

# 河岸侵食速度に及ぼす 土質構造の影響

THE EFFECT OF SOIL STRUCTURE  
ON THE BANK EROSION RATE

福岡捷二<sup>1</sup>・渡邊明英<sup>2</sup>・小俣 篤<sup>3</sup>・片山敏男<sup>4</sup>・島本重寿<sup>5</sup>・柏木幸則<sup>6</sup>  
Shoji FUKUOKA, Akihide WATANABE, Atsushi OMATA, Toshio KATAYAMA,  
Shigehisa SHIMAMOTO and Yukinori KASHIWAGI

1正会員 Ph. D 工博 広島大学教授 工学部第四類(建設系) (〒739広島県東広島市鏡山1-4-1)

2正会員 工博 広島大学助教授 工学部第四類(建設系)

3正会員 建設省河川局治水課補佐 (〒100東京都千代田区霞ヶ関2-1-3)

4正会員 建設省中国技術事務所副所長 (〒736広島県広島市安芸区船越南2-8-1)

5正会員 水資源開発公団思川開発建設所 (〒320栃木県宇都宮市駒生町中丸3368)

6学生員 広島大学大学院工学研究科環境工学専攻 博士課程前期

Estimation of erosive resistance of natural bank is important subject of river course design. Erosion process is found to be composed of three stages: erosion of lower non-cohesive layer of bank, collapse of overhanging upper cohesive layer in tension and the breakup and transport of the collapsed soil mass by the flow. And there are many attempts to understand erosion rate of bank soil by field experiments. But it is not enough to explain erosion mechanism and generalize erosion rate and so on. Because the field experiments were in the limited hydraulics and soil conditions.

In this study, the direct relationship between soil characteristics, soil structure and erosion mechanism was examined by the erosion experiments using an open channel with 3 kinds of undisturbed natural soils. Finally prospect of bank erosion is discussed and summarized.

*Key Words* : erosive resistance, soil characteristics, soil structure, erosion mechanism, undisturbed soil

## 1. はじめに

自然河岸を残したり多自然型護岸を施工するためには、安全面からその自然河岸が持つ耐侵食性の評価が必要であり、これによりその場に適した工法の選択が可能となる。しかし、自然堆積河岸は複雑な土質構造を成し、堆積場所により土の組成、締め固め度も変わり、侵食機構は複雑となる。そのため、実際に現地の自然堆積土を用いて侵食実験を行い、その侵食特性を評価する必要がある。

福岡ら<sup>1),2)</sup>の行った荒川上流部の高水敷に造られた水路における現地侵食実験では、シルト、砂の互層構造を成す自然堆積河岸は、1)比較耐侵食性の小さい下層の侵食によるヒサシの形成、2)ヒサシ状河岸の崩落、3)崩落土塊の細分化・流送、

といった侵食過程をとることが示されている。さらに福岡らは六角川<sup>3)</sup>、百間川<sup>4)</sup>などで荒川での現地実験と同様に高水敷上で河岸侵食の実験を行い、河岸の侵食速度や河岸崩落機構、河岸構成土の引張り強度等について多くの知見を得ている。布施ら<sup>5)</sup>は自然河岸の洪水時の侵食機構を明らかにするために、侵食時刻測定器を開発し、米代川河岸にこの測定器を複数個(計8個)設置した。そして実洪水について粘性土河岸がいつ、どこから、どのように侵食されたかを示す貴重なデータを収集し、これらと水深、流速など関係付けを行っている。しかし、現地試験ではこれらに払われる大変な労力と費用にもかかわらず、限られた土質条件、水理条件でしか実験できず、複雑で多様な河岸構成材料についての侵食速度等については理解

し得ても、一般化するまでには至っていない。

そこで本研究では河岸を構成する異なる土質材料の侵食特性をより確実にかつ、多くの水理条件で把握することを目的とし、現地の高水敷にて粒度、組成等の異なる自然堆積土を乱さずに採取し、実験水路に設置し、侵食実験を行い、土質特性と侵食特性の直接的な関係付けを行うことを目的としている。

