

大谷石の地質と採掘に関連する破壊状況

安 藤 武* 岡 重 文**

On the Geology of Oya Building Stone and Its Destruction
by Excavation

By

Takeshi ANDO & Shigefumi OKA

Abstract

For the purpose of preventing disaster caused by the excavation of building stone, many fundamental investigations were carried out. Based upon these investigations, the writers have reached the conclusions as follows.

1) The Oya stones have been excavated as building stones since olden times and as a result many enlarged caves have remained underground. They are in danger conditions as causes of depressions and rock-falls.

2) Oya stones are divided into three strata, hard coarse (Kōshitsu-aramé), soft coarse (Nanshitsu-aramé) and fine textures (Saime), in ascending order. Especially, in the portion of the fine texture stones, rock-falls and depressions were occurred remarkably.

3) There are many rock-falls caused by the local concentrated stress of fine texture rocks excavated at deep places.

4) Characteristic fracture systems are of NW and NE directions filled by fissure clay, that is, clinoptilolite. The distribution charts of the fracture systems in the fine texture rock are illustrated in Figs. 12-22.

要 旨

大谷石の地下採掘によつて発生する災害防止に必要な基礎的資料を得ることを目的とした。東京通産局で実施した測量調査によつて、測量不能の廃坑地区を除いて、地下採掘の実態が明らかにされた。これとともに、坑内図に基づいた地質調査によつて、大谷石の地質構造・岩質・断裂系・破壊状況などの特徴が明らかにされた。落盤・陥没などの現象発生を考察することは、構造地質学と構造物理学の境界領域に属する多くの問題を含んでおり、採掘と防災の関連についてはなお今後の検討が要望される。

1) 大谷石は第三紀中新世に生成された代表的な熔結凝灰岩であり、膠結組織・気泡組織の発達した無層理塊状の岩体をなす流紋岩質で、石材として採掘・利用され

る多くの特徴をもっている。

2) 大谷石は古くから採掘され、多数の巨大な空洞を地下に残しており、なお現在でも、機械化による採掘によつて、年産60万tにおよぶ状態である。このため、採掘地域は広がり、採掘位置は深くなり、災害の発生防止に関連した多くの問題が生じている。

3) 採掘される石材は、細目層・軟質荒目層および硬質荒目層に大別された。これらは通りと称するみその多い地層によつて区分されている。石材の採掘は地質構造による分布状態に支配され、坑内の破壊状況は岩質の違いによる特徴がめだつている。とくに細目地区では破壊現象が著しい。

4) 大谷石の断裂系は特徴的な分布と性質を有している。

(1) 成因的には、熔結凝灰岩の続成期における大きな節理系と解され、断裂系の大部分は張力性の割目として

* 応用地質部

** 技術部

発達しており、せん断性の割目はきわめて少ない。

(2) NW—SE系とNE—SW系の2大断裂系を分布しているが、NW—SE系の断裂が優勢である。この2大断裂系は各事業場で交差する例は割合に少ない。とくに細目地区ではNW—SE系の断裂が平行的に多く発達する。

(3) 坂本地区では、細目層と荒目層の境に層理方向の横向きの大い断裂を分布する。これは分布と性質からみて注意すべき割目である。

(4) 特殊なものを除いた大部分の断裂系は、幅数mmないし数cmの割目粘土を挟み、この外側に幅数cmないし数mの変質岩を伴っている。かつ70~90°の立つた長い断裂として存在する。

(5) 断裂系の割目粘土は、ほとんど沸石の1種であるclinoptiloliteのみからなる。変質岩はclinoptiloliteを含む火山ガラス質からなる。

5) 坂本・瓦作・立岩地区の深い位置で採掘される細目では、局所集中応力によるいろいろの落盤現象が発生している。これらの多くは山はねのような状態で発生し

ているのが注目される。これらの事業場では坑内のモメと落盤に注意すべきである。

6) 坂本・瓦作・立岩地区の細目層が割合に浅く分布し、これがほとんど採掘された地帯では、この下位にある荒目が採掘されようとしている。細目層の下位にある荒目を採掘し下段として採掘を広げることは大きな陥没の恐れを伴うようである。この点については十分に検討すべきである。

1. ま え が き

大谷石は地下で採掘され、これまでの採掘によって生じた大きな空洞が到る処に残存し、なお機械化による採掘が進展しつつある。

これがため、たえず陥没や落盤の危険におかれている。大谷石の採石は中小事業場の集合であり、地下採掘の実態はほとんど明らかにされていなかった。

大谷地域では、陥没・落盤・崩壊などによる災害を度々起こしていたが、昭和37年7月に、立岩地区で約3,300m²の陥没が発生し、これによる災害が問題として取り



第1図 大谷石の採掘地域

上げられるに至った。この結果として、大谷石採掘の公災害を防止することが促進され、東京通産局・労働基準局・宇都宮市・栃木県などの関係機関によつて対策が協議された。宇都宮市に「大谷石採掘公害防止対策協議会」が、採石業者によつて「大谷石材公災害対策協議会」が組織設置された。さらにこれらを総合して「大谷採石地域公害対策要綱案」が東京通産局でとりまとめられ、38年1月23日付でその実施が関係方面に通知された。同対策要綱は、関係機関の連けいによつて、地質測量調査の実施・施業基準の作成・危険地域の設定・採石業者に対する施業勧告など災害防止の措置を実施しようとしたものである。

まず、地質測量調査を実施して坑内採石の実態を明らかにすることが急務とされた。これがため、「大谷採石地域地質測量調査計画」が立案された。これに基づいて、38・39および40年度の3カ年計画で実施された。測量調査は東京通産局で実施し、地質調査は工業技術院地質調査所で担当することになった。ここに地質調査の結果をとりまとめて要旨を報告する。この調査報告には、東京通産局による坑内測量図を使用している。調査に際しては、東京通産局鉱政課・宇都宮市対策協議会・大谷石石材組合および採石事業の関係各位から便宜と協力をいただいたことを深謝する。

2. 大谷石のあらまし

2.1 大谷石の沿革

大谷石が石材として利用されたものとも古い記録は、いまから1,150年前であることが最近明らかにされた。また約900年前に、最初の宇都宮城を築造したときに大谷石が使用されたと伝えられている。その後西暦1,620年(約340年前)に宇都宮城の改築が行なわれたときに、大谷石が採掘され、掘りの土止め用石材として利用されたことが証明されている。徳川中期頃には江戸に搬入されたことが記録されている。大正年間には帝国ホテルの建築に大谷石が利用されたことは有名であり、関東震災で大谷石の耐火耐震性が認識された。昭和の初めには年産25万tに達していた。その後は社会経済状況との関係で需要の増減があつたが、多かれ少なかれ採掘されてきた。

戦後は復興器材として生産が増加し、とくに最近では土地造成などとも関連して生産が著しく伸びている。昭和40年には、年産60万t以上で27億円に達している。

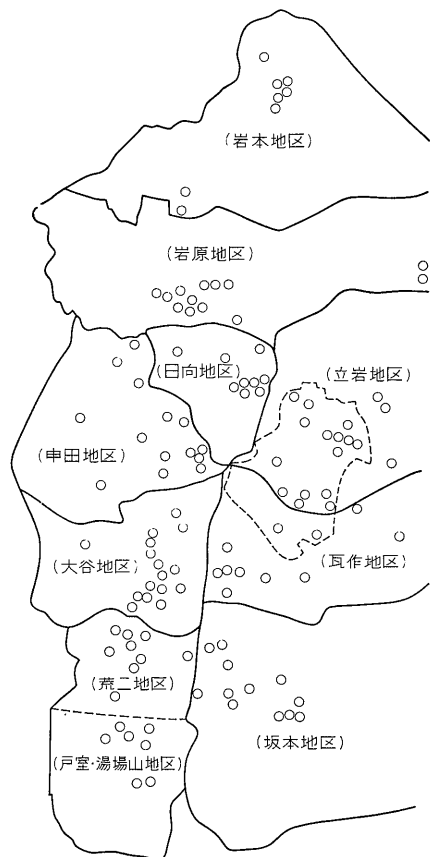
明治末期から現在までの生産量の推移状況は第3図のとおりである。大谷石の沿革と採掘量の概略が推定される。

2.2 採石状況

宇都宮駅の北西約8kmにある宇都宮市大谷町を中心とした南北約3.8km、東西約1.8kmの地域で採掘され、大小120カ所前後の事業場を散在する。規模の小さい事業場が割合に多い。この地域は、いわゆる大谷丘陵地帯で、大谷石は丘陵とその周辺の低地で採掘されている。最近では、低地帯の下部における採掘が多くなっている。地形的には、大谷丘陵は南北方向に長く延びた状態で分布しているが、周辺の平地は標高150m前後であり、丘陵頂はこれより20~50mの比高差があるにすぎない。

大谷石の採掘については、昭和27年より機械化による採石方法を研究し、30年8月に実用化に成功している。34年頃にはすべての採石場が機械化された。このため、手掘り時代には開発できなかった深部あるいは硬質の石材まで採掘されるようになった。なお従業員数と生産量との関係に著しい能率化がみられる。

坑内ではチェン式の垣根掘り機と平場掘り機が使用され、まず垣根掘り機で高さ1.8m、広さ10~12m×8~

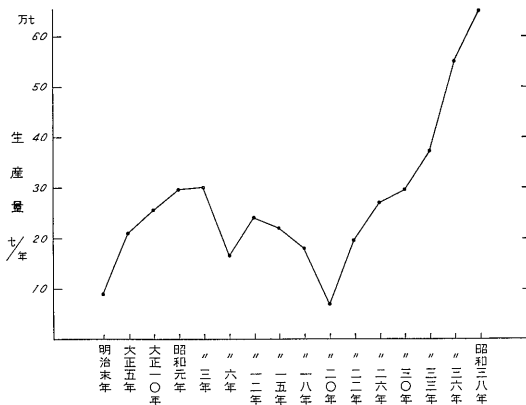


第2図 大谷石の事業場および地区割 (…内35年調査済)

第1表 おもな崩壊と公災害の発生

番号	発生日時	事業場名	事業主	地区	種類	面積または容積	死傷の状況	備考
1	27. 5. 2	ㄣ 渡辺石材工業(有)	渡辺 三男	坂本	落盤	長2間, 幅1間, 厚4尺	死亡1	
2	7. 27	△ 池田晃造石材店	池田 晃造	瓦作	〃	長3間, 幅2間, 厚3尺	負傷1	
3	28. 1. 16	夕 高橋石材店	高橋 新吉	立岩	〃	長3.5間, 幅1.5間, 厚3.5尺	死亡1	
4	7. 14	ㄥ 増淵石材店	増淵 友吉	弁天	〃	長3間, 幅3間, 厚3尺	なし	
5	8. 2	ㄥ 鈴木石材店	鈴木 菊次郎	〃	〃	長4間, 幅2間, 厚4尺	死亡1	
6	12. 3	善 玉山石材店	玉山 善次郎	〃	〃	直径1m大	負傷1	
7	29. 1. 23	夕 大関石材店	大関 清	丹賀	浮石の落下	4寸角	負傷1	
8	2. 27	谷 谷口石材店	谷口 己之作	〃	陥没	600坪	なし	
9	11. 15	正 佐藤石材店	佐藤 貫一	弁天	落盤	長4間, 幅2.5間, 厚5尺	なし	
10	30. 1. 18	沢 金沢石材店	金沢 一夫	御止	〃	40m ³	負傷5	
11	1. 13	太 安野石材店	安野 広吉	瓦作	浮石の落下	径30cm 厚2cm	負傷1	
12	3. 28	半 半田石材店	半田 隆盛	坂本	〃	径3cm	負傷1	
13	6. 5	高 高橋石材店	高橋 実	立岩	陥没	1980m ²	なし	
14	7. 11	〃	〃	〃	〃	20,000m ²	なし	
15	7. 29	半 半田石材店	半田 隆盛	坂本	落盤	3.3m ²	負傷2	
16	9. 18	△ 渡辺石材店	渡辺 信重	立岩	〃	長9m, 幅7.3m, 厚1.5m	なし	
17	11. 13	〃	〃	〃	崩壊落盤	330m ²	なし	
18	31. 4. 6	七 小柳石材店	小柳 又十郎	丹賀	陥没	662m ²	なし	
19	8. 27	谷 谷口石材店	谷口 己之作	〃	落盤	長3.6m, 幅2.7m, 厚1m, 重量3t	なし	
20	9. 14	〃	〃	〃	陥没	264m ²	なし	
21	10. 10	〃	〃	〃	〃	66m ²	なし	
22	10. 10	正 屏風岩石材部	渡辺 宏之	〃	〃	330m ²	なし	
23	32. 4. 3	谷 谷口石材店	谷口 己之作	〃	〃	66m ²	なし	市道陥没
24	10. 7	太 安野石材店	安野 広吉	田下	崩壊	1,800t	5名圧死	
25	33. 9. 3	新 杉浦石材店	杉浦 新吉	岩原	〃	10t	死亡1	
26	11. 3	加 加藤石材店	加藤 景造	瓦作	落盤	25m ²	死亡1	
27	7. 6	了 赤羽石材店	赤羽 由伊	弁天	〃	250m ²	死亡3 重傷4 軽傷3	
28	〃	本 坂本石材店	坂本 守	〃	陥没	4,620m ²	なし	同一場所
29	〃	谷 谷口石材店	谷口 己之作	〃	〃		なし	
30	34. 2. 18	東京鋼板工業(株)	森田 賢吉	立岩	落石	17t	死亡1	
31	4. 26	△ 池田石材店	池田 千秋	〃	落盤	8t	死亡1 負傷1	
32	6. 3	正 屏風岩石材店	渡辺 宏之	坂本	〃	80m ² 50t	なし	

