

---

招待論文

*Invited Paper*

# 招 待 論 文

## RCD工法に関する最近の調査研究

### THE STATE OF RESEARCH ACTIVITIES ON RCD METHOD

志水茂明\*・山内彪\*\*・柳田力\*\*\*

By Shigeaki SHIMIZU, Takeshi YAMAUCHI and Tsutomu YANAGIDA

#### 1. はじめに

RCD工法とは、超硬練りのコンクリートを振動ローラによって締め固める方式を主体とするコンクリートダムの新しい施工法で、コンクリートダム建設の合理化（経済性、省力化）を目指して、建設省が世界に先駆けて開発した施工方法である。すでにRCD（Roller Compacted Concrete）工法を用いて5ダムが完成（堤体コンクリートの打設完了）し、8ダムで堤体コンクリートを打設中である（1989年5月現在）。また、RCD工法を計画しているダムは、すでに発注済みのものを含めて12ダムに及んでいる。

RCD工法は、1975年に島地川ダムにおいて初めて採用されて以来、その後、細部にわたって多くの改良が成され、1987年の玉川ダムの完成（堤体コンクリートの打設完了）によって、技術的に体系化された工法として確立され、また、世界的にも高い評価を得ている。

しかし、RCD工法は、計画面および設計面におけるさまざまな工夫を取り入れることによって、今後、さらに発展し得る工法であって、これによって、一層の省力化、経済性が期待されている。

#### 2. RCD工法の概要<sup>1)</sup>

##### (1) RCD工法の発達

日本におけるRCD工法の開発は、1974年に、建設

省によって「コンクリートダム合理化施工検討委員会」（委員長：国分正胤東大名誉教授）が設置されたのを契機とする。ここでは、

① 人件費の上昇に伴い、ダム建設における経済性の追求は、アーチ式あるいは中空重力式の採用等、構造設計面の工夫によってダム堤体積を削減する方法によるよりは、施工面の工夫によって堤体コンクリートの単価を節減する方法が有利と考えられるようになってきたこと

② ダムの基礎岩盤の地質条件が悪くなり、しかも地形的に恵まれたダムサイトが少なくなっていることから、重力式ダムの安定性に必要な堤体積がしだいに大きくなっている。したがって、施工面の工夫によって堤体コンクリートの単価を節減する方法の追求が必要になってきたこと

などを背景に、

- ① 人件費の削減を目指して機械化施工を図ること
- ② 施工の効率化を図るために、汎用性の高い機械を利用すること
- ③ ダムサイトの特性、ダムの規模に即した施工法を開発すること

を基本的な柱として調査研究が進められた。その結果、超硬練りのダムコンクリートを振動ローラで締め固める施工法が採用され、大川ダム、島地川ダム等で試験施工が繰り返し行われて、ローラ転圧コンクリートをダムに適用することが可能であると判断された。

1978年9月、島地川ダムにおいて、世界で初めて堤体コンクリートが振動ローラにより打設され、引き続いて同様な施工が、大川ダムのマット部でも施工された<sup>2)</sup>。これらの施工は、1980年成功裡に完了し、島地川ダム

\* 正会員 水資源開発公団 理事  
(〒107 港区赤坂5-3-3 TBS会館)

\*\* 正会員 建設省河川局開発課長

\*\*\* 正会員 (財) 土木研究センター専務理事

Keywords : RCD method, mix design, construction joint, temperature control, comparison of costs

は世界で最初のローラ転圧コンクリートダムの栄冠を得るとともに、その施工法の優秀性を立証した。この工法は、RCD工法と名付けられた。

続いて、RCD工法は、新中野ダム嵩上げ工事における減勢工のコンクリート工事に利用されたが、1983年高さ100m、堤体積1150000m<sup>3</sup>の玉川ダムに適用された。玉川の施工方法は図-1に示すようであり、コンクリートの運搬に初めて、インクラインが用いられた<sup>3)</sup>。玉川ダムのコンクリート打設は1987年に完成した。さらに、RCD工法は、高さ155mの宮ヶ瀬ダムをはじめとする100m級の高ダム、数ダムに適用されつつある。また、国外においても、中国の観音閣ダムにおいてRCD工法が採用されることになり、アメリカの陸軍工兵隊(Corps of Engineers)のElk CreekダムにおいてもRCD工法の特徴が反映された施工法が採用されるなど、RCD工法は世界的に高く評価されている。

## (2) RCD工法の特徴

RCD工法は、次のような施工上の特徴をもっている。

- ① コンクリートの単位セメント量は120~130

kg/m<sup>3</sup>程度、単位水量は95~105kg/m<sup>3</sup>程度、細骨材率は30~32%程度とする。

- ② コンクリートの運搬は、プラントから堤体までは、ダムサイトの特性を考慮して、ダンプトラック、インクライン、固定式ケーブルクレーンまたはベルトコンベヤ等の適切な運搬設備によるが、堤体内では、ダンプ トラックによって行う。
- ③ コンクリートの敷きならしは、ブルドーザを用いて1層17~25cmの薄層に数回撒き出して、50~75cm(玉川ダム:1m)のリフトを形成する。
- ④ コンクリートの締固めは、7t級の振動ローラを用いて、50~75cmリフトに対してそれぞれ6~12回程度転圧することにより行う。
- ⑤ コンクリートの打設は、全面レヤ方式とし、縦継目は設けず、横継目は、コンクリートの敷きならし後15m間隔に振動目地切り機を用いて設置する。
- ⑥ 上下流付近には、外部コンクリートとして従来のコンクリートを打設する。
- ⑦ 打継目にはモルタルを敷きならす。

