

アルミ合金製三連はしごの開発について

Development of aluminum alloy extension ladder with 3 sections.

矢ヶ崎 孝*

目 黒 公一郎*

概 要

現用型鋼管製三連はしごよりも軽く、強度的に強いアルミ合金製三連はしごを開発するため、構造物の解析手法の一つである有限要素法によるコンピュータシミュレーションで構造及び強度の検討を行ない設計したはしごを試作した。

測定実験の結果、開発したアルミ合金製三連はしごは、現用型鋼管製三連はしごよりも約30%軽く、十分な強度を有することが確認された。

In order to develop lighter and stronger ladder than the steel ladder with 3 sections which is now in service, we studied the structure and strength of the ladder applying the finite element method (FEM) to those simulation by computer, we fabricated a extension ladder with 3 sections with aluminum alloy as a trial.

As a result of experiment, it was confirmed that this aluminum alloy extension ladder with 3 sections is about 30% lighter than a steel one now in service, and that it has the enough strength.

1 はじめに

消防職員の高齢化対策の一環として、積載はしごの軽量化は必要急務な課題である。消防用積載はしごとしての強度を有し、操作性に優れたはしごをいかに効率的に開発していくかという見地から、従来使用してきたものと比較して内容の充実した有限要素法によるコンピュータシミュレーション応力解析（以下「応力解析」という）を用い、巨視的見地からしか測り知ることのできなかったはしご各部材への応力集中等を、定性的且つ定量的に知り得ることが可能となった。この手法を有効に活用し、現用型鋼管製三連はしご（以下「現用型はしご」という）の実験データ及び応力解析結果と、今回試作したアルミ合金製三連はしご（以下「アルミはしご」という）の設計段階での応力解析結果、試作したアルミはしごの応力・たわみ量測定実験結果とを併せ、比較検討し

た結果の概要を報告する。

2 供試はしごの概要

(1) 設計条件

アルミ合金製三連はしごの設計・開発条件は消防用積載はしごの安全基準（平成4年3月30日付消防庁消防課長通知）及び当庁内部基準に適合し、現用型はしごと同等以上の強度を有することとした。

しかし、はしご部材としてアルミ合金を用いることは、消防隊の使用条件下において過去の実験結果から次のことが言える。

ア ヤング率が低いため揺れが激しくたわみ量が大きい。

イ 炭素鋼と比べ強度的に劣り、更に折損時に離脱し易い。

ウ 融点が低く、火炎に煽られた際及びロープの摩擦熱等による耐熱強度に懸念がある。

このような観点から消防用積載はしごに適合し難いと考えられ開発を中断していたところであるが、金属材料工学の進歩を背景とし高強度

*第三研究室

のアルミニウム合金が開発されたことに伴い、再度アルミニウム合金を用いた軽量はしごの開発を試みた。

その手法とし、開発するアルミはしごの材料強度及び構造強度をコンピュータシミュレーションにより応力解析し、最適化構造を求め、操作性の問題について検討し、その後はしごの製作に着手した。

(2) 諸元・機械的性質

開発したアルミはしごと現用型はしごの諸元機械的性質を表1に示す。

消防用積載はしごの安全基準及び高強度アルミニウム合金管の形状制約・溶接上の問題等の絡みから、アルミはしごの幅及び厚さの寸法は各連とも現用型はしごと比較して一回り大きいものとなっている。

機械的性質は、はしご主要材質であるアルミニウム合金管の引張試験を行なった結果、ヤング率、引張強度、0.2%耐力共JIS基準に適合した値が得られた。なお、応力解析条件及び応力測定実験の歪量-応力値換算に用いたヤング率は、いずれもこの結果を基にしている。

3. 有限要素法応力解析

(1) 解析荷重条件

解析荷重条件は、消防用積載はしごの安全基準及び当庁内部基準並びに従来の応力・たわみ量測定実験に準じ、応力解析、たわみ(変位)



写真1 アルミ合金製三連はしごの外観

量解析、荷重反力解析を行なったが、本報では作用荷重の形式と消防用三連はしごの使用条件を鑑み、顕著に差がみられた下記の荷重条件における応力解析結果について論じる。

ア 水平全伸てい状態。二連目中央(表横さん14段目)80kg荷重時(以下「水平・二連中央80kg荷重」と記す)(図1、図4参照)

イ 65度全伸てい架てい。一連目上端(表横さん11段目)360kg荷重(以下「65度・一連上端360kg荷重」と記す)(図7、図10参照)

ウ 65度全伸てい架てい。二連目上端(表横さん19段目)360kg荷重(以下「65度・二連上端360kg荷重」と記す)

なお、解析モデルは節点数1757、要素数1947で構成している。

表1 各種三連はしごの諸元・性能・機械的性質

		アルミはしご	現用型はしご	
各部寸法	全伸てい長さ(mm)	8,710	8,700	
	縮てい長さ(mm)	3,560	3,530	
	一連目	幅(mm)	434	355
		厚さ(mm)	230	200
	二連目	幅(mm)	388	327
		厚さ(mm)	185	165
	三連目	幅(mm)	342	300
厚さ(mm)		125	115	
横さん幅(mm)		325	325	
質量(kg)		30	43	
使用材質		高強度アルミニウム合金 Al-Zn-Mg系合金 7K-55 T6	増設部用 高強度アルミニウム合金 6K-55 T6	
断面形状・寸法	表主かん(mm)	円管φ20 t=2.0	楕円管φ19×12 t=1.2	
	裏主かん	円管φ20 t=2.0	楕円管φ19×12 t=1.2	
	表横さん(mm)	円管φ20 t=2.0 円管φ17.5 t=1.0	楕円管φ19×12 t=1.2	
	裏横さん(mm)	円管φ20 t=2.0 φ8×20×2本 L20×40×t=3.0 円管φ17.5 t=1	楕円管φ19×12 t=1.2	
	支かん(mm)	円管φ20 t=2.0 円管φ20 t=1.0 円管φ17.5 t=1.0	円管φ10 t=1.2	
	斜かん(mm)	円管φ17.5 t=1.0	円管φ10 t=1.2	
	ヤング率(kgf/mm ²)	※6,800 (JIS:7,200)	21,000	
ポアソン比	0.33	0.386		
比 軽	2.79	7.8		
0.2%耐力(kgf/mm ²)	※40.16 (JIS:25以上)	※67.88 (JIS:39以上)		
引張強度(kgf/mm ²)	※41.40 (JIS:29以上)	※71.66 (JIS:52以上)		

