超長大吊橋の多柱CFT構造主塔の空力特性

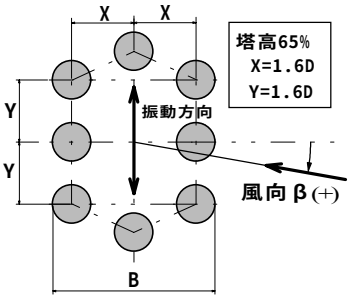
日立造船㈱ 正会員 ○山口映二，日立造船㈱ 正会員 植田利夫
日立造船㈱ 正会員 白井秀治，日立造船㈱ 正会員 三河克己

1.まえがき

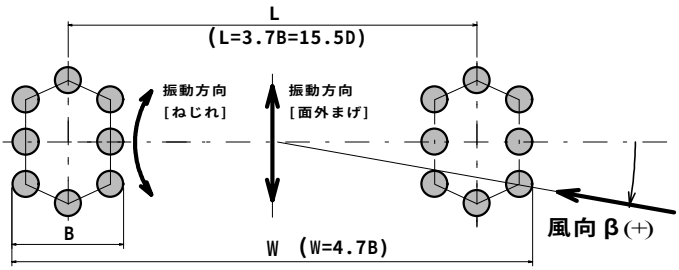
筆者らは、経済性向上を対象として検討されているCFTを複数配置(1塔柱3本;合計6本)した中央支間長1500mの長大吊橋の主塔構造一案に対して耐風性の評価を行い、空気力干渉に起因する複雑な振動現象などの問題が無いことを確認した[1)]。そこで、多柱構造主塔の耐風性評価の2ndステップとして、中央支間長が2000mを越える超長大吊橋の16本(1塔柱8本)のCFT主塔構造の耐風性評価を試みた。本稿では、2次元部分模型を用いたバネ支持試験により、単塔柱(8本CFT構造)及び主塔柱(16本CFT構造)の振動性状と同模型を使用した3分力試験による静的空気力特性の把握を行い、耐風性の確認を行ったのでここに報告する。

2.実験概要

実機で直径2500㎜のCFTを対象として模型の縮尺を1/50とした。模型の諸元値を表1に示す。なお、CFT間隔は代表点として塔高65%位置での値を用いた。図1にCFT配置と風向関係を示す。単塔柱配置に注目した時の個々のCFT間隔は、風向β=0°で風軸方向にX=1.6D(D:鋼管径)、直角方向にY=1.6Dであり、主塔柱配置では、単塔柱の間隔が3.7B(B：単塔柱幅)となっている。また、円筒であるCFTはレイノルズ数により空力特性が大きく変化する。特に実機のレイノルズ数域(10^5以上: 超臨界域)では抗力の低下やストローハル数の上昇が予想される。そこで、円柱表面にδ/D=0.01（δ:粗度径、ピッチλ=3δ）のトリップワイヤタイプの粗度[2)]をつけて実機レイノルズ数での応答現象を擬似的に再現した。気流は一様流とし、主塔配置において単塔柱同士の干渉が予想される風向角β=0°近辺（5°，10°)で試験を行った。



(a)単塔柱配置



(b)主塔柱配置

図1 CFT配置と風向角β

模型振動諸元は、耐風性に厳しい条件と考えられる主塔独立状態を対象とした骨組解析モデルによる固有値解析結果から決定した。計算された振動モードのうち、面外曲げ１次振動とねじれ1次振動を照査対象とした。それぞれのモード形状を図2に示す。

