

連立する建物まわりの流れと作用風力

谷池 義人・奥田 泰雄・岩谷 敏弘

FLOWS AND WIND FORCES ON THE INTERFERENCE EFFECTS BETWEEN TWIN TALL BUILDINGS

By *Yoshihito TANIKE, Yasuo OKUDA*
and *Toshihiro IWATANI*

Synopsis

In order to investigate the mechanism of the interference effects of twin tall buildings with square sections in a low turbulent boundary layer, the flow visualization around them and the measurements of the mean and fluctuating wind forces acting on the downstream building were carried out.

The mean wind force acting on the downstream building was found to be decreased compared to that of the isolated building because the mean velocity of the approaching flow was reduced due to the shielding effects from the upstream building. On the other hand, the fluctuating force on the downstream building showed more than twice as large as that of the isolated building in case that i) the vortices produced by the upstream building and the flow surrounding them control the flow between the two buildings (named the 'switching effect') or ii) a pair vortices produced by both buildings are synchronously and periodically shed in the contracted flow region between the two buildings.

1. ま え が き

近年、市街地再開発や土地の高度利用計画等により、高層ビル群を大都市の一角や埋立て地等の開けた地域に建設する傾向が強くなっている。高層建物が連立して建つと、建物間を流れる風が複雑に変形し、各々の建物に作用する風力及びそれによる振動応答が、単独建物の場合に比べて大きく変化することもあり、この種の研究の重要性が認識されつつある。2棟連立する直方体建物の風による振動応答に関する研究は、Melbourne¹⁾、Saunders²⁾、Bailey³⁾、著者⁴⁻⁷⁾等により行われ、相互作用による振動応答の定量的評価が得られた。このうち著者等は、文献4～6において、風上建物と風下建物のスケール比の相互作用に及ぼす影響を明らかにし、さらに文献7において、接近流である境界層流の性状の変化が相互作用にどのような影響を与えるかを調べた。この結果、風上建物によって生じる剥離渦とそのまわりの流れが、2棟のスケール比とその配置及び接近流の乱れ強さによりどのような変形を受けるかが、この相互作用の重要な要因になりうることを、風下建物の振動変位の大きさとそのスペクトルを調べることにより明らかにした。

一方、2棟連立した直方体建物をモデル化した静止角柱に作用する風力に関する研究は、Reinhold⁸⁾、Blessmann⁹⁾、著者^{4,5)}、坂本^{10,11)}等により行われている。中でも坂本等^{10,11)}は、風上及び風下角柱に作用する変動抗・揚力を測定し、相互作用による風力の定量的評価を行う一方、各角柱の側面に加わる変動圧を測定し、両角柱からの剥離渦の発生機構と相互作用との関係を調べている。著者等も上述の振動応答の研

究⁴⁻⁷⁾において、風上角柱からの剥離渦の2棟間における変形と風下角柱の剥離渦との関連性から、相互作用による振動応答の増減について論議している。

本報では、これらの現象をさらに明らかにする目的で、連立する2棟の静止角柱（正方形断面をもつ）を例にとり、両角柱から発生する剥離渦とそのまわりの3次元流れをドライアイスのミストを用いて乱れの小さい境界層流中で可視化し、2棟まわりの流れの性状を定性的に把握するとともに、さらに風下角柱に作用する平均及び変動抗・揚力を測定して定量的評価も行う。両者の結果をもとに相互作用による2棟まわりの流れの変形と作用風力との関係を論議する。

2. 実験方法

2棟の連立角柱まわりの流れの可視化と風下角柱に作用する風力を求める風洞実験は、いずれも京都大学防災研究所の境界層風洞を用いて行った。測定部は、幅2.5m、高さ2m、長さ21mである。風下角柱の風力測定時の概略をFig. 1に示す。接近流のプロフィールと乱れ強さの鉛直分布は、文献4に示すとおりであり、海岸付近や埋立て地等の開けた地域を対象にしている。実験時の風速 V は角柱頂部の位置で $V=8.1\text{ m/s}$ とした。角柱幅を代表長さにとったときの Reynolds 数は、 $Re=3.9\times 10^4$ とした。使用した模型は、高層建物の代表的形状である正方形断面角柱とし、風上、風下ともに同じ大きさをもつもの（幅 $B=7\times 7\text{ cm}$ 、高さ $H=31.5\text{ cm}$ ）とした。なお、角柱のアスペクト比（高さ/幅）は、日本の超高層ビルの平均的なアスペクト比に近い $H/B=4.5$ とした

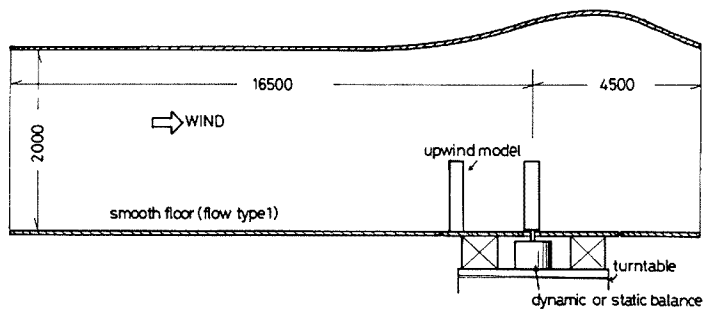


Fig. 1. Mean and fluctuating wind force measurements acting on the downstream model.

