

三笠ぽんべつダムにおける 台形CSGダムの試験施工について —ダム本体施工に向けた施工仕様の決定—

札幌開発建設部幾春別川ダム建設事業所 ○及川 晴久
石井 仁
西本 学

三笠ぽんべつダムは、幾春別川総合開発事業の一環として桂沢ダムを嵩上げする再開発事業（新桂沢ダム）とともに計画されたダムであり、ダム型式は、コスト縮減や環境への負荷軽減を考慮した結果、新技術として現在注目されている台形CSGダム型式の採用に至っている。

本報告は、平成21年度に実施したCSG現地試験施工について、その実施内容並びに試験結果について報告するものである。

キーワード：台形CSG、試験施工

1. はじめに

幾春別川総合開発事業は、昭和32年に完成した桂沢ダムを嵩上げする再開発事業（新桂沢ダム）と、幾春別川の支流である奔別川に三笠ぽんべつダムを新たに建設する2ダム事業である。

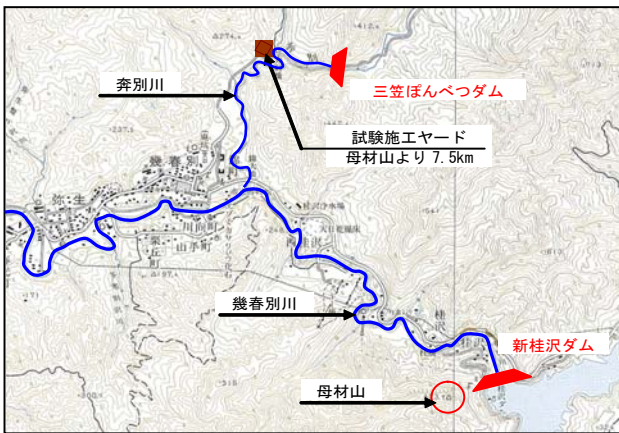


図-1 ダム計画位置図

三笠ぽんべつダムは、洪水調節を目的として建設する、高さ53.0m、堤頂長160m、有効貯水容量8,500千 m^3 のダムである。ダム型式は、コスト縮減や環境への負荷軽減を考慮した結果、新技術として現在注目されている台形CSGダム型式の採用に至っている。

台形CSGダムの設計・施工の計画に当たっては、使用する材料と、それを用いたCSGの強度特性を把握することが重要な要素となる。三笠ぽんべつダムの母材（原材料）は、新桂沢ダムの骨材採取時に発生する廃棄岩を利用することとしており、これまでの、母材調査、CSG室内供試体試験を経て、平成21年度にCSG現地試験施工を実施した。

