

バンコクにおける気泡混合土の盛土試験（その1）

－配合と試験盛土の施工－

(独) 土木研究所 正 古本 一司  
五洋建設(株) 正 ○新舎 博 五洋建設(株) 正 渡邊 雅哉  
太平洋ソイル(株) 藤井二三夫 日本工営(株) 増沢 達也

1. はじめに

タイの首都バンコクはチャオプラヤ川という大河の周辺に発達した都市で、標高は0～3mと低く、また地表面下には青灰色を呈する海成粘土が-20～-30mまで厚く堆積する軟弱地盤上に位置している。この地盤上に高速道路を建設する計画があり、鉛直ドレーンと盛土の併用工法の代替案として、気泡混合土<sup>1)</sup>による盛土が計画されている。

気泡混合土は泥水状に解泥した粘土（調整泥土）に固化材と事前発泡させた気泡を混合するものであり、日本では多くの実績があるが、バンコクでの適用は初めてである。そこで、気泡混合土の強度、耐久性、および気泡混合土による盛土地盤の沈下などの課題を解明する目的で、バンコクで盛土試験を実施した。本文は気泡混合土の配合と試験盛土の施工について報告する。

2. 気泡混合土の配合

試験場所で採取したバンコク粘土の物理特性を表-1に示す。試料は地表面付近で採取したことから、自然含水比は $w_n=84.3\%$ であり、液性限界 $w_L$ よりもやや低かった。気泡混合土の試験配合例を表-2に示す。試験は調整泥土の含水比を $3.0\times w_L$ に調整し、気泡混合土の密度は $\rho=0.8, 1.1\text{g/cm}^3$ の2種類、および固化材添加量は100、150、200 $\text{kg/m}^3$ の3水準で実施した。配合試験での目標強度は400 $\text{kN/m}^2$ （設計 $\text{CBR}=5\%$ より設計強度は200 $\text{kN/m}^2$ 、これに室内／現地の強度比2を考慮）であり、固化材は現地の高炉セメントを使用した。

図-1は混練直後における気泡混合土のフロー値（JHS A 313）を示している。締め固めが不要の条件において、フロー値は180±20mm程度が必要である。また、図-2は材例28日における一軸圧縮強さの結果である。図-2より、強度400 $\text{kN/m}^2$ を満足する固化材量は170 $\text{kg/m}^3$ 以上となり、配合は日本の海成粘土を利用したものよりもやや多い（通常100～120 $\text{kg/m}^3$ ）ことが明らかとなった<sup>2)</sup>。

3. 試験盛土の施工

試験盛土はバンコク市内から35kmほど離れたチョンブリ高速道路のインターチェンジ周辺（Lat Krabang I/C）で実施した。盛土の全景を写真-1および断面を図-3に示す。盛土の大きさは底面幅が14m×14mの正方形で、高さは3m（地盤上は2m）である。試験盛土の施工は表層1mの粘土を掘削し、この掘削底面を基準として、密度1.0、0.8および0.6 $\text{g/cm}^3$ の気泡混合土をそれぞれ1m厚さで作製した。表-3に各層の配合を示す。0.8と0.6 $\text{g/cm}^3$ の気泡混合土は試験盛土作製時に防水シートを周囲に設置し、乾季の乾燥と雨季に水没した際の吸水の影響を取り除くことにした。また、気泡混合土の上部への0.5m厚さの覆土は雨季（水位は1.5mまで上昇）の浮き上がりを防止するためである。

