

## 交通荷重を受ける鉄鋼スラグ混合盛土の長期変状に関する現場実証実験

### 1. 目的

大型トラック等の交通荷重が長期間作用した場合の盛土の性能(変形性)について現場検証実験を実施し、豪雨・地震に対して強く、低コストで環境面でも安全な鉄鋼スラグ混合盛土の実用化を目指す。

### 2. 鉄鋼スラグ混合盛土の実用化に向けての検討事項

鉄鋼スラグ混合盛土の実用化のためには、以下の4つの課題をクリアする必要がある(図1)。

- ①盛土の交通荷重に対する変形(沈下など)性能は?
- ②盛土の耐水性能は?
- ③盛土の耐震性能は?

上記項目を検討するため、神戸市の協力のもと、神戸空港島内埋立地内に仮設道路を施工し、実大スラグ混合盛土における現場検証実験を実施した(写真1)。

- ・試験サイト：神戸空港島内(写真2)
- ・試験期間：2016年1月より2017年11月まで

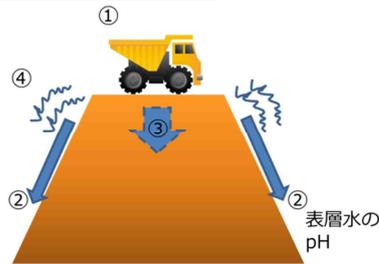


図1 理想とする鉄鋼スラグ混合盛土



写真1 実物大スラグ混合盛土



写真2 神戸空港島の外観

### 3. 平成29年度の活動状況と成果

#### 1) 実物大試験盛土を用いた現場検証実験

- ① **原位置試験** (貫入抵抗 (N 値), 盛土変状, CBR 試験, 植生)
  - ・建設残土の盛土では、施工後から現在に至るまでの N 値に変化はなく低い値を示す。一方、鉄鋼スラグ混合盛土は強度が徐々に増加し、施工1年で概ね一定となっている(図2)。
  - ・建設残土の盛土は、2年が経過しても盛土天端にわだち掘れが発生(14cm程度/2年)。一方、鉄鋼スラグ混合土を用いた盛土では、変状はほとんどない(4cm程度/2年)。
  - ・CBR 試験より、スラグ混合土盛土の CBR 値は建設残土に比べ約13~15倍の値を示している(写真3, 表1)。
  - ・すき取り物による盛土法面の緑化を施した結果(写真4中, A, B, C 部), スラグ混合土盛土においても植生が確認できており、植生の繁茂状況からもアルカリ浸出水の影響はないことが分かる。

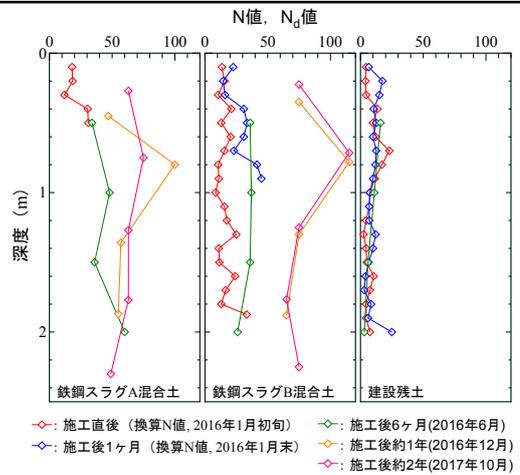


図2 貫入試験による N 値の比較



写真3 現場 CBR 試験の様子

表1 現場 CBR 試験結果

鉄鋼スラグ A 混合土	338.7%
鉄鋼スラグ B 混合土	287.1%
建設残土	21.8%

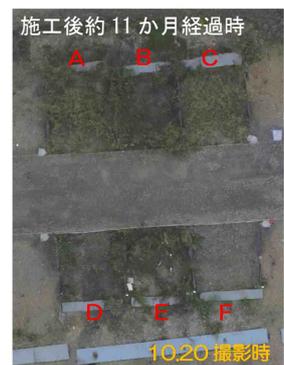
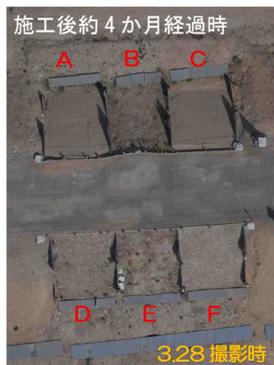


写真4 盛土法面の植生繁茂の推移(植生はA, B, C部に実施, A: 鉄鋼スラグ A 混合土, B: 建設残土, C: 鉄鋼スラグ B 混合土)

