

横風を受ける自動車の挙動

— 横風送風装置による実験 —

長久太郎* 榎場重正** 森 光明***

Behaviour of Automobile due to Side Wind Gust

— The Experiment by the Side Wind Blowers Equipment —

by

Taro NAGAHISA, Shigemasa HASABA and Mitsuaki MORI

Abstract

Along the development of an expressway, the problem on a high speed moving automobile due to side wind gust become of major interest lately.

Then, we have investigated on the character of natural wind and the behaviour of automobile due to side wind gust on the test course of Hokuriku Expressway.

This time, some experiments were performed on the following matters in order to compare with the case of natural wind by the side wind blowers equipment of Japan Automobile Research Institute, Inc..

1. the character of the artificially generated wind
2. the behaviour of automobile due to the artificially generated side wind gust, i.e., lateral displacement of an automobile, steering force, steering angle, lateral acceleration and yawing acceleration in consequence of a revised steering.

Here, we report the results of some experiments and discuss them in this paper.

At present stage, there are many points which are uncertain, and so more detailed experimental research is required.

1. ま え が き

高速道路の発達にともない、高速走行における自動車の操縦性・安定性の面でいろいろの問題が重要な課題になってきており、わが国においてもようやくこれに関連する研究^{1)~7)}が多くなされるようになってきた。

現在、全国的な高速自動車道路網整備の一環として施工されている北陸高速自動車道路は、特に石川県内において約 30km にわたり海岸線に沿い、汀線に 50m から 200m と接近しており、そのうえ冬季には季節風が日本海から路線に対して直角に吹きつけるという気象的悪条件は既設の高速道路にはみられないものがある。

*機械工学第二学科 **土木工学科 ***大学院工学研究科（土木工学専攻）

筆者らは数年来、気象調査をはじめとして、防風柵に関する実験や、自然風下における自動車の挙動について実験的研究を進め⁹⁾、特に46年11月から47年2月までの間、地形的に特徴ある約5.2kmにわたる試験区間において、自動車の受ける横風・突風の性質がどのようなものかを解明するとともに、強風のもとでの走行実験を行ない、高速自動車の挙動に関して検討してきた。⁹⁾

最近、わが国でも自動車の対横風特性を研究するため、横風送風装置^{9),10),11)}が設置されつつあり、研究成果も報告されている。筆者らも、このような装置で発生させられる人工風——定常的と考えられる風——のもとでの実験と、自然風——ランダムな風——が吹いている実際の道路での実験を対比検討したいと考えていたところ、今回、財団法人日本自動車研究所(JARI)に設置されている横風送風装置により実験を行なう機会があったので、ここではその結果を報告する。

2. 実験に使用した装置の概要

2・1 横風送風装置

使用した装置を写真1に、その仕様を表1に示す。

2・2 実験車

実験車は、トヨタ ハイエース バンで、表2に仕様を、また写真2はルーフキャリア上に超音波風速計を設置したところを示す。

なお実験車は北陸高速自動車道路試験区間で使用したものと同一で、また自然風下の実験と対比させるため、タイヤはスノータイヤを使用した。



写真1 横風送風装置



写真2 実験車

表1 横風送風装置仕様

要 目	仕 様	
吹出口寸法	2,000高×2,880巾×5基	
吹出口風速	30, 22.5, 15m/s 3段切換	
送風機	形 式	横型後置静翼一段軸流式
	回転数	800, 600, 400 rpm
	風 量	180m ³ /s
	全風圧	113mmAq

3. 実験方法と測定方法

3・1 人工風の特性測定

自動車の高速走行における操縦性・安定性の解析には、それに最も影響すると思われる外部攪乱力——横風・突風——の性質を知ることが必要である。すなわち風の乱れの測定が必要であり、それも比較的短周期の変動風速の測定が必要と考えられる。従来、一般気象観測には風杯型やプロペラ型風速計が使用されてきたが、このような風速計は動特性が悪く利用することは無理であるので、筆者らがこれまで行なった走行試験には、走行と同時に測定可能な超音波風速計（海上電機製、PA-211-1）を自動車のルーフキャリア上に設置して使用してきたが、今回の風速測定にも同一のものを使用した。

超音波風速計は横風送風装置から約10mの距離に、地上から約60cmの高さの位置に設置した。風速はデータレコーダに記録（図1）し、風の変動成分については周波数分析装置（NF製TF-421A, TF-441A, SL-136A）を使用し、各周波数ごとに風速の変動値を求めた。

