

# 連立する高層建築物に作用する風力の特性

小 泉 達 也 川 口 彰 久

## Characteristics of Wind Force on Neighboring High-rise Buildings

Tatsuya Koizumi Akihisa Kawaguchi

### Abstract

There is great interest in determining the effect of strongly turbulent winds on two or more adjacent high-rise buildings.

Two types of tests, a wind force test and a wind pressure test, were conducted in order to investigate the interaction of wind currents generated in between two high-rise buildings. The results of the tests demonstrate that 1) the increase of wind velocity in between the buildings generates vortex-induced oscillations, and 2) the peak of the power spectrum is shifted into the high frequency domain. In addition, depending on the natural period of the buildings, in some cases, the effect of wind forces increases drastically and, as a consequence, the living conditions in these buildings deteriorate significantly. The study showed that great caution is needed when planning the construction of several neighboring high-rise buildings.

### 概 要

隣接地に高層ビルが建設された場合に乱された気流が該当建物にどのような影響を与えるかは、非常に興味ある問題である。

本報では、200m級の超高層ビルを想定した2種類の風洞実験（天秤実験・風圧実験）を行い、連立による風力への相互作用を空気力特性、壁面の圧力分布から検討を行った。その結果、1) 棟間の流速の増加による渦発生風速の変化、2) スペクトルピークのシフトが生じ、建物周期によっては風力が著しく増加する場合があること、また、日常風に対しても連立の影響により風揺れが大きくなり居住性に対しても悪影響を及ぼす場合があることも明らかとなった。今後、連立が想定される場合には、建築計画時に建物配置を十分に考慮する必要があるとの結論を示した。

## 1. はじめに

建築物の高層化に伴い、構造設計における風荷重の重要性がこれまで以上に大きくなりつつある。単体の単純形状建物に働く風力の特性については、これまでに多くの研究がなされ、その基本的特性はある程度明らかになってきた。しかし、都市中心部のように高層ビルが密集して建設されている場合、気流の流れが非常に複雑となり、周辺の高層建築物により乱された流れが、対象とする建物の風力や風圧にどのような影響を与えるかは明らかではない。あらかじめ周辺建物が計画されている場合には、実験により対象建物に与える影響を考慮した上で設計用風荷重を定める事は可能であるが、対象建物が建設後、新たに周辺に計画される場合には風力の特性が

変化し、設計上不利な状態になる場合がある。

Blessman<sup>1), 2)</sup>, 谷池ら<sup>3)~7)</sup>は直方体が連立する場合の風上側の建物が風下側の建物に与える作用風力や応答に与える影響について研究を行ってきた。しかし、これらの研究では a) 相互関係に風力スペクトルの変化を考慮していないこと、b) 風向が一風向に限られていること、c) 平面形状が正方形である等の点で限定された範囲での研究であった。

本研究では、平面形状が断面比1:2および、1:1の直方体模型を用いて、200m級建築物を想定し、全風向を対象とした風洞実験（天秤実験・圧力実験）を行い、連立する超高層建物の耐風設計上の問題点について考察した。



### 3. 実験結果

#### 3.1 天秤実験結果

3.1.1 単独時の風荷重特性 代表的な風向角におけるせん断力係数のパワースペクトル密度関数をFig. 4に示す。単独時の振動数を考慮したせん断力係数 $C_{FXmax}$ ,  $C_{FYmax}$  (再現期間500年)の絶対値をFig. 5に示す。Fig. 4より90°でのせん断力係数 $C_{MYmax}$ は無次元周波数 $nD/U=0.1$ でピークを持つことがわかる。Fig. 5よりX方向で風向角90°及び270°付近(X軸直交方向)で最大となり、特に7.5秒の場合顕著である。せん断力係数 $C_{FX}$ ,  $C_{FY}$ の算定は以下の式による。

$$C_{Fi} = F_i / (1/2 \rho U_H^2 A)$$

$$F_i = F_{iave} \pm g_i \sqrt{\sigma_{Fi1}^2 + \sigma_{Fi2}^2}$$

- $i$  : 建物の構面方向 (X・Y)
- $g_i$  :  $i$ 方向のピークファクター
- $\sigma_{Fi1}$  :  $i$ 方向のせん断力の共振成分
- $\sigma_{Fi2}$  :  $i$ 方向のせん断力の非共振成分
- $A$  : 代表面積

