

[37] 骨材の安定性に関する一実験

正会員 毛見虎雄（戸田建設技術開発センタ）

正会員 ○中川宗夫（戸田建設技術開発センタ）

1. はじめに

蛇紋岩系碎石は、年間約300万t（53年度）生産されコンクリート骨材にも使用されている。中性子遮へい能など、その特異性に注目した研究例⁽¹⁾もある。一方、蛇紋岩のなかには風化により著しい変質現象を示すものがあるとする報告^{(2)～(4)}もある。この種の蛇紋岩碎石のコンクリート中に於る挙動を知るために、特に類別した碎石（以下反応性骨材と呼ぶ）を用いて若干の実験と検討を試みた。

2. 実験概要

2-1 膨張現象に関する実験

(1) 使用材料；セメントは普通ポルトランドセメント（N社製）でNa₂O=0.47%，K₂O=0.58%のものを用い、細骨材には宮川産の砂、粗骨材には宮川産の碎石をベースに用い、反応性骨材として取りあげた蛇紋岩系碎石の類別物で置換した。置換率は20%volとした。反応性骨材の類別は、採石場での予備選別した上、ブルーサイト（Mg·Fe²⁺(OH)₂）を目安にした検鏡により行なった。使用骨材の物性を表1に、反応性骨材の鉱物相の代表例を表2に示す。宮川産碎石の岩質は砂岩のほかに砂質粘板岩及びチャートも含むもので、石英と長石が主要鉱物であった。

(2) コンクリートと試験体；W/C=0.56、目標スランプ8cm、細骨材率=42%のAEコンクリートを練りませ、2000×1500×200のコンクリート版を成形、供試した。コンクリートの性質はスランプ8.6cm、空気量41%，28日圧縮強度300kg/cm²であった。

(3) 養生と外観々察；養生は20℃、85%RH CO₂濃度0.15%の雰囲気で行ない、6ヶ月後から1回/月の割で外観変化をチェックした。

2-2 風化生成物等に関する実験

外観々察により異常（膨張やポップアウトなど）を認めた部分のコンクリートをコアボーリング（Φ50ないしΦ100）し、含まれる骨材を採取して、X線回折及び偏光顕微鏡による鉱物相の判定に供した。

(1) X線回折；R社製D-14・X線回折装置を用いて、骨材試料すなわちポップアウトした部分を抜取ったコンクリートコアから採取した骨材について粉末法により分析した。試料の例を写真-1に示す。写真中の数字は表3のそれと同じである。膨張原因及び風化プロセス判定のため、ポップアウトの原因核と見られるもの（以下ボ

表1 骨材の物性

| 細骨の別 | 比重 | 吸水率% | 単位容積重量kg/m ³ | 洗い% |
|------|------|-------|-------------------------|------|
| 細骨材 | 2.60 | 1.34 | 1.690 | 0.40 |
| ※a | 2.90 | 0.790 | 1.657 | 0.30 |
| 粗骨材b | 2.63 | 0.94 | 1.630 | 0.29 |

※ a：反応性砂石 b：宮川産砂石

表2 偏光顕微鏡による骨材・鉱物相

| 鉱物名 | 試料の別 | A | B | C | D | E |
|---|--|----|----------------------|----|----|----|
| かんらん石 輝石 | ① 玄武岩 ② えん灰輝 ③ 透輝石 | ++ | ++ | + | + | ++ |
| | リザル ダイトイ 青ボハイド | + | ++ | ++ | ++ | ++ |
| | ジャモンド アンソゴ ライト クリソ タイト | ++ | ++ | + | ++ | ++ |
| 緑泥石 水滑石 コーリン ハイドロ グロシュラ あられ石 磁鐵 | コショバイト (ブルー サイト) ブルーサイト の反応多色性弱い ガイト りん片状 多色性弱い の仮象集合物 波状に分厚 個々の形狀判 ビコタイト の仮象 ①②③の分解 物 | + | ++ | ++ | + | + |
| 判別 | 岩石 新鮮さの順 | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ |
| | 1 2 4 5 3 | | | | | |
| 備考 | 試料骨材より目視により抜取った代表的4骨材 ※ 試料骨材と共に存 | 製品 | 肉眼観察により類別した 試料骨材※ | | | |

