

高力アルミニウム合金製組立応急橋

福田 武雄・加藤 正夫

アルミニウム合金の特長の第一は、いうまでもなくその軽量性である。コウ水などの災害のために既設の橋が流されたりしたとき、できるだけ早く交通を確保するための応急橋としては、鋼製のものがすでに用いられているが、このような場合こそ、軽量性があらゆる意味においてそのメリットを発揮するときであって、本橋は、北海道開発局からの委託により、高力アルミニウム合金の軽量性に着目して計画・設計した可搬組立式応急橋である。

1. ま え が き

高力アルミニウム合金を橋に活用することは、1933年に米国の Pittsburgh 市の Smithfield Street 橋の橋床の改築に用いられてから(生産研究 第2巻 第4号)今日までに、世界の各地ですでに 10 数橋のアルミニウム橋が架設された。わが国では 1951 年に国鉄のプレートガーダー架換橋(生研報告 第2巻 第7号)の一部に 14S-T6 合金が使用されたのが最初であり、本年2月には芦有開発株式会社の芦屋有馬間の有料道路中に全溶接アルミニウム合金桁の金慶橋が完工した。

本橋は、北海道開発局が、災害時の交通確保のために、高力アルミニウム合金の軽量性と酷寒時におけるその機械的性能とに着目し、鋼製のものとして予算化されたものをわざわざ高力アルミ合金製に変更して計画した可搬組立式応急橋である。

本橋の計画および設計は、北海道開発局から本研究所の生産技術研究奨励会の受託研究として委託され、福田および加藤がこれを担当した。

本橋の計画・設計および製作には、アルミニウム製造業界と橋梁製作者との協力および連絡が必要であるので、社団法人軽金属協会の全面的な協力のもとに、同協会内に橋梁委員会を設け、上記の業界および関係官庁から委員の参加をもとめ、福田が委員長となり、型式・使用材料等の基本方針および細部事項について審議決定した。本橋の強度計算や図面の作成等は日本構造物設計事務所に依頼した。本橋に使用したアルミニウム合金材は、日軽アルミ・古河アルミ・住友軽金属・神戸製鋼所・昭和アルミ・日本アルミおよび大阪アルミの7社によって分担製造され、株式会社宮地鉄工所によって加工製作された。

2. 設 計

(1) 設計条件

最大支間: 30 m, ただし、これ以下の支間の場合にも使えること

有効幅員: 3 m

設計荷重: TL-14 (14 t トラック), ただし衝撃係数は鋼道路橋設計示方書の $\frac{1}{2}$ とする

(2) 型 式

橋の型式としては、橋桁の上方に路面を設けるいわゆる上路橋がもっとも簡単であるが、取付け道路の面から考えて、表紙写真および写真1に示すような下路のポニー・トラスとした。

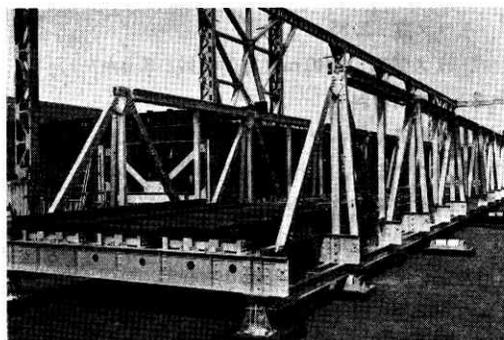
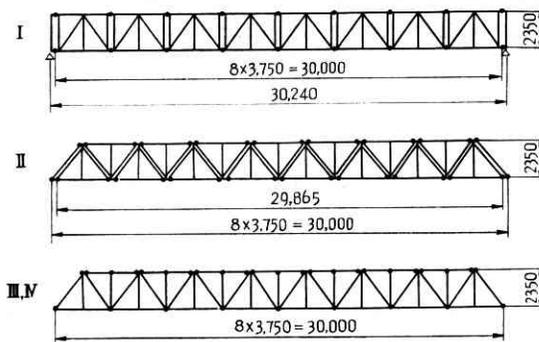


