

英国製アルミニウム二連はしごの性能 実験結果について

Results of Performance Tests on A British Aluminium Alloy Two Extension Ladder

島 光 男・
正 村 厚・
堀 井 幸 一・
池 辺 昇 一・
村 上 信 義・

Performance tests were made on an aluminium alloy two extension ladder used by British fire units. Its fully extended length is 9,972 mm; about 1,270 mm longer than the steel three extension ladder that we now use. Weight of the former is 43 kg; nearly equal to that of the latter.

One of the characteristic features of the aluminium alloy ladder is that its beams consist of box materials. Since the cross-sectional modulus of the box material is large, the aluminium ladder is a little stronger than the steel ladder although the deflection of the former is a little bigger than that of the latter when a load is applied to both while they are extended horizontally or at 75 degrees.

1. はじめに

消防隊の使用する積載はしごについては、軽量化の研究開発に必要な資料を得るため、これまでに現用の鋼製三連はしご、一般に市販されているアルミ合金製はしご等について、構造、材質、重量と使用時のたわみあるいは強度との関係について実験を行ってきた。

今回、英国の消防隊で使用されているアルミ合金製の二連はしごについて性能実験を行ったので、その概要を報告する。

2. 構造・諸元及び特徴

実験用として入手したはしごは、英国のファイアガンズ社製のラコンマークII型、アルミ合金製二連はしごで、外観は、写真1、2に示すとおりである。最初のラコンマークI型は、1958年に西ドイツの軽合金専門メーカーのツァルゲス社で作られたが、その後多くの改良がなされた。現在のマークII型は、ヨーロッパの消防機関で多く使用

されているようである。

このはしごの構造諸元は、表1に示すとおりで、全伸てい時の長さは33フィート(9,972mm)、重量は95ポンド(43kg)である。現用の鋼製三連はしごと比較すると全伸ていの状態で1,272mm長く、重量は1kg重いだけでほぼ同じである。縮てい時の長さは、約5,700mmあり、かなり長いので当庁のポンプ車に積載するには、不具合である。

構造上の特徴は、主かんに図1に示すようなアルミニウム合金を押し成型した箱型型材を用いていること、一連目と二連目を、図2に示すとおり一連目のゴム及び二連目に取付けたローラーでかみ合わせていること、二連目の主かんに収納されている爪が出て一連目の横さんに掛かるようになっていること等である。二連目の先端には、直径100mm、幅45mmの金属製ローラーが二個取付けてあり、搬送時の省力化、あるいは伸てい時に壁面を滑らすことができるようになっている。また、横さんは、アルミ合金の角パイプをエキスパンド方式で主かんに取付けてあり、損傷した場合には、容易に取替えることができる。

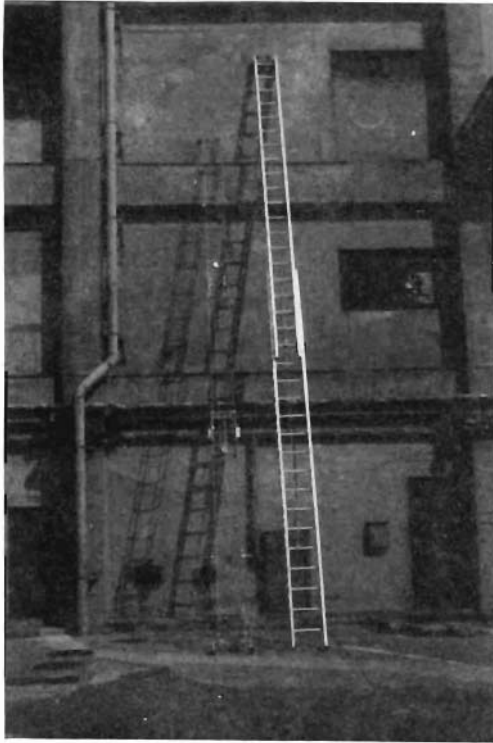


写真1 右側……英国製アルミニ二連はしご
左側……現用鋼製三連はしご



写真2

表1 英国製アルミニ二連はしごの諸元表

項目	種別	英国製アルミニ二連はしご
各部の寸法・全重量	全伸てい長さ (mm)	9,972
	縮てい長さ (mm)	5,710
	幅 (mm)	500(一連目) 410(二連目)
	横さん間隔 (mm)	280
	厚さ (mm)	185 (最大の厚さ) 128 (一連目、二連目)
	主かん材 (mm)	128×25箱型形材 肉厚上下面3.2 側面1.7
	横さん (mm)	角管 肉厚×たて×よこ 3.2×29×29
全重量 (kg)	43	
材質・特性	使用材質名	アルミニウム合金
	引張り強度 (kg/mm ²)	31.2 (仮定値)
	0.2%耐力 (降伏点) (kg/mm ²)	28.6 (")
	ヤング率 (kg/mm ²)	7000 (")
	比重	2.7

