

バングラデシュ人民共和国

ジャムナ河架橋計画調査報告書

河川部門

(第1次調査)

1975年3月

国際協力事業団

日本建設コンサルタント株式会社

ジャムナ河架橋計画調査報告書


河川部門

101
61.5
KE

LIBRARY

75

JICA LIBRARY



1011855[2]

国際協力事業団	
購入 月日 50.10.15	E218
登録No. 3496	72 K

バングラデシュ人民共和国

ジャムナ河架橋計画調査報告書

河川部門

(第1次調査)

1975年3月

国際協力事業団

日本建設コンサルタント株式会社

国際協力事業団	
受入 月日 1945. 5. 19	101
登録No. 05995	615
	KE

略語と単位

Bangladesh	The People's Republic of Bangladesh
MOC	Ministry of Communications
BIWTA	Bangladesh Inland Water Transport Authority
MFCWRP	Ministry of Flood Control, Water Resources and Power
BWDB	Bangladesh Water Development Board
SCB	Survey of Bangladesh
Jamuna River	The Brahmaputra-Jamuna River
JICA	Japan International Cooperation Agency
OTCA	Former name of JICA

Prefeasibility Report

Prefeasibility Report on the Jamuna River Bridge Construction Project prepared by the Preliminary Study Team of OTCA, Mar., 1973 (written in Japanese).

Inception Report

Inception Report on Feasibility Study for Jamuna River Bridge Construction Project submitted by the OTCA.

DHWL	Design high water level
GL	Ground level
WL	Water level
HWL	High water level
LWL	Low water level
PWD	Public Works Department
RL	Reduced level

m	meter
s, sec	second
cm	centimeter
km	kilometer
kg	kilogram
t, ton	ton (metric)
f, ft	foot
m ³ /s	cubic meter per second
cfs	cubic foot per second
in	inch

yd	yard
mi	mile
ac	acre
hr	hour
mon	month
yr	year
sq.	square
cu.	cubic
max.	maximum
min.	minimum
B	Width
H	Water depth
I	Slope
R	Mean water depth
W	River width
L, l	length
A	Water area
Q	Discharge
v	velocity
n	Coefficient of roughness

1 in = 2.54 cm

1 ft = 0.305 m

1 yd = 0.914 m

1 mi. = 1.609 km = 5,280 ft

1 sq. ft = 0.0929 m²

1 cu. ft = 0.0283 cub. m

1 cfs = 0.0283 m³/s

1 ac = 0.4 ha = 0.004 sq. km

1 in/mi = 1/63,360

1 ft/mi = 1/5,280

TK 1 = 736

目 次

略語と単位	(i)
目 次	(iii)
結論と問題点	(vi)
第 1 章 序	(1)
1 概 説	(1)
2 主なる調査員	(3)
第 2 章 河の自然特性	(4)
1 概 説	(4)
2 Jamuna 河流域の地形学的特性	(11)
3 河道地形学特性	(43)
4 河床材料	(47)
5 浮遊砂	(49)
第 3 章 計画架橋地点	(75)
第 4 章 設計流量	(77)
1 水路系と水位・流量の主要観測地点	(77)
2 Bahadurabad での流量確率	(79)
3 基本流量	(80)
4 Jamuna 河の流量配分	(82)
第 5 章 粗度係数	(99)
1 架橋 4 地点に於ける流量観測	(99)
2 平均流速と表面流速	(101)
3 粗度係数	(103)
第 6 章 最小河幅	(122)

1	Lacey の公式	(122)
2	Jamuna 河の実態	(123)
3	最小河幅	(127)
第7章 Guide banks		(131)
1	概 説	(131)
2	架橋地点の河幅	(134)
(1)	タイプ A	(135)
(2)	タイプ B	(135)
(3)	タイプ C	(135)
3	Guide bank 法線	(136)
4	Guide bank の標準断面	(138)
(1)	計画高水位	(139)
i	測量断面	(139)
ii	計画高水位算定に関する予備的検討	(141)
iii	Guide bank 区間の計画水位の算定	(143)
(2)	天端巾	(144)
(3)	余裕高	(144)
i	波浪の打ち上げ高	(144)
ii	余裕高の決定	(147)
(4)	法勾配	(147)
(5)	Apron	(149)
i	河幅を縮小した場合の平均水深	(149)
ii	予想最大洗掘深	(152)
iii	防護工	(156)
iv	捨石の大きさ	(157)
(6)	Guide bank の標準断面	(158)

5	Guide bank 及び Closing dike の設計	(158)
第 8 章	橋脚周辺洗掘とその防護	(196)
1	橋脚周辺洗掘深に関する研究	(196)
2	幅の広い橋脚の周辺洗掘深	(199)
3	幅の広い橋脚の周辺防護工	(200)
	(1) 橋脚周辺防護の範圍	(200)
	(2) 石の大きさ	(201)
	(3) Pier apron の厚さ	(205)
第 9 章	河川工事	(212)
1	架橋候補地点の自然条件	(212)
	(1) 気 象	(212)
	(2) 河川水位	(216)
	(3) 工事に好都合な日数	(219)
2	工事量	(221)
	(1) Guide bank の構造とその工事量	(221)
	(2) Closing dike . Closing works の構造とその工事量	(221)
3	工 期	(223)
4	施工法と施工機械	(224)
	(1) 施工法検討の前提	(224)
	(2) Guide bank	(224)
	(3) Closing dike	(226)
	(4) Closing works	(226)
5	工 程	(228)
6	工事用資機材料	(229)
7	石置場と人員の配置	(230)

8	建設工事の問題点	(231)
	(1) 準備工の問題点	(231)
	(2) 本工事の問題点	(231)
第10章	工費概算	(266)
第11章	文献及び資料	(268)

結論と問題点

調査の First Stage で得た結論と今までに明らかとなつたこと、及び問題点は次の通りである。

1 計画架橋4地点の特性

架橋地点として計画している4地点は、全て架橋に対して有利な条件を持つ網状河川の結節部に位置している。

地形学的な面からは Sirajganj の狭さく部 (Sirajganj Town 地点) が4地点の中で最も安定している。次に Gabargaon site が良く、Bahadurabad site は前二者にくらべて不適であり、Nagarbari site は架橋に対して最も不利であると云える。

次に河道地形学の見地からは Nagarbari site は最も悪く、他の3 site は bank line の変動も1860年以降ほとんど変化なしであることから判断して同等であり、中でも Gabargaon site が最も良く、Bahadurabad と Sirajganj の2 site は河岸幅の規模からしてもほぼ同等である。

したがって、上述の2見地からは Sirajganj , Gabargaon の2 site の優劣に関しては甲乙つけ難い。

Sirajganj site は Sirajganj の狭さく部の約10km下流部に選ばれた。

この地点は Sirajganj の河岸保護工と狭さく部による保護下に位置しており、兩岸が char (砂州) からなる単一水路となつている。このことは、当 site が架橋に対して非常に好ましい条件を備えている事を意味している。

反面、左岸のアプローチが派川の Dhaleswari を横断しなければならぬという不利な点も又、有している。この派川は橋か土堤により横過する必要がある。幸いにも派川の2つの取入口が計画橋軸の上下流にあるので、上流側の取入口を締め切り、下流の取入口を Dhaleswari 河への本取入口とし

て維持すれば、架橋にとって最良の策となる。

上流区間に対する背水の影響は、guide bank の B . C タイプに関しては無視しえる値である。

2 最小架橋幅

架橋幅の決定に際して、その幅は現状河幅よりも大きくとる事が最も望ましい。あるいは河道改修工事が進み、将来の河床や性状の変化の可能性と同じく、河川計画を考える時発生してくる流量増の点から現状河幅をせばめることは望ましくない。たとえ河幅をせばめたとしても、約 4 0 0 0 m 以上とすべきであろう。guide bank の建設がある事情から不可能に、あるいは他の理由から河幅をはるかに越えて橋で渡る場合、site としては Sirajganj の狭さく部 (Sirajganj Town の地点) が地形学的見地から推すことができる。交通量の面からも又、Sirajganj の狭さく部を推すことができる。

3 Guide banks

架橋地点として網状河川の結節部を選んだことは非常に適切ではあるが、これらの節はその形状の変化なしに将来同一地点に存在するかどうかの保障は全くない。逆にこれら網状の節における河岸でさえ絶え間ない侵食が起つているのも事実である。それ故に橋が結節部で一方の岸から対岸へ架けられる場合においても何らかの護岸工が橋台を保護するために必要となってくる。

さらに洪水流は常に両岸から溢水している。したがって、たとえ侵食が河岸に起こり、又、みお筋がかわつたとしても破壊されない様な橋台、アプローチが必要となってくる。この目的から、護岸を持つた一对の人工的な岸 (guide bank) 及びこれに接続する左右一对の締め切り堤が総河幅をはるかに超えて相当に長く必要となってくる。

Guide bank 及び締め切り堤の標準構造図として、Fig. 7-10, Fig. 7-13-1, 2 に示した。又、平面図は Fig. 7-11-1~4 の通りである。

Guide bank と締め切り堤の本体は、主として浚渫土から成り石による護岸及び根固めで保護される。片岸の構造物が1年で完成されるという条件のもとに、材料、建設機械、他の関連施設並びに人員等を概略計算した。それらは本文の Table 9-2, 3, 4, 5, 6 に示した。又、工事費は Table 10-1 のとおりである。

4 橋脚の長さ

全ての橋脚は、みお筋が横断方向の同一位置に固定していないことから、河幅方向にどこでも十分な深さまで沈める必要がある。さらに周辺防護なしに橋脚が自立するのに十分な深さまで根入をすべきである。もし上記のことが非常にむずかしく、あまりにも不経済であれば望まめところではあるが、なんらかの保護工を考慮しなければならない。

もしウエルタイプの構造が採用されると、その直径は12mのオーダーになると考えられる。この場合、ピアの周辺洗掘深は水深の約1.8倍と推算される。他方、多柱式構造をとれば洗掘深は減り、約10m位と推算した。

5 問題点

河川計画の設計に当りいくつかの問題点、たとえば河の流れのパターン、的確な guide bank や締め切り堤の形状や配置、多柱式ピア周辺の洗掘深及び洗掘形状等は計算だけでは解決しえない。この様な問題を詳細に解く目的から水理模型実験が有力な一方法となるであろう。

(Feasibility Study)

経済調査は水理模型実験なしでも完結できるものである。一般に経済調査は基本設計に基づいた工費の積算が要求され、又、本経済調査の期間は、4計画地点の中から最適地点の選定を含めて3年という制限もある。

しかしながら、詳細設計に当つては大縮尺で慎重な配慮の下に水理模型実験を行うことが望ましい。

この種の堤防構造物は莫大な石材を必要とし、その建設には材料の損失を

避けるため、又、必要量の石が指定置場でいつでも得られるという条件のもとに、2年間で完成する計画とした。したがって、石の供給は近く解決すべき重要な問題である。仮りに十分な石の供給が不可能であれば、この様な堤防構造物自体を再考しなければならないし、あるいは guide bank システムによる計画は事情により捨てざるを得ない。大量の建設機械と多量の材料を短時間のうちに運ぶ必要性から、大規模な荷扱い施設の建設が全工期の早い時期に必要である。この調査は本報告書には含まれていない。

建設機械の消費燃料は、その最盛時で約 200 kl/day であると見積つた。

故に、大規模な燃料供給施設が兩岸の工事現場で必要である。種々の建設機械の維持、修理のための大規模モータープールも又兩岸に必要となる。これに関しても本報告書には含めていない。

ほとんどの建設工事が乾季に集中し、その工事量も莫大であることから工事現場は非常に混雑し、混み入るものと予想される。したがって、建設機械の配置及び人員管理が重要な問題となり、詳細設計の段階でより詳しく研究する必要がある。

砂の浚渫及びその盛り立ての作業順序は次の通りである。

1 シートパイルの打ち込み 2 打ち込まれたシートパイルの背後へ砂を盛る。 3 浚渫及び盛土 4 水抜き 5 シートパイルの引き抜き
↓
これらの作業の中で4の水抜きの期間は土のいくつかのデータに基づいて見積つた。水抜きの期間は全体の工期及び費用に大きな影響を与えるので、さらにくわしい自然状態の土壌に関する調査が詳細設計の段階で必要となろう。

第1章

序

1. 概説

本報告書は日本の国際協力事業団 (JICA, IDOTCA) から Bangladesh 人民共和国に、1973年8月提出された Inception Report に従って、1973年8月から1974年10月までの14ヶ月間に河川調査班による First stage の調査結果をとりまとめたものである。

日本政府事前調査団が1972年12月、JICAにより組織された Bangladesh 国に派遣された。同調査団は Jamuna 河架橋計画の計画架橋地帯として、次の4地帯を提案した。下流から上流から下流に向って、Bahadurabad 下流、Gabarghon 付近、Sirajganj の約 10 km 下流及び Aricha の上流約 20 km の各4地帯である。

河川調査の目的は河川工学の見地から4計画地帯の優先順位を明らかにし、又架橋に対して、各 site を考慮し、いくつかの河川工事の概略工費を積算することである。

この目的にのっとり Jamuna 河の調査、資料収集を行うため、JICA は 1973年9月3日から同10月18日まで工博佐藤、笠原、野辺の3名を Bangladesh に派遣した。

続いて 河川工事の 実施及び 資材の 準備等の 施工面から
 Jamuna 河の 調査及び 資料収集 のため 1973年 11月 8日
 から 同月 22日 までの 期間 Bangladesh に 派遣、 黒沢
 の 2名 を 派遣した。 次は 地形学的 見地から Jamuna 河の 調
 査、 資料収集 のため 1974年 1月 4日から 同月の 16日 まで
 及び 1974年 3月 16日から 同月の 30日 までの 2回 同国に
 大矢 を 派遣した。

Bangladesh, 日本 両国に おける 資料収集後、 日本に 戻りて
 河道特性、 架橋に 対する いくつかの 河川工事、 土P 周辺の
 局所洗掘、 工事の 実施及び 最小に 対する 資材の 準備 等
 について 最終的には 各架橋地帯に おいて 3つの 河川工事
 に対する 工事費を 積算した。

次は 各章の 概略は 次の 通りである。 第2章は 河道の 現状
 特性、 第3章： 計画4 架橋地帯に 対する 河川調査班の 意見、
 第4章： 当計画に おける 設計流量、 第5章： 河川計画に 与
 る 収る 粗度係数、 第6章： 計画の 考慮に する 最小河幅、
 第7章： 河川工事と しての guide bank、 第8章： 土P- 周辺
 の 洗掘、 第9章： 河川工事と しての guide bank と closing
 dike の 建設工事、 第10章、 河川工事の 概略工事費、 第11章
 : Bangladesh, 日本に 集められた 当調査に 使用した 文献。

資料，以上の如く本報告書は11章から成つてゐる。

2. 主任調査員

当調査に従事した主任調査員は次の通りである。

工橋	佐藤清一	調査団長	総監
	大矢雅彦	地形学	
	川端昭至	河川計画	
	実広 登	水理学	
	野辺隆行	水文学	
	三谷 健	工事計画	
	安達経治	工事設計	
	黒沢和男	建設資料	

第二章

河の自然特性

1. 概説

Brahmaputra 河は Himalaya 山脈の北に位置する Monosaruar 湖にその源を毫する (Fig. 2-18)。是より Tibet 高原を西から東へ流す。その東端で Himalaya 山脈を横切り、次に Assam 平地を流し西下し Sillong 高原の西部で南に流すを変え。その後 国境を過ぎ Bangladesh に入り Tista 河を合流しほぼ南に直ぐ流す Aricha 付近で Ganges 河を合流する。北部の国境から Ganges 河との合流点までは Brahmaputra - Jamuna 河と呼ばれ流す。Ganges 河合流後呼称を Padma 河とす、100km ほど南東に流す Chandpur 市付近で Meghna 河を合流しその後 Bengal 湾に注ぐ。その流域は China, India, Bangladesh の 3 国にまたがる。当河は世界有数の大河川の一つである。

一方、Ganges 河は Gangotri 山 (6,614 m) の氷河に水源を持ち Hindustan 平原を西から東へ流す Rajmahal 丘陵の端で南に向きをかえ。その中から Ganges 平原を流下し Aricha で Brahmaputra - Jamuna 河を合流する。

上記の河川の流域面積、延長は次の通りである。

a. 流域面積

Jamuna 河:

水源より Bangladesh 国境まで 433,000 Km²国境より Ganges 河との合流点まで 47,000 Km²

Ganges 河:

水源より Jamuna 河との合流点まで 977,000 Km²

Padma 河:

13,000 Km²

Meghna 河:

80,000 Km²合計: 1,650,000 Km²

b. 河川延長

Jamuna 河:

水源より Bangladesh 国境まで 2,350 km

国境より Ganges 河との合流点まで 250 km

Ganges 河:

水源より Jamuna 河との合流点まで 2,200 km

Padma 河:

100 km

Padma - Meghna 河:

Meghna 河との合流点より Bangal 湾まで 130 km

Jamuna 河の総延長 (Ganges 河との合流点まで) 2,600 km

次に Jamuna 河と Ganges 河の水面勾配は夫々 1/15000,

1/20,000 であり、Jamuna 河は Ganges 河に比べる可配は
急となっている。

Bangladesh の気候は、いわゆる熱帯性に属し、乾季、雨季
の2つの季節には、互りと区別される。Sirajganj 気象観測
所での測り出し気温の記録によれば、1月平均気温の最低は約
18°C で1月に現われ、同最高は約29°C で4月又は5月
に起る。過去における最低、最高気温はそれぞれ 7.2°C、
42.8°C である。2月平均湿度は雨季には80%を超え、
乾季には約50~70%程度である。

Bangal 湾で発生するサイクロンのほとんどは Bangladesh 国
土を襲うが、そのらの進路は Fig. 2-2 で見られる様に陸地に近づく
に従い、ほとんどが東に向きを変えてしまうのでサイクロン
は Bangladesh の北西部には大きな影響を与えない様である。

Bangladesh の年平均雨量は Fig. 2-2 の如く、1,520mm (60インチ)
~ 6,350mm (250インチ) の範囲にあり、雨量は北部及び海岸
部は多く、比較的 Jamuna 河付近は少ない。年雨量の約80%
がモンスーン・シーズンの5月から9月に集中し、残りの20%
が他の月に降り、12月、1月、2月はほとんど降雨はない。
Jamuna 河沿いには近く位置する Bogra, Sirajganj 両観測所の
記録によれば、1月雨量は平均で約330mm (13インチ) であり、

時にはより、最高は 760 mm (30.12 寸) を超えるようである。

モンスーンシーズンには Bangladesh 国外の流域から集まる河水は常に Bangladesh 国内の雨水に重なり、国土の平均 30% 程度の広域で猛烈な氾らんを惹き起す。Jamuna 河沿いでは約 100 km の幅は互に恒常的に氾らんしてゐる。

Fig. 2-3 は Jamuna 河の Bahadurabad, Ganges 河の Hardinge 橋の各地点の流量ハイドログラフである。Jamuna 河のピーク流量は常に 7A から 8A に出現し、一方の Ganges 河のそれは常に 8A から 9A に出現する。したがって両河には約 1ヶ月間の時差がある。

Jamuna, Ganges 両河、合流点下流にある Goalundo における水位は、両河の影響により、高水位は常に 6月より 10月までの 5ヶ月間を続けるのである。Bahadurabad における既往最大の流量は 1970年 の $76,500 \text{ m}^3/\text{s}$ ($2,700,000 \text{ cfs}$) であり、Hardinge 橋、それは 1961年 の $73,500 \text{ m}^3/\text{s}$ ($2,582,500 \text{ cfs}$) である。Jamuna 河の最大流量は Ganges 河のそれよりわずかにばかり大きくなる。

Fig 2.1 Basin Map of Ganges, Brahmaputra (Jamuna) & Megna Rivers

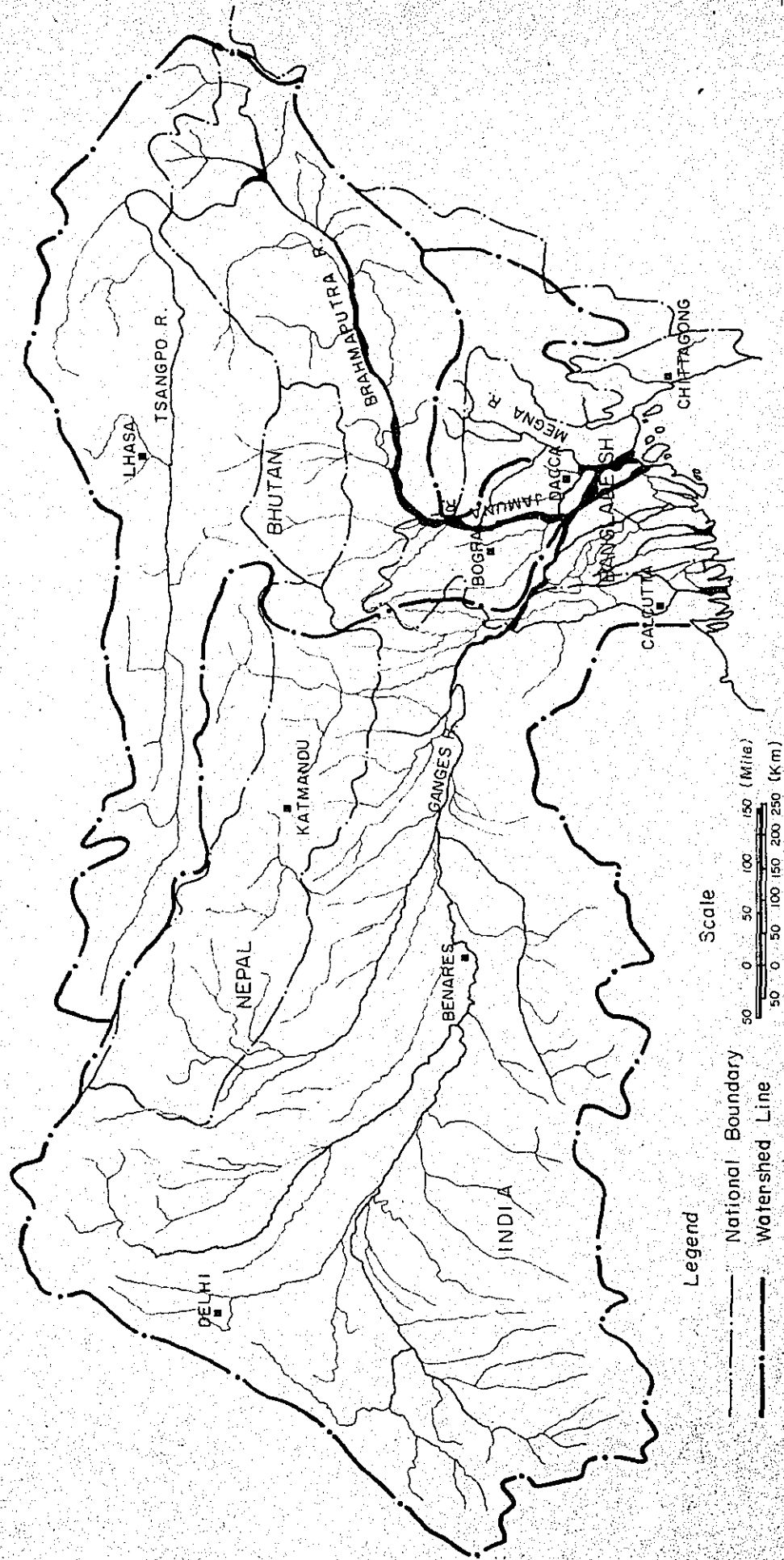


Fig.2-2 Annual Rainfall and Cyclone Paths

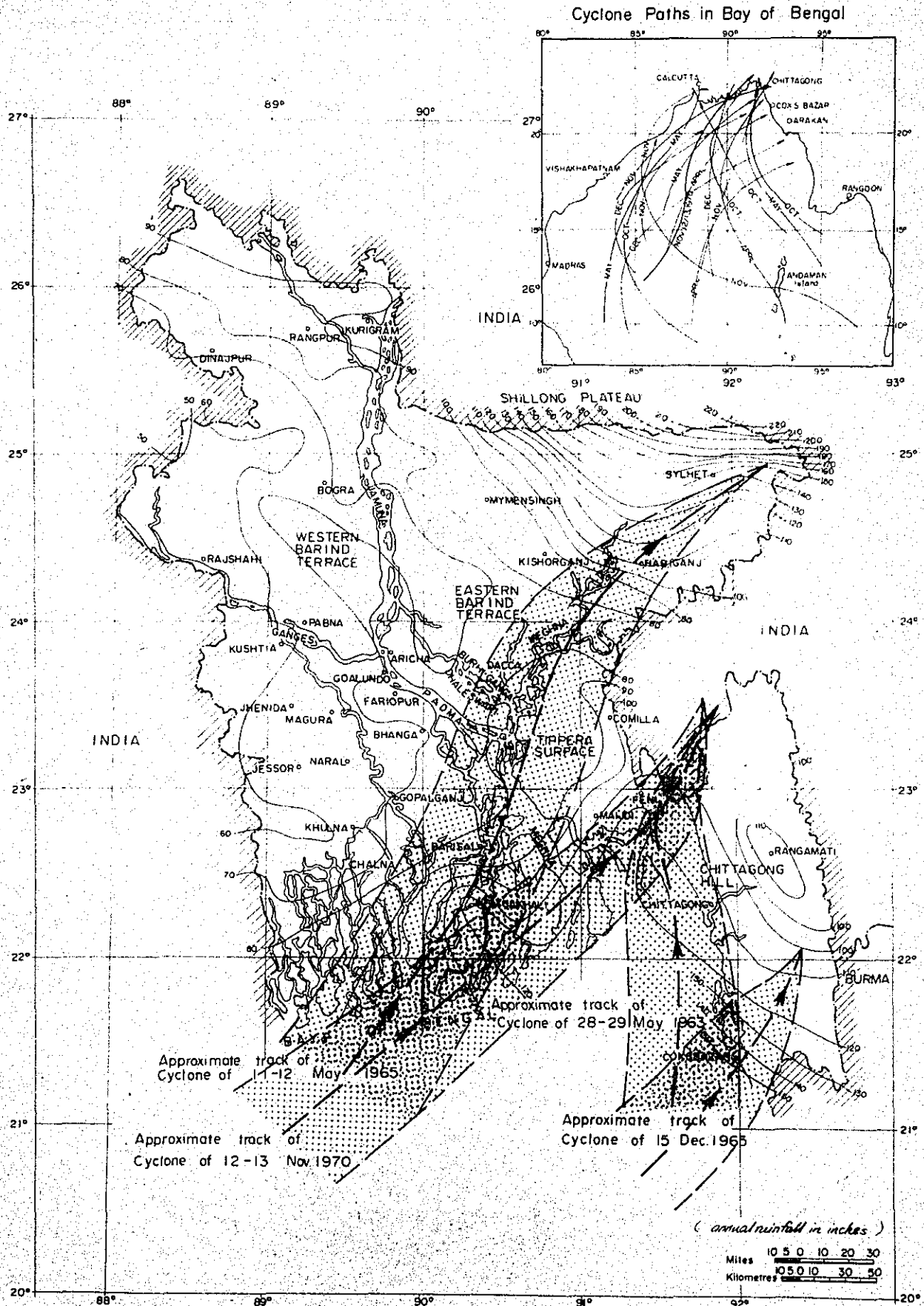
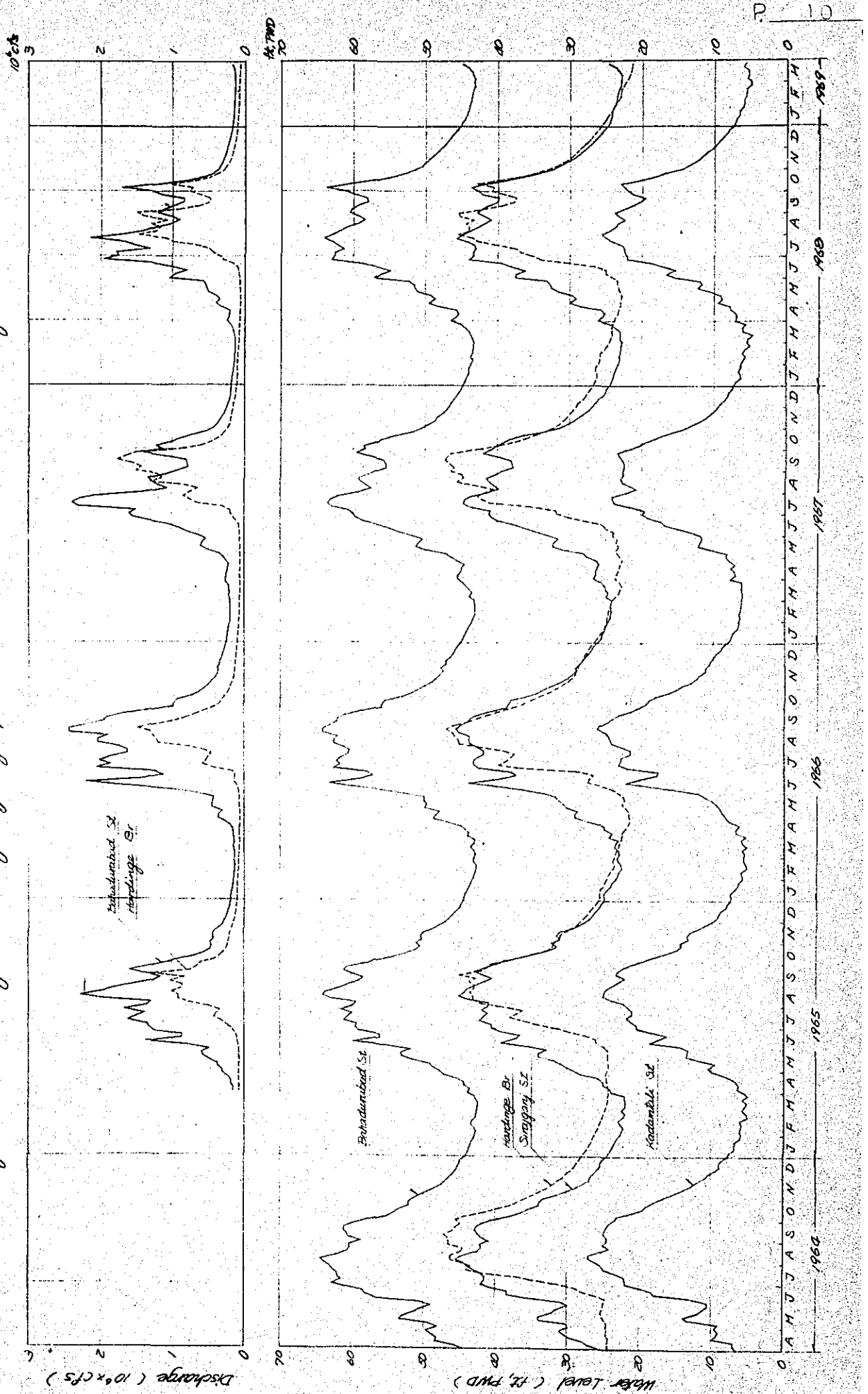


Fig. 2-3 Discharge and Stage Hydrograph of the Tamuna and the Ganges



2. Jamuna 河流域の地形学的特性

(1) Bangladesh の地形分類

Fig. 2-4 は Bangladesh の地形分類図である。山地はこの国では南東部の Chittagon 丘陵だけである。その他は洪積世に形成された台地及び沖積平野からなっている。

Ganges 川と Jamuna 川の間、Jamuna 川と Meghna 川との間には Barind とよばれる洪積台地がある。Louisiana 大学の McIntire 教授¹⁾は前者を Barind 台地、後者を Maduhupur - Jungle とよんでおられるが、Dacca 大学の Mohamed 教授²⁾は Maduhupur Jungle は森の名称であって台地の名称とするのはよくなく、Jamuna 川東部にある台地も西部にある台地も Barind 台地とよがべきであるとしておられる。森林は何れ変化する可能性があるので筆者は Mohamed 教授の意見にしたがうこととし、ここでは Jamuna 川西部にある台地を西部 Barind 台地、東部にあるものを東部 Barind 台地とよがことにする。

この台地を構成する土壌は沖積平野の土壌との間に土壌粒子の粒径及び鉱物組成の差はないと云われている¹⁾。しかし、台地は沖積平野に比べて水分が少ない。1972年12月より73年2月にかけて(乾季)撮影した赤外線衛星写真で見ると

台地は白く、沖積低地はやや黒く写っている。赤外線写真の場合、水の状態をよく反映するものであり、白く写っている部分は水分の少ない部分である。また、台地は土壌の固結の程度が強くなり、沖積平野より河蝕に強い。

東部 Barind 台地の最南端に Dacca 市が位置する。^(註1) Barind 台地は沖積平野との境で数 m から 10 数 m の崖をなすが、侵蝕のため不明瞭な所も多い。

Meghna 川左岸には沖積平野が最近の地盤運動で隆起して生じた海拔 3~6 m の Tippera Surface とよばれる沖積台地がある。

これらの山地、洪積台地、沖積台地を除く範囲が現河川の氾濫の及ぶ沖積平野である。沖積平野は日本のような造山帯においては扇状地、自然堤防(後背湿地)及びデルタの地形要素の組合せからなっている。³⁾ Bangladesh も Alps-Himalaya 造山帯に属し、このエッの地形要素が見られる。

扇状地は西部 Barind 台地、Jamuna 川及びそれに沿う狭い範囲及び Shillong 高原の山麓に分布する。西部 Barind 台地の北端は Himalaya 山系に源を発する Tista, Karatoya, Atmi 等の河川の形成する扇状地堆積物でおおわれている。この扇状地は礫が少なく、主として砂である。これはこの

地域が亜熱帯であるため、岩石の化学的風化が盛んで石炭が生産されにくいことと関係がある。

Jamuna川について見ると国境より Sirajganj までは網状流をなし、扇状地河川の特徴を示している。ところが Sirajganj より南では蛇行状を示し、自然堤防地帯河川の特徴を示している。したがって、現河道については Sirajganj を境として扇状地と自然堤防に分けることができる (Fig. 2-7, 2-8)。

Ganges川合流点以南は主として Ganges川により形成された平野である。Ganges川平野では Calcutta - Khulna - Gopalganj - Madaripur を結ぶ線までが自然堤防地帯であり、それより南部は感潮デルタの地域にあたる。Khulna市も自然堤防の上に位置する。自然堤防と自然堤防の間は後背湿地となっている。感潮デルタの部分は Sundarbans と呼ばれる森林地帯であり、マングローブ、ニッパ椰子、カナヅリ、ジャ (Geac) 等がある。

