

東京大学 正員 宮田利雄

東京大学 正員 小栗英和

東京大学 正員 沼田敏樹

吊橋の耐風設計において、自然風のガストによる応答を適切に評価することが不可欠となっている。ここでは風洞実験により、大縮尺吊橋模型のガスト応答の観測、及び変動空気力の検出を行ない、あわせて、統計的手法による理論的な検討を行ない、結果を報告するものである。

### ガスト応答観測結果

実験に供した模型は、前回のものと同一である。<sup>1)</sup> 変動風の発生は、更に格子 B を加え、前回のものと、二種類とし、一様流の場合と比較している。格子 B の乱流の、模型位置における乱れの強さは、平均流方向 9.0%、鉛直方向 6.0% であった。図 1 に、格子 B 乱流のパワースペクトルの一例を示す。後述の数値解析のための、変動風の特徴として、今回は新たに、乱れの空間相関係数を測定した。その測定結果、指数関数表とした場合の指数： $n$  の計算の一例を図 2 に示す。吊橋模型の振動は、平均流方向横曲げ振動と鉛直曲げ振動を対象とし、スパン中央において観測した。図 3 は、横曲げ振動の各風速における平均値と、平均値回りの標準偏差の測定結果である。平均応答値は、三種風の流れとも、ほぼ同様であり、一様流を対象として計算した横曲げ変位(図中点線)とほぼ一致している。一方、標準偏差は、格子 A 乱流が最も大きく、格子 B、一様流の順に小さくなっている。鉛直曲げ振動について図 4 に示す。振動の大きさは、横曲げ振動と同様に、乱れの強度が大きくなる程、大きくなっている。しかも格子乱流において、振動の RMS 値は、風速のほぼ二乗に比例して大きくなっていることがわかる。尚、評価時間として、30 秒をとったが、これは、実時間 10 分に相当する。

### ガスト応答の数値解析

ガスト応答の数値解析は、Davenport によって示された統計的手法をもとにした。この理論中の諸量の内、次のものを、別個は実験によって測定し、理論解析に適用した。①風速変動成分のパワースペクトルの実験式、②空間相関係数の指数  $n$  の測定値、③自由振動実験による空力減衰の実験式、④抗力係数、⑤揚力、迎角に対する変化率、等である。図 5 は横曲げ振動の標準偏差の解析結果を図 4 は、鉛直曲げ振動のそれと、それぞれ、実験結果と対比して示している。横曲げ振動については、実験値を若干上回り、鉛直曲げ振動については、三分の程度であった。尚、計算結果が範囲をまわっているのは、指数  $n$  がばらばらなっているからで、その効果を見るためのものである。

### 変動気流中の定常及び、非定常、空気力

上述のガスト応答の起因となる変動気流中の空気力を、同断面のトラス部分模型を作成して、測定した。定常空気力の測定結果は表に示す。平均抗力係数は、一様流、乱流とも余り変化のないのに対して、変動抗力(変動揚力も同様)は、乱流中の方が、一様流中よりも、大きくなっている。尚、変動空気力は、振動成分の平均値回りの二乗平均をとった。

一方、模型が、鉛直曲げ振動時に受ける、非定常揚力の測定は、強制振動法によった。非定常揚力は式で近似される。
$$L(t) = \frac{1}{2} \rho U^2 D l (C_{1R} + i C_{1I}) e^{i\omega t}$$
  $\rho$ : 空気密度,  $U$ : 平均風速,  $D$ : Deck 長,  $l$ : 模型長,  $C_{1R}, C_{1I}$ : 空気力係数実数成分, 虚数成分。トラス断面の場合、虚数成分  $C_{1I}$  は、常に正で、振動

| ケース   | 乱れの強度% | 抗力係数 |       |
|-------|--------|------|-------|
|       |        | 平均抗力 | 変動抗力  |
| 乱流 I  | 11.5   | 0.47 | 0.025 |
| 乱流 II | 9.5    | 0.47 | 0.020 |
| 一様流   | 0.8    | 0.48 | 0.016 |

が定数することなく、安定な断面であることを示した。しかし、乱流中で測定されたものは絶対値は、一様流中のそれに比較して、小さくなくてはなり、これは、空力減衰を含めた系全体の減衰が小さく、より大きい応答を示すことを意味し、興味深い。更に検討すべき問題点と考えられる。

# 空力アドミッタンス

変動風速と、これにより発生する変動空力、それぞれのパワースペクトルと結びつけるファクターとしての空力アドミッタンスは、直接両者のクロススペクトルをとることにより求めた。一方これは、変動風速の空間相関係数を用いた表現が可能であり、実験値との比較を行なった。図5に、抗力の空力アドミッタンスを示す。実験値は、計算値よりかなり小さく、一方、揚力のアドミッタンスは、比較的近い傾向を示した。(図6)

