

チタン製三連はしごの開発について

Development of Titanium Three-extension Ladder

辻 英 機*
 城 田 剛*
 太 田 文 和*
 北 村 昭 夫*

概 要

現用の鋼管製三連はしごよりも軽く、強いチタン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り設計したはしごを試作した。

このはしごの強度性能及び操作・取扱性を調べた結果、構造の一部を改良する必要があるものの、現用鋼管製はしごに比べて軽く、たわみも少ないことが確認された。

In order to develop lighter and stronger ladder than the steel ladder which is now in service, we fabricated a three-extension ladder with pure titanium as a trial.

As a result of experiment, it was confirmed that the titanium ladder is stronger than the steel one.

1. はじめに

三連はしごは消防現場活動にとって必要不可欠な資器材であるが、現用の鋼管製三連はしごは42kgと重く、従来からその軽量化が要望されている。

第三研究室では、三連はしごを軽量化するために、昭和62年から構造及び材質の両面について検討を行い、主かん等の材質及び構造を変えたチタン製三連はしごを開発した。そして、本年度、試作品の強度及び操作・取扱性を調査・研究したので、その結果を報告する。

2. 開発はしごの概要

(1) 設計条件

三連はしごは、75度に架ていすることが原則であるが、消防対象物の状態によっては、さらに低い角度で架ていしなければならないこともあり、また火災の状況によっては複数の隊員が同時に登降ていすることもある。しかし、三連はしごに対して、あらゆる状況に対応できる強度を要求することは不可能なので、災害現場で使用されている状態のうち強度に対し最も厳しい条件を想定し、これに耐

え得るようにはしごを設計することにした。それは、架てい角度65度で90kgの消防隊員が90kgの要救助者を背負い、登降ていするといふものであり、低所からの救出もあるので、登ていも考慮した。

なお、動荷重による応力は静荷重による応力の2倍であると仮定し、動荷重は360kgの静荷重に置き換えて設計した。

重量は、一人搬送も可能とするため、現用配置のチタン製三連はしごが約30kgであることから、同じ重量とした。

チタン製三連はしごの設計条件を下記に示す。

ア 重量は30kg以下であること。

イ 架てい角度65度全伸ていで360kgの静荷重量を任意の横さん中央に加えたとき、主かんに発生する応力の最大値が使用チタン材の0.2%耐力以下になること。(設計強度)

ウ 全伸てい長、縮てい長、幅及び厚さが現用鋼管製三連はしごと同程度であること。

エ 摩耗防止対策を講ずること。

(2) 諸 元

今回開発したチタン製三連はしごは、現用鋼管製三連はしごに比べ全伸てい長及び縮てい長は同程度であるが、一連目の幅及び厚さ

*第三研究室

はそれぞれ9mm及び8mm大きくなっている(写真1)。

また、重量は12kg(約30%)軽量化されている。各種三連はしごの諸元を表1に示す。



写真1 全体の構造

(3) 使用チタン材の機械的性質

試作品で使用したチタン材は、JIS H 4631で定める2種溶接管TTH35Wであり、ミルシートによればどのチタン材もJISの規格値に適合している(表2)。

以下、各種の実験によってはしごの強度を評価するが、はしごの安全上の上限値をチタン材の0.2%耐力と定める。なお、使用したチタン材の0.2%耐力は30kgf/mm²である。

また、実験において測定値はひずみ量であるが、これを応力に変換して表わす。そして、発生したひずみが比例限界を越え塑性域に入った場合でも、ひずみ×ヤング率=応力で発生応力を計算する。この場合、計算した応力が0.2%耐力よりも小さいならば、実際の応力も0.2%耐力より小さいから安全側に評価していることになる。

表1 各種三連はしごの諸元

(単位:mm)

	チタン製 (開発品)	チタン製 (現用品)	鋼管製 (現用品)
全伸てい長	8720	8730	8700
縮てい長	3520	3550	3550
幅	一連	364	361
	二連	320	317
	三連	276	275
厚さ	一連	208	208
	二連	179	164
	三連	130	116
横さん間隔	325	325	325
重量	30kg	28.5kg	42kg

表2 使用チタン材の機械的性質(ミルシート)

	引張強さ (kgf/mm ²)	伸び(%)
JIS規格値	35~52	23以上
φ19×1.0	47.0	27.5
φ19×1.2	45.6	28.5
φ19×1.5	45.7	25.0
φ19×2.0	46.0	26.0
φ19×0.7	43.6	31.5

表3 使用チタン材の物理的性質

記号	溶融点 (°C)	密度 (g/m ³)	ヤング率 (kgf/mm ²)	ポアソン比
JIS TTH35W	1,668	4.51	10,850	0.34

(4) 構造上の特徴

今回開発したチタン製三連はしごは、シミュレーションによる最適化設計法を用い、設計条件に適合するように主かん等の管径及び肉厚を定めている。したがって、現用銅管製はしごの主かん及び横さんが一律の肉厚であるのに対し、開発品は主かんに管径19mmの円管を使用し、肉厚は各連で異なっている(表4参照)。また、このはしごは横側から見ると、主かんに直角に取付けられている支かんに代わって斜材が多く用いられているのが特徴の一つである。なお、一連目については掛金を掛けるため、従来どおり支かんに主とした構造となっている(図1、写真2)。

