

日本道路公団 正員 大橋 昭光

建設省 栗林 栄一 成田 信之

榎波 義幸 飯田 裕

7. まえがき

関門橋は日本道路公団の手で建設が進められている中央径間長 712 m 、側径間長 178 m の3径間吊橋で主塔の工事を完了し現在主ケーブルの架設が行なわれている。本橋は我国最初の本格的長大吊橋であり本州四国連絡橋の先駆をなすものと云つてよいであろう。本橋は計画の段階から各方面に細心の注意が払われており、完成時の耐風安定性や耐震性に関する検討はもちろん架設時の塔や架設構造物であるキャットウォークの耐風性に対する調査も行なわれた。しかしこれら動的設計は種々の仮定をおいて行なわれており、これら仮定の中には構造物の特性に関係するものも少なくなく、動的設計の妥当性を確かめる上からもまた今後の長大吊橋の設計の資料とするためにも構造物の知られざる特性を解明することが要求される。関門橋においてもこういった観点から昨年橋脚の振動

実験が行なわれたがこのたび主塔の完成に際して独立主塔の振動実験を行なうことになった。吊橋主塔は吊橋上部の耐震設計上は最も重要な位置を含めるものであり、耐風設計上も独立主塔には風琴振動の可能性も多く、従つて振動特性を解明することは重要である。主塔の振動実験結果は現在解析中であるがここにその概要を報告する。

2 閩門橋主塔

関門橋の主塔の一般図及び諸元を図-1に示す。主塔は門司側、下関側の海岸近くにつくられた橋脚の上に建設され全く同一の形状寸法の高力ボルトと溶接で接合された鋼製塔だが橋脚の形状寸法は異なる。今回の実験は現場工程の関係もあってケーソン基礎の門司側主塔を対象とした。実験時の主塔は図-1に示すものの他にケーブル架設のためのフレーンが2基塔頂に、塗装用の架設足場がおかれていた。

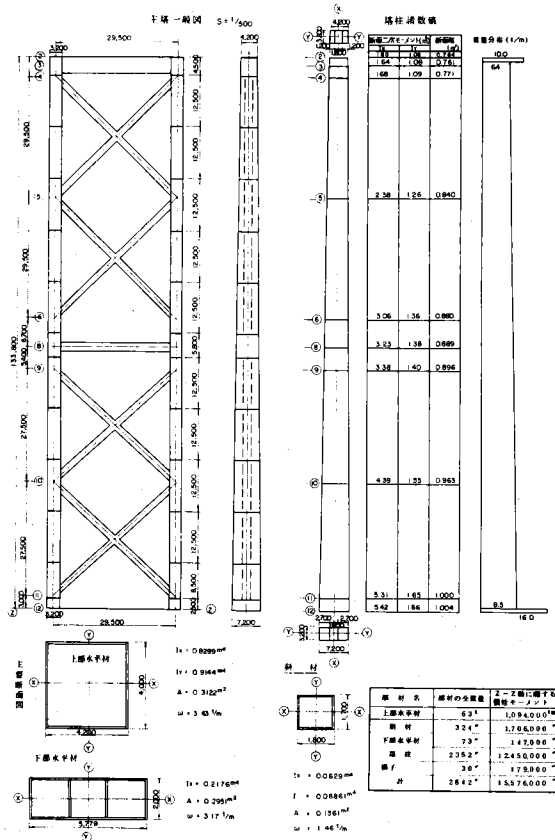


圖1 閘門橋主塔一般圖

3 実験の方法

今回の実験では主塔の3方向の振動すなわち橋軸方向及び橋軸直角方向の振動ならびに塔主軸まわりの捩り振動の固有振動数及び構造減衰の測定を目的とし、強制加振の手段は主として起振機を補助としてロケットを用いた。起振機は2基連動して駆動でき、橋軸方向の励振と捩り励振のときには2基の起振機を20mはなして駆動軸と制御軸で連結し同相及び逆相で橋軸方向に加振した。また橋軸直角方向の励振には起振機を3.5mはなして連結し同相で橋軸直角方向に加振した。各振動波形の固有振動数は起振機の加振々動数を除々に変化させそれに対応する主塔の応答を測定して求めた。

