調査研究レポート

消研21型三連はしごの開発

—超軽量はしご—

自治省消防庁消防研究所
消防機械研究室
山田　實
亀井浅道

1. はじめに

近年，消防職員の高齢化に伴って積載三連はしごの軽量化が強く要望されており，消防研究機関等において軽量はしごの研究，開発が現在進められている。その成果として，すでに30kgf にまで軽量化したチタン製三連はしごが開発され，実用化されている[1)]。チタンはその比強度（引張強さ／比重量）が高く，構造物の軽量化に適している材料であるが，鋼やアルミニウム合金等に比べてかなり高価な材料である。そのため，製品も高価なものになり普及が阻害されてしまう。

そこで消防研究所ではチタンに比べて安価でかつ比重量が鋼の1/3であるアルミニウム合金を使用してより軽量な三連はしごの研究開発を行った[2)]。その結果，重量が21kgf の超軽量はしごを作ることができた。これは鋼管製はしごの半分の重量である。ここではこの三連はしごの概要について紹介する。

2. 開発した消研21型三連はしごの概要

2.1 材料

使用した材料は高強度溶接構造用アルミニウム合金 ZK 55-T6（住友軽金属工業㈱）で，主な機械的性質を表1に示す。なお，チタン製及び鋼管製のはしごに使用されている材料（熱交換器用チタン管 TTH 35 W，機械構造用炭素鋼鋼管 STKM 18 B）の機械的性質も示した。

この材料は Al-Zn-Mg 系三元合金で，アルミニウム合金のなかでも高い強度を有する合金の一つである。しかも，溶接時の熱影響によって母材が軟化しても常温時効によって溶接部の強度がかなり回復し，高い溶接効率

表1　三連はしごに使用されている材料の機械的性質

材質＼項目	0.2%耐力 (kgf/mm²)	引張強さ (kgf/mm²)	比重量 (gf/cm³)	比強度*) (x10⁷mm)
ZK55-T6　(アルミ合金)	41	45	2.7	1.67
TTH35W　(チタン)	38.4	45.6	4.5	1.01
STKM18B　(鋼)	48.9	65.2	7.8	0.83

*)　比強度＝(引張強さ)／(比重量)

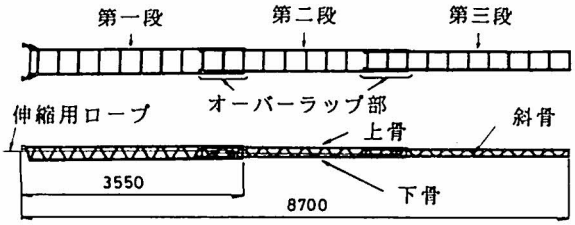

図1　消研21型三連はしごの概要図

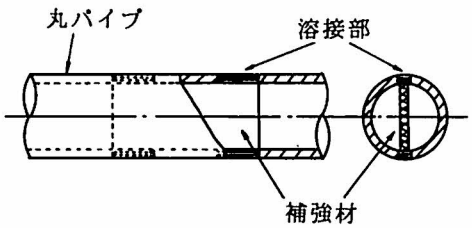

図2　補強部材の構造

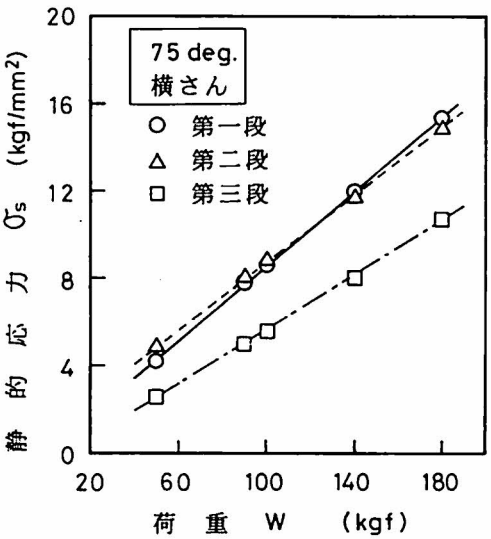

図3　横さん中央に発生する静的応力

が得られるという特長がある。また，比強度は表1に示すようにチタンよりも60%高く，はしごのような溶接構造物の軽量化には最適な材料であるといえる。

2.2 構　造

はしごのような骨組構造物は部材の組み方などによって強度や変形が大きく異なる場合がある。開発にあたり，有限要素法（Finite Element Method：FEM）と呼ばれるコンピュータ解析手法を用いて，はしごの最適構造設計を試みた。解析の結果，得られたはしごの構造を図1に示す。

