

## 8. 足場の組立・解体時の風環境下での危険性に関する実験的研究\*

大幢勝利\*\*, 日野泰道\*\*, 高梨成次\*\*, 佐藤昇\*\*\*

### 8. Experimental Study on Risk of Assembling and Dismantling Works of the Scaffolds under Strong Winds\*

by Katsutoshi OHDO\*\*, Yasumichi HINO\*\*, Seiji TAKANASHI\*\* and Noboru SATO\*\*\*

**Abstract;** The weather has a major influence on construction work, and construction accidents sometimes occur due to bad weather, e.g. strong wind. Therefore, wind-induced accidents during construction were investigated. The investigation showed that serious accidents, in which more than three workers were killed or injured, occurred mostly due to the collapses of the scaffolds.

In this specific research, to prevent these collapse accidents, a field measurement and wind tunnel experiments for evaluating the wind loads acting on the scaffolds were carried out. The strength of the ties that connect the scaffolds to the building wall was also evaluated experimentally, and the wind resistant properties of the scaffolds were examined.

However, as for the number of fatalities due to wind, the number of falls was the highest. Therefore, to examine the total safety countermeasures against dangers in construction work on scaffolds in strong wind, the prevention of falls needs to be studied.

For these reasons, experiments were carried out on the risk in the assembling and dismantling work of scaffolds in strong wind. Ten construction workers participated in the experiments, and the assembling and dismantling work of the scaffolds were carried out in the wind tunnel under a uniform flow and gusts.

The results of this study are as follows:

1. From the results of the experiments under the uniform flow, the minimum value that was felt to be a high risk by the subjects was 8 m/s at the mean wind speed.
2. From the results of the experiments under gusts, the minimum value that was felt to be a high risk by the subjects was 14 m/s at the maximum instantaneous wind speed.
3. There was high risk in the assembling and dismantling work of the scaffolds even under 10 m/s at the mean wind speed, which is the standard for work to be stopped according to the regulations of Labor Safety and Health.
4. A limited wind speed for performing the assembly and disassembly of scaffolds was proposed.

**Keywords;** Scaffolds, Strong wind, Falling down, Risk

---

\* 土木学会第59回年次学術講演会(2004)及び土木学会第60回年次学術講演会(2005)において一部発表

\*\* 建設安全研究グループ Construction Safety Research Group

\*\*\* 科学技術振興事業団, 重点研究支援協力員 Supporting Staff for Priority Research, Japan Science and Technology Cooperation

## 1. はじめに

建設工事中の強風による重大災害(一時に3人以上が死傷する災害)と死亡災害について分析を行った結果<sup>1)</sup>、重大災害については足場の倒壊が最も多く発生しているため、これまでに強風による足場の倒壊災害防止に関する研究を行ってきた<sup>2)</sup>。一方で、強風による死亡災害については、墜落災害によるものが最も多くみられた。また、強風以外の原因を含めた墜落災害の内訳を調べると、足場からの墜落災害が最も多く発生していた<sup>3)</sup>。これらのことから、強風による足場の倒壊災害防止に加え、足場からの墜落災害の防止に関する研究を行い、強風に対する足場工事の総合的な安全対策について検討する必要があると考えられる。

そこで、本研究では、強風に対する足場工事の総合的な安全対策を確立するための資料を得ることを目的として、足場の組立・解体時の風環境下での危険性を調べるための被験者実験を風洞装置内で行い、風速と作業の危険性との関係について検討した。その結果を基に、強風下における足場の組立・解体作業の危険限界風速を提案した。

## 2. 実験方法

被験者実験は、当研究所で所有する風洞装置内で行うこととした。実験に先立ち、まず、足場の組立解体中に、一定の風速下でどのような作業や作業姿勢、

および風向が影響を受けるかを調べるための予備実験を行った。ここで、「作業」とは、足場組立解体の一連の作業の内、例えばわく組足場ではそれを構成する主要部材である建柱、交差筋交い、床付き布柱等の、個々の取り付け・取り外し作業を表すものとする。また、「作業姿勢」とは、これらの個々の作業の内、例えば各部材を保持する、差し込む等、個々の作業をさらに絞り込んだ一定の作業姿勢を表すものとする。このように、足場組立解体の一連の作業は複雑であり時間を消費するため、風向や風速毎に何度も被験者に行わせることは体力的に負担が大きいと考えられる。このため、予備実験により強風下で最も危険な作業や作業姿勢、および風向を絞り込むこととした。

次に、予備実験の結果を基に、強風に最も影響を受ける作業および作業姿勢のそれぞれについて、風速と危険性との関係を調べるための被験者実験を行った。その際、まず基本的特性を把握するため、風速一定の一樣流下において作業の危険限界風速を調べた。次に、実際の自然風は一定の風速ではなく常に変動しているため、極端な例として風洞装置内に可能な限り突風を発生させ、その風環境下で一定の作業姿勢における危険限界風速を調べることとした。

