

# 沖縄県における赤土等年間流出量 (第2報) — 赤土等流出防止条例施行後の年間流出量の推算 —

仲宗根一哉・比嘉榮三郎・満本裕彰・大見謝辰男

## Estimation of Soil Loss in Okinawa Prefecture (II)

Kazuya NAKASONE, Eisaburo HIGA, Hiroaki MITSUMOTO  
and Tatsuo OMIJA

要旨：1995年に施行された沖縄県赤土等流出防止条例の効果を検証するため、1996年度における沖縄県の赤土等年間流出量を推算した。条例施行後の年間流出量は条例施行前より3割減少した。特に、土地改良事業や区画整理事業等の開発公共工事では、土砂対策から濁水対策へと有効な対策に変わってきたことや事業面積の減少等から、年間流出量は条例施行前の1/4に減少し、条例の効果が確認された。その一方で、既存農地や米軍基地については条例施行前後で年間流出量に大きな変化は見られなかった。

また、条例施行後の赤土等年間流出量は既存農地から7割、開発事業から2割及び米軍基地から1割となり、既存農地における赤土等流出防止対策の取組みの強化が急がれる。

Key words : Okinawa Prefecture, Soil Loss, USLE

### I はじめに

沖縄県では赤土等流出防止条例（以下、条例と称す）が1995年10月に施行された。条例施行後、各種開発事業からの赤土等の流出量は条例施行前に比べ大幅に減少しているものと期待される。しかし、条例施行後の赤土等の流出量に関する広域的な調査は少なく、条例効果の検証及び流出防止対策における問題点の整理等が十分になされていない。

本県の赤土流出対策の現状と課題を明確にし、今後の対策について論議するには、条例施行後の赤土等年間流出量を土地利用形態別、事業別に把握することが必要である。そこで、著者らは前報<sup>1)</sup>の方法に準じて条例施行後の1996年度における沖縄県全域の赤土等年間流出量を推算し、条例施行後の状況と今後の展望について考察したので報告する。

### II 方法

#### 1. 区分面積

各種開発事業の面積は条例に基づく通知・届出から、1996年度に実施された各事業面積を積算し、農地、宅地及び道路等の既存地目や米軍基地の面積については関係統計資料<sup>2-8)</sup>から求めた。

#### 2. 赤土等年間流出量推算方法

##### (1) 一般予測式による推算

開発事業、既存農地、宅地及び道路からの年間流出量については、前報<sup>1)</sup>と同様、USLE (Universal Soil Loss Equation) を参考にした赤土等流出量一般予測式（以下、予測式と称す）を用いて推算した。

予測式に用いた降雨係数、土壌係数は前報<sup>1)</sup>と同様であるが、地形係数、保全係数及び作物係数は一部設定が異なる。

##### 1) 地形係数

土地改良事業については大見謝ら<sup>9)</sup>が設定した地形係数を、パインアップル畑（以下、パイン畑と称す）については比嘉ら<sup>10)</sup>の設定した地形係数を用いた。その他の地目や宅地、道路等については沖縄県環境保健部の調査報告書<sup>11)</sup>の地形係数を用いた。ただし、宮古島は島のほとんどが傾斜度3°未満の平坦地<sup>12)</sup>であるため、斜面長20m、傾斜度1°とし、地形係数を0.17に設定した。

##### 2) 保全係数

開発事業における保全係数は1996年度に実施した赤土等流出防止対策の現状調査<sup>13)</sup>の結果に基づき、工事期間中の対策から予想される保全係数を事業の種類別に設定した。また、既存農地については土地改良事業計画指針に記載された等高線栽培における保全係数<sup>14)</sup>を用いた。ただし、パイン畑更新時の表土の谷間押込みは畑面勾配にかかわらず保全係数を1と設定した。また、野菜他（野菜、花き、葉タバコ、かんしょ、雑穀、豆類）につ

いては畑面の勾配を1°～4°、横畝栽培と設定しているが、マルチングの有無など栽培作物によって保全係数は異なる。すなわち、レタスやスイカ等のように通常、マルチングや敷きワラを行う作物については保全係数を0.1とし、パレイショやニンジン等のように通常、マルチングを行わない作物については保全係数を0.27に設定した。ただし、島尻マージ畑では畑面が道路面より低いことが多いことから、保全係数は他の土壌の1/2に設定した。