2. 試験施工の概要

試験施工は、実施工を想定し図-2に示すように、母材採取、CSG材製造、CSG製造・打設といった流れで実施した。

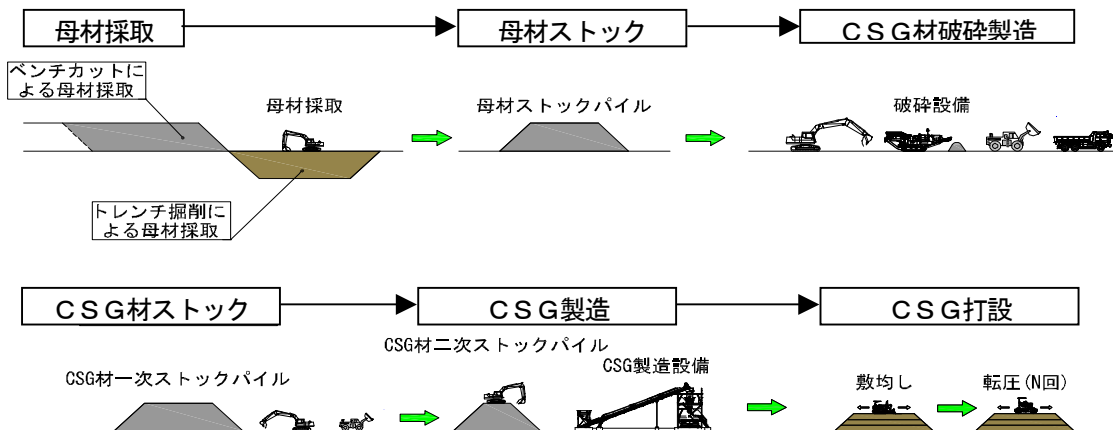


図-2 試験施工の流れ

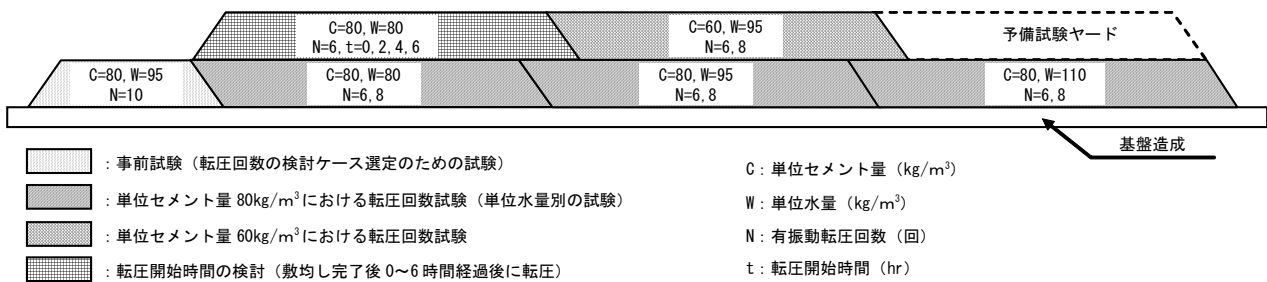


図-3 試験施工ヤードの区画割り

(1) 試験施工の目的

CSGの試験施工は、実機による施工性の確認、本体工事における施工仕様(転圧回数等)を決定するとともに、「ひし形(後述の図-12参照)」を確定すること、また、打継方法などの施工仕様や必要な品質管理項目およびその測定頻度等の検討を目的として実施されるものであり、三笠ぼんべつダムの試験施工では、以下のような項目について検討を行なっている。

- ・母材の採取状況および品質確認
- ・CSG材の破碎製造状況および品質確認
- ・CSGの混合、数均し、転圧状況の確認
- ・転圧回数の検討
- ・現場密度と大型供試体密度の関係把握
- ・転圧開始時間の検討
- ・採取コアによる密度確認

(2) 試験ケースおよび試験ヤードの区画割り

a) 単位水量

単位水量は、既往の室内試験においてCSG混合状態や供試体作製状況などの結果から、80~110kg/m³の範囲で設定しており、試験施工においてはこの単位水量での施工性を確認することとして、80、95、110kg/m³の3水量で実施した。

b) 単位セメント量

単位セメント量は、80kg/m³を基本としたほか、60kg/

m³についても実施した。

c) 転圧開始時間

転圧開始時間については、数均し完了から転圧開始までの時間を変化させ、4ケース(転圧開始0hr~6hr経過後)設定して実施した。

d) 試験ヤード

試験区画の大きさは、使用する施工機械の大きさ、現場密度試験等の配置、実際の打設に要する施工時間などを考慮して、15m×9mとした。

図-3に試験施工ヤードの区画割りを示す。

(3) 母材およびCSG材

CSGに使用する母材は、図-4に示すように新桂沢ダムのコンクリート用骨材として使用できないゾーンⅢ材を有効活用する計画である。

母材の採取については、実施工を想定して発破掘削で行い、移動式クラッシャを用いて、粒径80mm以下となるCSG材を製造した。写真-1に母材およびCSG材の状況写真を示す。

