

V-15

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

正員 菊地正敏

1. はじめに

近年、天然骨材の枯渇により、ダム用コンクリート骨材の多くは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。ま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物理的・化学的に不安定な例も多く、施工性、耐久性に及ぼす影響もあり、事前に岩石の物理試験、化学試験を行なっておく必要がある。現在迄にダムコンクリート用骨材に用いられた岩種別骨材の使用状況では、火成岩では花崗岩類が非常に多用されている。本文は特に原石に花崗岩類を用い碎石骨材を製造した際に細骨材の微細粒子に含まれている雲母片について述べるものである。雲母類は骨材として要求される品質としては有害物と明記されており、骨材の中に特に細骨材中に少量含まれていてもコンクリートに対して有害と考えられる。即ち、ダムコンクリートの規定単位水量 $120\text{kg}/\text{m}^3$ をクリヤ出来ないばかりか大幅な単位水量の増*1となる場合がある外、強度、耐久性にも影響を及ぼし問題点を多く含むものである。

2. 花崗岩類について

花崗岩類は岩石学的に分類すると火成岩であり、深成岩類に属し、大別すると花崗岩、花崗閃緑岩、閃緑岩、ノーライト、片麻岩、花崗変岩等である。国内における花崗岩類の分布は地質図を参考にすると、北海道では日高山地また渡島半島に散布し、北上山地、東北背陵、阿武隈山地、関東山地、近畿中央部、紀伊半島東南部、中国地方一帯、九州北部に分布していることが地質図に記されている。

火成岩は、高温溶融状態のマグマが冷却し組織されて生成された岩石である。また深成岩は地下深層部で除却に固結した岩石で、目視で識別出来るような比較的大きい結晶体で粗粒構造をしていることが多い。また風化作用を受けると鉱物粒子の結合力が弱いためバラバラになり易い性質もある。花崗岩類は既述の通り、

地下の深い処で長期間にわたり生成された岩石であるので、鉱物は1~数mmの結晶形で、相互にかみあつた粗粒構造をしていることが多い。故に花崗岩類はほぼ均質で異方性が少ない新鮮な岩石は強度も強くコンクリート骨材としては適していると言える。花崗岩類の特徴と性質を以下述べる

(1) 花崗岩について： 花崗岩は深成岩の代表的なもので石英、長石、黒雲母、角閃石等から構成され酸性で優白質である。それぞれの鉱物は1~数mmの結晶形で、相互にかみあつた構造になっている。また結晶粒子の結合力は大きくないため、構造運動を受けて内部応力の蓄積と開放により内部組織が破壊されやすい。それは石英と長石を主体とする岩石であるため、鉱物の粒子は硬いが粒子間の結合は堅固でないためである。風化作用を受けると鉱物粒子の結合力が弱いためバラバラになり易い性質がある。この状態のものがマサと呼ばれるものである。また著しい風化作用でなく、原形を留めていても正長石、斜長石は風化変質し易く、カリオン、絹雲母等の粒土鉱物となる。新鮮なものでも雲母の含有量が多いものは泥分が多くなり易く、特に砂を製造する場合には注意を要する。尚、風化してない花崗岩は比重2.6~2.7位で、吸水率は1%以下、すりへり減量は3%位である。

(2) 閃緑岩について： 閃緑岩は斜長石、角閃石が主で、花崗岩に伴って産出し、結晶質で組織は花崗岩と同様であるが、花崗岩より黒色鉱物を多く含み、花崗岩に比べて比較的風化に強く、節理も少なく、比

Fundamental considerations Dam concrete containing fine aggregate which contain Mica pieces.

by Masatoshi kikuck

重は2.7~2.8位で、吸水率は同程度、すりへりは2.2位である。

(3) 片麻岩について： 片麻岩は花崗岩によく似た鉱物組成をしているが、主に結晶質で成分鉱物が一定方向に並んでいるので、薄片にはがれ易い。コンクリート用骨材としては、花崗岩に準じて用いられているが、片麻岩は雲母質で、雲母の含有量が多いものは、骨材にすると泥分が多く、風化にも弱いので詳細な調査を要する。

