

積層体の密度に対する容器形状の影響と補正式の提案

名城大学理工学部 正員 立石 哲郎、板橋 一雄
正員 石川 靖晃
学生員 ○蟹江伸次郎

1. 序論

粒状体としての土の力学的挙動を捉えるために、アルミ棒や鋼棒、アクリル棒を用いた積層体モデルの実験（土圧、支持力、せん断など）がよく行われる。土の力学的な挙動には、その密度が大きく影響することが指摘されているが、積層体モデルの実験では、各粒子の挙動を明確にするために比較的大きな径の棒が用いられている。その際には、積層体表面の凹凸によって正確な密度が得られない場合が想定される。そこで、径の異なる2種類の鋼棒を混合して、大きさの異なる容器に積層体を作製し、密度に対する積層体表面の凹凸の影響を明らかにし、それを補正する方法を考えたので、ここに報告する。

2. 用いた鋼棒と密度実験の方法

直径の異なる3種類の鋼棒（長さ約50mm）と内り長さが10cm角と15cm角の鋼製容器を用いた。それぞれ任意に選んだ50本の鋼棒の重量などの平均値と標準偏差が表-1に示してある。なお、最下欄には、平均的特性を持った同一の鋼棒が完全な俵積み状態になった場合の単位体積重量の理論値を示しており、7.03~7.05gf/cm³の値となっている。積層体は、太鋼棒と細鋼棒あるいは中鋼棒と細鋼棒を種々の混合割合で混ぜ合わせた材料を用い、少しずつ最密になるように突き固めて作製した。その際の混合割合は、全重量に対する細鋼棒の重量を細棒混合率Sと定義して、0, 5, 10, 20, 33, 50, 67, 80, 90, 95, 100%とした。なお、内り長さが10cm角の容器では、積層体高さを約3.5, 5.0, 10.0cm、内り長さが15cmの容器では、積層体高さを約10, 15cmとし、4~5種類の大きさの積層体について単位体積重量を実験的に求めた。

表-1 実験で使した鋼棒の特性値

		太鋼棒	中鋼棒	細鋼棒
重量 (gf)	平均値	6.226	2.755	0.789
	標準偏差	0.008	0.004	0.004
直径 (mm)	平均値	4.508	3.014	1.607
	標準偏差	0.003	0.007	0.004
長さ (mm)	平均値	50.17	49.84	50.16
	標準偏差	0.006	0.009	0.007
理論値(gf/cm ³)		7.051	7.028	7.032

3. 実験結果および考察

太鋼棒と細鋼棒を混合した場合について、5種類の大きさの積層体の単位体積重量 γ と細棒混合率Sとの関係を図-1に示してある。この図より、太鋼棒のみ（S=0%）あるいは細鋼棒のみ（S=100%）の単位体積重量が最も大きくなっており、径の異なる鋼棒が混ざってくると単位体積重量が急激に減少している。また、実験上の単位体積重量の最大値と言っても表-1に示した理論値の約96%しかなく、これは、鋼棒の直径が完全に同一ではないこと、積層体の表面の凹凸の影響が原因と考えられる。

最も偏平な大きさの積層体（高さ3.5cm×幅10.0cm、◇印）や高さ5.0cmの積層体（○印）の場合に着目すると、単位体積重量が小さくなるのは、S=5~10%お

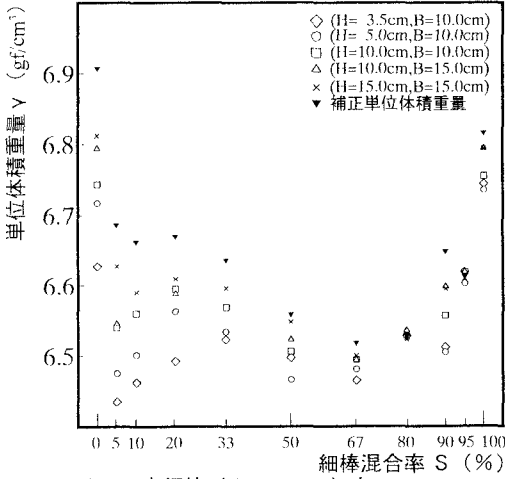


図-1 太鋼棒（φ≒4.5mm）と細鋼棒（φ≒1.6mm）の密度実験結果

よび50～67%となっており、従来から示されている結果^{1, 2)}とわずかに異なる結果を示している。

この原因としては、鋼棒の径が大きいために表面凹凸の影響が顕著に現れたことや二次元問題と三次元問題の相違などが考えられる。また、同一の細棒混合率で積層体の大きさに着目すると、多くの場合、積層体体積が大きくなるほど単位体積重量が大きくなることがわかる。

