

アルミ合金製三連はしごの開発について (第2報)

Development of Aluminum Alloy Extension Ladder with 3 Sections (Series 2)

矢ヶ崎 孝*
目黒 公一郎**
米田 雅一*

概要

平成3年度に試作したアルミ合金製三連はしごについて、さらに軽量化を図るためコンピュータシミュレーションに基づく構造及び部材形状の見直しを行った。その結果、現用の鋼管製三連はしごと比較して同等以上の強度を有し、かつ、約40%の軽量化を図った重量約245N (25kgf) のアルミ合金製三連はしごを開発した。

A light weight fire ladder is needed for the prompt and effective fire fighting.

Through the computer simulation analysis some improvements were made on the structure and parts to reduce the weight of the aluminum alloy extension ladder.

The newly developed lighter extension ladder reduced the weight of the one now in use by 40 percent and is 245 N in weight.

1 はじめに

三連はしごの軽量化については、素材面と構造面からそれぞれ検討を進めてきたところであるが、素材面ではこれまでにコスト面で非常に有利な「炭素鋼製」、耐食性等に優れた「チタン製」及び「ステンレス鋼製」、比重が炭素鋼の約3分の1の「アルミ製」などについて検討してきた。構造面については、それぞれの素材の持つ特長を生かしつつ伸縮する三連はしごの機構を十分に考慮した上でコンピュータシミュレーションにより構造等について検討してきた。

第三研究室では、平成3年度に素材にアルミ合金を使用して三連はしごの軽量化についての研究に着手した。その結果、平成4年3月現用の鋼管製三連はしご(以下「現用鋼管」という。)と比較して約30%の軽量化を図った三連はしご(以下「1号機」という。)を開発した。⁽¹⁾

平成4年度は、素材を同じアルミ合金としたまま、1号機についての構造及び部材形状の詳細な見直し、さらに軽量化の可能性があるか検討を行った。その結果、現用鋼管と比較して約40%の軽量化を図ったアルミ合金製三連はしご(以下「2号機」という。)を開発した。

ここに、2号機についての開発概要と強度等の確認実験結果について報告する。

2 はしごの諸元

2号機及び1号機の諸元・性能の比較を表1に示す。

表1 諸元・性能比較表

種 別	アルミ2号機	アルミ1号機		
各部の寸法等	伸び長さ (mm)	8,740	8,710	
	縮み (mm)	3,550	3,560	
	一連目	幅 (mm)	434	←
		厚さ (mm)	230	←
	二連目	幅 (mm)	388	←
		厚さ (mm)	185	←
	三連目	幅 (mm)	342	←
		厚さ (mm)	125	←
	横さんの間隔 (mm)	325	←	
	重量 N (kgf)	245 (25)	294 (30)	
材質	使用材質	7000系アルミ三元合金管 (ZK-70 T6)	7000系アルミ三元合金管 (ZK-55 T6)	
	耐力値 (MPa)	449	401	
	引張強度 (MPa)	469	441	
断面形状・寸法	表主かん (mm)	円管φ20 t=1.5	円管φ20 t=2.0	
	裏主かん (mm)	円管φ20 t=1.5	円管φ20 t=2.0	
	横さん (mm)	円管φ20 t=2.0, 1.5	円管φ20 t=2.0	
	支かん (mm)	円管φ20 t=2.0, 1.0	円管φ20 t=1.5	
	斜かん (mm)	円管φ17.5 t=1.0	円管φ15 t=1.5	
許容荷重 (75度架てい)	一局所 180kgf	←		

*断面形状・寸法は、代表的なものを示す。

* 第三研究室 ** 査察課

はしごの寸法は、2号機及び1号機ともほぼ同じである(写真1参照)。重量は、使用部材の外径及び肉厚等の変更により、約49N(5kgf)の軽量化を図っている。使用材質は、2号機及び1号機とも溶接構造用のAl-Zn-Mg系の三元合金を使用しているが、2号機は、1号機の材質より強度の高いZK-70を使用している。

許容荷重は、消防用積載はしごの構造及び機能等に係る安全基準(以下「安全基準」という。)及び東京消防庁内部基準に基づく設定で、一局所1,764N(180kgf)を満足している。

