

横風強風時の車両走行シミュレーション

東京大学大学院 学生員 丸山 喜久
 東京大学生産技術研究所 正会員 山崎 文雄

1. はじめに

高速道路の整備がすすみ、自動車が高速走行する機会も増えてきた。また、高速道路構造物には長大斜張橋や吊橋などさまざまなタイプのものが建設されるようになってきている。ビルの谷間を走る都市内高架橋では走行車両にビル風が局所的な突風として作用し、安定走行に影響を与えるものと考えられる。また、斜張橋などでも橋梁主塔部の急激な風速変化が車両の走行に影響を与えることも報告されている¹⁾。そこで、本研究では車両の数値モデルを用いて、横風時の応答特性を評価した。さらに、東京大学生産技術研究所に導入されたドライビングシミュレータ²⁾を用いて、横風時の走行模擬実験を行った。

2. 走行車両の横風応答解析

図-1 に構築した車両モデルの座標系を示す。車両の基本運動は重心固定座標系で考えると x, y, z 軸の並進・回転の 6 自由度であるが路面からの外乱入力やエンジンの振動の影響を考慮しないので z 軸方向の並進運動であるバウンス運動は考慮せず 5 自由度系として考えている。速度 (u, v) で走行している車両が風速 w の横風を受けた場合、図-2 に示すように、車両には横力 Y_w とヨーイングモーメント N_w が作用する。

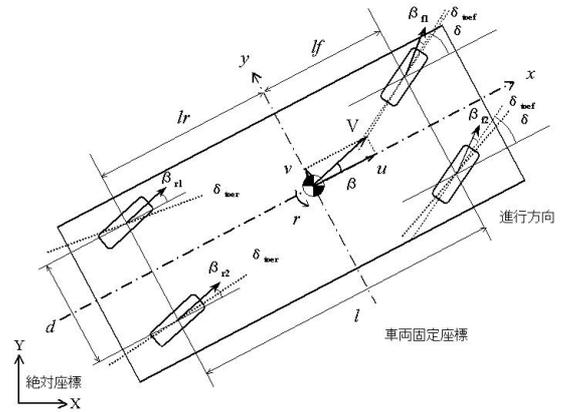


図-1 車両モデルの座標系

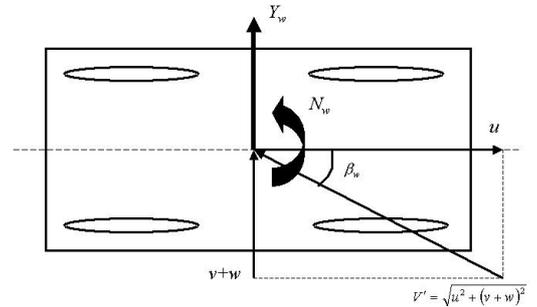


図-2 横風が車両に及ぼす空力

$$Y_w = C_y \rho S \{u^2 + (v+w)^2\} / 2 \quad (1)$$

$$N_w = C_n \rho S (l_f + l_r) \{u^2 + (v+w)^2\} / 2 \quad (2)$$

ここで、 S は車両前面投影面積、 ρ は空気密度である。 C_y は横力係数、 C_n はヨーイングモーメント係数であり、いずれも図-2 に示す大気横滑り角 β_w の関数である。

図-3 に、走行車両の応答量の最大値と車速、風速の関係を示す。ここでの風速条件は、一定風速を持つ横風を 1 秒間車両に作用させている。ヨー角速度については、車速、風速が増加するにつれて応答量も一様に増加していく。一方、横速度に関しては、車速を 100km/h とした場合は、風速の増加に伴い応答量が增大していくが、車速が小さい場合は、風速により、その応答量はあまり変化していない。車速が 100km/h のときには、車速が小さいときと異なり、風上側に横速度が発生していることを確認している。これは、車速が大きくなるにつれて、ヨーイング運動に伴う大きな

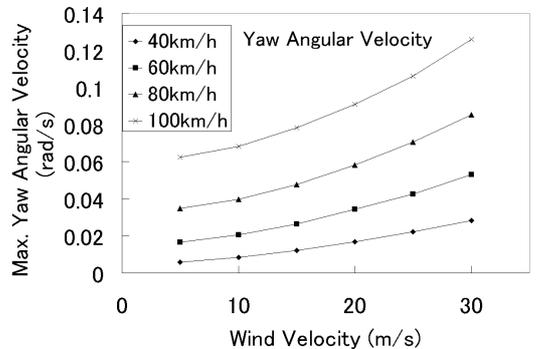
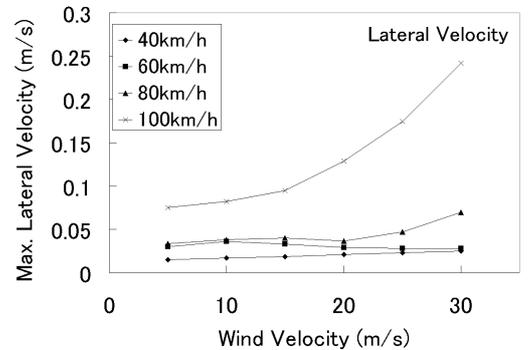


