

## 雲仙普賢岳噴火と災害

The Disasters Caused by Mt. Unzen Eruption (From November 1990 to May 1993)

戸原 義男<sup>†</sup>

(Yoshio TOHARA)

風間

(Akira KAZAMA)

彰<sup>††</sup>緒方 征夫<sup>††</sup>

(Yukuo OGATA)

## I. ま え が き

雲仙岳では、これまで2度の大噴火が記録されている。古くは寛文3年(1663)の噴火と、およそ130年後に発生した寛政4年(1792)の噴火である。寛政4年の噴火は眉山の大崩壊を引起こし、大量の土砂が海岸を埋没したため有明海に津波が発生し、対岸(約15 km)の肥後、つまり熊本県玉名郡から三角半島および天草上島の広範囲に被害が波及した。被災者は肥後と島原を合わせて死者15,000人と伝承されている。この災害は「島原大変肥後迷惑」と称され、わが国の火山災害史上、死傷者数が最大である。今回発生した雲仙岳噴火の特徴の一つは、日本の火山活動ではあまり知られていなかった大火砕流が繰返し発生したことである。これまで、火山学者以外にはその言葉すら知られていなかった「火砕流」が平成3年6月3日の大火砕流発生から連日テレビで放映されるようになり、現象の猛威を伝えるだけでなく、科学的解説によって、そのメカニズムの概要まで理解されるようになった。

災害としての特色は、火砕流、土石流の破壊力によって、激甚な物的被害が度々発生したにも関わらず、一般住民には犠牲者がほとんど出なかったことである。これは、事前に避難対策が十分検討され、適切な警戒区域、避難勧告区域が設定され、住民避難が徹底したことによるものである。

噴火が発生した平成2年11月17日に長崎県では災害警戒本部が設けられ、活動が活発になった翌3年2月には災害対策本部が設置された。政府では6月4日、災害対策基本法に基づいて、国土庁長官を本部長とする雲仙岳噴火非常災害対策本部が、また九

州農政局にも雲仙岳噴火対策連絡会議が設置された。同時に、研究機関、学会でも九州大学島原地震火山観測所をはじめ地震、火山関係の諸研究機関、そして自然災害科学関連の諸学会でも委員会、研究チームを作り調査研究に参画した。その一つとして、農業土木学会は、九州農政局の委託により雲仙岳噴火農村農業対策研究委員会を組織し調査研究を行った。研究委託の目的は、雲仙岳噴火に伴う降灰、降石による農地および農村災害の現状を調査解析すると共に、激甚災害に対する民意を調査・分析し、災害復旧の対策および、噴火活動に伴う有明沿岸の農地海岸等に及ぼす影響の予測およびその対策である。その内容は次の通りである。

## 平成3～4年度

- ① 農地および農村災害の現状調査および復旧対策
- ② 激甚災害に対する農民意識の調査と計量分析
- ③ 農地海岸に及ぼす影響予測およびその対策
- ④ 防災営農に伴う用排水および土壌侵食等
- ⑤ その他噴火活動に伴う課題に対する対応

これらの内容に関しては、行政担当者およびコンサルタントで組織された幹事会とも十分討議した上で年度ごとに報告書を提出した<sup>1), 2)</sup>。さらに、平成4年7月に農業土木学会九州支部で雲仙・普賢岳の問題を取上げ、シンポジウム「火山活動による農業・農村災害と対策」<sup>3)</sup>を開催した。

噴火開始から2年を経過した平成4年12月には、火山活動が少し落ち着き「山も終息の兆し」と報道されたが、同5年3月17日に第11溶岩ドームが出現してから、再び小さな火砕流が続発し始め、終息の兆しは全く不明になった。

しかし、火砕流および土石流による被災範囲が固定化されたことで、警戒区域の一部が解除され被災地域の砂防基本構想も公表された。被害を受けた農

<sup>†</sup>九州大学農学部 <sup>††</sup>九州農政局建設部



自然災害、農林災害、火砕流、火山灰、土石流、土砂水理学

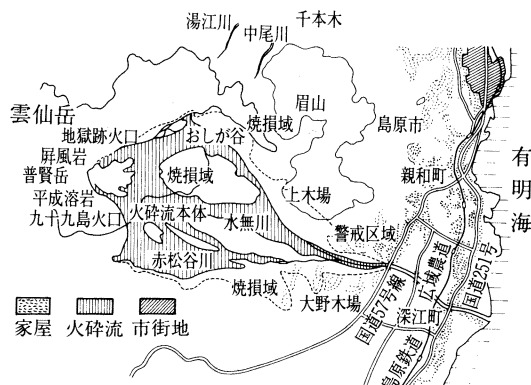


図-1 雲仙（普賢）岳噴火活動地域図

地で警戒区域から解除された約 50 ha については平成 5 年 4 月から 5 月で災害査定を終え、災害関連事業および農業農村整備事業等と一体的に地域復興事業の着工に向けて被災農家と調整中である。

学会誌の小特集テーマとして雲仙普賢岳噴火による農地災害が取上げられた機会を利用して、報告書の中から農地復旧・復興の概要とその関連の報告、および土石流堆積土の農業土木的利用を前提とした、その力学的性質を解析したものなど広く会員の参考に供しうるものについて加筆、整理し数編の報文として取りまとめた。

本報は、それら全体の前文に相当するものであり、雲仙岳噴火活動について、火砕流、降灰、土石流を中心にその概要をまとめ、災害に伴う、国、県等の対応について述べたものである。

## II. 雲仙岳噴火活動経過の概要

雲仙岳は平成 2 年（1990）11月17日に九十九島火口と地獄跡火口の 2 カ所で、198 年ぶりに噴火、翌 3 年 2 月 12 日には屏風岩火口からの噴火が確認された。5 月 15 日から土石流が続発して、1,300 人が避難、そして 5 月 20 日に溶岩ドームが確認された。この時点では、古記録にある、島原大変で発生した前山（眉山）の再崩壊と土石流が警戒されていた。6 月 3 日に大火砕流が発生し、死者 40 人、行方不明者 3 人の大惨事となった。火砕流の様子はテレビで日本全国に放映されたほか、新聞、雑誌でも迫力ある写真と共に科学的解説つきで熱流の怖さが報道された。6 月 8 日には、さらに大規模な火砕流が発生、2 度の大火砕流による物的被害は住家 121 戸、非住

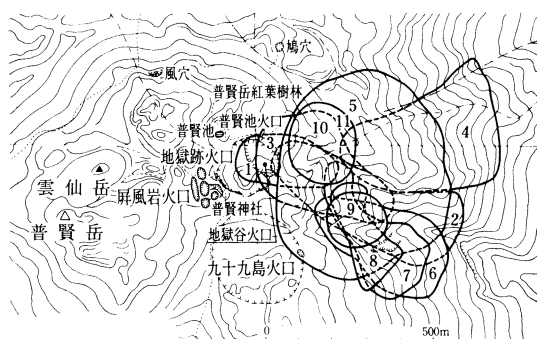


図-2 平成溶岩ドーム見取り図（九州大学太田教授資料）

家 265 戸に及んだ。

一方で、降積もる降灰と火山活動によって不安定になった斜面を流域にもつ水無川では強雨による土石流が警戒されていた。7～14 mm/h の降雨による小規模の土石流は度々発生していたが、6 月 30 日から 7 月 1 日にかけて総雨量 200 mm を越える降雨が降り、大規模土石流が発生、水無川では国道 57 号線付近で、川からあふれた土石流が住宅街を直撃し、海岸まで到達した。これによる被害は、住家 93 戸、非住家 95 戸でその多くは農家であった。また、農地の被害は 164 ha に及んだ。その後も、大小の火砕流が頻発し溶岩の噴出量も、日量 35 万  $m^3$  を記録、噴出場所を変えて新しい溶岩ドームが次々に出現した。すなわち、6 月に第 2 溶岩ドーム、8 月に第 3、9 月に第 4、12 月には第 5、第 6 ドームが確認され、翌 4 年 7、8 月に、第 7、第 8 ドームが、そして 5 年 3 月には第 11 ドームが出現、現在も成長を続けている（図-2）。これらの溶岩は平成溶岩と命名された。一方、3 年 9 月ごろから山頂付近を震源とする火山性地震（無感）が頻発するようになり、3 年 12 月には 1 日 540 回、4 年 9 月 11 日には 632 回を記録、その発生回数は毎日、新聞で詳しく報道されるようになった。

災害発生以来、各機関に設置された災害対策本部は会議を重ね、現地調査を含めて対応した。それらの経過を火山活動の記事と対照して一覧表にまとめ表-1 に示した。

## III. 火 砕 流

平成 3 年 5 月 20 日、地獄跡火口から巨大なつり鐘状の溶岩ドームが出現、その大きさは直径 40～50

表1-1 雲仙岳噴火活動と国、長崎県の対応等

| 年 月 日      | 火山活動（火砕流・土石流）           | 記 事（国・県の対応等）                                                     |
|------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 平成2年11月17日 | 雲仙普賢岳噴火                 | 長崎県災害警戒本部を設置                                                     |
| 12月27日     |                         | 長崎県災害警戒本部解散                                                      |
| 平成3年2月12日  | 屏風岩火口噴火                 | 再び長崎県災害警戒本部設置                                                    |
| 5月15日      | 水無川で土石流発生               |                                                                  |
| 5月18日      |                         | 島原市、深江町並びに関係機関による土石流対策連絡会議開催                                     |
| 5月24日      | 最初の火砕流が発生               | 長崎県災害警戒本部を長崎県災害対策本部に切り替え                                         |
| 5月27日      |                         | 国土庁、農水省他関係省庁の担当者現地調査                                             |
| 5月29日      |                         | 長崎県災害対策本部会議開催（第1回）、島原市、深江町に災害救助法適用                               |
| 5月30日      |                         | 自治大臣、国土庁長官現地視察                                                   |
| 6月3日       | 大規模火砕流発生、死傷者発生、家屋多数焼失   | 島原市長の要請で、知事は陸上自衛隊に災害派遣を要請                                        |
| 6月4日       |                         | 長崎県災害対策本部会議開催（第2回）                                               |
| 6月5日       |                         | 「雲仙岳噴火非常災害対策本部」（本部長：国土庁長官）設置                                     |
| 6月7日       |                         | 九州農政局雲仙岳噴火対策連絡会議設置                                               |
| 6月8日       | 大規模火砕流発生、家屋多数焼失         | 政府調査団現地調査（第1回）                                                   |
| 6月9日       |                         | 住民立入り禁止の警戒区域を島原市、深江町に設定                                          |
| 6月10日      |                         | 長崎県災害対策本部会議開催（第3回）                                               |
| 6月11日      |                         | （第4回、17日）（第5回、19日）（第6回、27日）                                      |
| 6月12日      |                         | 総理大臣現地視察                                                         |
| 6月14日      |                         | 九州農政局雲仙岳噴火災害対策本部設置、同会議（第1回）（第2回18日）（第3回20日）（第4回28日）構造改善局防災課長現地調査 |
| 6月18日      |                         |                                                                  |
| 6月30日      | 爆発性噴火発生、                |                                                                  |
| 7月1日       | 大規模土石流発生、               | 衆議院、参議院全国災害対策特別委員会現地視察                                           |
| 7月3日       |                         | 衆議院災害対策特別委員会開催                                                   |
| 7月4日       |                         | 参議院災害対策特別委員会開催                                                   |
| 7月5日       |                         | 構造改善局建設部長現地調査                                                    |
| 7月9日       |                         | 長崎県災害対策本部会議開催（第7回）（第8回16日）（第9回22日）                               |
| 7月10日      |                         | 構造改善局防災課災害対策室長現地調査                                               |
| 7月11日      |                         | 九州農政局雲仙岳噴火災害対策本部会議（第5回）                                          |
| 7月15日      |                         | （第6回12日）（第7回27日）                                                 |
| 7月22日      |                         | 雲仙岳噴火に伴う長崎県防災営農施設整備計画打合わせ（第1回）                                   |
| 7月29日      |                         | （第2回11日）（第3回19日）                                                 |
| 7月31日      |                         | 「雲仙岳噴火非常災害対策本部」会議において、雲仙岳噴火災害に係る被災者等救済対策（避難対策を始めとする21分野83項目）発表   |
| 8月5日       |                         | 活動火山対策特別措置法に基づく降灰防除地域に島原市、深江町指定                                  |
| 8月12日      |                         | 天皇、皇后両陛下現地御訪問                                                    |
| 8月27日      | 火砕流が頻発、降灰量最大を観測         | 雲仙岳噴火農村農業対策研究委託事業委員会開催（第1回）                                      |
| 8月29日      |                         | 「雲仙岳噴火非常災害対策本部」会議（第3回）で決定された雲仙岳噴火災害に係る被災者等救済対策について関係各省庁による現地説明会  |
| 9月2日       |                         | 長崎県災害対策本部会議（第9回）で災害長期化に伴い雲仙岳災害復興室設置                              |
| 9月6日       | 山頂付近を震源とする火山性地震頻発       | 雲仙岳噴火農村農業対策研究委員会現地調査                                             |
| 9月13日      |                         |                                                                  |
| 9月15日      | 大規模火砕流発生、小学校を含む家屋多数焼失   | 農林水産大臣現地視察                                                       |
| 9月18日      |                         | 長崎県災害対策本部会議（第10回）、（11回26日）                                       |
| 9月21日      |                         | 雲仙岳噴火に係る農業農村整備事業等検討会                                             |
| 10月7日      |                         | 被災農地・農業用施設の復旧および島原半島における農業農村対策について長崎県、島原市、深江町と打合わせ（九州農政局）        |
| 10月9日      |                         | 雲仙岳噴火農村農業対策研究委員会中間打合わせ                                           |
| 10月23日     |                         | 農林水産省審議官（災害担当）現地調査                                               |
| 10月25日     | 火口直下の地震増加、溶岩隆起、初の火災現象観測 | 九州農政局雲仙岳噴火災害対策本部会議（第8回）（第9回25日）                                  |
| 11月8日      |                         | 長崎県災害対策本部会議（第12回）（第13回28日）                                       |
| 11月13日     |                         |                                                                  |
| 11月22日     |                         | 衆議院災害対策特別委員会委員現地視察                                               |
| 11月25日     |                         | 雲仙岳噴火災害に係る被災者救済対策（食事供与事業実施決定）                                    |
| 12月2日      |                         | 雲仙岳噴火災害に係る被災者の自立復興支援等のための基金設置                                    |
| 平成4年1月17日  |                         | 長崎県災害対策本部会議（第14回）                                                |
| 2月20日      |                         | 九州農政局雲仙岳噴火災害対策本部会議（第10回）                                         |
|            |                         | 参議院災害対策特別委員会委員現地視察                                               |
|            |                         | 「島原地区防災検討委員会」を開催、眉山防災対策検討                                        |
|            |                         | 長崎県防災営農施設整備計画打合わせ（第4回）                                           |
|            |                         | 第一次長崎県防災営農施設整備計画審査会（構造改善局）                                       |
|            |                         | 国土庁長官現地視察                                                        |
|            |                         | 九州農政局雲仙岳噴火災害対策本部会議（第11回）                                         |
|            |                         | 長崎県雲仙岳災害復興推進本部設置                                                 |
|            |                         | 農林水産省審議官（災害担当）現地調査                                               |
|            |                         | 雲仙岳噴火農村農業対策研究委員会（第2回）                                            |

表1-2 雲仙岳噴火活動と国、長崎県の対応等

| 年 月 日     | 火山活動（火砕流・土石流）                   | 記 事（国・県の対応等）                      |
|-----------|---------------------------------|-----------------------------------|
| 3月14日     | 火砕流発生、家屋焼失、水無川で土石流発生、家屋多数倒壊     | 総理大臣現地視察                          |
| 3月16日     |                                 | 衆議院災害対策特別委員会委員現地視察                |
| 3月25日     |                                 | 「雲仙岳噴火非常災害対策本部」雲仙岳災害対策基金増額等決定     |
| 3月31日     |                                 | 長崎県防災営農施設整備計画（農林水産大臣承認）           |
| 4月3日      |                                 | 九州農政局雲仙岳噴火災害対策本部会議（第12回）          |
| 5月26日     |                                 | 構造改善局防災課災害対策室長現地調査                |
| 6月19日     |                                 | 雲仙岳噴火災害復旧計画打合わせ（九州農政局）            |
| 7月31日     |                                 | 九州支部シンポジウム「火山活動による農業農村災害と対策」      |
| 8月1日      |                                 | 労働大臣（農林水産大臣職務代理）現地視察              |
| 8月8日      |                                 |                                   |
| 8月25日     | 火砕流発生、水無川を3.5 km 流下<br>中規模火砕流続発 | 雲仙岳噴火災害復旧計画現地調査、打合わせ（構造改善局、九州農政局） |
| 9月30日     |                                 | 雲仙岳噴火農村農業対策研究委員会（第3回）             |
| 10月26日    |                                 | 雲仙岳噴火農村農業対策研究委員会現地調査              |
| ～27日      |                                 |                                   |
| 平成5年1月25日 |                                 | 雲仙岳噴火災害復旧計画現地調査、打合わせ（構造改善局、九州農政局） |
| ～26日      |                                 |                                   |
| 3月9日      |                                 |                                   |
| 3月12日     |                                 | 雲仙岳噴火災害復旧計画現地調査、打合わせ（構造改善局、九州農政局） |
| 3月16日     |                                 |                                   |
| 4月28日     |                                 | 政府調査団現地調査                         |
| ～29日      |                                 |                                   |
| 4月30日     | 水無川、中尾川流域に土石流発生                 | 国土庁長官現地調査                         |
| ～5月1日     |                                 | 土石流災害現地調査および復旧計画打合わせ（構造改善局、九州農政局） |
| 5月3日      |                                 |                                   |
| 5月6日      |                                 |                                   |
| ～7日       |                                 |                                   |
| 5月10日     |                                 | 九州農政局雲仙岳噴火災害対策本部会議（第13回）          |

m、高さ数10mであった。21日にはドームが4つに割れて、割れ目から150mの噴煙が見られた。24日には火砕流が初めて発生、地獄跡火口が灰白色の噴煙を上げ噴火、大量の溶岩塊が東側の火口縁の一部を破壊し、白煙を上げながら斜面を落下して、民家まで約2kmに迫った。26日にも東側斜面で大規模な火砕流が発生し、民家との距離約300mまで達した。その後も火砕流が多発し、6月3日午後4時過ぎ、火口東側斜面で最大規模の火砕流が連続して発生、黒煙を吹上げながら流下し熱流が水無川流域の民家などを襲った。この火災流は、900℃前後の高温であり砂混じりの爆風を伴うもので、そのスピードは時速100kmにも及ぶものであった。雲仙岳噴火災害における人命被害のほとんどはこの火砕流によるものである。火砕流に巻込まれ1人が死亡、20人が行方不明、20人が重軽傷と報道されたが、後に死者、行方不明者43人であることが判明した。被害はすべて避難勧告区域内で発生している。犠牲者は報道関係者（16人）、フランス等からの火山学者、これにチャーターされたタクシーの運転手であったが、彼等と呼び戻すために出動した消防団員、警察官も火砕流に巻込まれて犠牲になった。8日午後8時にも3日の火砕流を上回る火砕流が発