3 実験内容

(1) 実験場所

消防科学研究所総合実験室

(2) 実験方法

ア 実験項目

安全基準及び当庁基準に定める強度等について測定し、更に過去に製作した積載はしごの実験結果と比較検討をするため、別表1～別表2に示す項目とした。

イ ひずみゲージの取付位置

ひずみゲージの取付位置を図1に示す。取付位置の選定については、既実験の結果及び応力シミュレーション解析結果に基づき、大きな応力の発生が予想される部分とした。

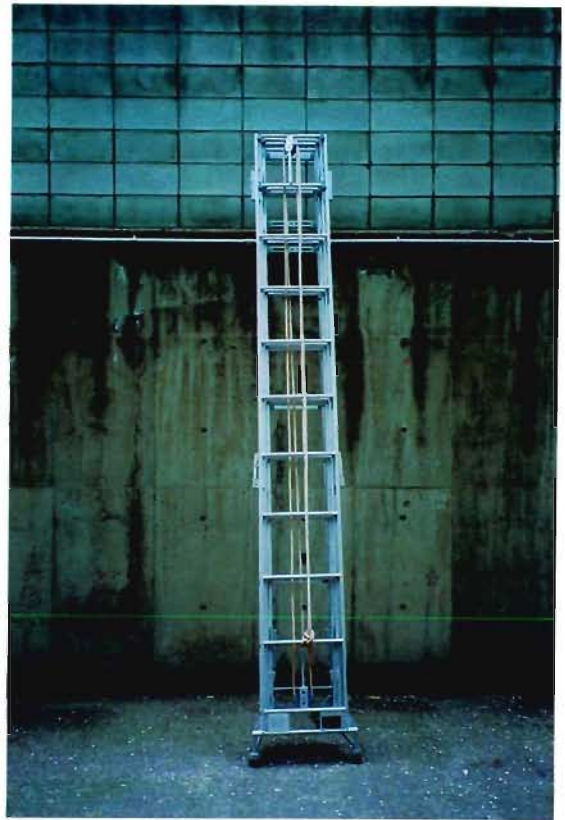


写真1 アルミ合金製三連はしご(2号機)

