

I - B 390

横風を受ける自動車の橋梁主塔後流域通過時の挙動

東日本旅客鉄道株式会社 正 員 山崎 聡
 東京大学工学系研究科 正 員 木村吉郎

東京大学工学系研究科 フェロー 藤野陽三
 北海道開発局 正 員 渋谷 元

1. はじめに 強い横風時に橋梁主塔などの物体の背後を自動車が通過すると、後流域における風速の低減により自動車に作用する空気力が大きく変化することとなり、運転者がハンドルをとられて事故が生じる危険性がある。したがって安全性確保のために強風時には通行規制が行われるが、一方利便性確保のためには通行規制を行う風速はなるべく高くすることが望まれ、そのために後流域通過時の風速の低減率を緩やかにするため防風柵等の設置が検討されることがある。防風柵の効果や通行制限速度の検討のためには、主塔の後流域を通過する自動車の挙動を正確に予測する必要があるが、主塔などの物体の背後を通過する自動車に作用する変動空気力についての測定例はあるものの¹⁾、特性については必ずしも明らかとはなっていないことなどから、予測手法は確立されていないのが現状である。

そこで本研究では、橋梁主塔の後流域を通過する自動車の挙動の予測手法を確立することを最終的な目的として、現地における実車走行実験、風洞実験による変動空気力の測定、ならびに自動車の挙動シミュレーションを行った。

2. 現地における実車走行実験 北海道室蘭市の白鳥大橋は、特に冬季に強い季節風が吹くことが多く、開通前の1998年1月に現地において主塔周辺部の風速分布測定および実車走行実験を行い、主塔後流域通過時の自動車の挙動を実測した。走行実験には3種類の車を用いて固定操舵ならびに修正操舵のケースについて測定したが、ここでは1Box車の固定操舵条件の結果について示す。

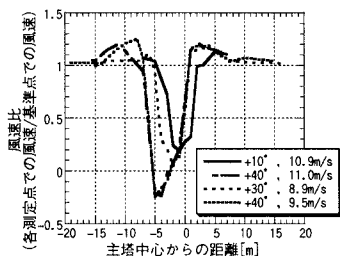


図-1 主塔周辺部の風速分布図

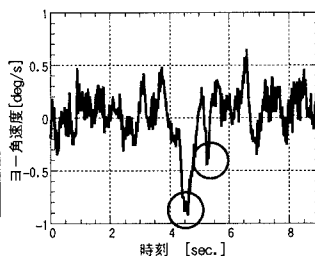


図-2 ヨー角速度の測定結果

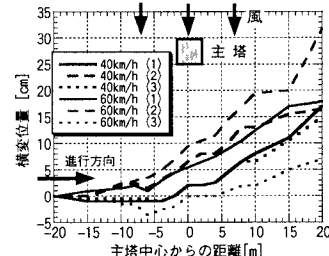


図-3 自動車の横変位置

風速測定の結果、主塔周辺部においては風速が弱まり、風向によっては後流域において平均風速が負となるような領域も存在することがわかった(図-1:凡例には風向(橋軸直角方向から時計回り)と平均風速(主塔の影響を受けない基準点におけるもの)を示す)。走行実験におけるヨー角速度の測定結果から、自動車が後流域に入る時間帯(時刻約4.5秒)と後流域から出る時間帯(約5.3秒)にヨー角速度がピーク状の負の値をとる(車両前部が風上側へ回転することに対応)ことがわかった(図-2に丸で囲んで示す)。後流域に入るまでの間において、横風を受けた状態で自動車が直進を保つために、ハンドルをやや風上側にきった状態で固定することとなるが、後流域に入ると風速が低減するために車両前部が風上側に回転することに4.5秒付近のピークは対応すると考えられる。しかし後流域を出る時間帯に観測されたピークの原因は不明である。また車両の横変位置の測定結果をみると、後流域に入る領域で車両は風上側へ変位し、後流域から出る領域においてもそのまま風上側へ変位することもわかった(図-3)。

3. 風洞における変動空気力の測定 より正確な自動車の挙動の予測を行うために、測定部の大きさが幅:16m、高さ:1.9m、長さ:5.8mの回流型風洞において自動車模型に作用する空気力を測定した。自動車模型を高速で

キーワード: 変動空気力, 後流域, 風洞実験, 車両工学

連絡先: 〒113-8656 文京区本郷 7-3-1 東京大学土木工学科橋梁研究室 tel.5802-3312 fax.5689-7292

正確に直進させるためにリニアモーターガイド(THK 製, GLM20, 全長 3.9m)を利用した。また空気力の測定は, スライダー上に 6 分力計(日章電気: LMC6511)を設置し, その上に取り付けた自動車模型のみ地面の上を走行するようにして行った。縮尺は白鳥大橋の約 1/30 としたが(図-4), 主塔は隅切りを単純化して 120mm×127mm の角柱とした。

