

繰返し載荷によるまき土の力学特性について

愛媛大学工学部 正会員 河原 莊一郎

愛媛大学工学部 正会員 室 達朗

愛媛大学工学部 学生会員 市原 一也

1. まえがき 種々の締固め度からなる気乾状態のまき土に対して繰返し平板載荷実験を行い、供試砂の垂直応力 p ～ 貫入量 z 曲線に及ぼす応力履歴の影響を明らかにした後、得られた p ～ z 曲線を飽和型指数関数により定式化し、この式のパラメータに及ぼす締固め度ならびに平板サイズの影響を調査した。

2. 供試地盤および実験方法 粒径4.75mm以下の気乾状態のまき土を10層に分けて空中落下法により平面ひずみ土槽(長さ120×幅10×深さ35cm)に充填した後、線圧16.3kgf/cmの転圧ローラー¹⁾で転圧回数 $N=0, 2, 4, 6, 8, 10$ 回(1往復で $N=2$ 回)でそれぞれ自走・往復走行させて転圧を完了した土槽をアムスラー(最大30tf)の昇降台にのせ、ロードセルを介しロッドの先端に付けた平板を平面ひずみ状態で供試地盤に貫入させた。そのとき平板が2cm貫入する毎に6cmまで除荷・再載荷を繰り返した。載荷時の貫入速度は 0.150 ± 0.042 mm/s、除荷時の貫入速度は -0.0131 ± 0.0118 mm/sであった。平板はステンレス鋼製で、幅9.5cm、厚さ1.2cm、平板長さ $b=5, 7, 10, 15$ cmの4種類である。転圧回数 $N=0 \sim 10$ 回るとき、それぞれ相対密度 D_r は45～89%、深さは31～28cmであった。転圧回数 $N=6$ 回以降では、相対密度はほぼ一定値となる。

3. 応力履歴の影響 図1に平板長さ $b=7$ cmで転圧回数 N を変化させたときの垂直応力 p と貫入量 z の関係を示す。除荷・再載荷の過程において $p \sim z$ 曲線は同じ経路をたどり供試砂は弾性的な挙動をし、この部分では貫入量 z の変化は小さい。過去に受けていた最大応力に達した後、それ以降の大きな垂直応力 p が作用する部分では $p \sim z$ 曲線の傾きが緩やかとなり貫入量 z は増大する。供試砂が過去に受けていた最大応力以前の小さい応力を受けているときとそれよりも大きな応力を受けているときでは明らかに $p \sim z$ 曲線の傾きが異なり、そのため折れ点が現れる。このことより供試砂は応力履歴の影響を受けるといえる。

ところで、 $p \sim z$ 曲線の $z=2$ cm以下の初期の部分において、転圧回数 N が増加するにしたがって折れ点が明瞭に現れる。転圧ローラーの走行によって供試砂が載荷・除荷を繰り返し受けたものと考え、平板載荷は除荷後の再載荷の過程にあたる。したがって、 $p \sim z$ 曲線の初期の部分に現れる折れ点は、転圧によって供試砂が過去に受けた最大応力に依存する結果であると予想される。

4. 飽和型指数関数による定式化 (a)飽和型指数関数 除荷・

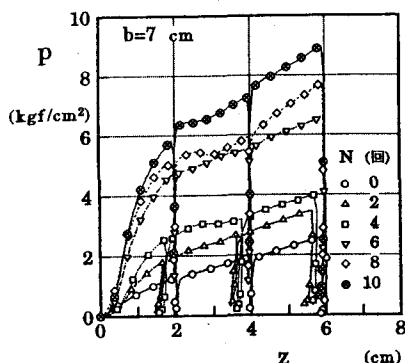


図1 垂直応力 p と貫入量 z の関係(転圧効果)

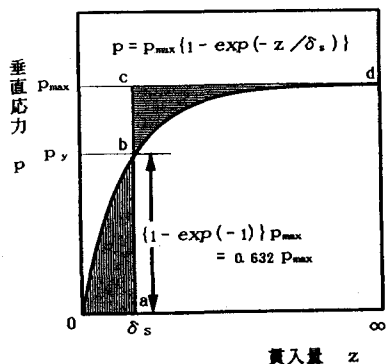


図2 飽和型指数関数の概念図

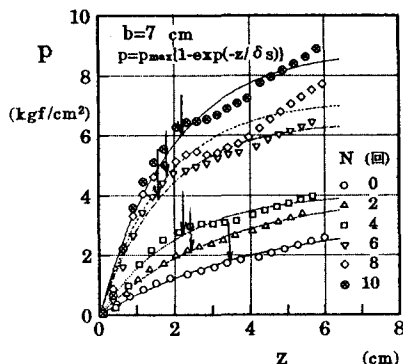


図3 垂直応力 p と貫入量 z の関係(転圧効果)