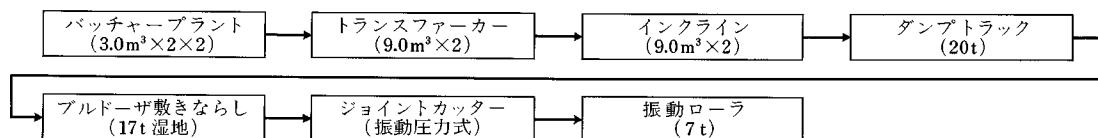


図-1 玉川ダムにおけるコンクリート打設のフロー

表-1 日本におけるRCD工法によるコンクリートダムの施工実施例

ダム名	所管	堤高(m)	堤頂長(m)	堤体積(m <sup>3</sup> )	備考
島地川ダム	中国地建	89.0	240.0	317 000	固定ケーブルクレーン(13.5t)ダンプ運搬(11t)
新中野ダム	北海道	旧74.9 53.0	旧248.0 162.0	276 400 13 000	ダンプ運搬(11t) RCD工法は減勢池部のみ
大川ダム	北陸地建	75.0	406.5	1 000 000 300 000	ダンプ運搬(11t) RCD工法はマット部のみ
玉川ダム	東北地建	100.0	431.5	1 154 000	インクライン(9m <sup>3</sup> ×2) ダンプ運搬(11t)
美利河ダム	北海道開発局	40.0	コンクリート フィル 1 480.0 910.0 570.0	560 000 360 000 200 000	ダンプ運搬(11t)
真野ダム	福島県	69.0	239.0	212 000	インクライン(3m <sup>3</sup> ) ダンプ運搬(8t)
白水川ダム	山形県	54.5	367.0	311 000	ダンプ運搬(11t)
朝日小川ダム	富山県	89.0	252.0	350 000	ダンプ運搬(8t)
朝里ダム	北海道	73.9	390.0	506 000	ダンプ運搬(11t)
道平川ダム	群馬県	70.0	300.0	348 000	インクライン(6m <sup>3</sup> ) ダンプ運搬(8t)
境川ダム	富山県	115.0	297.5	626 000	インクライン(4.5m <sup>3</sup> ×2) ダンプ運搬(11t)
布目ダム	水資源開発公団	72.0	360.0	370 000	ダンプ運搬(11t)
神室ダム	山形県	60.6	257.0	298 000	インクライン(4.5m <sup>3</sup> ) ダンプ運搬(11t)
竜門ダム	九州地建	99.5	コンクリート フィル 618.0 378.0 240.0	1 052 000 844 000 208 000	インクライン ダンプ運搬
宮ヶ瀬ダム	関東地建	155.0	400.0	2 200 000	インクライン ダンプ運搬
月山ダム	東北地建	122.0	393.0	1 130 000	ベルトコンベヤ

- ⑧ ダムコンクリートの品質は、従来工法と比較して、強度、単位重量、水密性、耐久性の点でほぼ同一とする。

現在、RCD 工法が採用されているダムの概要は表 1 のようである。

### (3) 諸外国における同様な施工

ローラ転圧コンクリートは、日本、アメリカを除けば、ブラジル、南アフリカ、オーストラリア等でわずか施工されている程度でまだそれほど多くはない。

アメリカでダム堤体に用いられたのは、陸軍工兵隊によって 1982 年に完成した Willow Creek ダム（高さ 52 m、堤体積 330 000 m<sup>3</sup>）が初めてである。このダムのコンクリートの単位セメント量は 67 kg/m<sup>3</sup> で、そのうち 19 kg/m<sup>3</sup> がフライアッシュである。これは RCD 用コンクリートの単位セメント量 120～130 kg/m<sup>3</sup> と比較すると極端に少ない。このような dry lean concrete を用い、そして、打継面処理を行わない、下流面に型枠を用いない、横継目を設けない、堤体内に構造物を配置しない等、施工面・設計面において、施工能率を高めるうえでの多くの工夫を払って、堤体コンクリートをわずか 5 か月の間に打設したという施工の急速性と、特に、ダム建設コストの経済性に重点を置いたローラ転圧ダム施工を RCC (Roller Compacted Concrete) 施工法<sup>4)</sup> とよんでいる。

Willow Creek ダムは、湛水後まもなく、主として水平継目部から毎分約 6 000 l の漏水が生じたことが調査報告<sup>5)</sup>された。引き続くダム工事でも改善は試みたが多量の漏水が観測された結果、陸軍工兵隊は、Elk Creek では新しい方法を採用した。このダムは現在環境問題から施工を中断しているが、この新しい施工法には、日本の RCD 工法の経験が多く取り入れられている。

陸軍工兵隊が dry lean concrete を用いて工事を進め一方、内務省開拓局は rich concrete による施工を Upper Stillwater ダム（高さ 87 m、堤体積 1 100 000 m<sup>3</sup>）で行った<sup>4)</sup>。この施工法は、イギリスが Milton Brook ダムに適用することを考えて開発していたものであるが、ダム建設が活発でないため、アメリカで採用されたものである。このダムコンクリートの単位セメント量は 252 kg/m<sup>3</sup> で、そのうち、フライアッシュが 174 kg/m<sup>3</sup> 占めている。Upper Stillwater ダムは、1987 年に打設完了したが、この施工法の成果については今後に待たなければならない。

## 3. RCD 用コンクリートの配合

### (1) RCD 工法における設計の考え方

RCD 工法は、超硬練りコンクリートを振動ローラで締め固める重力式コンクリートダムの施工法であり、設

計としては、従来工法によるコンクリートダムの設計と異なるところはない。したがって、配合設計、施工の各段階において、従来工法と同一の均等質なダムコンクリートとなるように、所要の強度、単位重量、水密性ならびに耐久性を有するコンクリートを用いて、温度ひびわれの生じないように配慮し、さらに施工継目・打継目が弱点とならぬように均質性に留意することなど、施工面から種々検討を加えることが大切である。

### (2) RCD 工法におけるコンクリート配合区分

ダムコンクリートの配合区分は、一般に次のようにある。

- ① 内部コンクリート（堤体内部のコンクリートでダムコンクリートの大半を占める）
- ② 外部コンクリート（堤体上下流の表面に打ち込まれるコンクリート）
- ③ 岩着コンクリート（基礎岩盤との接触部に用いられるコンクリート）
- ④ 構造用コンクリート（通廊、放水管等構造物周辺に用いられるコンクリート）

