

# 预应力混凝土连续梁桥支座更换及 梁体复位施工监控研究

黄颖<sup>1</sup>, 许永吉<sup>2</sup>

(1. 福建船政交通职业学院建筑工程系, 福州 350007; 2. 福建省高速公路养护工程有限公司, 福州 350001)

**摘要:**对预应力混凝土连续 T 梁桥苏洋大桥进行了支座更换和梁体复位施工。通过对施工过程中梁体位移和梁体应力(应变)进行实时监控,苏洋大桥的支座更换和梁体复位施工安全得到保证,工程施工在不中断交通的情况下顺利完成。通过对大桥维修加固后的桥梁线形进行测量,证明了大桥的支座更换和梁体复位施工完成了既定目标。

**关键词:**预应力混凝土连续梁桥;支座更换;梁体复位;施工监控

**中图分类号:**U446.1

**文献标志码:**A

以预应力混凝土连续 T 梁桥苏洋大桥的支座更换和梁体复位施工为背景工程,对苏洋大桥在支座更换和梁体复位施工过程中的梁体位移、梁体应力(应变)进行了实时监控。通过大桥的支座更换和梁体复位式监控,保证了大桥支座更换和梁体复位施工的安全顺利进行。最后,通过对大桥加固维修后的桥梁线形进行测量,对大桥的加固维修效果进行评估<sup>[1-2]</sup>。

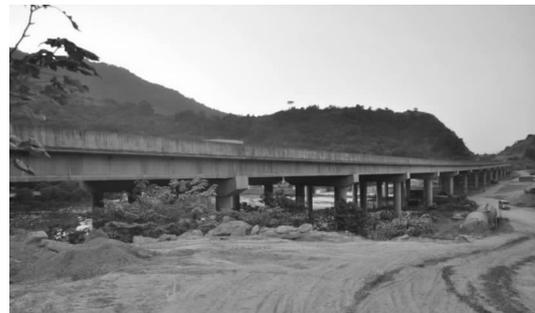


图 1 苏洋大桥照片

## 1 背景工程

### 1.1 工程概况

福建省苏洋大桥(图 1)位于福银高速公路福州段,其上部结构为预应力混凝土双支座准连续 T 梁,下部构造为实体式桥台和柱式墩、桩基础。苏洋大桥中心桩号 K34+629,左右幅桥长均为 356 m,桥跨组合为 14×25 m;左、右幅均共有 140 个支座,其中 120 个矩形板式橡胶支座,20 个四氟矩形板式橡胶支座。

### 1.2 主要病害原因及其现状

根据福建省高速公路养护公司 2012 年现场检测的结果,苏洋大桥的病害主要表现在基础滑移、桥墩偏位

歪斜、主梁梁体滑移偏位、主梁梁体开裂和支座变形破坏等。这主要是由于大桥所处的地理位置特殊,地基基础条件较差。苏洋大桥位于软基地段,软基面积大深度厚。大桥建成后,大桥右侧新建一座水泥厂,地表堆载变化导致地基基础与软基位置水压力过大,挤压桥墩向左侧偏移。地基和基础的不正常偏移,导致苏洋大桥桥梁上下部结构偏位,并最终导致 T 梁与支座发生严重错位变形。

根据检测结果,苏洋大桥右幅桥梁在 T 梁腹板、翼缘板和横隔板等上有共 305 条斜裂缝,181 条纵向裂缝,

收稿日期:2013-09-10

基金项目:福建省交通厅交通科技项目(201336)

作者简介:黄颖(1982-),女,福建宁德人,博士生,主要从事预应力结构动力性能与耐久性方面的研究,(E-mail)huangying6820@163.com

斜裂缝总长达到共 200.9 m,纵向裂缝总长达到 282.2 m。左幅桥梁有 131 条斜裂缝、32 条纵向裂缝,斜裂缝总长达到共 79.6 m,纵向裂缝总长达到共 48.9 m。

苏洋大桥全桥多个支座出现橡胶开裂、老化、变形现象。桥墩及桥台也出现裂缝及支座垫石破碎脱落的病害现象。

### 1.3 梁体复位施工工况

根据现场施工要求,将苏洋大桥梁体复位工程施工分为四个主要工况,工况 1:7#墩、8#墩左幅梁体复位;工况 2:7#墩、6#墩左幅梁体复位;工况 3:7#墩、8#墩右幅梁体复位;工况 4:7#墩、6#墩右幅梁体复位。

