

アルミニウム合金構桁橋の設計について

正員 室蘭工業大学 中 村 作 太 郎

1. 緒 論

アルミニウムは、地球上に最も多く存在する金属元素の一つであり、それが金属として世に現われたのは1827年にドイツ人 Friedrich Wöhler が、粉末として抽出したのに始まっている。構造用金属として、アルミニウムの主要な特徴は、その軽量であり、適当な元素の配合によつて、鋼、銅以上の強度を有する合金を作り得ることは、大きな魅力である。およそ、橋梁にアルミニウム合金が応用された¹⁾のは、1933年に米国の Pittsburgh 市の Smithfield Street 橋がその最初であり、1946年には米国 Massena の Grasse 河に架設された支間28.5mのプレートガーダー式鉄道橋があり、つづいて1948年には英国 Sunderland 跳開橋が、また1950年の春には、カナダの Arvida にある Saquenay 河にアーチ道路橋が架設せられた。いずれも14Sまたはこれに相当する合金で、全アルミニウム橋として架設せられた。また1950年の秋には、英国 Scotland に全長94.64mの連続トラスの全アルミニウム人道橋 Clunie 橋が完成した。1950年6月には、米国土木学会 (ASCE) から高力アルミニウム合金重構造物示方書²⁾が発表されている。我が国においても、1950年以来、船舶、機械、車輛、建築などに着々とアルミニウム合金が用いられている傾向にあるが、橋梁においては、具体的な発展を見なかつた。しかし1950年秋日本国有鉄道では、飯桁架換機第2号機製作に際し、その一部の強度部材に高力アルミニウム合金を用いた。これは全長33.4m、支間22.3mの下開きの移動トラスである。強度部材に使用せる合金は14S-T6であり、これは重構造用材料、特に橋梁用材として諸外国において既に標準的のものとされている。またASCEの示方書でも、14S-T6を限定規定している。最近著者は、学生の協力を得て、アルミニウム合金構桁橋の設計に関し、研究調査を試みた。すなわちKS-18の鉄道橋(支間30m)につき、鋼桁橋とアルミニウム合金構桁橋(高力アルミニウム合金材料、14S-T6を主とするバルチモア型構桁橋)との比較設計を行つたところ、その重量は鋼桁橋の67.571tに対し、アルミニウム合金構桁橋の場合は、24.944t(アルミ合金の部分22.444t)となり、その比率

は1.0:0.369(アルミ合金の部分0.332)となつた。また、その上部構造の工費は、鋼桁橋の6,175,100円に対し、アルミニウム合金構桁橋では、9,015,000円となり、その比率は1.0:1.460となつた。普通は、1.0:3.0位の比率となるべきであるが、これは、最近における鋼鉄材の極度の値上りによるものである。将来の見通しとしては、アルミニウム合金が安価で、自由に購入できるようになれば、軽量のアルミニウム合金橋の方が、すこぶる有利であると考えられる。それは、工場組立と現場組立とでは、能率の点で現場組立の方は工場組立の1.3に過ぎないから、運搬に便利なアルミニウム合金橋は工場組立を多くやることになり、鋼桁橋よりも工費が安くなると考えられるからである。その他鋼材とアルミニウム合金材とに対し、橋梁として使用される場合の物理的、化学的並びに機械的諸性質の比較研究を行つたので、それらの一端を述べると共に、アルミニウム合金構桁橋の設計に関し、今後に残された諸問題などを論じて見る考えである。

2. アルミニウム合金構桁橋の設計

支間30mのKS-18荷重を受ける鉄道橋を設計するに当り、アルミニウム合金材を用い、種々型式を比較研究して見た。アルミニウム合金のヤング係数は、鋼の1/2.9すなわち、724,000 kg/cm²であつて、振動の割合に多い鉄道橋としては、その振みを小にするために構を採用し、特に応力並びに経済上の点を考慮して、バルチモア構を選んだ。

(1) 設計事項

荷重:KS-18、支間:30.0m、橋高:3.9m、主樑中心間隔:2.5m、型式:単線上路式バルチモア構橋、材料:アルミニウム合金14S-T6(米国材料試験協会(ASTM)の規格B221-49T(CS41)、B211-49T(CS41)および、B209-49T(Clad CS41)で定められており、型材として用いる)Alclad 14S-T6およびR301-T6(板材用)A17S-T3(冷間圧力締め鍛材用)、61S-T43(熱間打鍛材用532~565°C)など、接合方法:アルミニウム合金鋁接合³⁾設計示方書:米国土木学会高強度アルミニウム合金重構造物示方書⁴⁾および我が国における鋼鉄道橋設計示方書

(2) 主構 (バルチモア構) の応力

図-1 のときバルチモア構について応力計算を行った。

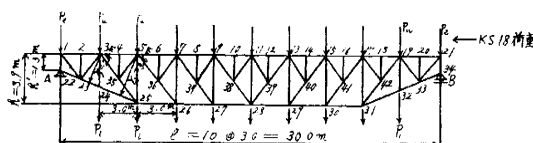


図-1 主構の図

i) 死荷重による格点荷重

全自重を約 25 t と仮定すると、1 格点当りの荷重は、
 $25 \text{ t} \div 20 = 1.250 \text{ t}$ 、中間床桁および縦桁、軌道による格点荷重は、1.450 t、端床桁および縦桁による支点上格点荷重は、0.160 t、端格点における主構重量は $1.25 \div 2 = 0.625 \text{ t}$

