

チタン製軽量二連はしごの開発について

Development of Titanium Two-extension Ladder

島	光	男*
正	村	厚*
池	辺	昇**
菊	地	定男*
宮	沢	和良*
村	上	信義**

In order to obtain data necessary for the development of a light weight three-extension ladder, we fabricated a two-extension ladder with pure titanium as a trial.

Although dimentions of this ladder are almost equal to those of the steel ladder which is now in service, the former is lighter than the latter by 5.6kg (about 34%) . As a result of experiments, it was confirmed that the titanium ladder is stronger than the steel one.

1. はじめに

消防隊の使用する積載はしごの軽量化の研究では、これまでにチタン合金製軽量かぎ付はしごの開発、現用の鋼管製三連はしご及び英国の消防隊で使用されているアルミ合金製二連はしご等の性能実験を行ってきた。

積載はしごの軽量化の方法としては、使用材質の改良と形状・構造の改良の2種類の方法が考えられるが、主要構造材として現在使用されているようなパイプ材を使用する場合、強度的な余裕がとれないため、軽量化にはどうしても材質の改良が必要になってくる。チタン製のはしごは、このような考え方に基づいて開発したもので、今回は、積載はしご軽量化の最終的な目標である軽量三連はしごを開発するのに必要な資料を得るため、チタン製の二連はしごを試作し、性能実験を行ったのでその概要を報告する。

2. 試作はしごの諸元等

(1) 使用材質

研究所報18号(1981年)に掲載した軽量かぎ付はしごの開発にあたっては、主要構造材

としてチタン合金(チタン89%, アルミニウム3~7%, すず, バナジウム, マンガン等2~5%, 鉄その他0.6~0.9%)を使用した。この材料は非常に入手困難であることから、今回の試作では比較的必要があるため既成品の多い工業用純チタンTTH35Wを使用した。この材料の化学成分は、チタン99.95%, 鉄その他0.05%である。軽い、熱膨張係数が小さい、疲労強度が大きい、耐衝撃性、耐食性に優れている等の物理・機械的性質はチタン合金と同様であり、はしご構成材料として有利であるが、引張強度は43.2 kg/mm²、0.2%耐力値は33.2 kg/mm²とチタン合金に比較してそれぞれ小さくなっている。

(2) 寸法、重量等

試作したはしごの外観、寸法、重量等については、写真1及び表1の諸元を示すとおりである。

外観、寸法は、現用の鋼管製はしごとほぼ同様であるが、縮てい長さが25mm鋼管製はしごより短かく、はしごの幅、厚さはどちらも一連目で29.1mm、二連目で19.1mmそれぞれ大きくなっている。また、鋼管製はしごが主要構造材に長径19mm、短径12mm、肉厚1mmのだ円管を使用しているのに対し、試作した

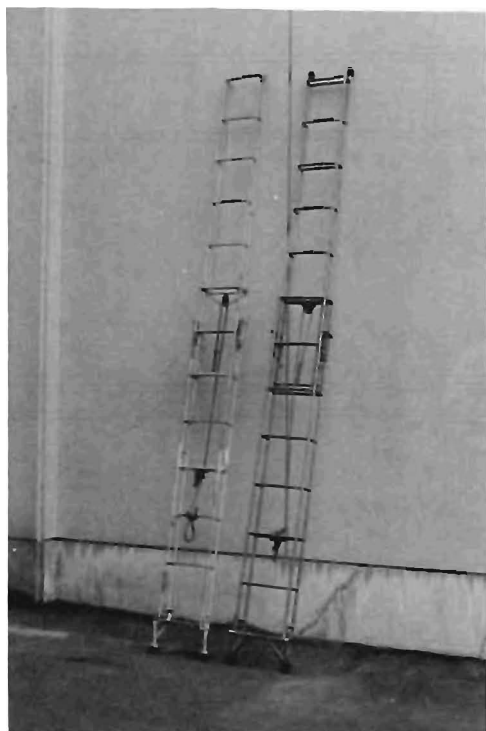


写真1 鋼管製二連はしご (左側)
チタン製二連はしご (右側)

表1 チタン製二連はしご諸元

項 目	諸 元
全伸てい長さ	4200mm
縮てい長さ	2575mm
幅	340mm (一連目) 300mm (二連目)
横さん間隔	325mm
厚 さ	130mm (一連目) 90mm (二連目)
主 か ん	円 管 19.05mmφ 肉 厚 1 mm
横 さ ん	同 上
全 重 量	10.6kg
材 質 (比 重)	純チタン (4.5)

チタン製二連はしごでは、外径 19.05 mm、肉厚 1 mm の円管を使用していることが大きな特徴としてあげられる。このはしごの金属部分は、ボルト、スプリング類がステンレス製なのを除き、他はすべて純チタンで製作されており、重量は鋼管製はしごの 16 kg に対し、チタン製では 10.4 kg と 5.6 kg (約 34%) 軽量化されている。

3. 性能実験

試作したはしごの主管の各部分についてひずみ、たわみを測定し、このはしごが構造体として実用上の作用応力に充分耐え得るかどうかの性能実験を行った。

(1) 実験方法

ア. 静ひずみ及びたわみの測定

はしごを次の設定条件にして、はしごの中央部、一連目、二連目の中央部の横さん等に 60 kg～180 kg の静的荷重を加え、主管各部のひずみ、たわみを測定した。

設定条件

(ア) はしごを全伸ていして、水平の状態で両端を自由支持した場合

(イ) はしごを全伸ていして、60度又は75度に架ていた場合

(ウ) はしごを11/12, 5/6, 3/4伸ていして、水平の状態で両端を自由支持した場合

ひずみの測定は、図1に示すように主管の上親骨上面、下親骨の下面等43点にストレーンゲージを貼り、全伸ていして一、二連目とも水平になるように地上に置いた状態を0点として、万能デジタル測定器により測定を行った。

たわみの測定は、主管に沿って水平に糸を張り、この糸と主管上面との差を鋼製スケールにより計測して行った。

たわみの測定点は、図1に示すように各荷重点等合計9点(a～i)〔前ウの場合は10点(a～j)又は12点(a～l)〕である。

荷重幅は、いずれの場合も 100 mm で、両端を水平支持した時の支点の位置はそれぞれ両端から 210 mm 内側とした。

なお、静ひずみの測定に使用した計測器等は、次のとおりである。

ストレーンゲージ	共和 KFC-5-C1-23-L500-3
ストレーンメータ	共和 UCAM-8BL 万能デジタル測定器
スキャナ	共和 USB-50A
デジタルカセット	ティアックプロライン100-4
XYプロッター	渡辺測器 WX4636R

イ. 動ひずみの測定

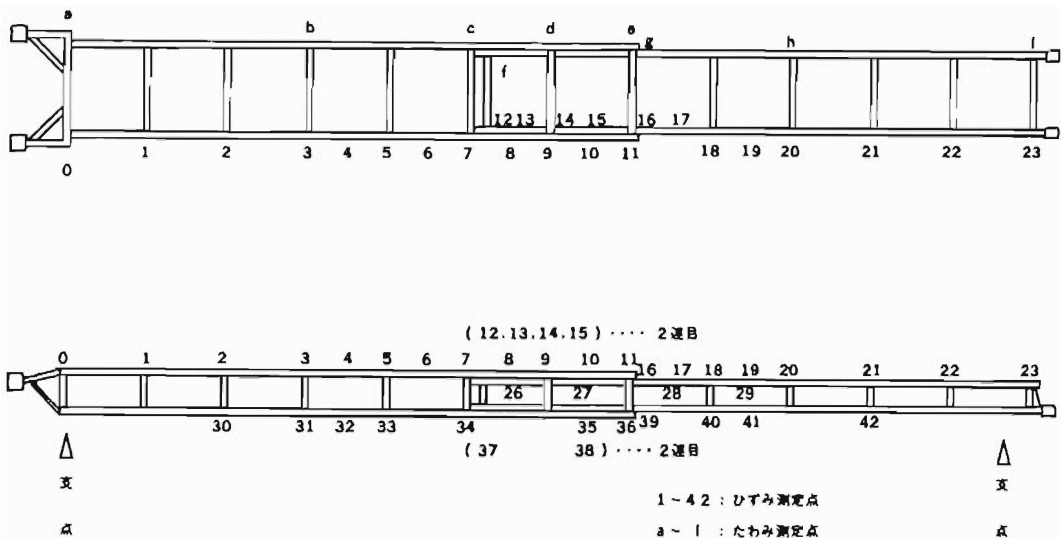


図1 ひずみ・たわみ測定点

はしごを全伸でいして60度又は75度に架
ていし、防火服、防火帽、呼吸器を着装し
た隊員(総重量80 kg)を登降でいさせ、こ
の時の動ひずみを電磁オシログラフにより
記録した。動ひずみの測定位置は、図1の
No20, No31, No39の3点で、この位置はそ
れぞれ二連目の中間、一連目の中間、二連

目の一連目先端との重合部分である。登降
ていの速さは、1秒間に横さん2段上昇又
は降下とし、ストップウォッチにより計時
しながらその速さを調整した。

なお、動ひずみの測定に使用した計測器
類は、次のとおりである。

ストレインゲージ 共和 KFC・S-C1-23-L500-3

表2 はしご性能試験荷重等設定条件(静ひずみ)

