

碎石微粉末を用いた造粒材の力学特性に関する研究

呉工業高等専門学校 小堀慈久, 森脇武夫, 市坪 誠
洋伸建設株式会社 田中壽雄, 塔岡和仁, ○長通譲二

1. はじめに

花崗岩を砕いて加工砂を生産する際には、母岩の約 20% が微粉末となり、現在はこれを産業廃棄物として処分している。一方、瀬戸内海の家砂採取禁止によって、広島県では建設用砂材が不足している。そこで、この微粉末を造粒・固化し、代替砂材として利用できれば、前述した 2 つの課題が解決できることになる。

そこで、本研究では加工砂生産に伴って発生する脱水ケーキ状の碎石微粉末を造粒・固化したもの（以下、造粒材と呼ぶ）を地盤改良で多量に使用される中詰め材（サンドドレーン材、サンドコンパクションパイル材等）として利用することを目的として、造粒材の力学特性を明らかにする。

2. 造粒材と配合条件

造粒材は、広島県佐伯郡大柿町黒嶽の石材採取場において、花崗岩塊から加工砂を作る過程で排出される微粉末からなる脱水ケーキ（ $w_L=36.1\%$, $w_P=22.3\%$, $I_P=13.8$ ）に石灰等の固化材を加えて造粒・固化したものであり¹⁾、造粒材と加工砂の土粒子密度はそれぞれ 2.665g/cm^3 と 2.654g/cm^3 である。

本研究では造粒材を地盤改良用中詰め材として利用する場合を想定し、造粒材そのもの（造粒材 100%）、加工砂と造粒材を体積比率で 80% 対 20% で混合したもの（加工砂 80% : 造粒材 20%）および 60% 対 40% で混合したもの（加工砂 60% : 造粒材 40%）の力学特性を、突固め試験、透水試験および三軸圧縮試験を実施して調べる。なお、加工砂 80% : 造粒材 20% および加工砂 60% : 造粒材 40% の混合試料における体積から見た造粒材の混合率は 20% と 40% であるが、乾燥質量から見た造粒材の混合率はそれぞれ 14.0% と 28.1% である。また、混合試料の土粒子密度はそれぞれ 2.656g/cm^3 と 2.657g/cm^3 である。

各試料の粒度曲線を図 1 に示す。各試料はいずれも砂質礫 (GS) に分類されるが、造粒材 100% は粒径が約 1~4mm の範囲に集中し、分級されていることがわかる。

3. 力学特性

(1) 突固め試験結果：各試料を JIS A 1210 に規定される A 法 および b 法（乾燥非繰返し法）に従って突固め試験を行って得られた締固め曲線を図 2 に示す。この図より、造粒材が増えると最適含水比が増加し、最大乾燥密度が低下することが分かる。特に、造粒材 100% では最大乾燥密度が著しく小さくなっており、これは造粒材の内部に多くの間隙が存在しているためと考えられる。

(2) 透水試験結果：図 3 に JIS A 1218 に準じて行った定水位透水試験結果を示す。透水試験は密詰めと緩詰め状態の試料に対して行い、それぞれの試料は砂の最小密度・最大密度試験 (JIS A 1224) に準じた方法で透水用円筒容器（内径 10cm, 高さ 12cm）に詰めて作成した。ただし、試料は室温空気乾燥状態で、含水比が 0~2% のものを用いた。なお、密詰め試料作成の際の打撃回数は各層 20~50 回で、目

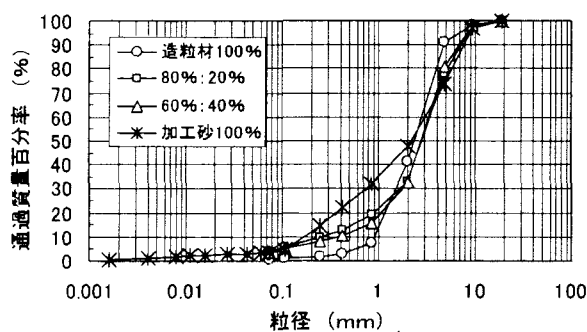


図1 粒度曲線

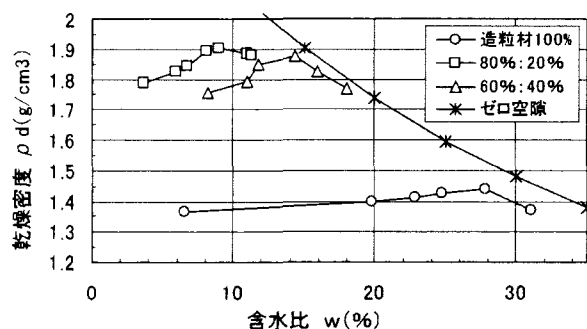


図2 締固め曲線

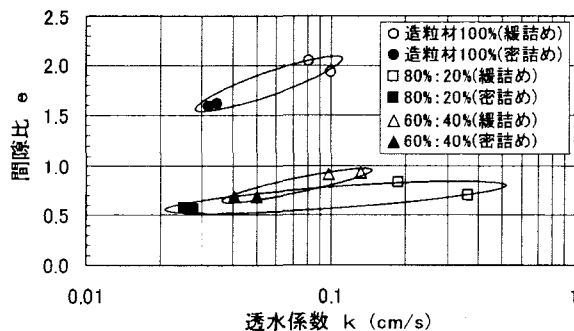


図3 間隙比と透水係数の関係

視により体積が変化しなくなった時点で終了した。地盤改良用中詰め材としては透水係数が少なくとも 10^{-4}cm/s 以上の透水性が必要である言われているが²⁾、これらの図表からこの造粒材の場合はこの条件でもこれを満たしていることが分かる。また、造粒材の混合率が同じ試料では間隙比が大きいほど透水係数は大きくなっているが、間隙比と透水係数の間に統一的な関係は認められない。特に造粒材 100%は他と比べて間隙比はかなり大きい、透水係数はほとんど変わらない。これは、造粒材の内部にはかなりの間隙があるものの、これは透水のための間隙としては有効に働いていないことを示している。また、加工砂 80%：造粒材 20%では締固め状態の違いによって透水係数が大きく変化している。これは、粒径分布の比較的良好な加工砂が増えると、締固め状態のわずかな変化によって粒子配列が大きく変化し、透水係数も大きく変化したと考えられる。