生、水無川流域を駆け下り先端は海岸まで2km、火口から5.5kmの国道57号にまで達した。山火事、民家火災が発生したが、警戒区域が設定され、避難が徹底していたため、犠牲者は出なかった。

その後もドームからの落石が続き、中小規模の火砕流が繰返し発生した。9月15日には規模としては6月8日を上回る火砕流が発生した。火砕流の先端は、おしが谷を回って水無川を下り、火口から6kmに達し、溶岩の崩落も300万 $\text{m}^3$ と見積もられた。火砕流の熱風は水無川上流を突切って南北800m、東西200mにわたる火災を発生、深江町では、小学校が焼失、島原市でも民家が焼け、焼失家屋は合わせて177棟に達した。市街地は黒煙で覆われ大量の火山灰と火山礫が降り注いだ。その後も溶岩ドームの成長が続き、溶岩の落石を繰返し、中小規模の火砕流が現在まで継続している。

火砕流は、火山の爆発に際してマグマの破片（軽石や火山灰）が高温ガスと共に一団となって高速度で流下する現象で、犠牲者を出した大規模火砕流は溶岩ドームの基底付近から高温の火山灰とガスが大量に噴出したもの、一方、頻発する中小規模の火砕流は溶岩ドームの一部が崩れて斜面を落下するさいに高温、高圧ガスを含む破片が衝突し、自爆作用に



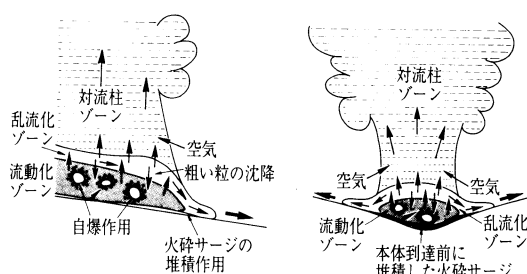


図-3 火砕流のモデル（中田モデル，NDIC No. 6 より）

よって粉々になって熱流として流下するものと考えられている。中田（1993）は、詳細な現地観測に基づく研究から火砕流のイメージが理解しやすいモデル（図-3）を発表している。今後、火砕流のメカニズムの解明が進むものと期待されている。

#### IV. 降 灰

長崎県農林部は、平成3年2月から島原半島に52点の観測点を設け、降灰量の調査を実施した。同年9月末までの降灰総量は、 $46.55 \text{ kg/m}^2$ と見積られている。地域的には島原市  $27.64 \text{ kg/m}^2$  および深江町  $6.55 \text{ kg/m}^2$  が最も多く、全体の73%を占めている。観測は、普賢岳を中心に8方向を選び、その方向ごとに3～10 kmの範囲で、降灰を正確に採取できる位置に直径32 cmの容器を配置、毎日9時に計量を行った。数値は測定値を  $1 \text{ m}^2$  当りの値に換算したものである。

噴火活動があまり活発でなかった3月には、降灰の範囲があまり広がらず島原市の北東部に集中していた。その後、噴火活動が活発化するにつれて分布に広がりが見られ、5月には深江町にも多量の降灰が観測された。この地域で多く栽培されていた葉たばこの収穫期と重なり大被害を及ぼした。被害面積は約200 ha、被害額約1億円と推定された。大火砕流が発生した6月には、その分布は普賢岳を中心に北東と南西方向に拡大しているが、大量の降灰は北東方向に見られた。6月3日の大火砕流によって放出された火山灰は、眉山東方の島原市南部に多量堆積している。最大降灰量は親和町で  $3.1 \text{ kg/m}^2$ 、厚さ7～10 mmであった。狭い範囲で降灰量が  $2 \sim 3 \text{ kg/m}^2$  以上と大きくなっている理由は、火砕流による噴煙中の火山灰が濃いところに降雨があり、火山灰が雨によって降下させられたもの、そして南風に

よって多少方向を北東に変えたものと考えられた。9月の大火砕流後は普賢岳山頂の風向きに季節変化が生じ、降灰は南東の深江町方向に偏った広がりを示した。

現在の降灰は、溶岩ドームの成長と火山性地震（無感）によって発生する溶岩の落下に伴う火砕流によるもので、溶岩ドームの成長が終息し、ドームが冷却安定するまでは降灰は続くものと考えられている。

平成5年3月時点で第11溶岩ドームが成長しつつある。マグマの上昇も1日30万  $\text{m}^3$  以上であったものが多少減少してきたように報道されているが依然増減を繰り返している。さらに、火山性地震もピーク時（4年9月11日）632回を数え、減少傾向にはあるが、依然として増減の振幅を繰り返している。今後、しばらくは降灰が続くことを念頭においた農業対策が必要である。

普賢岳から約4 km離れた北千本木町で採土した火山灰の粒度組成は粘土分（ $<5 \mu\text{m}$ ）11.5%、シルト分（ $5 \sim 75 \mu\text{m}$ ）45%、砂分（ $75 \mu\text{m} \sim 2 \text{ mm}$ ）25%、礫分（ $>2 \text{ mm}$ ）18.5%である。一方7 km離れた出平町で採土したものは粘土分12%、シルト分69%、砂分19%である。普賢岳から離れるにしたがって細粒分が多くなる。シルト分が卓越する飽和状態の火山灰を手のひらに乗せ、表面をへらでならした後、水平に振動を与えると、自由水が表面に出てくる。すなわち、ダイレイタンシー反応が顕著である。堆積したシルト系火山灰の乾燥密度は、 $1.5 \sim 1.6 \text{ g/cm}^3$ であり、透水係数は  $10^{-5} \text{ cm/s}$  程度である。この火山灰は乾燥状態では粘着性はなく、さらさらした感じである。いったん、水浸しても乾燥させると再び、元の性質に戻る。

農地復旧に際して排水路等に火山灰が強く付着するのではないかと懸念されたが、水浸、乾燥を繰り返し水理実験（九州大学）した結果、限界始動力は0.07 Pa、浮遊限界力は0.143 Pa程度であった、これは水深10 cmで流水する場合、底勾配  $I \geq 1/500$ 、また5 cmのとき、底勾配  $I \geq 1/300$ になる。流速はそれぞれ、50 cm/s、45 cm/sであり、従来の水路設計基準を用いれば、火山灰堆積の心配はない。

#### V. 土 石 流

平成3年2月に新火口が出現し、山頂付近に大量

の火山灰が堆積したため、水無川はじめ周辺の河川では土石流の発生が警戒されていた。長崎県は災害警戒対策本部を設置し、既設砂防ダムの除石、水無川河道の掘削、土石流発生監視警報施設として、水無川などにワイヤーセンサーの設置を実施した。

5月15日には日雨量20mmを越すまとまった降雨があり、水無川で最初の土石流が発生した。事前に河道掘削などの対策がなされていたため、被害は少なかったが、土石流の堆積は河川堤防の天端近くまで及んだ。19日には再度土石流が発生し2本の橋が流失したが、人家には被害が及ばなかった。続いて、20、21、26日にも水無川で土石流が発生、住民の避難が繰返されたが、被害には至らなかった。5月24日から火砕流が頻発するようになり、降水量が増加し、分布も広範な地域に及ぶようになったため、水無川の他の河川でも土石流発生の危険性が高まった。6月30日には梅雨前線に伴い総雨量200mmを越える大雨に見舞われ、水無川に大規模土石流が発生、住宅70棟が流失、倒壊、非住家を含めると139戸の家屋で全壊、半壊の被害が発生した。幸い、水無川河道付近はすべて警戒区域であったため人命の犠牲は皆無であった。平成4年8月8日には台風(9210号)の接近による強雨で水無川に大規模土石流が発生、下流部で氾濫し約50棟の家屋が破壊された。さらに、台風(9211号)による前線が停滞した12日と15日にも土石流が発生し、100棟を越える家屋が被災した。流出土砂量は8日の土石流で21万 $\text{m}^3$ 、15日では35万 $\text{m}^3$ と推定されている。平成5年に入って、4月29日には総雨量329.0mmの降雨があり水無川、中尾川に土石流発生、さらに5月2日には総雨量79.0mmの降雨で再び土石流が発生した。二つの土石流で堆積した土砂量は、水無川で約98万 $\text{m}^3$ 、中尾川で約8万 $\text{m}^3$ におよび、広域農道橋が流失、農地および農業施設の埋没82haの被害があった他、住家263棟、非住家127棟の家屋が被災した。

平野<sup>4)</sup>(1992)は雲仙岳における土石流の観測結果をまとめ、雲仙岳における土石流発生限界は、1時間雨量が7mmを越えると土石流発生の可能性が生じ、15mmを越すと必ず発生することから、7~15mm/hと報告している。また、先行降雨がなくても、降雨が発生限界強度を越えれば発生するとして

いる。テレビ報道で降雨情報が詳しく知らされるようになり、研究成果と合わせて土石流発生の予報ができ、避難勧告がなされている。

## VI. おわりに

雲仙岳噴火活動は今なお終息の兆しがみえず、警戒区域の住民は苦しい避難生活が続いている。1日も早い終息を願い、安定した農業が再開されることを祈ると共に、全力を尽くして協力したい。

本文をとりまとめるに際し、長崎県農林部並びに島原振興局から多くの資料を提供していただいた。また、長崎新聞社「鳴動普賢岳」<sup>5)</sup>から多くの記事を引用させていただいた、合わせて感謝の意を表します。

## 引用文献

- 1) 平成3年度、雲仙岳噴火農村農業対策研究委員会報告書、農土学会(1992)
- 2) 平成4年度、雲仙岳噴火農村農業対策研究委員会報告書、農土学会(1993)
- 3) 火山活動による農業・農村災害と対策、農業土木学会九州支部シンポジウム(1992)
- 4) 平野宗夫：土石流・火砕流研究班、NDIC No. 6, pp. 2~5、九州大学西部地区自然災害資料センター(1993)
- 5) 鳴動普賢岳, pp. 121~163, 長崎新聞社(1992)

[1993. 5. 17. 受稿]

### 戸原 義男



### 風間 彰



### 緒方 征夫



### 略 歴

1932年 山口県に生まれる  
1957年 九州大学大学院終了  
1958年 九州大学農学部助手  
1964年 九州大学農学部助教授  
1976年 佐賀大学農学部教授  
1987年 九州大学農学部教授  
現在に至る

1942年 東京都に生まれる  
1965年 東京農工大学農学部卒業  
1965年 農林省入省  
1991年 九州農政局建設部長  
現在に至る

1937年 熊本県に生まれる  
1956年 熊本農高農業土木科卒業  
1956年 農林省入省  
1991年 九州農政局防災課長  
現在に至る

## 農地復旧・復興計画の概要

## The Rehabilitation and Reconstruction Plan of Disaster Stricken Agricultural Land

岸 川 健<sup>†</sup> 本 城 守 義<sup>††</sup> 増 崎 一 夫<sup>††</sup>  
 (Takeshi KISHIKAWA) (Moriyoshi HONJO) (Kazuo MASUSAKI)

## I. はじめに

島原半島は、長崎県の南東に位置し、東西約 24 km、南北約 32 km で、人の胃袋状をした半島となっており、最外縁部の海岸線の延長 138.3 km、土地面積 458.71 km<sup>2</sup> である。

地形は、標高 1,359 m の普賢岳を中心とする雲仙岳山系とそれに連なる緩やかな丘陵地帯と海岸沿いに広がる平野部からなり、行政区域は 1 市 16 町である (図-1)。

人口は、平成 3 年 10 月 1 日現在 175,139 人、世帯数は 49,003 世帯である。

産業構造は、第 1 次産業 32.9%、第 2 次産業 21.2%、第 3 次産業 45.9% で、うち農業就業者 29.3%、サービス就業者 18.0% と農業と観光を基幹産業としている。

この半島のほぼ中心で有明海から約 8 km の位置にある雲仙普賢岳が、平成 3 年 11 月 17 日、寛政 4 年

(1792) 以来 198 年ぶりに噴火をはじめてから 2 年余りになるが、未だ活発な火山活動を継続している。

本噴火災害は、尊い人命を奪うとともに家屋や農地等の個人財産および公共土木施設並びに農畜産物等に計り知れない被害を与えている。

今回は、当被災地域の農地の復旧・復興計画の概要について報告する。

## II. 噴火災害の概要

## 1. 有史後の噴火歴の概要

(1) 寛文 3 年 (1663) 古焼溶岩が流出し山腹斜面で停止しているが、その溶岩流の規模は、幅約 0.15 km、溶岩の流出量約 500 万 m<sup>3</sup> で、翌年春には普賢岳南東山腹 600 m の低地と九十九島火口より出水し赤松谷を流下し安徳川原に氾濫し死者 30 人を出している。

(2) 寛政 4 年 (1792) 溶岩が流出し、その規模は幅 220~360 m、流下長 2.7 km、流出量 2,000 万 m<sup>3</sup> である。

## (3) 今回の噴火の経過

## ① 平成 3 年 (1991)

- ・ 5 月 20 日：地獄跡火口の中に「第 1 溶岩ドーム」が出現。
- ・ 6 月 3 日：大規模な火砕流により、43 名の死者並びに行方不明者が出る。
- ・ 6 月 30 日：大規模な土石流により、家屋や農地等に大きな被害を与える。
- ・ 9 月 10 日：北・南千本木町を警戒区域に設定。

## ② 平成 4 年 (1992)

- ・ 3 月 1 日：水無川流域で土石流発生、海まで達し国道 251 号、島原鉄道の線路が埋没。

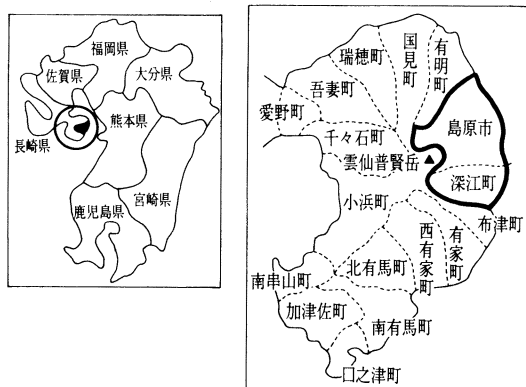


図-1 島原半島位置図

<sup>†</sup> 長崎県農林部耕地課長 <sup>††</sup> 長崎県島原振興局



・ 8月8日～8月15日

：大規模の土石流発生。

・ 10月15日：溶岩の日噴出量 35 万 m<sup>3</sup> を記録。

・ 11月17日：溶岩の日噴出量 13 万 m<sup>3</sup> に減少。

③ 平成5年(1993)

・ 1月～2月中旬：溶岩の日噴出量は 10 万 m<sup>3</sup> と低下傾向を示す。

・ 2月2日：第5溶岩ドームの上部に「第10溶岩ドーム」が出現。

・ 2月中旬以降：溶岩の日噴出量 30 万 m<sup>3</sup> に増加。

・ 3月5日：溶岩の総噴出量 13,000 万 m<sup>3</sup>。

・ 図-2 に雲仙普賢岳火砕流、土石流発生および警戒区域図を示した。

## 2. 被害の状況(平成5年2月3日現在)

① 人的被害 死者40名、行方不明者3名、負傷者11名。

② 物的被害 建物 1,079 棟

(住家 452 棟、非住家 627 棟)

③ 被害額 噴火災害の被害額は表-1 のとおりである。

## 3. 農業災害の状況

(1) 農地・農業用施設の被害 農地・農業用施設の被害は表-2 のとおりである。

(2) 農産物の被害状況(警戒区域と半島一円)

