

# パイプアーチについて

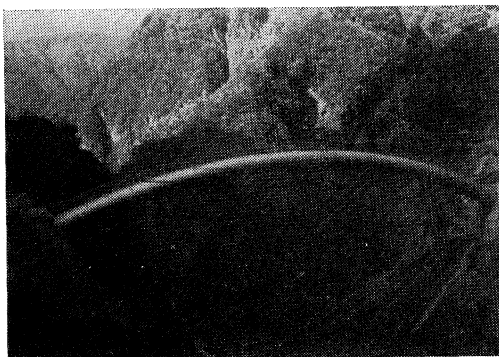
上 原 哲 夫\*  
 繁 戸 武 一\*  
 人 見 昌 地\*

## 1. ま え が き

アーチ主拱として、円形断面の力学的特性を利用したパイプアーチ型式が当然考えられる。特に水路橋の型式として、パイプアーチサイフォンが考案され、建設されたのは、すでに半世紀以前のことである。当時においてもアーチに対する型式美と、水路橋としての利点は十分発揮されたものと考えられる。さらに近時鋼管加工および溶接工学の技術的進歩とともに、近代的感覚にマッチした薄肉円形断面が注目されるようになってきた。すなわち水路橋の分野において、1951年に架橋されたフランスのPassy発電所のサイフォン管、道路橋としては著名な北欧のゲーデボルグ Tjorn 橋、さらにライン河畔の動力輸送管などをあげることができる。

円形断面の構造部材としての利用は、単にパイプアーチのみにとどまらず、円形閉断面の力学的有利さが、かねてより注目されてはいたが、部材接合部の加工の困難さから、その発展が抑制された形であった。しかし最近自動パイプカッターの出現によって、十分なる接合が容易になり、かつ、構造用鋼管の進出とともに、パイプ鉄骨の発達が見られ、パイプ構造が一般化されるようになった。このすう勢のもと、わが国最初のパイプアーチとして最近竣工した東京電力KK早川第三発電所楠之木沢サイフォン管(写真-1)につき、設計施工についての概説を行ない、あわせて今後のパイプアーチ橋について、若干ふれてみたいと思う。

写真-1 楠之木沢サイフォン管



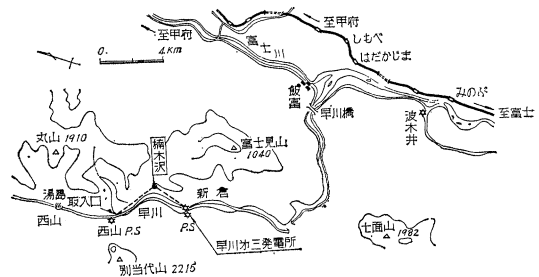
\* 正員 川崎重工業KK鉄構事業部

## 2. 楠之木沢サイフォン

### (1) 概 要

日本で最初に企画実施された楠之木沢サイフォンは、国鉄身延線身延駅から約40km富士川の支流早川のほとりにあり(図-1)、東京電力早川第三発電所の増設工事として行なわれたものである。山峡を渡る導水管に、薄肉肉管のパイプアーチ型式が採用されたもので、一般図を図-2に示す。

図-1 現地図



### (2) 設 計

水路橋としてのパイプアーチは、構造が単純で、力学的特性からも各種型式の水路橋に比較して、すぐれていることは認められる。薄肉肉管がアーチアクションをおこしたときのへん平化の影響および不静定構造物としての応力状態などパイプアーチとして特別な考慮に対する必要から、東京電力KKでは、昭和33年、電力中央研究所に依頼し、模型実験が行なわれた<sup>3)</sup>。実施例としての楠之木沢サイフォンの設計諸元は次のとおりである。

型式：パイプアーチサイフォン

数量：1条

寸法：支間 70.000 m 全長 120.891 m

拱矢 8.080 m アーチ部 72.462 m

曲率半径 79.841 m 埋込部 48.429 m

アーチ中心角 52° 00' 00" 管内径 2800 φ

板厚 9~28 mm (SS 41, SM 41 B)

