

多摩川河床に発達する「牛群地形」の形成と
保護に関する研究

2005年

徳竹 真人

目 次

はじめに	1
1. 調査目的	2
2. 「牛群地形」の出現経緯	2
3. 「牛群地形」の地質概要	5
4. 浸食量	9
5. 検討	15
まとめ	18
謝辞	19
参考文献	19

多摩川河床に発達する「牛群地形」の形成と保護に関する研究

徳竹真人 若林優子

多摩川中流域の河床に発達する「牛群地形」は、1960年頃に河床礫を採取した結果下位層の平山砂層が露出して形成しはじめた。本研究により、「牛群地形」形成には地盤の凍結融解が強く作用していることや、凍結融解で地盤が緩むのため、その影響は夏まで継続していることを明らかにした。観測期間中に台風による増水で「牛群地形」がかつてない規模で大きく浸食された。台風の増水による急激な浸食で新たに露出した地盤は従来の地盤に対して約20倍の速度で浸食されていることも明らかにした。

Key words: 「牛群地形」, 多摩川, 平山砂層, 凍結融解, 浸食量, 非対称斜面

はじめに.

本研究は、多摩川河口から44.7km程のJR八高線多摩川橋梁下流に位置する「牛群地形」の形成について2001年から2003年にかけて調査・研究を行ったものである。

「牛群地形」という呼称は、小泉武栄が本研究域の地形を「多摩川の流れがいくつにも分かれ、その間を牛の背のような形の細長い高まりが長く伸びていて、一見すると牛の群が泳いでいるようにも見えます。この地形は世界的に見てもあまり例がなく、たいへん珍しいものですが、特に呼び名もないので、仮に『牛群地形』と呼ぶことにしたいと思います」と1998年に「多摩のあゆみ」の中で記述しているのでその呼称を踏襲した。下図には位置図を示し、左には「牛群地形」の写真を示した。



調査位置図



上流側から見た「牛群地形」 (2000年4月撮影)

「牛群地形」は、第四紀更新世に堆積した平山砂層に発達する、比高 4m, 最大幅 16m, 最大長 170m (2001 年 8 月現在) のシルト質砂からなる畝状の高まりが、流路方向に数列並んでいる (写真参照)。

研究域の「牛群地形」が「世界的にも珍しい」のは、160 万年ほど前に堆積した未固結な地盤が、一級河川で浸食・掃流が盛んな中流域の河床に 50 年以上にわたり存在していることである。

「牛群地形」に類似した地形は、構成物質が固結した中・古生層や溶岩の場合に節理、層理、褶曲軸あるいは断層などの亀裂系が拡幅して形成されることもある。一方、完新世の軟弱な土砂では水面からわずかに露出する程度の比高で平坦な堆積物が、増水後に一時的に出現することもあるがまもなく消滅する。しかしこれらは本研究対象域の「牛群地形」とは固結度 (=耐浸食力) が大きく異なるので異質のものと言える。

先行研究では、池田宏 (1975, 1995)、小泉 (1998) があり、池田が報告した埼玉県川本市の荒川や茨城県水海道市の鬼怒川のフィールドは現在消失しているため観察や本研究地域との比較検討ができない。一方、小泉は本研究域で「牛群地形」を肉眼観察して、その成因を「砂質土に挟在している、あるいは混入している粘性土の存在が、耐浸食性を強めているのではないか」と考察している (1998) が定量的な調査は報告していない。

「牛群地形」について予察的な踏査を行った結果、池田が報告した事例とは構成地盤の年代が異なり、また、層相の変化、肉眼観察による粘性土の多少に関わりなく浸食が行われていること、さらに「牛群地形」が南面で急傾斜、北面はより緩傾斜と非対象地形を呈することから、「牛群地形」の形成に凍結融解が大きく寄与しているが、増水時の跳石による浸食は、水面下部分の「牛群地形」の幅が比較的厚い事から、跳石による側方と河床浸食は少ないと推測した。

1. 調査目的.

本研究の目的は、世界的にも珍しいとされる「牛群地形」が形成された過程とその要因を明らかにすることを直接の目的とした。

2. 「牛群地形」の出現経緯.

研究域では 1945 年 8 月に八高線多摩川橋梁上で列車が衝突転覆する事故が発生し、現在でも当時の車軸が中洲上部に残存している。当時は河床全体が河床礫に覆われ、現在の中洲も河床礫に被覆されていたと言われている (聞き取り調査)。当域では 1950 年頃から 1960 年まで河床礫の採取が大規模に行われ (多摩川誌による)、1960 年頃には子供達が牛群から牛群へ飛び渡って対岸に行けた。また 1961 年 8 月には河床に露出した平山砂層からアキシマクジラの化石が発見、発掘されている。1970 年頃には「牛群地形」間の距離が開き、跳び渡ることができなくなり棒高跳びのように竹を使って渡るようになった (聞き取り調査) が今では渡渉しない限り渡れなくなっている。

以上から「牛群地形」を形成する平山砂層が河床に露出したのは 1950 年代末から 1960 年までの間と判断される。図 2.1 には 1951 年発行の地形図を示し、図 2.2 には 1971 年発行の地形図を示す。なお、1951 年発行の地形図には左岸に鉄道線路が記載されていることから、早い時期から砂利採取が行われていたとも考えられる。同地図によると河床は広く砂礫に被覆されて、河道は右左岸に沿っているが、主流は右岸沿いである。1970 年の地形図には拝島橋と八高線橋梁との間に堰が記載されている。この堰堤は河床低下から八高線橋梁を擁護する目的で建設されたものである。河床の形状は「牛群地形」が記載されていないことを除くと概ね現在の地形に類似した形状を呈している。