試験条件	荷重位置	試験荷重	備 考
全伸でい水平両端自由支持	1 一連目中央横さん 2 はしご中央横さん 3 一連目先端横さん 4 二連目中央横さん	60kgから20kgごとに 140kgまで	一連目先端荷重時は、試験荷重は、120kgまで。
全伸でい60度架てい75度架てい	#	80kgから20kgごとに 180kgまで	
11/12伸でい水平両端自由支持	1 はしご中央横さん 2 一連目先端横さん	60kgから20kgごとに 140kgまで	たわみ測定点
5/6伸でい水平両端自由支持	1 はしご中央 2 一連目先端横さん	#	1 たわみ測定点 2 はしご中央の荷重設定は、主観上面に円バイスをわたして実施
3/4伸でい水平両端自由支持	1 はしご中央横さん 2 はしご中央 3 一連目先端	#	1 たわみ測定点 2 はしご中央の荷重設定は、主観上面に円バイスをわたして実施

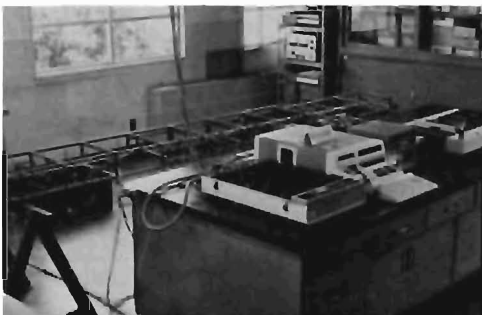


写真2 静ひずみの測定



写真3 動ひずみの測定

動ひずみ計 共和 DPM-1N
ブリッジボックス 共和 DB-120
電磁オシログラフ 三栄ビジグラフ FR-30J

(2) 実験結果

ア. 静ひずみについて

はしごを全伸でいして、水平両端自由支持した時の結果は、図2から図5に示すと
($\times 10^{-4}$)

おりである。いずれの場所に荷重を加えた時も基本的には上親骨上面側に圧縮ひずみ、下親骨下面側に引張りひずみを生じており、同一場所の上親骨と下親骨のひずみを比較すると、引張りひずみの方が圧縮ひずみに比較して1.1~1.2倍大きくになっている。一連目中央に荷重を加えた時は、図2のとおり

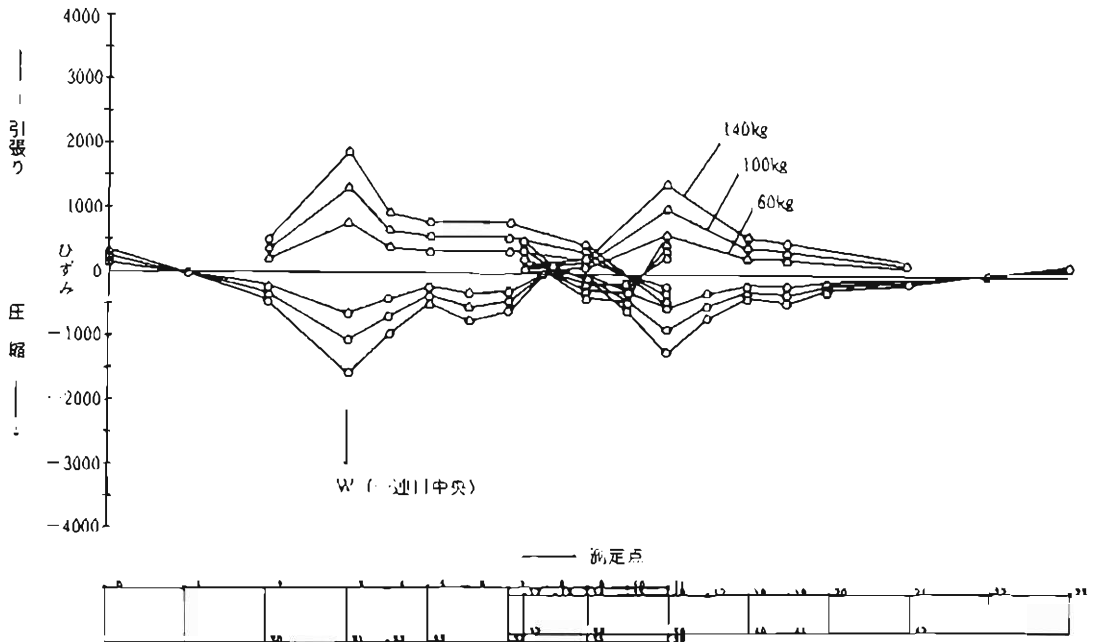


図2 全伸でい水平支持、一連目中央に荷重を加えた場合の各部のひずみ

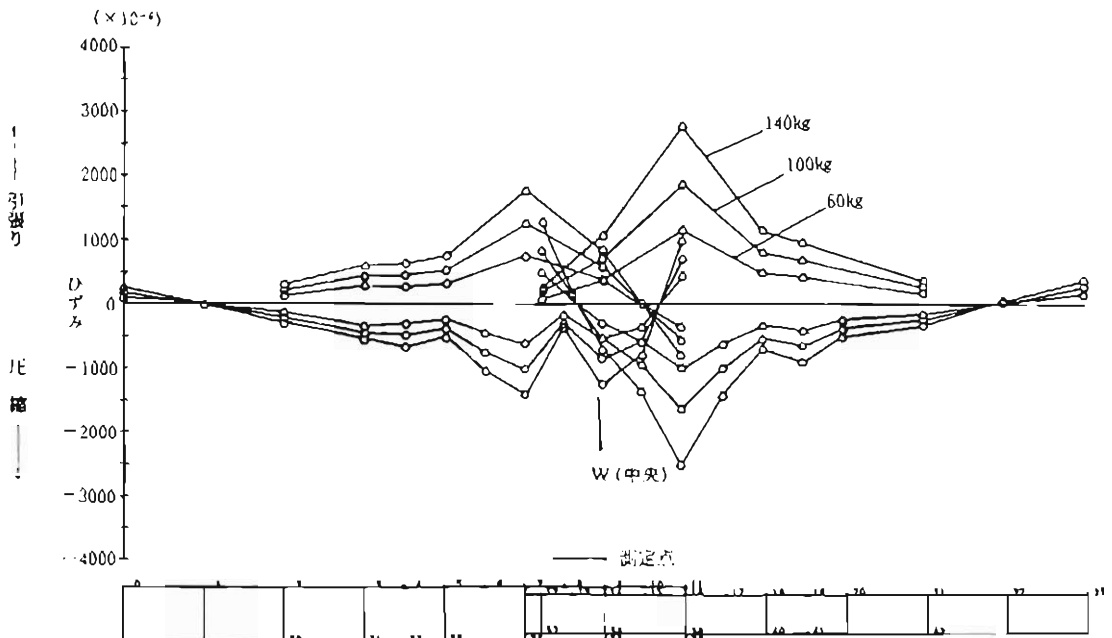


図3 全伸でい水平支持、はしご中央に荷重を加えた場合の各部のひずみ

り荷重点である一連目中央部の主管（測定点No31）に最も大きなひずみが生じており、その値は140 kg荷重時で 1846×10^{-6} である。

この時二連目で最も大きなひずみを生じているのは、一連目先端との重合部分（測定点No39）でその値は 1358×10^{-6} である。

はしご中央に荷重を加えた場合、図3のとおり最も大きなひずみを生じているのは、

二連目の一連目先端との重合部分（測定点No39）でその値は 1714×10^{-6} である。

一連目先端に荷重を加えた場合、図4のとおり最も大きなひずみを生じているのは、中央荷重の場合と同じく二連目の一連目の先端との重合部分で、その値は120 kg荷重時で 3562×10^{-6} である。

