

金沢大学

正 員 加場重正

〃

長久太郎

道路公団金沢建設局

工藤 泉

〃 仙台建設局

正 員 本江裕之

金沢大学大学院

学生員 〇森 光明

1. まえがき 最近の我國のモータリゼーションの発達には目覚ましいものがある。それによつて自動車も高速化し、操縦性、安定性が問題となつてきている。高速走行自動車が受ける外力としては、路面の不整によるものと突風等の空気力学的外力が考えられる。高速道路についてみると、一般に路面は良好であると考えられるので、結局空気力学的外力が問題となる。本研究では突風を受ける自動車の走行安定性について現地の強い自然風のもとで実験を行つたが、その結果については自然風の特徴と自然風（特に横風）を受けて高速走行する自動車の応答特性の問題に分けて研究を進めた。

2. 調査場所 北陸高速道路上の石川県能美郡根上町(STA150)から手取川左岸(STA196)にかけての5.2kmの区間を調査対象とした。

3. 風の特徴について 風は常に変動してゐて、平均風速を $\bar{v}$ 、瞬間風速を v 、変動風速を u とみると、 $v = \bar{v} + u$ となる。ここでは風の特徴を知るために風の變動成分を定常確率過程とみなし、不規則波形のスペクトル解析の手法を用いて解析し、また変動風速の2乗平均値、またはこれらのパワースペクトルを積分することにより各々の風の乱れの強さを求めた。

3-1. 観測方法 現地にプロペラ型風向風速計を地上5mの高さに設置し、昭和42年1月より観測を行なつてきたが、走行安定性に問題となる風向と瞬間最大風速及び強風の継続時間などにつき調査を進め、更に風の特徴を知るため突風率($G = v_{max}/\bar{v}_{mean}$)を求めた。しかし自動車の応答解析に対しては比較的短い周期の変動風速を走行と同時に測定する必要があるので、昭和45年から超音波風速計を自動車のルーフキャリアに載せて走行中の風を測定した。

表-1. 突風率

平均風速	突風率			
	42年	43年	44年	45年
$\bar{v}_{mean} < 10\%$	2.84	3.06	2.47	2.42
$10\% < \bar{v}_{mean} < 15\%$	2.03	1.67	1.64	1.78
$15\% < \bar{v}_{mean}$	1.72	1.54	1.38	1.48

3-2. 観測結果と考察

1) 突風率について 過去の資料より求めた突風率について表-1に示す。これは風速の観測時間 T を1時間とし、瞬間最大風速が20%以上のものについて求めたものである。これによると、平均風速の小さいところでも2.5〜3倍の突風が瞬間的に吹くことが予想される。しかし突風率は T や瞬間風速の評価時間 δ の取り方によつて異なり、この関係については石崎・光田¹⁾の研究があり、その関係は

$$G(T, \delta) = (S/\tau)^P \quad (1)$$

P : 気流の乱れの状態を示す指数

で示される。本研究で超音波風速計より求めた資料について $T = 300$ 秒、 $\delta = 0.5$ 秒とした時の平均風速、乱れの強さ $\sqrt{u^2/\tau}$ 及び P の値を表-2に示し、この時の δ に対する突風率の変化を表-3に示

表-2

平均風速 $\bar{v}$ [%]	8.61	13.27
乱れの強さ	0.309	0.239
P	0.080	0.106

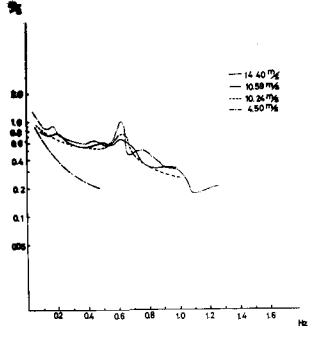
す。ここでXは車の進行方向に直角な方向を示す。表でδを小さくするほどGが大きくなる。これはδを小さくすることにより風の小さな渦をも獲えることができるからである。

表-3、突風率の変化

平均風速	8.61%	8.35%	
評価時間 sec.	0.5	1.74	1.59
	1	1.67	1.54
	2	1.60	1.45
	4	1.49	1.29
	10	1.42	1.15

