

## 上総層群泥岩の締固め特性に及ぼす中性化処理の影響

九州産業大学 学生会員 岡田宗一郎  
 ラサテック 非会員 佐藤市朗  
 中道環境開発 非会員 中道和徳  
 九州産業大学 正会員 松尾雄治

九州産業大学 正会員 林泰弘  
 MTアクアポリマー 正会員 田村明  
 九州産業大学 学生会員 赤司かがり

## 1. はじめに

首都圏のシールド工事で発生する上総層群泥岩（土丹）は黄鉄鉱を含んでおり、掘削土砂が大気に触れることで酸化、酸性化し、ヒ素等の重金属の溶出量が増大する懸念がある。そこで、酸性化させた土にアルカリ資材を添加することで土を中性化し、ヒ素が溶出しにくい環境を整える研究を行っている<sup>1)</sup>。本研究では、中性化処理した土を締固めた場合の土の力学特性を評価するために締固め試験、コーン指数試験、一軸圧縮試験を実施し地盤材料としての再利用の可能性を検討した。

## 2. アルカリ資材による中性化処理

対象試料は 2015 年横浜市のシールド立坑工事より採取された上総層群泥岩（土丹 A）、2016 年に横浜市の鉄道トンネル工事現場より採取された上総層群泥岩（土丹 B）と砂質土の 3 種類を用い、物理特性の違いが中性化処理に影響があるかを調べた。これらの物理特性を表-1 に示す。

具体的な処理方法は以下の通りである。試料を所定の含水比に調整する際に硫酸を添加し酸性土を作製し、3 日間密閉養生したのちアルカリ資材を添加した。アルカリ資材としては重質炭酸カルシウム、マグネシウム系固化材、製鋼スラグを用い、これらの添加率は、赤司<sup>1)</sup>の結果をもとに表-2 のとおりとした。アルカリ資材を添加後の処理土は密閉容器に入れ恒温庫（20±3℃）で 7 日間養生した。

土懸濁液の pH 試験（JGS 0211：2009）を力学試験前の前後で実施したところ表-2 に示すように試験前の pH はおおむね中性を示した。土丹 B に製鋼スラグを添加した処理土は中性域に達しておらず添加量不足であった。一方、マグネシウム系固化材を添加した土は試験後に高い pH を示しているため添加率を下げても良いことがわかった。

## 3. 締固め試験とコーン指数試験

7 日間養生させた試料に対しコーン指数試験（JIS A 1228：2009）を実施した結果を表-3 に示す。硫酸非添加土（非酸性土）、硫酸添加土（酸性土）ともにマグネシウム系固化材を添加しているものがコーン指数は高いことがわかる。

土丹 A、B の締固め曲線を図-2、3、含水比とコーン指数の関係を図-4、5 に示す。土丹 A にアルカリ資材だけを添加した処理土の締固め曲線は未処理土と違いはみられなかった。土丹 A、B の酸性土にアルカリ資材を添加すると締固め曲線は右下に移動しており、マ

表-1 試料の特性

| 試料名称                                 | 土丹A            | 土丹B  | 砂質土   |
|--------------------------------------|----------------|------|-------|
| 初期含水比 $w_0$ (%)                      | 26.6           | 36.9 | 22.2  |
| 土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.557          |      | 2.63  |
| 石分 (75mm以上) (%)                      | 0              |      | 0     |
| 礫分 (2-75mm) (%)                      | 0              |      | 0     |
| 砂分 (0.075-2mm) (%)                   | 14.8           |      | 52.7  |
| 細粒分 (0.075mm以下) (%)                  | 85.2           |      | 47.3  |
| 均等係数 $U_c$                           | 53             | 未測定  | 632.5 |
| 曲率係数 $U_c'$                          | 3.14           |      | 4.23  |
| 液性限界 $W_L$                           | 45.7           |      | NP    |
| 塑性限界 $W_P$                           | 28             |      | NP    |
| 塑性指数 $I_p$                           | 17.7           |      | NP    |
| 実験開始pH                               | 4.14           | 8.86 | 6.9   |
| 分類名                                  | シルト<br>(低液性限界) |      | 細粒分質砂 |

