

海外における砂防ダムコンクリートの 製造法に関する考察 -適正技術の視点から-

横倉順治¹・大即信明²

¹正会員 東京工業大学特任教授 グローバル人材育成推進支援室 (〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1)

E-mail: yokokura.j.aa@m.titech.ac.jp

²正会員 東京工業大学教授 理工学研究科 国際開発工学専攻 (〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1)

E-mail: otsuki.n.aa@m.titech.ac.jp

日本の有償資金協力によるインドネシアのメラピ火山における砂防ダム建設では、23基のダムはいずれもレディーミクトコンクリート運搬車の通行が困難な場所にあった。一方河床には良質な骨材が存在するのでこれを活用し、油圧ショベルにより地元町工場で製作した容積約6m³の鋼製ボックスの中で材料を練混ぜる方法を用いて、各ダムサイトでコンクリートを製造した。細骨材の表面水量については、測定がローカル担当員により行われるため、原理の理解と計器の扱いが容易である必要があったことから、フライパンに入れた資料を調理用ガスコンロで加熱して乾燥させる前後の重量差を市販のバネ秤で測定する方法とした。日本とは環境の異なる海外の現場で、以上のように現地の状況に合った方法を工夫し、所要の性能を有するコンクリート約21万6千m³を製造した。

Key Words : *appropriate technology, sabo dam concrete overseas, , surface moisture measurement materials available at the site, tools and machinery locally available*

1. はじめに

インドネシアの中部ジャワに位置する古都ジョグジャカルタ市では、30km 北方に存在するメラピ火山の度重なる噴火とそれに伴う土砂災害・洪水に人々は苦しんできた(図-1)。このような状況に対して、日本政府による防災を目的とした円借款事業が進められた。第3期円借款事業は「プロゴ川流域メラピ火山緊急防災事業」と称し、2006～2011年に41億円の事業費で砂防ダム、避難所建設とコミュニティを対象とした防災教育などのソフト対策が実施された。この中で23基の重力式コンクリート砂防ダムが2008～2011年に建設された。

建設現場はレディーミクストコンクリート運搬車のアクセスが困難な場所に位置するという問題があったが、各現場にはコンクリート製造に適した骨材を含む土石流堆積物が豊富に存在した。そこでコンクリートはこれを使用して各ダムサイトで製造された。ここで、各サイトにバッチャープラントを設置することはコスト的に不可能であったことから、油圧ショベルを用いて一度に最大5m³のコンクリートを鋼製ボックス内で練混ぜる方法を採用した。施工中の品質管理のために行われた細骨材の表面水量の測定については、原理が難解であったり、繊細な測定機器の扱いを要する方法は、23か所のローカル担当者すべてには困難と考えられたので、フライパンに入れた細骨材を調理用ガスコンロで熱して乾燥させ、その

前後の重量差を市販のバネ秤で求める方法を採用した。これらに必要な機材・器具は地元で調達した。

本論文では上述方法に関し、具体的内容とその結果製造されたコンクリートが所要の性能を有することを説明し、日本のマニュアルにはないが現場環境に合った合理的で適正な技術であることを明らかにした。

2. 砂防ダム建設工事の概要

(1) コンクリートの設計基準強度と製造実績

砂防ダム23基の位置を図-1に赤丸で示した。各ダムの天端は設計基準強度 22.5N/mm² (インドネシアでの名称は K-225²⁾) で厚さ 100cm、下流側表面は同 17.5N/mm² (K-175) で厚さ 100cmのコンクリートで被覆された。コア部分には、23基中16基では12.5N/mm² (K-125) の貧配合コンクリートが打設された。残り7基ではソイルセメントが用いられた。水たたきと側壁には K-175 が用いられた。製造されたダム材料は、コンクリート21.6万m³、ソイルセメント2.3万m³となった。

工期は各ダム24か月で、18基は2008年12月～2010年12月、5基は2009年12月～2011年12月とされた。現地の年間雨量は1700～3300mmであり、このうち約8割が11月～4月の雨季に集中し、建設現場では土石流が発生するため、雨季最盛期となる1～3月には安全への配慮から工事が中断された。製造実績は最大日産1,500m³、同月産約3万m³であった。

