

平成 29 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：強風防災
研究期間：平成 29 年度
課題番号：132005
研究課題名（和文）：構造部材の強風による累積疲労損傷評価法に関する研究
研究課題名（英文）：Estimation of cumulative fatigue damage for structural member under wind load
研究代表者：大熊武司
交付決定額（当該年度）：400,000 円

1. 研究の目的

■研究の学術的背景

風荷重が長時間作用する荷重であることを考えると、極めて稀に発生する暴風時の安全性の確保のためには、風荷重に対する最大応答値が許容値を超えていないことを確認するだけでなく、長時間の繰返しによる損傷の累積に対する安全性の検証も必要である。風荷重に対する最大応答値の予測と安全性の検証であれば、評価期間中の最大の風荷重のみを対象とすればよいが、長時間の繰返しによる損傷の累積的効果を検証する場合には評価時間内または供用期間内の風荷重による応答値の累積的効果を評価することが求められる。この繰返し荷重の評価方法について日本免震構造協会による「免震構造物の耐風設計指針」では、極めて稀に発生する暴風に対応する一つの台風を対象とし、敷地での台風による風荷重の発生から終息までの疲労などの累積値を評価するための資料として、暴風の経時特性の評価方法を紹介するとともに、風荷重に対する免震部材の損傷評価のための基礎資料を提示している。この種の累積的荷重効果に関する検討を積み重ねて、累積的荷重効果に対する設計法へと発展していくことが求められているのが現状であり、これまで、本研究に先立って実施された共同研究の成果等があるが、かならずしも事例が十分とは言えず、風向特性の影響、極めて稀な暴風以外の日常風の影響、構造特性の影響、等々、累積的荷重効果に対する未解明の項目は多い。

■当該分野における本研究の学術的な特色・独創性、予測される結果と意義

累積損傷度の計算例、評価例に関して、過去に事例的な検討結果は幾つか発表されているが、構造特性、空力特性、気象観測記録、構造骨組と外装材等部位や荷重の作用の違いといった、現実的に影響を及ぼす可能性のある種々の項目について広く検討された例はほとんどなく、そのため、設計法としてまとめられるに至っていない。本研究結果は、累積的荷重効果に関する設計法を検討するうえで非常に重要な基礎的な資料を与えるものである。

2. 研究の方法

本研究では、構造物の耐風性について、累積損傷の観点から、次の検討を行う。

- 1) 過去の気象観測記録に基づく、台風や発達した低気圧など、極めて稀な暴風 1 イベントの累積損傷度や等価継続時間の評価
- 2) 台風及び台風以外の中弱風が累積損傷に及ぼす影響の評価、またその等価継続時間としての評価
- 3) 構造特性や空気力学特性の異なる種々の構造物に対する累積損傷の評価
- 4) 風荷重の作用が異なると考えられる構造骨組と外装材等の違いを考慮した累積損傷度の評価

これまでに実施された共同研究や関連する研究者の成果により、強風による疲労損傷の評価手法と、その評価結果に及ぼす諸要因の影響について、徐々に明らかになりつつある。本共同研究では、これまでの手法の開発や研究成果を踏まえて、さらに検討事例を増やし、一般的な議論に結び付けるため、空力特性、構造特性の違い、構造骨組や外装材等部位の違いによる累積的荷重効果の評価について、これまで提案された手法を基に、様々な条件の違いについて比較検討する。

3. 研究成果

平成 29 年度は、台風イベントの変動する風速時刻歴の収集、風以外の他の荷重による累積疲労損傷、繰返し荷重効果に関する情報の整理を行った。また、これまでに検討してきた内容を日本風工学会誌に特集を企画した。公開研究会として、温度荷重による疲労損傷、東京スカイツ

リーの疲労損傷設計法，免震部材，制振部材の疲労損傷実験について，招待講演会を開催した。また，開催に際して，日本免震構造協会，日本建築学会の後援を得た。

公開講演会は以下の様な内容となった。

趣旨説明：大熊武司（神奈川大学）

2015年に発行された「日本建築学会建築物荷重指針・同解説」には，風の作用時間について繰り返し荷重効果に対して留意すべきことが追記された。また，2017年では，「建築物荷重指針を活かす設計資料2」では，「暴風の作用時間」，「疲労評価」について解説された。このような近年の動向を，過去の関連技術指針等の変遷を含めて概観し，「風の繰り返し荷重効果」を軸とした体系的設計資料集/指針が必要であることを示した。

温度荷重による疲労損傷：中島秀雄（小山高専）

温度荷重（応力）の検討に際して，繰り返しについて検討した。その際，建設時を基準温度として温度荷重=0とした。過去53年間の気象記録を分析して，累積損傷度 $D=1$ となる年数は，200年～800年であった。

討議では，100年に換算した D 値は0.5～0.125はかなり大きいのではないかという質問に対して，安全側の評価をしているためとの回答を得た。今後は，日射の影響も考慮して評価できるようにしたいとのことであった。

東京スカイツリーの耐疲労設計：小西厚夫（日建設計）

分岐接手に重防塗装を再移用している。これは本四開発技術である。部材の疲労損傷については，主材の周面に溶接，部分溶け込み溶接，止端部での疲労を想定，斜材は地震，縦部材は転倒モーメントが支配的である。貫通するクラックは避けたいので，目標 D 値を0.8以下と安全側に設定した。評価結果は最大で $D=0.6$ 程度であった。対象とする荷重は100年間の風+500年の風5時間+中地震2回+大地震1回（告示波，サイト波250秒）とした。SN曲線は，AWS基準（公称応力で評価可能）を使用した。上空を含め風の性質を把握するために風観測を実施し統計をとった。また，部材の直径を大きくして個材の渦励振が出ないようにした。