写真1 アルミニウム応急橋



第 1 図

トラスの型式としては、最初には、第1図のIのように矩形のパネルをその4隅でピンで連結してゆくもの考えた。これは日本汽車製造株式会社の KSK パネル橋や米国のベイリー橋などに使われている型式であり、ピンの数が少なくすむが、設計してみると、1パネルの重量が 200 kg 以上になって取扱いに不便であるので、つぎにIIの型式を考えた。これは同一の三角形パネルを上下にたがいちがいに連結してゆく方法であるが、ピンの数が多く、また相接する斜材を結合して1本の斜材として働かせるようにすることに設計上および実際の組立作業上に難点があるので、いろいろ検討した結果、第1図のIII, IVに示すように、三角形パネル・水平上弦材・

中間垂直材とて組み立ててゆく型式にした。この型式での最大重量のピースは三角形パネルであり、その重量は143 kg であり、他のピースは100 kg あるいはそれ以下であって、取扱いがきわめて容易である。

ⅢとⅣとのちがいは、床を支持する横桁である。Ⅲでは工形断面の型材を使用し、Ⅳでは山形材と板とをリベットで結合する横桁である。しかし、現在わが国の現状では本橋の横桁に所要される程度の大きな断面のものは製造不可能であるので、リベット結合の横桁を使うことにした。結局、最終的に決定した主要寸法はつぎのとおりである。

最大支間: 30 m (8@ 3.75 m, したがって場合に依りて 26.25, 22.5, 18.75, 15.0 m ……
などの支間に架設できる)

トラス高: 2.35 m

トラス間隔: 3.40 m (有効幅員: 3.0 m)

(3) 使用材料

使用するアルミニウム合金の選択にあたっては、まず溶接構造にするか、リベット結合にするかについて検討した。芦有開発道路の金慶橋に使われた英国標準規格の NP% および N% 材 (JIS 耐食アルミニウム合金第7種相当) を使えば溶接は可能であるが、強度が相当落ちる上に、溶接には十分な経験とアルゴン溶接とが必要なほか、溶接によるヒズミによって各部材の出来上がり寸法等に若干の狂いが予想され、本橋のように各部材の互換性が絶対的に要求される場合には不向きであるので、

リベット結合とした。

リベット結合では N% または NP% よりはるかに強度が大である 14S (JIS 高力アルミニウム合金第1種) が使えるが、その熱処理状態として T4 と T6 といずれにすべきやを検討した。T6 にすれば 38 kg/mm² 以上の耐力のきわめて強いものになるが、本橋の場合には、必ずしもこれほど高い強度は必要でなく、また T6

第1表 材種別使用箇所

区分	JIS 材料種別		使用箇所	備考		
	名称	記号				
アルミニウム合金	高力アルミニウム合金	押出形材第1種	A3S1-T4	パネル、垂直材、上弦材支材、横ゲタ、縦ゲタ、案内ゲタリンク	14S-T4	
		板材第1種	A3P1-T4	ガセット、横ゲタのウエブ	〃	
		棒材第1種	A3B1-T4	ヒンジのダボ	〃	
	耐食アルミニウム合金	耐食アルミニウム合金	鍛造品第1種	A3F1-T6	ヒンジブロック	14S-T6
			押出形材第7種	A2S7-F	横ゲタのステフナ、縦ゲタの支え等	N% -O
			板材第1種	A2P1-O	ワッシャー	52S-O
			板材第7種	A2P7-O	ベントプレート	NP%-O
		防衛庁規格	ANV-F	リベット		
鋼	鋼	一般構造用圧延鋼材第2種	SS41	ボルト、ナット、止めピン、シユネ、架設器材		
		炭素鋼第3種	SC46	架設用ローラー		
		炭素鋼第3種	SF45	ターンバックル		
		クロムモリブデン鋼第4種	SCM4	パネルピン		
		配管用ガス管	SGP	架設器材		
		ピアノ線	SWPA	安全ピン		
		青銅鋳物第5種2号	BC5B	ローラーブッシュ		