3・2 自動車の挙動測定

走行実験は、風速 15, 22.5, 30m/s のもとで、車速 60, 80, 100km/h について、横風・突風を受けたのち、車をもとの進路にもどすよう修正操舵を加える方法で行なった。このような修正操舵を加える方法では、当然運転者による感応差などがあると思われるのでA, B 2人の運転者によって行なった。なお横風・突風を運転席右側から受ける場合と左側から受ける場合の比較実験も一部について行なった。横風・突風を受けた自動車の横変位量を測定するため残跡装置¹²⁾（寺田精機製）を写真3および写真4に示すように前バンパと後バンパにとりつけた。残跡装置は高圧ホースにつながれた電磁弁、電磁ノズルから着色液を噴射させ、タイムマークおよび走行軌跡を地上に残跡させるもので、前後残跡を計測して計算によりホイールベース中間点の軌跡を求め、自動車の横変位量とした。

表2 実験車仕様

車 両 型 式			PH10N-C型
寸 法 (mm)	全 長	4305	
	全 巾	1690	
	全 高	1890	
	軸 距	2340	
	輪 距	前1360 後1355	
重 量 (kg)	車 両 重 量	1155	
	最 大 積 載 量	850	
	車 両 総 重 量	2170	
性 能	最 高 速 度 (km/h)	130	
	最 小 回 転 半 径 (m)	50	
	登 坂 能 力 $\sin\theta$	0.264	
	最 下 安 定 傾 斜 角 (°)	左右 47	



写真3 残跡装置取付状況（1）

走行中の自動車の操舵力, 操舵角, ヨー角加速度 および 横加速度を 同時計測したが, 図1はその測定機器のブロック図を示す。

また自動車の挙動を再現して見るため, 走路はるか前方に8ミリカメラおよびビデオコーダを設置して, それぞれに記録した。

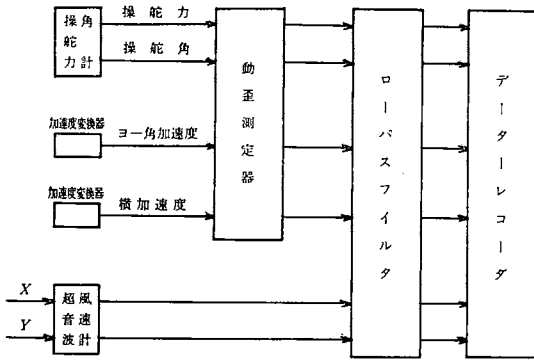


図1 測定機器のブロック図



写真4 残跡装置取付状況(2)

4. 実験結果と考察

4・1 人工風の特性

写真1の横風送風装置からの人工風を周波数分析装置にかけて各周波数ごとの風速の変動値を求めたのが図2である。

これによると, 横風送風装置による風は周波数にかかわらず, ほぼ同一の, しかも低い変動風速値をもっていることがわかる。ただ図中, 平均風速の小さい場合変動値に上下がみられるが, これは実験当日の自然風の影響が若干あらわれてきているものと思われる。

横風送風装置による実験には横風の再現性という利点はあるが, しかし人工風と自然風とでは, 当然のことながらその特性に大きな相違があると思われ, したがっておのおのの風速のもとでの実験結果にもその影響が及ぶことが想像される。

しかし, トンネル出口とか, 切通しや跨道橋のような, いわゆる風道部分での横風・突風はこれに類似する性質をもっていると考えられるので, 横風送風装置を使用しての実験も, 単に自動車の基礎的な特性を論ずる上で必要であるばかりでなく意義があるものと思われる。

なお, 今回は走行中の自動車に加わる風の性質を直接測定することは送風部分の高さなどの関係か

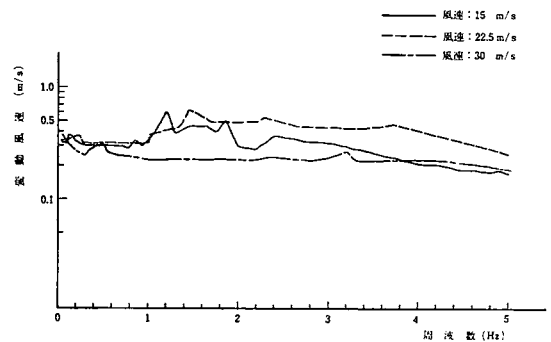


図2 横風送風装置による風の特性

ら不可能であったが、定地点での測定結果から推定可能であることは、すでに指摘されているところである。1),9)

