

改 訂

# 骨材生産設備マニュアル(案)

(最適骨材評価コンクリート用)

平成9年 1月

(財)国土開発技術研究センター

改 訂

骨材生産設備マニュアル(案)

(最適骨材評価コンクリート用)

平成9年 1月

(財)国土開発技術研究センター

## まえがき

コンクリートダム建設の合理化施工は、第1に施工の合理化、第2に材料の合理化、そして第3に設計の合理化が考えられてきた。現在多くのダム建設で適用されているRCD工法は、第1の施工の合理化部門における成果で、工法としてほぼ確立された段階にある。

これに続く合理化施工としては、第2部門の材料の合理化、すなわち最適骨材評価コンクリートが大きな課題となっている。一方、多くのダムにおいて所謂廃棄岩が50%以上もある実情にあり、従来、廃棄岩として処理されてきた原石を積極的に利用することが望まれている。この要請に応えるため、今までのダム建設の手順が“設計先ずありき”であるのに対し、“原石山先ずありき”ということを念頭に置き、決められた原石山から発生する原石を極力利用することを目指して「骨材生産設備マニュアル作成（最適骨材評価コンクリート）委員会」（委員長 廣瀬利雄 （財）国土開発技術研究センター理事長）を開催し、如何なる骨材生産フローが合理的か検討し「骨材生産設備計画」のための本マニュアル（案）を平成7年11月に作成した。

（財）国土開発技術研究センターでは本マニュアル（案）発行後も電力会社等の関係機関と「ダムの材料合理化」に関する意見交換を実施し、本マニュアル（案）の内容の不備なところや表現の不足している点などについて検討を行った。今回、その検討に基づき内容の充実を図るべく本マニュアル（案）を改訂することとした。また、改訂にともない平成8年3月にとりまとめたQアンドA集と関連する参考資料も合わせて1冊にすることとした。

本マニュアル（案）の改訂に当たっては関係各位より適切な御指導、御助言を賜り、深く感謝の意を表する次第である。

平成9年1月

（財）国土開発技術研究センター

**第1部 骨材生産設備マニュアル（案）  
(最適骨材評価コンクリート用)**

**第2部 骨材生産設備Q & A集**

**第3部 参考資料**

## **第1部**

**骨材生産設備マニュアル（案）**

**（最適骨材評価コンクリート用）**

# 目 次

## まえがき

### 第1章 総論

1-1 はじめに（本マニュアルの背景と目的）	1
1-2 検討フロー	3
1-3 主任技術者	7

### 第2章 骨材生産設備検討方針

2-1 堤体積と骨材生産設備の基本方針	8
2-2 内部・外部コンクリートの品質	10

### 第3章 原石山の選定

3-1 原石山の調査	11
3-2 機械設備と関連する原石性状の把握	13
3-3 原石の分類、分布図	14

### 第4章 細骨材の品質確認

4-1 骨材試験、モルタル試験	15
4-2 細骨材への適合性	16

### 第5章 粗骨材の品質確認

5-1 骨材試験、コンクリート試験	17
5-2 コンクリート配合仮決定	19

### 第6章 骨材生産設備の方針

6-1 使用する骨材の種類	20
6-2 骨材生産設備の方針	21

第7章 骨材生産設備計画	
7-1 粗骨材の最大寸法と粗骨材分級	23
7-2 製砂設備の検討	24
7-3 諸設備の検討	25
7-4 サージパイルの検討	28
第8章 原石採取計画	
8-1 堤体打設計画と原石採取計画	29
8-2 廃棄岩の基準	30
第9章 堤体設計	
9-1 骨材使用可能量	31
9-2 コンクリートの品質	32
9-3 堤体設計	33
第10章 今後の課題	34

## 骨材生産設備マニュアル作成（最適骨材評価コンクリート）委員会名簿

(平成7年11月現在)

委員長	廣瀬 利雄	(財)国土開発技術研究センター	理事長
委員	山住 有巧	(財)ダム技術センター	理事
委員	丹野 光正	(財)ダム技術センター技術第二部	上席参事
委員	田代 民治	ダム工事総括管理技術者会 (鹿島建設(株)宮ヶ瀬ダム本体JV工事事務所) (所長)	推薦委員
委員	吹原 康広	ダム工事総括管理技術者会 (株)間組土木統括本部技術・設計第二部 (部長)	推薦委員
委員	足立 英文	(株)大阪碎石工業所	専務取締役
委員	加藤 祐一	(株)ムツミ	取締役副社長
事務局	吉川 勝秀	(財)国土開発技術研究センター調査第一部	部長
事務局	梶原日出隆	(財)国土開発技術研究センター調査第一部	首席研究員
事務局	鈴木 篤	(財)国土開発技術研究センター調査第一部	上席主任研究員
事務局	白土 稔	(財)国土開発技術研究センター調査第一部	上席主任研究員
事務局	塚本 康二	(財)国土開発技術研究センター調査第一部	主任研究員

# 第1章 総 論

## 1-1 はじめに（本マニュアルの背景と目的）

在来のコンクリートダムにおける骨材生産設備は、ダムの構造設計に基づいて所要のコンクリート品質を満足させるための骨材の厳しい品質管理基準を設定し、この基準に適合する原石のみを使用して骨材を生産するものとして計画されている。

しかし近年、ダムサイト近傍で良質な原石山の確保が困難となり、その結果、ダムサイトから離れた原石山を選定することで運搬距離が増加すると共に、良質な原石のみを使用してきたため大量の廃棄岩が生じて工事費を増大させている。また、廃棄岩を湛水池内に処分する場合には貯水容量を減少させると共に、自然環境の保全や生活環境への配慮から、処分場及び採取跡地の処理に多大の経費を投入せざるを得なくなっている。今後、これら環境の保全、資源の有効利用、工事費の縮減等の要請はますます強まるものと考えられることから、コンクリートダムの骨材生産設備について発想を転換する技術開発が要請されてきた。

この要請に応えようとするのが、本マニュアルで提案する最適骨材評価コンクリートの考え方である。すなわち、従来はダムの構造設計に基づき原石山を選定し、良質な原石のみを使用していたのに対し、先ず原石山を仮決めし、低品質な原石を極力利用する前提で生産された骨材を用いてコンクリートダムを設計しようとする考え方である。この考え方を進めるためには、低品質な原石と良質な原石が混在する原石山を対象として、効率良く骨材生産をするための骨材生産設備計画を新たな発想で検討する必要がある。原石山の岩質特性に適合し、かつ岩種、岩質の変動の大きい場合にも対応できる骨材生産設備を追求することが必要とされる。

本骨材生産設備マニュアルは、上記の考え方に基づき、如何なる順序でコンクリートダムの骨材生産設備を検討してゆけばよいかのフローと、各フロー段階における留意事項を取りまとめたものである。場所によって、異なる特性を持つ原石山を対象としているので、当然、夫々のダムにおいて最適な骨材生産設備は異なったものとなる。このため、個別ダムへの適用は、本マニュアルの留意点に従い、個々具体に検討することとなる。

本骨材生産設備マニュアルの主な特徴は、次のとおりである。

- (1) 堤体積の規模で、購入骨材を使用するか、内部・外部コンクリート用骨材を分け  
て生産するか等について設備の概要をイメージする。
- (2) 原石山の調査は、浅くとも広い（原石山の全貌がわかる）知見が目標となる。
- (3) 骨材の注目点は細骨材である。コンクリートの性質は主としてモルタルに依存す  
るので、製砂に注目した設備となる。
- (4) 低品質な原石から外部コンクリートに使用できる細骨材が生産できるか判断する

ために、モルタル試験を早期に実施することが必要となる。

なお、本マニュアルは短期間にまとめたものであり、検討が不十分な点もあろうかと思われる所以、今後のダム現場における具体的な事例の結果を解析し、できるだけ近い将来改訂、加筆すべきものである。

## 1-2 検討フロー

低品質な原石を極力使用する前提で、低品質と良質なものが混在する原石を対象として効率良く骨材生産を行うため、原石山の岩質特性に適合し、かつ岩種、岩質の変動の大きな場合にも対応できる骨材生産設備を計画するに当たっては別紙検討フローに沿って検討するものとする。

### 解説

低品質な原石を極力使用するため、原石山調査から原石採取、骨材生産に至る各検討項目を分類すると以下の通りとなる。

#### 第1ステップ 堤体積に応じた検討方針の決定（フロー図1.）

コンクリートダムでは、堤体積に応じて合理的な骨材生産方法が考えられる。ダム計画の初期段階において堤体積の概略を仮決定し、堤体積に応じた骨材生産設備検討の概略の方針を決定する。

#### 第2ステップ 原石山の調査・選定（フロー図2.～4.）

原石山の調査・選定にあたっては、ダムサイト周辺の複数の山と本体掘削土の流用も含めて調査対象とする。原石山の洗い出しあは以下の検討項目について行う。

- ① 立地条件  
平面、地形、原石山への取付け道路
- ② 賦存状況  
弾性波探査、ボーリング、横坑
- ③ 採取範囲
- ④ 採取予定工法
- ⑤ 自然環境
- ⑥ 工事環境

原石の性状把握は、対象とした山についてボーリングコア、横坑掘削ズリ、露頭、崖錐等により把握する。

- ① 岩種
- ② 岩級
- ③ 風化度
- ④ 有害鉱物の有無

##### ⑤ 岩質

破碎の難易、破碎後の粒形、粒度

以上の調査結果から原石山を仮決定し、更に詳細な調査を行う。

#### 第3ステップ コンクリート試験、配合仮決定（フロー図5.～8.）

試掘横坑からの掘削ズリから試験用骨材を生産し、骨材試験とコンクリート試験を行いコンクリートの品質を確認し、コンクリート配合を仮決定する。ここで、良質な原石から生産した骨材を1種骨材、従来においては廃棄岩とされていたような低品質な原石から生産した骨材を2種骨材と呼ぶ。

##### ① 細骨材の品質確認

コンクリートの性質はモルタルの性質に大きく影響されることから、良質、低品質の採取原石を試験破碎した細骨材を用いて、骨材試験とモルタル試験により、1種骨材、2種骨材の細骨材が内部もしくは外部のコンクリートに使用できるかを確認、検討する。

##### ② 粗骨材の品質確認

良質、低品質の採取原石を試験破碎した粗骨材を用いて、骨材試験とコンクリート試験により粗骨材の品質とコンクリートの品質を確認、検討する。

①と②の結果から、ダムのどの部分にどの種類の骨材を使用するかを決定し、コンクリート示方配合を仮決定する。

#### 第4ステップ 骨材生産設備の方針（フロー図9.）

第3ステップによって仮決定されたコンクリート示方配合の骨材の種類により、合理的な骨材生産設備の1種骨材と2種骨材をどのような系列で生産するかの方針を検討する。

従来の骨材生産フローは、破碎された原石を1次破碎から2次破碎、3次破碎へと順次破碎していく、ふるい分けされた原砂をロッドミルにかけて細骨材を生産してきた。細骨材はコンクリートの性質に大きな影響を与えるモルタルの性質を左右することから、骨材生産設備の検討にあたっては製砂設備に注目することが重要である。

#### 第5ステップ 骨材生産設備計画（フロー図10. 11.）

第4ステップの方針に従い、以下の点に留意して骨材生産設備を計画する。

- ① 岩種、岩質による製砂方式を検討
- ② 岩種、岩質による諸設備の検討
- ③ 変動する原石の性状に対応する能力余裕の検討
- ④ コンクリートの性質から最大骨材寸法と粗骨材分級の決定

また、以下の点に留意して原石採取計画をたて、骨材生産設備計画にフィードバックする。

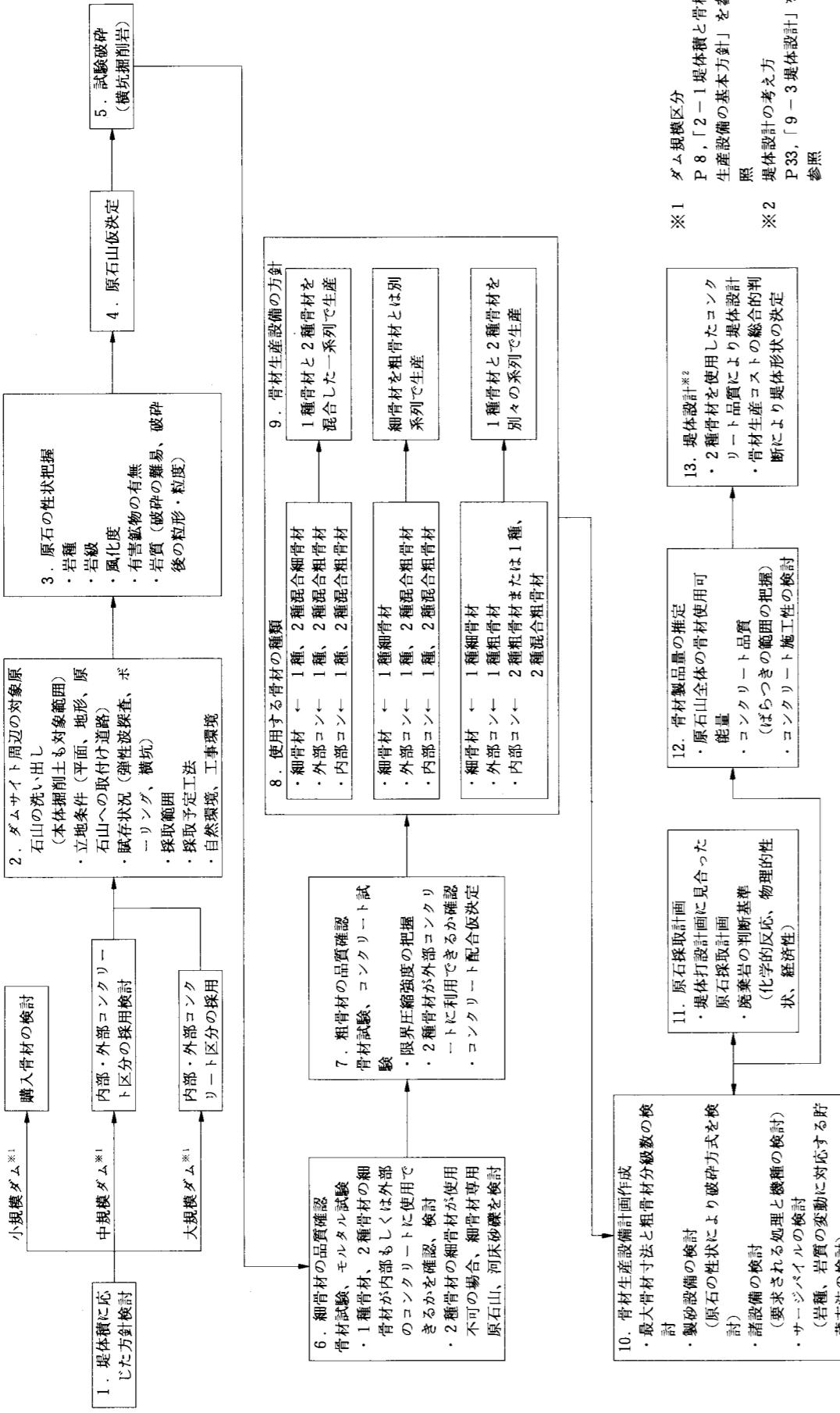
- ① 廃棄岩、良質岩、低品質岩の採取時期と採取量
- ② 堤体リフトスケジュールと配合別数量
- ③ 日最大打設数量と生産能力
- ④ 最大打設月の1日平均打設量

#### 第6ステップ コンクリート配合の決定（フロー図12. 13.）

低品質な骨材を使用した場合のコンクリート数量と品質から、堤体を設計する。堤体設計にあたり、以下の項目を前提とする。

- ① 骨材利用可能量
- ② コンクリートの品質
- ③ コンクリートの施工性

コンクリートダムの骨材生産設備検討フロー図



1 - 3 主任技術者

最適骨材評価コンクリートでダムを施工するための責任技術者は、土木、地質、機械分野の総合的知識を備えた経験豊かな土木技術者を選任する。

解 読

原石山の実情から、最適と判断される原石材を使用したダムコンクリートを生産するための責任技術者は、コンクリート試験、ダムコンクリートの配合設計、ダムコンクリート施工、原石採取、骨材生産、地質一般、地質調査法等、土木、地質、機械分野の総合的知識が要求される。従って、責任技術者には、経験豊かな土木技術者を選任する。

## 第2章 骨材生産設備検討方針

### 2-1 堤体積と骨材生産設備の基本方針

コンクリートダムの堤体積により骨材生産設備検討の概略の方針を決定する。

#### 解説

##### 1. 小規模ダム

(1) 従来のコンクリートダムでは大規模、小規模にかかわらず、原石採取、骨材生産、コンクリート生産はダム施工者が直接生産するのが原則となっている。しかしながら、良質な原石の採取できる原石山がダム近傍で少なくなっている現状から、小規模ダムにおいて原石山を開発することは必ずしも経済的ではない。このため、堤体積10万m<sup>3</sup>級以下の小規模ダムでは、既存の碎石工場からの購入骨材の使用を検討することとする。

購入骨材を使用する場合は、以下の項目に留意する。

- ① 近傍に骨材生産設備があるか。
- ② その工場は、リフトスケジュールの所要骨材量と打設工程に応じた能力を全工期を通じて生産できるか。(全体量と能力の確保)
- ③ 最大骨材寸法の可能サイズ
- ④ 骨材の品質とばらつき(粗骨材を購入して細骨材を生産の必要性も考慮)
- ⑤ ダム施工者の管理下において主任技術者による品質管理ができるか。
- ⑥ ダム専用の骨材貯蔵設備が設けられるか。
- ⑦ 骨材生産、濁水処理及び輸送等により、粉塵、騒音、振動で近隣住民へ悪影響を与えないか。

(2) 検討の結果、購入骨材の使用が不適当と判断された場合は、従来通り原石山からの骨材生産となる。骨材は、内部コンクリート用と外部コンクリート用に区分することなく、良質な原石からの生産となる。

##### 2. 中規模ダム

RCDコンクリートダムでは、耐摩耗性、耐凍結融解性、水密性を必要とする外部コンクリートと、耐久性を必要とせず貧配合の内部コンクリートに配合を変えている。これまででは、内部コンクリートと外部コンクリートの骨材の品質を同一の基準で評価してきたため、外部コンクリート用骨材として使用できない原石は全て廃棄してきた。

これに対し、最適骨材評価コンクリートでは、良質な原石から生産した1種骨材と、従来は廃棄されていた低品質な原石から生産した2種骨材に区分することで、生産された骨材が内部コンクリート・外部コンクリートの細骨材、粗骨材のいずれに使用できるかを検討する。1種骨材、2種骨材に区分して骨材を生産する場合、骨材生産設備の構成が複雑となるほか、所要敷地面積等も一般に増大するため、生産コストは増加する傾向になる。堤体積が10~30万m<sup>3</sup>級の中規模ダムでは、骨材生産量から従来通り低品質の原石を廃棄して良質な原石からのみ骨材生産した場合の廃棄岩経費と、骨材生産設備の増大による骨材生産経費の増加を経済比較することにより生産方針を決定する。

##### 3. 大規模ダム

概ね堤体積30万m<sup>3</sup>級以上の大規模ダムでは、骨材生産量から内部コンクリート用骨材と外部コンクリート用骨材を区分して生産する方が通常は経済的であると考えられるので、骨材を1種骨材と2種骨材に区分することを生産方針とする。

## 2-2 内部・外部コンクリートの品質

内部コンクリートに要求される品質は、ダム堤体の構造の安定性を確保するためには必要な強度と重量を、外部コンクリートについては内部コンクリートの品質に加え必要な耐久性及び水密性を持つことを検討する。

### 解説

#### 1. 内部コンクリート

現在、RCDコンクリートダムにおいては、内部コンクリートは堤体の約60%以上を占め、要求される性質は主にダム堤体の安定性の確保のために必要な強度と重量である。現行の設計手法では、重力式コンクリートダムで圧縮強度が設計上問題となることはない。また、堤体重量がダム堤体の安定性に重要な要素になることから、内部コンクリートの単位重量はできるだけ大きいことが望ましい。

内部コンクリートは、外部コンクリートに比べ耐久性を必要としない。従って、内部コンクリートには、従来、吸水率、すりへり、安定性等が基準を満たさないために廃棄岩とされていたような低品質な骨材の使用の可能性がある。最適骨材評価コンクリートの考え方では、できあがったコンクリートの性質を用いてダム堤体を設計することから、内部コンクリートについては圧縮強度と単位体積重量の基準値を設定するのではなく、コンクリートの品質とばらつきの程度を把握することに重点が置かれる。

#### 2. 外部コンクリート

外部コンクリートに要求される性質は、内部コンクリートのそれに加え耐久性及び水密性である。耐久性については、凍結融解作用及び化学的作用による劣化、すりへりに抵抗できることが要求される。従って、外部コンクリートの骨材はできるだけ良質なものを使用することが望まれる。最適骨材評価コンクリートでは、1種骨材、2種骨材の細骨材、粗骨材を組合せたコンクリート試験により、耐久性、水密性の確保できる組合せを外部コンクリート用骨材に選定する。

## 第3章 原石山の選定

### 3-1 原石山の調査

原石山の調査は、ボーリングや試掘横坑調査など特定の箇所を対象とした調査のほか、弾性波探査等広範囲な状況を把握することに適合した調査方法で行う。

### 解説

従来の原石山調査は、予め必要量を決めたうえで骨材品質基準を満足する良質な原石を確保することに主眼を置き、ボーリング、横坑を中心に行われてきた。この場合、ボーリングコア、横坑からのサンプルは、付着泥分、細粒分を再現できないこと、吸水率、すりへりが採取場所でかなり異なることから、実際に採取した原石の性状を的確に把握することが困難である。また、従来の原石山は地表面に表土があり、深部に向かい良質岩で構成される場合が多いが、最近の原石山や痩せ尾根の場合はこの限りではないにもかかわらず、従来と変わることなく良質岩の調査を主体に行ってきた。

低品質な原石を極力使用する観点からは、良質な岩だけでなく低品質な岩を含めた原石山全体の調査が必要である。従って、ボーリングは平面グリッドだけでなく、水平ボーリングも配置し、弾性波探査等を重点的に実施し、浅くても原石山全体の情報を把握することが必要である。

原石山の選定に当たっては、立地条件、賦存状況、採取工法、自然環境、工事環境を考慮して、1箇所に絞らず2～3箇所の山を候補として選定する必要がある。場合によっては、本体掘削岩及び河床砂礫の利用を検討する。

原石山の調査、選定における留意点は以下のとおりである。

#### (1) 予備調査

地形図、地質図、航空写真等により、使用場所との距離を考慮して、広範囲に亘って岩質、地質構造についての概要を把握する。

#### (2) 地表調査

沢沿い、道路沿い、山腹部、尾根、露頭岩、転石状況、断層の大きさや、節理の状況等、主として目視により判断する。

#### (3) 立地条件

- ① 自然環境や景観等に問題の少ない場所を選定する。
- ② 道路運搬、ベルトコンベヤ運搬、索道運搬等の経済比較を行い、骨材生産設備設

置ヤードへの最適運搬方法を検討する。

- ③ 原石山、骨材生産設備、骨材調整ビン、コンクリート（バッチャー）プラント等、全体配置計画を検討し、全工期を通じて出水による設備の冠水や、道路の浸水などによって骨材の運搬が不可能となるなど、コンクリート打設が中断しないようなレイアウトの概要を検討する。

#### (4) 賦存状況

- ① 原石はその岩種、地質年代等で骨材としての適合性や性質も異なるので、この把握が重要である。
- ② 原石山全体を弾性波探査、ボーリング調査、試掘横坑等で調査し、賦存する岩石の岩種、岩級、風化度、有害鉱物の有無等を把握して良質岩・低品質岩・廃棄岩の量を推定する。
- ③ 風化度は、表層、風化層をボーリング調査のみで検討すると、転石と岩盤を見誤ることが多いので注意する。風化度は弾性波探査と試掘横坑資料も併せて検討する。
- ④ 採取原石中のローモンタイトやモンモリロナイト等、有害鉱物の有無及び含有量はX線試験結果等で検討する。
- ⑤ 賦存量に余裕のある採取範囲を選定する。原石山の性状並びに原石の賦存量によって細骨材専用山を検討する。

#### (5) 採取工法

- ① 良質岩、低品質岩の採取区分が容易なベンチカット工法を基本とする。
- ② 重機類の登坂に有利か不利かを検討する。
- ③ 切羽の展開方向と広さを検討する。
- ④ 原石山が急峻な地形で運搬道路が造成できないときは、グローリホール工法の採用を検討する。
- ⑤ 本体掘削岩を利用するときは、仮置場の選定と選別方法も併せて検討する。
- ⑥ 河床砂礫を利用するときは、瀬回し方法、採集・積込方法、濁水処理方法も併せて検討する。
- ⑦ 河床砂礫の賦存量調査にあたっては、調査ピットのほか、バックホウ等によるトルンチ調査を行い、堆積状況や粘土層等の確認を行う必要がある。

#### (6) 自然環境、工事環境

- ① 原石山採取後の法面の保護、及び植生対策を検討する。
- ② 施工中の降雨による原石山よりの濁水処理対策を検討する。
- ③ 原石山と堤体が近い場合の発破対策を検討する。

### 3-2 機械設備と関連する原石性状の把握

ボーリング、試掘横坑調査のサンプルを用いて、試験破碎を行い、破碎の難易度、破碎による偏平や鋭角等の発生特性等、骨材生産設備を選定する上で必要とされる岩質について把握する。

#### 解説

1. 原石の性状把握は、従来行われてきた岩種、岩級、風化度に加え、骨材生産において破碎の難易、破碎後の粒形、粒度を把握することにより、夫々の原石に合う破碎機械を選定する。これまでの軟岩、硬岩といった岩質の評価に対し、破碎に対し割れやすい（サクイ）、粘りが合って割れにくい（シワイ）、偏平や鋭角が生じやすい等、骨材生産上の岩質の評価を盛り込む。
2. 岩質の把握は、試掘横坑調査のサンプルを試験破碎することによって行う。岩質の一例として、破碎機の岩種別標準製品粒度分布曲線より粗い粒度分布を示す岩はシワイ、細かい粒度分布を示す岩はサクイと推定することができる。シワイ岩の時は破碎機のセット間隔を狭め、サクイ岩の時はセット間隔を広める等の工夫が必要となる。また、サクイ岩は骨材生産設備からコンクリート（バッチャー）プラントの骨材ビンまで運搬する途中で再破碎し、アンダーサイズが多くなる傾向があるので、示方配合と現場配合の差異、過小粒が増大する可能性を考慮して骨材生産設備を計画する必要がある。
3. 実際の骨材採取および生産時には、迅速に岩種、風化度、有害鉱物の有無等の調査を行い、その骨材の評価を日常管理として行う必要がある。そのための調査方法、各種試験、評価基準およびこれらの手順について確立する必要がある。

### 3-3 原石の分類、分布図

原石の分類、分布図は、1種骨材用原石、2種骨材用原石、及び廃棄岩の3種類で表示するものとする。

#### 解説

##### 1. 骨材の区分

骨材の分類は実用上、1種骨材、2種骨材の2分類とし、原石については1種骨材用原石、2種骨材用原石と廃棄岩を含めた3分類が基本となる。

1種骨材用原石、2種骨材用原石、廃棄岩の評価基準は、個々のダムにより環境、地質条件、設計条件がそれぞれ異なる。

しかし、これまでの原石使用の基準では、JISの試験方法により得られた品質を土木学会の基準に適合した原石のみを使用してきた。本マニュアルにおいては、このような良質の原石から生産される骨材を1種骨材と呼ぶ。

一方、低品質の原石は、土木学会の基準から外れるために廃棄されてきたが、使用する場所によっては一部の項目または若干の基準値から外れるものでも使用が可能と考えられる。また、廃棄岩の中には基準値を満足しながら、その歩留りが低いものとされて、一括して廃棄されてきた原石もある。本マニュアルにおいては、このような従来は廃棄岩とされてきた低品質の原石から生産される骨材を2種骨材と呼ぶ。

##### 2. 留意事項

低品質の原石を極力使用するために廃棄岩の中から骨材に使用可能な原石を選別して使用量を増やすと、選別経費によっては選別したほうが合理的な場合と、選別せずに一括して廃棄した方が合理的な場合に分れる。従って原石の分布図は、原石の種類に加え使用可能原石の歩留り率を組合せたものとする。

## 第4章 細骨材の品質確認

### 4-1 骨材試験、モルタル試験

採取原石を試験破碎した1種骨材、2種骨材の細骨材を用いて、骨材試験、モルタル試験を実施して品質を確認する。

#### 解説

一般的にダムコンクリートの品質はモルタルが重要であることから、細骨材の品質確認がコンクリート生産の方針を決定するための基本となる。試掘横坑から骨材試験に足る量の試験用原石を採取し、試験破碎した細骨材を用いて骨材試験、モルタル試験を行い、細骨材の品質を確認する。採取に当たっては、原石の性状が変動する可能性があることから、できるだけ広範囲に試験用原石を採取する。

品質確認には以下の試験等を実施する。なお、各現場において必要と思われる試験は適宜実施するものとする。

#### 1. 骨材試験

- ① 比重及び吸水量試験 (JIS A 1109)
- ② 単位容積重量試験 (JIS A 1104)
- ③ 粒形判定実績率試験 (JIS A 5004)
- ④ 原石ふるい分け試験 (JIS A 1102)
- ⑤ 有機不純物試験 (JIS A 1105)
- ⑥ 表面水量試験 (JIS A 1125)

#### 2. モルタル試験

- ① モルタル試験 (JIS R 5201、JIS A 5308 付属書3、モルタルの圧縮強度によるコンクリート用練りまぜ水の試験方法 (JSCE))
- ② アルカリ骨材反応試験 (JIS A 5308 付属書8)

なお、モルタル試験に当たっては、混和剤での改善も考慮する。

## 4-2 細骨材への適合性

骨材試験、モルタル試験により、1種骨材、2種骨材の細骨材が、ダムのどの部分のコンクリートに使用できるのかを確認、検討する。

### 解説

一般的に、ダムコンクリートの品質はモルタルが重要であることから、細骨材はできるだけ良質な原石から生産することを基本とする。1種骨材は、内部、外部のいずれのコンクリートにも使用可能を前提として品質確認のため試験を行う。2種骨材の細骨材は、内部、外部いずれのコンクリートに使用できるかを試験結果により検討する。2種骨材の細骨材への適合性は以下の3通りとなる。

#### 1. 外部コンクリート用骨材として使用可能の場合

耐久性を要求される外部コンクリートに使用可能であれば、いずれのコンクリートにも使用可能である。

#### 2. 外部コンクリート用骨材には使用不可でも、内部コンクリート用骨材としては使用可能な場合

吸水率がある程度一定であり、内部コンクリートに求められる品質を満足させるならば、耐久性の要求される外部コンクリートには使用不可でも内部コンクリートには使用可能である。

#### 3. 内部・外部コンクリート用骨材ともに使用不可の場合

吸水率の変動が大きく、単位水量が一定しない場合等、内部・外部コンクリートのいずれにも使用不可の場合は、細骨材は1種骨材のみを使用する。1種骨材のみでは賦存量が不足する場合は、細骨材専用の良質な原石山の確保や河床砂礫の利用を検討する場合もある。

## 第5章 粗骨材の品質確認

### 5-1 骨材試験、コンクリート試験

採取原石を試験破碎した1種骨材、2種骨材の粗骨材を用いて、骨材試験、コンクリート試験を実施して品質を確認する。

### 解説

粗骨材は破碎機械によっては粒形、粒度に差が出ることから、試験破碎した骨材を用いて以下のような骨材試験、コンクリート試験を行い、粗骨材の品質を確認する。

品質確認には以下の試験等を実施する。なお、各現場において必要と思われる試験は適宜実施するものとする。

#### 1. 骨材試験

- ① 比重及び吸水率試験 (JIS A 1110)
- ② 単位容積重量試験 (JIS A 1104)
- ③ 粒形判定実績率試験 (JIS A 5005)
- ④ 軟石量試験 (JIS A 1126)
- ⑤ 安定性試験 (JIS A 1122)
- ⑥ すりへり抵抗試験 (JIS A 1121)
- ⑦ 洗い試験 (JIS A 1103)
- ⑧ 粘土塊量試験 (JIS A 1137)
- ⑨ ふるい分け粒度試験 (JIS A 1102)
- ⑩ 表面水量試験 (JIS A 1125)

#### 2. コンクリート試験

コンクリート試験は以下の手順に従って、配合設計を行い圧縮強度試験等でコンクリート品質を確認する。また、水セメント比を一定にしたとき、粗骨材に1種骨材、2種骨材だけを使用したコンクリートの限界可能圧縮強度 ( $\sigma_{28}$ ) を把握しておく。

ここで限界可能圧縮強度 ( $\sigma_{28}$ ) とは、細骨材に標準砂、粗骨材に1種・2種骨材を使用して得られた材令28日の圧縮強度を示す。標準砂を使って得られた値ということで圧縮強度の上限値という考え方である。

- ① 水セメント比の決定

- ② スランプ及びVC値の決定
- ③ 粗骨材最大寸法の決定
- ④ 単位水量及び細骨材率の決定
- ⑤ 示方配合の決定

### 3. 凍結融解試験

2種骨材の骨材試験結果と併せてコンクリートの凍結融解試験結果を検討して、コンクリートの耐久性を確認する。

### 4. その他の試験

骨材生産設備の合理化や骨材有効量の増加を目的とした、以下の試験も同時に実施するのが望ましい。

- ① 洗浄しない粗骨材でのコンクリート試験
- ② 最大骨材寸法150mmと80mmでのコンクリート試験
- ③ 分級数を少なくした粗骨材でのコンクリート試験
- ④ 内部コンクリートには微粉末（スラッジ）を添加し、外部コンクリートには微粉末を入れないコンクリート試験
- ⑤ コンクリートの性質を改善できる可能性のある混和剤を用いた試験

### 5-2 コンクリート配合仮決定

コンクリート試験の結果から、示方配合を仮決定する。コンクリートの強度決定にあたっては、2種骨材用原石の岩質、岩種が変動することを前提とする。

#### 解説

2種骨材を使用した場合、吸水率の変動、粗骨材の微粒子の付着等により単位水量の補正を伴う現場配合が必要となる。従って、コンクリート強度がある程度変動することを前提としコンクリート配合を決定する。

## 第6章 骨材生産設備の方針

### 6-1 使用する骨材の種類

細骨材としては1種骨材または1種骨材・2種骨材混合の2種類の骨材の使用を検討する。

粗骨材としては1種骨材、2種骨材及び1種骨材・2種骨材混合の3種類の骨材を、外部コンクリート、内部コンクリートに区分して使用を検討する。

### 解説

#### 1. 細骨材

細骨材については良質な原石から生産することを原則としていることから、1種骨材を使用せず2種骨材のみを使用することはない。従って、1種骨材または1種骨材・2種骨材混合の2種類の骨材の使用となる。

2種骨材の細骨材が品質試験の結果、細骨材に使用できる場合は、1種骨材・2種骨材混合骨材を使用する。

2種骨材の細骨材が品質試験の結果、細骨材に不適合の場合は、細骨材には1種骨材のみを使用する。

#### 2. 粗骨材

粗骨材については1種骨材、2種骨材及び1種骨材・2種骨材混合の3種類の骨材の使用がある。

2種骨材の粗骨材が品質試験の結果、外部コンクリートに使用できない場合、外部コンクリートには1種骨材の粗骨材を使用する。また、内部コンクリートには2種骨材の粗骨材を使用することが一般的である。2種骨材用原石の賦存量が少ないことなどから、内部コンクリートに1種骨材・2種骨材混合とする場合も考えられる。

2種骨材の粗骨材が品質試験の結果、外部コンクリートに使用できる場合、外部コンクリート、内部コンクリートとも1種骨材・2種骨材混合の粗骨材を使用することが一般的である。

### 6-2 骨材生産設備の方針

使用する骨材の種類の組合せにより、骨材生産設備の方針は原則として次の3通りとなる。

1. 1種骨材・2種骨材を混合して1系列で生産
2. 細骨材を粗骨材とは別系列で生産
3. 1種骨材と2種骨材を別々の系列で生産

### 解説

#### 1. 1種骨材・2種骨材を混合して1系列で生産

良質の原石と低品質の原石を混合した原石又は原骨材を生産過程で混合できるような1系列の骨材生産設備は、2種骨材が品質試験の結果、細骨材、粗骨材いずれも外部コンクリートに使用できる場合である。

良質の原石と低品質の原石を混合して1系列で破碎する場合、低品質の原石の品質のばらつきの可能性から、ダム構造体内部にコンクリートの強固な部分と脆弱な部分が混在することが考えられる。従って、良質の原石と低品質の原石を一定の比率で混合することでコンクリート品質を安定させる必要がある。品質の確認は原石山及び混合後に常時行い、ばらつきを極力減らすよう努める。

混合方法は、原石山において良質、低品質の原石を破碎後にストックして、一定量の原石を混合してから1次破碎に投入する方法と、良質、低品質の原石を別々に1次破碎に投入し、1次破碎後サージパイルにストックする際に一定比率になるように工夫する方法がある。また、サージパイルからの引き出し口は、なるべく数を多くして混合比率の一定化により品質の安定を図る。

#### 2. 細骨材を粗骨材とは別系列で生産

細骨材の生産を粗骨材の生産フローから分離した別系列の骨材生産設備は、2種骨材が品質試験の結果、外部コンクリートの粗骨材には使用できるが、細骨材には不適合な場合である。

この場合、堤体積によっては製砂設備を骨材生産フローの末端に置くと製砂の前段の破碎工程が不経済となる場合がある。従って、このような場合には、粒径の大きい原骨材から製砂できる機種を選定して、1次破碎後即生産できるような設備を検討する。

