

小流域での流出土砂量とそれに対する砂防施設の役割 — 特にダム堆砂勾配について —

海堀正博

広島大学総合科学部自然環境研究講座
(1992年9月1日受理)

Role of the sabo facilities to the sediment discharge in the small basins, especially on the sediment gradient at a sabo-dam

Masahiro KAIBORI

Abstract : It is important that both of the hard and soft counterplans function well for the prevention of sediment disaster. However, the hard counterplans, for example, sabo-dams are not exactly understood about their role and effect. The author tried to make clear the role, the effect and the limit of sabo-dam for the prevention of disaster with the manual made by the Ministry of Construction and some case studies. From the case studies, the followings became clear. In the northwestern district of Hiroshima Prefecture, where the author had investigated and collected the data, the catchment area of torrent, where debris flow had occurred, and the sediment discharge of unit area were common. However, the proportion of the sediment gradient to the original bed gradient was smaller than the standard arranged by the Ministry of Construction. Though the sabo-dams functioned according to the plan, the number and the scale of the sabo-dams were not enough for the prevention of sediment disaster.

Keywords : sabo-dam, sediment gradient, catchment area, sediment discharge

1. はじめに

広島県には建設省が定めた基準による土石流危険渓流が、昭和62年現在で約3700箇所存在する。この数は、全国第1位である。また、同じく建設省が定めた基準による急傾斜地崩壊危険箇所が、平成4年現在で約5200箇所存在する。この数もまた全国第1位である。この両者の数値は、広島県に土石流と急傾斜地崩壊（いわゆる崖崩れ）による災害の発生する素因が極めて高いことを意味している。すなわち、誘因となる豪雨が発生しさえすれば、土石流や崩壊による災害が起きると考えてよい。このような土砂災害を防止するためにはハードな対策とソフトな対策の双方がうまくかみあう必要がある。ハードな対策に目を向けると、広島県の土石流危険渓流における砂防施設の整備率は現在のところ20%弱である。また、たとえダムが設置されていたとしても、発生が予想される土石流の計画流出土砂量に比べて容量が不足していることも多い。これらは、主に時間的・予算的理由によるところが大きい。ダムサイトとしての適地がなかったり、地域住民の理解が得られず建設できない例もある。土石流危険渓流に土石流対策用のダムが設置されていれば、ある程度の効果を期待できるがそれだけでは十分ではない。砂防施設は、自然の状態のまま放置すれば災害につ

ながる可能性の高い場所に計画・施工される。しかし、実際には予防的な措置として施設を導入できる場合はまれで、多くの場合、災害が発生した後の復旧工事にもなって施工されているのが現状である。砂防が対象とするのは土砂移動である。したがって、土砂移動の激しい河川や溪流、土砂移動が将来激しくなることが予想される河川や溪流、土砂の供給源となる山腹崩壊地や山腹の急傾斜地などに対して、砂防が実施される。本論文で対象とするのは、このうち、小流域の溪流における砂防である。この場合、集中豪雨による異常出水が土石流を引き起こしたり、長雨による継続的な水流が土砂移動を促す現場が対象となる。このような場所で土砂災害を防止したり、被害を軽減させるためには、短時間の急激な土砂移動を長期間の継続的な少量ずつの土砂移動に変化させることが最も効果的である。ハードな対策のひとつとしての砂防ダムには、次にあげる5つの役割が期待されている（建設省河川局，1986）。

- (1) 土石流対策ダムにおいては、土石流の流出土砂量のうち、その30%程度を1基のダムで堆積させることで、下流への流出土砂量を減じる。
- (2) ダムに土砂を貯めることにより、河床勾配の緩和をはかり、谷川の水や土砂や濁流の運動エネルギーを減少させる。特に、ダムの堆砂勾配はいわゆる洪水時の洪水勾配と平常時の安定勾配との間をゆれ動くことで、下流への流出土砂量の調節作用がある。
- (3) ダムに土砂を貯めることにより、堆砂地内にある保全対象物の保護をしたり、将来土石流の構成材料となり得る不安定土砂の再移動をおさえる。
- (4) ダムに土砂を貯めることにより、流水による縦侵食を防止する。
- (5) ダムに土砂を貯めることにより、流水による横侵食を防止し、崩壊や地すべり地の山脚固定をはかる。

以上のうち、(1)に関しては土石流土砂の一部が貯め込まれるための空きポケットが必要になる。また、土石流の衝撃にも耐えられるような頑強な構造とするために、堤体の厚みを増したり、鉄筋コンクリート構造にする場合もある。一般的に、ダムが満砂状態では何の効果も役割も発揮しないように考えられがちであるが、(2)～(5)のように、満砂してはじめて効果を発揮する場合の方が多。仮に満砂の状態であっても(2)の効果があるので、階段状の部分での運動エネルギー減少を期待できる。

このように、そのまま流下すれば有害である土砂を、砂防施設によって無害な状態に変えてから流下させようというのが本来の目的であって、たとえばダムによって土砂の流れを止めてしまおうという考えはそこには含まれていない。

砂防施設の土砂災害防止効果に関する研究は、古くはオーストリアの Joseph Düile が定性的にダムの土砂移動に対する調節効果を述べたもの（Düile, 1826）がある。また、多くのダムの土砂移動に対する効果の事例を Ferdinand Wang が紹介したものの中には、ダムが溪床勾配を小さくするという働きがあることについての定性的な記述が見られる（Wang, 1903）。昭和初期になってヨーロッパでの研究の流れを引き継ぐように、わが国でもこの種の研究が進められ、ダムによる土砂の堆積勾配については、元河床勾配の $1/3 \sim 1/10$ の範囲となるという記述が赤木（1931）に見られ

る。昭和30年代になると、通常のダム堆砂勾配が現河床勾配の $1/2 \sim 1/3$ 、土石流や大洪水時には $2/3 \sim 3/4$ になるという記述（遠藤，1958）や、荒廃溪流におけるダム堆砂勾配は下流では $2 \sim 3\%$ 、上流の溪床レキの割に大きなところでは $5 \sim 6\%$ の値をとるとの記述（伏谷，1961）が見られる。ところが、年代が進むにつれ、ダム計画堆砂勾配を現河床勾配の $1/2$ にとるようになってきた（建設省河川局，1986）。現在では砂防ダムの建設にあたり、建設省の基準が各都道府県でも踏襲されている。

この論文では、砂防ダムの災害時の土砂移動に対する効果について、広島県での実例に基づいて考察し、検討を加えている。この論文でもとり上げる土砂災害については、これまでも速報的概略的な性格を持たせたもの（Tochiki et al. 1989；栃木ら，1990）や林道・作業道に関わるもの（栃木・海堀，1991）、砂防施設の効果の観点から述べたもの（海堀・栃木，1991）などを発表してきた。その上でこの論文では、先の論文で述べた土砂収支の結果を一部引用し、そこでは述べていない全国の種々のデータとの比較検討を行い、特にダム堆砂勾配が全国で一般的に用いられている建設省の基準に比べてどうであったのか、またそれはどんな原因でそうなったのかについて記述している。

