

軽量型鋼管製三連はしごの開発について (第3報)

Development of a Light-Weight Steel Pipe Extension Ladder with 3 Sections (Series 3)

矢ヶ崎 孝*
米田 雅一*
目黒 公一郎**

概要

所報第30号で報告した「軽量型鋼管製三連はしごの開発について(第2報)」の実験結果、及び再度のコンピュータシミュレーションの結果に基づき、鋼管製三連はしごの強度的向上のための改良を行った。

試作した鋼管製三連はしごは、構成部材の管の断面形状を変更し、特に横さんの強度向上を図ったものである。

本報は、試作した軽量鋼管製三連はしごの強度等を測定結果、及び過去の実験結果等と比較検討したものである。

Based on the results of previous tests and computer simulations, improvements were made in the strength of a steel pipe extension ladder with 3 sections.

Without increasing its weight, newly built model, which is a trial one, was developed to improve the strength of rungs by changing the shape of the cross sections of the steel pipe.

This report shows the results of strength tests of the newly and previously developed extension ladders and comments their difference.

1 はじめに

第三研究室では、消防職員の高齢化の急速な進展及び労務負担の軽減策の一環として、積載はしごの軽量化の研究開発を継続的に推進している。

平成4年度、「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。)に適合した鋼管製三連はしご(以下「H4-1型」という。)を開発したが、確認実験を行った結果、横さんの強度を更に向上させる必要が生じた。

当研究室では、これらの確認実験の結果に踏まえて、新たにコンピュータシミュレーションによる設計及び構造解析を行った。その結果、約20%の軽量化を維持しながら、安全基準に適合し、横さんの強度を向上させた軽量型鋼管製三連はしご(以下「H5-1型」という。)を開発した。

H5-1型の強度等について確認実験を行い、H4-1及び現用型鋼管製三連はしご(以下「現用型」という。)と比較検討を行ったので、その検討概要をここに報告する。

2 供試はしごの概要

H5-1型及びH4-1型の諸元の比較を表1に、使用した部材の比較一覧を表2に示す。供試はしごの概要図を図1に示す。

表1 諸元

		H5-1	H4-1
全伸てい長		8,710mm	8,730mm
全縮てい長		3,510mm	3,535mm
幅 (外)	一連	413mm	390mm
	二連	371mm	360mm
	三連	338mm	330mm
厚 (外)	一連	200mm	200mm
	二連	165mm	165mm
	三連	115mm	115mm
重量		約35kgf	約35kgf

*第三研究室 **査察課

ウ 75°架てい測定実験

荷重1,765N (90kgf) から5,296N (450kgf) までの荷重を、8 段目、12段目、22段目の横さんの中央部付近にかけ、ひずみ量の測定を行う。

(3) ひずみゲージ取り付け位置

ひずみゲージの取り付け位置は、図1のとおりとした。

4 実験結果

(1) 水平状態静測定実験

* [] は、H 4-1 型の測定値

ア ひずみ量比較

供試はしごは、H 4-1 型とひずみ発生傾向及び大きさともほぼ同様であった。100kgf荷重時においての最大ひずみ量は、1616 $\mu\epsilon$ [1868 $\mu\epsilon$] でやや少なくなった。

イ たわみ量比較

たわみ量についてはH 4-1 型より全体的に大きくなった。二連中央90kgf荷重時のたわみ量は84mm [75mm]で、安全基準に示す130mm以下は十分に満たしている。

はしご重合部100kgf荷重時のたわみ量は最大で89mmで、当庁のはしご購入仕様に示す135mm以下を十分に満足している。

(2) 65度架てい静ひずみ測定実験 (No.1)

(全伸長・各段90kgf静荷重時)

ア ひずみ量の発生傾向は、H 4-1 型とほぼ同様であり、その大きさは概ね概ね $\pm 600\mu\epsilon$ の範囲内である。

(3) 65度架てい静ひずみ測定実験 (No.2)

(全伸長・一連上端 (11段目) 荷重時)

ア ひずみ量比較

ひずみ発生傾向は、H 4-1 型とほぼ同様であるが、360kgf荷重時、ゲージNo.3がH 4-1 型の同箇所での最大ひずみ量1882 $\mu\epsilon$ の1.4倍、0.2%耐力値 (約5200 $\mu\epsilon$) の約50%に相当する2660 $\mu\epsilon$ と顕著に高いひずみ量を示しているが、荷重除去後の残留ひずみは755 $\mu\epsilon$ で0.2%の残留ひずみに至っていない。他の箇所については特に大きな値を示していなかった。

