

京都大学大学院 学生員 ○建山 和由
 京都大学工学部 正 員 昌 昭治郎
 京都大学大学院 学生員 納多 勝

1. まえがき 一般に、盛土などの土工における締固め施工管理の方法としては、土の含水比と乾燥密度にたよってきた。しかし、これら締固められた土に対して最終的に要求されるものは強度や透水係数などの工学的性質であるため、これら工学的性質から締固め度を調べても適確な判定ができると考えられる。そこで以下では、前報に引き続き¹⁾地盤を掘削するときの掘削抵抗の大小を表わす指標である比掘削抵抗 R_s による締固め度の判定について研究をおこなったので報告する。

2. 土の締固め度と強度について 土を締固める場合、含水比により締固め効果は異なり、通常、上に凸の締固め曲線を呈する。しかし、強度が最大になる含水比は、乾燥密度が最大になる含水比（最適含水比 w_{opt} ）より少し低いといわれている。締固め施工は通常、最適含水比がそれぞれ少し高い含水比でおこなわれることが多いため、この領域では含水比が多少変動しても、強度と乾燥密度は一対一に対応することになる。（図-1参照）すなわち強度によっても地盤の締固め度を判定できると考えられる。現場において地盤の強度を測定する方法としては、平板載荷試験（ K 値）、コーン試験、塑性針の貫入試験などがあるが、締固め施工管理の方法である以上、簡単に測定でき、かつ、まき出し厚さが30 cm程度であることを考えるなら、比較的表면에近いところの土を対象にする必要がある。

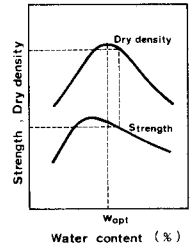


図-1 締固めの曲線

3. 比掘削抵抗 R_s について、比掘削抵抗 R_s は、地盤を掘削する場合、掘削のしやすさを表わす指標であり、原位置試験の一種である。方法は地盤に鉛直に薄板を貫入し、地表面を固定支点としてこれを転倒させ、このときの転倒抵抗を測定する。そして次式により比掘削抵抗 R_s を定義するものである。（図-2参照）

$$R_s = \frac{P \cdot l}{B \cdot Z^3} \quad \text{--- (1)}$$

R_s : 比掘削抵抗 (MN/m^3), Z : 測定板の貫入深さ (m)
 $P \cdot l$: 転倒モーメント ($\text{N} \cdot \text{m}$), B : 測定板の幅 (m)

実際にこの R_s の測定をおこなうと、測定板前面の土は板の幅より大きい範囲で掘り起こされるが、ここでは簡単のため図-2に示すように、測定板の幅 B 、円柱の $1/4$ の形の部分が掘り起こされると仮定する。そしてこの仮定のもとに、 R_s の値と乾燥密度との関係について考えてみる。

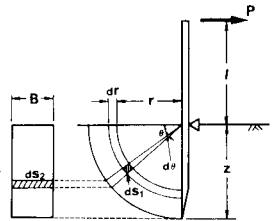


図-2 比掘削抵抗 R_s

まず、土のせん断抵抗 τ は、 $\tau = C + \sigma \tan \phi$ (C : 土の粘着力, ϕ : 内部摩擦角) で表わされるとし、地中の応力は静水圧的に分布するものとする。次に図-2の $1/4$ 円柱部分の両側部分にかかるモーメント M_1 を求める。微小部分 dS_1 にかかるせん断抵抗を側面全体にわたって積分することにより、土が板の転倒をさまたげようとする抵抗モーメントの総和を求めると(2)式のようになる。ただし γ は土の単位体積重量である。同様に、円弧曲面上の微小部分 dS_2 にかかるせん断抵抗より、この部分の抵抗モーメントを求めると、(3)式のようになる。よって土が測定板の転倒をさまたげようとする全抵抗モーメント M は(4)式のようになる。この M と測定板を転倒させようとするモーメント $P \cdot l$ とが等しいとき、(1)式より R_s を書き改めると(5)式のようになる。ここで土の状態を表わすものは

$$M_1 = \frac{\pi \cdot C}{6} Z^3 + \gamma \frac{Z^4}{4} \tan \phi \quad \text{--- (2)}$$

$$M_2 = \frac{\pi \cdot B \cdot C}{2} Z^2 + B \cdot \gamma \cdot Z^3 \tan \phi \quad \text{--- (3)}$$

$$M = 2M_1 + M_2 = \pi \cdot C \cdot Z^2 \left(\frac{Z}{3} + \frac{B}{2} \right) + \gamma \cdot Z^3 \left(\frac{Z}{2} + B \right) \tan \phi \quad \text{--- (4)}$$

ここで土の状態を表わすものは

$$R_s = \pi \cdot c \left(\frac{1}{3B} + \frac{1}{2Z} \right) + \gamma \left(\frac{Z}{2B} + 1 \right) \tan \phi \quad \text{--- (5)}$$