表4 各部材の外径及び肉厚

(単位: mm)

部 材	一 連	二 連	三 連
上側主かん	φ19×1.0	φ19×1.5	φ19×2.0
下側主かん	φ19×1.0	φ19×1.2	φ19×1.0
横 さ さん	φ19×1.0	φ19×1.0	φ19×1.0
支 か かん	φ19×0.7	φ19×1.5	φ19×0.7
斜 材	φ16×0.7	φ16×0.7	φ16×0.7
補 強 かん	—	φ16×0.7	—

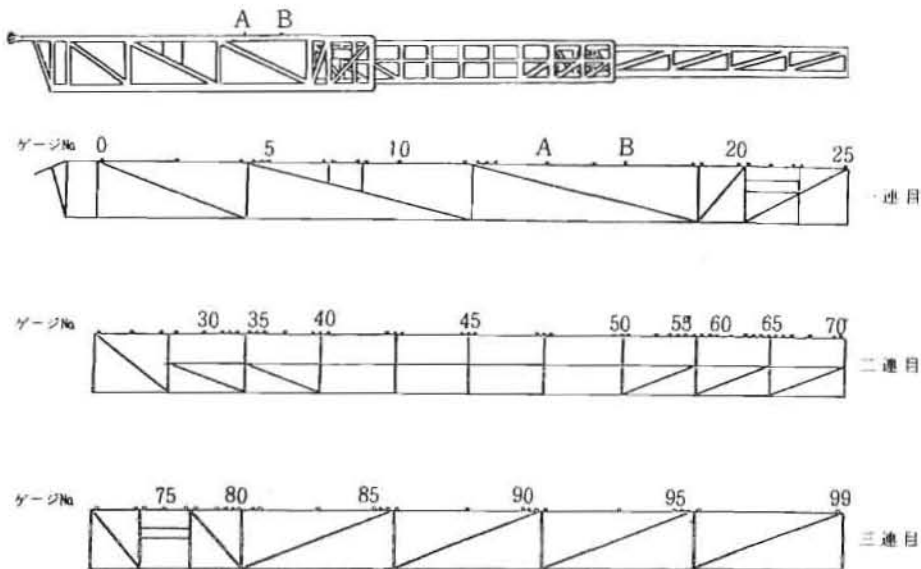
(5) 摩耗防止対策

チタン材は、主かん相互及び主かんと横さんが摺動する部分で摩耗し、孔があくことがあるので、各部材の摺動部分に摩耗防止材を取付けた(写真3)。

摩耗防止材は、各種の合成樹脂を摩耗試験機にかけ、摩耗量が最も少なく、かつ、チタンとの接着性が良好な材質を選択した。この摩耗防止材を通称ゼルブといわれるもので、フェノールの重合体である。



写真2 一連目の構造



※1 ゲージNo 17, 44, 56, 84は動ひずりも測定
 ※2 ゲージNo 17, 44, 84 は設計強度を確認するための測定点

図1 ひずみ測定点

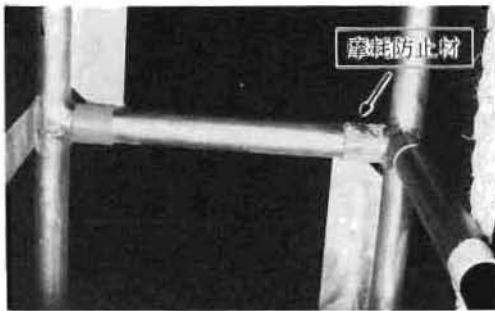


写真3 摩耗防止材の貼付状況

3. 確認実験

(1) 水平静荷重実験

応力の発生状況を把握し、構造上の問題点を発見するため水平静荷重実験を行った。

ア 方法

はしごを全伸でいし、水平の状態（両端自由支持）で80kgの荷重量を各横さんに順次加え、各連の上側主かんに発生するひずみを測定した。なお、はしごの構造から判断し、下側主かんよりも上側主かんに発生するひずみの方が大きい。

ひずみの測定点は、図1に示す100点である。荷重量80kgは過去の実験結果から、はしごが変形せず、かつ、応力が大きく発生する重量である。次に述べる架てい荷重実験も同様な考え方で荷重量を定めた。

計測機器

ひずみゲージ …共和KFC-5-C1-11-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WX4636R
 コンピュータ …NEC8801MK2 SR

イ 結果

実験によって、このはしごの強度的な特徴を把握することができた。その一つは、一連目に強度上特異な部分があるということである。

前述したように、一連目は支かんが数本省かれ、代わりに斜材が3スパン（1スパンとは、横さん間隔をいう。）にわたり取付けられている部分があるが、図1のAに荷重を加えると、その横さんに接合した主かん部分に大きい応力が発生する（図2）。

