

V-10

ダムコンクリート用骨材の基礎的考察

正員 菊地正敏

1. はじめに

近年、ダムコンクリート骨材は天然骨材資源の枯渇により、原石山より原石を採集、圧砕して碎石骨材を製造するケースが非常に多くなった。原石の岩質も従来に比べて問題点のある岩質もあり、岩質の成分についても化学的にも不安定な例もあり、また施工性、耐久性にも悪影響を及ぼす恐れもあり、事前に岩石の化学分析等の調査試験を行う必要がある。

骨材には天然産と人工的な碎石とがあり、特にダムコンクリートの容積77-84%位を占める重要な材料である。骨材の品質、粒度その他の諸条件については土木学会標準示方書にその標準が示されている。故にダムコンクリートの諸性質に及ぼす影響は非常に大きい。また、ダムコンクリートのコストに及ぼす影響も大きい。天然骨材と碎石骨材の優劣の判定は難かしく、天然骨材が現場で入手できる場合は、天然骨材が碎石骨材より経済的である。

故吉田徳次郎先生は、「コンクリートは一種の人造石であり、良質な骨材を用いてより少ない単位水量を用いワーカブル密実な耐久性に富んだ、より経済的なコンクリートを良いコンクリートと云う」と云われた。即ち、粗骨材の空隙を細骨材で埋め、細骨材の空隙をセメントペーストで埋め、そして十分に練り混ぜることにより、コンクリートを造る初期的原理を先生はご教示された。故に、骨材はコンクリートの重要な材料と云える。

今後コンクリートダムの建設の必要性に応じて、従来のダムサイトに比べ好条件な地質条件下におけるダム建設は望めず、良好な原石山も枯渇状態にあると云える。故に骨材の良品質なものも多くは望めず、従来廃棄されていた規格外の低品質骨材も今後有効利用をせざるを得ない状況下であり、ダムコンクリートの今後の課題*₁とも云える。

2. 岩石の種類

岩石は骨材としての分類、即ち、岩石学的なまた地質学的な見地で分類され、岩石の生成過程または成因によりなされ、更に物理的性質が化学成分によって分類されている。岩石は (1) 火成岩 (2) 堆積岩 (3) 変成岩に大別される。骨材として性質を述べる場合には構成鉱物をベースとして分類するのが適当である。岩石の性質によって物理的性質、化学的性質、骨材として重要な性質が認められ、岩石の種類から骨材の性質を大略推定することも可能である。

(1) 火成岩：地下層におけるマグマが地表の貫入または噴出し、その後冷却により生成された岩石である。生成された層部、即ち、深さにより i) 深成岩、ii) 半深成岩、iii) 火山岩に分類され、更に化学成分により細分される。

i) 深成岩：花崗岩、閃緑岩、はんれい岩、かんらん岩等である。

ii) 半深成岩：石英斑岩、ひん岩、輝緑岩等である。

iii) 火山岩：流紋岩、安山岩、玄武岩等がある。

(2) 堆積岩：生成過程、化学成分、粒度等により、i) 碎屑堆積岩、ii) 化学堆積岩、iii) 火山性堆積岩に分類される。また、堆積作用は主に水中で行われるため堆積岩は水成岩と云はれている。

i) 屑堆積岩：泥岩、砂岩、けつ岩、粘板岩、硬砂岩等である。

ii) 化学堆積岩：チャート、石灰岩、ドロマイト等である。

iii) 火山性堆積岩：凝灰岩、凝灰角礫岩、輝緑凝灰岩等である。

Fundamental Concideration on Aggregates of Dam Concrete. by Masatosi Kikuchi

(3) 変成岩：変成岩は成因により、 i) 熱変成岩と、 ii) 動力変成岩に分けられる。熱変成岩は地下マグマ深成岩の火成岩の熱により岩石に変成されたものである。また、動力変成岩は大規模地殻変動により強力な熱と動力によって鉱物が再結晶したものである。

i) 熱変成岩：ホルンヘルス、大理石等である。(雲母、紅柱石、けい緑石等を含んでいる。)

ii) 動力変成岩：黒色変岩、緑色変岩、片岩等がある。雲母変を含み構成物質は何れも軟石で風化変質しやすく、著しく片理構造を有し剥離性がある。

3. 骨材としての有害物

骨材の中に少量含まれていてもコンクリートに対し有害と考えられる鉱物である。即ち、有害物はローモンタイト、モンモリロナイト、シリカ鉱物、玻璃、アルカリゼオライト、硫化鉱、ドロマイト質石灰岩、雲母類等である。

