

中形トラクタの農作業時座席振動

川 上 克 己*・伊 藤 孝 子*・小 宮 道 士**

Middle-Class Tractor Tested for Ride Vibrations during various farm operations

Katsumi KAWAKAMI*, Takako ITOU* and Michio KOMIYA**
(June 2000)

I 緒 言

前報³⁾に於いて 25 kW 中形トラクタの砂利路および草地走行時の座席振動について、トラクタの前部と後部に作業機を装着して解析した。その結果によると、座席上下方向振動加速度レベルの最も大きくなるのは作業機を装着しない場合、最も小さくなるのはトラクタの前部と後部に作業機を装着した場合であった。すなわち機体重量の大きい時に路面からの振動はタイヤや座席コイルバネで吸収され、座席振動への影響が少なくなったものと思われる。実際のトラクタ作業には圃場での耕耘作業、PTO 作業、運搬作業など種々雑多あり、本報ではプラウ耕作、ロータリ耕作 (PTO 作業)、アスファルト路上の走行などでの座席振動について解析した。

II 供試機および実験方法

1. 供試トラクタ

供試トラクタは前報同様に、4 気筒の 25 kW (2,700 Erpm) の 4 輪駆動車である。供試時質量は 1,600 kg, タイヤ空気圧は標準仕様である。座席の構造は前部を支点に後部で 2 本の圧縮コイルバネで支え、スポンジのクッションから成っている。

供試作業機はロータリとモールドボードプラウである。ロータリは質量 350 kg, 耕巾 1,700 mm, モールドボードプラウは質量 120 kg, 耕巾 370 mm である。乗車したオペレータは質量 56 kg である。

2. 実験方法

1) 走行路および圃場条件

トラクタ機体の設置または走行圃場条件は、①コンクリート床面に駐車しエンジンのみ回転、②草地

走行、③アスファルト路走行、④人工凹凸畑走行、⑤プラウ耕作、⑥無耕起畑ロータリ耕作、⑦プラウ耕跡のロータリ耕作の 7 通りである。走行距離はほぼ 60 m とした。人工凹凸畑は進行方向に対しほぼ 60 cm 間隔にロータリを回転させて窪みを作ったもので、同一場所を繰返し走行した。草地走行は秋の草地圃場で同一場所を繰返し走行した。

アスファルト路面は比較的平坦な路面を選び同一場所を繰返し走行した。

トラクタエンジン回転数は駐車時エンジンの回転振動測定では 900-2,700 rpm, 走行・作業時振動測定では 2,700 rpm とし、変速位置は 9-16 速を用いた。

アスファルト路での走行速度は 1.9-13.5 km/h であった。

2) 振動加速度の測定方法

振動の測定は前報と同様に、上下・前後・左右方向の加速度測定が可能な三軸加速度変換器を用い、測定範囲は ± 10 G, 応答周波数範囲は 0-350 Hz である。人体の座席上振動の測定は座席の座面上のクッションの上に変換器を挿入した鉄板製薄箱 (170×170×22 mm) を設置し、その上にオペレータが着座した。また座席下 (トラクタ機体) の振動の計測はトラクタ本体の座席固定金具中央に加速度変換器を取付けることにより実施した。

データの記憶解析には前報同様 4 CH シグナルプロセッサを用いた。加速度の測定内容は座席上と座席下 (座席固定金具) の上下方向 (Z) と前後方向 (X) とした。

解析データ長は低速の変速位置 9, 10 速の場合は 2,048 個 (8 秒間), それ以上の 11-16 速では 1,024 個 (4 秒間) とし、走行速度が速くなるにしたがい解析データ長の取込み回数を少なくし、走行距離全

* 酪農学部酪農学科 農業工学

Department of Dairy Science, Agricultural Engineering, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan

** 酪農学部酪農学科 畜産システム工学

Department of Dairy Science, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan

区間のデータを取込むようにした。表1にデータの取込み条件を示す。

シグナルプロセッサにより記録された振動加速度の波形をパーソナルコンピュータで解析出来るように1解析データ分(1,024又は2,048データ)ずつデータ変換し、波形解析ソフトで1解析データ長分の振動加速度値(RMS)を求め、その値を解析値とした。

