

斜張橋主塔の渦励振に対する隅切り効果と風向角の影響について

大崎総合研究所 正会員 ○伊藤 靖晃
 東京大学 フェロー会員 藤野 陽三
 港湾空港技術研究所(前・国土交通省関東地方整備局) 正会員 高橋 英紀
 国土交通省関東地方整備局 非会員 中川 大
 日本工営 正会員 友田 富雄

1. 概要

斜張橋の主塔は辺長比の小さな断面で構成されることが多く、独立の状態(架設時)では渦励振やギャロッピングなどの空力振動の発現が懸念される。本研究では低主塔斜張橋の主塔を対象に、断面形状および風向角を変化させて弾性模型を用いた振動試験を行い、渦励振に対する隅切りの効果および風向角の影響について検討を行った。

2. 実験条件

本研究で対象としたのは低主塔斜張橋の主塔(塔高 95.5m)であり、模型の縮尺は 1/100 とした。主塔模型の形状を図 1 に、主な構造諸元を表 1 に示す。風洞実験は東京大学の強風シミュレーション風洞(測定部高さ 1.8m, 幅 1.566m)にて実施した。気流は一樣流とし、模型架台設置のため床面から 250mm 位置に設置した仮床の影響を受けず、一樣な気流が確保されることを事前に確認している。なお、風向の定義は橋軸方向を 0°, 橋軸直角方向を 90° とした。

主塔の橋軸たわみ 1 次・2 次、橋軸直角たわみ 1 次およびねじれ 1 次による振動を対象として、塔頂部および主桁部計 4 点の応答変位をレーザー変位計(Keyence, LB-1000 および LB-2000)により計測した。模型および計測器の設置状況を図 2 に示し、実橋(設計値)および模型の振動諸元を表 2 にまとめる。模型の固有振動数および橋軸たわみ 1 次モードの対数減衰率は概ね所要値を満足している。橋軸直角たわみ 1 次モードの対数減衰率は所要値(0.01)と比較して大きい。当該方向の空力振動は発生しないと考えられるため、耐風性評価への影響はないと判断した。

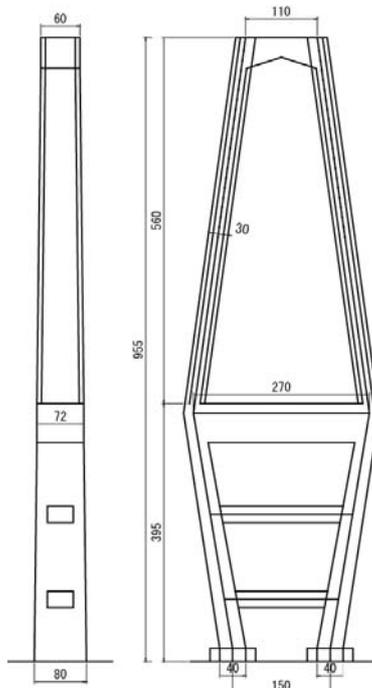


図 1: 主塔模型形状図

表 1: 主塔模型の主な構造諸元

塔高 H	955mm
塔柱断面高 D	60~80mm
塔柱断面幅 B	30mm(桁上) 30~40mm(桁下)
塔柱間隔 W	140mm(塔頂) 300mm(桁高) 190mm(基部)

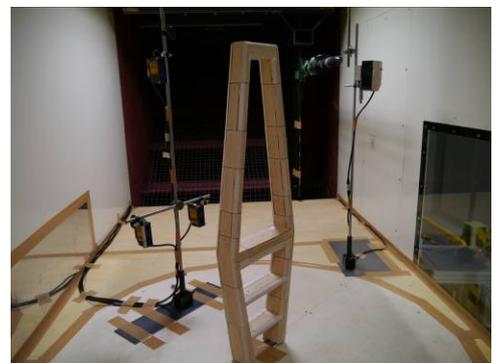


図 2: 模型・変位計設置状況

表 2: 実橋(設計値)および模型の振動諸元

対象モード		固有振動数 ^{*1} [Hz]			対数減衰率 ^{*1}
		実橋値 ^{*2}	所要値	実測値	
橋軸たわみ	1 次	0.706	7.06	7.02	0.010
	2 次	3.38	33.8	35.3	-
橋軸直角たわみ	1 次	1.15	11.5	11.2	0.022
	2 次	3.72	37.2	41.0	-
ねじれ	1 次	2.48	24.8	26.2	-

*1: 固有振動数および対数減衰率は代表値を示す

*2: 実橋値は設計段階の値を示す

3. 隅切り効果の影響 について

松本ら¹⁾の研究によれば、塔柱断面の

キーワード 斜張橋, 主塔, 渦励振, 隅切り, 風向角

連絡先 〒100-0011 東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 2 号 富国生命ビル 27 階 TEL:03-3820-5523

空力振動は隅切りの大きさにより敏感に変化する．そこで本研究では，主塔断面における隅切りの効果を検証するため，図3に示す4つの断面形状を対象に風向角 90° において振動試験を行った．なお，三角隅切り(7×12mm)のみ桁より下の柱も隅切りを施しており，横梁の形状も他の断面とは若干異なる．また，断面形状は図中の網掛け部に付加部材を設置して変更したため，各ケースの振動特性はほぼ同一である．

