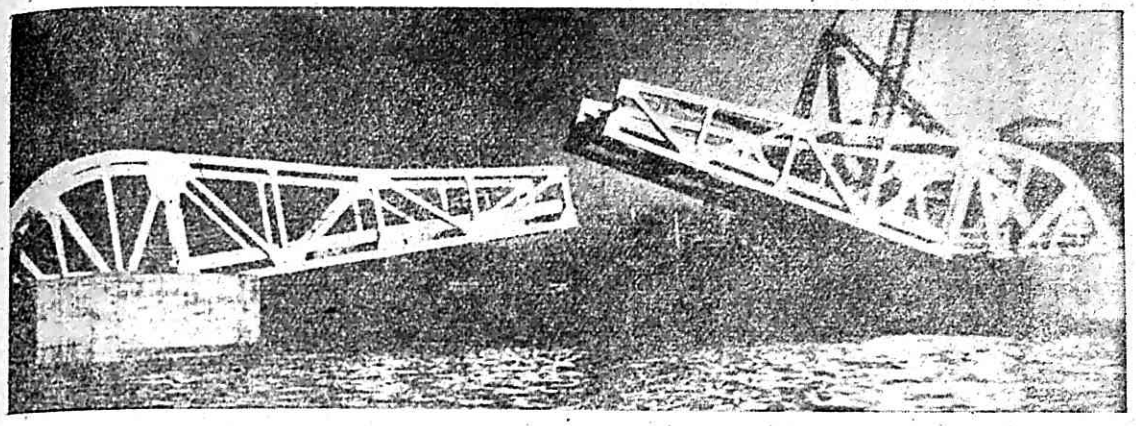


英國の Sunderland の港に架けられた世界最初の全アルミの跳開橋．1948 年 11 月に竣工．鐵道及び歩行者用．純徑間は 27.5 m，支間は 37m，全體で 51.5 トンのアルミ合金を使用し，鋼を使う場合にくらべて，重量は約 60% 輕くなつた．跳開橋に限らず，すべて可動橋は．アルミを活用するに最も適した橋の形式の一つである．

アルミニウムの橋

福田武雄
（土木）

アルミ* を橋に使つたらということは，われわれ日本の橋屋も全く考えても見なかつたことではなく，また 1933 年(昭和8年) に米國 Pittsburgh 市の Smithfield Street 橋の橋床（第1圖）がアルミ合金で改造せられたことも，當時の雜誌の記事[1),2)] で知つていた．然しその當時の我國のアルミ生産は餘り振わず，その後になつて生産が上昇したというもの，のその頃には既に事變や戰爭に入つていたため，これに不可缺な航空機の主要材料を橋などに使うのはもつての外だというので，われわれとしてはアルミの橋などは考えても見なかつたし，考えてもムダとさえ思つていた．ところが終戰になつて外國の文獻が手に入るようになつて見ると，米國では戰爭中に既に軍用浮橋にアルミが使われ，その後 1946 年には New York 州の Massena で Grasse 河上に全アルミのプレートガーダー鐵道橋（第2圖，第3圖）[3),4)] が架けられ，1948 年には英國の Sunderland で全アルミの跳開橋（口繪，カット，第4圖）[5),6)] が完成し，また現在カナダの Arvida ではアルミのアーチ橋[7),13)]（口繪，第5圖）がほとんど完成したことがわかつた．しかし終戰後の我國ではアルミの生産は停止されていたので，われわれとしては，アルミの橋は依然として手の屆かぬものとあきらめていたが，一昨年以來アルミの本格的生産が再開せられてからは，生産は快調に上昇しその將來も有望であつて，平和産業特に構造への活用が各方面から強く要請される現狀となり，一方，鋼に對するアルミ合金の利點が前記諸橋の實例から明らかにされたので，ここに遲ればせながら橋への活用についての研究を開始したわけである．