取込み回数分の解析値の平均値をもってその条件の振動加速度値とした。

3) 1/3 オクターブ分析

全身振動の暴露基準はISO(国際標準化機構)2631に規定され、周波数範囲が1-80 Hzで、上下・水平振動等に適用される。測定された振動は1/3オクターブまたはそれ以下の狭帯域フィルターで分析され、評価曲線から暴露時間が決められる。上下振動については中心周波数が4-8 Hz、水平振動では1-2 Hzで最大値を持つとしている¹⁾²⁾⁴⁾。本報では上下振動については、5.0、6.3、8.0 Hzの平均値で、前後振動については5 Hzの値で評価した。

III 実験結果及び考察

1. エンジンの回転による特性

一般に4サイクルエンジンでは2往復1爆発のためシリンダー数の半分の基本波とするトルク変動が生ずる。従って1/2回転数の整数倍の起振モーメントが生じる。

供試トラクタエンジンの回転による座席下振動の周波数は回転数が15 rps(900 rpm)の時、4倍の60 Hz、20-45 rps(1,200-2,700 rpm)では2倍の40-90 Hzであった。これらの高い周波数の振動は座席上にはほとんど伝達されなかったが、測定結果を図1に示す。

エンジンが2,400 rpmと2,700 rpmの時に座席下の上下・前後振動が大きくなったのは、機体の固有振動とエンジン振動との共振によるものと思われる。

表1 データの取込み条件

走行条件		データ条件	
変速位置	基準走行速度(km/h)	解析データ長(時間sec)	取込み回数
9	1.93	2,048(8)	14
10	2.60	2,048(8)	10
11	3.04	1,024(4)	17
12	4.41	1,024(4)	12
13	5.84	1,024(4)	9
14	7.71	1,024(4)	7
15	9.00	1,024(4)	6
16	13.50	1,024(4)	4
エンジンの回転振動		1,024(4)	10

データ間隔: 3.906 ms

る。エンジン振動の座席への振動伝達率を図2に示す。振動の大きくなった2,400、2,700 rpmの時のみ座席のコイルバネが有効に作用し、上下・前後の振動が減少した。

2. アスファルト路・草地走行時の振動特性

図3にアスファルト路と草地走行時の上下振動の結果を示す。

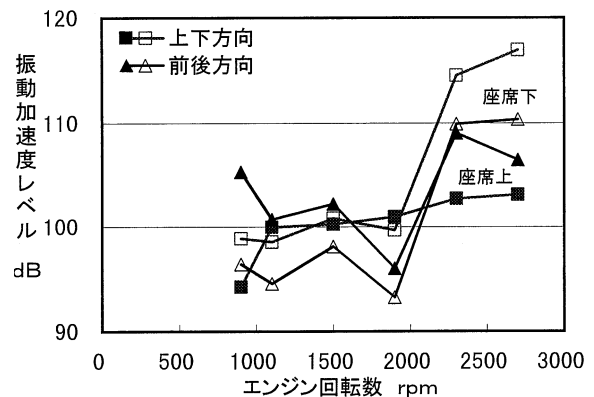


図1 エンジンの回転による座席下・上の振動特性

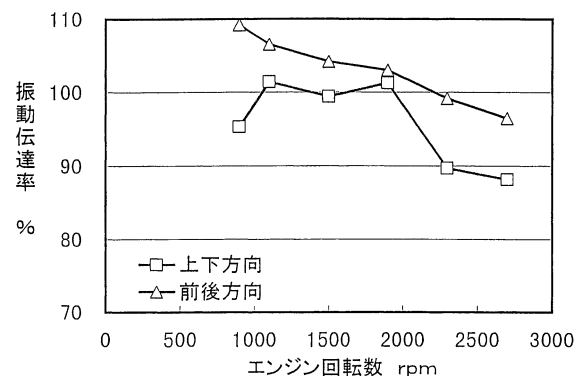


図2 エンジンの回転振動の振動伝達率

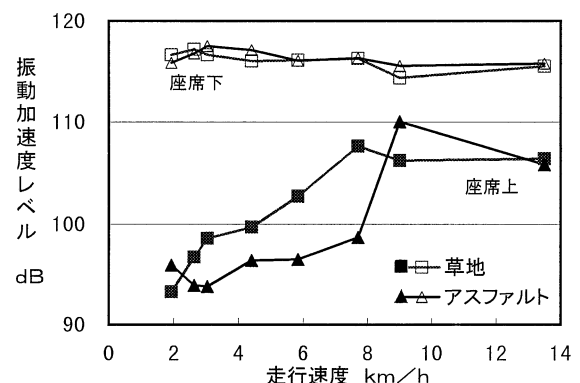


図3 アスファルト路、草地の走行時振動加速度レベル

座席下振動についてはアスファルト路と草地がほぼ同じであるが座席上振動では一般に草地で大きくなった。走行速度に対する増加率はアスファルト路より草地が大きくなり、振動伝達率では図4になる。

