

平板貫入試験による剛性車輪沈下量予測に関する一考察

愛媛大学工学部 正会員 ○河原 莊一郎
愛媛大学大学院 学生員 羽賀 誠哉

1. まえがき 平面歪状態において乾燥砂に対する平板貫入試験を行い、Reeceの式を用いて静止時の剛性車輪の線圧と沈下量の関係を解析し、実験結果と比較した。

2. 試料砂 粒径0.74~2.0mmに調整した気乾状態の海砂を土槽(長さ120cm,幅6.4cm,高さ60cm)にて15cm毎4層に分け突き固めたもの(平均乾燥密度1.54g/cm³)を試料砂とした。図1に粒径加積曲線を示す。なお、土槽壁面と土粒子の間の摩擦を取り除くため、土槽壁面のパネル盤にグリースを塗り厚さ0.28mmのゴムシートを貼付した。

3. 平板貫入試験 平板に垂直荷重を加え沈下量を測定する。使用した平板は厚さ2.5cm,幅5cm,長さ3,5,7,10cmの4種類である。载荷にはアムスラーを用い、ロードセルより貫入力、インダクタンス式変位変換器より沈下量を計測した(変位速度0.050cm/s)。図2に垂直荷重を平板面積で除した垂直応力 p と平板の沈下量 z と関係を示す。

p (kgf/cm²)と z (cm)の間に成立する関係として、平板の寸法効果を考慮した次式が一般に知られている。

$$p = k \cdot z^n = (k_c/b + k_\phi) z^n \quad (1)$$

$$p = k' \cdot z^n = (k_c' + b k_\phi')(z/b)^n \quad (2)$$

b : 平板の短辺の長さ(cm)

(1)式はBekker¹⁾、(2)式はReece²⁾の式である。 $k_c, k_\phi, k_c', k_\phi', n$ は土の性質に依存する実験定数である。これらの式に基づく整理を行うため、両対数紙上で示したのが図3, 4である。元来、これらの式は3次元状態で導かれた経験式であるが、実験は平面歪状態で行っているので、 b は平板の長さを代入する。図中、実線は各平板の長さに対して施した回帰線である。傾き n は b が小さいほど大きく一定とはならない³⁾。その上、 $z = 1$ cmのとき p の値である k は、Bekker式では b が大きいほど大きいので k_c が負となる不都合が生じる。Reeceの方法において平均の $n (=0.519 \pm 0.057)$ の値を用い各平板の長さに対して改めて k' の値を求め、 k' と b の関係を示したのが図5である。図より切片が k_c' 、傾きが k_ϕ' として決まる。

$$k_c' = 0.611 \text{ kgf/cm}^2, \quad k_\phi' = 0.639 \text{ kgf/cm}^3 \quad (r=0.972)$$

Bekker式の係数 k の長さの次元が整数にならないのに対してReece式では係数 k' の長さの次元は整数である。

4. 剛性車輪沈下量解析 平板貫入試験より得られた関係を用いて平面歪状態の静止時の剛性車輪の線圧 $W/B \sim$ 沈下量 s 関係を予測する。この剛性車輪は転圧ローラを想定している。輪荷重 W と鉛直方向の地盤反力の釣合式⁴⁾は次式となる(図6参照)。

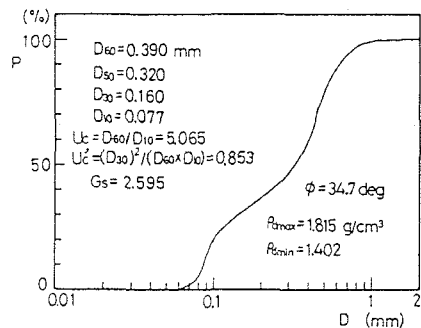


図1 粒径加積曲線

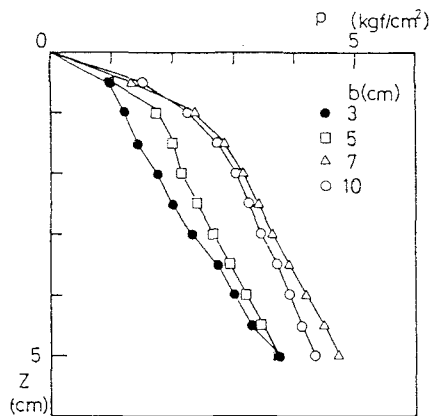


図2 平板貫入試験における沈下量 z と垂直応力 p の関係

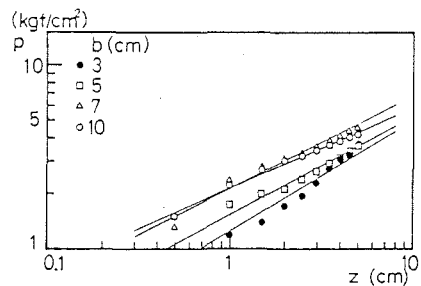


図3 垂直応力 p と沈下量 z の関係

$$W = 2 B r \int_0^{\theta_a} (p \cos \theta + \tau \sin \theta) d\theta \quad (3)$$

p, τ : 剛性車輪に作用する垂直応力, せん断応力

θ_a : 接地角の1/2, r, B : 車輪の半径, 幅

θ_a は図形的に算定できる.