イ たわみ量比較

360kgf荷重時の最大たわみ量は154mmとH 4-1 型の最大たわみ量 [117mm] と比較し37mm大きくたわんでいる。

(4) 65度架てい静ひずみ測定実験 (No.3)

(全伸長・22段目 (三連) に2局所分散荷重時)

ア ひずみ量比較

ひずみ発生傾向はH 4-1 型とほぼ同様であるが、H 4-1 型と比べ僅かながら大きいひずみ量を示しているが、最大ひずみ量は360kgf荷重時、ゲージNo.19の-2373 $\mu\epsilon$ に留まり、塑性変形には至っていない。

イ たわみ量比較

360kgf荷重時の最大たわみ量は129mmと、H 4-1 型の最大たわみ量 [105mm] と比較し24mm大きくたわんでいる。

(5) 75度架てい静ひずみ測定実験 (No.1)

(全伸長・8 段目 (一連) 1局所7cm幅に分布荷重時、写真1参照)

表3 静荷重時最大ひずみ量
(65度全伸長・各段90kgf)

荷重段数	最も大きいひずみ量を示すゲージNo.及び箇所	最大 (最小) ひずみ量 $\mu\epsilon$
4段	ゲージNo.2 一連3段目支かん下部先端側面	+601
8段	ゲージNo.3 一連7段目支かん下部先端側面	+492
11段	ゲージNo.7 (二連) 11段目支かん先端側表側面	-358
12段	ゲージNo.8 (二連) 11段目支かん先端側裏側面	-533
16段	ゲージNo.12 (二連) 16段目支かん先端側表側面	-510
	ゲージNo.10 (二連) 14段目支かん先端側裏側面	-559
21段	ゲージNo.19 (三連) 21段目支かん先端側表側面	-578

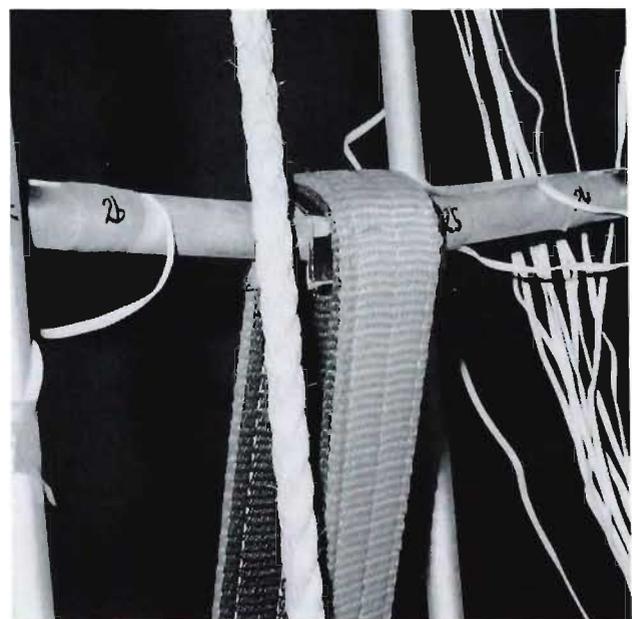


写真1 75度架てい静ひずみ測定実験

ア 横さんひずみ量比較

図2の荷重-ひずみ図をみると、傾向は現用型と類似し、H4-1型より荷重に対するひずみ量の増加の度合いが小さい。

330kgf荷重時から荷重箇所横さんの主かんとの溶接部近くが塑性変形を起こし始め、430kgf荷重時のひずみ量は、横さん荷重箇所裏側面とほぼ同じ値となり、440kgf以上の荷重では荷重箇所よりも横さん溶接部のひずみ量の方が高くなる傾向を示す。なお、横さん中央についても、概ね400kgf荷重時から塑性変形を生じている。

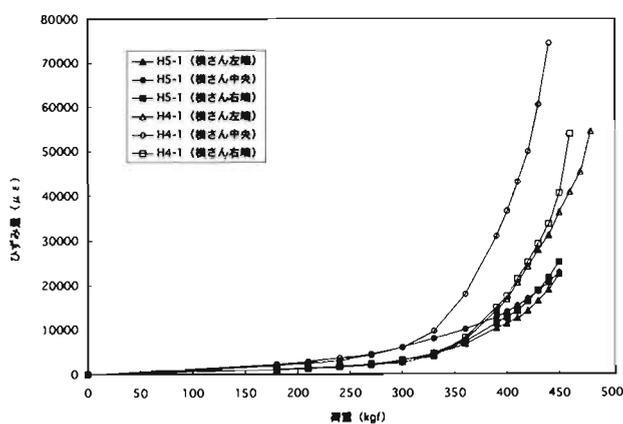


図2 荷重-ひずみ線図(8段目・一連)

