

## 現用三連はしごの応力測定結果について

The stress distribution caused to the ladder for fire fighting use.

辻	英	機*
城	田	剛*
松	田	啓行**
太	田	文和*
北	村	昭夫*

We created stress simulation program of three extension ladder based on finite element method. On the other hand, we measured the stress distribution caused on it by experiment.

As a result of comparing both effect, we found that the stress simulation expressed exactly the result of actual measurement. In future, it can be applied to make a light-weight ladder for fire fighting use.

### 1. はじめに

三連はしごの使用時に発生する応力については、従来多くの実験が行われてきたものであるが、第三研究室では別途、理論計算によって応力分布を求めることを意図し、有限要素法という数値解析法を用いた消防用はしごの応力シミュレーション技術を開発した。

このシミュレーション技術を三連はしごに適用したところ、従来の実測による応力分布とは異なったものとなった。その相違を検討した結果、実測における応力の測定位置及び測定点の数に問題があるとの結論に達し、従来の実測方法を改め、ひずみゲージを主かん上に稠密に貼付し実験を行った。

この結果、実測による応力分布はシミュレーション解析の結果とほぼ一致し、この応力分布の妥当性が確認された。今回開発したはしごの応力コンピュータシミュレーション技術の概要及び三連はしごの改良方法に関しコンピュータシミュレーション技術の応用例等について報告する。

### 2. シミュレーションについて

#### (1) 応力計算法

コンピュータによる構造体の応力計算法は、有限要素法に基づくラーメン解析を使用してい

る。有限要素法は航空機構造解析の精密化に端を発し、欧米の技術者によって開発された数値解析法であったが、コンピュータの進歩と数学的基礎研究の発展により理工学のあらゆる分野に応用しうる数値解析法として脚光をあびている。

現在、有限要素法は航空機、船舶、自動車等の構造解析及び流体、電磁場等連続体の物理量の計算に使用されている。

#### (2) 三連はしごの応力シミュレーション

今回試みた応力解析は、三連はしごの各連の段出し数、荷重条件及び架てい角度等の入力により、主かん上面及び下面の応力分布状況、たわみ量がグラフに表わされるものである。

計算手法としては、はしごの構造が左右対称形であることとコンピュータの容量の関係から二次元ラーメン解析とした。

各連の接合条件は、接触条件に近づけるため接触による圧縮部分に剛性率の小さい仮想部材を挿入することにより近似させた。

### 3. 実測時の応力分布とシミュレーションとの比較

#### (1) 供試はしごと応力測定点

実測及びシミュレーションの対象としたはしごは、積載三連はしご(鋼管製、全伸てい長さ8.7m、重量43kg)とし、実測においては主かん上側にひずみゲージを233点貼付し応力分布を求めた。(貼付箇所は図1のとおり)

