

56. コンクリート舗装路面上のトラクタの走行性能

愛媛大学：*室 達朗・河原莊一郎
東亜建設工業(株)：藤本 和穂

1. はじめに 近年、低騒音・低振動で舗装路面を傷めないゴム製トラクター¹⁾が開発され、さらに高い牽引力を発揮するためのグラウサ形状の最適化が研究されている。ここでは、コンクリート舗装路面上を制・駆動状態で、傾斜地を走行する自重 40 kN のゴム製履带式小型トラクターの走行性能について解析を行なった結果について述べる。特に、ゴム製グラウサの形状効果である矩形、台形及びグラウサ接地長の路盤-履帯系定数に与える影響について実験を行ない、これらのグラウサ形状がトラクターの有効牽引力と有効制動力に及ぼす効果について解析することを主たる目的としている。

2. 車両諸元と路盤-履帯系定数 表1 は、小型ゴム製履带式トラクターの車両諸元を示したものである。駆動時の履帯周速度、及び制動時の車両速度は一定としている。図1 は、矩形及び台形型ゴム製グラウサの形状寸法である。矩形型グラウサは、傾斜角 $\alpha=0$ 度、高さ $H=6.5$ cm、底長 $L=3, 5$ cm の2種類、等辺台形型グラウサは、傾斜角 $\alpha=30$ 度、高さ $H=6.5$ cm、底長 $L=2, 3, 4, 5$ cm の4種類である。グラウサピッチ G_p は、すべて 14.6 cm である。図2 は、一例として、あるコンクリート舗装路面上で $L=2$ cm の等辺台形型履帯モデルを各接地圧 p の下で牽引したときのせん断抵抗 τ とスリップ量 j の関係を示したものである。いずれも多少の波状起伏はあるが Hump 型²⁾ に属しており、路盤-履帯系定数を決定することができ

表1 小型トラクターの車両諸元

車両重量 W (kN)	40.0
平均接地圧 p_m (kPa)	23.0
履帯腹下面からの重心 G の高さ h_g (cm)	50
履帯接地長 D (cm)	170
履帯幅 B (cm)	50
前輪半径 R_f (cm)	25
後輪半径 R_r (cm)	25
グラウサ高さ H (cm)	6.5
グラウサピッチ G_p (cm)	14.6
車両重心偏心率 e	0.00
制・駆動力作用点と車両中心線間隔 l_a (cm)	120
制・駆動力作用点高さ h_a (cm)	30
車両速度(制動時) V (cm/s)	100
履帯周速度(駆動時) V' (cm/s)	100

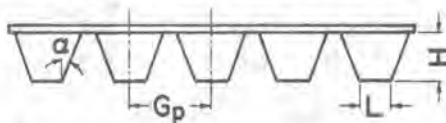


図1 ゴム製グラウサの形状寸法

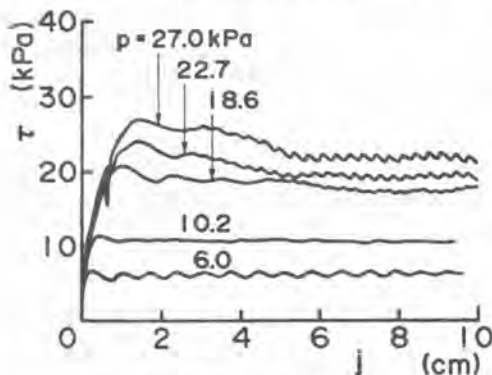


図2 コンクリート舗装路面における τ と j の関係 ($L=2$ cm)

る。表2に、それぞれの路盤-履帯定数をまとめて示した。この場合、舗装路面は弾性体であるので、他の地盤-履帯定数³⁾は、 $k_1=9.8 \times 10^4$ 、 $n_1=1$ 、 $k_2=n_2=0$ 、 $c_0=c_1=c_2=0$ とおき、 f_n 、 f_m 、 j_m に対する寸法効果は考慮していない。

表2 路盤-履帯定数

舗装路面	グラウサ型式	L (cm)	f_n	f_m	j_m (mm)
コンクリート	矩形	3	0.918	0.856	6.17
	矩形	5	0.944	0.823	5.76
コンクリート	等辺	2	1.028	0.887	8.87
		3	1.193	0.972	4.84
	台形	4	1.113	0.992	6.25
	台形	5	1.138	0.959	3.75

