

## 六甲山系のソイルセメント材の強度特性に関する一考察

国土交通省近畿地方整備局六甲砂防事務所 石塚忠範、藤原克哉、服部浩二、岩村美樹、長渡祐樹  
 (株) オリエンタルコンサルタンツ ○井川 忠  
 株式会社本久 小布施栄

## 1. はじめに

六甲砂防管内の砂防工事で発生する土砂を有効活用するため、砂防ソイルセメント工法の流動タイプ（以下「INSEM-F タイプ」）、転圧タイプ（以下「INSEM-C タイプ」）に関する簡易配合試験を実施した。簡易配合試験では、人力掘削による表層土砂（21箇所）と工事現場で建設機械により地表から3m以深の深部土砂（7箇所）の2種類を採取し、同一現場の表層・深部での圧縮強度・湿潤密度等の材料特性を確認した。本発表では、簡易配合試験によるINSEM-Fタイプ・INSEM-Cタイプの強度発現の特性や表層と深部の採取土砂の材料の特性の違い等について考察した結果を説明する。

## 2. 採取土砂の特徴

六甲山系は、表層はマサ化した風化花崗岩で構成されている溪流が多く、砂防工事で発生する掘削残土の多くはこの風化花崗岩である。六甲山系の山林の特徴は人工林がほとんどなく、アラカシなどの常緑広葉樹に覆われた極相林の溪流が多い。このため、林床は暗く土壌には草本が侵入しにくい条件であり、多くの溪流では表層の風化が発達している。一方、工事現場から採取した深部の土砂は地表面から3m以深であり、表層土砂に比べると樹木や雨水等の浸透の影響を受けにくい条件であると想定される。これらの採取位置の違いは、土砂に含まれる有機成分の含有量にも影響しており表層土砂では多く、深部の土砂では有機成分が少ない結果が得られている。表層と深部の土砂の粒度については、ふるい分け試験の結果、採取場所7箇所のうち、0.075mm以下の細粒分含有量で見ると多いところで25%程度、少ないところで10%未満とややバラツキがあった。礫分は全体的に少なく、全体的に粒度に片よりのことが示された。採取段階の自然含水比は、採取条件によりバラツキがあるが3%から30%程度の範囲であった。表層の含水比よりも深部の含水比の方が小さく、有機成分の含有量も深部の方が少ない傾向であることが示された。

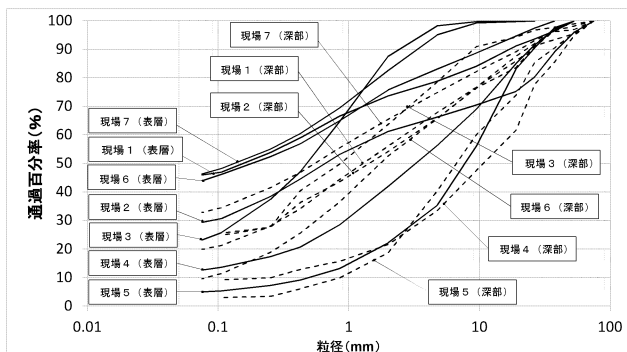


図1 ふるい分け試験結果

## 3. 簡易配合試験

## (1) 供試体作成

表層や深部から採取した土砂の物理特性を把握した後、直径5.0cm×高さ10.0cmの小径供試体（以下、「簡易配合試験供試体」）を用いてINSEM-FタイプとINSEM-Cタイプの圧縮強度試験を実施した。簡易配合試験供試体は、標準供試体の大きさ（直径12.5cm×高さ25.0cm）に比べて小さく、最大礫径や供試体作成方法の相違に伴う圧縮強度の信頼性への懸念が生じたことから、転圧タイプについては締固め回数を変えた2ケース（1.5kgランマ落下による突固め36回及び90回）を検討した。併せて、標準供試体は電動ハンマを用いて製作し相関を確認した。流動タイプは有スランプであるため、製作方法は簡易配合試験供試体・標準供試体ともに同様とし単位体積重量と圧縮強度による比較を行った。