*印の値は引張試験結果による実測値

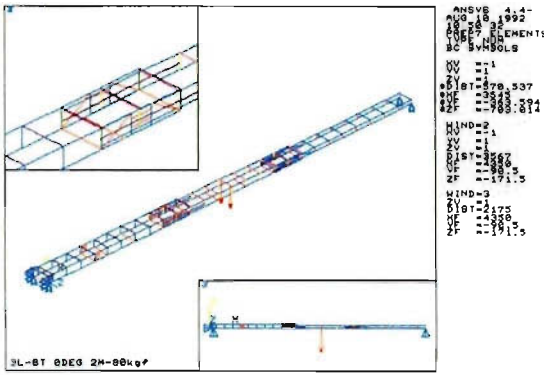


図1 現用型鋼管製三連はしご解析モデル図
水平状態・二連目中央80kg荷重

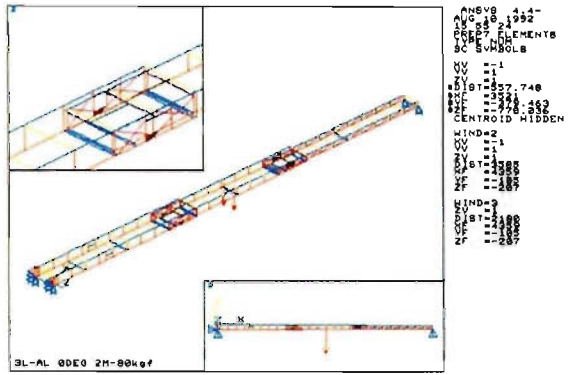


図4 アルミ合金製三連はしご解析モデル図
水平状態・二連目中央80kg荷重

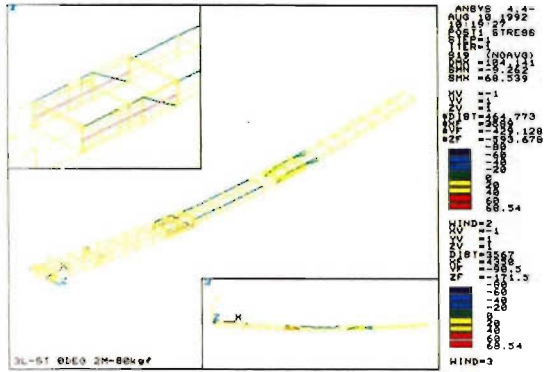


図2 現用型鋼管製三連はしご
最大主応力解析図
水平状態・二連目中央80kg荷重

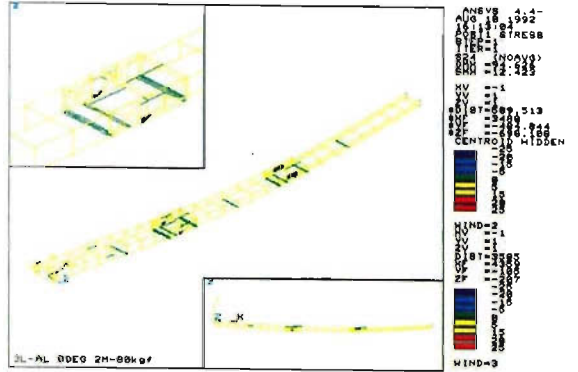


図5 アルミ合金製三連はしご
最大主応力解析図
水平状態・二連目中央80kg荷重

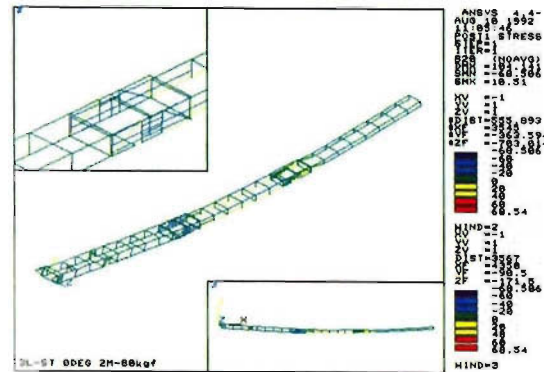


図3 現用型鋼管製三連はしご
最小主応力解析図
水平状態・二連目中央80kg荷重

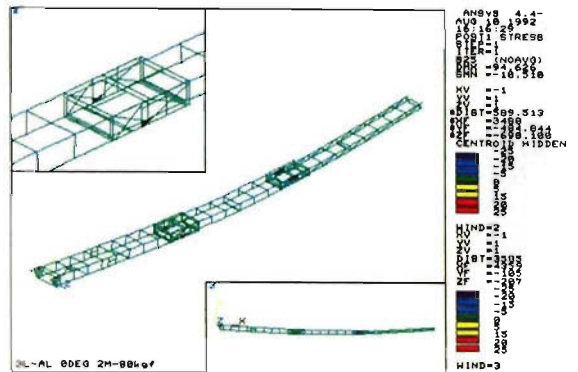


図6 アルミ合金製三連はしご
最小主応力解析図
水平状態・二連目中央80kg荷重

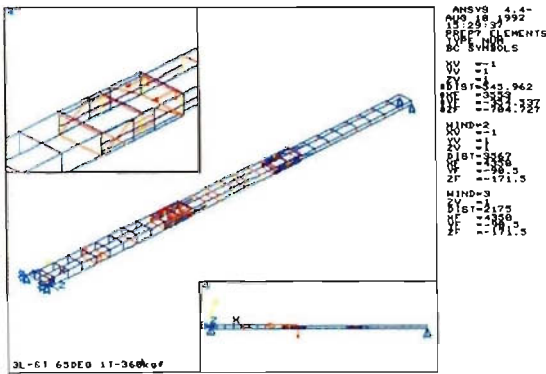


図7 現用型鋼管製三連はしご解析モデル図
65度架てい・一連目上端 360kg荷重

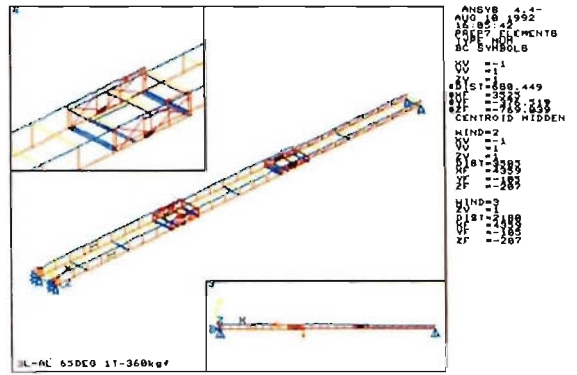


図10 アルミ合金製三連はしご解析モデル図
65度架てい・一連目上端 360kg荷重

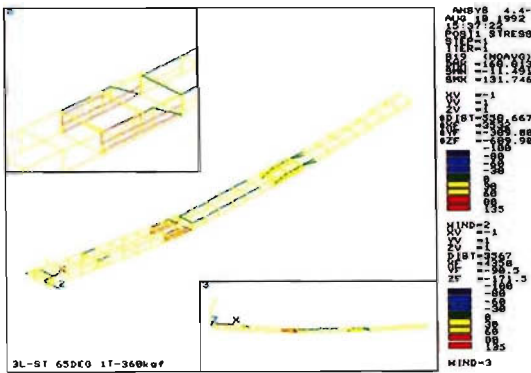


図8 現用型鋼管製三連はしご
最大主応力解析図
65度架てい・一連目上端 360kg荷重

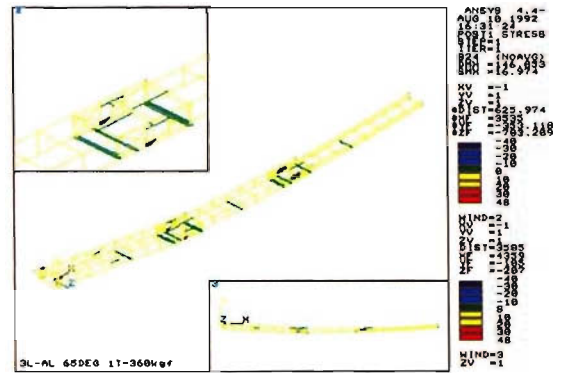


図11 アルミ合金製三連はしご
最大主応力解析図
65度架てい・一連目上端 360kg荷重

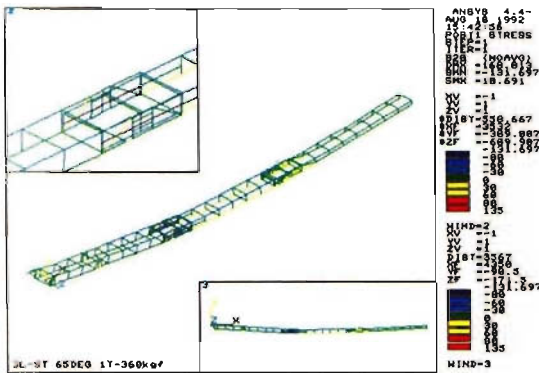


図9 現用型鋼管製三連はしご
最小主応力解析図
65度架てい・一連目上端 360kg荷重

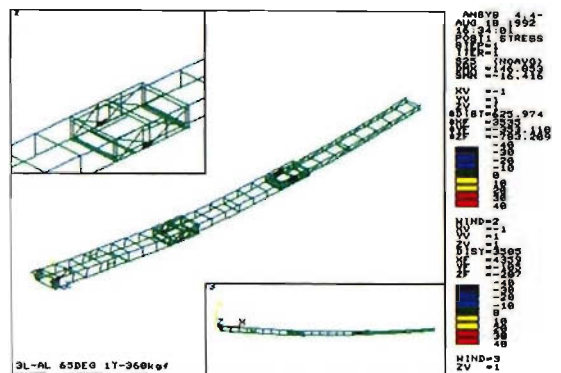


図12 アルミ合金製三連はしご
最小主応力解析図
65度架てい・一連目上端 360kg荷重

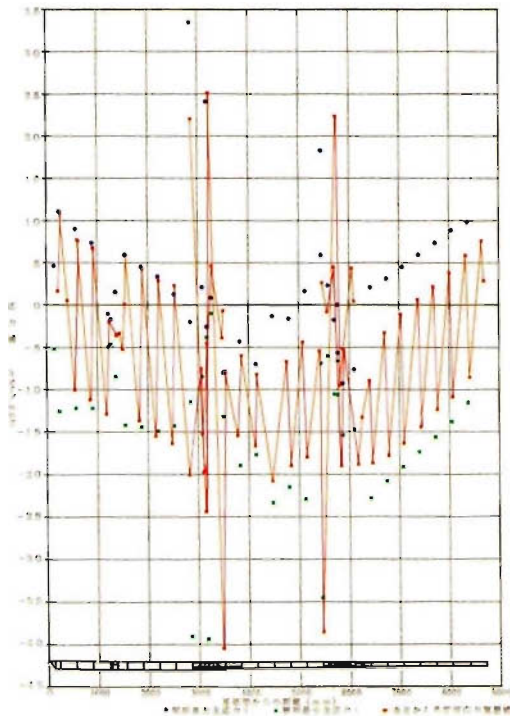


図13 現用型鋼管製三連はしご
表主かん分布応力解析・上面実測値図
水平状態・二連目中央80kg荷重

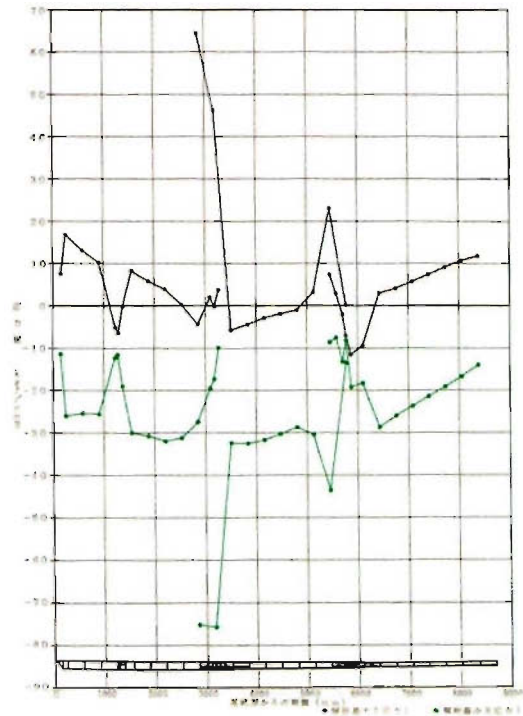


図15 現用型鋼管製三連はしご
表主かん分布応力解析図
65度架てい一連目上端 360kg荷重

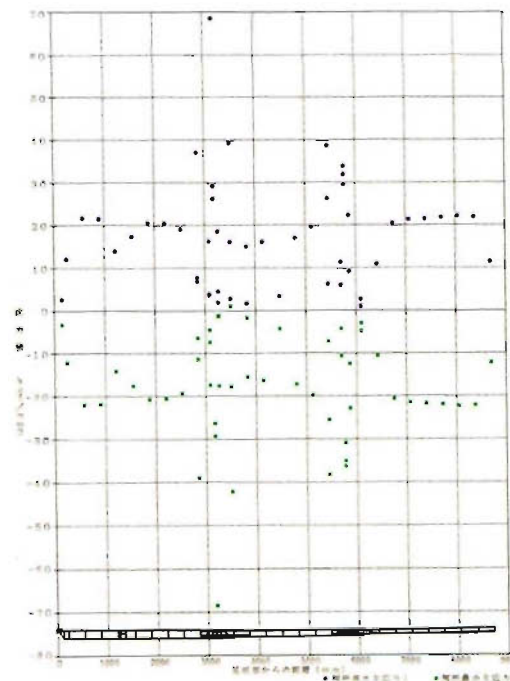


図14 現用型鋼管製三連はしご
支かん分布応力解析図
