

軽量型鋼管製三連はしごの開発について

Development of a light steel extension ladder with 3 sections.

矢ヶ崎 孝*

目黒 公一郎*

太田 文和*

概要

現用鋼管製三連はしごの改良を目的とし、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った。その結果、約20%の軽量化を図った軽量型鋼管製三連はしごを開発し、強度等の測定実験を行った。この結果、現用の鋼管製三連はしごより軽く、十分な強度を有することが確認された。

We developed a light steel extension ladder with 3 sections which is about 20% lighter than a usual steel ladder which is now in service. In order to get the ladder, we studied the structure and strength of the ladder applying the finite element method (FEM) to those simulation by computer, and we examined its strength and so on.

As a result of experiment, it was confirmed that this ladder is lighter than a steel one now in service and that it has the enough strength.

1. はじめに

積載はしごの軽量化及び操作性の向上についての研究開発は、はしごの構造や素材改良の両面について検討を進めている。これまで、現用の鋼管製三連はしご(以下「現用型」という。)の強度及び機構等については実験的に、また、コンピュータシミュレーションなどを利用して詳細に分析を行ってきた。これらの結果を基に、平成元年度チタン製の三連はしご⁽¹⁾を開発し、消防署に実用配置をしている。

今回は、製作コスト面で有利な鋼を素材として構造面から軽量化に取り組み、現用型より約20%軽く、また、操作性も良い鋼管製の三連はしご(以下「軽量型」という。)を開発した。

2. 開発したはしごの概要

(1) 設計条件

三連はしごは、通常架てい角度75度の状態で使用する。しかしながら災害現場では必ずしもその角度で架ていすることができるわけ

ではなく、75度より低角度で使用しなければならない状況は十分考えられる。よって、測定実験の架てい角度は、10度の余裕を見て65度の架てい角度とする。

はしごの許容荷重は、隊員1名を90kgfと仮定し、この隊員が90kgfの人間を背負って救助するものとして従来から使われてきている180kgfとした。

また、限界荷重は、現用型と同等以上の強度という条件で、静荷重で330kgfの荷重を加えて発生するひずみ量が0.2%耐力値以下とした。⁽²⁾

(2) 諸元

今回開発した軽量型と現用型の各はしごの諸元を表1に示す。消防戦術上の運用や維持管理面等について従来の方法で行えるよう、はしごの各主要寸法は、全て同一とした(写真1)。

はしごを構成する各材料のそれぞれの寸法を表2に示す。軽量型的主かんや横さんの肉厚は、現用型の1.2mmを0.2mm薄くした1.0mmに変更している。さらに、掛金箱等を小型化して全重量を43kgから34kgとし、約9kg(約20%)の軽量化を図った。

*第三研究室



写真1 各三連はしごの外観（左から軽量型，現用型）

表1 各種三連はしごの寸法及び重量
(単位：mm)

		軽量型	現用型
全伸てい長		8,700	8,700
縮てい長		3,550	3,550
幅	一連	355	355
	二連	327	327
	三連	300	300
厚さ	一連	200	200
	二連	165	165
	三連	115	115
横さん間隔		325	325
重量		34kg	43kg

表2 使用材料の断面形状及び寸法
(単位：mm)

	軽量型	現用型
主かん	楕円管 19×12 t=1.0	楕円管 19×12 t=1.2
裏主かん	楕円管 19×12 t=1.0	楕円管 19×12 t=1.2
横さん	円管 φ16 t=1.0	楕円管 19×12 t=1.2
支かん	円管 φ10 t=1.2	円管 φ10 t=1.2

(3) 機械的性質

軽量型と現用型の各はしご部材の機械的性質を表3に示す。同構造で使用材料の機械的性質が向上すれば、はしごの強度も向上する。従来、はしごの材料として日本工業規格（以下「JIS」という。）G3445機械構造用炭素鋼鋼管STKM18Bを使用してきた。しかし、昭和60年頃からこの材料の入手が困難となり、現在は、JISによる引張強さ等の規定値が1ランク高いSTKM18Cを使用している。

