

防 研 正 員 杉 山 昇

防 研 正 員 志 方 俊 之

防 研 正 員 ○ 橋 本 義 雄

1 ま え が き

トラクターなどの履帯を設計する場合には牽引性、懸架性、操向性などの面から最適な形状を見出す必要があるが、本報告では牽引力からみたトラクターの最適履帯形状について取扱う。

今回は3種類(粘土、砂質ローム、砂)の土に関し、履帯の幅、接地長、転輪数、車両重量、グローサー高さ、などの変化が牽引力におよぼす影響を計算した。

2 牽引力発生モデル

牽引力を評価するには、接地圧分布、グローサー先端を結ぶ面の剪断抵抗力、接地面前端からある距離におけるすべり量、等の値が必要であり本報告では以下に示すモデル化を行なった。

土の剪断抵抗力とすべり量との関係は著者らの試験土槽による粘着力実験の結果、Bekker⁽¹⁾が用いた次式でほぼ示されることが明らかになつたので次式を用いることとした。

$$\tau = \frac{\tau_{\max}}{y_{\max}} \left\{ e^{(-K_2 + \sqrt{K_2^2 - 1}) K_1 j} - e^{(-K_2 - \sqrt{K_2^2 - 1}) K_1 j} \right\} \quad (1)$$

$$y_{\max} = e^{(-K_2 + \sqrt{K_2^2 - 1}) K_1 j_{\max}} - e^{(-K_2 - \sqrt{K_2^2 - 1}) K_1 j_{\max}} \quad (2)$$

$$\tau_{\max} = c \left(1 + 2 \frac{h}{b} \right) + p \tan \phi \left\{ 1 + 0.64 \left(\frac{h}{b} \right) \cot \left(\frac{h}{b} \right) \right\} \quad (3)$$

ただし、 τ : 剪断抵抗力、 $\tau_{\max}$: 最大剪断抵抗力、 $j_{\max}$: 最大抵抗力を示すすべり量、 j : すべり量、 ϕ : 土の内部摩擦角、 b : 履帯幅、 h : グローサー高さ、 p : 接地圧、 c : 土の粘着力、 K_1, K_2 : すべり係数、 x : 車両接地面前端から後方への距離である。(図-1参照)

また走行時に履板は非常に複雑な運動を示し、実際のすべり量 j を求めることが困難であるから簡単のため次式を用いた。

$$j = i_0 x \quad i_0: \text{すべり率} \quad (4)$$

接地圧 p の分布は車両重心位置、懸架装置、走行状態(速度や作業の有無)、履板ピッチなどに影響されると考えられる。本報告は独立懸架の1例であり、独立懸架の車両では、荷重が転輪直下の履板に集中し三角形荷重分布と見なし得る。また、走行時の接地圧は静的平均接地圧に比較して極めて大きいことが確かめられている、したがって、図-1のようにモデル化した。

図-1より p_{cm} は動的影響を考慮して次式で表わせる。

$$p_{cm} = \frac{W \zeta}{b \sum_{i=1}^N \ell_i} \quad (5)$$

ただし、 W : 車両重量、 ζ : 動荷重係数、 N : 転輪数、 ℓ_i : i 転輪下の荷重を受ける履板の長さ。

本計算では ℓ_1 と ℓ_N は履板2ピッチ、 $\ell_2, \dots, \ell_{N-1}$ は履板3ピッチの長さを用いた。 b : 履帯幅である。

図-1より、(3)式中の p は次式で与えられる。

$$p_{\pm} = \frac{2 p_{cm}}{l_i} (x - x_{\sigma_{2i}}) \quad (6)$$

ただし、正こう配部分は P_+ 、負こう配部分は P_- を示す。したがって(1)式はつぎのように変形される。

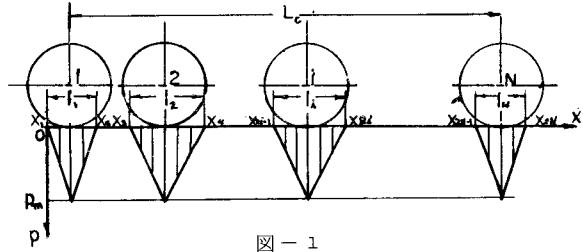


図-1

$$\tau = \frac{1}{y_{max}} \left[\left\{ c \left(1 + 2 \frac{h}{b} \right) \mp A x_{\sigma_{2i}} \right\} B \pm A B x \right] \quad (7)$$

ただし

$$A = \frac{2 p_{cm}}{l_i} \tan \phi \left(1 + 0.64 \frac{h}{b} \cot^{-1} \frac{h}{b} \right) \quad (8)$$

$$B = e^{(-K_2 + \sqrt{K_2^2 - 1}) K_{1i} x} - e^{(-K_2 - \sqrt{K_2^2 - 1}) K_{1i} x} \quad (9)$$

