

地盤改良材としての碎石チップ材料特性および品質管理方法について

山本 隆信*・山本 修司**・片桐 雅明***・河野 正文****・森山 崇来*****

* 前(一財)沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

** (一財) 沿岸技術研究センター 業務執行理事

*** (株)日建設計シビル 地盤調査設計部門 技術長

**** 国土交通省 九州地方整備局 北九州港湾・空港整備事務所 工務課 課長

***** 国土交通省 九州地方整備局 北九州港湾・空港整備事務所 工務課 係長

軟弱地盤上に構造物を構築する際には、構造物の荷重に耐えられるような基礎地盤に改良する必要がある。本文では、碎石チップの地盤改良材としての適用性を、室内試験を行って求めた特性から検討・評価した。また、施工における品質管理方法、基準値等を設定する検討フローを検討し、使用時に行うべき検討項目を抽出した。

キーワード：碎石チップ、地盤改良、三軸圧縮試験、繰返し三軸試験

1. はじめに

海底に堆積している軟弱な粘土地盤上に、護岸や防波堤などの構造物を構築する場合には、構造物の荷重に耐えられるように海底地盤を改良する必要がある。通常、サンドコンパクションパイル(SCP)工法や床掘置換工法などが行われるが、それらに用いる安価で良質な地盤改良材料が十分確保できない可能性がある。また、床掘置換材に砂を用いる場合には、液状化が懸念される。一方、碎石場で発生する碎石チップは、写真-1に示すように、碎石場に留置されている5mm以下の礫質土である。もし、この碎石チップが地盤改良材として用いることができれば、工学的に有益となる。

そこで本調査では、このような碎石チップに対して室内試験を行い、得られた材料特性から地盤改良材として必要となる特性を有しているかどうかを評価した。さらに、施工における品質管理方法、基準値等を設定する検討フローを検討し、今後行うべき検討項目を抽出した。なお、地盤改良工法は一般的な工法である床掘置換工法を対象とした。

2. 材料特性の評価

北九州市周辺の4か所で生産されている4種類の碎石チップを検討対象とした。まず、物理試験を行い、物理特性から力学試験に供する試料を選定した。次に、選定した試料について密度を調整して、透水試験、圧密排水三軸圧縮試験、液状化試験を行い、それらの特性を把握した。

2.1 物理特性

(1) 試験項目と試験方法

4か所の碎石場から採取した碎石チップに対して、

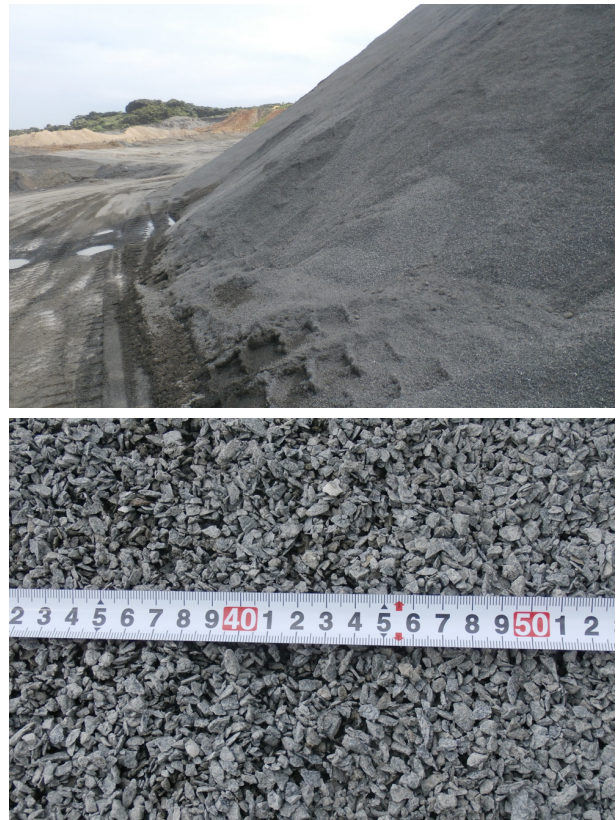


写真-1 碎石チップの留置状況(上)と形状(下)

土粒子密度試験、最大・最小密度試験、粒度試験の物理試験を行った。試験方法は、それぞれ JIS A 1202, JGS 0162, JIS A 1223 のコード番号を持つ JIS, JGS の基準にしたがった。