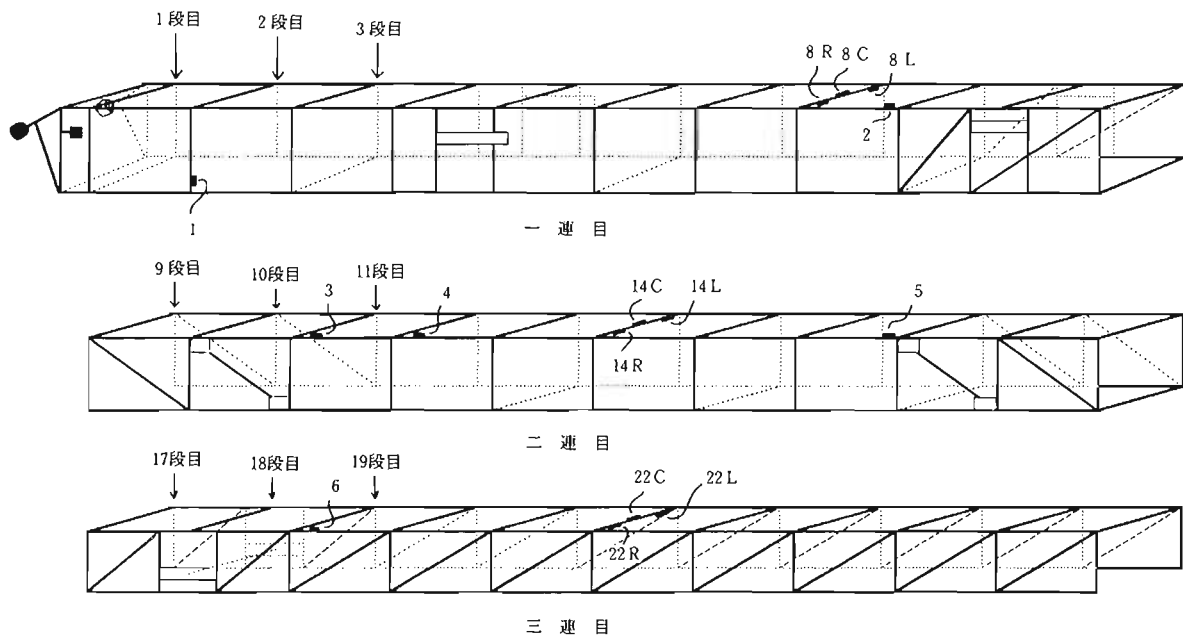


図1 ひずみゲージ取付位置等の概要図

表2 実験項目（2号機・静荷重）

実験No	伸てい長さ	架てい角度	荷重位置	荷重量	荷重条件
1-1	全伸長	65度	1連目、11段目	0～360kgf	50mm幅の分布荷重で横さん2箇所、間隔は約250mm
1-2			2連目19段目		
1-3 *2			2連目、14段目	0～250kgf	50mm幅の分布荷重で横さん中央1箇所
1-4 *2			3連目、22段目	0～180kgf	
1-5			各段に単独負荷	90kgf	全装備体重90kgfの隊員が横さんに両足立ちで静止
2-1 *1		75度	1連目、8段目	0～540kgf kgf	70mm幅の分布荷重で横さん中央1箇所
2-2 *1			2連目、14段目		
2-3 *1			3連目、22段目		
3-1 *2		水平	1,2連重 合10段目	100kgf	50mm幅の分布荷重で横さん中央1箇所
3-2 *1			2連目、14段目	80, 90, 100kgf	
3-3 *2	2,3連重 合18段目		100kgf		

*1：安全基準関係 *2：当庁基準関係

表3 実験項目（2号機・動荷重）

実験No	伸てい長さ	架てい角度	荷重位置	荷重量	荷重条件
4-1	全伸長	65度	90kgf 一人登降てい		速さは100段/分
4-2			90kgf 二人同時登降てい		速さは100段/分 間隔は、約2m

ウ 荷重負荷条件

- (ア) 実験No.1-1及びNo.1-2は、50mm幅のスリングベルト2本を用いて横さん中心から左右125mm、250mmの間隔に重りを吊るして負荷した。
- (イ) 実験No.1-3からNo.1-4及びNo.3-1からNo.3-3は、横さん中央に50mm幅の治具を用いて1本のスリングベルトにより重りを吊るして負荷した。
- (エ) 実験No.2-1からNo.2-3は、横さん中央に70mm幅の治具を用いて1本のスリングベルトにより重りを吊るして負荷した。

(3) 測定機器等

- ア ひずみゲージ：共和KFG-5-120-C 1-23L 5M 3R
- イ 静ひずみ測定機：共和UCAM-8BL
- ウ スキャナー：共和USB-50A
- エ 動ひずみ計：共和DPM-600
- オ データレコーダ：TEAC XR5000
- カ パソコン：NEC PC9801
- キ プリンター：NEC PR201J
- ク ペンレコーダ：理化電気 R-50

4 実験結果

(1) 65度架てい、一連上端（11段目）荷重（実験No.1-1）実験結果を図2、図3及び表4に示す。

ア 3,528N（360kgf）荷重時、一連目上部表主かん側面（ゲージNo.2）に-2,688 $\mu\epsilon$ 、一連目下部支かん下側先端側面（ゲージNo.1）に2,278 $\mu\epsilon$ のひずみがそれぞれ発生している（図2、表4参照）。

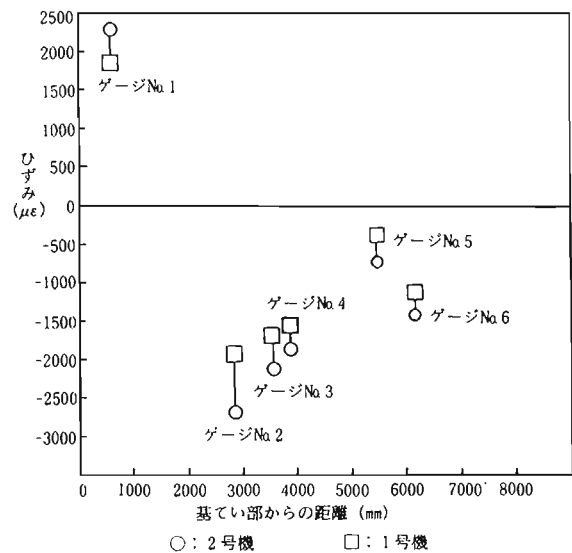


図2 ひずみ測定結果の比較

(全伸てい、65度架てい、一連上端、3528N荷重)

表4 65度架てい、一連上端荷重実験結果

	2号機	1号機
360kgf 5 cm幅 2点分散荷重	11段 5 cm 2点	11段 5 cm 2点
ひずみ量(μ ϵ) 測定箇所	-2688 一連表主かん	-1900 一連表主かん
たわみ量 mm	-158mm	-199mm