表-2 pH とアルカリ資材添加率

| 名称  | 原土<br>種類 | pH   |      | 設定含水比<br>(%) | 硫酸添加量<br>(mol/kg) | アルカリ資材         |        |
|-----|----------|------|------|--------------|-------------------|----------------|--------|
|     |          | 試験前  | 試験後  |              |                   | 種類             | 添加率(%) |
| A00 | 土丹A      | 7.63 | 8.3  | 39           | —                 | —              | —      |
| A0T |          | 7.54 | 7.86 |              | 0.2               | 炭酸カルシウム        | 10     |
| AHT |          | 7.76 | 9.83 |              | —                 | マグネシウム系<br>固化材 | 5      |
| AOM |          | 7.99 | 9.45 |              | 0.2               | 製鋼スラグ          | 10     |
| AHM |          | 7.13 | —    |              | —                 | —              | —      |
| AOS |          | 4.82 | —    |              | 0.2               | —              | —      |
| AHS | 土丹B      | —    | —    | 37           | —                 | —              | —      |
| B00 |          | —    | —    |              | —                 | —              | —      |
| BH0 |          | —    | —    |              | —                 | —              | —      |
| BHT |          | 6.71 | 7.54 |              | 0.33              | 炭酸カルシウム        | 10     |
| BHM |          | 9.22 | 9.2  |              | —                 | マグネシウム系<br>固化材 | 5      |
| BHS |          | 4.45 | 4.62 |              | —                 | 製鋼スラグ          | 10     |
| C00 | 砂質土      | —    | —    | 22.7         | —                 | —              | —      |
| CHO |          | —    | —    |              | —                 | —              | —      |
| CHT |          | —    | —    |              | 0.09              | 炭酸カルシウム        | 10     |
| CHM |          | —    | —    |              | —                 | マグネシウム系<br>固化材 | 5      |
| CHS |          | —    | —    |              | —                 | 製鋼スラグ          | 10     |

表-3 含水比未調整のコーン指数

| 名称  | 含水比未調整         |                                       |                                     |
|-----|----------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
|     | 含水比<br>$w$ (%) | 乾燥密度<br>$\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> ) | コーン指数<br>$q_c$ (kN/m <sup>2</sup> ) |
| A0T | 34.9           | 1.336                                 | 1451                                |
| AOM | 29.2           | 1.226                                 | 7638                                |
| AOS | 32.4           | 1.372                                 | 4019                                |
| AHT | 35.1           | 1.291                                 | 6585                                |
| AHM | 34.0           | 1.211                                 | 4019                                |
| BHT | 27.4           | 1.422                                 | 4398                                |
| BHM | 28.9           | 1.355                                 | 4905                                |
| BHS | 28.6           | 1.440                                 | 1870                                |

