

落下防止手摺の疲労損傷を考慮した耐風性能に関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON THE WIND RESISTANT PERFORMANCE OF FALL PREVENTION HANDRAILS TAKING ACCOUNT OF FATIGUE DAMAGE

建築防災 小川 達也

高層化の進む集合住宅の落下防止手摺においては高い耐風性能を要求される。本論文では風荷重を想定した載荷方法を検討し、静的載荷試験および繰り返し載荷試験を行った。それにより芯材補強の有用性や荷重振幅による破壊モードの相違、荷重振幅の平均成分の影響が小さいことを示した。また台風通過時の疲労損傷度の検証を行い、累積疲労損傷度の変化に伴う設計疲労曲線の勾配変化を考慮することで荷重履歴の影響を検討し、その疲労損傷度の算定方法の提案と解析結果を示した。 Fall prevention handrails of high-rise condominium are requested high wind resistant performance. This paper shows loading method assumed the wind load, utility of the core reinforcement, difference in fracture mode by load amplitude and small influence of an average component of load amplitude by static loading tests and cyclic loading tests. The fatigue damage level at the time of typhoon passage was verified and influence of loading history was investigated by considering the varying of slope of design fatigue curved line with changing of cumulative fatigue damage level. And also this paper shows proposition of the calculation method and analysis results of the fatigue damage level.

1. はじめに

集合住宅の廊下やバルコニーには落下防止手摺を設置する必要があるが、この手摺にはアルミニウム製のものが用いられることが多い。落下防止手摺が格子でなくパネル状であった場合、建築物の隅角部付近に設置された手摺には比較的大きな風荷重が作用することが報告されている¹⁾⁻³⁾。集合住宅の高層化に伴い、手摺に作用する風荷重は増加することから、落下防止手摺の安全性を確保するためには適切な耐風設計が重要である。落下防止手摺の水平荷重に対する強度試験にはBL規格試験⁴⁾やJIS試験⁵⁾等があるが、これらの試験は人による外力を想定したものであり、等分布荷重を想定した試験方法に公的なものはない。

また台風などの強風時においては、変動風力による繰り返し荷重が長時間作用することから、手摺の疲労損傷について検討する必要があると考えられる。

そこで本論文では、風荷重等の等分布荷重を想定した載荷方法を提案し、その妥当性の検証を行う。さらに、この載荷方法を用いて、繰り返し荷重による疲労破壊試験の結果と風洞実験による変動風力の時刻歴データより、希に発生する強風時における疲労損傷度の算定を行った。

2. 載荷方法の検討および手摺支柱の耐風性能

2.1 等分布荷重を想定した載荷方法

本研究で対象とした落下防止手摺は鋼製芯材とアルミ支柱からなる。図1に示す寸法と仕様は標準仕様のものである。水平力を加えた場合、柱脚部には水平方向の剪断力と曲げモーメントが作用するが、これらの応力は全て鋼製芯材が支持することになるため、載荷試験用の供試体の柱脚部は鋼製芯材を鋼製の治具を用いて堅固に固定することとした。頂部載荷の場合、支柱に作用する曲げモーメントの分布は図2に示すように高さ方向に直線的に変化する。一方、風荷重を想定した場合、手摺にはおおむね等分布の荷重が作用するので、曲げモーメントの分布は高さ方向に2次曲線に変化する。柱脚部での曲げモーメント M が両者で同じ値を示すとき、芯材上部のモーメントは風荷重を想定した場合は m_2 となり、頂部載荷時の曲げモーメント m_1 と比較して小さくなる。つまり、BL規格の規格試験に適應するための補強と等分布荷重に対する補強方法は異なる事になる。

図2に示す柱脚部の曲げモーメント M と芯材上端の曲げモーメント m_2 が、等分布荷重と等しくなる載荷高さ h を算定する。等分布荷重による柱脚部と芯材上端での曲げモーメントは式(1)および(2)で表すことができ、これより等分布荷重時の柱脚部および芯材上端の曲げモーメントを再現する集中荷重 F' および載荷高