粗骨材は1系列で生産する場合と同様に、良質の原石と低品質の原石が一定比率で

混合されるよう留意する。

### 3. 1種骨材と2種骨材を別々に系列で生産

1種骨材、2種骨材を分離した別系列の骨材生産設備は、2種骨材が品質試験の結果、外部コンクリートの粗骨材に使用できない場合である。

細骨材は1種骨材のみを使用することから、1種骨材の細骨材生産に負担が増え、ふるい分け設備、2～3次破碎設備で1種骨材、2種骨材の処理量に大きな差があることに留意する。2～3次破碎設備に破碎比の大きな設備を採用した場合、1種骨材は2～3次破碎を要するが、2種骨材は一般に1種骨材よりも割れやすい場合があるので2次破碎のみで所要粒度が得られる可能性を検討する。

粗骨材は骨材生産設備の1次サージパイル、製品ストックヤードから、骨材調整ビン、コンクリート（バッチャー）プラントまで2系列の貯蔵設備が必要となる。

## 第7章 骨材生産設備計画

### 7-1 粗骨材の最大寸法と粗骨材分級

粗骨材の最大寸法は80mmを原則とし、粗骨材分級は2種類(80～20mm、20～5mm)の区分を検討する。

#### 解説

規模の大きいRCDダムでは、所要の強度を確保するためにコンクリートの水セメント比を小さくする必要がある場合などには、慎重な施工を条件に粗骨材の最大寸法を150mmとしている。しかし、一般的には、骨材の分離は粗骨材の最大寸法が大きいほど生じやすい。また、粗骨材分級をなるべく少なくし骨材生産設備の簡素化を図ることから粗骨材の最大寸法は80mmを原則とする。

粗骨材の分級については、80～20mm、20～5mmの2種類の区分を骨材試験、コンクリート試験で検討する。試験の結果、コンクリート性状を満足した場合は2種類の分級を原則とするが、コンクリートの施工性と構造物用コンクリートの粗骨材の最大寸法も考慮して分級数を決定する。

一般に構造物用コンクリートの粗骨材の最大寸法は40mmであることから、粗骨材を80～20mm、20～5mmの2種類で分級した場合、40mmで仕分けする設備を検討する。この場合、構造物（監査廊、エレベータシャフト等）はプレキャスト製品を使用することで補強鉄筋量を減じ、最大骨材寸法を80mmとしたり、放流箸、ゲート周りは粗骨材の最大寸法を20mmとすることで40mmでの仕分けをなるべく行わない方向で検討する。

コンクリートの配合種類は標準的には、外部・内部I・内部II・構造用コンクリートの4種類とし、岩着コンクリート・型枠際コンクリートは内部コンクリートIIにまとめ。また、外部コンクリートの厚みは、機能上、施工上支障の無い範囲で、出来るだけ薄くし、数量を少なくすることにより骨材生産のバランスの安定を計る。

## 7-2 製砂設備の検討

良質な原石から細骨材を生産することを原則とする。2種骨材の細骨材を生産する場合、大粒径の原骨材から生産することを検討する。岩種、岩質及び生産機種により粒度、粒形に差が出ることから、原石の性状により破碎方式を検討する。

### 解説

ダムコンクリートの品質はモルタルが重要であることから、良質な原石から細骨材を生産することを原則とする。細骨材を別系列で製造する場合、大粒径から順次破碎して、ふるい分けられた原砂から細骨材を生産するのは原砂生産までの破碎工程が不合理となる。また、原石中のモンモリロナイト、ローモンタイト等の有害鉱物が、脈状に含まれ脆弱である場合、破碎に際し有害鉱物含有箇所が優先破碎する。従って、原石が低品質な場合は、1次破碎後の大粒径原骨材から生産することが望ましい。

現在、製砂方式はロッドミルによる湿式粉碎が主流を占めているが、一般に以下の傾向がある。

- ① 砂原料を20mm以下にしなければならない。
- ② ロッドとロッドの衝撃とロッドとセルライナ間の摩擦で破碎するため、角の尖った偏平な製品になりやすい。
- ③ 岩種では、花崗岩、砂岩、圧縮強度の大きいものでは、粗粒率の粗い製品になる可能性がある。

従って、岩種、岩質によっては、粒形を改善するために豎形回転式遠心破塊装置の導入や砂原料の粒径が大きくとれ、自生粉碎することで粒形が改善される製砂用インパクトクラッシャ、周辺排出型自生粉碎ミル（オートフォールミル）等の導入も検討する。特にオートフォールミルは砂用原骨材のサイズが大きくなるので、大粒径の原骨材から砂を生産する場合に有効である。

RCDコンクリートで、コンクリート試験の結果、微粒分の有効性が確認された場合には、微粒分の回収設備を検討する。

## 7-3 諸設備の検討

岩種、岩質、原石性状の変動、1種骨材・2種骨材の使用区分と生産方針、用地の状況等を考慮して破碎設備、洗浄設備、ストックヤード等の諸設備を検討する。

### 解説

#### 1. 廃棄岩と使用原石の仕分け

一般に、廃棄岩と使用原石の仕分けは、原石山で破碎された状態で積み込み機械により大塊を選別する程度で、粒径の小さいものの選別は歩留りが低いこと等により経済的でない場合が多い。しかし、最適骨材評価コンクリートの考え方で低品質な原石を利用する場合、使用可能原石の歩留りによっては廃棄岩をスカルピングして原石を回収することと、一括廃棄することを経済比較により検討する。

#### 2. 粘土分、細粒分の除去

低品質な原石や廃棄岩から仕分けされた原石には、粘土分や細粒分が付着していることが多い。これらを除去するには、原石の洗浄が最も効果的ではあるが全量の洗浄は機械設備の増大と濁水処理を必要とする。1次破碎設備投入前にデッキスクリーンを設けたり、乾式の分級設備を導入することによって、原骨材のドラムウォッシャによる洗浄負荷の低減と濁水処理費用低減が可能となる。なお、乾式分級の場合、原石付着物の含水率が高いときや、降雨時には目詰まりを起こすことからその防止対策を検討する必要がある。

#### 3. 1次破碎設備

##### (1) ジョークラッシャ

従来、1次破碎設備はジョークラッシャが主流を占めてきたが、ジョークラッシャの構造上破碎室が長方形で圧縮破碎であることから、角のたった偏平な粒形になりやすい傾向にある。

ジョークラッシャは、ほとんどがダブルトッグル型である。一般に2種骨材等の割れやすい岩に対しては、シングルトッグル型のジョークラッシャでも十分対応可能と考えられる。シングルトッグル型はダブルトッグル型に比較して基礎価格の低減、重量・形状から運搬費・据付費の低減、基礎工の小型化が期待できるが、消耗品費の増加が見込まれるため経済比較の必要がある。

## (2) ジャイレートリクラッシャ

1種骨材、2種骨材を混合して1系列で生産する場合、ジャイレートリクラッシャの採用の可能性がある。ジャイレートリクラッシャは自生破碎と圧縮で破碎し、破碎能力が大きいので、粒形改善と台数の節減が期待できる。

また、ジョークラッシャがフィーダを必要とするのに対し、ジャイレートリクラッシャはダンプトラックで直接投入が可能である。反面、原石中に多量の粘土分が混入すると破碎室内で固着成長して、構造上過負荷を逃がすことができず過電流が流れ停止があるので、供給原石中の粘土量の把握と固着成長した粘土分の除去を考慮した設備を計画する必要がある。

## (3) 自走式破碎機

原石運搬には重ダンプによる大量輸送が一般的であるが、原石運搬路の幅員が取れなかったり、1次破碎設備の設置ヤードに適した場所のない場合には、堤体積によっては自走式破碎プラントの導入に検討の余地がある。自走式破碎プラントは、定置式に対し基礎工、据付工が不要で、原石採取場所に合わせ自由に移動でき、1次破碎された原骨材を運搬することから普通ダンプでの運搬が可能である。一方、原石投入と破碎された原骨材のダンプトラック積み込みで、積み込み作業が2回生じること、発破作業におけるプラントの退避が必要なこと等に留意する。

## 4. 洗浄設備

一般に原骨材に付着する微粒分を洗い流すために洗浄設備は設置されてきたが、最適骨材評価コンクリートでは、微粒分の付着の度合いや1次破碎投入時におけるふるい分けによりある程度の除去が出来れば、コンクリート試験により品質を確認して洗浄設備を省略する方向で検討する。また、乾式分級で水を使わずに振動により微粒分を造粒させる分級設備の可能性についても検討する。

付着物が多い場合には、1次破碎後に洗浄して1次サージパイルに貯蔵する方法と、1次サージパイルから引き出した後、洗浄する方法について比較検討する。洗浄設備に水洗方式を採用する場合、濁水処理費を含めて検討する。

## 5. 2～3次破碎設備

2～3次破碎設備はコーンクラッシャが主流を占めているが、岩種、岩質によっては製品粒形がやや不良なものになる可能性があるので、粒形改善を目的にインパクトクラッシャ等の導入を検討する。

インパクトクラッシャで破碎しやすい岩種は頁岩、破碎しにくい岩種は凝灰岩、安山岩、花崗岩等があげられる。インパクトクラッシャを採用する場合、粒形改善と破碎比が大きいので台数の減少が期待できる。

採用にあたっては、実機により周速を変化させ粒度と粒形を確認しておく必要がある。また分級数が減少すれば、2次破碎のみで所要骨材粒度が得られる可能性がある。生産にあたっては、インパクトクラッシャは投入量が少ないと破碎効率が低下するので、ホッパー等を設けるなど投入設備に留意する。

## 6. 製品ストックヤード

製品ストックヤードは、骨材プラント用地の大部分を占め、特に野積貯蔵においては占有面積が大きくなる。これまで、骨材の水分調整と防暑対策として製品を野積みとし屋根を付けて、底盤は床勾配をとて排水溝を設ける等の対策が取られてきた。特に細骨材の含水率がコンクリート練り混ぜに重要であることから水分調製のために3山以上5山程度を配置しているのが現状である。低品質な原石を使用する場合や、洗浄設備を省略した場合は、微粒分の増加により更に水分調整に時間のかかるこに留意する。また、ダムサイトが狭隘で野積貯蔵のヤードが確保できず、BINに貯蔵する場合は微粒分が固着してデッド分が増加したり、引き出しが困難になることがある。含水率の低下には機械式の脱水機等の使用を検討する。

### 要求される処理と検討すべき機種

要求される処理	検討すべき機種
廃棄岩と原石の仕分け	スカルピングバケット
細粒分の除去	グリズリーデッキスクリーン
粘土分の除去	ドラムウォッシャー、乾式スクリーン
1次破碎（1系列）	ジャイレートリクラッシャ
1次破碎（割れやすい岩）	シングルトグル型ジョークラッシャ
1次破碎の簡素化、走行化	自走式破碎機
良質、低品質の混合	トリッパ付ベルコン、引き出し口の数
粗骨材粒形調整	インパクトクラッシャ
大粒径からの製砂	周辺排出型自生粉碎ミル
細骨材粒形調整	豎型回転式遠心破塊装置
微粒分の回収	可変式微粒分回収スパイラル分級機
細骨材含水率の低下	可変式脱水機

注) 検討すべき機種は代表的なものを記載したものであり、要求される処理に対して機種を限定したものではない。

## 7-4 サージパイルの検討

変動する原石の岩種、岩質に対応するため、サージパイルの貯蔵容量、形状、引き出し口数を検討する。

### 解説

#### 1. 1種骨材、2種骨材を混合して生産する場合

1種骨材、2種骨材を別々のサージパイルに区分して貯蔵し引き出してから混合する方法と、1つのサージパイルに1種骨材と2種骨材を交互に貯蔵し引き出し口を増やすことで混合する方法が考えられる。いずれの方法も、2種類の骨材が均一に混合されることが必要とされる。

別々のサージパイルに貯蔵する場合には、1種骨材と2種骨材を別系列のベルトコンベヤで同時に引き出し、引き出し量を検知して均一になるよう混合するということが考えられる。この場合、2系列のベルコンと混合ホッパーが必要となる。

1つのサージパイルに交互に貯蔵する場合には、原石の分布状況により1種骨材用原石と2種骨材用原石が1次破碎にどのように投入され、破碎時間がどのように変動するかを把握しておく必要がある。

また、サージパイルの1次破碎された原骨材を野積みした場合、原骨材はある安息角をもって堆積するが、その時粗い原骨材は山の斜面を沿って転がり山の裾に偏析する。原骨材を引き出す際にも類似の現象が起こり、始め細かい原骨材が多く引き出され、容量が減るに従って粗い原骨材の割合が増える。従って、引き出し口の数を多くして、均一な引き出しに留意する。

#### 2. 1種骨材、2種骨材を区分して生産する場合

1種骨材、2種骨材を区分して生産する場合は、サージパイルの貯蔵も区分することを前提として貯蔵容量を検討する。良質、低品質の原石の分布状況と堤体コンクリートの配合別数量から、1種骨材用原石の採取量に余裕のある場合は、1種骨材を2種骨材に流用することも可能であり、1種骨材用原骨材のサージパイル容量に余裕を持たせることが望まれる。

## 第8章 原石採取計画

### 8-1 堤体打設計画と原石採取計画

堤体打設計画から、月別使用骨材量を全工期に亘って算出し、1種骨材用原石、2種骨材用原石、廃棄岩の賦存状況から、必要骨材量を確保できる原石採取計画を検討する。

### 解説

先に実施した弹性波探査、ボーリング調査、試掘横坑等の結果より1種骨材用原石、2種骨材用原石、廃棄岩の賦存状況を原石山全体で推定し、堤体打設計画のコンクリート配合別数量の工程から必要骨材量を確保できるよう原石の採取計画を検討する。原石山の調査段階での推定賦存状況と、実際の採取時における賦存状況には差が生じる可能性が高いことから、全体の表土掘削を先行してなるべく早く賦存状況を確認するよう留意する。

コンクリート配合別数量は、河床部、中間部、堤頂部で必要数量が異なることから、1種骨材、2種骨材の生産計画も異なるものとなる。1種骨材用原石、2種骨材用原石が偏在している場合、打設計画に合わせた採取順序、採取方法を検討する必要がある。2種骨材が必要で1種骨材用原石しか採取できない場合、1種骨材を流用すると、全体として1種骨材が不足することもあるので1種骨材用原石の仮置きも考慮する。

## 8-2 廃棄岩の基準

原石の化学的反応、物理的性状、経済性を総合的に判断して廃棄岩の基準を定める。

### 解説

従来、廃棄岩の基準は岩級、岩質等を中心に物理的品質により判断されてきたが、2種骨材用原石として使用するかどうかは、原石の化学的反応、物理的性状、採取生産の経済性を総合的に判断して定める。

#### 1. 骨材の化学的反応

アルカリ骨材反応、ローモンタイトの乾湿繰り返しによる膨張、モンモリロナイトの過早凝結等について試験を行い、有害鉱物の除去、骨材使用場所の選定、混和剤の使用等の反応抑制対策による品質の確保と経済性を検討する。

#### 2. 物理的性状

従来の骨材試験に加え、廃棄岩・原石の混在した場合の選別、粘土分・微粒分の除去、破碎粒度・粒形による骨材生産機種の選定など、原石が生産上破碎機械に与える物理的特性を考慮して骨材生産設備を計画した場合の経済性を検討する。

## 第9章 堤体設計

### 9-1 骨材使用可能量

原石山全体で1種骨材、2種骨材の使用可能量を把握する。

### 解説

従来の原石山調査では調査結果と実際の原石との間に差があり、予定以上の廃棄岩発生により使用できる原石の賦存量に不足が生じる場合がある。調査結果と実際の乖離を埋めるため調査方法の検討が必要とされるとともに、ある程度乖離に余裕を持たせて、原石山全体で骨材の使用可能量を把握することに留意する。

## 9-2 コンクリートの品質

品質に変動のある骨材を使用することとなるので、コンクリート品質のばらつきの範囲を把握しておくものとする。

### 解説

低品質な原石を使用する場合、骨材の品質は物理的性状と共に微粒分の付着等により変動することとなる。従って、コンクリートの品質も変動することを前提にする必要がある。コンクリートの品質のばらつきの範囲を把握した上で、生産されたコンクリートの性状に応じて堤体設計を実施する。圧縮強度可能上限値（限界可能圧縮強度）の把握には、細骨材には標準砂を使用し、粗骨材には生産した骨材を使用してコンクリート試験を行う。下限値の把握には、数箇所から採取した原石から2種骨材を生産してコンクリート試験を行い、品質のばらつきの範囲を把握する。

## 9-3 堤体設計

2種骨材を使用して生産したコンクリートの品質により堤体設計を行い、骨材生産コストを総合的に判断して堤体形状を決定する。

### 解説

堤体コンクリートの設計は、内部コンクリートの品質により左右されることから、2種骨材を使用して生産したコンクリートの品質により堤体設計を行う。従来の内部コンクリートに比べ、2種骨材を使用したコンクリートの強度、単位重量が低下した場合は、堤体の安定性確保のため上流フィレットを大きくするなど、形状を当初計画より大きくする必要も出てくる。従って、骨材採取から生産までのコストとコンクリート数量の増加によるコストを総合的に判断して堤体形状を決定する。

## 第10章 今後の課題

### 1. 原石山調査方法

原石山の調査は弾性波探査、ボーリング、試掘横坑調査を中心に行うこととなる。これらを元に、原石の賦存状況の推定は弾性波データとサンプルの性状を検討することで行う。しかし、ボーリング本数と試掘横坑本数には限りがあり、原石山全体の状況を十分な精度で把握することは困難である。特に使用可能原石の歩留りの評価は、サンプルがなければ適正な評価ができないのが現状である。また、近年モトグラフィー等を使用した調査も試みられてはいるが、精度の問題があり実用化には至っていない。

このため、広範囲に、かつ十分な精度を持って、岩質と分布状況を把握でき 1 種骨材用原石、2 種骨材用原石に分類できる原石山の調査方法の開発が望まれる。

### 2. 簡易破碎試験機の開発

原石山の選定に当たり複数の山を候補として選定し、骨材生産における破碎の難易、破碎後の粒形、粒度を把握する必要がある。従来、試掘横坑のサンプルで試験破碎を行うことにより岩質を把握してきたが、例えばボーリング調査でのサンプルを使用できる等、試料が少なくとも岩質の把握ができる簡易破碎試験機の開発が望まれる。

### 3. 骨材生産設備の全体フローに適合した諸設備の選定

骨材生産設備の全体フローは、それぞれの現地の原石の性状と設備設置に使用可能な用地の状況に大きく左右されると共に、採用する諸設備の能力は他の設備に大きな影響を与える。例えば、破碎機械並びに製砂設備の破碎粒度は投入原骨材の粒度に影響を受けるため、1 次破碎の機種によって、適合する 2 ~ 3 次破碎の機種並びに製砂設備の種類が限定されてくる。また、原石の岩種、岩質のばらつきと破碎機械の組合せによる破碎粒度を把握し、破碎能力の余裕を考慮した設備能力の見極めが重要である。

このため、それぞれの現地で与えられた条件を前提に、骨材生産設備の全体フローのなかで最適な諸設備の組合せを検討していくことが望まれる。

## 第2部

### 骨材生産設備Q & A集

## まえがき

コンクリートダム建設の合理化施工のうち、材料の合理化を目指して平成7年11月に「骨材生産設備マニュアル（案）」（最適骨材評価コンクリート用）が作成された。最適骨材評価コンクリートは、大量な廃棄岩の発生を抑えるため、低品質な原石を極力利用して生産された骨材を用いてコンクリートダムを設計しようとする考え方である。原石の性状は場所によって異なることから、このマニュアルに基づいて今後個々のダムにおいて原石の特性と最適な骨材生産設備の検討が望まれている。本書は、現場技術者が低品質な原石を使用する骨材生産設備を計画する際に、その現状と問題点を現場技術者が理解しやすいようにQアンドA形式に取りまとめたものである。

「QアンドA集」の作成に当たっては、「骨材生産設備QアンドA集作成懇談会」を開催し、各委員の皆様より貴重な意見を賜わった。この「QアンドA集」の取りまとめに当たり、関係各位に深く感謝の意を表する次第である。

平成8年3月

(財)国土開発技術研究センター

## 目 次

### まえがき

1. 骨材生産設備全般 .....	1
2. 1次破碎設備 .....	3
3. 2次、3次破碎設備 .....	7
4. 粒形調整機 .....	10
5. 製砂設備 .....	11
6. スクリーン .....	12
7. 分級機 .....	14
8. 洗浄設備 .....	16

## 骨材生産設備QアンドA集作成懇談会名簿

座長	廣瀬 利雄 山住 有巧 丹野 光正 田代 民治 吹原 康広 足立 英文 加藤 祐一 笹川 勝 西村 武敏 長岡 茂徳	(財)国土開発技術研究センター (財)ダム技術センター (財)ダム技術センター技術第二部 ダム工事総括管理技術者会 (鹿島建設株)宮ヶ瀬ダム本体JV工事事務所 ダム工事総括管理技術者会 (株)間組土木統括本部技術・設計第二部 株大阪碎石工業所 株ムツミ (社)日本建設機械化協会 (株)神戸製鋼所 機械エンジニアリング事業本部 (産業機械本部 破碎機技術部) (社)日本建設機械化協会 (株)栗本鉄工所 破碎技術部 (社)日本建設機械化協会 (川崎重工株) 破碎機事業部 機械設計部 (プラント設計一課)	理事長 理事 上席参事 推薦委員 (所長) 推薦委員 (部長) 専務取締役 取締役副社長 推薦会員 (課長) 推薦会員 (部長) 推薦会員 (課長)
事務局	吉川 勝秀 梶原日出隆 鈴木 篤 白土 稔 塙本 康二	(財)国土開発技術研究センター調査第一部 (財)国土開発技術研究センター調査第一部 (財)国土開発技術研究センター調査第一部 (財)国土開発技術研究センター調査第一部 (財)国土開発技術研究センター調査第一部	部長 首席研究員 上席主任研究員 上席主任研究員 主任研究員

## 1. 骨材生産設備全般

Q1) 通常ダム用骨材に採用されている破碎方法は、原料を流すのに重力を利用して段階破碎をしているが、全く別の連続破碎方式はないか。

A1) 岩石を破碎する方法には、圧力を加えて破碎する圧縮破碎と打撃などの衝撃を加えて破碎する衝撃破碎がある。圧縮破碎にはジョークラッシャ、ジャイレートリクラッシャが該当し、衝撃破碎にはインパクトクラッシャ、ロッドミル等が該当する。ダム用骨材生産に採用されている破碎方法は、これらの機械を組み合わせ、1次破碎、2次破碎、3次破碎、製砂へと上から下へ重力を利用して原料を流す段階破碎（アリスチャーマー型と呼ばれている）となっている。

特殊な機械として、横型クラッシャ、フィーダーブレーカ等の重力に逆らったものもあるが、コンクリート廃材の破碎など特殊な用途に限られている。ダム用骨材生産では重力を利用した段階破碎が効率的と考える。外国では電磁波、高電圧で破碎する基礎研究がされているが実用段階には至っていない。

Q2) 品質の変動する原石で、粒度分布を気にせず破碎した骨材をダムコンクリートに使用するという前提ならばアリスチャーマー型に改善の余地があるのか。

A2) アリスチャーマー型は、原石がある程度の硬度を持つ均一の材料か同種の材料を前提として、コンクリートに要求される骨材の粒度分布に合わせていると考えられる。粒度分布を考えれば、1次クラッシャと補助クラッシャ、2次クラッシャと3次クラッシャを兼用する機械の開発は考えられる。クラッシャはもともと鉱山機械として開発されたもので頑丈に造られているが、低品質な原石を前提にすればそれに合わせた機械の開発も可能であろう。但し、硬い岩が入ってきた時には機械が壊れることになり実用性に問題を残す。

Q3) 機械処理能力を石灰石でのカタログ表示にしているのはなぜか。岩種によりメーカーで統一した処理能力係数で決められないか。

A3) 外国から来た機械性能をそのまま和訳して今日まで採用している。また、石灰岩は硬軟の差があつてもある程度のイメージがあるが、ダム用骨材に使用する岩は、同じ岩種でも硬軟の差が大きいので岩種毎の表示は困難である。

ダム用骨材に使用する岩の係数は石灰石に対し最大で0.95、最低で0.6位であろう。処理能力は測定値でなく計算値であることから、メーカーによりいくらの係数を乗せるかは若干異なる。小型のテスト機を使った能力テストで粒度は大体の推定ができるが、処理能力は実機によるサンプル数が少ないため係数の統一はされていない。

Q4) 低品質な原石の歩留まりをつかむ方法は何か。

A4) 機械設備のフローに影響するのは、粘土を挟んでいる場合と石自体が軟らかい場合がある。200mmアンダーの原石を10ton程度ドラムウォッシャーに通せば、この2点についての歩留まりを数字的に捉えることができる。但し、原石の性状のばらつきが大きい時にはデータが安定しないことに留意する必要がある。

実際の骨材生産設備を使い、廃棄岩を通すことで歩留まりをつかむ試験をすれば、骨材生産設備から見た岩石の注目点を分類することができる。岩種により数箇所を選定して試験をすることで、廃棄岩の物性と破碎後の性状の相関をつかむことができれば骨材生産設備の留意点を明確にできる可能性がある。

Q5) 原石の圧壊試験により破碎機種選定の参考資料とならないか。

A5) 原石の圧壊試験は、一般的には直径30mm、長さ60mm程度のコアを原石から採取して圧縮試験機にかける方法である。節理がない原石ならば少ない量である程度の性状は把握できるが、節理があればデータは一定しないことから最高強度の把握程度にしか使えない。

## 2. 1次破碎設備

Q1) 低品質な原石を使い最大骨材寸法80mmにした場合、1次破碎で一気に80mm程度まで破碎し且つ洗浄まで行える装置を開発できないか。

A1) ジョークラッシャの破碎機構は、破碎室に供給された原料が動歯の動きごとに次第に大きさを減じ、順次下降して最後に下端から落下排出される。従って、原料が下へ行くほど密度が上がっていくが、破碎室幅は一定であることから一気に80mm程度まで破碎するには、部材の強度をいくらで設計するかが問題となる。

ジャイレートリクラッシャは、円錐型の破碎頭（マントル）と鉢形のコンケーブにより破碎室がつくられ、マントルの偏心的な旋回運動により破碎室に投入された原料を排出間隙以下に破碎する機構である。従って、ジャイレートリクラッシャの場合は破碎室の形状により容積を稼ぐことができる。

いずれの機械でも、一気に80mm程度まで破碎するためにストロークを小さくすると、機械容量の割りに処理能力が極端に出なくなる。最小出口間隙と入り口の寸法は10対1ぐらいで、それを変えると他のところで動力が食われることとなる。

80mmに破碎するにはOSS（開き側間隙；Open Side Setting）を50～60mm、CSS（閉じ側間隙；Closed Side Setting）を30～40mmにセットする必要がある。低品質な原石を破碎する場合、クラッシャの機構からではなくパッキング（破碎室内の原料の降下が停止する閉塞現象）の問題からセットは決まってくる。低品質な原石が来てもパッキングしないOSSをつかむ必要があるが、現実には一気に80mm程度までの破碎は困難であろう。逆にパッキングしないOSSは100～110mm位とすれば、1次破碎で150mm以下にして2次破碎以降で80mm以下に全量破碎するコンクラッシャは現存している。1次クラッシャと補助クラッシャを兼用できるようにOSSを100～110mm位までセットできる機械の開発がひとつのポイントとなる。

Q2) 爆破原石粒度のデータは機械メーカーに手持ちがあるのか。ダムコンクリートの骨材の要求する粒度曲線に対し、機械へ投入時の原石の爆破原石粒度曲線がどの範囲かを指定すれば目標破碎粒度曲線に対応できる機械の提案はできないか。

また、セットを変えることにより破碎粒度曲線はある割合になるが、その割合を自由に変えられる単発の機械がないのか。

A2) 現在使われている爆破原石粒度曲線は、昔行われていた大規模発破のデータを元にしている。通常ダム原石山で行われるベンチカット工法では、爆破原石粒度は小さくなっているはずだが、その場合の定量的データは無い。また、爆破原石粒度曲線は、低品質な原石と言う条件で一概に小さくなるとは限らず、同一条件で発破をかけても同一の爆破原石粒度曲線にはならない。岩種、岩質による爆破原石粒度の定量化が今後の研究課題である。

グリズリとクラッシャの機種は投入原料の最大塊により選定され、投入原石の最大塊をコントロールすれば機種の選定はできる。但し、投入原石の粒度を指定するために、大塊を原石山で小割するか機械設備に余裕を持たせるかは個別に対応する必要がある。

破碎粒度分布は岩質により決定されることから、破碎機のセット変更により破碎粒度曲線を自由に変えるのは、単発の機械としての対応は困難である。

Q3) ジョークラッシャは破碎振動をセルフバランスをとるように設計されているのか、基礎でウェートをとって安定する機械なのか。

A3) 一般に、ジョークラッシャの破碎作用にはピットマンの橿円運動とスイングジョーの前後運動による加振力が加わる。従って、機械基礎は機械重量の2倍から3倍ぐらいのコンクリート基礎がないと振動を吸収できない。加振力をなるべく小さくする開発は行われている。ムーバブルクラッシャ（自走式破碎設備）に搭載されるジョークラッシャは、設計をやり直して振動を低減しているので機械重量と設置地盤の摩擦係数で自己完結して使える。ムーバブルタイプのジョークラッシャならば、架台を機械と一緒に考えれば地耐力さえ満足すればコンクリート基礎は不要となる。

Q4) ジョークラッシャのセット調整を、コーンクラッシャ程度の油圧化はできないか。

A4) 油圧式コーンクラッシャは、運転中でも給石を中止すれば油圧室の油量を調節することによって簡単に主軸を上下してセットの調整ができる。また破碎不能の鉄片などを噛み込んだ場合には、マントルが下降して異物を排除し、異物が通過すると自動的に元のセットに復帰する機能を備えている。

ジョークラッシャは、異物を噛み込んだ場合トグルプレートが曲がって機械を保護する機構で、製鉄所のスラグ処理関係では異物を噛み込んだ時の機械保護機構まで含めた油圧化されたクラッシャがある。油圧化の技術は既に存在するが、コストの問題もありダム骨材関係のクラッシャでの実績はまだない。

Q5) 良質と低質の混在する原石を処理する時、ジョークラッシャとジャイレートリクラッシャでどちらがアジャストしやすいか。

A5) ジャイレートリはエキセントリックスリープ（偏心スリープ）の変更作業が大変でストローク変更は困難である。ジョークラッシャはトグルブロックの上下によりある程度のストローク変更は容易にできる。セット調整はジャイレートリクラッシャはマントルの上下により比較的容易にできる。岩質の混在する原石を処理するに際し、ストローク調整で対応するか、セット調整で対応するかは岩質によるため一概に言えないが、混在する場合はダブルトグル型ジョークラッシャの方がアジャストしやすい場合もあり、均一の場合はジャイレートリクラッシャの方がやりやすいと言える。

ジャイレートリクラッシャは操作が簡単だが基礎などが大きくなることから、骨材生産量から決定されることが多い。骨材生産量が500t以上であればジャイレートリクラッシャの方が有利となり、それ以下であればジョークラッシャの方が有利となる。但し、ジャイレートリクラッシャはダンプから直接原石を投入するため、低品質な原石を破碎する場合、クラッシャ下部とベルトコンベヤの間に大容量のホッパー、エプロンフィーダを付けないと閉塞の原因となる場合がある。

ジョークラッシャのダブルトグル型はイニシャルコストは高いが、歯板寿命はシングルトグル型に比べ3～4倍もつのでランニングコストは安くなる。100万m<sup>3</sup>クラスのダムでジョークラッシャを採用するならば岩質にもよるがダブルトグル型の方がトータルコスト的に安くなる。

Q6) ジャイレートリクラッシャ、ジョークラッシャ共に容量を大きくするのに高さと径に制限があるのか。

A6) 圧縮破碎形のクラッシャは噛角（固定歯と動歯が挟む角度）を普通 $20^{\circ}$ ～ $25^{\circ}$ にとっている。噛角を小さくすれば、動歯の1ストロークごとの破碎量は多くなる。しかし、クラッシャの受け口の開きを一定として噛角を小さくすることは、破碎室の高さが大きくなるので機高は高くなる。工場での製造可能最大寸法より、国内の道路輸送制限の方がネックになっている。

Q7) 低品質な原石の場合、フィーダはどの機種が適当か。

A7) フィーダは原料を定量的に引き出し、次の工程を一定負荷のもとで効率良く稼働させることを目的としている。低品質な原石は、品質の変動が大きく粘土分が多いことが想定されることから、エプロンフィーダが有効と考える。エプロンフィーダは鋼製のパンを帯状に取付けたエプロンを、支持ローラの上を走行させる構造であり、材料の圧力を直接エプロンの運動面で受けて材料を強制的に引き出し供給することができる。

原石の性状が悪くなるほど、振動により供給する振動フィーダやプレートの往復運動により供給するレシプロフィーダ（プレートフィーダ）は向かない。ロールフィーダは引き出し供給の過程において細粒分をふるい分けることから、グリズリスクリーンの目詰まりは多少良くなるが、特殊品なのでコスト的には問題がある。

### 3. 2次、3次破碎設備

Q1) 単位当たり破碎エネルギー効率はジョークラッシャ、コーンクラッシャのいずれが良いのか。破碎効率による骨材の品質と機種の関係はあるのか。

A1) ジョークラッシャとコーンクラッシャは原理的にはいずれも圧縮破碎であることから、原石と製品が同じとすれば破碎動力は同じである。機械自身の無負荷動力は、ジョークラッシャの場合はフライホイル効果もあるが大差はない。骨材の品質は破碎室形状と破碎運動の違いにより決まってくる。2次破碎にジョークラッシャを使うと偏平な製品となることがあるので、粒形の良いものを求めるならばコーンクラッシャの方が向いている。

Q2) 2次破碎、3次破碎兼用のクラッシャが可能であれば、破碎粒度を察知しながらセットを自動的に調整するような機械にならないか。

A2) クラッシャ出口にスクリーンを付けておけば、連続して破碎粒度も察知することは可能となる。更に画像処理により粒度分布を察知する技術もある。セット調整が油圧式ならばセットの自動調整も可能である。変動する岩質に対する破碎粒度とセットの関係を何ケースかシュミレーションして把握し、破碎粒度をセットの自動調整に結び付けるシステムの開発が課題であろう。

Q3) ジャイレートリクラッシャは、コーンタイプ（粗碎）とファインタイプ（細碎）をコンケーブだけ載せ換えて岩質の変動に対応できないか。

A3) 現在2次破碎は、コーンクラッシャではコースからファインまで対応している機種があるが、最大骨材寸法が80mmになれば、ジャイレートリクラッシャの使用が多くなると考えられる。従って、コーンクラッシャと同様にジャイレートリクラッシャでコースとファインが兼用する方向に向かっている。

2次破碎用ジャイレートリクラッシャはスパイダーフレームと上部胴体が一体になってるタイプが多くなっており、下部胴体はコースでもファインでも一緒なのでコンケーブとマントルまたはコンケーブのみを載せ換えることで、ある程度の対応は可能である。但しコンケーブのみの載せ替えの場合は、破碎能力が低下することを考慮しておく必要はある。

Q4) 2次破碎プラントにインパクトクラッシャを使うとすれば、どこに組み入れるのが有利か。

A4) 粒形調整を目的とするならば、コーンクラッシャにより2、3次破碎したもの をインパクトクラッシャに通すフローとなる。粒形調整は低品質な原石の場合に 必要とは限らず、逆に硬い原石の場合に偏平、偏長になる場合があることに留意 する。

破碎を目的とした場合、サージパイルから抜いて洗浄設備を通した原骨材を、 全量インパクトクラッシャで破碎することは無理がある。低品質な場合は1次破 碎の設備にもよるが、2次と3次のコーンクラッシャの代わりにインパクトク ラッシャで破碎できる可能性はある。

Q5) インパクトクラッシャはどのような原石に向いているか。

A5) インパクトクラッシャは、衝撃に伴い打撃板に摩耗を生じやすいという欠点が ある。一般論として、岩石中の遊離珪酸分を多く含み摩耗性の高い石を使うと、 部品の消耗に追われることが多いため、コスト的、部品交換インターバルによる 機械の停止等の問題がある。その場合は、他のクラッシャでできた製品の角取り に可能性がある。遊離珪酸分が少なく摩耗性の低い石ならばインパクトクラッ シャだけで破碎プラントを構成することも可能となる。

Q6) インパクトクラッシャの粒度は何に影響されるか。

A6) インパクトクラッシャの破碎粒度は、原料の性質、打撃速度、原料供給量によ り異なる。一般的に、圧縮式のクラッシャが比較的粒度範囲の狭い製品が出てく るのに対し、衝撃式のクラッシャは粒度範囲の広いものが出てくる。

粒度に影響するのは、打撃板の周速、打撃板の摩耗のよることが多く、反撲板 は、細目か粗目かで異なる形状がある。反撲板のセット（打撃板の先端と反撲板 の間隙）は油圧で簡単に換えられるが、打撃板の周速、摩耗の影響に比べ粒度へ の影響は少ない。

原料が降雨等により濡れた状態で投入すると、打撃板や反撲板に石粉が付着し て破碎効率が落ちることがある。

Q7) インパクトクラッシャはセルフバランスが取れているのか。

A7) 圧縮式のクラッシャに比べればバランスは取れている。従って、自走式破碎設 備（ムーバブルタイプ）や基礎の簡略化に適当である。小規模ダムのような生産 量の少ない場合は、周速変更で2次破碎と3次破碎を兼用できる場合もあるので、 設備の簡略化からインパクトクラッシャが向いている場合がある。

#### 4. 粒形調整機

Q1) 粗骨材、細骨材にコンクリートのワーカビリティを改善するための粒形調整用機械があるか。

A1) 一律的にある実績率以上になるという規定はせず、ワーカビリティの改善を目的とすれば、粗骨材には堅型インパクトクラッシャ、横型インパクトクラッシャ、細骨材には製砂用堅型インパクトクラッシャが実用化されている。

インパクトクラッシャは、原料に衝撃を与えて破碎するもので、打撃板を取付けた横型ロータを高速回転させ、原料を打撃して衝撃を与える横型インパクトクラッシャと、堅型ロータを高速回転させて原料を投げ出し、壁にぶつけて衝撃を与える堅型インパクトクラッシャがある。