水平状態・二連目中央80kg荷重

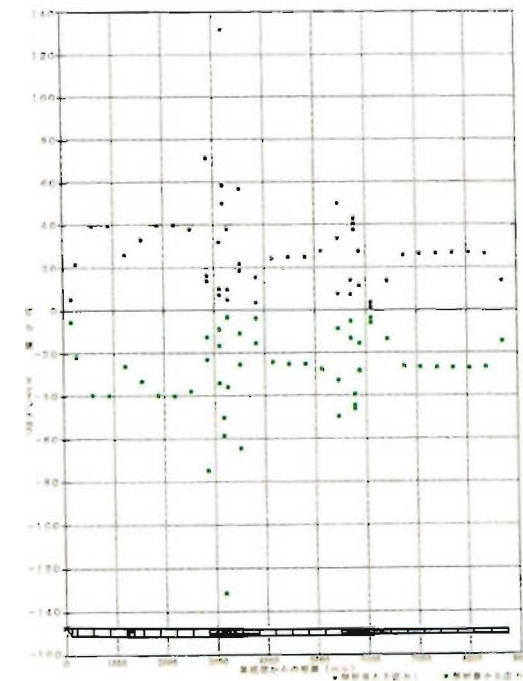


図16 現用型鋼管製三連はしご
表主かん分布応力解析図
65度架てい一連目上端 360kg荷重

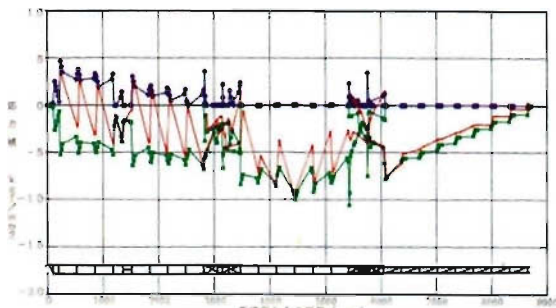


図17 アルミ合金製三連はしご
支かん分布応力解析図
水平状態・二連目中央80kg荷重

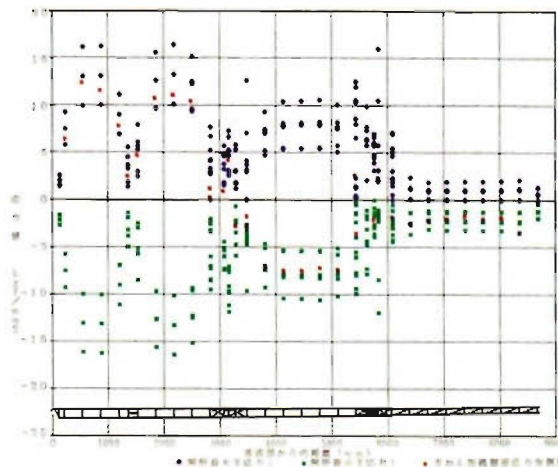


図20 アルミ合金製三連はしご
支かん分布応力解析図
65度架てい一連目上端 360kg荷重

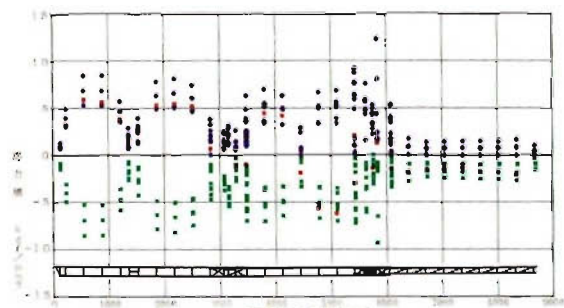


図18 アルミ合金製三連はしご
支かん分布応力解析図
65度架てい一連目上端 360kg荷重

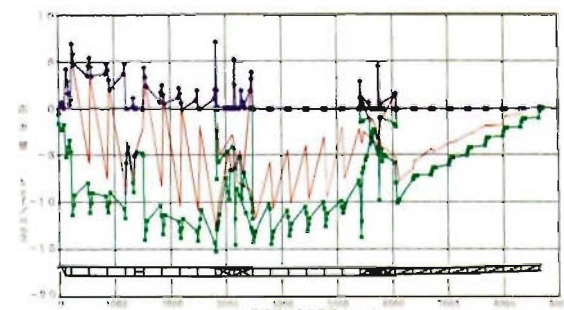


図19 アルミ合金製三連はしご
表主かん分布応力解析図
65度架てい一連目上端 360kg荷重

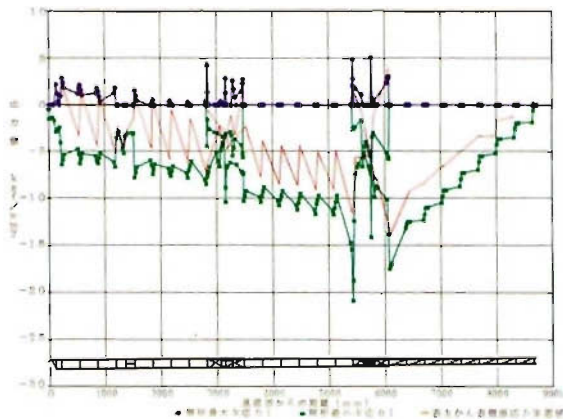


図21 アルミ合金製三連はしご
表主かん分布応力解析図
65度架てい二連目上端 360kg荷重

(2) 応力解析結果

顕著に差がみられた現用型はしごとアルミはしごの下記主要構造部における応力解析結果を図2, 図3, 図5, 図6, 図8, 図9, 図11~図22に示す。

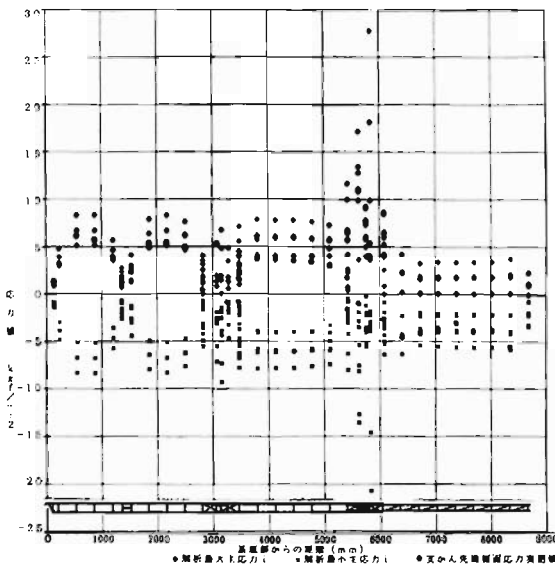


図22 アルミ合金製三連はしご
支かん応力解析図
65度架てい二連目上端 360kg荷重

(3) 解析結果の考察

解析応力値を検討する上で、第1に許容応力と安全率について考えなければならない。当庁では三連はしごを水平全伸てい状態で使用する想定はない。また、75度架てい時の許容荷重は2人又は180kgと定めていることから、本報解析荷重条件は安全率2にあたる。アルミはしごの許容応力については、アルミ合金に降伏点がないことから、引張試験を行なった結果、アルミ合金管の0.2%耐力値40.16kgf/mm²を許容応力値と定める。現用型はしごの主要構造材である炭素鋼管は、降伏点が55kgf/mm²(JIS値)であるが、同様に実測の0.2%耐力値67.88kgf/mm²を許容応力値と定める。

第2に本解析に用いた応力解析ソフトは、ヤング率を基に応力値を計算する関係上、降伏点を超える域においてもヤング率を係数とした比例計算を行なう。このため、応力解析結果で降伏点を越えた高い応力値を示す場合の応力値は参考値とする必要がある。

以下、考察を行なう。

ア 水平・二連中央80kg荷重時における解析応力値比較

現用型はしごの二連目重合部は、突出した

高い応力値を示しており、許容応力値に至り永久歪を生じる可能性のある箇所が存在し、本荷重条件で一部限界に至っていると考えられるので、改善を要する。なお、表主かんの実測値も解析値に準じた値となっている。