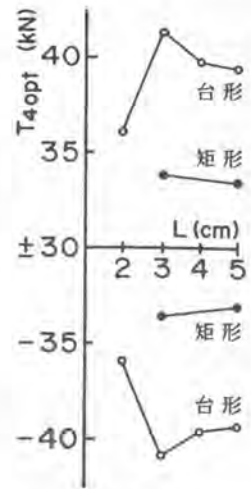


図3 最適有効牽引力 T_{4opt} とグラウサ底長 L の関係 ($\beta=0$ rad)

3. 最適グラウサ形状 舗装路面の傾斜角 $\beta=0$ rad の平坦地を当該小型トラクターが制・駆動状態で走行するときの最適有効牽引力 T_{4opt} が各グラウサ形状によってどのように変化するかについて、各路盤-履帯定数を入力してシミュレーション解析⁴⁾を行なった。なお、解析に当たっては、履帯初期張力は十分に大きく剛性履带式車両として算定している。

図3は矩形、台形型グラウサについて制・駆動時における最適有効制・駆動力 T_{4opt} とグラウサ底長 L との関係を示したものである。この場合、最適スリップ率は $\pm 1 \sim 2\%$ である。いずれも、台形型グラウサの方が矩形型より優れた形状であることは明らかであり、中でも $L=3$ cm の台形型グラウサが最も大きな制・駆動力を発揮することが判明した。

4. シミュレーション解析 以後、 $L=3$ cm の台形型グラウサについて、種々の傾斜角 β のコンクリート舗装路面上を制・駆動する当該小型トラクターの走行性能についてシミュレーション解析を行なった結果について述べる。図4は、駆動状態で $\beta=-0.349, 0, +0.349, +0.698$ rad の斜面を走

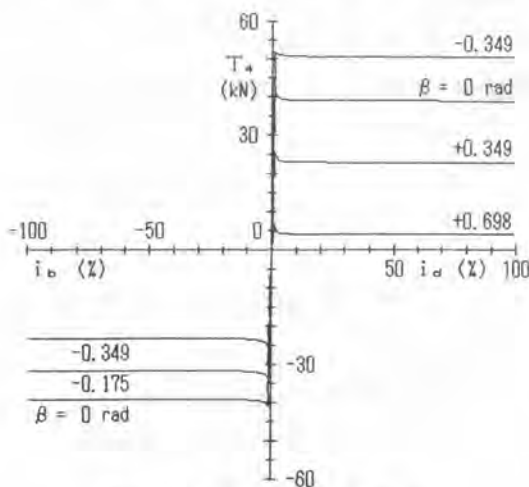


図4 種々の路面傾斜角 β に対する T_4 と i_a 、 i_b との関係

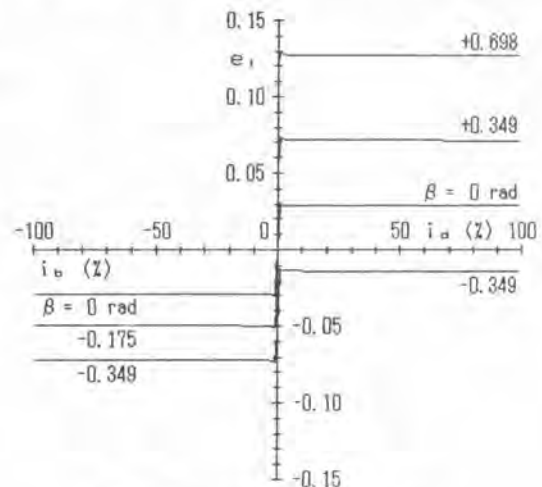


図5 種々の路面傾斜角 β に対する e_i と i_a 、 i_b との関係

行する場合、及び制動状態で $\beta = -0.349, -0.175, 0$ rad の斜面を下降走行する場合について、有効制・駆動力 T_d とスリップ率 i_d または i_b の関係を示したものである。 T_d は、駆動状態では β が增大するほど減少し、急な坂になるほど登坂能力が減退すること、制動状態では $|\beta|$ が增大するほど低下し、急な坂になるほどキャリングダウン時の下降制動能力が減退することが判明した。また、路面反力偏心率 e_r とスリップ率 i_d または i_b の関係は、図5に示すように、駆動状態では β が增大するほど e_r は増加し、急な坂になるほど路面反力作用点は後方へ移動すること、制動状態では $|\beta|$ が增大するほど e_r は低下し、急な坂になるほど路面反力作用点は前方へ移動することが分かる。