宅地、道路及びその他については前述の報告書<sup>10)</sup>から保全係数を0.01とした。

### 3) 作物係数

主要作物の作物係数は前報<sup>1)</sup>と同様であるが、パイン畑については平均作付年数(4年)を通して設定した作物係数0.3<sup>10)</sup>を用いた。

### (2) 実測SS値による推算

森林と草地等(放牧地及び原野)については傾斜度が大きいと、予測式を用いるのは適当でないことから、年間降水量と降雨時の実測SS値から年間流出量を推算した。すなわち、森林では降雨時の実測SS値5mg/ℓを、草地等では6mg/ℓを用いた。

また、米軍基地施設の実弾砲撃演習場の急傾斜な裸地からの流出量については環境条件が似た土取り場における降雨時の実測SS値40,000mg/ℓを用いて推算した。

河川工事からの流出量については河川SSが排水SSの約1/10に希釈されるものと仮定して実測排水SS値を河川SSに換算し、その平均SS値140mg/ℓに河川の平均流量を乗じて推算した。

## III 結果

各種開発事業、既存地目及び米軍基地からの赤土等年間流出量の推算結果を表1に示す。

表1. 条例施行後(1996-97年)の赤土等年間流出量。

区 分	面 積 ha	年 間 流 出 量 t/年	単 位 面 積 あ た り 年 間 流 出 量 t/ha/年
既存地目	201,299	183,300	0.91
森 林	87,913	4,000	0.045
草 地 等	7,600	500	0.066
農 地 (耕地)	44,800	176,200	3.9
宅 地	13,354	600	0.045
道 路	9,180	400	0.044
水 面・河 川・水 路	2,899	0	0
そ の 他	35,554	1,600	0.045
米軍基地	24,450	28,500	1.2
裸 地	66	24,900	377
そ の 他	24,384	3,600	0.15
開発事業	847	50,740	60
公共事業	508	39,150	77
土 地 改 良	241	23,700	96
区 画 整 理	46	930	20
施 設 用 地 造 成	47	1,570	33
公 園 造 成	64	6,440	101
河 川 事 業	—	5,200	—
道 路 改 良	110	1,310	12
民間事業	339	11,590	34
リ ゾ ー ト 関 連	245	790	3.2
民 間 そ の 他	94	10,800	115
合 計	226,596	262,540	1.2

- \* 森林・草地等の面積は米軍基地内を除く民間地域にある森林・草地等面積。
- \* 草地等の面積は条例施行前が採草放牧地、原野、ゴルフ場および公園の面積の合計で、条例施行後は採草放牧地および原野面積の合計。
- \* 農地(耕地)面積は田・普通畑・樹園地・牧草地の耕地面積の合計で採草放牧地は含まない。
- \* 宅地は住宅地並びに工業用地およびその他の宅地。
- \* 道路は一般道路(国道・県道・市町村道)並びに農道および林道。
- \* 民間事業の民間その他は農地開発および施設造成。

1. 開発事業

(1) 公共開発事業

1) 土地改良事業

延べ事業数63, 事業面積は八重山地域が74ha, 沖縄島北部地域62ha, 宮古地域59ha, 沖縄島中南部地域47haで合計241haである。年間流出量は工事期間中が7,700t/年, 工事終了後が16,000t/年で合計23,700t/年となる。

2) 区画整理事業

延べ事業数は11, 事業面積は沖縄島中南部地域が26ha, 沖縄島北部地域16ha, 宮古地域4haで合計46haである。年間流出量は930t/年となる。

3) 道路事業

道路事業は一般道路整備, 農道整備及び林道整備に区分される。述べ事業数はそれぞれ89, 54及び6, 事業面積は72ha, 29ha及び8haで, 年間流出量は890t/年, 300t/年及び120t/年で合計1,310t/年となる。なお, 区画整理事業で実施された道路改良工事については道路事業に含めて年間流出量を推算した。

4) 河川事業

1996年度に行った条例施行後の開発事業における現状調査<sup>1)</sup>によれば, 調査河川工事箇所<sup>2)</sup>の4割が矢板を打つなどの有効な対策を取っており, 排水SSは排水基準を下回るものと予想される。その他の河川工事における平均排水SSは5,000mg/lなので, 河川工事に伴う河川SSは排水SSの約1/10に希釈されると仮定して6割が500mg/l, 4割が20mg/lとし, その幾何平均の140mg/lを年間流出量算定の基礎とした。河川事業からの年間流出量は5,200tとなる。