この箇所における応力は20kgf/mm²で、チタンの0.2%耐力30kgf/mm²には達していないが、他の箇所の応力に比べ大きい値である。

実際は、この箇所から1スパン上側の位置（図1のB）で最大応力が発生すると予想されるが、変形のおそれがあるためにこの位置での測定は行わなかった。シミュレーションによる計算では、26kgf/mm²である。

以下、この最大応力が発生すると予想される箇所を「特異点」という。三連目にも2スパンにわたり斜材が取り付けられている部分があり、この箇所でも他の箇所に比べ比較的大きい応力（16.5kgf/mm²）が発生している（図3）。

次に判明したことは、鋼管製三連はしごにみられた一連目と二連目の重合部での大きな応力が解消されていることである。このことは、二連目の下端部に斜材を挿入していることが功を奏したものと考えられる。ただし、二連目の上端部は掛金の通過に支障となるため、斜材を挿入していない。このため、二連目の上端部で比較的大きい応力が発生している（図4）。

実験結果の数例を、現用鋼管製三連はしごの結果と対比して図2～図4で示す。

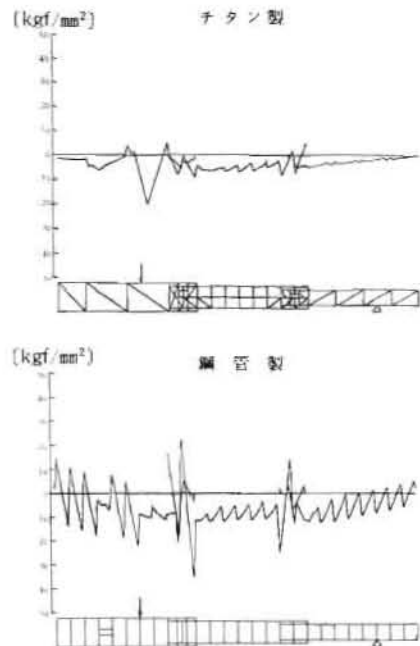


図2 応力分布（水平全伸でい80kg）

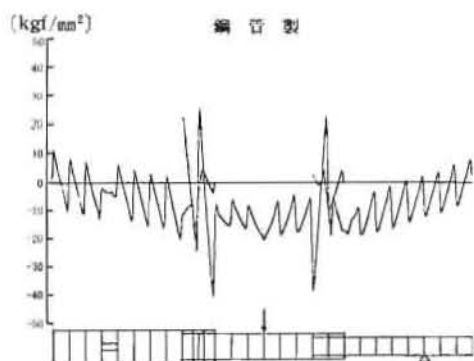
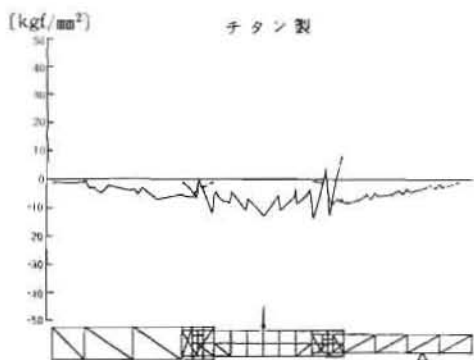


図3 応力分布 (水平全伸てい80kg)

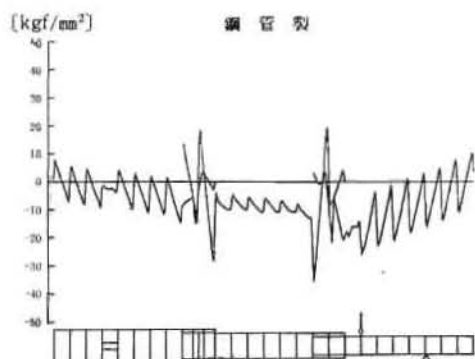
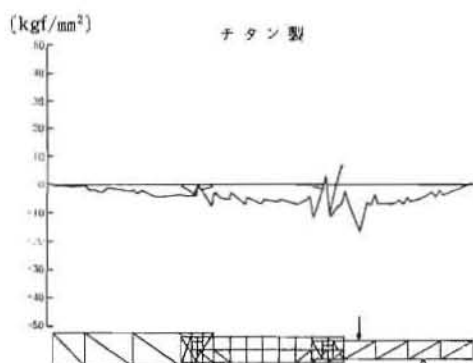


図4 応力分布 (水平全伸てい80kg)

(2) 架てい静荷重実験

架てい状態での応力及びたわみの発生状況を把握するため、架てい静荷重実験を行った。

ア 方法

はしごを全伸ていの状態で70度に架ていし、100kgの静荷重量を各横さんに順次加え、各連の上側主かんに発生するひずみ及びたわみを測定した(写真4)。ただし、以前に実施した現用鋼管製はしごの実験と同一条件にするため、先端から3スパン目を上側支点とした。ひずみの測定点は、水平静荷重実験と同様100点である。