## 2. 現地不攪乱試料を用いた側岸侵食実験

### (1) 不攪乱試料の採取

本実験で重要なことは現地の材料を乱さずに採取し、実験水路に設置することである。試料採取の方法は写真-1及び以下に示すような手順で行った。1) 現地河川の高水敷をバックホウで約3m掘り下げ、土の採取を行うための鉛直面を切り出す。2) 人力で鉛直面をきれいに整形する。3) 鉛直面に平行になるように長さ1m、高さ0.3m、奥行0.15mの鉄製の試料採取器を設置する。4) バックホウの側面のキャタピラ部をカウンター代わりにしてダルマジャッキで角材をあてた試料採取器をゆっくりと鉛直壁に圧入する。5) 最後まで押し込んだ後、上方の土をバックホウ及びスコップで除去する。6) 仕切り板を前面に打ち込み、箱を切り離した後、側方の土を除去して静かに試料採取器を横倒しにして取り出す。7) 試料の入った試料採取器を吊り出し、外枠脱型器に乗せ外枠を外す。8) 試料の入った内枠に試料が乾燥しないようにラッピングし、さらに内側にニス塗った外蓋を掛け、固定バンドで固定する。9) 運搬車に試料が安定するように乗せ、実験室まで運搬する。

試料は土質構造の連続性を持たせるため同じ層から横並びで少なくとも8試料の採取を行った。しかし場所によっては採取面積の限界から土質構造の変わらないほぼ同じ深さで採取面の異なる個所で採取を行ったものも用いた。

### (2) 実験方法

現地高水敷で採取した試料を図-1に示すような可変勾配型の直線水路に設置して、侵食実験を行った。この水路は、全長16.5mで上流に3mの整流槽を持ち、水路長さ13.5m、水路幅0.4m、深さ0.5mである。勾配は水平な状態から最大1/30まで調節が可能である。

長さ1m、高さ0.3m、奥行0.15mの採取試料を4mの位置を始点とし、水路の左岸側5mの区間に設置した。設置した試料は上流からNa1, Na2, Na3と呼ぶ。

