

アルミニウム合金製積載はしごの開発について

Development of Aluminum Alloy Carrying Ladder

島	光	男*
正	村	厚*
池	辺	昇一*
菊	池	定男*
宮	澤	和良**

We tried to develop a light weight carrying ladder by using aluminum alloy beam which is consist of box materials in a cross section.

As a results of experiment, we confirmed that if we make a two extension ladder with this newly-developed aluminum alloy beam at the same length as three extension ladder which is now in service, the former (net weight : 37kg) was 5kg lighter and stronger than the later.

1. はじめに

積載はしごの軽量化については、以前から現地からの強い要望があり、各種はしごの強度実験を行ってきたが、現用のものは材質的構造的に軽量化がかなり困難である。

特別救助隊用のはしごでは、高度の作業に耐えるものが要求されるため、若干肉の厚い鋼管を使用して強度を大きくし、普通の三連はしごよりやや重いものが使われている。

そこで、積載はしごの軽量化を具体化する方法として、鋼管材よりも比重の軽い材料を使い、強度の大きい構造のはしごの開発をすすめ、現在まで開発したはしごで実用配置されたものにチタン合金製かぎ付単はしご、チタン製三連はしご等がある。

今回、開発したアルミニウム合金製の積載はしごについては、これら軽量化に関する一連の研究開発の中で実施してきたもので、チタン材よりも価格が安く、現用の鋼管製はしごと価格、強度がほぼ同等で、重量が軽いものを目標に試作を行った。試作機種としては、三連はしご及び全伸いて長さが三連はしごと同じ長さの二連はしごであるが、構造、特徴、性能等の概要について報告する。

2. はしごの構造、特徴

アルミニウム合金を使った消防隊用の積載はし

ごは、アメリカ、ドイツ、イギリス等の消防隊で多く使用されているが国内では、消防隊用の積載はしごとして設計されたものは皆無の状態である。

建築業用のアルミニウム合金製はしごを消防隊の使用条件で試験してみると荷重時のはしごのたわみが大きく、ゆれも大きく、強度的にも安全率が低いため、使用に耐えない。試作したはしごの主かん材の構造はイギリスの消防隊で実際に使われているアルミニウム合金製はしごを参考にし、新しく型材を開発したもので図1のとおり箱型の断面形状となっている。

主かん材に箱型構造を用いた理由は荷重時の曲げに強く、伸てい時の左右のゆれが少なくできること、また、軽量化をはかるため側面に窓を設けることができることなどである。

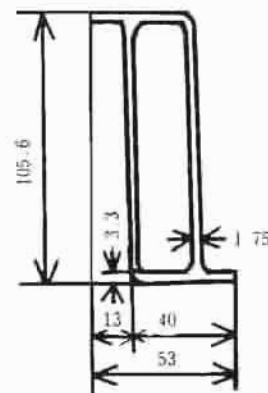


図1 試作はしごの主かんの断面形状

はしごの各連の連結方法は、図2、図3のとおり、大型のはしご車の機構と同じように主かんから13mm程度突き出したツバを2個のローラーで挟む機構を採用してあり、伸べい、縮べいがスムーズに出来る。伸べい時の爪の掛り方は、二連目、三連目の下部主かん内から爪がとび出し、一連目

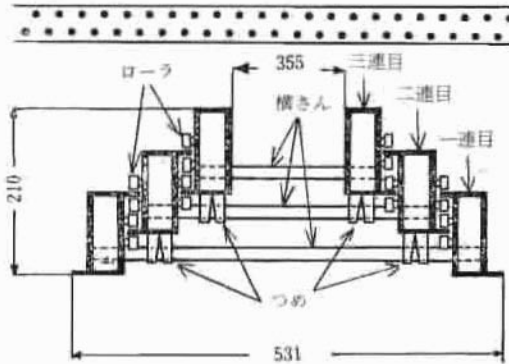


図2 三連はしごかみ合せ断面図

上部及び二連目上部の横さんにかかるようになっている。横さんは角型パイプをエキスバンド方式で主かんに締付加工してあり、損傷した場合には取替え修理も可能である。このはしごの構造上の特徴としては、箱型型材を使用したことのほか一切溶接部分がないことである。

壁体

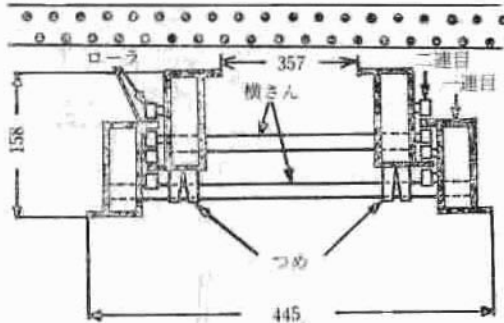


図3 二連はしごかみ合せ断面図

3. はしごの諸元

表1は、試作したアルミニウム合金製はしごの諸元である。今回試作したはしごのうち三連はしごは、試作1号機、試作2号機、試作3号機がある。

各試作機の相違点は、1号機は各連の主かん全面に軽量化のための打抜き窓を設けたもの、2号機は打抜き窓が全くないもの、3号機は一連目



写真1 試作したアルミニウム合金製はしご
左側 二連はしご (試作1号機)
右側 三連はしご (試作3号機)

の石ずきから約1.7mまで主かん内側には打抜き窓がなく、その上部には1号機と同様に打抜き窓を設けたものである。

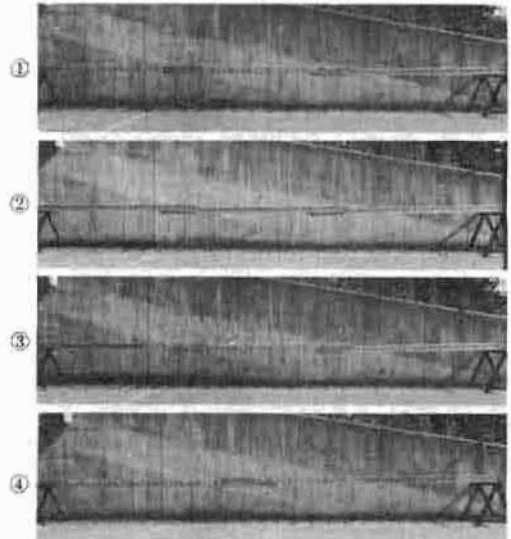


写真2 試作したアルミ三連はしご、二連はしごを側面から見た状況

三連 ①試作1号機 ②試作2号機
③試作3号機
二連 ④試作1号機

表1 アルミニウム合金製はしごの諸元

種別		試作アルミニウム合金製はしご			
		三連試作1号機	三連試作2号機	三連試作3号機	二連試作1号機
各部の寸法・全重量	全伸てい長さ(mm)	8.770	8.630	8.645	8.495
	縮てい長さ(mm)	3.480	3.430	3.440	4.920
	幅(mm)	529(一連目) 442(二連目) 355(三連目)	534(一連目) 446(二連目) 356(三連目)	531(一連目) 441(二連目) 355(三連目)	445(一連目) 357(二連目)
	横さん間隔(mm)	330 203(最下段)	325 206(最下段)	同左	325
	厚さ(mm)	最大 209 各連 105	最大 210 各連 106	最大 210 各連 106	最大 158 各連 106
	主かん材形状寸法(mm)	箱型 105×53	箱型 105.6×53(一・二連目) 105.6×40(三連目)		箱型 105.6×53
	横さん形状寸法(mm)	角管 1.8×28×28	角管 28.6×28 肉厚 上下面1.9 側面1.6		
	全重量(kg)	36	46.8	42.9	37.0
	材質特性	使用材質	アルミニウム合金	同左	同左
比重		2.7	同左	同左	同左
ヤング率(kg/mm ²)		7,000	同左	同左	同左
引張り強度(kg/mm ²)		29.8	同左	同左	同左
0.2%耐力値(kg/mm ²)		27.0	同左	同左	同左