3.1.2 連立時の風荷重特性 再現期間500年, 減衰率2.0%, 建物固有周期6.0secの全風向中でX方向(長辺方向)架構に加わる最大せん断力比(連立(全風向中最大)/単体(全風向中最大))をFig. 6に示す。座標値で5~7, b~fの領域では基部せん断力が単体の2倍以上になる。このうち, 隣接棟の配置点c6で, 風向角280°の場合, 全風向中最大せん断力が最も大きく, 単独時の約2.8倍になる。

同様に再現期間500年, 減衰率2.0%, 建物固有周期6.0secでの全風向中Y方向(短辺方向)架構に加わる最大せん断力 $F_{ymax}$ をFig. 7に示す。隣接棟の配置点e9, 風向角170°の場合, 全風向中最大せん断力は最も大きく, 単独時の約1.6倍になる。

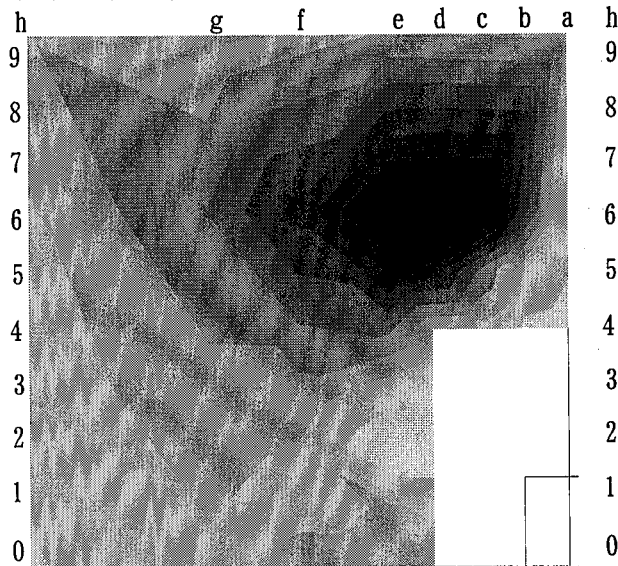


Fig. 6 全風向最大せん断力比のコンター (X方向)  
Maximum Wind Force Ratio of Structure(x-dir.)

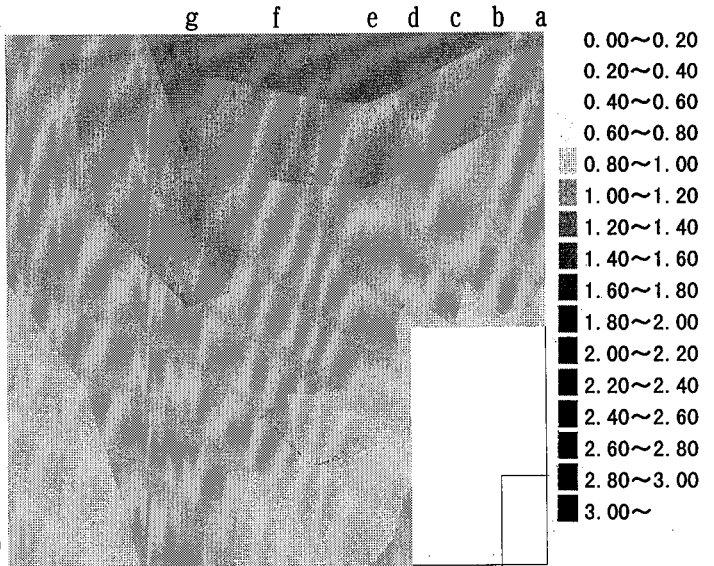
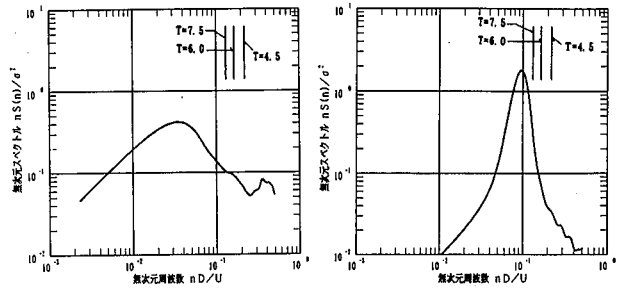
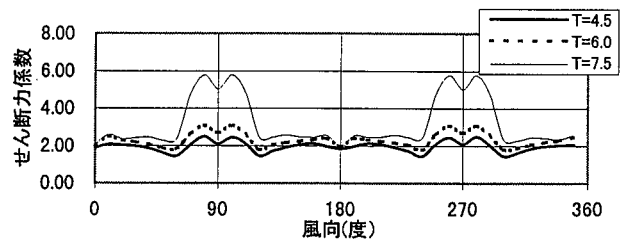


