

南京长江二桥南汊桥塔基主要工程地质问题与力学参数的确定

方灯明

(长江水利委员会综合勘测局, 湖北武汉 430010)

摘要: 南京长江二桥南汊桥塔基主要工程地质问题是岩石的强度问题。由于塔基岩石为胶结差的砾岩与砂砾岩, 且结构和颗粒不均匀, 勘探中取样极为困难, 加之岩石常规试验的不适宜性, 使得岩石力学强度问题复杂化。为此勘察期间对塔基岩石工程地质特性进行了较全面的研究, 并结合类似岩石的原位试验对比分析, 确定了符合本大桥的力学参数建议值, 为桩基的优化设计提供了可靠依据。

关键词: 塔基; 岩石强度; 力学参数; 南汊桥。

中图分类号: TU452 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-2383(2001)04-0406-04

作者简介: 方灯明(1957—), 男, 工程师, 1981年毕业于长江水利水电学校, 现从事工程地质勘察工作。

南京长江二桥属特大型桥梁, 位于现南京长江大桥下游 11 km 处, 由夹江北汊桥、八卦洲连接段和大江南汊桥组成。南汊桥全长 1 238 m, 采用主孔跨径 628 m, 五跨连续斜拉桥方案, 跨度国内第一、世界第三。塔基设计垂直总荷载南北主塔各 9×10^5 kN。

该工程由于桥基工程地质条件较差, 塔基河碛水体较深, 各部位第四系淤泥质层与细砂厚度大, 下伏砾岩与砂砾岩胶结差, 结构和颗粒不均, 且存在不同程度的风化, 钻探取心较困难, 加之岩石室内常规试验的不适宜性和局限性, 因此难以确定岩石的力学参数值, 为解决这一难题, 在勘察期间, 加强了对岩石工程地质特性的研究。室内试验与现场试验相结合, 通过对比分析研究, 确定了该大桥的力学参数建议值。

1 塔基岩体工程地质特性

1.1 岩性及颗粒组成

塔基岩体均为上白垩统浦口组 (K_2p) 岩层, 其中北塔墩区基岩为浦口组上部 (K_2p_2) 岩层, 岩性以

紫红色砂砾岩为主, 夹砾岩, 局部夹薄层粉砂岩; 南塔墩区基岩为浦口组下部 (K_2p_1) 岩层, 岩性以紫红色厚层砾岩为主夹少量砂砾岩。两者厚度均大于 100 m。岩石颗粒成分两者差异较大, 砾岩砾粒含量平均占 63.09%, 砂粒平均占 35.84%, 粉粒平均仅 1.09%; 而砂砾岩砾粒含量平均占 37.5%, 砂粒平均占 59.63%, 粉粒平均占 2.75%, 粘粒平均 0.12%。

1.2 胶结物的物质成分

对两种岩石的胶结物成分采用差势、“X”衍射进行分析试验, 结果表明胶结形式为孔隙衬垫式及加大式胶结, 胶结物的主要矿物成分为蒙脱石、石英、方解石和长石, 其次为白云石、高岭石、水云母、赤铁矿、沸石和绿泥石。表明岩石胶结不良, 以泥质胶结为主。

1.3 岩体风化及声学特性

采用声波 (v_p) 测井, 测得钻孔不同深度、不同岩性的连续曲线和相应波速指标, 以便确定孔内岩体的软硬与完整性, 以及岩体的风化深度。根据声波曲线, 南、北塔墩区各风化厚度及声波值见表 1。从表 1 中看出岩体波速在不同风化岩体及不同岩石中有其差别, 但差别不大。

另在室内对微新砾岩与砂砾岩岩块声波进行测

表 1 南、北塔墩区岩体风化厚度与实测声波平均值

Table 1 Weathered rock thickness and average sound velocity around south and north pier foundation of the second Nanjing bridge across the Changjiang River