\*第三研究室 \*\*狛江消防署

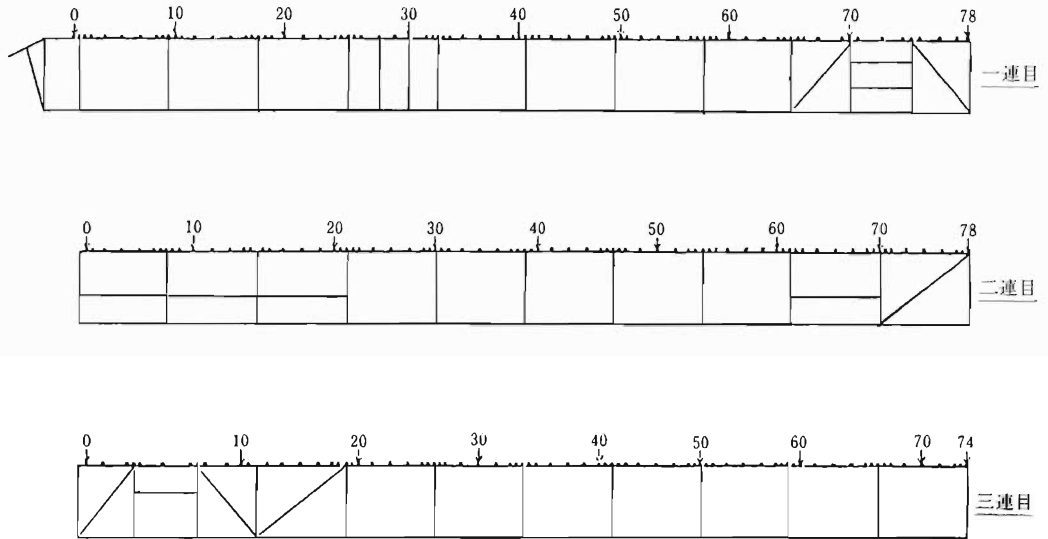


図1 三連はしごのひずみ測定点

(2) 実験条件

ア 水平全伸てい

水平全伸ていの状態で、各横かんに80kgの荷重を加える。

イ 70度架てい

70度架ていの状態で、各横かんに100kgの荷重を加える。なお、三連目の先端から4番目の横かんの位置を上部架てい位置とした。(写真1)

(3) 計測方法

各点のひずみは、スキャナーを介してひずみ測定器で測定した。また、ひずみ測定器とコンピューターを接続し、コンピューターによりデータの蓄積及び応力分布の作図を行った。

(図2、写真2)