結局、中間上弦格点 $P_U = 1.800 \text{ t}$ } $P_U + P_L = 2.700 \text{ t}$
 中間下弦格点 $P_L = 0.900 \text{ t}$ }
 端格点 $P_e = 0.625 + 0.160 + 0.450 = 1.235 \text{ t}$

ii) 死荷重応力

$R_A = R_B = \frac{1}{2} \sum P = 13.885 \text{ t}$ 、図-1 のとき載荷状態における部材の応力は表-1 参照のこと。

iii) 活荷重応力

KS-18 なる荷重が通過した際の、部材応力の影響線を書いて計算せる結果を表-1 に示す。

iv) 衝撃応力

衝撃係数は、鋼鉄道橋設計方書第 7 条に準拠して求めれば次のごとくなる。

$$\text{上弦材, 下弦材} \cdots i = \frac{45}{45 + 30} = 0.6$$

$$\text{鉛直材, 斜補剛材, 鉛直補剛材} \cdots i = \frac{45}{45 + 2.5} = 0.95$$

$$\text{端支柱, 斜材} \cdots i = \frac{45}{45 + 0.75 \times 30} = 0.67$$

部材応力は表-1 参照のこと。

v) 部材応力計算表

死荷重応力 S_d 、活荷重応力 S_l 、衝撃応力 S_i 、合成応力 S_r などを表に纏めれば次のごとくである。

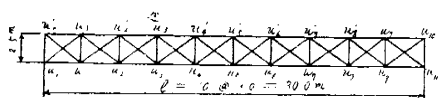
表-1 構部材応力表

部 材 名		引 張 力 (kg)		圧 縮 力 (kg)		合 成 力 (kg)		部材長 (cm)
鉛直材	1-22	S_i		S_l	-21,630	S_r	- 42,020	130
		S_i		S_l	-14,490			
	21-34	S_d		S_d	- 5,900			
	3-24	S_l		S_l	-33,830	S_r	- 74,980	260
		S_i		S_i	-32,140			
	19-32	S_d		S_d	- 9,010			
	5-25	S_l		S_l	-48,570	S_r	-109,050	390
		S_i		S_i	-46,140			
	17-31	S_d		S_d	-14,340			
	7-26	S_l		S_l	-35,630	S_r	- 80,060	390
		S_i		S_i	-33,850			
	15-30	S_d		S_d	-10,580			
斜 材	9-27	S_l		S_l	-26,580	S_r	- 58,230	390
		S_i		S_i	-25,250			
	13-29	S_d		S_d	- 6,400			
	11-23	S_l		S_l	-18,900	S_r	- 41,110	390
		S_i		S_i	-17,960			
		S_d		S_d	- 4,250			
	3-25	S_l	+62,610	S_l		S_r	+124,320	492
		S_i	+41,950	S_i				
	19-31	S_d	+19,760	S_d				
	5-26	S_l	+54,410	S_l		S_r	+102,770	492
		S_i	+36,450	S_i				
	17-30	S_d	+11,910	S_d				
斜 材	7-27	S_l	+40,860	S_l		S_r	+ 76,320	492
		S_i	+27,330	S_i				
	15-29	S_d	+ 8,080	S_d				
	9-28	S_l	+28,350	S_l		S_r	+ 56,970	492
	13-23	S_i	+19,000	S_i				
		S_d	+ 3,620	S_d				

部 材 名	引 張 力 (kg)			圧 縮 力 (kg)			合 成 力 (kg)	部材長 (cm)
上弦材	1—3	S_t		S_t	— 47,090		S_r	300
	19—21	S_t		S_t	— 28,250			
		S_d		S_d	— 14,260			
	3—5	S_t		S_t	— 81,250		S_r	300
	17—19	S_t		S_t	— 48,750			
		S_d		S_d	— 26,510			
	5—7	S_t		S_t	— 103,320		S_r	300
	15—17	S_t		S_t	— 61,990			
		S_d		S_d	— 33,800			
	7—9	S_t		S_t	— 108,380		S_r	300
下弦材	13—15	S_t		S_t	— 65,030			
		S_d		S_d	— 39,090			
	9—11	S_t		S_t	— 115,480		S_r	300
	11—13	S_t		S_t	— 69,290			
		S_d		S_d	— 40,390			
	22—24	S_t	+ 70,560	S_t			S_r	308
	32—34	S_t	+ 42,340	S_t				
		S_d	+ 27,990	S_d				
	24—25	S_t	+ 81,830	S_t			S_r	308
	31—32	S_t	+ 49,100	S_t				
		S_d	+ 29,190	S_d				
	25—26	S_t	+ 67,160	S_t			S_r	300
	30—31	S_t	+ 40,300	S_t				
		S_d	+ 27,210	S_d				
	26—27	S_t	+ 107,630	S_t			S_r	300
	29—30	S_t	+ 64,580	S_t				
		S_d	+ 36,770	S_d				
鉛 直 補剛材	27—28	S_t	+ 95,860	S_t			S_r	300
	28—29	S_t	+ 57,220	S_t				
		S_d	+ 34,860	S_d				
	4—35	S_t		S_t	— 11,000		S_r	195
	18—42	S_t		S_t	— 10,450			
		S_d		S_d	— 1,350			
	6—36	S_t		S_t	— 11,000		S_r	195
	16—41	S_t		S_t	— 10,450			
		S_d		S_d	— 1,350			
	8—37	S_t		S_t	— 11,000		S_r	195
	14—40	S_t		S_t	— 10,450			
		S_d		S_d	— 1,350			
	10—38	S_t		S_t	— 11,000		S_r	195
	12—39	S_t		S_t	— 10,450			
		S_d		S_d	— 1,350			
	2—23	S_t		S_t	— 11,000		S_r	195
	20—33	S_t		S_t	— 10,450			
		S_d		S_d	— 1,350			
斜補 剛材	5—35	S_t	+ 6,930	S_t			S_r	246
	17—42	S_t	+ 6,590	S_t				
		S_d	+ 860	S_d				
	7—36	S_t	+ 6,930	S_t			S_r	246
	15—41	S_t	+ 6,590	S_t				
		S_d	+ 860	S_d				