以上、花崗岩類について略記したが、何れも雲母を含有している点は共通している。

3. 雲母類について

雲母類は強度が弱いので骨材中に多く含まれる場合には、コンクリートの強度を低下させるので有害である。雲母は結晶質で、成分は種々で紙状に著しくへき開性があり、また風化して変質する性質があり、花崗岩類に雲母が含まれていることは既述の通りである。結晶質の場合には比重が2.7~3.2位であるが、風化したり、へき開性になった雲母の比重は著者が試験を行なった場合の比重は1.6~2.2位で正確な数値とは言えなかった。即ち濡れた微細雲母片が試験器具に付着したためであり、比重試験では正確な資料では出来なかったためである。故に雲母片に関する比重値の文献も見当らなかったと著者は考えられる。

代表的な雲母類の化学式は

珪長生鉱物では白雲母 $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ 白雲母は風化に対しては安全な鉱物である。

苦鉄質鉱物では黒雲母 $\text{K}(\text{Mg, Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ 黒雲母はやや風化し変質し易い。

雲母は造岩鉱物としても普通に産し、主に花崗岩中には最大10%位迄含まれているが花崗岩が風化して雲母の結晶が原岩石より分離した状態のマサ化した黒雲母が多量に含まれている現象による。変質した部分がある場合には、やや硬い部分とマサの部分の不規則に交錯しているので注意を要する。また変成岩類ではホルンフェルスにはこの岩石に特有な接触鉱物として雲母も含まれており、結晶片岩では絹雲母岩片岩があり構成物質は何れも軟質で風化変質し易く、著しく片理構造をしており、剥離性が顕著である。この外に雲母類では加水雲母、イライト、絹雲母などがあり、吸水性を有し鉱物質としては軟質で、これ等を含む岩石は著しく風化した外観を呈し、またパーミキュライトも注意が必要である。

(1) 加水雲母について： 加水雲母は雲母類の風化変質、火山岩の熱水変質等の生成物として現れる。雲母より水分が多く必ずしも単一鉱物ではなく、カリオン鉱物と微細な雲母鉱物の混合体であつたりする。加水雲母は乾湿の変化に伴い膨張、収縮するのでコンクリート骨材中に含まれるとコンクリートの体積変化を起こす原因となる。コンクリートに悪影響を及ぼす加水雲母の量が多く含まれる岩石は軟質で、脆いものが多く十分に管理をして使用することが肝要である。加水雲母の含有を調べるにはX線解析が有効である。また加水雲母を含む岩石がコンクリート用骨材としての可否は、吸水、すりへり試験を行うと良い。また顕微鏡で観察も有効である。

(2) イライトについて： イライトは雲母類鉱物で堆積岩中に存在する。イライトは乾湿の変化に伴い膨張、収縮してコンクリート骨材中に存在するとコンクリートの体積変化により劣化、破壊することがある。コンクリートに悪影響を及ぼす骨材中のイライトの量は相当に多いと考えられ、その岩石は軟質で脆いものが多いので十分に注意を行つて使用される場合には問題点も少なくなる。イライトの含有を調査するには顕微鏡で観察を行いX線解析を行うことが望ましい。またイライトを多く含む岩石は吸水、すりへり試験で可否が判定される。

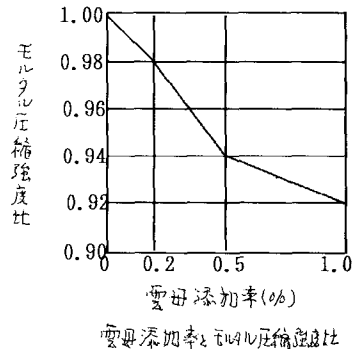
以上雲母類に関して諸性質を記述したが、コンクリートの施工性に及ぼす影響、特にダムコンクリートに関しては、細骨材中の微細粒子、即ち0.15mm以下に6%以上含有されると所定のコンシステンシーを得るため