イ 最大たわみ量は、3,528N（360kgf）荷重時158mmで、最も多くたわんだ位置は荷重点である11段目である。残留たわみはない（図3、表4参照）。

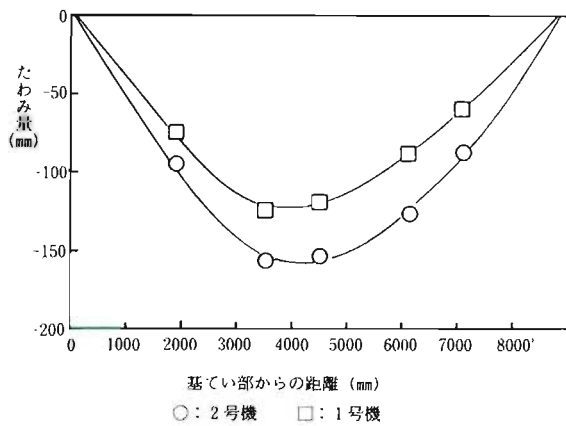


図3 たわみ測定結果の比較
(全伸てい、65度架てい、一連上端、3528N荷重)

(2) 65度架てい、二連上端(19段目)荷重(実験No1-2)
ア 3,528N(360kgf)荷重時、三連目下部表主かん表側面(ゲージNo.6)に $-2,427\mu\epsilon$ のひずみが発生している(図4、表5参照)。

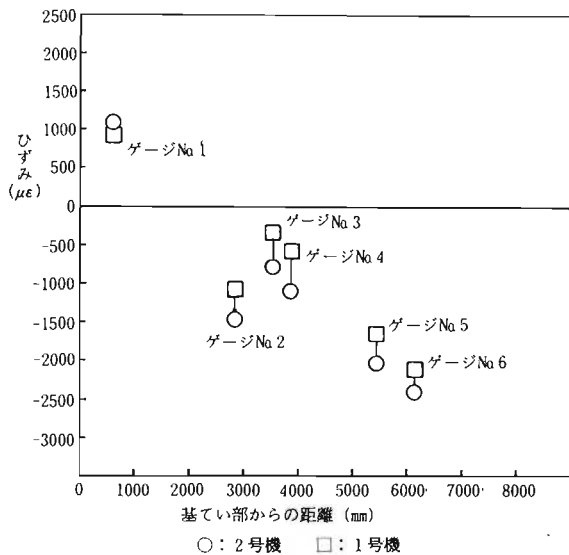


図4 ひずみ測定結果の比較
(全伸てい、65度架てい、二連上端、3528N荷重)

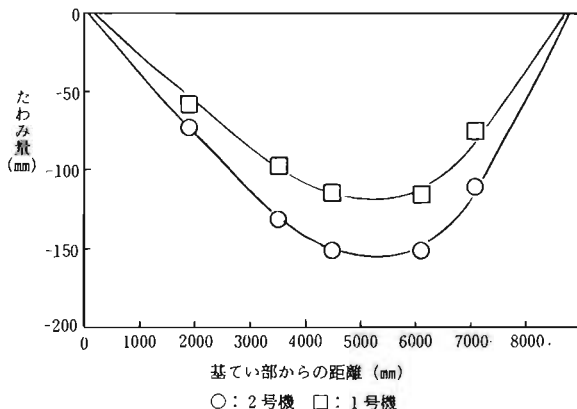


図5 たわみ測定結果の比較
(全伸てい、65度架てい、二連上端、3528N荷重)

イ 最大たわみ量は、3,528N(360kgf)荷重時152mmで、最も多くたわんだ位置は荷重点である19段目及び14段目である。残留たわみはない(図5、表5参照)。

表5 65度架てい、二連上端荷重実験結果

360kgf 5cm幅 2点分散荷重	2号機 19段5cm2点分散	1号機 19段5cm2点分散
ひずみ量 $\mu\epsilon$ 測定箇所	$-2427\mu\epsilon$ 三連下部表主かん	$-2067\mu\epsilon$ 三連下部表主かん
0.2%耐力比%	33%	28%
たわみ量 mm	-152mm	-117mm

(3) 65度架てい、二連中央(14段目)荷重(実験No1-3)
ア 2,450N(250kgf)荷重時、一連目上部表主かん表側面(ゲージNo.2)に $-1,656\mu\epsilon$ 、一連目下部支かん下側先端側面(ゲージNo.1)に $1,027\mu\epsilon$ のひずみがそれぞれ発生している。

イ 65度架てい、2連目中央荷重時、14段目横さん中央下面(ゲージNo.14C)は、1,764N(180kgf)荷重時で $3,534\mu\epsilon$ 、2,450N(250kgf)荷重時で $4,845\mu\epsilon$ のひずみが発生した。