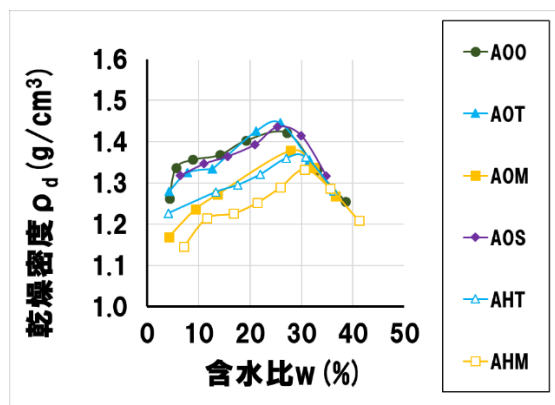


図-1 締固め曲線

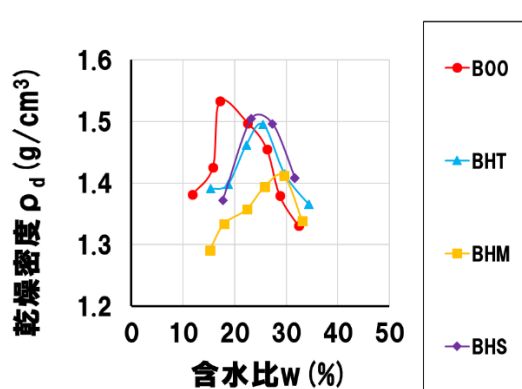


図-2 締固め曲線

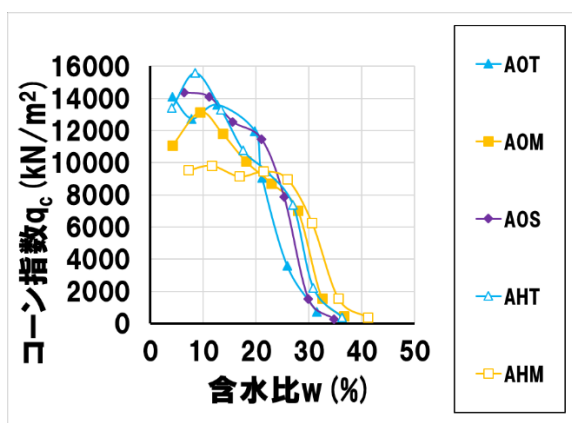


図-3 含水比と乾燥密度の関係

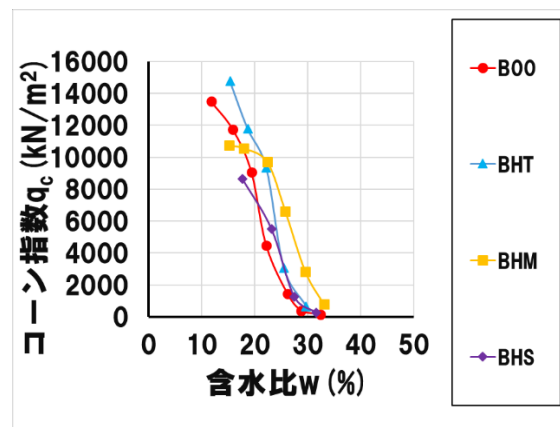


図-4 含水比と乾燥密度の関係

グネシウム系固化材処理土にその傾向が顕著であることがわかる。含水比未調整土(表-3)と含水比調整土(図-1~4)を同じ含水比で比べると、含水比未調整土のほうが乾燥密度が大きく、コーン指数が高いため含水比調整の方は練り返しや加水による影響が表れていると考える。

#### 4. 一軸圧縮強さ

最適含水比に調整した試料を最大乾燥密度になるように締固め、一軸圧縮試験(JIS A 1216:2009)を実施した。供試体の特性を表-4に、応力ひずみ曲線を図-6、7に示す。アルカリ資材を添加した土丹Aにおいて、非酸性土のほうが酸性土と比べると強度が小さい。土丹Bは酸性土にアルカリ資材添加したものでも未処理土より一軸圧縮強さが小さい。未処理は含水比が非常に低いためであると考えられる。アルカリ資材の影響を比較すると、炭酸カルシウムを添加したものが一軸圧縮強さが大きいことがわかる。

表-4 一軸試験供試体の特性

|     | 含水比<br>w (%) | 湿潤密度<br>$\rho_t$ (g/cm³) | 乾燥密度<br>$\rho_d$ (g/cm³) |
|-----|--------------|--------------------------|--------------------------|
| AOT | 24.4         | 1.5                      | 1.206                    |
| AOM | 27.2         | 1.357                    | 1.067                    |
| AHT | 30.1         | 1.777                    | 1.366                    |
| AHM | 29.7         | 1.66                     | 1.28                     |
| B00 | 16.5         | 1.565                    | 1.343                    |
| BHT | 24.6         | 1.889                    | 1.516                    |
| BHM | 28.7         | 1.705                    | 1.325                    |
| BHS | 23.5         | 1.822                    | 1.475                    |

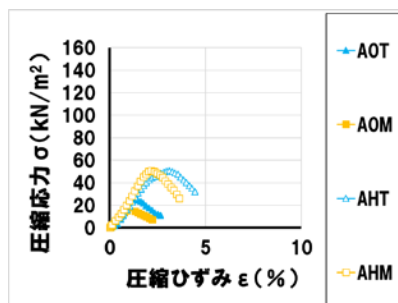


図-5 応力ひずみ曲線

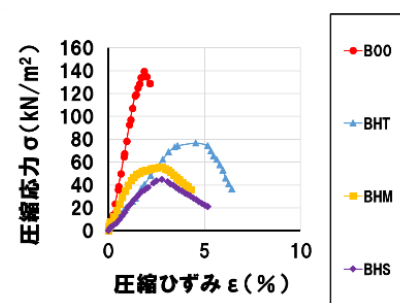


図-6 応力ひずみ曲線

#### 5. まとめ

アルカリ資材を添加した場合、非酸性土よりも酸性土に対する締固め特性の変化が大きく、コーン指数が大きくなることがわかった。

参考文献: 1) 赤司かがりほか: シールド工事で発生する上総層群泥岩の中性化処理、平成28年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、印刷中、2017. 3.