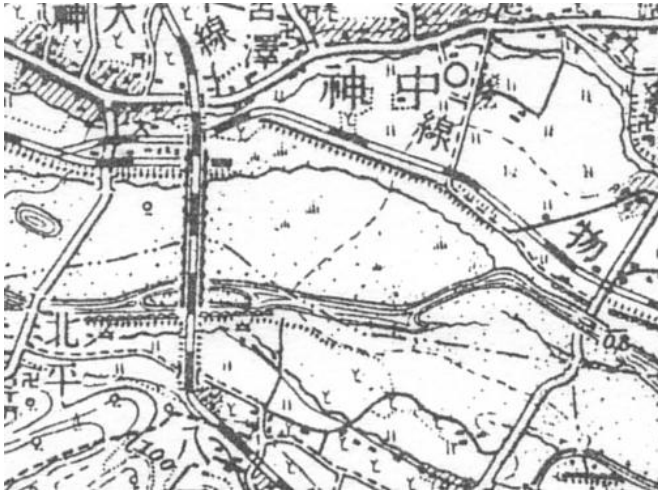


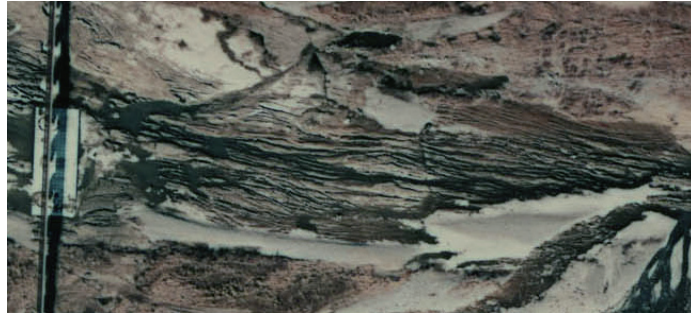
図 2.1 1951 年地形図



図 2.2 1971 年地形図

ここで河床礫層とその下位層である平山砂層とは不整合関係にあるため、1960 年前後に河床礫が除去される前の平山砂層にすでに「牛群地形」が形成されていたとも考えられるが、研究域周辺の類似地形（中州を挟んだ南側や研究域から約 800m 下流）を観察すると、上部が平坦で浅い網状の流路が分布することから、研究域の「牛群地形」は砂利層が除去されたときには比較的平滑な面を呈していたと考えられる。

1960 年以降の「牛群地形」の成長過程は 1961 年～1997 年に国土地理院が撮影した空中写真の判読によった。写真判読にあたりスケールは八高線橋脚間距離 20.00m に基づいた。空中写真によると 1984 年までは河床全体に密に「牛群地形」が発達して、年を追う毎に僅かに「牛群地形」の幅が縮小していることが判別される。写真 2.1 には経年変化を示す代表的な写真を示す。



1974年撮影 「牛群地形」が河床全体に広がっている。



1984年撮影 「牛群地形」の数が少なくなっている。



1989年撮影 増水しているが大きな変化は認められない。

写真 2.1 「牛群地形」の経年変化状況

2001年9月11日の台風15号と同年10月18日の台風21号は、「かつてない規模で（聞き取り調査）」「牛群地形」を損壊した。損壊の程度は、水平方向の節理が発達した「牛群」の島でも水平方向の節理が発達していると、幅2m、比高1.5m、長さ18mほどでも流されて、その残骸すら発見できなかった。垂直方向の節理が発達していた「牛群地形」もブロック状に切断されて掃流した。「牛群地形」を構成する中小の「島」の多くは跡形もなく流失した。河道の北半分は約1mの層厚で河床礫に埋没したが、2002年の夏頃までには概ね再度掃流され、河道はほぼ台風前の形状に戻った。写真2.2～3には台風前後の河床状況を示した。



写真 2.2 増水前状況 (2000 年 5 月撮影)

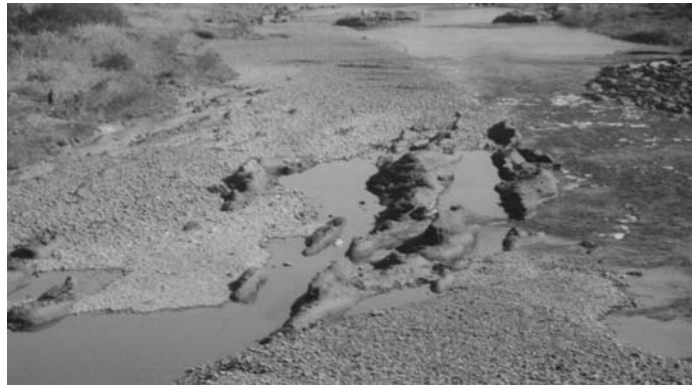


写真 2.3 増水後状況 (2001 年 11 月撮影)

3. 「牛群地形」の地質概要.

「牛群地形」の地質は 160 万年程前の第四紀更新世初頭に浅海性の堆積環境で堆積した平山砂層(小宮砂層) からなる.

当域に出現している平山砂層は、微細砂～細砂が卓越しているが、上位から粘性土優勢層、含化石細砂層、含化石粘土混じり微細砂層、含化石微細砂層、含礫細砂層に細分することができる. ここで上位層から順に Hr-1 層, Hr-2 層・・・Hr-5 層とした. なお、含礫細砂層 (Hr-5 層) は、研究域の南西側 (上流側) に分布しているが、北東～東側 (下流側) では欠如している.

研究域に分布している平山砂層の室内土質試験結果を表 3.1 に、粒径過積曲線を図 3.1 に示した. 岩石試験結果は表 3.2 に要約して示した. これらの試験仕様は JIS に従った.

表 3.1 室内土質試験結果一覧表

試験項目	1	2	3	4	5	
土粒子の密度	2.659	2.742	2.724	2.712	2.645	
含水比 (%)	15.5	21.4	33.5	28.0	16.2	
かさ比重	1.815	1.856	1.845	1.828	1.816	
粒度組成	粗砂	2.1	5.6	1.5	13.1	11.8
	中砂	72.0	70.5	51.7	52.5	77.0
	細砂	5.2	4.2	17.9	8.5	2.9
	シルト	12.4	7.3	20.6	18.2	5.9
	粘土	8.3	2.4	8.3	7.7	2.4

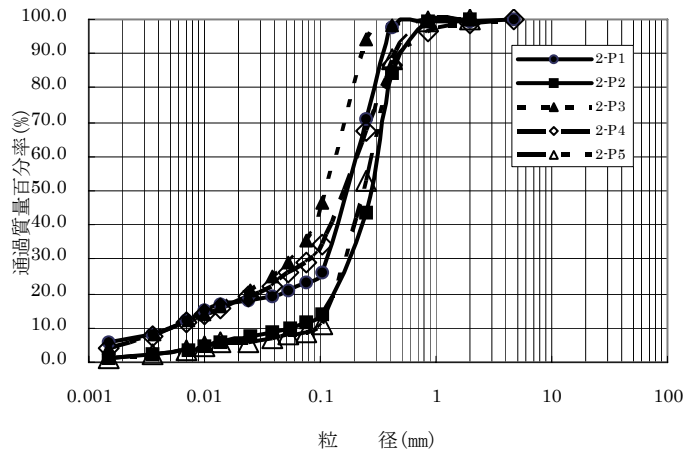


図 3.1 粒径過積曲線

試験結果からは、土粒子の密度に有意差は認められない。

含水比と粒度組成の相関は概ね良好であるが一部に粘土化した化石の影響で相関が明瞭でない試料もある。各層の粒度組成は平山砂層の一般的な値を示しており、総じて対象域に出現している平山砂層の物理特性は平山砂層の平均的な範疇に位置している。