(2) Brahmaputra - Jamuna 川平野の地形発達

(1) 海面変動の影響

沖積世には氷河性海面変動があったことは周知の事実である。^{5),6)} それと一般的に、Würm氷期の最盛期(約25,000年前)には100m近い海面低下があったと云われている。また、当時は山地では気温の低下にともない雪線も低下した。^(註2) このため、雪線より高い部分はもちろん、雪線より下の方でも岩石の物理風化が激しかったので、多量の岩屑が河川に供給され、山麓に大型の扇状地が形成された。日本ではこの時形成された扇状地礫層が沖積層下に見られるのであり、⁷⁾ 韓国でも、⁸⁾ また台湾、更に Mekong 川の Vientiane 平原のような亜熱帯地域でも見られるのである。⁹⁾

この Brahmaputra - Jamuna 川平野では、今回地質班の作成した Aricha, Sirajganj, Gabargaon, Bahadurabad の左岸での地質柱状図がある。その他、既に Aricha 沖の川、Bogra には他機関で作成された地質柱状図があり、Sirajganj には中華人民共和国によって作成された地質柱状図がある。地質班の調査結果については別に詳細な報告がなされるので、ここでは他機関で作成された地質柱状図を中心に、地質班の地質図を参照しながら、この平野の堆積過程を見ていきたい。

Aricha では海拔 -78 m , Bogra では -38 m から下へ厚さ 20 m ほどの礫層が見られる (Fig. 2-5)。また地質班の地質柱状図によれば, Aricha で -70 m , Sirajganj で -60 m より下に礫層があり, Sirajganj の礫層の厚さは約 10 m である。これより上部は砂またはシルトからなっている。礫層の表面の勾配は Bogra, Aricha 間で $0.34/1,000$, Sirajganj, Aricha 間で $0.38/1,000$ で現地表面の勾配 (約 $0.04 \sim 0.05/1,000$) よりは急である。これらの礫層はその深さ, 厚さ等より考えて, 対比できるものと思われる。

Würm 氷期に Barind 台地に当時の低海準に対応して谷が刻まれ, その谷底に扇状地が形成された。その後気温の上昇にともなって森林限界も上昇し, 山地から平野へ供給される物質は礫から砂にかわった。この扇状地礫層は Würm 氷期に堆積したものであり, その上の砂, シルト層は後氷期の堆積である。

これらの礫層は前述のように日本²⁾, 韓国²⁾の海岸部の平野でも見られるわけであるが, 日本の場合はこの上に海成層がある。しかし, Jamuna 川平野では海成層は見られない。これは Aricha がかなり内陸に位置していること, 河川の堆積量が少なく, 海進を上廻って堆積が^(註3)つづいていたことによると思われる。

なお、Gabargaon 及び Bahadurabad にこの礫層が見られ
ない。このことについては地質班の報告を参照されたい。

(ii) 地盤運動の影響

Barind 台地は沖積世以来、また Tippera 面は沖積世以来
隆起した所である。一方、Jamuna - Brahmaputra 川、Old-
Brahmaputra 川沿い等にある沖積平野は地盤の沈降が続
いた所である。そして、台地の周辺は多くの断層崖でかまれて
いる。¹⁾ Sylhet 盆地は海岸より 250 Km 以上離れているのに地
盤高は 3 m にすぎず、一大湿原となっている。ここでの地質調査
ではかつて地表にあった樹木が埋木として発見されており地盤
沈下のあったことを物語っている。Bangladesh は全域 Alps -
Himalaya 造山帯に属し、このような地盤の隆起と沈降が続いた
のである。地震も 1762, 1775, 1812, 1888, 1897, 1912 年
に起っている。ただし、日本に比べると回数はい少ないようであ
る。その結果 Ganges 平野の北西部は隆起し、同じく南東
部は沈降したのである。

(3) Ganges 川の流路変遷

地盤運動の激しいこと、平野の地形勾配が著しく緩かなこと、砂礫の堆積量が多いこと、人工による河道の固定が全くなされていないこと等のため、Ganges, Brahmaputra-Jamuna 両川の河道変遷は著るしかった。その有様は黄河の河道変遷にも例えられよう。

Ganges 川は Himalaya 山脈の Gangotri 山 (6614 m) に源を発し、Hindustan 平原を東へ流れ、Ganges 平野に出で、Jamuna 川へ合流する。本流より Himaraya 山脈の山麓までを上流部、Rajmahal 丘陵と Shillong 高原によって形成されている狭帯部まで、すなわち、Hindustan 平原を中流部、それより Bengal 湾までを下流部とする。ここで議論するのは下流部である。Ganges 川は本流延長 2,580 km、流域面積 95 万 1,600 km² の大河である。¹⁰⁾

1964 年 Dacca で開かれた UNESCO の湿潤熱帯デルタシンポジウム^(註4) で Ganges 川の流路変遷について 2 つの異なった説が発表された。インド灌漑局の Nagaraja 氏はかつての Ganges 本流は今の Hooghly 川であって、その後次第に東へ移り、現在の河道をとるに至ったと述べた。英国のインド進出当時は Calcutta の上流の港が使用されていたが、流路変遷にともない河道が

成くなり、そのため下流の Calcutta へ港が移された。また、Ganges 川と Hooghly 川との間にある Ichamati, Jalang, Garai 等の派川はこの流路変遷の過程で生じたものである (Fig. 2-6-1)。この説はその後インド地質調査所、インドの地理学者によって一般的に支持されている。

Pakistan の Chowdhry 教授は Ganges 川の河道変遷について次のように述べた。A.D. 150 年の Ptolemy の地図に既に今日の Ganges 川が記されており、英国博物館にある W. Bolts のベンガル地図にも今日の Ganges にあたるものを大 Ganges, Hooghly にあたるものを小 Ganges と記している。また、室内実験でも分流がおこり、首約 2 つの河道の存在が裏付けられた。そして、Ganges 川の方が Hooghly 川より河道が大きいにもかかわらず、本流の河口の方が Hooghly の河口よりデルタの進出が遅いのは、ここが地盤の沈下地帯にあっているためである¹⁾。この説は主として Pakistan 及び Bangladesh の地理学者によって支持されている。

筆者がデルタを調査したところ、デルタの東部と西部とでは地形上いくつかの相違点があり、西部の方が形成時代が古く、地盤高も高く、すでに侵蝕の時期に入っているのに対し、東部は新しく、地盤高も低く、堆積中であることがわかった⁴⁾。このことは西高東低の地盤運動の継続を意味するものであり、Ch-

owdly 教授の云うように、昔より 2つの河道が存在していたとしても、かつて Hooghly 川は現在より大きく、流量も多かったのが、次第に流量と減ってきてきたのであり、一方、Ganges 本流は次第に流量を増し大きくなって来たものと考えられる。

(4) Jamuna - Brahmaputra 川の流路変遷

Brahmaputra 川は Himalaya 山脈の北側の Manasarwar 湖に源を発し、Tibet 高原を東へ流れ、Himalaya 山脈と横断し、Assam 平原を西へ流れ、Bangladesh へ入り、Aricha にて Ganges 川の水と合せ、Chandpur 北方において Meghna 川に合流する。本流延長は Ganges 川より長く、2,900 Km であるが、流域面積は狭く、58万 Km² である。これは Brahmaputra 川には支流が少ないためである。Bangladesh では一般的には Jamuna 川とよばれている。

1764 ~ 1779 年にわたって Bengal 地方を調査した Major James Rennell の地図によれば、Brahmaputra 川は Jamalpur 及び Mymensingh を通っており、現在もここに河道があって Old-Brahmaputra 川とよばれている。そして、現在の Jamuna 川の河道にあたる所には一本の細い Brahmaputra 川の支川が流れしており、この細流は上流側が Jhinai、下流側が Jamuna とよばれていた。

Hirst によれば Old Brahmaputra から現河道への大転換は 1720 ~ 1830 年にかけて徐々に行われた。そして 1830 年をもち、Rennell の作図後僅か 50 年で完全に流路をかえたのである。また、Buehan Hamilton は 1810 年に Old-

Brahmaputra がまことに流路をかえんとしており、1830年には完全に流路をかえたと言っている。1810年には Thinal の河道が大きくなり、周辺部に洪水がおこったと云われる。

Fergusson は、時代はわからないけれども、かつて Brahmaputra 本流が現 Jamuna 川本流の河道を流れていたことがあると述べている。また Morgan と McIntire は Brahmaputra 川級の大河川の跡が Shillong 高原の南麓にそとあることを報告している。¹⁾

筆者は Jamalpur で第 2-6-2 図のような Old Brahmaputra の堆積断面を見た。下部の砂の部分がかつてここが本流であつて流速が速かつた時の堆積物であり、上部の Silt 層は流路変遷が行なわれて以後、流速が遅くなるたからの堆積物で、この断面からも河道変遷が認められる。

◎ 河道変遷の原因

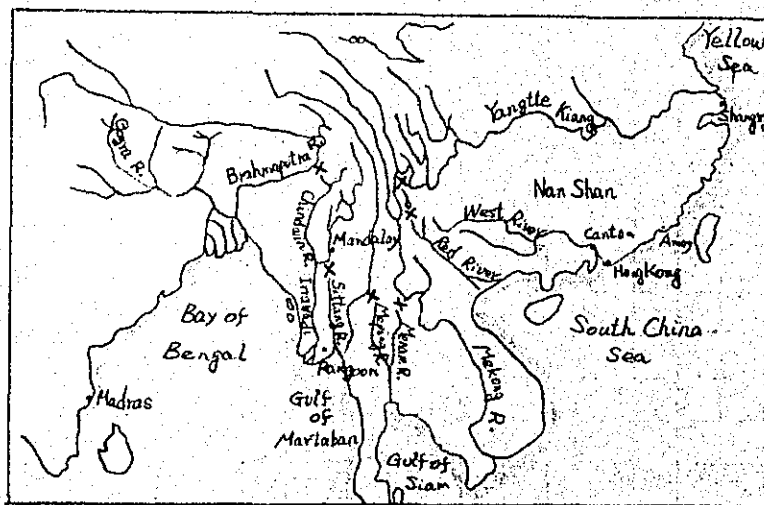
Hirst は Brahmaputra 川の河道の変遷を東部 Barind 台地の隆起と現 Jamuna 川河谷の沈下に帰している。

この Hirst の説に対し La Touche, Hayden, Pasco 等は異議を唱え、Brahmaputra 川の上流の支流である Dihang が Tibet の Tsangpo 川を略奪したため急に水量を増加し、水量の一部は Thinal へ流れこんだと言つたのである。その後更に

1787年に Jista 川が流路をかえて Brahmaputra へそそぐ
 ようになったから一層 Brahmaputra 川は大きくなり、現在の河況
 に近づいたと云うのである。

この Brahmaputra 川の Tsangpo 川の略奪について筆者の意
 見を述べておきたい。Gregory はインド支那から Tibet に
 つづく山脈中で大規模な河川争奪があったことを信じて
 いる。例えば揚子江は Shikok において Red 川の上流を、
 Mekong 川は Mae-Nam-Chao-Phraya 川の支流 Mae-Wang
 川の上流を、Irrawaddy 川は Sittang 川の上流を奪った。そ
 して、当時 Tsangpo 川は Chindwin 川を至て Irrawaddy 川へ
 流れていったのが、Brahmaputra 川によって奪われたと云うので
 ある（下図参照）。

Gregory の推定した河川争奪図（X: 争奪のおこした地点）



これらの河川争奪は小縮尺の地図で見た河系の配置の異状をもとになされた。保柙睦美博士¹²⁾は揚子江と紅河の河川争奪に関する最近の中国の文献を紹介し、谷底石礫の種類及び分布の調査から、揚子江とRed川との間の河川争奪は否定されている。200年前にBrahmaputraがTsangpoを略奪したとは考えられない。

McIntire 教授¹³⁾は流路変遷の原因の一つは東部Brind台地の傾動、今一つは西部Brind台地の傾動によるJista川の流路変遷によるものと述べている。Rennellが作図した当時、Jista川はPurnabhaha, Atrai, Karatoya, Jamunaswariなどいくつかの派川を通して南へ流れ、結局はGangesへそそいでいたが、1787年の一回の洪水で南東へ流路を転じ、Brahmaputra川へ注ぐようになったのである。

この流路の変更によりJistaとBrahmaputra川の合流点付近では洪水を生じ、一部の水はJhinaiへ流れこんだ。また、Jista川の運搬してきた莫大な砂泥によりOld Brahmaputra川には至る所に州を生じ、これが河水の流通を阻害し、Jhinai川への分流を促進した。

そして、河道変遷の結果、Brahmaputra川はMymensingを通過するより短かい河道で海へそそぐようになった。

(5) 河道変遷の結果

Rennellの地図によれば Brahmaputra川の右岸には西から東へ Thinal, Bansil, Banar, Sitalakhya等いくつかの支流がある。そして沖積平野内の水は主として Thinal, Bansil及びその派川の Lokajang, Nanglai, Atai等の派川で排水されていた。ところが Brahmaputra川の流路変遷により、これらの派川の上流部は Brahmaputra川からの流送土砂で埋められた。これらの派川は流量の減少により、主流との関係がなくなり、細流となった。現在 Lokajang, Atai, Thinal川の一部はかつての大きな河道の一部に細流として流れているにすぎない。

この中において、Old Brahmaputra川は今なお若干の水を流している。最大洪水流量は Brahmaputra - Jamuna川の約 $\frac{1}{40}$ にすぎず、乾季は極めて僅かになってしまう。

また堆積物の変化も生じている。Jista, Jorsa, Jaldhaka川等扇状地を流れる川が Jamuna川へ流入してきたため、かつては自然堤防を形成し、主として Silt を堆積していたのに、現在では粗砂を堆積し、扇状地状地形を形成しつつある。

Fig 2-7.8 は Jamuna川をいそ $\frac{1}{50,000}$ の空中写真をもとに作成した地形分類図である。河道より内陸側に扇状地が

Sirajganj のヤヤ上流側までのびて来ている。ところがその中に自然堤防後背湿地地帯が散在している（たとえば、Gabargaon 東部）。この自然堤防は大きさからいっても方向からいっても現在の Jamuna 川のものではなく、かつて Jista 等によって形成されたものである。自然堤防上に位置している集落で調査したところでは、大抵の集落が 150~200 年の歴史をもっていた。またかなりの大木を見ることができた。一方、現 Jamuna 川を川の部路は数年あるいは 10 数年の短い歴史をもつ集落が多く、樹木も少なかった。このことはやはり Brahmaputra - Jamuna 川の河道変遷を示すものであろう。

現在の Jamuna 川をいは Sirajganj 上流側まで扇状地状地形を呈している。しかし、よく見ると河道沿いに中 500 m 以下の細長い自然堤防が形成されつつある。これは僅かづつであるが Jamuna 川が扇状地河川から自然堤防河川へ移行しつつあることを示すものと思われる。すなわち、次第に河床が深くなり、流路が少しづつ安定の方向に向い、洪水が扇状地型洪水から僅かづつであるが自然堤防型洪水（溢流型）へ移行しつつあることを示すものと思われる。

(6) 地形分類図より見た Bahadurabad, Gabargaon, Sirajganj 及び Nagarbari の比較

架橋候補地点を比較するため、それぞれの地点について地形分類図を作成した (Fig 2-7, 2-8)。

分類された地形要素名は左表のとおりである。これらの地形要素は日本のものと比べ名称は同じでも性質はがらり異なるものもある。

地形要素名
Fan
Natural Levee
Back-swamp
Point Bar
Meander Scrol
Dry River Bed
Abandoned River Channel
Water Surface

(i) Bahadurabad 及び その周辺

河道に沿って左右両岸に扇状地が発達している。この扇状地は日本の扇状地が主として礫であるのに対し砂でできており、かつ緩勾配である。これは、この地域が亜熱帯に属し、岩石の化学的風化が盛んであるため、礫が生産されにくいからである。左岸側には扇状地が2列細長く南東へのび、その間にはかつての別の河川によって形成された小規模な自然堤防と後背湿地が散在する。この扇状地は1830年以降形成されたもので、発達の初期段階の地形を呈し、扇状地の間に散在する自然堤防、後背湿地が5する部分は何れ扇状地によっておおわれ

る可能性がある。

(ii) Gabargaon 及びその周辺

Bahadurabad がヤヤ扇頂に近い地形であるのに対し、ここは扇央の地形を呈する。細長い数本の扇状地状地形の間に自然堤防、後背湿地からなる旧堆積平野が散在する。右岸側には著しい旧河道が見られる。

(iii) Sirajganj 及びその周辺

上記 2 地点が主として扇状地であるのに対し、この地点は自然堤防地帯となる。また、Bahadurabad で分派した派川はこの Sirajganj でまた収れられ、Sirajganj 下流側で再び分派をはじめ、すなわち、ここが狭窄部となっているのである。また旧沖積平野と現沖積平野との境は左岸側では数 m の崖となる、右岸の Sirajganj の位置する沖積面もこの旧沖積面にあたると思われる。すなわち、Sirajganj では両岸に古い沖積面があり、この旧沖積面と新沖積面との相違は 4 地点中もっとも明瞭で、左岸と右岸の古沖積面の間隔は Sirajganj でもっとも狭く、約 10 km である。

(iv) Aricha, Nagarbari 及びその周辺

ここは左右両岸で著しい地域差がある。右岸には大きな

後背湿地が展開する。ここは Ganges 川との合流点にあたるため、Ganges の背水の影響をうける地域である。左岸には自然堤防が発達している。これは現在の Jamuna 川によって形成されたものでなく、かつて別の河川によって形成されたものであろう。注目すべきことは、Jamuna 川の東方に中約 3.5 Km の現 Jamuna 川とはほぼ同じ巾の大河が存在していたことである。

以上 4 地点を比較してみると Table 2-1 のようになる。異なる、現 Jamuna 川について言えば、Bahadurabad とび Gabargaon では扇状地河川の、Sirajganj では自然堤防河川の Nagarbari ではデルタ河川の特徴をもっている。

扇状地は元来河道変遷の激しい所である。とくに Bahadurabad は扇頂部に近い地点にあるので架橋地点としては不適当である。^(註5) だが、この地域の河道も少しづつではあるが地形の堆積 Stage が進みつつあり、現 Jamuna 川沿いに巾の狭い自然堤防が形成されつつあり、僅かづつではあるが安定化の方向に向っている（但し、この場合の年数は地形形成の単位で非常に長い）。

自然堤防地帯は河道の比較的安定した所である。自然堤防は水が上流から下流へ流れることによって形成されるのではなく、河道から周辺へ溢流することによって形成されるのである。

り、河道が安定してはじめて形成されるものである。この点から云えば Sirajganj は比較的安定した地点と云えよう。

Aricha 及び Nagarbari でも自然堤防が見られる。しかし、ここは Ganges 川の影響をうける地域であり、年度別の空中写真を見ても河岸変遷のもとも著しい所である。また、右岸に展開する後背湿地は Ganges 川の背水の影響をうけて形成された所で、デルタの様相を呈する。Aricha 及び Nagarbari は Ganges の影響が入ってくるので複雑な条件下にあり、地形の立場からは架橋には他の地点より劣ると思う。

以上現河川と地形要素の点から見て、優劣を決めると Sirajganj、Gabargaon の二つが他の二地点より優れている。

次に堤内地あるいは内陸部と氾濫原のちるび旧沖積平野の分布より考えて見よう。4架橋予定地点とも乾季において中の狭い所がえらばれたことは事実である。ところが雨季の洪水期には氾濫範囲が拡大する。したがって、堤内地あるいは内陸部の地形を見る必要がある。氾濫範囲及び雨季の洪水の状態は地形分類図から推定することが可能である。

Bahadurabad 及び Gabargaon には扇状地が分布する。またその間には旧沖積平野が断片的に散在する。この扇状地は洪水時には浸水する地域である。旧沖積平野は断片的で、扇状

地との比高の少ないことから考えれば何れ扇状地化する可能性があり、洪水時には浸水するようになる。ただ、Gabargaonの方が扇状地の下流側にあるため、Bahadurabad には洪水の状況はホドヤカである。

Sirajganj では左岸では 4m ほどの崖をもって旧沖積平野があらわれている。右岸の Sirajganj でもかなりの比高がある。この両者の間隔は 10km である。そして、Sirajganj の上流側で支川（一部旧河道）は収れんし、下流側で分派を始める。

日本の沖積平野でもこのような狭窄部が庄内平野等で見られるが、地下構造を調べると狭窄部は *Anticline* で、川中の広がっている所は *Syncline* にあたっている。もし、この地点の地質調査が将来更に詳しくなされれば、ここが隆起地帯になっていることがわかるかもしれない。

以上堤内地あるいは内陸部を現況氾濫原の中及び旧沖積平野の分布より考えれば、Sirajganj が比較的安定しているようであり、Gabargaon がこれにつぐように思う。

要 約

(i) Bangladesh は山地 (Chittagong 丘陵), 洪積台地 (西部 Barind 台地, 東部 Barind 台地), 沖積台地 (Tippera Surface) 及び沖積平野からなっている。沖積平野は扇状地, 自然堤防及び後背湿地, 感潮デルタ (Sundarbans) からなっている。

(ii) 地質柱状図によれば, Brahmaputra - Jamuna 川平野には Aricha で海拔約 -70 m, Sirajganj で海拔約 -60 m, Bogra で海拔約 -40 m 位に厚さ 10 ~ 20 m の礫層がある。この礫層は Würm 氷期に堆積したものと思われる。

(iii) この地域は Alps - Himalaya 造山帯に属し, 地盤運動が激しい。Barind 台地は洪積世以来, Tippera 面は沖積世以来隆起した所であり, 台地周辺は断層崖にかこまれている。一方, Brahmaputra - Jamuna 川平野, Sylhet 盆地は沈降が続いた所である。

(iv) 地盤運動の激しいこと, 砂礫の堆積の大きいことのためこの平野での河道変遷は著しい。

Ganges 川はかつて Hooghly 川が本流であって, それを次第に東へ移り, 現在の本流が形成されたという説と, 昔から Ganges 本流と Hooghly 川の 2 つの河道が存在していたという説がある。地形上から見て, Sundarbans - Delta では西高東低の地盤運動が認め

られ、仮に古くから 2つの河道が存在していても、Hooghly川は次第に小さく、Ganges川は次第に大きくなったものと思われる。

(v) 1720~1830年にかけて Brahmaputra は Old-Brahmaputra より現河道への転換を行なった。この転換前、現河道には細流が流れており、上流側を Jhinai、下流側を Jamuna とよんでいた。

転換の原因としては Hirst による Barind 台地の隆起、Jamuna川平野の沈降説、La Touche 等による Brahmaputra による Tsangpo川 略奪説、McIntire による Barind 台地の傾動と Jista の流路変遷説等がある。このうち Tsangpo川の略奪説は積成できない。やはり Barind 台地の傾動、Jista の河道変更、Jamuna川平野の沈降、旺盛な Jamuna-Brahmaputra 川の堆積作用の組合せによると思われる。

(vi) Old-Brahmaputra川より現河道への転換のため、かつて Jista川等が形成した自然堤防地帯に Jamuna川による新しい扇状地が形成された。

(vii) Bahadurabad, Gabargaon は扇状地、Sirajganj は自然堤防、Aricha または Nagarbari は自然堤防とデルタの組合せからなっている。地形要素では扇状地が不安定な所である。しかし、Gabargaon は扇状地でも比較的下流側に位置するため、Bahad-

urabad 地は安定している。Nagarbari はデルタ地であるが Ganges 川の影響のため不安定な所である。

また、Sirajganj には Old-Brahmaputra 河現河道への転換前に形成された旧沖積平野による中約 10km の狭窄部がある。しかし、他の地点は旧沖積平野は不明瞭であるかまたは断片的である。この Sirajganj の地形は少なくとも 150 年間比較的安定していたことを示すものである。

以上の点より地形学的に順位をつけるならば次のようになる。但し Sirajganj 地点は現在の Sirajganj の町の地点である。

評価	地点
C	Bahadurabad
B'	Gabargaon
B	Sirajganj
C	Nagarbari (Aricha)

参考文献

- 1) GM J. P. Morgan and W. C. McIntire : Quaternary Geology of The Bengal Basin , East Pakistan and India , Bulletin of The Geological Society of America 70 , 1959 .
- 2) GE Center for Urban Studies : Bangladesh Geographical Account .
- 3) GM 大矢雅彦 : 沖積平野における地形要素の組合せの基本型 , 早稲田大学教育学部学術研究22号 , 1973 .
- 4) GM 大矢雅彦 : 濁水溪 , チャオ・ピャ、イラワジおよびガンジス平野の地形と洪水の比較 , 地理学評論 37-7 , 1964 .
- 5) GM Wilhelm Ramsay : Changes of Sea-level Resulting from The Increase and Decrease of Glaciations , 1930 .
- 6) GM 吉川虎雄 : 海面変化と地形発達 , 朝倉書店 自然地理学Ⅱ 第3章第1節 , 1969 .
- 7) GM 井関弘太郎 : 日本周辺の陸棚と沖積統基底面との関係について , 名古屋大学文学部研究論文XIV ,

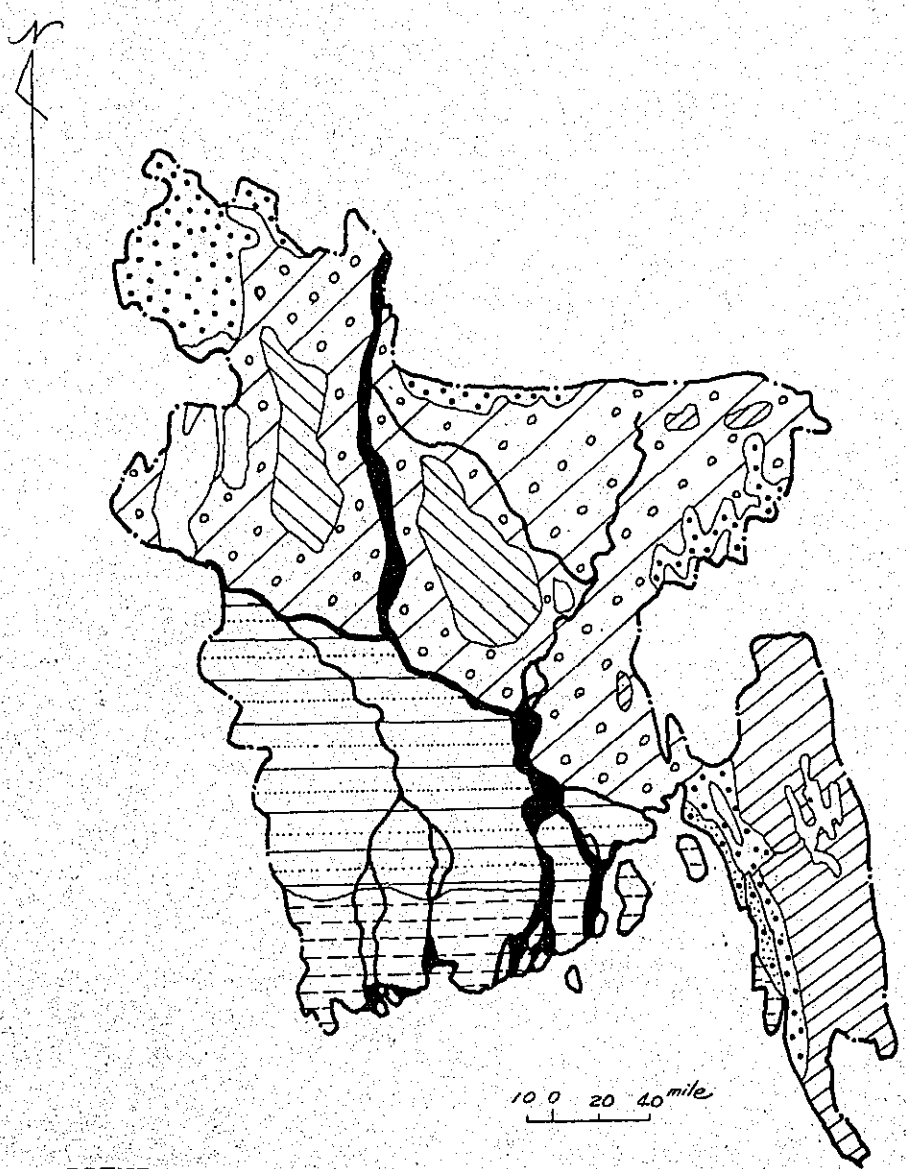
1956.

- 8) GM Masahiko Oya : Geographical Flood Analysis on The Naktong River Basin , Southern Korea , 1973 .
- 9) GE Masahiko Oya : Geographical Study of Flood Immediately Down-stream from Pa Mong in The Mekong River , 1967 .
- 10) GE Mountains and Rivers of India, 21st International Geographical Congress , 1968 .
- 11) GM M. I. Chowdhury : On The Gradual Shifting of The Ganges from West to East in The Delta Building Operations , Proceeding of The Dacca Symposium , 1964 .
- 12) GM 保柵睦美 : 揚子江上流-金沙江の争奪問題, 地学雑誌 76-3 , 1967 .

註

- (註1) *Dacca*の立地条件は東京と似ており、東京では皇居が武蔵野台地の東端に位置するが、*Mugar*帝国時代に築かれた*Dacca*城も中部*Barind*台地南端に位置している。東京は低地が工業地帯、台地と低地の境が銀座、日本橋等の商店街、台地が政府諸機関の建物及び住宅街となっている。*Dacca*も河川をいの低地が*Old Dacca*とよばれ、商業、工業の中心地であり、台地が新*Dacca*で政府諸機関、住宅地であり、地形と土地利用の関係は東京と似ている。
- (註2) 年間を通じての融雪量と積雪量が等しくなる高さを結んだ線を雪線という。*Würm*氷期に日本アルプスでは2600~2700mにあった。そして森林限界は1000mにまで低下した。(現在は約2500m)
- (註3) 黄河の場合も堆積量が大きく、海成層が見られないという。
- (註4) *Symposium on Scientific Problems of the Humid Tropical Zone Deltas and Their Implications.*
- (註5) *Bangladesh*側としては*Old Brahmaputra*との関係から*Bahadurabad*には若干の疑問をいだいている。

Fig. 2-4 Geomorphological Land Classification Map
in Bangladesh



LEGEND



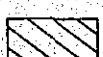
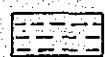
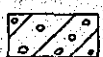

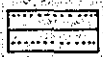

- | | |
|---|---|
|  : Hill |  : Fan |
|  : Terrace |  : Tidal area |
|  : Flood plain |  : Delta |
|  : Delta |  : Coastal plain |