(4) 試験施工設備

a) 母材およびCSG材ストックヤード

母材は、原石山(以下、母材山という)の採取箇所付近にストックし、CSG材を破碎製造後、試験施工ヤードに運搬しストックした。

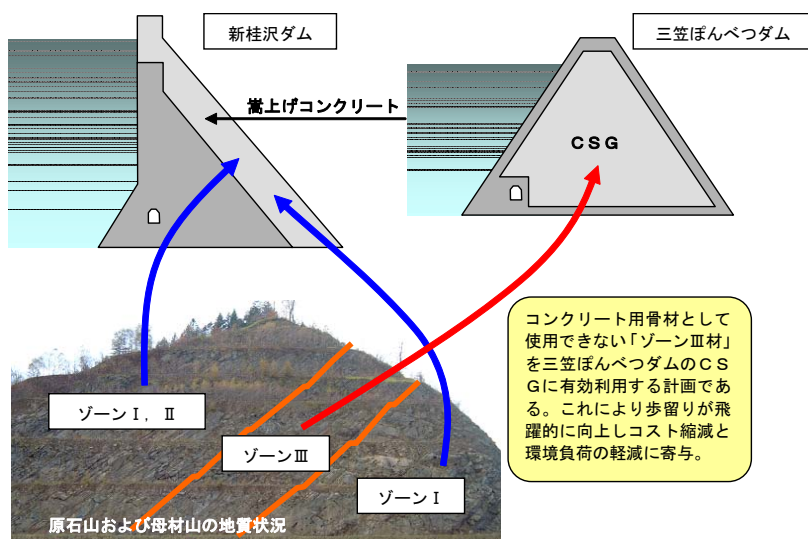


図-4 堤体材料の使用計画



写真-1 母材およびCSG材の状況

b) CSG混合設備

CSGの混合は、2.5m³の傾胴式ミキサを使用した。混合に際しての各種材料の計量は、CSG材はベルトスケール、セメントおよび水は人力計量で実施した。また、混合時間は室内試験時の条件との整合を図り、2分間とした。

c) CSG敷均し・締固め

CSGの敷均しは、7t級ブルドーザを用い、1リフト75cmを25cm×3層で行った。

敷均し完了後、11t級振動ローラを用い、転圧回数は無振動2回とし、有振動については試験ケースに応じた回数（事前試験により6回と8回に設定）として行った。

3. 既往試験および試験施工時の課題

CSGは、使用する材料の粒度が変動することを前提としており、予めその粒度変動幅を把握するところから検討する必要がある。

これまでに行った三笠ぼんべつダムのCSGに関する検討では、母材調査、母材の破碎試験、CSG室内供試体試験を実施し、CSG材の粒度がどの程度変動するか、その変動幅でどの程度のCSG強度が得られるかを確認している。

(1) CSG材の粒度変動範囲

三笠ぼんべつダムのCSG材は、母材山のゾーンⅢ材に対し、平成18年度に破碎試験を行って粒度分布を確認しており、当該材料の粒度変動範囲を検討している。C

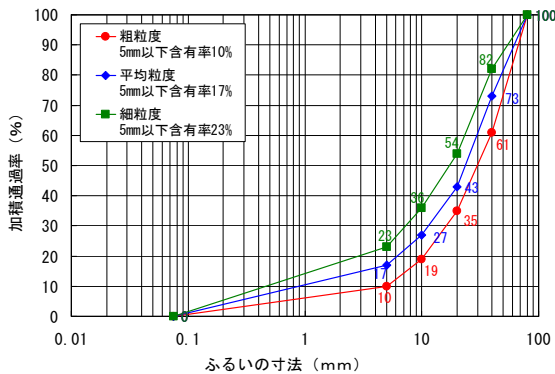


図-5 CSG材粒度範囲 (H18 設定時)

