

跨 徑 40 米
預应力混凝土桥梁
的 設 計 与 施 工

田 原 保 二 等 著
尹家驊 張 寰 譯



人 民 交 通 出 版 社

584

605

目 录

第一章 序言	4
1. 从计划到完成的经过	4
2. 工程一般概要	5
第二章 梁的设计	8
1. 设计条件与设计要项	8
2. 设计计算	9
(1) 荷重作用于横梁与主梁交点的情况下	9
(2) 荷重作用于主梁 k 和作用于横梁中间的情况下	11
(3) 对各个主梁的分担率	13
(4) 应力计算	16
第三章 混凝土梁的制备	19
1. 为决定混凝土配合比的预备试验	19
2. 混凝土的施工设备	21
(1) 混凝土拌合厂的计量装置	21
(2) 粗细骨料的储藏和运输	21
3. 主梁混凝土工程	22
(1) 使用材料	22
(2) 作业台	26
(3) 钢筋绑扎、铁皮套管配置及模型支架	28
(4) 混凝土的配合	29
(5) 混凝土的浇注	31
(6) 混凝土的养生及硬化温度	34
(7) 骨料含水量的测定	36
(8) 碎石、砂、水及混凝土的温度	37
(9) 坍落度与灰水比	37
(10) 从采用试件到主梁的换算	46
(11) 主梁混凝土的抗压强度	52

4. 主梁应力导入施工	53
(1) 千斤頂、錨盃接合部份摩擦損失系数的測定	63
(2) 鋼絲束摩擦損失系数的測定	32
(3) 拉紧鋼絲束的操作过程	62
(4) 鋼絲束拉紧操作中各种測定結果	64
(5) 从摩擦系数 ϕ 、 λ 的变化观测延伸測定值的变化	74
第四章 桥梁的架設、安装及桥面鋪装	81
1. 主梁安装工程	81
(1) 吊起与横向装运	81
(2) 縱向运输	81
(3) 按照确定的位置架設	82
2. 桥面板应力导入作业	84
3. 桥面鋪筑	87
(1) 概要	87
(2) 澆注方法	88
(3) 模型板架設	88
(4) 使用器材	88
(5) 施工	91
(6) 伸縮縫施工	92
(7) 簡易抹平器的使用效果	92
第五章 对于梁的制备、架設及安装的体会	94
第六章 主梁架設中的試驗	96
1. 单体梁的試驗	96
2. 橫向封閉后的試驗	97
第七章 桥梁完成后的試驗	100
1. 概况	100
2. 試驗用的仪器和荷重車	100
(1) 測定用的仪器和安装位置	100
(2) 荷重車	102
(3) 載荷及运行位置	106
3. 測定結果	106
(1) 扭曲	106

(2) 挠曲.....	109
(3) 振动特性.....	116
4. 考察	121
(1) 对扭曲与挠曲测定结果的考察.....	121
(2) 对振动特性的考察.....	129
5. 結論	130

目 录

第一章 序言	4
1. 从计划到完成的经过	4
2. 工程一般概要	5
第二章 梁的设计	8
1. 设计条件与设计要项	8
2. 设计计算	9
(1) 荷重作用于横梁与主梁交点的情况下	9
(2) 荷重作用于主梁 k 和作用于横梁中间的情况下	11
(3) 对各个主梁的分担率	13
(4) 应力计算	16
第三章 混凝土梁的制备	19
1. 为决定混凝土配合比的预备试验	19
2. 混凝土的施工设备	21
(1) 混凝土拌合厂的计量装置	21
(2) 粗细骨料的储藏和运输	21
3. 主梁混凝土工程	22
(1) 使用材料	22
(2) 作业台	26
(3) 钢筋绑扎、铁皮套管配置及模型支架	28
(4) 混凝土的配合	29
(5) 混凝土的浇注	31
(6) 混凝土的养生及硬化温度	34
(7) 骨料含水量的测定	36
(8) 碎石、砂、水及混凝土的温度	37
(9) 坍落度与灰水比	37
(10) 从采用试件到主梁的换算	46
(11) 主梁混凝土的抗压强度	52