しかし、重力ダムの形状は基本三角形なので、堤体上部では、振動ローラの使用が難しく内部振動機による締固めが行われること等から、RCD 工法の場合、内部コンクリートの配合は、必要に応じてさらに区分されることになるが、以下、内部コンクリートとして用いられる RCD 用コンクリートの配合について述べる。

### (3) RCD 用コンクリート配合設計

RCD 用コンクリートは、超硬練りコンクリートで、しかも単位セメント量が従来工法のコンクリートと比較して少ないとところから、RCD 用コンクリート配合設計は従来のコンクリートとは異なったものとなっている。

RCD 用コンクリートの配合設計法の詳細は「RCD 工法技術指針（案）平成元年 3 月」<sup>6)</sup>に述べられているが、その要点は次のようにある。

RCD 用コンクリートのコンシスティンシーの測定には VC 試験機を用いる。VC 試験とは、図-2、表-2 に示すように、まだ固まらないコンクリート供試体に上載荷重を加えて振動台上で締め固め、ペーストが供試体の表面に浮き上がるまでの秒数を測定する試験である。この値を VC 値とよんでコンクリートのコンシスティンシーを表現する指標としている。

RCD 用コンクリートの配合設計は次の手順をとる。

#### ① 適切な VC 値を得るための単位水量の選定

RCD 用コンクリートの VC 値は、コンクリート中の単位水量によって大きく変化する。このため、過去の実績を参考にしながら単位セメント量（一般にフライアッシュを 20～30 % 使用）、細骨材率を設定し、単位水量を種々に変化させて、適切な VC 値（標準 VC 試験機を

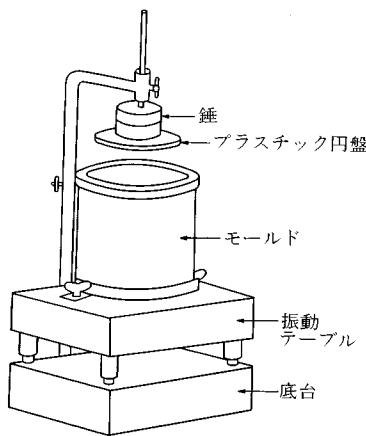


図-2 VC 試験機（標準）

表-2 VC 試験機仕様

部品	項目	仕様
振動台	振動数 振幅	3 000 rpm 1.0 mm
容器	内径 内高	24(48) cm 20(40) cm
錘	質量	20kg

( )は大型試験機

表-3 RCD 工法を採用した主要なダムのコンクリートの配合(RCD 部)

ダム名	堤高 (m)	堤体積 (千 m³)	最大寸法 (mm)	VC値 (s)	空気量 (%)	単位水量 (kg/m³)	単位セメント量 (kg/m³) $C+F$	フライアッシュ 混入率 (%) $F/(F+C)$	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	セメント種類	骨材種類	AE剤
島地川 (1980)	89.0	317	80	15±10	1.5±1	105	130	30	80.8	34	普通 ポルトランド	碎砂・碎石	使用
新中野 (1982)	74.9	(13)	80 150	20±10	1.5±1	95 90	120	30	79 75	34 32	中庸 熱 ポルトランド	碎砂・碎石	使用
大川 (1987)	75.0	(300)	80	15±10	1.5±1	102	120	20	85	32	中庸 熱 ポルトランド	川砂・川砂利	使用
玉川 (U.C.)	100.0	1 154	150	20±10	1.5±1	95	130	30	73	30	中庸 熱 ポルトランド	碎砂・碎石	使用
美利河 (U.C.)	40.0	(360)	80	15±8	1.5±1	90	120	30	75	30	中庸 熱 ポルトランド	碎砂・碎石	使用
真野 (U.C.)	69.0	212	80	20±10	1.5±1	103	120	20	85.8	33	中庸 熱 ポルトランド	碎砂・碎石	使用
白水川 (U.C.)	54.5	311	80	20±15	1.5±1	102	120	20	85	32	中庸 熱 ポルトランド	碎砂・碎石	使用
朝日小川 (U.C.)	89.0	350	80	40±10	1.5±1	94	120	20	78	32	中庸 熱 ポルトランド	碎砂・碎石	使用
朝里 (U.C.)	73.9	506	80	20±10	1.5±1	103	120	20	85.8	30	中庸 熱 ポルトランド	碎砂・碎石	使用
道平川 (U.C.)	70.0	348	80	20±10	1.5±1	100	120	20	83.3	30	中庸 熱 ポルトランド	碎砂・碎石	使用
境川 (U.C.)	115.0	626	80	20±10	1.5±1	100	130	30	76.9	32	中庸 熱 ポルトランド	碎砂・碎石	使用
布目 (U.C.)	72.0	370	150	20±10	1.5±1	95	120	35	79	27	中庸 熱 ポルトランド	碎砂・碎石	使用
神室 (U.C.)	60.6	298	80	20±10	1.5±1	103	120	20	85.8	32	中庸 熱 ポルトランド	碎砂・碎石	使用

(U.C.)は平成元年現在建設段階

堤体積：新中野ダムは減勢池部分のみ、大川ダムはマット部分のみ、美利河ダムはコンクリートダム部分のみの値

用いた場合で20秒程度)を得るための単位水量を選定する。粗骨材の最大寸法が80mmの場合、単位水量は100 kg/m³程度である。

### ② 単位セメント量の確認

RCD用コンクリートの単位セメント量は、120 kg/m³以上とするのが一般的である。これは、コンクリート中に十分なペースト量を確保するために必要な最小量として理解されている。ここでは、①から求められた単位水量から計算されるセメント水比が所要のコンクリートの強度を得るために十分な値であるかどうかを確認し、必要に応じて単位セメント量を修正する。

### ③ 細骨材率の選定

①、②で求められた単位水量、単位セメント量に対し、細骨材率を種々に変化させて、VC値を最小にするような細骨材率を定める。細骨材率は、従来工法のコンクリートと比較すると2~3%程度大きくなっている。

### ④ 配合の確認

①、②、③で一応配合を定めることになるが、さらに、所定の振動エネルギーを加えることによる大型供試体試験<sup>7)</sup>、あるいは現場試験施工を行って締固め性能を確認し、必要に応じて配合を修正する。RCD用コンクリー

