

横風中を走行する車両に作用する空気力に関する考察

京都大学大学院工学研究科 学生会員 ○和田 光平 京都大学大学院工学研究科 正会員 白土 博通
 中日本高速道路(株) 正会員 立花 嵩* 西日本旅客鉄道(株) 非会員 岡本 光生**
 京都大学大学院工学研究科 非会員 張 東明 京都大学大学院工学研究科 正会員 八木 知己

*研究当時京都大学大学院生 **研究当時京都大学学部生

1. 序論 橋梁や築堤上など、横風を受けた車両の横転事故が起きる警戒区間が存在する。ひとたび事故が起きると運転者、同乗者、積載物や後続の交通への影響は少なくなく、防止策を十分に練ることが求められる。本研究では風洞実験・数値流体解析・現地風況観測試験によって、車両横転に寄与する空気力について考察を行った。

2. 静的空気力の評価 横転に寄与する静的空気力を算出するには、車両形状に応じた空気力係数が必要である。本研究では風洞実験・数値流体解析(OpenFOAM)の両手法を用い、トラックを模擬した直方体の地表面付近の境界層の影響を考慮した空気力係数を求めた。得られた横力係数 C_s 、抗力係数 C_d 、揚力係数 C_l 、ヨーイングモーメント係数 C_y をFig.1に示す。車両前面から吹く際の風向偏角を 0° とし、各空気力係数は直方体の構造軸方向に定義する(Fig.2)。なお、3章で用いる空気力係数は以下の式で定義を行う。

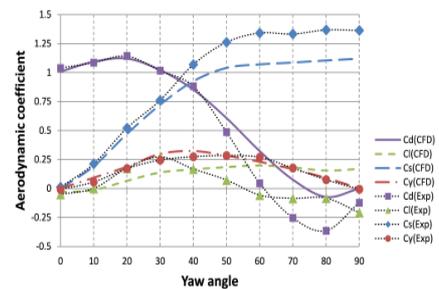


Fig.1 地表面付近の空気力係数

$$C_s = \frac{F_s}{\frac{1}{2}\rho U^2 BH}, \quad C_y = \frac{M_y}{\frac{1}{2}\rho U^2 BH^2} \quad (1)$$

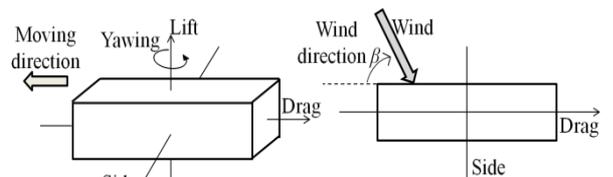


Fig.2 空気力係数の定義

3. 非定常空気力の評価

(1) 車両に作用する過渡空気力特性 走行車両に作用する風速風向が横風により急変した時の過渡空気力特性について検討を行う。2章と同一の直方体モデルを横風区間に突入させる走行試験を行い、モデルに作用する空気力を計測した。白石らの研究¹⁾を参考に、無次元時間を τ 、被畳み込み関数を合成風向 β の空気力係数と合成風速 U の自乗を乗算したものと定義する。空力インディシャル応答関数 $\psi(\tau)$ 、直方体長さ B 、直方体高さ H を用いて横力 $F_s(\tau)$ 及びヨーイングモーメント $M_y(\tau)$ を以下の式により近似した。

$$F_s(\tau) = \frac{1}{2}\rho BH \int_0^\tau \psi_s(\tau) \frac{dC_s(\beta)U^2(\tau)}{d\tau} d\tau^* \quad (2)$$

$$M_y(\tau) = \frac{1}{2}\rho BH^2 \int_0^\tau \psi_y(\tau) \frac{dC_y(\beta)U^2(\tau)}{d\tau} d\tau^* \quad (3)$$

$\psi(\tau)$ のパラメータを変え、実測値と近似値による $F_s(\tau)$ 及び $M_y(\tau)$ を比較し、空気力の立ち上がり具合を最も良好に近似する関数 $\psi(\tau)$ の決定を行った。Fig.3に横力、Fig.4にヨーイングモーメントの測定結果(青の実線)ならびに準定常空気力(緑の鎖線)、式(2)及び(3)による近似空気力(赤の破線)を示す。

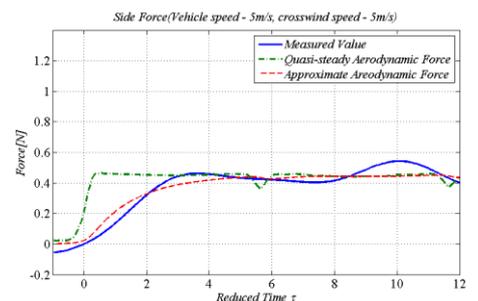


Fig.3 横力の過渡空気力特性

この際の空力インディシャル応答関数は以下の式で表わされる。

$$\psi_s(\tau) = 1 - 1.09e^{-0.66\tau} - (-0.009)e^{-10\tau} \quad (4)$$

$$\psi_y(\tau) = 1 - 20e^{-0.7\tau} - (-19)e^{-0.6\tau} \quad (5)$$

キーワード 車両横転, 過渡空気力特性

連絡先 〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂 C1-3-457 TEL 075-383-3170