4. 主梁应力导入施工	53
(1) 千斤頂、錨盃接合部份摩擦損失系数的測定	63
(2) 鋼絲束摩擦損失系数的測定	32
(3) 拉紧鋼絲束的操作过程	62
(4) 鋼絲束拉紧操作中各种測定結果	64
(5) 从摩擦系数 ϕ 、 λ 的变化观测延伸測定值的变化	74
第四章 桥梁的架設、安装及桥面鋪装	81
1. 主梁安装工程	81
(1) 吊起与横向装运	81
(2) 縱向运输	81
(3) 按照确定的位置架設	82
2. 桥面板应力导入作业	84
3. 桥面鋪筑	87
(1) 概要	87
(2) 澆注方法	88
(3) 模型板架設	88
(4) 使用器材	88
(5) 施工	91
(6) 伸縮縫施工	92
(7) 簡易抹平器的使用效果	92
第五章 对于梁的制备、架設及安装的体会	94
第六章 主梁架設中的試驗	96
1. 单体梁的試驗	96
2. 橫向封閉后的試驗	97
第七章 桥梁完成后的試驗	100
1. 概况	100
2. 試驗用的仪器和荷重車	100
(1) 測定用的仪器和安装位置	100
(2) 荷重車	102
(3) 載荷及运行位置	106
3. 測定結果	106
(1) 扭曲	106

(2) 挠曲.....	109
(3) 振动特性.....	116
4. 考察	121
(1) 对扭曲与挠曲测定结果的考察.....	121
(2) 对振动特性的考察.....	129
5. 結論	130

第一章 序 言

1. 从計劃到完成的经过 上松川桥原是在1946年改建的。总长122米，淨寬6米，是一座12孔的工字形鋼梁木面桥。这座桥梁本来是架設在联系福島市內与飯坂温泉地区之間交通比較頻繁的路綫上，加之近来交通量日增，而桥梁日益腐朽損伤，以致到了不能放置不管的状态。为此，經1953~1955三年来政府投資補助，新建永久式桥梁。

当选定为永久式的桥型时，認為与福島电气铁路桥梁附近平行建立比較相宜。因之，希望它的桥墩間距或其倍数与本桥的桥墩間距一致；桥梁的高度又受着一定的限制；在現地可以采取混凝土所用的良好骨料；再加以工程費、工期等問題，以及从其他观点上来考虑，結論是：采用40米长大跨徑的預应力混凝土桥的桥型是最有利的。

茲叙述工程概要如下：

(1) 下部結構工程和便道工程于1954年3月开工，先修建244米长的便道（包括134米长、4.5米寬的木桥在內），同年7月完成，即以便道代替現行交通。

下部結構工程靠近福島电气铁路及其桥梁。为了使电車安全运行，对于基础工程，特別采取了細致的、安全的施工方法。

桥墩沉井基础工程当初計劃深度是10米，但因粘土地質，考虑到承载力不足，乃进行了地質钻探；钻探結果知道再深入3米就达到坚硬的砾石层，并进行了基础底盘承载力的試驗，結果，証明充分可靠，于是在13米深的沉井上建立起桥墩。

(2) 上部結構工程于4月开工，設計由落股俊司担任。施工前，参考了工程界权威人士的意見，編制了周密的施工計劃，在現場就地灌制及安裝1根长40米、重65吨的大梁。这在日本还是第一次。为了使工地的設備、机械和工具等完善，因此要投入設備費約850万元^①。因为預应力混凝土梁所需混凝土强度要求为450公斤/平方厘米，故从1954年8月在土木部材料試驗室进行了全面的試驗，决定了質量可靠的混凝土的配合比。在施工过程中，約采取了600个試件，以便控制質量，故結果完全可以滿足設計要求。預应力混凝土

① 日元，以下同。——譯者

土需用直径7毫米的鋼絲，这在日本也是最初試用。两端固定裝置用的錨盃，是使用了法国制品。为了縮短主梁的施工日数，用了早强水泥。模板使用鋼制品，浇注混凝土后24小时脫模，每根梁分为5天施工。

預加应力用11根鋼絲束由梁两端紧拉，总拉力为600吨，其間进行了种种的观测。关于梁的搬运方面，因为梁重达65吨，所以采用了特种千斤頂，并用了重型的滾軸，把梁牵引到鋼軌（50公斤/米）上，以便防止冲击、傾斜和扭轉。