表 3.2 室内岩石試験結果一覧表

試験項目	1	2	3	4	5	
有効間隙率	36.52	36.22	36.22	33.78	36.79	
吸水率	23.91	24.13	25.77	24.88	24.55	
見掛比重	自然	1.585	1.706	1.652	1.669	1.691
	強乾	1.527	1.501	1.333	1.358	1.486
	強湿	1.893	1.863	1.676	1.695	1.851
浸水崩壊度	2	2	3	2 ~ 3	2	

岩石試験の結果は表 3.3 に要約した。表からは層相が異なっても物理的な有意差は認められない事が判明した。

これらの試験結果は「牛群地形」の形成が層相の相違に関わりないことを示している。

「牛群地形」の地質構造は層理面が N10～15E， 5N 程度で緩く北に傾斜しながら非常に緩い褶曲を呈している。層理面は「牛群地形」を挟む両側の水頭差が 0.4m 前後ある場合があり，層理面を通して河川水が低位側に流れている。このためこれらの層理面では幅 5m ほどの「牛群地形」でも細粒分の流失が行われ，著しい所では反対側を見通すこともできる（写真 3.1 参照）。



写真 3.1 間隙が大きな層理面を持つ「牛群地形」

この層理面に直交するような NS， 30～55E 前後の亀裂が，3 本/200m の頻度で多摩川を横断して賦存している。

本研究域には 1961 年 8 月にアキシマクジラの全身骨格が発見，発掘されたほか，粘土化したフジツボと思われる貝化石や巻き貝化石，アコヤガイ等の貝化石が多産している。また，鹿の枝角や肋骨状の化石が多数露出している他，材化石としてはセコイヤ類が産出している。

しかしこれらの化石類は粘土化していることが多く，「牛群地形」が後述するように凍結融解で年々「痩せて」行くのに従い出現し，翌冬には地盤の凍結融解のため消滅している。

このように研究域に分布している化石類の強度は，地盤強度に類似しているため，「牛群地形」の消長に影響を与えることはない。

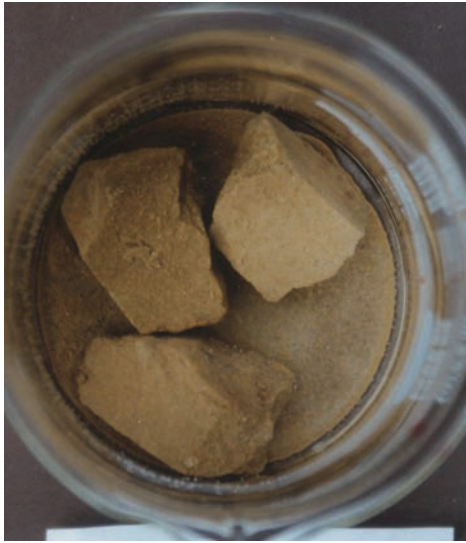


写真 3.2 浸水崩壊試験結果記録写真

試料 No.1	試料 No.2
試料 No.3	試料 No.4
試料 No.5	



写真 3.3 アコヤガイ化石
(スケールはインチ)



写真 3.4 材化石産出状況

4. 浸食量.

浸食量調査は、浸食要因と浸食速度を把握する目的で研究域内の代表的な地点を選定して計測した。選定基準は地層や微地形、日照や河川による浸食要因などを勘案した。各地点は基本的に北面と南面を1対とするような断面にした。

各断面には、微地形や土質を勘案しながら断面方向に約 25cm 程度の間隔で浸食計を設置した。浸食計はスチール製の有効径 3.2mm 長さ 9.2cm のスクリー釘を用いた。測定頻度は月に2回を原則としたが増水で設置地点に渡渉できない時などは欠測した。測定方法は浸食計の頭部と地盤との隔離距離をノギスで測定した。写真 4.1 には浸食計設置状況を示す。

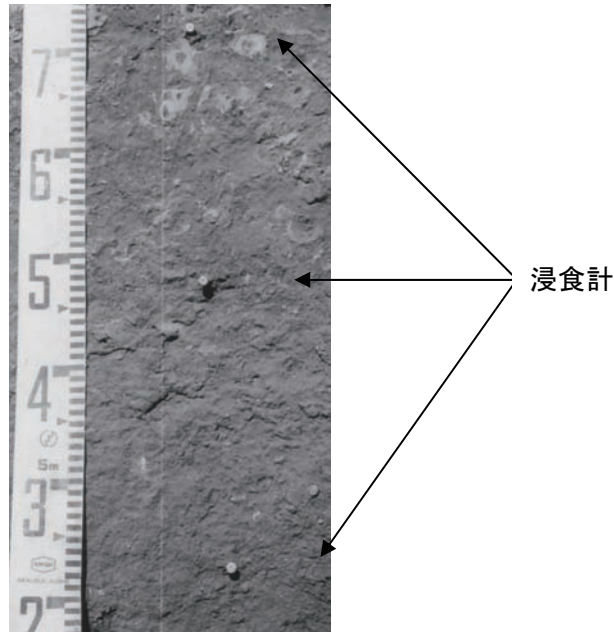


写真 4.1 浸食計設置状況

浸食計は、2001年9月11日に関東地方南部を通過した台風15号と、同年10月18日に接近した台風21号により「牛群地形」が「かつてない規模（聞き取り調査）」で大規模に損壊し、浸食計のほぼ全てが「牛群地形」ごと流失、あるいは削剥された。このため2001年11月に新たな浸食計を設置して測定を再開した。また、2002年11月から一部の浸食計が人為的にいじられる事（浸食量計の地盤への打ち込み、あるいは抜去）が認められたので、当該データは棄却した。

本研究では以上の経緯から、台風15号以前の2000年9月～2001年8月に計測した断面番号をⅠ～Ⅲで示し、それ以降の2001年12月～2003年3月に測定した断面番号をA～Dで示して両者を区別した。

表 4.1 には調査位置対比表を、図 4.1 には新旧の調査位置図を示した。

表 4.1 調査位置対比表

測定期間	2000.09～2001.08		2001.12～2003.05	
	台風前		台風後	
断面番号および位置	Ⅰ断面	98R8.5	A断面	99L5
	Ⅱ断面	97L6	B断面	121C
	Ⅲ断面	179L12	C断面	165CL
			D断面	167L12

断面位置は JR 八高線 No.9 橋脚下流側下端を基点とし、基点を通る N90E を視準線とした。断面位置は各断面最頂部の浸食計の位置で表した。

表4.2 浸食量記録表 (I ~ III断面)