表3 各種三連はしごの機械的性質
(単位：kgf/mm²)

		軽量型	現用型
使用材料(JIS)		STKM-18C 19×12 t=1.0	STKM-18C 19×12 t=1.2
0.2% 耐力値	JIS	39以上	39以上
	実測	69.9	67.8
引張強さ	JIS	52以上	52以上
	実測	76.2	71.6
ヤング率		21,000	21,000

(4) はしごの構造

軽量型の側面概要図を、図1に示す。はしごは、構造上各連の重合部に応力が集中する特性がある。軽量型は、二連目重合部側面に掛金通過用プレート付の補強斜材を設け、さらに、三連目の重合部側面の補強斜材を5本全て同方向に設けるなど、構造上の応力集中を回避する対策を施している。

3. 実験項目

(1) 静ひずみ測定実験

はしごに静的な荷重を加え、表側主かん部上面に発生するひずみ及びはしごのたわみ量について測定し、構造上の問題点について調べる。

ア 水平静荷重測定実験

イ 架てい静荷重測定実験

(2) 動ひずみ測定実験

消防隊が実際にはしごを昇降するのを想定し、動的な現象におけるひずみの発生状況の特性について調べる。

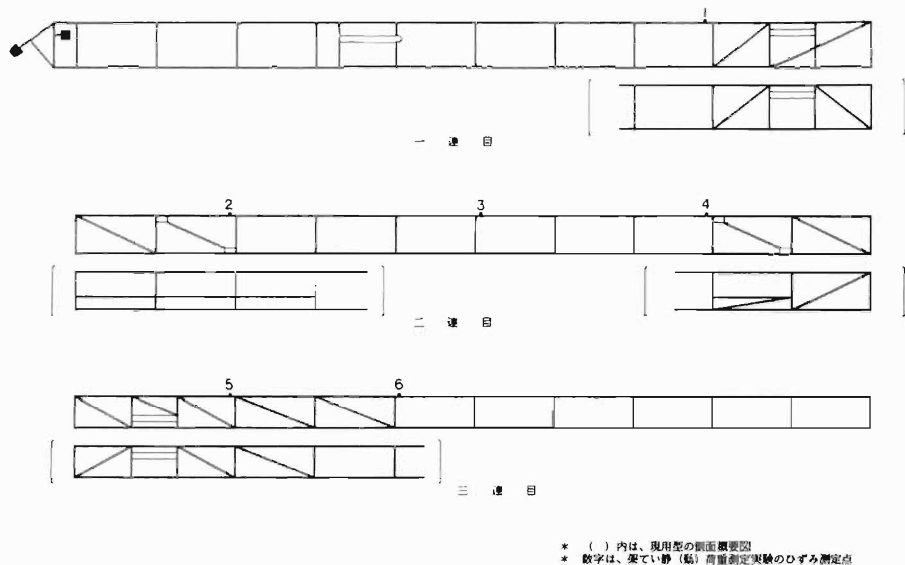


図1 軽量型の側面概要図

4. 実験方法

(1) はしごの設定条件

ア 水平静荷重測定実験

はしごは、全伸長とし水平の状態にて両端を自由支持する。荷重位置は、各横さんに順次加えるものとする。

ひずみの測定点は、表主かん上面の68点を選定した。

イ 架てい静（動）荷重測定実験

水平静荷重実験以外の架ていした状態での静ひずみ及び動ひずみ測定実験は、全て同じ設定条件とする。はしごは全伸長の状態で65度に架ていする。はしごの先端の固定は、ロープ結着による方法で行い、固定位置は先端から2段目とする。結着する強さは、はしごの転倒防止を目的とするもので、緩め（自由支持）に固定する。

ひずみの測定点は、図1に示すとおりとする。測定点の選定は、水平荷重測定実験の結果、大きくひずみの発生した位置6点とした。

(2) 静ひずみ測定実験

ア 水平静荷重測定実験

はしごを全伸ていし水平の状態（両端自由支持）で基底部から各横さんに順次80kg fの荷重を加える。はしごの各連の上側主

かんには貼ったひずみゲージに発生する静ひずみ及びはしごのたわみ量について測定した。

イ 架てい静荷重測定実験

荷重量は、100kg fから330kg fで荷重点は一連目上端部とし、各連の表側主かんに発生する静ひずみを測定する。たわみ量は、荷重量150kg f、荷重点は一連目上端部と二連目上端部で測定した。

