

防 研 正 員 杉 山 昇
防 研 正 員 志 方 俊 之
防 研 正 員 ○ 寺 村 昌 忠

1 まえがき

本報告では、既報⁽¹⁾の牽引力推定プログラム (E T V T - 4) で問題点の一つであつた小型履板粘着力実験におけるブルドーリング抵抗の評価について、実験的、理論的に検討した。

図-1は土による履帯 (板) の静的な水平抵抗力を単純化したものである。図中 (a) の H_M' , H_S' , H_{BR}' は履帯の底部、側面、前後に働く水平抵抗力を、(b) の H_M , H_S , H_{BR} は小型履板のそれぞれの部分に働く水平抵抗力を意味する。

H_{BR}' は全水平抵抗力 H' に比して小さい。しかし、小型履板の実験結果から実車の水平抵抗力を推定する場合には、 H_{BR} の効果が大きく影響するので、これを適切に評価する必要がある、縮尺の大きい小型履板ではとくに重要である。

ここでは、 H_{BR} (以下、小型履板のブルドーリング抵抗と呼ぶ) として、図-1 (b) の第1グロウサー前面の土による水平抵抗力を考えている。

2 小型履板のブルドーリング抵抗 H_{BR} の評価方法

一般に、履板のブルドーリング抵抗 H_{BR} は受働土圧の問題の一つと考えることができる。ここでは、第1グロウサー前面の土の破壊状況の観察 (土槽側壁にあるのぞき窓からの) により、 H_{BR} を図-2に示す機構にもとづいて評価する。図-2の第1グロウサー前面の土中に、履板前端を通つて鉛直方向と β の角度をなす面 $\overline{D'D'}$ を考える。そうすると、履板のブルドーリング抵抗 H_{BR} は底部破壊面 $\overline{C'D'}$ と土の壁 $\overline{D'D'}$ に働く抵抗力の水平方向分力、 $H_{C'D'}$ と $H_{D'D'}$ との和で近似できよう。

$$H_{BR} = H_{C'D'} + H_{D'D'} \quad (1)$$

$$H_{C'D'} = (L_1 - h \cdot \tan \beta) \cdot (c \cdot B + \frac{W}{L} \tan \phi) \quad (2)$$

$$H_{D'D'} = \frac{B}{1 - \tan(\phi + \beta) \tan(\chi_c + \phi)} \left\{ c h \left\{ \tan(\chi_c + \phi) + \cot \chi_c \right\} + \frac{1}{2} \gamma h^2 (\cot \chi_c - \tan \beta) \tan(\chi_c + \phi) \right\} \quad (3)$$

