

チタン合金製軽量かぎ付はしごの開発について

上野 幸*
 正村 厚**
 島山 富***
 堀井 幸一**
 池辺 昇一**
 村上 信義***

1. はじめに

消防機器の軽量化は、消防活動を迅速に能率よく行ううえに重要な問題である。特に積載はしごについては、構造上の改良と軽量化の方法を数年前から検討してきたが、現用の鋼製はしごは強度的に余裕が少ないため、これ以上軽量化することはかなり困難な状況である。そこで、はしごの主要構成材料として鋼材より軽くて強度のあるチタン合金のパイプを導入し、各種の実験研究を行ってきた。今回、まず最初の試みとして、チタン合金製軽量かぎ付はしごを開発したので、その概要を報告する。

2. チタン合金の性状及びはしご構成材料の強度

チタン合金はチタン鉄鉱($Fe-Ti-O_3$)から作られ、その化学成分は、おおよそチタン89%、アルミニウム3~7%、すず、バナジウム、マンガンなど2~5%、鉄0.2~0.5%、その他0.4%である。物理的性質は軽い(鋼材の約60%)、熱膨張係数が小さい(鋼材の約75%)、溶融点が高い、耐食性が優れているなどである。機械的性質は比強度(引張り強度/密度)が高く、ステンレス鋼以上の強度がある。また、引張り強度に対する耐力値、疲労強度が高く、耐衝撃性が優れているなど、はしご構成材料として有利な性質をもっている。

はしご構成材料の強度については、図1及び表

1に示すとおりである。

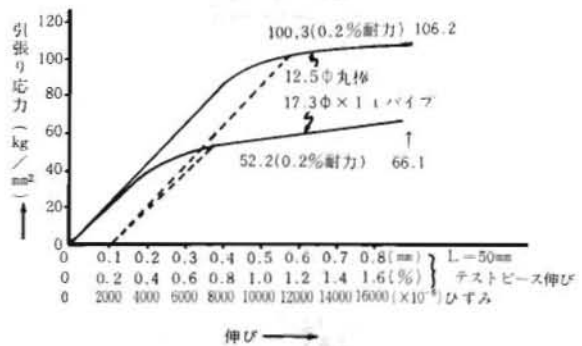


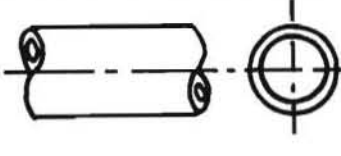

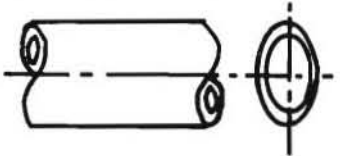
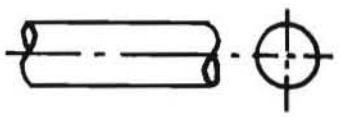
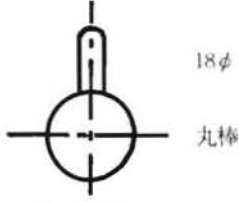
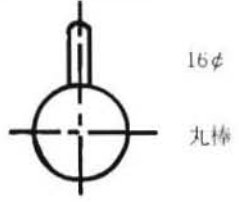
図1 チタン合金の引張り応力-伸び線図

3. 構造・諸元

試作したはしごの寸法、構造、重量については、写真1及び表2の諸元に示すとおりである。全長、横さん間隔、先端部かぎの形状などについては、現用の鋼製はしごと同じであるが、ヤング率が鋼の約 $\frac{1}{2}$ であるところから、次の部分が若干異なっている。寸法が小さくなっている部分としては、主かん間隔(全幅)が $-25mm$ 、かぎの最大間隔 $-10mm$ 、かぎの円形部半径 $-5mm$ などであり、また、寸法が大きくなっている部分としては、主かんと補助かんとの間隔(厚さ) $+7mm$ 、かぎ部の丸棒径 $+2mm$ などである。なお構造的な相違点は、主かん、補助かんともに同一径のパイプを使用したこと、縦さんの主かんに対する溶接角度を 45° にしたことなどである。

