

回転せん断試験装置を用いた装軌車両の簡易推進力推定法について
(その1, 基本的な考え方)

北大工学部 正員○上田正生
防衛庁4研 磯部重光
防衛庁4研 正員 青山 護

I はじめに

路外において、ブルドーザなどの装軌車両が発揮し得る推進力は、土の性質に大きく左右される。多くの観察や測定では、土のせん断特性が推進力に最も支配的な影響を与えることを示している。従つて、路外における装軌車両の推進力の評価は、土質力学的には、履帯による土のせん断特性の評価を意味すると言ふことが出来よう。

装軌車両の推進力については、A.R.Reece, M.G.Bekker, Söhneらの多くの研究があるが、これらの方法は、すべてSoil Shear Curve(土のせん断力一変位曲線)にその基礎を置いている。即ち、Soil Shear Curve を数学的にシミュレートし、これを車両の履帯下に作用する土のせん断力分布に対応させ、さらにこれを履帯全面に渡つて積分して、推進力を求めるのが従来の一般的な方法である。このような方法は、厳密に、車両の推進力を予知する計算法としては、有効であるが、計算手続が、余りに複雑であるため、与えられた地盤の土に対して、直ちに、車両の発揮し得る推進力を推定する必要がある場合には、有用ではない。

本報告は、リング型、及び円板型せん断プレートからなる、回転せん断試験装置を用いて、装軌車両の推進力を、簡易に推定する方法について論じたものである。即ち、円板型せん断プレートの cross section下の、土のせん断変位量分布と、装軌車両の履帯下の土の、せん断変位量分布との相似性に着目し、この円板せん断プレートのcross section下のせん断力分布から、推進力を直接推定する方法について、述べたものである。

2 推進力推定のための考え方

履帯による土のせん断は、車両が路外で作業したり、走行したりするときに、履帯の後方すべりと云う形で観測することが出来る。従つて、推進力は、履帯下に作用しているせん断力の総和で表わされる。

また、履帯下の各点に生じているせん断力は、それぞれの点に生じている土のせん断変位量に対応している。これは、車両の推進力が、土の最大せん断抵抗力だけに左右されるのではなく、Soil Shear Curveの形全体に支配されることを意味している。ここでは、Soil Shear Curve に基礎を置いた、装軌車両の推進力予測のための一簡易法について、その基本的な考え方について記述する。

2-1 仮 定

- 1) 車両の接地圧は、車両重量を履帯の接地面積で割つた平均接地圧で表わす。
- 2) 車両の履帯下の土のせん断変位量は、履帯の接地端点からの距離に比例し、この比例定数は、車両のすべり率に等しい。
- 3) 図-1の(a), (b)に示すような円板型、及びリング型せん断プレートで土をせん断するとき、土のせん断は、両プレート共、底面だけで起こり、側面は無視できる。
- 4) リング型せん断プレートは、装軌車両の履帯下で起きる土のせん断現象をよく表わしており、実験によつて得られるTorque Rotation Curveは、Soil Shear Curveを表わす。

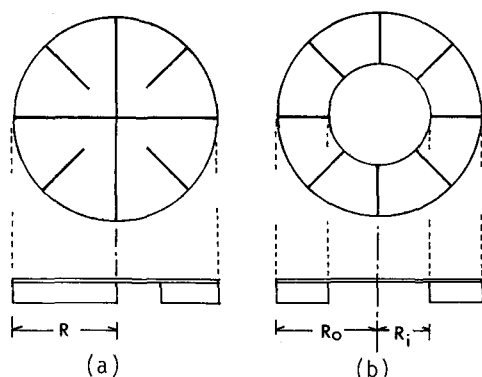


図1 円板型、及びリング型せん断プレートの1例

2-2円板型せん断プレートの cross section 下のせん断力分布と、車両の履帯下のせん断力分布との関係。

図2と、図3は、それぞれ車両の履帯下のせん断現象と、円板型せん断プレートのcross section下の、せん断現象をモデル化して示したものである。図2の(a)は、すべり率*i*の場合の履帯下のせん断変位量を示しており、(b)は、このときの履帯下のせん断力分布を表わしている。また、図3の(a)は、回転せん断角*θ*の場合の、せん断円板のcross section下の各点における、せん断変位量の関係を示しており、(b)は、このときの cross section 下のせん断力分布を表わしている。この図2と、図3の著しい類似は、両者の間に一定の対応関係が存在することを示唆している。