### 2.1 予備実験

当研究所で所有する風洞装置内には第1測定胴と第2測定胴の2つの測定胴があるが、第1測定胴(高さ

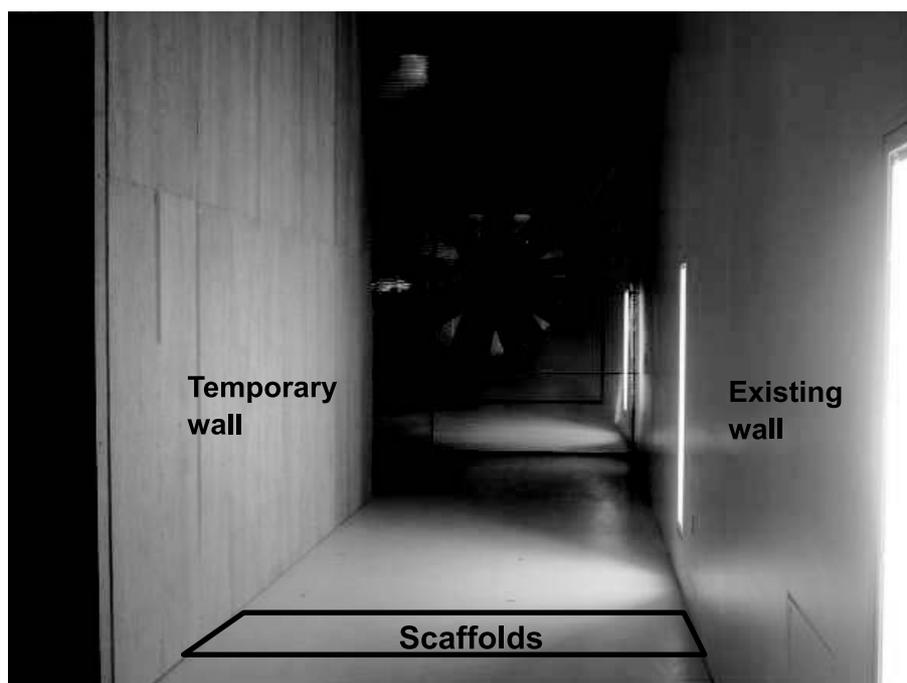


Photo 1 Temporary wall set in the second measurement area.

2m×幅2.3m)は模型実験を行うことを主としているため、一層の高さ約1.7m、1スパンの幅約1.8mの足場の組立解体作業を行うには十分な広さとは言えない。そこで、断面が広く足場等が設置可能な第2測定胴(高さ4m×幅4m)において予備実験を行うこととした。しかし、第2測定胴は送風機に非常に近いため、風速が場所により均一ではない。このため、強風が足場の組立解体に及ぼす影響を調べる実験を行う際に、不安定で再現性の乏しい風しか発生させることができなくなる。そこで、第2測定胴内に可能な限り一様流を発生させるため、Photo 1に示すように第2測定胴内に仮壁を設置し実験用風路(高さ4m×幅2m)を製作した。

Fig. 1に、仮壁設置後の高さ1.85m、3.0m、3.55mの位置における断面方向の風速分布を示す。この高さは、それぞれわく組足場の1層目の頂部、1層目の上に立った被験者の腰程度の位置、2層目の頂部の高さで、後述する被験者実験を行う範囲を含むものである。Fig. 1では、横軸に仮壁から風洞断面方向の水平距離、縦軸にそれぞれの位置において5回ずつ風速を測定した平均値を示すが、Photo 1の両サイドの壁付近で特に高さ3.55mで風速の落ち込みが大きいものの、それを除けば風速はほぼ一定である。また、Fig. 2には、同様に各位置における乱れ強さを示す。各高さでの乱れ強さは、既設の風洞壁面付近で約10%と高いが、それ以外の場所では乱れ強さが5%以下となり乱れが小さくなっている。実験時の被験者は、仮壁と既設の風洞壁面のほぼ中央に立つため、実験を行う範囲ではほぼ一様流と考えて、この状態で被験者実験を行うこととした。その際、労働安全衛生規則で作業中止基準として示されている10分間平均風速10m/sより低い、平均風速8m/sの風環境下で実験を行った。

予備実験は、足場として代表的に使用されているわく組足場を対象として行った。その際、事前に組み立てられたわく組足場の1層目(1層の高さ1.7m)の上に作業者を立たせ、その上の2層目を組立解体する際に行い、Fig. 3に示すように足場の向きが風向に対し0°、45°、90°の場合において影響を受ける作業について調べた。組立解体を行った足場の部材は、Photo 2に示すわく組み足場を構成する主要な部材である、建柱、交差筋交い、および床付き布柱とした。予備実験の対象とした作業者は3人で、作業終了後、アンケート形式で最も影響を受ける風向、および作業と作業姿勢について聞き取り調査を行った。