第2表 使用アルミ合金の化学的および機械的性質

種別	化学成分 (%)								引張強度 kg/mm ²	0.2%耐力 kg/mm ²	伸び %
	Cu	Si	Fe	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti			
A3S1-T4	3.9~5.0	0.5~1.2	<1.0	0.4~1.2	0.2~0.8	—	—	—	>35	>24	>12
日軽アルミ	4.37~4.87	0.75~0.90	0.40~0.58	0.76~0.81	0.35~0.50	—	—	0~0.09	37.0~50.0	24.4~35.3	14.2~28.6
神戸製鋼所	4.12~4.47	0.72~0.77	0.17~0.19	0.75~0.79	0.36~0.42	—	—	—	39.0~49.8	—	15.5~33.0
古河アルミ	4.30~4.40	0.80~0.90	0.17~0.32	0.70~0.80	0.60~0.70	0.02~0.04	tr	0.02~0.04	38.7~39.4	26.4~31.7	20.4~21.8
住友軽金属	4.64	0.82	0.30	0.85	0.50	0.04	tr	0.01	39.5~47.7	24.6~31.6	21
A3B1-T4	3.9~5.0	0.5~1.2	<1.0	0.4~1.2	0.2~0.8	[<0.25]	[<0.01]	—	>38	>22	>16
昭和アルミ	4.12	0.64	0.15	0.72	0.49	tr	tr	—	38.4	27.7	14.0
A3P1-T4	3.9~5.0	0.5~1.2	<1.0	0.4~1.2	0.2~0.8	—	—	—	>43	27	13
神戸製鋼所	4.12~4.27	0.72~0.75	0.17~0.19	0.75~0.79	0.36~0.39	—	—	—	47.6~50.5	—	17~22
住友軽金属	4.20	0.80	0.28	0.78	0.52	0.04	tr	tr	47.4~48.0	27.9~35.2	24~27
古河アルミ	4.40	0.90	0.20~0.22	0.80	0.60	0.02	tr	tr	44.0~45.8	27.1~30.6	19.6~24.4
A3F1-T6	3.9~5.0	0.5~1.2	<1.0	0.4~1.2	0.2~0.8	[<0.25]	[<0.1]	[<0.1]	>45	>38	>10
古河アルミ	4.60	0.90	0.27	0.90	0.70	0.02	tr	0.02	47.2~48.4	43.3~43.8	11.6~12.6
A2S7-O	<0.10	<0.40	<0.40	0.3~1.0	3.8~4.8	<0.10	<0.50	<0.20	>27	>13	>12
古河アルミ	0.04~0.08	0.10	0.16~0.17	0.41~0.52	4.40	0.01~0.02	—	—	29.2~30.4	16.7~18.0	15.8~17.6
住友軽金属	0.04	0.14	0.19	0.59	4.51	0.01	0.18	0.01	32.7~33.1	—	14~15
昭和アルミ	0.01~0.02	0.09~0.18	0.27~0.37	0.44~0.79	4.45~5.92	tr	0.12	—	27.5~28.9	15.3~17.3	25.5~28.2
A2P7-O	<0.10	<0.40	<0.40	0.3~1.0	3.8~4.8	<0.10	<0.50	<0.20	>27	>13	>18
昭和アルミ	tr	0.13~0.14	0.30~0.32	0.50~0.51	4.12~4.14	tr	0.30	—	30.1~30.9	13.7~15.3	24.8~25.0
日本アルミ	0.03	0.13	0.29	0.62	4.19	tr	0.22	—	28.7~29.5	—	24.0~29.6
ANV-F	<0.10	<0.40	<0.40	<1.0	3.4~4.0	<0.10	<0.50	<0.20	23	—	20
昭和アルミ	0.08	0.21	0.24	0.08	3.41	0.01	0.30	—	24.8~26.0	13.0~15.3	22.6~24.8