設計荷重：

管および歩廊自重

水重

①満水時

③半支間充水時

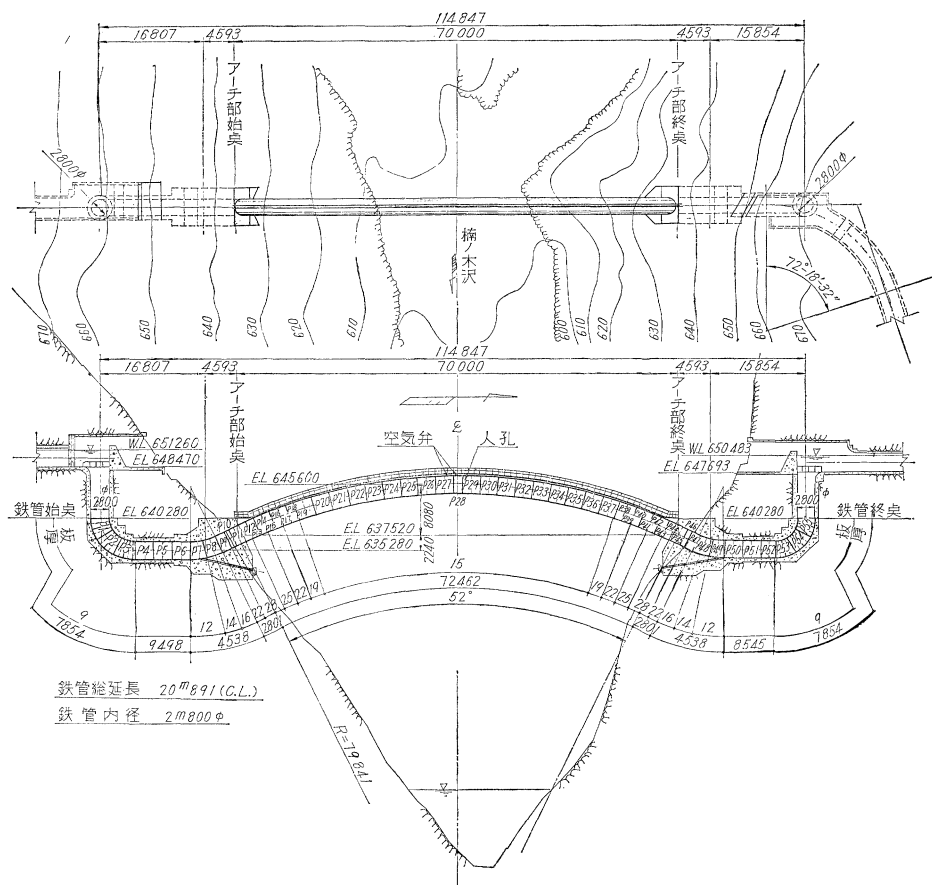
②アーチクラウン半充水時

④支間両側部分充水時

温度変化：

①全断面等温度差(管内空虚時) ±50°C

図-2 スパン割一般図



- ②全断面等温度差 (管内充水時) ±15°C
- ③管両側面温度差 (管内空虚時) ±15°C
- ④管胴内外面温度差 ±15°C

地震:

- 震度 水平 0.12, 鉛直 0.08
- 内圧 最大 15,980 t/m<sup>2</sup>
- 外圧 アーチ部 2 t/m<sup>2</sup>
- 内張部 30 t/m<sup>2</sup>

許容応力:

	引張 (kg/cm <sup>2</sup> )	圧縮 (kg/cm <sup>2</sup> )	せん断 (kg/cm <sup>2</sup> )	合応力 (kg/cm <sup>2</sup> )
SS 41	1150	1150	900	1150
SM 41	1150	1150	900	1150

温度, 地震または風などの合成においても許容応力の割増は行なわない。

溶接接手効率:

- 工場場合溶接 0.95      現場場合溶接 0.90

### (3) アーチ解法の基本式

アーチの解法は対称逆対称法により中央部の点条件より解くのが簡明であるとして当社では次の諸式を用いている。

a) ひずみエネルギー式 一般ひずみエネルギー式としては次式によっている。

$$W = \int_s \frac{M^2}{2EI} ds + \int \frac{N^2}{2EI} ds + \int \alpha \frac{S^2}{2GA} ds$$

ここで W: ひずみエネルギー

M: 領域-S 内の曲げモーメント

N: " 軸力

S: " せん断力

E: 管材弾性係数 21×10<sup>6</sup>t/m<sup>2</sup>

G: " せん断弾性係数 8×10<sup>6</sup>t/m<sup>2</sup>

I: 管断面2次モーメント π r<sup>3</sup>t

A: 管断面積 2πrt

α: 補正係数

$$\alpha = \frac{A}{S^2} \int_0^{2\pi} \left\{ \frac{2S}{A} \sin \theta \right\}^2 r^2 d\theta = \frac{3}{2}$$

従って

$$W = \int_s \frac{1}{EI} \left\{ \frac{M^2}{2} + \frac{N^2}{2} r^2 + 1.9685 \frac{S^2}{2} r^2 \right\} ds$$

横荷重を受けねじりモーメントが入る場合にはひずみエネルギー式として次式を用いる。

$$W = \int_s \left\{ \frac{M_\theta^2}{2EI} + \frac{M_{tB}^2}{2GI} \right\}$$

ここで M<sub>θ</sub>: 任意の点での横方向曲げモーメント

M<sub>tB</sub>: " ねじり曲げモーメント

b) 基本式 アーチ中央 C における不静定力をアー

チ面内荷重に対して  $X, Y, Z$  とする。

ここで  $X$ : 軸力,  $Y$ : せん断力,  $Z$ : 曲げモーメント

: 対称荷重においては

$$\frac{\partial W}{\partial X} = 0, \quad Y = 0, \quad \frac{\partial W}{\partial Z} = 0$$

逆対称荷重では

$$X = 0, \quad \frac{\partial W}{\partial Y} = 0, \quad Z = 0$$

横荷重を受ける場合には不静定力  $X, Y, Z$  を次のように定義する。

$X$ : 横曲げモーメント,  $Y$ : せん断力,  $Z$ : ねじりモーメント

対称荷重では

$$\frac{\partial W}{\partial X} = 0, \quad Y = 0, \quad Z = 0$$

逆対称荷重では

$$X = 0, \quad \frac{\partial W}{\partial Y} = 0, \quad \frac{\partial W}{\partial Z} = 0$$

