

軽量型鋼管製三連はしごの開発について (第2報)

— 安全基準型 —

Development of a Light weight Steel Extension Ladder with 3 Sections (Series 2)

— Safety standard version —

矢ヶ崎 孝*

目黒 公一郎*

概 要

平成4年3月「積載はしごの構造及び機能等に係る安全基準」が通知されたことに伴い、軽量型の鋼管製三連はしご⁽¹⁾についてコンピュータシミュレーションによる構造の見直しを行った。

その結果に基づき試作したはしごは、「積載はしごの構造及び機能等に係る安全基準」に適合し、かつ、現用の鋼管製三連はしごより軽いものであることが確認された。

To promote prompt and effective fire fighting, a lightweight fire ladder is needed, but it has to be strong enough to tolerate a heavy weight. As the Fire Defense Agency established "The safety standard for a fire ladder" in March, 1992, performances of the lightweight extension ladder which had been developed the year before were compared with those stipulated on the standard. After the analysis some improvements were made on the ladder so that the ladder can comply with the standard and is lighter than the one now in use by 20 percent in weight.

1. はじめに

積載はしごの軽量化については、消防隊員の高齢化対策の一環として、各方面で研究が進められている。当庁でも平成3年度、製作コスト面及び維持管理面で有利な鋼を使用し、約20%の軽量化を図った8.7mの鋼管製三連はしごを開発した(以下「旧型」という)。しかし、このはしごは、平成4年3月30日付で消防庁消防課長から通知された「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。)には一部適合しないこととなった。そこで、当研究室では、新たにコンピュータシミュレーションにより設計及び構造解析を行い、安全基準に適合させ、かつ、旧型同様に約20%の軽量化を図った鋼管製三連はしご(以下「新型」という。)を開発した。

新型及び新型の補強方法の一部変更したはしご(以下「変更型」という。)並びに現用型鋼管製三連はしご(以下「現用型」という。)の強度等につ

いて測定実験を行い比較を行った。

これらの実験結果及びこれらに基づく改良案等の検討概要について報告する。

2. 開発はしごの概要

(1) 強度条件

はしごの強度は、安全基準に既に示されているのでこれを基本とし、かつ、当庁仕様の検査基準を満足するものとする。

積載はしごの許容荷重は、背負い救出を想定した荷重とする。隊員1名を90kgf(882N)と仮定し、この隊員が90kgf(882N)の人間を背負って救助するとして合計で180kgf(1764N)となる。これを安全基準に当てはめると3倍の安全率が必要となるため、一局所540kgf(5292N)の荷重に耐えうる強度を必要とする。

また、当庁仕様の検査基準は65度架ていで一局所250kgf(2450N)の荷重に耐えうる強度を有することと定めている。

(2) 諸元及び機械的性質

新型と旧型及び現用型の諸元を表1に示す。新型の形状は、消防戦術上の活用や維持管理面

*第三研究室

表1 各はしごの諸元

(単位: mm)

		新型及び 変更型	旧 型	現 用 型
全伸てい長		8,730	←	←
全縮てい長		3,535	←	←
幅 (外)	一連	390	355	←
	二連	360	327	←
	三連	330	300	←
厚さ (外)	一連	200	←	←
	二連	165	←	←
	三連	115	←	←
横さん間隔		325	←	←
重 量		約35kgf	約34kgf	約43kgf

について従来の方で行えることを前提として可能な限り現用型及び旧型と同一とした。新型について従来の方で行えることを前提として可能な限り現用型及び旧型と同一とした。新型の形状の特徴は、安全基準で定める「縦棒の内法寸法は30cm以上であること。」から、はしごの全幅が約35mm広がっているところである。新型の重量は、全幅を広くしたことにより旧型と比較して約1kgf(9.8N)の増となるが、現用型と比較すると約8kgf(78.4N)の軽量化となる。はしごを構成する各部材の寸法等を表2に示す。新型の主かん及び横さんの肉厚は、旧型と同様で現用型の1.2mmより0.2mm薄くした1.0mmとした。掛金箱等については旧型と同様の形状とした。