なお、以上の傾向は、中鋼棒と細鋼棒を混合した場合にも得られている。

4. 密度補正式の提案

前述したように積層体表面の凹凸がその単位体積重量に大きく影響している。そこで、その部分の間隙量を考慮する指標として、容器形状比を R ($1/\text{cm}$) = A/V で定義した。ここに、 V は積層体体積 (cm^3)、 A は積層体が容器に接している面積 (cm^2) を表している。この R の値は、積層体が小さく偏平なほど大きな値となる。逆に、積層体体積が大きくなれば、 R は小さくなる。そこで、図-2には R と γ の関係の二例を示した。わずかなばらつきはあるが、両者の場合とも直線的な関係が読み取れるので、図中には、直線の回帰分析結果も示してある。 $S=0\%$ の場合には、 R の減少とともに γ が増加し、理論値(約 $7.04\text{gf}/\text{cm}^3$)に近づいていくことがわかる。そこで、直線回帰式の $R=0$ に相当する回帰式の切片は、積層体体積に対して、その表面積が無視するほど小さい場合という意味で、補正単位体積重量という。また、図-2に示してある回帰式を密度補正式として提案する。なお、 $S=80\%$ の場合には、 R に関係なく γ はほぼ一定値を示している。これは、 γ と R の回帰直線が細棒混合率 S によっても変化することを示している。

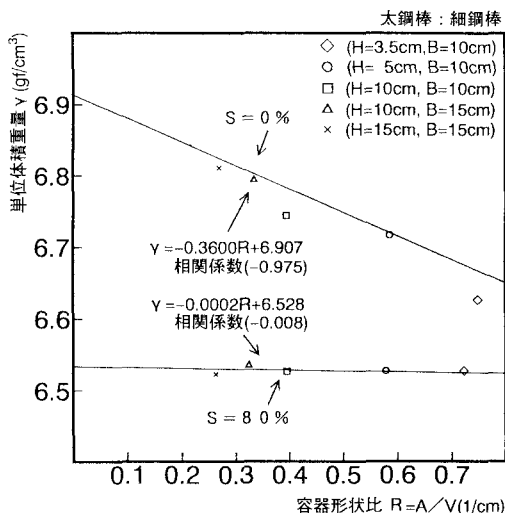


図-2 $S=0\%$ 、 80% のときの
 R と γ の関係図

その他の S についても同様の回帰分析を行い、補正した単位体積重量を図-1中に▼印で示した。多くの場合には、補正値は実測単位体積重量よりも大きくなっている。特に、 $S=0\sim20\%$ の間の補正値が大きく修正されており、補正した γ の最低値は $S=67\%$ のところのみで現れるようになる。

5. 結論

本研究では、直径の異なる二種類の鋼棒を種々の比率で混合し、大きさの異なる積層体を作製し、単位体積重量に対する表面の凹凸の影響を明らかにし、それを補正する方法を提案した。本研究で得られた結果を要約すれば、次のようになる。

- ①積層体の単位体積重量 γ は、細棒混合率 S によって変化する。
- ②積層体の単位体積重量 γ は、容器形状比 R によって変化する。
- ③積層体の単位体積重量 γ と容器形状比 R との線形関係を仮定し、積層体表面の凹凸を補正した単位体積重量を求める方法を示した。

最後に、実験の実施にあたり、平成6年度本学4年生の大脇忠雄君、野田松樹君、早瀬真男君の協力を得た。記して謝意を表する。

参考文献

- 1)久保輝一郎他編：粉体（理論と応用、改訂二版）、p. 341、丸善。
- 2)小田匡寛：講座；粒状体力学の現状とその応用、土と基礎、Vol. 26, No. 3, p. 63, 1978。