(図2, 図3, 図13, 図14参照)

アルミはしごは、各連とも突出した特異点は見られず、永久歪を生じるとは考えられない。

(図5, 図6, 図17, 図18参照)

イ 65度架てい・一連上端360kg荷重時における解析応力値比較

現用型鋼管製三連はしごの一連目は、許容応力値近い解析応力値を示す箇所が存在し、永久歪を生じる可能性がある。二連目は、許容応力値を大幅に超える箇所が多数存在し、亀裂、破損等に至る可能性が十分に考えられ過去の応力・たわみ量測定実験の破壊試験においても、本解析結果が示す箇所でも变形、破損に至っている事実が有り、本荷重条件に耐えられる強度を有しないので改善を要する。

三連目は、永久歪を生じる可能性のある箇所は存在するが、実測で異常は見られなかった様に、亀裂、破損に至るとは考えられない。

(図8, 図9, 図15, 図16参照)

アルミはしごは、各連とも本荷重条件で永久歪を生じるとは考えられない。

(図11, 図12, 図19, 図20参照)

ウ 65度・二連上端 360kg荷重時におけるアルミはしごの解析応力値

本荷重条件による解析は、65度架てい・一連目上端 360kg荷重時よりも三連はしごにとって条件的に厳しいと考えられ、実用機設計モデルの強度的問題点を見つけることにある。解析の結果、最も高い応力値が表われている箇所が4段目の表主かんであるが、+21kgf/mm²と、許容応力比の52%に留まり、永久歪を生じる可能性はない。

(図21, 図22参照)

(4) 解析結果結論

試作するアルミ合金製三連はしご実用機設計モデルの構造及び強度を、定性的且つ定常的に解析を行ない、消防用積載はしごの安全基準、消防用積載三連はしごの当庁内部基準、現用型はしごの応力・たわみ量測定実験結果をも鑑み

構造及び材質上の強度を、現用型三連はしごの解析結果及び実測値と併せて比較検討した結果は次のとおりである。

ア 現用型はしごは、各連重合部及び一連目支かんに高い応力集中が起こっており、今回の条件設定下においては構造的問題がある。改善策として重合部の主かんと平行している補強材をトラス構造とすることにより構造的強度を高める方法が考えられる。

イ 機械的強度の低いアルミはしごは、現用型はしごの解析結果を基にし、操作性及び軽量化に支障を生じない範囲で斜かんを入れ設計を行なった。

この結果、構造的強度を高めた良好なアルミはしごの設計を行なうことができた。

4 はしごの構造

有限要素法により解析を行ない、試作したアルミはしご及び構造検討対象とした現用型はしご各連の側面構造図をそれぞれ図23、図24に示す。

5. 実験方法

(1) はしごの設定条件

ア 水平静荷重測定実験

はしごを水平全伸でい状態で両端を垂直下方向以外を自由支持する。

静的荷重は、各表横さんに各荷重を垂直下方向に順次加える。

ひずみ-応力測定点は、応力解析の結果顕著な応力を示した箇所及び他のはしごの実験データと比較を行なえるよう125点を選定した。ひずみ-応力測定点は図23に示すとおりである。