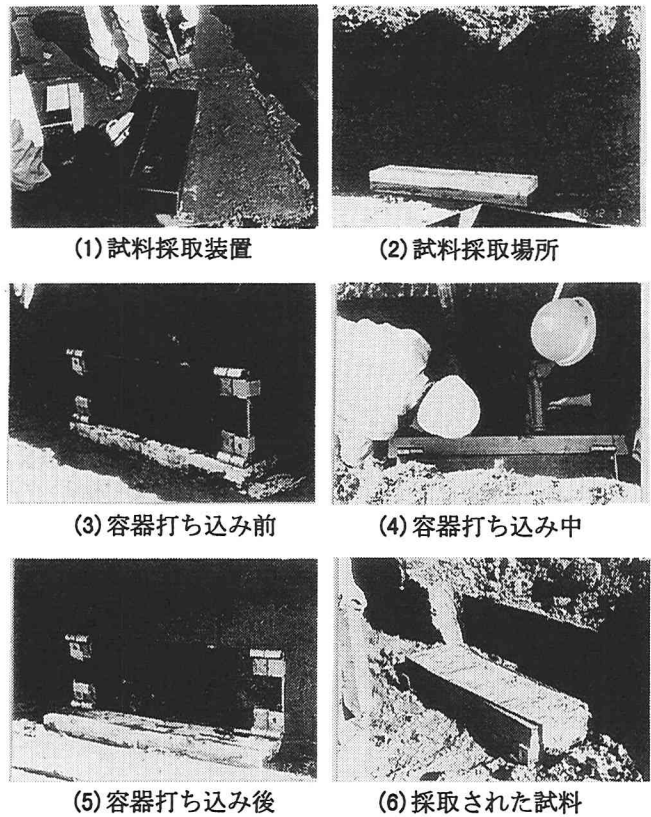


写真-1 侵食実験用試料の採取

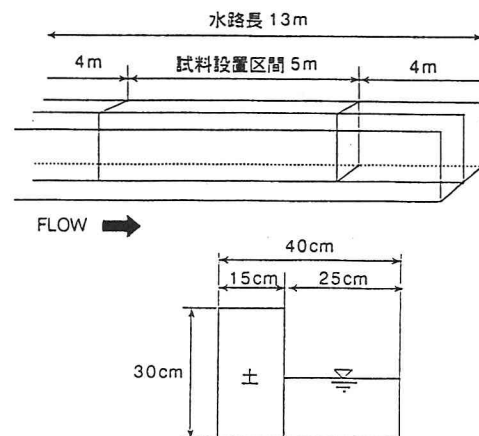


図-1 実験水路

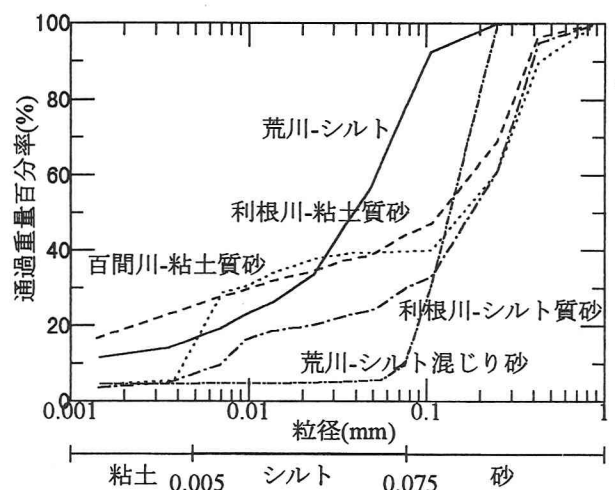


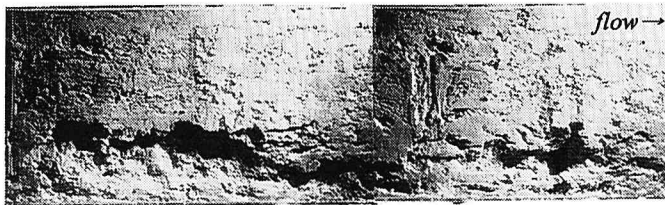
図-2 粒度分布

表-1 実験条件

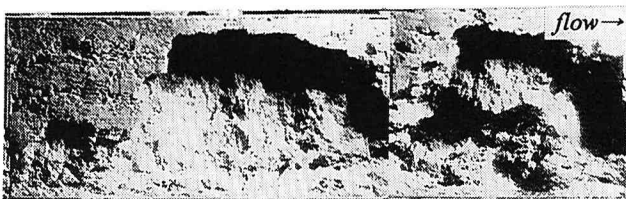
		流量Q (l/sec)	水深 h(cm)	平均流速 V(cm/sec)	勾配I	通水時間	試料採取 場所
百間川	case1	36	9.7	150	1/100	9時間15分	4.6km左岸 高水敷
	case2	53	9.5	220	1/30	case1を初期形状として9時間15分	
荒川	case3	20	14.5	50	1/1000	8分20	64km左岸 高水敷
	case4	13	10	40		case3を初期形状として6時間	
利根川	case5	30	11.6	100	1/1000	6時間30分	128km右岸 高水敷
	case6	43	11.8	140	1/100	case5を初期形状として19時間	

表-2 土質特性

	土の工学的分類	粘着力 c(kgf/cm <sup>2</sup> )	含水比 w(%)	湿潤密度 ρ <sub>t</sub> (g/cm <sup>3</sup> )
百間川	粘土質砂	0.079	28.8	1.69
荒川	シルト	0.146	34.8	1.73
	シルト混砂		12.4	1.56
利根川	シルト質砂	0.25	31.5	1.77
	粘土質砂	0.31	34.4	1.79



(a) 2時間通水 (case2)

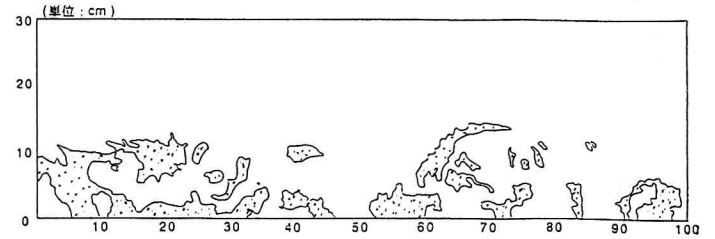


(b) 9時間15分通水 (case2)

