

湿地ブルドーザの牽引性能に及ぼす寸法効果の影響

室 達朗*・横田研一**

軟弱地盤上を走行する湿地ブルドーザの重量と大きさがその牽引性能に及ぼす影響について、地盤-履帯系定数の寸法効果について実験的考察を行ない、たわみ性履带式車両に対する厳密なシミュレーション解析を実施した。その結果、圧縮性の高いシルト質ローム地盤では、履帯寸法の増加とともに地盤-履帯系定数は劣化し、同一接地圧でも車両の牽引係数、牽引効率は共に急減することを明らかにした。

Keywords: bulldozer, size effect, weak terrain, tractive performance

1. ま え が き

従来、湿地ブルドーザなどの実機車両の牽引性能を算定する際、履帯モデル試験から実測される地盤-履帯系定数¹⁾が使用されてきた。すでに、履帯の牽引力と沈下量に及ぼす寸法効果については、ひずんだ土-機械系の相似則²⁾を用いて次元解析を行い、非排水せん断強度、接地圧、履帯寸法およびグラウサピッチ高さ比の関数として表現した。また、履帯モデル試験が同じグラウサピッチ高さで同一の地盤条件で実施される場合、牽引力および沈下量は、それぞれ幾何学的相似比の1.667乗および0.954乗となることを実証した³⁾。

本論文の目的は、不飽和地盤上を走行する台形型ゴム製グラウサ付履帯の地盤-履帯系定数に及ぼす寸法効果を実験的に明らかにし、履帯モデルの寸法が実機ブルドーザの牽引性能に及ぼす影響を解明するとともに、小型から大型ブルドーザに至る車両寸法がそれぞれの牽引性能に与える特性について明らかにすることである。ここでは、含水比30%で練り返したシルト質ローム地盤について同じグラウサピッチ高さ比をもつ4通りの幾何学的に相似な履帯モデルについて載荷試験と牽引試験を実施し、地盤-履帯系定数の寸法効果を調べている。実機ブルドーザとしては、自重50kN、履帯幅100cm、履帯接地長320cmの湿地ブルドーザを選定し、その牽引性能に及ぼす地盤-履帯系定数の寸法効果の影響についてシミュレーション解析を行っている。さらに、平均接地圧を一定とした種々の車両寸法がそれぞれの牽引力係数、牽引効率などの牽引性能に及ぼす影響について述べている。

2. 地盤-履帯系定数

履帯モデルの大きさが地盤-履帯系定数に及ぼす寸法効果の影響を調べるために、図-1に示す傾斜角 $\alpha=0.524$ rad (30度)の等辺台形型グラウサを8個装着したゴム製履帯モデルを使用し、幾何学的に相似な4種類の寸法比 $N=1, 2, 3$ および4をもつ履帯モデルについて載荷試験及び牽引試験を実施した。 $N=1$ に対する履帯モデルの寸法は接地長 $D=41$ cm, 幅 $B=12.5$ cm, グ라우サ高さ $H=1.5$ cm, グ라우サピッチ $G_p=4.5$ cm およびグラウサ接地長 $f=0.5$ cm とし、各寸法比に対するグラウサピッチ高さ比⁴⁾は最大牽引力を発揮するように3.0とした。供試地盤は、真比重2.84、液性限界33.2%、塑性限界21.4%、塑性指数11.8、均等係数6.40、曲率係数0.31、平均粒径 $54 \mu\text{m}$ 、単位体積重量 18.6 kN/m^3 、間隙比0.85、含水比30%、飽和度96.9%の練り返したシルト質ロームを長大土槽(540 cm×150 cm×60 cm)に深さ40 cmになるように充填し作成した。この地盤の粘着力は6.63 kPa、内部摩擦角は26.8度、コーン指数は31 kPaであった。

載荷試験の結果、接地圧 p (kPa) と沈下量 S_0 (cm)の間には一般に次式が成立する。

$$0 \leq p \leq k_1 H^{n_1} \text{ のとき}$$

$$p = k_1 S_0^{n_1} \dots \dots \dots (1)$$

$$p > k_1 H^{n_1} \text{ のとき}$$

$$p = k_1 H^{n_1} + k_2 (S_0 - H)^{n_2} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 k_1, n_1, k_2 および n_2 は地盤-履帯系定数であり、それぞれ実測値と最確値との残差に軽重率 p を乗じ、最小自乗法によって算定している。 N の増加とともに k_1, k_2 は減少するが n_1, n_2 は増加することが次式より明らかである。

$$k_1 = 1.50 \times 10^N \dots \dots \dots (3)$$

* 正会員 工博 愛媛大学教授 工学部土木海洋工学科 (〒790 松山市文京町3)
** 新キャタピラー三菱(株)