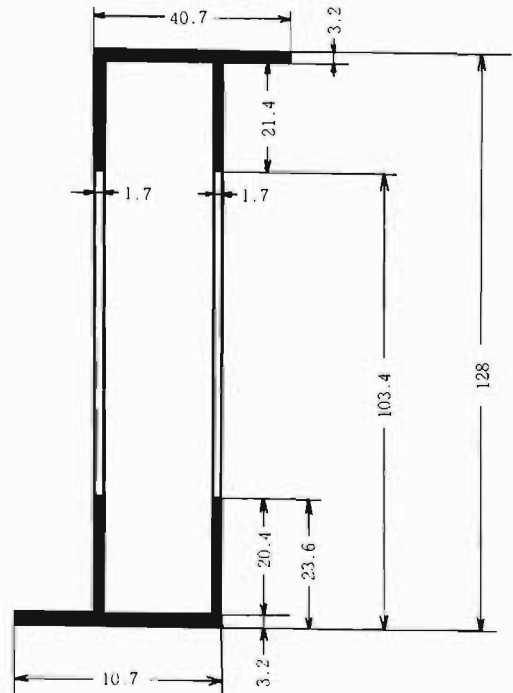


図1 はしご主かんの断面

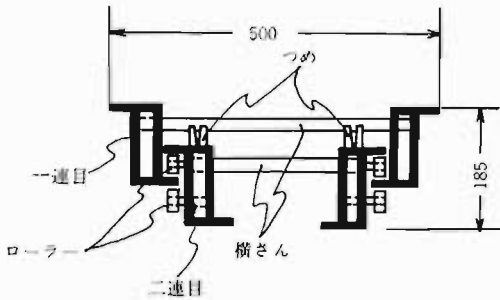


図2 一連目二連目かみ合せ部断面

3. 性能実験

(1) 実験方法

はしごを次の設定条件にして、中央部に60kgないし180kgの静的な荷重をかけて、主かん部のたわみ、ひずみを測定した。

設定条件

- ア はしごを全伸でいて、水平の状態で両端を台座で支えた場合
- イ はしごを $\frac{3}{4}$ 伸でいて、水平の状態で両端を台座で支えた場合
- ウ はしごを全伸でいて、60度、65度、75度に架ていた場合
- エ はしごを全伸でいて、60度に架ていた場合

たわみの測定は、水平の場合には、写真4のように両端を台座で支え、主かんにそって水平に糸を張り、中央部に60～180kgの錘を下げ、荷重点を中心に左右9ヵ所を測定した。75度架ていの場合には、はしご中段部の横さん（一連目）に100kg、180kgの錘を順次吊り下げて水平の場合と同様に測定を行った。

ひずみの測定は、写真3、図3に示すように主かんの上面及び下面等50点にゲージを貼り、地上に水平に置いて一連目、二連目の連結部（ローラー及びゴム）がフリーの状態の時を基準とし、上記と同じ荷重条件で測定を行った。

ひずみ測定に使用した器具は、次のとおりである。

- ストレインゲージ 共和電業 KFC-5-CI-23-500-3
- ストレインメーター ミネベア DPU-100B 小型デジタル多点ひずみ

測定器

共和電業 SM-60D型

スイッチボックス

共和電業 SS-24R型



写真3 ストレインゲージ貼付状況

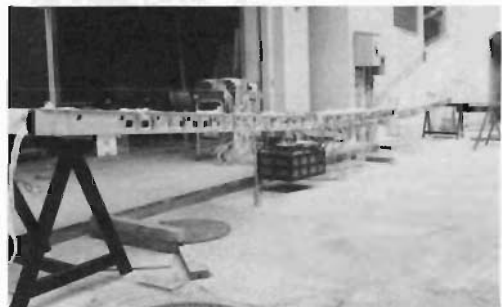


写真4 たわみ及びひずみ測定状況（水平）



写真5 たわみ及びひずみ測定状況（75度架てい）

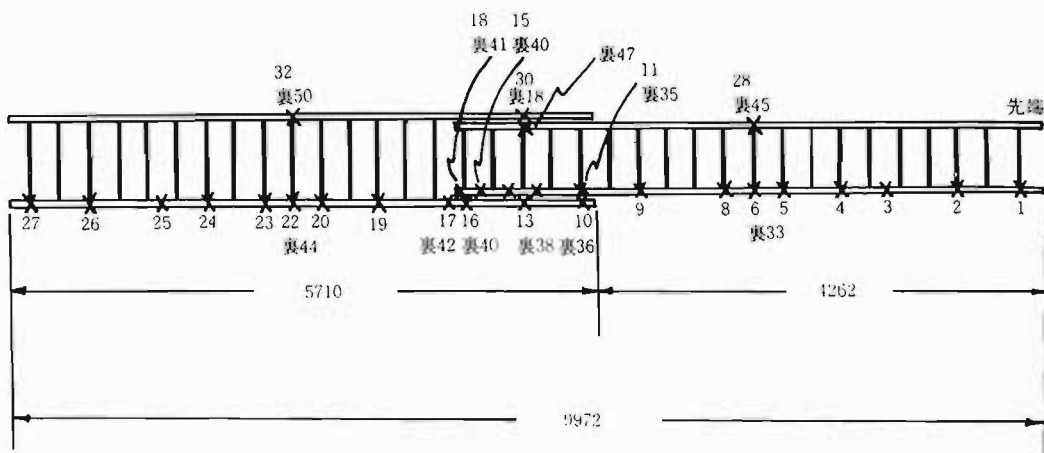


図3 はしご主かんのひずみ測定位置

(2) 実験結果

はしごを各設定条件に架ていし、各荷重時の
はしご中央部主かんのたわみ及びひずみ測定結
果は、図4から図13に示すとおりである。

表2は、これらの測定結果に基づいて、各荷
重時の最大たわみ及び最大ひずみを一覧表にし

たものである。

(3) 考察

ア はしごを全伸ていして水平に架ていした
場合

主かん中央に100kgの荷重を加えた場合の
たわみは、120mmあり現用の鋼製三連はしご

表2 各荷重時の最大たわみ、最大ひずみ

はしご設定条件		荷重(kg)	たわみ(mm)	ひずみ(×10 ⁻⁶)
全伸てい水平		60	75	973
		80	93	1,185
		100	120 (92)	1,422(1,300)
		120	141	1,642
		150	170	1,960
		180	205	2,304
¾伸てい水平		60	42	586
		80	53	713
		100	65	850
		120	74	972
		150	90	1,163
		180	105	1,357
全伸てい		100	32 (31)	440(400)
		180	57	730
		100	54	760
		180	101	1,190
		100	63	808
		180	113	1,288
¾伸てい		100	37	368
		180	46	597

