

【3.4.3 強風時の疲労損傷評価】成果

耐疲労設計のための強風のモデル化

安井八紀^{*1}, 大熊武司^{*2}, 廣川雅一^{*3}, 吉江慶祐^{*4}, 丸川比佐夫^{*1}
(*1: 株式会社泉創建エンジニアリング, *2: 神奈川大学工学部建築学科)
(*3: 当時神奈川大学工学研究科, *4: 株式会社日建設)

1. はじめに

台風などの強風による建築物の振動では、継続時間が地震動に比べ非常に長いため、繰り返し回数が多くなる。そのため、特に供用期間の長い高層建築物などの場合、疲労損傷の恐れがある。

風による疲労損傷評価を行うためには、建築物の供用期間中に起こりうる強風レベルとその強風の頻度を推定しなければならない。疲労損傷評価に当たっては、風速レベル、頻度をどのように評価するかが重要であり、これら強風特性のモデルが疲労損傷評価の精度に影響を及ぼす。

筆者らは、強風特性のモデル化の違いが疲労損傷評価に及ぼす影響について検討するに当たり、まず、日本付近を通過する台風の統計的性質を取りまとめ、モンテカルロ法によって日本全域に渡る台風シミュレーションを可能にした¹⁾³⁾⁴⁾。続いて、台風シミュレーションによって推定される平均風速の見掛け上の評価時間を推定した²⁾³⁾⁴⁾。さらに、強風の強さの評価法として観測記録に基づいた場合、台風シミュレーションによる場合等について1建物を事例に疲労損傷度を検討した⁵⁾⁶⁾。以下にその要点を示す。

2. 強風特性のモデル化

2.1 年最大風速の評価

年最大風速の評価方法としては、観測記録に基づく統計的手法と台風シミュレーションに基づく方法が考えられる。

まず、観測記録に基づく統計的手法によって年最大風速の評価する方法を横浜を事例に示す。

図1は、横浜気象官署における1961年～1996年の年最大風速の非超過確率分布である。同図には、台風を要因とした場合と要因を区別しない場合との観測記録とその回帰線を併せて示している。要因を区別しない場合の回帰線は、求積法によりGumbel分布に当てはめている。台風を要因とする年最大風速の分布の回帰線は、Gomes and Vickery⁴⁾の手法に習って(1)式および(2)式に当てはめている。ただし、 m は台風の年平均発生個数である。

$$F(U) = \exp\{1 - m[1 - F_{T1}(U)]\} \quad (1)$$

$$F_{T1}(U) = \exp\{-\exp[-a(U-b)]\} \quad (2)$$

供用期間中の年最大風速の分布は、これらの分布パラメータにより推定することができる。供用期間中の i 番目に大きな年最大風速 U_i の再現期間を r_i 年とすると、 U_i は台風を要因とした場合は式(3)で、要因を区別しない場合には式(4)で求めることができる。

$$U_r = b + \left\{ -\ln\left[-\ln\left\{1 + \frac{\ln(1-1/r)}{m}\right\}\right] \right\} / a \quad (3)$$

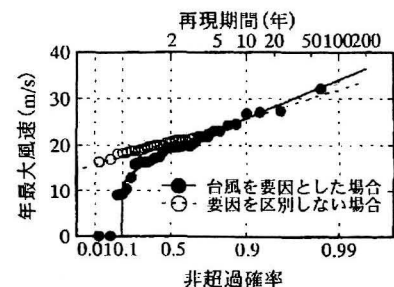


図1 年最大風速の観測記録
(横浜, 1961年～1996年)

$$U_r = b + [-\ln\{-\ln(1-r)\}]/a \quad (4)$$

つぎに、台風シミュレーションに基づいて年最大風速を評価する方法では、推定される平均風速の評価時間による変動係数 $V_{評}$ を考慮する必要がある。さらに、標本違いによる変動係数 $V_{標}$ も考慮する必要がある。最終的な台風シミュレーションにおける変動係数 V_{ds} は、評価時間による変動係数 $V_{評}$ と標本による変動係数 $V_{標}$ が互いに独立であるため、式(5)で評価する。さらに、この変動係数を台風シミュレーションによって得られる風速値に乘じることで、台風時の最大風速値 U を評価する。ただし、 σ_{ds} :台風シミュレーションによる平均風速の変動値、 U_s :台風シミュレーションによる平均風速である。

$$V_{ds} = \sqrt{V_{標}^2 + V_{評}^2} \quad \sigma_{ds} = V_{ds} \times U_s, \quad U = U_s + 3\sigma_{ds} \quad (5)$$

