

鉛直－水平荷重下における足場の設計強度について

A DESIGN STRENGTH ON THE SCAFFOLDS UNDER VERTICAL-HORIZONTAL LOADS
CONDITION

大幢勝利*

Katsutoshi OHDO

*博(工) 産業安全研究所主任研究官 建設安全研究グループ(〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6)

This paper aims at examining the design strength of the scaffolds under vertical-horizontal loads condition. Scaffolds often collapse due to strong wind in Japan, and a design code for collapse prevention of the scaffolds under wind loads has been established and continually developed. Nevertheless, in spite of the combination of wind and vertical loads increases a collapse risk of the scaffolds, only wind loads acting on the scaffolds were described in the design code. The condition of load combination has never been considered. Therefore, in this study, the vertical strength of the temporary scaffolds under vertical-horizontal loads condition was evaluated by F.E.M. analysis. The results show that these combined loads reduce the vertical strength of the scaffolds compared to the only vertical load cases.

Key Words : Scaffolds, Wind load, Construction, Vertical load, Design strength

1. はじめに

建設工事で使用する足場は、通常鉛直荷重と水平荷重がそれぞれ別々に作用するものとして設計されており、両者の組み合わせ荷重下における安全性は照査されていない。これは、水平荷重の主要因となる強風時においては作業を中止することを前提としているためである。しかしながら、実際には強風下でも資材等を足場上に仮置きする場合も多くあり、このような強風下における資材等の鉛直荷重による倒壊が危惧される。

そこで、本研究では鉛直－水平荷重下における足場の設計方法を確立するための基礎資料を得ることを目的として、近年小規模家屋の建築現場等を中心に使用されているくさび式足場を対象に、鉛直－水平荷重下における鉛直強度を有限要素法により解析した。その際、くさび式足場の鉛直強度は支柱と布材（水平材）の結合部の曲げ剛性に影響を受けるため、まず、その影響を考慮した解析手法を提案し、足場の基本的な構造に対する実大実験の結果と比較することにより解析手法の妥当性について検討した。この手法を用いて、鉛直－水平荷重下における足場の鉛直強度を解析し、風速と鉛直強度の関係を明らかにすることにより強風下での設計強度の低減率について検討した。

2. 実験方法

くさび式足場は、写真-1に示すように、支柱に取り付けられた受け金具に、水平材端部に取り付けられたくさびを

打ち込むことにより両者を結合し、組み立てられている。このようなくさび式足場には多くの種類があるが、その中から代表的なものとして、図-1から図-4に示すA、B、C、D、4種類の形状の結合部を持つくさび式足場を対象に実験を行った。

A、B、C、Dとも材質はSTK500で、支柱の寸法は従来型の単管足場と同様に外径48.6 mm、内径2.5 mmであるが、水平材の寸法は単管足場の48.6 mm、2.5 mmとは異なり外径42.7 mm、内径2.3 mmである。実験の概要は、次のとおりである。

2.1 結合部の曲げ実験

くさび式足場の鉛直強度に影響を及ぼす結合部の曲げ剛性を調べるため、図-5および図-6に示すように、支柱と水平材のくさび結合部のみを切り出し、支点間隔を300 mmとして中央の支柱に鉛直荷重を載荷する実験¹⁾を行った。この方法により、結合部に曲げモーメントを作用させた。

実験では、支柱に作用する荷重と支柱下端の変位を測定することにより荷重と変位の関係を調べ、その結果より結合部の曲げ剛性を評価することとした。その際、くさびの引き抜き方向（図-5）と打ち込み方向（図-6）の2方向について荷重を載荷した。これは、支柱が座屈する際、湾曲する支柱の外側と内側の結合部には、図-5と図-6の両方向の曲げモーメントが作用するためである。なお、全ての