これは、120 kg荷重では今回行った実験

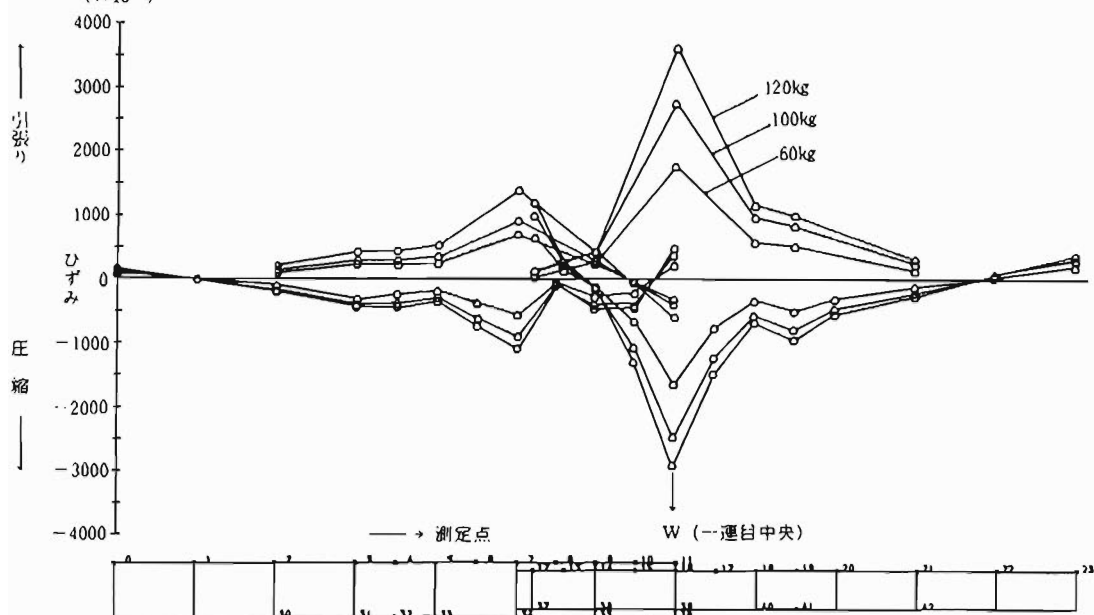


図4 全伸てい水平支持、一連目先端に荷重を加えた場合の各部のひずみ

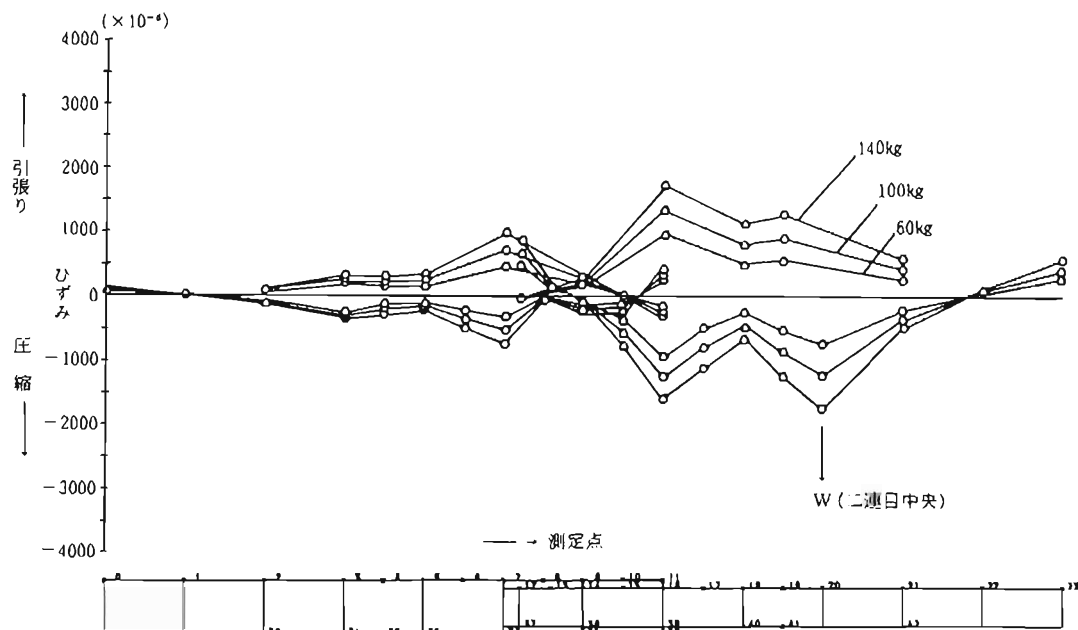


図5 全伸てい水平支持、二連目中央に荷重を加えた場合の各部のひずみ

で計測された静ひずみのうちで最も大きな値である。この時一連目で最も大きなひずみを生じているのは、中央荷重の場合と同様に二連目先端との重合部分でその値は 1349×10^{-6} である。この値を中央 120 kg 荷重時のひずみと比較すると約 0.91 倍と小さくなっている。

二連目中央に荷重を加えた場合、図 5 のとおり最も大きなひずみを生じているのは、荷重点である二連目中央（測定点 No20）で、その値は 140 kg 荷重時で -1729×10^{-6} である。なお、この時一連目先端との重合部分（測定点 No39）にも 1684×10^{-6} と荷重点と同様の大きなひずみを生じている。この時一連目で最も大きなひずみを生じているの

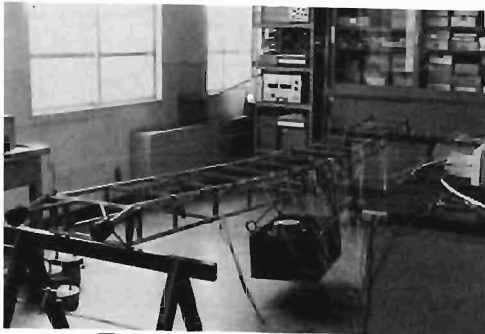


写真 4 水平両端自由支持
中央 140 kg 荷重時の状況

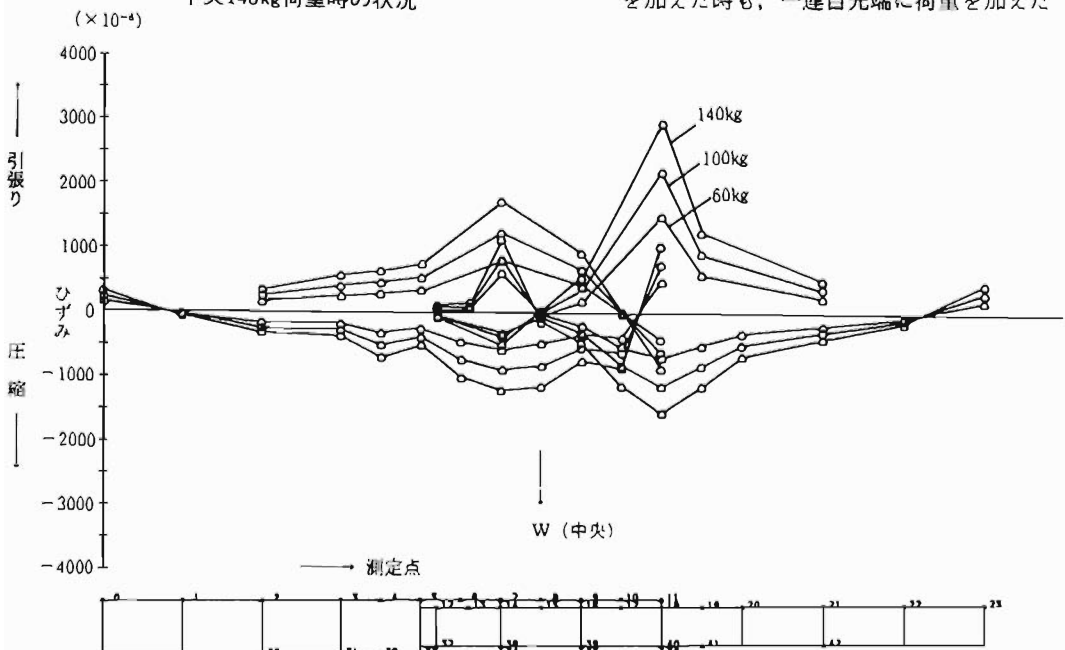


図 6 11/12 伸ていの水平支持、はしご中央に荷重を加えた場合の各部のひずみ

は二連目先端との重合部分（測定点 No34）で、その値は 925×10^{-6} である。

全伸ていして 60 度又は 75 度に架ていした場合も、主管各部のひずみ分布の基本的な形は、水平両端支持の場合と同様である。

しかし、同一場所の引張りひずみと圧縮ひずみの比は、はしご中央に荷重を加えた場合には、引張りが圧縮の約 1.2 倍と水平支持の時と同様であるのに対し、二連目中央に荷重を加えた場合は、引張りと圧縮の大きさはほぼ同じ値となり、また、一連目中央、一連目先端に荷重を加えた場合は、荷重点の付近で逆に圧縮ひずみの方が大きな値を示した。

なお、同一条件の時のひずみの大きさを水平支持の場合と比較すると、60 度架ていでは約 55%~60%、75 度架ていでは約 25%~30% となっている。

はしごを 11/12、5/6、3/4 伸ていして、水平両端自由支持した時の結果は、図 6 から図 8 のとおりである。11/12 伸ていした場合、即ち全伸ていの状態から二連目の横さん 1 本分だけ縮めた時ののはしご各部のひずみ分布の基本的な形、各連の最大ひずみの位置は、図 6 のとおりはしご中央部に荷重を加えた時も、一連目先端に荷重を加えた

時も、全伸ていの場合と同様であるが、二連目の一連目先端との重合部の引張りひずみと圧縮ひずみの比は、引張りが圧縮の1.8～1.9倍と大きくなっており、また、二連目末端の縮ていした部分のひずみは上親骨側が引張り、下親骨側が圧縮と+、-が逆転している。なお、一連目先端に140 kgの荷重を加えた時の、二連目の一連目先端と

の重合部(測定点No40)のひずみ 3636×10^{-6} は、今回行った実験で計測された静ひずみのうちで最も大きな値である。

はしごを5/6伸ていした場合、即ち二連目の横さん2本分縮ていした場合も、図7のとおりひずみ分布の基本的な形は、11/12伸ていの場合と変わらないが、はしごの中央に荷重を加えた場合、荷重点である一連目の