1 番目の転輪下に発生する推力は

$$H_i = 2b \int_{x_{2i-1}}^{x_{2i}} \tau(x) dx \quad (10)$$

(7) 式を用いると(10)式の不定積分は次のようになる。

$$\int \tau(x) dx = \frac{1}{y_{max}} \left[\left\{ c \left(1 + 2 \frac{h}{b} \right) \mp A x_{\sigma_{2i}} \right\} D \pm A (Dx - E) \right] \quad (11)$$

$$D = \frac{e^{(-K_2 + \sqrt{K_2^2 - 1}) K_{1i} x}}{(-K_2 + \sqrt{K_2^2 - 1}) K_{1i}} - \frac{e^{(-K_2 - \sqrt{K_2^2 - 1}) K_{1i} x}}{(-K_2 - \sqrt{K_2^2 - 1}) K_{1i}} \quad (12)$$

$$E = \frac{e^{(-K_2 + \sqrt{K_2^2 - 1}) K_{1i} x}}{\{(-K_2 + \sqrt{K_2^2 - 1}) K_{1i}\}^2} - \frac{e^{(-K_2 - \sqrt{K_2^2 - 1}) K_{1i} x}}{\{(-K_2 - \sqrt{K_2^2 - 1}) K_{1i}\}^2} \quad (13)$$

したがって、車輛全体の推力は次式になる。

$$H_{total} = 2b \sum_{i=1}^N \int_{x_{2i-1}}^{x_{2i}} \tau(x) dx \quad (14)$$

装軌車輛の牽引力は土の剪断破壊により生じる全推力から走行抵抗を差し引いたものであるが、ここでは走行抵抗としては土の締め固めによる抵抗と履帯前面のグロースーにより生じるブルドーシング抵抗のみを考えて次式を得る。

$$DP = H_{total} - (R_B + R_G) \quad (15)$$

ただし、 DP : 牽引力, R_B : ブルドーシング抵抗, R_G : 土の締め固め抵抗を表わす。
なお簡単のため R_B, R_G としてはつぎの関係を用いることとする⁽¹⁾。

$$R_B = \frac{b \sin(\alpha + \phi) \cos \phi}{\sin \alpha} \left\{ 2(z+h)c(N_c - \tan \phi) + \gamma(z+h)^2 \left(\frac{2N_c}{\tan \phi} + 1 \right) \right\} \quad (16)$$

$$R_c = \frac{2}{(n+1)(k_c + b k_\phi)^{1/n}} \left(\frac{W}{L_c} \right)^{\frac{n+1}{n}} \quad (17)$$

ただし、 α ：近接角、 N_c 、 N_ϕ ： ϕ によつてさまる地盤の支持力係数、 γ ：土の単位体積重量

Z ：沈下量、 n ：静沈下指数、 k_c 、 k_ϕ ：沈下係数

すべり沈下量 Z の評価が未だ確定されていないので本計算では簡単のため次式のような仮定を行なつた。

$$Z = \left(\frac{P_{\text{mean}}}{k_c/b + k_\phi} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (18)$$

ただし、 P_{mean} ：平均接地圧 ($W/2bL_c$)、 L_c ：接地長、である。(1)式より(18)式を用いれば牽引力を計算することができる。

3 牽引力数値計算に用いたパラメータ

本報告ではある基準モデルを設定し、その車両に関するパラメータの内ある1つを適当な範囲に変化させ牽引力に対する影響を調べた。同様のことを各パラメーターについて求め、さらに L_c と b との関係については面積一定の条件で接地形状の影響をも調べた。なお計算に用いた数値は表-1、表-2に示したとおりである。表-1 可変パラメータ

接地面積変化										基準 モデル
W (ton)	10.	15.	20.	25.	30.	35.	40.	45.	50.	37.
L_c (cm)	270.	320.	370.	420.	470.					370.
b (cm)	10.	20.	30.	40.	50.	60.	70.	80.	90.	50.
N	4	5	6	7	8	9	10			5
h (cm)	1.	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	3.5
接地面積一定 ($A = 18600 \text{ cm}^2$)										
b (cm)	10.	20.	30.	40.	50.	60.	70.	80.	90.	
L_c (cm)	8.	9.	6.	4.6	3.7	3.1	2.6	2.3	2.0	

表-2 土質の定数

定数	関東ローム	砂質ローム	砂
c	0.19	0.09	0.
ϕ°	19	27	35
K_1	0.129	0.129	0.095
K_2	2.8	2.8	3.5
K_c	11.0	4.0	10.0
K_r	1.0	0.9	6.6
γ	0.004	0.0013	0.0010
n	0.97	0.97	1.20
k_ϕ	0.12	0.90	0.60
k_c	2.1	1.5	0.42
$j_m^{(cm)}$	10.	8.	9.