ウ 最大たわみ量は、2,450N(250kgf)荷重時118mmで、最も多くたわんだ位置は荷重点である14段目である。

(4) 65度架てい、三連中央(22段目)荷重(実験No1-4)
ア 1,764N(180kgf)荷重時、一連目上部表主かん表側面(ゲージNo.2)に $-512\mu\epsilon$ 、三連目下部表主かん表側(ゲージNo.6)に $-867\mu\epsilon$ のひずみがそれぞれ発生している。

イ 最大たわみ量は、1,764N(180kgf)荷重時52mmで、最も多くたわんだ位置は荷重点に近い二連目上端である19段目である。

(5) 75度架てい、一連8段目荷重(実験No2-1)
ア 5,292N(540kgf)荷重で二連目下部表主かん表側面(ゲージNo.3)に $-1,623\mu\epsilon$ 、一連目下部支かん下側先端側面(ゲージNo.1)に $2,853\mu\epsilon$ のひずみが発生している。

イ 横さん中央下面(ゲージNo.8C)は、2,940N(300kgf)荷重付近で0.2%耐力値に達した。その後、4,410N(450kgf)付近まで増加率はあまり変わらず、4,704

N (480kgf) を超えると急激に高くなる。

5,292N (540kgf) で主かん及び横さんとも変形したが、5分間経過後も亀裂・破損には至らなかった。

横さん左右上面(ゲージNo.8 L、ゲージNo.8 R)のひずみ量は、中央のひずみ量と比較すると増加する度合いが緩やかで、かつ、左右均等であった(図6参照)。

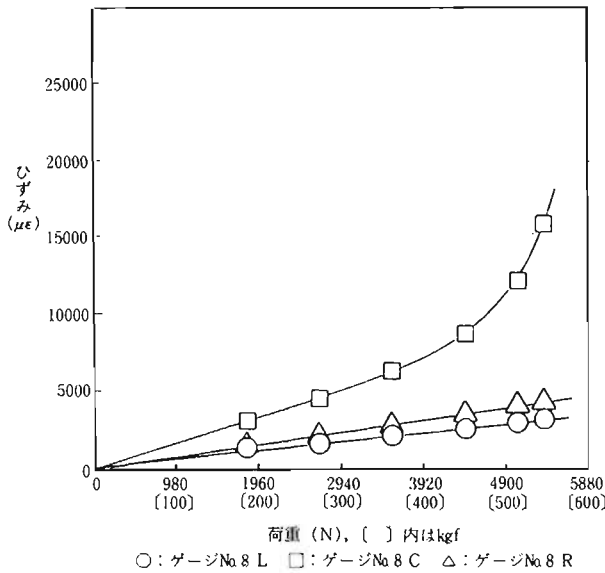


図6 横さんひずみ測定結果

(全伸てい、75度架てい、一連目8段目横さん中央荷重)

荷重除去後、はしごはわずかながら変形したが、容易に収納できた。

ウ 最大たわみ量は、5,292N (540kgf) 荷重時136mmで、最も多くたわんだ位置は荷重点に近い11段目であった。

(6) 75度架てい、二連中央 (14段目) 荷重 (実験No2-2)

ア 5,292N (540kgf) 荷重で一連目上部表主かん表側面(ゲージNo.2)に、 $-2,413\mu\epsilon$ 、一連目下部支かん下側先端側面(ゲージNo.1)に、 $2,018\mu\epsilon$ のひずみが発生している。

イ 横さん中央下面(ゲージNo.14C)は、2,940N (300kgf)荷重付近で0.2%耐力値に達した。その後、4,410N (450kgf) 付近まで増加率はあまり変わらず4,410N (450kgf) を超えると急激に高くなる。