## 2.2 一様流下における作業の危険限界

予備実験の結果を基に、足場の組立解体時に最も影響を受ける作業の危険限界風速を調べる実験を一

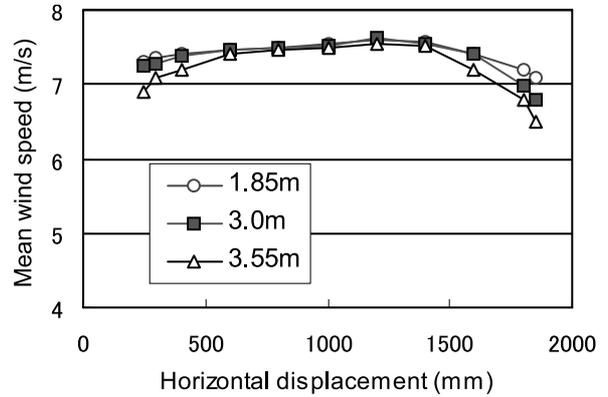


Fig. 1 Distribution of mean wind speed after setting the temporary wall.  
仮壁設置後の風速分布

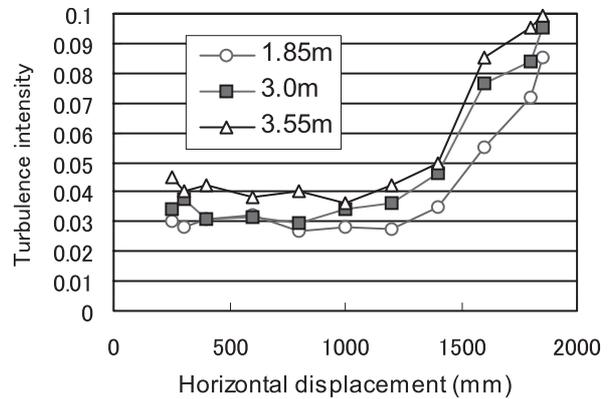


Fig. 2 Distribution of turbulence intensity after setting the temporary wall.  
仮壁設置後の乱れ強さの分布

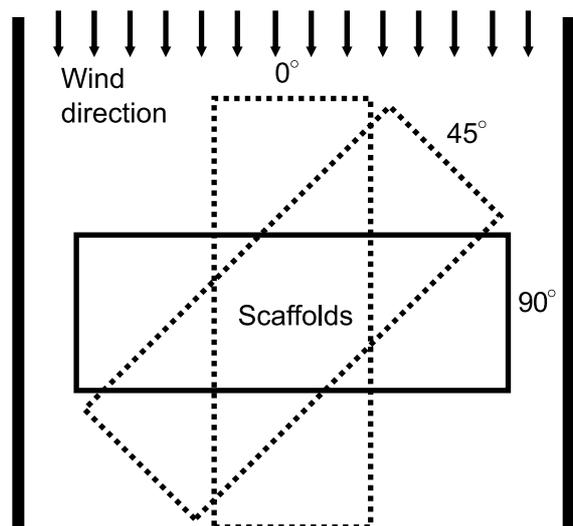


Fig. 3 Wind direction to the scaffolds.

様流下において行った。実験は、予備実験と同様に、仮壁を設置した第2測定胴内の実験用風路(高さ4m×幅2m)で行い、わく組足場の1層目の上に作業者を立たせ、その上の2層目で被験者に作業を行わせた。実験対象とした被験者は、足場の組立解体に従事した経験がある作業員10人とし、平均年齢は35.9歳、作業の平均経験年数は12.4年であった。

実験の方法は、平均風速を0m/s、および5m/sから1m/s刻みに上昇させ、それぞれの風速毎に作業を行わせ、「1.安全」、「2.やや危険」、「3.危険」、「4.かなり危険」、「5.非常に危険」、の5段階で作業の危険性を判断

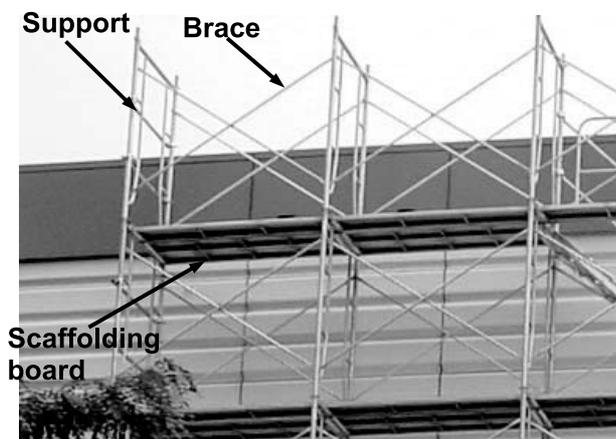


Photo 2 Main members of the scaffolds.