	00.09.10	00.10.07	00.11.11	00.12.09	00.12.24	01.01.07	01.02.12	01.03.03	01.03.30	01.04.13	01.04.29	01.05.12	01.05.26	01.06.10	01.06.23	01.07.01	01.07.20	01.08.01
I 断面北	0.00	23.00	3.80	1.20	0.00	4.25	0.00	0.00	0.00	4.70	4.70	0.00	0.00	0.00	4.20	0.00	0.00	0.00
I 断面南	0.00	0.00	0.00	4.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.90
I 断面北	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	2.15	0.15	0.00	0.00
I 断面南	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I 断面北	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I 断面南	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

	00.09.10	00.10.07	00.11.11	00.12.09	00.12.24	01.01.07	01.02.12	01.03.03	01.03.30	01.04.13	01.04.29	01.05.12	01.05.26	01.06.10	01.06.23	01.07.01	01.07.20	01.08.01
I 断面北	0.00	23.00	3.80	0.00	0.00	5.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I 断面南	0.00	25.00	1.90	0.00	0.00	3.80	2.30	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I 断面北	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I 断面南	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I 断面北	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.65	0.00	3.70	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I 断面南	0.00	1.00	9.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.90	0.00	0.00	0.00	2.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

	00.09.10	00.10.07	00.11.11	00.12.09	00.12.24	01.01.07	01.02.12	01.03.03	01.03.30	01.04.13	01.04.29	01.05.12	01.05.26	01.06.10	01.06.23	01.07.01	01.07.20	01.08.01
II 断面北	0.00	23.00	3.80	1.20	0.00	4.25	0.00	0.00	0.00	4.70	4.70	0.00	0.00	4.20	0.00	0.00	0.00	0.00
II 断面南	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	1.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
II 断面北	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
II 断面南	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.45	0.00	0.00	0.00	2.70	0.00	0.00	0.15	3.55	0.00	2.20	4.30
II 断面北	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.15	0.00	0.00	3.80	3.95	0.00	0.00	0.00	4.45	12.00
II 断面南	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.60	0.00	0.00	2.95	2.95	0.00	0.00	0.00	0.00	26.95
II 断面北	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.40	0.00	1.15	6.85	1.10	0.00	8.95	0.00	0.00	33.17
II 断面南	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	1.35	6.05	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
II 断面北	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
II 断面南	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.60	0.00
II 断面北	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
II 断面南	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.00	0.00	2.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

	00.09.10	00.10.07	00.11.11	00.12.09	00.12.24	01.01.07	01.02.12	01.03.03	01.03.30	01.04.13	01.04.29	01.05.12	01.05.26	01.06.10	01.06.23	01.07.01	01.07.20	01.08.01
II 断面北	0.00	10.00	2.80	0.00	0.00	0.55	0.00	11.20	0.00	0.00	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
II 断面南	6.85	0.00	0.00	0.00	0.45	3.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.60	0.70	0.00
II 断面北	7.50	0.00	1.00	2.00	3.00	5.65	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
II 断面南	0.00	0.00	0.00	0.00	4.30	3.75	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.64	1.50	0.75	0.00
II 断面北	0.00	3.00	0.00	4.50	0.00	5.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
II 断面南	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
II 断面北	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	2.25	0.00	2.10	0.00	0.00	0.00
II 断面南	19.20	0.00	0.00	5.55	0.00	5.10	0.00	2.54	1.85	0.00	0.00	0.90	3.95	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00
II 断面北	16.20	0.00	0.00	0.10	0.00	2.25	0.00	4.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
II 断面南	8.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	5.75	0.00	1.45	0.15	0.00	0.00	0.00	2.55	0.00	0.00	0.00	0.00
II 断面北	9.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.50	0.00	1.05	0.00	0.65	1.75	0.90	0.40	0.00	7.65	0.00	0.00
II 断面南	13.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.55	0.00	1.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
II 断面北	8.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
II 断面南	8.80	0.00	0.00	0.00	3.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00
II 断面北	9.30	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
II 断面南	0.00	0.00	0.00	0.00	7.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
II 断面北	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

	00.09.10	00.10.07	00.11.11	00.12.09	01.01.07	01.01.31	01.02.12	01.03.03	01.03.30	01.04.13	01.04.29	01.05.12	01.05.26	01.06.10	01.06.23	01.07.01	01.07.20	01.08.01
III 断面北	0.00	10.00	2.80	0.00	0.00	0.80	0.00	2.55	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	2.85	0.00
III 断面南	6.85	0.00	0.00	0.00	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.15	0.00	3.15	0.00	0.00
III 断面北	7.50	0.00	1.00	2.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	16.00
III 断面南	0.00	0.00	0.00	0.00	4.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	0.00	8.00	0.05	0.00
III 断面北	0.00	3.00	0.00	4.50	0.00	2.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.40	0.00	0.00	0.00	4.80	1.20	0.00
III 断面南	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.90	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70	0.00
III 断面北	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
III 断面南	19.20	0.00	0.00	5.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
III 断面北	16.20	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	6.00	0.00	0.60	0.00	0.00	4.00	2.00	0.00	1.40	0.00	7.15	0.00
III 断面南	8.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.60	1.05	2.65	0.00	0.00
III 断面北	9.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	9.65	0.00	0.00	0.00	0.65	3.65	0.20	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00
III 断面南	13.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.00	0.65	1.75	0.90	0.40	0.00	7.65	0.00	0.00
III 断面北	8.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.55	0.00	1.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
III 断面南	8.80	0.00	0.00	0.00	3.50	0.00	0.00	0.00	0.0									

