

黒部川扇状地の土砂動態

Sedimentation on the KUROBE Alluvial Fan

東京工業大学工学部 正員 石川 忠 晴

1. はじめに

「扇状地河川の治水は土砂を治めること」と言われる。河道計画を策定する場合には、河床構成材料の供給量と洗掘・堆積特性を把握し、これらと河道災害との関係を理解しておくことが肝要である。本論文は、黒部川扇状地を対象に上記の検討を具体的に行った結果を取りまとめるとともに扇状地形形成過程と現在の土砂動態の関連について考察を加えたものである。

2. 黒部川扇状地の河道災害の特徴

黒部川扇状地の地形を図1に示す。現在の河道は扇面中央のやや西寄りを緩く屈曲して下っている。図中の×印は昭和9年以降に破堤した箇所を示している。かなり散らばっているが、破線で囲ったふたつの群を成しているように見える。(河道東側の斜線部分の意味は後述する。) 図2に年最大流量とその年の被災の程度を示す。図中の×印は破堤を、▲印は延長200m以上の欠壊を、○印は軽微な被災又は無被害を表わす。2000~3000m³/sを境に被災規模の増大が認められる。

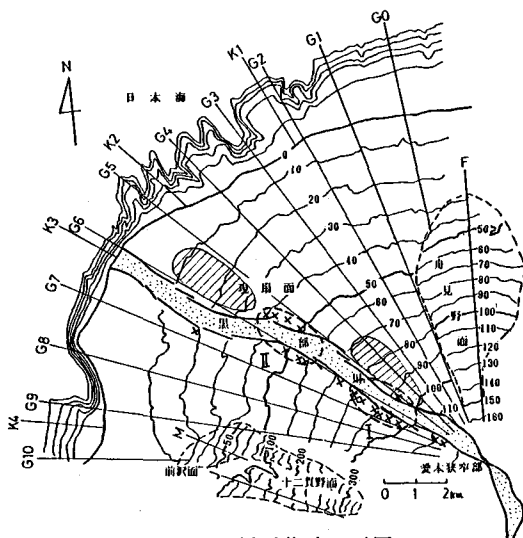


図1 黒部川扇状地平面図

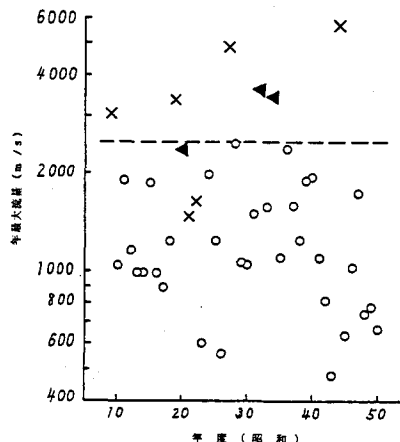


図2 洪水流量と被災の程度

3. 黒部川の洪水時土砂堆積の空間分布

黒部川の河道災害はみお筋の偏寄による側岸侵食が原因である。みお筋の偏寄は土砂堆積の緩急に依存する。そこでまず土砂堆積分布との関連を調べる。図3は昭和44年8月洪水(観測史上最大の洪水)での土砂堆積量の縦断分布である。(須賀、石川、葛西、1983) 図中には破堤災害集集中区間(I、II)も記入してある。両者は大略一致しており、破堤災害は土砂堆積の節目の付近に集中する傾向にあると言える。さて、図1に戻って現河道の平面形を見ると、あたかも斜線部に障害物があってこれを避けるかのように等高線に斜向する。この斜線部の河口からの距離はちょうど図3の堆積区間に一致している。

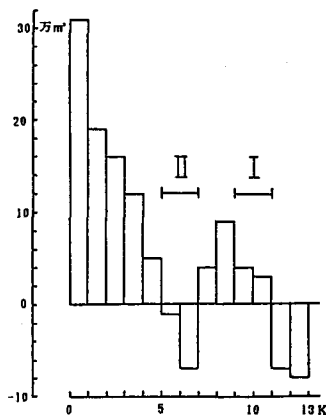


図3 土砂堆積分布(昭和44年洪水)

図4に黒部川の河床縦断面形を示す。標高40m（河口から約5km）付近を境とし、下流区間の縦断面形は下に凸、上流区間は上に凸となっている。すなわち標高40m付近が勾配変曲点となっている。したがってこれより下流は堆積傾向にあり、上流は平衡かやや洗掘傾向にあると推定される。そして破堤災害集中区間のうち下流のひとつはこの勾配変曲点の直上流に位置している。そこで図3に戻って堆積量の分布を見ると、5kmより下は一方的に堆積しているが5kmより上流の堆積・洗掘量の総和はほぼゼロとなっていることがわかる。