風下角柱に作用する平均及び変動抗・揚力は、建物用6分力天秤（LMC-6153）を用いて測定した。風下角柱はバルサ材を用いてできるだけ軽く作ったが、これを天秤に取り付けたときの固有振動数 \bar{f}_0 は、抗・揚力方向ともに $\bar{f}_0=38.0\text{ Hz}$ となった。そのため、抗・揚力の変動成分の検出の際には、30 Hz のローパスフィルターを通した後、波形解析装置（DATA 6000）を用いて、15 s のデータを5 ms の読み取り間隔で解析した。風下角柱の中心を原点にとり、風向方向を X/B 、風向直角方向を Y/B とする座標上の様々な位置に風上角柱を配置し、両角柱ともに風が角柱の一面に直角にあたるようにした。

次に、連立角柱まわりの流れは、Photo. 1に示すようにドライアイスのミストを用いて可視化して調べた。風洞の床を2重床にし、上層床と下層床との間に拡散部を設け、さらに上層の床にはスリット状の穴をあけ、その上に縮流のための平板状の覆いを斜めにかぶせて、噴出するドライ



Photo. 1. Flow visualization around twin building models.

アイスのミストをできるだけ乱れの小さいなめらかなものにした。噴出口から風上角柱までの距離は約 2 m とした。

ドライアイスのミストは、ミストの発生源（風洞外）と噴出口（風洞内）とをダクトでつなぎ、その位置の違いによる圧力差で噴出させた。ミストの量や噴出する際の乱れの大きさにより可視化の精度が決まるので、ドライアイスの量とそれを浸す水の温度及び噴出口の形状を試行錯誤的に調節した。風速の測定は、ミスト中で超音波風速計を用いて検定した熱線風速計により行った。使用した角柱は、風力測定時と同じものを用い、実験時の風速は $V=0.5\text{ m/s}$ とした。このときの Reynolds 数は $Re=2.4\times 10^3$ であり、風力測定時より 1桁小さい。また、接近流である境界層の性状も多少異なるが、ここでは角柱まわりの流れに及ぼすそれらの影響は小さいものと見做して無視した。撮影は風洞の天井面と側面（背面も含む）から行い、それぞれビデオ（1コマ1/30秒）とカメラ（1/2秒間隔で連続撮影）を用いた。

3. 実験結果と考察

3.1 平均抗・揚力

風上角柱の存在により風下角柱に作用する平均風力がどのように変化するかを **Figs. 2, 3** に示す。各図の等高線は、無次元化した 2 棟間の位置 (X/B , Y/B) に風上角柱が存在するときの風下角柱の応答値を示す。**Fig. 2** は、単独角柱に対する風下角柱の平均抗力の増減率 (B. F. と記す) を表わす (文献 4 参照)。なお、単独角柱の平均抗力係数 $C_d (= F_d / \frac{1}{2} \rho V^2 BH)$ 、ここで F_d は角柱に作用する平均抗力で流れ方向を正にとる、 ρ は空気密度、 V は角柱頂部の位置での風速) は $C_d=1.37$ であった。(文献 4, 5 の $C_d=0.94$ は誤り。この値は文献 7 の乱れの大きい境界層流中での C_d である)。**Fig. 3** は、風下角柱の平均揚力係数 $C_L (= F_L / \frac{1}{2} \rho V^2 BH)$ 、ここで F_L は風下角柱に作用する平均揚力で、風上角柱から離れる方向、すなわち図中の下向き方向を正にとる) を表わす。

風下角柱の平均抗力は、広い範囲にわたって風上角柱の影響を受け、その値は単独角柱より小さくなる。これは前⁴⁾にも述べたように、風上角柱の遮風効果により風下角柱にあたる平均風速が弱くなるためである。また、2 棟が流れに対しほぼ直列に並びその間隔が短くなると、負の抗力が作用する。これは風上角柱からの時間平均的な剝離流が風下角柱の側面に再付着するため、風下角柱背面の負圧が 2 棟間の平均負圧より小さくなるからであろう。このときの 2 棟間の瞬時的な流れの一例を次節の **Photo. 3** に示す。これは流れの方向が右から左であり、風上角柱が (X/B , Y/B) = (2, 0) の位置にあるときのものである。