・ 被害額(平成4年末まで) 116 億 5,600 万円

表-1 雲仙岳噴火災害の被害額

(単位：百万円)

| 区 分  | 農林水産施設 | 公共土木施設 | 農産物    | 畜産物 | 商 工    | その他   | 合 計     |
|------|--------|--------|--------|-----|--------|-------|---------|
| 直接被害 | 8,461  | 20,872 | 11,661 |     | 14     | 1,712 | 42,720  |
| 間接被害 |        |        |        |     | 95,318 | 1,399 | 96,717  |
| 合 計  | 8,461  | 20,872 | 11,661 |     | 95,332 | 3,111 | 139,437 |

・ 警戒区域内の農作物の被害状況は表-3 のとおりである。

## III. 地域農業の状況

島原半島は、土壌、気象等の自然条件に恵まれ土地並びに労働生産性ともに高い。

耕地面積は、県下の23%に対し、農業粗生産額は38%を占める県下随一の農業地帯である。

しかし、平坦地に乏しく、傾斜地で細分化された耕地が分散し、耕地の65%は畑地となっている。

このような土地条件のため水田の整備率は県平均の33%に対し17%、畑地の整備率は42%に対し28%と低い。反面、土地利用率は県平均の110%に対し139%と高い。

今噴火災害で直接被害の大きい島原市と深江町は半島の東部にあり、雲仙岳から有明海に向かって扇状に広がる畑地帯である。

土壌は、一般的に耕土が深く肥沃で、かつ、気象も年降雨量 2,200 mm、年平均気温 17.9℃ と温暖で

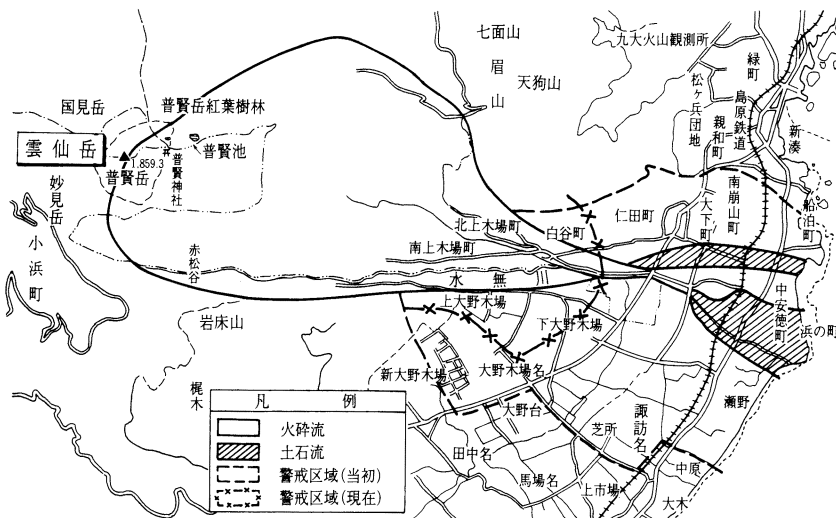


図-2 雲仙普賢岳火砕流、土石流発生および警戒区域図

表-2 農地・農業用施設の被害

| 項 目 | 島原市               | 深江町             | 計                 | 被害額          |
|-----|-------------------|-----------------|-------------------|--------------|
| 農 地 | 149 ha            | 44 ha           | 193 ha            | 百万円<br>5,753 |
| 道 路 | 141カ所<br>18,123 m | 27カ所<br>1,787 m | 168カ所<br>19,910 m | 1,335        |
| 水 路 | 45カ所<br>7,730 m   | 17カ所<br>1,621 m | 62カ所<br>9,351 m   | 551          |

表-4 最大警戒区域設定地域内の土地面積 (単位: ha)

| 区 分 | ①<br>被災前農地積 |     |     | ②<br>被災農地積 |     |     | ③<br>砂防施設地 |     |     | ④=①-③<br>要整備農地積 |     |     |
|-----|-------------|-----|-----|------------|-----|-----|------------|-----|-----|-----------------|-----|-----|
|     | 水田          | 畑   | 計   | 水田         | 畑   | 計   | 水田         | 畑   | 計   | 水田              | 畑   | 計   |
| 島原市 | 36          | 184 | 220 | 24         | 125 | 149 | 5          | 101 | 106 | 31              | 83  | 114 |
| 深江町 | 25          | 356 | 381 | 7          | 37  | 44  | —          | 35  | 35  | 25              | 321 | 346 |
| 計   | 61          | 540 | 601 | 31         | 162 | 193 | 5          | 136 | 141 | 56              | 404 | 460 |

表-3 警戒区域内の農作物の被害状況

(単位: ha)

| 農作物名 | 水 稻  | 麦          | 大 豆<br>馬 鈴 薯 | 野 菜   | 果 樹   |
|------|------|------------|--------------|-------|-------|
| 被害面積 | 32.6 | 8.6        | 33.5         | 85.5  | 41.7  |
| 農作物名 | 茶    | 飼 料<br>作 物 | 花 き          | たばこ   | 計     |
| 被害面積 | 49.0 | 275.9      | 5.5          | 205.0 | 737.3 |

農業条件に恵まれている。

とくに、水無川周辺の農地は、南東に面し、畜産や葉たばこ、施設園芸等の栽培が盛んな優良畑作地帯で、一戸当りの農業所得も高いところである。

## IV. 土地利用および営農の現況と計画

### 1. 土地利用の現況と計画

今回の噴火災害で復旧・復興する地域の農地面積および被災農地面積、砂防施設による買い上げ用地並びに要整備面積は表-4のとおりである。

### 2. 営農の現況と計画

本地域の農業経営規模は、一戸当たり平均耕地面積は約 50 a、中核農家は 100 a 程度である。

農家戸数は、高齢化や小規模経営農家の離農に伴い減少傾向にあり、今後、砂防施設の建設に伴い、この傾向がさらに強まるものと予想される。

一戸当たり経営耕地面積が現況の面積より減少する場合は、施設化を推進することにより高度な集約型で生産性の高い農業を目指す必要がある。

しかも、本地域においては、今後とも相当量の降灰が継続することを想定しなければならない、そのためにも葉茎菜類の露地栽培は不適と思われる、施設化は必要不可欠なものといえる。

営農類型を大別すると、葉たばこ、野菜、畜産、花きの専業型と野菜、果樹、水稻等を組合わせた複合型とに区分され、土地基盤の整備とともに農地の有効利用を図る観点から中核農家への農地の集積が

推進され、農業機械の共同利用、作物の作付栽培協定等を目的とした生産組織の育成が進展するものと考えられる。

## V. 農地復旧・復興の基本方針

### 1. 復旧・復興の基本方針

土石流等により被災を受けた農地とその周辺部を一体的に整備する。

整備は、当初警戒区域に設定された範囲で、砂防施設等により買収される以外の農地を対象とし、農地の区画整理と畑地灌漑施設の整備を行う。

なお、集落の周辺部は、環境基盤の整備も併せて行う予定である。

- ① 直接被災農地は、農地・農業用施設災害復旧事業の原形復旧方式と区画整理方式で整備する。
- ② 被災地の周辺の農地は、農地災害関連区画整備事業で整備する。
- ③ 最外縁部の畑地の区画整理は、県営畑地帯総合土地改良事業で整備する。
- ④ 全域の畑地灌漑施設は、県営畑地帯総合土地改良事業で整備する。
- ⑤ 災害復旧と復興計画の事業の仕組みの概念図は図-3のとおりである。

### 2. 区画整理計画

本地域の農地は、区画が不整形・狭小で、加えて農道も未整備であるため区画整理を実施する。

(1) 基本方針 区画計画は、営農計画に基づいた高性能農業機械によって能率的に作業ができ、将来の営農方式に対応できる農作業が可能で、さらに、土地生産力の維持増進および土地の高度利用が可能な区画形状と大きさを確保するとともに農地保全にも配慮する。

なお、本地域の現状は、火砕流および土石流によ

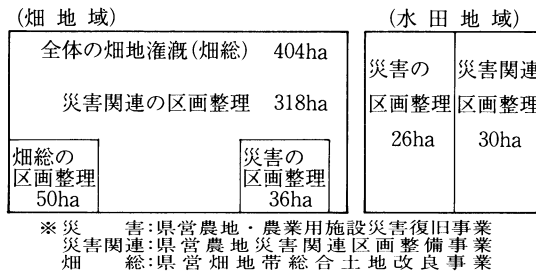


図-3 事業の仕組み概念図

る農地災害、農作物被害も激甚で降灰等による被害が継続していることから、区画計画は災害に強い地域づくりの一環と位置づける。

## (2) 区画形状

### ① 機械作業効率との関係

機械作業効率を高めるためには、区画の長辺比が大きいほど良いが、本地域内には中型トラクタが多いことや近年基盤整備の進展並びに営農経費節減の視点から大型トラクタの導入があることにも配慮する。

### ② 栽培管理作業との関係

収穫作業を人力で行う場合には、耕区の長辺を長くとれない、その距離は最大 70 m とされている。

### ③ 経営条件との関係

団地は、経営規模や経営方式および換地や集団化の可能性、風水害や病虫害からの危険分散、労働ピーク時の分散等を考慮すると数カ所に分けることが好ましい。

一筆の大きさは、平均所有面積 100 a を三団地程度に分散させることとし 30 a とする。

標準区画は、長辺 75 m、短辺 40 m の耕区面積 30 a とする。

(3) 畑面勾配と法面 本地域の土質は、侵食性の高い黒ボク土壤地帯で降雨の際には土壌侵食が起りやすいことから、畑面の勾配を大きくしたり法面に土羽を設けることは、その侵食を誘発するものであり、できるだけ畑面勾配は緩く、かつ、土羽部分が少なくなるような配慮が必要である。

また、本地区内には施設栽培用のハウス団地が計画されており、畑面勾配を急にするとハウス内の温度変化が起り、作物の均等な管理に支障を与え品

質の低下等を招くので、0.5%程度とすることにより土壌の侵食防止にも寄与する。

島原半島の農地の畦畔は、自然石を積上げた野面石積みが多いが、これは火山山麓の限られた土地を有効に利用するため、法面の土羽による潰れ地の減少と侵食防止並びに石礫処理等を考慮した必要性が生み出した妥当な方法といえる。

本計画においても農地の畦畔は、法面の侵食防止を重視し現況の石積みによる。

## 3. 道路計画

(1) 基本方針 幹線道路は、地区の中央に広域農道、上流部に国道57号、海岸部に国道 251 号があるので、支線農道について述べる。

支線農道は、圃場と幹線農道を連絡する道路であるが、今計画では避難道路としての機能も考慮する必要がある。

したがって、構造・幅員についても充分勘案して決定する。

(2) 道路配置計画 支線農道の配置は、等高線方向に走っている広域農道に 300 m 間隔でほぼ直交させる。

(3) 道路幅員の決定 車線は、原則として1車線とするが、幅員は運搬用機械(軽トラック)と農業用機械(乗用トラクタ)とのすれ違いにより決定する。

|         |            |        |       |
|---------|------------|--------|-------|
| ・軽トラック  | 1.4 m      | ・トラクタ  | 1.7 m |
| ・すれ違い幅  | 0.3 m      | ・両端余裕幅 | 0.6 m |
| [有効幅員]  | 4.0 m      | [路 肩]  | 1.0 m |
| [全 幅 員] | 5.0 m とする。 |        |       |

この幅員は、緊急避難時、道路に小型トラックが停車していても余裕が 2.0 m 以上あり小型トラックや乗用車の通行は充分できる。

(4) 道路の構造 作物の荷傷み防止と避難道路の機能確保から全線舗装する。

## 4. 排水計画

(1) 基本方針 島原市は、古来「水の都」といわれており、水の豊富な湧水地帯と水無川のような河川の水さえない常時干ばつにあえぐ火山山麓地帯とが隣合せの地域である。

農業用水源は、主として地下水を利用しており、その取水量からみると深井戸が圧倒的に多い。

昭和30年代中ごろまでは湧水や浅井戸が多かった

が、昭和30年代後半から水田や果樹園において深井戸による灌漑が進み昭和40年代前半にその最盛期となった。

その後は、地下水の過剰揚水による取水量の減少や社会情勢の変化などで常時使用される井戸の開発は少なくなった。

このような歴史を持つ雲仙火山山麓にある畑地帯は、厚い黒色火山灰層で形成されており、透水性が良く降水を浸透しやすい地下水涵養源として重要な役割を果たしているため、できる限り降水を地下に還元できる形態を維持できるような配慮が必要である。

そのため、排水計画の基本方針は、降雨時の流出水を地下浸透させる排水路計画を樹立する。

ただ、支線排水路等のような小さなものは、経済性や維持管理の面から浸透型水路とすることは好ましくない。

よって、幹線的な排水路は、地下水涵養型の構造で計画する。

(2) **排水路配置計画** 現況のほとんどの排水路は、傾斜方向に配置され集落内を流下し海へ排水されているが、集落内の排水路は規模的に小さく排水断面不足を来している。

排水路の配置計画は、支線排水路を傾斜方向に、幹線排水路を等高線沿いに設けることにより集落内への排水の集中を避けるとともに、幹線排水路の構造を浸透型とし、その流末は水無川へ流入させる。

(3) **排水路の構造** 幹線排水路の構造は、法面・底面ともに雑石でライニングし、支線排水路は全てU字溝等のライニング水路とする。

さらに、支線排水路が道路と交差するカ所には雑石でライニングした沈砂池を設ける。

#### (4) 計画排水量

- ① 計画基準雨量は1/10の確率雨量とする。
- ② 末端支配流域面積が20～30ha以内の圃場内の小排水路や支線排水路においては、4時間雨量・4時間排除により得た降雨強度から合理式により排水量を決定する。

・島原測候所 日雨量：323.0mm/日  
降雨強度：44.4mm/hr

- ③ 幹線排水路と地区外（山林・宅地等）の計画排水量は、到達時間内平均降雨量による合理式により排水量を決定する。

・島原測候所 時間雨量：112.0mm/hr

- ④ 流出係数は、排水区域内の地表面の状態、土質、傾斜等の諸条件により異なるが、次のとおりとする

・畑 0.70 ・水田 0.40 ・山林 0.60  
・宅地 0.80 ・ハウス団地 1.00

#### 5. 用水計画

(1) **畑地灌漑計画の諸元** 畑地灌漑は、当面国道57号から島原鉄道間の畑地について計画し、国道57号から上流については、避難勧告および警戒区域が全面解除になった時点で計画する。

- ① 日消費水量

日消費水量は、本県の先行地区に準じて表-5（対象作物および日消費水量）のとおりとする。

- ② TRAM

TRAMは、土壌類型区分別に試掘坑を設け調査した結果、赤井統・米神統の2統に大別され、それぞれの水分量調査を実施し、その中の最低値を代表値として20mmに決定した。

- ③ 計画の諸元

表-5 対象作物および日消費水量

| 地目  | 期別 | 作物名 | 作付率<br>(%) | 灌<br>面<br>積 (ha) | 日 消 費 水 量 (mm/日) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|----|-----|------------|------------------|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|     |    |     |            |                  | 1月               | 2月  | 3月  | 4月  | 5月  | 6月  | 7月  | 8月  | 9月  | 10月 | 11月 | 12月 |
| 普通畑 | 通年 | 野菜  | 46         | 112.6            | 2.0              | 2.0 | 2.0 | 2.5 | 2.5 | 3.0 | 4.0 | 4.0 | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 2.0 |
|     |    | 飼料  | 35         | 84.6             |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|     |    | 施設  | 19         | 46.6             |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|     |    | 計   | 100        | 246.8            |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 樹園地 | 通年 | みかん | 57         | 13.0             | 2.0              | 2.0 | 2.0 | 2.5 | 2.5 | 3.0 | 4.0 | 4.0 | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 2.0 |
|     |    | ぶどう | 43         | 9.8              |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|     |    | 計   | 100        | 22.8             |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

表-6 用 水 諸 元

| 作物名             | 面 積<br>ha      | 消 費<br>水 量<br>mm/日 | TRAM<br>mm | 間断<br>日数<br>日 | 1 回<br>の総水<br>の<br>流量<br>mm | 有効<br>根群<br>深<br>cm | 1 日<br>移動<br>回数<br>回 | 1 日<br>稼働<br>時間<br>ha | 散 水 方 式  |                           |               |            | 1 回<br>の 水 間<br>散 時<br>hr | 配置<br>方式 | 自動<br>制御 |                     |                           |
|-----------------|----------------|--------------------|------------|---------------|-----------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|----------|---------------------------|---------------|------------|---------------------------|----------|----------|---------------------|---------------------------|
|                 |                |                    |            |               |                             |                     |                      |                       | 機 種      | 作動圧<br>kg/cm <sup>2</sup> | 散水<br>直径<br>m | 配 置<br>m×m |                           |          |          | 灌 水<br>強 度<br>mm/hr | 散水量<br>l/min              |
| 野 菜 料           | 197.2          | 2～4                | 20         | 5             | 20                          | 40                  | 6                    | 15.6                  | 30番      | 2.5                       | 27.3          | 15×<br>12  | 8.7                       | 26.0     | 2.6      | 一作<br>固定            | 無                         |
| 樹園地             | 22.8           | 〃                  | 〃          | 〃             | 〃                           | 〃                   | 〃                    | 〃                     | 〃        | 〃                         | 〃             | 〃          | 〃                         | 〃        | 〃        | 固定                  | 無                         |
| ハウス<br>施設       | 46.6           | 〃                  | 〃          | 2             | 8                           | 〃                   | 16                   | 13.4                  | ドリ<br>ップ | 1.0                       | —             | 75×<br>1.2 | 10.0                      | 0.2      | 0.84     | 一作<br>固定            | 無                         |
| 計               | 266.6          |                    |            |               |                             |                     |                      |                       |          |                           |               |            |                           |          |          |                     |                           |
| インター<br>ネー<br>ト | 土 壤 統<br>ベーシック | 赤井・米神              | 75 mm      | 灌 効           | 灌 率                         | 普 90%               | 施 95%                | 普 95%                 | 施 95%    | 普 95%                     | 施 95%         | 普 95%      | 施 95%                     | 普 95%    | 施 95%    | TRAM<br>の<br>計算     | 土壌統ごと<br>に現地実測<br>最低値20mm |
| 多 目 的           |                |                    |            |               |                             |                     |                      |                       |          |                           |               |            |                           |          |          |                     |                           |