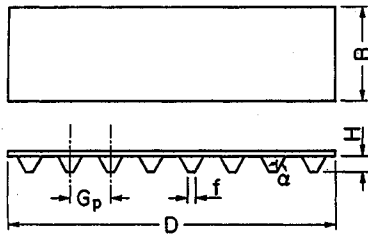


図-1 履帯モデルの形状、寸法

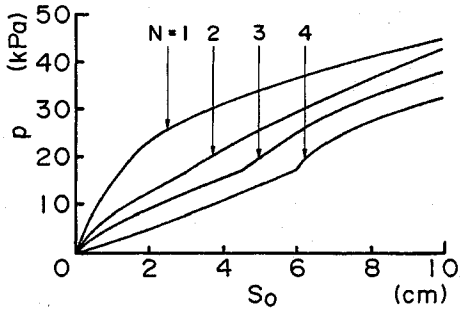


図-2 種々の寸法比 N に対する接地圧 p と静的沈下量 S_0 の関係

$$k_2 = 5.69N^{-0.015} \dots\dots\dots (4)$$

$$m_1 = 7.30 \times 10^{-1} N^{0.183} \dots\dots\dots (5)$$

$$n_2 = 7.30 \times 10^{-1} N^{0.098} \dots\dots\dots (6)$$

図-2に示すように、 N の増加とともに一定の p 値に対して S_0 は増加しているが、これは履帯モデルに作用する全荷重が増大するために圧力球根の作用域が拡大するためである。

牽引試験の結果、図-3に一例を示すように、せん断抵抗力 τ (kPa)は接地圧 p (kPa)と牽引距離 j (cm)の関数として次式で表わされる。

$$\tau = (m_c + m_f \cdot p) \{1 - \exp(-a \cdot j)\} \dots\dots\dots (7)$$

ここに、 m_c 、 m_f および a は履帯形状と土質性状によって定まる地盤-履帯係数であり、 m_c は粘着力項、 m_f は内部摩擦係数項、 a は変形係数項である。いずれも、履帯側面および前面盛り上がり部分のせん断抵抗をも含めて計測しているが、土質材料本体のせん断強度を十分に発揮していない。また回帰分析の結果、これらの定数は、寸法比 N の関数として次式で与えられる。

$$m_c = 6.04N^{-0.282} \dots\dots\dots (8)$$

$$m_f = 4.13 \times 10^{-1} N^{-0.137} \dots\dots\dots (9)$$

$$a = 4.35 \times 10^{-1} N^{-0.824} \dots\dots\dots (10)$$

いずれも N の増加とともに減少しているが、これは牽引作業時履帯の傾斜角が増大し接地圧分布が後方に偏心するために履帯前面に作用する運土抵抗が N の増加により減少することに起因している。なお、履帯のすべり

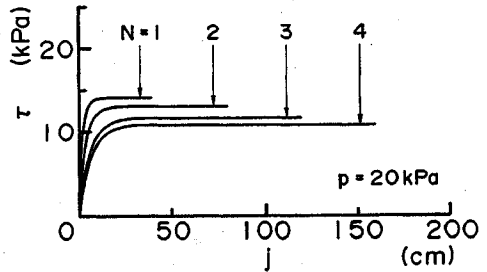


図-3 種々の寸法比 N に対するせん断抵抗力 τ と牽引距離 j の関係

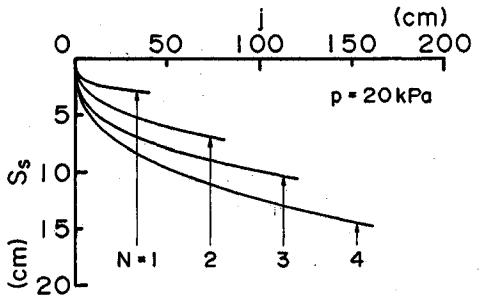


図-4 種々の寸法比 N に対するすべり沈下量 S_s と牽引距離 j の関係

沈下量 S_s (cm) はせん断時の土のダイレイタンスーによる体積圧縮と排土作用によって p および j の増加とともに増大し、図-4に一例を示すように、一般に次式で表わされる。

$$S_s = c_0 p^{c_1} j^{c_2} \dots\dots\dots (11)$$

ここに、 c_0 、 c_1 および c_2 は地盤-履帯係数であり、重回帰分析によって算定した結果、寸法比 N の関数として次式で与えられる。

$$c_0 = 4.19 \times 10^{-2} N^{1.349} \dots\dots\dots (12)$$

$$c_1 = 1.15N^{-0.324} \dots\dots\dots (13)$$

$$c_2 = 2.40 \times 10^{-1} N^{0.331} \dots\dots\dots (14)$$

N の増加とともに c_0 、 c_2 は増加するが c_1 は減少している。なお、 S_s が N の増加とともに増加するが、これは圧力球根の発生領域の到達深さの増大に起因するものである。

3. 実機車両の牽引性能

寸法比 $N \approx 8$ に対応する実機車両として、自重 $W = 50$ kN、履帯幅 $B = 100$ cm、履帯接地長 $D = 320$ cm、平均接地圧 $p_m = 7.81$ kPa、前・後輪半径 $R_f = R_r = 50$ cm、下転輪間隔 $R_p = 40$ cm、下転輪半径 $R_m = 8$ cm、車両重心偏心率 $e = -0.02$ 、車両重心高さ $h_g = 100$ cm、有効牽引力作用点と車両中心線間隔 $l_a = 300$ cm、有効牽引力作用点高さ $h_a = 50$ cm、グラウサ高さ $H = 12$ cm、グラ

