I-222　大鳴門橋主塔の制振対策－その１（風洞実験）

本州四国連絡橋公団　正会員　田中　淳之
本州四国連絡橋公団　正会員　保田　雅彦
三菱重工業株式会社　正会員　○斎藤　通

1. まえがき・・・吊橋主塔が架設時に渦励振振動を起こすことは周知のことであり，大鳴門橋主塔の場合も同様に架設にあたつては，事前に風洞実験を実施し耐風性を調査した。本主塔の架設される鳴門海峡は強風の吹く恐れがあり，曲げ振動のみでなく捩れ振動モードの限定振動にも注意を払う必要があつた。さらに，その制振対策は海中部へのアンカーがきわめて困難であることから，とくに海上に建設される淡路側３Ｐ主塔については３３０ｍもの長径間ロープを有する従来に比して大がかりな制振機構となるため，その制振効果の信頼性の確認実験も含めて，フルード数も相似にした大型弾性体模型（縮尺１／３８）により風洞実験を実施した。

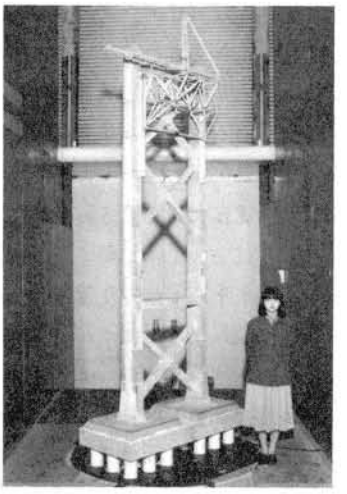

写真１　模型概要
（縮尺 1／38，H＝3.3ｍ）

2. 実験方法・・・風洞は三菱重工業（株）長崎研究所の大型汎用風洞を使用した。模型は縮尺１／３８の弾性体模型で，実機主塔に相似な剛性を有する鋼製の剛性棒と，実機主塔に幾何学的に相似な外形形状を有する木製の外形材で構成されている。なお外形材はブロックに切断し剛性を持たないようにするとともに，ブロック間を薄いゴムでシールドすることにより空気の出入りがないようにした。また，本主塔模型には実機に相似な剛性，質量および外形形状を有するクリーバークレーン（以下，クレーンと呼ぶ）模型が取りつけられるようになつている。さらに本主塔模型は３種の架設段階〔ＳＴＥＰ１（７２.９５ｍ架設完了時），ＳＴＥＰ２（９６.９５ｍ架設完了時），ＳＴＥＰ３（１２５.９３ｍ架設完了時）〕を再現できるようになつている。模型の概要を写真１に，模型の振動数及び振動モードを図１に示す。図１よりわかるように，本主塔模型は曲げおよび捩れの１次振動モードについて実機主塔の振動特性を再現できていると考えられる。なお，実験は一様流中で行なつた。また，模型の対数減衰率はでき上りで $\delta = 0.008 \sim 0.014$ であり，電磁ダンパーを用いて模型の減衰を自由にコントロールできるようにした。

