

土 木 研 究 所 資 料

第 1 5 3 6 号

骨材の化学的安定性に関する試験

昭和54年11月

建 設 省 土 木 研 究 所  
地質化学部コンクリート研究室

Copyright ©1979年度 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director of P.W.R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

## 要

## 旨

各地に産する骨材原石，計 29 種類を対象として，コンクリート用骨材中に含まれる化学的に不安定な鉱物の存在を明らかにするとともに，このような鉱物を含む骨材の反応性を定量的に把握するために，X線回折試験，顕微鏡観察，アルカリ骨材反応試験，カルシウム骨材反応試験およびコンクリート供試体の曝露試験を行った。

この結果，わが国に産する骨材原石中に含まれる有害鉱物としては，モンモリロナイトおよびローモンタイトが一般的であり，これらに加えて玉髄質石英，クリストバライト，玻璃などのシリカ鉱物，黄鉄鉱などが存在すること，対象とした試料のうち数種類の骨材が比較的高い反応性を示したが，このような有害鉱物を含む骨材の反応性は，有害鉱物の存在量とともにその存在状態とも深い関係があること，などが明らかとなった。

骨材の化学的安定性に関するこれまでの調査の経験にもとづき，コンクリート用骨材中の有害鉱物の調査手続についての提案を行った。

# 目 次

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 序 言 .....                      | 1  |
| 1. 試験の目的 .....                 | 2  |
| 2. 試験内容 .....                  | 2  |
| 2.1. 骨材の種類 .....               | 2  |
| 2.2. 試験項目 .....                | 5  |
| 3. X線回折試験および顕微鏡観察 .....        | 7  |
| 3.1. X線回折試験 .....              | 7  |
| 3.1.1. 試験方法 .....              | 7  |
| 3.1.2. 試験結果 .....              | 7  |
| 3.2. 顕微鏡観察 .....               | 8  |
| 3.2.1. 観察方法 .....              | 8  |
| 3.2.2. 観察結果 .....              | 8  |
| 3.3. X線回折試験および顕微鏡観察結果の検討 ..... | 26 |
| 4. アルカリ骨材反応試験 .....            | 27 |
| 4.1. モルタルバー法 .....             | 27 |
| 4.1.1. 試験方法 .....              | 27 |
| 4.1.2. 試験結果 .....              | 30 |
| 4.2. 化学法 .....                 | 31 |
| 4.2.1. 試験方法 .....              | 31 |
| 4.2.2. 試験結果 .....              | 31 |
| 5. カルシウム骨材反応試験 .....           | 33 |
| 5.1. 試験方法 .....                | 33 |
| 5.2. 試験結果 .....                | 33 |
| 6. コンクリート供試体の曝露試験 .....        | 35 |
| 6.1. 試験方法 .....                | 35 |
| 6.2. 試験結果 .....                | 35 |
| 7. 試験結果の考察 .....               | 38 |

|                |    |
|----------------|----|
| 8. ま と め ..... | 41 |
| 結 言 .....      | 42 |

## 〔資 料〕

|                                             |     |
|---------------------------------------------|-----|
| I. コンクリート中の骨材の化学反応 .....                    | 45  |
| II. X線回折図および顕微鏡写真 .....                     | 49  |
| II-1. X線回折図 .....                           | 49  |
| II-2. 顕微鏡写真 .....                           | 65  |
| III. アルカリ骨材反応試験方法（邦訳） .....                 | 93  |
| III-1. セメント-骨材の潜在性アルカリ反応試験方法（モルタルバー法） ..... | 93  |
| III-2. 骨材の潜在反応性試験方法（化学法） .....              | 98  |
| IV. コンクリート用骨材中の有害鉱物の調査手続 .....              | 106 |
| V. 参考文献 .....                               | 108 |

## 序 言

最近、コンクリート用骨材として砕石が用いられる機会が多くなっている。砕石用原石として風化や変質の進んだ状態の岩石には、化学的に不安定な鉱物（有害鉱物）が存在する場合が多く、このような鉱物を含む岩石を骨材として用いると、コンクリートが急速な劣化をきたす原因となる。砕石使用量が増えつつある昨今、この種の鉱物が骨材中に存在する機会も多くなっているものと考えer必要がある。

骨材中に存在してコンクリートを劣化、崩壊させることのある鉱物としては、シリカ（オパール、玉髄、クリストバライトなど）、硫化鉄、玻璃、石膏、ある種のゼオライト、モンモリロナイトなどが知られており（資料-I参照）、外国では、これらの鉱物を含む骨材によるコンクリートの被害例も報告されている<sup>1)</sup>。言うまでもなく、岩石はその地質学的成因と変成の経歴がさまざまであり、わが国に産する骨材にもそれぞれの特異性を有するため、有害鉱物を含む骨材のコンクリート中での挙動もさまざまである。したがって、有害鉱物を含む骨材、あるいは有害作用をなす可能性のある骨材の使用にあたっては、個々の骨材の物理的性質はもちろん、化学的性質をも明らかにして、構造物への使用の適否を判断する必要がある。

土木研究所では、昭和50年度より昭和52年度までの3年間にわたり、化学的に不安定な鉱物を含む骨材の物性を定量的に把握するため、国内各地の骨材原石を対象として種々の調査試験を行ってきた。本報告書は、これらの試験についてまとめたものであり、巻末には、コンクリート中の有害鉱物の化学反応、ASTMのアルカリ骨材反応試験方法（モルタルバー法、化学法）の邦訳およびコンクリート用骨材中の有害鉱物の調査手続等の資料を付した。

なお、本試験の実施にあたっては、日鉄鉱コンサルタント(株)および日鉄鉱業(株)・技術開発部の丸章夫博士の御協力をいただいた。ここに記して感謝する次第である。

昭和54年11月

建設省土木研究所

地質化学部コンクリート研究室

室長 太田 実

研究員 小野 金造

〃 河田 博之

## 1. 試験の目的

コンクリート用骨材中に含まれる化学的に不安定な鉱物の存在を明らかにするとともに、このような鉱物を含む骨材の物性を定量的に把握することを目的とした。得られた資料は、かかる骨材のコンクリート用骨材としての使用判断基準を得るために蓄積すべき資料の一部となるものである。

## 2. 試験内容

### 2.1. 骨材の種類

コンクリートに悪影響を及ぼすおそれのある鉱物を含む岩石を国内各地より採取して、試料骨材とした。

本試験では、モンモリロナイト、ゼオライト（ローモンタイト、ワイラカイト）、玉髄質石英、クリストパライト、トリジマイト、玻璃、ドロマイトおよび黄鉄鉱を含む岩石を対象とした。また、参考のために、カオリンを含む岩石、その他数種の岩石についても試験を行った。

骨材原石の産地と産状を表-2・1に示す。また、これらの骨材の物理的性質（比重、吸水率および硫酸ナトリウムによる安定性）を表-2・2に示す。

表-2-1 骨材(原石)の産地と産状

| 試料番号 | 岩石名         | 産地   | 産状                                                            | 含まれる有害鉱物                        |
|------|-------------|------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| 1    | 石英安山岩 (A)   | 宮城県  | 中新世中期の流紋岩を貫く。風化変質作用によりモンモリロナイトが生成。<br>走向 NS 20~30°W, 20~30°S。 | モンモリロナイト、玻璃                     |
| 2    | 石英安山岩 (B)   | 福島県  | 新第三紀の石英安山岩(貫入岩)。熱水変質作用によりモンモリロナイト化している部分が多い。                  | モンモリロナイト                        |
| 3    | 石英安山岩 (C)   | 静岡県  | 第三紀中新統湯ヶ島層群中の貫入岩。                                             | モンモリロナイト、玻璃                     |
| 4    | 石英安山岩 (D)   |      | 同上。                                                           | 玻璃                              |
| 5    | 輝石安山岩 (A)   | 青森県  | 新第三紀中新世の火山砕屑岩を貫いて産する。                                         | モンモリロナイト                        |
| 6    | 輝石安山岩 (B)   | 山梨県  | いわゆる御坂層群中の河口層群に属する。風化変質作用によってモンモリロナイトが生成している。                 | モンモリロナイト                        |
| 7    | 輝石安山岩 (C)   | 静岡県  | 富士火山噴出物新期熔岩。気孔が多い。                                            | 玻璃、モンモリロナイト、黄鉄鉱                 |
| 8    | 輝石安山岩 (D)   | 大分県  | 新第三紀に属する。                                                     | モンモリロナイト、玻璃                     |
| 9    | 流紋岩         | 新潟県  | 第三紀津川層の上部に熔岩流あるいは一部は岩脈状で広く発達する。                               | クリストバライド、トリジマイト、<br>玻璃、モンモリロナイト |
| 10   | 砂岩 (A)      | 鹿児島県 | 中生代四万十層群に属し、砂岩が主体で、粘板岩をはさむ。走向 N 50°E~EW, 傾斜 30~60° N。         | ローモンタイト                         |
| 11   | 変質閃緑岩       | 栃木県  | 第三紀の流紋岩類を貫いて産する。割れ目にゼオライト脈を伴う。                                | ローモンタイト、ワイラカイト、<br>その他のゼオライト    |
| 12   | 角閃安山岩 (A)   |      | 正確な時代不明であるが、中生代末期と推定される。温泉変質作用を受ける。                           |                                 |
| 13   | 角閃安山岩 (B)   |      | 同上。ただし節理が発達し、割れ目沿いにワイラカイト細脈が形成される。                            | 少量のワイラカイト*                      |
| 14   | 変質角閃安山岩 (A) |      | 同上。全体的に緑泥石化、緑泥石化強く、玉状、レンズ状でローモンタイト塊が存在する。                     | 多量のローモンタイト                      |
| 15   | 変質角閃安山岩 (B) |      | 同上。割れ目に沿ってワイラカイト脈がよく発達し、同時に原岩の緑泥石化が強い。                        | 多量のワイラカイト                       |
| 16   | チャート (A)    | 岩手県  | 古生層のチャートで、2~30cm 毎に粘板岩の薄層をはさむ。走向 N 50°E, 傾斜 50°S。             | 玉髄質石英                           |
| 17   | チャート (B)    | 新潟県  | 古生層のチャートで、厚さ 30~50m。上下盤はやや堅硬な粘板岩層である。                         | 黄鉄鉱                             |
| 18   | チャート (C)    | 兵庫県  | 石炭紀~二疊紀丹波層群中のチャート層。厚さは 30~40m。                                | 玉髄質石英                           |
| 19   | 強球化凝灰岩      | 北海道  | 第三紀の凝灰岩を交代した強球化岩。                                             | 玉髄質石英、カオリン*                     |
| 20   | 花崗岩         | 福島県  | 阿武隈花崗岩帯東縁部に当り、粘板岩その他の異種岩石の捕獲岩が目立つ。                            | カオリン*                           |
| 21   | 石灰質ドロマイト    | 栃木県  | 秩父古生層に属す。広義の石灰岩層は 100~700m。ドロマイトは中部に位置し、上下部は石灰岩。              | ドロマイト                           |
| 22   | 玄武岩         | 兵庫県  | 石炭紀~二疊紀丹波層群中のチャート層の下盤の緑色岩類中の一部。                               | 黄鉄鉱                             |
| 23   | 風化砂岩        | 愛媛県  | 白亜紀南予層群中の砂岩層。層厚 200m 以上。レンズ状礫岩層を若干挟在する。                       |                                 |
| 24   | 風化頁岩        | 大阪府  | 二疊紀丹波層群に属する頁岩。砂岩の互層で、頁岩が卓越する。                                 |                                 |
| 25   | 砂岩 (B)      | 熊本県  | 中生代白亜系に属し主体は砂岩であるが、やや軟質の粘板岩をはさむ。走向 N 50~70°E, 傾斜化。            |                                 |
| 26   | 砂岩 (C)      | 三重県  | 古生代長瀬変成岩類中の片状砂岩。                                              |                                 |
| 27   | 千枚岩         |      | 古生代長瀬変成岩類中の黒色片岩とされているが、肉眼的には千枚岩である。                           |                                 |
| 28   | 石榴石角閃岩      | 愛媛県  | 古生代長瀬変成岩類に属する片岩の一種である。                                        |                                 |
| 29   | 緑泥石角閃石片岩    | 福岡県  | 二疊紀末~三疊紀に形成された三都変成帯に属する緑色岩類中の半風化岩。                            |                                 |

注) \*印の鉱物は必ずしも有害とはいえない。

表-2・2 骨材の物理的性質

| 試料番号 | 物理的性質<br>岩石名                  | 比 重  |      | 吸 水 率 |     | 硫酸ナトリウムによる安定性<br>試験における損失重量(%) |      |
|------|-------------------------------|------|------|-------|-----|--------------------------------|------|
|      |                               | 細骨材  | 粗骨材  | 細骨材   | 粗骨材 | 細骨材                            | 粗骨材  |
| 1    | 石英安山岩 (A)                     | 2.56 | 2.62 | 3.3   | 2.9 | 16.1                           | 5.7  |
| 2    | 石英安山岩 (B)                     | 2.39 |      | 1.9   |     |                                |      |
| 3, 4 | 石英安山岩 (C, D)*                 | 2.51 | 2.57 | 3.7   | 2.8 | 9.4                            | 10.3 |
| 5    | 輝石安山岩 (A)                     | 2.67 |      | 2.4   |     |                                |      |
| 6    | 輝石安山岩 (B)                     | 2.58 | 2.59 | 3.8   | 3.5 | 22.0                           | 46.2 |
| 7    | 輝石安山岩 (C)                     | 2.33 |      | 2.1   |     |                                |      |
| 8    | 輝石安山岩 (D)                     | 2.58 | 2.51 | 4.1   | 4.3 | 6.1                            | 9.5  |
| 9    | 流 紋 岩                         | 2.32 | 2.34 | 6.2   | 4.6 | 6.2                            | 5.0  |
| 10   | 砂 岩 (A)                       | 2.58 | 2.62 | 1.7   | 1.0 | 3.4                            | 4.1  |
| 11   | 変質閃緑岩                         | 2.64 |      | 0.6   |     |                                |      |
| 12   | 角閃安山岩 (A)                     | 2.71 |      | 0.1   |     |                                |      |
| 13   | 角閃安山岩 (B)<br>(ワイラカイト細脈を伴う)    | 2.68 |      | 0.4   |     |                                |      |
| 15   | 変質角閃安山岩 (B)<br>(ワイラカイトを多量に伴う) | 2.53 |      | 1.3   |     |                                |      |
| 16   | チャート (A)                      | 2.59 | 2.63 | 1.5   | 0.8 | 3.5                            | 2.0  |
| 17   | チャート (B)                      | 2.63 | 2.65 | 0.9   | 0.6 | 2.7                            | 0.4  |
| 18   | チャート (C)                      | 2.60 | 2.63 | 1.7   | 0.6 | 3.8                            | 9.3  |
| 19   | 強珪化凝灰岩                        | 2.39 |      | 3.5   |     |                                |      |
| 20   | 花 崗 岩                         | 2.69 | 2.74 | 1.3   | 0.6 | 3.4                            | 1.3  |
| 21   | 石灰質ドロマイト                      | 2.77 | 2.75 | 2.1   | 1.4 |                                | 3.0  |
| 22   | 玄 武 岩                         | 2.78 | 2.85 | 1.9   | 0.8 | 4.2                            | 2.9  |
| 23   | 風 化 砂 岩                       | 2.61 | 2.63 | 2.2   | 1.0 | 6.8                            | 4.6  |
| 24   | 風 化 頁 岩                       | 2.65 | 2.73 | 1.6   | 0.9 | 3.5                            |      |
| 25   | 砂 岩 (B)                       | 2.68 | 2.69 | 0.7   | 0.3 | 1.1                            | 0.4  |
| 26   | 砂 岩 (C)                       | 2.67 |      | 1.2   |     |                                |      |
| 27   | 千 枚 岩                         | 2.65 | 2.61 | 5.7   | 2.7 | 1.6                            | 11.4 |
| 28   | 柘榴石角閃岩                        | 3.10 |      | 0.2   |     |                                |      |
| 29   | 緑簾石角閃石片岩                      | 2.78 | 2.85 | 2.9   | 2.1 | 19.9                           | 51.1 |

注1) \*印の骨材は、試料番号3および4の混合物。

2) 比重、吸水率欄で、細・粗骨材両欄にまたがっている値は、岩石についての測定値である。

## 2.2 試験項目

次の4項目について試験を行った。

(1) X線回折試験および顕微鏡観察

骨材の鉱物組成を調べ、有害鉱物の性状を明らかにするための試験。

(2) アルカリ骨材反応試験（モルタルバー法および化学法）

骨材中の有害鉱物とセメント中のアルカリ成分との反応性を確かめるための試験。

(3) カルシウム骨材反応試験

骨材中の有害鉱物とセメント中のカルシウム成分との反応性を確かめるための試験。

(4) コンクリート供試体の曝露試験

有害鉱物を含む骨材を用いたコンクリートの大気中における外観の経年変化を観察するための試験。

骨材試料別の試験項目の組合せを、表-2・3に示す。

| 表-2  |                 | 表-3  |                 |
|------|-----------------|------|-----------------|
| 骨材種別 | 試験項目            | 骨材種別 | 試験項目            |
| ①    | (1) (2) (3) (4) | ②    | (1) (2) (3) (4) |
| ③    | (1) (2) (3) (4) | ④    | (1) (2) (3) (4) |
| ⑤    | (1) (2) (3) (4) | ⑥    | (1) (2) (3) (4) |
| ⑦    | (1) (2) (3) (4) | ⑧    | (1) (2) (3) (4) |
| ⑨    | (1) (2) (3) (4) | ⑩    | (1) (2) (3) (4) |
| ⑪    | (1) (2) (3) (4) | ⑫    | (1) (2) (3) (4) |
| ⑬    | (1) (2) (3) (4) | ⑭    | (1) (2) (3) (4) |
| ⑮    | (1) (2) (3) (4) | ⑯    | (1) (2) (3) (4) |
| ⑰    | (1) (2) (3) (4) | ⑱    | (1) (2) (3) (4) |
| ⑲    | (1) (2) (3) (4) | ⑳    | (1) (2) (3) (4) |
| ㉑    | (1) (2) (3) (4) | ㉒    | (1) (2) (3) (4) |
| ㉓    | (1) (2) (3) (4) | ㉔    | (1) (2) (3) (4) |
| ㉕    | (1) (2) (3) (4) | ㉖    | (1) (2) (3) (4) |
| ㉗    | (1) (2) (3) (4) | ㉘    | (1) (2) (3) (4) |
| ㉙    | (1) (2) (3) (4) | ㉚    | (1) (2) (3) (4) |
| ㉛    | (1) (2) (3) (4) | ㉜    | (1) (2) (3) (4) |
| ㉝    | (1) (2) (3) (4) | ㉞    | (1) (2) (3) (4) |
| ㉟    | (1) (2) (3) (4) | ㊱    | (1) (2) (3) (4) |
| ㊲    | (1) (2) (3) (4) | ㊳    | (1) (2) (3) (4) |
| ㊴    | (1) (2) (3) (4) | ㊵    | (1) (2) (3) (4) |
| ㊶    | (1) (2) (3) (4) | ㊷    | (1) (2) (3) (4) |
| ㊸    | (1) (2) (3) (4) | ㊹    | (1) (2) (3) (4) |
| ㊺    | (1) (2) (3) (4) | ㊻    | (1) (2) (3) (4) |
| ㊼    | (1) (2) (3) (4) | ㊽    | (1) (2) (3) (4) |
| ㊾    | (1) (2) (3) (4) | ㊿    | (1) (2) (3) (4) |

表 - 2 ・ 3 試験項目の組合せ

| 試料番号 | 試験項目<br>岩石名                    | X線回折<br>試験 | 顕微鏡<br>観察 | アルカリ骨材反応試験 |     | カルシウム骨材反応試験 | コンクリート供試体の曝露試験 |
|------|--------------------------------|------------|-----------|------------|-----|-------------|----------------|
|      |                                |            |           | モルタルバー法    | 化学法 |             |                |
| 1    | 石英安山岩 (A)                      | ○          | ○         | ○          | ○   |             | ○              |
| 2    | 石英安山岩 (B)                      | ○          | ○         | ○          | ○   |             |                |
| 3    | 石英安山岩 (C)                      | ○          | ○         | ○          | ○   |             | ○              |
| 4    | 石英安山岩 (D)                      | ○          | ○         |            |     |             |                |
| 5    | 輝石安山岩 (A)                      | ○          | ○         | ○          | ○   |             |                |
| 6    | 輝石安山岩 (B)                      | ○          | ○         | ○          | ○   |             | ○              |
| 7    | 輝石安山岩 (C)                      | ○          | ○         | ○          | ○   |             |                |
| 8    | 輝石安山岩 (D)                      | ○          | ○         | ○          | ○   |             |                |
| 9    | 流紋岩                            | ○          | ○         | ○          | ○   |             | ○              |
| 10   | 砂岩 (A)                         | ○          | ○         | ○          | ○   | ○           | ○              |
| 11   | 変質閃緑岩                          | ○          |           | ○          | ○   |             |                |
| 12   | 角閃安山岩 (A)                      | ○          | ○         |            | ○   | ○           |                |
| 13   | 角閃安山岩 (B)<br>(ワイラカイト細脈を伴う)     | ○          | ○         | ○          | ○   | ○           |                |
| 14   | 変質角閃安山岩 (A)<br>(ローモンタイトを多量に伴う) | ○          |           |            |     | ○           |                |
| 15   | 変質角閃安山岩 (B)<br>(ワイラカイトを多量に伴う)  | ○          | ○         | ○          | ○   | ○           |                |
| 16   | チャート (A)                       | ○          | ○         | ○          | ○   |             | ○              |
| 17   | チャート (B)                       | ○          | ○         | ○          | ○   |             | ○              |
| 18   | チャート (C)                       | ○          | ○         | ○          | ○   |             | ○              |
| 19   | 強珪化凝灰岩                         | ○          | ○         | ○          | ○   |             |                |
| 20   | 花崗岩                            | ○          | ○         | ○          | ○   |             | ○              |
| 21   | 石灰質ドロマイト                       | ○          | ○         | ○          | ○   |             | ○              |
| 22   | 玄武岩                            | ○          | ○         | ○          | ○   |             | ○              |
| 23   | 風化砂岩                           | ○          | ○         | ○          | ○   |             | ○              |
| 24   | 風化頁岩                           | ○          | ○         | ○          | ○   |             | ○              |
| 25   | 砂岩 (B)                         | ○          | ○         | ○          | ○   |             |                |
| 26   | 砂岩 (C)                         | ○          | ○         | ○          | ○   |             |                |
| 27   | 千枚岩                            | ○          | ○         | ○          | ○   |             |                |
| 28   | 柘榴石角閃岩                         | ○          | ○         | ○          | ○   |             |                |
| 29   | 緑簾石角閃石片岩                       | ○          | ○         | ○          | ○   |             | ○              |

注) ○印は試験を実施したもの。

### 3. X線回折試験および顕微鏡観察

#### 3.1. X線回折試験

##### 3.1.1. 試験方法

表-2・3に示す骨材について試験を行った。

ここで用いたX線回折法は、粉末X線回折法である<sup>2)</sup>。

試験装置としては、理学電機製ガイガーフレックス 2035型を用いた。

試料は、数mm以下の粒子に破碎した後、めのう乳鉢で粉碎した。

X線回折の回折条件は、つぎの通りである。

|       |        |                                           |
|-------|--------|-------------------------------------------|
| 管     | 球：Cu   | 走査範囲： $2\theta = 2.5^\circ \sim 40^\circ$ |
| フィルター | ：Ni    | 走査速度： $2^\circ/\text{min}$                |
| 電     | 圧：30kV | 記録紙速度： $2\text{ cm}/\text{min}$           |
| 電     | 流：15mA |                                           |

回折データの解析にあたっては、モンモリロナイトの011（ミラーの指数で表わされる結晶面）と緑泥石の011の回折線がともに $2\theta = 6^\circ$ （ $d = 14\text{ \AA}$ ）で、雲母の001と加水ハロイサイトの011の回折線が $2\theta = 8.5^\circ$ （ $d = 10\text{ \AA}$ ）で、また、緑泥石の002とカオリンの001の回折線が $2\theta = 12.5^\circ$ （ $d = 7\text{ \AA}$ ）でそれぞれ重なるので、これらの鉱物を判別するためにつぎの方法を用いた。

##### (1) モンモリロナイトと緑泥石の判別

モンモリロナイトは、エチレングリコールに浸すとエチレングリコールがモンモリロナイトの層間に入って、 $2\theta = 6^\circ$ （ $d = 14\text{ \AA}$ ）の回折線が $2\theta = 5^\circ$ （ $d = 17\text{ \AA}$ ）に移るが、緑泥石ではこの現象が起こらないので両者が判別できる。

##### (2) 雲母と加水ハロイサイトの判別

加水ハロイサイトは、 $60^\circ\text{C}$ 以上の温度で加熱すると結晶水の一部を失ってハロイサイトとなり、層面間隔が縮まる。すなわち、 $2\theta = 8.5^\circ$ （ $d = 10\text{ \AA}$ ）の回折線が $2\theta = 12^\circ$ （ $d = 7\text{ \AA}$ ）に移るが、雲母ではこの現象が起こらないので両者が判別できる。

##### (3) 緑泥石とカオリンの判別

緑泥石は塩酸に溶けるが、カオリンは溶け難いので、試料を塩酸（1：1）で処理し、 $2\theta = 12.5^\circ$ （ $d = 7\text{ \AA}$ ）の回折線が消滅するか否かを見て、両者を判別できる。

#### 3.1.2. 試験結果

X線回折パターン図を資料II-1に、また、検出された鉱物とその量をまとめて表-3・1に示す。表-3・1では、回折線強度に応じて鉱物量の多、中、少の区別を示したが、詳細な鉱物量については、顕微鏡観察結果（表-3・2・1～3・2・16）に示す。

X線回折パターン図で、下段の数字は $2\theta$ （ $\theta$ は回折を起こすX線の入射角）の値を表わす。また、各回折ピークの上あるいは横に記入された数字は、回折ピークが示す結晶面の面間隔（格子定数）であり、単位はオングストローム（ $\text{\AA}$ ）である。各回折ピークは、鉱物結晶を構成する

結晶面の反射に相当するものであり、何本かある同一鉱物のピークはその鉱物を構成する結晶面の大小に比例し、異なる試料間での回折ピークの大小は鉱物の量に比例している。

各骨材より検出された鉱物のなかで、長石、輝石、角閃石、柎榴石、クリストバライト、トリジマイト、ドロマイト、玻璃および磷灰石は初生鉱物であり、モンモリロナイト、ゼオライト、カオリン、緑泥石、明礬石および葡萄石は後生（二次）鉱物である。

石英、雲母、黄鉄鉱、緑簾石および方解石は、初生のものと後生のものがあるが、X線回折試験では両者の判別はできず、顕微鏡観察が決め手となる。また、雲母についてもX線回折試験ではその種類を決めることができないため、雲母という表示でまとめて示したが、それぞれの種類については顕微鏡観察で説明する。

## 3. 2. 顕微鏡観察

### 3. 2. 1. 観察方法

表-2・3に示す骨材について試験を行った。

使用した顕微鏡は、西ドイツエルンスト・ライツ社製オルトプランボル偏光顕微鏡である。

骨材を厚さ20 $\mu$ 程度の薄片試料（プレパラート）とし、鏡下では単ニコルと直交ニコルで観察した。<sup>3)</sup>

### 3. 2. 2. 観察結果

各骨材について観察された鉱物とその性状を表-3・2・1～3・2・16に示す。また、単ニコルおよび直交ニコル下での各骨材の顕微鏡写真を資料II-2に示す。

表 - 3 ・ 1 X 線回折試験結果

| 試料番号 | 岩石名                            | 検出された鉱物      |             |            |                              |            |            |              |            |      |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |
|------|--------------------------------|--------------|-------------|------------|------------------------------|------------|------------|--------------|------------|------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
|      |                                | モンモリ<br>ロナイト | ゼオライト       |            |                              |            |            | クリスト<br>パライト | トリジ<br>マイト | カオリン | ドロマ<br>イト | 黄鉄鉱 | 珪 瑁 | 緑泥石 | 方解石 | 菱鉄鉱 | 明礬石 | 葡萄石 | 燐灰石 | 雲 母 | 石 英 | 長 石 | 輝 石 | 角閃石 | 柘榴石 | 緑簾石 |   |
|      |                                |              | ローモン<br>タイト | ワイラ<br>カイト | フェーラ<br>ンダイト<br>(スチル<br>バイト) | ゴナル<br>ダイト | ナトロ<br>ライト |              |            |      |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |
| 1    | 石英安山岩 (A)                      | 多            |             |            |                              |            |            |              |            |      |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 多   | 多   |     |     |     |   |
| 2    | 石英安山岩 (B)                      | 中            |             |            |                              |            |            |              |            |      |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 多   | 多   |     |     |     |   |
| 3    | 石英安山岩 (C)                      | 中            |             |            |                              |            |            |              |            |      |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 多   | 多   |     |     |     |   |
| 4    | 石英安山岩 (D)                      |              |             |            |                              |            |            |              |            |      |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 多   | 多   |     |     |     |   |
| 5    | 輝石安山岩 (A)                      | 中            |             |            |                              |            |            |              |            |      |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 多   | 多   |     |     |     |   |
| 6    | 輝石安山岩 (B)                      | 中            |             |            |                              |            |            |              |            |      |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 多   | 多   |     |     |     |   |
| 7    | 輝石安山岩 (C)                      | 少            |             |            |                              |            |            |              |            |      |           | 少   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 多   | 中   |     |     |   |
| 8    | 輝石安山岩 (D)                      | 少            |             |            |                              |            |            |              |            |      |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 多   | 中   |     |     |     |   |
| 9    | 流紋岩                            | 少            |             |            |                              |            |            | 多            | 少          |      |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 少   | 少   | 多   |     |     |     |   |
| 10   | 砂岩 (A)                         |              | 5%          |            |                              |            |            |              |            |      |           |     |     | 少   |     |     |     |     |     |     | 少   | 多   | 多   |     |     |     |   |
| 11   | 変質閃緑岩                          |              | 少           | 中          | 少                            | 少          | 少          |              |            |      |           |     |     | 中   |     |     | 少   | 少   |     |     | 少   | 多   | 多   |     |     |     | 少 |
| 12   | 角閃安山岩 (A)                      |              |             |            |                              |            |            |              |            |      |           |     |     | 中   |     |     |     |     |     |     |     | 中   | 少   |     |     |     | 少 |
| 13   | 角閃安山岩 (B)<br>(ワイラカイト細脈を伴う)     |              |             | 3%         |                              |            |            |              |            |      |           |     |     | 中   |     |     |     |     |     |     |     | 多   | 多   |     | 少   |     |   |
| 14   | 変質角閃安山岩 (A)<br>(ローモンタイトを多量に伴う) |              | 32%         |            | 中                            |            |            |              |            |      |           |     |     | 中   |     |     |     |     |     |     |     | 多   | 多   |     | 少   |     |   |
| 15   | 変質角閃安山岩 (B)<br>(ワイラカイトを多量に伴う)  |              |             | 13%        |                              |            |            |              |            |      |           |     |     | 多   |     |     |     |     |     |     |     | 中   | 多   | 多   |     |     | 中 |
| 16   | チ ャ ー ト (A)                    |              |             |            |                              |            |            |              |            |      |           |     |     | 少   |     |     |     |     |     |     | 少   | 多   |     |     |     |     |   |
| 17   | チ ャ ー ト (B)                    |              |             |            |                              |            |            |              |            |      |           | 少   |     |     |     | 少   |     |     |     |     | 少   | 多   |     |     |     |     |   |
| 18   | チ ャ ー ト (C)                    |              |             |            |                              |            |            |              |            |      |           |     | 少   |     |     |     |     |     |     |     | 少   | 多   |     |     |     |     |   |
| 19   | 強珪化凝灰岩                         |              |             |            |                              |            |            |              |            | 少    |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 少   | 多   |     |     |     |     |   |
| 20   | 花崗岩                            |              |             |            |                              |            |            |              |            |      |           |     |     | 多   |     |     |     |     |     |     | 少   | 多   | 多   |     | 中   |     |   |
| 21   | 石灰質ドロマイト                       |              |             |            |                              |            |            |              |            |      | 多         |     |     |     | 中   |     |     |     |     | 少   |     |     |     |     |     |     |   |
| 22   | 玄武岩                            |              |             |            |                              |            |            |              |            |      |           | 少   |     |     |     |     |     |     |     |     | 少   | 少   | 多   |     |     |     |   |
| 23   | 風化砂岩                           |              |             |            |                              |            |            |              |            |      |           |     |     | 中   |     |     |     |     |     |     | 少   | 多   | 多   |     |     |     |   |
| 24   | 風化頁岩                           |              |             |            |                              |            |            |              |            |      |           |     |     | 多   |     |     |     |     |     |     | 多   | 中   | 中   |     |     |     |   |
| 25   | 砂岩 (B)                         |              |             |            |                              |            |            |              |            |      |           |     |     | 少   |     |     |     |     |     |     | 少   | 多   | 多   |     |     |     |   |
| 26   | 砂岩 (C)                         |              |             |            |                              |            |            |              |            |      |           |     |     | 少   | 多   |     |     |     |     |     |     | 多   | 多   |     |     |     |   |
| 27   | 千枚岩                            |              |             |            |                              |            |            |              |            |      |           |     |     | 中   | 少   |     |     |     |     |     | 中   | 多   | 中   |     |     |     | 少 |
| 28   | 柘榴石角閃岩                         |              |             |            |                              |            |            |              |            |      |           |     |     |     |     |     |     |     |     | 中   | 少   | 多   |     |     | 中   | 中   | 中 |
| 29   | 緑簾石角閃石片岩                       |              |             |            |                              |            |            |              |            |      |           |     |     | 多   |     |     |     |     |     |     |     |     | 多   |     | 多   |     | 中 |

表 - 3・2・1 顕微鏡観察結果

| 試料番号 | 岩石名      | 性 状  |          |                                                                                       |
|------|----------|------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|      |          | 鉱 物  | 特 徴      |                                                                                       |
| 1    | 石英安山岩(A) | 斑 晶  | 斜 長 石    | 自形ないし半自形, 粒径は 0.3 ~ 1 mm, 量は 20 % 程度。部分的にモンモリロナイトに交代されている。                            |
|      |          |      | 普通輝石     | 半自形が多いが自形もある。0.1 ~ 0.3 mm, 4 ~ 5 %。部分的にあるいは完全にモンモリロナイトに交代されているものが多いが, 交代されていないものも目立つ。 |
|      |          |      | 石 英      | 他形粒状でまる味帯びる。0.2 ~ 3 mm, 数%。                                                           |
|      |          |      | 磁 鉄 鉱    | 他形粒状, 0.1 ~ 0.3 mm, 4 ~ 5 %。                                                          |
|      |          | 石 基  | 斜 長 石    | 石基の主体をなす。半自形, 10 ~ 30 $\mu$ 。部分的あるいは完全にモンモリロナイトに交代されている。30 % 程度。                      |
|      |          |      | 普通輝石     | 他形粒状, 10 ~ 50 $\mu$ 。多くがモンモリロナイトに交代され, 残っている石基の輝石は数%。                                 |
|      |          |      | 石 英      | 不規則他形, 数 $\mu$ ~ 30 $\mu$ , 数%。                                                       |
|      |          |      | 磁 鉄 鉱    | 他形粒状, 数 $\mu$ ~ 40 $\mu$ , 4 ~ 5 %。                                                   |
|      |          |      | 玻 璃      | 不規則他形, 数 $\mu$ ~ 40 $\mu$ , 数%。玻璃の大部分はモンモリロナイトに交代されていると思われる。                          |
|      |          | 後生鉱物 | モンモリロナイト | 不規則他形。鱗片状, 繊維状で 1 $\mu$ 以下 ~ 10 $\mu$ 。斜長石, 普通輝石, 玻璃などと交代している。20 ~ 30 %。              |

表-3・2・2 顕微鏡観察結果

| 試料番号 | 岩石名      | 性 状  |          |                                                                                                                                                                                           |
|------|----------|------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      |          | 鉱 物  | 特 徴      |                                                                                                                                                                                           |
| 2    | 石英安山岩(B) | 斑 晶  | 斜 長 石    | 自形ないし半自形, 0.1~1mm, 10 %弱。部分的にモンモリロナイトに交代されている。                                                                                                                                            |
|      |          |      | 石 英      | 自形, 半自形が多いが他形のものもある。一部融食を受けている。0.1~1mm, 10 %弱。                                                                                                                                            |
|      |          |      | 輝 石      | 他形粒状, 0.2mm程度, 微量。ほとんどモンモリロナイトに交代されている。わずかに残っている輝石は, 頑火輝石。                                                                                                                                |
|      |          | 石 基  | 斜 長 石    | 石基の主体をなす。半自形あるいは他形粒状, 10~20 $\mu$ , 40 %程度。細かくモンモリロナイトに交代されている。また部分的に石英にも交代されている。                                                                                                         |
|      |          |      | 石 英      | 他形粒状, 10~20 $\mu$ 。二次(後生)石英との区別が難かしいが, 10 %程度と思われる。                                                                                                                                       |
|      |          |      | 磁 鉄 鉱    | 他形粒状, 数 $\mu$ ~10 $\mu$ , 数%。                                                                                                                                                             |
|      |          |      | 玻 璃      | 他形粒状, 数 $\mu$ ~20 $\mu$ , 少ない。多くはモンモリロナイトに交代されているものと思われる。                                                                                                                                 |
|      |          |      | 黒 雲 母    | 自形, 数 $\mu$ , 少ない。                                                                                                                                                                        |
|      |          |      | ル チ ル    | 他形粒状, 40 $\mu$ ~0.1mm, 極めて少ない。                                                                                                                                                            |
|      |          |      | 輝 石      | 他形粒状, 10~30 $\mu$ , 微量。ほとんどモンモリロナイトに交代されている。交代されずに残っている輝石は頑火輝石。                                                                                                                           |
|      |          | 後生鉱物 | モンモリロナイト | 他形粒状あるいは繊維状, 1 $\mu$ 以下~10 $\mu$ 。斜長石, 玻璃, 輝石を交代して存在する。斑晶の斜長石および輝石と交代しているモンモリロナイトは, 繊維状で粒が大。石基の長石, 玻璃と交代しているモンモリロナイトは微粒である。石基を部分的に 40 $\mu$ ~0.1mm の範囲で交代していることもある。15 %前後 (X線回折試験と併せて検討)。 |
|      |          |      | 石 英      | 不規則他形, 10~20 $\mu$ 。モンモリロナイトと同時期の生成とみられるものもあるが, 多くは初生の石英と区別がつかない。数%と思われる。                                                                                                                 |
|      |          |      | 褐 鉄 鉱    | 他形粒状, 1 $\mu$ 以下~数 $\mu$ , 石基中に少量存在。                                                                                                                                                      |
|      |          |      | 方 解 石    | 他形粒状, 30 $\mu$ 程度。斑晶の斜長石をモンモリロナイトと共に交代して微量存在。                                                                                                                                             |

表-3・2・3 顕微鏡観察結果

| 試料番号 | 岩石名       | 性 状                                                                                               |              |                                                                                  |
|------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------|
|      |           | 鉱 物                                                                                               | 特 徴          |                                                                                  |
| 3    | 石英安山岩 (C) | 斑 晶                                                                                               | 斜 長 石        | 自形ないし半自形, 0.1 ~ 2 mm, 30 %程度。部分的に細かくモンモリロナイトや方解石に交代されている。                        |
|      |           |                                                                                                   | 普通輝石         | 半自形, 0.1 ~ 1 mm, 数%である。一部モンモリロナイトや方解石に交代されている。                                   |
|      |           |                                                                                                   | 石 英          | 他形粒状でまる味あり, 0.1 ~ 0.3 mm, 数%。                                                    |
|      |           |                                                                                                   | 磁 鉄 鉱        | 他形粒状, 0.1 ~ 1 mm, 数%。                                                            |
|      |           | 石 基                                                                                               | 完晶質で流状構造を示す。 |                                                                                  |
|      |           |                                                                                                   | 斜 長 石        | 石基の主体をなす。自形ないし半自形, 10 ~ 30 $\mu$ 。一部の石基の斜長石は, 部分的あるいは全体がモンモリロナイトに交代されている。30 %程度。 |
|      |           |                                                                                                   | 普通輝石         | 他形粒状, 10 ~ 50 $\mu$ 。一部の石基の輝石は, 部分的あるいは全体がモンモリロナイトに交代されている。数%。                   |
|      |           |                                                                                                   | 石 英          | 不規則他形, 数 $\mu$ ~ 30 $\mu$ 。石基の斜長石間隙を埋めて存在。10 %程度。                                |
|      |           |                                                                                                   | 磁 鉄 鉱        | 他形粒状, 数 $\mu$ ~ 30 $\mu$ , 数%程度。                                                 |
|      |           | 後生鉱物                                                                                              | 玻 璃          | 不規則他形, 数 $\mu$ ~ 30 $\mu$ , 数%程度。モンモリロナイトに交代されているようである。                          |
|      |           |                                                                                                   | モンモリロナイト     | 不規則他形。鱗片状, 繊維状で1 $\mu$ 以下 ~ 10 $\mu$ 。斜長石, 輝石, 玻璃と交代。10 ~ 20 %程度。                |
|      |           |                                                                                                   | 方 解 石        | 他形粒状, 数 $\mu$ ~ 50 $\mu$ 。多くは斑晶の斜長石と交代。まれに輝石とも交代している。極めて少ない。                     |
| 4    | 石英安山岩 (D) | 石英安山岩(C)と異なる点。<br>石基は半晶質, 石基に 10 %以上の玻璃あり。<br>石基の斜長石は, 他形粒状ないし半自形。<br>輝石は変質して残っていない。<br>変質は緑泥石化強。 |              |                                                                                  |
|      |           | 後生鉱物                                                                                              | 緑 泥 石        | 隠微晶質, 輝石や斜長石と交代。20 ~ 30 %。                                                       |
|      |           |                                                                                                   | 緑 簾 石        | 他形粒状, 数 $\mu$ ~ 50 $\mu$ 。斜長石と交代したり, 細脈として存在。数%。                                 |
|      |           |                                                                                                   | ル チ ル        | 他形粒状, 数 $\mu$ ~ 30 $\mu$ 。斜長石と部分的に交代。緑簾石を伴う。少ない。                                 |
|      |           |                                                                                                   | チタン鉄鉱        | 他形粒状, 数 $\mu$ ~ 0.1 mm。斜長石と交代している。ルチルを伴うことが多い。2 ~ 3 %。                           |

