

ルーマニア・ブレイラ橋の補剛桁の耐風設計

(株) IHI インフラシステム 正会員 ○杉田 吏絵
(株) IHI インフラシステム 非会員 島 宜範

1. はじめに

ルーマニア国の東部で、ブレイラ地方とジジラ地方を結ぶ 23km にわたる国道の Design & Build プロジェクトが進行中である。この道路網に含まれるブレイラ橋は、ドナウ川を跨ぐ中央径間 1,120m、全長 1,974.3m の吊橋（図-1）であり、桁高 3.2m の鋼製箱形補剛桁（図-2）、高さ 192.64m のコンクリート製主塔（図-3）などで構成される¹⁾。本稿では、補剛桁の耐風安定性に着目し、2017 年～2018 年に実施した風洞試験について紹介する。

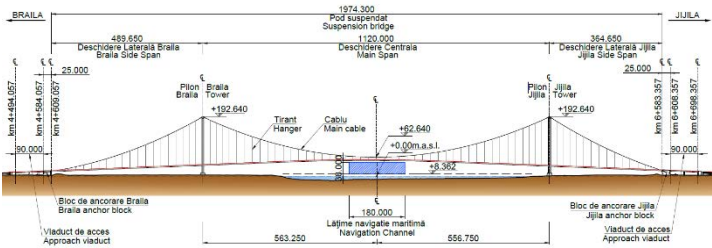


図-1 橋梁一般図

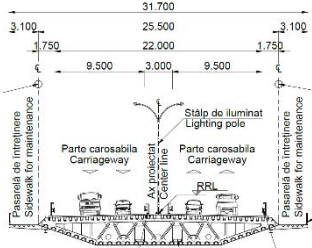


図-2 補剛桁

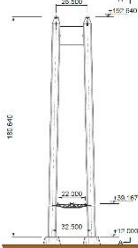


図-3 主塔

2. 試験概要

補剛桁の定常・非定常空気力係数の計測およびフラッターや渦励振に対する安定性確認のため、2017 年 11 月から 2018 年 11 月まで 4 回にわたり、デンマークの FORCE Technology にて 2 次元風洞試験を行った。表-1 に示すように、桁高および Side walk 下の検査車用レールの有無により 6 つのモデルを設定し、縮尺 1:75 で模型を作成した。迎角は-2°、0°、+2°と変化させた。

その後、風向の影響や 3 次元性を考慮した動的不安定現象の確認のため、2018 年 9 月～10 月にイタリアの Politecnico de Milano にて 3 次元風洞試験（図-4）を行った。モード形状や振動数といった動的特性が実際の橋梁と一致するよう重量や剛性、メインケーブルの引張力を調整した縮尺 1:150 の全橋模型を作成した。その際、表-2 のように供用時および 2 段階の架設時を想定し、現地気象統計データに基づき風の乱れ状態および風向を設定した。



図-4 3次元風洞試験における架設時 2 モデル

表-1 2次元風洞試験におけるモデル

モデル	桁高	検査車用レール
A1	3.0m	有
A2		無
B1	3.2m	有
B2		無
C1	3.5m	有
C2		無

表-2 3次元風洞試験におけるモデル

モデル	風の乱れ状態	橋軸方向に対する風向
供用時	一様流	90°
		67.5°
	乱流	90°
架設時 1	乱流	67.5°
		90°
架設時 2	乱流	67.5°
		90°

キーワード 吊橋，補剛桁，風洞試験，フラッター，パフエッティング

連絡先 〒108-0023 東京都港区芝浦 3 丁目 17 番 12 号 吾妻ビル TEL 03-3769-8660

3. 試験結果

補剛桁を対象とした2次元風洞試験により得られたフラッター限界速度を図-5に示す。ここに、Criteriaは客先要求、EN 1991-1-4²⁾およびPD 6688-1-4³⁾を基に設定した基準である。同図より、いずれのモデルにおいてもCriteriaを満たしていることが分かる。また、試験結果とSelbergの式により算出されるフラッター限界風速との比較を表-3に示すが、両者はよく一致している。