表-2 気泡混合土の試験配合例

| 表-1 バンコク粘土の物理特性                     |       | 1 $\text{m}^3$ (1000l) あたりの標準配合表    |                                               |                                      |            |       |       |       |        |           |       |
|-------------------------------------|-------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|------------|-------|-------|-------|--------|-----------|-------|
|                                     |       | 目標密度<br>$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 調整泥土<br>湿潤密度<br>$\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 固化材<br>添加量<br>C (kg/m <sup>3</sup> ) | 上段：質量 (kg) |       |       |       |        | 下段：体積 (l) |       |
|                                     |       |                                     |                                               |                                      | 含水比調整泥土    |       | 固化材   | 軽量材   |        |           | 全体    |
|                                     |       |                                     |                                               |                                      | 乾燥土        | 水     |       | 起泡剤   | 希釈水    | 空気量       |       |
| 土粒子密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.389 | 1.10                                | 1.195                                         | 100                                  | 248.3      | 744.9 | 100.0 | 0.343 | 6.521  | —         | 1,100 |
| 自然含水比 $w_0$ (%)                     | 84.3  |                                     |                                               |                                      | 86.2       | 744.9 | 31.6  | 0.345 | 6.521  | 130.4     | 1,000 |
| 液性限界 $w_L$ (%)                      | 93.8  | 1.10                                | 1.195                                         | 150                                  | 235.4      | 706.3 | 150.0 | 0.411 | 7.811  | —         | 1,100 |
| 塑性限界 $w_p$ (%)                      | 37.9  |                                     |                                               |                                      | 81.8       | 706.3 | 47.5  | 0.413 | 7.811  | 156.3     | 1,000 |
| 塑性指数 $I_p$                          | 55.9  | 1.10                                | 1.195                                         | 200                                  | 222.6      | 667.8 | 200.0 | 0.479 | 9.100  | —         | 1,100 |
|                                     |       |                                     |                                               |                                      | 77.3       | 667.8 | 63.3  | 0.481 | 9.100  | 182.1     | 1,000 |
|                                     |       | 0.80                                | 1.195                                         | 100                                  | 170.0      | 510.0 | 100.0 | 0.998 | 18.966 | —         | 800   |
|                                     |       |                                     |                                               |                                      | 59.0       | 510.0 | 31.6  | 1.003 | 18.966 | 379.4     | 1,000 |
|                                     |       | 0.80                                | 1.195                                         | 150                                  | 157.2      | 471.5 | 150.0 | 1.066 | 20.256 | —         | 800   |
|                                     |       |                                     |                                               |                                      | 54.6       | 471.5 | 47.5  | 1.071 | 20.256 | 405.2     | 1,000 |
|                                     |       | 0.80                                | 1.195                                         | 200                                  | 144.3      | 433.0 | 200.0 | 1.134 | 21.546 | —         | 800   |
|                                     |       |                                     |                                               |                                      | 50.1       | 433.0 | 63.3  | 1.140 | 21.546 | 431.0     | 1,000 |

キーワード：気泡混合土、バンコク粘土、盛土、配合、施工システム  
連絡先：〒112-8576 東京都文京区後楽2-2-8 五洋建設(株) 土木設計部 TEL03-3817-7655

表-3 気泡混合土の配合(各層 1m<sup>3</sup>当たり)

|     | 目標密度<br>g/cm <sup>3</sup> | 調整泥土<br>湿潤密度<br>g/cm <sup>3</sup> | 調整泥土(kg/m <sup>3</sup> ) |       | 固化材<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 軽量材(kg/m <sup>3</sup> ) |       |
|-----|---------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-------|-----------------------------|-------------------------|-------|
|     |                           |                                   | 原料土                      | 水     |                             | 起泡剤                     | 希釈水   |
| 3層目 | 0.60                      | 1.13                              | 169.3                    | 206.6 | 200                         | 1.20                    | 22.88 |
| 2層目 | 0.80                      | 1.21                              | 422.4                    | 168.1 | 187                         | 1.13                    | 21.39 |
| 1層目 | 1.00                      | 1.20                              | 611.8                    | 177.4 | 197                         | 0.81                    | 12.99 |



写真-1 試験築堤の全景

図-4 に気泡混合土の施工システムを示す。界面系の起泡剤、泥土・固化材を混合する固化材混合装置、および固化材混合土と発泡させた気泡との気泡混合装置は日本から持ち込み、その他の機材は現地で調達した。これらの組み合わせにより、ほぼ所定品質の気泡混合土を作成することができた。