さ h を式(3)および(4)より算定する。なお、本試験での供試体においては芯材長さ L が 500mm であるので、

柱脚部 $M = \frac{1}{2} \cdot P \cdot H^2 = F \cdot H = F' \cdot h \dots (1)$

芯材上端 $m2 = \frac{1}{2} \cdot P \cdot (H - L)^2 = F' \cdot (h - L) \dots (2)$

集中荷重 $F' = \frac{1}{2} \cdot P \cdot (2H - L) \dots (3)$

載荷高さ $h = \frac{H^2}{2H - L} \dots (4)$

P (N/m) : 風荷重による等分布荷重×支柱間隔

F (N) : 単位長さ当たり水平力×支柱間隔

F' (N) : 等分布荷重に対応する集中荷重

図2に集中荷重と等分布荷重時の曲げモーメント分布比較を示す。上記に示した載荷方法は、1本の手摺支柱を対象として検討したものである。実際の手摺はガラススクリーン等のパネル状になっている場合が多いため、2スパンユニットの等分布載荷試験によりこの載荷方法の妥当性を確認する。写真1に示すように2スパンユニットを水平に固定し、2つのパネルに対して左右対称に10kgのおもりを順次載荷し、手摺の変形を計測した。実験の結果、2スパンユニットの破壊形態はアルミ支柱部の変形はほとんど見られず、主に芯材基部の曲げ破壊であった。図3に等分布荷重を想定した載荷試験と2スパンユニットの水平等分布荷重試験時の荷重変形関係を示す。この結果より柱脚部の荷重に対する変形量および芯材塑性時の荷重は一致しており、載荷方法が妥当であると判断した。

2.2 静的載荷試験

手摺支柱の水平荷重に対する載荷試験で使用する載荷装置を写真2に、支柱加力装置およびアクチュエータ部を図4に示す。静的載荷試験では、標準仕様の手摺支柱に加え、芯材を強化した補強仕様の支柱に対しても試験を実施した。供試体仕様の概要を表1に示す。実験では、一般的に行われているBL規格試験と同様に、手摺頂部での静的載荷試験を実施し、手摺支柱の基本的性能の確認を行った。試験体への載荷は166N（柱脚部でのモーメントが200N・m）毎に増加させ、載荷段階毎に一旦除荷して残留変位の測定を行った。

図5iに載荷荷重 F と芯材上端と手摺上端の変位の関係を示す。芯材上端の荷重変形関係から、1200N程度までは芯材は概ね弾性的に変形していることがわかるが、頂部変位は残留変形が確認され、アルミ支柱の変形が発生している。その後の載荷においては変位1450N付近で、芯材が塑性化し変位が急激に大きくなる。試験後の供試体の変形状況はアルミ支柱の芯材上端部付近での曲げと、芯材基部付近での曲げの両方の変形が確認された。この状況から判断すると、手摺支

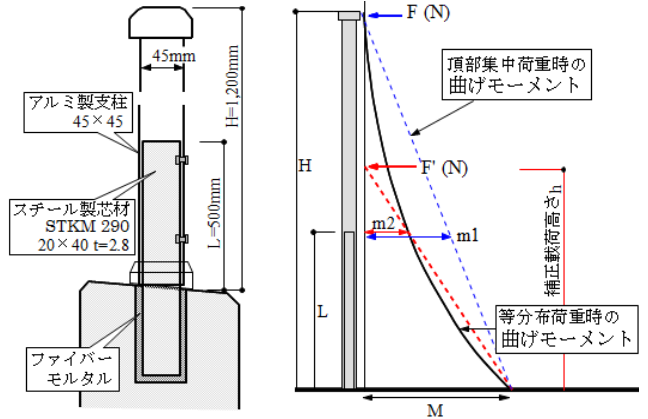


図1 手摺柱脚部の詳細

図2 集中荷重と等分布荷重の曲げモーメント分布比較



写真1 2スパンユニットの水平載荷試験供試体

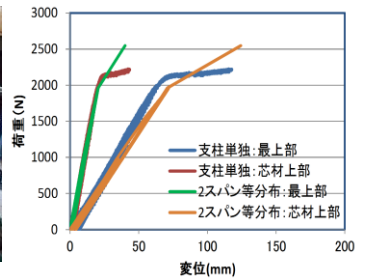


図3 2スパンユニット試験と想定等分布載荷試験の比較

表1 供試体仕様の概要

	芯材引張強度	材厚	長さ
標準仕様	290 N/mm ²	t=2.8	500mm
補強仕様1	340 N/mm ²	t=2.8	500mm
補強仕様2	340 N/mm ²	t=3.2	500mm