4. 性能実験

(1) 実験方法

ア たわみ及び静ひずみの測定

はしごを次の設定条件にして、はしごの各連中央部、接合部等に60kgから180kgの静荷重を順次加え主かん各部のたわみ及びひずみを測定した。

設定条件

(7) はしごを全伸ていして、水平の状態で両端を自由支持した場合

(4) はしごを全伸ていして、仰角75度に架ていた場合

たわみの測定は、はしごの先端から末端まで主かんに沿って水平に糸を張り、荷重を加えたときの主かん上面との差を鋼製スケールで計測した。たわみの測定点は図4、

図5に示すとおりで三連はしごでは7点(No1~No7)を測定した。同様に二連はしごでは各荷重点等において8点(No1~No8)を測定した。

静ひずみの測定点は図4、図5に示すように三連はしごでは50点、二連はしごでは45点、主かんの上面及び下面にストレインゲージを貼り、全伸ていして、地上に水平に置いた状態を基準点として、ひずみ測定器により測定した。

たわみ及びひずみ測定において荷重幅はいずれの場合も28mm、両端を水平支持した時の支点の位置はそれぞれ両端から15mm内側とした。

なお静ひずみの測定に使用した計測器は次のとおりである。

ストレインゲージ 共和 KFC-5-C1-23 L500-3

ひずみ測定器 共和 UCAM-8BL
 スキャナー 共和 USB-50A
 XYプロッター 渡辺測器マイプロット
 WX4636R
 デジタルカセット ティアックプロライン100-4

イ 動ひずみの測定

はしごを全伸でいて、75度に架ていし防火帽、防火衣、空気呼吸器等を装備した隊員(総重量100kg)を登り降りさせ、このときの動ひずみをペンレコーダーにより記録した。

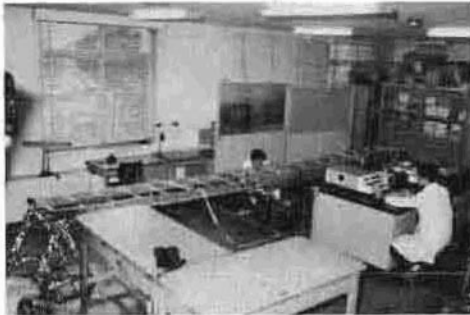


写真3 ひずみ測定状況 (水平架てい)

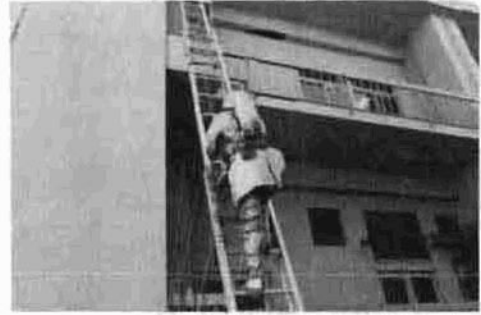


写真4 動ひずみ測定状況 (75度架てい)