表-3・2・4 顕微鏡観察結果

| 試料番号 | 岩石名       | 性 状  |              |                                                                                                                                    |
|------|-----------|------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      |           | 鉱 物  | 特 徴          |                                                                                                                                    |
| 5    | 輝石安山岩 (A) | 斑 晶  | 斜 長 石        | 自形, 0.3~3mm, 20 % 弱。部分的にモンモリロナイトや褐鉄鉱に交代されている。                                                                                      |
|      |           |      | 普通輝石<br>頑火輝石 | 自形ないし半自形, 0.3~0.5mm。普通輝石が多く, 頑火輝石はまれ。10 % 程度。いずれも粒子周辺部あるいは劈開に沿って, モンモリロナイトに交代され, 完全に交代されているものもある。平均的には, 粒子の 2/3 はモンモリロナイトに交代されている。 |
|      |           |      | 磁 鉄 鉱        | 他形粒状, 0.3 mm 程度, 少ない。                                                                                                              |
|      |           | 石 基  | 完晶質である。      |                                                                                                                                    |
|      |           |      | 斜 長 石        | 石基の主体をなす。自形, 20 $\mu$ ~0.1mm, 40 % 程度。部分的にモンモリロナイトに交代されている。                                                                        |
|      |           |      | 普通輝石<br>頑火輝石 | 半自形, 30 $\mu$ ~0.15mm, 20 % 程度。普通輝石が多く, 頑火輝石はまれ, 30 $\mu$ 程度の細かい輝石は残るが, 輝石の 2/3 程度はモンモリロナイトに交代され, 完全に交代されているものも多い。                 |
|      |           |      | 石 英          | 不規則他形, 30 $\mu$ ~0.1mm, 10 % 程度。石基の斜長石の間隙を埋めるようにして存在。石英が斜長石を融食しているので, あるいは後生鉱物とも考えられる。                                             |
|      |           |      | 磁 鉄 鉱        | 自形, 半自形あるいは他形粒状, 10 $\mu$ ~0.1mm, 数 %。                                                                                             |
|      |           | 後生鉱物 | モンモリロナイト     | 不規則他形, 1 $\mu$ 以下~10 $\mu$ 。輝石や斜長石と交代。20 % 程度。褐鉄鉱を伴うことが多い。                                                                         |
|      |           |      | 褐 鉄 鉱        | 不規則他形。1 $\mu$ 以下~20 $\mu$ あるいはしみ込み状。いずれもモンモリロナイトに伴う。輝石の分解により生じたものの。                                                                |

表-3・2・5 顕微鏡観察結果

| 試料番号 | 岩 石 名    | 性 状  |              |                                                                                                                                             |
|------|----------|------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      |          | 鉱 物  | 特 徴          |                                                                                                                                             |
| 6    | 輝石安山岩(B) | 斑 晶  | 斜 長 石        | 自形ないし半自形, 0.3~1.5mm。わずかであるが, 中心部がモンモリロナイトや方解石に交代されている。20%強。                                                                                 |
|      |          |      | 普通輝石<br>頑火輝石 | 自形ないし半自形, 0.1~1mm, 数%。普通輝石のほうが多く, 大きい粒が目立つ。                                                                                                 |
|      |          |      | 磁 鉄 鉱        | 他形粒状, 0.1~1mm, 少ない。                                                                                                                         |
|      |          | 石 基  | 完 晶 質 である。   |                                                                                                                                             |
|      |          |      | 斜 長 石        | 石基の主体をなす。自形ないし半自形, 10~50 $\mu$ 。部分的にモンモリロナイトに交代されているものもある。30~40%。                                                                           |
|      |          |      | 輝 石          | 普通輝石と頑火輝石が存在するようであるが, モンモリロナイトに交代されていて, 残っている部分が少ない。数%。                                                                                     |
|      |          |      | 黒 雲 母        | 長柱状, 数 $\mu$ ~10 $\mu$ , 少ない。                                                                                                               |
|      |          |      | 磁 鉄 鉱        | 他形粒状, 数 $\mu$ ~50 $\mu$ 。斑晶の磁鉄鉱と合せて数%。                                                                                                      |
|      |          |      | 玻 璃          | 不規則他形。数 $\mu$ ~30 $\mu$ , 極めて少ない。モンモリロナイトに交代されているとみられる。                                                                                     |
|      |          | 後生鉱物 | モンモリ<br>ロナイト | 不規則他形。鱗片状, 繊維状で1 $\mu$ 以下~10 $\mu$ 。数 $\mu$ 以下が多い。斜長石, 輝石, 玻璃と交代。10~20%。                                                                    |
|      |          |      | 石 英          | 不規則他形あるいは他形粒状, 数 $\mu$ ~30 $\mu$ 。石基の斜長石間隙を埋めて存在しているものが多い。斜長石斑晶の中心部とモンモリロナイトと共に交代したり, 輝石斑晶の一部と交代している。初生の石英も存在すると思われるが, 二次生成石英と区別できない。10%程度。 |
|      |          |      | 方 解 石        | 他形粒状, 数 $\mu$ ~30 $\mu$ 。斜長石斑晶の中心部と交代している。極めてわずか。                                                                                           |

表-3・2・6 顕微鏡観察結果

| 試料番号 | 岩 石 名    | 性 状  |          |                                                                                                            |
|------|----------|------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      |          | 鉱 物  | 特 徴      |                                                                                                            |
| 7    | 輝石安山岩(C) | 斑 晶  | 斜 長 石    | 自形ないし半自形, 0.2~1mm, 20%程度。変質なし。                                                                             |
|      |          |      | 普通輝石     | 自形, 0.2~1mm。割れ目に沿って巾数 $\mu$ ~20 $\mu$ , 褐鉄鉱とモンモリロナイトに交代されている。10%程度。                                        |
|      |          | 石 基  | 完晶質に近い。  |                                                                                                            |
|      |          |      | 斜 長 石    | 石基の主体をなす。自形, 20~60 $\mu$ 。変質なし。30~40%。                                                                     |
|      |          |      | 普通輝石     | 自形ないし半自形, 20 $\mu$ 程度。割れ目に沿って巾数 $\mu$ , 褐鉄鉱やモンモリロナイトに交代されているが, 全般に新鮮。10%程度。                                |
|      |          |      | 酸 化 鉄    | 他形粒状, 10 $\mu$ ~0.2mm。 磁鉄鉱とみられる。一部では褐鉄鉱に変わっている。数%。                                                         |
|      |          |      | 玻 璃      | 他形, 10~20 $\mu$ 。変質はほとんどない。数%。                                                                             |
|      |          |      | 黄 鉄 鉱    | 自形, 0.3mm程度。 少ない。                                                                                          |
|      |          | 後生鉱物 | 褐 鉄 鉱    | 輝石, 酸化鉄と交代してる。一部では酸化鉄と完全に交代している。                                                                           |
|      |          |      | モンモリロナイト | 輝石と交代して存在するが微量。                                                                                            |
| 8    | 輝石安山岩(D) | 斑 晶  | 斜 長 石    | 自形, 0.1~1mm, 20%程度。変質にみられない。                                                                               |
|      |          |      | 輝 石      | 自形, 0.1~1mm。周辺部あるいは割れ目に沿って巾数 $\mu$ ~20 $\mu$ で褐鉄鉱とモンモリロナイトに交代されている。変質は試料によって差がある。普通輝石と紫蘇輝石であるが前者が多い。10%程度。 |
|      |          | 石 基  | 完晶質である。  |                                                                                                            |
|      |          |      | 斜 長 石    | 石基の主体をなす。自形, 20~60 $\mu$ , 40%程度。                                                                          |
|      |          |      | 輝 石      | 半自形, 20~60 $\mu$ , 10%程度。褐鉄鉱とモンモリロナイトに完全に交代されているものが多い。                                                     |
|      |          |      | 酸 化 鉄    | 他形粒状, 10 $\mu$ ~0.15mm, 数%。 磁鉄鉱とみられる。一部褐鉄鉱に変わっている。                                                         |
|      |          |      | 玻 璃      | 不規則他形, 10~30 $\mu$ 。 斜長石などの間隙を埋めて存在。変質なし。                                                                  |
|      |          | 後生鉱物 | モンモリロナイト | 輝石と交代。数 $\mu$ ~50 $\mu$ 。変質大の試料で10%程度。                                                                     |
|      |          |      | 褐 鉄 鉱    | 輝石や酸化鉄と交代。数%。                                                                                              |

表-3・2・7 顕微鏡観察結果

| 試料番号 | 岩石名     | 性 質                                           |                                                                                                                                                                                                                                     |
|------|---------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      |         | 鉱 物                                           | 特 徴                                                                                                                                                                                                                                 |
| 9    | 流 紋 岩   | 無斑晶, 流状構造を示す。石英粒の多い部分, 隠微晶質部分がみられる。球顆組織がみられる。 |                                                                                                                                                                                                                                     |
|      |         | 斜 長 石                                         | 球顆を構成する10~20 $\mu$ の斜状長石が目立つ。流状構造に沿う自形ないし半自形長柱状50~80 $\mu$ の斜長石が少量存在する。40%程度。                                                                                                                                                       |
|      |         | クリストバライト(含トリジマイト)                             | 数 $\mu$ 以下, 球顆を構成する。クリストバライトは30%程度, トリジマイトは数%。                                                                                                                                                                                      |
|      |         | 初生鉱物                                          |                                                                                                                                                                                                                                     |
|      |         | 石 英                                           | 他形粒状, 10~30 $\mu$ の粒からなる巾0.1~0.4mmの細脈が流状構造に沿って存在。隠微晶質部にも少量存在。10%程度。                                                                                                                                                                 |
|      |         | 黒 雲 母                                         | 半自形柱状, 0.1~0.3mm, 流状構造に沿う。2~3%。                                                                                                                                                                                                     |
|      |         | 玻 璃                                           | 他形, 10~60 $\mu$ , 少量。                                                                                                                                                                                                               |
|      |         | 後生鉱物                                          |                                                                                                                                                                                                                                     |
|      |         | 方 解 石                                         | 他形, 30 $\mu$ ~0.1mm。流状構造に沿って, 石英粒の多いところに存在。流状構造を切る細脈もあり。2~3%。                                                                                                                                                                       |
| 10   | 砂 岩 (A) | 砂 粒                                           | 砂粒は半角稜で, 粒径は40 $\mu$ ~12mm, 多くは0.1~1mm。アルカリ長石, 斜長石合せて40%程度, 石英が30%程度, その他が15~20%である。その他の砂粒としては, 白雲母, 黒雲母, 輝石, 柘榴石, 角閃石, ルチル, 緑簾石, ミルメカイト, 安山岩, 粘板岩, チャート, 片岩などである。<br>一部の長石は, 部分的にカオリン, 絹雲母, 方解石, 緑泥石の微晶に交代されている。白雲母と黒雲母はかなり屈曲している。 |
|      |         | 膠 結 物                                         | 膠結物は岩石中10~15%を占める。                                                                                                                                                                                                                  |
|      |         | ローモンタイト                                       | 膠結物中, ローモンタイトが主体。プリズマチックな柱状で大きいもので巾10 $\mu$ , 長さ40 $\mu$ 。多くは巾4 $\mu$ 以下, 長さ10 $\mu$ 以下である。5%前後。                                                                                                                                    |
|      |         | 緑泥石その他                                        | 緑泥石は他形, 絹雲母は鱗片状である。また, 褐鉄鉱, 方解石, 玻璃は他形で, いずれも10 $\mu$ 以下である。緑泥石が5%前後, 他は数%。                                                                                                                                                         |

表-3・2・8 顕微鏡観察結果

| 試料番号 | 岩 石 名         | 性 状                                                                                                                             |                                                 |                                                                         |
|------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
|      |               | 鉱 物                                                                                                                             | 特 徴                                             |                                                                         |
| 12   | 角 閃 安 山 岩 (A) | 斑 晶                                                                                                                             | 斜 長 石                                           | 半自形, 1~3mm, 比較的多い。一部で, わずかに数 $\mu$ ~10 $\mu$ の緑簾石, 方解石, ワイラカイトに交代されている。 |
|      |               |                                                                                                                                 | 角 閃 石                                           | 半自形, 0.4~2mm, 比較的多い。半分程度が緑泥石に交代されている。                                   |
|      |               | 石 基                                                                                                                             | 完晶質である。                                         |                                                                         |
|      |               |                                                                                                                                 | 斜 長 石                                           | 石基の主体をなす。自形, 10 $\mu$ 程度。石英に交代されている。                                    |
|      |               |                                                                                                                                 | 角 閃 石                                           | 他形粒状, 数 $\mu$ ~数10 $\mu$ , 多い。半分程度が緑泥石に交代されている。                         |
|      |               |                                                                                                                                 | 磁 鉄 鉱                                           | 他形粒状, 数 $\mu$ ~数10 $\mu$ , 少ない。                                         |
|      |               |                                                                                                                                 | ル チ ル                                           | 他形粒状, 数 $\mu$ ~10 $\mu$ , 少ない。                                          |
|      |               | 後生鉱物                                                                                                                            | 緑 泥 石                                           | 他形粒状, 数 $\mu$ ~30 $\mu$ , 多い。角閃石を交代。                                    |
|      |               |                                                                                                                                 | 石 英                                             | 石基の斜長石を1mm程度の範囲ずつ交代する。多い。                                               |
|      |               |                                                                                                                                 | 緑 簾 石<br>方 解 石<br>ワイラカイト                        | いずれも他形粒状, 数 $\mu$ ~10 $\mu$ , 一部の斜長石斑晶を交代。微量。                           |
|      |               |                                                                                                                                 | 褐 鉄 鉱                                           | 他形粒状, 数 $\mu$ , 少ない。石基中に散在。                                             |
| 13   | 角 閃 安 山 岩 (B) | 岩石は, 角閃安山岩(A)と同じ。<br>岩石組織を切って, 巾10 $\mu$ ~0.3mmのワイラカイト細脈が発達。ワイラカイト細脈の両側の角閃安山岩は, 厚さ5mm~1cm, 緑泥石, 方解石化が強い。<br><br>角閃安山岩(A)と異なる点は, |                                                 |                                                                         |
|      |               | 斜 長 石 斑 晶                                                                                                                       | 多くは, 部分的に細かい緑簾石にわずかに交代されている。まれに石英にも交代される。       |                                                                         |
|      |               | 角 閃 石                                                                                                                           | 緑泥石にほとんど交代されている。緑泥石は, 少量の緑簾石, 方解石, 陽起石, ルチルを伴う。 |                                                                         |
|      |               | 後生鉱物                                                                                                                            | ワイラカイト細脈                                        | ワイラカイト結晶は, 他形粒状, 数 $\mu$ ~20 $\mu$ , 3%。少量の緑簾石, 方解石, チャバザイトを伴う。         |
|      |               |                                                                                                                                 | 緑 泥 石                                           | 主に角閃石と交代している。他形粒状, 数 $\mu$ ~数10 $\mu$ , 多い。                             |
|      |               |                                                                                                                                 | 緑 簾 石<br>方 解 石<br>ル チ ル<br>チャバザイト               | いずれも他形粒状, 数 $\mu$ ~30 $\mu$ , 少量。                                       |
|      |               |                                                                                                                                 | 陽 起 石                                           | 繊維状, 数 $\mu$ ~30 $\mu$ , 微量。                                            |

表-3・2・9 顕微鏡観察結果

| 試料番号 | 岩石名        | 性 状                                                                                                                       |        |                                                                                              |
|------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
|      |            | 鉱 物                                                                                                                       | 特 徴    |                                                                                              |
| 15   | 変質角閃安山岩(B) | 原岩は、角閃安山岩(A)と同じ。珪化、緑泥石化、緑簾石化、炭酸塩化が強い。<br>厚いワイラカイト脈発達。<br>緑簾石あるいは緑泥石の巾 10~30 $\mu$ の細脈が発達。<br>巾 20 $\mu$ のプレーナイト細脈がわずかに存在。 |        |                                                                                              |
|      |            | 斑 晶                                                                                                                       | 斜 長 石  | 緑泥石、方解石と交代され、残っている部分が少ない。ワイラカイト脈に近い斜長石は完全にワイラカイトに交代されているものもある。                               |
|      |            |                                                                                                                           | 角 閃 石  | 完全に緑泥石に交代されている。                                                                              |
|      |            | 後生鉱物                                                                                                                      | ワイラカイト | 他形粒状、0.1~1mm。若干のチャバザイトを伴う。多い。                                                                |
|      |            |                                                                                                                           | 緑 泥 石  | 角閃石を交代するものが主、細脈のものもある。他形粒状、数 $\mu$ ~ 20 $\mu$ 。方解石を伴う。多い。                                    |
|      |            |                                                                                                                           | 方 解 石  | 他形粒状、1 $\mu$ ~ 数 $\mu$ 。多くは緑泥石を伴う。石基と細かく交代しているものもある。                                         |
|      |            |                                                                                                                           | 緑 簾 石  | 他形粒状、数 $\mu$ ~ 20 $\mu$ 。斜長石と交代したり、細脈で存在。多い。                                                 |
|      |            |                                                                                                                           | 石 英    | 角閃安山岩(A)と同じ。                                                                                 |
| 16   | チャート (A)   | 初生鉱物                                                                                                                      | 石 英    | 石英が主体。多くが玉髄質石英。他形粒状、数 $\mu$ ~ 80 $\mu$ 。細粒の部分、粗粒の部分がみられる。細粒部を粗粒石英の脈が切る。                      |
|      |            | 後生鉱物                                                                                                                      | 絹 雲 母  | 柱状あるいは繊維状、1 $\mu$ 前後~50 $\mu$ 。多くは5 $\mu$ 以下、10 % 程度。石英中に点在あるいは細脈として存在。細脈の絹雲母は粗粒、ときに水酸化鉄を伴う。 |
|      |            |                                                                                                                           | 褐 鉄 鉱  | 不規則他形、数 $\mu$ ~ 20 $\mu$ 、あるいはしみ込み状。1~2 % 程度。岩石の割れ目沿い、または絹雲母に伴って存在。                          |

表-3・2・10 顕微鏡観察結果

| 試料番号  | 岩 石 名                 | 性 状                     |       |                                                                                                                                             |
|-------|-----------------------|-------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|       |                       | 鉱 物                     | 特 徴   |                                                                                                                                             |
| 17    | チャート (B)              | 巾1mm前後の石英細脈、緑泥石細脈がみられる。 |       |                                                                                                                                             |
|       |                       | 初生鉱物                    | 石 英   | 他形粒状、20 $\mu$ ~0.5mm、0.1mm程度が多い。90%以上。                                                                                                      |
|       |                       |                         | 白 雲 母 | 他形粒状ないし半自形、20~80 $\mu$ 、40 $\mu$ 程度が多い。1~2%程度。                                                                                              |
|       |                       | 後生鉱物                    | 黄鉄 鉱  | 他形粒状ないし半自形、10 $\mu$ ~0.1mm、20~30 $\mu$ が多い。2~3%程度。                                                                                          |
|       |                       |                         | 菱鉄 鉱  | 他形、数 $\mu$ ~0.2mm、30~50 $\mu$ 多い。1~2%。石英粒間を埋めて存在。                                                                                           |
|       |                       |                         | 緑 泥 石 | 他形、5~20 $\mu$ 、1~2%。石英粒間を埋めて存在。                                                                                                             |
|       |                       |                         | 方 解 石 | 他形、数10 $\mu$ 、微量。石英粒間を埋めて存在。                                                                                                                |
| 磷 灰 石 | 他形粒状、10~50 $\mu$ 、微量。 |                         |       |                                                                                                                                             |
| 18    | チャート (C)              | 初生鉱物                    | 石 英   | 他形粒状、数 $\mu$ ~0.18mm。1~10 $\mu$ の微小石英生地中に、巾30 $\mu$ ~0.6mmの粗粒石英（10 $\mu$ ~0.2mm）からなる細脈が多数不規則に発達している。生地の石英は玉髄質のものが多く。石英脈には緑泥石を伴うことがある。90%程度。 |
|       |                       | 後生鉱物                    | 緑 泥 石 | 不規則他形、2~20 $\mu$ 、5%程度。石英細脈に伴うものと、生地の石英粒子間を埋めて存在するものがある。石英細脈に伴うものは10~20 $\mu$ 、脈中の一部に偏在することもある。石英生地中のものは、2~10 $\mu$ 。                       |
|       |                       |                         | 絹 雲 母 | 柱状ないし繊維状、2~10 $\mu$ 、5%程度。生地の石英粒子間を埋めて存在。                                                                                                   |
|       |                       |                         | 褐鉄 鉱  | 不規則他形、5 $\mu$ ~0.1mm、10~20 $\mu$ のものが多く。1%程度。石英細脈中で緑泥石の多い部分に伴っていることが多い。石英生地や石英細脈中の亀裂にしみ込んだ巾4~8 $\mu$ の細脈状のものもある。                            |
| 19    | 強珪化凝灰岩                | 組織から、原岩は凝灰岩と考えられる。      |       |                                                                                                                                             |
|       |                       | 初生鉱物                    | 石 英   | 他形粒状、4~90 $\mu$ 、多くは10~40 $\mu$ 。細粒は玉髄質石英である。岩石の主体をなす。                                                                                      |
|       |                       | 後生鉱物                    | 褐鉄 鉱  | 他形粒状、2~20 $\mu$ 、少量。細かく散在するものが多いが10~40 $\mu$ にまとまることもある。                                                                                    |
|       |                       |                         | カオリン  | 1 $\mu$ 以下、石英中に少量包有される。                                                                                                                     |

表-3・2・11 顕微鏡観察結果

| 試料番号 | 岩石名      | 性 状      |                                                                                            |
|------|----------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
|      |          | 鉱 物      | 特 徴                                                                                        |
| 20   | 花 崗 岩    | 等粒組織を示す。 |                                                                                            |
|      |          | 初生鉱物     | 石英と長石類<br>他形粒状, 0.1~3mm, 0.4mm以上多い。石英30%前後, 正長石30%前後, 斜長石20%前後, 微斜長石1~2%程度。                |
|      |          |          | 普通角閃石<br>半自形, 40 $\mu$ ~2mm, 多くは0.5mm以上。7~8%程度。                                            |
|      |          |          | 黒雲母<br>半自形, 0.1~2mm, 多くは0.4mm以上。3~4%程度。                                                    |
|      |          |          | 燐灰石<br>他形粒状, 10 $\mu$ ~0.1mm, 微量。                                                          |
|      |          |          | 磁鉄鉱<br>他形粒状, 20 $\mu$ ~1.5mm, 微量。                                                          |
|      |          | 後生鉱物     | 緑泥石<br>他形, 数 $\mu$ ~0.1mm。長石類を細かく交代したり, 角閃石, 黒雲母の一部を交代している。1~2%。                           |
|      |          |          | カオリン<br>カリ長石を細かく交代している。1 $\mu$ 以下, 1%以下。                                                   |
|      |          |          | 絹雲母<br>長石類を細かく交代している。数 $\mu$ 以下, 1%以下。                                                     |
|      |          |          | 緑泥石<br>他形粒状, 数 $\mu$ ~80 $\mu$ 。長石類の亀裂を埋めたり, 緑泥石と伴って, 極く少量存在。                              |
|      |          |          | 方解石<br>他形粒状, 数 $\mu$ 10 $\mu$ , 緑泥石と共に黒雲母を交代して極く少量存在。巾30 $\mu$ ~0.1mmの方解石・石英からなる細脈がわずかにある。 |
|      |          |          | 石 英<br>方解石と細脈を形成。他形, 数 $\mu$ ~10 $\mu$ , 微量。                                               |
|      |          |          | 菱鉄鉱<br>他形粒状, 数 $\mu$ ~20 $\mu$ 。黒雲母や角閃石中に微量存在。                                             |
| 21   | 石灰質ドロマイト | 初生鉱物     | ドロマイト<br>他形粒状, 数 $\mu$ ~0.3mm, 多くが50 $\mu$ 以上。方解石脈の周辺では細粒が多い。60~70%。                       |
|      |          |          | 方解石<br>他形粒状, 10 $\mu$ ~0.2mm。ほとんどの方解石がドロマイトを切る。巾20 $\mu$ ~0.4mmの細脈で存在。20%程度。               |
|      |          |          | 燐灰石<br>隠微晶質, ドロマイト粒子間隙(10~50 $\mu$ )を埋めて存在。方解石が発達する周辺の比較的細粒のドロマイトが多いところに目立って存在。10~20%。     |
|      |          | 後生鉱物     | 褐鉄鉱<br>他形, 1 $\mu$ 以下~10 $\mu$ 。ほとんどが方解石細脈の外側に沿って存在。ドロマイトの割れ目にしみ込んだものもみられる。1~2%。           |

表-3・2・12 顕微鏡観察結果

| 試料番号 | 岩石名  | 性 状                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                           |
|------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
|      |      | 鉱 物                                                                                                                                                                                                                                                                     | 特 徴                                                                                       |
| 22   | 玄武岩  | サブオフィチック組織を示す。部分的に流伏構造がみられる。粗粒玄武岩質部分がある。1mm程度の玄武岩碎片を少量含む。                                                                                                                                                                                                               |                                                                                           |
|      |      | 初生鉱物                                                                                                                                                                                                                                                                    | 斜長石 自形ないし半自形, 50 $\mu$ ~0.5mm。緑泥石化, 方解石化が顕著。絹雲母にも交代されている。40%程度。                           |
|      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                         | 有色鉱物 (鉄苦土鉱物) 緑泥石などに変質していて, 全く認められない。                                                      |
|      |      | 後生鉱物                                                                                                                                                                                                                                                                    | 緑泥石 不規則他形, 10 $\mu$ ~0.1mm。有色鉱物と交代しているが, 斜長石とも交代している。30%程度。                               |
|      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                         | 方解石 不規則他形, 30 $\mu$ ~0.2mm。緑泥石と共に有色鉱物, あるいは斜長石と細かく交代している。巾60 $\mu$ ~1.2mmの細脈としても発達。15%程度。 |
|      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                         | 石英 他形, 20~30 $\mu$ , 5%。斜長石粒間を埋めて存在。                                                      |
|      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                         | 絹雲母 繊維状, 5~20 $\mu$ 。緑泥石と共生。5%程度。                                                         |
|      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                         | 褐鉄鉱 他形粒状, 5~10 $\mu$ 。岩石中に散在, 40~50 $\mu$ の集合体もあり。3%程度。                                   |
|      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                         | 黄鉄鉱 他形粒状, 50~80 $\mu$ 。岩石中に散在。1%程度。                                                       |
|      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                         | ルチル 他形粒状, 10~30 $\mu$ , 1%以下。                                                             |
| 23   | 風化砂岩 | 砂 粒<br>砂粒は半角稜, 60 $\mu$ ~0.7mm, 多くは0.1~0.5mm。石英30%程度, アルカリ長石と斜長石を合せて15%程度。その他緑簾石, 黒雲母, 輝石, ルチル, 柘榴石, 燐灰石, 珪灰鉄鉱, 電気石, 海緑石などが15~20%。凝灰岩, 泥岩, チャート, 砂岩, 流紋岩, 安山岩, 玄武岩などの岩石碎片が25%である。<br>石英碎片の亀裂沿いに方解石がはいり込んだものが目立つ。長石の一部は, 10 $\mu$ 以下の緑泥石や方解石に部分的に交代されている。<br>黒雲母は屈曲している。 |                                                                                           |
|      |      | 膠 結 物                                                                                                                                                                                                                                                                   | 膠結物の量は10~15%。                                                                             |
|      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                         | 緑泥石 他形ないし, 繊維状, 10 $\mu$ 以下のものが多い。7~8%。                                                   |
|      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                         | 方解石 他形, 10~40 $\mu$ 。石英粒周辺に多い。5~6%。                                                       |
|      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                         | 絹雲母 鱗片状, 10 $\mu$ 以下, 5%程度。                                                               |
|      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                         | 褐鉄鉱 他形, 10 $\mu$ 以下, 2%程度。                                                                |

表-3・2・13 顕微鏡観察結果

| 試料番号 | 岩石名    | 性状                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                              |
|------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      |        | 鉱物                                                                                                                                                                                                    | 特徴                                                                                                                                                                                                           |
| 24   | 風化頁岩   | 片理が発達し、細かい褶曲がみられる。層理沿い、又は層理を切る巾1mm前後の石英細脈が存在する。<br>緑泥石と絹雲母が主体となる層と石英に富む層からなる。<br>○緑泥石と絹雲母が主体となる層……厚さ0.1~数mm、本岩の大半はこの層からなる。<br>○石英に富む層……厚さ50 $\mu$ ~0.5mm、緑泥石と絹雲母が主体となる層と互層したり、緑泥石、絹雲母が主体となる層中に葉片状に存在。 |                                                                                                                                                                                                              |
|      |        | 緑泥石、絹雲母                                                                                                                                                                                               | 繊維状、数 $\mu$ ~10 $\mu$ 。長軸方向と片理方向が平行する。緑泥石、絹雲母はそれぞれ30%。                                                                                                                                                       |
|      |        | 石英                                                                                                                                                                                                    | 他形粒状、1 $\mu$ 以下~0.2mm。層状あるいは葉片状の石英に富む層中、緑泥石・絹雲母が主体となる層中の石英は10 $\mu$ 以下が多い。細脈の石英は大きい。少量隠微晶質石英が存在。20%程度。                                                                                                       |
|      |        | 長石                                                                                                                                                                                                    | 他形粒状、数 $\mu$ ~10 $\mu$ 。緑泥石・絹雲母が主体を成す層、石英が主体となる層中のいずれにも存在。10%程度。                                                                                                                                             |
|      |        | 黒鉛                                                                                                                                                                                                    | 他形粒状、数 $\mu$ ~10 $\mu$ 。緑泥石・絹雲母が主体となる層中に伴い、片理方向には $\vee$ 平行に配列。10%程度。                                                                                                                                        |
|      |        | 緑簾石                                                                                                                                                                                                   | 他形粒状あるいは半自形、30 $\mu$ ~0.1mm。石英脈中に極く少量存在。                                                                                                                                                                     |
|      |        | ルチル、黄鉄鉱                                                                                                                                                                                               | いずれも他形粒状、30 $\mu$ 前後。石英を主体とする層中にまれに存在。                                                                                                                                                                       |
| 25   | 砂岩 (B) | 砂粒                                                                                                                                                                                                    | 砂粒は半角稜で80 $\mu$ ~1mm。正長石、微斜長石、斜長石のほとんどが部分的に細かく緑泥石、絹雲母、方解石、カオリンと交代されている。石英30%、長石類15~20%。緑簾石は、20~80 $\mu$ 。方解石などを伴う産状から、あるいは後生鉱物かも知れない。凝灰岩碎片は割合に目立つが、他の角閃石、輝石、白雲母、ルチル、緑簾石、燐灰石、安山岩、チャートなどの碎片は少ない。白雲母はかなり屈曲している。 |
|      |        | 膠結物                                                                                                                                                                                                   | 緑泥石、絹雲母<br>膠結物の主体をなす。1 $\mu$ 弱~20 $\mu$ 、10~15%。緑泥石が絹雲母よりやや多い。                                                                                                                                               |
|      |        |                                                                                                                                                                                                       | 方解石<br>数 $\mu$ ~40 $\mu$ 、数%。                                                                                                                                                                                |
|      |        |                                                                                                                                                                                                       | 褐鉄鉱<br>しみ込み状、少ない。                                                                                                                                                                                            |
|      |        |                                                                                                                                                                                                       | 玻璃質、黄鉄鉱<br>数 $\mu$ 、少ない。                                                                                                                                                                                     |

表-3・2・14. 顕微鏡観察結果

| 試料番号 | 岩石名     | 性 状                                                                             |                                                                                      |
|------|---------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|      |         | 鉱 物                                                                             | 特 徴                                                                                  |
| 26   | 砂 岩 (C) | 片状である。                                                                          |                                                                                      |
|      |         | 砂 粒                                                                             | 砂粒の石英，長石は，0.5~1.2mm。半角稜である。斜長石の一部が方解石と鉄モンモリロナイトに交代されていることもある。一部の長石は，カオリンに細かく交代されている。 |
|      |         | 膠 結 物                                                                           | 主体は10~20 $\mu$ の絹雲母と緑泥石である。加えて方解石，炭質物，緑簾石，黄鉄鉱，玻璃がみられた。緑簾石・石英・方解石・緑泥石が相伴う細脈もあり。       |
| 27   | 千 枚 岩   | リニエーションがよく発達する。<br>厚さ0.1~1mmの緑泥石と絹雲母が主体となる層と，0.05~0.5mmの石英に富む層が互層する。細かい褶曲が発達する。 |                                                                                      |
|      |         | 緑 泥 石，絹 雲 母                                                                     | いずれも繊維状で，数 $\mu$ ~10 $\mu$ 。長軸方向が片理方向と平行。緑泥石が30%程度。絹雲母が20%程度。                        |
|      |         | 石 英                                                                             | 他形粒状，1 $\mu$ 以下~50 $\mu$ 。玉髄質石英である。隠微晶質石英もみられる。20%程度。                                |
|      |         | 長 石                                                                             | 他形粒状，数 $\mu$ 。緑泥石・絹雲母に富む層，石英に富む層のいずれの層中にも存在。20%程度。                                   |
|      |         | 炭 質 物                                                                           | 形状は不明瞭，数 $\mu$ ~10%程度。緑泥石と絹雲母が主体の層に伴う。                                               |
|      |         | 黄 鉄 鉱                                                                           | 他形粒状ないし半自形，20 $\mu$ 前後。石英に富む層中にまれに現れる。                                               |

表-3・2・15 顕微鏡観察結果

| 試料番号 | 岩石名     | 性 状            |                                                                                                                                             |
|------|---------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      |         | 鉱 物            | 特 徴                                                                                                                                         |
| 28   | 柎榴石角閃片岩 | 多くの鉱物が平行配列をなす。 |                                                                                                                                             |
|      |         | 普通角閃石          | 他形粒状ないし半自形柱状, $10\mu\sim 0.1\text{mm}\times 0.3\text{mm}$ 。多くはアルカリ長石と共生し, 長石中に包有されているものが多い。20~25%。                                          |
|      |         | アルカリ長石         | 他形粒状のものが多いが, 半自形のものもあり。 $50\mu\sim 0.2\text{mm}\times 0.5\text{mm}$ 。配列方向に伸びた形状をなす。ほとんどが $10\mu\sim 0.1\text{mm}$ の細かい普通角閃石を数多く包有する。20~25%。 |
|      |         | 斜長石            | 半自形, $50\mu\sim 0.1\text{mm}$ 。数%。                                                                                                          |
|      |         | 柎榴石            | 他形粒状, $0.2\sim 1\text{mm}$ 。粒子内に割れ目が多い。リネーション方向に並ぶ。15%程度。                                                                                   |
|      |         | 白雲母            | 半自形柱状, 数 $\mu\times 20\mu\sim 0.15\text{mm}\times 0.5\text{mm}$ 。劈開線方向がリネーション方向と平行。平行配列をなす。15%程度。                                           |
|      |         | 緑簾石            | 他形粒状ないし半自形柱状, $30\mu\sim 0.2\text{mm}\times 0.5\text{mm}$ 。b軸方向に定方位性を示し, 平行配列する。15%程度。                                                      |
|      |         | 石英             | 他形粒状, $50\mu\sim 0.5\text{mm}$ 。他の鉱物を切ったり, 他の鉱物の間隙を埋めて存在。10%程度。                                                                             |
|      |         | ルチル            | 他形粒状, $20\mu\sim 0.1\text{mm}$ 。リネーション方向に並んで点在。1~2%。                                                                                        |
|      |         | 磁鉄鉱            | 他形粒状, $50\mu\sim 0.5\text{mm}$ 。リネーション方向に粒子が並ぶ。リネーション方向に伸びた粒子あり。数%。                                                                         |
|      |         | 緑泥石            | 不規則他形, $20\mu\sim 0.1\text{mm}$ 。他の鉱物を切って存在。微量。                                                                                             |
|      |         | 方解石            | 他形粒状, $20\mu\sim 0.15\text{mm}$ 。長石, 普通角閃石と共生して微量存在。                                                                                        |

表-3・2・16 顕微鏡観察結果

| 試料番号 | 岩 石 名    | 性 状  |        |                                                                         |
|------|----------|------|--------|-------------------------------------------------------------------------|
|      |          | 鉱 物  | 特 徴    |                                                                         |
| 29   | 緑簾石角閃石片岩 | 初生鉱物 | 透 輝 石  | 半自形, 10 $\mu$ ~0.15mm, 特に 50~60 $\mu$ 多い。アルカリ長石の粒間を埋め, 方向性をもって存在。30%程度。 |
|      |          |      | アルカリ長石 | 半自形, 0.1~0.4mm。ほとんどが 10~20 $\mu$ の細粒輝石を数多く包有している。20 %程度。                |
|      |          |      | 普通角閃石  | 半自形, 10~20 $\mu$ 。輝石と共に長石粒子間を埋めて存在する。緑泥石に交代されている普通角閃石が多い。10%程度。         |
|      |          |      | 緑 簾 石  | 他形粒状ないしは半自形, 50 $\mu$ ~0.1mm, 10%程度。                                    |
|      |          |      | 黒 雲 母  | 半自形, 20~30 $\mu$ 。輝石粒間に存在。2 %程度。                                        |
|      |          |      | 柘 榴 石  | 他形粒状, 0.1~0.6mm, 1 %程度。                                                 |
|      |          |      | ル チ ル  | 他形粒状, 20 $\mu$ 程度, 1 %程度。                                               |
|      |          | 後生鉱物 | 緑 泥 石  | 不規則他形, 隠微晶のことが多い。0.1~0.2mm, 輝石や角閃石を交代して存在。20%程度。                        |
|      |          |      | 褐 鉄 鉱  | 岩石の割れ目沿いに, しみ込み状で存在。微量である。                                              |

### 3.3 X線回折試験および顕微鏡観察結果の検討

X線回折試験と顕微鏡観察は、骨材中の有害鉱物の性状をより正確に調べることができる有効な試験方法であり、これらの試験によって、骨材中の有害鉱物の存在量および存在状態は明らかとなるが、さらに、有害鉱物を含む骨材がコンクリートに与える影響の程度を定量的に把握する必要がある。現在のところ、このような要求を満たす試験方法には、ASTM<sup>注)</sup> C 227, C 289 によるアルカリと骨材の潜在的反応性試験（モルタルバー法、化学法）、そして、規格化された試験方法ではないが、カルシウムと骨材の反応性試験があり、4章および5章にこれらの試験方法および試験結果について述べている。

---

注) ASTM : American Society for Testing Materials

## 4. アルカリ骨材反応試験

### 4.1 モルタルバー法

セメント中のアルカリ成分と骨材との化学反応によって起こる膨張性アルカリ反応を、ASTM C 227 - 71 (セメント-骨材の潜在性アルカリ反応試験方法) にしたがって試験した。資料Ⅲ-1 に、ASTM C 227 - 71の邦訳を付す。

#### 4.1.1 試験方法

##### (1) 使用材料

##### 1) 骨材

表-2・3に示す骨材について試験を行った。

骨材は、ロールジョークラッシャーで破碎し、水洗、乾燥後、表-4・1に示す粒度となるように調製した。

表-4・1 骨材の粒度

| ふるい寸法 (mm) | 0.15 ~ 0.3 | 0.3 ~ 0.6 | 0.6 ~ 1.2 | 1.2 ~ 2.5 | 2.5 ~ 5 |
|------------|------------|-----------|-----------|-----------|---------|
| 重量百分率 (%)  | 15         | 25        | 25        | 25        | 10      |

##### 2) セメント

使用したセメントは3種で、そのアルカリ含有量を表-4・2に示す。

表-4・2 使用したセメントのアルカリ含有量

| セメントの種類             | アルカリ量 (%)         |                  |                      |
|---------------------|-------------------|------------------|----------------------|
|                     | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | 全アルカリ量 <sup>注)</sup> |
| 普通ポルトランドセメント (日本社)  | 0.38              | 0.43             | 0.66                 |
| 中庸熱ポルトランドセメント (大阪社) | 0.58              | 0.76             | 1.08                 |
| 中庸熱ポルトランドセメント (住友社) | 0.24              | 0.43             | 0.52                 |

注) 全アルカリ量は、Na<sub>2</sub>O等価量に換算した値。

##### 3) フライアッシュ

使用したフライアッシュは、電発フライアッシュ (株) 製「電発フライアッシュ」である。その物性を表-4・3に示す。

表-4・3 フライアッシュの物性

| 化学分析値 (%)         |         | 比重   | 粉末度                          |                   | 単位水量比 (%) | 圧縮強度比 (%) |      |
|-------------------|---------|------|------------------------------|-------------------|-----------|-----------|------|
| Si O <sub>2</sub> | lg・loss |      | ブレン値<br>(cm <sup>2</sup> /g) | 網ふるい法<br>(44μ残留%) |           | 28日       | 91日  |
| 49.3              | 4.33    | 2.24 | 3,500                        | 23.9              | 99        | 84.5      | 94.6 |

## (2) モルタルの成形および膨張収縮測定

モルタルの配合は、重量比でセメント 1 に対して骨材 2.25 とし、水量はモルタルのフロー値が 105 ～ 120 となるように決定した。モルタルの練りまぜは、ASTM C 305 - 65 (セメント軟練りモルタルの機械的混合方法) にしたがって行った。骨材別のモルタル配合結果を表 4.4 に示す。

モルタル練りまぜ後、 $1 \times 1 \times 11.1/4$  インチ (約  $2.5 \times 2.5 \times 28.6$  cm) の型枠に入れ、24 時間湿潤養生してから脱型した。その後、モルタルバーを密閉した湿気箱に入れ、 $38^\circ\text{C}$  の恒温室中に保った。所定の材令時に取り出し、ダイヤルゲージ付コンパレーター ( $1/1,000$  mm) を用いて長さ変化を測定した。

