

強風時における仮設足場の倒壊防止に関する確率的評価

労働省産業安全研究所 正員 大幢 勝利
ノートルダム大学工学部 Ahsan Kareem

1. はじめに

足場等の仮設構造物は、組立・解体を容易にするため非常に軽い部材で構成されており、接合部はピンやクランプなど簡易なものとなっている。また、飛来・落下物災害防止を目的として、足場の外周部はメッシュシート等で囲まれていることが多い。このため、風荷重に対する足場の安定性が問題となっており、実際に強風時に多くの倒壊災害が発生している。

強風による足場の災害事例について調査すると、1箇所の壁つなぎが破壊したことをきっかけに、他の壁つなぎに2次的、3次的な破壊が連鎖的に発生し、最終的に大規模な倒壊に発展したものがみられた¹⁾。しかし、通常の足場の設計では、壁つなぎなど各部材の1次的な破壊に対してのみ安全性チェックが行われており、2次的、3次的な破壊については考慮されていない。このため、大規模な倒壊災害を防止するためには、2次的、3次的な破壊を考慮した構造システム全体の安全性について検討する必要がある。

そこで、本研究では、足場の強風による倒壊災害防止の基礎資料を得ることを目的として、風荷重により足場の壁つなぎが連鎖的に倒壊していく現象を、並・直列システムによりモデル化し信頼性解析を行い、足場の構造システムの安全性を確率的に評価した。その際、足場を補強する壁つなぎの配置と風速を変化させた場合の構造システムの安全性について検討した。

2. 解析方法

2.1 解析モデル

本解析では、一般的に使用されている枠組み足場の10層9スパン分を解析対象とした。図1に解析モデルを示す。図2は、図1のモデルに対し壁つなぎの本数と配置を変化させた場合の1例を示したものである。2S2Bとは、壁つなぎを2層2スパン毎に取り付けたものを、2S1B'とは、壁つなぎを2層1スパン毎に段違いに取り付けたものを示す。解析は、図2に示す9通りの壁つなぎの配置に対して行った。

風荷重によって影響を受ける主な部材は支柱と壁つなぎであるが、各部材強度と風荷重によって生じる応力を比べると、図1の構造では壁つなぎに比べ支柱の強度比の方が1オーダー大きいため、本解析では壁つなぎについてのみ強度を検討することとした。壁つなぎ材の強度を f_t とすると、仮設機材構造基準²⁾より10%の変動があるものとして平均値が決められており、平均値 $f_t = 9810\text{N}$ と規定されている。

2.2 風荷重

風荷重は次に示す式(1)より算定した。

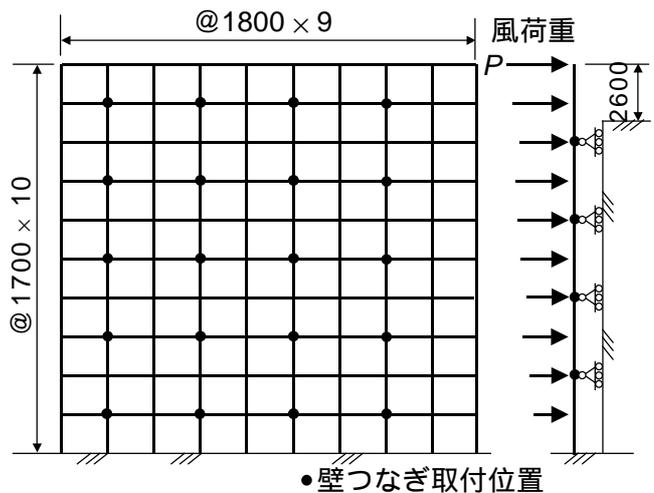


図1 解析モデル(2S2Bの場合)

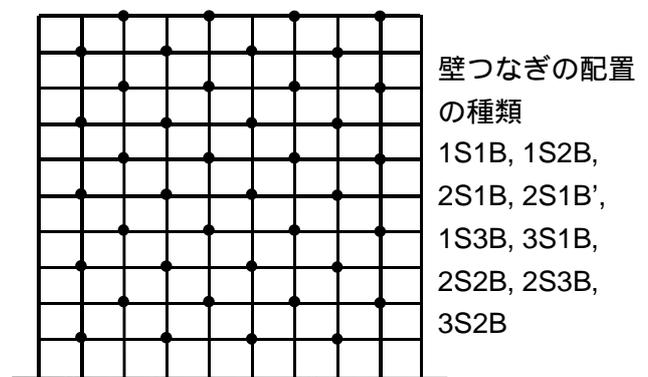


図2 壁つなぎの配置の例(2S1B'の場合)

キーワード：風，足場，倒壊，信頼性，破壊確率

連絡先：〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6・電話 0424-91-4512・FAX 0424-91-7846

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

ここで、 ρ ：空気密度、 U ： $(=U_0 \cdot E)$ 平均風速、 U_0 ：最大風速（10分間平均）の期待値で、足場の供用期間より再現期間は12ヶ月とする、 E ：風速の鉛直分布係数、 A ：受圧面積、 C ：平均風力係数、 G ：ガスト影響係数。