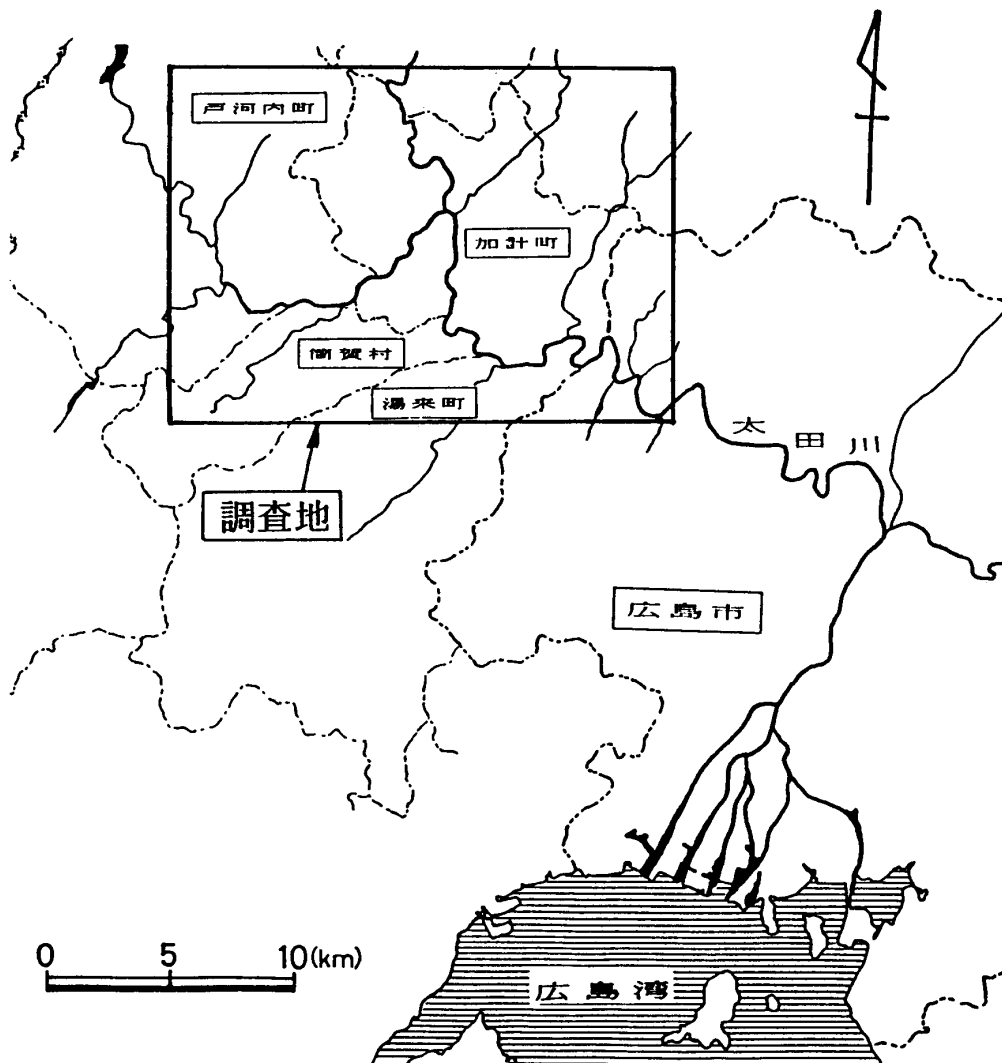


図1 調査地の位置

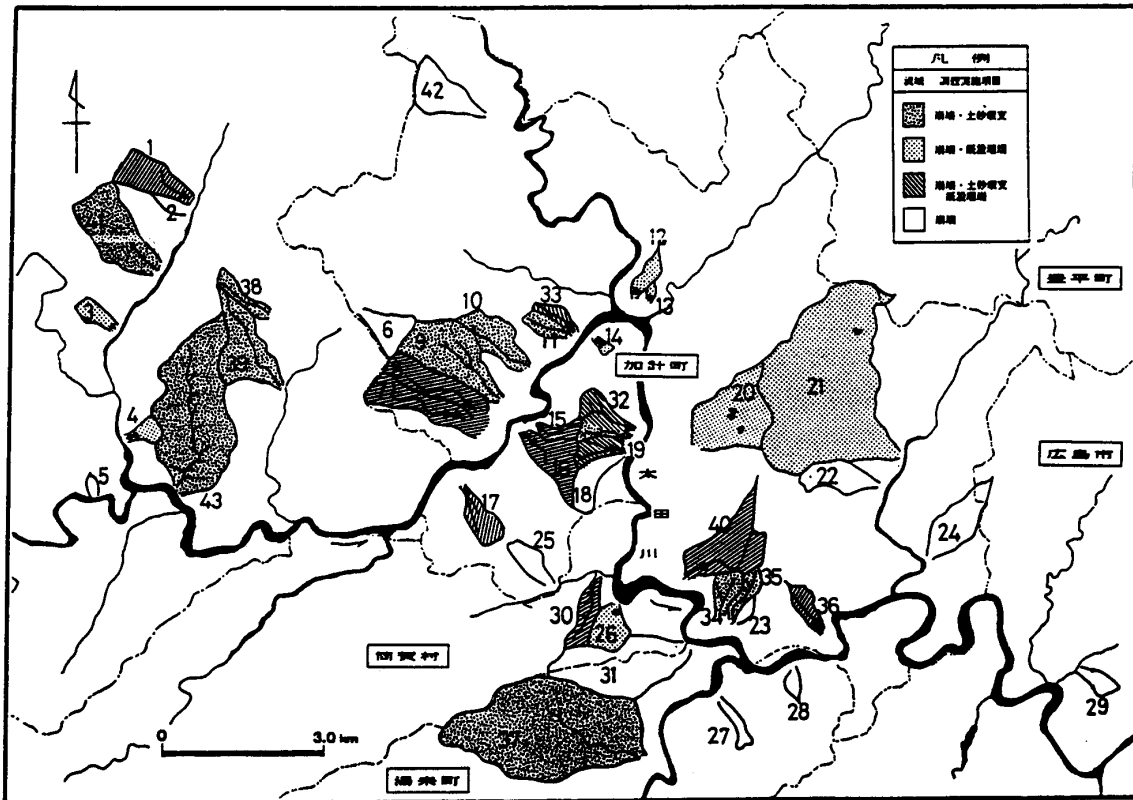


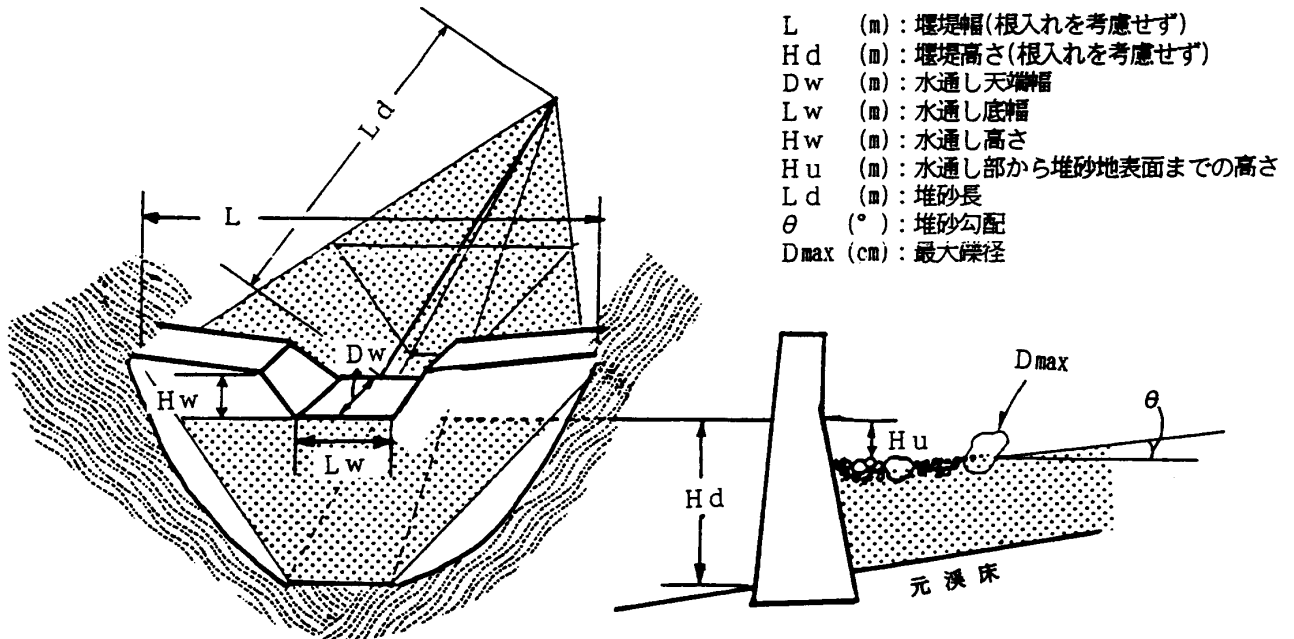
図2 調査項目および調査溪流の位置 (1~43の数字は溪流番号)

2. 調査地と調査の概要

前節で述べた砂防ダムの効果の実態に関する事項を調べるために、実際に土砂移動のあった地域で現地調査を実施した。その場所は、昭和63年7月に集中豪雨による土石流災害の発生した広島県北西部地域である(図1)。