実験に使用した計測器等は、次のとおりである。

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

X Yプロッター……………渡辺測器 WX4636R

コンピューター……………NEC 8801MK2 SR

(4) 応力分布の実測結果とシミュレーション結果

ア 水平全伸ていの場合

実施した応力分布の代表例と同一条件で行



写真1 荷重状況

ったシミュレーションの結果を合わせて、図3～図7に示す。

イ 70度架ていの場合

実測した応力分布の代表例と同一条件で行ったシミュレーションの結果を合わせて、図8～図11に示す。

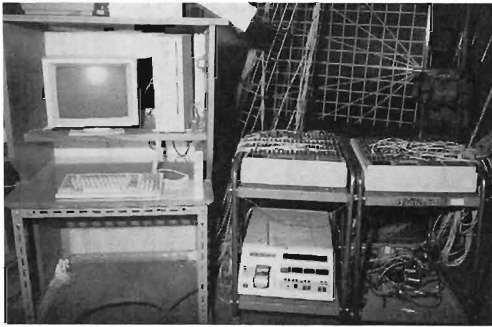


写真2 計測機器

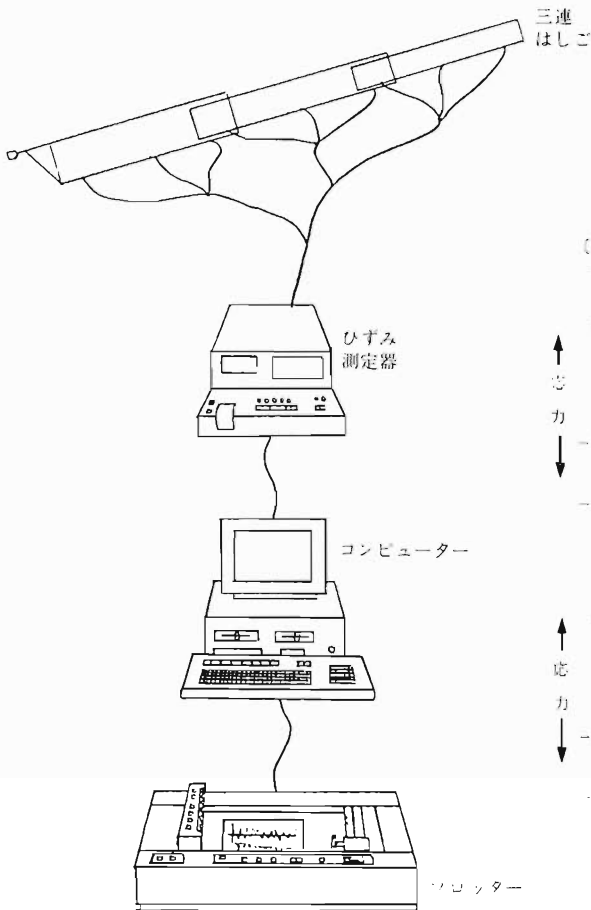


図2 ひずみ計測方法

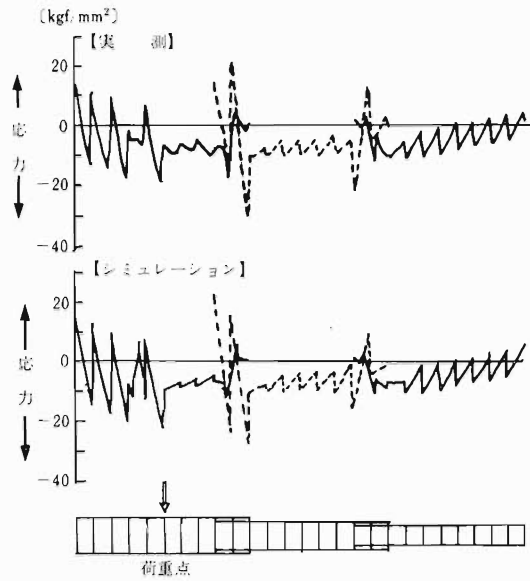


図3 応力分布 (水平全伸てい荷重80kg)

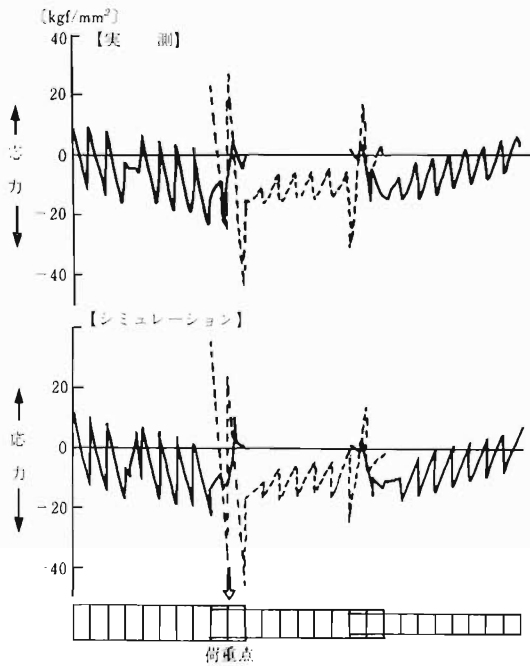


図4 応力分布 (水平全伸てい荷重80kg)