以上より次のように推論される。黒部川の洪水時土砂堆積は概ねふたつの塊を成し、各々の上流側でみお筋の偏寄が生じ破堤災害の原因となる。このうち上流側の堆積はおそらく大洪水時のみであり、中小洪水も含めると5kmより上流の区間の土砂移動はほぼ平衡している。一方5kmより下流では長期的に堆積傾向が継続している。

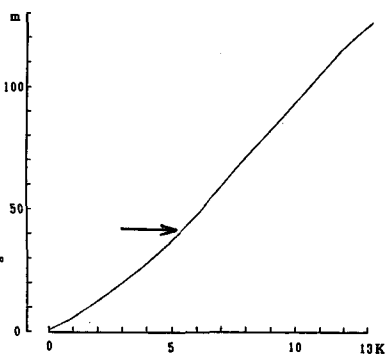


図4 河床縦断面図

4. 黒部川河床材料の粒度組成と分級機構

図5は河口より3kmと8km地点の河床材料の粒度分布である。（建設省、1977）前者は土砂堆積区間にあり後者は土砂平衡区間にある。両者を比較して次のことがわかる。堆積区間では粒度分布の経年変化は小さい。一方平衡区間では年によって非常に粗粒化する。しかし粗粒化しない年の粒度分布は安定しており、堆積区間のそれとほぼ等しい。この粒度分布曲線は30～40%で折れ曲っており、それより粗粒の成分の粒度は比較的まとまり、細粒の成分の粒度は広い。各々の比率から見て、細粒分が粗粒分の間隙を埋めているものと考えられる。また細粒分の粒度が極めて広いことから、この大部分は洪水中に浮遊して流れているものと思われる。したがって河床材料の主モードは粒径3mm以上のレキであり、平均粒径は約10mm、有効最大粒径は30mmである。平衡区間で粗粒化が生じると、平年の有効最大粒径が平均粒径となる。

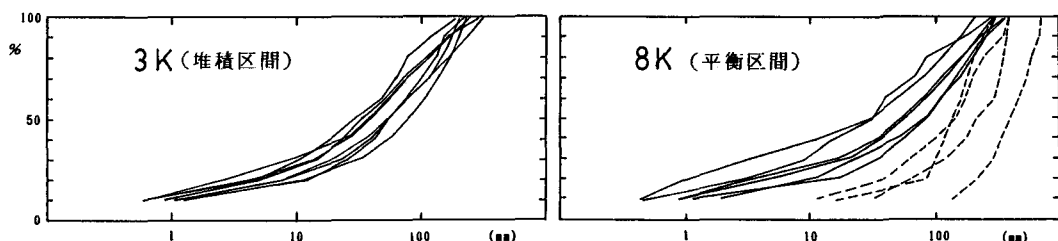


図5 河床材料粒度分布

図6に年毎の平均粒径の経年変化を示す。普通の年は全区間にわたってほぼ一定の値となっている。また粗粒化の生じるのは概ね5kmより上流であり、前説で述べた勾配変曲点を境にして変化の生じることがわかる。それでは平衡区間の粗粒化はどのような年に生じるのであろうか。図7に各年における全区間（13km）の河床昇降量と河床材料平均粒径および出水履歴を示す。（河床昇降量は横断測量から得られる量に土砂採取量を加えて補正してある。また河床材料平均粒径は13km区間の単純平均である。）おぼろげながら次の関係が認められる。出水のあった年にはその規模に応じた堆積が生じ、河床材料はやや細粒化する。それ以降出水が無ければ翌年は河床低下に転じ、2、3年後には停止する。これに伴ない河床材料が粗粒化する。粗粒化の程度は出水規模によって異なり、2000m³/s以下の洪水では小さく、2500m³/s以上に達すると顕著になる。

以上から次のように推論される。2000m³/s以下の洪水で移動するのは主に有効最大粒径以下の成分である。2500m³/s以上の洪水になると、平衡区間ではかなり大きなレキまで含んだ土砂移動が生じ、河床がかまぜられる。この時、大スケールの塊状の堆積が生じ大規模な災害の原因となる。