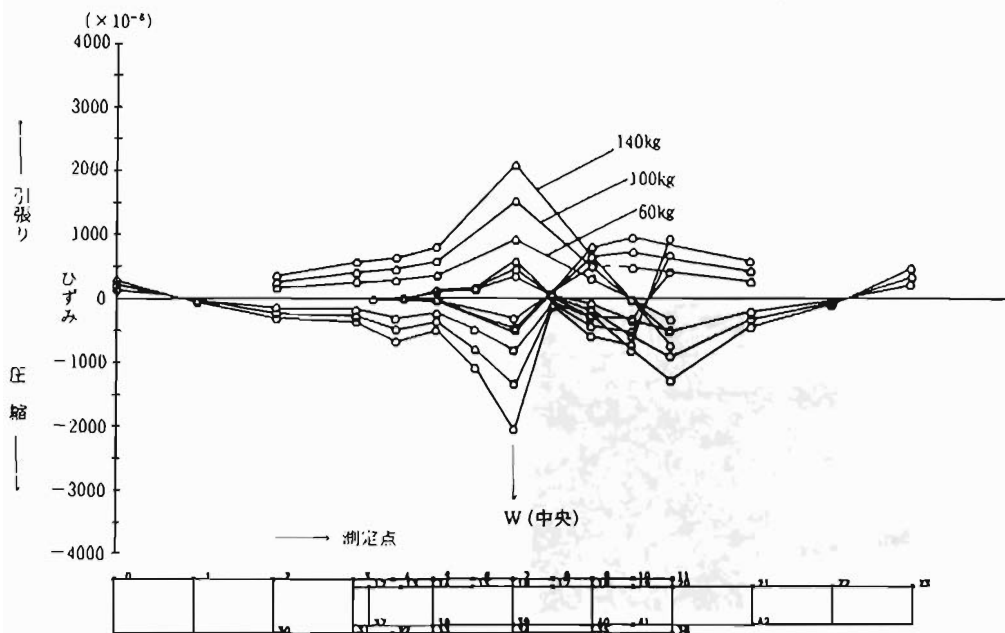


図7 5/6伸てい水平支持、はしご中央に荷重を加えた場合の各部のひずみ

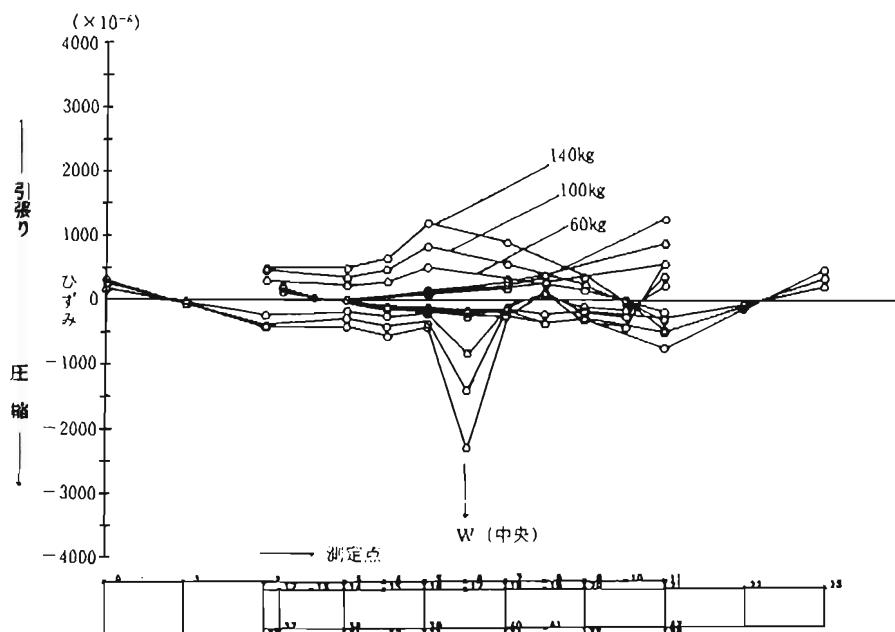


図8 3/4伸てい水平支持、はしご中央に荷重を加えた場合の各部のひずみ

測定点No34に最も大きなひずみを生じていること、二連目末端の縮てい分の上親骨と下親骨のひずみの+、-が逆転していることが特徴としてあげられる。

はしごを3/4伸ていした場合、即ち二連目の横さん3本分縮ていし、一連目先端に荷重を加えた場合は、荷重点である二連目の一連目先端との重合部分（測定点No42）に最も大きなひずみを生じており、一連目では二連目先端との重合部分（測定点No30）に比較的大きなひずみが出ている他は、小さなひずみが各部分に平均して生じている。

はしごの中央部に荷重を加えた場合は、図8のとおり一連目の荷重点に最も大きなひずみを生じ、二連目では一連目先端との重合部分に大きなひずみを生じている。荷重点に横さんがある場合とない場合の荷重点のひずみを比較すると、ない場合の方が約2倍大きくなっている。なお、3/4伸ていの場合には、11/12、5/6伸ていの場合のように二連目末端の縮てい分の上親骨と下親骨のひずみの符号が逆転することなく、引張りひずみ、圧縮ひずみの分布は、全伸ていの場合と同様である。

イ. たわみについて

はしごを全伸ていして、水平両端自由支

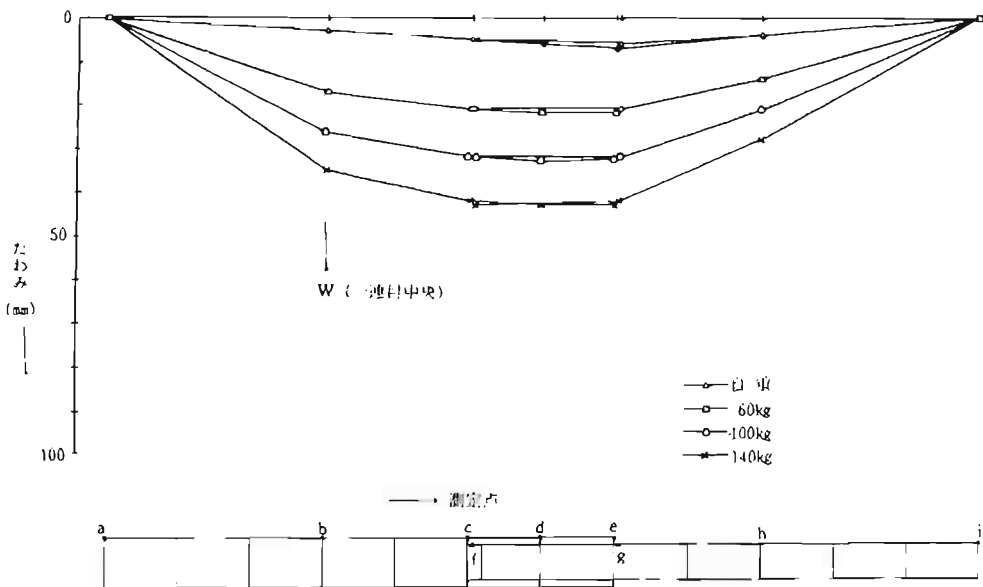


図9 全伸てい水平支持、一連目中央に荷重を加えた場合の各部のたわみ

持の状態なたわみを測定した結果は、図9から図12のとおりである。一連目中央に荷重を加えた場合、最も大きなたわみを生じている点は、図9のとおり一連目、二連目の重合部分（測定点c,d,e,f,g）で、140 kg荷重時にはいずれの測定点も42~43 mmと殆んど同じ程度のたわみを生じている。この時荷重点である一連目中央（測定点b）のたわみは35 mmで、一般的に小さなたわみである。はしご中央に荷重を加えた場合、最も大きなたわみを生じている点は、図10のとおり一連目先端（測定点e）で、その値は140 kg荷重時で73 mm、この時二連目の同じ位置（測定点g）のたわみは、72 mmである。一連目中央に荷重を加えた場合に比較すると、重合部のうちでも先端側に大きなたわみが生じる傾向が現われており、各測定点のたわみの大きさは、同一荷重を一連目中央に加えた場合よりいずれも大きくなっている。

一連目先端に荷重を加えた場合、最も大きなたわみを生じている点は、図11のとおりで、中央荷重の場合と同じく一連目の先端と、二連目の同位置（測定点e,g）であるが、重合部のうちでも先端側に大きなたわみが生じる傾向は、中央荷重の時よりも

著しくなっており、120 kg荷重時には最大たわみも70 mmと中央荷重時よりも大きくなっている。

二連目中央に荷重を加えた場合、最も大きなたわみを生じている点は、図12のとおり一連目先端と二連目の同位置（測定点e, g）で、その値は、140 kg荷重時で55 mmである。重合部のうちでも先端側に大きなたわ

みを生じるが、その割合は、一連目先端に荷重を加えた場合とほぼ同じである。また、同一荷重条件で一連目中央に荷重を加えた場合のたわみと比較すると、一連目中央（測定点b）以外では、すべて二連目中央に荷重を加えた時の方が大きくなっている。