トの配合特性を表わすために、ペーストの細骨材空隙充填率、モルタルの粗骨材空隙充填率等の諸比率が試験施工の際の配合比較や他ダムとの配合比較のために用いられている。RCD用コンクリートの配合でVC値を20秒に設定すると、前者は1.1~1.2程度、後者は1.2~1.3程度(従来工法による場合は、前者が1.6~1.8程度、後者が1.2~1.6程度である)となっている。

なお、代表的なRCD用コンクリートの配合を表-3に示す。

#### (4) RCD用コンクリートの品質

##### a) VC値

リフト厚さが50~75cmである一般的な施工の場合は、40mm以上の骨材を除いたコンクリートに対して標準VC試験機を用いて測定したVC値が20秒程度の

場合(フルサイズの骨材を用いたコンクリートに対して大型VC試験機で測定した場合60秒程度、図-3)、RCD用コンクリートのコンシステンシーとして適当とされている。VC値がこれより大きく(たとえば50秒程度以上になると、コンクリートが硬すぎて振動ローラによる締固めが困難になり、この値より小さく(たとえば10秒程度以下になるとコンクリートが軟らかくなりすぎ、振動ローラの運転操作が困難になったり、隣接するレーンにコンクリートの盛上がりが生じたり作業上不都合な点が多くなる。

##### b) VC値に影響を及ぼす配合特性

VC値に影響を及ぼす配合特性としては、単位水量、単位セメント量、細骨材率がある。これらをそれぞれ変化した場合、これら諸量と標準VC試験機を用いて測

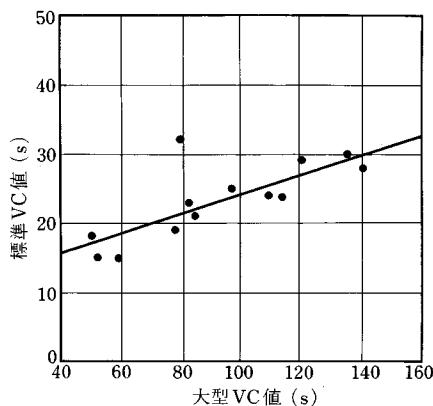


図-3 大型 VC 値と標準 VC 値との関係

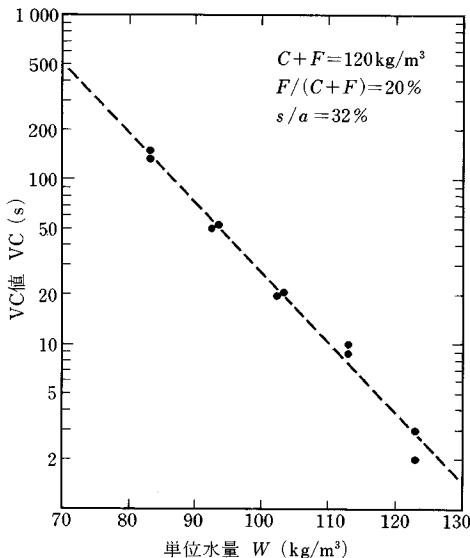


図-4 VC 値と単位水量の関係

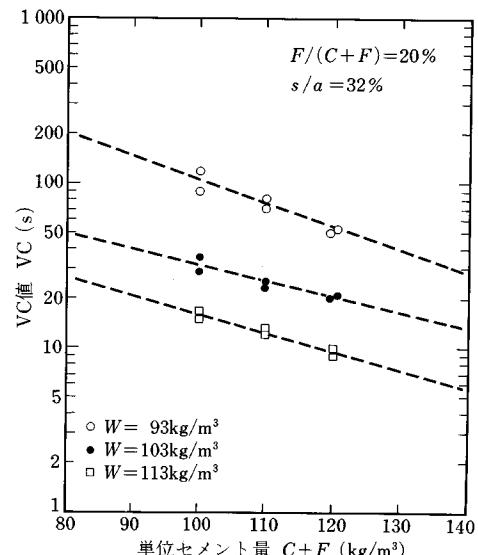


図-5 VC 値と単位セメント量との関係

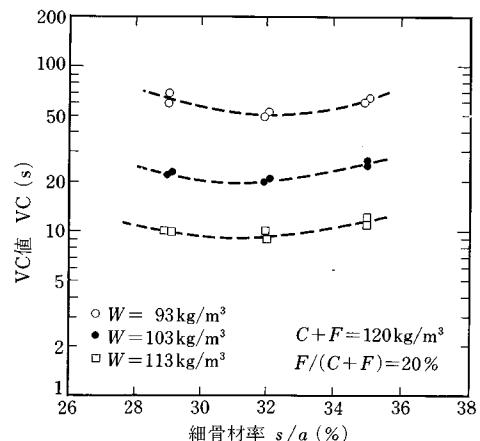


図-6 VC 値と細骨材率の関係

定した VC 値との関係は図-4～図-6 に示すとおりである<sup>8)</sup>。このことから、単位セメント量および細骨材率一定として VC 試験を行うことによって単位水量を定めることができる。また、最適細骨材率を定めるには、細骨材率の変化に対して標準 VC 試験の VC 値の変動量は比較的小ないので、図-3 からわかるように大型 VC 試験機を使用する方が適切である。

VC 値は、RCD 用コンクリートに振動を与えることによってセメントペーストが表面に一様に浮かび上がるまでの時間を表わしている。したがって、一定条件のもとでは、VC 値はペースト量と、厳密にはセメントペーストの細骨材空隙充填率とも密接な関係がみられる（図-7）。

#### c) RCD 用コンクリートの単位重量、圧縮強度

フルミックスの RCD 用コンクリートを  $\phi 50 \text{ cm} \times \text{高さ } 45 \text{ cm}$  の試験容器に詰め、現場施工で用いる振動ローラとほぼ同等な締固めが得られる加振機を用いて所定の振動締固めを行い、材令 91 日で採取したコアを用いて単位重量・圧縮強度を測定する。コンクリートの単位水量とこの試験により得られたコンクリートの単位重量・圧縮強度との関係を用いて、所定の VC 値が得られるように定めた単位水量を締固め作業の点から確認するこの一連の試験を大型供試体試験とよび、一般に RCD 用コンクリートの配合設計の最終段階において行っている<sup>7)</sup>。