## ・灌漑方式の決定

普通畑・樹園地……スプリングラ方式

ハウス団地……点滴灌漑方式

## ④ 対象作物および日消費水量・用水諸元

対象作物および日消費水量と用水諸元は表-6のとおりである。

## ⑤ 水源計画

水源は、既設井戸7ヵ所・新設井戸8ヵ所の15ヵ所の地下水を利用する。

## ⑥ 水利用計画

用水量は、月別作付け表よりピークの7月の水量9,600 m<sup>3</sup>/日とし、施設等の規模もこれで計画する

## ⑦ 送配水方式の決定

送配水方式は、経済性を考慮し、配水槽方式と自然流下方式を組合わせた3段アップ方式とし地区内を3ブロックに分けた送配水組織とする。

## 6. 事業計画平面図

事業計画平面図は口絵写真のとおりである。

## VI. おわりに

農地の復旧・復興計画については、基本的にはこれまで述べたような計画であるが、地元では被災農家の営農再開の要望が強く、加えて、雲仙岳噴火災害の早期復興の声が高まっている。

しかし、山は、鎮静化の兆しもない中で本格的な復旧・復興はできないが、当面、警戒区域が解除された国道57号より海までの農地で土石流等の危険の

少ない地域から事業に着手することとしている。

今後、実施計画時は、生活環境や景観・生態系等についても地元関係者と十分な検討を加え、より住みやすい快適な農村建設を目指していきたい。

最後に、国において「雲仙岳噴火農村・農業対策研究委員会」を設置され、さらに、農業土木学会において「雲仙岳噴火による農地災害」の小特集を発売されることに對し、お礼を申し上げるとともに、御指導いただいた関係各位に心から感謝申し上げる次第である。

[1993. 5. 6. 受稿]

## 岸川 健



1936年 長崎県長崎市に生まれる  
佐賀大学農学部卒業  
長崎県農林部耕地課長  
現在に至る

## 略 歴

## 本城 守義



1941年 長崎県佐世保市に生まれる  
宮崎大学農学部卒業  
長崎県島原振興局農林部長  
現在に至る

## 増崎 一夫



1943年 長崎県島原市に生まれる  
東京農業大学農学部卒業  
長崎県島原振興局耕地災害復興課長  
現在に至る



## 降下火山灰、土石流堆積土の農地工学的処理

## Handling of Volcanic Ashes and Debris Flow Deposits on Agricultural Land for the Eruption Disaster Rehabilitation

東 孝 寛<sup>†</sup> 高山 昌 照<sup>†</sup> 藤 本 昌 宣<sup>††</sup> 肥 山 浩 樹<sup>†</sup>  
 (Takahiro HIGASHI) (Masateru TAKAYAMA) (Masanobu FUJIMOTO) (Hiroki HIYAMA)

## I. はじめに

雲仙・普賢岳の噴火や火砕流に伴って発生する降灰、および降雨によって発生する土石流は、人間生活や諸産業、なかでも農業に大きな影響を及ぼしている。火山灰が堆積した農地の復旧方法としては、火山灰を集めて除去する方法、火山灰を表土と混合する方法がある。機械力で火山灰を除去する場合においても、堆積厚さ5 cm以下の火山灰の除去は難しく、火山灰と表土との混合もやむをえないこととなる。火山灰除去法、混合処理法のいずれの方法を採用しても、表土と火山灰の混合土が作物栽培に適する土壤であるか否か、土壌学、作物学、農地工学等の立場から総合的に検討しておく必要がある。

土石流被害を受けた水無川流域の農地の復旧に際しては、土石流堆積物は除去すべきであるが搬出先の確保が難しい。そのため土石流堆積物の処理方法の1つとして、現在の農地の下に埋め込む方法が検討されている。当地区の農地は、1%から3%程度の内勾配をもつ階段畑であり、斜面は石積みで保護されている。畑地土壌は黒ぼく土である<sup>1)</sup>。畑地の透水性は非常によく、降雨の大半は、土壌に浸透し地下水を涵養している。土石流堆積物を農地の下に埋め込む場合、現在の農地環境、とくに土壌の透水性を損なうことのないようにすべきである。

本文は、降下火山灰を畑地表土に混合した場合の畑地表土の性質、とくに透水性、保水性の変化と畑地表土、下層土と土石流堆積土の締固め透水特性について農地工学の立場から検討したものである。

## II. 畑地土、降下火山灰と土石流堆積土の性質

## 1. 畑地土の性質

畑地土は、島原市三会原と深江町諏訪名諏訪の畑地から採取した。両地点とも降灰が多い地域であり、深江町諏訪名諏訪は土石流被災地に近い。表-1に採取した畑地土の性質を示す。

三会原の畑地表土は、有機物含量が比較的少ない黒ぼく土である。土粒子密度( $\rho_s$ )は2.55 g/cm<sup>3</sup>程度である。粒度組成は、粘土分22%、シルト分28%、砂分36%、礫分14%である。土質工学会三角座標表示では砂質土であり、国際法では埴壤土に分類される。透水係数( $k$ )は $1.1 \times 10^{-3}$  cm/sである。

分散率( $D_r$ )50以上、侵食率( $E_r$ )100以上の土壌は、侵食性土壌と定義されている<sup>2)</sup>。三会原の畑地表土は、 $D_r$ 、 $E_r$ が基準値より大きく、侵食を受けやすいと判断できる。一次鉱物として長石、クリストバライト、石英、雲母、角せん石、磁鉄鉱、二次鉱物として2:1型鉱物(バーミキュライトなど)、カオリン鉱物、非晶質の火山ガラスおよび非晶質粘土鉱物(アロフェンなど)を含有している。

深江町諏訪名諏訪においては、2地点(A、B)から畑地土A-1~4、Bを採取した。いずれの試料も黒ぼく土である。A地点の表層から20 cmの表土は、下層土に比べ有機物含量は少なく4%程度であり、砂分が50%と多く、含水比は低く20%前後である。同じ地点の表層から30 cm以深の下層土は、有機物含量が13~15%であり、シルト分が多く57~64%を占め、含水比は60~100%である。畑地土Bは同じ下層土である畑地土A-3、4より砂分、礫分が多く、 $\rho_s$ や粒度組成は表土に近い。土質工学会三角座標表示では、表土は砂質土、下層土の畑地

<sup>†</sup>九州大学農学部 <sup>††</sup>佐賀大学農学部



噴火災害、災害復旧、火山灰、土石流堆積土、畑地土、混合土、透水性、保水性、締固め特性

表-1 畑 地 土 の 性 質

| 試 料                                                  | 畑地土<br>(表 土)         | 畑地土 A-1<br>(表 土) | 畑地土 A-2<br>深さ 0.10~0.15 m      | 畑地土 A-3<br>深さ 0.30~0.35 m       | 畑地土 A-4<br>深さ 0.45~0.50 m       | 畑地土 B<br>深さ 0.25~0.35 m |
|------------------------------------------------------|----------------------|------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| 採 土 場 所                                              | 島原市三会原               |                  | 深 江 町                          | 諏 訪                             | 名 諏 訪                           |                         |
| 自然含水比 ( $w_n$ ) (%) <sup>a)</sup>                    | 38.1 (40.8)          | (19.6)           | 25.5 (25.3)                    | 63.0 (96.1)                     | 102.2 (101.3)                   | 50.1                    |
| 湿潤密度 ( $\rho_t$ ) (g/cm <sup>3</sup> ) <sup>a)</sup> | 1.44                 | —                | 1.24                           | 1.07                            | 1.01                            | 1.42                    |
| 三相分布 (%) <sup>a)</sup>                               |                      |                  |                                |                                 |                                 |                         |
| 固相                                                   | 40.8                 | —                | 38.1                           | 28.1                            | 21.2                            | 37.6                    |
| 液相                                                   | 39.6                 | —                | 25.2                           | 41.4                            | 51.4                            | 47.4                    |
| 気相                                                   | 19.6                 | —                | 36.7                           | 30.5                            | 27.4                            | 15.0                    |
| 土粒子密度 ( $\rho_s$ ) (g/cm <sup>3</sup> )              | 2.547                | 2.570            | 2.589                          | 2.339                           | 2.373                           | 2.515                   |
| 粒度組成 (%) <sup>b)</sup>                               |                      |                  |                                |                                 |                                 |                         |
| 粘土 ( $\leq 5 \mu\text{m}$ )                          | 22.1                 | 14.0             | 12.5                           | 19.3                            | 11.0                            | 8.0                     |
| シルト ( $5 \sim 75 \mu\text{m}$ )                      | 27.6                 | 16.9             | 17.8                           | 56.8                            | 63.7                            | 35.0                    |
| 砂 ( $75 \sim 2000 \mu\text{m}$ )                     | 35.8                 | 50.2             | 51.5                           | 18.8                            | 20.8                            | 36.9                    |
| 礫 ( $\geq 2000 \mu\text{m}$ )                        | 14.5                 | 18.9             | 18.2                           | 5.1                             | 4.5                             | 20.1                    |
| 透水係数 ( $k$ ) (cm/s) <sup>a)</sup>                    | $1.1 \times 10^{-3}$ | —                | $(2.5 \sim 17) \times 10^{-3}$ | $(2.2 \sim 2.6) \times 10^{-3}$ | $(1.9 \sim 4.3) \times 10^{-3}$ | —                       |
| 分散率 ( $D_r$ )                                        | 57                   | 64               | 77                             | 96                              | 88                              | —                       |
| 侵食率 ( $E_r$ )                                        | 137                  | —                | 144                            | 281                             | 807                             | —                       |
| 有機物含量 (%)                                            | 4.7                  | 4.4              | 3.9                            | 15.1                            | 13.2                            | —                       |
| pH (H <sub>2</sub> O)                                | 4.20                 | 6.24             | 6.14                           | 5.50                            | 5.86                            | —                       |

a) 不攪乱試料についての測定結果 (自然含水比 ( $w_n$ ) については乱した状態で採取した試料の値をカッコ内に記す)

b) 有機物を完全に分解

土 A-3, 4 は細粒土, 畑地土 B は砂質土であり, 国際法では表土は砂壤土, 下層土の畑地土 A-3, 4, B は, それぞれ砂質埴壤土, 埴質砂土, 砂壤土に分類される。A 地点の表土, 下層土ともに  $D_r \geq 50$ ,  $E_r \geq 100$  であり, 侵食を受けやすいと判断できる。

A 地点の畑地土の  $k$  は, 表土で  $(2.5 \sim 17) \times 10^{-3}$  cm/s, 下層土で  $(1.9 \sim 4.3) \times 10^{-3}$  cm/s である。また, 同じ地点で測定したベーシックインテークレート ( $I_B$ ) は, 図-1 に示すように 75~180 mm/hr である。当地区の土壤の透水性は非常によい。A 地点の土壤のコーン指数は, 深さ 20 cm までの耕うんされている表土層では 1 程度であり, 25 cm 以深で

は深さに対してほぼ直線的に増加し, 深さ 30 cm で約 10, 深さ 60 cm で約 20 である。

## 2. 降下火山灰, 土石流堆積土の性質

降下火山灰は, 島原市出平町, 北千本木町, 土石流堆積土は深江町諏訪名瀬野において採取した。試料土の性質を表-2 に示す。

雲仙・普賢岳から約 7 km 離れた出平町で採取した火山灰の粒度組成は, 粘土分 12%, シルト分 69%, 砂分 19% であり, シルトを多く含んでいるのが特徴である。一次鉱物として長石, クリソバライト, 石英, 雲母, 角せん石, 磁鉄鉱, 黄鉄鉱など, および非晶質の火山ガラスを含有している。

雲仙・普賢岳から約 4 km 離れた北千本木町で採取した火山灰の粒度組成は, 粘土分 11.5%, シルト分 45%, 砂分 25%, 礫分は 18.5% であり, 出平町で採取した火山灰に比べてシルト分が少なく, 礫分が多い。粒径別の  $\rho_s$  をみると, 粒径 75  $\mu\text{m}$  以下, 75~425  $\mu\text{m}$ , 0.425~2 mm, 2~4.75 mm, 4.75 mm 以上の  $\rho_s$  は, それぞれ 2.612, 2.611, 2.573, 2.418, 2.265 g/cm<sup>3</sup> であり, 全体としての  $\rho_s$  は 2.578 g/cm<sup>3</sup> である。粒径が大きくなるに伴い  $\rho_s$  は小さくなる。粒径が大きい試料には内部に空隙があるためと推定される。

火山灰はダイレイタンシー反応が顕著であり,  $k$  は  $1.6 \times 10^{-5}$  cm/s で, 三会原の畑地表土の  $1.1 \times$

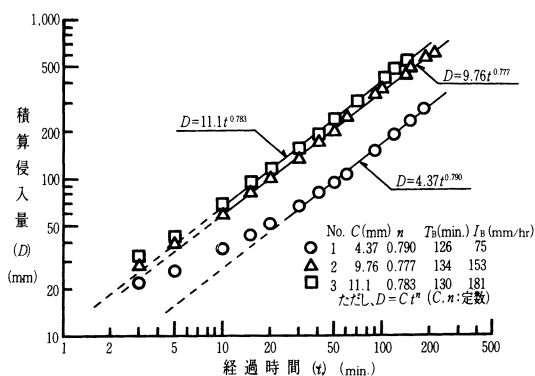


図-1 畑地のインテークレート

表-2 火山灰、土石流堆積土の性質

| 試料                                                   | 火山灰                  | 火山灰          | 土石流堆積土       |
|------------------------------------------------------|----------------------|--------------|--------------|
| 採土場所                                                 | 島原市<br>出平町           | 島原市<br>北千本木町 | 深江町<br>諏訪名瀬野 |
| 自然含水比 ( $w_n$ ) (%) <sup>a)</sup>                    | 25.3                 | (17.7)       | (5.2)        |
| 湿潤密度 ( $\rho_t$ ) (g/cm <sup>3</sup> ) <sup>a)</sup> | 1.97                 | ---          | ---          |
| 三相分布 (%) <sup>a)</sup>                               |                      |              |              |
| 固相                                                   | 60.2                 | ---          | ---          |
| 液相                                                   | 39.8                 | ---          | ---          |
| 気相                                                   | 0.0                  | ---          | ---          |
| 土粒子密度 ( $\rho_s$ ) (g/cm <sup>3</sup> )              | 2.600                | 2.578        | 2.604        |
| 粒度組成 (%)                                             |                      |              |              |
| 粘土 ( $\leq 5 \mu\text{m}$ )                          | 12.2                 | 11.5         | 6.2          |
| シルト ( $5 \sim 75 \mu\text{m}$ )                      | 69.0                 | 45.3         | 11.3         |
| 砂 ( $75 \sim 2000 \mu\text{m}$ )                     | 18.6                 | 24.7         | 70.8         |
| 礫 ( $\geq 2000 \mu\text{m}$ )                        | 0.2                  | 18.5         | 11.7         |
| 透水係数 ( $k$ ) (cm/s) <sup>a)</sup>                    | $1.6 \times 10^{-5}$ | ---          | ---          |
| 分散率 ( $D_r$ )                                        | 97                   | 98           | 87           |
| 侵食率 ( $E_r$ )                                        | 193                  | ---          | ---          |
| 有機物含量 (%)                                            | 0.3                  | ---          | 0.1          |
| pH (H <sub>2</sub> O)                                | 5.45                 | ---          | 7.10         |

<sup>a)</sup> 不攪乱試料についての測定結果 (自然含水比 ( $w_n$ ) については乱した状態で採取した試料の値をカッコ内に記す)

$10^{-3}$  cm/s よりかなり小さい。また、 $D_r \geq 50$ ,  $E_r \geq 100$  であり、侵食を受けやすいと判断できる。

島原市出の川町、出平町において、降下火山灰とその下の表土の硬度を山中式硬度計を用いて測定した。10点の測定値を (平均値)  $\pm$  (標準偏差) で示すと、出の川町の火山灰は  $17.0 \pm 1.9$  mm、表土は  $13.5 \pm 3.5$  mm である。出平町における火山灰、表土の測定値は、それぞれ  $17.3 \pm 2.5$  mm,  $14.4 \pm 1.9$  mm である。両地点とも火山灰と表土の指標硬度の分散に有意差は認められない。一方、両者の平均値には両測定地点とも有意な差が認められ、火山灰の指標硬度 17 mm は、表土の指標硬度 13~14 mm より大きい。作物の正常生育に障害となる硬度は 24 mm 以上である<sup>3)</sup>。したがって、火山灰、表土ともにその硬度は農地工学上の問題にはならない。