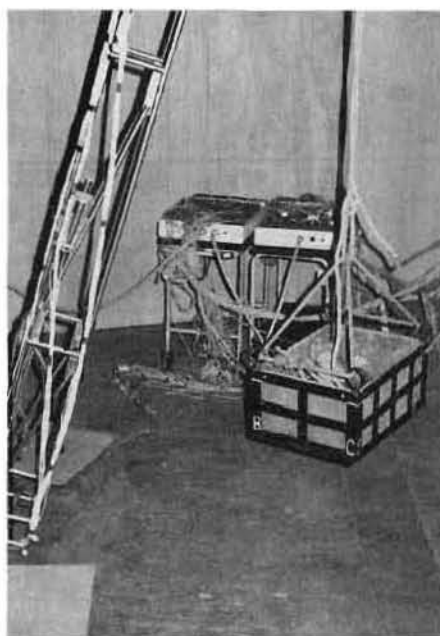


写真4 架てい静荷重実験

イ 結果

この実験でも水平静荷重実験と同様、一連目に比較的大きい応力が発生している。

応力分布の概形は、水平荷重時の応力分布を相似的に縮小した形であり、70度架ていとして特に変わった点はみられない。

たわみは、鋼管製はしごよりも少なく、はしご中央部に荷重を加えた場合、鋼管製はしごの約70%であった。

応力及びたわみの測定結果を現用鋼管製はしごと対比して図5～図9に示す。

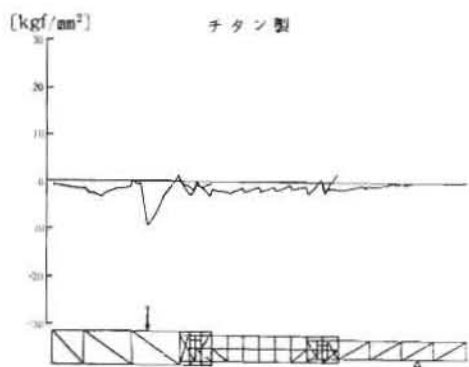


図5 応力分布 (70度架てい100kg)

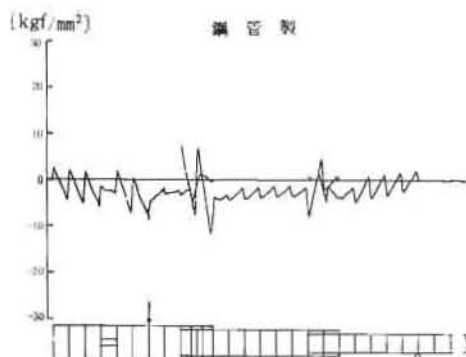


図6 応力分布 (70度架てい100kg)

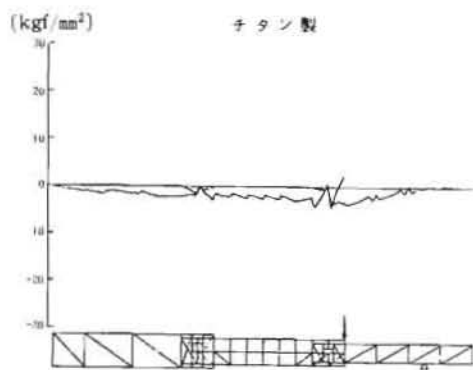


図7 応力分布 (70度架てい100kg)

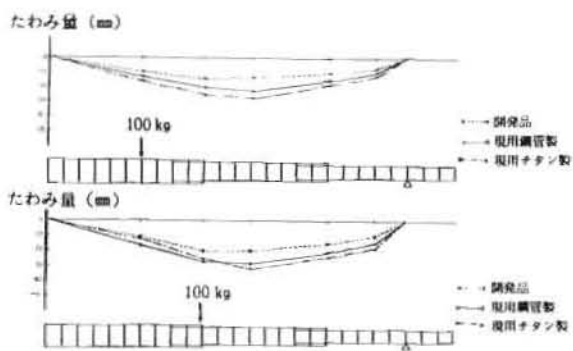
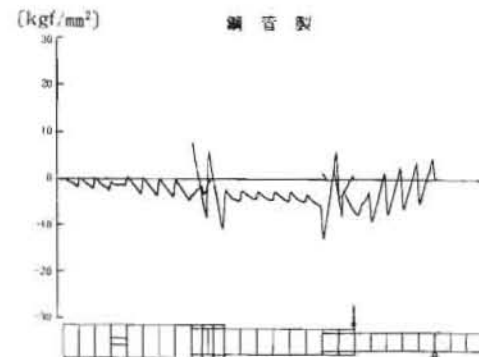


図8 静荷重によるたわみの比較 (70度架てい100kg)

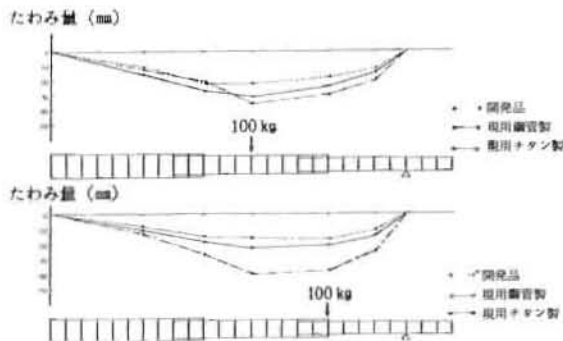


図9 静荷重によるたわみの比較

(3) 架てい動荷重実験

現場活動での使用の可否を調べるため、動荷重により発生する応力を測定した(写真5)。



写真5 動荷重実験

ア 方法

動ひずみは、荷重量や架てい角度によって変化することは当然であるが、登降ていの速さや姿勢等個人差によっても変化すると予想されるので、動ひずみに影響を及ぼす下記の要因を種々組み合わせて測定した。
 伸てい状況……………全伸てい

