

山口大学大学院 学生会員 ○大谷直毅  
 基礎地盤コンサルタンツ 正会員 野村英雄  
 山口大学大学院 学生会員 杉村尚樹  
 山口大学大学院 国際会員 鈴木素之

## 1. はじめに

近年、全国各地で相次ぐ地震や、激化する豪雨のような異常気象による災害が多発している。それらの中には盛土構造物が崩壊した事例も見られる。これは、想定した地震動レベルや降水量が、既設盛土の設計基準を上回った可能性が考えられる。そこで、既設盛土崩壊の対策として、盛土の状態を調べて既存不適格の盛土を把握する必要がある。しかし施工時の資料の存在も怪しい既設盛土に対しては外部観察から内部状態を把握することは難しく、また、数が膨大であるため詳細な調査を行うことも現実的ではない。このため盛土の内部状態を簡易に調べ、その品質を評価できる方法が必要である。そこで筆者らは現地で簡易に実施できる方法として簡易動的コーン貫入試験に着目し、これによる盛土の品質評価方法を検討している。

盛土の品質は主に基礎地盤、盛土材料、施工、排水などにより決まるが、そのうち盛土の力学特性は締固め度に大きく影響する。本研究ではこのことに着目し、既設盛土の締固め度の評価方法を提案することを目的としている。

## 2. 土試料および実験方法

### 2.1 用いた土試料の物理特性と実験方法

今回、土槽実験に用いた土試料は山口県宇部市で採取したまさ土を10mmふるいで粒度調整したものを用いた。試料の物理特性は、土粒子密度  $\rho_s=2.620\text{g/cm}^3$ 、細粒分含有率  $F_c=13.1\%$  で、土質分類でSF-G(細粒分まじり礫質砂)であり、盛土材として適している。

### 2.2 室内大型締固め土槽を用いた実験方法

実験は、図-1に示す幅50cm×奥行50cm×高さ100cmの室内大型締固め土槽を用いて行う。含水比調整をした試料に対して締固めを行い、大型供試土層を作製した。締固め方法は、大型ペロフラムシリンダーを用いる静的締固めと、電動ランマーを用いる動的締固めの2種類で行った。供試土層の作製後、想定深さに対応する上載圧を载荷した条件で簡易動的コーン貫入試験を行った。

## 3. 低いエネルギーで締固めた土の貫入抵抗特性

载荷板により土層表面から荷重を与えた状態での貫入試験を行い、上載圧依存性と飽和度が貫入抵抗値  $N_d$  に与える影響を調べた。本研究では土層厚が薄いことから、貫入試験における各打撃時の貫入量を測定して、1回の貫入量を10cmに換算することから求めた打撃数を  $N_d$  値として定義した。測定結果の整理は、各層毎に  $N_d$  値を平均した値を平均  $N_d$  値と定義して行った。なお、平均  $N_d$  値を求める際には、各層の境界を通るデータは除外している。今回実験で作製した土槽から採取した試料