仮定2)より、履帯の接地端点*O*から、*x*だけ離れた点のせん断変位量*j*は、次式で表わされる。(図2(a))

$$j = i x \quad \dots\dots\dots (1)$$

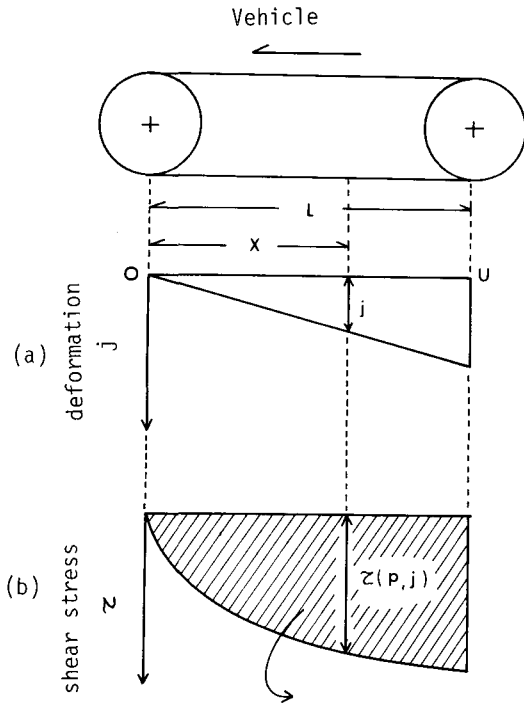


図2 履帯下の土のせん断現象のモデル

ここに、*i*は車両のすべり率であり、次式で与えられる。

$$i = \left[1 - \frac{V_0}{V_t} \right]$$

但し、*V₀*: 走行速度、*V_t*: 理論速度

一方、任意の回転せん断角*θ*のとき、せん断円板の中心*O*から、*r*だけ離れた点でのせん断変位量*j'*は、次式で表わされる(図3(a))。

$$j' = \theta r \quad \dots\dots\dots (1')$$

今、すべり率*i*のときの、車両の履帯の離昇点*U*(図2の(a))における変位量を*j₀*とすると、このとき、せん断円板の外周点*U'*(図3の(a))における、変位量が、この*j₀*に等しくなるような回転せん断角*θ*が存在する。即ち、*θ*と*i*の間には、次の関係がある。

$$i / \theta = R / L = S \quad \dots\dots (2)$$

但し、*L*: 履帯の接地長 (cm)、*R*: 円板の半径 (cm) *S*: スケール比

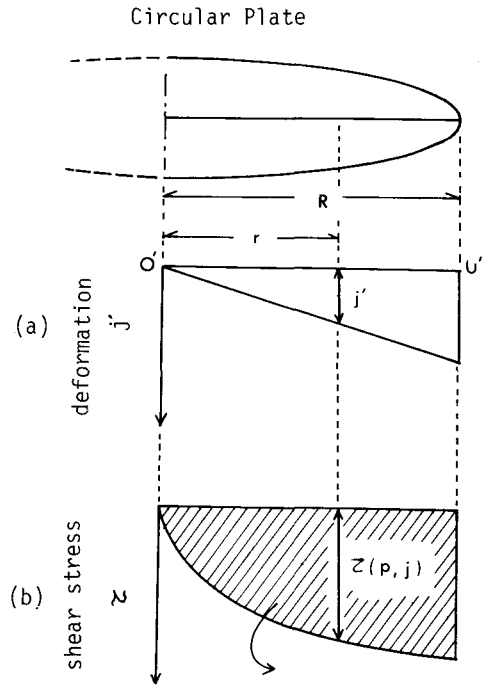


図3 せん断円板の cross section 下の土のせん断現象のモデル

一般に、土のせん断応力 (Kg/cm^2)は、接地圧 P (Kg/cm^2)と、せん断変位量 j の関数 ($\tau = \tau(p, j)$)として表わすことが出来る。従つて、車両の接地圧が等分布 (仮定1) であるとすれば、すべり率 i のときの推進力は、次式で表わされる。

$$TH = 2 B \int_0^L \tau(P_v, ix) dx \dots\dots (3)$$

但し、 TH : 推進力 (Kg) , B : 車両の履帯幅 (cm)

P : 車両の接地圧 (Kg/cm^2)