架てい角度……………70度及び65度
 荷重量 ……1人登降てい(70, 80, 90kg)
 背負い救出(143kg)

登降ていの速さ ……70, 100, 120段/分
 (メトロノームのリズムに合わせて登降てい)

延べ実験回数……………108回

70, 100, 120段/分の速さは、1分間に登降ていする横さん段数で、感覚的にはそれぞれ、「ゆっくり」、「普通」、「速い」である。

なお、動ひずみの測定点は図1に示す4点であり、これらの測定点はいずれも、静荷動実験で大きい応力が発生した箇所である。

計測方法は、ひずみゲージからの信号をブリッジボックス及び動ひずみ測定器で増幅し、ペンレコーダー上にひずみを記録した。

計測機器

ブリッジボックス……………共和DB-20
 動ひずみ測定器 ……共和DPM-600
 ペンレコーダー ……理化電機R-50

イ 結果

実験は複数の被験者及び回数で行い、また条件も種々組み合わせしており、これらの全てに言及することは複雑になるので、最も厳しい条件である65度架ていの場合についてのみ記述する。

(ア) 1人登降ていの場合

体重90kgの消防隊員が登降ていしたとき、一連目の特異点で最大23.8kgf/mm²の応力が発生した。この値はチタンの0.2%耐力の範囲内である。

(イ) 背負い救出の場合

88kgの消防隊員が55kgの要救助者を背負い登降ていした場合の最大応力は、一連目の特異点に発生し27.3kgf/mm²であった。

この値も0.2%耐力の範囲内である。

測定結果の数例を別表1及び別表2に示す。応力は、登降ていの速さによって影響を受けるか否かが興味のあるところであったが、一部の例外があるものの、速く登降ていすれば大きい応力が発生するという結果が得られ

た。

しかし、それ以上に応力の大小に大きな影響を与える要因は、登降時の姿勢や動作の個人差にあり、同一条件で被験者を変えた場合、応力の発生量に約30%の差があった。

(4) 設計強度の確認

開発したはしごが、設計強度（65度架てい、荷重量360kg、安全率1以上）を満たしているか否かの確認実験を行った。ただし、設計強度を厳密に調べることは、はしごの変形を意味するので、荷重量は最大140kgにとどめ、それ以上の荷重量については計算で予測することにした。

ア 方法

はしごを全伸で65度に架ていし（先端支持）、架てい静荷重実験で応力が大きく発生した測定点を各連から各々1点選び（図1）各々の測定点に最大応力が発生する位置に荷重を加えた。

一般に、構造体に荷重を加えたとき、構造体の一部分の荷重—ひずみ曲線は、その一部分を単独に引張試験機にかけたときの応力—ひずみ曲線と相似である。すなわち、荷重—ひずみ曲線においても、残留ひずみの発生しない比例範囲、0.2%耐力、塑性域及び破壊点が応力—ひずみ曲線と相似な形で存在する。

したがって、応力—ひずみ曲線と構造体に荷重を加えたときの若干の実測値とから荷重—ひずみ曲線を推定した（図10）。

イ 結果

図10の荷重—ひずみ曲線のとおり、一連目の特異点は約240kgの荷重量で0.2%耐力に等しい応力が発生することになり、設計強度を満たしていない。

二連目中央部では、約520kgの荷重量で0.2%耐力に等しい応力が発生していることから、当該箇所では設計強度を十分に満たしている。

また、三連目の最弱部（ゲージ番号84）では約380kgの荷重量で0.2%耐力に等しい応力が発生しており、これは設計強度を満たす境界線上にあるといえる。

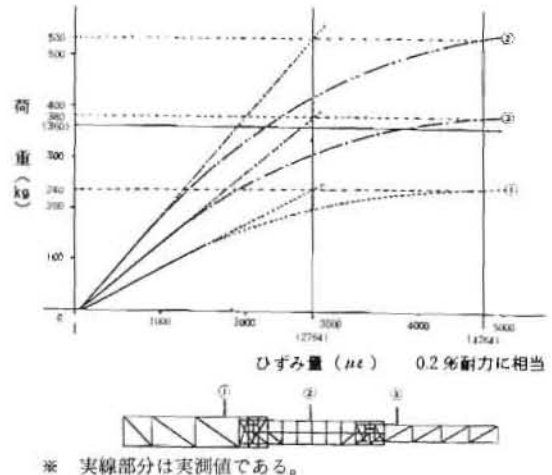


図10 荷重—ひずみ曲線

(5) 操作・取扱性の確認実験

ア 方法

各種の操作をして、操作・取扱性を調査した。

イ 結果

(7) 車両への積載

当該はしごは、現用鋼管製三連はしごよりも厚さが8mm大きいので、ポンプ車（61年製）の積載枠のストッパーがかからなかったがストッパーの簡易な変更により積載可能となる。