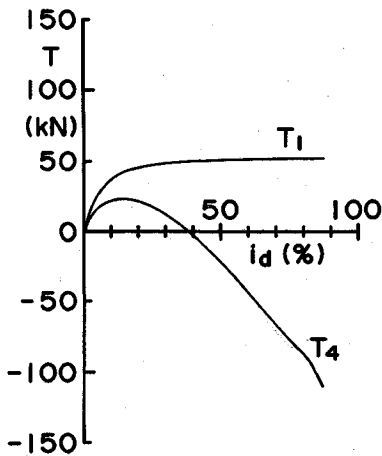


図-5 駆動力 T_1 、有効牽引力 T_4 とスリップ率 i_d の関係 ($N=8$)

ウサピッチ $G_p=36$ cm, および履帯の初期張力 $H_0=9.8$ kN の車両諸元を有する湿地ブルドーザを選定した。なお、履帯構造はたわみ性履帯であり、傾斜角 $\alpha=0.524$ rad, 接地長 $f=4$ cm の等辺台形型グラウサを装着したゴム性履帯である。

この湿地ブルドーザを前述した地盤材料で構成される平地面上を履帯速度 $V'=100$ cm/s の駆動状態で牽引走行させる場合の有効牽引力, 接地圧分布等の走行性能に及ぼす地盤-履帯系定数の寸法効果の影響についてシミュレーション解析を行っている。

(1) 有効牽引力

当該湿地ブルドーザに対する地盤-履帯系定数は前式 (3)~(6), (8)~(10) および (12)~(14) に $N=8$ を代入して, $k_1=1.26$, $k_2=5.52$, $n_1=1.07$, $n_2=8.95 \times 10^{-1}$, $m_c=3.36$ kPa, $m_f=3.11 \times 10^{-1}$, $a=7.84 \times 10^{-2}$ cm $^{-1}$, $c_0=6.93 \times 10^{-1}$, $c_1=5.86 \times 10^{-1}$ および $c_2=4.78 \times 10^{-1}$ である。これらの地盤-履帯系定数と車両諸元を入力定数とし, すでに開発した厳密なシミュレーション解析⁵⁾において駆動状態で走行する場合の駆動力 T_1 , 有効牽引力 T_4 , 前・後輪沈下量 S_{fi}' , S_{ri}' , 車両トリム角 θ_{ii}' , 地盤反力偏心率 e_i , 有効入力エネルギー E_1 , 締めエネルギー E_2 , スリップエネルギー E_3 , 有効牽引力エネルギー E_4 , および牽引効率 E_i^0 のスリップ率 i_d による変化を算定した。

図-5 は, T_1 , T_4 と i_d の関係を示したものである。 T_1 は i_d の増加とともに一定値に漸近するのに対し, T_4 は $i_d=15\%$ において最大値 $T_{4max}=23.1$ kN を示した後漸減し, $i_d=38\%$ 以上となると $T_4 < 0$ となり牽引不能となっている。図-6 は, S_{fi}' , S_{ri}' と i_d の関係を示したものであり, i_d の増加とともに S_{fi}' はすべり沈下量の増大に伴って漸増している。そのために, S_{fi}' と S_{ri}' で定まる車両トリム角 θ_{ii}' は図-7 に示すように i_d の増加と

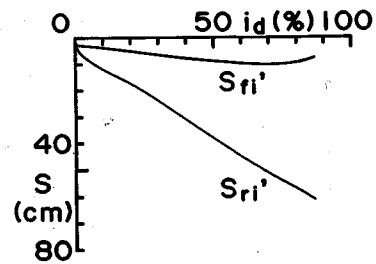


図-6 前・後輪沈下量 S_{fi}' , S_{ri}' とスリップ率 i_d の関係 ($N=8$)

ともに漸増している。また, e_i は $i_d=53\%$ において最小値 -0.161 を示した後増加している。図-8 は各種エネルギー E_1 , E_2 , E_3 , E_4 と i_d の関係を示したものである。 E_1 は i_d の増加とともに一定値に漸近するのに対し, E_2 は放物線的に増加している。また, E_3 は i_d とともに比例して増加している。 E_4 は最適スリップ率 $i_{dopt}=14\%$ において最大値 2455 kNcm/s を示した後漸減している。なお, この i_{dopt} において, $S_{fi}'=4.0$ cm, $S_{ri}'=13.9$ cm, $\theta_{ii}'=0.031$ rad, $e_i=-0.062$ および $E_i=48.3\%$ で, $T_{1opt}=40.99$ kN, $T_{4opt}=23.03$ kN を発揮して牽引走行可能であることが判明した。

(2) 接地圧分布と張力分布

たわみ性履帯式車両の履帯下に作用する接地圧分布は, 履帯エレメントに作用する履帯張力, 推力および地盤反力から履帯のたわみ変形量を算定し, 地盤-履帯系定数を用いて垂直応力分布 $p_i'(X)$ およびせん断抵抗力分布 $\tau_i'(X)$ として求めることができる⁷⁾。この場合, 下転輪通過直後の履帯エレメントの変形による除荷過程においては次式に示す実験式を使用した。

$$0 \leq p \leq k_1 H^{n_1} \text{ のとき}$$

$$p = k_1 S_0^{n_1} - k_3 (S_0 - S)^{n_3} \dots \dots \dots (15)$$

$$p > k_1 H^{n_1} \text{ のとき}$$

$$p = k_1 H^{n_1} + k_2 (S_0 - H)^{n_2} - k_3 (S_0 - S)^{n_3} \dots \dots \dots (16)$$