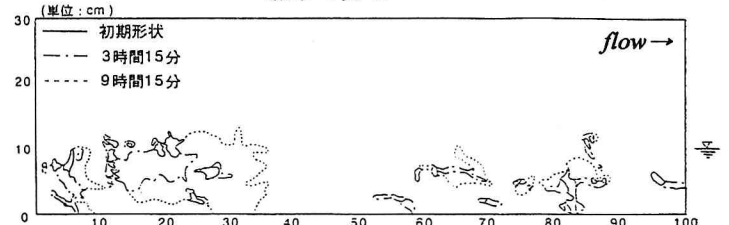
写真-2 百間川試料の侵食状況 (No.3試料)

試料の設置されていない上下流4mの区間には水路全長にわたって水路幅が一定になるように箱を取り付けて調整している。通水中に水位の測定をポイントゲージを用いて行い、流速分布の測定は電磁流速計を用いて行った。また通水停止後に側岸の形状測定を深さ方向に5mmピッチで行った。流量は下流端に設置した水槽の四角堰を用いて算出した。また、本来ならば崩落土塊の流送機構を調べたいところであるが、水路幅が狭く崩落土塊によって堰上がり、水深が上昇してしまうため崩落土塊は直ちに除去して実験を継続した。

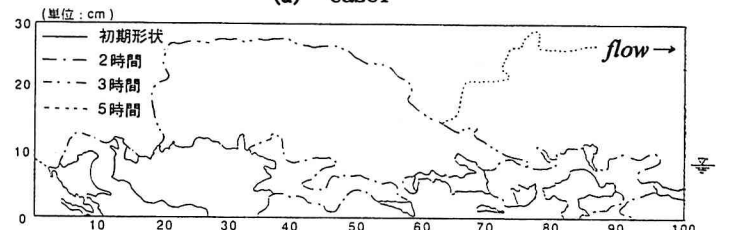
侵食実験に用いた試料は百間川4.6km左岸高水敷、荒川64km左岸高水敷及び利根川128km右岸高水敷にて採取した。図-2はこれらの試料の粒度分布を示



細砂の分布



(a) case1



(b) case2

図-3 百間川試料の侵食面の縦断的な拡がり (No.3試料)

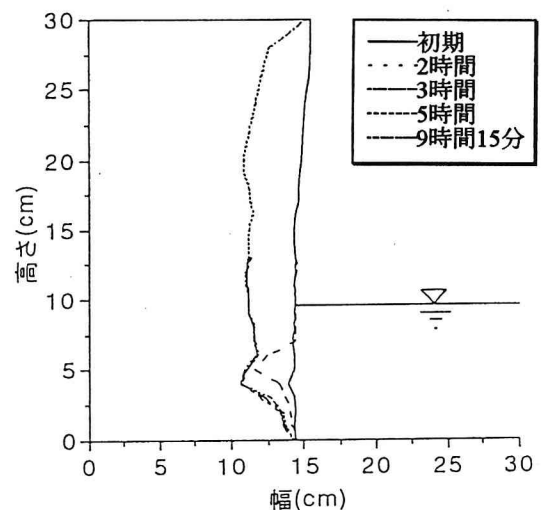


図-4 百間川試料の50cm断面での側岸形状 (case2, No.3試料)

している。百間川の試料は0.25mmの細砂，0.005mmの粘土に粒径が集中しており中間のシルトをほとんど含まれていない粘土質砂である。全体的に細砂または粘土のみの極く小さな層が点在している。荒川の試料はシルト及び非常に粒径の揃ったシルト混じり砂が層構造を成している。利根川の試料は粘土質砂にシルト質砂の大小の塊が所々に噛み込んでいる。

表-1は各試料で行った実験ケースごとの条件を示している。実験条件は図-2に示した粒度分布から粘土，シルト及び砂の割合から侵食の進行の程度をおおよそ推定して，各試料の侵食特性が把握できるように水深，勾配等の設定を行い，実験を行った。