なお、ひずみゲージは解析結果を基に、表主かんは、支かんと溶接部中心から20mmの上側面に貼付けた。支かんは、裏主かんと溶接部に極力近い箇所の先端側面にそれぞれ貼付けようとしたが、溶接盛付けの関係から応力解析上あまり顕著な値を示さない裏主かん中心部から垂直上方向40mmの箇所を測定することになったことを前述しておく。

イ 架てい静荷重測定実験

はしごを全伸でい状態で65度架ていし、はしごの固定は、先端から二段目の表横さんに

ロープ結着により転倒防止を目的とする程度に緩めにし、自由支持を保つよう施した。

静的荷重は各表横さんに、各荷重を垂直下方向に順次加える。

静ひずみ-静的応力測定点は、水平静荷重測定実験と同じ設定とする。

ウ 架てい動荷重測定実験

はしごの設定条件は、架てい静荷重測定実験と同じとする。静ひずみ-静的応力測定点は、応力解析結果及び架てい静荷重測定実験の結果、顕著な応力値を示した図23に記す9点について行なう。

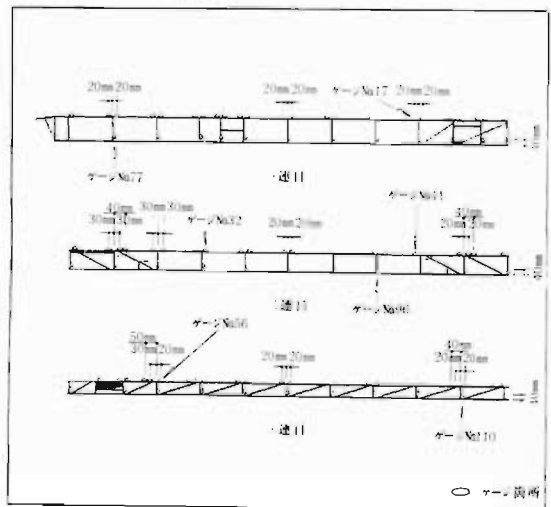


図23 アルミ合金製三連はしごの概要図
兼ひずみゲージ貼付箇所図

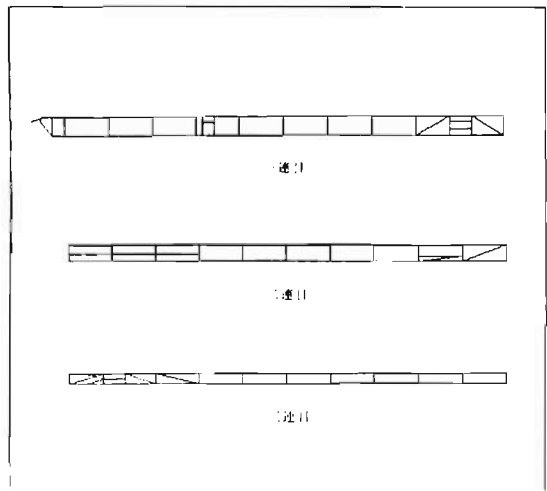


図24 現用型鋼管製三連はしごの概要図

(2) 静荷重時応力（静ひずみ）・たわみ量測定実験

ア 水平静荷重測定実験

㊦ たわみ量測定

静荷重条件を

- a 各表横さん80kg
- b 二連目中央90kg
- c 各重合部中央（表横さん10段目、18段目及び二連目中央 100kg）とし、測定する。
なお負荷除去後の残留たわみ量を併せて測定する。

㊧ 静的応力（静ひずみ）測定

荷重条件を水平静荷重測定実験たわみ量測定と併せ、同条件下で静的荷重を荷重した際125点のひずみゲージからの静的ひずみ量を切換器を介して静ひずみ測定器で収録、その結果をコンピュータで静的応力値へ換算し、分布応力図をプリンターへ出力する。なお、負荷除去後の残留応力値を併せて測定する。

イ 架てい静荷重測定実験

㊦ たわみ量測定

荷重条件を

- a 各段90kg静荷重
- b 一連目上端静荷重
 - (a) 150kg (b) 300kg
 - (c) 330kg (d) 360kg
- c 二連目上端静荷重
一連目上端静荷重時と同じ
- d 11段目 200kg・17段目 270kg荷重とし、水平静荷重測定実験静的応力（静ひずみ）測定と同手順で測定する。

㊧ 静的応力（静ひずみ）測定

荷重条件を架てい静荷重測定実験たわみ量測定と併せ、同条件下で静的荷重を荷重した際、125点のひずみゲージからの静的ひずみ量を切換器を介して静ひずみ測定器で収録、その結果をコンピュータで静的応力値へ換算し、分布応力図をプリンターへ出力する。

なお、上記測定時に負荷除去後の残留たわみ量、残留応力値を併せて測定する。

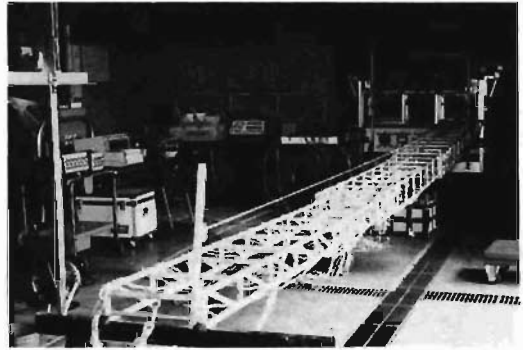


写真2 アルミ合金製三連はしご
水平静荷重測定実験の概要

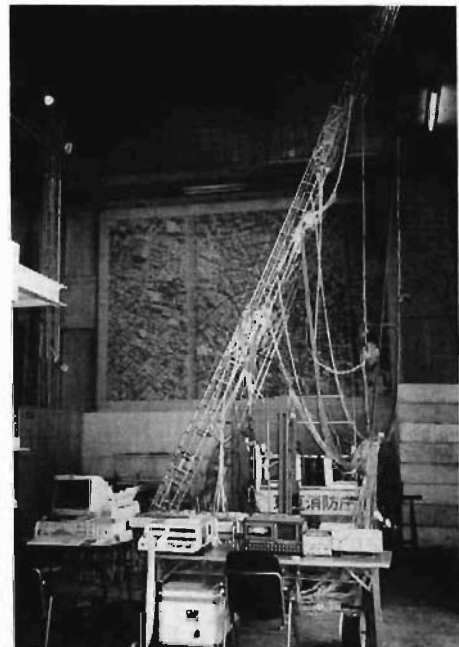


写真3 アルミ合金製三連はしご
架てい静荷重測定実験の概要

[計測機器等]

- ・ひずみゲージ・・・共和KFG-5-120-C1
-23L5M3R
- ・静ひずみ測定器・・・共和UCAM-8BL
- ・切換器・・・共和USB-50A
- ・コンピュータ・・・NEC PC-9801RA
- ・プリンター・・・NEC PC-PR201J

(3) 動的応力(動ひずみ)測定実験

ア 90kg動荷重

消防隊員の体重を個人装備品等で90kgに調整し、毎分100段の一定速度で登降している。

イ 90kg×2 分散動荷重

2人の消防隊員の体重を個人装備品等でそれぞれ90kgに調整し、毎分100段の一定速度で登降している。

[計測機器等]