Fig. 2-5 Geological Record of the Bore Holes at Aricha and Bogra

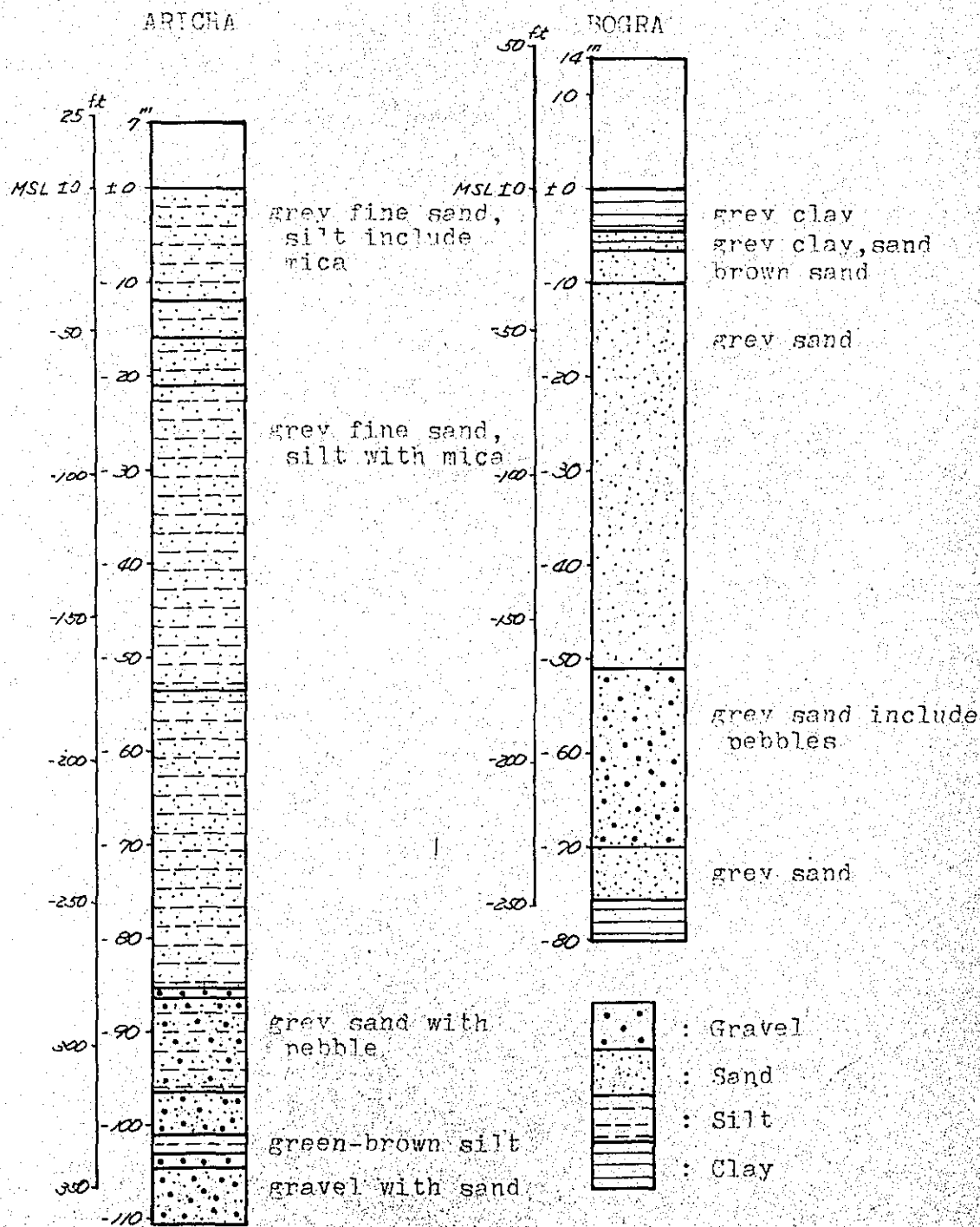


Fig. 2-6-1 River System in the Ganges — Jamuna Rivers Plain

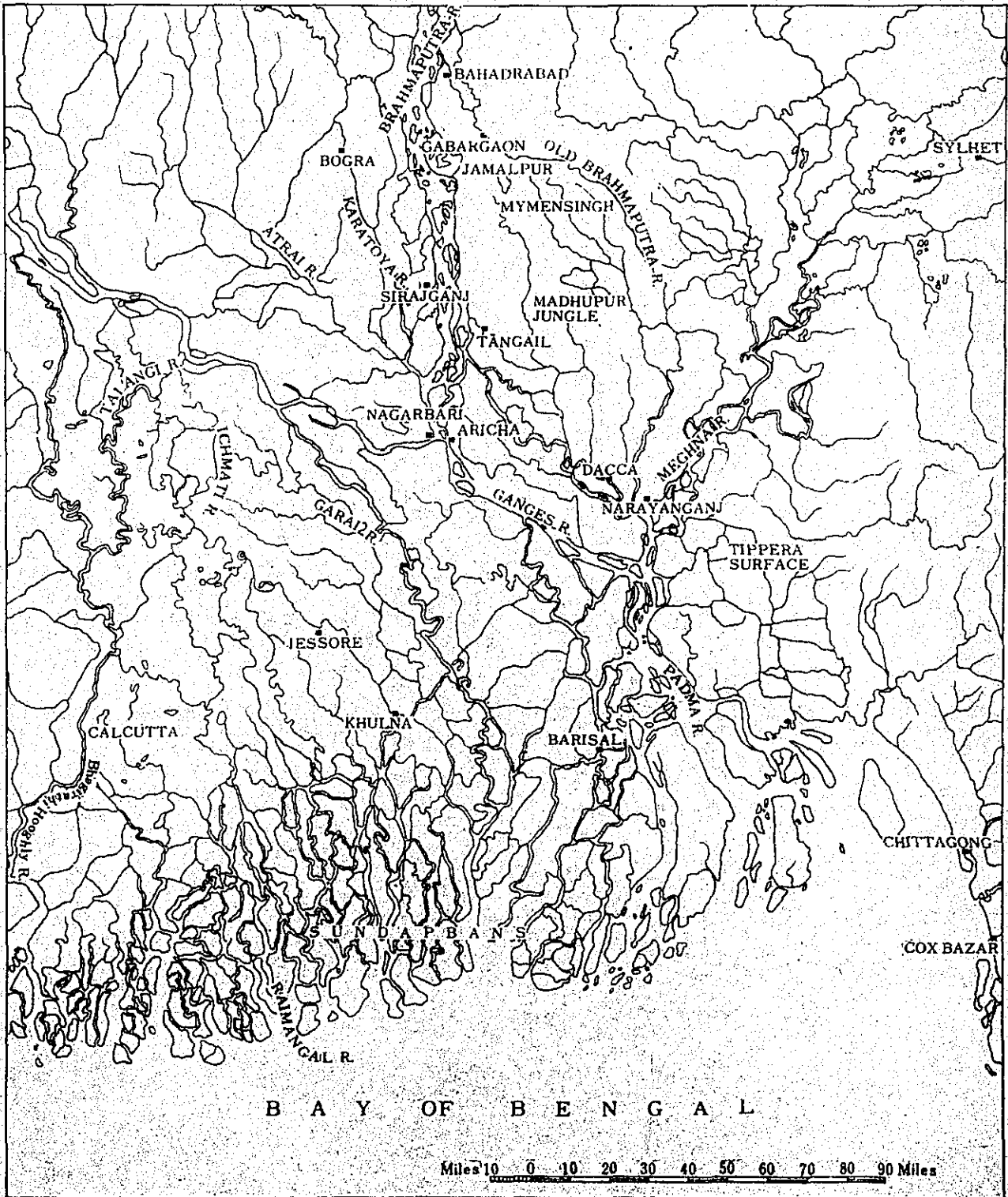


Fig.2-7 Geomorphological Land Classification Map of the Jamuna River Basin

Bahadura bad, Gabargaon and It's Surrounding Area

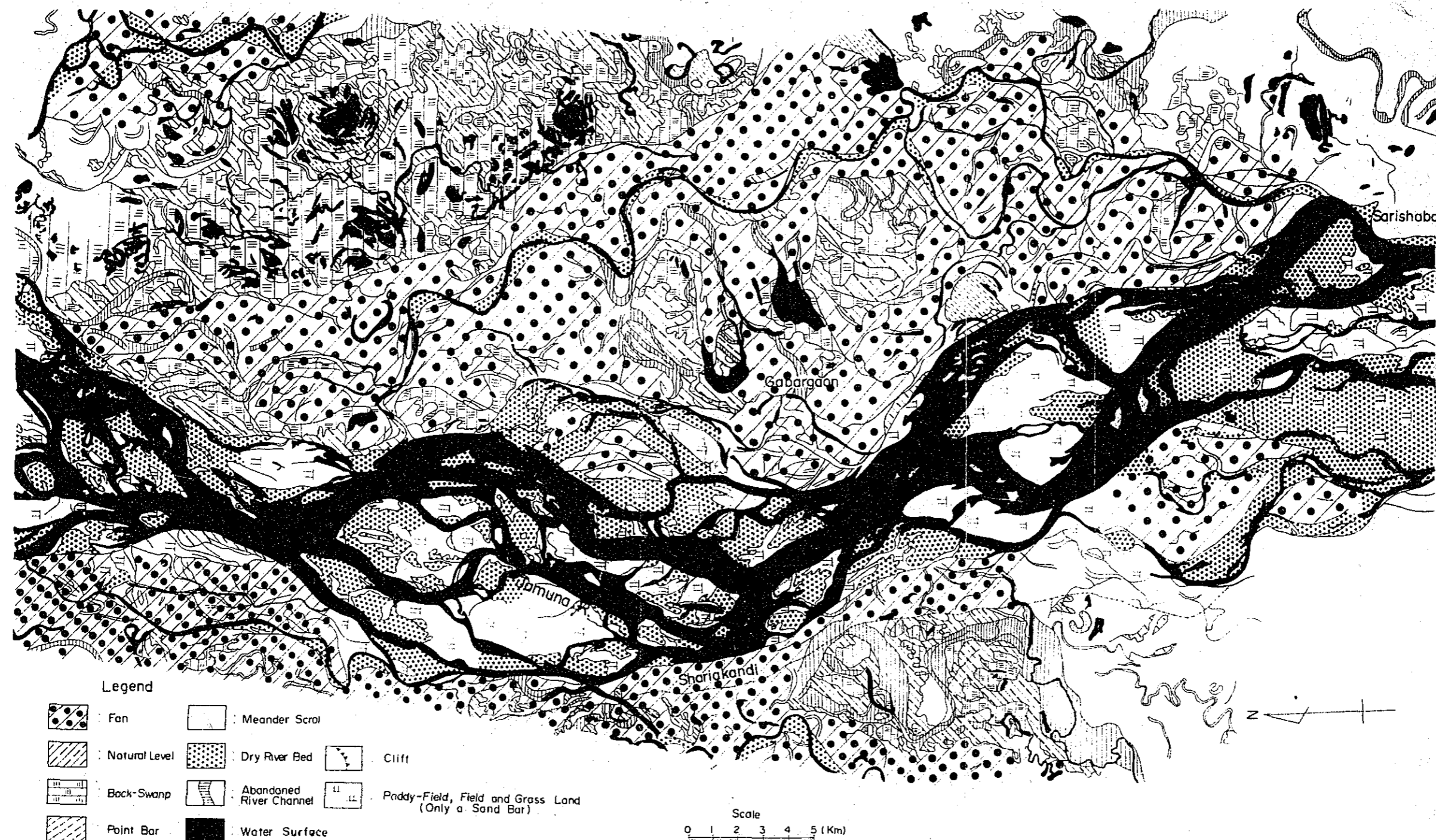












Fig.2-8 Geomorphological Land Classification Map of the Jamuna River Basin

Nagarbari, Aricha and its Surrounding Area

Sirajganj and its Surrounding Area



Legend

-  : Fon
-  : Natural Levee
-  : Back-Swamp
-  : Point Bar
-  : Meander Scrol
-  : Dry River Bed
-  : Abandoned River Channel
-  : Water Surface
-  : Clitt
-  : Paddy-Field, Field and Grassland (Only a Sand Bar)

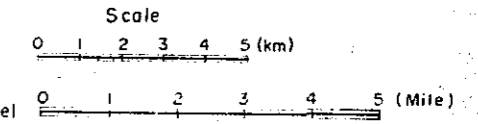


Table 2.1. Comparison geomorphology among the four proposed bridge sites

Item of Comparison	Geomorphology of inland region		
	Left bank	Right bank	
Place Name	Geomorphological element	Geomorphological element	
	Deposition by Jamuna River	Deposition by Jamuna River	
	former river	former river	
BAHADURABAD	Braided stream	Alluvial fan	Natural levee
	Alluvial fan	Natural levee	Alluvial fan
		Back-swamp	Natural levee
		Point bar	Back-swamp
	Former river course (big)		
GABARGAON	Braided stream	Alluvial fan	Natural levee
	Alluvial fan	Natural levee	Alluvial fan
		Former river course (big)	Natural levee
		Back-swamp	Back-swamp
SIRAJGANJ	Natural levee	Natural levee	Natural levee
		Back-swamp	(big) Back-swamp
		Former river course (clear)	
NAGARBARI	Natural levee	Natural levee	Natural levee
	Change of the river bank is remarkable	Back-swamp	Back-swamp
		Delta	Delta

3. 河道地形学的特性

(1) Bankline の変遷

事跡調査報告書によれば BIWTA は 1830年から 1960年の間に割と長い Bankline に関する資料を有している。その基に Fig. 2-9 に示した様に Bankline の変遷図として整理した。

次の項(2)で述べる様に、この川の Bankline は Jamuna 河本川から分派し、再び合流する支流川をも含めた河道部の堤内側の Bankline を示している事が判る。

この川の資料を用いて、Bankline と河幅の変遷を 1830年のこれを基準として示さるべし。Fig. 2-10のうち最初のものは Jamuna 河道に沿って緯度で 1 分刻み毎の地点での河幅の変化を示している。第 2 図と第 3 図は河道沿いに同じく 1 分刻み毎の地点における左右岸の各々の Bankline の変動量を 1830年を基準として示したものである。

この川の図から架橋予想 4 地点はまさしく河幅のはげしく変動する河道のいわゆる“結節部”に位置している事が判る。この川の各結節においては Bankline の変動が比較的安定していることが判る。

Fig. 2-11-1~2 は 1830年を基準とした時の各架橋予想地点における河幅と Bankline の時間的変動を表している。

同図から Nagarbari site を除いた各 site (Sirajganj, Sabargaori, Bahadurabad) の河幅はほとんど一定であり、Bankline の変動量も又、前期 30 年間に除いたほとんど一定である。一方 Nagarbari に於ける変動はきわめて大きい。

(2) Char 及び沖筋の変遷

1952年、1963年、1970/71年、各乾季に S.O.D により撮られた航空写真が Jamuna 河のほとんど全区間をカバーしてゐることが判つてゐる。Fig. 2-12-1 と Fig. 2-12-2 は主要水路と主要水路から分岐し再び合流する小支流川を合流の全水路を重複合せたものである。

この図から云へることは次の通りである。1) Jamuna 河は典型的な網状河川である。2) 4 架橋予想地帯は他の区間と比較して安定してゐる。3) 乾季に於ける主要水路の幅は約 2 Km である。

(3) 横断面による変遷

Jamuna 河に於ける横断測量は Fig. 2-13 に示す様に補助断面を中間に持つ 8 マイル毎の interval の BWD B の予て定期的に実施されてゐる。今回収集した横断面の断面番号及び測量月日は Table 2-2 に示した通りである。このうち

調査に用いた横断面は 1965/66, 1966/67, 1967/68, 1968/69, 1969/70 及び 1971/72 に計るものがある。

Fig. 2-14 は Ganges 河との合流点 (J#0-1) から Tista 河の合流点上流 (J#17) までの河道に計る次に示す各特性の縦断的变化を示したものである。このことは 1) 平均地盤高 2) 最深河床高 3) 平均地盤以下の最大水深 4) 平均地盤以下の平均水深 5) 最大水深と平均水深との比 6) 地盤面に於ける河幅 7) 平均地盤以下の河槽 の 7 項目である。

この各図から次の事が云える。すなわち 1) 地盤勾配は約 $1/13000$ であり、下流 9 km の区間は約 $1/20,000$ である。2) 最深河床は地盤面におおよそ平行 すなわち下流に行くほど増す傾向にはあるが全区間にはわたり最大水深は約 15 m と一定である。3) 平均水深は全区間におおよそ 5 m と一定。4) 平均地盤に於ける河幅及び河槽は非常に大なる変化を伴って上流に向い増える傾向である。

次に Nagarbari site に計る代表断面とこれと J#3-1 断面同じく Sirajganj の J#6, Gabargaon の J#11-1, Bahadurabad の J#13 を選んで 1965/66, 1966/67, 1967/68, 1968/69, 1969/70 及び 1971/72 に測量した横断面図を重複合せ Site 別 Fig. 2-15-1~4 に示した。この各図から char や

→ 玉筋の变化はきわめてはげしく、玉筋の位置は同一
横断内では常に固定してゐる状態であることがわかる。

4. 河床材料

河床材料の採取及びその解析は Bangladesh 国内の主要河川の多くの地塊において BWDB の手により行われていた。このうち Jamuna 河及び Padma 河に関する河床材料の特性を明らかにする上から Fig. 2-16 に示した 16 地塊を選んだ。

まず最初に粒径の横断的分布をみるために比較的豊富な資料をもつ Bahadurabad を選り Fig. 2-17 に示す様な D_{65} 粒径の分布図を作った。このより同一横断内では粒径の分布はほとんど一様であり、変化は認めがたいと文える。

次に、粒径の季節的变化を明らかにするために資料の豊富な Nakfaterchar, Nagarbari の 2 地塊を選定し 1968 年と 1969 年について月別には D_{65} 粒径をプロットし Fig. 2-18 に示した。この図によれば河床材料の粒径は、洪水期にははるかに大きくなり、乾季においてははるかに小さくなる傾向のある様に見える。しかしながら現在の調査では資料のばらつきのため、 D_{65} の平均値を用いることにする。

16 地塊の D_{65} , D_{60} , D_{mean} 及び均等係数は Table 2-3 の如くである。Table 2-3 に示した D_{mean} , D_{60} , D_{65} の関係は Fig. 2-19 の如くであり、 D_{65} と D_{mean} はほぼ一致し資料の少ない D_{mean} に代り D_{65} の採用の妥当性を

裏にけつし。

Fig. 2-20 は Padma 河の Chandpur から Jamuna 河の
Chilmari までの河道区間の平均粒径 R_w 均等係数の縦断的
変化を示している。よって Bahadurabad から Chilmari
までの区間を除いて Jamuna 河の D_{65} はほとんど一定で
0.17 mm である。Ganges 河の D_{65} も 0.17 mm である。

5. 浮遊砂

(1) 浮遊砂観測資料

Jamuna河及びGanges-Padma河では、BWDBが低水期を除く年間の浮遊砂観測を実施している。観測年と観測地等は、Table 2-4に示すところである。また、浮遊砂観測は、Fig 2-21に示す Binkley Suspended Sediment Sampler を使用して行われている。

BWDBは浮遊砂を2種類に分類している。つまり、0.05mmより粗い coarse sediment と 0.05mmより細かい fine sediment である。fine sediment は BWDBの流砂に関する報告書中では、wash load とも呼ばれている。

Chilmari, Nakfater Char 及び Nagarhari の3観測所の河床材料粒度曲線のうちから、次の基準で代表的なものを選出し、Fig. 2-22に示した。

- 1ヶ月の間は、数箇所の河床材料採取が行われている場合には、その月の最初の資料を送出する。
- 同様に、或は一断面内の数箇所の河床材料が採取されている場合には、その河道を代表すると思われる最深部に於ける資料を送出する。

Fig. 2-22 によれば、高水期には、粒径が粗く、低水期には

は、粒径が細くなることかわかる。これは、高水期には水中に浮遊している細粒砂が河床に沈澱し、河床表面の河床材料の粒径が高水期より細くなるためである。Fig 2-22は、また高水期には0.05mmより細い物質が河床材料中に含まれていないことを示しており、このことから、水中の0.05mmより細い物質を wash load と見做すこととなる。

(2) 浮遊砂に関する若干の検討

M. L. Rasul 等により、流砂観測に基づき、全断面流砂量が求められており、Chulmari, Bahadurabad, Nakfater-Chur, Bw Nagarhari に於ける流砂量と流量と共にプロットすると Fig. 2-23 のとおりである。この図のうちの wash load を含まない資料として使っているのは Bahadurabad の1966年～1969年の期間の資料だけである。

いま、単位時間当りの全断面浮遊砂量を Q_s 、流量を Q とすると、両者の関係が次式で表現出来ることによく知られている。

$$Q_s = K Q^n \quad (1)$$

ここに、 n はほぼ2に等しい指数であり、 K は、河川状態及び河床材料により決まる定数である。このことは、昔川が浮遊砂

1. 関于研究の中、明らかにしてあり、彼は充分な水路の
 浮遊砂量を次式で表わした。

$$Q_s = KQ^2/A \quad (2)$$

∴ A は、流心断面積である。

一方、此藤は、掃流砂量が多いほど、流量に比例し、次式
 で表わされたことを示した。

$$Q_b = K'Q^{0.9} \quad (3)$$

∴ Q_b は掃流砂量、 K' は定数である。

従って、流砂量 Q_t は

$$Q_t = Q_b + Q_s = K'Q^{0.9} + KQ^2/A \quad (4)$$

高水期には、浮遊砂量が支配的であり、低水期には、
 掃流砂量が重要な役割を果たす。

全流砂量と与えられたもの Brown 公式は、

$$\frac{q_t}{u_* d} = \frac{10 u_*^4}{\{(\sigma/\rho) - 1\}^2 (gd)^2} \quad (5)$$

∴

u_* = 摩擦速度
 d = 河床材料粒径
 σ = 河床材料容積
 ρ = 水密度
 g = 重力加速度
 q_t = 単位幅流砂量 (容積)

河道幅 B , 水深 $R (= A/B)$, 平均流速 v , 粗度係数
 を n 及び水面勾配を I とすれば

$$v = \frac{1}{\pi} R^{3/2} I^{1/2} \quad (6)$$

$$Q = Av \quad (7)$$

$$u_* = (gRI)^{1/2} \quad (8)$$

(6), (7), (8) 式を (5) 式に適用すると

$$Q_t = aQ^{2.25} / A^{5/4} \quad (9)$$

ここで Q_t は全断面流砂量 (実重量) である。

$$Q_t = q + B \sigma q$$

a は、次式で表わされる定数である。

$$a = \frac{100 \sigma n^{9/4} g^{3/2} I^{1/8}}{d(\sigma/\rho - 1)^2} \quad (10)$$

(9) 式から、大流量の場合には、流砂量が、流量の 2 乗にほぼ比例することになる。また、(9) 式は、次の如く書きなおされるので、低水位時にはほとんど流量に比例する。

$$Q_t = a(Q/A)^{5/4} Q$$

ここで Q/A は、流量が小さいときほとんど一定である。

結局、高水時の Jamuna 河 流砂量は、 Q^m (m はほぼ "2" に等しい) と含む式、言いかえれば、透過砂量 Q_s で表わされるであろう。

従って、流量が $5000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上の場合の Jamuna 河

流砂量を次式で検討する。

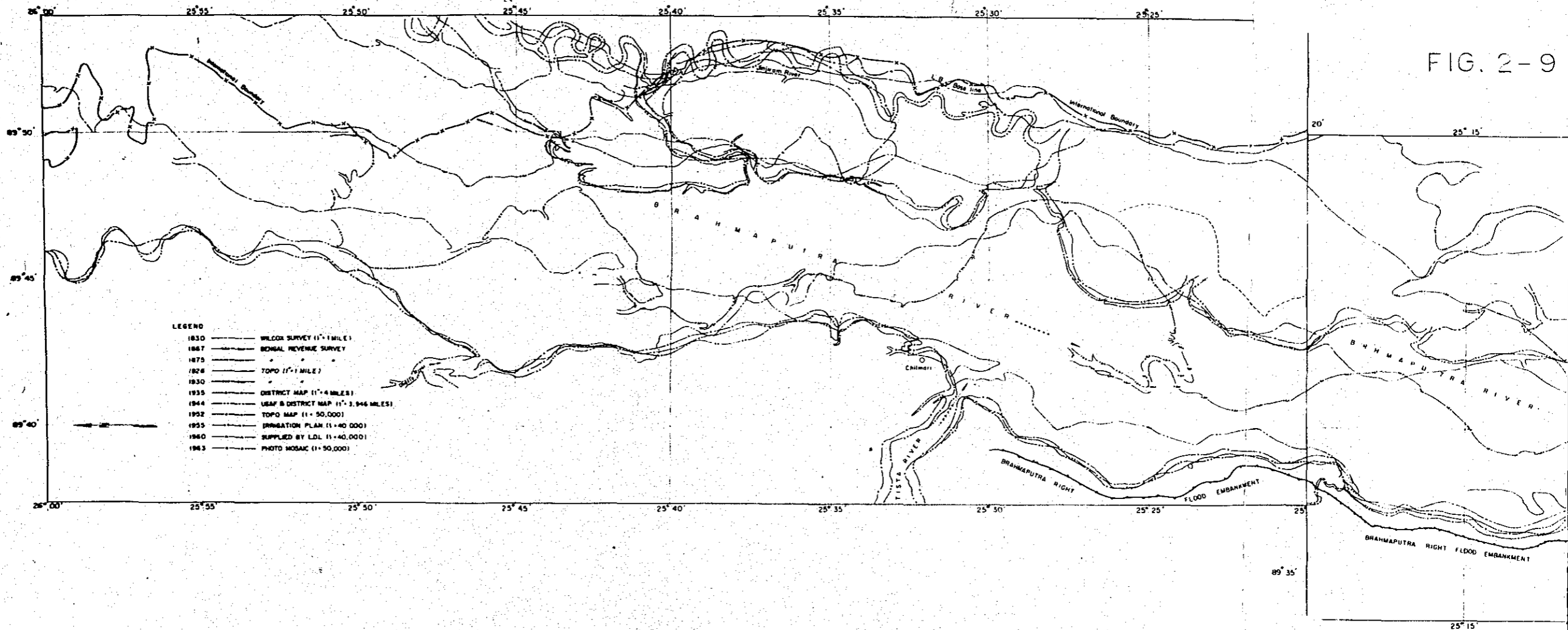
$$Q_s = kQ^n/A \quad (11)$$

検討に際し、 $Q-A$ 曲線が必要である。これは、1973年の雨期に測量隊が測量した No B-8 断面を用いて作成した (Fig 2-24)。この曲線を用いて、(11) 式中の定数 k 及び n を求めると、結局 Jamuna 河の浮遊砂は次式で表わすことが出来る。

$$Q_s = 2.80 \times 10^{-5} Q^{2.19}/A \quad (12)$$

すなわち Q_s の単位は (t/s) 及び、流量 Q は (m^3/s) である。

FIG. 2-9



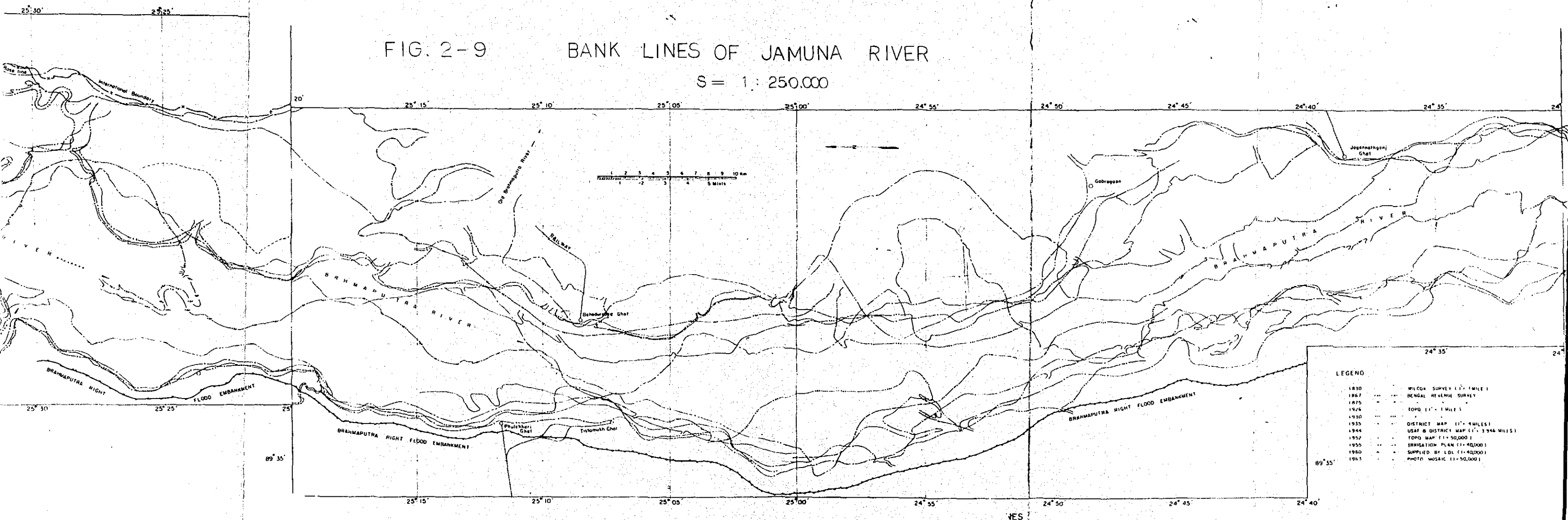
50

1
2

FIG. 2-9

BANK LINES OF JAMUNA RIVER

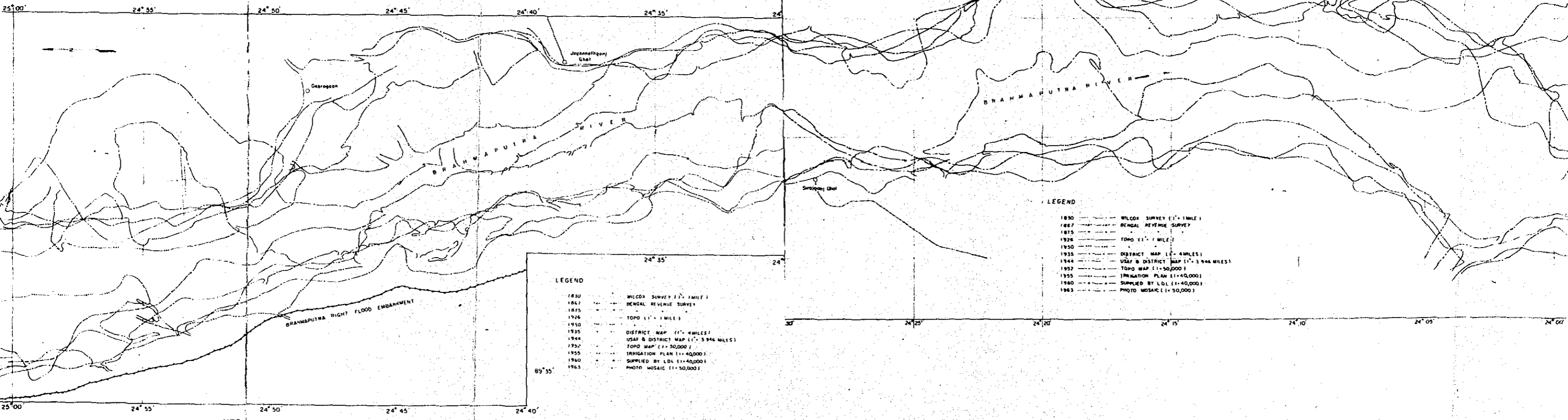
S = 1 : 250,000



LEGEND

1830	WILCOX SURVEY (1" = 1 MILE)
1867	BENGAL REVENUE SURVEY
1875	
1924	FOPO (1" = 1 MILE)
1930	
1935	DISTRICT MAP (1" = 4 MILES)
1944	USAF & DISTRICT MAP (1" = 3,946 METERS)
1952	FOPO MAP (1" = 50,000)
1955	IRRIGATION PLAN (1" = 40,000)
1960	SUPPLIED BY I.D.L. (1" = 40,000)
1963	PHOTO MOSAIC (1" = 50,000)

MUNA RIVER
0.000

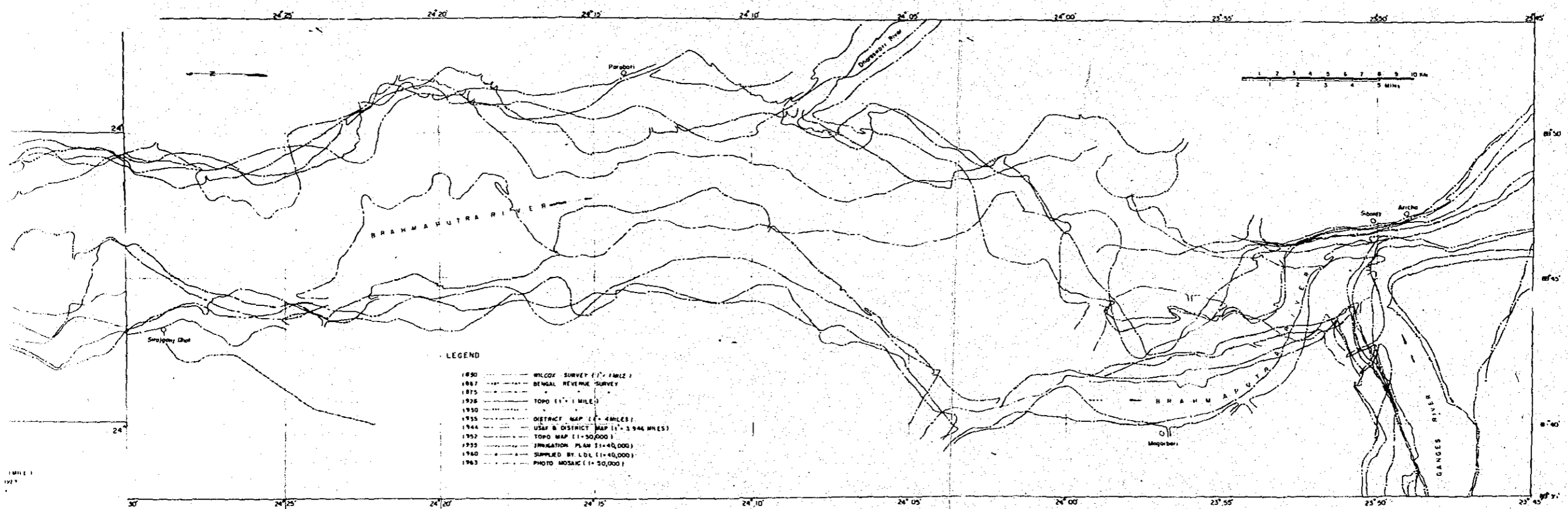


LEGEND

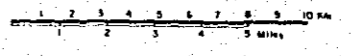
1830	WILCOX SURVEY (1" = 1 MILE)
1867	BENGAL REVENUE SURVEY
1875	TOPO (1" = 1 MILE)
1926	TOPO (1" = 1 MILE)
1930	DISTRICT MAP (1" = 4 MILES)
1935	USAF & DISTRICT MAP (1" = 3.944 MILES)
1944	TOPO MAP (1" = 50,000)
1952	TOPO MAP (1" = 50,000)
1955	IRRIGATION PLAN (1" = 40,000)
1960	SUPPLIED BY L.O.L. (1" = 40,000)
1963	PHOTO MOSAIC (1" = 50,000)

LEGEND

1830	WILCOX SURVEY (1" = 1 MILE)
1867	BENGAL REVENUE SURVEY
1875	TOPO (1" = 1 MILE)
1926	TOPO (1" = 1 MILE)
1930	DISTRICT MAP (1" = 4 MILES)
1935	USAF & DISTRICT MAP (1" = 3.944 MILES)
1944	TOPO MAP (1" = 50,000)
1952	TOPO MAP (1" = 50,000)
1955	IRRIGATION PLAN (1" = 40,000)
1960	SUPPLIED BY L.O.L. (1" = 40,000)
1963	PHOTO MOSAIC (1" = 50,000)



- LEGEND
- 1850 WILCOX SURVEY (1" = 1 MILE)
 - 1867 BENGAL REVENUE SURVEY
 - 1875 TOPO (1" = 1 MILE)
 - 1926 TOPO (1" = 1 MILE)
 - 1930 DISTRICT MAP (1" = 4 MILES)
 - 1944 USAF & DISTRICT MAP (1" = 3.946 MILES)
 - 1952 TOPO MAP (1:50,000)
 - 1953 IRRIGATION PLAN (1:40,000)
 - 1960 SUPPLIED BY L.D.L. (1:40,000)
 - 1963 PHOTO MOSAIC (1:50,000)