4・2 走行実験

修正操舵を加えて行なった走行実験において、残跡装置により求めた自動車の走行軌跡を図3から図8に示す。横風送風装置の部分は走行距離で15mである。また最大の横変位置と、それが横風送

表3 最大横変位置と受風後の走行距離

風速 (m/s)	車速 (km/h)	運 転 者 A		運 転 者 B	
		最大横変位置 (m)	走行距離(m)	最大横変位置 (m)	走行距離(m)
15	60	—	—	0.18	27.0
	80	0.41	26.7	0.39	20.6
	100	0.80	38.7	0.56	28.7
22.5	60	0.49 0.65*	23.0 29.0*	0.47	21.2
	80	0.73 0.81*	27.9 35.3*	0.54	27.5
	100	0.68	31.9	1.07	39.1
30	60	0.66	24.1	0.97	26.8
	80	1.10	35.2	1.26	31.8
	100	1.17	43.1	2.01	43.5

* 運転席の反対側から横風・突風を受けた場合

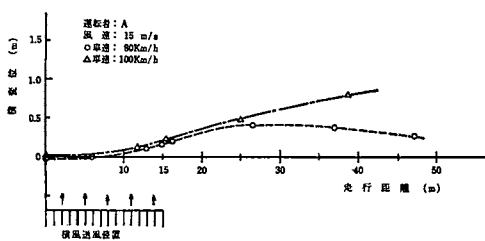


図3 走行軌跡(1)

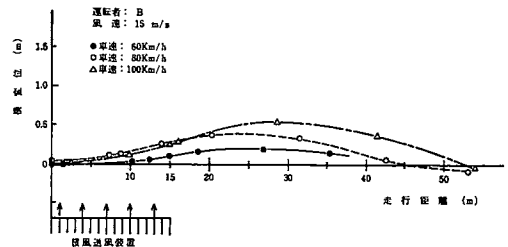


図4 走行軌跡(2)

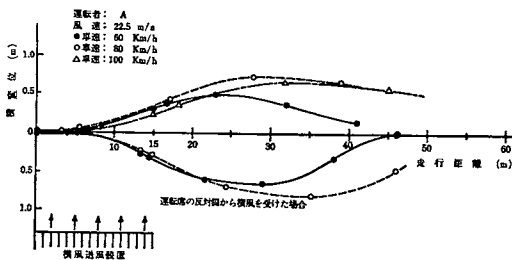


図5 走行軌跡(3)

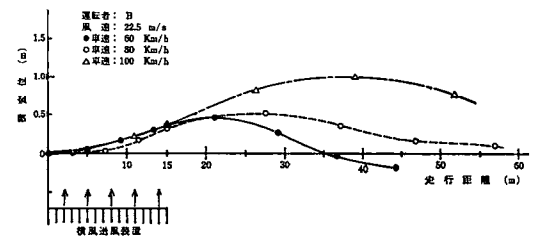


図6 走行軌跡(4)

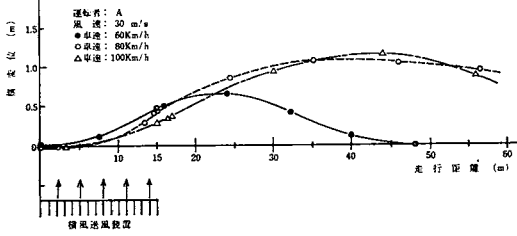


図7 走行軌跡(5)

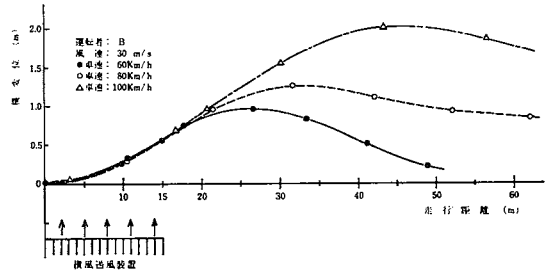


図8 走行軌跡(6)

