

ジャッキアップ回転架設工法による宿茂高架橋の 設計，製作，架設について (その3．架設時の風応答計測)

雨 森 慶 一^{*1} 新 井 正 樹^{*2} 岡 村 俊 良^{*3} 岡 田 創^{*4}

宿茂高架橋は，“ジャッキアップ回転架設工法”が適用された最初の架設例である。同工法では，ジャッキアップ完了時に桁が約60m突き出した状態になるために，たわみやすく風による影響を非常に受けやすい状態となる。このため，実構造物の風応答を確認することを目的として宿茂高架橋の架設工事期間中に風応答計測が実施された。計測期間中に台風18号（9918台風）が接近し，計測地点で最大瞬間風速26.4m/sが観測されたが，応答振幅レベルは小さかった。

Design, Manufacturing and Construction of Sukumo Viaduct by the Jack-up Turn Method (Part.3 Full-Scale Measurements on Wind Induced Vibration of SUKUMO Viaduct under Construction)

Keiichi Amemori , Masaki Arai , Toshinaga Okamura , Hajime Okada

SUKUMO Viaduct is the first case that a new method of construction was adopted practically, in which method the bridge girder is erected vertically and projects in the air about 60m when the Jack-Up is finished. It is apprehensive for the aerodynamic stability, so measurements of wind vibration of the structure were carried out through the construction period. Though the maximum wind speed 26.4m/s was observed on 24th of September, 1999, when the Typhoon 9918 (Bart) attacked on Japan and passed near the site of construction, the wind response of the structure was small at that time.

1．はじめに

宿茂高架橋は，松山自動車道の愛媛県内子町に位置し，急峻な谷に架かる4径間連続鋼2主桁橋である。本橋の架設には，ジャッキアップ回転架設工法というこれまでにないアイデアを取り入れた工法を用いている。この工法は鋼桁を橋脚に添ってジャッキにより順次組立てし，組立完了後ワイヤロープにより回転し架設するもので山岳の深い渓谷に橋を架ける場合に適している。

この架設工法では，扁平H形断面の主桁を並べた2主桁が採用されている。このため，旧タコマ橋の崩落事故¹⁾で知られるように低風速で風による振動の発生が危惧されるような断面形状であり，耐風安定性に問題があることが考えられる。また，ジャッキアップ架設時に桁が約60m空中に突出した形となり，たわみやすく風の影響を受けやすい状態となる。このため事前に3次元模型を用いた風洞実験を実施し，架設時として設定した照査風速までの風速範囲

内での耐風安定性を確認している²⁾。

本架設工法の最初の実施例である宿茂高架橋では，架設中のジャッキアップが完了した時点での実構造物の風応答を確認し，風応答計測が実施された。計測対象は，突出部が最も大きいP2でジャッキアップされた鋼桁である。センサーは鋼桁の先端に速度計が設置され，主桁強軸方向（面内方向）と弱軸方向（面外方向）の振動応答が計測された。計測期間はジャッキアップ完了時から回転までの間であり，期間中に襲来した台風18号（9918台風）の強風下での風応答を計測することができた。