はしごを全伸ていして60度又は75度に架ていた場合のたわみの測定結果では、い

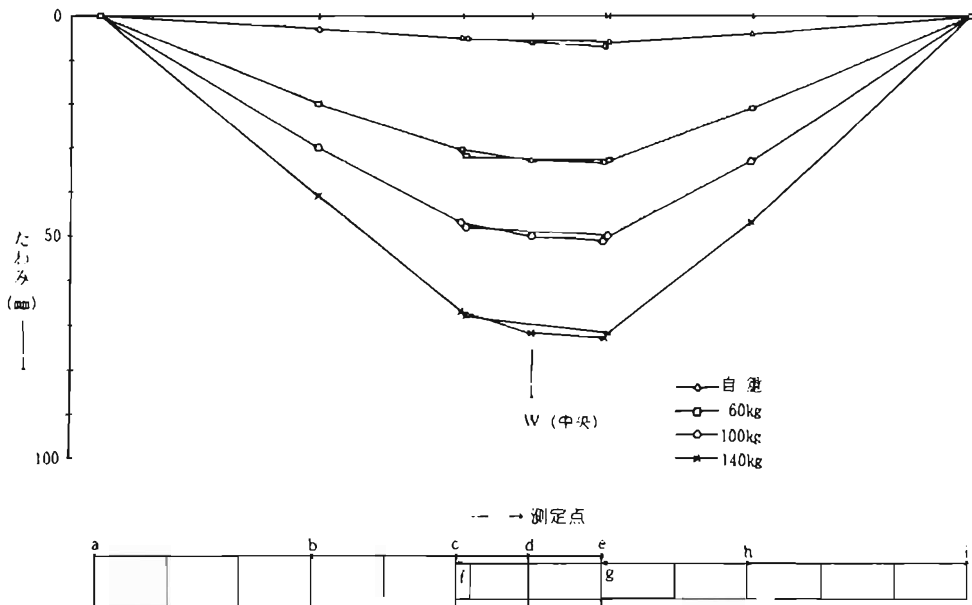


図10 全伸てい水平支持、はしご中央に荷重を加えた場合の各部のたわみ

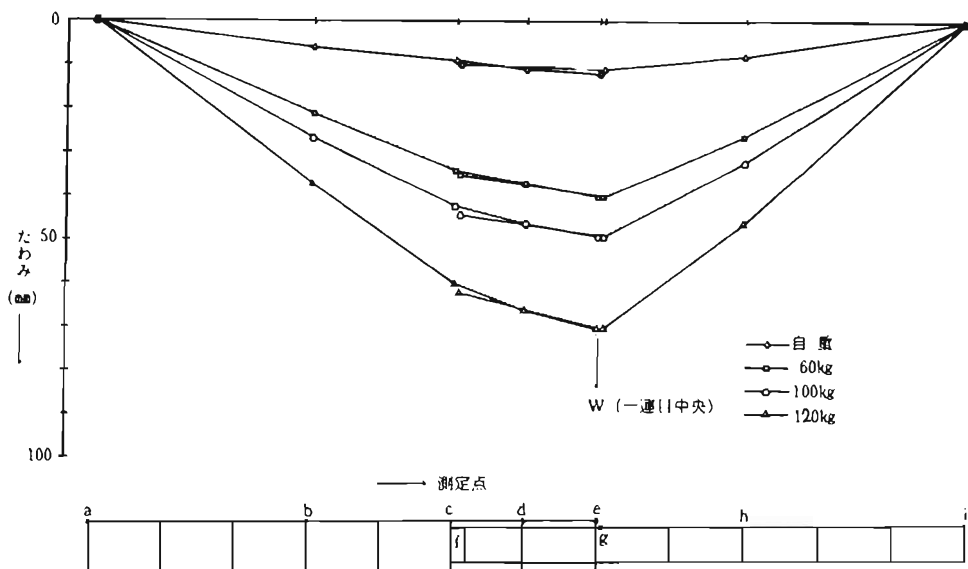


図11 全伸てい水平支持、一連目先端に荷重を加えた場合の各部のたわみ

ずれの位置に荷重を加えた場合も、たわみが大きく生じる点は、水平支持の実験結果と同様で、その大きさは60度架ていの場合、水平支持の約55～60%、75度架ていの場合、水平支持の約30～35%である。なお、架てい角度が大きくなるに従い、一連目先端(測定点 e)と二連目同位置(測定点 g)のたわみの差が大きくなる傾向が現われた。

はしごを11/12、5/6伸ていして、はしご中央に荷重を加えた場合、最も大きなたわみを生じる点は、図13、図14のとおり二連目の末端で、これらの場合にはいずれも一連目先端に荷重を加えた場合よりもはしご中央に荷重を加えた場合の方がたわみは大きく、11/12伸ていでは、140 kg荷重時で90 mmのたわみを記録している。この時、一連

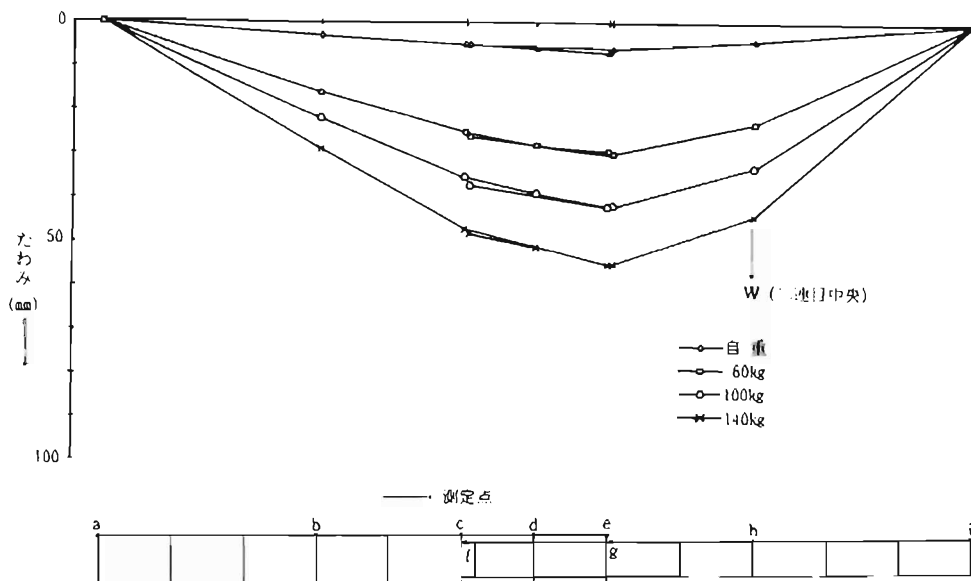


図12 全伸てい水平支持、二連目中央に荷重を加えた場合の各部のたわみ

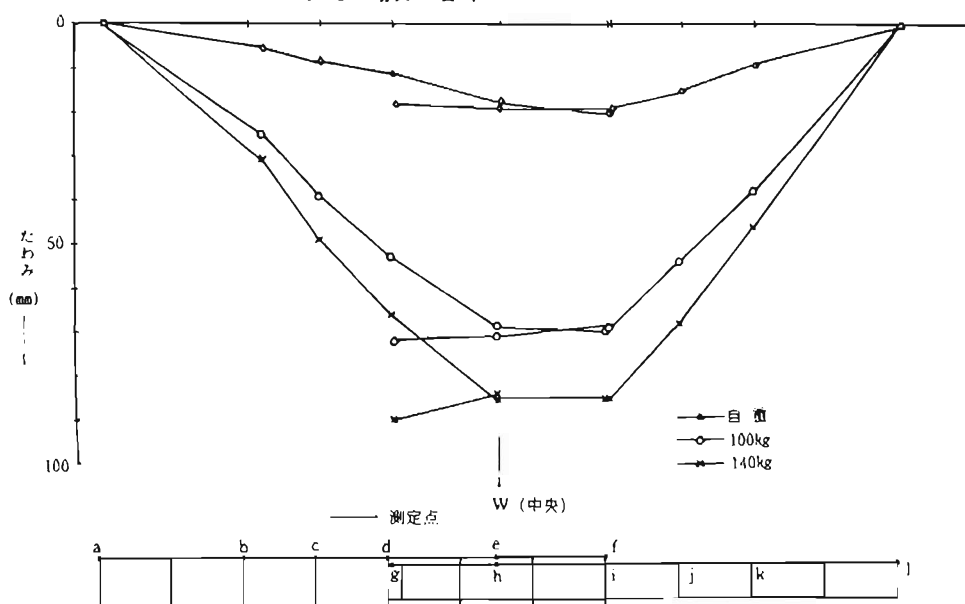


図13 11/12伸てい水平支持、はしご中央に荷重を加えた場合の各部のたわみ

目同位置との差は、24mmであった。はしごを3/4伸ていして、はしご中央に荷重を加えた場合、最も大きなたわみの生じる点は、図15のとおり二連目の荷重点(測定点h)であり、荷重点に横さんのある場合とない場合では、ある場合の方が大きなたわみを生じている。3/4伸ていの場合には、11/12伸てい、5/6伸ていの場合のように二連目の末