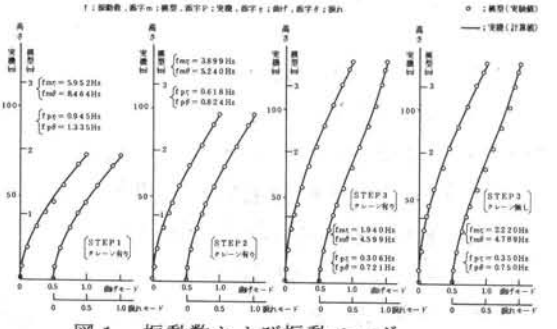

図１　振動数および振動モード

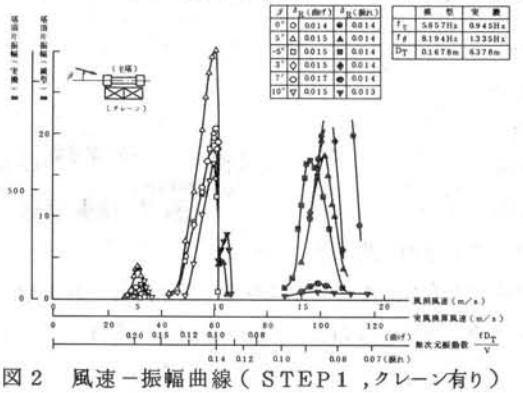

図２　風速－振幅曲線（ＳＴＥＰ１，クレーン有り）

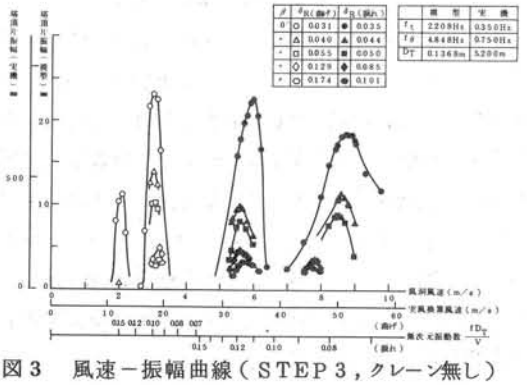

図３　風速－振幅曲線（ＳＴＥＰ３，クレーン無し）

3. 実験結果・・・図２，図３には風速と振幅の関係の１例を示す。図２，図３よりわかるように大鳴門橋主塔の場合無次元振動数（fD_T/V，f：固有振動数，D_T：塔頂の橋軸方向の主柱幅，V：一様風速）が約0.１０で曲げの限定振動が発生し，無次元振動数が約0.０８で捩れの限定振動が発生する。また，それぞれの限定振動の発生する1/2～3/4の風速にて同じ振動モードの限定振動（以下，第二限定振動と呼ぶ）が発生する。上記の振動の発生する風速は架設高さが高くなるにつれ低風速になり，全段架設完了時（STEP３）のクレーン無しでは，曲げの限定振動が約１２ｍ／ｓと１８ｍ／ｓで，捩れの限定振動が約３３ｍ／ｓと５０ｍ／ｓで発生する。以上の振動が発生する風速は実際にも十分吹く可能性が有り，制振対策を講ずる必要があると考えられる。また，捩れの限定振動については従来高風速で発生すると考えられていたため曲げ振動に比べ比較的重要視されない場合が多かつたが，本試験結果よりわかるように捩れの第二限定振動は曲げの限定振動とほぼ同じまたは若干高め程度の風速で発生し，またその振幅も限定振動の振幅を超える場合もあることから，今後さらに主塔の大型化にともない捩れ振動にも十分注意を払う必要があると考えられる。

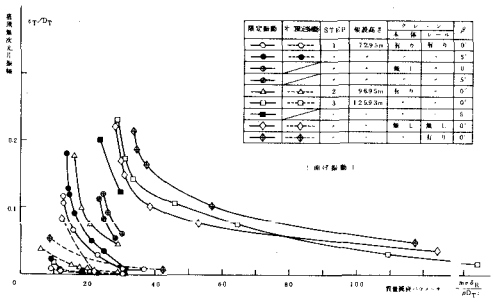

図４　質量減衰パラメーターと振幅の関係

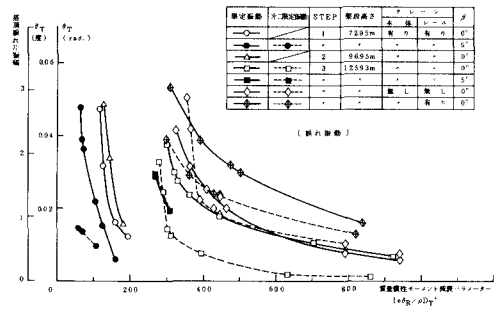

図５　質量慣性モーメント減衰パラメーターと振幅の関係

図４，図５には各種の架設状態にて発生する限定振動振幅と質量減衰パラメーターまたは質量慣性モーメント減衰パラメーターとの関係を示す。なお，実機主塔の質量減衰パラメーターは８～１４また質量慣性モーメント減衰パラメーターは５０～１００である。今回の実験では，実橋に相似な質量減衰パラメーターまたは質量慣性モーメント減衰パラメーターの場合，振動振幅が大となり模型破損の恐れがあつたため，最大振幅を求めることができなかつた（実橋換算片振幅で曲げの場合１.５ｍ，捩れの場合３度で計測を打ち切つた）が，対数減衰率をパラメーターとして変えた実験結果より外挿するとＳＴＥＰ３の状態では，曲げの場合片振幅５ｍ，捩れの場合２０度程度の振幅に達する恐れがあるものと考えられる。次に風向特性については図６に示すように，クレーン無しの場合には風向０度（橋軸直角方向）の風が吹く場合が最も振幅が大きいようであるが，クレーンが有る場合には，風向を持つた風が吹いた場合の方が振動振幅が大きくなることもある。これは，クレーンを取りつけると主柱まわりの流れが乱され，渦の発生を弱める効果があるためと考えられ，風向を持つた風があたる場合にはクレーンが風上側にあるか風下側にあるかで，影響度が異なるものと思われる。さらにクレーンが主塔の耐風性に与える影響は図４，図５よりわかるように架設段階により異なるようであるが，これはクレーンの主塔に対する相対的な取りつけ位置の違いによるものと考えられ，振動を生ぜしめる支配的な励振力の働く７０％あたりの高さにクレーンがある場合がもつともクレーンの影響が大きいようである。

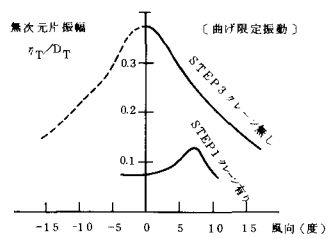

図６　風向と振幅の関係

4. あとがき・・・以上の結果は一様流中の試験結果であり，実際の自然風（乱れの成分を含む）中の実機主塔の応答特性と異なることも考えられるが，乱れによる振動振幅の低減効果は安全側と考え，一様流中の結果で制振対策を計画することとした。また制振機構模型を主塔模型に取りつけた風洞実験も行なつたが加振機を用いた構造振動試験結果より予想した制振効果と同じ効果を確認することができた。

最後に，本研究の実施にあたり御指導いただいた土木学会・本州四国連絡橋耐風研究小委員会幹事会の諸先生に深く感謝いたします。