表-2は各試料の土質特性を示している。ここで粘着力として算出している値は，前述の採取方法を採用したため侵食面に対して鉛直方向の一軸圧縮試験により求めた圧縮応力の1/2の値を用いている。測定された含水比は前述の採取方法からほぼ現地の状態と同じであるといえる。百間川の試料は粘着力が他の試料の粘着力と比べて小さい。百間川の試料には全体的に極く小さな粘土や細砂のみの層が点在しており，このことが原因と思われる。

### (3) 実験結果

図-3は百間川のNa3試料の細砂の分布とcase1及びcase2における通水継続時間による侵食面の縦断的な拡がりを示したものである。写真-2は百間川のNa3試料の侵食状況を示している。図-4は図-3(b)に示された50cm断面での側岸の形状変化を示している。case1の通水初期には比較的侵食抵抗の小さい砂分を含む個所で局所的に穴状の侵食が生じた。しかし，case1の条件では侵食の進行が遅いため，case2でcase1の侵食形状を初期形状として流量を増大させ勾配を1/30にしたところ，時間の経過とともに徐々に縦断方向へ侵食面が連なるように拡大し，侵食面が深さ3cm程度，長さ60cm程度にほぼ一様に侵食された通水3時間後に上部の土の崩落が生じた。さらに2時間経過の通水5時間後には，その下流で上部の土の崩落が生じた。継続して通水を行ったがその後はほとんど侵食は生じなかった。

図-5は荒川のNa2試料の土質構造を示したものである。この試料はシルト層とシルト混じり砂が互層構造をしており，両層は完全に粒径が異なっている。他の試料もほとんど同じ状態で，互層構造を成している。写真-3は荒川のNa2試料の侵食状況

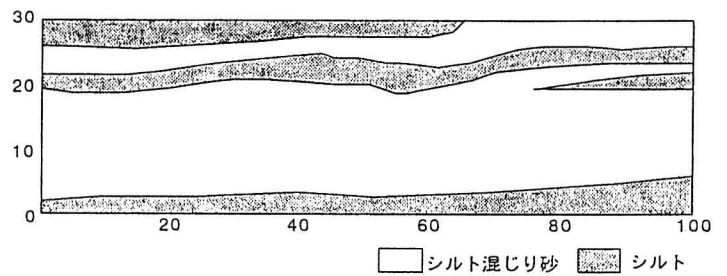


図-5 荒川試料の土質構造 (No.2試料)

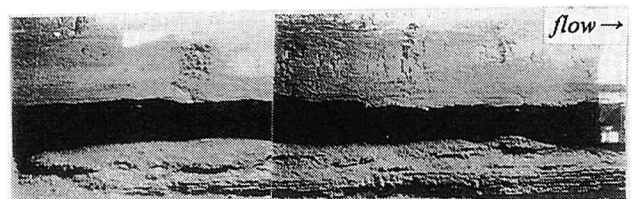
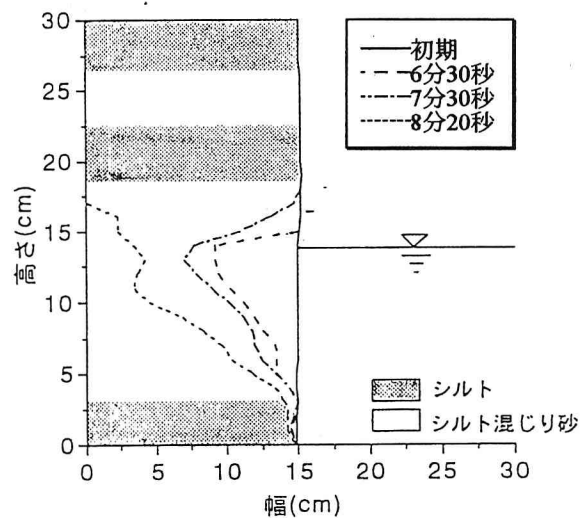
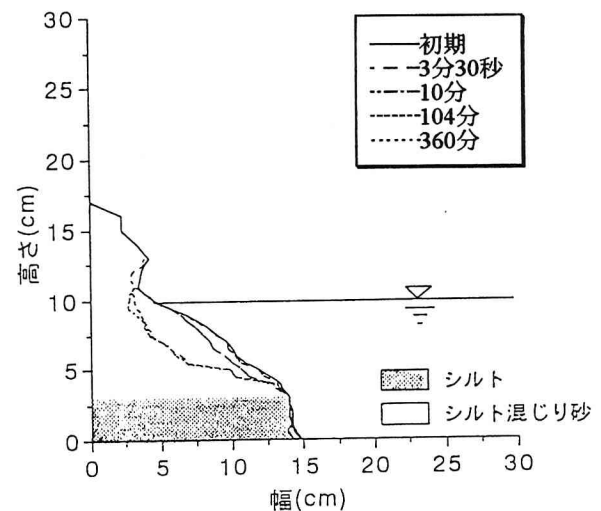