注：() 内は現用の鋼製三連はしご

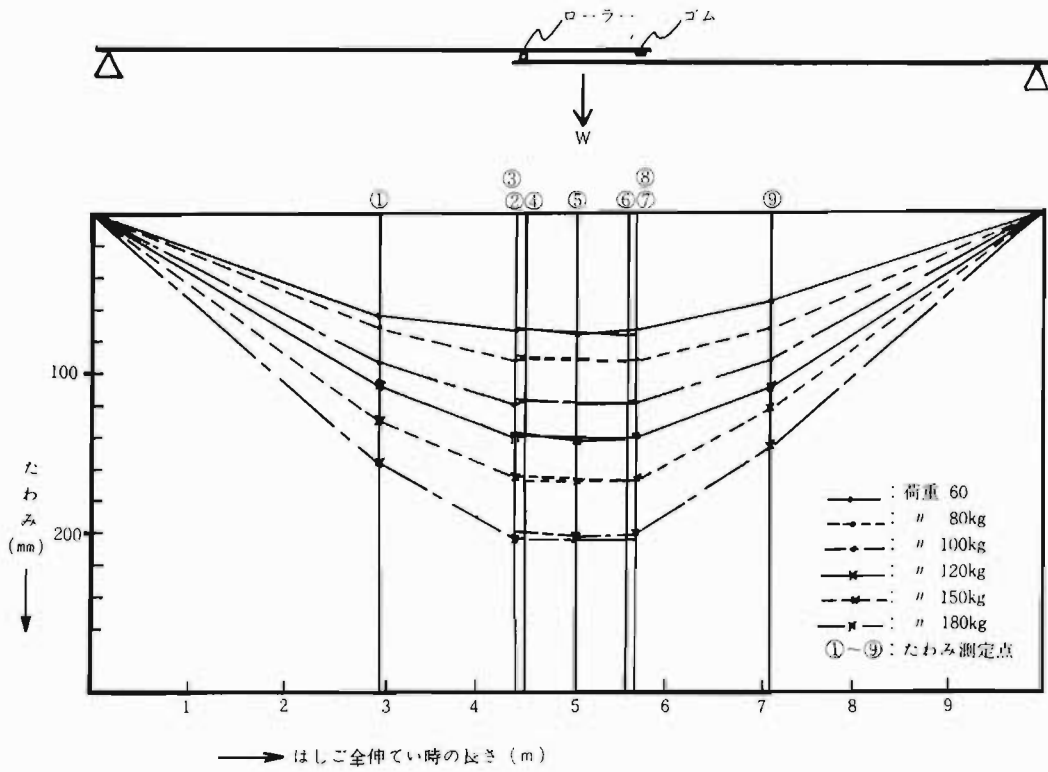


図4 全伸てい水平架てい、はしご中央部に荷重を加えた場合のたわみ

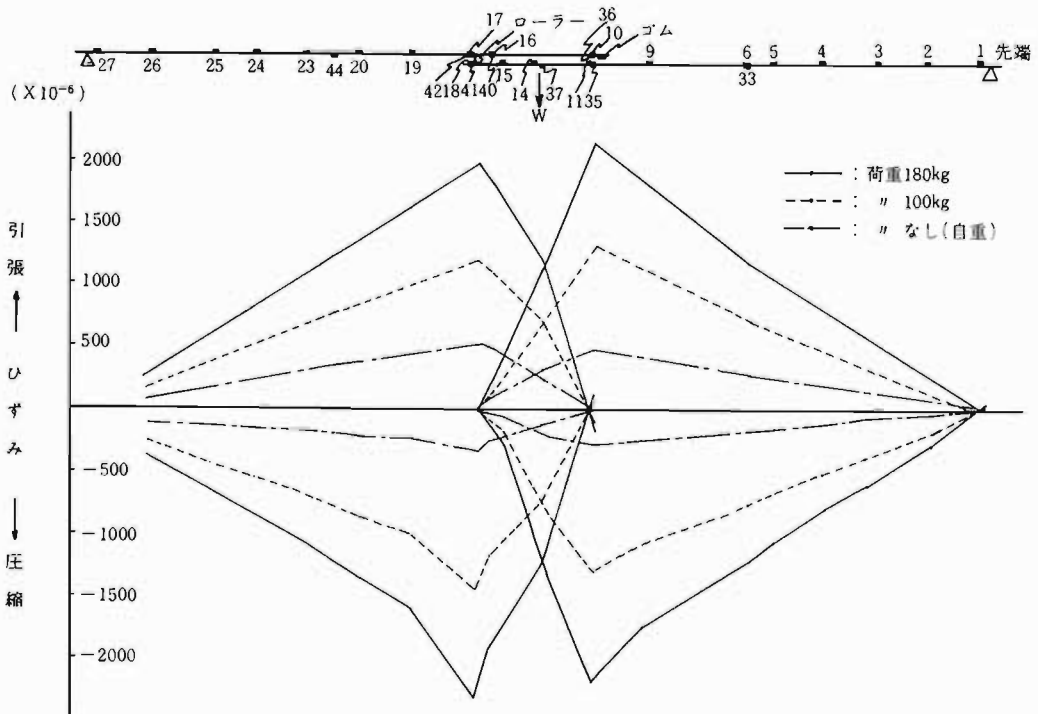


図5 全伸てい、水平架てい、はしご中央に荷重を加えた場合の各部のひずみ

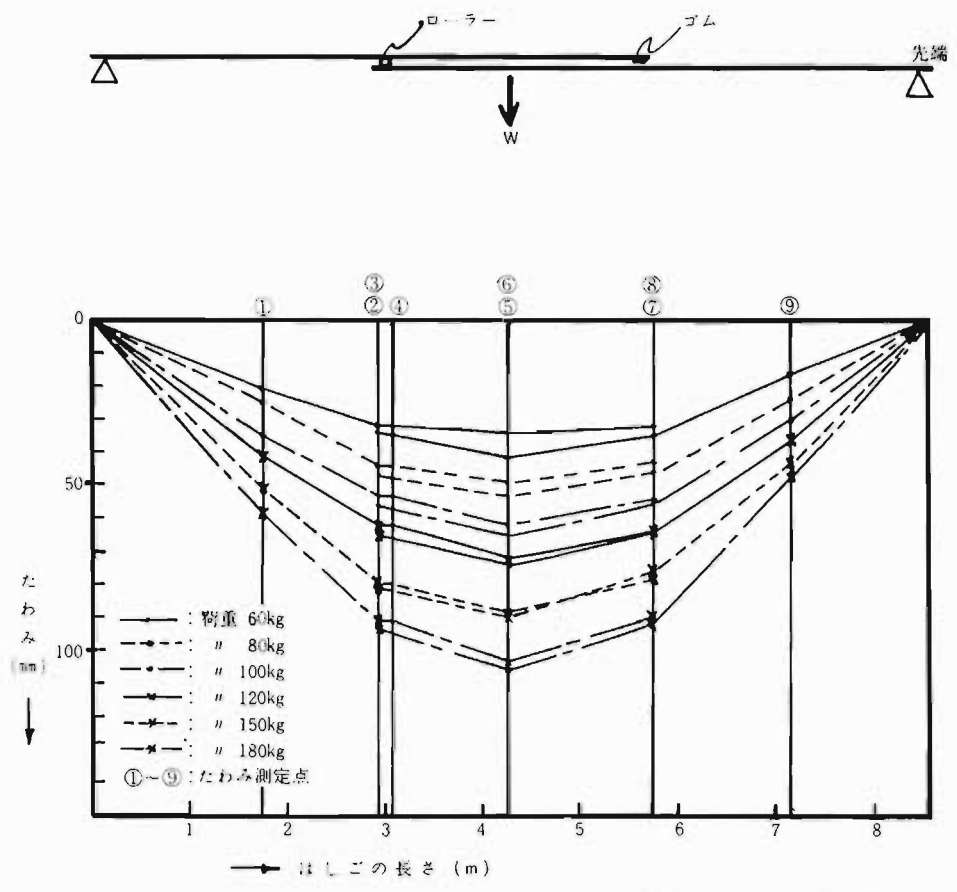


図6 ¾伸てい、水平架てい、はしご中央部に荷重を加えた場合のたわみ

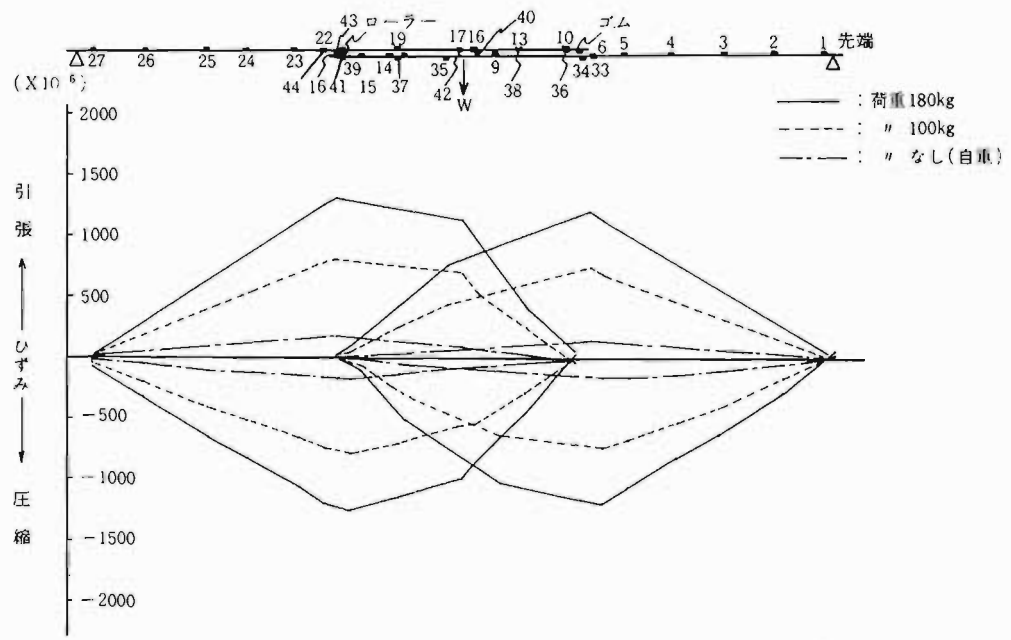


図7 ¾伸てい、水平架てい、はしご中央部に荷重を加えた場合の各部のひずみ

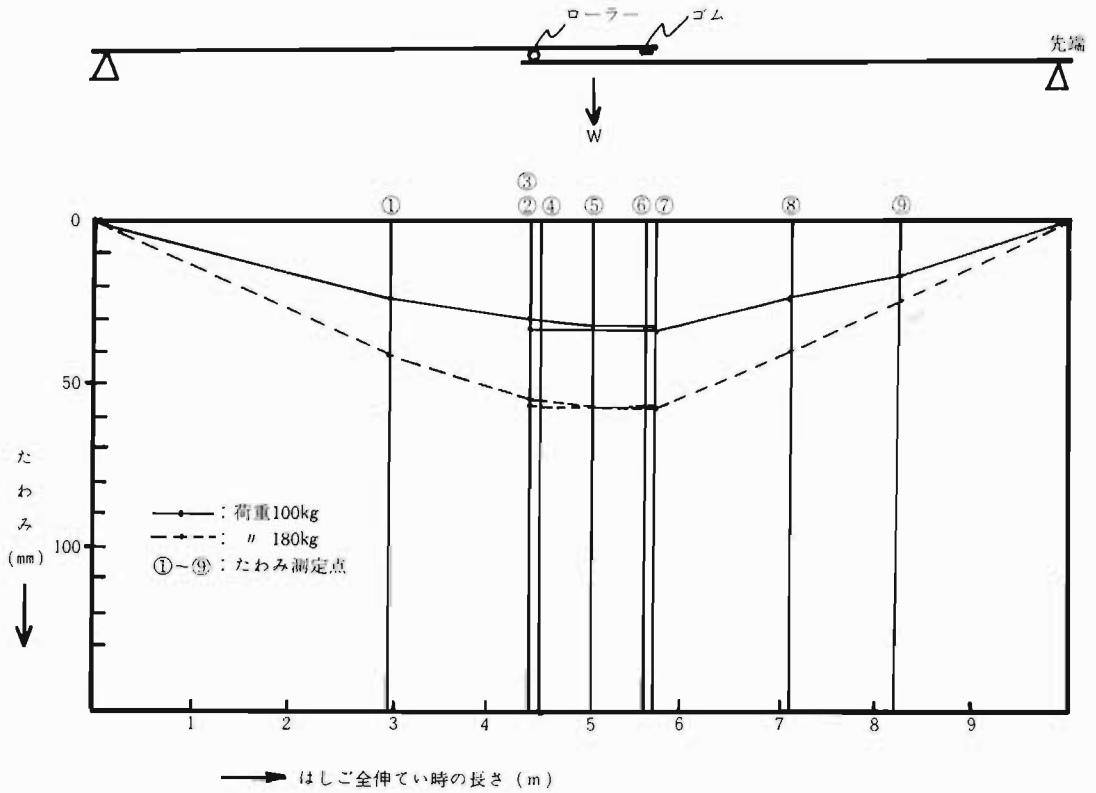


図8 全伸てい、75度架てい、はしご中央に荷重を加えた場合のたわみ