- ・ひずみゲージ。。共和KFG-5-120-C1-23L5 M3R
- ・動ひずみ測定器。。共和DPM-600
- ・データレコーダ。。TEAC XR5000
- ・ペンレコーダー。。理化電機R-50

6 実験結果

(1) 静荷重時応力・たわみ量測定実験

ア 水平静荷重測定実験

ア たわみ量測定

図25、図26、表2に示すとおり。



写真4 アルミ合金製三連はしご
架てい動荷重測定実験の概要

(イ) 静的応力(静ひずみ)測定

図29、図30に示すとおり。

イ 架てい静荷重測定実験

ア たわみ量測定

図27、図28、表3、表4に示すとおり。

(イ) 静的応力(静ひずみ)測定

図31～図34に示すとおり。

(2) 動的応力(動ひずみ)測定実験

図35～図41に示すとおり。

なお、表主かん各段における静荷重時各ゲージの静的応力値を併せて掲載する。

7 考察

(1) 静荷重時応力・たわみ量測定実験

ア 水平静荷重測定実験

ア たわみ量測定

水平状態。二連目中央80kg荷重時におけるたわみ量測定は、過去の第三研究室の応力・たわみ量測定実験に準じ行なうものである。アルミはしごのたわみ量は、軽量型はしごより9mm、現用型はしごより10mm少なく、構造的に材質上の問題を解消した値となっている。

(図25、表2参照)

消防用積載はしごの安全基準によると、「積載はしごは、最大伸てい状態で水平にし、両端を支え、中央90重量kg荷重時における中央部のたわみ量は、てい長に1000分の15を乗じて得た値以下とならなければならない。(略記)」とあり、アルミはしごの全伸てい長さが8.71mであることから、本荷重条件において最大たわみ量が-130.7mm以下とならなければ消防用積載はしごとしての基準を満たすことができなくなる。

水平状態。二連目中央90kg荷重時におけるアルミはしごのたわみ量は-76mmと、その条件を十分に満たしており、支障ないといえる。

(図26、表2参照)

当庁内部基準は、水平状態。各連重合部中央100kg荷重時におけるたわみ量が-100mmを超えないことを基準としているが、アルミはしごのたわみ量は一連。二連重合部荷重で-67mm、二連。三連重合部荷重-72mm、二連中央荷重-82mmと、条件を十分に満たしており、支障ないといえる。(図26、表2参照)

(イ) 静的応力（静ひずみ）測定

各表横さん80kg荷重時における実測応力値で最も高い応力値が表われているのは、二連目中央荷重時の表主かん上側面荷重位置付近の圧縮応力であるが、 -9 kgf/mm^2 （許容応力比21%）に留まっており、本荷重条件で永久ひずみを生じるとは考えられない。また、現用型はしごの様な突出した特異点はない。

（図13，図29，図30参照）

イ 架てい静荷重測定実験

(ア) たわみ量測定

65度架てい・一連目上端荷重時におけるたわみ量比較は、過去の第三研究室の応力・たわみ量測定実験の限界性能試験に準じ行なうものである。

90kg荷重時におけるたわみ量をみると、アルミはしごは、軽量型はしごより3mm，現用型はしご11mm少ない。150kg荷重時におけるたわみ量をみると、アルミはしごは、軽量型はしごより3mm，現用型はしご14mm少ない。360kg荷重時におけるたわみ量をみると、アルミはしごは、軽量型はしごより22mm少なくいずれの荷重値においても構造的に材質上の問題を解消した値となっている。（図27，表3参照）

同様に65度架てい・二連目上端荷重時におけるたわみ量は、90kg荷重時アルミはしごは軽量型はしごと同じ値現用型はしご1mm少ない。150kg荷重時，アルミはしごは、軽量型はしご，現用型はしごより5mm少ない。360kg荷重時におけるたわみ量は，アルミはしご-117mmとなった。（図28，表4参照）

(イ) 静的応力（静ひずみ）測定

a 65度架てい・一連目上端荷重時における実測応力値で最も高い応力値が表われているのは、360kg荷重時の一連目2段目の支かんの引張応力が、表横さんに対し9段目基底側寄りの表主かん上側面の圧縮応力であるが、いずれも $\pm 13 \text{ kgf/mm}^2$ （許容応力比31%）に留まっており、本荷重条件で永久ひずみを生じるとは考えられず、現用型はしごの様に破損せず、構造的強度に優れたはしごであるといえる。（図31，図32参照）

b 65度架てい・二連目上端荷重時における実測応力値で最も高い応力値が表わられてい

るのは、360kg荷重時の三連目の表横さんに対し19段目先端側寄りの表主かん上側面の圧縮応力であるが、 -13 kgf/mm^2 （許容応力比31%）に留まっており、本荷重条件で永久ひずみを生じるとは考えられず、構造的強度に優れたはしごであるといえる。

