

簡易わく組足場の耐荷強度に及ぼす 建わくと床付き布わくのせん断剛性の影響†

高橋 弘樹*¹ 大幡 勝利*¹ 高梨 成次*¹

わく組足場の耐荷性能の評価に関しては、標準わくを用いた足場のように個材座屈により耐荷強度が決まるものについては、建わく単体の圧縮強度を知ることにより、これを組み上げた足場の耐荷強度を推定する手法が確立されているが、簡易わくを用いた足場のように全体座屈で耐荷強度が決まるものについては、建わくや布わくのせん断剛性が足場の耐荷強度に影響を与えることが推測できるものの、これらの関係を定量的、系統的に検討したデータはなく、その耐荷強度を知るためには組み上げた骨組の実大実験に頼らざるを得ない現状にある。本研究では、簡易わくを用いた足場について、建わくと布わくのせん断剛性をパラメーターとして座屈解析を行って簡易わく組足場の耐荷性能の新しい評価手法を検討した。

キーワード: わく組足場, 簡易わく, 床付き布わく, せん断剛性, 座屈, 耐荷強度

1 はじめに

1) 社会的な背景

構造物の建設工事において、施工対象物への近接作業が容易に行えるように、足場を設置する必要がある。この足場に関しては、労働安全衛生法¹⁾に関連した法規制がされており、労働安全衛生規則(昭和47年9月30日労働省令第32号、以下、安衛則とする。)²⁾及び「鋼管足場用の部材及び附属金具の規格」(昭和56年12月25日労働省告示第103号、以下、構造規格とする。)³⁾には、足場用の部材である建わくや床付き布わくなどの材料、構造、強度などが規定されている。これらの仕様を満たしていれば、足場を使用する際の安全性は確保されることから、従来より安衛則及び構造規格に沿って足場用部材は製造されてきた。

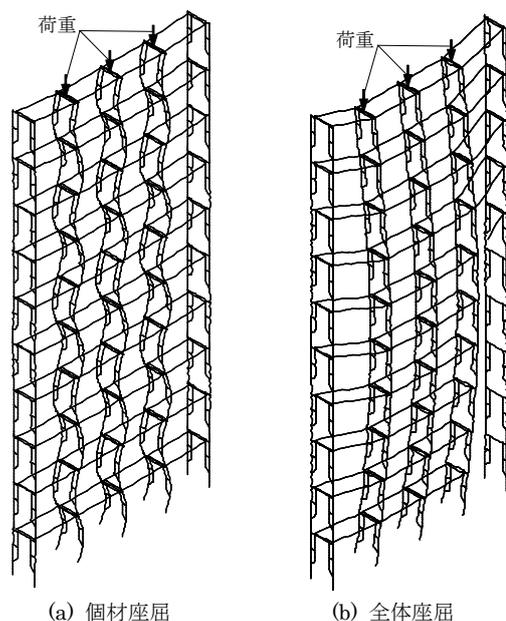
しかし、近年、施工性、安全性などの向上を目的として、構造規格の規定外の足場用部材が開発されている。例えば、足場の組立・解体時に常に先行して手すりを設置する手すり先行工法²⁾では、構造規格に規定のない手すりわくなどが使用されている。ただし、このような構造規格の規定外の足場用部材を開発する際は、適用除外を受ける必要があり、これに伴う審査や強度試験により多大な労力を要する。このため、足場用部材の開発の自由度が損なわれているのが現状である。これは、構造規格の規定外の足場用部材に関して性能を評価する手法が確立されていないためである。

これらのことから、本研究では、構造規格で保障している安全性と同程度の性能を満たす性能評価手法の確立を目的として、基礎的な研究を行った。

2) わく組足場の性能

建設工事現場等で一般的に使われているわく組足場では、足場そのものの自重や人などによる積載重量によって、鉛直方向に力が加わる。特に標準わくを用いたわく組足場においては、足場を型枠支保工として使用することもあるため、足場が座屈する程の過荷重が作用することもある。

建設工事現場等で一般的に使われているわく組足場について、座屈実験を行うと、図1に示すような交差筋違い面方向に建てわくが一層毎にわん曲方向が変わる個材座屈とわく面方向に建てわくが全体的に座屈する全体座屈が認められる。わく組足場が全体座屈を生ずる場合は、個材座屈を生ずる場合よりも座屈長さが長くなるため、小さい荷重で発生する。既存の実験³⁾により、全体座屈は建わくの補剛材がない場合に多く発生することが知られており、これらの場合に、建わくのわく面のせん断剛性が減少し、結果として全体座屈が発生するものと考えられる。



(a) 個材座屈 (b) 全体座屈

図1 わく組足場の座屈形状

† 原稿受理 2007年12月15日

*¹ 労働安全衛生総合研究所建設安全研究グループ.

連絡先: 〒204-0024 東京都清瀬市梅園1-4-6

労働安全衛生総合研究所建設安全研究グループ 高橋弘樹*¹

E-mail: takahah@s.jniosh.go.jp

標準わくを用いたわく組足場については、型枠支保工として使用することもあるため、全体座屈よりも強度性能が保障されている個材座屈により対荷強度が決まることは、既知の知見であり³⁾、それを前提として構造規格が規定されている。一方、簡易わくを用いたわく組足場については、型枠支保工に比べて作用荷重の小さい場合に使用することとされ、型枠支保工としては使用しないことが望ましいとされている。しかし、建設工事現場での仮設構造物の不足などにより、簡易わく組足場を型枠支保工として使用しなければならなくなった場合、簡易わく組足場についても標準わく組足場と同程度の対荷強度が要求される。本論では、建設工事現場で組まれているわく組足場を参考にして、建わくと床付き布わく、交差筋違いを用い、壁つなぎを安衛則の規定通りに垂直方向 9m 以内、水平方向 8m 以内に取り付けたわく組足場を対象として、足場を型枠支保工として用いた場合に要求される個材座屈を対荷強度の基準とした。