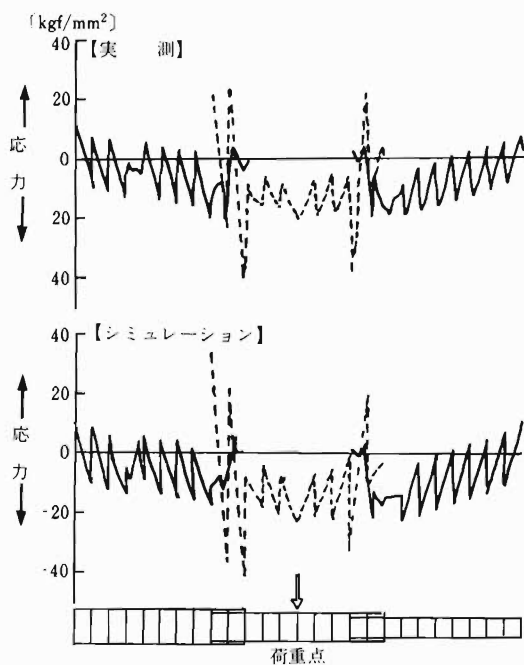


図5 応力分布（水平全伸てい荷重80kg）

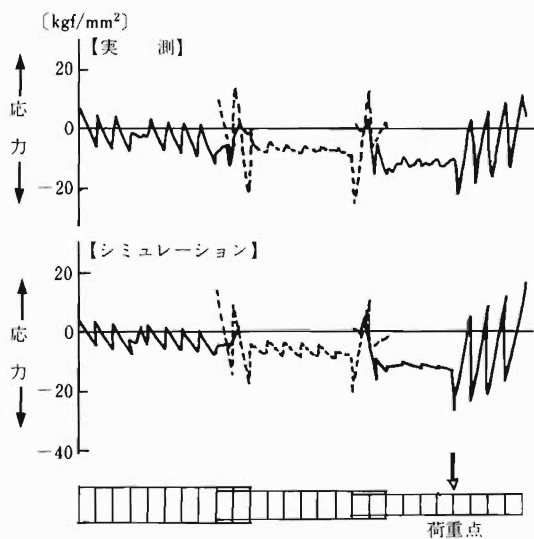


図7 応力分布（水平全伸てい荷重80kg）

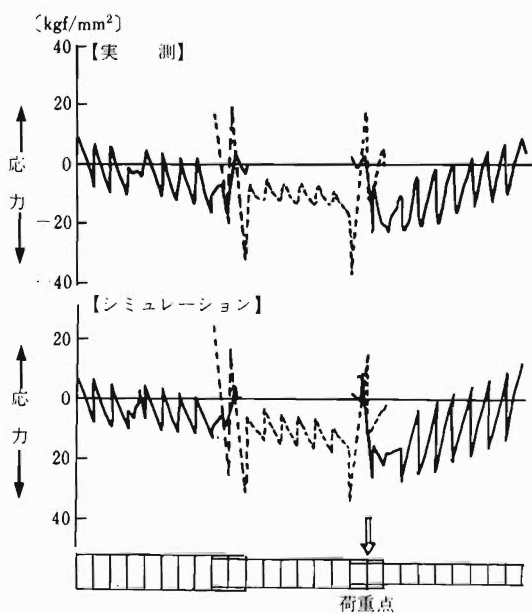


図6 応力分布（水平全伸てい荷重80kg）

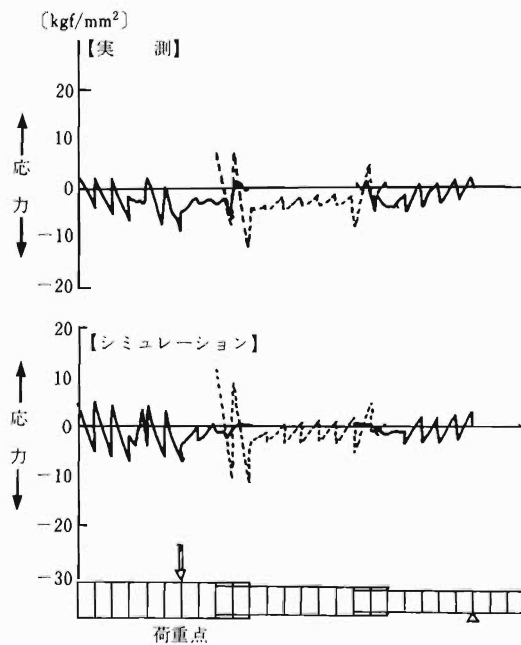


図8 応力分布（70度架てい荷重100kg）

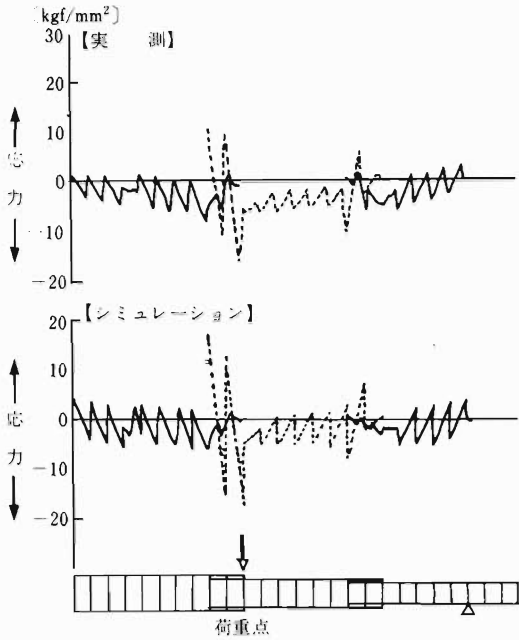


図9 応力分布 (70度架てい荷重100kg)

