

CSG工法を適用したフィルダム堤体の安定性に関する一検討

建設省 大分工事事務所  
八千代エンジニアリング(株) ○ 正会員 才田 進 田中 昭二  
建設省 土木研究所  
正会員 豊田 光雄

足立 辰夫 篠原 昌秀

1. はじめに

CSG (Cemented Sand and Gravel) 工法は、河床砂礫や廃棄岩等の現地発生材の大塊だけを除いて、分級せずにセメントを添加混合することにより強度増加を図り、改良盛立材料として有効利用するものである。これまで長島ダムや久婦須川ダムの二次締切堤等の実績がある。

本報文は、これらの仮設構造物の実績を踏まえ、CSG工法を用いた二次締切堤をフィルダム堤体の一部に取り込んだ場合の堤体の安定性について検討した結果を述べるものである。

2. CSGのせん断強度

CSGは、母材にセメントを添加混合(単位セメント量60~80 kg/m<sup>3</sup>)することから、粘着力を有するせん断強度が得られる。ただし、応力-ひずみ関係は、図-1に示すように通常の粗粒材料と異なり、2~3%のひずみでピーク強度を有する<sup>1)</sup>。表-1にこれまで室内と現位置コアにより試験されたCSGのせん断強度を示す。室内試験によれば、粘着力は330~510kN/m<sup>2</sup>、内部摩擦角は47~52度が得られている<sup>1)</sup>。これらを設計値として用いればCSG構造物は、フィルダムに比べてよりコンパクトな断面が可能である。

3. CSG構造物を本堤体内に取り込んだ場合の安定性の検討

3.1 検討方法

CSGのせん断強度は、フィルダム材料より大きいことからCSG構造物を堤体内に取り込むことにより、堤体の安定性についてはかなり寄与できると考えられる。ここでは①外部ロックの厚さ、②内部ロックの内部摩擦角の大きさ、③CSG構造物の高さに着目し、これらを種々組合わせて検討した。

図-2に検討断面図を示す。堤体の安定性は円形すべり面法によった。すなわち、計算は、震度法とH3年6月に出されたフィルダムの耐震設計指針(案)<sup>2)</sup>による修正震度法の二つの方法を行った。表-2に堤体材料の物性値を示す。なお、修正震度法で用いるロック材料のせん断強度は、 $\tau = A \sigma^b$  ( $\sigma$ :垂直応力)を用い、A、

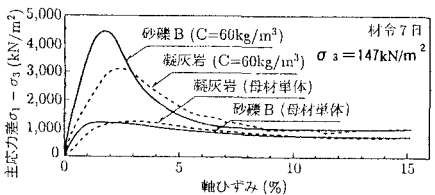


図-1 CSGと粗粒材料の応力ひずみ関係の一例<sup>1)</sup>

表-1 室内および現位置採取コアの粘着力と内部摩擦角<sup>1)</sup>

| CSGの呼び名 | C(kg/m <sup>3</sup> ) |                       | 室内試験 |  | 現位置採取コア               |      |
|---------|-----------------------|-----------------------|------|--|-----------------------|------|
|         | 母材                    | C(kN/m <sup>2</sup> ) | φ(°) |  | C(kN/m <sup>2</sup> ) | φ(°) |
| 砂礫B     | 60                    | 510                   | 51.8 |  | 143                   | 50.8 |
|         | 砂礫                    | 65                    | 47.8 |  | —                     | —    |
| 砂礫C     | 60                    | 492                   | 48.2 |  | 417                   | 41.7 |
|         | 砂礫                    | —                     | —    |  | —                     | —    |
| 凝灰岩     | 60                    | 330                   | 47.4 |  | 179                   | 43.7 |
|         | 凝灰岩                   | 129                   | 43.5 |  | —                     | —    |

