

平成 26 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：H25 ～ H26 [平成 26 年度で終了]

課題番号：132003

研究課題名（和文）：様々な形状の超高層建物の空力不安定振動に関する研究

研究課題名（英文）：Study on Aerodynamic Instability of Tall Buildings with Unconventional Configurations

研究代表者：大竹和夫

交付決定額（当該年度）：680,000 円

※平成 26 年度で終了となる研究課題は最終成果報告書となりますので、下記項目について詳細な報告をお願いします。

※ページ数の制限はありません。

※成果等の説明に図表を使用していただいて構いません。（カラーも可）

※提出して頂いた成果報告書をホームページでの公開を予定しております。

1. 研究の目的

近年の超高層建築物のさらなる高層化には目を見張るものがあるが、その高層化の一方で、矩形や円形といった整形で一様な断面ではない種々の建築物形状を持つ超高層建築物、超々高層建築物の出現があり、形状の多様化も注目されている。不整形な建築物形状は、高層になるほど多い傾向にあり、不整形で独創的な形状の超高層建築物が、都市のランドマーク・アイコンとしての役割を担って増加している。これらの建築物には、建築意匠的な面白さや美しさだけでなく、風に対する空気力学的な合理性も含まれている。それは、不整形な建築物形状が、風直交方向風力を低減させる点にあり、これらが重要な課題となる超々高層建築物においては、安全性、経済性に大きな影響を与える。

本研究メンバーらは、一昨年まで、高さ 400m、体積一定の 45 種類の建物形状の空力特性を系統的小および定量的に検討してきており、空力特性に優れた建物形状はある程度絞り込まれてきた。しかし、空力特性に優れた建物形状でも、最大変形角は 1/100 程度となることが予測され、振動依存風力の影響について検討することが残された課題となっていた。そこで、本研究では、空力特性に優れた建物形状である Helical モデルの振動依存風力について検討する。

2. 研究の方法

空力特性に優れた建物形状である Helical モデルと基本形状である Square モデルについて、空力不安定振動実験（ロッキングモデル）を実施し、既往の研究で得られている風力を外力とした応答解析結果と比較し、振動依存風力の影響を評価する。

ロッキング振動模型の諸元を表 1、風洞内模型設置状況を写真 1 に示す。

表 1 ロッキング振動模型の諸元

| | 実建物 | 振動模型 |
|-------------------------|----------|-----------|
| 模型縮尺 | 1/1 | 1/694 |
| 質量(kg) | 1.78E+08 | 0.532 |
| 回転慣性(kgm ²) | 9.03E+12 | 5.59E-02 |
| 高さ(m) | 400 | 0.576 |
| 代表長(m) | 50 | 0.072 |
| 建築面積(m ²) | 2,500 | 5.18E-03 |
| 体積(m ³) | 1.00E+06 | 2.99E-03 |
| 密度(kg/m ³) | 178 | |
| 設計風速(m/s) | 70.6 | 10.2 |
| 固有振動数(Hz) | 0.1 | 10.1～10.3 |
| 減衰定数 | 0.005 | |

