高層建築物の弾性模型の開発

DEVELOPMENT OF MULTI-DEGREE-OF-FREEDOM AEROELASTIC MODEL OF A HIGH-RISE BUILDING

丸川比佐夫*1 片桐純治*2 藤井邦雄*3 大熊武司*4
Hisao MARUKAWA, Junji KATAGIRI, Kunio FUJII, Takeshi OHKUMA

SUMMARY

This paper describes new ideas and some improvements in the development of a multi-degree-of freedom aeroelastic model of a high-rise building. With this model, the mass, the eccentric distance, the frequency ratio of a torsional mode vibration to sway mode vibration, and the structural damping can be changed easily. A structural skin which reproduces the exterior geometry is discontinuous with slits separating the various zones of the model. The effect on the wind responses with these slits is in farther investigation.

1. はじめに

高層建築物の風荷重は建築物の応答を考慮して定められている。通常の場合、設計風速は共振風速以下であることが多く、振動に伴う風力いわゆる振動依存風力は無視できる程度に小さい。そのため、多くの規準あるいは指針では、建築物が静止時に作用する風力を用いて、建築物の応答が求められるようになっている。建築物の高層化、軽量化あるいは低減衰の建築物の出現にともない、設計風速が共振風速に接近するあるいは越えるようになることが想定される場合には、振動依存風力は無視できない。建築物の応答あるいは荷重は弾性模型によって応答を測定することによって求め

るか、あるいは強制振動法等によって得られた振動依存風力を考慮して求める [1] ことになる。

建築物の振れの固有振動数が並進の固有振動数に比較して充分大きい場合は、建築物の自励的振動は風直角方向に対して生じることより、並進方向の2方向にロッキング振動が再現できるジンバル装置が開発され、多くの建築物の耐風設計に利用されてきた。しかし、偏心を有する高層建築物で、かつ並進の固有振動数と振れの固有振動数が接近するような高層建築物の出現に備えて、並進の振動と振れの振動が同時に再現できる模型の開発が早急の課題となってきた。模型は相似則に従って作成すればよいわけであるが、比較的

- 1 (株) 泉創建エンジニアリング 都市環境技術研究所, 副所長
Vice-head, Urban Environment Research Center, Izumi Sohken Engineering Co., Ltd.
- 2 (株) 風工学研究所, 主任研究員
Chief Research Engineer, Wind Engineering Institute Co., Ltd.
- 3 (株) 風工学研究所, 所長
President, Wind Engineering Institute Co., Ltd.
- 4 神奈川大学, 工学部建築学科, 教授
Professor, Department of Architecture and Building Engineering, Kanagawa University

簡単に満足させることができる相似パラメータとなかなか難しいものがある。本報告は高層建築物を対象とした汎用性の高い多質点弾性模型の開発において工夫した点および問題点をとり纏めたものである。

よび断面図を図1に示す。以下に相似パラメータ別に工夫した点および問題点を纏める。なお、本模型を用いて行った研究成果については文献[2][3][4]等を参照して頂きたい。

2.1 幾何学的相似

2. 問題点とその対応

幾何相似を満足するためには個々の建築物に応じて

開発した多質点弾性模型の骨組みの写真、平面図および断面図を図1に示す。以下に相似パラメータ別に工夫した点および問題点を纏める。なお、本模型を用いて行った研究成果については文献[2][3][4]等を参照して頂きたい。

図1 多質点系弾性模型

図2 振動モード

可能とするために外郭模型が取り付けやすいことを主眼とした。模型の質量分布は後述する調整機能を持たせることとし、建築物の外郭模型が模型の質量に占める割合を小さくするために、3～5mmのパルサ材を用いた。外郭模型は質点の位置で構造体に取り付けられる。この場合外郭模型のブロック間の隙間については、斉藤、本田等[5]が指摘するように応答に影響を与える可能性があるが、隙間をテープ等で密閉することによる剛性、減衰への影響、とりわけ減衰に与える影響が大きく、減衰の調整が困難となった。本模型では、外郭模型のブロック間の隙間を応答時に隣接するブロッ

クが接触しない範囲でできるだけ小さくした(1mm以下)。隙間の問題は今後の課題として残っている。

2.2 振動モードの一致

風応答を対象とした場合、建築物の振動は各方向の1次振動モードの振動が卓越する。制振装置を設置した場合においても、各方向の2次振動モードの振動まで対象とすれば充分であると考えられる。各方向の2次振動モードまで再現するためには模型の質点は6質点で充分である。