討議では，部材で大きな応力が発生する風向から全て風が作用するものとして安全側に評価している。評価期間を100年としているが，想定外乱100年，材料の劣化などを考慮すると供用期間は100年ではないこと等が紹介された。

梁端接合部の繰り返し変形性能，免震構造用U字型ダンパー：吉敷祥一（東京工業大学）

塑性率を指標とした低サイクル疲労性能についての研究紹介がなされた。一定振幅の破断性能や基準整備促進事業による部材の疲労損傷特性の結果をまとめた。損傷は，全てスカラップ底から亀裂発生の結果となった。特に，繰り返し破断特性は全ひずみ振幅で整理すると強度の影響は無くなる。塑性率で評価するのは現象を整理するうえではよくないとの指摘があった。U字型ダンパーについて，2方向の変形を受ける場合，ねじれの影響は回転角の3乗に比例していることが紹介された。同一の軌跡を繰り返すと低い D 値となる。これは，振幅が異なると破断位置が異なることに関連していると思われるとのことであった。

4. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者には下線）

〔その他，産業財産権，ホームページ等〕（計11件）

1. 佐藤大樹，西嶋一欽，松井正宏，風による繰り返し荷重効果，累積疲労損傷評価，日本風工学会誌，Vol.43, No.1, pp.3-4, 2018
2. 大熊武司，風による疲労損傷問題の展開と展望，日本風工学会誌，Vol.43, No.1, pp.5-10, 2018
3. 小西厚夫，勝村 章，田村幸雄，東京スカイツリーの耐疲労設計，日本風工学会誌，Vol.43, No.1, pp.11-16, 2018
4. 佐藤大樹，超高層免震建物の風応答観測記録に基づく鋼材ダンパーの疲労損傷評価，日本風工学会誌，Vol.43, No.1, pp.17-18, 2018
5. 勝地 弘，橋梁の風疲労，日本風工学会誌，Vol.43, No.1, pp.19-22, 2018
6. 宮原 史，桑原正明，白戸真大，道路附属物の損傷実態と安全性確保策，日本風工学会誌，Vol.43, No.1, pp.23-28, 2018
7. 寺崎 浩，植松 康，風外力を受ける高層建築物の外装材疲労損傷評価，日本風工学会誌，Vol.43, No.1, pp.29-34, 2018
8. 安井八紀，鉄塔個材の渦励振と疲労損傷評価，日本風工学会誌，Vol.43, No.1, pp.35-40, 2018
9. 栗田 剛，合成高分子ルーフィング工業会，機械的固定工法防水システムの風による繰り返し荷重に対する耐力評価，日本風工学会誌，Vol.43, No.1, pp.41-44, 2018
10. 西嶋一欽，変動風荷重による疲労損傷に対する建築物の設計・維持管理手法の構築にむけ

て，日本風工学会誌，Vol.43, No.1, pp.45-48, 2018

11. 松井正宏，吉江慶祐，風による累積疲労損傷度の簡易評価式，日本風工学会誌，Vol.43, No.1, pp.49-53, 2018

5. 研究組織

(1) 研究代表者

1. 大熊 武司 (神奈川大学工学研究所・客員教授)

(2) 研究分担者

2. 吉江 慶祐 (日建設計・構造設計部・部長)
3. 竹中 康雄 (株式会社小堀鐸二研究所)
4. 田村 和夫 (千葉工業大学・教授)
5. 安井 八紀 (泉創建エンジニアリング)
6. 寺崎 浩 (大成建設・技術センター)
7. 佐藤 大樹 (東京工業大学, 准教授)
8. 西嶋 一欽 (京都大学防災研究所, 准教授)
9. 田村 幸雄 (東京工芸大学, 名誉教授)
10. 吉田 昭仁 (同, 教授)
11. 金容徹 (同, 准教授)
12. 松井 正宏 (同, 教授)

6. 要約(Abstract)

研究課題名：構造部材の強風による累積疲労損傷評価法に関する研究

Estimation of cumulative fatigue damage for structural member under wind load

研究代表者名：大熊武司(神奈川大学)

風による構造物の繰返し荷重効果、疲労損傷を評価するために、台風イベントの変動する風速時刻歴の収集、風以外の他の荷重による累積疲労損傷、繰返し荷重効果に関する情報の整理を行った。また、これまでに検討してきた内容を日本風工学会誌に特集を企画し2017年1月号に特集として掲載された。

公開研究会では、以下の様な内容が紹介された。大熊武司(神奈川大学)から近年の繰返し荷重効果、疲労損傷評価の動向を、過去の関連技術指針等の変遷を含めて概観し、「風の繰返し荷重効果」を軸とした体系的設計資料集/指針が必要であることを示した。温度荷重による疲労損傷として、中島秀雄(小山高専)から過去53年間の気象記録を分析して、累積損傷度 $D=1$ となる年数は、200年~800年のオーダーであること等の紹介があった。東京スカイツリーの耐疲労設計について、小西厚夫(日建設計)から、部材の疲労損傷については、主材の周面に溶接、部分溶け込み溶接、止端部での疲労を想定し、斜材は地震、縦部材は転倒モーメントが支配的であることや。貫通クラックを避けるべく、目標 D 値を0.8以下と安全側に設定していること。評価対象とする荷重を100年間の風+500年の風5時間+中地震2回+大地震1回(告示波, サイト波250秒)としていること等が紹介された。梁端接合部の繰返し変形性能、免震構造用U字型ダンパーの疲労特性の紹介が、吉敷祥一(東京工業大学)からなされた。また、基準整備促進事業による部材の疲労損傷特性の結果等について、繰返し破断特性は全ひずみ振幅で整理すると強度の影響はなくなる等の指摘があった。