*第三研究室長 **第三研究室 ***管理課

表1 はしご構成材料

物性・強度		構成材料		チタン合金かぎ付はしご		参考(鋼製かぎ付はしご)		
はしご材	引張強度 (kg/mm ²)	3 2 5 A T	66.1	S T K M	65.2	52.2(0.2%耐力)		48.9 (降伏点)
	ヤング率 (kg/mm ²)		9,758		1 8 B	21,000		
はしご材	主かん 横さん 縦さん	 17.3φ, 1t		 円管		 長径19, 短径12, 1t 階円管		
	補助かん	同		上		 8φ 丸棒		
かぎ材	引張強度 (kg/mm ²)	6 4 A T	106.2	S 1 5 C	62	100.3(0.2%耐力)		52 (降伏点)
	ヤング率 (kg/mm ²)		10,600		21,000			
かぎ材		リブ	 18φ 丸棒	リブ	 16φ 丸棒			
	比重	4.5		7.8				

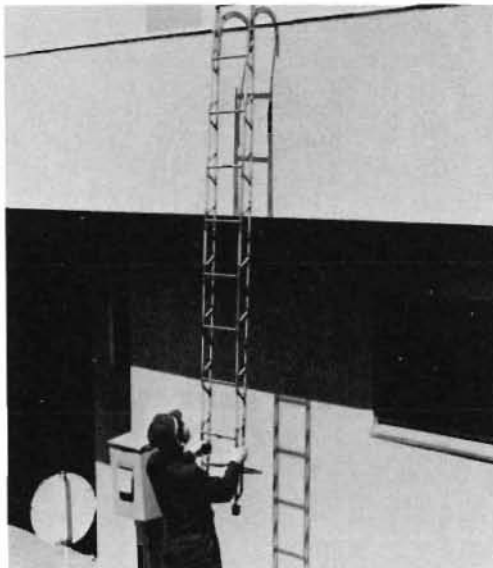


写真1

表2 チタン合金製はしご諸元

全長(mm)	3100	(3100)
主かん間隔(＃)	340	(365)
横さん間隔(＃)	300	(300)
厚さ(＃)	90	(83)
かぎの最大間隔(＃)	220	(230)
かぎの円形部半径(＃)	118	(123)
横さんのすべり止め	表面ブラスト加工(階円形利用)	
縦さんの構造	主かんに45°(主かんに90°)	
重量(kg)	6.7	(11)

注 ()内は鋼製はしご

特に大きな特徴は、全体重量が鋼製はしごの約11kgに対し、チタン合金製はしごが約6.7kgまで軽量化できたということである。

4. 性能実験

試作したはしごの主かん、先端部かぎ、横さんなど各部について、たわみ、ひずみを測定し、構造体としてのはしごが、実用上の作用応力に充分耐え得るかどうか性能実験を行った。

(1) 実験項目及び方法

はしごのたわみ量の測定は水平及び75°架ていで行った。水平の場合は両端を台座で支え、水平に糸を張り、中央部に60～180kgの錘を吊り下げて測定した。75°架ていの場合は、中段部の横さんに100kgの錘を吊り下げて測定した。

水平架ていにおける主かん、補助かんのひずみについては、写真2、図2に示すように主かん側において、主かんと横さんの接点に8個所(No.1～No.8)補助かん側において15個所(No.9～No.23)ストレインゲージを貼り、上記と同じ荷重条件で測定した。