本報告は，9918台風が計測地点に最接近した1999年9月24日の風応答計測結果について述べるものである。

* 1 橋梁設計部次長
* 2 橋梁設計部副主任
* 3 鉄構設計部鉄塔グループ主任
* 4 鉄構設計部鉄塔グループ副主任

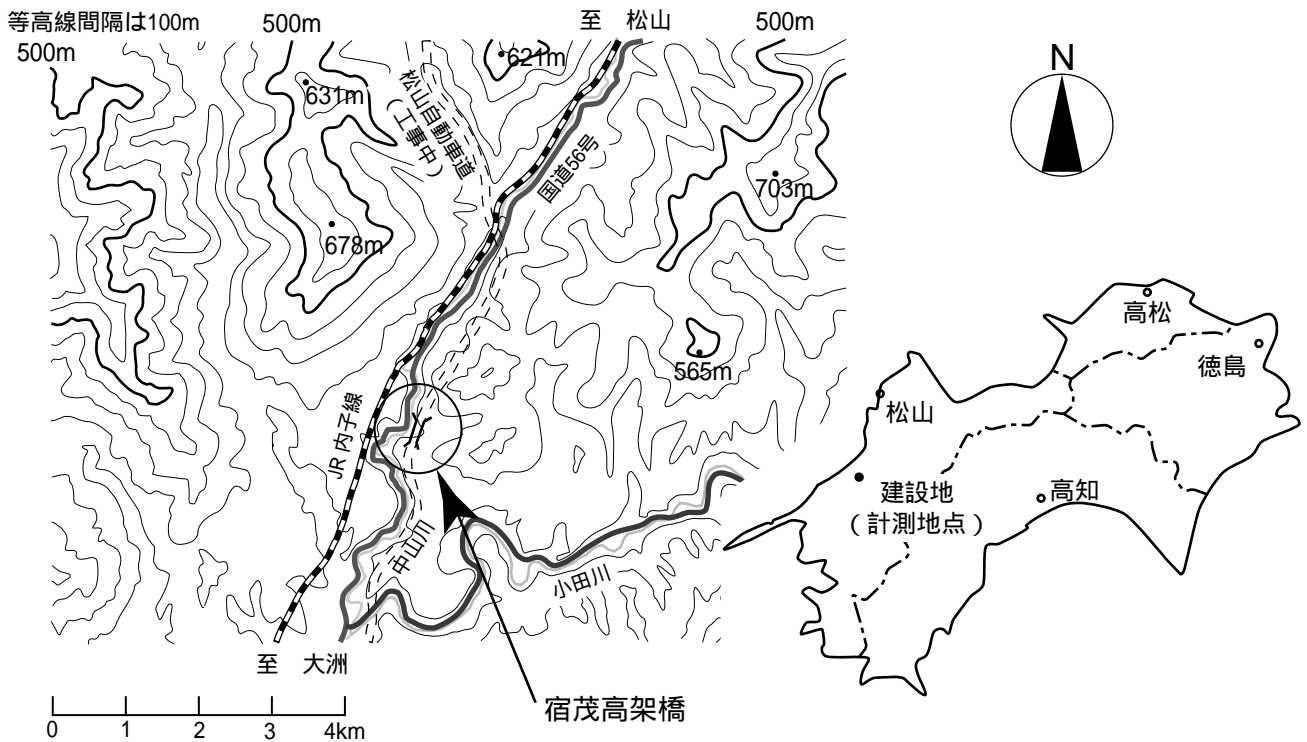


Fig.1 建設地点

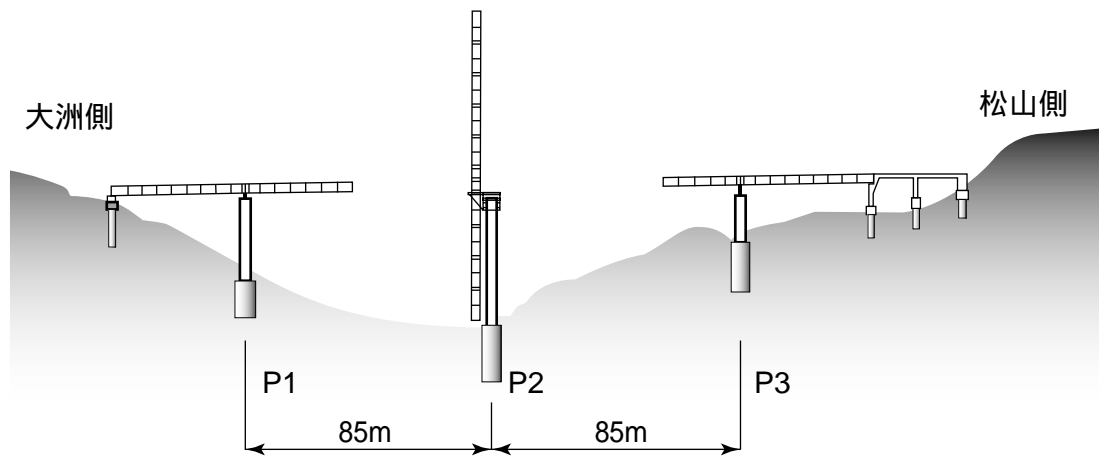


Fig 2 全体図

2. 計測概要

2.1 計測地点

宿茂高架橋の建設地点は、海岸線から約10km程度離れた内陸に位置する。建設地点の標高は100m程度であるが、周囲は500m以上の山に囲まれている。海岸線までの距離は比較的近いもの間には500～900m程度の山により遮られている。このため、検討地点における風は周辺地形の影響を強く受けていると考えられる。