番号	発生日時	事業場名	事業主	地区	種類	面積または容積	死傷の状況	備考
33	34. 6. 4	Ⓖ 高橋石材店	高橋 実	立岩	陥没	150m ²	なし	
34	7. 4	Ⓔ 坂本石材店	坂本 守	丹賀	落盤	100m ²	なし	
35	7. 5	〃	〃	〃	〃	100m ²	なし	
36	35. 5. 10	Ⓙ 鈴木石材店	鈴木 太郎	立岩	陥没	3,900m ²	重傷 1	同一坑
37	〃	Ⓜ 手塚石材店	手塚 智充	〃	〃		死亡 1 重傷 1	
38	9. 2	Ⓢ 高栖石材店	高栖 孝歳	坂本	落石	1m ² 2カ所	なし	
39	36. 4. 28	Ⓛ 渡辺石材工業(有)	渡辺 三男	〃	落盤	20m ²	なし	
40	8. 29	Ⓢ 谷口石材店	谷口 己之作	丹賀	崩壊	495m ²	なし	民家敷地内亀裂生ず
41	37. 4. 20	小堀石材店	小堀 覚一	岩本	〃	1,470m ³	なし	
42	7. 30	Ⓢ 吉沢石材店	吉沢 勝	立岩	陥没	3,306m ²	死亡 3 負傷 1	通行人傷
43	10. 2	Ⓢ 青木石材店	青木 忠一郎	〃	崩壊	130m ²	死亡 1 重傷 1	
44	38. 7. 31	Ⓢ (有)池田晃造石材店	池田 晃造	瓦作	落盤	18m ²	死亡 1 重傷 1	

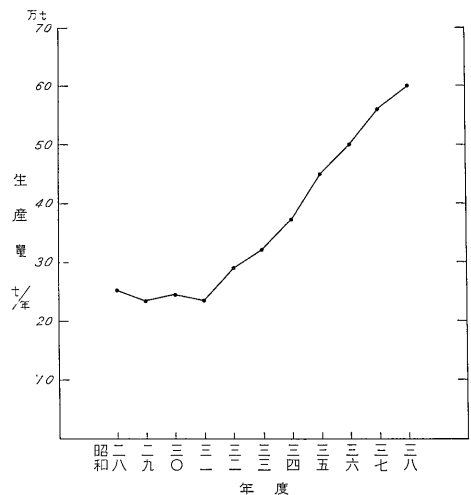


第3図 大谷石生産量の推移状況 (明治末年～昭和38年)

10mの矩形の採石丁場を設置し、次いで平場掘り機で下向きに数10m掘り下げてゆく。深い採掘跡は30~40mに達しているものがある。丁場の大きさ、深さなど一定したものではないが、すべて角形に採掘される。露天掘りは数カ所であり、また地下浅い部分の採掘は少なくなり、大部分の事業場が地下深い処で採掘されるようになっていく。手掘り時代には露天掘りあるいは丘陵地の坑内掘りが主で、その深さは25m前後を限度としていたが、機械化された現在では地下25~100mに達し、もつとも深い場所では地下110m前後に達しているものが数カ所ある。

2.3 用途および生産

建築用石材としては、住宅・倉庫・店舗などに、部分



第4図 大谷石の生産量 (昭和28~38年)

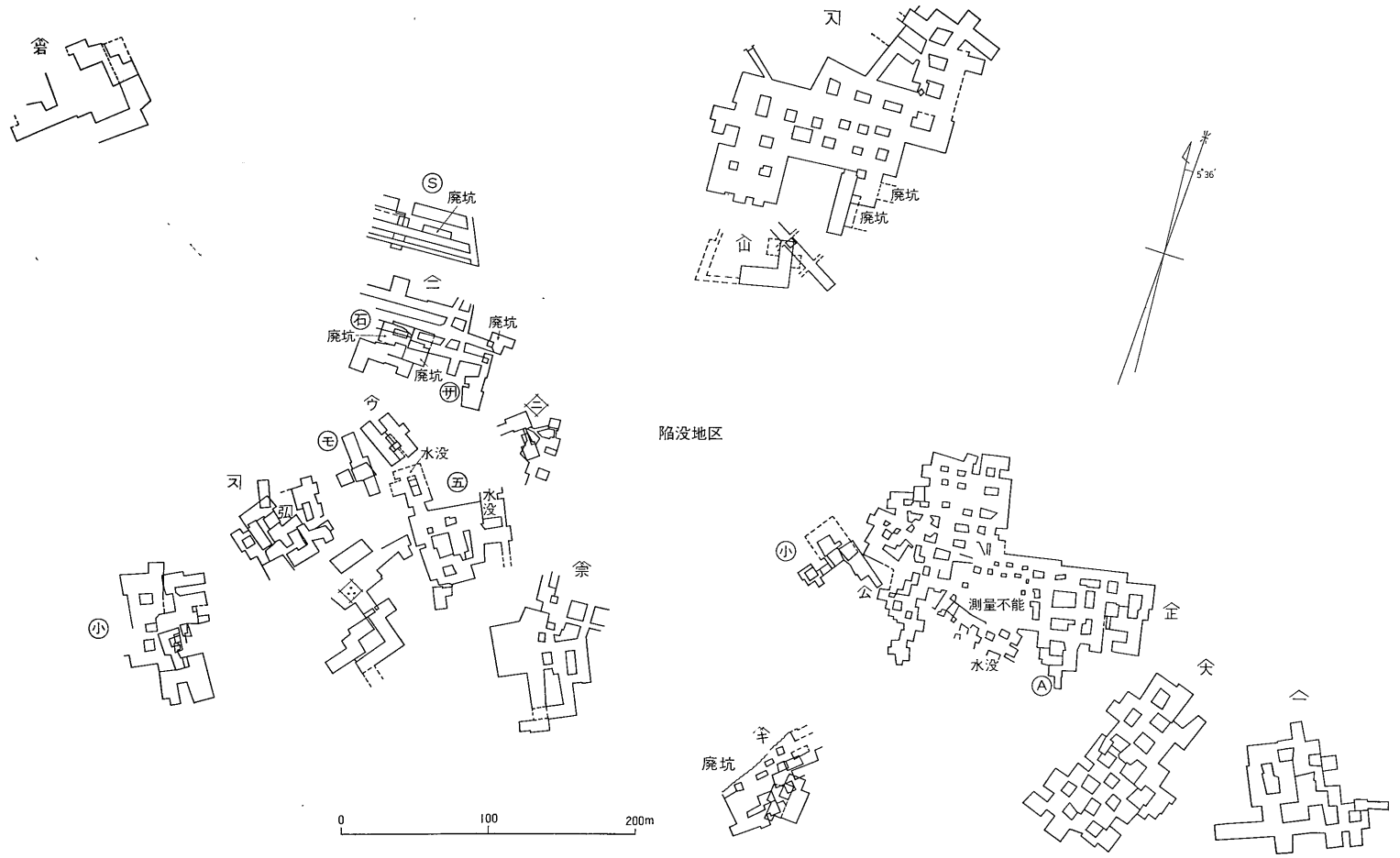
的には玄関・テラス・踏石などに利用され、土木用石材としては、石垣・土止め・護岸・側溝などに利用される。最近では薄物が建築物の内装貼石などに利用されるようになった。最近10年間の生産量は第4図のとおりであり、急激に採掘量が増大している。

2.4 災害の発生

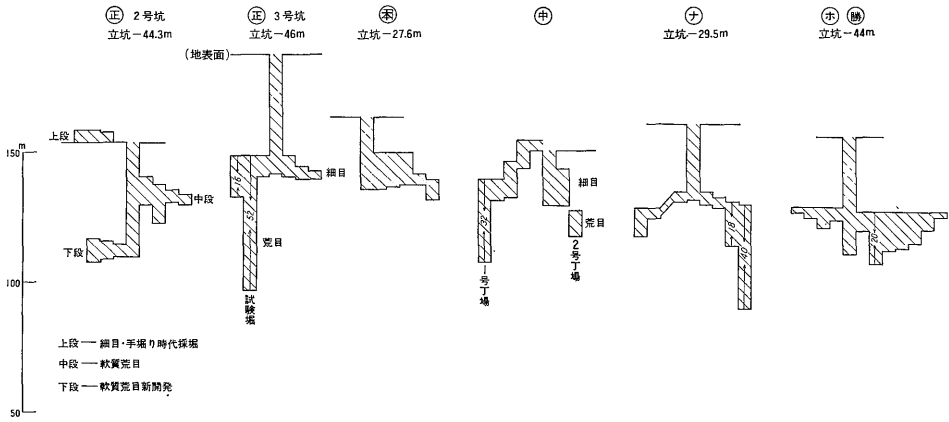
陥没・落盤・崩壊による災害発生状況は第1表のとおりである。昭和27年5月から38年7月までの間に44件発生している。落盤事故25件、陥没事故14件、崩壊事故5件で多くの死傷者をだしている。



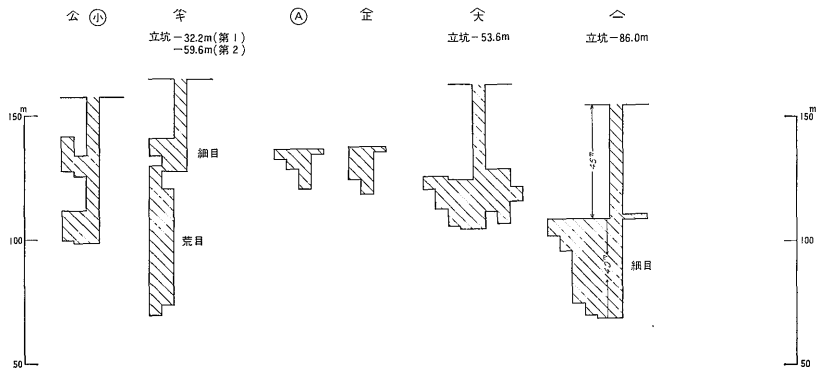
第 5 图 大谷石採掘图 1 坂本・菅二地区



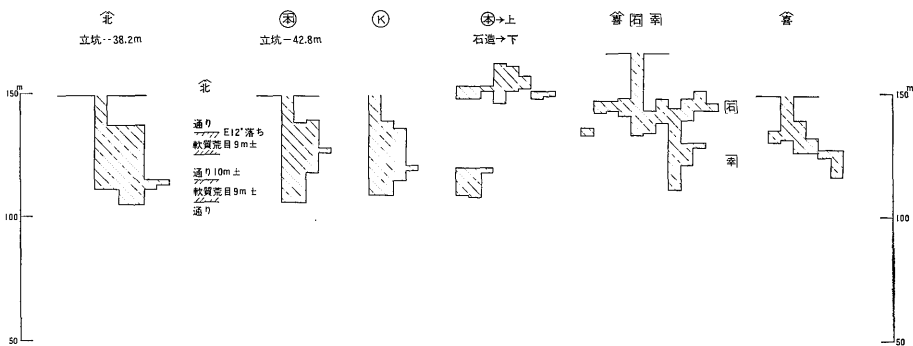
第6図 大谷石採掘図 2 瓦作・大谷地区



第 7 図 採掘深度の



第 8 図 採掘深度の位置 瓦作地区



第 9 図 採掘深度の位置 戸室・湯場山地区

3. 地区別の概況

大谷石採掘地域の区分と事業場の位置は概略第2図のとおりである。

- 1) 坂本地区：主として細目が採掘される。西側の一部では細目層下位の軟質荒目が採掘される。
- 2) 瓦作地区：主として細目が採掘される。西側では軟質荒目が採掘される。
- 3) 立岩地区：細目と軟質荒目が採掘される。過去には細目が多く採掘されたようである。
- 4) 大谷地区：軟質荒目が採掘される。
- 5) 荒二地区：軟質荒目が採掘される。
- 6) 戸室・湯場山地区：軟質荒目が採掘される。
- 7) 申田地区：硬質荒目が採掘される。過去には上部で軟質荒目が採掘された。
- 8) 日向地区：硬質荒目が採掘される。
- 9) 岩原地区：硬質荒目が採掘される。
- 10) 岩本地区：硬質荒目が採掘される。

坂本地区・瓦作地区・立岩地区の東部は最近の深部開発地帯に属する。この地帯には厚さ10数mの砂礫質からなる洪積層を分布する。立岩地区については、昭和35年に、宇都宮市の依頼により、中沢次郎・藤本弁蔵・佐藤優・宇野沢昭によつて地質測量調査が行なわれた。

以上の10地区のうちで細目が採掘される地区はとくに注意を要する地区である。

それぞれの事業場でこれまでに採掘された状況は測量図に示されている。しかし、古い採掘跡に隣接する部分には、測量することができない大きな廃坑地帯を存在するものが少なくない。地下で立体的な状態にある採掘跡は、平面図では判読しがたいので、事業場別のおもな採掘跡について断面的に図示した。これは立坑の深さ・天盤の位置・全般的な深さ・深い採掘跡の高さなどの概況を示す。

4. 地質

4.1 一般的な地質状況

大谷緑色凝灰岩類は、大谷丘陵地帯以外に、多気山の山麓地帯、半蔵山の東南山麓地帯、田川東岸の宇都宮丘陵地帯に広く分布することが知られている。下野山地の緑色凝灰岩層としての層序、大谷地域の大谷層の層序については新野弘・太田苗司などによつて発表されたものがある。ここでは大谷石が採掘される地域について調査した。大谷石層として区分したものは、石材を対象としたもので大谷層の区分とは多少相違する。時代については、産出する化石などから中新統に対比されている。

第四紀の沖・洪積統は大谷石を不整合に被覆し、黒土(腐食土)→赤土(カベ土)→ローム層(白～黄色の火山灰)→軽石(鹿沼土)→砂礫層からなる。ローム層・軽石層は丘陵台地にも分布する。砂礫層は低地帯ではかなり厚く発達し、東側の鑑川地帯で最近開発された立坑掘さくの例では、その厚さは10～13mである。この砂礫層は多少の砂・粘土を含むが拳大の礫が多く、かなりめだつた帯水層として存在する。陥没地帯では、大谷石の天盤が薄く、洪積層が比較的厚いものがある。ざり・表土・洪積層などかぶりの性質・厚さは、浅い採掘地帯では土圧の作用をおよぼしているものとみなされる。