また、台風シミュレーションによって得られる年最大風速の非超過確率分布から、先に示した統計的手法によって年最大風速を評価することもできる。

2.2 強風の継続時間の評価

建築物の供用期間中に発生する強風の継続時間の評価方法には、台風シミュレーションによって得られる情報をそのまま用いる方法と、結果に基づいたモデルにより評価する方法が考えられる。以下に、台風シミュレーション結果に基づいたモデル化の方法を示す。

まず、供用期間分の台風シミュレーションを行い、建設地の風速の経時変化を求める(図2)。つぎに、各台風について、風速を降順に並べ替え、各台風の最大風速で除した風速比を求める(図3)。本研究では、各超過時間に対応する風速比の平均値を求め、式(6)に示すように風速比 U^* と強風の継続時間 $T(U^*)$ との関係をモデル化した(図4)。

$$U^* = \begin{cases} 1 & [0 < T(U^*) \leq 1(\text{hour})] \\ -0.03\{T(U^*) - 1\} + 1 & [1 < T(U^*)] \end{cases} \quad (6)$$

3. 疲労損傷評価

3.1 疲労損傷評価方法と検討条件

風による高層建築物の疲労損傷は、主に風直角方向振動によってもたらされるため、風直角方向振動を対象に疲労損傷評価を行う。

対象とする建築物は、再現期間100年の頂部風速 U_{H0} 時に、柱梁接合部の梁端部に生じる歪の最大値が降伏歪 ε_y となるものとする。また、長期応力の影響は無視できるものとし、全体挙動として

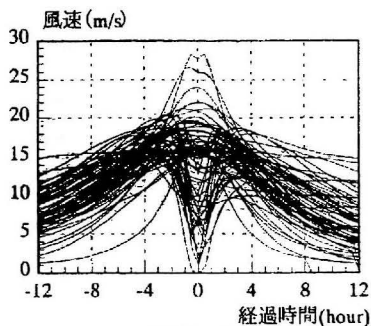


図2 風速の経時変化

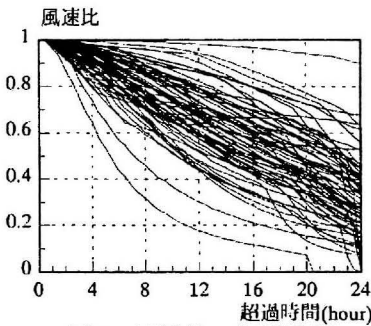


図3 風速比-超過時間

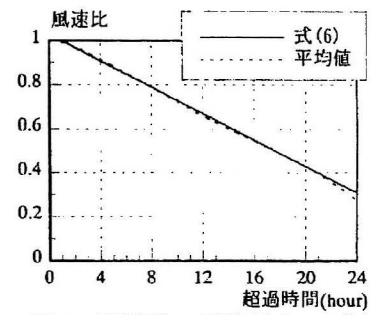


図4 風速比の平均値とモデル

はほぼ弾性挙動で、歪の変動を狭帯域の定常正規確率過程と仮定する。この場合、応答変位の標準偏差 $\sigma_\varepsilon(U_H)$ は(7)式で、その極大値分布は式(8)に示す Rayleigh 分布で、頂部平均風速 U_H 時の歪片振幅 ε が $\varepsilon+d\varepsilon$ の間に入る回数 $n(\varepsilon, U_H)$ は式(9)で与えられる。

$$\sigma_\varepsilon(U_H) = \varepsilon_y (U_H/U_{H0})^\alpha / g \quad (7)$$

$$p(\varepsilon, U_H) = \frac{\varepsilon}{\sigma_\varepsilon^2(U_H)} \exp(-\varepsilon^2/2\sigma_\varepsilon^2(U_H)) \quad (8)$$

$$n(\varepsilon, U_H) = T(U_H) \cdot f_0 \cdot p(\varepsilon, U_H) \cdot d\varepsilon \quad (9)$$