ここに, $S_0 - S$ は除荷による土の膨張変形量であり, $k_3=30.0$, $n_3=1.00$ である。

当該湿地ブルドーザの履帯下に作用する接地圧分布は i_d とともに変化するが, 一例として図-9 に $i_d=30\%$ の $p_i'(X)$ と $\tau_i'(X)$ の分布図を示す。図より明らかに, 下転輪直下での応力集中があり, 下転輪間では履帯のたわみ変形のために $p_i'(X)=0$, $\tau_i'(X)=m_c \{1 - \exp(-a \cdot j)\}$ に達している。

次に, 履帯張力 $T_0(X)$ は, 履帯初期張力 H_0 と地盤のせん断抵抗力 $\tau_i'(X)$ の分布関数をフロントアイドラの最下点より距離 X にわたって積分した値の和として次式で算定される。

$$T_0(X) = H_0 + B \int_0^X \tau_i'(X) dX \dots \dots \dots (17)$$

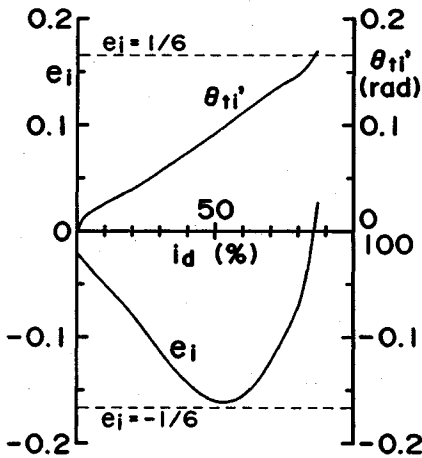


図-7 車両トリム角 θ_{11}' 、地盤反力偏心率 e_i とスリップ率 i_d の関係 ($N=8$)

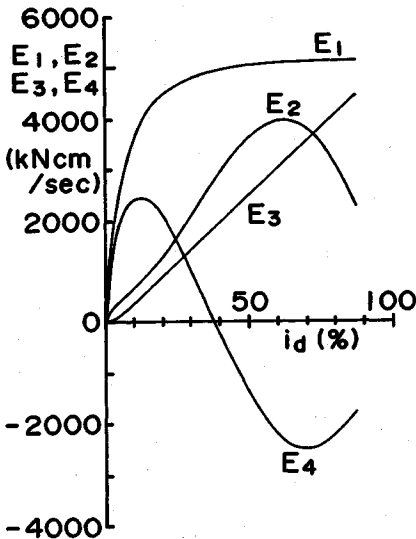
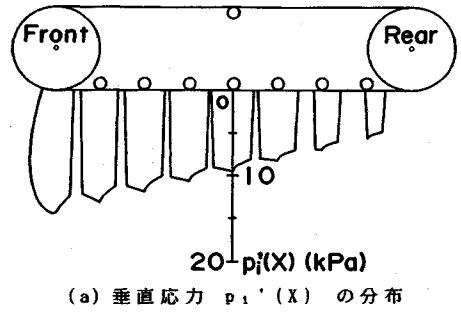


図-8 各種エネルギー E_1, E_2, E_3, E_4 とスリップ率 i_d の関係 ($N=8$)

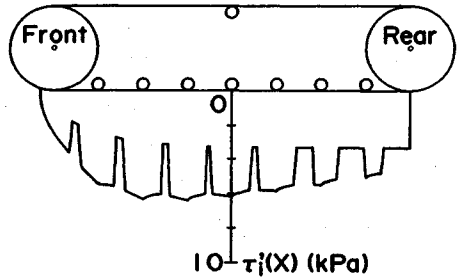
図-10は、 $i_d=10, 20, 30, 40$ および 50% における履帯張力分布である。フロントアイドラ部位で $H_0=9.8$ kN が作用し、後方に向かって T_0 は i_d の増加とともに増大している。後輪スプロケット部位では $i_d=50\%$ に対し $T_0=29.3$ kN に達している。なお、履帯のたわみ変形量は T_0 分布に対応しており、 $i_d=50\%$ に対しフロントアイドラ部位で 6.3 mm、後輪スプロケット部位で 0.5 mm と緊張していることが算定の結果明らかである。

(3) 寸法効果

当該湿地ブルドーザの走行シミュレーション解析結果に及ぼす地盤—履帯系定数の寸法効果の影響について考察する。図-11は、入力定数として $N=1, 2, 4$ およ



(a) 垂直応力 $p_1'(X)$ の分布



(b) せん断抵抗力 $\tau_1'(X)$ の分布

図-9 履帯下の接地圧分布 ($N=8, i_d=30\%$)