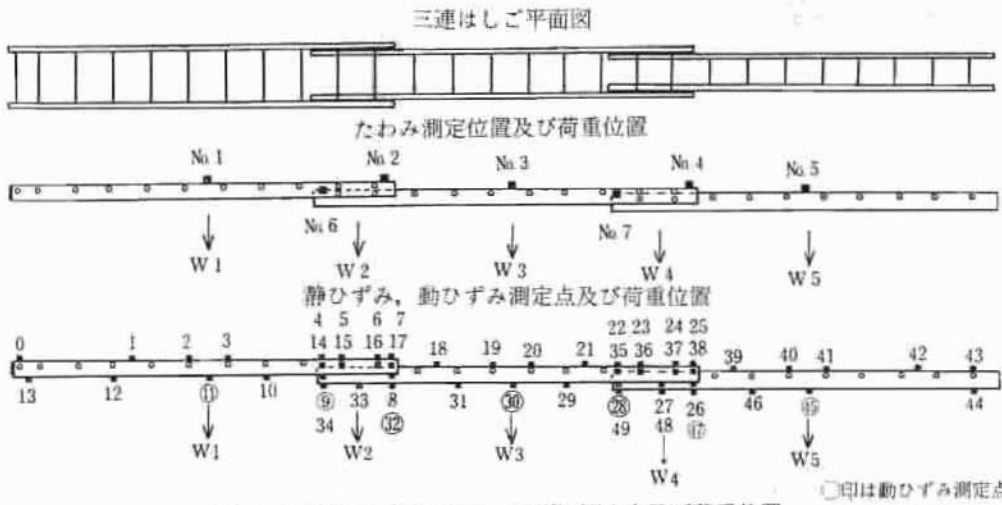


図4 三連はしごのたわみ、ひずみ測定点及び荷重位置

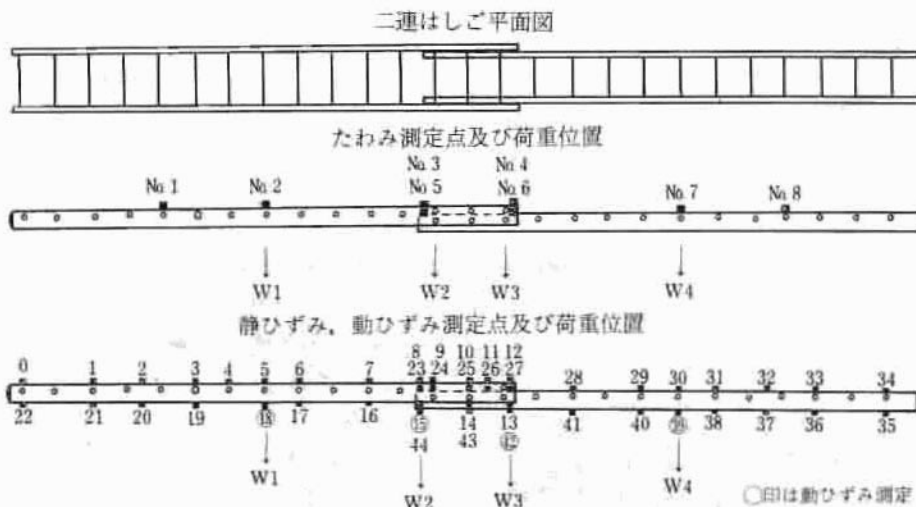


図5 二連はしごのたわみ、ひずみ測定点及び荷重位置

動ひずみの測定者は、二連はしごは同じに示すのみ、二連はしごでは図らに示すのみである。

登り降りのはきは長時間に積り込みを繰り返す又は落下とし、ストップウォッチを見ながらその速さを調整した。

なお、動ひずみの測定に使用した計測器は次のとおりである。

スリイオンレーン 昭和KPC-307-251566-3

ブリッジボルト 昭和DB-120F

転変計 昭和DPM-1IN

ポテンコメーター 浦河メカニカルコーポレーション
P3051

5. 実験結果

5.1 静荷重の場合もはしご各部のたわみ、ひずみ、作用応力について

三連はしご（試作型特製）を水平に設置し、荷重を加えた場合のたわみ及びひずみは図6、図7また、75度に乗せしめた場合は図8、図9に示すとおりである。

二連はしごを水平に設置し、荷重を加えた場合のたわみ及びひずみは図10、図11また、75度に乗せしめた場合は図12、図13に示すとおりである。

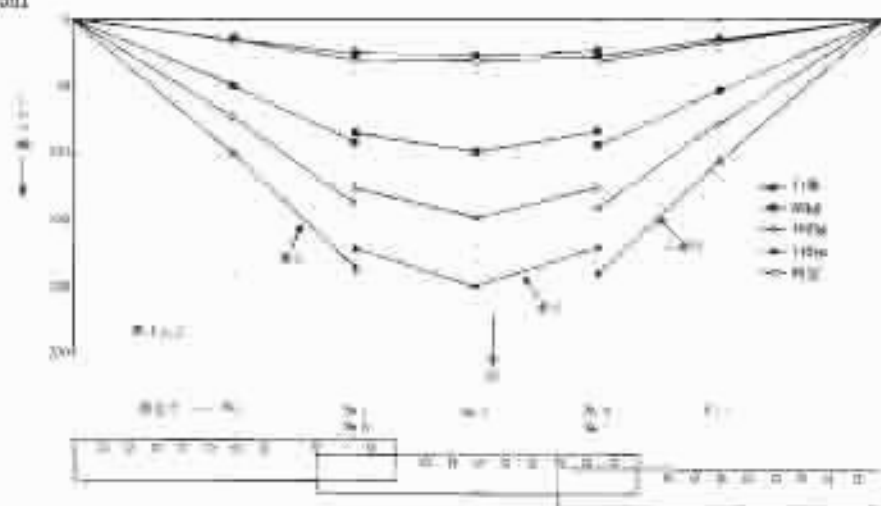


図6 全伸でい、水平支持、二連目中央に荷重を加えた場合の各部のたわみ

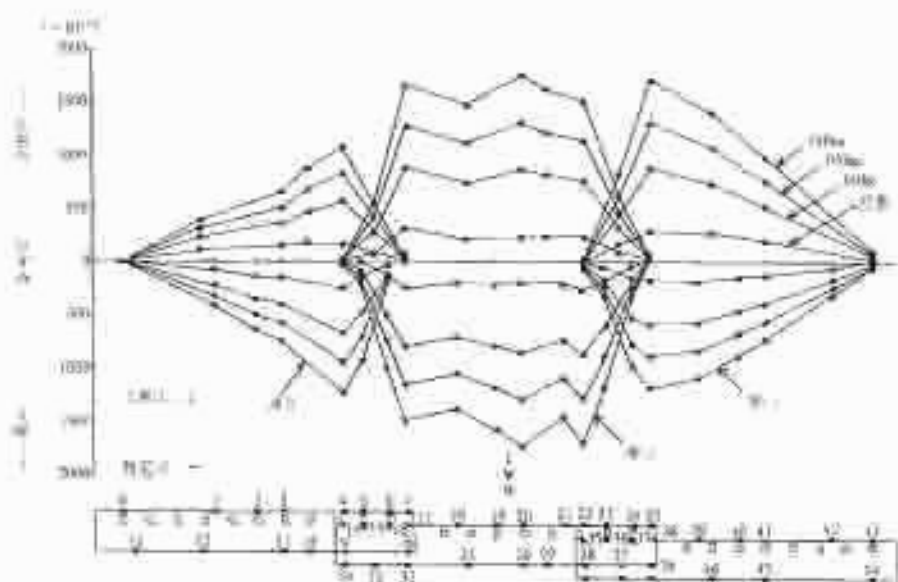


図7 全伸でい、水平支持、二連目中央に荷重を加えた場合の各部のひずみ

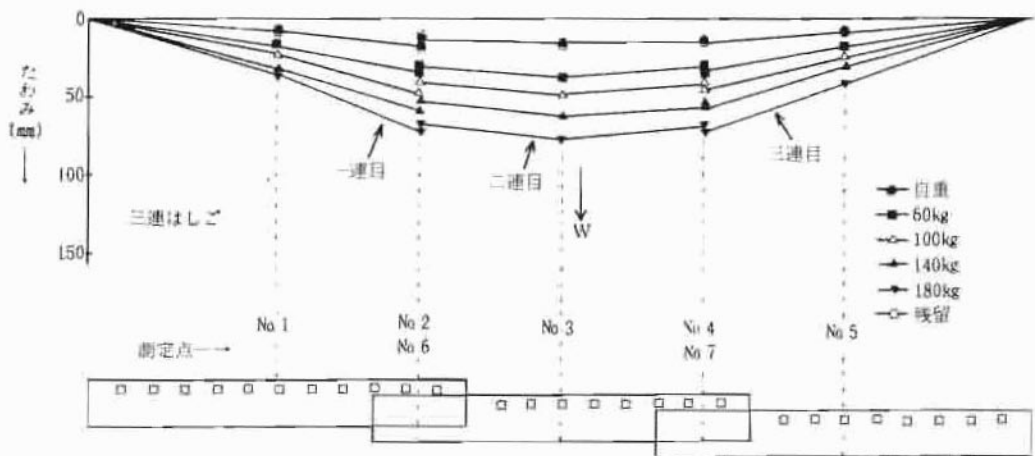


図8 全伸てい、75度架てい、二連目中央に荷重を加えた場合の各部のたわみ

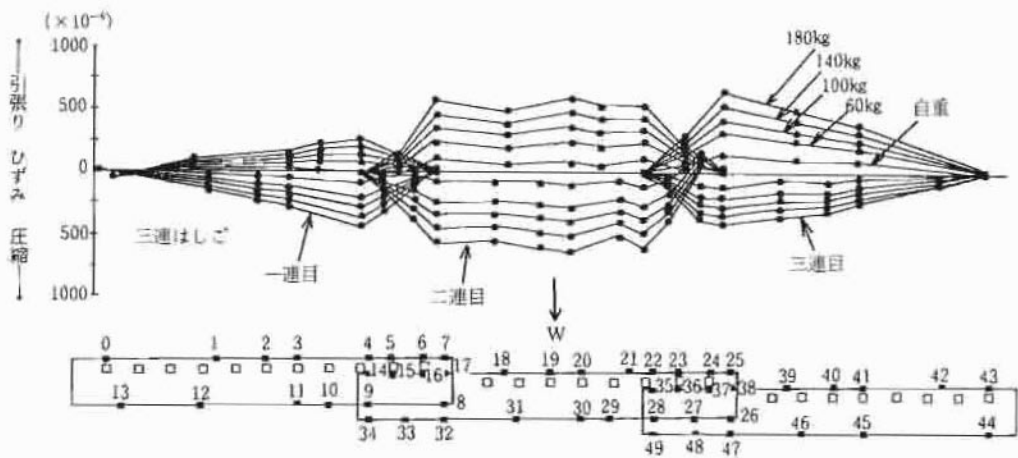


図9 全伸てい、75度架てい、二連目中央に荷重を加えた場合の各部のひずみ

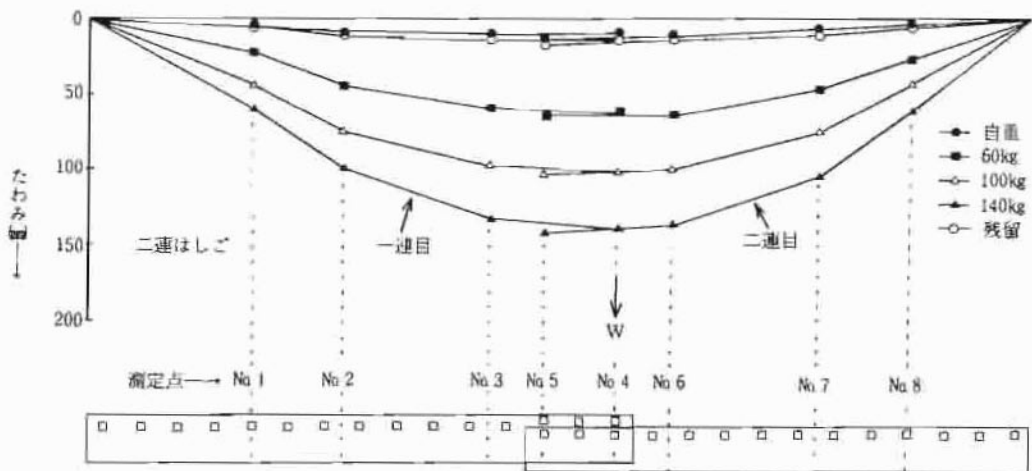


図10 全伸てい、水平支持、一連目先端に荷重を加えた場合の各部のたわみ

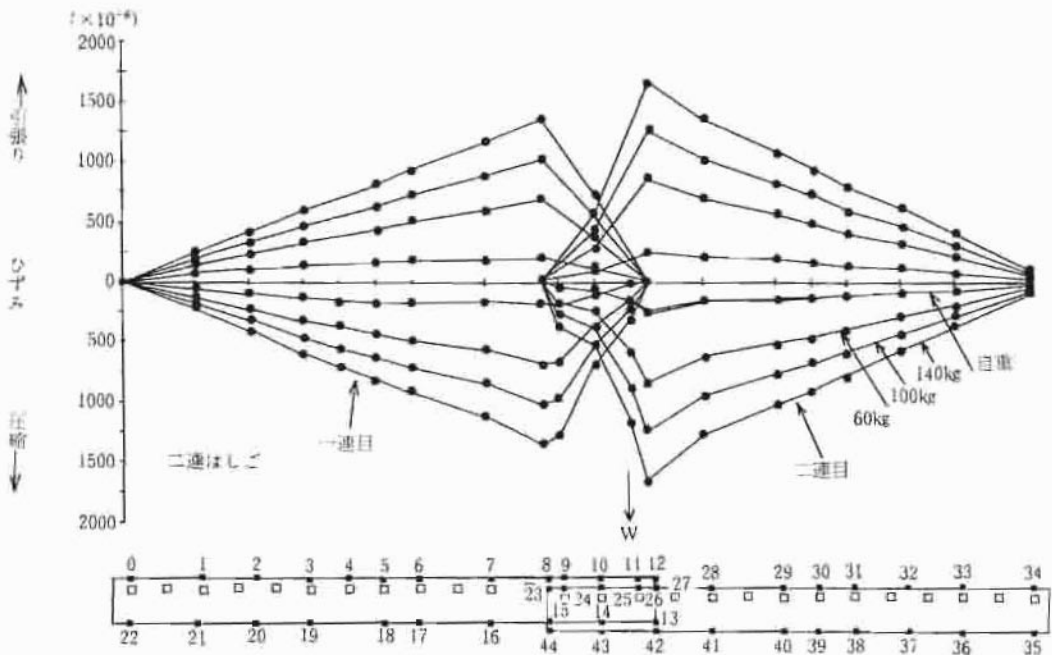


図11 全伸てい、水平支持、一連目先端に荷重を加えた場合の各部のひずみ