またここで、わく組足場の対荷強度には建わくのせん断剛性以外に、建わくと建わくをつなぐ床付き布わくのせん断剛性も影響すると考えられる。しかし、床付き布わくのせん断剛性がわく組足場の対荷強度に及ぼす影響は不明である。よって、本論文では、建わくと床付き布わくのせん断剛性の関連性が足場の対荷強度に及ぼす影響を検討した。

3) 筆者らのこれまでの研究

これまで、筆者らが行った足場用部材の性能評価に関する研究として、構造規格において強度に関する基準のない布わくのせん断剛性を確認する実験⁴⁾と低層建築工事をする場合に使われる低層用建わく組足場の性能を確かめる実験⁵⁾を行った。これらにより、建設工事現場等で一般的に使われている布わくのせん断剛性と低層用建わくを用いたわく組足場の性能について基礎的なデータを取得することができた。更に、建わくと床付き布わくのせん断剛性の関連性が足場の性能に及ぼす影響を検討した研究として、標準わくを用いたわく組足場において、鉛直荷重が作用した場合の足場の性能について解析的な検討を行った^{6,9)}。

これまでは、主に標準わくを対象に検討を行ってきたが、本論では、建わく全般の包括的な安全性能評価を目的として、簡易わくについて検討を行った。

2 数値解析

建わくと床付き布わくのせん断剛性の関連性が、わく組足場の性能に及ぼす影響を検討するため、本論では、構造に関する研究などに広く使われている有限要素法を用いた数値解析を行った。わく組足場を型枠支保工として使用するなど、わく組足場に鉛直荷重として過荷重が作用する場合、対荷強度は個材座屈により決まると考えられることから、数値解析により、わく組足場が全体座屈を生ずる場合と個材座屈を生ずる場合の境界を探り、足場として最低限必要な強度性能を検討した。

3 解析概要

はじめに、足場用部材である建わくと床付き布わくについて、解析モデルのモデル化の検討を行い、それぞれのせん断剛性の評価を行った。そして、これらを踏まえ、わく組足場の座屈解析を行った。

解析は、汎用有限要素解析プログラムの ANSYS を用いた。わく組足場の材料が鋼材であることから、解析モデルの材料は等方性の弾塑性体とし、降伏条件は数値解析で一般的に使われている Von Mises の条件に従うものとした。解析に使用した応力-ひずみ関係を図 2 に、材料物性値を表 1 に示す。応力-ひずみ関係は、一般的な鋼材の応力-ひずみ関係を簡略化したバイリニア型とし、降伏後はひずみ硬化を考慮した。表中の ν はポアソン比である。

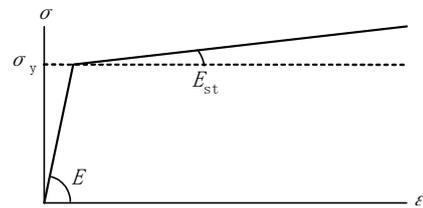


図 2 解析に用いた応力-ひずみ関係

表 1 解析に用いた材料物性値

部材 (鋼材の材質)	E (N/mm ²)	ν	σ_y (N/mm ²)	E_{st} (N/mm ²)
建わくの脚柱、横架材 (STK500)	205000	0.3	355	2050
建わくの補剛材 (STK400)	205000	0.3	235	2050
床付き布わく (SS400)	205000	0.3	235	2050

4 建わくのモデル化とせん断剛性の評価

建わくの解析モデルを図 3 に示す。解析に用いた建わくの外枠寸法は、現在、建設現場で使われている簡易わくを参考にして、次の 3 種類とした。

外枠寸法：幅 762mm × 高さ 1700mm ($l_0/h_0=0.45$)

外枠寸法：幅 610mm × 高さ 1700mm ($l_0/h_0=0.36$)

外枠寸法：幅 410mm × 高さ 1700mm ($l_0/h_0=0.24$)

ここで、 l_0 ：建わくの幅、 h_0 ：建わくの高さ。

括弧内には、外枠寸法のアスペクト比として l_0/h_0 を示した。

図 3 に示した補剛材長さは、建設工事現場で一般的に使われている代表的な長さを示した。建わくの解析モデルは、鋼管により構成されていることから、有限要素は、2 節点のビーム要素とした。これらの建わくについて、補剛材の取り付け長さを調整し、建わくのせん断剛性 k_s を調べた。また、現在の構造規格の規定によると、足場用部材としてせん断剛性試験をしなければならないのは、低層わくのみである¹⁾が、今後足場の性能評価に関する研究が進み、足場を組み上げた場合の対荷強度の評価を建わくのせん断剛性試験により行うこととなった場合、