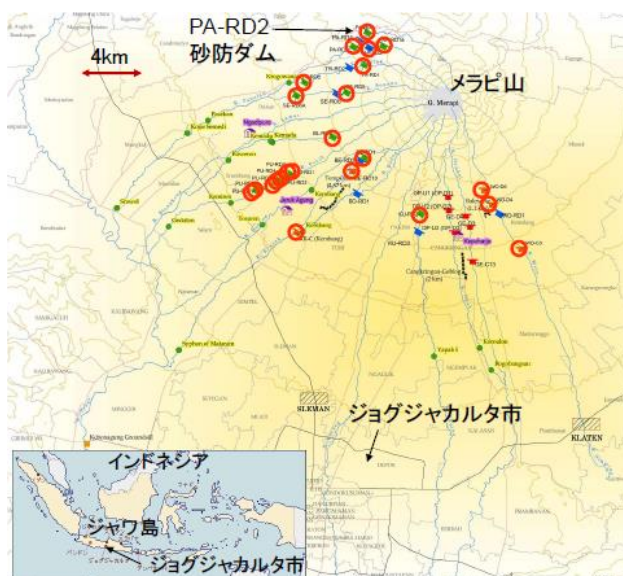


図-1 砂防ダム位置図

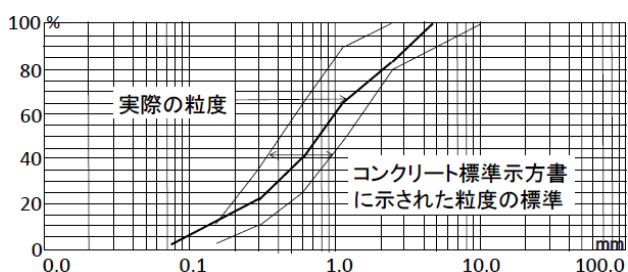


図-2 PA-RD2建設現場で得られた細骨材の粒度分布



図-3 土石流堆積物のふるい分け

(2) 骨材の品質と製造されたコンクリートの強度

代表例として、PA-RD2ダム（図-1参照）の細骨材の粒度分布は図-2のようにコンクリート標準示方書施工編に示される標準の範囲にある³⁾。乾燥密度は $2.69\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率は1.76%でそれぞれ同示方書で標準とされる $2.5\text{g}/\text{cm}^3$ 以上、3.5%以下³⁾を満足した。粗骨材の最大粒径は被覆コンクリート厚100cmの1/4を超えない20cmとされた³⁾。コンクリートの圧縮強度は後述4章のようにすべて設計基準強度を上回った。

(3) 施工手順

23基すべてのダムの立地条件として、建設現場へのア



図-4 鋼製ボックスを使用しての練混ぜ

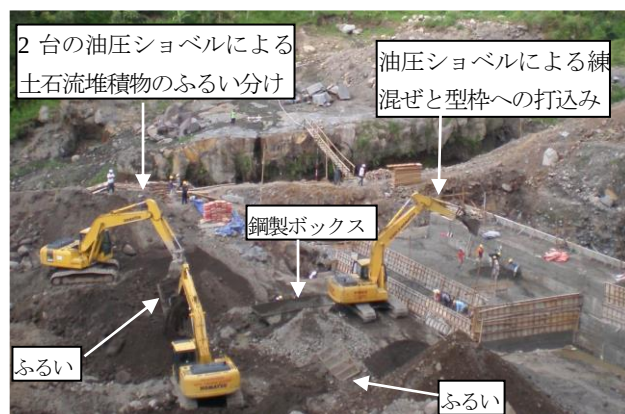


図-5 ダムサイトでのコンクリート製造・打込みの全景

セス道路は十分には整備されていなかったことが挙げられる。そのため工場からレディーミクストコンクリートを所定時間内に運搬できなかった。また各ダムサイトにバッチャープラントを建設することはコストの点から不可能であった。そこで各サイトで得られる土石流堆積物をふるい分けした後、ダム型枠脇に置いた鋼製ボックスに投入して水とセメントと練混ぜ、打込む方法を考案した。この作業はふるい、油圧ショベルと鋼製ボックスのみで実施可能である。この方法により建設残土の有効利用だけでなく、工期の課題にも対応でき、コスト削減も実現した。粒径20cm以上の玉石のふるい分けの様子を図-3、練混ぜの様子を図-4、作業全景を図-5に示した。

3. 施工の内容

(1) コンクリートの製造

a) コンクリートの配合

コンクリートの配合を種類に従って表-1に示した。

表-1 コンクリートの配合 (kg/m³)