〔計測機器等〕

- ・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

(3) 動ひずみ（架てい動荷重）測定実験

消防隊員の体重を個人装備品等で90kg fに調整する。本実験の被検者の体重は約70kg fであるので空気呼吸器等を背負い90kg fに調整した。被検者は一定の速度（1分間あたり約100段）で登降ていし、各連の表側主かんに発生するひずみを測定した。

〔計測機器等〕

- ・ひずみゲージ……共和KFC-5-C1-11-L500-3
- ・動ひずみ測定器……共和DPM-613A
- ・データレコーダ……TEAC XR-5000
- ・ペンレコーダ……理化電機R-50

5. 実験結果

(1) 静ひずみ測定実験

ア 水平静荷重測定実験

測定結果を図2に示す。

軽量型の応力線図は、シミュレーション結果とほぼ同じ結果となり、現用型で発生していた重合部の応力集中は補強斜材の挿入で解消している。各はしごに発生した最大ひずみ(応力)は、現用型で $2,140\mu\epsilon$ ($-44.9\text{kgf}/\text{mm}^2$)で軽量型で $1,306\mu\epsilon$ ($-27.4\text{kgf}/\text{mm}^2$)であった。発生した位置は、各はしごとも二連目下部のはしご重合部で荷重点と同一であった。

また、たわみ量については、はしご二連目中央部において軽量型は72mm、現用型は75mmで軽量型は現用型に比べて3mmたわみ量が小さい値であった。

イ 架てい静荷重測定実験

軽量型及び現用型で最も大きくひずみの発生した点(二連目の下部)の「荷重-応力線図」を図3に示す。

現用型は、荷重250kg付近までは弾性域(直線的に増加)であるがさらに荷重を増やすと塑性域に入り、330kgで0.2%耐力値に相当するひずみ $5,200\mu\epsilon$ (引張試験結果)