草地とアスファルト路の大きな違いは走行路面の硬さと凹凸の周波数で、アスファルト路は平坦で硬い為にトラクタのラグが一定間隔で路面に接触し機体が受ける振動周波数が高くなる。草地は柔らかい表面のためラグからの強い振動は少なく、草株や草地表面の凹凸などのため機体が受ける振動周波数が低くなる。アスファルト路走行の走行速度の最も遅い1.9 km/hのPSD（パワースペクトル密度）を図5に示す。

90 HzでPSDが大きいのはエンジン回転（45 rps）からの周波数による。

座席上のPSDはほぼ10 Hz以上の時に座席下振動より小さくなり、座席コイルバネによる振動低減効果が大きかったのに対し、10 Hz以下では座席下振動を上回った。路面からの座席下PSDは3.5, 4.5 Hzで多少大きくなるがどの周波数に対してもほぼ平均化され平坦な路面と考えられる。3.5 Hzはオペレータ質量56 kgでの座席コイルバネの固有振動数であり、またタイヤの固有振動数でもある。従って

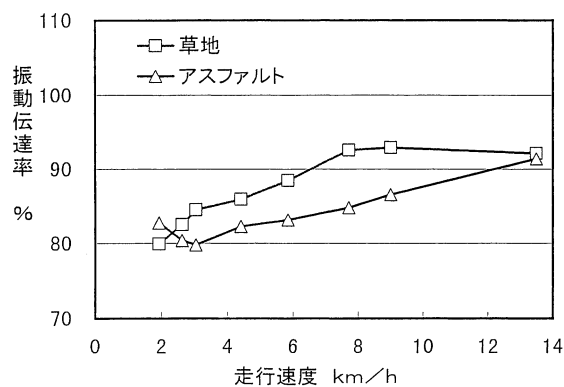


図4 アスファルト路、草地の走行時振動伝達率

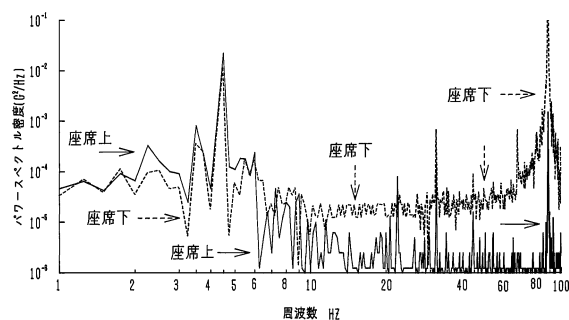


図5 アスファルト路走行時パワースペクトル密度

3.5, 4.5 HzでPSDが大きくなったのはタイヤやコイルバネの固有振動数と路面振動との共振の影響と思われる。草地走行の事例として、走行速度7.7 km/hの場合のPSDを図6に示す。PSDは座席上、座席下とも10 Hz以下で非常に大きくなり、座席上は座席下振動を上回り、アスファルト路走行と同様に10 Hz以下では、座席コイルバネによる振動低減効果はなかった。しかし10 Hz以上で低減効果があったので全体として座席上振動は低減される。すなわち走行路の路面振動の周波数がタイヤや座席コイルバネと共振しない程度以上の周波数であれば振動は低減され、逆に共振を起こし易い低い周波数であれば逆に増加する。草地走行のように低い周波数のPSDが大きい圃場では緩衝装置のない座席が適当と考えられる。

走行速度との関係では、速度の遅い時は10 Hz以下の低い周波数のPSDが小さいが、速度の増加と共に低い周波数のPSDが大きくなり、座席上振動を増加させ同時に振動伝達率も増加させた。表2に