1 MILE = 1.609
 4 MILES = 6.436
 1:50,000
 1:40,000
 1:30,000

Fig 2-10 Displacement of River Banks

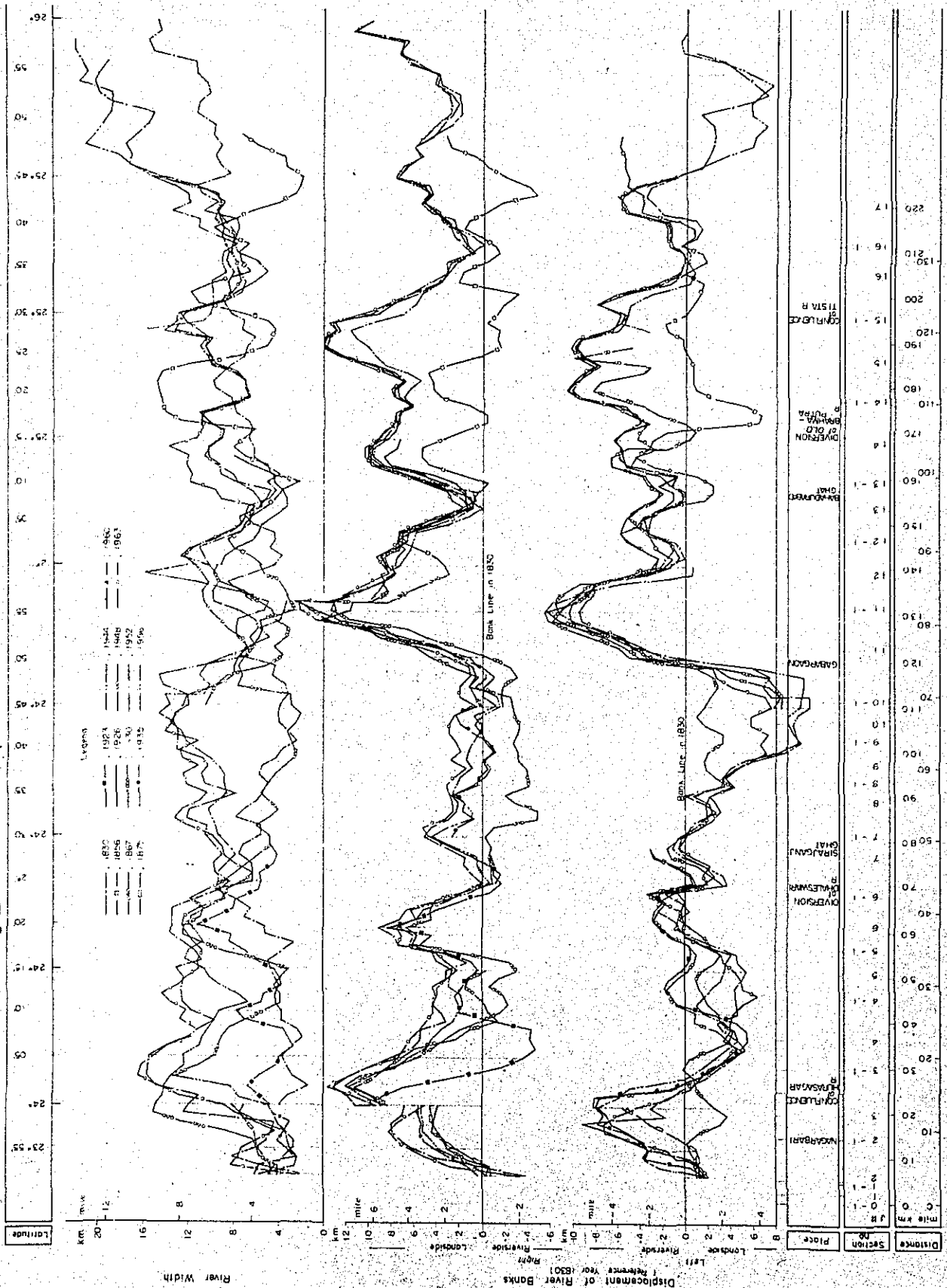


Fig. 2-11-1 Displacement of River Banks

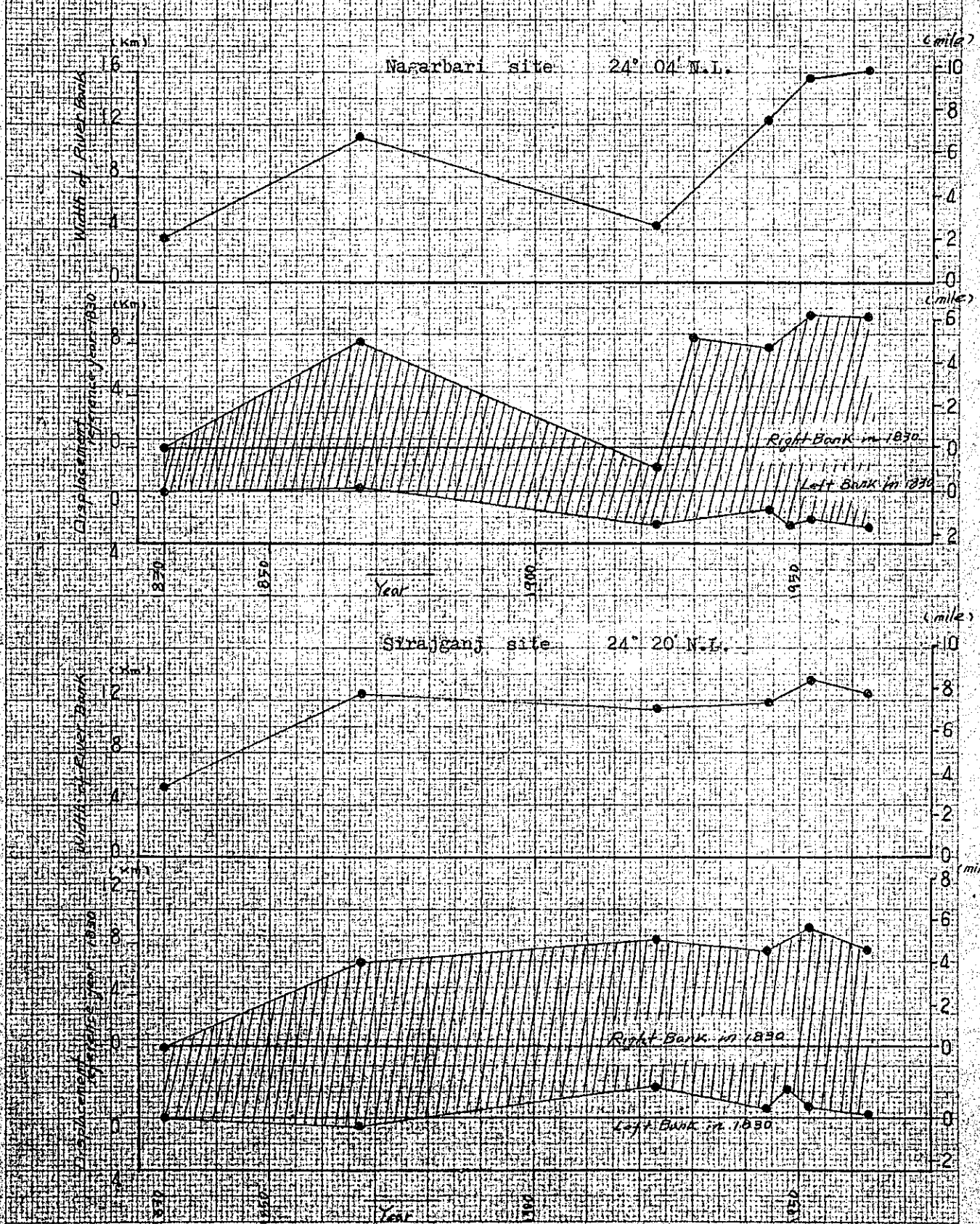


Fig. 2-11-2 Displacement of River Banks

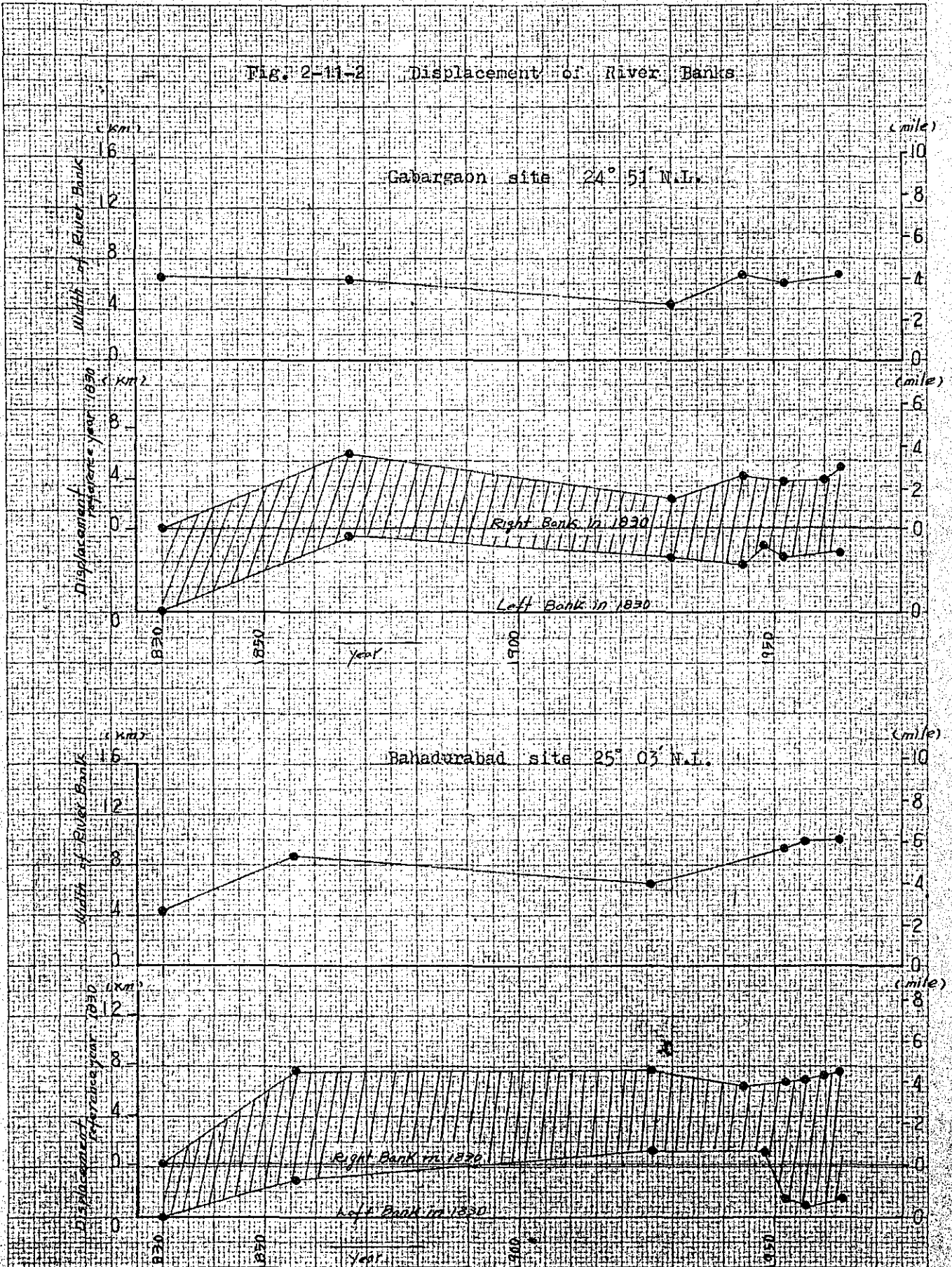


Fig. 2-12-1 Change of Waterways

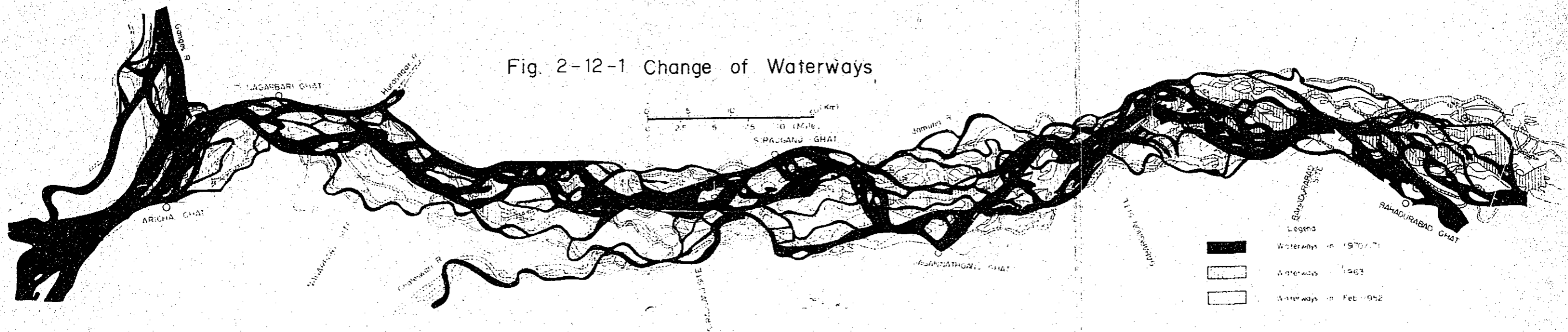
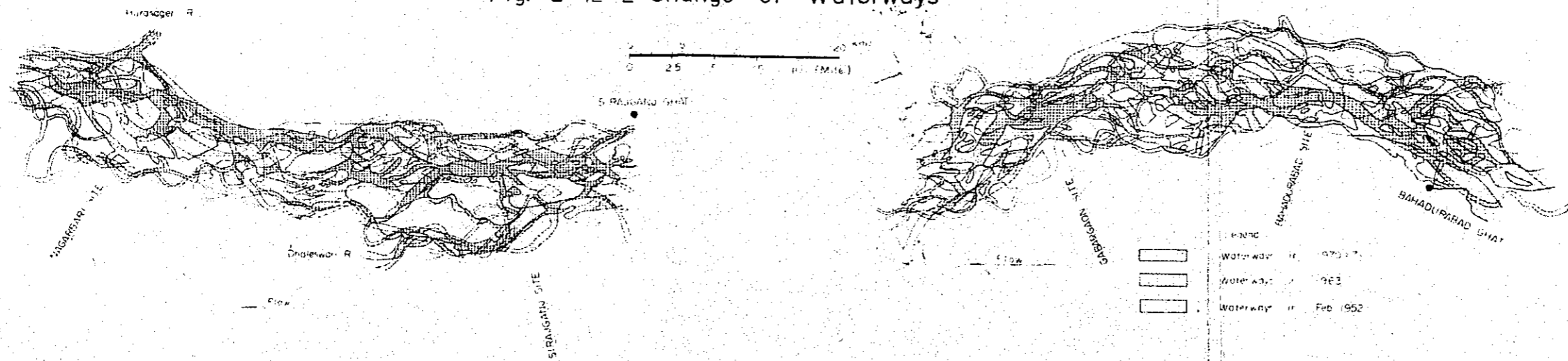


Fig. 2-12-2 Change of Waterways



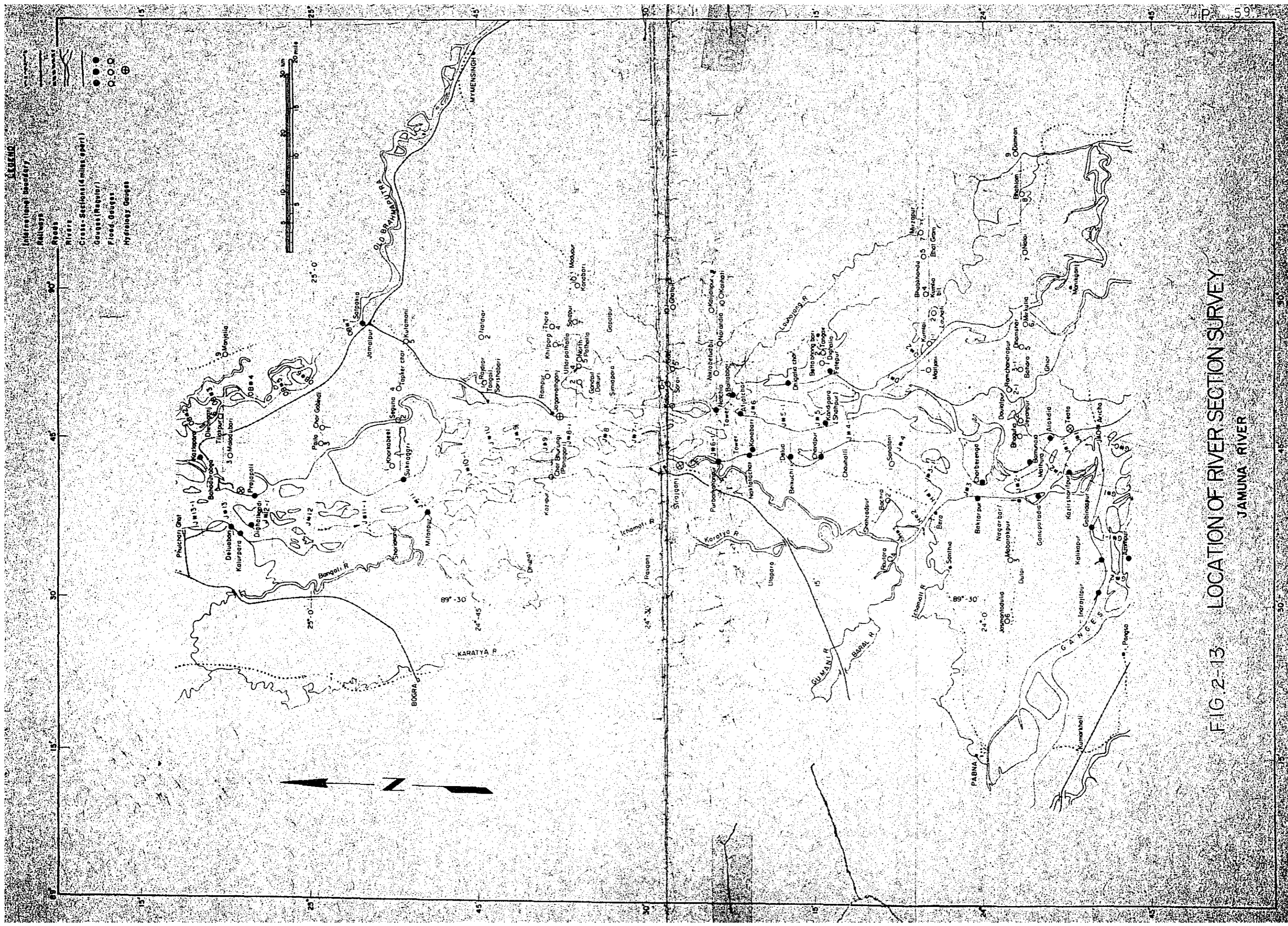
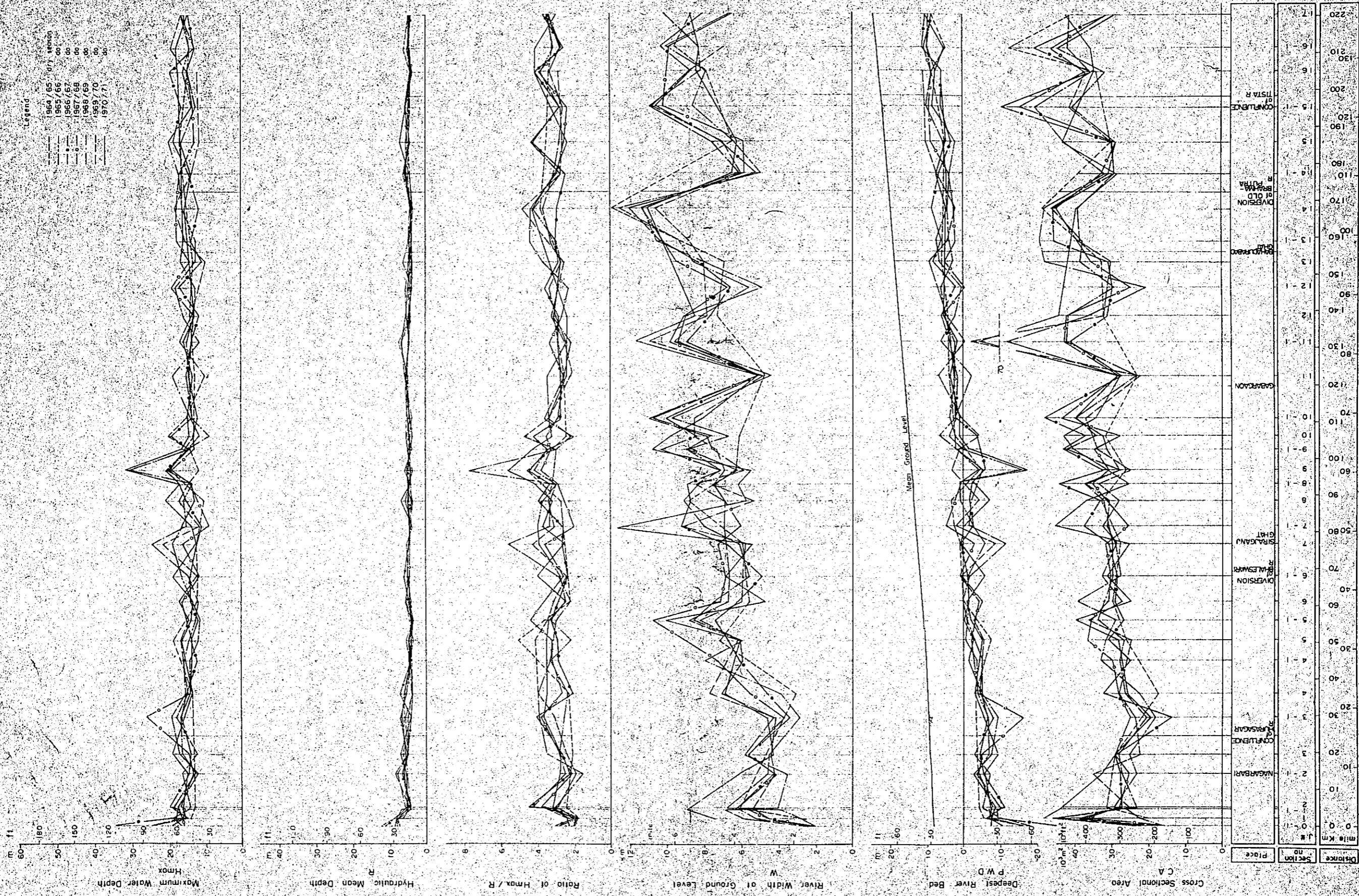


FIG. 2-13 LOCATION OF RIVER SECTION SURVEY
JAMUNA RIVER

Table 2 - 2 Cross Section Surveyings on Jamuna River

Sect. NO	1965	65-66	66-67	67-68	68-69	69-70	70-71	71-72	72-73
J-0-1		MAY	NOV	MAR	MAY	NOV		FEB	DEC
1	FEB	DEC	NOV	MAR	MAY	NOV		FEB	DEC
1-1		DEC	NOV	MAR	MAY	NOV		FEB	DEC
2	MAR	DEC	NOV	FEB	MAY	NOV			DEC
2-1		JAN	NOV	FEB	APR	NOV		MAR	DEC
3	MAR	FEB	NOV	FEB	APR	DEC		MAR	NOV
3-1		FEB	NOV	MAY	APR	DEC		MAR	
4	MAR	MAY	APR	APR	FEB	JAN		MAR	
4-1		MAY	APR	FEB	FEB				
5	MAR	MAR	FEB	FEB	FEB	FEB		MAY	MAY
5-1		FEB	FEB	JAN	FEB	FEB		MAY	
6	APR	FEB	JAN	DEC	JAN	MAR		MAY	
6-1		JAN	DEC	DEC	NOV	MAR		APR	
7	MAR	JAN	NOV	NOV	NOV	APR		APR	
7-1		JAN	NOV	NOV	MAY	APR		APR	
8	APR	DEC	FEB		MAY	JUNE		MAY	DEC
8-1		DEC	FEB	FEB	MAY	MAY		MAY	JAN
9	APR	NOV	JAN	JAN	MAY	MAY		MAY	JAN
9-1		DEC	JAN	JAN	MAY	MAY		APR	
10	APR	NOV	FEB	JAN	APR	MAY		APR	
10-1		MAR	JAN	DEC	APR	MAY		APR	
11	JAN	MAY	FEB	DEC	APR	MAY		APR	
11-1		FEB	JAN	DEC	MAR	MAY		MAY	
12	MAY	OCT	JAN	DEC	MAR	MAY		MAY	
12-1		JAN	DEC	MAR	FEB				
13	APR	JAN	DEC	MAY	FEB	MAY			
13-1		JAN	DEC	MAR	FEB	JAN			
14	MAY	DEC	DEC	FEB	JAN	APR		MAR	
14-1		JAN	DEC	JAN	JAN	MAR		APR	
15	MAY	DEC	DEC	JAN	JAN	MAR		MAY	
15-1		DEC	NOV	DEC	DEC	MAR			
16	MAY	OCT	NOV	NOV	DEC	NOV		FEB	
16-1	MAY	NOV	NOV	DEC	NOV			MAR	
17	MAY	NOV	NOV	NOV	NOV			APR	
Total	18	34	34	33	34	30	0	28	10

Fig 2-14 Channel Features of Jamuna River



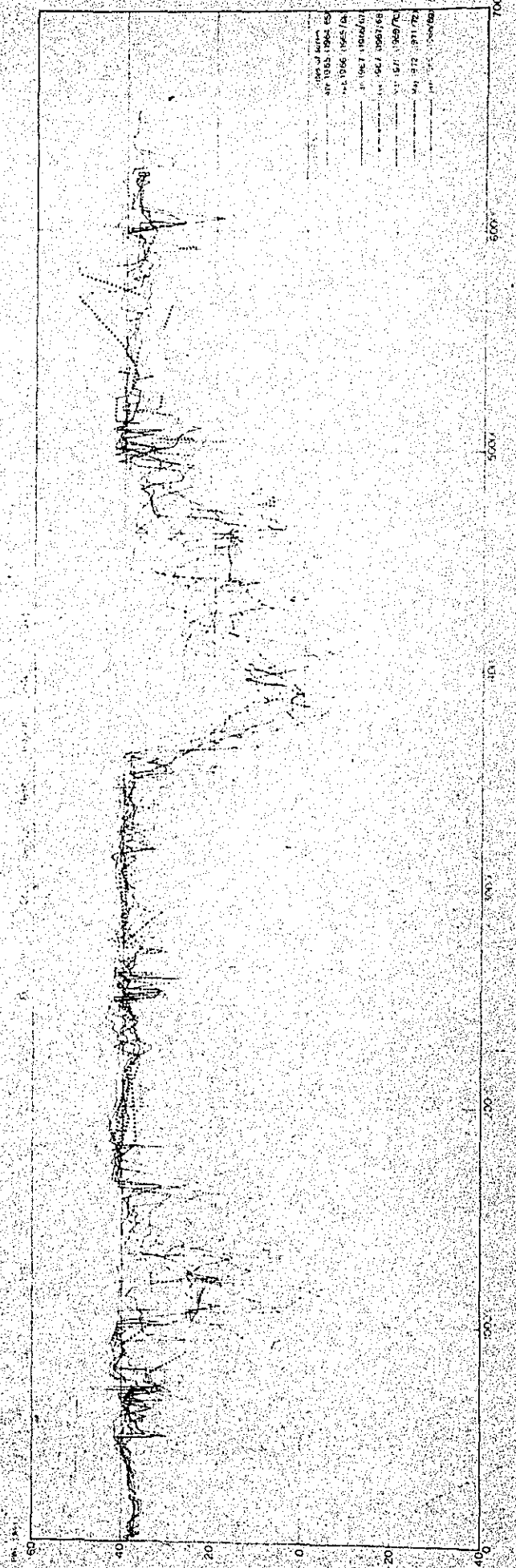
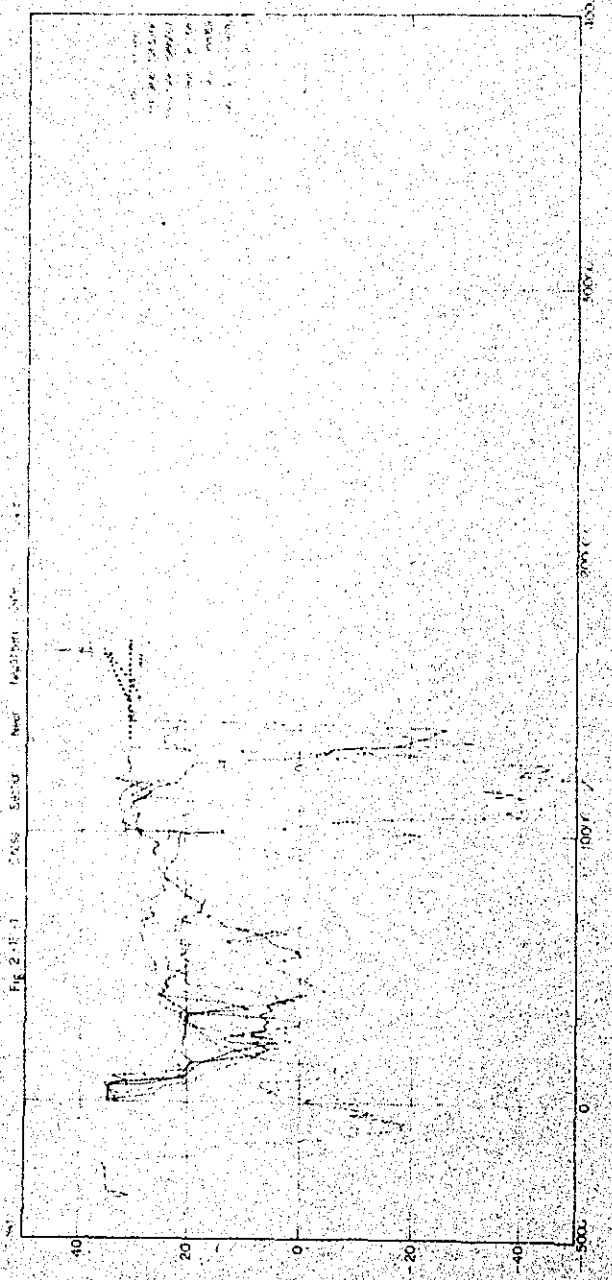