表-4.4 モルタルの配合

| 試料番号 | 岩石名            | 骨材量<br>(g) | セメント<br>の種類 | セメント<br>量 (g) | フライアッシュ<br>量(g) | 水 量<br>(g) | フロー値 | W/C<br>(%) | 含まれる有害鉱物                         |
|------|----------------|------------|-------------|---------------|-----------------|------------|------|------------|----------------------------------|
| 1    | 石英安山岩 (A)      | 675        | 日本          | 300           | 0               | 135        | 115  | 45         | モンモリロナイト, 玻璃                     |
| 2    | 石英安山岩 (B)      | 675        | 大阪          | 300           |                 | 150        | 110  | 50         | モンモリロナイト                         |
| 3・4  | 石英安山岩 (C,D)    | 675        | 日本          | 300           |                 | 130        | 108  | 43         | モンモリロナイト, 玻璃                     |
| 5    | 輝石安山岩 (A)      | 675        | 日本          | 300           |                 | 130        | 117  | 43         | モンモリロナイト                         |
| 6    | 輝石安山岩 (B)      | 675        | 日本          | 300           |                 | 135        | 107  | 45         | モンモリロナイト                         |
| 7    | 輝石安山岩 (C)      | 675        | 日本          | 300           |                 | 126        | 120  | 42         | 玻璃, モンモリロナイト,<br>黄鉄鉱             |
| 8    | 輝石安山岩 (D)      | 675        | 大阪          | 300           |                 | 140        | 112  | 47         | モンモリロナイト, 玻璃                     |
| 9    | 流紋岩            | 675        | 大阪          | 300           |                 | 152        | 110  | 51         | クリストライト, トリジナイト,<br>玻璃, モンモリロナイト |
| 10   | 砂岩 (A)         | 675        | 日本          | 300           |                 | 130        | 119  | 43         | ローモンタイト                          |
| 11   | 変質閃緑岩          | 675        | 住友          | 300           |                 | 130        | 118  | 43         | ローモンタイト, ワイラ<br>カイト, その他ゼオライト    |
| 13   | 角閃安山岩 (B)      | 675        | 住友          | 300           |                 | 130        | 111  | 43         | ＊<br>ワイラカイト (少量)                 |
| 15   | 変質角閃安山岩 (B)    | 675        | 住友          | 300           |                 | 128        | 114  | 43         | ワイラカイト (多量)                      |
| 15   | 同上 (フライアッシュ添加) | 675        | 住友          | 225           | 75              | 144        | 113  | 48         | 同 上                              |
| 16   | チャート (A)       | 675        | 日本          | 300           | 0               | 120        | 110  | 40         | 玉髄質石英                            |
| 17   | チャート (B)       | 675        | 住友          | 300           |                 | 128        | 115  | 43         | 黄鉄鉱                              |
| 18   | チャート (C)       | 675        | 大阪          | 300           |                 | 129        | 120  | 43         | 玉髄質石英                            |
| 19   | 強珪化凝灰岩         | 675        | 日本          | 300           |                 | 135        | 116  | 45         | 玉髄質石英<br>カオリン＊                   |
| 20   | 花崗岩            | 675        | 住友          | 300           |                 | 130        | 118  | 43         | カオリン ＊                           |
| 21   | 石灰質ドロマイト       | 675        | 日本          | 300           |                 | 123        | 115  | 41         | ドロマイト                            |
| 22   | 玄武岩            | 675        | 大阪          | 300           |                 | 122        | 120  | 41         | 黄鉄鉱                              |
| 23   | 風化砂岩           | 675        | 大阪          | 300           |                 | 123        | 115  | 41         |                                  |
| 24   | 風化頁岩           | 675        | 住友          | 300           |                 | 142        | 113  | 47         |                                  |
| 25   | 砂岩 (B)         | 675        | 大阪          | 300           |                 | 120        | 114  | 40         |                                  |
| 26   | 砂岩 (C) ＊＊      | 675        | 日本          | 300           |                 | 126        | 118  | 42         |                                  |
| 27   | 千枚岩            | 675        | 住友          | 300           |                 | 131        | 111  | 44         |                                  |
| 28   | 柘榴石角閃岩         | 675        | 大阪          | 300           |                 | 120        | 120  | 40         |                                  |
| 29   | 緑簾石角閃石片岩       | 675        | 大阪          | 300           |                 | 128        | 118  | 43         |                                  |

注 1) ＊印の鉱物は必ずしも有害ではない。

2) ＊＊千枚岩が混入する。

#### 4.1.2 試験結果

各骨材を用いたモルタルバーの膨張収縮率測定結果を表-4・5に示す。

結果は、3ヶ月で最大0.02%（計6試料）、6ヶ月で最大0.03%（計3試料）であり、この試験方法による結果において潜在性の有害なアルカリ骨材反応（アルカリ・シリカ反応）を生ずる可能性があると考えられる膨張率0.05%（3ヶ月）あるいは0.10%（6ヶ月）よりも、すべて小であった。

表-4・5 ASTM C-227によるモルタルバーの膨張収縮率測定結果（%）

| 試料番号 | 岩石名      | 材令                | 14日   | 1ヶ月   | 2ヶ月  | 3ヶ月  | 4ヶ月   | 5ヶ月   | 6ヶ月   | 含まれる有害鉱物                       |
|------|----------|-------------------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|--------------------------------|
| 1    | 石英安山岩    | (A)               | 0.00  | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.01  | 0.01  | 0.01  | モンモリロナイト, 玻璃                   |
| 2    | 石英安山岩    | (B)               | -0.00 | 0.01  | 0.01 | 0.01 | 0.01  | 0.01  | 0.01  | モンモリロナイト                       |
| 3・4  | 石英安山岩    | (C, D)            | 0.00  | 0.01  | 0.01 | 0.01 | 0.01  | 0.01  | 0.01  | モンモリロナイト, 玻璃                   |
| 5    | 輝石安山岩    | (A)               | 0.00  | 0.01  | 0.01 | 0.01 | 0.01  | 0.01  | 0.01  | モンモリロナイト                       |
| 6    | 輝石安山岩    | (B)               | -0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.01 | 0.01  | 0.01  | 0.01  | モンモリロナイト                       |
| 7    | 輝石安山岩    | (C)               | 0.01  | 0.01  | 0.01 | 0.01 | 0.01  | 0.02  | 0.02  | 玻璃, モンモリロナイト, 黄鉄鉱              |
| 8    | 輝石安山岩    | (D)               | 0.00  | 0.00  | 0.01 | 0.02 | 0.03  | 0.03  | 0.03  | モンモリロナイト, 玻璃                   |
| 9    | 流紋岩      |                   | 0.01  | 0.01  | 0.01 | 0.02 | 0.01  | 0.01  | 0.01  | クリストバライト, トリジナイト, 玻璃, モンモリロナイト |
| 10   | 砂岩       | (A)               | 0.00  | 0.01  | 0.01 | 0.01 | 0.01  | 0.01  | 0.01  | ローモンタイト                        |
| 11   | 変質閃緑岩    |                   | -0.00 | -0.00 | 0.00 | 0.00 | -0.00 | -0.01 | -0.00 | ローモンタイト, ワイラカイト, その他ゼオライト      |
| 13   | 角閃安山岩    | (B)               | 0.00  | 0.01  | 0.01 | 0.01 | 0.01  | 0.01  | 0.01  | ワイラカイト <sup>*</sup> (少量)       |
| 15   | 変質角閃安山岩  | (B)               | 0.00  | 0.00  | 0.00 | 0.01 | 0.01  | 0.01  | 0.01  | ワイラカイト (多量)                    |
| 15   | 同上       | (フライアッシュ添加)       | 0.00  | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | -0.00 | -0.00 | 同上                             |
| 16   | チャート     | (A)               | 0.01  | 0.01  | 0.01 | 0.01 | 0.03  | 0.03  | 0.03  | 玉髄質石英                          |
| 17   | チャート     | (B)               | 0.01  | 0.01  | 0.01 | 0.02 | 0.02  | 0.02  | 0.01  | 黄鉄鉱                            |
| 18   | チャート     | (C)               | 0.01  | 0.01  | 0.01 | 0.02 | 0.02  | 0.02  | 0.02  | 玉髄質石英                          |
| 19   | 強珪化凝灰岩   |                   | 0.01  | 0.01  | 0.02 | 0.02 | 0.02  | 0.02  | 0.03  | 玉髄質石英<br>カオリン <sup>*</sup>     |
| 20   | 花崗岩      |                   | 0.01  | 0.01  | 0.01 | 0.01 | 0.01  | 0.01  | 0.01  | カオリン <sup>*</sup>              |
| 21   | 石灰質ドロマイト |                   | 0.01  | 0.01  | 0.01 | 0.01 | 0.01  | 0.01  | 0.01  | ドロマイト                          |
| 22   | 玄武岩      |                   | 0.00  | 0.00  | 0.01 | 0.01 | 0.01  | 0.01  | 0.01  | 黄鉄鉱                            |
| 23   | 風化砂岩     |                   | 0.00  | 0.01  | 0.01 | 0.01 | 0.01  | 0.01  | 0.01  |                                |
| 24   | 風化頁岩     |                   | 0.00  | 0.01  | 0.01 | 0.02 | 0.01  | 0.01  | 0.01  |                                |
| 25   | 砂岩       | (B)               | 0.01  | 0.01  | 0.01 | 0.01 | 0.02  | 0.02  | 0.02  |                                |
| 26   | 砂岩       | (C) <sup>**</sup> | 0.01  | 0.01  | 0.01 | 0.01 | 0.01  | 0.01  | 0.01  |                                |
| 27   | 千枚岩      |                   | 0.00  | 0.01  | 0.01 | 0.01 | 0.01  | 0.01  | 0.01  |                                |
| 28   | 柘榴石角閃岩   |                   | 0.01  | 0.01  | 0.01 | 0.01 | 0.02  | 0.01  | 0.02  |                                |
| 29   | 緑簾石角閃石片岩 |                   | -0.00 | 0.01  | 0.01 | 0.01 | 0.01  | 0.01  | 0.01  |                                |

注) 1) -は収縮あるいは収縮傾向を示す。

2) \*印の鉱物は必ずしも有害ではない。

3) \*\*千枚岩が混入している。

## 4.2 化学法

化学法によるアルカリ骨材反応試験は、ASTM C 289 - 71 (骨材の潜在反応性試験方法) にしたがって行った。資料Ⅲ-2にASTM C 289 - 71 の邦訳を示す。

### 4.2.1 試験方法

表-2・3に示す骨材について試験を行った。

骨材は、ロールジョークラッシャーで0.3~0.15 mmに破碎し、水洗後、乾燥した。

骨材25 gと1規定の水酸化ナトリウム水溶液25 mlをステンレス反応容器に入れ、恒温水槽中で80 ± 1℃に24時間保持した後、溶液を濾別した。

その溶液中のアルカリ濃度減少量と溶解シリカ量を測定した。

### 4.2.2 試験結果

アルカリ濃度減少量および溶解シリカ量の測定結果を表-4・6に示す。また、これらをASTMによる骨材の有害度判定区分図中に示したものが図-4・1である。

骨材はすべて無害の区分に入ったが、多量のシリカ(玉髄質石英)を含む骨材では、潜在的有害の区分に近いものも検出された。

表-4・6 ASTM C 289によるアルカリ濃度減少量と溶解シリカ量

| 試料番号 | 岩石名                          | アルカリ濃度減少量<br>mmol/l | 溶解シリカ量<br>mmol/l | 試料番号 | 岩石名      | アルカリ濃度減少量<br>mmol/l | 溶解シリカ量<br>mmol/l |
|------|------------------------------|---------------------|------------------|------|----------|---------------------|------------------|
| 1    | 石英安山岩(A)                     | 277                 | 18               | 17   | チャート(B)  | 441                 | 1                |
| 2    | 石英安山岩(B)                     | 167                 | 60               | 18   | チャート(C)  | 107                 | 44               |
| 3・4  | 石英安山岩(C,D)                   | 162                 | 31               | 19   | 強珪化凝灰岩   | 111                 | 91               |
| 5    | 輝石安山岩(A)                     | 115                 | 68               | 20   | 花崗岩      | 61                  | 1.4              |
| 6    | 輝石安山岩(B)                     | 240                 | 76               | 21   | 石灰質ドロマイト | 0                   | 0.2              |
| 7    | 輝石安山岩(C)                     | 3.2                 | 2.6              | 22   | 玄武岩      | 149                 | 21               |
| 8    | 輝石安山岩(D)                     | 5.9                 | 24               | 23   | 風化砂岩     | 103                 | 26               |
| 9    | 流紋岩                          | 232                 | 23               | 24   | 風化頁岩     | 63                  | 3                |
| 10   | 砂岩(A)                        | 114                 | 31               | 25   | 砂岩(B)    | 1.8                 | 1.9              |
| 11   | 変質閃緑岩                        | 234                 | 5                | 26   | 砂岩(C)    | 6.7                 | 1.2              |
| 12   | 角閃安山岩(A)                     | 53                  | 22               | 27   | 千枚岩      | 3                   | 1.4              |
| 13   | 角閃安山岩(B)<br>(ワイラカイト細脈を伴う)    | 54                  | 22               | 28   | 柘榴石角閃岩   | 77                  | 8.9              |
| 15   | 変質角閃安山岩(B)<br>(ワイラカイトを多量に伴う) | 102                 | 13               | 29   | 緑簾石角閃石片岩 | 145                 | 32               |
| 16   | チャート(A)                      | 118                 | 49               |      |          |                     |                  |

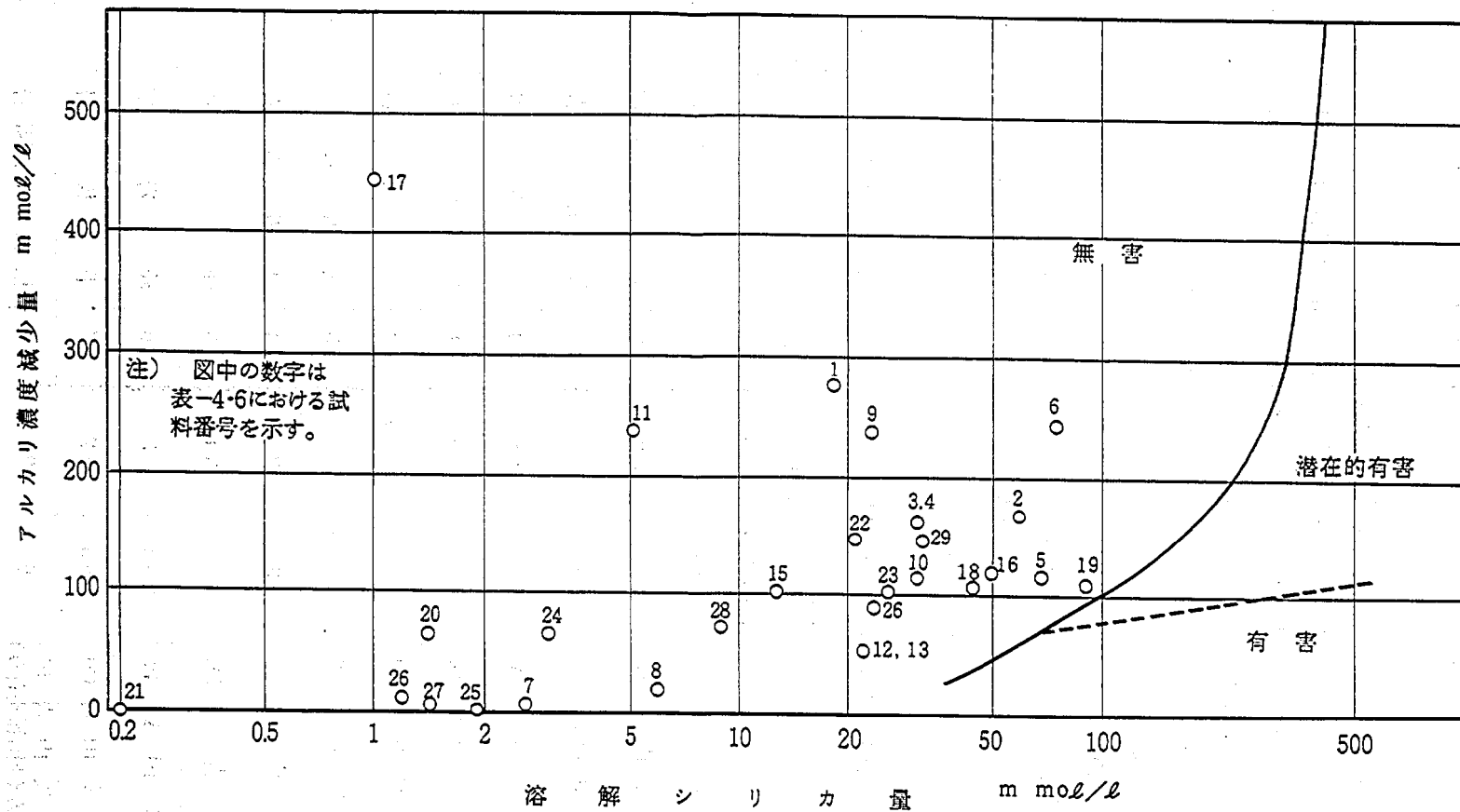


図-4・1 ASTM C 289 による骨材の潜在性反応試験結果

## 5. カルシウム骨材反応試験

セメント中のカルシウムの一部は水の存在下で溶解してイオン化するが、その状態は水酸化カルシウム水溶液と同様と考えられる。

本試験は、セメント中のカルシウムと骨材との反応を想定して、水酸化カルシウム水溶液中に骨材を浸漬し、その反応変化を調べたものである。

試験は、種々の骨材について行うのが望ましいが、本試験では、表-2・3に示すようにゼオライトを含む骨材についてのみ行った。

### 5.1 試験方法

試験には、ローモンタイトを5%程度含む砂岩A(試料10)、ローモンタイトを32%含む変質角閃安山岩A(試料14)、ワイラカイト3%を細脈として伴う角閃安山岩B(試料13)およびワイラカイトを13%含む変質角閃安山岩B(試料15)を用いた。また、比較試験のため、ゼオライトを伴わない角閃安山岩A(試料12)についても試験を行った。

骨材は、ジョークラッシャーとロールクラッシャーを用いて破碎し、粒径 $44\mu\sim 0.15\text{mm}$ とした。

水酸化カルシウム水溶液は、つぎの手順によって調製した。

密封式タンクにイオン交換樹脂を通した純水を入れ、 $\text{N}_2$ ガスを吹込んで空気と置換する。そして、飽和溶解量以上の水酸化カルシウムを水に加え、約2時間水中に $\text{N}_2$ ガスを吹込んで液を攪拌し、不溶物を濾過して水酸化カルシウム水溶液を得た。水溶液の水酸化カルシウム濃度は、 $1.65\text{g/l}$ であった。

骨材試料100gを15ℓの水酸化カルシウム水溶液中に浸漬し、反応試験中は1日1回よく攪拌した。

注)

溶液の水酸化カルシウム濃度変化は、EDTA分析法で追跡した。

注) EDTA分析法: 多くの金属ときわめて安定な水溶性化合物をつくるEDTA(エチレンジアミン四酢酸)を用いて、カルシウム、マグネシウムなどの定量分析を行う方法。

### 5.2 試験結果

骨材と水酸化カルシウム水溶液との反応経時変化を図-5・1に示す。

ゼオライトを含まない角閃安山岩A(試料12)は、長くても数日後には、反応は平衡に達した。

ワイラカイトを含む骨材(試料13, 15)は、2日間を経過すると反応は平衡に達した。

一方、ローモンタイトを含む砂岩A(試料10)および変質角閃安山岩A(試料14)では、反応は平衡に達せず、特に変質角閃安山岩A(試料14)では、500日を経過しても骨材と水酸化カルシウム水溶液との反応は続いている。

また、砂岩A(試料10)および変質角閃安山岩A(試料14)中のローモンタイト量は5%と32%であり、その比は約1:6であるが、カルシウム骨材反応はローモンタイト量の少ない砂岩Aの反応性が高く、反応性の比では、ほぼ1:2程度である。

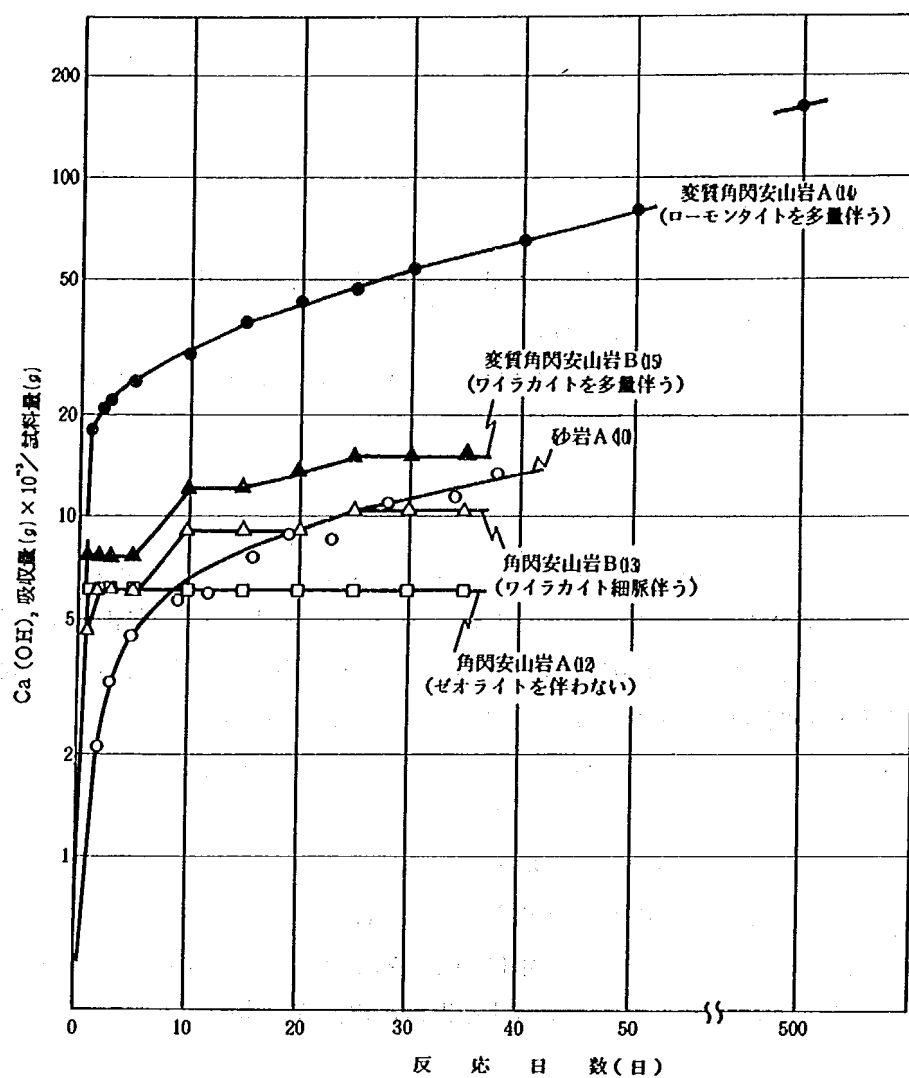


図-5.1 各種骨材の  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  との反応性

## 6. コンクリート供試体の曝露試験

いままで述べてきた種々の試験では、骨材中の有害鉱物の性状および骨材の反応性の検討を行ってきたが、有害鉱物を含む骨材を用いたコンクリートが示す変状については、実際にそのコンクリートを長期にわたって観察しなければならない。

このような必要性から、数種の骨材について、それらを用いたコンクリートの円柱供試体を製作し、屋外曝露試験を行って、供試体の経年変化（動弾性係数比および重量減少率の変化、ひび割れ発生状況など）を観察している。まだ曝露期間も短いので、試験結果を検討するには資料が十分ではないが、試験の概略を述べる。

### 6.1 試験方法

#### (1) 使用材料

次の材料を用いた。

セメント：普通ポルトランドセメント。

骨 材：使用した骨材を表-2・3に示す（骨材の物理的性質は表-2・2を参照）。

粗骨材は、最大寸法を25 mmとした。

細骨材は、粗骨材と同じ岩石の砕砂である。

#### (2) コンクリートの配合と供試体の製作

コンクリートの配合を表-6・1に示す。配合条件を同じにするため、単位セメント量、水セメント比を一定とした。供試体製作は3年にわたって行ったので、参考のために各年に共通する供試体として通常使用の石灰岩を粗骨材に、川砂を細骨材に用いたものを加えた。

供試体は、直径15 cm、長さ30 cmの円柱である。成形後1日で脱型し、これを20±3℃の水中で14日間養生した。供試体は、1骨材試料あたり3本製作した。

#### (3) 曝露条件

材令14日の供試体は、建設省土木研究所建物（昭和54年3月まで東京都文京区本駒込、昭和54年4月より茨城県筑波郡豊里町）の屋上に曝露している。各供試体とも、日射、通風等の条件ができるだけ同一となるように配慮している。

### 6.2 試験結果

各曝露供試体について、材令1年ごとに動弾性係数および重量の変化を測定し、供試体表面のひび割れ、骨材粒のポップアウト等の状況を観察した。曝露期間が短いため、十分な測定結果は得られていないが、いままでに得られた結果を示すと、表-6・2のようである。

動弾性係数比の変化をみると、輝石安山岩B（試料6）および石灰岩で比較的大きな減少傾向が認められる。重量減少率では、モンモリロナイトを含む骨材、すなわち、石英安山岩A（試料1）、石英安山岩C、D（試料3、4）および輝石安山岩B（試料6）、ローモンタイトを含む砂岩A（試料10）、クリストバライトを多量に含む流紋岩（試料9）で変化が比較的大きい。供試体の破損等は観察されていないので、これらの現象は、骨材とセメント成分との膨張

性反応による内部組織のゆるみおよび反応生成物の溶脱によることが最大の原因ではないかと考えられる。

また、ほとんどの供試体の表面に細かいひび割れが見られたが、現状では、骨材中の有害鉱物によるものか、あるいは乾燥収縮によるものか、はっきりと判別できないため、さらに長期にわたる供試体の観察が必要である。

表-6・1 曝露試験供試体用コンクリートの配合

| 試料番号 | 岩石名          | 単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> ) |            |               |            | スランブ<br>(cm) | s/a<br>(%) | W/C<br>(%) | 備 考           |
|------|--------------|----------------------------|------------|---------------|------------|--------------|------------|------------|---------------|
|      |              | 細骨材<br>(S)                 | 粗骨材<br>(G) | セメント<br>量 (C) | 水 量<br>(W) |              |            |            |               |
| 1    | 石英安山岩 (A)    | 813                        | 938        | 360           | 210        | 4.0          | 47         | 58         | 昭和51年<br>1月打設 |
| 3・4  | 石英安山岩 (C,D)* | 797                        | 920        |               |            | 7.0          |            |            |               |
| 6    | 輝石安山岩 (B)    | 819                        | 927        |               |            | 6.0          |            |            |               |
| 10   | 砂 岩 (A)      | 819                        | 938        |               |            | 16.5         |            |            |               |
| 16   | チャート (A)     | 823                        | 942        |               |            | 12.0         |            |            |               |
| 21   | 石灰質ドロマイト     | 880                        | 985        |               |            | 8.0          |            |            |               |
|      | 石 灰 岩        | 892                        | 1052       | 307           | 178        | 7.0          |            |            | 昭和52年<br>2月打設 |
| 9    | 流 紋 岩        | 737                        | 838        | 360           | 210        | 2.0          |            |            |               |
| 18   | チャート (C)     | 825                        | 942        |               |            | 15.5         |            |            |               |
| 22   | 玄武岩          | 883                        | 1021       |               |            | 11.0         |            |            |               |
| 23   | 風化砂岩         | 829                        | 942        |               |            | 11.0         |            |            |               |
| 29   | 緑簾石角閃石片岩     | 883                        | 1021       |               |            | 8.0          |            |            |               |
|      | 石 灰 岩        | 892                        | 1052       | 307           | 178        | 8.5          |            |            | 昭和53年<br>3月打設 |
| 17   | チャート (B)     | 836                        | 949        | 360           | 210        | 18.5         |            |            |               |
| 20   | 花 崗 岩        | 855                        | 982        |               |            | 16.5         |            |            |               |
| 24   | 風化頁岩         | 842                        | 978        |               |            | 8.0          |            |            |               |
|      | 石 灰 岩        | 892                        | 1052       | 307           | 178        | 12.5         |            |            |               |

注) \*の骨材は、試料番号3および4の混合物

表-6・2 曝露試験結果一覧

| 試料<br>番号 | 岩石名                         | 動弾性係数比 <sup>※</sup><br>(%) |       |       |       | 重量減少率 <sup>※※</sup><br>(%) |     |     |     | 表面状態<br>(ひび割れ, ポ<br>ップアウト等) | 曝露<br>期間 |
|----------|-----------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|----------------------------|-----|-----|-----|-----------------------------|----------|
|          |                             | 1年                         | 2年    | 3年    | 4年    | 1年                         | 2年  | 3年  | 4年  |                             |          |
| 1        | 石英安山岩(A)                    | 103.6                      | 100.0 | 97.2  | 103.9 | 2.9                        | 3.3 | 3.3 | 3.1 | 側面に網目状ひび割れ                  | 4年間      |
| 3・4      | 石英安山岩 <sup>※※※</sup> (C, D) | 104.7                      | 104.2 | 104.0 | 109.9 | 3.3                        | 3.9 | 3.9 | 3.7 | 側面に網目状ひび割れ                  |          |
| 6        | 輝石安山岩(B)                    | 90.9                       | 87.2  | 81.2  | 81.9  | 2.5                        | 3.1 | 3.5 | 3.2 | 側面にひび割れ                     |          |
| 10       | 砂岩(A)                       | 107.5                      | 106.2 | 104.5 | 107.9 | 2.1                        | 2.5 | 2.8 | 2.6 | 側面にひび割れ                     |          |
| 16       | チャート(A)                     | 112.8                      | 114.2 | 113.9 | 114.8 | 1.7                        | 2.1 | 2.0 | 2.2 | 側面に網目状ひび割れ                  |          |
| 21       | 石灰質ドロマイト                    | 111.9                      | 112.3 | 112.1 | 114.4 | 1.8                        | 2.3 | 2.5 | 2.4 |                             |          |
|          | 石灰岩                         | 95.8                       | 93.0  | 89.3  | 92.9  | 1.6                        | 1.9 | 2.0 | 2.0 | 側面に網目状ひび割れ                  | 3年間      |
| 9        | 流紋岩                         | 108.3                      | 104.6 | 105.9 |       | 3.5                        | 3.7 | 3.3 |     | 側面に網目状ひび割れ                  |          |
| 18       | チャート(C)                     | 106.6                      | 104.5 | 106.7 |       | 2.0                        | 2.3 | 2.2 |     | 打設面にひび割れ, 側面に<br>網目状ひび割れ    |          |
| 22       | 玄武岩                         | 105.0                      | 104.2 | 108.5 |       | 1.7                        | 2.0 | 1.9 |     | 打設面にひび割れ, 側面に<br>網目状ひび割れ    |          |
| 23       | 風化砂岩                        | 107.8                      | 107.1 | 108.8 |       | 2.2                        | 2.4 | 2.2 |     | 打設面にひび割れ, 側面に<br>網目状ひび割れ    |          |
| 29       | 緑簾石角閃石片岩                    | 112.7                      | 111.4 | 120.2 |       | 2.9                        | 3.0 | 2.8 |     | 側面に網目状ひび割れ                  |          |
|          | 石灰岩                         | 103.2                      | 99.6  | 102.7 |       | 1.5                        | 1.8 | 1.7 |     | 側面に網目状ひび割れ                  | 2年間      |
| 17       | チャート(B)                     | 100.7                      | 104.8 |       |       | 1.6                        | 1.8 |     |     | 側面と打設面にひび割れ                 |          |
| 20       | 花崗岩                         | 97.9                       | 99.2  |       |       | 1.8                        | 2.0 |     |     | 側面と打設面にひび割れ                 |          |
| 24       | 風化頁岩                        | 88.2                       | 95.0  |       |       | 2.2                        | 2.3 |     |     | 側面と打設面にひび割れ                 |          |
|          | 石灰岩                         | 97.7                       | 101.4 |       |       | 1.7                        | 1.8 |     |     | 打設面にひび割れ                    |          |

注 1)  $\ast$  動弾性係数比  $= \frac{E_n}{E_0} \times 100 (\%)$

ここで

$E_0$  : 材令14日の供試体の動弾性係数

$E_n$  : 材令  $n$  年目の供試体の動弾性係数

2)  $\ast\ast$  重量減少率  $= \frac{W_0 - W_n}{W_0} \times 100 (\%)$

ここで

$W_0$  : 材令14日の供試体の重量

$W_n$  : 材令  $n$  年目の供試体の重量

3)  $\ast\ast\ast$  の骨材は, 試料番号3および4の混合物

## 7. 試験結果の考察

本試験では、各地の骨材原石を対象として、X線回折試験および顕微鏡観察によって各骨材の構成鉱物を調べ、有害鉱物の存在状態を明らかにするとともに、有害鉱物を含む骨材の反応性等の挙動を調べるために、アルカリ骨材反応試験（モルタルバー法、化学法）、カルシウム骨材反応試験およびコンクリート供試体の曝露試験を行った。

X線回折試験および顕微鏡観察により、本試験で対象とした骨材原石中には、コンクリートに弊害をもたらすおそれのある鉱物として、モンモリロナイト、ゼオライト（主に、ローモンタイト）、シリカ鉱物（玉髄質石英、クリストバライト、トリジマイト、玻璃など）、ドロマイト、黄鉄鉱の存在が認められた。

以下、これらの鉱物別に、本試験で行った各種試験結果のとりまとめを行う。

また、資料-Nに本調査で行った各種試験方法を用いて行うコンクリート用骨材中の有害鉱物の調査手続を示す。

(1) 国内で使用されているコンクリート骨材用岩石には、安山岩、玄武岩、流紋岩などの火山岩と砂岩、粘板岩、凝灰岩、片岩などの堆積岩系の岩石が多く、また、各地に温泉があり、地質学的にも熱水変質作用、温泉変質作用、続成作用および風化作用を受けた岩石が多いために、検出される有害鉱物はモンモリロナイトおよびゼオライトが中心で、ほかに玉髄質石英、玻璃、クリストバライトなどがある。

### (2) モンモリロナイト

モンモリロナイトは、コンクリート用骨材として多く用いられる安山岩、流紋岩などの火山岩中では、鉄苦土鉱物と交代して存在するのが普通であるが、玻璃や長石とも交代する。

一般に、モンモリロナイトを含む骨材あるいは岩石は比重が小さく、吸水率が大きく、硫酸ナトリウムによる安定性試験における損失重量が大きい傾向を示した（表-2・2）。また、化学法によるアルカリ骨材反応試験では、溶解シリカ量が多く、特に、輝石安山岩A（試料5）と輝石安山岩B（試料6）は高い数値を示した（表-4・6、図-4・1）。これは、輝石安山岩Aと輝石安山岩Bの構成鉱物が粗粒であるため、他の安山岩に比べて緻密さに欠け、溶液が内部に浸透し、モンモリロナイトがアルカリと反応したために高い反応性を示したものと考えられる。

一方、モンモリロナイトを含む骨材を用いたコンクリート供試体の曝露試験の経年変化をみると、重量減少率が比較的大きいようであった（表-6・2）。

これらの結果より、安山岩などでは、モンモリロナイトを10%程度以上含む骨材は使用を避けるのが無難と思われる。しかし、凝灰岩、砂岩などの堆積岩中に含まれる場合については、今回試験を行っていないので別個に検討する必要がある。また、吸水率の大きい骨材を使用する場合には、寒冷地での凍結融解作用に対する検討も必要である。

### (3) ゼオライト

骨材中に検出されるゼオライトの多くは、ローモンタイトである。ローモンタイトは、温泉作用や熱水変質作用を受けた岩石に存在し、原岩鉱物と交代した状態または岩石の割れ目を埋めた細脈として現われる。

ローモンタイトを含む骨材は、一般には比重が小さい傾向を示すが、今回の試験で対象とした骨材あるいは岩石の比重試験では、異状は認められなかった（表-2・2）。

一方、ローモンタイトを含む骨材は、カルシウム骨材反応試験で高い反応性を示し、ローモンタイト量の多少による反応性のちがいは顕著でなく、長期にわたって反応が続いた（図-5.1）。したがって、ローモンタイトが骨材中に含まれている場合には、その量の多少にかかわらず、コンクリートに何らかの影響を及ぼすことが十分に考えられる。

また、今回の試験とは別に、岩石全体に1%程度のローモンタイトが一様に分散して存在する安山岩について行ったカルシウム骨材反応試験では、粗粒砂（5 mm ~ 0.15 mm）の反応性は比較的低かったが、細粒砂（0.15 mm ~ 0.04 mm）では高い反応性を示した。これは、粗粒砂ではローモンタイトが他の鉱物に包み込まれているため、セメント中のカルシウムなどとの反応性が低く、細粒砂では比表面積が大きくなるため、反応性が高くなるものと考えられる。

岩石中に細脈としてローモンタイトが存在する場合には、選鉱して使用することも可能であるが、岩石中に一様に細かく存在する場合には、含有量が少量であってもコンクリート用骨材（特に、細骨材）としての使用には十分な検討が必要である。

#### (4) シリカ鉱物

骨材中に存在するシリカ鉱物は、玉髄質石英、クリストバライトおよび玻璃が一般的であるが、その実例は少ない。

玉髄質石英は、X線回折試験では通常の石英と区別できないので顕微鏡観察が必要であり、また、玻璃もX線回折試験では検出できないので顕微鏡観察が決め手となる。

シリカ鉱物によるアルカリ骨材反応は、モルタルバー法あるいは化学法によるアルカリ骨材反応試験によって確かめられるが、化学法によるアルカリ骨材反応試験で多量の玉髄質石英を含むチャートA（試料16）、チャートC（試料18）、強珪化凝灰岩（試料19）が、アルカリ濃度減少量、溶解シリカ量のいずれにおいても高い数値を示し、特に、強珪化凝灰岩は、潜在的有害の領域に近い値を示した（表-4・6、図-4・1）。これは、強珪化凝灰岩がカオリンを含み、さらに原石が凝灰岩であるため、岩石中に細かい気孔が存在し、溶液が浸透しやすいために特に高い反応性を示したものと考えられる。

一方、少量の玻璃を含む数種の骨材あるいはクリストバライトを比較的多く含む流紋岩（試料9）では、アルカリ骨材反応試験による異状値は認められなかった。

これらの結果から考察すると、アルカリ骨材反応が起こるのは、玉髄質石英、玻璃、クリストバライトなどのシリカ鉱物が多量に存在する場合であると考えられる。

#### (5) 石灰質ドロマイト

石灰質ドロマイトを含む骨材については、いずれの試験でも異状は認められなかった。ドロマイトを含む石灰岩が有害となるのは、ドロマイトと石灰分（方解石）の割合、結晶粒度、共生する他の鉱物種との割合などの条件が揃った場合であるが、国内産のドロマイトを含む石灰岩は、その性状からコンクリート用骨材として問題はないものと考えられる。

#### (6) 黄鉄鉱

黄鉄鉱を含む骨材のなかで、チャートB（試料17）および玄武岩（試料22）は黄鉄鉱含有量が1~2%で比較的多かったが、試験の結果、黄鉄鉱による異状は全く認められなかった。

含有量が1～2%で比較的多かったが、試験の結果、黄鉄鉱による異状は全く認められなかった。

黄鉄鉱の影響を論ずるには資料が十分ではないが、黄鉄鉱がコンクリートに弊害をもたらすか否かは、その存在状態と含有量とに関係するものと思われる。すなわち、黄鉄鉱の結晶度が低かったり、微細な黄鉄鉱が多量に存在したりする場合に、コンクリートに弊害を及ぼすものと考えられる。

## 8. ま と め

有害鉱物を含む骨材について、各種の試験を行った結果、おおよそつぎのことが明らかとなった。

- (1) わが国に産する骨材原石中に存在する有害鉱物としては、モンモリロナイトおよびローモンタイトが多く、ついで玉髄質石英、クリストバライト、玻璃などのシリカ鉱物、石灰質ドロマイト、黄鉄鉱などである。
- (2) モンモリロナイトを含む骨材は、一般に、骨材としての物理的性質（比重、吸水率、安定性）が劣る傾向があり、また、モンモリロナイトを多く含む粗粒安山岩では、化学法によるアルカリ骨材反応試験の溶解シリカ量において、比較的高い反応性を示した。
- (3) ローモンタイトを含む骨材は、カルシウム骨材反応試験において高い反応性を示し、しかも、ローモンタイトの量の差ほど反応に差はなく、長期にわたって反応が続いた。また、この鉱物を含む骨材の粒径が小さくなるほど、すなわち、骨材の比表面積が大きくなるほど、高い反応性を示した。
- (4) 玉髄質石英を多く含む多孔質の骨材は、化学法によるアルカリ骨材反応試験の溶解シリカ量において高い反応性を示したが、他のクリストバライト、玻璃などのシリカ鉱物を含む骨材は大きな反応性を示さなかった。また、石灰質ドロマイト、黄鉄鉱を含む骨材では、どの試験でも異状は認められなかった。
- (5) 以上のように、化学的に反応性の高い骨材も見い出されたが、このような有害鉱物を含む骨材の反応性は、有害鉱物の量とともに、その存在状態、すなわち、鉱物の結晶度、他種鉱物との共生状態等とも深い関係があることを認識する必要がある。

## 結 言

今回の試験では、骨材の化学的安定性を明らかにするために、骨材の反応性に関する各種の試験を行ったが、実際にこの種の骨材の使用を検討する場合には、用いるセメントのアルカリ量、水セメント比、構造物の種類などの各要因を考慮して評価する必要がある。これまでの調査の経験をもとにまとめた、コンクリート用骨材中の有害鉱物の調査手続の提案を資料-Nに掲げたが、このような調査手続にしたがって有害鉱物の調査を行う場合、採石候補地周辺の地質資料や骨材の使用記録などが揃っていれば、それらを参考にして調査をより簡略化でき、また、正確を期することができると考えられる。

幸い、わが国では、反応性骨材によると考えられるコンクリート構造物の被害例はほとんど報告されていないが、骨材原石の採取範囲の拡大による骨材の品質の多様化にともなって、反応性骨材が出現する機会も増加するものと思われる。

今後は、さらに多くの反応性骨材について試験を行い、こうした調査資料の蓄積、整理をはかっていく必要がある。

# 〔資 料〕



## I. コンクリート中の骨材の化学反応

骨材中に存在して、コンクリートに悪い影響を与えるおそれのある物質（鉱物）としては、シリカ（オパール、玉髄、クリストバライト、トリジマイト）、硫化鉄、玻璃、石膏、ゼオライト（フェーランダイト、ナトロライト、ローモンタイト）、モンモリロナイト、ドロマイト質石灰岩などがあり、これらの鉱物については、ASTM STP No.169-A<sup>4)</sup> や ASTM C 294-69<sup>5)</sup> に記述がある。その概要を、記載順に他の文献も参考にしながらつぎに述べる。

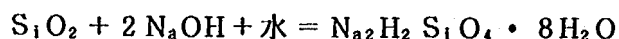
### (1) シリカ (Silica)

オパール (Opal) は、 $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  の組成式を有する非結晶またはそれに近い含水珪酸鉱物である。

玉髄 (Chalcedony) は、 $\text{SiO}_2$  の組成を有し、石英の微小結晶が網目状に集まり、超顕微鏡的小孔をもつ珪酸の緻密集合体である。

クリストバライト (Cristoblite) とトリジマイト (Tridymite) は共に  $\text{SiO}_2$  の組成を有する石英の多型で、共に化学的には不安定である。

オパール、玉髄、クリストバライト、トリジマイトは、セメント中のアルカリと反応しやすく、例えば、セメントペースト中の水酸化ナトリウムと反応して珪酸ソーダを生成する。