(2) 物理試験結果と評価

表-1に物理試験の結果を示す。土粒子(碎石チップ)の密度は、 $2.73 \sim 2.76 \text{ g/cm}^3$ と砂よりもやや高い値であった。

表-1 物理試験の結果

| | No.1 | No.2 | No.3 | No.4 |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| 土粒子密度 | 2.732 | 2.756 | 2.764 | 2.744 |
| 最大密度平均 | 1.976 | 2.087 | 1.990 | 1.978 |
| 最小密度平均 | 1.600 | 1.634 | 1.561 | 1.570 |
| 粗粒分(%) | 95.0 | 89.9 | 92.6 | 92.8 |
| 細粒分(%) | 5.0 | 10.1 | 7.4 | 7.2 |
| 均等係数 | 6.7 | 26.7 | 14.7 | 12.2 |
| 選定 | ○ | ○ | — | — |

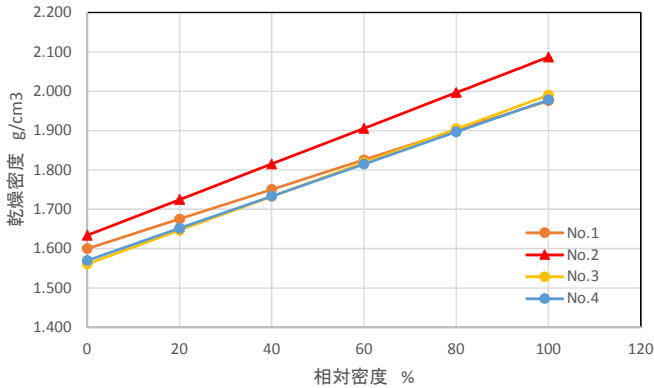


図-1 乾燥密度と相対密度

最大・最小密度は、粒子径を勘案したもので、それぞれの試料の最大密度は、1.98～2.09 g/cm³、最小密度は、1.56～1.60 g/cm³となった。図-1は乾燥密度と相対密度の関係であり、No.2が他と異なった関係を示していることが分かる。また、この関係を用いて、透水試験、力学試験に供する供試体の密度を設定した。

図-2に、各試料と液状化しやすい土の粒度を示す。各試料の細粒分は5～10%、砂分は35～50%であった。また、D₅₀は1.6～2.2mmであった。なお、図-1に示した乾燥密度が高いNo.2は細粒分が他のものよりも多く、D₅₀が小さいことがわかる。

写真-2は、No.2の個々の粒子の形状を示したもので、角張っていることが特徴となっている。他の試料の形状もこれと大差はないと判断できた。

これら物理試験の結果、特に粒度と乾燥密度の違いより、力学試験に供する試料を、表-1に示すNo.1とNo.2に選定した。

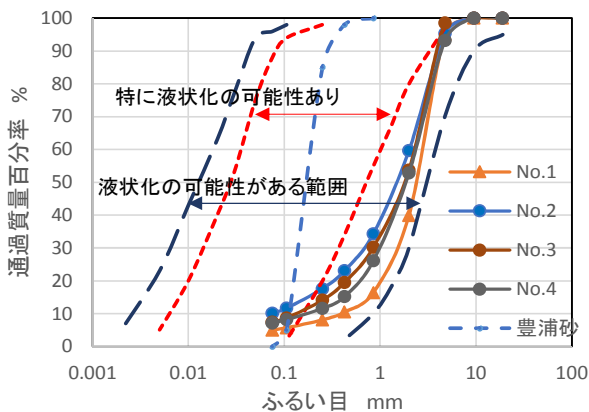


図-2 4試料と液状化しやすい土の粒度



写真-2 No.2の粒子の形状

2.2 力学特性

(1) 透水特性

三軸試験機を用い、所定の相対密度に調整した供試体に定水位透水試験を行って、透水係数を測定した。その結果を表-3に、相対密度との関係を図-3に示す。また、同表にはクレーガーのD₂₀と透水係数の関係から推定した透水係数も示してある。