## 2 施工监控

### 2.1 位移监控

位移监控主要包括支座处主梁的局部位移和全桥主要控制截面位移的监控。支座处主梁的局部位移监控是控制分级顶推的位移,保证其按照施工方案的设计指标进行顶推,并防止其横桥向相对位移差超标,以避免相对位移差对上部结构产生过大的附加应力,从而实现其同时同步顶推。其具体的监控方式为在顶推的千斤顶附近位置布置横桥向的位移计测点,监测上部结构梁体的顶推位移量,保证相对位移差满足设计要求。苏洋大桥位移监控测点平面位置如图 2 所示。

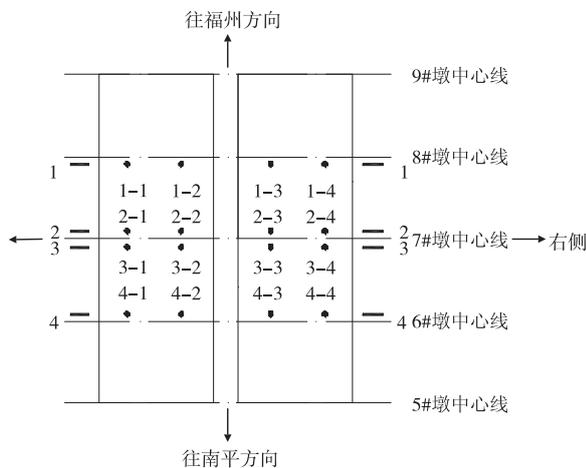


图 2 苏洋大桥位移监控测点平面位置

### 2.2 应力(应变)监控

在施工过程中,要保证桥梁结构各主要受力部位(特别是主梁结构)的应力在预想和容许的范围内,需对其进行应力监测与控制,以确保结构在施工期间的安全性。

根据各施工工况的分析结果,在主梁最不利截面布置应变测点,以观察在支座维修更换过程中这些控制截面的应力变化的分布情况,然后把实测结果及时与监控计算和设计计算结果相验证,在计入误差和变量调整后,分析以后每阶段乃至支座更换完毕后结构的实际状态。苏洋大桥应力(应变)监控测点平面位置如图 3 所示。

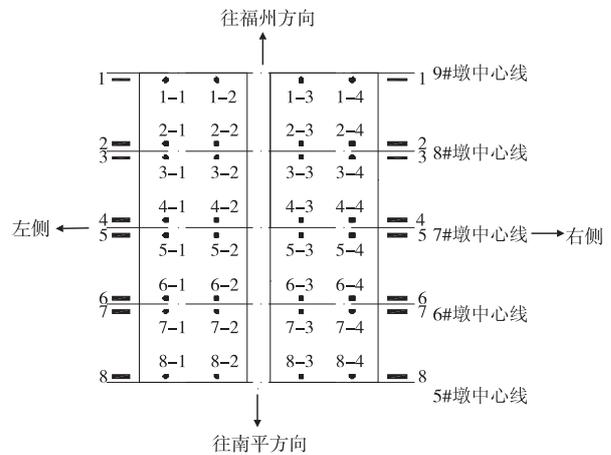


图 3 苏洋大桥应力(应变)监控测点平面位置

### 2.3 梁体水平变位观测

按桥位现场的地形情况,结合具体桥位及观测对象,建立坐标量测控制网如图 4 所示,共设置 ZQ1、ZQ2、ZQ3、ZQ4 四个控制点。其中,ZQ1 位于右幅水泥厂大门边上的水泥地上,ZQ2 位于高架桥右幅锥坡基岩上,ZQ3 位于左幅国道路肩水泥地上,ZQ4 位于左幅山体基岩上。