端に大きなたわみを生ずることはなかった。

表3は、はしごの各種荷重条件におけるひずみ及びたわみを測定した結果の最大値を総合的にまとめたものである。

ウ. 動ひずみについて

はしごを全伸ていして60度又は75度に架ていた場合の動ひずみの測定結果は、表4及び図16から図19のとおりである。60度

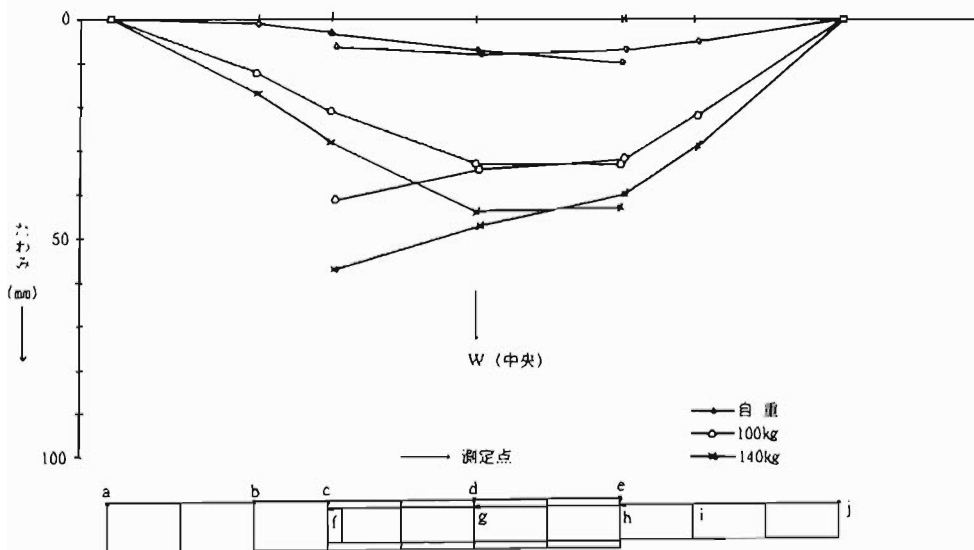


図14 5/6伸てい水平支持、はしご中央に荷重を加えた場合の各部のたわみ

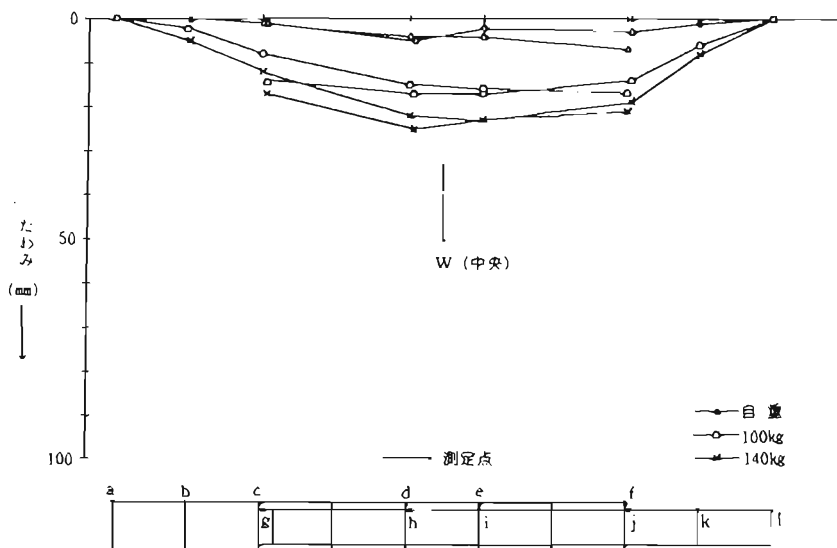


図15 3/4伸てい水平支持、はしご中央に荷重を加えた場合の各部のたわみ

表3 はしごの各種荷重条件における最大静ひずみ、最大応力、最大たわみ

はしご定設条件	荷重位置	荷重量	最大ひずみ ϵ	最大応力 $\sigma = E\epsilon$	最大ひずみ位置	最大たわみ	最大たわみ位置
全伸でい水平 両端自由支持	一連目中央	140kg	1.846×10^{-4}	19.4kg/mm ²	荷重点	43.0mm	二連目先端 二連目末端
	はしご中央	〃	2.714×10^{-4}	28.5kg/mm ²	二連目一連目先端との重合部	73.0mm	一連目先端
	一連目先端	120kg	3.562×10^{-4}	37.4kg/mm ² ※	〃	70.0mm	二連目の一連目 先端との重合部
	二連目中央	140kg	-1.729×10^{-4}	18.2kg/mm ²	荷重点	55.0mm	一連目先端
全伸でい60度架 てい	一連目中央	180kg	-1.505×10^{-4}	15.8kg/mm ²	〃	33.0mm	二連目末端
	はしご中央	〃	1.934×10^{-4}	20.3kg/mm ²	二連目の一連目 先端との重合部	52.5mm	一連目先端
	一連目先端	〃	-2.312×10^{-4}	24.3kg/mm ²	〃	67.0mm	二連目の一連目 先端との重合部
	二連目中央	〃	-1.351×10^{-4}	14.2kg/mm ²	荷重点	40.5mm	一連目先端
全伸でい75度架 てい	一連目中央	〃	828×10^{-6}	8.69kg/mm ²	〃	27.5mm	〃
	はしご中央	〃	914×10^{-6}	9.60kg/mm ²	二連目の一連目 先端との重合部	29.5mm	〃
	一連目先端	〃	-1.504×10^{-4}	15.8kg/mm ²	〃	49.0mm	〃
	二連目中央	〃	-772×10^{-6}	8.11kg/mm ²	荷重点	25.5mm	〃
$\frac{11}{12}$ 伸でい水平 両端自由支持	はしご中央	140kg	2.921×10^{-4}	30.7kg/mm ²	二連目の一連目 先端との重合部	90.0mm	二連目末端
	一連目先端	〃	3.636×10^{-4}	38.2kg/mm ² ※	〃	73.0mm	一連目先端
$\frac{5}{6}$ 伸でい水平 両端自由支持	はしご中央	〃	2.061×10^{-4}	21.6kg/mm ²	荷重点	57.0mm	二連目末端
	一連目先端	〃	-1.793×10^{-4}	18.8kg/mm ²	二連目の一連目 先端との重合部	50.0mm	〃
$\frac{3}{4}$ 伸でい水平 両端自由支持	はしご中央部 (横さん位置)	〃	1.335×10^{-4}	14.0kg/mm ²	荷重点	27.0mm	二連目荷重点
	はしご中央	〃	2.257×10^{-4}	23.7kg/mm ²	〃	25.0mm	〃
	一連目先端	〃	1.945×10^{-4}	20.4kg/mm ²	二連目の一連目 先端との重合部	24.0mm	一連目先端

(注) 純チタンTTH35Wの縦弾性係数(ヤング係) $E = 10,500\text{kg/mm}^2$ 0.2%耐力値 33.2kg/mm^2

※ 純チタンのひずみ・応力曲線の上部は平坦であり応力の真値はこれより小さい。

に架ていして登ていした時の動ひずみの測定結果は、図16のとおりで、横さん7段目に乗った時に二連目の一連目先端との重合部分(測定点No39)に最も大きなひずみ 1500×10^{-6} が生じた。この値は、静ひずみの179%である。また、静ひずみに対する動ひずみの比が最も大きく出たのは、横さん10段目に乗った時の二連目中央(測定点No31)の258%である。

降ていの時の動ひずみの測定結果は、図17のとおりで、登てい時と同様の傾向を示すが、7段目に乗った時の測定点No39のひずみは、 1955×10^{-6} と登てい時のそれよりもかなり大きく、静ひずみの233%である。

降てい時に静ひずみに対する動ひずみの比が最も大きく出たのは横さん4段目に乗った時の測定点No39の272%である。

75度架ていの場合は、60度架ていと同様の傾向を示すが、登てい時に最も大きなひずみが出たのは図18のとおり横さん8段目に乗った時の測定点No39の 1170×10^{-6} (静ひずみの207%) である。また、降てい時に最も大きなひずみが出たのは、図19のとおり横さん8本目に乗った時の測定点No39の 1950×10^{-6} (静ひずみの345%) である。この値は、登てい時に比較するとかなり大きく、60度架てい、降てい時の動ひずみの最大値に近い値となった。