横型インパクトクラッシャはインペラブルーカに代表され、投入された原料は高速で回転する横型ロータの打撃板により打撃され、切線方向の反撥板に衝突する。反撥板から跳ね返った原料は再び打撃板に打撃され破碎される。また、加速された原料どうしあ空中衝突することで更に破碎される。他の圧縮式破碎機に比べ破碎比が大きく、破碎された製品は立方体に近く、偏平や偏長が少ないという特徴がある。

堅型インパクトクラッシャは中央部に原料を供給し、高速回転するロータの外周から投げ出し、ロータの外側の壁にぶつけるもので、壁が原料自体のデッドストックの機種と耐摩耗性金属板の機種がある。一般にデッドストックの機種は粒形調整用として、耐摩耗性金属板の機種は細骨材生産用として用いられている。細骨材用はロータの回転速度を更に高速にしたものとなっている。

粒形は原料の供給方法にも影響され、供給方向には制御フィードとチョークフィードがある。チョークフィードは、原料を破碎機の供給口の上まで十分満たした供給方法で、制御フィードは、破碎室の容量以下に原料供給を抑制する方法である。コーンクラッシャはチョークフィードすることで粒形調整することが期待できる。

#### 5. 製砂設備

Q1) 低品質な原石を使用する場合、インパクトクラッシャと補助的にロッドミル以外の製砂設備の組み合わせで破碎が考えられないか。

A1) 低品質な原石を使用してロッドミルで細骨材を生産する場合、ロッド量を減らしてもFMが下がり過ぎることがある。コーンクラッシャやインパクトクラッシャでの製砂は、機械単体でなく一部をリターンするなどシステムとしての考えが必要となる。

ロッドミル以外の製砂設備にはロールクラッシャが考えられる。ロールクラッシャは2組のロールの間に原料を供給し、ロールの回転により圧縮破碎する機構だが、ダム用製砂に使うと摩耗が激しく偏摩耗すると予想される。軟らかい原石ならば堅型ローラーミルの方が可能性はあるが、ロッドミルと並んでの組合せの方が効率的と考えられる。

## 6. スクリーン

Q1) グリズリスクリーンの目詰まりの解決方法はないか。

A1) グリズリスクリーンは摩耗したところに石が挟まると、更に摩耗が倍加して40%以上詰まっているのが現状である。原石の状態によりスクリーン枚数を油圧で変えたり、スクリーンの目開の変更を油圧で簡単にできる機種の開発が望まれている。また、1次破碎設備にどの機種を用いて、どのサイズに破碎するかによりスクリーンに要求される機能は変わってくる。投入原石の最大粒径、粒度分布を数字で捉えることが今後の課題と考える。

Q2) スクリーンの効率を良くするため、振幅、傾斜は可変なものがつくれるのか。

A2) スクリーンの効率は、石の入れ方の問題もあるが、ふるい面全体を使っていないことがあげられる。スクリーン効率を上げるには、網仕様の変更やふるい面積を大きくすることが考えられる。

低品質な原石を使用した場合、ストックヤードからバッチャープラントまでの骨材運搬時のベルコンの乗り継ぎ等により再破碎が生じ、粒度が変化することが考えられることから、今迄より精度良くふるう必要が出てくる。スクリーンの効率は、回転数と振幅で起振力は決まることから、起振力を一定にしておいて振幅と回転数を可変にする機種の開発が必要である。

骨材運搬中に再破碎した場合には、バッチャーの前で再水洗スクリーンに通して5mmアンダーをカットしているケースもある。骨材運搬途中の粒度変動を安定させるか修正するシステムが必要となる可能性がある。

Q3) スクリーンの起振機を上段、下段の間に入れない様にできないか。

A3) 主に使用されているスクリーンには、ふるい面が傾斜形のリップルフロー形スクリーンと、ふるい面が水平形のローヘッド形スクリーンがある。傾斜形スクリーンは起振機がふるい枠のほぼ重心に付けられ、ふるい枠全体に円形の振動を与えるものである。水平形スクリーンは、起振機がふるい枠のほぼ重心線上にふるい

面に対して傾斜をもって取付けられ、ふるい枠全体に直線形の振動を与えるものである。円形振動タイプでは重心を動かさないと、ふるい枠全体が同じ動きをしないことから、起振機をふるい枠の外にできない場合がある。

Q4) スクリーンは、骨材のある縦、横、長さの形状範囲内のものを、必ずふるうという精度について検討されているのか。偏平偏長だけを選ぶスクリーンができるのか。

A4) ふるいの精度は確率の問題で、たとえ1mの長さでも縦横の長さがふるい目以下あれば出てくる確率はある。ふるいで偏平、偏長を処理して粒形調整機能を持たせるのは、実験的アイデアとしては考えられるが現状ではできない。スクリーンに他の設備を付加してシステムとして用意する必要がある。

Q5) ふるい分けは網目を通すだけとなっているが、別な方法でもっと精度の高い細粒側のふるい分け方法がないか。

A5) スペインではサイクロンで粗ふるいをかけたものを、振動する布製のスクリーンを約60度傾けたものにシャワーで裏ごしをかけるような原理である。日本では、浄水場で利用されるカーブドスクリーン（J形にカーブしたスクリーン）が似た方法ではないかと思われるが骨材用ではない。細粒側のふるい分けは水、空気、振動のいずれかだろうが、水を使うのであれば脱水が問題となる。

Q6) 微粒分を多く含む細骨材は、所定の含水比まで脱水するのに多くの時間を要しているが、脱水機能の向上の研究はされているのか。

A6) スパイラルの分級直後の含水比は約30%前後で、脱水スクリーンで脱水しても18~19%である。これを7%に下げるのに72時間程度を要している。現在のスクリーンは低振幅、高振動であるが、逆に高振幅、低振動の方が水が切れるところまでは研究している。微粒分を多く回収するならば更に研究が必要である。

細骨材の脱水方法としては、専用の脱水機として傾胴式遠心脱水機や連続式遠心脱水機が開発されてきている。

## 7. 分級機

Q1) 微粒分回収は、粒径によってどの機種が有利か。

A1) スpiral分級機は、底面の傾斜したタンクとその底面に平行に置かれたスパイラルにより構成される。スパイラルは緩やかに回転し、沈降した砂を底面に添って掻き上げ、微粒はオーバーフローとして越流させている。通常のスパイラルクラッシャファイアで、200メッシュ（0.074mm）以下の微粒分の回収は厳しい。

近年、沈降プールを水平にした水平分級機（ハイメッシュセパレータやサンドクリーン等）が使用されだしているが、100メッシュ以下が12～13%で分級しているのが現状である。微粒分の回収効率はプール面積を大きくすれば上がるが、機械運搬における道路通行制限からローター径、プール径が制限されている。

100メッシュ（0.15mm）まではスパイラルクラッシャファイアで、それ以上の微粒分を求めるならば水平分級機が効率的と言える。

低品質な原石を使用する場合で、微粒子が多くなれば粒子の沈降速度が遅くなるので、自然沈降だけでは対応できなくなる場合がある。処理量が大きいならば、スパイラルクラッシャファイアで掻き上げ、オーバーフローから湿式サイクロンで微粒分を回収する組み合わせが効率的であろう。

Q2) 微粒分回収は、利用の用途によってどの方法が有利か。

A2) 微粒分の利用には、砂の一部に微粒分を入れる砂置換と、セメントやフライアッシュの替わりに微粒分を入れるセメント置換がある。砂置換は、単位細骨材量が600kgとすれば10%置き換えると60kgとなり、量的にはスパイラルクラッシャファイアの改善で生産できることから湿式が向いている。セメント置換はRCDコンクリートの単位セメント量を120kgとすれば10%置き換えても12kg程度のオーダーであり、セメントに投入することを考えると別途乾式で生産する方が有利と考える。

Q3) 微粒分回収に湿式サイクロンを使うならばどのくらいの骨材生産的能力が可能か。

A3) サイクロンの能力は水量と径によって決まるので、相当大きい量まで可能となる。砂利製造業者では $300\text{m}^3/\text{h} \sim 500\text{m}^3/\text{h}$ のサイクロンを使っているところもある。

但し、湿式で微粒分を細骨材と分けて回収すると、微粒分の含水比が高いため貯蔵、搬送、計量等が困難となり、細骨材への混合が問題となる。微粒分を絶乾状態にすれば、コンクリート練り混ぜ時にセメントと同様に扱うことが可能となるが、乾燥や固結したものを粉碎するのに余計な手間を要す。製砂を乾式にして粉体として回収すれば可能性はある。湿式で回収する場合は、逆にスラリーにしてコンクリート練り混ぜ時に混合することは考えられる。

Q4) 低品質な原石を使用する場合、細骨材を回収か廃棄かあるしきい値をもって強制的に選別する機械はできないか。

A4) 通常の骨材生産フローは、できるだけ製品を棄てないよう回収することに重点をおいているが、実際には品質の良くないものを棄てる機能が必要である。

通常粘土分等は、ドラムウォッシャで洗浄して棄てたり、スクリーンタワーの一番下の5mmアンダーを棄てることで対処しているが、低品質の原骨材を使う場合、廃棄する量が増えると想定され、棄てる能力に重点をおいた機械が必要とされる。

例えば、ある種の化学的に有害な鉱物は細骨材に3%含まれるとコンクリートに有害とされるが、原骨材に有害鉱物が膜状や脈状に存在する場合は、破碎に際し優先的に破碎される。従って、原骨材中の有害鉱物が1%であっても細骨材では数倍に集約される。強制的に棄てる機能がないと、投入原骨材の資質をかなり良くしなければならない。

原段階ではローモンタイトやモンモリロナイトを比重選鉱することは困難であり、また粒子の分級点を変えるだけで処理することも危険である。細骨材の粒度は、スパイラルクラッシャファイアや水平分級機で所要の粒度が得られない場合には、他の機械をプラスすることで対応できるが、回収か廃棄かを物理的、化学的にあるしきい値で強制的に選別する機械の開発が課題である。

## 8. 洗浄設備

Q1) 原石の状態により洗浄の程度を変えられるその種の機種はないのか。

A1) 現状のドラムウォッシャーには、原骨材が落ちてくる速度と溜まっている水の浮力で前へ押し出して排出するタイプと羽根で強制的に排出するタイプがある。羽根で排出するタイプは、羽根の角度によりある程度排出速度の調整ができるが、ドラムの回転速度、投入ベルトコンベヤが一定速度で投入原石の状態の変動に対応して洗いの程度をコントロールすることができない。

今迄は良質な原石を使用してきたためライトな洗浄で済んだが、低品質な原石を使用するならば、さらにヘビーなタイプが必要となる。1台の機械で洗浄の程度を強弱切替ができる機種や洗浄程度がライト、ヘビーの選択ができる複数の機種のメニューを揃えることが必要と考える。

Q2) 洗浄設備はドラムウォッシャーだけでなく、連続的に行う機種はないのか。

A2) 川砂利ではロー・ヘッド形スクリーンで強制的にシャワーリングすることで対応できる場合もある。しかし、泥分の付着したものを確実の取り除くにはドラムウォッシャーに勝るものはない。更に有害鉱物をかきおとすにはドラムウォッシャータイプが一番効果的と考える。

Q3) 低品質な原石を対象とした時、プラント投入を強制的に規制する洗浄設備をどこに入れるべきか。

A3) プラント投入を規制するには、プラント運転を容易にするために投入を規制する機械的な要件と、粘土分や有害鉱物などの破棄すべきものの混入を入り口で取り除く要件がある。要件により機種の組み合わせや破碎フローが変わってくる。

1種骨材用の原石の場合は、2次プラントにおける湿式スクリーンで骨材洗浄が可能と考えられるが、2種骨材用の原石の場合には、粘土分が多い時や降雨直後など条件の悪い時を考慮し1次側で洗浄設備に通すフローとなる。また、2種骨材用の原石は全量がグリズリアンダーになる場合があったりするため、原石粒度の変動幅の大きいことを考慮して、洗浄設備が比較的大型になることに留意する必要がある。

1次破碎設備をジャイレートリクラッシャーにすると、全量投入であることから1次破碎後の洗浄となる。従って、1次破碎に投入規制設備を組み込む必要があるような原石ならば、1次破碎設備としてはジョークラッシャーの方が有利となる場合もある。

Q4) 乾式で生産された粗骨材の表面に付着した微粉を砂置換とできないか。

A4) 乾式で生産して粗骨材表面に付着した微粉は砂に近い粒度であり、微粒分の砂置換とは異なる。乾式で生産した場合、細骨材生産量や濁水処理の低減からは有利となるが、降雨後の表面水管理が困難になったり、コンクリート混練で粗骨材表面を水が覆う現象が起きる可能性があり限界があると考える。

## 第3部

### 参考資料

1. 骨材生産設備フローの検討例 ..... 1
2. 最適骨材評価コンクリートの展望と今後の課題（「ダム技術」No.50） ..... 7
3. 品質変動の大きなコンクリートを用いた重力ダムの構造的安定性の評価方法について—最適骨材評価コンクリートの開発（低品質骨材の有効利用）に向けて—（「ダム技術」No.82） ..... 32
4. 座談会 今求められているダム技術（「ダム技術」No.100） ..... 44
5. 低品質骨材を用いたコンクリートの力学特性（「ダム技術」No.107） ..... 48

## 骨材生産設備フローの検討例

平成7年11月作成された骨材生産設備マニュアル(案)の策定時に、堤体積が50万m<sup>3</sup>のダムを想定して骨材生産設備フローを検討した事例を以下に示す。

検討例は骨材生産設備の方針毎の骨材生産フローの一例であり、夫々のダムにおける最適な骨材生産設備とは異なるものである。これらの内容を参考にする場合は、条件や実態を十分把握したうえで適宜に計画しなければならないものであることに十分留意されたい。

### (1) 1種骨材と2種骨材を混合した一系列表生産する例 (フローシート1)

#### ①骨材生産設備の方針

- a. 粗骨材の最大寸法80mm
- b. 粗骨材分級は2区分 (80~20mm、20~5mm)
- c. 細骨材、粗骨材とも1種骨材、2種骨材を混合した一系列表生産

#### ②設備の特徴

- a. 1次破碎はジャイレートリクラッシャ1台
- b. 1次破碎後、直ちにジャイレートリクラッシャで2次破碎
- c. 2種骨材用原石破碎時に発生する20-0mmは廃棄
- d. 2種骨材用原石は原石の状態により1次破碎後ウォッシャーで洗浄
- e. サージバailは2次破碎した原骨材を1種と2種を混合して貯蔵
- f. 3次破碎は80~20mmを原料としてコーンクラッシャで破碎
- g. 篩分けは20mmオーバーは乾式、20mmアンダーは水洗
- h. 原砂は20~5mmと5~0mmに分けて貯蔵
- i. 製品は1種骨材、2種骨材を混合して貯蔵

	機械名称	形式	形状寸法	員数	摘要
①	ジャイレートリクラッシャ	42-65	1070*1650	1	115mm(OSS)
②	振動フィーダ	振動電機動式フィーダ	1300*1650	2	
③	1次スクリーン	特重型傾斜式 2床 7-20	2140*6100	2	13.05m <sup>2</sup>
④	ジャイレートリクラッシャ	10-45	254*1140	2	25mm(CSS)
⑤	振動フィーダ	振動電動機式フィーダ	900*1500	6	
⑥	2次スクリーン	特重型傾斜式 2床 6-14	1830*4270	2	7.81m <sup>2</sup>
⑦	3次スクリーン	標準型傾斜式 単床 8-20	2440*6100	2	14.88m <sup>2</sup>
⑧	3次コーンクラッシャ	ハイドロコーン 4-60	100*1520	1	11mm(CSS)
⑨	スパイラル分級機	ダブルピッチ型 42	1070*6600	2	
⑩	振動フィーダ	電磁式	610*1067	4	
⑪	ロッドミル	センター排出型 9*14 1/2	2750*4420	2	
⑫	分級機	水平型	3700*5375	2	
⑬	ドラムスクラバ	8-15	2440*4500	1	
⑭	スパイラル分級機	ダブルピッチ型 60	1520*9800	1	

(2) 細骨材を粗骨材とは別系列で生産する例 (フローシート 2)

①骨材生産設備の方針

- a. 粗骨材の最大寸法80mm
- b. 粗骨材分級は3区分 (80~40mm、40~20mm、20~5mm)
- c. 細骨材は1種骨材用原石から生産
- d. 粗骨材は1種骨材用原石、2種骨材用原石混合から生産

②設備の特徴

- a. 1次破碎前にグリズリデッキスクリーンで40-0mmを廃棄
- b. 1次破碎は2系列として1種骨材用原石と2種原石用骨材を別々に投入
- c. サージパイルは1種骨材用と2種骨材用を別々に貯蔵
- d. サージパイル引き出し後、1種骨材用と2種骨材用を混合してスクラバで洗浄
- e. 細骨材生産は2次破碎にジャイレートリクラッシャ、3次破碎にコーンクラッシャ、製砂にロッドミル
- f. 粗骨材生産は2次破碎、3次破碎共にコーンクラッシャ
- g. 粗骨材生産時に発生する5-0mmは廃棄
- h. 粗骨材製品は1種骨材、2種骨材を混合して貯蔵

	機械名称	形式	形状寸法	員数	摘要
①	原石ピン	コンクリート製		1	バー間隔650mm
②	エプロンフィーダ	12-36	1200*3540	2	
③	ジョークラッシャ	ダブルトグル型 42-48	1070*1220	2	125mm(OSS)
④	デッキスクリーン	6-12	1830*3660	1	6.7m2
⑤	振動フィーダ	振動電動機式フィーダ	800*1200	6	
⑥	1次スクリーン	特重型傾斜式 3床 7-16	2140*4880	1	10.4m2
⑦	スパイラル分級機	ダブルピッチ型 42	1070*6600	1	100メッシュ
⑧	2次コーンクラッシャ	ジャイレートリ型 9-36	225*900	1	22mm(CSS)
⑨	3次コーンクラッシャ	ファイン型 4 1/2-72	110*1830	1	11mm(CSS)
⑩	振動フィーダ	電磁式	558*1067	4	
⑪	ロッドミル	センター排出型 7-12	2100*3660	2	
⑫	分級機	ハイメッシュ型	3000*4000	2	200メッシュ
⑬	ドラムスクラバ	8-15	2440*4500	1	
⑭	スパイラル分級機	ダブルピッチ型 42	1070*6600	1	100メッシュ
⑮	1次スクリーン	特重型傾斜式 2床 5-10	1530*3050	1	4.67m2
⑯	2次スクリーン	標準型傾斜式 2床 5-10	1530*3050	1	4.67m2
⑰	スパイラル分級機	ダブルピッチ型 36	910*6000	1	100メッシュ
⑱	2次コーンクラッシャ	コース型 12-60	300*1520	1	22mm(CSS)
⑲	3次コーンクラッシャ	ファイン型 3 1/2-51	90*1300	1	11mm(CSS)

(3) 1種骨材と2種骨材を別々の系列で生産する例 (フローシート 3)

①骨材生産設備の方針

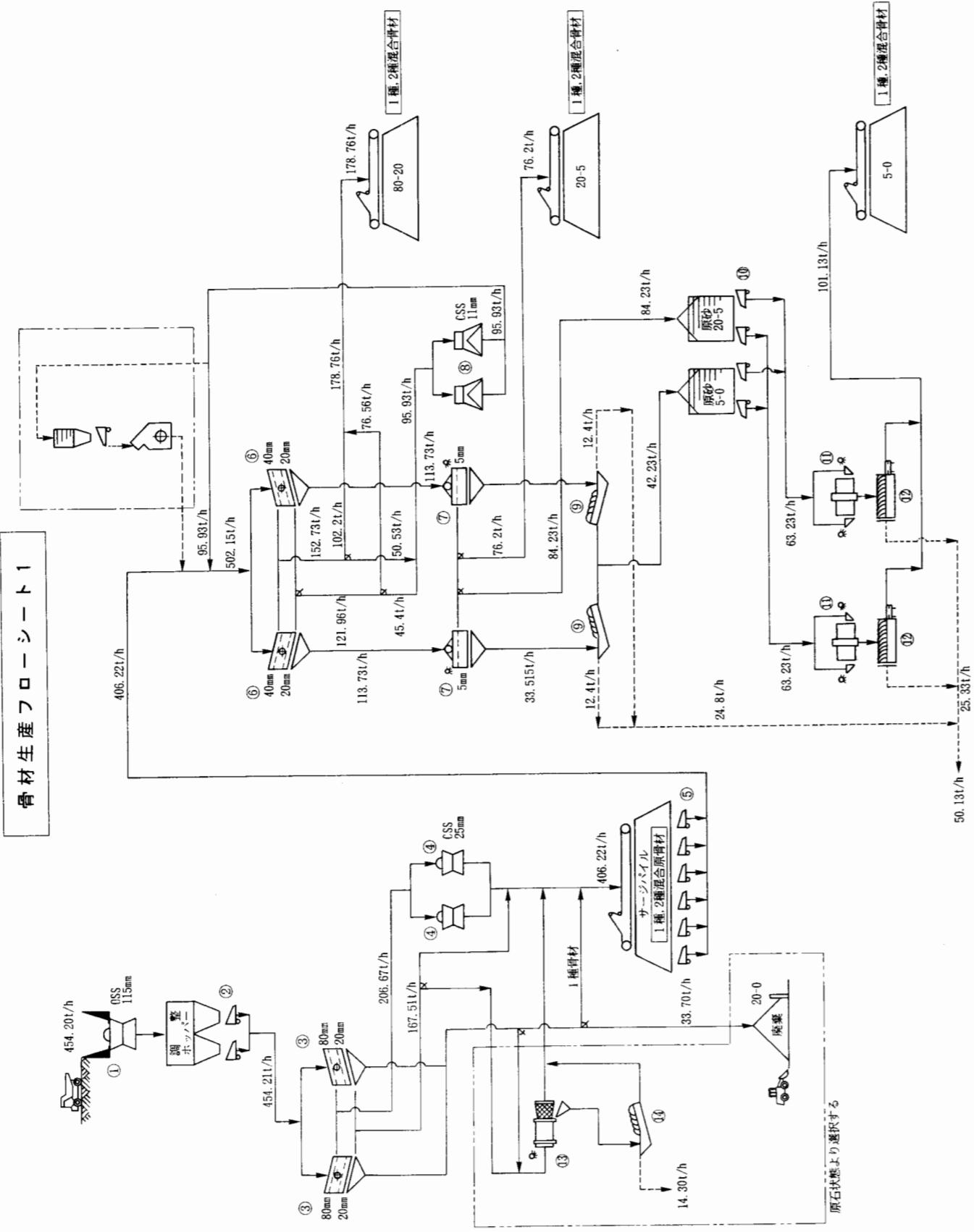
- a. 粗骨材の最大寸法80mm
- b. 粗骨材分級は2区分 (80~20mm、20~5mm)
- c. 細骨材は1種骨材用原石から生産
- d. 粗骨材は1種骨材、2種骨材を別々の系列で生産

②設備の特徴

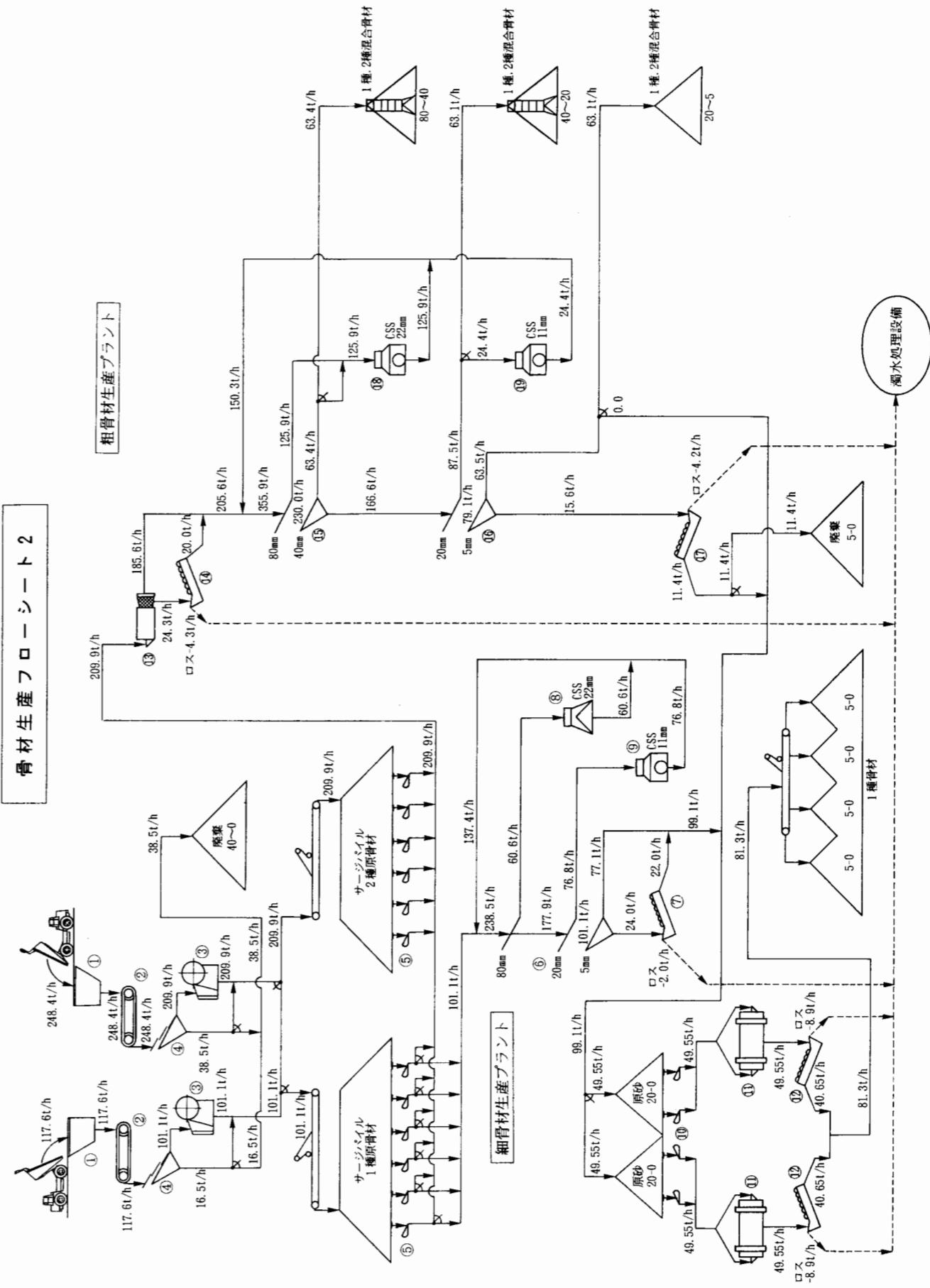
- a. 1次破碎前にグリズリデッキスクリーンで40-0mmを廃棄
- b. 1次破碎は2系列として1種骨材用原石と2種原石用骨材を別々に投入
- c. サージパイルは1種骨材用と2種骨材用を別々に貯蔵
- d. 原骨材の洗浄設備は無し
- e. 細骨材は1種骨材生産系列でロッドミルにより生産
- f. 1種骨材の粗骨材生産は2次破碎、3次破碎共にコーンクラッシャ
- g. 2種骨材の粗骨材生産はインパクトクラッシャの2次破碎のみで生産
- h. 2種骨材の粗骨材生産時に発生する5-0mmは廃棄
- i. 粗骨材製品は1種骨材、2種骨材を別々に貯蔵

	機械名称	形式	形状寸法	員数	摘要
①	原石ピン	コンクリート製		2	バー間隔650mm
②	エプロンフィーダ	14-42	1400*4170	2	
③	ジョークラッシャ	ダブルトグル型 48-60	1220*1520	2	125mm(OSS)
④	デッキスクリーン	6-12	1830*3660	2	6.7m2
⑤	振動フィーダ	振動電動機式フィーダ	800*1200	12	
⑥	1次スクリーン	特重型傾斜式 2床 5-10	1530*3050	1	4.67m2
⑦	2次スクリーン	標準型傾斜式 2床 7-20	2140*6100	1	13.1m2
⑧	スパイラル分級機	ダブルピッチ型 42	1070*6600	1	100メッシュ
⑨	2次コーンクラッシャ	コース型 12-60	300*1520	1	32mm(CSS)
⑩	3次コーンクラッシャ	ファイン型 4-60	100*1520	2	9.5mm(CSS)
⑪	振動フィーダ	電磁式	558*1067	4	
⑫	ロッドミル	センター排出型 8-13 1/2	2400*4110	2	
⑬	分級機	ハイメッシュ型	3000*5000	2	200メッシュ
⑭	2次インパクトクラッシャ	1615H	430*1520	1	45m/s (周速)
⑮	1次スクリーン	特重型傾斜式 2床 5-10	1530*3050	1	4.67m2
⑯	スパイラル分級機	ダブルピッチ型 30	760*5400	1	100メッシュ

骨材生産フロー シート1



骨材生産フローチート2



## 【特別寄稿】

## 最適骨材評価コンクリートの展望と今後の課題

ダム水源地環境整備センター 廣瀬利雄\*  
 建設省河川局 豊田高司\*\*  
 建設省河川局 竹林征三\*\*\*  
 建設省河川局 上阪恒雄\*\*\*\*

## 1. はじめに

コンクリートダム建設の合理化施工の課題として取り組む方向は、当初より①設計法とリンクした合理化、②施工法の合理化、③築堤材料の合理化の3つのアプローチを考えていた<sup>1)</sup>。そのうちまず最初に取り組んだのが施工法の合理化である。これまでに施工法のうち運搬、締め固め過程に着目してRCD工法の技術開発に鋭意取り組んできた、現在は工法としてはほぼ確立した段階であり、世界的にも高い評価を得ている<sup>2)</sup>。これに続く合理化施工の課題のうち解決をしなければならない大きな課題としては、築堤材料の合理化の課題があり、この点に焦点をあてて考えてみたい。とくに、コンクリート単価の中に占める骨材費の割合が5割程度と非常に高いことから、骨材費をいかに軽減するかが今後の大きな課題であると考える。

本報告では、外部コンクリートに比して耐久性、水密性等において要求される条件が比較的緩く、かつ本体コンクリート量の大部分を占める内部コンクリートに着目したい。これまで外部コンクリート用骨材と同様の採取基準を適用し、これに合致せずということで廃棄されていた廃棄岩のうち、その多くは内部コンクリート用骨材として使用できるのではないかという可能性と、それら

よりできるコンクリートを前提とした設計手法並びにダム用コンクリートの設計基準強度の材令を延長することの可否等について検討したものである。

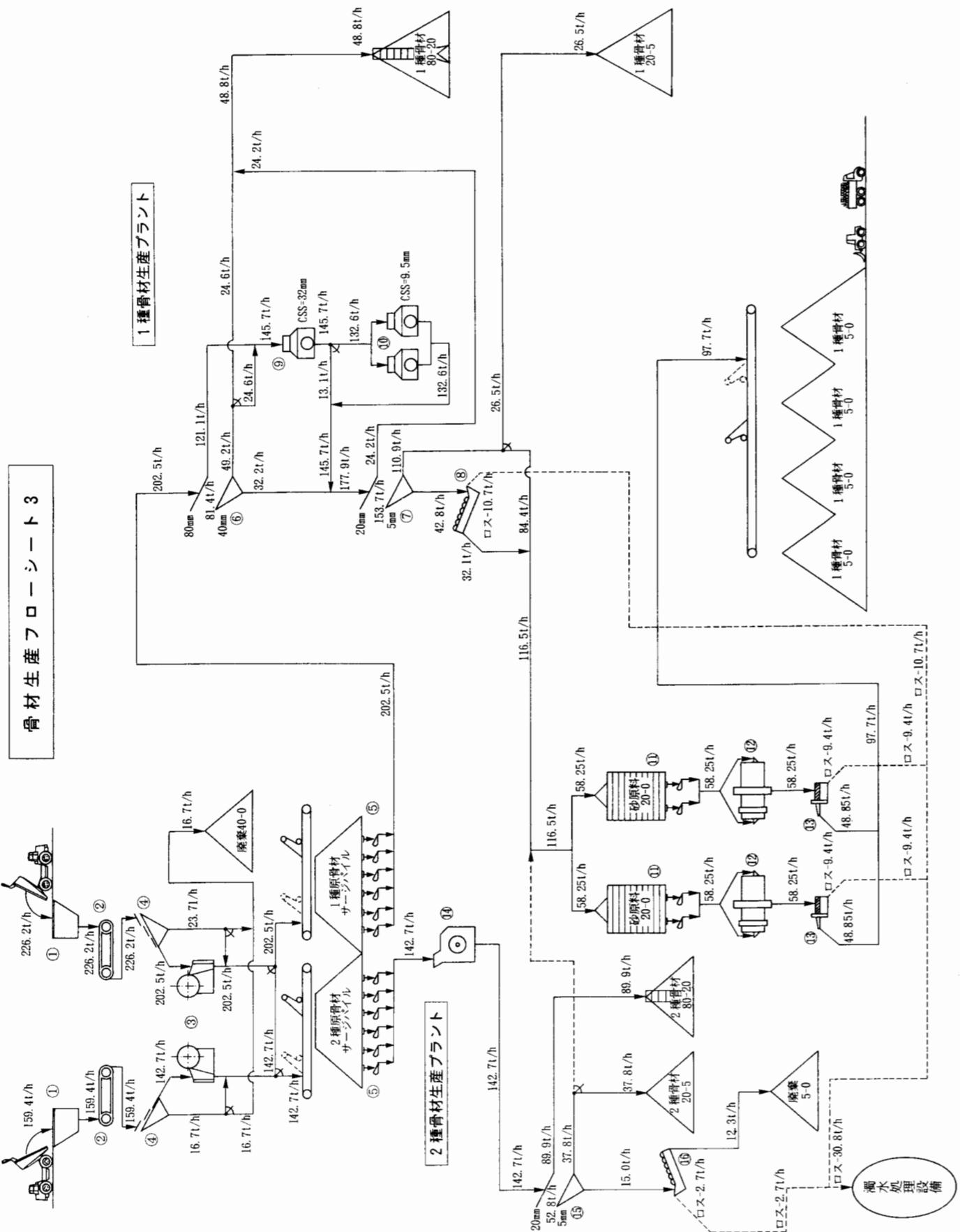
これまでどちらかというと、ダムコンクリートはその比重、強度等の主たる性質がある所定の基準以上が確保されているという前提でダム本体の設計がなされており、それに合致しなくなる可能性のある骨材は大量に廃棄岩として処分されてきた。

ここでは観点を変えて、表土や化学的に安定性を欠き、明らかに有害な原石を除き従来、廃棄岩として処理されていた原石を新しい評価基準に基づいて積極的に利用して、与えられた条件内で製造可能な最も性能の良いコンクリートの配合はいかにあるべきか、またそれによってできたコンクリートの品質はどの程度まで保証されているのか、さらにそのコンクリートを前提としたダム本体設計法はいかにあるべきかについて考えてみたい。

このような発想の転換により製造されるコンクリートを最適骨材評価コンクリートと称することとする。

## 2. コンクリートダムの合理化施工の現状

昭和49年に我が国においてコンクリートダムの合理化に本格的に取り組んだ「コンクリートダムの合理化施工に関する研究委員会」の発足以来、はや15年が過ぎ、RCD工法をはじめPCD



\* 理事長  
 \*\* 開発課長  
 \*\*\* 開発調整官  
 \*\*\*\* 開発課建設専門官

表-1 多目的ダム建設事業の推移(完成数)

年 事業別	1950 以前	1951 1955	1956 1960	1961 1965	1966 1970	1971 1975	1976 1980	1981 1985	1986 1989	合計
直轄ダム	1	4	15	7	13	14	11	19	8	92
補助ダム	8	16	15	24	17	44	40	42	29	235
合計	9	20	30	31	30	58	51	61	37	327

表-2 多目的ダム型式の変遷

年 事業別	1950 以前	1951 1955	1956 1960	1961 1965	1966 1970	1971 1975	1976 1980	1981 1985	1986 1989	合計
直轄ダム	C 2 F 1	C15 F 0	C 6 F 1	C12 F 1	C10 F 2	C 4 F 4	C10 F 5	C 6 F 1	C65 F15	
補助ダム	C 3 F 0	C16 F 0	C14 F 0	C23 F 1	C16 F 1	C41 F 3	C34 F 6	C31 F10	C25 F 3	C203 F24
合計	C 3 F 0	C18 F 1	C29 F 0	C29 P 2	C28 F 2	C51 F 5	C38 F10	C41 F15	C31 F 4	C268 F39

工法(コンクリートポンプによるダム施工法), ELCM 工法(拡張レーアー工法)等のダムコンクリートと一体となった合理化施工や、とくにコンクリートの運搬面に視点を置いたベルトコンベアによる施工法(ベルコン工法)等その合理化に向けて著しい進展を見たところである。このことは、国際大ダム会議においても日本の RCD 工法が世界的に極めて優れた技術として高い評価を受けているところである。表-1 に建設省所管の完成ダム数の推移と表-2 に完成ダム型式の推移を示す。これによると、この 20 年間は毎年約 10 ダム程度のダムが竣工しており、その型式はダムサイトの地質的条件等によりフィルダムが増加傾向をたどってきた。すなわち、フィルダムの完成ダムに占める割合は 1970 年代前半は 8.9%, 後半は 20.8%, 1980 年代前半は 26.8% と増加している。しかし、80 年代後半になるとフィルダムの割合は一挙に減り、11.4% となった。この原因の一つとして RCD 工法等コンクリートダムの合理化施工の著しい進展にともないコンクリートダムの有利性が改めて再確認されたことがあげられよう。

表-3 と図-1 に日本における RCD 工法等コンクリートダムの合理化施工対象ダムの概要と推移変遷図を示す。建設省所管ダムにおいて、現在、毎年 10 数ダムの本体工事に着工しているが、ダ

