

連続観測記録に基づく建物の応答加速度と風速特性の関係に関する研究

栗田研究室

4107031 吉川 達也

1. はじめに

近年、既存建物の長期利用を目的とした常時微動観測に基づく建物の構造健全性診断の有用性が注目されている¹⁾。一方、常時微動記録は微小振幅の為、建物の振動応答は計測時の風速や温度等の不確定要因の影響を受けることが指摘されている²⁾。不確定要因による建物の振動応答の変動を定量的に把握しておくことは、構造健全性をより正確に診断する上で重要である。

既往の研究では、建物の応答加速度と平均風速の関係が報告されているが^{3),4)}、風速の変動成分や風向の影響も含めて分析した報告は少ない。そこで本研究では、建物振動と風速の同時連続観測記録から、風速特性を評価すると共に、建物の応答加速度の変動に風速特性が及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

2. 観測対象建物と長期観測システム概要

2.1 建物概要

本研究では宮城県仙台市にある東北大学工学系総合研究棟を対象に観測を行っている。地下1階、地上14階、塔屋1階で、軒高56.18mである。構造形式は1階以上が鉄骨梁を用いたCFT造、地下部分はRC造である。

2.2 振動計測及び風速計測概要

図1に、観測対象建物概要及び計測器設置位置を示す。振動記録は、地下1階と地上13階に設置している加速度計より、風速記録は塔屋から4mの高さに設置された風速計より取得している。共にサンプリング周波数は200Hzに設定し、加速度計は建物の短辺(X)方向・長辺(Y)方向・鉛直方向の計3方向成分を、風速記録は東西方向・南北方向・鉛直方向の計3方向成分を計測している。尚、本研究では、2008年12月27日から2009年3月9日の計73日間を解析対象区間とした。

3. 風速特性の評価

本研究では、風速特性を表す指標として、10分毎に平均風速、平均風向、乱れ強さ、ガストファクターを算出した。図2に風速の変動成分と平均風速の関係を示す。このとき、平均風速及び平均風向は観測記録の内、水平2成分を用いて算出した。尚、風向は「風が吹いてくる方向」を示し、真東を0°とした。乱れ強さは「平均風速に対する各方向の風速変動成分の標準偏差の比率」、ガストファクターは「平均風速に対する各方向の最大瞬間風速の比率」と定義した。

図3に解析対象区間における10分毎の平均風速の頻度分布を示す。頻度分布作成に使用したデータ数は10424個、横軸の刻みは0.2m/sとした。解析対象区間の平均値は3.3m/s、最大値は20.5m/sであり、平均風速の増加方向に裾野の広がりを持つ頻度分布形状となった。図4に平均風速5m/s以上の平均風向の頻度分布を示す。風向の刻みは11.25°(32方位)とした。平均風速5m/s以上では西北西～西微北(約160~175°)にかけての頻度が高く、真北とY方向との角度相違(約11°)を考慮すると、風向は概ねX方向に平行であることが確認できる。

図5、6に平均風速に対する乱れ強さ及びガストファク

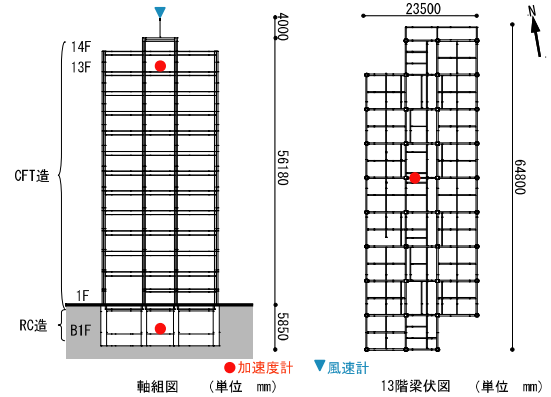


図1 観測対象建物概要及び計測器設置位置

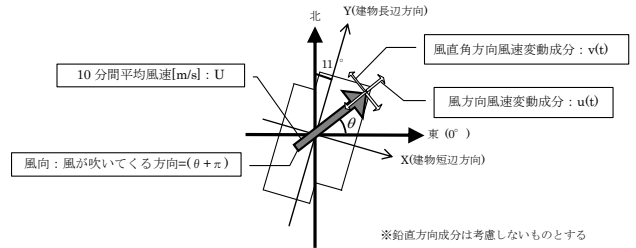


図2 風速の変動成分と平均風速の関係

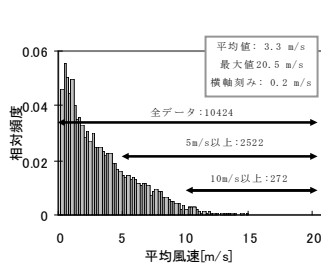


図3 平均風速頻度分布

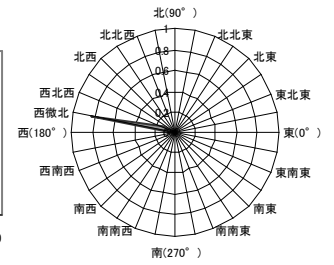


図4 風向頻度分布 (平均風速 5m/s 以上)

