

斜風下での明石海峡大橋の応答

本州四国連絡高速道路株式会社 正会員 ○花井 拓
 本州四国連絡高速道路株式会社 正会員 竹口 昌弘
 本州四国連絡高速道路株式会社 正会員 本郷 誠人

1. はじめに

明石海峡大橋では、耐風設計の検証や維持管理段階における耐風安全性の確認のために動態観測を行っている。平成 30 年度は非常に強い勢力の台風が日本に上陸したが、その時に観測された動態観測データについて分析を行い、当初設計時の考え方との比較を行った。

2. 動態観測結果

平成 30 年台風 21 号は、平成 30 年 9 月 4 日 12 時前に徳島県南部に上陸、その後 14 時前に兵庫県神戸市付近に再上陸した。上陸時の気圧は 950hPa であり、最大風速 55m/s を記録している¹⁾。明石海峡大橋では動態観測を目的として多くの計測機器が設置されている(図-1)。このうち、中央径間中央に設置されている風向風速計と GPS で取得されたデータについて分析を行った。観測された風のデータ(10 分間の統計値)を図-2 に示す。11 時頃から風速が上昇し始め、13 時 18 分頃に 10 分間平均風速 37m/s、最大瞬間風速 52.2m/s を記録した(いずれも観測史上最大)。風向については上陸までは東よりの風であったが、上陸後風向が反転し西よりの風となった。図-3 に、最大水平変位 7.6m(観測史上最大)を記録した 13 時 28 分頃の風速、桁中央部水平変位の時刻歴データを示す。桁は周期性をもった振動をしていることが分かる。図-4 は今回計測された風データの、風向の橋軸直角方向からの偏角と平均風速の関係を示したものである。図より、風データのほとんどは偏角 30 度以上であり多くは 60 度付近に集中していることが分かる。これまでの動態観測データを用いた明石海峡大橋の耐風設計検証においては、橋軸直角方向から ± 30 度の範囲においては、平均変位は設計値とよく一致すると報告されている²⁾。一方、今回計測された変位は斜風の影響により設計値よりも小さい値となっている。

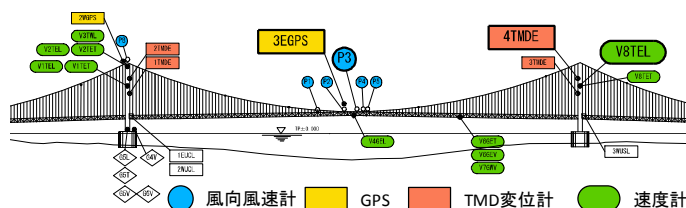


図-1 明石海峡大橋の動態観測設備

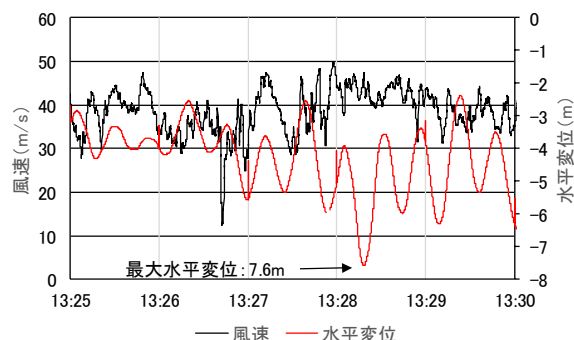


図-3 風速と桁中央部の水平変位

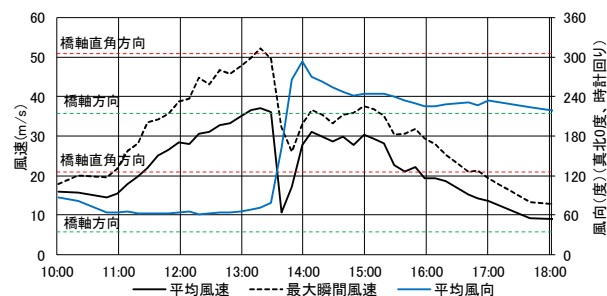


図-2 風速と風向

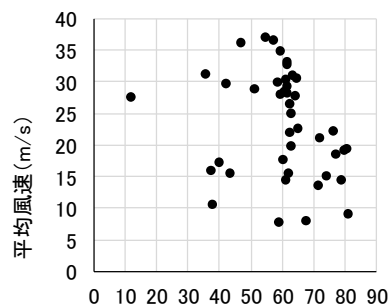


図-4 風向の橋軸直角方向からの偏角と風速

キーワード 動態観測, 耐風設計, ガスト応答解析

連絡先 〒651-0088 神戸市中央区小野柄通 4-1-22 TEL 078-291-1071 FAX 078-291-1359

3. 斜風の影響

明石海峡大橋の設計段階においては、斜風に対する空気力係数の計測も行われている。図-5 はその時に計測された抗力係数 C_D を、偏角 0 度の抗力係数 $C_D(0)$ で無次元化したものである。この関係を用いて、式(1)により平均風速を換算した場合の桁中央水平変位が図-6 である。

$$U' = \sqrt{\phi(\beta)} \times U \quad (1)$$

ここに、 U' ：抗力係数換算した平均風速、 U ：計測された平均風速、 $\phi(\beta)$ ：図-5 に示す抗力係数の低減係数、 β ：橋軸直角方向からの偏角である。図より、偏角を考慮して風速を補正することにより、平均変位は設計値とよく整合することが分かる。一方で、動的成分については設計値に対して依然ばらつきを示す結果となっている。