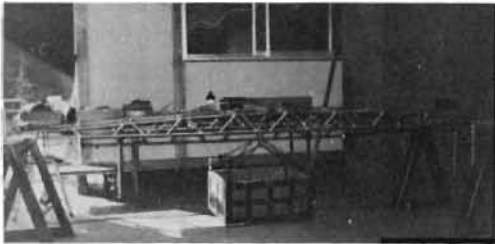


写真2 たわみ及びひずみの測定状況

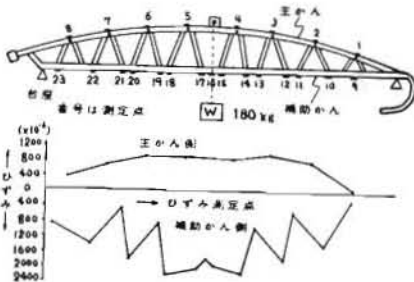


図2 はしごを水平にして荷重をかけた場合のひずみ

次に、はしご先端部かぎを梁に掛け、垂直状態で120kg～320kgの荷重をかけ、先端部かぎ、主かん、横さんの各部に生じるひずみを測定した。

はしご先端部かぎについては、写真3のように丸棒にリブを溶接することにより強度を高める配慮がなされており、リブが有る場合と無い場合とで、どの程度强度的に差異があるのか調べるため100kg～320kgの荷重条件において、かぎ先端の変

形(開き)及びかぎ全周にわたるひずみを測定した。

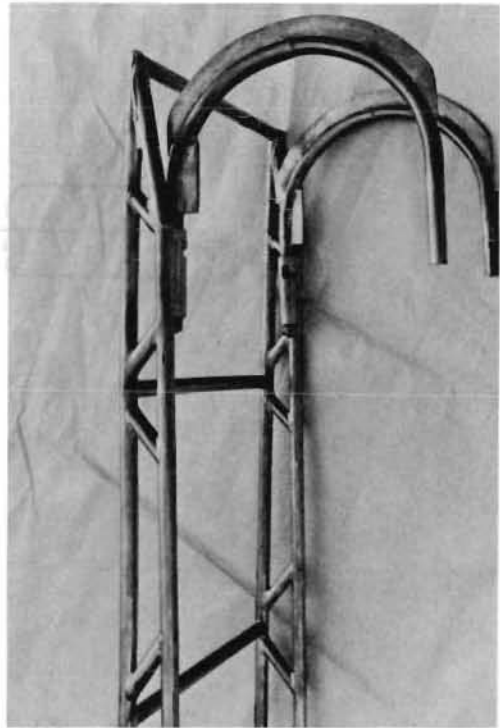


写真3 先端かぎ部

かぎ先端の変形(開き)を測定する方法は、図3のとおり、かぎの先端B点に接してA₁-B-C₁、A₁-B-C₂の2本の糸を張り、C₁、C₂にそれぞれ錘を下げておき、荷重の増加に従ってB点がD方向に移動した時点でL₁、L₂、L₃、L₄を実測し計算によりB-D間の変位量を求めた。

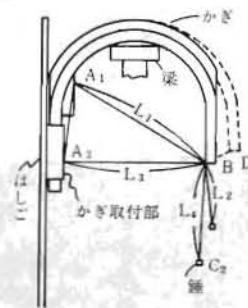


図3 先端かぎ部の変位測定

かぎの全周にわたるひずみについては、図4のようにかぎ部を9等分した各点(No.1～No.10)と根元部2点(No.11, No.12)にストレインゲージを貼り、各荷重条件で測定した。

測定に使用した器具は次のとおりである。

ストレンゲージ 共和電業 KFC-03-C1-11型
 " " KFC-5-C1-11型
 スtrenメーター " SM-60D型 1台
 スイッチボックス " SS-24R型 1台

(2) 実験結果及び考察

はしごを水平にし中央部に荷重をかけた場合の主かん及び補助かんのひずみは、図2のとおりである。大きなひずみを生じた点は主かん側ではNo.3, No.6, 補助かん側のNo.14, No.18であった。