各はしごの機械的性質について表3に示す。何れも日本工業規格G3445機械構造用炭素鋼鋼管STKM18Cを使用している。

(3) はしごの構造

各はしごの概要図を図1に示す。新型はしごの特徴は、前述のとおり全幅が約35mm広がったことと、三連目の側面補強である斜材を片側2本、左右で計4本を右下がりから右上がりに変更したこと、一連目上端の側面補強である斜

表2 はしごを構成する主要部材等

(単位: mm)

		新型及び 変更型	旧 型	現 用 型
主かん		楕円管19×12 肉厚 t=1.0	←	楕円管19×12 肉厚 t=1.2
横さん		円管φ16 肉厚 t=1.0	←	楕円管19×12 肉厚 t=1.2
裏さん		楕円管19×12 肉厚 t=1.0	←	楕円管19×12 肉厚 t=1.2
		円管 φ10 肉厚 t=1.2	—	(一部平板)
掛金箱		165×40×14 肉厚 t=1.5	←	165×60×20 肉厚 t=2.0
滑車		合成樹脂製	←	鋳 鉄 製

表3 供試はしごの機械的性質

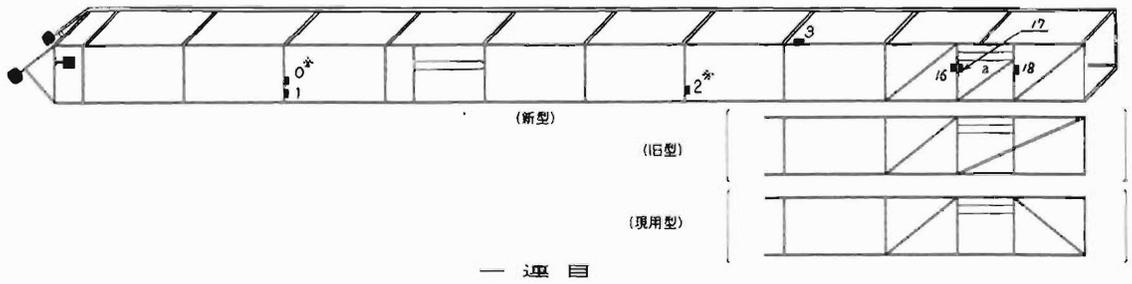
		材 質 (JIS)	比重	引張強度 (kgf/mm ²)	0.2%耐力 (kgf/cm ²)	ヤング (kgf/cm ²)	備 考
新 型	旧 型	STKM-18C	7.8	76.2*	69.9*	21,000	印は引張試験結果による値。 ()内の数値は、JISに定める値。
変 更 型		楕円管19×12 肉厚 t=1.0		(52以上)	(39以上)		
現 用 型		STKM 18C	7.8	71.6*	67.8*	21,000	
		楕円管19×12 肉厚 t=1.2		(52以上)	(39以上)		

材については1本で2ますに渡って補強していたものを各ます単独で補強したことである。変更した理由は、前者は、最も強度上負荷の大きい全伸てい時において変更した部分の斜材に発生する応力を引張応力状態にするためと、後者は、伸縮てい時に掛金の作動が斜材に干渉するのを防止するためである。

3. 応力シミュレーション解析

(1) 解析モデル

解析に使用するモデルは、新型とし、この形状を三次元弾性ビームを用いて作成した(図2参照)。はしごの一連目と二連目及び二連目と三連目の重合部は、各部の応力発生がシミュレーションの誤差の影響を少なくするため、各連はしごが相互にスライドするように条件設定をした。