この中であるが、砂質土を対象とする場合には、 ϕ の影響が大

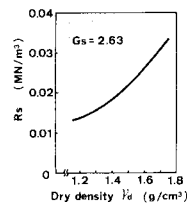


図-3 $R_s \sim \gamma_d$ (計算)

である。この ϕ と土のつまり具合についての研究は古くからおこなわれているが、最上によると(6)式が成り立つ。ただしこの式は、応力条件などに制約を受けるが、(強度) $\times$ (間

$$\sin \phi = k_e / (1 + e) \quad \text{--- (6)}$$

げきの大きさ) = (一定)²⁾という意味からこの式を用い

(k_e : 定数, e : 土の間げき比) さらに、 $\gamma_d = G_s / (1 + e)$ という関係より(5)式の ϕ を

$$R_s = \pi \cdot c \left(\frac{1}{3B} + \frac{1}{2Z} \right) + \frac{100 + w}{100} \frac{k_e \cdot \gamma_d}{\sqrt{(G_s / \gamma_d)^2 - k_e^2}} \left(\frac{Z}{2B} + 1 \right) \quad \text{--- (7)}$$

ついて、粘着力 c による影響を除いて R_s と γ_d との関

係を計算すると図-3のようになる。この計算結果より判断すると、 γ_d の増加とともに R_s の値も増加している。速度が高くなり地盤が固くなると掘削しにくくなるので、この結果は当然と考えられる。

4. 実験による検証、次に実験をおこない、 R_s の値が土の締固め具合によりどのような影響を受けるかを調べた。実験装置としては、300×200×150 mmの箱の一端に測定板をヒンジ

で取り付けたものを用い、この中に種々の締固め具合の土を入れ、 R_s を測定した。実験で用いた試料は、混合土(比重2.64)と豊浦標準砂(比重2.63)で、その粒度分布は図-4のようである。また実験では、これらの土の含水比を5~6通りに変えて実験をおこなった。なお、試料土の締固めには、ランマを用いた。

図-4 試料土の粒度分布

この実験の結果を示すと図-5のようになる。(a)は混合土、(b)は標準砂に対する実験結果である。明らかに R_s と γ_d との関係は計算の結果と同じような傾向を示し、土が締固まり γ_d が大きくなると R_s の値も大きくなっている。この結果からも、 R_s 測定により地盤の締固め度を判定することは可能と考えられる。ただし、同じ γ_d に対する R_s の値を実験結果と計算結果で比べると、実験結果の方がかなり大きい。これは計算では簡単な ϕ の粘着力の影響を無視していること、間げき比と ϕ の関係を(6)式で簡単に表わ

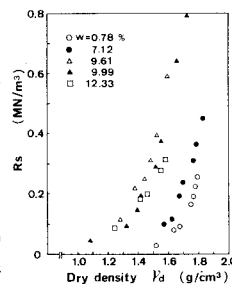
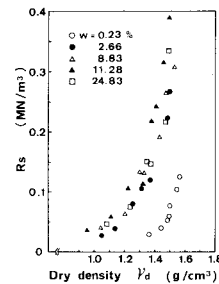


図-5(a) $R_s \sim \gamma_d$ (混合土)



(b) $R_s \sim \gamma_d$ (標準砂)

しすぎたこと、ならびに測定板により破壊される土の領域を単純化しすぎたことによるものと考えられる。図-5(a)、(b)の両結果とも含水比により R_s と γ_d との関係は異なっている。そこで、図-5(a)、(b)より、ある γ_d に対する R_s の値が含水比によりどのように変わるかを調べると図-6のようになる。混合土では、 $w = 9\%$ 、標準砂では、 $w = 12\%$ 付近で R_s の値はピークを示している。これは、乾燥状態からしだいに含水比が増加してくるに従い、土粒子間の結合力が強まり粘着力が大きくなるためであり、そしてある程度以上、水が多くなり間げきが飽和されてしまうと、かえって土粒子間の結合が弱まり強度が低下するためと考えられる。

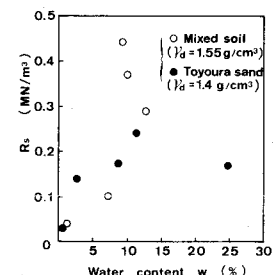


図-6 $R_s \sim w$ ($\gamma_d = \text{一定}$)

このように同じ間げき比を有する土であっても含水状態により R_s の値は異なり、 R_s 測定により施工管理をおこなう場合には、含水比の測定をより綿密におこなわなければならない。しかし見方を変えれば、含水比と乾燥密度で施工管理をおこなう場合には、乾燥密度は施工基準を満たしていても含水比の微量な変化あるいは、締固め後の吸水により含水比が変化し、強度が低下していることも考えられる。特に、含水比の高い細粒土の締固めでは、過乾圧現象が生じる可能性もあり、このような意味からも常時、 R_s 測定などの現位置での強度試験により施工管理をおこなうことが望ましいのではないかと考えられる。(参考文献、1)島昭治郎他:比掘削抵抗 R_s による締固め効果の判定、土木学会関西支部講演集 昭和57年、2)諸戸靖史:砂の内部摩擦角、土と基礎 1981年4月号)