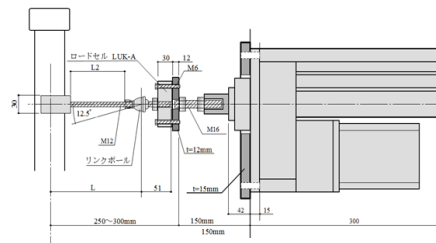


図4 水平荷重載荷用加力装置



写真2 載荷装置

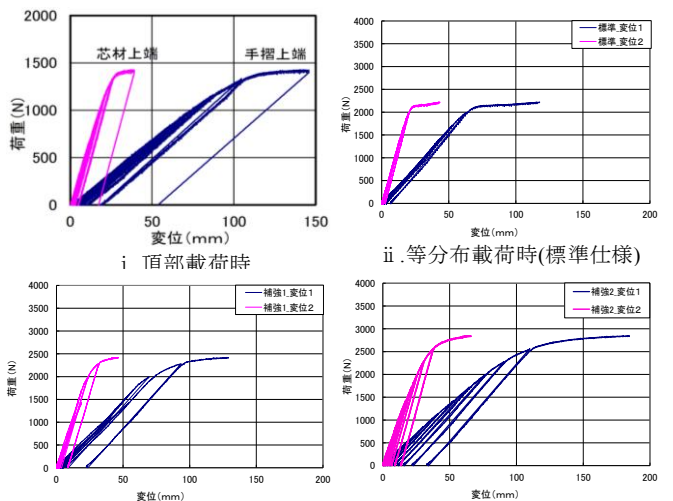


図5 頂部及び想定等分布荷重載荷時の荷重変形関係図

柱は手摺頂部の荷重に対してアルミ支柱と芯材がバランスよく負担している事が伺える。一方、標準仕様（BL 規準 150 型の適合製品）および芯材の断面性能のみを補強した 2 種類の補強仕様の手摺支柱（表 1 参照）に対して行った、等分布荷重を想定した静的荷重試験の結果を図 5 ii ~ iv に示す。この実験において、荷重荷重間隔は等分布荷重で 250Pa 相当とし、集中荷重では 285N 間隔とした。各供試体の最大荷重はそれぞれ標準仕様では 2161N、補強仕様 1 で 2412N、補強仕様 2 で 2832N となっており、芯材断面性能による補強効果は見られた。荷重変形関係を見ると、等分布荷重を想定した荷重では荷重高さが下がるため、芯材上端でのアルミ支柱の変形はほとんど見られず、芯材基部の塑性化した段階が終局荷重となる（図 5 ii）。一方、芯材の引張り強度を上げた補強仕様 1 では、荷重が大きくなった段階ではアルミ支柱の残留変形（図 5 iii の曲線部）も見られる。芯材の引張り強度と肉厚を厚くし、さらに補強した補強仕様 2 の支柱では、芯材とアルミ支柱が共に変形しており、頂部荷重時と同様の荷重変形関係が見られる（図 5 iv）。

耐風圧強度を高める補強方法を検討する場合、手摺頂部に荷重する方法においては、対象とする支柱に対して芯材上端で過剰な曲げモーメントが作用するので、効果的な補強が選択できない可能性がある。風荷重を想定した場合、芯材基部にかかるモーメントが支柱の他の部分に比べて大きいため、芯材を補強することで芯材とアルミ支柱の強度のバランスが良くなり、耐風性能を高めることが出来ると考えられる。

3. 手摺支柱の耐疲労特性

3.1 繰り返し荷重に対する破壊モード

台風や季節風などの強風時は、変動風力による繰り返し荷重が長時間作用し、金属製部材についてはその疲労損傷による破壊が問題となる場合がある。前項に述べた風による等分布荷重を想定した荷重方法を用いて落下防止手摺支柱に繰り返し荷重を載荷し、手摺の疲労損傷強度に関する実験を行った。対象とする供試体は標準仕様の供試体とし、繰り返し荷重を荷重で制御した。表 2 に実験を実施した 16 体の供試体に対する最大・最小荷重等の一覧と、疲労破壊に至った回数を示す。なお、表中の R 比は最大荷重に対する最小荷重の比として、式 (5) で定義する。

$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = \frac{F_{\min}}{F_{\max}} \quad \dots (5)$$

$\sigma_{\max}, \sigma_{\min}$ (Pa) : 部材に作用する最大、最小応力

F_{\max}, F_{\min} (N) : 最大荷重および最小荷重

供試体 No1 では 16000 ~ 20000 サイクルでアルミ支柱と芯材を固定する上下 2 箇所のリベットが破断し（写

真 3）、その後の繰り返し荷重載荷でアルミ支柱の芯材上端付近で亀裂（写真 4）が進展し、下側リベット付近での芯材の曲げ変形およびアルミ支柱最下部での亀裂（写真 5）が発生し破壊に至った。試験後の供試体は芯材に開けられた下側のリベット穴から亀裂が進展した様子が見られ、芯材の曲げ変形の原因になったと推測される。供試体 No2、No3 においてもリベットの破断が先行したが、その後の破壊形態は No1 の場合と異なり芯材の変形は見られず、アルミ支柱の芯材上端付近の亀裂により破壊した（写真 6）。供試体 No4 は上下側リベットの破断後、アルミ支柱の芯材上端付近で亀裂が入り破壊した。本研究で用いた支柱には各面の中央に施工用の細い溝が設けられていたが、この部位からの亀裂の発生が見られ、微小な断面欠損が疲労損傷に影響することが伺えた。また、荷重振幅によって破壊形態も異なる事が確認されたが、これは手摺支柱がスチール製の芯材とアルミ支柱の複数の部材で構成されていることが一因と考えられる。以上のように、繰り返し荷重に対する疲労強度は、手摺支柱の部材構成の影響も見られるが、本研究では支柱を一つの外装部材と考え、以降の疲労損傷の特性について検討することとした。