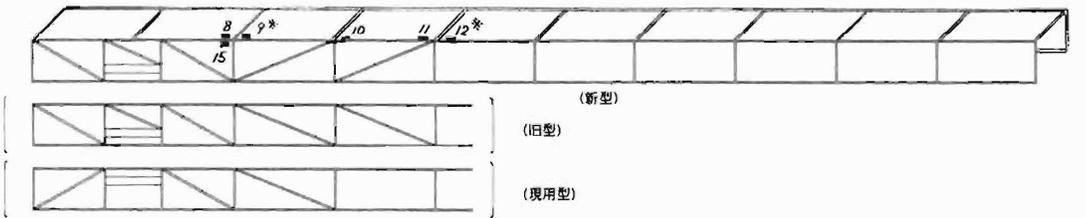


一連目



(新型)
旧型は、新型と同形状

二連目



三連目

- 注) 変更型は、a部の補強を削除したもの。
- 注) 数字は、静荷重測定実験のひずみ測定点
- 注) *印の数字は、動荷重実験のひずみ測定点

図1 各はしごの概要図

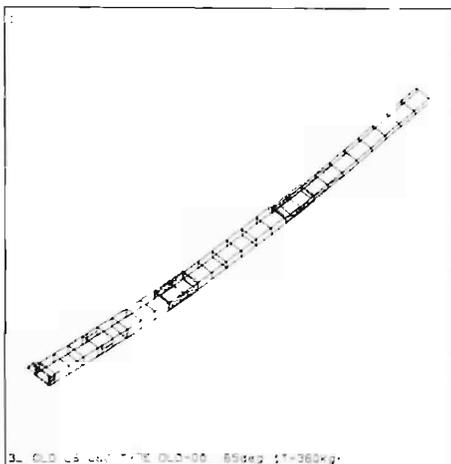


図2 解析モデル

(2) 拘束・荷重条件

はしごは全伸ていとし、架てい角度は65度、三連目の上端（先端）を支持した状態とした。荷重点は、一連目上端の横さん両端部2点に180kgf（1764N）、合計360kgf（3528N）を負荷した。そのほかに水平状態、75度架てい状態などの各条件での解析を行った。

(3) 解析結果

本解析に用いた解析ソフトは、ヤング率を基に応力値を計算する関係上、材料の比例限度を越えた域においては、実測値と誤差が生じてくる（図3参照）。比例限度は、引張試験の結果では概ね45kgf/mm²（441MPa）、ひずみで2200μ ϵ で

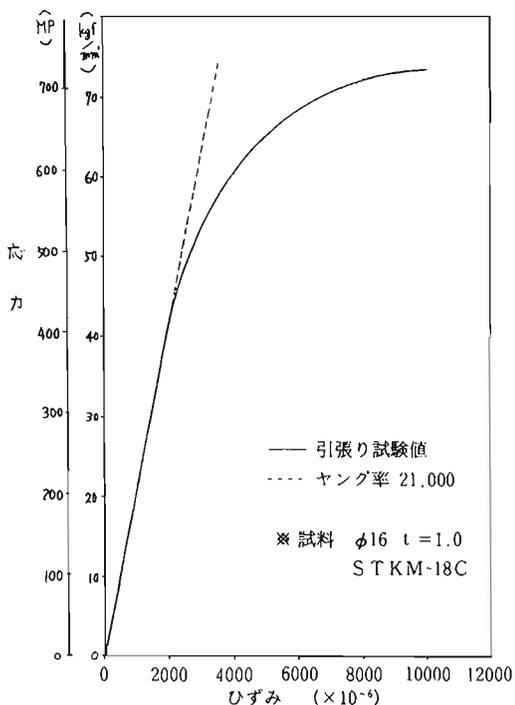


図3 引張試験結果

ある。従って、応力解析結果で比例限度を越える高い応力値については、図3の荷重—ひずみ線図を参考にして扱うこととする。解析結果の一例を図4に示す。これは、架てい角度は65度で三連目の上端（先端）を支持し、荷重点は一

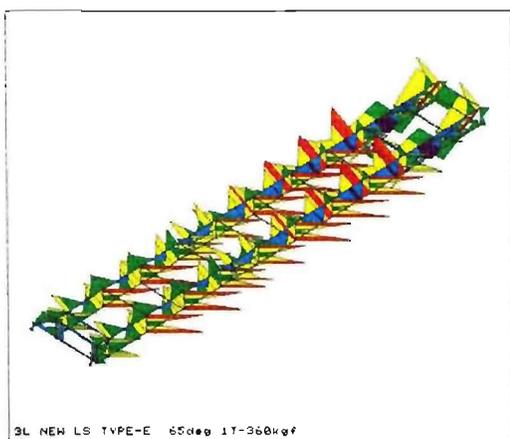


図4 解析結果（一連目）

連目上端で360kgf (3528N)を負荷したものである。部材に発生する最大応力値が最も大きく発生した部分は、一連上端であり、その大きさは約45kgf/mm²(441MPa)であった。この値は、材