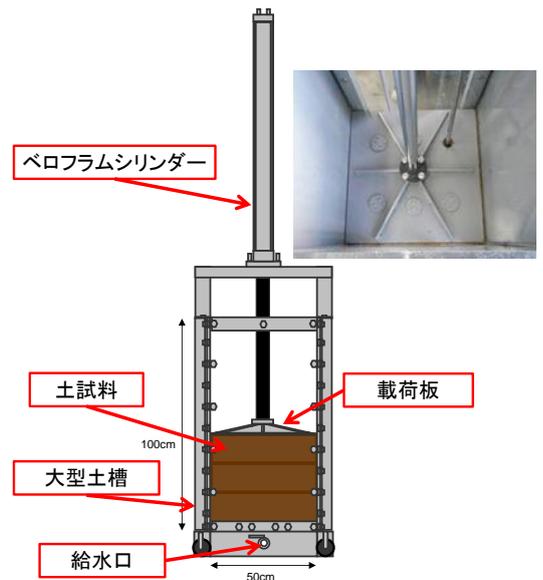


図-1 室内大型土槽を用いた実験

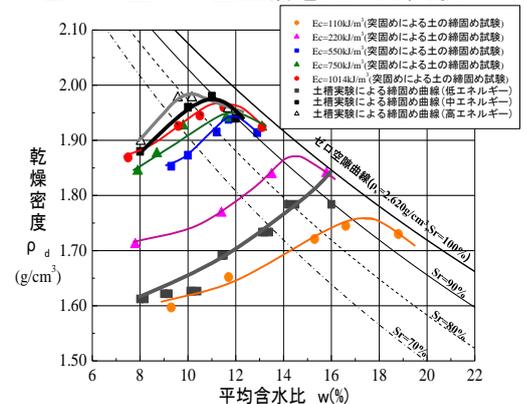


図-2 締固め曲線

を用いて、土槽実験での静的締固めエネルギーを従来の突固めによる締固めエネルギーと比較した。図-2に土槽による静的締固めでの締固め曲線と、突固めによる締固め試験(JIS A 1210)によって得られた締固め曲線を示す。同図より、乾燥密度  $\rho_d$  を比較すると、土槽による静的締固めでの締固めエネルギーは約 110~220kN/m<sup>2</sup> に相当すると考えられ、低い締固めエネルギーで築造された盛土対応することが分かる。

上載圧  $\sigma_v$  の影響を検討するため、実験ケースとして、土層の設定含水比を 8.2~17.3% の 6 通り、上載圧を 0~200 kN/m<sup>2</sup> の 5 通りの計 30 ケースの実験を行なった。

図-3に締固め度  $D_c$  と平均  $N_d'$  値の関係を示すが、静的で低いエネルギーにより締固めたまき土の場合、締固め度と平均  $N_d'$  値の関係は正比例しない。これは、乾燥密度の増加に伴う強度増加よりも、飽和度の増加に伴う強度低下がまさっているためと考えられる

#### 4. 標準的なエネルギー～高いエネルギーで締固めた土の貫入抵抗特性

電動ランマーを用いた動的な締固めエネルギーは、約 1200~2400kJ/m<sup>3</sup> である。一般的な道路盛土の路体における締固めエネルギーは 500~1000kJ/m<sup>3</sup> であることを考慮すると、本実験は標準から高いエネルギーで締固められた盛土に相当すると考えられる。

上載圧の影響の検討を行うため、設定含水比、上載圧を変えて実験を行なった。また、原位置において実際に作用する土圧を確認するために土層中央の 4 層目と 5 層目の間に土圧計を埋設して実験を行なった。現場における標準的なエネルギーと考えられる 1200kJ/m<sup>3</sup> の締固めエネルギーで作成した土層における  $N_d'$  の典型的な深度分布図を図-4 に示す。 $N_d'$  値は低いエネルギーの場合と同様に上載圧の増加に伴って上昇する傾向が見られる。

また、高いエネルギーである 2400kJ/m<sup>3</sup> の締固めエネルギーで作成した土層における  $N_d'$  の典型的な深度分布図を図-5 に示す。この場合も低いエネルギーや標準的なエネルギーと同様に  $N_d'$  値は上載圧の増加に伴って上昇する傾向が見られる。図中の凡例にはベロフラムシリンダーで与えた上載圧と計測土圧を示している。ベロフラムシリンダーと載荷板により土層表面に与えた上載圧と土層の中央深度に埋設した土圧計が示す上載圧とは大きく異なる結果となった。これは、高い締固めエネルギーで締固めた結果、供試土層と土槽側壁との周面摩擦力が高くなったため、土層の下層部ほど上載圧が伝播しづらくなったためと考えられる。そこで、上載圧の整理は土圧計の値を用いて行った。図-6に高い締固めエネルギーでの第 5 層目の実験結果における  $\sigma_v$  と平均  $N_d'$  値の関係を示す。同図より、上載圧の増加に伴い  $N_d'$  値は増加して