この試験結果の一例を示すと図-8 のようである。単位重量と圧縮強度とともに単位水量の変化により最大値を示すが、最大値を示すそれぞれの単位水量は同じではない。参考として、40 mm 以上の骨材を除いたコンクリー

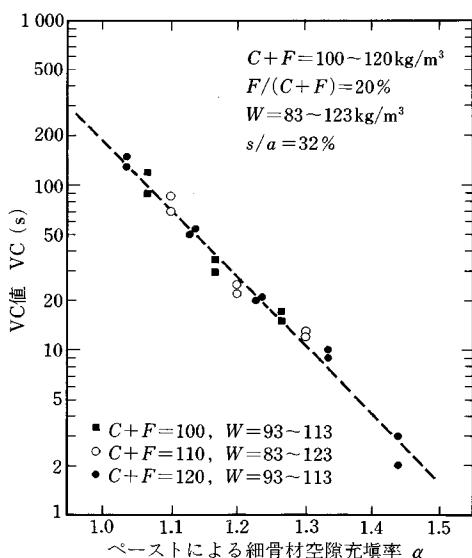


図-7 VC 値とペーストによる細骨材空隙充填率

トを用いた標準供試体によるセメント水比（単位水量）と圧縮強度との関係を示すと図-9 のようである。また、理論重量と単位重量との相対重量比と VC 値との関係は図-10 に示すとおりである。なお、この試験例では VC 値 20 秒が得られる単位水量は  $103 \text{ kg/m}^3$  である。

RCD 用コンクリートの品質は、このように振動締固

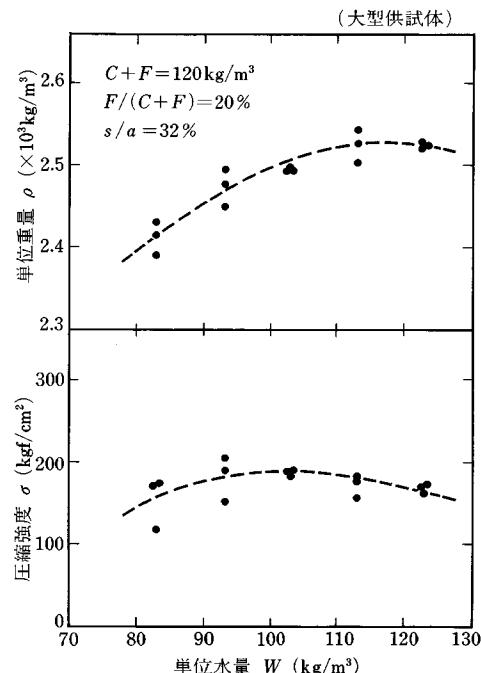


図-8 単位水量と RCD 用コンクリートコアの単位重量、圧縮強度との関係

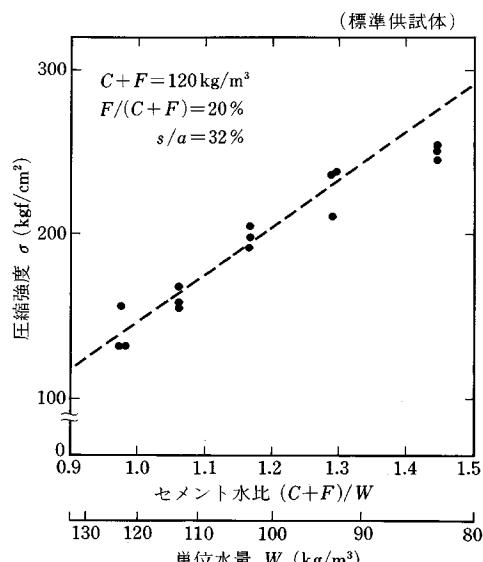


図-9 単位水量と標準供試体の圧縮強度の関係

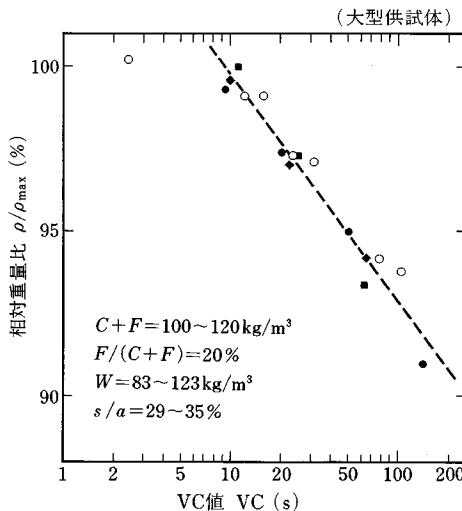


図-10 VC 値と RCD 用コンクリートの相対重量比との関係

めによりかなり相違するので、配合選定の仕上げとして大型供試体試験もしくは現場試験施工を実施している。

#### 4. 均質性に留意したコンクリートの施工

RCD用コンクリートは、単位セメント量の少ない超硬練りのコンクリートであるので、練りませ・運搬・打込みの工程を通して、材料分離について十分な配慮が必要である。

特に、大粒径の粗骨材の材料分離が山積されたコンクリートの山すそに生じやすいので、コンクリートをトラックの荷台へ積み込むとき、荷おろし時にそれぞれ工夫をしたり、また、敷きならしの層厚を大きくすると、荷おろし時に生じた分離がそのまま残ることもあるので、リフト高さに応じて3~4層程度に分けてブルドーザにより薄層敷きならしを行っている。この、薄層敷きならしを行う際のブルドーザの走行は、締固めの効果のうえからも有効で、振動ローラによる締固め効果がリフトの下層にまでおよび、リフト層を通じて所定の強度をもちしかも均等質なものとすることに役立っている<sup>9)</sup>。

振動締固めに関する研究も多く行われており、RCD用コンクリートの締固め機構は、振動ローラの自重による転圧効果に加えて、振動による骨材間の摩擦の減少とモルタルの流動作用によるものと考えられている。