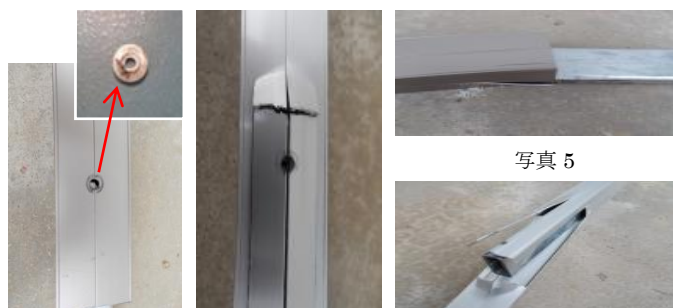


写真 3

写真 4

写真 6

写真 3~6 破壊モードの相違

3.2 荷重振幅における平均成分の影響

外装材に作用する風荷重は一般的に平均成分を持つ場合が多く、部材の応力振幅が同じでも平均応力が異なる場合にはこの平均成分により最大応力が変化し、疲労損傷に影響を及ぼす可能性があると考えられる。本研究で実施した荷重振幅においても、表 2 に示す様に平均成分を有している。この平均成分を両振り振幅に変換する方法として、図 6 に示す修正グッドマン線図を用いる方法が提案されている⁶⁾。修正グッドマン線図では、横軸に平均応力、縦軸に応力振幅をとり、縦軸上の平均応力 0 の疲労限度振幅と、横軸の平均応力側に破断応力をとった 2 点を結んだ線を、疲労限度線と呼び、平均応力の疲労限度への影響を表している。この変換方法は式 (6) で表わされ、これを用いて、表 2 の結果を荷重振幅と疲労破壊回数を対数軸上にプロットしたグラフを図 7 i に示す。縦軸は荷重振幅である

が、部材の SN に相当する図である。

$$F_a' = F_a \cdot \left(1 - \frac{Fm}{Fb}\right) \quad \dots (6)$$

F_a' (N) : 平均成分を変換した荷重振幅

F_a (N) : 繰り返し荷重試験での荷重振幅

Fm (N) : 繰り返し荷重試験での平均荷重

Fb (N) : 静的荷重試験における最大荷重 (=2160N)

一方、平均成分の補正を行わず、単純に荷重振幅と破壊回数の関係を対数軸上にプロットしたグラフを図 7 ii に示す。補正を行わなかった場合は比較的ばらつきが少なく、この結果から算定した設計疲労曲線の勾配 m は $m = 4.48$ となり、 $m = 5$ に近い値を示した。

本研究で用いた手摺支柱の繰り返し荷重試験では、平均成分の疲労損傷への影響は極めて少ないと考えられる。

3.3 荷重履歴の影響

前項では手摺の疲労損傷強度に関する報告を行ったが、実際に作用する風荷重は一定ではない。中込ら⁷⁾により建築用鋼材に対して荷重履歴の影響が見られるとの報告もあり、本項では手摺支柱に対し、荷重履歴

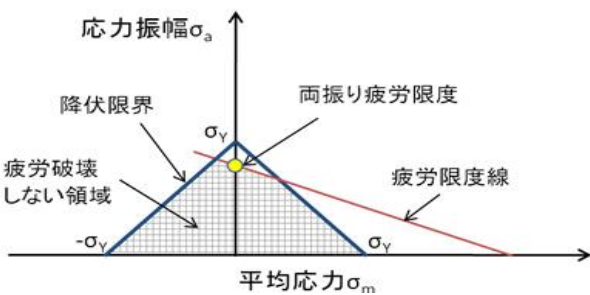
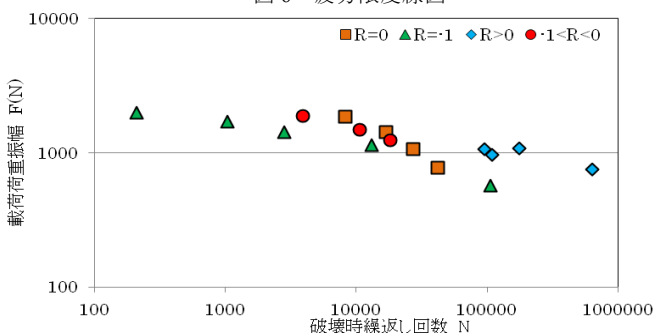
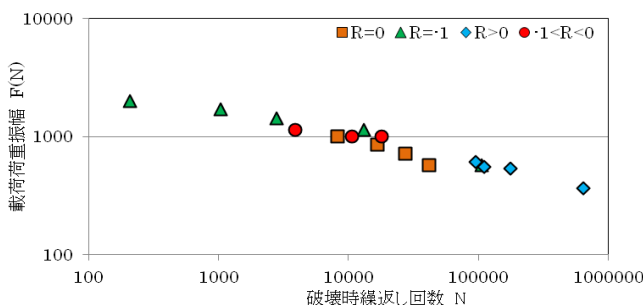