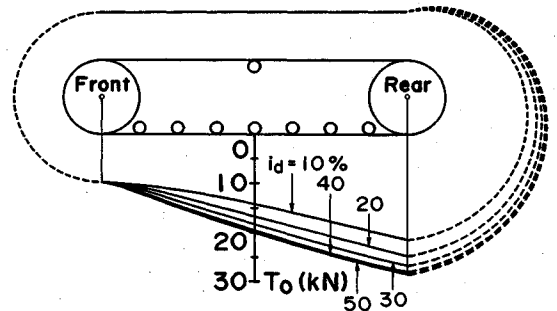
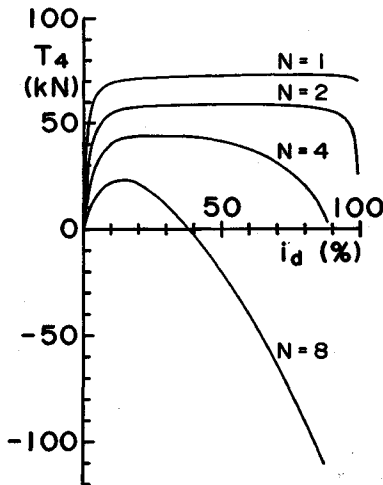
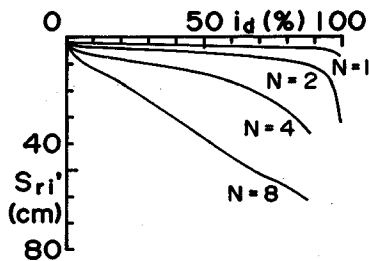


図-10 履帯張力 T_0 の分布 ($N=8, i_d=10\sim50\%$)

び 8 に対する地盤—履帯系定数を入力した場合の有効牽引力、後輪沈下量とスリップ率の関係である。図より明らかに両者共寸法効果の影響を著しく受けており、寸法効果を全く考慮しない $N=1$ に対して最大有効牽引力 72.3 kN で安定走行しているのに反し、寸法効果を考慮した場合の $N=8$ に対する最大有効牽引力は 23.1 kN と約 68% 減少し、スリップ率 38% において牽引不能に落ち込んでいる。また、後輪沈下量は N の増加とともに急増しており、それに伴って走行抵抗も増大することが判明した。図-12は、有効牽引力エネルギーを最大とする最適スリップ率における駆動力と最適有効牽引力の N による変化を示したものであり、両者とも N の増加とともに漸減している。この場合の牽引効率は、 $N=1, 2, 4$ および 8 に対して $73.9, 70.6, 65.6$ および 48.3% であり、 N の増加とともに減少している。図-13は、



(a) 有効牽引力 T_4 とスリップ率 i_d の関係



(b) 後輪沈下量 S_{r1}' とスリップ率 i_d の関係

図-11 走行解析結果に及ぼす寸法比 N の影響

最適スリップ率で牽引走行している場合の前輪沈下量及び後輪沈下量の N による変化を示したものであり、両者とも N の増加とともにほぼ直線的に増大することが判明した。以上のように、粘性土地盤上での湿地ブルドーザの牽引性能に与える寸法効果の影響は甚大なるものがあり、実機車両の走行解析には寸法効果の問題を十分に考慮しなければならないことが明らかとなった。

4. 車両寸法と走行性能

一定の車両寸法を有する湿地ブルドーザの走行性能に及ぼす地盤一履帯系定数の寸法効果の影響については前節で述べた通りである。次に、種々の車両寸法を有する湿地ブルドーザが同一地盤上を走行する場合について、それぞれの湿地ブルドーザの走行性能に及ぼす車両寸法の影響について考察する。シミュレーション解析において、地盤一履帯系定数は、表-1 に示すように、 $N=4, 8, 12$ および 16 の車両寸法に対応する諸値を入力定数とし、牽引力係数、走行抵抗係数、車両トリム角、地盤反力偏心率および牽引効率に与える車両寸法の影響について述べる。なお、各車両は前述したシルト質ローム地

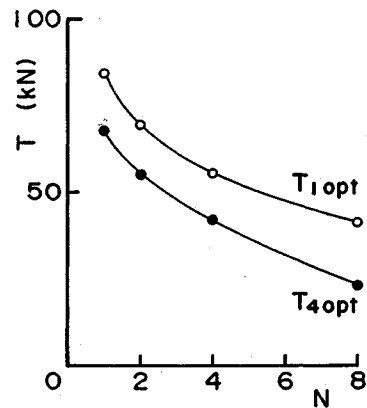


図-12 最適スリップ率における駆動力 T_{1opt} 、有効牽引力 T_{4opt} と寸法比 N の関係

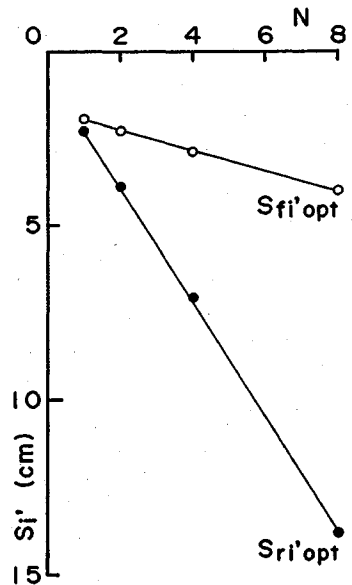


図-13 最適スリップ率における前・後輪沈下量 $S_{fi'opt}$ 、 $S_{ri'opt}$ と寸法比 N の関係

盤の平地面上を同一の平均接地圧の下で駆動牽引走行するものとする。

(1) 牽引力係数

駆動力 T_1 および有効牽引力 T_4 をそれぞれ車両重量 W で除した値を牽引力係数と定義する。図-14 は T_4/W と i_d の関係に及ぼす車両寸法比 N の影響を $e=0.00$ に対して算定したものである。当該地盤においては、 $N=4$ に対する小型湿地ブルドーザでは $i_{dm}=38\%$ において最大値 $(T_4/W)_{max}=0.824$ を呈した後 $i_d=94\%$ で牽引不能となっているのに対し、 $N=16$ に対する大型湿地ブルドーザでは $i_{dm}=4\%$ において $(T_4/W)_{max}=0.105$ を呈した後 $i_d=8\%$ で牽引不能となっている。図-15 は、最適スリップ率 i_{dopt} における牽引力係数