	水	セメント	骨材
K-225	176	320	1695
K-175	180	300	1740
K-125	143	230	1785

注) スランプ : 5±1 細骨材率/s/a : 40%

表-2 K-225の容積配合/m³

	水	セメント	骨材
重量	176 kg	320 kg	1695 kg
容量	176 L		1.13 m ³
容器数量	17.6 buckets	6.4 bags	1.33 buckets

b) 骨材のふるいわけ

各ダムサイトでの掘削残土あるいは計画河床高以上の土石流堆積物を油圧ショベルで採取し、ふるいにかけて粒径 20cm 以上の玉石を取り除いた (図-3)。ふるいは鋼棒を 20cm 間隔で格子状に並べたものをジョグジャカルタ市内の町工場で製作した。

c) 細骨材表面水量の測定

コンクリートを製造する日には作業前に細骨材の表面水量を測定し、その結果に基づき水量と骨材量を補正した。フライパンに入れた細骨材約1kgを調理用ガスコンロで加熱しながら調理用金属製しゃもじで攪拌、目視により表面乾燥状態になったことを確認後に、グラム単位で読取れるバネ秤により計測し、熱する前後の資料の重量差を表面水量として得た。使用した道具を図-6に、加熱している様子を図-7に示した。

細骨材の表面水量の測定はJIS A 1111による試験方法の他、メスシリンダーを用いた測定法、中性子を利用した測定法などがある。本工事では23サイトすべてのローカル係員が対応できるよう原理が単純で器材の扱いが容易であること、使用する試験器材は経費的に23サイトすべてに調達可能であることなどの条件から、上述方法を採用した。表面乾燥状態の目視確認は他の方法と比較して誤差が増す要因となるので、必ず砂の表面が乾燥するまで加熱を継続するよう指導し、徹底を図った。

d) 材料の計量

23サイトすべてに材料を重量測定する計器を設置することは経費の制限上できなかったため、材料の計量は容量で行った。配合表の重量を容量に換算し、更に各材料の容器数量、すなわち水はバケツ数、セメントは袋数、骨材は油圧ショベルのバケツ数に換算した。換算値については、水は10L/バケツ、セメントは50kg/袋、油圧ショベルのバケツ容量は0.85m³であり、骨材の単位容積重量は1500kg/m³であった。K-225の容量表示による配合を表-2に示した。

e) 練混ぜと打込み

ふるいにかけて集積された骨材は油圧ショベルで鋼製ボックスに投入された (図-4)。この鋼製ボックスはジョグジャカルタ市内の町工場で製作された。寸法は

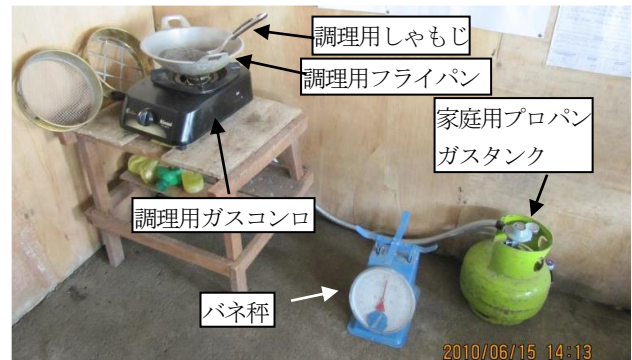


図-6 表面水量計測に用いた器材



図-7 細骨材をフライパンで乾燥している様子

同図に示したとおりであり、容量は 6.48m³である。水はバケツで、セメントは袋から直接、それぞれ人力で投入された。鋼製ボックスの脇には係員が立ち、作業員が投入する材料の数量をチェックした。全部の材料を同時に均等に投入したが、水は他の材料より早く入れ始め、油圧ショベルのバケツによる練混ぜ速度を一定に保ち、他の材料を入れ終わったのち約 30 秒後に入れ終わるようにした。一度に練混ぜるコンクリートは 3m³~5m³だった。5m³のコンクリートの練混ぜ時間は、色合いとコンシステンシーが一樣になるまでの 20 分間とした。練混ぜバッチごとにスランプを確認の上、油圧ショベルにより型枠にコンクリートが打込まれた。ただしソイルセメントについては、このあと油圧ショベルによる敷均しとロードローラーによる転圧が行われた。

(2) コンクリート圧縮強度の試験結果

すべてのダムで1回/日または150m³毎に圧縮強度試験のための供試体を作成された。供試体の形状はインドネシアで一般的に用いられる一辺15cmの直方体だったので、その試験結果の83%が円柱供試体相当の換算強度とされた²⁾。1回につき2個の供試体を作成して材齢28日の圧縮強度を計測し、その平均値が用いられた。代表例としてPA-RD2ダム (位置は図-1参照) について述べる。このダムに関する試験結果をヒストグラムに整理した (図-8)。すべてのデータは設計基準強度を上回っている。データが比較的少ないK-225とK-175ではピークが複数出現するが、データが増加するK-125では目標値の周辺にデータが