ここに、 g :ピークファクター、 $T(U_H)$: U_H の継続時間、 f_0 :建築物の固有振動数である。

疲労検討に疲労曲線、ホットスポット歪と計算歪の関係は小川ら⁷⁾の研究を用い、累積疲労損傷度は Miner 則により評価する。その他の検討条件については文献6)を参照されたい。

3.2 疲労損傷評価検討結果

各ケースの風速別の累積継続時間を図3に、風速別の疲労損傷度を図4に、累積疲労損傷度を図4に示す。図中の各ケースの条件は、以下に適宜示す。

1) 頂部風速と累積継続時間および疲労損傷度 全検討ケースにおいて、累積継続時間は頂部風速 10m/s ~ 30m/s の間で最大となり、風速が増加すると共に減少する傾向が見られる。一方、疲労損傷度は、頂部風速 40m/s 以下では小さく、風速の増加と共に増加し、風速 55m/s 以上では飛躍的な増加を示す。頂部風速 50m/s ~ 56m/s の累積継続時間が概ね一定である Case 2_2 および Case 2_2 の風速別疲労損傷度から判断して、高風速域ではわずかな風速増加が疲労損傷度に敏感に反映されることがわかる。したがって、疲労損傷度を精度良く評価するためには、高風速域での風速値およびその頻度の高い評価精度が要求される。

2) 強風の要因による疲労損傷度の相違 強風の要因を台風とした Case 1_1 と要因を区別しない Case 1_2 とを比較すると、Case 1_2 の方が頂部風速 42m/s 以上で累積継続時間が長くなる。また、Case 1_2 では頂部風速が 54m/s を超える風速が発現せず、疲労損傷度も小さい。これは、要因を区別しない場合、疲労損傷に影響を与えるような強風の評価を充分に行うことができないためである。従って、要因を区別せずに年最大風速を評価した場合には、疲労損傷度を過小に評価する可能性がある。

要因を区別せず観測記録から統計的に風速を評価した Case 0 と Case 1_2 を比較すると、再現期間 100 年の風速値が 2 割程度の差であるのに対して、累積疲労損傷度の差は 20 倍になっている。疲労損傷度の評価に当たっては、高風速域でのわずかな風速値の評価の差が、疲労損傷度には大きな差となって現れることを認識しなければならない。

3) 風速レベルの評価の影響 台風シミュレーションによる年最大風速を統計的手法で評価した Case 2_1 とそのまま用いた Case 2_2 を比較する。図3に示すように高風速域での風速レベルに相違があるため、高風速域での累積継続時間、疲労損傷に違いが認められる。

