

# バンコクにおける道路試験盛土への気泡混合土の適用

土橋聖賢\* 大久保泰宏\*\* 平野孝行\*\*\*

## 1. はじめに

タイの首都バンコクの位置する中央平原は、基準海面からの標高が0m~3mの極めて低平地で、地表面下には青灰色を呈する厚さ10m~数10mの軟弱粘土地盤が広がる。そのため周辺の高速度道路では、盛土の高さを極力抑えて造られており、軟弱地盤対策としては、鉛直ドレーンによる圧密促進工法が採用されているが、大きな圧密沈下が生じている。また、近年、住宅地などの造成が増加する傾向にあり、その影響で良質な客土が不足し、約100km離れた山岳部から供給せざるを得なくなっており、土砂の利用量の少ない、より合理的な軟弱地盤対策が望まれている。

このため、(独)土木研究所とタイ国運輸通信省道路局道路研究開発部との共同研究に、HGS研究コンソーシアムが協力し、ハイグレードソイル(HGS)気泡混合土工法を適用した高速度道路盛土の検討を行っている。気泡混合土は、現地盤表層の掘削土に、水、セメントおよび気泡を混合して作製する軽量土で、地盤への負荷を低減するとともに、外部からの盛土材の搬入を極力、抑えて盛土を造ることが可能である。<sup>1)</sup>

本報告では、平成16年~18年度に共同研究の一環としてタイ・バンコクで現地発生土を用いて実施した気泡混合土の試験盛土の結果と、その成果を道路盛土に適用した事例を紹介する。

## 2. 試験盛土

### 2.1 試験盛土の概要

#### (1) 粘土地盤の土質特性<sup>2)</sup>

試験盛土は、バンコク市内から35km離れたバンコクチョンブリ高速道路のLat Krabang I/Cに築造した。

現地の地盤特性は、表層1mが乾燥した粘土層であり、それ以深、GL-17.5mまでは軟弱な粘土層である。表-1に示すように自然含水比は、70~140%と幅があり、GL-1mから-17.5mまで深度方向に減

少している。また、液性限界も自然含水比と同様に深度方向に減少する傾向がある。この粘土の非排水せん断強度(現場ベーン試験)は、 $Cu=5\sim 16kN/m^2$ である。GL-17.5m以深は、N値10~40程度の粘土層である。

表-1 地盤の物理特性

| 深さZ(m)                                     | 1.5~5.5   | 6.0~17.5  | 18.0~20.0 |
|--|-----------|-----------|-----------|
| 自然含水比 $w_0$ (%)                            | 138~155   | 58.6~120  | 23.0~27.1 |
| 単位体積重量 $\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 13.4~13.8 | 13.8~16.4 | 20.1~21.6 |
| 液性限界(%)                                    | 146~160   | 72.3~140  | 38.0~42.4 |
| 圧縮指数Cc                                     | 2.51~2.58 | 0.60~1.68 | 0.13~0.17 |
| 圧密降伏応力 $pc$ (kN/m <sup>2</sup> )           | 45        | 40~170    | 300~500   |
| せん断強度 $Cu$ (kN/m <sup>2</sup> )            | 8~11      | 10~16     | 85        |

#### (2) 盛土の築造

盛土は、原地盤を1m掘削し、その掘削土を用いて密度1.0、0.8および0.6g/cm<sup>3</sup>の気泡混合土を作成し、図-1に示す断面の盛土を築造した。気泡混合土は、乾燥を防止するため、遮水シートで周囲を覆うとともに、盛土の上部には、乾燥防止と雨期の水没による浮上り防止のために0.5m厚さの覆土を施した。写真-1に盛土の完成時の様子を示す。

