

大型火山灰流路を用いた側岸浸食実験

Experimental Study on Volcanic Ash Soil Bank Erosion Using Large Scale Flume

金高州吾* 渡邊康玄† 長谷川和義‡ 亀田裕二§

By Shugo KANETAKA, Yasuharu WATANABE, Kazuyoshi HASEGAWA and Yuuji KAMEDA

Volcanic ash soil is widely scattered in Hokkaido, and numerous river banks are formed by volcanic ash. Although volcanic ash is generally considered susceptible to erosion, there have been few studies on rivers with volcanic ash banks. As a result river channels with volcanic ash banks are maintained similarly to those with sand banks, which may result in poor safety and flood control. To study the mechanism of erosion in river channels with volcanic ash banks, a relation between the erosion process and the shear stress is investigated in a largescale straight flume,
Keywords: Volcanic ash soil, largescale channel, bank erosion, shear stress

1. はじめに

側岸浸食は洪水時に発生すると災害に直接関係する河道現象であり、側岸浸食の防止あるいは抑制のため、従来より数多の研究が行われ、かなりの程度まで浸食現象の把握が進められている。しかし、実河川での現象は複雑、多様であり実験で把握された現象がそのまま現地にあてはまるとは限らないのが現状である。実験と異なる現象を生み出す要因として、材料の複雑さ（粘着性材料の混入、広粒度分布など）、植生の効果、側岸の成層化等が考えられる。近年福岡ら¹⁾は土砂移動現象について数々の現象把握を行っており、側岸浸食に関してもその問題点である実河川に対応した成層あるいは植生の効果などを考慮した浸食現象の解明を行っている。これらの他に、実験と現地の現象の違いが発生する大きな要因としてスケール効果がある。室内実験では小規模であることから見過ごされている現象があるにもかかわらず、それらを考慮した大型の水路を用いた浸食実験はこれまでにほとんど行われてこなかった。

本研究は、室内実験レベルでは再現しきれない実河道の浸食機構を把握することを目的とし、広い粒度分布を持つ現地付近の火山灰をそのまま実験河床材料として大型の直線水路により浸食実験を行った。側岸に広い粒度分布を持つ河道の室内実験では見過ごされていた現象を解明するため流砂量と掃流力との関係の検討を行った結果を報告するものである。

2. 側岸浸食実験

本実験は写真-1、写真-2に示すような屋外に設置された幅4m、長さ40m程のコンクリート製直線大型水路により実験を行った。実験装置の流下能力は最大流量が $1.0\text{m}^3/\text{s}$ を上回る程度である。初期設

*正会員 開発土木研究所水工部河川研究室
(062 札幌市豊平区平岸1-3)

†正会員 工修 開発土木研究所水工部河川研究室
(同上)

‡正会員 工博 北海道大学工学部土木工学科
(060 札幌市北区13条、西8丁目)

§学生員 北海道大学工学部土木工学科 修士課程
(同上)

定断面形状は池田ら²⁾の式を用いて設定し、図-1に示すような断面で各ケースの実験を行なっている。河床勾配が case1 および case3 について 1/1500、case2 について 1/500 となるよう火山灰により水路を作成した。流量は全ケースとも 1.0m³/s とした。また、等流状態を保つように下流端に設けたゲートにより水位の調節を行った。なお、各ケースについての初期設定条件は表-1 に示す通りである。

表-1 各ケースの初期条件

実験ケース	Q t/s	I	天端高 cm	初期傾斜角	設定 τ_{w0}	粒子比重	湿潤密度 t/m ³	含水比 (%)	空隙率 (%)
case1	1.0	1/1500	10	34.7°	0.0185	2.58	1.363	17.7	55.1
case2	1.0	1/500	10	35.2°	0.0917	2.53	1.395	31.4	58.0
case3	1.0	1/1500	30	35.2°	0.0244	2.56	1.500	30.4	55.1
現地	—	—	—	—	—	—	1.344	29.4	60.8

