

Ⅲ - B310

転圧境界面部のCSGのせん断強度に関する検討

建設省 中部地方建設局 長島ダム工事事務所  
建設省 土木研究所  
基礎地盤コンサルタンツ

松岡 博  
正会員 山本 裕之  
○正会員 森田 悠紀雄

池上 真二  
正会員 豊田 光雄  
豊岡 義則

1. はじめに

CSG(Cemented Sand and Gravel)工法とは、河床砂礫等の現地発生材にセメントを添加混合することにより強度増加を図り、ダムサイト近傍に存在する材料を改良盛立材料として有効利用するものである。

CSG は施工上、転圧面のレーキング処理は行わずに上位層を盛立てるために、転圧境界面でのせん断強度を把握する必要があると考えられる。

本報文は、CSG 工法で施工された上流仮締切堤（4年経過）より転圧境界面付近を推定してコアリングを行い、原位置コアの三軸試験および一面せん断試験より得られたせん断強度について述べたものである。

2. 仮締切堤の材料

仮締切堤に用いられている CSG の母材は河床砂礫であり、表乾比重  $G_a=2.69$ 、吸水率  $Q=1\%$  である。施工粒度は、図-1 に示すように母材の最大粒径が 150mm、細骨材率（粒径 4.75mm 以下含有率） $s_a$  が 30 %、細粒分を約 1 % 含んでいる。なお、室内でもせん断強度を把握するため、室内で作製した供試体（以降、室内 CSG という）で三軸試験を行った。このときの粒度は施工粒度の細骨材率を変えないで最大粒径 37.5mm 以上をカットした。なお、試験に用いたセメントは高炉セメント B 種である。

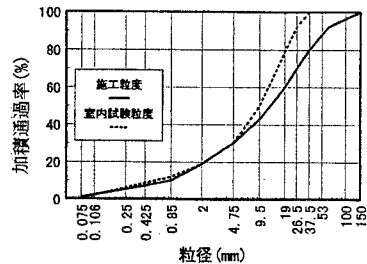


図-1 試験粒度

3. 原位置からのサンプリング

原位置からのサンプリングは図-2 に示すように仮締切堤の天端から採取した。CSG のコアリングは、通常のコアボーリング方式で行うとコアの損傷が大きく採取が困難なことから、気泡を用いた分流式コアリング工法を用いた。

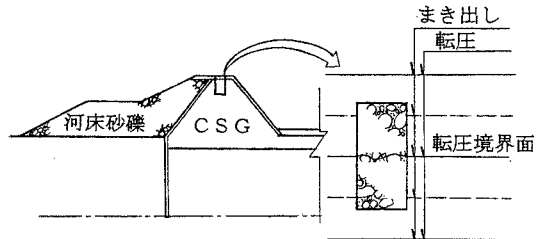


図-2 原位置からのサンプリング状況

採取した CSG のコア（以降、現地コアという）を観察したところ、明確な転圧境界面は確認できなかった。ただし、CSG の施工高さより推定した転圧面付近には、比較的大きな礫が存在した。これは、ダンピング時による材料分離が原因と考えられる。また、現地コアの硬さをハンマーの打撃により確認すると、転圧層の下方（転圧面の直上付近）がもろく、転圧層の上方と比べ固結度が低いと判断された。

4. 三軸試験および一面せん断試験法

表-1 に試験条件を示す。転圧境界面（以降転圧面という）の設定にあたって、三軸試験は供試

表-1 供試体作製条件

|           | 三軸試験                         |                              | 一面せん断試験                      |
|-----------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|           | 室内 CSG                       | 現地コア                         | 現地コア                         |
| 供試体寸法(mm) | φ 200 × h400                 | φ 300 × h600                 | φ 300 × h350                 |
| 単位セメント量   | 80kg/m <sup>3</sup>          |                              |                              |
| 最大粒径      | 37.5mm                       | 150mm                        |                              |
| 締固め方法     | 突固め試験機                       | 振動ローラ（起振力 19 t）              |                              |
| 締固めエネルギー  | 1Ec                          | 6 回転圧                        |                              |
| 材令        | 7 日                          | 約 4 年                        |                              |
| 供試体状態     | 気乾状態                         |                              |                              |
| 試験条件      | 圧密排水                         |                              | 圧密定圧                         |
| せん断速度     | 0.3mm/min                    |                              | 0.15mm/min                   |
| 拘束圧範囲     | 0.5 ~ 4.5kgf/cm <sup>2</sup> | 0.5 ~ 4.0kgf/cm <sup>2</sup> | 0.4 ~ 3.5kgf/cm <sup>2</sup> |