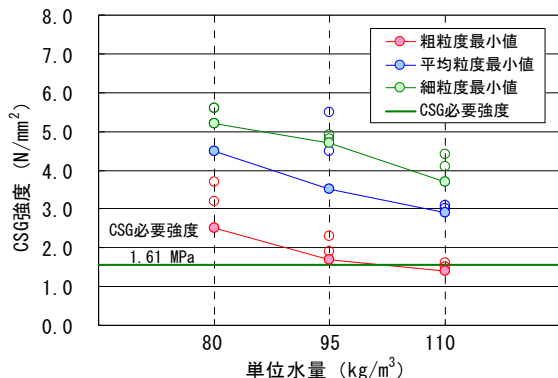


図-6 ひし形 C=80kg/m³ (H18 設定時)

SG材の製造後粒度は、「母材の粒度」、「母材の品質（硬さ）」、「破碎機のセット寸法」によって決まると推定され、これらの要素を組み合わせた粒度の変動幅を検討する必要がある。ここで、破碎機のセット寸法は調整可能な要素となるが、製造効率を考慮して最大粒径80mmとなるように設定した。また、母材の品質については、一定のセット寸法で破碎した場合の破碎後の粒度変動に反映されると考えられることから、CSG材の粒度の変動範囲については、投入母材の粒度と破碎後のCSG材粒度の変動幅から推定し、既往試験において図-5に示す粒度範囲を設定している。

(2) CSG室内大型供試体試験

上記の粒度範囲にて、平成18年度に室内大型供試体試験を実施しており、電動ハンマによる締固めエネルギー（締固め秒数）を変化させて、40、50、60秒の3ケースで大型供試体試験を実施した。既往室内試験における締固め秒数60秒とした場合の「ひし形」を図-6に示す。

ここで、三笠ぼんべつダムにおけるCSGの必要強度は、応力解析の結果から1.61N/mm²以上（後述の図-15参照）となるが、同図に示したとおり、粗粒度において必要強度が若干不足することとなる。

(3) 設定粒度における課題

一般に台形CSGダムの内的安定性（発生応力に対するCSGの強度）が不足する場合の対応としては以下の方法が考えられるが、いずれの対策もコスト増に繋がることや②および③はCSGの合理性を損なうこととなる。

- ①単位セメント量を増加させる。
- ②単位水量の上限値を下げる。
- ③粒度調整を行って細粒側にシフトさせる。

このため、以下の状況を勘案し、CSG材の製造後粒度の再確認を試験施工時に実施することとした。

- ・H18実施の破碎試験は3試料のデータでありサンプル数が少ないこと。
- ・試験結果3点のうち1点だけが大きく粗粒側となり異常値の可能性が大きいこと。（図-7参照）

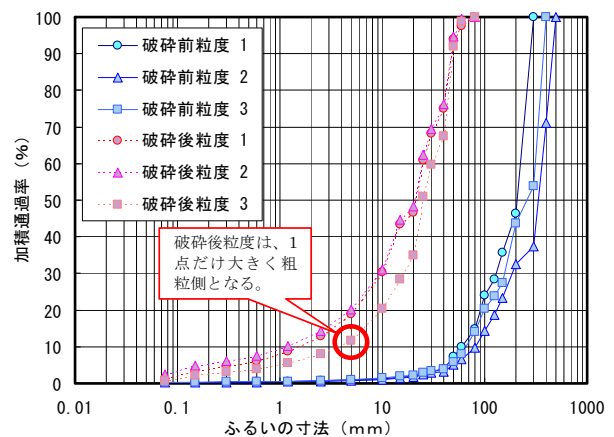


図-7 H18 破碎試験結果



写真-2 母材採取箇所状況

(4) 試験施工時における母材の状態

試験施工に使用する母材は母材山の主にゾーンⅢ材を使用する計画であるが、採取計画上はゾーンⅢ周辺のゾーンⅠ材およびⅡ材も混入することとなるため、計画上の混入割合を考慮し、かつ安全側（ゾーンⅢ材を多めに採取）となるよう、既往の地質調査結果を元に採取位置を設定した。