風装置に進入後どれくらいのところで生ずるかを表3に示す。

図から自動車が横風・突風を受けた後どのように横に流されていくか、風速・車速によってその特徴がうかがえるようである。なお図5には横風・突風を運転席の反対側から受けた場合も並記したが、この場合運転者のフィリングとしてやや不安感が多いようであり、測定結果からいっても若干感応のおくれがみられ、横変位置も大きくあらわれているようである。また走行軌跡には運転者による個人差があらわれているが、このことはつぎに述べる諸量測定結果にも関連してあらわれてきてい

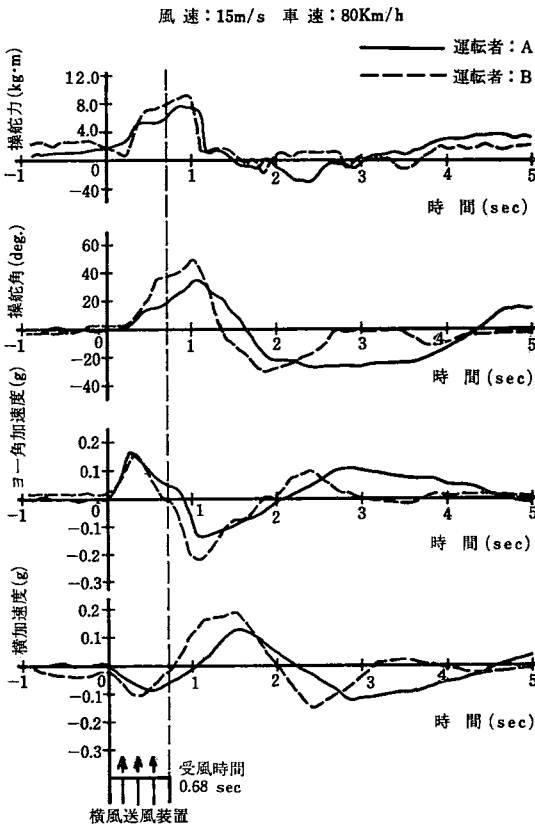


図9 横風・突風を受ける自動車の応答(1)

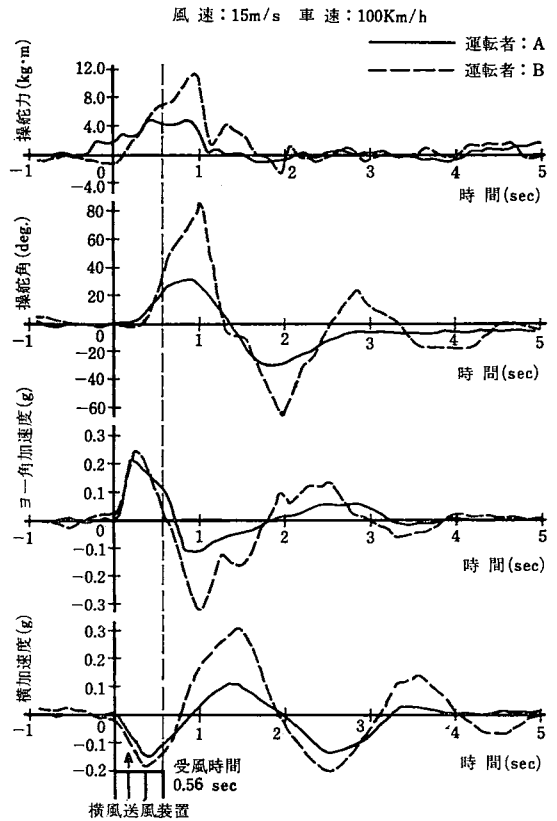


図10 横風・突風を受ける自動車の応答(2)

る。ちなみに運転者Aはこのような走行実験の経験がなく、一方運転者Bは自然風のもとでの実験の経験者である。

つぎに、同時に測定した操舵力、操舵角、ヨー角加速度および横加速度の時間的変化の状況を、車速80, 100km/h について示したのが図9から図14である。なお横風送風装置による受風時間はそれぞれ0.68, 0.54 sec である。また各風速あるいは車速による比較のため、加えた操舵力、操舵角の最大値をとり出し図にあらわしたのが図15, 図16で、横風送風装置通過時のヨー角加速度の最大値を図17に、修正操舵を加えたことによって生じたヨー角加速度の最大値を図18に、横加速度のそれを図19, 図20に示した。