わが国は火山国であり、温泉が多く温泉熱水作用により生成されるローモンタイト、モンモリロナイトやシリカ鉱物が多く、これ等に起因してコンクリートが劣化、崩壊した構造物もある。故に骨材の性情を知ることにより骨材として使用上の留意事項を事前に得ることにより、有害鉱物が存在しても対策事項として有意義である。今後ダムコンクリート用骨材は良質な岩石が入手も困難と考えられ、如何に対応して行くかにあり、原石山での有害鉱物の分布状態の調査、骨材資源としての有効対策を講じ、使用を広く求めることが肝要である。

(1) ローモンタイト

濁沸石と云われ、 $\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ で表され、白色板状の結晶である。岩石中の構成物質を交代して存在する。安山岩中の角閃石、長石と交代したり、凝灰岩を交代することもある。

ローモンタイトは岩石中の割れ目を充填して脈状に存在する。岩石の種類を選ばず、火成岩、変成岩、堆積岩等の岩石の割れ目を埋めて細脈として存在する。

ローモンタイトのコンクリートに対する変質現象は、コンクリートのスケーリング、強度低下、ポップアウト、凍結融解による損傷である。ローモンタイトは乾湿の繰返し変化により、吸・脱水し、へき開面が変化したり、乾湿の変化により体積変化してコンクリートの体積変化を起こす。また、乾湿の変化がない場合、例えば水面下でもコンクリートの劣化はみられる。反応性シリカを含む鉱物と共存する場合には、アルカリシリカ反応を促進される。

骨材として使用する場合、岩石中に細脈状でローモンタイトが存在する場合、0.6%以下であると問題はなく、1~2%含む場合はポップアウトを生じることがある。骨材中のローモンタイトの分析はX線粉末解析、化学分析を行う。

(2) モンモリロナイト

筆者は「粘土鉱物を含んだ骨材を用いたダムコンクリートに関する基礎的考察」*₂と題して述べたが、参考にして頂けると幸いである。モンモリロナイトは結晶構造をなし、層間にNa、K、Ca等の交換イオンの組成を有し、白色粉状は乾湿の変化により水を吸収して体積膨張を起こし、乾燥すれば脱水して収縮する。故に凍結融解作用により耐久性に影響を及ぼす、またモンモリロナイトは吸着性も高いので、ダムコンクリートの異常な早期凝固の要因となっている。更に混和剤を吸着したり、材令と共に膨張したりする。施工性、耐久性に及ぼす影響は大きい。

骨材として使用する場合には、砂岩、礫岩、粘板岩、凝灰岩等の堆積岩の構成鉱物にモンモリロナイトが交代して存在する場合には注意を要する。モンモリロナイトの調査試験はX線粉末解析、顕微鏡観察、化学分析(陽イオン交換容量測定)により行う。

(3) シリカ鉱物

オパール、玉髄、クリストバライト、トリジマイト等のシリカ鉱物は、セメントのアルカリと反応してシリカ・アルカリ反応により、シリカ鉱物は膨張、コンクリートが膨張してひび割れが発生する。

i) オパール：オパールは $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ の非結晶質、またはそれに近い含水珪酸鉱物である。温泉変質した火山岩や、玄武岩溶岩中、砂岩、シルト等堆積岩中に存在したり、石灰岩中、またはフリント、チャートと共に産する。生成の古いオパールはクリストバライト化しているものが多い。

ii) 玉髄(カルセドニー)：シリカ質堆積物(石英)の珪酸緻密集合体である。めのう、チャート、フリント中に存在する。また、温泉熱水作用を受けた安山岩、流紋岩中にも存在する。

