

まさ土地盤におけるブルドーザのターナビリティ

愛媛大学工学部 正 員 室 達朗
 愛媛大学大学院 学生員 ○森岡 享一
 愛媛大学工学部 正 員 深川 良一
 愛媛大学工学部 正 員 河原莊一郎

1. まえがき 本研究では、旋回時の牽引力について、まさ土地盤上でのトラクション型グラウサの水平傾斜角 β が旋回時の有効牽引力 DP_i に及ぼす影響を明らかにし、最適な β について検討する。

2. 供試地盤および履帯モデル 供試地盤は粒径4.95mm以下の気乾燥状態のまさ土（相対密度53%）を用いた。履帯モデルは図1に示す通りで、 β は $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ の4種類を用意した。

3. 実験装置および方法 実験土槽内において履帯モデルを横方向に0.65cm/secで水平に牽引実験を行った。測定項目は牽引抵抗 τ 、履帯モデル後端での鉛直沈下量 S_s 、水平変位 j であり、平均接地圧 p は履帯モデル上に載荷する重錘の枚数により0.059~0.196kgf/cm²の間で6段階に変化させ、それぞれ次式¹⁾で回帰した。

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

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

ここで、 $m_c, m_f, a, c_0, c_1, c_2$ は地盤-履帯系定数である。 m_c については供試地盤が気乾燥状態より0とした。回帰分析結果を表1に示す。

4. 旋回性の検討 図2に旋回時に車両に作用する諸力を示す。ここで、 F_o :外側履帯に作用する旋回抵抗、 F_i :内側履帯に作用する旋回抵抗、 T_{4o} :外側履帯の有効牽引力(旋回時の推進力)、 T_{2i} :内側履帯の締固め抵抗、 DP_i :旋回時の有効牽引力である。入力情報は牽引実験で得られた地盤-履帯系定数と直進時のシミュレーション解析結果²⁾で、 T_{4o}, T_{2i} として、直進時の解析で得られた T_4, T_2 の $\frac{1}{2}$ を使用した。旋回抵抗は、横方向のせん断抵抗+締固め抵抗+押土抵抗であるが、押土抵抗については牽引実験においても土が盛り上がっているのが観察されたため地盤-履帯系定数にその影響が含まれていると解釈し、せん断抵抗と締固め抵抗のみを考慮した。シミュレーション解析方法として、まずせん断抵抗について考える。旋回時に履帯が受ける横方向のスリップ量は、図3のように内側履帯中心線で考えると履帯中心から履帯に沿って X だけ離れた点のスリップ量 $j_i(X)$ は、 MM' である。 $OO' = OM = R, O'M' = X$ より、

$$j_i(X) = OM' - OM = \sqrt{R^2 + X^2} - R \quad (3)$$

よって、直進時の履帯主要部での接地圧分布を $p(X)$ とすると、内側履帯の横方向せん断抵抗 τ_{11at} 、せん断抵抗モーメント Mt_{11at} は、それぞれ次式のように算定できる。

$$\tau_{11at}(X) = \{m_c + m_f \cdot p(X)\} \cdot \{1 - \exp(-a \cdot j_i(X))\} \quad (4)$$

$$Mt_{11at} = B \int_{-D/2}^{D/2} \tau_{11at}(X) \cdot |X| dX \quad (5)$$

また、外側履帯については(3)式における R を $R+L$ とすることにより、算出できる。次に、締固め抵抗について考える。図4のように、点0を中

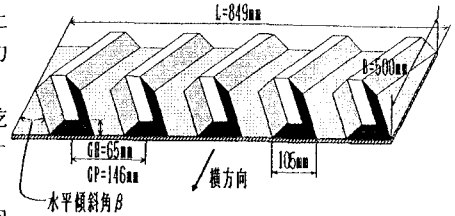


図1. 履帯モデル および 牽引方向

表1. 地盤-履帯系定数

β	m_f	a (1/cm)	c_0	c_1	c_2
0°	0.840	0.203	2.14	0.336	0.446
10°	0.886	0.166	1.64	0.250	0.510
20°	0.911	0.158	1.55	0.212	0.513
30°	0.925	0.162	1.80	0.261	0.487

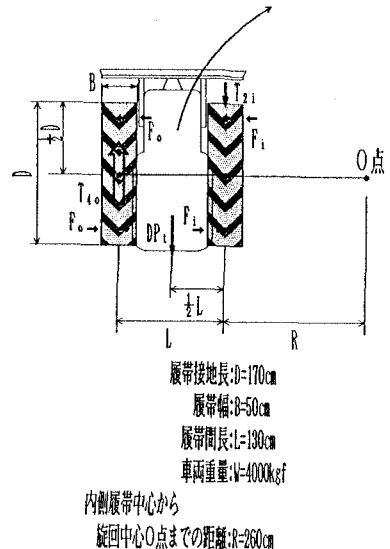


図2. 旋回時に車両に作用する諸力

心に著者が履帯と一緒に旋回しながら透明な履帯を通して地盤上の点Aを観察したとすると、点Aは相対的に円軌道を描いて点Pを通り点A'で履帯の下から出て行く。点Aは点Pに達するまでにPP'だけ横方向にスリップする。 $0 \leq X \leq D/2$ のとき内側履帯中心から履帯に沿ってXだけ離れた地盤が受ける横方向スリップ量 $J_1(X)$ は、円軌道を表す式が $X^2 + (J+R)^2 = R^2 + (D/2)^2$ であることより、

$$J_1(X) = \sqrt{R^2 + (D/2)^2 - X^2} - R \quad (0 \leq X \leq D/2) \quad (6)$$

である。一方、 $-D/2 \leq X \leq 0$ のときは、一度 $D/2$ から0まででPP'だけスリップした後横方向に折り返すので、そのスリップ量は、 $PP' + \{PP' - J_1(X)\}$ となる。従って $PP' = J_1(0) = \sqrt{R^2 + (D/2)^2} - R$ より、

$$J_1(X) = 2\{\sqrt{R^2 + (D/2)^2} - R\} - \{\sqrt{R^2 + (D/2)^2 - X^2} - R\} \quad (-D/2 \leq X \leq 0) \quad (7)$$