(4) 搬送

軽量であるため搬送が容易であり、厚さの増加による搬送の困難性は感じられない。

(7) 伸縮でい

軽量であるため伸縮でい時のバランスがよかった。

ただし、取手の取付け部が弱く、変形するおそれがある。また、全縮でい時に二連目最下部の横さんが確保した足と衝突する。

(エ) 登降でい

現用鋼管製よりもたわみが少ないため、登降でい時の揺れが少なかった。

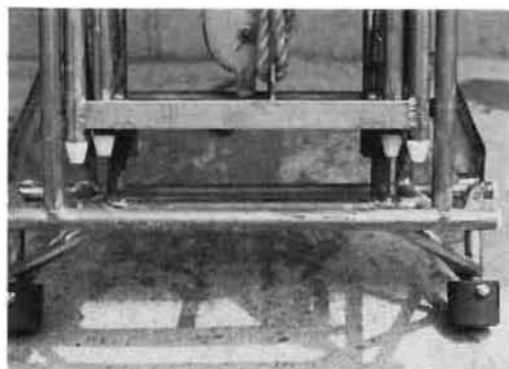


写真6 基底部



写真7 取手の取付け状況

4. 考 察

(1) 一連目の構造の改良案

開発したチタン製三連はしごは、一連目の特異点で設計強度を満たしていないが、構造を若干変更すればこれを解決することができる可能性をシミュレーションによって検討した。

なお、一連目の特異点での実測値とシミュレーション値がほぼ一致することは確認済である。

一連目の特異点で大きい応力が発生する理由は、主かんがスパンの長い区間に分かれていることにある。長い棒の中間に荷重を加え

れば大きい応力が発生することは当然である。

このことから、図11で示すように3スパンにわたる既存の斜材を除き、2本の支かん(19×0.7mm)を取りつけた。この結果、特異点での発生応力は大きく減少し、水平状態で80kgの荷重量を加えたときの応力は18kgf/mm²(変更前は26kgf/mm²)となった(図12)。また、65度の架てい状態で360kgの荷重を加えたときは28kgf/mm²となり、設計強度をも満たしている(図13)。

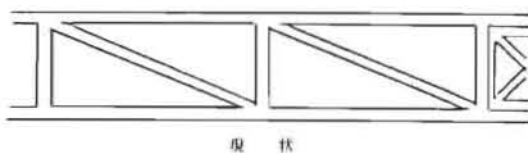
なお、この改良案は、一つの例であって、この案に限るというものではない。

(2) 鋼管製三連はしごとの強度比較

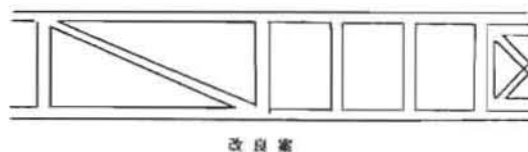
開発したチタン製三連はしごと現用鋼管製三連はしごの強度を比較する。本報告書では、三連はしごの強さを最大応力の0.2%耐力に対する割合と定義し、比較に際しては水平静荷重実験及び架てい静荷重実験で得られた実測値(一部シミュレーション値)を用いた。

なお、鋼管の0.2%耐力は45kgf/mm²である。

結果を水平及び70度架ていに分けて表5及び表6に示す。



現 状



改 良 案

図11 一連目の構造改良案

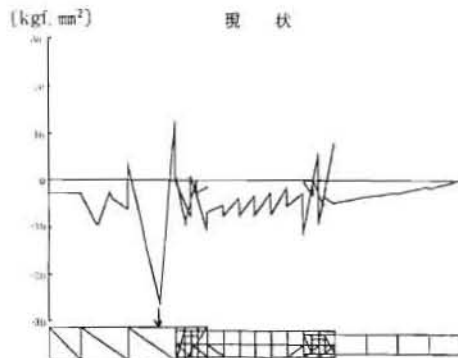
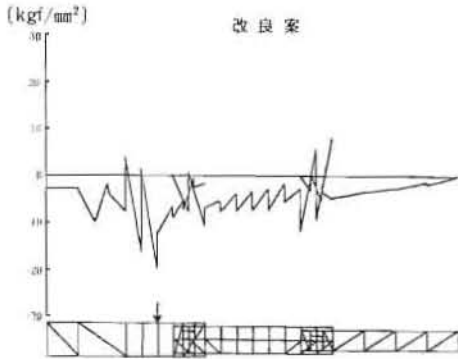


図12 改良案と現状の応力分布比較(水平80kg)