iii) クリストバライト：トリジマイトと共に石英の多形であり、白色である。温泉作用や熱水作用により生成、安山岩、流紋岩、凝灰岩中に存在する。

iv) トリジマイト：安山岩、玄武岩、流紋岩、凝灰岩中に存在する。クリストバライトと共成するが、量的には少ない。

コンクリート用骨材として使用する場合には、顕微鏡観察、X線粉末解析、ASTM C-289 骨材の潜在反応試験(化学法) ASTM C-227 セメント・骨材の潜在性アルカリ反応試験(モルタルバー法)で試験を行う。

(4) 波璃

骨材中に存在するとシリカ鉱物と同様にアルカリ骨材反応の要因となる。波璃は安山岩、流紋岩等の火山岩中に存在し、また、凝灰岩、泥岩、砂岩、けつ岩等の堆積岩中にも見られる。波璃の代表的岩石は黒曜石、真珠岩、軽石である。

コンクリート用骨材として使用する場合は顕微鏡観察を行い、試験は ASTM C-289、ASTM C-227 で行う。

(5) アルカリゼオライト

火山岩の空隙中に産し、温泉熱水作用による変質鉱物として表れる。アルカリゼオライト中のNaがセメント中のCaとイオン交換してセメント中のNaが増加し、アルカリと反応してコンクリートは膨張、亀裂が生じる。アルカリゼオライトの分析にはX線粉末解析を行う。試験法は ASTM C-227 による。

(6) 硫化鉱

代表的な鉱物は黄鉄鉱で、他に白鉄鉱、磁硫鉄鉱等である。熱水作用による火成岩の変質、低温で生じた変成岩、塩基性火成岩中に存在する。硫化鉱はコンクリート中で O_2 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、水の存在により、膨張現象を起こさせ、 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ の生成によりコンクリートを褐色に汚れることがある。

コンクリート用骨材として使用する場合には目視も可能であるが、X線粉末解析、顕微鏡観察が挙げられる。またコンクリートの暴露試験を行う方法がある。

(7) ドロマイト質石灰岩

ドロマイト ($[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$) とドロマイト質石灰岩である。アルカリ岩酸塩によりセメント中のアルカリと反応を起こし吸水膨張を起こして崩壊する。国内では栃木県、岐阜県で産しコンクリート用骨材として使用されている。ドロマイトに含まれる粘土の種類や形態を調査することが重要である。顕微鏡による検査が主である。試験はコンクリート供試体を作成して変化を見る。

(8) 雲母類

筆者は「雲母片を含んだ細骨材を用いたダムコンクリートに関する基礎的考察」*₃と題して述べた。加水雲母は雲母類の風化変質、熱水変質生成物、火山岩の熱水変質鉱物として現われる。イライトは堆積岩中に現われ、微細鉱物である。乾湿の変化に伴い膨張、収縮して、コンクリートの体積変化を起こしたり、夏季には鉱物中に含まれる水分によりポップアウトが生じ、また冬期には凍結融解による損傷を受ける。雲母片を含んだ細骨材を用いたコンクリートは大幅に単位水量が増加するので注意を要する。

加水雲母、イライトを調べるにはX線粉末解析が有効である。また軟質で水分が多いので、すりへり、吸水率の試験で可否が判定され、顕微鏡観察も有効である。

(9) その他（ブルーサイト）

以上の外に蛇紋岩、白雲母、接触變成作用を受けた石灰岩、ドロマイト等のMgに由来するブルーサイトは大気中のCaと反応して酸化、炭酸化してコーリンガイトを生じ、膨張してポップアウトを生じる。反応は長期にわたるので試験は化学分積、コンクリート試験を行い対処する。

以上骨材中に含有されて、コンクリートに有害悪影響を及ぼす鉱物について述べたが施工箇所、気象条件等も加味して有害鉱物を含有する骨材の対処方法、有効利用が加案される。以上の試験方法としては、

(1)顕微鏡観察 (2) X線粉末解析 (3) 潜在反応性試験(ASTM C-289、ASTM C-227)