※ 試料骨材より目視により抜取った代表的4骨材

＊ 蛇紋石と共に存

ッピング核と呼ぶ)及びコア内部に含まれ深さの異なる反応性骨材、普通骨材について比較した。回析方法の諸元は図・1に示す通りであった。

(2) 検鏡; O社製POS偏光顕微鏡を用いて観察した。写真撮影に供した。観察試料はX線回折に供試したものにない、種類もコア中の深さもほぼ同様にし、メチルメタクリレート包埋処理した後薄片を作成し観察した。検鏡方法はオルソスコープにより開放ニコルと直交ニコルによつた。

3. 実験結果と考察

3-1 反応性骨材の鉱物相

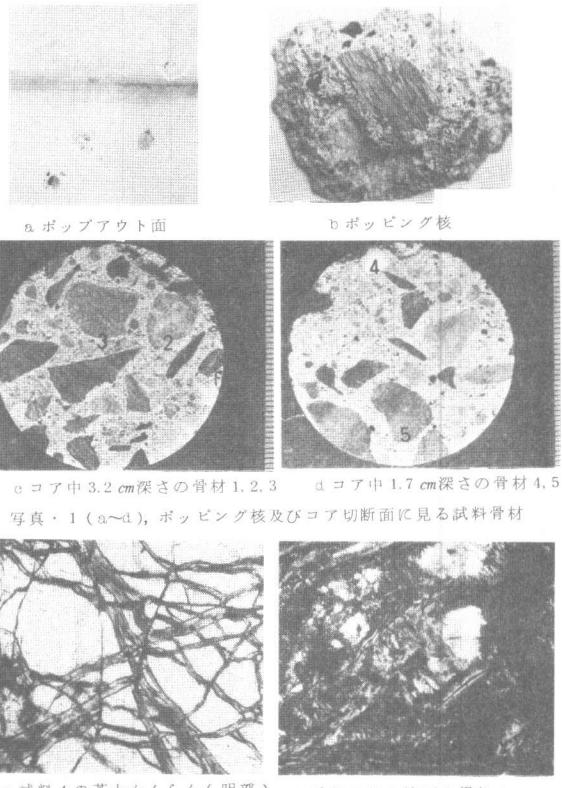
試料Aの市販砕石は苦土かんらん石(Mg₂SiO₄)を主体にし、少量の蛇紋石を含む岩石であり、かんらん岩としての鉱物相を持つものといえる。(写真2、表2を参照) 試料B～Eは別途破碎製造した反応性骨材の代表例である。表2のように鮮度の異なる岩石であり、含まれる鉱物相も異なるが総じて蛇紋岩または蛇紋岩化の進行したかんらん岩と言える。試料CとDには蛇紋岩鉱物からの風化生成物とされるコーリングサイトが見られる。

3-2 膨張現象

観察中のコンクリート面に最初の異常現象の現れたのは2年2ヶ月後であった。現象は最初ひゞわれてからかさぶた状にはがれる場合が多く、約3ヶ月間で15ヶ所のポップアウト数となつた。コンクリート打込み時の上下面で発生箇数に差がみられた。(上面:4、下面:11) ポップアウト部分はほど円錐状であり、直径は約2～6cm、高さは5mm前後であり、損傷部分の底部にはポッピング核とみなしうる木片様に変色した骨材が必ずしも位置しており表2の骨材試料のうちDが更に劣化したような状態である。本ポップアウト現象はコンクリートの中性化と相関するようであり,Mumpton(2)らの言うように空気中のガスが関与する風化現象のようである。その後(0.5年)は損傷数の増加が少ない。骨材の粒大や既に見られるポップアウトの深さなどから推して骨材の膨張力がコンクリートの拘束力を上廻る深さには限度があるようである。

3-3 風化生成物の判定

(1) X線回折による推定



写真・1 (a～d), ポッピング核及びコア切断面に見る試料骨材



図1 骨材試料のX線回折図例(a～d)
 ①:Coalingite ③:ブルーサイト ⑤:ジャモン石
 ②:Antigorite ④:スジェグレナイト Mt:ジテッ鉱