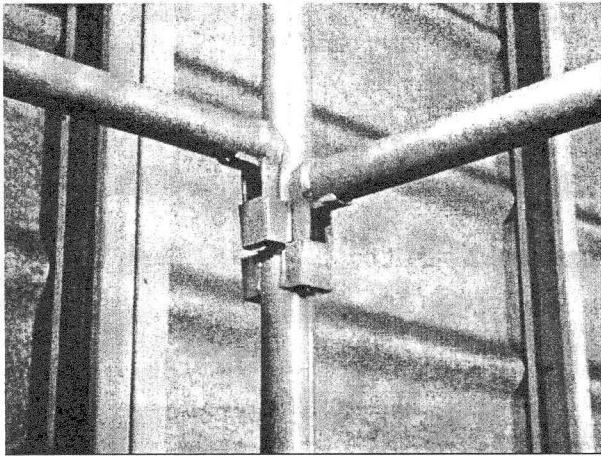
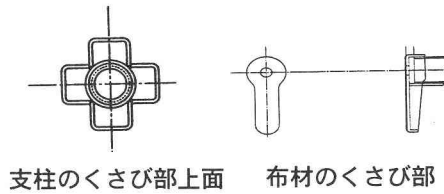
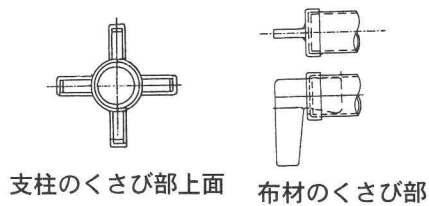


写真-1 くさび結合部



支柱のくさび部上面 布材のくさび部

図-1 くさび結合部 A の形状



支柱のくさび部上面 布材のくさび部

図-2 くさび結合部 B の形状

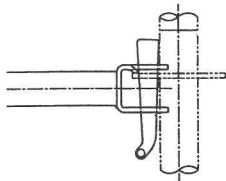


図-3 くさび結合部 C の形



支柱のくさび部上面 布材のくさび部

図-4 くさび結合部 D の形状

結合部で同じ条件となるよう、結合部は質量 1 kg のハンマーでくさびを 4 回たたいて打ち込むことにより結合した。

2.2 くさび式足場の実大実験

くさび式足場の基本的な構造に対する鉛直強度を調べるため、図-7 に示すように支柱及び水平材を使用して 2 層の四角塔に組み立てた実大のくさび式足場に対し、3000 kN 垂直荷重試験機により圧縮荷重を載荷する実験を行っ

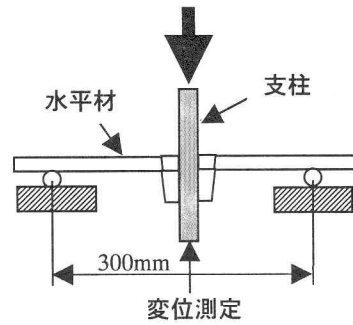


図-5 結合部の曲げ実験 (引き抜き方向)

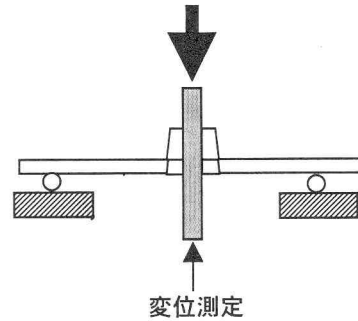
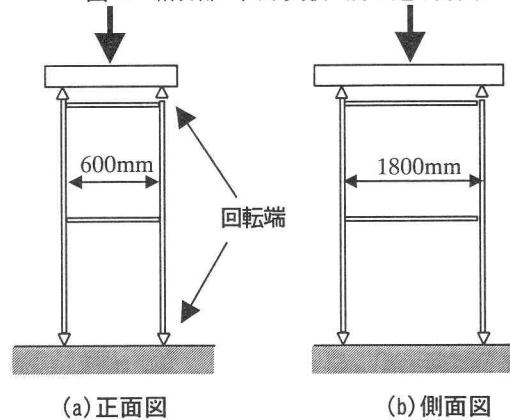


図-6 結合部の曲げ実験 (打ち込み方向)