ここで、実際に掘削作業を行った時点で、採取箇所に断層に伴う風化部が存在することが判明した。母材採取時の状況写真を写真-2に示す。

この風化部については、実際のダム工事においても存在する可能性があることや分別採取する場合でも混入する可能性があることなどから、安全側を考慮してこの風化部も含めた低品質な母材を用いることとし、その適用性を試験施工で確認することとした。なお、材料のバラツキによる試験結果への影響を考慮しストック後のCSG材は十分な攪拌混合を行った。

4. 試験施工結果

試験施工は、一般に転圧回数等の施工仕様を決定するために行うものであるが、当ダムでは前述に示したとおり、既往試験および試験施工時の母材採取状況における課題を有していたことから、これらに対する検討も含め

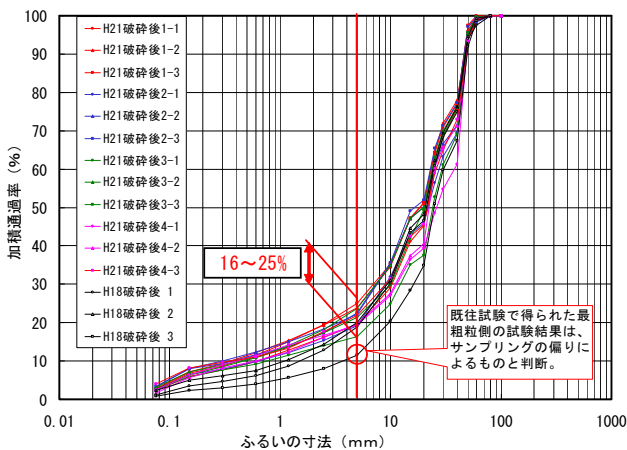


図-8 既往試験と試験施工での破碎試験結果

て実施した。

(1) CSG材の製造（母材の破碎試験結果）

既往試験での母材の破碎試験結果と今回の試験施工で実施した破碎試験結果を図-8に示す。

同図に示すとおり、試験施工時の破碎試験による粒度範囲は粒径5mm以下含有率で16%~25%となり、この結果から既往試験における最も粗粒側となった粒度はサンプリングの偏りによるものであると判断した。

(2) CSGの製造打設状況（施工性の確認）

試験施工では、設定した単位水量範囲での施工性を確認するため、CSGの混合状況や敷均し・転圧状況について目視観察を行った。CSG混合状況については、単位水量の多いケース（110kg/m³）でミキサ内に若干付着する状況であったが、排出後のCSGは均一に混合されており良好な状態であることを確認した。

また、CSGの敷均し状況および転圧状況についても良好な状態が保たれており、施工性に問題は見られなかった。

(3) 転圧回数

a) 試験ケースの設定

転圧回数は、事前試験として有振動転圧1往復毎の沈下量と現場密度（RI法）を測定し、その結果から試験施工での転圧回数を設定した。図-9は、転圧回数と現場密度の関係を示したものであるが、同図に示すとおり、現場密度は有振動転圧6回でほぼ収束傾向にあることから、試験施工での検討ケースは有振動転圧6回と8回の2ケースとした。

b) 転圧回数の決定

設定した単位水量毎の試験打設において、有振動転圧回数6回と8回で試験を行った結果、単位水量による違いはなく、現場密度（砂置換法、RI法）もほぼ同程度となったことから、三笠ぼんべつダムにおける転圧仕様は、「無振動2回+有振動6回」が妥当と判断した。

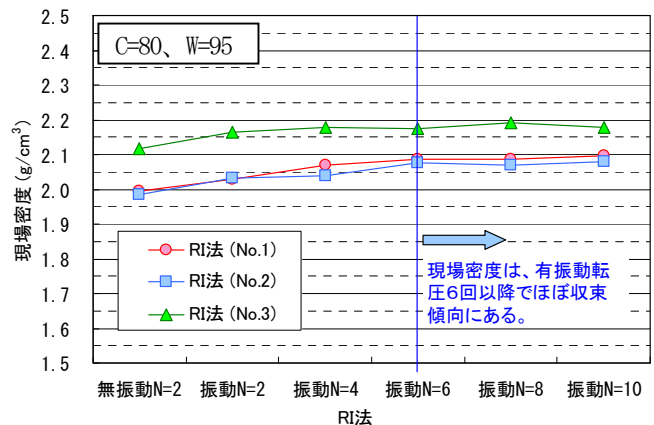


図-9 転圧回数と現場密度 (RI法)