### 3. 平成29年度の活動状況と成果

#### 2) 実物大盛土における浸透挙動の把握 (盛土解体時まで)

##### ① 盛土への降雨浸透シミュレーション

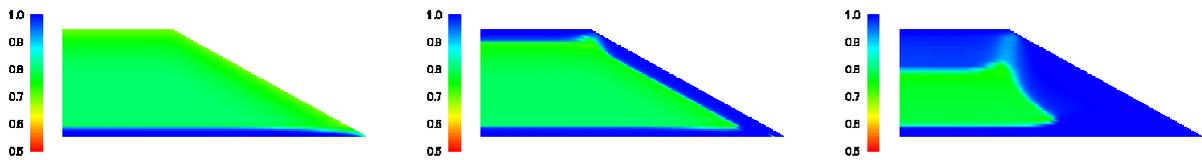
- 盛土表面から浸透した雨水は基本的に鉛直下向きに流れる。その過程で、飽和度の高い法面近傍で透水係数が高くなるため、浸透雨水は透水係数の高い方へ誘導され、法面と平行に流れやすくなる。結果的に盛土深部への雨水の到達は容易ではない(図3)。

##### ② 盛土内含水率分布 (図4) に計測器の設置位置を示す)

- 9月~10月にかけて降雨頻度、降雨量とも大きく、全体的に含水率は高め(図5)
- 10月23日台風時には、その前の降雨の影響で、すべての盛土において盛土深部に浸透雨水が到達(図5)

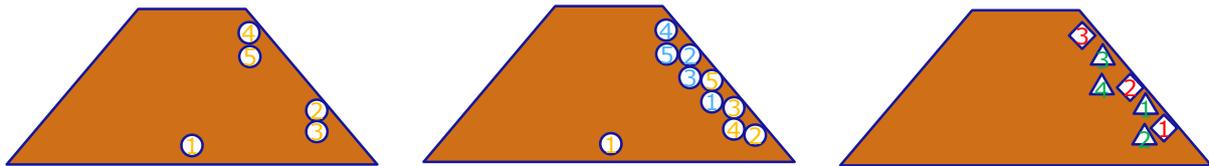
##### ③ 盛土内サクション(負の水圧)および空気圧

- 含水比変化による地盤材料の剛性変化を表すサクションは、降雨時に大きく低下している。盛土解体時は回復途上(図6)
- 高い降雨強度下では、表面が浸透雨水に覆われ内部の空気圧が上昇(図7)



(a) 降雨開始前 (b) 降雨開始3時間後 (c) 降雨開始24時間後

図3 降雨浸透シミュレーションによる飽和度分布

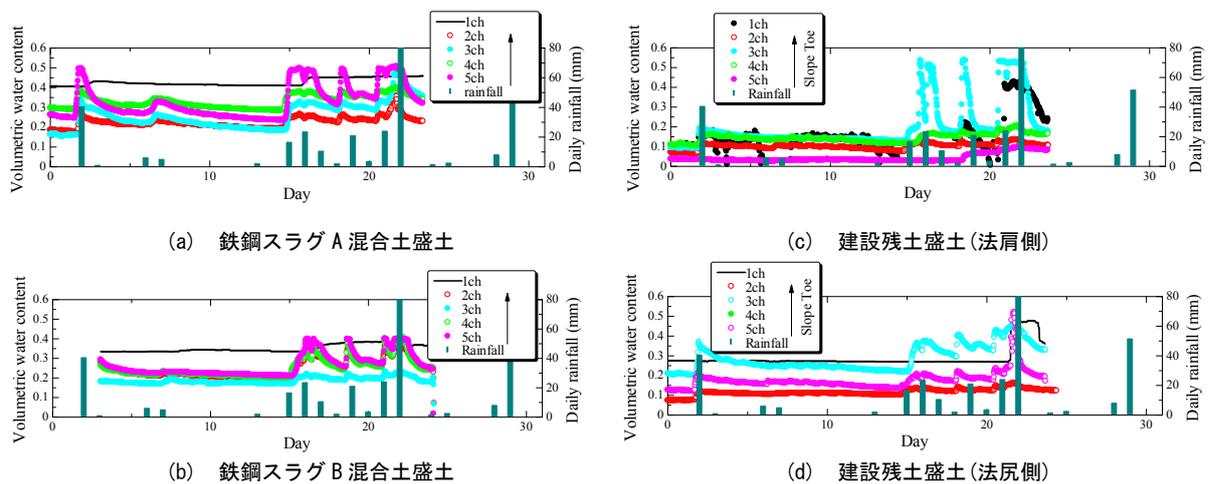


青色:法肩側 Em50  
橙色:法尻側 Em50

赤色:テンシオメーター  
緑色:空気圧計

(a) 鉄鋼スラグ A, B 混合土盛土 (含水率計) (b) 建設残土盛土 (含水率計) (c) 建設残土盛土 (圧力計)

