

## 論文の内容の要旨

論文題目     コンクリートダムにおける施工の高速化に関する研究

氏   名   田   代   民   治

近年ではより速くダムを構築することが望まれており、施工を合理化する工法として、面状工法の一つである RCD 工法が考案された。この RCD 工法は、現在、一般的な重力式コンクリートダムの打設工法として採用されており、大規模重力式ダムの低中標高部に適用されている。コンクリートの運搬に関しては、従来の柱状工法ではクレーンに限られるのに対して、面状工法では RCD 工法を適用することによって運搬の自由度が広がる。具体的には、クレーンによる運搬だけでなく、ダンプやベルトコンベヤ等による運搬も可能となる。これらの運搬を併用することによって RCD 工法では運搬能力が向上したにもかかわらず、打設速度は、従来の柱状工法よりもむしろ遅くなる傾向にあった。海外における面状工法である RCC 工法では施工速度が速いにも関わらず、日本の RCD 工法では打設速度が遅くなる理由として、RCC 工法は所定の品質を確保した上でより経済性を重視する一方で、RCD 工法は日本での地震および環境条件等からより高い品質・耐久性を確保することを基本的なスタンスとしたことが考えられる。

このような状況を踏まえて、高い品質・耐久性を確保した上で急速施工できる工法として、最近では、内部コンクリート(RCD 用コンクリート)を先行して打設し、その後外部コンクリートを独立して打設していく工法(巡航 RCD 工法)が開発された。この最新の RCD 工法(巡航 RCD 工法)は、今後の面状工法の標準工法となっていくものと思われる。最新の RCD 工法では、従来の RCD 工法に比べコンクリートの打設速度が 1.5~2.0 倍程度に向上することから、大幅な工期短縮が可能となる。しかしながら、コンクリートダムの施工の高速化に向けて、最新の RCD 工法によって確実に高速化を図るためには、特に下記の 2 点が課題となることが分かった。

- ① 最新の RCD 工法の適用により、打設速度が向上することから、逆にケーブルクレーンを主とするコンクリート運搬では必要とされる運搬力を確保できない場合が生じ始め、さらに大量のコンクリートを迅速に搬送できる運搬設備が要求された。
- ② コンクリートダムは非常にマッシブなコンクリートであるため、コンクリートの温度上昇を抑制するため、放熱しながらゆっくりと打設することが有利である。面状工法である従来の RCD 工法では柱状工法のようにパイプクーリング等を行わないため、配合上、単位セメント量を低減することで温度上昇を抑制している。これに対して、最新の RCD 工法の適用した場合、柱状工法や従来の RCD 工法に比べて打設速度が向上することから、特に大型コンクリートダムにおいては堤体のコンクリート温度が上昇し、有害な温度ひび割れの発生のリスクが増大することが懸念された。

課題①に対しては、高速施工に対応したコンクリートの運搬方法として、パイプを用いてコンクリートを高所から低所へ運搬する SP-TOM (*Special Pipe Transportation Method*) を新たに考案した。この SP-TOM によって RCD 用コンクリートが品質を確保した上で効率的に運搬できるように、大量搬送機構と材料分離抑制機構について検討し、下記のことが明らかとなった。

- 1) SP-TOM による搬送実験の結果から、羽根の高さ 120~140 mm、取付け間隔 1,200 ~ 2000mm、回転数 15rpm~25rpm の範囲で、搬送速度 180m<sup>3</sup>/h を確保できることが分かった。この結果から、搬送管内に設置した羽根のメンテナンス性を考慮して、羽根高さ 140 mm、取付け間隔 1,200 mm の羽根仕様が最良と判断した。また、回転速度が大きい方がコンクリートの通過状況がスムーズに観察されたことから、25rpm を標準回転数とした。
- 2) SP-TOM をケーブルクレーンと併用することによる効果を確認するために実施したシミュレーションの結果、大規模ダムでは大幅な工期短縮が可能となり、経済効果も大きいことが分かった。また、中規模ダムでもある程度の工期短縮および経済効果があることが分かったが、小規模ダムではむしろ非効率になることが分かった。
- 3) 十分な運搬能力を確保して、かつ材料分離を抑制できるように、法面の勾配やコンクリートの種類を考慮して、最適な羽根の形状、大きさ、間隔などを実験的に検討した。実規模試験の結果、40mm 以上の粗骨材の差異を 5%以下に抑制できる最適な羽根の条件を見出すことができた。また、選定した条件を実施工に適用し、十分な運搬能力を確保しつつ、材料分離を抑制できることを確認した。
- 4) SP-TOM によるコンクリートの材料分離の抑制は、搬送管内をコンクリートが滑りながら移動する時に、120°の位相を変えて配置された羽根によって粗骨材が先走りしてコンクリートが分離するのを抑制するとともに、位相差で配置された羽根で順次堰き止め・落下を繰り返すたびに、コンクリートを練り混ぜて、再び均一にさせることに起因することを明らかにした。