広島県北西部地域では、3種類の調査(崩壊地の調査、土砂収支の調査、既設ダムと堆砂状況の調査)を行った。調査地と調査項目について図2に示す。

土砂収支に関しては次に述べるように調査を実施した。24の荒廃溪流を調査対象として選び出し、各溪流ごとに、下流の氾濫・堆積域から上流の崩壊発生域に向かってさかのぼりながら、溪岸侵食量・溪床侵食量・溪間に残っている不安定土砂量・不安定土砂の勾配を、測量用の赤白ボール・巻尺・測量用クリノメータ付きコンパス・クリノメータ付きハンドレベル・高度計などを用いて連続的に測量し、地図および野帳上に記載した。崩壊発生域では、個々の崩壊の規模すなわち崩壊の平均長・平均幅・平均深を測定し、これらの積として崩壊土砂量を求めた。溪岸・溪床侵食土砂量については、片岸のみの場合、侵食長・侵食幅・侵食深を測定し、その積をとり、また両岸および溪床が侵食されている場合は、侵食長・潤辺・侵食深を測定し、その積をとって量を求めた。なお、調査の時期が災害発生の約1ヶ月後で、侵食面がまだフレッシュであり非侵食部との区別は容易であった。不安定土砂量については、不安定土砂の堆積長・堆積幅・堆積厚を測定し、その積をとった。堆積厚を求めるにあたっては堆積している土砂レキの粒径の違いや水流による堆積物の侵食断面などにも注意を向けた。ただし、ここで述べる不安定土砂量には、一度移動したが途中で堆積したものと、今回の豪雨では移動しなかったが今後移動する可能性の大きいと認められるものの両方を含んでいる。



- L (m) : 堰堤幅(根入れを考慮せず)
- Hd (m) : 堰堤高さ(根入れを考慮せず)
- Dw (m) : 水通し天端幅
- Lw (m) : 水通し底幅
- Hw (m) : 水通し高さ
- Hu (m) : 水通し部から堆砂地表面までの高さ
- Ld (m) : 堆砂長
- θ (°) : 堆砂勾配
- Dmax (cm) : 最大礫径

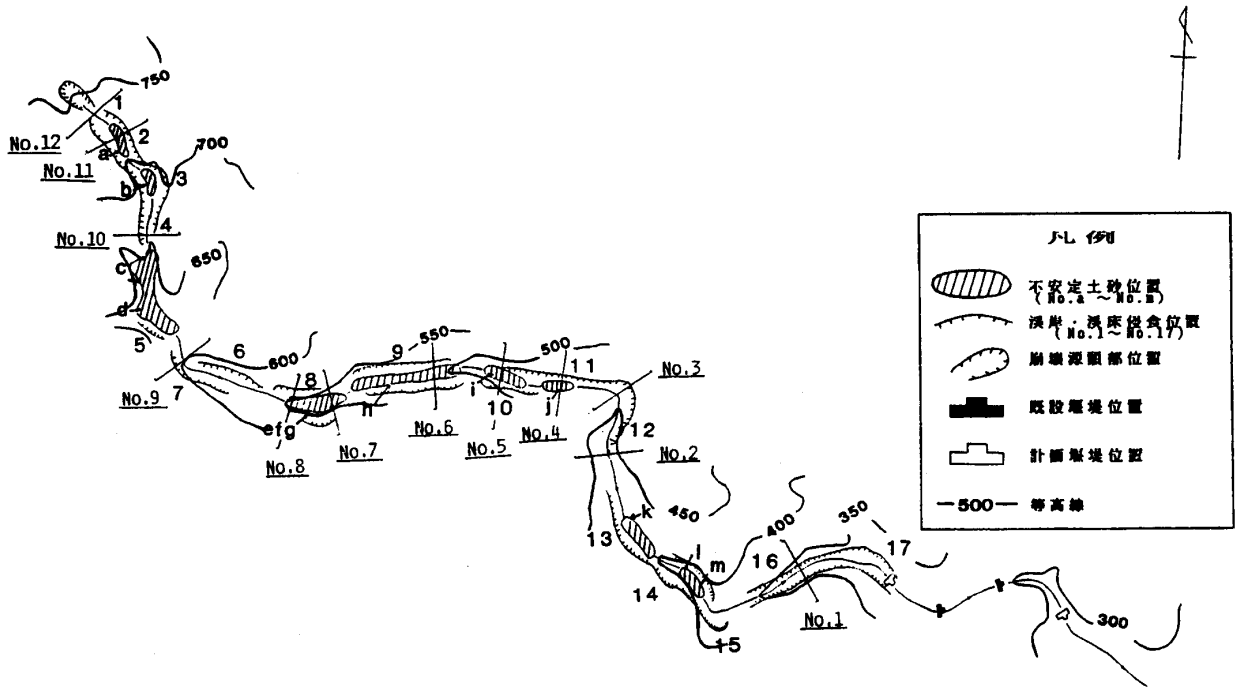
図3 既設ダムの調査項目

既設ダムと堆砂状況については次に述べるように調査を実施した。図3に示したような項目について、各々の現地で測量を含めた調査を行った。調査項目のうちダム幅Lについては実際に見えている範囲で計測し、根入れの長さは考慮していない。堆砂長Ldについては堆砂勾配 θ の斜距離となっている。また、堆砂量を計算するにあたっては、簡単のために台形錐であると仮定した。元溪床勾配 θ_1 については、ダム高Hd、水通し底から堆砂地表面までの高さHu、Ldおよび θ から幾何学的に算出したものを用いた。その他、水通し天端幅Dw、水通し底幅Lw、水通し高Hw、堆砂地上の最大レキ径Dmaxなども測定した。なお、構造物についても設計台帳の数値にたよらず現地で測量し直したのは、設計台帳の数値が地下に隠れて見えない部分をも含むものであるのに対し、実際に影響を持つのは、あくまでも見えている部分だからである。

3. 土砂収支調査結果とその考察

図4～図6は調査した広島県の溪流のうちから、例として7番溪流（江河内谷川本川）の結果の一部を示したものである。平面図には面的な侵食・堆積の様子を、縦断面図には溪床勾配と曲率の変化に伴う侵食・堆積の様子を、横断面図にはそれぞれの位置での侵食・堆積の様子とともに樹木との関係を描いている。同様な図を24すべての調査溪流について描き、土石流の流動と侵食・堆積のメカニズムの状況を解析した。

平面図（図4）と横断面図（図6）からは、屈曲部の外側の横侵食が目だったが、この状況は他の調査地でもよく見られるものであった。また、図には表現されていないが、支流が合流する場所にも、水衝部に横侵食が目だった。これらのことは、すでに経験的にその発生が予想されたことでも