Fig. 2-15-3. Cross Section Near Gaborgan Site, June 11-12

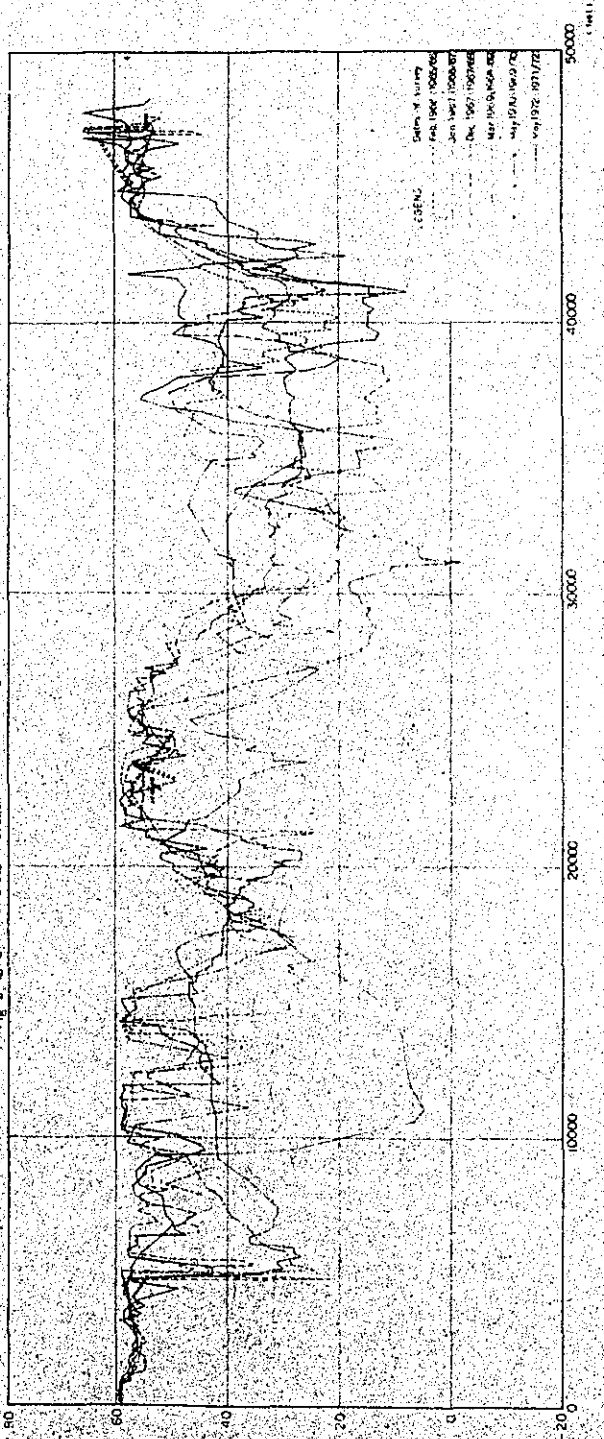


Fig. 2-15-4. Cross Section Near Bakuahat Site, July 1-2

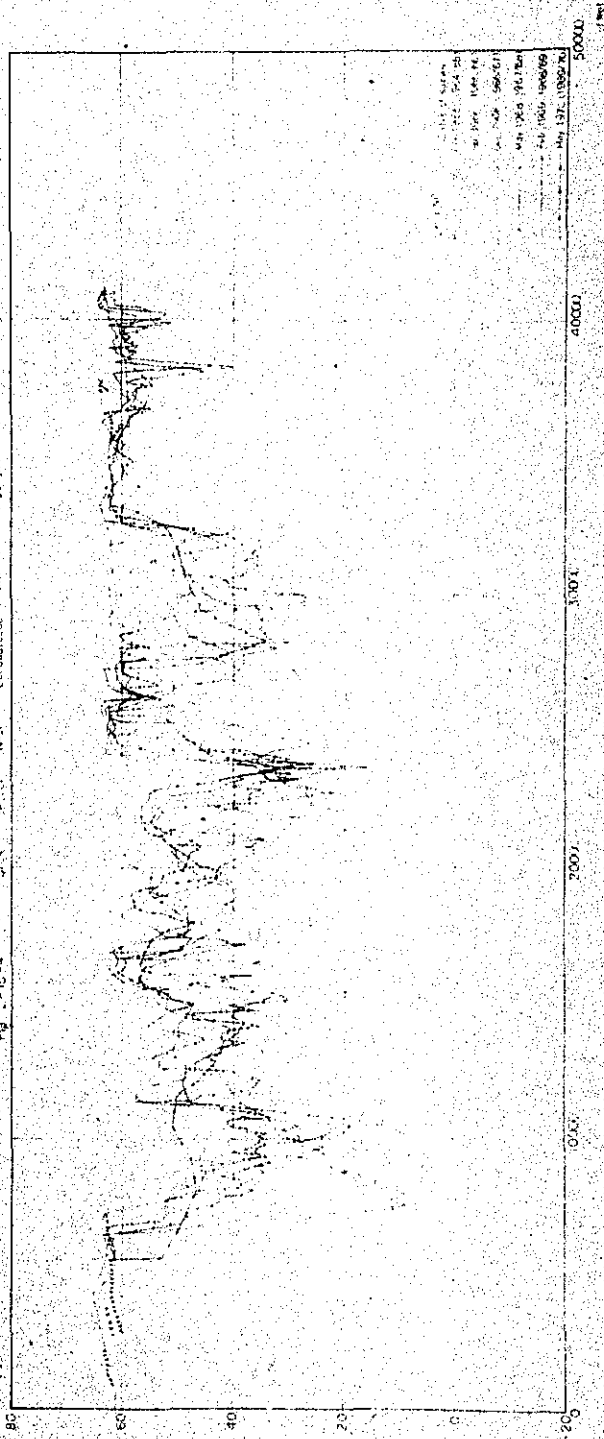


Fig.2-16 Location of Sampling of Bed Materials

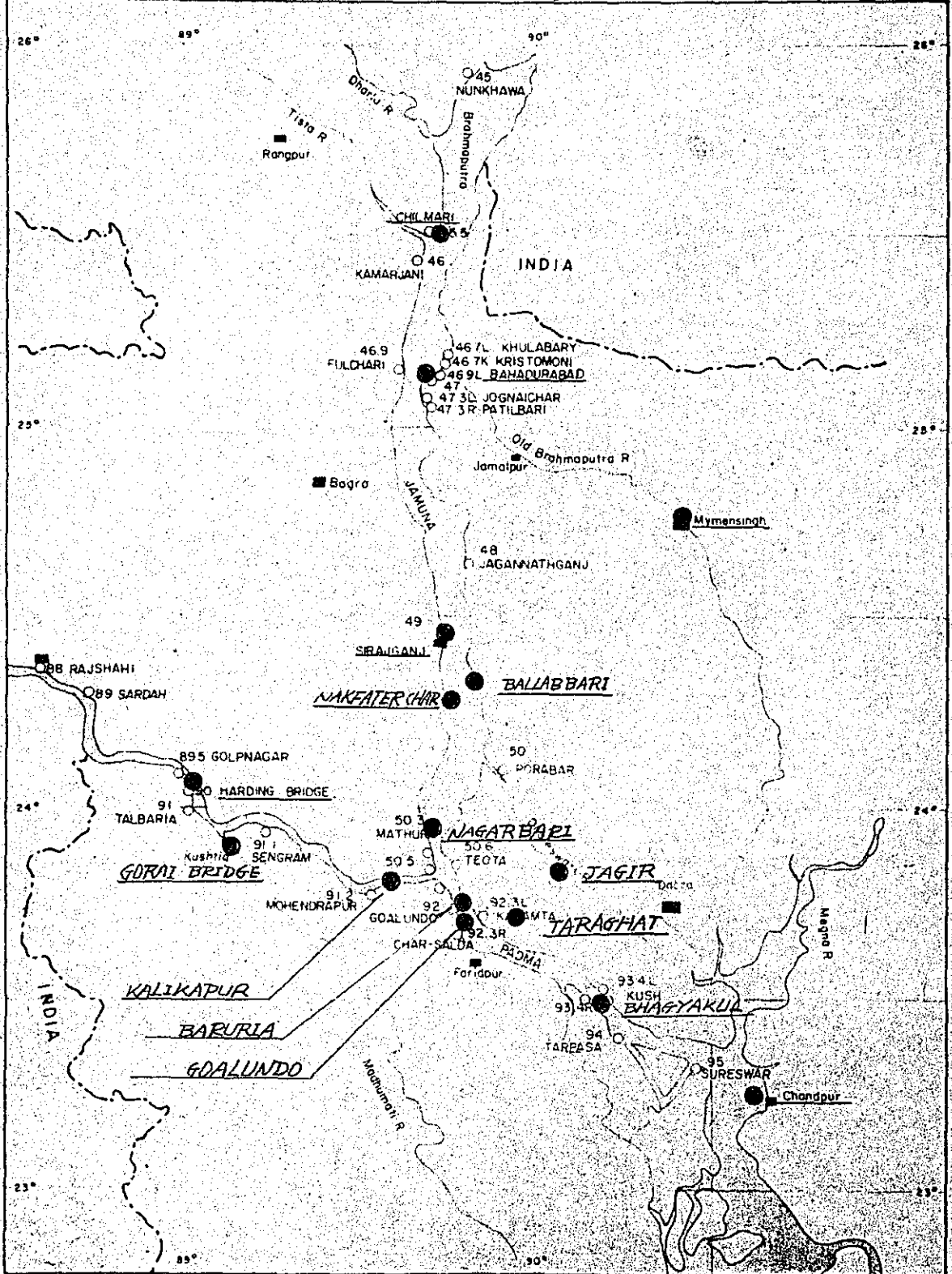


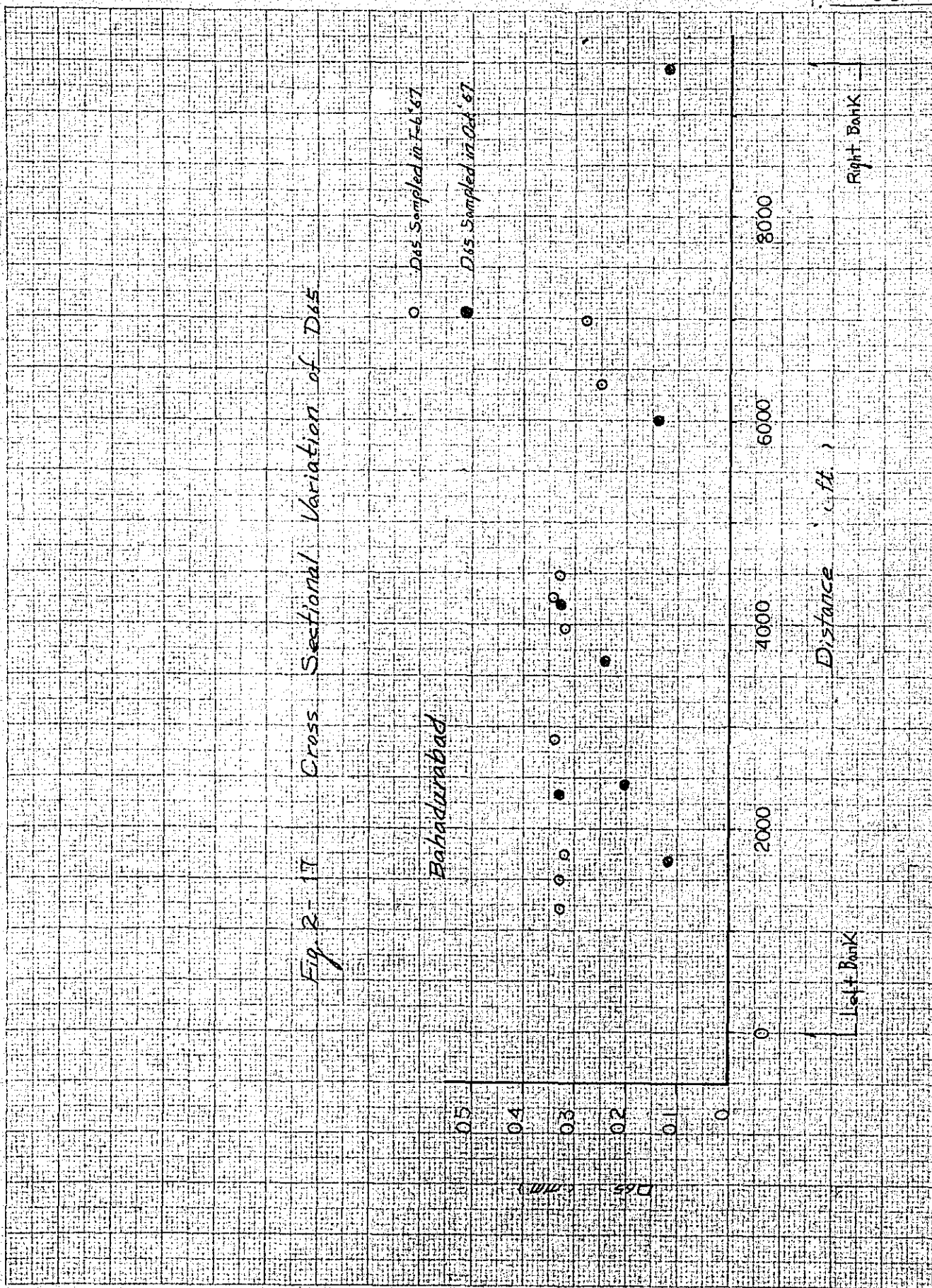
Table 2 - 3 Grain Size of Bed Materials

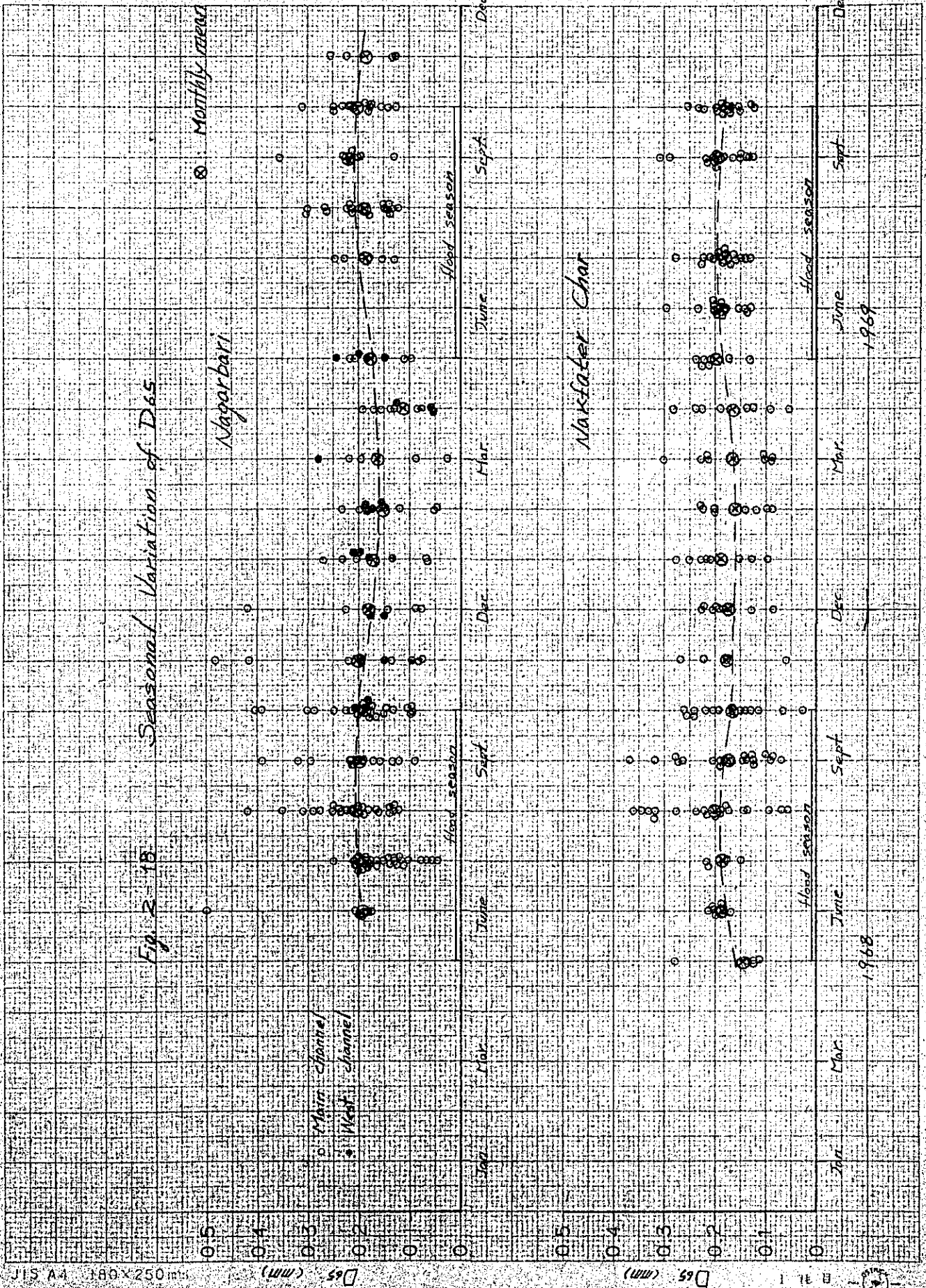
	Place	D ₆₅	D ₆₀	D _{mean}	U.C
Brahmaputra	Chilmari	0.266	0.249	0.261	1.9
-Jamuna	Bahadurabad	0.270	0.259		1.8
	Sirajganj	0.171	0.149	0.172	1.9
	Ballabbari	0.166	0.161	0.162	2.0
	Nakfater Char	0.186	0.174	0.176	1.8
	Nagarbari	0.181	0.172	0.176	2.0
Ganges	Hardinge Br.	0.181	0.163		4.6
	Kalikanur	0.134	0.126	0.131	2.1
	Gorai	0.193	0.187		1.8
Ganges-Padma	Baruria	0.164	0.153		2.6
	Goalundo	0.153	0.144		2.5
	Taraghat	0.139	0.129		1.8
	Bhagyakul	0.187	0.175		2.1
	Chandpur	0.180	0.129		1.9
Other River	Jagir	0.165	0.162		2.2
	Hymensingh	0.222	0.210		2.6

Fig. 2-17 Cross Sectional Variation of D65

○ D65 Sampled in Feb '67
● D65 Sampled in Oct '67

Bahadurabad





JIS A4 180x250mm

D65 (mm)

D65 (mm)

1 1 E B



Table 2 - 4 Available Data on Suspended Materials

River	Station	1965	1966	1967	1968	1969	1970
Jamuna R.	Chilmari		A	A	A	A	
	Bahadurabad		A	A	A	A	A
	Sirajganj	A	A	A	A	A	
	Radhuibari			A			
	Nakfater Char	A	A	A	A	A	
	Nagarbari			A	A	A	A
Old Brahmaputra R.	Nymensingh		A	A	A	A	A
Dhaleswari R.	Ballabbari	A		A	A	A	
	Jagir			A	A	A	A
	Taraghat			A	A	A	A
Ganges R. &	Hardinge Br.		A	A	A	A	A
Ganges-Padma R.	Kalikapur				A	A	A
	Baruria				A	A	A
	Coalundo		A	A	A	A	A
	Bhagyakul		A	A	A	A	A
	Gorai R.	Gorai Br.		A	A	A	A
	Kamarkhari			A	A	A	A

Note: A means available.

Fig. B-19 Relation between Grain Sizes

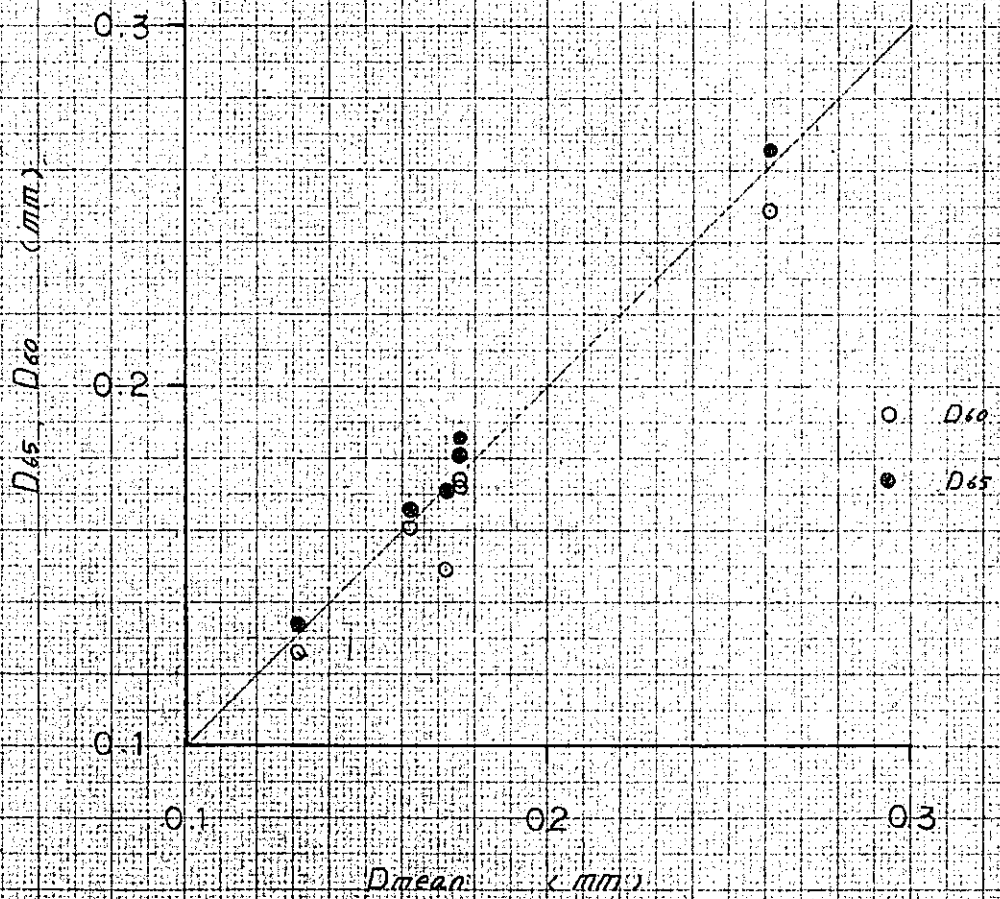


Fig 2-20 Longitudinal Variation of Bed Materials
(D_{65} , Uniformity Coefficient)

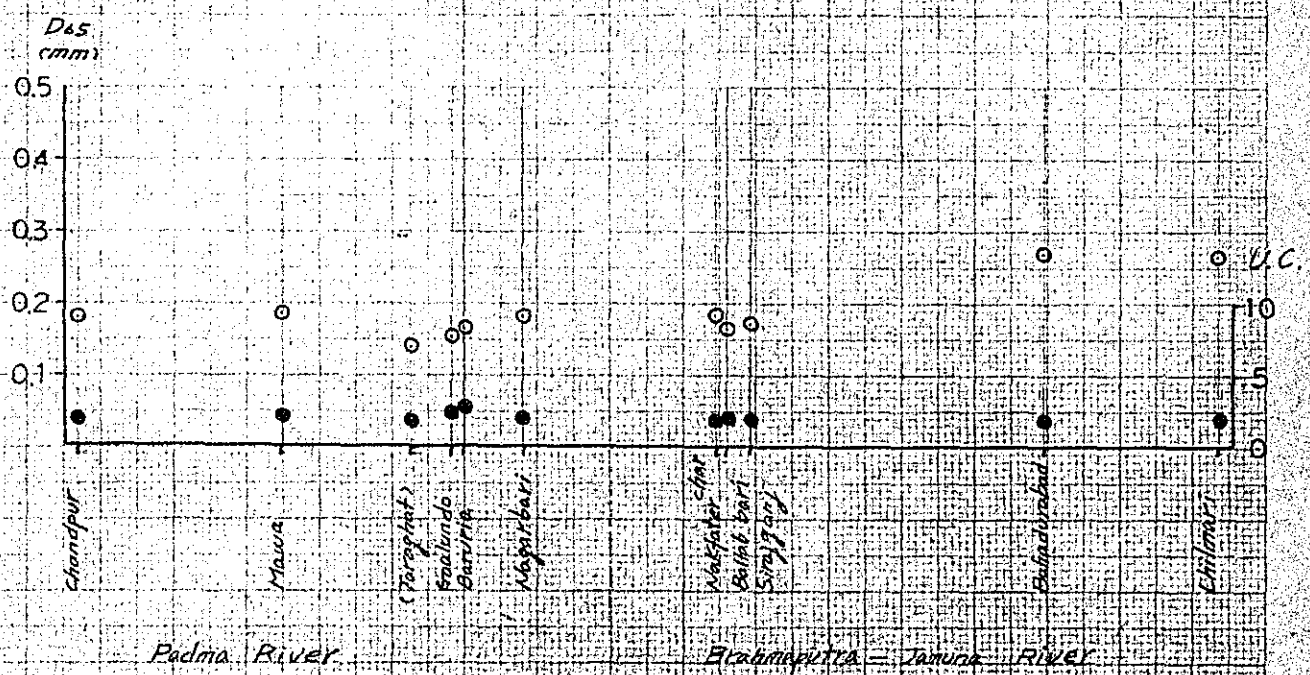
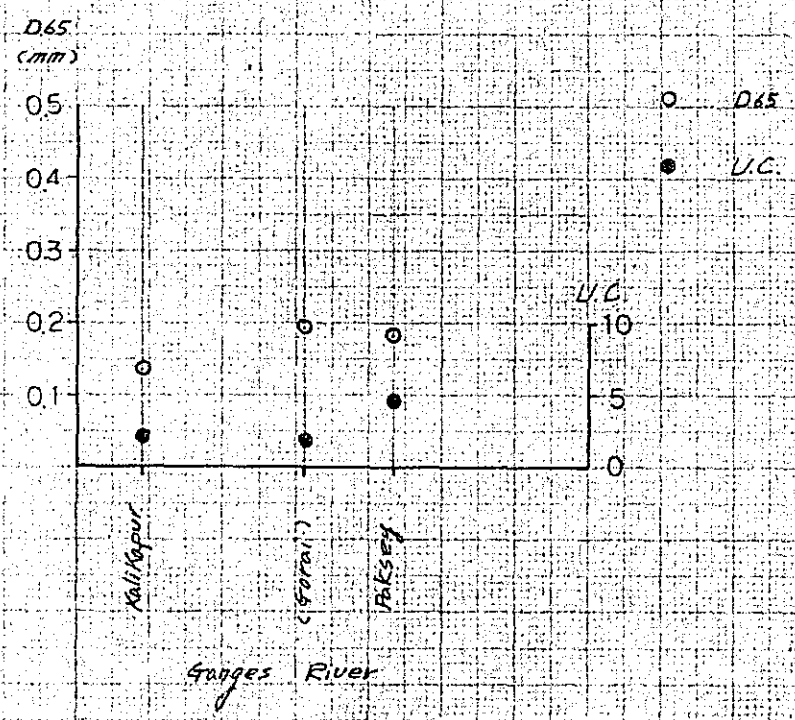


Fig. 2 - 21 Binkley Suspended Sediment Sampler

Note: The sampler is a simple rugged device consisting of a straight-through bronze tube divided into three parts each separated by rubber sleeves and the whole is supported in a metal frame. By pulling on an operating cable the center section of the tube can be rotated, thus twisting the rubber sleeves and trapping a sample of the water within the center section of the tube at the depth where the instrument is operated.

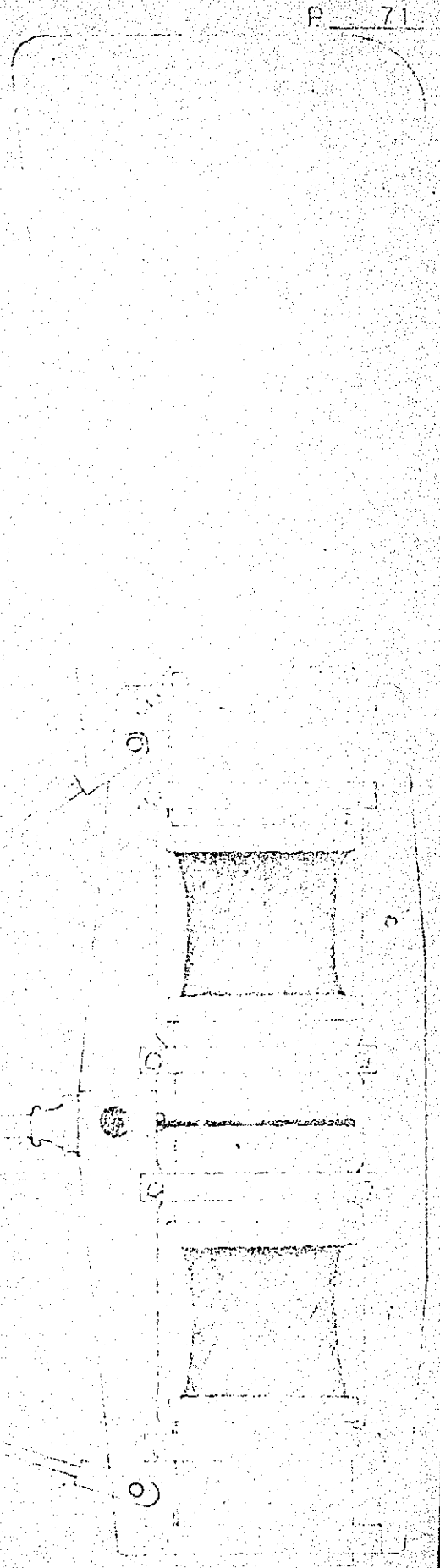


Fig. 2-22 Grading Curves of Bed Materials
(Jamuna River, 1969)

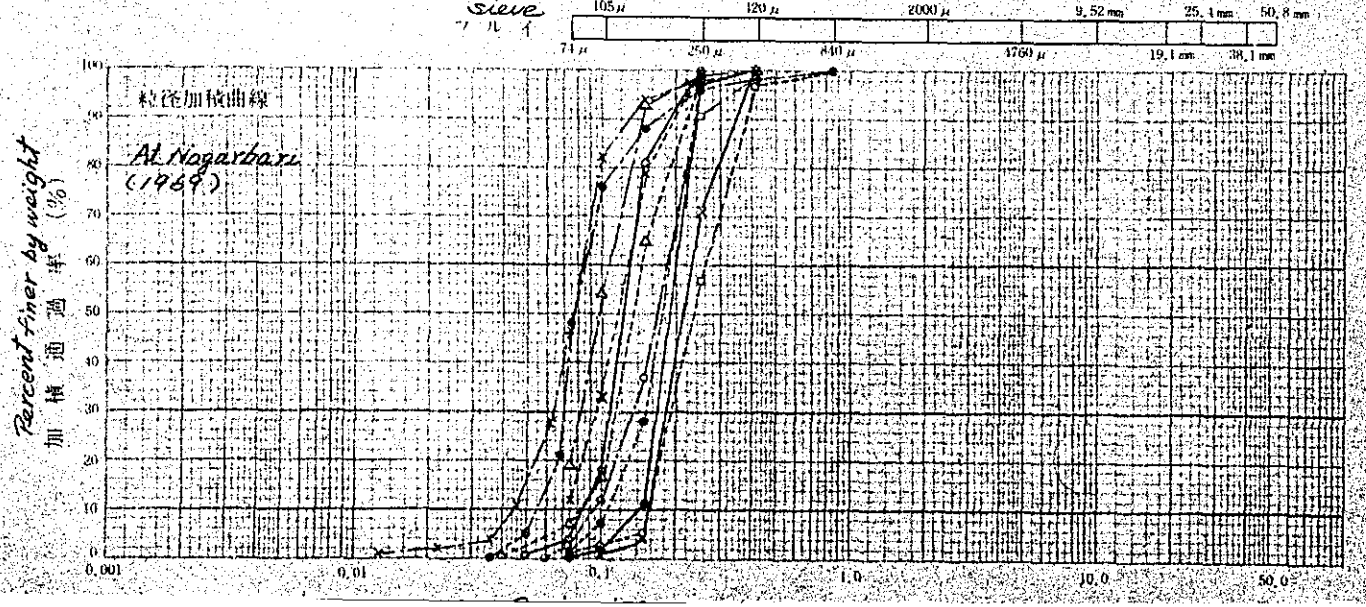
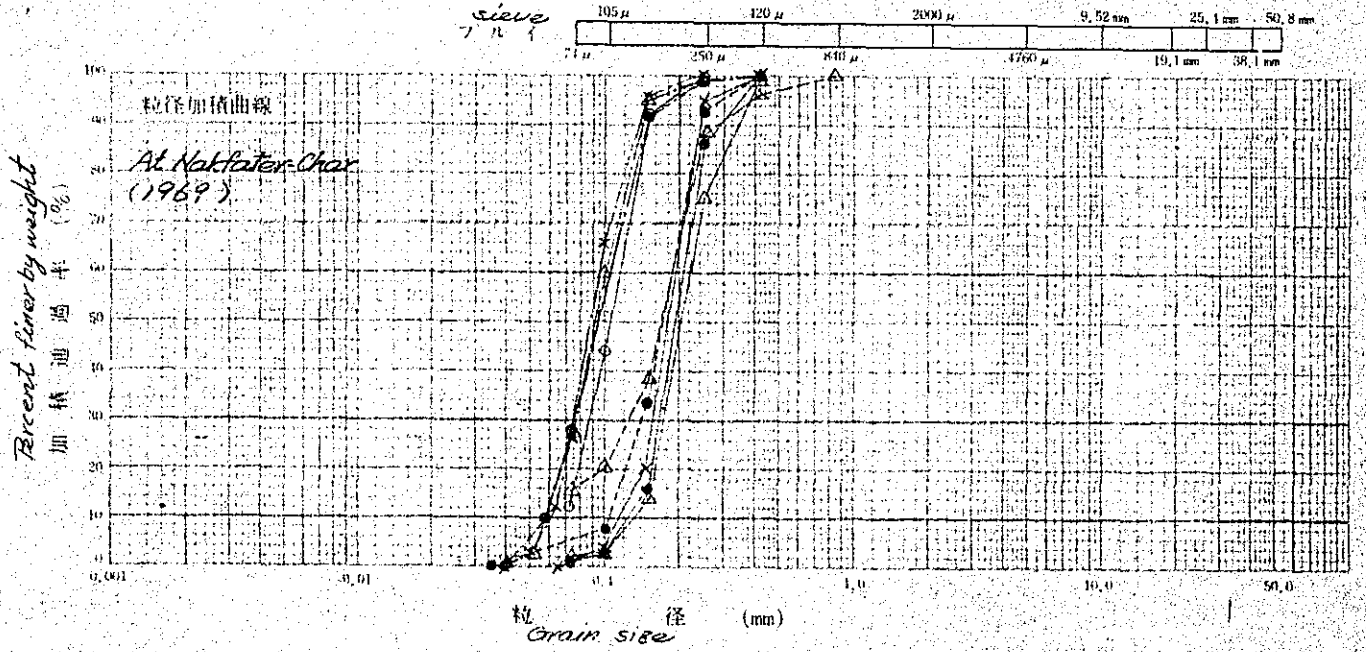
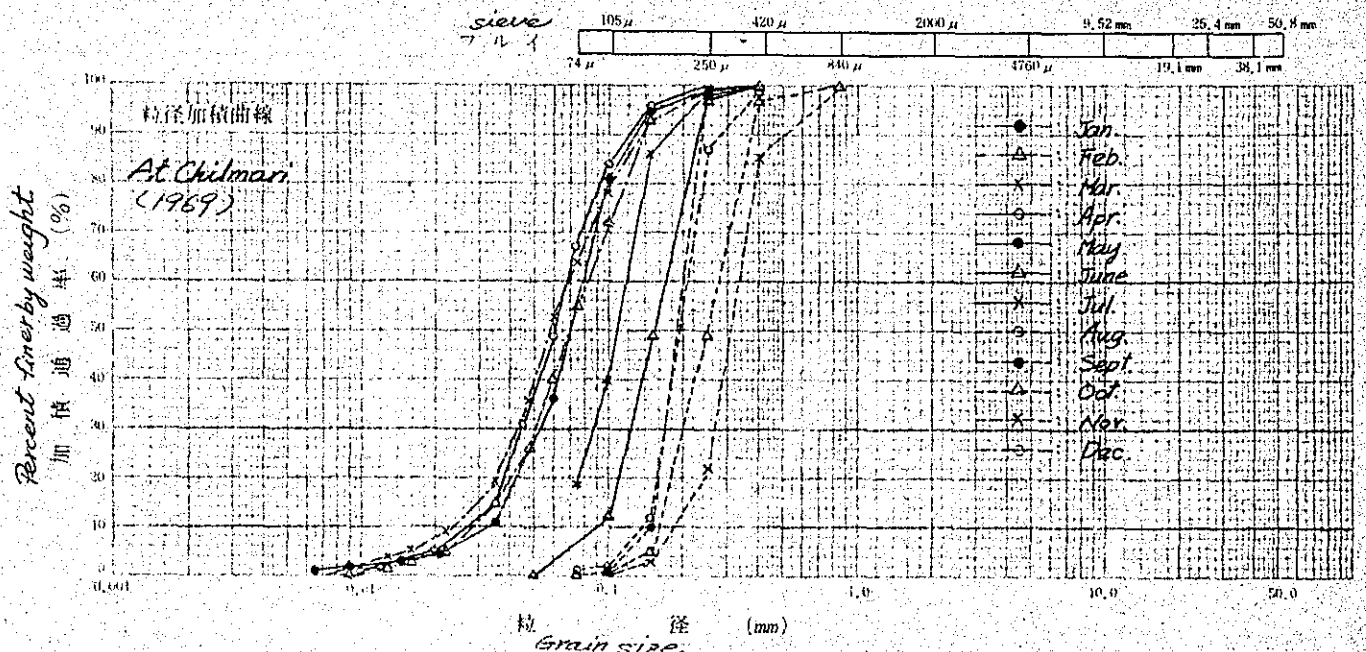