部 材 名		引 張 力 (kg)		圧 縮 力 (kg)		合 成 力 (kg)		部材長 (cm)
斜補 剛材	9—37	S_t	+6,930	S_t		S_r	+14,380	246
	13—40	S_t	+6,590	S_t				
		S_d	+ 860	S_d				
	11—38	S_t	+6,930	S_t		S_r	+14,380	246
	11—39	S_t	+6,590	S_t				
		S_d	+ 860	S_d				
	1—23	S_t	+6,930	S_t		S_r	+14,380	246
	21—33	S_t	+6,590	S_t				
		S_d	+ 860	S_d				
	3—23	S_t	+6,930	S_t		S_r	+14,380	246
	19—23	S_t	+6,590	S_t				
		S_d	+ 860	S_d				

注 (+)……引張力, (−)……圧縮力: 補剛材は副三角構を用いて計算するも更に他の影響をも考慮して断面を決定する。



図—2 上横構の図

(3) 横構の応力

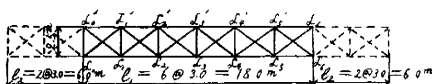
i) 上 横 構

図—2において、横荷重 $w=300+600=900 \text{ kg/m}$ として部材応力を計算すれば次のごとくなる。

表—2 上横構部材応力表 (片側荷重)

部 材 名	応 力 (kg)	部 材 名	応 力 (kg)	部 材 名	応 力 (kg)	部 材 名	応 力 (kg)
上 弦 材	$U'_0 U'_1$ −14,580	下 弦 材	$U_0 U_1$ +16,200	鉛 直 材	$U_0 U'_0$ −13,500	斜 材	$U_1 U'_0$ +7,776
	$U'_1 U'_2$ −27,000		$U_1 U_2$ +14,580		$U_1 U'_1$ −12,150		$U_2 U'_1$ +5,875
	$U'_2 U'_3$ −33,075		$U_2 U_3$ +27,000		$U_2 U'_2$ − 9,504		$U_3 U'_2$ +4,311
	$U'_3 U'_4$ −38,880		$U_3 U_4$ +33,075		$U_3 U'_3$ − 6,912		$U_4 U'_3$ +2,540
	$U'_4 U'_5$ −40,500		$U_4 U_5$ +38,880		$U_4 U'_4$ − 4,131		$U_5 U'_4$ + 415
					$U_5 U'_5$ − 2,700		

注 引張力(+), 圧縮力(−), 横荷重が反対のときは上下弦材応力は逆になる。



図—3 下横構の図

ii) 下 横 構

図—3において横荷重 $w=300 \text{ kg/m}$ の等分布荷重が全支間にかかるものとする、部材応力は次表のごとくなる。

表—3 下横構部材応力表 (片側荷重)

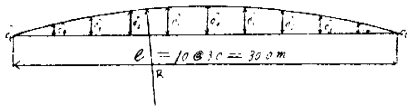
部 材 名	応 力 (kg)	部 材 名	応 力 (kg)	部 材 名	応 力 (kg)	部 材 名	応 力 (kg)
上 弦 材	$L'_0 L'_1$ − 4,870	下 弦 材	$L_1 L_1$ + 5,830	鉛 直 材	$L_0 L'_0$ −4,870	斜 材	$L'_0 L_1$ +6,320
	$L'_1 L'_2$ − 7,830		$L_1 L_2$ + 4,870		$L_1 L'_1$ −4,050		$L_1 L_2$ +3,800
	$L'_2 L'_3$ −17,500		$L_2 L_3$ +17,500		$L_2 L'_2$ −2,550		$L_2 L_3$ +1,890
					$L_3 L'_3$ −1,620		