課題②に対しては、従来の温度ひび割れ抑制対策の考え方ではコンクリートの打込み速度を遅くすることが温度ひび割れの抑制に有効とされてきたが、ダム堤体内の標高方向の温度分布に起因する温度応力に対しては、季節による温度差を小さくする施工速度を選定することが有効と考えられた。そこで、最新の RCD 工法による高速施工を活用し、冬期施工時の打設量をできる限り多くし、温度が高くなる夏期施工時の打設量を極力少なくすることで、コンクリート堤体全体の温度の平準化を図る工法を考案した。この工法を用いた場合の施工実績およびさらに工期を 3 か月短縮したケースについて温度応力解析および拘束度マトリックス法解析によって検証した結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 実施工において、最新の RCD 工法を活かして堤体温度の平準化を図ったダムにおける検証解析を行ったところ、夏期の打設量を抑え、冬期の打設量を増やした五ヶ山ダムでは、温度ひび割れ発生リスクが小さく、拘束度マトリックス法による水平温度ひずみが、

許容水平温度ひずみとして適用される 100 $\mu$  に対して 47 $\mu$  であることが確認された。

- 2) 堤体のコンクリート温度の平準化を図りつつ、施工実績よりもさらに冬期の打設量を増大させ、工期を3ヵ月短縮する工程についても解析を行ったところ、水平温度ひずみを30 $\mu$  まで低減できることが明らかとなり、解析上温度ひび割れに対するリスクが同程度以下であることが確認された。

以上のように、上記の2つの課題を解決し、これらの技術を導入した上で最新の RCD 工法（巡航 RCD 工法）を適用して、湯西川ダムおよび五ヶ山ダムを建設した。図-1 に示すとおり、近年、従来の RCD 工法で施工した宮ヶ瀬ダムや滝沢ダムは、超大型ダムであったことに加え、施工の合理化の工夫を図ることで、過去の RCD 工法よりも打設速度が向上し、柱状工法と同程度の打設速度となった。さらに、一部の範囲で最新の RCD 工法を適用することによって、嘉瀬川ダムでも 100 万  $m^3$  クラスであったが、柱状工法と同程度の打設速度となった。それに対して、本格的に最新の RCD 工法を適用した湯西川ダムおよび五ヶ山ダムでは、大幅な打設速度の向上が図れた。

このように、本論文の成果を活かして最新の RCD 工法を適用することによって、従来の柱状工法よりも大幅に速く打設速度で施工することができ、品質を確保した上で、経済性重視の海外での急速施工と同程度以上の高速化施工を可能とした。

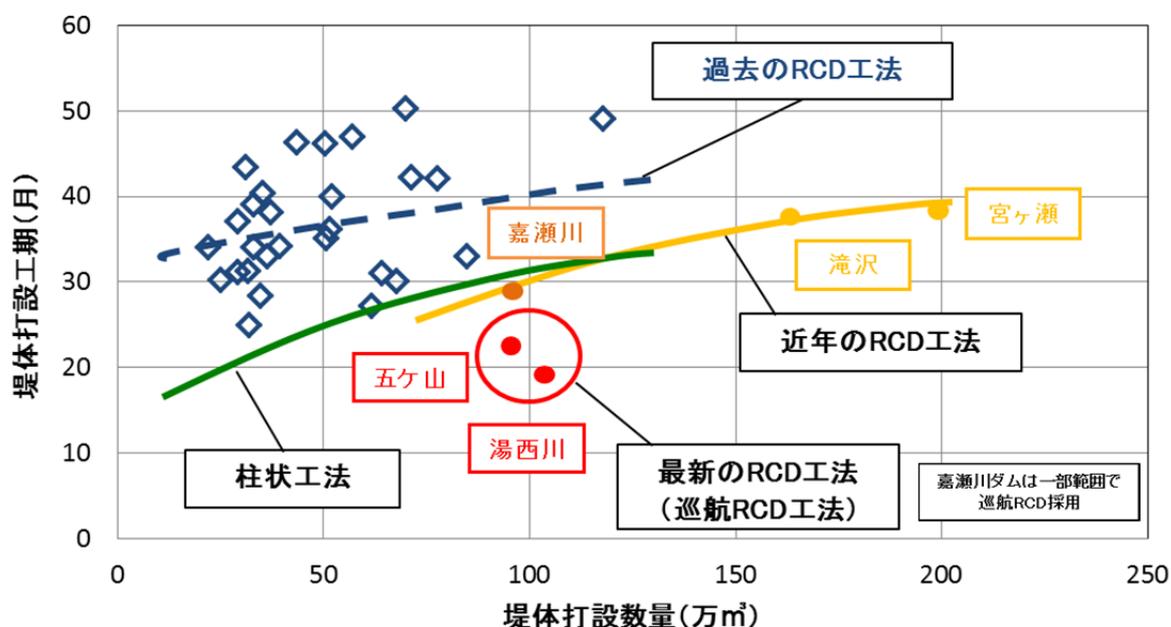


図-1 堤体打設数量と堤体打設工期の関係