と算定できる。外側履帯については、(6)、(7)式のRを $R+L$ とすることにより算定できる。この地盤が受けるスリップ量を用いて旋回時の滑り沈下量を計算する。これはスリップ距離に対応する接地圧で微小区間スリップしたときの微小スリップ沈下量を $J(-D/2)$ スリップするまで累算すればよい。すなわち、履帯接地長DをN分割して考え、 $d=D/N$ とおくと、履帯先端からnd ($n=1, 2, 3, \dots, N$) だけ離れた点のスリップ沈下量 S_n は、

$$\Delta S = c_0 \cdot p \cdot \left\{ \left(\frac{1}{2}D - nd \right)^{c_1} - J \left(\frac{1}{2}D - (n-1)d \right)^{c_2} - J \left(\frac{1}{2}D - (n-1)d \right)^{c_2} \right\} \quad (8)$$

$$S_n = \cos \theta_{t1} \sum_{i=1}^n \Delta S \quad (9)$$

となる。従って直進走行における前・後輪の履帯に対して垂直な沈下量をそれぞれ S_{f1on} 、 S_{r1on} とし、履帯先端から履帯に沿ってxをとれば、旋回時の総鉛直沈下量は前輪部では $\cos \theta_{t1} \cdot S_{f1on}$ 、後輪部では式(9)を用いて $\cos \theta_{t1} \cdot \left(\sum_{i=1}^N \Delta S + S_{r1on} \right)$ となる次式のような直線分布となる。

$$S(x) = \cos \theta_{t1} \left\{ \left(\sum_{i=1}^N \Delta S + S_{r1on} - S_{f1on} \right) (x/D) + S_{f1on} \right\} \quad (10)$$

従って車両が受ける締固め抵抗 T_R と締固め抵抗モーメント M_R は、 $p=k \cdot S^n$ を履帯長積分することにより、次式のように算定できる¹⁾。

$$T_R = 2B \int_0^D k \cdot S(x)^n dx \quad (11)$$

$$M_R = 2B \int_0^D k \cdot S(x)^n |x - \frac{1}{2}D| dx \quad (12)$$

これらを用いて、旋回時の有効牽引力 DP_t は、旋回中心O点回りのモーメントの釣り合いより、次式のように算定できる。

$$DP_t = \{T_{40}(R+L) - Mt_{lat} - Mt_{olat} - M_R - T_{21} \cdot R\} / (R + \frac{1}{2}L) \quad (13)$$

以上の方法によって図2に示した諸元を持つ車両に対して解析した結果、図5に示すような結果が得られた。 β が小さいと十分な推進力が得られず、大きいと締固め抵抗が増加する。よって $\beta=10^\circ$ がその最高の妥協点と思われる。

5. 参考文献 1) Tatsuro Muro: 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.

2) 河原莊一郎・丸毛篤也・室達明: まさ土地盤におけるブルドーザの履帯形状と牽引特性, 第44回, 平成4年度, 土木学会中国四国支部研究発表会講演概要集

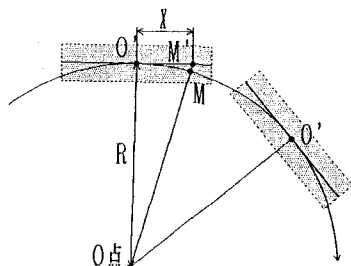


図3. 履帯が受ける横方向スリップ量

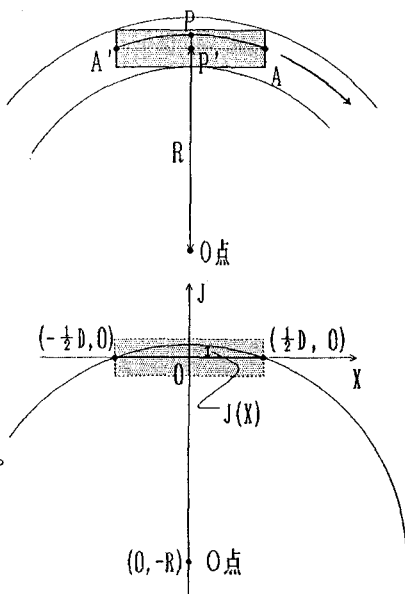


図4. 地盤が受ける横方向スリップ量

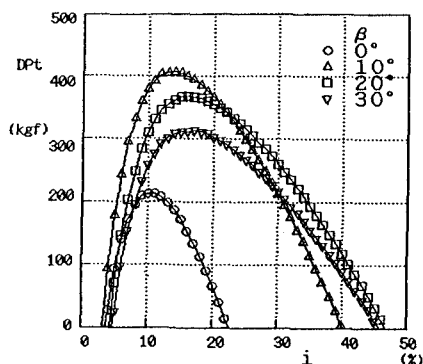


図5. 旋回時の有効牽引力 DP_t とスリップ率 i の関係