全伸梯長さと縮梯長さは鋼管製のものと同一であるが，幅及び厚さ（390×210mm）は鋼管製のもの(355×200mm)に比べて大きくなっている。使用した部材はすべて丸パイプである。上下骨と横さんには外径20mm肉厚2mmを，斜骨には外径17.5mm肉厚1mmのものを使用した。また，各段のオーバーラップ部近傍には大きな力が作用するため，この部位に図2に示すようなパイプの内側を板で補強した部材を使用した。

その他の特長として，従来のはしごでは横さんの中央付近に取り付けられていたはしごの伸縮用ロープと滑車を各段の斜骨の間へ移し，隊員の足がロープや滑車に触れずにスムーズに昇降ができるようになっていることである。このような構造を採用できた主要因ははしごの全重量が21kgf まで軽量化され，細い伸縮用ロープが使用できるようになったことにある。

3. はしごの強度実験

3.1 静荷重試験

全伸長のはしごを75度に架ていし，荷重を各段の横さんに負荷した場合，荷重点である横さんの中央部に最大応力が発生する。この部位に発生する応力と荷重の関係を図3に示

す。180kgf の荷重を負荷すると，第一段の横さん中央部には15.4kgf/mm²の応力が発生することがわかる。横さん以外での最大応力は7.6kgf/mm²で，第二—三段オーバーラップ部の下骨部に発生するが，横さんでの値に比べると半分程度である。

3.2 動荷重試験

(1) 水平架てい

全伸長のはしごを水平に支持した状態で，横さんの上を人が通常に歩く速度で渡る場合，はしごに発生する動的な応力を測定した。最大動的応力ははしごの第二—三段オーバーラップ部の斜骨に発生する。ここでははしごの上を渡っている人の体重を動荷重と定義し，発生応力との関係を図4に示す。動的応力 σ_D の増加率（図中の実線の勾配）は静的応力のそれ（図中の破線の勾配）よりも大きく，W＝90kgf の時，σ_D＝17.1kgf/mm² で，静荷重試験の値より 3 kgf/mm² 大きい。この場合の安全率（材料の耐力／発生応力）は2.40で，はしご車の安全基準に述べられている基準値の1.7より大きい。

動荷重とはしご中央部のたわみの関係を図5に示す。W＝90kgf の時，δ_D＝110mmで，静荷重試験の値（78mm）の約1.5倍である。この値は実験時の様子から推察する限り，歩行状態は比較的安定しており，人が不安を抱くほどのたわみではないと判断できる。

この実験結果から，開発したはしごは水平架てい状態でも荷重が90kgf 以下であれば十分な強度を有しており，大きなたわみも発生していないことがわかる。

(2) 75度架てい

はしごを75度に架ていし，人が昇降する場合横さんに発生する動的応力の測定結果を図6に示す。これは第一段の横さんの結果だけであるが，静荷重試験の結果から他の段の横さんは第一段の横さんの値より小さいと考えられる。