江河内谷川

图4 江河内谷川（7番溪流）平面图

左岸

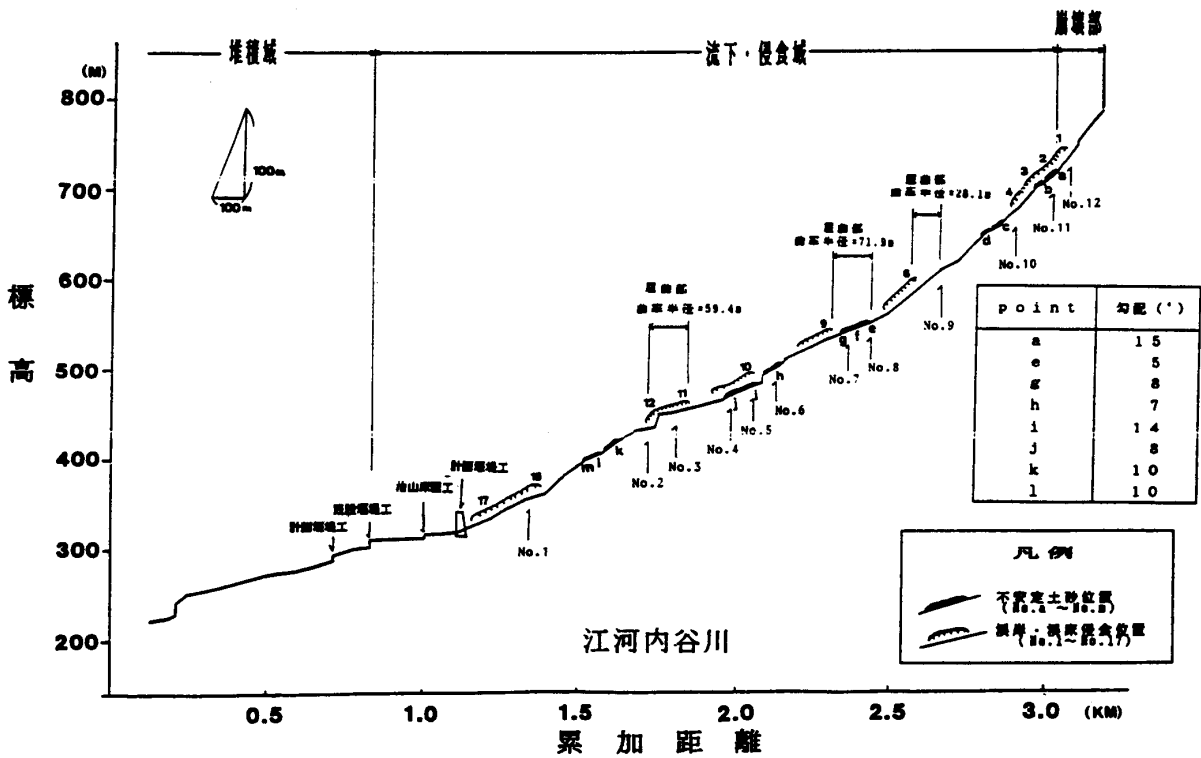
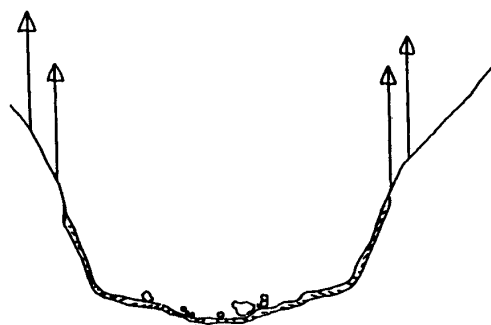


图5 江河内谷川（7番溪流）左岸側縦断面図

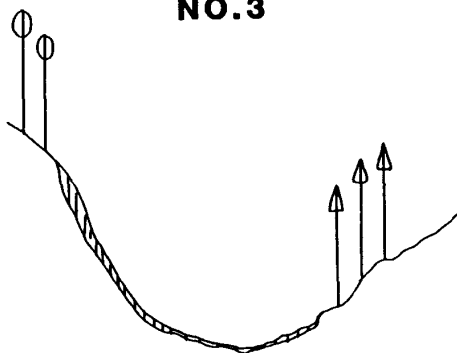
左岸

右岸

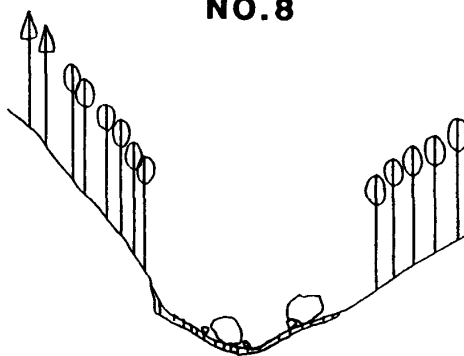
NO.1



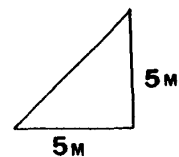
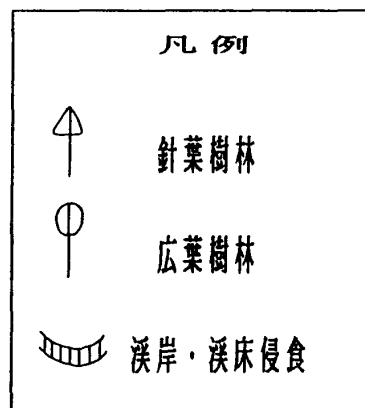
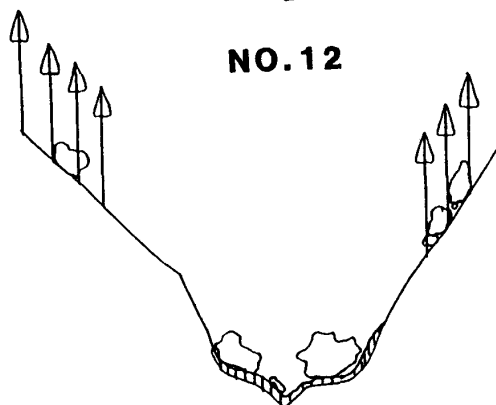
NO.3



NO.8



NO.12



江河内谷川

図6 江河内谷川（7番溪流）横断面図

あり、溪流の屈曲部の外側や合流点の水衝部に侵食防止のための砂防施設の必要性を示している。縦断面図(図5)は、土石流がまさにその先端部で河道を侵食しながら、また土石流後続部で河道に土砂の一部を堆積させながら下っていったことを想像させる結果となっている。一般に、現地調査や模型実験から、土石流は溪床勾配が 15° 以上のところからでないと発生しないこと、 $15^\circ \sim 8^\circ$ の範囲では流下区間となること、および、 $8^\circ \sim 3^\circ$ の範囲で土砂のほとんどが堆積することがわかっている(たとえば芦田ら, 1983)。図5はこの従来の知見を再確認するデータとなっている。図には表現されていないが、狭窄部の直上流で堆積物が目だったこと、土石流流下区間の溪床の多くの場所で岩盤の露出が見られたことなども従来通りであった。また、これらと同様のことは他の調査溪流でも共通して見られた。

以上の調査結果を、特に被害の大きかった14溪流と他の10溪流とに分けて、一覧表としてまとめたものが表1である。

溪岸・溪床侵食量については、24溪流平均では 2424.0m^3 で、14溪流平均では 4063.8m^3 であった。この後者の値は1溪流あたりの総崩壊土砂量 1368.6m^3 の約3倍である。溪流別に見れば、被害の大きかった江内谷川本川(溪流番号7)では溪岸・溪床侵食土砂量が 23972.0m^3 であり、総崩壊土砂量 2236.9m^3 の約10.5倍に相当する値となっている。広島県土木建築部の発表した推定流出(氾濫)土砂量には4万 m^3 を超える値が示されており、総崩壊土砂量の約18倍もの土砂量まで膨れあがったと報告されている(広島県土木建築部編, 1988)。これらのことは、崩壊土砂がそのまま流下するだけでなく、流下にともなって溪岸・溪床を激しく侵食し、流下する土砂量がどんどんと増加していくことを表しており、崩壊の可能性のある源頭部だけでなく、溪間の不安定土砂に対しても、砂防ダムなどの施設が必要であることを示している。

その意味からも重要である溪床の不安定土砂量に着目すると、江内谷川左支川(溪流番号8)、中尾谷川(溪流番号19)、滝谷川(溪流番号37)などでいずれも4千 m^3 を越えている。単位流域面積あたりに直してみると、中尾谷川と山城川が極端に高く、いずれも1万 m^3/km^2 を越えている。中尾谷川は江内谷川本川に次いで大きな被害を出した溪流であるが、今回の土石流によって不安定土砂がすべて流出するに至らず、今後も土石流災害の発生する危険性が残されている。