横力については、overshoot 現象が発生しないことが明らかとなった。一方ヨーイングモーメントについては、overshoot 現象の発生が確認された。しかし車両速度と風洞風速の組み合わせによって風向偏角の変化量が異なるため、一律のインディシャル応答関数で過渡空気力を表すことは困難であった。

(2) 走行車両に作用する実際の風と評価空気力

しまなみ海道に存在する愛媛県大三島橋の定点観測にて得られた風況計測結果と同時刻に大三島橋上を走行する車両にて観測された風速，風向測定結果をもとに考察を行った。Fig.5 に定点観測風速（黒の点線），定点観測風速に車速（70km/h）を加えた合成風速（緑の破線），走行車両上で観測した風速（赤の実線）を示す。図中の縦の青の破線はアーチリブ部を示す。これよりアーチリブ後流域において風速が急に上昇する傾向は見られず，橋梁上では定点観測値に車両速度成分を加えた緑の破線と走行車両上で観測した赤の実線が概ね一致するものの，部分的あるいは他のケースでは車両上の観測値の方が大きくなる場合もあり，橋梁上の場の風に対する対策の必要性につながるものと考えられる²⁾。

Fig.6 に車速 70km/h で走行する車両の横転リスク曲線²⁾ と今回の観測時における上り線（尾道方向，60°-70°付近に位置する緑線）風況，下り線（今治方向，110°-120°付近に位置する赤線）風況の一例を示す。各風向で横転リスク曲線を上回る風速値の風が吹く場合，車両横転に対して危険であると言える。上下線で横転限界風速値が異なる値となっており，風況によっては上下片側規制もあり得ると考えられる。

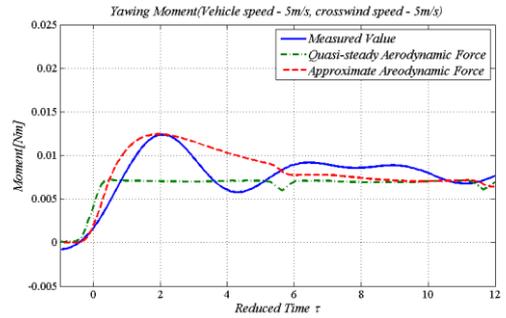


Fig.4 ヨーイングモーメントの過渡空気力特性

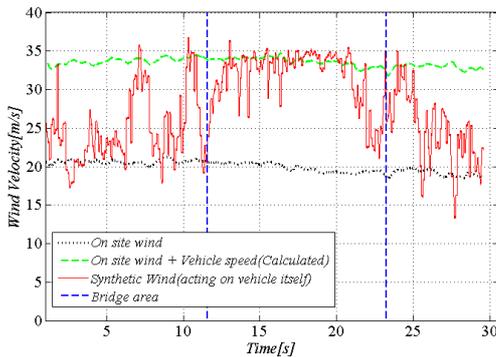


Fig.5 定点・走行車両上観測

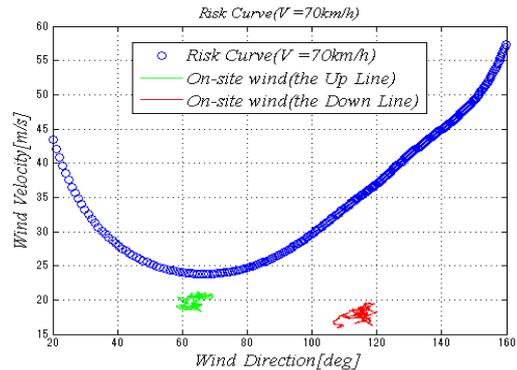


Fig.6 横転リスク曲線・上下線風況

4. 結論 以下に本研究で得られた結論を記す。

- 1) 車両に作用する横力に関して overshoot 現象の発生が確認されない一方，ヨーイングモーメントには overshoot の存在が確認された。
- 2) 上下線で車両に作用する相対風向に違いがあるため，車両横転の限界風速値が異なり，風況次第では片側車線のみの規制方法もあり得ると考えられる。

謝辞 本研究の一部は科学研究費（挑戦的萌芽研究，課題番号 25560162）により行われた。本研究で用いた風況データは本州四国連絡高速道路（株）により提供頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 白石成人，松本勝，白土博通，「風の乱れに起因する構造物の非定常空力特性に関する基礎的研究」，土木学会論文報告集，第 328 号，pp.19-30，(1982)
- 2) 立花嵩，和田光平，白土博通，服部洋，八木知己，「車両横転事故防止を目的とした警戒システムの検討」，第 23 回風工学シンポジウム論文集，pp.343-348，(2014)