大谷石はもつとも代表的な熔結凝灰岩である。第三期中新世の「グリーンタフ変動期」における流紋岩質火山の海底爆発による堆積物であり、火山灰質と小礫を含んだ火山灰質のものからなる。堆積当時には多量のガス・水蒸気を含んでおり、厚い堆積の内部では熱が放出されずに蓄積され、この状態で漸次荷重を受けるため再熔融をおこしたものであろう。この再熔融の状態および程度が大谷石独自の膠結組織・気泡組織・流理構造などを生じるに至つたものであり、また岩石の強度・比重・弾性などの物性を支配するに至つているものとみなされる。下位に向かうほど熔結度が大きくなり、下位から上位に硬質荒目→軟質荒目→細目の順に破壊強度が弱くなつていく。大谷石の生成環境は、「みそ」および「断裂系」の成因に大きな関係をもつているものと考察される。みそおよび断裂系の成因については後にのべる。

大谷石は塊状・無層理の岩体であり、堆積岩一般の層理面は認められない。しかし、「通り」と称されるみその多い層は層序区分の鍵層となしうるもので、調査範囲では、数度から10度前後の傾斜で東南東に傾いた単斜構造をなしている。

4.2 大谷石

石材として採掘される大谷石は、拳大～胡桃大～小豆大のみそに富んだ流紋岩質の凝灰岩である。多量の浮石質ガラスからなり、少量の斜長石・石英の斑晶を含んでいる。硬質荒目(砂目ともいわれる)では、青つぶと称する径数cmの流紋岩片、小砂利と称する流紋岩粒などをかなり多く含有する。ときに黒つぶと称する黒曜岩質の岩片を含むことがある。きわめてまれに黒曜岩あるいは流紋岩の大塊が含まれる。一般に深所で採掘される石材は緑色を帯びた暗灰色を呈している。

商品としての石材は主としてみその大きさによつて「細目」と「荒目」に分けられる。細目はみそが小さく、かつ少ないので「特級品」とされるもつとも優良な石材である。荒目は軟質と硬質に区分したが、これは商

品としての分け方には用いられない。商品としての荒目はみその状態によつて「一級品」あるいは「二級品」とされる。また外観の色相によつて「青目」と「白目」に分けられる。一般に青目が採掘されているが、地表近くで採掘した手掘り時代には白目が多く採掘された。

白目は丘陵地に存在し、長い地質時代の酸化帯に相当する性質のものである。石質は漂白されて灰白色を呈し、含まれるみそは淡黄～灰白色の淡色であり、採掘後に変色しがたいのもつとも良質の石材とされる。しかし白目はほとんど採掘され、現在ではまとまって産出されない。

4.3 通り

「みそ」が大きく、かつ比較的多い部分を「通り」と称している。この通りは層状に分布し、地層区分の鍵層となつているが、その厚さは1m前後のものから30m前後に達するものまで存在する。通りは商品価値が低いので立坑開発などの場合を除いては一般に採掘されない。通りと称されるような部分でも、みそが割合に小さいときあるいは薄い層などではまれに採掘されることがある。

坑内では「通り」の下部から「垣根入れ」を行なつて「平場掘り」に移る。したがつて天盤に通りを残すた

第2表 大谷石(青目)の含水量

地 区	採石場	含水率 (Wt %)	備 考
大谷地区	入	25.2	みその多い部分
"	"	(32.1)	
瓦作地区	幸	20.3	
"	△	25.6	
坂本地区	上	20.7	
"	"	21.0	
"	平	22.2	
立岩地区	舎	20.5	
申田地区	㊦	20.1	
"	㊧	21.3	
岩原地区	子	20.7	
"	南	21.9	
"	㊦	22.1	
岩本地区	平	21.3	
"	国土	20.7	
平均	(14コ)	21.5	

備考：丁場の代表的な石材について試験。

め、これからは離するような状態で落盤することがある。これは荒目地区では少ないが、細目地区では割合に多い。通りはみそが大きく、かつ多いので、一見しては弱いようであるが、地層としては割合に強い。みその周辺には「みそぶた」と称する硬い部分が存在する。これはみその成因と関連するものと思われるが、珪化作用によるものであり、さらに通りそのものが多少珪化されているようである。西側の姿川流域に露出する大谷石は、通りに相当するものが多く、長い期間の風化に対して通りの層が比較的強いことを示す。大谷石岩体における通りの存在は、地質構造・採掘状況・落盤発生などと関係有し、特徴的な役割をなしている。

4.4 みそ

第3表 「みそ」の含水量

地 区	採石場	含水率 (Wt %)	備 考
大谷地区	入	54.4	黒色、軟質
坂本地区	上	41.9	緑暗色、内部青味あり
立岩地区	舎	40.8	黒色、内部は青色
申田地区	㊦	55.2	暗緑色、内部は青色、少し軟質
岩本地区	平	44.5	"
岩原地区	㊦	41.2	" 内部は濃青色
"	国土	38.0	" 内部は青色
平均	(7コ)	45.2	

備考：坑内で採取した代表的なもの。

第4表 湧水の水質分析表

成分	試料		
	山採石場	田採石場	△採石場
pH	7.1	7.5	8.0
HCO ₃ ⁻ (ppm)	39.3	129.2	51.4
Cl ⁻ (")	18.5	5.5	13.6
SO ₄ ²⁻ (")	531.0	59.8	530.0
Ca ²⁺ (")	6.0	0.4	4.4
Mg ²⁺ (")	0.2	0.2	0.2
水比抵抗値 (Ω/cm)	1,200	1,500	3,200
アルカリ度 as Ca CO ₃	24	106	43
全硬度 (")	16	2	12
Na+K (epm)	11.8	3.5	12.0

備考：

No.1 陥没地帯からの湧水。硫酸ソーダを主成分とする。

No.2 坑内湧水、重炭酸ソーダを主成分とする。硫酸ソーダ副成分。

No.3 坑内の底盤湧水、硫酸ソーダを主成分とする。重炭酸ソーダ副成分。

みそと称される大谷石の包裹物は、一般に楕円形を呈し、もつとも大きなものでは、24cm×13cm前後のものまで存在する。青目に含まれるみそは、緻密な土質であり、暗緑色～暗黒色の濃色を呈している。もつとも新鮮なみそを割ると、その内部がめだつた濃青色を呈していることが多い。採掘後に、空气中に曝されると、容易に赤褐色に変色し、かつ脱落しやすい。白目に含まれるみそは、灰白・帯緑黄・黄褐などの淡色を呈し、繊維状構造を呈しているものがある。みその化学成分および構成鉱物については、決定的な資料に欠けている。X線分析による解析では、13.3Å, 4.47Å, 2.53Å および 1.50Å 付近の4カ所で比較的明瞭な解析線が現われた。みそは鉄分の多い特殊な montmorillonite に相当するようである。

「みそ」の成因については明らかにされておらず、一般に水分やガスを多く含んだまま噴出した火山弾のような岩片が強力な変質を受けたのではないかとする考えがある。しかし成因については、次のように考えるのが妥当のようである。海底爆発の堆積時に、火山灰中の鉄苦土鉱物(黒雲母・輝石・角閃石)が珪礫質のなかである程度集合し、これが熔結過程で変質したものであろう。鉄苦土質の部分は著しく熔点点を低下し、完全に熔融するとともに、このような条件で鉄を含んだ含水珪酸礫土質のものすなわち「みそ」に変質することは考えられる。なお「みそ」の配列、みそに鉄分が多いこと、みそぶたを生成していることなどの特徴あるいは石質に鉄苦土鉱物が比較的少ないことは、大谷石の生成環境で鉄苦土鉱物の分結と熔融変質を裏付けているようである。

4.5 大谷石の層序

石材として採掘される大谷石は、通りと岩質の違いによつて3層に大別される。ここでは、大谷石をB層とし、この上位にあつて商品とならない大谷石をA層、下位にあつて石材として採掘されない大谷石をC層とした。

層区分の下位にある通りの岩質は上位の大谷石に類似する。細目と荒目の境にある通りの石質は細目と同じであり、軟質荒目と硬質荒目の境にある通りの石質は軟質荒目に類似している。

大谷石 (B層) { 細目層 (大谷石上部)
軟質荒目層 (大谷石中部)
硬質荒目層 (大谷石下部)

(1) 細目層

細目として採掘される大谷石の層は、坂本地区では厚さ約2mから25m前後であり、西側で薄く東側で厚くなっている。なお、西側では浅く東側では深くに分布す

る。瓦作地区でも同じような分布を示すが、坂本地区から瓦作地区にかけては層厚が多少厚くなっているようである。細目層の上部にはA層が存在し、下部には厚さ3m前後の通りを存在して軟質荒目に移り変つている。この通りには厚さ1~2mの「バカ石」を随伴し、なお④~⑨地区では粘土を伴つた「横キズ」を存在した。この横キズは唯一の特殊な断裂系である。新しく開発されつある鑑川流域の細目層についてはまだ調査していない。

(2) 軟質荒目層

軟質の荒目からなる大谷石は、挟まれる通りによつて上・中・下の3層に分けられるが、この区分ではほとんど岩質の変化が認められない。ときにこれらの通りがその上下のものと同時に採掘されることがある。戸室・湯場山地区では、中層と下層が採掘される。これは、それぞれの層厚が9m前後であるが、その間に厚さ10m前後の通りを存在する。軟質荒目層の下位には明確な通りが存在し、これによつて硬質荒目層と区分される。戸室・湯場山地区では、硬質荒目の位置まで採掘されていないのでその厚さは明らかでない。申田地区では厚さ10~20m、日向地区では厚さ30m前後の通りの下部に硬質荒目を分布する。

(3) 硬質荒目層

流紋岩片・小砂利を多く含有する硬質の荒目は、石材として採掘されるもつとも下位の層である。申田地区および日向地区では全体で厚さ50m前後とみなされるが、通りによつてさらに上層と下層に分けられる。現在採掘されているのは上層の厚さ20m前後の部分である。深い立坑試掘によつて確認された範囲では、本層の下部は小砂利が多く、著しく硬質となつている。この硬質荒目層は、採石の機械化によつて、比較的最近に採掘されるようになった大谷石である。

この層序と厚さは、坑内調査とその検討が終つた坂本地区・瓦作地区・戸室湯場山地区・申田地区および日向地区を対象とした。

5. 断裂系

断裂系の分布・性質については重点をおいて調査した。野外では断裂系を調査することは不可能であるが、幾何学的形状の地下採掘跡では比較的容易に観察することができる。

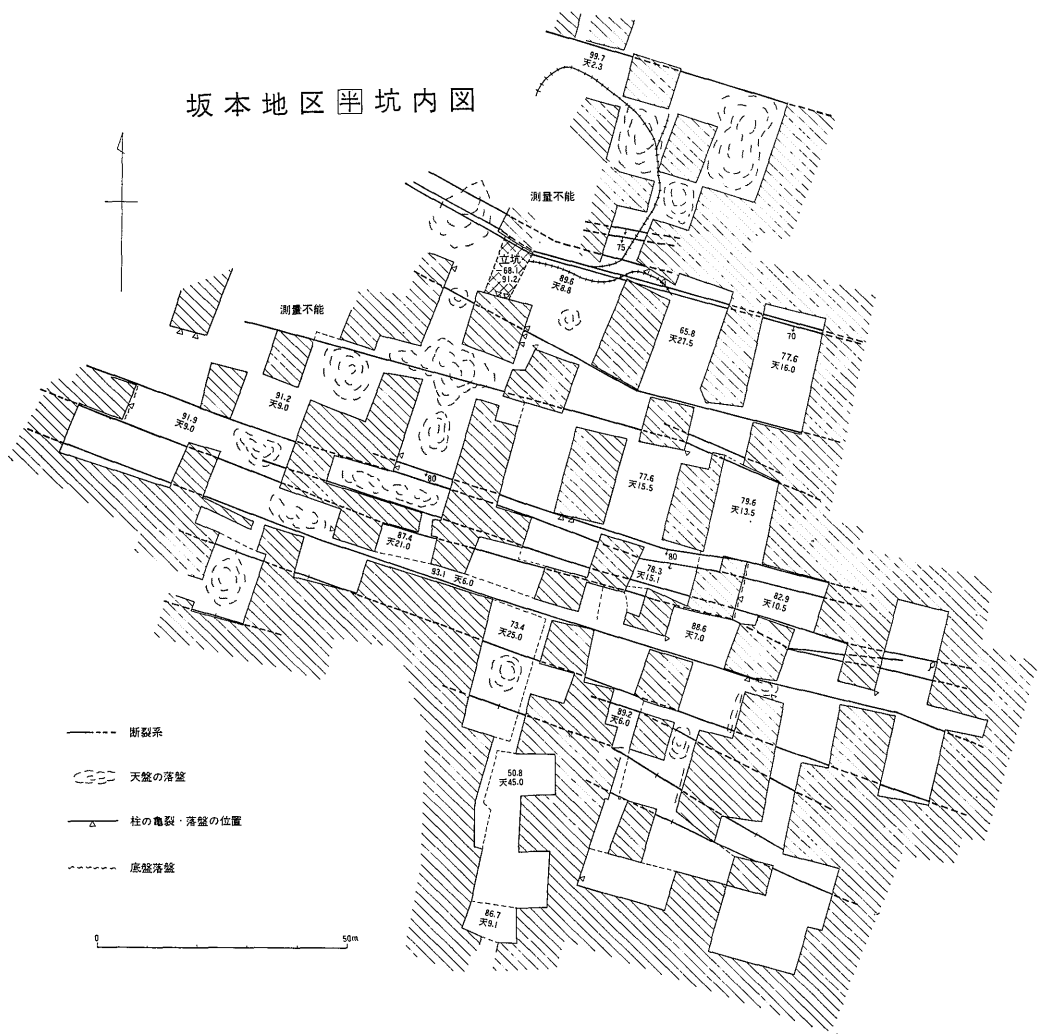
この調査では、1/300~1/500 坑内測量図を利用し、300~500Wの照明を用いて、割目の分布状態と性質を追跡観測した。坑内に存在する割目は、初生的なものと採掘後に生じた二次的なものとに大別される。ここでは、