図-1

Static Frequency Analysis of X by Ultrasonic Anemometer



変動風速について詳しく調べるため、周波数分析装置を用いて各周波数ごとに風速の変動値を求めた(図-1)。変動値は風速10%では0.1Hz付近で1%であり、それから高周波になるにつれて下降する勾配は風速が大きくなるにつれて緩やかとなる。これは風速が大きくなるにつれて高周波部分が増加することを示す。次に相関器及びスペクトルアナライザーによるスペクトル解析を行、た。この結果の例を図-2に示す。これによると、0.2~0.7Hz付近のパワーが卓越して現われ、1Hz付近にピークが見られる。次にパワースペクトルの見方を変えてみる。周波数 n_1 から n_2 までのパワーは次式で示される。

図-2

Static Power Spectrum of X by Ultrasonic Anemometer

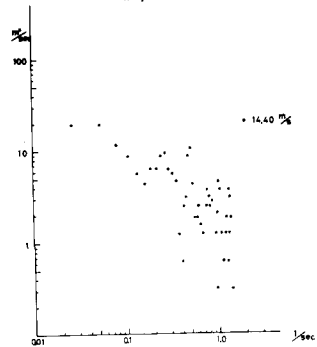
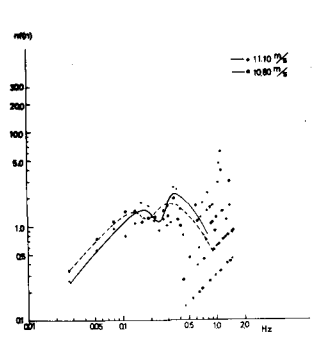


図-3

Static Power Spectrum of X by Ultrasonic Anemometer



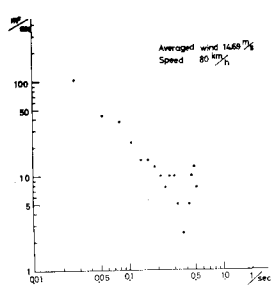
す。これによると、0.2~0.7Hz付近のパワーが卓越して現われ、1Hz付近にピークが見られる。次にパワースペクトルの見方を変えてみる。周波数 n_1 から n_2 までのパワーは次式で示される。

$$\int_{n_1}^{n_2} f(n) dn = \int_{n_1}^{n_2} n \cdot f(n) d(\log n) \quad \text{---(2)}$$

縦軸に $n \cdot f(n)$ 、横軸に $\log n$ をとると、 n_1 と n_2 に囲まれた面積はその周波数範囲でのパワーを示し、パワーなどの周波数部分に卓越するかが見やすくなる。

図-4

Power Spectrum Density of X



。この結果の一例を図-3に示すが、最大値は0.2~0.4Hzのところで最も多く現われている。

4、横風を受ける自動車の走行特性

自動車は横風を受けると、揚力、横向力、ヨーイングモーメント、ローリングモーメント等が作用するが、

、高速走行安定性には横向力、ヨーイングモーメントが重要である。これは風向と風速に関係する。3に述べた風のエネルギーや人間の操舵能力、反応感覚から0.1~2Hz付近が最も問題になると考え、主としてその付近での応答を調べた。

4-1、実験方法 風の測定には前述の超音波風速計を用い、同時に、自動車の側面に受ける圧力、操舵力、操舵角、ヨー角加速度、横加速度の測定を行、た。

図-5

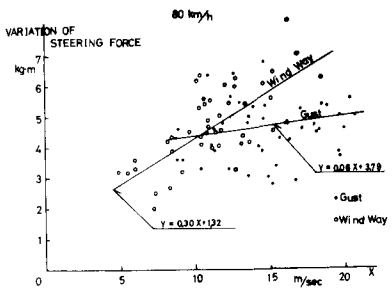
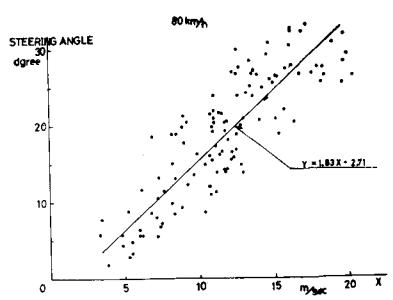