價格の比較　アルミとその合金の特長は，何といつてもその輕さである．一方その缺點の一つは價格が高いことである．そこで橋に使うものとして，アルミ合金と鋼との價格の比較が第一の問題となる．現在米國で橋梁用材として實用されているアルミ合金は 14S-T6 であつて橋にこれを使う場合と鋼を使う場合との單位重量當りの價格の比較が昨年の ENR 誌[8)] に出ていた．これを表にすると第1表のようになり，材料の單位重量當りではアルミ合金はケイ素鋼の 3.6 倍，炭素鋼の 4.1 倍の價格になる．さて我國ではどうかというに，我國では，橋に使うような大形厚板や押出形材のアルミ合金材は，未だ生産されていないので，その價格は不明であるが，米國の例では 99.0 %のアルミ地金のポンド當りの價格が 17 セントであるに對し，14S-T6 材の平均價格はその2倍の 34 セントである．この比率が我國でも適用されるものとすると，現在我國ではアルミの處女地金の價格はトン當り 13 萬圓であるから，14S-T6 級の價格は 26 萬圓と見ることができる．次に構造用鋼材の現行價格を平均2萬圓，製作，運搬，架設等の諸掛りは狀況により大差あるが，これをかりに4萬圓と見ると鋼材ではトン當

* 本文だけで "アルミニウム" 又は "アルミニウム合金" が 84 回も出てくる．これを "アルミ" と略稱させてもらう．これによつて合計 252 字（約 11 行分）だけ短くすることができた．

り合計 6 萬圓となる．更にアルミ合金と炭素鋼との製作，運搬，架設等の工費の比率は第1表の例では 2.4 であるから，この比率を我國に對しても適用するとアルミ合金では 10 萬圓になり，アルミ合金のトン當りの價格は，第2表の如く 36 萬圓，すなわち鋼のそれの 6 倍になる．然るに近き將來において鐵鋼に關する補給金が廢止せられた曉においては，鋼材の單價は 5 萬圓位になるべく，また一方においてアルミ合金の需要の增大と生產コストの切下げによつて，材料としての單價が 20 萬圓程度に下がつた場合を想像すれば，アルミ合金材と鋼材との橋としての重量當り價格比は丁度 3.3 になる．

以上は重量當りの價格比であるが，橋としての實際の建設費の比較には，重量と强度とを考えねばならない．鋼材とアルミとの重量比は 2.8 であり，標準設計應力を鋼では 12 kg/mm², アルミ合金ではかりに 15 kg/mm²

第1表　アルミ合金と鋼材との單位重量當りの價格比較（米國）

區　分	14S-T6	ケイ素鋼	炭素鋼
材料費	34(270,000)	4 (32,000)	3 (24,000)
製作，加工，運搬，架設費	31(246,000)	14(111,000)	13(103,000)
合計	65(516,000)	18(143,000)	16(127,000)
比率	1	1/3,6	1/4,1

備考：カッコの前の値は1ポンド當りのセント，カッコ內の値は，これをドル 360 圓のレコードでトン，當りの圓に換算したもの．

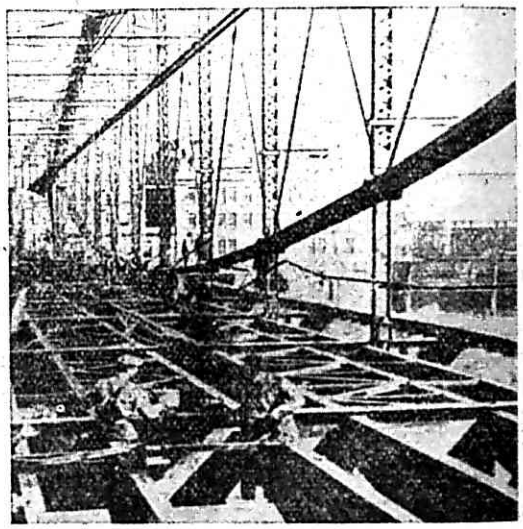
第2表　我國におけるアルミ合金と鋼材との價格比較（圓/トン）

區　分	アルミ合金		構造用鋼	
材料費	260,000	(200,000)	20,000	(50,000)
製作，加工，運搬，架設費	100,000	100,000	40,000	40,000
合計	360,000	(300,000)	600,00	(90,000)
比率	6.0	(3.3)	1	(1)
有効比價	1.70	(0.95)	1	(1)

にとるものとすると，アルミ合金橋の建設費は鋼橋のそれに對し，重量價格比が 6.0 の場合には 1.7 倍，重量價格比が 3.3 のときには 0.95 倍になる．すなわち，現在の狀況ではアルミ合金の方が 7 割高價になるが鐵鋼の補給金が外され，アルミ合金材の單價が 20 萬圓程度に下がれば，アルミ合金の方が斷然に有利となる結論になる．