建築物の変形は曲げ・せん断型であるが、通常の建築物を対象とした場合せん断型変形が卓越する。本模

(a) 振動台による測定

(b) 自由振動による測定

図3 構造減衰定数の測定例

(a) X方向

(b) 振れ

図4 粘弾性ゴムの幅による構造減衰定数の変化

図5 粘弾性ゴムによる構造減衰定数の温度依存性

型はせん断型変形をするものを対象とし、各方向の1次振動モードは直線形で示されるとした(図2)。曲げ変形が卓越するような構造物については、Isyumov[6]が提案しているモデルの検討が必要となる。

2.3 質量の調整

建築物の場合、高さ方向に質量が一樣に分布しないことが多々ある。また偏心を有する場合もある。これらのことを考慮して、本模型では質量調整用錘と偏心調整用錘を別に設けることによって質量調整および質量中心の調整が比較的簡単に行うことができるようにしてある。この方法によると平面中心に関する慣性モーメントを変化させることなしに偏心率を変化させることも可能である。

2.4 各方向の振動数の調整

柱の柱脚および柱頭にプレートを溶接付けとし、質点プレートに4点でねじ止めで固定した。数値計算結果と比較することによって柱脚および柱頭と質点プレートの接合は剛接合と見做すことができることを確認している。柱断面の形状は矩形とし、柱断面の辺長比を変化させることによって並進2方向の振動数比を変化させた。並進と振れの振動数比は中心からの距離を変化させることによって調整できる。

2.5 構造減衰定数の調整

応答値は構造減衰定数に大きく依存する。また、構造減衰定数が応答の振幅によって変化することが危惧される。本模型では構造減衰定数の調整は質点間に貼った粘弾性ゴムの幅および貼付位置によって行った。構造減衰定数は振動台による強制加振によって得られた共振曲線および自由振動実験から求めた(図3)。

各方向の1次振動の構造減衰は粘弾性ゴムの幅にほぼ比例して調整できることが明らかになった(図4)。高次の振動の減衰定数の調整には粘弾性ゴムの貼付位置に工夫する必要がある。初期振幅を変化させた自由振動実験によって、振幅の依存性は層間変形角1/200以下についてはほとんど無いことを確認している。これ以上の大振幅については不明である。

粘弾性ゴムの性質上、温度依存性が考えられる。温度と構造減衰定数の関係の一例を図5に示す。特に粘弾性ゴムの幅が大きい時には温度によって構造減衰定数が大きく変化する。実験を行う場合は、頻繁に構造

3. おわりに

建築物の多様性に伴い今後、弾性模型による研究あるいは調査が多くなってくることが予想される。筆者等は汎用性のあるものを目指して模型の開発を行ったが、全ての問題点が解決したわけではなく、改良すべき点が多々あることは承知している。この研究をきっかけにしてより汎用性のある弾性模型の開発が進むことを期待する。

参考文献

- [1] 大熊, 丸川, 片桐, 鶴見, 二次元矩形断面構造物に作用する振動依存風力特性に関する基礎的研究, 日本建築学会構造系論文集第512号, 1998年10月, pp39-46
- [2] 丸川, 片桐, 勝村, 藤井, 多質点系弾性模型の開発と高層建築物の風応答評価についての検討, 日本建築学会構造系論文集第404号, 1996年6月, pp39-48
- [3] 片桐, 丸川, 大熊, 藤井, 高層建築物の風応答における風直角方向と振れの固有振動数比の影響に関する研究, 日本建築学会構造系論文集第507号, 1998年5月, pp21-27
- [4] 片桐, 丸川, 大熊, 勝村, 偏心を有する高層建築物の風応答性状に関する研究, 日本建築学会構造系論文集第514号, 1998年12月
- [5] 斎藤, 本多, 藤本, 渡部, 三次元弾性体模型を用いた風洞試験方法について-外形材ブロック間の隙間の影響-, 土木学会第45回年次学術講演梗概集, 1990年
- [6] Isyumov, N., The Aeroelastic Modeling of Tall Buildings, International Workshop on Wind Tunnel Modeling for Civil Engineering Applications, Cambridge University Press, 1983, pp373-407