ム型式としては重力式コンクリートダムがほとんどであり、またコンクリートダムにあっても、堤体の形状及び放流設備等堤体付属諸設備の配置状況から RCD 工法の有用性が十分に発揮できないダムを除けば、ほとんどのダムで RCD 工法等の合理化施工を実施している。このことは、コンクリートダムの合理化施工の中心的な役割を果たした RCD 工法は、すでに工法として十分に確立した成熟段階に達し、RCD 工法や PCD 工法及びベルコン工法等も、今までの試験的な施工を通じ地道なデータの集積分析する段階から、工夫をしながらその適用範囲に大幅に拡大する成長期にさしかかったと見ることができる。RCD 工法は道路舗装、空港の滑走路等ダム以外の多くの部門にも、大きく影響を与えることが当初より予想していたところであるが、現在のところ舗装用コンクリート部門で RCC の延長として転圧コンクリート舗装(RCCP=Roller Compacted Concrete Pavement)が開発されつつあるが、この開発の機運を盛り上げた役割は大きいといえる。

RCCP 工法は、従来のコンクリート舗装に比較して特殊な舗装機械を必要とせず、施工速度も速く、早期に交通開放が可能である。また、目地間隔の拡大が可能であること、通常のコンクリート舗装より安価であること等により、今後ますます発展が期待されている。

表-3 日本における RCD 工法等コンクリートダムの合理化施工

工法	ダム名	所管	堤高(m)	堤頂長(m)	堤体積(m <sup>3</sup> )		打設工期		備考
					本体部	当該工法部	本体部	当該工法部	
R	島地川(本体)	中国地建	89.0	240.0	317 000	165 000	1976.9~1981.7	1978.10~1980.4	堤体打設面 2~4 分割とした比較的広範なレーアー工法、2 軸強制練りミキサー(1.5 m <sup>3</sup> ×2), 固定ケーブルクレーン 13.5 t, ダンプトラック, 振動ホッパー
玉川(マット部)	北陸地建	75.0	406.5	コンクリート 900 000 フィル 100 000	300 000	1980.7~1983.11 1983.5~1983.11	1979.7~1980.7 冬季間 3 ヶ月休止		実質 9 ヶ月で施工し工期の短縮を図った。 ダンプトラック直送方式
新中野[減勢工] [水印部]	北海道	74.9 嵩上げ 21.9	248 嵩上げ 86	274 000 嵩上げ 190 000	13 000	1979.7~1982.10	1980.5~1980.10	$G_{max}=150 \text{ mm}$ 減勢工基礎部 11 300 m <sup>3</sup> ダンプトラック直送方式	
玉川(上流締切)	東北地建	20.0	274.6 コンクリート 83.3 21 300 フィル 191.3	120 200 コンクリート 21 300 フィル 98 900		1981.4~1982.9	1981.10~1982.4	上流締切ダム(600 m <sup>3</sup> )の他、施工設備プラント基礎(2 500 m <sup>3</sup> )で実施	
玉川(本体)	東北地建	100.0	441.5	1 150 000	722 000	1983.9~1987.6	1983.10~1986.6	インクラインによる運搬 $G_{max}=150 \text{ mm}$ の採用 リフト厚 100 cm(上部), 75 cm(下部) 最大の RCD コンクリート量	
阿木川(上流締切)	水公團	12.0	40.0	3 000	2 600 (400 は岩着)	1984.5	1984.5	約一週間で打設、ダンプ運搬、本体部本体部はフィル構造 $C+F=80 \text{ kg/m}^3$ , 型枠使用せず打継目なし連続打設	
C	美利河(本体)	北海道開発局	G 40.0 F 23.5	755.0 725.0	360 000 510 000	163 000	1984.4~1989.10	1984.7~1989.9	パッチャーからダンプトラックで堤体堤頂部まで RCD 工法
D	真野(本体)	福島県	69.0	239.0	218 000	104 000	1985.4~1987.12	1985.5~1987.6	補助ダム初の RCD、トランスマスター、インクライン、ケーブルクレーンのワンマンコントロールシステムの採用、 $G_{max}=80 \text{ mm}$ , リフト厚 50 cm, $C+F=120 \text{ kg/m}^3$
白水川(本体)	山形県	54.5	367.0	314 000	141 700	1985.7~1990.4	1985.10~1988.6	ダンプトラック直接乗入。 仮設橋樋にリフトアップ方式を採用し運搬能率増大を図った。	
E	朝日小川(本体)	富山県	84.0	260.0	361 000	268 000	1983.3~1990.6	1986.5~1988.6	ダンプ直送方式、骨材プラントに微粒分回収装置の設置、ケーシングパイプの挿入による弱材耐コンクリートの保護を図った。河床砂礫の使用
F	朝里(本体)	北海道	73.9	390.0	514 000	260 000	1987.8~1992.6	1987.5~1990.9	振動ローラーのリモコン操作と直接運転操作の併用
道平川(本体)	群馬県	70.0	300.0	350 000	170 000	1987.10~1990.11	1988.3~1990.2	インクライン(凹状)により運搬浮き上がり防止装置併用、グリーンカットに大きなブラシを使用	
境川(本体)	富山県	115.5	297.5	717 500	620 800	1985.3~1993.11	1988.5~1991.8	RCD 工法で始めて 100 m を超えた。内部構造物の簡略化や配置の工夫 VC 値を一定にするため品質管理の向上に努力。 インクライン運搬	
神室(本体)	山形県	60.6	257.0	303 000	144 000	1986.7~1993.2	1988.7~1990.10	薄層敷均し、リフト厚 75 cm	
布目[本体] [減勢工]	水公團	72.0	322.0	330 000	(本体) 58 980 (減勢工) 450	1987.10~1989.12 1987.10~1989.12	1988.2~1988.9 1987.12	RCD の事前試験を減勢工(床板部)に行なった後、本体に施工	
竜門(本体)	九州地建	G 99.5 F 31.4	G 378.0 F 240.0	844 000 220 000	550 000	1990.3~1992.6 1992.10~1993.5	1990.3~1992.6	$G_{max} 150 \text{ ダンプトラック}$ , リフトアップ機構リフト厚さ 75 cm(パッチャーから堤体内まで) 2 層のコンジットを RCD 用に 1 ブロックの中に水平に入れた。	

工法	ダム名	所管	堤高(m)	堤頂長(m)	堤体積(m³)		打設工期		備考
					本体部	当該工法部	本体部	当該工法部	
R	八田原 [本体一部 減勢工]	中国地建	83.0	325.0	487 000	228 000	1989.12～1994.4	1990.5～1991.10	強制2軸(2m²×2), ダンプ15t直送方式。中段・上段ギャラリー、プレキャスト型枠検討中
	宮床 [本体及び マット部]	宮城県	48.0	256.0	279 200	171 800	1990.6～1993.10	1990.6～1993.6	ダブルミキシング検討中。ダンプトラックによりコンクリートを運搬
	宮ヶ瀬(本体)	関東地建	155.0	400.0	1 982 000	1 624 000	1991.10～1994.7	1991.10～1994.7	振動ローラーの自動化 インクラインをダンプにのせ打設位置でまき出し, $G_{max}=150\text{ mm}$
	月山(本体)	東北地建	125.0	445.0	1 130 000	770 000	1992.10～1996.6	1992.10～1995.9	ベルコンによるコンクリート運搬 $G_{max}=150\text{ mm}$
	札内川(本体)	北海道開発局	114.0	300.0	700 000	595 000	1991～	1991～	ベルコン打設・高炉スラグ検討中
	小玉(本体)	福島県	102.0	280.0	554 000	358 000	1991.4～1994.9	1991.4～1993.12	V字谷ダムサイトでハイダム(堤高102m)にRCDを用いた。インクライン使用, 強制二軸練りミキサー, $G_{max}=80\text{ mm}$ , リフト厚75cm
	千屋(本体)	岡山县	97.5	259.0	628 500	411 000	1991.10～1995.2	1992.4～1994.6	13.5tケーブルクレーンを二基使用を計画 微粒分として石灰石粉使用
	津川 [本体 減勢工]	岡山县	76.0	234.0	342 000	232 000	1991.10～1993.12	1991.10～1993.7	ダンプ及びベルコンによりコンクリートを運搬
	塩川(本体)	山梨県	79.0	225.0	386 000	299 000	1993.4～1995.12	1993.4～1995.12	現場が狭い。トラック直送方式。リフトは全て75cm
	小山(本体)	茨城县	65.0	450.0	520 000	290 000	1995.4～1997.6	未定	RCDコンクリートに高炉セメントを用いることを検討中
I	浦山(本体)	水公團	155.0	372.0	1 730 000	1 370 000	1992.7～1995.6	1992.8～1995.5	ベルトコンベア運搬
	大松川(本体)	秋田県	65.0	296.0	303 000	141 000	1992.8～1995.5	1992.8～1994.9	
	蛇尾川 [揚水発電 下部ダム]	東京電力 (株)	104.0	273.0	590 000	320 000	1990.3～1992.11	1990.3～1991.12	タワークレーンでホッパそこからダンプ。国土開発技術センター委員会設置
	観音閣(本体)	中華人民共和国	82.0	1040.0	1 970 000		1990.5～1995.10	1990.8～1995.10	中国で始めてダム技術センター技術指導
	長与(本体)	長崎県	36.0	171.0	60 440	20 000	1981.1～1983.9	1982.12～1983.7	本体上部, 堤高18～36mでPCD, $G_{max}=60\text{ mm}$ , スランプ8cm, $C+F=217\text{ kg/m}^3$
	下湯 [付帯の 砂防ダム]	青森県	10.1	34.5	705.8	705.8	1984.9～1984.11	1984.9～1984.11	流動化材使用なし, 押込式ポンプを改良し使用 $G_{max}=80\text{ mm}$ スランプ $5\pm1\text{ cm}$ $C+F=186\text{ kg/m}^3 \Phi=200$
	三国川 [非常用 洪水吐]	北陸地建	119.5	419.5	6 900 000	260 000	1984.10～1990.10 予定	1985.10～1990.10 予定	非常用洪水吐は全長約500m高低差約100mを考慮しPCDを採用。導流部(傾斜部)はインクライン方式で施工 $G_{max}=80\text{ mm}$ スランプ $6\pm1\text{ cm}$ $C+F=220\text{ kg/m}^3$
	懸の関(第2ダム)	宮城県	14.9	75.0	5 800	1 571	1988.9～1989.5	1989.2～1989.3	押込ポンプの性能(圧送力)のアップを図った。粗骨材寸法60mm～40mmでスランプ3cm位のコンクリートまで圧送可能 $G_{max}=60\text{ mm}$ スランプ $4\pm1\text{ cm}$ $C+F=212\text{ kg/m}^3 \Phi=180$

工法	ダム名	所管	堤高(m)	堤頂長(m)	堤体積(m³)		打設工期		備考
					本体部	当該工法部	本体部	当該工法部	
I	大町 [堤体一部 試験施工]	北陸地建	107.0	338.0	765 000	325.0	1979.8～1983.11	3日間 1982.10	一般部, トレッスル下部及び監査部について試験施工。スプレッダーベルコン
	大川 [コンクリート ブロック]	北陸地建	75.0	406.5	コンクリート 900 000 フィル 100 000	300	1980.7～1983.11 1983.5～1983.11	1982.10～1983.1	
	浅瀬石川 [減勢工 水叩き]	東北地建	91.0	330.0	689 000	9 000	1982.10～1986.8	1984.6～1984.9	減勢工においてベルコン打設, 平面方向(広範囲)の打設, スプレッダーベルコン
	初瀬(導流壁)	奈良県	55.0	212.5	165 000	125 (ベルコン打設分)	1981～1987	1984.11～1987.2	$H=12.0\text{ m}$ の鉛直抱き込み二重ベルトコンベアを用いて導流壁打設。モルタル輸送の成功
	蓮 [導流壁 副ダム]	中部地建	78.0	280.0	484 000	14 000 (ベルコン打設分)	1983.12～1986.12	1985.3～1986.11	ケーブルクレーン13.5t。平ベルト2枚でコンクリートを抱き込み急傾斜(60°)揚程22mまで打設可能な「抱込みコンペア」を開発した。
	七ヶ宿(洪水吐)	東北地建	90.0	565.0	コンクリート 170 000 フィル 5 100 000	115 000	1985.3～1987.12	1986.8～1987.12	固定式旋回クライミングスプレッタ, 可搬式旋回スプレッタの採用, 河床砂礫の配合 $G_{max}=80\text{ mm}$ スランプ $3.5\pm1\text{ cm}$ $C+F=212\text{ kg/m}^3$
	高瀬(本体)	千葉県	24.5	379.0	78 000	62 000	1987.8～1989.5	1987.8～1989.2	抜き型枠を使用して2ブロックを同時打設した。 $G_{max}=150\text{ mm}$
	小平(本体)	北海道	42.4	475.0	270 000	257 000	1986.7～1990.7	1986.7～1990.7	材料分離対策としてショートを長くした。 ミニスプレッターにより上部コンクリートを打設した。 $G_{max}=150\text{ mm}$
	津川 [本体 減勢工]	岡山县	76.0	234.0	342 000	232 000	1991.10～1993.12	1991.10～1993.7	RCDで施工
	月山(本体)	東北地建	125.0	445.0	1 130 000	770 000	1992.10～1996.6	1992.10～1995.9	先端コンベアの移動方向(インクライン)RCDで施工
P	浦山(本体)	水公團	155.0	372.0	1 730 000	1 370 000	1992.7～1995.6	1992.8～1995.5	RCDで施工
	一庫(副減勢工)	水公團	75.0	285.0	410 000	約600	1979.3～1981.10	1979.11～1979.11	副減勢工で試験施工 ダンプ運搬
	布目 [本体 減勢工]	水公團	72.0	322.0	330 000	本体 166 310 減勢工 480	1987.10～1989.12 1987.10～1989.12 1987.12	1988.10～1989.11	追跡2層(1.5mリフト) 拡張レバーの事前試験を減勢工(床板部)に行った後, 本体に施工
	栗山(本体)	北海道	31.9	540.0	174 000	118 000	1989.6～1991.9	1989.6～1990.11	1リフト1mを採用 十分な放荷距離を得るためベッセルダンプ使用, ダンプの2山積載による材料分離対策
	三春(本体)	東北地建	70.0	174.0	170 000	170 000	1990.10～1992.12	1990.10～1992.12	全面レバー 振動目地切機による目地造成
	中筋川(本体)	四国地建	71.6	217.5	245 000	245 000	1991.1～1992.11	1991.1～1992.11	軌道式ケーブルクレーンが9tであり, 幅15mまでしか打てないが, 段差をつけないようにして, 打設。 $h=1/3$ 以後は2～3ブロックの拡張に変更
	良谷(本体)	関西電力 (株)	102.0	254.0	538 000	524 000	1991.3～1992.2	1991.3～1991.12	拡張レヤ布目ダムに次いで日本で2番目。高炉スラグ。ダム技術センター技術指導。

工法	ダム名	所管	堤高(m)	堤頂長(m)	堤体積(m <sup>3</sup> )		打設工期		備考
					本体部	当該工法部	本体部	当該工法部	
ダブルミキシング	布目(減勢工)	水公团			930 (450+480) ×1/2	1987.10~1989.12	1987.12		試験施工 床板部
	布目(副ダム)	水公团	14.5	133.0	13 000 1 570	1990.2~1990.7	1990.5		試験施工 コンクリートはELCMのものを使った
ダブルミキシング	宮床[本体及びマット部]	宮城県	48.0	256.0	279 000 171 800	1989.6~1996.3	1990.6~1993.6		(検討中) VC値の経時変化に対する施工性の確保、マット部RCDCコンクリート配合の単位セメント量の低減について
	小玉(本体)	福島県	102.0	280.0	554 000 554 000	1991.4~1994.9	1991.4~1994.9		(検討中) RCDC用コンクリートにDMを適用し材料分離の防止、施工性の向上、コンクリート品質のバラツキの減少を図る。
工法	ダム名	所管	堤高(m)	堤頂長(m)	堤体積(m <sup>3</sup> )		打設工期		備考
強制練り	島地川	中国地建	89.0	240.0	317 000 1.5m <sup>3</sup> × 2台		1978.10~1980.4		
	新中野	北海道局	74.9 嵩上げ 21.9	248 嵩上げ 86.0	274 000 190 000	1.5m <sup>3</sup> × 1台	1980.5~1980.10		
	美利河	北海道局	G: 40.0 F: 23.5	755.0 725.0	360 000 510 000	2.5m <sup>3</sup> × 1台	1984.7~1988.11		
	東荒川	栃木県	70.0	271.0	212 000	1.5m <sup>3</sup> × 1台	1985.8~1988.4		
	二風谷	北海道局	31.5	550.0	273 000	2.0m <sup>3</sup> × 1台	1987.7~1993.5		
	布目	水公团	72.0	322.0	330 000	2.25m <sup>3</sup> × 1台	1988.2~1989.12		
	豊丘	長野県	81.0	238.0	287 000	1.5m <sup>3</sup> × 1台	1989.6~1992.9		
	八田原	中国地建	83.0	325.0	487 000	2.0m <sup>3</sup> × 2台	1989.12~1992.4		
	宮床	宮城県	48.0	256.0	279 200	3.0m <sup>3</sup> × 1台	1990.6~1993.10		
	中筋川	四国地建	71.6	217.5	245 000	1.5m <sup>3</sup> × 1台	1991.1~1992.12		
	札内川	北海道局	114.0	300.0	700 000	2.25m <sup>3</sup> × 4台	1991.4~1995.8		
	小玉	福島県	102.0	280.0	554 000	3.0m <sup>3</sup> × 1台	1991.4~1994.9		
	水上	長野県	38.0	162.0	65 000	1.5m <sup>3</sup> × 1台	1991.6~1992.9		
	宮ヶ瀬	関東地建	155.0	400.0	1 982 000	3.0m <sup>3</sup> × 2台	1991.10~1994.7		
	津川	岡山県	76.0	234.0	324 000	1.5m <sup>3</sup> × 2台	1991.10~1993.12		
	千屋	岡山県	95.5	259.0	628 500	4.5m <sup>3</sup> × 1台	1991.10~1995.2		
	日向	岩手県	56.5	190.0	242 000	2.25m <sup>3</sup> × 1台	1992.6~1994.10		
	大松川	秋田県	65.0	296.0	303 000	3.0m <sup>3</sup> × 1台	1992.8~1995.8		
	塩川	山梨県	79.0	225.0	386 000	2.5m <sup>3</sup> × 1台	1992.11~1995.12		
	四万川	群馬県	89.5	330.0	480 000	2.5m <sup>3</sup> × 2台	1993.1~1996.9		
	長谷	関西電力	102.0	254.0	538 000	3.0m <sup>3</sup> × 3台	1990.3~1992.4		

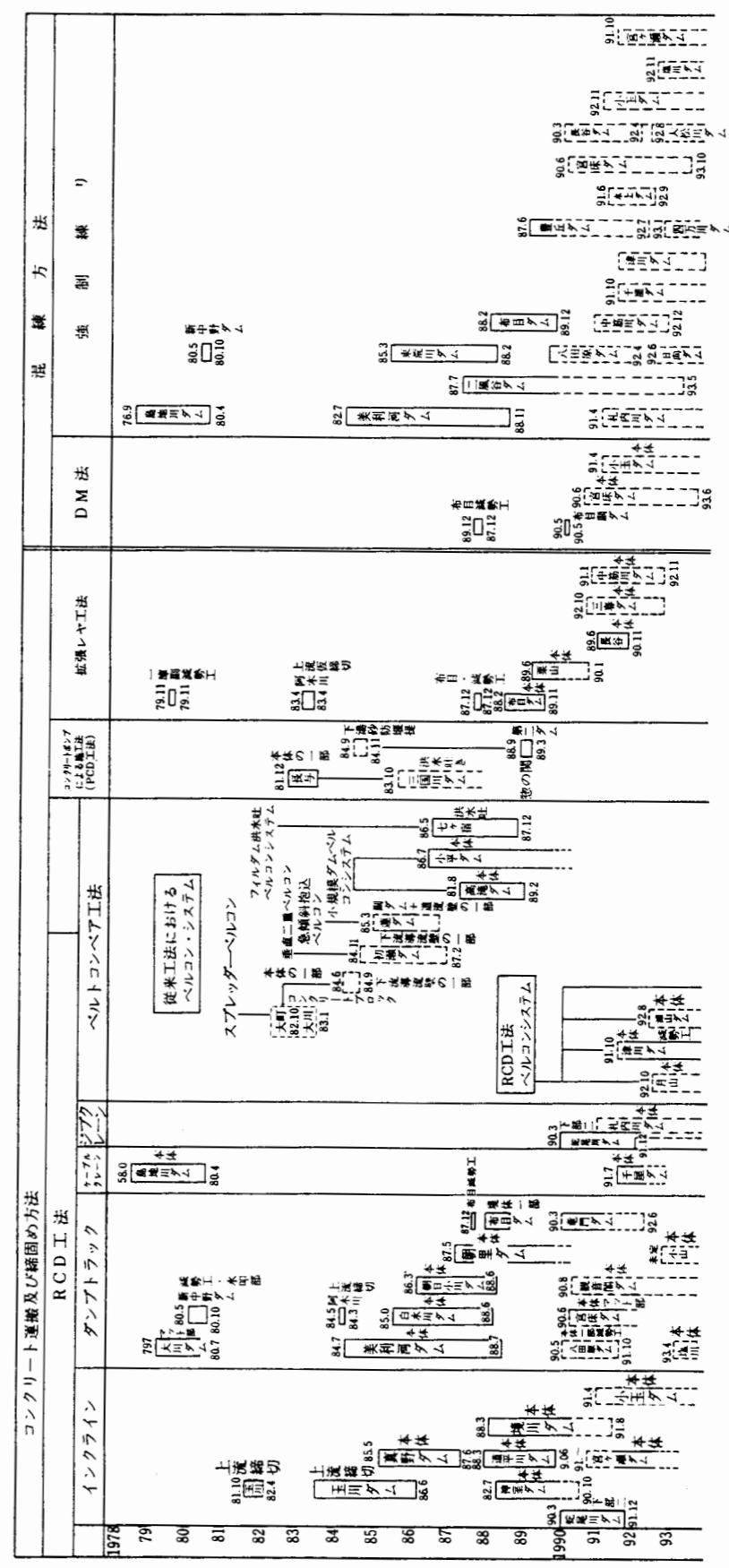


図-1 日本におけるRCD工法等コンクリートダム合理化施工の推移変遷図

### 3. コンクリートダム合理化施工の体系の中での最適骨材評価コンクリート

建設省がこれまで取り組んできたコンクリートダム建設の合理化施工の課題について、当初より考えていた次の設計、施工及び材料の三つのアプローチの視点より振り返り、RCD工法等がどの位置付けにあり、今後取り組もうとしている最適骨材評価コンクリートの位置付けがどのような展望に立つかについて述べてみたい。

#### (1) 設計法とリンクした合理化

設計法の課題としては、ダムの堤体自体のより合理的な設計体系の追究の課題、すなわちダム堤体へ作用する地震力等の外力やそれに抗する堤体や基礎岩盤の強度をどう評価し、どのような数式で表現し、安全率等、その結果をどのように考えるかという、設計体系の根幹となる課題とともに、施工法に応じたダム設計法や管理体制の省力化・合理化にマッチしたダムの設計法、補修点検の容易なダムの設計法、さらに、再開発に適したダムの設計法等の施工及び管理に主眼をおいたどちらかと言えば根幹技術をとりまく周辺技術上の課題がある。前者を縦糸だとすると後者は横糸の役割を果たすものと考えられる。これらの縦糸と横糸がうまく綾なすことによりさらに設計法の体系が確立されていくものと考えている。これまでに取り組んできたRCD工法等の合理化施工は従来の設計体系の中のものであり、従来の施工法によるダムと設計体系としては何ら代わるところがない。

しかし、今後、追求展開を進めていく最適骨材評価コンクリートの場合、築堤材料面の合理化、まずそれに合致するコンクリートの配合設計法、さらに、それによりできるコンクリートの物性を前提とした新しい考え方立った本体設計法に至るトータルとしての一連のシステム作りが必要となってくるので、これらの根幹となる縦糸と枝ぶりをつける横糸を結合する新しい発想にもとづく設計体系の確立が必要となる場合もありうる。したがって、それだけに慎重な地についての研究を積

み重ねていくことが必要である。

#### (2) 施工法の合理化

施工法の合理化には2つの方向がある。その一つは、既存の技術を組み合わせて従来の施工法を改良する施工システムの研究である。日本が世界に先駆けて、完成したRCD工法は、特にコンクリートの運搬と締固め等にできるだけ汎用機械を使用することに着目したこの方向の施工の合理化である。

もう一つは、施工設備機械の開発等による合理化である。ソ連のKrosoyarskダム等の建設工事においては、一種のコンクリート連続打設システムが採用されたが、これらは連続ミキサーの開発等によるもので、この方向の合理化に当たるるものである。なお、このような機器の開発のほか、日本が世界に誇る先端技術であるロボット技術を導入した施工の合理化等も、労働力不足に対し今後の重要な課題と考えられる。

このような視点から見ると最適骨材評価コンクリートは、特に原石の採取運搬と骨材の製造及びコンクリート製造に着目した前者の施工の合理化と位置付けられる。

#### (3) 築堤材料の合理化

築堤材料の合理化には大きく分けて次の3つの課題がある。

その一つは、設計条件に適合した品質を十分に保証した築堤材料を、いかに合理的に、むだなく、確保するかという課題である。RCD工法は、現在の設計体系の中で、まず本体設計があり、その設計条件を満足する所要の品質のコンクリートを、いかに合理的につくるかということで、セメント使用量の減少とパイプクーリングの省略等という点に着目した合理化であり、まさにこの範囲に位置付けられる。

二つ目の課題は、現地で調達可能な築堤材料を最大限に利用し、それにより造られるコンクリートの物理的性質に見合ったダム本体の設計を、いかに合理的にシステム化（体系化）するかというもので、上記の課題のちょうど、裏返しのアプローチを行い、トータルとして最適化しようとす

る課題である。最適骨材評価コンクリートのアプローチは、まさにこの範囲に位置付けられる方法である。すなわち、これまでのコンクリートは、RCD工法も含めて所要の品質のコンクリートに対する要求がまずあり、それに合致しない原石等は廃棄して骨材を製造するという過程を踏んできた。しかし、最適骨材評価コンクリートでは、まず廃棄岩を最小限にし、与えられた原石山から製造される骨材を合理的に使用して、どれだけ良い品質のコンクリートを製造することが可能かを見極めて、その品質のコンクリートの物理的性質を設計条件として本体設計を行い、トータルとしての合理化を目指すものである。すなわちコンクリートダム設計法の根幹課題にも一部リンクする可能性のあるものである。

三つの課題は、近年の技術革新に伴い、新しい技術特性を有する各種材料がおびただしく開発されていることから、それらの新材料、新技術のうちダム建設にどの程度利用できるかという課題であり、利用可能なものについて、今後積極的に導入を検討してみると必要であると考えている。

#### (4) 最適骨材評価コンクリートの位置付け

以上述べてきたことを要約すると、コンクリートダムの合理化を三つのアプローチの方向として考える場合、RCD工法は施工法の合理化が主テーマであり、設計法とリンクした合理化、築堤

材料の合理化には殆ど直接的に関与しないものであった。

一方、最適骨材評価コンクリートは築堤材料の合理化が主テーマであり、それを支援するため、設計法とリンクした合理化が副テーマとなる。また、施工法の合理化は従テーマであると位置付けられる（表-4参照）。

### 4. 新しいダムコンクリートへの研究の背景

#### (1) 経費分析による問題点所在の発掘

最近、堤体コンクリートの打設を完了した代表的な6つのコンクリートダムについて、骨材製造過程と経費の分析を行い、問題点の所在を検討してみる。

表-5に調査対象ダムにおける骨材生産に係わる諸量を示す。この結果、コンクリート単価における骨材生産関係費用の占める割合は、ダムの諸条件により大きく左右されるが、38%～64%と極めて大きい。また、表土と廃棄岩の量が全掘削量に占める割合は、26.4%～58.4%と、これも非常に大量であることが特筆される。これらのことより、今後のコンクリートダムの合理化の方向としては、骨材生産関係プロセス、その中でも特に廃棄岩の量とその経費の削減が最大の課題であることが浮かび上がってくる。

#### (2) 原石山選定と採取過程における課題

現在、ダム建設事業中のコンクリートダム約

表-4 RCD工法と最適骨材評価コンクリートの合理化における位置付け

	RCD工法	最適骨材評価コンクリート
設計にリンクした合理化	<ul style="list-style-type: none"><li>・従来のコンクリートダムの設計体系かわるところなし</li><li>・放流設備、通廊等の細部設計で若干の工夫する程度</li><li>・以上のとく基本的にテーマとしては関係なし</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・骨材（廃棄岩を含む）に合わせた最適配合設計法を確立しなければならない</li><li>・新しいコンクリートの物性に合致した本体基本設計論のシステムの確立が必要</li><li>・以上のとく築堤材料の合理化を支援する副テーマ的な形</li></ul>
施工法の合理化	<ul style="list-style-type: none"><li>・コンクリートの運搬方法と締め固め等に汎用機械の使用</li><li>・まさに、本テーマそのものである</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・原石の採取運搬、骨材の製造、コンクリートの製造に着目したもの</li><li>・中心はあくまで築堤材料の合理化であり、それを支援する従的なテーマ</li></ul>
築堤材料の合理化	<ul style="list-style-type: none"><li>・セメント使用量の減少パイプクーリングの省略程度</li><li>・以上のとく基本的にテーマとして関係なし</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・現地調達可能な築堤材料をこれまでの廃棄岩も含め最大限に利用。そのために材料の適切な評価法と設計理念の確立が不可欠</li><li>・まさに本テーマそのものである</li></ul>

表-5 骨材生産に関する実績

ダム名	A	B	C	D	E	F
施工方法	柱状工法	柱状工法	RCD工法	柱状工法	RCD, ELCM	柱状工法
原石運搬距離	ダンプ1.2km	ダンプ5.1km	ダンプ2.2km	ダンプ3.0km	ダンプ0.5km	ダンプ+ベルコン2.1km
製品運搬距離	ベルコン2.0km	ベルコン0.4km	ダンプ4.3km	ベルコン0.3km	ダンプ1.8km	ダンプ+ベルコン1.5km
原石の主たる地質	花崗岩	粗粒玄武岩	石英安山岩	片岩	粗粒花崗岩	花崗岩
骨材製品の量/全掘削量	43.9%	37.9%	49.0%	37.1%	34.8%	70.0%
表土量/全掘削量	17.1%	47.2%	27.5%	3.5%	42.1%	17.1%
廃棄岩量/全掘削量	30.2%	9.3%	16.1%	47.0%	16.3%	9.3%
骨材プラントロス量/全掘削量	8.8%	5.6%	7.5%	12.4%	6.8%	3.6%
骨材プラント規模、原石投入量	600t/h	400t/h	800t/h	343t/h	274t/h	600t/h
骨材プラント規模、骨材生産量	420t/h	300t/h	500t/h	190t/h	191t/h	380t/h
骨材プラント、貸与形式	業者持ち	官貸与	官貸与	業者持ち	業者持ち	官貸与
濁水処理方式	機械・脱水機	機械・沈澱池	機械・沈澱池	機械・脱水機	機械・沈澱池	機械・沈澱池
プラント規模	1200m³/h	800m³/h	1250m³/h	530m³/h	500m³/h	1000m³/h
コンクリート単価における骨材関係の占める割合	47%	42%	49%	64%	41%	38%

120 ダムについて、骨材の調達方法を見ると、全体の 82% のダムが原石山から骨材を採取している。また、10% のダムが河床砂礫を活用している。その他、8% のダムが購入骨材を利用している。

今後、全国の河川の諸条件から河床砂礫の採取はますます困難になってくること、また、購入骨材は府県施工の小規模なダムに限定されることに

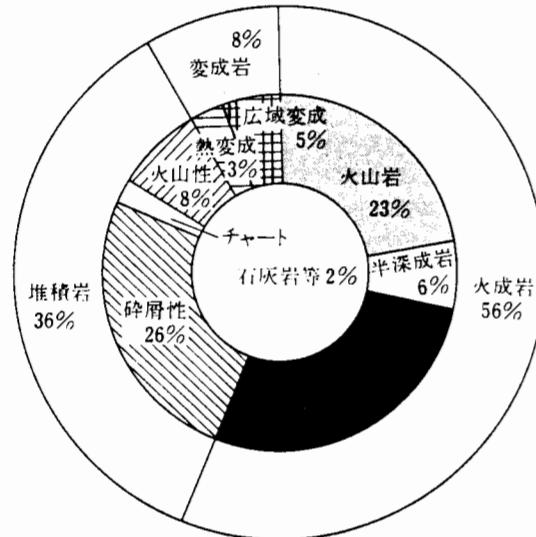


図-2 現在使用している原石山の地質区分

表-6 建設段階毎の賦存量

建設段階 数	ダム	賦存量					備考	
		現在使用している原石山(*)						
		総掘削量 (千m <sup>3</sup> )	被覆層 (千m <sup>3</sup> )	廃棄量 (千m <sup>3</sup> )	使用量 (千m <sup>3</sup> )	平均歩留 (%)		
実調	3	2 022	198	381	1 443	71.4		
建設	40	35 659	5 787	8 825	21 047	59.0		
発注	26	25 812	2 874	8 265	14 673	56.8		
合計	69	63 493	8 859	17 471	37 163	58.5		

(\*) ダム数 69 ダム (有効回答 188 ダムの 37%)  
被覆量 : 廃棄量 : 使用量 = 14 : 28 : 58

であるが使用しないで廃棄したものである。したがって全廃棄量は、被覆層の量と廃棄量との和である。表によると、被覆層の量：廃棄量：使用量は、14：28：58 ということになる。廃棄量の割合は、調査段階、建設着手段階、本体工事段階と段階を経るにしたがって増加していることから、実際の本体工事の現場では安全側をとって品質的に不安がある原石は全て廃棄処分されていると考えられる。

当初計画では使用することとしていたゾーンで  
選棄した場合の理由としては、図-3、図-4に示  
すように、

- ①割れ目周辺の風化、劣化が進んでいる。
  - ②断層破碎帯があり周辺の風化、劣化が進んでいる。
  - ③割れ目等多く細片化して、大塊の採取が不能である。
  - ④地質層序が互層で挟在層がある。
  - ⑤熱水変質等により軟質化、粘土化している。
  - ⑥岩石の品質（比重、吸水率、安定性、軟石量、偏平度等）が不良である。
  - ⑦有害鉱物を含有している。

⑧その他、工事施工計画上の制約があるとか、ゾーン境界部の採取が困難であるという理由で良質岩を廃棄している。etc  
が挙げられている。

また、当初計画段階で廃棄ゾーンの設定根拠として物性が基準値を超えていることを判断基準に挙げている場合について調べてみると、図-5に示すように吸水率、RQD（岩盤中の割れ目の多寡を表す指標）、比重、安定性損失重量等の場合が多くなっている。

現行の材料の考え方によれば、これらの品質要素のどれかを一項目だけでも満足しないだけでも安全側をとって廃棄しているのが実態である。

これらの理由で廃棄されている骨材は、最適骨材評価コンクリートの考えに立てば、その物性値を与件として評価し、これを堤体の設計条件に反映し、堤体断面等を変更するなどなんらかの工夫をすれば対応できることから、そのうち多くのものが内部コンクリートとしての利用が可能となってくるものと考えられる。

すなわち、比重の小さいことに関しては、当式、コンクリートの単位体積重量も減少すると考られるが、設計断面の変更で対応できうると考られる。

吸水率が大きい骨材の場合、過去の実験例等に

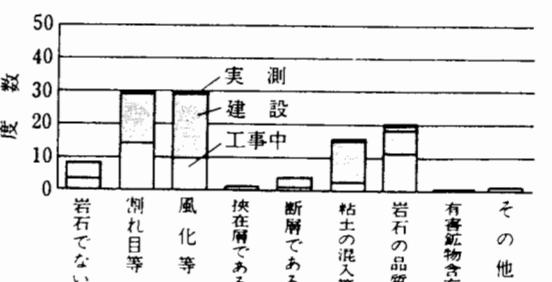


図-3 廃棄ゾーンの廃棄理由

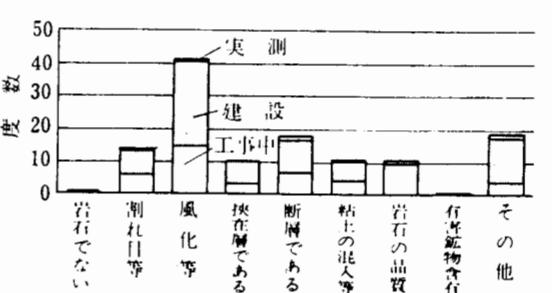


図-4 使用ゾーンの廃棄理由

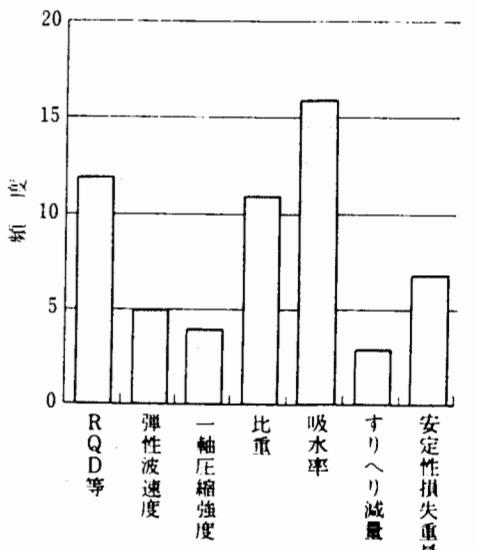


図-5 廃棄ゾーンの物性値度分布図

よれば、大きなコンクリート強度が得にくいこと、コンクリートの品質のバラツキが生じ易いこと、凍結融解等の耐久性の低いこと等が懸念される。しかし、従来のダムコンクリートが強度的には余裕のある場合が多いので、そのバラツキの範囲を少なくする工夫と、それを適正に評価すればそれなりに設計で対応できることになる。また、ダム高が大きくコンクリートが強度的に不足する場合には、設計断面の変更やゾーニング等の概念の導入により対応できる。なお凍結融解等による劣化に対する不安は、内部コンクリートに限り上記のような骨材を使用すれば、外部コンクリートには規格を満足する骨材を使用することにすれば基本的には問題にならないと考えられる。