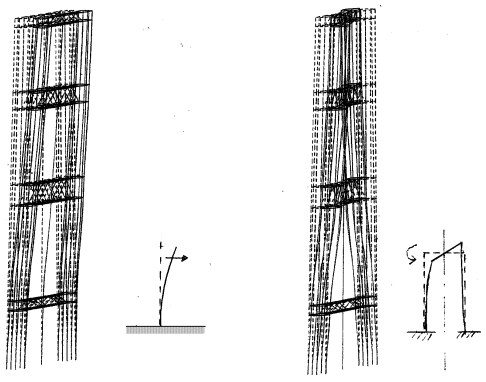
3.実験結果及び考察

図3に単塔柱配置の一様流中β=0°における振動応答の結果を示す。面外曲げ方向に対する顕著な振動応答は発現しなかった。

表1 振動諸元と実際値

		単位	実橋解析値	模型所要値	模型実際値
振動数比	ねじれ／面外曲げ	-	1.82	1.82	1.82
慣性	等価質量 m_e	tf/m	215	8.60E-02	3.44E-02
	等価極慣性ﾓｰﾒﾝﾄ I_p	tf･m²/m	77807	1.24E-02	5.00E-03
構造減衰率	面外曲げ1次	-	0.01	0.01	0.025*1
	ねじれ1次	-	0.01	0.01	0.025*1

*1 減衰に関しては、代表長をBとしてスクルートン数
($S_{c\eta}=2me\delta/\rho B^2$, $S_{c\phi}=2Ip\delta/\rho B^4$)を相似させた。



(a)面外曲げ1次 f=0.071Hz　(b)ねじれ1次 f=0.13Hz

図2 振動モード

キーワード：超長大吊橋 CFT構造
〒551-0022 大阪市大正区西船町2-2-11 TEL (06)6551-9239 FAX (06)6551-9841

図4,5に主塔配置の一様流中 β=0°(面外曲げ及びねじれ)、+5°,10°(ねじれ)における振動応答結果を示す。β=0°では実機換算片振幅 2.2cm(実機風速2.4m/s)の面外曲げと実機換算片振幅φ=0.3°(実機風速4.8m/s)のねじれの渦励振が見られた。また、β=5°,10°ではβ=0°の時よりも若干風速が高い位置で同程度振幅の渦励振が発生する。さらに、45～55m/s付近から発散的な振動の発生が見られた。図6に3種類のレイノルズ数 Re_D(=1.7×10^4,3.3×10^4,5.0×10^4;1パイプ直径 Dで無次元化)に対して計測した主塔柱における風向角 β=-30～90°の3分力係数の結果を示す。C_D(1パイプ直径Dで無次元化)は、偏角の増加に伴い5.3から8.7に緩やかに変化する。C_Lは、偏角0°で正勾配 $dC_L/d\beta|_{\beta=0}$=3.2、C_Mは、負勾配で$dC_M/d\beta|_{\beta=0}$=-39であった。参考に、数値流体解析(CFD)により、ねじれ応答が発現した風速(実機換算4.8m/s)での流れの可視化を試みた(図7)。上流側単塔柱と下流側単塔柱では、流場が異なっており、上流側後流の影響が下流側まで至っていることが確認できる。

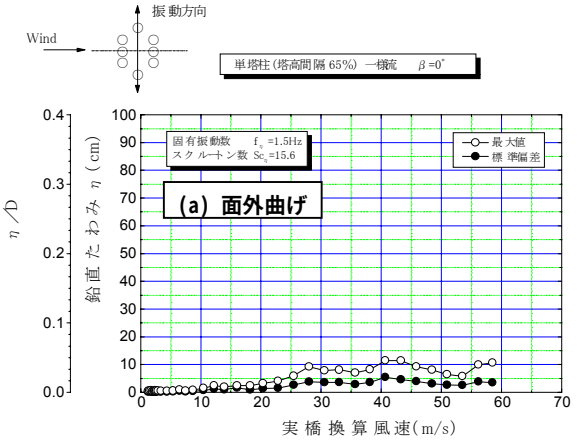
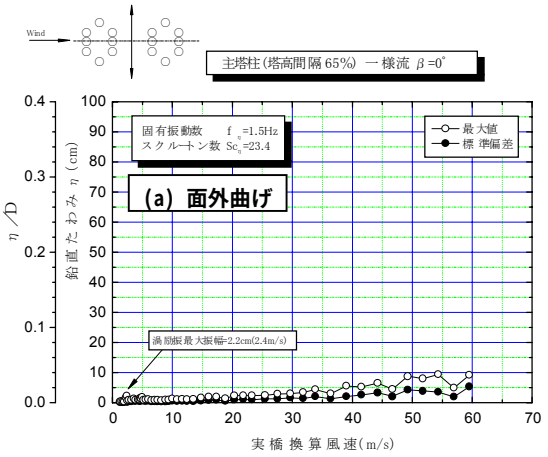