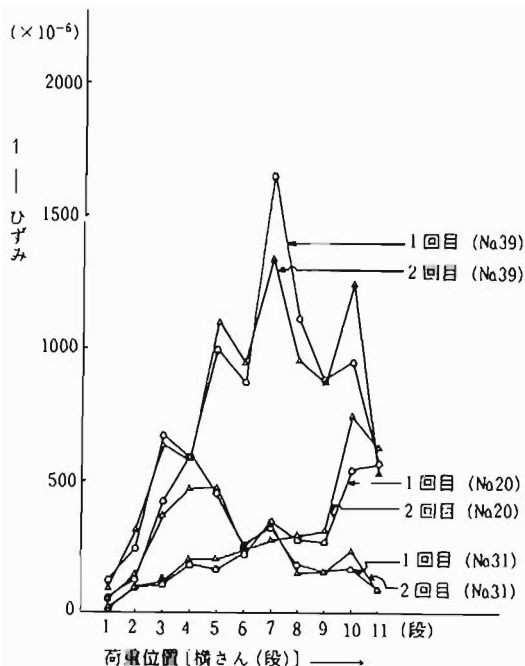


図16 全伸てい,60度架てい,登てい時の動ひずみ

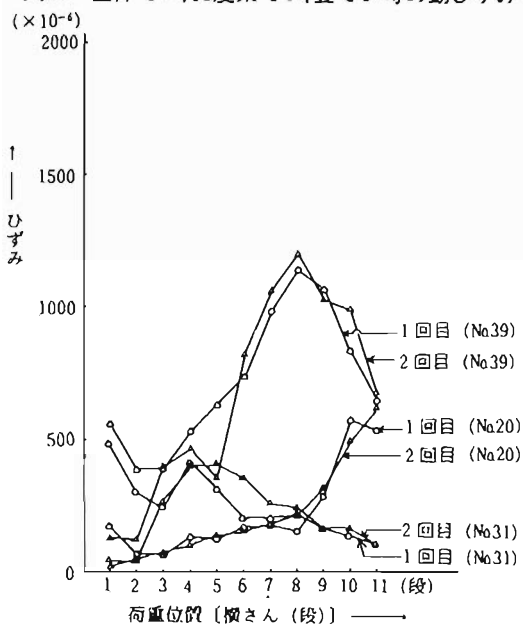


図18 全伸てい,75度架てい,登てい時の動ひずみ

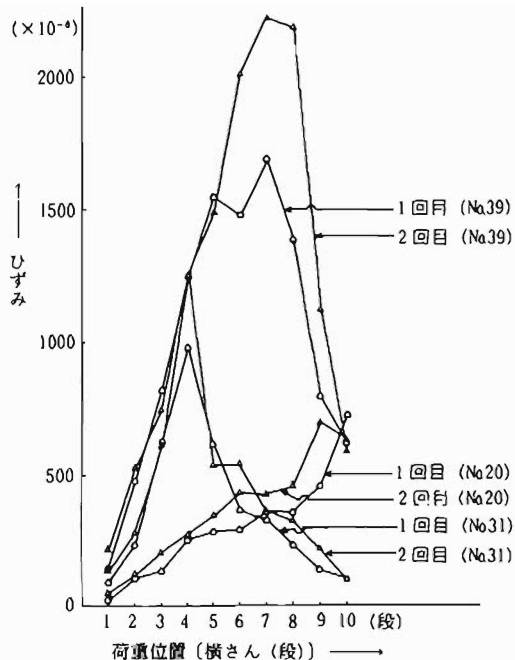


図17 全伸てい,60度架てい,降てい時の動ひずみ

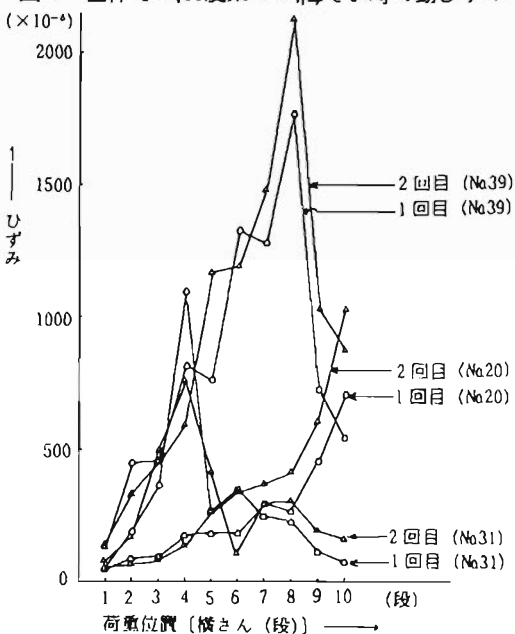


図19 全伸てい,75度架てい時の動ひずみ

4. 考 察

(1) 静ひずみについて

各連のひずみの分布状況を見ると、はしご中央に荷重を加えた場合は、それぞれの連の他の連とのかみ合せ部分に最も大きなひずみを生じ、また、一連目、二連目の中央に荷重を加えた場合は、それぞれの荷重点と他の連

とのかみ合せ部分に大きなひずみが生じている。これは研究所報19号（1982年）に掲載した英国製二連はしごのひずみの分布状況と基本的には同様で、伸縮式の二連はしごに荷重を加えた時の主管各部のひずみの基本的な分布パターンといえる。はしごの強度計算を行う場合、通常一本の梁として考えるが、はしごを全伸てい、水平両端自由支持し中央に

140 kgの荷重を加えた場合、このはしごに働く計算上の最大曲げモーメントは、約132.2 kg-mとなる。このはしごの断面係数は、一連目で6.49cm³、二連目で4.37cm³で、これよりそれぞれの連に働く最大応力を計算すると一連目で約20.4 kg/mm²、二連目で約30.3 kg/mm²となる。今回の実験で全伸で、水平両端自由支持、中央140 kg荷重時の最大ひずみは一連目で 1740×10^{-6} 、二連目では 2714×10^{-6} であった。

今回ののはしごの試作に使用した純チタン TTH35Wの縦弾性係数は、10500 kg/mm²であるので、測定したひずみ値を使って応力を計算すると、一連目では約18.3 kg/mm²、二連目では約28.5 kg/mm²の応力が働いていたことになり、断面係数による計算値と比較的よく一致する。また、はしごを水平両端自由支持し、荷重点を中央とした場合には、一連目、二連目とも同じ大きさのモーメントが働くのに、応力は二連目の方が一連目の約1.46倍大きくなっている。これは、このはしごが縮んでいる際に一連目の内側に二連目が入る構造になっており、二連目のはしごの厚さが小さく設計されているためである。

主管に同じ材料を使用していれば、断面係数は、はしごの厚さの2乗に比例して増減するが、このはしごの一連目と二連目の断面係数を比較してみると、一連目が二連目の約1.49倍となり、各連の応力の違いが断面係数の差、即ちはしごの厚さの差によるものであることが分る。

次に全伸で、水平両端自由支持ではしご中央に荷重を加えた場合と、一連目先端に荷重を加えた場合を比較してみる。はしごを一本の梁として計算すれば120 kg荷重時の最大曲げモーメントは、中央荷重の場合113.4 kg-m、一連目先端では110.8 kg-mとなり中央荷重時の方が大きくなる。ところが今回の実験では、一連目先端荷重時の方が中央荷重時の1.6倍のひずみを生じている。この時のひずみから応力を計算すると約37.4 kg/mm²となり曲げモーメントによる応力の計算値の約1.46倍となる。これは、この場合には中央荷重時のようにそれぞれの連のかみ合せ部で力

が均等に分割されないこと、一連目支点から先端までの距離が曲げモーメントの要素として二連目に働いていることを示していると思われる、力の分割の割合は、およそ6:4であると考えられる。

個々の測定点では、いずれの場合も測定点No 8の値が非常に小さいこと、各連末端の測定点のひずみの符号が逆になっていることが注目される。各グラフにおいて測定点No 8のひずみ値は、通常ならば測定点No 7、測定点No 9を結ぶ直線上又はその近傍にくるはずであるが、このように小さな値を示したのは、ちょうどこの位置に掛金及びこれを取付けるためのステーが取付けてあり、部分的に断面係数が大きくなったためであると考えられる。

また、このはしごの断面の中立軸は、主管の上親骨、下親骨の二等分点あり、荷重を加えた時、中立軸より下側の各点は引張り、上側の各点は圧縮ひずみを生じる。各連の末端は、計算上ではひずみは0になるはずであるが、実験の結果では、上側の各点が引張り、下側の各点が圧縮と逆の結果を示している。これは、各連の末端がいずれも力の作用点の近くにあるためであり、力の作用点の直近では、はしごの構造体として力を受ける他、一本のパイプ材としても直接力を受けていることを示している。

60度架てい又は75度架ていの場合、ひずみの値が水平両端自由支持の場合のそれぞれ55%~60%又は25%~30%となっているだけで、基本的な特性は、水平支持の場合と同様である。ただ一連目中央に荷重を加えた場合、水平支持の場合と異なり圧縮ひずみの方が引張りひずみより大きくなっているのは、60度又は75度に架ていした場合、加えた荷重の垂直分力による力のみでなく、上親骨は石づきからも軸に平行な圧縮力を受けているためであると考えられる。一連目先端、二連目中央に荷重を加えた場合も同様で、掛金から圧縮力を受けたものと思われる。これに反して中央荷重時に、水平支持の場合と同様に引張りが圧縮より大きくなっているのは、荷重位置が二連目の末端側で、掛金より先端側は荷重による垂直分力以外は、圧縮力が働かなかっ

たためである。なお、今回使用した純チタン材の0.2%耐力値 33.2 kg/mm^2 を許容応力とすると、主管に関しては60度架ていで約250 kgの静荷重、75度架ていで約380 kgの静荷重まで使用可能であると考えられる。

はしごを11/12伸てい、水平両端自由支持した場合、中央荷重時の一連目、二連目の最大応力の測定値は、計算値と比較的よく一致するが、一連目先端に荷重を加えた場合は、計算値の約1.4倍となる。この場合にも力の分割の割合や力の作用点までの距離を全伸てい先端荷重の場合と同様に考えると測定値と計算値は近い値となる。11/12伸ていの場合、二連目の一連目の先端との重合部分で、引張りひずみが圧縮ひずみの1.8倍と全伸てい時に比較してかなり大きくなっている。これは、全伸てい時の一連目先端との重合部の下親骨の位置（測定点No.39の位置）に横さんと平行に補強材が入っていたのに対し、横さん一本分縮てい時には、この位置（測定点No.40）には補強材がないためであると考えられる。補強材がある場合には、中立軸は上親骨と下親骨のほぼ二等分点にあり、上断面係数も下断面係数も等しくなるが、補強材がない場合は、中立軸の位置は上親骨側へ移動し、上断面係数に比べ下断面係数が小さくなる。引張りひずみと圧縮ひずみの値の大きな違いは、この断面係数の差によるものと思われる。なお、二連目末端の縮ていした部分のひずみの符号が逆転しているのは、一連目の先端から2段目の横さんの下親骨の位置（測定点No.34）に補強材があり、これが二連目の力を受けているからで、二連目のこの位置より末端側の部分は、この点を支点として片持梁の形で逆に応力が働くためである。

5/6伸ていの場合も、11/12伸ていの場合と同様のことがいえるが、この場合、二連目先端との重合部下親骨側に測定点がこなかったため、この部分に特に大きなひずみは出ていない。もし、この位置に測定点があったとすると、そのひずみの値は、一連目先端140 kg荷重時で 3200×10^{-6} 、中央140 kg荷重時で 2400×10^{-6} 程度になるものと予想される。

3/4伸ていの場合、11/12伸てい、5/6伸て

いの場合のように二連目末端の縮てい分のひずみの符号が逆転していないが、これは一連目末端から3段目の横さんの下親骨の位置（測定点No.30）に補強材があるためであり、ここまで縮ていした場合には、二連目からの力をこの位置で受けているためである。測定点No.2と測定点No.7のひずみの出かたを比較すると、3/4伸ていの場合、一連目末端から3段目の横さんの下親骨の位置（測定点No.30）にある補強材で二連目からの力を受けており、一連目先端から2段目の横さんの下親骨の位置にある補強材は、二連目からの力を殆んど受けていないことが分る。なお、中央部に荷重を加えた場合、荷重点に横さんがある位置とない位置では、ない位置の方が約2倍大きなひずみを生じているが、これは、ない位置に荷重を加えた場合には、その両側の縦さんを支点とする小スパンで、1本のパイプとしても力を受けるためであると考えられる。