すりへり減量については、コンクリートの練り混ぜ、運搬、転圧、締め固め時に生じる骨材の破碎状況を把握し、それがコンクリートの品質に与える影響を適正に評価する手法を工夫することにより越流部等のすりへりをうける外部コンクリート以外は問題なく設計上の対応が可能になると考えられる。

安定性試験の結果を満足しない骨材は、凍結融解等の耐久性の影響が懸念されるところであるが、耐久性が問題となる外部コンクリートと異なり外気にふれない内部コンクリートの場合には基本的には問題とならないと考えられる。

その他に骨材の形状が悪くて単位水量が増し強

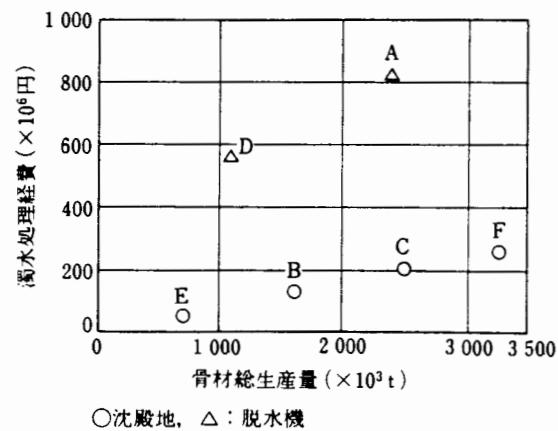


図-6 骨材生産量と濁水処理経費

度が下がるような場合もあるが、以上に述べたのと同様、骨材の性質を適正に把握することにより、それなりの工夫と適正な評価を行う設計システムが確立すれば、少なくとも内部コンクリートには問題なく使用が可能となってくるものと考えられる。そのようなトータルとしての設計施工システムが最適骨材評価コンクリートの考え方である。

### (3) 骨材製造過程における課題

従来、骨材は全て洗浄し、シルト分等微粒分を除去してから使用していた。そのため、濁水の発生といった問題や破碎骨材においては微粒分の喪失によるワーカビリチーの減少といった問題と微粒分の発生分だけ原石の廃棄量が増大するといった問題が生じていた。表-5で経費分析の対象とした6ダムについて骨材生産費の内訳を表-7に

表-7 骨材生産費内訳 (%)

ダム名	A	B	C	D	E	F
原石関係	原石採取	18.1	15.6	10.9	14.0	12.4
	原石運搬	3.8	4.1	4.1	6.0	3.2
	廃棄岩採取	7.4	8.0	7.8	12.0	10.7
	廃棄岩運搬	4.5	6.1	4.4	4.6	7.4
	廃棄岩処理	7.2	2.1	0.7	9.6	1.2
	法面処理	7.9	2.2	4.0	0.0	0.0
骨材プラント	小計	48.8	38.2	31.9	46.2	35.0
	プラント機械費	13.1	17.7	14.6	11.1	8.2
	プラント運搬費	5.3	6.9	7.9	13.7	8.9
濁水プラント	小計	18.4	24.5	22.5	24.8	17.1
	プラント機械費	4.9	1.7	0.2	3.4	1.6
	プラント運転費	1.2	0.6	1.6	2.3	0.0
	スラッジ処理費	1.5	-	-	3.5	0.0
給気給水	小計	7.6	2.3	1.9	9.2	1.6
	プラント機械費	0.7	0.7	0.0	0.5	0.6
	プラント運転費	0.6	0.3	0.2	0.3	0.0
製品骨材関係	小計	1.4	0.9	0.2	0.7	0.6
	工事用道路	6.6	10.6	14.8	1.4	6.1
直接工事費	直接工事費	1.3	16.2	4.0	0.8	10.8
	間接工事費	84.0	93.0	75.0	83.0	71.0
	総工事費	100	100	100	100	100

示す。この表より、濁水プラントで沈澱池方式のB,C,E,Fの4ダムは、濁水プラント経費はトータルの骨材製造経費の約2%であるのに比して、脱水機処理方式のA,Dの2ダムは、7.6~9.2%と実に4倍となっている。このことより脱水処理方式としては地形的に制約があっても、工夫して沈澱池を設置する方式が基本であることがわかる。また、骨材プラントロスと濁水処理経費との関係をみると、図-7のようになり、骨材プラントロス量が多くなれば、濁水処理に関わる経費が大幅に増加していることがうかがわれる。

一方、RCD用コンクリートのような貧配合コンクリートにおいては、0.15 mm未満の微粒子が、コンクリートの性質に大きく寄与していることがよく知られており、既往の実績によれば、0.15 mm未満の良質な細骨材の微粒子（石粉）が、細骨材中に、15%程度含まれると、ワーカビリチーが改良されコンクリートの品質改善効果が表われている。すなわち微粒子の効果としては、通常のダムコンクリートでも言えることであろうが、特にRCD用コンクリートでは定性的には所要のVC値を得るための単位水量を減少して圧縮強度を増進し、その結果として単位セメント量の低減を図ることである。

したがって、骨材製造過程における洗浄ロスとしてこれまで捨てられていた細骨材の微粒子を、積極的に活用することが考えられるわけである。

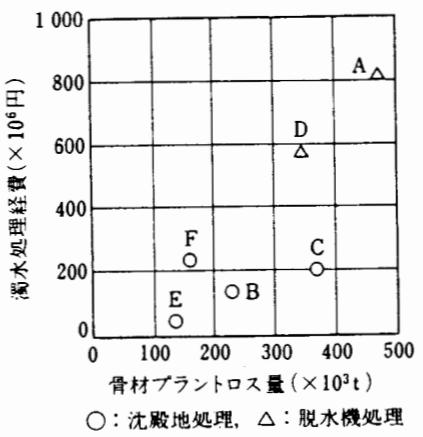


図-7 骨材プラントロス量と濁水処理経費

以上のことより、例えば骨材製造過程を乾式化すれば品質管理面では複雑になり、きめ細かな対応が要求されることとなると思われるが、濁水処理設備や給水設備の大幅な経費節減が図れるのみでなく、かつ骨材製造過程で洗浄ロスとして捨てられていた自然発生する細骨材の微粒子が有効に利用され、さらに貧配合コンクリートにおいてはその品質の改善が期待され、一石二鳥の効果が期待されることも考えられる。そこで最適骨材評価コンクリートにおいては、洗浄しない骨材をそのまま骨材試験することにより新しい評価基準に基づいて積極的に評価し利用することにより、その経済性を確立するとともに、フレッシュコンクリートの性状に著しい影響を与えることなく、活用する設計施工システムを確立することの可能性を検討してみる。

### (4) コンクリート製造過程における課題

RCD工法をはじめとするコンクリートダムの合理化施工等の研究に関連して、貧配合のダムコンクリートに関する現地における実物大実験により、コンクリートの基礎的な性質についての多くのデータの蓄積がなされてきている。そして、そのデータの蓄積から、多くの新しい有意な知見が得られている。それらのうち、コンクリートの練り混ぜ過程がコンクリートの性質に影響することが認められてきている。すなわち、コンクリートの品質が、材料や配合による要素のみでなく、コンクリートの製造方法によっても影響を受けることが、確認してきた。

その一つは、コンクリート製造ミキサーの改良が進んで従来の傾胴型ミキサーから、二軸強制練りミキサーの使用が増加してきたことである。すなわち、従来、ダムコンクリートの場合には、骨材サイズが大きく、かつ、硬練りコンクリートを使用するので、二軸強制練りミキサーは、部品の破損や摩耗が激しいこと、メンテナンスコストが傾胴型ミキサーより、はるかにかかることや、運動エネルギーがより多くかかること、粗骨材の割れ等による粒度分布の影響等から、ダム用プラントとしてはどちらかというと敬遠してきた。し

かし、二軸強制練りミキサーの改良によるいくつかの本体施工の結果<sup>3)</sup>、二軸強制練りミキサーは傾胴型ミキサーに比してブリージング量を小さく抑え、また、コンクリートの圧縮強度の向上がみられることと、長期強度の伸びも改善される結果が得られることが明らかになり、この結果、最近二軸強制ミキサーが普及してきた。なお、最適骨材評価コンクリートの場合には、骨材に割れ等の影響は多くなることが想定されるので、二軸強制ミキサーについての基礎的な研究も今後更に必要となろう。

もう一つは、練り混ぜ方法として1次水による1次練りを行い造殻効果を高め、2次水による2次練り混ぜを行う分割練り混ぜ方法、すなわち、ダブルミキシング(DM)法の出現である。この工法がコンクリートの性状に与える影響を、実験的に把握することを目的として、布目ダム減勢工<sup>4)</sup>においてダムコンクリートとして初めての試験施工を行った結果、ダムコンクリートにDM法を適用することによりコンクリートの施工性の改善と、強度などの面においても、均質なコンクリートが得られる可能性のあることが確かめられてきた。この効果は、特に均質性の問題はRCD用コンクリートのような、貧配合コンクリートでは重要な問題であり、宮床ダム、及び小玉ダムにおいて、さらに、DM法の品質改善効果をより高めるための工夫を加えていくこととしている。最適骨材評価コンクリートにおいては、このような二軸強制ミキサーやDM法あるいはそれ以外のコンクリート練り混ぜ過程の品質改善の効果も重要であり、この点に着目してより発展性のある工法としていくことを考えている。

## 5. 最適骨材評価コンクリートの考え方

### (1) 最適骨材評価コンクリートの基礎理念

従来のコンクリートダムの設計は、地形、地質及び施工方法等を踏まえて構造設計を行い、その構造に必要な所要圧縮強度を算出し、これに耐久性、ワーカビリチー等を勘案し、水セメント比、セメント使用量、細骨材率等をコンクリート試験

等を行って決定している。すなわち、現在の標準的な配合設計法により、ある程度の目安は得られるものの、基本的には試し練りあるいは試験施工により決定してきており、コンクリート材料の影響をすべて統一的に取り扱える包括的合理的な配合設計法は確立されていない。これは、フレッシュコンクリートの品質に及ぼす影響要因が多数存在しており、それらの影響を定量的に把握できず、また、コンクリートを構成する材料の品質、練り混ぜ条件が練り上がったフレッシュコンクリートの品質に及ぼす影響を、定量的に評価する試験方法が確立されていなかったためである。

細骨材の試験方法についての最近の研究の進展は著しく、①遠心力による細骨材の表面吸着水率試験方法が提案されているほか、②細骨材の水中単位容積重量試験方法を本報で提案するものである。

骨材の含水状態を評価するために、JISに規定しているものの他に、一定の大きさの遠心力を所定の時間、脱水させた後に残る水分により、元の骨材の保有水を評価する方法がある。脱水後に残る水分の評価については、研究者の間でも議論の分かれるところであるが、伊東<sup>5)</sup>はこれを細骨材

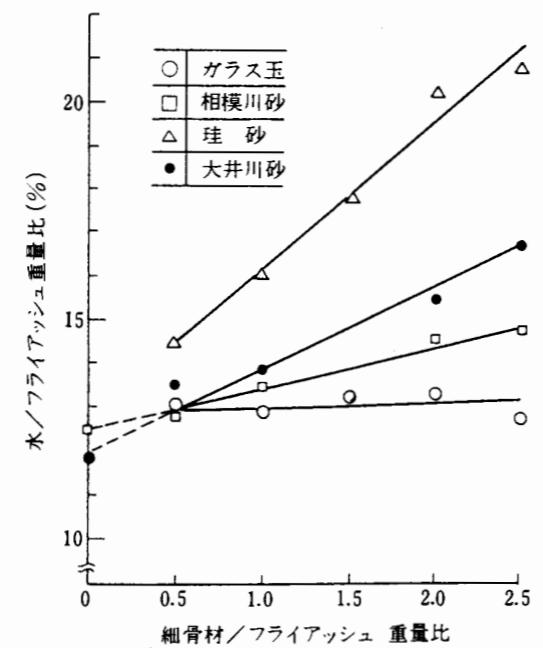


図-8 遠心力作用後の混合物中の含水率と細骨材/分散材重量比の関係(フライアッシュ)(辻、二羽、伊東、岡村<sup>5)</sup>による)

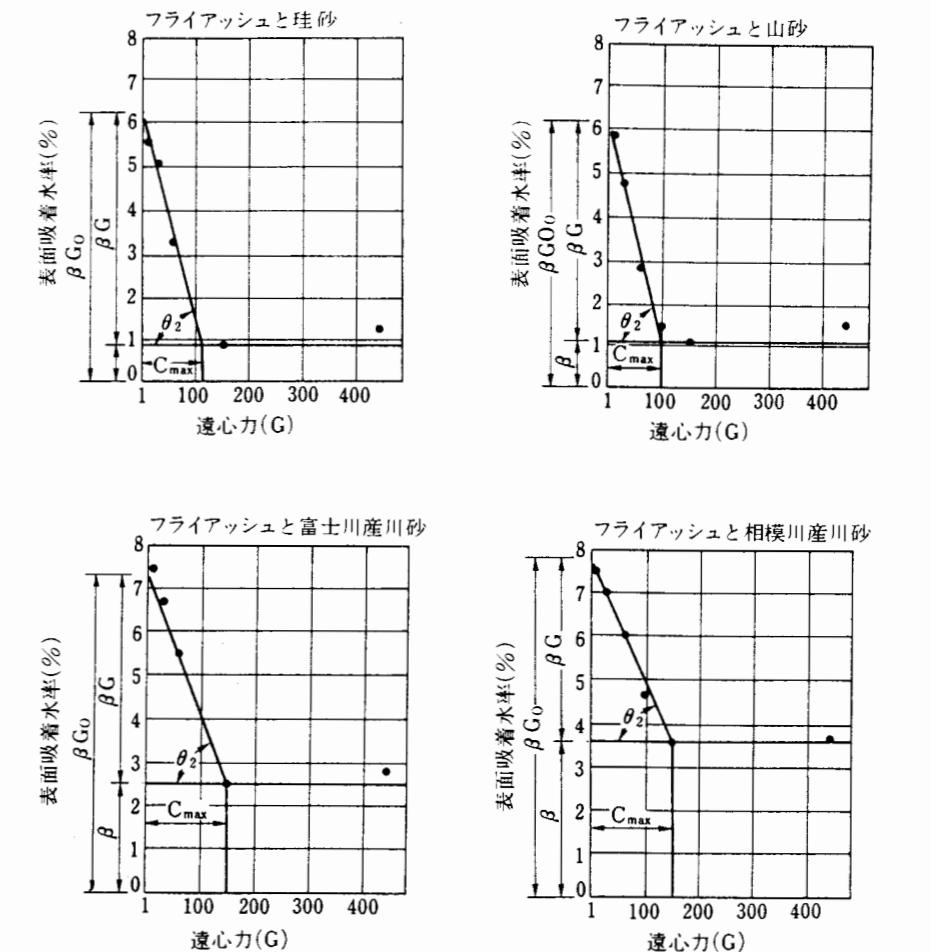


図-9 各種細骨材の表面吸着水率

の表面吸着水と定義し、これを定量的に評価し、表面吸着水を補正することにより変動の少ないコンクリートを製造できるようになった。また、吉兼ら<sup>7)</sup>は遠心脱水により表乾状態を作り出す方法を考案している。

しかし、これらの方法は水と細骨材の混合物を試料とするため、細骨材の粒子の接触している部分に存在する接觸水も含めており、細骨材に拘束されている水の物理的意味合いが不十分であった。これらの影響を取り除くために、辻、二羽、伊東、岡村<sup>5)</sup>は、細骨材よりもさらに粒度の細かい粉体を分散材として用いる遠心力試験の方法を提案し、保有水率の概念を提示した。すなわち、①の方法は、少なくとも2種類の細骨材、分散材重量比のモルタルについて、所要の回転数と時間で遠心力を作用させた後の分散材の含水率を求

め、図-8のように座標軸をとって試験値をプロットした直線の勾配を細骨材の吸着水率と定義して、細骨材の表面形状及び表面吸着水の拘束状態を試験する方法である。このようにして求めた

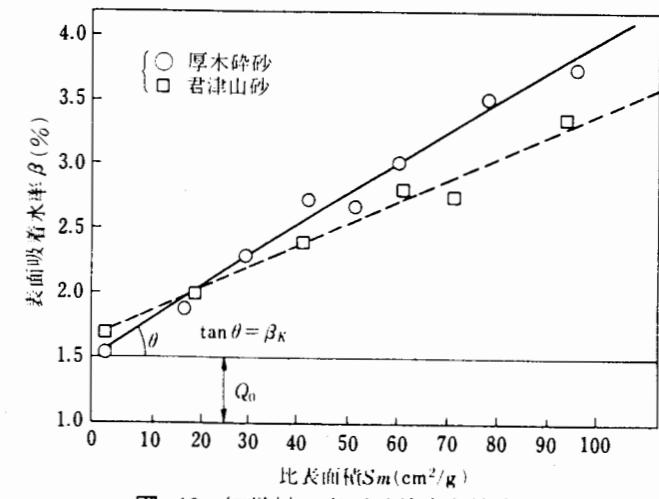


図-10 細骨材の表面吸着水と比表面積

吸着水率  $\beta$  と回転数を変えて得た遠心力の大きさとの関係を求めると、図-9 の例のように、細骨材の種類ごとに異なることを示すことができる。また、ある細骨材について篩分けを行い、数種の粒度に分類したものについて、吸着水率  $\beta$  を求めると、 $\beta$  は細骨材の比表面積に比例するとともに、直線が縦軸を切る値（比表面積が零）は、その細骨材固有の吸水率を示し、これを細骨材の開孔内部吸水率と称している（図-10 参照）。すなわち、吸着水率  $\beta$  と比表面積  $S_m$  の間には線形関係が存在し、この直線式の勾配は細骨材の形状係数  $\beta k$  を、また Y 切片（比表面積 0 での）は開孔内部吸水率  $Q_0$  を表す。従って、 $\beta$  と比表面積  $S_m$  の関係式は次式のように表せる。

$$\beta = Q_0 + \beta \lim = Q_0 + \beta k \times S_m$$

ここに  $\beta \lim$  : 表面吸着水率

すなわち、吸着水率  $\beta$  は JIS の吸水率に対応する水と、細骨材の表面に吸着している水に分けることができる。

次に②の方法である細骨材の単位容積重量試験は、一般に絶乾状態のものについて行っているが、これを水中で行うと容器中の充填が良くなり、大きな値を得ることが明らかになった。例えば、細骨材のモデルをガラス球とした単位容積重

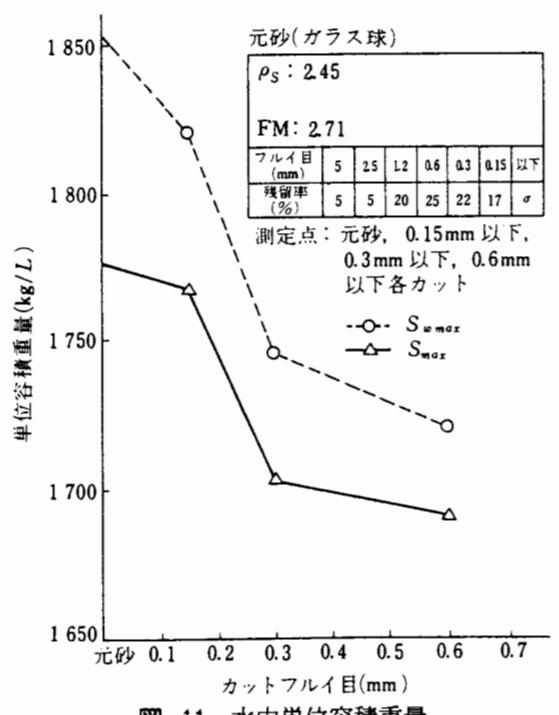


図-11 水中単位容積重量

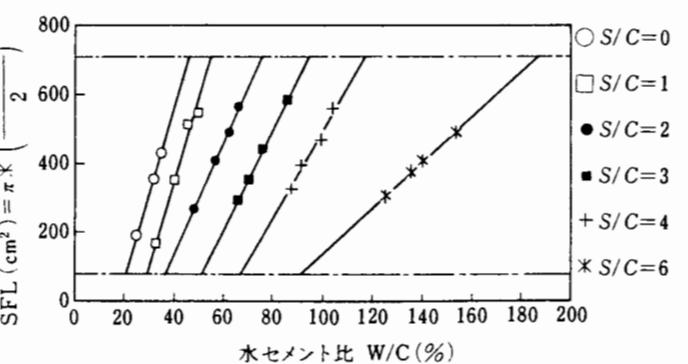


図-12 川砂の W/C と SFL の関係

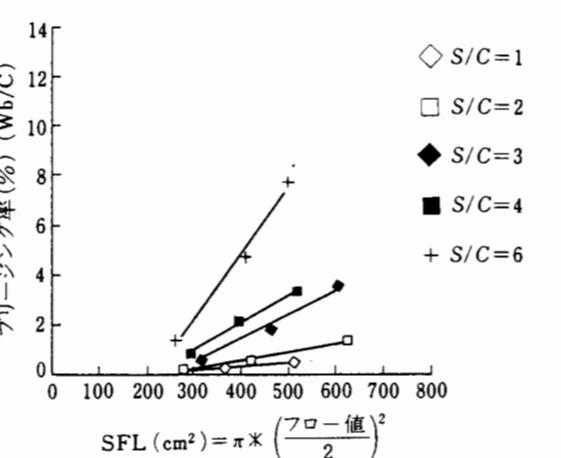


図-13 中庸 + F セメント、山砂モルタルの SFL とブリージング (Wb/c) の関係

量試験の方法を示すと、まず、粒径 5 mm～0.074 mm のガラス球を粒度調整し、コンクリート標準示方書（土木学会編）に定める標準粒度のほぼ中央になるようにし、JIS A 1104 に規定する単位容積重量試験を行い、単位容積重量  $S_{max}$  を求める。次に、水中単位容積重量試験により水中単位容積重量  $S_{w\max}$  を求める。即ち、絶乾状態にした試料を水中に静かに入れ、木槌で容器の周囲を叩き細骨材に巻き込まれた空気の泡を追い出し、最密状態を作り出し、測定するものである。図-11 は、各フルイに留まる粒子のうちで、どの範囲の粒子が  $S_{max}$  と  $S_{w\max}$  の差に影響するかを調べるために、元の粒度のガラス粒から、0.15 mm 以下、0.3 mm 以下、0.6 以下を順次カットした場合のガラス球について各単位容積重量を測定し、横軸にカットフルイ目、縦軸に単位容積重量をとり、 $S_{max}$  と  $S_{w\max}$  の関係を比較したもの

である。これによると明らかに  $S_{w\max}$  の方が  $S_{max}$  より大きく、また、ほぼ 0.3 mm の粒子量が最密充填に大きく影響しているのが判る。水中単位容積重量試験の試験方法は、実際のコンクリート中の細骨材の充填により近いものであり、特に RCD コンクリートの場合には重要な物性値となることが考えられるのである。そして、水中単位容積重量と、JIS で規定された通常の絶乾状態による単位体積重量の差は、細骨材の空隙に微粒分が充填された度合いの差と考えられる。これらの試験方法を JIS の方法と併用することにより、細骨材の品質に関するより優れた情報を得ることができるようになった。

その他の最近の研究<sup>6), 8), 9)</sup>により、①細骨材の初期表面水量の変化、②材料の投入、練り混ぜの順序、③ミキサーの機種、④練り混ぜエネルギー、⑤セメント等の材料の種類、セメント工場のロットによる変動等がフレッシュコンクリートの品質に及ぼす影響を定量的に評価することが可能となった。さらに、フレッシュペースト、モルタル及びコンクリートの配合と流動性の関係につ

いて新たに次のような知見が得られた。

1) ペーストおよびモルタルのフロー値の 2 乗は、水セメント比  $W/C$  に比例する。かつ、この線形関係は細骨材セメント比 ( $S/C$ ) 一定の下において法則性を有する（図-12）。

2) ペースト及びモルタルのブリージング率はフロー値の 2 乗に比例する（図-13）。

また、コンクリート構成材料の中で、フレッシュコンクリートの品質に影響が大きいと思われる細骨材の特性を定量的に評価できる試験方法が提案されたおり（例えば細骨材に対する粉体を媒体とした遠心力試験方法等）<sup>1)</sup>、これらを基に特に細骨材の特性を把握することにより、一定の骨材量/セメント量 ( $S/C$ ) と要求される流動性にたいして最小水量となる配合を予測できる。また、一定の水セメント比 ( $W/C$ ) と要求される流動性にたいして最小セメント量となる配合も予測できる。

すなわち、骨材が与えられるとそれに適合するセメントが選定でき、さらに骨材とセメントが与えられると、それらから得られる最小水量、最小セメント量のコンクリートが求められる。すなわち、与件とする骨材に対し、この最小水量、最小セメント量のコンクリートが骨材最適評価コンクリートなのである。これらの関係を表す等フローモルタルの配合状態図は、与えられた骨材の遠心力試験とフロー試験を行えば簡単に理論的に求めることが可能である。

すなわち、図-12 に示すように数種類の  $S/C$  と  $W/C$  を変化させたモルタルのフロー試験を行うことにより、等流動を示す  $W/C$  と  $S/C$  の関係が二次式として精度良く求めることが可能である。この関係から、等流動配合を求めることができた。

配合状態図は細骨材の粒子間隔であるゆるみ率を横軸とし、細骨材、セメント、水の絶対容積を縦軸としている。

骨材のゆるみ率:  $\Psi = (1 - S/S_{w\max}) \times 100$

セメントの容積量:  $C_v = C/\rho_c$

細骨材の容積量:  $S_v = S/\rho_s$

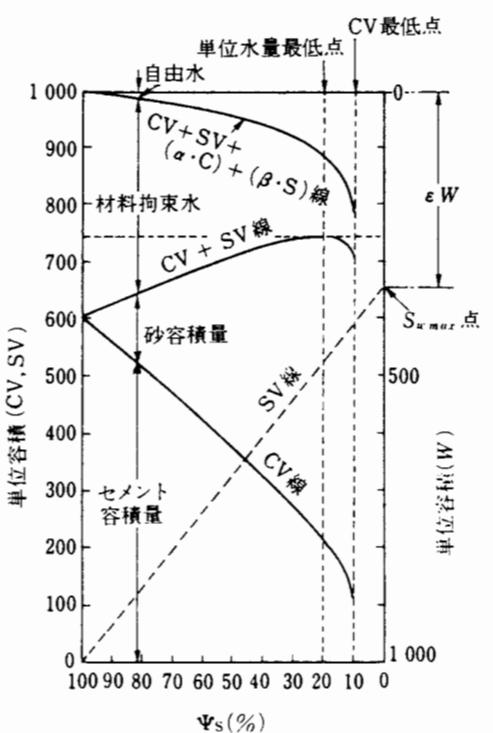


図-14 川砂モルタルに於ける等フロー値 130 mm の場合の配合状態図

ここに,  $S$ : 単位細骨材重量,  
 $C$ : 単位セメント重量  
 $S_{w\ max}$ : 細骨材の水中単位容積重量  
 $\rho_c$ : セメントの見かけ比重  
 $\rho_s$ : 細骨材の見かけ比重

配合状態図は、コンクリートを構成する水、セメント、骨材の物理的な関係を示すものといえる。配合状態図の一例を図-14に示す。

この図は、フロー値 130 mm を示すモルタルの配合状態図であり、 $\Psi=100$ 、すなわち  $S=0$ においてペーストのみでフロー値 130 mm を与えるセメント容積量を示すペースト点が存在することが判る。

一方、 $\Psi=0$ 、すなわち細骨材が最充填された状態を示す  $S_{w\ max}$  点との間を  $\Psi$  は  $S$  の関数として直線的に変化するが、 $\Psi$  が 0 から 100 までの間の等フロー値 130 mm を示すモルタルのセメント容積量  $C_s$ 、細骨材容積量  $S_s$ 、水量の関係が表されている。図中  $\alpha$  はセメントの拘束する水率、 $\beta$  は前出の細骨材の拘束する水率を表し、 $\varepsilon_w$  は細骨材を水中で最密になる様に充填した時の空隙量を示している。従って、 $C_s + S_s + \alpha \times C + \beta \times S$  は、セメント、細骨材の量、及び材料の拘束する水の容量の合計を表し、この線より上方の容積は自由水の容積を示している。

このモルタルの配合状態図は、各材料の特性値に基づくものであるから、遠心力試験等による使用材料固有の特性値が明らかになれば、モルタルの実験を行わなくとも、所定の流動性を持つ等流動モルタルの配合予測値が得られる。

## (2) 配合方法の考え方

フレッシュコンクリートは、セメント、細骨材、粗骨材、水、空気からなる混合相である。すなわち、固体、液体、気体の 3 相が互いに関連をもって存在しており、たとえば、水についてはセメントと骨材に拘束されている水と、それ以外の自由水が存在し、これらを十分考慮したコンクリートが最適配合コンクリートといえる。すなわち、配合設計を行うに当たり、細骨材の遠心力試験を実施し骨材の固有の吸着水率を得た上で、フ

ローテストを数種類実施することにより、配合状態図が描ける。

配合状態図には、等フロー値のモルタルのセメント、細骨材、水の容積量が示されており、この図から等フローを示すモルタルの最小セメント量、最小水量が得られる。

### (3) 設計法の考え方

前節で述べたように、骨材ごとにコンシスティンシ（フロー値）とセメント量、細骨材量、水量の関係が明らかになった。そこで、骨材が与えられた場合、必要コンシスティンシとセメント量に対する水セメント比  $W/C$  が一意的に決定できる。

一方、 $W/C$  と強度の関係が、線形であることを考慮すると、必要コンシスティンシとセメント量が与えられると強度が予測できることになる。逆に、骨材が与えられた場合、必要コンシスティンシと必要強度（すなわち水セメント比）から一意的に必要セメント量を決定できることとなる。ちなみに、RCD 用コンクリートのモルタルは、フロー値が 130 mm 程度、セメント使用量が最小のコンクリートと位置付けられる。

この配合設計法によると、従来行われていた試し練りといった工程が大幅に減少することができる。すなわち、骨材の物性値についての試験を十分行った場合、試し練りなしで必要なセメント量あるいは必要強度を一意的に決定できる。これらの試験は、骨材が変化するたび、すなわち原石山が変わったり、同一の原石山でも岩種の変化するたびに実施する必要はあるが、一度行うと計算のみで設計できるメリットがある。

以上述べたように、本システムでは事前に骨材の物性値の把握を十分行っておくと、示方配合はむろん現場配合に対しても試し練りなしで決定できる。すなわち、遠心力試験により骨材の吸着水量の把握とフロー試験により配合状態図を用意しておけばよく、補足として実施しなければならない現場での試し練りは大幅に減じることが可能となる。

### (4) 設計及び施工システムの考え方

従来、廃棄岩とされていた原石をできるだけ使

用することを前提とした配合設計方法を用いて、ここで新しくダムの設計、施工システムを提案する。

#### i) 設計施工システム

(イ) 骨材の選別・製造及び貯蔵 原石山での採取のさい、外部コンクリート用の骨材（以下「骨材 I」という）と内部コンクリート用の骨材（外部コンクリート用の骨材より性状において劣り、従来は廃棄していたが、本方法により使用可能となる骨材（以下「骨材 II」という））に選別し、製造し、貯蔵する。

(ロ) 骨材の試験 骨材 I 及び骨材 II それぞれについて、JIS 試験及び遠心力による表面水率等骨材の特性値を示す試験を実施する。（この試験は、原石山が変わらなければ、当初一度だけ実施すればよい。）

また、セメントと骨材 I、骨材 II によるモルタルについてフロー試験、強度試験等を実施する。

(ハ) 最適骨材評価コンクリート配合状態図の作成 上記の試験により、コンクリートを構成している水、セメント、骨材の物理的な配合を示す最適骨材評価コンクリートの配合状態図を作成する。

(ニ) 骨材から決まる強度とセメント量 配合状態図より、骨材 I 及び骨材 II について最小水使用量（最大強度）、最小セメント量等を求める。

(ホ) 堤体設計 骨材 I、骨材 II について、それぞれ求められた最大強度及び最小セメント量を用いて合理的な堤体断面となるよう堤体設計を行う。

#### ii) 本施工法における問題点

(イ) 原石山での選別採取 骨材 I、骨材 II について選別するため現場での管理にこれまで以上の手間がかかるのではないかという心配があるが、選別基準を充実させることにより十分対処できるものと考える。

(ロ) 骨材プラントの二系列化 少なくとも、ストックパイルまたは、骨材貯蔵ビンは骨材 I、骨材 II について分離することが必要である。クラッシャーまたは、ロッドミル等については、

堤体コンクリート体積が小さいものは、当然兼用可能であるし、また、堤体積がある程度以上になれば、これまでも二系列化する方法が合理的であったし、二系列化した方が誤混入防止の意味からも望ましい。

(ハ) バッチャープラントの骨材ビンの二系列化 プラント上部の骨材ビンについては、ミキシングのサイクルタイムを短縮するために、二系列化する必要があると考えられる。

## 6. ダムコンクリートの長期強度の評価

### (1) 設計に用いる強度の考え方

ダム建設事業において、本体コンクリート打設に要する期間は、そのボリュームと堤高の大きさゆえに、他の構造物のコンクリート打設に比べ一般に長く、数年に及ぶことが通例である。そして実際の設計荷重が負荷として堤体に作用するのは堤体打設を完了し、試験湛水で満水位に達した時となるため、打設完了から 1~2 年後となる。また、堤体コンクリートの中で最も強度を必要とするのは堤趾部であり、また、この部分はコンクリート打設の初期に打設される部分である。したがって、堤体コンクリートの中で最も長期間の養生期間を確保できる部分が、最も強度を必要とする部分だといえる。

一般論として、高炉セメントを含むダム用コンクリートの長期強度の伸びが著しいことはよく知られているところである。また最近、フライアッシュを多量に含むダムコンクリートが多くなってきたが、こういったコンクリートの長期強度の伸びは著しい。これは、ダムのようなマスコンクリートの内部では養生条件が良く、強度の発現が他の構造物に比して良好であることが考えられる。

一方、従来からの設計法では、材令 91 日強度でもって判断しているが、上述のような事情を勘案するとダムコンクリートの実質的な安全率はかなり高いものになっていることが考えられる。このようなことにより、さらに長期の強度を設計基準強度として用いることも可能であると考えられ

表-8 配合ケース一覧表（山口ら<sup>10</sup>による）

実験シリーズ	配合		スランプ(cm)	空気量(%)	W/C+F(%)	F/C+F(%)	s/a(%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )			
	名称	記号						W	C+F	S	G
A	A-1	○	3±1	3±1	84	0	26	117	140	562	1620
	A-2	●	"	"	81	30	26	113	140	562	1617
	A-3	●	"	"	79	35	26	111	140	563	1620
	A-4	●	"	"	76	40	26	107	140	565	1627
	A-5	◎	"	"	72 (56)	30 (46)	26 (24)	101	140 (181)	559 (518)	1643
	A-6	◎	"	"	69 (45)	30 (54)	26 (23)	96	140 (212)	555 (483)	1653
B	B-1	■	"	"	85	35	26	111	130	565	1627
	B-2	△	"	"	62	35	25	111	180	532	1624
	B-3	○	"	"	56	35	25	111	200	527	1600

注) 1 A-5配合は、細骨材の微粒分(0.15 mm未満)の50%をフライアッシュで置換したものである。

2 A-6配合は、細骨材の微粒分(0.15 mm未満)の100%をフライアッシュで置換したものである。

3 A-5, A-6配合の( )内の数字は、フライアッシュの置換分を結合材の一部とみなした場合の値である。

表-9 試験結果一覧表（山口ら<sup>10</sup>による）

材令(日)	配合	Aシリーズ						Bシリーズ			
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	
圧縮強度	kgf/cm <sup>2</sup>	7	79.0	44.5	44.4	43.2	71.6	78.3	42.3	67.9	97.8
		28	123	79.5	74.6	75.0	115	129	64.2	117	156
		91	178	157	144	138	225	231	127	209	275
		182	189	212	198	181	283	308	168	262	332
		365	190	241	252	242	341	360	222	327	391
動弾性係数	×10 <sup>4</sup> kgf/cm <sup>2</sup>	7	2.63	2.37	2.15	1.98	2.38	2.71	1.90	2.35	2.63
		28	3.34	3.06	2.53	2.99	3.64	3.45	2.91	3.05	3.75
		91	3.55	3.91	3.55	3.55	3.77	3.78	3.34	3.60	3.85
		182	3.74	3.75	3.78	3.68	4.02	4.09	3.66	3.78	4.05
		365	3.63	4.00	3.98	4.02	4.20	4.26	4.02	4.06	4.17

る。

また、最近の研究ではセメント量の少ないコンクリートの方が、セメント量の多いコンクリートより91日強度に比べた長期強度の伸び率が、大きいとの知見を得ている。また、従来の普通ポルトランドセメントを用いたダム用コンクリートの長期強度及びフライアッシュを多量に含むセメントを用いたダムコンクリートの長期強度とそれぞれの91日強度との伸び率を比較すると、後者の方が大きい。これらの傾向は、水中コンクリートあるいはマスコンクリートでは顕著であり、確実に期待できるが、一方乾湿の繰り返しの激しいコンクリート、あるいは、薄いスラブのような断面の小さいコンクリートでは、他の要因による強度

の伸び率の低下により、これらの傾向を確実に期待することは難しい。

現在のコンクリートダムの設計において、コンクリートの圧縮強度は十分余裕のある場合が多いため、これらの研究は十分に行われているとは言い難いが、単位セメント量の小さなマスコンクリートにおいては、長期強度の伸びが著しく、また、確実な養生が行われていること、そして実際に設計荷重が負荷として作用するまでには、間違なく数年は経過していることから、ダムコンクリートの設計基準強度は材令91日強度から365日強度等に、変更することが可能と考える。

米国の開拓局等では、既にダムコンクリートの設計基準強度は365日強度を採用している。91日

リートは、養生条件が良く他の構造物に比して長期強度の伸びが良いことが知られているところである。特にフライアッシュ高含有コンクリートについての長期強度の伸びの著しいことは着目したいとする。

フライアッシュをセメントに混入することにより、ワーカビリチーの改善や単位水量の減少が可能となることについての研究のほか、長期強度の伸びについての研究も従来からなされている。