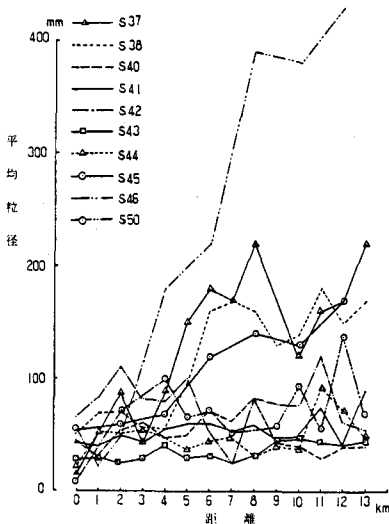


図6 平均粒径縦断分布

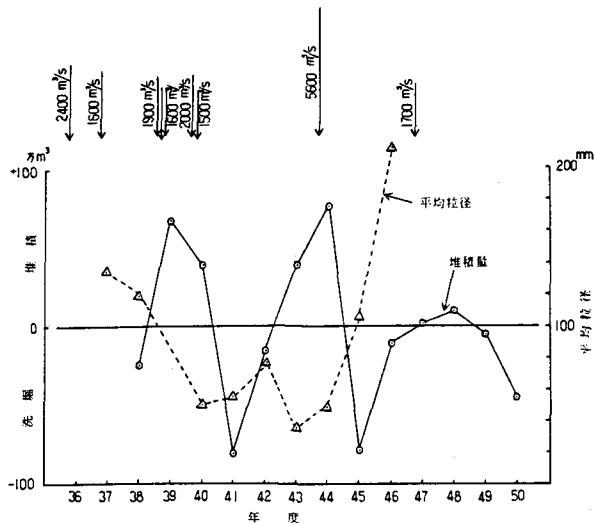


図7 平均粒径、河床昇降量と出水履歴

5. 黒部川5 km付近の勾配変曲点の成因

以上述べたように、標高40m付近の勾配変曲点の存在とそれに伴う土砂の堆積・分級が大規模な河道災害の原因と考えられる。それではなぜ勾配変曲点が存在するのであろうか。

図1からわかるように、現扇面の両側には古い扇面が残されている。図8に各扇面の縦断形を示す。測線位置は図1に記入してある。この地域は時代とともに傾斜を増しており、古い扇面ほど勾配が急になっている。したがって現扇面が形成される以前には舟見野面(F)が愛本を扇頂として広がっていたと考えられる。(深井、1988)

舟見野面縦断線は標高40~50m付近で現扇面縦断線の下に潜る。したがってその下の形状は不明である。一方、国土地理院が実施した海中音波探査(国土地理院、1982)によれば、扇状地沿岸のほぼ全域の海底下に洪積面と思しき不整合面が存在する。その位置は図2の(+)であり、舟見野面縦断形のほぼ延長線上にあたる。両者が同一のものであるとすれば、舟見野面は標高-90m付近を扇端としてほぼ一定勾配(及至やや上に凸)の円錐形を成していたことになる。

したがって、現扇面が形成される過程において、標高40~50mより上部においては浸食が、下部においては堆積が生じたと考えられる。前述の勾配変曲点はちょうどこの境目にあり、現在の河道特性は扇面の長期的変化とよく付合している。とすれば、扇状地形の形成過程を知ることにより黒部川の土砂動態をさらに明らかにできる可能性がある。