以上の比較は，橋の材料の種類にかかわらず，橋の各部に生ずる應力が不變であると假定した場合であつて，實際には，アルミ合金の採用によつて橋の自重は 50～60% は減少し，それだけ應力が小になり，材料所要量もまた減少し，アルミ合金に對して更に有利になる．上記はすべて橋の上部構造についてのみの比較であるが，橋の自重が小になることによつて，橋臺，橋脚等の下部構造が輕易になり，この方面における工事費が輕減せられ，橋の全建設費は更に小になる．このように見れば，重量價格比が 4.5 である今日においても，アルミ合金は橋において優に鋼材と太刀打ちでるものと考えられる．

重量の輕減　一體，アルミ合金の使用により，橋がどれほど輕くなるであろうか？　現在までの實例を調べると第3表のようになる．鋼とアルミの重量比 2.8 から計算すると，設計應力が同一のときには理論的には 66 % 以上の輕減になるわけであるが，實例では輕減率はこれ

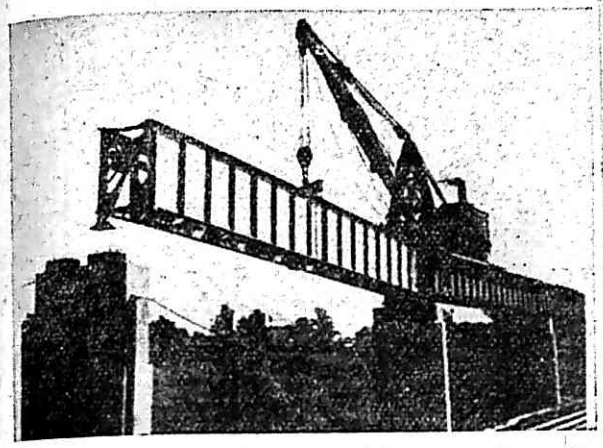


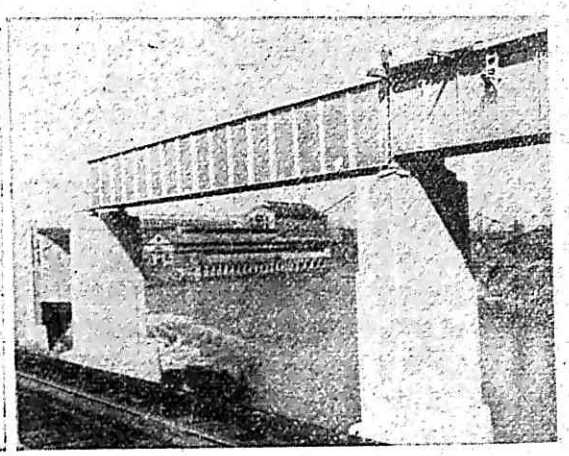
第1圖　世界で最初にアルミを活用した米國のPittsburgh 市の Smithfield Street の橋．本橋は 1882 年（明治 15 年）に架けられた鍊鐵と鋼の舊式の橋であるが，その鋼材と木材とで造られた橋床全部をアルミ合金で改築した結果，橋床の重量は以前の1400トンから約半分の 720 トンになり，そのため橋の本體はそのままで，新時代の重交通に對して十分に安全なものとなつた．1933 年に改築せられて以來既に 17 年を經過するが，今なお健在である．

第3表　アルミ橋と鋼橋との重量比較（單位トン）

橋	アルミ合金	鋼	アルミ合金/鋼	輕減率
Smithfield St. 橋の橋床*+	720	1,400	0.51	0.49
Massena のプレートガーダー	24	58	0.42	0.58
Sunderland 跳開橋 可動桁*	86.5	180	0.48	0.52
Sunderland 跳開橋 對重	130	270	0.48	0.52
Arvida のアーチ橋	181	405	0.45	0.55

*軌道，鋪裝等を含む總重量，+アルミ合金の使用により有効荷重增大





第 2,3 圖　米國の Massena で Grasse 河に架けられた支間 28.5 m の全アルミのプレートガーダーの上路鐵道橋．1946 年に架設．アルミを使用したのは 1 スパン分だけであるがこれは全部工場で組立て，現場まで 925 km の距離を輸送し，第 2 圖のように，既に架けられた鋼ゲタの上を起重機車で輕々と吊つて運搬し，一氣に架設した．鋼ゲタの重量が 58 トンであるに對し，アルミのケタは 24 トンである．第 3 圖は架設完了後の寫眞であるが，アルミのケタは，タワミが大きくなるのを輕減するために，その右側に見える鋼のケタにくらべて高さがすこし大きくなつている．