図 6 疲労限度線図



i. 荷重平均成分を振幅に補正



ii 荷重平均成分の補正無し

図 7 載荷荷重振幅と破壊回数の関係図

表 2 実験結果

No	最大荷重 Fmax(N)	最小荷重 Fmin(N)	R 比	平均荷重 (N)	荷重振幅 (N)	破壊回数 N
1	1140	0	0	570	570	42000
2	1425	0		712.5	712.5	27400
3	1710	0		855	855	16800
4	1995	0		997.5	997.5	8200
5	570	-570	-1	0	570	106000
6	1140	-1140		0	1140	13100
7	1425	-1425		0	1425	2800
8	1710	-1710		0	1710	1040
9	1995	-1995		0	1995	209
10	1470	367	0.25	918.5	551.5	110000
11	1470	725	0.49	1102.5	367.5	639000
12	1623	553	0.34	1088	535	176000
13	1525	310	0.19	917.5	607.5	95900
14	1710	-285	-0.17	712.5	997.5	10600
15	1425	-570	-0.40	427.5	997.5	18100
16	1995	-285	-0.14	855	1140	3900

による影響を検討する一つの方法として荷重振幅を変化させた場合の影響を検証する。実験では、手摺に一定の荷重振幅を一定回数繰り返し繰り返し載荷することで損傷度を与えた後、異なる大きさの荷重振幅を繰り返し載荷し、疲労破壊に至るまでの回数を調査した。表 3 に実験を行った前半の荷重振幅と繰り返し回数、および後半の荷重振幅と破壊に至った繰り返し回数を示す。表 3 内に示す各荷重振幅に対する疲労損傷度は、疲労破壊回数に対する載荷回数の比で表すことが可能であり、全ての振幅に対する累積疲労損傷度 D は、個々の応力範囲レベル σ_i による損傷度の総和として式 (7) より表せる。

$$D = \sum_i \left(\frac{n_i}{N_i} \right) \quad \dots (7)$$

N_i : σ_i での疲労破壊回数, n_i : σ_i での繰り返し回数

本項に示す荷重履歴の影響は、全て R 比=-1 の実験で行う事とした。表 2 に示す繰り返し載荷試験で R=-1 の実験は供試体 No1~No4 で、この結果から設計疲

表 3 実験結果

No	前半			後半			合計
	荷重振幅	載荷回数	損傷度	荷重振幅	載荷回数	損傷度	損傷度
1	1425	500	0.174	1140	5900	0.793	0.967
2	1140	5900	0.793	1425	700	0.244	1.037
3	1710	200	0.152	570	120000	0.835	0.987
4	570	10000	0.070	1710	1000	0.759	0.829
5	1710	750	0.569	1140	3446	0.438	1.008
6	1710	500	0.380	1140	3278	0.417	0.797
7	1710	375	0.285	1140	6776	0.862	1.147
8	1710	250	0.190	1140	6092	0.775	0.965
9	1710	125	0.095	1140	7613	0.969	1.063
10	1140	9750	1.310	1710	20	0.015	1.325
11	1140	6500	0.873	1710	248	0.188	1.062
12	1140	4875	0.655	1710	697	0.529	1.184
13	1140	3250	0.437	1710	791	0.601	1.037
14	1140	1625	0.218	1710	965	0.733	0.951

疲労曲線の勾配 m は $m=4.271$ となったが、データには多少のばらつきが見られた。各荷重振幅での損傷度を計算する上でこの誤差を排除する為、全データがこの近似直線上に乗ると仮定した場合の近似繰り返し回数をを用いて損傷度を算出した。表3には破壊に至った時の損傷度を算定した結果を示しているが、小さい荷重振幅を載荷した後、大きい荷重振幅を載荷すると、一定振幅の場合より破壊に至る回数が増える傾向が見られた。この破壊回数の変化を設計疲労曲線の勾配が設計疲労曲線の勾配 m' を算定した。

$$m' = \frac{\log(N_2' / N_1)}{\log(\sigma_1 / \sigma_2)} \quad \dots (8)$$

図8は前半の荷重振幅を1710N、後半の荷重振幅を1140Nとした場合、図9は1140Nから1710Nに変更した場合の、前半の荷重振幅による損傷度に対する見かけ上の勾配 m' をプロットした図である。後半に荷重振幅が減少する場合は顕著な傾向は見られなかったが、後半の荷重振幅が増加する場合、見かけ上の勾配 m' が小さくなる傾向が見られた。