相対密度を規定していないクレーガーの関係から透水係数は、No.1では大き目であるが、No.2では相対密度50%程度に相当していると評価できる。

表-3 碎石チップの透水係数(透水係数の単位はcm/s)

| | No.1 | No.2 |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 透水係数(実験) Dr=40% | 1.89×10 ⁻¹ | 9.60×10 ⁻² |
| Dr=60% | 1.59×10 ⁻¹ | 2.67×10 ⁻² |
| Dr=80% | 9.18×10 ⁻² | 1.06×10 ⁻³ |
| D ₂₀ (mm) | 1.0 | 0.38 |
| 透水係数(クレーガー式より) | 3.60×10 ⁻¹ | 4.0×10 ⁻² |

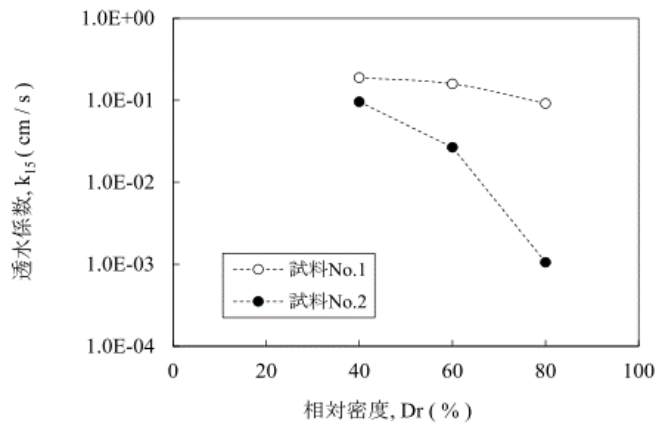


図-3 相対密度と透水係数の関係

(2) 変形、強度特性

地盤改良設計に必要となる強度定数を求めるために圧密排水三軸圧縮試験をJGS-0524にしたがって行った。その試験に供する供試体は、JGS-0530にしたがい、目標の相対密度を40、60、80%とした乾燥密度で作製し、目標値に対して±5%を許容したものをを用いた。

図-4に、No.1およびNo.2試料の相対密度：40%

の変形挙動を示す。これら圧縮時の変形挙動を見ると、拘束圧が低いほど、収縮側から膨張側に顕著に移行していることがわかる。また、No. 1 試料の方が No. 2 試料よりも膨張していることがわかる。

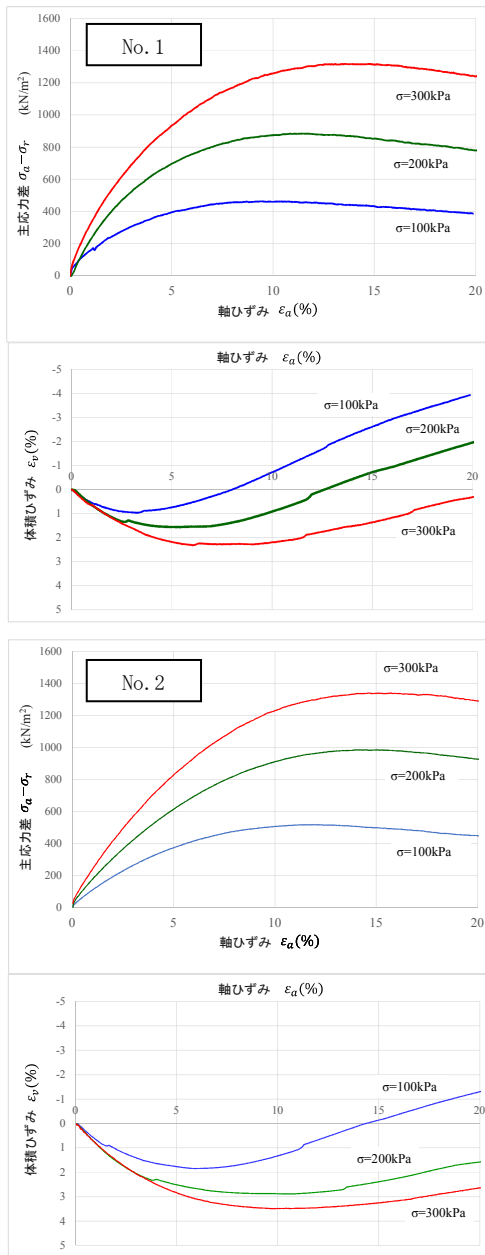


図-4 軸ひずみと軸差応力，体積ひずみの関係

図-5 に、No. 2 の破壊時のモール円と破壊基準線を相対密度ごとに示す。破壊時は、図-4 の最大主応力差の時点とし、破壊基準線の c_d 、 ϕ_d は、次の式から算定した。