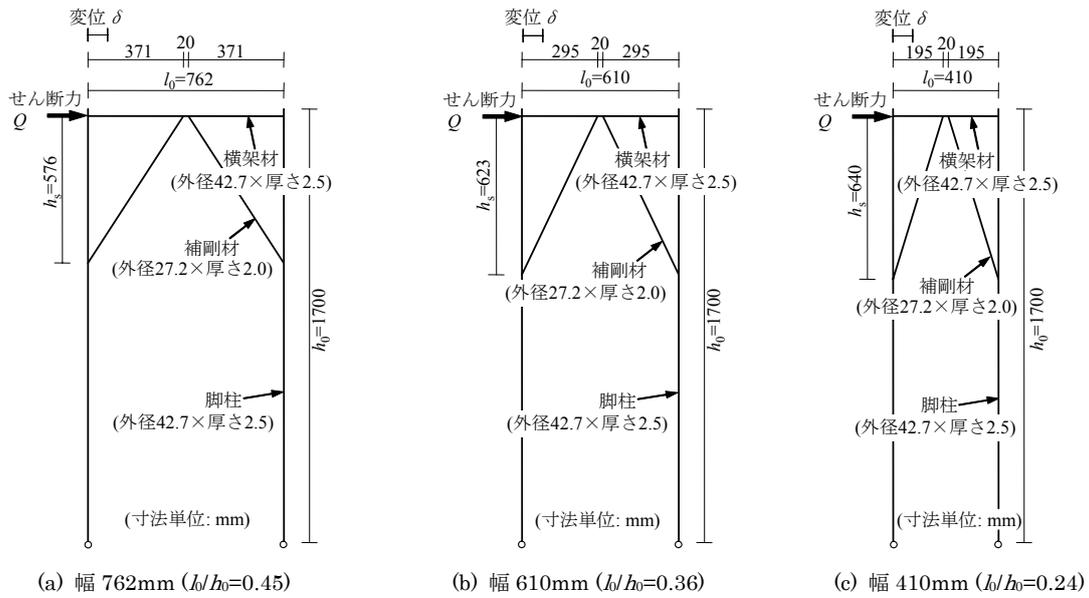


図3 解析に用いた建わく

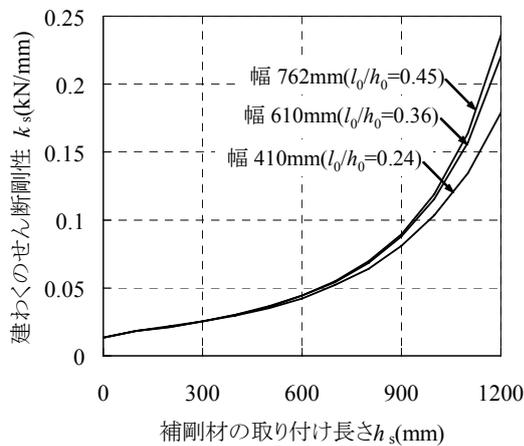


図4 建わくのせん断剛性と補剛材の取り付け長さの関係

現在の構造規格に規定されている方法を用いると、既存の試験装置を使用できるなどの利点が考えられることから、現在の構造規格に規定するせん断剛性試験の方法に合わせ、脚柱下端の支持条件をピン支持として、建わくのせん断剛性を調べた。

解析結果を図4に示す。幅762mm、幅610mm、幅410mmのいずれの場合も、建わくの補剛材がない場合のせん断剛性は、 $k_s=0.013 \text{ kN/mm}$ 程度であり、おおよそ補剛材の取り付け長さに比例して k_s の値が大きくなった。また、建わくの幅が広いほど(アスペクト比 l_0/h_0 が大きいほど) k_s の値は大きかった。

5 床付き布わくのモデル化とせん断剛性の評価

現在、建設現場で一般的に使われている床付き布わくには、幅が240mmと500mmの2種類があることから、床付き布わくの解析モデルの幅は、240mmと500mmの2種類とした。床付き布わくは、水平板や側板などで構成され、解析モデルとして、その形状をそのままモデル化するには、やや複雑な形状であることから、解析モ

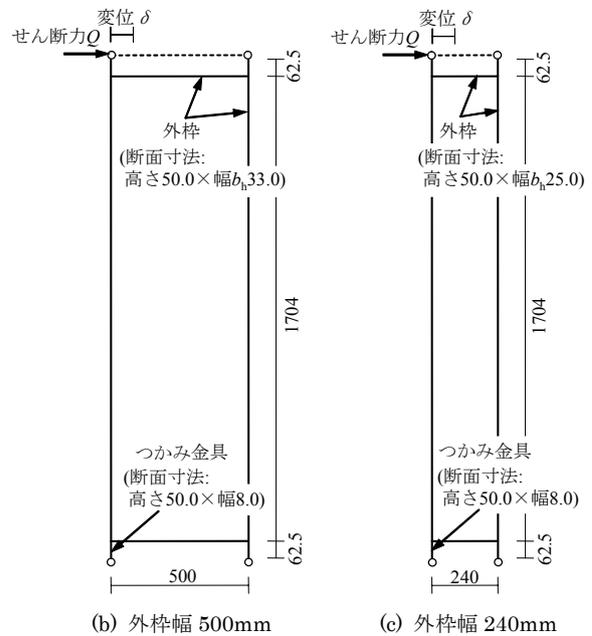


図5 解析に用いた床付き布わく

デルとしては、2節点のビーム要素を用いて、簡略化してモデル化した。床付き布わくの解析モデルを図5に示す。解析モデルのつかみ金具の先端をピン接合として、図5に示すようなせん断力を作用させ、床付き布わくのせん断剛性 k_h を調べた。この時、床付き布わくの解析モデルのせん断剛性は、実物の床付き布わくのせん断剛性を調べた実験⁴⁾を参考にして、解析モデルの外枠の断面幅を調整して決定した。床付き布わくの解析モデルのせん断剛性と解析モデルの外枠の断面幅の関係、及び床付き布わくのせん断剛性を調べた実験⁴⁾による実験値を図6に示す。ここで、床付き布わくのせん断剛性を調べた実験⁴⁾によると、床付き布わくのせん断剛性は、幅240mmが 0.054 kN/mm 、幅500mmが 0.12 kN/mm となっている。本論文では、この実験値と同じせん断剛性を持つ床付き布わくの解析モデルを基本モデルと仮定した。