試料骨材のX線回折図・代表例を図1～4に示す。

図1は写真1-aのようにポップアウトした円錐体様コンクリート片の頂部に位置した風化骨材の茶色部分。図2は同じく黒色部分、図3はコア内部(表面より3.2cm深さ)の正常な骨材、図4は同じくコア内部(表面より1.7cm深さ)の反応性骨材の回折図であり、いずれも表2、写真1の試料と符号する。これら回折図に基づき、検出した特徴的な鉱物相と特性回折角度に於る回折強度を目安にそれぞれの量の多少を大まかにまとめたのが表4である。コア中の骨材試料⑤は回折角(2θ) $0.05\text{K}\alpha$)12.1, 24.5°の蛇紋石鉱物であるアンチゴライト($\text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$)、18.6, 38.1及び50.9°の重要な副生鉱物ブルーサイト($\text{Mg}_2\text{Fe}^{2+}(\text{OH})_2$)、その風化物とされ回折角11.4, 22.8及び35.2°のスジエグレナイト($\text{Mg}_2\text{Fe}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_{16.4}\text{H}_2\text{O}$)のほか若干の磁鉄鉱などを含み、苦土かんらん石は見られない。使用骨材の試料Dに近いものようである。試料①はこれより新鮮な蛇紋岩と言える。試料②～④は石岩や長石もしくは緑泥石や輝石を主体にするもので宮川碎石と考える。これに對しボッピング核の茶色部分には蛇紋石鉱物のほかに回折角14.6, 21.2, 35.6及び38.4°のコーリンガイト($\text{Mg}_{10}(\text{CO}_3)(\text{OH})_{24}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$)が比較的多量に検出される。使用骨材試料Dやコア中の骨材⑤には検出されたブルーサイトが見られない。コンクリートへの練り混ぜ時には含まれていたブルーサイトがコーリンガイトに変化したものと推察する。なおボッピング核内の黒色部分にはスジエグレナイトも見られる。X線回折の結果からはボッピング核は使用した蛇紋岩系骨材であり、

使用前の骨材の色やもろさなどの比較も加味すれば、使用前のいずれの骨材及び損傷コンクリート内部にある骨材より風化度の大きいものであり、時間的な差は文献(2)に示されるような風化現象がコンクリート中に於ても発現すると言えよう。

(2) 検鏡による判定；X線回折の分析結果を基に、検鏡試料も類似したものを用いて、偏光顕微鏡による鉱物相の判定を行なった。代表的な顕微鏡写真的例と

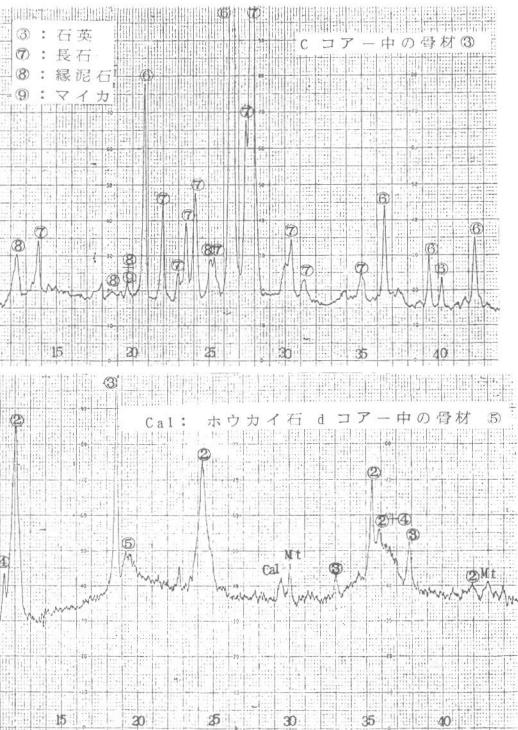


表3 X線回折による検出主要鉱物、成分

| 試 料 | ポッピング核 | | | コア中の骨材 | | | | |
|--------------|--------|------------|------------|--------|----|-----|-----|----|
| | 茶色部 | 黒色部 その1 | 黒色部 その2 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| コーリン ガイト | +++ | | | | | | | |
| アンチゴ ライト | ++ | ++ | | +++ | | | | ++ |
| スジエグレ ナイト | | ++ | | | | | | ++ |
| ブルー サイト | | | | | | | | ++ |
| ジャモン石 | | | | ++ | | | | + |
| 石 英 | | + | +++ | + | + | +++ | +++ | ++ |
| 長 石 | | | +++ | | | +++ | | ++ |
| 緑 泥 石 | | | ++ | | ++ | ++ | | |
| 輝 石 | | | | | ++ | ++ | | + |
| 磁 鉄 鉱 | + | ++ | | ++ | | | | + |
| マ イ カ | | | + | | | + | | |
| 方 解 石 | | | + | | | | | + |