## (2) 簡易配合試験供試体の湿潤密度

図2にINSEM-Cタイプの突固め方法の違いによる湿潤密度の比較結果を示す。標準供試体（電動ハンマ）の突固め結果より、1.5kgランマで製作した突き固めの方が36回で1.03倍（+3%）、90回で1.05倍（+5%）大きい傾向である。また、1.5kgランマの突固めによる比較では36回に対して90回は1.02倍（+2%）の結果となった。簡易配合試験供試体は小径であり、ランマの力が伝達されやすく密度が高めに出る傾向が示された。すなわち、今回検討した地域のマサ土では簡易配合試験により単位体積重量を検討する場合、標準供試体との密度の相関を確認のうえ設定する必要があることが示された。

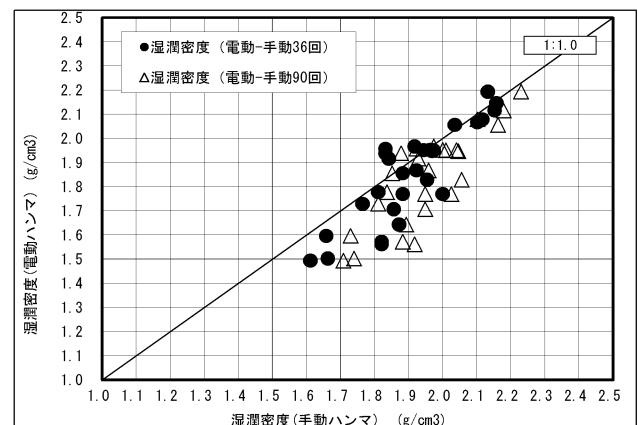


図2 突固め方法の違いによる湿潤密度の比較

INSEM-Fタイプは、生コンクリートに類似した性状のソイルセメント材であることから供試体の製作はINSEM-Cタイプのように起振力を加えない。従って、製造方法による人為的影響はほとんどないことから、供試体の大きさの違いによる密度の差はほとんどない。

### (3) 圧縮強度の評価

表層と深部の土砂に対して小径供試体を用いた配合試験を実施した。表層は深部に比べて有機物が多い傾向があるため、一般的な高炉セメントB種に加えて有機物対応のセメント系固化材を使用し、発現強度の傾向を確認した。本検討では、管内の土石流危険渓流の土砂に対して、どの程度の強度発現が得られるか目安を確認するため、単位セメント量はINSEM-CタイプはC=150kg/cm<sup>3</sup>、INSEM-FタイプはC=250kg/m<sup>3</sup>とした。

図3にINSEM-Cタイプの圧縮強度試験結果を示す。

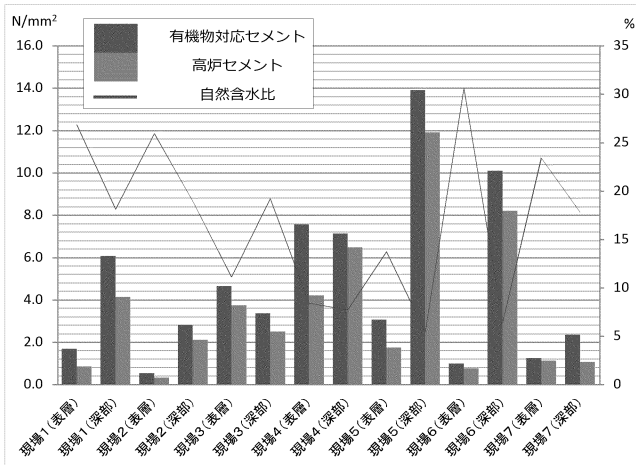


図3 圧縮強度と自然含水比の関係 (INSEM-Cタイプ)

INSEM-Cタイプの圧縮強度は、自然含水比が20%を超える高い土砂ほど水和反応が進行せず、圧縮強度が小さい傾向が確認される。また、同一箇所でも表層よりも深部の方が高い強度が得られる傾向が確認された。全箇所でも高炉B種よりも有機物対応セメントの方が圧縮強度は大きくなりセメント系固化材の有効性が示された。

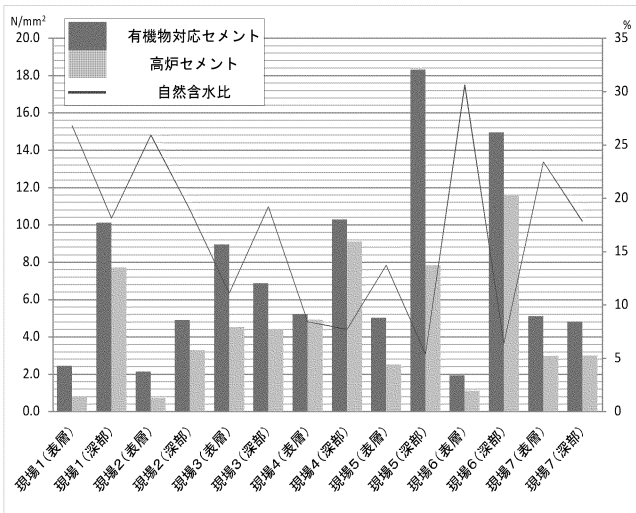


図4 圧縮強度と自然含水比の関係 (INSEM-Fタイプ)