図-6



4-2、実験結果と考察

i) 自動車の挙動

図-4は走行時に自動車が受ける横風の変動パワースペクトルの例である。林等が球型风速計で測定した結果では、パワーの減少勾配は1.0~1.5程度としているが、ここでは0.5~1.0となる。これは超音波风速計が高周波部分をも測定するからであろう。図-5は自動車が突風を受けた

時に更に加わる操舵力の量を表わす。図でGustというのは広く開けた場所で突風を受けながら走行した場合を示し、Wind Wayは障害物がある場所あるいは月が吹き抜ける場所を走行した場合を示す。これより、同じ強度の月を受けても吹き抜け部の方が運転手に与える影響が大きくなる事が解る。これは月速の変化量から考えられることであり、吹き抜け部では補正操舵角も大きくなり、戻しすぎや車の航行もあり得る。図-6は月速の変化に対する操舵角の変化の一例である。図-7, 8は横風を受けた時の横加速度とヨー角加速度の分布である。これより、90km/hでは両者とも急激に増加し、操縦者が感じる危険度は増すと考えられる。次に、突風を受けた時の横移動量を(3)式で計算して、その結果を図-9に示す。

$$y = \text{反応時間} \times \text{走行速度} \times \tan\left\{(0-14^\circ) \times \frac{17^\circ 01'}{360^\circ}\right\} \dots (3)$$

ここで反応時間は各速度で走行中に操縦者が突風に対してハンドル操作を始めるまでの所要時間で、実験結果より平均反応時間は、60km/hで0.449秒、80km/hで0.445秒、90km/hで0.424秒であった。14°はハンドルの遊び角、17°01'は操舵角360°の時のタイヤの実舵角である。

ii) 応答特性 一般に突風を受けた時の自動車の応答系は図-10のブロック線図で示される。H(f)は入力を自動車のコースからのズレとし、出力を操舵力、操舵角とした人間の応答関数である。またG(f)は入力を操舵力、操舵角とし

図-7

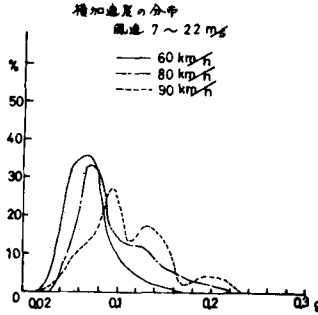


図-8

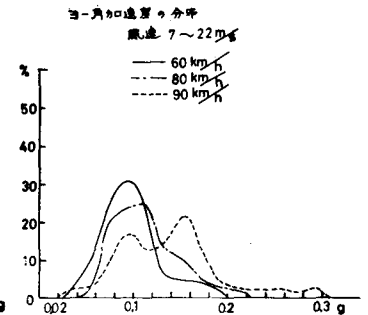


図-9 横移動量

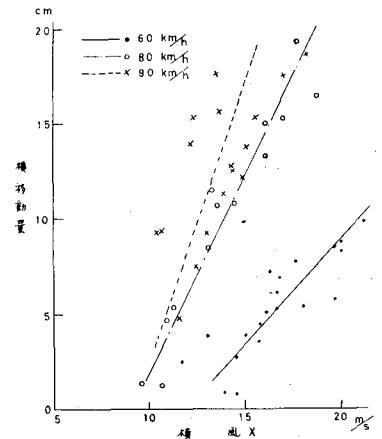


図-10

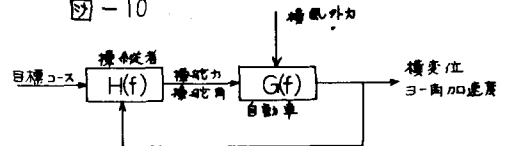


図-11

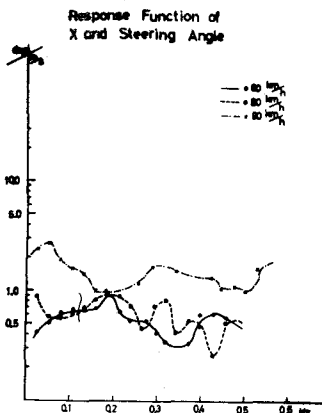
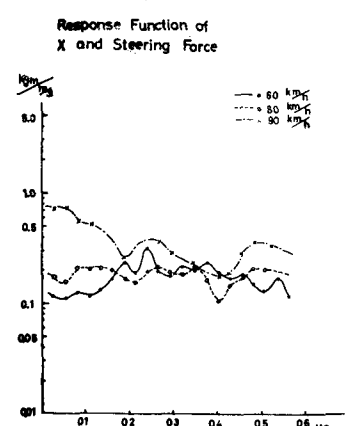