なお温度変化に対する荷重項としては自由端とした時の変位の是正という方法によっている。

設計計算の各場合については具体的に“発電水力 No. 54”に記述されているので、ここでは省略し、二、三の補足的なものについて述べることにする。

a) ひずみエネルギー式において、せん断力の項をとり入れこの項の有無がアーチにおよぼす影響をあわせ検討した(図-3)。その結果、本図に示されるように管の

図-3  $W=1 \text{ t/m}$  等分布荷重断面力比較

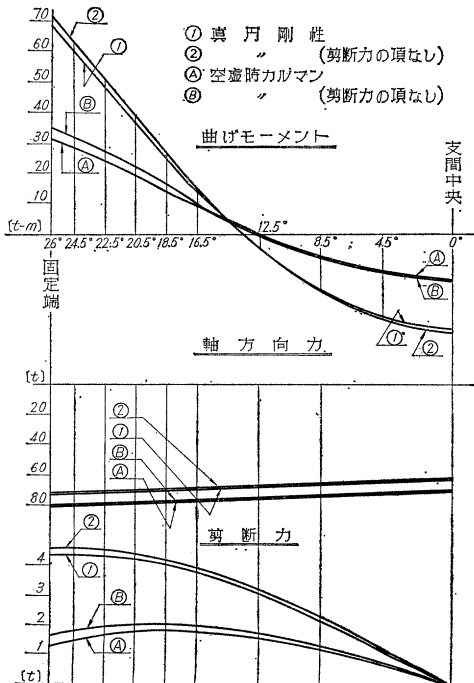
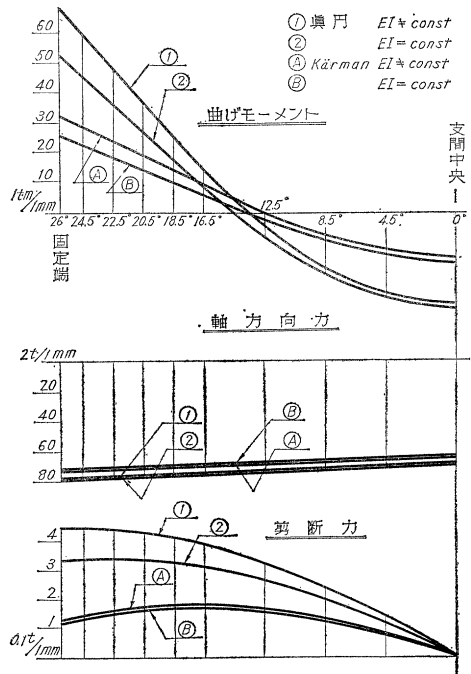


図-4  $W=1 \text{ t/m}$  等分布荷重断面力比較



ような補正係数の大きな場合についても、実用計算にはせん断力の項の影響を無視してもよいことがわかる。

b) 断面2次モーメントは、本実施例では固定部(板厚 26 mm)が中央部(板厚 13 mm)の約2倍となっており  $EI = \text{const}$  として計算することは、端部の誤差が大きい(図-4)。従って、 $EI$  を可変として計算する必要がある。

c) 普通曲管に内圧が作用する場合、内圧の不平均力が問題となるが、拱頂で内圧  $5.66 \text{ t/m}^2$  の本サイフォンでは影響がほとんどない(表-1)。

d) 楠之木沢サイフォンにおける設計応力を表-2 (a)~(c) に薄肉曲管のへん平にともなう応力およびへん平は表-3に示す。

### (3) 薄肉曲管のへん平現象

楠之木沢サイフォンには、管内径 2800 mm に対して使用板厚中央部 15 mm であり、かかる薄肉曲管が曲げを受ける場合、へん平化の影響を考慮する必要がある。その解析方法は“Condotte For zate”に解説されている

表-1 内圧の不平均力による応力

	$\sigma_0 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_i \text{ kg/cm}^2$	$\tau_0 \text{ kg/cm}^2$
0°	34.7	36.3	0
18.5°	44.1	26.7	-0.4
20.5°	30.2	24.2	-0.5
22.5°	20.7	25.1	-0.7
24.5°	12.6	27.6	-0.9
26°	5.1	30.5	-1.1

$\sigma_0$ : 管胴上縁軸方向力

$\sigma_i$ : 管胴下縁軸方向力

$\tau_0$ : 管胴側壁部せん断応力

表-2 (a) へん平を考慮しない剛性使用の場合

応力位置	鋼厚		応力								加算極大応力		
	θ°	使用有効	鋼重	ろう水重	アーチクラウン半充水	計算側充水半支間充水	計算側空虛半支間充水	等温度50°C(空虚時)	等温度15°C(充水時)	上下温度差	アーチ軸方向地震	空虚時	満水時
軸方向 応力天 kg/cm <sup>2</sup>	0°	15 13	-113.2	-588.7	-361.1	-19.5	-19.5	490.8	147.2	-340.4	0	377.6	-848.5
	18.5°	19 17	-38.3	-173.0	-175.9	-81.1	-54.8	-715.4	-214.6	-3.1	16.0	-753.7	2.4
	20.5°	19 17	-17.1	-70.8	-61.0	18.3	-78.4	-754.0	-226.2	55.5	28.8	-736.9	138.3
	22.5°	22 20	-2.7	-5.7	19.6	138.2	-96.6	-833.8	-250.1	101.1	42.3	-836.5	241.7
	24.5°	25 23	11.5	42.9	86.0	251.4	-116.5	-907.2	-272.2	138.8	56.1	-895.7	326.6
26°	28 26	21.2	69.5	124.9	320.0	127.5	-931.2	-279.4	158.7	64.5	-910.0	370.1	
軸方向 応力地 kg/cm <sup>2</sup>	0°	15 13	-22.4	-103.5	-171.5	-93.3	-93.3	-903.8	-271.1	455.4	0	-926.2	145.2
	18.5°	19 17	-107.1	-569.7	-401.5	-64.1	-20.2	323.8	97.1	112.1	23.6	216.7	-773.9
	20.5°	19 17	-96.1	-505.8	-388.8	-135.5	-16.0	658.6	137.6	26.7	4.6	362.5	-739.5
	22.5°	22 20	-95.5	-492.1	-410.0	-247.0	23.8	586.4	175.9	-32.1	-11.7	490.9	-763.5
	24.5°	25 23	-99.3	-482.9	-433.2	-355.6	54.9	695.6	208.7	-79.8	-27.5	596.3	-790.9
26°	28 26	-100.6	-462.7	-437.3	-425.2	73.5	746.4	223.9	-107.3	-38.1	645.8	-788.2	
せん断 応力 kg/cm <sup>2</sup>	0°	15 13	0	0	0	—	—	0	0	0	-5.0	0	0
	18.5°	19 17	7.7	42.6	47.2	—	—	-131.0	-39.3	36.5	8.5	-123.3	89.6
	20.5°	19 17	7.1	34.1	42.0	—	—	-110.4	-33.1	30.8	8.7	-103.3	74.3
	22.5°	22 20	7.5	29.7	40.2	—	—	-102.5	-30.8	28.5	9.5	-95.0	67.4
	24.5°	25 23	8.3	26.1	38.4	—	—	-96.5	-29.0	26.9	10.2	-88.2	63.4
26°	28 26	8.7	22.8	35.9	73.2	-17.2	-90.1	-27.0	25.1	10.3	-81.4	58.5	