この反応は、 $\text{SiO}_2$  の安定性（結晶度）が低いほど高く、また、 $\text{SiO}_2$  の表面積、温度、アルカリ濃度が高いほど増大する。このアルカリ・シリカ反応によって、オパール、玉髄、クリストバライト、トリジマイトなどを含む粒子（骨材）が膨張するので、これらの鉱物が多量に存在すると、コンクリートは膨張し、ひび割れや崩壊の原因となる。

オパールは、温泉作用により変質した火山岩を交代したり、その空隙を満して産することが多い。また、玄武岩熔岩や砂岩、シルト中に膠結物として、石灰岩層中の挟みとして、あるいは、フリントやチャートと共に産する。元来、非晶質のものであるが、生成時代の古いオパールはいろいろな程度にクリストバライトに結晶化しているものが多い。

玉髄は、めのう、チャート、フリント中に存在する。また、温泉作用、熱水作用を受けた安山岩、流紋岩、凝灰岩中にも存在する。

クリストバライトは、オパールの結晶化によって生成しているものが多い。クリストバライトは、低温で生成する場合と高温で生成する場合とがあるが、国内では低温型の場合が多い。その多くが温泉作用、熱水作用による生成で、安山岩、玄武岩、流紋岩、凝灰岩中に存在する。

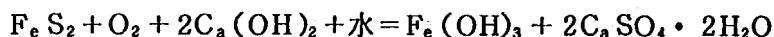
トリジマイトも低温型と高温型があるが、国内では低温型が主である。存在する岩石種もクリストバライトと同様である。クリストバライトとトリジマイトはよく共生して産するが、一般には、クリストバライトが量的に多い。

最近の報文<sup>6)</sup>によると、アルカリ骨材反応を起こす鉱物として上記のシリカ鉱物の他に、ストレス (Stress) を受けた石英もあげられる。ただし、ストレスを受けた石英のアルカリ骨材反応は、インドなどの熱帯地方の高温下での反応であり、国内でこの種の反応が起こることは考えられない。

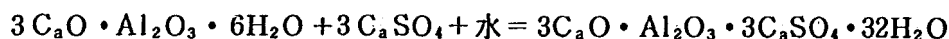
アルカリ骨材反応を起こす石英は、偏光顕微鏡下で波動消光を示すストレスを受けた石英で、片麻岩、片岩、千枚岩などの変成岩や花崗岩、花崗閃緑岩などの深成岩中にみられる。

## (2) 硫化鉄 (Iron Sulfide)

黄鉄鉱 (Pyrite)、白鉄鉱 (Marcasite) は  $\text{Fe}_x\text{S}_2$  の組成を有し、磁硫鉄鉱 (Pyrrhotite) は  $\text{Fe}_{x-1}\text{S}_x$  の組成を有する。これらの鉱物は、酸素と水酸化カルシウムが存在すると、次のような反応を起こす。



この反応は、コンクリートに膨張を起こす。また、生成した硫酸カルシウムは、セメント中のアルミン酸カルシウムと反応して膨張する。



白鉄鉱と磁硫鉄鉱は、一般に使用する骨材用岩石中にはまれであるが、黄鉄鉱は、熱水作用を受けた岩石中には必ず存在し、最も一般的な硫化鉄である。

## (3) 玻璃 (Glass)

玻璃は、不安定系で組成もいろいろであるが、オパールなどのシリカと同様に、アルカリ溶液と容易に反応して玻璃粒子が膨張するので、コンクリートのひびわれや崩壊の原因となる。

玻璃から成る岩石の代表は、黒曜石、真珠岩、軽石であり、安山岩や流紋岩などの火山岩中にも多く存在する。また、凝灰岩や泥岩、砂岩中などにもみられる。

## (4) 硫酸カルシウム (Calcium Sulfate)

天然の硫酸カルシウムとしては、石膏 (Gypsum,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) と、これを加熱して得られる無水石膏 (Anhydrite Gypsum,  $\text{CaSO}_4$ ) とがある。

セメント中に石膏が入っていることはよく知られているが、石膏はセメント中のアルミン酸カルシウムと反応して膨張する。また、無水石膏も吸水して膨張する。したがって、骨材中に必要以上の石膏や無水石膏が存在すると、コンクリートに有害な膨張を与える。

国内では、熱水作用、硫酸塩化作用により、岩石中に石膏を生成したものが多いが、量的には少なく、実際にコンクリート用骨材として使用される機会はほとんどないと思われる。

## (5) ゼオライト (Zeolite)

コンクリートに悪影響を及ぼすゼオライトは、フューランダイト (Heulandite)、ナトロライト (Natrolite) およびローモンタイト (Laumontite) である。

フューランダイト (輝沸石) は、理想式  $(\text{Ca}, \text{Na}_2)\text{Al}_2\text{Si}_{17}\text{O}_{18} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  で示される板状結晶である。

ナトロライト (ソーダ沸石) の理想式は、 $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_{13}\text{O}_{18} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  で、柱状、針状、繊維状結晶である。

フューランダイトおよびナトロライトは、イオン交換能が大きく、 $\text{Na}$  が  $\text{Ca}$  や  $\text{K}$  と置換する。フューランダイトおよびナトロライトが骨材中に存在すると、イオン交換によってセメント中の  $\text{Na}$

を増大させ、オパールなどの反応性シリカが含まれていれば、アルカリ骨材反応を起こす原因となる。

ローモンタイト（濁沸石）は、 $\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ の理想式を有する板状結晶である。

ローモンタイトは、 $1/8$ の水を失ってレオンハルダイトとなり、この時、ユニットセル（Unit cell）の体積が1.5%収縮する。逆に、レオンハルダイトが吸水してローモンタイトに変るときは、1.5%膨張する。すなわち、乾湿の変化に伴って体積変化が起こる。また、ローモンタイトは、水を失うとき粉末状に壊れることが知られている<sup>7)</sup>。

骨材中にローモンタイトが存在すると、乾湿の繰返しに伴って、膨張・収縮の体積変化をコンクリートに与え、また、ローモンタイトは一部、水を失って粉化するので骨材が崩れていく。そして、ローモンタイトはセメント中の $\text{Ca}$ と反応し、カルシウム・アルミネート（ $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ）、カルシウム・アルミノ・シリケート（ $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ）などを生成する。この反応は水の存在下で起こり、水が供給されれば、相変換が終るまでその反応は何年にもわたって続く<sup>8)</sup>。これらのことが重なって、ローモンタイトを含む骨材を使ったコンクリートは崩壊することがある。

フューランダイト、ナトロライトおよびローモンタイトは、いずれも一般には火山岩の空洞中に産することが知られているが、この様な産状のものは標本的な量にすぎず、骨材中の有害鉱物として論ずるにはおよばない。

国内における研究<sup>9)</sup>では、中央北海道の白亜紀の砂岩中と新庄盆地の中新世の凝灰岩中にフューランダイトが確認されている。また、最近のダム骨材の研究において、種々の岩石中にゼオライトの存在が確認されているが、いずれも温泉変質作用、熱水変質作用を受けたと思われる岩石中である。

多くの場合、ゼオライトはローモンタイトが主体で、少量のスチルバイトやフューランダイトを伴うことがあり、ナトロライトは極めてまれである。産状としては、次の二つの場合がみられる。

イ) 岩石中の構成物質を交代してゼオライトが存在する場合

安山岩中の鉄苦土鉱物や長石を交代したり、砂岩や礫岩の膠結物も交代してローモンタイトが存在する。また、凝灰岩を交代して産することもある<sup>9)</sup>。頁岩中にも、まれにローモンタイトが存在することがある。

ロ) 岩石中の割れ目をゼオライトが充填して脈を形成する場合

安山岩、花崗岩、閃緑岩、片岩などの割れ目を充填して、ゼオライトが脈を形成する。この場合、深部ではワイラカイトが現われ、浅部ではローモンタイト、スチルバイトが現われることがあるが、普通はローモンタイトが主体で、これに共生してスチルバイトやフューランダイトが少量みられる。

(6) モンモリロナイト (Montmorillonite)

モンモリロナイトは、 $\text{M}_{0.67/2}\text{Al}_2(\text{Si}_{17.33/2}\text{Al}_{0.67/2})\text{O}_{12}(\text{OH})_2$  ( $\text{M}$ は $\text{Na}$ 、 $\text{K}$ 、 $\text{Ca}$ などの交換性イオン)の組成式を有し、粉状で、乾湿の変化にしたがって多量の水を吸脱水し、同時に著しい体積変化を生ずる。

コンクリート用骨材中にモンモリロナイトが存在すると、乾湿の繰返しに伴ってコンクリートに有害な膨張・収縮が起こり、また、水を多量に吸収するので、寒冷地では凍結融解によるコンクリ

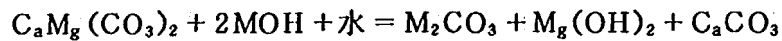
ートの耐久性低下の原因となる。また、モンモリロナイトが多量に吸収した水を一時に放出すると、コンクリートがポップアウトを起こす原因ともなる。

モンモリロナイトは、熱水変質作用、続成作用、海底風化作用あるいは陸上風化作用を受けた流紋岩、安山岩、玄武岩、凝灰岩、砂岩、頁岩などに含まれている。

#### (7) ドロマイト質石灰岩 (Dolomitic Limestone)

ドロマイト質石灰岩は、ドロマイト ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) を 5~50% 含む石灰岩である。

ドロマイト質石灰岩をコンクリート用骨材として使うと、コンクリートに膨張を生じることが知られている。このうちのいくつかの例では、ドロマイト質石灰岩中に粘土やオパール質シリカが含まれていて、有害なアルカリ・シリカ反応を起こしたとも考えられるが、種々の実験の結果から、コンクリート中のドロマイト質石灰岩は、セメント中のアルカリと次のような反応を起こすものと考えられている。



(Mは、NaとK)

コンクリートの膨張は、セメント中のアルカリ量が増えると大きくなる。

## II. X線回折図および顕微鏡写真

### II-1. X線回折図

各骨材のX線回折図を図-II・1～II・29に示す。

なお、図中の記号は以下に示すとおりである。

(記号説明)

|                   |          |                                           |                       |
|-------------------|----------|-------------------------------------------|-----------------------|
| A, Am: Amphibole  | 角閃石      | L: Laumontite                             | ローモンタイト               |
| Al: Alunite       | 明礬石      | (Leonhardite - (Leonhardite - Laumontite) | (レオンハルトタイト - ローモンタイト) |
| Ap: Apatite       | 燐灰石      | M: Montmorillonite                        | モンモリロナイト              |
| Ca: Calcite       | 方解石      | Mc: Mica                                  | 雲母                    |
| C, Ch: Chlorite   | 緑泥石      | N: Natrolite                              | ナトロライト                |
| Cr: Cristobalite  | クリストバライト | Pr: Prehnite                              | 葡萄石                   |
| D: Dolomite       | ドロマイト    | P, Px: Pyroxene                           | 輝石                    |
| E, Ep: Epidote    | 緑簾石      | Py: Pyrite                                | 黄鉄鉱                   |
| F, Fd: Feldspar   | 長石       | Q, Qt: Quartz                             | 石英                    |
| G: Garnet         | 柘榴石      | S: Stilbite                               | スチルバイト                |
| Go: Gonnardite    | ゴンナルダイト  | Sd: Siderite                              | 菱鉄鉱                   |
| H, He: Heulandite | フューランドイト | T: Tridymite                              | トリジマイト                |
| K: Kaolin         | カオリン     | W: Wairakite                              | ワイラカイト                |

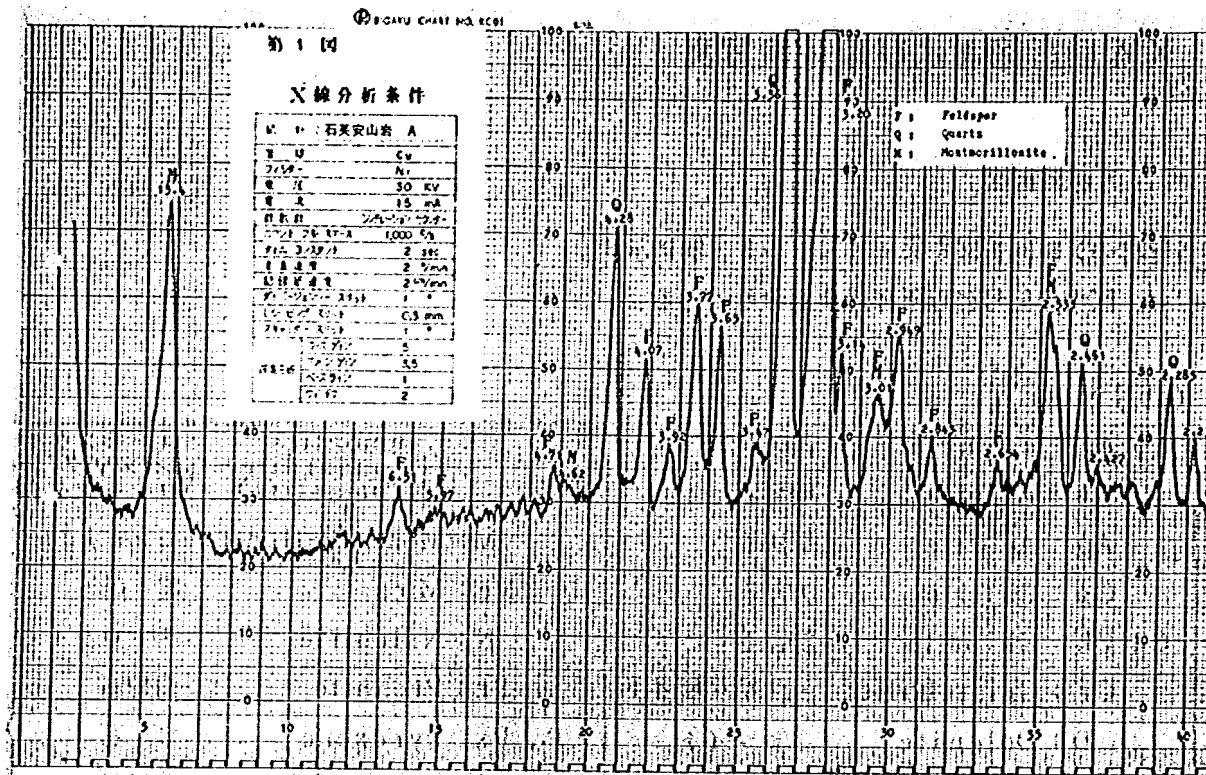


図-Ⅱ・1, 石英安山岩 A (試料 1)

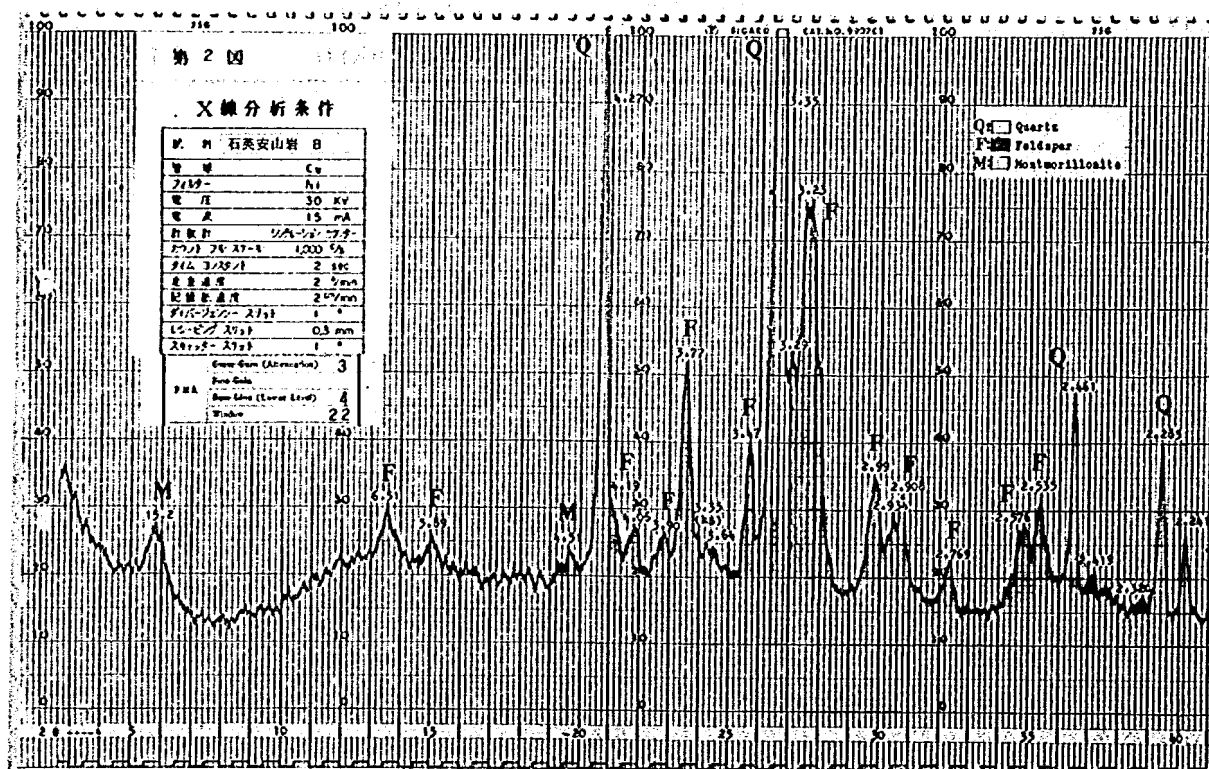
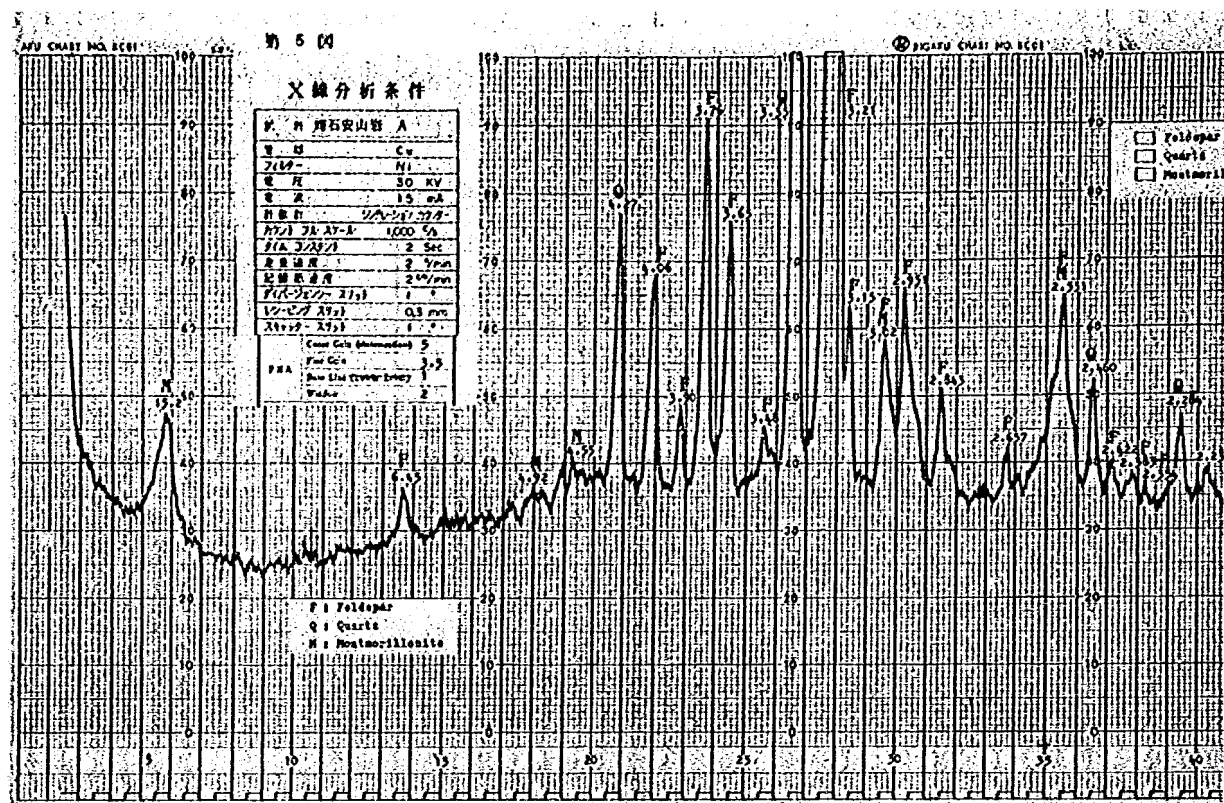
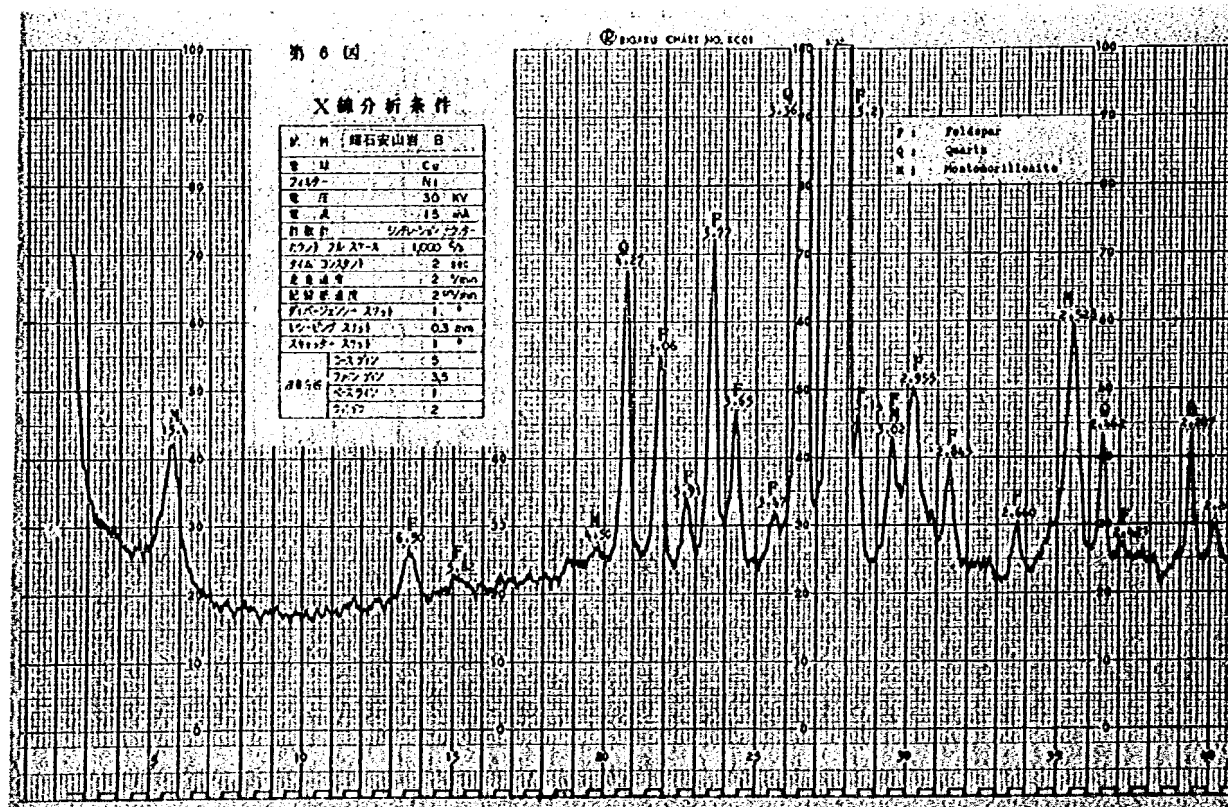


図-Ⅱ・2, 石英安山岩 B (試料 2)





図一Ⅱ・5, 輝石安山岩A (試料5)



図一Ⅱ・6, 輝石安山岩B (試料6)

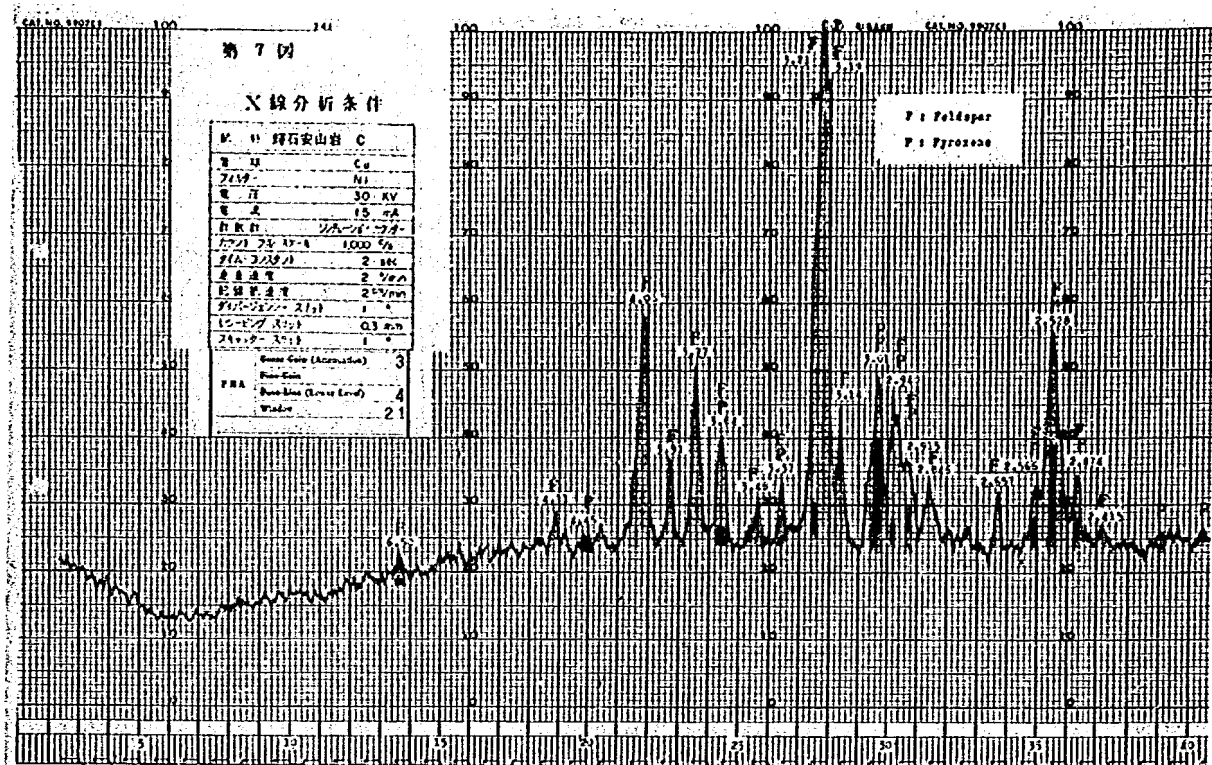


図-Ⅱ・7, 輝石安山岩C (試料7)

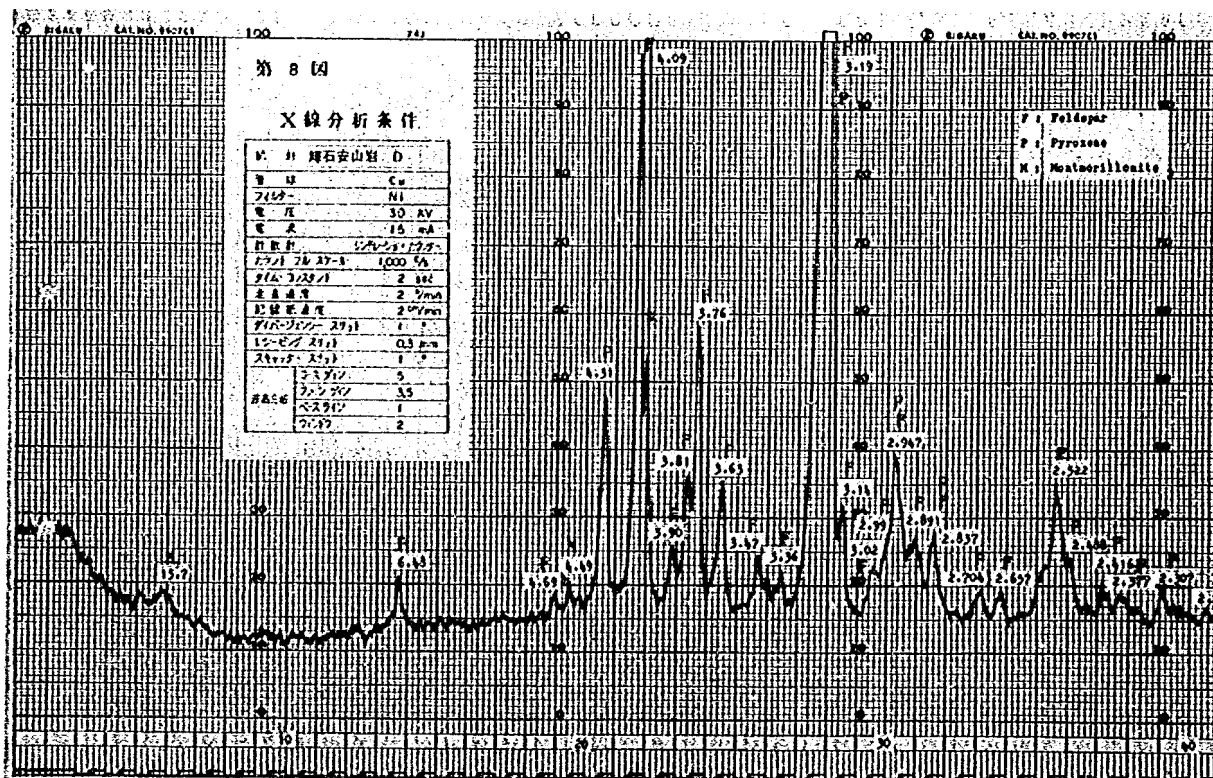


図-Ⅱ・8, 輝石安山岩D (試料8)

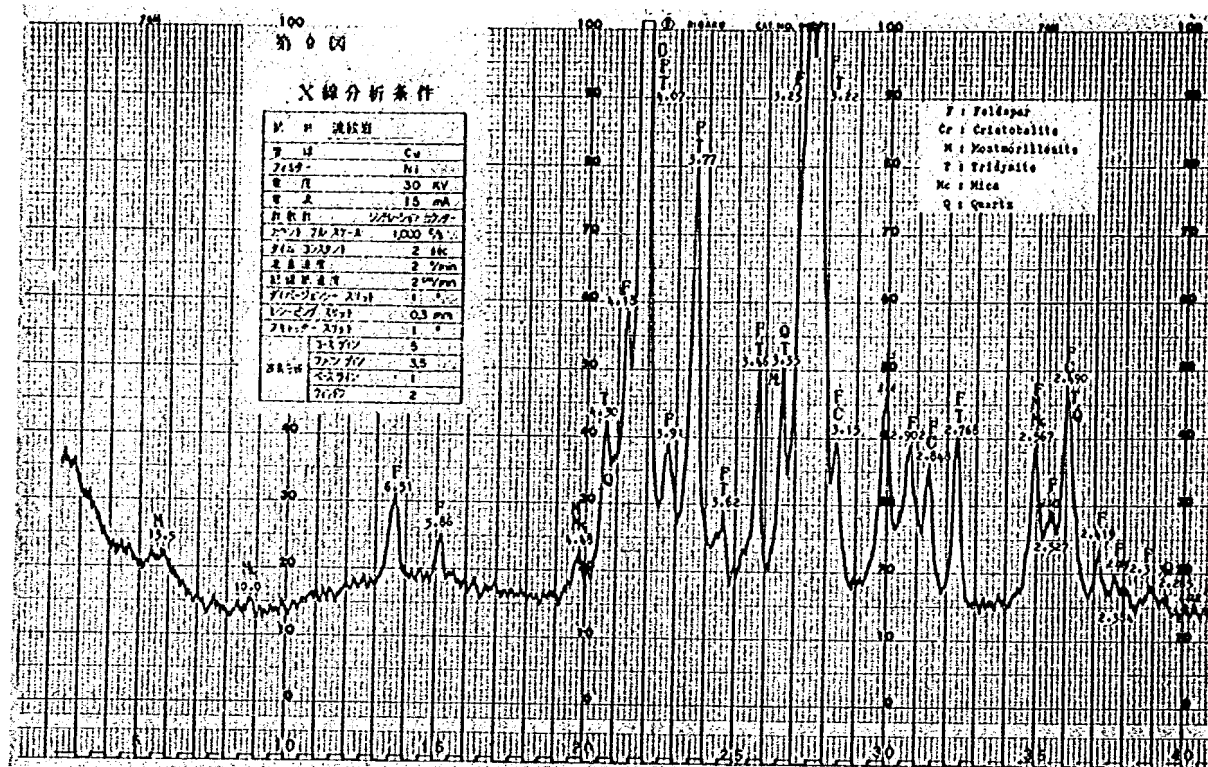
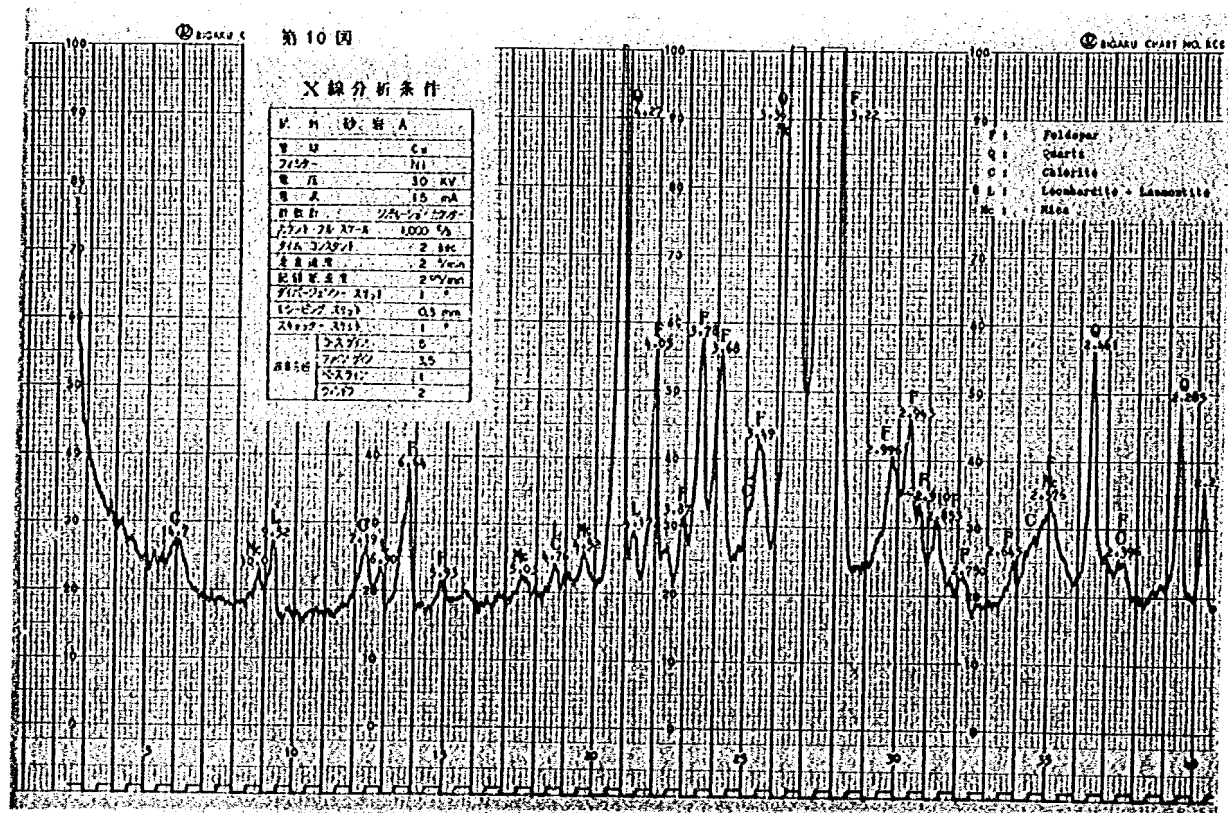
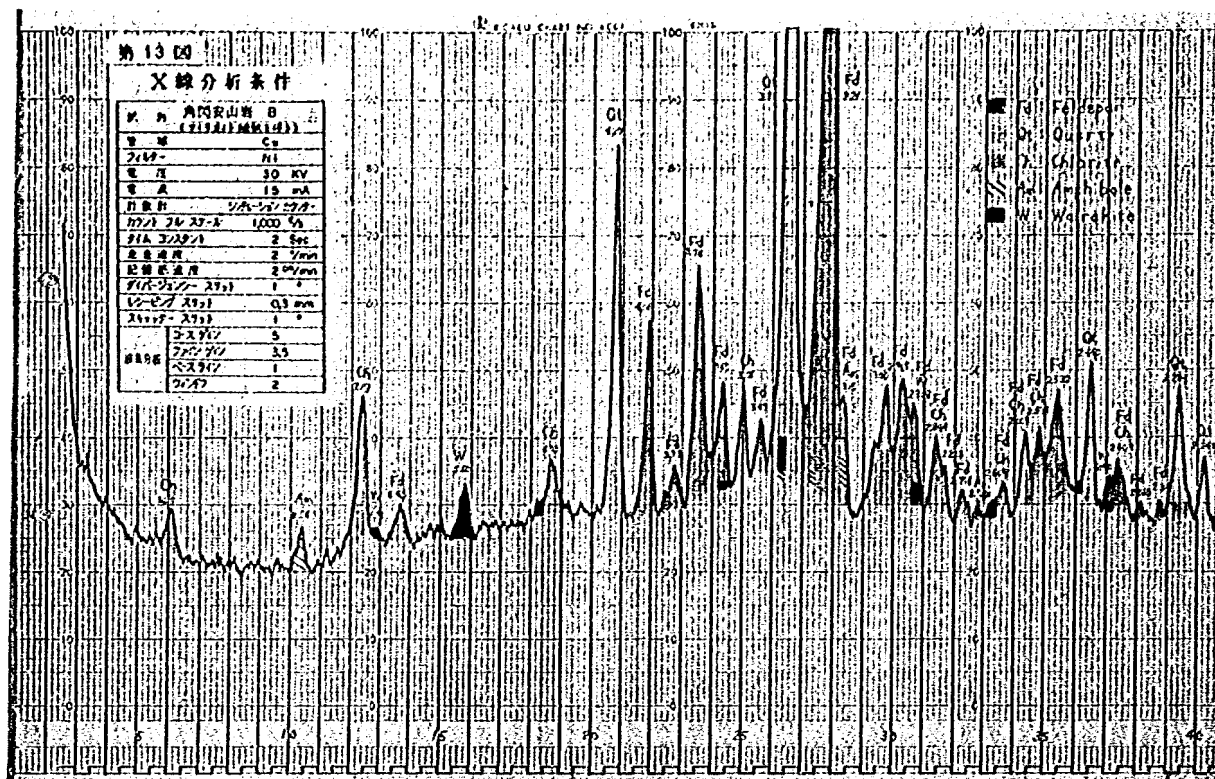


図-Ⅱ・9, 流紋岩 (試料9)

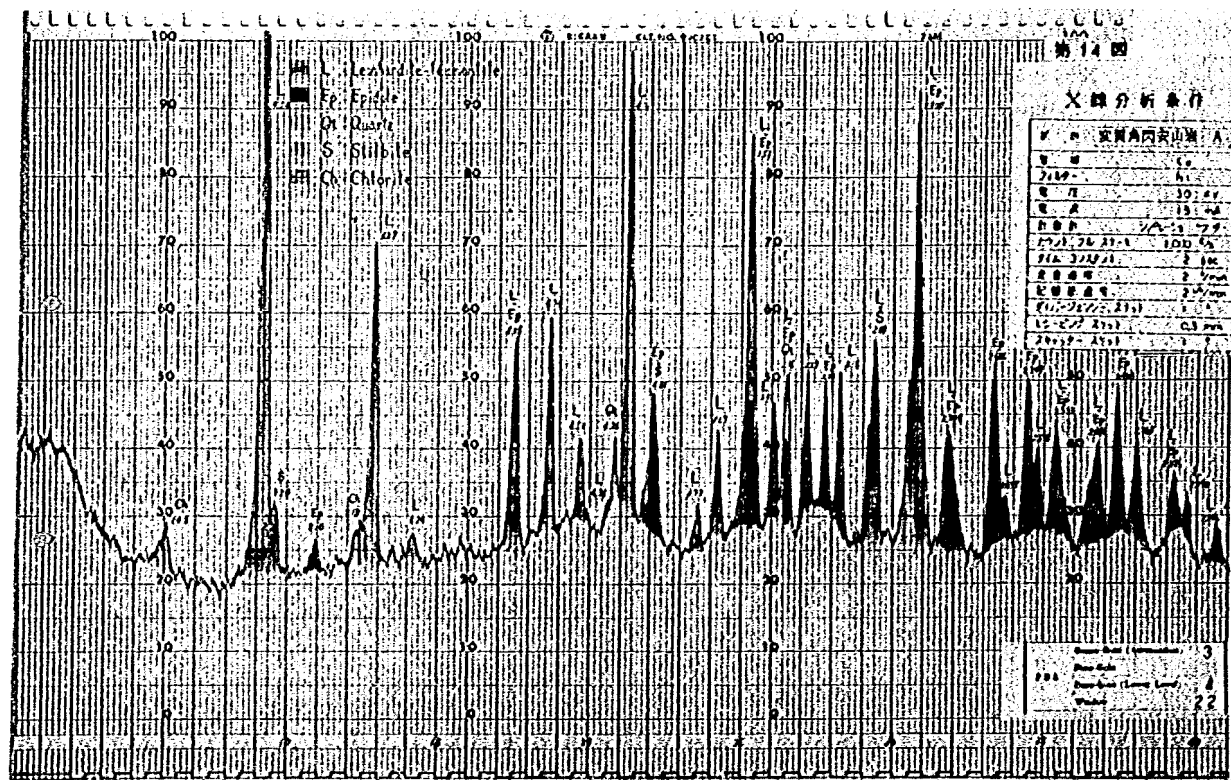


図一Ⅱ・10, 砂岩A (試料10)





図一Ⅱ・13, 角閃安山岩B (試料13)