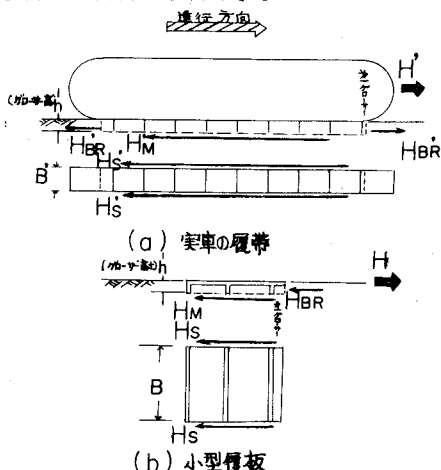


図-1 履帯 (板) の水平抵抗力

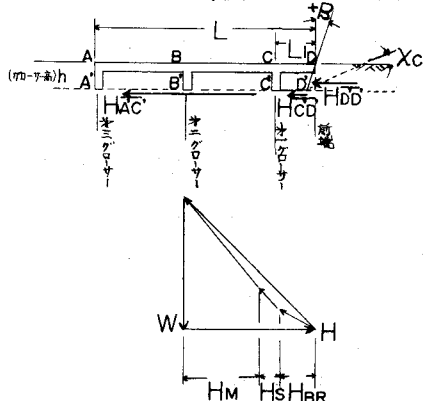


図-2 小型履板の破壊機構

ここで、 c 、 ϕ は土の強度定数、 γ は土の単位体重量、 L 、 L_1 、 B 、 h は図-2 に示す小型履板の寸法、 W は鉛直荷重である。なお、(3) 式の χ_C は直線すべり面 $\overline{D'E}$ の水平となす角度（臨界角）で、 $H_{DD'}$ は土の壁 $\overline{DD'}$ の受働土圧の水平成分である。上式の角度 β を観察によつて明確にすることは困難である。しかし、(1) 式を微分することによつて、その値を最小にする角度 $\beta = \beta_c$ を求めることができる。そこで、著者らは数値計算により β_c を決め、 H_{BR} の近似解を求めた。図-3 は著者らの実験に用いた小型履板のうち、グローサー高さ $h = 1.5 \text{ cm}$ のものについての計算例である。図中の実線は鉛直荷重をパラメーターとした H_{BR} と β の関係であり、点線は β_c の軌跡を示す。実験では、鉛直荷重は $92 \sim 392 \text{ kg}$ （接地圧は $0.18 \sim 0.77 \text{ kg/cm}^2$ ）の範囲であるので、この評価方法による β_c の値は -25° から -45° の範囲にあるものと思われる。

なお、その他の水平抵抗力成分 H_M 、 H_S はそれぞれ次式で評価する。

$$H_M = (L - L_1)(c + \frac{W}{L} \tan \phi) \quad (4)$$

$$H_S = 2chL + 0.64W \left\{ \frac{h}{B} \cot^{-1} \left(\frac{h}{B} \right) \right\} \tan \phi \quad (5)$$

ただし、(4) 式は第1グローサーの後方の底部 $\overline{AC'}$ の水平抵抗力の式、また(5) 式は Bekker⁽²⁾ が提案した土中応力から側面摩擦を計算する式である。

以上の式を用いて、上述の小型履板 ($h = 1.5 \text{ cm}$) について H_M 、 H_S 、 H_{BR} を計算した例が図-4 である。同図にみられるように、著者らの水平抵抗力 $H_A = H_M + H_S + (H_{BR})_{\beta = \beta_c}$ が Bekker による水平抵抗力 $H_B = H_M + H_S$ よりも上に出てくるのは当然であるが、 H_{BR} の効果もまた H_S のそれと比較して無視できないことがわかる。

3 土試料と試験方法

試験に用いた土は粘土分 31.0%，シルト分 27.6%，砂分 41.4% の関東ロームである。土槽内で、含水比約 78% で突き固めたのち、小型履板粘着力試験を実施した。なお、同土槽より採取した試料の三軸圧縮試験（急速、非排水）から強度定数として、 $c = 0.19 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\phi = 19^\circ$ を得た。

試験装置の概要は既報の文献(1)に詳述されているので、ここでは、使用した小型履板と試験方法について簡単に述べる。小型履板としては $225 \text{ mm} \times 225 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ の鋼板に、横方向に3本のグローサー（幅 6 mm ）を取り付けたものを用いた。そのグローサー高さは 0（平板）、5、