ない。まれに硬いすじ状をなす割目で、その面が鏡肌状をなすものがある。鏡肌状の割目の面は硫化鉄の条痕によって黒くなっている。この割目は硬く結びついていて剥離しがたい。割目粘土は沸石の 1 種である clinoptilolite からなり、バカ石は clinoptilolite を含んだ火山ガラスからなる大谷石の変質岩である。このバカ石は大谷石より軟質脆弱なものと著しく硬質なものがある。

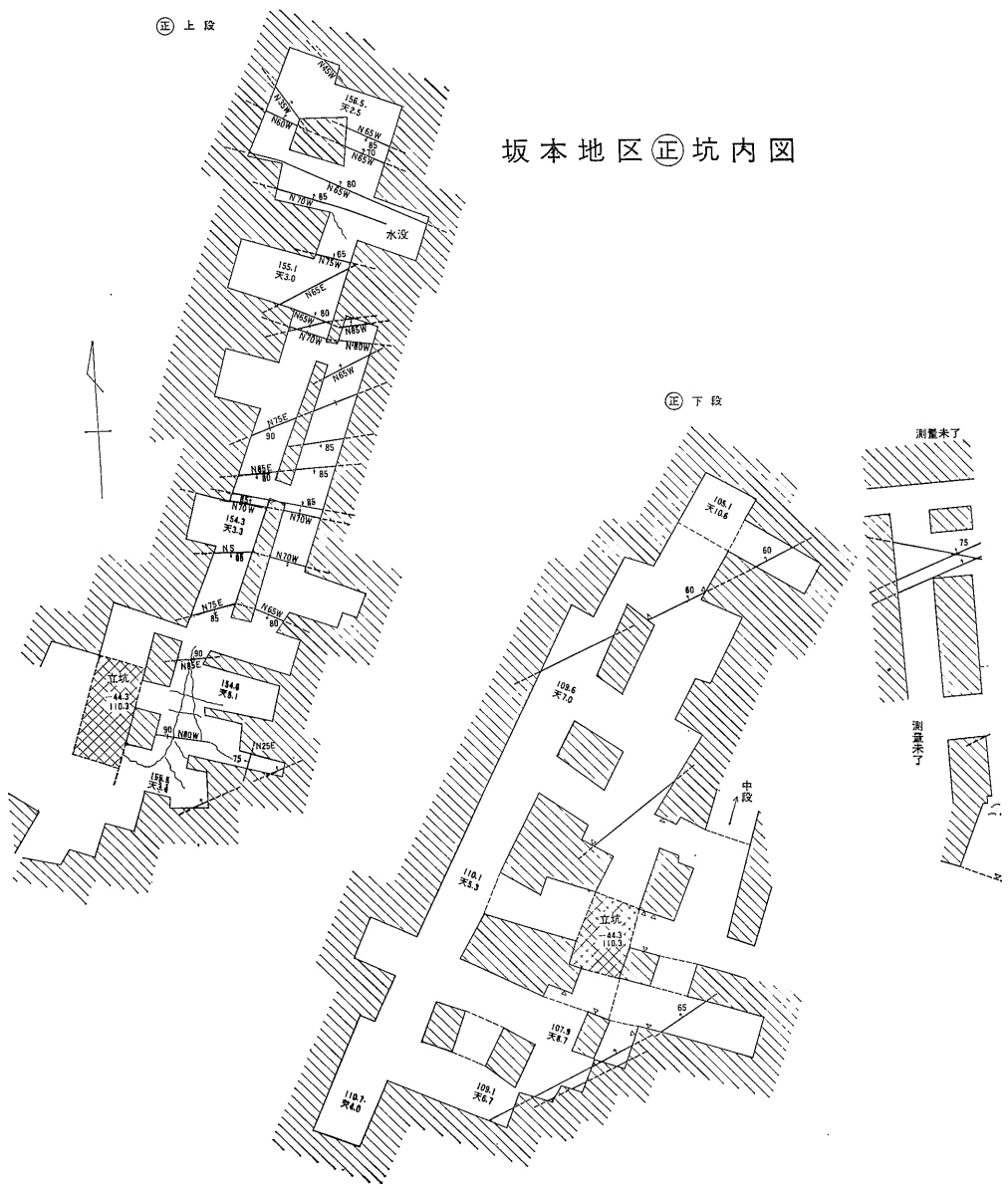
5.2 断裂系の分布

それぞれの事業場における断裂系の分布状況は、坑内

測量図に図示したとおりである。主要断裂系の分布状況であるが、坑内掘りの天盤の位置で示されている。下盤は凹凸に富んでいるが、天盤は多少の段違いを生じていても比較的レベルである。NW—SE 系と NE—SW 系の 2 大断裂系が存在した。前者が優勢である。断裂系の発達は地区・岩質などによって著しく相違する。断裂系の交差は岩盤の強度を弱め、また落盤をおこしやすいが、断裂系の交差は割合に少ない。細目地区では NW—SE 系の断裂のみで、断裂系の交差は存在しない。しかし、細目地区では断裂系の分布頻度が高い傾向にある。



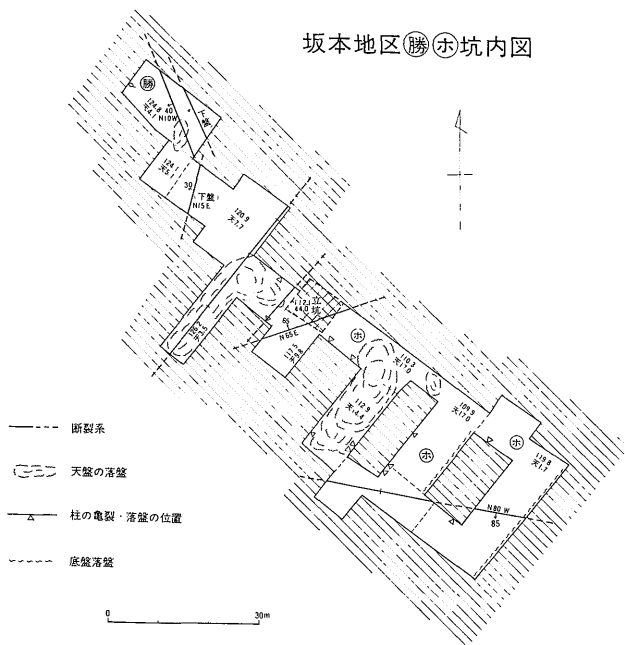
第 13 図 坂本地区



坂本地区 正坑内图

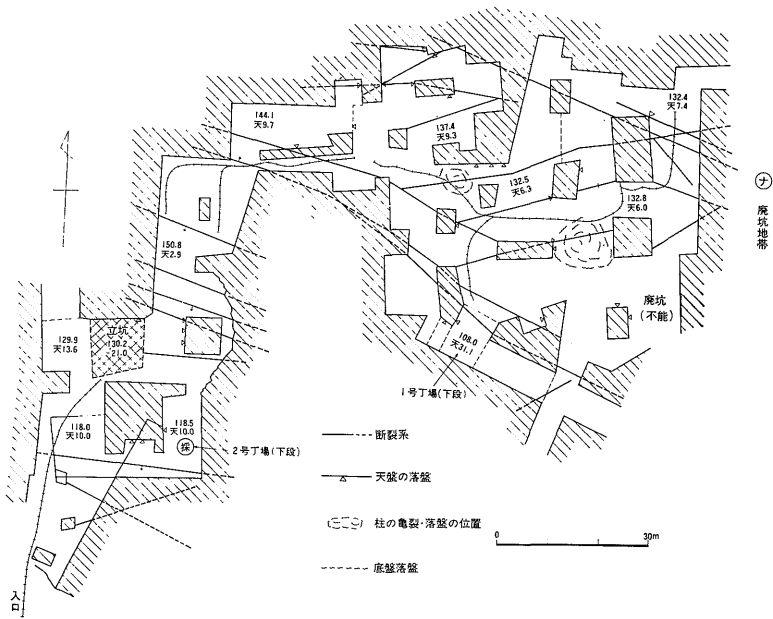
第 15 图 坂本地区

坂本地区(勝)坑内図



第 16 図 坂本地区

坂本地区(中)事業場

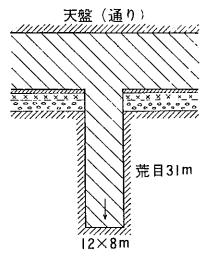


第 17 図 坂本地区

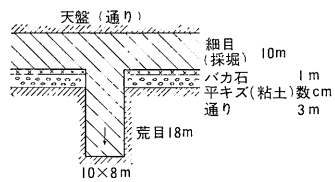


第18図 坂本地区

正 3号坑試験掘り丁場



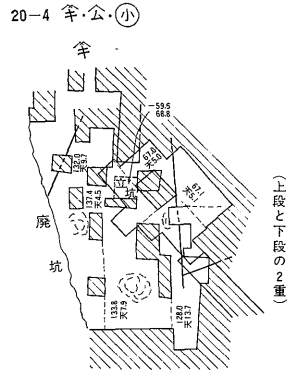
中 1号丁場



第19図 坂本地区の細目と荒目の関係

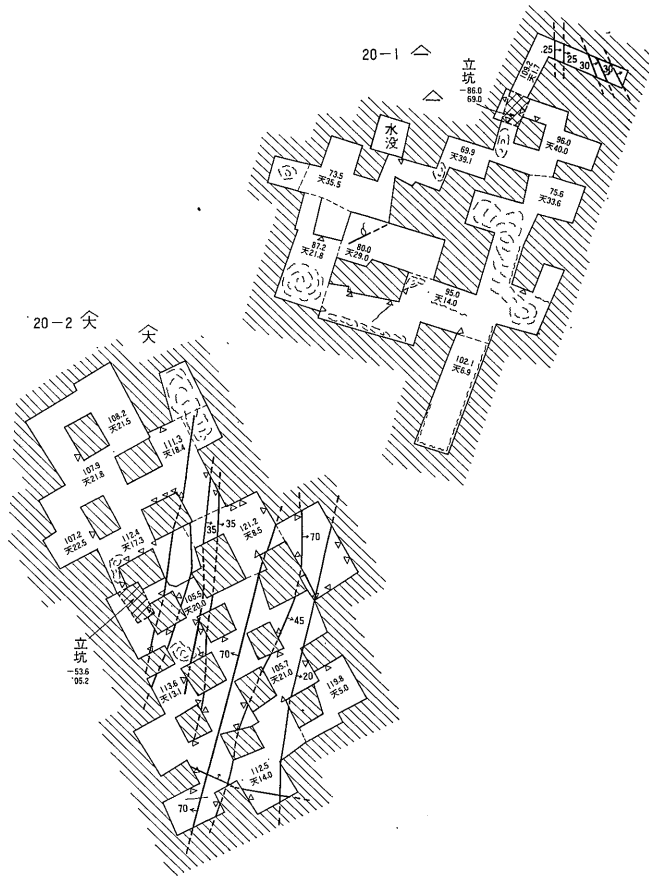
- | | |
|--|---|
| <p>正 { 細目層 4m (西側)~15m (東側)
通り 3m (バカ石2m, ベト1mあり)
荒目層 平場掘り下げ試験</p> | <p>中 { 細目層 3m (西側)~10m (東側)
通り 3m (平キズ, バカ石あり)
荒目層 平場掘り下げ</p> |
|--|---|
- 1) 正-中-中 地区の細目はほとんど採掘
 - 2) 下位の荒目を採掘し初める

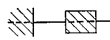



瓦作地区坑内図
 △・尖・企～①・公～②・小

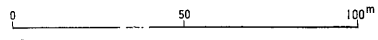


第 20 図 瓦

大谷石の地質と採掘に関連する破壊状況 (安藤 武・岡 重文)



-  断裂系
-  天盤の落盤
-  柱の2次亀裂および落盤発生箇所
-  湧水
- 天 天盤までの高さ(数字下盤位置)m.



作 地 区

第 5 表 大谷石の断裂系割目

Clinoptilolite								大	
1		2		3		4		C-1	
Hector, California		Hector, California		知多半島豊浜層		栃木県大谷		立岩, ⊙	
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I
9.00	10	8.96	VS	9.03	25S	9.12	75S	9.09	47S
7.94	4	7.94	m	8.04	15S	7.97	32S	7.96	15S
6.79	3	6.80	W	6.81	10S	6.81	20b	6.82	9
		5.98	WV	5.91	3b	5.98	16S		
5.24	3			5.25	10b				
				5.19	13S	5.16	25S		
5.11	1	5.13	m					5.12	8
4.69	2	4.65	W	4.67	9S	4.67	25S	4.66	10S
4.48	2							4.49	16
								4.45	16
4.34	2	4.35	W	4.37	4b				
						4.29	24S		
								4.09	39b
3.96	10	3.97	VS	4.00	56S	3.97	98S	3.98	46S
3.90	8			3.78	7S				
3.73	1	3.72	W						
3.55	2	3.55	W	3.57	13S	3.56	20b	3.55	12
3.46	2			3.43	19S	3.43	43S	3.42	18
3.42	6	3.43	m						
		3.33	VW	3.33	7S	3.36	47S	3.34	15b
				3.21	15S	3.22	47S	3.22	15
		3.18	W			3.18	48S	3.17	14b
3.12	3	3.10	VW	3.13	10S	3.15	51S	3.12	10
3.07	2			3.08	7S	3.08	22S	3.07	10
3.04	2								
2.97	5	2.98	S	2.98	22S	2.99	53S	2.98	23S
2.87	1								
2.82	3	2.81	m	2.81	21S	2.81	30S		
2.80	1							2.79	12S
2.73	1	2.74	W	2.74	8S	2.75	15S	2.74	10S
2.72	1								
2.68	1	2.68	VW	2.69	4b			2.67	10b
		2.54	W					2.56	12b
								2.51	12b
2.44	1	2.44	W	2.44	10S	2.46	15S		
2.42	1								
		2.36	VW	2.38	4b				
						1.82	11S		

1. Clinoptilolite from Hector, California (F. A. MUMPTON, 1960)

2. " " (B. MASON, 1960)

3.

4.