表4 運転者の感応時間

風速 (m/s)	車速 (km/h)	感応時間 (sec)	
		運転者A	運転者B
15	60	0.27	0.36
	80	0.28	0.21
	100	0.29	0.22
22.5	60	0.22	0.23
	80	0.17	0.23
	100	0.30	0.21
30	60	0.24	0.24
	80	0.16	0.21
	100	0.14	0.20

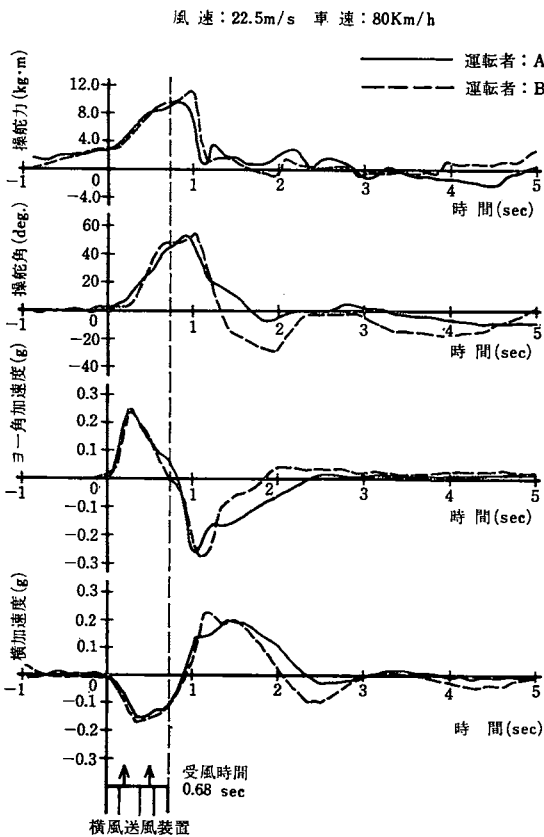


図11 横風・突風を受ける自動車の応答 (3)

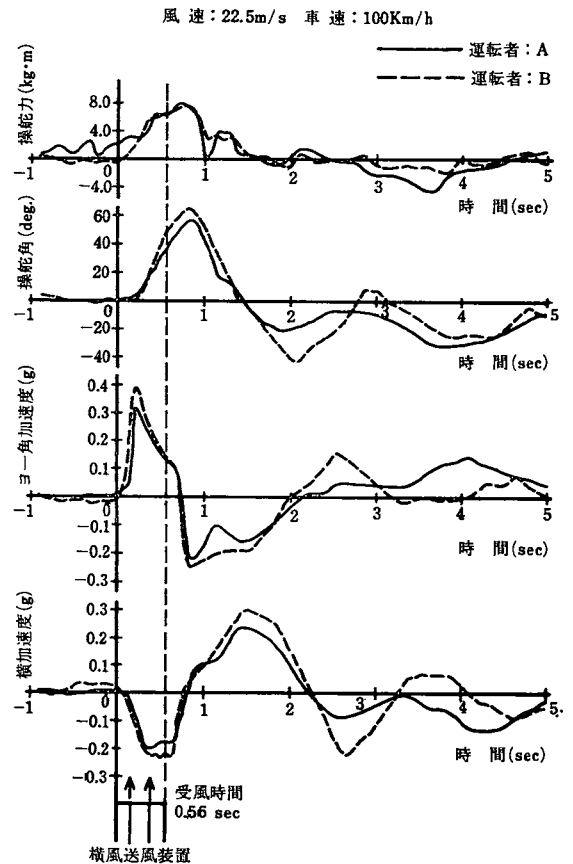


図12 横風・突風を受ける自動車の応答 (4)

