

早稲田大学理工学部土木工学科 正員 井 藤 樹

同 大学院 学員 ○ 赤 木 寛 一

1. すえがき

土に乱れが生じると、その力学特性(たとえば、非排水強度、弾性係数)が変化することは広く知られており、奥村⁽¹⁾はこの力学特性の変化と土の乱れの大さをあらわすかく乱比の間に一義的な関係を見いだしている。筆者らはさらに、この土の乱れの大さをあらわすかく乱比と塑性指数の間に密接な関係が存在することと明らかにした。⁽²⁾ そこで、今回種々の塑性指数をもつ土について実験を行なう。乱れにもとづく土の非排水強度の低下の度合いと塑性指数の関係を求め、あわせて東京都江戸川区のシルド工事現場で行なわれた地盤の横方向載荷試験結果をもとに、シルド施工前後の地盤の弾性係数変化の様子と土の塑性指数に関連をもつ細粒分(シルト+粘土分)含有率の関係を調査し、土の乱れに対して塑性指数が重要な役割を果たしていることを示した。

2. せん断変形による土の乱れの大さ(かく乱比)と塑性指数の関係

筆者らはさらにせん断変形によって生じた乱れの大さ、かく乱比 R とせん断ひずみ(軸ひずみ)の大きさ ϵ_a (%) とを用いて、次のように表わすことにした。

$$R = k_e \cdot \epsilon_a + 1 \quad (1)$$

ここに、 k_e は土の乱れやすさに関係するパラメータであり、これと土の鋭敏比 S_t と塑性指数 PI ($= I_p$) を用いて、次のように表わした。

$$k_e = 0.23 \cdot I_p^{-0.4} \cdot \sqrt{S_t} \quad (2)$$

上式(1)、(2)より、たとえば鋭敏比 $S_t = 10$ の土に対して、同一せん断変形($\epsilon_a = 10\%$)を与えた時に生じる乱れの大さ、かく乱比 R と塑性指数 PI の関係を求めてみると、図1. のようになる。

この図1. よりわかるとおり、同等の鋭敏比をもつ土に於いて同一のせん断変形を与えた場合には、塑性指数が大きいほど生じる乱れの大さ、かく乱比は小さく、乱れが生じにくいことになり、逆に塑性指数が小さいほど乱れが生じやすくなる。

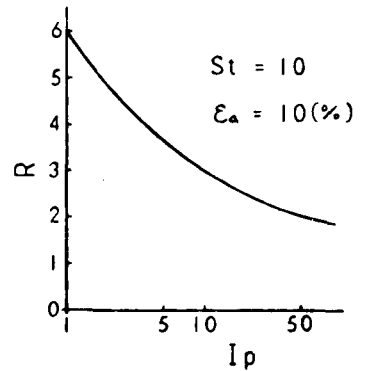


図1. かく乱比 R と塑性指数 I_p の関係

3. せん断変形による土の乱れにもとづく土の非排水強度の低下(三軸圧縮繰返し破壊試験による)

土の乱れによる土の非排水強度が低下することはよく知られている。そこでここでは種々の塑性指数をもつ土(鋭敏比はほぼ同等)について、 $\Pi\Pi$ 条件下で三軸圧縮繰返し破壊試験を行なう。破壊で生じた乱れにもとづく非排水強度の低下の度合いと土の塑性指数の関係を求めた。

試料は、本節粘土、ベントナイト、及び現場より採取した青粘土と豊浦標準砂の混合比と種々に変化させたものとその液性限界よりも大きな含水比で十分に練り混ぜた後、最終圧密圧力 2 kgf/cm^2 、または 3 kgf/cm^2 で約1ヵ月圧密に準備した。なお、各試料の基本的性質は表1. に示すとおりである。

このようにして準備した各土試料の塊から切り出し、直径5cm、高さ10cmの円筒形試体について、 $\Pi\Pi$ 条件下で三軸圧縮繰

表1. 試料の基本的性質

混 合 比	青粘土：砂 1：3	青粘土：砂 1：2	青粘土：砂 2：3	青粘土：砂 1：1	青粘土：砂 2：1	ベント ナイト：砂 1：4	本節粘土 100%	ベント ナイト：砂 1：3
I_p	3.7	6.6	8.3	11.1	15.2	42.4	48.0	56.2
S_t	3.1	3.7	3.0	4.7	4.8	2.9	3.4	3.1
強度低下比 γ_i	1.51	1.35	1.10	1.15	1.07	1.07	1.04	1.00

り返し破壊試験を行った。試験はまず1回目(1サイクル目)の圧縮試験により乱れのない状態の非排水強度 S_{u1} を求めた後に軸差応力と零にもどしてそのすべり時間放置し次のサイクルに移した。以上の操作を繰り返して各試料にかかるサイクル目の非排水強度 S_{ui} に対する1サイクル目の非排水強度 S_{u1} の比をとって、破壊で生じた乱れにもとづく非排水強度低下比 r_1 を求めた。すなわち、 $r_1 = S_{u1} / S_{ui}$ である。なお、試験時の液圧 σ_3 は再圧密時の平均有効主応力に相当する値とし、ひずみ速度は、 $1\%/min.$ とした。