表一 湿地ブルドーザの車両諸元と地盤一履帯系定数

車両寸法比 N		4	8	12	16	
車	車両重量 W (kN)	12.5	50.0	112.5	200.0	
	履帯幅 B (cm)	50	100	150	200	
	履帯接地長 D (cm)	160	320	480	640	
	平均接地圧 P_m (kPa)	7.81				
	前輪半径 R_r (cm)	15	30	45	60	
	後輪半径 R_r (cm)	15	30	45	60	
	下転輪間隔 R_p (cm)	20	40	60	80	
	下転輪半径 R_m (cm)	4	8	12	16	
	車両重心高さ h_m (cm)	30	60	90	120	
	牽引力作用点と車両中心軸間隔 a (cm)	150	300	450	600	
諸元	牽引力作用点高さ h_a (cm)	25	50	75	100	
	グラウサ高さ H (cm)	0	12	18	24	
	グラウサピッチ G_p (cm)	18	36	54	72	
	履帯初期張力 H_0 (kN)	2.45	9.80	22.05	39.20	
	車両重心偏心率 e	-0.05, 0.00, +0.05				
	履帯速度 V' (cm/s)	100				
	地盤・履帯系定数	k_1	2.87	1.26	7.76×10^{-1}	5.51×10^{-1}
		n_1	9.41×10^{-1}	1.07	1.15	1.21
		k_2	5.57	5.52	5.48	5.46
		n_2	8.36×10^{-1}	8.85×10^{-1}	9.31×10^{-1}	9.58×10^{-1}
m_0 (kPa)		4.09	3.36	3.00	2.76	
m_z		3.42×10^{-1}	3.11×10^{-1}	2.94×10^{-1}	2.82×10^{-1}	
a (1/cm)		1.39×10^{-1}	7.84×10^{-2}	5.61×10^{-2}	4.43×10^{-2}	
c_0		2.72×10^{-1}	6.93×10^{-1}	1.20	1.76	
c_1		7.34×10^{-1}	5.86×10^{-1}	5.14×10^{-1}	4.88×10^{-1}	
c_2		3.80×10^{-1}	4.78×10^{-1}	5.49×10^{-1}	6.01×10^{-1}	

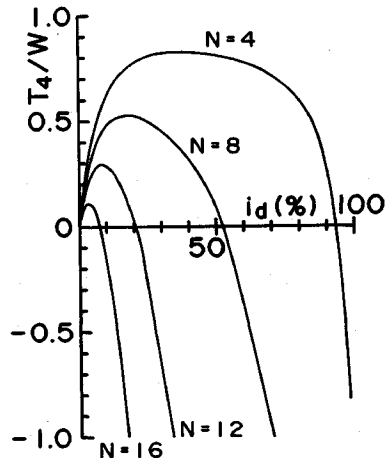
T_{1opt}/W , T_{4opt}/W と車両寸法比 N の関係を $e = -0.05$, 0.00 および $+0.05$ に対して示したものである。 T/W はいずれも N の増加とともに急速に減少している。さらに、 N が増加すると有効牽引力は負値を示し、 i_{dopt} の牽引は不能となることを示唆している。

(2) 走行抵抗定数

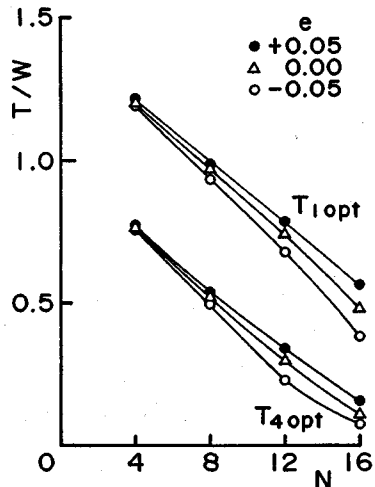
走行抵抗 T_2 を車両重量 W で除した値を走行抵抗係数と定義する。図一16は最適スリップ率 i_{dopt} における T_2/W と車両寸法比 N との関係を示したものである。 $e = -0.05$ に対しては、 T_2/W は $N = 12$ において最大値を示すが、他の e 値に対しては N とともに増加している。図一17に示す後輪沈下量 S_{r1} を履帯幅 B で除した値と i_d の関係より明らかのように、 N の増加とともに各スリップ率に対する S_{r1}/B は増加する傾向にある。 T_2 は轍の深さ S_{r1} より算定できること⁸⁾ は周知のとおりであるが、 $e = 0.00$ に対する各 $i_{dopt} = 19\%$ ($N = 4$), 14% ($N = 8$), 8% ($N = 12$), 4% ($N = 16$) において、 T_2/W は前図の通り N の増加とともに増加することと相互に対応するものである。