C-1. 大谷町 立岩地区 ⊙ 採石場

C-2. " 瓦作地区 △ "

C-3. " " 公 " "

C-4. " 荒二地区 ↓ " "

C-5. " 坂本地区 田 " "

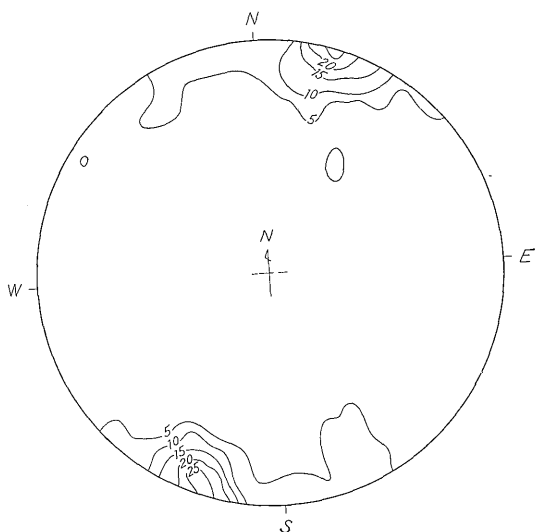
C-6. " 申田地区 ⊗ " "

測定条件: 30kV, 10mA, 8-1-4

大谷石の地質と採掘に関連する破壊状況 (安藤 武・岡 重文)

粘土のX線回折線

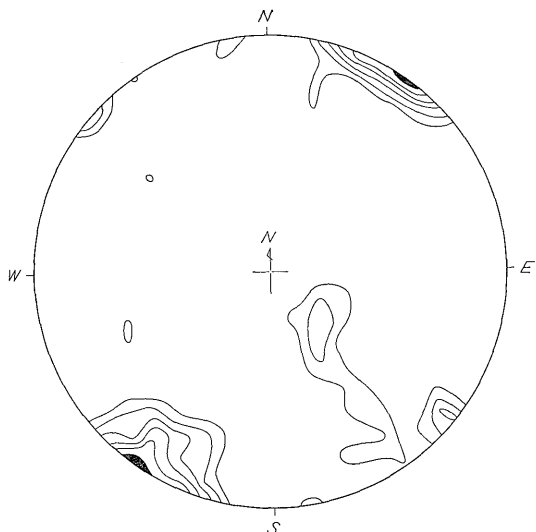
谷石断裂系の割目粘土									
C-2		C-3		C-4		C-5		C-6	
瓦作, △		瓦作, △		荒二, △		坂本, 田		申田, 田	
d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I
9.09	47S	11.47	28b	10.40	17b			9.92	18
7.96	11	8.92	46S	8.92	35S	8.66	15S	8.83	16
6.80	7			7.89	15S			7.75	11b
5.98	6			6.80	11				
5.14	19			5.90	6				
4.66	11	4.64	6	5.20	11				
4.52	10			5.09	18S			4.62	6
4.09	26			4.62	11				
4.00	33			4.43	10			4.32	15
3.55	10								
3.42	16	4.03	16	3.94	50S	3.97	16	4.03	21
3.31	17	3.96	20S					3.94	15
3.22	15	3.89	14					3.88	12
3.16	15b								
3.09	15	3.40	11	3.40	18				
2.99	22S	3.32	15	3.30	11			3.29	10
2.79	12	3.22	12	3.15	15	3.12	7		
2.74	8	3.16	13	3.10	13				
		3.11	12	3.06	10				
		3.06	11						
		2.96	21S	2.96	29S	2.94	8	2.95	7
		2.79	6	2.78	14S	2.76	5	2.77	4
		2.72	8	2.72	10	2.70	5	2.72	3
		2.54	7	2.54	6b	2.54	6	2.54	6b
2.51	9	2.44	6b	2.43	8	2.47	7	2.47	6b
				2.41	8				



第 21 図 断裂系の走向・傾斜を示す投影図 1
(坂本地区で走向・傾斜を測定した断裂系
163 本について、5~25%)

(2) 瓦作・大谷・荒二地区

この地区の断裂系96本を contour diagram に投影したものは第22図である。NW—SE 系と NE—SW 系の断裂系が存在したが前者が優勢である。NW—SE 系の断裂は、走向 N50~60°W・傾斜70~90°のものが大部分である。NE—SW 系の断裂は、N40°E前後で70~90°傾斜のものが多く。



第 22 図 断裂系の走向・傾斜を示す投影図 2
(瓦作~大谷地区の断裂系96本に
ついて、12~10~8~6~4~2%)

細目が採掘される余では、NE—SW 系の断裂が平行的に7本走っている。この西側にはこれと交差するNW—SE 系の断裂が1本存在した。細目が採掘される△では、断裂系がほとんど存在しない。ただ新しく垣根入れを行なった上段に N55°E 前後で 30° 以下の緩傾斜の断裂が分布していた。△は軟質荒目のかなり広い採掘場であるが、断裂系をまったく存在しない。そのほか大谷地区の採石場は少数の断裂系を分布するにすぎない。荒二地区の△は、多数の NW—SE 系断裂を平行し、これらと交差する NE—SW 系断裂を1本分布する。⊙では NW—SE 系と NE—SW 系の断裂を多く存在する。⊙前山と⊙では、坑内に断裂系を存在しないが、坑口付近では NW—SE 系の断裂を境として古い小さな陥没地が接している。

(3) 戸室—湯場山地区

軟質荒目が採掘される地区であり、主として NW—SE 系の断裂を分布するが、その数は少ない。

(4) 申田地区および日向地区

硬質荒目が採掘されている地区であり、断裂系はきわめて少ない。

5.3 二次的な亀裂

採掘と同時にあるいは採掘後に二次的な割目を発生している。これらは岩質との関係が顕著であり、荒目では少ないが細目ではめだつて多い。地圧の影響による丁場の「モメ」は、落盤だけでなく残柱あるいは側壁に亀裂を発生し、また丁場の下盤で盲キズあるいはだてぎわの石割れとして発生している。古い採掘跡や廃坑地帯には二次的な割目の多いことがある。これらは風化・坑内の乾湿・温度変化などの影響を受けており、さらに時間的要素による地圧の影響を受けている。残柱では 45° 前後の斜の割目が多く、次いで 70° 前後の立および 10° 前後の横の割目が発生している。天盤と柱の交わる角では水平の割目が発生していることがある。天盤の二次的な割目は不規則なものも多く、これらは主要断裂系と交わることが多い。

5.4 断裂系の割目粘土

断裂系を充填する「割目粘土」6個およびこれに伴う「バカ石」3個についてX線回折法により検討を行なった。粘土試料は無処理のまま、バカ石は磨砕したものをスライドガラス上に設置し、半定方位試料として試験した。断裂系の分布とともに性質を検討して割目の成因を考察する資料とした。

割目粘土のX線回折線は第5表のとおりである。C—1およびC—2は clinoptilolite と完全に一致し、9.09, 7.96, 4.66, 3.98, 2.98Å などの回折線が鋭く現われ

第6表 大谷石の「変質岩」および「みそ」のX線回折線

大谷石断裂系の変質岩 (バカ石)						大谷石みそ	
R-1		R-2		R-3		M-1	
瓦作, 傘		立岩, ⊙		坂本, 罎		坂本, 罎	
d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I
8.75	21S	8.58	16S	8.83	13	13.32	22
7.75	11b	7.62	9	7.75	9	4.47	21
6.65	10	6.50	7	6.65	7	2.53	13b
5.03	9	4.98	7	5.03	6	1.50	10b
4.59	8S	4.54	6	4.59	6		
4.22	15S			4.10	9		
				4.01	19		
3.93	26S	3.88	21	3.93	21		
3.50	9b	3.47	6	3.51	8		
3.32	50S	3.36	9	3.38	10		
3.16	56S	3.16	8				
3.08	9	3.11	9	3.13	9		
3.04	8	3.05	7				
2.94	16b	2.93	13	2.95	13		
2.77	9	2.76	8	2.77	9		
2.71	6	2.69	4	2.71	6		
				2.65	4		
2.44	6b						
2.34	4						
2.26	6	2.25	6				
		1.51	8S				

R-1: 大谷町 瓦作地区 傘 採石場
 R-2: " " 立岩地区 ⊙ "
 R-3: " " 坂本地区 罎 "
 M-1: " " " 罎 "
 測定条件: 30kV, 10mA, 8-1-4

る。C-3およびC-4は10.5~11.5Å付近のピークが現われ、次いで8.9, 3.96, 2.96Å付近の反射がよく現われた。

C-5およびC-6も8.5, 3.97, 2.95Å付近の反射が認められた。したがって、大谷石断裂系の割目粘土は主として clinoptilolite からなるものと推定される。opal が含まれるものでは4.0Åおよび2.5Å付近の反射が重なる。quartz を含むものは3.25, 4.27Åの線が加わるが、これは現われていない。斜長石の反射は沸石と重なりやすいが、これに相当する反射はほとんど認められない。バカ石のX線回折線は第6表のとおりである。

多数の回折線が現われるが、沸石の反射と解されるものがあり、沸石を含んだ火山ガラスからなるものとみな

される。

種類の判定はX線によつたが、clinoptilolite は montmorillonite など他の沸石と共存する例があり、また montmorillonite と共存する含沸石ベントナイトの存在なども知られている。clinoptilolite と heulandite は同じような構造を有し、回折線からは簡単に判定しがたい。heulandite は350°Cで非晶質となるが、clinoptilolite は約750°Cまで存在しうることがみだされている。なお、大谷石に沸石が含まれていることはすでに須藤俊男・岩生周一などによつて知られており、まれに大谷石の表面にゼラチン様の物質を付着し、この白色粉末が clinoptilolite であることが認められている。今回は断裂系の割目粘土がほとんど clinoptilolite からなることが認められた。

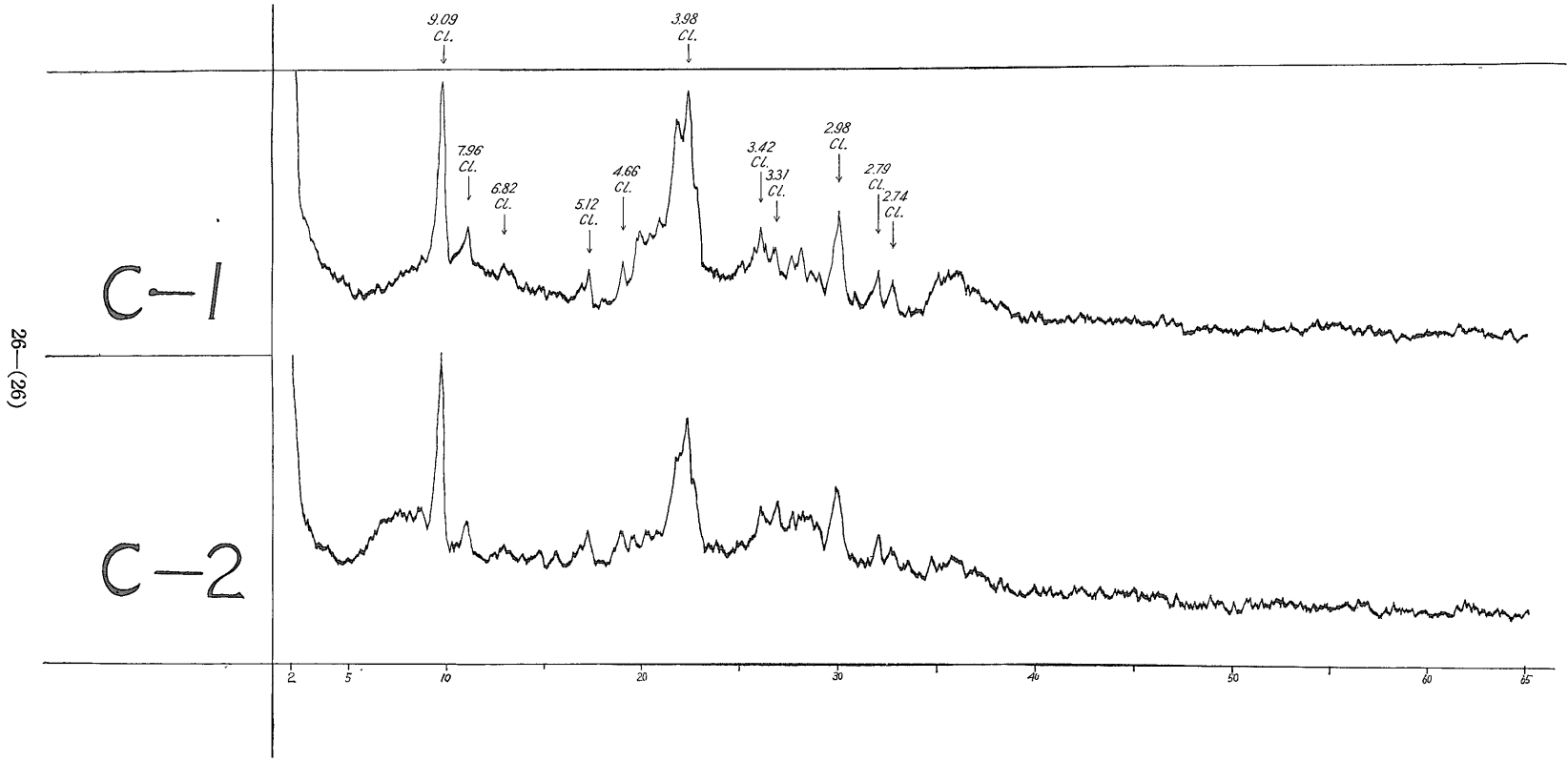
岩石が弾性体として塑性変形をこむりつつ断裂を発生する破壊応力は tensile stress と compressive stress によるが、大谷石岩盤内の断裂系は、まれにせん断性の割目 (shear fractures) を伴うが、大部分は張力性の割目 (extension fracture) とみなされる。なお、沸石化作用を受けた断裂系が単に地殻変動による偏圧のみによつて生成されたものとは考えられず、その生成は堆積時にうけつがれたものであろう。海底堆積の熔結凝灰岩が、その続成期間においてまず大谷石のみそが生成され、ついで冷却固結の最後の段階まで保持された熱水溶液が、冷却固結に伴つて生じた割目に作用し、clinoptilolite で充填されるに至つたものと思われる。

