高層免震建物における空力不安定振動に関する研究

日大生産工(院)	○扇谷匠己	㈱大林組	小泉達也
日大生産工	神田 亮	日大生産工	丸田栄蔵

1. 序論

近年、高層建物にも免震装置を設置し、その耐震 性を向上させようとする高層免震建物が実現しつつ ある。

高層免震建物は耐震性が向上する一方で、高層 化に伴う風外力の増大とともに免震化による耐風性の 低下が相まって、さらに著しい耐風性に関する問題に 発展する可能性がある。また、免震層が塑性化すれ ば建物の固有振動数低下により、風外乱に対する不 安定振動の可能性が増大する。高層建物の空力不 安定振動の発現については、設計上は自然界にお いてその可能性が低いことが確認されているが、塑性 化を伴う高層免震建物においてはその可能性が低い ことを確認することが必要であろう。

以上のことを踏まえて、本論文はニューハイブリッド空力振動法^{1), 2), 3)}(以下、NHAT)により高層免震建物、 つまり弾塑性挙動下における空力不安定振動発現の 検討を設計レベルで行えることを示す。また、その一 例として行った実験について述べる。

2. 実験概要

本実験では、風速および免震層の復元力特性(バ イリニア係数,降伏荷重)を実験パラメータとして、空力 不安定振動の発現について検討する。なお、風外力 に対して免震層の降伏を許容して高層免震建物を設 計するため、空力不安定振動発現の検討は、免震層 の挙動が弾性領域のみならず、塑性領域についても 実施する。

対象とする建物は、図.1に示すような建物基部に 積層ゴムの免震装置を有する、アスペクト比5、高さ 125m、幅・奥行25mの高層免震建物とした。応答計 算では、対象とした建物を36質点のせん断系ばねマ スモデルに置換した。上部構造の挙動は弾性とし、免 震層のみが非線形挙動を示す。免震層の復元力モ デルは、図2に示すようなバイリニア型に置換した。免 震層の降伏荷重(Qy)は、実風速60 m/sec、70m/sec の弾性応答時の最大せん断力、Q_{max60}(2579.6 kN)ま たは、Q_{max70} (4530.8 kN) と等しい値とした。バイリニ ア係数(a)は、0.01, 0.07, 0.10, 0.15 とする。対象とす る風速(U)は、風速50 m/sec から風速130 m/sec とし た。実験気流は、空力不安定振動が発現し易い一様 流とした。幾何学スケールを1/250、風速スケールを 1/20とすると時間スケールは1/12.5となる。外力のサン プリングタイムを25 msecとした。応答値は10分間相当 の風直角方向振動を評価した。

3. 実験結果及び考察

前章で示した高層免震建物に対し、空力不安定振 動の発現について検討した。図3に弾性空力振動実 験時の応答曲線と弾塑性空力振動実験時の応答曲 線を示す。図3より、免震層が弾性挙動時には、実風 速80から90m/sec 付近までは、空力不安定振動の発 現は確認できないが、風速90m/secを越えたあたりか ら空力不安定振動の発現に伴う応答の増大が確認 でき、風速120 m/sec付近において最大値となる。し かし、この風速は実現象として発生する確率が極めて 低いために空力不安定振動の発現の確率も極めて 低いといえる。また、弾塑性空力振動実験では空力 不安定振動の発現は確認することが出来なかった。 そのため累積エネルギー量を用いてより詳細な検討 を行うこととした。図4に実風速90m/sec、図5に実風速 95m/secの免震層を含む弾性空力振動実験時の時刻 歴変位応答、累積エネルギーをそれぞれ示す。また、 図6には実風速95m/sec, α=0.10, Q_v=Q_{max60}の弾塑性 空力振動実験時の時刻歴変位応答、履歴曲線、累 積エネルギーそれぞれを示す。図4,5の時刻歴波形 より実風速90m/sec付近において空力不安定振動が 発現していることが確認できる。また累積エネルギー





Narumi OHGIYA, Tatsuya KOIZUMI, Makoto KANDA and Eizo MARUTA

量を見てみると実風速90m/secでは約2m²/sec²である のに対し実風速95m/secでは約200m²/sec²と100倍近 くにも増大していることがわかる。

次に、図6より弾塑性空力振動実験では弾性時と 比べ格段に応答値が低下している。これは免震装置 の塑性化による周期変動及び履歴減衰の効果により 応答値が低減したものと考えられる。また、累積エネ ルギー量においても粘性減衰エネルギーが低下し、 履歴減衰エネルギーが増大していることも見て取れる。 よって、弾性時に空力不安定挙動下にあっても、降 伏後に応答の増大が見られないのは、免震層の塑性 化による建物固有周期の変動及び履歴減衰の影響 であると考えられる。現時点の分析ではどちらかに言 及することは難しい。

以上の実験結果より、ここで対象とした形状の高層 免震建物については、現実に発生する風速領域に おいて風直交方向の空力不安定振動が発生する可 能性が極めて低いことが確認できた。

4. まとめ

以上、空力不安定振動発現についてNHATを用い て検討した。その結果、以下のような知見を得た。

- 対象としたモデルでは、免震層が弾性挙動および 塑性挙動下においても現実に発生する風速領域 では空力不安定振動が発現しない可能性がかなり 高いことがわかった。
- 2) 本システムの特長を生かし、空力不安定振動下に おける高層免震建物の応答性状をエネルギー的 な見地から検証を行った。その結果、空力不安定 振動により入力エネルギーが増大する結果が得ら れた。今回示した実験結果では風速が5m/sec上昇 することで約200倍近くもの入力エネルギーの増大 が確認できた。また、免震装置の降伏を許容するこ とで入力エネルギーが1/1000程度まで低減され

た。

- 3)高層免震建物の風直交方向振動では、免震層が 降伏することで、周期変動および、履歴減衰により 応答値が低減することを確認できた。
- 4)本実験を通じて、弾塑性挙動をする構造物に対しても空力不安定振動のシミュレーションが実施できることを示した。また、再現性の高い風洞気流を用いているにも関わらず、数値解析と同等に現象を数値として取り扱うため、現象の分析や、構造物の振動特性の設定が容易に行えるという、本システムの有用性を示すことができた。

今後、更に高層免震建物の耐風設計を実施する際 の基礎資料を提供していきたい。

参考文献

- 松山哲雄ら:多点同時風圧計を組み込んだハイブリッド振動実験システムの開発、日本建築学会技術報告集第22号 (2005.12), P.139-144
- 2) 小泉達也ら:免震装置を有する超高層建物の風応答に関す る研究、日本建築学会学術講演梗概集(2005.9),P217-219
- 3) 扇谷匠己ら:免震装置を有する超高層建物の風応答に関す る研究、日本建築学会学術講演梗概集(2006.9),P181-182