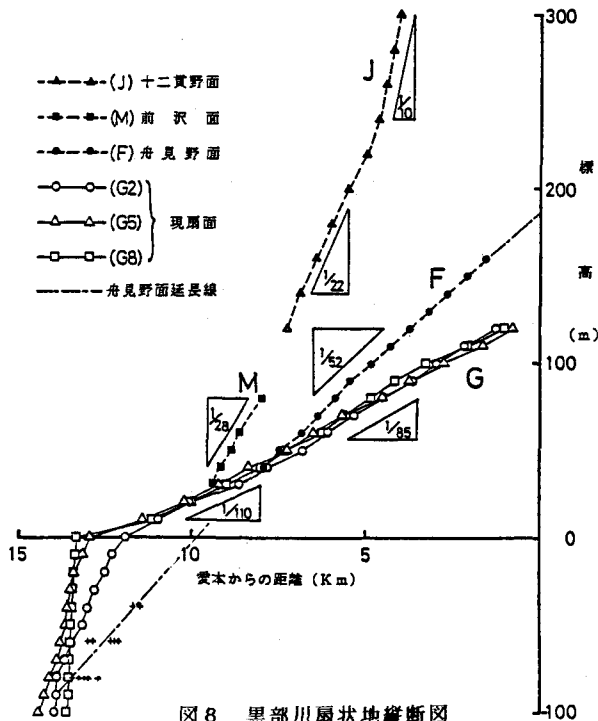


図8 黒部川扇状地縦断図

6. 現扇面形成過程における土砂移動

(i) 舟見野面から現扇面に移行し始めた時期

舟見野面が形成された時期は明確ではない。深井(1966)は、ウルム氷期最世期以前に扇面が形成され、その後の海面低下で侵食を受けて台地となったとしている。しかし、前節で示したように舟見野面扇端が沿岸で一様に-90m付近にあるとすれば、海面が低位に停滞していた時期に扇面が形成されたと考えられることもできる。図8に示したように舟見野面の縦断形はやや上に凸であり、侵食によって形成されたかすると矛盾がない。

第四紀における海面変動が多く研究者によって推定されている。(太田、松島、森脇、1982) 各々の結果は部分的には異なっているが、もっとも最近の海面停滞についてはほぼ一致している。すなわち、約一万年前に標高-50m付近に停滞していた。舟見野面扇端深度は-90mであるから、この海面低下とは対応しないように見える。しかし、黒部沿岸地域はかなりの速度で沈降しているので、不一致はこれに帰着される可能性がある。図9は水準測量結果から求められた扇状地沿岸部の地盤高の経年変化である。100年間で約30cmの速度で沈下していることがわかる。これを単純外挿すると一万年で約30mとなり、前述の不一致量と同オーダーとなる。以上より、ここでは舟見野面から現扇面への移行が約一万年前に始まったと仮定する。

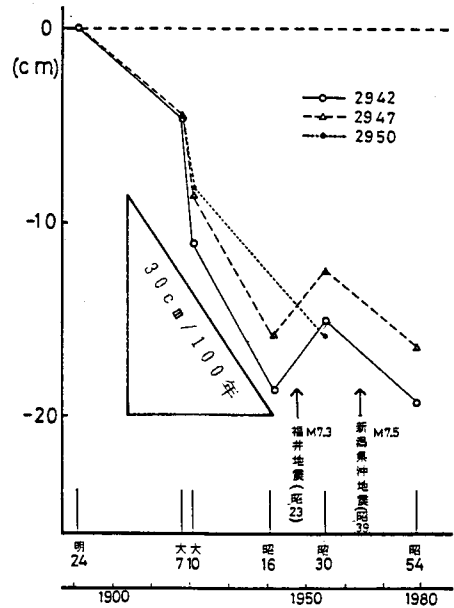


図9 黒部川扇状地地盤沈下量

(ii) 扇面移行時の砂礫堆積量の変化

舟見野面から現扇面に移行する過程を次のように単純にモデル化する。①一万年前に海水面が-55mから0mまで急上昇したとする。^(*) ②地殻変動による地盤沈下は一万年間に35mの速度で定常的に生じたものとする。^(*) そうすると、現地形を基準に見た海面変動は、一万年前に-90mから-35mまで上昇し、その後一万年かかって-35mから0mまで上昇したことになる。

舟見野面と現扇面にはさまれた領域は、図10に示すように3つに区分できる。標高40mより上部は扇面移行に伴って侵食された領域である。下部は堆積した領域だが、堆積時水面を境にして上部は陸上堆積物であり、下部は海中堆積物である。両者の境界は正確にはわからないが、ここでは舟見野面上の-35m点から現扇面扇端を結ぶ直線で表わすこととする。

現扇面の地表面形状を明治43年測量の地形図から、現扇面海底面形状を昭和47年測量の沿岸海域土地条件図から読みとり、舟見野面形状は図8に合わせた折れ線で近似した。その結果、各領域の体積が図10のように求められた。

