

川崎重工業(株) 正員 松田一俊

川崎重工業(株) 正員 佐岡暖也

川崎重工業(株) 正員 酒井洋典

1. まえがき 周知のように架設時の吊橋主塔は風による振動が問題となってくる。しかも吊橋主塔のような塔状構造物は自然風の特性である鉛直方向の風速分布および乱れの影響を受けるため、橋桁の場合と比較して、とくに風速鉛直分布の影響を考慮して自然風に即した検討が必要と思われる。ところが、従来これらの問題に関して一様流中における実験は数多く実施されているが、自然風を模した乱流中における実験例は、いまだ少ないように見受けられる。ここでは、北備讃瀬戸大橋主塔架設時の耐風安定性を調べるために実施した風洞実験のうち乱流中の実験結果について報告する。

2. 実験概要 風洞は川崎重工業(株)の構造物用風洞(高さ3m×幅2.5m×長さ20m)を使用した。主塔模型は3次元弾性模型(縮尺1/80)を用い、北備讃瀬戸大橋主塔の全段架設完了時、クレーン・バックレールなしの独立塔の状態を対象とした。主塔模型の実験条件を表1に、各CASEにおける風洞気流の特性を表2にそれぞれ示す。各CASEにおいて主塔模型の実験条件は同一であり、気流特性のみを変化させている。実験では、乱れの強さ、乱れのスケールおよび風速鉛直分布を変化させた各種の乱流を用いて、これらの気流特性が、吊橋主塔の耐風安定性に及ぼす効果を検討した。

3. 実験結果 図1および図2は乱流中における実験結果の一部を一様流中の結果¹⁾と比較したものである。横軸は塔頂部における実橋平均風速(以下これを風速と称す。)で縦軸は応答振幅(実橋換算値)で表示した。四中、上向矢印は模型の安全を考慮して実験時の限界振幅を曲げでは実橋塔頂倍振幅3.5m程度、ねじれで倍振幅5°程度で測定を打ち切ったことによるものである。無風時対数減衰率を変化させたときの最大応答振幅については後で述べるが、図1および図2では、無風時対数減衰

表1 模型諸元一覧(全段架設完了、クレーン無し)

	実 橋	縮 尺	模 型	所 要 値	幅 差
塔先端高	7.100 m	1/80	0.089 m	0.089 m	0%
一般質量	200.6 t	1/80	381.7 t	382.6 t	+0.2%
一般慣性モーメント	6819 t・m ²	1/80	20.8 t・m ²	20.7 t・m ²	-0.8%
振動数	0.2556 Hz	—	—	2.891 Hz	—
ねじれ振動数	0.5938 Hz	—	—	5.789 Hz	—
振動数比	2.323	1	2.823	2.421	+4.2%
無風時対数減衰率	0.01	1	0.01	0.018	+0.03
有風時対数減衰率	0.01	1	0.01	0.007	-0.008
風速分布	—	—	—	8.552	—
ねじれ振動	—	—	—	8.206	—
空気密度	—	—	—	0.1295 kg/m ³	—

表2 各CASEにおける風洞気流の特性(実橋塔頂風速約42m/sのとき)

乱流発生方法 (概略図)	乱れの強さ (スケール)	乱れのスケール (スケール)	風速鉛直分布 (スケール)
1 一様流	0.2% 以内	—	—
2 格子乱流	5.0% 3.4%	0.31 m 0.47 m	—
3 格子乱流	7.2% 7.9%	0.24 m 0.36 m	—
4 乱流境界層	1.1% (境界層内) 12.9% (境界層外)	0.24 m 0.60 m	1/8
5 乱流境界層	3.7% (境界層内) 12.9% (境界層外)	0.37 m 0.60 m	1/9
6 乱流境界層	4.1% (境界層内) 16.6% (境界層外)	0.43 m 0.89 m	1/7

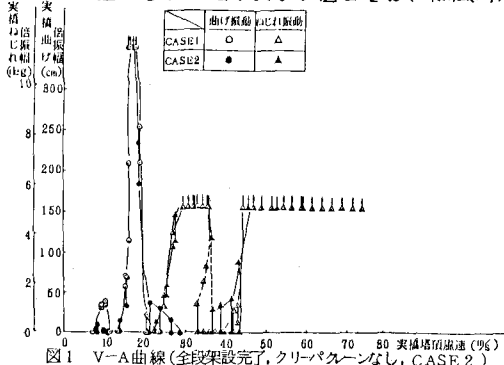


図1 V-A曲線(全段架設完了, クレーンなし, CASE 2)

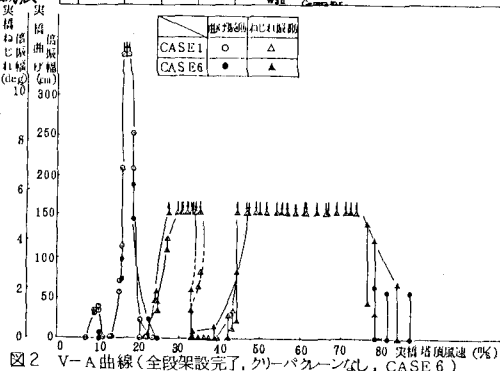


図2 V-A曲線(全段架設完了, クレーンあり, CASE 6)