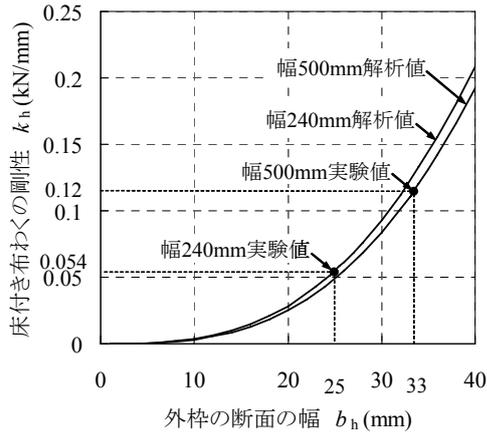


図6 床付き布わくのせん断剛性と外枠の断面の幅の関係

6 わく組足場の座屈解析

1) 解析モデルと解析方法

わく組足場は、図7のようにモデル化した。座標は、図中に示すように、わく方向をX、交差筋違い方向をY、高さ方向をZとした。標準わくを用いたわく組足場は、10層以下で全体座屈はしないといわれている¹⁰⁾。このことを確かめるため、標準わくを用いたわく組足場を検討した解析⁷⁻⁹⁾では、足場の層数を10とした。これと比較するため、今回の場合も、足場の層数は10とした。モデルのスパン数は、安衛則において水平方向の壁つなぎ間隔を8m以下としているので、床付き布わくの長さを1829mmとして、両端に壁つなぎを設けたときの最大スパン数4とした(このとき足場の水平長さは、 $4 \times 1829\text{mm} = 7316\text{mm}$ となる)。また、壁つなぎの設置箇所は、上述のように水平間隔を足場4スパン、垂直間隔を安衛則の法定範囲9m以内である足場5層($1700 \times 5 = 8500\text{mm}$)とし、図中に示す4箇所とした。交差筋違いと床付き布わくは、足場の全スパン、全層にわたって取り付けるものとする。最下層の脚柱下端の支持条件は、最も危険であると考えられるピン支持とした。また、一般的に使われている足場を参考に、建わくと建わくの接合部を剛接合、建わくと床付き布わくの接合部をピン接合とした。荷重は変位制御とし、足場頂部に、剛体のビーム要素をピン接合で取り付け、剛体の中央部から鉛直方向に漸増荷重を作用させた。また、荷重の載荷点は、水平方向の移動を抑えるため、X方向の変位を拘束した。荷重は、建わく5枠の内、中央3枠に作用させた。足場に人が載った場合は部分荷重となるが、足場を型枠支保工として使用する場合は、全枠に荷重が作用する。今回は、簡易わく組足場を型枠支保工として使用する場合も含めた対荷強度の評価をしているため、本来は建わくの全枠に荷重を作用させるべきであると考えられる。しかし、中央3枠以外の枠には壁つなぎを考慮した水平拘束があるため、全体座屈をする場合、中央3枠以外の枠は座屈が拘束され全体座屈となることはない。中央3枠以外の枠については、壁つなぎにより安全性が保障されるとみ

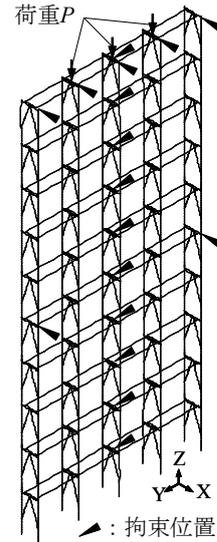


図7 解析に用いたわく組足場

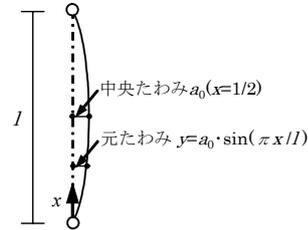


図8 元たわみのある部材

なして、全体座屈する可能性のある中央3枠に荷重を作用させた。また、荷重の作用点であるが、足場を型枠支保工として使用した場合は、脚柱に荷重が作用する。一方で、足場に人などが載った場合は、一般的に建わくの横架材に荷重が作用するが、今回は足場が座屈する程の過荷重を作用させるため横架材載荷とすると足場が座屈するより先に横架材が降伏してしまい足場の耐荷強度が計算できない。このため、荷重は脚柱載荷とした。交差筋違いは、部材としてのモデル化は行わず、交差筋違いによる各層の座屈拘束を考慮して、わく組足場のY方向の中央に位置する建わくの各層において、横架材中央部のY方向の変位を拘束した。壁つなぎに関しては、壁つなぎの特性を考慮してX方向の変位のみを拘束した。

実際の部材は通常、はじめから少し曲がっており、これを元たわみと呼んでいる。本論文で対象としているわく組足場についても元たわみを有していると考えられ、全体座屈する方向(X方向)と個材座屈する方向(Y方向)に元たわみを設定した。両端がピン支持された部材のたわみは、図8に示すようなsin波形となる。部材長さを l 、中央たわみを a_0 とすると、ヨーロッパ鋼構造協会連合では、実部材の計測などから、圧縮部材に対しては幾何学的不完全性として $a_0/l=1/1000$ を持つsin波形元たわみを仮定する¹¹⁾としている。これを考慮して、全体座屈する方向においては、足場の中央のたわみが足場の高さの1/1000(17mm)となるようにsin波で与え、個材座屈する方向においては、足場の各層において、建わく中央のたわみが建わく高さの1/1000(1.7mm)となる

ように sin 波で与えた。

床付き布わくを建わくに架け渡す場合、人の墜落を防止するため、床付き布わくは、建わくの幅方向のすき間をできるだけ少なくするように架け渡す。このことを考慮して、建わくと床付き布わくの組み合わせは、次のようにした。

幅 762mm の建わく—幅 500mm の床付き布わく
幅 610mm の建わく—幅 500mm の床付き布わく
幅 410mm の建わく—幅 240mm の床付き布わく

これらのモデルに対して、建わくと布わくのせん断剛性を調整して、わく組足場の座屈解析を行った。

2) 解析結果と考察

わく組足場の対荷強度を評価するため、解析結果の対荷荷重(座屈荷重)を P_e として、わく組足場の降伏軸力 P_y に対する解析結果の対荷荷重 P_e の割合 P_e/P_y と基準化細長比 $\bar{\lambda}^{11}$ を計算した。基準化細長比 $\bar{\lambda}$ は、細長比 λ を次式によって無次元表示したものである。

$$\lambda_y = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \quad (1)$$

$$\bar{\lambda} = \lambda / \lambda_y \quad (2)$$

ここで、 π : 円周率、 σ_y : 降伏応力度、 E : ヤング係数。

基準化細長比を用いると、圧縮部材の耐荷強度が材料の降伏応力度 σ_y に無関係になり、すべての部材に対して適用可能な $P_e/P_y - \bar{\lambda}$ 曲線が得られる。本論文では、一般的な細長比 λ より部材に対して適用範囲の広い基準化細長比 $\bar{\lambda}$ を用いてわく組足場の耐荷強度を評価した。