風下角柱の平均揚力係数 C_L の等高線は、風上角柱の配置場所により複雑に変化するが、その性状は坂本等¹¹⁾の実験結果とよく似ている。但し、2 棟間の中心線からわずかに離れたところで坂本等の指摘した負

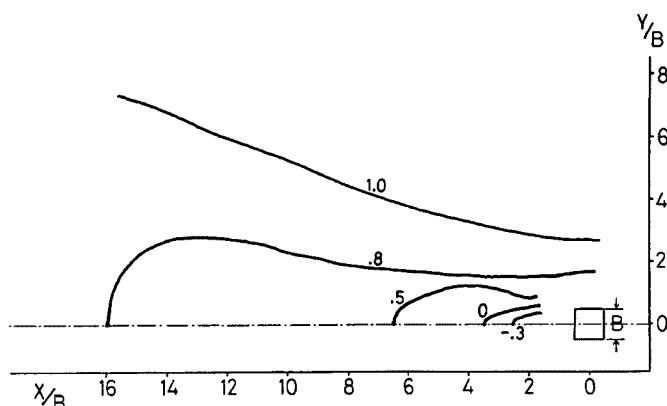


Fig. 2. Buffeting factor (response magnification) contours for mean drag of the downstream building.

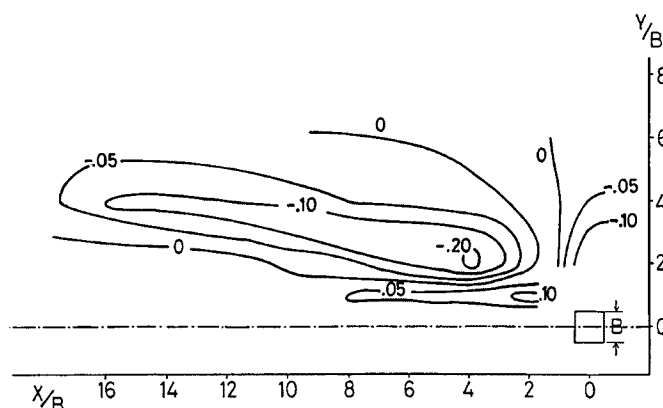


Fig. 3. Contours of mean lift coefficient of the downstream building.

の揚力係数は現われなかった。これは本実験の風上角柱の配置間隔をこの付近で多少荒くとりすぎたためかもしれない。 $Y/B=1$ 付近で $C_L>0$ となるのは、風上角柱からの時間平均的な剥離流の一方が、風下角柱の前面にあたり、その外側（風上角柱から遠い側面）の角で加速されながら再剥離するが（坂本等¹¹も指摘）、内側の面では風上角柱からのもう一方の剥離流の後流（wake）に入るために、全体の揚力としては外側に向く（図中の下方）からであろう。このときの流れの一例を **Photo. 10** に示す。

さらに Y/B が大きくなった $1.5 \leq Y/B \leq 4$ の領域あるいは 2 棟を流れに対して並列に置いた $2 \leq Y/B \leq 4$ の領域では、 $C_L < 0$ になる。これは次節の **Photos. 8, 11, 4, 5** に示すように、流れが両角柱間で絞られるために風速が高くなることと、風下角柱（or 並列角柱）の内側における時間平均的な剥離流が外側の剥離流に比べてより側面に近づくこととにより、内側の面の負圧がより高くなり、全体の揚力が内向きになるためである。なお、**Fig. 2** に示したように、並列角柱の場合（ $Y/B \leq 2.5$ ）に作用抗力が単独角柱よりも小さくなるのは、並列角柱の背後に生じる渦（次節の **Photo. 4** 参照）が関係する。

3.2 変動抗・揚力と流れの可視化

Figs. 4, 5 は単独角柱に対する風下角柱の変動抗・揚力の標準偏差の増減率（B.F.）の等高線を表わす。このときの単独角柱の変動抗・揚力係数 C_{Dv} , C_{Lv} ($= f_{Dv rms}, f_{Lv rms} / \frac{1}{2} \rho V^2 BH$, ここで $f_{Dv rms}, f_{Lv rms}$ はそれぞれ変動抗・揚力の標準偏差を示す) は、 $C_{Dv} = 0.09$, $C_{Lv} = 0.25$ であった。図中の $S(f)$ は、風上角柱が各位置に存在するときに風下角柱に加わる変動抗・揚力のスペクトルを表わし、Isolated とあるのは単独角柱のそれらである。変動風力のスペクトルを求める際には、天秤に取り付けた角柱の固有振動数 ($\bar{f}_0 = 38.0$ Hz) 成分をフィルターで取り除いていない生のデータを FFT 法で 5 回平均して求めた。横軸上の f_s は単独角柱の Strouhal 数成分の渦発生数を、 f_u は両角柱の相互作用で風下角柱に影響を及ぼす渦の卓越発生数を表わす。