1局所7cm幅450kgf分布荷重を6分間(安全基準では5分間)支障なく保持している。450kgf分布荷重除去後の残留ひずみは、左側:22361 $\mu\epsilon$ 、中央:18731 $\mu\epsilon$ 、右側:24892 $\mu\epsilon$ 、残留変形量は約20mmであった。

限界荷重性能実験を行なったところ、480kgf荷重時、横さん左側の主かんととの溶接部が溶接割れを生じ大変形に至った(写真2参照)。

イ 横さん以外の箇所ひずみ量比較

横さん以外の箇所で顕著なひずみ量を示すのは、ゲージNo.3及びゲージNo.4であるが、450kgf分布荷重時のひずみ量はそれぞれ、2079 $\mu\epsilon$ 、2048 $\mu\epsilon$ に留まり、荷重除去後の残留ひずみは399 $\mu\epsilon$ 、-1018 $\mu\epsilon$ となり、0.2%耐力値に至っていない。

(6) 75度架てい静ひずみ測定実験(No.2)

(全伸長・12段目(二連) 1局所7cm幅に分布荷重時)

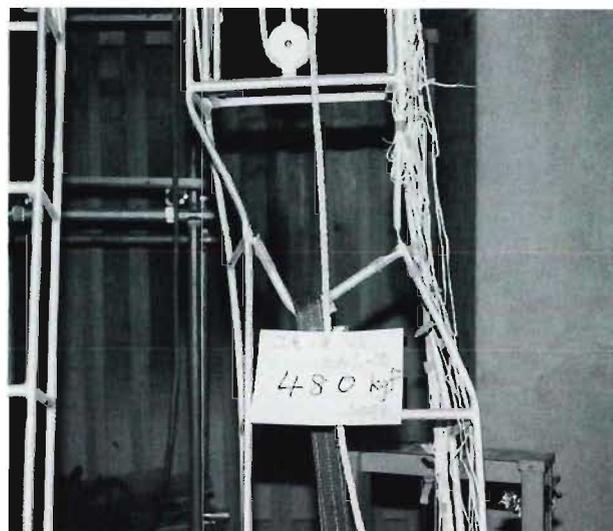


写真2 75度架てい静ひずみ測定実験
(一連目が大変形した状況)

ア 横さんひずみ量比較

図3の荷重-ひずみ量図をみると、傾向は現用型と類似し、H4-1型より荷重に対するひずみ量の増加の度合いが小さい。

390kgf荷重時から横さんと主かんととの溶接部近くが塑性変形を起こし始める。

荷重箇所のひずみ量の増加は、横さん溶接部のひずみ量の増加より高い。

なお、横さん中央については、概ね430kgf荷重時から塑性変形を生じている。

1局所7cm幅450kgf分布荷重を6分間(安全基準では5分間)支障なく保持し、450kgf分布荷重除去後の残留ひずみは、左側:2446 $\mu\epsilon$ 、中央:19789 $\mu\epsilon$ 、右側:5706 $\mu\epsilon$ 、残留変形量は15mmであった。横さんに

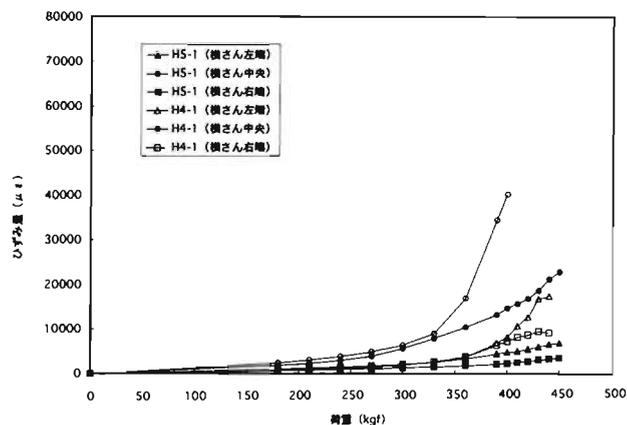


図3 荷重-ひずみ線図(12段目・二連)

ついて確認したところ、横さん右側の主かんととの溶接部に溶接割れと考えられる幅0.1~0.2mm、長さ約7mmの亀裂が生じていた。

イ 横さん以外の箇所のみずみ量比較

横さん以外の箇所でも顕著なみずみ量を示すのは、ゲージNo.8（二連）11段目表主かん先端側裏側面）であるが、450kgf分布荷重時のみずみ量は、-1967 $\mu\epsilon$ に留まり、荷重除去後の残留みずみは-130 $\mu\epsilon$ と0.2%に至っていない。