(a) 正面図

(b) 側面図

図-7 実大実験の供試体

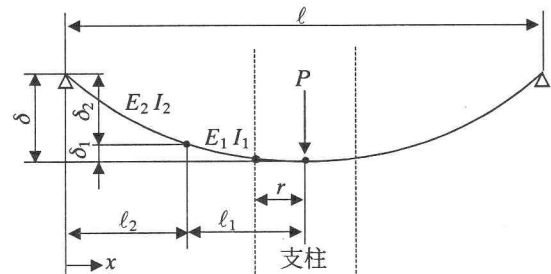


図-8 曲げ実験でのくさび結合部の変形

た。供試体の水平断面は、図-7 に示すように幅 1800 mm、奥行き 600 mm として、上下端にナイフエッジを取り付け、両端ピンとした場合の足場の鉛直強度を調べた。その際、ナイフエッジは、奥行き 600 mm の方向に座屈するように取り付けた。供試体の高さは、製品によって支柱の受け金具の取り付け間隔が異なるため、A、B の場合には 1 層の高さ 1800 mm、C、D の場合には 1900 mm とした。

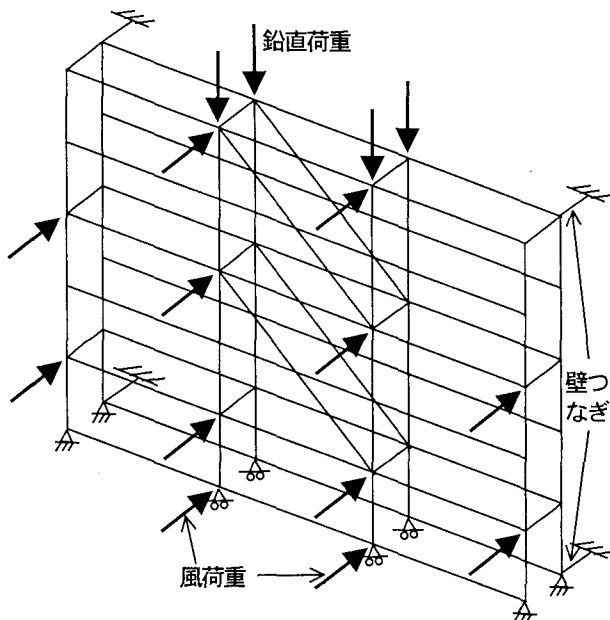


図-9 2.5層3スパンの足場に対する解析モデル

3. 解析方法

結合部の曲げ実験での供試体に、荷重 P を加えた時の全たわみ量を δ 、結合部と水平材のたわみ量をそれぞれ δ_1 、 δ_2 とすると、図-8 のようモデル化することができる。くさび結合部の曲げ剛性は $E_1 I_1$ で表されることから、図-8 の関係より $E_1 I_1$ について整理すると以下ようになる²⁾。

$$E_1 I_1 = \frac{(\ell_1 - r)^3 + 3(\ell_1 - r)\ell_2[(\ell_1 - r) + \ell_2]}{\left(\frac{6}{P/\delta} - \frac{\ell_2^3}{E_2 I_2}\right)} \quad (1)$$

ここで、

ℓ_1 : くさび結合部の長さ

ℓ_2 : 水平材の長さ

r : 支柱の半径

$E_2 I_2$: 水平材の曲げ剛性

式(1)の P/δ は結合部の曲げ実験より得られる値である。この式(1)を用いて、まず図-7 に示す実大実験の供試体を骨組みモデル化し、有限要素法によりくさび式足場の基本的な構造に対する鉛直強度を解析した。

次に、図-9 に示す 2.5 層 3 スパンのくさび式足場を対象に、鉛直-水平荷重下における足場の鉛直強度を推定する解析を行った。その際、この解析モデルには、実際の使用状況と同様に壁つなぎを取り付けた。労働安全衛生規則では、壁つなぎ間隔について規定があり、単管足場の場合、壁つなぎを水平間隔 5.5 m 以下、鉛直間隔 5.0 m 以下に取り付けることと規定されている。本研究では、くさび式足場の場合にもこれらを適用するものと仮定し、壁つなぎ間隔を可能な限り労働安全衛生規則の最大間隔となるように、2.5 層 3 スパン間隔で取り付けた。