山口ら<sup>9</sup>は結合材量を一定にして、フライアッシュの混入率を変化させた試験、フライアッシュの混入率を一定にして結合材量を変化させた試験等を実施し、「硬化コンクリートにおける相当長期にわたる強度増進に顕著な効果があること」を確認している。すなわち表-8～表-9、図-15に示すように、フライアッシュ混入率が30～40%のコンクリートでは、91日強度に比べ365日強

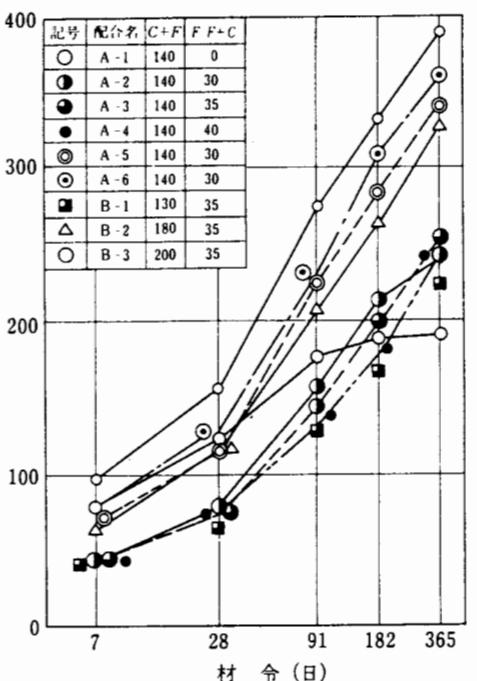
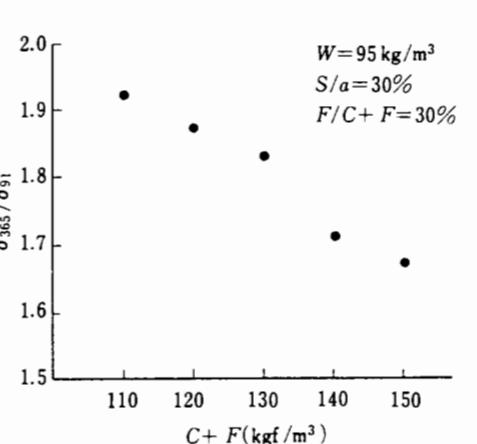
図-15 圧縮強度試験結果（山口ら<sup>10</sup>による）

図-16 単位セメント量と長期強度の伸び

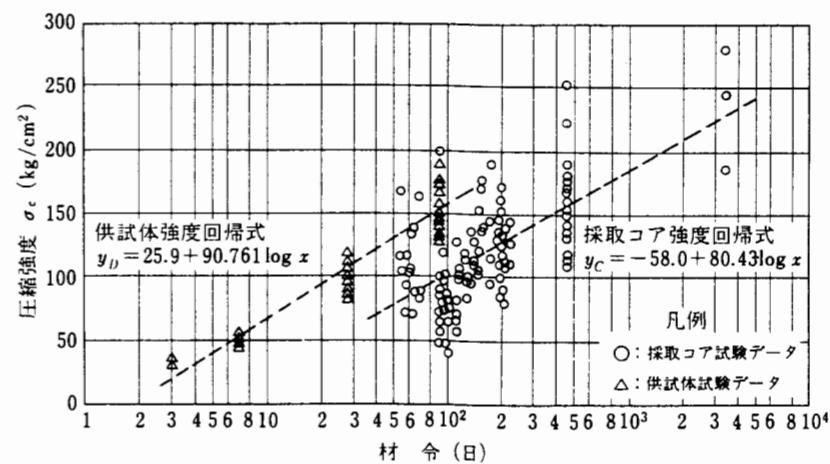


図-17 圧縮強度-材令 (指數回帰計算)

強度から365日強度に変更することにより、これまで強度不足として使用できず廃棄岩としていた骨材の最適範囲も大幅に拡大すること、特にコンクリートダムの合理化施工として取り組んできたRCD工法やこれからの取り組みに大きな発展が期待される最適骨材評価コンクリートにとって、その適用の範囲を大幅に増やすことになるとを考える。

## (2) 長期強度試験

ダムのようなマスコンクリートの内部コンク

度は1.5～1.7倍程度の伸びを示している。

Mダムでも同様の試験がなされており、その結果を図-16に示す。これによると、365日強度と91日強度の比は、セメント量が少ないとほど大きく、RCD工法で用いるような単位セメント量が少なく、フライアッシュを比較的多く含むコンクリートでは長期強度の大きな伸びを期待できることが判る。

また、Oダムの減勢工のRCDコンクリートのコア採取を実施し長期強度を測定した結果を図

-17に示す。これによると、打設後9年4月後のコアー圧縮強度と91日コアーの強度の比は、約2.2倍となっている。

そのほかいくつかのダムでも長期強度のデータが測定されており、いずれも伸び率が大きいとの報告がある。今後はデータ数を増やし、設計基準強度の材令を91日から、大幅に増加させる検討が急がれる。

## 7. 最適骨材評価コンクリートの意義と今後の研究課題

### (1) 最適骨材評価コンクリートの意義

これまで述べてきたように、最適骨材評価コンクリートは、これまで止むをえず廃棄岩、すなわち不要なものとして土捨場に捨てられていたものを、観点を変えて有用な築堤材料として設計で評価しようとするものである。コンクリートダムに最適骨材評価コンクリートを導入することにより、コンクリートダムの合理化に大きく寄与することを目指すことで最適骨材評価コンクリートの意義は誠に大きいものがある。それらを列挙してみると、

#### i) 環境保全に資する

原石山の全掘削量の減少により、原石山及び土捨場用地の大幅な減少となり、自然改変面積の削減に資する。

#### ii) 省エネルギーに資する

トータルな土工工事量の大幅な減少により、土工機械の作業時間の減少から油脂量、ダイナミクト、使用電気量の大幅な減少が期待され、省エネルギーに資する。

#### iii) 必要な用地の大幅な削減に資する

日本のような国土の狭小な国において、最小限の用地で目的を達することは何よりの意義深いことである。

ダム建設においては貯水池面積は、必要最小限止むを得ないとしても、原石山、土捨場等の工事用の面積をできるだけ少なくすることは非常に意義が大きい。

#### iv) 原石山法面の減少により安全管理に資する

昨今、原石山掘削量の増加により、長大法面の出現を余儀なくされ、その法面の緑化のみならず、その安定化がダム貯水池管理と共に重大な課題となってきた。

原石山掘削量の大幅な減少により長大法面の削減が期待でき、工事中の安全管理のみならず、将来における安全環境管理上非常に望ましいことである。

#### v) トータルとして経費の削減に資する。

以上のように、数々のメリットにより、工事費のみならず管理費や用地費等トータルな経費の削減に資する。

#### vi) 最適骨材評価コンクリートの他の構造物への適用範囲の拡大が期待される

最適骨材評価コンクリートのコンクリート配合設計法の考え方は、ダムの内部コンクリートのみでなく、一般のマスコンクリートや耐久性の問題が少ないコンクリートにも当然あてはまるので、その適用範囲は極めて大きい。

#### vii) コンクリートの包括的配合設計論の確立に資する

与件の骨材に対する配合状態図を作成することにより、コンクリートの配合設計を包括的、合理的に決定することが可能となる。

### (2) 最適骨材評価コンクリート確立に向けての今後の研究課題

以上のように、最適骨材評価コンクリートは数々のメリットと意義が考えられ、本工法実現の端緒となる技術論が出来つつあるが、更に確固たる体系の確立に至るまでには、今後解決していくなければならない数多くの研究課題がある。それらを整理すれば、

#### i) 廃棄岩のうち最適骨材評価コンクリートでどこまで使用するのが適当かについてのあらたな基準作成の課題

現実に廃棄されている岩については、4-2で記述したように図-4、図-5の理由と図-3で示したような物性値の不適により廃棄されている。実際の問題として最適骨材評価コンクリートではどこまでのものを使用の対象とするかの検討と、それ

を可能ならしめる原石山での採取・廃棄施工システムの確立が重要な課題である。

廃棄理由を図-3～5と違って別の視点より分類すると、

#### (イ) 基準値をわずかに満足していないもの。

多くの人が使用してもあまり問題ないと思っているもの。

ex, 凍結融解試験結果、動弾性係数が55%(<60%)である岩石

#### (ロ) 基準値を満足せず、多くの人が使えるかどうかの判断に迷っているもの。

ex, ローモンタイトがマトリックスとして2～3%含まれる岩石

(ハ) 岩石としては良好であるが、片平になり、大玉が得られないため原石の候補から除外しているもの

ex, ◎摺曲地帯のチャートやスレートで大玉がとれず、細かく碎かれたり、片平になったりするもの

◎大玉が得られない河床砂利

#### (二) 岩としては良好であるが、一部不良材料が混入するもの

ex, 挾在層、断層、シーム等が挟在し、混入するため、分別に手間がかかり廃棄している岩

#### (ホ) 基準値を満足せず多くの人が使用できないと思っているもの。

ex, スレーキングやスウェーリングを起こすような軟岩

以上のようにいろいろ廃棄岩があるが、どれまでを使用できる岩とするかによっては、最適骨材評価コンクリートの全体システム構築が大きく異なってくるものと考えている。

#### ii) 廃棄岩を使用する場合の骨材の品質のバラツキの評価の課題

廃棄岩を大幅に取り入れることにより骨材品質のバラツキが大きくなると予想される、平均値を採用するべきか、統計学上の信頼限界値である最低値を採用するべきか、議論の分かれ目であろう。バラツキの指標として変動係数で評価する場

合、変動係数の増減により設計基準強度をいかに設定するか、また、その時の安全率はいかにあるべきかの一連の理論体系を打ち立てねばならない。その場合、当然のことながら現行の設計体系との整合性を図る必要がある。

#### iii) 均質弾性の仮定でよいかの検証

現行のコンクリートダムの設計理念は、均質な弾性体として設計した応力に抗する材料の設計基準強度を決めている。RCD工法においても、このことは例外ではない。

しかし、最適骨材評価コンクリートによれば内部コンクリートは、外部コンクリートと有意な強度の差が生じる可能性も考えられる。

この場合、厳密に解析すれば弾性係数の大きな部分に応力分布が集中することになる。

最適骨材評価コンクリートの場合、実用的にこのような応力集中を考慮に入れた構造解析することの必要性の有無を検証しておかなければならない。

検証の結果、応力集中を考慮に入れた構造解析法を導入する必要がある。

#### iv) 内部コンクリートの所要品質の検証

これまでのダムコンクリートの風化に関する調査では、外部コンクリートが2～3mに対し、温度、湿度変化や凍結融解による劣化はせいぜい15cm程度であることにより、耐久性、水密性は外部コンクリートで十分確保できるので、内部コンクリートは強度及び、比重のみを考えれば良いとして検討してきたが、本当にそれで良いのかという検証が必要である。

内部コンクリートの構造的クラックの発生や継目からのシリカ分の溶解等が見うけられることより、最適骨材評価コンクリートの着手にあたっては、内部コンクリートの具備しなければならない必要十分条件を外部コンクリートの条件と比較しながら再確認する必要がある。

#### v) コンクリート理論の再整理

従来から配合設計で用いられる水セメント比とコンクリート強度との関係は、モルタルの強度の方が骨材の強度より小さく、コンクリートの破壊

はモルタル内かモルタルと骨材の境界で生じるとの前提で成立している。従来の廃棄岩を用いる本システムでは、このような従来当然と考えていた理論が、同様に成立するのかどうかということを、確認する必要がある。

#### vi) コンクリートの経時変化に対する予測技術

フレッシュコンクリートの性状は、温度、湿度、経時時間により変化することは、RCDコンクリートのVC値のロスやコンクリートのスランプのロス等からも知られている。

本システムでは、練り上がり直後のフレッシュコンクリートの性状を予測できるが、練り上がり後放置されたコンクリートの性状まで予測でき打設地点でのコンクリートの性状を予測するという観点から、コンクリートの経時変化を取り込んだシステムに発展させる必要がある。

#### vii) 最適骨材評価コンクリートによるコンクリートの基本的物性的性状把握のための基礎データの集積

最適骨材評価コンクリートの配合設計理念は、骨材等の材料の特性値を徹底的に分析することにより理論的に配合設計をしようとするものであり、従来のコンクリート、RCD用コンクリート他、全てのコンクリートを包括的に取り扱うことのできるものである。したがって、多くの材料による数多くの実験を行い、コンクリートに関する基本的物性的性状把握のための基礎データの集積が、ますなによりも重要である。

#### viii) 最適骨材評価コンクリートを用いた構造物の一連のトータル設計システムの確立

与件とする骨材に対する配合状態図の作成により最適骨材評価コンクリートの最適配合等が定まるが、さらに堤体断面設計等にどのように適用し反映させるかという一連のシステムの確立が必要である。

#### ix) 骨材貯蔵コンクリート製造プラント関係等の施工最適システムの確立

基本的には骨材貯蔵パイルを、外部コンクリート用と内部コンクリート用の2系列化にすることは最小限必要と考えられるが、その施工システム

を出来るだけ最少限にする工夫が必要である。

#### x) 多様な骨材に適合する多種類のセメントメニューの拡大

これまでの研究の結果、骨材によって、よく適合するセメントとあまり適合しないセメントが存在することが判明してきた。最適骨材評価コンクリートを発展させるためには、多様な骨材に最も適合するセメントメニューの拡大が重要であると考える。

#### xi) 最適骨材評価コンクリートのための新しい試験方法の開発

適正かつ迅速な試験方法の開発がきわめて重要であり、例えば、最密充填状態をつくるための水中単位体積重量の測定法、モルタルと骨材の分離抵抗性試験方法等本システムの確立展開のために是非とも必要と考えている。

#### xii) ダムコンクリートの設計基準強度の材令を大幅に延期することの検討、特に最適骨材評価コンクリートの場合の強度と材令との関係についての研究

ダム本体の設計荷重が、打設時点から打設完了、そして試験湛水までどのように経時的に増加していくかの事例の整理と、長期強度の増加を確実に見込める場合と、あまり見込めない場合の整理、特にこれまで廃棄岩としていたものを大幅に利用しようとする最適骨材評価コンクリートの場合、従来のコンクリートと違い長期強度を大きく支配していたペーストの性質のみだけでなく骨材の性質も大きく寄与することが考えられるので、長期強度の発現を当初よりどの程度期待してよいか、また、品質管理施工管理の面から、ある程度初期段階での強度データ等を得て実際には対応していかなければならない、この兼ね合いをどうするのか等、系統立てた実験データの集積が何よりも重要であると考える。

## 8. おわりに

建設省において、コンクリートダムの合理化施工を目指して研究会を発足させ、組織的に一大テーマに取り上げてから早や15年の年月が過ぎ

た。今やRCD工法は世界に冠たる誇れる技術として確立を見たといつても過言でない。RCD工法の次の研究課題は築堤材料の合理化だと言われて久しい。年号も昭和から平成に変わった昨年よりダム技術センターにおいて、本課題を本格的に組織的に取り組むための「ダムコンクリート新技術研究会」(廣瀬利雄委員長)を遅すぎたくらいはあるがようやく発足させたところである。本課題は、当然のことながらRCD工法の導入にあたって解決しなければならなかった多くの課題より以上に難しいが、どうしても今後解決しなければならない設計施工等の課題は山積みで多くの分野にわたり、かつ底が深いものがある。現在、ようやくその解決のまちがいの端緒が見えてきたところである。今後、それらを解決しながら本最適骨材評価コンクリートを発展させていくには、試験室的な理論的研究は無論重要でかかせないが、一方現地における実施工実験を通じた地道な研究による基礎データの集積がなによりも重要である。

そのためには、RCD工法の導入時と同様、現在工事中のダム現場において、それぞれその現場に応じた一番適切なテーマを分担し、基礎データを集めし相互技術協力体制のもとそれらを持ち寄り組織的に分析することが、今後短期間に本最適骨材評価コンクリートを確立するためには不可欠であると信じる。

末筆になりましたが、本課題について東京大学の岡村甫教授、群馬大学辻幸和教授、ダム技術セ

ンターの飯田隆一副理事長、横塚尚志企画部長、リブコンエンジニアリング(株)の伊東靖郎氏、水資源開発公団の高橋堅太郎試験所長、土木研究所の小林茂敏コンクリート研究室長(現地質化学部長)、永山功ダム構造研究室長の他「ダムコンクリートの新技術研究会」の諸先生がたに親切なご指導をいただいた。これらの各位に深く感謝の意を表する次第である。

## 参考文献

- 1) 廣瀬利雄、竹林征三：コンクリートダムの合理化施工の現状と課題  
コンクリート工学、vol.20, No.8, Aug.1982
- 2) 廣瀬利雄：コンクリートダムの合理化施工に関する研究、東京大学博士論文、昭和63年5月
- 3) 古口謙一：東荒川ダムの二軸ミキサー使用による本体コンクリート打設について、ダム技術、No.26、合理化施工特集号、1988増刊
- 4) 加藤剛四郎、貞弘丈佳、財津信行：布目ダム減勢工水叩きにおけるコンクリート練り混ぜ試験施工、ダム技術、No.45、1990-6
- 5) 辻 幸和、二羽淳一郎、伊東靖郎、岡村 甫：遠心力を利用した細骨材の保有水試験方法、土木学会論文集第384号V-7、1987.8
- 6) 伊東靖郎：細骨材の水と空気による界面状態がコンクリートおよびモルタルに及ぼす影響に関する研究、土木学会論文集第343、1984.3
- 7) 吉兼 亨、中島佳郎：遠心脱水による細骨材の表面乾燥飽和水状態について、土木学会論文集、第396号、V-9、1988.8
- 8) 魚本健人：コンクリートの練りませ技術の現状と問題点、コンクリート工学 vol. 26, No. 9, 1988.9
- 9) 辻 幸和、伊東靖郎：異なるセメントを用いたフレッシュモルタルの性状に及ぼす練りませ方法の影響、フレッシュコンクリートの挙動とその施工への応用に関するシンポジウム論文集、1989.4
- 10) 山口温朗、自閑茂治、解良一夫：フライアッシュを混入したダムコンクリートの長期強度に関する実験的研究、ダム技術、No.25、1988.7

## 【技術研究】

## 品質変動の大きなコンクリートを用いた重力ダムの構造的安定性の評価方法について

—最適骨材評価コンクリートの開発（低品質骨材の有効利用）に向けて—

(財)ダム水源地環境整備センター 廣瀬利雄\*  
建設省土木研究所ダム部ダム構造研究室 永山功\*\*  
" " " 大槻英治\*\*\*

### 1. はじめに

近年、高まる治水、利水上の要請から、従前に比べて複雑な地質条件の下でもダムの建設が必要になってきている。このようなダムサイトでは、ダムの設計にあたって十分に慎重な配慮と検討が要求されるほか、その施工にあたって、ダムサイト近傍に質、量ともに良好な条件を備えた原石山を見いだすことが困難になっている。

良好な原石山の枯渇は、単に骨材の製造単価を増大させるだけでなく、廃棄岩の処分、原石山の跡地や長大法面の処理など、自然環境の保護、保全上からも大きな問題となりつつある。そこで、コンクリートダムの建設において、従来、規格外骨材として廃棄されていた低品質骨材を有効に利用する手法の開発が強く望まれている。

低品質骨材をコンクリートダムの堤体材料として有効利用するためには、

- ① 骨材またはコンクリートの品質改良技術といった材料面での研究開発
  - ② 低品質骨材の利用を前提としたコンクリートダムの設計手法の研究開発
- の二つの手法が考えられる。このうち、本論文は、低品質骨材を用いたコンクリートの使用を前

提とした重力式コンクリートダムの構造設計手法について、理論的、解析的な面から検討を加えたものである。

### 2. 解析モデルと解析手法

#### (1) 解析条件の設定

本解析では、低品質骨材の影響をコンクリートの品質の低下という形で考慮するものとする。この場合、コンクリートの品質が一様に低下し、コンクリートの品質の均一性が保証されるのであれば、重力式コンクリートダムの構造設計上、特に困難は生じない。すなわち、品質が劣っているなりに、与えられたコンクリートの物性に対して従来の手法を用いて構造設計を行えば事足りるからである。したがって、新たな設計手法の開発が必要となるのは、低品質骨材の使用によってコンクリートの品質が大きく変動する場合である。このような場合、ダム堤体は均一体として取り扱うことのできないから、ダム堤体内におけるコンクリートの物性の場所的な変化を考慮した設計手法の確立が必要となる。ここでは、このようにダム堤体内でコンクリートの物性が場所的に不規則に変化する場合に、ダム堤体に生じる応力を合理的に推定する手法について考察する。

#### (2) 解析モデル

ここでは、その品質にかかわらず、コンクリー

トは弾性体として挙動するものと仮定する。そこで、有限要素法による2次元弾性応力解析プログラムを用いて図-1、表-1に示すような解析モデルを作成し、図中の各要素の弾性係数が不規則に変化して分布する状況を設定した。なお、本解析では、ダム堤体に生じる応力について着目することから、解析モデルには基礎岩盤を含まないものとした。

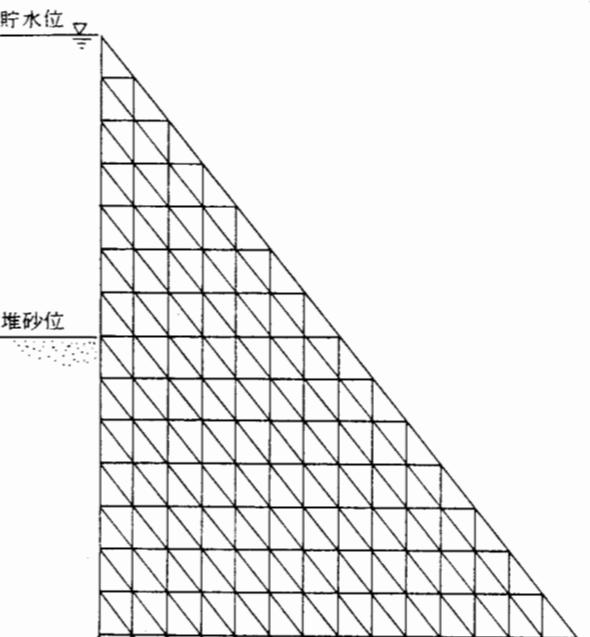


図-1 解析モデル

まず、解析を行うにあたり、材料（コンクリート）の弾性係数の分布特性として、図-2、表-2に示すような7種類の確率分布を設定した。すなわち、ケース1は弾性係数が均一な基準となるモデルである。また、ケース2～4は弾性係数がその平均値を中心として±30%の範囲で変動するモデルで、その分布形状としては、正規分布、一様分布、両端に集中する分布の3種類を設定した。さらに、ケース5～7は弾性係数がその平均値を中心として±60%の範囲で変動するモデルで、その分布形状としては、ケース2～4と同様に、正規分布、一様分布、両端に集中する分布の3種類を設定した。

次に、ダム堤体内的各要素に弾性係数を不規則に分布させるには、計算機で乱数を発生させ、その結果に基づいて各要素に弾性係数を割りつけるものとした。なお、解析結果について統計的な処

表-1 解析モデルの諸元

諸元	設定値	諸元	設定値
堤高	100 m	貯水の単位体積重量	1.0 tf/m <sup>3</sup>
下流面勾配	1:0.8	コンクリートの単位体積重量	2.3 tf/m <sup>3</sup>
上流面勾配	1:0.0	堆砂の水中での単位体積重量	1.0 tf/m <sup>3</sup>
貯水位	100 m	堆砂圧係数	0.6
堆砂位	50 m	コンクリートの弾性係数	表-2による

表-2 各解析ケースにおける弾性係数の確率分布

ケース	確率分布	弾性係数( $\times 10^3$ kgf/cm <sup>2</sup> )			弾性係数の大きさ(上段)と確率分布(下段)						
		平均値 $E_0$	最低値 $E_{min}$	最大値 $E_{max}$	材料1	材料2	材料3	材料4	材料5	材料6	材料7
1	一種均一	260.0	260.0	260.0					1.0 $E_0$ 100%		
2	正規分布 70～130%	200.0	140.0	260.0	0.7 $E_0$ 4.9%	0.8 $E_0$ 12.1%	0.9 $E_0$ 21.0%	1.0 $E_0$ 24.0%	1.1 $E_0$ 21.0%	1.2 $E_0$ 12.1%	1.3 $E_0$ 4.9%
3	一様分布 70～130%	200.0	140.0	260.0	0.7 $E_0$ 14.3%	0.8 $E_0$ 14.3%	0.9 $E_0$ 14.3%	1.0 $E_0$ 14.3%	1.1 $E_0$ 14.3%	1.2 $E_0$ 14.3%	1.3 $E_0$ 14.3%
4	両端集中 70～130%	200.0	140.0	260.0	0.7 $E_0$ 50.0%						1.3 $E_0$ 50.0%
5	正規分布 40～160%	162.5	65.0	260.0	0.4 $E_0$ 4.9%	0.6 $E_0$ 12.1%	0.8 $E_0$ 21.0%	1.0 $E_0$ 24.0%	1.2 $E_0$ 21.0%	1.4 $E_0$ 12.1%	1.6 $E_0$ 4.9%
6	一様分布 40～160%	162.5	65.0	260.0	0.4 $E_0$ 14.3%	0.6 $E_0$ 14.3%	0.8 $E_0$ 14.3%	1.0 $E_0$ 14.3%	1.2 $E_0$ 14.3%	1.4 $E_0$ 14.3%	1.6 $E_0$ 14.3%
7	両端集中 40～160%	162.5	65.0	260.0	0.4 $E_0$ 50.0%						1.6 $E_0$ 50.0%

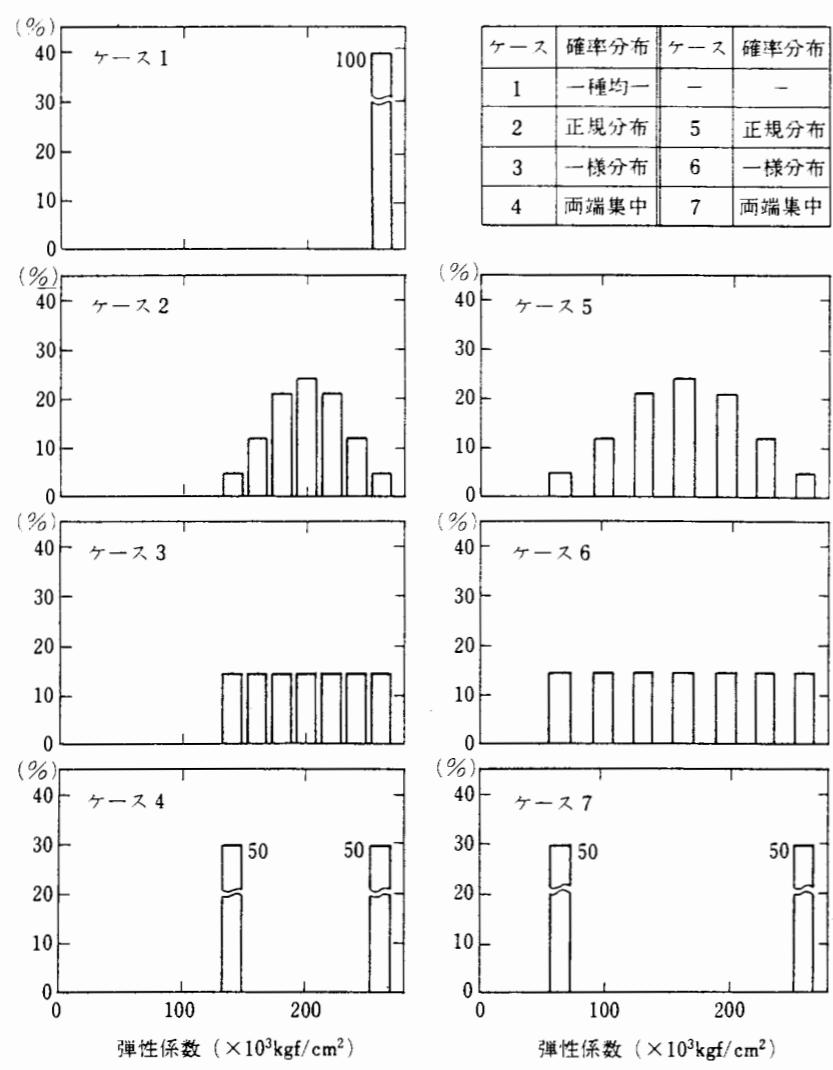


図-2 各解析ケースにおける弾性係数の確率分布

理ができるように、7種類の弾性係数を設定したケース2~3、5~6については、弾性係数の割りつけを変えて30回の計算を実施し、2種類の弾性係数を設定したケース4、7については、弾性係数の割りつけを変えて10回の計算を実施した。

### 3. 解析結果とその考察

#### (1) ダム堤体内的応力分布

まず、このような応力解析を行って得られたダム堤体内的応力分布の一例を図-3に示す。図のように、材料の弾性係数が場所的に変化しても、ダム堤体内心に大きな引張応力が生じることはない(ただし、このような解析で引張応力の発生が避けられない着岩部上流端付近を除く)。そこで、以下の解析では、ダム堤体内心に生じる圧縮応力の大きさに着目して検討を加えるものとする。

な応力が生じている。また、応力のばらつきは、弾性係数のばらつきが大きいほど大きく、例えば、弾性係数のばらつきが $\pm 30\%$ の場合(ケース4)よりも $\pm 60\%$ の場合(ケース7)の方が、また、弾性係数が正規分布をする場合(ケース5)よりも両端に集中して分布する場合(ケース7)の方が、それぞれ発生する応力のばらつきが大きくなっている。

なお、図によれば、弾性係数が場所的に変化しても、ダム堤体内心に大きな引張応力が生じることはなく(ただし、このような解析で引張応力の発生が避けられない着岩部上流端付近を除く)。そこで、以下の解析では、ダム堤体内心に生じる圧縮応力の大きさに着目して検討を加えるものとする。

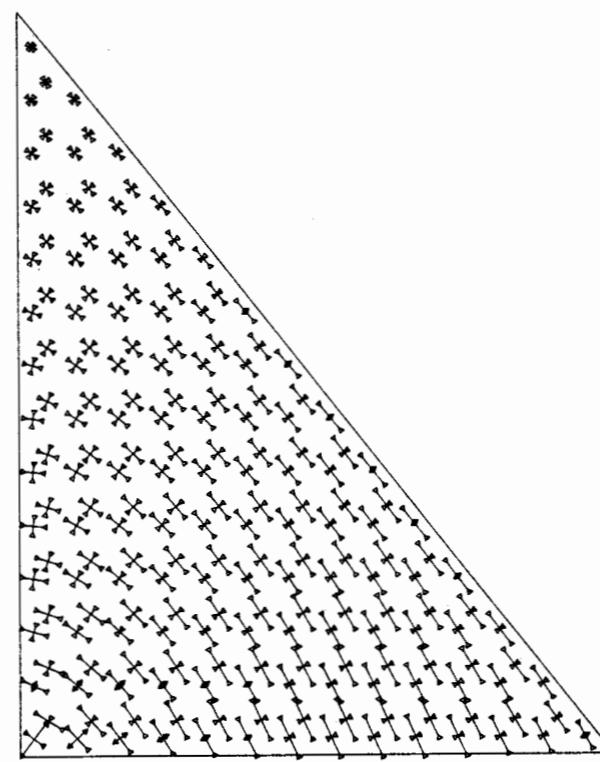


図-3(1) ダム堤体内的応力分布例(ケース1, 一様均一)

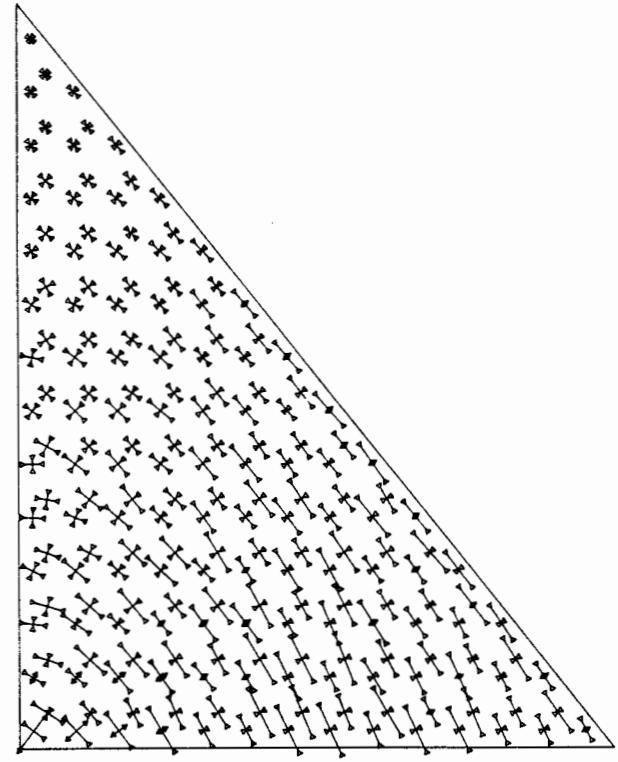


図-3(2) ダム堤体内的応力分布例(ケース4, 両端集中70~130%)

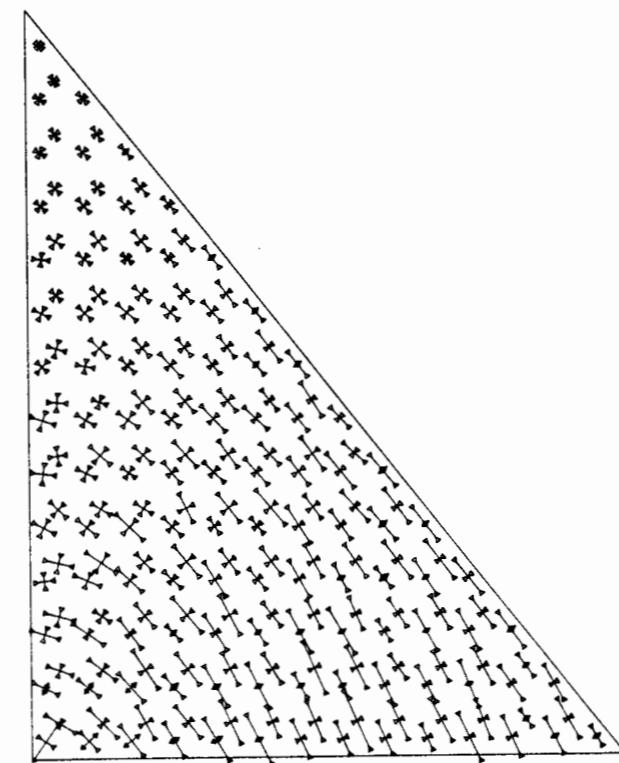


図-3(3) ダム堤体内的応力分布例(ケース5, 正規分布40~160%)

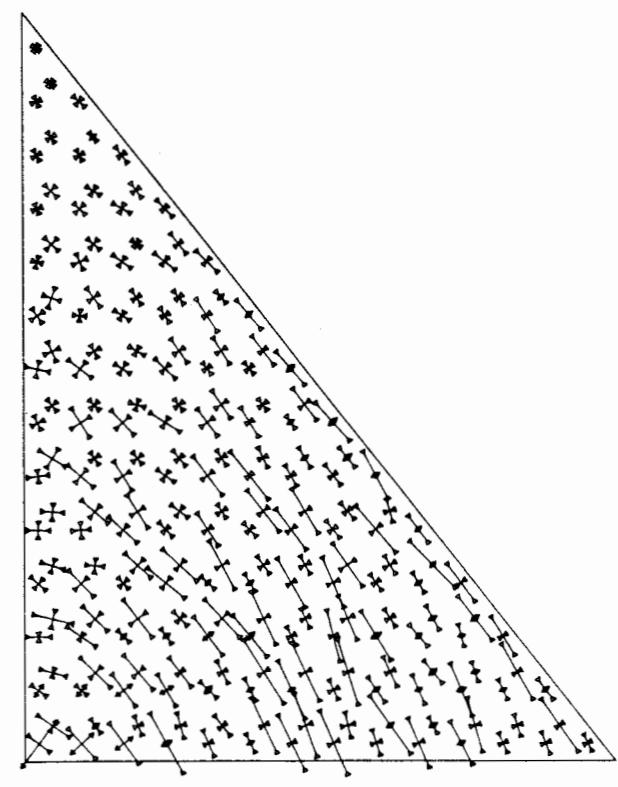


図-3(4) ダム堤体内的応力分布例(ケース7, 両端集中40~160%)

## (2) 弹性係数のばらつきと発生する応力の関係

図-3によれば、弹性係数の場所的なばらつきが大きくなると、ダム堤体に生じる応力のばらつきも大きくなることが確かめられた。そこで、弹性係数の確率分布を変えた各解析ケースについて、解析モデルの全要素（ケース1では196要素、ケース2～3、5～6では $196 \times 30 = 5880$ 要素、ケース4、7では $196 \times 10 = 1960$ 要素）に対して第一主応力（圧縮側主応力）の平均値、最大値、標準偏差を求めるところ図-4のようになる。なお、図は、弹性係数が均一なケース1のダム堤体に生じる第一主応力の平均値 $\sigma_0$ を基準として、応力を正規化して表現している。

図によれば、第一主応力の平均値は各ケースともほぼ同一であるが、その標準偏差、最大値は弹性係数のばらつきの増加とともに大きくなり、特に、最大値についてはその傾向が著しくなっている。したがって、材料の品質が変動する場合、ダム堤体に生じる応力は、その平均値で見ると、材料の品質が均一な場合と比べて大きな差を生じることはないが、個々の点の応力で見ると、場所によって大きな応力が生じていることがわかる。

## (3) 同一材料に生じる応力の頻度分布

次に、ダム堤体に生じる応力の特性を詳しく分析するため、ダム堤体を構成する要素と同じ弹性係数を有する材料毎に分類し、それぞれの材料別に第一主応力の頻度分布を求めるところ図-5のようになる。図によれば、図-3で説明したように、

