

14. 自然環境を保全するダム技術の開発

研究期間：平成 18 年度～22 年度

プロジェクトリーダー：水工研究グループ長 安部 友則

研究担当グループ：水工研究グループ（ダム構造物、河川・ダム水理）、
材料地盤研究グループ（基礎材料、地質）

1. 研究の必要性

かけがえのない自然環境を保全し次の世代に引き継ぐことは、我々に課せられた責務である。ダムは、建設時の地形改変や完成後の堆砂など、自然環境にさまざまな影響をおよぼす。持続可能な国土の保全と利用を実現するためには、自然環境と調和のとれたダムの整備と健全な流砂系の実現が求められている。自然環境を極力保全しながらダム貯水池の円滑な整備と持続的な利用を進めるためには、自然環境の保全を追究した新しい構造型式のダムの設計技術、ダム建設による地形改変を少なくする技術、ダム貯水池堆砂を抑制し下流河川に土砂を供給する土砂制御技術を開発する必要がある。

2. 研究の範囲と達成目標

本重点プロジェクト研究では、自然環境への負荷を最小にするための新たな構造型式のダムとして、底部に空洞を有する環境負荷の小さいダムの設計法を開発するとともに、建設材料の有効利用を可能とするために所要強度の小さい新型式の台形 CSG ダムの設計・施工技術を開発する。また、大規模な掘削や捨土によるダム貯水池周辺の地形改変を少なくするために、コンクリート骨材としての品質基準を満足しない規格外骨材（廃棄岩）の利用技術、基礎岩盤内弱層の強度を適正に評価する手法を開発する。あわせて、水系一貫した土砂移動の連続性を確保するために、貯水池および下流河川における土砂移動の予測手法を開発するとともに、貯水池堆砂の排砂と下流河川へ土砂を供給する土砂制御技術を開発する。これらの達成目標を整理すると以下のとおりである。

- ① 新型式のダムの設計技術の開発
- ② 骨材および岩盤の調査試験法の開発
- ③ 貯水池および下流河川における土砂制御技術の開発

3. 個別課題の構成

本重点プロジェクト研究では、上記の目標を達成するため、以下に示す研究課題を設定した。

なお、「規格外骨材の耐久性評価手法に関する研究」については、検討内容の追加のために、研究期間を 1 年間延長した。

- ① 環境負荷を最小にする治水専用ダムに関する研究（平成 18～20 年度）
- ② 台形 CSG ダムの材料特性と設計方法に関する研究（平成 18～22 年度）
- ③ 規格外骨材の耐久性評価手法に関する研究（平成 18～22 年度）
- ④ ダム基礎等における弱層の強度評価手法の開発（平成 18～21 年度）
- ⑤ 貯水池および貯水池下流河川の流れと土砂移動モデルに関する調査（平成 18～22 年度）
- ⑥ 貯水池下流供給土砂の高精度制御に関する調査（平成 18～22 年度）

4. 研究の成果

本重点プロジェクト研究の個別課題の成果は、以下の個別論文に示すとおりである。なお、「2. 研究の範囲と達成目標」に示した達成目標に関して、これまで実施してきた研究と今後の課題について要約すると以下のとおりである。

(1) 新型式のダムの設計技術の開発

河川環境保全の観点から洪水調節用放流設備を河床標高付近に設置することで、常時の水位上昇を抑えるとともに土砂等の河川流下物の流下を促進する治水専用ダム（流水型ダム）の計画が増加しつつある。環境負荷を更に小さくし、かつ貯水容量を有効に活用する洪水防御施設として、洪水調節操作の必要ない流量については現況河道状況のまま流下させ、必要のある大出水時のみ貯留を行う、新型式のダムの設計技術の開発が求められている。

「環境負荷を最小にする治水専用ダムに関する研究」においては、洪水調節操作の必要ない流量については現況河道状況のまま流下させ、必要のある大出水時のみ貯留を行う、新型式のダムの設計技術を開発するため、重力式コンクリートダム堤体底部に大規模空洞を設ける場合を想定し、ダムの高さ、ブロック幅、横断面形状、横継目条件などの違いを考慮した、2次元および3次元のFEM解析を実施した。その結果から空洞周辺の応力分布を明らかにした上で、空洞規模と最大発生応力の関係を分析し、堤体の1ブロック内に設置可能な空洞規模、及び隣接する2ブロックにわたる空洞の設置可能な規模を明らかにした。なお、解析による検討方法やそれを用いた具体の成果は、今後、流水型ダムの設計のみならず再開発事業における堤体削孔の設計にも適用可能である。また、フィージビリティスタディの観点から、ダムに必要な放流設備の規模、形状及び操作方法について検討した結果をとりまとめた。

また、環境への負荷軽減、コスト縮減、材料の有効利用の観点から、ダム建設におけるCSG（Cemented Sand and Gravel）の本格的な導入が望まれている。

「台形CSGダムの材料特性と設計方法に関する研究」においては、台形CSGダムの長期信頼性を評価する方法を開発するために、試験や数値解析による検討を実施した。その結果、CSGはコンクリートに比べて繰返し載荷や長期載荷による変形性が大きい、堤体の構造安定性に与える影響は小さいことがわかった。また、CSGは従来のダムコンクリートと比較して品質のばらつきが大きいことから、堤体物性（強度、弾性係数）のばらつきが堤体局所の安定性に与える影響を明らかにした上で、台形CSGダムを含む重力式ダムの設計方法として堤体物性のばらつきモンテカルロ法による応力解析により堤体の安定性を評価する方法を提案した。さらに、合理的な配合設計や施工管理を行うために、実際に施工されたCSGダムの品質管理データより、各粒度区分で表面水量の計測頻度の低減が強度の低下に与える影響を検討し、必要CSG強度に対する評価を行うことで、試験頻度の増減あるいは配合変更（セメント量の増減）を適切に判定する方法を提案した。