等が主要である。

4. 低品質骨材の有効利用

近年ダム建設の増加によりダムサイトも好条件下で建設されることが困難となった。複雑な地質の条件で良質な原石山が、良好な天然骨材資源の枯渇と共に困難な状態となった。故に良質な岩石の採集もまた困難となり、採掘量の増大、廃棄岩の増大及び処分量の増大、ダムコンクリート用骨材のコストアップ、更に環境問題にも課題を呈している。

原石山より採集した原石は初期段階、本体工事段階と進につれて廃棄岩が増加し、特に本体段階では安全性を重視して品質的に若干でも不安があると考えられる場合、全て廃棄岩として処分されたと考えられるのが現状の実態である。その理由として (1) 風化、劣化 (2) 大塊の採集が不能 (3) 狭在層の存在 (4) 軟質化、粘土化 (5) 岩石の品質が不良(比重、吸水率、安定性、軟石量、偏平等) (6) 有害鉱物の含有 等である。

本項目の一項目でも満足出来ない場合は、安全性より廃棄しているのが現状である。最適骨材評価からしては、内部コンクリートに有効利用が可能と考えられる。

骨材試験の結果、現場コンクリートの把握は骨材の物性値を十分に把握された場合、造られるコンクリートの諸性質も判断が可能であり、筆者は「RCDコンクリートの配合に関する骨材物理的試験の基礎的考察」*。と題して述べた。故に低品質骨材の有効利用に際して、従来現場で廃棄した原石も内部コンクリートに使用が可能となり得るためには、コンクリートの配合試験により、ダムコンクリートの所要の強度、単位重量(密度)を満足すれば可とすべきであり、施工性を満たしておれば十分と云える。また土木学会標準示方書による標準値及び、JIS規定の諸条件を満足すれば使用が可能と云える。JISによる骨材の物理試験については

(1) 比重、吸水試験 JIS A 1109 「細骨材の比重及び吸水試験方法」 JIS A 1100「粗骨材の比重及び吸水試験方法」

(2) 粒度試験 JIS A 1102 「骨材のふるい試験方法」

(3) 洗い試験 JIS A 1103 「骨材の洗い試験方法」

(4) 単位容積重・量実積率試験 JIS A 1104 「骨材の単位重量試験及び実積率試験方法」

(5) すりへり試験 JIS A 1121 「粗骨材のすりへり試験方法」

(6) 軟石量試験 JIS A 1126 「ひっかき硬さによる粗骨材中の軟石試験」

(7) 安定性試験 JIS A 1122 「硫酸ナトリウムによる骨材の安定試験方法」

(8) 粘土塊試験 JIS A 1137 「骨材中に含まれる粘土塊量の試験方法」

(9) 他に振動台による単位容積重量試験を行う。(4)と比較した場合、(9)の方が大となるので(9)を採用した方が得策と云える。

以上の諸試験を行うことにより、試験許容値内であれば使用が可能である。廃棄岩とされていた従来の原石もできるだけ使用が可能となると云える。

広瀬らは低品質骨材の有効利用^{*5}を検討、最適骨材評価コンクリートの展望^{*6}と題してその有効性を述べている。即ちコンクリートダム建設に於いて従来、規格外の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。故に低品質骨材をダムコンクリートの堤体材料として有効利用は

(1) 設計条件に適合した品質を十分に保証した材料を如何に合理的に無駄なく確保するか

(2) 現地での採集可能な材料の最大限の利用

即ち i) 廃棄岩を最小限 ii) 原石山より製造される骨材の合理的かつ最大限の有効利用 iii) 如何に良品質のダムコンクリートを造るか

である。

従来低品質骨材とは、物理的品質、粒形の不良な骨材を云う。物理的品質不良骨材は記述のJISによる骨材の物理試験により判定を行う。粒度不良の骨材、即ち細長、方形、薄片、扁平である。

粒形不良の骨材は実積率と相関性を示している。コンクリートの単位水量に及ぼす影響及びモルタル料の増となる。即ち空隙(率)が大となるからである。また、コンクリートの圧縮強度試験に於いても実積率の小さい骨材は、骨材の強度の低いものがあり、コンクリート強度が低下する。