表-2 (b) 内圧を考慮の管のへん平剛性を考慮する場合

応力位置	鋼厚		応力								加算極大応力		
	θ°	使用有効	鋼重	ろう水重	アーチクラウン半充水	計算側充水半支間充水	計算側空虛半支間充水	等温度50°C(空虚時)	等温度15°C(充水時)	上下温度差	アーチ軸方向地震	空虚時	満水時
軸方向 応力天 kg/cm <sup>2</sup>	0°	15 13	-99.6	-491.8	-289.9	5.2	5.2	268.4	80.5	-154.2	0	168.8	-671.9
	18.5°	19 17	-56.0	-292.7	-233.0	-85.9	-104.3	-467.6	-140.3	25.7	26.2	-523.6	-208.4
	20.5°	19 17	-40.8	-198.5	-138.2	56.1	-113.6	-412.6	-123.8	44.8	37.0	-453.4	-115.5
	22.5°	22 20	-30.6	-148.7	-79.2	158.8	-127.0	-415.5	-124.7	58.0	47.6	-446.1	-54.6
	24.5°	25 23	-21.0	-114.0	-32.5	243.9	-139.9	-424.9	-127.5	68.0	57.7	-445.9	-7.5
26°	28 26	-13.6	-92.3	-3.4	298.7	-144.9	-421.5	-126.5	72.2	63.5	-435.1	27.0	
軸方向 応力地 kg/cm <sup>2</sup>	0°	15 13	-50.0	-273.6	-292.1	-122.4	-122.4	-469.2	-140.8	203.2	0	-519.2	-182.8
	18.5°	19 17	-102.8	-520.7	-391.2	-64.5	-10.7	277.2	83.2	20.9	13.4	174.4	-706.7
	20.5°	19 17	-82.4	-430.7	-347.0	-179.5	26.4	269.0	80.7	-9.8	3.8	186.6	-593.8
	22.5°	22 20	-76.0	-393.1	-340.8	-270.4	53.6	295.3	88.6	-28.6	17.0	219.3	-557.7
	24.5°	25 23	-73.8	-363.8	-339.9	-349.9	76.9	322.1	96.6	-42.8	29.3	248.3	-534.2
26°	28 26	-72.0	-354.7	-351.2	-399.1	89.7	331.7	99.5	-50.2	37.1	259.7	-506.2	
せん断 応力 kg/cm <sup>2</sup>	0°	15 13	0	0	0	—	—	0	0	0	4.1	0	0
	18.5°	19 17	3.2	19.2	31.5	—	—	-63.7	-19.1	15.6	8.9	-60.5	41.5
	20.5°	19 17	3.3	14.4	28.8	—	—	-53.7	-16.1	13.1	9.1	-50.4	33.8
	22.5°	22 20	4.1	11.4	27.9	—	—	-49.8	-14.9	12.2	9.8	-45.7	30.4
	24.5°	25 23	5.0	8.8	26.8	—	—	-46.9	-14.1	11.5	10.4	-41.9	27.4
26°	28 26	5.6	6.8	25.3	73.5	-19.1	-43.8	-13.1	10.7	10.6	-38.2	25.5	

表-2 (c) 横荷重時応力

側点の軸方向応力 (kg/cm <sup>2</sup> )				せん断応力 (kg/cm <sup>2</sup> )				ねじりモーメントによる応力 (kg/cm <sup>2</sup> )			
pt	両側面温度差	風荷重積300 kg/cm <sup>2</sup>	地震荷重積水平	pt	両側面温度差	風荷重積300 kg/cm <sup>2</sup>	地震荷重積水平	pt	両側面温度差	風荷重積300 kg/cm <sup>2</sup>	地震荷重積水平
0°	127.4	-181.6	-194.9	0°		0	0	0°	0	0	0
18.5°	120.4	171.9	184.5	18.5°	-10.2	-10.9	18.5°	28.7	18.8	20.2	
20.5°	130.2	192.1	206.1	20.5°	-5.0	-7.0	20.5°	24.3	15.9	17.1	
22.5°	109.0	219.8	236.0	22.5°	-6.9	-1.5	22.5°	22.4	14.9	16.0	
24.5°	93.3	244.6	262.6	24.5°	3.0	5.7	24.5°	21.1	14.1	15.1	
26°	81.4	254.1	272.8	26°	5.7	12.3	26°	19.7	13.2	14.2	

るが、それによれば、へん平にともなう周方向応力およびへん平量は次式で与えられる。

周方向応力

$$\sigma_t = \sigma_0 \frac{6}{\delta} \cos 2d$$

へん平量

$$d = \sigma_0 \cdot R \frac{\beta}{DK} \cdot \frac{1}{\delta}$$

ここで  $\sigma_t$ : 管の接線方向応力,  $d$ : 管のへん平量,  $\sigma_0$ : ア

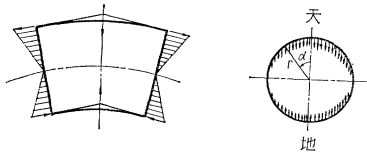
ーチ軸方向曲げモーメントによる最大応力

$$b = \frac{1}{2K} - \frac{18\lambda}{5+6\lambda^2}, \quad K = \frac{1+12\lambda^2}{10+12\lambda^2}, \quad \lambda = \frac{tR}{r^2}$$

表-3 へん平にともなう周方向応力およびへん平量 (mm)

