

まさ土地盤におけるブルドーザの履帯形状と牽引特性

愛媛大学工学部 正員 河原 莊一郎

大阪府土木部 正員 ○丸毛 篤也

愛媛大学工学部 正員 室 達朗

1. まえがき 乾燥したまさ土地盤においてトラクション型グラウサの水平傾斜角の牽引特性に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。そのため、水平傾斜角が0～30degの4種類の履帯モデルに対する牽引実験により地盤-履帯係数を求め、それを入力データとして4t級の湿地ブルドーザを対象としたシミュレーション解析により有効牽引力、沈下量を算定した。

2. 履帯モデル牽引実験方法 供試地盤は、長さ540×幅150cmの土槽において粒径4.95mm以下の気乾燥状態のまさ土を掘削装置を用いて最大深さ37cmまで掘削した後、グレーダで深さが50cmになるように平滑に仕上げ作成した(相対密度53%)。

履帯モデルは5個のグラウサからなる剛性履帯であり、履帯長 $l=84.9$ cm、履帯幅 $B=50$ cm、グラウサ高さ $GH=6.5$ cm、グラウサピッチ $GP=14.6$ cm($GP/GH=2.25$)である(図1)。鉛直傾斜角 $\alpha=30$ degに対して水平傾斜角 $\beta=0, 10, 20, 30$ degの4種類を使用した。なお、グラウサ高さ、グラウサピッチ、履帯幅については4t級ゴム履带式湿地ブルドーザに使用されているものと同じ諸元である。

これらの履帯モデルをウィンチで牽引速度0.65cm/secで水平に牽引した。このとき平均接地圧 p は、0.059～0.196kgf/cm²の間で6段階になるように鋼性の重錘を載荷した。測定項目として、牽引抵抗は履帯モデル先端に取り付けたロードセルにより、滑り沈下量は変位計により履帯モデルの後端で、牽引距離は水平変位計により測定し、デジタルデータレコーダに記録した。また、静的沈下量は0.013～0.517kgf/cm²の13段階の接地圧において前後左右4カ所でノギスにより測定し平均して求めた。

3. 地盤-履帯係数の決定 静的沈下特性は鉛直荷重を履帯ベースの面積で除した平均接地圧 p (kgf/cm²)と静的沈下量 S_0 の関係より表され、一般に次式が成り立つ。

$$p=k \cdot S_0^n \quad (1)$$

図2に各グラウサ形状における平均接地圧 p と静的沈下量 S_0 の関係の実験結果と式(1)による回帰線を示す。水平傾斜角 β が大きくなるほど支持面積が増加するため沈下量は小さくなる。

滑り沈下量 S_s を表す式としては次式を採用した。

$$S_s=c_0 p^{c_1} j^{c_2} \quad (2)$$

各履帯モデルにおける滑り沈下量 S_s と牽引距離 j の式(2)による回帰から滑り沈下に関する地盤-履帯係数 c_0, c_1, c_2 を決定する。

牽引特性においては滑り量 j に対して発揮されるせん断応力 τ を表す式として次式を採用する。

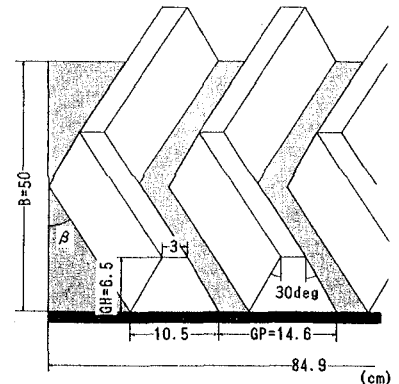


図1 履帯モデル

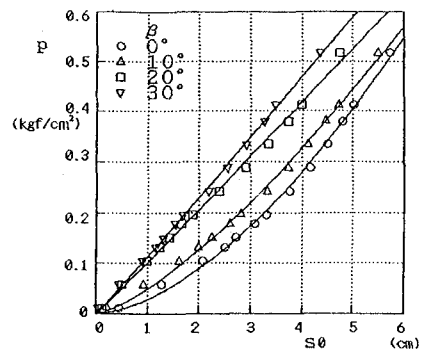
図2 接地圧 p と静的沈下量 S_0 の関係

表1 地盤-履帯係数

β (deg)	k	n	m_f	a (l/cm)
0	0.028	1.65	0.897	0.186
10	0.049	1.37	0.892	0.195
20	0.101	1.02	0.896	0.200
30	0.113	1.03	0.879	0.213
β (deg)	c_0	c_1	c_2	
0	4.20	0.320	0.244	
10	3.54	0.253	0.246	
20	3.88	0.288	0.235	
30	3.81	0.281	0.220	

$$\tau = (m_c + m_f \cdot p) \{1 - \exp(-a \cdot j)\} \quad (3)$$

各履帯モデルにおける単位面積あたりの牽引抵抗 τ と牽引距離 j の式 (3) による回帰より地盤-履帯係数 m_c, m_f, a を決定する。

乾燥したまき土地盤であるので $m_c = 0$ として決定した地盤-履帯係数を表 1 に示す。

4. シミュレーション解析¹⁾ 図3に砂質土地盤上で牽引作業するブルドーザに作用する諸力とその作用位置を示す。

水平、鉛直方向の力の平衡式により有効牽引力 T_4 が得られる。

$$T_4 = T_3 / \cos \theta_{t1} - W \tan \theta_{t1} - T_2 \quad (4)$$

W: 車両重量 T_2 : 締固め抵抗 T_3 : 推進力 θ_{t1} : トリム角

また、駆動トルクの平衡式より駆動力 T_1 が得られる。

$$T_1 = (T_3 - W \sin \theta_{t1}) (1 + GH/r_f) \quad r_f: \text{後輪半径} \quad (5)$$