率が $\delta\gamma = \delta\theta = 0.01$ と小さいため、曲げ・ねじれとも最大応答値を把握できず、気流の違いが応答特性に与える影響は明瞭ではない。しかし、乱流中における全体的な応答特性として一様流中の結果と比較すると以下のことが挙げられる。曲げに関しては、各CASEとも一様流中と同様に風速16~18%付近でピーク値をとるが、この渦励振風速域は広がる傾向になる。さらに一様流中の風速10%付近で発生した曲げ振動(低風速)がほとんど発現しない。また、ねじれの場合も渦励振風速域は一様流中の場合とほぼ一致するが、風速37%付近で最大振幅1°程度の不規則振動が残る。さらに図2(CASE6)では風速70%以上で曲げとねじれが連成した不規則振動となった。いずれにしても本実験の結果によると、互流中の実験の場合、塔頂部における風速で応答を整理すれば一様流中の実験結果と対応づけができると考えられる。次に、気流特性の違いによる最大応答振幅の変化について述べる。図3(曲げ)および図4(ねじれ)において、横軸は最大応答振幅における対数減衰率(無風時減衰)である。まず、乱れの強さの影響については、曲げの場合、乱れの強さが約5%のとき(○印)、一様流中(△印)に比べて最大応答振幅が同じかやや大きくなったが、乱れの強さが約8%になると(◇印)、一様流のときに比べて最大応答振幅が若干減少する。一方、ねじれの場合は乱れの強さが約5%(○印)、約8%(◇印)と大きくなるにつれ最大応答振幅は小さくなる。このように全体的には乱れの強さは曲げ・ねじれの最大応答振幅を低減させる効果があると考えられる。また、風速鉛直分布の影響については、ベキ法則で指数 $\alpha=1/8$ 程度の風速鉛直分布を与えた乱流境界層と、空間的にはほぼ様な乱流特性をもつ格子乱流とで比較を試みた。曲げの場合、乱流境界層中の実験結果(□印, △印, ⊙印)は、格子乱流中の実験結果(○印, ◇印)よりも最大応答振幅は減少し、しかも、前者の3CASEはほぼ同一の曲線上に載った。一方、ねじれの場合、塔頂付近の乱れの強さと乱れのスケールがほぼ同じ値となる○印と△印から風速鉛直分布の影響を比較すると、やはり風速鉛直分布をもつ△印の方が最大応答振幅は小さく○印の約35%減となった。これらのことから、今回の実験においては風速の鉛直分布は最大応答振幅を小さくする効果のあることがわかる。最後に、乱れのスケールの影響については、塔頂付近の乱れの強さと風速鉛直分布がほぼ等しい△印と⊙印とで比較を行う。曲げの場合、乱れのスケールによる最大応答振幅の差はみとめられなかったが、ねじれの場合、乱れのスケールの大きい⊙印の方が△印よりも最大応答振幅は大きくなり、このことは乱れのスケールの差に起因するものと考えられる。

4. あとがき 本研究により吊橋主塔の耐風安定性に及ぼす気流特性として乱れの強さと乱れのスケールだけでなく、高さ方向の風速分布の影響も重要であることが確認された。今後はさらに、気流特性をパラメトリックに変化させて、気流特性が構造物の耐風安定性に及ぼす影響を調査・研究することが望まれる。本研究結果が今後の吊橋主塔の耐風安定性の資料として役立てば幸いである。

最後に、本研究を遂行するにあたり、貴重なご助言を賜った京都大学白石教授ならびに、実験に際し多大のご援助をいただいた本州四国連絡橋公団の関係各位に謝意を表するものである。

(参考文献) 1) 馬場, 成井, 小川; 北備讃瀬戸大橋主塔の耐風安定性について—一様流中の実験—, 土木学会年次学術講演会, I部, 1984

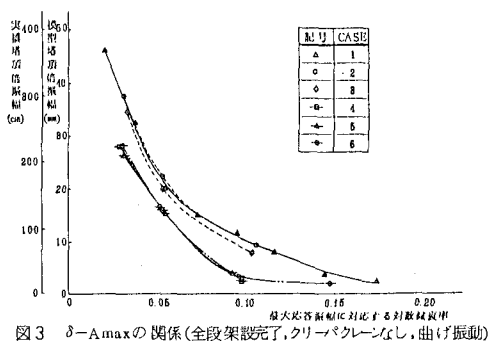


図3 $\delta-A_{max}$ の関係(全段架設完了, クリープクレーンなし, 曲げ振動)

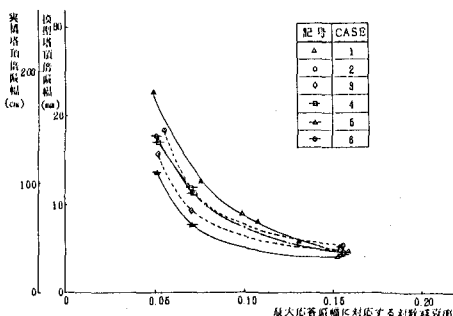


図4 $\delta-A_{max}$ の関係(全段架設完了, クリープクレーンなし, ねじれ振動)