#### 4. まとめ

バンコクで気泡混合土の盛土試験を実施した。盛土の大きさは底面幅が 14m×14m の正方形で、高さは 3m（地盤上は 2m）であり、密度 1.0、0.8 および 0.6 g/cm<sup>3</sup> の気泡混合土をそれぞれ 1m 厚さで作製した。本文は（その 1）として、気泡混合土の配合と施工について述べた。

- (1) バンコク粘土で気泡混合土の配合試験を実施したところ、日本の粘性土よりも固化材添加量がやや多くなることが明らかとなった。
- (2) 試験盛土の施工は気泡剤、固化材混合装置、気泡混合装置などを日本からバンコクに持ち込み実施した。今後、現地の材料や機材の調査を行う必要がある。

本研究は、(独) 土木研究所と BRRD(タイ国運輸通信省道路局)、およびハイグレードソイル (HGS) コンソーシアムとの共同研究の一部を報告するものである。

#### 参考資料

- 1)HGS 気泡混合土工法 技術資料, HGS 研究コンソーシアム, 2005.4.
- 2)港湾・空港における軽量混合処理土工法 技術マニュアル, (財) 沿岸技術研究センター, 2007

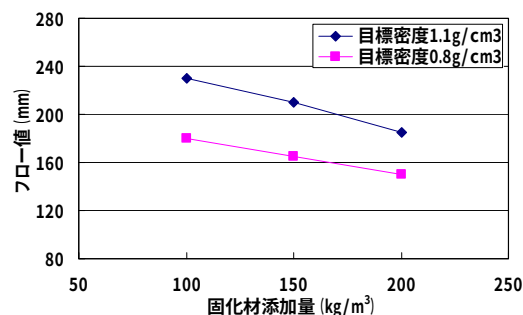


図-1 気泡混合土のフロー値

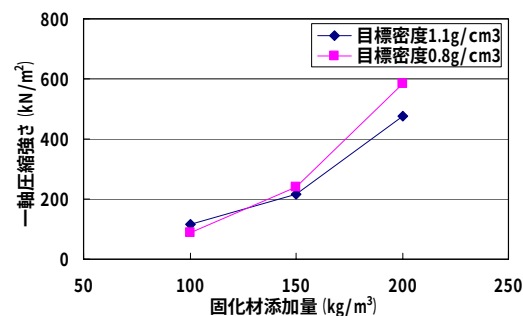


図-2 一軸圧縮強さ (材例 28 日)

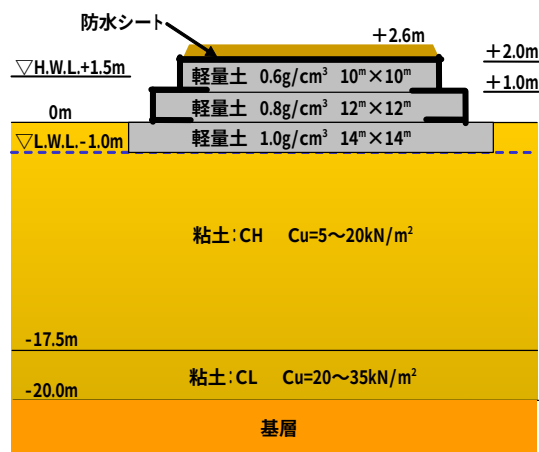


図-3 試験盛土の断面

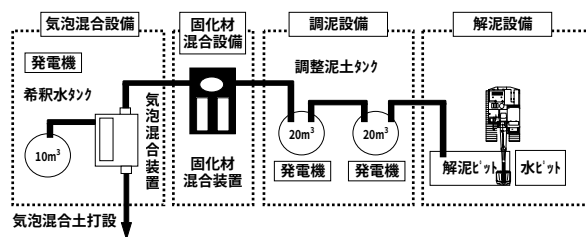


図-4 施工システム