(4) 転圧開始時間

C S G敷均し完了から転圧開始までの時間を変化させて転圧を行い、転圧後の現場密度の変化を調査した。結果は図-10に示すとおりで、転圧開始6時間後（C S G製造開始から8時間程度経過後）においても時間経過に伴う密度低下は見られなかった。

ここで、現場密度の測定は表層から30cm程度の深度に限定されるため、30cm以深についてはコアを採取して密度測定を行った。結果は図-11に示すとおりで、転圧開始6時間（C S G製造開始から8時間程度経過後）までコア密度の値に低下は殆ど見られなかったが、他ダムの実績等を考慮して、本体施工におけるC S Gの転圧開始時間は、C S G製造開始から6時間以内とした。

(5) ひし形の決定

C S Gに用いる材料は、粒度が変動することを前提としており、また表面水量も連続的な把握が困難なことから、配合上の単位水量に対しても一定の変動幅を許容している。そのため、これら粒度・単位水量が変動することにより、C S Gの強度自体も変動することとなり、図-12に示すように、粒度の分布範囲と単位水量の管理幅によって形成される「ひし形」の中にC S G強度が分

布することとなる。

この「ひし形」は、C S Gを締固めた時のエネルギーによっても変動するため、実施工での締固めエネルギーに応じた「ひし形」を把握し、C S Gの強度が、この範囲内にあることを確認することが、C S G管理の基本となる。

このため、転圧試験で決定した有振動6回転圧時の現場密度に相当する大型供試体作製時の締固めエネルギーを把握する必要がある。このため、試験施工時の打設に合わせて同じC S Gを用いて大型供試体を作成し現場密度と対比したものを図-13に示す。

同図に示すとおり、大型供試体の密度は、締固めエネルギー（締固め秒数）が大きいほど増加する傾向が見られ、現場密度は大型供試体の60秒相当以上の値となっている。この結果から、大型供試体の締固め秒数を60秒とし、事前に室内大型供試体試験で得られている締固め時間60秒のケースを三笠ぼんべつダムの「ひし形」とすることとした。

ここで、当ダムのC S G材の粒度範囲のうち、粗粒側については、破碎試験の結果から再設定していることを踏まえ、室内大型供試体試験により確認試験を実施し、図-14に示す結果を得ている。

