

## 「免震建築物の耐風設計指針」解説講習会(2012年)での質問・コメントに対する回答

日本免震構造協会・耐風設計部会

質問・コメントはできるだけ原文のまま記載しております。

1. 速度依存型のオイルダンパー等は、風の変動成分に対しては効果があると思いますが、速度依存型デバイスに対する簡易評価法はありませんか。

【回答】指針 131 頁に示しますように、流体系ダンパーを含めた平均荷重  $Q_m$  と最大変動荷重  $Q'$  に対する釣り合いは式(5)~(7)のように表わすことができます。

ここで、式(7)で表わされる  $\Delta Q_F$  は、変動最大荷重  $Q'$  と流体系ダンパー以外の免震部材による変動最大水平力の差で、流体系ダンパーの影響が小さい場合には 0 とすることができます。また、風力の変動成分に対する時刻歴応答解析を行う場合には、その結果を用いることで評価することができます。

一方、時刻歴応答解析を用いないで、かつ  $\Delta Q_F$  が無視できない場合には、各デバイスの弾塑性状態に応じて、変動変位の時刻歴を等価な固有振動数  $f_e$  の正弦波(振幅:  $x'$ )と仮定して式(7)により  $\Delta Q_F$  を算定し、その結果を用いて式(5)および式(6)から平均変位  $X_m$  や変動最大変位  $x'$  を得るといった方法が考えられます。この場合、等価な固有振動数  $f_e$  を高めに仮定すると  $\Delta Q_F$  を高めに見積もることになり、結果として変動最大変位  $x'$  を過小に評価することになりますので、適切に等価な固有振動数  $f_e$  を仮定することが必要です。

2. 今回の指針では、免震層の設計を経た後に、免震部材の設計を行うようになっています。通常は、これら 2 つの過程は並行して行われるか、免震部材の設計=免震層の設計となるようなイメージが強いような気がします。質問の内容は、この指針において免震層の設計をまず行い、次に、免震部材の設計を行うのはなぜかということです。きっとメリットがあると考えますので、このプロセスのメリットに着目した回答をいただければと考えます。

【回答】本指針では、はじめに風荷重の対する免震層の状態を大きくとらえ、免震層及び免震部材に対して風荷重の影響が深刻なのかどうかを 3 段階(免震層のランク A~C, および免震部材のランク a~c) に区別し、それぞれの段階に応じた検証を求めることで、免震構造の耐風安全性を確保することを示しています。さらに、この段階の区別が、建築基準法告示による風荷重と地震応答評価用の免震層の復元力特性のみでできるようにしています。建築基準法告示による風荷重は建物の形態で荷重を決定することができ、地震応答評価用の復元力特性は免震建物の設計では必ず必要になるので、大きな負担なくすべての免震構造建築物に必要なレベルの耐風設計を適用させることが可能であると考えます。ご質問の通り、現実の設計では免震層の設計と免震部材の設計が明確に区別されているわけではありませんが、風荷重の影響の深刻さを大きく捉えながら、その程度によってより詳細なチェックを行うという流れは、設計の考え方になじみやすく使いやすい方法であると考えています。

3. 重量／切片荷重比が2%くらいで風に対してランクCとなる設計も少なくないと思います。ランクCの場合の「詳細な検討による」という部分をもっと充実してほしい。(なんでもランクBにしようすると鋼材ダンパーのすべり支承の量が多い免震層になる)

【回答】ランクCの設計を一般化するには、まだ免震構造の風応答性状や免震部材の長時間繰返しに対する知見が不足していますので、まずはこの領域でどのように対風安全性を確保するかを指針では示しています。指針のとおり、設計にあたっては時刻歴風応答解析などが必要となりますが、まだ実績が少ない難易度の高い方法と言わざるを得ません。よって、ランクCの場合は、建物毎に風荷重の評価や応答評価、免震部材の健全性の検証などそれぞれを専門的な知識や知見を統合して慎重に行う必要があると思います。

4. 免震装置メーカーの実験は正弦波速続加振によるもの(例えば高減衰ゴムで $0.3 \pm 0.3 \text{Mpa}$ はランクbなどの表)ですが、告示の極稀によるせん断応力度上とそのまま比較するのは厳しすぎるように思いますが。

【回答】告示の極稀の風荷重時のせん断応力をそのまま正弦波加振振幅として実験結果と比較する必要はありません。この点は、「付1 免震部材の性能試験法」に詳しいのでご覧ください。告示の極稀の風荷重は風方向の荷重(平均成分 $Q_m$ +変動成分 $Q'$ )でしょうから、この場合はガスト影響係数を用いて平均成分 $Q_m$ と変動成分最大値 $Q'$ に分離し、さらに変動成分には係数 $\alpha$ を乗じて等価正弦波振幅とすることが記されています(付1、(5)式)。ガスト影響係数を2.0、 $\alpha=0.5$ ((7)式)と仮定すると告示の極稀の風荷重時のせん断応力の0.25倍の振幅の正弦波加振実験と比較することになります。