(3) 車両トリム角と地盤反力偏心率

図一18は車両トリム角 θ_{ii} と i_d の関係に及ぼす車両寸法比 N の影響を $e = 0.00$ に対して算定したものである。 N の増加とともに同一スリップ率に対する θ_{ii} は増



図一14 種々の車両寸法比 N に対する牽引力係数 T_4/W とスリップ率 i_d の関係 ($e = 0.00$)



図一15 種々の車両重心偏心率 e に対する牽引力係数 T/W と車両寸法比 N の関係

加する傾向にある。また、図一19は地盤反力偏心率 e_i と i_d の関係に及ぼす N の影響を $e = 0.00$ に対して図示したものである。一般に、 e_i は負値から正値へと反転しているが、 N の増加とともに e_i の最小値の絶対値は大きくなる傾向にある。なお、 $N = 16$ においては e_i は $-1/6$ より低下しており、 $i_d = 23 \sim 27\%$ において不安定走行領域に達している。図一20、図一21は、それぞれ種々の車両重心偏心率 e に対する $i_d = i_{dopt}$ における θ_{ii} 、 e_i と車両寸法比 N との関係である。 θ_{ii} は各々 e 値に対して N の値で最大値を呈している。一方、 e_i は各 e 値に対して N の増加とともに減少する傾向にある。

(4) 牽引効率

図一22は i_{dopt} における牽引効率 E_i と車両寸法比 N との関係を示したもので、 $e = -0.05, 0.00, +0.05$ に対して示したも

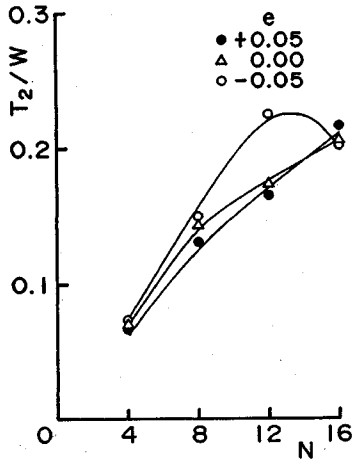


図-16 種々の車両重心偏心率 e に対する走行抵抗係数 T_2/W と車両寸法比 N の関係 ($i_d = i_{dopt}$)

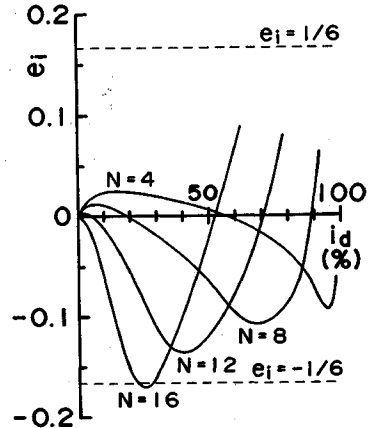


図-19 種々の車両寸法比 N に対する地盤反力偏心率 e_i とスリップ率 i_d の関係 ($e = 0.00$)

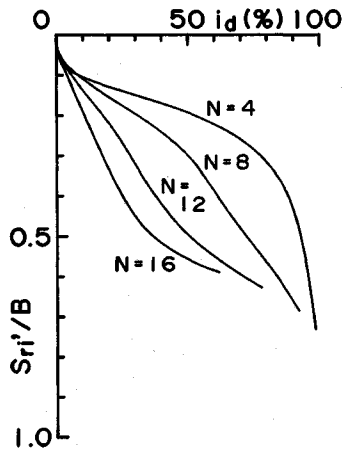


図-17 種々の車両寸法比 N に対する後輪沈下量-履帯幅比 S_{ri}'/B とスリップ率 i_d の関係 ($e = 0.00$)

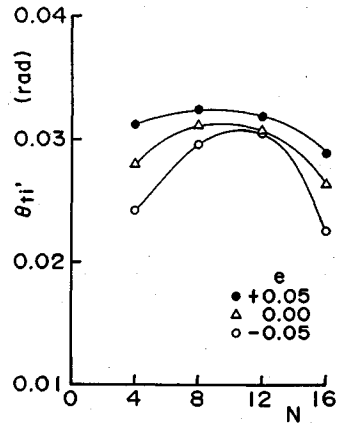


図-20 種々の車両重心偏心率 e に対する車両トリム角 θ_{ii}' と車両寸法比 N の関係 ($i_d = i_{dopt}$)

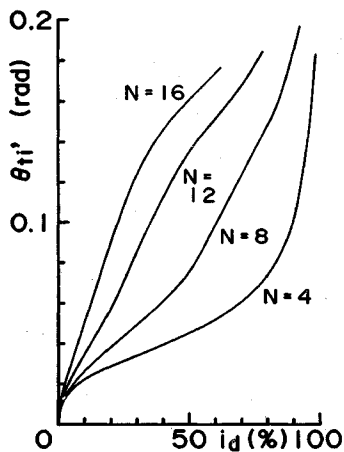


図-18 種々の車両寸法比 N に対する車両トリム角 θ_{ii}' とスリップ率 i_d の関係 ($e = 0.00$)

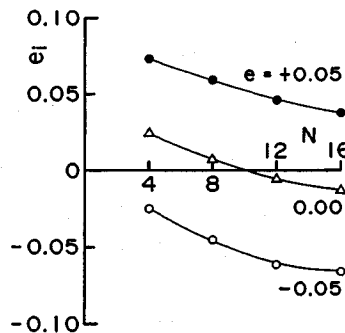


図-21 種々の車両重心偏心率 e に対する地盤反力偏心率 e_i と車両寸法比 N の関係 ($i_d = i_{dopt}$)

