

現用三連はしごの強度等測定結果について

Measurement of strength to the three extension carrying ladder used at present.

辻 英 機**

矢ヶ崎 孝*

太 田 文 和*

概 要

積載はしごの軽量化に関する研究開発の一環として、現用の鋼管製三連はしごの動的荷重時におけるひずみ及び限界荷重等を測定した。

この測定結果を基に、今後のはしご軽量化開発の設計条件を提案する。

As a series of development for lighter ladder, we examined the stress of each parts of a ladder under the dynamic loads, the limits strength and other factor to a steel three extension carrying ladder which is now in service.

As a result of experiment, we propose improvement to design conditions for making lighter ladder than used now.

1. はじめに

消防隊が使用する三連はしごの軽量化は、消防活動の迅速化さらには職員の高齢化対策という観点からも重要急務な課題である。

三連はしごの各部に発生する応力については、従来から多くの実験が行われ検討がなされてきた。

有限要素法によるコンピューターシミュレーション技法が開発され鋸刃波形を示した応力分布が解明されたこと¹⁾によりはしごの設計、改良等も以前に比較して大分容易となった。

しかしながら、これらの方法は、すべて静的な現象を対象としたもので、実際、消防隊が救助活動をする際の動的な影響はまだ十分把握されていないのが現状である。

今回の実験は、渋谷消防署の特別救助隊の協力により、救助活動現場を再現し、現用の鋼管製三連はしご各部に発生する静ひずみと動ひずみを測定し比較したものと、はしごの限界荷重測定を行ったので、その結果をここに報告する。

また、その結果を基にして検討した設計条件を提案する。

2. 供試はしごの諸元

実験に使用したはしごの諸元性能は表1のとおりである。

現用はしごには、STKM-18B及びSTKM-18Cを使用した2タイプのはしごがあり、今回の実験に使用したはしごは、平成元年度製作の18Cタイプのものである。なお、JISによると、STKM-18Bは、0.2%耐力値32kgf/mm²以上で、STKM-18Cは、39kgf/mm²以上の材質である。

3. 実験項目

(1) 動ひずみ測定実験

動荷重状態において発生するひずみを測定し、静ひずみに対する動ひずみの比率を調べる。

(2) 静ひずみ測定実験

(3) 傾斜架てい時のひずみ測定実験

はしごは、水平な地盤に横さんが水平になるように架ていすることが原則であるが、実際は地盤が傾斜している場合や段差がある場合必ずしも垂直に架ていできるわけではない。

このような場合、はしごの側面に予想もしない大きい応力が発生するおそれがある。

このことを確かめるため、はしごを水平地

*第三研究室 **小石川消防署

表1 供試はしごの諸元

各部の寸法	全伸てい長さ (mm)		8,700
	縮てい長 (mm)		3,550
	幅 (mm)	一連目	355
		二連目	327
		三連目	300
	厚さ (mm)	一連目	200
		二連目	165
三連目		115	
横さん間隔 (mm)		325	
重量 (kg)		43	
材質・特性	使用材質 主横さん	機械構造用 炭素鋼管 STKM-18C	
	比重	7.8	
	ヤング率 (kgf/mm ²)	21,000	
	引張強度 (kgf/mm ²)	71.66*	
	0.2%耐力値 (kgf/mm ²)	67.88*	

注) *印の値は、引張試験結果による。

面に対して傾斜させ、主かん側面に発生する応力を測定した。

(4) 引張試験

供試はしごの材料の機械的性質を調べる。

(5) 限界荷重実験

はしごが折損 (変形) するまで荷重をかけ、その限界を調べる。

4. 実験方法

(1) 動ひずみ測定実験

全伸ていで75度及び65度に架ていし、消防隊員 (特別救助隊員) が登降ていするとき発生する動ひずみを測定した。架てい場所の上端支点は、上から2スパン目とした。

また、実験条件及び回数は表2のとおりである。

表2

架てい角度	75度	65度
一人登降てい	普通 (6回)	普通 (6回)
	速く (6回)	速く (6回)
二人登降てい	普通 (3回)	普通 (3回)
背負い救出	(3回)	(3回)