また、せん断円板の接地圧を、車両の接地圧 P と同じ様にすると、回転せん断角 θ における cross section 下の、せん断力の総和 The (図3の(b)の斜線部の面積)は、

$$The = \int_0^R \tau(P_v, \theta r) dr \dots\dots (3')$$

但し、 The の単位は Kg/cm である。ここで、 x と r の関係 ($x = r/S$) によつて、 TH は The を用いて、次式で表わすことが出来る。

$$TH = \frac{2B}{S} \cdot The \dots\dots (4)$$

(4)式は、すべり率 i のとき、装軌車両の推進力は、車両と同じ接地圧をもつ、せん断円板の回転角 $\theta = \frac{i}{S}$ における cross section 下のせん断力の総和 The を用いて表わされることを意味している。従つて、もし The を容易に求めることが出来れば、車両の推進力も、また簡単に求めることが出来ることとなる。

2-3 円板型せん断プレートの、回転トルク

Tec からの、 The の分離

車両の推進力が、 The を用いて得られることを、前節で述べた。しかし、円板型せん断プレートの、回転せん断実験によつて得られるのは、回転トルク Tec と、回転角の関係であり、 The を実験的な手段によつて、直接得ることは出来ない。ここでは、円板下に作用する、せん断力分布と、回転せん断トルク Tec との関係性を考察することにより、 Tec から The を分離することを考える。

せん断円板が、ある接地圧で、土を回転せん断するとき、円板の底面に作用するせん断力の分布は、図4のようになっていると考えることが出来る。仮定3)より、円板の底面のみが、せん断に寄与するものとすれば、回転せん断角 θ における、円板のせん断トルク Tec は次式で表わされる。

$$T_{\theta c} = \int_0^{2\pi} \int_0^R r^2 \tau(P, \theta r) dr d\alpha \dots (5)$$

但し、 α : 円板に固定された極座標の回転角

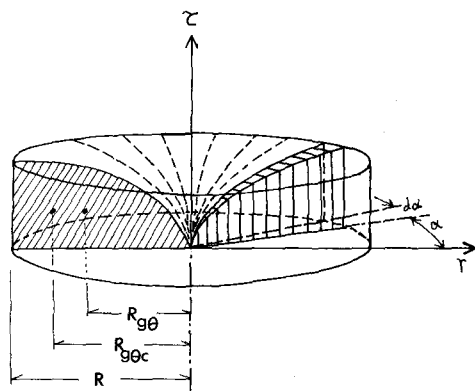


図4 円板の底面に作用するせん断力分布のモデル

また、図4に示した $R_{g\theta}$, $R_{g\theta c}$ を、それぞれ次のように定義する。

$$R_{g\theta} = \left[\int_0^R r \tau(P, \theta r) dr \right] / The \dots$$

$$R_{g\theta c} = Tec / \left[\int_0^{2\pi} \int_0^R r^2 \tau(p, \theta r) dr d\alpha \right] \dots$$

これらの定義からも明らかなように、 $R_{g\theta}$ は、中心0から斜線部断面の図心までの距離であり、 $R_{g\theta c}$ は、円板下に作用している、せん断力全体が集中して作用すると考えたときの、中心0からせん断合力作用点までの距離である。従つて、 Tec は、図4のせん断合力 $2\pi R_{g\theta} The$ (図4の総体積) と、 $R_{g\theta c}$ を乗ずることによつても得られる。この関係を、 The について整理すれば、次式を得る。

$$The = Tec / (2\pi R_{g\theta} R_{g\theta c}) = A \cdot Tec \dots (8)$$

但し、 $A (= 1/(2\pi R_{g\theta} R_{g\theta c}))$: 推進力係数 (cm)

(8)式は、推進力係数 A が分つていれば、 The を、 Tec から分離出来ることを示している。また、この係数 A は、後述するように、Soil Shear Curve をシミュレートするための数式を用いることによつて、計算することが可能である。従つて、予め、種々の形の Soil Shear Curve に対する A の値を計算し、数表化しておけば、 The は、 Tec を用いて(8)式から求められ、これを、(4)式に代入することによつて、車両の推進力が

計算出来よう。

3 推進力係数Aの評価

推進力を求めるために必要なこの係数Aは、(8)式に示したように、 R_{ge} と、 R_{gac} に依存しており、また、これら R_{ge} 、 R_{gac} は、Soil Shear Curveの形に大きく影響され、さらに、その値は、せん断断板の回転せん断角 θ と共に変化する。従つて、Aを求めるためには、まず第一に、Soil Shear Curveの形を知らなければならない。