U_0 は、10分間平均風速の月最大値の分布がGumbel分布に従うものとして求められており³⁾、地域毎に異なるが14~20 m/sの範囲にある。 U_0 の変動係数は、平均的なものとして0.21とした。平均風力係数 C は、図3に示す風洞実験結果⁴⁾から求めることとした。また、 C の変動係数は、実測データ⁵⁾より対数正規分布に従うものとして0.05とした。ガスト影響係数 G はガスト応答解析⁶⁾より求め、式(1)に代入することにより、平均風力に変動荷重を加えた等価静的荷重として解析モデルに与えた。

2.3 信頼性解析

式(1)より得られた風荷重を解析モデルに与え、各壁つなぎに作用する応力を計算した。その結果より、各壁つなぎの破壊確率を、1次信頼性解析法(FORM)により求めた。次に、この壁つなぎが連鎖的に切れて倒壊するまでの破壊モードを調べたが、本解析モデルには無数の破壊モードが存在するため、 β -Unzipping法により卓越したモードのみ求めた。

本解析では、各破壊モードを並列システムでモデル化し、それらを直列システムで結びつけて、並・直列システムで表してシステム破壊確率を求めた。しかし、システム破壊確率を厳密に計算することは困難なため、並列システムの場合 Bennet と Ang の限界値を、直列システムの場合 Ditlevsen の限界値⁷⁾を用いて解析した。

3. 解析結果

解析結果として、図4に平均風速とシステム破壊確率の関係を示す。図4には、壁つなぎに作用する応力が現行の設計方法³⁾を満たす場合についてのみ示してあるが、システム破壊確率が 10^{-2} 以上と非常に高い場合（例えば1S3B）もあった。現行の設計方法による応力照査で安全性が確認された場合でも、構造システム全体の安全性について検討すると非常に危険な場合もあることがわかった。次に、壁つなぎの配列について注目すると、壁つなぎの本数が同じでもその配列によってシステム破壊確率は異なっている。例えば、1S2Bと2S1Bは壁つなぎの本数が同じでも、システム破壊確率は2S1Bの方が明らかに低くなっている。しかし、このように壁つなぎの配列を工夫しても、システム破壊確率は2~3倍程度しか低下させることができない。一方、壁つなぎの本数を増やすことの方がはるかに効果的で、3S1B（30本）と2S1B（40本）などを比較すると、システム破壊確率が 10^1 のオーダーで低下することがわかった。

参考文献：1)大幡勝利,アーサン・カリーム 藤野陽三;建設工事の風による災害に関する現状分析,日本風工学会論文集, No.81, 1999, pp.59-70. 2)仮設機材構造基準とその解説, 仮設工業会, 1998. 3)風荷重に対する足場の安全技術指針, 仮設工業会, 1999. 4)吉田正邦, 眞田早敏, 本郷剛, 中村 修;建設足場に設置された養生シート及び防音パネルに作用する風荷重に関する実験的研究, 鹿島建設技術研究所年報, No.28, 1980, pp.129-136. 5) 木下鈞一, 河尻義正;実大実験による風荷重の検討, 産業安全研究所特別研究報告, RIIS-SRR-81-1, 1981, pp.19-31. 6)大幡勝利;風が建設工事の施工性に及ぼす影響, 東京大学博士論文, 2000. 7)白石成人他;構造物のライフタイムリスクの評価, 土木学会, 1988.

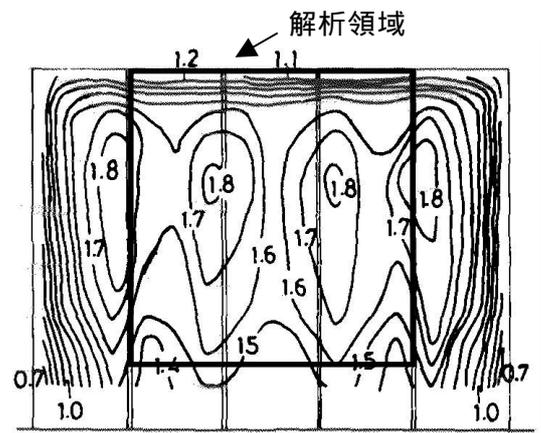


図3 平均風力係数 C

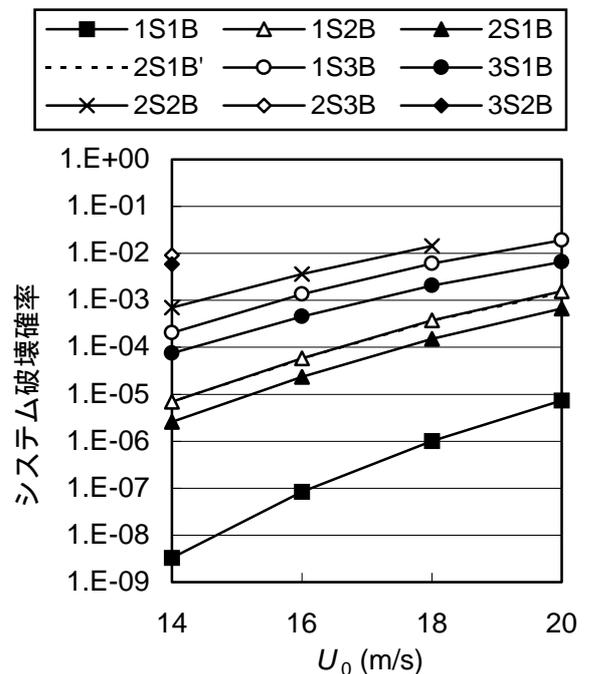


図4 平均風速とシステム破壊確率の関係