在桥上进行梁的安裝工程，使用了带輪的滑車，这样可以防止损坏梁的各种因素，和防止危险。为了使6根主梁发挥整体作用，所以設置了横梁。横梁也实施預加应力，但所用的鋼絲是直径5毫米的，錨固裝置亦采用了鋼絲錨盃。其横向預加应力包括梁的上部翼緣在內，总拉力为560吨。竣工后，经过荷重試驗，判定与理論数值相符合。

桥面鋪砌淨寬9米，因为有2%的橫坡，所以在施工方面按縱向分成三段施工，先在两端浇注2米寬的混凝土，而中間5米寬的混凝土則暫在最后施工。为了加强桥面鋪砌，另在表层下面5厘米的地方，完全敷設了鋼筋网。

(3)引道路面鋪砌工程于10月开工，在原有路面上鋪砌了20厘米厚的混凝土路面。鋪砌工程最初在本县①試点。一部份水泥利用火山灰水泥②混合代替使用，以节约工程費用。如果充分进行施工管理，会得到良好的效果。鋪砌用的混凝土用重量配合比，由于創造了控制3%以內計量誤差的裝置，所以在質量管理上甚为方便。在表面养护时用封层剂，亦得到良好結果。

当本工程上部結構設計施工时，为了臻于完善，并了解将来对于这种桥梁設計和施工上的一些問題，議定了必要的試驗和研究課題。为此，在現場上，关于混凝土施工方法及其質量的管理，对新材料直径7毫米鋼絲的物理性質的調查，鋼絲与套管的摩擦系数与混凝土壅流的測定；对于預应力混凝土梁因反复荷重使耐荷力有无减少的研討，作为結構問題的桥梁挠曲刚性与扭曲刚性的实测，固有振動特性的測定，等等，均作为課題取得了試驗研究的結果，收到了預期的成效。这些資料的要点在下列各节叙述。

2. 工程一般概要 工程一般概要如表1所列。

① 指福島县。——譯者

② 火山灰水泥即普索兰水泥。——譯者

工程种类	工程项目	构造概要
总工程费		总长259米,桥长122米,宽9米,桥面铺装长137米,平均宽8米
(1)桥梁工程		3跨,预应力混凝土单梁,纵断面坡度1%,抛物线
下部工程		桥台、桥墩各2座
	桥台基础	1:2:4混凝土基础,长5.5米,宽11.60米,厚1.9米
	桥台本身	掘壁式1:2:4钢筋混凝土,高3.80米,长9.10米,宽10米,掘壁5处
	桥墩沉井	钢筋混凝土隔墙2道,铁色角,深13米,长3.60米,宽10.70米,墙厚45厘米
	桥墩本身	钢筋混凝土,高4.5米,长2.10米,宽10.10米
	其他	
上部工程		跨径40米,主梁6根,按照后张法施加预应力单梁,梁间隔1.60米
	主梁	预应力梁,钢丝束采用直径7毫米的钢丝,每束12股,共计11根,梁高1.65米,下翼缘宽50厘米,腹板厚度为16厘米
	桥面混凝土	配合比1:2:4,间距宽度20厘米厚15厘米,长40.65米
	栏杆	高90厘米,栏杆柱用1根 $1\frac{1}{2}$ "的元铁,每边36根,横撑木用2根 $1\frac{1}{2}$ "的元铁
	桥面铺装	长122米,宽9米,计1093平方米,平均厚11厘米,横断坡度2%,抛物线全部使用钢筋网
	其他	
(2)桥头引道工程		
	路面	纵、横断面坡度均为2%,厚20厘米,配合水泥每立米用240公斤,用氟素养生,每边用75公斤
	支线	纵坡10%,宽3.2米,天然片石铺装
(3)临时工程		
	临时桥梁	桥长134米,宽4.5米,21孔,木桥
	临时道路	长116米,碎石路
(4)其他	临时道路拆除	临时道路及桥梁拆除