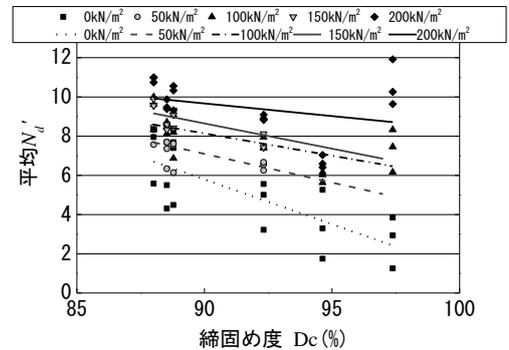


図-3 締固め度と貫入抵抗値の関係

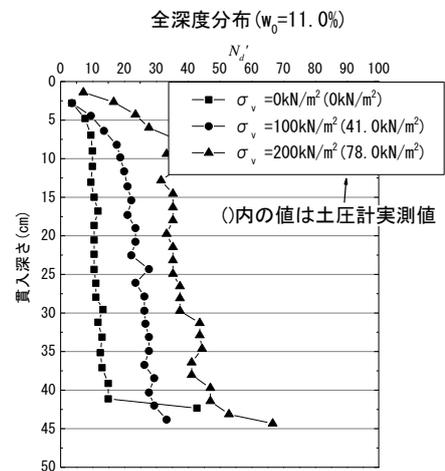


図-4  $N_d'$  の深度分布(標準的なエネルギーによる締固め)

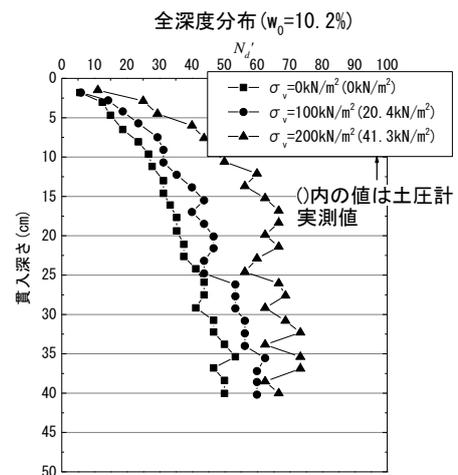


図-5  $N_d'$  の深度分布(高いエネルギーによる締固め)

いるが、増加勾配は  $D_c$  によって異なることがわかる。図-7、図-8 に標準的なエネルギーと高いエネルギーの場合の  $D_c$  と平均  $N_d'$  値の関係を示す。なお、一部の実験結果では、高い上載圧における平均  $N_d'$  値が得られていないものもあるため、平均  $N_d'$  値と上載圧の関係を直線近似し、外挿法によりデータ補正を行い結果の整理を行なった。同図より、標準～高いエネルギーで締め固めたまき土は Dry 側では  $D_c$  の増加とともに平均  $N_d'$  値も増加するが、 $D_c=100\%$  付近から強度特性が急激に変化することが伺える。図-6 には  $D_c$  の増加に伴う Dry 側から Wet 側へ移行と増加勾配の変化を示したが、土圧に対する平均  $N_d'$  値増加勾配はせん断強さの拘束圧依存性を示すことから内部摩擦角に相当すると考えられることから、内部摩擦角が  $D_c$  によって大きく変化すると考察できる。

また、貫入抵抗値より締め固め度の最低値を推定することが可能であると考えられる。すなわち、図-7 より、締め固めエネルギー  $E_c=1200\text{kJ/m}^3$  で締め固めた盛土において、有効上載圧  $50\text{kN/m}^2$  以上で平均  $N_d'$  値が 20 以上を得られていれば、その盛土の締め固め度は湿潤側でも 95% 以上であると推定できる。また、 $E_c=2400\text{kJ/m}^3$  で締め固めた盛土においては平均  $N_d'$  値が 30 以上を得られていれば、締め固め度は 96% 以上であると推定できる。

