

住友重機械工業 正 員 ○武内 隆文
京都大学工学部 正 員 白石 成人
京都大学工学部 正 員 松本 勝

1. まえがき・・・吊橋主塔は、架設中の独立状態時に風による曲げ渦励振を生じることが従来より知られている。本報告は図1に示す吊橋ラーメン主塔を対象とした風洞実験を実施して、本主塔の動的空力応答特性（曲げ・振れ渦励振，フラッター）を明らかにし、その結果をもとに、今後製作が予想される中央径間1000m級の長大吊橋独立主塔の制振対策について、基礎的な考察を加えることを目的としている。すなわち長大主塔においては、ロープを用いるスライディングブロック等による制振対策が、その装置の設置位置、長いロープによる減衰効果等に問題が残されているため、従来より空力ダンパ等の開発が要求されているが、本報告では、ラーメン主塔の空力制振対策に関して若干の実験的検討を加えるものである。

2. 実験内容・・・風洞は京都大学工学部土木工学教室の吸込式エッフェル型風洞を使用した。実験概要を写真1に示すが、主塔模型寸法条件は本四風洞実験要領を満足させており、地面板を設置し、2台の光学式変位測定器（OP-EYEレンズ付UDT社製）で塔頂の曲げ・振れ振動を測定した。模型は図1に示す、鋼製剛性棒により剛性をもたせた三次元弾性体模型であり、外形材は檜を使用した。図1に示す通り、模型は、独立状態と、図中斜線部を取り去った架設系とがある。実施した実験は表1にその条件を示す通り、大別して4シリーズである。尚クリーパークレーン（以後クリーパーと略す）にはクリーパー用レールは取付けていない。又、模型の無風時対数減衰率は振幅に依存するが、曲げ振動： 0.010 （at $2\eta = 10\text{mm}$ 模型），振れ振動：独立状態に対し、 0.016 （at $2\phi = 0.02\text{rad.}$ ），架設系に対して、 0.030 （同条件）であった。

3. 実験結果と考察・・・以下、各々のシリーズ別に考察を加える。

3-1. 水平偏角の変化が応答特性に及ぼす影響（シリーズ1）・・・図3にクリーパー無の独立状態での応答結果を示す。文献1)と同様の主塔であり、応答特性は、文献1)の応答とほとんど同様の結果を示している。 $0^\circ, 5^\circ$ では曲げ渦励振は2つのピークを、 $10^\circ, 20^\circ, 40^\circ$ では1つのピークが現われているが、水平偏角の増大に伴い、応答値は減少している。一方、振れ渦励振は、主塔の固有振動数の変化により、 $0^\circ, 5^\circ$ において実風換算風

速 40 m/sec で最大
応答倍振幅
 0.05rad.
が現われて
いる。

表1 実験条件

シリーズ	状 態	Crepper Crane	対 策	m ($\text{kg}\cdot\text{s}^2/\text{m}^2$)	f _n (Hz)	f _φ (Hz)
1	独 立	無	—	0.1791	3.075	13.430
2	独 立	有	—	0.2049	2.687	12.790
3	独 立	無	耐風対策	0.1795	3.064	13.380
4	架設系	有・無	—	0.1590	4.165	10.600