架てい角度を水平、75°、垂直にし、各荷重条件における各部のたわみ、ひずみなどの測定結果は表3のとおりである。

表3に示す安全率は図5の使用材料の引張り応力とひずみの関係線図を基礎にひずみ測定値より作用応力を求め、荷重時の作用応力に対し、非鉄

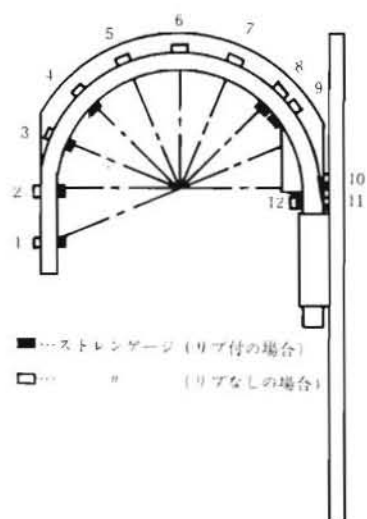


図4 かぎ部のひずみ測定点

表3 性能実験結果

測定部材	荷重条件	荷重 (kg)	たわみ変位 (mm)	ひずみ (最大) ($\times 10^{-6}$)	測定点 残留等	安全率
主かん・補助かん	はしごを水平にし両端を台座で支え中央部に錘りを吊り下げた場合	60	10 (10)	750	No. 18	52.2/7.3 =7.2
		100	19 (17)	1255	残留	52.2/12.2 =4.3
		180	32 (31)	2225	なし	52.2/22 =2.4
主かん・補助かん	はしごを75°に架ていし中段部の横さんに錘を吊り下げた場合	100	6 (6)	—	ていたい中央部	—
先端部かぎ	はしご先端部かぎを梁に掛け、はしご下端に錘を吊り下げた場合	200	かぎ先の変位	2630	かぎ外周	100.3/27.9 =3.6
			9.8 (2)	3270	かぎ取付部根元(内側)	100.3/34.7 =2.9 (2~2.5)
主かん	同上	320	—	1700	てい休上部	52.2/16.6 =3.1
横さん	同上		5.2	9060	残留ひずみ 2065×10^{-6}	応力 $\approx 56 \text{ kg/mm}^2$
横さん	同上	120	0.5	2620	変形等の異常なし	52.2/26 =2.0 (1.6~1.7)

* 安全率は0.2%耐力値/作用応力

* ()内は鋼製はしご

金属材料(はしご構成材料)の0.2%耐力値(応力の許容限界値)が何倍になっているかを算出したものである。

はしごの先端部かぎの変位及びひずみ測定結果は表4、図6のとおりである。

主かん、補助かんなどに対して比較的きびしい荷重条件としては、はしごを水平にし中央部に荷重をかけた場合で、はしご材の強度については、荷重180kgをかけた場合、ひずみの最大値が補助かん中央部で 2225×10^{-6} となり、作用応力としては約