より小である．この主な理由は，後述のように壓縮材の許容應力が著しく小になることと，これらの橋の支間が左程大ではなかつたことによる．支間が 100m 以上にもなれば恐らく 70% 程度の輕減になるであろう．なお，Sunderland の跳開橋の可動桁の總重量 86.5 t のうち，アルミ合金の占める重量は 51.5 トン(板 17 トン，押出形材 34.5 トン)で，鋪裝，軌道等を除外すれば，可動桁の輕減率は 60% になる．

このように輕量になることは，如何なる影響を及ぼすであろうか．長大支間の橋の架設が容易になる，製作時の部材の取扱いが樂になる，輸送が容易，架設が容易になる，大形のワンピースとして輸送又は架設ができる等の利點は，何人でも常識的に直ちに考えることであるがここに見のがし得ないことは，地震に對して極めて好都合なることである．

從來我國においては，橋の設計に際しては地震のことを常に念頭に置いて來たのではあるが，幾多の大地震の例に徵すると，橋の被害は，ほとんど例外なく，その下部構造の傾斜，沈下，倒壞等に基因している．これに對し，上部構造が輕くなることは，それだけ下部構造の耐震性を增大することを意味し，極めて望ましきことである．このことは，歐米各國では地震がさ程痛切な問題でない故か，今までに見た多くの外國文獻中これについて記述したものは一つもないが，我國の如き地震國においては，アルミ橋の一大特長として見るべきものである．

輕量であることはまた缺點を生じてくる．その第一は衝擊である．すなわち橋上を走行する列車，自動車等の衝擊の影響が，橋の重量が小なる程それだけ强く作用することは當然であつて，從つてアルミ橋における衝擊係數は，鋼橋におけるそれよりは大にとる必要がある．このことは，今までに見た外國文獻には何等の記述はないが，アルミ橋の設計示方書を定めるに當つては，それまでに十分に研究して解決しなければならぬ問題である．

輕量に基因する第二の問題は，衝擊と關連することではあるが，橋の重さによる剛性の減少であつて，大支間の吊橋においては痛切な問題となるものである．更に風壓に關しても問題が生じてくる．すなわち，輕いものほど風のために吹き飛ばされ易いのは子供でも知つていることであつて，この意味において，風壓による吹き上げまたは顚倒に對し輕いアルミ橋の安定を保つためには，鋼橋におけるより以上に十分なる設計を必要とする．

何れにしにも，輕いということは橋においては一般的には極めて望ましきことであつて，たとえ主ゲタ又は主構を鋼構造とする場合でも，橋床にアルミを使用してこれを輕くすることは，主ゲタ又は主構の應力を輕減することになり，それだけ鋼材を節約し得ることになる．この意味において，荷重の重量化にともなつて既設の橋を改修する場合，橋床構造をアルミ合金で改築すれば，主ゲタ又は主構に特に補强を施さずとも重荷重に耐え得るものとすることができる．

橋に使われるアルミ合金　アルミを最初に橋に應用した Smithfield St. 橋の橋床改築工事では，17S-T を使うものとし，許容應力を 10.5 kg/mm² にとつてすべての設計がなされたのであるが，その頃(1933 年)になつて生產が開始せられた 27S-T の方が優秀なことがわかつた結果，設計には何等の變更も加えずに，17S-T の代りに 27S-T を使用した．リベットはすべて鋼，高欄には 5S-T の壓延形材と 4S-H のパイプとが使われた．

1946 年に架けられた Massena の Grasse 河の橋ではすべて 14S-T6 の押出形材及び Alclad 板が使用せられリベット材としては，壓力リベッタによる冷間打ちには A 17S-T3 が，空氣ハンマによる熱間打ち(560°C) には 53S-T41 が使用せられた．この米國での Alcoa 14S-T は，歐米各國において橋に使うアルミ合金として現在最も賞用されているものであり，我國における ND，英國の AW 15，カナダの Alcan 26 S-T，フランスの A-U4G に相當する．實際，英國の Sunderland の跳開橋では，板には AW 15 G，押出形材には AW15 A が使用せられ，カナダの Arvida のアーチ橋では Alcan 26S-T が使用せられた．なお，强度は餘り必要でないが，耐蝕性が問題となるものに對しては，14S よりは强度の點においては劣るが耐蝕性では優れている Alcoa 61 S-T6 が賞用せられる．これは英國の AW 10，カナダの Alcan 65S に相當し，AW 10 は英國では建築用材として標準となつている．