土石流堆積土の透水性に関係する要因は、細粒分の粒度組成である。したがって、本文においては細

粒分に富む土石流堆積土の密度と透水性の関係を調べた。試料の粒度組成は、粘土分 6 %, シルト分 11 %, 砂分 71 %, 礫分 12 % であり、砂分がかなり多い。土質工学会三角座標による表示では、土石流堆積土は砂質土になる。

### III. 火山灰の混合に伴う畑地表土の透水性、保水性の変化

#### 1. 試料土と実験方法

実験に使用した試料土は、島原市出平町で採取した火山灰と同市三会原において採取した畑地表土である。不攪乱試料、混合土の透水係数は、採土円筒を利用した変水位透水試験器を用いて測定した。保水性は、透水試験終了後の供試体を用いて pF 試験 (吸引法、遠心法) を行い検討した。

供試体は、自然含水比状態の両試料土を所定の割合で混合し、採土円筒 (100 cm<sup>3</sup>) に少量ずつ入れて、質量 340 g、先端直径 2.5 cm の突き棒で軽く締固めて作製した。この方法を用いると、畑地表土だけの供試体湿潤密度 ( $\rho_{t1}$ ) は自然状態のそれとほぼ同じ値 (1.43 g/cm<sup>3</sup>) となる。原位置における畑地の表土層厚 ( $H_1$ ) は 15 cm であるので、これを一定とし、湿潤密度が  $\rho_{t2}$  である火山灰の層厚を  $H_2$  と仮定し、両試料土の混合割合を湿潤質量比で  $\rho_{t1} H_2$  (火山灰) :  $\rho_{t1} H_1$  (畑地表土) とした。本研究においては、 $H_2$  を 0, 1, 3, 5, 7, 10, 15 cm と変化させているが、火山灰と畑地表土の混合割合を乾土質量比 ( $R$  : 百分率表示) で表わすと 0, 9, 27, 45, 62, 89, 134 % となる。

表-3 に混合土および両試料の pH (H<sub>2</sub>O),  $D_r$ ,  $E_r$  を示す。火山灰の添加率が高くなるにつれて pH は緩やかに高くなる。畑土壌の pH は作物栽培上 6.0 ~ 6.5 が好ましいことから<sup>4)</sup>、火山灰の添加は pH を幾分改善することになる。混合土の  $D_r$ ,  $E_r$  は 61 ~ 81, 160 ~ 175 と大きく、侵食土壌の判定基準よ

表-3 混合土、両試料土の pH (H<sub>2</sub>O), 分散率 ( $D_r$ ), 侵食率 ( $E_r$ )

| 層厚比 (火山灰 : 畑地表土)      | 0 : 15 | 1 : 15 | 3 : 15 | 5 : 15 | 7 : 15 | 10 : 15 | 15 : 15 | 15 : 0 |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|
| 乾土質量比 ( $R$ ) (%)     | 0      | 9      | 27     | 45     | 62     | 89      | 134     |        |
| pH (H <sub>2</sub> O) | 4.20   | 4.25   | 4.34   | 4.40   | 4.46   | 4.52    | 4.55    | 5.45   |
| 分散率 ( $D_r$ )         | 57     | 61     | 66     | 70     | 73     | 77      | 81      | 97     |
| 侵食率 ( $E_r$ )         | 137    | 166    | 169    | 160    | 163    | 174     | 175     | 193    |

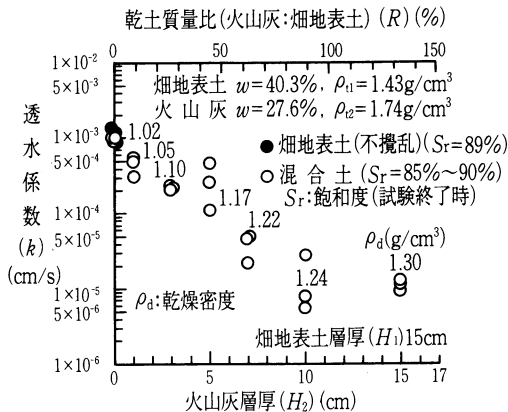


図-2 火山灰混合に伴う畑地表土の透水係数 ( $k$ ) の変化

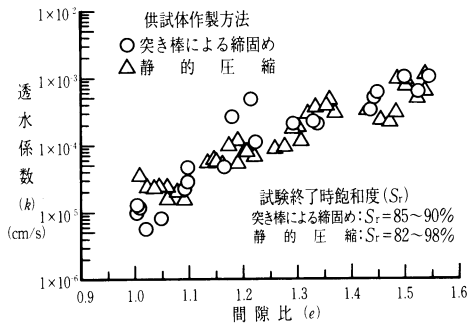


図-3 混合土の透水係数 ( $k$ ) と間隙比 ( $e$ ) の関係

り混合土は侵食性であると判断される。

## 2. 混合土の透水性

混合土の  $k$  を  $H_2$ ,  $R$  に対して示したのが 図-2 である。透水試験後の飽和度 ( $S_r$ ) は 85~90% であった。 $H_2=0$  cm ( $R=0$  %), つまり, 畑地表土のみの締固め試料の  $k$  は, 表-1 に示している不攪乱状態の  $k$  の値 ( $1.1 \times 10^{-3}$  cm/s) とほぼ一致している。 $H_2 \leq 10$  cm ( $R \leq 90$  %) の範囲では, 火山灰の添加量が多くなるにつれて,  $k$  は片対数紙上で直線的に減少し,  $H_2 > 10$  cm ( $R > 90$  %) ではほぼ一定となる。 $H_2$  が 5, 10 cm ( $R=45, 90$  %) のときの  $k$  は, 畑地表土の  $k$  の約 1/10, 1/100 である。畑地土壌の  $k$  は,  $1 \times 10^{-4}$  cm/s 以上であることが望ましいとされている<sup>5)</sup>。このことから判断すれば,  $H_2 \leq 5$  cm ( $R \leq 45$  %) の混合は透水性の面からは許容できることになる。

図-3 は,  $k$  と間隙比 ( $e$ ) の関係である。図中の△印は, 火山灰と畑地表土を 表-3 に示した割合で混

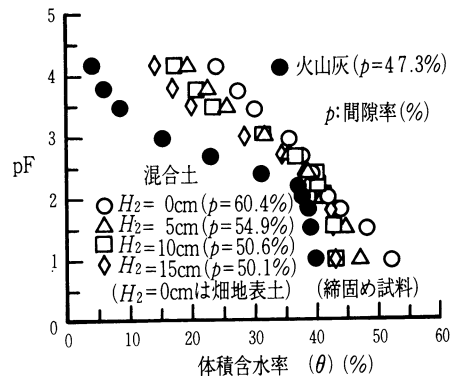


図-4 混合土の pF-水分曲線

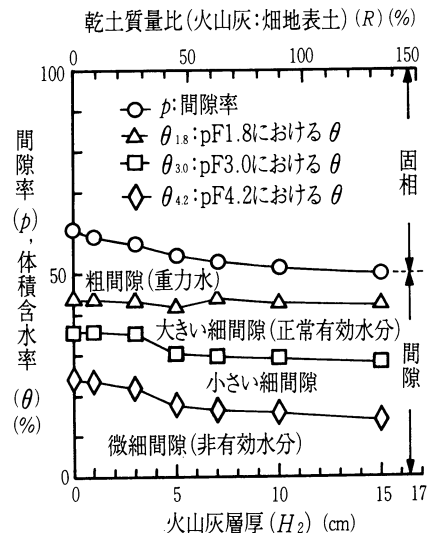


図-5 火山灰混合に伴う畑地表土の間隙率 ( $p$ ),  $\theta_{1.8}$ ,  $\theta_{3.0}$ ,  $\theta_{4.2}$  の変化

合し, 静的に圧縮して作製した湿潤密度 ( $\rho_t$ ) が  $1.4 \sim 1.7$  g/cm<sup>3</sup> である試料についての実験結果である。△印の  $k$ - $e$  関係は, 突き棒で締固めて作製した試料の結果 (○印) とほぼ同じである。混合土の  $e$  が 1.2~1.25 以上であれば,  $k \geq 1 \times 10^{-4}$  cm/s となり, 畑地の  $k$  の基準を満足する。

## 3. 混合土の保水性

図-4 は,  $H_1=15$  cm,  $H_2=0, 5, 10, 15$  cm ( $R=0, 45, 89, 134$  %) である混合土と火山灰 (締固め試料) の pF-水分曲線の一例である。混合土の場合, 火山灰の添加率が高くなるにつれて, pF-水分特性は火山灰のそれに近づく。火山灰の添加率に対する間隙率 ( $p$ ) および pF 1.8, 3.0, 4.2 における

体積含水率  $\theta_{1.8}$ ,  $\theta_{3.0}$ ,  $\theta_{4.2}$  の変化を示したのが図-5である。火山灰の添加率が高くなるにつれて粗間隙 (pF 1.8 以下), 微細間隙 (pF 4.2 以上) は減少し, 細間隙 (pF 1.8~4.2) は増加している。これは, 火山灰のシルト分が69%と多いことに起因している。空気を保持し水の吸い込みに関係する粗間隙 (pF 1.8 以下) は, 火山灰の添加率が高くなるにつれて減少し,  $H_2 \geq 7$  cm ( $R \geq 62\%$ ) の範囲では10%以下となる。一方, 植物に吸収しやすい水 (正常有効水分) を保持する細間隙 (pF 1.8~3.0) は,  $H_2 \leq 3$  cm ( $R \leq 27\%$ ) ではほぼ一定 (8%) であり,  $H_2 = 3 \sim 7$  cm ( $R = 27 \sim 62\%$ ) で8%から15%へと急増し,  $H_2 \geq 7$  cm ( $R \geq 62\%$ ) ではほぼ一定 (15%) となる。火山灰の混合は正常有効水分の増加に寄与している。

畑地の土壌改良における間隙の目標値は, 黒ぼく土の場合, 間隙率40~90%, 粗間隙 (pF 1.8 以下) 10~30%, 細間隙 (pF 1.8~3.0) 10~15%以上とされている<sup>3)</sup>。このことから判断すれば, 畑地表土に対して  $H_2 \leq 5$  cm ( $R \leq 45\%$ ) の火山灰の混合であれば, 混合土の間隙率, 粗間隙はともに目標値の範囲内であり,  $H_2 \geq 5$  cm ( $R \geq 45\%$ ) の火山灰の混合であれば, 混合土の細間隙は目標値の範囲内となる。

#### IV. 畑地土と土石流堆積土の締固め透水特性

##### 1. 畑地土の締固め透水特性

深江町諏訪名諏訪の畑地で採取した畑地土 A-1 (表土), 畑地土 B (下層土) についての締固め透水試験結果を図-6に示す。突固めに際しては, 質量2.5kgのランマー, 10cm モールドを用いた。図-6中の□印は, 畑地土 A-1 についての標準突固め試験において, 乾燥法で繰返し法 (A・a 法) によって求めた締固め曲線である。最適含水比は26%であり, 最大乾燥密度は  $1.42 \text{ g/cm}^3$  である。透水試験に際しては, 試料内の密度を均一にするために, 締固め仕事量 ( $E$ ) は標準突固めと同じ  $5.6 \text{ cm} \cdot \text{kgf/cm}^3$  であるが, 9層の突固めを行った。図-6中の○印は, 乾燥法で非繰返し法 (A・b 法), △, ▲印は湿潤法で非繰返し法 (A・c 法) によって求めた突固めと透水試験の結果である。畑地土 A-1 の場合,

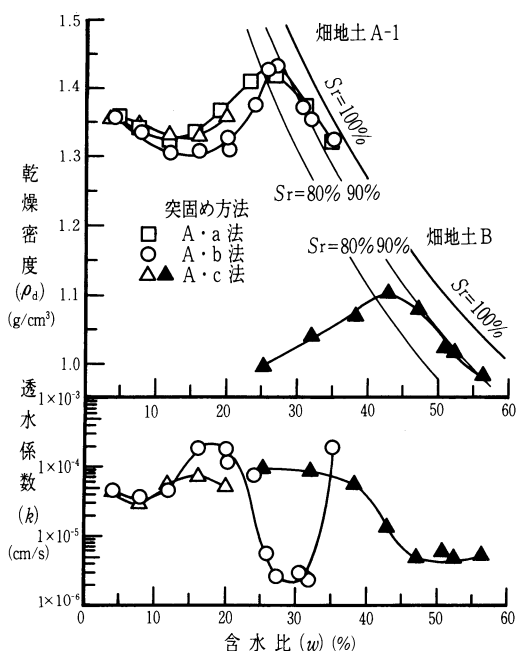


図-6 畑地表土の締固め曲線と締固めによる透水係数 ( $k$ ) の変化

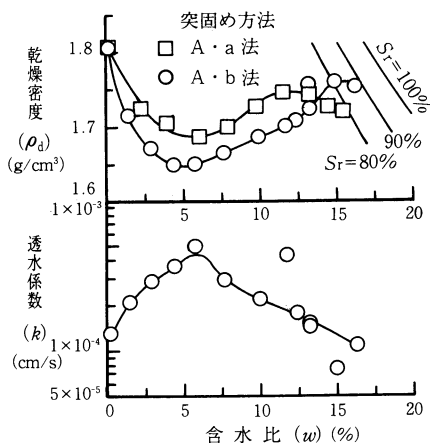


図-7 土石流堆積土の締固め曲線と締固めによる透水係数 ( $k$ ) の変化

最適含水比から乾燥側においては,  $k$  は  $(3 \sim 20) \times 10^{-5} \text{ cm/s}$  であるが, 最適含水比から湿潤側の  $k$  は  $(2 \sim 3) \times 10^{-6} \text{ cm/s}$  である。畑地土 B の場合, 最適含水比から乾燥側においては,  $k$  は  $(5 \sim 9) \times 10^{-5} \text{ cm/s}$  であり, 最適含水比から湿潤側の  $k$  は  $(4 \sim 6) \times 10^{-6} \text{ cm/s}$  である。

畑地土 A-1 について含水比を自然含水比のまま一定とし,  $E$  を標準突固めの 0.5, 1, 2, 4 倍と変化

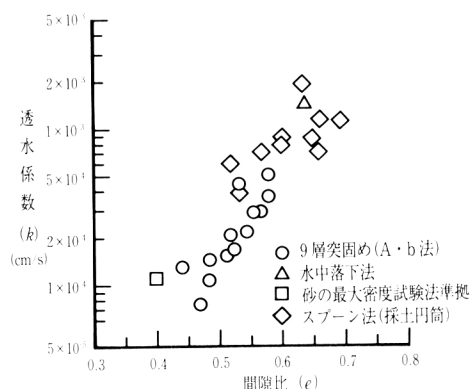


図-8 土石流堆積土の透水係数 ( $k$ ) と間隙比 ( $e$ ) の関係

させた場合、 $E$  の増加に伴い乾燥密度 ( $\rho_d$ ) は 1.30, 1.36, 1.41, 1.49 g/cm<sup>3</sup> と大きくなり、 $k$  は  $1.1 \times 10^{-4}$ ,  $5.1 \times 10^{-5}$ ,  $3.8 \times 10^{-5}$ ,  $9.8 \times 10^{-6}$  cm/s と低下する。当地区の畑地表土の  $\rho_d$  は 1 g/cm<sup>3</sup> 程度であり、 $k$  は  $(2.5 \sim 17) \times 10^{-3}$  cm/s である。下層土の  $k$  は  $(1.9 \sim 4.3) \times 10^{-3}$  cm/s である (表-1)。掘削、運搬、撒出し、転圧をした畑地土壤において、このような  $k$  の値を確保するためには、転圧の仕事を少なくし、できるだけ密度を小さくすべきである。

## 2. 土石流堆積土の締固め透水特性

図-7 は、土石流堆積土の締固め曲線と透水試験の結果である。 $k$  は  $10^{-4}$  cm/s のオーダーである。 $k$  と  $e$  の関係を示したのが 図-8 である。 $k$  の対数値は、 $e$  の増加に対して直線的に増加している。砂の最大密度試験法に準拠した方法で、土石流堆積土をモールドに密に充填した場合、 $\rho_d$  は 1.86 g/cm<sup>3</sup>、 $k$  は  $1.1 \times 10^{-4}$  cm/s である。一方、水中のモールドに土石流堆積土を緩く充填した場合、 $\rho_d$  は 1.59 g/cm<sup>3</sup>、 $k$  は  $1.4 \times 10^{-3}$  cm/s である。土石流堆積土の場合、締固めることなく緩く充填した場合、 $10^{-3}$  cm/s のオーダーの  $k$  は期待できる。

## V. ま と め

火山灰と畑地表土を混合する場合、15 cm の畑地表土に対して 5 cm (乾土質量比で 45%) 以下の火山灰の混合であれば、混合土の透水係数は畑地土壤の改良目標値 ( $1 \times 10^{-4}$  cm/s) 以上となる。混合土の間隙率、粗間隙 (pF 1.8 以下) は、火山灰の添加率