注 引張力(+), 圧縮力(−), 横荷重反対のときは上下弦材応力は逆になる。

(4) 主構の撓み

主構の各部材について、活荷重、衝撃荷重、死荷重による合成応力 S (kg), $P=1$ による応力 S , 弾性係数 E (kg/cm²) 部材長 l (cm), 断面積 A (cm²) などを計算し, 更に, 温度変化による変長 $\Delta S' = \alpha \cdot l \cdot t$ ($\alpha = 0.0000216$, $t = 80^\circ\text{C}$), 応力による変長 $\Delta S'' = \frac{Sl}{EA}$ を計算し, 構の中央点の最大撓みを計算すれば, $\delta_{\max} = \sum S \cdot \Delta S = 9.89972$ cm (ここに $\Delta S = \Delta S' + \Delta S''$, $E = 724000$ kg/cm² とする)

(5) 主構の反り (図—4 参照)



図—4 主構の反りの図

反りの曲率半径 $R =$

$$\left(\frac{l^2}{4} - \delta_0^2 \right) \cdot \frac{1}{2\delta_0} = \left(\frac{30^2}{4} - 0.098997^2 \right) \times \frac{1}{2 \times 0.098997} = 11364.4757 \text{ m}$$

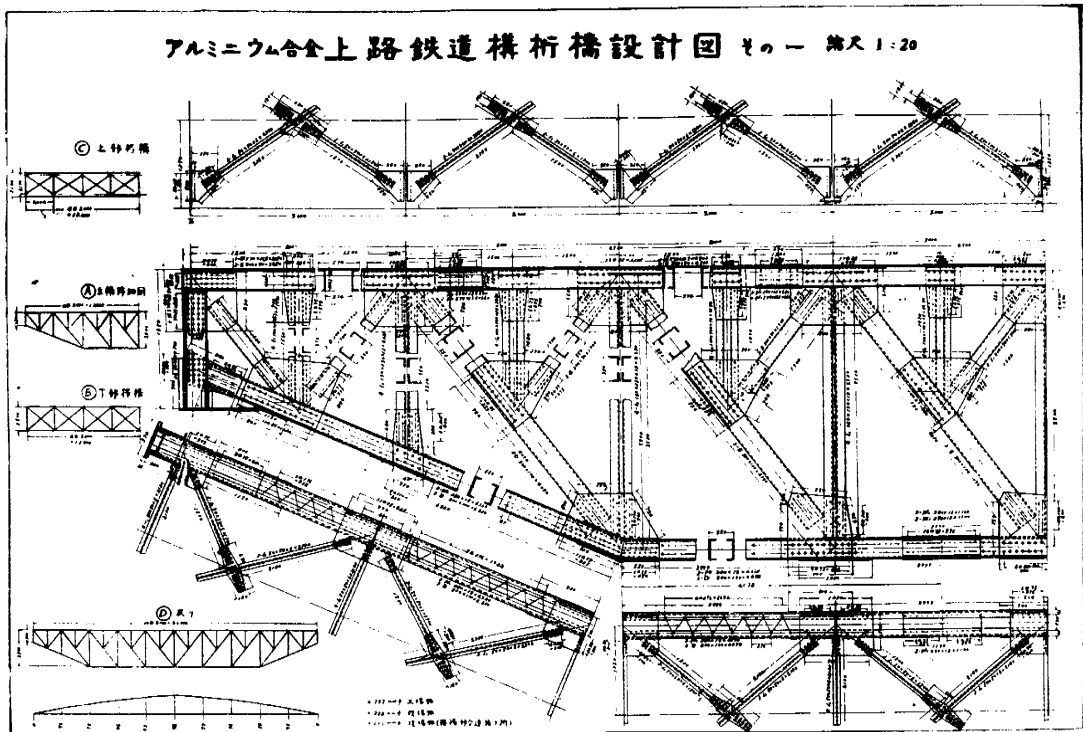
$$\delta_1 = \delta_0 - (R - \sqrt{R^2 - np^2}) = 0.098997 - (1136.4757 - \sqrt{1136.4757^2 - 1 \times 3^2}) = 0.098797 \text{ m}$$

同様に, $\delta_2 = 0.097787$, $\delta_3 = 0.095627$, $\delta_4 = 0.092857$, $\delta_5 = 0$

部材長は, 荷重が通過する際撓が 0 になるよう, 反りを付けるため部材長は少し異なってくる。すなわち, 上弦材 $L_U = 3.0$ m, 下弦材 $L_L = \left(1 - \frac{h}{R} \right) \times L_U = \left(1 - \frac{3.9}{11,364.4757} \right) \times 3.0 = 2.99897$ m, 斜材 $L_D = \sqrt{\lambda^2 r^2 + h^2} = \sqrt{3 \times 2.99897^2 + 3.9^2} = 4.92005$ m