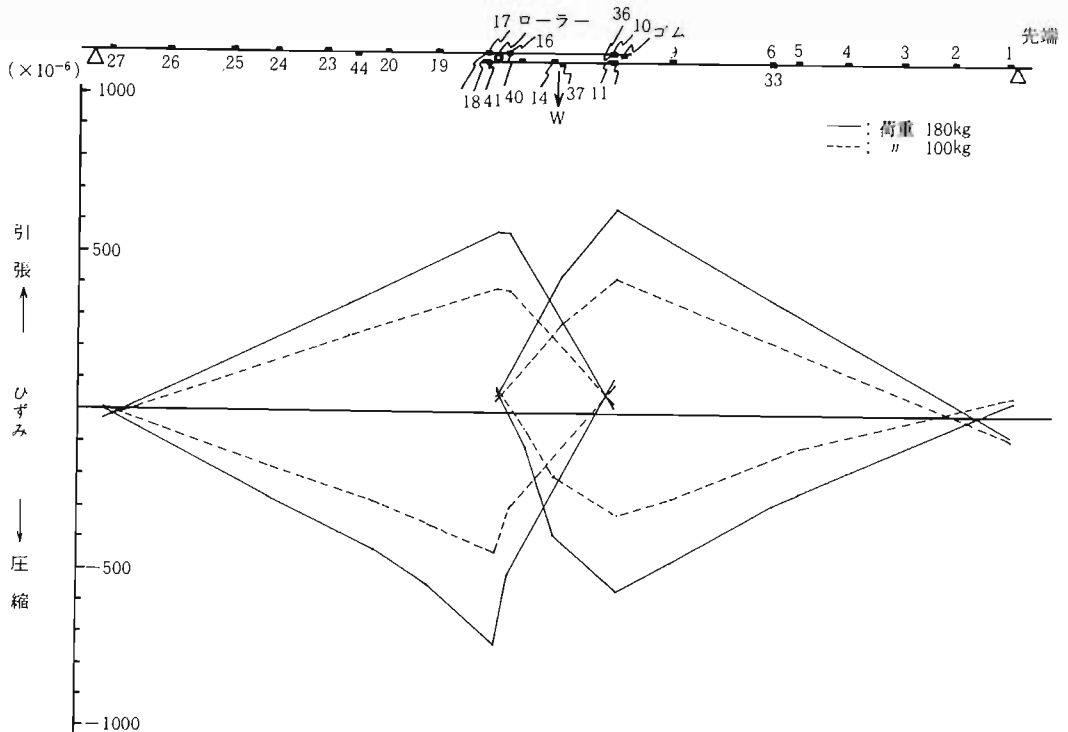


図9 全伸てい、75度架てい、はしご中央に荷重を加えた場合の各部のひずみ

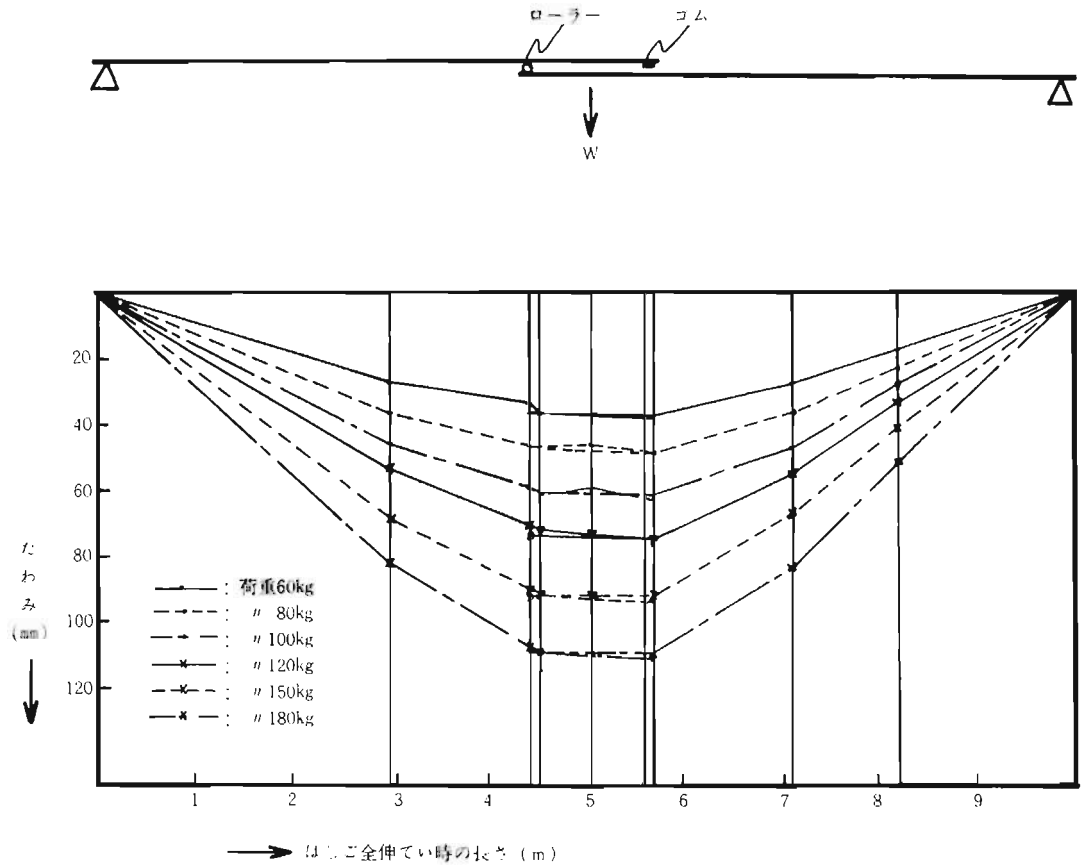


図10 全伸てい、60度架てい、中央に荷重を加えた場合のたわみ

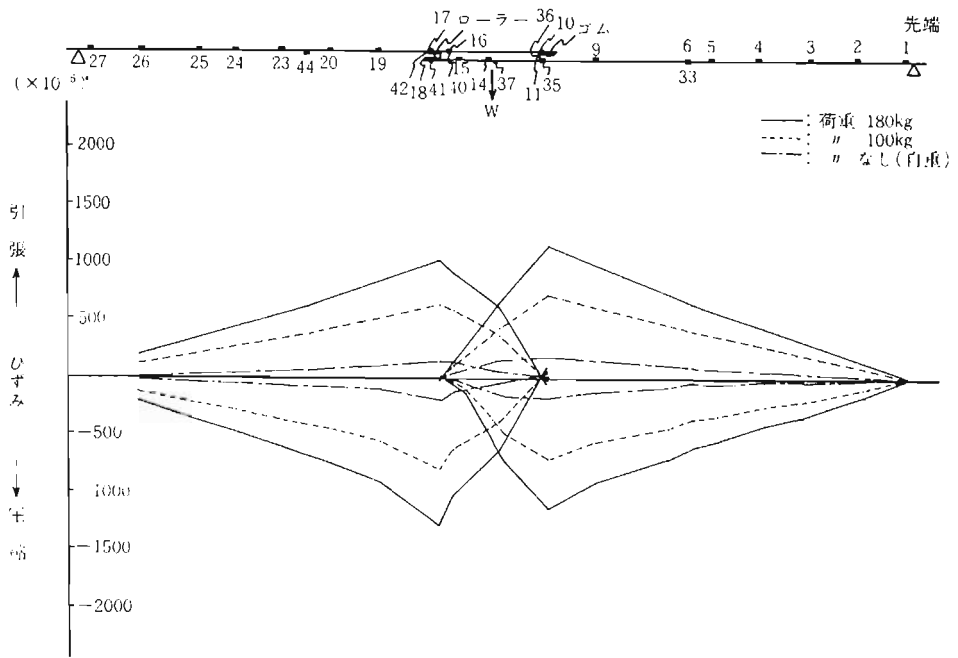


図11 全伸てい、60度架てい、はしご中央に荷重を加えた場合の各部のひずみ

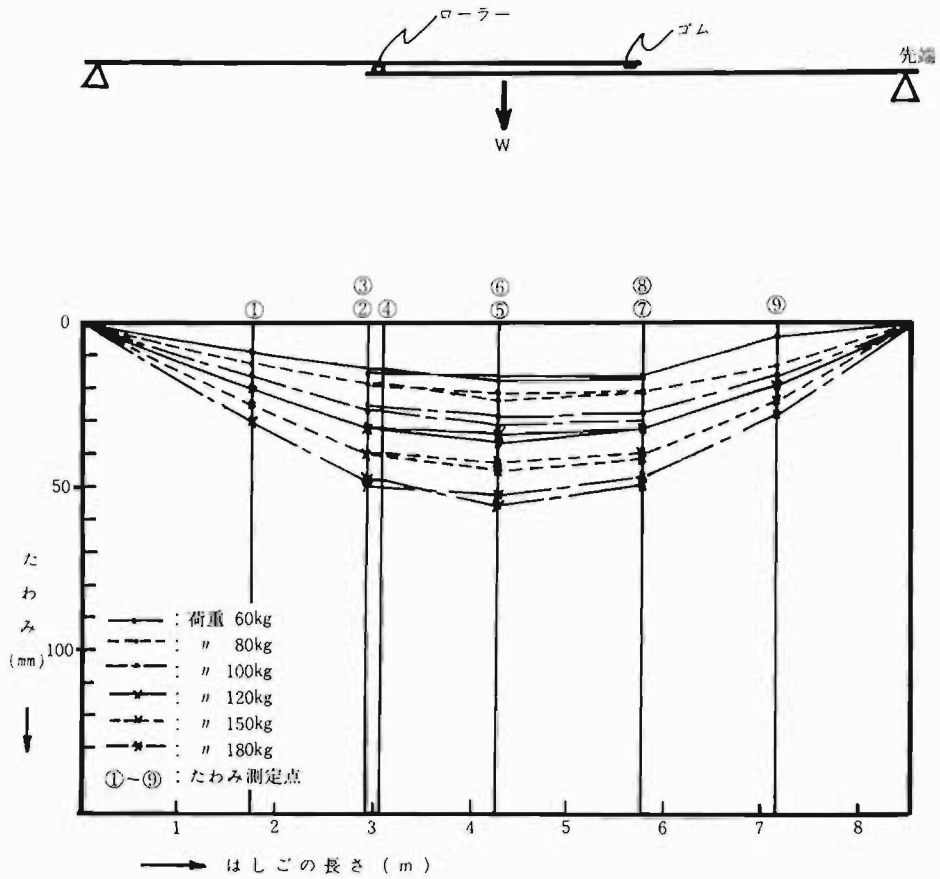


図12 3/4伸てい、60度架てい、中央に荷重を加えた場合のたわみ

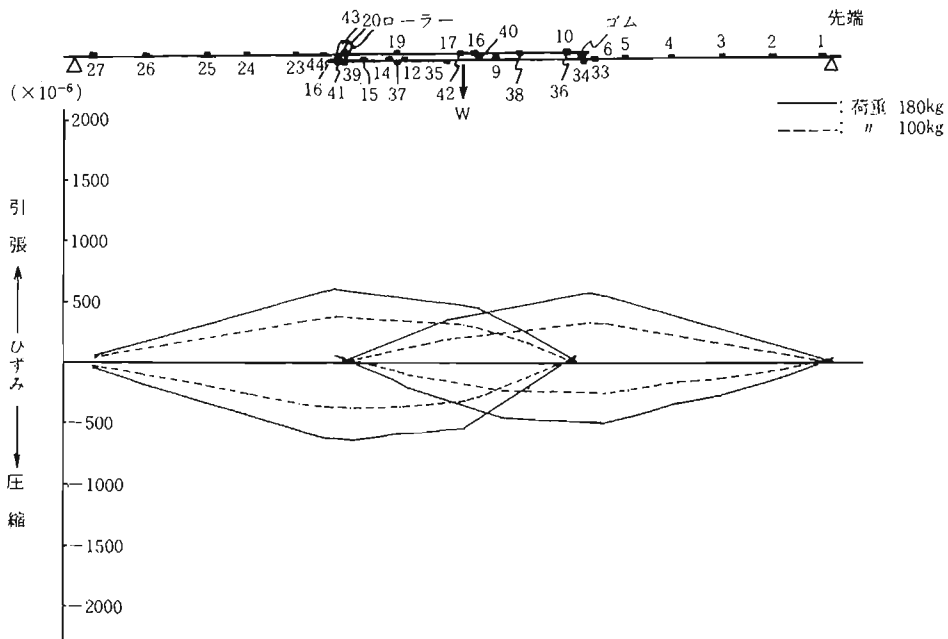


図13 3/4伸てい、60度架てい、はしごの中央部に荷重を加えた場合のひずみ