させた。作業の危険性の判断は被験者自身に行わせるものとして、これ以上は危険で作業できないと感じるレベルを「5.非常に危険」と判断させ、その他の段階についてはそれぞれの被験者の主観に任せることとした。

また、風速の上昇と危険性の増加を定量的に判断するため、取り付け作業と取り外し作業のそれぞれにおいて作業時間を測定した。その際、各風速において5回連続して床付き布枠の取り付け・取り外し作業を行わせ、それぞれ5回づつ作業時間を計測し、5回の作業時間の最大と最小を除いた3回の平均値により評価することとした。

実験では、各風速で作業時間の測定と作業の危険性の判断を行わせた後、一旦作業を中断し被験者に十分に休息を取らせ、その後、次の風速に上昇させることを繰り返していった。最終的には、被験者が「5.非常に危険」と判断するまで風速を上昇させた。その際、安全上の配慮として、風により飛散する恐れのある床付き布枠等の部材は、風路の天井に固定した金具を用いてロープで吊り下げた。また、被験者には安全帯を着用させ、すでに組み立てられている部材に安全帯を取り付けさせた状態で実験を行った。

### 2.3 突風下における作業姿勢の危険限界

風洞装置内に可能な限り突風を発生させるため、突風発生装置を製作して実験を行うこととした。突風発生装置の原理は、風洞の断面にサーボモータにより



Photo3 Gust generation system set in the first measurement area.

回転する羽を数個設置し、まずこれらの羽を風路の床と平行に保ち一様流を発生させる。次に、その羽を急激に回転させることにより風路の断面を絞り込み、突風を発生させるものである。このような装置を、予備実験および一様流下での実験と同様に、仮壁を設置した第2測定胴内(高さ4m×幅2m)に設置するには、断面積が大きいことおよび仮壁の強度が不足しているため困難である。そこで、突風発生装置は断面の小さい第1測定胴内(高さ2m×幅2.3m)に設置することとした。**Photo 3**に、第1測定胴内に設置した突風発生装置を示す。突風発生装置の有効断面は、サーボモータ等の設置により狭くなり、高さ1.7m×幅1.6mとなった。

この突風発生装置の羽を、風路の床と平行(0°)から50°まで0.5secで回転させた時の、風路床から高さ1.4mの位置での風速の変動を**Fig. 4**に示す。1.4mより高い位置では安定した突風を発生させることができなかった。**Fig. 4**より、平均風速8m/sからピーク値(最大瞬間風速)12.6m/sまで急激に風速が上昇しており、変化率は約1.7倍となった。この羽の角度および回転速度の組み合わせで風速の変化率が最大となったため、この条件による突風下で、予備実験で得られた強風に最も影響を受ける作業姿勢の危険限界風速を調べる実験を行うこととした。実験対象とした被験者は、足場の組立解体に従事した経験がある作業員10人とし、平均年齢は40.9歳、作業の平均経験年数は19.0年であった。

実験の方法は、まず被験者に作業姿勢をとらせ、一様流下で10sec暴露した後、突風発生装置の羽を回転させて突風を発生させ、その後さらに10sec間暴露した。これを、それぞれの最大瞬間風速毎に行った。実

験では、突風の最大瞬間風速を8m/sから1m/s刻みに上昇させ、一様流での実験と同様にそれぞれの風速毎に「1.安全」、「2.やや危険」、「3.危険」、「4.かなり危険」、「5.非常に危険」の5段階で危険性を判断させた。また、危険性の判断基準も一様流での実験と同様とし、危険性の判断を行わせた後一旦中断し、次の最大瞬間風速に上昇させることを繰り返していった。最終的には、被験者が「5.非常に危険」と判断するまで風速を上昇させた。

### 3. 実験結果

#### 3.1 予備実験

予備実験による、強風に最も影響を受ける風向、および作業についての聞き取り調査の結果を**Table 1**に示す。**Table 1**より、風向については足場の向きが90°、すなわち足場に直角に風が吹く場合、個々の作業については床付き布杵を建杵に取り付け・取り外しを行う場合に、3人の作業員全員が非常に危険であると答えた。その理由として、全員が頭上で床付き布杵を保持したまま静止する時間が長く、風にあおられて影響を受けやすいためと答えた。一方、それ以外の風向および作業の組み合わせでは、非常に危険であると答えた作業員はいなかった。

よって、風向が90°で床付き布杵の取り付け・取り外し作業を行う場合に、強風の影響を最も受けると考えられる。また、作業姿勢については、床付き布杵を頭上で保持したまま静止する姿勢が、強風に最も影響を受けると考えられる。