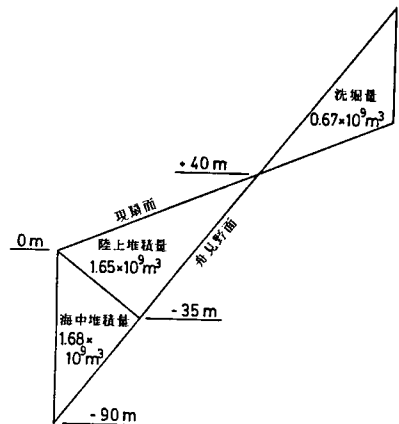


図10 現扇面形成過程での土砂移動

(*) (i) において地盤変動を見込んで残った量(10m)を便宜的に割り振った。

山県（1966）が行った扇面電深調査では、標高40mより上部の基盤はかなり浅く、舟見野面、現扇面とも砂礫層厚は20m～40mである。その下には第3紀砂岩層がある。したがって洗掘過程においてかなりの量の砂岩が削られている。砂岩が削られるとどのような性状になるか著者は知らないが、大部分が細粒となって海に流出するとすれば、前述の洗掘総量から砂岩洗掘量を差し引くことにより扇面構成砂礫の洗掘量が求まる。山県の得た地質断面図より砂岩洗掘量を概算すると結局 $0.06 \times 10^9 \text{ m}^3$ の砂礫の堆積が生じたこととなる。

(iii) 海岸欠壊による砂礫流失量

黒部川扇状地沿岸の漂砂は北東から南西に向う。河口より東側の海岸（下新川海岸）では現在は土砂補給が無い、年々後退している。山田ら（1978）は古い地形図と航空写真を基に打線後退量を算出している。同文献記載の数値を単純平均して得られる過去の打線位置を現打線を基準にプロットした結果を図11に示す。平均年後退量は $1.3 \text{ m}^2/\text{年}$ である。

扇状地沿岸の海底縦断面形を図12に示す。打線後退に伴う洗掘は40m深までであり、平均洗掘深は20mである。したがって打線1mあたりの流失土砂量は $26 \text{ m}^3/\text{年}$ となる、海岸線全域で同じ速度で土砂が流失していると仮定すると、海岸線延長を17kmとして、年間流失量は $44.2 \text{ 万 m}^3/\text{年}$ となる。

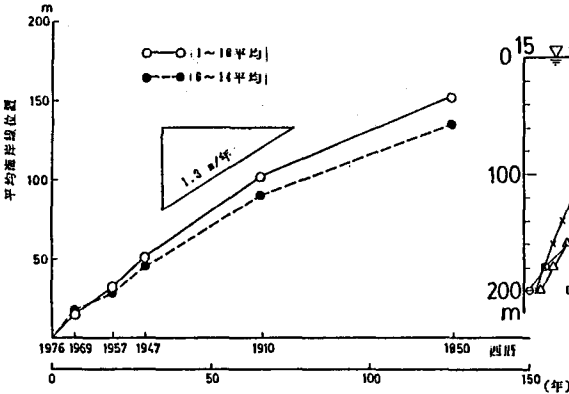


図11 海岸線後退量

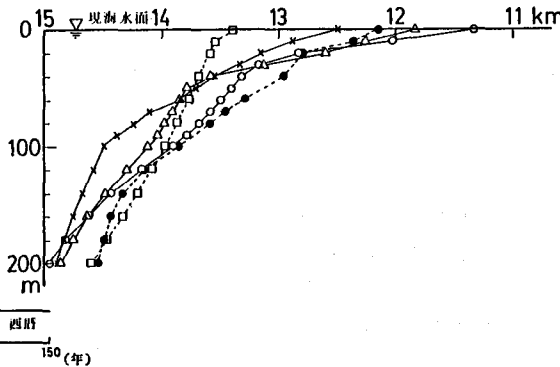


図12 海底縦断面図

(iv) 黒部川扇状地の土砂収支

(ii) で得られた累計値を一万年で除して年平均値に換算し、(iii) の結果を合わせると、黒部川扇状地の年平均の土砂収支が図13のように求まる。

上流峡谷から供給される土砂のうち約78万 m^3 が一旦扇状地に堆積する。このうち約17万 m^3 が陸上に堆積し、61万 m^3 が海中に堆積する。海中堆積量のうち約44万 m^3 は海底深部へ流失し、残りの約17万 m^3 がとどまる。扇状地体積は、陸上堆積と海中堆積残留量の合計33.9万 m^3 ずつ増大する。