（図33，図34参照）

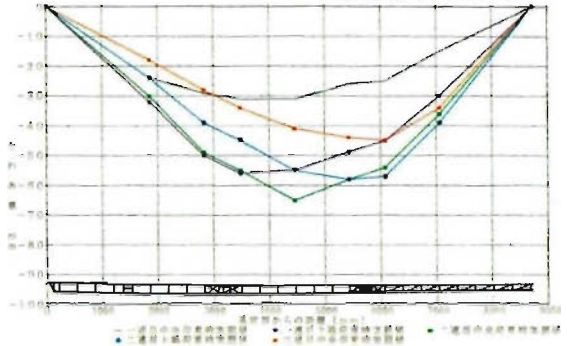


図25 アルミ合金製三連はしごたわみ量実測 水平状態表横さん各箇所80kg荷重時

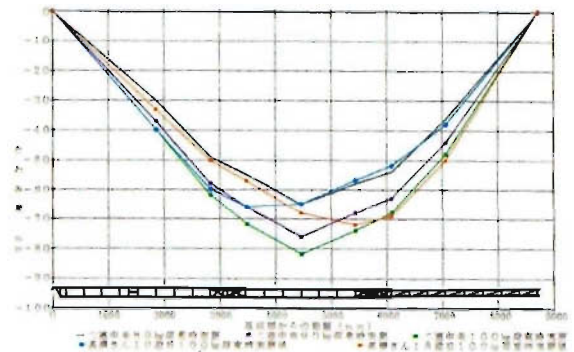


図26 アルミ合金製三連はしごたわみ量実測 水平状態・表横さん各箇所荷重時

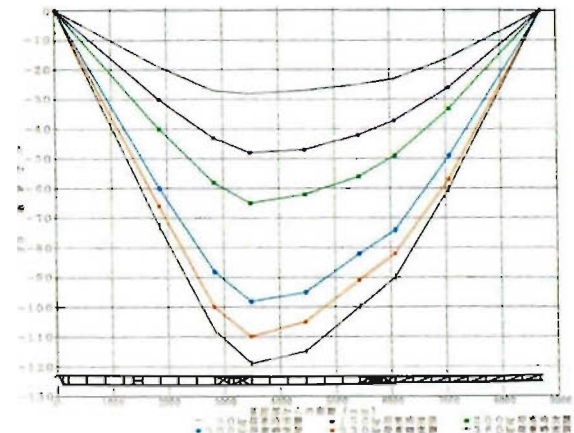


図27 アルミ合金製三連はしごたわみ量実測 65度架てい一連上端各荷重時

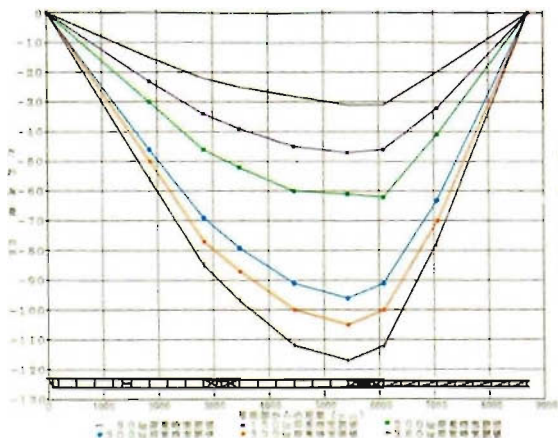


図28 アルミ合金製三連はしごたわみ量実測
6.5度架てい二連上端各荷重時

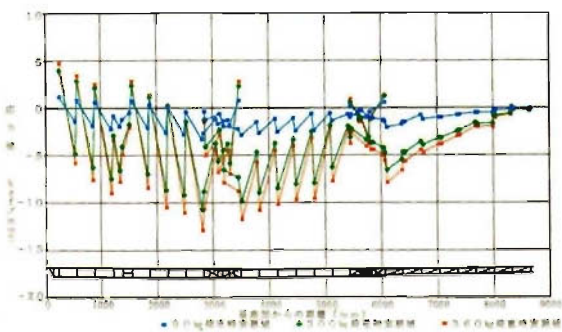


図31 アルミ合金製三連はしご
表主かん応力実測図
6.5度架てい・一連上端各荷重時

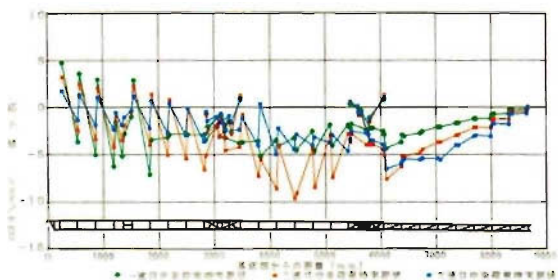


図29 アルミ合金製三連はしご
表主かん応力実測図
水平状態・各箇所8.0kg荷重時

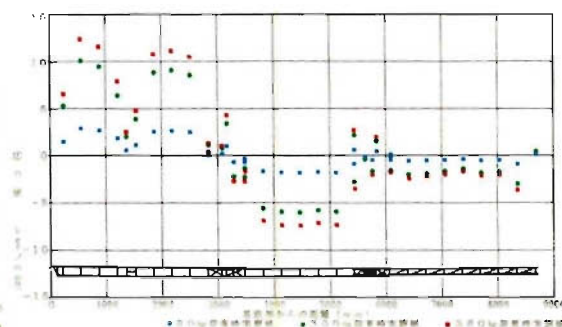


図32 アルミ合金製三連はしご
支かん応力実測図
6.5度架てい・一連上端各荷重時

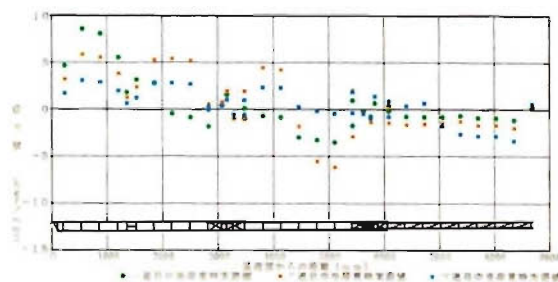


図30 アルミ合金製三連はしご
支かん応力実測図
水平状態・各箇所8.0kg荷重時

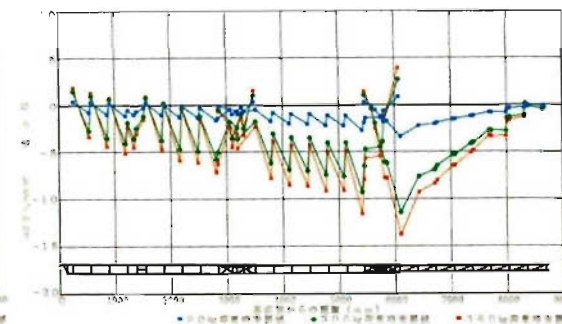


図33 アルミ合金製三連はしご
表主かん応力実測図
6.5度架てい・二連上端各荷重時

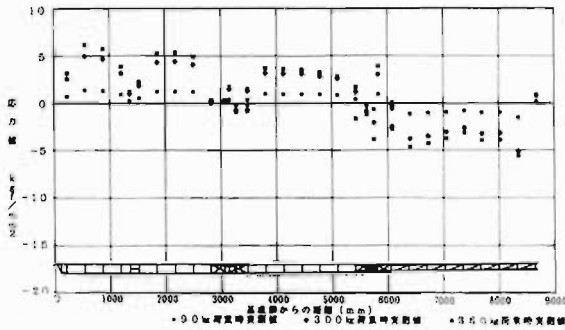


図34 アルミ合金製三連はしご
支かん応力実測図
65度架てい・二連上端各荷重時

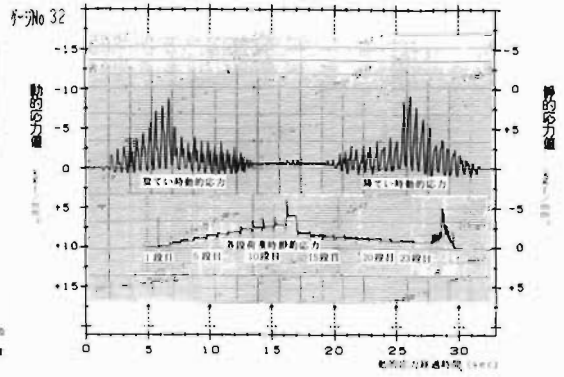


図37 アルミ合金製三連はしご65度架てい
90kg荷重 登降てい時
ゲージ No.32 動的応力・静的応力比較図

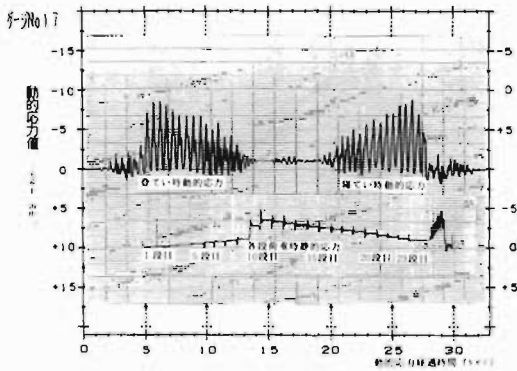


図35 アルミ合金製三連はしご65度架てい
90kg荷重 登降てい時ゲージ No.17
動的応力・静的応力比較図

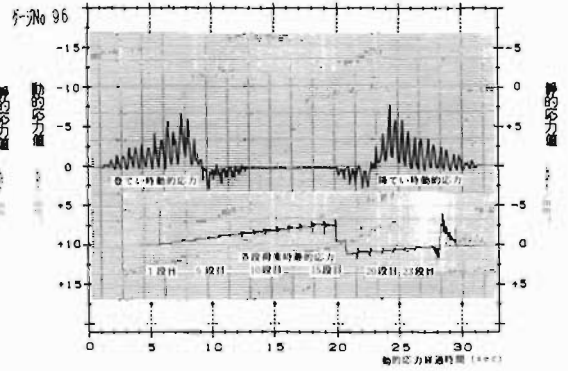


図38 アルミ合金製三連はしご65度架てい
90kg荷重 登降てい時ゲージ No.96
動的応力・静的応力比較図

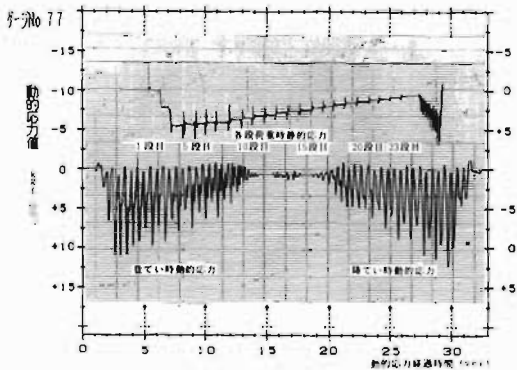


図36 アルミ合金製三連はしご65度架てい
90kg荷重 登降てい時ゲージ No.77
動的応力・静的応力比較図

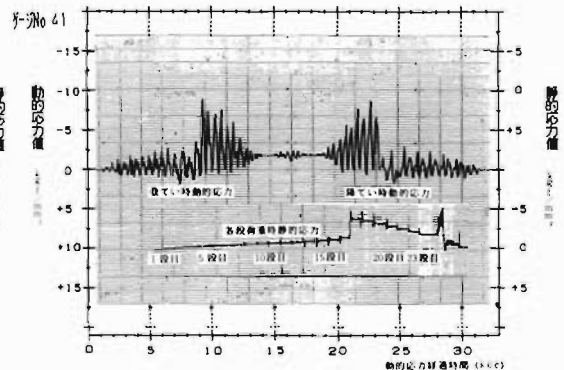


図39 アルミ合金製三連はしご65度架てい
90kg荷重 登降てい時ゲージ No.41
動的応力・静的応力比較図

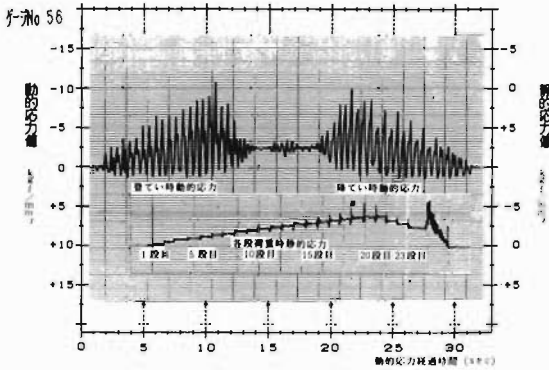


図40 アルミ合金製三連はしご65度架てい
90kg荷重 登降してい時
ゲージ No.56 動的応力・静的応力比較図

表3 アルミ金製三連はしご
65度架てい状態・一連目上端荷重時
の最大たわみ量比較表 (単位: mm)

	アルミはしご	軽量型はしご	現用型はしご
65度・一連上端 90kg	- 28	- 31	- 39
65度・一連上端 150kg	- 48	- 51	- 62
65度・一連上端 360kg	-119	-131	測定不能

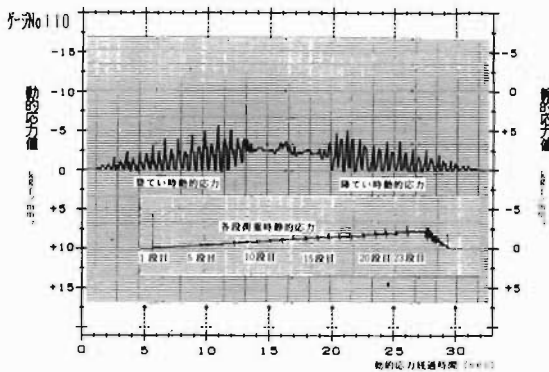


図41 アルミ合金製三連はしご65度架てい
90kg荷重 登降してい時
ゲージ No.110 動的応力・静的応力比較図

表4 アルミ金製三連はしご
65度架てい状態・二連目上端荷重時
の最大たわみ量比較表 (単位: mm)

	アルミはしご	軽量型はしご	現用型はしご
65度・二連上端 90kg	- 31	- 31	- 30
65度・二連上端 150kg	- 47	- 52	- 52
65度・二連上端 360kg	-117	*****	*****