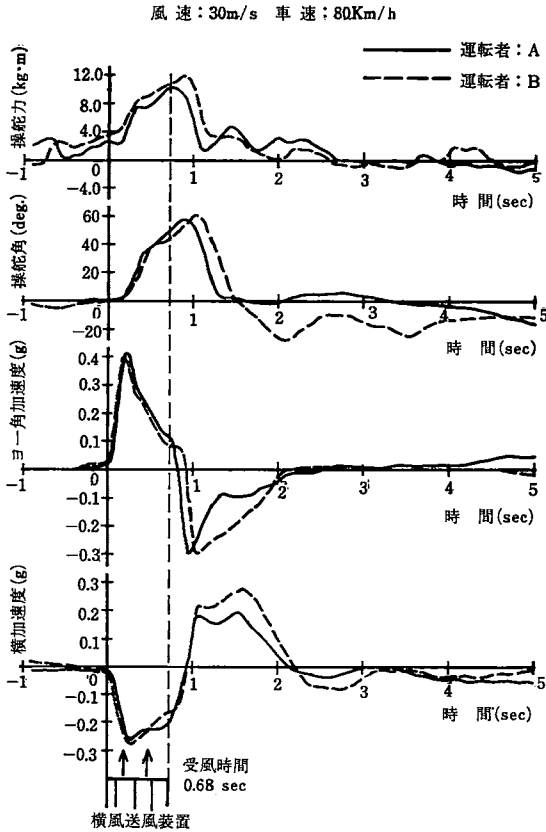


図13 横風・突風を受ける自動車の応答 (5)

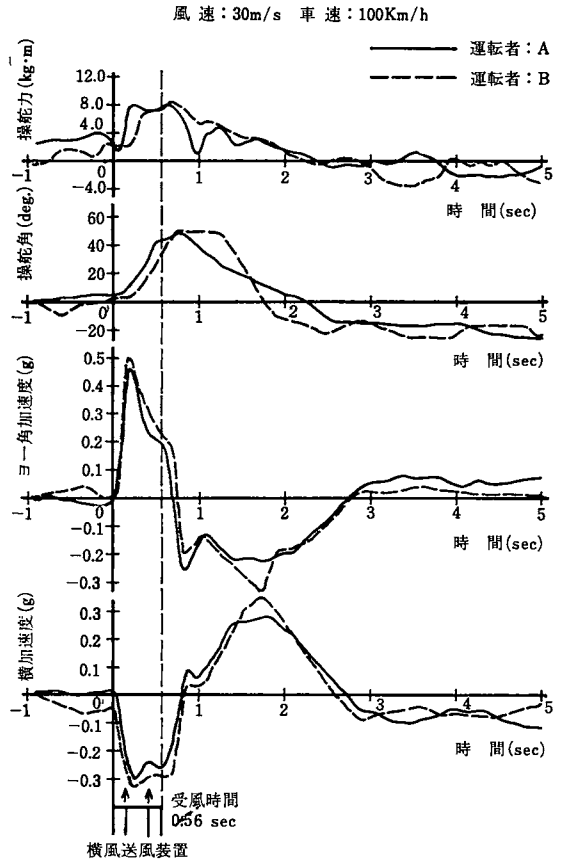


図14 横風・突風を受ける自動車の応答 (6)

操舵力は横風の大きさとともに増加してきているが、車速が増すにつれ小さくなってきているのが目につく。これは揚力係数が小さいと考えられるこの種型式の車でも揚力が大きくなり、結果として横すべり抵抗が減少したためと考えられる。とくに緊張してハンドルを固くにぎりしめ、横風・突風