ア 被験者の体重は個人装備品等で90kgに調整した。なお、背負い救出の場合は、150kg (救出者80kg,被救出者70kg) である。

イ 二人登降ていの場合、2mの間隔をおいて登降ていした。

ウ 「普通」及び「速く」とは、被験者が、概ね1分間に100、及び120段登降ていする速さとした。

エ ひずみ測定点は、図1に示すとおりである。

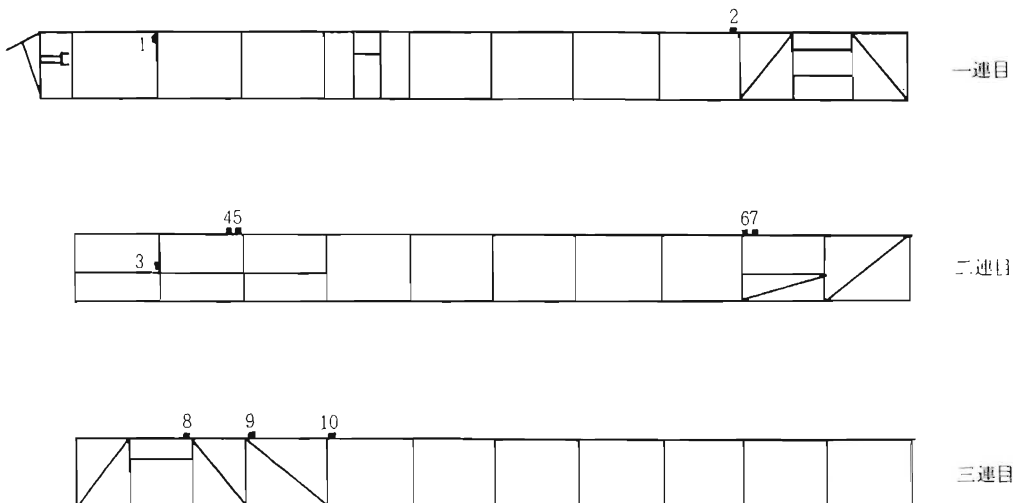


図1 ひずみ測定点 (右側主かん上部)

なお、動ひずみの測定点については、過去の実験及びシミュレーション結果を参考として、大きい応力が発生すると予測される箇所10点選り測定した。

(2) 静ひずみ測定実験

全伸ていで75度及び65度に架ていじ、一連先端部、三連下端部、二連先端部に、90kg及び150kgの荷重を加えた時に発生する静ひずみを測定する。ひずみ測定点は動ひずみと同じ場所とした。

(3) 傾斜架てい時のひずみ測定実験

全伸てい側面方向に5度傾斜した状態で、65度架ていし、一連先端部、三連下端部、二連先端部に150kg荷重を加え、図2に示す位置に発生するひずみを測定した。

現場で、はしごを架ていの場合に可能性のある側面方向の傾斜角度の最大値を5度と仮定し測定した(図3)。

(4) 引張試験

応力測定を実施したはしごの部材の一部を切断し、試験片とし引張り試験を行い引張強度及び0.2%耐力値並びに、その時のひずみ量を求めた。

(5) 限界強度試験

全伸ていで65度に架ていし、過去の実験及びシミュレーション結果を参考として、主かんに発生する応力が最大になる横さん(一連目の最上端)に荷重を漸増しながら加え主かんの0.2%耐力値に相当するひずみ量に達する荷重を求めた。

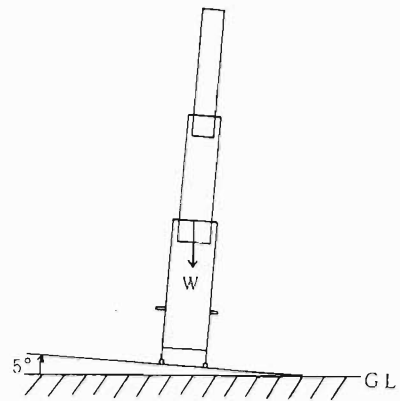


図3 傾斜架ていの状況

5. 実験結果

(1) 動ひずみ測定実験

動ひずみの測定点は10箇所であるが、そのすべての測定結果を記載することは煩雑になるので、各種の最大ひずみが発生した箇所を選んだ。

一連目	ゲージ番号	2
二連目	ゲージ番号	5, 6
三連目	ゲージ番号	10

ア 一人登降てい(写真1)