図4 計測機器設置位置



(a) 鉄鋼スラグ A 混合土盛土

(c) 建設残土盛土(法肩側)

(b) 鉄鋼スラグ B 混合土盛土

(d) 建設残土盛土(法尻側)

図5 含水率の計時変化(10月~盛土解体)

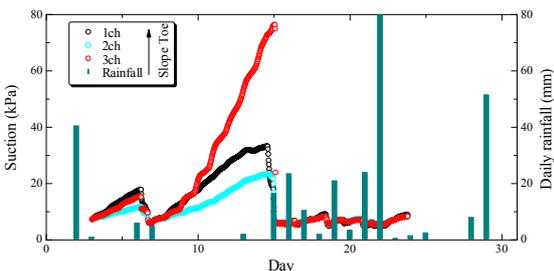


図6 サクションの計時変化(10月~盛土解体)

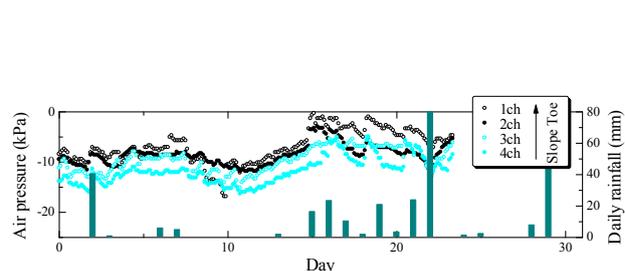


図7 空気圧の計時変化(10月~盛土解体)

### 3. 平成29年度の活動状況と成果

#### 2) 実物大盛土における浸透挙動の把握（盛土解体時まで）

##### ④ 盛土内部の含水比

→盛土解体時に一定深度および間隔にて試料を採取し（写真5）、盛土内部の含水比を詳細に検討。

・鉄鋼スラグ A 混合土で施工した盛土では、基盤部に水たまりができており、（写真6）、含水比も下部で高い。一方で、鉄鋼スラグ B 混合土で施工した盛土は、盛土下部ほど含水比も低い傾向となっている（図8）。

→含水比分布の違いは、図4で鉄鋼スラグ B 混合土の透水係数が低くなっていることから、より鉄鋼スラグ B 混合土盛土のほうがより内部に水を通しにくい状況となっていることが示唆される。

・建設残土盛土の含水比も、鉄鋼スラグ B 混合土同様に下部で低い含水比となっており、盛土自体が施工当初よりも締固め度が増加し、透水係数が低下していることが一因になっているものと思われる（図8）。



写真5 資料採取時の様子



写真6 盛土基盤部の様子 (a: 鉄鋼スラグ A 混合土, b: 鉄鋼スラグ B 混合土)

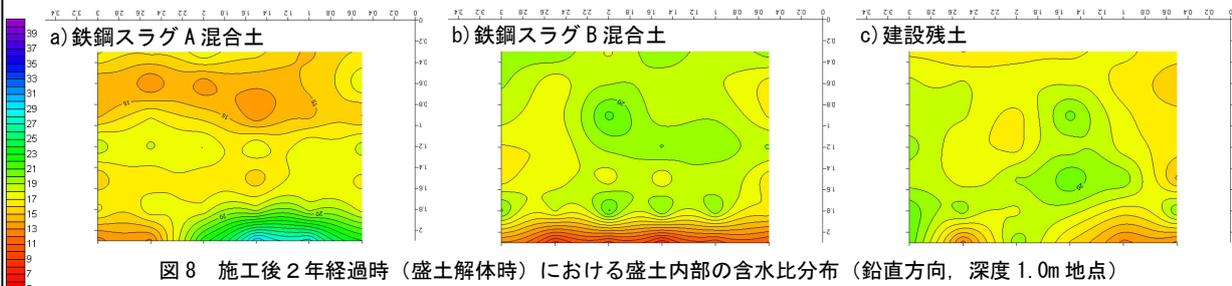


図8 施工後2年経過時（盛土解体時）における盛土内部の含水比分布（鉛直方向、深度1.0m地点）

#### 3) 採取試料での各種室内試験

##### ① 不攪乱試料を用いた三軸（CUB）試験、透水係数試験

・鉄鋼スラグ混合土の有効応力における各試料の内部摩擦角は、施工当初より40°と大きい。一方で粘着力は2年が経過しても建設残土よりも低い値となっていることから、鉄鋼スラグと建設残土を適切な配合比率で混合させることにより、鉄鋼スラグ混合土はφ材料となりえることが確認できた（図9）。