5,292N (540kgf) で主かん及び横さんとも変形したが、5分間経過後も亀裂・破損には至らなかった。

横さん左右(ゲージNo.14L、ゲージNo.14R)のひずみ量は、中央のひずみ量と比較すると増加する度合いは緩やかで、左右ほぼ均等であった(図7参照)。

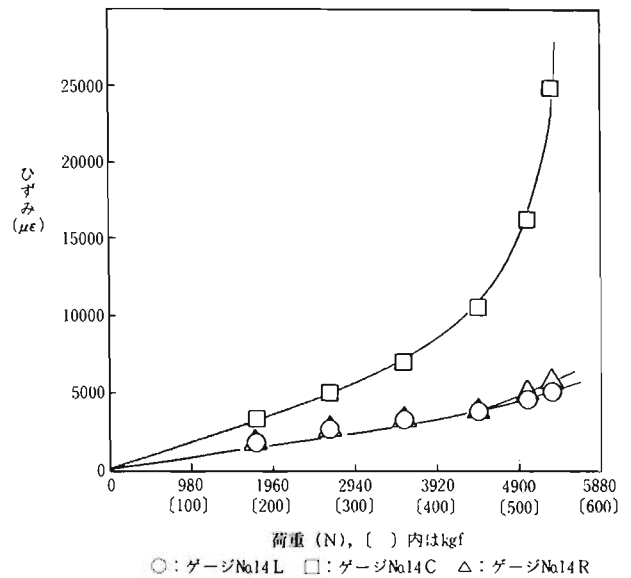


図7 横さんひずみ測定結果

(全伸てい、75度架てい、二連目中央14段目横さん中央荷重)

荷重除去後、はしごはわずかながら変形したが、容易に収納できた。

ウ 最大たわみ量は、5,292N (540kgf) 荷重時180mmで、最も多くたわんだ位置は荷重点である14段目であった。

(7) 75度架てい、三連中央 (22段目) 荷重 (実験No2-3)

ア 5,292N (540kgf) 荷重で三連目下部表主かん表側面(ゲージNo.6)に、 $-2,103\mu\epsilon$ 、二連目上部表主かん表側面(ゲージNo.5)に、 $-1,591\mu\epsilon$ のひずみが発生している。

イ 横さん中央(ゲージNo.22C)は、3,528N (360kgf) 荷重付近で0.2%耐力値に達した。その後、4,410N (450kgf) 付近まで増加率はあまり変わらず4,410N (450kgf) を超えると急激に高くなる。5,292N (540kgf) 荷重時、主かん及び横さんとも変形したが、5分間経過後も亀裂・破損には至らなかった。横さん左右(ゲージNo.22L、ゲージNo.22R)のひずみ量は、中央のひずみ量と比較すると増加する度合いが緩やかで、左右ほぼ均等であった(図8参照)。

荷重除去後、はしごはわずかながら変形したが、容易に収納できた。

ウ 最大たわみ量は、5,292N (540kgf) 荷重時118mmで、最も多くたわんだ位置は荷重点である22段目であった。

(8) 水平架てい、二連中央 (14段目) 荷重 (実験No3-2)

ア 最も大きなひずみが発生したのは、980N (100kg

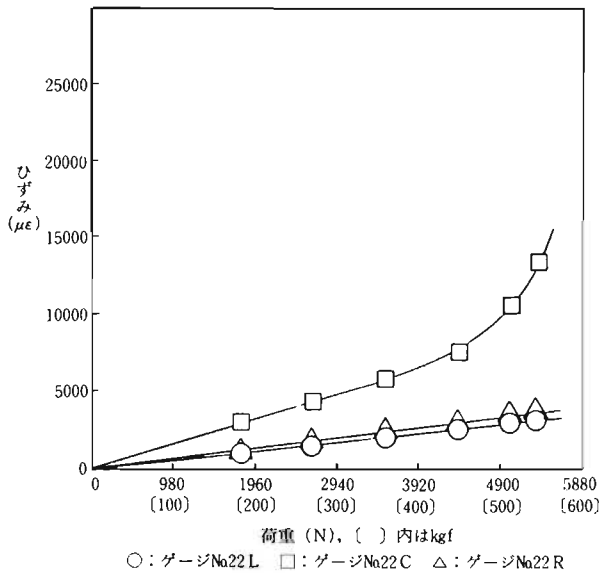


図8 横さんひずみ測定結果
(全伸てい、75度架てい、三連目22段目横さん中央荷重)

表6 静荷重及び動荷重実験結果

ゲージNo	90kgf静荷重 ひずみ量 (a)	90kgf動荷重 ひずみ量 (b)	倍率 b/a	90kgf× 二人動荷重ひ ずみ量
ゲージNo.1	1025 $\mu\epsilon$	2408 $\mu\epsilon$	2.35	2894 $\mu\epsilon$
ゲージNo.2	-932 $\mu\epsilon$	-1655 $\mu\epsilon$	1.79	-2217 $\mu\epsilon$
ゲージNo.3	-826 $\mu\epsilon$	-1397 $\mu\epsilon$	1.69	-1633 $\mu\epsilon$
ゲージNo.4	-855 $\mu\epsilon$	-1744 $\mu\epsilon$	2.04	-1717 $\mu\epsilon$
ゲージNo.5	-723 $\mu\epsilon$	-1462 $\mu\epsilon$	2.02	-2068 $\mu\epsilon$
ゲージNo.6	-879 $\mu\epsilon$	-1615 $\mu\epsilon$	1.83	-2145 $\mu\epsilon$
		平均	1.92	

f) 荷重時、一連目上部表主かん表側面(ゲージNo.2)に、-1,350 $\mu\epsilon$ のひずみが発生している。

イ たわみ量は、882N(90kgf)荷重時91mm、980N(100kgf)荷重時100mmであった。

(9) 水平架てい、各連重合部(10段目及び18段目)荷重(実験No.3-1、No.3-3)