降伏軸力 P_y については、座屈による横たわみが最大となるのは、建わくの脚柱であると考えられることから、建わくの脚柱が降伏するとして計算した。降伏軸力 P_y は、次のようになる。

$$P_y = 2A_0\sigma_{yl} \quad (3)$$

ここで、 A_0 : 脚柱の断面積、 σ_{yl} : 脚柱の降伏応力度。

基準化細長比 $\bar{\lambda}$ については、補剛材の影響を考慮した等価断面 2 次モーメント $I_e^{3)}$ を用いて、わく組足場が個材座屈すると仮定して計算した。補剛材の影響を考慮した等価断面 2 次モーメント I_e は、次式で表される。

$$I_e = 2 \left(I_0 + I_s \frac{h_s}{h_0} \right) \quad (4)$$

ここで、 I_0 : 脚柱の断面 2 次モーメント、 I_s : 補剛材の断面 2 次モーメント、 h_0 : 建わく 1 層の高さ、 h_s : 補剛材の取り付け長さ。

この等価断面 2 次モーメント I_e を用いると細長比 λ は次のように表せる。

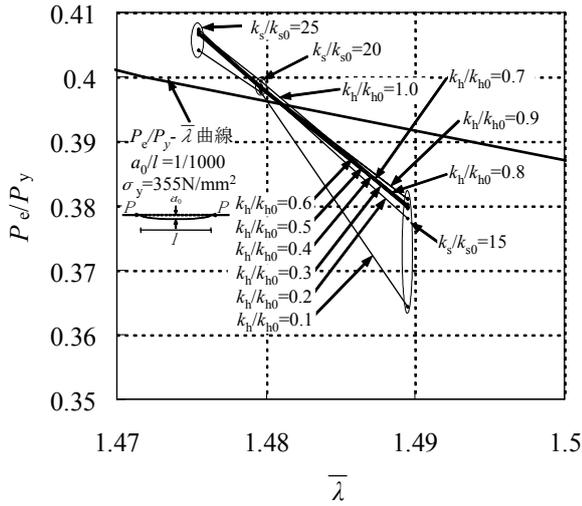
$$\lambda = h_0/i = h_0 / \sqrt{\frac{I_e}{2A_0}} \quad (5)$$

ここで、 i : 断面 2 次半径。

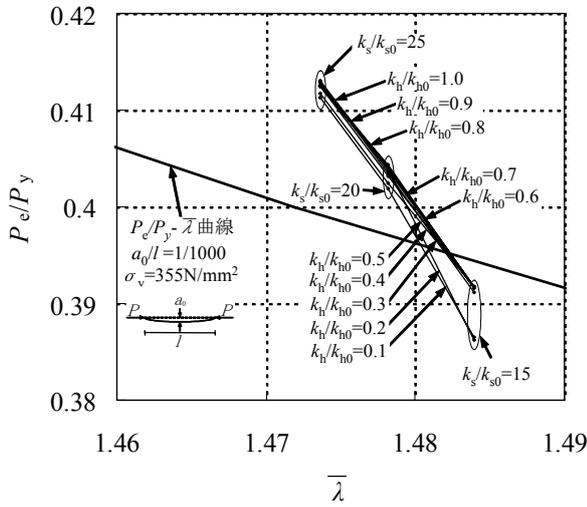
解析結果の $P_e/P_y - \bar{\lambda}$ 関係を図 9 に、対荷荷重(座屈荷重)時の座屈形状を図 10 に示す。図 9 においては、計算を行った範囲について拡大表示したので、縦軸と横軸の軸の刻みが 0.01~0.05 と小さな値となっている。図 9(a) は建わくの幅が 762mm の場合、図 9 (b) は建わくの幅が 610mm の場合、図 9 (c) は建わくの幅が 410mm の場合の結果である。図中に「 $P_e/P_y - \bar{\lambda}$ 曲線」と示した太線は、わく組足場と同じ材料条件の $\sigma_y = 355 \text{N/mm}^2$ 、中央たわみ/部材長さ $a_0/l = 1/1000$ の sin 波形の元たわみを持つ部材について ANSYS で計算した結果の $P_e/P_y - \bar{\lambda}$ 関係である(以下、この $P_e/P_y - \bar{\lambda}$ 関係を示した曲線を単に $P_e/P_y - \bar{\lambda}$ 曲線とする。)。図中に示した k_s/k_{s0} は補剛材のない建わくのせん断剛性 k_{s0} に対する建わくのせん断剛性 k_s の割合を示す。 $k_s/k_{s0} = 1$ のときは補剛材のない建わくのせん断剛性を表し、 k_s/k_{s0} の値が大きいほど建わくのせん断剛性が大きいことを表す。建わくの幅が 762mm と 610mm の場合は、 $k_s/k_{s0} = 15, 20, 25$ を計算し、建わくの幅が 410mm の場合は、 $k_s/k_{s0} = 4, 15, 35, 38$ を計算した。建わくの補剛材の長さが長いほど等価断面 2 次モーメント I_e が大きくなり、建わくのせん断剛性 k_s が大きくなるので、 $\bar{\lambda}$ が小さいほど k_s/k_{s0} は大きな値となる。また、 k_h/k_{h0} は建設工事現場で一般的に使われている床付き布わくの基本モデルのせん断剛性 k_{h0} に対する床付き布わくのせん断剛性 k_h の割合を示す。 $k_h/k_{h0} = 1$ のときは床付き布わくの基本モデルのせん断剛性を表し、 k_h/k_{h0} の値が小さいほど床付き布わくのせん断剛性の値が小さくなる。図に示す $k_h/k_{h0} = 0.1$ の値を持つ床付き布わくは実際には存在しないが、今回はわく組足場の対荷強度に関する基本データを収集する目的で、 $k_h/k_{h0} = 0.1$ の値を持つ床付き布わくの計算も行った。計算は、 $k_h/k_{h0} = 0.1 \sim 1$ の 0.1 刻みの 10 パターンを行った。図 9 に示す 10 本の細線が、解析結果である。

図 10 (a), (b) は建わくの幅が 762mm の場合、図 10 (c), (d) は建わくの幅が 610mm の場合、図 10 (e), (f) は建わくの幅が 410mm の場合の結果である。図の変位は、実変位の 10 倍で表示した。図 10 (a), (c), (e) は、図 9 において P_e/P_y の値が $P_e/P_y - \bar{\lambda}$ 曲線より大きい場合の結果であり、図 10 (b), (d), (f) は、図 9 において P_e/P_y の値が $P_e/P_y - \bar{\lambda}$ 曲線より小さい場合の結果である。