下流の地域に氾濫する土砂量は、上記の崩壊土砂量と溪岸・溪床侵食土砂量の和から溪間に残る不安定土砂量を差し引いた値として表現できるはずであるが、不安定土砂量としてとったものには、今回の豪雨では移動しなかったが今後移動する可能性の高いと判断されたものも含まれているため、単純には計算できない。したがって、生産土砂量として前二者の和すなわち崩壊土砂量と溪岸・溪床侵食土砂量の和をとって考察を試みる。これを見ると、江内谷川本川と中尾谷川の2つが極端に大きく1万 m^3 を越えており、江内谷川左支川、埴谷川(溪流番号9)、辻の河原川右支川(溪流番号32)、辻の河原川左支川(溪流番号32)などが3千 m^3 以上の大きな数値となって続いている。ただし、この数値も流域の大小によって影響を受けるので、単位面積あたりの数値を求めするために各流域面積で除してみると、特に大きいものとして中尾谷川の $63311.3\text{m}^3/\text{km}^2$ 、江内谷川本川の $27300.9\text{m}^3/\text{km}^2$ 、上原川(溪流番号14)の $23162.1\text{m}^3/\text{km}^2$ 、辻の河原川右支川の $17180.5\text{m}^3/\text{km}^2$ 、山城川(溪流番号15)の $12295.5\text{m}^3/\text{km}^2$ 、木坂川(溪流番号33)の $10380.6\text{m}^3/\text{km}^2$ 、上木坂川(溪流番号11)の $10117.6\text{m}^3/\text{km}^2$ 、辻の河原川左支川の $8364.3\text{m}^3/\text{km}^2$ などが注目される。しかしながら以上の値は、今回の災害における土砂移動が、決して突出して大きかったのではないことも示している。建設省が出している単位面積あたりの流出土砂量を見ると、花崗岩類地帯での土石流の場合の流出土砂量は、5万 ~ 15 万 $\text{m}^3/\text{km}^2/1$ 洪水なる値を基準として用いている(建設省河川局, 1986)。今回土石流の発生した溪流の流域面積と全国で土石流の発生した溪流の流域面積

表1 土石流発生溪流の土砂収支調査結果一覧

溪流番号	溪流名	流域面積 A (km ²)	平均渓床勾 (°)	地質 ***	崩壊箇所数	崩壊総崩壊土砂量 Vf (m ³)	総渓岸・渓床侵食土砂量 Ve (m ³)	総不安定土砂量 Va (m ³)	Vu/A (m ³ /km ²)	推定流出(氾濫)土砂量 V (m ³)	生産土砂量 Vf+Ve (m ³)	(Vf+Ve)/A (m ³ /km ²)	既設ダム数	満砂ダム堆砂総量 **** (m ³)
7	江内谷川本川	0.960	14.7	Gr	21	2236.9	23972.0	1770.0	1843.8	* 40300	26208.9	27300.9	2	4627.0
8	江内谷川左支川	0.860	12.3	Gr	11	1792.0	2435.0	4636.0	5390.7	0	4227.0	4945.1	1	9166.0
9	峠谷川	1.482	9.5	Gr	22	1847.4	2261.0	2854.4	1926.0	* 8400	4108.4	2772.2	0	-
10	上郷渡瀬川	0.638	15.5	Gr	23	1306.1	1280.0	1427.5	2237.5	* 11100	2586.1	4053.4	0	-
11	上木坂川	0.187	18.1	Gr	6	860.0	1032.0	926.0	4951.9	* 7500	1892.0	10117.6	0	-
14	上原川	0.058	23.8	Gr	5	323.9	1019.5	29.0	500.0	** ?	1343.4	23162.1	2	525.0
15	山城川	0.220	11.3	Gr	5	1235.0	1470.0	2816.0	12800.0	* 2800	2705.0	12295.5	1	657.0
16	本谷川	0.764	13.1	Gr	18	2389.2	205.0	1186.0	15552.4	0	2594.2	3395.5	2	未調査
17	高下川	0.441	15.3	Gr,md	9	566.1	371.0	2785.0	6315.2	0	937.1	2124.9	1	732.0
19	中尾谷川	0.282	21.6	Gr	31	4259.8	13594.0	5822.0	20645.4	* 4700	17853.8	63311.3	1	1502.0
30	蛇の谷川	0.412	20.1	md	14	757.8	1748.9	507.6	1232.0	* 2400	2506.7	6084.2	2	2080.0
32	辻の河原川右支川	0.205	16.1	Gr	10	926.0	2596.0	1705.5	8319.5	** ?	3522.0	17180.5	0	-
32	辻の河原川左支川	0.378	17.5	Gr	7	422.4	2739.3	737.0	1949.7	0	3161.7	8364.3	1	未調査
33	木坂川	0.232	21.3	Gr	5	238.3	2170.0	1059.5	4566.8	0	2408.3	10380.6	1	未調査
14	渓流平均	0.509	16.4		13	1368.6	4063.8	2018.7	3969.9	7018.2	5432.5	13961.3	-	-
1	正子谷川	0.643	20.1	Ry	8	166.3	28.8	1247.5	1940.1	* 1300	195.1	303.4	1	(破壊)
34	坪野川本川	0.339	16.3	md	3	159.6	42.3	608.0	1793.5	0	201.9	595.6	1	未調査
35	坪野川支川	0.259	17.7	md	6	56.2	0	292.2	1128.2	0	56.2	217.0	2	未調査
36	宇佐谷川	0.250	18.5	md	4	217.6	11.4	945.4	3782.0	0	229.0	916.0	2	未調査
37	滝谷川	4.895	9.8	Gr	10	3076.0	0	4655.0	951.0	* 1600	3076.0	628.4	2	未調査
38	西の川	0.249	13.6	Gr,Ry	2	67.6	395.3	1297.7	5211.6	0	462.9	1859.0	0	-
39	柳谷川	1.201	10.2	Gr	9	319.7	277.7	3705.0	3084.9	0	597.4	497.4	2	未調査
40	光石川	1.177	10.2	md	9	635.7	42.6	916.5	778.7	0	678.3	576.3	1	未調査
41	悪谷川	1.371	15.5	Ry	6	1435.0	93.8	2175.0	1586.4	* 5500	1528.8	1115.1	0	-
43	粒谷川	3.234	9.8	Gr	36	2382.2	389.5	936.0	289.4	0	2771.7	857.1	13	未調査
10	渓流平均	1.362	14.2		9.3	851.6	128.1	1677.8	1232.1	840	979.7	756.5	-	-
24	渓流平均	0.864	15.5		12	1153.2	2424.0	1876.7	2172.0	3566.7	3577.2	8459.3	-	-

* 文献(広島県土木建築部編, 1988)より引用
 ** 土砂の氾濫した事実はあるがその量は不明
 *** Gr:花崗岩類, md:泥質岩類, Ry:流紋岩類
 **** 台形錐として簡易的に計算

