

脱水ケーキを用いた新しい遮水土質材料の力学特性

福岡大学工学部 学生会員 ○武田 都

福岡大学工学部 正会員 佐藤研一 平野文昭 山田正太郎 藤川拓朗

(株)アステック 森本辰雄 口舩愛

**1.はじめに** 現在、我国の最終処分場の底部遮水構造は遮水シートとクレイライナーによって構成されている<sup>1)</sup>。しかし、廃棄物中の鋭利な物体によるシートの破損やシートのつなぎ目の不完全な施工により漏水する可能性が指摘されている。この構造の中におけるクレイライナーは、層厚 50cm以上、透水係数  $1 \times 10^{-6}$  cm/secを満たすために現地発生土のベントナイト混合土などを用いた粘土系遮水材が用いられている<sup>1)</sup>。そこで、本研究では、既往の技術であるゼオライト等の添加剤を使った「シーリングソイル工法」<sup>2)</sup>を用い、重金属捕集機能を持つ高強度かつ低透水性の新しい遮水材料の開発を目的としている。特に今回は土質材料に建設系の副産物である建設発生土や脱水ケーキなどの泥土を用いることにより、経済性に優れた新しい遮水材の開発を目指す。報告では、添加剤としてゼオライト、ドロマイト、ポリ硫酸第二鉄溶液を用い、土質材料として2種類の泥土及び自然土(山砂)を用い、一軸圧縮試験から材料の力学特性の把握を行った。

**2.実験概要** 土質材料は、碎石場で発生する濁水処理に伴う脱水ケーキA(兵庫夢前)、福岡県建設発生土の処理に伴う脱水ケーキB(東浜シルト)及び山砂(筑紫野まさ土)の3試料を使用した。**表-1**に各土質材料に対して行った密度試験、粒度試験、液塑性試験、締固め試験の結果を示す。液性限界、塑性限界は、山砂に比べ、細粒分含有率の大きい2つの脱水ケーキが大きいことがわかる。

**図-1**に土質材料の粒度分布を示す。筑紫野まさ土は比較的粒度の良い試料であるのに対し、2つの脱水ケーキはほぼすべてがシルト分と粘土分で構成されている試料であることがわかる。**図-2**に締固め曲線を示す。一般に細粒土ほど最大乾燥密度が低くなるが、脱水ケーキBより粒径の細かい脱水ケーキAのほうが最大乾燥密度が大きい値を示している。これらの土質材料に今回添加剤として重金属捕集機能を有するゼオライト、凝集・凝固・凝結反応を有するドロマイト、ポリ硫酸第二鉄溶液(以下ポリ鉄)を用いた。また、これら添加剤との比較をするために消石灰、ベントナイトの2種類を使用した(**表-2**)。実験に用いた添加剤の配合条件を**表-3**に示す。力学実験に用いた供試体は直径5cm、高さ10cmのモールドに、各ケースごとに締固め試験の結果から求めた最適含水比の調整した試料を5層に分け、手動で突き固めて締固め密度  $D(D = \rho_d / \rho_{dmax})$  95%になるように作成した。供試体は恒温室による気中養生を行い0、7、28、56、91日養生後に、一軸圧縮試験により強度変形特性を調べた。

3. 実験結果及び考察

**3-1 締固め特性** **図-3**に脱水ケーキAに対する各混合ケースにおける締固め曲線を示す。締固め特性は、添加剤の影響を受けて変化していることがわかる。そこで、各ケースにおける最大乾燥密度と最適含水比に及ぼす添加剤の影響を**図-4,5**に示している。いずれの土質材料もポリ鉄を除いて添加剤を加えると試料の団粒化に伴い最大乾燥密度は小さくなり、最適含水比は大きくなる傾向を示している。ポリ鉄は液体混入による含水比増加の影響

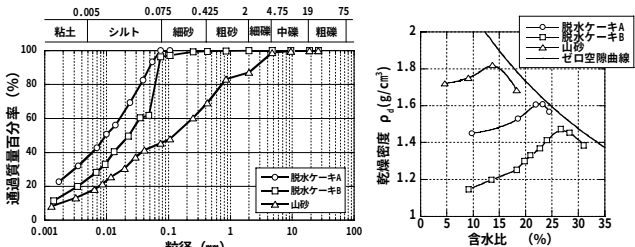


図-1 粒度加積曲線  
表-1 各試料における物理特性試験の結果

|                                           | 脱水ケーキA(兵庫夢前) | 脱水ケーキB(東浜シルト) | 山砂(筑紫野まさ土) |
|-------------------------------------------|--------------|---------------|------------|
| 土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )      | 2.631        | 2.649         | 2.603      |
| 液性限界 $\omega_L$ (%)                       | 39.90        | 44.18         | 19.62      |
| 塑性限界 $\omega_P$ (%)                       | 25.37        | 32.96         | 16.88      |
| 塑性指数 $I_p$                                | 14.53        | 11.22         | 2.74       |
| 最適含水比 $w_{opt}$ (%)                       | 22.62        | 26.78         | 13.64      |
| 最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.607        | 1.467         | 1.819      |