また構造減衰はこの起振機の起振力が運転中に短時間で変更できる機能を有することから共振状態から起振機の起振力を急激に零にし、その後の自由減衰振動から求めた。本橋の実験に先立つてまず固有振動解析を行なったがその結果によれば橋軸方向の1次振動数は0.25%でこの振動数での起振機的能力はわずか20%前後であるため構造減衰を測定するに十分な振中が得られるかどうかには多少の疑問がもたれたため主として橋軸方向の1次振動の振動数と構造減衰の測定を目的としてロケットによる振動実験が計画された。ロケットは推力2ton、燃焼時間1Setのもの2基を主塔の中心に対称におき点火して燃焼経過の同時性を調べ、複数ロケットによる長大構造物の加振方法としての可能性もあわせて調査した。測定器としては主として可動線輪型の加速度計を用いたがこの加速度計は低域の特性が悪いため4台のサーボ型加速度計も併用した。これらの換振器は主塔には4局11成分、橋脚上には3成分設置した。また換振器からの信号は直記式電磁オシログラフとテープレコーダーに記録した。なおロケット実験時の推力と燃焼時間はロードセルで測定され加速度計からの信号と同時に記録された。

4 固有振動の解析結果

実験に先立つて主塔の固有振動解析を行なった。解析の手法はよく知られている2次元骨組構造を集中質点系におきかえるものでここでは主塔を22ヶの質点系におきかえた。また主塔の下端は固定として解析した。解析の結果を図-2及び表-1に示す。なおロケット実験における主塔の応答はロードセルで測定された推力と経過時間を入力として解析中である。

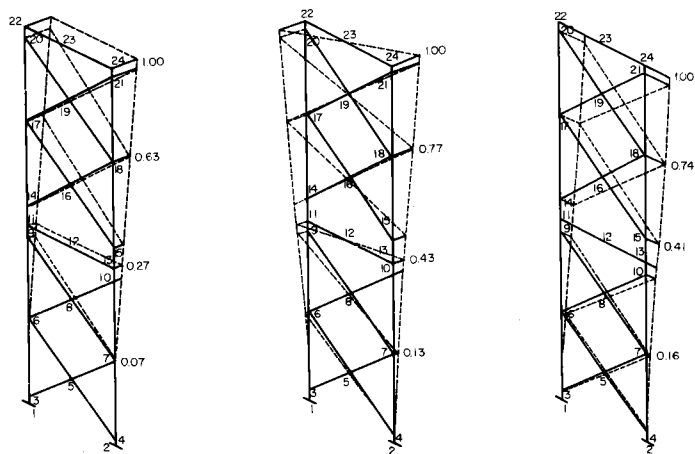


図2 関門橋主塔の振動モード(計算図)

5 実験結果

起振機による振動実験の結果を図-3.4及び表-2に示す。図-3は起振振動数と塔頂の振中の関係を示す共振曲線である。なお実際の励振力は起振々動数と重錘の開き角で異なるためここでは橋軸及び橋軸直角方向の振動については起振力を1ton、捩り振動については起振モーメントを20ton・mとして換算した。なお橋軸方向の振動では高次の振動変

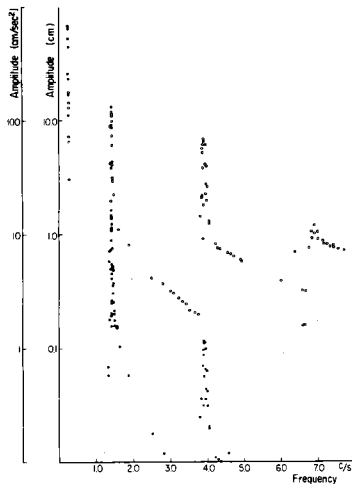


図3-1 橋軸方向振動の共振曲線

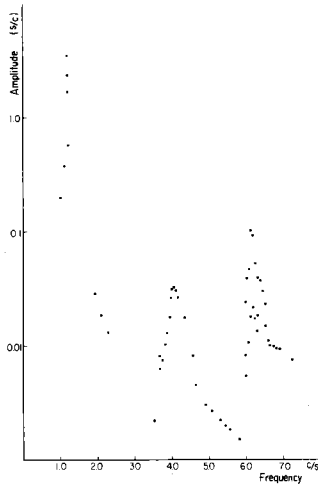


図3-2 橋軸直方向振動の共振曲線

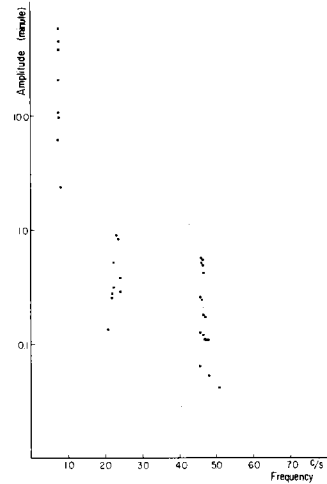


図3-3 横り振動の共振曲線

位が非常に小さくて図中にあらわれなかったため振動加速度(○印)を同一図に書き加えてある。図3-2～3-4には減衰試験において起振力を零としたあとの自由減衰振動の波数と振中の関係を示すもので表-2に示す構造減衰はこの図の曲線の平均勾配から求めている。ロケット実験の結果を図-3.1及び5に示す。図-5はロケット噴射時の塔頂の加速度応答の記録である。実際の加速度記録はサーボ型加速度計の周波特性がよいため板の振動と思われるような高い振動数の振動が記録の最初の部分に重畳していたが図-5に示した記録は5%の low pass filter で高周波部分を除去している。図3-1にはロケット実験の自由減衰振動の波数と振中の関係を示している。