般概要

表 1

工 程 費 (日 元)	使 用 材 料			劳动力总数 (人)
	水泥 (噸)	鋼筋 (噸)	其 他 (噸)	
68,000,000	749.80	64,118	—	20966
47,826,000 (43500元/平方米)		64,188	—	18710
18,953,000	373.50	51,681	—	12282
每座295,000	每座15.30	—	—	—
3,150,000	每座53.92	每座9.3	—	—
} 5,320,000	} 114.70	} 16.54	} 桩靴 5.51	—
1,430,000	4.66	—	—	—
28,873,000	286.30	12,507	—	6423
} 23,200,000	234.10	12,507	預应力鋼絲28.60	—
	10.31	—	—	—
1,550,000	3.40	—	鋼鉄7.457	—
1,053,000	38.50	—	鋼筋网44毫米×11.7厘米孔, 計1093.5平方米	—
3,065,000	—	—	—	—
2,252,000	90.00	—	—	913
2,201,000	88.15	—	—	753
51,000	1.35	—	—	160
3,583,000	—	—	—	1023
3,310,000	—	—	—	—
273,000	—	—	—	—
176,800	—	—	—	320

第二章 梁 的 設 計

1. 設計条件与設計要項 本橋的跨徑、淨寬、設計荷重等如下：

跨徑 30.60米，3孔

橋長 122.0米

淨寬 9.00米

設計荷重 旧一等橋^①

因为引道的关系，梁高被限制为1.65米，即梁高与跨徑的比是1/24。作为这种结构的梁，它的高度比较低，截面形状下部翼緣的截面积比较大，所以采用了以40.60米长的預制混凝土梁6根作为主梁，再以横梁4根（在两端支承上各1根）与这些主梁相结合的结构。預加应力用鋼絲錨固进行。

对于混凝土的容許弯曲拉应力采用0公斤/平方厘米，容許压缩应力强度采用130公斤/平方厘米。預加应力以后，对于仅有梁的自重作用时的最大压缩应力的容許值为190公斤/平方厘米。因此，規定預加应力时的混凝土抗压强度为360公斤/平方厘米，龄期28天的混凝土抗压强度变为400公斤/平方厘米。

混凝土的干燥收缩量为 $\epsilon_s = 15 \times 10^{-5} k$ 。

混凝土的塑流为 $\varphi = 3.0 \times k$ 。

預应力混凝土鋼絲的松弛率为5%。

預应力混凝土鋼絲与混凝土的弹性系数比假定为 $n = 5.2$ 。

預应力混凝土采用的鋼絲的品質如表2。

預应力混凝土鋼絲强度

表2

直 徑 (毫米)	抗 拉 强 度 (公斤/平方毫米)	屈 伏 点 强 度 (公斤/平方毫米)
5	165	135
7	169	130

最初設計是采用了直径5毫米的鋼絲，但是由于这种設計在梁中間断面的下翼緣部分需要配置12股直径5毫米的套管22根，被3个鉗子分开，考虑到

① 旧一等桥是按照12吨汽車或14吨压路机最不利設置計算的設計荷重。——譯者

这样对于混凝土的浇注与套管的配置等在現地施工操作上有相当的困难。为了解决这种困难，乃使用了直径 7 毫米的鋼絲，并且因此修正了設計，主梁就采用了直径 7 毫米的鋼絲。其結果如图 1 所示，主梁的鋼絲束根数为 11 根。即由于利用直径 7 毫米的鋼絲，可以預期得到以下的优点：

(1) 因为套管之間的靜距变大，浇注下翼緣的混凝土容易凝固，混凝土的質量能得到保証。

(2) 各个套管之間可以填充純水泥浆或水泥砂浆，使套管与套管接触部分能减少残留空隙的危险。

(3) 由于套管的根数减少，套管的配置就容易了；同时，預加应力的次数减少。因此，由于混凝土弹性变形，最初被固定的鋼絲拉应力，也因为以后拉紧鋼絲束次数的减少而比較小。

因为使用直径 7 毫米的鋼絲有以上的优点，故最后决定用直径 7 毫米的鋼絲，而且考虑施工上的方便，对断面形状加以一些变更，决定了如图 1 的断面。

为了使主梁两端鋼絲的錨固位置、角度等正确，两端用預制混凝土端板，支承用鋼筋混凝土支座，如图 1 所示。

2. 設計計算 各个主梁的荷重分布接近似解法，因之以主梁与横梁相交的支点部分結合情况来考虑。横梁的刚度与主梁比較，可視為无限大（參見图 2）。即横梁的弹性变形比之主梁，可以不予考虑。横梁仅考虑刚体的回轉与平行的移动。