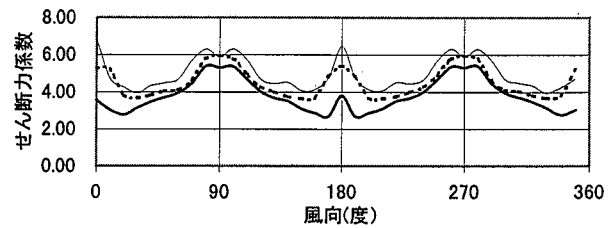
Fig. 7 全方向最大せん断力比のコンター (Y方向)  
Maximum Wind Force Ratio of Structure(Y-dir.)



(a) 風向0° (風方向) (b) 風向90° (風直角方向)  
Fig. 4 パワースペクトル密度関数 (せん断力係数: X方向)  
Power Spectrum (X-dir.)



(a) X方向



(b) Y方向

Fig. 5 最大せん断力係数と風向の関係 (単独)  
Relation of Wind Direction and Maximum Shear Force Coefficient of Structure (One building)

固有周期をパラメータ (4.5・6.0・7.5秒) とした再現期間500年での増幅率の関係をFig. 8(a) (b)に示す。図中横軸は、各ケースで最大荷重となる風向を表している。X方向で風荷重が増幅されている風向は、いずれの周期でも90・270°付近であり、特に固有周期が6.0秒の場合に最も増幅されている。Y方向の場合は150~180°の範囲で固有周期6.0・7.5秒の場合に風荷重増幅の傾向が見られるが、X方向と比べると増幅率は小さい。いずれも風向が軸と直交すると増加率が著しく大きくなる。

単独時およびX方向のせん断力の増加が最大となる連立時 (c 6 : 風向280°, 固有周期6.0秒, 再現期間500年, 減衰2%) の変形角の軌跡をFig. 9に示す。図より、連立時には平均成分・変動成分ともに、おおむね全時刻で荷重が増幅されていることがわかる。

3.1.3 連立時の加速度応答 連立時 (c 6) の最大応答加速度 (X方向) を単独時と比較してFig. 10に示す。応答解析は、固有周期6.0秒, 構造減衰1%, 再現期間1年として行った。連立時には風向180°で加速度の増幅が見られ、低風速時でも連立による影響があることが示された。また、Y方向は単独時にはX方向よりも値は大きい、連立時にはX方向へ増幅されず、絶対値としてX方向が大きくなった。

### 3.2 風圧実験

3.2.1 単独時の風圧分布 各壁面の最小瞬間風圧係数分布 (風向90°) をFig. 11に示す。従来の研究と同様に、正面となるE面は全面正圧で上層部から下層部にかけて値が減少しており、側面となるN・S面、背面のW面は全面負圧である。

3.2.2 連棟時の風圧分布特性 連立時 (配置A, 風向90°) の最小瞬間風力係数分布をFig. 12に示す。連立時の圧力分布の全体的な正負の関係は単独時と同様の傾向であるが、棟間のN面の圧力 (負圧) が特に風上側で増加している事がわかる。