写真-3 荒川試料の侵食状況



(a) case3



(b) case4

図-6 荒川試料の55cm断面での側岸形状 (No.2試料)



を示している。図-6は図-5の55cm断面での側岸の形状変化を示している。図-6(a)のcase3では通水6分30秒後には写真-3に示すように侵食抵抗の小さい中間層の砂層が急激に侵食され縦断的にほぼ一様なヒサシを形成した。この1分50秒後、ヒサシ下の侵食が進行し、最大10cm程度のヒサシ深さが連なったところで崩落した。case3での通水8分20秒では試料のほとんどが崩落してしまったため、case4で流量を減じて水深を10cmにして通水を継続した。図-6(b)のcase4はcase3のヒサシの崩落後に形成された斜面について上層の砂層及び下層のシルト層の侵食速度を調べたものである。計360分の通水を行った結果、下層のシルト層はほとんど侵食されず、砂層のみが侵食され、階段状側岸形状となった。

図-7は利根川のNo.2試料のシルト質砂の分布とcase5及びcase6における通水継続時間における侵食面の縦断的な拡がりを示したものである。写真-4は利根川のNo.1試料とNo.2試料の侵食状況を示している。図-8は図-7の50cm断面での側岸の形状変化を示している。通水10分30秒後にはNo.1試料は写真-4(a)に示すように深さ3cm程度で縦断的にほぼ一様に侵食された。このときNo.2の試料は写真-4(b)に示すように砂分を含むシルト質砂や凹凸のある個所から少しづつ侵食が始まった。通水1時間10分後には写真-4(c)に示すように深さ方向への侵食がほとんど生じないまま深さ2cm程度、長さ50cm程度の大きさで剥がれるように侵食された。これは隣り合った上流側のNo.1試料が先に侵食された影響が下流に伝播したものと考えられる。しかし、その後はこの条件では侵食は進行しなかった。侵食された個所の縦断的な長さはシルト質砂との境界までであった。その後case6でcase5の侵食形状を初期形状として流量を増大させたところ通水2時間後にさらに深さ2cm程度、縦断方向に10cm程度剥がれるように侵食された。しかし、その後は通水を行ってもほとんど侵食が生じなかった。

図-9はこれまで著者らが行ってきた現地と実験室での結果を用いて、せん断力 $\tau$ と侵食速度Eの関係を示したものである。せん断力 $\tau$ は流れを等流と考え、側岸に働くせん断力が河床に働くせん断力と等しいとして算出した。侵食速度Eは水中内の側岸侵食の変化を通水時間で除したものを示している。図中の数字は水路での平均流速を示している。百間川の粘土質砂の侵食速度は荒川現地実験結果のシルトの1/10となっており、粘土を含むことによって侵食抵抗が大きくなっていることがわかる。荒川のシルト混じり砂はほとんど粘着

