

架設時長大 PC 斜張橋のガスト応答に関する研究 —ガスト応答解析と弾性模型実験の比較—

清水建設 正会員 ○伊藤 靖晃 清水建設 正会員 中島 穰 清水建設 正会員 小林 秀人
清水建設 非会員 酒井 佑樹 清水建設 正会員 清水 和昭

1. はじめに 長大 PC 斜張橋の張出し施工時は、鋼製の長大橋梁と同様に耐風安定性の確保が重要な課題となる。渦励振やフラッターは部分模型による風洞実験で評価が可能であるが、ガスト応答については気流や空気の空間分布が重要な要素となるため、部分模型を用いた評価は一般的に困難である。このため、ガスト応答の評価は一般的に弾性模型を用いた風洞実験やガスト応答解析によって行われる。弾性模型実験は実験コストが大きく、全てのプロジェクトで実施することは困難である。一方、ガスト応答解析についてはコスト的なメリットは大きいものの、架設時の鉛直ガスト応答については限られた検討事例¹⁾しかなく、精度の検証が十分に行われているとは言えない。そこで本研究では、架設時の長大 PC 斜張橋を対象に弾性模型実験とガスト応答解析を合わせて実施することにより、ガスト応答解析の精度検証を行う。

2. モデル橋梁の構造諸元と実験条件 対象とするのは前報²⁾の断面を有する中央支間長 375m の PC 斜張橋である。張出し長は最大で 185m であり、最大張出し時の構造一般図を図 1 に示す。架設時には補強のため橋脚と主桁間に仮設ケーブルを設置した。鉛直 1 次モードの固有振動数は 0.065Hz、等価質量は 54.1t/m である。非地震国を想定したため、国内における同程度の支間長を有する PC 斜張橋と比較すると固有振動数が小さい。架設時の設計基準風速は非台風域を想定し 27m/s とし、粗度区分は I とする。弾性模型は風洞などの制約から縮尺を 1/150 とし、フルード数に関する相似条件を満足するように設計した。鉛直 1 次モードの固有振動数は、設計値 0.80Hz に対し 0.79Hz であり、対数減衰率は 0.021 であった。

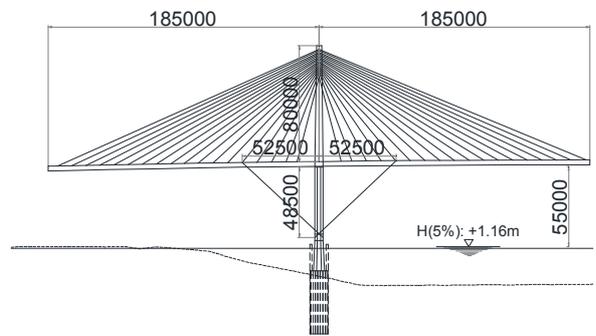
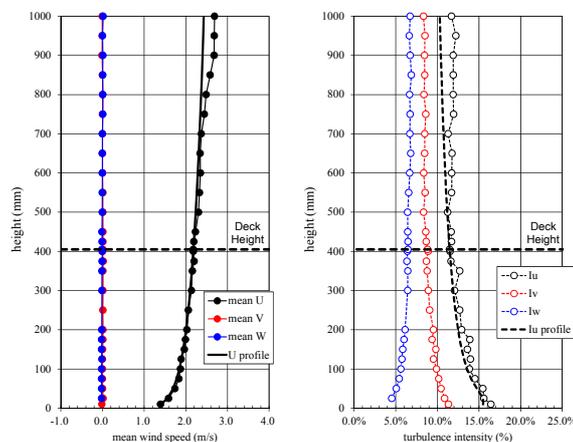


図 1 モデル橋梁の架設時の構造一般図



(a) 平均風速 (b) 乱れ強度

図 2 気流の鉛直プロファイル

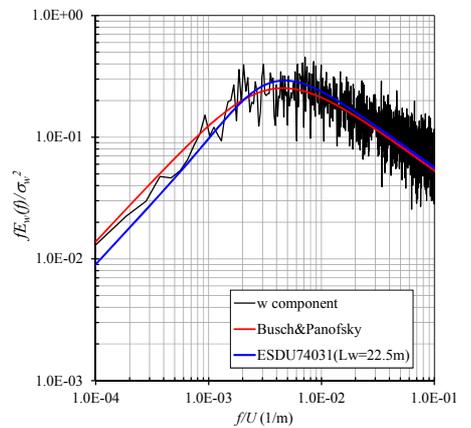


図 3 鉛直成分のパワースペクトル

実験は境界層乱流中に行った。実験に用いた気流の平均風速および乱れ強度の鉛直プロファイルを、道路橋耐風設計便覧に基づく目標値と合わせて図 2 に示す。また、桁高における気流の鉛直成分のパワースペクトル (以下、PSD) を Busch&Panofsky の PSD と合わせて図 3 に示す。ただし、Busch&Panofsky の PSD との比較のため、横軸を実スケールに換算した。主流成分の平均風速および乱れ強度は目標値と極めて良く一致している。桁高における鉛直成分の乱れ強度は 6.5% であった。鉛直成分の PSD は、ガスト応答解析に用いる Busch&Panofsky の PSD と良く一致しており、乱れのスケールも目標値と良く一致している。

キーワード ガスト応答解析, 弾性模型実験, 架設時, 斜張橋

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設 技術研究所 TEL 03-3820-5523

低風速域での風洞気流のバラツキの影響を低減するため、実スケールで80分相当の評価時間を採用した。レーザー変位計(Keyence,IL-300)により、この評価時間内での応答変位の最大値および標準偏差を算出した。

