

ステンレス製三連はしごの開発について

Development of a stainless 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%の軽量化を図ったステンレス製三連はしごを開発し、強度等の測定実験を行った。このはしごは、耐食性に優れたステンレススチールを素材としており、現用鋼管製三連はしごで行っている防錆措置や塗装を必要とせず、また、表面は光沢を有し美観性にも優れている。開発したステンレス製三連はしごは、測定実験の結果、現用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 stainless steel extension ladder with 3 sections which is about 20% lighter than a steel ladder which is now in service. In order to get the ladder, we studied the structure and strength of the ladder applying finite element method (FEM) to those simulation by computer, and we examined its strength and so on. This ladder is made of stainless steel which has a good anti-corrosive nature, and we don't have to do the antirust and painting which we do for a steel extension ladder with 3 sections now in service. The surface of it has a metallic luster and a superior beauty.

As a result of experiment, it was confirmed that this stainless steel extension ladder with 3 sections we developed 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からの検討を進めている。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した。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、消防署に実用配置している。

今回、これまでの実験や強度等の測定結果から得られたデータとコンピュータによる構造解析結果に基づいて、現用型の約20%の軽量化を図ったステンレス製の三連はしご（以下「ステンレス型」という。）を開発した。このはしごの強度等の測定実験及び操作性の確認を行ったのでここで報告する。

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、実験の架てい角度は、10度の余裕を見て65度の角度とする。

はしごの許容荷重については、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

*第三研究室

今回開発したステンレス型と現用型の諸元を表1に、はしごを構成する各材料の寸法を表2に示す。ステンレス型の主かん及び裏主かんの断面形状は、現用型の楕円管から円管に変更した。また、ステンレス鋼の錆びにくいという特性を生かし肉厚を現用型と比較して0.4mmから0.6mm薄くした。この結果、はしごの厚さ・幅などが現用型に比べてやや大きめとなっている。(写真1)



写真1 各三連はしごの外観 (左からステンレス型, 現用型)

表1 各種三連はしごの寸法及び重量
(単位: mm)

		ステンレス型	現用型
全伸てい長		8,700	8,700
縮てい長		3,550	3,550
幅	一連	372 (353)	355
	二連	336 (317)	327
	三連	294 (275)	300
厚さ	一連	213 (194)	200
	二連	274 (155)	165
	三連	122 (103)	115
横さん間隔		325	325
重量		34kg	43kg

注 幅及び厚さの寸法は、管の外々を表す。()と横さん間隔は、管の中心からの寸法を表す。

表2 使用材料の断面形状及び寸法
(単位: mm)

	ステンレス型	型現用型
主かん	円管 φ19 t=0.8	楕円管 19×12 t=1.2
裏主かん	円管 φ19 t=0.8	楕円管 19×12 t=1.2
横さん	円管 φ19 t=0.6	楕円管 19×12 t=1.2
支かん	円管 φ13 t=0.6	円管 φ10 t=1.2

(3) 機械的性質

各三連はしごを構成する部材の機械的性質を表3に示す。

ステンレス型は、日本工業規格(以下「JIS」という。)で定める規格SUS304に属する金属を使用しているが、この材料は、製造メーカー独自の製法によりJISの規格と比較して耐力値及び引張強度が特に高いステンレス鋼管となっている。

表3 三連はしごの機械的性質
(単位: kgf/mm²)

		ステンレス型	現用型
使用材料(JIS)		SUS304	STKM-18C
0.2 % 耐力値	JIS	21以上	39以上
	実測	57.6	67.8
引張強さ	JIS	53以上	52以上
	実測	65以上*	71.6
ヤング率		21,000	21,000

*印は、測定不能のため引張試験を中断した。

(4) はしごの構造

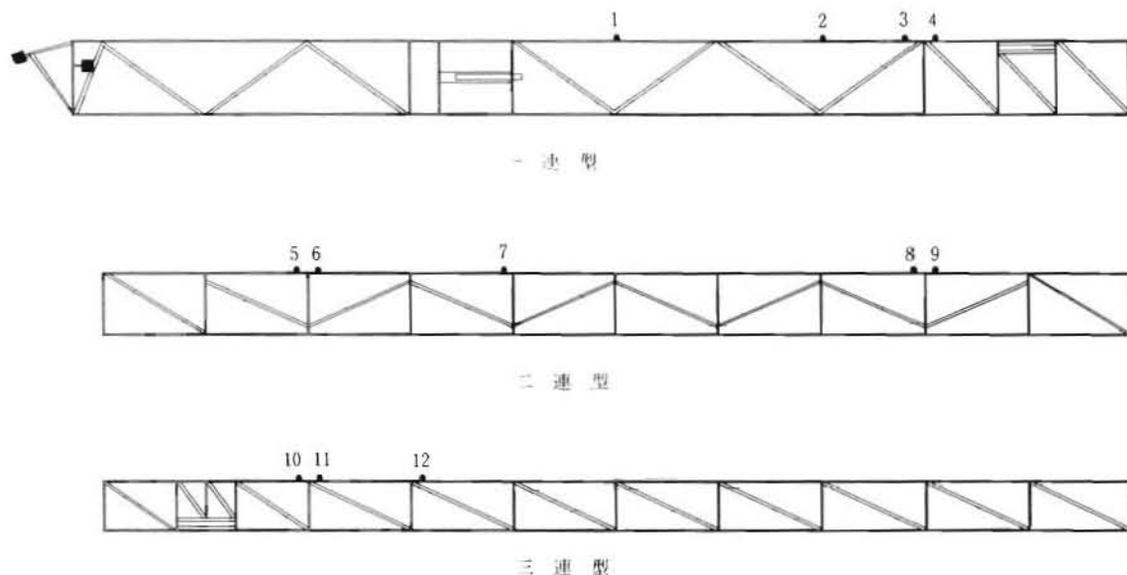
ステンレス型の側面概要図を、図1に示す。はしごは、構造上各連の重合部に大きなひずみが発生する傾向があるため、側面に補強用の斜材を挿入したり、主かんの断面形状を変更するなどして強度を向上させている。