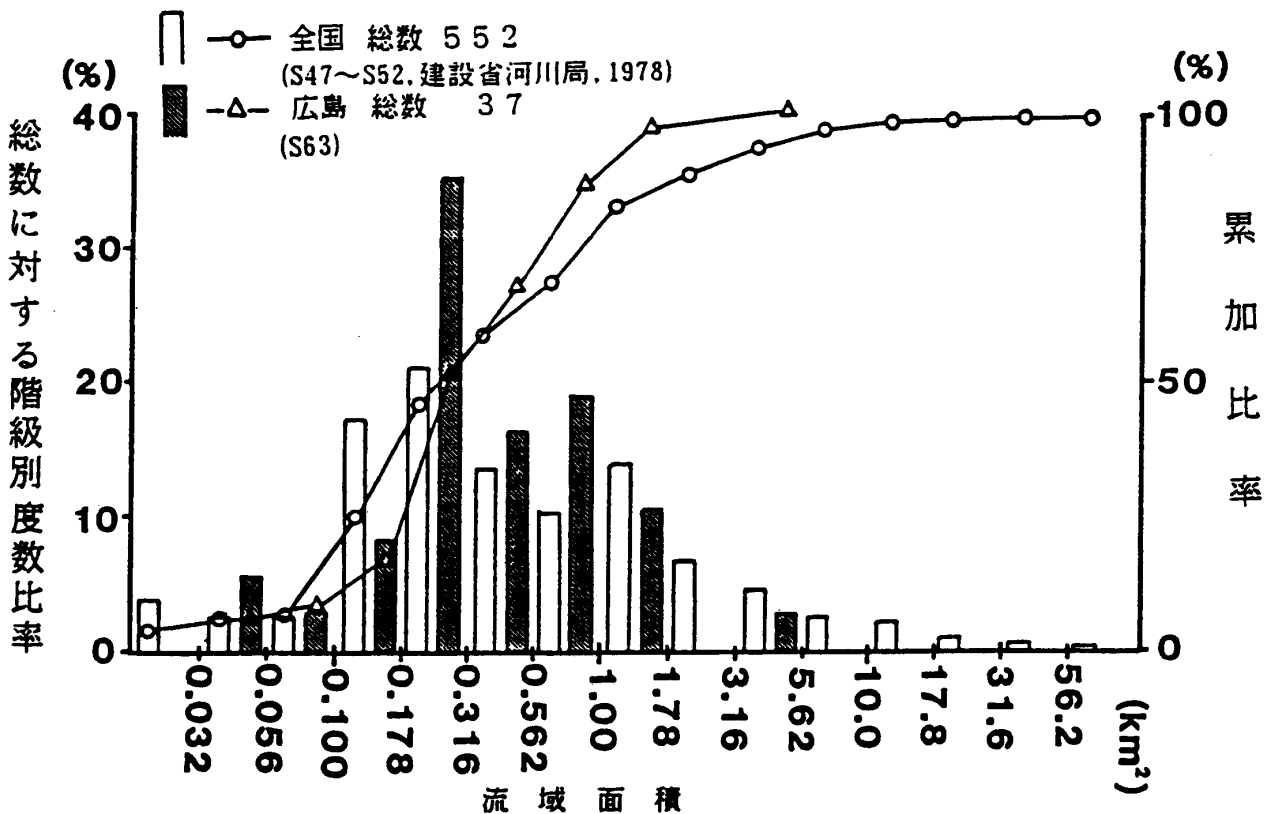


図7 土石流発生溪流の流域面積分布

(建設省河川局砂防部, 1978) とを比べてみても、広島県の場合が特殊でないことがわかる (図7)。同様に、建設省河川局砂防部の資料によると、昭和52~60年度に土石流が発生した336溪流のうち81%にあたる272溪流が流域面積1km²以下であった(建設省河川局砂防部, 1983; 建設省河川局砂防部, 1988)。すなわち、上述の調査結果は、広島型花崗岩類地帯が広く分布している地域では、集中豪雨により土石流が発生すれば、このような値に相当する土砂がいつでも流出し得ることを示していると言える。

4. 既設ダムとその堆砂状況の調査結果と考察

広島県の現地で計測したダムの大きさや堆砂地の状況を表2にまとめて示す。調査した20溪流に災害以前に施工されていたダムは28基であったが、3基のダムについては土石流によって本体が破壊されていたため調査不能であった。表3にはダムを基準点とした集水面積、表2の値から幾何学的に求めた元溪床勾配、およびその他の勾配のデータを示す。勾配の表し方にはそのまま角度 θ (°) で表現する場合とその正接 $\tan \theta = I$ で表現する場合とがあり、前者は比較的勾配の大きい場合によく用いられ、後者は逆に角度では表現し難いような勾配の小さな場合によく用いられる。また、 I の値はふつう分子が1の分数として表現される。これらの値のうち、堆砂勾配 I_a と元溪床勾配 I_o の関係を図示したのが図8である。満砂状態の17基のダム堆砂地の勾配については、元溪床勾配の $1/3$ の直線付近に分布していることがわかる。建設省の基準(建設省河川局, 1986)によると、ダムの計画堆砂勾配として元溪床勾配の $1/2$ をとることになっているのだが、今回調査した広島県の例を見ると、元溪床勾配に対する比率が小さめである。全国のデータ(天田, 1990)

表2 調査したダムの大きさと堆砂勾配

ダム番号	溪流名	施工年度	L (m)	Hd (m)	Hu (m)	Dw (m)	Hw (m)	Lw (m)	Ld (m)	θ (°)	Dmax (cm)
1101	正子谷川		土石流によって破壊されたため調査不能								
3101	3番溪流	S47	17.5	5.9	0	1.6	1	2	16	7	80
4101	川手川	S42	20	3.5	0	1.5	1	3	37	6	150
4102	川手川		土石流によって破壊されたため調査不能								
7101	江内谷川本川	S63	44	8.8	2.5	3.15	2.4	6	67	3.2	200
7102	江内谷川本川	S52	20.4	5.5	1	2.5	1.5	6	48	3	200
8101	江内谷川左支川	S60	33	13.7	2.5	3	2	7	120	3	
12101	加計12番溪流	S50	19	4.5	1.6	1.5	1.5	2	32	5	15
13101	加計13番溪流	S47	18	4	0	1.5	1	2	24	3.5	0.5
14101	上原川	S51	14.6	5	0	1.5	1	2	26.5	6.5	60
14102	上原川	S51	14	4.1	0	1.5	1	2	22.5	5	140
15101	山城川	不明	20	9	0	1.5	1	4	20	5	200
16101	本谷川	不明	22	5.8	0.5	1.5	1.8	5.5	40	4	10
16102	本谷川	不明	46	12.7	8	2.3	2	5	115	4	10
17101	高下川	不明	22.4	5.5	0	2	1.5	5	37	6	60
19101	中尾谷川	S53	22	5.9	0	1.5	1	4	60	3	300
20101	津浪川左支川	不明	29	6.3	0	1.5	1	2	32	5	160
20102	津浪川本川	不明	36	5	0	1.5	1.5	4	21	5	160
20103	津浪川本川	S54	33.5	5.2	0	1.5	1	4	41	5	70
21101	横山谷川	不明	60	8	4.75	2	2	4	30	3	
26101	田の尻川	S49	14	6.3	0	1.8	1	4.5	38	7.5	180
30101	蛇の谷川		土石流によって破壊されたため調査不能								
30102	蛇の谷川	S39	17.5	6.9	0	1.9	1.3	3	72	2.5	120
32101	辻の河原川左支川	S52	17.5	7.9	1.6	2	1.7	4	74	4	200
33101	木坂川	S48	17.5	6.2	1.6	1.9	1.4	3	39	3	300
36101	宇佐谷川	不明	17.5	2.8	0	1.5	1.2	3	30	3	90
36102	宇佐谷川	S51	17.5	9	0.7	2.2	1.5	3	30	4	100
40101	光石川	不明	17.5	12.6	7.8	2.2	2.4	5.1	39	3	300

と比較してみたものが図9である。この図の横軸は元河床勾配に対する堆砂勾配の比 I_a/I_o であり、今回の広島県のデータが全国のものに比べて明らかにこの値が小さいことがわかる。このような結果となる原因はまだ完全には明らかにされていないが、現在までに3つの要因が指摘されている（海堀，1990；海堀，1991；海堀・栃木，1991；城ヶ崎，1992）。

1つ目は、今回の広島県の調査溪流の流域面積が全国の調査溪流のものに比べて圧倒的に小さいことである。すなわち、広島県のデータの場合、ダムを基準点とした流域面積はせいぜい 1 km^2 程度以下であるのに対し、全国のものは数十 km^2 以上の流域を持つダムに関するものがほとんどである。全国のダム堆砂に関する調査は、現在、河床変動調査の一環として河川の中流部の元河床勾配も小さい場所に設置されたダムについて調べられていることが多い。第1節でも述べたが、昭和初期以来のわが国での研究成果を見ると、ダムによる土砂の堆積勾配については、元河床勾配の $1/3 \sim 1/10$ の範囲となっていたり（赤木，1931）、通常のダム堆砂勾配が現河床勾配の $1/2 \sim 1/3$ 、土石流や大洪水時には $2/3 \sim 3/4$ となっていたり（遠藤，1958）、荒廃溪流におけるダム堆砂勾配は下流では $2 \sim 3\%$ 、上流の河床レキの割に大ききところでは $5 \sim 6\%$ の値をとるとなっている（伏谷，1961）。これらは、現在の建設省の基準である、ダム計画堆砂勾配を現河床勾配の $1/2$ にとる（建設省河川局，1986）というのに比べてかなり異なっている。従来、個々の研究者が調査できる範囲がせいぜい 1 km^2 程度の小流域であったものが、現在では大流域の恒常的に水流のある河川で、