松山自動車道は国道56号と同様におよそ南北方向に流れる中山川に沿ったコースをとり、山の中腹に建設される。

宿茂高架橋の辺りでは周囲の地形は山が川に迫った深い谷状となっている。川は南の方角へ流れ、小田川と合流し地形的に少し開けた内子町の中心部、さらに500～700mの山間を抜けて大洲盆地に至る。

宿茂高架橋は支間距離が45.3m + 85m + 85m + 45.3mで、深さが約60m程度の東西方向の谷を横断する。計測対象とする鋼桁のジャッキアップが行われる橋脚のP2は、谷の最も深い所に位置し、ピアの高さは50m、回転ピンまでの高さは約51mである。

Fig.1に宿茂高架橋周辺の地形図、Fig.2に宿茂高架橋の全体図を示す。

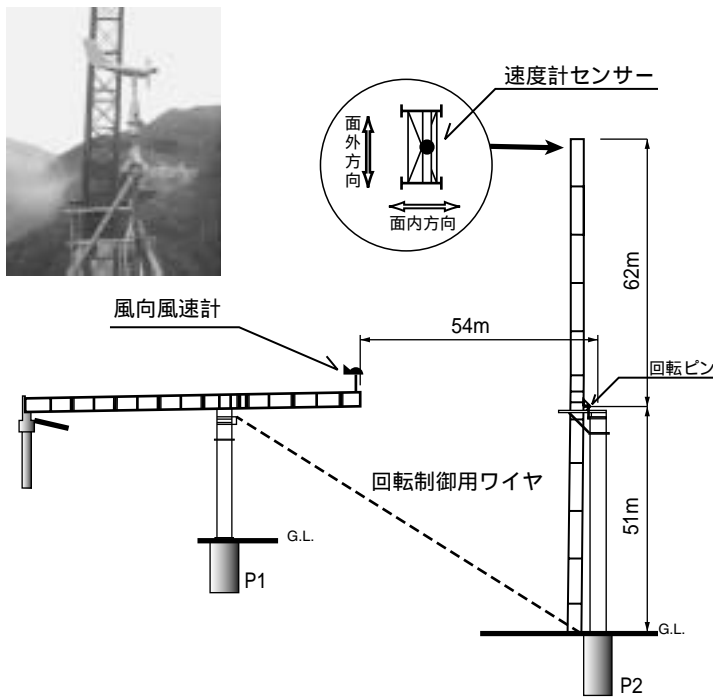


Fig 3 計測対象とセンサー設置位置

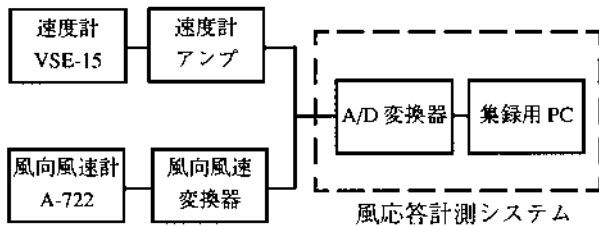


Fig 4 計測システムブロック図

Table 1 センサー性能一覧

速度計	東京測振 VSE-15	最大測定範囲	±100 kine (±1000gal)	
		測定周波数範囲	0.1～70 Hz	
風向風速計	横河ウェッザック A-722	検出方法	風向	シンクロ電機式
			風速	光電パルス式
		測定範囲	風向	全風向
			風速	2～60 m/s



Photo .1 計測システム

2.2 計測対象およびセンサー設置位置

計測対象はP2におけるジャッキアップが完了した状態の鋼桁である。計測対象の鋼桁は、梁成が約3000mmの扁平H形断面の主桁が弱軸方向に5.6m間隔で2本並列しており、梁成600mmのH形鋼および、主桁H形断面の弱軸方向剛性を補強する斜材により主桁間は連結されている。

計測時点（ジャッキアップ完了時）の計測対象はP2頂部の回転ピンにおいて固定されており、主桁弱軸方向（以下、面外方向と呼ぶ）への回転は同じく回転ピンにて、桁の回転方向（主桁強軸方向で以下、面内方向と呼ぶ）の回転は柱脚部で回転制御用のワイヤーにより拘束されている。