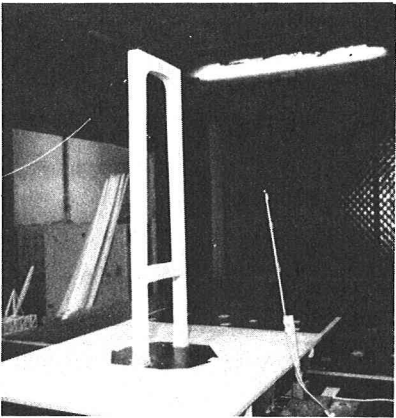


写真1 実験概要

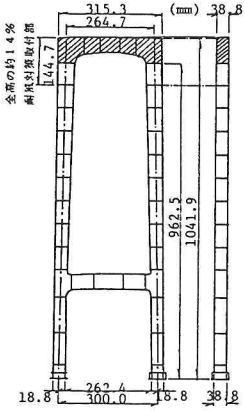


図1 主塔模型・独立状態及架設系（斜線部除去）

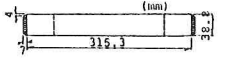


図2 耐風対策（水平断面図）

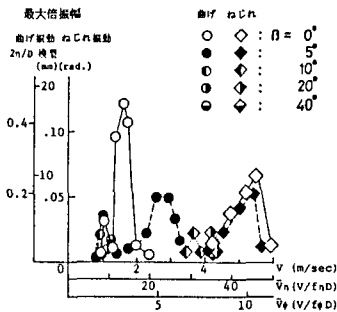


図3 シリーズ1 V-A図

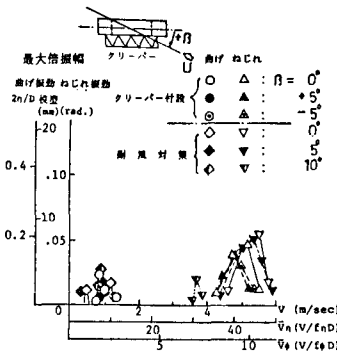


図4 シリーズ2, 3 V-A図

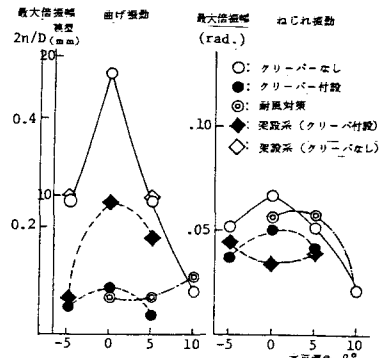


図5 渦励振最大応答値-偏角図

3-2 クリーパー付設が応答特性に及ぼす影響(シリーズ2)・・・図4にクリーパー付設、独立状態での応答を示すが、水平偏角 $\beta = 0^\circ, -5^\circ$ (左向き), $+5^\circ$ (右向き)とも、曲げ渦励振は、ほぼ完全に抑止されており、曲げ振動に対し、クリーパーが制振対策として有効に作用していることが理解される。一方、振れ振動に対しては、ほとんど影響が現われていない。

3-3 耐風対策(シリーズ3)・・・図1, 2に耐風対策を示すが、従来より主塔の耐風対策に対し、独立状態までの架設機材であるとする考えが主であるが、ここでは、主塔が当然具備すべき構造部材(永久部材)であるとする耐風設計に考えを置き、文献1), 2)をもとにサイドプレートによる前縁剝離渦の攪乱効果を期待して、図2に示す耐風対策を考案した。結果を図4, 5に示すが、図5に見られるように、曲げ振動に対して、 $\beta = 0^\circ, 5^\circ$ では十分な制振効果を示しているが、 $\beta = 10^\circ$ では振幅は小さいものの、逆に応答値の増大が見られ、迎角増大に伴う影響については、早急に調べる必要があるものと考えられる。一方、振れ振動に対しては影響が現われておらず、振れ振動に対する空力ダンパの開発は今後の課題と考えている。

3-4 架設系(シリーズ4)・・・図1に対象とした系を、図5に実験結果を示すが、独立状態で見られた程、クリーパーの制振効果が現われていないのと、 $\beta = +5^\circ$ と -5° で応答値が異なっていることが特徴である。(但、クリーパーがない場合より、ある場合の方が、曲げ振動の応答値は小さくなっている。)

4. まとめ・・・従来より、塔状構造部の耐風安定性を考える際、塔頂部は流れの三次元効果があることが指摘されている。本実験では、3-2の独立状態で、上部水平材部に取付けられたクリーパーにより曲げ渦励振は抑止されたが、3-4の架設系においては、それ程には制振効果が現われず、更に $\pm 5^\circ$ で違った応答が現われるといった現象が認められた。この現象は、本主塔のように上下2本の水平材をもつラーメン主塔の場合、塔頂の上部水平材部に作用する空気力が主塔全体の応答に対し、大きな影響を与えていることを示しているものと注目される現象である。このことは、文献1)で主塔水平断面が□と鉛直方向に変化する3次元実験では、曲げ振動に対する制振効果はサイドプレートの取付位置とその長さによつて変化し、塔頂部に $l/H=10\%$ 取付けた場合に最適となつていゝことと対応するものであると理解される。以上得られた事実は、今後ラーメン主塔の空力制振対策を考える上で参考になる事象であると思われる。同時に、主塔では鉛直方向へ、塔柱2本間の空間部が水平材、斜材で充たされているところと、何も無いところとが交互に変化していくわけであるが、この塔鉛直方向への塔柱間空間の充実部の分布と、空力制振装置の方法・取付け位置と長さ、との間に、ある関係が存在するのではないかと推測され、この問題は、主塔の空力制振を考える上で、今後の重要な課題の一つであると考えられる。

5. 後記・・・最後に、本研究の実施にあたり風洞実験他で御協力をいただいた、京都大学工学部助手・白土博通氏、同大学院生・長尾文明氏をはじめ京都大学工学部橋梁研究室の諸氏に深く感謝致します。

文献 1) 白石・松本・白土;土木学会第38回年講"架設時吊橋主塔の渦励振とその制振対策"昭58.9.
2) Naudasher, E, "FLOW-INDUCED FORCES AND VIBRATIONS, Part 6" TOKYO, 1982