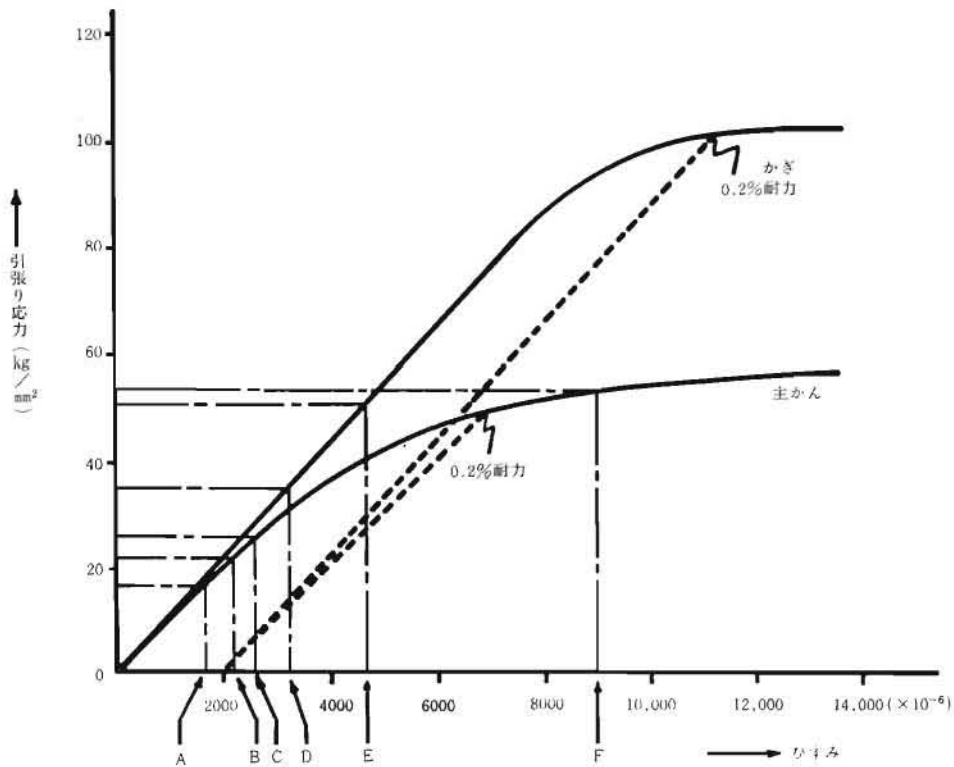


図5 各荷重時の作用応力

注 0.2%耐力：非鉄金属材料の残留ひずみが0.2%になる公称応力（鉄鋼材料でいう降伏点）

- A：はしごを垂直にし荷重320kgをかけた場合の主かんのひずみ
- B：はしごを水平にし荷重180kgを " 補助かんのひずみ
- C：はしごを垂直にし荷重120kgを " 横さんのひずみ
- D： " 荷重200kgを " かぎ取付部根元のひずみ
- E： " 動荷重(人間二人が登って) "
- F： " 荷重320kgをかけた場合の横さんのひずみ

表4 かぎ部の変位及びひずみ

	荷重 (kg)	かぎ先端 の変位 (mm)	ひ ず み (×10 ⁻⁶)		
			かぎ取付部の 根元内側(引張) No.12	かぎ取付部の 根元外側(圧縮) No.11	かぎ外周の 最大値(圧縮)
リブ付	200	9.1	3270	2630	800
	280	12.0	4430	3550	1150
	320	12.2	4590	3670	1165
リブなし	100	40.2	1955	1200	730
	200	43.5	4540	2840	1955
	260	—	5700	4140	3250
	280	50.4	—	—	—
	320	53.7	—	—	—