(7) 75度架てい静みずみ測定実験

（全伸長・22段目（三連）1局所7cm幅に分布荷重時）

ア 横さんみずみ量比較

図4の荷重-みずみ量図をみると、傾向は、現用型及びH4-1型より荷重に対するみずみ量の増加の度合いが小さい。

1局所7cm幅450kgf分布荷重を6分間（安全基準では5分間）支障なく保持し、450kgf分布荷重除去後の残留みずみは、左側：2184 $\mu\epsilon$ 、中央：8514 $\mu\epsilon$ 、右側：1013 $\mu\epsilon$ であった。更に荷重をかけ、1局所7cm幅510kgf分布荷重を6分間（安全基準では5分間）支障なく保持している。

510kgf分布荷重除去後の残留みずみは、左側：5122 $\mu\epsilon$ 、中央：15808 $\mu\epsilon$ 、右側：2261 $\mu\epsilon$ 、残留変形量は10mmであった。荷重除去後、横さんについて確認したところ、異常は認められなかった。

イ 横さん以外の箇所のみずみ量比較

横さん以外の箇所でも顕著なみずみ量を示す箇所はない。

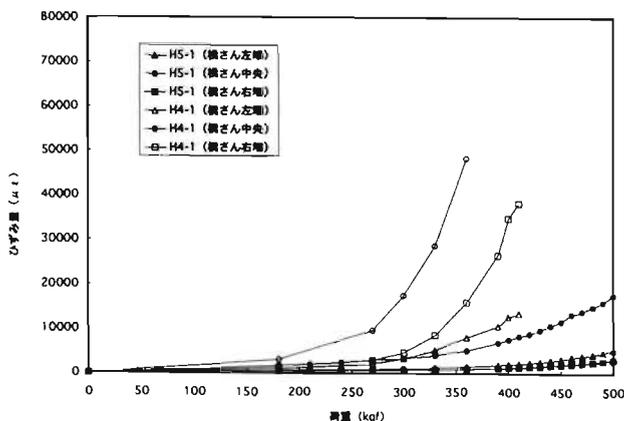


図4 荷重-みずみ線図（22段目・三連）

5 考 察

(1) はしご全体のみずみ量は、H4-1型及び現用型とほぼ同様であり強度的に支障はないと言える。

(2) 横さんの強度が向上したのは、管形状の変更が功を奏したものと考えられる。各連とも、1局所7cm幅450kgf分布荷重を6分間（安全基準では5分間）異常なく保持できた理由は、横さんの管径を大きくして断面二次モーメントを増したこと、さらに主かん及び裏主かんの管断面積を変えずに形状を楕円管から円管に変更して同じく断面二次モーメントを増したことが主たる要因と推定される（表4参照）。

安全基準に定める1局所の許容荷重は、150kgfとなる（表5参照）。

表4 各はしご各連ごとの限界荷重（許容荷重×3倍）

各連の限界荷重	H5-1型 三連はしご	H4-1型 三連はしご	現用型 三連はしご
一連目	450kgf	470kgf	530kgf
二連目	450kgf	410kgf	450kgf
三連目	510kgf	390kgf	530kgf

表5 安全基準に基づく許容荷重（限界荷重×3）

	H5-1型 三連はしご	H4-1型 三連はしご	現用型 三連はしご
安全基準に基づく許容荷重	150kgf	130kgf	150kgf

(3) たわみ量がH4-1型と比較して大きくなった原因及び支かんに比較的高いみずみが表れているのは、表主かん及び裏主かんの支かん方向の断面二次モーメントが、H4-1型と比較し約20%減少したことが主たる原因と考えられる。

最大たわみ量は、安全基準及び現行の三連はしごの仕様を十分に満たしており支障はないと言える。

6 結 論

(1) 供試はしごH5-1型は、安全基準に定める1局所許容荷重150kgfの強度を有する。

(2) H4-1型及び現用型と同等以上の強度を有し、重量

は、現用型と比較して約20%の軽量化を実現した。

7 おわりに

今回、コスト的に有利な鋼管を使用し、条件として軽量化率（約20%）を維持しつつ強度を向上させることに成功した。

現在の伸縮機構と側面形状における鋼管製三連はしごの軽量化は、コンピュータシミュレーション結果、ほぼ限界にきている。H5-1型は、この条件下における究極の軽量化鋼管製三連はしごであるものと考えられる。

今後は、形状及び機構の抜本的な見直しをし、更なる軽量化を推進していく。