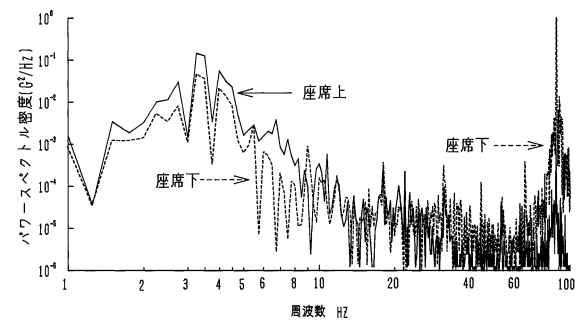


図6 草地走行時パワースペクトル密度

表2 上下方向5-8 Hz (1/3 オクターブバンド) 平均振動加速度レベル (dB)

走行条件		アスファルト路走行速度 (km/h)							
		1.9	2.6	3.0	4.4	5.8	7.7	9.4	13.5
草地	上	82.9	81.8	83.6	87.6	87.7	94.5	91.7	95.6
	下	80.1	81.1	84.2	87.8	87.7	88.7	90.8	95.9
アスファルト路	上	89.6	84.6	84.2	85.6	84.6	82.8	88.3	94.7
	下	86.9	85.4	85.4	85.2	84.3	82.0	86.1	96.4
凹凸畑	上	83.0	84.6	85.2	94.9	97.6	107.2		
	下	81.8	84.6	85.7	92.8	96.4	101.0		
プラウ耕	上	79.3	83.4	87.7	91.2	93.5	95.1		
	下	80.6	84.0	93.0	92.2	93.5	95.6		
プラウ耕跡	上	82.5	77.4	76.7	80.9				
	下	83.1	79.9	78.0	83.1				
ロータリ耕	上	79.1	82.1	84.2	85.3				
	下	81.4	84.6	87.3	87.9				

アンダーラインは8時間暴露基準90 dB以上（上：座席上、下：座席下）

1/3 オクターブバンド分析による 5.0, 6.3, 8.0 Hz の上下振動平均値を示す。

ISO の全身振動暴露基準では、暴露時間が 8 時間の場合の振動加速度レベルを 90 dB としている。座席上振動でこの 90 dB を上回ったのは、アスファルト路では走行速度 13.5 km/h、草地走行では 7.7 km/h 以上であった。草地走行の長時間、高速作業は健康上好ましくないことになる。

前後振動についてはアスファルト路、草地走行とも走行速度による影響はほとんどなく、座席下、座席上ともに振動加速度レベルは 110 dB 程度で、座席コイルバネの効果はほとんどなかった。

3. プラウ耕作業、凹凸畑走行時の特性

プラウ耕作業と人工凹凸畑走行時の上下振動の結果を図 7 に示す。プラウ耕作業では作業限界まで、また凹凸畑では運転限界までの結果である。凹凸畑の最大座席振動時はオペレータが座席から飛び上げられハンドルを握っての運転であった。図 8 に振動伝達率を、図 9 にプラウ耕作業時で走行速度が最大の 7.7 km/h に於ける PSD を示す。プラウ耕作業時