図3 単塔柱の応答特性（一様流β=0° Sc_η=15.6）



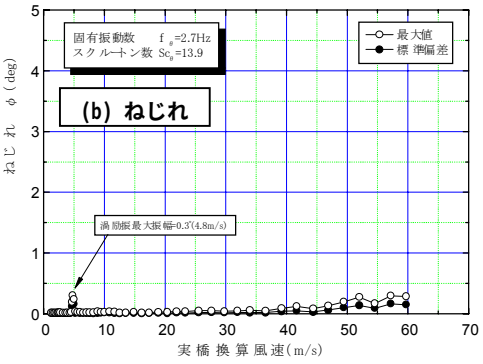


図4 主塔柱の応答特性
（一様流β=0° Sc_η=23.4 Sc_ϕ=13.9）

4.まとめ

一様流中で振動特性の検討を行った結果、渦励振に対してはほぼ問題無いレベルの応答であることが確認出来た。乱流中では、ほぼ応答が消滅すると予想される。また、風向角β=5,10°の主塔配置では高風速域で発散的な振動が見られた。

【参考文献】

(1)三河,植田他,"長大吊橋の多柱CFT構造主塔の空力特性",土木学会第56回年次学術講演会概要集(2)植田,与口他,"2筒身並列型鋼製煙突の空力特性",第15回風工学ｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ

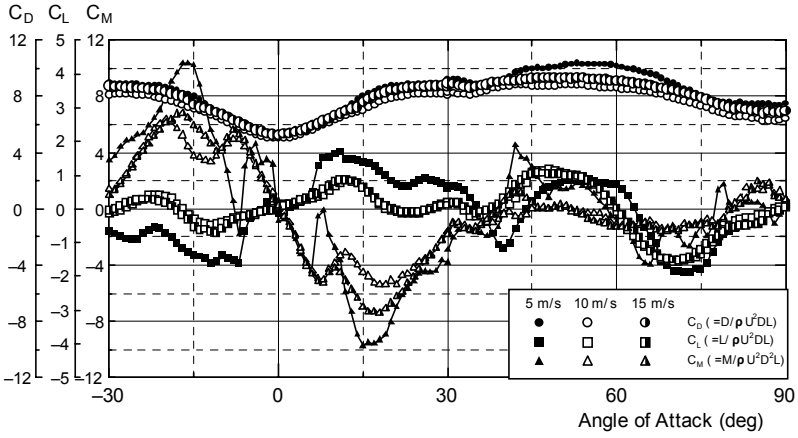


図6　主塔柱の3分力係数（代表長 ： 鋼管径 D）

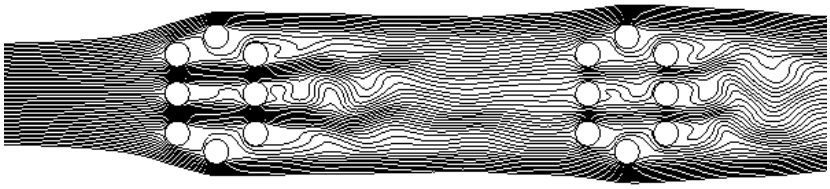


図7 CFDによる流れの可視化（実機換算風速 4.8m/s）

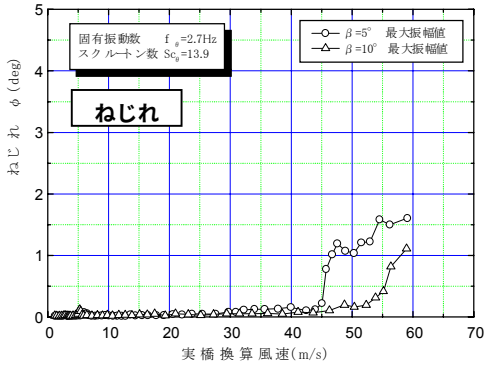


図5 主塔柱の応答特性(ねじれ)
（一様流β=5,10° Sc_η=23.4 Sc_ϕ=13.9）