(6) バルチモア構桁橋設計図

アルミニウム合金のバルチモア型構桁橋の設計図を示せば, 図—5, 6 のごとくである。



図—5 アルミニウム合金バルチモア構桁の橋主構其他設計図

② アルミニウム合金上路鉄道構桁橋設計図 その二 縮尺 1:20

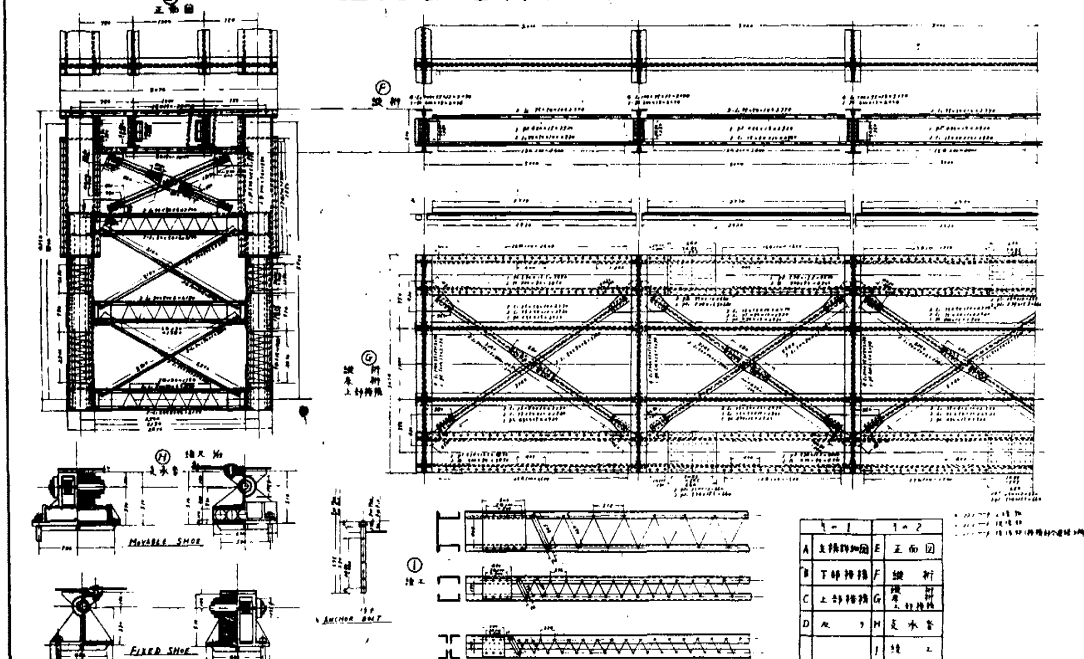


図-6 アルミニウム合金バルテモア構桁橋正面, 床組, 其の他設計図

(7) バルテモア構桁橋材料表

表-4 アルミニウム合金バルテモア構桁橋材料表

種 別	寸 法 (mm)	数 量	重 量 (kg)	摘 要	材 質
		上 弦		材	
鋁	574×15.5	3,850	4	397	Alclad 14 S-T6
溝 型	574×15.5	4,500	10	1,161	"
	300×90	3,850	4	495	14 S-T6
	300×90	4,500	10	1,448	"
鋁	250×12	660	12	68	継 口 添 接 Alclad 14 S-T6
	574×15.5	660	12	209	"
	750×10	830	8	144	繋 鋁 "
	400×10	700	40	324	"
	780×10	1,200	8	217	"
	780×10	1,255	8	228	"
	780×10	1,255	20	565	"
鋁	22 mmφ		1,488	119	現 場 打 A17 S-T3
	22 mmφ		2,504	200	工 場 打 "
綾 工	490×70×5		52	26	Alclad 14 S-T6

5,601

種 別	寸 法 (mm)	数 量	重 量 (kg)	摘 要	材 質
下 弦 材					
鋁	280×13	6,320	4	535	Alclad 14 S-T 6
溝 型	300×100	6,320	4	1,004	14 S-T 6
鋁	280×13	4,500	8	380	Alclad 14 S-T 6
溝 型	300×100	4,500	8	715	14 S-T 6
鋁	280×12	1,100	12	128	継 目 添 接 Alclad 14 S-T 6
"	250×12	1,100	12	115	" "
"	800×10	900	20	410	繋 鋁 "
"	550×10	1,020	20	325	" "
"	420×10	640	8	62	" "
"	750×10	950	8	165	" "
"	880×10	1,150	8	234	" "
鋁	22 mmφ	2,320	185	現 場 打	A 17 S-T 3
"	22 mmφ	2,256	180	工 場 打	"
綾 工	260×70×5	248	65		Alclad 14 S-T 6
4,503					
垂 直 材					
山 形	130×130×12	2,210	4	292	14 S-T 6
"	130×130×12	3,520	14	1,629	"
鋁	22 mmφ		1,440	115	現 場 打 A 17 S-T 3
綾 工	210×70×5		168	35	Alclad 14 S-T 6
2,071					
垂 直 補 剛 材					
山 形	100×100×10	1,560	4	137	14 S-T 6
"	100×100×10	1,470	16	515	"
鋁	22 mmφ		960	76	現 場 打 A 17 S-T 3
728					
斜 材					
溝 型	300×100	4,080	4	610	14 S-T 6
"	300×100	4,090	12	1,836	"
鋁	500×10	980	32	454	Alclad 14 S-T 6
鋁	22 mmφ		704	56	工 場 打 A 17 S-T 3
"	22 mmφ		1,536	123	現 場 打 "
3,088					
斜 補 剛 材					
溝 型	200×90	1,700	20	759	14 S-T 6
"	200×90	1,480	4	132	"
鋁	22 mmφ		1,152	92	現 場 打 A 17 S-T 3
983					