単独角柱まわりの流れを含め、**Figs. 4, 5** の B.F. の等高線に対応した 2 棟間の流れを **Photos. 2~13** に示す。これらはいずれも角柱まわりの流れを上方から真下に見おろしたときのものであり、流れの方向は右から左である。また、**Photos. 14, 15** には、斜めの上方から見た角柱まわりの流れ（但し、流れの方向は左から右）を示す。

a) 変動抗力

風下角柱に作用する変動抗力の応答倍率（B.F.）は、広範囲にわたって 1 を越え、**Fig. 2** に示した平均抗力の B.F. と逆の傾向を示す。本実験の境界層流の乱れ強さ I_v は、高さ $\frac{H}{2}$ の位置で $I_v = 3\%$ と小さい（文献 4）ため、単独角柱の変動抗力は、主として Strouhal 数成分の渦放出（**Photo. 2**）に伴う風向方向の変動力によって形成される。このため変動抗力係数は $C_{Dv} = 0.09$ と小さくなる。これに対し、風上に角柱が存在すると、それによって生じる渦により風下角柱に向う接近流が乱され、その乱れの大きくなった流れ

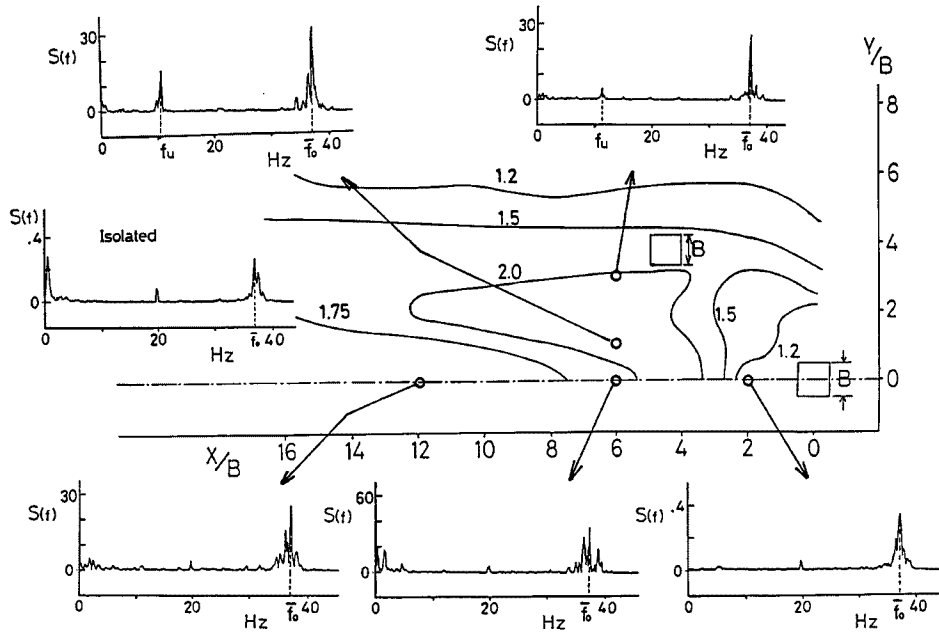


Fig. 4. Buffeting factor contours for fluctuating drag of the downstream building and their spectra.

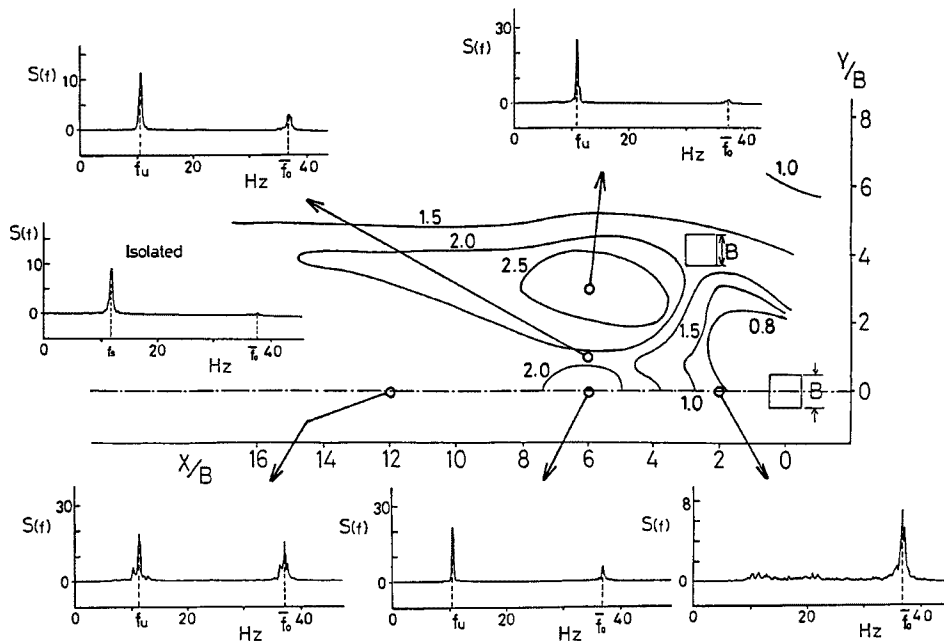


Fig. 5. Buffeting factor contours for fluctuating lift of the downstream building and their spectra.