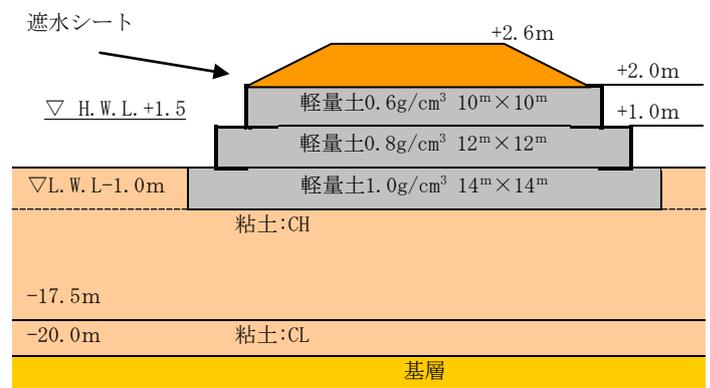


図-1 試験盛土の断面

在来工法の山砂を用いて、図のような高さ2mの盛土を築造した場合、244m<sup>3</sup>の土砂が必要となり、地盤への荷重増分は、地表面で45kN/m<sup>2</sup>となり、FEM

解析では最終沈下量が114.7cmと予測された。

一方、気泡混合土での盛土は、地盤を1m掘削し、その掘削土196m<sup>3</sup>を用いて盛土を築造しており、外部からの土砂の搬入は不要であった。また地盤への増加応力は、掘削分として13.4kN/m<sup>2</sup>の応力軽減があり、気泡混合土の24.0kN/m<sup>2</sup>、覆土の10.8kN/m<sup>2</sup>の増加分と合わせて、GL-1mの地盤で増加量は、21.4kN/m<sup>2</sup>となり、最終沈下量は、土砂盛土の約20%の25.5cmに軽減できると予測された。



写真-1 気泡混合土の打設終了時

## 2.2 調査結果

### (1) 密度・強度

施工時の管理として、材齢28日後の密度と一軸圧縮強さを測定した結果を表-2に示す。密度は、目標値の±0.05g/cm<sup>3</sup>であり、一軸圧縮強さは、全てが設計強度200kN/m<sup>2</sup>以上であり、基準を満足していた。

一年および二年経過後の気泡混合土の性状を把握するために、盛土のコーナー部から各5本サンプリングを行い、密度試験および強度試験を行った。結果を表-2に示す。強度については、各層共にほぼ設計強度の200kN/m<sup>2</sup>を満足しており、一年目から二年目にかけて強度の増加傾向があった。

一方、密度は、第3層（上段）および第2層（中段）において設計値よりも若干大きくなっている。1、2年経過後の試料の採取位置が端部で、施工時に気泡軽量土を均し作業を行って、流動させるため、気泡が破壊し、これにより密度に影響したと考えられる。

### (2) 沈下量、変形量

事前に実施したFEM解析および試験盛土後のモニタリングした時間～沈下曲線を図-2に示す。図によると1年目の5月～10月の雨期に沈下量が減少してい

表-2 密度試験・一軸圧縮試験結果合

| 材齢    | 計測項目                       | 1層目                  | 2層目                 | 3層目                 |
|-------|----------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| 28日平均 | 密度(g/cm <sup>3</sup> )     | 1.00                 | 0.78                | 0.59                |
|       | 含水比(%)                     | 105                  | 85                  | 88                  |
|       | 一軸圧縮強さ(kN/m <sup>2</sup> ) | 11.2×10 <sup>2</sup> | 7.3×10 <sup>2</sup> | 5.1×10 <sup>2</sup> |
| 一年平均  | 密度                         | 1.04                 | 0.97                | 0.57                |
|       | 含水比(%)                     | 87                   | 60                  | 85                  |
|       | 一軸圧縮強さ                     | 7.2×10 <sup>2</sup>  | 5.4×10 <sup>2</sup> | 2.4×10 <sup>2</sup> |
| 二年平均  | 密度                         | 1.08                 | 0.91                | 0.73                |
|       | 含水比(%)                     | 125                  | 121                 | 119                 |
|       | 一軸圧縮強さ                     | 7.6×10 <sup>2</sup>  | 7.2×10 <sup>2</sup> | 4.6×10 <sup>2</sup> |

る傾向が見受けられる。これは、現地が写真-2にあるとおり、雨期になると、GL+1m程度に設置した仮設通路も水没してしまうほどの低湿地帯であり、水浸による浮力が沈下量に影響したと考える。なお、盛土周辺には、地盤の盛り上がりは測定されず、盛土による周辺への影響は少なかった。