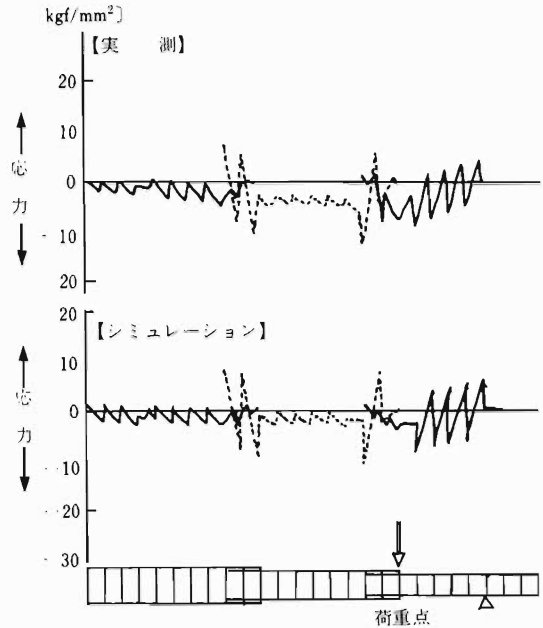


図11 応力分布 (70度架てい荷重100kg)

#### 4. 考 察

##### (1) 実測とシミュレーションの結果について

今回行ったシミュレーション結果は、実際の応力分布とほぼ一致していることが確認された。

今後はシミュレーションによる予測が可能となり、研究の効率化に活用できることと思われる。

##### (2) 応力分布の特徴について

応力分布の第一の特徴は、分布が鋸刃波形を示していることである。これは、主かんと支持かん（表裏の主かんと接続するかん）の溶接部の両側に、同じ向きの回転モーメントが発生し、溶接部の左右表面で引張と圧縮が逆転するためである。

第二の特徴は、水平でも70度架ていでも、二連目に著しく大きな応力が発生していることである。そして、その箇所は一連目と二連目及び二連目と三連目が重なり合った部分である。

他の実験で、一連目と二連目の接合部から折損する例があったが、これは、この応力分布の妥当性を裏付けているものといえる。

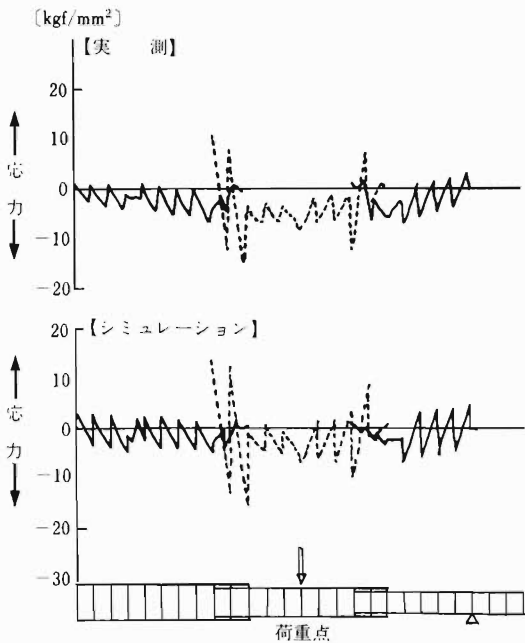


図10 応力分布 (70度架てい荷重100kg)

## 5. シミュレーションの応用

シミュレーション技術の応用により次のことが可能になる。

### (1) 軽量化等の検討

はしごの軽量化等を検討する場合材質、構造等の改良に伴って応力分布がどのように変わるかを調べる必要がある。そのため従来は、試作して実測を行っていたが、コンピューターシミュレーションを行うことにより設計、改良等が容易になる。一例として、現用三連はしごの二連目の最下端（側面）に図12のような補強かんを取付けた場合をシミュレートすると、二連目に発生していた大きな応力が消え、はしご全体にわたってほぼ均一な応力分布を示すことになる。(図13) つまり、強度的な改良方法が明らかになり、使用条件によっては、軽量化の可能性あるいは適正な設計であるかなども判断できることになる。