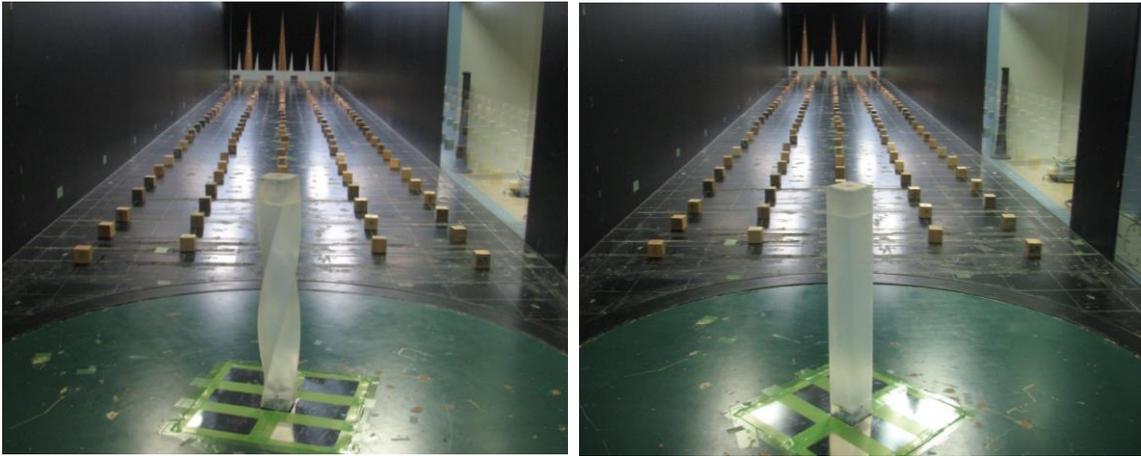


写真 1 風洞内模型設置状況 (左 : Helical, 右 : Square)

ロッキング振動模型の自由振動波形を図 1 に示す。Helical モデル, Square モデルともに, 固有振動数約 10Hz, 減衰定数 0.005 に調整した。

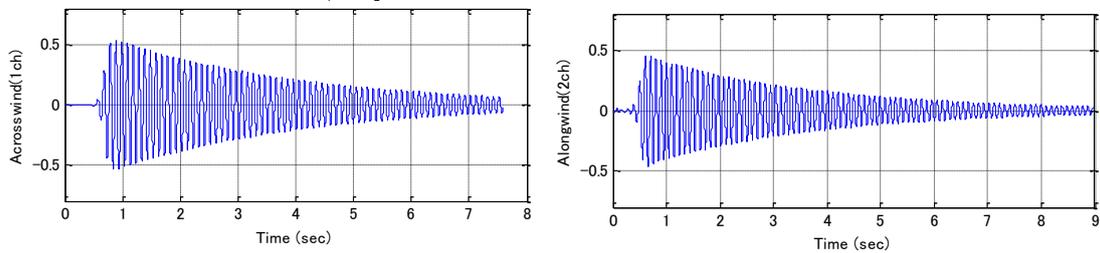


図 1 自由振動波形 (左 : Helical, 右 : Square)

ロッキング振動実験は、東京工芸大学の大型乱流境界層風洞 (幅 2.2m×高さ 1.8m) において、振動天秤装置を用いて実施した。風洞気流は地表面粗度区分Ⅲの気流を採用し、実験風速は、模型頂部での平均風速 6.0~12.8m/s の範囲を 0.34m/s ピッチで 21 レベルに変化させた。実現象と風洞実験の風速比は、表 1 の時間比 1/100 と模型縮尺 1/694 より約 1/7 となるため、実風速に換算すると 42~90m/s となる。頂部平均風速 90m/s は、想定建築物のレベル 2 の設計風速 71m/s の約 1.25 倍に相当する。頂部平均風速 80m/s 相当時の平均風速、乱れの強さおよび乱れのスケールの鉛直分布を図 2 に示す。実験風向は、Helical は、0~45° を 5° ピッチで 10 風向、Square は、風向 0°、45° の 2 風向とした。各実験風速でのデータ収録時間は、サンプリング間隔 300Hz で 240 秒とした。応答量は 6 秒 (実時間 10 分相当) 毎の転倒角の平均値および標準偏差を評価した。