ジャッキアップ完了時の高さは地上から回転ピンまでが51m、突出部が62m、合計113mである。

鋼桁の面外方向および面内方向の応答を計測することを目的として、頂部付近の主桁間をつなぐH形鋼に2方向成分の速度計を設置した。

風向・風速計はジャッキアップされた桁の影響を避けるために、P2から54m離れた回転終了済みのP1鋼桁の先端に設置した。風向・風速計の設置高さは、P2の天端とほぼ同じ高さである。

Fig 3に計測対象とセンサー設置位置、表1にセンサーの性能一覧を示す。

2.3 計測システム

Fig 4に本計測のシステムブロック図を示す。本計測では、頂部に設置した速度計を面内、面外方向各1チャンネル、風向、風速を各1チャンネルの合計4チャンネルを集録した。

各センサーの信号は計測室内のアンプ及び変換器にて増幅し、風応答計測システムのA/D変換器を通じて集録用のPCに記録される。

ここで、風応答計測システムについて簡単に説明する。このシステムは、構造物の風応答などの振動計測の実施と計測現場で解析を簡易に実施することを目的として開発したものである。システムはA/D変換器とのデータ集録・解析PCとで構成され、軽量で持ち運びが可能なものである。計測機能の諸元は次に示すとおりである。

計測機能諸元

- サンプリング周波数：200Hzまで
- A/D分解能：12bit
- 入力チャンネル数：16ch

計測ソフトウェアはWindows95/98上で実行され、データ集録と解析を実施できる。ソフトウェアの機能は次に示すとおりである。

データ集録機能

- 常時計測 : 1 ケース10分間の時系列データと各ケースの統計値を連続して集録する。
- トリガ計測 : トリガ値（風速など）以上のデータが計測されたケースの時系列データを集録する。
- マニュアル計測 : 手で起動し、時系列データを集録する。
- 較正計測 : センサーのCal出力を計測する。

データ解析機能

- 統計値解析 : 各集録ケースの最大、最小、平均値、標準偏差を計算
- フィルター処理 : デジタルフィルタ処理を実施する。
- FFT解析 : フーリエ振幅スペクトルの計算
- 自己相関 : 自己相関関数の計算
- パワースペクトル : パワースペクトルの計算

Photo .1に計測システムの写真を示す。

3 . 計測結果

3.1 台風の通過経路と計測地点の風速変化

Fig 5に1999年9月24日の9918台風の通過経路を示す。9918台風は24日06時に熊本県北部に上陸し、九州を横断して08時頃に計測地点へ最接近したと考えられる。08時の中心気圧は950hPa、最大風速は約40m/s、暴風域（風速25m/s以上の範囲）半径は約150kmである。このとき、計測地点は暴風域円の円周付近に位置している。その後も進路を北東に取りつつ09時過ぎには日本海に抜けている。

Fig 6に計測地点における風向風速および乱れ強さの変化を示す。台風が最も接近したと考えられる8時頃から風速が上がりはじめ、8時20分頃に瞬間最大風速26.4m/sを