全橋を対象とした3次元風洞試験では、モデルの剛性および振動数がそれぞれ設計およびFEM解析結果と一致することを確認した。フラッターに対する応答については、供用時モデルでは本試験最大風速である実橋風速72m/sまでフラッターは観測されず、最大風速時の空力減衰は0.62%であった。したがって、供用時モデルは図-5に示すCriteriaを満たしている。架設時1および架設時2モデルでは、どちらもフラッター限界速度が63m/s以上であり、現地風況を考慮するとフラッターに対する安定性は十分であると考えられる。バフエッティングに対する応答については、図-6および図-7にそれぞれ供用時モデルにおいて得られた補剛桁の水平変位および鉛直変位の標準偏差を示す。ここに、S1はBraila側側径間の中央、S3は中央径間の中央を示す。両図より、現地風況では補剛桁の空力安定性に影響を及ぼさないことが分かった。また、補剛桁および主塔では90°の風向で渦励振が観測されたが、その振幅は許容範囲内であった。以上、3次元風洞試験により、設計の妥当性が示された。

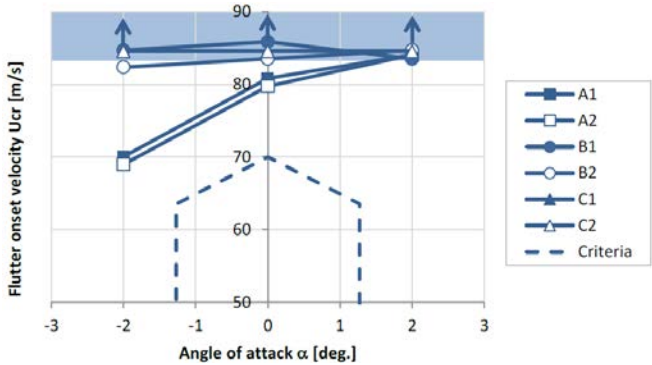


図-5 2次元：迎角とフラッター限界速度の関係

表-3 2次元：迎角0°のフラッター限界風速 [m/s]

モデル	風洞試験	Selberg の式
A1	81	82
A2	80	82
B1	>86	89
B2	>84	89
C1	>85	93
C2	>85	93

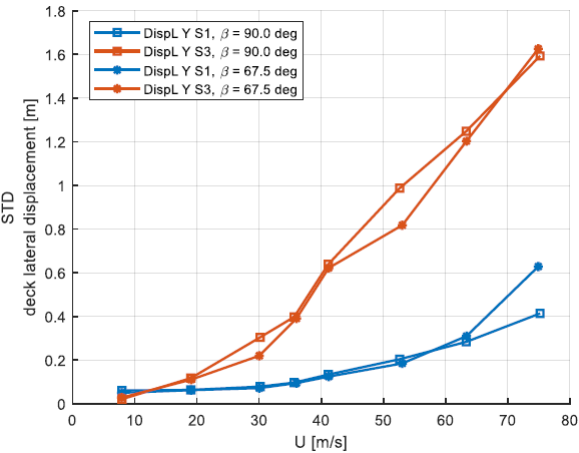


図-6 3次元：供用時の水平変位の標準偏差

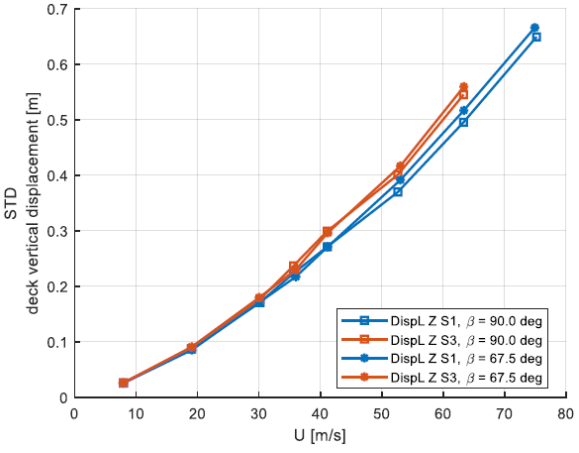


図-7 3次元：供用時の鉛直変位の標準偏差

4. おわりに

ブレイラ橋では、補剛桁の耐風安定性を確認するため、2次元および3次元風洞試験を行った。その結果、架設時・供用時のいずれにおいても、静的・動的安定性が保たれることが分かった。現在は、主塔建設が完了し、ケーブル架設が始まっている。引き続き安全な工事を心掛ける。

参考文献

1) 工藤光弘：ブレイラ地区ドナウ河橋プロジェクト（ルーマニア），橋梁と基礎 2018 年 6 月号
2) CEN：Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions, 2005
3) BSI：PD 6688-1-4: Background information to the National Annex to BS EN 1991-1-4 and additional guidance, 2009