分布ヒン度：5点法による。

して、主に相変化(変質)にかかるものを写真③～

⑦に示す。いずれも蛇紋岩系骨材の試料に認められた例である。写真③はコーリンガイトの鱗片状結晶であり、褐色(下方ポーラー)を呈し、一部ブルーサイトの仮象が見られる。写真⑤及び⑥はブルーサイトとコーリンガイトの各部を拡大撮影したもので各鉱物結晶は鱗片状、列状に配列し、殆んど同一の組織として検出されている。ブルーサイトの変質によりその場にコーリンガイトがそつくり形成されることを暗示する。写真④はブルーサ

トがコーリンガイトに変質交代しつゝある部分とみられるもので上半分には黃金色纖維状のブルーサイト、下半分に黄色纖維状のコーリンガイトこれを取りまく蛇紋石も見られる。写真⑦はハイドロマグネサイト ($Mg_4(OH)_2(CO_3)_{3\cdot3}H_2O$) の花弁状結晶で蛇紋石の分布する中、ブルーサイトを伴ない点在する。ブルーサイトの変質物であり比重からすれば変質膨張性ではなかろうか上記報告(1)～(3)は触れていない。検鏡結果からX線回折による推定がほど間違いなく、蛇紋岩系骨材にあるブルーサイトが風化変質してコーリンガイト(スジエグレナイト)及びハイドロマグネサイトとなることがほど確認できたX線回折結果も考慮すれば、上記の変化がコンクリートのポンプアウト現象に直接関与していることが充分考えられる。

5. 結論

実験結果を総括すれば蛇紋岩系骨材を用いたコンクリートに於いてポンプアウト現象が見られ、岩石の鉱物学的知見からは風化反応によるコーリンガイトなどの生成に原因することがほど明かにできたと考える。ボッピング圧力であるがHenrik(5)らの実験式からすると大略 100 kg/cm^2 前後のようなである。表⑤は関連碎石の動態調査例である。蛇紋岩の組成によってはコンクリート等の損傷原因となることが考えられることから充分な配慮が必要であり、特に新しい骨材採用には慎重な事前調査と品質チェックが肝要であろう。

終りに当り御協力いたゞいた東急建設株土木技術部の関係各位に厚く謝意を表します。

- (1) 岩沢二郎他 日本建築学会中国大会講演梗概集 461～464(1977)
- (2) F. A. Mumpton, American Mineral 50 1893～1913(1965)
- (3) J. L. T., American Mineral 54 437～447(1969)
- (4) J. Pastor Rodriguez, Mineral Magazine 38 286～294(1971)
- (5) H. Henrik Bache, Jour of ACI 65, 6, 445～450(1968)



写真3 コーリンガイトの結晶群
褐色部分($\times 150$, 下方ポーラー)



写真4 ブルーサイトとコーリン
ガイト交代部分(直交ポーラー $\times 600$)



写真5 ブルーサイト結晶の列状
分布(直交ポーラー $\times 600$)

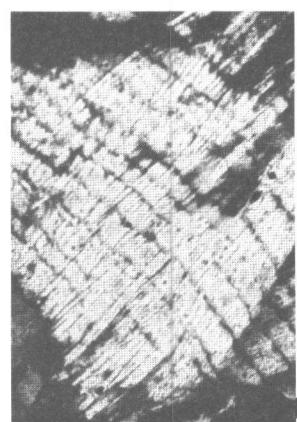


写真6 コーリンガイト結晶の列状
分布(同左)



写真7 ハイドロマグネサイトの花
弁状結晶(直交ポーラー $\times 600$)

| 表4 岩石別生産量—砂骨材(単位:千トン) | | |
|-----------------------|-------|-------|
| 都道府県別 | かんらん岩 | じやもん岩 |
| 合計 | 2,832 | 3,085 |
| 計 | 138 | — |
| 北海道 | 138 | — |
| 計 | 215 | 264 |
| 岩手 | 201 | 100 |
| 山形 | — | 30 |
| 福島 | 14 | 134 |
| 計 | — | 15 |
| 茨城 | — | 15 |
| 計 | 2,220 | 138 |
| 愛知 | — | 63 |
| 岐阜 | 52 | 19 |
| 三重 | 2,168 | 56 |
| 山口 | 259 | 506 |
| 計 | — | 2,161 |
| 福岡 | — | 1,776 |
| 佐賀 | — | 385 |

採石法規則第11条報告集計

資源エネルギー庁鉱業課