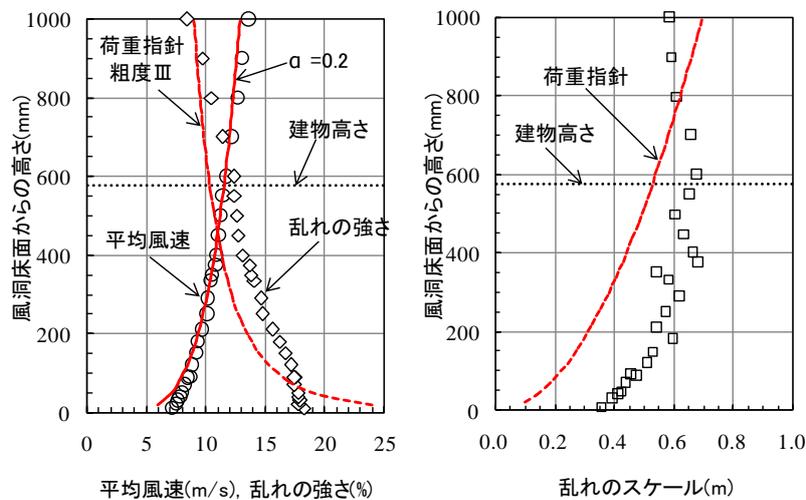


図 2 風洞気流

3. 研究成果

レベル 2 設計風速時の転倒角の平均値および標準偏差と風向角の関係を図 3 に示す。Helical の風向 0°における X 方向（風方向）転倒角は、平均値、標準偏差ともに Square の約 80%であるのに対し、Y 方向（風直交方向）転倒角の標準偏差は、Square の約 13%とかなり小さい。風向 45°においては、X、Y 方向、平均値、標準偏差ともに、Helical と Square の転倒角は概ね同じである。また、Helical の転倒角の標準偏差は、X、Y 方向ともに、風向による変化が小さい。

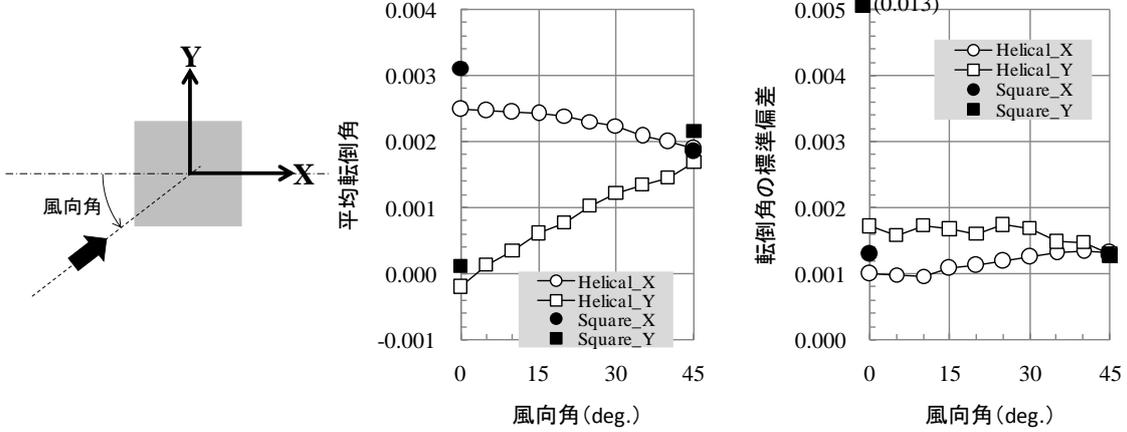


図 3 転倒角と風向角の関係

風向 0°の場合の Helical と Square について、頂部平均風速と転倒角の標準偏差の関係およびレベル 2 風速時のリサージュを図 4、図 5 に示す。図中には、既報の層風力を外力とした応答解析結果を併せて示している。応答解析は、1 次振動モード(=z/H)を対象とし、減衰定数 0.5% と 2.0%について実施した。振動実験結果と解析結果を比較すると、Helical、Square とともに X 方向（風方向）の実験結果は、減衰定数 0.5%の解析結果を下回っており、パフエーティング振動時の空力減衰力が正になっているためと考えられる。Helical の Y 方向（風直交方向）の実験結果は、ばらつきは大きいですが、平均的には減衰定数 0.5%の解析結果に概ね対応している。一方、Square の Y 方向の実験結果は、頂部平均風速が 60m/s を超えると、減衰定数 0.5%の解析結果を大きく上回っており、空力減衰力が負になっていることがわかる。Square が風直交方向の転倒角が卓越しているのに対し、Helical では、風直交方向の転倒角は、風方向の 2 倍程度となっている。