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を測定し、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) 架てい動ひずみ測定実験
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。

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では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81点とした。
イ 架てい静(動)荷重測定実験
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。



* 数字は、架てい静(動)荷重測定実験のひずみ測定点

図1 ステンレスの側面概要図

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に示すとおりとした。測定点の選定は、水平荷重実験の結果大きくひずみの発生した位置とした。

(2) 静ひずみ測定実験

ア 水平静荷重測定実験

はしごを全伸でいし水平の状態（両端自由支持）で、基底部から各横きんに順次80kgfの荷重を加える。はしごの各連の表側主かん表面に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、100kgfから330kgf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150kgf、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90kgfに

調整する。本実験の被検者の体重は約70kgfであるので空気呼吸器等を背負い90kgfに調整した。被検者は一定の速度（1分間あたり約100段）で登降をいし、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
- ・ブリッジボックス……共和DP-20
- ・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。

ステンレス型の応力線図は、側面の補強斜材等の挿入や主かんの断面形状の変更により、現用型の発生していた鋸刃形状の応力の差が小さく抑えられた。

各はしごに発生した最大ひずみは、ステンレス型で $2,208\mu\epsilon$ （ $-46.4\text{kgf}/\text{mm}^2$ ）、現用型で $2,140\mu\epsilon$ （ $-44.9\text{kgf}/\text{mm}^2$ ）であった。発生した位置は、何れも荷重点と同じで、ステンレス型は三連目下部のはしご重合部で、現用型は二連目下部のはしご重合部であった。