5. ねじれも考慮した風応答解析を行うと、風荷重は風方向・風直交方向・ねじれが同時に作用する外力があるので、免震装置(多方向バネのすべての方向の)消費エネルギーが、実験の一方向正弦波加振による消費エネルギー(例えば3Mpaのもの)以下である事を確認するような事になるのでしょうか。

【回答】免震部材の対風安全性が消費エネルギーを基準として判定できると明らかな場合には、精度の高い小振幅履歴モデルや温度上昇の影響などによる力学特性変化がない、もしくは考慮可能、すなわち精度の高いエネルギー評価が可能との前提の下で、ご指摘の確認方法は有力な方法になりうるものと思います。しかし、いくつかの免震部材の長時間繰返し実験によると終局状態までの寿命には振幅の依存性が認められ、消費エネルギーだけを指標とした検証方法は現状の知見では難しいため、本指針では荷重・変位の振幅や等価継続時間などを主たる指標としています。消費エネルギーだけでなく、その免震部材の風応答特性に応じて、応答振幅の大きさ、疲労損傷度などにも着目して安全性評価していただければと思います。

6. 119 ページの表 4 について

本文中では、歴代1位の最大風速となった T0422 を用いて、仮想台風における等価継続時間を求めています。しかし表4には、T0709 の記録(歴代2位?)も記載されています。

T0709 は T0422 と比べると最大風速が小さいのですが、等価継続時間でみると T0709 の方がかなり長くなっています。従って1イベントの総エネルギー入力(または累積疲労損傷)は T0709 と T0422 のどちらが大きいのかについての情報が、読者には与えられていません。

もし T0709 の方が総エネルギー入力が大きいのであれば、歴代1位の記録にこだわる事は、むしろ危険側の評価になってしまう事も考えられます。

読者に複数の強風イベントを精査して検討を行えという主旨で、T0709 を表4に掲載しているのであれば、それを明確に言及した方が良いのではないのでしょうか。

【回答】119 ページの表 4 については、観測記録の等価継続時間の傾向を把握することが目的です。

ご指摘のように最大風速が小さくても累積荷重効果が大きいということはあることです。ですから、累積荷重効果の極大値分布などを検討し、その結果と設計風速の値から、等価継続時間を設定する等の案が考えられます。

7. 残留変形についての質問です。ランク B'・ランク C の場合、最大応答値から復元部材の勾配だけで残留変形を算定すると非常に大きな数値となります。

台風の 1 アクションを想定すると、風荷重が徐々に大きくなり、最大応答値に達した後、徐々に小さくなり残留変形が残ると考えられます。

台風の 1 アクション全体を応答解析せずに残留変形を推定する手がかりはあるのでしょうか。

【回答】免震層がいったん大きな変位振幅を経験して残留変形が生じた後、残留変形が減少するには、残留変形と逆向きの変位が必要となりますが、建築基準法告示や日本建築学会・荷重指針による風荷重は強風下で建築物に生じる最大変位を生じせしめる等価な静的荷重ですので、これらの荷重評価をもとにする限り、ご質問にある残留変形が徐々に減少するような応答を評価することはできません。これらの現象を評価するには、適切に台風時の風力の経時変化を評価した時刻歴風応答解析等が必要になると考えます。

8. ①スライド P9 で、基準風速の 1.25 倍の風速を再び「基準風速」と呼ぶのは間違いではないか？  
②荷重算定に荷重指針の風向係数は考慮できるか？  
③台風は風速とともに風向も変化する。その効果は考えずに、一定の荷重作用方向と直交方向の荷重累積を考えることは適切か？  
④建築物供用期間中全体の荷重累積を考えると、種々の台風は異なる経路を通るはずで、荷重の作用方向も異なるが、考慮しなくて良いか？

【回答】

- ①について：建築基準法での用語の定義を考えるとご指摘のとおりですが、指針第 2 章(2)で述べているように、この指針で便宜的に「風荷重算定の基準となる地上 10m 高さにおける平均風速」を「基準風速」と呼ぶことにしました（指針 P.6）。
- ②について：荷重指針により風荷重を評価する場合に風向係数を考慮することは可能と考えます。
- ③について：ご質問にあるように、最不利風向一定とした設計が適切であるとは言い難いが、指針解説でも述べているように、「風向を考慮した風荷重を評価することは可能であると考えますが、免震建築物の風応答はまだ研究が十分とはいえない領域であること、免震部材の性能評価に関わる知見・データが現段階では十分ではないことから、風向特性を考慮した安全性の検討が可能なほど詳細な設計を行える環境にはまだ達していないと思われ、当面は評価時間内では風荷重は最不利風向で一定として取り扱うべき」と考え、本指針をまとめています。
- ④本指針では、ご質問のような状況を想定し、2 章の解説にあるように、検討する部位ごとに最不利風向一定として供用期間中の累積損傷などの評価を行うことを推奨しています。