種 別	寸 法 (mm)	数 量	重 量 (kg)	摘 要	材 質
上 部 横 構					
山 形	50×50× 6	3,240	10	103	14 S-T 6
"	50×50× 6	1,500	20	96	"
角	130×10	680	10	25	Alclad 14 S-T 6
鋳	11 mmφ	840	17	現 場 打	A 17 S-T 3
"	11 mmφ	580	12	工 場 打	"
253					
下 部 横 構					
山 形	50×50× 6	3,140	14	140	14 S-T 6
"	50×50× 6	1,500	20	96	"
"	50×50× 6	3,300	2	21	"
"	50×50× 6	2,120	11	74	"
鋳	11 mmφ	880	18	現 場 打	A 17 S-T 3
"	11 mmφ	811	16	工 場 打	"
綾 工	250×70× 5	132	33		Alclad 14 S-T 6
山 形	50×50× 6	270	44	38	14 S-T 6
436					
床 桁 及 縦 桁					
山 形	100×75×13	3,074	11	430	14 S-T 6
角	600×13	3,074	11	764	Alclad 14 S-T 6
山 形	75×50×10	2,770	20	674	14 S-T 6
角	430×15	2,920	20	1,084	Alclad 14 S-T 6
山 形	75×50×10	2,920	20	711	14 S-T 6
"	50×50×10	300	44	95	"
鋳	22 mmφ	1,716	187	現 場 打	A 17 S-T 3
"	22 mmφ	978	78	工 場 打	"
3,973					
端 部 取 付 箇 所					
鋳	574×15.5	1,950	4	205	Alclad 14 S-T 6
溝 型	300×90	1,950	4	251	14 S-T 6
鋳	574×21	1,150	8	304	Alclad 14 S-T 6
鋳	22 mmφ		92	0.7	工 場 打
鋳	260×10	400	8	24	繋 鋳
鋳	11 mmφ		68	0.1	工 場 打
"	11 mmφ		148	0.3	現 場 打
山 形	50×50×6	830	4	11	14 S-T 6
"	50×50×6	1,830	2	12	"
808					
查 お よ び 附 属 品					
			2,500		鋳 鉄 FC 15
総 計			24,944 t		

注 鋳材としては、A 17 S-T 3 のほか必要に応じ 61 S-T 43 を使用する。

表—7 剪 断 力 表 (t)

剪 断 力	点					
	A	C	D	E	F	G
活 荷 重 剪 断 力	67.980	55.950	44.460	33.960	25.080	17.820
衝 撃 剪 断 力	40.788	34.969	28.988	23.161	17.907	13.365
死 荷 重 剪 断 力	18.675	14.940	11.205	7.470	3.735	0
合 成 剪 断 力	127.443	105.859	84.653	64.591	46.724	31.185

v) 対傾構の応力 (図—9 参照)

$P=13,509.0 \text{ kg}$ として, 端対傾構の部材 $\overline{AB'}$ の応力を求めると, $\overline{AB'} = 22,965.3 \text{ kg}$ 中間対傾構の応力は端対傾構より小である。

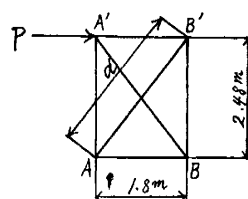
vi) 鋼鈑桁橋の設計図 (図—10 参照)