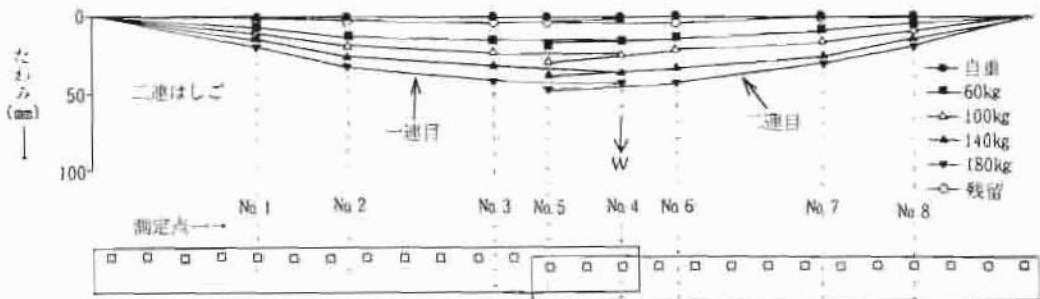


図12 全伸てい、75度架てい、一連目先端に荷重を加えた場合の各部のたわみ

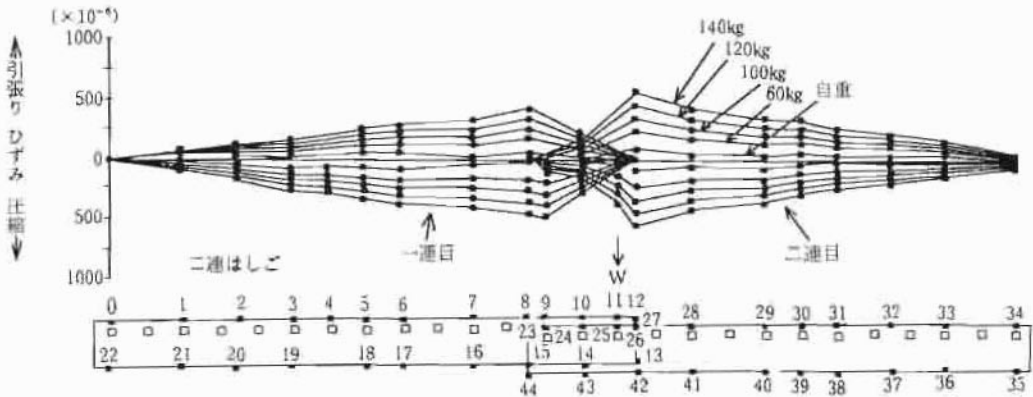


図13 全伸てい、75度架てい、一連目先端に荷重を加えた場合の各部のひずみ

一連の実験結果から各種荷重条件における最大たわみ、最大ひずみ、最大応力等を抽出

して、まとめた結果は表2、表3に示すとおりである。

表2 試作三連はしごの各種荷重条件における最大たわみ、最大ひずみ、最大応力

はしご 設定条件	荷重位置	荷重量 (kg)	たわみ				ひずみ・応力										
			1号機	2号機	3号機	3号機	1号機	2号機	3号機	1号機	2号機	3号機					
			たわみ (mm)	たわみ位置	たわみ (mm)	たわみ位置	たわみ (mm)	たわみ位置	たわみ (mm)	たわみ位置	たわみ (mm)	たわみ位置	たわみ (mm)	たわみ位置			
全伸てい 水平両端 自由支持	一連目中央	140 (120)	111	二連目中央	81	二連目中央	116	一連目先端	402	6.24	一連目ひずみ・ 二連目先端と の重合部	676	8.12	一連目中央	1061	7.45	二連目の 一連目先端と の重合部
	一連目と二 連目の重合 部中央	140		148	二連目中央	171	*				1256	9.47	二連目の一 連目先端と の重合部	1829	12.89	*	
	二連目中央	100	173	荷重点	115	荷重点	148	荷重点	1173	8.22	荷重点	1033	7.24	荷重点	1251	8.78	荷重点
	*	140 (120)	192	*	156	*	199	*	1141	8.48	*	1408	8.86	*	1678	11.73	*
	一連目と三 連目の重合 部中央	140			151	二連目先端	181	二連目中央				1038	11.26	二連目の二 連目先端と の重合部	2048	14.31	二連目の二 連目先端上 の重合部
	三連目中央	140 (120)	118	二連目中央	112	三連目先端	121	三連目先端	1002	7.01	荷重点	1229	8.41	荷重点	1417	9.92	荷重点