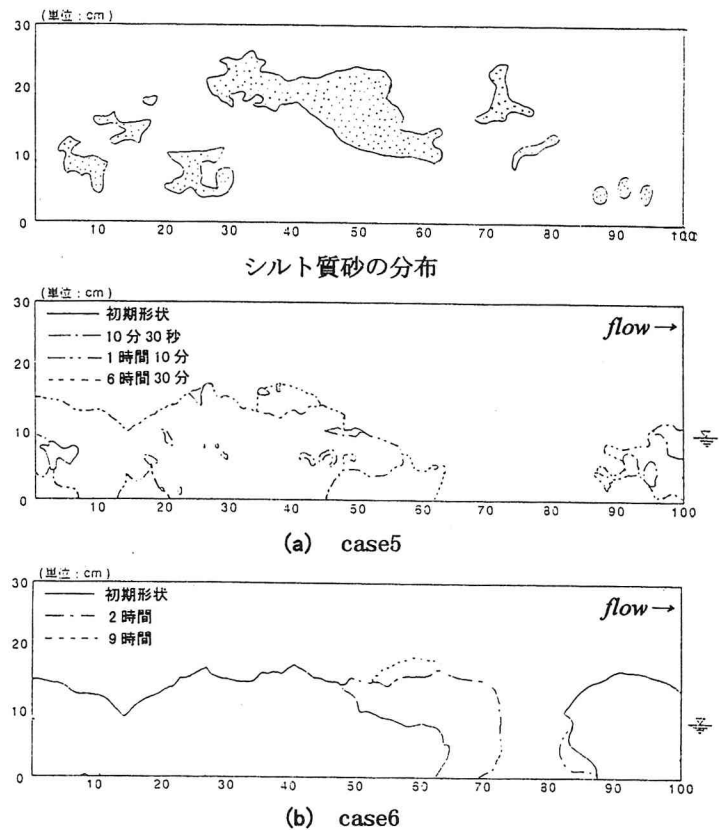
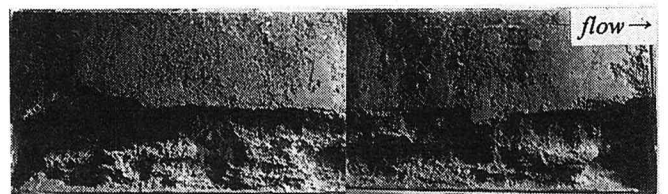
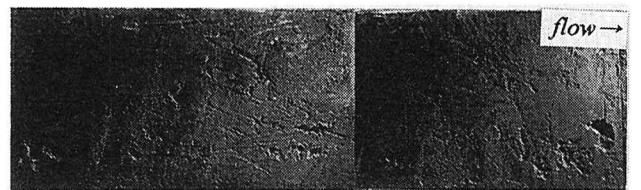


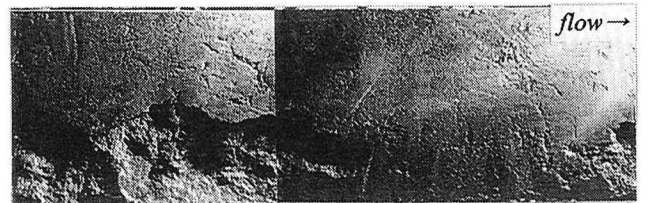
図-7 利根川試料の侵食面の縦断的な拡がり (No.2試料)



(a) 10分30秒通水 (case5, No.1試料)



(b) 10分30秒通水 (case5, No.2試料)



(c) 1時間10分通水 (case5, No.2試料)

写真-4 利根川試料の侵食状況

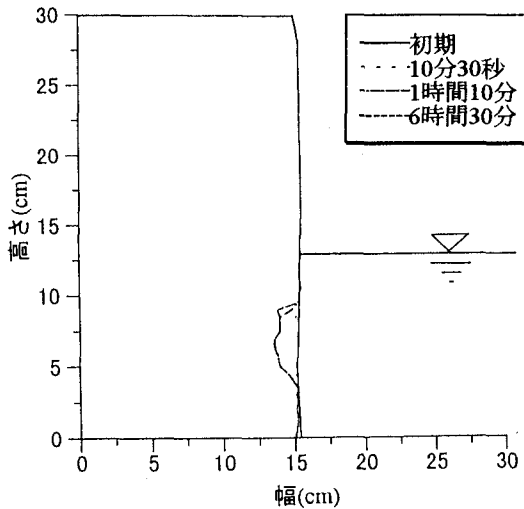


図-8 利根川試料の50cm断面での側岸形状 (case5, No.2試料)

力を持たないため、小さなせん断力で急激に侵食速度が大きくなっているのがわかる。

### 3. まとめと結論

流れによる土の侵食速度は均質な土であればそれぞれの土質ごとにほぼ推定することが可能な段階に近づいている。しかし、河岸を構成する土は多様で複雑な土質構造を成すため、これまで行われてきた現地での侵食実験、および今回行った不攪乱試料を用いた実験室での侵食実験結果でもまだ侵食速度を一般化することには無理がある。しかし、これらの実験手法を用いたさらに多くの土質試料について試験、検討を行うことによって、工学的に有効な河岸侵食速度の判断が出来るようになると思われる。