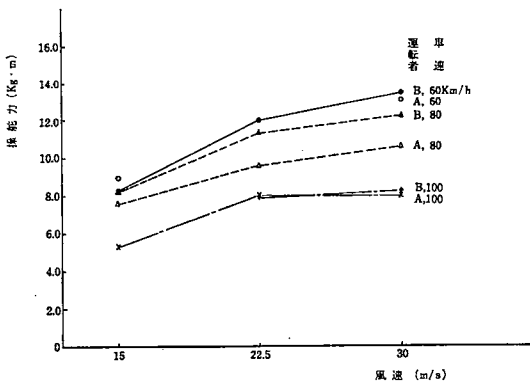


図15 横風送風装置に入って加えた操舵力の最大値

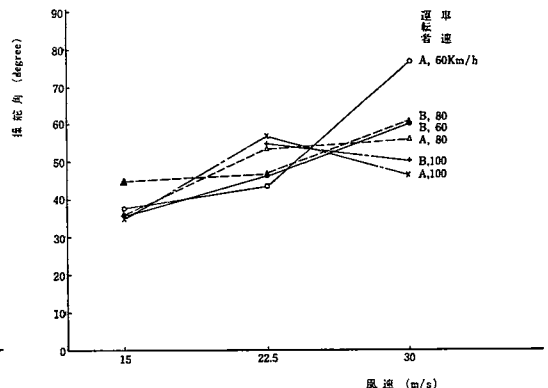


図16 横風送風装置に入って加えた操舵角の最大値

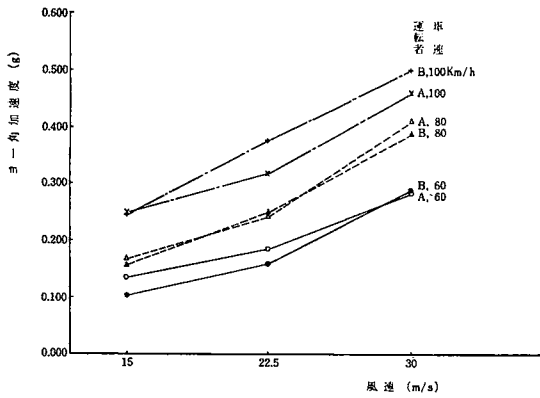


図17 横風送風装置通過時のヨー角加速度の最大値

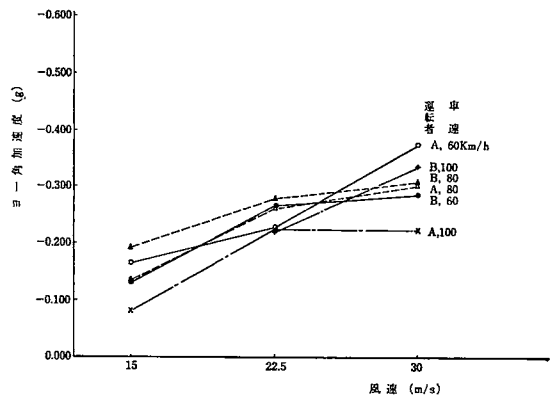


図18 修正操舵を加えたことによって生じたヨー角加速度の最大値

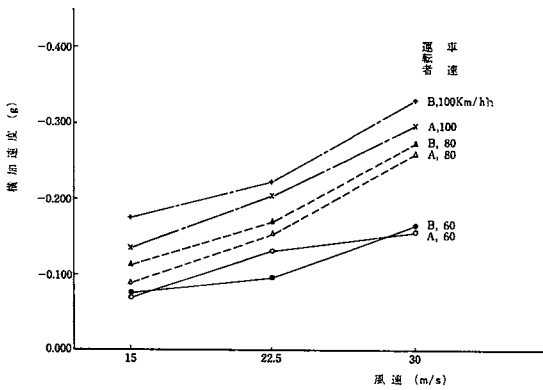


図19 横風送風装置通過時の横加速度の最大値

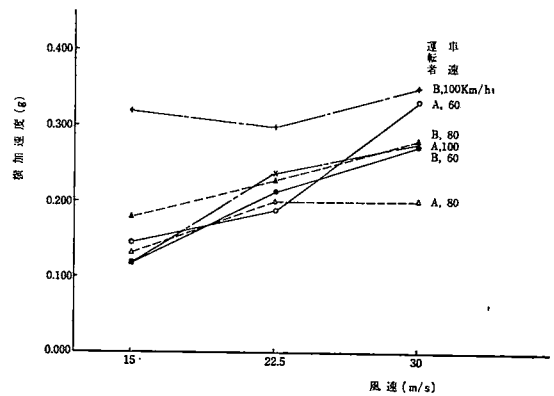


図20 修正操舵を加えたことによって生じた横加速度の最大値

に驚き過度の修正操舵力，操舵角を加えたときの危険性がうかがえる。操舵力の大きさがやや大きいのは実験走路がコンクリート舗装であることによるとと思われる。

横風送風装置通過時のヨー角加速度および横加速度は風速が大きくなるにつれ，また車速が増すにつれ急激に大きくなり，運転者が感ずる危険度がそれだけ増すことを示し，とくにヨー角加速度が大きくあらわれる傾向がある。修正操舵を加えたことによって生じたヨー角加速度および横加速度には運転者による修正操舵の個人差が多分にあらわれてきているものと思われる。なお今回の実験では横風送風装置の部分が 15m と短く，したがって観測時間が短く，応答の波形のスペクトル解析を行なうことはできなかった。

また 8 ミリカメラまたはビデオコーダの記録から，高速で風速の大きいとき送風装置にさしかかるやいなや，横に大きく流されるとともに自動車の頭部が風下に強く振られ，送風装置をはずれていくとき後部が風下に強くふられる様子が見うけられたが，前記応答波形と関連して考えればうなづけるところである。