## 5. 結論

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 締め固めエネルギーが低い締め固め土は、飽和度の増加による強度低下の影響を受けるため、締め固め度と平均  $N_d'$  値の関係は正比例しない。
- (2) 標準～高いエネルギーで締め固めたまき土は締め固め度 100% 付近の狭い領域で急激に強度が変化する。また、その変化は Dry 側と Wet 側で大きく異なり、Dry 側で強度が急増し、Wet 側では強度が急減する。標準～高い締め固めエネルギーで締め固めた土において貫入抵抗値より締め固め度の最低値を推定することができる関係図を作成することができた。

現場で実施した簡易動的コーン貫入試験結果に本研究の結果を適用することにより、既設盛土の締め固め度の最低値を算出することが可能となった。なお、貫入抵抗値の変化から、盛土中の地下水位や締め固め不良箇所の抽出することも可能であると考えられる。

謝辞：本研究は公益財団法人鹿島学術振興財団研究助成金によって実施されたものである。ここに記して、関係各位に謝意を申し上げます。

[参考文献] 野村英雄, 今岡洋輔, 杉下裕輔, 鈴木素之: 既設盛土法面の安定性評価を目的とした大型土槽によるコーン貫入試験, 斜面・のり面の維持管理と防災マネジメントに関するシンポジウム, 地盤工学会, pp.25-30, 2011年11月.

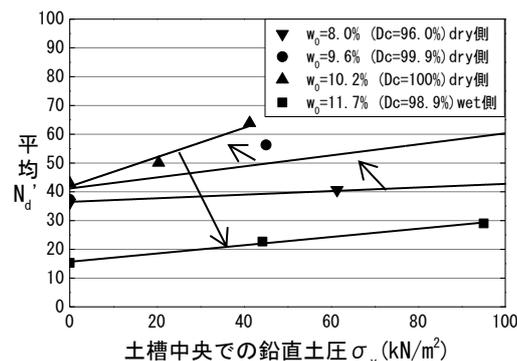


図-6 上載圧と平均  $N_d'$  値の関係(高いエネルギーによる締め固め)

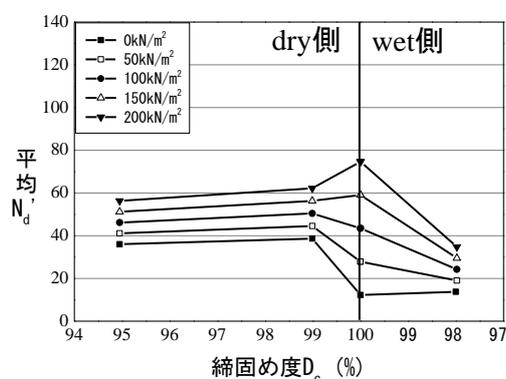


図-7 締め固め度と平均  $N_d'$  値の関係(標準的なエネルギーによって締め固めた土の場合)

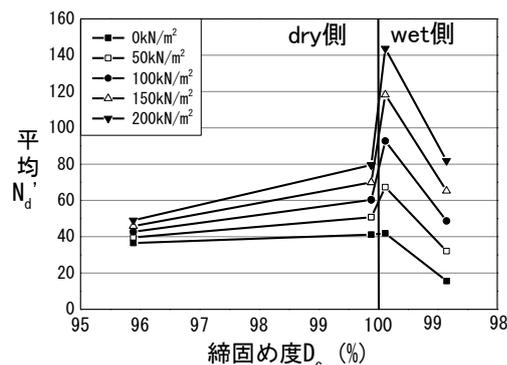


図-8 締め固め度と平均  $N_d'$  値の関係(高いエネルギーによって締め固めた土の場合)