范围拟定初选级配,采用重型击实试验确定最佳含水质量分数和最大干密度,对初选级配进行 CBR 试验验证,确定满足要求的目标级配。在实际

应用过程中,存在以下主要问题。

(1)级配组成推荐范围过宽。文献[1]^[3]根据已有研究成果和实践经验,分别对作为过渡层和基层的级配碎石的不同筛孔通过率推荐了变化范围,来作为初选级配的指导依据。但推荐变化范围过宽,造成设计中的随意性较大,不同的设计人员,对级配碎石的认识不同,考虑的侧重点不同,在推荐变化范围内的取值就不同,有些偏重于中值控制设计,有些偏重粗集料控制,导致级配组成明显不同。通过本文试验表明,在文献[1]^[3]推荐的级配组成范围内改变不同筛孔的通过率,对混合料的力学特性和稳定性有显著影响。文献[1]^[3]推荐变化范围内不同级配组成的混合料,实际路用性能差异较大,使文献[1]^[3]设计方法的可操作性变差,而主要依赖于设计人员的经验。

(2)控制指标单一。文献[1]^[3]设计方法仅采用 CBR 值验证设计级配的路用性能,而 CBR 值作为级配碎石的力学特性指标,虽可以表征其强度和抗变形能力,但仅反映级配碎石在特定变形下的强度,且无法直接反映级配碎石在荷载作用下的塑性变形。而塑性变形是级配碎石的主要弱点,仅采用单一指标无法有效平衡不同性能之间的要求,不利于级配碎石的综合性能优化,可能会导致一些重要功能无法充分发挥。

(3)不利于定量控制施工质量。文献[1]^[3]设计方法的级配组成推荐范围过宽,控制指标单一,在施工质量控制中除提出 CBR 值定量控制标准外,其他如级配组成、筛孔通过率等均均为定性要求,无法有效控制施工质量,往往使施工级配与设计级配差异较大,实际成型混合料的性能变异性较大。级配碎石作为松散颗粒材料,施工难度较大,若控制不严,成型质量很难保证,这也是制约级配碎石广泛应用的主要原因。

基于以上原因,本文针对级配碎石的塑性变形问题,根据试验研究结果,提出级配组成设计的控制参数,以 CBR 值和剪切强度为控制指标,提出双指标控制的级配碎石组成设计方法。

2 级配组成设计控制参数

2.1 性能控制参数确定

(1) CBR 值控制标准。国内外有关级配碎石的 CBR 试验研究开展较多,且文献[1]^[8]总结了大量经验,本研究设计方法的 CBR 值控制标准与文献[1]^[8]要求保持一致。对于本研究的过渡层,采用文献[1]^[8]基层要求, CBR 值不小于 180%。

(2) 剪切强度控制标准。目前国内外尚无有关级配碎石剪切性能的研究成果,本研究以青藏(青海—西藏)公路(二级公路)设置级配碎石层的路面结构组合为例,用有限元法计算分析级配碎石结构层在标准轴载 BZZ-100 作用下的剪切状况,以级配碎石层中部靠近车轮内侧边缘的位置作为剪切破坏的最不利位置,考虑施工和超载等因素,根据剪切试验中平行试验剪切强度的极差确定修正安全系数为 1.4,以剪切破坏最不利位置的竖向剪切应力提出剪切强度控制标准,即剪切试验的剪切强度应大于 0.52 MPa。

2.2 级配控制参数确定

(1) 最大粒径 D_{\max} 。通过对不同最大粒径、不同级配组成的 9 个连续级配的最大干密度、CBR 值和剪切试验研究得出,级配碎石的最大粒径宜为 31.5 mm,要求不高时可以放宽到 37.5 mm,但必须控制施工离析。