料の0.2%耐力値までには至らない値で材料強度の許容範囲内である。また、最小応力についても発生位置、応力値（符号が反対になる。）とも最大応力値の部分とほぼ同様であった。

他の条件についても、発生応力は許容範囲内であった。

4. 確認実験

(1) 実験場所

消防科学研究所 1階総合実験室

(2) 実験方法

ア 実験項目

安全基準に定める強度等について調べるとともに、過去に製作したはしごの実験結果と比較検討をするために必要な実験項目を表4、5、6及び7のとおりとした。

イ ひずみゲージの取付位置及びたわみ量の測定位置

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

表4 実験条件（新型・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	2連目 14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			2連目 14段目	0～ 250kgf	50mm幅の分布荷重で横さん 中央1箇所		
1-3			2連目 14段目	0～ 540kgf	50mm幅の分布荷重で横さん 2箇所、間隔は約250mm		
1-4 *1		75度	全伸長	1連目 8段目	0～破 損まで		
1-5 *1				2連目 12段目	0～破 損まで		70mm幅の分布荷重で横さん 中央1箇所
1-6 *1				3連目 22段目	0～破 損まで		
1-7 *2		水平	全伸長	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	
1-8				2連目 14段目	80, 90, 100kgf		
1-9 *2				2,3連重 合18段目	100kgf		

*1:安全基準の項目 *2:当庁の検査項目

表5 実験条件 (変更型・静荷重)

実験 No	伸てい長さ	裂てい角度	荷重位置	荷重量	荷重条件
2-1	全伸長	65度	2連目 14段目	0～ 360kgf	50mm幅の分布荷重で横さん 2箇所、間隔は約250mm
2-2		75度	2連目 14段目	0～ 340kgf	

表6 実験条件 (現用型・静荷重)

実験 No	伸てい長さ	裂てい角度	荷重位置	荷重量	荷重条件
3-1 *1	全伸長	75度	1連目 8段目	0～破 損まで	70mm幅の分布荷重で横さん 中央1箇所
3-2 *1			2連目 12段目	0～破 損まで	
3-3 *1			3連目 22段目	0～破 損まで	

*1:安全基準の項目

表7 実験条件 (新型・静荷重)

実験 No	伸てい長さ	裂てい角度	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	90kgf 二人同時登降てい	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

応力シミュレーション結果に基づいて大きな応力の発生する(予想される)部分とした。

ウ 荷重負荷条件

- (ア) 実験No1-1～1-9及びNo2-1～2-2については、50mm幅のスリングベルト2本を用いて横さん中央に中心に左右125mm、250mmの間隔で負荷した。
- (イ) 実験No1-4～1-6及び実験No3-1～3-3については、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負荷した。

(3) 実験結果

- ア 65度架てい、一連目上端荷重
(実験No1-1,2-1)
- ア 旧型と新型のひずみ量その傾向は、ほぼ同

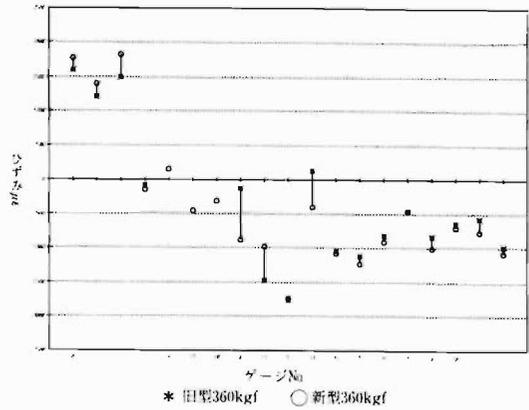


図5 ひずみ測定結果

じであった(図5参照)。

- (イ) 大きくひずみの発生した2点については旧型、新型とも、ゲージNo2、ゲージNo5であった。この点の荷重の増加に対するひずみ量の増加をみると概ね比例関係にあり、ひずみ量もほぼ同じであった。
- (ウ) 新型と変更型のゲージNo16,17,18のひずみ量は表8のとおりである。比較するとひずみ量の絶対値がやや大きくなり、符号が逆転している。ゲージNo16は、引張(+)ひずみから圧縮(-)ひずみに変わり360kgf (3528N)荷重で153 $\mu\epsilon$ が約-946 $\mu\epsilon$ となった。逆にゲージNo17,18は、圧縮(-)ひずみから引張(+)ひずみに変わり360kgf (3528N)荷重でNo17は、-449 $\mu\epsilon$ が約1277 $\mu\epsilon$ となり、No18は、-299 $\mu\epsilon$ が約388 $\mu\epsilon$ となった。いずれの値も塑性変形に至る(5200 $\mu\epsilon$)値ではなかった。