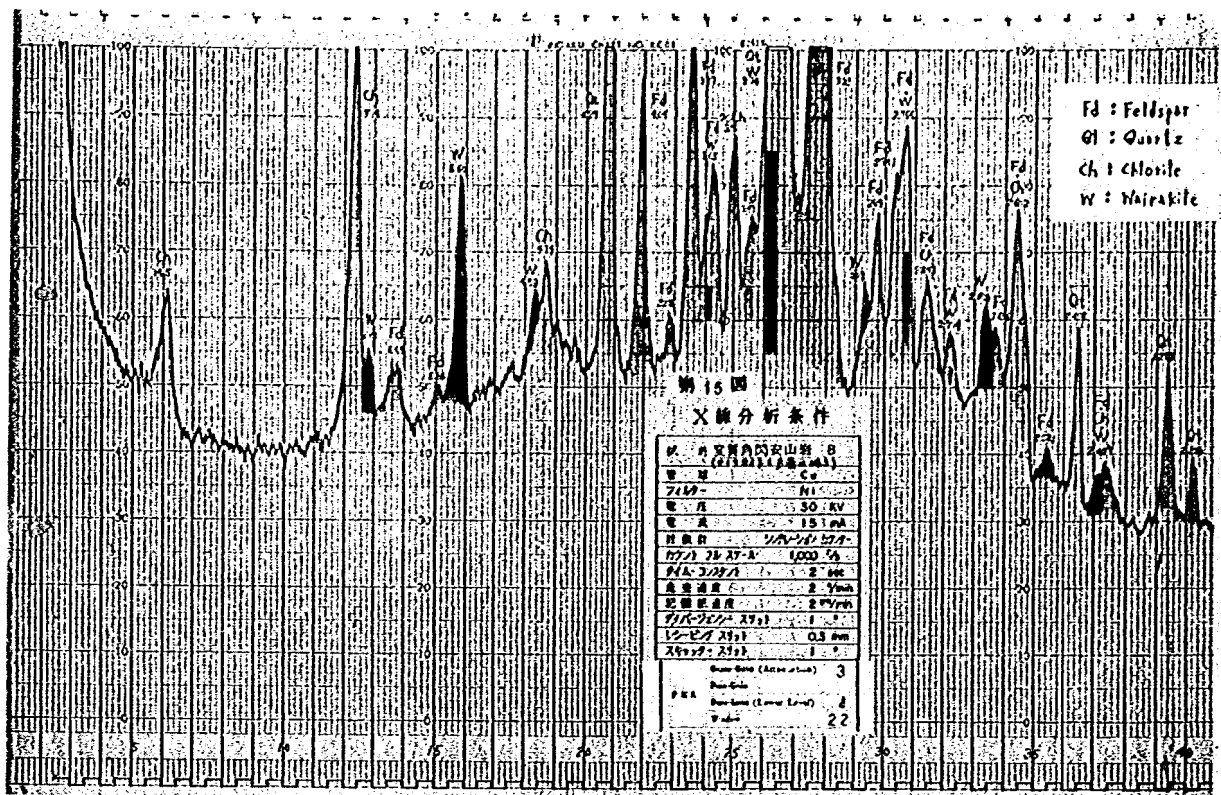


図-Ⅱ・15, 変質角閃安山岩B (試料15)

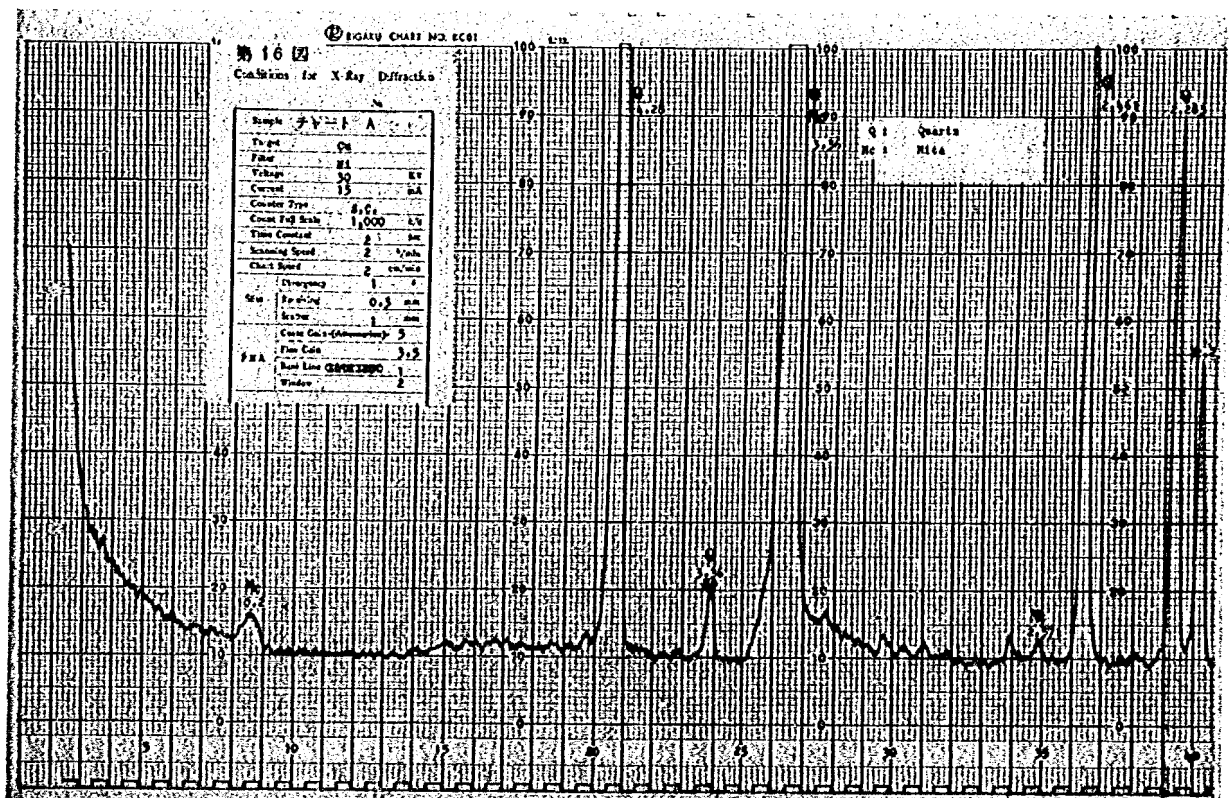
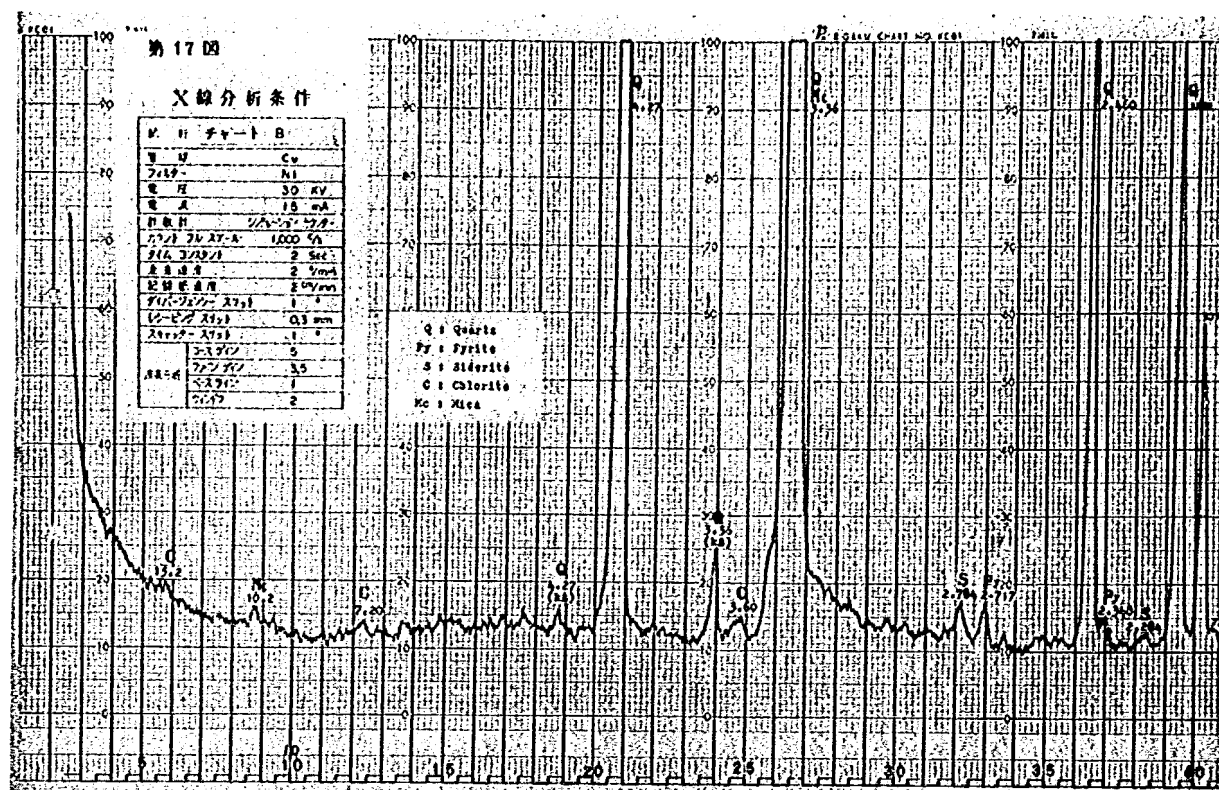
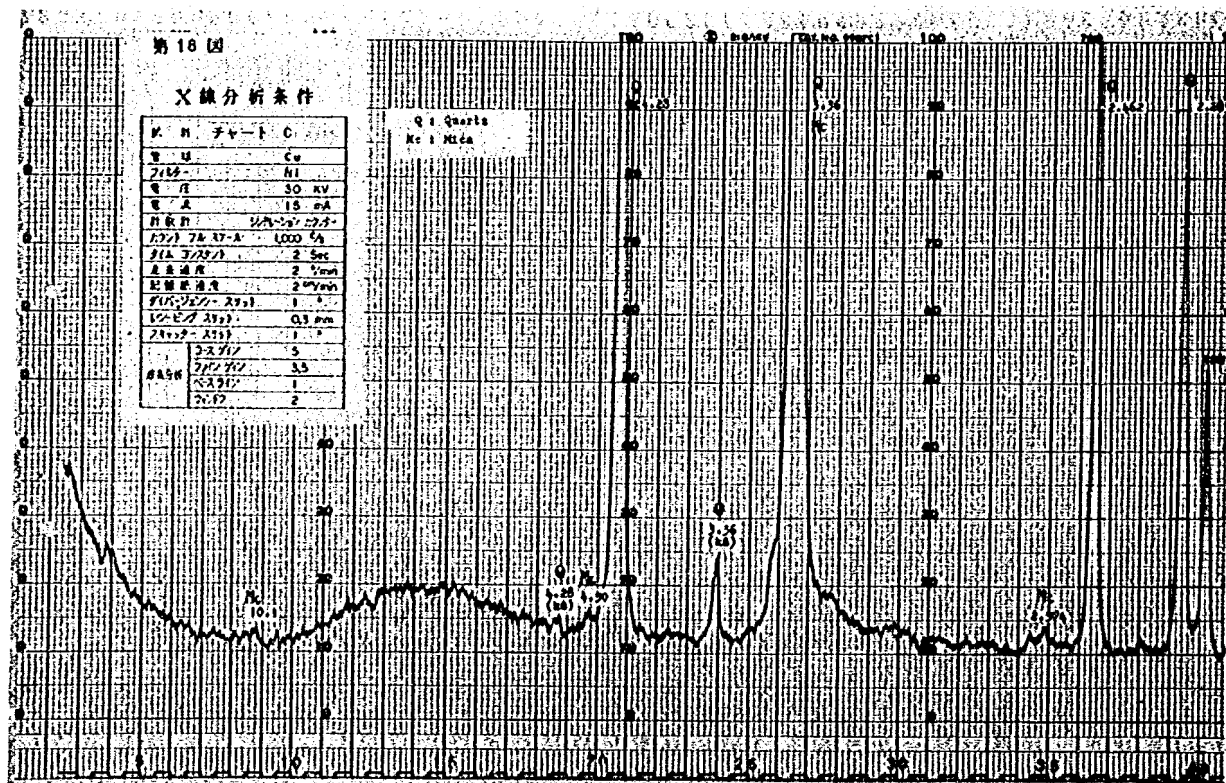


図-Ⅱ・16, チャートA (試料16)



図一Ⅱ・17, チャートB (試料17)



図一Ⅱ・18, チャートC (試料18)







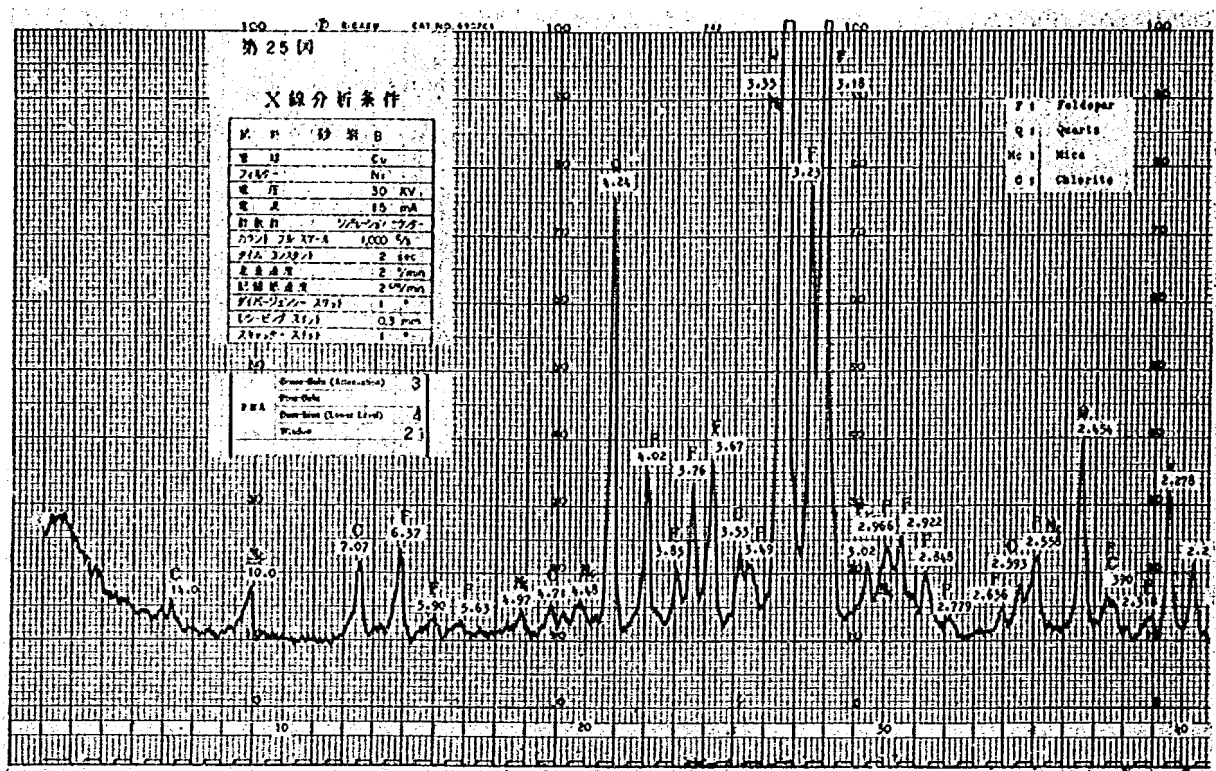


図-Ⅱ・25, 砂岩B (試料25)

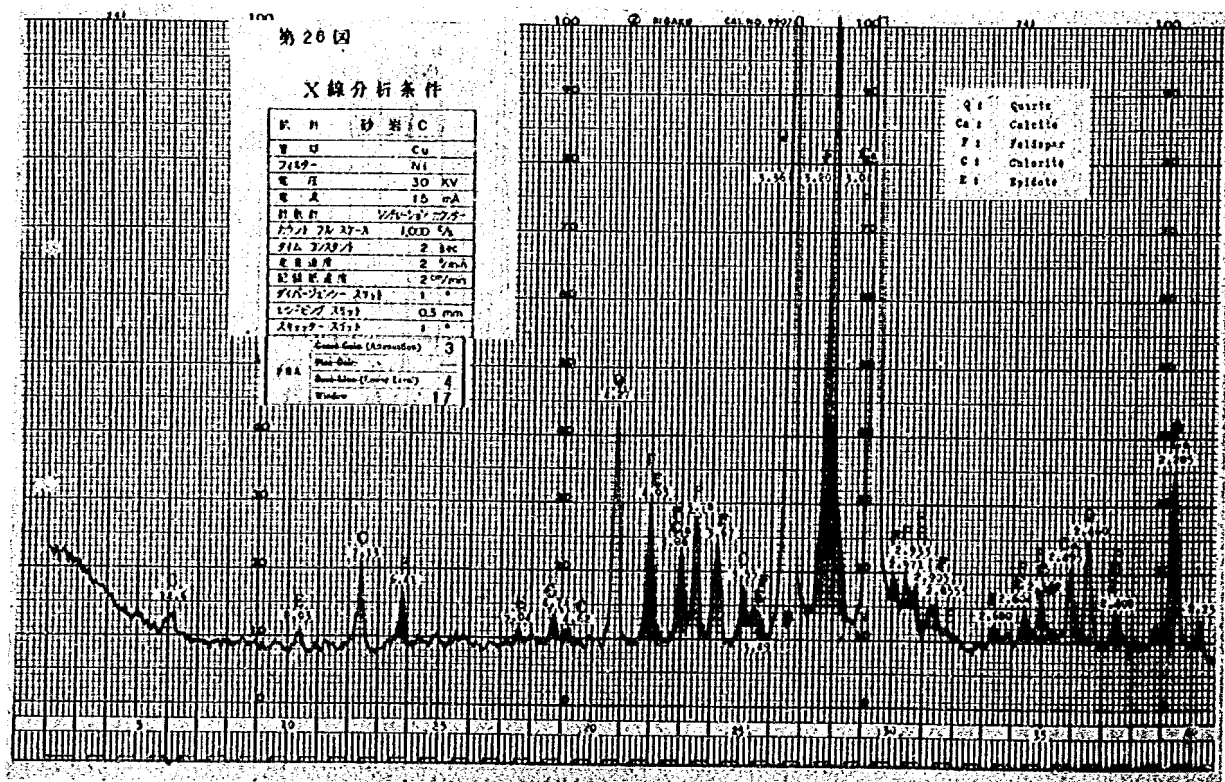


図-Ⅱ・26, 砂岩C (試料26)

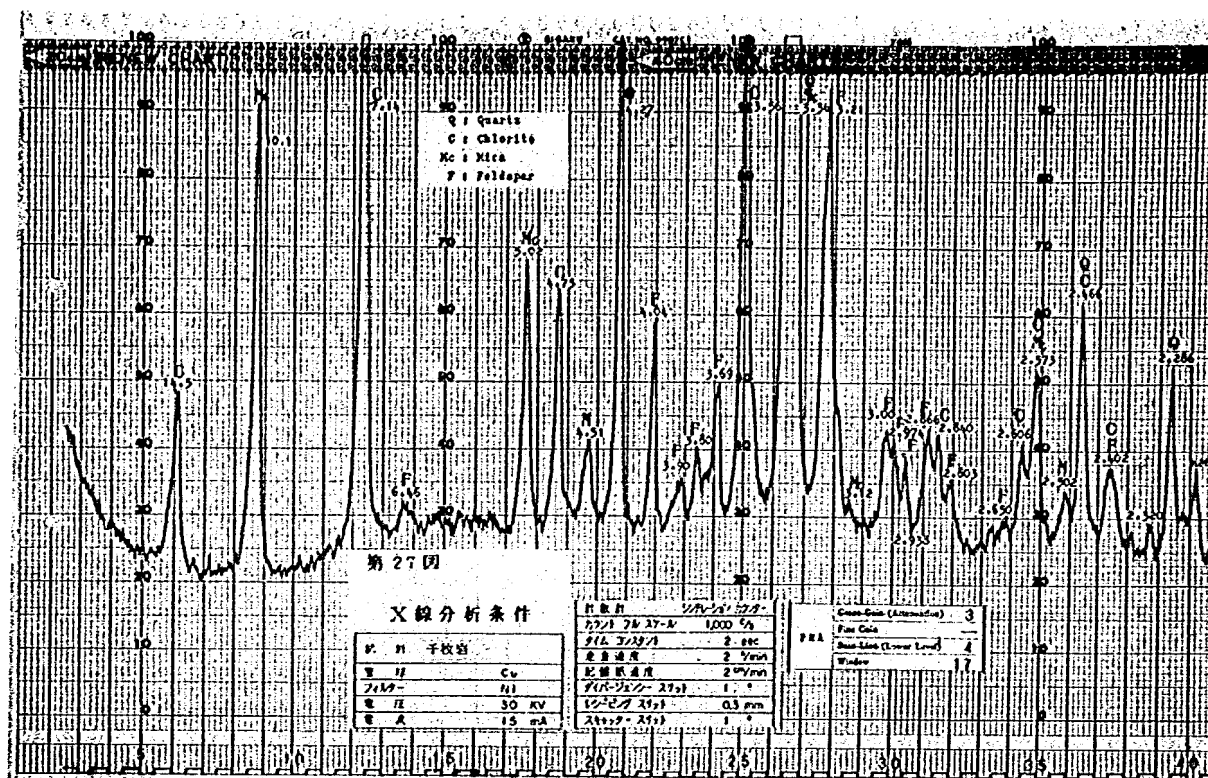


図 - II - 27, 千枚岩 (試料27)

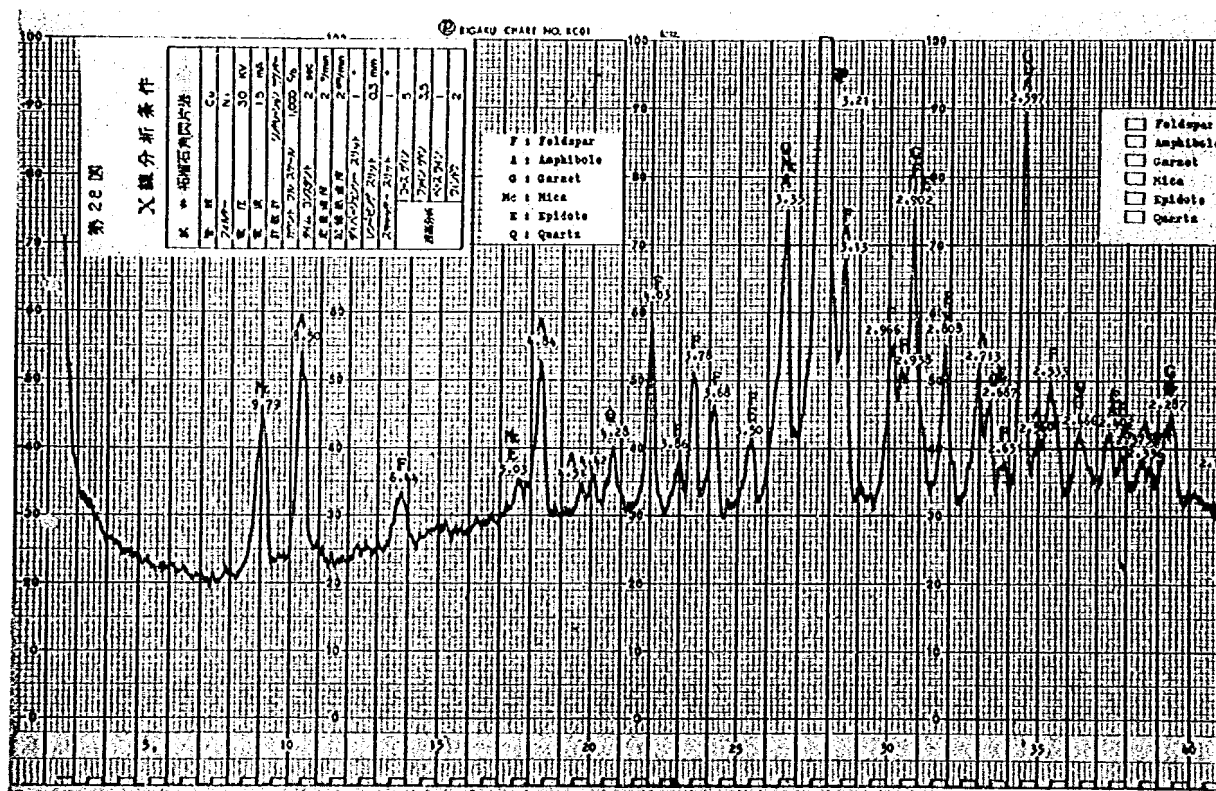


図 - II - 28, 柎榴石角閃岩 (試料28)

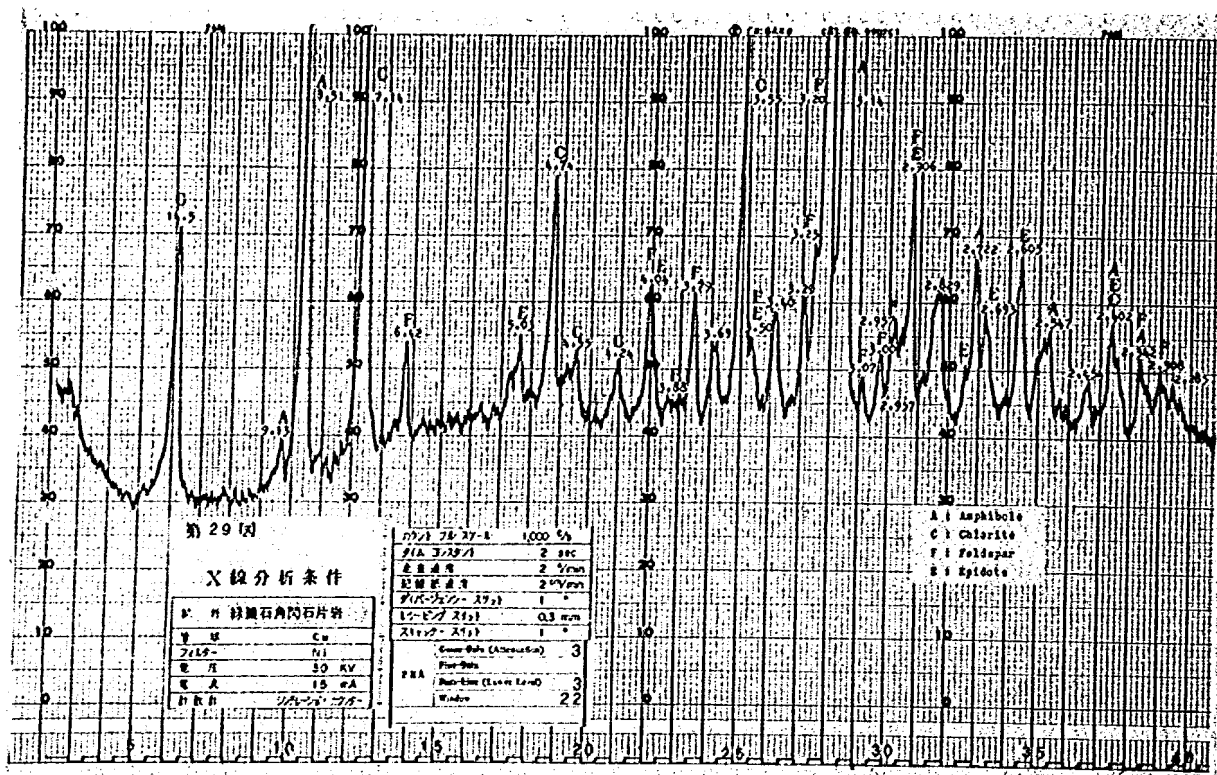


図 - II - 29, 緑簾石角閃石片岩 (試料29)

## II-2. 顕微鏡写真

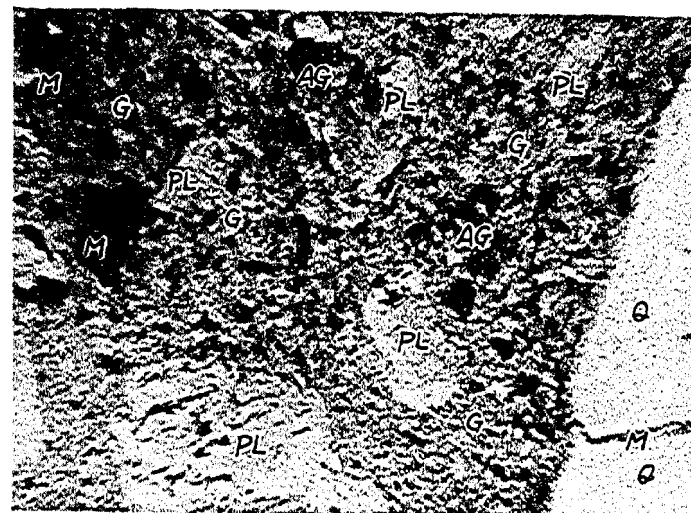
各骨材の顕微鏡写真を写真-Ⅱ・1～Ⅱ・29に示す。

なお、写真中の記号は以下に示すとおりである。

(記号説明)

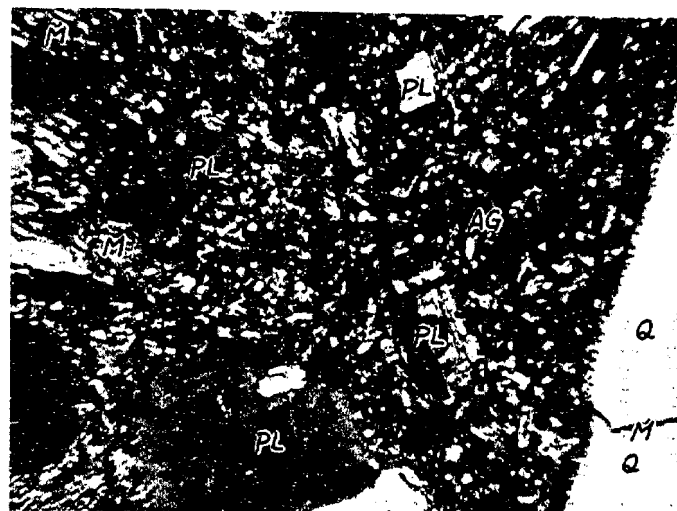
|                     |          |                    |          |
|---------------------|----------|--------------------|----------|
| AD: Andesite        | 安山岩      | M: Montmorillonite | モンモリロナイト |
| AF: Alkali Feldspar | アルカリ長石   | MT: Magnetite      | 磁鉄鉱      |
| AG: Augite          | 普通輝石     | MV: Muscovite      | 白雲母      |
| AM: Amphibole       | 角閃石      | O: Orthoclase      | 正長石      |
| B: Biotite          | 黒雲母      | PL: Plagioclase    | 斜長石      |
| C: Chlorite         | 緑泥石      | PX: Pyroxene       | 輝石       |
| CA: Calcite         | 方解石      | PY: Pyrite         | 黄鉄鉱      |
| CB: Cristobalite    | クリストバライト | Q: Quartz          | 石英       |
| CT: Chert           | チャート     | R: Rutile          | ルチル      |
| D: Dolomite         | ドロマイト    | RY: Rhyolite       | 流紋岩      |
| DP: Diopside        | 透輝石      | SC: Sericite       | 絹雲母      |
| E: Epidote          | 緑簾石      | TF: Tuff           | 凝灰岩      |
| F: Feldspar         | 長石       | W: Wairakite       | ワイラカイト   |
| GT: Garnet          | 柘榴石      | CM: Cement         | 膠結物      |
| H: Hornblende       | 普通角閃石    | G: Groundmass      | 石基       |
| L: Laumontite       | ローモンタイト  | SP: Spherulite     | 球顆       |
| LM: Limonite        | 褐鉄鉱      |                    |          |

写真-Ⅱ・1  
石英安山岩A（試料1）



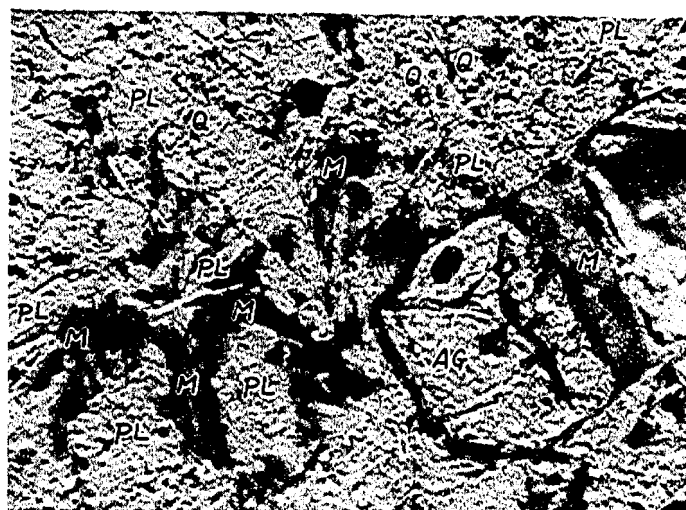
単ニコル

0 0.5 mm



直交ニコル

0 0.5 mm



単ニコル

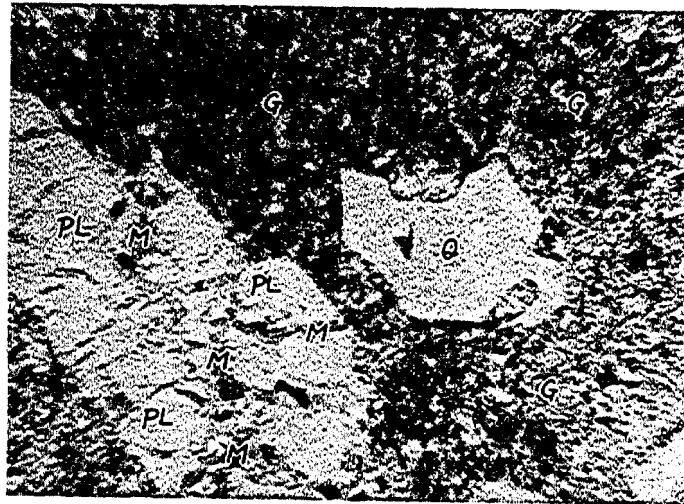
0 0.05 mm



直交ニコル

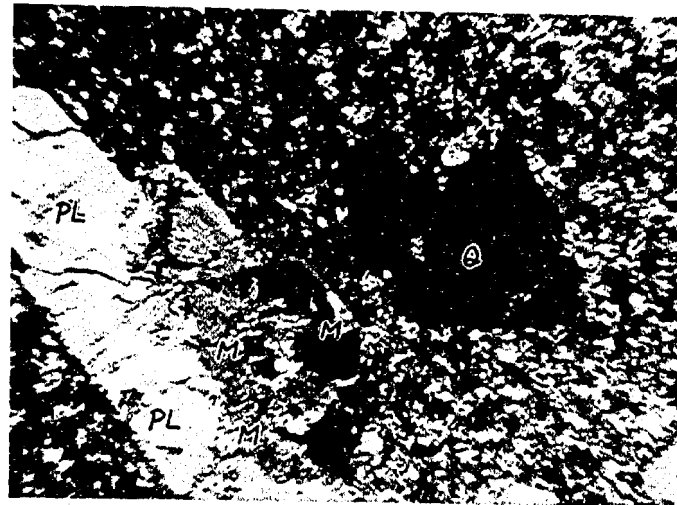
0 0.05 mm

写真-Ⅱ・2  
石英安山岩B (試料2)



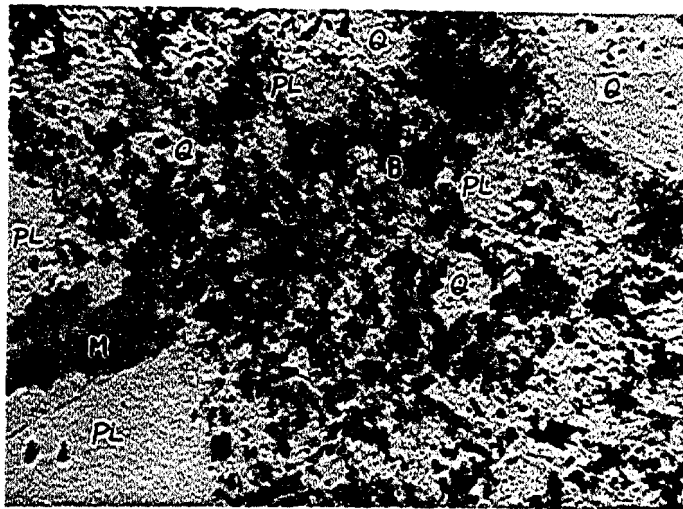
単ニコル

0 0.5 mm



直交ニコル

0 0.5 mm



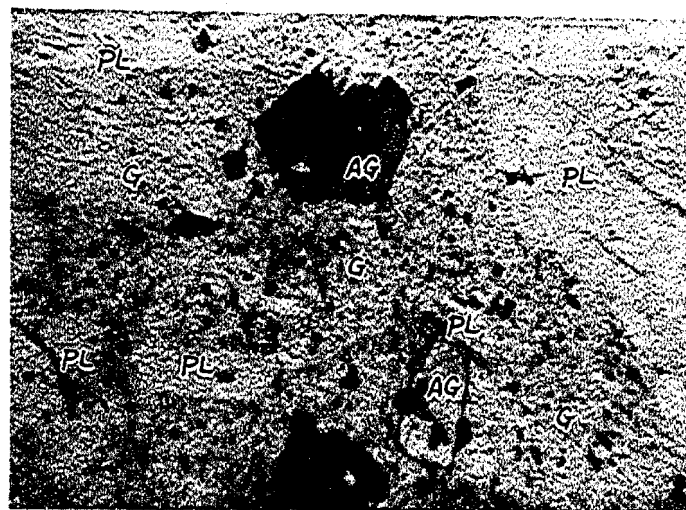
単ニコル

0 0.05 mm



直交ニコル

0 0.05 mm



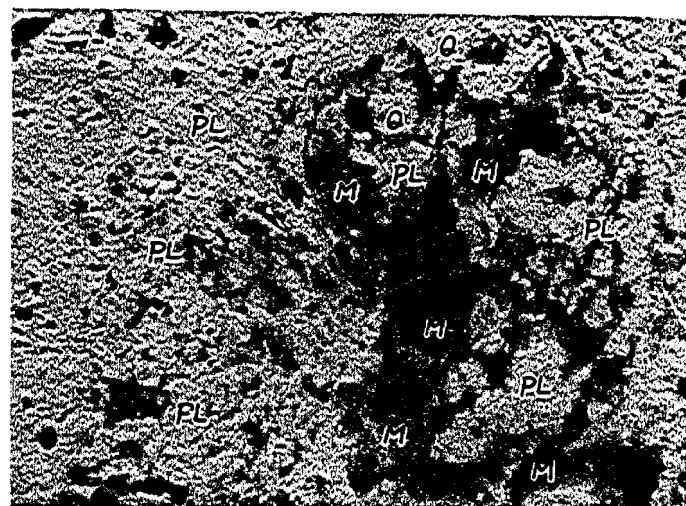
単ニコル

0 0.5 mm



直交ニコル

0 0.5 mm



単ニコル

0 0.05 mm

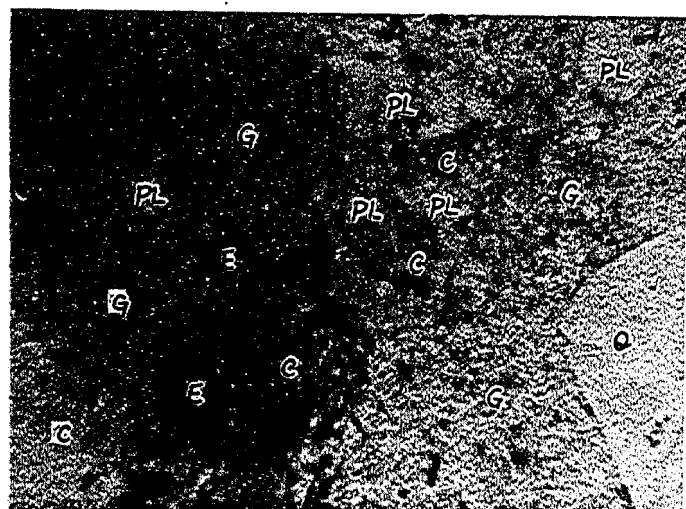


直交ニコル

0 0.05 mm

写真-Ⅱ・4

石英安山岩 D (試料 4)



単ニコル

0 0.5 mm

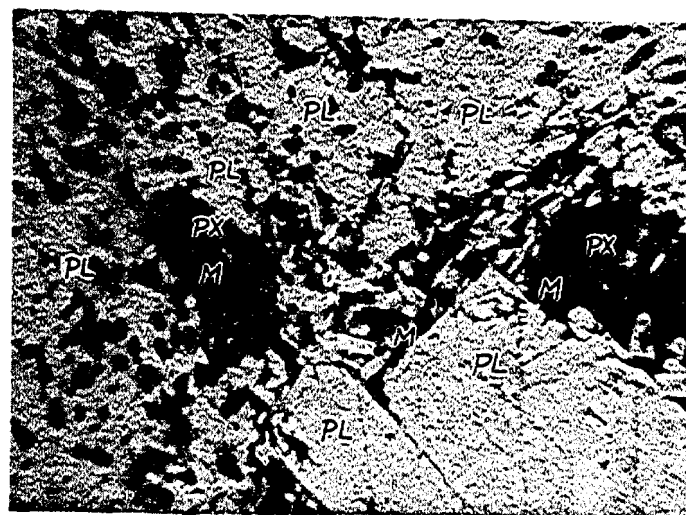


直交ニコル

0 0.5 mm

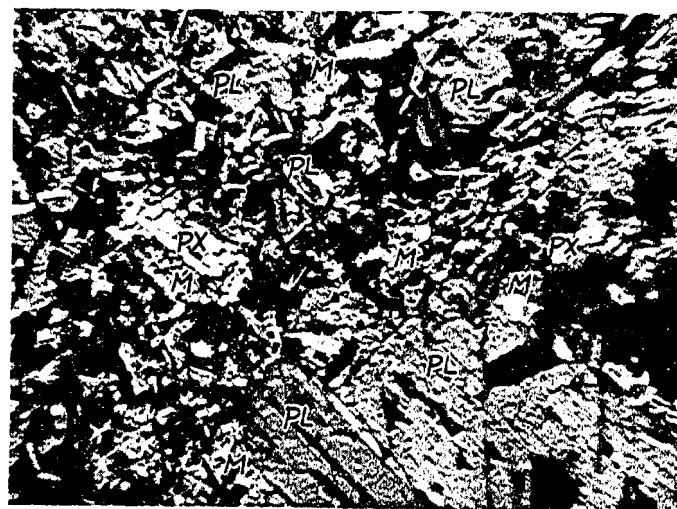
写真-Ⅱ・5

輝石安山岩 A (試料 5)