表-2 各添加剤の特徴

| 添加剤    | 特徴                                                                 |
|--------|--------------------------------------------------------------------|
| ゼオライト  | 重金属を吸着・陽イオン交換機能により固定化させる                                           |
| ドロマイト  | 化学式はCaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 陽イオン交換反応を持続させるためのpHコントロール剤 |
| ポリ鉄    | ポリ硫酸第二鉄溶液 重金属除去効果がある                                               |
| 消石灰    | 化学式はCa(OH) <sub>2</sub> 陽イオン交換反応を持続させるためのpHコントロール剤                 |
| ベントナイト | モンモリロナイトが主成分 膨潤性に優れている                                             |

表-3 添加剤の配合比

|       | ゼオライト (%) | ドロマイト (%) | ポリ鉄 (%) | 消石灰 (%) | ベントナイト (%) |
|-------|-----------|-----------|---------|---------|------------|
| Case1 | 0         | 0         | 0       | 0       | 0          |
| Case2 | 10        | 0         | 0       | 0       | 0          |
| Case3 | 0         | 10        | 0       | 0       | 0          |
| Case4 | 0         | 0         | 10      | 0       | 0          |
| Case5 | 0         | 0         | 0       | 10      | 0          |
| Case6 | 0         | 0         | 0       | 0       | 10         |
| Case7 | 5         | 1         | 4       | 0       | 0          |

※配合量は、各試料の乾燥質量を1とした時の割合質量

キーワード 遮水材料, 脱水ケーキ, 締固め特性, 一軸圧縮試験

連絡先〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈8丁目19-1 福岡大学工学部社会デザイン工学科 TEL092-871-6631(6481)

が生じていると考えられる。また、混合させることによって固化力が生じるドロマイト、消石灰については特に最大乾燥密度は小さく、最適含水比は大きくなっている。添加剤の影響により土質材料全体に団粒化による空隙が存在するような状態になったと考えられる。

### 3-2 一軸圧縮特性 図-6～図-8に各試料における7日養生の一軸圧縮試験結果を示す。

脱水ケーキA、山砂においては、ドロマイト、ポリ鉄、消石灰の添加によって強度増加があるのに対し、脱水ケーキBは添加剤による強度増加は少なかった。また、ゼオライト、ベントナイトの添加によっていずれの土質材料も強度が低下した。これは、ゼオライト、ベントナイトを添加した試料を最適含水比に調整すると粒度分布の変化と団粒化が起こり、供試体に空隙ができることが原因だと考えられる。図-9～図-11に $q_u$ と養生日数の影響、図-12～図-14に $E_{50}$ と養生日数の関係を示す。脱水ケーキA、山砂においては、Caを含むドロマイト、消石灰の添加によって養生日数の経過に伴って著しい強度及び剛性が増加し、91日経過後もさらなる強度増加が期待される。これに対しその他の添加剤については、材料の強度増加には起因していないことがわかる。しかし、脱水ケーキBについては養生日数が経過しても強度及び剛性は増加しなかった。この点については今後、材料の組成も含め検討する必要がある。次にゼオライト5%、ドロマイト1%、ポリ鉄4%を混合したCase7において、脱水ケーキAはドロマイトの効果により強度増加を示し、7日以降安定した強度を示している。脱水ケーキBでは、Case3同様強度増加に至っていない。今回の結果は、水野ら<sup>3)</sup>によるベントナイト混合土の一軸圧縮試験結果(ベントナイト混合率13%、 $D_c=95\%$ )の $q_u=120(\text{KN/m}^2)$ とほぼ同等の材料であることもわかる。今回は一軸圧縮試験による検討を行った。しかし、最終処分場の遮水材としての適用性を検討するには廃棄物による載荷重やクリープ変形等の影響について、今後三軸圧縮試験やコーン貫入試験等による検討が必要である。また、重金属捕集機能を有し、かつ遮水材としての強度変形特性に有効な添加剤の配合比について検討を行っていく予定である。

**4.まとめ** ①ドロマイト、消石灰及びポリ鉄の添加は、材料強度・剛性を増加させる効果があることが示された。一方、ゼオライト、ベントナイトの添加は、含水比調整に伴う団粒化によって強度・剛性の低下を引き起こす原因となった。②土質材料の違いにより、添加剤混入に伴う強度発現メカニズムが異なることが示された。