$$\text{粘着力 } c_d = \frac{f_0}{2\sqrt{1+m_0}}$$

$$\text{せん断抵抗角 } \phi_d = \sin^{-1} \{m_0 / (2 + m_0)\}$$

ここに、最大軸差応力と側圧の近似直線より

$$f_0 : \text{縦軸切片} \quad m_0 : \text{勾配}$$

である。

実験から得られたせん断抵抗角は、No. 1, No. 2 ともに、相対密度に対して敏感ではなく、No. 1 では 43° から 44° 、No. 2 では 42° から 44° の範囲内であった。

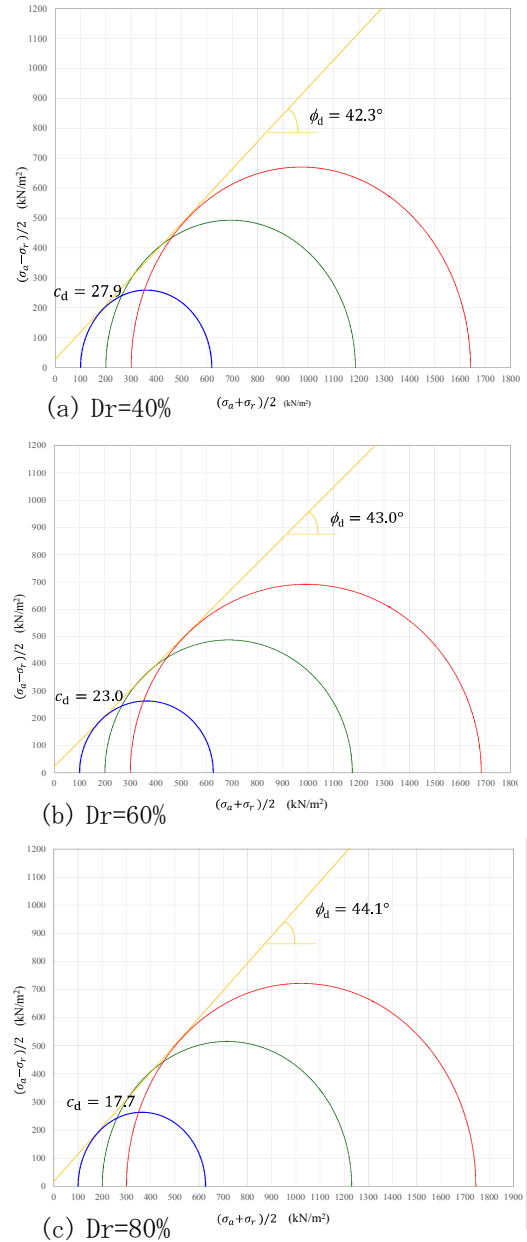


図-5 No. 2 試料のモール円と破壊包絡線

(3) 液状化特性

液状化特性を調べるために、相対密度 40%、60% の供試体を準備して、JGS-0541 にしたがった繰返し非排水三軸試験を行った。载荷条件としては、拘束圧 100 kPa、背圧 200 kPa とし、繰返し载荷は、周波数 10Hz で軸差応力を増減させた。

液状化を示す判定としては、両振幅 DA が、1%、2%、3%、5% となった時の繰返し回数、過剰間隙水圧比 $\Delta u / \sigma'$ が 95% となった時の繰返し回数とした。