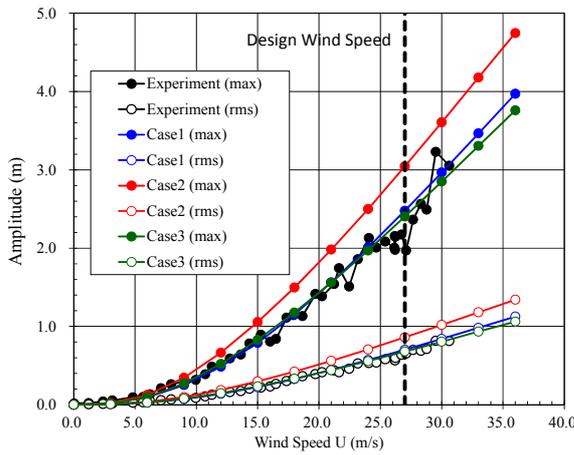


図4 鉛直ガスト応答振幅の比較

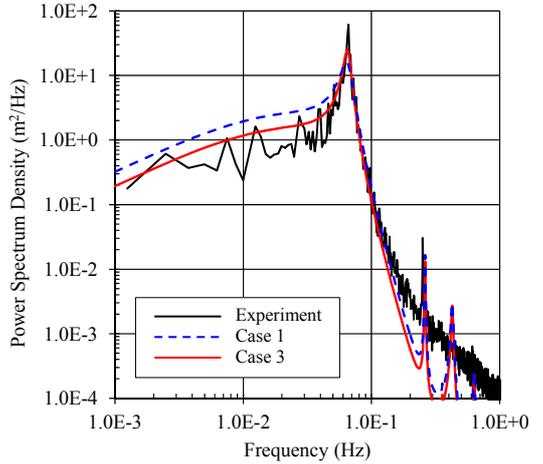


図5 鉛直ガスト応答のPSDの比較

3. 実験結果 橋軸直角方向から気流が作用した場合の桁先端(最大張出し位置)での最大鉛直変位および標準偏差(実スケール換算, 片振幅)を図4に示す。さらに鉛直応答のPSDを図5に示す。風洞実験の結果, 設計風速において最大2.2mの比較的大きな応答が生じることが確認された。また, PSDから鉛直ガスト応答はほぼ1次モードのみで生じることが確認できる。

4. ガスト応答解析 モデル橋梁に対し, 前報²⁾で計測した各種空気力係数を用いてガスト応答解析を実施し, 実験結果との比較を行った。

解析手法は本州四国連絡橋耐風設計基準(2001)・同解説³⁾(以下, 本四基準)に示された手法を基本とした。ただし, 桁の鉛直ガスト応答解析の手法を拡張し, 主塔に作用するガスト空気力が桁の応答に与える影響を考慮した。また, 実験結果との比較のため, ガスト応答解析における評価時間は80分とし, 桁に作用する気流の鉛直成分の乱れ強度は6.5%とした。その他の解析条件を表1にまとめる。本研究では, 表2に示す3つのケースについて解析を実施し, 空力減衰や空気力係数の評価が解析結果に与える影響についても検討を行った。

表1 ガスト応答解析に用いたパラメータ

	Deck (smo.)	Deck (turb.)	Tower
Lift Gradient	10.24	7.88	3.45
Deck Width	30.0m	Tower Width	5.0m
Struct. Damp.	0.02	Power index	0.12
Decay fact.(hori)	8.0	Decay fact.(ver.)	8.0

表2 ガスト応答解析の各ケースの空気力条件

ケース名	空力減衰	揚力勾配
Case 1	準定常(一様流)	一様流
Case 2	非定常空気力係数(乱流)	一様流
Case 3	非定常空気力係数(乱流)	乱流

各ケースの風速毎の解析結果を図4に実験結果と合わせて示す。本四基準に基づいた空気力を用いたCase1は実験結果と解析結果が良く一致することが確認された。ただし, パワースペクトルの形状は一致しておらず, 空力減衰について過大評価しているものと考えられる。空力アドミッタンスに一様流中の値を用いているため, ガスト空気力も過大評価し, 結果的に応答が一致したものと考えられる。一方, 空力減衰に非定常空気力係数から算出される値を用いたCase2では, 応答振幅を過大評価することが確認された。乱流中の非定常空気力係数によって空力減衰を適切に評価する一方, Case1と同様に空力アドミッタンスを過大評価したことが原因であると考えられる。Case3では図4に示した応答変位の実験結果と解析結果は良く一致することが確認された。低周波数域で若干の過大評価をしているものの, パワースペクトルも実験結果と良く一致しており, 対象としたモデル橋梁ではガスト応答解析を用いて架設時の鉛直ガスト応答を適切に評価できることが確認された。

5. 結論 張出し架設時の長大PC斜張橋を対象に, 弾性模型を用いた風洞実験とガスト応答解析を実施し, 最大張出し時において最大2.2mの鉛直ガスト応答が生じることが確認された。対象としたモデル橋梁においては, ガスト応答解析結果と風洞実験の結果は良く一致することが確認された。今後, 構造諸元が異なるケースや風向の影響について検討を行う必要がある。

参考文献 1)中村ほか, 斜張橋の斜風による鉛直ガスト応答の予測, 川崎製鉄技報, 1995., 2)清水ほか, 架設時長大PC斜張橋のガスト応答に関する研究—静的空気力と非定常空気力の評価—, 土木学会年次学術講演会, 2017., 3)本州四国連絡橋耐風設計基準(2001)・同解説, 本州四国連絡橋公団, 2001.