分带	北塔区(砂砾岩)			南塔区(砾岩)		
	厚度 d/m	顶板高程 h/m	$v_p/(km \cdot s^{-1})$	厚度 d/m	顶板高程 h/m	$v_p/(km \cdot s^{-1})$
全强风化	9.05~13.63	-60.40~57.30	2.65	14.15~21.21	-47.80~41.60	2.71
弱风化	28.97~33.20	-69.43~-70.90	2.74	17.38~26.00	-61.90~-62.80	2.76
微风化		-98.40~-104.10	2.81		-79.30~-88.80	2.83

试,砾岩平均为 1.95 km/s,砂砾岩 1.5 km/s,显著低于原位测试的波速值,分别低 30%和 53%左右。

1.4 岩石物理力学性质

根据室内试验,砾岩的天然容重 2.16~2.46 t/m³,天然含水率为 3.60%~9.60%,饱水率 5.73%~22.69%,全、强风化带中岩块天然单轴抗压强度均值 0.72 MPa,弱风化带均值 1.03 MPa,微新岩石均值 1.36 MPa;砂砾岩天然容重 2.18~2.43 t/m³,天然含水率为 4.70%~12.20%,饱水率 5.0%~18.91%。全强风化带中岩块天然抗压强度均值 0.59 MPa,弱风化带均值 0.79 MPa,微新岩体 1.28 MPa。强度值反映两类岩石均为极软质类岩石,在胶结程度上无明显差异,两类值的差异主要是砾岩和砂砾岩在砾粒含量上的差异所致。

室内岩块三轴强度试验可得出以下关系式:

$$\sigma_1 = \sigma_0 + A\sigma_3$$

式中: σ_1 为有围压 σ_3 条件下的抗压强度; σ_0 为室内无围压条件下的抗压强度; σ_3 为围压; A 为围压系数。试验成果 $\sigma_0 = 0.52 \sim 4.80$ MPa,平均值为 2.11 MPa, $A = 3.60 \sim 7.55$,平均值 5.39。岩石的摩擦系数 $\mu = 0.86 \sim 0.91$,凝聚力 $c = 0.41 \sim 0.57$ MPa。

1.5 岩体承载力与变形特性

岩体承载力及变形特性试验选在南岸上游距桥轴约 500 m 的山体内进行的,用风镐开凿一条长 25 m 的试验平硐,岩层为浦口组下部($K_2 p_1$)层位,以砾岩为主。岩体承载力试验压力 p —变形 ω 关系曲线见图 1,由于受加荷设备、试验硐的空间和试验时间的限制,大部分试验荷载加至 2 500~3 000 kN 后停止。岩体未达到破坏极限。仅 203 点因层间剪切面和上盘夹泥质粉砂岩影响到极限值 31 MPa 时破坏。未破坏的试验点荷载—沉陷关系曲线仍处在线性段,极限承载力大于 50 MPa。为便于比较分析,现场进行了两点单轴抗压强度试验,砾岩单轴强度为 5.8 MPa,砂砾岩为 3.3 MPa。

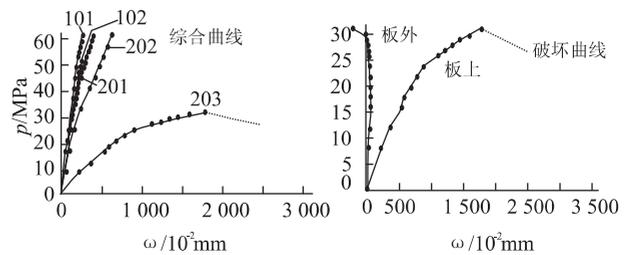
图 1 承载力 p —变形 ω 关系曲线

Fig. 1 Variation curves between load-bearing p and deformation ω

岩体变形特性其压力—变形关系曲线规律性较好,试验结果砾岩变形模量 3.19, 3.09 GPa,平均值 3.13 GPa;砂砾岩变形模量 6.08, 4.68, 1.78 GPa,变异性较大,前者泥质胶结,后者受层间剪切面及含泥质粉砂岩影响,平均值 4.18 GPa。