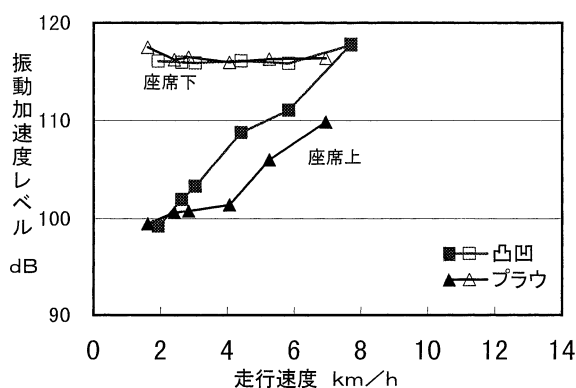


図 7 プラウ耕作業、人工凹凸畑走行時振動加速度レベル

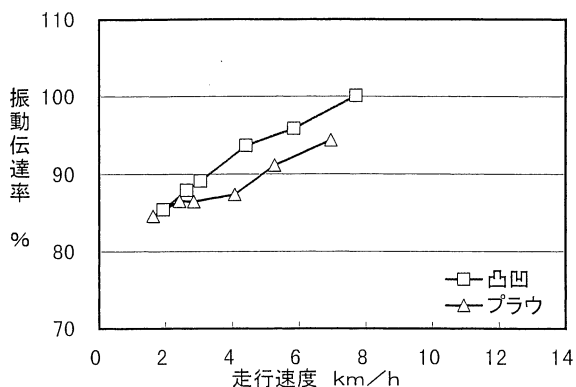


図 8 プラウ耕作業、人工凹凸畑走行時振動伝達率

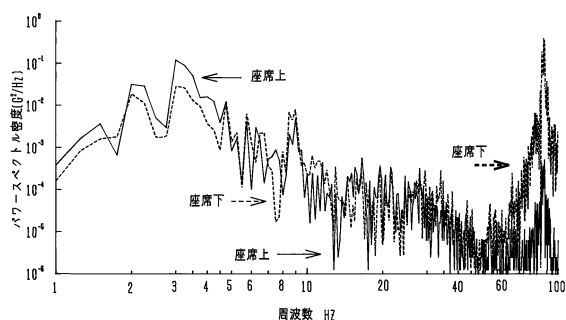


図 9 プラウ耕作業時パワースペクトル密度

のトラクタはプラウの牽引抵抗によりタイヤのラグが畑表面に密着するような状況で、右に傾斜しながら走行する。従って畑表面の凹凸の影響を強く受ける。

図 9 の PSD では 10 Hz 以下での低い周波数で大きく且つ極端に変動し、座席コイルバネやタイヤとの共振を起こし座席上振動は座席下振動を大きく上回ったものと思われる。このような PSD の特徴は凹凸畑走行も同様であった。

振動伝達率でアスファルト路や草地走行より大きくなったのは、10 Hz 以下の低い周波数での PSD が大きかったからと考えられる。表 2 の 1/3 オクターブバンド分析では走行速度 4.4 km/h 以上で座席振動は 90 dB を越え、運転がほとんど不可能に近い凹凸畑の 7.7 km/h 走行では 107 dB で ISO の暴露時間は 16 分であった。

従ってプラウ耕作業では草地走行と同様に周波数 10 Hz 以下の PSD が大きく、コイルバネのような緩衝装置のない座席の方が良いと言える。

前後振動についてはアスファルト路、草地走行と同様 110 dB 程度で、座席下と座席上との差はなかった。

4. ロータリ耕作業の特性

上下振動の実験結果を図 10 に示す。プラウ耕跡ロータリ作業、無耕起畑ロータリ作業とも座席上の上下振動は低速時から値が大きく、振動伝達率では 95% 程度であった。特に無耕起畑の場合は 110 dB でプラウ耕作業の最も大きな値と同じ結果になった。しかし表 2 の 1/3 オクターブ分析で比較的小さいのは、図 11 にあるように、周波数が 10 Hz 以下での PSD が小さかったからと考えられる。前後振動については上下振動と同程度のレベルにあった。