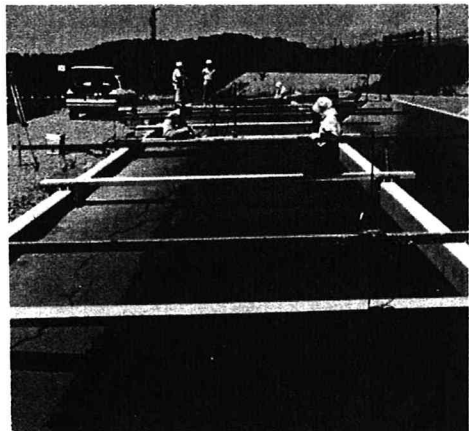


写真-1 実験水路（通水時）

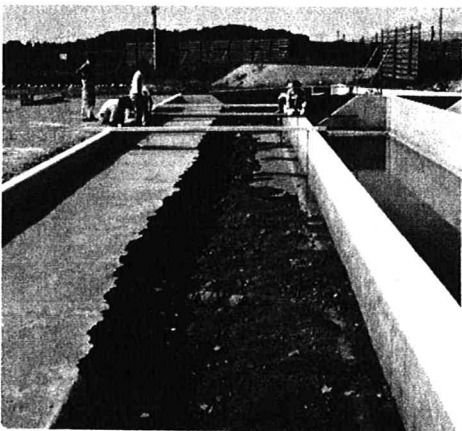


写真-2 実験水路（停水時）

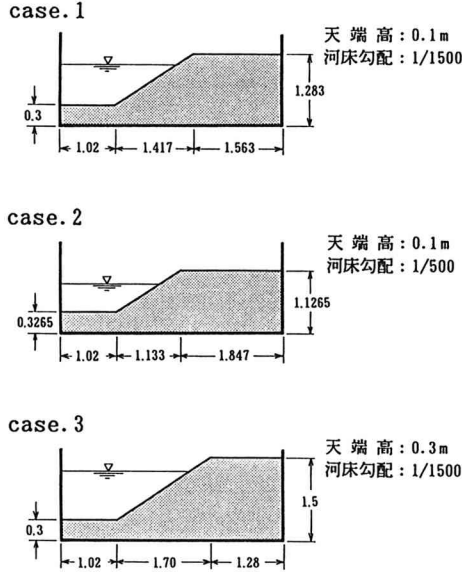


図-1 初期設定断面形状

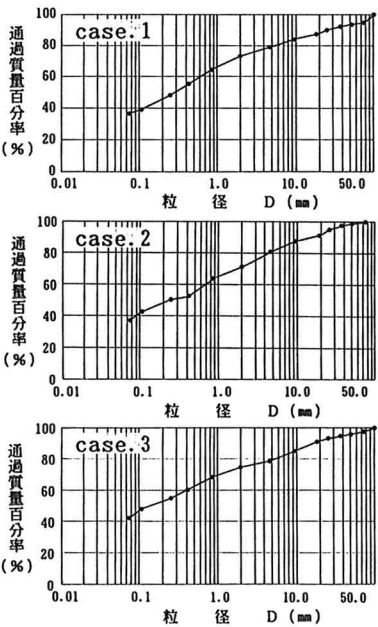


図-2 粒径加積曲線

実験河床材料には図-2のような粒度分布を有する支笏火砕流堆積物 (Spfl) を現地付近の地山から採取し、そのまま実験河床材料として用いている。実験材料の中央粒径は case1、case2、case3 において、それぞれ 0.28mm、0.23mm、0.14mm であり、最大粒径は全ケースとも 50.8mm である。

河道断面の形成は、バックホウにより火山灰を水路内に搬入し、振動ローラにより締固めを行った。なお、実験河床材料の締固め状態を現地の自然状態に近づけるために R I 試験器 (密度水分量計) により計測し、湿潤密度から実験河床材料の空隙率を求めている。各ケース毎に土質の締固め状態 (密度、含水比) に若干の違いが見られているが、現地の状況を概ね再現していると思われる。各ケースにおける実験時の土質の状態を表-1 に合わせて示している。なお、参考のため火山灰採取地点近傍の値についても示した。

流水時の測定項目は水面勾配、断面測定、拡幅変化、粒度分布、流砂量、流速について昨年度の予備実験の結果³⁾を踏まえて行った。それぞれの測定項目についての測定地点、測定時間等の詳細事項を以下に記す。