が高くなるにつれて減少するが、5 cm 以下の火山灰の混合であれば両者ともに普通畑の改良目標値の範囲内である。細間隙 (pF 1.8 ~ 3.0) は、3 cm 以下の火山灰の混合では変化しないが、5 cm 以上の混合になると急増し目標値の範囲内となる。しかし、火山灰の混合割合が同じでも混合や締固めの方法が異なると密度や透水性、保水性は違ってくる。現場での混合割合を決定する際には、この点に十分留意する必要がある。

土石流被害地の畑地土壤の透水係数は、 $10^{-3}$  cm/s のオーダーである。土石流堆積土を農地の下に埋め込む場合、転圧を控え目にすれば、透水係数を畑地土壤の改良目標値以上にはすることは可能である。掘削埋め戻しの対象土である畑地土の場合も締固め仕事を標準締固めの 1/2 以下にすることによって、透水係数の目標値を達成できる。

**謝辞** 本研究を行うに際して、便宜をいただいた九州大学農学部農業工学科灌漑利水工学教室および試料土の X 線回折分析をしていただいた農芸化学科土壤学教室の江頭和彦教授に謝意を表します。

なお、本研究は農業土木学会雲仙岳噴火農村・農業対策研究委員会 (委員長：九州大学農学部 戸原義男教授) における研究の一環として行ったものである。

## 引用文献

- 1) 矢野文夫：地域内での土壤の違いと土地利用—長崎・島原半島、農業技術体系、土壤施肥編 3, pp. 215 ~ 221 (1987)
- 2) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準は場整備 (畑), p. 42, 農業土木学会 (1978)
- 3) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準計画・土層改良, p. 24, 農業土木学会 (1984)
- 4) 再掲 3) p. 77
- 5) 穴瀬真・小出進・竹中肇：農地工学, p. 174, 文永堂出版 (1983)

[1993. 5. 13. 受稿]

東 孝寛 高山 昌照 藤本 昌宣 肥山 浩樹



## 雲仙土石流土の工学的性質

## Engineering Properties of Debris Flow Deposits at Unzen

難波直彦<sup>†</sup> 東孝寛<sup>††</sup> 若松千秋<sup>†</sup> 平瑞樹<sup>†</sup>  
 (Naohiko NANBA) (Takahiro HIGASHI) (Chiaki WAKAMATSU) (Mizuki HIRA)

## I. ま え が き

雲仙普賢岳は平成2年11月に198年ぶりに噴火し、翌平成3年6月から火砕流が続いている。山頂部に流出した溶岩の崩落に伴う火砕流によって、山麓部には1億4千万t以上といわれる堆積物がたまり、それが土石流となる危険性は極めて高い。平成3年6月30日に発生した土石流は、家屋188棟のほか道路・農地・農作物にも大きな被害をもたらした。その後も土石流は何度も発生して、被災農地は190ha以上に及んでいる<sup>1)</sup>。

集落や農地の復興に当たっては、すでに堆積している膨大な土石流土を取り除く場合、この土石流土を適当な土捨て場に盛り立てるにせよ、またなにかの事業に利用するにせよ盛土されることになる。したがってこの土石流土が盛土材料としてどのような工学的性質のものであるかを前もって調べておくことは、復興計画を立てるためにも必要である。

本報文は、平成4年7月の農業土木学会九州支部シンポジウムで発表したものに、その後の調査結果を加えてまとめたものである。

## II 土石流土の堆積状況と試料採取位置

本調査の対象とした土石流土は、平成3年6月30日の降雨(島原市230mm)で流出したものである。

水無川流域では河口近くで河道からあふれて周囲の土地を埋めたほか、国道57号線との交差点の上流で河道を越え、別の流路を通して海にまで達している。広いところでは幅300mにも及ぶ。試料土は、水無川下流部および北安徳町の国道251号線周辺の地点から採取した(図-1)。

現地では、直径が数十cmから1mを越える巨礫

<sup>†</sup> 鹿児島大学農学部, <sup>††</sup> 九州大学農学部



土石流, 土の締固め, 剪断強度, 透水係数

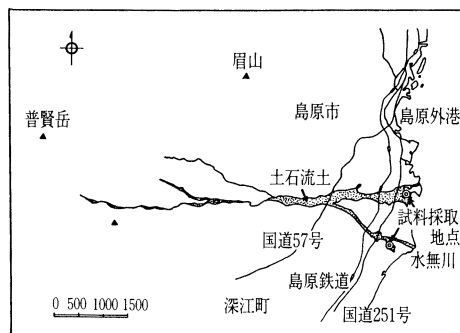


図-1 試料採取地点

も多く見られたが、運搬および土質試験を考慮して直径4cm程度以上の礫を排除し、試料土を採取した。

## III. 土石流土の物理的性質

土石流土の物理的性質についての試験結果を、表-1~4、図-2に示す。

## 1. 粒度分布

表-1は粒度分布、図-2は粒径加積曲線で、乱した試料におけるものである。

礫分を除いた粒度分布では、No. 5で砂分含有量が91%となる以外、他の地点の砂分含有量は70~80%で、採土地点の間に大きな違いはない。水無川河川敷内で採取した試料(No. 6)は乾燥させると光沢をもった砂分が目立ち、他の試料土とはやや異なった外見を呈している。それ以外の試料は、多少色調の違いはあるものの外見的にはほぼ同じ状態である。

## 2. 自然堆積層の性質

自然堆積層の諸性質を求めるに当たり、大きな礫を含んだ土の性質を直接求めることは困難であった。そこで、上記の試料とは別に礫分をほとんど含まない自然堆積層において、100mlの採土円筒を用

表-1 土石流土の粒度分布

| 項 目                                    | No. 1       | No. 2       | No. 3       | No. 4      | No. 5      | No. 6      |
|----------------------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|
| 採 取 場 所                                | 北安德<br>海側 1 | 北安德<br>海側 2 | 北安德<br>海側 3 | 鎌田郵<br>便局前 | 水無川<br>右岸道 | 水無川<br>河川敷 |
| 自然含水比<br>$W_n$ (%)                     | 10.4        | 7.7         | 7.2         | 5.2        | 1.2        | 12.0       |
| 土粒子密度<br>$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.618       | 2.575       | 2.625       | 2.597      | 2.605      | 2.621      |
| 粒 度 分 布                                |             |             |             |            |            |            |
| 粘 土                                    | 4           | 6           | 4           | 4          | 4          | 7          |
| シルト                                    | 14          | 12          | 9           | 8          | 4          | 14         |
| 砂                                      | 68          | 60          | 55          | 47         | 77         | 46         |
| 礫                                      | 14          | 22          | 33          | 41         | 15         | 34         |
| 最大粒径 (mm)                              | 19.1        | 25.4        | 38.1        | 25.4       | 9.52       | 51.4       |
| 均等係数 $U_c$                             | 12.7        | 25.9        | 36.8        | 35.3       | 9.5        | 52.0       |

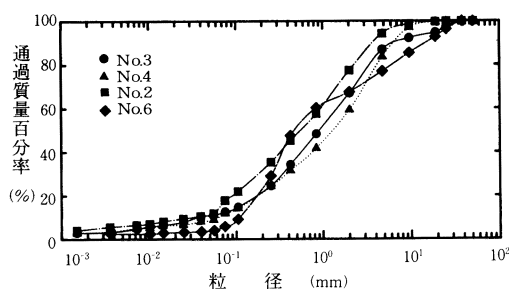


図-2 粒径加積曲線

いて乱さない試料を採取した。この試料で測定した密度等の値を、表-2 に示す。

一方、礫を含まない状態でこの土が取り得る密度の範囲を調べるために、No. 1 の北安德 1 の試料で 2 mm ふりを通過したものに対して密度試験を行った。最小間隙比は 0.51 であり、最大間隙比は 1.09 であった。この結果から表-2 の自然堆積試料土の相対密度 ( $D_r$ ) を計算すると、64% になる。

さらに、この土の緩い堆積層が水に浸ったときの密度の変化も調べた。2 mm ふりを通過したものを炉乾燥させて 3 種の密度で供試体を作り、水浸前後の密度を測定した (表-3)。堆積時の相対密度が中以下の状態 ( $D_r < 67\%$ ) であれば、堆積後に浸水した場合には収縮するといえる。これは、土石流の流路で採取した表-2 の土、すなわち攪乱された状態で水中に堆積したものであるが、その相対密度が 64% であることとはほぼ一致している。また、乾燥試料を水中で沈降堆積させたときの相対密度は -9 ~ -36% (乾燥密度 1.22 ~ 1.14 g/cm<sup>3</sup>) になり、空中堆積に比べて非常に緩い状態で堆積する。これは静水中の沈降堆積であることと、2 mm 以下の試料

表-2 礫を含まない乱さない試料の物理的性質

|       |                               |                      |
|-------|-------------------------------|----------------------|
| 自然含水比 | $W_n$ (%)                     | 6.9                  |
| 土粒子密度 | $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.625                |
| 湿潤密度  | $\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.641                |
| 乾燥密度  | $\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.535                |
| 間 隙 比 | $e$                           | 0.710                |
| 飽 和 度 | $S_r$ (%)                     | 25.5                 |
| 透水係数  | $k$ (cm/s)                    | $4.7 \times 10^{-3}$ |

表-3 水浸による乾燥密度の変化

| No. | 水浸前の<br>相対密度<br>(%) | 乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> ) |       |         |
|-----|---------------------|---------------------------|-------|---------|
|     |                     | 水 浸 前                     | 水 浸 後 | 増加率 (%) |
| 1   | 9                   | 1.283                     | 1.336 | 4.1     |
| 2   | 59                  | 1.494                     | 1.505 | 0.7     |
| 3   | 69                  | 1.546                     | 1.546 | 0.0     |

土の中に約 20% 含まれている細粒分の影響によるものと思われる。

#### IV. 土石流土の力学的性質

##### 1. 締固め試験

図-2 の粒径加積曲線にみられるように、日本統一土質分類では、No. 2 (北安德海側 2) が礫混り火山灰質砂土 (SV)，No. 4 (鎌田郵便局前) が礫・火山灰混り砂土 (S-V) となり、アメリカの統一土質分類ではどちらも礫混り砂質ロームである。したがって力学的性質の試験に当っては、No. 2 と No. 4 とを混合し 1 つの試料として用いた (力学試料 A)。その土粒子密度は 2.586 g/cm<sup>3</sup>，礫混り火山灰質砂土 (SV) であって、原試料と類似した粒径加積曲線になっている。

その後試料を再採取したのが No. 3 (北安德海側 3) である。土粒子密度は 2.625 g/cm<sup>3</sup>，粒径加積曲線は上記の力学試料 A とほとんど同じであるが、細粒分がわずかに少ないため、礫・火山灰混り砂土 (S-V) になる。これを力学試料 B とした。

この両試料を用いて締固め試験を行った。粒径約 4 cm までの礫を含むので直径 15 cm のモールドを用い、試験は JSF 基準の B-a 法、すなわち乾燥法で繰返し法により 2.5 kg ランマーで 3 層 55 回の締固めを行った (締固め土の体積 2.209 cm<sup>3</sup>)。また比較のために力学試料 A を用いて同じ締固め法で 4.5 kg のランマーによる 3 層で 55 回 (落下高さ 45



cm)での締固め試験もあわせて実施している。

試験の結果を図-3に示す。力学試験Aの結果は、標準締固め試験による最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ が $1.82 \text{ g/cm}^3$ 、最適含水比 $W_{opt}$ が10.8%である。また4.5 kgランマーによる試験では、 $\rho_{dmax}$ が $1.90 \text{ g/cm}^3$ 、 $W_{opt}$ が9.6%となっている。

力学試験Bの結果では、試験Aに比べて最適含水比は同じであるが乾燥密度が全体に高く、最大乾燥密度は $0.08 \text{ g/cm}^3$ 大きい。試験Aの4.5 kgランマーによる締固めとはほぼ同じ結果となっている。

いずれも典型的な砂質土の締固め特性を示しており、標準締固め試験では最適含水比が10%、最大乾燥密度が $1.8 \sim 1.9 \text{ g/cm}^3$ となる。

## 2. 透水試験

力学試験Bを用いて密度の異なった供試体を作り、変水位試験法で透水係数を測定した。供試体の作成は含水比の異なる3つの試験土を用意し、直径10 cmのモールドに2.5 kgランマーにより3層25回で締固めて行なった。さらに密度の低い供試体を作成するために、図-3で最も密度の低い含水比(5.1%)で3層16回の締固めも行い、計4個の供試体を用意した。

試験の結果を、表-4に示す。通水開始後約2時間測定を続けたが、測定値の変化は少なかった。通水後1時間目の前後で3～5回測定した値の平均値での透水係数の値は $10^{-4} \text{ cm/s}$ のオーダーである。

自然堆積層の礫を含まない部分で採取した乱さない試料に対する定水位透水試験の結果(表-2)は、

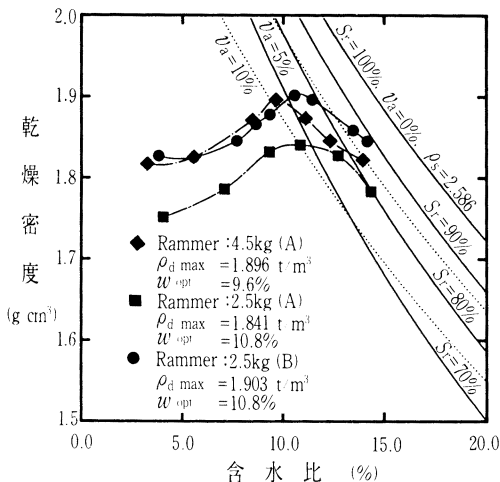


図-3 締固め曲線

表-4 締固め試料の透水試験結果

| 試験番号 | 締固め含水比 (%) | 試験後の値   |              |      | 平均透水係数 (cm/s)        |
|------|------------|---------|--------------|------|----------------------|
|      |            | 含水比 (%) | 乾燥密度 (g/cm³) | 間隙比  |                      |
| 1    | 8.3        | 14.8    | 1.76         | 0.50 | $3.0 \times 10^{-4}$ |
| 2    | 10.5       | 15.5    | 1.77         | 0.48 | $4.0 \times 10^{-4}$ |
| 3    | 12.8       | 14.9    | 1.80         | 0.46 | $3.1 \times 10^{-4}$ |
| 4    | 5.1        | 16.9    | 1.70         | 0.54 | $7.0 \times 10^{-4}$ |

No. 4 試料は16回/層×3層 締固め

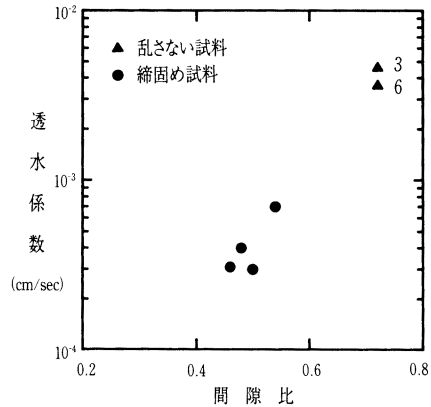


図-4 間隙比と透水係数の関係

透水係数が $10^{-3} \text{ cm/s}$ のオーダーである。飽和させて通水を開始した後、透水係数の値は次第に低下し、1時間後に比べて24時間後には約1/3になっている。締固めた供試体と密度がかなり異なるので、透水係数の値には一桁の違いがある。

この自然試料と締固め試料(3層16回の試料を含めた)の透水試験結果をあわせて、間隙比と透水係数との関係を半対数紙上に図示すると図-4のようになり、透水係数の対数値と間隙比はほぼ直線的な関係を示している。これは密度の増加に伴い、透水を支配する大間隙が減少するためと考えられる。図中▲印の数字は、通水開始後の経過時間である。

## 3. 三軸圧縮試験

締固め土の剪断強さを調べるために、2種類の三軸圧縮試験を行った。1つは採取したままの礫を含んだ試料(力学試験AおよびB)に対して、標準締固め試験の結果に基づき試料の含水比を最適含水比付近に調整し、締固めて作成した供試体を用いて圧密排水条件で試験を実施した。もう1つは、試料土の2 mmふるい通過試料を用い、密度を3段階に変えたものについてそれぞれ同じく圧密排水条件で三軸圧縮試験を行った。

第1の試験では、最大粒径約40mmの礫を含んだ試料なので、供試体の寸法は直径15cm、高さ37.5cmにした。細粒分の含有量が20%以下であるので圧密排水条件とし、軸圧縮の速さは試験A（試

表-5 三軸圧縮試験結果 (1)  
—試験1 38.1mmふるい通過試料—

| No. | $\sigma_c$<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 初期状態                             |          | 破壊時                    |                        |                                                 |                                 | 強度定数            |  |
|-----|--------------------------------------|----------------------------------|----------|------------------------|------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------|--|
|     |                                      | $\rho_d$<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | W<br>(%) | $\varepsilon_f$<br>(%) | $\varepsilon_v$<br>(%) | $(\rho_1 - \rho_3)_f$<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | $C_d$<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | $\phi_d$<br>(°) |  |
| A-1 | 1.0                                  | 1.853                            | 10.3     | 3.5                    | -0.13                  | 7.42                                            | 0.41                            | 46.9            |  |
| A-2 | 2.0                                  | 1.878                            | 9.8      | 3.2                    | -0.32                  | 13.15                                           |                                 |                 |  |
| A-3 | 3.0                                  | 1.869                            | 9.9      | 4.3                    | -0.16                  | 18.26                                           |                                 |                 |  |
| B-1 | 1.0                                  | 1.841                            | 10.3     | 1.9                    | -0.47                  | 9.55                                            | 0.85                            | 45.7            |  |
| B-2 | 2.0                                  | 1.836                            | 10.3     | 2.7                    | -0.07                  | 14.71                                           |                                 |                 |  |
| B-3 | 3.0                                  | 1.844                            | 10.0     | 3.2                    | -0.05                  | 19.63                                           |                                 |                 |  |
| B-4 | 4.0                                  | 1.855                            | 10.4     | 3.2                    | -0.25                  | 24.59                                           |                                 |                 |  |

