I-247 部材配置を考慮した長大吊橋の乱流中での耐風特性について

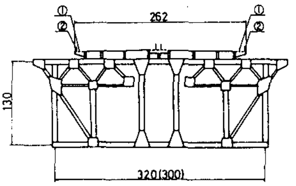
九州工業大学 工学部 正員 加藤 九州男
正員 久保 喜延
学生員 森川 謙一

1. まえがき

筆者等は、吊橋のトラス補剛桁における耐風制振対策を構造部材の配置という観点から検討を行なってきている。これまでの研究の結果は一様流中のものであり、乱流中で同様な結果が得られるか否かはまだ明らかではない。そこで、本研究では、格子乱流中での主構間隔および主構と床版との相対的位置関係がフラッター特性にどのような影響があるかについて、実験的に検討を行なったものである。

2. 実験概要

実験はFig.1のT-TypeのModelを使用し、主構間隔W=30,32cm、床版高さh=0, 2, 4, 6, 8, 10 mmに変化させ、迎角α=2°, 4°, 6°のとき、捩れ1自由度振動法により行ない、特に、限界風速V_{cr}に着目して実験結果を整理している。なお、ここで定義している限界風速とは、捩れ倍振幅2ϕ=1°の振動が発生する風速のことである。格子乱流は、模型の位置より上流側200cmの風路内に設置した格子(Fig.2)より発生させた。この場合の乱流は、主流方向の乱れの強さI_u=9.3~9.9%、および乱れのスケールL_x^u=17.3~18.8cmであり、自然風の慣性小領域におけるスペクトルの傾きは$-\frac{5}{3}$乗則に従うと言われているが、本実験でのスペクトルの例では10Hz~100Hzの間の傾きは、およそ$-\frac{5}{3}$乗であった。乱流の測定は模型の中心より上流側25cmに取り付けた熱線流速計を用いて測定した。データ処理にはマイコンを用いた。構造物の振動の現象はFig.3に示すように一定でないために、データの取り込み時間を増すために5回データを取り込み、FFT法で計算して、周波数ごとに平均化した。この時の取り込み間隔Δt = 2.5msec、データ数N=1024個、平滑化を10回とした。最大周波数$1/2\Delta t$、最小周波数$1/N\Delta t$より、0.4Hz~200Hzのパワースペクトルを求めた。



T - type
Fig.1 Cross Section of Model

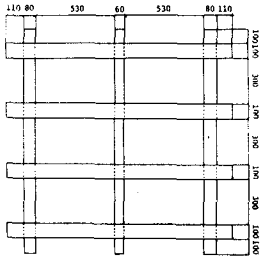


Fig.2 Grid for Turbulence

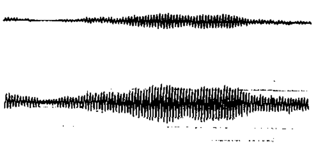


Fig.3 Figure of Response

3. 実験結果と考察

Figs.4~5はT-Typeの床版高さh=0mmについて、迎角4°と6°のときの主構間隔を変化させた場合の風速と応答との関係を示した図である。乱流中の応答は迎角α=4°のときT-32-D_0, T-30-D_0の両断面ともほぼ同様の傾向を示している。迎角6°のときも、風速1~9m/secではα=4°と同様な傾向が見られる。風速をV=10m/s以上の風速域では主構間隔の違いが顕著に現われている。一様流中での応答はT-30-D_0とT-32-D_0とを比較すれば、T-30-D_0の断面の方が限界風速が1~2m/s程度小さく、T-30-D_0の方が優れた断面となっている。一様流中と乱流中との応答を比較すれば、