表8 ひずみ測定結果 (一連上端部)

(単位: $\mu\epsilon$)

	新 型	変 更 型
ゲージNo16	153	-946
ゲージNo17	-449	1,277
ゲージNo18	-299	388

ゲージNo16,17,18以外の点は、ほぼ同じ値か変更型のほうがやや小さい値を示した。

- (エ) 最大たわみ量は、360kgf (3528N)荷重で新型117mm、変更型107mm、旧型124mmであった。いずれも最もたわんだ位置は、荷重点である

11段目であった。

(イ) 二連目及び三連目の実験結果は、一連目とほぼ傾向が同じであるので、ここでは省略する。

イ 75度架てい、一連目上端荷重 (実験No1 3、2-2)

(ア) 旧型と新型のひずみ量その傾向は、ほぼ同じであった (図6参照)。

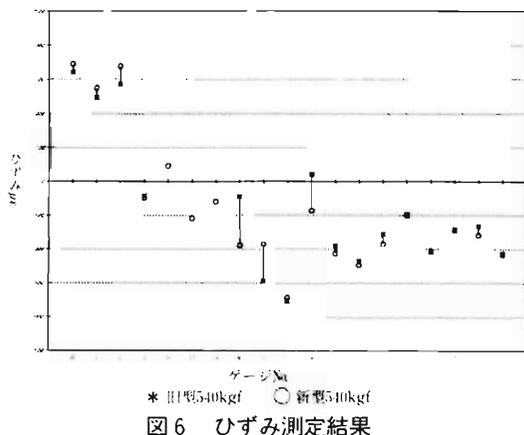


図6 ひずみ測定結果

(イ) 大きくひずみの発生した2点については旧型、新型とも、ゲージNo 0、ゲージNo 5であった。この点の荷重の増加に対するひずみ量の増加をみると概ね比例関係にあり、応力値もほぼ同じであった。

(ウ) 新型と変更型のゲージNo16,17,18のひずみ量は表9のとおりである。比較するとひずみ量の絶対値がやや大きくなり、符号が逆転している。ゲージNo16は、引張(+)ひずみから圧縮(-)ひずみに変わり540kgf荷重で231 $\mu\epsilon$ が-648 $\mu\epsilon$ となった。逆にゲージNo17,18は、圧縮(-)ひずみから引張(+)ひずみに変わり、540kgf(5292N)荷重でNo17は-543 $\mu\epsilon$ が約836 $\mu\epsilon$ となり、No18は、-298 $\mu\epsilon$ が324 $\mu\epsilon$ となった。いずれの値も塑性変形に至る(5200 $\mu\epsilon$)値ではなかった。

ゲージNo16,17,18以外の点は、ほぼ同じ値を示した。

(エ) 最大たわみ量は、540kg f (5292N)荷重で新型118mm、旧型108mm、変更型117mm、旧型が9~10mm少なかった。

表9 ひずみ測定結果 (一連上端部)

(単位: $\mu\epsilon$)

	新 型	変 更 型
ゲージNo16	231	-648
ゲージNo17	-543	836
ゲージNo18	-298	324

(ウ) 二連目及び三連目の実験結果は、一連目とほぼ傾向が同じであるので、ここでは省略する。

ウ 75度架てい、横さん強度実験

実験結果は、表10及び表11に示す。

表10 新型の横さん強度実験結果

(荷重条件: 横さん中央70mm分布荷重)

	荷 重	横 さん	はしご本体
一連目	480kgf	屈曲のみ	荷重部で屈曲
二連目	420kgf	横さん亀裂・屈曲	荷重部で屈曲
三連目	400kgf	横さん亀裂・屈曲	荷重部で屈曲

表11 現用型の横さん強度実験結果

(荷重条件: 横さん中央70mm分布荷重)