(3) 三軸圧縮試験結果：本研究では三軸供試体を凍結法によって作成し、JGS 0524 に準じて圧密排水三軸圧縮試験を実施した。供試体は透水試験と同様の方法で直径 5cm、高さ 10cm の円筒容器に詰めて作成した。ただし、凍結法を採用したため、含水比を 5～9%に調整したのものをを用いた。また、試験で行った拘束圧は 49, 98, 147kPa で、軸圧縮ひずみ速度は 0.2%/min である。図 4 に応力～ひずみ曲線の代表的なものとして加工砂 80%：造粒材 20%の関係を示す。他の試料も類似な形をしており、ひずみ硬化型の応力～ひずみ曲線となった。なお、軸ひずみが 15%までに主応力差にピークが現れなかった場合は、軸ひずみ 15%の状態を破壊点とした。図 5 は加工砂 80%：造粒材 20%の軸ひずみと体積ひずみの関係を描いたものである。他の試料も類似な傾向があり、軸ひずみと体積ひずみの関係は拘束圧の違いに拘らずほぼ同じ関係となった。なお、密詰め供試体で拘束圧が小さい場合に、体積ひずみが他の場合より小さくなっているが、これは密詰め供試体で拘束圧が小さい場合には試料が過圧密状態になっていたためと考えられる。表 1 にそれぞれの試料の強度定数を示す。この表から、加工砂の量が増えるほど、また密詰めであるほどせん断抵抗角が大きくなっていることが分かる。一般に地盤改良用中詰め材としてはせん断抵抗角が $\phi=30^\circ$ 以上必要であると言われているが²⁾、この造粒材ではいずれの条件でもこれを満足している。ただし、 $\phi=35^\circ$ 以上にするためには加工砂を 60%以上混入し、密詰め状態にする必要がある。また、粘着力は若干あるものの拘束圧と比較すればほぼ $c=0$ の砂質土として取り扱うことができる。

4. まとめ

以上で示したように、花崗岩から加工砂を作る過程で排出される微粉末からなる脱水ケーキを造粒・固化した造粒材は、地盤改良用中詰め材として利用できる力学特性を有していることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 横倉実：脱水ケーキ細粒化プラント「まるめ君」、骨材資源工学会会誌, Vol.32, No.127, pp.241-247, 2000.
- 2) 坪井英夫・原田健二・松井保：締固め工法における中詰め材料としてのリサイクル材の適用性と評価、土と基礎, Vol.48, No.6, pp.5-8, 2000.

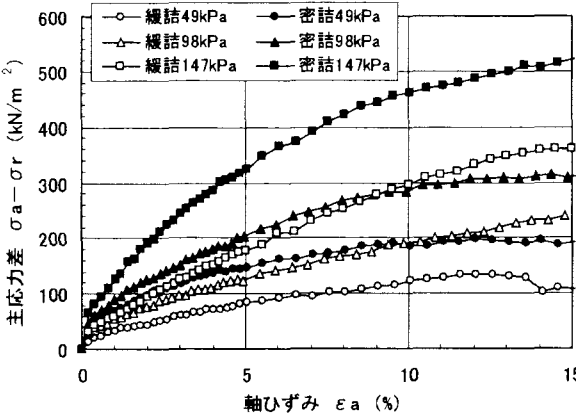


図4 主応力差～軸ひずみ関係
(加工砂80%：造粒材20%)

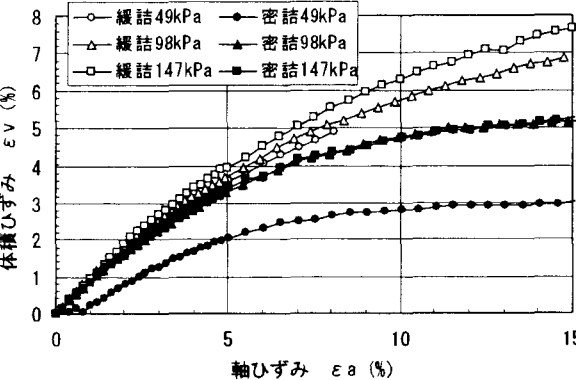


図5 体積ひずみ～軸ひずみ関係
(加工砂80%：造粒材20%)

表1 強度定数

試料	締固め状態	平均乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	平均間隙比 e	粘着力 c_d (kN/m ²)	せん断抵抗角 ϕ_d (°)
造粒材100%	密詰め	1.039	1.566	0	31.9
加工砂80%	緩詰め	1.352	0.971	5.5	32.4
造粒材20%	密詰め	1.658	0.608	1.5	39.1
加工砂60%	緩詰め	1.403	0.899	9.2	31.4
造粒材40%	密詰め	1.637	0.643	3.9	37.1