3-1 Soil Shear Curveを得るための、リング型せん断プレート

土質工学では、Soil Shear Curveと言へば、通常、一面せん断試験によつて得られた曲線を意味する。しかし、土と車両系の分野に於いて、一面せん断試験を用いることは、せん断変位量とせん断速度に関して、車両の履帯下に起きる、土のせん断現象との相関において問題が多いからである。例えば、履帯下におけるせん断変位量は、すべり率によつても異なるが、数10cmに達することがしばしばである。この履帯に特有な、せん断現象に近い試験法としては、模型履帯を用いたクリート試験があるが、簡易性に欠け、試験法自体にも問題がある。著者らは、履帯下の、土のせん断現象を再現するために、図1の(b)に示したような、リング型せん断プレート(これは、土と車両系の分野でよく用いられている¹⁶⁾)を使用する。

3-2 Soil Shear Curveのシュミレート式と、推進力係数Aの計算式

Soil Shear Curveをシュミレートするために、種々の式が提案されており、代表的な式としてBekker式、Janosi and Hanamoto式、Kacigin and Guskov式がある。これらの式のうち、Bekker式は非常に複雑であり、式の単純さと、シュミレート手順の簡易さの点で、後二者が優れていると言えよう。

(a) Janosi and Hanamoto式

$$\tau = \tau_m (1 - e^{-j/K}) \dots\dots (10)$$

但し、 τ_m : 最大せん断応力 (Kg/cm^2)、 K : I の変形係数 (cm)、 j : せん断変位量 (cm)

(b) Kacigin and Guskov 式

$$\tau = \tau_s (1 + \frac{d}{\cosh j/K_z}) \tanh j/K_z \dots\dots (10')$$

$$\text{ここに } d = (\frac{\tau_p - \tau_s}{\tau_s})$$

但し、 τ_p 、 τ_s 、 K_z (変形係数) は、Soil Shear Curveの形によつて、図5の(1)、(2)いずれかの記号を取る。

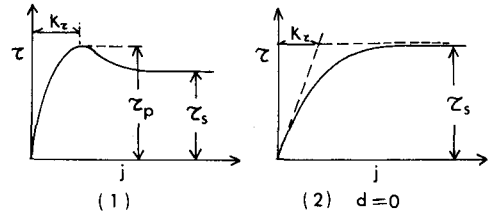


図5 Kacigin and Guskov 式の記号

これらのシュミレート式を、(6)及び(7)式に代入することにより、推進力係数Aの計算式が得られる。

(a) Janosi and Hanamoto式に従う、Aの計算式

$$A = \frac{R - \frac{K}{\theta} (1 - e^{-\theta R/K})}{2\pi [\frac{R^3}{3} - \frac{2K^3}{\theta^3} + (\frac{KR^2}{\theta} + \frac{2K^2R}{\theta^2} + \frac{2K^3}{\theta^3}) e^{-\theta R/K}] \dots\dots (11)$$

(b) Kacigin and Guskov 式に従う、Aの計算式

$$A = \frac{\ln \cosh \theta R/K_z - d (1 - \cosh \theta R/K_z)}{2\pi Y} \dots\dots (11')$$

$$\begin{aligned} \text{但し、} Y = & (R - \frac{R^2}{2} - \frac{2K_z^2}{\theta^2} - \frac{2dK_z^2}{\theta^2}) - \frac{K_z}{\theta} (1+d+R) \sinh \theta R/K_z \\ & + (1+d)(R + \frac{2K_z^2}{\theta^2}) \cosh \theta R/K_z + \frac{K_z}{\theta} \tanh \theta R/K_z \\ & - \frac{K_z}{\theta} (1 + \frac{K_z}{\theta}) \ln \cosh \theta R/K_z \end{aligned}$$

4 あとがき 以上、装軌車両推進力推定のため、一簡易法について述べてきた。この方法の実用性については、報告その2で検討する。

参考文献

- 1 M. G. Bekker : Theory of Land Locomotion, The University of Michigan Press, (1957)。
- 2 V. V. Kacigin and V. V. Guskov : The Basis of Tractor Performance Theory, Journal of Terramechanics Vol.5, No.3 (1968)。
- 3 B. M. Wills : Horizontal Shear in Soil Vehicle Mechanics, Technical Report, No.9560 L L L, PP.21~45. ATAC (1966)。
- 4 木暮、磯部、上田 : 装軌車両の推進力に関する一考察、土木学会第30回年次学術講演会概要、III-162, 1974。
- 5 G. Komandi : The Determination of Soil Properties from Slip-Pull Curve, Journal of Terramechanics Vol.5, No.2 (1968)。
- 6 杉山、志方 : 履帯のけん引力発生機構と土のせん断特性について、第3回土質工学研究発表会講演集, PP.109~114, 昭和43. 6。