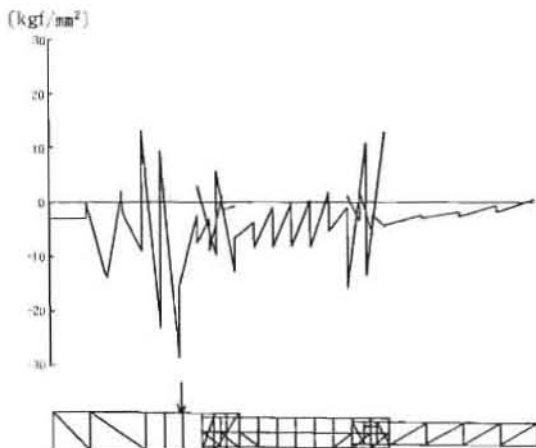


図13 改良案の応力分布(65度架てい 360kg)

表5 三連はしごの強度比較(水平)

荷重80kg

	チタン製三連はしご		鋼管製三連はしご	
	最大応力 (kgf/mm ²)	比 率 (%)	最大応力 (kgf/mm ²)	比 率 (%)
一連目	*26.0 (18.4)	*78 (61)	25.7	57
二連目	16.2 (21.2)	54 (70)	46.0	102
三連目	16.7 (17.2)	56 (57)	26.0	58

注1 ()内の数値は、一連目の構造を改良した後の値(シミュレーション値)である。

注2 *印はシミュレーション値である。

表6 三連はしごの強度比較(70度架てい)

荷重100kg

	チタン製三連はしご		鋼管製三連はしご	
	最大応力 (kgf/mm ²)	比 率 (%)	最大応力 (kgf/mm ²)	比 率 (%)
一連目	10.0 (6.4)	33 (21)	9.0	20
二連目	5.5 (6.0)	18 (20)	17.2	38
三連目	6.4 (4.0)	21 (13)	9.0	20

注1 ()内の数値は、一連目の構造を改良した後の値(シミュレーション値)である。

ア 水平状態での比較

はしご全体としては、チタン製はしごが耐力の78%、鋼管製はしごが102%で、チタン製はしごの方が強い。さらに、各連について調べると、チタン製は鋼管製に比べ一連目が弱く、二連目が強いといえる。三連目は両はしごともほぼ同じ強さである。

イ 70度架ていでの比較

はしご全体としては、チタン製はしごが耐力の33%、鋼管製はしごが38%で、チタン製はしごの方が強い。各連の強さは(1)と同様である。

チタン製はしごの一連目の構造を改良した場合は、一連目は両はしごともにほぼ同じ強さになるが、二連目及び三連目はチタン製の方がはるかに強くなる。

ウ たわみの比較

たわみは、どの位置に荷重を加えてもチ

タン製はしごの方が鋼管製はしごよりも少なかった。

チタンのヤング率が鋼のヤング率の約半分であるにもかかわらずたわみが少ないということは、有限要素法を用いた設計法の有益性を示すものと思われる。逆に言えば、現用鋼管製はしごも改良の余地が残っていることを示しているものといえる。

(3) 現用チタン製三連はしごとの強度比較

今回開発したチタン製三連はしご(開発品)と現用チタン製三連はしご(現用品)との強度を比較する。(表7)

ア 静荷重での比較

二基のチタン製三連はしごを70度に架ていし、荷重100kgを加えたときに発生する応力の最大値は、開発品では10kgf/mm²、現用品では8.7kgf/mm²であった。なお、最大応力の発生点は、開発品では一連目の特異点、現用品は二連目の下部で一連目と接触する位置である。このことから、開発品は現用品よりもわずかに弱いといえる。

ただし、開発品の一連目の構造を6の(1)で述べたように改良すれば、同箇所での応力は6.4kgf/mm²(シミュレーション値)となり現用品よりも強くなる。

イ 動荷重での比較

動荷重でのシミュレーションを行うことはできないので、開発品の一連目の構造を改良した場合の発生応力は計算できないが、静荷重時の結果から、動荷重時でも開発品の方が強くなっていると考えられる。

ウ たわみの比較

たわみは、開発品の方がはるかに小さく、特に現用品は、二連目のたわみが大きい(図8、図9)。

これは、開発品の二連目は肉厚1.2~1.5の円管を使用しているのに対して、現用品の主かんがすべて肉厚1mmの円管を使用しているためである。

表7 チタン製三連はしごの強度比較
70度架てい (kgf/mm²)

	開発品	現用品
100kg 静荷重	10 (6.4)	8.7

注) ()内は、一連目の構造を変更した後の値(シミュレーション値)である。

(4) 実用性

このはしごは、動荷重実験において、65度架ていという厳しい条件でも最大応力は0.2%耐力以内であり、また、強度比較においても鋼管製はしご以上の強度であった。このことから、当該はしごは消防活動に使用できる強度をもっているといえる。

しかし、一連目に弱い部分があり、一箇所のみ大きな応力が発生することは強度上問題であり、現状のままで実用化することは好ましくなく、一連目の構造を改良する必要があると考えられる。

(5) 動ひずみ

動ひずみは、荷重量や架てい角度によって変化することは当然であるが、登降ていの時の姿勢や動作が動ひずみの大小に大きな影響を与えるということが本実験を通じて確認された。

すなわち身体をはしごに平行にして登降ていする姿勢(かじりつくような姿勢)では大きい応力は発生せず、腕と脚を伸ばし横さんを蹴るような動作で登降ていするときに大きい応力が発生する。