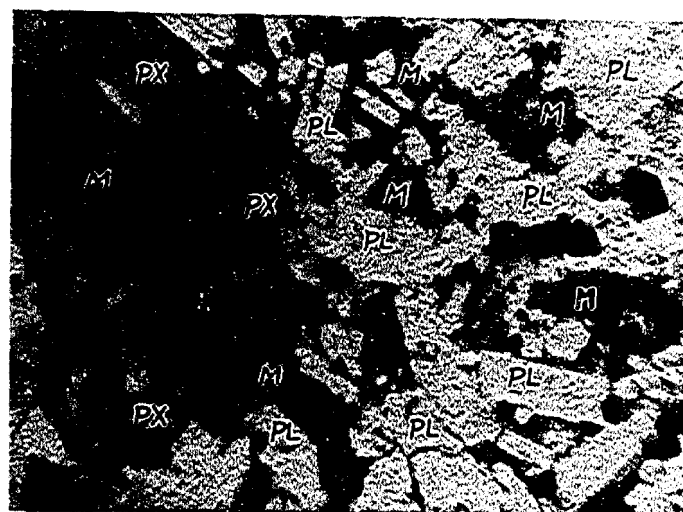
単ニコル

0 0.5 mm



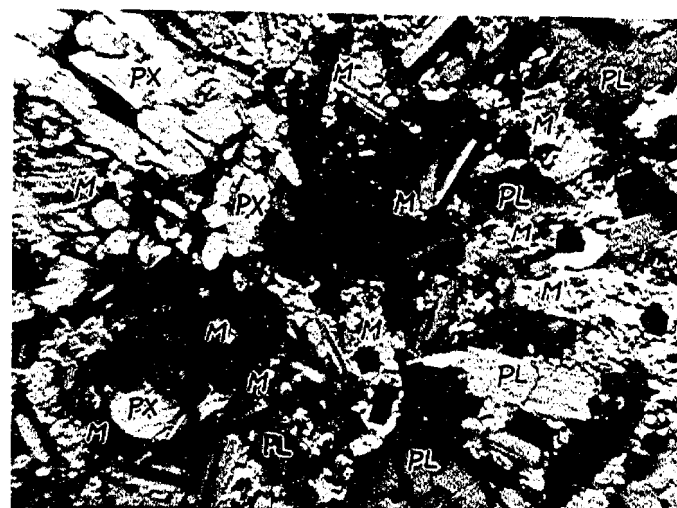
直交ニコル

0 0.5 mm



単ニコル

0 0.1 mm

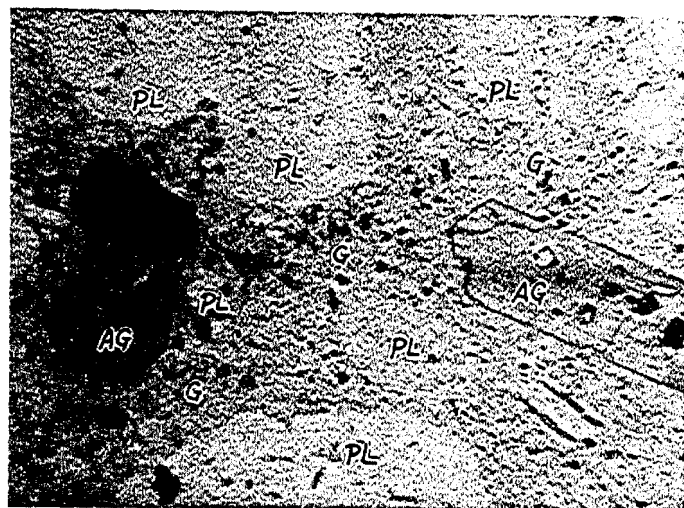


直交ニコル

0 0.1 mm

写真-Ⅱ・6

輝石安山岩B (試料6)



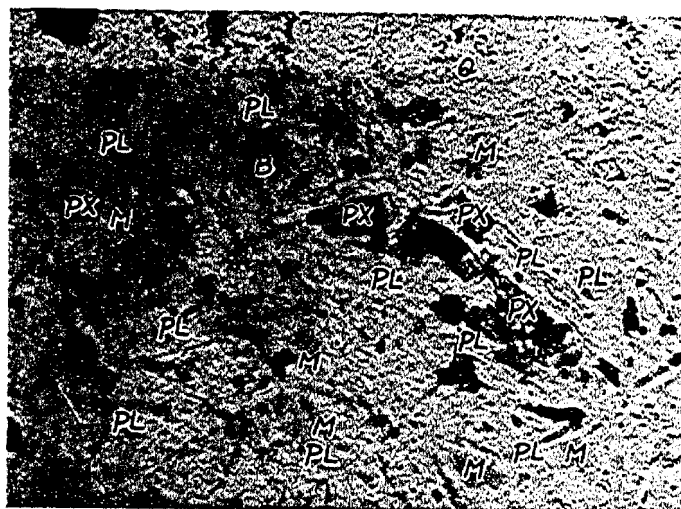
単ニコル

0 0.5 mm



直交ニコル

0 0.5 mm



単ニコル

0 0.05 mm

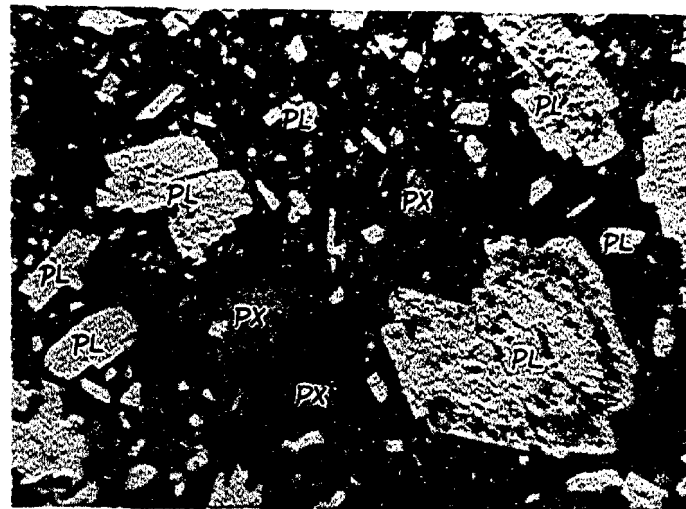


直交ニコル

0 0.05 mm

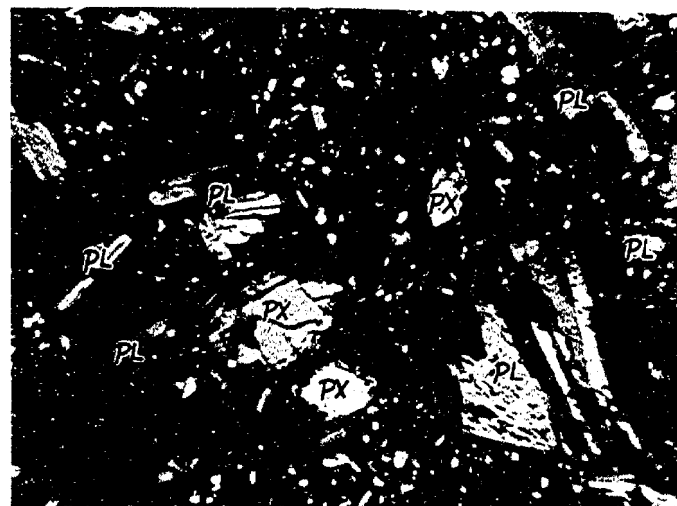
写真-Ⅱ・7

輝石安山岩C (試料7)



単ニコル

0 0.5 mm

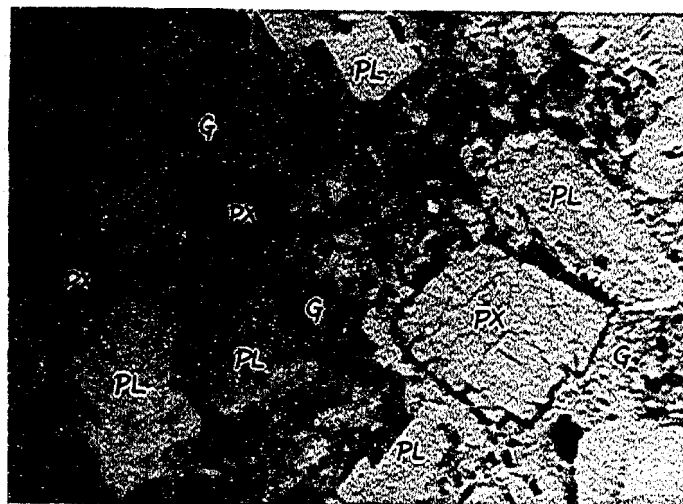


直交ニコル

0 0.5 mm

写真-Ⅱ・8

輝石安山岩 D (試料 8)



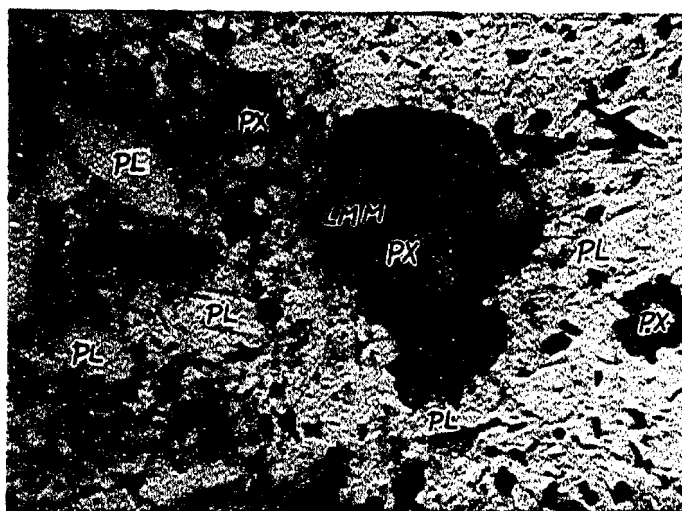
単ニコル

0 0.5 mm



直交ニコル

0 0.5 mm



単ニコル

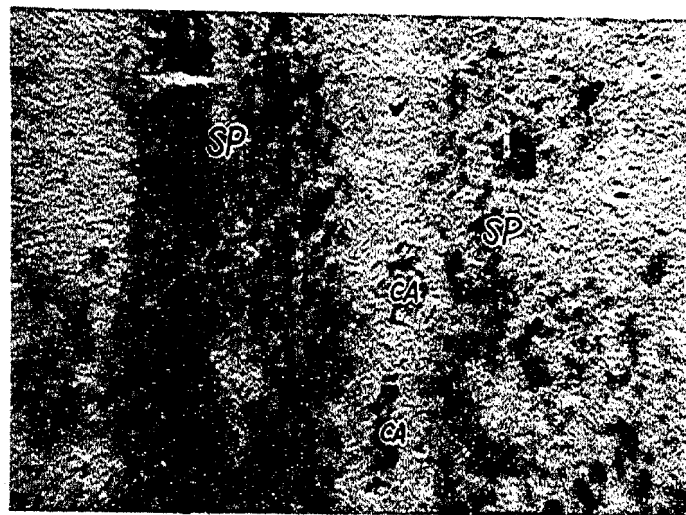
0 0.1 mm



直交ニコル

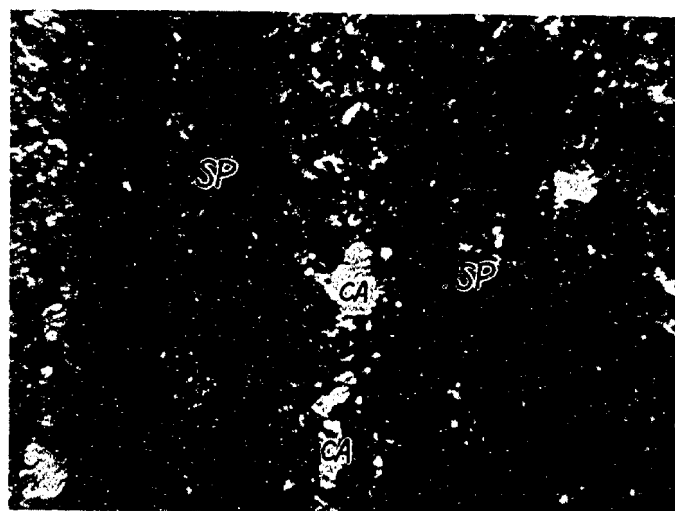
0 0.1 mm

写真-Ⅱ・9  
流紋岩（試料9）



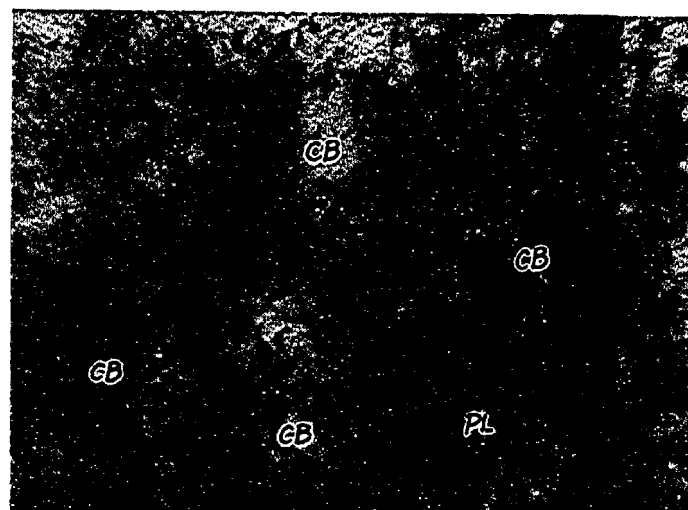
単ニコル

0 0.5 mm



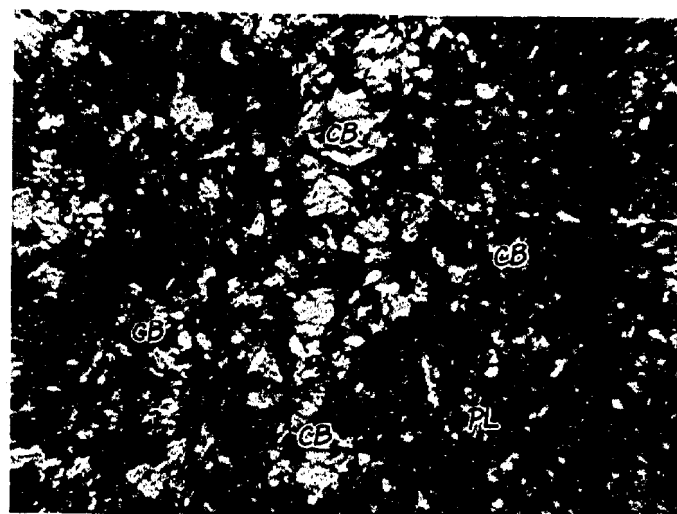
直交ニコル

0 0.5 mm



単ニコル

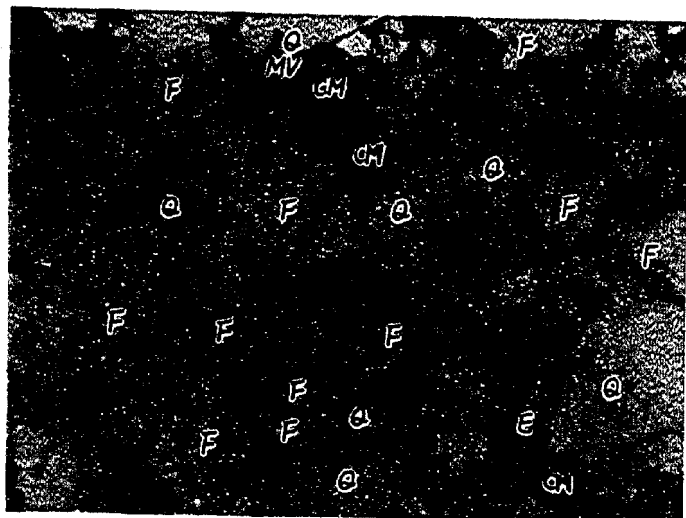
0 0.05 mm



直交ニコル

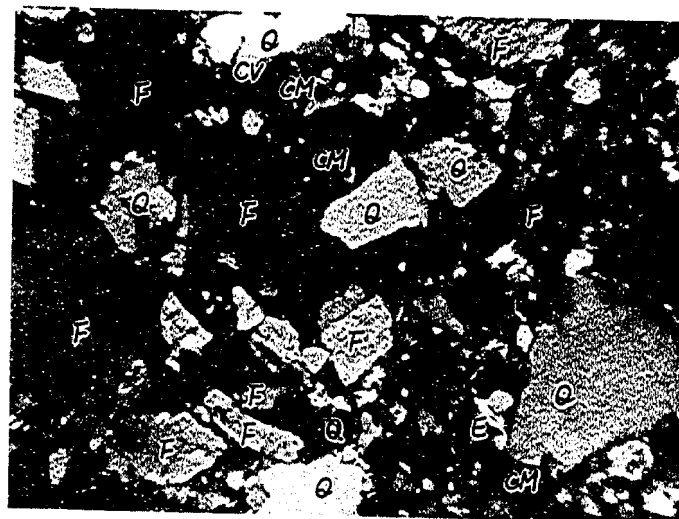
0 0.05 mm

写真-Ⅱ・10  
砂岩A（試料10）



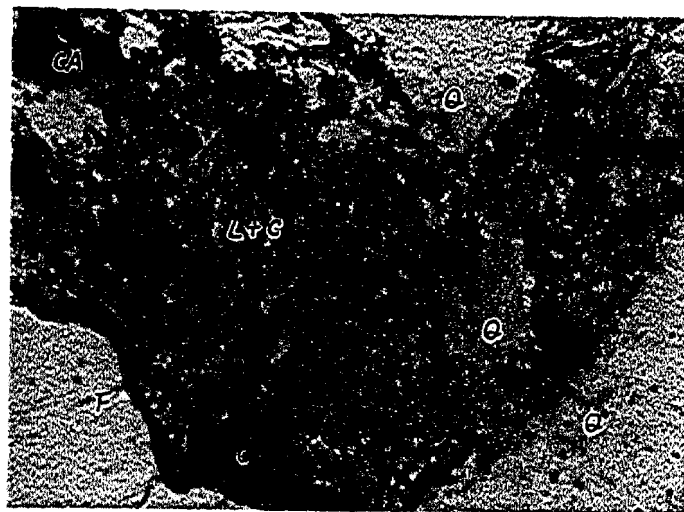
単ニコル

0 0.5 mm



直交ニコル

0 0.5 mm



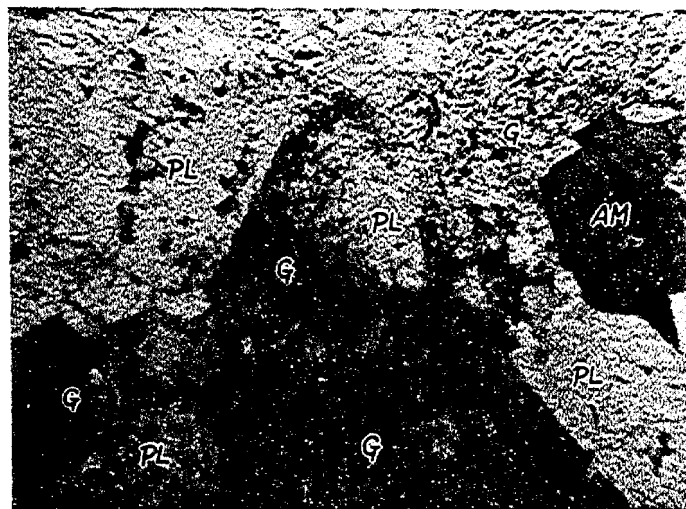
単ニコル

0 0.05 mm



直交ニコル

0 0.05 mm



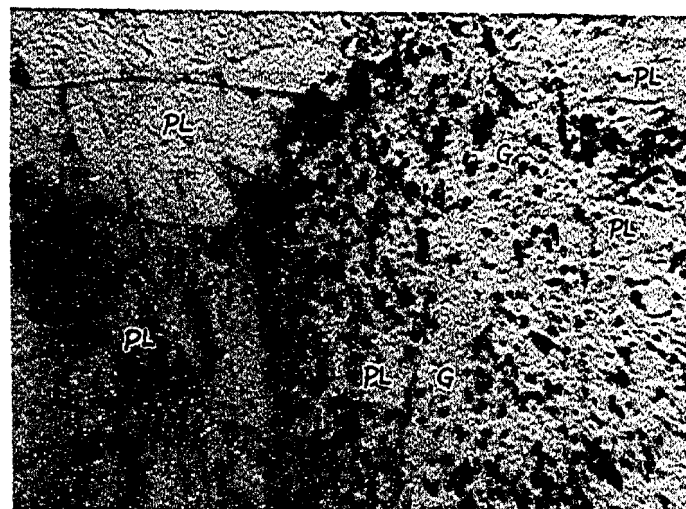
単ニコル

0 0.5 mm



直交ニコル

0 0.5 mm



単ニコル

0 0.1 mm

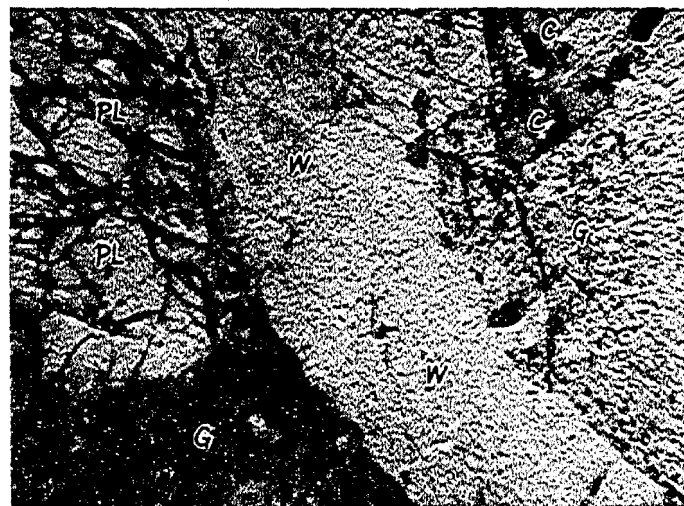


直交ニコル

0 0.1 mm

写真 - II • 12

角閃安山岩 B (試料 13)



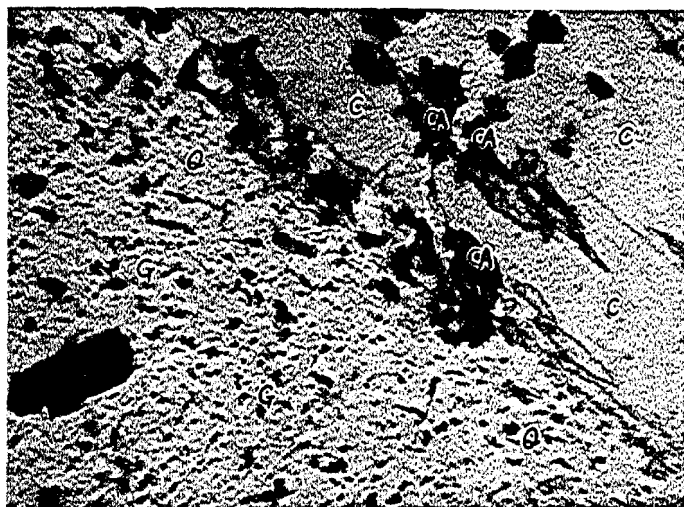
単ニコル

0 0.5 mm



直交ニコル

0 0.5 mm



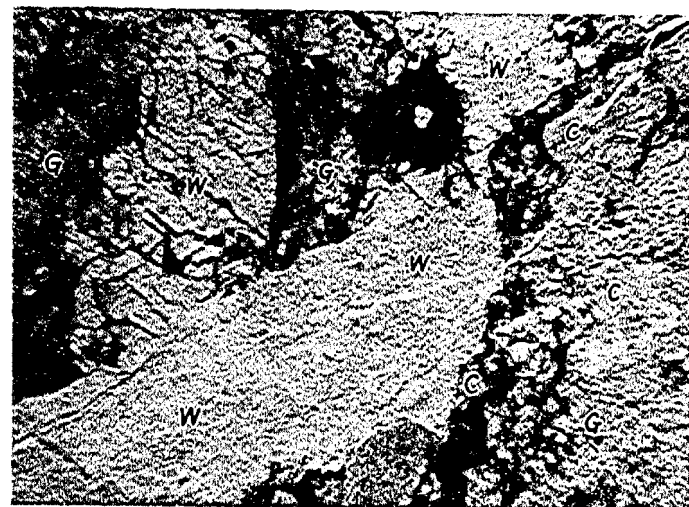
単ニコル

0 0.1 mm



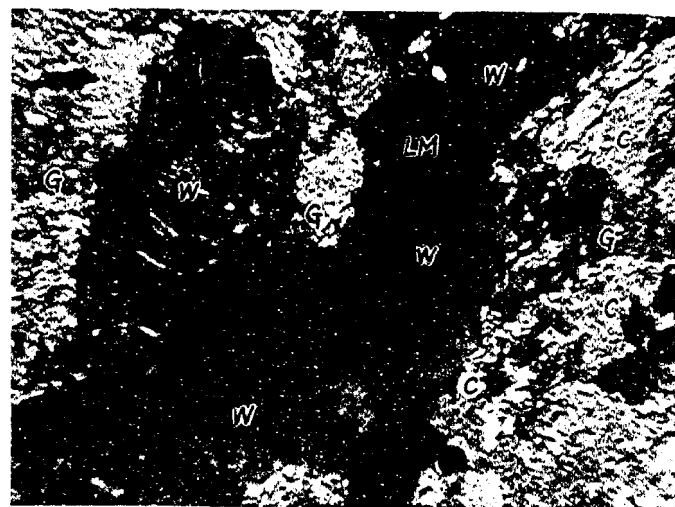
直交ニコル

0 0.1 mm



単ニコル

0 0.5 mm

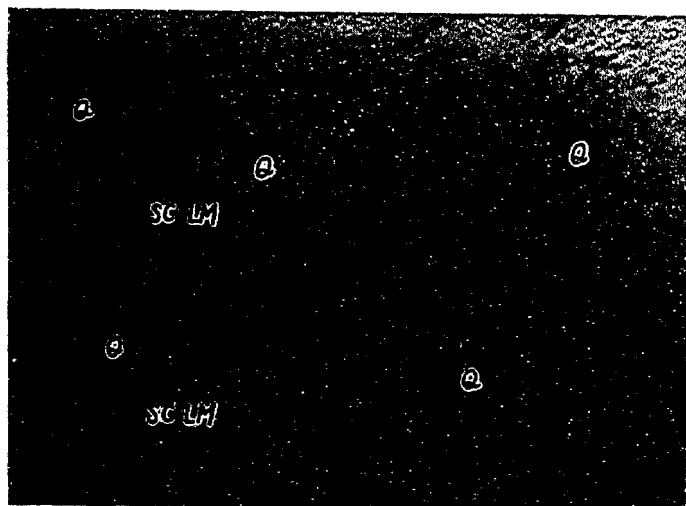


直交ニコル

0 0.5 mm

写真-Ⅱ・14

チャートA (試料16)



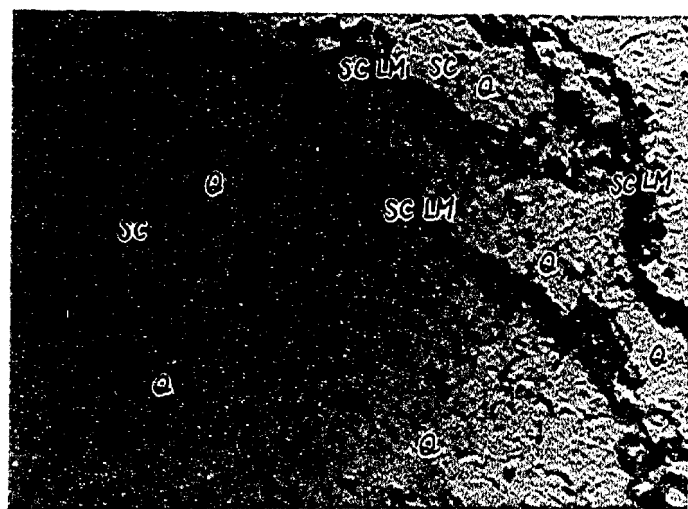
単ニコル

0 0.5 mm



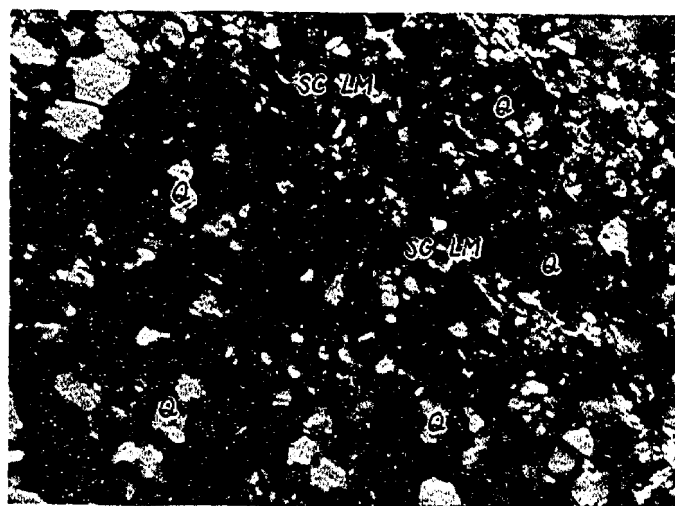
直交ニコル

0 0.5 mm



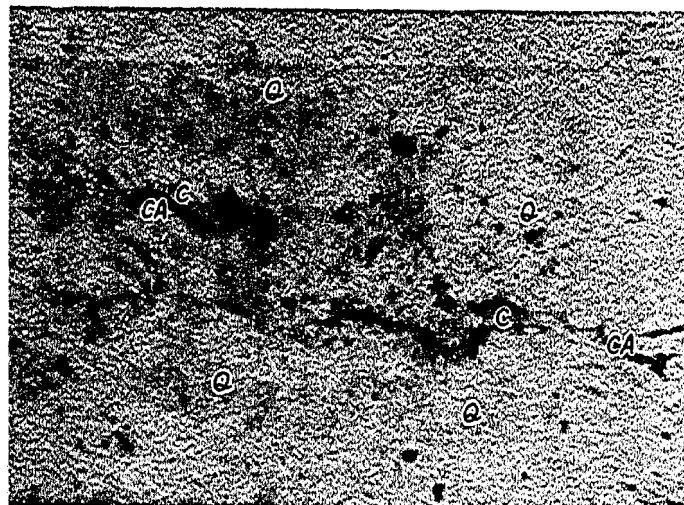
単ニコル

0 0.05 mm



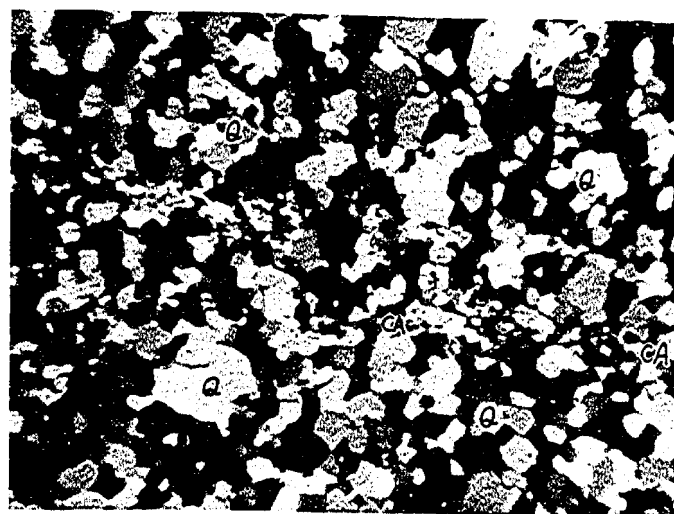
直交ニコル

0 0.05 mm



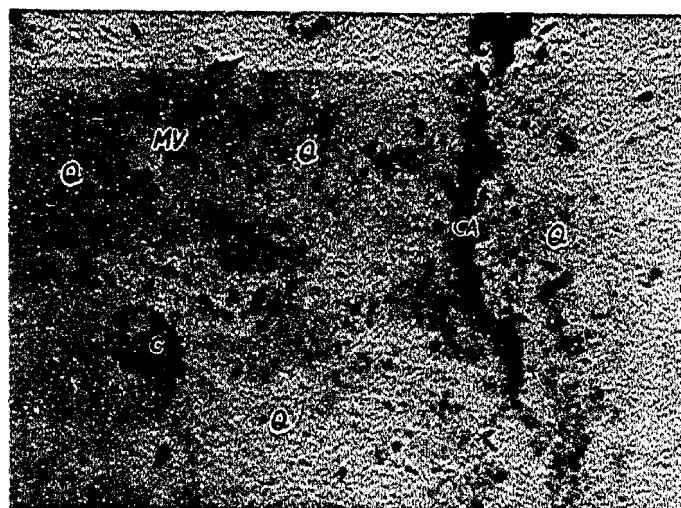
単ニコル

0 0.5 mm



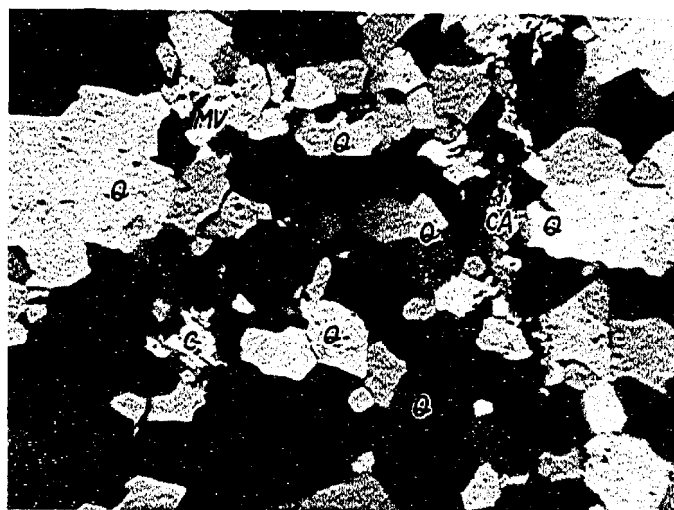
直交ニコル

0 0.5 mm



単ニコル

0 0.1 mm

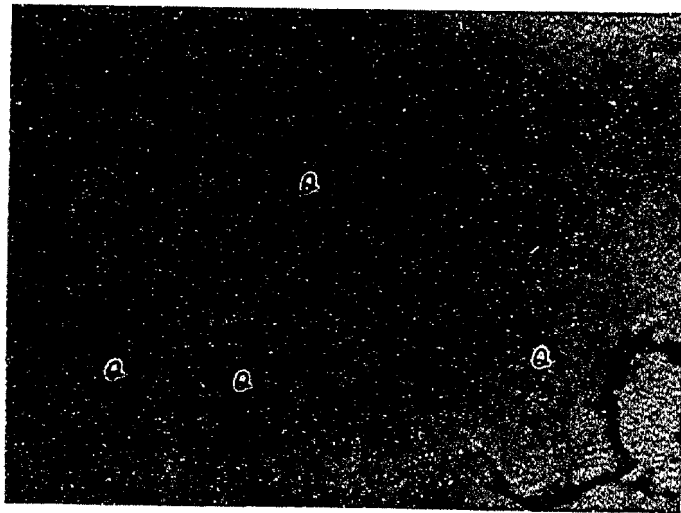


直交ニコル

0 0.1 mm

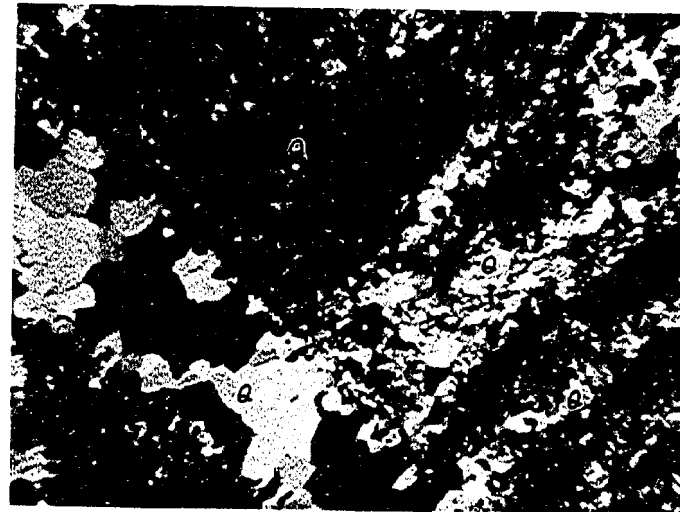
写真-Ⅱ・16

チャートC (試料18)



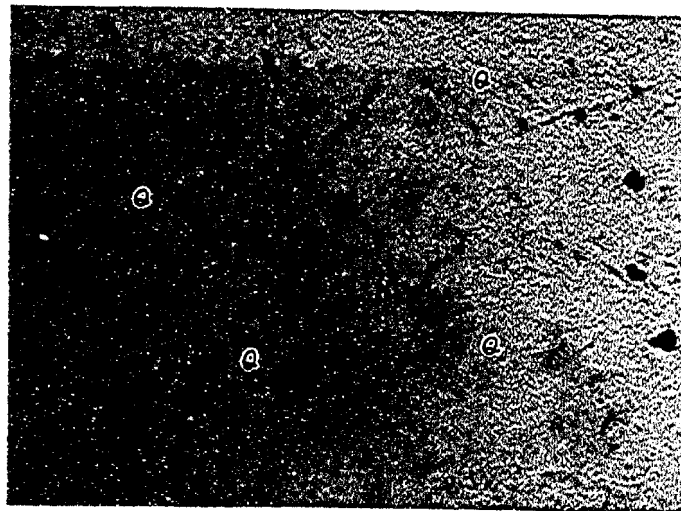
単ニコル

0 0.5 mm



直交ニコル

0 0.5 mm



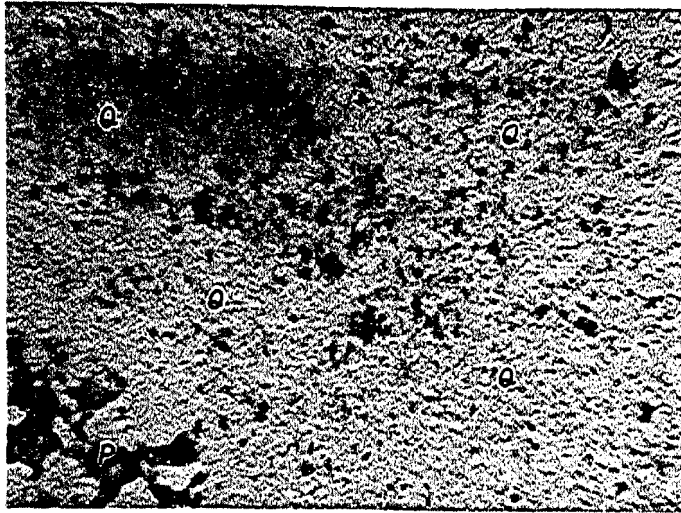
単ニコル

0 0.05 mm



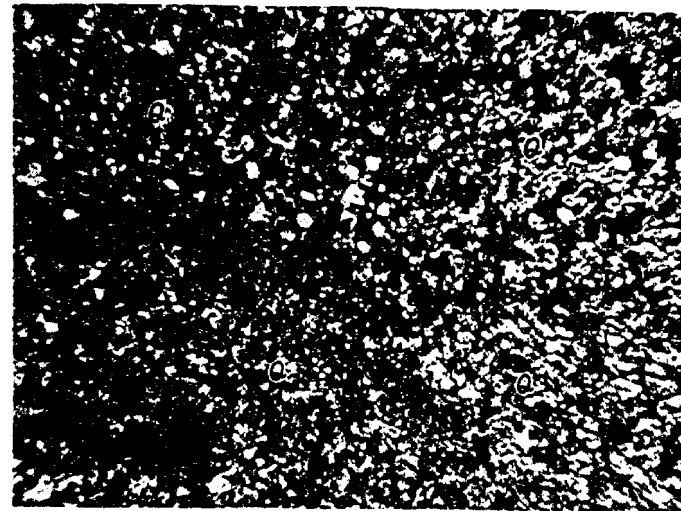
直交ニコル

0 0.05 mm



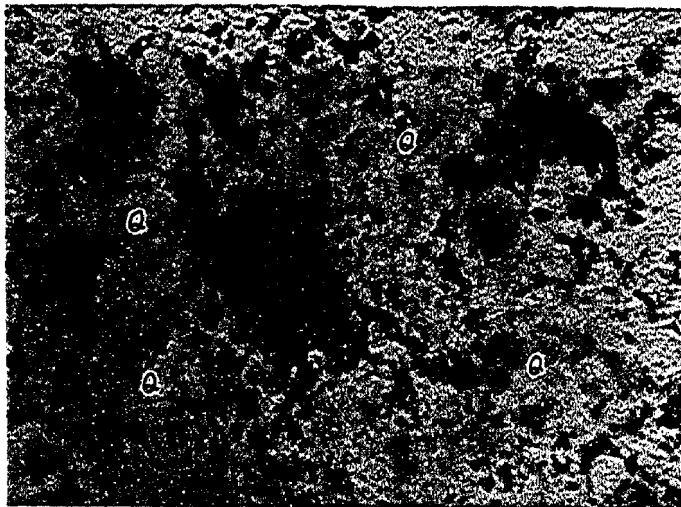
単ニコル

0 0.5 mm



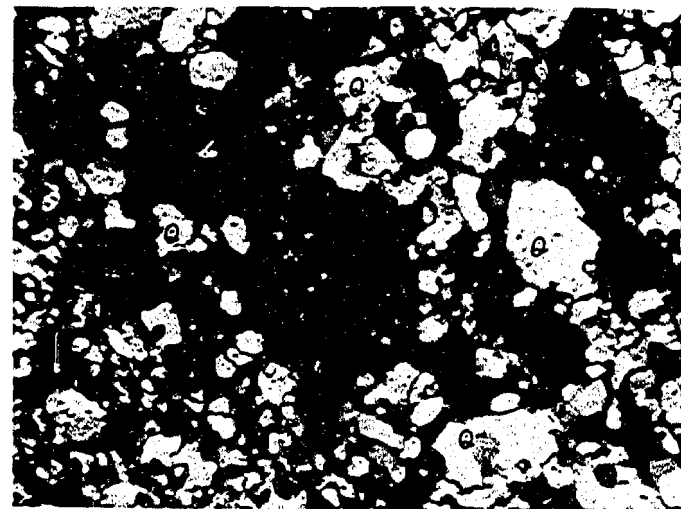
直交ニコル

0 0.5 mm



単ニコル

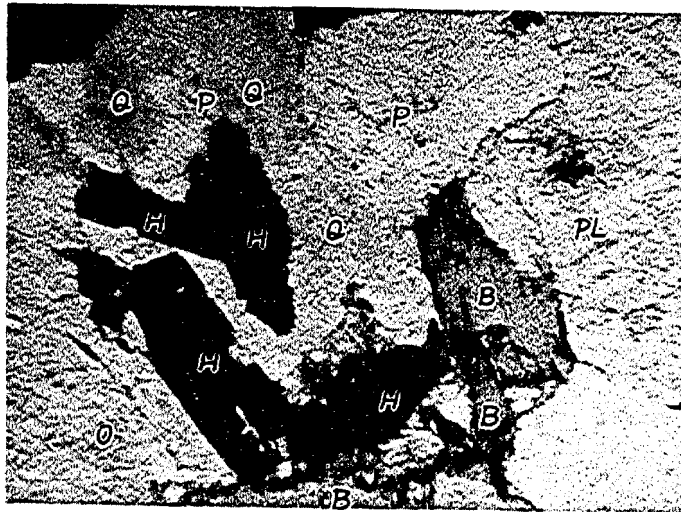
0 0.05 mm



直交ニコル

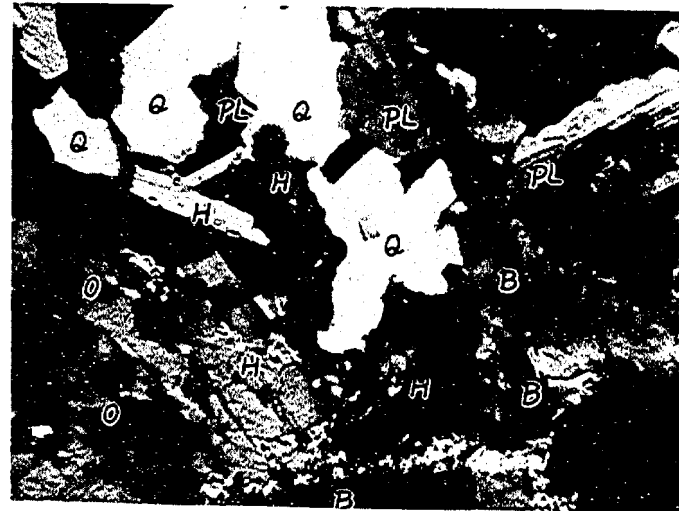
0 0.05 mm

写真-Ⅱ・18  
花崗岩（試料20）



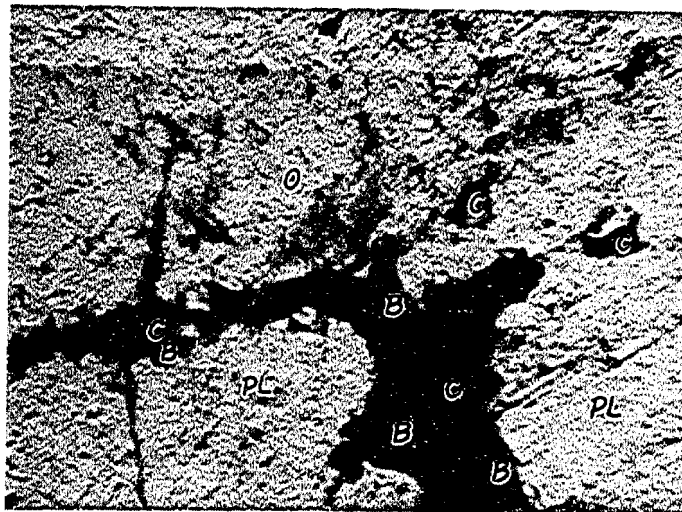
単ニコル

0 0.5 mm



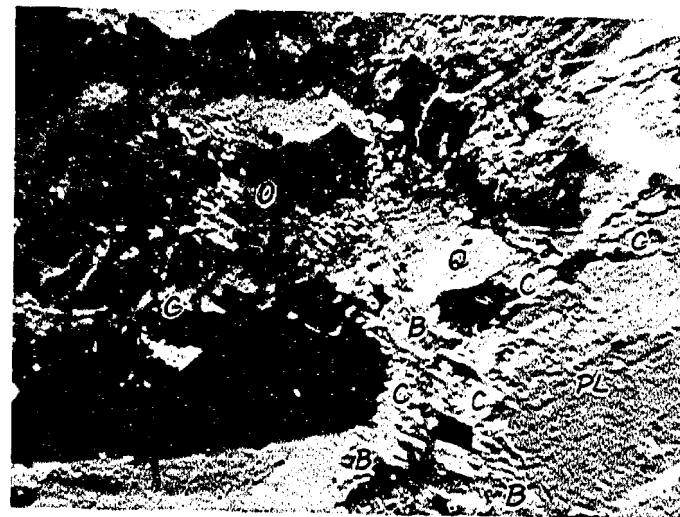
直交ニコル

0 0.5 mm



単ニコル

0 0.1 mm

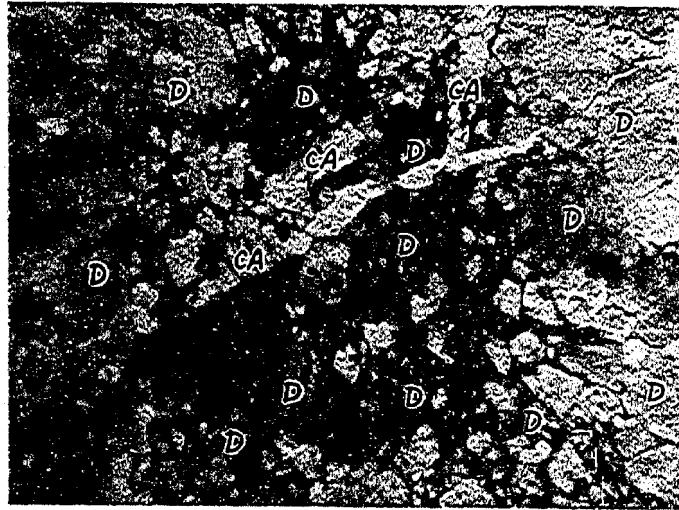


直交ニコル

0 0.1 mm

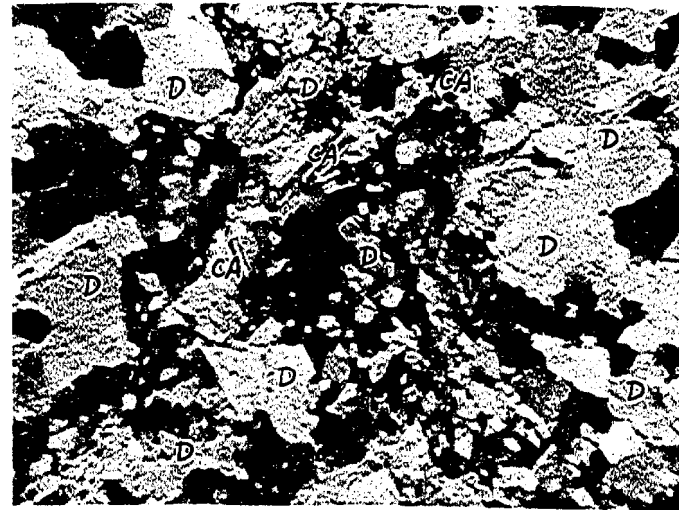
写真-Ⅱ・19

ドロマイト (試料 21)