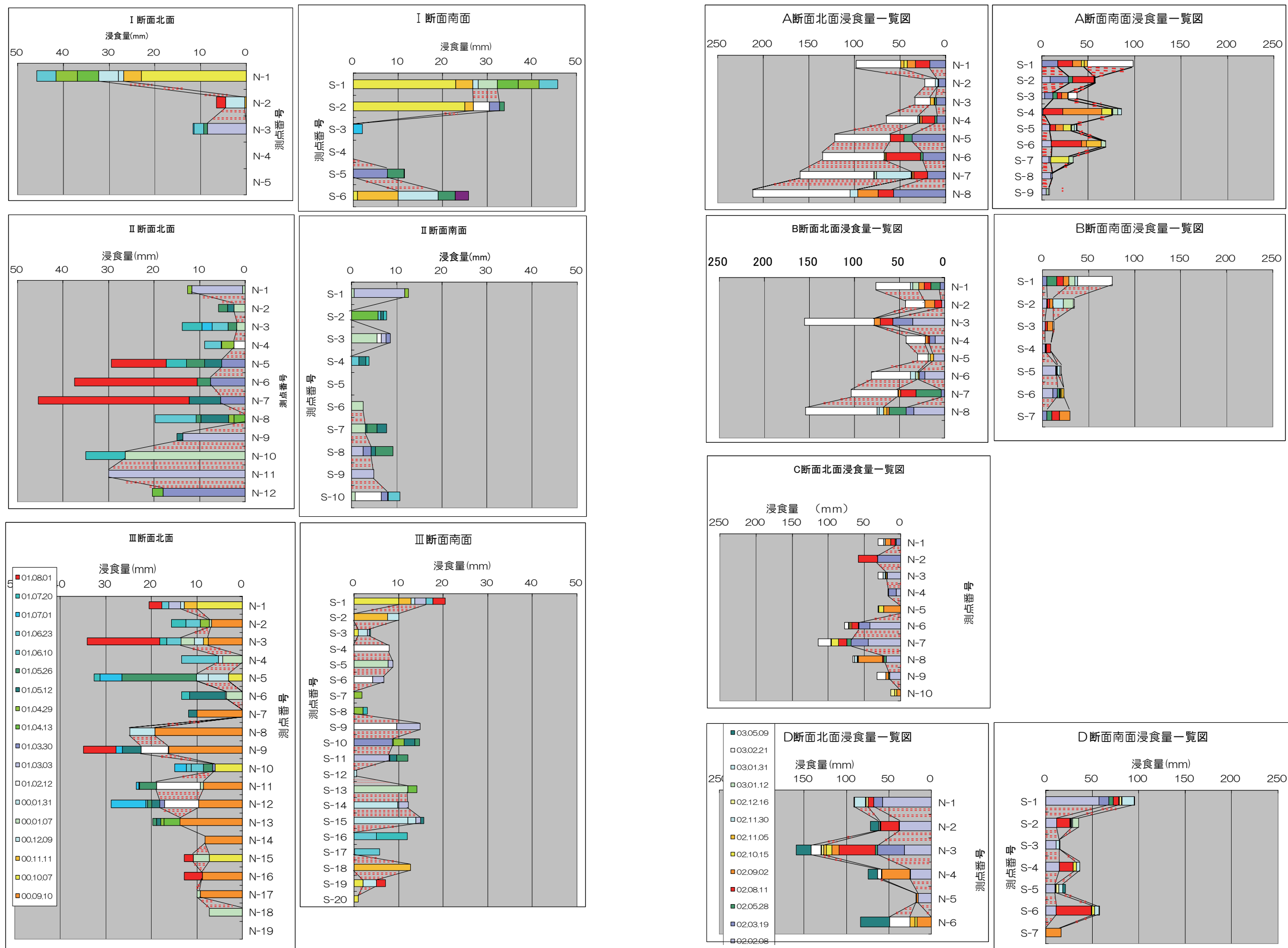


图 4.2 断面浸食量一覽圖

5. 検討.

「牛群地形」の浸食量計測の結果から「牛群地形」の形成は、凍結融解作用が大きな営力になっていることが明らかになった。その営力には、①. 台風前後の浸食量の相違、②. 季節による浸食量の相違、③. 斜面の向きによる浸食量の相違があることも判明した。ここでは「牛群地形」形成に果たす営力の差異について検討する。

5.1 台風前後の浸食量の相違.

2001年の台風15,21号による増水前後で浸食量が大きく変化している。ここで台風前後の浸食量の差異を検討する。

台風前後の各断面、各面の浸食量を比較して表5.1に示した。

*-1 台風前の浸食量は、台風以降の年間浸食量と対比する目的で測定全期間(2000年9月1日～2001年8月1日)の浸食量に2001年7月1日～同年8月1日の平均日浸食量×40日を加えて1年間の浸食量とした。

表 5.1 台風前後の浸食量の相違

台風以前の年間浸食量			台風以後の年間浸食量		
	N 面	S 面		N 面	S 面
I 断面	13.30	18.75	A 断面	407.80	351.53
II 断面	32.73	9.28	B 断面	400.75	164.45
III 断面	14.39	10.13	C 断面	413.05	—
平均	20.14	12.72	D 断面	370.00	245.30
			平均	397.9	253.76

単位：mm

表 5.2.1 から明らかなおとおり、台風後の平均年間浸食量は N 面で台風前と比較して 19.7 倍に、S 面でも 19.9 倍に増加している。

この原因は、台風 15,21 号で「牛群地形」が大きく浸食されたため、新たに露出した地盤にヘヤークラックが発達して剥離したためと考えられる。このような現象を生じさせるものとしては、上載荷重の除去によるリバウンドや膨潤性粘土鉱物の膨潤等が考えられるが、上載荷重案は、最も荷重が大きな最下部の測点でも 36～37 kPa 程度 ($18.15 \sim 18.56 \text{ kN/m}^3 \times 2 \text{ m}$) でしかない。膨潤性粘土鉱物が新たに形成された面を崩壊させるには、相当の混入量や混入率が必要だが、浸水崩壊試験では「牛群地形」を形成している全ての試料が 1～3 に評価され、膨潤性粘土鉱物が有意量混入している可能性は極めて小さい。さらに X 線分析試験の試料作成と同様の基準で、60℃で炉乾燥した後乳鉢ですりつぶした試料を試験管に入れた後注水して、膨潤の有無を確認したが膨潤は認められなかった。

新たに露出した表面は、従来の表面より 0.3～1m 程度深部であることを勘案すると、新たに露出した表面に急激にヘヤークラックが生じて急激に風化が進行し地盤が劣化したと考えるのが妥当と思われる。

浸食量がこのように大きく変化することは、研究期間中の他の増水時には観測されていないことから、年に数回生じている増水規模では「牛群地形」に急激な風化を促し、地盤を劣化させることないと判断される。

5.2 季節による浸食量の相違.

図 4.2 によると冬季の浸食量が他の季節より概ね卓越している。そこで全測点について冬季の浸食量が卓越している測点と卓越度を把握する目的で、地盤が凍結する可能性がある 11 月から 3 月に占める浸食量を検討する。

検討は、全測定期間の浸食量に対する冬季間(11月～3月)の浸食量比、および全測定期間日数に対する冬季間日数に対する冬季間浸食量比とした。結果の詳細は次ページの表 5.2.2 に示し、その要約を

表 5.2.1 に示す.