表2 アルミ金製三連はしご
水平状態・二連目中央荷重時の
最大たわみ量比較表 (単位: mm)

架てい条件・荷重条件	アルミはしご	軽量型はしご	現用型はしご
水平・二連中央 80kg	- 65	- 74	- 75
水平・二連中央 90kg	- 76	*****	*****
水平・二連中央 100kg	- 82	*****	*****

表5 アルミ金製三連はしご
65度架てい状態・動的応力測定実験
登てい時応力値 (単位: mm)

ゲージNo (箇所名称)	動荷重時最大値 応力値(0.2%耐力比)	静荷重時最大値 応力値(0.2%耐力比)	倍率 動/静
No. 17 (一連表主かん)	-8.5 (21%)	-3.0 (7.%)	2.8
No. 77 (一連支かん)	+11. (27%)	+4.9 (12%)	2.4
No. 32 (二連表主かん)	-8.5 (21%)	-3.9 (10%)	2.2
No. 96 (二連支かん)	-7.0 (17%)	-2.8 (7.%)	2.5
No. 41 (二連表主かん)	-9.0 (22%)	-3.1 (8.%)	2.9
No. 56 (三連表主かん)	-10. (25%)	-3.2 (8.%)	3.1
No.110 (三連支かん)	-5.9 (15%)	-2.5 (6.%)	4.6
		平均倍率	2.6

ゲージNo (箇所名称)	2人登てい時最大値 応力値(0.2%耐力比)	倍率 2人動/動
No. 17 (一連表主かん)	-11. (27%)	1.29
No. 77 (一連支かん)	+14. (34%)	1.27
No. 32 (二連表主かん)	-11. (27%)	1.29
No. 96 (二連支かん)	-7.5 (19%)	1.07
No. 41 (二連表主かん)	-10. (25%)	1.11
No. 56 (三連表主かん)	-13 (31%)	1.30
No.110 (三連支かん)	-13 (31%)	2.20
	平均倍率	1.36

(2) 動的応力（動ひずみ）測定実験

アルミはしごの静的荷重時（90kg静荷重）の応力特性に対する動的応力特性（毎分100段90kg動荷重）は、現用型はしごの2.3倍と比較すると高い2.6倍に至る。

2人登っている時（毎分100段90kg×2人動荷重）の1人登っている時動的応力特性は1.36倍に留まっている。（表5、図35～図41参照）

8 結論

水平荷重測定実験及び架いて静（動）荷重測定実験とも、アルミはしごは現用型よりも強い（同条件下で生じる応力が少ない）という良好な結果が得られた。また本荷重条件で発生する応力値は許容応力として定めた0.2%耐力値を超えることなく全体的に平均化し、現用型の二連目各重合部に生じている大きな特異点も見られない。

たわみ量は、一連上端荷重時、二連目上端荷重時の実測結果ともアルミ合金が優れているが、一連上端荷重時の差よりも二連上端荷重時の差の方が少なくなる傾向を示している。この結果はアルミ合金管のヤング率が6800と、炭素鋼管の21000の3分の1しかないことが大きく影響しているものと考えられるが、応力解析を行ない最適化構造を図ったことにより構造的強度に優れ、結果的に現用型はしごより良好な結果を示している。また動的応力特性が、現用型はしごより高く出ている点についても同理由によるものと考えられるが、本荷重条件におけるいずれの結果も、アルミはしごの方が強度的に優れていることを示している。

9 まとめ

有限要素法によるコンピュータシミュレーション解析を利用することにより、これまで巨視的見地からしか測り知り得ることのできなかった形状特性による応力集中等を比較的容易に知り、消防用積載はしごとして適さないと考えられていたアルミ合金を用い、現用型はしごよりも明らかに強度的に優れ、更に30%の軽量化を図ったはしごを開発することができた。アルミは融点が低いという欠点があり、今後の課題として高熱環境下における材料ごとの高温強

度実験を行ない、その特性について検討していく必要がある。

[参考文献]

(1) 消防科学研究所報 第23号

「アルミ合金製三連はしご及び鋼管製三連はしごの破壊実験について」

「現用三連はしごの強度等測定結果について」

(2) 消防科学研究所報 第25号

「現用三連はしごの応力解析結果について」

(3) 消防科学研究所報 第28号

「軽量型鋼管製三連はしごの開発について」