表3 調査したダムの集水面積と各種勾配

ダム番号	渓流名	集水面積 (km ²)	地質 *	平均溪床勾配		元溪床勾配		堆砂勾配		集水面積当りの ダム堆砂土砂量 (m ³ /km ²)
				(°)	I	θ (°)	I _o	θ (°)	I _a	
1101	正子谷川	0.610	Ry	20.1	1/2.7	**	**	**	**	**
3101	3番溪流	0.202	Ry	29.9	1/1.7	26.3	1/2.0	7	1/8.1	1217.8
4101	川手川	0.213	Gr	24.3	1/2.2	11.3	1/5.0	6	1/9.5	1812.2
4102	川手川	0.195				**	**	**	**	**
7101	江河内谷川本川	0.693	Gr	14.7	1/3.8	10.6	1/5.3	3.2	1/17.9	5238.1
7102	江河内谷川本川	0.614				9.5	1/6.0	3	1/19.1	1623.8
8101	江河内谷川左支川	0.689	Gr	12.3	1/4.5	9.5	1/6.0	3	1/19.1	13303.3
12101	加計12番溪流	0.195	Gr	31.2	1/1.7	10.1	1/5.6	5	1/11.4	未満砂
13101	加計13番溪流	0.029	Gr	18.6	1/3.0	12.9	1/4.4	3.5	1/16.3	8655.2
14101	上原川	0.055	Gr	23.8	1/2.3	16.9	1/3.3	6.5	1/8.8	5709.1
14102	上原川	0.049				15.1	1/3.7	5	1/11.4	4306.1
15101	山城川	0.183	Gr	11.3	1/5.0	28.4	1/1.8	5	1/11.4	3590.2
16101	本谷川	0.725	Gr	13.1	1/4.3	11.5	1/4.9	4	1/14.3	未満砂
16102	本谷川	0.708				6.3	1/9.1	4	1/14.3	未満砂
17101	高下川	0.418	Gr,md	15.3	1/3.7	14.3	1/3.9	6	1/9.5	1751.2
19101	中尾谷川	0.215	Gr	21.6	1/2.5	8.6	1/6.6	3	1/19.1	6986.0
20101	津波川左支川	0.117	md	27.6	1/1.9	15.9	1/3.5	5	1/11.4	6153.8
20102	津波川本川	0.301	md,Gr	17.2	1/3.2	18.1	1/3.1	5	1/11.4	1621.3
20103	津波川本川	0.254				12.1	1/4.7	5	1/11.4	5224.4
21101	横山谷川	0.745	Ry	10.5	1/5.4	9.1	1/6.2	3	1/19.1	未満砂
26101	田の尻川	0.244	md	23.9	1/2.3	16.6	1/3.4	7.5	1/7.6	2918.0
30101	蛇の谷川	0.402	md	20.1	1/2.7	**	**	**	**	**
30102	蛇の谷川	0.354				8.0	1/7.1	2.5	1/22.9	5875.7
32101	辻の河原川左支川	0.368	Gr	17.5	1/3.2	8.8	1/6.5	4	1/14.3	未満砂
33101	木坂川	0.160	Gr	21.3	1/2.6	9.7	1/5.8	3	1/19.1	未満砂
36101	宇佐谷川	0.235	md	18.5	1/3.0	8.3	1/6.9	3	1/19.1	1519.1
36102	宇佐谷川	0.241				19.2	1/2.9	4	1/14.3	未満砂
40101	光石川	1.051	md	10.2	1/5.6	10.0	1/5.7	3	1/19.1	未満砂
	平均	0.380		19.2	1/2.9	13.1	1/4.3	4.4	1/13.1	

- * Ry: 流紋岩類, Gr: 花崗岩類, md: 泥質岩類
 ** 堰堤が土石流によって破壊されたため調査不能

継続的に計測がなされているという調査観測体制の変化がこのような結果を生む原因として含まれているものと思われる。すなわち現在は、元河床勾配が1/7以下のもともと緩いところに設置されたダムのデータの占める割合が大きいので、堆砂勾配もそれ以上緩くなり得ないものと考えられる。しかし、たとえ、小流域の砂防ダムの建設であっても、現在は建設省の基準が各都道府県で踏襲されている。

2つ目の要因は堆砂物質の粒径の違いである。すなわち、今回調査した広島県の諸溪流のダム堆砂地でたまっている物質は、表面に巨レキの分布が目だった場合でも、数十cm深さでは粒径の細かいものの分布割合がかなり高かったことがわかっている(城ヶ崎, 1992)。それに対し、中部地方などでよく見られるいわゆる荒廃河川では、地質が同じ花崗岩類であっても、河床を巨レキが深くまでおおっていることが多い。従来より、堆積土砂の粒度の小さいものほど堆砂勾配も小さくなることが経験的に言われてきた。中井(1992)は、寒水石の等圧一面せん断試験から粒径と内部摩擦角について、次のような関係式

$$\tan \phi = 0.008 \cdot D_r + 0.07 \cdot D_{50} + 0.26$$

ここに、 D_r は相対密度(%), D_{50} は加積通過率50%の粒径(mm)