ア 10段目980N(100kgf)荷重時、最も大きなひずみが発生したのは、一連目上部表主かん表側面(ゲージNo.2)に-1,650 $\mu\epsilon$ のひずみが、18段目980N(100kgf)荷重時、最も大きなひずみが発生したのは、三連目上部表主かん表側面(ゲージNo.6)に-1,600 $\mu\epsilon$ のひずみが、それぞれ発生している。

イ たわみ量は、10段目980N(100kgf)荷重時90mmとなり、18段目980N(100kgf)荷重時91mmであった。

(10) 65度架てい、各段882N(90kgf)静荷重(実験No.1-5)、毎分100段一人登降てい882N(90kgf)動荷重(実験No.4-1)、毎分100段二人連続登降てい882N×二人(90kgf×2)動荷重(実験No.4-2)

実験結果を次表に示す。各段882N(90kgf)静荷重時では、最大で1,025 $\mu\epsilon$ 、一人登降てい時は、最大で2,408 $\mu\epsilon$ 、二人連続登降てい時は、最大2,894 $\mu\epsilon$ であった(表6参照)。

5 考察

(1) 65度架てい、一連上端(11段目)荷重(実験No.1-1)たわみ量をみると、1号機より2号機が大きいたわんでいる。これは、アルミ合金のヤング率が炭素鋼の3分の1であり、柔らかい弾力性のある材質であること

と、はしごの主要構造部材の肉厚を0.5mm薄くし1.5mmとしたことが、要因と考えられる。

また、ひずみ量の絶対値の最も大きい箇所の値は、塑性変形に至る値である0.2%耐力値に対して小さく強度上全く支障ないと考えられる。

(2) 65度架てい、二連上端(19段目)荷重(実験No.1-2)たわみ量をみると、アルミ2号機が最も大きいたわんでいるが、測定最大ひずみ量は、塑性変形に至る値ではないといえる。

(3) 65度架てい、二連中央(14段目)荷重(実験No.1-3)主要構造部の測定最大ひずみ量の0.2%耐力比は、66%に留まっており、塑性変形に至る値ではない。

荷重箇所である横さん左右端表側の測定最大ひずみ量についても、塑性変形に至る値ではないといえる。

(4) 65度架てい、三連中央(22段目)荷重(実験No.1-4)測定最大ひずみ量は、塑性変形に至る値ではないといえる。

(5) 75度架てい、一連8段目荷重(実験No.2-1)

測定最大ひずみ量は、塑性変形に至る値ではないといえる。

3,724N(380kgf)荷重付近で荷重箇所横さん中央下面のひずみ量が0.2%耐力値に達したが4,410N(450kgf)荷重付近まで増加率はあまり変わらず4,998N(510kgf)を超えると急激に高くなる。5,292N(540kgf)荷重時、目視上は横さんが中央が約7mm変形するのみで主かんに変形はみられず、荷重除去後も収納可能であった。安全基準の3倍の安全率で算出すると1,764N(180kgf)となり、当庁仕様を十分に満たしている。

(6) 75度架てい、二連中央(14段目)荷重(実験No.2-2)

3,528N (360kgf) 荷重付近で荷重箇所横さん中央下面のひずみ量が0.2%耐力値に達したが4,410N (450kgf) 付近まで増加率はあまり変わらず450kgfを超えると急激に高くなる。5,292N (540kgf) で、目視上は横さんが中央が約10mm変形するのみで主かんに変形はみられず、荷重除去後も収納可能であった。

よって、安全基準の3倍の安全率で算出すると1,764N (180kgf) となり、当庁基準を十分に満たしている。

(7) 75度架てい、三連中央 (22段目) 荷重 (実験Na2-3) 4,116N (420kgf) 荷重付近で荷重箇所横さん中央下面のひずみ量が0.2%耐力値に達したが4,704N (480kgf) 荷重付近まで増加率はあまり変わらず4,410N (450kgf) を超えると徐々に高くなる。目視上は横さんが中央が約5mm変形するのみで主かんに変形はみられず、荷重除去後も収納可能であった。