これは、脚による力が主かんに対してより垂直方向に作用し、大きい応力を発生させているためと考えられる。

一般に、このような登りかたは運動能力の高い人に多い。

(6) 操作・取扱性の確認実験

操作・取扱いに関して、構造上、今後改良すべき点は次のとおりである。

ア 全縮てい時、二連目最下部の横さんが確保した足と衝突するので、基底部のストッパーを15mm高くする(写真6)。

イ 取手を収納するストッパーの板厚が薄く変形するおそれがあるため、現在の0.6mmか

ら1.2mm程度に変更する。

ウ 取手を板上に取り付けているため、溶接部で変形するおそれがあるので、新たに支かんを設け、支かんに取手を取り付ける(写真7)。

エ 二連目最下部の底板(基底部のストッパーと当たるところ)が薄く、多数回使用時には変形するおそれがあるため、現在の1.6mmから5mmまで厚くする。

5. 結 論

- (1) 今回開発したチタン製三連はしごは、一連目に弱い部分があり、当該箇所設計強度を満たしていなかった。しかし、一連目の構造

を改良することにより設計強度を満たすようにできることが改良案のシミュレーション解析で確認できた。

- (2) (1)により、改良を加えた後のチタン製はしごは、現用鋼管製はしご及び現用チタン製はしご以上の強度を有し、たわみも少なく、また、実際の現場活動を想定した動荷重実験においても使用に耐えることが確認された。
- (3) 摩耗防止対策については、現在のところ良好であるが、長期間使用による摩耗防止材の剥離等に対する影響を確認するため試験使用により観察を続ける必要がある。
- (4) 操作・取扱いに関しては、取手の取付け等若干の改良が必要である。
- (5) 以上のことから、今回開発したチタン製三連はしごは、一部改良を加えることにより実用に耐えうるものである。

6. 今後の方針

この研究に伴って、有限要素法を用いた応力シミュレーション技術を開発した。今後はこれを用いて他の素材による軽量化及び鋼管製はしごの構造変更による軽量化の研究を進めていく方針である。

別表1 動ひずみ測定結果(一人登降てい90kg)

測定点	高さ 架てい角 登降の別	ゆっくり		普通		速く		
		70度	65度	70度	65度	70度	65度	
17 (一連目の特異点)	1	登り	17.4	19.0	18.7	20.7	15.6	20.9
		降り	18.2	20.5	20.5	17.6	16.3	20.3
	2	登り	15.2	18.5	16.5	20.2	17.8	19.6
		降り	18.9	18.9	22.6	21.6	19.3	23.9
	3	登り	18.6	19.3	17.1	20.3	18.3	22.4
		降り	18.7	19.1	19.3	21.2	19.2	21.0
	最大値	18.9	19.4	22.6	21.6	19.3	23.9	
45 (二連目の特異点)	1	登り	7.3	8.1	6.9	9.0	7.8	9.3
		降り	8.2	9.2	6.9	8.7	8.1	7.9
	2	登り	6.9	8.4	8.1	9.1	7.5	9.0
		降り	7.2	8.5	9.0	8.7	8.0	8.5
	3	登り	7.2	7.9	7.7	9.3	7.9	9.1
		降り	7.8	9.1	7.8	8.4	10.0	8.7
	最大値	8.3	9.2	9.0	9.3	10.0	9.3	
56 (二連目の特異点)	1	登り	3.7	4.1	4.1	4.8	4.3	4.9
		降り	3.8	4.7	4.0	4.2	4.1	3.8
	2	登り	3.9	4.2	4.8	4.6	4.8	4.6
		降り	3.8	4.2	4.1	3.9	3.9	4.4
	3	登り	3.9	4.4	4.7	5.2	4.6	5.0
		降り	4.2	4.3	4.0	4.4	3.6	3.9
	最大値	4.2	4.7	4.8	5.2	4.8	5.0	
84 (三連目の特異点)	1	登り	12.8	13.6	15.9	13.3	15.0	10.5
		降り	13.4	11.7	9.9	13.2	12.8	15.0
	2	登り	11.8	13.0	17.4	12.5	17.4	17.4
		降り	14.6	11.5	11.6	15.1	11.2	12.1
	3	登り	13.1	12.6	13.6	16.3	17.6	17.1
		降り	13.9	13.3	14.8	13.6	13.6	15.7
	最大値	14.6	13.6	17.4	16.3	17.6	17.4	

別表2 動ひずみ測定結果(背負い
救出, 重量88+55=143kg)

測定点	架てい角 登降の別	70度	65度	
		17	1	登り
	1	降り	23.8	26.6
	2	登り	22.5	26.6
	2	降り	—	26.4
45	1	登り	9.7	11.5
		降り	9.4	11.6
	2	登り	10.1	10.5
		降り	9.2	10.9
56	1	登り	5.3	6.6
		降り	5.1	6.0
	2	登り	5.4	6.2
		降り	5.1	5.9
84	1	登り	16.2	19.1
		降り	12.8	20.0
	2	登り	18.0	18.8
		降り	—	19.3