- (1) 水面勾配: 上流端から 4、12、20、28、36m の 5 ポイントについて 50 分毎に水位を測定。
- (2) 断面測定: 上流端から 20、25m の 2 測線について、case1 および、case3 では 50、150、300、500 分経過時に、case2 では 30、70、130、200 分経過時に停水させ、横断方向に 10cm 毎に測定。
- (3) 流路拡幅変化: 上流端から 20、25m の 2 測線について、5 分毎に測定。
- (4) 粒度分布: 上流端から 30m の地点で横断方向に等間隔に 6 地点において断面測定のため停水させた際、河床材料を採取して行った。この内、右岸のコンクリート壁寄りの 3 地点については、鉛直方向に 10cm 毎の 3 層に分けて河床材料の採取を行っている。採取したそれぞれの試料についてふるいわけ試験により測定。
- (5) 流速: 水路のほぼ中央上流端から 20m の地点において横断方向に 30cm 毎、鉛直方向に実験河床から 3、6、9、15、25、40cm の高さの流速を 2 次元電磁流速計により測定。

3. 側岸浸食過程

各ケースの水面形の変化を図-3 に示す。case1、および case3 については概ね 1/1500 の勾配をとる。一方、case2 の通水開始時の水面勾配は 1/1050 となり初期設定の 1/500 よりかなり緩い勾配となるが、通水後 50 分以降の水面勾配はほぼ 1/500 になることから、通水直後で流量が定常に達していなかったことが原因であると思われる。全体的に水面勾配は各ケースに共通してほぼ一定値をとっている。また、実験水路の最上流端で初期断面形を形どったコンクリート壁の影響を受けた流れにより局所的な側岸浸食がみられたが、水路全体を通して水際線は概ね直線であり、図-4 の拡幅時間変化図から分かるように各ケースとも共通して縦断的に同程度で進んでいる。このことから水路全体を通して、一様状態の実験とみなすことができる。

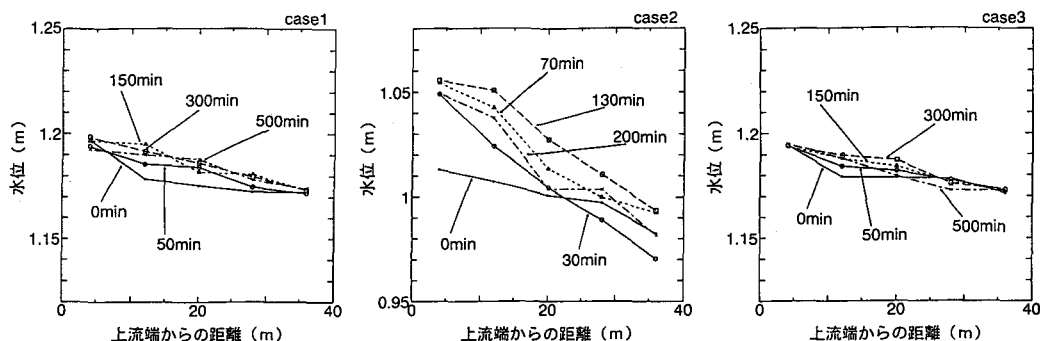


図-3 水面勾配の変化過程

浸食過程において、通水後すぐに粒径の細かい土粒子が水に溶け出していく様子が見られた。水際線付近での溶け出しが進むにつれて水際線上の側岸は徐々に切立ってくる。切立った部分の水際では粒径の細かい土粒子が水中に溶け出すことで支持力を失った天端の土塊が水中に崩落する。土塊は水面へ崩落したときの衝撃と流れにより水中で崩れ掃流力により下流へ流され、新たに水際線付近の側岸の切りたちが進むという一連の現象が繰り返される。このように流路の拡幅が進む様子が図-4の階段状の流路拡幅線に現れており、特に天端の高い case3 の拡幅線は大きい階段状を示す。掃流力の大きな case2 は、通水開始後から浸食が流路拡幅に現れ、浸食速度も速い。

各ケースともに Dune の発生が認められた。case2 の 30 分通水後の観測では、平均波長 2.57m、波高 6 ~ 13cm の値を得た。停水後の浸食側岸においては写真-3 のようにかなり明確に表層の粗粒化がみられる。