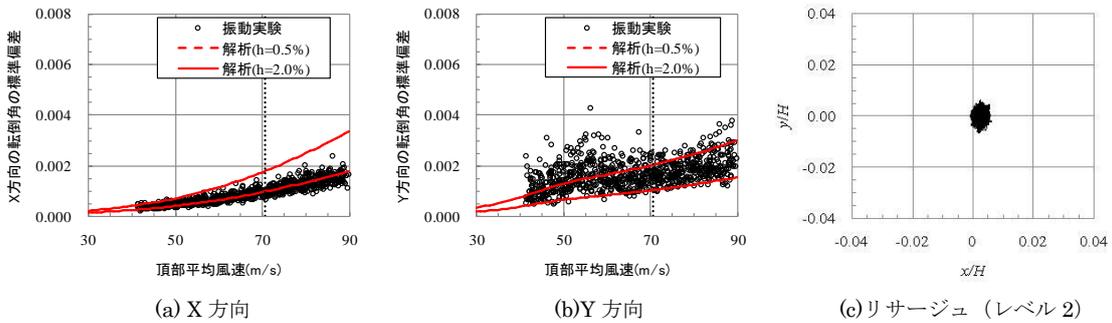


図 4 頂部平均風速と転倒角の標準偏差の関係 (Helical, 風向 0°)

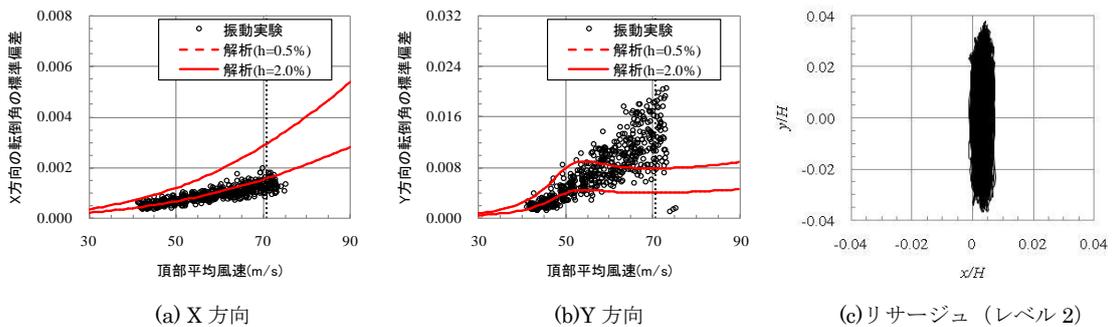


図 5 頂部平均風速と転倒角の標準偏差の関係 (Square, 風向 0°)

風向 5° ~ 45° の Helical と風向 45° の Square について、頂部平均風速と転倒角の標準偏差の関係およびレベル 2 風速時のリサーチを図 6~図 15 に示す。図より、Helical はいずれの風向においても、空力的に不安定となることはなく、風向による差異は小さい。Square は風向 45° においても、頂部平均風速 60m/s 近傍で応答がかなり大きくなっている。

レベル 2 設計風速の 1.25 倍まで、Helical モデルの空力不安定振動実験（ロッキング振動実験）を実施し、空力不安定とはならないこと、風向による応答量の差異は小さいこと、平均転倒角も Square よりも小さいこと、がわかり、ロッキング振動実験結果からも Helical が優れた空力特性を有することが明らかになった。

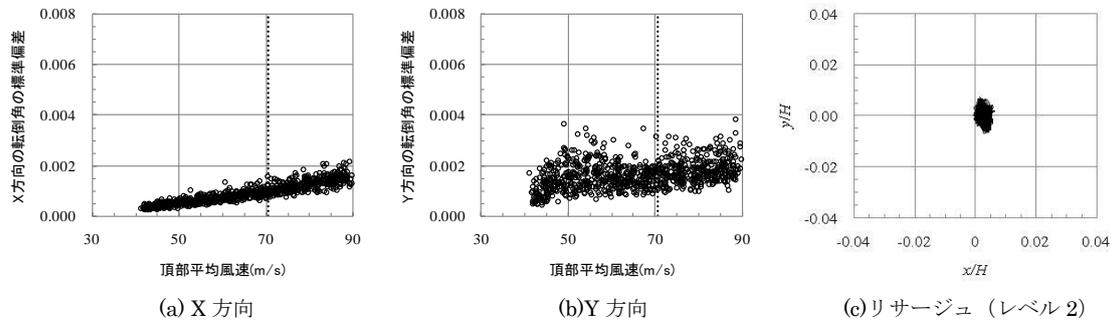


図 6 頂部平均風速と転倒角の標準偏差の関係 (Helical, 風向 5°)