備考: 太字は JIS 規格値, 化学成分の残部は Al

材は、価格も高く、伸びが小で加工にも難点があるので、SS 41 級の強度を有し、伸びもかなり大である T 4 材を使用することに決定した。

ただしヒンジの部分は特に強度を要するので 14S-T6 の鍛造品を使うことにし、連結材・補剛材等大きな応力がかからない部分には比較的軟質の耐食アルミニウム合金第 7 種または第 1 種を使用した。これらの材料の使用個所、化学的および機械的性質は、第 1, 2 表に示すとおりである。

ヒンジのピンには 14S-T6 を使うことも考えたが、強度と摩耗の点からクロムメッキをしたクロムモリブデン鋼を使用し、支承のローラーやシューは、とくに軽量性を要求されないので、鋼材で製作することにした。

リベットには、当初は熱間打ちの 61S を使うことにして設計したが、最終的には、これと同程度以上の強度を有し、わが国では現在すでに広く使われて十分な経験がある防衛庁規格の ANV-F リベットを使用することにした。

橋床には、鋼床板と同様なアルミニウム床板を考えたが、アルミニウム床板にすると予算を相当大幅に超過し、かつ摩耗損傷のはげしいことが予想され、場合によっては現場でも容易に調達できることなどの観点から、木板をならべて橋床とすることにした。

(4) 許容応力

本橋の主要部材の材料である 14S-T4 の許容応力については、つぎのように考えた。すなわち

$$\sigma_{1s} = \text{許容引張応力度}$$

$$\sigma_{0.2} = 0.2\% \text{ 耐力の規格最小値}$$

$$\sigma_B = \text{引張強度の規格最小値}$$

とし

$$\sigma_{1s} \leq 0.8 \sigma_{0.2}, \quad \sigma_{1s} \leq 0.5 \sigma_B$$

の条件を満足するように σ_{1s} を定めることにした。

14S-T4 に相当する JIS 規格高力アルミニウム合金第 1 種 T 4 の規格値は、第 2 表に示すとおり押出形材・板・棒によって異なっているが、これらを通じてその最小値は

$$\sigma_B = 3,500 \text{ kg/cm}^2, \quad \sigma_{0.2} = 2,200 \text{ kg/cm}^2$$

であり、 $0.8 \sigma_{0.2} = 1,760$, $0.5 \sigma_B = 1,750 \text{ kg/cm}^2$ となるので、少し安全側にとって

$$\sigma_{1s} = 1,700 \text{ kg/cm}^2$$

と決定した。ただし今回実際に製作された 14S-T4 材の強度試験の結果は、第 2 表のとおり σ_B も $\sigma_{0.2}$ ともに規格最小値よりはるかに大であった。また本橋に使用した材料のうち最大寸法の押出形材である $100 \times 120 \times 5$ のチャンネル材から試験片を作り、最大応力 $1,700 \text{ kg/cm}^2$ として押出方向およびこれと直角方向に力を加えて曲げ疲労試験を行なったが、繰返し回数 2×10^5 でもなんらの異状は認められなかった。

上記の $\sigma_{1s} = 1,700 \text{ kg/cm}^2$ は、米国土木学会の高力アルミニウム合金構造物設計示方書が 14S-T6 材にたいし定めている許容応力度 $1,550 \text{ kg/cm}^2$ の約 10% 増に相当するので、引張応力以外の他の種の応力については、一般に、米国土木学会示方書の規定値の 10% 増を許容することにした。ただし、米国土木学会示方書では 14S-T6 を対象としており、T6 と T4 との差を考えると、今回われわれが採用した許容応力度は、T4 の永久構造物にたいし妥当と考えられる値の約 30% 増と見なすことができる。このように 30% の割増しを許容したことは、本橋が永久橋でなく、応急橋であるためである。