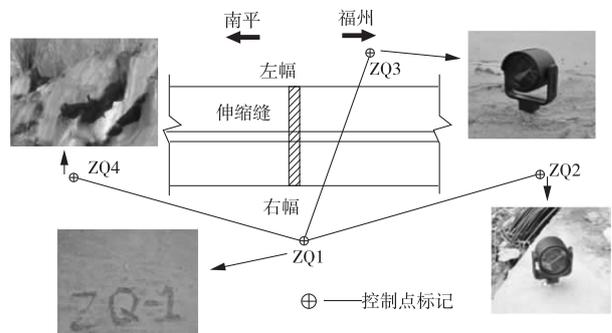


图 4 梁体水平变位观测控制点示意图

## 3 施工监控测点布置

### 3.1 工况 1 的测点布置

工况 1 进行 7#墩、8#墩左幅的梁体复位。根据理论分析的结果<sup>[3-4]</sup>,在 T 梁梁肋底部布置位移测点,以测量

在分级加载工况下主梁横桥向的位移。位移测点平面布置如图 2 所示,8#墩位移测点横桥向布置如图 5 所示。在 T 梁顶板下缘布置应力(应变)测点,应力(应变)主要测试苏洋大桥在梁体复位过程中的应力变化,根据理论分析的结果,应力(应变)传感器主要布置在千斤顶加载区,T 梁梁肋的上方,并沿纵桥向分布。应力(应变)测点平面布置如图 3 所示,9#墩应力(应变)测点横桥向布置如图 6 所示。

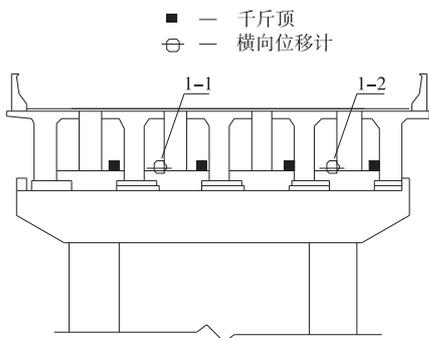


图 5 工况 1 8#墩位移测点布置示意图

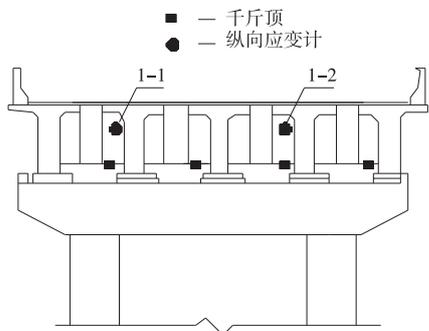


图 6 工况 1 9#墩应力(应变)测点布置示意图

### 3.2 工况 3 的测点布置

工况 3 进行 7#墩、8#墩右幅的梁体复位。根据理论分析的结果,在 T 梁梁肋底部布置位移测点,以测量在分级加载工况下主梁横桥向的位移。位移测点平面布置如图 2 所示,7#墩位移测点横桥向布置如图 7 所示。在 T 梁顶板下缘布置应力(应变)测点,应力(应变)主要测试苏洋大桥在梁体复位过程中的应力变化,根据理论分析的结果,应力(应变)传感器主要布置在千斤顶加载区,T 梁梁肋的上方,并沿纵桥向分布。应力(应变)测点平面布置如图 3 所示,9#墩应力(应变)测点横桥向布置如图 8 所示。

工况 2 和工况 4 分析方法分别同工况 1 和工况 3。

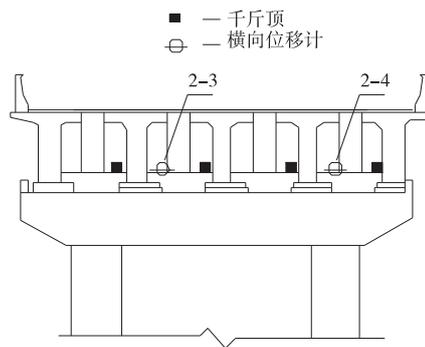


图 7 工况 3 7#墩位移测点布置示意图

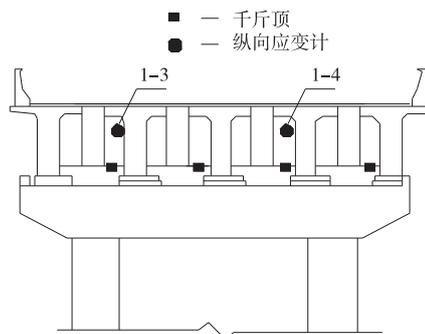


图 8 工况 3 9#墩应力(应变)测点布置示意图

### 3.3 梁体水平变位监测的测点布置

如图 9 所示,左幅在梁体中部共布设 Z1 - Z4 观测点,观测标志为反光片;Z5 - Z6 为设置在防撞栏杆的变位观测点,观测标志为反光镜;同时设置桥墩变位观测点 Z7,观测标志为反光片。