Fig. 2-23 Relationship between Liquid Discharge and Sediment Discharge

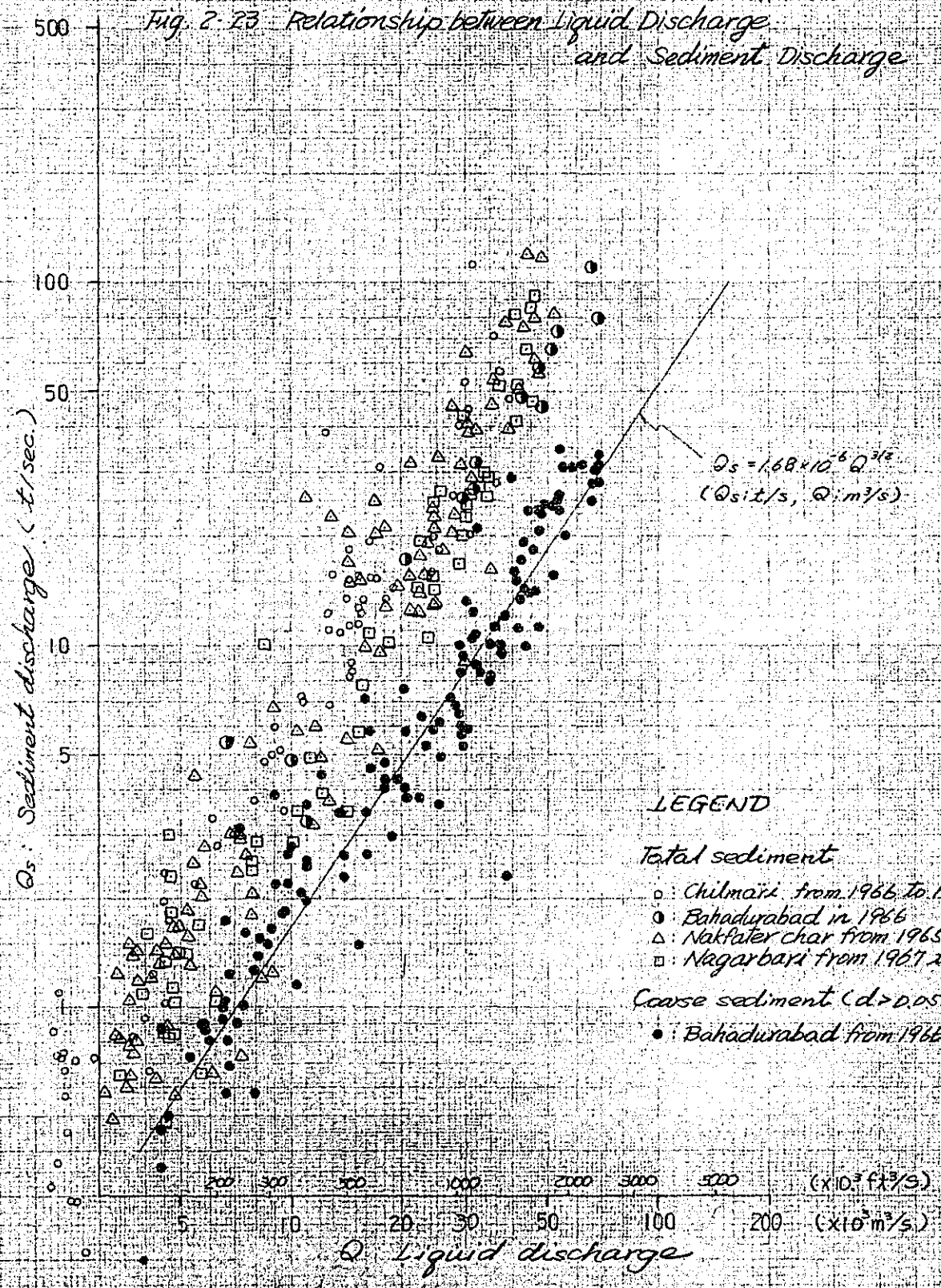
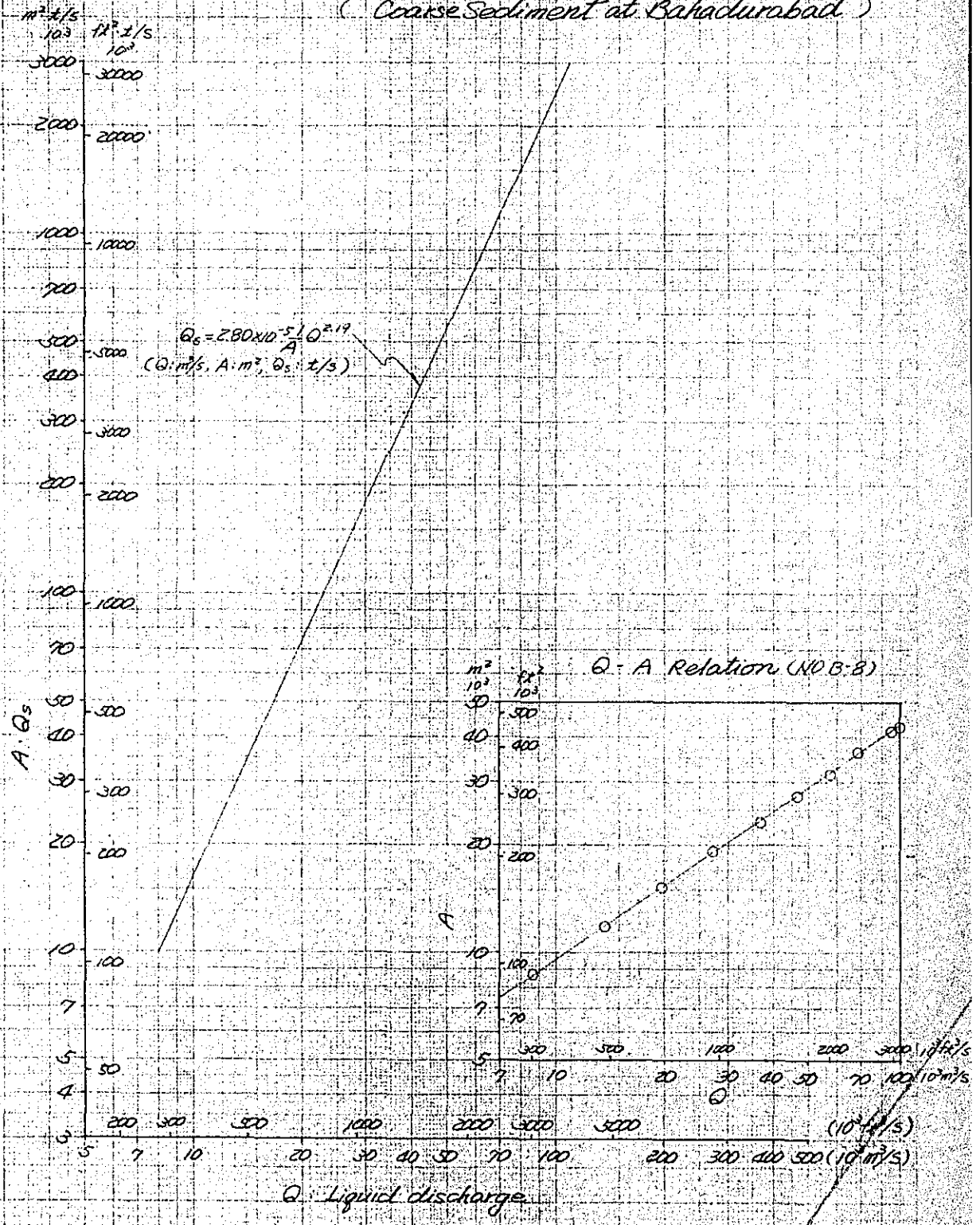


Fig 2.24 Q - A_s Relation
(Coarse Sediment at Bahadurabad)



Q - Liquid discharge

第3章

計画架橋地選

第2章で述べた如く、Jamuna 河の自然特性の調査が架橋地選としての事前調査団より提案された4地選に関して地形学と河道地形学の2つの見地から行われた。

この調査から、4地選のどれもが架橋に際して好適な網状河川の結節部に位置していることが明らかとなった。このことから地形学的に見地からすれば、Sirajganj の狭さく部 (Sirajganj Town 地) が4地選の内之最も安定であり、次に Gabargaon site が良く Bahadurabad site は前者に比較して不直であり、Nagarbari site は最も不可である。又河道地形学の見地からは Nagarbari site が4地選の中で最も悪く、他の3地選はほぼ1860年以降の Bank line の変動もほとんど変化無しという事実から判断してもほぼ同等であるが、中でも Gabargaon が最も良く、Bahadurabad と Sirajganj の両 site は河岸幅の規模からしても同等である。

したがって地形学的及び河道地形学的に見地からは Sirajganj, Gabargaon の両 site における優劣はつけがたく同等である。

Sirajganj site における橋軸は狭さく部の約1km 下

流に選ばれたい。当 site は Sirajganj の河岸防護工と
狭く却による保護下にある。兩岸が Char である一つの
水路から成っている。この site が架橋に際して
非常に好適であることを意味している。反面左岸のアプローチ
が派川の Dhalaswari を横断しなければならぬ不都合
な点もこの site にはある。この派川は橋によるかあるいは
高い土堤によるかして横断しなければならぬ。幸いにも
この取水口が橋軸の上下流にある。したがってもし上流
の取入口を締め切り、下流の取入口が Dhalaswari の本
取水口として維持すれば、架橋によって最良の方法と
なる。

第4章 計画流量

Jamuna河 Bahadurabadに於ける流量観測は1956年から実施された。Jamuna河に於ける流量観測所のうちで最も多年に渡る記録がある。計画流量の設定には、Bahadurabad観測所に於ける流量資料に基づき、同地点の確率流量を算定し、さらに Old Brahmaputra河及び Dhaleswar河への分派流量実績及び将来計画を検討し、Jamuna河の流量配分を設定した。

1. 水路系と水位・流量の主要観測地点

(1) 水位・流量資料

Jamuna河周辺の水路系統は、Fig. 4-1に示すところであり、BWDB (Bangladesh Water Development Board) では、Surface Water Section 及び River Morphology, Research & Training Section が独自の水位・流量観測網をもっている。Fig. 4-2はこれらのうち、Jamuna河に関連する観測所の位置を示したものである。これらの各観測所の水位・流量資料のうち、表に収集したものを一覽表に示すと、Table 4-1のとおりである。

Table 4-1に示す水位については、Bahadurabad, Sirajganj 両観測所が、流量については、Bahadurabad観測所が多年の資料を有する観測所である。

(2) 水位・流量資料に関する予備的検討

Jamuna 河の主要な水位観測所の日水位について年間の位況を調べた。1964年以降の水位資料は、4月から始まり翌年3月末に終る Water Year に依り整理されており、本調査でもこの Water Year に従った。

水位は、河道形状変化により影響を受けるとが考えらるるので、先ず比較的資料の多い Bahadurabad, Sirajganj 及び Kadamtali 各観測所に於ける最近5年(1964/65 ~ 1968/69)の資料について位況を調べた。結果は Fig. 4-3 のとおりである。次に、位況の縦断変化を調べるため、Nunkehawa, Chilmaria, Kamarjani, Bahadurabad, Jagannathganj, Sirajganj, Parabari, Mathura, Teota 及び Kadamtali の10観測所について1968/69年の水位を選出し検討した。結果は Fig. 4-4 のとおりである。

次に、流量観測値についてであるが、BWDB では、年毎に幾度か実施される流量観測の結果と、水位観測結果に基づき、水位・流量関係を年毎に設定し、その水位・流量関係を用いて、水位から流量を推算しているものがある。

以上、Bangladesh に於ける1956年から1962年までの実測資料を

を抜き出し、水位流量関係を調べると、Fig. 4-5のとおりで、河道形状の変化が激しい割に、水位流量関係の年毎変化の大きさはいさゝかつかつかである。

2. Bahadurabadでの流量の確率

Bahadurabadに於ける年最大流量資料は、1956年から1970年までの15年間あり、一方、水位は、1949年11月から観測が開始されて、1950年から1955年までの水位資料と水位流量関係を用いて、この期間の流量資料を補充できれば、好都合である。

BWDB 実測流量資料、BWDB 推算流量資料及び Jamuna 河周辺の諸工事計画書に於ける流量検討結果等を検討考察して、次の4組の Bahadurabad 年最大流量を得た。

(a) Series - 1 : 流量観測開始後の資料の41:53年最大流量 ; 1956年から1970年までの15資料

(b) Series - 2 : 『Design Report on Bank Protection Structure for the Protection of Sirajanj Town from Erosion by the Jamuna River, Dec. 1970』で適用している年最大流量資料で水位資料からの推算値を含む ; 1950から1970年までの21資料。

(c) Series - 3 : 前述の Fig. 4-5 に示した 1956年から1962年までの実測の水位流量関係の平均的直線を用いて、1950年から1955年

までの年最大水位から流量を推定したもの; 1950年から
1970年までの資料

(d) Series - 4 : 1956年から1970年までの年最大流量の水位流量
関係は、1966年のBWDB水位流量曲線(BWDB水位・流量資料
より逆算)と比較的に近いので、1966年水位流量曲線を用いて、1950年
から1955年までの年最大水位から流量を推定したもの; 1950年
から1970年までの資料

以上4組の年最大流量と水位を Table 4-2 に示す。

これらの年最大流量について Thomas plot 法 及び Gumbel 法で
超過確率を計算した。Thomas plot 法の方が適合度が高
いと判断された。Thomas plot 法による計算結果を Fig 4-6
及び Table 4-3 に示した。

これらの4組の流量は、資料数、流量推算値の信頼性の観点
からは、いずれも優劣付け難く、従って、各 Return Period に対
する各組の算定流量の平均値を以て Bahadurabad
地点の確率流量とした。結果は Fig 4-7 のとおりである。

3. 基本流量

Bahadurabad 観測所は Jamuna 河計画の基本となるため、この
観測所地点における計画流量を基本流量と呼ぶ事とする。
Jamuna 河の計画に際しては、計画の基本流量を設定し、次に

この基本流量と、支流川の合流分流量を考慮して、全川に渡り計画高水流量配分を決定する。

Jamuna 河架橋計画では、少なくとも 100 年洪水を採用すべきである。弁部での検討結果によれば、100 年流量は、3,042,000 cfs (86,900 m³/s) である。仮りに、150 年洪水を採用すれば、流量は、3,104,000 cfs (87,840 m³/s) で 100 年流量に較べ、わずか、2% 流量が増加可能である。

Manning 公式を用いて、流量 (Q) は、次式で与えられる。

$$Q = \frac{W}{m} H^{5/3} I^{1/2}$$

== 1 ==

W = 河幅

H = 平均水深 = A/W

A = 流積

n = 粗度係数

I = 水面勾配

もし、流量 (Q) が、xQ だけ増加可能ならば、

$$Q' = Q + xQ = \frac{W}{m} H^{5/3} I^{1/2}$$

== 1 == Q', H' は、流量増加後の流量及び水深で、W, n, I は変化しないものと仮定する。

もし、流量増加後の水位 (H') を次式で表わすと、

$$H' = H + yH$$

上式から次式を得る。

$$1 + y = (1 + x)^{3/5}$$

或は、近似的に

$$y = \frac{3}{5}x$$

もし、100年洪水の代りに、150年洪水と採り替ると、
流量増加率 (x) は 2% であり、水位増加率 (y) は
上式より、1.2% となる。100年洪水流量が、両河岸上の
堤防内を流れると、その平均水深は約 18m と推定
される。従って、150年洪水流量に対する水位増加量は
0.2m 程度である。

この程度の水位増加量は、河床変動或は波浪崩壊による
観測誤差範囲内のものがある。

この観測から、我々は、100年洪水流量 3,042,000 cfs
を基本流量と採用することを決定した。

4 Jamuna 河の流量配分

Jamuna 河の標本川及び合流支川は Bahadurabad 上流
で分岐する Old Brahmaputra 河、Sirajganj 付近で分岐する Dhala-
swari 河及び Nagarbari 上流で合流する Hurasagar 河である。

Jamuna河の流量配分は、下記事項を基本として設定した。

- (a) Bahadurabad地災流量の削減は、Old Brahmaputra河、Dhaleswari河による分流量のみを考慮し、河道野呂及び氾濫による削減は、将来左岸側にも堤防の築造をすることを想定し、加味する。
- (b) Huralagar河からの合流量は、洪水時は本川水位が高く、合流量が少くても Jamuna河流量と比較すると小流量であると考えられるので考慮しない。
- (c) Old Brahmaputra河への分流量は、Old Brahmaputra Barrageの将来計画が取り、Barrageの余水吐設計流量から将来Old Brahmaputra河分流量が最大30,000 cfsを制限されることを予想されるので、30,000 cfsを分流量とする。
- (d) Dhaleswari河分流量は、現状に於ける分流量比1.5をもとに、将来のJamuna河水位上昇に伴う分流量増は考慮しない。

(4) Old Brahmaputra河現状流量分派量

Old Brahmaputra河の分流量を調べるため、Mymensingh観測所流量とBahadurabad観測所流量の資料を抽出し、同日流量の相関を検討した。相関図はFig 4.8に示すところ、相関がかなり強く、Mymensingh流量(Q_m)とBahadurabad流量(Q_b)の関係は、最小二乗法による次の如き直線関係を得た。

$$Q_M = 0.0536 Q_B - 10.5 \quad (\text{流量単位: } 10^3 \text{ cfs})$$

(2) Dhaleswari 河現状流量分派量

Dhaleswari 河は、さらに Dhaleswari 河と Kaliganga 河とに分派し、分派後 Dhaleswari 河に Jagir 流量観測所、Kaliganga 河に Taraghat 流量観測所があり、両観測所の流量和が Jamuna 河からの Dhaleswari 分派量とほぼ考えられる。一方、Jamuna 河の Sirajganj 観測所流量は、Dhaleswari 河流量観測所の流量と同年の資料がほぼ、従って Bahadurabad 観測所流量と Dhaleswari 流量の相関を検討した。Bahadurabad と Jagir、Taraghat 観測所とは約 150 Km 程度離れており、両観測所流量間には 1 日の到達時間の遅れがあるものとして、相関図を作成した。結果は、Fig. 4-9 のとおりで、相関がかなり強く、

Dhaleswari 流量 (Jagir 流量 + Taraghat 流量: Q_{J+T}) と Bahadurabad 流量 (Q_B) の関係について、最小自乗法により、次式の如き直線関係を得た。

$$Q_M = 0.0789 Q_B - 5.9 \quad (\text{流量単位: } 10^3 \text{ cfs})$$

(3) Jamuna 河流量配分

以上の検討に基づき Return Period 100 年及 150 年に対する Jamuna 河流量配分を Fig. 4-10 に示すとおり設定した。

Fig. 4 - 1 River System around The Jamuna River

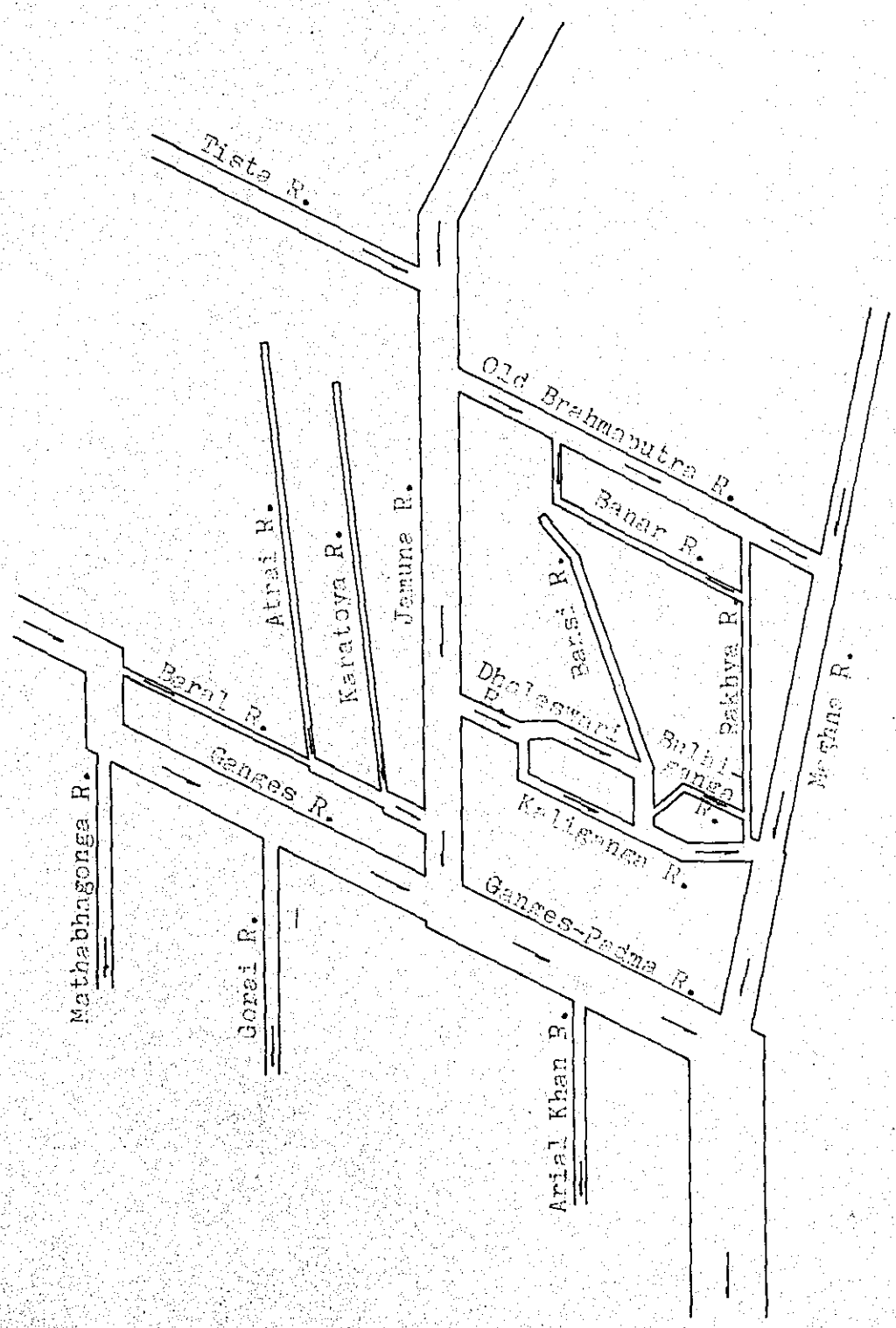


Fig. 4-2 Location of Gauging Stations

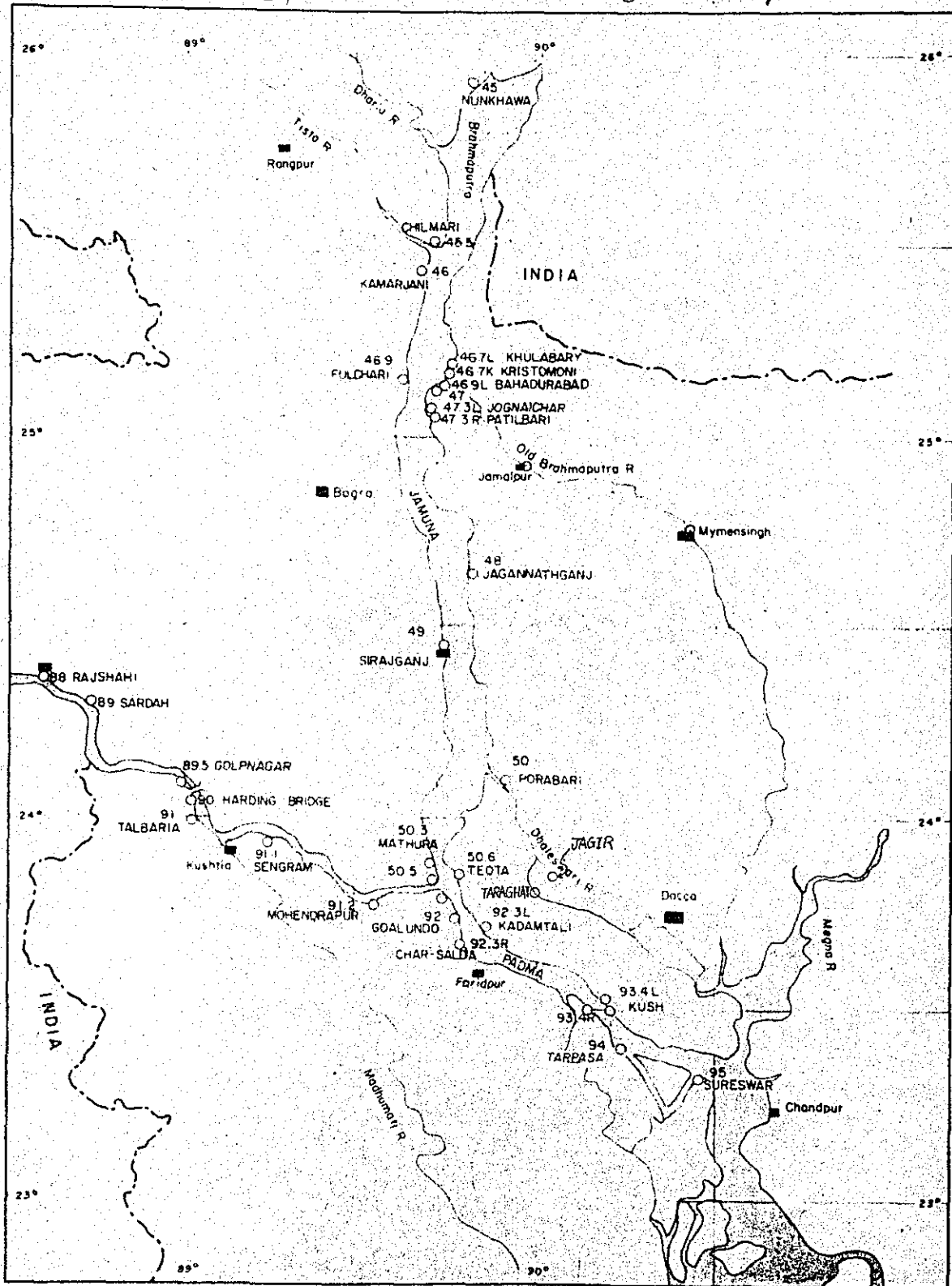
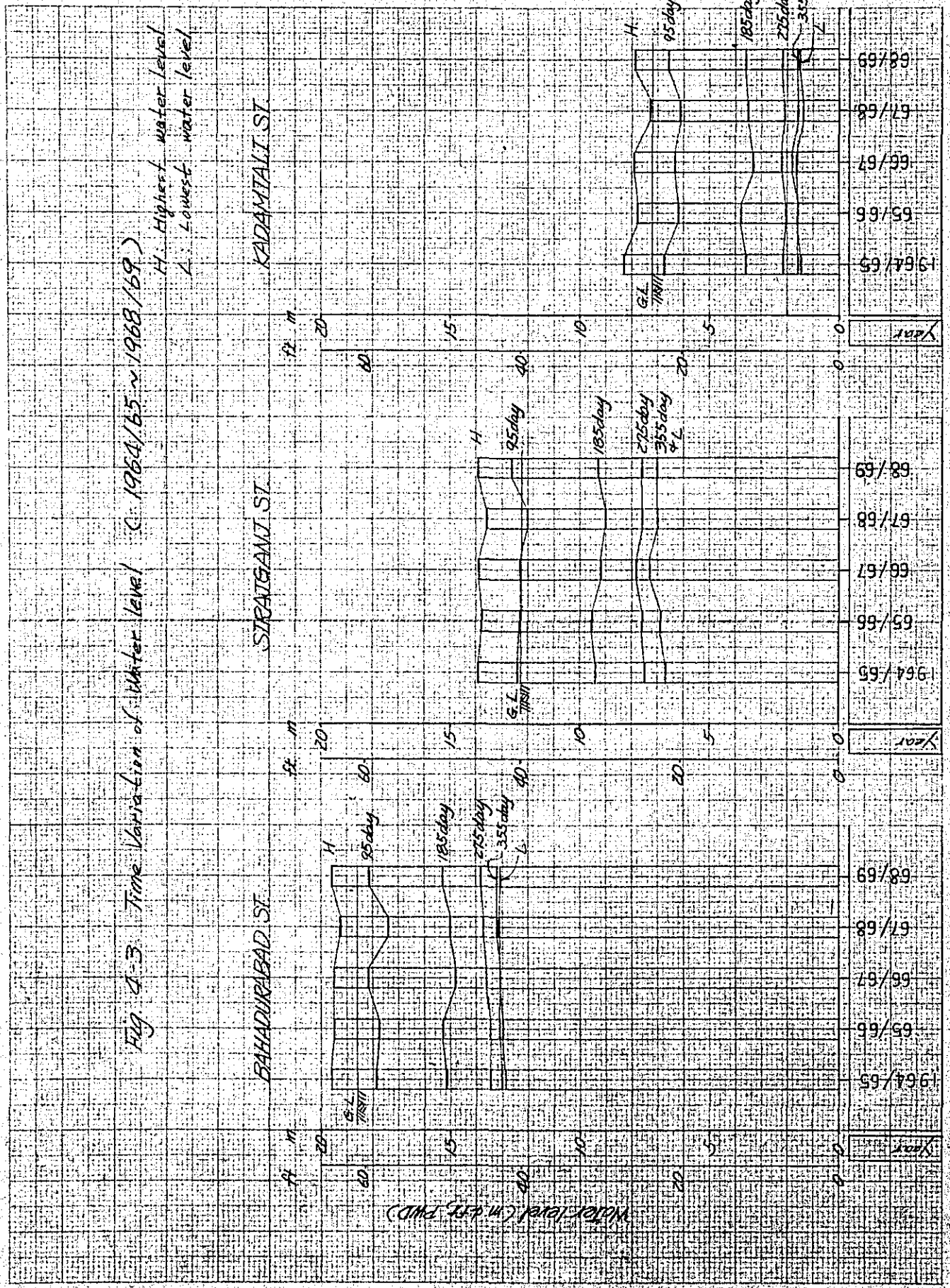


Table 4 - 1 List of Available Data on Water Level & Discharge

River	Station	Year															Lack of Data	
		1957	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71		72
J A M U N A	Nunkhawa	○	○	○	○	○	○	⊖	○	○	○	○	○	○				1957 Jan.-Apr.
	Chilmari	○	○	○	○	○	○	⊖	○	○	○	○	○	○				
	Kamarjani			○	○	○			○	○	○	○	○					
	Khulabary char								⊖	○	○	○	○	○				1963 Jan.-June
	Kristomoni char								⊖	○	○	○	○	○				1963 Jan.-June
	Bahadurabad tr.									○	○	○	○	○				1965 Apr.-July
	Fulcharighat									○	○	○	○	○				
	Bahadurabad	From Jan. 45	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○				Jan.-May '56 Feb. '57
	Jognai char									○	○	○	○	○				1965 Jan.-Mar.
	Patilbari									○	○							
	Jacannathganj					○	○	○			○	○	○	○	○			1960 Jan.-Mar.
	Sirajganj	From June 45	○	○	○	○	○	○	⊖	○	○	○	○	○	○			1960 2,3,4, Apr.
	Porabari				○	○	○	○	⊖	○	○	○	○	○				'63, '64 Jan.-Mar.
	Mathura (Nagarbari)									⊖	○	○	○	○	○			
Alukdia char									○	○	○							
Tecta									○	○	○	○	○					
L E V E L	Kaziour										○	○	○					
	Urakanda										○	○	○	○			'67, '68 Apr.-Mar.	
	Baruria tr.										○	○	○	○			"	
	Goalundo										○	○	○	○			"	
	Goalundo					○	○	⊖	○		○	○	○	○				
	Kadamtari										○	○	○	○				
D I S C H A R G E	Jamu- na	Bahadurabad	⊖	⊖	○	○	○	○			⊖	⊖	⊖					
		Sirajganj				○	○	○										
	Gang- es	Hardinge br.	From 1934	○	○	○	⊖	⊖	⊖	○		⊖	⊖	⊖				
		Baruria		Baruria & Goalundo were combined								⊖	⊖	⊖				
		Goalundo		Baruria & Goalundo were combined								⊖	⊖	⊖				
	R o l d - B r a h m a p u t r a		Off-take of Banshi									○	○	○				1964 Jan.-Mar.
			Off-take of Sutia									○	○	○	○			1964 & '68 Jan.-Mar.
			Nymensingh										○					1968 Jan.-Mar.
			Rly br.											○				"
			Jagir									○	○	○	○			1964 & '68 Jan.-Mar.
	Taraghat									○	○	○	○			1964 & '68 Jan.-Mar.		
	Dhaleswari	*	○ : daily data are available													1965 Feb.-Mar.		
	Kaliganga		⊖ : max. & min. values in a year are available															
			⊖ : only annual max. values are available															

Fig 4-3 Time Variation of Water level (c. 1964/65 ~ 1968/69)

H Highest water level
L Lowest water level



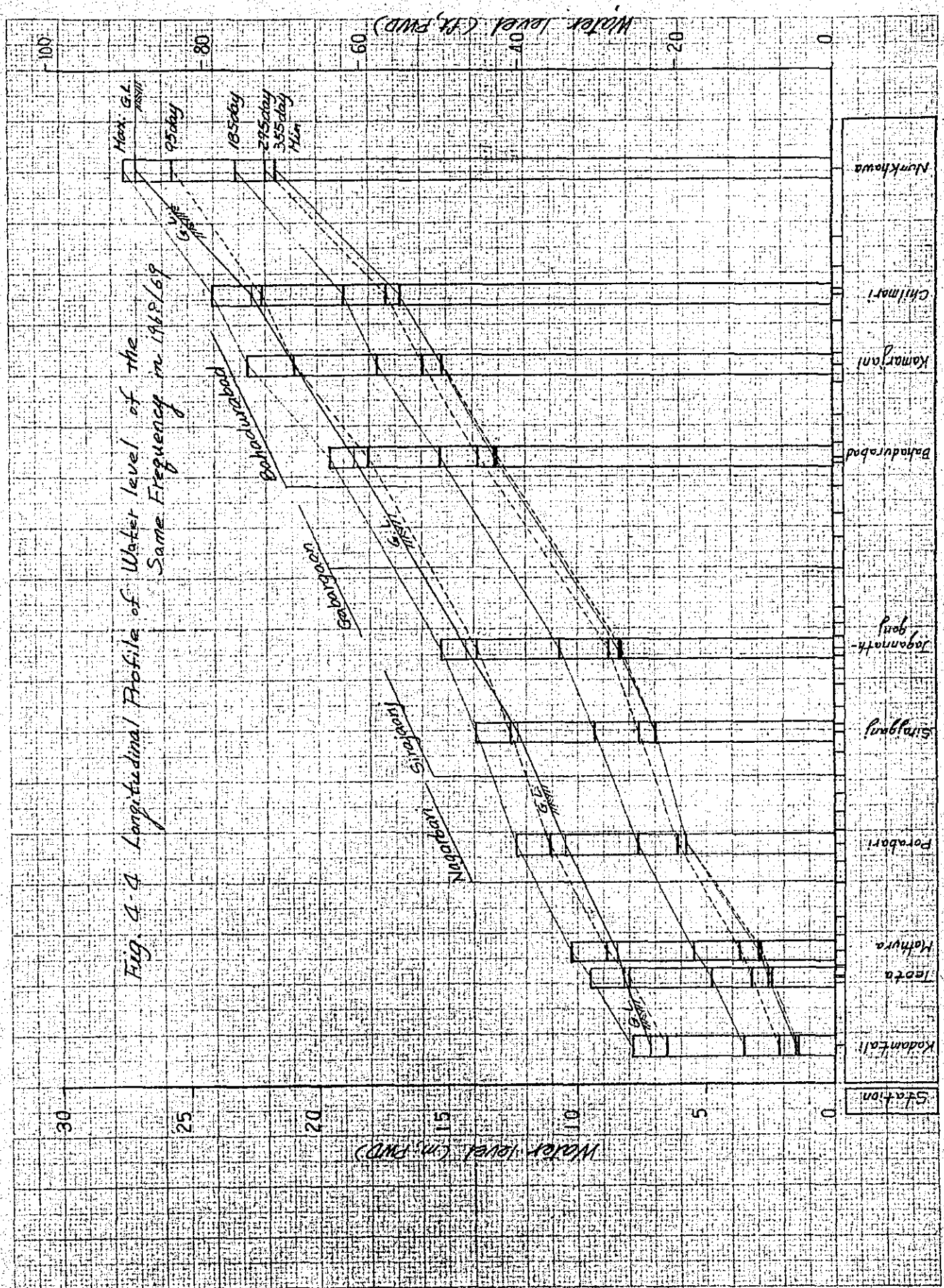


Fig. 4-4 Longitudinal Profile of Water level of the Same Frequency in 1968/69

Fig. 4.5 Stage Discharge Relation
(Bahadurabad on Jamuna River)