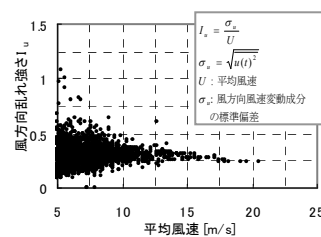


図5 平均風速に対する風

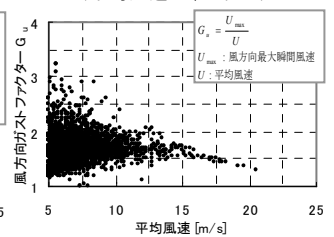


図6 平均風速に対する風

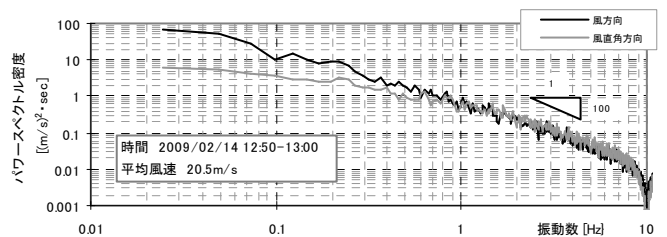


図7 風速変動成分のパワースペクトル密度

ターの分布を示す。5m/s 付近では、乱れ強さは 0.1~0.5、ガストファクターは 1.1~2.5 の範囲でばらついているが、平均風速の増加と共に各値とも一定値に収束している。

図 7 に最大平均風速を記録した 10 分間の風速変動成分のパワースペクトル密度を示す。各方向共に長周期成分が多く含まれているが、風直角方向と比較して風方向の長周期成分の方が大きいことが読み取れる。

4. 建物の応答加速度の評価

10 分毎の地上 13 階加速度記録を、バンドパスフィルタにより各方向の 1 次(0.7~1.0Hz)及び 2 次(2.2~2.8Hz)振動モードを含む振動数域 (0.0~5.0Hz)のみを抽出し、各方向の最大加速度及び RMS 値(二乗平均平方根)を算出した。

図 8 に平均風速 1m/s 時(左)と 20.5m/s 時(右)を代表例として 10 分間の建物の応答加速度の軌跡を示す。風の影響で各方向とも応答加速度が増加しているが、風直角方向と比較して風方向の値の増加が著しいことが確認できる。

5. 建物の応答加速度と風速特性の関係

5.1 重回帰分析

建物の応答加速度と風速特性との関係を分析する為、式(1)を用いて重回帰分析を行った。

$$Acc = \alpha U^{\beta_1} G_u^{\beta_2} |\cos(\theta + 11^\circ)|^{\beta_3} \quad \dots(1)$$

ここに、Acc: 各方向応答加速度、U: 平均風速、Gu: 風方向ガストファクター、θ: 平均風向である。表 1 に得られた重回帰式を示す。平均風速 5m/s 以上では、X 方向の応答加速度は平均風速の約 2.3 乗に、Y 方向では約 1.8 乗に比例しているのに対し、平均風速 10m/s 以上では X 方向、Y 方向それぞれ約 2.4 乗、約 2.3 乗に比例しており、平均風速に対する増加割合が上昇している。

図 9(a)に平均風速 5m/s 以上、図 9(b)に平均風速 10m/s 以上で観測された建物の応答加速度の RMS 値と式(1)による計算値を示す。(a)では、重回帰式は概ね応答加速度の変動を説明しているが、風向による応答加速度の差異を説明できていない。一方(b)では、風向の違いによる応答加速度の差異が現れており、より適切な重回帰分析結果であると判断できる。

5.2 重回帰式の説明変数の有意性

表 2 に平均風速範囲別の重回帰分析結果を示す。ここでは、標準偏回帰係数を用いて式(1)の各説明変数の有意性を検証した。平均風速 5m/s 以上では、X、Y 各方向において平均風速・ガストファクターのみが 1%水準で有意となり、信頼性が確認できる。一方、平均風速 10m/s 以上では、平均風速・ガストファクターに加えて平均風向も 1%水準で有意となり、平均風速が大きい範囲では平均風向も建物の応答加速度の変動を説明する重要な指標となることが確認できる。しかし、いずれの平均風速の範囲でも平均風速の影響が支配的であり、これらの分析結果は建物の最大応答加速度との関係でも同様に確認できる。

6. まとめ

CFT 造高層建物の振動・風速の同時連続観測記録から明らかになった知見を以下に示す。

- 1)対象建物では平均風速 5m/s 以上において、平均風向は概ね X 方向に平行しており、また X 方向の応答加速度の増加が著しい。
- 2)平均風速 5m/s 以上において、平均風速とガストファクターにより概ね建物の応答加速度の変動が説明できる。
- 3)平均風速 10m/s 以上において、平均風速及びガストファクターに加え、平均風向が建物の応答加速度の変動を説明する重要な指標となる。

