

# 砂の相対密度の実際工事への適用に関する検討

平 間 邦 興      森 田      伸

## Studies on Application of Relative Density of Sand to Practical Construction

Kunioki Hirama      Shin Morita

### Abstract

As knowledge about the relative density of sand has become more common, the situation has been that the frequency of utilization in actual work has increased at an extremely rapid rate. Especially, in case of utilizing relative density in connection with actual work, for example, even when explaining to someone not familiar about soil, if relative density is used concerning the condition of compaction of sandy ground and liquefaction properties, there will be cases when the sensory comprehension of that person will be quick, and it may be said to be an index which is effective for practical purposes.

However, even with relative density being so useful, when the many varieties of actual natural soil deposits are considered, it is thought there will be a great problem especially in the scope of application of sample soils. These problems are pointed out, and along with suggesting countermeasures, the results of a number of studies are given.

### 概 要

砂の相対密度に関する認識が普及するにしたがって、実際工事への適用の面からも利用頻度は急激に増えてきているのが実情である。特に、実際の工事に関連して相対密度を利用する場合、例えば土の詳細な性状に詳しくない人を対象としても、砂質地盤の締まり具合や液状化性状などについて説明する際に相対密度を使えば、相手の感覚的理解の早い場合が多く、実用的に有効な指数の一つであると言えよう。

しかし、このように有用な相対密度についても、数多くの実際の自然地盤を対象とした場合には、試験法そのものと関連して、特に試料土の適用範囲に大きな問題があると考えている。この報文では、これらの問題点を指摘するとともに、その対応を含めて2、3の検討結果の概要を示したい。

### 1. まえがき

砂の相対密度とは、当然のことながら砂の間隙比の絶対値を示すものではなく、その砂の締まり具合が最も密な状態と、最も緩い状態の間どの程度に位置するのかを示すものであり、次式によって求めることができる。

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} = \frac{1/\rho_{d \min} - 1/\rho_d}{1/\rho_{d \min} - 1/\rho_{d \max}} \\ = \frac{\rho_{d \max} (\rho_d - \rho_{d \min})}{\rho_d (\rho_{d \max} - \rho_{d \min})} \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに、  $D_r$ : 相対密度

$e$ : 試料の間隙比

$\rho_d$ : 試料の乾燥密度

$e_{\max}$ : 最小密度試験による試料の間隙比

$e_{\min}$ : 最大密度試験による試料の間隙比

$\rho_{d \max}$ : 最大密度試験による試料の乾燥密度

$\rho_{d \min}$ : 最小密度試験による試料の乾燥密度

相対密度を使用することの大きな利点は、力学的諸特性を相対密度の同じ条件と比較すると、砂の種類によらず、相対密度と力学的特性との間に定量的な関係が見いだし得ることにあるとされている<sup>1)</sup>。しかし、これまで主として、それが実験室的な研究に適用され、データ集積に努力が傾けられてきた期間といえよう。

ところで、相対密度の有用性が認識されるにしたがって、実用面からの利用頻度も急激に増えてきつつあるのが実情である。筆者らについていえば、その殆んどが地盤の液状化検討に関連するものであり、自然地盤の締まり具合の把握、液状化試験に関するパラメータ、地盤改良後の効果確認などに利用している。

しかし、このように有用な相対密度についても、実際の工事に関連して数多くの自然の砂質地盤を対象とした場合には、筆者らの経験からも試験法そのものと関連して、特に試料土の適用範囲に大きな問題があると考えている。この報文では、これらの問題点を指摘するとともに、その対応を含めて2, 3の私見を示したい。