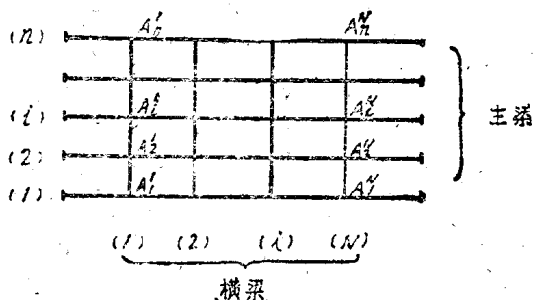


图 2

(1) 荷重作用于横梁与主梁交点的情况下：横梁是由主梁支承着的，以 $R_1, R_2, \dots, R_n$ 作为各个主梁的反力（參見图 3）。各个主梁的反力是与横梁交点的变位成比例。

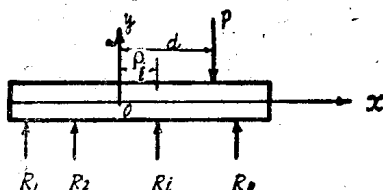


图 3

平衡条件

$$-P + \sum R_i \equiv 0$$

$$-Pd + \sum R_i \rho_i \equiv 0$$

(1)

横梁的刚度如果假定为无限大，则各个交点的变位是从平行移动及回轉移动而进行着，以 k_i 作为反力的比例常数，则反力如次：

$$R_i = k_i (a + b \rho_i) \quad (2)$$

将 (2) 式代入 (1) 式，

$$-P + a \sum k_i + b \sum k_i \rho_i = 0$$

$$-Pd + a \sum k_i \rho_i + b \sum k_i \rho_i^2 = 0$$

将座标原点选择满足于 $\sum k_i \rho_i = 0$ 时，则 a 、 b 可以从上式求得如下：

$$a = \frac{P}{\sum k_i}; \quad b = \frac{Pd}{\sum k_i \rho_i^2}$$

$$\text{从 (2) 式,} \quad R_i = P \frac{k_i}{\sum k_i} \left(\frac{\sum k_i}{\sum k_i \rho_i^2} \rho_i d \right) \quad (3)$$

这个比例常数 k_i 是与主梁断面的惯性力矩成比例，因之 $k_i \propto I_i$ ，所以 (3) 式为：

$$R_i = P \frac{I_i}{\sum I_i} \left(1 + \frac{\sum I_i}{\sum \rho_i^2 I_i} \rho_i d \right) \quad (3a)$$

即与荷重 P 的作用点的位置无关，各个主梁如果用它的断面惯性力矩的比来分配荷重，则为：

$$R_i = P \frac{I_i}{\sum I_i}$$

$$\Delta_i = 1 + \frac{\sum I_i}{\sum \rho_i^2 I_i} \rho_i d \quad (4)$$

所以系数 Δ_i 为荷重作用于有偏心 d 的主梁 i 的增加系数。

(2) 荷重作用于主梁 k 和作用于横梁中间的情况下: 在主梁与横梁的交点 $A_k^1, A_k^2, \dots, A_k^N$ 处, 加上荷重 $Q_1, Q_2, \dots, Q_N$, 当取去横梁时, 应能满足于下列条件, 即主梁 k 与横梁不结合时, 在座标 x 点上有单位荷重作用时, 应将座标 x_j 点的弯曲作为 K_{xj}^x (参见图 4)。

$$Q_1 K_{xj}^{x1} + Q_2 K_{xj}^{x2} + \dots + Q_N K_{xj}^{xN} = P K_{xj}^B \quad (j=1, 2, \dots, N) \quad (5)$$