	$\theta$	鋼重	満水重	アーチクラウン半充水	計算側充水半支間充水	計算側空虚半充水	等温度15°C	真円剛性率
周方向応力 (kg/cm <sup>2</sup> )	0°	54.4	239.4	-24	-140.0	-140.0	-242.8	61.0
	18.5°	-51.3	-250.2	-173.5	23.5	102.7	245.2	105.4
	20.5°	-38.7	-210.2	-194.3	-219.2	130.3	190.3	88.2
	22.5°	-37.5	-202.1	-216.3	-354.9	149.3	171.4	82.2
	24.5°	-39.1	-185.1	-227.8	-440.0	160.7	166.1	78.2
	26°	-39.1	-162.3	-219.4	-467.1	157.0	151.8	74.0
へん平量 (mm)	0°	2.393	10.525	0.106	-6.155	-6.165	-10.674	0
	18.5°	2.258	-11.998	7.631	1.032	4.515	10.778	0
	20.5°	1.305	-7.284	6.550	-7.391	4.392	6.415	0
	22.5°	1.078	-5.803	6.212	-10.192	4.289	5.064	0
	24.5°	0.979	-4.632	5.700	-11.011	4.020	4.156	0
	26°	0.868	-3.601	4.870	-10.367	3.485	3.357	0

図-5 断面荷重図



t: 管厚, r: 管半径, R: アーチ曲率半径

$$\delta = 1 + 4 \cdot \frac{P}{E} \cdot \frac{r^3}{t^3}$$

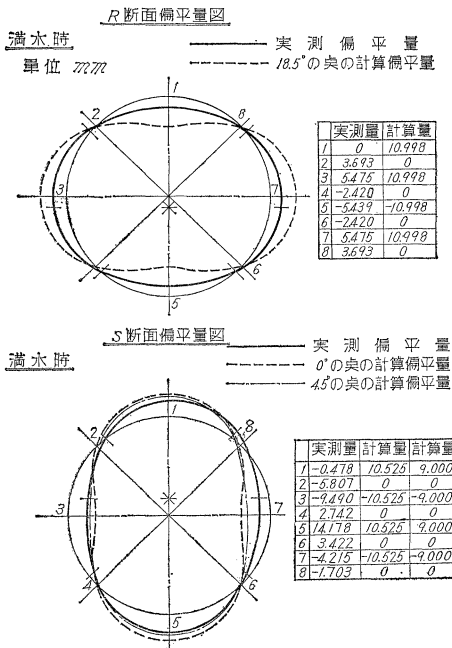
P: 内圧, E: 管材弾性係数,  $\alpha$ : 中央角度振 (図-5)

$$\beta = \frac{6}{5+6\lambda^2}, \quad D = \frac{E}{1-V^2}$$

V=管材のポアソン比

楠之木沢サイフォンにおいて計測したダイヤルゲージによるへん平量と P=0 とした時のへん平計算 (使用板厚より 2mm 少ない有効板厚での計算) 値の比較を示

図-6 R 断面へん平量図



せば図-6のようになる。これにより前式の妥当性を立証できる。曲管がへん平を生ずることによって管の剛性にも影響がある。管を真円とした場合の断面二次モーメントに対するへん平管の比  $K_P$  および曲げ応力の比  $K_2$  は同様次式で与えられる。

$$K_P = \frac{\delta_K}{1-K+\delta_K}, \quad K_2 = \frac{\delta+K_1-1}{\delta}$$

ここで

$$K_1 = \frac{2}{3K} \cdot \frac{1}{\sqrt{3\beta}}$$

本水路橋において、このへん平による応力推移を見れば表-4, 5 に示すようになる。これは満水量および温

表-4 満水重による応力 (天)

pt ( $\theta$ )	①	②	③	④
0°	-588.7	-540.3	-520.3	-491.8
4.5°	-561.0	-519.4	-500.4	-477.4
8.5°	-492.7	-467.2	-449.6	-442.6
12.5°	-387.2	-388.7	-377.0	-389.6
16.5°	-250.9	-292.1	-293.1	-326.1
18.5°	-173.9	-240.3	-251.0	-292.7
20.5°	-70.8	-151.9	-173.0	-198.5
22.5°	-5.7	-104.3	-131.1	-148.7
24.5°	42.9	-71.3	-101.7	-114.0
26.0°	69.5	-52.1	-83.3	-92.3

表-5 温度差 15°C の応力 (天)

pt	①	②	③	④
0°	147.2	101.6	82.5	80.5
4.5°	125.7	86.0	67.9	67.4
8.5°	70.3	45.4	29.3	33.6
12.5°	-18.8	-19.3	-29.7	-20.8
16.5°	-141.2	-106.7	-106.6	-95.4
18.5°	-214.6	-158.4	-150.3	-140.3
20.5°	-226.2	-157.4	-140.6	-123.8
22.5°	-250.1	-165.7	-143.7	-124.7
24.5°	-272.2	-173.0	-147.7	-127.5
26°	-279.4	-172.7	-146.4	-126.5

度変化 15°C の応力の一部であるがへん平化と応力の関係が見られる。表-4, 5 で

$\theta$ : 0° は支間中央

26° は固定端

①真円剛性仮定の場合の応力

②拱頂内圧 5.660 t/m<sup>2</sup> とするへん平管剛性の場合の応力

③拱頂内圧 0.000 t/m<sup>2</sup> とするへん平管剛性の場合の応力

④全支間内圧 0.000 t/m<sup>2</sup> とするへん平管剛性の場合の応力

へん平の現象はアーチ面外特に横荷重によるねじりモーメントによっても見られる現象である。ここでは“Condotte Forzate”の記述の重複になり、また拱矢が大きくねじりモーメントが断面決定の役割を持つ以外は微小であるので省略する。

#### (4) 工場製作

鋼管の製作については、従来と同様であるが、各単輪

寸法を同規格とし、型取り製作の工数を減少するよう行なった。水路管のキャンバーは満水重量を対象として30mmとしている。従って載荷後は理論的な円アーチとはならないが、それは構造に危険をおよぼすほどのものではない。実際計測時の水重によるアーチのたわみがそれを示している(図-7)。計算諸元と製作諸元は次のようである(表-6)。パイプアーチは曲管である。従