地名	地点数
宮城県	1
新潟県	1
千葉県	2
東京都	2
神奈川県	2
静岡県	2
愛知県	2
大阪府	1
三重県	1
山口県	1
長崎県	1
計	16

表-1 データの対象地点

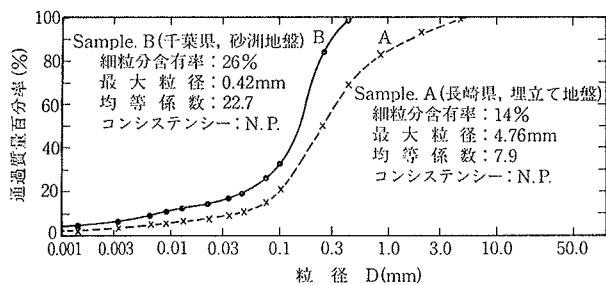


図-1 試験対象となる試料土の例

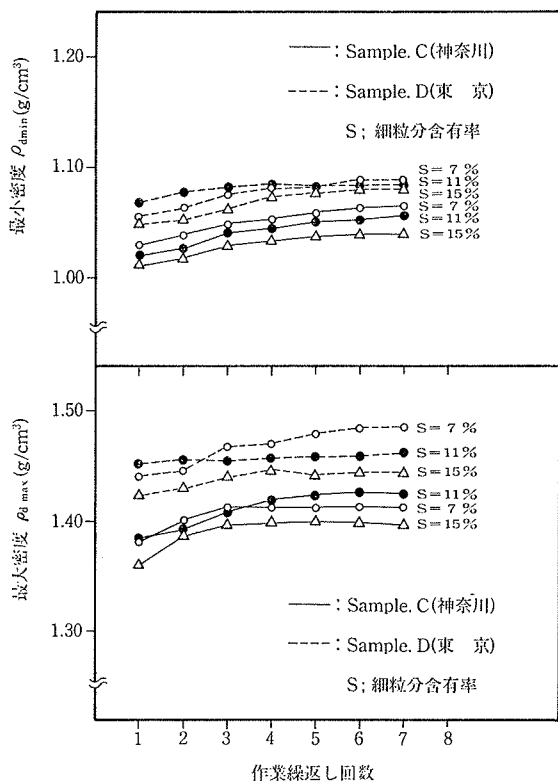


図-2 最小密度と最大密度の変化

この報文で扱う一連のデータは、実際の工事に関連した土質調査の一環として得られたものである。ただし試験は“砂の最大密度・最小密度試験”（土質試験法、第2回改訂版：土質工学会）によって実施した。検討に使用したデータの対象地点を一括して示したのが、表-1である。

## 2. 試料土の適用範囲についての検討

上記の試験基準によれば“適用できる砂は細粒分5%以下、最大粒径2,000 μm未満のもの”と示されているが<sup>2)</sup>、相対密度の適用対象となりやすい自然の砂質地盤の土はこの範囲を大幅に超えるものが多く、相対密度の有用性を確保するためには、何らかの対応が不可欠となる。

一般に検討対象となるような試料土の例を示したのが図-1である。Sample Aは最大粒径の大きい例でありSample Bは細粒分の多い例である。一般には細粒分が多くて上記の適用範囲を大きく超える場合が多い。特にSample B程度の地盤では、相対密度測定を要求される場合が普通であり、室内試験によっても液状化は生じる。ちなみにSample Bの該当地点では液状化対策工が実施された。

ここで、細粒分の多い土では、最大・最小密度が不安定であるという指摘がある<sup>3)</sup>。このような場合、実際の工事では扱う多くがボーリング試料のため、その量が比較的少ないことから、筆者らは次のような試料調整法を提案し、試みている<sup>4)</sup>。

まず試料を煮沸することによって物理的な粒子間結合に対する分散を図り<sup>5)</sup>、これを乾燥する。この際の団粒化をほぐすため、デシケータ内で冷やした試料を十分にスプーンで攪拌した後、420 μmおよび74 μmの電動フルイにかけ、通過分および残留分をそれぞれの容器に移して質量を測定する。これを再び混合し、攪拌してほぐした後フルイにかけて、通過質量が安定するまでこの作業を繰り返す。この作業過程における最大密度・最小密度の測定例を示したのが図-2であるが、実用的には概ね4回程度で安定すると考えている。ここで420 μmおよび74 μmフルイを使用したのは、前者が“物理試験の試料調整”に使用されるフルイであること、後者は細粒分の質量測定のためであることにほかならない。

ここで前掲の表-1の地点から得られたすべてのデータについて、相対密度と細粒分含有率とを対応して示したのが図-3である。まず前述のように、自然地盤では細粒分5%を超える土がいかにか多いか理解できよう。