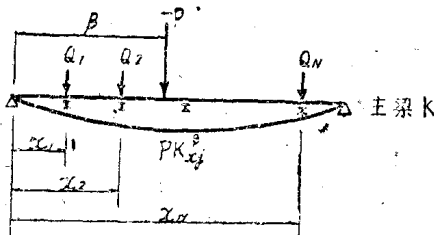


图 4

即在座标 β 点有荷重 P 作用时, 横梁位置 x_j 的挠曲应同样的考虑换算荷重 $Q_1, \dots, Q_N$ 。公式 (5) 的解法可以用 (6) 式求得。

$$Q_j = P \psi_i(\beta) \quad (6)$$

1) 对于主梁 i 的影响: 由于作用于座标 β 的荷重, 将 $f(\beta)$ 作为对于主梁弯曲力矩的系数, 如果弯曲力矩与各个主梁的断面惯性力矩成比例, 则:

$$M_i = P \frac{I_i}{\sum I_i} f(\beta)$$

主梁 i 是从它与横梁交点处接受反力 R_j , 这个反力的大小是以主梁 k 与横梁交点处 $Q_1, Q_2, \dots, Q_N$ 的荷重所作用的大小为定。因此, 从公式 (3a)

$$R_j = Q_j - \frac{I_i}{\sum I_i} \Delta_i = -P \frac{I_i}{\sum I_i} \Delta_i \psi_i(\beta)$$

因而, 按照作用于这些横梁及其交点处的反力 R_j , 则在主梁 i 的座标 x_j 的弯曲力矩应为:

$$M_i' = -\sum_{j=1}^{j=N} R_j f(x_j) = P \frac{I_i}{\sum I_i} - \frac{I_i}{\sum I_i} \Delta_i \sum_{j=1}^{j=N} \psi_i(\beta) f(x_j)$$

所以

$$\frac{M'_i}{M_i} = \Delta_i \phi(\beta) \quad (7)$$

$$\phi(\beta) = \frac{1}{f(\beta)} \sum_{j=1}^{j=N} \psi_j(\beta) f(x_j) \quad (8)$$

2) 对于主梁 k 的影响: 横梁 j 加于主梁 k 的反力 R_j 是因为 Q_j 作用于横梁, 故 $R_j = -Q_j \frac{I_k}{\sum I_i} \Delta h$ 。

假定 Q_j 是作用于主梁, 因此, 由各个主梁与横梁所分担的部分在同样的情况下, 从横梁来的 R_j 的荷重是作用于主梁的。故

$$-R_j = Q_j - R'_j$$

因此

$$R'_j = Q_j + R_j = Q_j \left(1 - \frac{I_k}{\sum I_i} \Delta h \right)$$

所以

$$\begin{aligned} M''_k &= P f(\beta) - \sum_{j=1}^{j=N} R'_j f(x_j) = P f(\beta) - \\ &- \left(1 - \frac{I_k}{\sum I_i} \Delta h \right) \sum_{j=1}^{j=N} \psi_j(\beta) f(x_j) \end{aligned}$$

如以

$$M'_k = P \frac{I_k}{\sum I_i} f(\beta), \text{ 则}$$

$$\frac{M''_h}{M'_h} = \frac{\sum I_i}{I_k} [1 - \phi(\beta)] + \Delta h \cdot \phi(\beta) \quad (9)$$

以上计算的系数 $\phi(\beta)$ 是容易求得的。

在上述解法中, 是在横梁 4 根的情况下求出 $\phi(\beta)$ (图 5)。

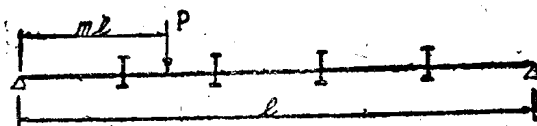


图 5

(3) 对各个主梁的分担率：作用于横梁的换算荷重 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 如次：

$$0 < m < \frac{1}{5}$$

$$Q_1 = \frac{1}{209} \times 25m(-635m^2 + 672)P$$

$$Q_2 = \frac{450}{209} \times (+25m^2 - 1)mP$$

$$Q_3 = \frac{120}{209} \times (-25m^2 + 1)mP$$

$$Q_4 = \frac{30}{209} (25m^2 - 1)mP$$

$$\frac{1}{5} < m < \frac{2}{5}$$

$$Q_1 = \frac{1}{209} (27125m^3 - 25800m^2 + 6840m - 344)P$$

$$Q_2 = \frac{1}{209} (-30125m^3 + 24325m^2 - 5415m + 331)P$$

$$Q_3 = \frac{1}{209} (15000m^3 - 10800m^2 + 2280m - 144)P$$

$$Q_4 = \frac{1}{209} (-3750m^3 + 2700m^2 - 570m + 36)P$$

$$\frac{2}{5} < m < \frac{3}{5}$$