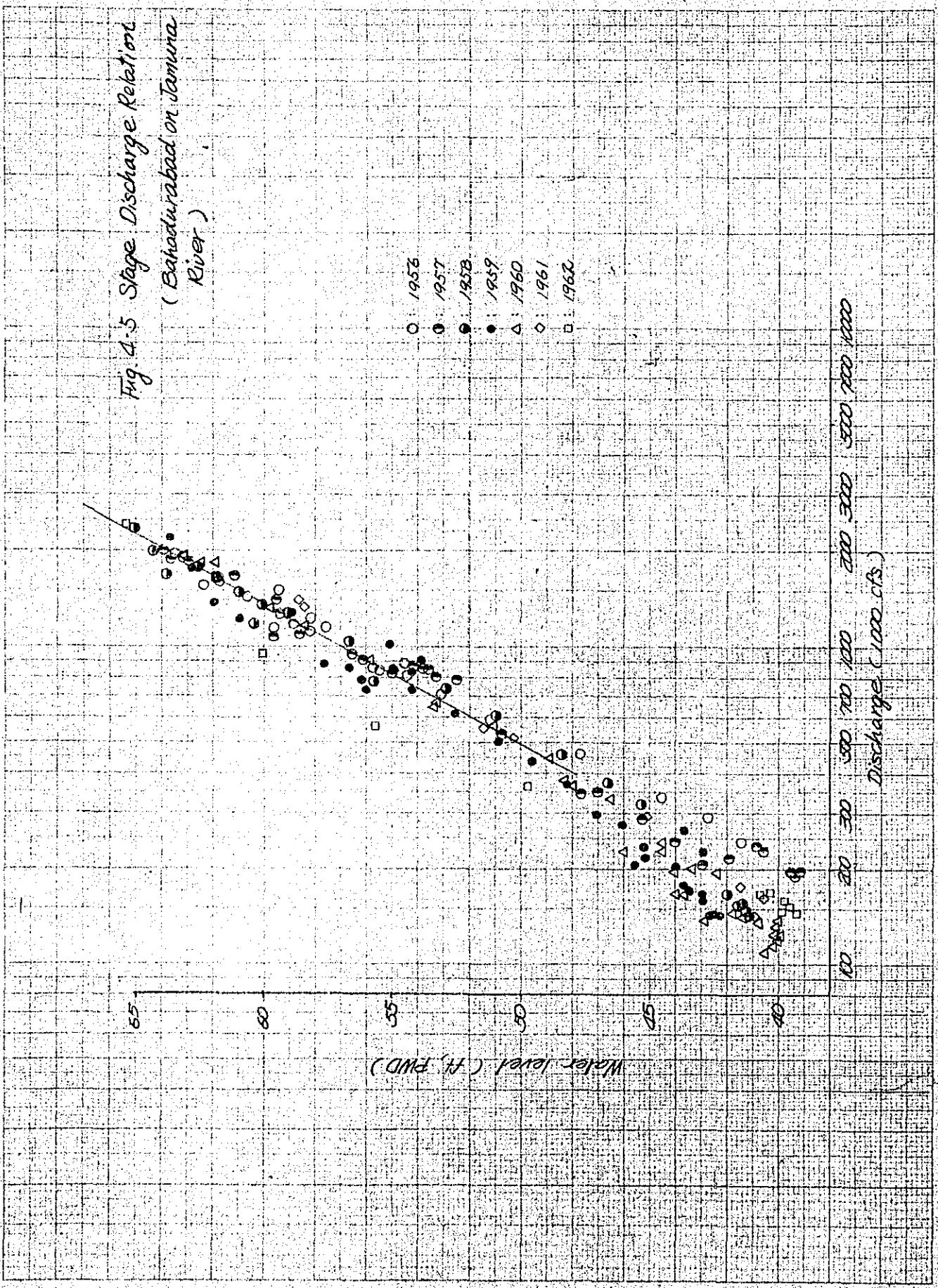
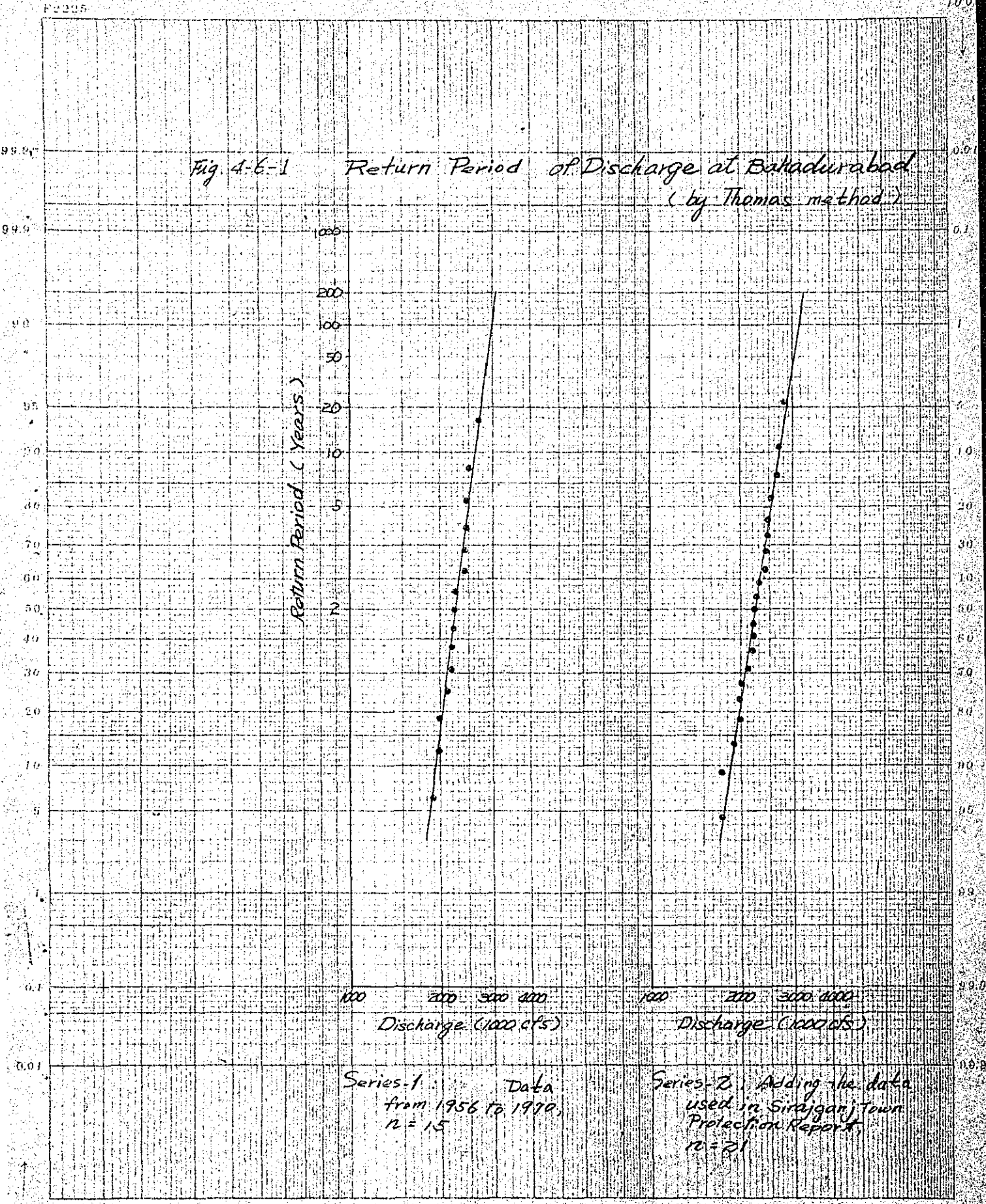


Table 4 - 2 Annual Maximum Discharges at Lahadurabad Station

date	water level (ft, FWD)	Discharge (10^3 cfs)			
		series-1	series-2	series-3	series-4
'50.	7.20		1730	1680	1870
51.	7.19		2020	1800	2050
52.	7.15		2510	1950	2230
53.	7.31		1730	1680	1890
54.	7.31		2660	2140	2450
55.	8. 1		2800	2240	2600
56.	6.24	2130	2130	2130	2130
57.	8.12	2210	2210	2210	2210
58.	8.10	2520	2520	2520	2520
59.	6.26	2420	2420	2420	2420
60.	9.18	2190	2190	2190	2190
61.	7.19	1900	1900	1900	1900
62.	8.23	2460	2460	2460	2460
63.	7.16	1990	1990	1990	1990
64.	8. 4	2230	2230	2230	2230
65.	8.15	2270	2270	2270	2270
66.	8.31	2430	2430	2430	2430
67.	7.12	2460	2460	2460	2460
68.	7.25	2200	2200	2200	2200
69.	7.23	1980	1980	1980	1980
70.	7.28	2700	2700	2700	2700

Fig. 4-6-1 Return Period of Discharge at Bahadurabad (by Thomas method)



Discharge (1000 cfs)

Discharge (1000 cfs)

Series-1: Data from 1956 to 1970, n = 15

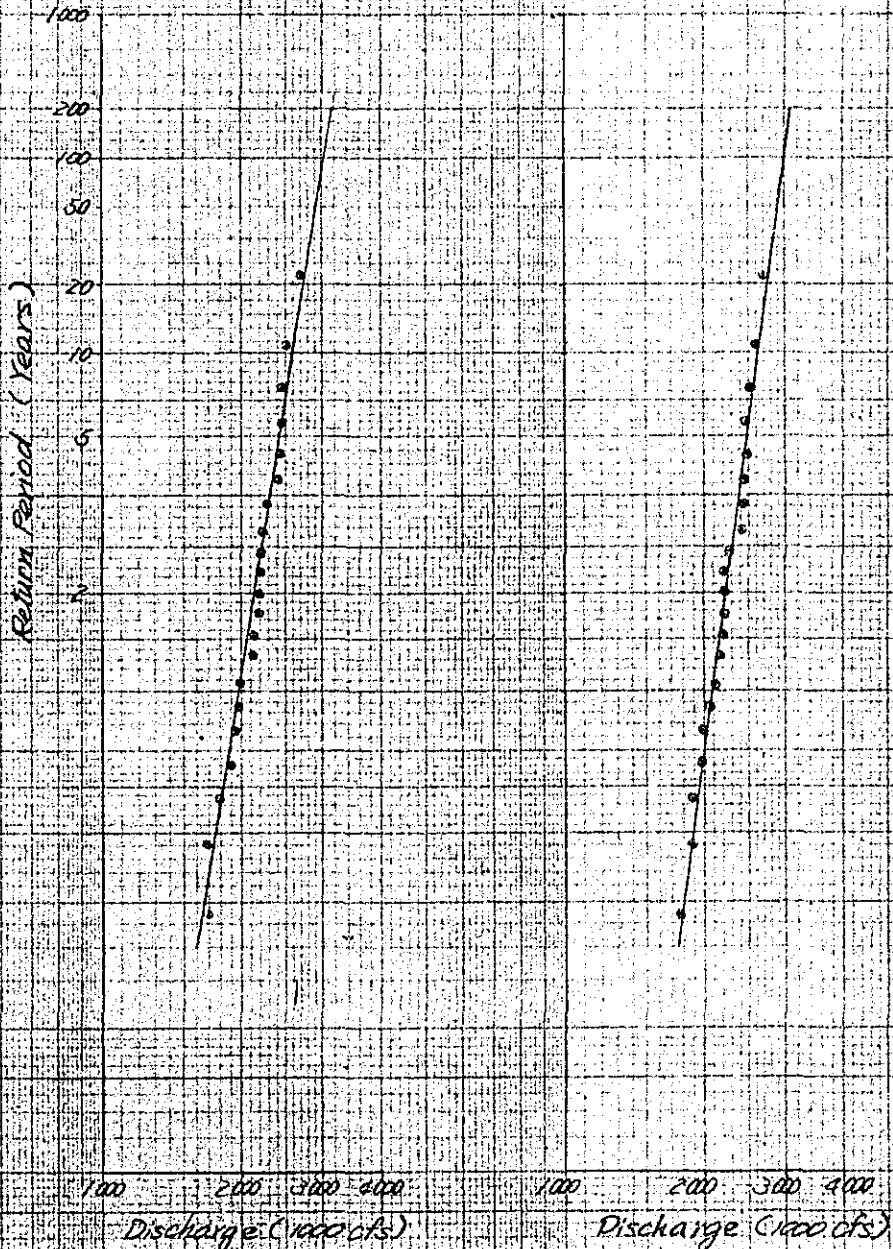
Series-2: Adding the data used in Sirajganj Town Protection Report, n = 21

log x →

F2-25

10.0

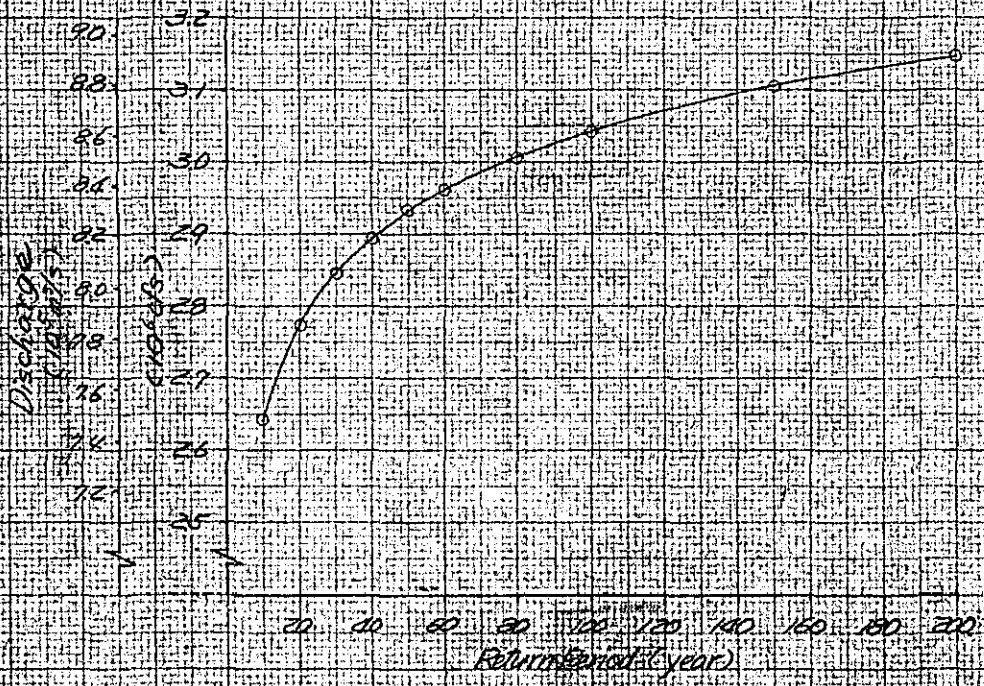
Fig. 4-6-2 Return Period of Discharge at Bahadurabad (by Thomas method.)



Series 3: Average Rating curve from 1956 to 1962 was applied for the estimation of discharges from 1950 to 1955
 $n = 21$

Series 4: Rating curve for 1966 prepared by B.W.D.B. was applied for estimation of discharges from 1950 to 1955
 $n = 21$

Fig. 4-7 Return Period of Discharge at Bahadurabad



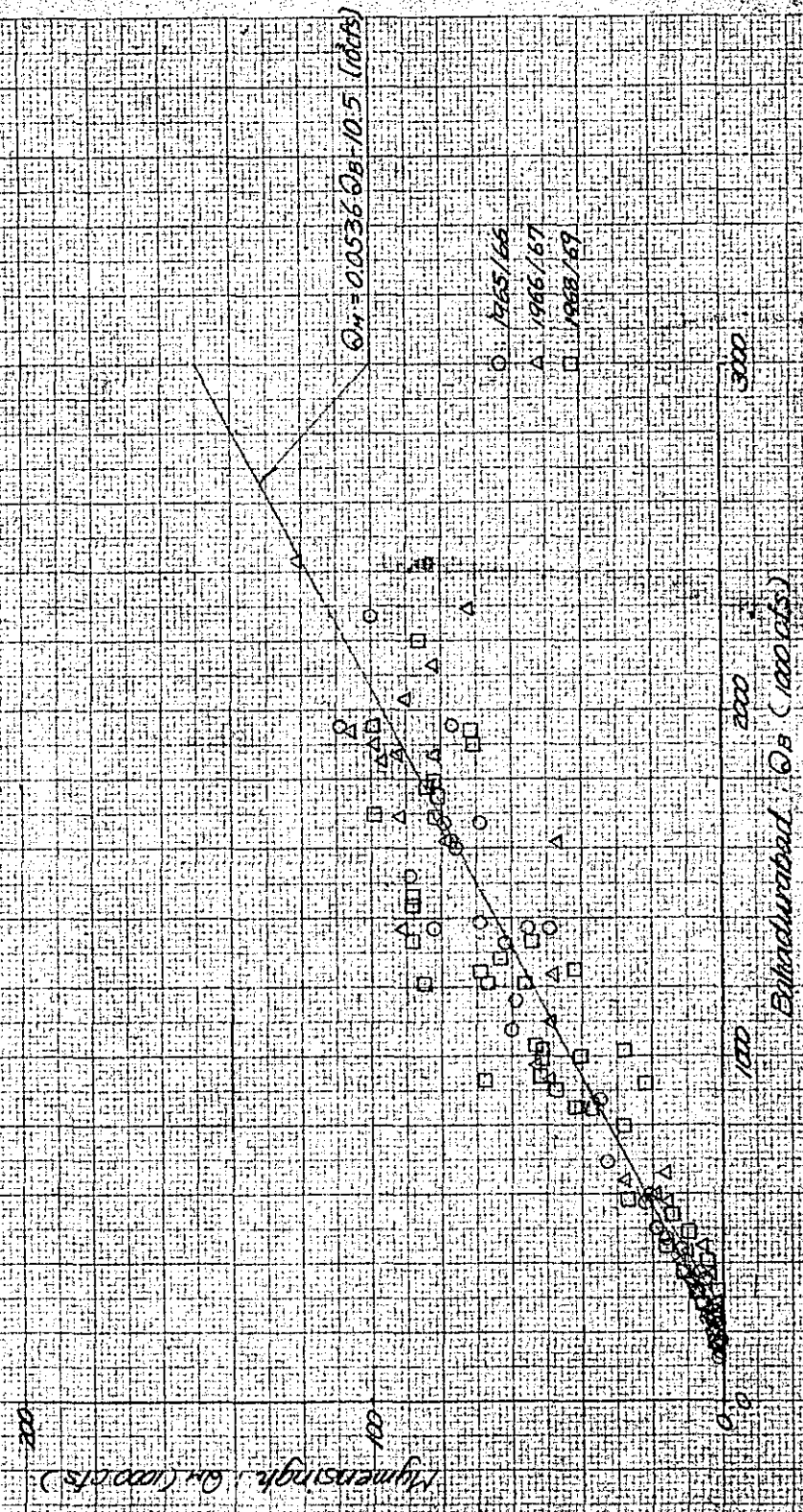
Return period (year)	Discharge		Remarks
	(10 ⁶ cms)	(10 ³ m ³ /s)	
10	2641	70.79	
20	2774	73.56	
30	2846	76.30	
40	2895	78.59	
50	2932	80.04	
60	2962	81.89	
80	3007	85.16	
100	3042	86.15	
150	3104	87.91	
200	3147	89.12	

Table 4 - 3 Return Period of Discharge at Bahadurabad
(by Thomas plotting)

return period (year)	discharge (10^3 cfs)				average
	series-1	series-2	series-3	series-4	
10	2624	2717	2604	2618	2641
20	2758	2871	2746	2739	2774
30	2798	2955	2826	2804	2846
40	2840	3013	2880	2848	2895
50	2871	3056	2920	2881	2952
60	2896	3091	2952	2908	2962
80	2934	3114	3002	2949	3007
100	2963	3185	3041	2980	3042
150	3014	3258	3108	3036	3104
200	3050	3309	3155	3074	3147

Fig. 4.8 Correlation of Discharges

Behadurabad on Jamuna River
Hyemsingh on Old Brahmaputra } $r = 0.938$



12 V 4 190 X 500 mm

Fig. 4-9 Correlation of Discharges

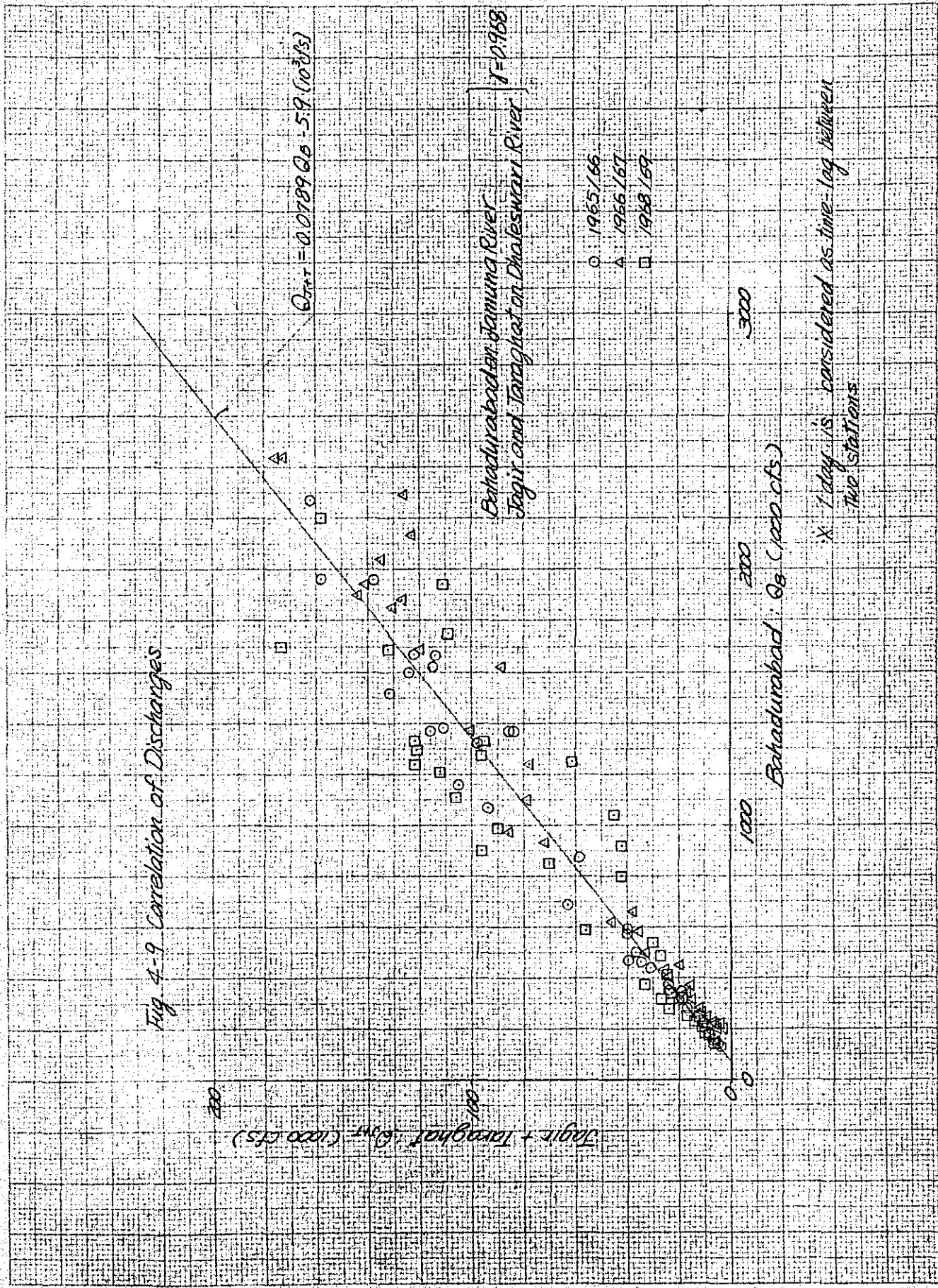
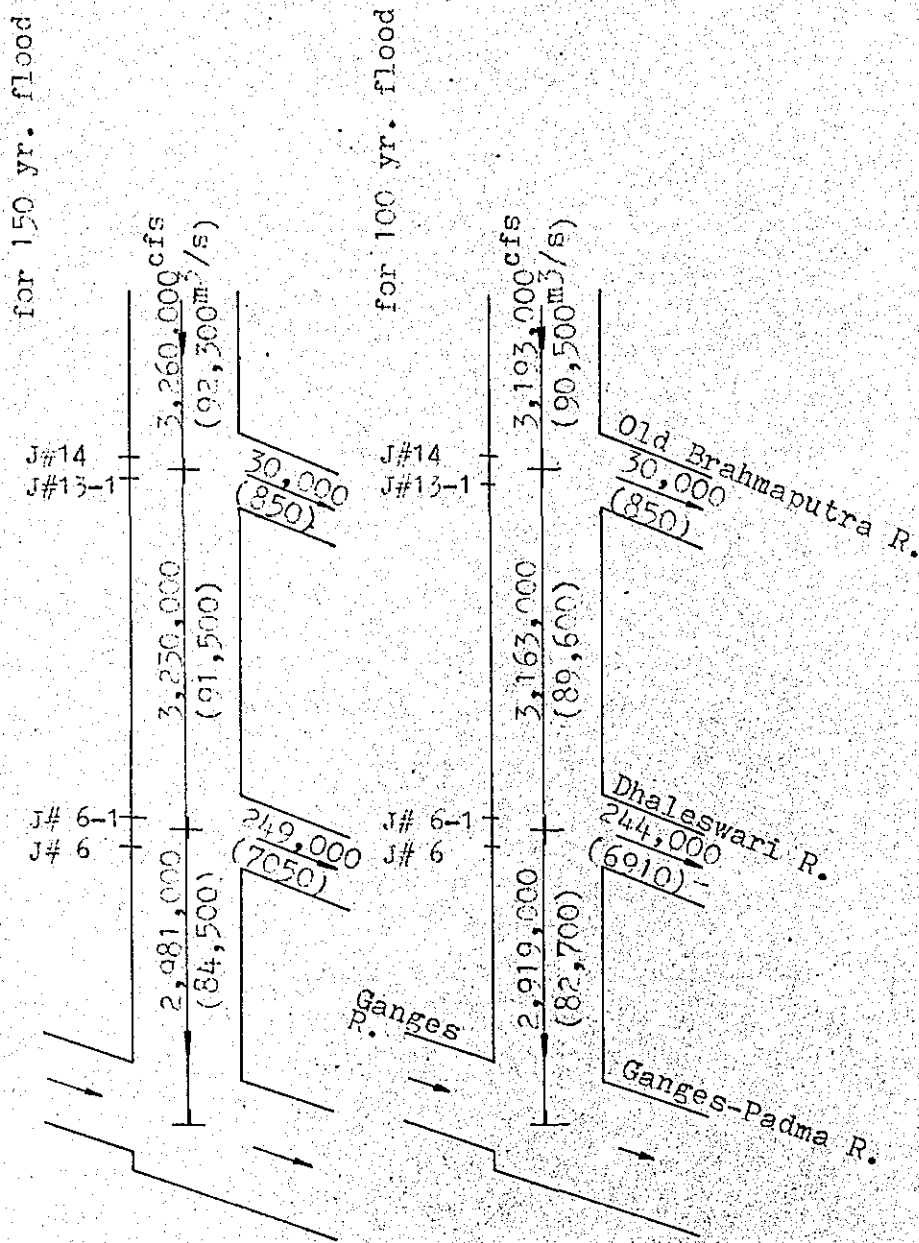


Fig. 4 - 10 Discharge Allocation of Jamuna River



第 5 章

粗度係数

1. 架橋予想地帯に於ける流量観測

1973年の洪水期に日本への調査隊(測量隊)の手により、4架橋予想地帯に於ける Nagarbari: N-12 断面 = 10月4日, Sirajganj: S-12 = 9月4日, Gabargaon: G-8 = 10月17日, Bahadurabad: B-8 = 10月11日に各断面での流量観測が夫々実施された。この観測は粗度係数の指定のための手段であり、ピーク流量の低減に関する調査は観測が同日でないため不可能である。

Fig. 5-1は各々の架橋予想地帯に近く位置する4水位観測所: Char-Bharenga, Nakfater-char, Milanpur, B.N. Projapati における B.W.D.B.の観測による水位ハイトのグラフである。この図より各観測月日における各観測地帯の水位は全々同様であることが判る。

流速観測は予想地帯の各断面の横断方向に7~11の測線を設置し、表面から河床へ約1mピッチで流速と電流流速計を用いて行われた。断面の各鉛直流速分布は Fig. 5-2-1, 2の通りであり、Fig. 5-3-1, 2は各断面内の測線の平均流速の横断分布である。又 Fig. 5-4-1, 2は

各測線の平均流速が支配する分割面積である。この流量計算結果は Table 5-1 の通りであるが 4 sites の観測流量は次の通りである。

site	Discharge	
Nagarbari	761,500 cfs	21,566 m^3/s
Sirajganj	1,101,500 cfs	31,195 m^3/s
Gabargaon	943,940 cfs	26,733 m^3/s
Bahadurabad	643,910 cfs	18,236 m^3/s

2. 平均流速と表面流速

この節では平均流速と表面流速の間の関係について述べらるべきこととする。まず、一測線上に於ける平均流速を U_m 、同じく表面流速を U_s 、一断面に於ける U_m の最大値を $U_{m \max}$ 、一断面に於ける U_m の平均値を U_M 、次に一測線上に於ける水表面から河床に向って表面、2割水深、6割水深に於ける流速をそれぞれ U_s 、 $U_{0.2H}$ 、 $U_{0.6H}$ と定義するものとする。

1973年の洪水期に Jamuna 河を測りしに U_m と $U_{0.6H}$ 、 U_m と U_s 、 U_m と $U_{0.2H}$ の各流速間の相関を求めると Fig. 5-5 の通りである。Fig. 5-6 は Ganges 河の Hardinge 橋を測定しし Table 5-2 (事務調査報告書参照) に示した U_m と U_s の関係を示している。

このより、6割水深に於ける流速は平均流速に等しい、すなわち $U_{0.6H} = U_m$ であり、Jamuna 河に於ける平均流速の表面流速に対する比は $U_m/U_s = 0.78$ である。同じく Ganges 河の Hardinge 橋の場合は $U_m/U_s = 0.83$ である。このより、両河の平均値は $U_m/U_s = 0.8$ とする。

事務調査報告書 (117JB) によれば、1950年から1971年の間は Ganges 河の Hardinge 橋を測定して最大流量、水位、

各測線上に示した最大平均流速 U_{max} 、最大表面流速 U_s は Table 5-2 の通りである。又他の水文資料より水位、流量、流積の3要素が同時にわかり Table 5-2 から流積の計算の都合上 R.L. 246.0 ft 以上の水位記録を4個選定した。

Table 5-2 及び Table 5-3 の資料を用いて水位～流量、水位～流積、流量～平均流速 U_M の各相関をグラフに示し Fig. 5-7 に示した。

次に日本の測量隊によって Jamuna 河で測定された資料 (Table 5-1) 及び Ganges 河で得た U_M 、 U_{max} (Table 5-3, 5-2) の値をまとめ Table 5-4 に示した。この各値を用いて U_M 、 U_{max} の関係を示すべし。この結果は Fig. 5-8 に示す通りである。

3. 粗度係数

(1) 1973年の流量観測結果より推定した場合の粗度係数: n

マンニングの粗度係数の計算においては次式によるものとする

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

ここで V : 平均流速 (m/s)

R : 平均水深 (m)

I : 水面勾配

n : 粗度係数

流量 Q , A ($V=Q/A$), R ($=A/W$, W は水表面に於ける河幅) の値は Table 5-1 に示すものを適用し、 I は各 site に於ける次に述べる同時水位縦断面図から得た勾配を用いるものとする。同時水位縦断面図 Fig. 5-9 は流量観測が実施された月日の各 site 毎の同時水位縦断面であり、Jamuna 河筋にある BWIDB 管理の水位観測所の時刻水位から作成したものである。

4 架橋予想地帯に於ける n 値の計算結果は Table 5-5 の通りである。Jamuna 河の n 値の縦断面変化は Fig. 5-10 の如くである。Jamuna 河の平均 n 値は Bahadurabad を除いた全区間で 0.02 である。本調査ではこの $n=0.02$ を計画に採用した。

(2) 乾季に測量された横断面に対して推定した場合の
粗度係数: n

乾季に測られた横断面に対する粗度係数を得るために
粗度係数の値を $n = 0.02$, 0.018 , 及び 0.015 と3種仮定し
1970年の最大流量 (1970年7月28日, Bahadurabadで観測された
 $> 700,000 \text{ cfs}$) が 1969/70の乾季に測定された横断面を流れた
とした場合の水面形状を Bahadurabadをほぼ右上下流の間で
計算した。この結果は Fig. 5-11の通りである。

上図より、最も妥当な n 値は 0.015 から 0.018 の間にな
ることになる。東パキスタンの Flood control plan の First
stage (1135N) に示すは Jamuna 河に対する n 値は
平均で 0.017 と推算されている。したがって乾季に測られた
横断面から推定された n 値の妥当的な値として $n = 0.017$
を用いることができる。

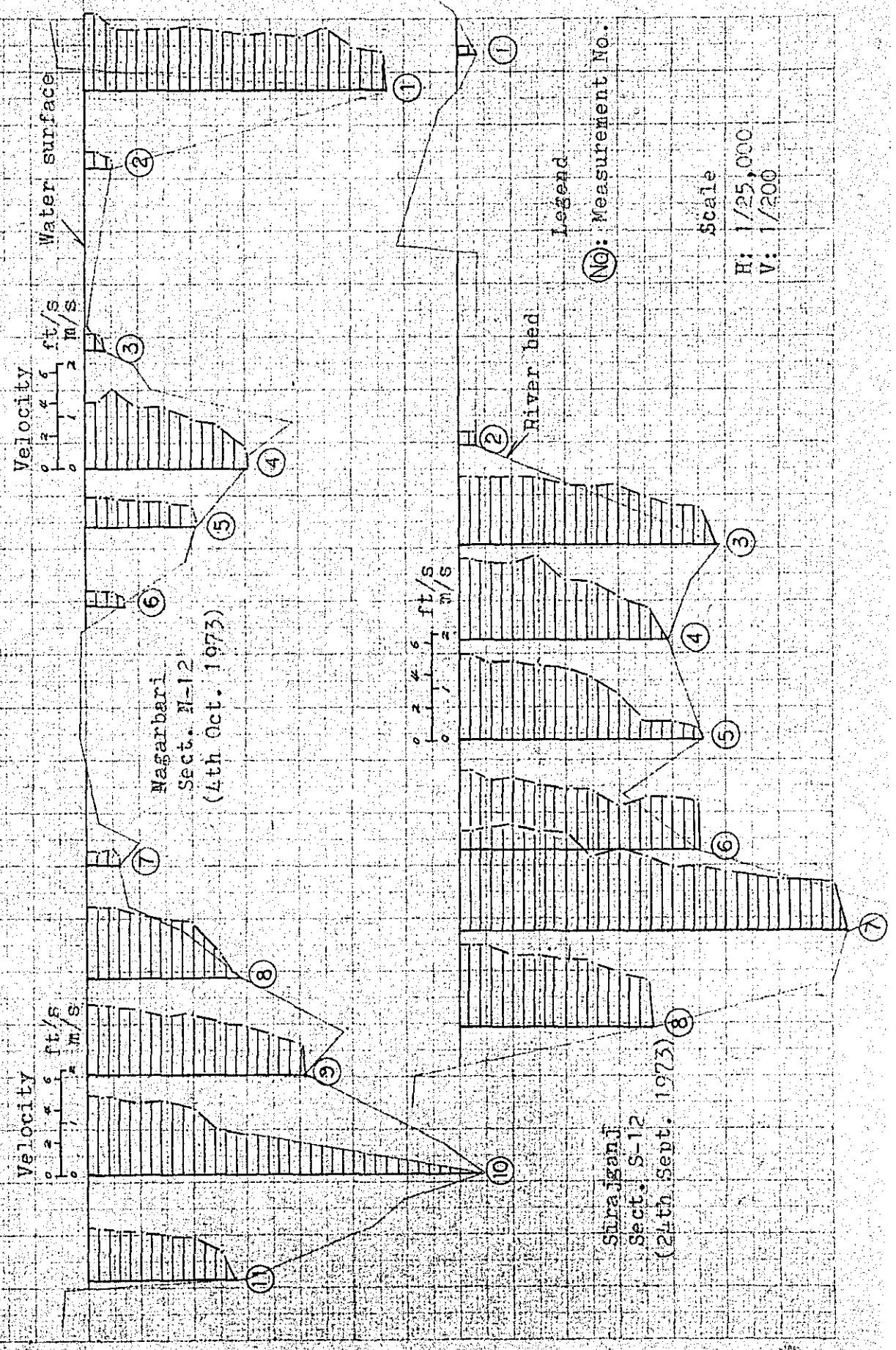
(3) 考察

上述の様には洪水流量とその洪水時に測られた横断面か
ら推定された n 値は 0.02 である。一方 1970年の最大流量
とその洪水に最も近い 1969/70の乾季に測定された横断面よ
り推定された n 値は 0.017 である。この結果より洪水期間
中の n の値は 0.02 が適当な値である。

これは水深が洪水の終りに沈殿作用のためある程度埋戻されたこと、浅くおると云う事実に原因があるのかも申したい。しかしながら粗度係数として 0.02 あるいは 0.017 を採るかを決める前にさらにくわしい調査をする必要がある。

本調査では水位計算に当り、洪水期間中に測られた横断面を用いての粗度係数は $n=0.02$ を採用した。

FIG. 5 - 2 - 1 Vertical Distribution of Velocity



Nagarbari
Sect. N-12
(4th Oct. 1973)

Surajganj
Sect. S-12
(21th Sept. 1973)

Legend

No: Measurement No.