が変動風力として風下角柱に作用するために、変動抗力が大きくなるのであろう (Photos. 6, 10, 12)。すなわち、この原因は風上角柱の遮風作用によって接近流の平均風速は低くなっても、その変動成分が大きくなることに関係するのである。

なお、**Photos. 8, 11**を見ると、風上角柱の風下角柱に及ぼす乱れの影響は小さくなるが、この位置での変動抗力の B. F. は 2 前後と大きくなる。これは流れが 2 棟間で縮流されることにより、風下角柱の内側の面に生じる渦が強くなる（渦度が大きくなる）ことに関係し、後述の変動揚力の B. F. にも影響する。このことは、**Fig. 4** に示す $(X/B, Y/B) = (6, 1)$ or $(6, 3)$ の位置における変動抗力のスペクトルピークに、一方の側面での渦放出数である f_u ($2f_u$ ではない) 成分が現われることから確認できる。一方、風上角柱により乱れが増大する場合には、 $(6, 0)$ or $(12, 0)$ の位置におけるスペクトルに見られるように、単独角柱の場合と同様、両方の側面からの渦放出数である $2f_u$ 成分が存在し、さらに単独角柱に比べるとそれ以外の乱れの成分も増加していることがわかる。

b) 変動揚力

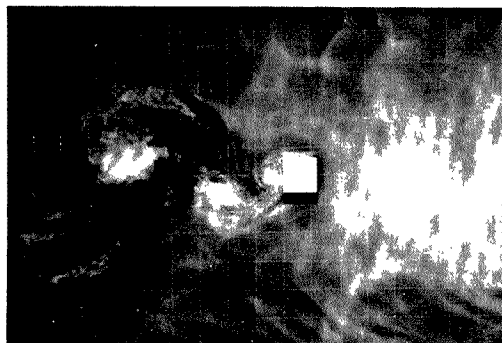
風下角柱に作用する変動揚力の B. F. は、2 棟が互いに接近した $X/B \leq 3$ かつ $Y/B \leq 2.5$ の領域を除くと、変動抗力の B. F. と同様、広い範囲にわたって 1 を越える。2 棟の接近した領域では、**Photos. 3, 4** に示すように、両角柱まわりの流れが互いに干渉し合っ、明瞭な渦が形成されていない。**Photo. 3** の直列配置の場合には、風上角柱の渦形成領域に風下角柱があるため、その渦の形成が損なわれる。また、風上角柱の後流域に風下角柱があるため、接近流の風速が弱まり乱れが増加する。この結果、風下角柱の後流には周期的な渦が形成されなくなる。このことは、**Fig. 5** の $(X/B, Y/B) = (2, 0)$ の位置にある変動揚力のスペクトルからも確認できる。

また、**Photo. 4** の 2 棟が並列に配置されている場合には、2 棟間で流れが強く縮流されて噴流に近い流れとなり、場合によっては内側でほぼ対称的な渦を形成する。この渦は両角柱の外側の側面で形成される渦とは無関係に生じるため、それぞれの角柱に作用する変動揚力は、単独角柱の交互の渦発生 (**Photo. 2**) による変動揚力より小さくなる。なお、このとき前節で述べたように並列角柱に作用する平均抗力も小さくなるが、これは並列角柱背後の渦の形成が 2 棟間の噴流のために不規則になり、かつその渦自体も弱くなることに関係する。

並列間隔がもう少し大きくなると $(X/B, Y/B = 0, 3)$ 、**Photo. 5** に見られるようにそれぞれの角柱に交互の周期的な渦発生が存在する。このときの平均揚力は **Fig. 3** に示すように負、すなわち両角柱が互いに引き寄せられる方向に平均揚力が作用することから、2 棟間の流れは外側の流れに比べて速くなっていることがわかる。従って、2 棟の内側で形成される渦は、単独角柱の渦よりも強くなることが予測され、変動揚力の B. F. が 1 より大きくなるのであろう。