これら諸合金の性質，化學成分等については本誌中の別稿に説明されているから，ここには省略するが，14 S-T 6，AW 15，61 S-T 6 等の强度，許容應力等の標準値又は實際に使用されたものについての値の大要は第4表の如くである．

第4表　橋用アルミ合金の强度，許容應力等の例 (kg/mm²)

合金の種類 (使用橋)	14S-T6 Massena	標準	17S-T Smithf.	27S-T St. 橋	AW15 Sunderland	61S-T6 標準
引張强度	49	42～48	41	42	39	32
降伏强度	42²)	37～41²)	32²)	35²)	23¹)	28²)
剪斷强度	29.5	—	—	—	—	—
許容引張應力	15.5	15.5	10.5	10.5*	10.5	11
許容剪斷應力	—	—	—	—	6	—

1) 殘留ヒズミ 0.1%，2) 殘留ヒズミ 0.2%；
* 17S-T として設計し實際には 27S-T を使用した．

なお，冷間打ち壓力リベット A 17S-T3 の均剪斷强度は 23 kg/mm²，熱間打ちハンマリベット 53S-T 41 のそれは 17 kg/mm² であつて，何れも鋼の場合より低い．

第4表からわかるように高力アルミ合金では，そのいわゆる降伏强度が比較的に高く，破壞强度に近いことが特長である．この高い降伏强度に對する橋の設計のための許容應力の安全率が 2.5～2.8 であつて，鋼橋の場合の 1.8～2.0 より大であることは，何かアルミ合金の材質に對して不安があるためではないかと考える人もある．しかし，およそフックの比例法則に基く彈性理論によつてすべての設計計算を行う場合にあつては，比例限度又は彈性限度が安全率算定の基點となるべきである．鋼の場合には，その比例限度又は彈性限度はその降伏點に近接するから，降伏點を基點としてかまわないのであるが，アルミ合金のいわゆる降伏强度なるものは，鋼の降伏點とは意味が異なり，0.2% (又は 0.1%) の殘留歪を生ずるときの應力として定義される．アルミ合金の比例限度と見られる點は，この降伏强度より遙かに低く，14S-T6 級ではおよそ 30 kg/mm² 程度であり，これを基準とすれば，これに對する 15.5 kg/mm² の許容應力の安全率は約 2 であつて，鋼のそれにくらべて特に低いものとは言えない．

疲勞の問題　また前記の許容應力が疲勞の觀點から不安ではないかという疑問もよく提起される．およそ疲勞又は疲勞限度なるものは，應力の種類，試驗片の形狀，試驗の方法等によつて可成りの差が生ずるものであるが最近入手した文獻の中から，14S-T 6 の曲げ疲勞試驗の結果の一例を示すと，第5表のようになる．なるほどアルミ合金においては，引張强度又は降伏强度に對する疲勞限度の低下の割合は，鋼の場合よりは大であり，また 14 S-T 6 に對する許容應力 15.5 kg/mm² は 10^8 サイクル疲勞限度約 14 kg/mm² よりは大である．鋼材では疲勞限度をきめるサイクルのとして，通常 10^7 サイクルが採用せられるが，10^7 サイクルというのは毎秒 25 回で連續 5 日間を意味しまた橋の有效壽命を 30～40 年とすると，1 日平均 700～1000 回に相當する．しかし疲勞の問題においては，疲勞限度に近い應力の繰返しが問題となるのであり，小さい應力は何回繰返されても問題とならない．そして橋の設計に際しては，あらゆる荷重狀態のうち最惡の狀態を求め，これによる應力の最大値が（衝擊の影響をも加算して）許容應力を超過しないように設計する．この樣な最惡の荷重狀態が，前述の如く連續 5 日間も續いて繰返されること，又は 1 日に平均 700 回以上も 30～40 年間に連續することは考えられぬことであり，橋に對してはその一生を通じ 10^6 サイクルを考えて十分に安全である．そうすると，10^6 サイクルの 14S-T6 の疲勞限度は第5表の如く 21～22 Kg/mm² であり，これに對し 15.5 kg/mm² の許容應力は十分に安全であると結論することができる．