全伸てい 75度架てい	一連目中央	180 (160)	45	二連目の一 連目先端と の重合部	49	一連目先端	44	一連目先端	344	2.41	*	400	2.16	一連目の二 連目先端と の重合部	369	2.58	二連目の一 連目先端と の重合部
	一連目と二 連目の重合 部中央	180			53	三連目先端	75	二連目中央				415	3.85	二連目の一 連目先端と の重合部	633	4.43	*
	二連目中央	180 (160)	80	三連目先端	62	*	79	*	589	4.42	荷重点	653	3.36	荷重点	615	4.31	荷重点
	一連目と三 連目の重合 部中央	180			55	*	68	三連目先端				581	4.97	三連目の二 連目先端と の重合部	748	5.22	三連目の一 連目先端と の重合部
	三連目中央	180 (160)	47	三連目先端	46	*	52	*	371	2.60	三連目の二 連目先端と の重合部	567	2.57	*	486	3.49	*

(*)内は1号機の荷重量

表3 試作二連アルミはしごの各種荷重条件における最大のたわみ、最大のひずみ、最大応力

設定条件	荷重位置	荷重量 (kg)	たわみ		ひずみ・応力		
			たわみ (mm)	たわみ位置	ひずみ $\epsilon(\times 10^{-4})$	応力 $\sigma=Ex(\text{kg}/\text{cm}^2)$	ひずみ位置
全伸てい 水平両端 自由支持	一連目中央	140	111	荷重点	1206	8.44	荷重点
	一連目と二連目 末端重合部	140	142	142	1559	10.91	142
	はしご中央	100	104	104	1222	8.55	104
	一連目先端と 二連目重合部	140	142	142	1626	11.38	142
	二連目中央	140	107	一連目先端と 二連目重合部	1219	8.53	107
全伸てい 75度架てい	一連目中央	180	37	二連目末端重 合部	426	2.98	37
	一連目と二連目 末端重合部	180	49	49	545	3.82	49
	一連目先端と 二連目重合部	180	48	48	544	3.81	48
	二連目中央	180	34	34	423	2.96	34