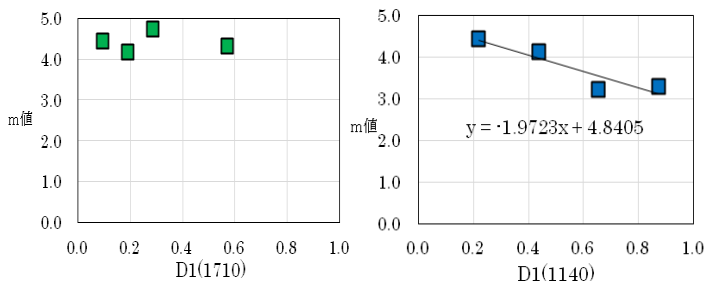


図8 $\sigma_1=1710\text{N}$ 、 $\sigma_2=1140\text{N}$ 図9 $\sigma_1=1140\text{N}$ 、 $\sigma_2=1710\text{N}$

4. 風による疲労損傷に関する考察

過去に行った風洞実験で得られた落下防止手摺に作用する風力の時系列波形より、レインフロー解析を用いて等価風力範囲の結果を示し、繰り返し載荷試験の結果から台風通過時の疲労損傷度の検証を行う。レインフロー解析では、変動荷重の履歴（荷重大小関係の前後）の影響の配慮はしていないが、平均風速の変化による荷重振幅の変化の影響に対し、前項に示した見かけ上の勾配 m' 変化を考慮して検証する。

4.1 対象建物の風洞実験概要と結果

本項では、超高層集合住宅の落下防止手摺を対象に過去に行った風洞実験の概要と、手摺に作用する変動風力の解析結果について示す。解析対象とした実験は、大阪市立大学工学部付属の噴流式エッフェル型風洞施設において実施したものである。実験対象とした建物は、1辺25m、軒高100mの正方形角柱形状の超高層集合住宅であり、全ての面に落下防止手摺が回っている。実験模型は縮尺1:250で作成した。図10に実験模型の平面形状と圧力測定点配置図、図11に実験模型立面図

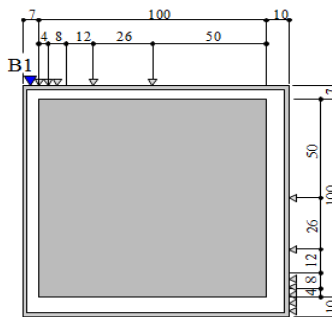


図10 実験模型平面図及び
圧力測定点配置

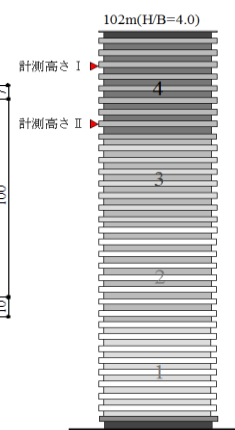


図11 実験模型立面図

と測定高さを示す。実験気流は、国交省告示1454号に示されている粗度区分Ⅲを模した勾配流で行った。本論文で対象とするのは、図10中の測定点B1である。また、測定高さは図11に示すように、上層2カ所での計測結果である。風洞実験で得られたデータに対して行

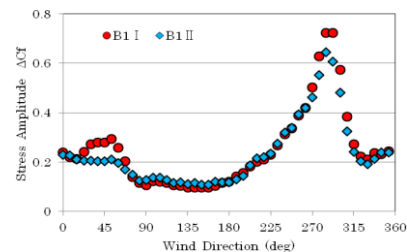


図12 等価風力係数範囲の風向変化

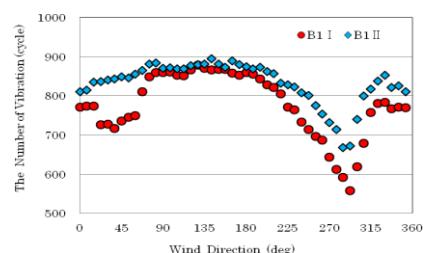


図13 繰り返し回数の風向変化

ったレインフロー解析結果より等価風力係数範囲、および繰り返し回数の風向変化を図12および13に示す。各図には測定点B1の測定点高さI、IIをB1 I、B1 IIとして示している。