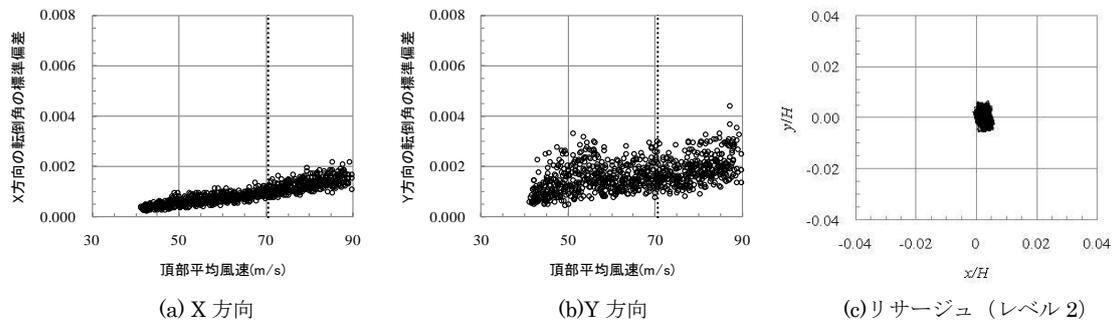


図 7 頂部平均風速と転倒角の標準偏差の関係 (Helical, 風向 10°)

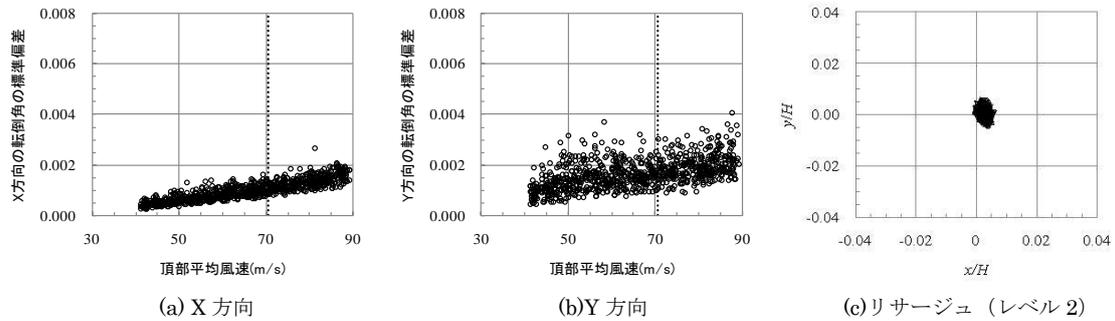


図 8 頂部平均風速と転倒角の標準偏差の関係 (Helical, 風向 15°)

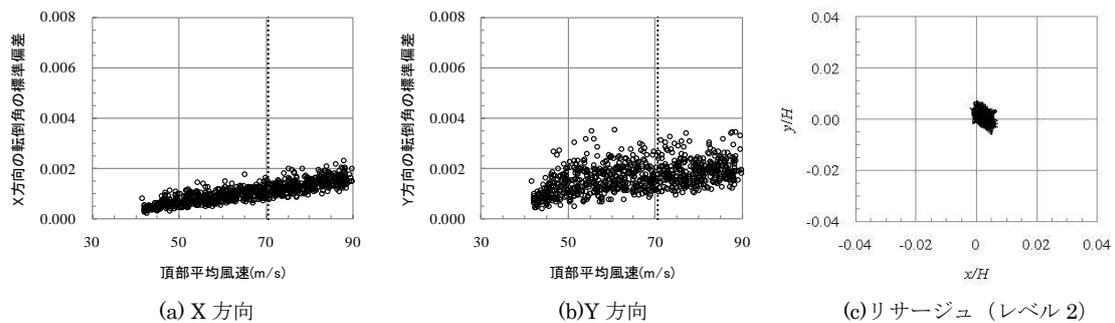


図 9 頂部平均風速と転倒角の標準偏差の関係 (Helical, 風向 20°)