(2) たわみについて

はしごを1本の梁としてたわみの計算をすると、全伸てい、水平両端自由支持の設定条件ではしご中央に荷重を加えた場合は、荷重点に最も大きなたわみを生じ、その大きさは140 kg荷重時で約70 mmとなる。今回の実験では中央荷重時の最大たわみは、一連目先端の73 mmで、これは計算値とほぼ一致する。最大たわみの位置が計算とずれているのは、このはしごが2つの連で構成されており、それぞれのかみ合せ部に遊びがあるためである。

はしごを全伸ていして一連目中央、二連目中央に順次荷重を加えた場合、計算上の最大たわみの位置は、それぞれ一連目先端、二連目末端より約6 cm内側へ入った位置となり、今回の実験結果とほぼ一致するが、その値は計算値より15~20%大きい。はしごのたわみは、その断面の断面二次モーメントに反比例する関係にあるが、実験で一連目中央に荷重を加えた場合も、二連目中央に荷重を加えた場合も荷重点に働くモーメントは等しいにもかかわらず、二連目中央に荷重を加えた場合の方が大きなたわみが生じたのは、二連目の断面二次モーメントが小さいからである。

このように二つの連で構成されるはしごで

は、一方の連のたわみの大きさが、他の連にも影響を及ぼし、全体的に大きなたわみを生ずるものと考えられる。

はしごを全伸でいして60度又は75度に架ていた場合のたわみは、水平支持の場合のそれぞれ約55～60%又は30～35%となるだけで、基本的な特性は水平支持の場合と同様である。

はしごを11/12伸でい、5/6伸でいした場合、二連目の末端に最も大きなたわみを生じているが、これは、一連目先端から2段目の横さんの下親骨の位置に補強材があり、ここで二連目からの力を受けているためである。この位置から末端側の二連目は、この位置を支点とし片持梁の形でたわみを生じている。11/12伸でい、5/6伸でいを比較すると、二連目末端のたわみの絶対値は5/6伸でいの方が小さいのに、二連目末端のたわみと一連目同位置のたわみの差は、5/6伸でいの方が大きくなっている。これは、支点から先のスパンが長いためである。

3/4伸でいでは、最大たわみの位置は、荷重点又は荷重点の近傍となり、二連目末端が11/12伸でい、5/6伸でいのように大きく逆にたわむことがないが、これは、二連目末端が一連目のこの位置（測定点No30）の補強材と当たり、この位置で二連目の力を受けていることを示している。なお、本はしごの性能実験は、約

8カ月の期間にわたって行ったが、60度架てい又は75度架ていにおいて一連目先端に荷重を加えた場合や、11/12伸でい時等で特に自重時のたわみが他の場合に比べ大きく出る傾向がみられた、これは、実験の後半、主管に0.2%耐力を越えるような荷重を加える実験を行った後に測定を行ったことの影響とも考えられる。今後、使用期間、あるいは使用回数とたわみの関係等についても研究を行う予定である。

(3) 動ひずみについて

60度架ていの場合も、75度架ていの場合も動ひずみの大きく出る条件、位置関係は基本的に同じであるが、表4から登てい時の静ひずみに対する動ひずみの比（百分率）をみると、荷重の加わっている横さんの近くの測定点の値が小さく、離れた位置が大きくなっている。これは荷重点の近くより離れた位置の方がはしごの揺れの影響を大きく受けていることを示している。

表5は、登てい時の動ひずみと降てい時の動ひずみの比（百分率）を示したものである。

降てい時は、一般に登てい時よりかなり大きなひずみを生じているが横さん10段目に乗った場合には逆の関係になっており測定点No31、No39のひずみは、それぞれ登てい時の約50%と小さくなっている。これは、この位

表4 はしご登てい時、降てい時の動ひずみ

() 内は静ひずみとの百分率

測定点 架てい角 荷重位置		No20		No31		No39	
		60度	75度	60度	75度	60度	75度
登 て い	横さん4段目	-193×10^{-6} (174%)	-117×10^{-6} (177%)	537×10^{-6} (92.2%)	409×10^{-6} (122%)	585×10^{-6} (130%)	500×10^{-6} (210%)
	7段目	-317×10^{-6} (164%)	-179×10^{-6} (190%)	334×10^{-6} (199%)	230×10^{-6} (434%)	$1,500 \times 10^{-6}$ (179%)	$1,024 \times 10^{-6}$ (280%)
	8段目	-288×10^{-6} (165%)	-185×10^{-6} (189%)	170×10^{-6} (109%)	232×10^{-6} (219%)	$1,038 \times 10^{-6}$ (108%)	$1,170 \times 10^{-6}$ (207%)
	10段目	-647×10^{-6} (82.8%)	-533×10^{-6} (157%)	207×10^{-6} (258%)	154×10^{-6} (1,027%)	$1,102 \times 10^{-6}$ (232%)	912×10^{-6} (488%)
降 て い	横さん4段目	-263×10^{-6} (237%)	-153×10^{-6} (232%)	$1,115 \times 10^{-6}$ (192%)	930×10^{-6} (278%)	$1,255 \times 10^{-6}$ (272%)	705×10^{-6} (296%)
	7段目	-394×10^{-6} (204%)	-344×10^{-6} (355%)	345×10^{-6} (205%)	270×10^{-6} (509%)	$1,955 \times 10^{-6}$ (233%)	$1,380 \times 10^{-6}$ (377%)
	8段目	-408×10^{-6} (234%)	-340×10^{-6} (347%)	280×10^{-6} (179%)	265×10^{-6} (250%)	$1,840 \times 10^{-6}$ (191%)	$1,950 \times 10^{-6}$ (345%)
	10段目	-680×10^{-6} (87.1%)	-870×10^{-6} (256%)	102×10^{-6} (128%)	117×10^{-6} (780%)	602×10^{-6} (127%)	708×10^{-6} (379%)

表5 はしご登てい時の動ひずみと降てい時の動ひずみの比(百分率) $\left| \frac{\text{降てい時の動ひずみ}}{\text{登てい時の動ひずみ}} \times 100 \right|$

荷重位置 架てい角	No20		No31		No39	
	60度	75度	60度	75度	60度	75度
横さん4段目	136%	131%	208%	227%	215%	141%
7段目	124%	187%	103%	117%	130%	135%
10段目	105%	163%	49.2%	76.0%	54.6%	77.6%

置が降てい時に最初に乗る横さんであり、登てい時と比べはしごの揺れが小さいためであると考えられる。また、降てい時には、下の段の横さんに荷重が移るに従って登てい時の動ひずみに対する降てい時の動ひずみの比(百分率)が大きくなっているが、これは、荷重が下に移るに従いはしごの揺れが次第に大きくなることを示している。60度架ていの場合と75度架ていの場合の動ひずみを比較すると全般的に60度架ていの場合の方が大きい、動ひずみの最大値は60度架ていも75度架ていもほぼ同じで、それぞれ静ひずみの最大値に対し233%又は345%となっている。また、その位置は、静ひずみが最も大きく出る位置と同じである。

75度架ていの場合、横さん10段目に乗った時の測定点No31の動ひずみが、登てい時又は降てい時それぞれ静ひずみの1027%又は780%と非常に高い割合を示しているが、これらの点は、ひずみの絶対値が非常に小さく強度的には全く問題はない。動ひずみからこのはしごの強度を検討する場合は、動ひずみが最も大きく出る点に注目すべきで、この実験では動ひずみは静ひずみの約2倍から3.5倍になることが分った。

5. ま と め

今回試作したはしごに使用した純チタンの管材は、鋼管よりも軽量であるが、強度が現用の鋼管製はしごに使用されている機械構造用炭素鋼の約70%であるため、はしごを設計する際に次のことを配慮した。

- (1) はしごの主管材又は横さん材に円管を使用した場合、軸に直角方向の力に対しては円管より不利になるので、今回の試作では、外径19.05mm、肉厚1mmの円管を使用することにより管の断面積を現用の鋼管製はしごの素材より大きくした。
- (2) はしごの厚さを取扱上支障のない範囲で大きくすることにより、断面係数を一連目で1.51倍、二連目で1.71倍現用の鋼管製はしごより大きくし、強度的な余裕をとった。

表6は、全伸ていし、水平両端自由支持した場合と60度架ていした場合について中央100kg荷重時の性能を現用の鋼管製はしごと比較したものである。表の安全率を比べれば明らかなように構造物としての強度は、ほぼ同様となっている。つまり、チタン材を使用すれば、軽量ははしごを製作することが可能であることが分ったわけであるが、チタン材は材料の需要が少ないため、価格的に高価であることが難点である。なお、今後構造上の検討事項として、これまでの実験で二連目の一連目との重合部に最も大きな応力が働くことが明らかになっているので、この部分のみを補強し、また、応力の小さな部分はさらに細い材料を使用するなどのことを総合的に検討すれば、さらに改良されるものと思われる。

表6 試作チタン製はしごと鋼管製はしごとの強度比較

設 定	項 目	種 別	
		チタン製二連	鋼管製二連
水平両端自由支持し中央に100kgの荷重を加えた場合	最 大 た わ み	51mm	54mm
	最 大 ひ ず み	1.827×10^{-6}	1.386×10^{-6}
	応 力	19.2kg/mm^2	29.1kg/mm^2
	安 全 率	1.73	1.68
60度に架ていし中央に100kgの荷重を加えた場合	最 大 た わ み	31.5mm	30.0mm
	最 大 ひ ず み	1.051×10^{-6}	763×10^{-6}
	応 力	11.0kg/mm^2	16.0kg/mm^2
	安 全 率	3.02	3.05