変動揚力の B. F. が 2 以上になるのは、 $4 \leq X/B \leq 8$ の範囲で、2 棟間の中心線付近の $0 \leq Y/B \leq 0.5$ の領域か、或いはもう少し中心線から離れた $1.5 \leq Y/B \leq 4.5$ の領域である。前者の 2 棟が直列に並んだ場合 (**Photos. 6, 7**) には、風上角柱で生じる交互の渦が 2 棟間を流下し、それぞれの渦が風下角柱の前面の両端近くにあたり、各々の角でそれらの渦がさらに同方向に回転を得て、外側の流れによって後方へ押し流される。この過程で風下角柱には周期的な変動揚力が発生するのである。このため、このとき生じる渦は単独角柱の Strouhal 数成分の渦よりも強くなる。これは **Fig. 5** の単独角柱の変動揚力のスペクトルピーク (f_s 成分) と、 $(6, 0)$ の位置に配置された風下角柱の変動揚力のピーク (f_u 成分) との大きさを比較することからも確かめられる。また、このとき変動抗力も **Fig. 4** に示すように、 $4 \leq X/B \leq 5$ の領域においては単独角柱の 2 倍以上になる。

坂本等は、文献10において、このときの現象が風上、風下両角柱からの渦放出が同位相でかつ同期して生じるために起こると結論づけている。しかしながら、**Photos. 6, 7** 或いは側方からの流れの状態を示した **Photo. 14** を見ると、風下角柱まわりの流れは、風上角柱からの渦放出に伴い交互に変形された流れに支配され (locked-in)、風下角柱自体の渦放出は見られない (著者等はこの現象を switching と呼んでいる)。同じ大きさの角柱間では、風上角柱と風下角柱の卓越渦発生数がほぼ一致するため、両角柱からの渦発生が存在するように考えられがちであるが、両角柱のスケールが異なる場合は、上述の現象が明らかになる。著者等が行った別の相互作用に関する実験 (次報で発表予定) で、風上角柱の幅を風下角柱に比べて $1/2.5$ 倍に



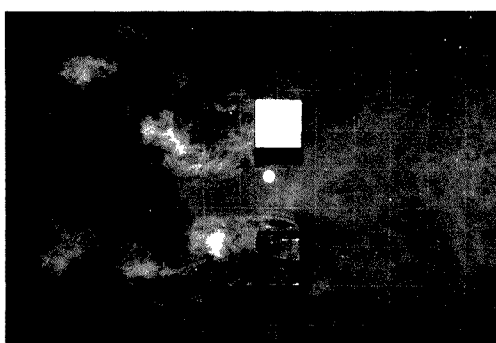
2) Isolated model (flow is from right to left).



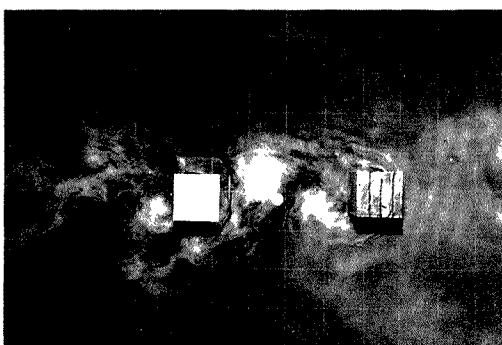
3) $(X/B, Y/B)=(2, 0)$.



4) $(X/B, Y/B)=(0, 2)$.



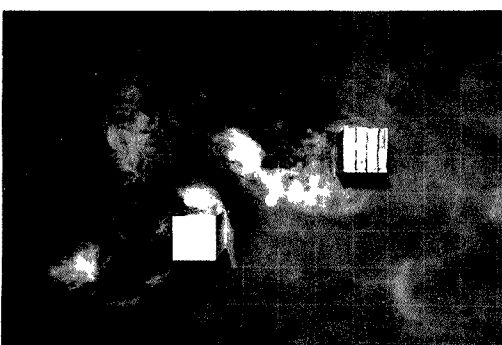
5) $(X/B, Y/B)=(0, 3)$.



6) $(X/B, Y/B)=(4, 0)$.



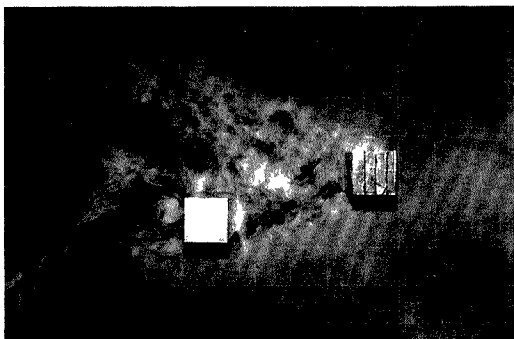
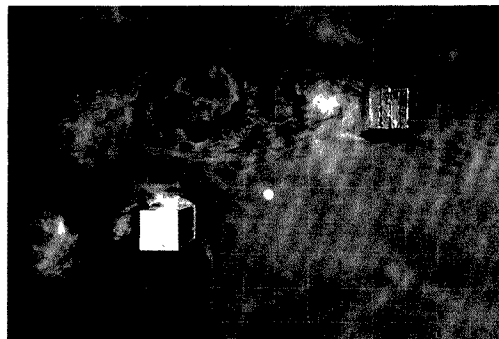
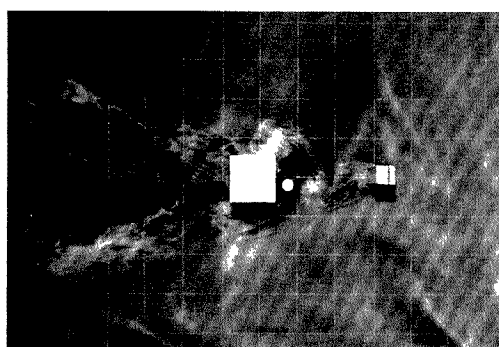
7) $(X/B, Y/B) = (4, 0)$ (same as Photo. 6 with time lag).