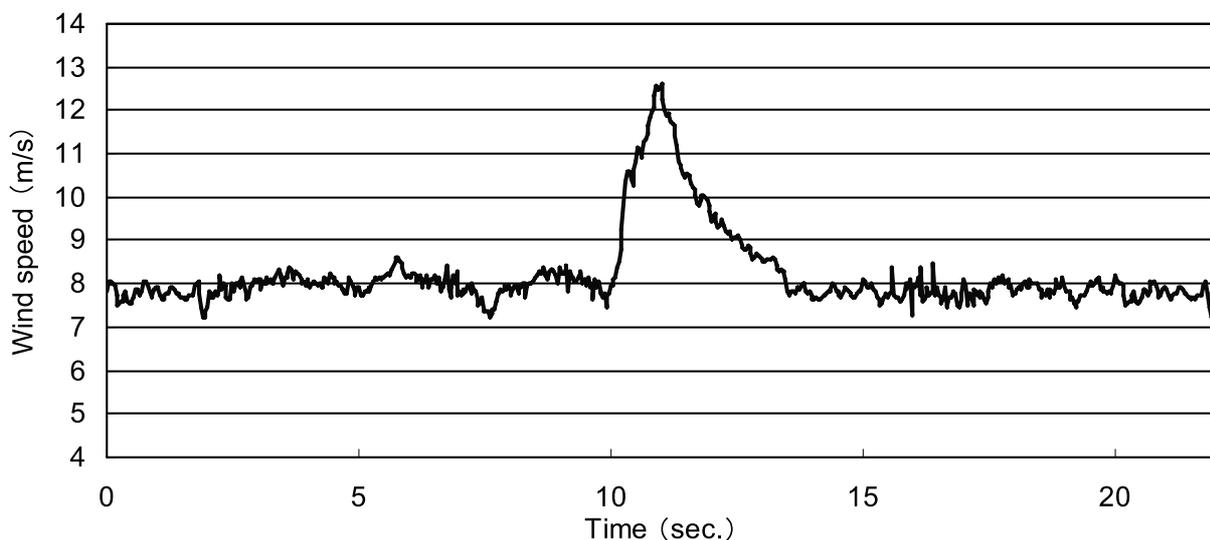


Fig. 4 Fluctuation of the wind speed by the Gust generation system

### 3.2 一様流下における作業の危険限界

予備実験の結果より、Photo 4に示すように足場の向きが風向に対して90°の場合において、被験者にわく組足場2層目の床付き布枠(質量16kg)の取り付け・取り外し作業を行わせ、その作業の危険限界風速を調べた。実験の結果より、被験者が強風下での作業について、「3.危険」と感じるレベルと、「5.非常に危険」と感じるレベルを平均風速との関係としてFig. 5に示す。Fig. 5より、床付き布枠の取り付け作業より取り外し作

業の方が、「3.危険」、「5.非常に危険」と感じるレベルの平均風速がどちらも低くなっている。よって、強風下においては、床付き布枠の取り外し作業の方が危険な作業であると考えられる。

また、「5.非常に危険」と感じるレベルは、これ以上作業を続けることができないほど危険であると感じるレベルとしたが、取り付け作業の平均は9.4m/s、取り外し作業の平均は8.9m/s、最低値は共に8m/sであった。労働安全衛生規則では、10分間平均風速が10m/s以上(解釈例規)の場合に高所での作業を中止することとさ

Table 1 The results of the questionnaire survey in the preliminary experiment.

角度		0°	45°	90°
作業内容	危険性			
建枠の取り付け・取り外し	非常に感じた(人)	0	0	0
	少し感じた(人)	1	2	2
	感じなかった(人)	2	1	1
交差筋交いの取り付け・取り外し	非常に感じた(人)	0	0	0
	少し感じた(人)	1	1	2
	感じなかった(人)	2	2	1
床付き布枠の取り付け・取り外し	非常に感じた(人)	0	0	3
	少し感じた(人)	2	3	0
	感じなかった(人)	1	0	0

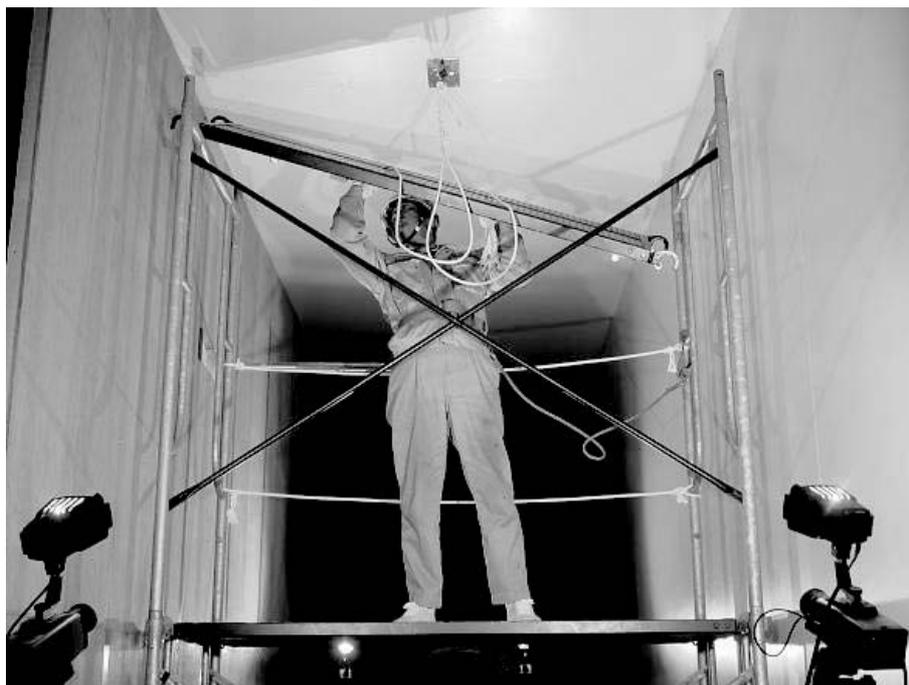
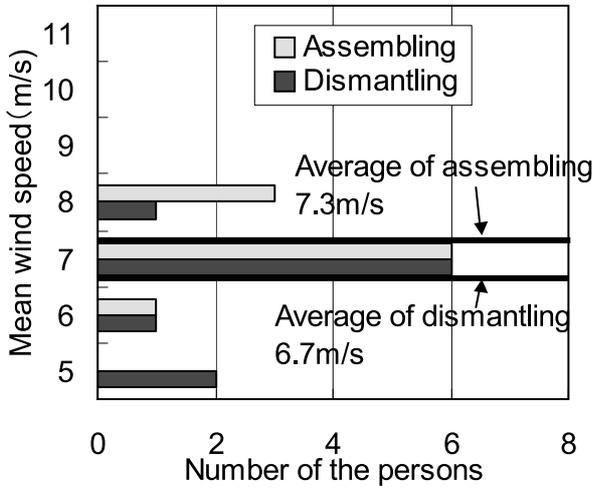
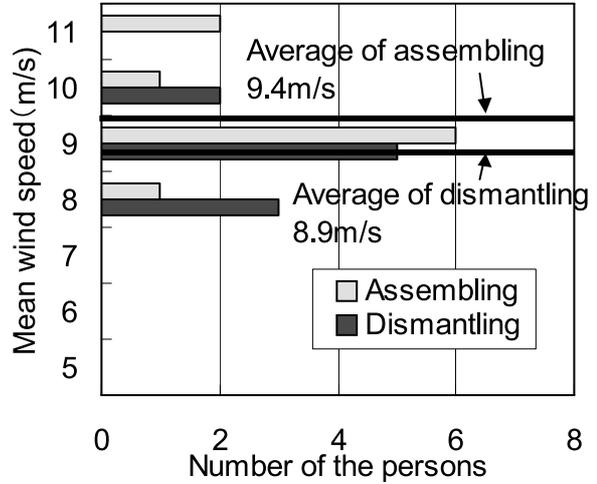