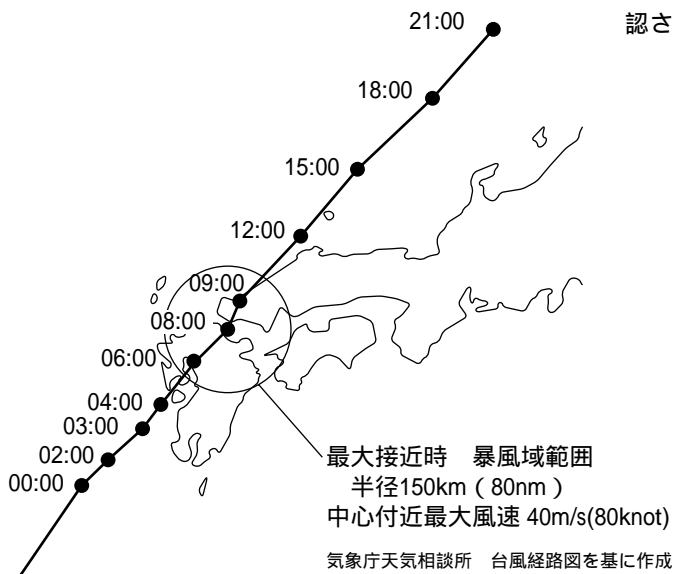


Fig 5 9918台風経路（9月24日）

示している。10分間平均は9時50分に最大平均風速9.5m/sを示したのち徐々に風速は低下し、11時頃に若干風速が高くなるが12時過ぎには瞬間最大風速は10m/s以下となる。この間、平均風向はほぼ180°（南）付近で一定であり、計測地点は周辺地形の影響を強く受けていることが考えられる。この風向は計測対象鋼桁の面内方向とほぼ等しい。

評価時間を10分間とすると、乱れの強さは0.3~0.6と大きい。ただし、乱れが大きいことについては風速計の取付位置が周辺地形の影響を受け主風向に対して乱れを受けやすい位置になっていることも考えられる。表2に計測結果の統計値一覧を示す。

3.2 風応答計測結果

Fig 7に時系列波形の例として最大応答振幅を計測したケースを示す。ここで、応答速度の面内方向はほぼ主風向に、面外方向は風直角方向にあたる。応答速度は面外方向応答が大きいが、波形の非定常性が強く、風速が安定しないために応答振幅が成長していないことが考えられる。

Fig 8に応答速度のパワースペクトルを示す。面内方向では0.45と0.98Hz、面外方向では0.60Hzと1.35Hzに卓越ピークがみられる。事前に検討した固有値解析結果を参考にすれば、各方向とも低い振動数のピークは回転ピンを中心とした鋼桁の剛体的な運動、2つ目の振動数は桁の1次モードに対応した振動数であると考えられる。

Fig 9に風速と応答振幅の関係を示す。ここで、評価時間は卓越周期約2秒の10倍を目安に30秒とした。振幅は速度波形を積分した変位の最大値である。図中の実線はプロットを風速のべき乗に回帰した曲線である。面内方向、面外方向ともに応答振幅は風速のべき乗にほぼ比例するが、面外方向応答では8m/s以上の応答のばらつきが大きくなりプロットが回帰曲線の上側になるケースが多くなるようである。しかしこれが渦励振によるものかは不明であり、本計測の範囲では明確な渦励振による応答振幅の増大は確認されない。

Table 2 計測結果統計値一覧

最大瞬間風速			26.4 m/s
最大10分間平均風速			9.5 m/s
応答速度	最大値	面内方向	19.6 kine
		面外方向	27.5 kine
	標準偏差最大	面内方向	3.24 kine
		面外方向	4.12 kine
応答変位 (速度を換算)	最大値	面内方向	6.0 cm
		面外方向	8.3 cm
	標準偏差最大	面内方向	1.2 cm
		面外方向	1.2 cm

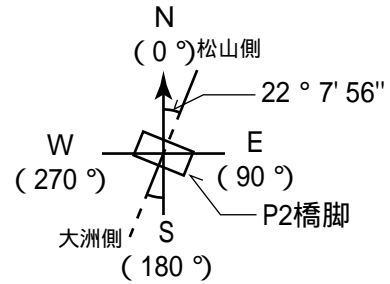
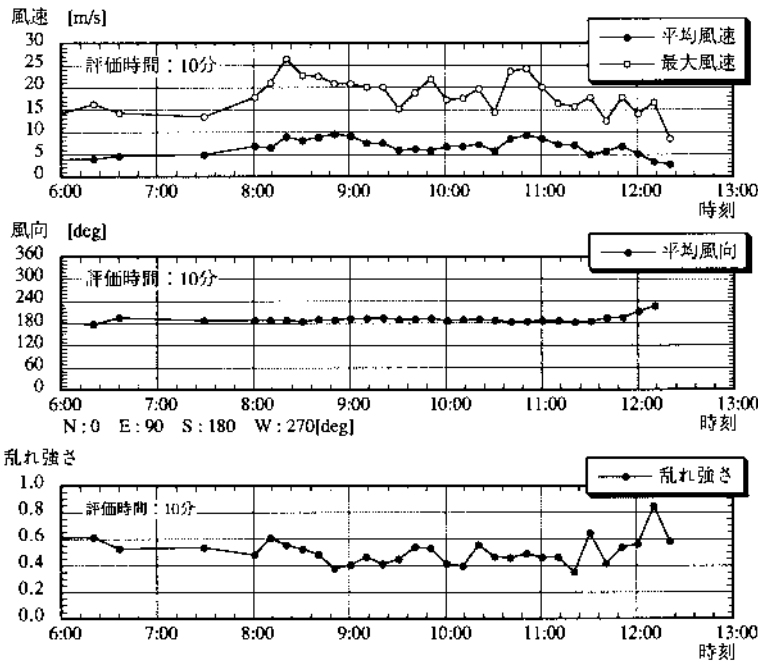