また相対密度が100%を超えるものがかかなり認められる。というのも、これらのデータの内、細粒分の少ない

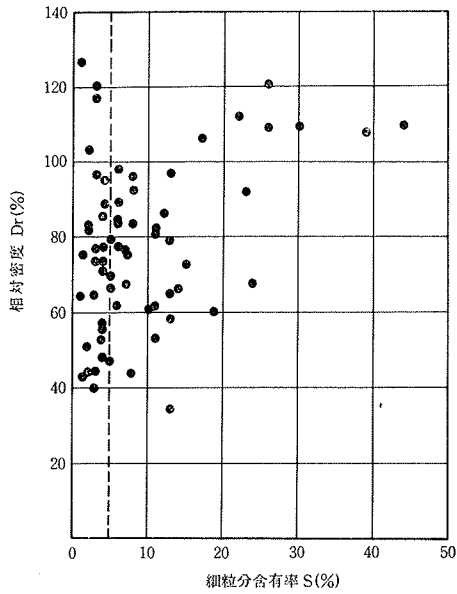


図-3 相対密度と細粒分含有率

ものについては、支持層と想定される深く密実な砂層（固結した試料は含まず）の数値を含んでいるためと思われるが、地盤内での拘束圧や堆積条件などによる微視的構造の再現が困難な、現行試験法の限界とも考えられる。また細粒分の多い土については、最大密度試験時に分級の生じやすい傾向が認められており、さらに自然地盤における圧密の影響が考えられる。

ここで細粒分の影響の度合いを把握するために、最大間隙比および最小間隙比と細粒分含有率との関係を示したのが図-4である。図からも明らかなように、細粒分を多く含むほど、最大間隙比および最小間隙比のいずれも増加する傾向を示すが、最大間隙比の増加割合の方が大きい。

しかし、同図からも明らかなように、細粒分の含有率が概ね15%までは最大間隙比および最小間隙比のいずれについても、ある範囲をもって比較的一定値で安定していると解釈できる。また結果として“細粒分15%”は工学的土質分類体系（日本統一土質分類）における“砂と砂質土”の判定基準に一致する。

以上の経緯から、筆者らは試料土の適用範囲を広げるための対応として、シラスなどの特殊土を除けば、現行の試験法は細粒分15%までの土については適用可能と判断し、前述した試験調整法によって試験を実施している。

### 3. 2, 3のパラメータとの対応

自然の砂地盤の相対密度を正確に求めるには、サンドサンプリングによって密度を直接測定することが望ましい。しかし、これが不可能な場合には標準貫入試験のN

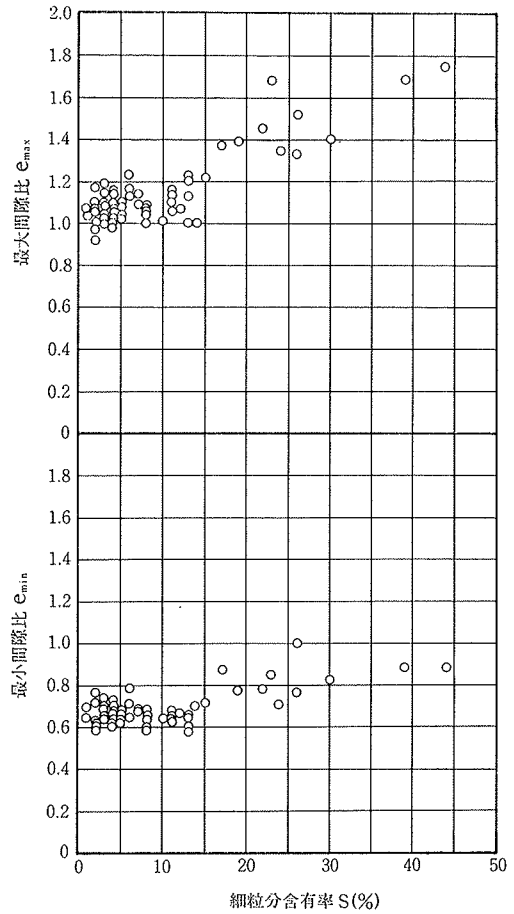


図-4 最大間隙比・最小間隙比と細粒分含有率

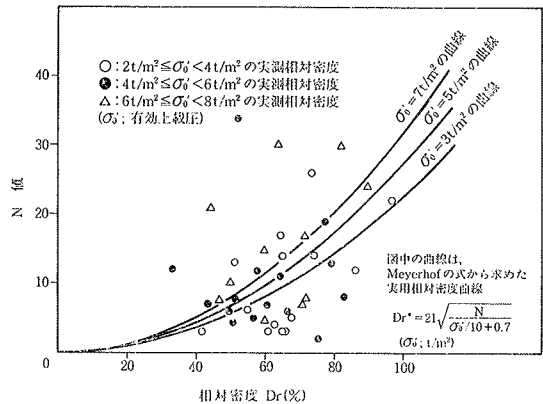


図-5 N値と相対密度

値から推定する方法も用いられている。

ここで表-1に示した地点でN値の得られているものについて、有効上載圧 ( $\sigma'_v$ ) を考慮して推定する Meyerhof の実用式から求めた曲線と、直接測定した相対密度を併せて示したのが図-5である。図からも明らかなようにバラツキが大きく、両者に相関性が認められるとはいえない。粒径の大きな礫などや細粒分を多く含む自然地盤を対象として、N値から相対密度を推定するのは難しいと判断している。