図-12



横風とし、出力を自動車の挙動とした場合の自動車の応答関数である。しかし、本研究では操縦者と自動車の応答関数を一つにして考え $G(f)$ で代用させた。この時の入力は横風とし、出力をヨー角加速度、横加速度、操舵力、操舵角とした。実験結果より、図-11、12、13 にゲイン特性の例を示す。次に、走行時の各出力のパワースペクトルの解析例を図-14、15、16 に示す。これよりパワーの存在する周波数範囲を考えると、1 Hz までの解析で十分であると考えられる。次に、入力、出力のパワースペクトルを各々 Ξ_1 、 Ξ_2 、クロススペクトルを Ξ_{12} とすると、

$$r_{12}^2(f) = \frac{|\Xi_{12}(f)|^2}{\Xi_1(f) \cdot \Xi_2(f)} \quad (4)$$

でコヒーレンスは定義され、之変量の各周波数ごとの相関性を表わす。その計算結果の例を図-17 に示す。これによると、0.35 Hz 以上になると横風に対して操舵力、操舵角は余り相関性がなないことを示している。しかし、前述の様に操舵力のパワースペクトルは 1 Hz 付近まで存在している。このことは、操縦者は 0.35 Hz までの横風成分に対しては容易に対処することかできるが、0.35 Hz 以上の横風成分に対しては操舵応答が困難となり、ひいては操舵性・方向性に悪影響を及ぼすと思われる。そこで、各風速、各走行速度における 0.35 Hz 以上の操舵力のパワースペクトルの総和を求めて図示すると図-18 の通りで、風速に%以上から危険に高周波のパワーが増加する。これより、風速に%以上になると何らかの形で危険と考えられる。しかし、これに關しては、これだけの資料により結論することは困難であり、更に資料の積み重ねを要するものである。

文献) 石崎、光田；強風時における突風の揺れと突風率について、京大防災研究所年報 35号
 2) 木、石庄、秋山、黒瀬；突風による自動車の応答について、自動車技術

図-13

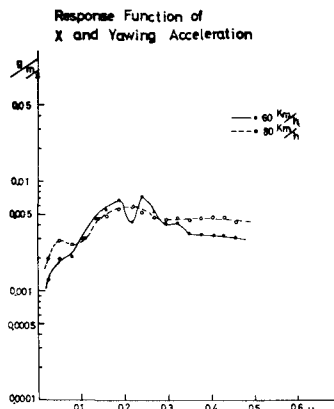


図-14

Power Spectrum Density of Steering Angle

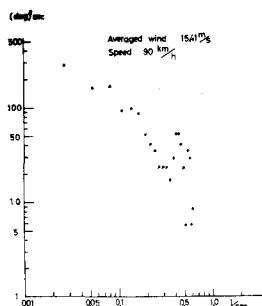


図-15

Power Spectrum Density of Steering Force

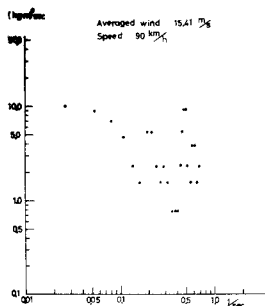


図-16

Power Spectrum Density of Yawing Acceleration

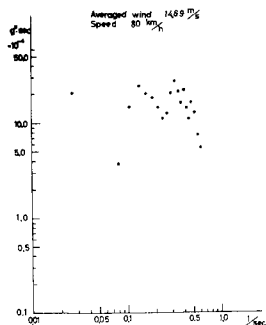
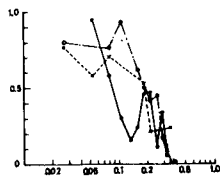


図-17 コヒーレンス
X と操舵力

Coherence Function of X and Steering Force



X と操舵角

Coherence Function of X and Steering Angle

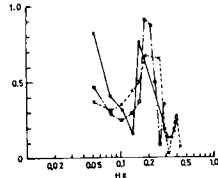


図-18 パワースペクトルの総和