イ 動荷重におけるはしご各部のひずみ
 三連はしごを75度に架ていし、重量100kgの
 隊員が登り降りした場合はしご各部のひずみ

みは図14、図15に示すとおりである。また、
 二連はしごについて同様の測定を行った結果
 は図16、図17に示すとおりである。

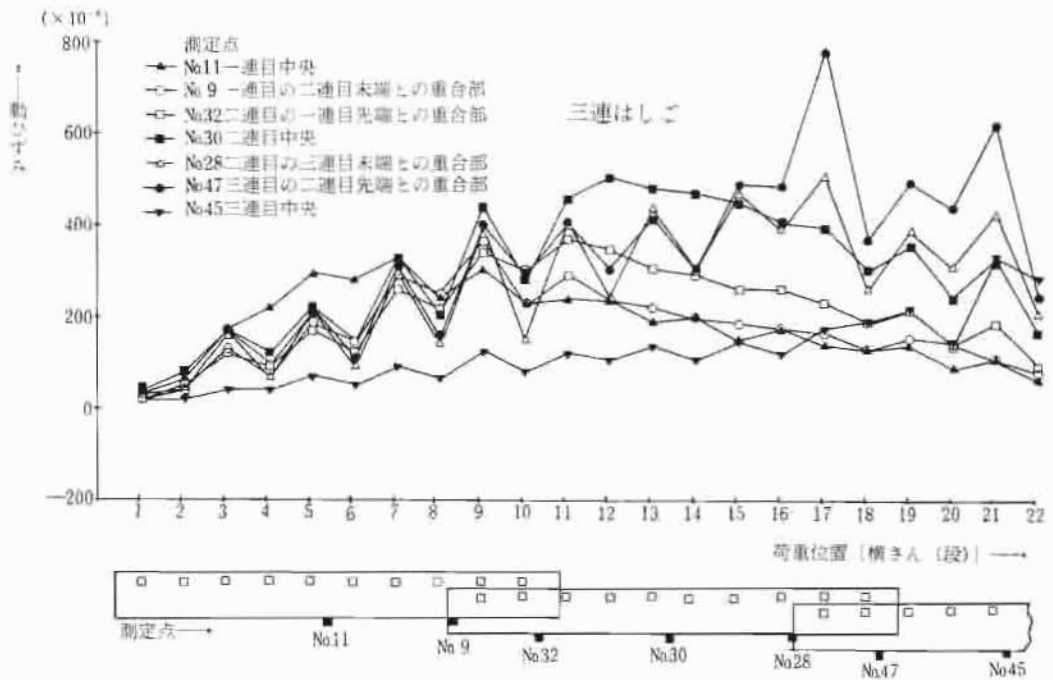


図14 全伸てい、75度に架ていし、登てい時の各部の動ひずみ

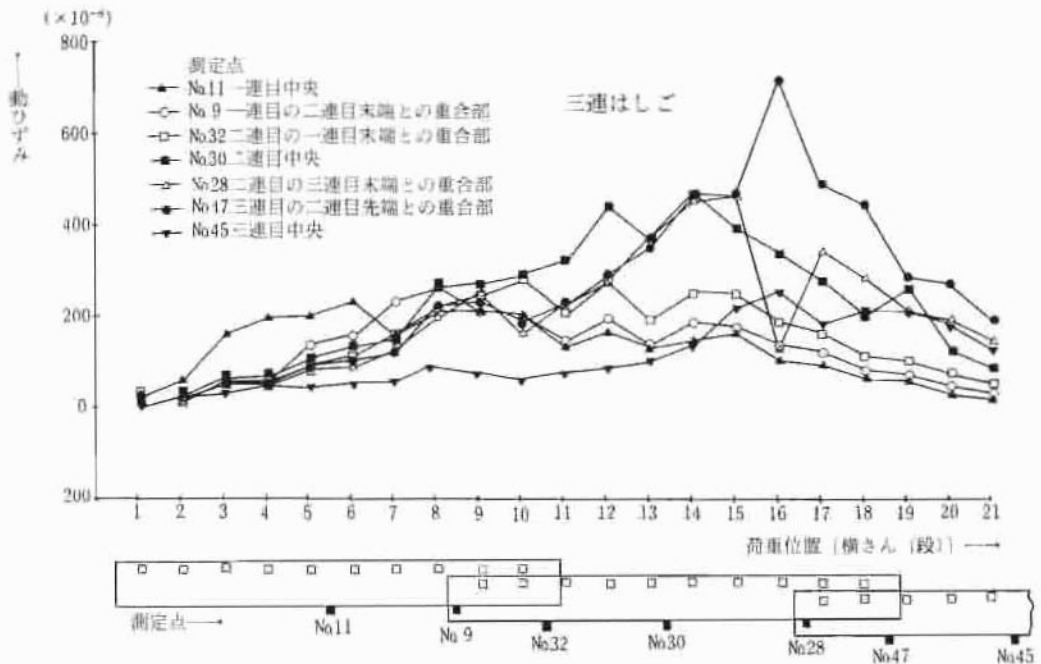


図15 全伸てい、75度に架ていし、降てい時の各部の動ひずみ

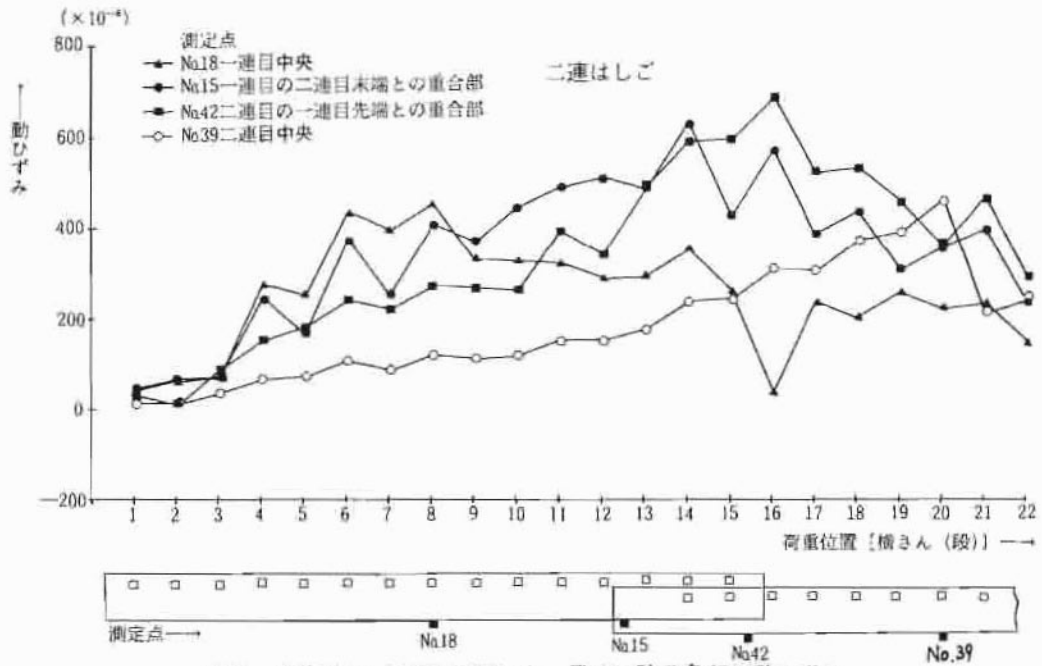


図16 全伸てい、75度に架ていし、登てい時の各部の動ひずみ

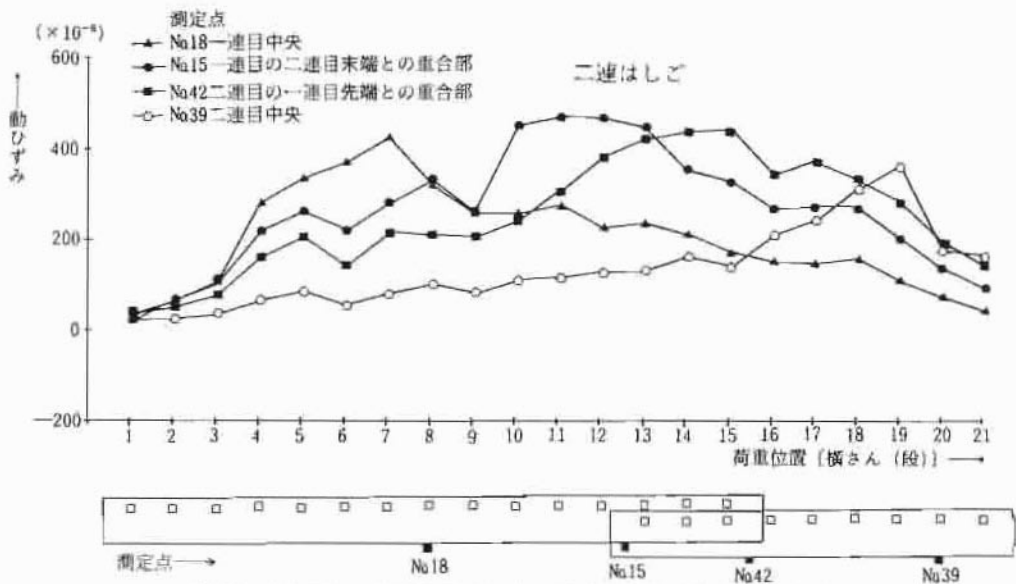


図17 全伸てい、75度に架ていし、降てい時の各部の動ひずみ

(3) 考察

ア たわみ及び静ひずみについて

三連はしご3号機、二連はしご1号機のたわみ及び静ひずみの測定結果について考察してみると、はしごを水平に設定し、最も大きなたわみを生じたのは、三連はしごでは、はしご中央に140kgの荷重を加えた場合、二連はしごでは、一連目先端に同様の荷重を加えた

場合である。その大きさは、それぞれ199mm、142mmであった。たわみの出かたをみると連結数の多い三連はしごの方に大きなたわみが出ているが両者とも荷重時のモーメント及び主かんの断面係数は同じである。

一方静ひずみの出かたをみると三連はしごでは、各連のローラーのかみ合せ部に大きなひずみが生じており、最大ひずみの生じる荷

重位置は二連目と三連目の重合部の中間である。この時最大ひずみの生じる点は三連目の二連目先端との重合部で、この位置のひずみ 2048×10^{-6} は最大たわみを生じる荷重点の場合の最大ひずみ 1679×10^{-6} より約20%大きな値となっている。はしごを一本の梁と考えるなら、水平で両端を自由支持し中央に荷重を加えた場合にひずみもたわみも最大となるはずであるが、実験の結果からわかるとおりいくつかの連が結合あさっている場合には、荷重点の付近に局部的に大きな応力が作用している。

なお、図7に示すように三連はしごで中央に荷重を加えた場合、三連目の引張りひずみが圧縮側のひずみより大きく出ているが、これは三連目は主かんの下部にツバのないものが使われており、下断面係数が上断面係数に比べ小さくなっているためである。

二連はしごについて、ひずみの出かたを見ると二連目の一連目先端との重合部に最も大きなひずみを生じており、その大きさは 1626×10^{-6} であった。

はしごを仰角75度に架ていし、静荷重を加えた場合の最大たわみ及び最大ひずみの生ずる位置など基本的な特性は、水平支持の場合と同様である。75度に架ていた場合は、主かんに直角な分力としては、垂直荷重の約26%が加わることになり、ひずみもたわみも水平架ていよりこの割合で少なくなるはずである。実際には100kg荷重時の二連はしごの最大たわみ、最大ひずみをみると水平架てい時の約28%で、理論値とほぼ一致しているが、三連はしごでは最大たわみが33%、最大ひずみが29%と若干大きくなっている。これは、はしごの下側にくる連が、荷重による垂直分力のほかに上部の連の自重をも受けるからと考えられる。このことは、図9の三連はしごの75度架ていにおける主かん各部のひずみの分布状況で、下の連にくるほど引張りひずみに対する圧縮ひずみの割合が大きくなっていることから推察できる。

次に、三連はしご試作1号機、試作2号機、試作3号機について、荷重時の最大たわみ、最大ひずみ等の出かたを表2によって考察し