年最大風速のみを評価した Case 2_2 と発生した台風全てを評価した Case 2_3 を比較する。頂部風速 36m/s 以下では風速が低

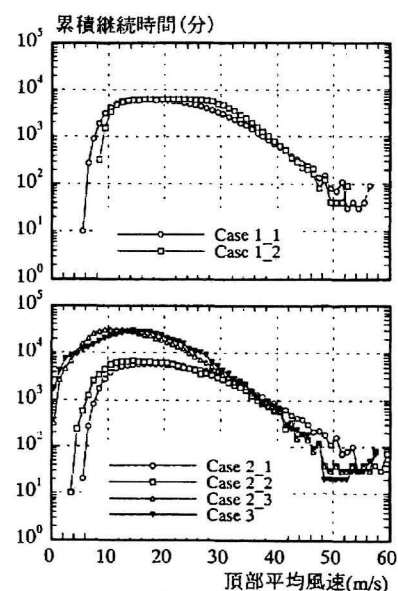


図3 風速別累積継続時間

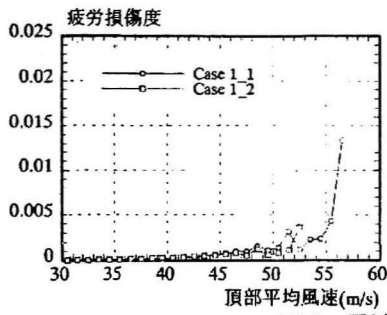


図4 風速別疲労損傷度

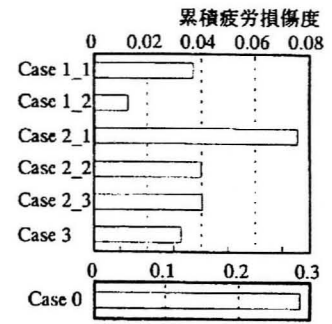
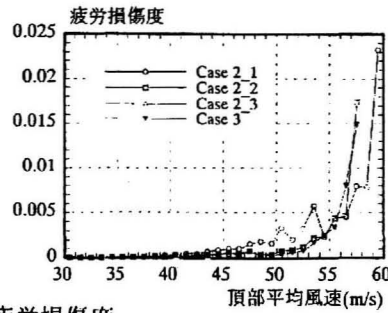


図5 累積疲労損傷度

くなるにつれて累積継続時間の相違は顕著となるが、40m/s以上では殆ど差がないため、累積疲労損傷度も一致している。従って、本研究で対象とした建築物の場合、年最大風速のみを評価すれば、十分に疲労損傷評価は可能である。

4) 継続時間の評価の影響

(6)式でモデル化した継続時間により評価したCase 2_3と台風シミュレーションの結果そのものを用いたCase 3を比較する。若干の違いはあるものの、低風速域から高風速域にかけて、累積継続時間ならびに疲労損傷度は概ね一致した傾向を示す。よって、継続時間のモデル式は概ね妥当であると考えられる。

最後に、台風を要因とした場合には、観測記録に基づいて評価したCase 1_1と台風シミュレーションにより評価したCase 2_2およびCase 2_3とは良い対応を示した。

4. おわりに

以下に結果の要点を示す。

- 1) 疲労損傷を精度良く評価するためには、高風速域での風速値・頻度の評価精度が重要である。
- 2) 強風の要因を区別せずに年最大風速を評価すると、疲労損傷度を過小に評価する可能性がある。
- 3) 高風速域でのみ疲労損傷が問題となる建築物の場合、年最大風速のみを評価すれば、十分に疲労損傷評価は可能である。
- 4) 継続時間のモデル式は概ね妥当であると考えられる。

参考文献

- 1) 安井八紀, 大熊武司, 吉江慶祐, 丸川比佐夫: 台風の数値モデルに関する研究 その1, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.117-118, 2000.9
- 2) 廣川雅一, 吉江慶祐, 大熊武司, 安井八紀, 片桐純治, 石橋龍吉: 台風の数値モデルに関する研究 その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.119-120, 2000.9
- 3) 安井八紀, 大熊武司, 吉江慶祐, 片桐純治, 廣川雅一: モンテカルロ法を用いた台風シミュレーションに関する研究, 第16回風工学シンポジウム, pp.65-70, 2000.12
- 4) H. Yasui, T. Ohkuma, H. Marukawa, J. Katagiri: Study on evaluation time in typhoon simulation based on Monte Carlo method, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 90, pp.1529-1540, 2002
- 5) 安井八紀, 大熊武司, 廣川雅一, 吉江慶祐, 丸川比佐夫: 高層建築物の疲労損傷評価に与える強風特性のモデル化の影響に関する研究 その1, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.185-186, 2001.9
- 6) 廣川雅一, 大熊武司, 安井八紀, 吉江慶祐, 丸川比佐夫: 高層建築物の疲労損傷評価に与える強風特性のモデル化の影響に関する研究 その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.187-188, 2001.9
- 7) 小川, 大熊, 中込: 大型試験体を用いた両振り一定振幅の疲労強度-鋼構造柱梁溶接接合部の累積疲労損傷評価その1, 日本建築学会構造系論文集, 第535号, 2000.9