実験結果を表3に示す。

普通の速さと速く登降ていした場合とでは、速く登降ていしたときの方が大きい応力が発生しているが、顕著な差ではない。

以前に実施したチタン製はしごについても同様な結果であった。²⁾

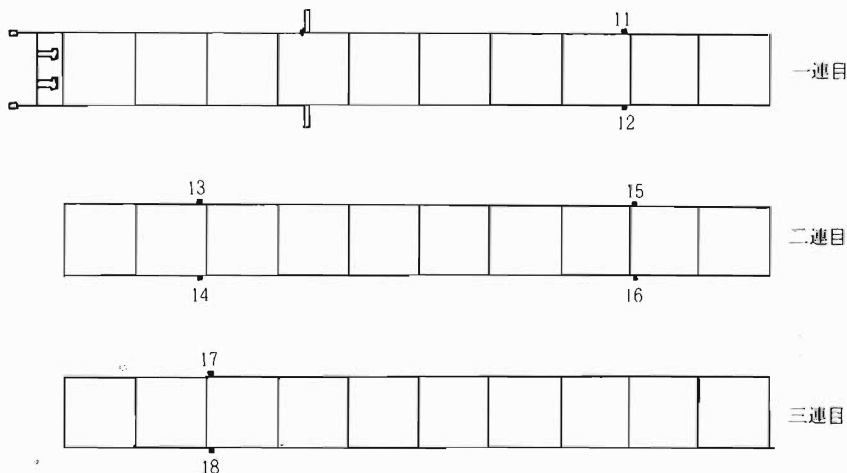


図2 ひずみ測定点

表3 一人登降ていの場合

単位：kgf/mm²

架てい 角度 登る 速さ	一連目		二連目				三連目	
	75	65	75	65	75	65	75	65
	ゲージ番号 2		ゲージ番号 5		ゲージ番号 6		ゲージ番号 10	
普通	12.2	14.0	23.5	27.0	25.4	26.5	16.0	16.5
速く	12.3	15.0	24.0	28.2	24.8	25.5	15.5	15.7

注) 同一条件で6回測定した結果中で最大値を記載したものである。

イ 二人登降ていの場合 (写真2)

実験結果を表4に示す。

一人登降ていの場合よりも大きい応力が発生しており、概ね2割増し程度の値であった。

表4 二人登降ていの場合

単位：kgf/mm²

架てい 角度 登る 速さ	一連目		二連目				三連目	
	75	65	75	65	75	65	75	65
	ゲージ番号 2		ゲージ番号 5		ゲージ番号 6		ゲージ番号 10	
普通	18.0	19.7	31.5	33.8	29.5	33.0	18.3	20.4

注) 同一条件で3回測定した結果中で最大値を記載したものである。

ウ 背負い救出の場合 (写真3)

実験結果を表5に示す。

前イと比較してみると75度架ていの場合にはほぼ同様な値であるが、65度架ていの場合二連目に最大41kgf/mm²の応力が発生しており二人登降ていの時と比べると約1.2倍であった。

表5 背負い救出の場合

単位：kgf/mm²

架てい 角度 登る 速さ	一連目		二連目				三連目	
	75	65	75	65	75	65	75	65
	ゲージ番号 2		ゲージ番号 5		ゲージ番号 6		ゲージ番号 10	
普通	17.5	23.0	31.5	41.0	32.0	36.9	21.5	23.8