	荷 重	横 さん	はしご本体
一連目	540kgf	屈曲のみ	たわみのみで荷重維持
二連目	450kgf	横さん亀裂・屈曲	荷重部で屈曲
三連目	540kgf	屈曲のみ	たわみのみで荷重維持

(ア) 一連目・8段横さん荷重

(実験No1 4,3-1)

新型及び現用型とも横さん中央部は、300kg f(2940N)荷重付近で0.2%耐力値に達した。その後、新型はひずみの増加率が高くなるが現用型は400kgf(3920N)付近まで増加率はあまり変わらず400kgf(3920N)を超えると急激に高くなった。

新型は、480kgf(4704N)で横さんに取り付部に亀裂が入らず主かん及び横さんのみの変形ではしご全体が座屈した。現用型は、540kgf

(5292N)で主かん及び横さんとも大きく変形したが、亀裂・破損には至らなかった。

横さん左右のひずみ量は、新型は、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7参照)。

現用型は、中央のひずみ量と左右のひずみ量の増加がほとんど同じ増加の傾向を示している(図8参照)。

荷重除去後のはしごは、新型及び現用型とも変形により一連目に二連、三連を収納はできなかった。

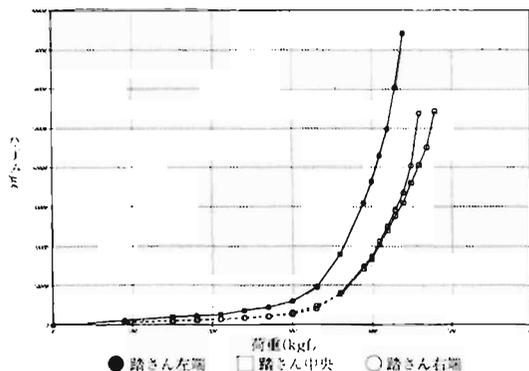


図7 新型横さん部荷重-ひずみ線図

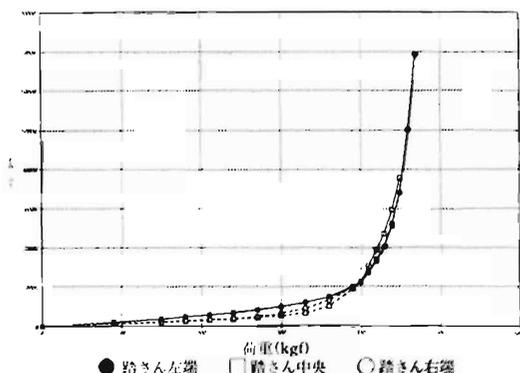


図8 現用型横さん部荷重-ひずみ線図

- (イ) 二連目・12段横さん荷重
(実験No.1-5,3-2)

新型及び現用型とも横さん中央部は、300kgf(2940N)荷重付近で0.2%耐力値に達した。

その後、新型はひずみの増加率が高くなるが、現用型は400kgf(3920N)付近まで増加率はあまり変わらず400kgf(3920N)を超えると急激に高くなる。前Cの結果とほぼ同様である。

新型は、420kgf(4116N)で横さんに取付部

に亀裂が入り440kgf(4312N)で破損した。

現用型は、450kgf(4410N)で横さんに取付部に亀裂が入り470kgf(4606N)で破損した。

荷重除去後のはしごは、新型及び現用型とも変形により一連目に二連、三連を収納はできなかった(写真1、2参照)。

- (ウ) 三連目・2段横さん荷重
(実験No.1-6,3-3)

新型の横さん中央は、200kgf(1960N)荷重付近で0.2%耐力値に達し、現用型は400kgf(3920N)付近で0.2%耐力値に達した。その後新型はひずみの増加率が高くなるが、現用型は490kgfでゲージが破損したものの500kgf付近まで急激な増加はなかった。

新型は、400kgf(3920N)で横さんに取付部に亀裂が入り410kgf(4018N)で破損した。現用型は、540kgf(5292N)においても横さんは中央が約5mm変形するのみで主かんはほとんど変形しなかった。荷重除去後のはしごは、現用型は一連目に二連、三連を収納可能であったが、新型は収納不能であった。

- エ 水平架てい実験

(実験No.1-7~1-9)