IV 摘 要

中形トラクタの各種農作業に於ける座席の振動特

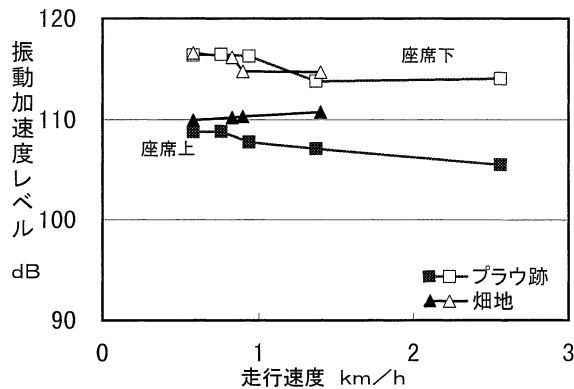


図 10 ロータリ耕作業時振動加速度レベル

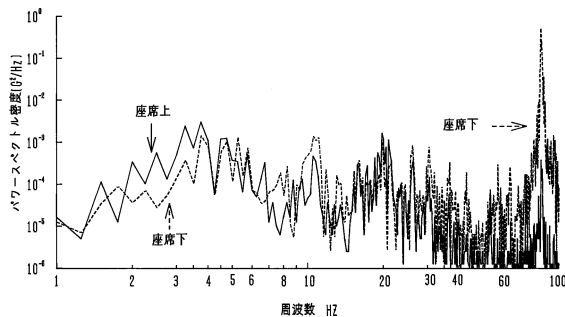


図 11 ロータリ耕作業時パワースペクトル密度

性を明らかにした。走行路はアスファルト路、草地、凹凸畑、作業はプラウ耕作業、ロータリ耕作業である。実験結果を以下に要約する。

1. エンジン回転のみの上下方向振動加速度レベルは座席下(機体)で 99-117 dB、座席上では 94-103 dB、前後方向は座席下で 93-110 dB、座席上では 96-109 dB となり、座席コイルバネは上下振動のみ減少させた。

2. 走行時、作業時の座席下の上下方向振動加速度レベルは 114-118 dB、前後方向は 108-112 dB であった。座席下の振動加速度レベルは走行速度によ

る影響はなかった。

3. 座席上の上下方向振動加速度レベルは 93-118 dB で座席下より小さく、ロータリ作業を除き走行速度が速くなるに従って大きくなった。

振動伝達率は 80%以上でアスファルト路が最も小さく、次に大きいのが草地、次がプラウ耕、最も伝達率の大きいのが凹凸畑であった。

座席上の前後方向振動加速度レベルは座席下とほぼ同じで、振動伝達率は 100%であった。

4. ロータリ作業時の座席上の上下方向振動加速度レベルは 105-111 dB でアスファルト路走行、草地走行、プラウ耕作業時より大きくなった。座席上の前後方向振動は座席下より大きくなり、振動伝達率は 100%を越えた。

5. 振動のパワースペクトル密度の解析によると、座席のコイルバネは振動周波数がほぼ 10 Hz 以下で振動密度を増加させ、ほぼ 10 Hz 以上で減少させた。

6. 座席上の上下方向 1/3 オクターブバンドの加速度は、7.7 km/h 以上の草地走行と 4.4 km/h 以上のプラウ作業で ISO の 8 時間暴露基準を越えた。

参考文献

- 1) ISO2631, 1985. Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 1: General requirements.
- 2) ISO5008, 1979. Agricultural wheeled tractors and field machinery — Measurement of whole-body vibration of the operator.
- 3) 川上克己, 伊藤孝子, 小宮道士, 1999. 中形トラクタの砂利路及び草地走行時の座席振動, 酪農学園大学紀要, 24 (1): 25-31.
- 4) 日本音響材料協会, 1993. 騒音・振動対策ハンドブック, pp. 441, 技報堂出版, 東京.

Summary

To evaluate the characteristics of ride vibrations of a middle-class tractor, acceleration of the tractor during various farm operations were measured and analyzed. The ride conditions of tractor were tested on a paved road, in a pasture, in a rough field, and during tillage using a moldboard plow and rotary tiller. The following results were obtained.

- 1) The acceleration level of vertical body vibration of the tractor engine was 99-117 dB and that of the ride was 94-103 dB. That of back and forth body vibration was 93-110 dB, and that of the ride was 96-109 dB. A seat spring reduced only vertical vibration.
- 2) The acceleration level of vertical body vibration of the tractor during farm-work was 114-118 dB, and that of back and forth vibration was 108-112 dB. Driving speed had no influence.
- 3) The acceleration level of vertical ride vibration was 93-118 dB, and smaller than that of body vibration.

This level increased with driving speed except for during tillage using a rotary tiller.

The transmissibility of vertical vibration to the seat was more than 80%. The transmissibility was lowest in the case of driving on a paved road, followed by driving in a pasture and then driving in a rough field. The transmissibility of back and forth vibration was 100 no gap %

- 4) The acceleration level of vertical ride vibration when the tractor was used for tiller was 105-111 dB, larger than that in the case of plowing, on a paved road and driving in a pasture. The transmissibility of back and forth vibration was over 100 no gap %.
- 5) The power spectrum density of the acceleration level of vertical ride vibration increased when the resonant frequency was less than 10 Hz and decreased when the resonant frequency was more than 10 Hz.
- 6) Acceleration in the one-third octave band of vertical ride vibrations exceeded the ISO 8-hour exposure limit when the tractor was driven in a pasture at a speed of more than 8 km/h and during plowing at a speed of more than 4 km/h.