・建設残土は施工当初よりも盛土内部の締固め度が増加しており、その分透水係数が低くなっている。一方、鉄鋼スラグ混合土は、施工後1年から2年の間で1オーダー程度の透水係数の低下にとどまっている（図10）。

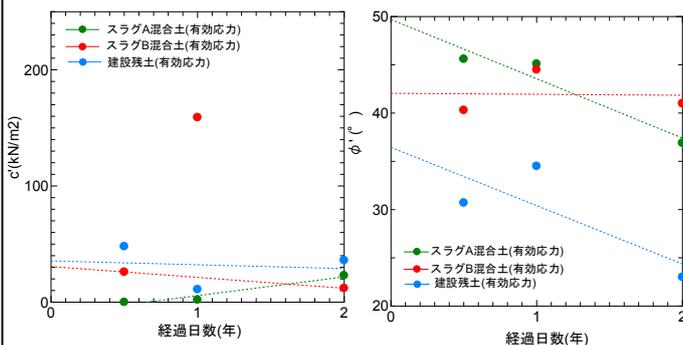


図9 時間経過に伴う内部摩擦角，粘着力の推移

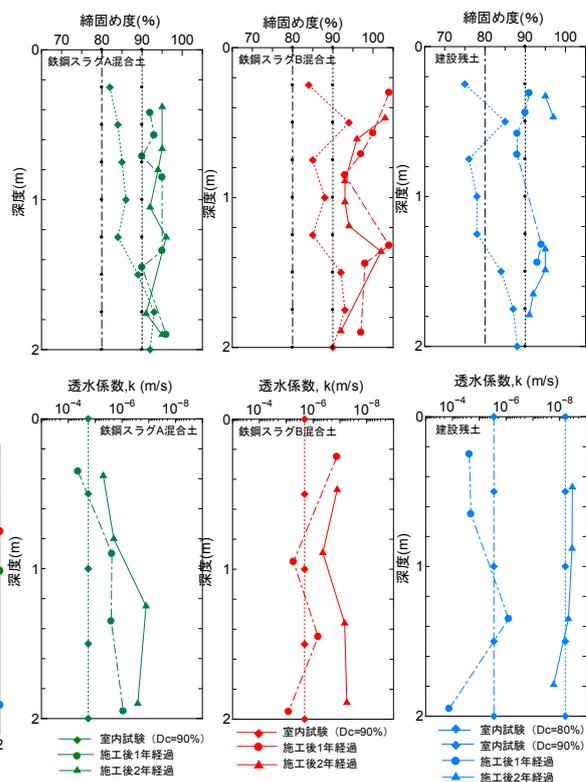


図10 盛土深度方向における締固め度と透水係数

#### 4. 当該研究におけるまとめと今後の課題

- ・一連の研究成果から、細粒分の多い建設残土にスラグを一定量混合することで、耐水性、耐震性などの実用化に向けた課題をクリアし、**盛土材として有望であることが確認**できた。  
→今後も、実用を予定している道路盛土にてスラグ混合土を使用し、長期的に盛土材料としての有用性を検証。
- ・一方で、混合する側の土の種類によっては、盛土材としての適切な配合比率が変動することから、**実用化のためには、様々な土を対象としたスラグ混合土の水理・力学特性を評価**する必要がある。  
→将来的には、鉄鋼スラグ混合土を盛土材料として使用する際の設計・施工基準ガイドライン案を策定。

参考：鉄鋼スラグの利用拡大研究会 陸域利用 盛土研究ワーキンググループ 構成メンバー  
神戸大学 澁谷教授[主査]、神戸大学 河端教授、大阪府立大学高専 新納教授、神戸大学 齋藤助教、近畿大学 河井准教授、神戸大学 片岡助教  
新日鐵住金(株)、(株)神戸製鋼所、神鋼スラグ製品(株)、日鉄住金スラグ製品(株)、  
国立研究開発法人土木研究所、兵庫県農林水産技術総合センター、(公財)ひょうご環境創造協会兵庫県環境研究センター、  
兵庫県農政環境部 環境整備課、農村環境室、水大気課、兵庫県県土整備部 技術企画課、道路保全課、  
いであ(株)、(公財)ひょうご環境創造協会(ひょうごエコタウン推進会議事務局)