に達している。軽量型は、現用型より勾配も大きく330kgfでは、まだ比例限界内である。

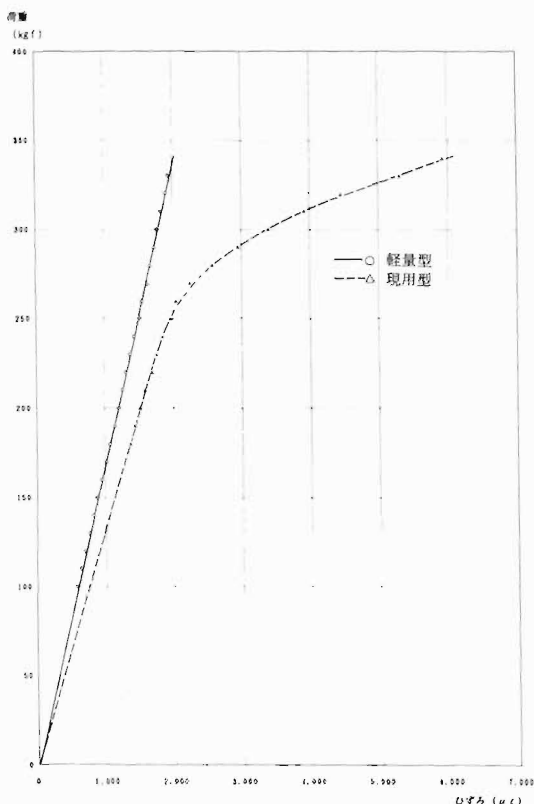


図3 架てい静荷重測定実験結果

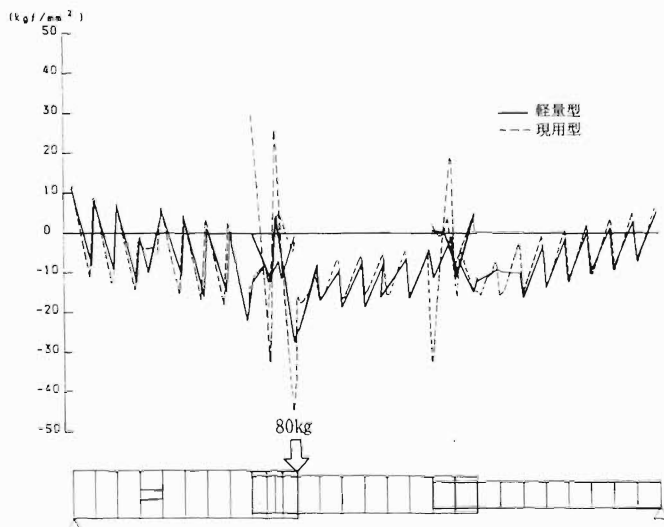


図2 水平静荷重測定実験結果

たわみ量の測定結果を表4に示す。

二連目上端を荷重点としたときは、現用型と軽量型はほぼ同じ値を示しているが、一連目上端荷重時は、軽量型が現用型と比較して8～11mm少なくなった。その結果、軽量型は一連目上端荷重時と二連目上端荷重時のたわみ量がほぼ同じとなった。

表4 たわみ量の測定結果
(単位：mm)

条件 \ 種別	軽量型	現用型	差
65度架てい 一連目上端荷重90kgf	-31	-39	-8
65度架てい 二連目上端荷重90kgf	-31	-30	+1
65度架てい 一連目上端荷重150kgf	-51	-62	-11
6架てい 二連目上端荷重150kgf	-52	-52	±0

(2) 架てい動荷重測定実験

測定結果を表5に示す。

現用型は、二連目上下部に大きな応力が発生しており、一連目及び三連目に比較して約2倍の値となっている。これと比較して軽量型は、三連目に-25.2kgf/mm²の応力が発生しているが、現用型の二連目上下部に発生していた大きな応力は抑えられている。

表5 架てい動荷重測定実験結果
(最大応力, 単位：kgf/mm²)

		一連上部	二連下部	二連上部	三連下部
軽量型	最大値	-22.9	-21.2	-17.2	-25.2
	平均値	-20.8	-20.7	-16.5	-24.6
	静荷重値	-10.1	-12.4	-8.2	-10.5
現用型	最大値	-14.0	-27.0	-26.5	-16.5
	平均値	-13.1	-25.0	-24.1	-13.9
	静荷重値	-8.6	-15.4	-16.2	-8.1

- * 最大値は、6回測定したうちの最大値
- * 平均値は、各回の最大値を平均した値
- * 静荷重値は、はしごの各段の横さんに順次荷重を加え、最大ひずみを示した時の値

6. 考 察

(1) はしごの強度等

水平静荷重測定実験及び架てい静(動)荷重測定実験とも、軽量型は現用型よりも強い(同条件で発生するひずみ量が少ない。)という良好な結果が得られた。またその発生するひずみ量は、全体的に平均化し現用型の部分的に大きなひずみの発生している箇所は解消している。

たわみ量については、その大きさは両者とも大差はないが、軽量型は、はしごの一連目上端部荷重と二連目上端部荷重でほぼ同じたわみ量になった。

これらの結果は、はしご重合部側面に挿入した補強用斜材の効果である。

(2) 操作性について

軽量型は現用型に比較して、搬送時、特に軽量という良さが身体で感じられた。形状、伸縮機構等全く同様であるので消防操法上の問題もなく、また、従来の車両への積載も可能である。

7. ま と め

有限要素法を利用することにより、比較的容易に現用型と同材質・同形状で強度を向上させた軽量型鋼管製三連はしごを開発することができた。価格面でも現用型と大差はないため十分実用機として普及することが期待できる。

【参考文献】

- (1) 消防科学研究所報 第26号
「チタン製三連はしごの開発について」
- (2) 消防科学研究所報 第27号
「現用三連はしごの強度等測定結果について」