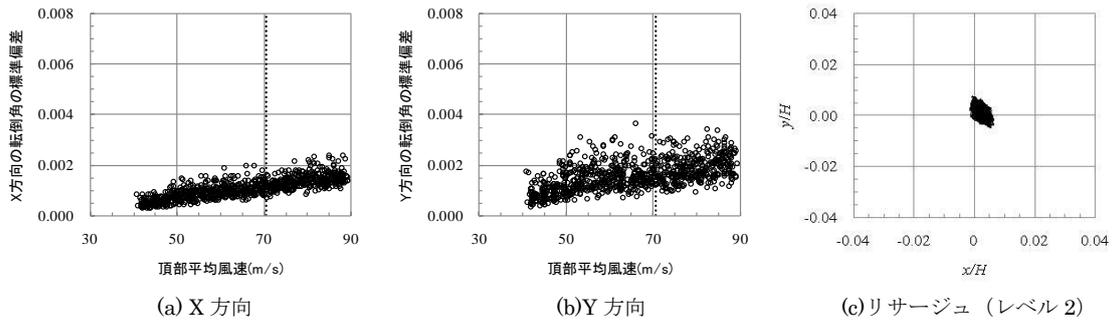


図 10 頂部平均風速と転倒角の標準偏差の関係 (Helical, 風向 25°)

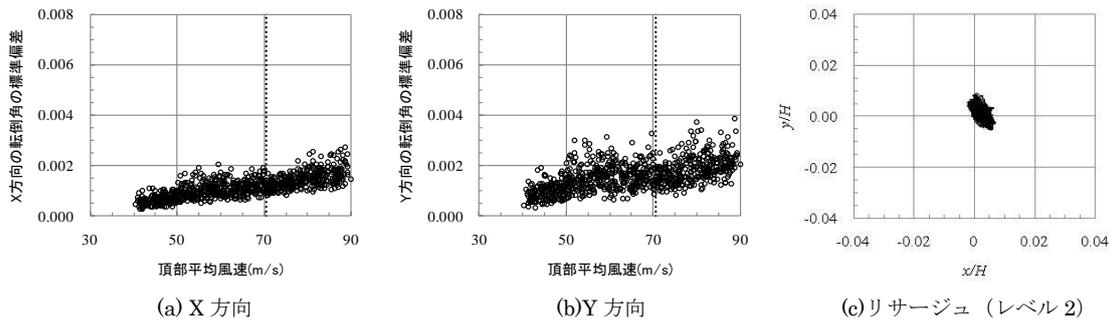


図 11 頂部平均風速と転倒角の標準偏差の関係 (Helical, 風向 30°)

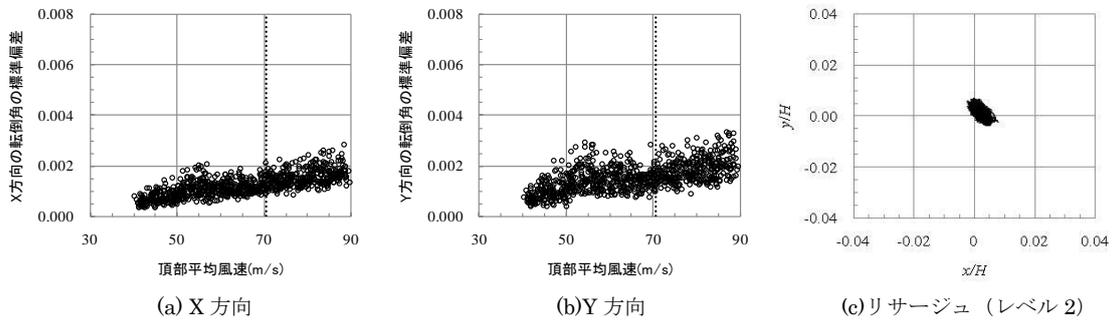


図 12 頂部平均風速と転倒角の標準偏差の関係 (Helical, 風向 35°)