(2) アルミニウム合金構桁橋と鋼鈑桁橋の重量および工費⁵⁾の比較

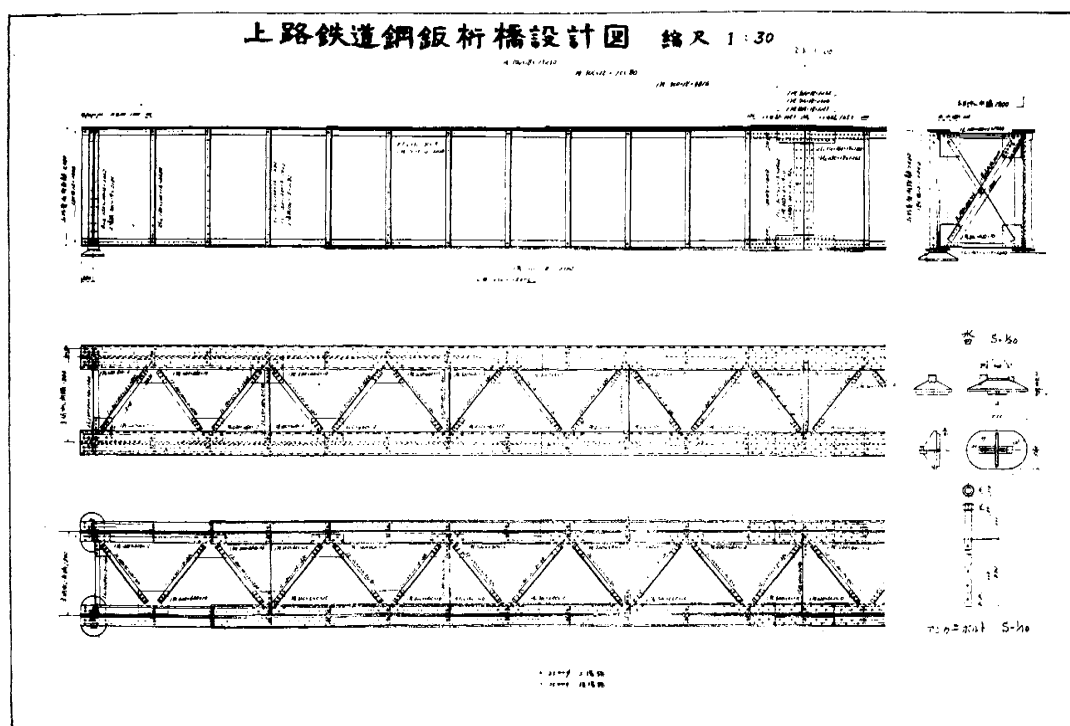
i) 重 量

アルミ合金構桁橋	
主 構	15.828 t
横構其の他	5.191 t
鈑	1.425 t
計	22.444 t
型 材	12.448 t

鋼 鈑 桁 橋	
主 桁	63.213 t
横構其の他	3.075 t
鈑	1.183 t
計	67.571 t
型 材	16.321 t



図—9 対傾構の図



図—10 鋼鈑桁橋設計図

鋁材	8.571 t	鋁材	50.067 t
鋁	1.425 t	鋁	1.183 t
計	22.444 t	計	67.571 t

故に、その重量比は $\frac{\text{アルミ合金構}}{\text{鋼鋁桁}} = \frac{22.444}{67.571} = 0.332$

工費を比較して見れば、次表のごとくなる。

(a) 材料費

ii) 工費

表—8 材料費比較表

アルミニウム合金構桁橋				鋼 鋁 桁 橋			
種 別	重 量 (t)	単 価 (円)	材 料 費 (円)	種 別	重 量 (t)	単 価 (円)	材 料 費 (円)
型 材	12.448	370,000	4,605,760	型 材	16.321	78,000	1,273,038
鋁 材	8.571	340,000	2,914,140	鋁 材	50.067	81,000	4,055,427
鋁	1.425	581,000	827,925	鋁	1.183	130,000	153,790
計	22.444		8,347,825	計	67.561		5,482,255

(b) 製作労務費

表—9 製作労務費比較表

種 別	アルミニウム合金構桁橋					鋼 鋁 桁 橋				
	孔数又は重 量	1人1日当りの能力	1人1日の単価	工数	労 務 費	孔数又は重 量	1人1日当りの能力	1人1日の単価	工数	労 務 費
穿 孔	20,503 孔	400 孔	800円	52	41,600円	6,652 孔	400 孔	800円	17	13,600円
工 場 鋁 接	8,023 "	200 本	"	40	32,000	5,062 "	200 本	"	26	20,800
現 場 "	12,480 "	70 "	"	180	144,000	1,590 "	70 "	"	23	18,400
工 場 組 立	9.980 t	30 kg	"	332	265,600	54.060 t	77 kg	"	702	561,600
現 場 "	14.970 "	70 "	"	215	172,000	13.510 "	200 "	"	68	54,400
計					655,200					668,800

(c) 総工費

表—10 総工費比較表

種 別	アルミニウム合金構桁橋 (円)	鋼 桁 鋁 橋 (円)
運 送 費	12,000	24,000
材 料 費	8,347,800	5,482,300
製作労務費	655,200	668,800
計	9,015,000	6,175,100

$$\left. \begin{aligned} \text{材料費比率} &= \frac{8,347,825}{5,482,255} = 1.523 \\ \text{労務費比率} &= \frac{655,200}{668,800} = 0.980 \\ \text{総工費比率} &= \frac{9,015,000}{6,175,100} = 1.460 \end{aligned} \right\} \cdot \frac{\text{アルミ合金構}}{\text{鋼 鋁 桁}}$$

此の外、支承および支承付属品が加算された、下部構造の費用も加えられる。橋台は、死荷重の程度、支承の違いなどによつて異なつてくると考えられるが、大し

た相違はないと思う。支承は、アルミニウム合金構橋では、鋳鉄製のものが有利である。

5. 結 論

(1) 主構の設計計算

最初主構の自重を仮定する際、鋼構桁橋の支間 30 m に対する自重公式で得た値に比重の比を乗じたものと、過去において架設せられた類型の鋼構桁橋に対する自重に比重の比を乗じたものとの平均値をとつて約 25 t と定めたが、設計の結果 24.944 t となり、この仮定はほぼ正しかつたことが証明された。

(2) アルミニウム合金の許容応力

アルミニウム合金の許容応力は、鋼のそれと比較して大体 20% 程度大きいから、それだけ材料を節約することができる。しかし、支承番、その他これに類するものは、鋼鉄の方が有利である。