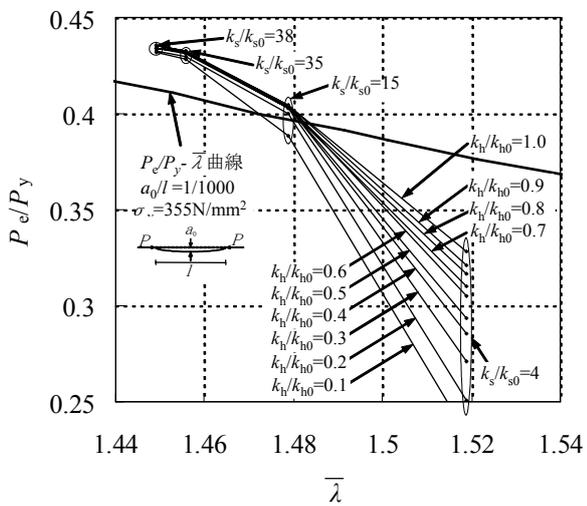
図 10(a), (c), (e) の場合は個材座屈となった。図 10(b), (d), (f) の場合は X 方向に変形が生じ、最下層の建わくが最も大きく変形した。この座屈形状は、全体座屈ではないが、建わくのせん断剛性が不足したことにより発生したと考えられたので、本論では、この場合を全体座屈と



(a) 建わくの幅 762mm ($l/h_0=0.45$)

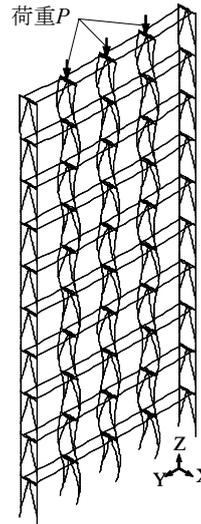


(b) 建わくの幅 610mm ($l/h_0=0.36$)

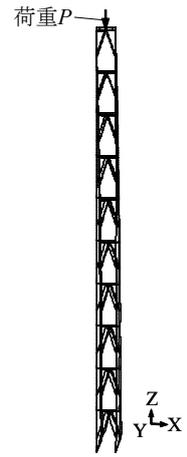


(c) 建わくの幅 410mm ($l/h_0=0.24$)

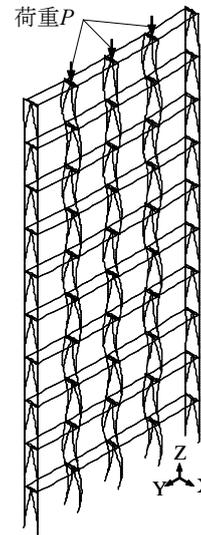
図 9 降伏軸力比—基準化細長比関係



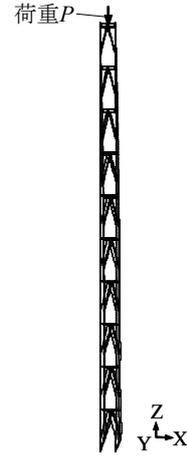
(a) $k_s/k_{s0}=25, k_h/k_{h0}=1.0$
(建わくの幅 762mm)



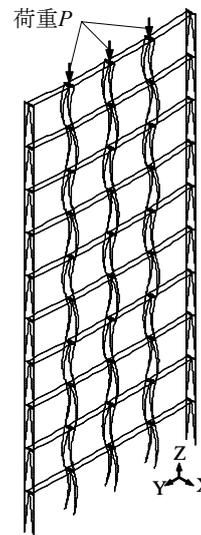
(b) $k_s/k_{s0}=15, k_h/k_{h0}=0.1$
(建わくの幅 762mm)



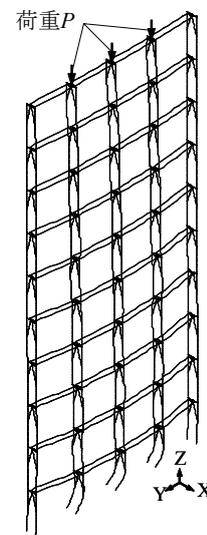
(c) $k_s/k_{s0}=25, k_h/k_{h0}=1.0$
(建わくの幅 610mm)



(d) $k_s/k_{s0}=15, k_h/k_{h0}=0.1$
(建わくの幅 610mm)



(e) $k_s/k_{s0}=35, k_h/k_{h0}=1.0$
(建わくの幅 410mm)



(f) $k_s/k_{s0}=4, k_h/k_{h0}=0.1$
(建わくの幅 410mm)