第5表　回轉曲げ繰返しによる 14S-T 6 の疲勞限度 (kg/mm²)

サイクル	10^5	10^6	10^7	10^8
棒材	28.1	22.1	17.2	14.4
板	26.4	21.4	17.2	13.7
鍛造品	28.1	22.5	17.2	14.8
押出材	29.2	22.5	17.9	14.4

(試驗片直徑 7.6 mm)

疲勞に關して問題となるのは，許容應力の値そのものではなく，應力の集中によつて局部的に生ずる大きな値の應力である．何等かの不連續性があつて應力の集中がある場合に，疲勞限度が著しく低下することは明らかな

ことであつて，この意味において，斷面の急變，凹角部等すべて異常な應力が集中する部分の設計には，アルミの橋においては，鋼橋におけるよりも一層に細心な設計を必要とする．

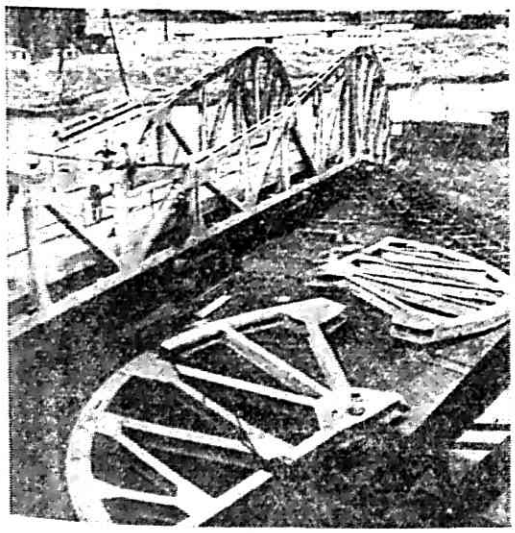
降伏强度が高いこと　アルミ合金の降伏强度が高いことは，强度の上からは極めて望ましいことであるが，ヤング係數の値が小なることと共に，材料の曲げ加工等をするときに，鋼の場合よりも大なる力と大なる變形とを與えねばならないことを意味する．更に設計の上では，疲勞の問題と關連して，應力の集中に關する問題が生じてくる．すなわち鋼の場合には，降伏點が低いから，ある局部に應力の集中が生ずれば，それは容易に降伏點に達し得べく，その時にはその部分の材料が容易に降伏して，局所に集中した應力を自動的にその附近一帶に廣く分布する．これに反し降伏强度の高いアルミ合金では，このような自動的應力分布作用は起らず，一旦應力が降伏强度に達したとすれば，75S の如く降伏點が破壞點に極めて近い材料では，直ちに破壞にまで到達し，それまでに蓄積された多量の歪エネルギーが一時に放散せられて，いわゆる爆發的破壞を生ずることもある．このような意味においても，アルミ構造においては，應力の集中は極力これを輕減しなければならない．

ヤング係數が低いこと　橋にとつてアルミ合金の缺點の一つは，その强度は鋼と同程度であるにかかわらず，ヤング係數 E が約 7300 kg/mm² (鋼の E の約 1/3) の低い値であることである．E の低下に比例して，部材の變形，橋のタワミ，從つて振動性が增大し，また壓縮材の長柱としての强度が低下する．更に，挫屈に對して，プレートガーダーのウェブの厚さを剪斷力の方から必要とされる以上に厚くするか，あるいは補剛材の間隔を密にすること等の必要が生じてくる．

E の小なることによるタワミの增大，すなわち剛性の減少に對しては，ケタ又はトラスの高さを鋼橋の場合よりは大にすることによつて，ある程度は補い得るのであるが，プレートガーダーの場合，その高さを大にすることは，ウェブに厚い大きな板を必要とし，また補剛材の長さを大にすることになる．從つて，材料費が大きな比重を占めるアルミ橋においては，極力材料の節約を圖る意味から，相當に大きいスパンになると，鋼橋ではプレートガーダーの方が有利であるスパンに對しても，アルミ橋ではトラスの方が有利となる結果になる．橋のタワミについては，鋼橋示方書では何れもある制限を設けているが，この制限量には大した根據はなく，アルミ橋に對してはこれを相當に緩和してよいものと考えられる．ただしどれ程までに緩和すべきやは今後の研究問題の一つである．