測定方法の改善を種々試みたにも関わらず, 慣性力の影響などにより空気力以外のノイズが含まれて, 空気力の検出が困難であった。そこで, 6mm ピッチで出発点をずらして 50 回測定を繰り返してデータを重ね合わせ, さらに Hanning Window を 30 回かけて平均的な変動空気力を得ることとした。その結果を, 白鳥大橋での実測結果に基づく風速分布と自動車模型の空気力係数より求めた, 準定常空気力と比較した(図-5)。その結果, 変動空気力の後流域における低減量は, 準定常空気力のそれに比べて 7 割程度と小さくなることが分かった。

4. 自動車の挙動シミュレーション 風洞実験結果より, 後流域における空気力低減量が 7 割になるように補正した準定常空気力を用いて, 白鳥大橋における走行実験に対応する自動車の挙動シミュレーションを行った。本シミュレーションでは, 車両重心点と走行車線との距離 y と, 車両のヨー角 θ の 2 変数からなる, 以下の運動方程式²⁾を用いた。

$$\cdot \text{力のつりあい: } m \frac{d^2 y}{dt^2} = Y_{f1} + Y_{f2} + Y_{r1} + Y_{r2} + Y_s$$

$$\cdot \text{モーメントのつりあい: } I \frac{d^2 \theta}{dt^2} = I_f (K_{f1} + K_{f2}) - I_r (K_{r1} + K_{r2}) - M_z$$

ただし Y : 各車輪に作用する外力, K : 各車輪のコーナリングパワー

I : 前後車輪軸と重心との距離, I_f : ヨーイング慣性モーメント

m : 車両質量, Y_s : 横力

M_z : ヨーイングモーメント(横力 Y_s と空力中心の積)

シミュレーション結果と実車走行軌跡とを比較すると(図-6), 主塔の後流域通過時の車両が風上側へ横変位する挙動の傾向はほぼ再現された。しかし, 後流域から出る時間帯に車両前部が風上側に回転する車両の挙動は再現できず, また横変位量は, 実車走行実験結果よりも小さ目であった。これらの不一致については, 長久らの研究¹⁾でみられたヨーイングモーメントや横力の変動がこの時間帯に大きくなることと関連している可能性もあり, こうした空気力特性をより精緻に考慮していくことでさらに検討する必要がある。

5. まとめ 空気力の測定結果に基づき自動車の挙動シミュレーションを行ったところ, 大まかな傾向は現地における実測結果と一致したが, 定量的には一致しなかった。風洞実験における空気力測定の精度については十分とはいえず, 慣性力の低減などを試みるなどにより, さらに測定方法の改善を重ね, それに基づいて予測手法全体の精度を向上させていく必要がある。なお, 現地走行実験において, 修正操舵条件のケースでは横変位が認められなかったこともあり, 白鳥大橋における防風柵の設置については, 降雪時の路面状況を含めて総合的に判断する必要がある。

謝辞 トヨタ自動車東富士研究所の方々には, 解析手法に関して御教示頂き, 実車走行試験についても種々御協力頂きました。また実車走行実験に関しては, 室蘭道路事務所, 北海道道路エンジニアリング(株), 日本気象協会北海道本部の方々に多大なる御協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献: 1)長久ら: 角柱後流域を通過する走行物体に働く非定常空気力, 日本機械学会論文集 No.86-0393A

2)安部正人: 自動車の運動と制御, 山海堂

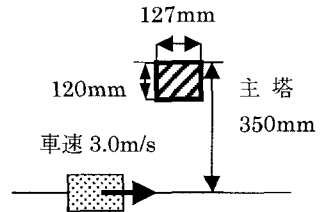


図-4 主塔と車線との位置関係

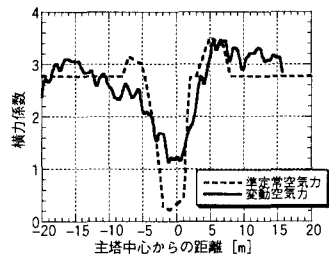


図-5 空気力低減量の比較

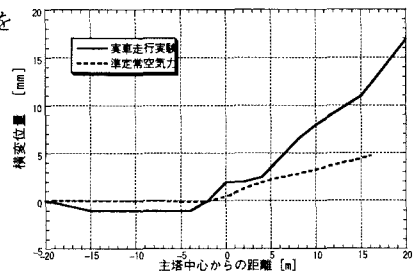


図-6 挙動シミュレーション