6. 落盤・陥没の破壊状況

採石場における落盤・陥没などの状況および要因について、坑内で視察しあるいは現場で聴取したおもな事項は次のようである。

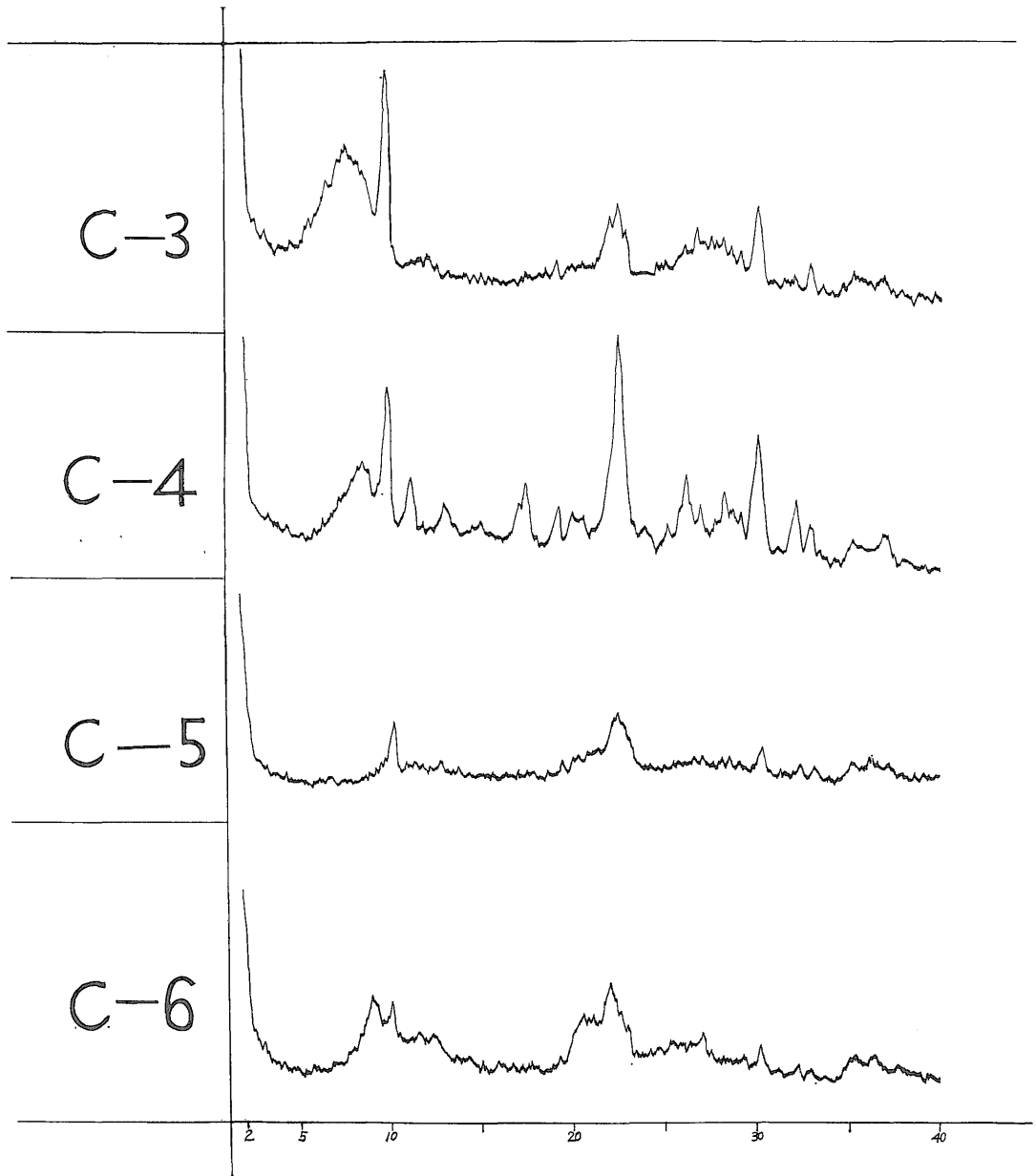
6.1 落盤の状況

- 1) 落盤は細目地区に多い。ついで軟質荒目で少しく発生し、硬質荒目ではほとんど発生していない。
- 2) 天盤に残した「通り」の下から落ち易い。落ちた跡に通りが現われる。
- 3) 細目の深い事業場では、柱の角・柱と天盤の角付近・天盤の段違いの角などが跳ね落ちる。また、丁場の掘り下げとともに「だてぎわ」で低盤落盤をおこす。
- 4) 断裂系に沿つた処で落盤しやすい。
- 5) 断裂系の交点に大きな落盤がくることがある。
- 6) 垣根入れを行なつたときにもめる丁場は落盤しやすい。
- 7) 風化した天盤は落盤しやすい。二次的な割目と断裂系の交点付近が落盤しやすい。



26-(26)

第 23 図 割目粘土の X 線回折線図 1



第24図 割目粘土のX線回折線図2

6.2 陥没の状況

1) 陥没は地質構造・岩質・採掘深度に大きな相関関係がある。細目が地表近くに存在し、これが採掘された地区でおこっている。とくに大陥没は上部の細目が採掘され、さらにその下部の荒目が採掘されたような状態の処に発生している。

2) 陥没跡は表土が比較的厚く、天盤の厚みが薄い所にみられた。

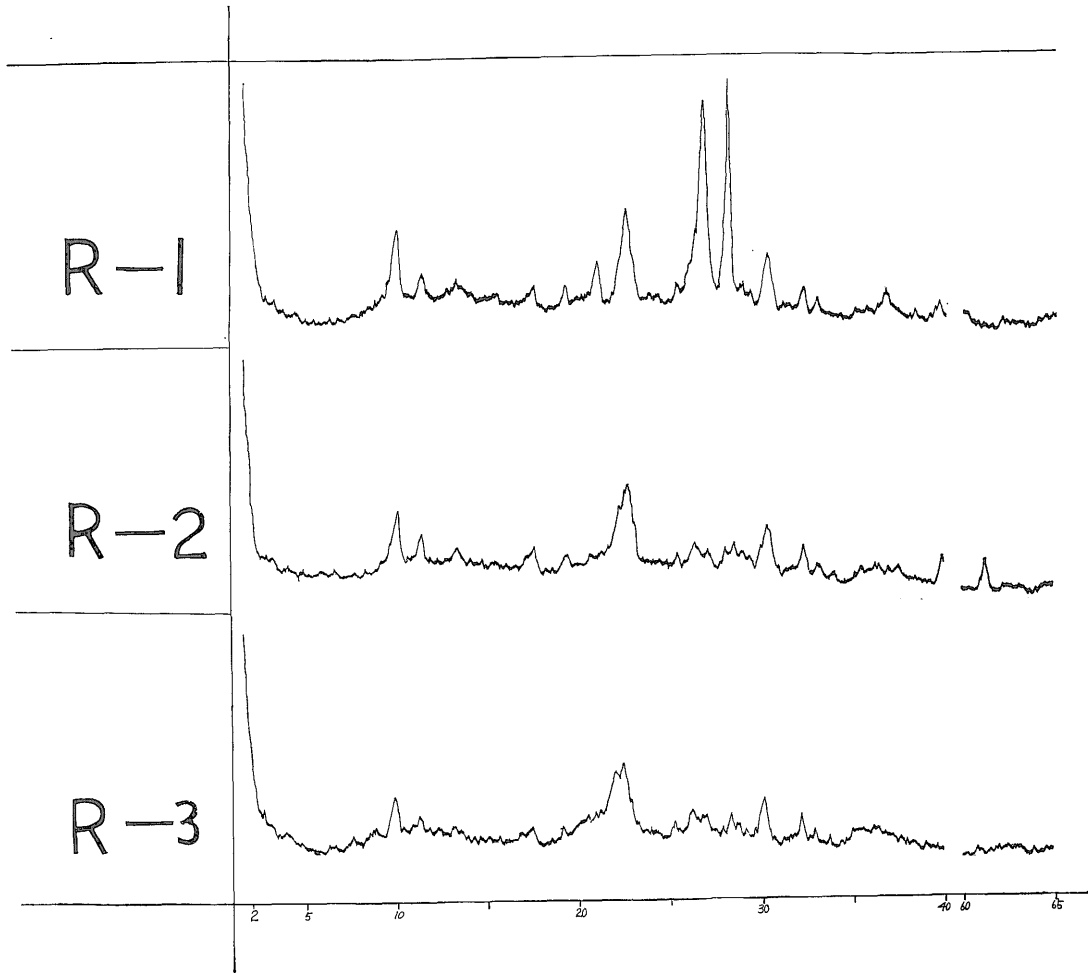
3) 残柱面積の小さい所、充分な境界壁が残されなかつた所、残柱が後から切り取られた所など多少の乱掘が存在する。

4) 往年の廃坑地帯が広範囲に陥没している。かつ陥没は以前の陥没地帯に隣接しておこりやすい。

5) 構造的な割目である断裂系を境としている。

6.3 陥没の前駆現象

1) 陥没の前兆はかなり前から現われるようである。



第 25 図 変質岩の X 線回折図 3

昭和37年の舎地区の陥没では、後になつてみると、約6カ月前から前兆がきていたようである。一般に何らかの前兆がくるものと解される。しかし、廃坑地帯では前兆を認知しがたいであろう。

2) 落盤の発生頻度がめだつて増加する。とくに落盤個所が移動したり、前の落盤個所が再び月に数度落盤するような場合は危険とみなされる。

3) 柱にひび割れが入る。とくに柱が崩れるようなときは陥没をおこす恐れが大きい。

4) 水滴の滴下個所が移動する場合、湧水にめだつた変化がある場合。

5) 本キズと称される構造的な割目が動く場合は充分に注意する要がある。

陥没の発生は、過去の陥没状況からみて、立岩・瓦作・坂本地区の細目地域に発生する可能性は大きいものと

みなされる。陥没発生の要因としては、岩質・断裂系の分布・風化(主として年月の経過による)によるゆるみ荷重の増加・適切をかけた残柱間隔あるいは不規則な残柱の残し方、天盤厚みの過少、降雨による地下水などが重なっている。細目層が浅くに分布し、これが採掘された立岩・瓦作・坂本地区の西部地帯はとくに悪い条件にあり、廃坑地帯から陥没の要因を増大するに至つたものとみなされる。なおここで注目される点は、細目層が掘りつくされて、その下位の荒目を採掘するようになり、かなり異状な偏圧を採掘跡におよぼすようになったのではないかと考察されるものがある。したがつて、細目の広い廃坑地帯において、下部の荒目を採掘することは陥没の危険を増大するもので、これを可及的に避けるか適切な採掘を検討すべきであろう。

6.4 坑内の破壊状況

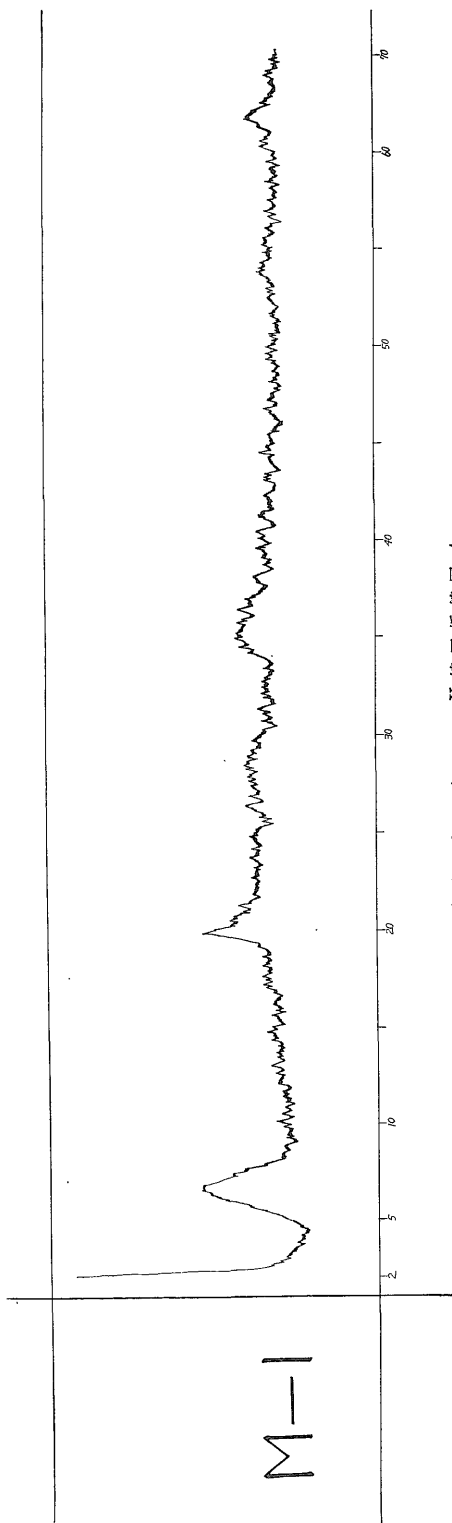


図 4 大谷石のひきまの折断面図

深い細目の代表として、㊦・㊧・㊨事業場についてのべる。比較的新しく開発された事業場であり、共同の立坑が中央部に開発され、これを中心として北東側で㊦・南側で㊧・西側で㊨が採掘し、坑内は第12図のように大きく広がっている。天盤は地表から67mの深さである。断裂系の分布は第12図のとおりであり、走向N60~70°W・傾斜80~90°のNW—SE系の断裂が㊦地区と㊧地区の南側で平行的に発達している。天盤の角付近がもめて落盤し、天盤のなかほどが浮いて落盤する。小さな落盤が生じこれが1つの丁場全般に拡がることもある。細目の残った部分と通りの境から落ちるものが多い。落盤は断裂系と直接に関係がない。残柱の角の部分がはげ落ちる。天盤に段違いが生じている場合に、その角の部分がはげ落ちる。これらの落盤は局所集中応力による「山はね」に相当するようである。丁場を掘り下げて行く場合に、10~15m下つた所から西側のだてぎわが1~2列ほど石割れして石材とならない。ときに掘り下げとともに数段に1度位の割でボーンと音を立てて浮き上がることがある。残柱に45~80°傾斜の二次的な亀裂が割合に多く発生している。壁の二次的な亀裂が掘り下げとともに下に延びてくることがあり、また丁場に盲キズが走ることもある。丁場付近の柱に亀裂が発生すると天盤あるいは下盤のもめが止まることがある。垣根入れを行なつたときにもめる丁場は、その後の採掘で落盤しやすいといわれる。