8) $(X/B, Y/B)=(4, 2)$.



9) $(X/B, Y/B) = (4, 2)$ (same as Photo. 8 with time lag).

10) $(X/B, Y/B)=(4, 1)$.11) $(X/B, Y/B)=(6, 3)$.12) $(X/B, Y/B)=(12, 0)$.13) $(X/B, Y/B) = (3, 0)$ (flow around two different scale buildings).14) $(X/B, Y/B)=(4, 0)$ (flow is from left to right).15) $(X/B, Y/B)=(4, 2)$.

Photos. 2-15. Flows around the downstream building with and without the interfering upstream building (including the interfering smaller scale building) observed from the upper and side viewpoints.

小さくした場合（両角柱の配置は $(3, 0)$ ），風下角柱の変動揚力のスペクトルには，Fig. 6 に示すように風上角柱からの渦発生数成分しか現われない。このときの2棟間の流れ（Photo. 13）を見ても，風下角柱自体の渦放出は存在しないことがわかる。なお，このときの変動揚力の B.F. は1.8であった。

さらに直列間距離が増加すると，両角柱からそれぞれ独立に周期的な渦の放出が見られる。これは Fig. 12 の $(12, 0)$ の位置にある風下角柱の変動揚力のスペクトルに，周波数のわずかに異なる2つのピークが存在することからもわかる。このうちパワーの小さい成分が，風上角柱からの渦放出によるものであろう。このため，風下角柱には，それ自体の渦放出による変動揚力の他に，風上角柱からの渦放出に伴う変動揚力が

加わり、 $B.F.$ が1より大きくなるのであろう。

次に、後者の両角柱が中心線から離れて配置されている場合 ($4 \leq X/B \leq 8$ かつ $1.5 \leq Y/B \leq 4.5$) には、Photos. 8, 9, 11, 15 に示すように、両角柱からそれぞれ明瞭な渦が放出されている。Fig. 3 の平均揚力係数 C_L が負になることからわかるように、2棟間で流れが縮流され、風下角柱の外側（風上角柱から遠い側面）の流れより速くなる。このため、風下角柱の内側で形成される渦は外側の渦より強くなる。また、Photo. 8 を見ると、風上角柱の内側（流れが縮流を受ける側）で形成される渦が流下し、風下角柱の内側面に近づくと、ちょうど風下角柱の内側面においても逆の渦度をもつ渦が形成されている。逆の渦度をもつ2つの渦は、その周辺の流れ場に影響を及ぼし、2棟間の流れと各渦の流下速度を互いに高める働きをする。さらにビデオにより観察した結果、2つの渦は互いに同期して規則的に放出されている。また、Fig. 5 の (6, 3) の位置にある風下角柱の変動揚力のスペクトルピークを見ても、他のものに比べてパワーが増大し、その周波数もわずかに大きくなっていることがわかる。

これらの結果、この配置での風下角柱に作用する変動揚力は、2棟間の流れの周期的な変動風速成分の増大と、風下角柱の渦に同期した風上角柱からの渦放出とによる作用で、単独角柱よりも2倍以上も大きくなるのであろう。なお、このとき風下角柱の変動抗力も前に述べたように、2棟間の配置によっては単独角柱の2倍以上になる。

4. む す び

乱れの小さい境界層流中において、2棟連立する正方形断面角柱の相互作用の発生機構を調べる目的で、連立角柱のまわりの流れの可視化と風下角柱（並列配置を含む）に作用する平均及び変動風力の測定を行い、次の結果を得た。