図-7 満水時軸線変化図

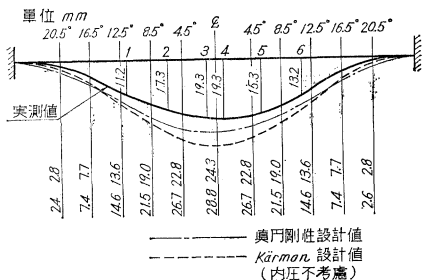


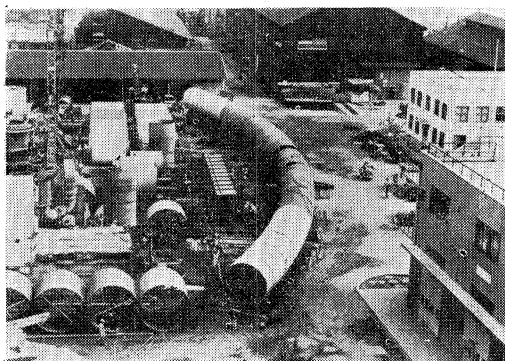
表-6

	計算諸元	製作諸元
曲率半径	79.841 m	79.576 m
中心角	52° 00' 00"	52° 11' 02"
アーチ長	72.462 m	72.480 m
拱矢	8.080 m	8.110 m

って管縦接手を除いては手溶接によっている。一般の水圧鋼管と違って応力は軸方向が主体となるので判定基準2級に対し、それ以上の結果をこのサイフォンでは心がけた。

工場製作の各单位管製作後、現場における架設を容易にするため仮組立を行ない、各ブロックの上下左右に合マークおよび測定のベンチマークを付した(写真-2)。

写真-2 管胴仮組立図



仮組立時の各計測の結果は(表-7)のようになっている。パイプアーチ橋は長大なスパンが多いが、工場製作の精度を良好にするとともに、仮組立てによる補正は必要であると考えられる。

(5) 輸 送

管径 2800φ であり、単位管の寸法も 3m 弱角度振

表-7 水路管アーチ部の形状誤差

管 番	仮組立時		すえつけ完了後		管 番	仮組立時		すえつけ完了後	
	左右	上下	左右	上下		左右	上下	左右	上下
12×13	-1	0	0	0	28×29	0	0	0	+8
14		+0.5	0	+6	30	0	-1.0	0	+4
15	-2	-1.0	0	+4	31	0	0	0	+3
16		+0.5	0	+10	32	+1	-3.0	+1.5	+3
17	-1	-0.5	0	+10	33	+3	0	0	+5
18		0	0	+2	34	+1	0	0	+3
19	0	0	6	+4	35	+3	-3.0	-0.5	+3
20	-2	0	0	-4	36	+2	0	0	+4
21	0	0	0	0	37	+2	0	0	+10
21×22	-1	0	+3	+3	38	+2	-2.0	0	+10
23	0	0	0	+3	39		-2.0	0	+4
24	-1	-3.0	0	+3	40	+2	0	0	+2
25	-1	0	+2	+3	41		+0.5	0	+2
26	-1	+1.0	0	+3	42	0	+1.0	0	+2
27	0	-1.0	0	+4	43		+0.5	0	+2
28	0	+1.0	0	+6	44	2	0	0	0

- 註: 1. 本測定は、管胴上心を基準とする。
- 2. 左右における(ー)は右側へのふれを示す。
- 3. 上下における(ー)は下側へのふれを示す。

り2°強であったので運送は貨車で神戸より身延まで、以下はトラック輸送とした。輸送およびすえつけ中は管のひずみを考慮して、内部に支保工を用いている。楠之木沢の現地は山峽横断であるので、現地搬入はケーブルによっている(図-8,写真-3)。図-8に見られる仮工場は、補強材の取付組立および管置場に充当したもので作業員の宿泊、事務所も建て込まれている。

図-8 現地搬入計画図

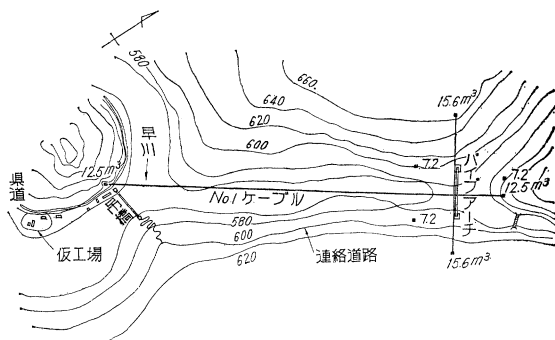


写真-3 ケーブル起点



## (6) 架設方法

架設方法としては、次の3つの方法につき検討した。

① 仮橋上にて全組立を行ない、自重による架設応力の影響を鉄管に作用させない方法。

② 鉄管に、架設応力として片持ばりの部材力を作らせ、従って仮橋には、全管自重を支持させず、最終管の接合前のあげ越しによる反力および架設途中の単位管の仮置以外には、管自重の荷重を行なわない。片持ばりとしての影響は、あげ越し、またはプレストレスの導入といった方法により、緩和するように考える。

③ 仮橋を用いず、純ケーブル架設法による方法：この方法は吊索により管を所定の位置に設置し移動溶接治具により、中央に向い単管を溶接する。Passy のサイフォンの架設は②の工法がとられた。楠之木沢サイフォンにおいて②③の方法について計画を行なったが、わが国最初の工事でもあり、安全性を重視し、①の工法により架設した。