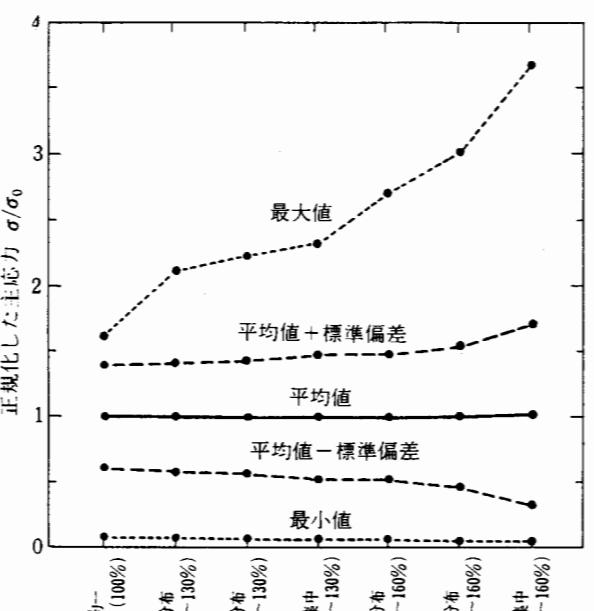


図-4 弹性係数の確率分布と第一主応力の大きさの関係

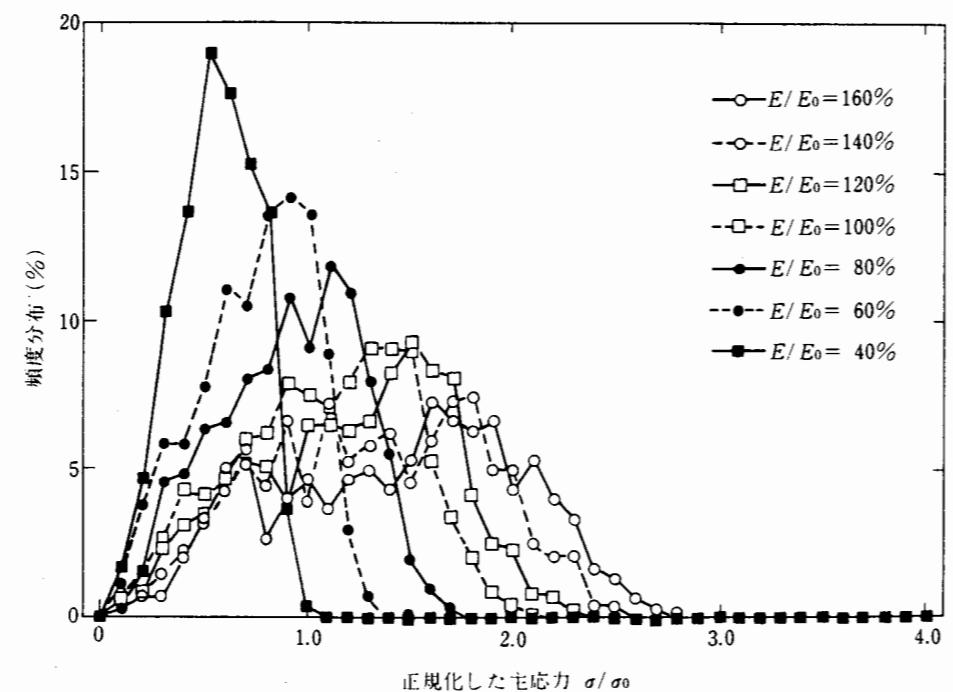


図-5(1) 材料別に見た第一主応力の頻度分布（ケース5、正規分布40～160%）

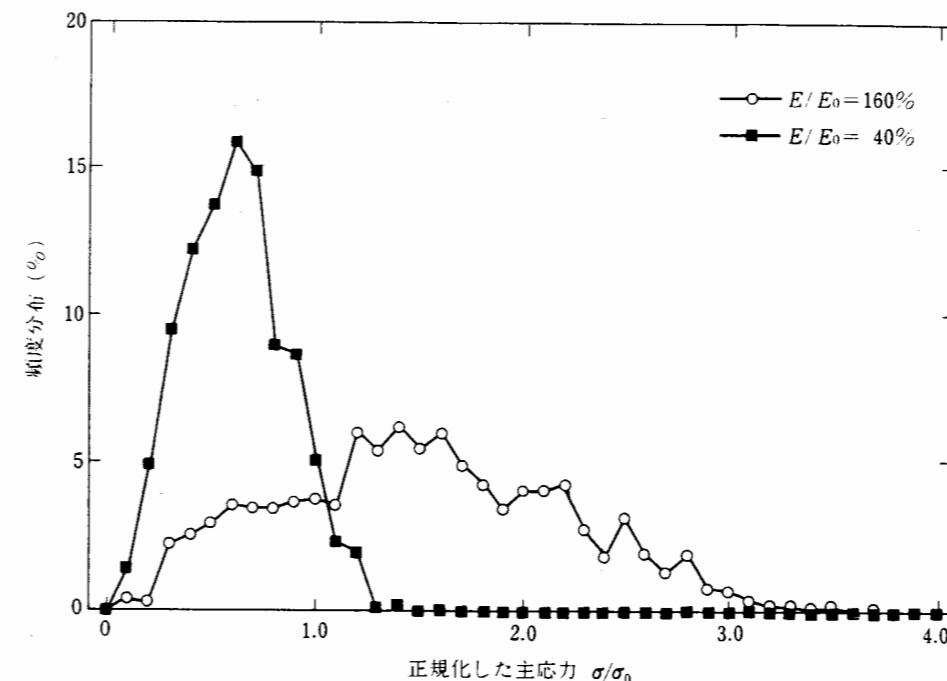


図-5(2) 材料別に見た第一主応力の頻度分布（ケース7、両端集中40～160%）

弹性係数の大きい材料ほど大きな応力が生じていることがわかる。

さて、ここで、弹性係数の確率分布が異なる7種類の解析ケースについて、各材料別に発生する応力の頻度分布を比較検討してみる。

まず、弹性係数が互いに等しい材料 ( $E = E_{\max}$ ) について、各解析ケースに生じる第一主応力の頻度分布を比較すると図-6のようになる。図によれば、同一の弹性係数 $E$ を有する材料同士を比較すると、材料全体の弹性係数の平均値 $E_0$ が小さい場合ほど、大きな応力が生じていることがわかる。すなわち、材料の品質が変動する場合、ダム堤体の弹性係数の平均値が小さくなるほど、ダム堤体の安全性は損なわれる傾向にあることがわかる。

一方、各解析ケースについて、各材料の弹性係数 $E$ を材料全体の弹性係数の平均値 $E_0$ で除して正規化した弹性係数 $E/E_0$ を求め、正規化した弹性係数が互いに等しい材料別に第一主応力の頻度分布を比較すると図-7のようになる。図によれば、弹性係数の確率分布が異なっていても、正規化した弹性係数の値が同じであれば、その材料に

生じる第一主応力の频度分布は概ね等しくなることがわかる。したがって、正規化した弹性係数を用いれば、材料の品質が変動する場合においても、ダム堤体に生じる第一主応力を合理的に推定することができるものと考えられる。

そこで、ケース1～7の全ての解析ケースに対して、正規化した弹性係数毎に、正規化した第一主応力の平均値と標準偏差を示したもののが図-8である。図によれば、弹性係数の確率分布が異なっていても、正規化した弹性係数と正規化した第一主応力の平均値の関係、また正規化した弹性係数と正規化した第一主応力の標準偏差の関係は、それぞれ一つの曲线で一義的に表されることがわかる。なお、この曲线の回帰式はそれぞれ次式で与えられる。

平均値 $\sigma_m$ に対して：

$$\sigma_m/\sigma_0 = 1.00 (E/E_0)^{0.706} \quad (1)$$

標準偏差 $s$ に対して：

$$s/\sigma_0 = 0.41 (E/E_0)^{0.769} \quad (2)$$

ところで、図-8の縦軸の $\sigma_0$ は材料の弹性係数が均一なケース1 ( $E = E_{\max}$ ) のダム堤体に生じる第一主応力の平均値を表しているが、弹性力学

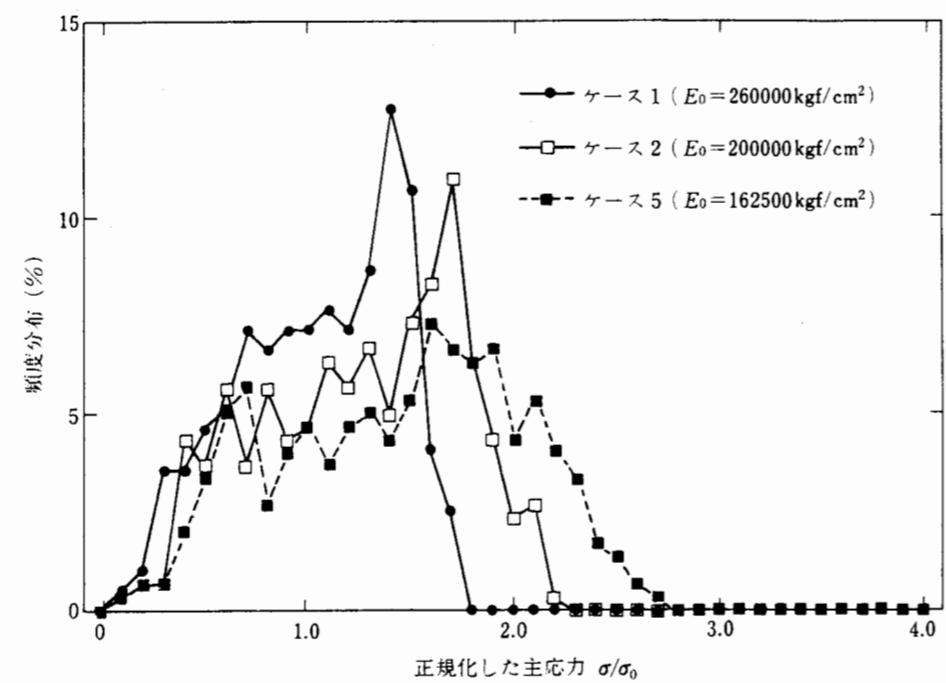


図-6(1) 弹性係数  $E=260000 \text{ kgf/cm}^2$  の材料に生じる第一主応力の頻度分布の比較（正規分布）

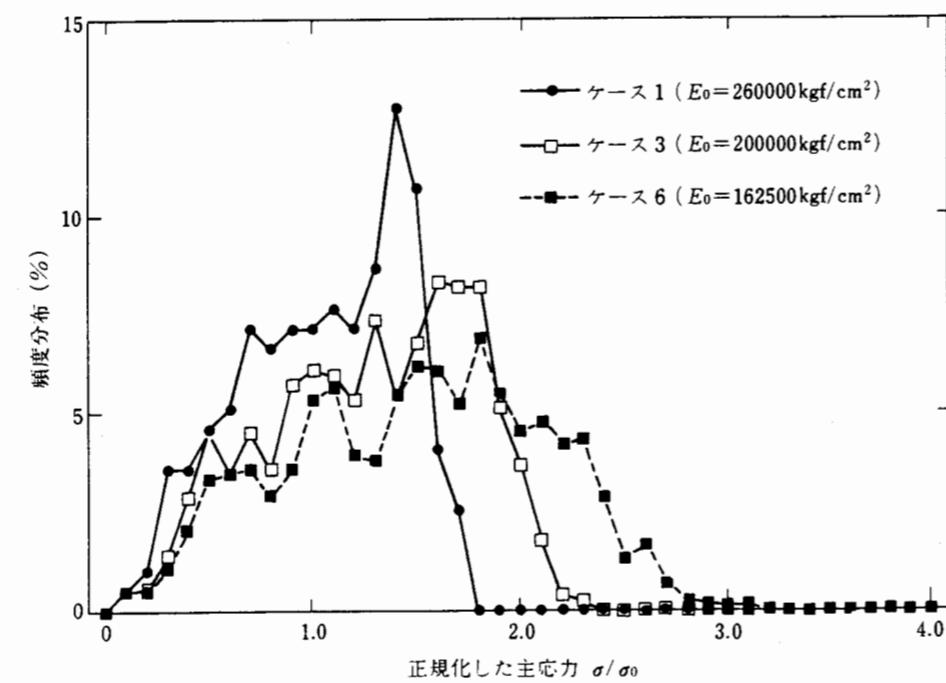


図-6(2) 弹性係数  $E=260000 \text{ kgf/cm}^2$  の材料に生じる第一主応力の頻度分布の比較（一様分布）

の理論に従えば、解析モデル中の弾性係数に一定の定数を乗じても発生する応力の大きさは変化しない。そこで、図-8の $\sigma_0$ は、弾性係数が $E_0$ または $E$ の均一な材料からなるダム堤体内に生じる第一主応力の平均値と読み直すことができる。したがって、このことを考慮して図-8を見直す

と、ダム堤体の材料の弾性係数が変動する場合、材料全体の弾性係数の平均値よりも大きな弾性係数を有する材料( $E > E_0$ )では、これを単独で用いる場合よりも発生する応力は大きくなり、材料全体の弾性係数の平均値よりも小さな弾性係数を有する材料( $E < E_0$ )では、これを単独で用いる

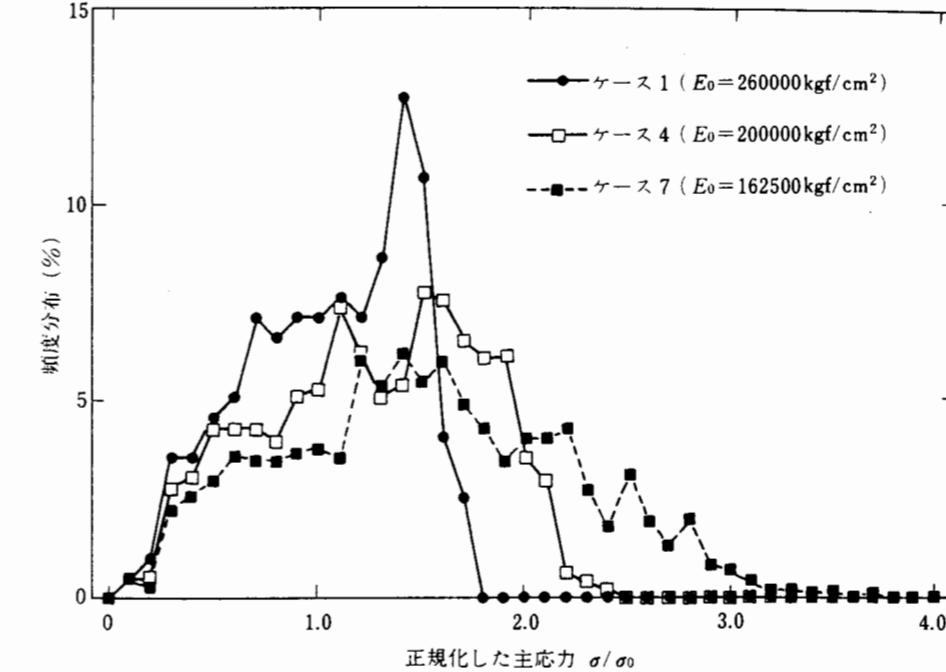


図-6(3) 弹性係数  $E=260000 \text{ kgf/cm}^2$  の材料に生じる第一主応力の頻度分布の比較（両端集中）

場合よりも発生する応力は小さくなることがわかる。したがって、品質の劣る材料については、これを単独でダムの堤体材料として用いることが不可能であっても、これを良好な材料と混合して用いれば、ダムの堤体材料として利用可能となり得ることを示している。

#### 4. 品質変動の大きなコンクリートを用いた重力ダムの構造的安定性の評価方法

これまでの解析結果を総合すれば、ダム堤体に用いるコンクリートの弾性係数が不規則に変動する場合、ダム堤体内に生じる圧縮応力の大きさは、

① 堤体材料として用いるコンクリートの弾性係数の平均値とその変動幅

② 均一な材料からなるダム堤体に発生する応力の平均値と標準偏差

を求めれば、図-8を用いてこれを確率論的に推定することができることがわかった。そこで、各材料(コンクリート)に発生する応力の最大値の推定値と各材料(コンクリート)の圧縮強度を比較すれば、ダム堤体の構造的安定性を評価するこ

とが可能となる。その具体的な手順を示すと次のようになる。

A) 一定の弾性係数を有するコンクリートに対してダム堤体の応力解析を行い、発生する応力の最大値 $\sigma_{\max}$ 、平均値 $\sigma_0$ 、標準偏差 $s$ を求める。

B) 発生する応力の最大値 $\sigma_{\max}$ 、平均値 $\sigma_0$ 、標準偏差 $s$ の関係から、次の係数を求める。

$$A = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_0}{s} \quad (3)$$

C) 使用する骨材の範囲を仮定して、コンクリートの弾性係数の平均値 $E_0$ を求める。

D) 各弾性係数 $E$ に対して、発生する圧縮応力の最大値 $\sigma_{\max}(E)$ を推定する。推定式は、(1)、(2)式より、次式で与えられる。

$$\frac{\sigma_{\max}}{\sigma_0} = 0.41 A \left( \frac{E}{E_0} \right)^{0.769} + \left( \frac{E}{E_0} \right)^{0.706} \quad (4)$$

E) 低品質骨材を用いたコンクリートの圧縮強度試験から、弾性係数 $E$ と圧縮強度 $f_c$ の関係を求める。

$$f_c = f_c(E) \quad (5)$$

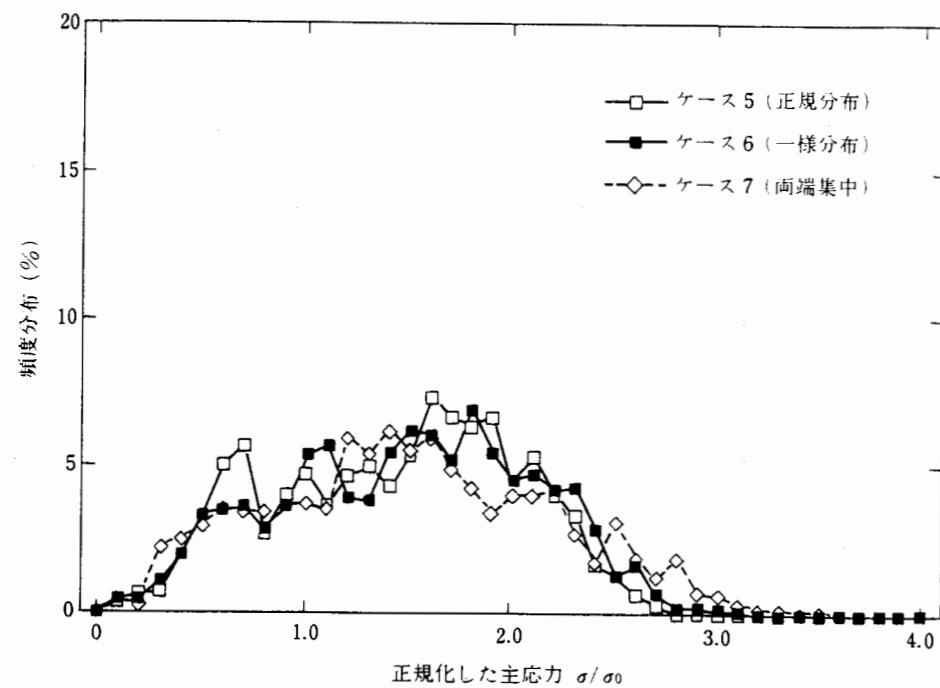


図-7(1) 正規化した弾性係数  $E/E_0=160\%$ の材料に生じる第一主応力の頻度分布の比較

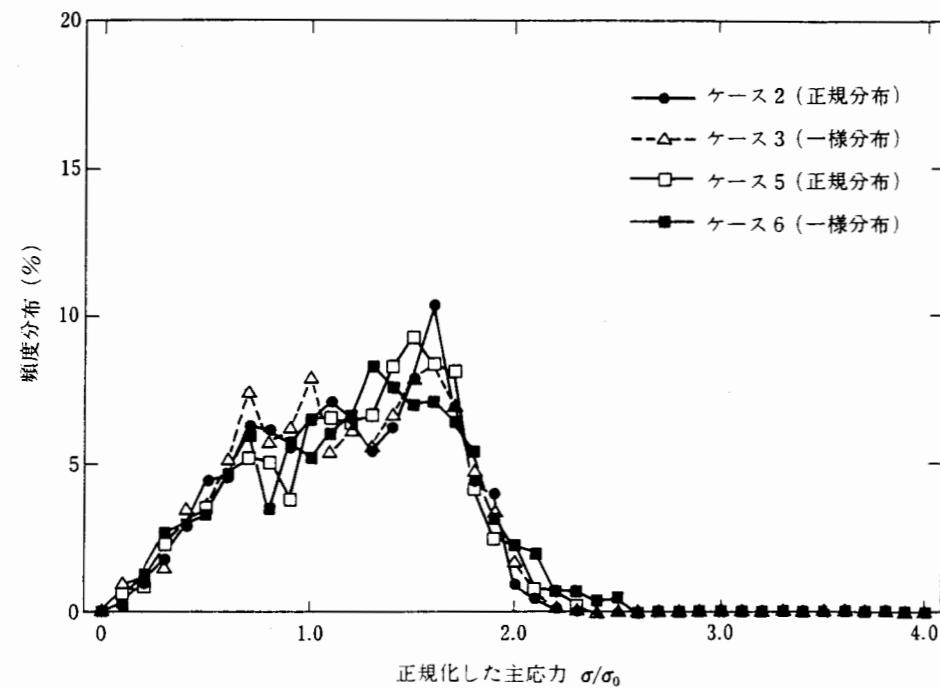


図-7(2) 正規化した弾性係数  $E/E_0=120\%$ の材料に生じる第一主応力の頻度分布の比較

F) 各弾性係数毎に、発生する圧縮応力の最大値  $\sigma_{max}(E)$  と圧縮強度  $f_c(E)$  の大きさを比較し、所要の安全率  $n$  が確保されているかどうかを次式で検討する。

$$\frac{f_c(E)}{\sigma_{max}(E)} \geq n \quad (6)$$

G) 所定の安全率が確保されない場合には、使用的骨材の範囲を変えて新たに弾性係数の平均値、変動幅を設定し、同様な計算を繰り返す。

ところで、(4), (6)式によれば、次式が成り立つ。

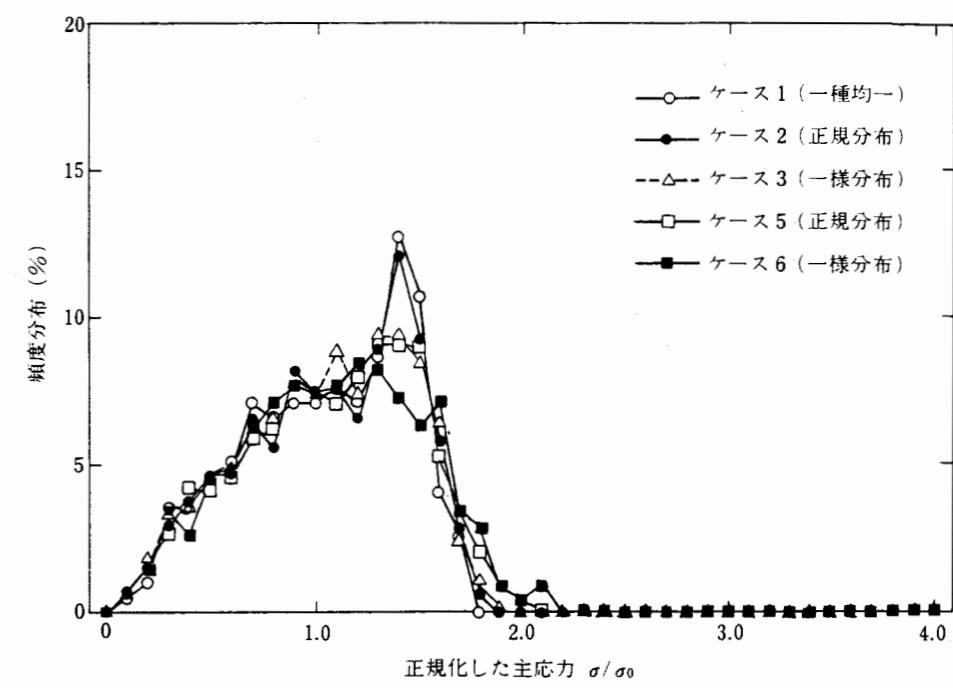


図-7(3) 正規化した弾性係数  $E/E_0=100\%$ の材料に生じる第一主応力の頻度分布の比較

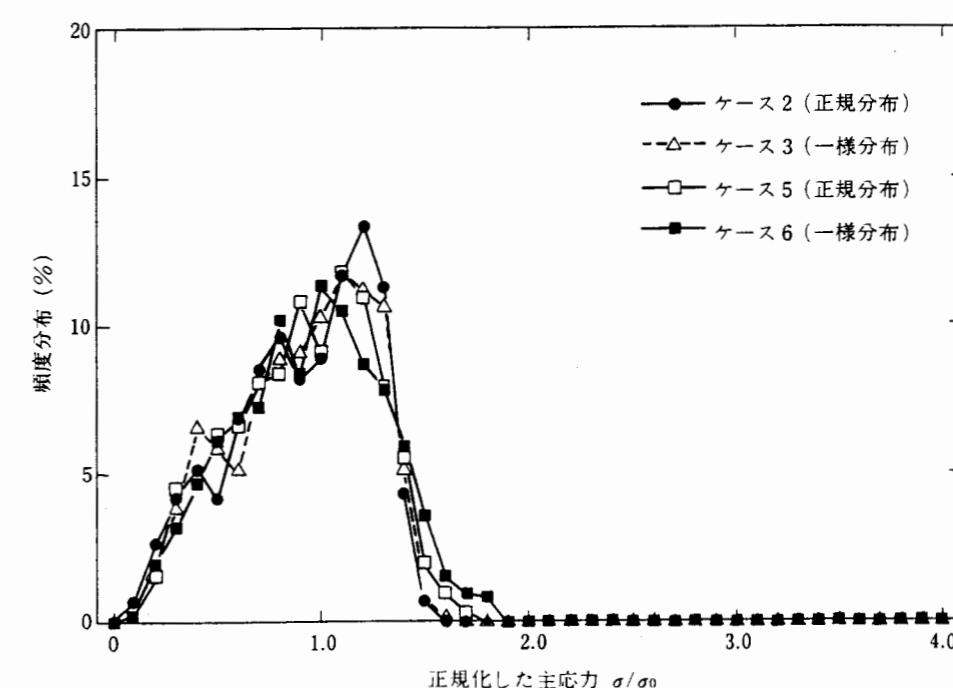


図-7(4) 正規化した弾性係数  $E/E_0=80\%$ の材料に生じる第一主応力の頻度分布の比較

$$\frac{f_c(E)}{n\sigma_0} \geq 0.41A \left(\frac{E}{E_0}\right)^{0.769} + \left(\frac{E}{E_0}\right)^{0.706} \quad (7)$$

ここで、 $\sigma_0$  を弾性係数が  $E$  の均一な材料からなるダム堤体に生じる第一主応力の平均値と読み直すと、(7)式は、ある特定の弾性係数  $E$  を有

する材料に対して、所要の安全率  $n$  を満たしつつ材料全体の弾性係数の平均値  $E_0$  をどこまで低下させることができるかを示す式となっている。したがって、使用的材料の弾性係数の平均値は、使用する各材料に対して(7)式を満足する範囲で決定しなければならないことがわかる。

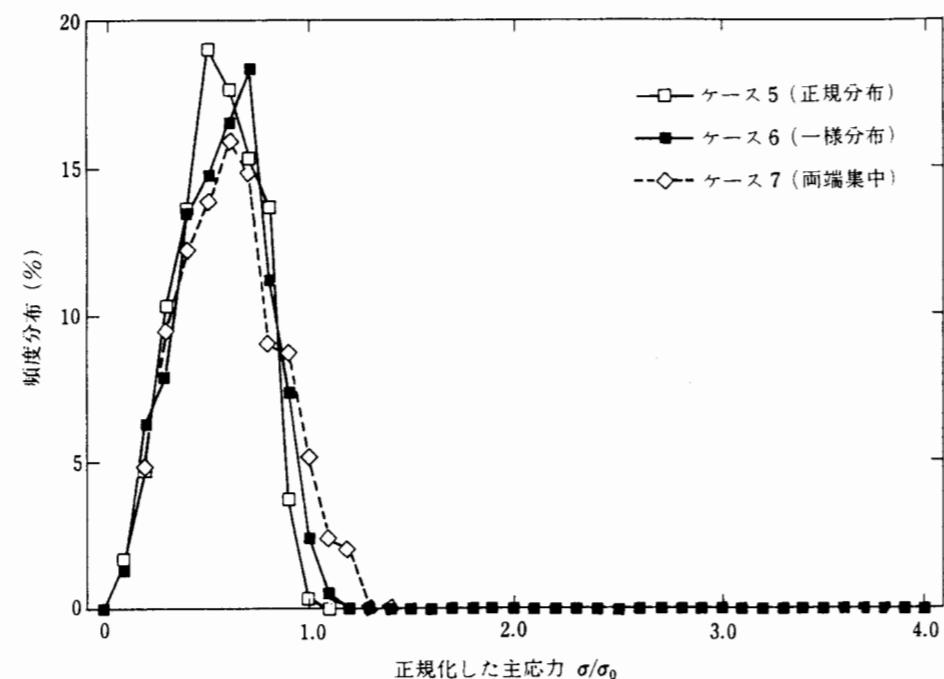


図-7(5) 正規化した弾性係数  $E/E_0=40\%$  の材料に生じる第一主応力の頻度分布の比較

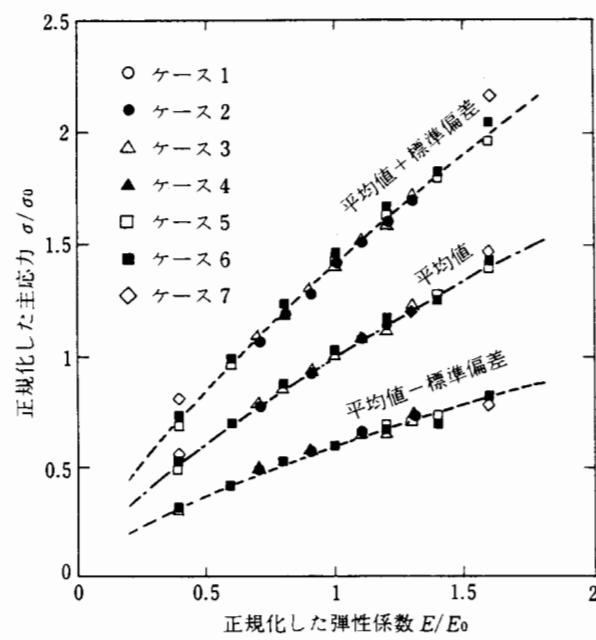


図-8 正規化した弾性係数と正規化した第一主応力の関係

## 5. まとめ

本論文では、低品質骨材をコンクリートダムの堤体材料として積極的に使用することを前提として、コンクリートの品質の変動が重力式コンクリートダム堤体の構造的安定性に及ぼす影響を合

理的に推定する方法について考察を加えた。なお、本論文では、コンクリートの品質の変動をコンクリートの弾性係数の変動として捉えて解析を実施した。ここで得られた解析結果をとりまとめると次のとおりである。

- ① コンクリートの弾性係数の変動が大きくなると、それに応じて、ダム堤体に生じる応力の変動も大きくなる。この場合、弾性係数の大きな部分には大きな応力が生じ、弾性係数の小さな部分には小さな応力が生じる。
- ② コンクリートの弾性係数が変動すると、ダム堤体に生じる応力のばらつきは大きくなるが、ダム堤体に生じる応力の平均的な大きさはほとんど変化しない。
- ③ コンクリートの弾性係数が変動する場合、各材料の弾性係数を材料全体の弾性係数の平均値で除して正規化した弾性係数に書き直すと、正規化した弾性係数が同一な材料に生じる応力は、その弾性係数の大きさ、材料全体の弾性係数の変動幅にかかわらずほぼ一定の頻度分布を示す。

④ コンクリートの弾性係数が変動する場合、材料全体の弾性係数の平均値よりも大きな弾性係数を有する材料では、これを単独にダムの堤体材料として用いる場合に比べて、発生する応力は大きくなる。また、材料全体の弾性係数の平均値よりも小さな弾性係数を有する材料では、これを単独にダムの堤体材料として用いる場合に比べて、発生する応力は小さくなる。

⑤ コンクリートの弾性係数が変動する場合、ダム堤体に生じる応力の頻度分布は、正規化した弾性係数によって一義的に表すことができる。

⑥ コンクリートの弾性係数が変動する場合、各材料に生じる応力の大きさは、材料の弾性係数の平均値と変動幅がわかれば、これを確率論的に推定することができる。なお、推定式は前述の(4)式で与えられる。

以上の解析結果によれば、品質が大きく変動す

る骨材を用いたコンクリートを重力式コンクリートダムの堤体材料として使用しても、その弾性係数の平均値と変動幅が把握できれば、ダムの構造的安定性を精度よく推定し、これを評価できることが明らかとなった。そこで、今後は、低品質骨材を用いたコンクリートの力学的特性、特に弾性係数と圧縮強度の関係について実験的な検討を進め、その成果と今回の解析結果を総合して、ダムの築堤材料として低品質骨材を積極的に利用していくために必要となる設計理論の体系化を目指して、鋭意研究を進めていく予定である。

## 参考文献

- 1) 廣瀬利雄、豊田高司、竹林征三、上坂恒雄：最適骨材評価コンクリートの展望と今後の課題、ダム技術、No. 50, 1990. 11
- 2) 廣瀬利雄、豊田高司、竹林征三、上坂恒雄：最適骨材評価コンクリートの展望、セメント・コンクリート、No. 541, 1992. 3
- 3) 廣瀬利雄：コンクリートダムの合理化施工法の新たな発展に向けた課題と対応、ダム技術、No. 70, 1992. 7

## 【座談会】

## 今求められているダム技術

（財）国土開発技術研究センター  
建設省土木研究所  
（財）日本ダム協会  
（財）ダム技術センター  
（財）ダム技術センター  
建設省河川局

廣瀬 利雄\*  
松本 徳久\*\*  
山内 彪\*\*\*  
山住 有巧\*\*\*\*  
大木 達夫\*\*\*\*\*  
青山 俊樹\*\*\*\*\* (司会)

………前略………

司会 では、今後こんな技術開発が要るんじゃないかなというところ、いろいろご意見をお持ちだらうと思いますので、フリーにお話しいただければと思います。

廣瀬 骨材等資源の有効利用ということで、前々から言っているんですけども、“骨材まずありき”という考え方ね。最適骨材評価コンクリートと言っていますけれども、それをそろそろ実現してもらってもいいのではないかと思うんです。土研でだいぶ理論的研究もしてもらったし。

松本 実験と計算と両方やっているわけですが、一つは粗骨材に軟らかいものが混じった場合にどうなるか。これは実験的に、粗骨材をウレタンゴムで模擬して、それで実際にコンクリートを練って強度試験をしてみると、強度も弾性係数も落ちる。それから、弾性係数にはばらつきがあった場合には当然、堤体全体としての応力は硬いところを流れるので、応力集中が生じて、部分的に応力が少し増える。ですから、高さがあまり高くなくて、コンクリートに強度上の余裕があるときには、その余裕の範囲内で使える可能性がある。い

ままでのように骨材を選別して、場合によったら50%廃棄なんていうのではなくて、歩留りをよくして、使える率を増やすという技術が可能だと思っています。

先ほどから話題となっている基礎の掘削量が多くなるというのは、原石山についても全くそのとおりでして、たくさん掘削すると斜面もいっぱいできて、斜面の安定の問題もあるし、環境に対する影響もある。土捨でまた問題が出る。骨材の利用率を上げるというのは非常に大事な問題で、優先順位として第一に土研では取り組んでいます。

ロックフィルダムの場合、ロック材料として泥が混じっているものをうまく選別して使えないかというのが、いくつかのダムで始まっています。岩石のなかに泥部分が、だいたい15%ぐらいから上にあるとコア材になります。つまり岩石のなかに泥部分が10%程度ありますと、10%程度の泥でも見た目には相当泥っぽく見えますし、性質も泥に近づく。しかし逆に考えると、実際には石の分量が85%から90%もあるわけですから、10%程度の土を取り除いてやれば、またもとの石の性質に戻る。それがコンクリートの骨材に使えないか。あるいはフィルダムのロック材に使えないか。

いちばん簡単なのはグリズリで選別するということなんでしょうけれども、もともとグリズリは大玉をはねるのがグリズリで、細かいのを落とすというのはそんなに得意ではない。細かいのをは

ねるためには、目詰まりとか、実際に施工してみると問題がある。それから、泥分が10%でも入っているというのは、いまの骨材製造設備に入れた場合には、ちょっと受け付けないような骨材製造設備になっているはずなんです。だから、設備の改良とか、そういうことも考えれば、歩留りをよくすることは可能じゃないか。

廣瀬 骨材の製造設備と言ったらいでしょか、それはいままである範囲の品質のものが来て処理するという考え方でしょう。そうじゃなくて、もう少しバリアルのあるものが来ても処理できるような製造設備またはソフト、設備がちょっと過重になることもありますね。しかしながら骨材を有効に使うという観点からみれば、非常に有効だと思います。

それから、調査と結びつくんですけども、いまの骨材調査というのは、あまりお金がなくて、10メートルぐらい横坑を掘った所から採取して試験をします。そうすると、原石には必ず変動がある。変動した部分は捨てちゃっているわけだ。そういうことじゃなくて、たとえばボーリングぐらいである程度調査をする。ただし、範囲を広くね。バリアルなものが入ってくるという想定で、ソフトも含め機械設備にある程度余裕をもたせた計画を作る。そういう技術開発が必要じゃないかという気がするんです。

山住 歩留りをよくするといいますか、骨材としての生産率を高めようとする時、今までよく言われているんですが、例えばローモンタイトとかモンモリロナイトのような粘土鉱物的なものが入っていて、コンクリートが固まるときにいろいろ問題を起こすとか、コンクリート強度が確保できなかっただけでなく、といったことが問題となります。こういう骨材の化学的問題は粒径分布や骨材の強度が当初の設計の時と違うという物理的問題と、扱い方がだいぶ違うんです。物理的問題については、現在われわれが使っている骨材製造設備をそういう目で見て、フローシートを、少し変えることによって相当対応はできると思います。RCD工法