- 1) 風下角柱に作用する平均抗力は、風上角柱の遮風作用により接近流の平均風速が低くなるために、2棟間隔の広い範囲にわたって単独角柱の平均抗力よりも小さくなる。これに対し、変動抗力は、風上角柱で生じる渦による乱れの増加或いは2棟間の流れの周期的な変形による変動風速の増加により、単独角柱よりも大きくなる。
- 2) 風下角柱の平均揚力は、2棟間の配置により複雑に変化する。風上角柱からの時間平均的な剥離流が風下角柱の前面にあたり、その外側（風上角柱から遠い側面）の角で加速されながら再剥離するときには、正（互いに離れる方向）の揚力が作用し、2棟間で流れが縮流されるときには、負の揚力が作用することがわかった。
- 3) 2棟の接近した領域における風下角柱の変動揚力は、各角柱まわりの流れが互いに干渉し合って角柱の背後に周期的で明瞭な渦が形成されなくなるために、単独角柱よりも小さくなる。
- 4) 2棟が流れに対し、 $4 \sim 8 B$ （角柱幅）離れて直列に並んだとき、風下角柱の変動揚力は単独角柱の2倍以上になる。これは風上角柱で生じた周期的な渦が、風下角柱の前面にあたり、その角でさらに同方向に回転を得て流下するために、より強い変動揚力が風下角柱に作用するのであろう。また、このとき風下角柱自体の渦発生はなく、そのまわりの流れは風上角柱からの渦発生に伴って交互に変形された流れ（switching と呼ぶ）に支配されることがわかった。
- 5) 2棟が上述の直列配置から $1.5 \sim 4.5 B$ 風向直角方向に離れた場合にも、変動揚力の応答倍率が2以上

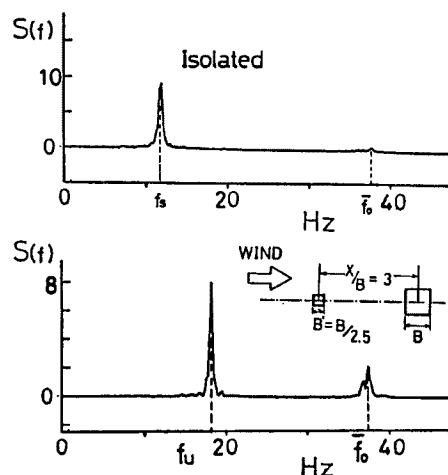


Fig. 6. Lift force spectra of the downstream building with and without the smaller scale interfering building at the position of $(X/B, Y/B) = (3, 0)$.

になる。これは、2棟間で縮流された流れに、両角柱の内側の面（向い合う側面）から互いに逆の渦度をもつ2つの渦が同期して規則的に放出されることに関係する。なお、このときの変動抗力も単独角柱に比べて約2倍になる。

本研究を進めるにあたり、京都大学名誉教授石崎潑雄先生並びに同教授桂順治先生には適切な御助言を頂きました。また、防災研究所羽野淳介技官には実験装置を製作して頂き、同じく杉政和光技官には風洞実験を手伝って頂いた。さらに稲岡秀樹氏（神戸製鋼 K. K.）には実験と解析に協力を得た。これらの御厚意に対し心から感謝致します。

参 考 文 献

- 1) Melbourne, W. H. and D. B. Sharp: Effects of Upwind Buildings on the Response of Tall Buildings, Proc. Regional Conf. Tall Buildings, 1976, pp. 174-191.
- 2) Saunders, J. W. and W. H. Melbourne: Buffeting Effects of Upstream Buildings, Proc. 5th Int. Conf. on Wind Engineering, 1979, pp. 593-606.
- 3) Bailey, P. A. and K. C. S. Kwok: Interference Excitation of Twin Tall Buildings, Jour. Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 21, 1985, pp. 323-338.
- 4) 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，京大防災研年報，第29号B-1，1986，pp. 159-169.
- 5) 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，第9回風工学シンポジウム，1986，pp. 139-144.
- 6) Taniike, Y. and H. Inaoka: Aeroelastic Behavior of Tall Buildings in Wakes, Proc. 7th Int. Conf. on Wind Engineering, Preprints Vol. 2, 1987, pp. 209-219.
- 7) 谷池義人：後流中における高層建物の動的挙動（その2），京大防災研年報，第30号B-1，1987，pp. 213-223.
- 8) Reinhold, T. A., H. W. Tieleman and F. J. Naher: Interaction of Square Prisms in Two Flow Fields, Jour. Industrial Aerodynamics, Vol. 2, 1977, pp. 223-241.
- 9) Blessmann, J. and J. D. Riera: Wind Excitation of Neighbouring Tall Buildings, Jour. Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 18, 1985, pp. 91-103.
- 10) 坂本弘志・羽二生博之：乱流境界層の中に直立する2角柱に作用する変動流体力（直列に配列された場合），日本機械学会論文集（B編），51巻472号，1985，pp. 4146-4154.
- 11) 坂本弘志・羽二生博之・小林圭史：乱流境界層の中に直立する2角柱に作用する変動流体力（食違い配列された下流側角柱），日本機械学会論文集（B編），53巻495号，1987，pp. 3152-3157.