4.2 強風時の疲労損傷度の検討

対象建物は前項に示した建物と同じ条件とし、再現期間100年の強風が発生する台風通過時の疲労損傷度の検討を行った。風向・風速の時間変化は吉田ら⁸⁾の方法により10分間隔で解析し、最大風速となる時間を $T=0$ として前後±300分を対象とした。累積疲労損傷度の計算では、風向と頂部風速が変化に応じて、式(9)および式(10)に従って等価風力係数範囲と繰り返し回数は変化させ、10分間毎の損傷度を解析した。

$$\text{等価風力振幅} \quad W_j = Cf(a) \times \frac{1}{2} \rho \cdot V_{Hj}^2 \quad \dots (9)$$

$$\text{繰り返し回数} \quad N_j = N_0 \times \frac{V_{Hj}}{V_H} \quad \dots (10)$$

W_j : 区間 j での等価風力範囲 (Pa)

$Cf(a)$: 風向角 a での等価風力係数範囲

V_{Hj} : 区間 j での頂部風速 (m/sec)

V_H : 建物頂部の設計風速

N_j : 区間 j での繰り返し回数 (回)

N_{Hj} : 設計風速時の繰り返し回数 (回)

なお、台風シミュレーションの結果では設計風速 45.9m/sec となる風向角を、風洞実験結果で最も疲労損傷度が大きくなる風向角に合わせ、この角度を基準にシミュレーションの風向角に最も近い実験結果を用いた。また手摺の疲労寿命強度 C_0 および設計疲労曲線の勾配 m は R 比 = -1.0 の実験結果から近似値を用い、 $C_0 = 8.48 \times 10^{16}$ 、 $m = 4.271$ として算定した。

4.3 荷重履歴の影響を適用した検討方法

疲労損傷度の計算では最初の 10 分間の損傷度を $m_1 = m$ で解析し、この時の疲労損傷の進行により、見かけ上の設計疲労曲線の勾配の変化量を算定する。次の 10 分間の疲労損傷解析では、この変化量を考慮した m_2 で損傷度を計算し、累積損傷度の値からさらに次の変化量を算定する。この計算を順次行う事で累積損傷度の変化の違いを検証する。以下に式を示す。

$$\text{第 } i \text{ 区間の設計疲労曲線の勾配 } m_i = m_{i-1} + \frac{\Delta m}{\Delta D} \times D_{i-1}$$

$$\text{第 } i \text{ 区間の疲労寿命強度 } C_i = C_{i-1} \times \frac{\sigma_{i-1}^{m_i}}{\sigma_{i-1}^{m_{i-1}}}$$

$$\text{第 } i \text{ 区間の損傷度 } \Delta D_i = \frac{\sigma_i^{m_i} \times n_i}{C_i}$$

荷重履歴の影響を考慮に入れる前と後の比較を図 14 で示す。計測高さ I では、荷重履歴の影響を考慮した場合、時間 -300 ~ +30 までの損傷度は考慮前より小さくなるが、+40 以降では大きくなり、1 イベントの累積疲労損傷度は

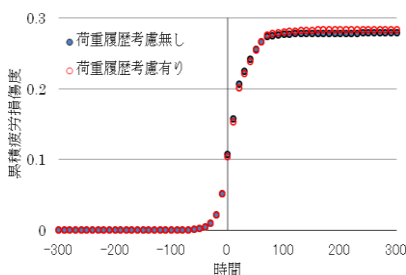


図 14 累積損傷度の変化(高さ I)

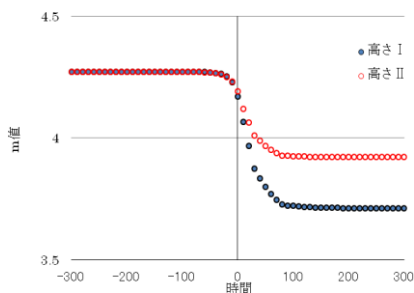


図 15 m 値の変化

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- ① 等分布荷重を想定した荷重方法として、荷重位置を考慮した集中荷重による方法の妥当性を示し

た。

- ② 頂部荷重試験ではアルミ支柱と芯材がバランスよく変形したのに対し、等分布荷重を想定した場合では芯材のみが変形したことから、芯材を補強することで耐風性能を高めることが出来る。
- ③ 繰り返し荷重試験により、荷重振幅の変化に伴い疲労破壊回数は変化するが、荷重振幅によって破壊モードについても異なる。
- ④ 風荷重を想定した場合でも、静的荷重と繰り返し荷重では供試体の破壊モードが異なり、静的荷重試験での損傷部が必ずしも疲労損傷での損傷部ではなく、疲労損傷に対する補強もこの事を配慮する必要がある。
- ⑤ 荷重振幅の平均成分が疲労損傷に及ぼす影響は極めて小さい。
- ⑥ 荷重履歴の影響を考慮した場合、上層部の手摺の累積疲労損傷度は考慮前の値をわずかに上回り、最終 10 分間の損傷度は約 3 倍となる。
- ⑦ 上層階において、見かけ上の設計疲労曲線の勾配 m は 1 イベントで 3.71 にまで低下する。