如图 10 所示,右幅在梁体中部共布设 Y1 - Y4 观测点,观测标志为反光片;Y5 - Y6 为设置在防撞栏杆的变位观测点,观测标志为反光镜;同时设置桥墩变位观测点 Y7,观测标志为反光片。

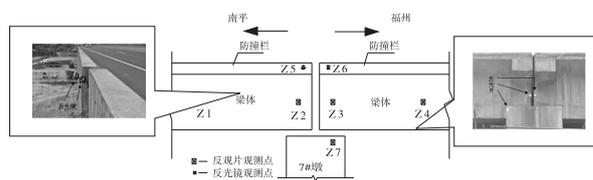


图 9 梁体左幅观测点布置

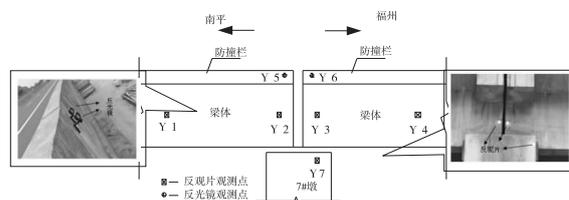


图 10 梁体右幅观测点布置

## 4 施工监控结果及分析

### 4.1 7#墩、8#墩右幅梁体复位

7#墩、8#墩右幅梁体复位施工过程中,实测位移与施工单位的加载量基本一致,测得的位移之间的差别在 1 mm 以内,实现了预定的加载效果。7#墩、8#墩右幅梁体复位施工过程中混凝土主梁的应变累计增量见表 1。通过表 1 可知,主梁复位前后混凝土最大应变增量为 74  $\mu\epsilon$  (受拉),混凝土的弹性模量取  $3 \times 10^4$  MPa,则混凝土最大应力为 2.22 MPa (受拉)。

表 1 工况 1 各测点累计应变增量(单位: $\mu\epsilon$ )

工况 1	1-1	1-2	2-1	2-2	3-1	3-2	4-1	4-2
初始值	0	0	0	0	0	0	0	0
第一级	11	12	6	5	5	4	1	1
第二级	24	21	10	11	13	11	2	2
第三级	36	37	17	14	19	17	3	5
第四级	44	43	21	20	23	21	6	7
第五级	52	55	25	26	26	27	6	6
第六级	58	59	31	33	29	37	6	6
第七级	65	62	35	33	30	37	5	5
第八级	74	67	40	39	31	40	6	5

### 4.2 7#墩、6#墩右幅梁体复位

7#墩、6#墩右幅梁体复位施工过程中,实测位移与施工单位的加载量基本一致,测得的位移之间的差别在 1 mm 以内,实现了预定的加载效果<sup>[5-6]</sup>。7#墩、6#墩右幅梁体复位施工过程中混凝土主梁的应变累计增量见表 2。将表 2 中应变换算成应力可知,主梁复位前后混凝土最大应变增量为 15  $\mu\epsilon$  (受拉),混凝土最大应力为 0.45 MPa (受拉)。

表 2 工况 2 各测点累计应变增量(单位: $\mu\epsilon$ )

工况 1	5-1	5-2	6-1	6-2	7-1	7-2	8-1	8-2
初始值	0	0	0	0	0	0	0	0
第一级	1	0	2	1	2	2	7	8
第二级	1	2	4	2	2	3	15	14

### 4.3 7#墩、8#墩左幅梁体复位

7#墩、8#墩右幅梁体复位施工过程中,在工况 3 分级加载过程中,实测位移与施工单位的加载量基本一致,测得的位移之间的差别在 5 mm 以内,实现了预定的加载效果。7#墩、8#墩左幅梁体复位施工过程中混凝土主梁的应变累计增量见表 3。将表 3 中应变换算成应力可知,主梁复位前后混凝土最大应变增量为 70  $\mu\epsilon$  (受

拉),混凝土最大应力为 2.10 MPa (受拉)。

表 3 工况 3 各测点累计应变增量(单位: $\mu\epsilon$ )