表 5.2.1 冬季における浸食要約表

台風前 (測点数)				台風後 (測点数)			
冬季浸食量		浸食量比		冬季浸食量		浸食量比	
全期間浸食量		日数比		全期間浸食量		日数比	
◎	22	□	34	◎	25	□	44
○	8	■	32	○	12	■	12
△	1	—	5	△	4		
—	5			—	0		
×	35			×	15		
71 測点		71 測点		56 測点		56 測点	

凡例

- ◎ 冬季浸食量/全期間浸食量が 75%以上
- 冬季浸食量/全期間浸食量が 55~74%以上
- △ 冬季浸食量/全期間浸食量が 45~54%以上
- × 冬季浸食量/全期間浸食量が 45%未満

- 浸食量比/日数比が 100%以上
- 浸食量比/日数比が 100%未満

表 5.2.1 からは、台風以前に計測したデータでは 30 地点 (42%) で冬季の浸食量が全測定期間の浸食量の 55%以上を占め、とりわけ全体の 31%にあたる 22 地点では冬季浸食量が全測定期間の浸食量の 75%以上を占めている。71 地点中約半数の 35 地点で冬季の浸食量が全期間の浸食量の 45%未満である。

台風後では全測点 56 地点中 46%に相当する 25 地点が全測定期間中の浸食の 75%以上を占め、冬季の浸食量が著しく優勢であることを示している。

同表からは台風以前では測点の位置 (比高) や向きによる浸食量の差異が顕著には現れていなかったが、台風後では北面での浸食が卓越していることが判明した。図 4.2 からはⅢ断面南面で冬季の浸食量が著しく卓越している測点が多いが、北面の浸食量は測点による浸食量の差異が大きいが、南面では浸食量の差異が小さい。一方台風後は多くの測点で冬季の浸食量が卓越していることが明らかになった。

凍結融解について、冬季の地盤には写真 5.2.1 に示すような「互煎餅」状を呈する凍結した土砂が霜柱で支えられて層をなしている。南面では凍結していた「互煎餅」状の土砂が昼頃までには融解して崩落するが、北面では日照がないため、気温が十分に上昇する午後になってから「互煎餅」状の土砂が崩落することがある。「互煎餅」状に凍結した土砂は、写真 5.2.1 に示すように層状を呈した状態で夏まで続き、地盤を緩ませて地盤強度を低下させている。このため降雨強度が強いときには、特に「牛群地形」の頂部では雨滴により削孔浸食されたり、強風時には土砂が吹き飛ばされて風食されている。