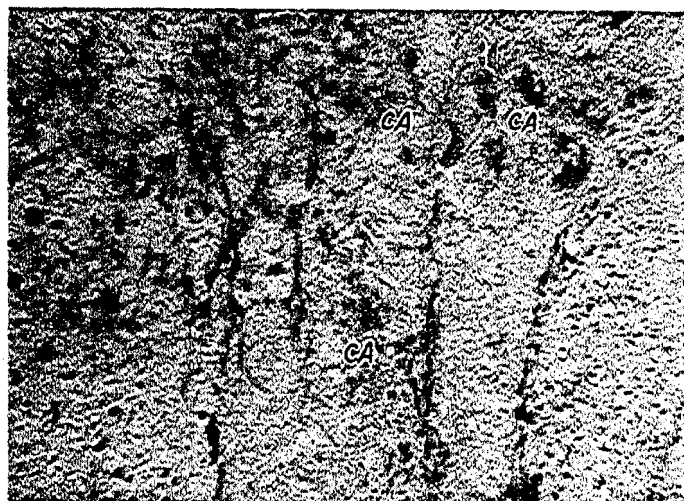
単ニコル

0 0.5 mm



直交ニコル

0 0.5 mm



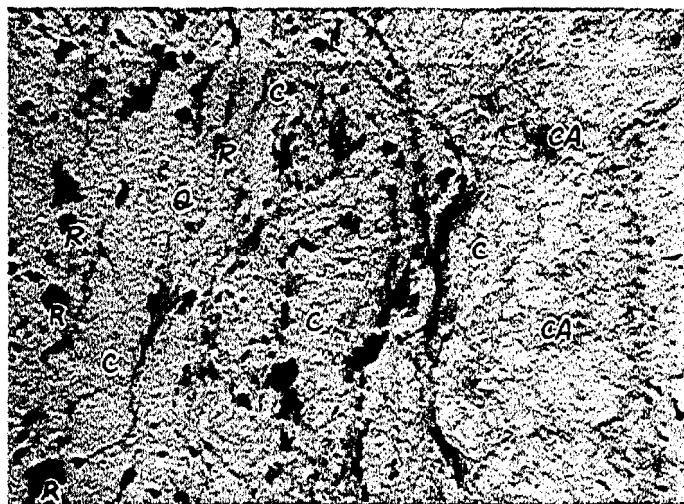
単ニコル

0 0.5 mm



直交ニコル

0 0.5 mm



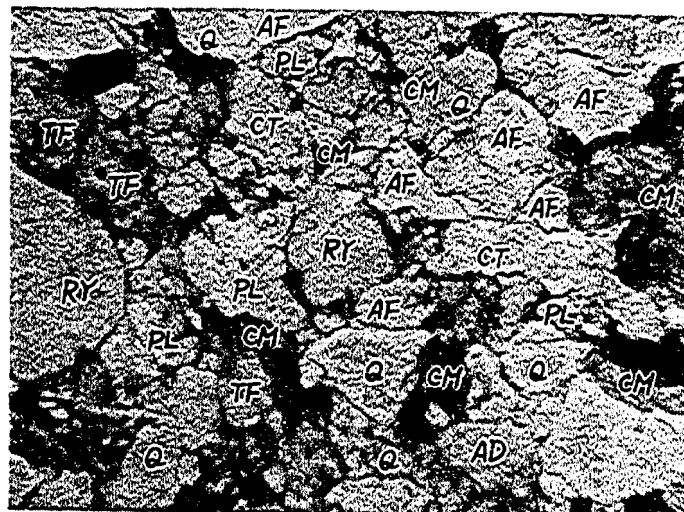
単ニコル

0 0.1 mm



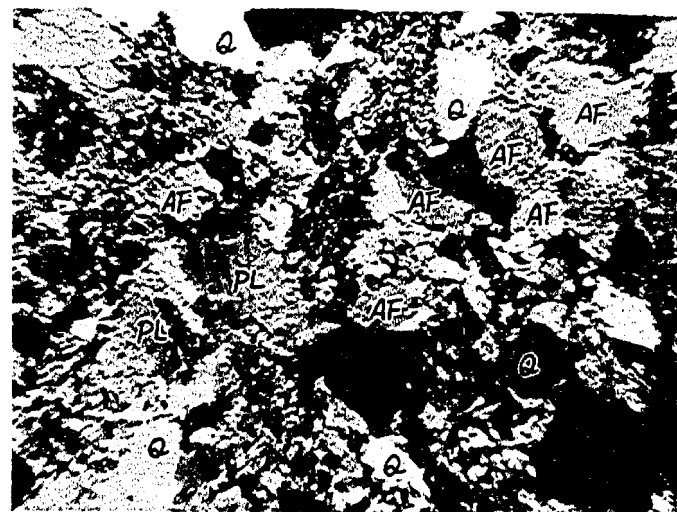
直交ニコル

0 0.1 mm



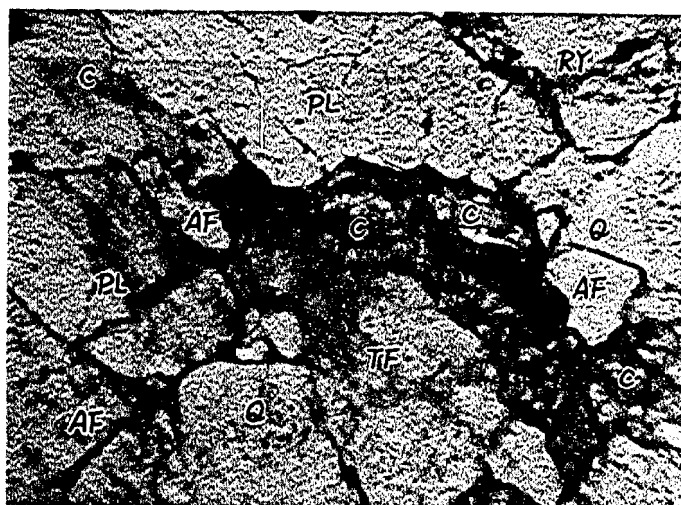
単ニコル

0 0.5 mm



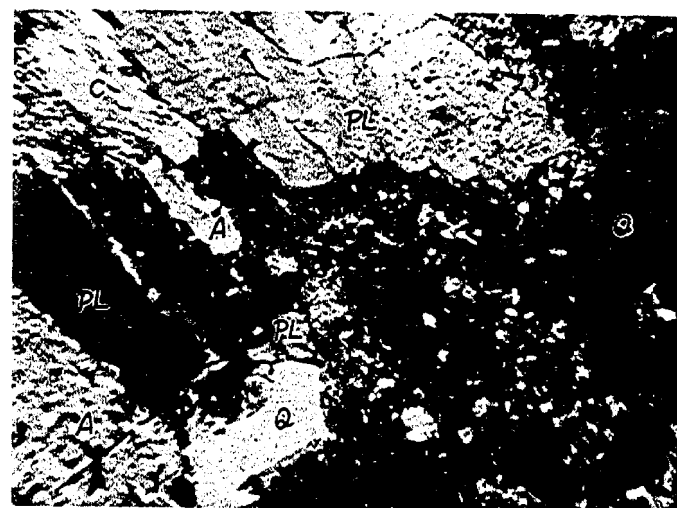
直交ニコル

0 0.5 mm



単ニコル

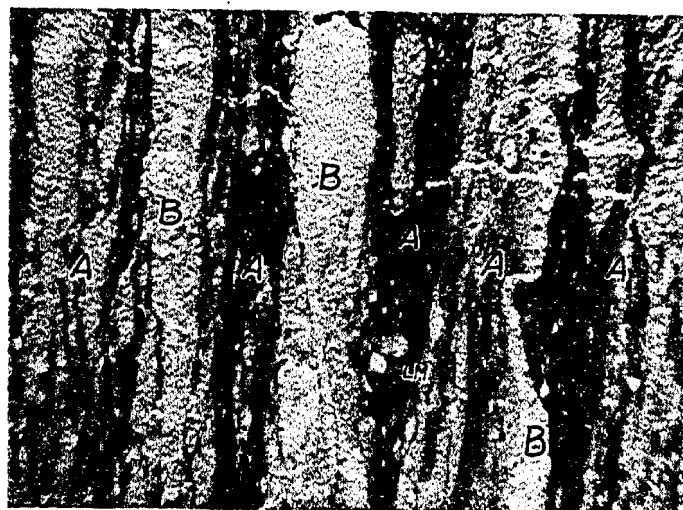
0 0.1 mm



直交ニコル

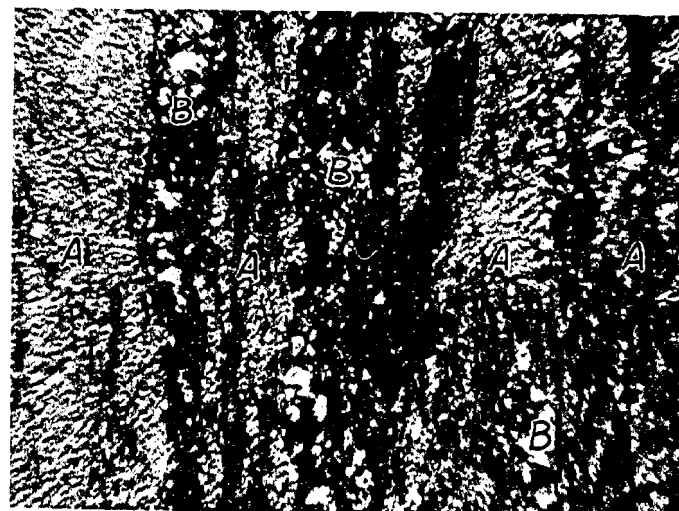
0 0.1 mm

写真-Ⅱ・22  
風化頁岩（試料 24）



単ニコル

0 0.5 mm



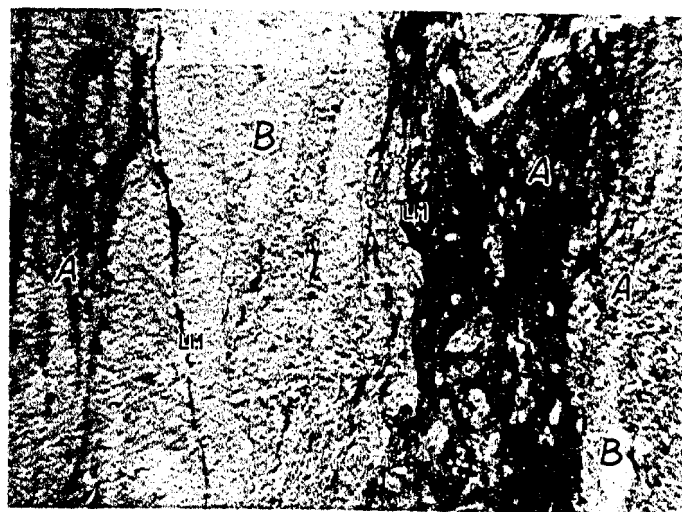
直交ニコル

0 0.5 mm

注)

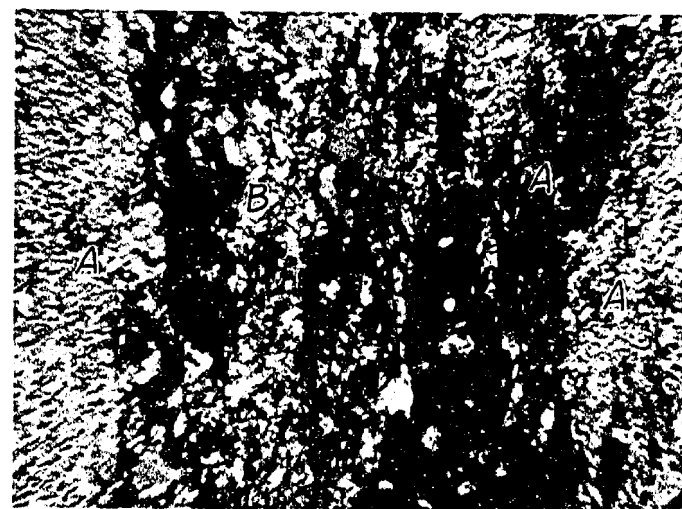
A : 緑泥石, 絹雲母が主体となる層

B : 石英が主体となる層



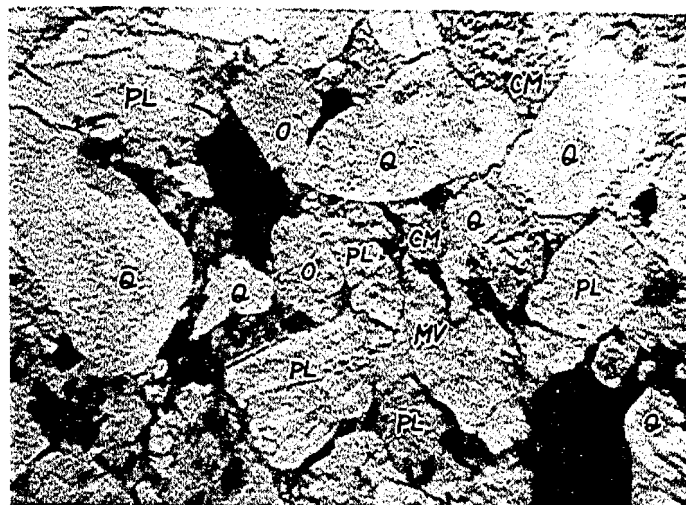
単ニコル

0 0.1 mm



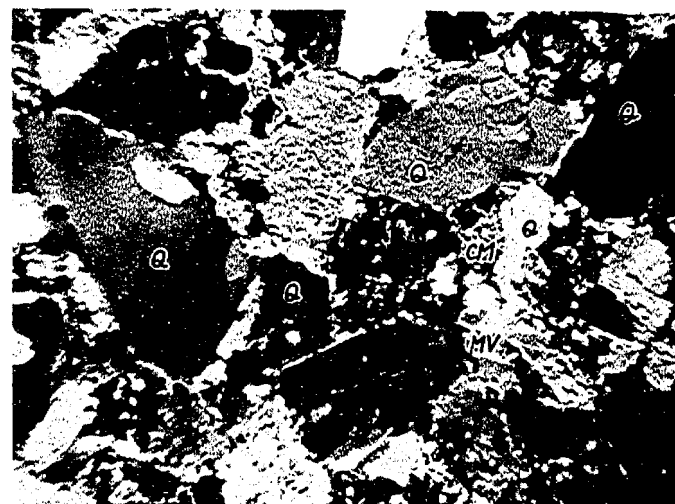
直交ニコル

0 0.1 mm



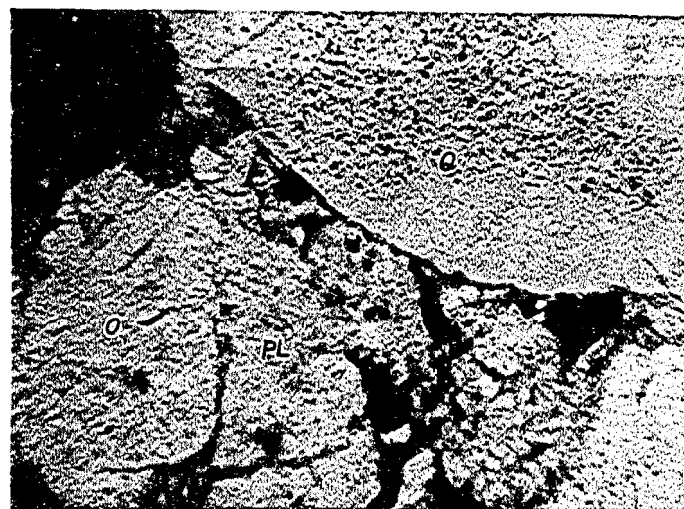
単ニコル

0 0.5 mm



直交ニコル

0 0.5 mm



単ニコル

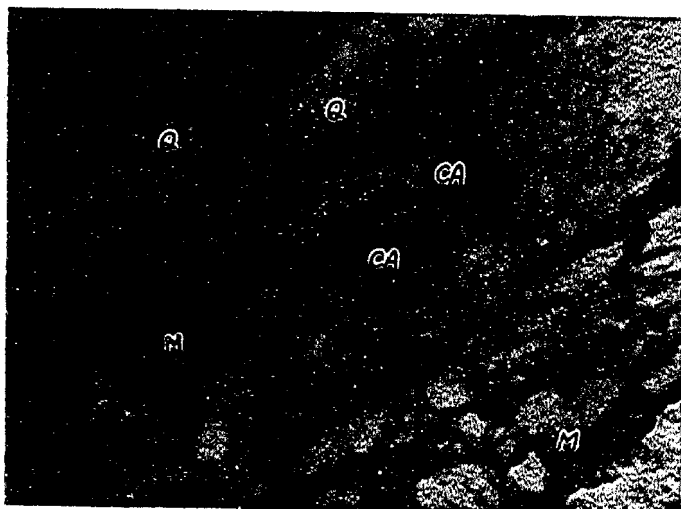
0 0.1 mm



直交ニコル

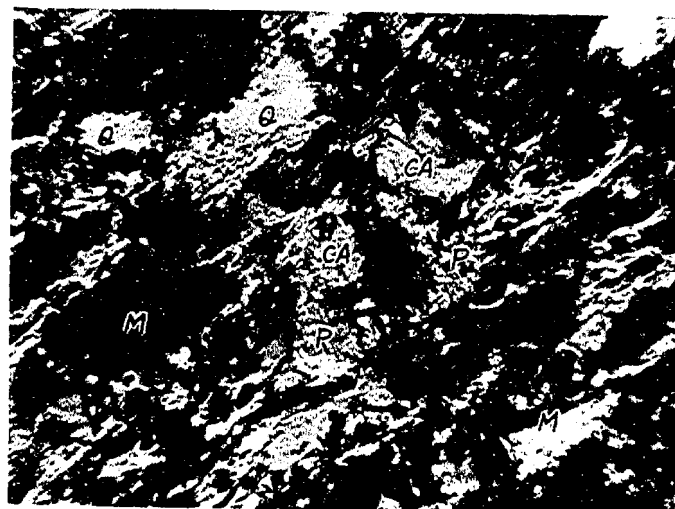
0 0.1 mm

写真-Ⅱ・24  
砂岩C (試料26)



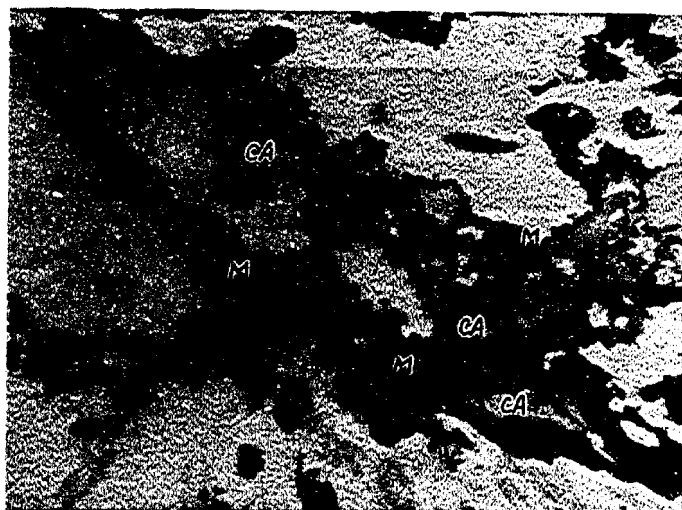
単ニコル

0 0.5 mm



直交ニコル

0 0.5 mm



単ニコル

0 0.1 mm



直交ニコル

0 0.1 mm



単ニコル

0 0.5 mm



直交ニコル

0 0.5 mm

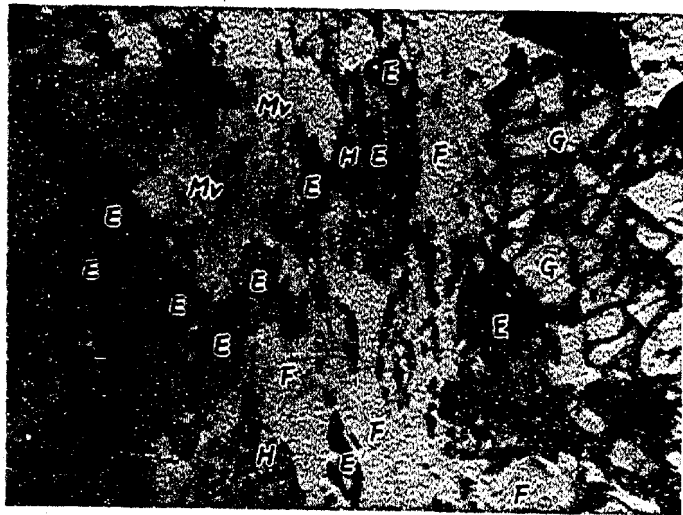
写真-Ⅱ・25

千枚岩 (試料 27)

注)

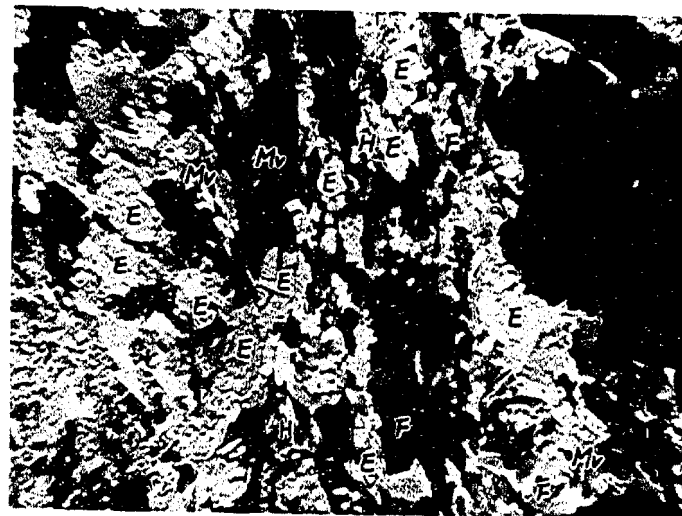
A : 緑泥石, 絹雲母が主体となる層

B : 石英が主体となる層



単ニコル

0 0.5 mm

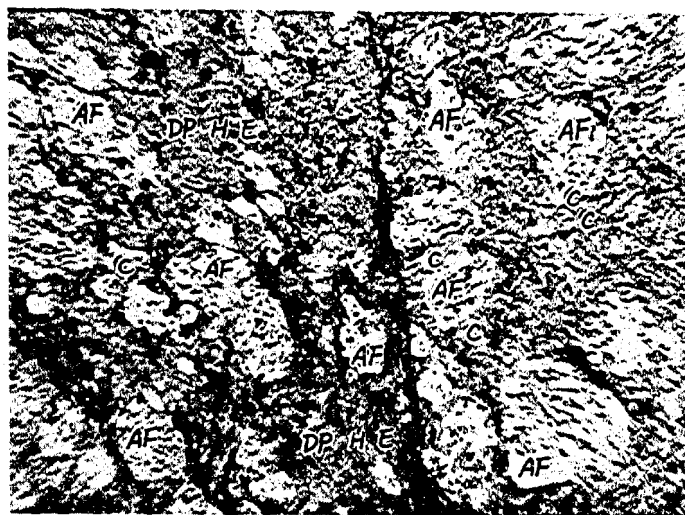


直交ニコル

0 0.5 mm

写真-Ⅱ・26

柘榴石角閃岩 (試料 28.)



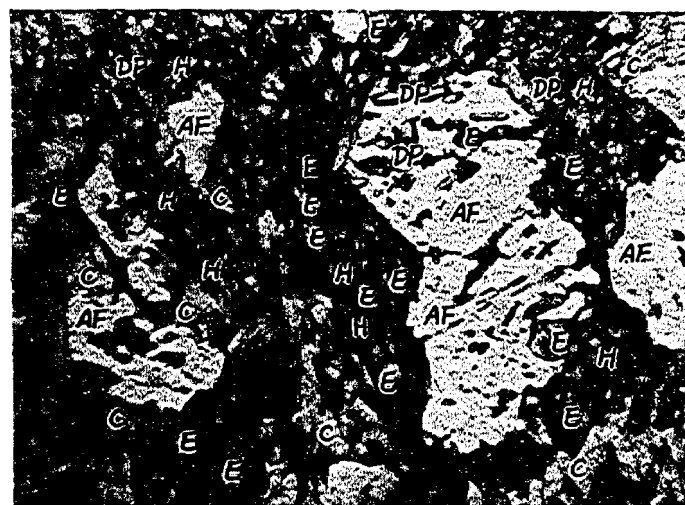
単ニコル

0 0.5 mm



直交ニコル

0 0.5 mm



単ニコル

0 0.1 mm



直交ニコル

0 0.1 mm

### Ⅲ. アルカリ骨材反応試験方法 (邦訳)<sup>10)</sup>

#### Ⅲ-1. セメント-骨材の潜在性アルカリ反応試験方法 (モルタルバー法) ASTM C 227-71

##### Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar Bar Method)

##### 1. 適用範囲

- 1.1 この試験方法は、規定された試験条件のもとにおける貯蔵中の化合しているモルタルバーの長さの増加 (あるいは減少) を測定することにより、セメントと骨材の組み合わせ潜在性膨張性アルカリ (ナトリウムおよびカリウム) 反応を決定するものである。

備考 1. 膨張反応に関与するアルカリは、通常、セメントから由来するものである。しかし場合によってはコンクリート中の他の成分あるいは外来の源泉から由来するものもある。骨材のアルカリ反応としては 2 種の形式が認められている。

(1)ある種のシリカ質岩石、鉱物および人造ガラスによるアルカリ・シリカ反応、(2)ある種の石灰質白雲石および白雲石質石灰岩中の白雲石によるアルカリ炭酸塩反応。この試験方法は後者の反応を発見する手段としては推奨されない。

アルカリ炭酸塩反応によるモルタルバー試験において生じた膨張 (C 586, コンクリート骨材としての炭酸塩岩石の潜在性アルカリ反応試験 (ロックシリンダー法) (参照)) はアルカリシリカ反応によって生ずる膨張より一般にはるかに小であるが、実用的には同様に有害である。

##### 2. 試験用器具

- 2.1 試験用器具は、硬化したセメントペースト、モルタルおよびコンクリートの長さ変化測定用器具 (ASTM C 490) の規格に合しなければならない。ただし、つぎの各項を除く。
- 2.2 ふるい 角孔金網ふるいは試験用金網ふるい規格 (ASTM E 11) による。
- 2.3 ミキサ、パドルおよび混練用鉢 パドルおよび鉢は ASTM C 305 (まだ固まらないセメントペースト、モルタルの機械的混合の試験) の要求に合しなければならない。ただし、パドルの下端と鉢の底との間隔は、 $5.1 \pm 0.3 \text{ mm}$  ( $0.20 \pm 0.01 \text{ in}$ ) とする。
- 2.4 突き棒とコテ 突き棒とコテは ASTM C 109 (セメントモルタルの圧縮強度試験方法 (50 mm (2 in) 立方体使用)) に合するものでなければならない。
- 2.5 容器 供試体を貯蔵するためのふた付容器は、使用中腐食に抵抗できる金属でつくられていなければならない。容器の内側は供試体を入れてふたをしたとき、芯として作用し容器の中の雰囲気すみやかに水分によってみたされるように吸収紙のような吸収性のあるもので覆わなければならない。その覆うものは容器の底の水から供試体の上縁まで広げておかなければならない。それは供試体を貯蔵するときには、気密なふたにより、また容器を密封し、あるいは両者によって湿気の損失を防ぐようにつくらなければならない。バーは鉛直に支持し、その下端が容器の中の水面から約 25 mm (1 in) 離れるように配置されなければならない。供試体の重量は金属測点標の上に支えられてはならない。供試体は互いに離しておくようにスペーサーを配置しなければならない。水がはねたり、水滴となって供試体の上にかか

ることのないようにしなければならない。

備考 2. もし必要ならば被覆物のかびの発生を防ぐために容器中の水に適当な殺菌剤を加えてもよい。

### 3. 温度と湿度

3.1 成形室と乾燥材料の温度は  $20^{\circ}\text{C}$  ( $68^{\circ}\text{F}$ ) 以上  $27.5^{\circ}\text{C}$  ( $81.5^{\circ}\text{F}$ ) 以下に保たなければならない。混合水および湿気箱または湿気室ならびに測定室の温度は  $23 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$  ( $73.4 \pm 3^{\circ}\text{F}$ ) の範囲にならなければならない。

3.2 試験室の相対湿度は 50 % 以上でなければならない。湿気箱または湿気室は ASTM C 511 (水硬セメントとコンクリート試験用湿気箱および湿気室) に合ししなければならない。

3.3 供試体を入れた容器をおく貯蔵室は  $37.8 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$  ( $100 \pm 3^{\circ}\text{F}$ ) の温度でなければならない。

### 4. 材料の選択と準備

4.1 骨材の選択 コンクリート細骨材として用いる材料は 4.2 に記述するようにして、破碎を最小にして準備される。コンクリート粗骨材として用いる材料はなるべく試料を採ることのできるような粒度となるように破碎して準備する。試料の粒度は 4.2 に記述するようにし、実際に使用する粗骨材の成分を代表するようにする。

備考 3. もし与えられた破碎した材料が粗骨材および細骨材として使用する場合ならば、細骨材の寸法に破碎した適当な試料を用いて試験を行うだけでよい。ただし粗骨材寸法の部分が細骨材寸法の部分と成分を異にすると認められ、その差異がセメントのアルカリとの反応による膨張に著しく影響すると思われる場合はこの限りでない。この場合には、粗骨材部分について、細骨材部分について試験すると同じ方法で試験する。

備考 4. 粗骨材を砂の粒度まで破碎すると、破碎によって露出面積が増加するために膨張が増大するかも知れない。従って、もしこの方法で粗骨材を試験し膨張が過大となる場合に、その材料をアルカリと反応するために不適当であると断定することはできない。コンクリート供試体についてモルタル試験で発見した事実について確かめる必要がある。

4.2 骨材の準備 細骨材はその計画に対する規格の要求に合致する粒度で試験しなければならない。ただし No. 4 (4.75mm) ふるいに残留する材料を除くものとする。細骨材が各個の規格に合致しない粒度で試験した場合、およびすべての粗骨材がこの方法で試験される場合には、表-Ⅲ・1 に示す要求に合致する粒度でなければならない。表-Ⅲ・1 に示す寸法の骨

表-Ⅲ・1 粒度の要求

| ふるい寸法                       |                              | 重量<br>百分率 |
|-----------------------------|------------------------------|-----------|
| 通 過                         | 残 留                          |           |
| No. 4 (4.75 mm)             | No. 8 (2.36 mm)              | 10        |
| No. 8 (2.36 mm)             | No. 16 (1.18 mm)             | 25        |
| No. 16 (1.18 mm)            | No. 30 (600 $\mu\text{m}$ )  | 25        |
| No. 30 (600 $\mu\text{m}$ ) | No. 50 (300 $\mu\text{m}$ )  | 25        |
| No. 50 (300 $\mu\text{m}$ ) | No. 100 (150 $\mu\text{m}$ ) | 15        |

材の量が不足する場合には、所要量の材料が得られるまで破碎する。表-Ⅲ・1 に示す、よ

り大きい寸法の骨材の一つまたは以上の量が不足する場合において破砕するためのより大きい材料がない場合には、十分の量のある第一の寸法の材料が表-Ⅲ・1に示す粒度から決定されるその寸法までの材料の累加百分率を有するようにする。このような方法によった場合には、試験報告の中にその旨を特記しなければならない。骨材を各々のふるい寸法に分離したのち、各寸法の骨材はふるいに水のスプレイをかけて洗い、骨材に付着したごみおよび微細粒子を除去する。各々のふるいに残留した部分は乾燥し、もし直ちに使用するのであれば、各部分は気密なふたのついた清潔な容器の中に別々に貯蔵する。

#### 4.3 セメントの選択と調製

4.3.1 工事用セメント — 特定の工事に使用する特定のセメントと骨材の組合わせを評価したいときは使用されるセメントは工事の要求に合致するものでなければならず、工事に使用されると考えられる工場からのものでなければならない。もし工事に数種類のセメントが使用されるかもしれない場合には、それらの各々を用いて試験するのが望ましく、いずれの場合にも  $\text{Na}_2\text{O}$  から計算されたアルカリ含有量が 0.60 % をこえるセメントを使用しなければならない。

4.3.2 比較用セメント — 一般的に使用されるとき骨材の評価をしたい場合や調査の目的で骨材の比較をしたいときは使用するセメントは一般的に使用されそうなものを代表するかあるいは試験を行う実験室で採用されている最もアルカリ含有量の高いものでなければならない。選択されたセメントは適応する規格に合致しなければならない。異なったアルカリ含有量あるいは異なった  $\text{Na}_2\text{O}:\text{K}_2\text{O}$  比あるいはボゾランを使用するセメントについて平行に試験を行うことによって追加の測定値を得る。

4.3.3 セメントの調製 — この試験に用いるセメントは No 20 (850  $\mu\text{m}$ ) ふるいを通して塊りを使用する前に除去しなければならない。

#### 5. 供試体の準備

5.1 供試体の数 二つのバッチの各々から最少 2 個、計 4 個の供試体を各セメントと骨材との組合わせに対してつくる。

5.2 型枠の準備 型枠は規格 C 490 の 3.4.3 の要求に合ししなければならない。

5.3 モルタルの配合 試験モルタルの乾燥材料の配合はセメント 1 に対し混粒骨材 2.25 の重量比とする。2 個の供試体をつくるためにモルタルのバッチに一度に混合される乾燥材料の量は、セメント 300 g と骨材 675 g である。この骨材量は表-Ⅲ・1に指示された粒度要求に合致するように各個のふるいに残留した量を再混合してつくられ、またはその計画に対する規格の要求に合致する粒度の骨材とする。混合水の量は 105~120 のフロー値 [C 109, 8.3 節に決められているようになるように試験し、ただしフローテーブルによって 15 秒間に 25 回、13 mm (1/2 in.) の落下の代りに、約 6 秒間に 10 回、13 mm (1/2 in.) の落下を与える]を生ずるような量とする。混合水の量はセメントに対する重量百分率で表わす。

5.4 モルタルの混合 モルタルは ASTM C 305 の 6 節の要求に合致するように混合する。

5.5 供試体の成形 フロー試験終了の直後、モルタルをフローテーブルから混合鉢にもどす。モルタルの全量を 15 分間混合する。モルタルバッチの最初の混合完了後、総経過時間 2 分 15 秒以内に供試体の成形を始める。型枠はほぼ等しい 2 層にして填充し、各層は突き棒で締め

固める。モルタルは測定標のまわりに隅々まで、また型枠の面に沿って、均質な供試体ができるように突き棒で締め固める。上層の締め固め後、モルタルは型枠の上面と同一平面に切り取られ、表面はコテを2、3回かけて平滑にされなければならない。

備考5. 追加の供試体をつくるため、引き続いてモルタルの2回目のバッチをつくる時には、フロー試験は省略し、モルタルは混合鉢の中に90秒間放置したのち、さらに15秒間再混合して供試体の成形にかかれればよい。

5.6 モルタルのバッチのつくり方 1個の調査のために1組より多くのセメント骨材組合わせについて試験する場合には、モルタルバッチの総数（セメント骨材の組合わせにつき2個）を順序なしでつくる。ただし1個のセメント骨材組合わせに対する2個のバッチは連続してつくってはならない。もし1個の調査のための供試体のすべてをつくるために2日にわたってバッチを練る必要がある場合には、セメント骨材組合わせのそれぞれについて、1日に1バッチずつをつくり、組合わせを代表するバッチの順序は2日について同じであってはならない。もし2日より多くにわたるときには、一つのセメント骨材組合わせについて、作業の各日に1バッチずつつくるようにする。

## 6. 供試体の貯蔵と測定

6.1 初期貯蔵と測定 型枠は填充された後、直ちに湿気箱または湿気室に入れられる。供試体は $24 \pm 2$ 時間型枠に入れたままにしておく。それから供試体を型枠からはずし、湿気のなくならないよう保護している間に適当に番号を付し、最初の長さ測定を行う。最初の測定と引き続いて行う測定は $0.002\text{mm}$  ( $0.0001\text{in}$ ) まで測定して記録される。

6.2 その後の貯蔵と測定 供試体は端を下にして立てておき、下端は貯蔵容器の中の水と接触してはならない。容器は密封し、12日間湿気箱または湿気室の中で $37.8 \pm 1.7^\circ\text{C}$  ( $100 \pm 3^\circ\text{F}$ ) の温度に保つ。供試体が材令14日に達したならば、容器と内容を貯蔵室または箱からとり出し、少なくとも16時間 $23 \pm 1.7^\circ\text{C}$  ( $73.4 \pm 3^\circ\text{F}$ ) に保ったのち、容器を開いて14日測定を行う。それ以後の測定は要求された材令について行う。