## (7) 楠之木沢の仮橋

管の製作に先立ち、仮橋の設計、製作を行なった。仮橋は管のアーチ形状に合致するように、トラス アーチと

写真-4 トラス完成図

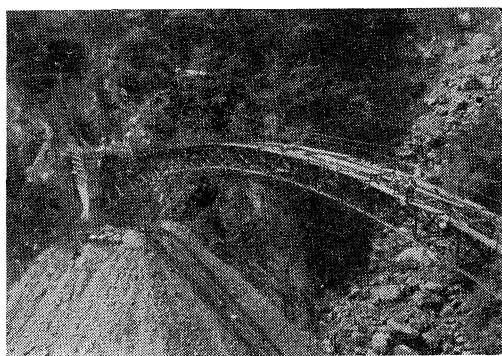


写真-5 トラス仮組立

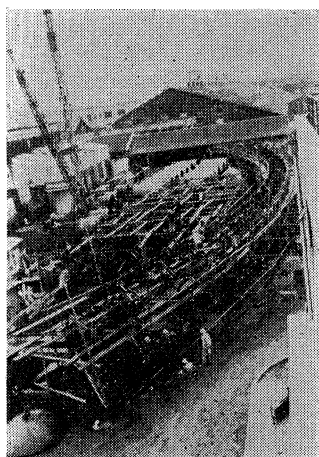


写真-6 トラス架設状況

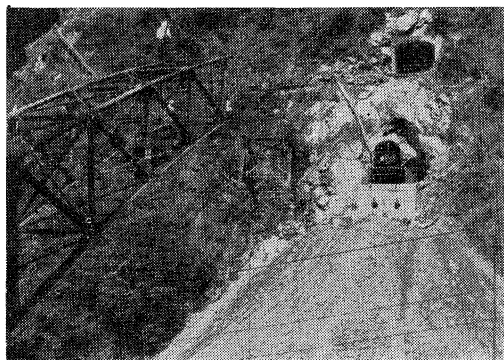


写真-7 管胴吊込状況

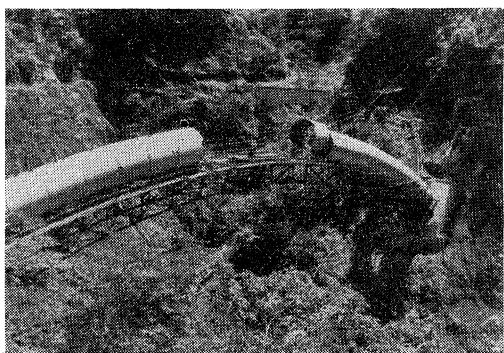
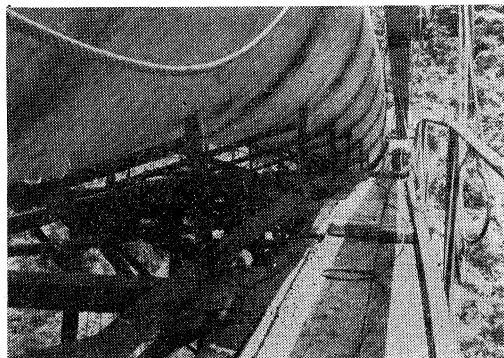


写真-8 トラス上支持状況



した(写真-4)。管と同様工場にて仮組立を行ない(写真-5)、架設はケーブル架設法によった(写真-6)。

## (8) パイプ アーチの架設

管は県道より No. 1 のケーブルにより橋軸まで、そこで No. 2 に積みかえてトラス アーチの上に運ばれ仮置し、測量修正後逐次溶接を行なった(写真-7, 8)。トラス アーチの管の重量によるたわみ、また溶接時の収縮などをさけるため一部は仮りつけのまま各半支間アーチ クラウン調節管の取り付け前にキャンバーを修正し完全な溶接が行なわれた。溶接が行なわれた時間は、早朝の温度変化の均一な時に行ない、日射後の管の伸縮、

表-8 温度による管移動記録

計測日時	昭和 36 年 7 月 8 日		
計測時	午前 6 時 10 分	外気温	15.5°C
	午後 14 時 15 分		32.0°C

(1) 計測時の鉄管温度

場所 時	上 心		下 心		右 心		左 心	
	午前	午後	午前	午後	午前	午後	午前	午後
P 27	15.5°	51.5°	16.0°	31.0°	15.5°	41.0°	16.0°	33.5°
P 29	16.0°	46.5°	15.5°	39.2°	15.5°	38.5°	16.5°	36.0°

(2) 標高の移動 (mm)

管 番	P 18	P 21	P 24	P 27	P 29	P 32	P 35	P 38
移 動 量	+4	+11	+8	+5	+9	+7	+10	+5

(3) 軸心の移動 (mm) 左心側に向って

管 番	P 18	P 21	P 24	P 27	P 29	P 32	P 35	P 38
移 動 量	3.5	7.5	12.5	23.0	15.0	7.0	3.0	0.5

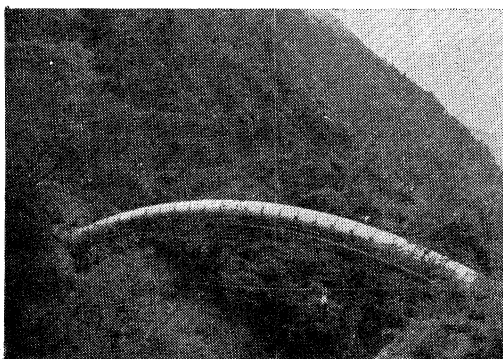
(4) P 27, 29 間距離の変化 (mm)

場 所	上 心	下 心	右 心	左 心
移 動 量	-14	-10	-15	-6

横振れなどの影響はさけるようにしている。日射時の管の横振れは表-8に示すように、大きい結果が出ている。最終管はアーチクラウンの調節管で管は4つ割りとし、1日ひと割りごとに、取りつけが行なわれた。それはこの管の取りつけがアーチにおよぼす初応力に影響が大であるからである。

取りつけ作業は、早朝測量を続行しながら、そう入仮つけを行ない最終管のそう入後、本溶接が開始された架台は全管溶接完了後撤去し、トラスアーチ管の温度変化によるたわみの影響をさけた。歩廊などの付属設備をのぞき7月中旬に終わった(写真-9)。このサイフォンでは支間が70mという比較的パイプアーチの利用では小さい部類に属しているが、各地における実施例がほとんど現場接手は、リベット接合を用いているとき、本サイフォン管において初めて現場溶接を採用した点、有意義と考えられる。この管の形状誤差は表-7に示すよう