以上のようにして各試料について求めた非排水強度低下比 r_1 はそれを表1.1に示すとおりであり、これをその塑性指数 PI に対して整理すると図2.のようになり、鉄敏比が同等であり、塑性指数が大きいほど乱れにもとづく非排水強度低下比は小さく乱れが生じにくいことがわかる。

4. せん断変形が生じた乱れにもとづく土の弾性係数の低下(現場実測結果による)

奥村⁽¹⁾によれば、土の変形係数 E と圧密圧力 σ'_v と除いた値と乱れの大小を表わすが、乱れの間には一義的な関係が存在し、乱れの度合いが大きいほど変形係数が低下することが明らかにされている。土の変形係数と弾性係数はほぼ同じ意味をもつので、土の乱れが大きくなるにつれて、その弾性係数も低下すると考えてよい。

東京都江戸川区篠崎町下水道シールド工事現場でシールド施工前後の地盤の弾性係数変化の様子を調査するために、詳細な横方向載荷試験が行われたので、その結果⁽³⁾とともに、シールド施工により生じた乱れにもとづく土の弾性係数変化と土の塑性指数に関連をもつ細粒分(シルト+粘土分)含有率の関係を調査した。

調査地点としては同一のせん断変形をうけたと考えられる領域に限定するために、調査深度 h は、 $H - D < h < H + D$ (H : シールド工がかり深さ、 D : シールド外径)とし、同一の調査地点でのシールド施工後の弾性係数に対する施工前の弾性係数の比をとって、シールド施工により生じた乱れにもとづく土の弾性係数低下比 r_2 を求めた。すなわち、 $r_2 = (\text{施工前弾性係数}) / (\text{施工後弾性係数})$ である。

以上のようにして、各調査地点について求めた弾性係数低下比 r_2 とその地点での細粒分含有率に対して整理すると、図3.のようになる。この調査結果では土の鉄敏比、塑性指数ともに不明である上、プロットの際につき大きく明確な判断をくだすことができないが、傾向としては細粒分含有率が多いほどシールド施工により生じた乱れにもとづく弾性係数低下比は小さく、細粒分が多い土、すなわち塑性指数の大きい土ほど乱れが生じにくいことが推測される。

5. まとめ

本研究では種々の塑性指数をもつ土に関する実験結果とシールド工事現場での横方向載荷試験結果とともに、塑性指数が土の乱れに対して度々な役割りをもっていることを示した。土の乱れは本質的にその微視的な骨格構造の変化に起因するものなので、骨格構造の高位、低位とみられる鉄敏比が同等であれば、一定のせん断変形をうけた時に生じる乱れの大小は、骨格構造の安定性の大小に支配されると考えてよい。したがって、以上の調査結果よりわかるように、塑性指数の大きい土ほどその骨格構造の安定性が大きいために乱れが生じにくく、逆に塑性指数の小さい土では骨格構造の安定性が小さいために乱れが生じやすいものと考えることができる。

(参考文献)

- (1) 奥村伸郎; 粘土のかく乱とカンパリン法改善に関する研究, 港湾技術資料, No.193 (1974)
- (2) 森田 孝, 赤木 寛一; 土のせん断変形による乱れとそれにともなう圧密現象 - 特に乱れの大小と塑性指数の関係 -, 第1回土質工学研究発表会, (1981)
- (3) 間片博之; 東京都江戸川区下水道シールド工事の地盤沈下対策(篠崎幹線実地調査をふくめて), 博士論文(旧大分大学), (1980)

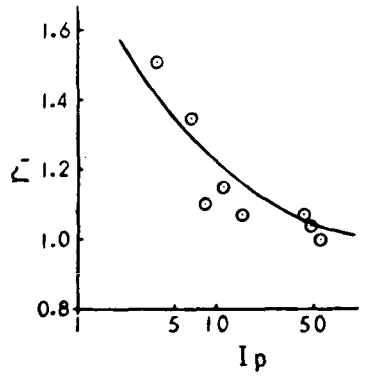


図2. 乱れにもとづく非排水強度低下比 r_1 と塑性指数 Ip の関係

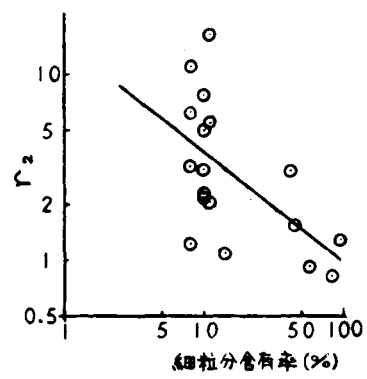


図3. 乱れにもとづく弾性係数低下比 r_2 と細粒分含有率の関係