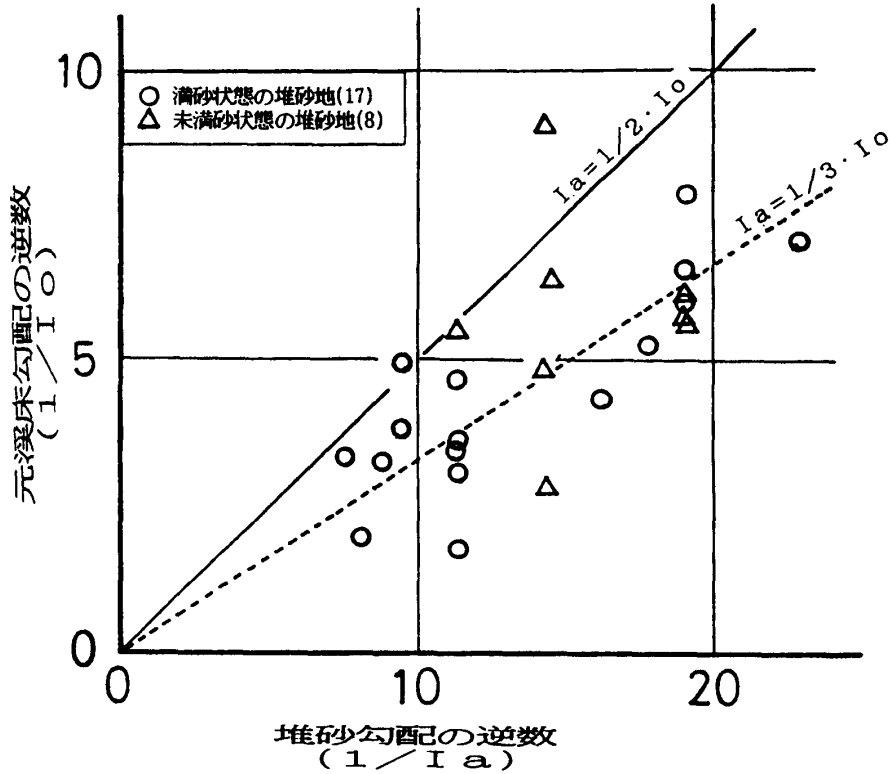


図8 元溪床勾配I₀とダム堆砂勾配I_aとの関係

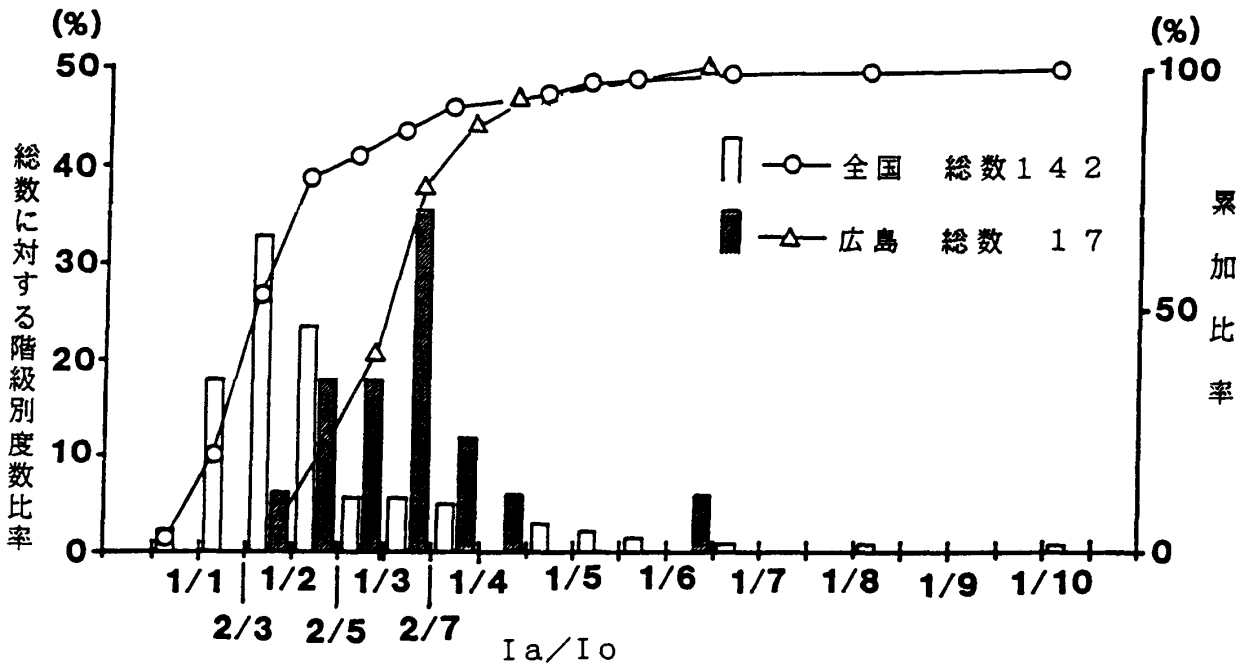


図9 ダム堆砂勾配I_aの元溪床勾配I₀に対する割合の分布

を実験的に導いている。これによると、粒径が大きくなるにつれ等圧一面せん断試験による内部摩擦角も大きくなるのが定量的に説明できる。しかし、河床勾配1/7という値が、土石の内部摩擦角や安息角と比べてはるかに小さい値であることや、河川における土砂移動が果たして一面せん断の様式になぞらえることができるのかどうかなどの問題を残している。

3つ目の要因は、土砂移動の頻度であろう。今回災害の起きた広島県の溪流では、同規模の土砂移動が約200年前までなかったことがわかっているが、全国のデータのもととなっている多くの河川では、毎年のようにあるいは年に数回も大規模な土砂移動が起きている。通常は砂防ダムの持つ流出土砂量の調節効果によって、堆砂勾配が洪水勾配から安定勾配へと減少する過程が、後者の場合、土砂流入の頻度が高すぎることで常に洪水勾配の状態となってしまうている。ゆえに、土砂移動の頻度もダム堆砂勾配に影響を与えると考えられる。

以上に述べてきた3つの要因から砂防ダムでの堆砂勾配の大きさを定量的に論じるには、まだ不十分なものでありなお検討の余地があるが、少なくとも土石流の発生頻度の高い流域面積1km²程度以下の溪流を数多くかかえている広島県では、全国のデータの平均値に基づいて砂防ダムの計画堆砂量を決めるのではなく、より小さな勾配でたまる傾向にあることを考慮して、計画堆砂量も小さめに設定するのが安全側である。

5. 結 論

いくつかの調査の結果、以下のことがわかった。

- (1) 崩壊土砂量の総和に比べて、下流に氾濫する土砂量が十数倍にも増える場合があったが、発生した土石流が途中の溪岸・溪床を侵食して流出土砂量が増加するからである。
- (2) 単位面積あたりの流出土砂量の最大のものでも、全国的に発生しているものと大差なく、建設省の出している基準値に入る程度であった。逆に言えば、この程度の土砂移動は、花崗岩類地帯を多くかかえる広島県では、誘因としての豪雨さえあれば、いつでも発生し得ると言える。
- (3) 元溪床勾配に対するダムの堆砂勾配の比率が約1/3のものが多く、全国の例から建設省が計画堆砂勾配の基準としている比率1/2よりも小さくなっている。このことは、実際には建設省の基準による計画堆砂量よりも少ない土砂量しかダムで捕捉できないことを意味する。
- (4) この理由のひとつとして、全国の調査されているダムの場合それを基準点とする流域面積が数十km²以上であるのに対し、今回調査したダムを基準点とする流域面積は1km²程度以下と小さいことがあげられる。そのため全国のものではダムサイトの元河床勾配が1/7よりも小さいものがほとんどであったのに対し、今回調査した広島県のダムサイトの元溪床勾配は1/7よりも大きかった。
- (5) また、他の要因として、土砂の粒径が小さいこと、土砂移動の頻度が小さいことなどもダム堆砂勾配に影響を持つものとしてあげられる。これらの理由はまだ定性的なものであり、今後さらに小流域の溪流の砂防ダムの堆積特性について定量的に調べる必要がある。

謝 辞

本研究の遂行にあたっては、広島県土木建築部砂防課、広島県林務部、および広島県加計土木事務所、広島県可部農林事務所、建設省太田川工事事務所の関係者に非常にお世話になった。また、調査の実施、調査結果の整理にあたっては、現在広島大学名誉教授の栃木省二先生、広島大学総合科学部の学生・大学院生のみなさまから多大なるご協力を得た。ここに記して心より感謝いたします。

引 用 文 献

- 赤木正雄 (1931) : 溪流及砂防工学. 東京. 常盤書房, pp.82-92.
- 芦田和男・高橋 保・道上正規 (1983) : 河川の土砂災害と対策. 森北出版, pp.66-69.
- 天田高白 (1990) : 砂防ダム堆砂測量資料の解析. 砂防施設の土砂流出に与える機能の解明に関する研究, 平成元年度報告, (社)砂防学会, (社)全国治水砂防協会, pp.6-11.
- 遠藤隆一 (1958) : 砂防工学. 共立出版, pp.103-105.
- 海堀正博 (1990) : 堰堤での堆砂の実態 (その1). 砂防施設の土砂流出に与える機能の解明に関する研究, 平成元年度報告, (社)砂防学会, (社)全国治水砂防協会, pp.28-33.
- 海堀正博 (1991) : ダム堆砂勾配と粒度分布について. 砂防施設の土砂流出に与える機能の解明に関する研究, 平成2年度報告, (社)砂防学会, (社)全国治水砂防協会, pp.7-14.
- 海堀正博・栃木省二 (1991) : 土砂災害防止に対する砂防施設の効果に関する研究. 新砂防, Vol. 43, No.6, pp.26-32.
- 建設省河川局 (1986) : 改訂 建設省河川砂防技術基準 (案) 計画編. 山海堂, 第4章, 砂防計画の基本, pp.47-52. 第12章, 砂防施設計画, pp.165-187.
- 建設省河川局砂防部 (1978) : 最近の土石流発生溪流一覧表. 昭和47~52年度, 砂防便覧 (昭和53年版), p.52.
- 建設省河川局砂防部 (1983) : 最近の土石流発生溪流例. 昭和52~56年度, 砂防便覧 (昭和58年版), pp.38-45.
- 建設省河川局砂防部 (1988) : 最近の土石流発生溪流例. 昭和56~60年度, 砂防便覧 (昭和62年版), pp.48-71.
- 城ヶ崎正人 (1992) : 溪流における土砂移動特性に関する研究—特に堰堤での堆砂勾配について. 平成3年度広島大学大学院修士論文.
- 栃木省二・海堀正博・鈴木 滋 (1990) : 昭和63年7月の広島県北西部土石流災害に関する研究. 広島大学総合科学部紀要IV, 第15巻, pp.67-84.
- 栃木省二・海堀正博 (1991) : 豪雨による林道・作業道での崩壊とその特徴—広島県北西部豪雨災害現場におけるケーススタディー. 広島大学総合科学部紀要IV, 第16巻, pp.1-18.
- 中井真司 (1992) : 砂質土のせん断特性に関する研究—特に粒子の大きさが摩擦角に与える影響について. 平成3年度広島大学大学院修士論文.
- 広島県土木建築部編 (1988) : 昭和63年7月20~21日県北西部豪雨災害 (速報版). 49p.
- 伏谷伊一 (1961) : 砂防工学新論. 地球出版, pp.82-90.
- Düile, J. (1826) : Ueber Verbauung der Wildbäche in Gebirgs-Ländern, vorzüglich in der Provinz Tirol und Vorarlberg. Innsbruck, Rauchische Schriften, 179s.
- Tochiki, S. and Kaibori, M. (1989) : Study on the debris flows disaster in 1988 in the

northwestern district of Hiroshima Prefecture, Japan. Proc.The Japan-China Symp. on Landslides and Debris Flows, pp.231-236.

Wang, F. (1903) : Grundriss der Wildbachverbauung. Zweiter Theil. Leipzig, Verlag von S. Hirzel, s.101-109.