- (ア) 最も大きなひずみが発生した荷重位置は、二連重合部・10段目100kgf(980N)荷重・ゲージNo.2で1868 $\mu\epsilon$ であった。どの条件においても0.2%耐力値を超える大きなひずみは発生していない。

- (イ) 最も大きいたわんだ荷重位置は、二連中央・14段目・100kgf(980N)荷重で-84mmであった。

- オ 65度架てい・動ひずみ測定実験

- (ア) 一人登降てい(実験No.4-1)

実験結果を図9に示す。

最も大きいひずみ(応力)が発生しているのは、ゲージNo.0で、最大値で30kgf/mm²(294MPa)であった。1連目の下部ゲージNo.0は登てい始め(1段目)から終わり(24段目)まで平均して大きな応力が発生しているのに対して、上部のゲージは登てい者が到着するまで応力は小さく通過と同時に大きく発生している。

- (イ) 二人登降てい(実験No.4-2)

実験結果を図10に示す。

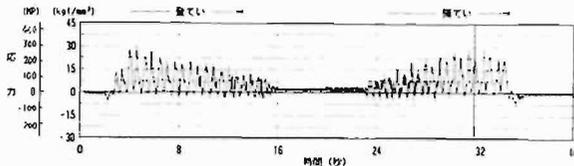


図9 動ひずみ測定実験結果（一人登降てい）
（ゲージNo.0）

最も大きいひずみ（応力）が発生しているのは、ゲージNo.0で、最大値で45kgf/mm²(441MPa)であった。登っている者の通過が、応力の発生の度合い（大小）に表れているもののその傾向は、前(ア)より顕著ではない。

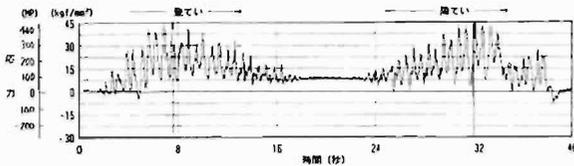


図10 動ひずみ測定実験結果（二人登降てい）
（ゲージNo.0）

5. 実験結果からの考察

(1) 新型と旧型の比較について

新型と旧型のひずみの発生量及びたわみ量ともほぼ同じ結果であったことから、安全基準によりはしごの全幅を約35mm広くし、また、三連目の補強斜材の一部を変更したことによる強度的な影響はなく、両はしごは同等の性能を有するものと推定される。

(2) 新型と変更型の比較について

変更型は、一連上端の斜かんの一部を変更した部分にひずみ発生の変化が見られたが、構成部材が変形に至るようなひずみの発生はなかった。他の部分のひずみ発生量は同等かやや減少している。たわみ量についてもほぼ同等の値である。よって、変更型は、新型と同等の性能を有するものと推定される。

(3) 横さん中央一局所(70mm幅)分布荷重について（安全基準）

新型は、現用型と比較して60kgf(588N)から100kgf(980N)程度下回る荷重差で変形または破損した。両はしごとも横さんに亀裂が入った場合は破損限界荷重は小さい値であった。亀裂については、溶接により溶接箇所が母材より硬化（脆化）するという性質から発生したものと

推定される。はしご全体が屈曲するまでを観察すると、横さんが下部に曲げられるに連れて主かんは内側に引き寄せられてはしご全体が座屈してくる。座屈する荷重が現用型と比較して新型が小さいのは、横さんの断面二次モーメントが新型1331mm⁴、現用型890mm⁴であり新型の方が現用に対して約50%大きいことから横さんの曲げ応力が主かんに影響し易いこと、また、主かんの肉厚の減少（断面二次モーメントは、新型775mm⁴、現用型890mm⁴）したことが原因であると推定される（写真1、2参照）。