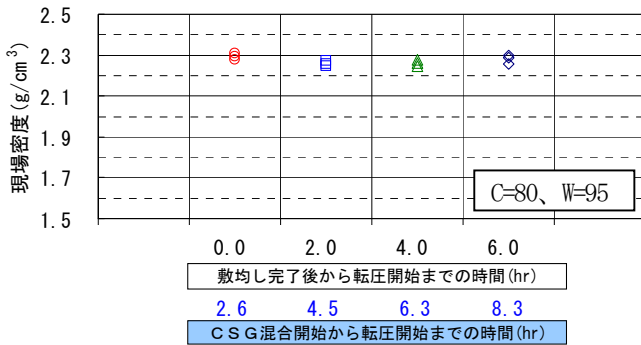


図-10 転圧開始時間と現場密度

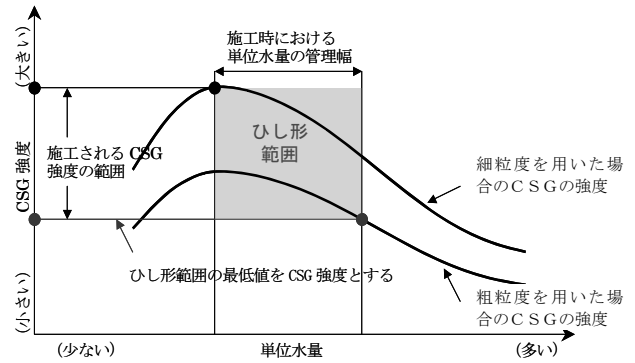


図-12 ひし形の概念図

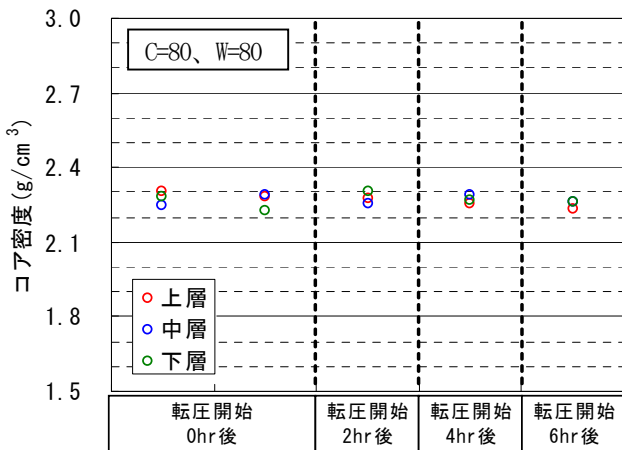


図-11 転圧開始時間とコア密度

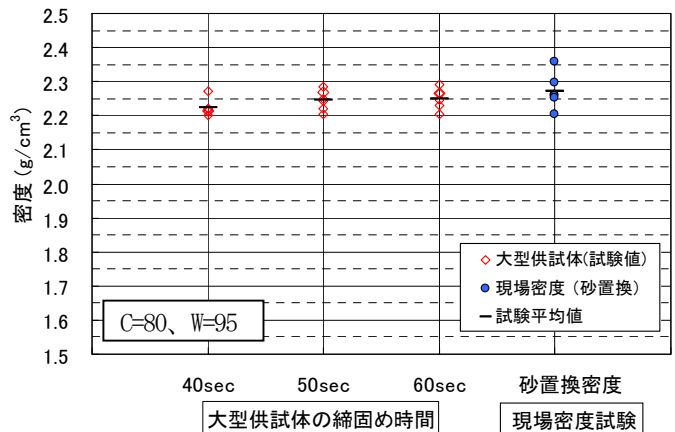


図-13 大型供試体密度と現場密度

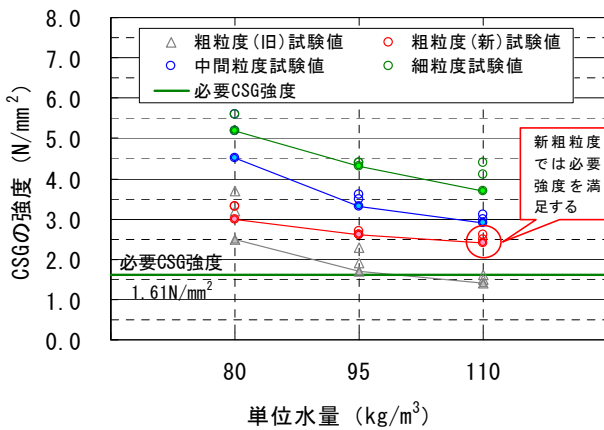


図-14 決定したひし形 60秒締固め (C=80)

(6) 採取コアによる確認

試験施工では、打設されたCSGの品質確認としては、施工状況や転圧面の目視観察、表層から30cm程度までの現場密度などに限定されるため、これを補足する目的でコア採取（口径φ200mm）を行った。

採取コアの状態は、写真-3に示すように単位セメント量が60kg/m³の場合においても密実なものとなっており、ジャンカ等は見受けられなかった。また、採取コアを上層、中層、下層の3区分に整形して密度測定を行った結果、多少のバラツキはあるものの、前述の図-11に示すように、層別の傾向は特に見られず試験施工時の大型供試体とほぼ同程度の密度が得られた。この結果から、ブルドーザによる敷均し作業（25cm×3層）や振動ローラによる転圧作業等の方法についても問題ないことを確認した。