図-5 に上流端からの距離が 20、25m 地点における各ケースの横断面形状の時間変化を示す。各ケースに共通して、測線 20、25 は両断面ともに同形状の断面形をとっており、縦断方向にどの断面を用いても同一形状であることを示す。ここで、ケース別に断面形を比べる。case2 と case1 及び case3 はかなり異なった断面形を示している。すなわち、case2 の断面形は曲線的であるのに対し、case1 及び case3 の断面は直線的である。河床勾配の緩い case1、case3 の各断面において浸食された面積と堆積した面積は同量となっている。また、浸食と堆積の境界付近において、通水開始 50 分後あたりからほとんど浸食も堆積も生じておらず平衡を保つ部分がみられている。この部分では斜面が一般的な傾斜角を保っている。これは諏訪ら⁴⁾が報じているように現地河川においても観察される現象であるが、これまでの小規模実験では確認できなかった現象である。側岸斜面が一般的な傾斜角を保つという現象は、今回の大型水路実験によりはじめて再現が可能になったと思われる。

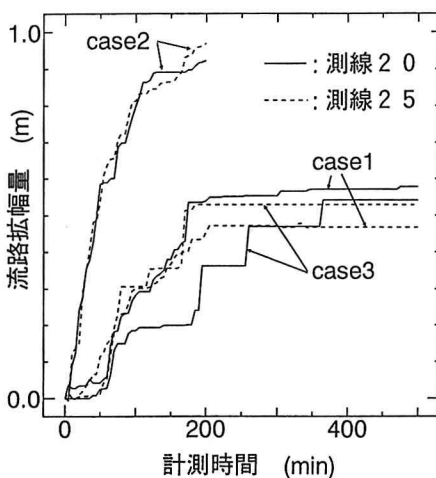


図-4 拡幅変化図



写真-3 表層の粗粒化

4. 浸食量に関する解析

今回の実験ではじめて再現が可能となった側岸斜面において、一般的な傾斜角が現れるという現象に焦点をあて、浸食量と掃流力との関係を見ることとした。図-6 に流速測定により求めた流速分布図を示す。case2 の 30 分経過時についてのみ、同図の (a) に見られるような 2 次流が原因と考えられる等流速線の起伏が現れている。しかし、その他の流速分布図は、全て図-6(b) のような分布を示しており、2 次流は発生していないものと考えられる。そこで 2 次流の影響はないものと考え、流速分布図の等流速線に直交する法線を引き、側岸斜面の河床せん断力を求めることとした。一方、浸食量（横断方向流砂量）は、図-5 の断面変化から求めることができる。図-7 に側岸斜面上の 3 箇所において通過する浸食砂量を算定し、これと掃流力の関係を調べたものを示す。ただし、浸食砂量は場所毎の平均粒径 d_m と斜面傾斜角 (θ) を用いて無次元化しており、無次元掃流力と限界掃流力との比である掃流力比 τ_{*m}/τ_{*cm} は d_m に関してとられている。

掃流力の大きなケースである case2 では、掃流力比が大きな値を示す箇所では流砂量も大きな値をとり、逆に斜面上部のような掃流力の小さな場所で流砂量が小さく浸食断面は曲線傾向を示す。これは掃流力