の単位水量は大幅に増え、時には $20\text{kg}/\text{m}^3$ 以上に及ぶ場合がある。また雲母片はセメントペーストの付着性も悪く強度低下の原因ともなるので、雲母片を含んだダムコンクリートに対しては、その対策処置を講じなくてはならない。

4. 雲母変を含んだダムコンクリートについて

砕砂細骨材の微細粒子、特に 0.15mm 如何に雲母変が含有される場合、その含有量にもよるが、大幅に単位水量が増加する。即ち $10\sim 20\text{kg}/\text{m}^3$ 位の範囲で増量し、更に雲母片が多量に含まれる場合には $20\text{kg}/\text{m}^3$ 以上に単位水量が増えた例が著者は経験している。細骨材の形状は丸みを帯びたもの、または立方形に近いものが望ましい。薄片、扁平、細長い細骨材は空隙も大きくなり、所要のコンシステンシーのコンクリートを造るために多量の単位水量を要する。即ちセメントペーストも多量となり、ダムコンクリートに種々な悪影響を及ぼすことになる。細骨材の 0.15mm 以下の微細粒子に雲母片が混入されると、雲母片の特徴としては薄片、扁平で細長い形状であることは顕微鏡で観察すると十分に判明される。更に顕微鏡で単位水量が増加する原因とそのメカニズムの解明を行つた。ガラスプレートに水滴を落してピンセットで雲母片を加えたところ、雲母片は当初水滴の表面に浮かび水の表面張力により雲母片が凝集して行く現象が判明した。即ちこのような現象により雲母片同士が凝集して重なりあつたりして摩擦力を起し、コンクリートの単位水量を増加させる要因となつたと推察される。また雲母片は薄片のため組成が弱く、吸水性も高く、セメントペーストとの付着力も弱く、へき開面に沿うて破壊されることも、モルタル強度試験により判明した。また山下は*2雲母添加率とモルタル圧縮強度比について図により発表している(図参照)。

以上のことより雲母片が細骨材の微細粒子に混入されると、単位水量の増加のみでなく圧縮強度にも影響、ダムコンクリートの場合諸問題点を増やす要因となる。著者が雲母片を含んだダムコンクリートの配合試験につい立ちあつた一例を挙げると、骨材の岩質は閃緑岩で粗骨材の最大寸法は 150mm で碎石、砕砂であり、比重は何れも 2.78 で、砕砂の FM は 2.75 、目視による碎石、砕砂は何れも正常な状態であつたが砕砂では $0.3\sim 0.15\text{mm}$ では極く微量の雲母片が発見された。また 0.15mm 以下の微細粒子は 7% であつた。初回の配合試験のデータを見ると単位水量は $145\text{kg}/\text{m}^3$ と記憶している。また空気量も 3.5% 以上が得られている。何故このように多量の単位水量が増えたかに焦点を絞られ著者に連絡が来た。残りの骨材を観察の結果、特に細骨材の各分級の形状の調査を行なつたところ、特に 0.15mm 以下の微細粒子に雲母片が含まれていることがアイピースで目視の結果判明、直ちに顕微鏡観察を行つた処雲母片が多量に含まれていることが発見された。モルタル試験を行い雲母片を除いたものと比較試験の結果、雲母片が含まれたモルタルのフロー値との差は余りにも差があり、コンクリートの単位水量に換算すると 20 数 kg/m^3 の増量になることが判明した。示方配合は細骨材の 0.15mm 以下を 2% 位にした結果単位水量は $115\text{kg}/\text{m}^3$ になり若干コンクリートのコンシステンシーは荒かつたが、VB試験では締まりも良く、ブリージング率も余り変化がなく、現場における細骨材中に含まれる雲母片の除去方法に対する処理についての付記を行つた。現場ではクラッシュファイア装置で処理を行つたとのことである。単位水量は通年平均 $3\text{kg}/\text{m}^3$ 位減じて施工を行つたとのことである。他の例では細骨材は粗粒花崗岩を母岩とした砕砂で、砂の微細粒子を良質なフライアッシュ 35% で置換した結果、セメント単位での単位水量より 5% 減じられた。現場施工も十分管理され良質なコンクリートが打設された。