5) その他の公共開発事業

施設用地造成事業の述べ事業数25, 事業面積47haで, 年間流出量は1,570t/年となる。また, 公園造成整備事業の述べ事業数32, 事業面積71haで年間流出量は6,440t/年となる。

(2) 民間開発事業

1) リゾート関連工事

沖縄島北部地域5事業, 八重山地域1事業で, 北部地域で最も事業面積が大きかった事業箇所では濁水処理プラントを有し, 排水のSS濃度は条例の基準値より低かった。

開発工事が中断したままとなっているゴルフ場開発地は土壌侵食が著しく, 敷地末端に砂防ダムが設置されているものの大雨時には高濃度の濁水がオーバーフローすることが予想される。その他のゴルフ場では流出防止対

策が有効に機能しており, 年間流出量は790t/年となる。

2) 民間その他

農地造成は事業数9, 事業面積9haと少ないが, ほとんど無対策のままに工事を実施している事業が多く, 年間流出量は1,750t/年となる。また, 民間施設用地造成は事業数39, 事業面積86haで, 年間流出量は9,050t/年と推算され, 民間農地造成と合わせると10,800t/年となる。

2. 既存地目

(1) 農地 (耕地)

既存農地における作物別赤土等年間流出量及び単位年間流出量を表2及び表3に示す。

表2. 作物別赤土等年間流出量 (1996年度).

	(t/年)				
	北 部	中南部	宮 古	八重山	合 計
サトウキビ	8,600	20,300	5,300	13,700	47,900
パインアップル	67,000	—	—	25,000	92,000
樹 園 地	1,940	590	30	340	2,900
牧 草 地	250	190	70	790	1,300
肥 料 作 物	90	160	20	80	350
野 菜 他	9,940	18,360	660	1,320	30,280
田	—	—	—	—	—
不 耕 作 畑	410	600	20	460	1,490
計	88,230	40,200	6,100	41,690	176,220

表3. 作物別単位面積あたりの赤土等年間流出量 (1996年度).

	(t/ha/年)				
	北 部	中南部	宮 古	八重山	合 計
サトウキビ	2.9	2.6	0.6	4.6	2.1
パインアップル	83.0	—	—	63.6	76.7
樹 園 地	2.1	2.7	0.3	2.2	2.1
牧 草 地	0.3	0.4	0.1	0.3	0.3
肥 料 作 物	0.2	0.2	0.0	0.2	0.1
野 菜 他	5.3	5.8	0.7	5.3	4.8
田	—	—	—	—	—
不 耕 作 畑	0.3	0.3	—	0.4	0.3
平 均	9.1	2.8	0.5	4.9	3.9

沖縄県農林水産部の資料<sup>3)</sup>によれば1995年度の耕地面積は44,800ha, 水田970ha, 畑43,900haで畑の耕地利用率は87.2%となっている。同資料から市町村別主要作物の作付け面積を算定し, 市町村別土壌分布面積<sup>4)</sup>から各

地域における土壌群別の利用面積を算定した。これらの数値と予測式を用いて土壌流出量を推算した結果、既存農地からの年間流出量は176,200t/年で、沖縄県全体の土壌流出量の約64%を占める。

作物別の年間流出量はパイン畑が92,000t/年と最も多く、次いでサトウキビ畑47,900t/年、野菜他31,700t/年の順となっている。これらの作物で既存農地全体の年間流出量の97%を占める。

## (2) その他の地目

農地を除くその他の既存地目の面積は156,500haで県土全体の面積の69%を占めるが、年間流出量は7,100t/年で既存地目全体の年間流出量の3.9%、県全域の年間流出量の2.7%に過ぎない。したがって、単位面積あたりの年間流出量は0.044~0.066t/ha/年と極めて少ない。

## 3. 米軍基地

在沖米軍基地の総面積は25,012haである。地目別には森林が圧倒的に多く、基地面積の約70%を占める。基地から発生する赤土等流出量はキャンプ・ハンセンとキャンプ・シュワブ内にある着弾地などの裸地とその他工作物および黙認耕作地に分けて推算した。裸地からの流出量は流出率0.7とし、これらの下流域には砂防ダムが設置されていることから保全係数を0.6として推算した。その他工作物および黙認耕作地は予測式を用いて推算した。米軍基地からの年間流出量は28,500t/年となる。