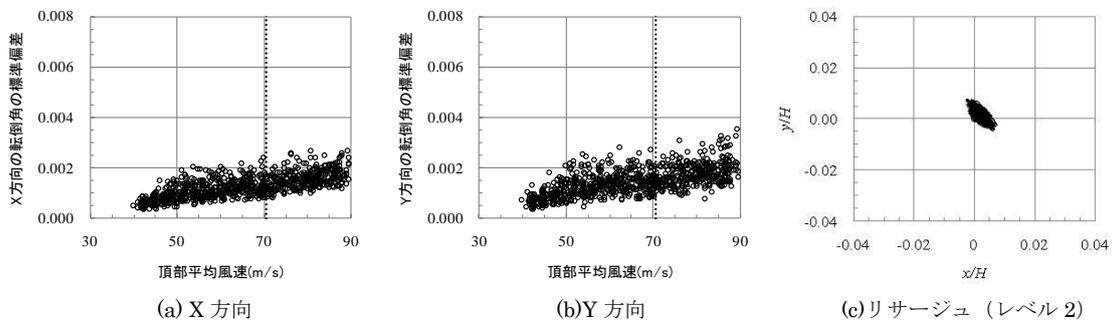


図 13 頂部平均風速と転倒角の標準偏差の関係 (Helical, 風向 40°)

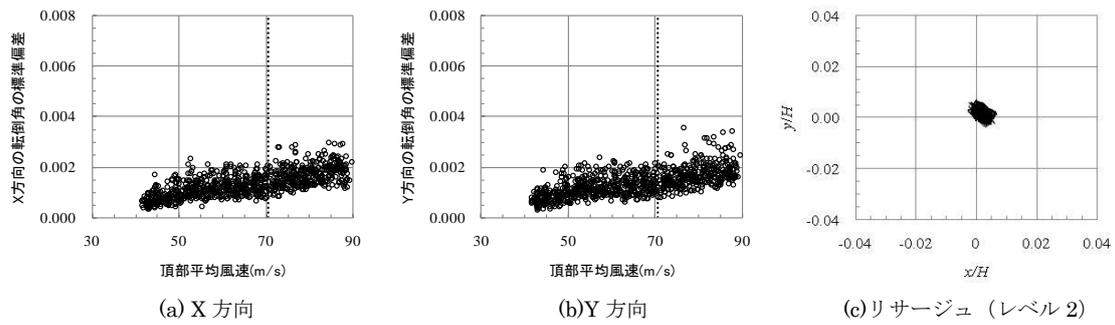


図 14 頂部平均風速と転倒角の標準偏差の関係 (Helical, 風向 45°)

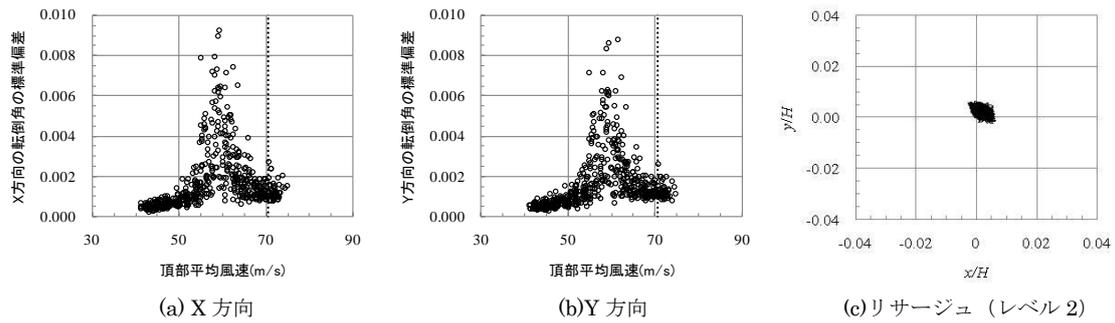


図 15 頂部平均風速と転倒角の標準偏差の関係 (Square, 風向 45°)

4. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

大竹和夫, 田村幸雄, 吉田昭仁, 田中英之: 新しい形態を有する超々高層建築物の風外力に関する研究 その5 螺旋形状建築物のロッキング振動実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2015

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 1 件)

[図書] (計 0 件)

[その他]

産業財産権, ホームページ等

5. 研究組織

(1) 研究代表者

大竹和夫

(2) 研究分担者

田村幸雄, 吉田昭仁 (拠点内研究担当者), 田中英之, 今野尚子, Qinshan Yang, Wonsul Kim