5. 雲母片の処理方法

(1) Rheax分級装置： 山下は*3雲母片除去並に或る大きさの有害微細粒子をほぼ安定に除去、0.15mm以上の粒子を殆ど流出しないようにすることが可能と記している。即ち微細粒子0.1mm以下を除去出来るようにRheax分級装置を調整してダスト分級を行なうと、雲母薄片も次のように除去出来たとのことである。

0~0.1mmの薄片:100%除去 0.1~0.2mmの薄片:90%除去 0.2~0.3mmの薄片:70%除去が報告されている。

(2) クラッシュファイア：細骨材の洗浄、脱水、粒度調整に用いられる。また水理分級機で細骨材の微細粒子0.15mm以下に含まれる雲母片の除去の際に0.15mm以下の微細粒子を必要以上に排出された例もある。細骨材の微細粒子が過少になるとコンクリートのコンシステンシーが悪くなり、ブリージング量も多くなり、コンクリートの打ち肌面も悪く、耐久性に及ばず影響もありその対策として石粉や混和材料を用いることにより上記問題点も解決される。山下は*4Rheax分級装置の分級性能について、分級は水中における沈降速度の関数で、粒子間に粒形や比重の差があると分級の精度は良くならず、比重もほぼ一定である場合には薄片のみ考慮し、実権の結果0.3mmの薄片の沈降速度は0.1mmの球状粒子の同じ位の大きさであり、ダスト除去のための分級点0.1mmで行えば同時に0.3mmの薄片も除去出来ると述べている。

(3) 混和材料：雲母片が細骨材の微細粒子に含まれる場合に0.15mm以下に集中し、コンクリートの練り混ぜ性状を悪くさせ、単位水量を大幅に増量させることは既述の通りである。良質なフライアッシュや粒子形状の良い石粉で置換することにより、微細粒子の改善、単位水量も減少し、コンシステンシーが良くなる。即ち混和材料の有効利用と言える。著者は1985年頃より混和材料の有効利用を提案したが、エネルギー源の石炭事情も国内炭より輸入炭に変わり、良質なフライアッシュも生産限度があり、如何にして良質なフライアッシュの生産確保が今後の課題である。現在電力会社も良質なフライアッシュを生産出来るように設備装置を改良、研究しているとのことであり、またスラグ砕砂の利用も今後の課題と言える。

6. おわりに

ダムコンクリート用骨材に今後も花崗岩類岩石が多用される状況下にある。花崗岩類を原石としてダム用骨材に用いる場合、細骨材の微細粒子に雲母片が多く混入されている。有害物としての雲母を如何に対処するかにより単位水量の大幅な増量を抑制し、コンシステンシーの良い、また強度低下の防止、耐久性の向上にも影響指せる要員となる。以上ダムコンクリートの諸問題に十分対応出来るように調査、試験の段階で重要課題として配慮すべきである。また雲母片の処理方法についても十分に検討を行はなくてはならない。対処法は既述の通り(1)Pheax分級装置を調整してダストの分級を行う。(2)クラッシュファイア分級機の使用。配合試験に当り(1)、(2)で得られた細骨材のサンプルで0.15mm如何にどの位迄の雲母片が混入されておれば単位水量、コンシステンシーが満足されるかの試験を行い、更に混和材料の添加によりコンクリートの性状が向上されるかを検討することが望まれる。雲母片を含んだ細骨材を用いても良質なダムコンクリートが十分に施工されることが可能である。

参考文献

- *1 土木学会北海道支部論文報告集 第47号 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 菊地正敏 1991
- *2、*3 ダムコンクリート用骨材の問題点について(その3) 骨材資源 通巻No45 山下嘉治 1980
- *4 ダムコンクリート用骨材の問題点について(その4) 骨材資源 通巻No46 山下嘉治 1980