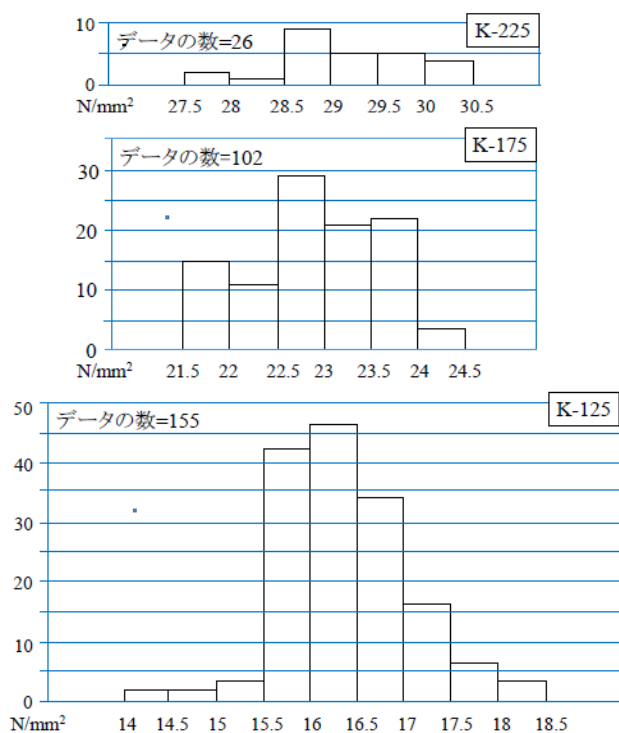


図-8 コンクリート強度試験結果のヒストグラム

分布しており、このダム全体としては規格値を目標にして適切な品質管理が行われたことが想定される。他のダムでも同様な結果が得られた。

4. まとめ

- 1) 日本の社会システムと経済力という条件下で生み出された日本の技術が、そのまま海外に適用できるとは限らない⁴⁾。現地環境に見合った方法を工夫することが重要である。
- 2) 工事現場にレディーミクストコンクリート運搬車が

所定の時間に到達することが困難という道路整備状況の課題については、汎用的な建設機械である油圧ショベルおよび町工場で制作されたふるいと鋼製ボックスを用い、現場で得られる土石流堆積物を利用して各サイトでコンクリートを製造する方法で対応した。

- 3) 表面水量測定に関するローカル担当者の技術レベルの課題に関しては、現地で市販されている器具を用いて実施でき、かつ原理の単純な計測法で対応した。
- 4) 製造されたコンクリートの品質は、設計基準強度を満足する試験結果を得ている。現地状況に合った方法により問題を解決できたと言える。
- 5) コンクリートはプラントで製造する、あるいは表面水量は試験室器具で計測する、という固定化した考えから脱却し、日本とは異なる環境に応じた問題解決の新しい選択肢を示した。技術力とは問題を認識・設定し、解決する力であり、先端技術、最新工法を使っているかではない⁴⁾。海外ではしばしばその時の状況に応じた適正技術を工夫することが必要となる。本文がさまざまな制約下にある海外におけるコンクリート製造のあり方に新たな示唆を与えることができれば幸いである。

参考文献

- 1) 大野宏之：砂防事業における現場発生土の有効利用 その8、砂防と治水32(6), pp. 42-43, 全国治水砂防協会, 2000
- 2) Department of Public Works: Concrete Regulation Indonesia N. I. -2, pp. 33-34, 1971
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書施工編, pp. 45-46, pp. 50-51, p. 71, pp. 106-107, 2012
- 4) 古木守靖：インフラ研究会講演資料, 国際協力機構, 2015

(2015. 10. 21受付)

METHOD OF SABO DAM CONCRETE PRODUCTION OVERSEAS FROM THE VIEW POINT OF APPROPRIATE TECHNOLOGY

Junji YOKOKURA, Nobuaki OTSUKI

In Urgent Disaster Reduction Project for Mt. Merapi Progo River Basin in Indonesia, implemented with Japanese Yen Loan between 2006 and 2011, all the proposed 23 sabo dams were located at sites to which access of concrete transit lorries was difficult. Under this condition, concrete was produced at each dam site using sand and gravels of appropriate quality, available as debris flow sediment over the river bed. The materials were put into a steel box of some 6m³, mixed with water and cement, and placed into forms, all with excavators only.

Measurement of surface water quantity over sand particles for daily quality control had to be simple for local technicians at all 23 construction sites to understand its principle and easy to treat measuring equipment. To respond the issue, sand was dried in a fly pan over a cooking gas stove and the difference of the weight before and after the drying was measured with a spring scale.

The machinery, equipment and tools were all procured locally. 213,000 m³ of concrete satisfying the technical specification, was produced with such appropriate technology contrived according to the local conditions.