次に、前掲の各地点で採取したすべての試料について乱さない状態での乾燥密度および間隙比と相対密度との関係を一括して示したのが図-6である。前述の理由から、細粒分15%以下と15%を超える土に分けて示してある。15%を超えるものは、当然のことながら乾燥密度が小さく、間隙比は大きくなる傾向を示す。しかし細粒分が15%以下の土については、バラツキは認められるものの、概ね直線性を示すと解釈できる。

筆者らは、これらの関係を利用して、既存の土質調査で最大密度・最小密度試験を実施していない場合の相対密度の推定、および試験から得られた相対密度の妥当性の判断資料などに利用している。相対密度の概念が一般に普及してきた現状を考えれば、このような概括的なデータの集積も実用面での適用範囲を拡げるためには必要であると考えている。

4. あとがき

実際の工事に係わりを持つ一連のデータをもとに、試験法と関連しながら、特に試料土の適用範囲についての現状と問題点を提起し、対応策を含めて2, 3の私見を示してきた。現行の試験法の性格からいえば、試料土の土質に適用範囲が限られるのもやむを得ないといえるが、相対密度の認識が一般に普及してきた現状を考えれば、試験法の修正あるいは何らかの配慮によって適用範囲を拡げるなどの実情に反映する方策を見出すことが急務と痛感している。

特に、現行の試験基準には試料土の適用範囲の拡大よりも試験精度を重視する傾向が認められており、これが実際の工事に相対密度を適用する際の支障となっていることも事実である。以上の経緯から、筆者らは相対密度の概念については、厳密な室内試験のパラメータとして扱う場合と設計および施工管理などで取扱う場合とでは基本的に考え方を改めて解釈する必要があると考えている。

この報文の作成にあたっては、基礎地盤コンサルタント(株)酒井運雄氏に助言および助力を得た。付記して深甚なる謝意を表する次第である。

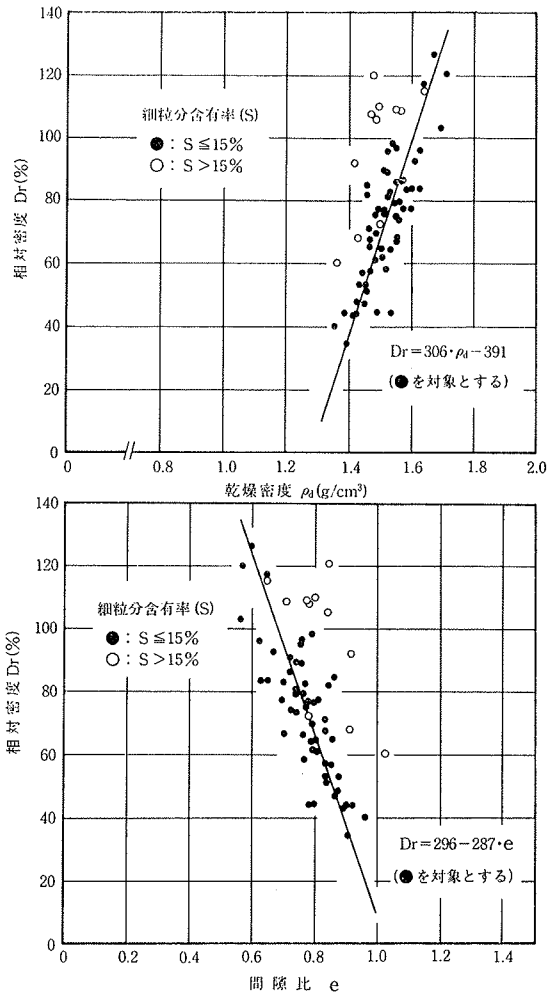


図-6 乾燥密度・間隙比と相対密度

参考文献

- 1) 土質試験法 (第2回改訂版), 土質工学会, (1980)
- 2) 吉見吉昭: 土質工学会基準案「砂の最大密度・最小密度試験方法」について, 土と基礎, Vol. 29, No. 8, (1981), pp. 33~36
- 3) 陶野郁雄, 畑中宗憲: 砂地盤の相対密度について, 第9回土質工学研究発表会講演集, (1974), pp. 69~72
- 4) 平間邦興: 相対密度の適用に関する2, 3の私見, 砂の相対密度と工学的性質に関するシンポジウム発表論文集, 土質工学会, (1981)
- 5) 1) に同じ