実験に先立つたロケット応答計算では推力 2ton 燃焼時間1秒構造減衰を $\delta = 0.02$ また力は上部水平桁中央の仮想質点に作用するとして最大応答加速度及び最大変位を求めたが実測値は計算結果も多少うれまわった。

6 考察

1. 各方向の固有振動数は低次モードでは計算値とかなりよく一致している。橋軸方向振動における4次と5次の振動モードに対応する実測値がないのはこの振動が中間部の部材共振であるのに対して実測値は塔頂の変位のみを対象にしたためである。橋軸方向及び橋軸直方向の7%前

表-1 関門橋主塔の振動特性

橋軸方向振動			
次 数	振動数(計算値)	振動数(実験値)	対数減衰率
1	0.25 %	0.26	$\delta = 0.009$
2	1.35	1.40	0.21
3	3.76	3.90	0.036
4	4.57		
5	4.81		
6	7.49	6.9	
橋軸直方向振動			
次 数	振動数(計算値)	振動数(実験値)	対数減衰率
1	1.18 %	1.17 %	$\delta = 0.014$
2	3.94	4.10	
3	6.00	6.20	
横り振動			
次 数	振動数(計算値)	振動数(実験値)	対数減衰率
1	0.74 %	0.75	$\delta = 0.011$
2	2.16	2.29	0.076
3	4.75	4.61	0.023

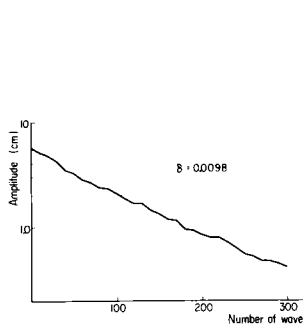


図 4-1 ロケット実験による減衰試験

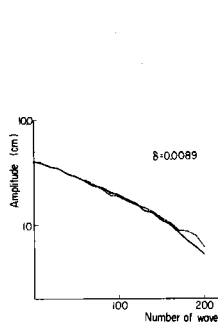
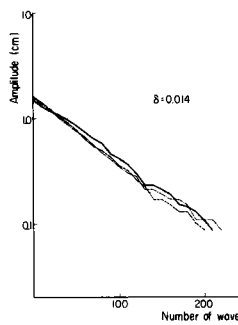


図 4-2 橋軸方向振動の構造減衰



4-3 橋軸直角方向振動の構造減衰

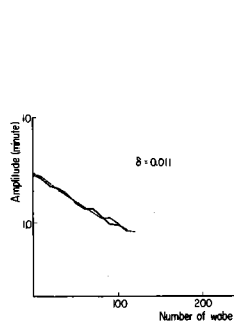


図 4-3 横り振動の構造減衰

後、振動数が計算値と実験値で多少異っているのは橋脚に関する振動実験の結果からみて橋脚の振動の影響を受けているのではないかとと思われる。

2 各方向の一次振動の構造減衰は非常に小さい。この程度の振動数では基礎の影響はほとんど考えられないことからこの値は高力ボルト継手の塔構造物のものと考えてよい。橋軸及び橋軸直角方向の4%以上の振動数に対応する構造減衰が大きいのは基礎の影響を受けているためではないかと思われる現在解析中である。

3 ロケット実験で求めた振動数及び構造減衰は起振機による励振で求めたそれと一致する。応答量は計算値(最大変位 2.2cm)と実測値(2.6cm)は多少異なるがこれは実際のロケット推力が1割程度大きかったこと及び構造物の減衰が予想した値よりかなり小さいことのためと思われるため現在実測した推力を用いて応答計算を行なっており当日発表する。

7 結び

実験は今年5月8日から13日にわたって行なわれたため現段階ではまだデータの整理中で今回発表するものはその一部である。詳細については当日報告する。

なお今回の実験には日本道路公団関門架橋工事事務所ならびに石川島播磨重工業より種々の御協力をいただいたことに感謝いたします。

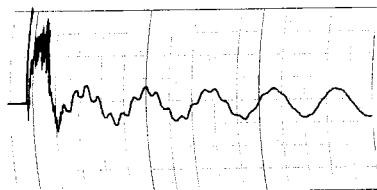


図-5