现场单轴试验的变形模量为 1 GPa 左右,单轴压缩法比承压板法的变形参数低,它与单轴试件卸荷和周边约束解除后的条件有关。

1.6 桩周摩阻力

桩周摩阻力试验是在探硐内进行,采用桩径 1 m,桩径与桩长 1:1,由于荷载加至 10⁴ kN 均达不到极限破坏,后将桩地表以下岩体凿除长度 1/5~1/2。破坏荷载最高达 9 700 kN,部分因顶板支撑岩体破坏而桩未达破坏。沉降仍在线性以内(图 2)。至极限破坏试桩 2 点,明显屈服 1 点。试验结果列入表 2。

2 塔基主要工程地质问题

南京长江二桥南汉桥,塔基工程地质问题主要是岩体承载力问题,其次为塔基变形问题。从室内资料分析,在天然状态下微新砾岩和砂砾岩块单轴极限强度均值分别仅为 1.36 和 1.28 MPa,均属极软质岩石。又现场岩块单轴强度砾和砂砾岩分别为 5.8, 3.3 MPa,岩体承载力砾岩 > 50 MPa,砂砾岩

表 2 桩周摩阻力试验成果

Table 2 Results of pier surface friction test

岩性	编号	σ /MPa	A /cm ²	W /kN	p_1 /MPa	p_2 /MPa	S /mm
砾	τ_{101}	36.00	18 990.93	9 115.6	4.2	4.8	15.97
	τ_{102}	34.81	32 011.51	5 634.0	—	21.8	0.67
岩	τ_{103}	29.69	16 723.70	9 699.8	5.2	5.8	9.46
砂	τ_{201}	29.91	15 688.49	8 001.1	5.0	25.1	2.46
	τ_{201}	30.76	25 622.53	5 124.5	—	72.0	1.20
砾	τ_{203}	34.40	19 179.42	8 439.0	—	74.4	1.04

σ . 混凝土桩体抗压强度; A . 桩周面积; W . 最大荷载; p_1 . 屈服值; p_2 . 峰值; S . 沉降位移.

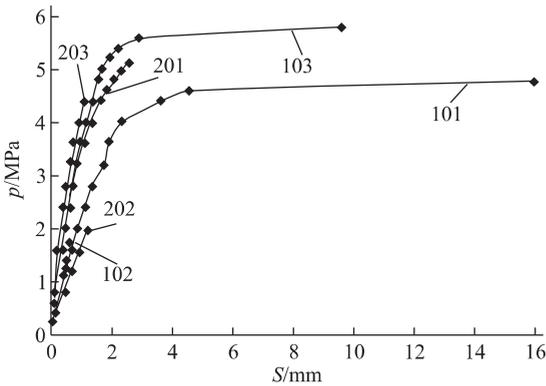


图 2 桩周摩阻力试验压力 p 与沉降 S 关系曲线

Fig. 2 Variation curves between loading p and subsidence S shown by pier surface friction test

31 MPa. 各类试验值相差悬殊, 给岩石力学参数的确定带来了一定难度. 这些参数关系到塔墩的工程地质评价和桩基础的设计.

3 岩石力学参数的确定

塔基岩石力学参数的确定要解决的问题一是塔基岩体的强度, 二是岩体的工作状态. 据塔基岩石的声波特征分析, 岩块与钻孔及平硐原位声波值之比为 1 : 2, 岩块与岩体变形模量之比约 1 : 3~1 : 4, 岩块单轴抗压强度与岩体极限承载力之比为 1 : 10~1 : 25. 表明在同一岩石中, 岩块强度低于岩体的实际强度. 而造成岩块低强度值的主要原因是砾石, 砂砾岩这一特殊岩石在钻进或取样过程中由于受振动、卸荷、扰动影响所致. 现场原位试验所选位置地层为白垩系浦口组下部 ($K_2 p_1$) 岩层的底部, 与桥基岩石相比, 岩石含钙质有增加的趋势, 性状也稍好些; 加之平硐位于河床地下水位以上, 岩石含水量低于塔基岩石 16%~30%. 由于这些原因, 原位试验值较塔基岩体偏大. 因此岩块及原位岩体