工况 1	1-3	1-4	2-3	2-4	3-3	3-4	4-3	4-4
初始值	0	0	0	0	0	0	0	4
第一级	11	12	5	6	6	3	4	1
第二级	23	20	6	5	8	6	4	0
第三级	38	32	8	11	8	8	5	5
第四级	30	25	8	12	7	7	1	6
第五级	39	35	15	12	12	13	3	1
第六级	34	31	20	18	18	17	3	3
第七级	45	42	20	18	20	21	2	0
第八级	40	39	18	16	20	20	2	4
第九级	48	48	26	28	28	29	5	1
第十级	56	53	34	33	35	36	2	5
第十一级	53	51	30	31	32	32	0	3
第十二级	61	57	41	42	42	41	1	2
第十三级	70	68	51	51	53	51	2	4

### 4.4 7#墩、6#墩左幅梁体复位

7#墩、6#墩左幅梁体复位施工过程中,实测位移与施工单位的加载量基本一致,测得的位移之间的差别在 1 mm 以内,实现了预定的加载效果。7#墩、6#墩左幅梁体复位施工过程中混凝土主梁的应变累计增量见表 4。将表中应变换算成应力可知,主梁复位前后混凝土最大应变增量为 18  $\mu\epsilon$  (受拉),混凝土最大应力为 0.54 MPa (受拉)。

表 4 工况 4 各测点累计应变增量(单位: $\mu\epsilon$ )

工况 1	5-3	5-4	6-3	6-4	7-3	7-4	8-3	8-4
初始值	0	0	0	0	0	0	0	0
第一级	2	5	3	5	4	3	9	8
第二级	3	5	3	4	6	6	18	15

### 4.5 梁体水平变位监测

对控制点及观测点坐标进行量测,初始观测时假设 ZQ1 坐标(0,0,10),后视 ZQ4 为零方向,量测各控制点及观测点相对位置,如图 11 所示。

如图 12 所示,右幅建立观测坐标系,其中以 X 轴为横桥方向,Y 轴为纵桥向。该坐标系下 Z2、Z3 两点 X 值差为实测距离 5.0 cm。

如图 13 所示,右幅以 Y1 为原点,建立坐标系,其中 Y 轴为横桥方向。该坐标系下 Y2、Y3 两点 X 值差为实测距离 7.3 cm。表 5 为该坐标系下的实测各点坐标。

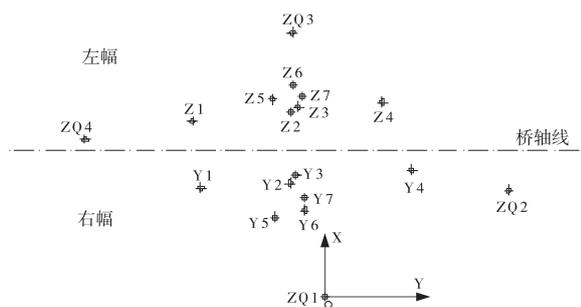


图 11 各观测点及控制点之间平面位置关系

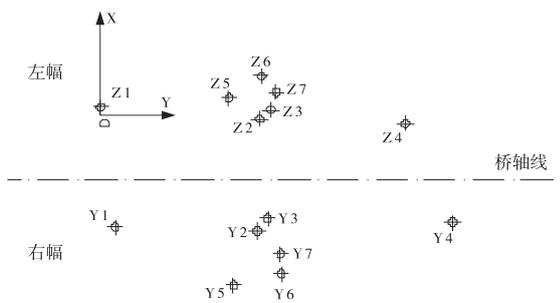


图 12 左幅测量体系

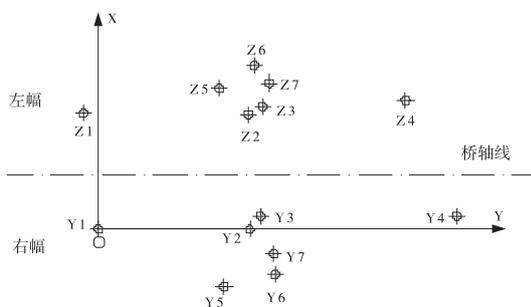


图 13 右幅测量体系

表 5 顶推后左幅主要测点坐标及横桥向差值

测点	左幅主要测点坐标			横坐标差值/m
	X/m 横桥向	Y/m 纵桥向	Z/m 竖直向	
Z5	0.820	25.136	20.946	0.001
Z6	0.821	24.886	20.964	