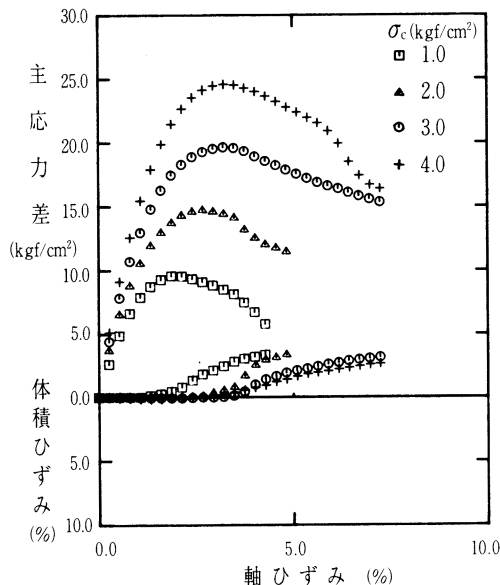


図-5 三軸試験の応力-ひずみ曲線 (試験1-B)

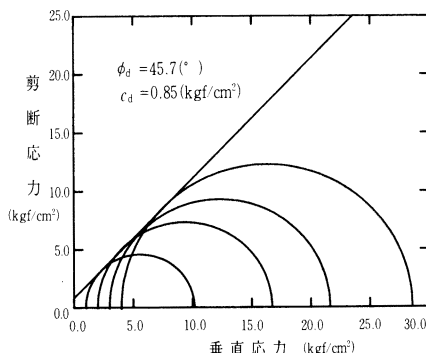


図-6 三軸試験のモール応力円 (試験1-B)

料A)で0.2%/min、試験B（試料B）では0.1%/minで行っている。軸圧縮中の排水条件が確保されているかどうかを確認するために圧縮速さを変えたが、結果はほぼ同じで問題ないものと考えている。結果を表-5および図-5、図-6に示す。

図-5の応力-ひずみ曲線（試験1-B）ではピーク強さと残留強さの差がはっきりしており、ダイレイタンシーの顕著な土の曲線形を示している。

図-6の試験1-Bにおけるモール円図では、排水剪断抵抗角  $\phi_d = 45.7^\circ$ 、排水粘着力  $C_d = 0.85$  kgf/cm<sup>2</sup> である。一方、試験Aでは、 $\phi_d = 46.9^\circ$ 、 $C_d = 0.41$  kgf/cm<sup>2</sup> となっている（図は省略）。

表-5の試験2の結果について応力-ひずみ曲線図からダイレイタンシーに費やされるエネルギーの補正をBishopの方法で行うと、表-6（圧縮を正）のようになる。この補正後の強度定数は  $\phi_d$  が46.0°、 $C_d$  が0.67 kgf/cm<sup>2</sup> となって、補正前の値と比べて  $C_d$  が約20%小さくなるが、 $\phi_d$  はほとんど変わらない。剪断中の体積変化は大きい、膨張が急激に進むのは主応力差がピークを過ぎてからであるため、エネルギー補正を行っても、強度定数にはその影響が

表-6 三軸圧縮試験結果 (2)  
—試験1 38.1mmふるい通過試料—

| No. | $\sigma_c$<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 破壊時(エネルギー補正) |                                                     | 強度定数                            |                 |
|-----|--------------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------|
|     |                                      | D.I.         | $(\sigma_1 - \sigma_3)_r$<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | $C_d$<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | $\phi_d$<br>(°) |
| B-1 | 1.0                                  | -1.92        | 7.63                                                | 0.67                            | 46.0            |
| B-2 | 2.0                                  | -0.55        | 14.71                                               |                                 |                 |
| B-3 | 3.0                                  | -0.18        | 19.09                                               |                                 |                 |
| B-4 | 4.0                                  | -0.41        | 22.94                                               |                                 |                 |

表-7 三軸圧縮試験結果 (3)  
—試験2 2mmふるい通過試料—

| No. | $\sigma_c$<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 初期状態                             |          | 破壊時                    |                        |                                                 | 強度定数                            |                 |
|-----|--------------------------------------|----------------------------------|----------|------------------------|------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------|
|     |                                      | $\rho_d$<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | W<br>(%) | $\varepsilon_f$<br>(%) | $\varepsilon_v$<br>(%) | $(\rho_1 - \rho_3)_f$<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | $C_d$<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | $\phi_d$<br>(°) |
| 1-1 | 0.5                                  | 1.438                            | 47.1     | 11.4                   | 0.9                    | 0.92                                            | 0.05                            | 38.8            |
| 1-2 | 1.0                                  | 1.479                            | 55.9     | 11.8                   | 1.0                    | 3.58                                            |                                 |                 |
| 1-3 | 1.5                                  | 1.419                            | 42.9     | 12.4                   | 1.9                    | 5.28                                            |                                 |                 |
| 1-4 | 2.0                                  | 1.433                            | 46.0     | 14.5                   | 2.5                    | 6.89                                            |                                 |                 |
| 1-5 | 1.0                                  | 1.414                            | 42.0     | 14.0                   | 1.5                    | 3.44                                            |                                 |                 |
| 2-1 | 0.5                                  | 1.533                            | 66.7     | 6.4                    | -0.7                   | 2.44                                            | 0.10                            | 41.1            |
| 2-2 | 1.0                                  | 1.540                            | 68.1     | 8.4                    | 0.2                    | 4.10                                            |                                 |                 |
| 2-3 | 1.5                                  | 1.537                            | 67.5     | 9.1                    | 0.1                    | 6.36                                            |                                 |                 |
| 2-4 | 2.0                                  | 1.544                            | 68.8     | 9.7                    | 0.4                    | 8.06                                            |                                 |                 |
| 3-1 | 0.5                                  | 1.664                            | 90.2     | 3.7                    | -1.9                   | 3.33                                            | 0.20                            | 44.3            |
| 3-2 | 1.0                                  | 1.642                            | 86.6     | 5.1                    | -0.8                   | 5.74                                            |                                 |                 |
| 3-3 | 1.5                                  | 1.656                            | 88.9     | 5.3                    | -0.9                   | 7.84                                            |                                 |                 |
| 3-4 | 2.0                                  | 1.659                            | 89.4     | 5.7                    | -1.2                   | 10.44                                           |                                 |                 |
| 3-5 | 1.5                                  | 1.636                            | 85.5     | 6.9                    | -0.8                   | 7.45                                            |                                 |                 |

わずかしき表われない。

第2の試験では最大粒径が2mmであることから供試体の寸法は直径5cm、高さ10cmとしたが、第1の試験と同じく圧密排水条件で試験している。軸圧縮速さは0.1%/minである。試験結果を表-7および図-7、図-8に示す。

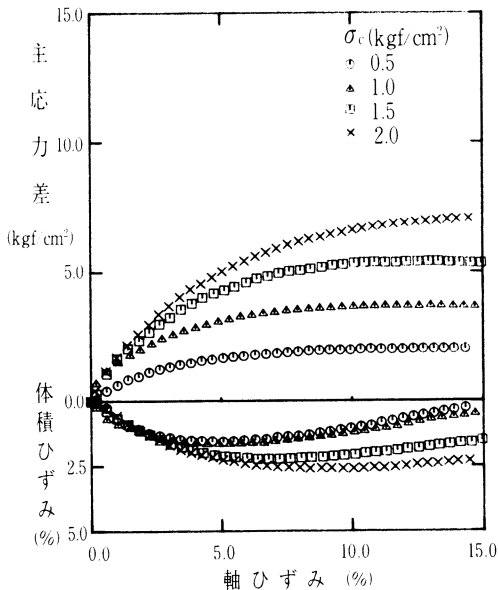


図-7a 三軸試験の応力-ひずみ曲線  
(試験2, 相対密度43~56%)

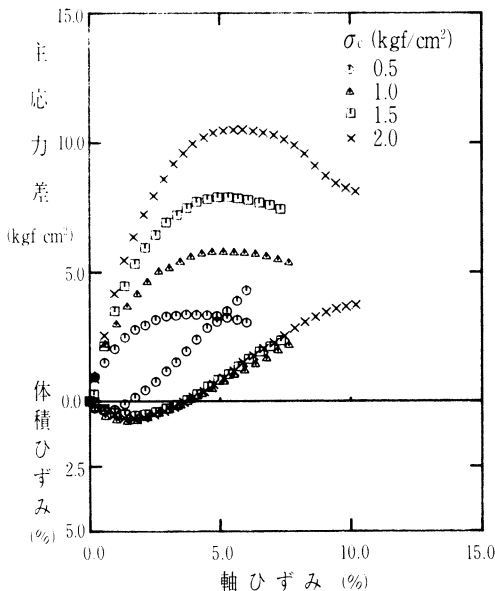


図-7b 三軸試験の応力-ひずみ曲線  
(試験2, 相対密度87~90%)

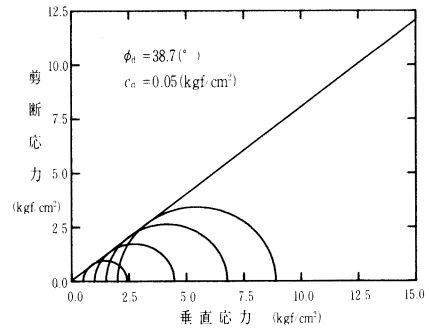


図-8a 三軸試験のモール応力円  
(試験2, 相対密度43~56%)

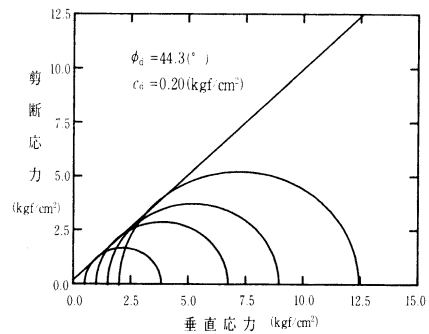


図-8b 三軸試験のモール応力円  
(試験2, 相対密度87~90%)

密度は、物理的性質の項で述べた最大・最小間隙比の値にもとづいて、相対密度で中位、やや密、密の3段階に取っている。

相対密度が中位(43~56%)では体積変化は収縮のみで応力のピークはない。やや密(67~69%, 図は省略)では破壊時の体積膨張はみられるものの、応力のピークはそれほど顕著でない。相対密度が90%程度の密な状態になって顕著な体積膨張と応力のピークが現われて、明瞭なダイレイタンスー効果がみられる。

Bishop 法によるエネルギー補正を行った結果は、各試験での供試体ごとのダイレイタンスー指数がほぼ等しいので、 $C_d$  はほとんど変化がなく、 $\phi_d$  は0.3~2.3°小さくなる程度である。

第1の試験の結果と併せて、乾燥密度と強度定数との関係を図示すると図-9のようになり、礫を含んだ密な試料で  $C_d$  の値にバラツキがあるが、 $\phi_d$ 、 $C_d$  ともに乾燥密度にはほぼ比例して増大している。相対密度70%程度(乾燥密度1.55 g/cm<sup>3</sup>程度)以

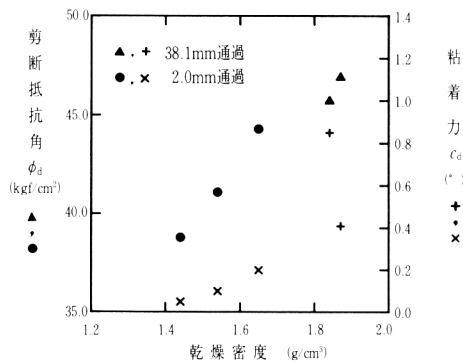


図-9 乾燥密度と強度定数の関係

上にまで締固めれば、剪断強さが非常に高い強い盛土が得られる。

## V. 土石流土の盛土材としての利用に当たって

雲仙岳の噴火活動に伴い流出・堆積した土石流土は礫を含んだ火山灰質砂土で、礫を含まない状態での自然堆積層は乾燥密度が  $1.54 \text{ g/cm}^3$ 、間隙比 0.71、相対密度が 64% である。

礫を含んだものは、締固めるとよく締まった密な状態（最大乾燥密度  $1.8 \sim 1.9 \text{ kgf/cm}^3$ ）になる。締固めによる密度の変化範囲は狭いが、密度が増すに伴って剪断強さは増大している。最大乾燥密度での剪断強さは、圧密排水条件の剪断抵抗角  $\phi_d$  が  $40^\circ$  以上という非常に大きな値を得ることができる。

透水係数は自然堆積の状態で  $10^{-3} \text{ cm/s}$  のオーダー、締固めた場合は  $10^{-4} \text{ cm/s}$  のオーダーの値を示す。また、細粒子は一次鉱物粒子が主で、粘土化したものではないことから、土工に当たって泥ねい化する心配はない。したがって、陸上で盛土用土として利用するには適した材料である。

しかし、この土を水中に投入した場合その密度は非常に低い。現場での水中投入は、今回の試験に比

べてより大量の土をより大きな高さから投入し、また実際には大きな礫を多量に含むから、前述の値よりは密な状態で堆積すると考えられる。それでも相対密度は中～緩い範囲となる可能性が高い。これは細粒子を含んでいるためであるが、水中盛土に利用するためにはなんらかの締固め法を併用する必要がある。

また、前述のように細粒子は粘土化したものではないので、耐水食性は低い。そのため、陸上盛土の場合にも盛土斜面の保護に留意する必要がある。

## 参考文献

- 1) 長崎県：雲仙岳噴火農村・農業対策研究委員会資料 (1993)

[1993. 5. 12. 受稿]

### 難波 直彦



### 東 孝寛



### 若松 千秋



### 平 瑞樹



### 略歴

1929年 福岡県に生まれる  
1954年 九州大学卒業  
1954年 九州農業試験場  
1961年 農業土木試験場  
1964年 鹿児島大学  
現在に至る

1982年 九州大学大学院農学研究科  
修士課程修了  
現在、九州大学農学部助手

1941年 鹿児島県に生まれる  
1965年 鹿児島大学卒業  
1965年 鹿児島大学  
現在に至る

1964年 鹿児島県に生まれる  
1987年 鹿児島大学卒業  
1989年 鹿児島大学連合農学研究科入学  
現在に至る

学会誌61巻7号に、下記のような誤植がありましたので訂正下さい。

| ページ | 行    | 誤      | 正            |
|-----|------|--------|--------------|
| 12  | 右上21 | (水耕栽培) | (少雨地域における集水) |
| 14  | 右下12 | 米田開発   | 水田開発         |
| 22  | 左上14 | 背景に    | 背景に          |
| 57  | 右上3  | 泥炭地を   | 泥炭地に         |
| 58  | 左上9  | 関係者    | 関係者          |
| 〃   | 左上19 | 漁道     | 魚道           |
| 70  | 右下2  | 設計緒元   | 設計諸元         |

## 防灰対策のためのハウス営農施設

## Greenhouse Farming to Avoid Volcanic Ash Damage

黒 田 正 治<sup>†</sup>

(Masaharu KURODA)

## I. はじめに

平成2年11月17日、雲仙・普賢岳は、地獄跡火口・九十九島火口で198年ぶりの噴火を始めた。平成3年5月24日、ついに火砕流が発生し、同年6月3日の火砕流では多数の犠牲者を出すに至った。以来、現在まで、噴火と火砕流の発生が消長を繰り返しながら続いている。

雲仙・普賢岳が位置する島原半島(図-1、図-2)は土壌、気象などの自然条件に恵まれ、農業の生産性が高く、県下有数の農業地帯である。耕地面積は長崎県全体の23%、農業粗生産額は38%を占め、耕地の大半は畑である。傾斜地を利用して、ばれいしょ、たばこ、野菜、花き、果樹が栽培されており、また畜産も盛んである。

今回の噴火による農地の直接被害は、島原半島の

東部、島原市で130ha、深江町で34ha、合計164haに及んでいる<sup>1)</sup>。これら直接被害については、噴火活動の鎮静化を待って、復旧工事が必要である。

これらの直接被害区域外でも、噴火活動の影響は大きく、降灰による農作物の被害が発生し、これの対策が急務となっている。

降灰は風の方向に左右される。冬季には、北あるいは北西の季節風によって深江町から半島南部一帯に、また、夏季には南あるいは南西の季節風によって島原市から半島北部一帯に降灰を生じ、季節を通じての被害は半島全域(農地面積7,800ha)に及ぶ。