リベットは、設計当初は 61S、すなわち JIS-H4166 耐食アルミニウム合金リベット材第 4 種 A2V4-T4 とした。このせん断強度の最小値は $1,800 \text{ kg/cm}^2$ である。米国土木学会示方書では 61S リベット (せん断強度 $1,700 \text{ kg/cm}^2$) にたいし 560 kg/cm^2 を許容せん断応力度として定めている。前述のとおり、本橋では一般の永久橋にくらべて 30% の割増しを許容する観点から、本橋の 61S リベットの許容せん断応力度として、 560 kg/cm^2 の 30% 増、少し安全側に見積って 700 kg/cm^2 をとった。なお、実際には、前述のとおり、61S のかわりに防衛庁規格の ANV-F リベットを使用した。

鋼材および木材にたいしては、鋼道路橋設計示方書および木道路橋設計示方書の規定値の 30% 増とした。

3. 重量

案内ゲタ等をふくみ、本応急橋の 1 セット分の重量は第 3 表のとおりである。全重量約 13.9 t で、そのうちアルミニウム合金は約 9.8 t である。本橋を構成する各部分のうち、最大重量のものは三角形パネル (143 kg) であり、つぎが端縦ゲタ 100 kg, 上弦材 80 kg, 中縦ゲ

第 3 表 1 セット分の重量 (単位 t)

区 分	アルミニウム合金	鋼材その他	計
橋 体	7.258	1.399	8.657
案内ゲタその他	2.512	2.726	5.238
計	9.770	4.125	13.895

タ 72 kg で、その他のピースはすべて 20 kg あるいはそれ以下である。これを鋼製のこの種のものにくらべると、総重量においてはもちろんのこと、組み合わせるべき各ピースの個々の重量において、はるかに軽量であり、輸送・組立て・架設作業においてきわめて簡単で有利であると考えられる。

4. 製作

加工製作については、とくに委員会で審議して“アルミニウム応急橋製作工事仕様書”を決定し、これにしたがって行なった。以下、とくに注意した点と、実際の加工製作にあたって経験された事項ならびに問題となった

ことの概略をのべる。

(1) 切断と切削

切断はギロチンシャー、押抜きシャー、回転シャーなどを、切削にはエッジプレーナーを用いることにしたが、耐食アルミニウム合金板のセン断は容易であった。14S-T4 板のセン断は、セン断面の状態も SS41 にくらべて、とくに甚だしいマクレ・肩落ちなどは認められず、さらに機械切削する場合も、軟鋼と同程度の仕上げシロを見れば十分のようであった。ただし 14S-T4 材では、切断後、熱処理による内部応力の影響で多少のソリやヒズミがあらわれるが、普通のプレスで十分に矯正できる程度であった。

帯ノコ盤による押出型材の切断は、速度を適当に調整すれば、高力・耐食合金ともに容易であるが、回転丸ノコによる板材の切断は、刃型の選定・回転数の調整がむつかしく幾分ムクレを生ずる傾向があった。

(2) 曲げと型材のクリンプ

耐食アルミニウム合金材の曲げとクリンプは、すべて冷間で行なったが、容易であった。ただし、一部材料に焼鈍不完全のものがあり、キレツが発生したものがあつた。それにしても、最小内側曲げ半径は、せいぜい板厚程度がよく、それ以下の急曲は、冷間では困難のようであつた。

14S-T4 板の曲げは、T4 の状態では相当に大きな半径でないと冷間曲げは不可能であり、今回は、熱処理前に曲げ加工し、その後に T4 の熱処理をすることにしたが、それにしても、板厚の 1.5 倍以下の曲げ半径ではキレツの発生が多かつた。また熱処理焼入れ後の矯正はかなり困難であつた。

(3) 14S-T4 型材の曲がりとネジレ

14S-T4 型材は、押出整形後に焼入れの熱処理をする関係上、相当の曲がり・ソリ・ネジレを生じているものが若干あつた。これらを矯正する場合、鋼材と同様にプレス作業によって曲がりやネジレを矯正しようとする、曲がりの矯正以前に断面の座屈が発生する傾向があつて、作業は難行した。今後は、アルミニウム合金製造者側において、なるべくヒズミを生じない焼入れ法を採用するか、あるいは焼入れ後の矯正について考慮する必要があると思われる。