RCD用コンクリートの締固め効果は、振動ローラの性能、走行速度、転圧回数等により異なる。振動ローラの機種は、小型で性能の良いBW-200型両輪振動ローラ（全重量7t、振動数2600cpm）が一般に使用されており、振動ローラの走行速度は1km/h程度が標準である。転圧回数は、BW-200型両輪振動ローラの場合では、リフト厚さ50cmの場合は無振動で1往復の後、振動

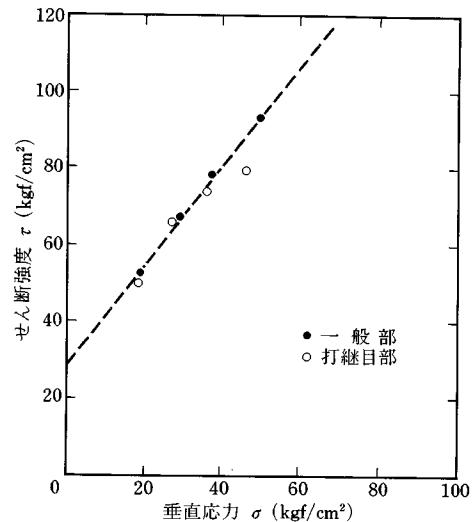


図-11 原位置せん断試験結果 (Aダム)

転圧を3往復以上、リフト厚さ75cmの場合は無振動で1往復の後、振動転圧を6往復以上行っている。さらに、表面を平滑とし、打継面の表面処理を容易にする意味で、タイヤローラによる仕上げ転圧を行っている例もある。リフト厚さ100cmまではこのような施工方法でよいことは、玉川ダムの施工例で確かめられている<sup>10)</sup>。

RCD工法の初期の施工においては、RCD工法の特徴の1つに同一リフト内で上層の強度が下層に比して小さい（約75%）ことが挙げられていた。これにはいくつかの要因が考えられたが、結局、主として上部からの振動締固めに伴う水の上昇による問題と考えられ、コンクリートの配合における単位水量（もしくは目標とするVC値）を適切な値に選定することで解決した。

#### 5. 水密性に留意した打継部の施工

コンクリートの打継面は、次リフトのコンクリートを施工する前に、やむを得ず生じた微量なコンクリートのはがれや浮石の除去等の清掃を行い、モータースイーパを走行させ、ジェット水で洗浄する。

RCD工法においては、次のブロックへコンクリートを運搬するため、打込み後間もないコンクリートの表面をダンプトラックが走行することになる。この走行により生じるコンクリートのはがれ等の悪影響を避けるため、走行路をわずかに盛り上げたり、鉄板、シート等を敷いて、打継面となる表面の保護に留意している。

そして、洗浄後水切りを十分に行って、次のリフトのコンクリートの打込み直前に厚さ15mm程度の敷きモルタルを塗り込む。

このように打継面となる表面の品質に留意し、十分な打継目処理を行うかぎり、水平打継目の強度がコンク

リート自身の強度より低下することのないことが、ダム現場における原位置せん断試験（図-11）ならびにボーリングコア（ $\phi 170$  mm）を用いたせん断強度試験の試験結果により確かめられている<sup>12)</sup>。

島地川ダムの調査結果によれば、堤体からの漏水量は1孔当たり最大2l/分程度ときわめてわずかで、従来工法と比較しても少ない値<sup>[3]</sup>であった。

RCD工法における高い水密性は、施工面では、この敷きモルタルの施工と前述の材料分離に対する配慮に、設計面では、外部コンクリートと止水板を設けた横縦目の配置に起因していると考えられる。

## 6. RCD工法における温度規制

RCD工法は、従来のコンクリートダム築造の主流であった柱状ブロック工法とは異なる全面レヤ打設による工法であるため、新しい温度ひびわれ防止法の検討が必要である。

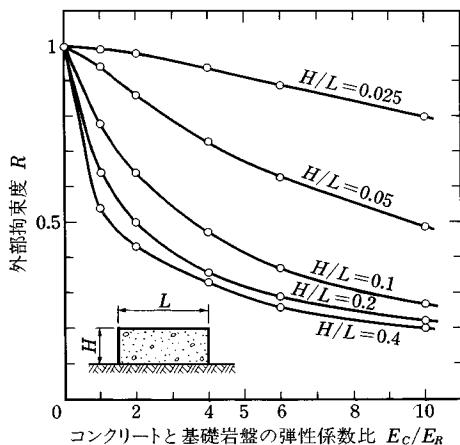


図-12 着岩面における外部拘束度の大きさ

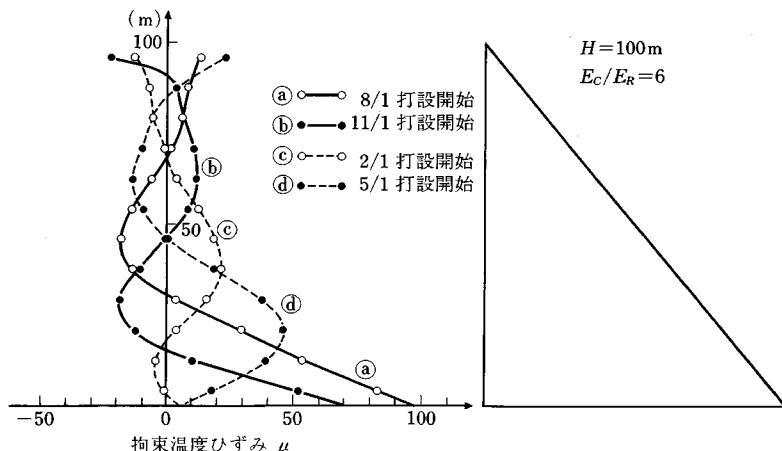


図-13 打設開始時期と堤体内部（各層中央部）の拘束温度ひずみの分布の関係

要であった。

広瀬・永山は、RCD工法における温度規制について研究<sup>14)</sup>を行い、まず、従来から用いられていた温度応力を表わす式(1)に新しい考察を加え、外部拘束度(岩盤拘束度)の大きさは  $H/L$  によって定まるので(図-12)、コンクリートの冷却が実用上、ダムコンクリートの打設完了まで生じないと考えれば、(RCDダムはパイプクーリングのような人工冷却をしないため、コンクリートの温度低下が比較的緩慢である反面、打上がり速度が速いところからこのように考えられる)長大なレヤであっても、縦縫目の必要を考慮することなく打設できることを明らかにした。

ここに,  $R$ : 岩盤拘束度,  $E_c$ : コンクリートの弾性係数,  $\alpha$ : コンクリートの熱膨張係数,  $\Delta T$ : コンクリートの温度降下量.