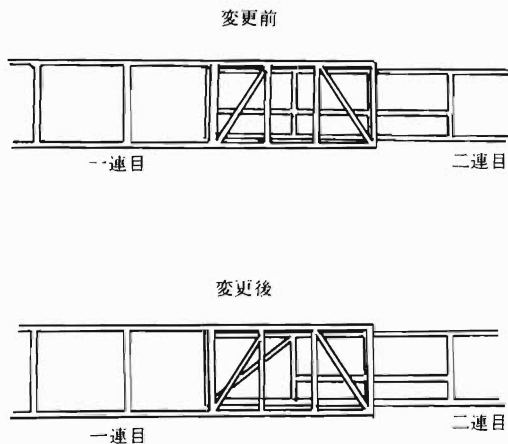


図12 補強かんの変更（はしご側面）

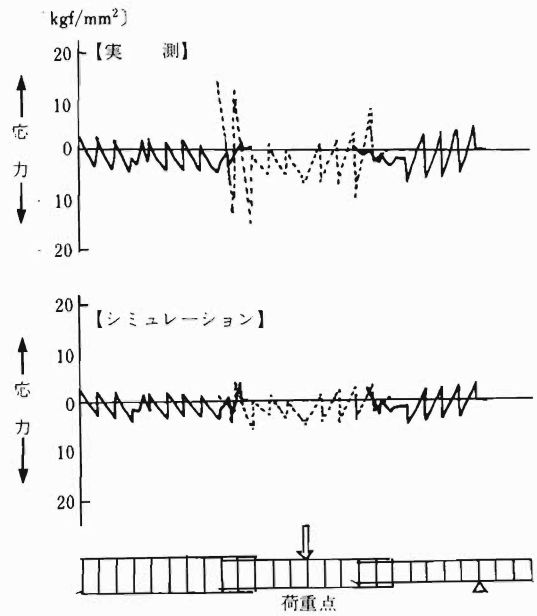


図13 補強かんの変更後の応力分布  
(70度架てい荷重100kg)

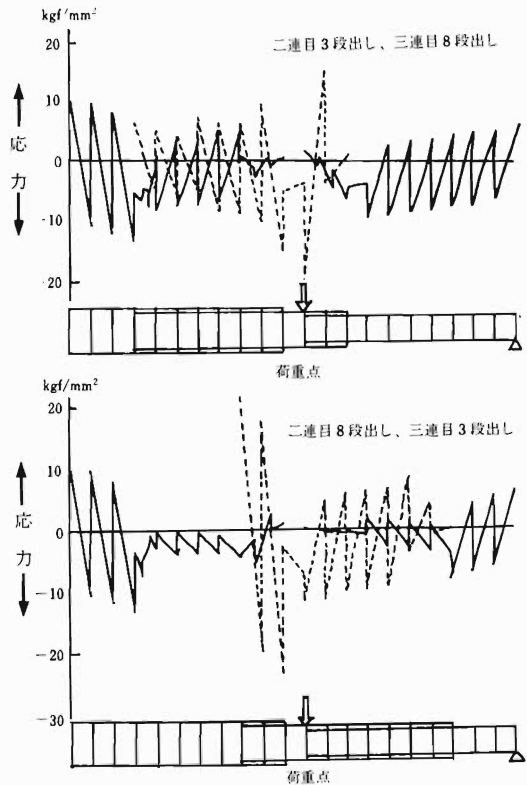


図14 応力分布（70度架てい荷重100kg）

## (2) 最適使用の解明

建物二階に三連はしごを架ていする場合、二連目と三連目の伸てい長きの組合せは種々あるわけであるが、どのような組合せがはしごにとって負担が軽いかを調べることもできる。

図14は、二連目を3段、三連目を8段伸ていした場合及び二連目を8段、三連目を3段伸ていした場合の応力分布である。この結果、前者の方が発生応力が少なく、はしごにとって荷重負担が軽いということがわかる。(図14)

## 6. おわりに

消防用はしごは複雑な構造となっているため、従来から設計、強度計算などに高度の知識と労力を要していたがコンピューター技術の発展に伴いはしご等の研究開発面への応用が可能になり、また、応力解析等も容易に出来るようになった。

今後、コンピューターシミュレーション技術を消防の技術開発に積極的に導入し、消防活動の安全化、機器の軽量化等に役立てたい。