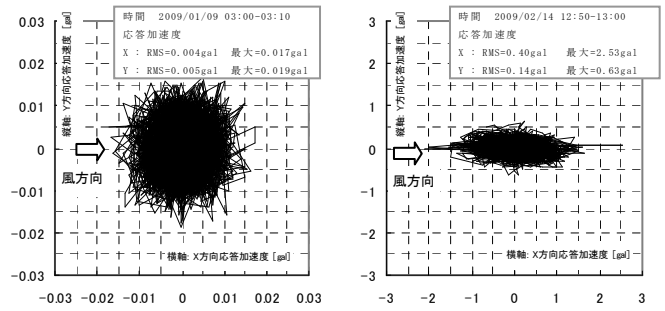


図 8 建物の応答加速度の軌跡

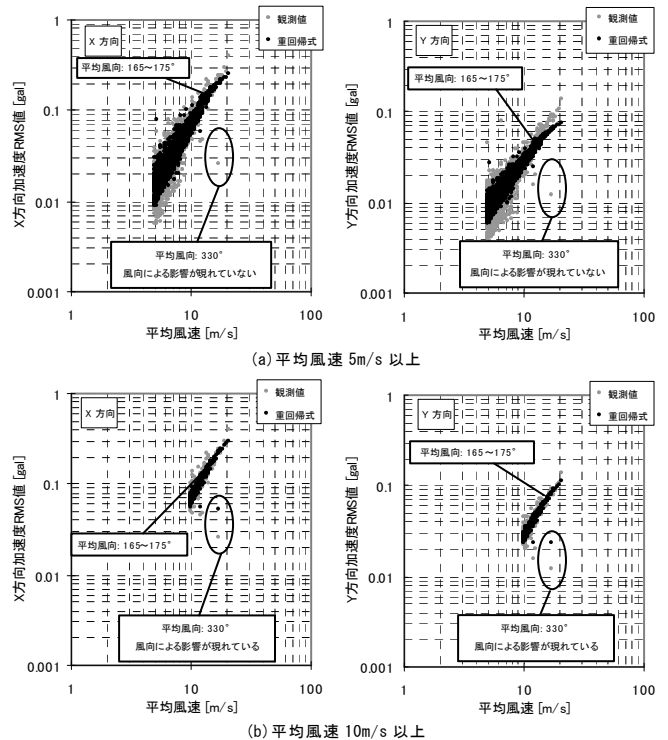


図 9 建物の応答加速度と風速特性の関係

表 1 建物応答加速度と風速特性の関係の重回帰式

重回帰式		$Acc = \alpha \times U^{\beta_1} \times G_u^{\beta_2} \times \cos(\theta + 11^\circ) ^{\beta_3}$					
被説明変数、説明変数		α	β_1	β_2	β_3	R^2	
(a)平均風速5m/s以上	応答加速度RMS値	X方向	0.0002	2.28	1.26	0.312	0.873
		Y方向	0.0003	1.76	0.886	0.296	0.777
(b)平均風速10m/s以上	応答加速度RMS値	X方向	0.0002	2.41	0.775	28.1	0.800
		Y方向	0.0001	2.25	0.588	25.2	0.794

R^2 : 自由度調整済み決定係数

表 2 平均風速範囲別の重回帰分析結果

平均風速5m/s以上	標準偏回帰係数			
	X方向		Y方向	
説明変数\被説明変数	加速度RMS値	最大加速度	加速度RMS値	最大加速度
平均風速	0.895**	0.836**	0.852**	0.810**
風方向ガストファクター	0.297**	0.407**	0.257**	0.359**
平均風向	0.007	0.021	0.008	0.010
自由度調整済み決定係数	0.873	0.843	0.777	0.766

*5%有意水準, **1%有意水準

平均風速10m/s以上	標準偏回帰係数			
	X方向		Y方向	
説明変数\被説明変数	加速度RMS値	最大加速度	加速度RMS値	最大加速度
平均風速	0.960**	0.895**	0.950**	0.895**
風方向ガストファクター	0.184**	0.317**	0.148**	0.231**
平均風向	0.251**	0.221**	0.239**	0.203**
自由度調整済み決定係数	0.800	0.702	0.794	0.694

*5%有意水準, **1%有意水準

参考文献

- 1)山本鎮男:ヘルスマonitoring—機械・建築・土木構造物・医療の健全性監視—,共立出版,1999年
- 2)金澤健司:コンクリート系建物の固有振動数の変動メカニズムの解明,日本建築学会論文集,第612号,p63-71,2007.
- 3)田村幸雄他:ハウスステンボス ドム・トルンの風・振動観測その1,その2,日本建築学会学術講演概集,1992年8月
- 4)山本博志他:超高層RC造集合住宅の風応答実測,日本建築学会学術講演概集,2001年9月