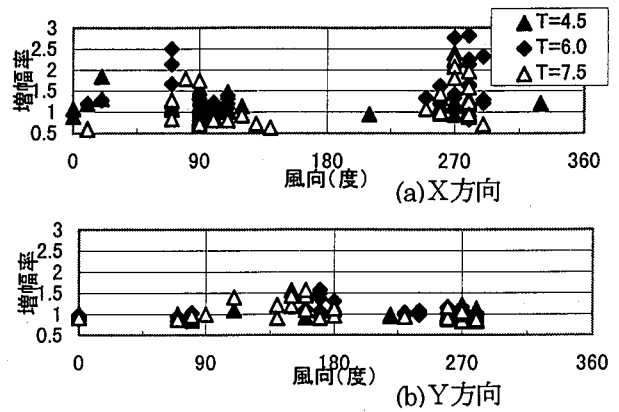


Fig. 8 風向とせん断力比の関係  
Relation of Amplitude of Force and Wind Direction

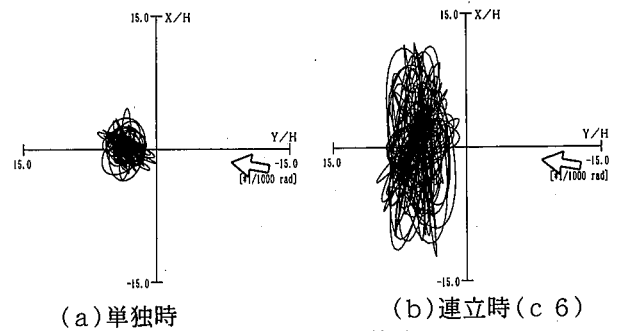


Fig. 9 変形角の軌跡  
Locus of Diffraction Angle

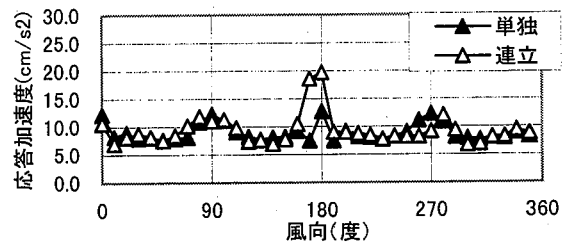


Fig. 10 頂部応答加速度の比較 (c 6 : X方向:T=6秒)  
Compare Response Acceleration of Structure

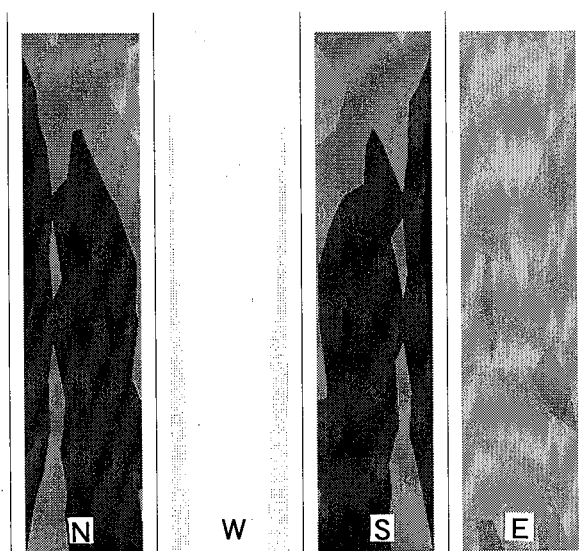


Fig. 11 瞬間最小風圧係数 (単独)  
Minimum Wind Pressure Coefficient (One Building)

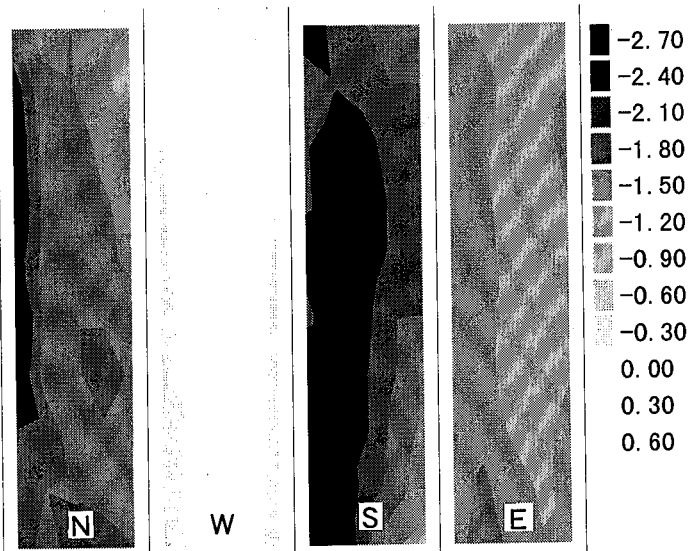


Fig. 12 瞬間最小風圧係数 (連立: 配置A)  
Minimum Wind Pressure Coefficient (Two Adjacent Building)