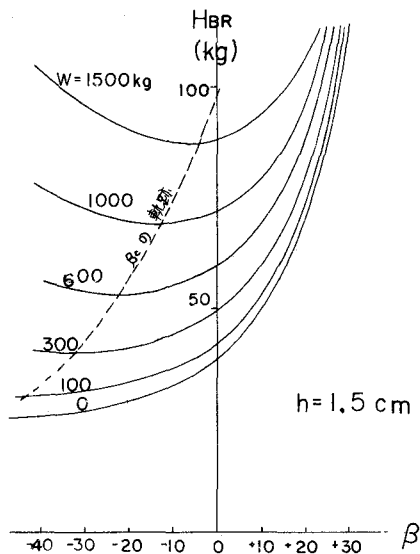


図-3 小型履板の H_{BR} と β の関係

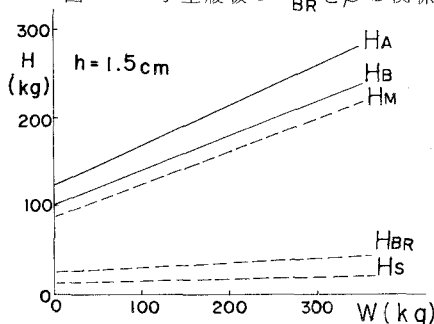


図-4 水平抵抗力の評価方法

10, 15, 20, 25 mm のものを用意した。この小型履板に一定鉛直荷重 (荷重範囲: 92 ~ 392 kg) を載荷し, 約 1 cm/sec の速さで水平方向に牽引して, 水平抵抗 H を求めた。なお, 試験時には, 静的沈下のあとに, 前方の地表面を履板上面と一致するように, 水平に土を削除した。

4 実験結果とその考察

(小型履板実験のブルドーzing抵抗 H の評価と評価方法について) ここでは, 主として最大水平抵抗力 $H = H_{max}$ について述べる。

図-5 はグローサー高さ 1.5 cm の小型履板と平板について, 水平抵抗力 H と鉛直荷重 W との関係をプロットしたものである。これらの結果は一般に, 関東ロームの強度特性と対応するものである。同図には, 点線で H_M が, 実績で著者らの線 H_A と Bekker の線 H_B の線が描かれている。

まず, この履板についての実験値は H_M , H_B 線よりも一般に上側に位置し, ブルドーzing抵抗 H_{BR} の効果が認められる。実施した荷重範囲では H_A 線の適用できる範囲は $W = 300$ kg からであり, $W < 300$ kg では水平抵抗力 H を過大評価することとなる。見かけ上は, この範囲についてはむしろ Bekker による H_B 線によく適合しているが, ここでは使用土が近似的に不飽和粘性土の性質をもつと考えられるので, c, ϕ の評価にも問題があると考ええる。実用的には $W = 300$ kg は接地圧約 0.6 kg/cm² に相当するので, ブルドーザーやその他の重装軌車両を考えれば, H_A 線による評価がむしろ適切であるように思われる。

また, 平板の実験値が H_M 線の下側にあることは c, ϕ の評価に問題があり, この場合には鋼平板と土との間の付着力や摩擦角を考える必要がある。

つぎに, 図-6 には, グローサー高さ $h = 1.0$, 2.5 cm のときの H と W との関係を示す。この図の $h = 2.5$ cm の場合には, $W \geq 300$ kg の H は逆の傾向 (H_A 線より下にはずれること) を示すが, 実験数が少く, 上述の傾向は明らかでない。

また, 図-7 は W をパラメーターとしたときの H と h (グローサー高さ) との関係を示したもので, 実験値は上述の理由から $W = 0$ の場合を除けば, ほぼ直線で近似できる