表 6 示出了左右幅不同体系下各基准点坐标。表 5 示出了顶推完成后左幅主要观测点 Z5、Z6 坐标及其横桥向差值。从表 5 可见,伸缩缝两端梁体错位仅为 0.1 cm。顶推完成后梁体线形较为平顺。表 7 示出了顶推完成后左幅主要观测点 Y5、Y6 坐标及其横桥向差值。从表 7 可见,伸缩缝两端梁体错位仅为 0.1 cm。顶推完成后梁体线形较为平顺。

### 5 结论

苏洋大桥梁体复位和支座更换施工过程中,通过移

表 6 左、右幅测量体系下基准点坐标

测点	横桥向	纵桥向	竖直向
ZQ1	-51.234	46.808	10.000
ZQ2	-39.366	194.975	19.947
ZQ3	38.089	76.848	14.778
ZQ4	18.873	-343.796	33.137
ZQ1	-26.673	50.762	10.000
ZQ2	-3.283	197.551	19.947
ZQ3	64.721	73.742	14.778
ZQ4	12.749	-344.121	33.137

表 7 顶推后右幅测点坐标

测点	坐 标			横坐标差值/m
	X/m 横桥向	Y/m 纵桥向	Z/m 竖直向	
Y5	-0.88	24.868	21.067	0.001
Y6	-0.879	25.169	21.087	

监测、应力(应变监控)和梁体水平变位监控,对大桥梁体复位和支座更换施工过程中和施工前后的混凝土主梁应力变化、施工过程中的梁体位移、施工前后的梁体水平变位情况等指标数据进行了连续观测,保证了大桥在不中断交通情况下的梁体更换和支座更换施工安全,并得出以下结论:

(1)在分级加载的过程中,实测位移与施工单位的加载量基本一致,测得的位移差别在 1 mm 以内;苏洋大桥混凝土主梁梁体在施工过程中横桥向变形协调一致,6#墩(或 8#墩)顶梁体的位移大小约为 7#墩顶梁体位移大小的一半。各工况下预计加载的位移与实测位移基本一致,实现了预定的加载效果。

(2)在梁体复位和支座更换的应力监控中,混凝土主梁复位前后的实测拉伸应力增量不超过混凝土容许拉应力值。

(3)在梁体复位和支座更换施工过程中,主梁梁肋裂缝宽度和长度没有发生变化。

综上所述,苏洋大桥梁体复位和支座更换施工过程中,应力、位移和裂缝监控结果表明,桥梁结构构件在施工过程中是安全可靠的。

### 参 考 文 献:

[1] JTG/T J22-2008,中华人民共和国行业推荐性标准 [S].

- [2] JTG/T J23-2008, 中华人民共和国行业推荐性标准[S]. 74-78.
- [3] 陈宝春. 桥梁工程[M]. 北京:人民交通出版社,2009.
- [4] 马昌喜,张正科,张军平,等. 公路交通可持续发展动态评估实证研究[J]. 兰州交通大学学报,2011,30(3): 59-62.
- [5] 张生瑞,邵春福,严海. 公路交通可持续发展评价指标及评价方法研究[J]. 中国公路学报,2005,18(2):
- [6] Zhou Wei,Zhang Shengrui,Sun Xiaoduan. Study on comprehensive evaluation of highway network by artificial neural network [C]//Proceedings of the 4th Meeting of Hong Kong Society for Transportation Studies. Hong Kong: Hong Kong Society for Transportation Studies, 1999:199-207.

## Construction Monitoring for Bearing Replacement and Girder Adjusting of Prestressed Concrete Girder Bridge

*HUANG Ying<sup>1</sup>, XU Yong-ji<sup>2</sup>*

(1. Architectural Engineering Department, Fujian Chuanzheng Communications College, Fuzhou 350007, China;

2. Fujian Expressway Maintenance Engineering Co., Ltd., Fuzhou 350001, China)

**Abstract:** The construction, the bearing replacement and the girder adjusting are carried out for the prestressed concrete bridge, Suyang Bridge. The displacement and the strain of the girder are measured timely. According to measurement result, the safety of the construction for the bearing replacement and the girder adjusting is guaranteed. The construction of the project is finished without traffic interruption. Finally, according to the figure measurement of the bridge after the construction, the desired result of the construction is testified.

**Key words:** prestressed concrete girder bridge; bearing replacement; girder adjusting; construction monitoring