風圧実験結果に基づいた単独時と連立時（配置A, B）のX軸方向最大せん断力比（固有周期6秒, 再現期間500年）をFig. 13に示す。配置Aの場合, 最大せん断力は風向 $100^\circ \cdot 280^\circ$ 付近で最大となる傾向にあり増幅率は約2倍であった。この傾向は天秤実験と類似しておりピークとなる風向も同じであった。一方配置Bの場合は, 配置Aほど顕著な増幅は見られなかった。

#### 4. 連立時の相互作用の検討

##### 4.1 パワースペクトルによる検討

天秤実験で連立による影響が最も顕著であったc6での最大値が生じる風向角（ $280^\circ$ ）のX方向のパワースペクトルを, 単体の場合と比較してFig. 14(a)に示す。連立時にはパワースペクトルのピークが無次元周波数で高周波数側に移っている事がわかる。このことが建物周期 $4.5 \cdot 6.0$ 秒の場合, 風向 $90^\circ \cdot 270^\circ$ 付近で渦と共振する方向へシフトするためにFig. 15に示すように, 連立時には変動空気力成分が増大することがわかる。このスペクトルがシフトする原因は, 棟間を通る風速が早くなり渦発生振動数が変化するためであると推察される。同様に, Y方向のパワースペクトル密度関数を, 単体の場合と比較してFig. 14(b)に示す。この場合は, スペクトルのシフトはみられないが, ピークが増加しスペクトル形状が鋭くなる事がわかる。ピークのは増加は風上棟の渦との相互作用による渦力の増加であると考えられる。X・Yいずれも想定周期に対して荷重を増幅させる傾向にあるが, 渦の発生風速の変化に伴うピークのシフトによる影響が, 今回の検討周期の場合は顕著であった。また風圧実験による正方形形状の場合でも, 天秤実験同様スペクトルのシフトが確認され, 特に $90^\circ$ 方向が顕著であった。

##### 4.2 圧力分布による検討

風圧実験結果に基づき, 棟間の圧力変動について検討を行った。Fig. 16(a)は単独時のガスト影響係数と平均風圧係数の関係をプロットし, 図中の実線は荷重指針値（外装材設計用）を示す。(b)は $\beta$ -ファクターと変動風圧係数の関係を示す。Fig. 17(a)(b)は同様に連立時の結果を示した。この結果, 連立時には平均風圧係数の負側の値が増加し, 変動風圧係数も増加の傾向にある事がわかる。これより, 棟間の流速が増加され圧力が上昇している事が確認された。指針値と比較すると, 連立時にはガストファクター,  $\beta$ -ファクター共に増加しているが指針値以下に納まっている事がわかる。

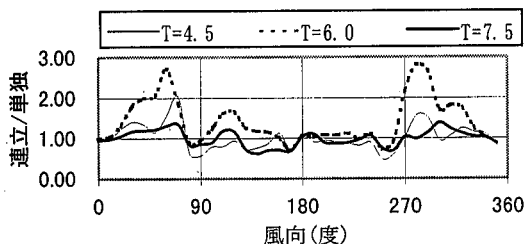
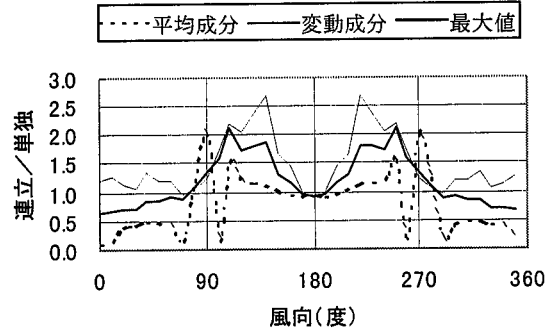
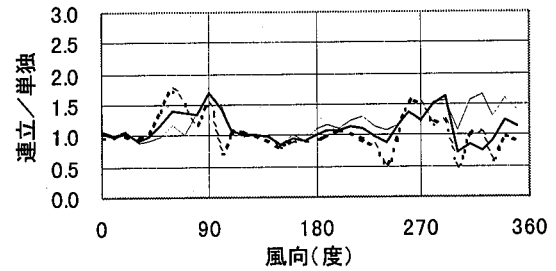