$$\theta_a = \cos^{-1}\{(r-s)/r\} \quad (4)$$

スリップ量が少ない, θ が小さいことより, $\tau \sin \theta \ll p \cos \theta$ とする. ここで垂直応力 p は, Reeceの式を用いる. 以上の仮定から線圧 W/B は,

$$W/B = 2 r \int_0^{\theta_a} k' (d/b)^n \cos \theta d\theta \quad (5)$$

$$d = z / \cos \theta$$

Reece式の b は平板の短辺長であるが, 平面歪状態の剛性車輪に適用すると接地長 l_c を代入するべきである. 解析計算では車輪の沈下量 s を与えて線圧 W/B を求める. 上式は厳密積分することができないので, Simpsonの積分公式(刻み数100)を利用する.

剛性車輪の線圧 $W/B \sim$ 沈下量 s 関係の解析結果を実測値も併せて図7に示す. 実線①が $b=B$, 破線②が $b=l_c$ の解析結果である. 実験はアムスラーに剛性車輪($r=15\text{cm}, B=5\text{cm}$)を取り付け, 平板貫入試験と同様に行った(変位速度 0.027cm/s).

$s=2.1\text{cm}$ の時の θ_a, l_c は, それぞれ $30.7\text{deg}, 8.0\text{cm}$ である. 解析結果の W/B は実測値に比べて①の場合 $s=3.9\text{cm}$, ②の場合 $s=2.4\text{cm}$ 迄は多少小さく, それ以上になると大きく算出される. また, ②の W/B は①より大きくなっている. しかし, 車輪の静的沈下量はせいぜい 2cm 程度である⁵⁾ ので, その範囲内では② $b=l_c$ 方が①の $b=B$ より適切であるといえる.

5. あとがき Reeceの式を用いて剛性車輪の線圧と沈下量の間関係を解析し実測値と比較した結果, ほぼ適切な値を得た. 実験の再現性を高めるとともに駆動・制動時の沈下量の理論解析を行うことが今後の課題である.

参考文献

- 1) Bekker, M.G.: Introduction to terrain-vehicle systems, pp.58-74, The University of Michigan Press., 1969.
- 2) Youssef, A.F. and Ali, G.A.: Determination of soil parameters using plate test, J. Terramechanics, Vol.19, No.2, pp.129-147, 1982.
- 3) 近藤博, 佐藤勝衛, 杉山昇; 平板貫入試験の寸法効果について, テラメカニックス, 7, PP.33-39, 1987.
- 4) 畠昭治郎: 建設機械学, pp.26-101, 鹿島出版会, 1987.
- 5) 河原荘一郎: 剛性車輪の牽引力と砂の締固めに及ぼすスリップの影響, 愛媛大学工学部紀要, 11, 4, pp.421-427, 1989.

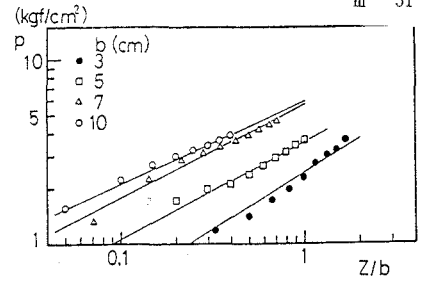


図4 垂直応力 p と z/b の関係

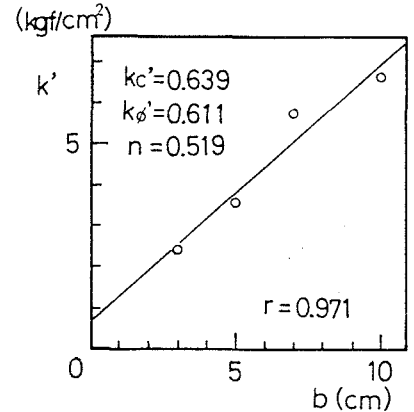


図5 Reeceの方法による k' と b の関係

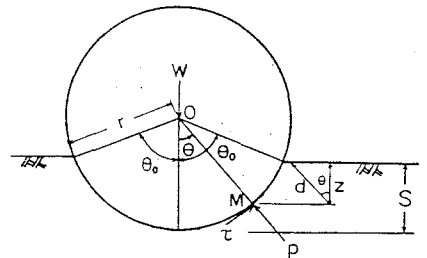


図6 静止剛性車輪に作用する応力

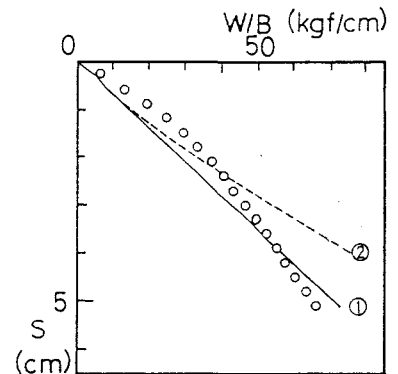


図7 車輪貫入実験結果と解析結果の比較