## IV 考 察

### 1. 予測式について

農地以外の広域的な土壌流出について、その流出量を見積もる際にUSLEを用いることの妥当性に関しては十分に検証されていない。USLEは限定された地域の農地に対し数十年の実測にもとづいて得られた各係数から構成されるものであり、広域的な土壌流出量を短期間で得られた係数を用いて求めることには無理がある。しかし、本研究の目的は赤土流出防止条例の施行効果の検証であるとともに、土地利用形態の違いによる流出量を相対的に把握することであるから、その意味でUSLEは有効な方法といえる。ただし、この場合、USLEから得られた数字は絶対値ではなく、危険予測の観点から求めた最大流出推定量であることを明記する必要がある。

著者らは既報<sup>1)</sup>において1996年度の沖縄県における赤土等年間流出量を推算した。ただし、既報<sup>1)</sup>では赤土等流出量の一般予測式において、推算精度を高めるために

地域及び期間ごとに算出した降雨係数及び年間降水量を用いているため、代表値を用いて推算した条例施行前の年間流出量<sup>1)</sup>と比較するにはいくつかの条件の違いを付加説明する必要がある。ここでは赤土等流出防止対策の評価に主眼を置き、条例施行前後の年間流出量を相対的に比較できるように、前報<sup>1)</sup>と同様、年間降雨係数(那覇: 897m<sup>2</sup>・tf/ha・hr)及び年間降水量(那覇: 2,300mm)を用いることで降雨条件の差異を排除した推算を行った。

## 2. 開発事業

土地改良事業における年間流出量は条例施行前の1/4に減少している。大幅な流出量減少の要因は単位面積あたり年間流出量と事業面積の減少に求められる。

特に、土地改良事業における単位面積あたり年間流出量は条例施行前の160t/ha/年から98t/ha/年に減少しており、条例施行後は赤土等の流出防止に有効な対策が進んでいることを裏付けている。しかし、流出防止対策がシステムとして十分に機能していない事業箇所も多く見られる。

区画整理事業の場合、条例施行前はほとんど赤土等流出防止対策が取られていなかった。そのため、単位面積あたり年間流出量は320t/ha/年と全ての事業の中で最も高い値であったが、条例施行後は20t/ha/年と著しく減少しており、条例施行によって最も改善された事業といえる。

公共事業全体でも年間流出量は条例施行前の1/4に減少しているが、民間開発事業では条例施行後も年間流出量に変化は見られない。満本ら<sup>13)</sup>によれば条例の排水基準を満たすと予想される開発事業は全体の3割程度で、流出防止対策が未だに不十分な事業が多い。

## 3. 既存農地

### (1) パイン畑

前報<sup>1)</sup>ではパイン畑からの年間流出量は31,751tと推算したが、畑更新時の表土剥ぎ一谷間押し込みの実態を勘案していなかったため、過少に評価されていた。

その後、比嘉ら<sup>14)</sup>は1995年3月から1996年3月まで沖縄島北部地域及び八重山地域でパイン畑更新時の実態調査を実施し、沖縄県におけるパイン畑からの赤土等年間流出量を103,600tと推算している。ここでは、この実態調査と1996年度におけるパイン畑面積及び畑整備率に基づき、パイン畑からの年間流出量を92,000tと推算した。

パイン畑の単位面積あたり年間流出量は76.7t/ha/年と最も多い。しかし、最近では本島北部の1部地域の

パイン栽培農家で古株還元やマルチングが普及しつつあり、その効果が期待される。その一方で未だに畑更新時に表土剥ぎ-谷間押し込みを行っている農家も多く、行政によるマルチング等のシステム化が早急に望まれる。

また、パイン畑の耕作放棄や転作が近年増加している。パイン生産は1969年以後、外国産との価格競争、農家の高齢化、後継者不足により減少傾向を辿っている。沖縄総合事務局農水部が発表した1996年のパイン畑の作付延べ面積は1,110haで、ここ10年間毎年約100haづつ減少しており、今後も耕作放棄と転作の傾向が続くものと予想される。耕作放棄は主に傾斜度の高い個人畑に多く、放棄されたパイン畑では作業道や法面からの侵食がいつそう加速され、大規模な赤土流出になることが懸念される。