本研究から次のような結論が導き出された。

- 1) 細粒分を含む河岸を構成する土の侵食は流れの状態がある一定以上の流速、水深となった時に急激に進行する。
- 2) 粘土やシルトを多く含む河岸は侵食抵抗が非常に大きい流れによる侵食は生じにくいですが、砂分を含む比較的侵食抵抗の小さい個所から局所的に侵食が生じる。その後、徐々に侵食面は縦断方向に拡大し、大きな侵食となっていく。
- 3) シルト質砂及びシルトが互層構造を成す河岸では侵食抵抗の小さい砂層の侵食が生じ、河岸はヒサシを形成し、崩落する。その後、斜面形状をなし安定状態となり、侵食速度は小さくなる。
- 4) 複雑な土質構造をもつ河岸材料の侵食速度について重要な情報を得た。

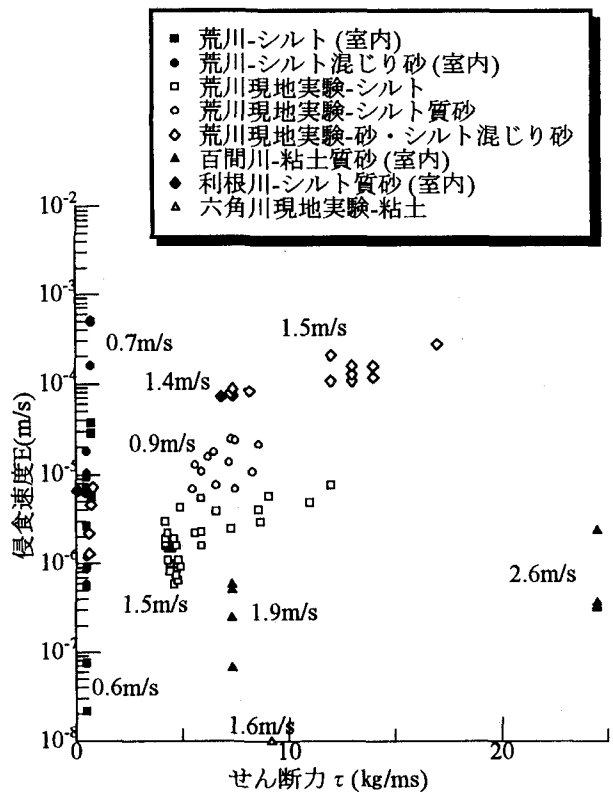


図-9 せん断力と深侵食速度の関係

謝辞：本調査、研究を行うにあたり、建設省の岡山河川工事事務所、荒川上流工事事務所、利根川上流工事事務所の方々の多大な助力を得た。記して深く感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 福岡捷二, 木暮陽一, 佐藤健二, 大東道郎：自然堆積河岸の侵食過程, 水工学論文集, 第37巻, pp. 643-648, 1994.
- 2) 建設省荒川上流工事事務所：河岸侵食・拡幅機構に関する研究-荒川上流部低水路河道を事例として-, pp. 94, 1994.
- 3) 福岡捷二, 石川浩, 日比野忠史, 島本重寿：粘着性(ガタ土)流路の侵食, 掃流機構に関する研究, 水工学論文集, 第40巻, pp. 965-970, 1996.
- 4) 福岡捷二, 渡邊明英, 中川哲史, 島本重寿：粘着土河岸の現地侵食実験, 第48回土木学会中国支部研究発表会発表概要集, II-67, pp. 227-228, 1996.
- 5) 布施泰治, 簾内耕, 天然河岸における侵食崩壊機構調査, 第3回河道の水理と河川環境に関するシンポジウム論文集, pp. 91-98, 1997.
- 6) 宇多高明, 望月達也, 藤田光一, ほか：洪水流を受けたときの多自然型防御工・粘性土・植生の挙動, 土木研究所資料, 第3489号, 1997

(1997. 9. 30受付)