続いて図4にINSEM-Fタイプの圧縮強度試験結果を示す。INSEM-Cタイプと同様に、圧縮強度は表層よりも深部で採取した土砂の方が高い、また有機物対応セメントの方が高炉B種よりも高い発現強度が得られる結果となった。

### (4) 製造方法の違いによる評価

本検討では採取土砂に対してINSEM-CタイプとFタイプの簡易配合試験により強度発現性、湿潤密度を得るものとした。製造方法の違いによる圧縮強度と湿潤密度の違いについて整理した。図5に各タイプの圧縮強度試験結果、図6に湿潤密度の計測結果を示す。両工法はセメント量や製造方法に違いがあるが、同一現場の土砂を用いる場合、圧縮強度はINSEM-Fタイプの方が大きくなる。また、湿潤密度は六甲管内の風化花崗岩は礫分が少なく密度が小さい傾向から水分の多いINSEM-Fタイプの方が湿潤密度は小さくなる傾向が確認された。

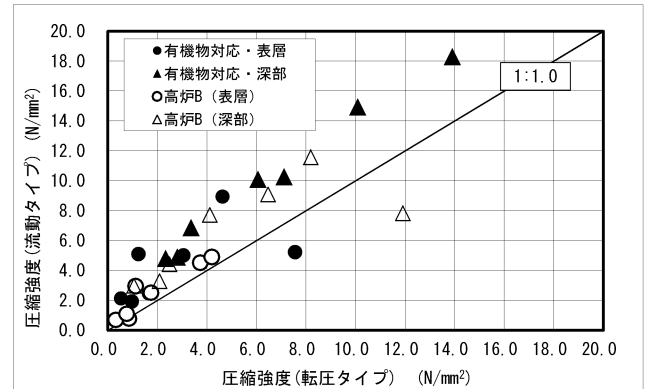


図5 INSEM-CタイプとFタイプの圧縮強度の比較

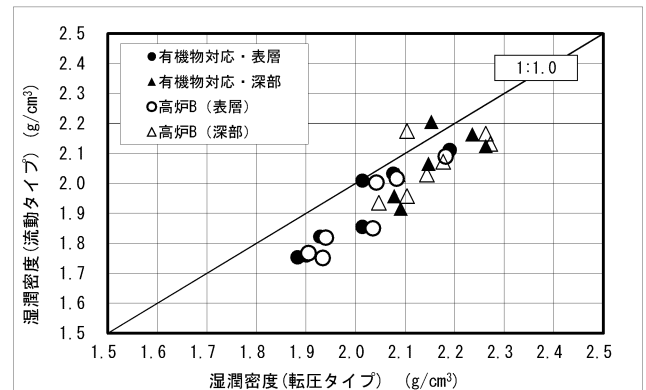


図6 INSEM-CタイプとFタイプの湿潤密度の比較

## 4. 六甲砂防管内のソイルセメント材の活用の展望

本検討で実施した簡易配合試験では、締固めによる施工のINSEM-Cタイプと有スランプ材としての活用を期待したINSEM-Fタイプの圧縮強度・湿潤密度の発現傾向や相違点を明らかにした。これらの2種類のソイルセメントは製造方法が異なっても概ね2N/mm<sup>2</sup>以上の圧縮強度が確認され、湿潤密度もコンクリートに比べると大きくはないものの一定の傾向が示された。六甲山系は、住宅密集地での砂防工事が多いため、索道による土砂の持ち出しが多い傾向にあるが、砂防ソイルセメント工法は施工条件が満たされれば積極的な活用が期待できる。

【参考文献】1) 砂防ソイルセメント施工便覧 平成28年9月、2) 現位置攪拌混合固化工法(ISM工法)設計・施工マニュアル第1回改定版 平成19年3月、3) 井川ら：平成29年度砂防学会研究発表会概要集、流動ソイルセメントの設計に関する一考察 2017