約2年後の実測沈下量は約13cmであった。事前解析の結果は、実測値よりやや遅れる傾向があるが、誤差の量は小さいと考えられる。砂による盛土を用いた場合、約115cm沈下するのに比べると、気泡混

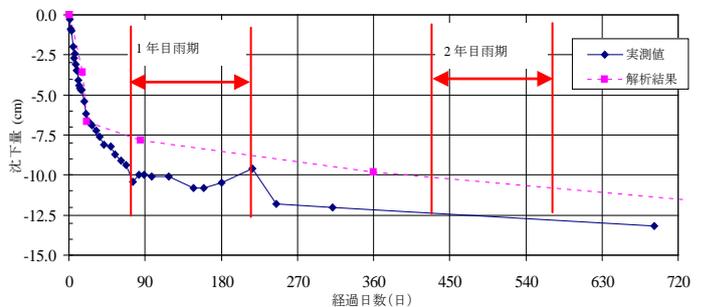


図-2 沈下量計測結果および解析結果



写真-2 雨期の状況

土研センター

土の持つ軽量性が十分に発揮され、沈下低減効果が確認できた。

### 3. 道路盛土への適用

#### 3.1 概要

タイ国道路局は、試験盛土の成果を受け、バンコク市より南西に延びるラマII世道路の片側3車線化拡幅工事において橋梁へのアプローチ部（72kmポスト付近）の盛土に気泡混合土の採用を決定した。ラマII世道路の72kmポスト付近の状況を写真-3に示す。



写真-3 ラマII世道路72km付近の状況(2006年)

### 3.2 気泡混合土の計画

#### 3.2.1 地盤概要と計画断面

現地の地盤特性は、試験盛土地盤と同様、表層2mに乾燥した粘土層があり、GL-2mから-15mまで軟弱な粘土層である。自然含水比は、GL-5mの140%をピークに、GL-13mの70%まで深度方向に減少している。この粘土の非排水せん断強度（一軸圧縮試験結果）はCu=5~30kN/m<sup>2</sup>である。GL-13m以深は、N値10~50以上の粘土地盤である。

気泡混合土は、取付け部の不同沈下をなくすとともに、施工に当たって供用中の道路交通への影響を最小限とするよう上り線の62.5m区間で計画された。

配合は、現地の海拔が非常に低く、雨期や高潮時にはGL±0m程度に水位になるため、長期的な安定性を考慮し設計密度を1.0g/cm<sup>3</sup>に、設計強度を400kN/m<sup>2</sup>に設定された。計画断面を図-3に示す。

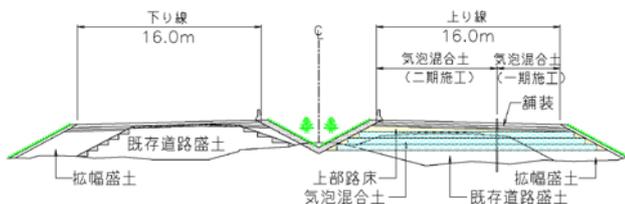
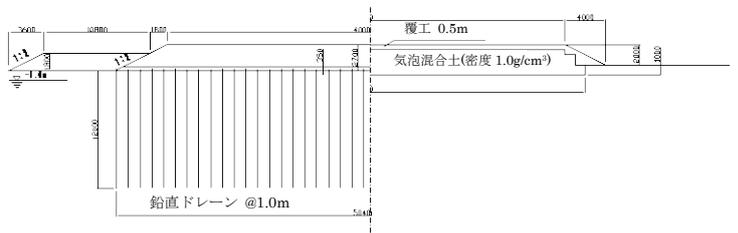


図-3 ラマII世道路の計画断面

#### 3.2.2 気泡混合土の効果

気泡混合土の沈下防止の効果については、関口・太田モデルを用いたFEM解析によって評価している。解析では、無処理と鉛直ドレーン、気泡混合土のケースを対象に実施した。解析結果を図-5に示す。