表 3 南汉桥塔基岩石力学参数前、后建议值

Table 3 Original and verified suggested mechanical parameters of pier foundation of the second Nanjing bridge

岩石名称	风化分带	p /MPa		F /MPa	
		原参数	修改后	原参数	修改后
砂	强风化	0.6	0.6~0.8	0.14	0.25~0.30
	弱风化	0.6	1.3~1.6	0.15	0.30~0.35
岩	微风化	0.8~1.0	2.0~2.2	0.17	0.35~0.40
	强风化	0.8	0.8	0.18	0.25~0.30
砾	弱风化	1.0	1.4~1.8	0.20	0.35~0.40
	微风化	1.0~1.2	2.2~2.4	0.22	0.40~0.45

p . 地基允许承载力; F . 钻孔桩周极限摩阻力.

强度均不能代表塔基岩石的真实强度.

该大桥属特大型桥梁, 主塔墩桩端埋深较大, 桩端持力层工作状态将处于较大围压之下, 故力学参数的确定应考虑其围压效应.

依照室内三轴试验 R 值为上限, $F \cdot \delta_3$ 作安全储备 (δ_3 为安全储备系数), 相当于现场承载力试验最低值 3 MPa 折减 1/15 左右.

桩周极限摩阻力参数在现行公路桥涵设计规范中对本工程基岩类别尚无参考取值范围. 若采用三轴试验 c 值为参考指标, 有较大的富余. 桩周摩阻力试验受力条件较为复杂, 桩受力后在桩周岩体间以及桩周岩体中产生剪应力, 桩产生位移后, 由于桩周岩体的约束, 在桩及桩周岩体中产生垂直于桩轴方向的压应力, 与混凝土/基岩胶结面岩抗剪强度试验受剪应力和正应力的情况有近似性. 可根据水工建筑物有关混凝土与基岩胶结面抗剪强度 c 值参考取值, 相当于现场桩摩阻力试验参数折减 1/10 左右.

上述力学参数确定原则, 避免了原孤立的采用岩块强度进行取值, 使力学参数较前有较大的提高 (表 3).

4 结语

(1) 本工程塔墩岩石为极软岩层, 它的破坏机理以胶结物破坏为主, 因此, 岩石受侧向应力和约束条件影响显著. 在选择岩石力学参数时应考虑到围压效应, 适当提高岩石力学参数指标, 不宜采用岩块强度选取参数; (2) 桩周摩阻力可结合现行公路桥涵设计规范, 采用三轴试验 c 值 (粘聚力) 为参考指标, 以现场桩周摩阻力试验低值折减 1/10 左右选取; (3) 根据建议的力学参数值, 主塔基础桩端高程比设计方案提高了 10 m, 从而缩短了桩长, 降低了工程造

价和施工难度,并可缩短工期.

MAIN PROBLEMS AND DETERMINATION OF FOUNDATION STRENGTH OF PIER OF THE SECOND NANJING BRIDGE

Fang Dengming

(Investigation and Survey Bureau of the Changjiang River Water Resources Committee, Wuhan 430010, China)

Abstract: The rock strength is one of the main problems related to the pier foundation of the second Nanjing bridge across the Changjiang River. Poor cementation of conglomerate with sandy conglomerate and wide range of gravel diameters make it difficult to sample and to test by the conventional methods. A thorough geological investigation having been carried out and field tests conducted some mechanical parameters are suggested in this paper. Our work has provided a dependable basis for optimization design of the bridge piers.

Key words: pier; rock strength; mechanical parameter; the second Nanjing bridge.