写真 5.2.1 凍結した「牛群地形」の表層断面。



写真 5.2.2 凍結融解で消滅した「牛群地形」の島「互状煎餅」が残った。

表 5.2.2 台風前後の各測点の冬季浸食量評価一覧表

台風前(2000年9月11日～2001年8月1日)																																							
断面	測点番号	年間浸食量 (mm)	観測期間 (dys)	冬季浸食量 (mm)	観測期間 (dys)	冬季/全期間浸食量比(%)	評価	日数比	浸食量比 /日数比	評価	断面	測点番号	年間浸食量 (mm)	観測期間 (dys)	冬季浸食量 (mm)	観測期間 (dys)	冬季/全期間浸食量比(%)	評価	日数比	浸食量比 /日数比	評価																		
I 断面北面	N-1	45.85	325	5.45	139	11.89	×	42.77	27.79	■	A 断面北面	N-1	98.20	428	66.50	196	67.72	○	45.79	147.88	□																		
	N-2	6.50		4.30		66.15	○		154.68	□		N-2	24.00		23.10		96.25	◎		210.18	□																		
	N-3	11.60		8.50		73.28	○		171.33	□		N-3	33.00		26.65		80.76	◎		176.35	□																		
	N-4	0.00		0.00		—	—		—	—		N-4	65.20		46.15		70.78	◎		154.57	□																		
	N-5	0.00		0.00		—	—		—	—		N-5	121.90		97.45		79.94	◎		174.57	□																		
I 断面南面	S-1	45.85	325	5.45	139	11.89	×	42.77	27.79	■		N-6	135.20		92.45		68.38	◎		149.32	□																		
	S-2	33.80		6.90		20.41	×		47.73	■		N-7	159.70		141.80		88.79	◎		193.89	□																		
	S-3	2.00		0.00		0.00	×		0.00	■		N-8	215.45		172.55		80.09	◎		174.89	□																		
	S-4	0.00		0.00		—	—		—	—		N-9	0.00		0.00		0.00	×		0.00	■																		
	S-5	11.40		11.35		99.56	◎		232.79	□	S-1	98.20	66.50	67.72	○	147.88	□																						
	S-6	16.80		3.90		23.21	×		54.28	■	S-2	57.75	29.65	51.34	△	112.11	□																						
II 断面北面	N-1	12.60	219	11.75	95	93.25	◎	43.38	214.97	□	S-3	38.05	22.07	58.00	○	126.66	□																						
	N-2	5.85		2.45		41.88	×		96.55	■	S-4	85.95	11.20	13.03	×	28.46	■																						
	N-3	13.80		1.85		13.41	×		30.90	■	S-5	38.05	14.85	39.03	×	85.22	■																						
	N-4	8.85		2.45		27.68	×		63.82	■	S-6	68.55	14.75	21.52	×	46.99	■																						
	N-5	29.35		5.15		17.55	×		40.45	■	S-7	33.50	13.80	41.19	×	89.95	■																						
	N-6	37.50		7.60		20.27	×		46.72	■	S-8	11.10	11.10	100.00	◎	218.37	□																						
	N-7	45.45		5.40		11.88	×		27.39	■	S-9	8.25	8.25	100.00	◎	218.37	□																						
	N-8	19.75		0.00		0.00	×		0.00	■	N-1	76.00	52.20	68.68	○	149.98	□																						
	N-9	15.00		13.65		91.00	◎		209.78	□	N-2	43.30	25.00	57.74	○	126.08	□																						
	N-10	35.00		26.40		75.43	◎		173.88	□	N-3	155.60	135.35	86.99	◎	189.95	□																						
	N-11	30.00		30.00		100.00	◎		230.53	□	N-4	42.75	37.55	87.84	◎	191.81	□																						
	N-12	20.35		18.00		88.45	◎		203.91	□	N-5	29.85	25.75	86.26	◎	188.37	□																						
II 断面南面	S-1	12.60	219	11.75	95	93.25	◎	43.38	214.97	□	N-6	81.05	79.85	98.52	◎	215.13	□																						
	S-2	11.70		3.90		33.33	×		76.84	■	N-7	103.70	55.55	53.57	△	116.97	□																						
	S-3	8.65		8.65		100.00	◎		230.53	□	N-8	154.40	129.25	83.71	◎	182.80	□																						
	S-4	7.65		3.76		49.15	△		113.30	□	N-9	179.50	147.00	81.89	◎	178.83	□																						
	S-5	5.71		5.70		99.82	◎		230.12	□	S-1	76.00	52.20	68.68	○	149.98	□																						
	S-6	2.65		2.65		100.00	◎		230.53	□	S-2	34.85	28.90	82.93	◎	181.09	□																						
	S-7	7.80		3.10		39.74	×		91.62	■	S-3	12.50	4.40	35.20	×	76.87	■																						
	S-8	15.14		9.49		62.68	○		144.50	□	S-4	8.75	3.35	38.29	×	83.60	■																						
	S-9	7.15		7.15		100.00	◎		230.53	□	S-5	20.35	19.00	93.37	◎	203.88	□																						
	S-10	10.70		8.00		74.77	◎		172.36	□	S-6	23.00	16.20	70.43	○	153.81	□																						
III 断面北面	N-1	20.50	325	3.35	139	16.34	×	42.77	38.21	■	S-7	30.00	5.00	16.67	×	36.39	■																						
	N-2	8.75		0.45		5.14	×		12.02	■	N-1	30.95	15.46	49.95	△	109.08	□																						
	N-3	26.60		5.00		18.80	×		43.95	■	N-2	58.60	31.95	54.52	△	119.06	□																						
	N-4	13.35		5.30		39.70	×		92.82	■	N-3	31.05	29.15	93.88	◎	205.01	□																						
	N-5	32.50		7.10		21.85	×		51.08	■	N-4	17.25	17.25	100.00	◎	218.37	□																						
	N-6	13.30		3.70		27.82	×		65.05	■	N-5	31.25	0.65	2.08	×	4.54	■																						
	N-7	1.80		0.00		0.00	×		0.00	■	N-6	77.85	65.85	84.59	◎	184.71	□																						
	N-8	5.55		5.55		100.00	◎		233.81	□	N-7	114.20	85.75	75.09	◎	163.97	□																						
	N-9	18.65		6.10		32.71	×		76.48	■	N-8	66.40	27.75	41.79	×	91.26	■																						
	N-10	14.90		0.60		4.03	×		9.42	■	N-9	32.60	27.20	83.44	◎	182.20	□																						
	N-11	14.75		10.40		70.51	○		164.86	□	N-10	13.80	5.15	37.32	×	81.49	■																						
	N-12	19.25		8.55		44.42	×		103.85	□	N-1	91.20	84.85	93.04	◎	203.16	□																						
	N-13	6.00		0.00		0.00	×		0.00	■	N-2	62.45	39.65	63.49	○	138.64	□																						
	N-14	0.00		0.00		—	—		—	—	N-3	141.70	78.30	55.26	○	120.66	□																						
	N-15	12.80		3.50		27.34	×		63.93	■	N-4	63.65	29.45	46.27	△	101.04	□																						
	N-16	4.00		0.00		0.00	×		0.00	■	N-5	18.25	15.70	86.03	◎	187.86	□																						
	N-17	0.60		0.60		100.00	◎		233.81	□	N-6	49.10	23.80	48.47	△	105.85	□																						
	N-18	7.30		7.30		100.00	◎		233.81	□	S-1	91.20	84.85	93.04	◎	203.16	□																						
	N-19	0.00		0.00		—	—		—	—	S-2	35.55	19.30	54.29	△	118.55	□																						
III 断面南面	S-1	20.50	325	3.35	139	16.34	×	42.77	38.21	■	S-3	15.45	15.45	100.00	◎	218.37	□																						
	S-2	10.00		2.50		25.00	×		58.45	■	S-4	36.85	18.40	49.93	△	109.04	□																						
	S-3	3.65		2.45		67.12	○		156.94	□	S-5	18.60	17.95	96.51	◎	210.74	□																						
	S-4	7.85		7.85		100.00	◎		233.81	□	S-6	58.20	16.95	29.12	×	63.60	■																						
	S-5	8.75		8.75		100.00	◎		233.81	□	S-7	16.50	0.05	0.30	×	0.66	■																						
	S-6	6.70		6.70		100.00	◎		233.81	□	冬季/全期間浸食量比は、全測定期間の浸食量に対する冬季の浸食量が占める比率(%)。 浸食量比/日数比は、冬季および全期間の1日あたりの浸食量×365dyから算出した。																												
	S-7	1.80		0.00		0.00	×		0.00	■	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">凡 例</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>◎</td> <td>冬季浸食量/全期間浸食量が75%以上</td> </tr> <tr> <td>○</td> <td>冬季浸食量/全期間浸食量が55～74%</td> </tr> <tr> <td>△</td> <td>冬季浸食量/全期間浸食量が45～54%</td> </tr> <tr> <td>×</td> <td>冬季浸食量/全期間浸食量が45%以下</td> </tr> <tr> <td>□</td> <td>冬季の換算浸食量が全期間の換算浸食量以上</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>冬季の換算浸食量が全期間の換算浸食量以下</td> </tr> </tbody> </table>															凡 例		◎	冬季浸食量/全期間浸食量が75%以上	○	冬季浸食量/全期間浸食量が55～74%	△	冬季浸食量/全期間浸食量が45～54%	×	冬季浸食量/全期間浸食量が45%以下	□	冬季の換算浸食量が全期間の換算浸食量以上	■	冬季の換算浸食量が全期間の換算浸食量以下
	凡 例																																						
	◎	冬季浸食量/全期間浸食量が75%以上																																					
	○	冬季浸食量/全期間浸食量が55～74%																																					
	△	冬季浸食量/全期間浸食量が45～54%																																					
	×	冬季浸食量/全期間浸食量が45%以下																																					
	□	冬季の換算浸食量が全期間の換算浸食量以上																																					
	■	冬季の換算浸食量が全期間の換算浸食量以下																																					
	S-8	3.00		0.00		0.00	×		0.00	■	S-1	91.20	84.85	93.04	◎	203.16	□																						
	S-9	14.85		14.85		100.00	◎		233.81	□	S-2	35.55	19.30	54.29	△	118.55	□																						
	S-10	14.70		8.65		58.84	○		137.58	□	S-3	15.45	15.45	100.00	◎	218.37	□																						
	S-11	12.10		7.85		64.88	○		151.69	□	S-4	36.85	18.40	49.93	△	109.04	□																						
	S-12	0.60		0.60		100.00	◎		233.81	□	S-5	18.60	17.95	96.51	◎	210.74	□																						
	S-13	14.15		12.05		85.16	◎		199.11	□	S-6	58.20	16.95	29.12	×	63.60	■																						
S-14	12.20	12.20	100.00	◎	233.81	□	S-7	16.50	0.05	0.30	×	0.66	■																										
S-15	15.65	15.00	95.85	◎	224.10	□																																	
S-16	12.00	0.00	0.00	×	0.00	■																																	
S-17	5.75	0.15	2.61	×	6.10	■																																	
S-18	12.70	0.00	0.00	×	0.00	■																																	
S-19	7.10	3.00	42.25	×	98.79	■																																	
S-20	1.00	0.00	0.00	×	0.00	■																																	

5.3 斜面の向きによる浸食量の相違

表 5.2.2 からは「牛群地形」の浸食量が台風前後に関わりなく南面と比較して北面が著しく大きい事が判る。次にその差異について検討する。

各断面の測点毎の浸食量を表 5.3.1 に示した。これらによると浸食量が高さ方向に以下の3パターンに区分される。

- ①. 上部, 下部浸食量が多く中部は少ない (I S, II S, BN, BS, DS) .
- ②. 上部, 下部は少なく中部が多い (II N, III N, III S, CN) .
- ③. 不規則.