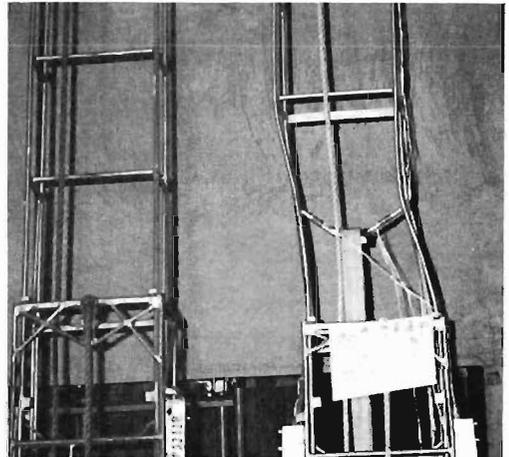


写真1 横さん中央一局所（70mm幅分布荷重）
実験結果（現用型二連目470kgf荷重）

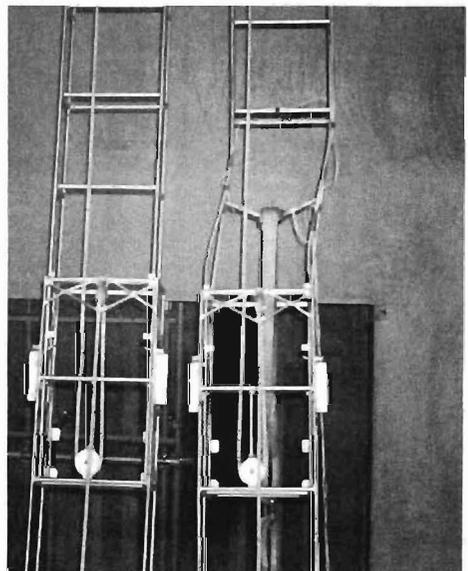


写真2 横さん一局所（70mm幅分布荷重）
実験結果（新型二連目440kgf荷重）

(4) 当庁の検査基準について (実験No1-2)

ア 65度架てい・2連目の14段目に250kgf(2450N)荷重(横さん中央50mm幅分布荷重)を加えた場合、新型のはしご本体に特に異常は認められないが、横さん中央部のひずみ発生量が0.2%耐力値を超えており、塑性域に入っている。横さんを除くはしご全体の強度を確認するのであれば、横さん全体に分布荷重で実施すべきである。

イ 水平荷重実験の結果は、特に問題はない。たわみ量についても、一・二連重合部100kgf(980N)荷重で67mm、二・三連重合部100kgf(980N)荷重で84mmであり当庁検査基準の100mm以下に適合する。残留たわみ量は、1～3mmで基準の10mm以下で問題はない。

また、安全基準で定める二連中央90kgf(882N)荷重ではしご全体の1.5%(130.5mm)以下については、新型で84mmであり問題がないといえる。

6. ま と め

(1) 横さんに2点分布荷重を加えた場合、新型は、旧型と同等の強度を有する。

なお、新型及び旧型は、同条件では、現用型より強度が高いことは既に明らかである¹⁾。

(2) 横さん中央集中荷重(70mm幅分布)を加えた場合の、新型の強度は、現用型の強度をやや下回る。

(3) 変更型は、新型と同等の強度を有しはしご全体の強度低下の要因とはならない。

7. 今後の課題と対策

(1) はしごの強度の定義は、安全基準に既に示されているのでこれを基本とし、かつ、当庁の仕様書検査基準を満足するものでなければならない。新型の一局所集中荷重の強度は、今回の実験結果から安全基準の3倍の安全率で算出すると130kgf(1274N)ということになる。

よって、十数年の実績のある現用はしごとの比較ということになるが、今回の実験結果からは現用型の許容加重は150kgf(1470N)という数字となり、新型に同等の強度を持たせるためにはさらに20kgfの耐荷重増が必要である。解決方法としては、次のことが考えられる。

① 部材の断面形状の変更により強度の向上を図る。

② 溶接方法等を変更して硬化(脆化)を防ぎ溶接部に亀裂が生じないように対策を講ずる。

なお、一局所130kgf(1274N)の許容荷重が、安全か否かは、今後の検討課題とする。

(2) 強度の向上を図るため部材の断面形状をどのように変更したら良いか、新型、現用型及び改良案から、二連目の一部をモデル化し、応力シミュレーションを行った。その結果、表主かん及び表横さんの肉厚のみを1.0mmから1.2mmに変更するとが応力の発生が少なく、その量は現用型と同等であり、かつ、重量増も1kgf(9.8N)程度であることが判った。これを実証するため、今後、試作検証実験を行っていく予定である。

参 考 文 献

(1) 消防科学研究所報 第28号(1991)「軽量型鋼管製三連はしごの開発について」