参考文献

- 1) 山内 岡崎 谷口 谷池、「建築物のバルコニー手摺りに作用する風荷重」、第 19 回 風工学シンポジウム、2006 年、P383-388
- 2) 大竹 岡崎 中村他、「ベランダ手摺りのピーク風力係数に関する研究」、日本建築学会大会梗概集 構造 I、2011 年、P13-14
- 3) 森脇 岡崎 谷池 谷口、「中高層集合住宅の手摺りに加わる風圧力の性状」、日本建築学会大会梗概集 構造 I、2003 年、P179-180
- 4) ベターリビング、「優良住宅部品性能試験方法書 墜落防止手摺」、2013 年
- 5) 日本規格協会、「JIS A6601 低層住宅用バルコニー構成材及び手すり構成」
- 6) 寺崎 植松、「風外力を受ける高層建物の外装材疲労損傷評価に関する研究 その 1 : 風圧実験結果に基づく疲労損傷率分布の検討」、日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海)、2012 年 9 月、P171-172
- 7) 中込 李、「繰返し力を受ける SM490 鋼の疲労性に関する研究」、日本建築学会構造系論文集、第 469 号、1995 年 3 月、P127-P136
- 8) 吉田 堀越 本郷 津川、「台風時の風向・風速と累積作用時間に関する解析」、鹿島技術研究所年報 第 40 号、1992 年 10 月、P129-P136
- 9) (社) 日本鋼構造協会 鋼構造物の疲労設計指針・同解説 2012

討議文

討議 [谷口与史也教授]

補強仕様とはどのような補強方法のものか。また、補強仕様の破壊モードはどのようなものだったのか。アルミ支柱、鋼製芯材それぞれの強度は考慮していないのか。

回答

標準仕様の芯材材料は、STKM11A（機械構造用炭素鋼鋼管 引張強さ 290N/mm²以上）、肉厚 $t=2.8\text{mm}$ に対し、補強仕様 1 では芯材材料を STKM13A（機械構造用炭素鋼鋼管 引張強さ 370N/mm²以上）で肉厚 $t=2.8\text{mm}$ とし、補強仕様 2 は材質を STKM13A で、肉厚を 3.2mm に補強したものです。等分布荷重を想定した静的載荷試験における破壊モードは、補強仕様 1 では主に芯材基部での曲げ破壊であり、アルミ支柱の残留変形は僅かでした。一方、補強仕様 2 では芯材基部と、芯材上端位置でのアルミ支柱が共に大きく変形しており、最大荷重時の状況はアクチュエーターのストロークの関係上明確ではありませんが、芯材の曲げ破壊と考えています。

本研究ではアルミ支柱と鋼製芯材を一つの手摺として捉えており、それぞれの強度は考慮していません。

討議 [谷口徹郎准教授]

設計風速はいくらか。

また、静的載荷試験に対する有効な補強方法に関しては述べられているが、繰り返し載荷試験に対する有効な補強方法は検討していないのか。

回答

設計風速の算定は、国交省告示 1454 号に示されている基準風速速 34m/sec を再現期間 50 年程度として、この基準風速を再現期間 100 年に換算して解析を行いました。50 年から 100 年への再現期間換算係数 $R100 = 1/(0.54 \times 0.1 \cdot \ln(50))$ を用いて設計風速 VH は以下のように算出しています。

$$VH = V0 \times R100 \times 1.7 \times (H/450)^{0.2}$$

$$= 34 \times 1.074 \times 1.7 \times (100/450)^{0.2} = 45.9\text{m/s}$$

繰り返し載荷試験では、荷重振幅が低振幅の場合はリベットの破断、中振幅では芯材上端の破壊、高振幅では芯材基部の曲げが先行しているため、振幅に合わせて有効な補強方法が考えられます。補強仕様は材質の強化や肉厚を厚くして芯材を補強していますが、加えてリベット部分の強化や芯材上端のアルミ支柱を強

化することで、幅広い荷重振幅に対して強度が増すと考えられます。

討議 [藤本先生]

静的載荷試験の破壊に至る荷重は、風速でいうとどの程度のものなのか。

回答

今回行った標準仕様に対する等分布荷重を想定した静的載荷試験での破壊荷重は約 2160N でした。載荷高さが 0.758m であることから、この時の芯材基部での曲げモーメントは 1637N・m となります。ここで手摺高さを 1.2m、支柱間隔を 1.2m と仮定すると、風圧力 W は $1637 = 1/2 \times W \times H^2$ から $W = 2274\text{Pa}$ となります。また、手摺りのピーク風力係数を 2.5 とすると、 $2274 = qH \times Cf$ より建物頂部の速度圧は 910Pa となり、 $1/2 \times \rho \times VH^2 = 910$ から風速 $VH = 39\text{m/s}$ となります。この風速は建物頂部相当高さにおける平均風速となります。