また、図-9 に示す風荷重は次式により算出した。

$$P = \frac{1}{2} \rho U^2 A C G \quad (2)$$

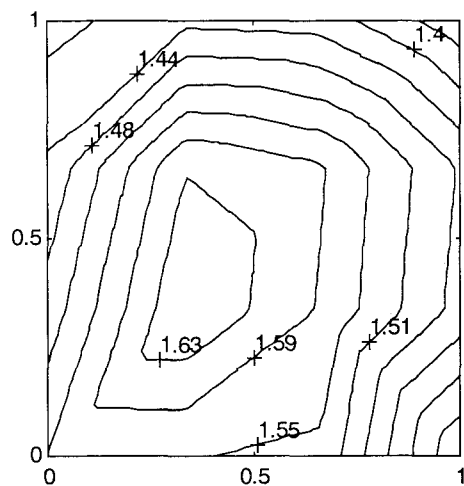


図-10 足場に作用する平均風力係数⁴⁾

ここで、

ρ : 空気密度

U : 平均風速

A : 風圧の受圧面積

C : 平均風力係数

G : ガスト影響係数

平均風速 U は、無風時 (0 m/s) および 10~16 m/s まで 2 m/s 刻みとして解析した。平均風速 10 m/s は、労働安全衛生規則において強風時の作業中止基準と示されている値である。また、平均風速 16 m/s は、風荷重に対する足場の安全技術指針³⁾では、例えば東京郊外の住宅地に相当する設計基準風速である。ガスト影響係数 G を算出するガスト応答解析⁴⁾も、この地域を対象として行った。平均風力係数 C は、図-10 に示す風洞実験の結果⁴⁾から求めた値を使用した。図-10 に示す風力係数は充実率 1.0 の場合の実験結果であるが、シートの種類によって充実率が変化し風力係数も変化する。このため、本研究では図-10 に示す風力係数は充実率に比例するものと仮定して、充実率 1.0 (全く穴がない場合) の防災シート、0.7 のメッシュシート、および 0.3 のグリーンネットが、それぞれ足場に取り付けられている場合を想定して風荷重を算出した。

この風荷重下において、図-9 に示すように壁つなぎの拘束のない支柱のみに鉛直荷重が作用する場合を想定して、くさび式足場の鉛直強度を求めた。その結果を基に、風速を考慮した足場の設計強度の低減率について検討した。

4. 実験及び解析結果と考察

結合部の曲げ実験における荷重と変位の関係より、解析で使用する P/δ を求めたが、2.2 の実験後の状況より、くさび式足場が座屈した場合においても、結合部は塑性変形し

表-1 結合部の曲げ実験の結果及び2層の足場の鉛直強度に関する実験値と解析値

	A	B	C	D
打ち込み方向の P/δ (kN/mm)	3.328	2.741	3.942	1.789
引き抜き方向の P/δ (kN/mm)	4.071	3.815	0.820	3.250
P/δ の平均値 (kN/mm)	3.699	3.278	2.381	2.519
2層の実験値 (kN)	85.18	76.25	69.18	65.40
2層の解析値 (kN)	79.03	76.73	67.72	68.68
実験値／解析値 (%)	107.8	99.4	102.2	95.2

ていないことがわかった。よって、実験で測定した荷重－変位曲線の弾性範囲内の傾きから P/δ を求めることとした。

この P/δ を用いて、2層のくさび式足場を対象として鉛直強度を解析した結果、表-1 に示すとおりとなった。表-1 には実大実験の結果も示すが、 P/δ の平均値の大小が、鉛直強度の大小を概ね表すことがわかった。また、全ての場合において解析値と実験値が非常によく一致しており、本研究で示した解析方法により、くさび式足場の種類によらず高い精度で鉛直強度を解析できることがわかった。

次に、図-9 に示す2.5層3スパンのくさび式足場に対し、結合部の曲げ剛性が最も小さくなったくさび式足場 C を対象に、鉛直－水平荷重下における足場の鉛直強度を推定する解析を行った。その結果、図-11 に示すとおりとなった。図-11 では、縦軸を鉛直方向の設計強度の低減率、横軸を平均風速として、シートやネットの種類ごとに示した。設計強度の低減率は、風速 0m/s の場合を基準に、労働安全衛生規則より鉛直強度に対し安全率を 2.0 として算出したものである。