よって、安全基準の3倍の安全率で算出すると1,764N (180kgf) となり、当庁仕様を十分に満たしているといえる。

(8) 水平架てい、二連中央 (14段目) 荷重 (実験Na3-1) たわみ量を見ると、安全基準の値1000分の15(130.5mm) 以下を十分に満たしている。測定最大ひずみ量は、1号機とほぼ同等に留まっており、塑性変形に至る値ではないといえる。

(9) 水平架てい、各連重合部 (10段目及び18段目) 荷重 (実験Na3-2)

たわみ量を見ると、当庁基準の130mm以下を十分に満たしている。測定最大ひずみ量は、塑性変形に至る値ではないといえる。

(10) 65度架てい、毎分100段一人登降てい動荷重 (実験Na4-1) 65度架てい、毎分100段二人連続登降てい動荷重

静荷重に対する毎分100段一人登降てい時に生じる各ゲージごと倍率は、1.7から2.3倍である。各ゲージの倍率の平均値は、1号機 (2.6倍) より小さい1.9倍に留まった。

はしごを登降する被検者は同一とし、各測定条件を可能な限り同様としたことから、1号機と2号機の倍率の差が生じた原因は、はしご形状の変更及びそれに伴うはしごの揺れなどの影響から起因するものと推測される。

6 結論

(1) 2号機のひずみの発生量及びたわみ量は、アルミ1号機よりやや大きい値を示したが、安全基準を全て満足するもので、主要構造材のひずみ発生量についても問題なく、強度上全く支障ない。

(2) 65度架てい、横さん中央一局所 (50mm幅) 分布荷重の2,450N (250kgf) 荷重においては、はしご本体に特に異常は認められず、また横さん中央部のひずみ発生量も問題なく、当庁基準を十分満たしている。

(3) 65度三連中央 (22段目) 1,764N (180kgf) 荷重 (横さん中央50mm幅分布荷重) においては、はしご本体に特に異常は認められず、主要構造材のひずみ発生量も問題なく、当庁基準を十分満たしている。

(4) 75度架てい、横さん中央一局所 (70mm幅) 分布荷重においては、二連目の横さん荷重時が最も高いひずみ量を示し変形したが、5分間経過後も亀裂・破損には至らず、荷重除去後、はしごはわずかながら変形したものの、容易に収納でき、安全基準の3倍の安全率で算出すると許容荷重1,764N (180kgf) となり、当庁基準 (75度架てい時、許容荷重1,764N (180kgf) を十分に満たしている。

(5) 水平架てい状態でのたわみ量は、一・二連重合部980N (100kgf) 荷重で90mm、二・三連重合部980N (100kgf) 荷重で91mmであり、当庁基準の100mm以下に適合する。残留たわみ量は1~2mmで、当庁基準の10mm以下を十分満たしている。

また、二連中央882N (90kgf) 荷重ではしご全体の1.5% (130.5mm) 以下という安全基準については、91mmであり、支障ない。

7 まとめ

各種測定実験の結果、2号機のはしご強度及びたわみ量は、当庁使用基準に定める75度架てい時で許容荷重1,764N (180kgf) において安全基準及び当庁基準の全てを満足した。

また、1号機開発時に使用することができなかった複数の管形状の製作が可能となり、強度上無駄な贅肉と落とすことにより、1号機と比較して約49N (5kgf、17%)、現用鋼管と比較して約176N (18kgf、42%) 軽量化した重量約245N (25kgf) の画期的な軽量三連はしごを開発することができた。

平成6年3月、立川消防署 (立川C) 及び蒲田消防署 (空港C) にそれぞれ実用配置し運用中である。

8 今後の課題と対策

はしごの強度の定義は、安全基準を基本とし、かつ、当庁基準を満足するものでなければならない。2号機は、今回の実験結果から安全基準に定義されている3倍の安全率で算出すると許容荷重が1,764N (180kgf) ということになり、現用鋼管の1,470N (150kgf) より優れ、当庁

基準も十分に満足する。

静荷重時のたわみ量についても、安全基準及び当庁基準を十分満足しているが、静荷重時におけるたわみ量が従来のはしごと比較してやや大きいことから、動荷重時における揺れも大きく感じられる。従って、はしご登降時時の揺れが操作性にどのような影響を及ぼすかにつ

いては今後の課題として研究していくこととする。

9 参考文献

- (1) 消防科学研究所報第29号 1992.9
「アルミ合金製三連はしごの開発について」