ついで、RCDダムにおいては、打設完了時における堤体内的温度分布が一様でないところから、柱状ブロック工法においては比較的重要視されていなかった内部拘束による温度応力の重要性について指摘した。さらに拘束度マトリックスを用いた温度応力解析法を開発し、その計算結果に基づいて、拘束温度ひずみはコンクリートの打設時期によって影響を受けること（図-13）、この打設時期による影響で、最大拘束温度ひずみの大きさおよびその生ずる位置は、堤高によって異なること（図-14）等RCD工法による高ダム建設にとって貴重な知見が明らかにされた。建設省宮ヶ瀬ダムは、堤高155m、堤体積200万m<sup>3</sup>の規模をもつ世界最大のRCDダムであり、現在工事中である。この工事の温度規制計画の立案に拘束度マトリックスを用いた温度応力解析法を適用して、コンクリートの許容最高温度、最も有利な打設開始時期、プレクーリングの活用等が検討された<sup>15)</sup>。

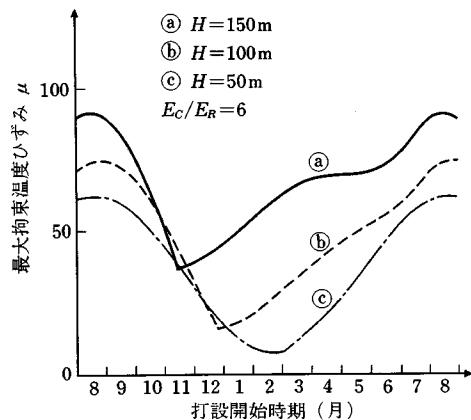


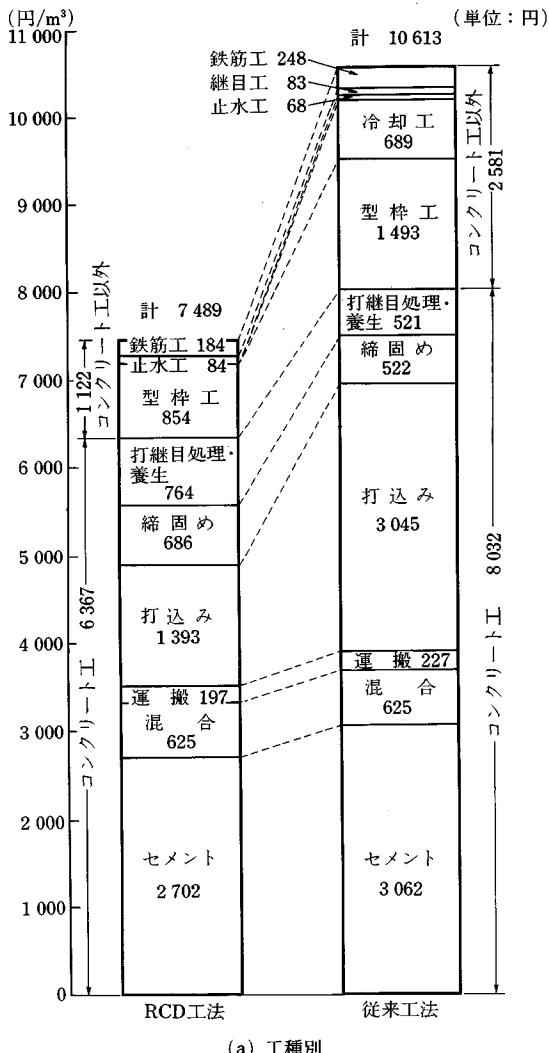
図-14 ダムの規模（堤高）による最大拘束温度ひずみの差

## 7. RCD工法の経済性<sup>16)</sup>

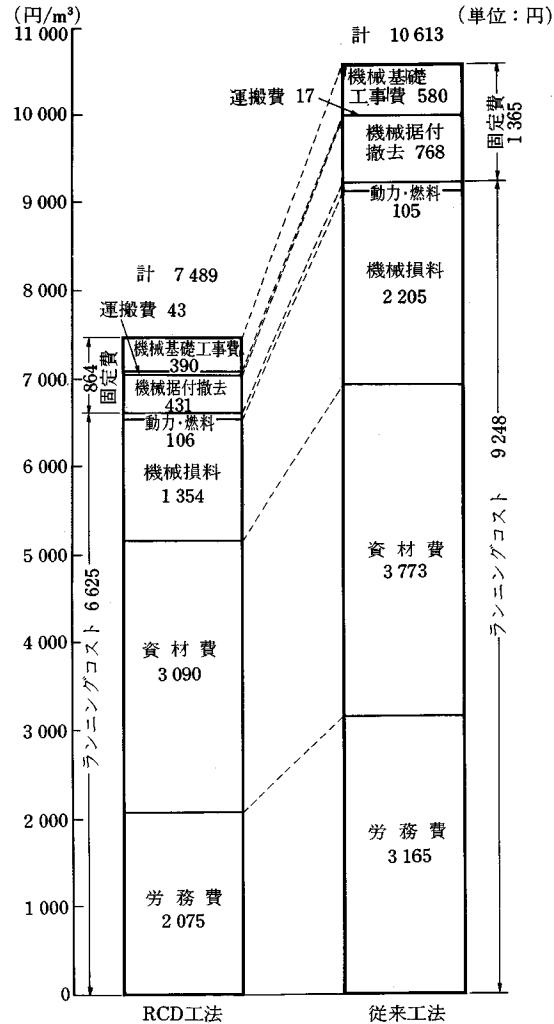
RCD工法の特徴は、従来工法に比較して次の利点があることである。

- ① 建設費の低減化が図れること（経済性）
- ② 作業の効率化が図れること（施工性）
- ③ 作業の安全性の確保に優れていること（安全性）
- ④ 環境保全対策においても優れていること（環境保全）
- ⑤ ダム以外のマスコンクリートへの適用が図れること（発展性）