Photo 4 Assembling and dismantling work of the scaffolding board.



a. Mean wind speed that is felt a '3. risk'.



b. Mean wind speed that is felt a '5. high risk'.

Fig. 5 The results of the judgment on the risk in the experiment under the uniform flow.

れているが、本実験の結果、平均風速がそれ以下の場合においても、足場の組立解体作業は非常に危険であるということがわかった。

次に、Fig. 6は「3.危険」と感じる風速と「5.非常に危険」と感じる風速における作業時間を、平均風速0m/s（無風時）の時の作業時間で基準化して表したものである。Fig. 6では、10人の被験者の平均値として表すが、「3.危険」と感じる風速の場合には、無風時と比べ作業時間にほとんど変化は見られなかった。一方、「5.非常に危険」と感じる風速においては、床付き布枠の取り付け作業では無風時の1.29倍、取り外し作業では1.51倍となっており、作業時間に影響が見られた。よって、被験者がこれ以上は危険で作業できないと感じる「5.非常に危険」と感じるレベルでは、作業の危険性の増加を作業時間により定量的に確認することができた。

### 3.3 突風下における作業姿勢の危険限界

予備実験の結果より、Photo 5に示すように、床付き布枠を頭上で保持したまま静止した姿勢において突風を発生させ、その作業姿勢の作業限界風速を調べた。その際、わく組足場の1層の高さは1.7mであるが、突風発生装置の有効高さが1.7mであるため、2.3節で行った風速変動の測定結果から、その高さでは安定した突風を発生させることができない。このため、被験者が頭上で保持する床付き布枠の位置が2.3節で示した高さ1.4mとなるよう、ターンテーブルの下部に作業台を設置し、Photo 5に示すように被験者の立つ位置を約0.3m下げた。

本実験の結果より、一様流下での実験と同様に、「3.

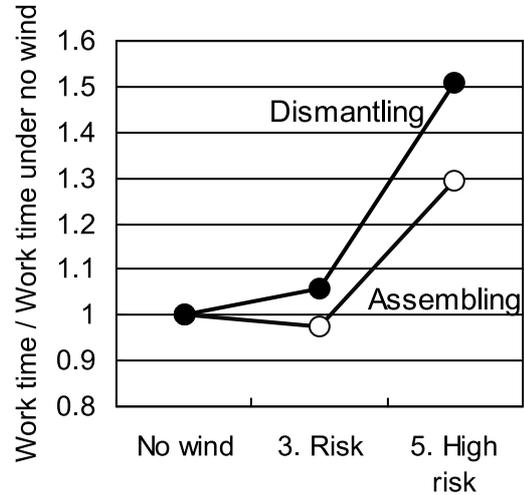


Fig. 6 The results of the measurement of the work time.