備考6. 追加測定値は14日測定を行った後、供試体を $37.8^\circ\text{C}$  ( $100^\circ\text{F}$ ) 貯蔵にもどし、それ以後の測定を行う。測定は1, 2, 3, 4, 6, 9 および12ヶ月、さらに必要なときは、その後少なくとも6ヶ月ごとに行う。

備考7. 各々の長さの測定の後に供試体の状態についての補足の資料を得るため8節で述べた方法で供試体を調査する。

6.2.1 最初の $24 \pm 2$ 時間の長さの測定の後に所定の容器に入れるすべての供試体は、すべて同時に測定がくるように同じ日につくり、同時に容器に入れなければならない。長さの測定を行ったたびごとに容器を清掃し、水を替える。

6.2.2 供試体は常に同じ端を上にしてコンパレータースにとりつけなければならない。そして測定後は供試体は前の期間とは上下逆の位置にして容器の中に置き直す。

## 7. 計算

7.1 供試体の最初の長さとの測定と各材令における時期における長さとの差は、有効標点距離の0.001%まで計算し、この期間における供試体の膨張として記録する。ある与えられたセメント骨材組合わせについて、4個の供試体の平均膨張を0.01%まで求め、これをその組合

わせの供試体の与えられた期間における膨張として報告する。

## 8. 試験終了時の検査

8.1 最後の長さ変化測定を終った後、供試体についてそれを調べ検査を行う。

8.1.1 そり 試験期間中に供試体に生じたそりは、供試体を平面の上におき、供試体と平面との間の最大の隔りを測って調べる。供試体の両端の曲線を平面に接触させ、測定は0.3 mm (0.01 in) まで行う。

8.1.2 検査 検査すべき項目は次のとおりである。

8.1.2.1 亀裂の存在、位置および形態の型式。

8.1.2.2 表面および表面の斑点の外観。

8.1.2.3 表面沈降物および浸出物の性状、厚さおよび連続性。

8.1.2.4 もしその他の重要な事項が発現されると思われる場合には、供試体の内部についてさらに検査する。これは岩石学者の助力を得るがよい。この場合、ゲルの充満した気孔および割れ目があれば、特定の種類の骨材粒子の反応性の確認と、その確認の程度、ならびに反応生成物の性状は、記録にとどめておくべき項目である。

## 9. 報告

9.1 報告には次の項目を記載する。

9.1.1 骨材の種別および産源。

9.1.2 ポルトランドセメントの種類および工場。

9.1.3 セメントのアルカリ含有量、酸化カリウム( $K_2O$ )、酸化ナトリウム( $Na_2O$ )および酸化ナトリウム( $Na_2O$ ) 計算等量による数値。

9.1.4 供試体の平均長さ変化百分率、各読みについて。

9.1.5 骨材の製作について4.2の指示と異なる点があればその関連事項、たとえば骨材粒度など。

9.1.6 試験中および試験後に供試体検査によって発見した重要な事項。

9.1.7 セメント重量に対する混合水量百分率。

9.1.8 試験にボゾランを用いた場合には、その種類、産源、配合、化学分析( $Na_2O$  および  $K_2O$  など)。

## 10. 再現性

10.1 モルタルの同一バッチから成形した全部の供試体について求めた膨張平均値から、各個の供試体の膨張が0.003%より多く異なっていないならば再現性は満足であると考えてよい。ただし平均膨張が0.020%を超過する場合には、モルタルのそのバッチから成形した各個の供試体の膨張が、平均値の15%より多く平均値から異なっていないならば、再現性は満足であると考えてよい。

## 11. 結果の解釈

11.1 この方法によって得られた結果と、使用されているコンクリートのセメント骨材組合わせにおける動作に関する資料、骨材の岩石学的試験の結果および化学的方法による骨材の潜在反応性試験の結果は、骨材の潜在反応性試験方法(化学方法)(ASTM C 289) 17節に公表されており、コンクリートにおけるセメント骨材組合わせの使用に際し、この方法を用いて得た試験結果を利用する場合の結論や推奨に対しての根拠として利用されるべきである。

11.2 この方法を用いて得られた結果は、一つのセメント骨材組合わせが、コンクリートの有害な膨張を伴うアルカリ反応の潜在的可能性に関する指示を与えるであろう。この試験方法の結果からセメント骨材組合わせにおける潜在性有害アルカリ-シリカ反応を判定するための基準に関しては、コンクリート骨材規格 (ASTM C 33) の付録 A 1.1.3 に与えられている。その要点はつぎのようである。この方法によって試験したとき、セメント骨材組合わせが6ヶ月において0.10%より大きい膨張を示した場合には、通常、有害な反応を起こす可能性があるものと考えなければならない。もし6ヶ月試験が入手できない場合には、3ヶ月において0.05%より大きい膨張を示したならば、有害なアルカリ反応の潜在可能性を有するものと考えなければならない。

11.3 潜在的に有害な反応性シリカ質岩石が比較的多量に存在し、かつ高アルカリセメントを使用した場合にも、ほとんど膨張を示さない場合がある。これはおそらくそのアルカリシリカ反応物質が、アルカリ対シリカ比が低いため、水を吸収して膨張することを減少するためであろうと思われる。アルカリ炭酸塩反応の影響で有害な影響を及ぼす白雲石質骨材をコンクリートの粗骨材として使用した場合、この試験方法では著しい膨張を生じないかもしれない。また、まれにはアルカリ骨材反応以外の原因によって著しい膨張を試験において示すことがある。これは骨材内にある硫酸塩のためであって、セメントペーストに硫酸塩作用を及ぼし、また硫化鉄（黄鉄鉱、白鉄鉱またはパイロタイト）が硫酸塩を遊離して酸化し水酸化するため、あるいはセメントや骨材内にある遊離石灰（CaO）または遊離マグネシア（MgO）が累進的に水酸化し炭酸化するためである。

11.4 この方法を用いて試験した結果、6ヶ月において0.10%より大きい（あるいは3ヶ月において0.05%より大きい）膨張を示した場合には、その膨張が実際にアルカリ反応によるものであることを確かめるための補足的資料を検討することを強く推奨する。この種の補足的資料として (1)その骨材の岩石学的試験を行って既知の反応性成分が存在するかどうかを確かめる (2)8に指示した試験終了後の供試体を検査してアルカリ反応生成物を確認する (3)その骨材について化学的方法によって潜在的反応性を試験する (ASTM C 289)。

11.5 この方法を用いた試験の結果および補足的資料によって、与えられたセメント骨材組合わせが潜在的に有害な反応性であることが断定された場合には、追加的研究を行って、同じセメントと他の骨材、同じ骨材と他のセメント、同じセメント骨材組合わせに鉱物質添加剤を加えたものの各種の組合わせについて、潜在的反応性に関する資料を求めることが適切であろう。

### Ⅲ-2. 骨材の潜在反応性試験方法（化学法） ASTM C 289-71

#### Potential Reactivity of Aggregate (Chemical Method)

##### 1. 適用範囲

1.1 この方法は、骨材がポルトランドセメントコンクリート中のアルカリと潜在的に有する反応性を化学的に決定する方法であって、反応の量は24時間、80°Cにおいて、1N水酸化ナトリウム溶液と、Na 50 (0.3mm) ふるい通過、Na 100 (0.15mm) ふるい残留の程度に破碎し、ふるい分けた骨材との反応によって示される。

##### 2. 試験用器具

- 2.1 はかり 材料を秤量するために用いるはかりと分銅は、ASTM C109, “水硬セメントモルタルの圧縮強度試験方法”の2.1および2.2（一辺2 in (50mm) の立方供試体を用いる）に規定された要求に合致しなければならない。
- 2.2 天秤 重量法によって溶解シリカを決定するのに用いられる分析天秤と分銅は、ASTM C114, “ポルトランドセメントの化学分析方法”の4.1および4.2に規定された要求に合致しなければならない。
- 2.3 破碎および粉碎装置 小型のジョー破碎機と円盤粉碎機, その他大体4 kgのNa 50ふるいを通過する骨材の破碎および粉碎が可能な装置。
- 2.4 ふるい Na 50 (300  $\mu$ m) およびNa 100 (150  $\mu$ m) の角孔網ふるいで, ASTM E11, “試験用ふるい規格”に合致するもの。
- 2.5 反応容器 容量50~75 ml, ステンレス鋼その他の耐食材料でつくられ, 気密なふたのある反応容器。適当と認められた容器を, 図-Ⅲ・1に示す。ポリエチレンのような不活性材料によって作られたような容器も適当である。このような容器選択の適切さは, 問題となっている容器内で, ブランクとしてのみ用いた水酸化ナトリウムのアルカリ濃度の変化 (Rc, 15節) が10 ミリモル/l未満であることによって, 確認できる。

2.6 恒温浴槽 80  $\pm$  1°Cの温度を24時間保つことのできる液体浴槽。

2.7 分光光度計あるいは光度計 一定波長約410nmの光の伝播を測定できる分光光度計あるいは光電光度計。

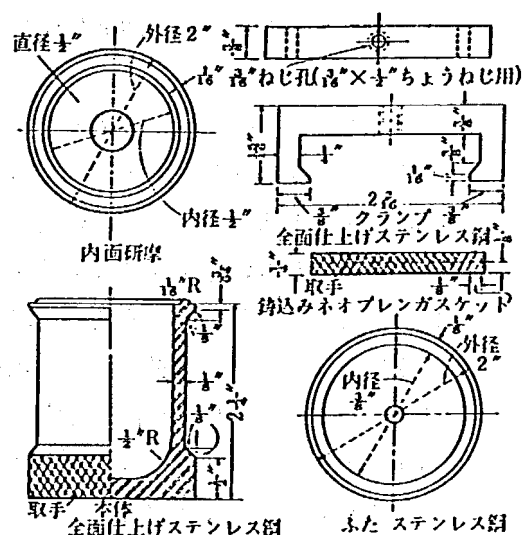
### 3. 試薬

3.1 試薬の純度 試薬の品質は, 全ての試験で用いられる化学薬品級とする。別に指示されないかぎり, すべての試薬は, できるならば, 米国化学協会の分析試薬委員会の規格に合致するものとする。もし試薬が測定の精度を減ずることなくして用いられる十分高純度のものであることがまず確かめられるならば, ほかの品質のものが用いられてもかまわない。

3.2 水の純度 別に指示されないかぎり, 水に関しては蒸留水または同程度の純度のものを意味すると解される。

#### 3.3 モリブデン酸アンモニウム溶液

モリブデン酸アンモニウム $((\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O})$  10 g を水 100 ml に溶解したものを、もし溶液が清澄でないときは細組織のろ紙でこす。この溶液はポリエチレン製容器に貯蔵する (備考1)。



| in   | mm  | in    | mm   |
|------|-----|-------|------|
| 3/64 | 1.2 | 1/2   | 12.7 |
| 1/16 | 1.6 | 15/16 | 23.8 |
| 1/8  | 3.2 | 1 1/2 | 38.1 |
| 3/16 | 4.8 | 2     | 50.8 |
| 1/4  | 6.4 | 2 1/4 | 57.2 |
| 3/8  | 9.5 | 2 3/4 | 65.1 |

図-Ⅲ・1 反応容器

備考 1. 容器は、試薬が容器に用いた材料および顔料その他の付加剤と反応して変質しないもの、または容器の壁を通して相の発散によって変質しないものを選ばなければならない。

容器は周壁厚 0.02in (0.51mm) 以上で ASTM D 1248, “ポリエチレン型と押出し材料の規格” のⅢ型 A 級材料の要求に合致した高密度のポリエチレンでつくったものが適当である。

3.4 塩酸(比重 1.19) 濃塩酸 (HCl)。溶液は耐化学性ガラスまたは適当なプラスチック容器に貯蔵する(備考 1)。

3.5 標準塩酸 (0.05 N) 約 0.05 N HCl をつくり、 $\pm 0.0001$ N まで検定する。溶液は耐化学性ガラスまたは適当なプラスチック容器に貯蔵する(備考 1)。

3.6 塩酸 (1 + 1) 濃 HCl (比重 1.19) と等容積の水とを混合する。溶液は耐化学性ガラスまたは適当なプラスチック容器に貯蔵する(備考 1)。

3.7 フッ化水素(濃度約 50%の HF) 濃フッ化水素。ポリエチレン製ビンに貯蔵する。

3.8 シュウ酸溶液 無水シュウ酸 10 g を水 100 ml に溶解したもの。溶液は耐化学性ガラスまたは適当なプラスチック容器に貯蔵する(備考 1)。

3.9 フェノールフタレイン指示薬溶液 フェノールフタレイン 1 g をエタノール (1 + 1) 100 ml 中に溶かしたもの。溶液は耐化学性ガラスまたは適当なプラスチック容器に貯蔵する(備考 1)。

3.10 シリカ標準溶液 ケイ酸ナトリウムを水中に溶かして 1 l につきメタシリカ ( $\text{SiO}_2$ ) 約 10 ミリモルの標準シリカ溶液をつくる。この溶液をポリエチレン製ビンに貯蔵する。7.1~7.5 に記述する方法によって、この溶液 100 ml を用いてその  $\text{SiO}_2$  含有量を検定する。1 年以上を経過した古い標準シリカ溶液を用いてはならない。このような溶液中では溶解してイオン化したシリカが徐々に集合して誤った低度の光度計読みを生ずる。

3.11 水酸化ナトリウム標準溶液 ( $1.000 \pm 0.010$  N) 水酸化ナトリウム  $1.000 \pm 0.010$  N 溶液をつくり、 $\pm 0.001$  N まで標準化試験をする。

3.11.1 溶液はポリエチレン製ビンに貯蔵する(備考 1)。乾燥試薬と溶液は  $\text{CO}_2$  によって汚染されないように保護する。

3.12 硫酸(比重 1.84) 濃硫酸 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 溶液は耐化学性ガラス容器に貯蔵する。

#### 4. ガラス器具

4.1 ガラス器具や容器はすべて各操作に対する特別の要求を満たすよう注意深く選ばねばならない。標準容積測定フラスコ、ビュレットおよびピペットは精密等級のものでなければならない。

#### 5. 試料の選択と作製

5.1 この試験は細骨材または粗骨材に用いられ、細粗骨材が同じ材料でできているときは、全骨材に対して用いる。

5.2 試料は骨材の代表的な部分から採り、つぎの方法により No. 50 ( $300\mu\text{m}$ ) ふるいを通過するよう破碎する(備考 2)。粗骨材は小形ジョー破碎機によって No. 4 ふるい ( $4.75\text{mm}$ ) を通過するよう破碎する。破碎粗骨材および同様にして砂も No. 50~No. 100 の粒子をうるようにふるう。No. 100 ( $150\mu\text{m}$ ) ふるいを通過する材料を捨てる。円盤型粉碎機を繰返して通し、

そのたびごとにふるってNo 50 ふるいにとどまる材料を減少させる。最初通すときは板の間隔は約 $\frac{1}{8}$  in (3 mm) とし、しだいに小さくして最後に全材料をNo 50 ふるいに通過させる。No 100 ふるいを通過する微粉分の割合をできるだけ少なくするために、あらゆる努力がなされなければならない。

備考 2. 粗骨材は大きさの各部分について、別々に 5.2 に従って処理され、また各部分から得られたNo 50 (300  $\mu$ m) ~ No 100 (150  $\mu$ m) の材料は、それらがコンクリートに用いられる割合で再混合されることが勧められる。できるならばどこでも、5.2 に従って処理するに先だち、砂をふるい分け、その大きさの各部分についてコンクリートに用いられる割合で再混合することが勧められる。

5.3 No 100 (150  $\mu$ m) ふるいより細かい材料がすべて除去されることを確かめるために、試料をNo 100 ふるいの上で洗う。8 in (203 mm) ふるいの上で一度に 100 g 以上洗ってはならない。洗った試料を  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  で  $20 \pm 4$  時間乾かす。試料を冷やし、ふたたびNo 100 ふるい上でふるう。もし試料がシルト質または粘土質被覆で粒子が覆われているならば、洗浄乾燥の操作を反復し、前と同様No 100 ふるい上でふるう。No 100 ふるい上にとどまった分を試料に取っておく。

## 6. 反応の方法

6.1 5.により準備された乾いたNo 50 (300  $\mu$ m) ~ No 100 (150  $\mu$ m) の試料のうち、代表的な部分  $25.00 \pm 0.05$  g を採って重量を測る。一部分を三つの反応容器の各々に入れ、ピペットまたはビュレットを用いて 1.000 N の NaOH 溶液 25 ml を加える。第 4 番目の反応容器にはブランクとして役立つよう、ピペットまたはビュレットを用いて、同じ NaOH 溶液 25 ml を加える。四つの容器に封をし、気泡を分離させるために静かにゆする。

6.2 容器に封をしたら直ちに  $80 \pm 1.0^\circ\text{C}$  に保たれた液体浴槽に入れる。  $24 \pm \frac{1}{4}$  時間後に容器を浴槽から取り出し、水道水流に  $15 \pm 2$  分あてて  $30^\circ\text{C}$  以下の温度を保つように冷やす。

6.3 容器が冷やされたら直ちにこれを開き、骨材残滓からの溶液をろ過する。グーチルツボの底に合うように切った分析級のろ紙の円盤を磁器製のルツボの中に入れ、ルツボを漏斗中のゴムのルツボホルダーにのせる。容量 35~50 ml の乾いた試験管をろ過液を集めるためろ過フラスコの中におき、漏斗はろ過フラスコの首のところにに入れる。吸入管を働かす真空路を開いて、少量の溶液をルツボ内に適当におさまるようにろ紙上に静かに注ぐ。容器の内容を動かすことなく残りの上澄液をルツボに静かに注ぐ。液体を注ぎ終わったら真空をやめて容器中に残っている固形物をルツボに移し、ステンレス鋼のヘラによって填充する。それから真空を適用し、15 in Hg (51 kPa) に調整する。さらにろ過を続け、だいたい 10 秒 1 滴の割合でしかろ過液を生じなくなるまで行う。ろ過液はつぎの試験のために取っておく。真空が適用された時間の総計をろ過時間として記録する。ろ過装置の組み立てと固形物をルツボに填充する方法を均一にすることによって一組の試料がすべて同じろ過時間に達するようあらゆる努力が払われなければならない。

6.4 ブランクは 6.3 に記されている方法によりろ過する。3 個の試料の平均ろ過時間に等しい時間だけ真空を適用する。

6.5 ろ過が終わったら直ちにろ過液を攪拌して等質性を確実にし、その後ピペットでろ過液を 10

m/ だけ取り、容積測定フラスコ内で 200 m/ まで水で薄める。この希釈溶液を溶解二酸化けい素とアルカリ濃度の減少を決定するために取っておく。

備考 3. もし希釈溶液が口過完了後 4 時間以内に分析されないならば、この溶液を清浄な乾燥したポリエチレン容器に移し、容器は栓または気密なフタをして密閉しておく。

## 溶解シリカの重量法試験

### 7. 試験方法

7.1 希釈溶液 (6.5) 100m/ を、蒸発を促進するためになるべく白金製の蒸発皿に移し HCl (比重 1.19) 5~10m/ を加え、蒸気浴槽上で乾燥するまで蒸発させる。残滓はそれ以上熱することなく 5~10ml の HCl (比重 1.19) で処理し、それから等量の水を加えるか、あるいは直ちに 10~20ml の HCl (1+1) を残滓に注ぐ。皿にフタをし、水蒸気浴槽または熱板上で 10 分間浸漬する。溶液を等量の湯で薄め、直ちに定量級の口紙で口過し、遊離した  $\text{SiO}_2$  を熱湯で完全に洗い (備考 4)、残滓は取っておく。

備考 4.  $\text{SiO}_2$  沈澱物の洗浄は、始め熱した HCl (1+99) を用い、後で熱湯で洗浄すれば一層効果的に行われる。

7.2 ふたたび口過液を乾くまで蒸発させ、残滓は炉の中で 105~110℃ で 1 時間焼く。残滓を 10~15ml の HCl (1+1) とともに取り、浴槽または熱板上で熱する。等量の熱湯で溶液を薄め、その中の  $\text{SiO}_2$  の少量を別の口紙で取って洗う。この 2 度目の蒸発は 3.10 における標準メタけい酸ナトリウム溶液の濃度を測定する場合にのみ必要である。他の試験溶液なら、その必要はない。

7.3 残滓 (7.2 および 7.3) を包んでいる紙を白金ルツボに移す (備考 5)。その紙を乾かし点火し、最初は低温で口紙のカーボンが焰を発しないで完全に消失するまで、そして最後には重量が一定になるまで 1100~1200℃ で熱する。

備考 5. もし試験者自身の報告のために  $\text{SiO}_2$  残滓中の不純物の量を知りたいときは、空のルツボの重量を測ればよい。

7.4 このようにして得られた  $\text{SiO}_2$  は少量の不純物を含んでいると思われ、これをルツボ内で 2~3 滴の水、約 10ml の HF、および 1 滴の  $\text{H}_2\text{SO}_4$  で処理し、注意して水蒸気浴槽で乾くまで蒸発させる。最後に小さい残滓を 1050~1100℃ で 1~2 分間熱し、冷却してから重量を測定する。この重量と前に得られた重量との差が  $\text{SiO}_2$  の量を表わす。

### 8. 計算

8.1 骨材材料から口過された NaOH 溶液の  $\text{SiO}_2$  濃度はつぎのように計算する (備考 6)。

$$Sc = 3330 \times W$$

ここに  $Sc$ : 原口過液中の  $\text{SiO}_2$  濃度 (ミリモル/l)

$W$ : 100 m/ の希釈溶液に見出された  $\text{SiO}_2$  (g)

### 光度測定法による溶解シリカ

#### 9. 適用

9.1 この方法は、過量の色調妨害物 (タンニン等) を含む以外のあらゆる水溶液中の結晶質 (非膠質) シリカの判定に適用されるが、全シリカ量は判定できない。その方法は実用的に 10 ppm 以下の結晶シリカの急速な管理分析に適用される。

## 10. 方法の概要

10.1 結晶質（非膠質）のシリカは酸溶液中でモリブデン酸イオンと反応し（最適 pH 1.2~1.5）、黄緑色のモリブデン酸シリカの有色錯塩を形成する。この色の輝度は溶液のシリカ濃度にだいたい比例するが、完全には Beer の法則に従わない。

## 11. 検定曲線の作製

11.1 ケイ酸ナトリウムの貯蔵溶液（3.10）の一部を薄めることにより 0.0~0.5 ミリモル/l に変化する既知濃度の 1 組のシリカ溶液を準備する。ケイ酸ナトリウム溶液の一部を約半分水の入った 100 ml 容積測定用フラスコに移す。

11.2 モリブデン酸アンモニウム溶液 2 ml と HCl (1+1) 1 ml を加え、フラスコを廻して攪拌する。溶液を室温で 15 分間放置しておく。シュウ酸溶液  $1.5 \pm 0.2$  ml を加え、フラスコをマークまで水で満たし、完全に混ぜる。溶液を  $5 \pm 0.1$  分間放置しておく。この液と比較して、410 nm の光度計で種々の溶液の透過度を読む。

11.3 各溶液中のシリカの既知濃度に対する透過度あるいは吸光度の読みの百分率をプロットして検定曲線を作製する。

## 12. 溶解シリカの判定

12.1 10 ml の希釈溶液（6.5）を 100 ml 容積測定用フラスコに移し、11.2 および 11.3 に示されたように試験を進める。先に作製したところの波長の光の伝播とシリカ濃度との関係を示す検定曲線によって直接に溶液中のシリカ濃度を読む。もし透過度が 30% 以下または 50% 以上ならば、より小さいまたはより大きい部分の希釈溶液が用いられるべきである。

## 13. 計算

13.1 骨材材料から口過された NaOH 溶液の  $\text{SiO}_2$  濃度をつぎのように計算する。

$$Sc = 20 \times \frac{100}{V} \times C$$

ここに  $Sc$  : 原口過液中の  $\text{SiO}_2$  濃度 (ミリモル/l)

$C$  : 光度計で測られた溶液中のシリカ濃度 (ミリモル/l)

$V$  : 6.5 から用いられた希釈溶液の容積 (ml)

## アルカリ濃度の減少試験

### 14. 方法

14.1 20 ml の希釈溶液（6.5）をピペットで 125 ml アーレンマイアーフラスコに移し、2, 3 滴のフェノールフタレイン溶液を加え、0.05 N の HCl でフェノールフタレインの限界点まで滴定する（備考 6）。

### 15. 計算

15.1 アルカリ濃度の減少をつぎのように計算する（備考 6）。

$$Rc = \frac{20N}{V_1} (V_3 - V_2) \times 1000$$

ここに  $Rc$  : アルカリ濃度の減少 (ミリモル/l)

$N$  : 滴定に用いられた HCl の規定度

$V_1$  : 6.5 から用いられた希釈溶液の量 (ml)

$V_2$  : 試料のフェノールフタレイン限界点までに用いられた HCl の量 (ml)

$V_3$  : ブランクのフェノールフタレイン限界点までに用いられた HCl の量 (ml)

備考 6. 上述の試験方法および計算は骨材の潜在反応性を示す  $R_c$  ならびに  $S_c$  を求めるために用いられる。さらにメチルオレンジ限界点まで滴定を続けると追加的指示が得られる。フェノールフタレイン限界点に達したのち、メチルオレンジ(メチルオレンジ 0.1g を水 100ml に溶かす) 2, 3 滴を加え、メチルオレンジ限界点まで測定する。 $P$  をフェノールフタレイン限界点をうるに用いられた HCl の量 (ml) とし、 $T$  をメチルオレンジ限界点をうるに用いられた酸の全量 (ml) とする。次式の  $V_2$  および  $V_3$  を挿入して二つの限界点に対する  $R_c$  の値が計算される。

$$V_2, V_3 = 2P - T$$

## 16. 再現性

16.1 試験の結果は  $R_c$  (および  $S_c$ ) の三つの値のいずれも、その三つの平均値との差がつぎの値より大きくなければ満足であると考える。

(a) 平均値が 100 ミリモル以下のとき、1 / 当り 12 ミリモル。

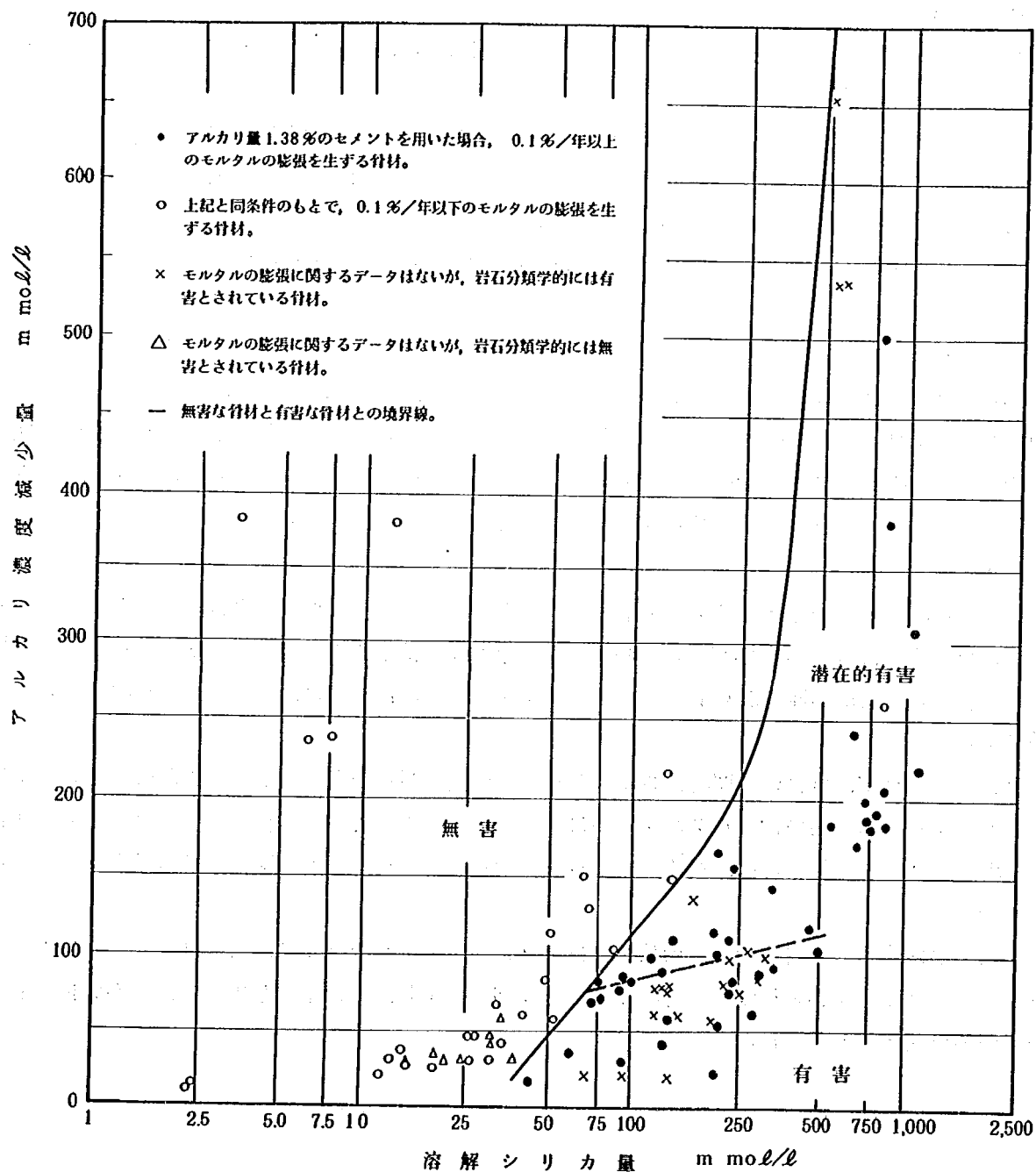
(b) 平均値が 1 / 当り 100 ミリモル以上のとき、12 %。

## 17. 結果の解釈

17.1 この方法によって得られた結果と、構造物における骨材の動作、高アルカリセメントを含有するモルタル供試体の膨張、あるいは、岩石学的試験との間の関係資料はすでに公表されており<sup>11)~17)</sup>、これらの資料に基づいて図一Ⅲ・2 に示す実線がすでに公表されている。もし 3 個の  $R_c$ ,  $S_c$  の試料点のうちどれかが図一Ⅲ・2 の実線の右側有害側に落ちると、潜在的にアルカリ反応性が有害であることを示している。しかし潜在的に有害な骨材であって、図一Ⅲ・2 における破線の上部に点が落ちるものは、極端なアルカリ反応を示すにかかわらず比較的低い膨張を示すことがありうることを示す。このような骨材は現地の記録あるいは ASTM C 227, “セメント骨材の潜在アルカリ反応試験方法 (モルタルバー方法)” に従って試験骨材と本質的に不活性である骨材、たとえば適当な粒度をもつ石英、またはチャートを含まない石灰岩との数種の混合物を用いた C 227 による補足試験によって、その骨材の無害性が立証されるのでなければ、その骨材は潜在的有害の程度を示すものと考えなければならない。この混合物における試験骨材と本質的に不活性である骨材との割合は、およそ 5 : 95 から 50 : 50 までの間の重量比にわたらなければならない。

17.2 試験の結果は、炭酸カルシウム、マグネシウムまたは第 1 鉄を含む骨材、たとえば方解石、ドロマイト、マグネサイトまたは菱鉄鉱あるいは蛇紋岩のようなマグネシウムの珪酸塩を含む骨材については正しくない。炭酸カルシウムによって招来される誤差は、 $S_c$  および  $R_c$  の値が潜在反応性が限界的であることを示すのでなければ有意義ではない。ASTM C 295, “コンクリート骨材の岩石学的試験の推奨方法” による骨材の試験はこの型の鉱物の存在を決めるために用いることができる。これらの可能性のある影響を正しく判断するためには C 227 の方法によって試験することが推奨される。

17.3 この試験方法に基づく解釈は推奨方法 C 295 ならびにその骨材の使用記録とあわせ考慮することが推奨される。



図一Ⅲ・2 アルカリ度低減試験をもとにした骨材の有害度の判定区分

#### Ⅳ. コンクリート用骨材中の有害鉱物の調査手続

わが国では、骨材中に存在してコンクリートに弊害をもたらすおそれのある鉱物として、モンモリロナイトとローモンタイトがしばしば認められ、ほかに玉髄質石英、玻璃、クリストバライトなどのシリカ鉱物が検出されている。

これらの有害鉱物を含む骨材の反応性は、これらの鉱物の存在量あるいは存在状態によって変化し、同じ有害鉱物を含む骨材でもコンクリートに及ぼす影響の程度が異なる。化学的に不安定な物質を含む岩石のコンクリート用骨材としての適否を、従来行われてきた比重・吸水率試験、硫酸ナトリウムによる安定性試験、すりへり試験の結果のみによって判断することは危険であり、この種の岩石については、その化学的性質をも十分に把握しておく必要がある。

ここに、本試験で行った各種の試験方法を用いて行う有害鉱物の調査手続として、図-Ⅳ・1に示す方法を提案する。

図-Ⅳ・1に示すすべての試験を採石候補地の地質調査の段階から行って、コンクリート用骨材の適否を総合的に判断することが一番確実で望ましいといえる。しかし、どの場合でも比重・吸水率試験、硫酸ナトリウムによる安定性などの一般物理試験はもちろんのこと、少なくともX線回折試験および顕微鏡観察による骨材の構成鉱物の観察は、是非行う必要がある。特に、X線回折試験は、玻璃以外の鉱物の検出には極めて有効である。また、専門家による岩石の目視観察も鉱物判定の有効な方法である。

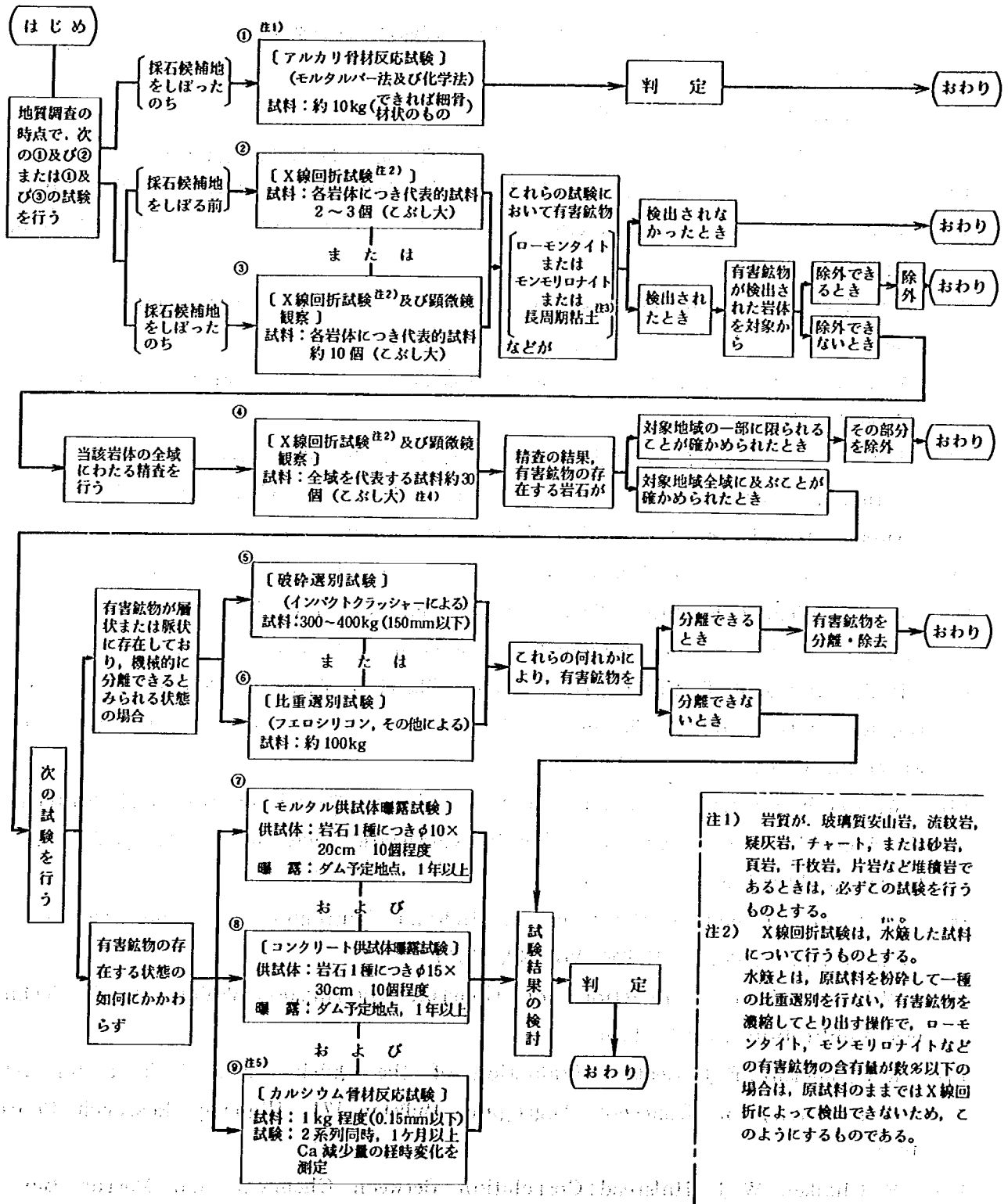
シリカ鉱物によるアルカリ骨材反応が予想されるときには、モルタルバー法および化学法によるアルカリ骨材反応試験を行う必要がある。特に、化学法による溶解シリカ量が、シリカ鉱物を含む骨材のアルカリに対する反応性をよく示す。ローモンタイトを含む骨材では、カルシウム骨材反応試験が有効である。

このような試験で、骨材の物理的性質および化学的性質が明らかとなるが、できれば、これらに加えて対象とする骨材を用いたモルタルあるいはコンクリートの屋外曝露試験と、コンクリートの凍結融解作用が考えられる場合には、対象とする骨材を用いたコンクリートの凍結融解試験を行うことが望ましい。

有害鉱物が検出された岩石でも、層状または脈状に有害鉱物が存在する場合には、インパクトクラッシャーなどによってある程度まで分離することが可能であり、このような場合には、必要に応じて破碎選別の検討も行うことになる。

図-IV・1 コンクリート用骨材中の有害鉱物の調査手続

図・IV-1 コンクリート用骨材中の有害鉱物の調査手続



注1) 岩質が、玻璃質安山岩、流紋岩、凝灰岩、チャート、または砂岩、頁岩、千枚岩、片岩など堆積岩であるときは、必ずこの試験を行うものとする。

注2) X線回折試験は、水簾した試料について行うものとする。水簾とは、原試料を粉砕して一種の比重選別を行ない、有害鉱物を濃縮してとり出す操作で、ローモンタイト、モンモリロナイトなどの有害鉱物の含有量が数%以下の場合、原試料のままではX線回折によって検出できないため、このようにするものである。

注3) モンモリロナイトと緑泥石、またはモンモリロナイトと雲母とが互層状に結合したような構造をもつ鉱物。

注4) 深層部の試料は、ボーリングコアがあるときはそれを利用するとよい。深さ方向に試料採取が困難なときは、地表部の試料のみでもよい。

注5) 試料をCa(OH)<sub>2</sub>飽和溶液に浸漬し、Ca減少量を定量するものであるが、確立された試験方法ではない。

## V. 参考文献

- 1) 藤井光蔵：アルカリ骨材反応とコンクリートの過度膨張，コンクリートパンフレット第3号，セメント協会，1952
- 2) 例えば，深沢 力：X線回折分析，ぶんせき，1976 - 4
- 3) 例えば，坪井誠太郎：偏光顕微鏡 — 透明固態物質の光学的鏡検法，岩波書店
- 4) W. C. Hansen : Chemical Reactions, ASTM Special Technical Publication No 169-A, 1966
- 5) ASTM C 294-69 : Standard Descriptive Nomenclature of Constituents of Natural Mineral Aggregates, 1975
- 6) B. S. Gogte : An Evaluation of Some Common Indian Rocks with Special Reference to Alkali-Aggregate Reactions, Engineering Geology, 1793 - 7
- 7) A. N. Winchell, H. Winchell : Elements of Optical Mineralogy, Part II • Descriptions of Minerals, 1927
- 8) 大野正己：セメント混合材に関する研究（第1報），工業化学雑誌，1936 - 10
- 9) A. Iijima, M. Utada : Zeolites in Sedimentary Rocks, with Reference to the Depositional Environments and Zonal Distribution, Sedimentology, 1964 - 7
- 10) 日本材料学会編：工業材料規格便覧（セメントコンクリート），朝倉書店，1977
- 11) R. C. Mielenz, L. P. Witte : Tests Used by the Bureau of Reclamation for Identifying Reactive Concrete Aggregates, Proceedings, ASTM, Vol. 48, 1948
- 12) R. C. Mielenz, K. T. Greene, E. J. Benton : Chemical Test for Reactivity of Aggregates with Cement Alkalies — Chemical Processes in Cement-Aggregate Reaction, Proceedings, ACI, Vol. 44, 1948
- 13) W. Lerch : Studies of Some Methods of Avoiding Expansion and Pattern Cracking Associated with the Alkali-Aggregate Reaction, ASTM Special Technical Publication No 99, 1950
- 14) F. O. Slate : Chemical Reactions of Indiana Aggregates in Disintegration of Concrete, Proceedings, ASTM, Vol 49, 1949
- 15) W. Lerch : Chemical Reactions of Concrete Aggregates, ASTM Special Technical Publication No 169, 1956
- 16) R. C. Mielenz, E. J. Benton : Evaluation of the Quick Chemical Test for Alkali Reactivity of Concrete Aggregate, Bulletin 171, Highway Research Board, 1958
- 17) B. Chaiken, W. J. Halstead : Correlation Between Chemical and Mortar Bar Tests for Potential Alkali Reactivity of Concrete Aggregates, Public Roads, Vol. 30, 1959

骨材の化学的安定性に  
関する試験

I S S N 0386-5878  
土木研究所資料第1536号  
マイクロフィルム第 号  
昭和54年11月 (1979)  
太田実, 小野金造, 河田博之

キーワード: コンクリート, 骨材, 化学的安定性, アルカリ骨材反応

要旨

各地に産する骨材原石, 計29種を対象として, コンクリート用骨材中に含まれる化学的に不安定な鉱物の存在を明らかにするとともに, このような鉱物を含む骨材の反応性を定量的に把握するために, X線回折試験, 顕微鏡観察, アルカリ骨材反応試験, カルシウム骨材反応試験およびコンクリート供試体の曝露試験を行った。



郵便はがき

二十円  
をはって  
さい  
下手

3 0 5 - □ □

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地  
建設省土木研究所  
コンクリート研究室 御中

No. \_\_\_\_\_

No. \_\_\_\_\_

土研資料1536号

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第1536号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

11  
7