てみると、試作1号機は主かんの全側面に打抜き窓があるため、軽量であるが、たわみ、ひずみともに最も大きくなっている。試作2号機は主かんに打抜き窓が全くないため、たわみ、ひずみは最も小さいが重量が最も重くなっている。試作3号機は、伸てい縮てい時に指に損傷危険防止のため、一連目下部主かんの内側に打抜き窓を設けないが、その他の部分には窓を設けてあり、たわみ、ひずみともに試作2号機よりやや大きくなっている。

二連はしごについては、三連はしごの強度試験データに基づき、出来るだけ軽量で十分な強度のあるものを目標に試作を行った結果、表3に示すとおり最大のたわみ、最大のひずみともに三連はしご（試作3号機）より小さく軽量（37kg）で強度の強いものを作ることができた。これまでの実験結果に基づき三連はしご、二連はしごについて最も荷重条件のきびしい水平140kg荷重時の最大ひずみ 2048×10^{-6} （三連はしご）、 1626×10^{-6} （二連はしご）からこのときの作用応力を求めてみると、三連はしごが 14.3 kg/mm^2 、二連はしごが 11.4 kg/mm^2 となる。今回試作したはしごの主かん材の0.2%耐力値は 27.0 kg/mm^2 であるから上記の応力値から安全率を求めてみると、

三連はしごが1.90、二連はしごが2.38となる。
イ 動ひずみについて

動ひずみについては、各連の中央、各連の重合部など静ひずみが大きく出た点について測定を行った。動ひずみの出かたは、図14～図17に示すとおりで、各測定点に近い横さんに隊員が乗った場合に、それぞれ最も大きな値が出ている。登てい時と降てい時の絶対値を比較すると登てい時の方が降てい時より全般的に大きな値となっている。

三連はしごの場合、最も大きなひずみが出たのは、登てい時に横さん17段目に乗った時の三連目の二連目先端との重合部（測定点Na47）でその値は 780×10^{-6} である。測定点Na47は100kgの静荷重実験でも最大ひずみ 398×10^{-6} を生じた点であり、動ひずみの値は、静ひずみの値の1.96倍である。二連はしごの場合、最も大きなひずみが出たのは、登てい時に横さん16段目に乗った時の二連目の

一連目先端との重合部（測定点No42）で、その値は 686×10^{-6} である。測定点No42は100kgの静荷重実験でも最大ひずみ 334×10^{-6} を生じた点であり、動ひずみの値は静ひずみの値の2.03倍である。

動ひずみの最大値から応力を算出すると次のとおりである。

三連はしごでは、

$$\begin{aligned} \text{応力 } \sigma &= E \times \varepsilon & E: \text{ヤング率} \\ &= 7,000 \times 780 \times 10^{-6} & \varepsilon: \text{ひずみ} \\ &= 5.5 \text{kg/mm}^2 \end{aligned}$$

二連はしごでは、

$$\begin{aligned} \text{応力 } \sigma &= E \times \varepsilon \\ &= 7,000 \times 686 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

$$= 4.8 \text{kg/mm}^2$$

結局、防火服、呼吸保護器等を装備した全重量100kgの消防隊員が、今回試作したはしごに昇り降りし、動的な荷重を加えた場合、はしご主かん材に作用する最大応力は、アルミニウム合金製主かん材の作用応力の許容値（0.2%耐力値） 27kg/mm^2 に対して17.7~20.3%である。