危険」と感じるレベルと、「5.非常に危険」と感じるレベルを最大瞬間風速との関係としてFig. 7に示す。Fig. 7より、「5.非常に危険」と感じるレベルの平均は17.2m/s、最低値は14m/sとなった。

これを、労働安全衛生規則の作業限界風速と比較することとする。一般に、最大瞬間風速と平均風速の比はガストファクター（突風率）と呼ばれており、「風荷重に対する安全技術指針」<sup>4)</sup>では、高さ10mの地点で1.38(海岸海上)~2.45(大都市市街地)とされている。このガストファクターを用いて、労働安全衛生規則の作業限界風速である10分間平均風速10m/sを最大瞬間風速に換算すると、13.8m/s~24.5m/s相当となる。よって、「5.非常に危険」と感じるレベルの最低値であ



Photo 5 Holding posture of the scaffolding board on the head

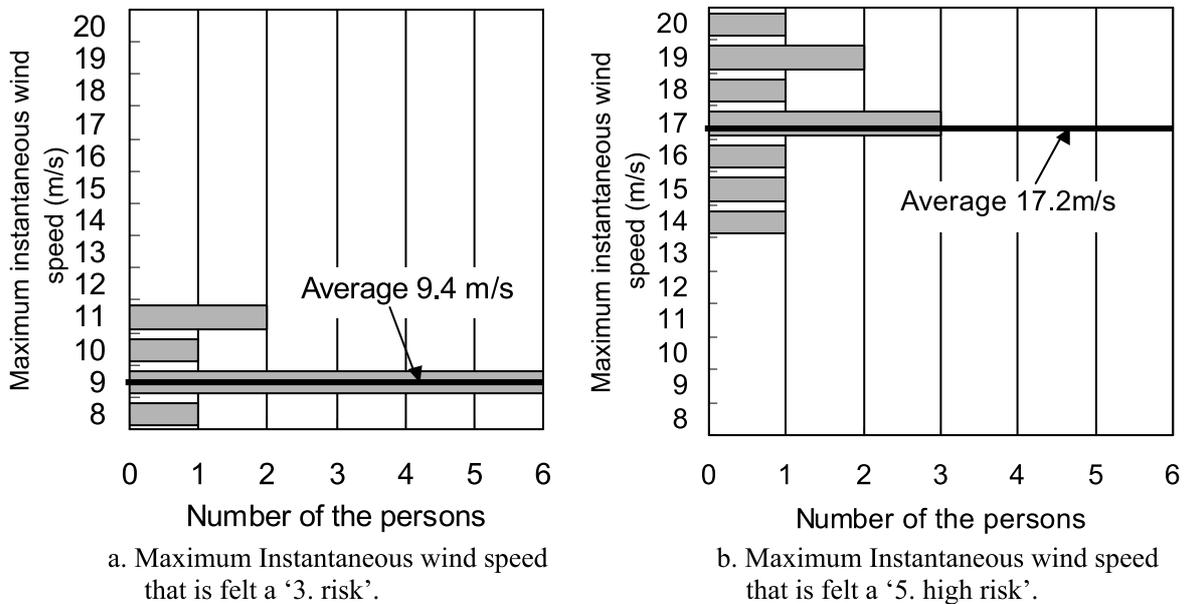


Fig. 7 The results of the judgment on the risk in the experiment under the gust.

る最大瞬間風速14m/sで考えると、都市部においては  
一様流下での実験と同様に、労働安全衛生規則の作  
業限界風速以下の場合においても、足場の組立解体  
作業は非常に危険であるということがわかった。

#### 4. 作業の危険限界風速の提案

文献5では、足場歩行や簡易作業などができる作業  
限界風速を、本実験と同様に一様流下の風洞実験に

より調べている。本実験では、「5.非常に危険」と感じ  
る風速を足場の組立・解体作業の危険限界風速と考  
えることとして、実験での最低値を文献5の結果ととも  
にFig. 8に示す。なお、突風下での実験結果は最大瞬  
間風速で得られているが、Fig. 8ではそのままの値を  
示した。