ここで体重90kgf の隊員が体重90kgf の要救助者を背負い，はしごを昇降する場合（W

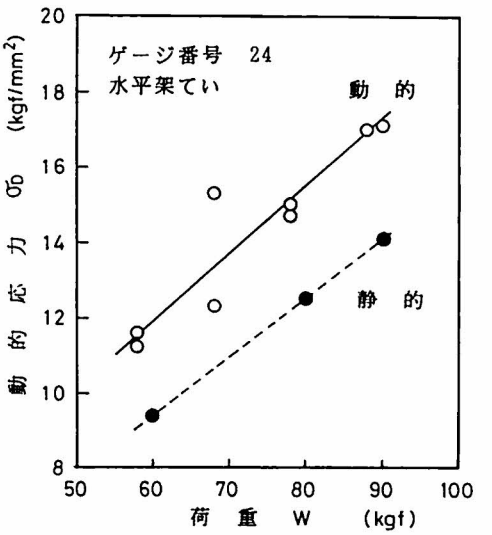

図4 水平架てい状態のはしごのオーバーラップ部に発生する動的応力

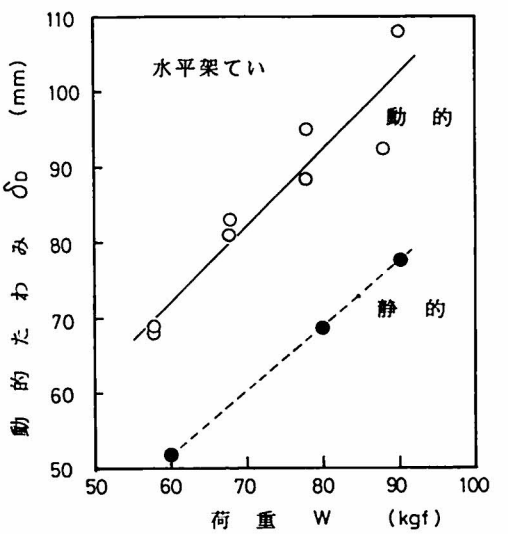

図5 水平架てい状態のはしごの中央のたわみ

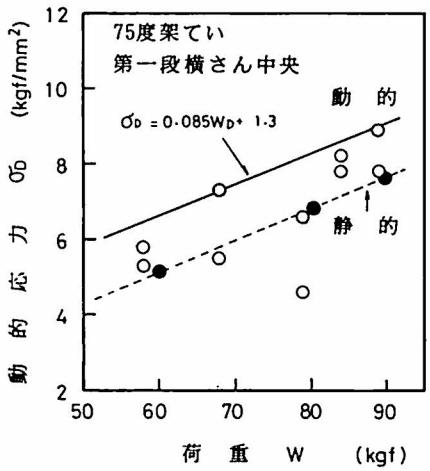

図6　75度架てい状態のはしごの横さん中央部に発生する動的応力

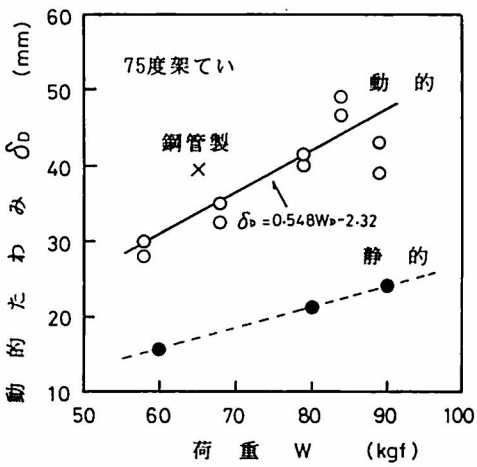

図7　75度架てい状態のはしご中央の動的たわみ

＝180kgf）の発生応力を図6から概算してみる。測定値はかなりばらついているが，動的応力と荷重との関係が図中の直線（ここでは各荷重における動的応力のほぼ最大限度線を示すもので実測値はこの直線以下に存在するものとした）で表現できるものと仮定し，W＝180kgf まで外挿すると，σ_D は16.6kgf/mm²となる。このときの安全率は2.47である。

この応力値は静荷重試験の結果（σ＝15.4kgf/mm²）よりわずか1.2kgf/mm² しか増加していない。これは，はしごを昇降する際，人は横さんの中央部よりむしろ主かんに近い部分に足を掛けているため，それ程大きな応力が発生しなかったものと考えられる。

次にはしご中央部の動的たわみの測定結果を図7に示す。×印は鋼管製はしごの結果である。静荷重試験と同様，開発したはしごのたわみは鋼管製はしごの値より小さいことがわかる。図中の直線関係からW＝180kgf での動的たわみ δ_D を概算すると，δ_D は96.3mmとなる。

以上の実験結果から，はしごは75度架てい状態で，荷重が180kgf 以下であれば十分な強度を有しており，たわみも従来の鋼管製はしごより小さいことがわかる。

4.　おわりに

高強度のアルミニウム合金パイプを用いた消研21型三連はしごの概要とその強度実験結果の一部を紹介した。今後，同一の材料による二連及びかぎ付きはしご等の軽量化も進められるであろう。消防職員の高齢化が進む今日，消防機器等の軽量化に本報が一助になれば幸いである。

参 考 文 献

1）辻　英機，城田　剛，太田文和，北村昭夫：消防科学研究所報，26，p.76（1989）

2）山田　實，亀井浅道：消防研究所報，70，(1990)　掲載予定