このようなことから、商品価値が高い葉菜、果菜、果実、花き類の栽培では、防灰栽培のためのハウス施設の需要が増大している。

本稿では、防灰のためのハウス施設の計画について検討を試みる。

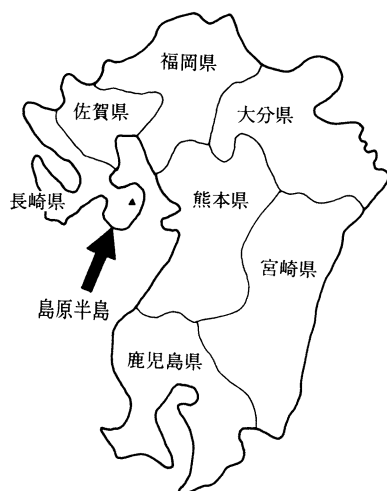


図-1 島原半島位置図



図-2 雲仙・普賢岳および島原半島における各市町村の位置図

<sup>†</sup> 九州大学農学部

ハウス施設、火山灰、防灰対策、除灰対策、ハウス用水量、マイクロ灌漑

## II. ハウス施設による防灰対策

### 1. 火山灰の特徴

鈴木<sup>2)</sup>による島原半島各地点における平成4年6月から8月にかけての普賢岳噴火による火山灰の粒径組成分析結果によれば、粘土分5%以下、シルト分30%前後、粗砂60%程度の組成であり、土性分類では、シルト(S)、ローム(L)あるいはシルトローム(SL)に属する。ちなみに、桜島火山灰の組成<sup>2)</sup>はシルト分数%, 細砂60%前後、粗砂30%程度である。したがって、普賢岳火山灰は桜島火山灰に比べて細粒である。

降灰量が多い地域では、野菜(葉菜、果菜)、果実、花きいづれにおいても、露地栽培では灰の付着、灰の巻込み、落葉、落花などの被害を生じ、商品性の著しい低下および極端な場合には収穫の減少を生ずる。この対策として、ハウス施設の導入は効果的である。

### 2. ハウスの形式と除灰対策

ハウス施設の形式は単棟式、連棟式に大別され、また、屋根の形によって両屋根、片屋根、アーチ屋根などに分けられる(図-3)<sup>3)</sup>。

被覆材料としては硬質板(強化ポリエステル、強化アクリルなど)および板ガラスが耐灰性、耐久性の観点から最も優れているが、コストがかかるのが難点である。

これに対し、塩化ビニル、ポリエチレンなどの防塵加工された軟質フィルムは比較的安価であるが、耐久性の点で硬質板に劣る。また、草丈が低いソ菜

では軟質フィルムによるトンネル栽培も効果がある。

火山灰の飛来、降灰は日常的な現象であるので、ハウス施設に降り積もった火山灰の除去作業の実施が不可欠である。ハウス被覆面に $100\text{ g/m}^2$ の積灰があればハウス内への光線透過率は30%に、 $200\text{ g/m}^2$ の積灰では透過率20%になるといわれている<sup>4,5)</sup>。

被覆屋根の勾配は急なほど火山灰の滑落が期待でき、積灰量が少なくなる。散水による除灰に対しては傾斜角度 $30^\circ$ 以上が望ましい。

ハウス施設の除灰は、散水によるのが省力的かつ効果的である。散水器具は屋根上固定式のスプリンクラまたは移動式のレインガンが、通常用いられる。

ハウス施設の除灰対策は鹿児島県桜島の火山灰を対象に多くの研究が進められている。

鹿児島県農試における実験<sup>4,5)</sup>によるとアーチ状に展張した被覆および $30^\circ$ 以上の傾斜の屋根型被覆ではレインガン(散水強度 $35\text{ mm}\sim 40\text{ mm/h}$ )による5分間の散水で微細粒子も含めて完全に除灰できることが示されている。これは除灰のための用水量で $3.0\sim 3.5\text{ m}^3/10\text{ a}$ に相当する。

また、比較的大きな水滴が得られるようノズルを改良したスプリンクラをハウス棟上 $50\text{ cm}$ の位置に $1.5\text{ m}$ 間隔に設置した除灰試験によれば、屋根型硬質板ハウスで除灰のための散水量は $4\text{ m}^3/10\text{ a}$ 、アーチ型パイプハウスで $5\text{ m}^3/10\text{ a}$ となっている。なお、微細粒の完全な除去には、布などによる払拭

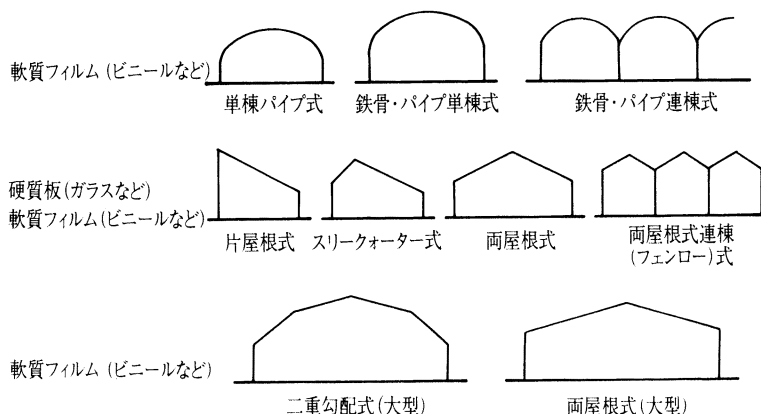


図-3 温室の各種形式 (板木)<sup>3)</sup>

の手間が必要であると指摘されている。

これらのデータは桜島火山灰の降灰を対象に得られたものである。前節で述べたように、雲仙・普賢岳の火山灰は桜島のそれに比べて細粒であるので、当地区においては、微細粒の完全除去について、若干の問題を残しているといえる。

### 3. 降灰時の高温対策

ハウス施設では、その温度管理上換気が必要であり、とくに、夏季には高温抑制のためこれが重要な役割を果たす。通常の雨除け栽培では、側窓と天窓の両者を開口し、煙突効果を利用して温度差換気を行う。また、風上側と風下側の側窓を開放し、風力換気を行う。

しかしながら、降灰時には、これら天窓、側窓は防災のため閉鎖しておく必要がある。また、ファンなどを用いた内外気の強制換気も適用できない。

降灰時の高温対策としては、早期の屋根面（被覆面）散水を行う。同時に室内閉鎖型の細霧冷房法の導入が考えられる。とくに、早期の屋根面散水は除灰効果を大きくする意味からも一挙兩得である（ただし、除灰用水量の増大を招く）。また、遮光用ネットの併用も効果的である。

なお、図-3に示すように、ハウス施設には単棟型と連棟型があるが、換気と高温対策の見地からは開口部が大きくとれる単棟型が望ましい。また、単棟型の場合、谷樋がないので、除灰作業と保守が容易になる。

## III ハウス用水量

### 1. 蒸発散量

ハウス施設は板ガラスあるいはビニルなどの被覆材によって降水が遮断されるので、作物への水分補給はもっぱら、灌水に依存することになる。

ハウス施設における土壌水分管理には、各作物ともかなり周到な技術を要する。これら土壌水分管理に関する基礎諸元であるハウス施設における作物の蒸発散量（消費水量）については、関与する因子の多さと変数の複雑さもあって、報告例が少ない。

このように、蒸発散量は水管理の状況、作物の生育（栽培）状況、また、ハウス内の場所などによって複雑な様相を呈するが、冬季の加温を除けば、日射量と蒸発散量との間には高い相関が認められる。

したがって、①ハウス内の日射量から蒸発散量を推定する方法、②ハウス内への純放射量から蒸発散量を推定する方法、③ハウス内の蒸発計蒸発量から蒸発散量を推定する方法などが試みられている。

ハウス内では、蒸発散に必要なエネルギーである日射量が野外の50～60%程度である<sup>6)</sup>。また、強制対流を生じさせない限り、風も野外より弱い。したがって、用水計画上のハウス内の蒸発散量（消費水量）は近傍の野外の湿潤面からの蒸発散量の50%程度と考えておけばよい。

### 2. 土壌水分の管理と組織容量

ハウス栽培では、露地栽培に比べて水管理の集約度が高く、土壌の過度の湿潤を避けかつ、水分不足を生じないように意図的に土壌水分変動のレンジを小さくとり、少量頻繁灌漑を行う。

露地畑においては、灌漑開始時期を正常生育阻害水分点（pF 3.0）にとるが、ハウス栽培や雨除け栽培ではこれよりも湿潤側（pF 2.3～2.5）で灌漑を開始する。したがって、1回の灌水量はTRAM値よりも小さく、灌漑回数は頻繁となる。また、農作業に合せての灌水であるため特定の時間に灌水操作が集中する。さらには、これに突発する降灰に対する除灰用水需要の時間集中も見込まねばならない。したがって、ハウス施設を多く有する受益地では、ファームポンドの容量を十分に確保するとともに、これの2次側の配水施設に自由度を持たせ、組織容量を大きくするよう留意しなければならない。

ハウス施設（雨除け栽培も含めて）では、降雨の用水としての有効化はあり得ないので、土壌水分補給は、すべて灌水に頼ることになる。したがって、総灌水量は露地畑に比べて格段に大きくなる。

参考のために、表-1に西出<sup>7)</sup>による各種栽培方法の用水諸元の比較を示しておく。

ここで用水計画し、とくに注意したいのはリーチング用水量の確保である。

降雨を遮断し、用水補給を灌水のみに頼るハウス栽培では、肥料塩が下層に浸透せず、表層に集積する。休耕期間に圃場に用水を湛水し、水の鉛直降下浸透を生じさせることによって除塩のための土壌のリーチングが行われる。なお、毛管現象によって再び塩類が上昇するのを防ぐため、リーチング水は暗渠排水によってハウス外に排除することが望まし

表-1 露地畑, ハウス栽培, 雨除け栽培の用水諸元の比較 (西出)<sup>7)</sup>

| 項 目          | 露 地 畑                    | ハ ウ ス 栽 培               | 雨 除 け 栽 培               | 備 考                                                                                                       |
|--------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 灌漑開始時期       | pF 3.0                   | pF 2.3~2.5              | pF 2.3~2.5              | ハウス栽培, 雨除け栽培では<br>①生育時期によって1回の灌漑水量が異なる。<br>②施設内の土壌の乾燥ははげしい。<br>③場所を固定したハウスは土壌を酷使うことになるので数年後に土の入れ替えが必要となる。 |
| 1回の灌漑水量      | TRAM 相当で<br>30~50 mm 程度  | 数 mm の少量灌水<br>(決められない)  | 数 mm の少量灌水<br>(決められない)  |                                                                                                           |
| 灌 漑 頻 度      | 間断日数を決め, ローテーション制        | 頻 繁                     | 頻 繁                     |                                                                                                           |
| 水 分 補 給 量    | 降雨を期待できるので, 総灌漑水量は少なくてすむ | 降雨を期待できないので, 総灌漑水量は多くなる | 降雨を期待できないので, 総灌漑水量は多くなる |                                                                                                           |
| 塩類土壌のリーチング用水 | 考えなくてよい                  | 休閑中に除塩のため多量の用水が必要       | 考えなくてよい                 |                                                                                                           |
| 播種・定植用水      | 降雨を期待する場合が多い             | 用水を必要とする                | 用水を必要とする                |                                                                                                           |
| 灌漑の時間帯       | 午前・午後の日中に灌水              | 午前中に集中                  | 午前中に集中                  |                                                                                                           |
| 水 管 理        | 順番灌漑を守ればよい               | きめ細かい水管理が必要             | きめ細かい水管理が必要             |                                                                                                           |
| 栽 培 期 間      | 冬季は休閑<br>暖地では通年栽培*       | 年中栽培可能, 冬季の用水確保         | 冬季は休閑<br>暖地では通年栽培*      |                                                                                                           |

\*筆者による加筆

い。障害が著しい場合には一作ごと, また, それほどでないときには数作ごとにリーチングが行われる。1回のリーチングに要する水量は200~300 mm であり, かなり大きな水量である。

#### IV. 灌 漑 手 法

ハウス施設における最も素朴な灌漑手法はじょうろやホースを用いた手による灌水である。

集約的かつ効率的なハウス施設の灌漑手法として, マイクロ灌漑手法の普及が近年, 著しい。

マイクロ灌漑は, 根群域に直接水分を供給する手段として開発され, 給水管路に接続された散水支管の管内の水圧に対応して, 一般には, 低圧で作物の根群域など, ある限られた土壌領域に水を灌漑する方式をいい, ①マイクロエミッタ灌漑, ②点滴灌漑, ③多孔管灌漑の総称である (表-2)。

##### 1. マイクロエミッタ灌漑方式

マイクロエミッタは, つぎのように3つに分類される。①マイクロスプリンクラ: 直径4~10 m の範囲の散水域をつくる。②マイクロジェット: 飛散距離は1~4 m の範囲である。③マイクロスプレー: 極小の水滴によって湿度を高める。これら3種のエミッタには互換性がある。

##### 2. 点滴灌漑方式

点滴灌漑は, 減圧方式によって①小断面流路を流下する間の摩擦損失を利用したドリップチューブ方

表-2 マイクロ灌漑の分類

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| マイクロエミッタ灌漑 | — | マイクロスプリンクラ |
|            | — | マイクロジェット   |
|            | — | マイクロスプレー   |
| 点滴灌漑       | — | ドリップエミッタ   |
|            | — | ドリップチューブ   |
| 多孔管灌漑      | — | 硬質多孔管      |
|            | — | 多孔ホース      |

式と, ②小さなオリフィスを通過するときの急拡損失などの水理現象を利用したドリップエミッタ方式の2つに大別できる。

現在は, 操作圧力0.7~1.0 kg/cm<sup>2</sup> 程度の地表定置式で, 小孔オリフィスまたは小断面流路を有するエミッタか, 滴下管内の隔壁オリフィス等 (分配孔, 滴下孔) によって減圧する型が多く用いられている。用水は点滴状に供給されるので, ソ菜などのように下葉や地際の部分に水がかかるのを嫌う作物への灌水に適している。

##### 3. 多孔管灌漑方式

(1) 硬質多孔管 塩化ビニル, ポリエチレン, アルミニウム等の硬質パイプに多くの細孔を設けて, パイプの両側に散水する。灌漑強度はスプリンクラに比べると一般に大きく, 10~50 mm/h, 散水幅は水圧0.25~2 kg/cm<sup>2</sup> の範囲では6~15 m 程度である。



(2) **多孔ホース** 高分子材料の軟質ホースに小孔をあけて散水器具としたもので、硬質の多孔管と同じ性能をもつものである。硬質多孔管に比べ可とう性に富み、軽量省力的で耐食性に優れている。灌漑強度は2～10 mm/h、散水幅は水压 0.3～0.7 kg/cm<sup>2</sup> の範囲で1.8～2.8 m 程度である。

多孔ホースは施設園芸、ハウス等によく使用されている。茎葉が濡れることを嫌う作物には、ホースの上をプラスチックフィルムでマルチングする。

## V. 地域におけるハウス化率

営農におけるハウス栽培の導入は超集約的な農業の展開により収益性の向上を図ろうとするものであり、①農家の技術力と②労働力の確保が前提となる。

農家の技術力の向上と確保には地域の改良普及所による指導と、営農集団内における自己研鑽が不可欠である。

労働力に関しては、筆者らの経営分析<sup>8)</sup>によれば、個別複合経営の場合、家内労働力2人でハウス栽培20aが標準値であり、超人的努力でも労働力2人では30aが限界と考えられる。したがって、地域におけるハウス化率の上限は利用可能な労働力によって定まると考えてよい。

以上、防灰のためのハウス施設の導入に際しての計画上の留意点について、灌漑工学の観点から考察を試みた。なお、本報告は農業土木学会雲仙岳噴火農村・農業対策研究委員会調査報告の一環をなすものであり、調査に際し、関係各位のご協力を得た。記して謝意を表する。また、雲仙・普賢岳噴火の一日も早い終息を祈念する次第である。

## 引用文献

- 1) 増崎一夫：雲仙岳噴火による農業・農村災害について。平成4年度農業土木学会九州支部シンポジウム pp. 13～22 (1992)
- 2) 鈴木勝正：火山灰の土壌的特性及び樹園地への影響。平成3年度雲仙岳の火山灰等の火山放出物の土壌と農作物へ及ぼす影響の解析に関する緊急調査研究実績報告書（九農試、果樹試（口之津）、野菜・茶業試（久留米）） pp. 57～60 (1992)
- 3) 板木利隆：施設園芸・装置と栽培技術—改善の方向と展開—、誠文堂新光社、pp. 36～37 (1983)
- 4) 鹿児島県農政部：桜島火山周辺地域防災営農対策指導指針 pp. 11～12 および pp. 25～30 (1985)
- 5) 東郷弘之：平成3年度南九州地域広域農業開発基本調査報告書、畑地農業振興会、pp. 54～57 (1992)
- 6) 岩切 敏：栽培用ハウス内温度環境の予測と制御に関する研究、第2章ハウス微気象に関する実験的研究、国立防災科学技術センター研究報告 No. 6、pp. 8～22 (1971)
- 7) 西出 勤：畑地の水利用実態と用水計画—施設園芸—、畑地灌漑の新展開、畑地農業振興会、pp. 69～97 (1992)
- 8) 黒田正治、福田哲郎：農業経営の安定性評価と畑地灌漑導入の効果、畑地灌漑の新展開、畑地農業振興会、pp. 302～322 (1992)

[1993. 7. 8. 受稿]

## 黒田 正治



## 略 歴

1935年 福岡県に生まれる  
 1965年 九州大学大学院博士課程修了（農博）  
 佐賀大学農学部助教授、  
 九州大学農学部助教授を経て、  
 1988年 九州大学農学部教授（灌漑利水工学）  
 現在に至る