(4) リベット打ち

リベットの直径は 16, 13, 10 mm の 3 種である。リベットは入荷した棒材を切断し、プレスによって冷間でリベット頭を成形し、400~450° に加熱して手ハンマーで打った。リベット打ちの本作業に入る前に、適当な作業条件を定めるために試験打ちを行なったが、なかなかうまくゆかず難行したが、種々調査研究の結果、電気炉から取り出してからのリベット自身の温度の低下、さらに母材であるアルミニウム合金の熱伝導率が大なるため

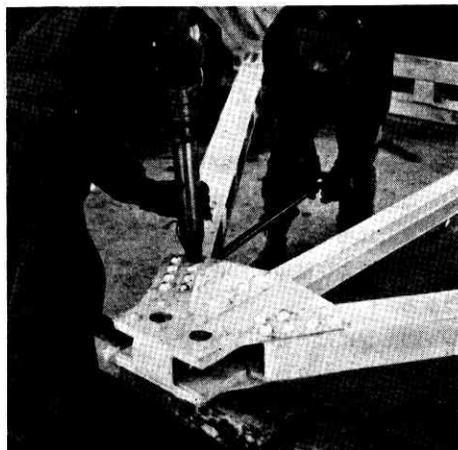


写真2 リベット打ち作業

にリベット打ち作業中に、リベットの温度降下がはげしいことなどが原因であることを発見し、リベットハンマーとしては鋼リベット用にくらべて一段上のサイズのものを使用して作業時間をできるだけ短くするとか、最初に打つときには、ハンマーの頭部を適当に予熱するとか、適当な処置をとった後は、すべて順調に作業が進行した。またリベット頭を形成するためにハンマーの頭を回転するときに、母材の表面を傷つけないために、リベット幹を若干長目にして、出来上がりの頭部にいわゆるハチマキが残るようにした。打ったリベットの数は約 3 万本である。

(5) 塗装その他

まず塗装については、清浄→化学処理→水洗→金属前処理塗料の順序で地ハダ処理をした。化学処理はリン酸アルコール (85% リン酸を容積比 10%, ブタノールまたは工業用アルコール 40%, イソプロパノール 30%, 水 20%) によるブラシ洗浄とした。この後、直ちに水洗乾燥して金属前処理塗料 1 回塗りを行なった。

下塗りとしてはジंकクロメートさび止めペイント 1 種 (SD マリーン ZC プライマー) の 2 回塗りをし、その上に上塗りとして、アルミニウムペイント 2 種 (SD マリーンペイントシルバー) 2 回塗りを行なった。

アルミニウム合金と接触または接触のおそれがある鋼材には、亜鉛メッキまたは硬質クロムメッキをした。

5. タワミ

本橋はピン結合構造であるから、リベット結合のトラスにくらべてタワミが大きいことが予想される。それで製作上のソリとしては、死荷重によりタワミと組立ピン穴公差によるタワミとの和に相当するソリを付けることにした。

死荷重による 30 m 支間中央のタワミは、計算の結果 30 mm である。

格点のピンの直径は 49 mm, ピン穴の直径は 50 mm, これによって約 40 mm のタワミが生ずることになり、

したがって製作に際しては 70 mm のソリが付くようにした。

活荷重 TL-14 による 30 m 支間中央のタワミは、計画上 85 mm になる。これにたいし、本年 5 月、北海道土木試験所構内において本橋を支間 30 m として組み立て、これに総重量 22 t のトラックを載荷して支間中央のタワミを実測した結果は約 45 mm であった。

6. 組立と架設方法

本橋の各部材は、同種のものならばどこに使っても合うように互換性をもたせて製作されており、組立はすべて人力によって行なうことを原則としている。製作工場内で行なった組立作業の実演結果によると、支間 30 m の橋体本体に案内ゲタをふくめ、1 セットの組立が 20