1)変動風速による吊橋模型の不規則振動応答 I-200, 伊藤, 宮田, 島崎, 第28回秋講演会概要集, 第一部

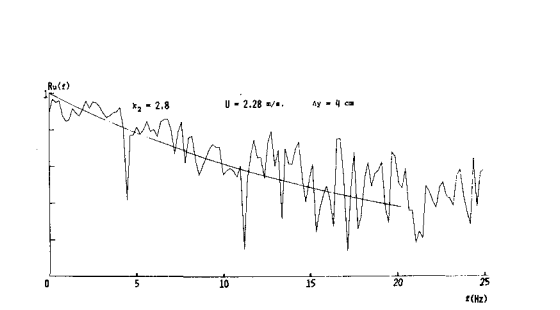


Fig.2 Coherencyの指数:  $\gamma_0$

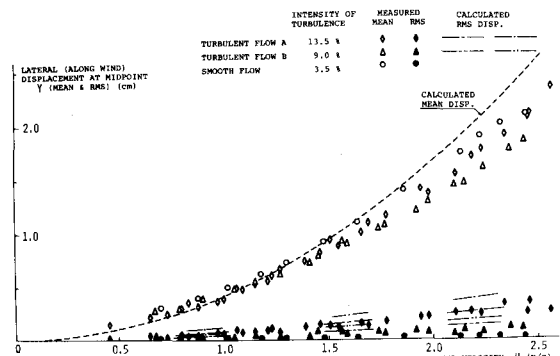


Fig.3 COMPARISON OF GUST RESPONSES OF LATERAL OSCILLATION AND DISPLACEMENT

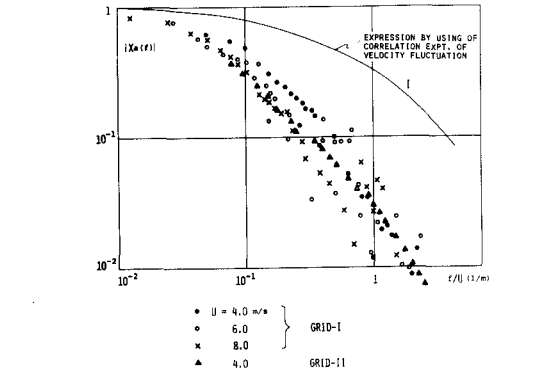


Fig.5 AERODYNAMIC ADMITTANCE OF DRAG FORCE ON TRUSS SECTION IN TURBULENT FLOWS

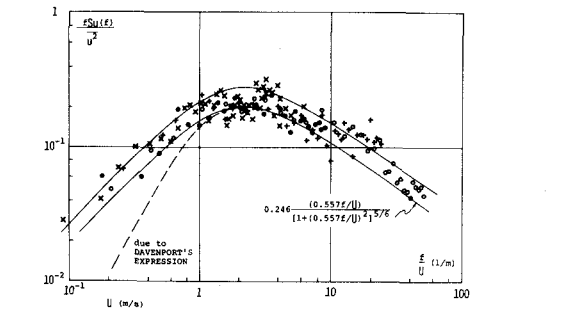


Fig.1 POWER SPECTRUM OF ALONG-WIND COMP. OF TURBULENCE IN CASE-B

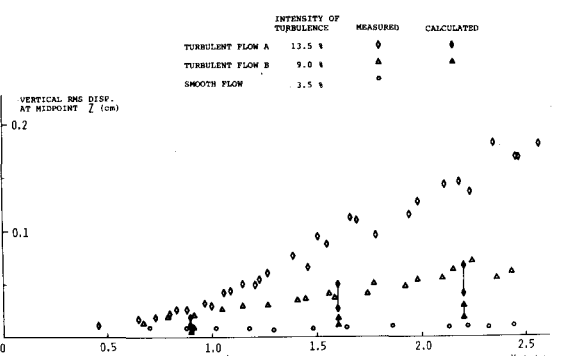


Fig.4 COMPARISON OF GUST RESPONSES OF VERTICAL OSCILLATION

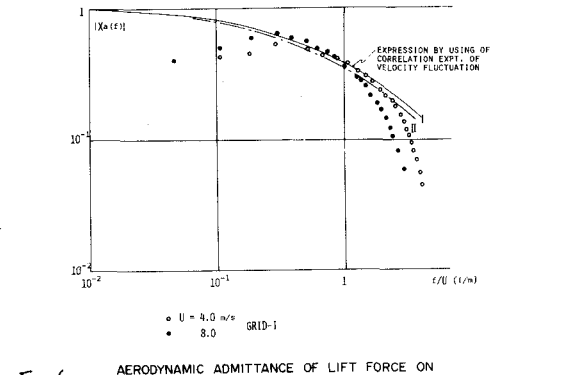


Fig.6 AERODYNAMIC ADMITTANCE OF LIFT FORCE ON TRUSS SECTION IN TURBULENT FLOWS