図 10 座屈形状

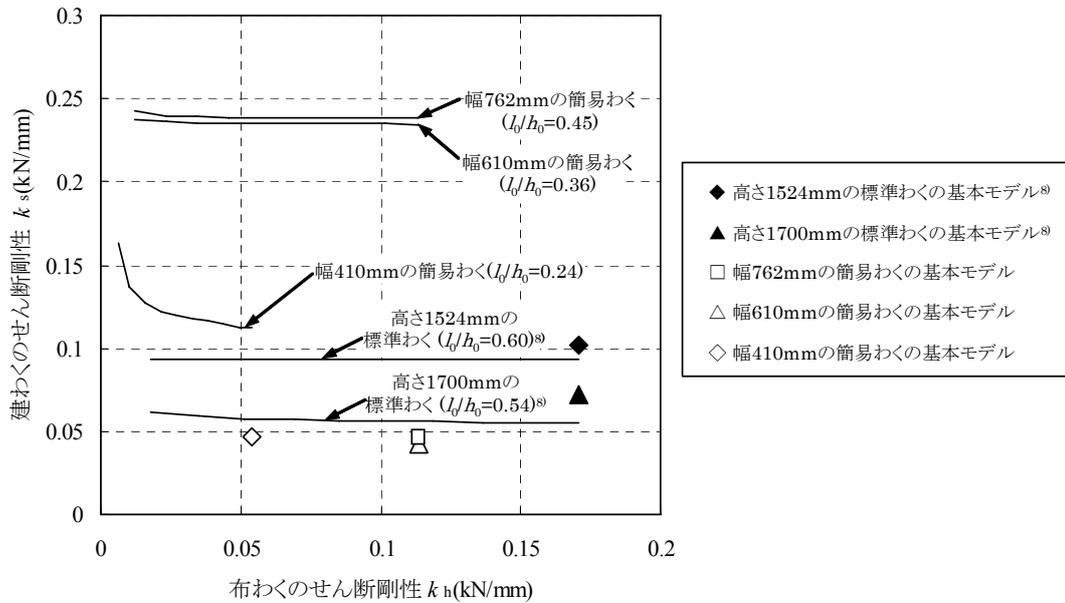


図 11 個材座屈と全体座屈の境界を示す建わくと布わくのせん断剛性の関係

仮定した。また、図 10(b)の場合は、足場最下層の脚柱下端をピン支持としたことも、最下層の建わくが、最も大きく変形したことに影響を与えていると考えられる。わく組足場が個材座屈するときと全体座屈するときの境界付近の座屈形状は、個材座屈と全体座屈が混在するため、解析結果の座屈形状を見ただけで、その形状を判断するのは難しい。また、図 10(f)のように最下層の建わくが X 方向に変形した場合、正確な座屈長さは分からない。そこで、本論文では、全体座屈する場合でも座屈長さを個材座屈する場合の 1700mm として計算した。このため、全体座屈する場合は、本来の λ よりも小さな値として計算されることになる。また、全体座屈する場合は、個材座屈する場合より座屈長さが長くなるため、個材座屈する場合に比べ座屈荷重 P_0 が小さな値となる。図 9 の $P_0/P_y - \bar{\lambda}$ 曲線はわく組足場が個材座屈するときと同じ条件で計算しているため、全体座屈する場合、座屈長さを個材座屈する場合の 1700mm として計算すると図 9 の P_0/P_y の値が $P_0/P_y - \bar{\lambda}$ 曲線より小さくなると考える。図 10 の座屈形状からも、図 9 において P_0/P_y の値が $P_0/P_y - \bar{\lambda}$ 曲線より大きい場合の図 10 (a), (c), (e) の座屈形状は、個材座屈となっており、図 9 において P_0/P_y の値が $P_0/P_y - \bar{\lambda}$ 曲線より小さい場合の図 10 (b), (d), (f) の座屈形状は、全体座屈となっている。これより、図 9 の $P_0/P_y - \bar{\lambda}$ 曲線は、わく組足場が個材座屈する場合と全体座屈する場合の境界線となると考えられる。 P_0/P_y の値が $P_0/P_y - \bar{\lambda}$ 曲線より大きい場合は個材座屈となり、小さい場合は全体座屈となる。そこで、 $P_0/P_y - \bar{\lambda}$ 曲線と解析結果の 10 本の線の交点を、個材座屈と全体座屈の境界を示す点であるとして、この交点より、個材座屈と全体座屈の境界を示す建わくと布わくのせん断剛性の関係を求めた。

個材座屈と全体座屈の境界を示す建わくと布わくのせん断剛性の関係を図 11 に示す。図には参考のため、標

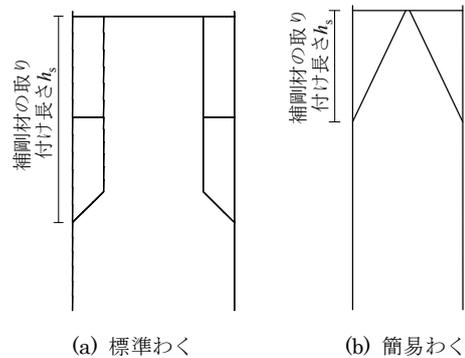


図 12 補剛材の取り付け長さ

準わくを用いたわく組足場の解析結果⁸⁾と図 3 に示した補剛材長さの建わくと床付き布わくの基本モデルで構成したわく組足場の解析結果を「基本モデル」として示した。図中の 5 本の線は、わく組足場における個材座屈と全体座屈の境界を示す建わくと床付き布わくのせん断剛性の関係を示し、この線よりも建わくと布わくのせん断剛性が高い場合は、個材座屈で耐荷強度が決まり、低い場合は全体座屈で耐荷強度が決まる。

建わくの幅の広い(アスペクト比 l/h_0 が大きい)モデルの方が建わくの幅の狭いモデルよりも建わくのせん断剛性の値は高かった。幅 762mm, 幅 610mm, 幅 410mm のいずれの場合も、建わくの基本モデルのせん断剛性の値は、個材座屈と全体座屈の境界線よりも低くなり、全体座屈となった。簡易わくが全体座屈により耐荷強度が決まることは、従来より実験^{3),12)}により確かめられており、今回の解析は既知の知見を裏付ける結果となった。

図中の解析結果の 5 本の線を比較すると、簡易わくの結果は標準わくの結果よりも建わくのせん断剛性の値が高かった。簡易わくの補剛材は図 12 に示すような方杖型であるが、標準わくの補剛材は図 12 に示すような門型である。今回解析した範囲では、補剛材の長さ h_s が同じ場合、建わくのせん断剛性は標準わくに比べ簡易わく

の方が高い⁸⁾。このため、図 12 における簡易わくの結果は標準わくの結果に比べて建わくのせん断剛性の値が高くなったと考えられる。これは、簡易わくと標準わくの補剛材の構造が異なっていることが影響していると考えられるが、これらについて説明するには、建わく単体の圧縮強度を調べるなど、更なる検討が必要であると考えられ、今後の課題としたいと思う。また、図中の 5 本の線を見ると、幅 410mm の簡易わく以外の結果は、建わくのせん断剛性の値がほぼ一定となっており、わく組足場の座屈形状に及ぼす影響は、布わくのせん断剛性に比べて建わくのせん断剛性の方が大きいことが分かった。幅 410mm の簡易わくの結果は、今回行った解析モデルの中で最も建わくの幅が狭く建わくのせん断剛性が最も小さいことから、他のモデルに比べ床付き布わくのせん断剛性の影響を受け、建わくのせん断剛性の値が一定ならなかったと考える。

7 まとめ

本論では、簡易わくを用いたわく組足場において座屈解析を行い、建わくと床付き布わくのせん断剛性の関連性がわく組足場の耐荷強度に及ぼす影響を検討した。結果をまとめると次のように要約される。

