

礫質土の締固め特性と現場密度管理に関する考察

名古屋大学 工学部 学生員 ○李 弘揆
 同 正会員 大東憲二
 同 正会員 植下 協

1. まえがき

著者らは、これまで礫質土の締固め特性を等乾燥密度線図（締固めエネルギー—含水比—乾燥密度の関係図）によって表すことを提案してきた¹⁾。本報告では、この等乾燥密度線図を利用して、室内締固め試験から現場での必要な転圧回数を推定する方法について検討している。また、現場における締固め密度のばらつきを考慮して、締固め基準値をほぼ満足する必要転圧回数をどのように決めればよいかについても検討している。

2. 試料と試験

今回の研究に用いた礫質土は、宅地造成および工業団地造成工事現場から採集した土岐砂礫層の盛土材料である。室内での試験試料(L1, L2)およびそれらの現場盛土材料(F1, F2)の粒度分布を図-1に示す。室内での試験試料は最大粒径25.4mmのせん頭粒度試料に調整した後、15cmモールドを用いた非乾燥・非繰り返し法による締固め試験を実施した。ここでは、突固めによる土の締固め試験(JSF T 711-1990)のD-c法(15cmモールド、ランマ重量4.5kgf、落下高45cm、5層、55回/層)の締固めエネルギーの40、60、80、100%となるようにランマの落下回数を調整した。これらの試験から得られた締固め曲線を図-2(a), (b)に示す。また、これらの締固め曲線群に基づいて描いた等乾燥密度線図を図-3(a), (b)に示す。