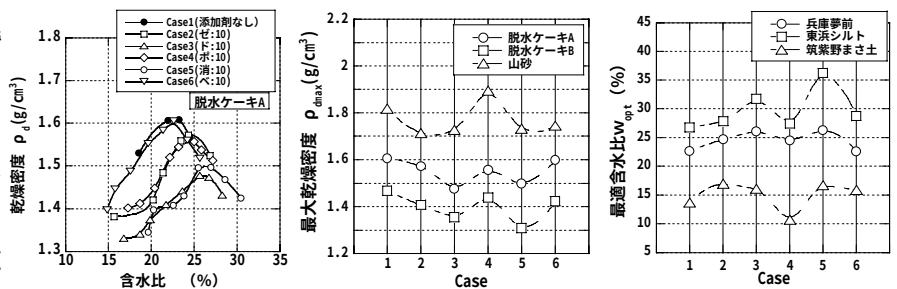


図-3 締固め曲線

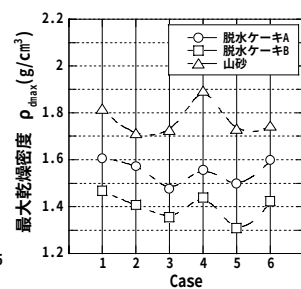


図-4 各ケースの最大乾燥密度

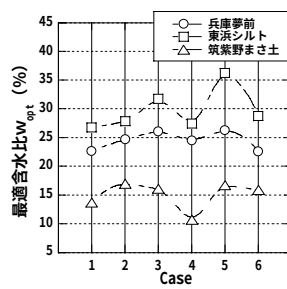


図-5 各ケースの最適含水比

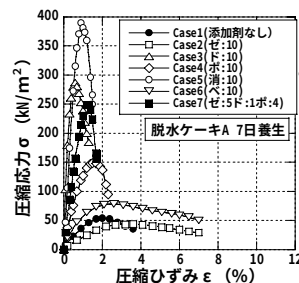


図-6 圧縮応力-ひずみ曲線

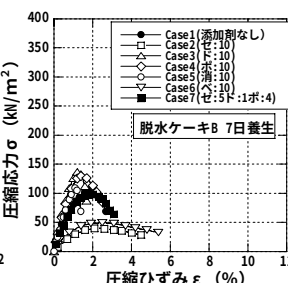


図-7 圧縮応力-ひずみ曲線

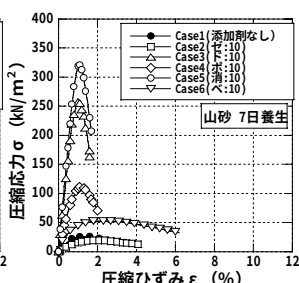


図-8 圧縮応力-ひずみ曲線

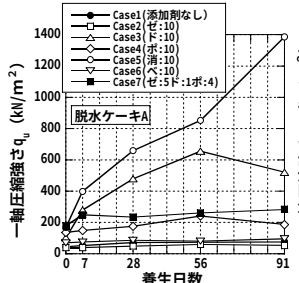


図-9  $q_u$ と養生の関係

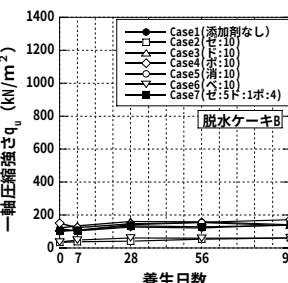


図-10  $q_u$ と養生の関係

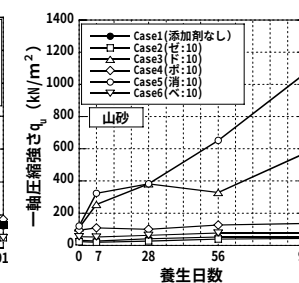


図-11  $q_u$ と養生の関係

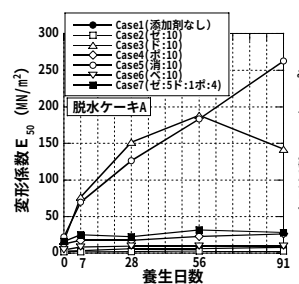


図-12  $E_{50}$ と養生の関係

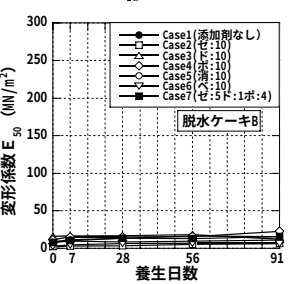


図-13  $E_{50}$ と養生の関係

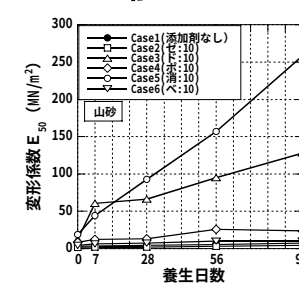


図-14  $E_{50}$ と養生の関係

**参考文献** 1) 国際ゾオンセティック学会日本支部ゾオンソイル技術委員会:ごみ埋立地の設計施工-しゃ水工技術,p202,2000., 2) シーリングソイル協会:シーリングソイル工法,<http://www.sealingsoil.gr.jp/method/method01.htm>, 3) 水野克己:ベントナイト混合土の強度特性を考慮した一般廃棄物管理型最終処分場事例,第13回廃棄物学会研究発表会講演論文集,pp927~929,2002