Fig. 8より、足場の組立・解体作業の危険限界風速  
は、文献5で提案された限界風速に比べ非常に低いこ

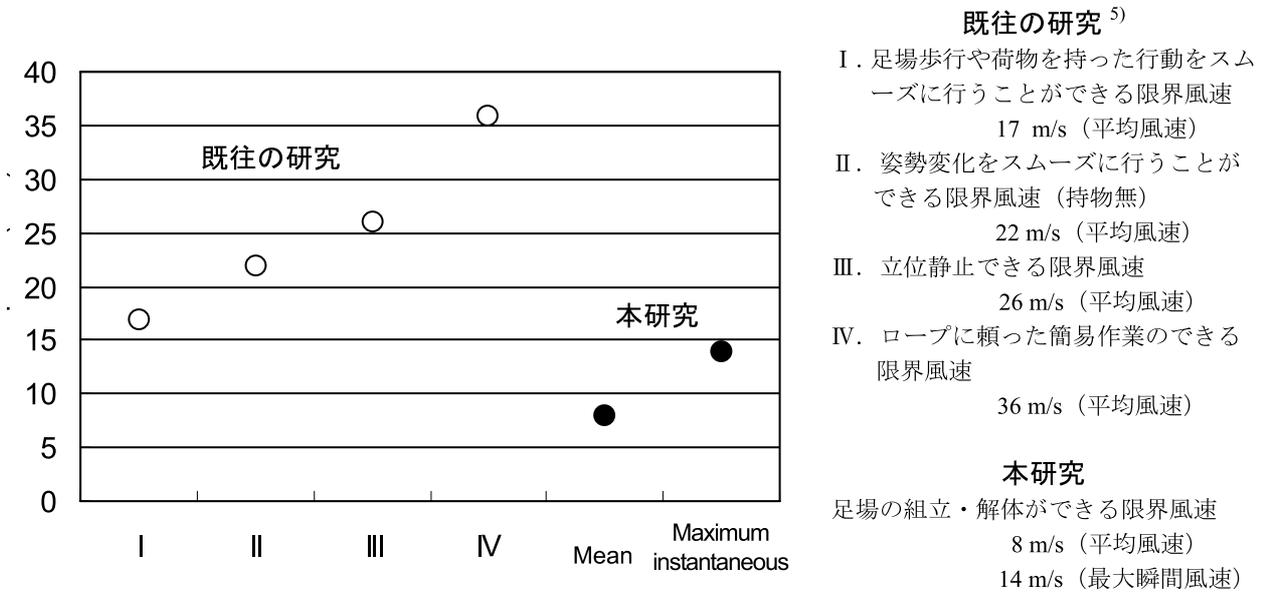


Fig. 8 Proposal of the limited wind speed for the assembling and dismantling work of the scaffolds.

とがわかった。これは、足場の組立・解体作業では、頭上で質量16kgもある床付き布杵を保持したまま静止する時間が長いためであり、足場の組立・解体作業は他の作業に比べ強風の影響を非常に受けやすいことがわかった。

以上のように、足場の組立・解体作業の危険限界風速を、最大瞬間風速と平均風速で提案したが、実際の現場で風速を管理することを考えると、どちらが足場の組立・解体作業に及ぼす影響が大きいかを考える必要がある。これを最大瞬間風速と平均風速の比から考えると、両者の比は $14(\text{m/s}) / 8(\text{m/s}) = 1.75$ であるが、突風下での実験では一様流から約1.7倍の突風を発生させているためこの比とほぼ等しいこと、およびこの比は「風荷重に対する安全技術指針」の高さ10mでのガストファクター1.38～2.45の範囲内であることから、どちらの影響が大きいかは判断することはできない。

このため、これを計測のしやすさから考えることとするが、市販されている建設現場用の吹流し等を使用すれば、低コストで容易に最大瞬間風速を把握することが可能となる。ただし、吹流しは精度が低いためあくまで目安とすべきであり、足場の組立・解体作業時には天気予報等、外部からの情報にも注意を払う必要がある。

## 5. おわりに

本研究では、強風が足場の組立解体時の作業者に及ぼす影響を調べるため、一様流および突風を発生させた風洞内で被験者実験を行った。その結果、以

下のことがわかった。

- ① 実験に先立って行った予備実験の結果、わく組足場に直角に風が吹く場合、および床付き布杵の取り付け・取り外し作業を行う場合に、強風に最も影響を受けることがわかった。また、作業姿勢については、床付き布杵を頭上で保持したまま静止する姿勢が、強風に最も影響を受けることがわかった。
- ② 予備実験の結果に基づいて行った、一様流下での被験者実験の結果、作業が「非常に危険」と感じる風速は、10人の平均で床付き布杵の取り付け作業の場合9.4m/s、取り外し作業の場合8.9m/s、最低値は共に8m/sであった。これは、労働安全衛生規則で示されている作業中止基準の10分間平均風速10m/sより低い風速である。
- ③ 作業が「危険」と感じる風速と「非常に危険」と感じる風速における作業時間を、平均風速0m/s（無風時）の時の作業時間と比較した結果、「危険」と感じる風速では無風時と比べ作業時間の変化は見られなかった。一方、「非常に危険」と感じる風速においては、無風時に比べ作業時間が大幅に増加しており、作業の危険性の増加を作業時間により定量的に確認することができた。
- ④ 突風下での被験者実験の結果、作業が「非常に危険」と感じる風速は、平均で17.2m/s、最低値は14m/sとなった。ガストファクターを考慮すれば、都市部においては一様流下での実験と同様に、労働安全衛生規則の作業限界風速以下の場合においても、足場の組立解体作業は非常に危険であるとい

うことがわかった。

- ⑤ 本研究で行った一様流下と突風下における被験者実験の結果より、作業が「非常に危険」と感じる風速の最低値を、足場の組立・解体作業の限界風速として提案した。

#### 参考文献

- 1) 大幢勝利；序論，NIIS-SRR-No.31，2005.
- 2) 大幢勝利，高梨成次，日野泰道，齋藤耕一；足場に作用する風荷重の実測調査，NIIS-SRR-No.31，

2005.

- 3) 建設業安全衛生年鑑，建設業労働災害防止協会，1989-2002 (annual).
- 4) 風荷重に対する足場の安全技術指針，仮設工業会，1999.
- 5) 村上周三，出口清孝，高橋岳生；強風下における作業の安全限界に関する実験的研究；生産研究，Vol.34，No.3，pp.21-24，1982.

(平成17年5月31日受理)