運転者が横風・突風による外部攪乱を感じ修正操舵をはじめまでの所要時間，すなわち感応時間を参考までに表 4 に示したが，このような装置での実験では運転者が相当意識して運転していることがうかがえる。

5. あとがき

横風を受ける自動車の操縦性・安定性に影響する要素は、土屋ら⁷⁾の指摘のように、車体系の空力特性、構造系の特性、機構系の特性、タイヤの特性など多くを数えるが、筆者らは専ら横風の特性がどのような影響を及ぼすかの観点から実験的研究を進めてきた。今回の実験もその一環として行なったもので、いわゆる人工風の特性とそれらとの自動車の挙動を調べたが、このような人工的横風・突風はトンネル出口、切り通しや跨道橋のような風道部分で類似の状態がみられると思われるので、今回の実験の結果を生かし、再度前記のような地点を重点的に選び、自然風のもとでの実験を実施し比較検討したい考えである。また横風送風装置を使用しての実験も、送風部分の長さが長ければ部分的な送風あるいは部分的に風速を変えるなど多彩な風のもとでの実験が可能と思われる。

最後に、今回の実験のため横風送風装置の使用許可と便宜を与えていただいた日本自動車研究所近藤政市所長、研究第三部 酒井秀男部長代理、操縦性・安定性研究委員会および空気力学研究委員会、直接実験にご協力いただいた研究第三部 阿久津義雄氏、青木章氏ほか多数の所員の方、実験車を提供していただいたトヨタ自動車工業株式会社の関係各位、またたえずご激励、ご協力いただいた日本道路公団高速道路金沢建設局の各位、そして実験を担当した本学 岡本明男技官、大学院工学研究科学生 小泉徹君に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 林守雄・ほか3名；自動車技術，20-8（昭41-8），715
- 2) 林守雄・ほか3名；自動車技術，21-2（昭42-2），134
- 3) 井口雅一・今泉博英；機械学会講演論文集，No. 182（昭42-10），101
- 4) 林守雄・ほか3名；自動車技術，22-5（昭43-5），373
- 5) 沢頭一豪；機械学会講演論文集，No. 200（昭43-9），131
- 6) 高波克治・ほか2名；自動車技術，24-4（昭45-4），375
- 7) 土屋俊二・岩瀬博英；機械学会講演論文集，No. 720-11（昭47-8），1
- 8) 金沢大学工学部土木工学教室・日本道路公団高速道路金沢建設局；北陸自動車道 加賀～金沢間海岸飛砂および雪調査報告書，昭41-12～昭42-3（昭42-6）
 同 上 ；北陸高速道路 加賀～金沢間海岸飛砂およびしぶき（気象）調査報告書，昭42-4～昭42-10（昭43-3）
 同 上 ； 同 上，昭42-11～昭43-3（昭43-3）
 同 上 ；北陸高速道路 加賀～金沢間海岸飛砂および風調査報告書，昭43-4～昭43-12（昭44-3）
 同 上 ；北陸高速道路 根上試験道路防風飛砂対策調査報告書，昭44-1～昭44-3（昭44-3）
 同 上 ；北陸高速道路 根上試験道路走行試験解析に関する報告，昭44-10～昭45-2（昭45-3）
 同 上 ；北陸高速道路 根上試験道路防風飛砂対策調査報告書，昭45-3～昭45-10（昭45-11）
 同 上 ；北陸高速道路 根上試験道路走行試験解析に関する報告書，昭45-11～昭46-3（昭46-3）
- 9) 中間報告として金沢大学工学部土木工学教室・日本道路公団高速道路金沢建設局；北陸高速道路走行試験解析に関する報告書，昭46-6～昭47-3（昭47-4）
 榎場重正・長久太郎・森光明・ほか2名；土木学会第27回年次学術講演会講演概要集第4部142，（昭47-10）347
- 10) 河野俊之・ほか3名；自動車技術，25-7（昭46-7），795
- 11) 岩瀬博英；自動車技術，26-7（昭47-7），821
- 12) 近藤政市；基礎自動車工学 後期編（昭42），252 養賢堂
 近藤政市；自動車技術，10-7（昭31-7），214
 近藤政市・ほか3名；自動車技術，14-12（昭35-12），474

（昭和47年9月20日受理）