のたわみが92mmであるのと比較してやや多いが、これは、断面二次モーメントがほぼ等しく、ヤング率が $\frac{1}{2}$ であることを考えると、たわみは、かなり小さくおさえられているといえる。また、このはしごは、一連目と二連目のかみ合せ部分にほとんど遊びのない構造となっており、たわみを出来るだけ小さくする配慮がなされているものと思われる。

主かんのひずみについては、最も大きなひずみを生じているのが、一連目ではNo.17、二連目ではNo.11であった。No.17は二連目のローラーとかみ合っている位置、No.11は、一連目のゴムとかみ合っている位置で、はしごの中央に荷重をかけた場合、実際に荷重を受けているのは、主かんではこれらの位置であることを示している。100 kgの荷重を加えた時の最大ひずみは、 $1,450 \times 10^{-6}$ 、使用されている材料の材質が、以前実験に使用した日本製のアルミ合金製はしごのものと同等であるとすれば、応力値で 10.15 kg/mm^2 となり、安全率は、3.07となる。これを同一条件の現用鋼製三連はしごの安全率2.38と比較すると約1.3倍となり、強度的には鋼製はしごより余裕を持っていることになる。180 kgの荷重を加えた場合の最大ひずみは、 $2,304 \times 10^{-6}$ であり、これらの測定値から主かん構成材料の0.2%耐力値における許容荷重を計算すると、主かん自体は、全伸てい両端自由支持の状態、中央部に約310 kgの荷重が加わるまで耐える強度を持っている。

今、はしごをこの状態で両端自由支持の梁と考え、ローラー及びゴムのかみ合せ部分に荷重が加わったものとして、それぞれたわみ及びひずみを計算すると、たわみは、計算値より実測値の方がかなり小さく、ひずみは、計算値より実測値の方がかなり大きいという傾向が表われている。

イ はしごを $\frac{3}{4}$ 伸ていして水平に架ていた場合

たわみは、全伸てい時のたわみの約51%である。なお、全伸てい時には、一連目、二連目のオーバーラップ部分のたわみは、どの位置でもほぼ同じであったが、 $\frac{3}{4}$ 伸てい時には、ローラー及びゴムのかみ合せ部のスパンが広

いため、最大たわみ点は、荷重点に明りょうに現われている。 $\frac{3}{4}$ 伸ていで、180 kg荷重時の最大ひずみは、 $1,357 \times 10^{-6}$ で、全伸てい時の56%である。これは計算上の曲げモーメントの減少よりかなり小さくなっており、 $\frac{3}{4}$ 伸ていならば、主かんに関しては、全伸てい時の約1.7倍の荷重まで使用可能であると思われる。

ウ はしごを全伸ていして75度に架ていた場合

はしごを全伸ていし、75度に架ていた状態で中段部に100 kgの荷重を加えた場合の最大たわみは32mmで、水平架てい時の約28%である。このたわみ量は、鋼製はしごよりやや大きい、水平架ていして中央に荷重を加えた場合に比較して、その差は小さくなっている。