なお、 i_0 は 0 から 1 までは 0.01 ステップで計算し、基準モデルの値として $\alpha = 23^\circ$ 、 $n = 1.5$ 、履板ビッチ = 15.24 を用いた。

4 計算結果及び考察

計算結果は図-2 から図-5 に示されている。

ただし、走行装置形状の評価の基準としては、粘着係数 ($\mu = DP/W$) を用い図では縦軸に示されている。

横軸にとられたパラメータの値には実際的ではない形状の場合も含まれているが、一つのパラメーターによる定性的挙動を明らかにするためあえて計算の範囲を広くとつてある。これらのグラフよりおよそつぎのようなことが指摘されよう。

① 粘性土である関東ロームでは図-2 より、接地圧が低いほど粘着係数 μ が大きく牽引力を効果的に発生させることが想像される。粘性土で作業する車両はその重量すなわち接地圧の変化により μ が変化し、とくに低接地圧で

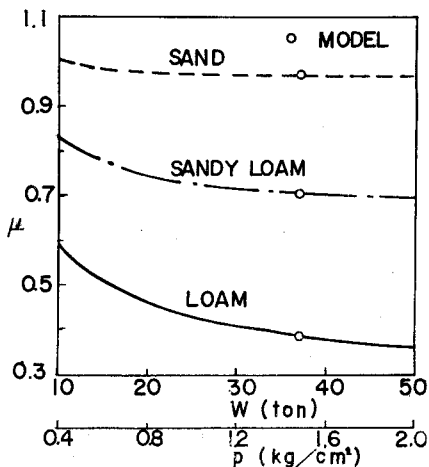


図-2

は μ が増加している。

従つて20 ton 以下の車両の設計にあつては接地圧の決定を慎重に行う必要がある。

砂質土ではこれらの傾向は一般に顕著ではなく、牽引力は車両重量に比例し接地圧の変化、接地形状の変化にはあまり関係がないと思われる。

② 図-5より、粘性土では、接地面の形状（接地面積一定）は細長い矩形、すなわち接地長に対して幅の狭い履帯の方が粘着係数が大きい。

砂質土では同様の傾向が見られるが顕著ではない。

③ 転輪の数は土質に関係なく数の増加とともに粘着係数も増加することが指摘される。（図-4参照）これは荷重が接地面に対し均一に分布するからであると思われる。

④ 図-3ではグローサーの高さは粘着係数にほとんど影響を与えない結果がでている。しかしながら本モデルでは剪断面が隣接するグローサの先端を結ぶ面と与えられるという単純な仮定の上に成り立っているから、実際の状況を必ずしも説明していないと思われる。とくに、グローサー高さとの比の影響を考える必要があるだろう。

以上の計算結果から、牽引力だけから見た最適履帯形状としては接地圧の低い、転輪数はなるべく多く、接地長に対して履帯の幅が狭く、グローサー高さは必要最小限、といったような走行装置形状が得られる。したがってトレーラー形式のものの有効性がうかがわれる。

5 あとがき

本報告はドーザーの走行装置形状が牽引力にあたえる影響を調べ、牽引力から見た最適形状を見出し、モデルの改良の指針とすることを目的としたのであるが、前述のごとく極めて常識的な結論が得られた。今後転輪の大きさとその配列、ピッチとグローサー高さの比などを考慮し、さらに懸架性、操向性をも考慮した全体最適な条件を求めたいと考えている。最後に本研究の遂行にあたりつねに協力を得た吉田徳栄技官に感謝する次第である。

参考文献

- (1) M. G. Bekker : " Off-the-Road Locomotion " The University of Michigan Press, 1960.

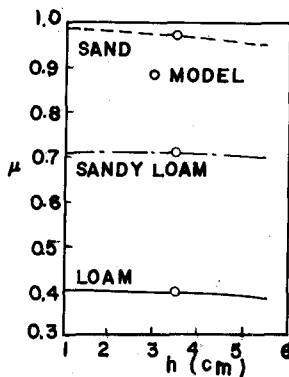


図-3

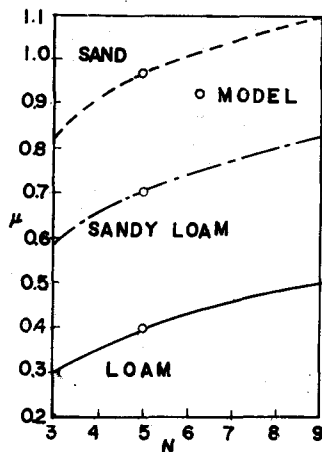


図-4

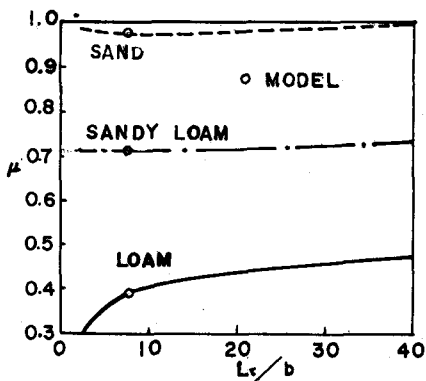


図-5