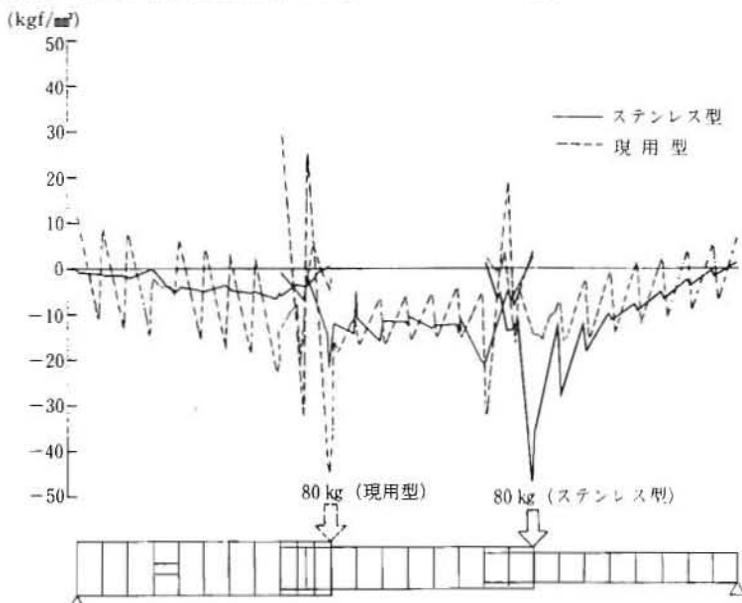


図2 水平静荷重測定実験結果

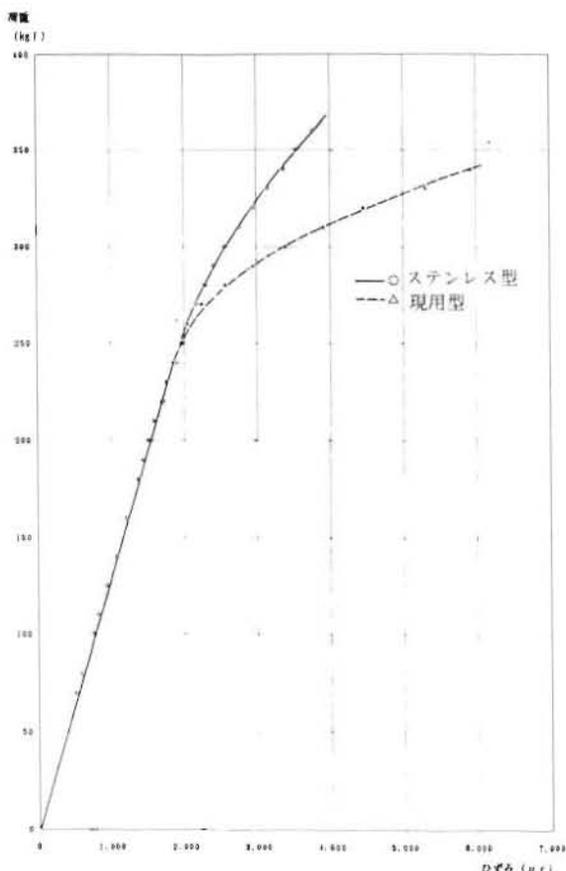


図3 架てい静荷重測定実験結果

また、たわみ量については、はしご中央（二連目中央）においてステンレス型は63mm、現用型は75mmでステンレス型は現用型に比べて12mmたわみ量が小さい値であった。

イ 架てい静荷重測定実験

ステンレス型及び現用型で最も大きくひずみの発生した点の「荷重-応力線図」を図3に示す。両はしごとも最大ひずみの発生した位置は、二連目の下部（図1のひずみ測定点No.4）であった。

現用型は、荷重250kgf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、330kgf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。ステンレス型は、荷重270kgf付近までは現用型とほぼ同じ線をたどるが、これを過ぎると塑性域に入るもののその増加率は現用型に比較して小さく、330kgf荷重においても0.2%耐力値に相当するひずみ

$4,600\mu\epsilon$ （引張試験結果）までは達していない。

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、ステンレス型と現用型はほぼ同じ値を示しているが、一連目上端荷重時は、ステンレス型が現用型に比較して11~17mm減少している。その結果、ステンレス型は、一連目上端部荷重のたわみ量と二連目上端部荷重のたわみ量が逆転している。

表4 たわみ量の測定結果

（単位：mm）

	ステンレス型	現用型	差
65度架てい一連目上端荷重90kgf	-28	-39	-11
65度架てい二連目上端荷重90kgf	-33	-30	+3
65度架てい一連目上端荷重150kgf	-45	-62	-17
65度架てい二連目上端荷重150kgf	-50	-52	-2

(2) 架てい動荷重測定実験

測定結果を表5に示す。

6回の測定を行った結果、二連目下部に $1,650\mu\epsilon$ （ -34.7kgf/mm^2 ）、三連目下部に $1,430\mu\epsilon$ （ -30.0kgf/mm^2 ）の大きなひずみが発生した。この数値は、現用型と比較すると約20%大きいひずみ量である。

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
ステンレス型	最大値	-14.7	-34.7	-25.6	-30.0
	平均値	-13.3	-32.5	-24.3	-28.0
	静荷重値	-6.7	-16.8	-11.4	-11.6
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

水平荷重実験は、現用型で発生している鋸刃形状の応力の差が少なくなり全体的にフラットになった。

また、最大ひずみは、両はしごとも $2,200\mu\epsilon$ 前後の値であるが、発生する位置（荷重点）は、現用型は二連目下部の重合部、ステンレス型は三連目下部の重合部であった。これらは、側面補強斜材の挿入及び主かん断面の形状変更によるものと考えられる。

架てい静荷重測定実験では、荷重量 250kgf 付近まではステンレス型のひずみ発生量は現用型と比較してほぼ同程度であるが、 250kgf を超えるとステンレス型のひずみ発生量が現用型に比べて少なくステンレス型が強度的に強い結果が得られた。

たわみ量は、全体的にステンレス型の値が小さくなっている。これは、はしご重合部側面に挿入した補強用斜材が功を奏し、また、はしごの各連の厚さの増加によるものと考えられる。たわみ量が小さいと登降時のはしごの揺れが少なくなり、登降ていがし易くなるということも考えられるが、これについては多数のデータをとり統計的に判断する必要がある。

動的ひずみの測定結果は、現用型に比較して大きなひずみが発生し、静ひずみとの倍率も大きかった。原因としては、現用型の重合

部の各連の接触が面接触に対しステンレス型は、点接触であること、主かんの肉厚を約35%薄くしてあることが考えられる。

(2) 操作性について

ステンレス型は、現用型に比較して搬送時に特に軽量の良さが身体で感じられる反面、主かんの断面が楕円から円になっている関係上はしごの厚さが若干増し、ややかつぎ難しい感じもあった。

形状、伸縮機構等はほとんど同じであるので特に消防操法上の問題はない。

7. ま と め

耐食性に優れているステンレス鋼をはしごの素材に用いることにより、管の肉厚を薄くすることが可能となり、また、防錆措置や塗装も省略することが可能となった。この結果、軽量で美観性の良い三連はしごを開発することができた。

各測定実験の結果、ステンレス型は、現用型と同等以上の強度を有し、実用機として十分活用できることが確認された。

今後の課題として、製作費及び維持管理費が現用型と比較して高価であるため、低価格化を検討して行く必要がある。

【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」