注) 同一条件で3回測定した結果中で最大値を記載したものである。

(2) 静ひずみの測定

静ひずみの測定点は動ひずみの時と同じ10箇所であるが、動-静の比較をするため前(1)と同じ箇所を選びその結果を表6に示す。



写真1 一人登降てい



写真2 二人登降てい



写真3 背負い救出

表6 静ひずみの結果

単位: kgf/mm²

架てい 角度	一連目		二連目				三連目	
	75	65	75	65	75	65	75	65
荷重	ゲージ番号		ゲージ番号		ゲージ番号		ゲージ番号	
	2	5	6	10	5.0	8.1	8.6	12.9
90kg	5.5	8.6	10.5	15.4	11.0	16.2	5.0	8.1
150kg	8.6	12.3	15.6	23.0	18.5	26.2	8.6	12.9

(3) 傾斜架てい時のひずみ測定実験

測定は傾斜架ていによって大きい応力が発生すると予想される箇所8点でその位置は、一連目と二連目及び二連目と三連が重なり合った部分である。(詳細な位置は、図2参照)

実験結果を表7に示すが、傾斜架ていした場合でも予想し得ないような大きい応力は発生していない。

表7 傾斜架てい時の応力

荷重: 150kg 単位: kgf/mm²

架てい 角度	一連目		二連目				三連目	
	75	65	75	65	75	65	75	65
荷重 位置	ゲージ番号		ゲージ番号				ゲージ番号	
	11	12	13	14	15	16	17	18
一連目 上端	5.4	3.6	3.4	8.3	2.4	5.1	4.0	4.1
三連目下端	6.6	2.5	5.4	6.3	3.5	3.4	6.2	2.4
三連目下端	3.8	2.1	2.8	5.7	8.9	16.7	6.6	6.1
二連目上端	3.2	1.6	4.0	5.4	2.5	7.2	6.9	6.9

注) 一連上端の下段は、水平地面に垂直に架ていした場合と同じ位置での応力である。

(4) 引張試験

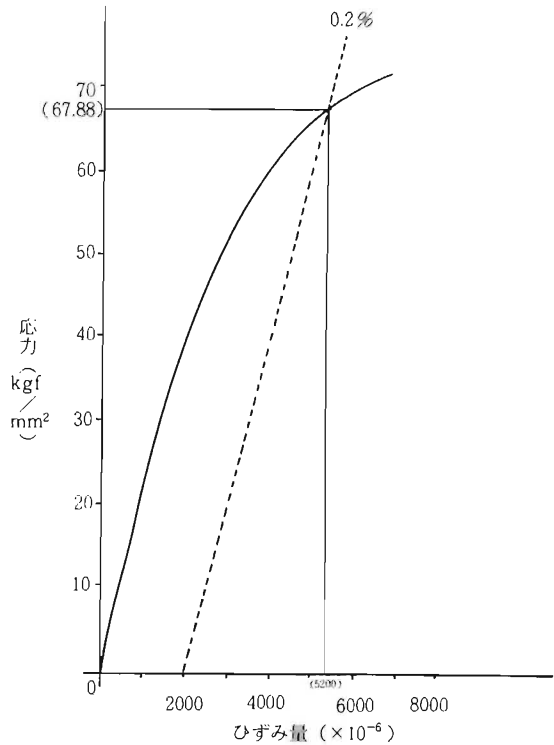
引張試験の結果を図4 応力-ひずみ線図に示す。

この図中の応力の値は、引張荷重を供試はしご主かんの断面積で、除した値である。

この図から、供試はしごの部材の0.2%耐力値及び引張強度を求めると、表8に示すようになる。

表8 引張試験結果

断面積 (mm ²)	59.66
形状 (mm) (楕円管)	19 × 12 × 1.2 (縦) (横) (厚さ)
最大引張荷重 (kgf)	4,275
引張強度 (kgf/mm ²)	71.66
0.2%耐力 (kgf/mm ²)	67.88
0.2%耐力値に相当する ひずみ量 (×10 ⁻⁶)	5,200



注) 引張試験機

島津万能試験機 UMH-30形

図4 引張試験による応力-ひずみ線図

(5) 限界荷重試験 (写真4)