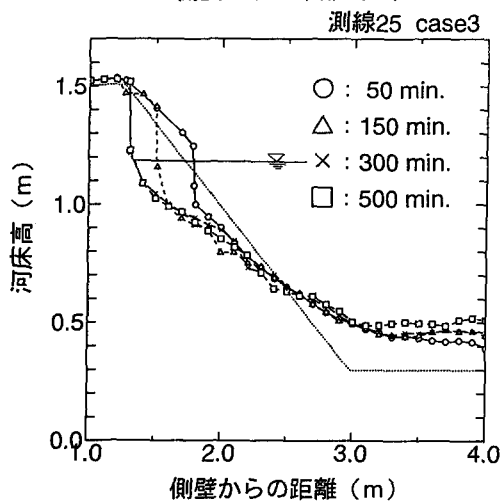
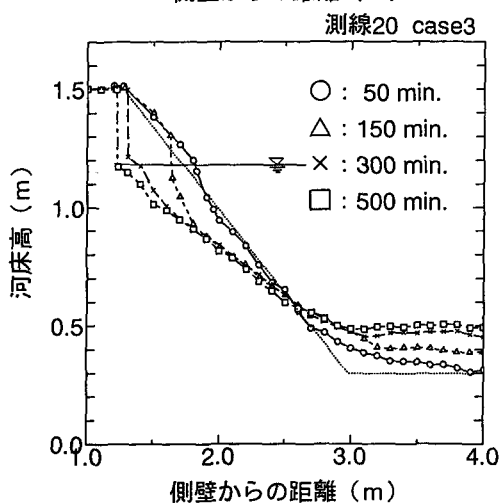
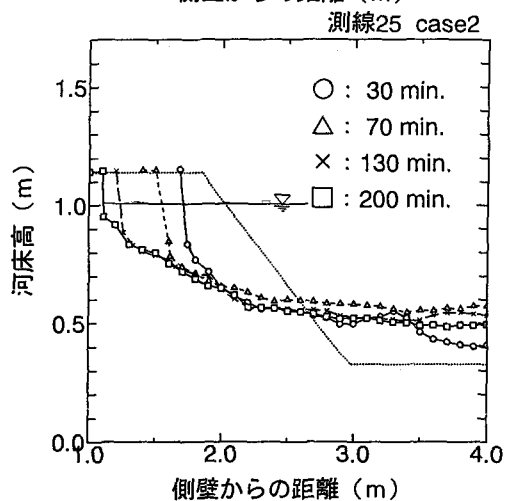
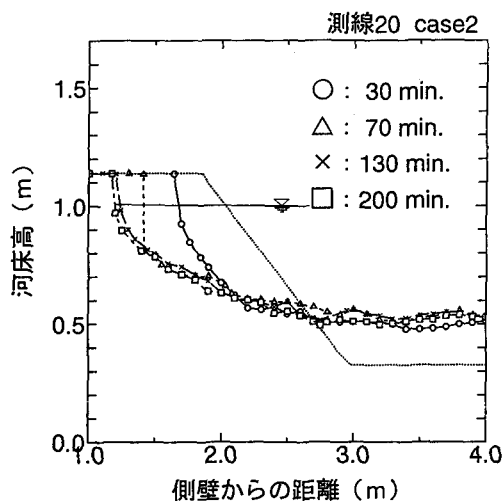
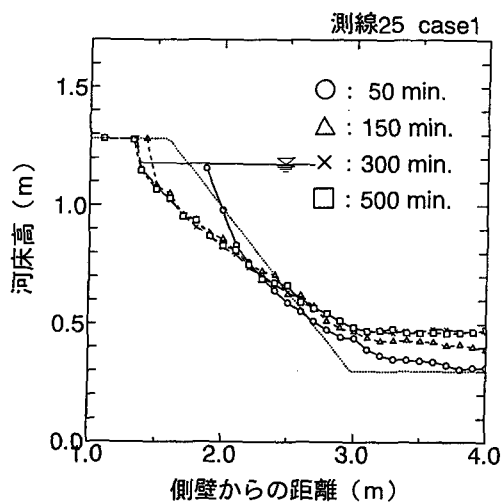
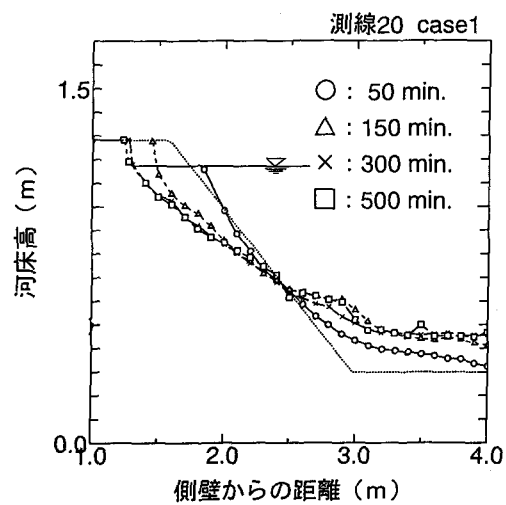


図-5 断面変化図

の大きな場合にみられる現象と思われる、従来の室内実験で得られる結果と類似した傾向を示している。

これに対し case3 では、掃流力比が横断的に変化しているにもかかわらず、流砂量がほぼ一定となっている。これは、水深や場所等の異なる条件による掃流力の大小にもかかわらず、流砂量が一定値をとっていることを意味している。流砂量が一定値であるということは、洗掘も堆積もしない領域があることを示す。すなわち、今回の実験によりみられた直線斜面形状を意味する。 d_m に関する掃流力比が 1.0 より小さいにもかかわらず、流砂量が存在している要因としては次の 2 点が挙げられる。