瓦作地区の△では坑内にほとんど断裂系を分布しないが、上記と同じように、天盤の落盤、柱の角の落盤、低盤落盤などの現象が多い。そのほか細目では同じような落盤・亀裂発生が少なくない。以上のような坑内破壊は、地圧による応力の異状、主として圧縮歪による局所集中応力によるものと思われるものが多い。圧縮歪の変位は非常に小さいが力は強いようであり、また圧縮歪が伸びようとする応力は亀裂の発生によつて減少している。

7. 破壊状況の岩石力学

落盤・陥没などの現象は、岩石力学的にみると、地下を採掘することによつて生じる応力異状が、岩質・構造・断裂系などの潜在的弱部を有する大谷石岩盤の破壊限界因子を越えるために生じるものといえる。したがつて、応力異状と破壊限界因子を地質構造的ならびに岩石力学的に検討することが必要であろう。

応力を発生する力としては岩石荷重・土圧・地下水などによる地圧が考えられる。岩石荷重については Terzaghi などによつて考察された理論が存在する。これによると、大谷石のような岩盤では荷重の値は小さく、側圧

は少ないものである。しかし、局部的に荷重の大きさ・作用位置を異にする特徴を有している。大谷石では地下水の影響は大きくないようである。割目を通じた多少の湧水はみられるが、岩盤内には流動性の地下水を存在しないため、水の浸透による岩圧の増減は特別の場合以外には予想されない。ただローム層・軽石層などに覆われた天盤の厚みが薄い採掘跡では降雨による地下水の増減が影響するであろう。断裂系の風化は割目粘土に影響し、また二次的な亀裂の発生は岩盤のゆるみを増す。ゆるみの増加はそれだけ残柱にかかるゆるみ荷重が増すものとみなされる。

坑内の応力分布は、正規の応力分布・偏圧・幾何学的形状による局所集中応力などいくつかの要素に分けて考えられる。正規の応力分布は平均的な圧縮応力で構造地質学で標準状態 ($Pv = \rho H$, $Ph = \lambda_0 Pv$) としているものである。偏圧は地表面の傾斜・凹凸など平坦でないために生じるもの、通り・岩質の層構造によるもの、断裂系の分布と性質によるもの、天盤の段違い、下盤の凹凸などによつて生じるものが考えられる。これらは破壊現象に対して大きな作用をおよぼしているものと思われる。局所集中応力は、柱の角、柱と天盤の角、天盤の段違い、下盤の角などに局部的に集中して発生する応力である。これらは坑内の破壊状況でのべたとおりであり、岩質によつて異なることを示し、破壊限界強度は細目が荒目よりはるかに低いことが明らかである。

大谷石の比重・吸水率・圧縮強度などは一般の岩石と著しく相違することが知られている。採掘に原因する防災の立場からみた物性は、岩片の物性のみでなく、岩盤としての物性が検討されなければならないようである。岩質の違いによる岩盤の強度は圧縮強度・剪断破壊強度引張り強度が重要な因子となつているようである。

8. 事業場各論

坂本地区・瓦作地区・戸室湯場山地区・荒二地区・大谷地区・申田地区および日向地区の採石場約65カ所について坑内調査を実施した。採掘面積・深度・断裂系の分布などは付図のとおりである。二次的な亀裂の状態、大きさ、柱の落盤、底盤の落盤などは平面図に現わしがたいが、おもな天盤の落盤、柱のキズの位置は付図に示したとおりである。おもな事業場について、その概要と特徴をのべる。

8.1 坂本地区

8.1.1 ㉁・㉂・㉃ (第12図)

共同の立坑を中心とし、北東側で㉁・南側で㉂・西側で㉃が採掘している。畑地の下部が開発されているが、

天盤の位置は地表から約67mであり、もつとも深い所は地下97mに達している。NW—SE系の70°~90°に立つた断裂を20数本分布するが、これと交差する断裂系は存在しない。㉁と㉂の採掘地区では落盤・亀裂発生の特異が目立っている。㉃の採掘地区では異状が少ないが、これは採掘がまだ比較的浅いためと西側に位置することによるものであろう。天盤の落盤、柱の落盤、底盤落盤、二次的な亀裂は、前記の坑内の破壊状況でのべたように特徴的に発生している。採掘面積の広がりおよび深度の増大に関連して、局所集中応力による落盤はとくに注意すべきである。

8.1.2 ㉄ (第13図)

80°以上に立つたNW—SE系の断裂約17本が平行に発達している。この割目を柱の面としているものが多い。約200mにわたつてほぼ直線的に発達する断裂系がみられる。天盤の落盤は多い。数カ所で柱の角が落ちているが、二次的な亀裂は少ない。この事業場の西側および北側は測量することができない大きな廃坑地帯と連なっている。

8.1.3 ㉅・㉆ (第16図)

新しい開発で坑内は狭いが、落盤および亀裂発生の特異が目立つて多い。NW—SE系とNE—SW系の断裂および緩傾斜の断裂が存在する。

8.1.4 ㉇ (第18図)

傾斜70°~90°のNW—SE系断裂を10本前後分布する。天盤の落盤は少ないが、柱および天盤に二次的な亀裂を多く発生している。柱の二次的なキズは40点近くに達し、この内には5cm広さ、6cmずれているようなものがあつた。古い採掘跡では残柱が小さく、かつ残柱率が小さい。北側および南側は測量することができない廃坑地帯と連なる。

㉅・㉆・㉇地区に次いで注意を要する地区である。

8.1.5 ㉈ (第17図)

NE—SW系の断裂を主とするが、多少分岐するものがある。これらは70°以上の立つた断裂である。天盤の落盤は2カ所であるが、柱の二次的な亀裂および落ちが26カ所に発生している。1号丁場には平キズから流入する湧水がある。坑口付近には古い陥没地が隣接する。細目はほとんど採掘され、1号および2号丁場で下位の荒目が採掘されるようになった。細目と荒目の関係は第19図のとおりである。㉈の東側には㉉の廃坑地帯が存在する。㉈は測量後に休止されて坑内調査ができなかつたが、細目は採掘され、その下位の荒目が採掘された部分があり、高さ40mに達する廃坑が存在する。㉈・㉉・㉊地区は注意を要する危険地区とみなされる。下位の荒

第 7 表 大谷石採石場の断製系 1 坂本地区

採石場	No.			備 考	採石場	No.			備 考
㊤ 2号坑段 上	1	N45W	90°		㊤ 2号坑段 下	29	N70W	85°N	
	2	N35W		(湧水)		30	N70W	80S	(落盤)
	3	N60W		(湧水)		31	N70W	90	(落盤)
	4	N65W	85S			32	N75W		(落盤)
	5	N65W	70N	㊸		33	N50W	90	(落盤)
	6	N65W	80N			34	N80W	70S	
	7	N70W	85N			35	N75W	80S	
	8	N75W	65N			36	N55E		
	9	N65E				37	N85W	75S	
	10	N65W	80N			38	N85W		
	11	N80E	90			39	N70W		
	12	N70W	90			40	N70W	80N	
	13	N80E	90			41	N60W		
	14	N85W	90	㊹		42	N75W		
	15	N65W	90			43	N65W		
	16	N70E	90			44	N85W		㊺
	17	N80E	85S			45	N60E		
	18	N85E	85S			46	N70E		
	19	N70W	80N			47	N60E	70S	㊻
	20	N70W	85N			48	N70E	85S	㊼ (落盤)
	21	EW	85S			49	N65E	90	
	22	N75E	85S			1	N65E	60N	
	23	N70W	85S	㊽		2	N65E	65N	㊾
	24	N65W	80S	㊾		3	N55E		
	25	N85E	90			4	N55E	65N	
26	N80W	90		5	N75E	65N	㊿		
27	N20E	75W		6	N75E		㊿		
28	N70E	60N		7	N75E				
29	N70E	60N	㊿	1	N70W	80S			
㊾ 2号~3号坑 中	1	N75W		(亀裂)	㊾ 本	2	N45W		
	2	N70E	75N			3	N70W	90	
	3	N70E	75N			4	N60W	80S	
	4	N60E	75N	㊿		5	N70W	80N	
	5	NS				6	N70W		㊿
	6	N65E	70S			7	N70W	75S	
	7	N45E				8	N80E		
	8	N75E	75N	㊿		9	N70W	85S	
	9	N60E	70S			10	N70W	75S	
	10	N55E		㊿		11	N65W	85S	
	11	N30E	75E			12	N65W		
	12	N35W				13	N60W		
	13	N75W	90			14	N70W	85S	
	14	N75W	85S			15	N55W		
	15	N35E	90			16	N70W		
	16	N20E	65W			17	N65W		㊿
	17	N32E	65W	(落盤)		18	N65W	90	
	18	N60W				19	EW		
	19	N80W				20	N85W		㊿
	20	N75W	85N			21	N75E		
	21	EW	80N			22	N50W		
	22	N85W	80N			23	N85W		
	23	N85W	70S	(落盤)		24	N70W		
	24	N60W	85S			25	N60W		
	25	N65W	80N			26	N60W	80S	
26	N70W		(湧水)	27	N60W		㊿		
27	N70W	85S	(湧水)	28	N65W				
28	N70W	85S	(落盤)						

地質調查所月報 (第 18 卷 第 1 号)

採石場	No.			備考	採石場	No.			備考
㊦	29	N55W			㊦	11	N65W	80°S	
	30	N65W				12	N65W	80S	
	31	N75W				13	N75W	80S	㊲
	32	N70W				14	N75W	80S	
	33	N65W				15	N75W	80S	
	34	N85W				16	N75W	90	(湧水)
	35	N70W		①		17	N75W	90	
	1	N85W	10°S			18	N85W		
	2	N85W		(亀裂)		19	N70W	80S	
	3	N70W	80N			20	N70W	90	(湧水)
	4	N75W	S			21	N65W	90	
	5	N70W		(亀裂)		22	N60W	90	
	6	N70W	S			23	N70W	90	㊲
	7	N75W	N			24	N65W	90	
	8	N75W	80N			25	N75W	90	
9	N85E	90		1	N65W				
10	N85W			2	EW	90			
11	N55E			3	N70W	75N			
12	N70W	80N		4	N80W	85N			
13	N70W			5	N75W				
14	N80E			6	N85W	65N	㊲		
15	N80E			7	N60W	80N			
16	N70E	90		㊲ 余 五	1	N65W			
17	N75W	80N		2	N55W				
18	N70W			3	N55W	90	㊲		
19	N60W			4	N75W	80N			
20	N50W			5	N55W		(落盤)		
21	N65W		㊲	6	N55W		(落盤)		
22	N50W		㊲	7	N55W		(落盤)		
23	N75E			8	N60W		(落盤)		
24	N55E			9	N60W	80N			
25	N75W	80N		10	N60W	80N			
26	N40W		(亀裂)	11	N60W				
27	N55W			12	N60W				
28	N65W			13	N70W				
29	N70E			14	N70W				
30	N65W			15	N70W				
31	N70E		(亀裂)	16	N70W				
32	N60E		(亀裂)	17	N80W				
㊦・㊧	1	N25W	25W		18	N60W		㊲	
2	N20W	40W		19	N65W		㊲		
3	N15E	30W	①	20	N60W				
4	N40E	90		21	N70W		(落盤)		
5	N40E			22	N75W		(落盤)		
6	N70E	65N		23	N70W		(落盤)		
7	N80W	90		24	N65W		(落盤)		
8	N80W	85S	㊲	25	N60W		(落盤)		
㊦	1	N75W	90		26	N60W			
2	N80W	75S		27	N65W	80N			
3	N80W	75S		28	N60W				
4	N60W			29	N60W		(落盤)		
5	N60W	80S		30	N70W	80N	(落盤)		
6	N60W	80S		31	N60W	80N			
7	N75W	65S	㊲	32	N60W	75N			
8	N75W	65S	㊲	33	N65W	75N			
9	N75W	70S		34	N65W	75N			
10	N60W		㊲	35	N65W	75N			
				36	N65W	75N			
				37	N65W	75N			
				38	N65W	75N			
				39	N65W	75N			

備考: (No)……No. の延長に相当する同じ断裂。
 (湧水)……湧水が存在するもの。
 (落盤)……落盤を発生または落盤に接している部分があるもの。
 (亀裂)……二次的に発生した割目と思われるもの、断裂より規模が小さい。
 断裂系の大部分は割目粘土を挟む。傾斜の記入していないものは 80° 前後。

目採掘にはとくに注意すべき問題が多い。

㊦・㊧・㊨地区の細目と荒目の境に存在する平キズは規模が大きく、特徴的な分布を有する。注意すべき粘土を挟んだ断裂であり、東南東に傾斜し東に向つて 6~10 度の傾斜を有する。

8.1.6 ㊦ 2号坑および3号坑 (第15図)

2号坑の上段は細目からなり、手掘り時代に採掘されているが、20数本の断裂系を分布しており、その分布頻度が高い。この下部で下段として荒目が採掘されているが、荒目では断裂が少ない。3号坑では NE—SW 系と NW—SE 系の断裂を分布する。柱および壁に二次的な亀裂をかなり多く発生している。中央部で長さ約 50 m、幅 10m、厚さ最大 7 m におよぶ大きな落盤が測量後に発生した。古い採掘跡は柱の残し方が不規則であり、かつ残柱率が小さい。3号坑全般の残柱率は17%程度に過ぎない。この北側は傘の磨坑地区と連なる。この地区の細目はほとんど採掘され、3号坑の試験掘り丁場では下位の荒目を採掘している。この試験掘りでは、細目の下をさらに30m掘り下げているが、細目と荒目の関係は第19図のようになっている。両者の境には厚さ 3 m の通りを分布し、この通りには平キズを存在する。この地区は注