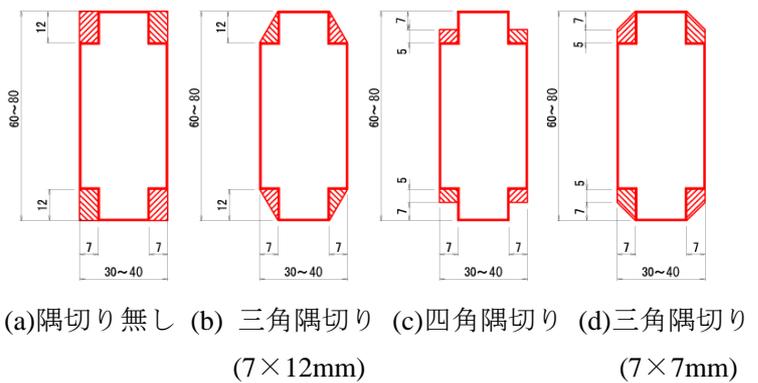


図3：対象とした4つの断面形状

塔頂部の橋軸方向変位の最大片振幅と風速（いずれも実橋換算値）の関係を図4に示す．発現風速に若干の差異はあるが，いずれの形状でも2つの風速域において渦励振の発現が確認された．武内ら²⁾の研究によればタンデム柱のSt数は辺長比 B/D および塔柱間隔比 W/D により異なり，塔頂部の諸元($B/D=0.5, W/D=2.3$)を用いるとSt数は0.16程度である．このSt数から算出されるカルマン渦励振発現風速が26m/sであることから，25m/s前後の渦励振はカルマン渦励振（以下KV）と考えられる．風速35m/s前後の渦励振は上流柱からの剥離渦発生周期と下流柱の振動が同調するWake-Induced Oscillation（以下WIO）と考えられるが，武内ら²⁾の研究によればこの無次元風速域における渦励振は自己励起型的性質を有する可能性もある．なお，それぞれの渦励振による応答振幅はそれぞれ隅切り無しおよび四角隅切りが最大，三角隅切り(7×12mm)および隅切り無しが最小であった．

4. 風向角の影響について

三角隅切り(7×12mm)を対象に，風向角を変化させた場合の塔頂部の橋軸方向変位の最大片振幅と風速の関係を図5に示す．風向角を90° からわずかに変化させた場合，KVによる応答振幅はほぼ一定であるが，WIOによる応答振幅は大きく低減することが確認された．これは風向角が90° からわずかに変化すると上流柱前縁で生じる剥離渦が流下過程および下流柱に到達した際に乱され，下流柱での励振力が弱まるためであると考えられる．一方，風向角60° から80° では25m/sから30m/s程度の1つの風速域においてのみ渦励振の発現が確認された．この渦励振の発生メカニズムは明らかでなく，今後の課題である．また，風向角0° では渦励振の発現は確認されなかった．

5. 結論

- ・本研究で用いた斜張橋主塔では隅切り形状による渦励振応答振幅の大きさは下記の順であった．
カルマン渦励振：隅切り無し > 四角隅切り > 三角隅切り(7×7mm) > 三角隅切り(7×12mm)
Wake-Induced Oscillation：四角隅切り > 三角隅切り(7×12mm) > 三角隅切り(7×7mm) > 隅切り無し
- ・風向角を90° からわずかに変化させると，KVの振幅はほぼ一定であったがWIOの振幅は大きく低減した．
- ・風向角60° 付近で生じた渦励振の発生メカニズムを今後明らかにする必要がある．

参考文献 1) 松本勝ら：”東神戸大橋の耐風設計”，橋梁と基礎，pp. 35-43, 1991. 2) 武内隆文ら：”タンデム配列ブラップ角柱に発現する渦励振に関する研究”，第12回風工学シンポジウム論文集，pp. 375-380, 1992.

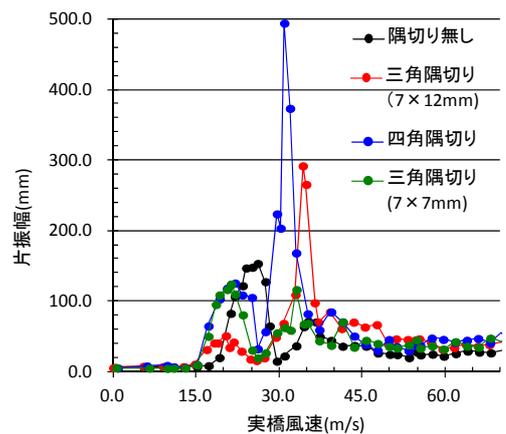


図4：断面形状と応答振幅の関係

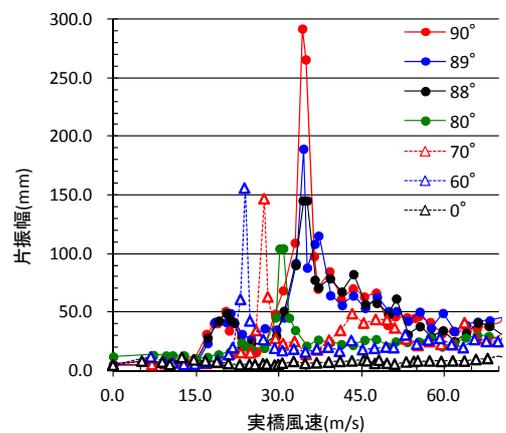


図5：風向角と応答振幅の関係