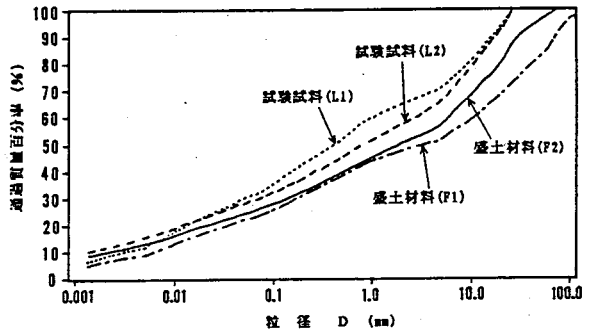


図-1 現場Aと現場Bの盛土材料および室内試験試料の粒度分布

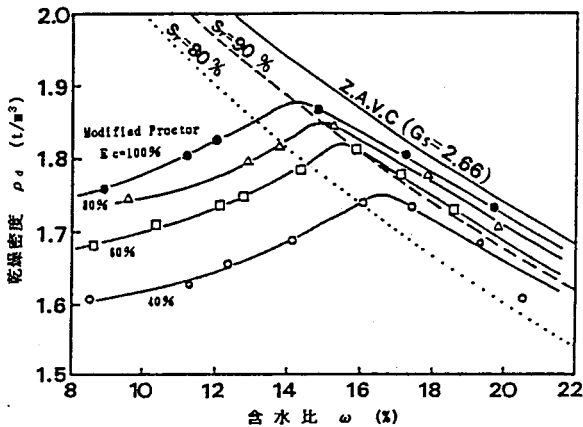


図-2 (a) 現場Aの試験試料(L1)の締固め曲線

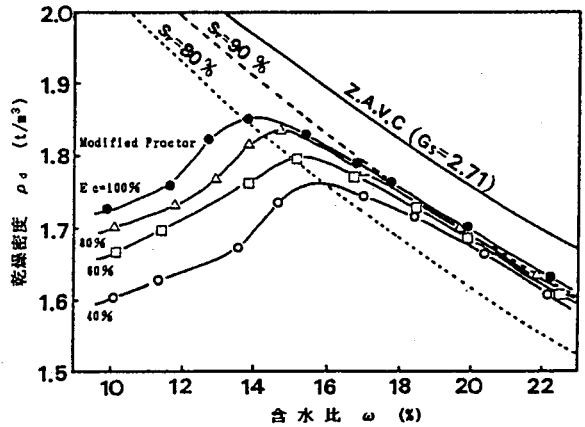


図-2 (b) 現場Bの試験試料(L2)の締固め曲線

3. 室内締固めエネルギーと現場締固めエネルギーとの関係

一般に、室内試験において締固めエネルギーを変化させた場合、締固めエネルギーと締固め密度との間に双曲線近似が成り立ち、現場締固めにおいても同様であることがわかっている²⁾。現場締固めにおいて、締固め乾燥密度に影響を及ぼす要因となる事項は、現場の土質、締固め時の含水比、撒出し厚さ、締固め用重機の機種、締固め用重機の走行速度、転圧回数などが挙げられるが、ここでは、等乾燥密度線図と実際の盛土施工現場で実施された現場転圧試験結果を参考にして、室内締固め試験時の締固めエネルギーと施工現場で用いられる締固め用重機（ブルドーザ、振動ローラ等）の締固めエネルギーとの対応を明らかにすることを目的とする。現場締固めエネルギーの指標には、現場での撒出し厚さの違いによる転圧回数の評価を統一するために（転圧回数/撒出し厚さ）の値を用いた。まず、図-3(a),(b)に示したように、現場の平均的な粒度の試料を用いて作成した等乾燥密度線図上に現場転圧試験での含水比と乾燥密度の測定値をプロットした。そして、それらのプロットに対応する室内試験の締固めエネルギーを読み取り、読み取った室内締固めエネルギーと（転圧回数/撒出し厚さ）の値との関係を転圧機械別に図-4(a),(b)のように整理した。図-3(a),(b)と図-4(a),(b)のような資料により、締固め用重機の種類、現場の含水比と目標とする乾燥密度が決まれば、撒出し厚さごとの転圧回数を室内試験から推定できることとなる。