あるスリップ率での解析計算は、フロントアイドラとリヤスプロケット部分の沈下量を仮定し、それを基に計算を行い新たに求めた静的沈下量と仮定した静的沈下量との差が十分小さくなるまで反復計算を行った。

以下の車両諸元をもつ4t級のゴム履带式湿地ブルドーザを対象とし、各履帯形状に対してスリップ率 $i = 1\%$ より 1% 刻みで解析を行った。

車両重量: $W = 4000 \text{ kgf}$ 履帯接地長: $D = 170 \text{ cm}$ 履帯幅: $B = 50 \text{ cm}$

グラウサ高さ: $GH = 6.5 \text{ cm}$ グラウサピッチ: $GP = 14.6 \text{ cm}$

前輪半径: $r_f = 25 \text{ cm}$ 後輪半径: $r_r = 25 \text{ cm}$ 車両偏心率: $e_v = -0.02$

履帯移動速度: $V' = 100 \text{ cm/sec}$ 有効牽引力作用点高さ: $h_a = 30 \text{ cm}$

有効牽引力作用点までの長さ: $l_a = 120 \text{ cm}$ 重心高さ: $h_g = 50 \text{ cm}$

図4に有効牽引力 T_4 とスリップ率 i の関係を示す。 T_4 は i の増加とともに急増し $i = 20\%$ 付近でピークを示した後急減する。また、 β が大きいほど T_4 のピーク値が大きくなり、広いスリップ率の範囲で大きな有効牽引力を発揮することができる。しかし $\beta = 20 \text{ deg}$ と 30 deg ではほとんど差がみられない。

図5に後輪沈下量 S_{r1} とスリップ率 i の関係を示す。水平傾斜角 β が大きくなるほど沈下量は明らかに小さくなる。これは履帯モデルにおける静的沈下量と滑り沈下量にも同様の傾向が現れたことに起因している。

効率的な作業を表す指標として最適スリップ率 i_{opt} での牽引効率

E_t をみると、水平傾斜角が大きくなるほど E_t は大きくなるが、 $\beta = 20 \text{ deg}$ と 30 deg では $E_t = 68.2\%$ と 68.3% でほとんど差がみられなかった。 i_{opt} は有効牽引エネルギー E_4 が最大になるスリップ率であり、牽引効率は次式で定義される。

$$E_t = E_4 / E_1 = \{V' (1 + GH/r_f) (1 - i) T_4 \cos \theta_{t1}\} / (V' \cdot T_1) \quad E_1: \text{有効入力エネルギー} \quad (6)$$

ところで、表 1 に示したように m_f は β によらずほぼ一定であるので、 T_3 や T_1 はそれぞれの β でほぼ同じ値となっている。したがって T_4 は β による沈下特性の相違の影響を強く受け、 $\beta = 20, 30 \text{ deg}$ では沈下量が小さいため式 (4) において T_2 が小さくなるので T_4 が大きくなると考えられる。

5. まとめ 乾燥したまき土地盤における4t級のゴム履带式湿地ブルドーザの最適な履帯形状は、水平傾斜角 $\beta = 20 \text{ deg}$ または $\beta = 30 \text{ deg}$ であることが判明した。

参考文献 1) 室達朗: 湿地ブルドーザの最適着力点高さ制御システム, 第一回建設ロボットシンポジウム論文集, 土木学会他, pp197~206, 1990.

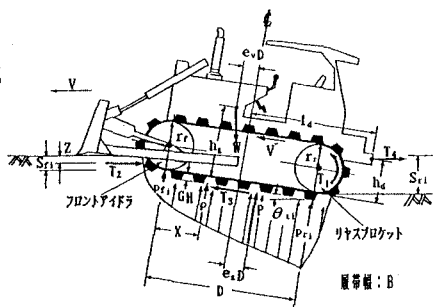


図3 ブルドーザに作用する諸力とその作用点

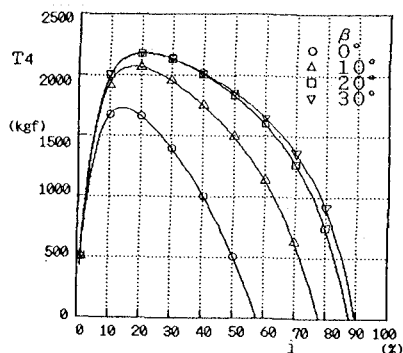


図4 有効牽引力 T_4 とスリップ率 i の関係

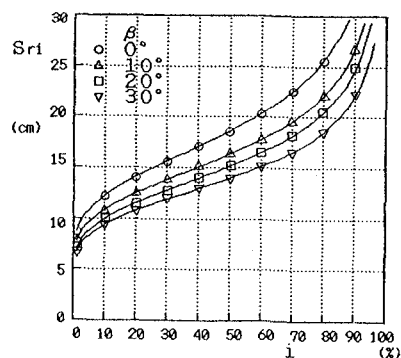


図5 後輪沈下量 S_{r1} とスリップ率 i の関係