第一に、代表粒径よりかなり細かい粒径のものが動いていることが考えられる。これは広い粒度分布を持つ河床材料を用いる場合には代表粒径のみを扱う流砂量式の議論では説明がつかないことを意味している。第二に、斜面重力の効果が無視できず、掃流力の違いにかかわらず同一の流砂を生み出しているものと考えられる。前者は、斜面に粗い粒径を残してアーモコート形成する役目を果たす。代表粒径の値が大きくなって表層に関する限界掃流力が大きくなり常に掃流力比が 1.0 に近い値をとるものと考えられる。

このような要因により粒径分布の広い自然河川においては図-7 の case3 のような掃流力と浸食量の関係の生じる機会が多くなるものとみられ、現地河川の側岸斜面が直線を保つことが多いと考えられる。なお、この部分の詳しい理論的な解析は亀田ら⁵⁾によって行われている。

5. おわりに

室内実験では見過ごされている浸食機構を解明するためスケール効果を考慮し大型の直線水路により実験を行った。その結果、室内実験等で再現できなかった河床材料が広い粒度分布を持つ側岸斜面が、広い粒度分布と斜面重力の影響で一定な傾斜角を有する直線斜面形状になる現象を再現することができた。今後さらに、データを検討し室内実験では明確にならなかった現象の解析を行う必要がある。

参考文献

- 1) 福岡捷二；河岸浸食と植生護岸，土砂移動現象に関するシンポジウム論文集,1992,3
- 2) 池田駿介・Gary PARKER・千代田将明・木村善孝；直線礫床河川の動的横断安定形状とそのスケール，土木学会論文集，第 375 号／2-6，1986,11
- 3) 竹本成行・渡邊康玄・長谷川和義・亀田祐二（1992）；火山灰流路の側岸浸食過程に関する研究，土木学会北海道支部論文報告集 第 48 号 1992,2
- 4) 諏訪義男・山本晃一；河岸浸食に関する現地調査，水工学論文集 第 35 巻 1991,2
- 5) 亀田裕二・長谷川和義・渡邊康玄・金高州吾；水工学論文集 第 37 巻 1993,2 （投稿中）

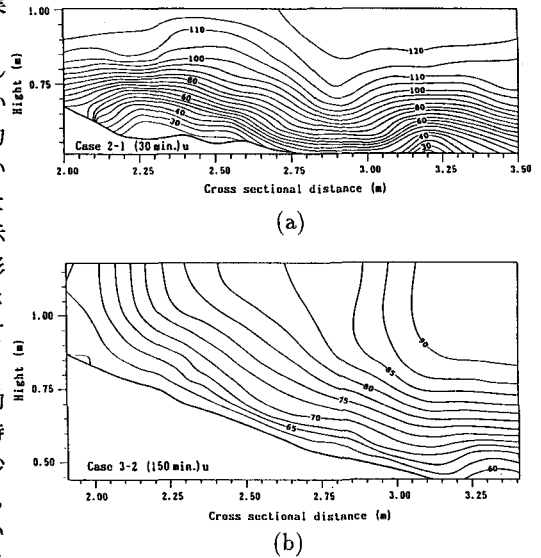


図-6 流速分布図

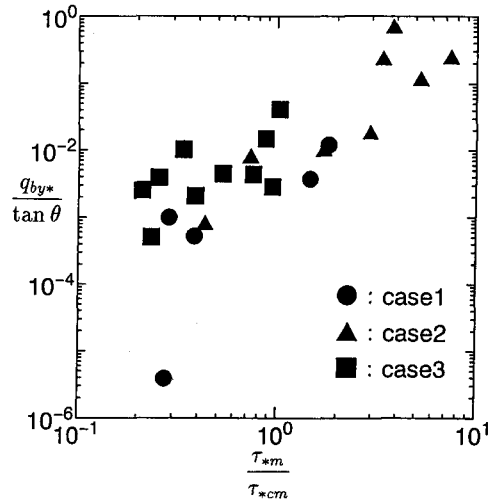


図-7 流砂量と掃流力の関係