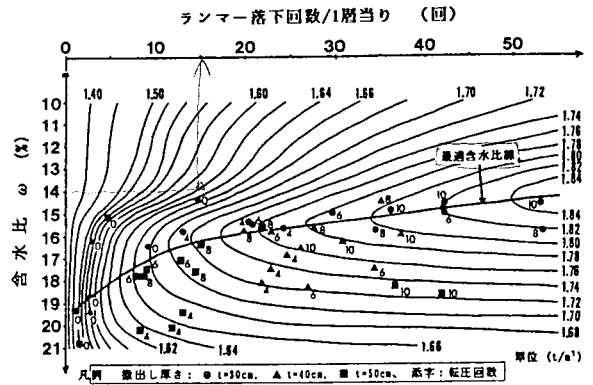


図-3(a) 現場Aにおける現場転圧試験結果を記入した等乾燥密度線図

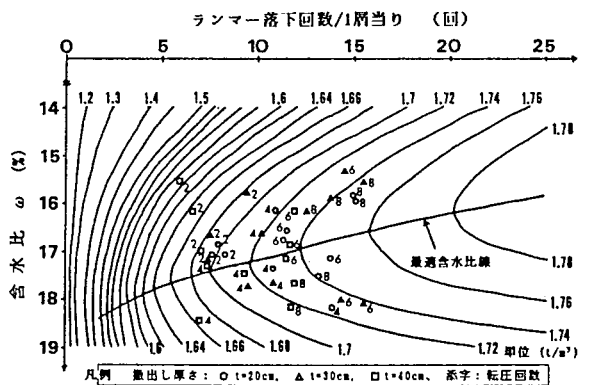


図-3(b) 現場Bにおける現場転圧試験結果を記入した等乾燥密度線図

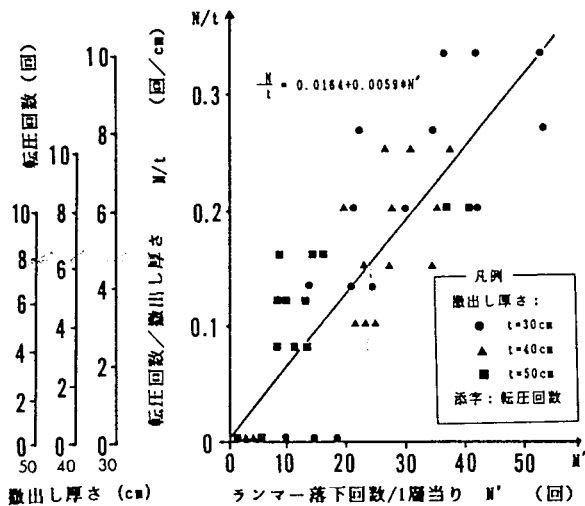


図-4(a) 12.1ton 振動ローラを用いた現場Aにおける室内締固め試験と現場転圧試験との関係

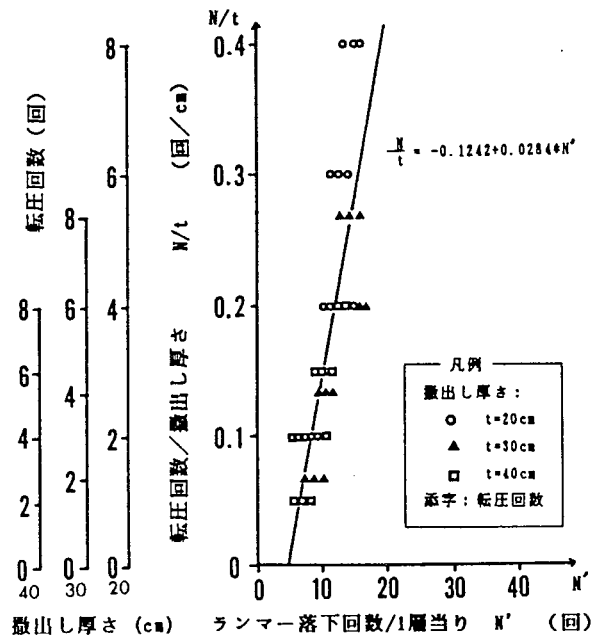


図-4(b) 21ton 湿地ブルドーザを用いた現場Bにおける室内締固め試験と現場転圧試験との関係

一方、図-3(a),(b)に示した最適含水比線より湿潤側では、乾燥密度を無理に増加させようとして過転圧を起こす危険がある。よって、最適含水比線より湿潤側では飽和度を考慮した締固め施工管理をする必要がある。図-5(a),(b)には、これらの試料に対する等飽和度線図を示した。自然含水比が最適含水比線よりも高い場合には、この等飽和度線図を用いて、飽和度85~95%程度の締固めエネルギーにとどめるべきであるが、その締固めで土のせん断抵抗力や変形等の力学的性質が基準を満足しない場合には、現場含水比を下げるか、土質改良をしなければならない。上記の飽和度範囲で土の力学的性質が基準を満足する場合には、図-5(a),(b)と図-4(a),(b)を利用して現場における撒出し厚さと転圧回数を室内試験から推定することができる。