また、転作の場合には転換作物及び作付体系によって新たな流出源となる可能性がある。転換作物にはバレイシヨ、観葉植物、花卉等がみられるが、バレイシヨの栽培期間は10月頃から翌年の4月頃までで、収穫後や休閑期に裸地になることが多い。しかも休閑期は梅雨期や台風の影響時期に重なるため、強い降雨によって赤土等が流出することが予想される。比嘉ら<sup>13)</sup>は沖縄県で栽培される主な作物について生育段階や輪作体系を考慮した月別の作物係数及び年間の作物係数を算出しているが、バレイシヨの年間作物係数は0.54でパインの0.3よりも高い値となっている。しかし、スイカとの輪作では0.14と小さくなり、輪作によって赤土等の流出がかなり抑制できることを示している。

## (2) サトウキビ畑

本県で耕地面積が最も多いサトウキビ畑からの年間流出量は48,000tとパイン畑に次いで高い値を示す。

サトウキビ栽培では作型によって作物係数が異なる。株出しの場合、作物係数は0.03と低い値であるが、春植え及び夏植えでは収穫後の休閑期に裸地化するため、作物係数はそれぞれ、0.14及び0.35と株出しより高い値となる。したがって、春植えでは4～6月の3ヶ月間、夏植えでは4～10月までの半年間、緑肥植物等による裸地対策を実施すれば作物係数は0.1まで減少する。

沖縄島中南部では株出しが多いが、それ以外の地域では夏植えが多く、株出しは全体の約3割の面積しかない。したがって春植えと夏植えにおける畑休閑期の裸地対策によってサトウキビ畑からの年間流出量は半減する。

## (3) 野菜他

野菜他の単位面積あたりの年間流出量は5.0t/ha/年で、サトウキビ畑の2.1t/ha/年よりも高い。

沖縄島中南部地域ではサトウキビに次いで野菜類の作付面積が多く、同地域における野菜他からの年間流出量は18,360t/年で農地全体の年間流出量の1割を占める。

同地域ではジャーガル土壌や島尻マーヅ土壌が多く分布しており、島尻マーヅ土壌の畑地では保水性や保肥力を高めるために土地改良の際に適量のクチャ（島尻層群泥岩）を客土している。ジャーガル土壌やクチャは国頭マーヅよりも高濃度の濁水を流出しやすい<sup>14)</sup>が、個人畑では大量のクチャが客土され、畑面が道路よりも高くなっていることが多く、ほとんどの畑地は畦畔がない。

満本ら<sup>15)</sup>が行った実証試験の結果では、クチャが露出した土地ではスレーキング現象によって1年間に30mmの厚さで表面が侵食され、1haあたり600tのクチャが流出する。したがって、クチャが大量に客土された畑地では、休閑期や作物の植え付け初期等裸地部分が多い時期に強い降雨があると高濃度の濁水が流出する可能性がある。しかし、ジャーガル土壌やクチャ客土畑地からの土砂流出については本格的な実態調査が少なく、今後の課題となっている。

## 4. 米軍基地

広大な演習場を有する沖縄島北部地域の単位年間流出量は1.2t/ha/年であるが、森林を除く裸地面積あたりに換算すると300t/ha/年と膨大な量になる。

現在、那覇防衛施設局ではキャンプ・ハンセンやキャンプ・シュワブ等、米軍演習場からの赤土等流出防止対策として雨水貯留型の砂防ダムの建設を進めているが、末端での大規模な対策は莫大な予算の投入と新たな自然環境の破壊を生み出す可能性がある。流出を最小限に抑えるには着弾地や廃弾処理場等の流出源に近い個所で適当な対策を施すことが望ましい。

また、在沖米海兵隊環境保全課では砂防ダムに代わる方法として、航空機による演習場内裸地の緑化を検討しており、現在、ギンバル演習場で試験施工を実施している。ただし、着弾地点等で樹木を含む緑化を行う際には不発弾処理を前提条件にしなければならないだろう。

## V まとめ

図1に条例施行前後における開発事業、農地、米軍基地からの赤土等年間流出量を示す。

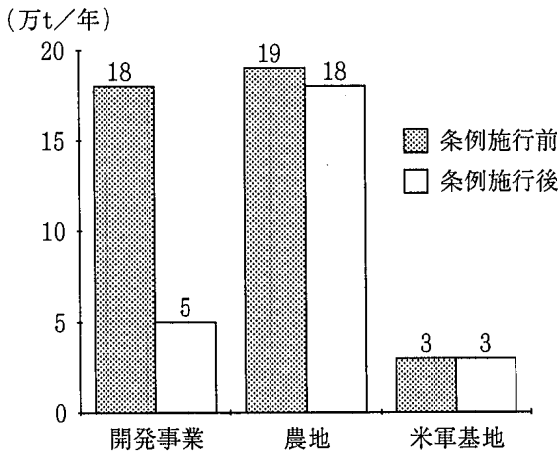


図1. 赤土等流出防止条例施行前後の年間流出量の比較。  
\* 農地からの年間流出量については、パイン畑更新時の実態調査<sup>11)</sup>に基づいた数値を加えている。