再載荷過程を除く部分の垂直応力 p (kgf/cm²) ~ 貫入量 z (cm) の関係を次式²⁾により定式化する。

$$p = p_{max} \left\{ 1 - \exp \left(\frac{-z}{\delta_s} \right) \right\} \quad (1)$$

p_{max} : 極限荷重(kgf/cm²), δ_s : 形状係数(cm)

図2に飽和型指数関数の概念図を示す。この式は $z \rightarrow \infty$ において p_{max} を極限值として持つような関数である。消費エネルギー (oabで囲まれた面積) と剰余エネルギー (bcdで囲まれた面積) が等しくなる点が $z = \delta_s$ である。そのときの応力 $p_v (=0.632 p_{max})$ を降伏応力と定義する²⁾。 p_{max} , δ_s は、非線形最小自乗法に基づいてニュートン法による反復計算を行って決定した。

(b) 転圧効果 図3に $b=7$ cmで転圧回数 N を変化させたときの垂直応力 p と貫入量 z の関係を示す。回帰曲線は、とくに転圧回数 N が小さいとき実測値とよく一致する。形状係数 δ_s ($\downarrow$ で示す) は、転圧回数 N が大きいとき目視による折れ点とほぼ一致する。しかし、転圧回数 $N=0, 2$ 回の場合は $p \sim z$ 曲線は直線的であり、このときの形状係数 δ_s は目視による折れ点よりもかなり大きな値であったり、収束しない場合がある。

図4に形状係数 δ_s と転圧回数 N の関係を示す。転圧回数 N が増加するにしたがって、形状係数 δ_s は減少する傾向がある。しかし、 $N=6$ 回以降では相対密度の増加が頭打ちになるため、形状係数 δ_s はほぼ一定値に近づく。

(c) 寸法効果 図5に転圧回数 $N=6$ 回で平板長さ b を変化させたときの垂直応力 p と貫入量 z の関係を示す。回帰曲線は、とくに平板長さ b が大きいとき実測値とよく一致する。形状係数 δ_s は、目視による折れ点と $b=5$ cmのときほぼ一致する。 $b=7, 10, 15$ cmにおいても、平板長さ b が大きくなるにつれて目視による折れ点の貫入量 z の値が大きくなるということに関して、形状係数 δ_s は目視による折れ点と定性的に一致する。

図6に形状係数 δ_s と平板長さ b の関係を比例直線³⁾で回帰した図を示す。若干のばらつきがあるものの、平板長さ b が大きくなるにしたがって、形状係数 δ_s は直線的に増加する傾向がある。

5. まとめ 締め固めた砂質土における $p \sim z$ 曲線の初期の部分には折れ点が現れるが、これは応力履歴に依存するためである。飽和型指数関数によって決定された形状係数 δ_s は、目視による折れ点と定性的に一致する。 δ_s は、平板長さ b に比例し、土の締め固め度が高くなるにつれて減少する傾向がある。

参考文献 1) 河原・室・深川・星加: 転圧ローラの走行性とまさ土の締め固めとの関連性, 第27回土質工学会研究発表会講演集, pp.2111-2114, 1992. 2) 宇都: コンピュータの利用, 最近の土質・基礎に関する諸問題講演会講演資料, 土質工学会, pp.237-250, 1984. 3) 近藤・佐藤・杉山: 平板貫入試験の寸法効果について, テラメカニックス, 7号, pp.33-39, 1987.

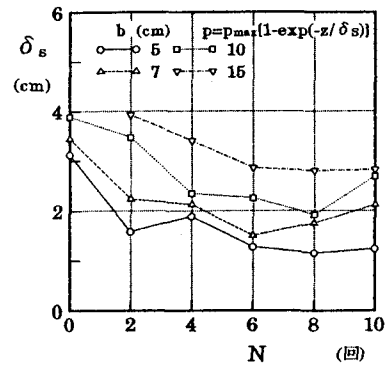


図4 形状係数 δ_s と転圧回数 N の関係 (転圧効果)

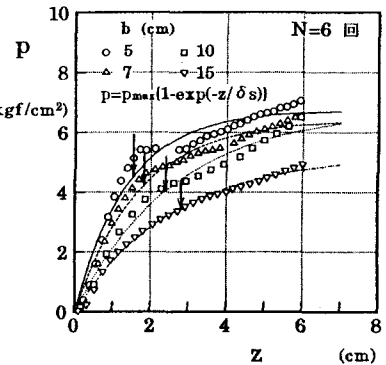


図5 垂直応力 p と貫入量 z の関係 (寸法効果)

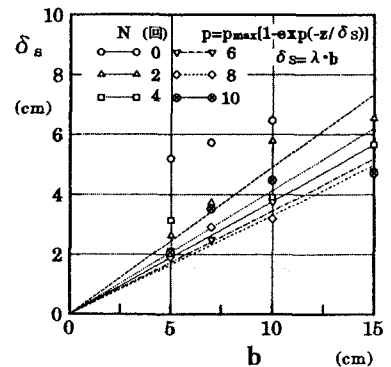


図6 形状係数 δ_s と平板長さ b の関係 (寸法効果)