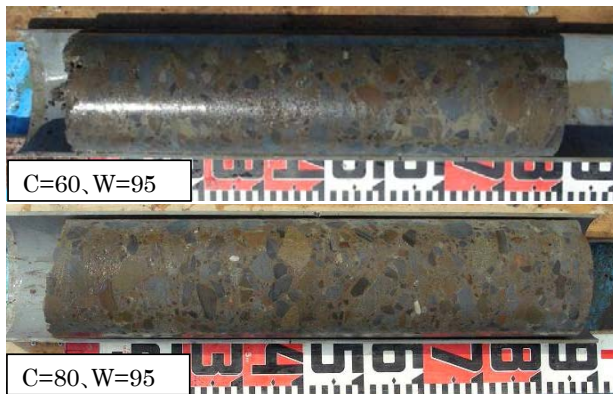


写真-3 採取コアの状況

5. まとめ

(1) CSG施工仕様

試験施工で得られた結果をもとに、三笠ぼんべつダムにおけるCSG施工仕様を以下のように定めた。

a) CSG敷均し仕様

CSGの敷均しは、ブルドーザにより1リフト75cmを25cm×3層で行うこととし、各層の敷均しと合わせて十分なブルドーザによる転圧も行うこととする。

b) CSG転圧仕様

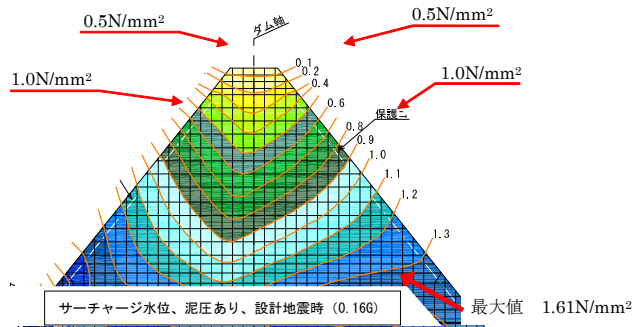


図-15 応力解析によるCSG必要強度分布図

CSGの転圧は、11t級振動ローラにより、無振動転圧2回+有振動転圧6回とし、CSG製造開始から転圧開始までの許容時間は6時間以内とする。

c) CSGの強度管理

CSGの強度管理は、締固め密度により管理するものとし、砂置換法またはRI法による現場密度測定を基本とする。また、強度測定のための大型供試体は、電動ハンマにより締固め時間60秒として作製することとする。

(2) 課題に対する確認結果

a) CSG材粒度範囲とCSG強度

既往試験結果で懸案となっていたCSG材の粒度変動範囲について確認することができた。また、再設定後の粒度範囲においては、三笠ぼんべつダムにおけるCSG必要強度（図-15参照）を満足する結果である。

b) 風化母材の混入による影響

試験施工で使用した材料は、風化部が混入していること、さらには低品質となるゾーン区分の割合が実施工で想定している割合より多いものを用いて実施したが、試験施工結果はいずれも良好な結果であり、母材の適用性に問題はないものと判断できる結果である。

6. おわりに

本稿では、既往試験で懸案となっていた課題や試験施工時に生じた課題に対する確認試験を含め、本体工事に向けた施工仕様設定のための現地試験施工結果について述べた。本試験施工では、使用する材料が十分な適用性を有していることを確認できたこと、また、堤体材料に関する課題解決に至ったことは、ダム事業の進展に大きく寄与するものである。

試験施工で定めた施工仕様については、CSGの品質を確保する上での最小限の項目を実施したものであるため、今後は、本体工事の発注後に確認試験を行って詳細な施工仕様を決定することとなる。

台形CSGダムの技術は、未だ発展途上の技術であり、今後のダム施工等を通じてさらなるコスト削減に向けた積極的な取り組みが必要と考えられる。