Fig 6 計測地点における風向・風速・乱れ強さの変化

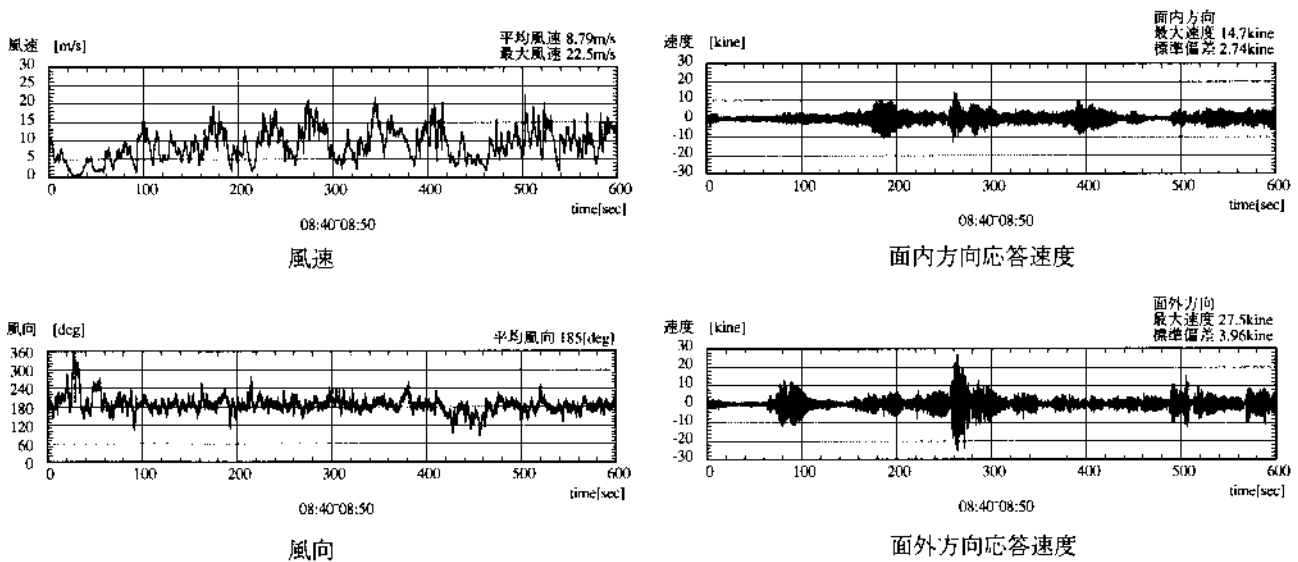


Fig 7 時系列波形の例 (最大応答速度を示したケース 08:40~08:50)