(2) 骨材および岩盤の調査試験法の開発

ダムコンクリート用骨材はダムサイト近傍の山（原石山）を掘削するなどして製造されている。しかしながら、近年では良好な品質の原石が採取できる山は少なく、掘削しても廃棄される岩の割合が多く、環境負荷が増大している。骨材資源を有効に利用するためには、骨材の性能を的確に評価し、廃棄する岩の割合を減らす必要がある。コンクリートの各種性能のうち、骨材品質の影響を強く受けるものとして耐凍害性と乾燥収縮があげられる。

「規格外骨材の耐久性評価手法に関する研究」においては、骨材の品質がこれらの性能に与える影響について調査し、骨材の評価指標の検討を行った。この結果、耐凍害性に関しては粗骨材を砂利と碎石とに分類したうえで、砂利に対しては簡易凍結融解試験方法による評価法を提案し、碎石に関しては吸水率による評価法を提案した。乾燥収縮に対しては、ひずみゲージを用いた粗骨材の乾燥収縮試験方法を提案し、また、骨材の岩種や成因年代による評価方法や、コンクリートの強度と弾性係数による評価方法を提案した。

また、効率的な基礎掘削を行うために行う弱層強度評価手法の一つである原位置せん断試験は、弱層強度を直接測定することができるが、試験が大がかりで多くの手間と費用を要するため、数多くの試験を行うことは難しく、試験箇所の代表性が問題になることもある。そのため、取得が比較的容易な物性値を用いて間接的にせん断強度を推定する方法の開発が望まれている。

「ダム基礎等における弱層の強度評価手法の開発」においては、ダムの基礎掘削量を大きく左右する岩盤中の弱層の強度評価手法の確立を目的として、弱層の工学的分類方法の確立、弱層分類毎の強度評価手法の確立を行った。弱層の工学的分類方法としては、弱層の形態に着目した分類方法、ならびに形態分類別の強度評価手順を提案した。また、とくに薄い弱層についてはこれまでの原位置せん断試験に加え、より効率的・経済的な強度評価手法として、亀裂のせん断強度予測式である Saeb の式を拡張したせん断強度予測式を開発するとともに、同

手法によるせん断シミュレーションプログラムを開発した。また、Saeb 改良式およびシミュレーションプログラムの妥当性を検証するために、数多くの室内一面せん断試験を実施し対比した。この結果、本予測手法が概ね妥当であることを確認できた。以上のような検討結果をふまえ、「弱層の地質調査およびせん断強度評価の手引き」の素案をとりまとめた。

(3) 貯水池および下流河川における土砂制御技術の開発

ダム事業の円滑な展開、また、既設ダムの環境影響低減のためには、ダム建設や、ダム管理上の各種対策により生じる環境の変化を適切に予測するためのシミュレーション手法の確立が必要である。シミュレーション手法については、漸次研究が進められているが、現象の複雑さ、フィールドデータの少なさから、未だ確立されていないのが現状である。

そこで、「貯水池および貯水池下流河川の流れと土砂移動モデルに関する調査」においては、貯水池における懸濁物質の沈降実験及び底泥の侵食実験を行い、沈降速度及び侵食速度を把握するための試験方法とモデルへの反映手法を提案した。また、大きな礫が混在する山地河道における土砂移動に関して現地調査と水理実験により検討を行い、流砂量式や移動限界の適用性について明らかにした。さらに、ダム下流置土の侵食・流出過程を予測し置土計画に反映できるよう、混合粒径と浮遊砂輸送及び側岸侵食に対応できる平面二次元河床変動モデルを開発し、別課題で実施した置土侵食に関する水理実験及び現地調査結果を再現できることを確認した。

また、貯水池下流河川の環境保全のため、ダムから供給する土砂の量と質(粒径)を制御する方法が求められているが、土砂フラッシングやバイパスなどの従来の堆砂対策手法では、操作条件や堆砂条件、土砂流入条件の影響を大きく受けるため、土砂の量と質を高精度に制御することが困難である。

そこで、「貯水池下流供給土砂の高精度制御に関する調査」においては、貯水位エネルギーを利用して経済的に粒径別土砂供給を精度よく実施する方法として、エアーバルブ排砂設備と潜行吸引式排砂管の二つ土砂吸引施設の開発を行い、その設計・運用手法を提案した。また、置土の侵食特性を水理実験と現地調査によって把握するとともに、別課題で開発した平面二次元河床変動モデルを用いて置土による土砂供給計画を策定する手法を提案した。さらに、ダムの放流エネルギーを用いた経済的な堆積土砂の輸送方法について検討し、輸送管の管内損失計算手法及び放流エネルギーを活用した場合の輸送可能量の検討手法を提案した。

RESEARCH ON EFFICIENT CONSTRUCTION AND REDEVELOPMENT OF DAMS CONSIDERING SURROUNDING ENVIRONMENT

When new dam reservoirs are constructed to meet the need of flood control and water supply, the impact on the surrounding natural environment should be minimized. In this research project, design technology such as heightening the dams and installing new discharge facilities in the dams will be developed in order to utilize existing reservoirs more effectively. In the case of new dam construction, technology for the effective utilization on construction materials will be developed. Survey and design technology for dam foundations and reservoir slope will be studied in order to minimize the impact on the topography and environment of project areas.

Key Word : Heightening dams, Reconstruction of water discharge facilities, Effective use of weak rock as construction materials, Stability of dam foundation and reservoir slope, Seepage control in dam foundation