実験により、最大に応力が発生した測定点について測定した時のひずみの値を荷重-ひずみ曲線に表すと、図5に示すようになる。



写真4 限界荷重試験

この図より、荷重が250kg付近までは、荷重-ひずみ曲線が直線上に上昇していき、この状態の時は、まだ弾性限界内である。

また、250kgを越えると曲線状になり比例的な上昇はしてないことがわかる。この状態から弾性限界を越え塑性領域に入っている。

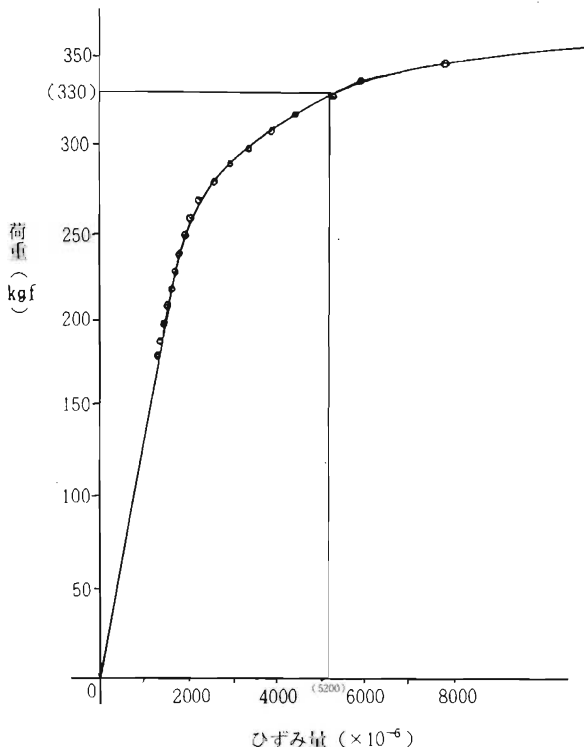


図5 限界荷重実験

6. 考 察

(1) 静ひずみに対する動ひずみの倍率

一人登降ていの場合、表9に示すように75度架ていの場合には2倍以上発生しているが、65度架ていの場合には2倍未満である。

表9 一人登降ていの場合の倍率

ゲージ番号	二 連 目			
	5		6	
角 度	75	65	75	65
普 通	2.23	1.75	2.30	1.63
速 く	2.28	1.83	2.25	1.57

背負い救出の場合は、表10に示すように、ほとんどが2倍以下であるが、このことは背負い救出では動作が緩慢になると考えられている。

表10 背負い救出の場合の倍率

ゲージ番号	二 連 目			
	5		6	
角 度	75	65	75	65
普 通	2.01	1.78	1.72	1.40

(2) 傾斜架てい時における応力について

垂直に架ていた場合でも、主かん側面にはある程度の応力は発生しており、値斜架ていそのものによる発生応力は僅かであるといえる。

また、梯体主かんの左右での応力発生の違いは、荷重位置が滑車の場所にあたる為に多少中心よりずれたためである。

(3) 限界荷重について

引張試験により求めた0.2%耐力値に相当するひずみ量の値(5.200×10^{-6})を図5の荷重—ひずみ線図に当てはめてみると、このときに相当する荷重量は、330kgfであった。

一般に構造材は残留ひずみが生じないのは弾性限界までであり、これを越える降伏点(0.2%耐力)近傍では、残留ひずみが発生するがその変形は、肉眼では判断できない程度の僅かな塑性変形が起こっているのみである。

7. 結 論

- (1) 動ひずみの静ひずみに対する倍率は、1人登降ていの場合が2.3倍、背負い救出の場合が2倍と考えてよい。
- (2) 現用はしごは、かなりの使用実績が有り強度的には使用条件を満たしていると考えられる。従って、これから開発するはしごも現用はしごと同等の強度があれば良く、その限界荷重は前記6(3)より330kgfである。
- (3) 傾斜架ていした時における側面への過大な応力は発生しない。

以上のことから、三連はしごの設計時の荷重条件として次の条件を提案する。

- 全伸てい、65度架ていで、330kgfの静荷重をかける。

8. 今後の方針

今回の実験により、現用三連はしごの基礎となる基準を、把握することが出来た。

今後は、この結果を基にさらに軽量化された三連はしごを開発する方針である。

9. 参 考 文 献

- (1) 消防科学研究所報 第25号
- (2) 消防科学研究所報 第26号