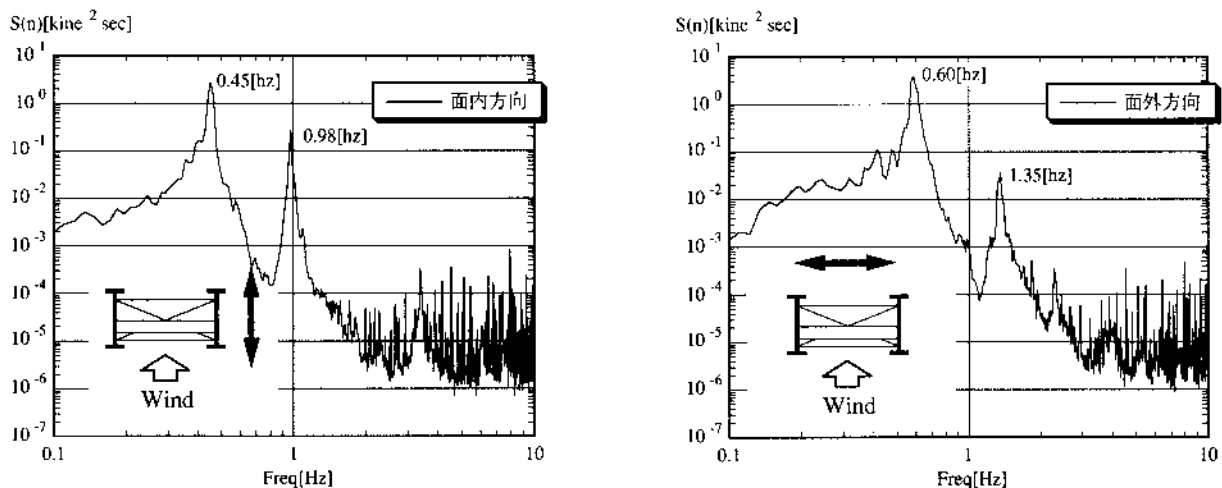


Fig 8 応答速度のパワースペクトル

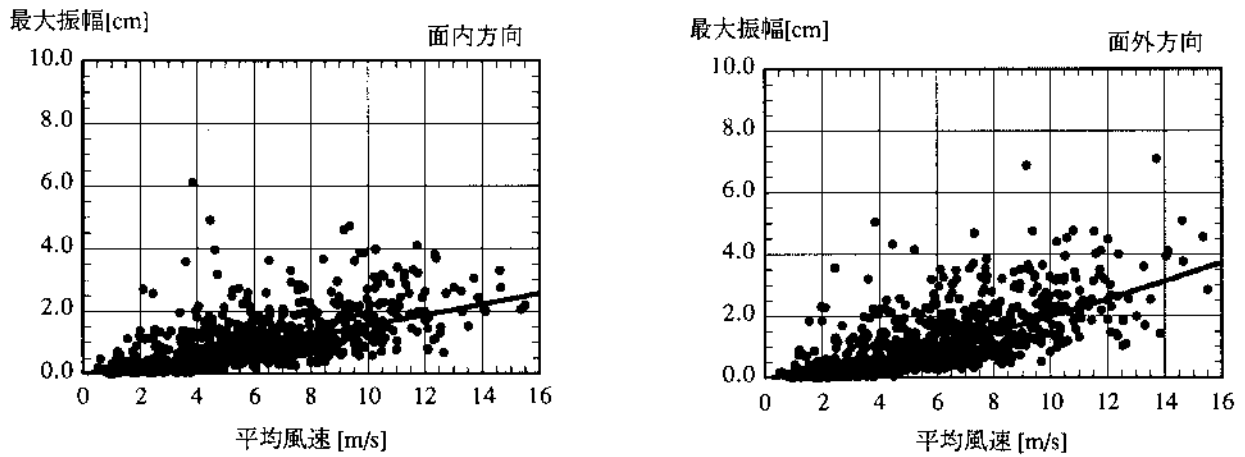


Fig.9 風速と応答振幅の関係

4. おわりに

本報告では、宿茂高架橋架設時に実測された9918台風の風応答計測結果について報告した。同計測時には最大瞬間風速26.4m/sが観測されたが、応答振幅レベルは小さく、後日に桁の回転は無事終了した。

本橋の施工に先立ちP2橋脚ブロックのジャッキアップ完了時を想定して風洞実験を行い安全性を確認している。9918台風は風洞実験と同条件下に襲来し、さながら実橋実験の体をなした貴重な結果である。本計測の結果は風洞実験の結果と併せて検討され今後実施されるジャッキアップ回転架設工法の耐風設計資料の1つになると考えられる。

最後に本工事の計画並びに風洞実験に際し貴重なご意見、ご指導を頂きました横浜国立大学・宮田利雄教授、山田均教授、山岳橋梁架設検討グループの皆様方に心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 中村泰治：“タコマ橋崩落の流体力学的考察”，土木構造・材料論文集，第3号，pp.1-15，1998年
- 2) 竹本健吾，高橋優任，宮田利雄，山田均：“少数主桁橋ジャッキアップ架設工法の耐風安定性に関する研究”，土木学会第53回年次学術講演会，I-B76，1998年