のである。図より明らかに、 E_i は N の増加とともに著しく低下している。従って、当該地盤上で作業する湿地ブルドーザの車両寸法を増加させると、それに対応して地盤-履帯係数も寸法効果の影響を受けて劣化するため、同一接地圧であっても最適スリップ率における牽引

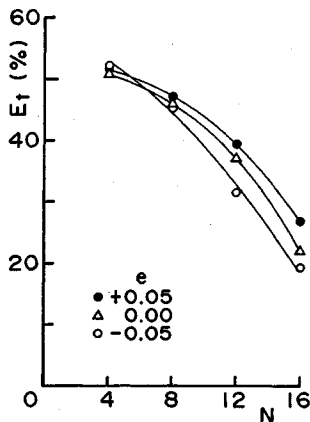


図-22 種々の車両重心偏心率 e に対する牽引効率 E_t と車両寸法比 N の関係 ($i_d = i_{dopt}$)

力係数、牽引効率は走行抵抗係数の増加とともに著しく低下することが判明した。

5. 結 論

各種湿地ブルドーザの牽引性能に及ぼす寸法効果の影響について、含水比 30%、コーン指数 31 kPa の軟弱なシルト質ローム地盤を対象として、地盤-履帯系定数の寸法効果を実験的に解明するとともに、車両寸法の牽引特性に及ぼす影響についてシミュレーション解析を行った。以下に、得られた新しい知見をまとめて列記する。

(1) 等辺台形型ゴム性グラウサ付履帯モデルの載荷試験および牽引試験の結果、履帯の寸法比の増加とともに地盤-履帯系定数の k_1, k_2 は減少、 n_1, n_2 は増加、 m_c, m_f, a は減少、 c_0, c_2 は増加、 c_1 は減少することが明らかとなり、それぞれ寸法比の関数で与えられる。

(2) 自重 50 kN、履帯幅 100 cm、接地長 320 cm の湿地ブルドーザの牽引性能について、地盤-履帯系定数の寸法効果の影響を考慮しシミュレーション解析を行ったところ、寸法効果を考慮しない場合と比較し、最大有

効牽引力は約 70% 減少するなど牽引性能は著しく劣化している。

(3) 湿地ブルドーザの車両寸法、重量を増加させると、仮に同一接地圧下においても、その寸法増加によって地盤-履帯系定数も劣化するため、最適スリップ率における牽引力係数、牽引効率は著しく低下する。従って、実車両の牽引性能を正しく予測するためには地盤-履帯系定数の寸法効果を十分に考慮する必要がある。

以上、本論文を作成するに際し、本学工学部河原荘一郎助手、河野幸一技官、元大学院生柳楽篤司氏に多大なる御尽力を賜わり厚く謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 室 達朗: 湿地ブルドーザの最適着点高さ制御システム, 第 1 回建設ロボットシンポジウム論文集, 土木学会他, pp.197~206, 1990年6月.
- 2) Schafer, R.L., Reaves, C.A. and Young, D.F.: An interpretation of distortion in the similitude of certain soil-machine systems, Trans. ASAE, Vol.12, No.1, pp.145~149, 1969.
- 3) 室 達朗・河原荘一郎: 軟弱地盤上を走行する履帯の牽引性能に関する寸法効果, 土木学会論文集, 第 370 号/III-5, pp.105~112, 1986年6月.
- 4) 室 達朗・尾本 清・二村政明: 湿地用ブルドーザの走行性能-模型車両実験一, 土木学会論文集, 第 397 号/VI-9, pp.151~157, 1988年9月.
- 5) Muro, T.: Optimum Track Belt Tension and Height of Application Forces of a Bulldozer Running on Weak Terrain, J. of Terramechanics, Vol.28, No.2/3, pp.243~268, 1991.
- 6) Muro, T.: Tractive Performance of a Bulldozer Running on Weak Ground, J. of Terramechanics, Vol.26, No.3/4, pp.249~273, 1989.
- 7) Wong, J.Y.: Terramechanics and Off-Road Vehicles, Elsevier, pp.105~137, 1989.
- 8) Yong, R.N. Fattah, E.A. and Skiadas, N.: Vehicle Traction Mechanics, Elsevier, pp.89~134, 1984.

(1991.6.27 受付)

SIZE EFFECT ON TRACTIVE PERFORMANCE OF A BULLDOZER RUNNING WEAK TERRAIN

Tatsuro MURO and Kenichi YOKOTA

To clarify the size effect of track belt on tractive performance of several bulldozers running weak silty loam terrain, the variations of terrain-track system constants due to the size of track model have been investigated experimentally. And then, the tractive performances of bulldozer having several sizes and weights have been analysed by use of rigorous simulation program. As the results, the shear resistance of soil on the interface between track and terrain decreases with the increment of track size and the amounts of static and slippage sinkage increases with the size. And it is clarified that as the size effect of track belt on the tractive coefficient and the tractive efficiency of power of bulldozer running weak cohesive terrain occurs remarkably, this problem should be considered carefully to estimate the true tractive performance of bulldozer.