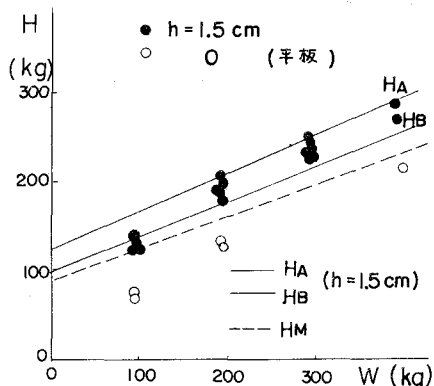


図-5 小型履板の H と W との関係

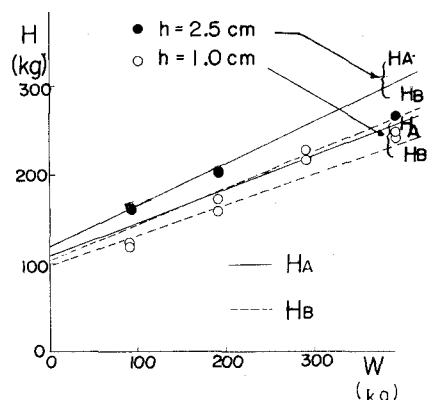


図-6 小型履板の H と W との関係

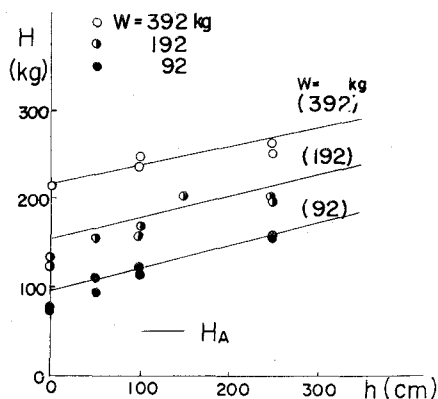


図-7 小型履板の H と h との関係

ことが認められる。

以上のような考察や図-5, 図-6における実験値のばらつきから考えると, 著者らの H_A 線はほぼ実験値の上限を, またBekkerによる H_B 線はほぼその下限を示しているようである。

(小型履板実験のブルドーzing抵抗 H_{BR} の牽引力推定に及ぼす影響について) 牽引力推定プログラムに必要なパラメータである最適すべり量(j_{max})やスリップ係数(K_2)⁽¹⁾は, この小型履板実験から実験的に求めるわけであるが, つぎに H_{BR} の評価とこれらのパラメーターとの関係について考えてみる。

j_{max} は, 実験時水平抵抗力 H が最大水平抵抗力 H_{max} 付近にある場合には, 近似的に H_{BR} が一定であるので, ほとんど変化しないものと考えられる。

図-8の黒点は実測された水平抵抗力 H とすべり量(j)⁽²⁾とを無次元化して示したものである。

前述の方法で H_{BR} を評価してプロットすると白点のようになり, スリップ係数 K_2 の値は前者で $K_2 = 0.4$, 後者で $K_2 = 0.3$ のように小さく評価される。 K_2 は車両の牽引力推定に敏感に影響するパラメーターである。スリップ率⁽²⁾にもよるが, この K_2 を

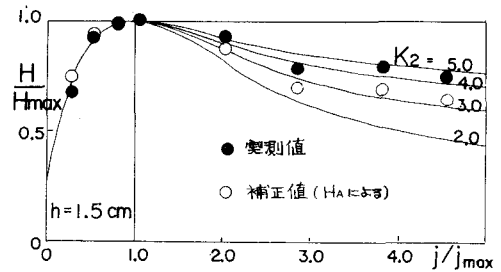


図-8 H/H_{max} と j/j_{max} の関係

H を無視して過大に見積ることは, 一般に, 車両の牽引力を過大に見積ることとなり, 好ましくない。

5 む す び

このように, 著者らの小型履板実験では, ブルドーzing抵抗の適切な評価が不可欠であり, さきに述べた評価方法はほぼ実測される水平抵抗力の上限を決めるものとして, 実用上使用できるようである。

また, 合理的な車両全体の牽引力の推定には, より厳密な強度定数を得るせん断試験法(不飽和土についての)とブルドーzing抵抗の効果を除去した水平抵抗力から求められるスリップ係数 K_2 の評価とが必要であることが明らかになった。本報告では, 実験技術や計画上の理由から, ブルドーzing抵抗を実験的に単独にとり出して議論しなかつた点, 土の性質が変化するときのブルドーzing抵抗の特性, さらにブルドーzing抵抗の評価の牽引力推定プログラムへの影響など, 不備な点も多いが, これらの点については今後研究を行う予定である。

おわりに, 本実験に終始協力した吉田徳栄技官に感謝の意を表する。

(参考文献)

- (1) 杉山, 志方: 履帯の牽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, I-21, 1968.
- (2) Bekker, M. G.: Theory of land locomotion, The University of Michigan Press, 1957.
- (3) Hegedus, E.: A simplified method for determination of bulldozing resistance, Land Locomotion Laboratory, Report RR-22, 1960.