図-3 車速・風速と車両の応答量の関係

遠心力が車両に作用し、車体がスリップしているものと考えられる。

3. ドライビングシミュレータを用いた走行模擬実験

以上の数値解析では、運転者の反応を考慮していない。そこで、三菱プレジジョン（株）によって開発されたドライビングシミュレータを用いて横風時の走行模擬実験を行った。自動車は人間によって運転されてはじめて目標コースに沿って走行できるのであり、自動車の走行特性は操縦が加えられた状態で考える必要がある。さまざまな人間の制御と車両の運動の相互作用を考慮できるモデルが提案されているが、本研究では吉本³⁾により提案された2次予測による前方誤差補正モデルを用いて解析的に求めた横風時の車両の走行軌跡とドライビングシミュレータによる模擬実験の結果を比較した。

図-4に、実験結果と吉本モデルにより算出された車両の走行軌跡を比較する。実験条件は、指示車速を100km/h、25m/sの矩形横風を時刻5-10、15-20秒に進行方向右側より作用させている。これによると、吉本モデルは比較的簡単な運転者のモデル化ではあるが、車両の走行軌跡がある程度の精度で再現できているものと考えられる。そこで、実験条件をより現実近づけるために図-5のような横風を進行方向左側より作用させた。これは、車両が時刻20、40秒に橋梁の主塔を通過するとして横風をモデル化している。横風風速は、主塔に近づくとつれて増速し、主塔の背後で急激に弱まり、主塔の後流部から出ると再度増速する¹⁾。図-6に指示速度を100km/hとしたときの走行模擬実験の結果と、吉本モデルによる解析結果を示す。これによると、実験結果に個人差が見られるが、ハンドル操舵角、走行軌跡とも比較的精度良く実験結果を再現できていると考えられる。

4. まとめ

本研究では、横風時の車両走行シミュレーションを数値解析、ドライビングシミュレータによる走行模擬実験の両面から検討を行った。走行模擬実験の結果と吉本の2次予測モデルを用いた運転者の反応も考慮した数値解析結果を比較すると、吉本のモデルが運転者の反応の大まかな傾向を再現できていることが分かった。本研究の成果は、高速道路構造物における適切な防風柵の設計法などに応用できるものと期待される。

参考文献

- 1) Phongkumsing S: Experimental study on wind effects on vehicles passing in the wake of bridge towers, 東京大学博士論文, 2001.
- 2) 丸山喜久, 山崎文雄: ドライビングシミュレータを用いた地震時車両走行模擬実験, 第11回日本地震工学シンポジウム, pp. 2283-2288, 2002.
- 3) 吉本堅一: 予測を含む操舵モデルによる人間自動車系のシミュレーション, 日本機械学会誌, Vol. 71, No. 596, pp. 13-18, 1968.

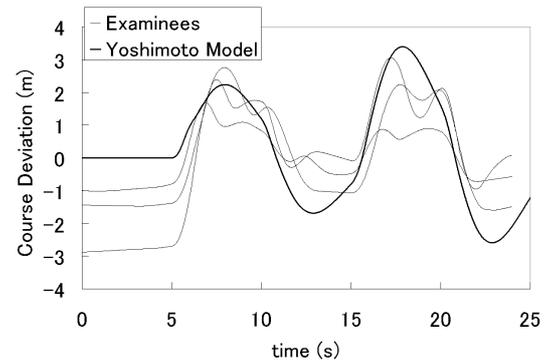


図-4 走行擬実験結果と吉本モデルによる解析結果の比較（矩形横風）

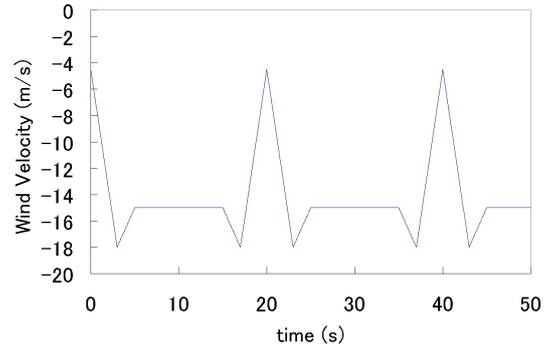


図-5 橋梁主塔通過を想定した横風条件

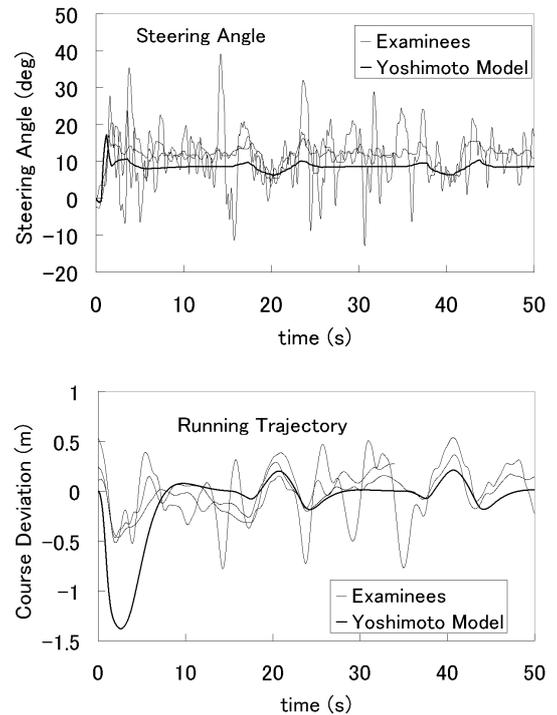


図-6 走行擬実験結果と吉本モデルによる解析結果の比較（主塔通過時）