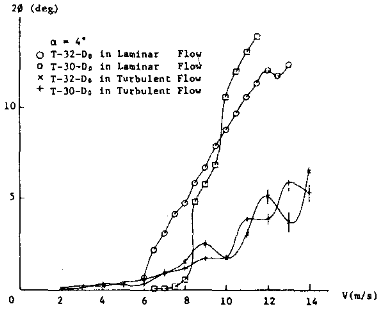


Fig.4 Aerodynamic Responses

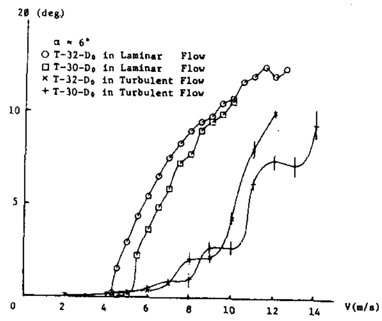


Fig.5 Aerodynamic Responses

T-30-D_0 とT-32-D_0の両ケースともに風速8m/sでは一様流中の応答が乱流中の応答の3倍程度の振幅を持ち、風速に対する増加勾配も大きい．また、一様流中に比べて、乱流中の応答は，振れフラッターが発生する限界風速V_{cr}が高風速側に移動している．すなわち、気流の乱れがフラッターの発生を抑制する効果を持っているとも言える．Fig.6 は迎角$\alpha=6°$のときの，T-32-D_6における応答を示した図である．一様流中では，風速$V=10$m/sの近傍で不安定なリミットサイクルの発現が認められる．しかし，乱流中ではこのような現象はみられないうえに、この現象が発生する風速より低い風速では、一様流中の応答より乱流中の応答が大きくなっており、気流の乱れは，フラッターの発生を抑制すると同時に、風速の上昇に対する応答を緩慢にする効果があるともいえる．Fig.7 は、迎角αの変化による限界風速と床版高さとの関係を示した図である．一様流中のT-32-D_Aについて見ると、T-32-D_0のような床版高が小さい場合には、その限界風速V_{cr}は迎角αの増加に対して単調に減少している．それに対して、床版高の大きいT-32-D_6, D_8, D_{10}などは、単調に減少しない．乱流中のT-32-D_Aは、一様流中とほぼ同じ傾向を有している．このことは、乱流中でも床版高の変化による最適部材配置が存在する事を示している．乱流中では、応答が不規則になり易く、応答を正確に把握しにくい．そのため，上述の方法とは別に、応答と風速変動との間を関係づける空力応答関数を用いて、空力的に安定な断面を求めるのは有効な手段と考えられる．空力応答関数は次式で表わされる。

$$A(f)^2 H(f)^2 = S_x / S_u \qquad A(f)\cdot H(f):\text{空力応答関数}$$

S_x, S_u は応答，および風のパワースペクトルである。ここでは模型の系の固有振動数に着目し、この周波数での$A(f)H(f)$と$f\cdot d/U$の関係について整理したものが，Figs.8,9である．Fig.8 はT-32-D_Aの迎角$\alpha=6°$のときの床版高の変化による$A(f)\cdot H(f)$と$f\cdot d/U$の関係を示している．換算振動数$f\cdot d/U=0.1\sim0.2$の領域での$A(f)\cdot H(f)$は、D_0以外の断面ではほぼ近い値を示しており、$f\cdot d/U=0.07$になると全てのケースの値が2〜3倍となっている．Fig.8 の迎角4°のときは、全てのケースで、換算振動数の減少に対して$A(f)\cdot H(f)$が増加しており，床版高の違いによる差も大きくなる。迎角$\alpha=4°$と$6°$を比較すると$f\cdot d/U=0.1\sim0.2$では$A(f)\cdot H(f)$の差が小さく，$f\cdot d/U=0.07$になると，$\alpha=6°$の$A(f)\cdot H(f)$が大きくなる。D_2, D_6のように、$A(f)\cdot H(f)$にあまり変化がないケースもある．これらの結果より、空力的に安定な断面は，D_6, D_2, D_{10}, D_8, D_4, D_0の順となり、これらの傾向は応答からの結果と一致している．

4. あとがき

簡単にまとめると以下のようになる．

① 乱流中においても、床版高さや主構間隔を選択することにより、最適な部材配置が存在し、それは、一様流中とほぼ一致する．

② 気流の乱れは、フラッターを抑制する効果を持ち、風速上昇に対して、応答を緩慢にする傾向がある．

参考文献 1) 加藤，久保，桜井，邑本：第36回講演概要集 1981
2) 金橋，山田，伊藤：第36回講演概要集 1981

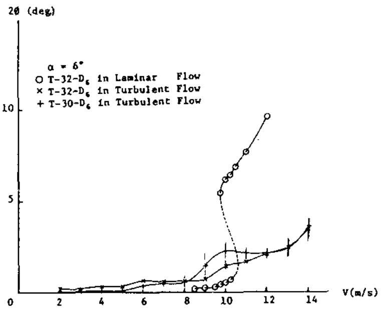


Fig.6 Aerodynamic Responses

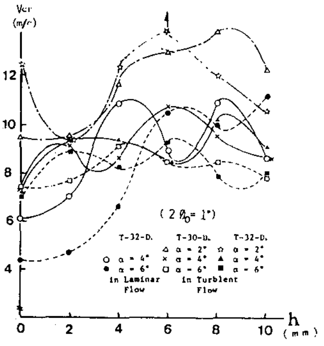


Fig.7 Critical Wind Velocity - Height of Deck Plate

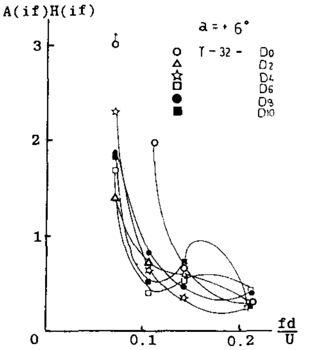


Fig.8 Aerodynamic Admittance - Reduced Flequency

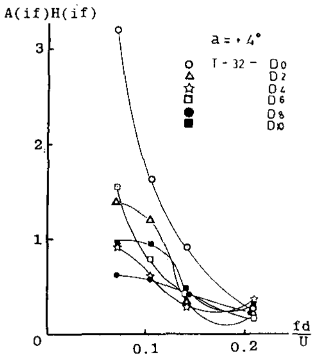


Fig.9 Aerodynamic Admittance - Reduced Flequency