CSG、原位置コア、せん断強度

〒 428-04 静岡県榛原郡本川根町千頭 950-2  
〒 305 つくば市大字旭 1 番地  
〒 102 千代田区九段北 1-11-5

TEL 0547-59-3215 FAX 0547-59-3925  
TEL 0298-64-2211 FAX 0298-64-2688  
TEL 03-5276-6221 FAX 03-3234-7439

体のほぼ中央に想定した転圧面を配置し、一面せん断試験は、図-3に示すように上下端面をセメントペーストでキャッピングし、推定した転圧面を供試体のほぼ中央に配置した。ただし、せん断箱のすき間は、転圧面の不陸および粗粒材料の混入を考慮し10cmとした。試験数量は、試験値のばらつきを考慮するために、2ヶ所から得られた現地コアを用いた。

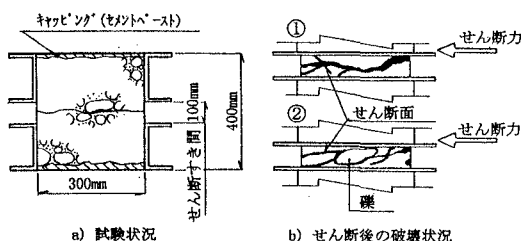


図-3 一面せん断試験の供試体および破壊状況

## 5. 試験結果および考察

### 5.1 三軸試験結果

図-4は現地コアと室内CSGの応力ひずみ関係を比較したものである。図は側圧 $\sigma_3=0.5, 4.0(4.5)\text{kgf/cm}^2$ における試験結果である。両者とも似通った挙動を示しているが、ピーク強度で比較すると、現地コアは室内CSGよりも小さく約6割の値を示している。現地コアの強度はこれまで行った結果でも室内CSGに比べて小さい値を示しており、この理由として粒度、締固め、養生条件の違いやコアリングによる影響等の様々な要因が考えられるが、ここでは供試体の破壊が主に固結度の小さい転圧層の下方で生じていることから、転圧面の存在による影響も大きいと考えられる。

### 5.2 一面せん断試験と三軸試験との比較

図-5に一面せん断試験によるせん断変位とせん断強度の関係を示す。変位に伴うせん断力の挙動は三軸試験に比べ様ではなく、拘束圧と強度の間にも相関性は見られない。一面せん断試験による供試体のせん断状況の2例を図-3bに示す。せん断面は様々な方向に生じており、推定した転圧面できれいにせん断される状況は認められなかった。

図-6に三軸試験による垂直応力とせん断強度の関係を示す。図には2ヶ所分の一面せん断試験によるせん断強度もプロットしている。一面せん断試験の強度は同一垂直応力でもばらつきが大きい場合もあり、せん断強度を把握するのは困難であるといえる。一般に粗粒材料においては一面せん断試験強度 $>$ 三軸試験強度の関係にあるが、今回はこの逆の傾向になった。三軸試験より求めた粘着力 $c$ 、内部摩擦角 $\phi$ を表-2に示す。ただし、一面せん断試験強度は、 $\sigma_v$ と $\tau$ の相関性が低いために、 $c$ 、 $\phi$ を求めている。現地コアの方が室内CSGより $c$ 、 $\phi$ とも小さく、とりわけ $c$ の値が約3割減少している。

### 6. まとめ

転圧境界面を想定したCSGのせん断強度についてまとめると以下のとおりである。

- ① 現地コアにおいて転圧境界面はクリアーに存在していない。
- ② 三軸試験による現地コアの破壊は、固結度の小さい転圧層の下方で生じており、せん断強度が小さくなった要因の一つと考えられる。また、現地コアのせん断強度は室内CSGよりも小さい。
- ③ 一面せん断試験で現地コアのせん断強度を把握するには、試験値のばらつきが大きく困難である。

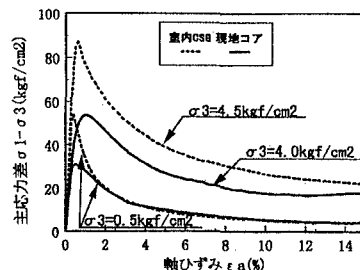


図-4 応力ひずみ関係

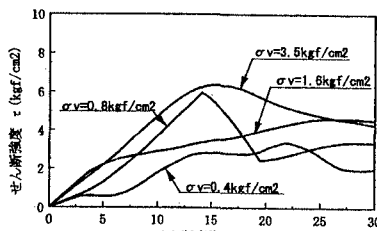


図-5 せん断変位とせん断応力の関係

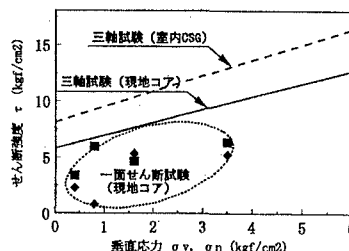


図-6 垂直応力とせん断強度の関係

表-2 粘着力と内部摩擦角

|      | 供試体   | 粘着力 $c$<br>( $\text{kgf/cm}^2$ ) | 内部摩擦角<br>$\phi$ (度) |
|------|-------|----------------------------------|---------------------|
| 三軸試験 | 室内CSG | 8.13                             | 54.0                |
|      | 現地コア  | 5.79                             | 49.1                |