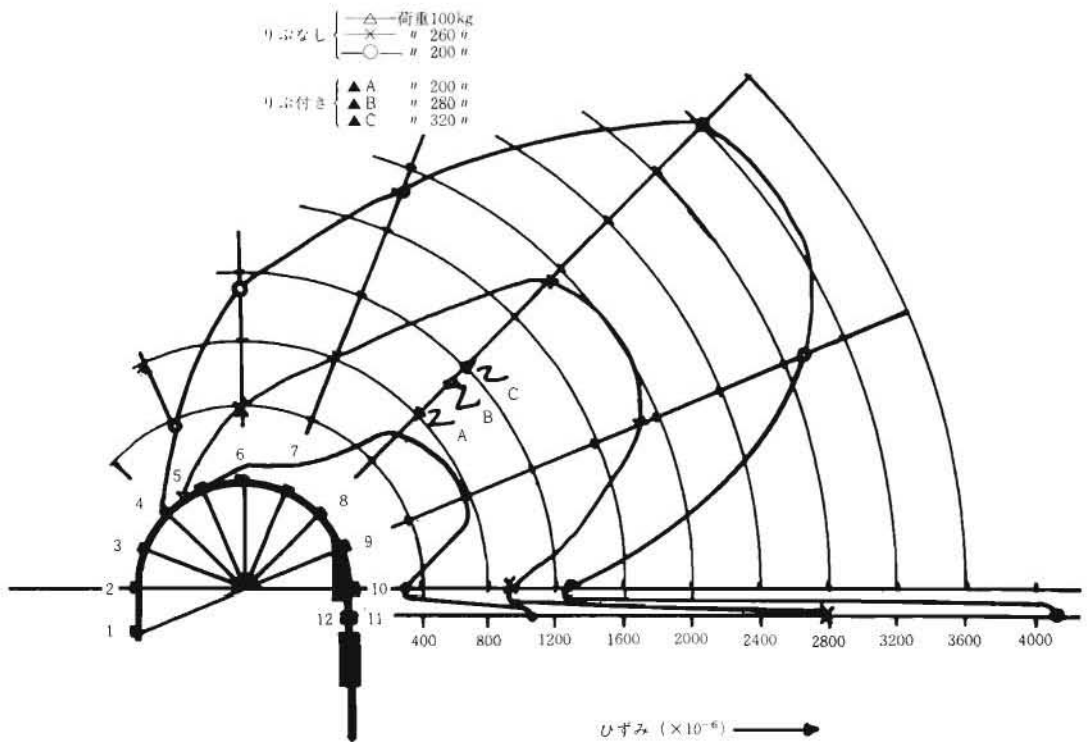


図6 かぎ部のひずみ

22kg/mm²(0.2%耐力の42%)であった。同様の荷重条件で鋼製はしごの場合は、中央部主かんが許容荷重の限界を越え、わん曲し著しい永久ひずみを生じた。たわみについては鋼製はしごの場合より1~2mm多い。

架てい角度75°における荷重100kg時のたわみは約6mmであり、鋼製はしごとほぼ同等の性能となっている。

はしごの主かん及び補助かんのたわみがこの程度におさまった理由としては、はしご側面の厚さを鋼製はしごより若干大きくしたこと、及び側面の縦さん数を多くするなど構造的に配慮した結果と思われる。

はしご先端部かぎを梁にかけ垂直にした状態で荷重をかけた場合には、かぎの取付部根元の内側に最も大きなひずみが生じ、荷重200kg時に3270×10⁻⁶、作用応力としては約34.7kg/mm²(0.2%耐力の約35%)であった。また、かぎの丸棒の外周にリブのある場合と取り外した場合では、かぎ

部分のひずみ、及びかぎ先端の変位に大きな差がでた。

かぎ丸棒の外周にリブを取付けなくて荷重を増すと、かぎの先端が徐々に開き、かぎ先端が後方にずれて移動するため力の作用点とかぎ取付部分の距離が離れ、さらにより大きなモーメントがかぎ取付部分に作用し、この部分のひずみも増大する傾向を示した。

横さんについては、荷重120kg時にひずみ2620×10⁻⁶、作用応力としては約26kg/mm²(0.2%耐力の約50%)であった。また、荷重320kg時にひずみ9060×10⁻⁶、作用応力としては約56kg/mm²(0.2%耐力以上)であり、許容される荷重としては約280kg程度が限界と思われる。なお、荷重320kgを取除いた後の残留ひずみは2065×10⁻⁶(伸び0.21%)となった。

はしご各部の安全率を表3によって総合的にみると、主かん、補助かんが約2.4以上、先端部のかぎが2.9以上、横さんが2.0以上で、いずれも鋼

製はしごより大きい値となっている。

動的な荷重をかけた場合の作用応力については、はしご先端部かぎを梁にかけ、体重60～70kgの人間一人が下段の横さんに両足をかけて登り、腕を縮めたり、伸ばしたりした動作時に、かぎ根元のひずみは $(400\sim 800)\times 10^{-6}$ 、作用応力では約4.2～8.5kg/mm²であった。動荷重が静荷重の2～3倍とみて、体重60～70kgの人間が二人同時に登降した場合、かぎ根元の作用応力は51kg/mm²（0.2%耐力の約51%）程度となるものと推定される。

5. ま と め

今回開発したチタン合金製はしごの利点としては、

(1) 非常に軽量化されたので搬送、取扱い、高所

にかけることが従来より容易になったこと。

(2) ほとんど腐食することがないので、外部塗装の必要がなく、保守点検が容易になったこと。

(3) 強度もかなり改善されたので、安全性が向上したこと。

などである。

難点としては、

(1) 各接合部がアルゴン溶接であるため、若干高度の溶接技術を要すること。

(2) 現在のところ、価格がかなり高いこと。

などである。

当庁では、56年4月から8基ほど試験的に実用配置し、さらに問題点があれば改良していく予定である。