はしごを全伸ていし、75度に架ていた状態で中段部に荷重を加えた場合の最大ひずみは、水平架てい時と同様に一連目ではNo.17、二連目ではNo.11に現われている。75度架ていの場合、主かんに直角な分力としては、中段に掛けた荷重の約26%が加わることになるが、今、中段に180 kgの荷重を加えた時の最大ひずみをみると、 730×10^{-6} となっており、水平架ていの場合の約32%の値であった。中段に100 kgの荷重を加えた時の最大ひずみは、 440×10^{-6} で、同一条件の鋼製はしごのひずみ 400×10^{-6} と比較するとやや大きい、ヤング率が鋼の $\frac{1}{2}$ であることから、作用する応力は、 3.08 kg/mm^2 と鋼製はしごの場合より小さく安全率も10.12とかなり余裕がある。救助などのため隊員が要救助者を背負って降下する場合、静的な荷重で130 kg、動荷重として約2倍をみても、この程度の強度があれば、十分余裕を持って使用できる。

4. 各種はしごの構造・諸元及び性能の概要

表3、図14、15は英国製アルミ二連はしごと現用の鋼製三連はしご、一般市販のアルミ三連はしご等の構造、諸元、性能比較表である。この表に示すように、一般市販のアルミ三連はしごは、もともと消防用のはしごとして設計されたものでなく、たわみが大きく、強度的にも弱いため、かな

表3 英国製アルミ三連はしご、現用鋼製三連はしご等の諸元・性能比較表

項目		種別			
		英国製アルミ三連はしご	現用鋼製三連はしご	一般市販のアルミ三連はしご	
各部の寸法・全重量	全伸てい長さ (mm)	9,970	8,700	8,800	
	縮てい長さ (mm)	5,710	3,500	3,800	
	幅 (mm)	500(一連目) 410(二連目)	355(一連目) 327(二連目) 299(三連目)	400(一連目, 二連目, 三連目)	
	横さん間隔 (mm)	280	325	350	
	厚さ (mm)	185 (最大の厚さ) 128 (一連目, 二連目)	200 (最大の厚さ) 200(一連目) 165(二連目) 115(三連目)	205 (最大の厚さ) 65 (一連目, 二連目, 三連目)	
	主かん・補助かん・縦かん (mm)	主かん材 128×25箱型形材 肉厚上下面3.2 側面1.7	階円管 肉厚×長さ×短径 1×19×12	主かん材 I型形材 (肉厚1.2~1.5) 幅 30 高さ 65	
	横さん (mm)	角管 肉厚×たて×よこ 3.2×29×29	同上	円管 肉厚 外径 3.0 30	
	全重量 (kg)	43	42	21	
材質・特性	使用材質名	アルミニウム合金	機械構造用炭素鋼管 (STKM-18種)	アルミニウム合金	
	引張り強度 (kg/mm ²)	31.2 (仮定値)	65.2	31.2	
	0.2%耐力 (降伏点) (kg/mm ²)	28.6 (")	48.9	28.6	
	ヤング率 (kg/mm ²)	7,000 (")	21,000	7,000	
	比重	2.7	7.8	2.7	
一〇〇kg荷重時の性能	水平に架ていし中央部に100kgの荷重をかけた場合	中央たわみ	120 (mm)	92 (mm)	623 (mm)
		ひずみ	1.450×10 ⁻⁶	1.300×10 ⁻⁶	3.600×10 ⁻⁶
		応力	10.15 (kg/mm ²)	27.3 (kg/mm ²)	25.2 (kg/mm ²)
		安全率	3.07	2.38	1.23
	75度に架ていし中央部に100kgの荷重をかけた場合	中央たわみ	32 (mm)	31 (mm)	176 (mm)
		ひずみ	440×10 ⁻⁶	400×10 ⁻⁶	1.275×10 ⁻⁶
		応力	3.08	8.4	8.93
		安全率	10.12	7.76	3.49

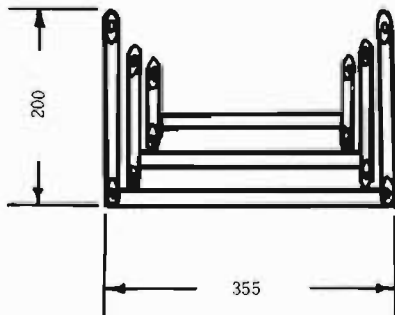


図14 鋼製三連はしご

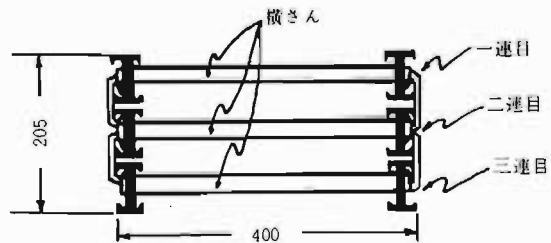


図15 一般市販のアルミ三連はしご

り改良する必要がある。なお、英国製アルミ合金はしごについては、実用上の荷重性能実験を行ったものであり、主かん部使用材料の特性試験が十分になされないまま仮定値で強度等の論述を行ってきたが、今後、順次細部にわたる分析を行っていく予定である。

5. ま と め

アルミニウムをはしごの主要構成材料に使用する場合、アルミニウムのヤング率が鋼材の $\frac{1}{2}$ と小さく、また、引張り強度も鋼材の $\frac{1}{2}$ 以下と小さいため、鋼製のものと同等の構造ではたわみが大き

く、強度的にも余裕の少ないものになってしまう。

今回性能実験を行った英国製のアルミ合金はしごは、主かんに箱型断面を有効に使用して大きな断面係数を得ており、これにより鋼製はしごと同等以上の強度を確保し、たわみも小さくおさえている。また、ローラーとゴムを使用した一連目、二連目のかみ合せ方法、溶接加工の部分がない、横さんの取替えが容易である等優れた構造及び機能を具えている。

今回の性能実験で得られた資料を今後の積載はしごの安全化、軽量化の研究開発に生かしていきたい。