写真-9 管胴溶接完了



あるが、各溶接による縮量は平均 2.2 m/m という結果が出ている。調節管は余長を 100 m/m 見込んだが実際には 71 m/m で現地調節には不便はなかった。

3. 道路橋としてのパイプアーチの利用

(1) パイプアーチの利点

パイプアーチはサイフォン管として水路橋に適するのみならず、道路橋として利用することができる。道路橋として用いる場合、次のような利点が考えられる。

a) 鋼材の節減 従来のI-断面またはπ-断面のアーチリブを用いるとき仕上げ重量に対して所要重量は7~10%多くなるが、円形断面を利用すれば、単位管をロール巾(普通1.5m)にすれば長さは円周長さに対して鋼材注文をすることができ、所要重量はほとんど仕上げ重量と大差なく、経済的である。

またアーチリブとして利用するとき部材力中圧縮力に対して有利な型状であるので経済的断面となる。

b) 溶接延長が少ない I-断面またはπ-断面に比し、円形断面は、溶接延長が大巾に減少されるので、加工費が安くなる。

c) 圧縮材として適している。

$$\sigma_{cr} = 0.2 E t / r \quad E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

t: 板厚, r: 半径

にて示される座屈強度より、圧縮材として適当であることがわかり、橋軸方向の補剛材をあまり必要としない。

d) 風圧抵抗が小さい I-断面π-断面では風圧抵抗cw値はcw=1.6として計算されているが、円形断面にては風圧抵抗が小さく、cw=0.7程度で十分であり、横方向荷重が軽減される(ねじり抵抗が大)。

従って横安定および対傾構、横構の設計が経済的となる。

e) 美観上すぐれている 円形断面の特性上、従来の型式より拱助高を低くとることができる。従って外観上軽快な感じを与え、円形断面であるとともに、美観上すぐれた型式である。

(2) パイプアーチの道路橋

水路橋としては、さきに述べたPassyのサイフォン管、および前章に紹介した楠之木沢サイフォンがわが国最初の実施例として最近完成した。道路橋については、代表例、北欧のTjorn橋があり、その詳細は文献<sup>1)</sup>に詳細に報告されているが、まだわが国では実施例を見ていない。しかしすでに各方面にてパイプアーチの道路橋が注目され、研究されているようであり、近い将来実現すると期待される。

パイプアーチそのものの曲げ、軸力せん断による応力状態については水路橋、道路橋とも本質的な相違点はなく、楠之木沢サイフォンの理論値および実測値によ



り、十分解明されたので以下道路橋として利用した場合の二、三の問題点について述べる。サイフォン管としての水路橋と、道路橋としてのパイプアーチのおもな相違点として列挙すれば次のとおりである。

a) アーチ型式 サイフォン管は通水管として、管内断面を利用するに反し、道路橋は管内断面の利用はまれで充腹アーチ橋としての主拱に利用する。従って両端を固定する必要はなく、2ヒンジアーチとして利用することもできる。また管断面の決定は純力学的に載荷荷重によって生ずる部材力により決定される。

b) 支柱取付部 道路橋においては、上中下路型式を問わず、いずれも格点には垂直材に作用する部材力をパイプアーチ主拱に伝達させる必要がある、薄肉円型断面に部分的集中荷重が作用することとなる。従って格点部の構造について特別の配慮が必要となる。一般にパイプアーチ内部に、リングスティフナーおよび杭圧材を用いた補強により、格点部の断面保持を考えている。

#### 4. 結 語

楠之木沢サイフォンについての概説を述べ、あわせて道路橋として利用する場合についての二、三の点について述べたが、本型式についてのいささかな参考ともなれば幸甚である。

#### 参 考 文 献

- 1) Ugo Bellomett: "Condotta Forzate"
- 2) "Passy-sur-Arve 発電所水圧鉄管とサイフォン橋", 電力技術研究所業務資料(土木 57010)
- 3) 神谷貞吉・矢島基臣: "パイプアーチの実験的研究", 電力中央研究所
- 4) Brückner, K: Brücke über den Askerø fjorden, Bauing 35 (1960) S 222 (Heft 6)
- 5) Barth, R: Windkanalmessungen üben der Luft Wider Stand eines Zylindertandems als Brücken träger Stahlbau 29 (1960) S. 186 (Heft 6)

(原稿受付: 1962.2.22)

### 好評重版書 ◇カタログ送呈◇

# 明らかにされた東京地層の全貌！ 東京地盤図

監修 建設省建築研究所・東京都建築局  
編集 日本建築学会・東京建築士会・土質工学会

土木・建築の設計、施工はその土地の地盤構成や、地質の特徴を克く知ることが不可欠の要件である。いままで30何年間の建設工事や、井戸掘りの折に行なわれた五〇〇〇本に近いボーリングや、弾性波試験の資料を集成したものである。建築・土木関係者・研究所等必備の書。

主要内容——東京付近の地形と地史、東京付近の地質、東京地盤の土質工学的性質、構造物の基礎としてみた東京地盤、付図—東京地質図、礫層分布図、地盤断面図、ボーリング柱状図(色刷最高8色)

A3判二四頁・上製函入・豪華本・折込34枚  
定価 一五、〇〇〇円・二二〇〇円

## 石井靖丸著 軟弱地盤工法

渡辺 隆著

## 土質調査および土質試験

土質工学会編

## 土質工学会用語集

編集委員会編

## 軽量形鋼建築便覧

本書は軟弱地盤の性質を詳細に検討し、工学的性質を明確にした書である。  
B6・定価四〇〇〇円

土質調査の意義、ボーリングの具体的説明、応用方法、各種試験を解説す。  
B6・定価四五〇〇円

土質工学会に特有の用語を多く集録したもので、関係技術者必備の用語集。  
A5・定価二〇〇〇円

本書は軽量形鋼の正しい使い方と設計・施工のよいところを詳細に解説。  
A5・定価一五〇〇〇円

技 報 堂

東京都港区赤坂溜池町5番地  
振替東京10番 電話 481-8581