碎石の実積率は粗骨材の最大寸法及び粒度によって変化する。JIS A 5005「コンクリート用碎石」は20-5mm碎石 2005については粒形判定に実積率を用い、その値は55%以上でなければならないと規定しており、最大寸法20mmと40mmの同一粒度、同一岩種の粗骨材について実積率の相違は、最大寸法40mmの方が3%程度大きい。実積率により骨材の粒形判定を行う場合には、最大寸法及び粒度を定めておく必要がある。

JIS A 5005では2005に20mm~5mm碎石についてのみ形状判定のための実積率の求め方のみを定義していることを念頭におかねばならない。粗骨材の最大寸法40mmを例にすると、約58%が相当実積率といえる。また、最大寸法80mmの粗骨材についても、骨材粒経が大きくなっても原石が同一であれば、骨材形状は殆ど変化しない。

ダムコンクリートのように最大寸法の大きい碎石を用いる場合でも最大寸法40mm以下の骨材にふるい分け、形状判定を行うことが可能である。

また、粗骨材の最大寸法40mmの場合に実積率が1%の減少に対しては、同じスランプを得るために必要な単位水量は約3kgの単位水量の増となる。

内部コンクリートの強度面からすると、現在の骨材の規格値が下っても所要強度を満足するので、この面から見ると低品質骨材の有効利用は十分に検討に値する。

また、コンクリートに対して、有害な鉱物を含有した骨材も諸調査試験により使用が可能であり、特殊なセメント、例えば高ビーライトセメント、混和材料、混和剤の有効利用により、それ等の骨材の有効利用も可能であると云える。

5. おわりに

本文はダムコンクリート用骨材としての岩石の種類別特徴、構成鉱物の性質、骨材としての有害鉱物及び低品質骨材の有効利用について述べたものである。即ち、これ等の骨材の岩石学的性質について安易に理解出来るように略説したもので、また、地質学的に側面から見た特徴について述べたものである。

骨材資源の枯渇は、治水、水資源開発の要望が高まり、増加するダム建設の状況下、従来に比べて好条件下に於けるダムサイトは少なくなり、故に原石山も好条件下で見出すことも困難な状況にある。骨材資源の枯渇問題の所以はここにある。単に良質なダムコンクリート用骨材入手を困難にしているだけでなく、更に骨材製造コストの増、廃棄岩の増大により土捨場も増大して、その用地も増えて省エネルギー対策にも逆行すると云え、経済的にも不合理となる。また、自然環境面からも問題点を投げざるを得ない。

従来低品質骨材(規格外)として廃棄されていた骨材の有効利用の手法は強く要望される。ダム内部コンクリートにすることを述べたが、特にRCDコンクリートに於ける内部コンクリート量は外部コンクリートに比べて多い。即ち、最適骨材評価コンクリートとも云える。

既述の通り、骨材の諸試験(有害鉱物を含んだ骨材の諸試験)、コンクリートの配合試験、及びコンクリートの諸試験を行い、その結果事前に諸情報をキャッチして、現場コンクリートを対処することにより、低品質骨材の有効利用が可能となり、今後のダムコンクリートの重要な課題と云える。

参考文献

- *1 菊地正敏 「ダムコンクリートの今後の課題」 土木学会北海道支部論文報告集 平成4年度
- *2 菊地正敏 「粘土鉱物を含んだ骨材を用いたダムコンクリートに関する基礎的考察」 土木学会第46回年次学術講演概要 平成3年9月
- *3 菊地正敏 「雲母片を含んだ細骨材を用いたダムコンクリートに関する基礎的考察」 土木学会北海道支部論文報告集 平成3年度
- *4 菊地正敏 「RCDコンクリートの配合に関する骨材物理試験の基礎的考察」 土木学会北海道支部論文報告集 平成2年度
- *5 広瀬敏雄et al 「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」 ダム技術 No87 1993年7月
- *6 広瀬敏雄et al 「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 No541 1992年3月