図-6 に、相対密度 40% の No. 2 試料の液状化強度

線の例を示す。軸差応力比が高い場合には判定基準の違いによって、液状化強度線の位置が異なるが、軸差応力比が低くなるとその差がなくなっていくことがわかる。

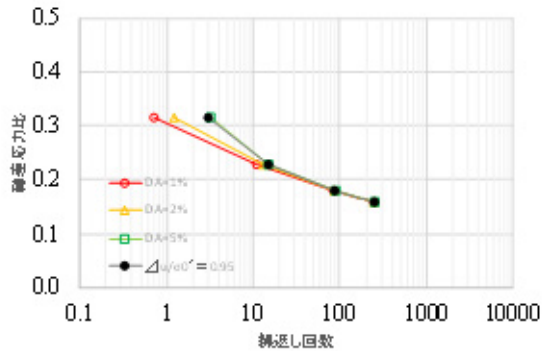


図-6 No.2 試料 Dr=40%の液状化強度線の例

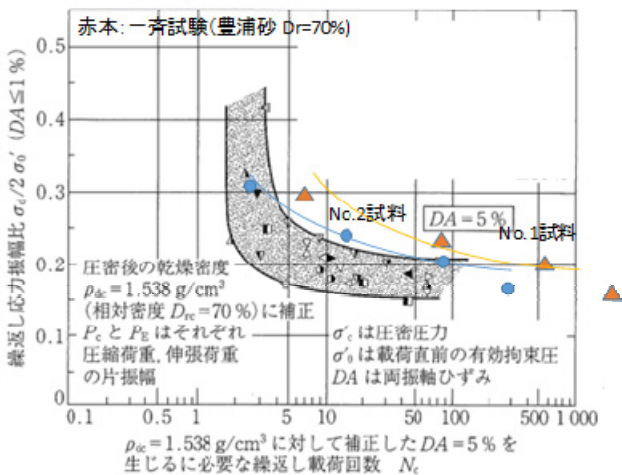


図-7 液状化曲線と豊浦砂との比較

図-7は、相対密度70%の豊浦砂を対象にした一斉試験の結果¹⁾に、No.1, No.2 試料の相対密度40%のDA5%の液状化強度線を加筆したものである。No.2の液状化強度線は豊浦砂の上限に位置し、No.1のそれは豊浦砂の範囲よりも上位に位置していることがわかる。また、No.1, No.2の相対密度60%の液状化強度線は、相対密度40%のものよりも上位に位置することを確認している。

2.3 材料特性の評価

相対密度を40, 60, 80%に調整した供試体に対して、透水試験、圧密排水三軸圧縮試験、液状化試験(繰返し試験)を行った。その結果、透水係数は $10^{-2} \sim 10^{-1}$ (cm/s)で、レキ材の範囲にあった。せん断抵抗角は、相対密度が40%以上の密度で 42° 以上が得られ、良質な材料といえる。また、液状化強度曲線は、相対密度70%の豊浦砂の液状化強度線の上限、もしくはそれよりも上位に位置し、液状化抵抗が高い材料と評価できる。

3. 品質管理方法の検討

床堀置換材に砕石チップを用いる際には、品質管理方法とその管理基準値が重要となる。管理基準値は想定する構造物の自重や考慮する地震動に影響されるため、次に示す手順で検討する必要がある。

- 1) 置換材として必要とされる性能の設定
(せん断強度, 圧縮性, 液状化性能)
- 2) 材料特性の把握
- 3) 管理基準値の設定
- 4) 管理方法の提案

現段階の砕石チップの特性把握状況は、床堀置換部の支持力を設定する強度定数が求められたという状況であり、これを用いて置換部の断面形状が設定されていくという状況にある。また、液状化試験からは、液状化強度線が求められたという段階であり、設定された断面、地震力を踏まえた液状化に対する検討は、使用時の調査にゆだねられる。使用時に実施する検討項目の案を以下に示す。

- i) 床堀置換材としての性能評価項目の設定
(支持力, 液状化抵抗, 長期圧縮 等)
- ii) 性能評価項目と必要な品質管理項目の設定
(性能評価項目と品質管理項目の相関性評価)
- iii) 砕石チップの材料特性の把握
(管理基準の閾値を設定するためのばらつき)
- iv) 管理基準値の設定と管理方法

今後は、砕石チップにおいて、吸水率、見掛の比重等による簡便な品質管理項目の設定と、その評価基準等についても検討していく必要がある。

4. おわりに

産業副産物である砕石チップが地盤改良材としての妥当性を確認するため、室内実験を行い、強度定数、液状化特性、透水係数等を求め、豊浦砂などの特性と比較評価した。また、実際の施工における品質管理方法と基準値等を設定する際の検討フローを示し、行うべき検討項目を抽出した。

本稿は、国土交通省九州地方整備局北九州港湾・空港事務所発注の業務の成果の一部をまとめたものである。執筆にあたり関係者から貴重なご意見、指導をいただいた。また、材料特性を把握するための各種試験は九州大学、善先生に委託した。ここに厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 地盤工学会:土の液状化強度特性を求めるための繰返し三軸圧縮試験, 地盤材料試験の方法と解説, 地盤工学会, p.730, 2009.