図-11 より、労働安全衛生規則の作業中止基準である平均風速 10m/s の状況においても、シートの種類によらず設計強度の低減率は最大でも 6%と非常に小さくなっている。設計強度の 6%程度の荷重は通常作業荷重に含まれてしまうため、同規則のとおり平均風速 10m/s 以下で作業を中止すれば、図-9 に示す間隔で壁つなぎを取り付けたくさび式足場は安全であることがわかった。

それ以上の風速については、充実率が 0.3 のグリーンネットの場合、設計強度の低減率は 5%以下と非常に小さくなっている。しかし、充実率 1.0 の防災シートや 0.7 のメッシュシートの場合、平均風速の増加とともに設計強度の低減率は非常に大きくなっている。特に、防災シートの場合には、東京近郊の設計基準風速である平均風速 16m/s において、設計強度の低減率を約 27 %見込む必要がある。通常は、設計基準風速を超えないと足場に対する強風対策を行わないが、本解析結果より考えると、くさび式足場上に常時資材などを仮置きする場合には、設計強度を低減する、あるいは平均風速 10m/s を超える強風時において、資材の重量を減らす、足場を補強する等の安全対策を行う必要がある。

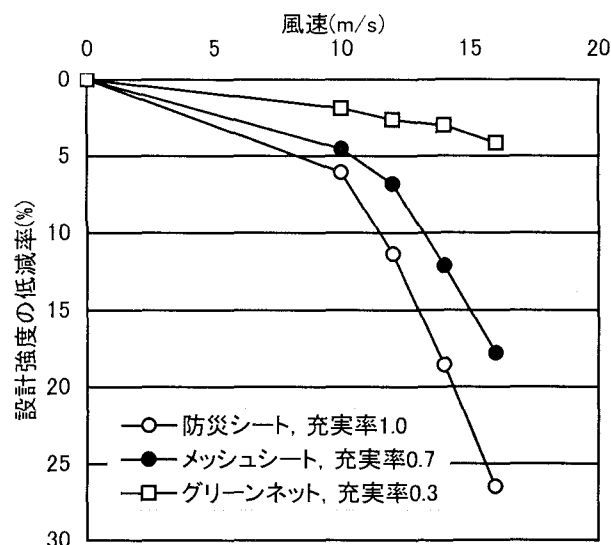


図-11 風速と設計強度の低減率の関係

5. まとめ

本研究では、小規模家屋の建築現場等で使用されるくさび式足場を対象に、鉛直－水平荷重下における足場の鉛直強度を解析し、強風下での設計強度の低減率について検討した。その結果、以下のことがわかった。

(1) 実験的に調べたくさび結合部の曲げ剛性を考慮してくさび式足場の鉛直強度を解析し、実験値と比較した。その結果、本研究で示した解析方法により、くさび式足場の種類によらず高い精度で鉛直強度を解析できることがわかった。

(2) 鉛直－水平荷重下における足場の鉛直強度を解析した結果、充実率 1.0 の防災シートや 0.7 程度のメッシュシートを使用し常時資材などを仮置きする場合には、設計強度の低減や強風時において足場を補強する等の安全対策を行う必要があることがわかった。

謝辞

本研究の一部は、社団法人仮設工業会との共同研究として行ったものであり、仮設工業会に感謝いたします。

参考文献

- 1)大幢勝利, 高梨成次, 日野泰道: くさび式足場の強度, 産業安全研究所安全資料, NIIS-SD, No.18, 産業安全研究所, 2003.
- 2)大幢勝利, 河尻義正, 小川勝教: くさび結合部を有する型枠支保工の座屈強度－斜材のない半剛結合骨組みの座屈強度について－, 産業安全研究所特別研究報告, RIIS-RR-94(1995), pp.45-51, 産業安全研究所, 1995.
- 3)仮設工業会: 風荷重に対する足場の安全技術指針, 仮設工業会, 1999.
- 4)K. Ohdo, Y. Hino, S. Phongkumsing and A. Kareem: Reliability Analysis of Temporary Scaffolding System under Strong Winds behind Scaffolds, Proc. of AWAS ' 02, pp.427-434, Seoul, 2002.