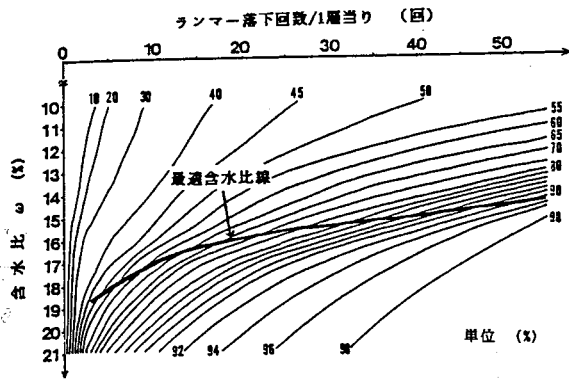


図-5(a) 現場Aにおける等飽和度線図

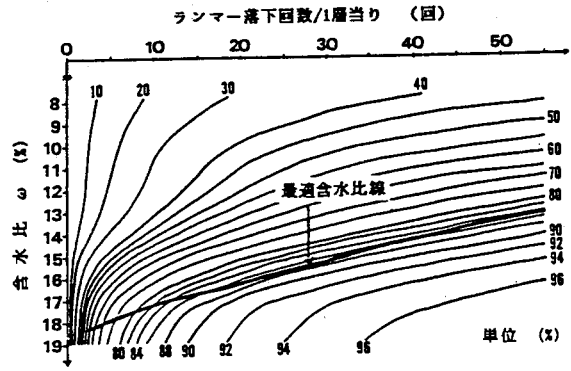


図-5(b) 現場Bにおける等飽和度線図

4. 現場転圧試験による最適転圧計画の選定

現場密度試験においては、同じ機種種の締固め用重機を用いて、同じ転圧回数で締固めたとしても、測定される乾燥密度は、試料土の土質や含水比、締固め条件の微妙な違いによってばらつきしている。このようなばらつきに対して、実際の施工管理において以下のように考慮することを提案する。

同一現場の盛土について行ったn個の密度測定値 $\rho_{d1}, \rho_{d2}, \dots, \rho_{dn}$ は、転圧回数との間に双曲線近似法が適用できるとして、全測定値を用いて求めた密度-転圧回数曲線 (ρ_d 曲線) を図-6(a)~(c)に示した。この双曲線近似法による締固め平均乾燥密度 $\bar{\rho}_d$ に対する現場転圧試験から得られた乾燥密度 ρ_{dn} の標準偏差 σ は、

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\rho_{dn} - \bar{\rho}_d)^2}{n}}$$

で求められる。締固め密度のばらつきが正規分布に近いものであれば、締固め密度が $\bar{\rho}_d - \sigma$ より低い締固め密度となる確率は15.9%、 $\bar{\rho}_d - 2\sigma$ より低い密度となる確率は2.3%、さらに $\bar{\rho}_d - 3\sigma$ より低い密度の確

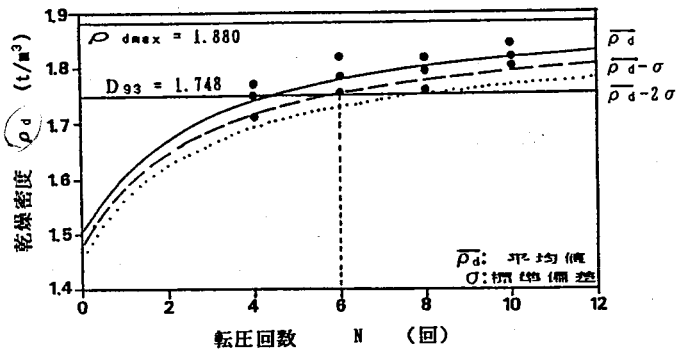


図-6(a) 現場Aにおける測定密度のばらつきを考慮した密度-転圧回数曲線 (撒出し厚さ t=30cm)

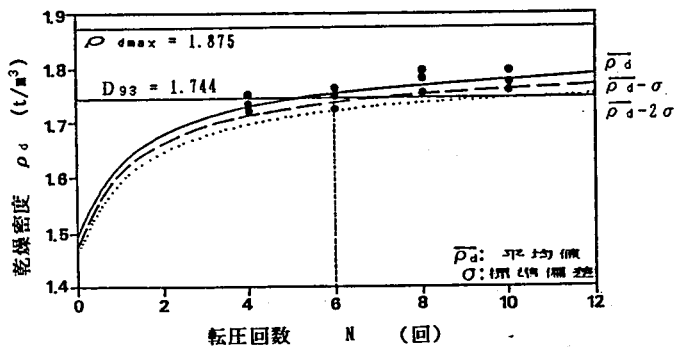


図-6(b) 現場Aにおける測定密度のばらつきを考慮した密度-転圧回数曲線 (撒出し厚さ t=40cm)

率は 0.1%程度と推定できる。現場 A での盛土試験の結果に対する $\overline{\rho_d}$, $\overline{\rho_d}-\sigma$, $\overline{\rho_d}-2\sigma$ の密度-転圧回数曲線も図-6(a)~(c)に示した。