1. わく組足場が、個材座屈をする場合と全体座屈をする場合の境界を、わく組足場と同じ材料特性を持つ部材の降伏軸力比 P_t/P_y - 基準化細長比 $\bar{\lambda}$ の関係を示す曲線で判定したところ、判定結果は耐荷荷重(座屈荷重)時の座屈形状と良い対応を示した。よって、この判定方法により、耐荷荷重時の座屈形状が判別できるものとする。
2. 建設現場で一般的に使われている簡易わくと床付き布わくを使用した場合、全体座屈により対荷強度が決まった。これは過去の実験的研究^{3),12)}でも明らかにされており、今回の解析はこれを理論的に裏付ける結果となった。
3. 建わくの補剛材の長さと同架材の長さに比例して、建わくのせん断剛性が高くなり、全体座屈しにくくなった。
4. 床付き布わくのせん断剛性に比べ、建わくのせん断剛性の方が、簡易わく組足場の耐荷強度に及ぼす影響は大きいことが分かった。この建わくを対象に、簡易わく組足場の対荷性能の向上を目的として、構造の改良案を検討する。現在一般的に使われている簡易わくの原型をあまり変えずに改良すると補剛材を付け加えることが考えられる。その改良案を図 13 に示した。(a)は補剛材長さを長くすることでせん断剛性が高くなるという本論文の解析結果を考慮したモデルであり、(b)は個材座屈により対荷強度が決まる標準わくの構造を参考にして水平補剛材を取り付けたモデルである。ここでは、改良案を示すだけにとどめるが、簡易わくの個材座屈化を考えた場合、今後このような改良モデルの検討も必要であると考えられる。

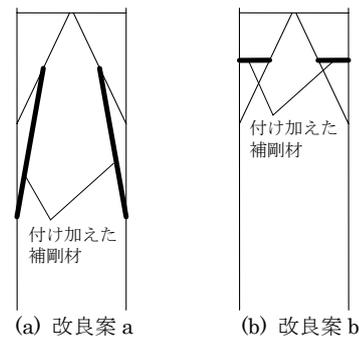


図 13 簡易わくの改良案

文 献

- 1) 労働調査会. 労働安全衛生法. 労働調査会出版局編. 労働法便覧 平成 18 年度版. 東京: 労働調査会; 2006.
- 2) 嘉納成男他. 手すり先行工法に関するガイドラインとその解説. 建設業労働災害防止協会編. 手すり先行工法に関するガイドラインとその解説. 東京: 建設業労働災害防止協会; 2004.
- 3) 森宜制, 前郁夫, 国森昌之. 鋼管製枠組式コンクリート型枠支保工の強度に関する実験報告. 労働省産業安全研究所研究所報. 1962; No.3: 1-8.
- 4) 大嶋勝利, 高梨成次. 足場の性能評価に関する基礎的研究 (その 1 布わくと床つき布わくのせん断特性). 日本建築学会大会学術講演梗概集. A-1. 2006: 829-830.
- 5) 高梨成次, 大嶋勝利. 足場の性能評価に関する基礎的研究 (その 2 低層わくの圧縮荷重試験). 日本建築学会大会学術講演梗概集. A-1. 2006: 831-832.
- 6) 高橋弘樹, 大嶋勝利, 高梨成次. わく組足場の座屈形状に及ぼす布わくのせん断剛性の影響. 安全工学シンポジウム 2007 講演予稿集. 2007: 259-260.
- 7) 高橋弘樹, 大嶋勝利, 高梨成次. 足場の性能評価に関する基礎的研究 その 4 標準建わくの補剛材長さの影響. 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)施工. 2007: 587-588.
- 8) 高橋弘樹, 大嶋勝利, 高梨成次. 仮設足場の新しい安全性評価に関する基礎的研究. 2007 年度 (Vol.2) 安全問題研究論文集. 2007: 149-154.
- 9) Takahashi H, Ohdo K, Takanashi S. The influence of the shear rigidity of a scaffolding frame and a horizontal frame on a scaffold's buckling mode. Asia Pacific Symposium on Safety 2007. 2007: 175-178.
- 10) 森宜制他. 仮設構造物に関する知識. 型わく支保工・足場工事計画作成参画者研修テキスト編集委員会編. 型わく支保工・足場工事計画作成参画者研修テキスト. 東京: 仮設工業会; 2000: 47-164.
- 11) 成岡昌夫, 福本秀士, 伊藤鉦一. ヨーロッパ鋼構造協会連合・VIII 委員会の鋼柱座屈曲線について. 日本鋼構造協会誌. 1970; 6(55): 56-71.
- 12) 森宜制, 小川勝教, 河尻義正. 特殊簡易足場の安全性について - 簡易わく組足場および低層簡易わく組足場の安全性について -. 産業安全研究所技術資料. RIIS-TN-76-10, 1977.

Influence of Shear Rigidity of Main and Flooring Ledger Frames on the Strength of Simple Prefabricated Scaffolds

by

Hiroki TAKAHASHI*¹, Katsutoshi OHDO*¹ and Seiji TAKANASHI*¹

The presumption method was established to examine the compressive strength of one main frame in order to evaluate the strength of standard prefabricated scaffolds, which in turn is determined by the degree of member buckling. Regarding simple prefabricated scaffolds whose strength is determined by total buckling, it is surmisable that the shear rigidity of the main and flooring ledger frames influences the strength of the scaffolds. However, there is no quantitative and systematic data on the influence of the shear rigidity of main and flooring ledger frames on the strength of simple prefabricated scaffolds. Therefore, evaluation must rely on full-scale testing of the assembled scaffolds. In this study, the buckling analysis of the simple prefabricated scaffolds was executed as a parameter in measuring the shear rigidity of the main and flooring ledger frames. Thus, a new method to evaluate the strength of simple prefabricated scaffolds was examined.

Key Words: prefabricated scaffolds, simple vertical frame, horizontal frame, shear rigidity, buckling and strength.

*1 Construction Safety Research Group, National Institute of Occupational Safety and Health, Japan