4.1 登坂駆動時 $\beta = 0.349$ rad (20度) の傾斜地を登坂駆動するときの牽引特性をさらに詳細に解析する。図6に、各種エネルギー $E_1 \sim E_5$ とスリップ率 i_d の関係を示した。 $i_{dopt} = 1\%$ において、有効入力エネルギー E_1 はピーク値を呈した後ほぼ一定値で推移しているのに対し、有効牽引力エネルギー E_4 と位置エネルギー E_5 はそれぞれ最大値を呈した後ほぼ直線的に漸減し、 $i_d = 100\%$ において0に達している。一方、スリップエネルギー E_3 は、 i_d の増加とともにほぼ直線的に増加している。この場合、締固めエネルギー E_2 は発生せず走行抵抗は存在しない。図7に示すように、牽引

効率 E_t は $i_{dopt} = 1\%$ においてピーク値 64.6% を呈した後ほぼ直線的に漸減し、 $i_d = 100\%$ において0に達している。図8は、 $i_d = 10, 20, 30\%$ における垂直応力分布と、 $i_d = 1, 5, 10, 20, 30\%$ におけるせん断抵抗分布を示したものである。垂直応力分布は後輪に向かって単調増加するのに対し、せん断抵抗分布は後輪に向かって増加するものの、 i_d の小さい範囲でスリップ量とともに大きく変動しているが、 i_d の大きな範囲では前輪直下にピーク値を有する一定曲線に落ち着いている。

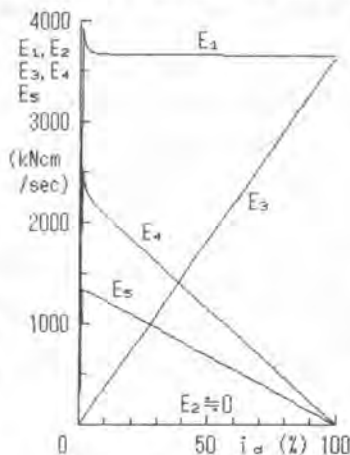


図6 登坂駆動時における $E_1 \sim E_5$ と i_d の関係 ($\beta = 0.349$ rad)

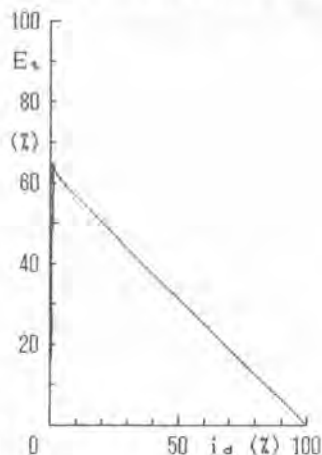


図7 登坂駆動時における E_t と i_d の関係 ($\beta = 0.349$ rad)

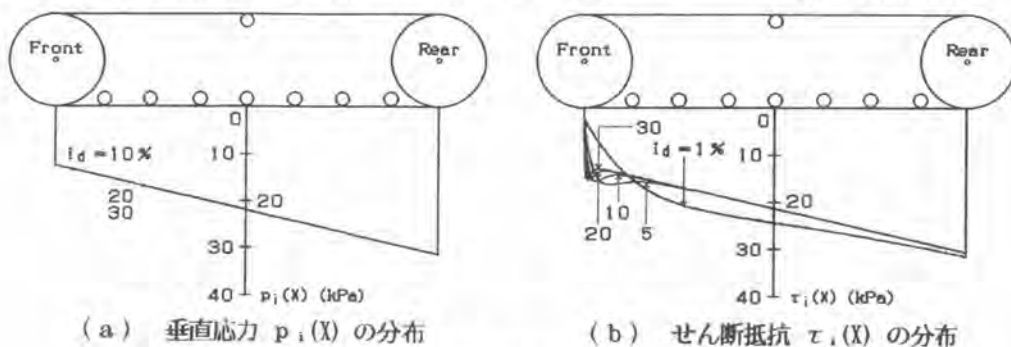


図8 登坂駆動時における接地圧分布 ($\beta = 0.349$ rad)