分類した地点の地理的条件や地質条件, 気象条件について, 浸食パターンを決定する要素は不詳である。

次に台風前後で各断面のN面に対するS面の浸食比は, 個別断面の値にはバラツキが見られるものの, 総体的には台風後の浸食量比が台風前の値より幾分大きいと評価できる。このことは, 地盤条件が変化しても(急激に新しい面が形成された) 気象条件が変化しないためN面, S面の浸食量比が影響されない事を意味している。

表 5.3.1 台風前後のN,S面浸食量比表

台 風 前		台 風 後	
断面番号	N/S	断面番号	N/S
I 断面	0.79	A 断面	1.16
II 断面	3.13	B 断面	2.44
III 断面	1.42	D 断面	1.50
平均	1.58	平均	1.57

(C断面はN面のみ測定のためN/S比は得られない)

以上から斜面の向きによるN,S面の浸食量比差は, 台風前後に関わりなくN面がS面より概ね1.5倍ほど卓越している。N面が卓越するのは凍結融解量が多いことに起因している。前述したとおりS面では日中音を立てて「互煎餅」状の土砂が川に落ちている。このようにS面では凍結融解を繰り返すが, 日照で地盤が暖められるので地盤が凍上し始めるまでN面より時間がかかり, 凍上量が少ないと考えられる。このことは実際にS面の地盤を掘っても顕著な「互煎餅」状の地盤は観察されなかったことと整合する。

「牛群地形」のNS面での浸食量の相違と凍結融解機構の相違は, 「牛群地形」が南北非対称を呈する要因と判断される。

まとめ

「牛群地形」は, 1960年頃に河床に賦存していた河床礫が, 砂利採取で除去されたため, 下位層の平山砂層が出現して形成されはじめた。当初は流路が定まらなかったが, やがて浅い網状水路が形成され, 流路が固定されはじめると水深は深くなり, 水面上に露出する部分が現れた。この部分は冬季に凍結融解作用を受けるようになり, 「牛群地形」が形成されはじめたと推測される。

「牛群地形」は, 北向き斜面と南向き斜面で浸食度がちがう。この浸食量の相違が「牛群地形」や当域の水際線地形の左右(南北)非対称地形を形成した。「牛群地形」を浸食している主要な営力は凍結融解作用である。凍結融解作用は地盤の表層部を著しく劣化させるため, 夏頃までは強雨で表層部が削孔されたり, 強風時には表層土砂が吹き飛ばされている。

「牛群地形」の浸食速さは, 凍結融解の影響を受けない水面下に存在するテラスの幅から勘案すると妥当な範疇である。

これらの年サイクルの浸食とは別に, 50年に1回程度の増水では, 流速, 流量および水位が著しく増加し, 土砂が多く混入した河川水のため流水の比重も大きくなり, 密着していない層理面等の亀裂系からブロックで「牛群地形」がもぎ取られている。このようにして出現した表層面はヘヤークラックが急

激に大きくなり、密着していない層理面等の亀裂系からブロックで「牛群地形」がもぎ取られている。このようにして出現した表層面はヘヤークラックが急激に発達したり、間隙が大きくなり間隙水の確保や河川からの毛管現象による水分の吸い上げが容易になり、凍結融解を助長していると考えられる。
以上。

謝 辞

とうきゅう環境浄化財団から必要十分な研究助成金を頂き、研究に必要なさまざまな器具類等を調達したり、全ての分野で多大なご援助を頂いた。にもかかわらず調査期間中に思いもしない病気で入院し報告書が大幅に遅れ膨大なご迷惑とご心配をおかけした。

東京学芸大学の小泉武栄先生は、当初から「凍結融解に着目する必要がある」とアドバイスを下さった。さらに要所で研究方法等に様々な貴重なご指導を下さった。国立極地研究所の福井幸太郎氏（当時東京都立大学大学院地理学研究科）からは浸食量計と測定方法について貴重なアドバイスを頂いた。東京農工大学の加藤誠先生からは光波測量器械を借用させて頂いた。小泉先生が主催されている東京学芸大学小泉ゼミの「自然史ゼミ」に参加されている東京学芸大学、東京都立大学地理学教室、創価大学の多くの学生諸君、OB およびゼミ受講の社会人の方々には測量をはじめ主要な作業で支援していただいた。高津智宏氏は「牛群地形」の測量調査を実行され、研究に必要な地形図を作製していただいた。古くからの「牛群地形」については、写真家の金原弘明氏と当域の自然保護に尽力されている小峰久行氏からは貴重な情報を頂いた。

ここに記して深謝の意を表します。

参考資料

- ・「多摩のあゆみ」第 83 号 1996 年 財団法人たましん地域文化財団発行。
- ・「多摩川誌」1986 年 財団法人河川環境管理財団発行。
- ・「土質試験の方法と解説」2000 年 社団法人地盤工学会発行。
- ・「地盤調査法」1995 年 社団法人地盤工学会発行。
- ・「岩の調査と試験」1988 年 社団法人土質工学会発行。
- ・「水質工学 基礎編」1993 年 会田健著 丸善発行。
- ・「河川工学」1993 年 室田明編著 技法堂出版発行。
- ・「河川地形」1974 年 高山茂美著 共立出版発行。
- ・「水文地形学」1996 年 恩田裕一，奥西一夫，飯田智之，辻村真貴著 古今書院。
- ・「わかりやすい水の力学」1980 年 椎貝博美著 鹿島出版会発行。
- ・「泥岩からなる河床に形成される縦溝について」1978 年 池田宏著 筑波大学水理実験センター報告 No.2。
- ・「河川における混合砂礫の送流機構の研究」1990 年 研究代表者高山茂美 筑波大学地球科学系。研究成果報告書。
- ・「地図で見る多摩川の変遷」1993 年 財団法人日本地図センター発行。
- ・空中写真：地図センター発行。
- ・地形図：

「^{た ま がわかしょう}多摩川河床^{はったつ}に発達する「^{ぎゅうぐんちけい}牛群地形」^{けいせい}の形成と^{ほ ご かん}保護^{けんきゅう}に関する研究」

(研究助成・一般研究 VOL. 27-NO. 162)

著 者 ^{とくたけ}徳竹 ^{まひと}真人

発行日 2006年3月31日

発行者 財団法人 とうきゅう環境浄化財団

〒150-0002

東京都渋谷区渋谷1-16-14 (渋谷地下鉄ビル内)

TEL (03) 3400-9142

FAX (03) 3400-9141