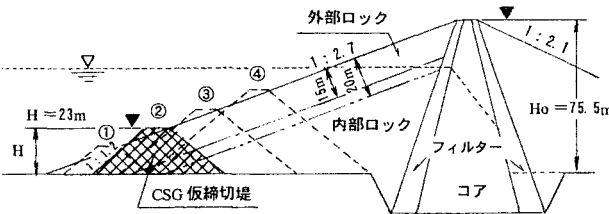


図-2 フィルダムの検討断面形状

表-2 築堤材料の物性値

|       |                | 絶対比重 G <sub>s</sub> | 含水比 w(%) | 間隙比 e | 単位重量 (tf/m <sup>3</sup> ) | せん断強度                   |      |       |       |
|-------|----------------|---------------------|----------|-------|---------------------------|-------------------------|------|-------|-------|
|       |                |                     |          |       |                           | C φ 法                   |      | A b 法 |       |
|       |                |                     |          |       |                           | C(kgf/cm <sup>2</sup> ) | φ(°) | A     | b     |
| ロック   | C <sub>u</sub> | 2.57                | 1.25     | 0.35  | 1.90                      | 1.93                    | —    | 1.622 | 0.793 |
|       |                |                     |          |       |                           | —                       | 2.16 | 1.336 | 0.847 |
|       | C <sub>l</sub> | 2.55                | 1.11     | 0.35  | 1.89                      | 1.91                    | —    | 1.547 | 0.790 |
|       |                |                     |          |       |                           | —                       | 2.15 | 1.340 | 0.810 |
| CSG   | C <sub>u</sub> | 2.53                | 1.50     | 0.35  | 1.87                      | 1.90                    | —    | 1.508 | 0.788 |
|       |                |                     |          |       |                           | —                       | 2.13 | 1.310 | 0.786 |
| フィルター |                | 2.58                | 2.0      | 0.32  | 1.95                      | 1.99                    | 2.20 | 0.700 | 1.0   |
|       | コア             | 2.65                | 15.0     | 0.47  | 1.80                      | 2.07                    | 2.12 | 0.577 | 1.0   |

bの定数を表-2に示す。CSGのせん断強度は、表-3に示す単位セメント量  $60 \text{ kg/m}^3$  のときの値を参考にして粘着力  $C = 330 \text{ kN/m}^2$ 、内部摩擦角  $\phi = 45$  度を採用した。

### 3. 2 検討結果と考察

#### (1) CSG構造物のフィルダム堤体内部への適用結果

表-3に堤高  $13.9 \text{ m}$  のCSG構造物を堤体内に有する場合とない場合の比較検討の一例である。このときに、外部ロックの厚さを  $15 \text{ m}$ 、外部ロック  $\phi = 38$  度、内部ロック  $\phi = 37$  度とした。CSG構造物の有無によって最小安全率  $F_{s \min}$  を示すすべり円弧の位置は異なるが、CSGを有する場合には、最小安全率  $F_{s \min}$  はやや増加する。なお、内部ロックをなくした全断面で比較しても  $F_{s \min}$  は、さほど小さくならないことから内部ロックを取り込むことが可能であることも示している。

#### (2) 外部ロックの厚さ、内部ロックの内部摩擦角の影響

CSG構造物の高さを一定とし、外部ロックの厚さ、内部ロックの内部摩擦角を変えたときの  $F_{s \min}$  について、2通りの計算を行った結果を図-3に示す。図-3 a, bとも内部ロックの  $\phi$  の値が下がると  $F_{s \min}$  は小さくなる。計算法による違いは、外部ロックの厚さに違いが現れる。震度法では外部ロックの厚さを薄くするメリットがでてくるが、修正震度法によれば深いすべり円弧が  $F_{s \min}$  となるため内部ロック材の  $\phi$  の大きさが重要となる。