4. ま と め

今回開発したアルミニウム合金製はしごと現用の鋼管製はしご等との構造材質、重量、性能など総合的に比較すると表4に示すとおりになる。

まず、重量的にみると現用の鋼管製はしごが42

表4 各種積載はしごの諸元性能比較表

項目	種別	現用鋼管製	一般市販アルミ	試作アルミニウム合金製はしご			
		三連はしご	三連はしご	三連試作第1号	三連試作第2号	三連試作第3号	二連試作第1号
各部の寸法	全伸でい長さ (mm)	8,700	8,700	8,770	8,630	8,645	8,495
	縮でい長さ (mm)	3,500	3,800	3,480	3,430	3,440	4,920
	幅 (mm)	355 (一連目) 327 (二連目) 299 (三連目)	400 (一連目) 400 (二連目) 400 (三連目)	529 (一連目) 442 (二連目) 355 (三連目)	534 (一連目) 446 (二連目) 356 (三連目)	531 (一連目) 441 (二連目) 355 (三連目)	445 (一連目) 357 (二連目)
	横さん間隔 (mm)	325	350	330 203(最下段)	325 206(最下段)	同左	325
	厚さ (mm)	200 (一連目) 165 (二連目) 115 (三連目)	最大 205 各連 65	最大 209 各連 105	最大 210 各連 106	同左	最大 158 各連 105
	主管材形状寸法 (mm)	丸管 1×19×12	1型 1.5×30×65	角管 105×53	箱型 105.6×53(一、二連目) 105.6×40 (三連目)	箱型 105.6×53	箱型 105.6×53
横さん形状寸法 (mm)	同上	丸管 3.0×30	角管 1.8×28×28	角管 28.6×28 肉厚 上下面 1.9 側面 1.6			
全重量 (kg)	42.0	21.0	36.0	46.8	42.9	37.0	
材質・特性	使用材質	機械構造用炭素鋼管 STKM-18 同上	アルミニウム合金 A-6061-T6 同上	同左 661B-T5 A-6063S-T5	同左	同左	同左
	比重	7.8	2.7	同左	同左	同左	同左
	ヤング率 (kg/mm ²)	21,000	7,000	同左	同左	同左	同左
	引張り強度 (kg/mm ²)	65.2	31.2	30.0	同左	同左	同左
	0.2%耐力値 (kg/mm ²)	48.9	28.6	27	同左	同左	同左
水平に架ていし、中央部に100kgの荷重を加えた場合	最大たわみ	92mm	623mm	171mm	115mm	148mm	104mm
	最大ひずみ	1300×10^{-6}	3600×10^{-6}	1175×10^{-6}	1033×10^{-6}	1251×10^{-6}	1222×10^{-6}
	応力	27.3kg/mm^2	25.2kg/mm^2	8.22kg/mm^2	7.23kg/mm^2	8.76kg/mm^2	8.55kg/mm^2
	安全率	2.38	1.13	3.29	3.75	3.09	3.17
75度に架ていし、中央部に100kgの荷重を加えた場合	最大たわみ	31mm	176mm	56mm	42mm	49mm	30mm
	最大ひずみ	400×10^{-6}	1275×10^{-6}	377×10^{-6}	299×10^{-6}	398×10^{-6}	338×10^{-6}
	応力	8.40kg/mm^2	8.93kg/mm^2	2.64kg/mm^2	2.09kg/mm^2	2.79kg/mm^2	2.37kg/mm^2
	安全率	7.76	3.20	10.27	12.97	9.71	11.43

kgであるのに対し、今回開発したアルミ三連はしご（試作3号機）は、42.9kgであるから重量的にはほぼ同じであり、軽量化することが出来なかった。また、縮めてい時の幅及び厚さが大きいいため、搬送時の取扱いなど使い勝手がよくない面がある。しかし、外国製のこの種のはしごと比較するとかなり軽く、強度的にも十分な性能を備えている。

アルミ二連はしご（試作1号機）では、アルミ三連はしごの欠点を改善する努力がなされており、重量は37kgで現用のはしごより5kg軽量化することができた。また、縮めてい時の幅及び厚さもさほど大きくなるらず、搬送も比較的容易である。なお、このはしごは二連であるが伸べてい時に三連と同じ長さに設計されているため、縮めてい時には現用の三連はしごより1.4m長くなっている。そのため道路幅の狭いところなどを搬送する際に曲がれるかどうか実験した結果、2m幅の路地でも容易に曲がることができた。さらに消防車両に積載できるかどうかについては、現用の化学車の場合、若干、運転席の屋根にかかる程度で積載可能であり、普通ポンプ車の場合も積載方法を若干検討する必要があるが、十分積載可能であると思われる。

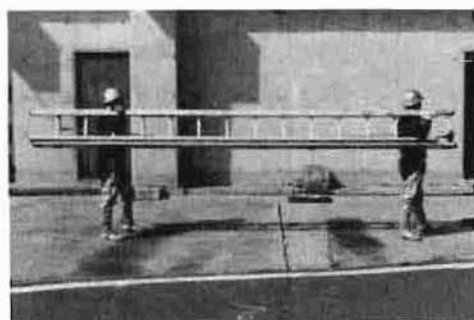


写真5 試作アルミ二連はしごの搬送状況

二連はしごにした場合には、伸べてい縮めてい時に爪かけが2箇所となり、伸べてい部（二連目）の重量が三連はしごの伸べてい部（二連目、三連目）より軽いため、伸べてい縮めてい操作が非常に容易である。

次に強度的にみた性能比較をしてみると、たわみについては、水平、100kg荷重において、アルミ三連はしご（試作3号機）は現用鋼管製はしごより56mm多く、また、アルミ二連はしごは同等あるいは12mm多い程度である。

上記と同様の荷重条件においてひずみ測定から求めた安全率については、試作三連はしごの中では試作2号機が3.75と最も高い、しかし、このはしごは現用のはしごより重量化になっているため実用性が低い。

アルミ二連はしごの場合には、水平架ていの安全率が3.17で現用の鋼管製はしごの安全率2.38より30%高い値を示している。試作機の中で最も実用性の高いアルミ二連はしごについて実用上の荷重限界を推察してみると、水平、140kg荷重時の最大応力値が $11.4\text{kg}/\text{mm}^2$ であるから、水平架ていして使用する場合には、静荷重で330kgが使用限度である。また、75度架ていの場合、100kgの動的荷重を加えた場合の最大応力が $4.8\text{kg}/\text{mm}^2$ であるから、主かんに関しては静荷重で約500kgぐらいまで耐えられるものと思われる。

5. 結 論

アルミニウム合金製の箱型断面形状の主かん材を使って、軽量の積載はしごの開発を試みた結果、現用の三連はしごと同じ長さの二連はしごであれば、重量が約5kg軽くなり（総重量37kg）、強度的にも現用の鋼管はしごより強いものが作れることがわかった。

なお、今後、破壊強度を調べるため、過酷な条件で破壊実験を行う予定である。