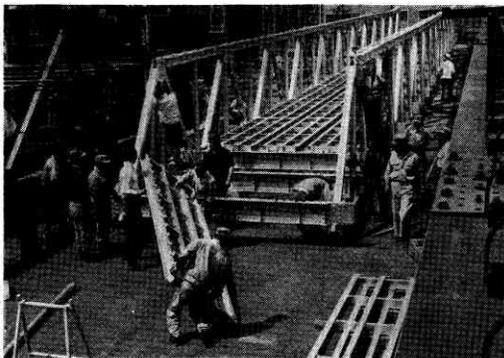
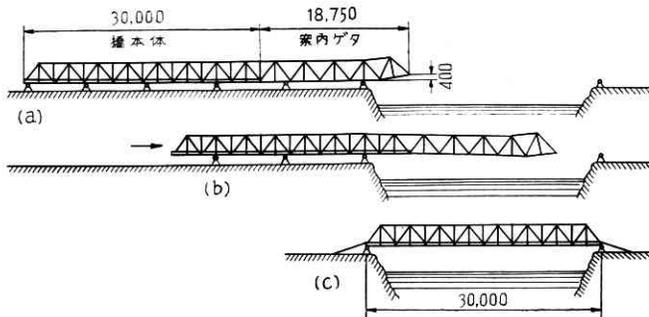


写真 3 組立作業 (約 100 kg の端縦ゲタも 3 人の力で組み立てられる)

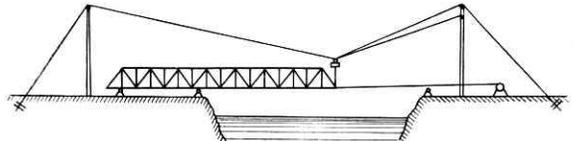
人の力で約 1 時間ですべてが完了した。これにたいし、北海道土木試験所構内で実演したときには、トレーニング意味と不慣れの点とで、約 3 時間を要した。いずれにしても、このような短時間で支間 30 m の橋の組立ができることは、アルミニウム合金を使用した軽量化の成果であると考えられる。

架設は、第 2 図に示すように、橋体本体に案内ゲタを



第 2 図 手 延 式 架 設

取り付けて、対岸の方向に押し出してゆく方法、いわゆる手延式を原則としている。この場合、案内ゲタはその先端が対岸に到達するまでに橋体が顛落しないために取り付けるもので、支間 30 m の場合には 5 パネルの案内ゲタにするが、20 m 程度の支間では 4 パネルか 3 パネルでよい。橋体本体には対重の意味で橋床の木版も全部張るが、案内ゲタはなるべく軽量にする必要があるので、中間の垂直材を省略し、かつ橋床の木版は張らない。そして、第 2 図 (b) のように押し出してゆくと、突出部が片持バリとして下方にたれ下がるから、案内ゲタの先端が対岸に到達したときに、対岸の支承にうまくのるために、案内ゲタの先端が 40 cm 上方に位置するように、最先端の上弦材に短いものを使用する。このようにして案内ゲタが対岸に到達し、橋体本体が両岸の支承で支えられる状態になれば、案内ゲタを取り外し、斜路を取り付けて橋が完成する。



第 3 図 ケーブル式架設

上記の押出式のかわりに、場合によっては対岸にウインチを運び、これによって案内ゲタを引き寄せてもよい。また両岸に十分な設備ができる場合には、第 3 図に示すように、ケーブルを利用して架設してもよい。この場合は、作業を容易にするために、橋体本体の架設が完了してから橋床を敷くのがよい。

6. む す び

本橋は北海道開発局の昭和 35 年度予算により 2 セットが完成したが、幸か不幸か、本橋の架設が要求されるような事態が今日までにまだ発生していない、しかし、将来の災害に備えて本橋のごときものが各地に常備されるものと予想される。今後、この種のアルミニウム応急橋を設計する場合には、今回の経験から考えて、さらに検討すべき点が多々あると考えられる。

本橋の計画および設計については、軽金属協会、アルミニウム製造業界、日本構造物設計事務所などから多大の協力を受け、また材料の疲労試験については本研究第 1 部北川研究室の協力を受けた。ここに、これらの方面にたいし厚く感謝する次第である。

(1961 年 6 月 30 日受理)