(2) 泰波级配指数 n 值。本文采用泰波公式计算和关键筛孔通过率控制相结合的方法选择初选级配,为此对 n 值予以控制。由 n 值对级配碎石 CBR 值、剪切强度、渗水系数和导热系数的影响分析得出, CBR 值随 n 值的增大而减小,且 n 值越大,减小幅度越大,应控制 n 值不大于 0.50,且 D_{\max} 越大,控制应越严格;剪切强度随 n 值的增大而减小,当 n 值大于 0.50 后影响程度较小, n 值应控制在 0.45~0.50 之间;渗水系数随 n 值的增大而增加;导热系数随 n 值的增大而减小。因此,综合考虑 n 值的影响, n 值应控制在 0.45~0.50 之间,以 0.50 为宜。

(3) 关键筛孔及其通过率合理变化范围。由单一筛孔通过率对级配碎石 CBR 值、剪切指标影响分析得出, 4.75、2.36、0.60、0.075 mm 筛孔通过率变化对 CBR 值和剪切强度有明显影响,应作为关键筛孔予以控制,其相互影响曲线如图 1~图 4 所示。根据 CBR 值不小于 180% 和剪切强度大于 0.52 MPa 两个控制指标,可以确定关键筛孔基于双指标控制的通过率合理变化范围。

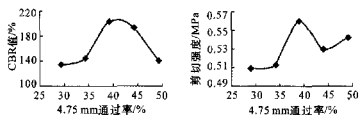


图 1 CBR 值、剪切强度与 4.75 mm 筛孔通过率影响曲线

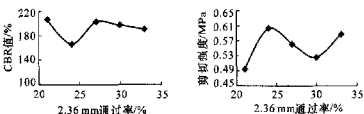


图 2 CBR 值、剪切强度与 2.36 mm 筛孔通过率影响曲线

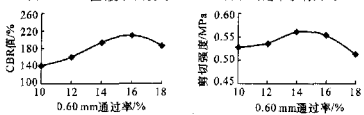


图 3 CBR 值、剪切强度与 0.60 mm 筛孔通过率影响曲线

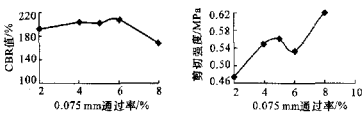


图 4 CBR 值、剪切强度与 0.075 mm 筛孔通过率影响曲线

由图 1 可知, 4.75 mm 筛孔通过率在 37.0%~45.5% 之间时, CBR 值大于 180%; 当通过率大于 35% 时, 剪切强度大于 0.52 MPa。考虑两个指标都满足要求, 则 4.75 mm 筛孔的通过率应在 37.0%~45.5% 之间。

由图 2 可知, 2.36 mm 筛孔通过率大于 25.5% 时, CBR 值大于 180%; 当通过率大于 22% 后, 剪切强度大于 0.52 MPa。由于试验所取的上限 33% 内两个指标都满足要求, 从变化趋势判断通过率范围的上限可放大至 37%, 综合考虑 2.36 mm 筛孔的通过率范围为 25.5%~37.0%。

由图 3 可知, 0.60 mm 筛孔通过率在 13.5%~18% 之间时, CBR 值大于 180%; 通过率在 10%~17.5% 时, 剪切强度大于 0.52 MPa。考虑两个指标都满足要求, 0.60 mm 筛孔的通过率应在 13.5%~17.5% 之间。

由图 4 可知, 0.075 mm 筛孔通过率在 3.5%~8.0% 之间时, CBR 值大于 180%; 通过率在 2.0%~7.5% 时, 剪切强度大于 0.52 MPa。考虑两个指