#### (3) CSGの堤高と最小安全率

図-4に、CSG構造物堤高  $H$  と本体堤高  $H_0$  との比  $H/H_0$  と最小安全率  $F_{s \min}$  の関係を示す。図中には震度法と修正震度法の2通りの計算結果を比較しており、外部ロックの厚さ  $15 \text{ m}$ 、内部ロックの  $\phi$  は  $36$  度の場合である。 $H/H_0$  と  $F_{s \min}$  の関係は、 $H/H_0 = 0.3$  以上において  $F_{s \min}$  は急激に上昇する傾向にある。図-5に修正震度法による  $F_{s \min}$  を生じるすべり面の位置を示す。そのすべり面はCSG構造物を横切ることではない。

### 4. まとめ

今回、CSG構造物を堤体の一部に取り込んだ検討の結果、1)CSG構造物を取り込むことにより堤体の最小安全率は増加し、2)堤体内部に強度の小さい材料を取り込むことが可能であり、3)CSG構造物の高さが高くなることにより堤体の最小安全率が上昇することが分かった。

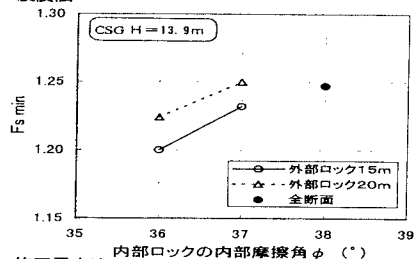
ただし、フィルダムは永久構造物であり、仮設構造物の実績から直ちに本体に取り込むことには多くの課題（強度評価、耐久性等）を克服する必要がある。

表-3 CSG構造物の有無による最小安全率の比較

|       | 震度法   | 修正震度法 | 備考                                                 |
|-------|-------|-------|----------------------------------------------------|
| CSGなし | 1.218 | 1.241 | 外部ロック $\phi = 38^\circ$<br>内部ロック $\phi = 37^\circ$ |
| CSG有り | 1.232 | 1.249 |                                                    |
| 全断面   | 1.247 | 1.284 | ロック $\phi = 38^\circ$                              |

CSG構造物高  $H = 13.9 \text{ m}$ 、外部ロック厚さ  $= 15 \text{ m}$

#### a. 震度法



#### b. 修正震度法

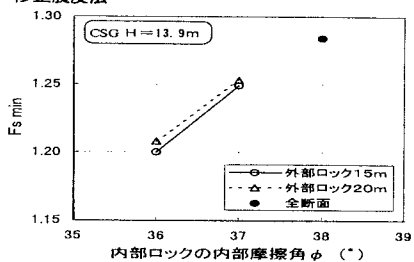


図-3 内部ロックの強度、外部ロックの厚さと最小安全率の関係

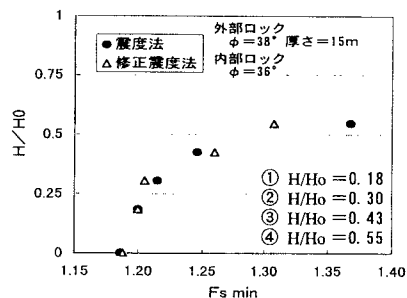


図-4 CSG堤高と最小安全率の関係

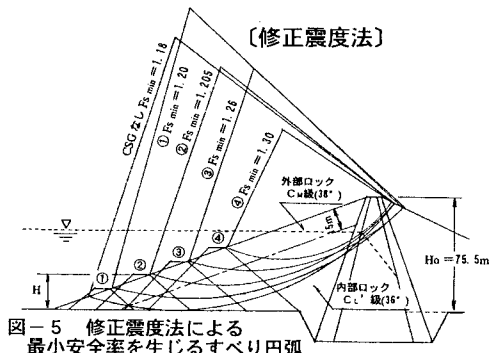


図-5 修正震度法による最小安全率を生じるすべり円弧

参考文献：1) 豊田光雄, 吉田等, 山本裕之：CSGの締固めとせん断強度，土木技術資料, Vol.39, No. 10

2) 建設省河川局開発課監修：フィルダムの耐震設計指針(案)，平成3年6月