意を要する危険地区とみなされる。とくに下位の荒目を広く採掘することは好ましくない。

8.2 瓦作地区

8.2.1 △ (第20図)

断裂系がほとんど存在しない。天盤がもめて落盤しているものが多く、また下盤がもめる底盤落盤、柱の角が落ちる落盤が多く発生している。柱に亀裂がはいると落盤あるいは下盤のもめが止まることが多いといわれる。

8.2.2 傘 (第20図)

NE—SW 系の断裂が平行的に 7 本分布する。西側にはこれと交差する NW—SE 系の断裂が 1 本存在する。3カ所に大きな落盤跡が存在する。柱および壁に発生している二次的な亀裂がきわめて多い。注意を要する地区である。

8.2.3 傘・㊦ (第20図)

両者とも奥の一部で小規模に採掘されているにすぎないが、これらの採掘跡を一括して傘・㊦地区とした。とくに大きな断裂系は分布しないが、20本前後の中~小規模の断裂が存在する。残柱の二次的な亀裂は目立つて多く、その割目では広きやずれを生じているものが多数あり、大きなものでは幅 3 cm 広き 5 cm ずれているよう

第 8 表 大谷石採石場の断裂系 2 瓦作地区

採石場	No.			備考	採石場	No.			備考
△	1	N50°E	25°S	(亀裂)	傘・㊦	6	N50°W	45°S	(亀裂)
	2	N50E	25S			7	N S		
	3	N30E	25S			8	N80W	80 S	
	4	N30E	25S			9	N35E	60N	
	5	N20E	25S			10	N80E	90	
	6	N50W		下盤のみ (湧水)		11	N80W		
傘	1	N30W		(亀裂)	12	N40W			
	2	N65E	35 S		13	N40W			
	3	N70E	45 S		14	N30W	50 S		
	4	N65E	70N		15	N30E	80N		
	5	N60E	35 S		16	N40W			
	6	N60E	30 S		17	N50W			
	7	N65E	35 S		18	N S			
	8	N60E			19	N85E			
	9	N55E	20 S		20	N55E			
	10	N55E							
傘・㊦	1	N50W	70 S	(亀裂)	傘	1	N75 E	80 S	(湧水)
	2	N55W	70 S			2	N45 E	55 N	
	3	N70W	70 S			3	N60W	85 N	
	4	N50W	70 S						
	5	N55W	70 S						

なものまで存在する。落盤跡が多く、最近の落盤とみなされるものまで存在した。この坑内は採掘跡が浅く、廃坑地帯が多少充填されているが、坑内状況は大きな崩壊をおこす危険がある地区とみなされる。

8.2.4 傘・公・㊦ (第20図)

荒目が採掘されているが、上部では細目が採掘されたことがある。荒目の採掘で地下95mに達する深い丁場がある。それぞれの採掘範囲は狭いが、周辺の廃坑などの状況をも考慮して注意を要する地区とみなされる。坑内の落盤はかなり多く、割目からの湧水などもみられる。

8.3 大谷地区

8.3.1 ㊦

かなり広い採石場であるが、坑内には断裂系や落盤をまったく存在しない。石質は軟質荒目である。斜坑の入口付近にだけ落盤が発生している。

8.3.2 傘

この採石場の東側は昭和34年の大きな陥没地に接する。坑口には陥没当時の崩壊物を堆積するが、丁場には数本の断裂を存在するほかは落盤などの異状は認められない。

8.3.3 ㊦・合・㊦・㊦・今・㊦・㊦地区

それぞれの坑内に小数の断裂系を分布するが、落盤、二次的な亀裂などはほとんど認められない。

8.4 荒二地区

第9表 大谷石採石場の断裂系 3 大谷～荒二地区

採石場	No.			備考	採石場	No.			備考	
㊦		断裂系分布せず			傘	6	N70W		(落盤)	
	1	N35W	80N	7		N50W	80S			
	2	N10W		8		N60W				
	3	N10W	75S	9		N55W	80S			
	4	N50W	70S	10		N65E	70N			
㊦	1	N20W	75S		11	N55W	90			
	2	N20W	75S		12	N55W				
合・㊦	1	N10W	80S		13	N55W	75S			
	2	N25W	80S		14	N60W	70S			
	3	N25W	80S		15	N50W				
㊦	1	N65W	80S		16	N55W				
	2	N40W	80S		17	N60W	70S			
	3	N55E			18	N65W				
	4	N70W	80S		19	N60E	75S			
	5	N70W	60S		20	N65W	75S			
今	1	N15W	45S		㊦	1	N60E	65S		
	2	N55E		2		N65E				
	㊦	1	N55E	80S			3	N55E	80S	
		2	N40W	85N			4	N55E	80S	
3		N40W	90			5	N40E	80S		
4		N40W	90			6	N40E	80S		
傘	1	N50W	90			7	N75W	80N		
	2	N60W	90			8	N40E	80S		
	3	N65W	90			9	N55W	80S		
	4	N60W	90			10	N40W	85S		
㊦	1	N65W	90	(湧水)	㊦前山	1	N60W		坑外	
	2	N50W	90	①		2	N70W			
㊦	1	N65E	75S			㊦後山	断裂系分布せず			
	2	N50W	90							
	3	N75W	65N							
	4	N55W	90							
	5	N70W	55N							
	6	N75W	75S							
㊦	1	N55W	70S							
	2	N55W	75S							
	3	N70W	90							
	4	N70W	90							
	5	N55E	55S							

第 10 表 大谷石採石場の断裂系 4 戸室・湯場山地区

採石場	No.			備 考	採石場	No.			備 考	
①	1	N70W	80S		②	8	N25E	75N		
	2	N60W	80S			9	N60W	80S		
	③	1	N65W	85S		④	1	N65E	90	
	⑤	1	N75W			2	N50W	90		
	2	E W		(湧水)		3	N65E	80N		
	3	N80E				4	N65E	80N		
	4	N50W	85N			4	N55E	90		
	5	N40W	90	(湧水)		⑥	1	E W	80S	
	6	N60W				2	N60W	80S		
	7	N60W	85S			3	N75W		(亀裂)	
	8	N60W	85N			4	N60E	70S		
	9	N60W	85N	(湧水)		5	N60E	70S		
10	N65W	85N		通路地区	1	N70W				
11	N65W	85N		2	N45W					
12	N45E			3	N55W	45S				
石 造	1	N75E	70N		4	N65W	70N			
	2	N75W	55S		5	N70W	60S			
	3	N65W	90		6	E W				
	4	N55W	75N		7	N65E	55S			
	5	N60W	75N		8	N55W	45S			
	6	N65W			9	N55W	45S			
	7	N55W			10	N40E		(湧水)		
				11	N40E					

第 11 表 大谷石採石場の断裂系 5 申田～日向地区

採石場	No.			備 考	採石場	No.			備 考
⑦	1	N70E	60S		⑧	3	E W	90	
	2	N65W	60N			4	N75W	80S	
	3	N65W	60N	②		5	N70W	65N	
	4	N75W	90			6	N S	85S	
	5	N60W	60N			7	N80E	85S	(湧水)
	6	N75E	90			8	N50W		
	7	N75E	90			9	N S		
	8	N75E	90			10	N70W		
⑨	1	N10W	80S		⑩・⑪	1	N85E	55S	
	2	N10W	85N	(湧水)		2	N85W	80N	
	3	N20W	90			3	N80W	80N	
	4	N10W	80S	①		4	N70E	65N	
	5	N40W	40S			5	N85E	55S	
	6	N30W	90			6	N60E	75N	
	7	N50W	65S			⑫・⑬・⑭ 全・⑮	1	N55W	
⑬	1	E W			2		N75W	85S	
	2	N85E	85N		3		N85W	80S	
	3	N85E	80S		4		N45W		
	4	N75E	88S		5		N40W		盲キズ
	5	N60E			6		N60W	40S	
	6	N80E			7		N60W		
⑯・⑰・⑱	1	N45W	80S		8		N80E		盲キズ
	2	N80W	85S		9		N85W	85N	

8.4.1 个

多数のNW—SE系の断裂系を平行的に分布する。1本だけこれらの断裂と交差するNE—SW系の断裂が存在する。局所的に天盤の亀裂を二次的に発生しているが、目立つた落盤は存在しない。

8.4.2 ㊦

NW—SE系とNE—SW系の断裂を9本分布するが落盤は存在しない。

8.4.3 ㊦前山・㊦

坑内には断裂および落盤を存在しないが、坑口ではNW—SE系の断裂を境として昭和10年頃の小さな陥没地がこれに接している。坑内には陥没地区からの水が多量に流出している。

8.4.4 ㊦後山

断裂系および落盤は存在しない。3カ所で二次的な亀裂を発生している。

8.5 戸室・湯場山地区

8.5.1 ㊦

小数のNW—SE系の断裂を分布するが落盤は認められない。北西側からくる目立つた坑内湧水がある。

8.5.2 ㊦・㊦・㊦・石造・㊦地区

NW—SE系の断裂を多少分布し、小数の柱キズを二次的に発生しているが落盤はほとんど存在しない。

8.6 申田地区

小数の断裂系を分布する。二次的な亀裂・落盤などはきわめて少ない。しかし、上部の廃坑地帯については多少注意を要するものがある。

8.7 日向地区

小数の断裂系を分布するのみで二次的な亀裂・落盤はほとんど発生していない。採掘深度は比較的深いが、坑内の広がりには現在のところ一般に小さい。

大谷地区・荒二地区・戸室湯場山地区・申田地区・日向地区の坑内調査図はここでは略した。これらの地区の軟質および硬質の荒目が採掘される丁場ではとくに問題となる点は少ない。しかし、これらの採掘地区と連なる古い廃坑地区は、多少の風化、ゆるみなどの影響を受けている所が存在するから注意すべきである。

9. 採掘と対策の問題点について

岩質および分布と坑内破壊の関係および特徴はすでに述べたとおりであるが、災害の発生防止に関する要点は次のようである。

9.1 廃坑について

(1) 多数の廃坑地帯および採掘跡を分布するが、古い採掘跡は一般に残柱率が小さく、かつ不規則に残され、

なお年月の経過による二次的な亀裂および落盤が多い。ゆるみによる地山荷重の増加およびこれに関連する陥没は無視するわけにはゆかない。とくに坂本・瓦作・立岩地区の西部地帯で細目が浅くに存在し、これが採掘された地帯は陥没の危険におかれている。

(2) 細目が比較的浅くに存在し、これがすでに採掘された地区で、この下位の荒目を採掘することは陥没の危険を増大する。この荒目の採掘は位置・深度・垣根入れなど十分に検討すべきである。細目層と荒目層の境には不安定になる緩傾斜の断裂を存在する。

9.2 採掘について

(1) 今回の測量図を基準として、採掘の広がりや深度を補足してゆくことは災害防止の基礎資料として欠くことができない。同時に大谷石の開発に必要な資料である。

(2) 可及的に残柱率を大きくするように心掛け、なお柱を不規則に残さないようにすべきである。

9.3 落盤について

落盤は大きくみて2つに分けることができる。その1つは、地圧に関連して発生する局所集中応力に原因するもので、これは採石丁場とその付近で発生しやすく落盤災害の原因となりやすい。この種の落盤は天盤の深度30m前後以下の細目地区で多く発生している。これは割目の存在とは無関係である。細目の深部開発ではある程度の落盤発生はさけることができないから、坑内のもめにはとくに注意して落盤災害をさけるように心掛けるべきである。他の1つは、古い廃坑地帯において発生し初めるものであり、断裂系にそつた所あるいは二次的な割目が交わる所に発生しやすい。これは割目との関係が大きい。

9.4 断裂について

坑内に分布する断裂系は、大部分が方向性をもつて平行的に存在し、70~90°の立つたものであり、なお割目粘土で充填されて空隙が存在しない。断裂系は構造的な弱線となつているが、特徴的な分布と性質は大谷石の採掘条件を良くしている。しかし、2大断裂系が交差する地点は採掘をさけることが好ましい。また数は少ないが緩傾斜の断裂を存在する付近は注意する必要がある。

文献および資料

- 1) 栃木労働基準局(1962): 大谷石材採掘業に関する資料
- 2) 東京通産局(1962): 大谷採石地域公害対策要綱
- 3) 栃木労働基準局(1963): 大谷石採掘基準案
- 4) 中沢次郎・藤本弁蔵・佐藤 優・宇野沢昭(1960)

大谷石の地質と採掘に関連する破壊状況 (安藤 武・岡 重文)

- ：大谷石採石場付近の災害防止のための基礎調査
- 5) 木村蔵司(1960)：鉄筋補強大谷石壁体強度の研究
 - 6) 労働省労働基準局安全課編(1960)：落盤災害の防止
 - 7) 全国建設業協会発行(1962)：ずい道工事の安全落盤防止編
 - 8) 須藤俊男・林久人・西山勉・陳賢臣(1963)：フッ石の鉱物学的諸問題, 粘土科学, vol. 2, no. 3
 - 9) 岩生周一(1963)：ゼオライトの産状とその地質学的問題, 粘土科学, vol. 2, no. 3
 - 10) 吉村尚久(1961)：北海道渡島地域の中新世火山砕屑岩中の沸石, 地質学雑誌, vol. 67, no. 793
 - 11) 太田出司(1949)：大谷石の研究, 石材としての性質に就いて, 地質学雑誌, vol. 55
 - 12) 太田出司・須藤俊男(1949)：大谷石の研究, 地質学雑誌, vol. 55
 - 13) 広川治・安藤武(1948)：栃木県大谷石の包裹物について, 地質学雑誌, vol. 54
 - 14) 阿久津純(1960)：土地分類基本調査, 表層地質説明書, 宇都宮 (1/5万)
 - 15) 地質調査所(1957)：日本鉱産誌, VII (土木建築材料)
 - 16) 安藤武・南雲昭三郎(1964)：大谷採石地域地質測量調査報告, 東京通産局, p. 49~61
 - 17) 安藤武・岡重文(1965)：大谷採石地域地質測量調査報告, 東京通産局, p. 9~26