标都满足要求,则 0.075 mm 筛孔的通过率应在 3.5%~7.5%之间。

综合以上分析,可得出基于 CBR 值和剪切强度双指标控制的级配碎石关键筛孔及其通过率合理化范围(表 1),由此可编制相应的级配控制图。

表 1 关键筛孔通过率合理化范围

关键筛孔/mm	4.75	2.36	0.60	0.075
通过率范围/%	37.0~45.5	25.5~37.0	13.5~17.5	3.5~7.5

3 级配组成设计方法

利用研究得出的级配组成设计控制图,提出基于 CBR 值和剪切强度双指标控制的级配碎石组成设计方法,设计流程如图 5 所示。

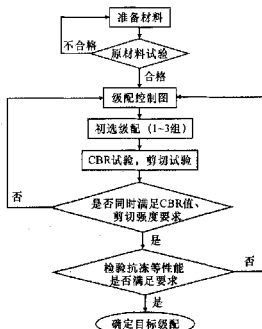


图 5 级配碎石组成设计流程

(1)原材料选择与试验。对初选的原材料进行表观密度、压碎值、针片状质量分数、液限、塑性指数试验,要求满足文献[1]^[5]规定。其中,塑性指数建议小于 4。

(2)初选级配。根据级配控制图中最大粒径和关键筛孔的通过率范围,拟定 1~3 组初选级配。

(3)CBR 试验与剪切试验优选级配。通过 CBR 试验和剪切试验,以 CBR 值大于 180% 和剪切强度大于 0.52 MPa 作为控制指标,从初选级配中优选同时满足两个控制指标要求的级配,作为进一步检验的级配。若初选级配均无法同时满足,则重新确定级配。

(4)抗冻及其他性能试验验证。对检验级配根据特殊使用要求进行验证试验,试验包括抗冻试验、导热系数测试和动三轴试验等。

(5)确立目标级配。通过 CBR 值、剪切强度、抗冻性能等试验检验,确定目标级配。

4 设计方案

青藏公路整治改建工程,拟修筑设置级配碎石层的半刚性基层沥青路面,现按照本文提出的级配组成设计方法确定施工目标级配。

(1)原材料试验。碎石集料来自青藏公路沿线料场碎石,各指标均满足文献[1]^[6]的材料技术要求。

(2)拟定初选级配。根据级配碎石的级配组成设计控制图,拟定 3 个初选级配,关键筛孔及 9.50 mm 筛孔的通过率见表 2。

表 2 初选级配主要筛孔通过率/%

级配编号	筛孔/mm				
	31.5	9.50	4.75	2.36	0.075
试验级配 1	100	65	43	26	13
试验级配 2	100	58	41	31	15
试验级配 3	100	54	38	33	17

(3)CBR 试验和剪切试验。振动成型确定初选级配的最佳含水质量分数、最大干密度,并进行 CBR 试验和剪切试验,结果见表 3 和表 4。

表 3 初选级配最佳含水质量分数、最大干密度及 CBR 试验结果

项 目	试验级配 1	试验级配 2	试验级配 3
最佳含水质量分数/%	5.7	5.6	5.5
最大干密度/(g·cm ⁻³)	2.446	2.450	2.452
CBR 值/%	183	225	233

表 4 初选级配剪切试验结果

级配编号	剪切速率/ (mm·min ⁻¹)	侧压力/ N	位移/ mm	剪切力/ N	剪切强度/ MPa	剪切模量/ MPa
试验级配 1	3	1 000	7.2	8 954.8	0.497 4	8 348.5
试验级配 2	3	1 000	6.7	10 750.3	0.587 2	10 696.8
试验级配 3	3	1 000	7.0	11 028.8	0.612 7	10 541.2

综合考虑 CBR 值和剪切强度,试验级配 2、3 同时满足两个控制指标要求,作为进一步检验级配。

(4)检验并确定级配。本研究由于原材料原因,仅对试验级配 3 进行了动三轴试验和抗冻试验。试验结果表明,该级配的反弹模量值较高,抗冻性能良好。因此,可作为施工目标级配。根据试验结果,在青藏公路整治改建工程中,使用该级配作为生产级配,修筑了试验路,近三年的观测表明,使用状况良好。

4 结 语

(1)现行级配碎石组成设计存在推荐范围过宽、控制指标单一和便于定量控制施工质量等问题,实际应用中易产生较大的塑性变形。

(2)级配组成设计中应以 CBR 值和剪切强度为

组成设计的性能控制参数,以最大粒径、泰波级配指数 n 值和基于双指标控制的关键筛孔及其通过率合理变化范围作为级配控制参数,便于设计与施工中進行定量质量控制。

(3)通过试验路修筑与观测,本文提出的基于抗变形能力的级配碎石组成设计方法可行,使用效果良好,有利于文献[1]^[8]的完善与改进。

参考文献:

References:

- [1] JTJ 034-2000,公路路面基层施工技术规范[S].
- [2] 马 焱.多年冻土地区沥青路面材料组成与结构设计研究[D].西安:长安大学,2005.
- [3] 马 焱,莫石秀,王秉纲.级配碎石抗剪切性能试验研究[J].公路交通科技,2005,22(12):39-41.
MA Biao, MO Shi-xiu, WANG Bing-gang. Testing study on shear performance of graded crushed rock [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22(12): 39-41.
- [4] 马 焱,莫石秀,王秉纲.基于剪切性能的级配碎石关键筛孔合理范围确定[J].交通运输工程学报,2005,5(4):27-31.
MA Biao, MO Shi-xiu, WANG Bing-gang. Rational range determine of key sieve pore for graded crushed stone based on shear performance[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2005, 5(4): 27-31.
- [5] 刘清泉.路用石料的摩擦特性分析[J].中国公路学报,2004,17(3):16-19.
LIU Qing-quan. Analysis of tribological property of pavement stone[J]. China Journal of Highway and Transport, 2004, 17(3): 16-19.
- [6] 王 龙,冯德成.提高级配碎石基层使用性能的方法[J].中国公路学报,2006,19(4):40-45.
WANG Long, FENG De-cheng. Methods for improving using performance of graded broken stone base[J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19(4): 40-45.
- [7] 刘红瑛,戴经梁.不同级配沥青混合料车辙性能的影响[J].长安大学学报:自然科学版,2004,24(5):11-15.
LIU Hong-ying, DAI Jing-liang. Effect of different gradations on asphalt mixture resistance to rut[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(5): 11-15.
- [8] 赵胜利,张争奇,胡长顺.集料级配对抗滑路面抗滑性能的影响[J].长安大学学报:自然科学版,2005,25(1):6-9.
ZHAO Shan-li, ZHANG Zheng-qi, HU Chang-shun. Influence of gradation on anti-skidding performance of asphalt pavement[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(1): 6-9.
- [9] 郝培文,徐金枝,周怀治.应用贝雷法进行级配组成设计的关键技术[J].长安大学学报:自然科学版,2004,24(6):1-6.
HAO Pei-wen, XU Jin-zhi, ZHOU Huai-zhi. Key technologies of aggregate blending by Bailey method [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(6): 1-6.
- [10] 杨红辉,郝培文,戴经梁.掺膨胀剂水泥稳定碎石路用性能[J].交通运输工程学报,2006,6(1):48-51.
YANG Hong-hui, HAO Pei-wen, DAI Jing-liang. Road performance of cement-stabilized aggregate mixture with expansion agent[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2006, 6(1): 48-51.

交通部科技示范工程启动

近日,湖北沪蓉西高速公路和山西忻阜高速公路(忻州至长城岭段)两个科技示范工程实施方案在北京通过了专家评审,标志着交通部正式启动科技示范工程工作。

组织实施科技示范工程是交通部为进一步加快西部交通建设科技成果的应用和推广,充分发挥科技创新对交通建设的引领和支撑作用,推动交通建设又好又快发展的一项重要举措。通过开展科技示范工程工作,加大新技术的集成应用、新材料的推广使用和关键技术的开发创新,是积极探索西部交通建设科技成果推广应用的新途径。

湖北沪蓉西高速公路科技示范工程,重点围绕山区高速公路特长隧道、大跨径桥梁、高陡边坡以及山区特殊路段路面铺装等关键技术开展科技成果应用和开发创新。该项目的实施,对提高中国山区高速公路建设水平、最大限度地减少对生态环境的破坏、因地制宜就地选材和培养工程技术人才等具有重要意义。

山西忻阜高速公路(忻州至长城岭段)科技示范工程,重点围绕路侧安全防护技术、废旧橡胶粉路用技术、道路景观融合设计技术和凤凰岭隧道建设关键技术等开展安全快捷类、资源节约类以及环境友好类科技成果应用和开发创新。该项目的实施,对增强公路运营服务能力、减少占用土地、降低隧道照明能耗、延长重载路面使用寿命、提高桥梁建设质量和工程管理水平、保护生态环境和培养工程技术人才等具有重要意义。