室内試験に基づいて設計された造成地の斜面の安定性と圧密沈下特性を勘案し、この現場では突固めによる土の締固め試験 (JSF T 711-1990) の D-c 法による ρ_{dmax} の 93% が現場施工に対し要求された。図-6(a)~(c)からこの場合の必要転圧回数を調べてみると、撒出し厚さ 30, 40, 50cm 対し、 $\overline{\rho_d}-\sigma$ の締固め乾燥密度を ρ_{dmax} の 93% 以上とするには、転圧回数がそれぞれ 6, 8, 12 回である。 $\overline{\rho_d}-\sigma$ で D 値 93% を満足させる方法としては、6 回/30cm、8 回/40cm、12 回/50cm の中で 40cm の撒出し厚さがもっとも経済的に有利であることがわかる。また、 $\overline{\rho_d}-2\sigma$ の締固め乾燥密度を ρ_{dmax} の 93% 以上とするには、それぞれの転圧回数が 8, 10, 16 回必要である。 $\overline{\rho_d}-2\sigma$ で D 値 93% を満足させる方法としては、8 回/30cm、10 回/40cm、16 回/50cm の中で 40cm の撒出し厚さがもっとも経済的に有利であることがわかる。

以上のように、図-6(a)~(c)に示された標準偏差 σ を考慮した密度-転圧回数曲線を用いることによって、現場におけるばらつきと経済性を考慮に入れた転圧計画を決めることができる。

5. 結論

本研究では、等乾燥密度線図を利用して、室内締固め試験結果と現場転圧試験結果を対応させ、室内の締固め特性から現場の締固め特性を推定する方法を示した。また、盛土試験における測定密度のばらつきを考慮した締固め用重機の転圧回数と撒出し厚さの決定方法についても検討した。その結果は次のように要約される。

- 1) 現場の平均的な粒度分布を持つ等乾燥密度線図を使用することによって、締固め用重機の種類、現場の含水比と目標とする乾燥密度が決まれば、現場での撒出し厚さと転圧回数を推定することができる。一方、等乾燥密度線図の最適含水比線より湿潤側では、その締固め結果が力学的に満足し得る場合は、飽和度を締固めエネルギーの指標として、現場での撒出し厚さと転圧回数を推定することができる。
- 2) 現場転圧試験結果のばらつきに対しては、その標準偏差を考慮した乾燥密度-転圧回数曲線を用いることにより、現場におけるばらつきと経済性を考慮した現場転圧計画を決め得ることがわかった。

参考文献

- 1) 大東憲二、李 弘揆、植下 協：粗粒材料を含む盛土の施工管理に関する考察、粗粒材料の現場締固めの評価に関するシンポジウム発表論文集、土質工学会、pp.101~106、1990。
- 2) K. Tanimoto: On compaction of soil by surface vibration load, Memoirs of the Faculty of Eng., Kobe Univ., No. 7, pp.37-71, 1960.

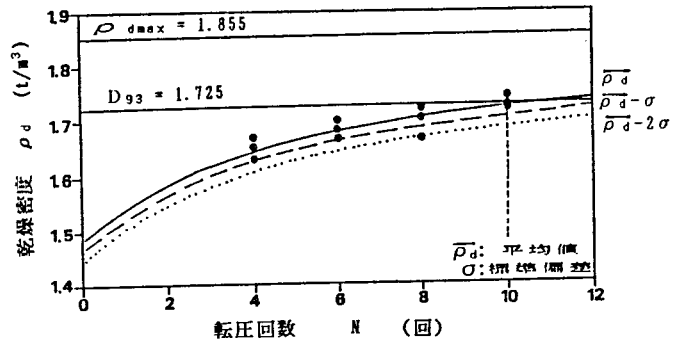


図-6(c) 現場 A における測定密度のばらつきを考慮した密度-転圧回数曲線 (撒出し厚さ $t=50\text{cm}$)