Fig. 15 連立時の荷重増幅率と風向の関係 (C6 : X方向)  
Relation Force Amplitude and Wind Direction

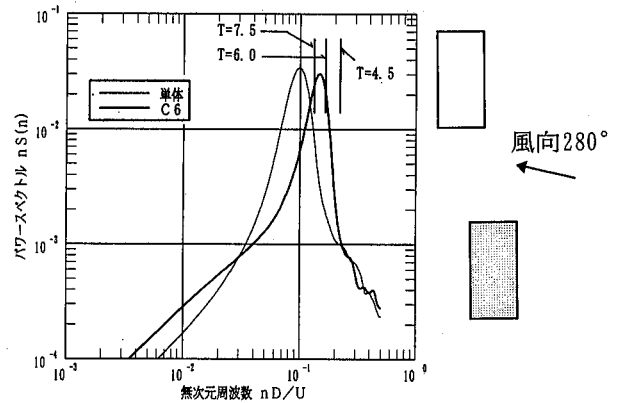


(a) 配置A (X方向)

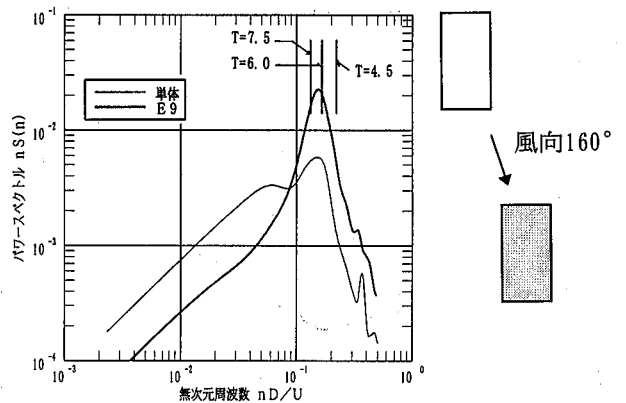


(b) 配置B (X方向)

Fig. 13 最大せん断力比  
Maximum Shear Force Ratio of Structures



(a) X方向最大荷重時



(b) Y方向最大荷重時

Fig. 14 パワースペクトル密度の比較 (天秤実験)  
Relation of Power Spectrum (Wind force test)

### 5. 事例

以上の結果をふまえて、連立による風力の増加が建物に影響を及ぼす事例について検討する。

建物の形状をFig. 18に示す。想定建物は辺長比1，アスペクト比4の高さ約200m（弾性時周期4.5秒）の各構面に弾塑性ダンパーを用いた制震建物で連立位置は配置Aである。ダンパーの設計思想は風荷重に対しては弾性とし、地震荷重に対してのみ制震効果を期待するものとした。単独時及び連立時のせん断力（実験値）と荷重指針値（構造骨組用）・地震荷重・設計せん断力と併せてFig. 19に示す。連立時の風荷重は約1.5倍に増幅され荷重指針値，設計せん断力を上回り，かつ，ダンパーの降伏せん断力も上回る結果となる。従って，設計用荷重の増加のみならず，ダンパーは風荷重に対して降伏するのでダンパーの疲労性能等の問題も生じることになる。

### 6. まとめ

2種類の実験結果から，連立する超高層建物に作用する風力の特性について次の知見を得た。

1) 棟間距離と風力の増幅率の関係は，形状・配置・建物周期により異なるが，本件では内法寸法が建物幅（短辺）の2倍程度離れた時に最大2.8倍となった。風力の増幅の要因としては，棟間の流速の増加に伴い渦発生周期が変化し，スペクトルピークがシフトする為であると考えられる。