等、新しいコンクリートは開発されたんですが、新しいコンクリート用の骨材の製造方法は昔のままなんですよ。それこそ私が役所に入った30年前のシステムのままです。この分野が取り残されているということは事実ですね。だから、ちょっとした努力で以外と大きな著しい進歩が生まれるよう思うんです。

そこに使われているジョークラッシャーとかコーンクラッシャー、こういう種類の破碎機もかつて比べては長足の進歩をしています。それから、今まで骨材製造に使われなかった破碎機もあります。また、使われている部材も立派なものになっていますから、無理もきく。昔心配していたようなことに対しても十分耐えうる能力をもっている。そういうことを踏まえて、これは見直すというか、ちょっと勉強すれば、実用性あるシステムはつくれると思います。

廣瀬 いま請負契約をするでしょう。そのときに骨材設備は決まっているんです。ここ山で、こういう設備でやりなさいとなっているでしょう。設備もできちゃっている。その段階で採石業者に契約するのです。だから、原石が多少変わっても、にっちもさっちもいかなくなる。そういうふうに有効に使うんだということで、採石業者に相談すれば、適切な計画が出てくると思います。そこに技術開発的なを入れれば、もっとダム工学は進歩するんじゃないかな。山住さんが言ったように、いまある設備だけでも、ちょっと考えることによって、ものすごく効率的になるんです。

司会 たとえばVEみたいなものが入る余地も多分にありますよね。

山住 それから、ムーバルクラッシャーと言っているんですが、可動できる一次クラッシャーもあります。それを使うと、現地で採取されたものを、半ば強制的に骨材製造設備に導入していかなければならぬような流れになる。そういうことによって、現場の監督員が気分的な心配でこれは捨てなさいと言っている原石が、捨てずに済む。

\*理事長                    \*\*\*\*理事  
\*\*ダム部長                \*\*\*\*\*理事  
\*\*\*顧問                    \*\*\*\*\*開発課長

水公団事業の比奈知ダムでは同様な試みがなされています。

原石山も一度開発すれば、複数のダムで使ったらどうかという気がするんです。原石山を開発するというのは、それまでに相当のコスト、準備もかかるわけです。そして、一般に原石山の奥のほうとか、標高の低いところを掘れば、いい岩が出てくることが多いですから、もしも賦存量に余裕があるなら、複数のダムでひとつの原石山を使うと、効率よく使えるはずなんです。そうすると、今後は骨材を運搬する距離が長くなるということを考えないといけない。骨材を長距離運搬するための合理的な仕掛けとか、コンクリートとして長い距離を運んでもいいような方法、こういうものの勉強も要るようになるかもしれません。

そのなかの一つの考え方として、ドライバッヂシステムと言っているんですが、コンクリートとして水とセメントと骨材とを混ぜるときに、水だけ外しちゃって、場合によればセメントも外して、粗骨材、細骨材を示方配合に整ったような量だけトラミキのミキサーに投入する。そして、セメントまで入れるかどうか、ここは問題があるので、セメントと水とを区別して運んで、私たちがコンクリートを打とうと思っている近傍に行ったときにそれをミキサーに投入し混練りして、所要のコンクリートに仕上げて打設する。こういうドライバッヂシステムもあります。国内ではいろいろな事情があって使われていないようですが、こんなこともダムという立場で開発していくと、コンクリートの長距離輸送というのはそれなりに可能な気がします。このあたり、骨材の有効利用という見地で全体のシステムを考えることも必要でしょうね。

司会 特に接近しているダムがあればね。たとえば宝生ダムと比奈知ダムと青蓮寺ダムがもし同時期であれば、可能だったのかもしれませんね。

山住 特に補助ダムなどは比較的1カ所で打設するコンクリート量が少ないから、このあたりの考え方。ただ、これには制度的な問題があるかも

しませんね。二つのダムが同一事業でないということがありますね。(笑)。

司会 だから、2ダム1事業にしちゃえばいいんでしょうね。

山住 先行ダムが投入した資金を後方ダムから回収することを考えれば、これはソフト問題だからね。

廣瀬 なにしろ骨材を重視した施工法というか、ダムの造り方を研究する余地があるんじゃないでしょうかね。

山内 コンクリートの打設のほうはRCID工法とか、その細部技術は別にして、これからいちばんのポイントは骨材だと思います。例えば、骨材を使う範囲、岩石の範囲を広げるというのも一つですし、骨材製造の機械や、粒径分布も含めて、そのへんの判断基準ですね。それから運搬、このへんがこれから技術開発して、省力化、経済効率化を図る、いちばんのポイントだと思いますね。

廣瀬 設計にもはね返ります。“設計まずありき”じゃなく、“骨材まずありき”だから。

山内 公団の場合は、先程山住理事の言われたように、浦山ダムでは骨材の運搬に工夫して、それから日吉ダムでは骨材の品質、比奈知ダムでは骨材の製造過程というふうに、それぞれ分担して新技術に挑んでいますけれども、これを全国的にいろいろ広げていけば、一つの方向が見出せるんじゃないかと思います。

松本 河床砂礫の使い方一つとして、富山県の久婦須川の仮締切でCSGと称するものをやっているんです。これはRCIDコンクリートと同様、ローラーで転圧するんですが、分級していないし、ミキシングプラントも使ってない。それから水分の管理も、コンクリートほどはきちんとやってない。セメント量は、いまやっているのは、1立米当たり60キロ程度ですから、非常に貧配合です。この間山住理事とも現場をご一緒させて頂きました。

もともとの河床砂礫を取って、仮置きしてベルコンに乗せベルコン上でセメントを混合している。

それだけのプロセスですけれども、かなり均一化しています。もちろん大玉をはねているというプロセスがあるんですが、見たところ、かなり均一なものができた。セメントが少ないので、微細な孔隙がありポーラスで、水密ではありません。ただし、できたものが軟岩の上ぐらいには行ってますから、洪水で越流されたとき若干の浸食があるにしても越流には耐える点がフィルダムの土とはうんと違う。それから、変形係数がコンクリートに比べて小さいので、久婦須の場合には河床砂礫が厚く堆積していますので、河床砂礫部分は連壁で止水して、その上に乗せている。コンクリートだと、軟らかいものの上に乗せるのは原則違反だと思いますが、ある程度可とう性が期待できるので、軟らかいものにも乗せられて、なおかつ越流にもある程度抵抗できるということで仮締切で使っている。

廣瀬 それがぼくの言う最適骨材評価コンクリート。

松本 の一部になるわけです。

廣瀬 そうそう、概念の。“骨材まずありき”的な。あれは長島ダムでもやってくれたんでしょう。

松本 長島ダムでもやりました。

大木 骨材の有効利用の幅を広げる場合ですが、品質については例の硫酸ソーダを用いる安全性試験を行いますね。また、コンクリートについては凍結融解試験という方法がありますが、これもまた現実のダムの耐久性とどうなっているのかが、いまひとつ理解しがたいところがあるので、そのへんのものをテーマとして研究的なことを考えたときがあるんですか。

松本 保守的というか、安全側からいうと、試験の基準を緩めるというのはなかなか難しいので私は内部コンクリートと外部コンクリートに分けて、外部についてやはりコンサーバティブに厳しくやっておいて、内部について緩めたらと思うんですが。もちろん凍結融解試験が沖縄のダムで必要かという問題があり地域的特性を考えるにし

ても、外部、内部の使い分けが一番現実的ではないか。外部まで暖めるというのは問題があるかなと思います。

山住 骨材の有効利用なり、CSGの考え方ですけれども、トータルとして扱う量が問題なんです。比較的強度の少ない材料で、ある一定の応力を耐えるような断面を造ろうと思えば、当然、断面積を増やすといけない。構造物の体積を大きくしないといけない。その兼ね合いが難しいんです。フィルタイプダムだったら、コンクリートのダムの5倍から6倍ぐらいの堤体積になりますが、いま考えようと思っているものは、通常のコンクリートの何倍ぐらいの堤体積を予定するものなのか。そういう意味で簡単なのは、骨材を有効利用したコンクリートというのはある程度コンクリートとしての境界条件がはっきりしているんです。強度ならこの程度のもの、耐久性ならこの程度のものを心がけながら配合設計するシステムになっていますから、扱う量も比較的少なくて済む。そのメリット、量と質をかけ合わせたメリットというものをどこかで考えて研究していくかないと、研究倒れになってはいけないなという気もします。

ですから、当面のターゲットは原石山の有効利用をどうするかというところをおいた方向づけをなすのがいいように思います。もう一つは、私たち河川管理者系のダム技術グループとしての得意な分野からものを進めたほうが、それといままでの実績のある部分からものを進めたほうが成果が得やすいですね。

……後略……

## 【技術研究】

## 低品質骨材を用いたコンクリートの力学特性

建設省土木研究所ダム部ダム構造研究室  
建設省土木研究所ダム部ダム構造研究室  
建設省土木研究所ダム部ダム構造研究室

永山 功\*  
渡辺 和夫\*\*  
大下 昌利\*\*\*

## 1. まえがき

コンクリートダムの建設においては、堤体コンクリートの材料として大量の骨材を使用する。しかし、近年、良好な地質条件を有する原石山が少なくなり、骨材の品質規準に適合せずに廃棄される原石が増え、コンクリートの単価が増加する傾向にある。このため、原石山から採取される原石をコンクリート骨材として有効に利用する技術の開発が強く望まれている<sup>1)</sup>。

ダム用コンクリートに用いる骨材の品質規準は「コンクリート標準示方書・ダム編」<sup>2)</sup>に規定されているが、その内容は主としてコンクリートの耐久性に関して定められたものである。したがって、重力式コンクリートダムの内部コンクリートのように耐久性に対する要件が緩和できる部位に用いるコンクリートにおいては、所要の強度が確保されれば、規準に適合しない骨材であっても、これを積極的に利用することが考えられる。

本論文は、重力式コンクリートダムの内部コンクリートに低品質骨材を利用する可能性を検討するため、低品質骨材を用いたコンクリートの強度、変形特性について検討した結果をとりまとめ

## たものである。

## 2. 試験方法

## (1) 試験の概要

今回の試験は、良好な品質を有する骨材と低品質骨材を用いて種々の水セメント比を有するコンクリート供試体を作製し、その強度、弾性係数を比較することによって低品質骨材の有効利用の可能性について検討したものである。

## (2) 使用骨材の品質

今回の試験に使用した低品質骨材は熱水変質を受けて脆弱した花崗閃緑岩で、Gダムで廃棄岩として処分されている岩石である。一方、良好な品質を有する規準適合骨材には笠間産の砂岩を使用した。なお、当初計画では、粗骨材、細骨材とも低品質骨材を使用することとしていたが、細骨材に低品質骨材を用いた場合、安定したスランプを確保することが困難となったため、低品質骨材は粗骨材のみに使用するものとし、細骨材には通常の骨材（笠間産の砂岩）を使用した。

Gダムの廃棄岩から製造した低品質粗骨材および笠間産の粗骨材、細骨材の品質を表-1に示す。

表-1 骨材の物性値

種類	岩種	粗骨材				細骨材			
		比重	吸水率(%)	安定性損失重量(%)	すりへり減量(%)	比重	吸水率(%)	安定性損失重量(%)	
低品質骨材	花崗閃緑岩	2.61	2.83	47	23	—	—	—	
規準適合骨材	砂岩	2.67	0.46	1	11	2.60	1.62	2	

\*室長 \*\*主任研究員 \*\*\*部外研究員

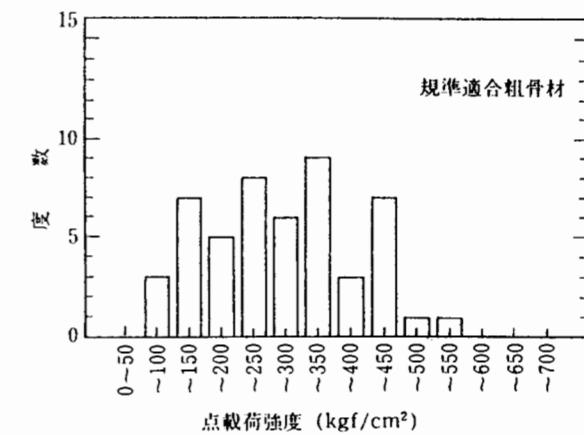
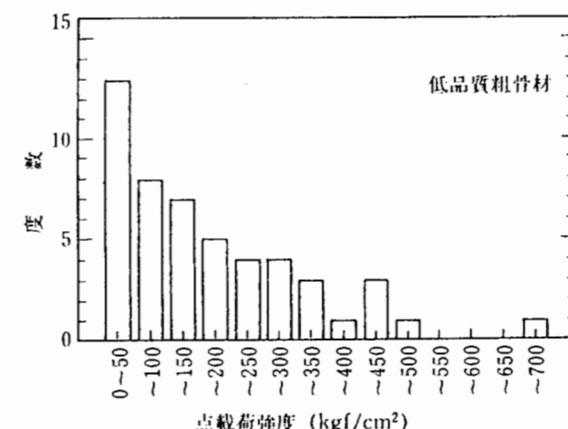


図-1 骨材の点載荷強度

表によれば、Gダムの低品質粗骨材は、比重、吸水率は規準値を満足するが、安定性損失重量が規準値を大きく上回っている。また、吸水率についても、平均値では規準値を満足しているものの、規準値を上回るものが約30%程度含まれている。

## (3) 骨材の点載荷試験

今回使用した低品質粗骨材と規準適合粗骨材の強度特性を比較するため、点載荷試験<sup>3)</sup>を実施した。試料は粒径30~40mmの粗骨材から無作為に50個を抽出した。低品質粗骨材と規準適合粗骨材の点載荷試験結果を図-1に示す。図によれば、低品質粗骨材の点載荷強度の平均値は169kgf/cm<sup>2</sup>で、規準適合粗骨材の点載荷強度の平均値271kgf/cm<sup>2</sup>に比べて60%程度の値を示している。また、低品質粗骨材の点載荷強度の最頻値は0~50 kgf/cm<sup>2</sup>で、規準適合粗骨材の最頻値300~350kgf/cm<sup>2</sup>と比べてかなり低くなっている。

一方、図-2はモルタルと石膏を用いて点載荷強度と一軸圧縮強度の関係を求めたものである。材料によって多少の差はあるが、一軸圧縮強度は点載荷強度の7.5倍程度であることがわかる。この結果を用いれば、今回用いた低品質粗骨材の一軸圧縮強度は平均値で1,300kgf/cm<sup>2</sup>程度であり、また一軸圧縮強度が400kgf/cm<sup>2</sup>以下のものが30%程度含まれていると推定される。

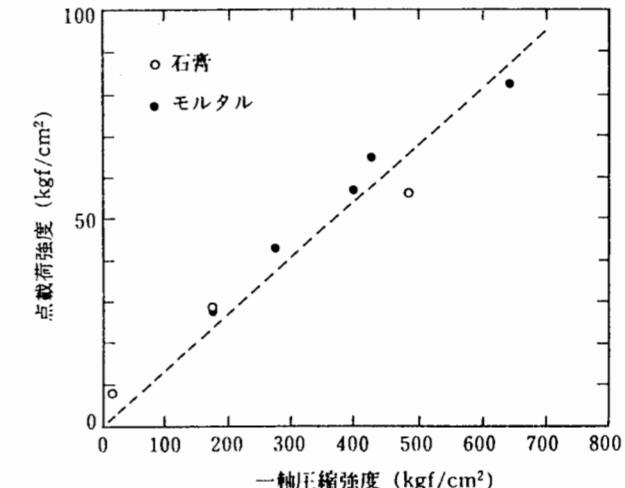


図-2 1軸圧縮強度と点載荷強度の関係

## (4) コンクリートの配合

今回の試験を行ったコンクリートの配合を表-2に示す。表に示すとおり、コンクリートの水セメント比は40, 50, 60, 75, 90%の5種類に設定した。また、コンクリートのスランプは5±1.5cmとし、その値は、水セメント比を一定に保って、単位ペースト量で調整するものとした。なお、低品質粗骨材を用いたコンクリートの単位ペースト量と規準適合粗骨材を用いたコンクリートの単位ペースト量を比較して図-3に示すが、単位ペースト量は低品質粗骨材を用いた方が5%程度多くなっている。

表-2 コンクリートの配合

配合	骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)
1	40	5 ± 1.5	4 ± 1	40	44
2	40	5 ± 1.5	4 ± 1	50	44
3	40	5 ± 1.5	4 ± 1	60	44
4	40	5 ± 1.5	4 ± 1	75	44
5	40	5 ± 1.5	4 ± 1	90	44

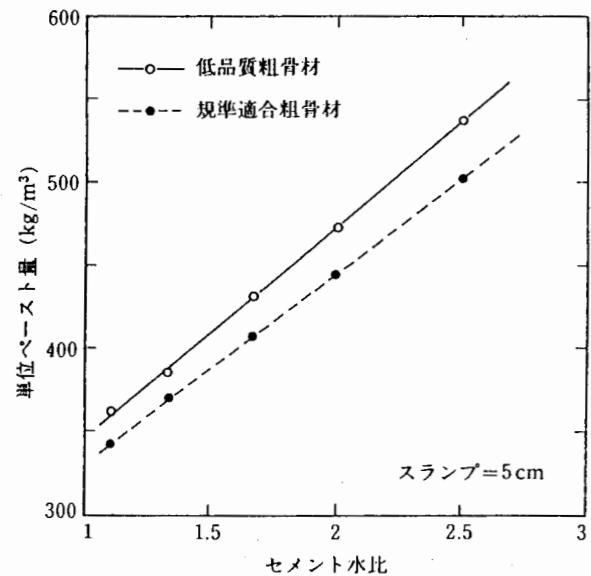


図-3 所要のスランプを得るために必要な単位ペースト量

##### (5) 試験項目

低品質粗骨材、規準適合粗骨材を用いて水セメント比を5種類に変化させたコンクリートを練り混ぜ、それぞれ18本の標準供試体を作製し、材齢7日、28日、91日に圧縮強度試験(JIS A 1108)と引張強度(割裂強度)試験(JIS A 1113)を実施した。なお、圧縮強度試験用の標準供試体にはその側面に長さ120mmのひずみゲージを3枚貼って弾性係数の測定を行った。

### 3. 試験結果と考察

#### (1) 圧縮強度

低品質粗骨材をもちいたコンクリートと規準適合粗骨材を用いたコンクリートについて、セメント水比と圧縮強度の関係を整理したものが図-4

である。

図によれば、材齢7日においては、低品質粗骨材を用いたコンクリートと規準適合粗骨材を用いたコンクリートの圧縮強度にはほとんど差がなく、いずれの場合もセメント水比と圧縮強度の関係は高い直線性を示している。一方、材齢28日、材齢91日においては、規準適合粗骨材を用いたコンクリートでは、セメント水比と圧縮強度の関係は高い直線性を示しているが、低品質粗骨材を用いたコンクリートでは、セメント水比が大きくなるに従って圧縮強度の伸びが鈍化し、低品質粗骨材を用いたコンクリートの圧縮強度は規準適合粗骨材を用いたコンクリートの圧縮強度よりも小さくなっている。

そこで、どの程度の圧縮強度から低品質粗骨材の影響が現れるのかを調べるため、同一セメント水比、同一材齢のコンクリートの圧縮強度を規準適合粗骨材を用いた場合と低品質粗骨材を用いた場合で比較検討した結果が図-5である。図によれば、圧縮強度が400kgf/cm²を超えるあたりから低品質粗骨材を用いたコンクリートの圧縮強度が低下していることがわかる。なお、前述の点載荷試験から推定すると、低品質粗骨材には圧縮強度が400kgf/cm²以下のものが30%程度含まれており、これがコンクリートの圧縮強度の低下に影響したものと考えられる。

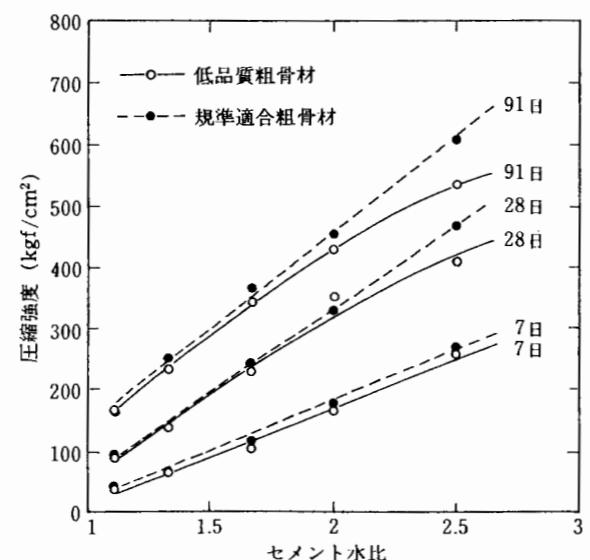


図-4 セメント水比と圧縮強度の関係

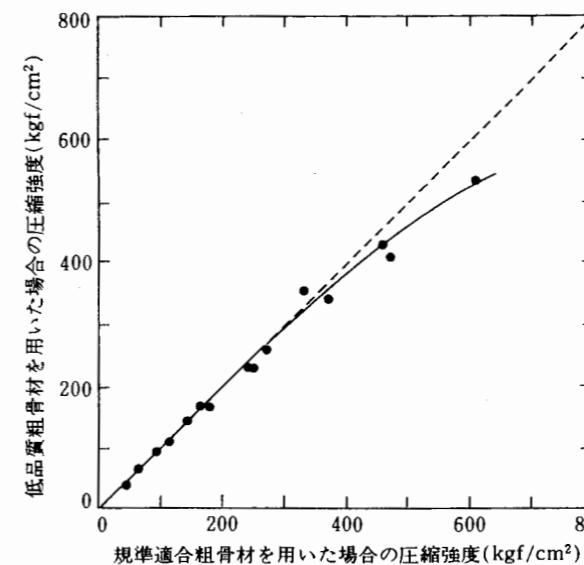


図-5 規準適合粗骨材を用いた場合と低品質粗骨材を用いた場合の圧縮強度の比較

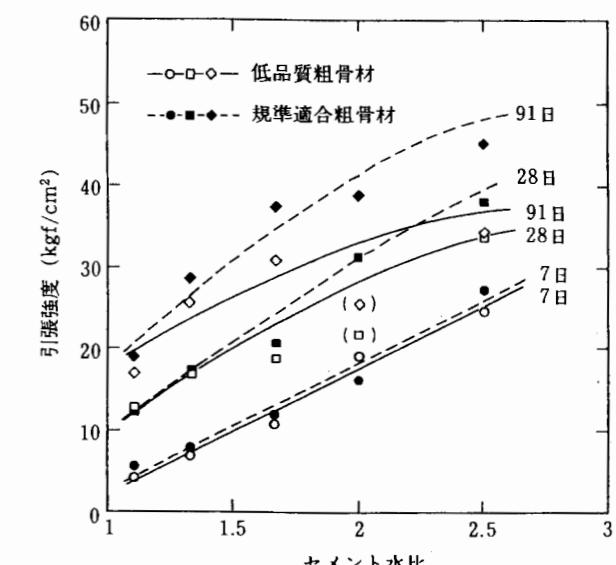


図-6 セメント水比と引張強度の関係

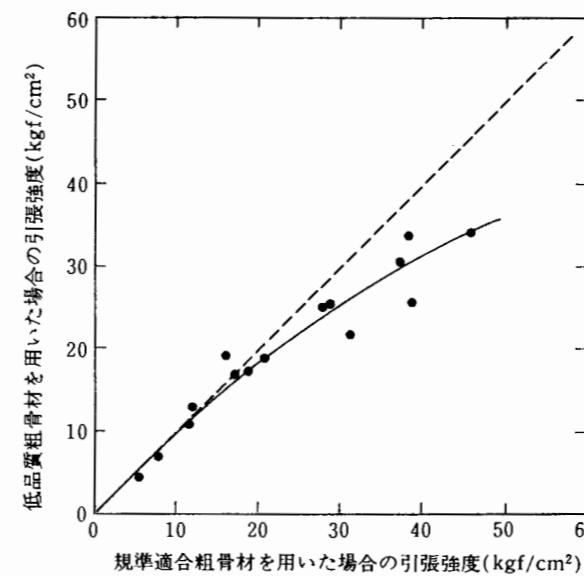


図-7 規準適合粗骨材を用いた場合と低品質粗骨材を用いた場合の引張強度の比較

#### (2) 引張強度

次に、低品質粗骨材を用いたコンクリートと規準適合粗骨材を用いたコンクリートについて、セメント水比と引張強度(割裂強度)の関係を整理したものが図-6である。

図によれば、材齢7日においては、低品質粗骨材を用いたコンクリートと規準適合粗骨材を用いたコンクリートの引張強度にはほとんど差がなく、

いずれの場合もセメント水比と引張強度の関係は高い直線性を示している。一方、材齢28日においては、規準適合粗骨材を用いたコンクリートでは、セメント水比と引張強度の関係は概ね直線性を示しているが、低品質粗骨材を用いたコンクリートでは、セメント水比が大きくなるに従って引張強度の伸びが鈍化している(この傾向は引張強度の高いコンクリートに一般的に認められている)。一方、低品質粗骨材を用いたコンクリートでは、試験値のばらつきが大きく、また規準適合粗骨材を用いたコンクリートの引張強度よりもさらに低い引張強度を示している。

そこで、どの程度の引張強度から低品質粗骨材の影響が現れるのかを調べるため、同一セメント水比、同一材齢のコンクリートの引張強度を規準適合粗骨材を用いた場合と低品質粗骨材を用いた場合で比較検討した結果が図-7である。図に

よれば、引張強度が $20\text{kgf}/\text{cm}^2$ を超えるあたりから低品質粗骨材を用いたコンクリートの引張強度が低下してくることがわかる。

### (3) 弹性係数

弾性係数は圧縮強度試験用の供試体の側面に3枚のひずみゲージを貼って測定した。応力ひずみ曲線の代表的な測定例を図-8に示す。図によれば、同一応力レベルにおけるひずみは、規準適合粗骨材を用いたコンクリートに比べて低品質粗骨材を用いた方が大きくなっている。また、破壊時ひずみも、規準適合粗骨材を用いたコンクリートに比べて低品質粗骨材を用いたコンクリートの方がやや大きくなっている。

次にコンクリートの弾性係数は次式によって算出するものとした。

$$E = \frac{\sigma_1 - \sigma_0}{\epsilon_1 - \epsilon_0} \quad (1)$$

ここに、 $\sigma_1$ ：圧縮強度の1/3の応力

$\sigma_0$ ： $50 \times 10^{-6}$ ひずみ時の応力

$\epsilon_1$ ：圧縮強度の1/3の応力時のひずみ

$\epsilon_0$ ： $50 \times 10^{-6}$

である。

低品質粗骨材を用いたコンクリートと規準適合粗骨材を用いたコンクリートについて、セメント水比と弾性係数の関係を整理したものが図-9である。図によれば、セメント水比と弾性係数の間には圧縮強度の場合（図-4）のような直線性は

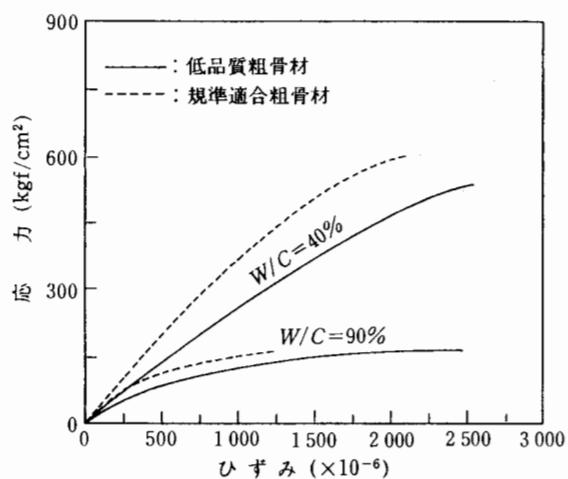


図-8 コンクリートの応力ひずみ曲線

認められない。また、圧縮強度の場合とは異なり、セメント水比が同一であっても、低品質粗骨材を用いたコンクリートの弾性係数は規準適合粗骨材を用いたコンクリートの弾性係数よりも常に小さくなっている。

そこで、低品質粗骨材を用いたコンクリートの弾性係数と規準適合粗骨材を用いたコンクリートの弾性係数の関係を調べるために、同一水セメント比、同一材齢のコンクリートの弾性係数を規準適合粗骨材を用いた場合と低品質粗骨材を用いた場合とで比較検討した結果が図-10である。図によれば、低品質粗骨材を用いたコンクリートの弾性係数と規準適合粗骨材を用いたコンクリートの弾性係数の間には線形な関係があり、本試験の場合、低品質粗骨材を用いたコンクリートの弾性係数は規準適合粗骨材を用いたコンクリートの弾性係数の60%程度であることがわかる。

### (4) 圧縮強度と引張強度の関係

図-11は、低品質粗骨材を用いたコンクリートと規準適合粗骨材を用いたコンクリートに対して、圧縮強度と引張強度の関係を整理したものである。図によれば、圧縮強度が小さい場合には圧縮強度と引張強度の間に線形関係があるが、圧縮強度が大きくなるとその線形関係が失われ、圧縮強度の伸びに比べて引張強度の伸びが鈍化していくことがわかる。

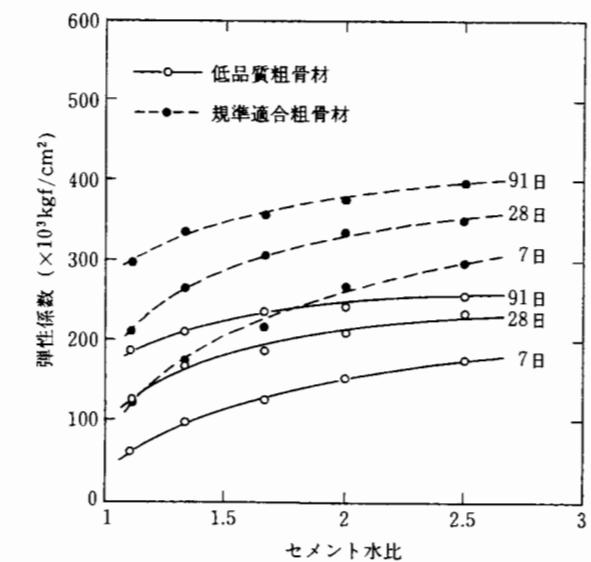


図-9 セメント水比と弾性係数の関係

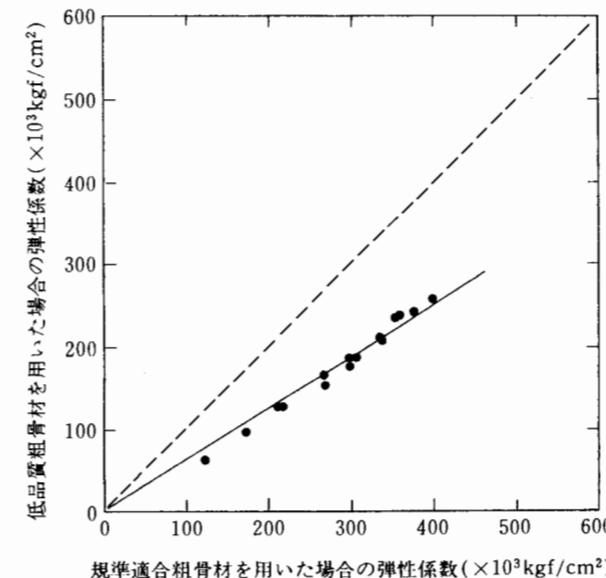


図-10 規準適合粗骨材を用いた場合と低品質粗骨材を用いた場合の弾性係数の比較

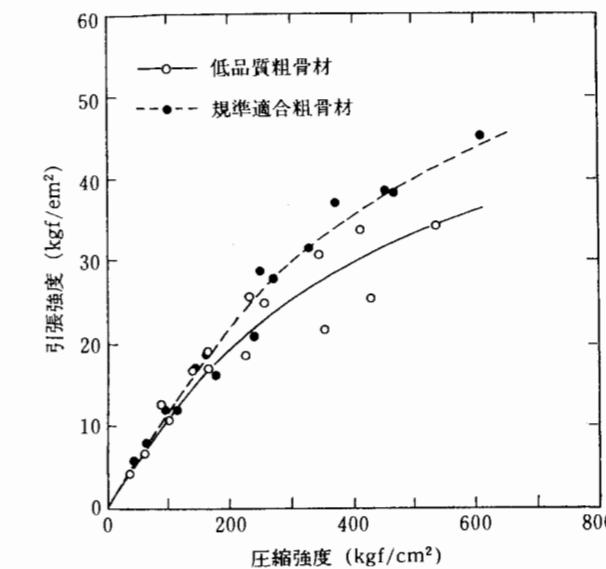


図-11 圧縮強度と引張強度の関係

がわかる。

### (5) 圧縮強度と弾性係数の関係

図-12は、低品質粗骨材を用いたコンクリートと規準適合粗骨材を用いたコンクリートに対して、圧縮強度と弾性係数の関係を整理したものである。

図によれば、圧縮強度と弾性係数の関係は非線形で、圧縮強度の伸びに対する弾性係数の伸びは徐々に鈍化していくことがわかる。

また、低品質粗骨材を用いたコンクリートと規準適合粗骨材を用いたコンクリートを比較すると、圧縮強度が $200\text{kgf}/\text{cm}^2$ 程度までは圧縮強度と引張強度の関係は両者ともほぼ同一であるが、圧縮強度が $200\text{kgf}/\text{cm}^2$ を超えると、引張強度は低品質粗骨材を用いたコンクリートの方が小さくなっている。すなわち、低品質粗骨材を用いた影響は、圧縮強度よりも引張強度に大きく現れること

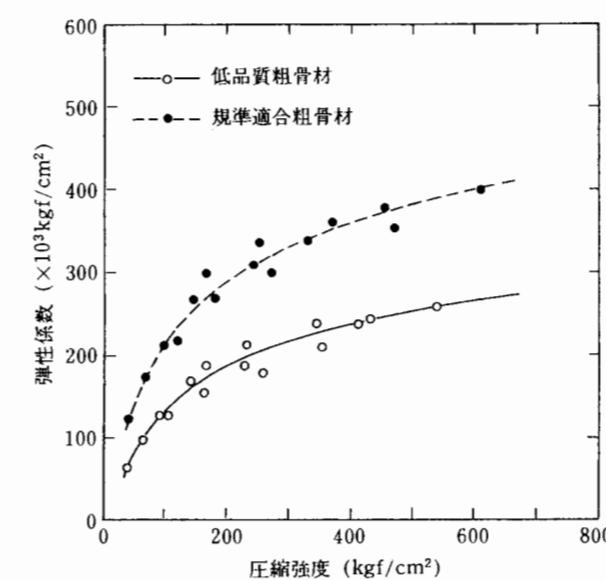


図-12 圧縮強度と弾性係数の関係

規準適合粗骨材の場合：

$$E = 102,400 \ln f_c - 252,700 \quad (2)$$

低品質粗骨材の場合：

$$E = 72,100 \ln f_c - 195,000 \quad (3)$$

ここに、 $E$ ：弾性係数( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )

$f_c$  : 圧縮強度(kgf/cm<sup>2</sup>)

である。

#### 4. ま と め

本論文では骨材の品質規準から外れた低品質粗骨材を用いたコンクリートと骨材の品質規準に適合した規準適合粗骨材を用いたコンクリートに対して、圧縮強度、引張強度、弾性係数の比較試験を実施し、その差異について考察した。この結果、以下のことが明らかとなった。

① コンクリートの強度があまり高くない範囲においては、コンクリートの圧縮強度、引張強度は水セメント比によって定まり、低品質粗骨材を用いた場合と規準適合骨材を用いた場合で、両者の圧縮強度、引張強度に差は生じない。

しかし、高強度コンクリートにおいては、骨材の品質がコンクリートの強度に影響を及ぼし、低品質骨材を用いたコンクリートの圧縮強度、引張強度は規準適合骨材を用いたコンクリートの圧縮強度、引張強度よりも小さくなる。

② この場合、骨材の品質がコンクリートの強度に及ぼす影響は、圧縮強度よりも引張強度において早く現れる。すなわち、低品質骨材を用いたコンクリートの圧縮強度と規準適合骨材を用いたコンクリートの圧縮強度が同一であっても、低品質骨材を用いたコンクリートの引張強度が規準適合骨材を用いたコンクリートの引張強度よりも劣る場合がある。

③ コンクリートの弾性係数は、骨材の品質によって大きな影響を受ける。低品質骨材を用いたコンクリートの圧縮強度や引張強度が規準適合骨材を用いたコンクリートの圧縮強度や引張強度と同一であっても、低品質骨材を用いたコンクリートの弾性係数は規準適合骨材を用いたコンクリートの弾性係数よりも常に小さくなる。

重力式コンクリートダムでは、堤体に発生する応力は比較的小さく、また、引張強度や弾性係数の大きさが構造設計上問題となることも少なくない。

このため、重力式コンクリートダムの内部コンクリートに低品質骨材を用いることは十分可能であると考えられる。なお、今回の試験は、物理的性質が劣る低品質骨材について実施したものであり、アルカリ骨材反応など化学的性質が問題となる骨材については別途詳細な検討が必要である。また、細骨材に低品質骨材を用いる場合には、フレッシュコンクリートの品質についても検討を加える必要があると思われる。

#### 参 考 文 献

- 1) 永山 功: コンクリートダムの合理化施工法の現状と課題、ダム日本, No.591, 1994. 1
- 2) 土木学会: コンクリート標準示方書ダム編、土木学会, 1986
- 3) 土木学会岩盤力学委員会: 軟岩の調査・試験の指針(案)、土木学会, 1991
- 4) 永山 功、渡辺和夫、向江幸介: 低品質骨材を含有したコンクリートの強度、変形特性に関する実験的検討、第48回土木学会年次学術講演会, 48-V, 1993. 9
- 5) 永山 功、渡辺和夫、佐々木隆、大野直行: 低品質骨材を含有したコンクリートの強度、変形特性に関する実験的検討、第49回土木学会年次学術講演会, 49-V, 1994. 9