赤土等流出防止条例施行後の1996年度の各種開発事業における赤土等年間流出量は50,740t/年で、条例施行前の1/3に減少した。特に、土地改良事業や区画整理事業等の開発事業では流出防止対策によって流出量は確実に減少している。しかし、流出防止対策がシステムとして十分に機能していない事業も多い。

既存農地では、条例施行後も赤土等の流出に対して防止対策が進展せず、年間流出量は176,200t/年と県全体の年間流出量の7割を占める。

既存農地からの年間流出量は、パイン畑から52%、サトウキビ畑から27%、野菜他から17%で、合計96%とこれらの作物でそのほとんどを占める。特にパイン畑については重点的に流出防止対策を図る必要がある。

米軍基地からの赤土等の流出量についても大きな変化は見られず、早急に流出源対策を取る必要がある。

今後の課題として、農地対策を中心に、流出防止技術の開発、営農上の対策と指導、地域システムの構築、農業行政の支援、情報の提供及び監視体制の強化等が挙げられる。

## VI 参考文献

- 1) 比嘉榮三郎, 大見謝辰男, 花城可英, 満本裕彰 (1995) 沖縄県における年間土砂流出量について. 沖縄県衛生環境研究所報, 29: 83-88.
- 2) 沖縄県農林水産部 (1996) 沖縄県の農業農村整備

- 3) 沖縄県農林水産部 (1997) 農業関係統計
- 4) 沖縄県土木建築部 (1996) 土木建築部要覧
- 5) 沖縄県企画開発部 (1997) 土地対策の概要 '97
- 6) 沖縄県道路維持課 (1997) 道路施設現況調査
- 7) 沖縄県基地対策室 (1994) 沖縄の米軍基地: pp.9-13.
- 8) 沖縄県総務部知事公室 (1996) 沖縄の米軍基地及び自衛隊基地 (統計資料集)
- 9) 大見謝辰男, 比嘉榮三郎, 花城可英, 満本裕彰 (1995) 沖縄県の赤土等の流出とサンゴ礁の保全. 農業土木学会誌, 63(3): 267-272.
- 10) 沖縄県環境保健部 (1993) 赤土汚濁に関する流域解析調査報告書: pp.30-40.
- 11) 比嘉榮三郎, 大見謝辰男, 花城可英, 満本裕彰 (1996) パインアップル畑からの土砂流出量について. 沖縄県衛生環境研究所報, 30: 87-92.
- 12) 沖縄県 (1992) 沖縄県環境利用ガイド環境特性地図集: p.17.
- 13) 満本裕彰, 大見謝辰男, 比嘉榮三郎, 仲宗根一哉, 花城可英 (1997) 開発事業における赤土等流出防止対策の現状について (1996年度). 沖縄県衛生環境研究所報, 31: 105-116.
- 14) 農林水産省構造改善局計画部 (1993) 土地改良事業計画指針, pp.158-178.
- 15) 比嘉榮三郎, 大見謝辰男, 仲宗根一哉, 満本裕彰 (1997) 沖縄県における各種作物の作物係数. 沖縄県衛生環境研究所報, 31: 147-151.
- 16) 国土庁土地局 (1977) 土地分類図 (沖縄県)
- 17) 仲宗根一哉, 比嘉榮三郎, 大見謝辰男, 満本裕彰 (1997) 沖縄県における赤土等年間流出量 (第2報). 第10回沖縄地盤工学研究発表会講演概要集, pp.61-66.
- 18) 比嘉榮三郎, 花城可英, 大見謝辰男, 満本裕彰 (1995) 沖縄県の土砂流出源と濁水濃度について. 沖縄県衛生環境研究所報, 29: 89-98.
- 19) 満本裕彰, 大見謝辰男, 比嘉榮三郎, 花城可英 (1997) クチャ (島尻層群泥岩) の流出について (第2報). 第10回沖縄地盤工学研究発表会講演概要集, pp.59-60.