(3) アルミニウム合金の耐食性

アルカリ分の影響を受ける箇所以外においては、鋼よりも優つてゐる。しかし、アルミニウム合金は、他の金

屈と接触すると腐食されやすいから、これを行うようなことをしてはならない。従つて、表面をクロム酸亜鉛、瀝青質塗料などにて十分塗装すると完全なものとなる。

(4) 軽量の利点について

鋼桁橋では、設計の結果、自重が67.571 tとなつたのに対し、アルミニウム合金桁橋では24.944 tとなり、重量が約1/8に軽減されたことは著しい利点である。上部構造の自重が軽くなることは、下部構造を経済的ならしめ、また地震時における橋梁の耐震性を増大せしめ、すこぶる有利である。また材料、組立品の運搬、架設施工を容易ならしめることは、工費の減少にも直接役立つのみならず、工期をも短縮できて非常に有利である。

(5) 工費について

上部構造のみについて比較すれば、鋼桁橋の総工費6,175,100 円に対し、アルミニウム合金桁橋では9,015,000 円となつたから、アルミニウム合金桁橋は、鋼桁橋の約1.46 倍となる。しかし、これは鋼1 t 当り205,887 円、アルミニウム合金1 t 当り300,500 円として比較したのであつて、現在、この鋼材の価格が非常に高いのと、かつアルミニウム合金の方は、その需要が少ないため、一種の公定価格に類せる値段を採用したため、その差が割合に小さかつたのであり、鋼材が通常の供給と需要の関係にある普通の値段の場合ならば、2.0~3.0 倍位になると思う。

(6) 撓みと衝撃係数

橋にとつて、アルミニウム合金の欠点の一つは、その強度が鋼と同程度、あるいは、それ以上であるが、弾性係数 E が鋼の約1/2.9 の724,000 kg/cm² なることである。 E が小なるため、部材の変形、橋の撓み、振動性が増大し、圧縮材の長柱としての強度が小さくなる。また挫屈に対しても十分考慮を必要とする。いま、鋼桁橋とアルミニウム合金桁橋の撓みを比較して見ると、合成荷重による最大撓みは、鋼桁橋で $\delta_s = 3.8527$ cm なるに対し、アルミニウム合金桁橋では、 $\delta_A = \Sigma S \cdot 4S = 9.8997$ cm となり、その比 $\frac{\delta_A}{\delta_s} = \frac{9.8997}{3.8527} = 2.570$ となる。もし、アルミニウム合金桁橋の弾性係数 $E = 724,000$ kg/cm² の代りに、鋼の弾性係数 $E = 2,100,000$ kg/cm² を用い、鋼桁橋としての最大撓みを同様に求めると $\delta_s = \Sigma S \cdot 4S = 1.9388$ cm となり、その比 $\frac{\delta_A}{\delta_s} = \frac{9.8997}{1.9388} = 5.106$ が得られる。また、アルミニウム桁橋において、衝撃を含めぬ活荷重、死荷重、温度変化のみによる中央点の撓みを求めて見ると、 $\delta_A = 3.779$ cm となり $\frac{\delta_A}{l} = \frac{3.779}{3,000} = \frac{1}{794} > \frac{1}{1,000}$ すなわち、鋼桁橋の撓みに関

する規定の限度を相当に超過しているので、問題として取上げる必要があると思う。しかし、弾性係数の極めて小さいアルミニウム合金桁橋に対し、鋼桁橋の規定をそのまま用いることは勿論できないし、アルミニウム合金橋の撓度規定に関し、今後、十分なる吟味と研究の余地が存すると思う。次に、アルミニウム合金桁橋の衝撃係数は、鋼桁橋の基準に従つて求めたが、弾性係数が、鋼に比較し約1/2.9 しかないのであるから、部材の変形、撓み、振動性、圧縮材の長柱としての強度、挫屈に対しての影響などを考慮して、アルミニウム合金橋特有の衝撃係数公式を作ることは、今後の研究課題であると考え。最後に、この研究に対し熱心に協力された学生内山稔、藤田吉臣の両君に心から感謝すると共に、資料を提供して下さいた東京大学生産技術研究所、軽金属協会、大東金属工業株式会社、三井物産株式会社、函館ドック室蘭製作所に対し、深く敬意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 軽金属協会：橋梁とアルミニウム工業（第1輯）、軽金属資料 No. 44, 1950。
軽金属協会：橋梁とアルミニウム（第2輯）、軽金属資料 No. 105, 1951。
- 2) The American Society of Civil Engineers: Specification for Structures of Aluminum Alloy 6061-T6.
Journal Structural Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers. Volume 82, No. ST 3, May, 1956。
軽金属協会：アルミニウム工業の技術（第5輯）、軽金属資料 No. 96, 1951。
- 3) 軽金属協会：アルミニウムの鋳接第1輯 軽金属資料 No. 53, 1951。
- 4) 軽金属協会：米国土木学会高強度アルミニウム合金重構造物示方書 軽金属資料 No. 96, 1951。
The American Society of Civil Engineers: Specification for Structures of Aluminum Alloy 6061-T6
Proceedings of the American Society of Civil Engineers. Volume 82, No. ST3, May, 1956。
- 5) 軽金属協会：昭和30年輕金属工業統計年報 軽金属資料 No. 279, 1956。
軽金属協会：アルミニウム押出材による設計法 軽金属資料 No. 97, 1951。
東京大学生産技術研究所：“アルミニウムの応用” 特集号 生産研究第2巻第4号, 1950。