2) 比較的低風速の日常風に対しても，連立による影響を受けて風力が増加し，建物の揺れが大きくなり居住性を損なう恐れがある。

3) 連立が想定される場合には，その影響を十分に考慮した建物の配置計画を行う必要がある。

### 謝辞

本研究は，藤原章博氏（元流体研究室）と共同で行った研究を基に，追加実験を行い検討を加えたものです。

### 参考文献

- 1) Blessmann, J. and Riera, J. D.; Wind excitation of neighbouring tall building Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, No. 18, p. 91-103, 1985
- 2) Blessmann, J. and Riera, J. D.; Buffeting effect of neighbouring tall building Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, No. 18, p. 105-110, 1985
- 3) 谷池義人，稲岡秀樹，桂順治：後流中における高層建物の動的挙動，京都大学防災研究所年報，第29号1986
- 4) 谷池義人，稲岡秀樹：連立する高層建物の境界層流中での相互作用，風工学シンポジウム論文集，1986
- 5) 谷池義人：乱流境界層中における直方体建物の相互作用，風工学シンポジウム論文集，p. 247-252, 1988
- 6) 谷池義人，奥田泰雄，池谷敏弘：連立する建物周りの流れと作用風力，京都大学防災研究所年報，第31号

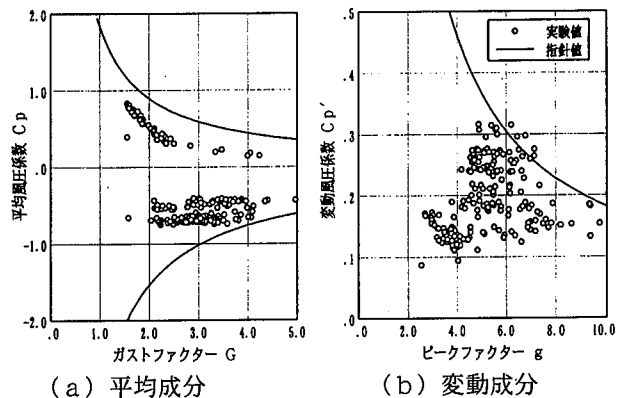


Fig. 16 単独時の風圧係数  
Wind Pressure Coefficient of One Building

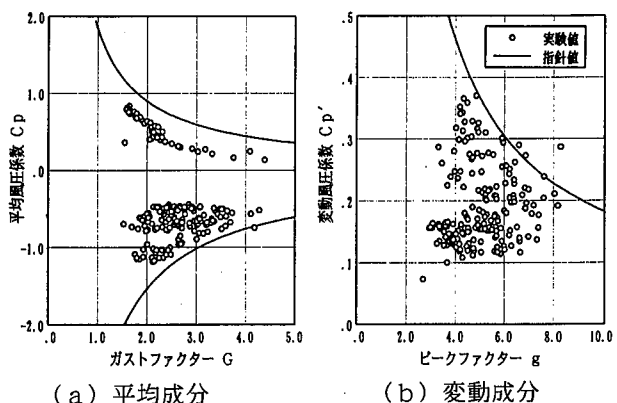


Fig. 17 連立時の風圧係数（配置A）  
Wind Pressure Coefficient of Two Adjacent Building  
(Disposition A)

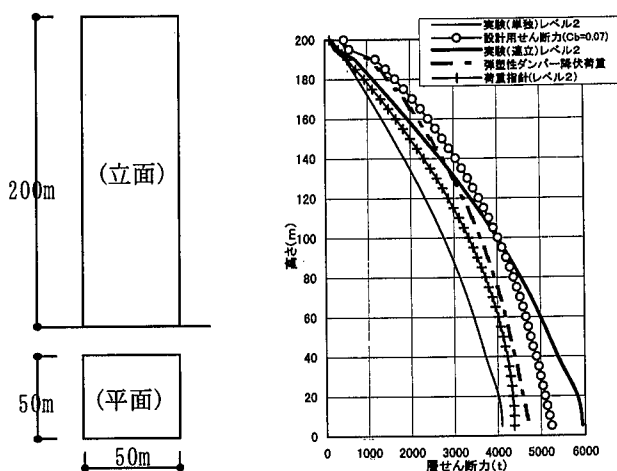


Fig. 18 建物形状  
Shape of Structure

Fig. 19 層せん断力分布  
Distribution of Shear Force

- 7) 岡崎充隆，谷池義人他：高層建物の相互干渉による風圧力の変化，日本風工学会誌第7号
- 8) 日本建築学会，建築物荷重指針・同解説，1993
- 9) 日本建築学会，建築物の振動に関する居住性能評価指針・同解説，1991
- 10) 伊藤他，多目的大型風洞について，所報No. 51, 1995