本節では、これらの項目のうち、主として①および②について述べることにする。経済性の比較は、施工年度、施工地域の相違による労務費、資材費の価格変動につい



(a) 工種別



(b) 費目別

図-15 骨材費を除くコンクリート単価の構成（5ダムの平均）

て考慮しなければならない。したがって、これらの価格については、年度別、地域別に用意されたそれぞれのデフレーターを用いて価格補正を行った。なお、骨材価格の地域的変動が非常に大きかったが、本ケースのような工法の相対比較においては、骨材費を除外しても大局を誤ることはないと判断して、以下骨材費を除いて比較検討を行った。

比較の対象として取り上げたものは、RCD工法、従来工法ともに各5ダム（昭和61年度において工事中もしくは完成したダム）である。

工費の比較はそれぞれの設計積算書に基づいてコンクリート1m<sup>3</sup>当たり単価を、工種別、費目別に算出して行った。その結果は、各5ダム平均で示すと図-15のようである。

RCD工法は、図-15によれば、コンクリート1m<sup>3</sup>当たり3000円程度低減の可能性のあることを示している。この理由は、労働力の低減であり、工法の変更によるセメント使用量の低減と不要となった一部の継目型枠、冷却パイプ、等資材の節減ならびに汎用性のある建設機械を使用したことによる機械関連経費の節減の結果である。労働力の低減は、主として、a. 縦継目の省略と横継目の型枠作業の不要等型枠作業の省力化、b. クーリングパイプを敷設しないことによる冷却工の不要、c. 打込み・締固め等における機械化作業の効率化によるものと考えられている。

しかし、ダムの形状や構造によっては、RCD工法の優位性の程度が低くなることもあるので、両工法の差額について絶対視することを避けなければならないことは当然である。

RCD工法は、a. コンクリートの打設工期を従来工法の80%程度に短縮できる、b. 建設機械を無駄なく効率的に稼動させることができ、弾力的な打込み作業を行うことができる等作業の効率化が図れることも経済性の評価にかかる大きな利点といえよう。

このほか、柱状ブロック工法と比較して、安全監視員にとって目視確認に死角がないので、安全管理上からも優れていること、また、大型ケーブルグレーン設置の際に行われる多量の土砂掘削がないため、環境保全の面で優れていること等も大きな利点となっている。

## 8. あとがき

以上、RCD工法における技術的な長所とそれらに関する最近の調査成果について述べた。

RCD工法は、ダム合理化施工の研究の一環である重要課題として取り上げられ、関係機関が一体となって、室内試験、試験施工を重ねて多くの技術的問題を克服して開発した技術である。しかし、この技術を一層洗練し、

発展させるためには今後検討しなければならない課題もまだ残されている。たとえば振動ローラによる振動締固め機構の解明等の技術的な解明であり、打継目の表面処理の効率化等による経済性の向上であり、RCDダムにおける細部設計の検討等技術の普及に関する諸問題である。

末尾にあたり、長年月にわたり熱心にご指導を賜った「コンクリートダム合理化施工に関する研究委員会」の委員および幹事の各位、各種の試験を実施しあるいは工事現場で実際に施工しながらRCD工法の技術発展に大きく貢献された技術者の各位に心より御礼を申し上げます。

## 参考文献

- 1) (財) 国土開発技術研究センター編集: RCD工法によるダム施工、昭和56年7月。
- 2) 広瀬利雄・志水茂明・竹村公太郎: RCDコンクリート工法によるダムの施工に関する研究、土木学会論文報告集、No.303、1980.11.
- 3) 原田謙二・島田昭一: 玉川ダムの設計と施工について、大ダム、1984.3.
- 4) 鈴木徳行・志水茂明: RCD工法と RCC工法との特性について、土木学会論文集、No.403/VI-10、1989.3.
- 5) US Army Corps of Engineers: Willow Creek Lake Supplement 1 to GDM-2 Phase II, Main Dam, Spilway, and Outlet Work Volume I, December 1981.
- 6) 國土開発技術研究センター: 「RCD工法技術指針(案)平成元年3月」
- 7) 志水茂明・柳田 力: RCD工法における大型供試体試験、ダム技術、No.26、増刊、1988.
- 8) 糸林芳彦・志水茂明・山内 康・永山 功: RCD工法によるコンクリートダムの設計の現状と課題、日本大ダム会議第21回技術講演討論会テキスト、1989.3.
- 9) 松本徳久・佐谷靖郎・志賀三智: RCDコンクリートの現場転圧試験、土木学会論文集、第391号/VI-8、1988年3月。
- 10) 足立敏之・臼井加悦: リフト層1mによる玉川ダムRCD工法の施工、ダム技術、Vol.3-4、昭和60年10月。
- 11) 山口甚郎・大庭勝美・加藤敏治・鎌田俊治: 玉川ダムの施工と品質及び温度管理(国際大ダム会議第16回大会提出論文)、大ダム、No.127、1989.3.
- 12) 永山 功・渡辺和夫・田中 靖: 重力式コンクリートダムの設計におけるコンクリートのせん断強度について、ダム技術、No.26、増刊、1988.
- 13) 永山 功・山中 正: RCDダムの遮水性について、ダム技術、Vol.4、No.1、1986.
- 14) 広瀬利雄・永山 功: RCD工法における温度規制の設計法、ダム技術、No.26、増刊、1988.
- 15) 上坂恒雄・富田邦裕・新美 勝: 宮ヶ瀬ダムにおけるRCD工法、ダム技術、No.26、増刊、1988.
- 16) 広瀬利雄: コンクリートダムの合理化施工に関する研究、東京大学学位論文、昭和63年3月。

(1989.7.20・受付)