9. ・極まれ時風荷重による免震層の変位が、大地震時の変位より大きくなるような設計をどう考えますか。  
・このようなことは、検証事例になかったでしょうか。（免震層について、上部構造について）

【回答】

風荷重時と地震時の免震層変位の大小で設計の良し悪しは論じられず、それぞれの荷重に対して免震層の設計クライテリアを設定し、それを満足するように設計を行う必要があるということではないでしょうか？

また、本指針の策定や設計例の検討において、免震層の風応答を地震時応答と比較することはしていないので、ご質問のような状況の有無については把握していません。

10. 指針の付 6 には、「直交方向とねじれ方向と並進方向の風荷重の組合せは荷重指針による」とあり、並進方向の風荷重も荷重指針から算出していますが、並進方向の風荷重を算出する際の周期(振動数)は、免震層が弾性時の周期を使用するのですか？

計算過程が省略されていますので、荷重算出に妥当な計算法をご教示下さい。

【回答】日本建築学会・建築物荷重指針による荷重評価の問題なので、当会からお答えするのは相応しくないかもしれませんが、計算例では、ランク B の範囲では、変動荷重成分に対しては免震層の初期剛性で応答すると考え、固有周期は免震層の弾性周期を用いて風荷重を算定しています。荷重指針による風荷重は、弾性応答を基本としていますので、適用にあたっては、建物応答状況・応答レベルと整合のとれた評価が必要と考えます。

11. 付 6 の 2)免震層諸元(P.138)にある風検討用の復元力特性ですが、LRB の切片荷重 250.4kN は正解でしょうか？鉛プラグの降伏荷重が 226kN/基になるとおもいますが。250.4kN 折れ点荷重ではないでしょうか。

又、LRB にも積層ゴムが使われていますので、ゴムの弾性剛性(LRB の 2 次剛性)を考慮しても宜しいのではないのでしょうか。積層ゴムと同程度の剛性しか見れないと思いますが。付 6 では LRB では鉛プラグの剛性しかみられていません。

高減衰ゴムの場合の評価の仕方がわかればご教示いただきたい。

【回答】

ご指摘のとおり、付 6 の表 1 の LRB の切片荷重  $Q_d$  に誤りがあり、正しくは 226.0kN が正です。お詫びして訂正します。

付 6 の計算では、NRB と LRB を合算し、積層ゴムによる剛性と鉛プラグの復元力を分けて取り扱っております。その意味では、ご質問にある LRB の積層ゴムの剛性 (LRB の 2 次剛性) は考慮されております。

高減衰ゴムについては、まだデータが不足しており簡易評価法の適用方法が確認できていません。ただし、平均荷重下での加振実験が数多く行われており、「付 2」にも示しておりますので、これらを用いて耐風安全性について確認することが考えられます。

12. 【鉛プラグ挿入型積層ゴム支承を用いた建物の風荷重ランクについて】JSSI耐風指針では、鉛プラグはクリープ性部材として平均風圧力に対して抵抗できないとあります。JSSI耐風指針が発行される以前は、「建築新技術レポート 日本建築センター」の p.31 にある「(4)暴風時における免震層の安全性確認について」に基づきランクを設定していましたが、そこにはクリープ性部材の記述がありませんでした。よって、鉛プラグも通常の弾塑性材と扱って、変動成分を考慮した最大風荷重が鉛プラグの降伏荷重を超えない場合はランクAとしていました。ただし、JSSI耐風指針によると鉛プラグ挿入型積層ゴム支承のみで構成した場合の免震構造ではランクAに該当することはなく、ランクBまたはCのみとなるとの解釈でよろしいでしょうか。

【回答】現在得られている知見では、鉛プラグはクリープ性材料であるので、ご質問のとおり、鉛プラグ入り積層ゴム支承(LRB)のみで構成されている免震構造はランクBまたはCとなります。ただし、本指針ではクリープ性材料を無視して免震層の風応答を評価し免震層のランク分けをすることも許容していますので、LRBの積層ゴムのみを有効として極めて稀に生じる風荷重時の免震層変位を評価し、設計することも可能です。この場合、LRB自身は部材のランクbまたはcに相当しますので、免震層ランクAでありながら、部材の健全性の検証が必要となります。

以上