壓縮材の長柱强度は，オイラーの理論による限り，材料の强度に無關係で，ヤング係數 E に正比例する．從つてアルミ合金の壓縮材の長柱强度は，鋼に比べると著しく低くなり，從つて，橋の形式を選ぶ場合には，壓縮材の長さがなるべく小ですむもの，壓縮を受ける部分が小なる形式を選ぶべきである．この意味においては，たとえばハウトラスよりもプラットトラスの方が有利であり，またアーチ橋は，アルミ合金の橋としては一般的に不利であるという結論になる．また壓縮材それ自身の設計においては，その斷面の材料をなるべく外方に分布して斷面二次半徑を大にすると共に，長柱としての長さを小にして，長柱としての細長比をなるべく小にするように苦心しなければならない．吊橋，昇開橋の塔など主として壓縮荷重を受ける構造には鋼を使用する方が有利である．

E が小なることは，また或る種の利點をもたらす．その一つは，他の條件が同一ならば，トラス部材の二次應力が E に正比例して減少すること，同樣に，連續バリ，アーチ，ラーメン等の不靜定構造における支點の變位の影響が，鋼の場合の約 1/3 に減少することである．また前述のように，輕量であることは動荷重の衝擊の影響を大にするものであるが，一方において，小なる E とに基くタワミ易さ，すなわち剛性の減少は，動荷重の衝擊を小にするはずである．この正反對の兩性質が合成されて如何なる結果になるかは，今後研究すべき一つの問題である．



第 4 圖　Sunderland 路開橋の現場組立

熱膨脹の問題　アルミ合金の熱膨脹係數は 2.35×10^{-5} (0～100°C) であつて，鋼のそれの 2 倍强である．橋では一般に一端を固定端，他端を可動端にし，可動端では鐵道橋では ±40°C，道路橋では ±30°C の溫度變化に相當する伸縮が可能であるように設計することになつている．これに從うと，アルミ合金の橋の可動端における伸縮は，鐵道橋ではスパン 1m につき 0.95mm，道路橋では 0.70mm になる．しかしこの外に製作上の誤差をも

併せて考えると，アルミ橋の可動端はスパン 1m につき ±1.5mm の伸縮に支障なきように設計するのが望ましい．(鋼橋示方書ではスパン 1m につき ±1mm と定められている．)

アーチ，ラーメン等における温度變化による應力は，一般にヤング係數と熱膨脹係數との相乘積に比例する．故に，鋼に比べてアルミ合金のヤング係數が 1/3，熱膨脹係數が 2 倍とすると，アルミ橋の温度變化による應力は，鋼橋の場合の 2/3，すなわち 1/3 だけ小になることになる．アーチにおいては温度變化による應力は，通常の荷重による應力に比較し得る程度に大きな影響を有するものであつて，これが 1/3 も減少することは，E が小なることに基く壓縮許容應力の低下の悪影響を部分的に相殺するものである．

耐蝕性 强力アルミ合金の耐蝕性，その塗裝，これに關連しての維持費の問題については，今後その專門分野における研究にまつ次第であるが，今から 17 年前に改築せられた Smithfield St. 橋の橋床について，その後何等の異狀も報告されていない事實は，これが今なお健在であることを意味し，また，常に海風にさらされる北海に近い Sunderland の港に，敢然として世界最初の全アルミ可動橋を架設したことには，英國技術者のアルミ合金の耐蝕性に對する自信の程がうかがわれる．

以上，アルミ合金を橋に利用する場合の利害得失及び注意すべき事項について，そのあらましを記述したのであるが，この外に，橋の材料としての形材の形狀寸法，板の厚さと寸法，リベットの問題，熔接，アルミ合金の利用に適する橋の形式，工事費と維持費の問題，標準設計及び製作示方書等，幾多の重要な問題が殘され，いずれも具體的に研究して解決せねばならぬ事項である．今日の我國では橋の製作に必要な大形の形材や板は未だ生産されていないが，近き將來これらの生産が實現する場合，直ちに實際の橋を設計架設し得るよう，それまでには上記の諸問題について，完全とまでは行かなくとも，ある程度の解決を得たいものと念願している．(1950. 2. 6)

文　献

1) Charles M. Reppert: Aluminum Enters Bridge Construction. Eng. News Rec., Vol. 111, No. 21, Nov. 23, 1933.