これらの数値は一万年間の土砂移動を定常とした概算値であるから、現在の真値と隔たりはあろうが、黒部川扇状地の土砂移動の規模は概ね把握できたと思われる。

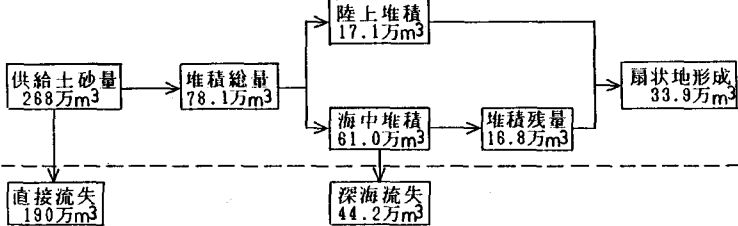


図13 年平均土砂移動量

7. 洪水規模と陸上堆積量の関係

年平均の土砂移動の規模と配分は概ね把握できたものとして、次の問題は洪水規模によってそれらがどのように変動するかということである。前述したように、河道災害は陸上堆積量と関係が深いと考えられるので、本節では洪水規模と陸上堆積量の関係を検討する。

黒部川の55年間の年最大流量をHazenプロットした結果を図14に示す。これより、年最大流量 Q_p の確率密度は次式であらわされる。

$$f(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(\xi - \bar{\xi})^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (1)$$

ここに $\xi = \log(Q_p)$ 、 $\bar{\xi} = 3.1$ 、 $\sigma = 0.27$ である。

年間陸上堆積量 S と Q_p の関係を次の形に仮定する。

$$S = \alpha \cdot Q_p^\beta \quad (2)$$

(1)、(2)式から年平均陸上堆積量 S は次式であらわされる。

$$\bar{S} = \frac{\alpha}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left\{\beta \cdot \ln(10) \cdot \xi - \frac{(\xi - \bar{\xi})^2}{2\sigma^2}\right\} d\xi = 1.71 \times 10^5 \text{ m}^3 \quad (3)$$

さて、黒部川の既往最大出水は昭和44年8月洪水で、ピーク流量 $Q_p(44)$ は約5700 m^3/s であった。この年の横断測量結果より陸上堆積量 $S(44)$ は約80万 m^3 であった。この数値を用いて(3)式を解き α と β を定めると次の式を得る。

$$S = 21 Q_p^{1.22} \quad \text{単位: } S(\text{m}^3/\text{年}), Q_p(\text{m}^3/\text{s}) \quad (4)$$

ただし、この式は S と Q_p の一対一の対応を示すものではない。年間の洪水回数や波形の具合あるいは崩壊事象の有無によって同一の Q_p に対しても S は変化するからである。上記の式は長期間の統計的相関式として成立することを期待されるものである。

本研究は文部省科学研究費特別研究(1)「比較河川学の研究」(研究代表者 北海道大学 岸 教授)の補助を受けている。

引用文献

- (1) 建設省黒部工事事務所：黒部川のあゆみ、1977、3月
- (2) 須賀堯三、石川忠晴、葛西敏彦：黒部川愛本狹窄部水理実験報告書、土研資料1942号、1983、3月
- (3) 建設省黒部工事事務所：黒部川流域土砂計画調査報告書、1977、12月
- (4) 石川忠晴：移動床水理模型実験による黒部川洪水流況の把握、第27回水論文集、pp753-760、1983、2月
- (5) 深井三郎：黒部川扇状地の微地形とその形成、黒部川、pp121-138、富山大学学術調査団、古今書院、1966
- (6) 建設省国土地理院：沿岸海域基礎調査報告書、(富山湾東部地区)、pp131-138、1982、9月
- (7) 太田陽子、松島義章、森脇 広：日本における完新世海面変化に関する研究の現状と問題点、第四紀研究、第21巻、第3号、pp133-143、1982年10月
- (8) 山根 大：黒部扇状地の水理地質構造と地下水賦存の状態、黒部川、pp61-84、富山大学学術調査団、古今書院、1966
- (9) 山田時夫、谷井文夫、竹村利夫：黒部川扇状地における海岸侵食、黒部川扇状地地域社会研究所紀要、第2号、1978、5月

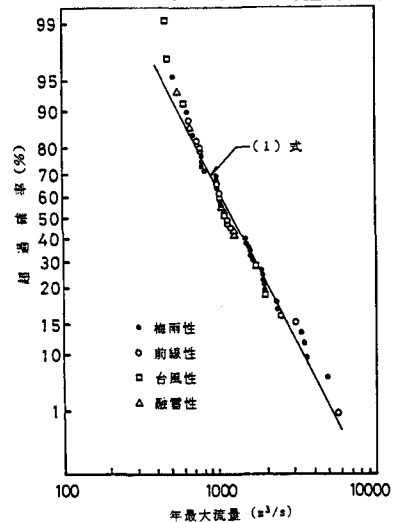


図14 年最大流量確率分布