4. 乱れの影響

明石海峡大橋の設計においては、風速の乱れ強度 $I_u = 10\%$ として応答を計算している。一方、今回観測された風データでは、乱れ強度は 10～15%程度が多く、また風向が西寄りに反転した直後は 5～10%程度になっている。そこで、これら動的成分について、乱れ強度を用いた補正である式(2)、ガスト応答解析結果を用いた補正である式(3)を用いて補正を行った。

$$y' = (I_{uD}/I_u)^2 \times y \quad (2)$$

$$y' = (y_{gD}/y_g) \times y \quad (3)$$

ここに、 y' ：換算された桁の水平変位動的成分最大値、 y ：計測された桁の水平変位動的成分最大値、 I_{uD} ：設計で考慮した乱れ強度 (=10%)、 I_u ：計測された乱れ強度、 y_{gD} ：設計で考慮している風速のスペクトルを用いたガスト応答解析による桁の水平変位動的成分最大値、 y_g ：観測された風速のスペクトルを用いたガスト応答解析による桁の水平変位動的成分最大値である。なお、ガスト応答解析は斜風の影響を考慮せず、風速の絶対値が橋軸直角方向から作用するとして解析を行った。補正された動的成分最大値 (U' が 20m/s 以上) を図-7 に示す。計測値の横の数値は、乱れ強度を示す。乱れ強度を用いた補正では、設計値に近づくケースもあるものの、逆に乖離が大きくなるケースも見られる。一方ガスト応答解析結果で補正した値は、最大変位を記録したデータを除いて概ね設計値に近い値を示している。乱れ強度による補正は、風の乱れの全ての周波数帯を一つの指標として代表しているのに対して、ガスト応答解析では乱れの周波数成分毎の橋体の応答を評価するため、より精度の高い推定になったと考えられる。

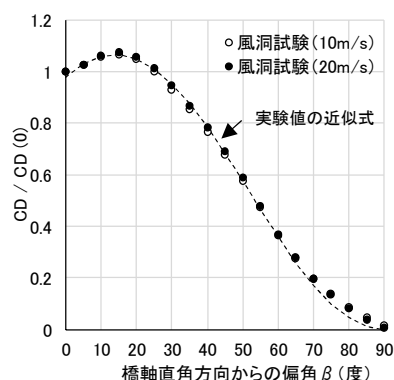


図-5 風の偏角による
抗力係数の低減

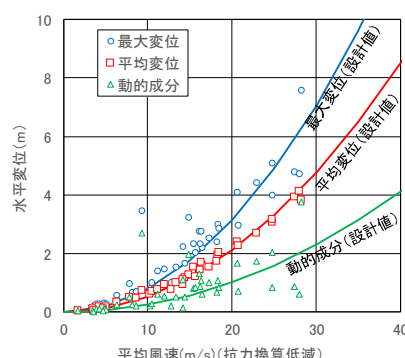


図-6 桁中央水平変位の設計値と観
測値の比較（風速を偏角で補正）

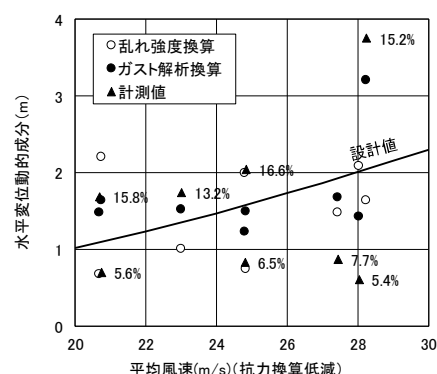


図-7 風の乱れを考慮した
桁水平変位の動的成分

5. おわりに

平成 30 年台風 21 号の動態観測記録について設計値との比較を行った。風の橋軸直角方向からの偏角や、実際の風の乱れの状況などを勘案することにより、橋体の挙動を当初設計の考え方をベースに説明することができた。一方、これらを勘案しても動的成分については設計値よりも大きくなるが、今回観測された風速（10 分間平均風速 37m/s）は、設計で考慮している桁位置での風速（59.8m/s）よりもかなり小さく、高風速域では乱れ強度が設計想定よりも小さくなることも考えられる。今後動態観測を継続し、高風速域での応答についても検証を行って行く。

参考文献 1) 気象庁ホームページ： <https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/data/typhoon/T1821.pdf>

2) 楠原，ほか：本四連絡橋の動態観測，本四技報，Vol. 32 No. 110，pp. 24-27，2008.3，