2) Structural-Aluminum Practices on The Smithfield Street Bridge (Henry D. Johnson, Jr.: Erecting an Aluminum Bridge Floor; C. E. Schade : Fabricating Structural Aluminum). Eng. News-Rec., Vol. 111, No. 26, Dec. 28, 1933.

3) Eng. News-Rec., Nov. 28, 1946.

4) Jean Reinhold: Les Ponts en Aluminium, les Engins de Levage et les Excavateurs. Rev. de l'Aluminium, No. 143, Avril 1948.

5) The Bridge. Reprint 22 of the Aluminium Development Association. London. 1948.

6) Jean Romeyer: Le Pont du Hendon Dock à Sunderland. Rev. de l'Aluminium. No. 155, Mai 1949.

7) Un Pont Routier de 153 Mètres Tout en Aluminium. Rev. de l'Aluminium, No. 155, Mai 1949.

8) D.B. Steinman: How to Design Aluminum Bridges. Eng. News-Rec., Vol. 143, No. 9, Sept. 1, 1949.

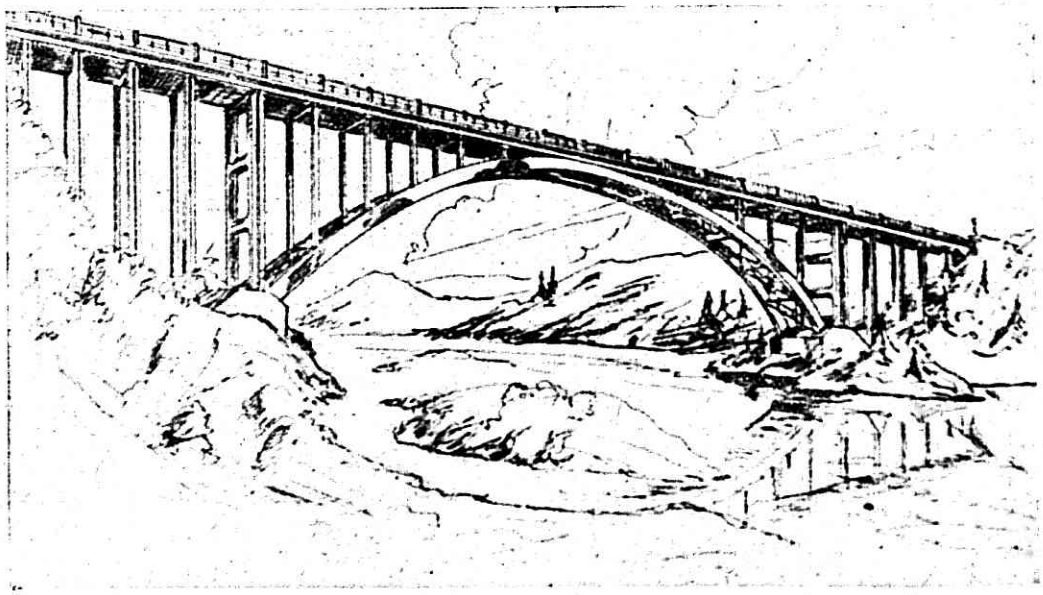
9) Pierre Prévot: Le Collage des Alliages Légers. Rev. de l'Aluminium, No. 155, Mai 1949.

10) D.V. Pike: Aluminium Alloys in Civil Engineering. Part IV: The Choice of Structural Forms. Civ. Eng. & Publ. Works Rev., Vol. 44, No. 519/520, Sept./Oct. 1949.

11) L.Dudley: Light Metals in Structural Engineering. London. 1947.

12) Hiram Brown: Aluminum and Its Applications. 1948

13) The Saguenay is Bridged with Aluminum. Eng. News Rec., Vol. No. Jan. 2, 1950.



第5圖　カナダの Quebec 州 Arvida において Saguenay 河に架かる全アルミのアーチ橋．全長 153m，中央支間 88.4m の道路橋．アーチのリブの断面は，巾 81 cm，高さ 1.42m の箱形断面である．全重量は 181 トン．これを鋼材で造るとすると 405 トンの重量になる．