施工20年後の沈下量は、無処理地盤の場合、約110cmの沈下が予測され、最終沈下量は約200cmとなった。しかし、気泡混合土を採用することで、施工20年後の沈下量は約40cmに低減し、最終沈下量も50cmとなる。このため、舗装オーバーレイなどの維持管理も大幅に軽減することが可能と考えられる。



従来型の断面 ← → 気泡混合土断面  
図-4 気泡混合土と従来工法の断面図

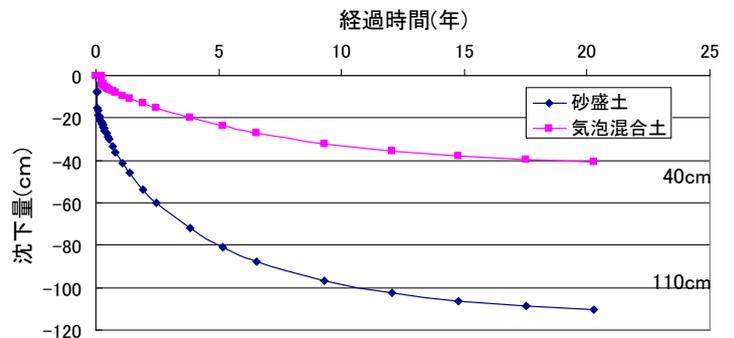


図-5 工法別による解析上の沈下量

### 3.3 気泡混合土の施工

今回の施工では、気泡混合土への適用が初めての現地で入手可能な起泡剤を使用した。このためプラントの発泡装置を用いて発泡試験を行い、希釈倍率及び発泡倍率を決定した。

表-3に製造から28日後の密度および一軸圧縮強さの結果を示す。両方の値は基準値を満足しており、現地の起泡剤で気泡混合土が製造できることが確認された。

表-3 材齢28日での密度および一軸圧縮試験結果

| 計測項目                       | 測定値                 | 基準値                    |
|----------------------------|---------------------|------------------------|
| 密度(g/cm <sup>3</sup> )     | 0.96~1.03           | 1.00±0.05              |
| 一軸圧縮強さ(kN/m <sup>2</sup> ) | 7.0×10 <sup>2</sup> | 4.0×10 <sup>2</sup> 以上 |

施工はラマⅡ世道路の上り線を2車線確保しながら行ったため、上り線中央に鋼矢板を打設して分割施工することとなった。写真-4から写真-6は2008年1月末現在の第1期施工終了までの状況である。同年2月上り線の車線切換を終え、残る半断面の施工を進めた。

現在のところ、周辺地盤への影響など見受けられない。今後、さらに計測を行い、材料の経年変化および在来工法との沈下の比較などを実施していく予定である。



写真-4 基礎掘削状況



写真-5 気泡混合土打設状況



写真-6 気泡混合土最終打設状況

謝 辞

試験盛土の解析、施工、追跡調査およびラマⅡ世道路での解析、施工にあたっては、太平洋ソイル㈱、日本工営㈱を中心にHGS研究コンソーシアム気泡混合土部会の皆様に多大なるご協力を頂いたことをここに記して深く感謝申し上げます。

また、試験盛土の一年目までの挙動について取りまとめた論文<sup>3)</sup>が、第27回道路会議奨励賞を受賞いたしました。関係者には深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 共同研究報告書第170号：混合補強土の技術開発に関する共同研究報告書－気泡混合土利用技術マニュアル、平成9年3月
- 2) 古本他：HGS気泡混合土工法における最近の取組み、土木技術、Vol.61、No.10、pp.18-24、2006
- 3) 古本他：気泡混合土工法を用いた試験盛土の長期挙動、第27回日本道路会議 道路資産形成グループ（土工部門）、13P20、2008

土橋聖賢\*



財団法人土木研究センター技術研究所 地盤・施工研究部主任研究員  
Kiyomasa DOBASHI

大久保泰宏\*\*



五洋建設㈱本社土木設計部係長  
Yasuhiro OOKUBO

平野孝行\*\*\*



西松建設㈱土木設計部 副部長  
Takayuki HIRANO