4.2 下降制動時 $\beta = -0.349 \text{ rad}$ (-20°) の傾斜地を下降制動するときの制動特性をさらに詳細に解析する。図9に、各種エネルギー $E_1 \sim E_5$ とスリップ率 i_b の関係を示した。 $i_{b,opt} = -1\%$ において、 $|E_1|$ はピーク値を示した後ほぼ直線的に減少し、 $i_b = -100\%$ において0に達している。有効制動力エネルギー E_4 と E_5 は、車両速度が一定であるためほぼ一定値を示している。一方、 E_3 は $|i_b|$ の増加とともにほぼ直線的に増加している。この場合、 E_2 は発生せず走行抵抗は存在しない。制動効率 E_b は、 $i_{b,opt} = -1\%$ において 65.5% を示した後、双曲線的に増加している。図10は、 $i_b = -10, -20\%$ における垂直応力分布と、 $i_b = -1, -5, -10, -20\%$ におけるせん断抵抗分布を示したものである。垂直応力分布は後輪に向かって単調減少するのに対し、せん断抵抗分布は後輪に向かって減少するものの、 $|i_b|$ の小さい範囲でスリップ量とともに大きく変動しているが、 $|i_b|$ の大きな範囲では前輪直下にピーク値を有する一定曲線に落ち着く傾向にある。

5. あとがき 傾斜したコンクリート舗装路面上を制・駆動状態で走行するゴム製履帯式小型トラクターの有効牽引力と有効制動力を最大限に発揮させるためには、底長 3 cm の台形型グラウサが最も適している。また、有効制・駆動力は傾斜角によって変動し、急な坂になるほど登坂能力と下降制動能力が減退すること、路面反力作用点は、登坂駆動時で履帯後方へ、下降制動時で履帯前方へ移動することが定量的に明らかとなった。

参考文献

- 1) 吉田和宏、堀一俊；小型ブル用ゴム履帯の開発，平成2年度建設機械と施工法シンポジウム論文集，pp.110-113，1990.
- 2) 笈田昭；土のせん断応力-変位曲線表示式に関する一考察，農業機械学会誌，第37巻，第1号，pp.20-25，1975.
- 3) T. Muro；Automated tension control system of track belt for bulldozing operation, Proc. of 7th Int. Sympo. on Automation and Robotics in Construction, Vol.2, pp.415-422, 1990.
- 4) 室達朗；湿地ブルドーザの牽引特性に与える履帯初期張力の影響，テラメカニクス，第11号，pp.15-20，1991.

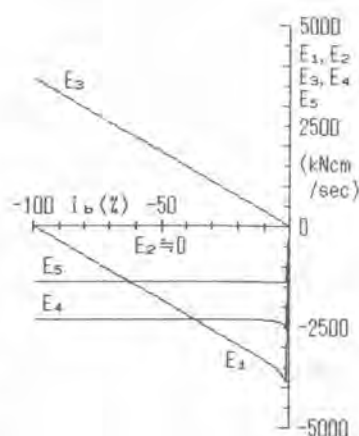


図9 下降制動時における $E_1 \sim E_5$ と i_b の関係 ($\beta = -0.349 \text{ rad}$)

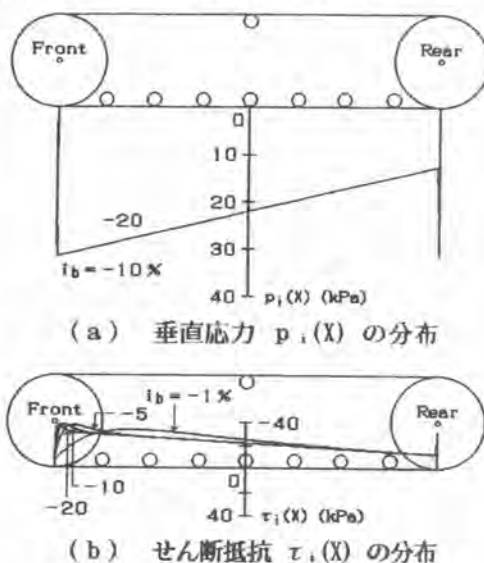


図10 下降制動時における接地圧分布 ($\beta = -0.349 \text{ rad}$)