Scale

H: 1/25,000

V: 1/200

River bed

Water surface

Fig. 5-2-2 Vertical Distribution of Velocity

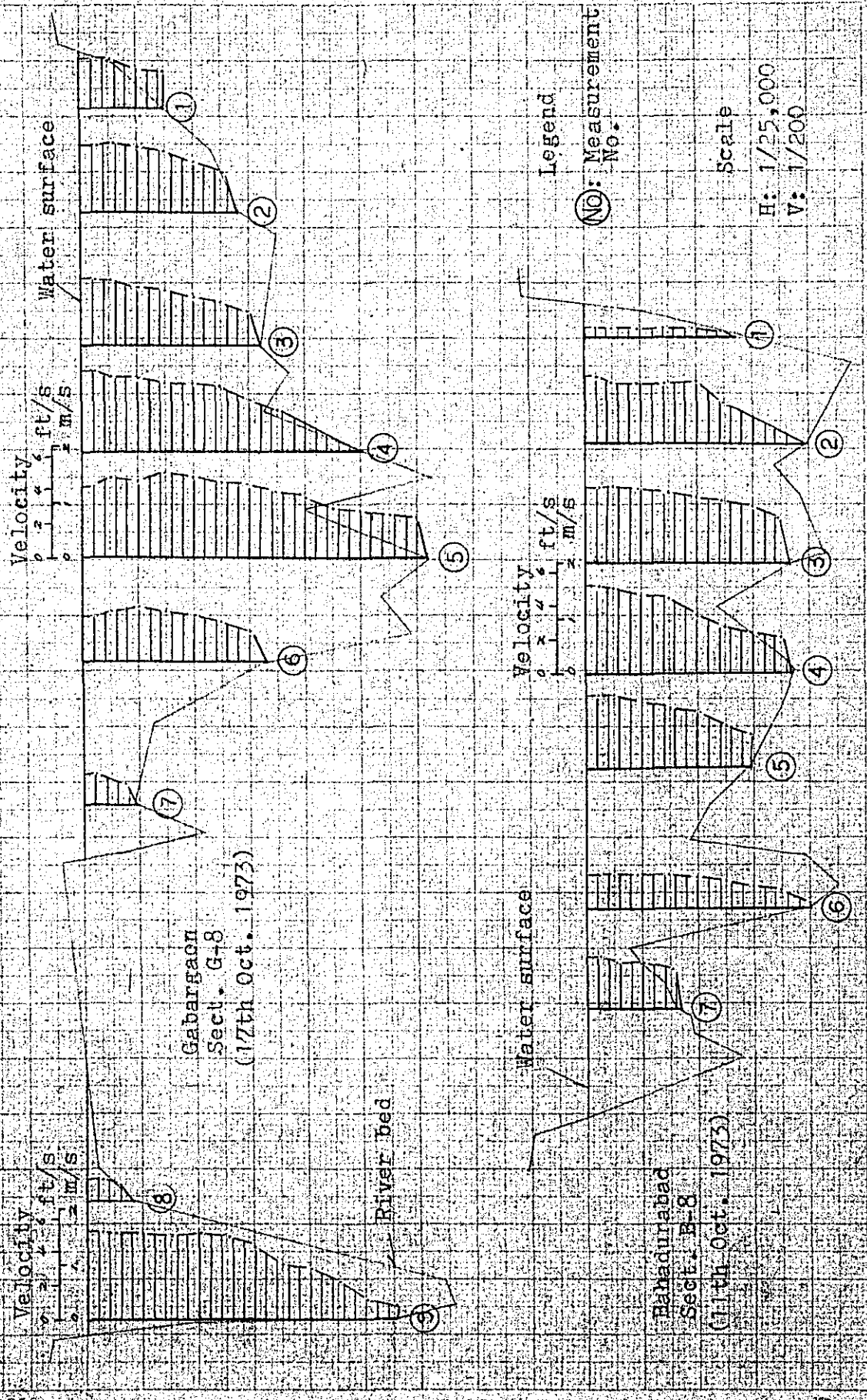
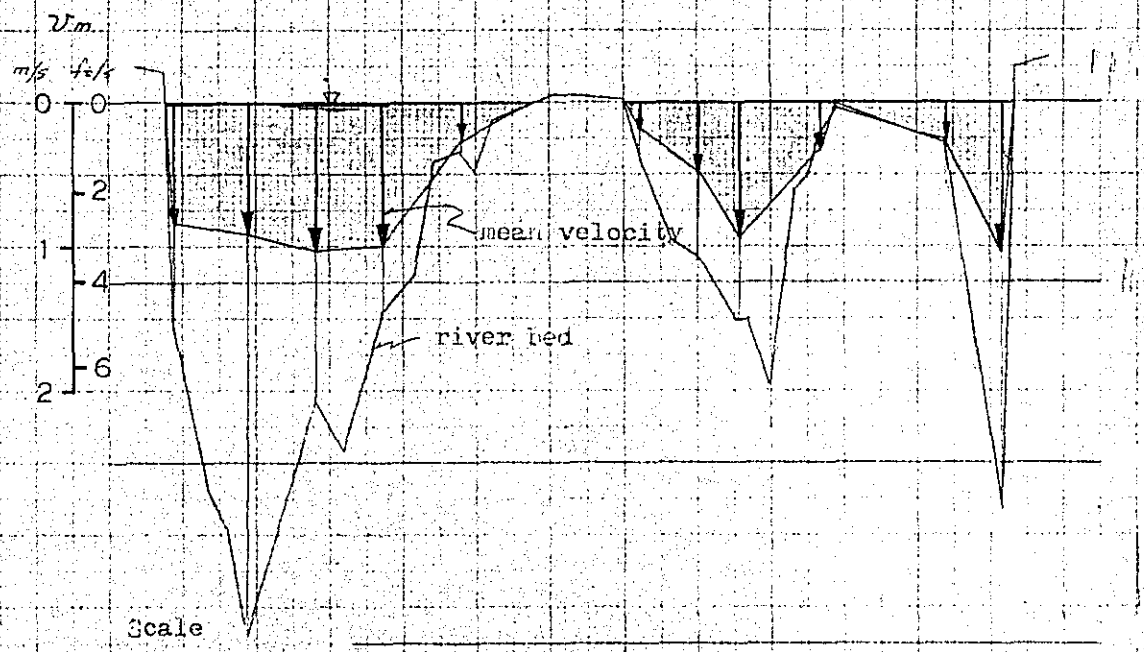


Fig. 5-5-1 Lateral Distribution of Mean Velocity : V_m
Nagarbari (A-12) (measured on 4th Oct., 1973)



Scale
H=1/50,000
V=1/200

Sirajganj (B-12) (measured on 24th Sept., 1973)

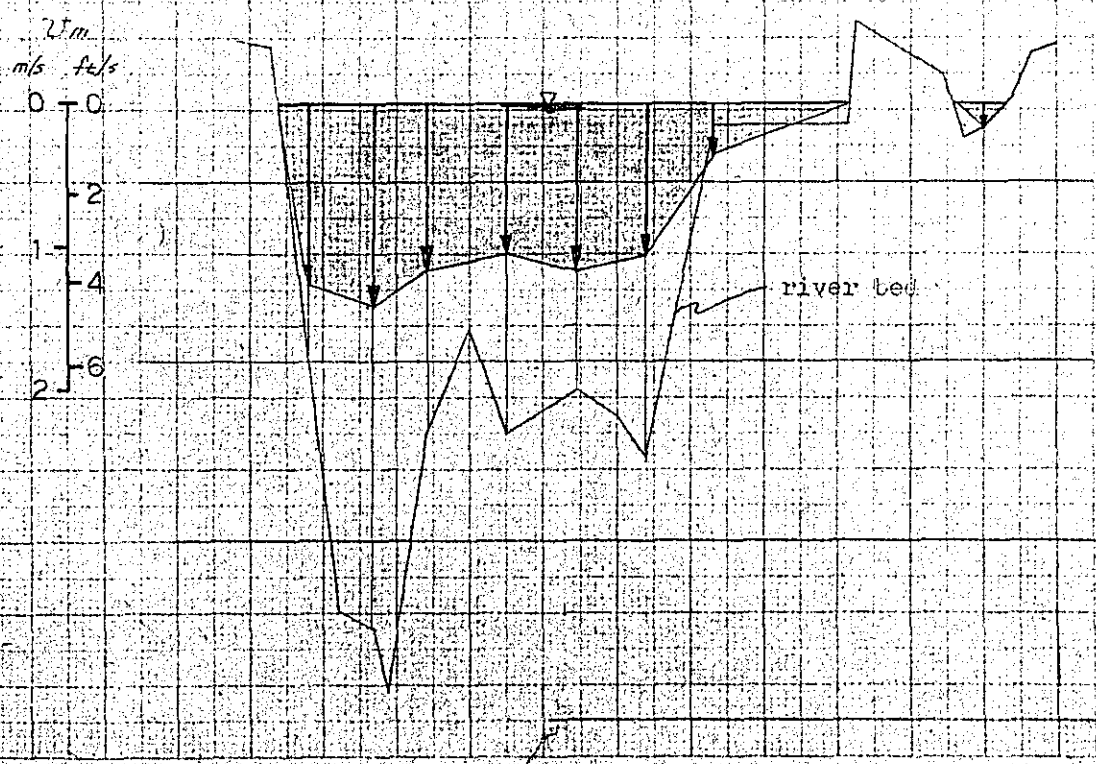
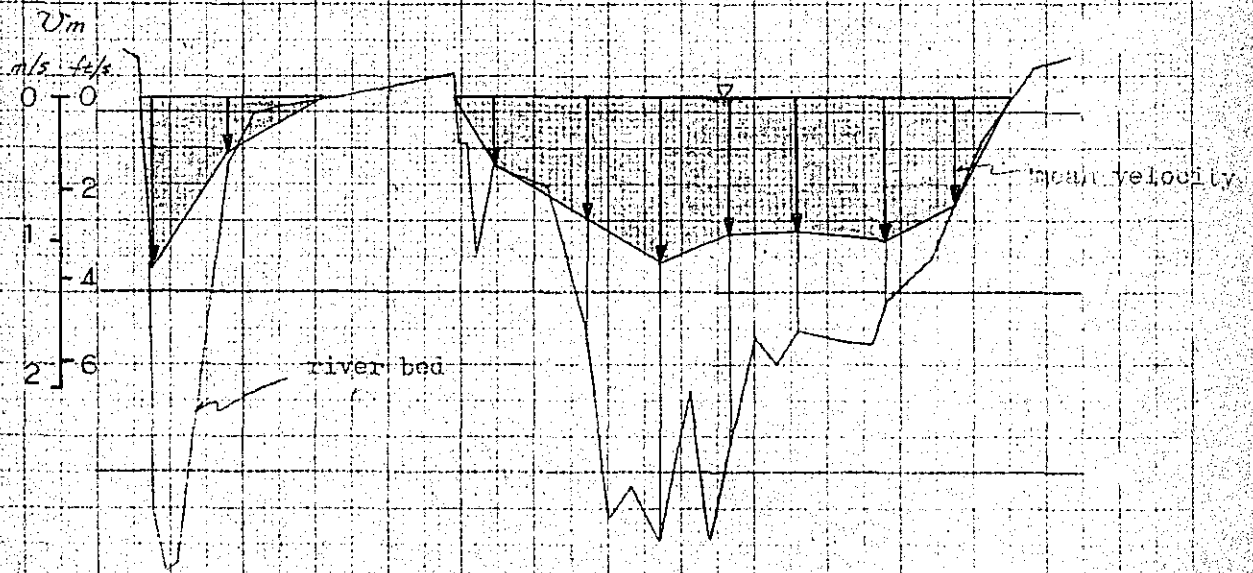


Fig. 5-3-2 Lateral Distribution of Mean Velocity ; v_m
Gabargaon (G-8) (measured on 17th Oct., 1973)



Scale

H=1/50,000
V=1/200

Bahadurabad (B-8) (measured on 11th Oct., 1973)

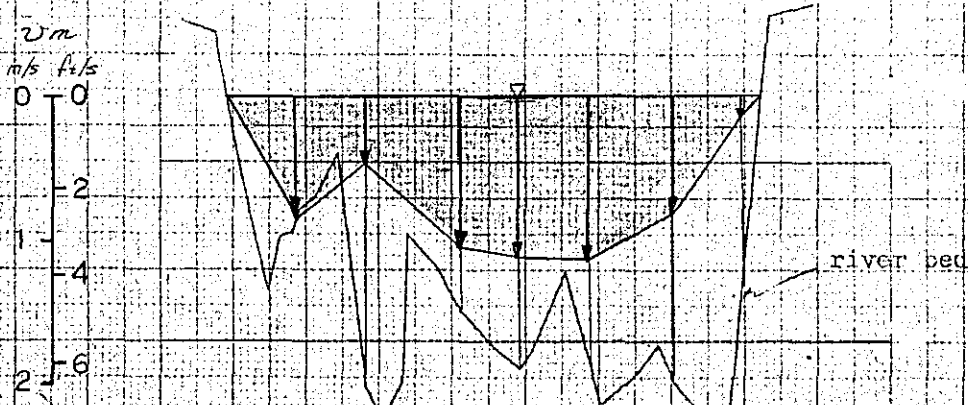


Fig. 5-4-1 Segment Area for Mean Velocity v_m on a Vertical

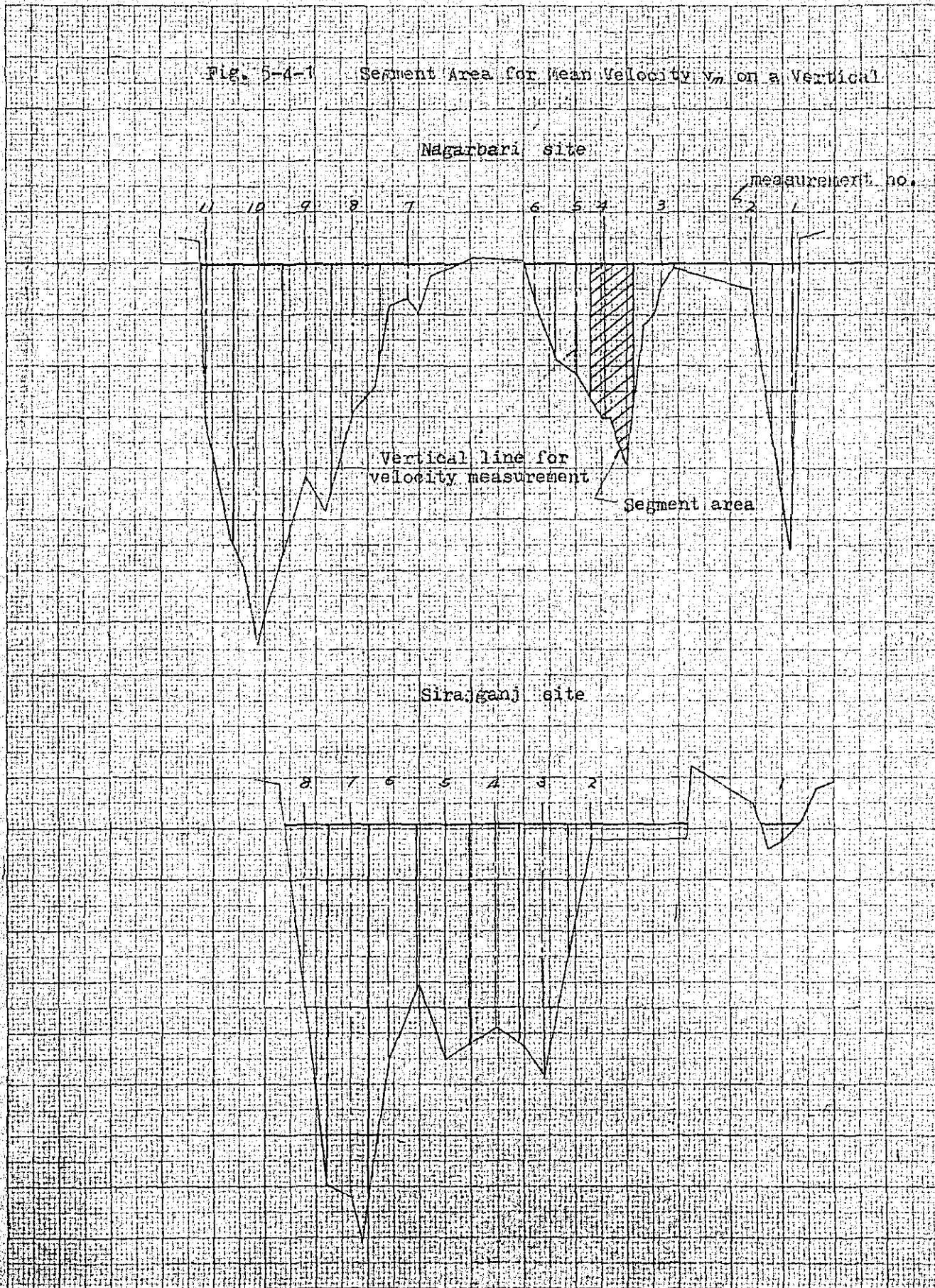


Fig. 5-4-2. Segment Area for Mean Velocity v_m on a Vertical

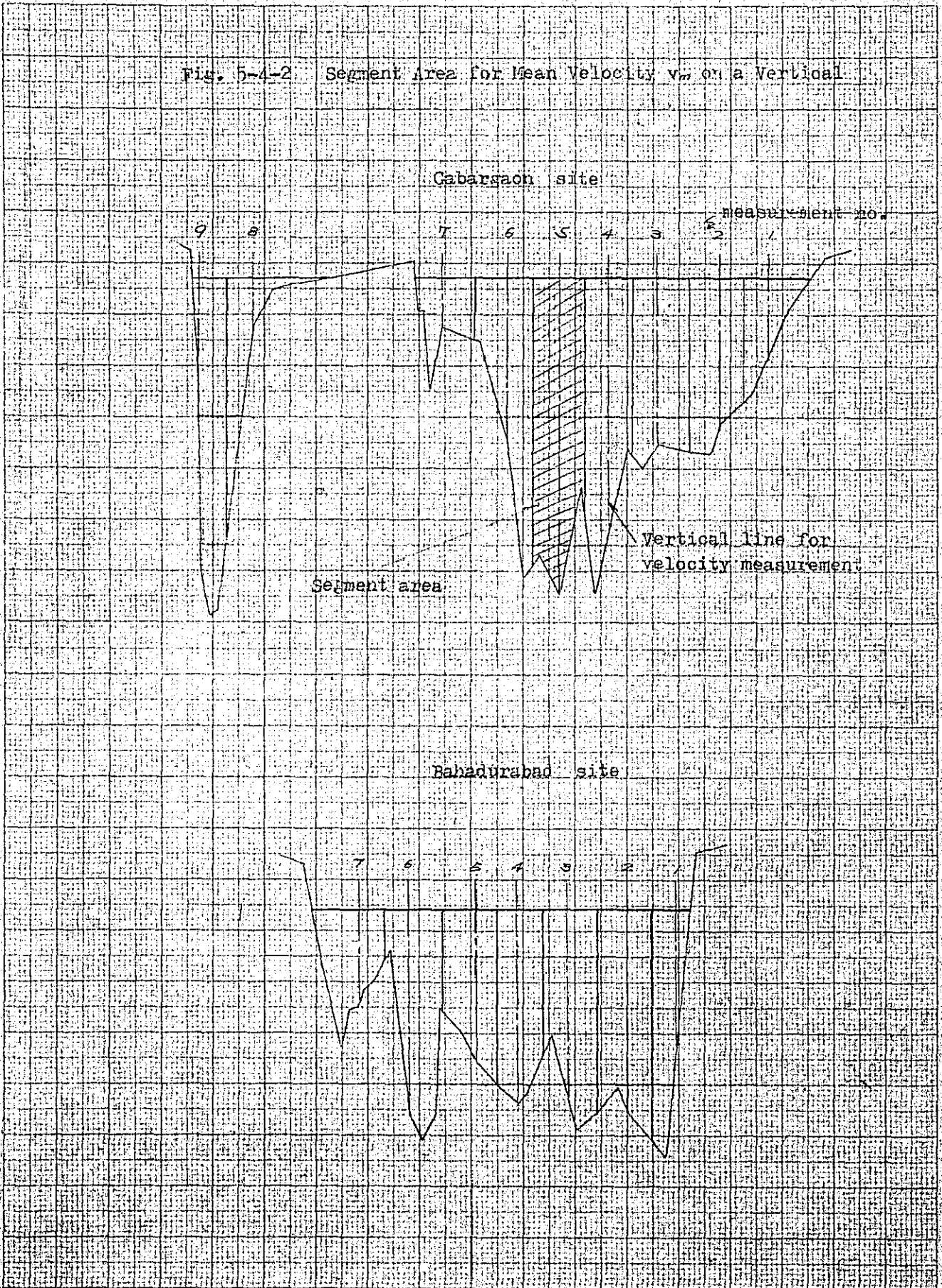


Table 5 - 1 Discharge at Proposed Sites

Nagarbari on 4th Oct. 1973

Measurement No.	Mean velocity (m/s)	Segment area (sq. m)	Discharge (cfs)	Remark
1	1.08	2164	2337	Mean velocity = 0.858 m/s $Q = 21,566 \text{ m}^3 = 761,500 \text{ cfs}$
2	0.28	1020	287	
3	0.35	733	257	
4	0.97	2665	2585	
5	0.50	1364	682	
6	0.22	568	125	
7	0.26	829	216	
8	1.01	2966	2966	
9	1.04	4617	4802	
10	0.91	5936	5402	
11	0.83	2261	1877	
Total		25,127	21,566	

Sirajganj on 24th Sept. 1973

Measurement No.	Mean Velocity	Segment area	Discharge	Remark
1	0.16	119	19	Mean velocity = 1.168 m/s $Q = 31,195 \text{ m}^3 = 1,101,500 \text{ cfs}$
2	0.36	1182	426	
3	1.06	3865	4097	
4	1.16	3752	4352	
5	1.05	4031	4233	
6	1.16	4264	4946	
7	1.42	6387	9070	
8	1.28	5166	4052	
Total		26,766	31,195	

Gabargaon on 17th Oct. 1973

Measurement No.	Mean velocity (m/s)	Segment area (sq. m)	Discharge (m ³ /s)	Remark
1	0.78	1337	1024	Mean velocity = 1.198 m/s $Q = 26,733 \text{ m}^3 = 943,940 \text{ cfs}$
2	0.99	3238	3206	
3	0.94	3639	3421	
4	0.95	4378	4159	
5	1.17	5001	5851	
6	0.86	3761	3234	
7	0.47	1293	608	
8	0.40	2036	814	
9	1.19	3669	4366	
Total		22,687	26,733	

Bahadurabad on 11th Oct. 1973

Measurement No.	Mean Velocity	Segment area	Discharge	Remark
1	0.13	2486	323	Mean velocity = 0.831 m/s $Q = 18,536 \text{ m}^3 = 643,910 \text{ cfs}$
2	0.83	4192	3479	
3	1.16	3648	4232	
4	1.14	3075	3506	
5	1.05	2826	2967	
6	0.49	3416	1674	
7	0.89	2309	2055	
Total		21,952	18,336	

Table 5 - 2 Discharge and Velocity at Hardinge Bridge

date	max. discharge (cfs)	mean velocity (f/s)	surface velocity (f/s)	water level (R.L. ft)
Aug. 19, 1950	1,815,158	11.14	13.10	246.50
Aug. 29, 1951	1,487,707	8.63	10.72	244.80
Aug. 30, 1952	1,654,063	9.31	11.25	246.50
Aug. 30, 1953	1,853,286	10.29	12.80	246.50
Aug. 25, 1954	2,006,438	9.56	11.25	246.80
Aug. 23, 1955	2,085,524	9.27	11.35	247.20
Sept. 22, 1956	2,028,366	9.65	11.35	246.10
Sept. 7, 1957	1,541,722	8.41	9.99	244.30
Aug. 15, 1958	1,094,755	8.33	9.90	245.70
Aug. 23, 1959	1,762,436	8.70	10.37	245.50
Aug. 23, 1960	1,667,261	9.32	11.00	245.50
Aug. 9, 1961	1,892,246	7.45	9.25	246.40
Sept. 8, 1962	1,547,055	7.46	9.99	246.00
Sept. 7, 1963	1,902,571	9.99	12.36	245.50
Aug. 7, 1964	1,807,006	9.56	11.25	244.90
Sept. 16, 1965	1,521,838	9.49	11.84	243.50
Aug. 30, 1966	1,808,899	9.15	10.98	245.10
Sept. 24, 1967	2,066,198	11.95	14.06	245.30
Aug. 31, 1968	1,721,796	9.73	13.10	244.30
Aug. 23, 1969	1,952,475	10.43	13.40	246.00
Sept. 24, 1970	1,957,002	11.43	11.84	243.90
Aug. 26, 1971	2,162,707	13.39	15.75	248.00

Fig 5.5 Relation between Velocities

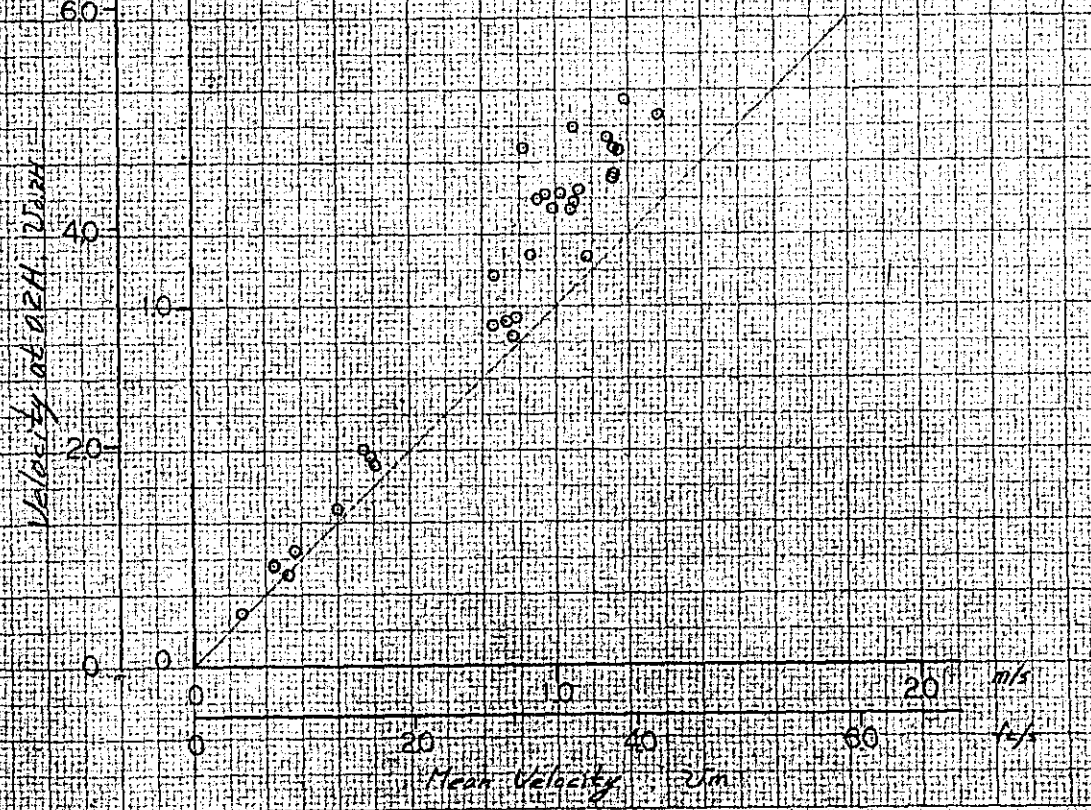
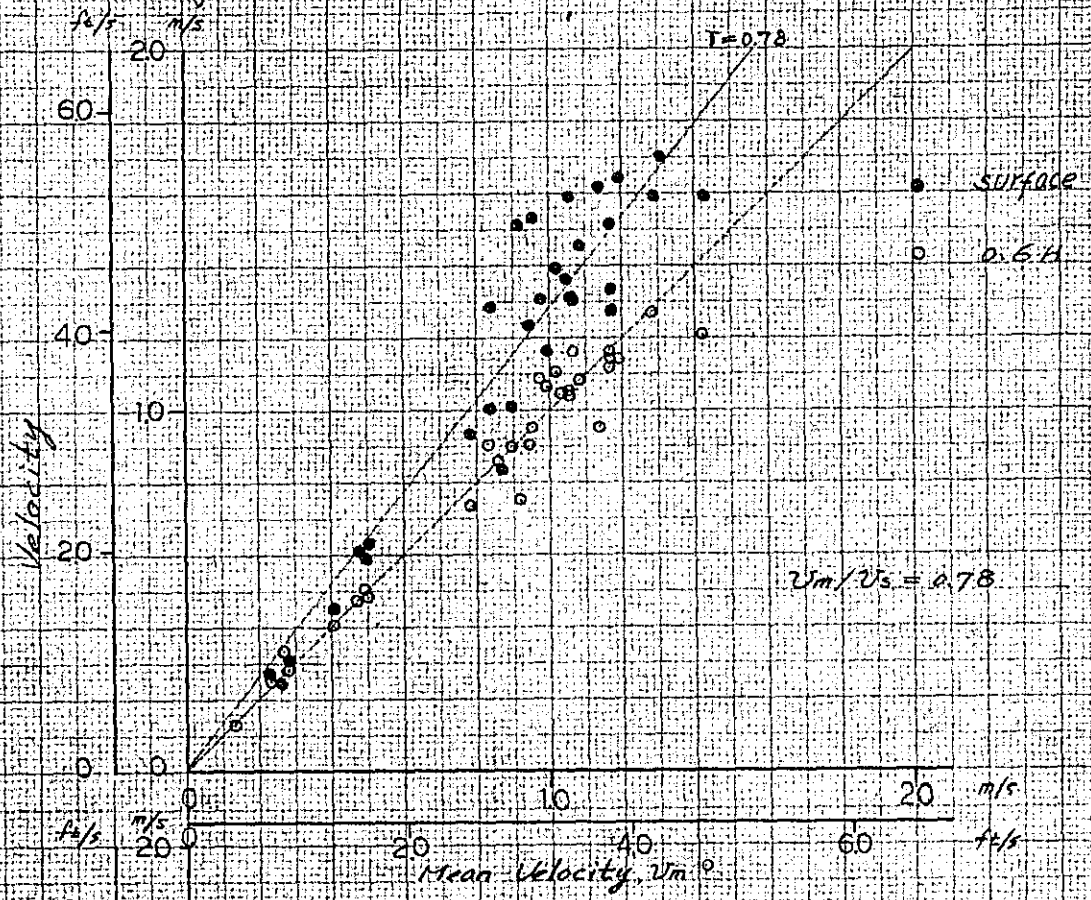


Fig 5-6 Relation between Velocities.

Ganges River, Hardinge Bridge

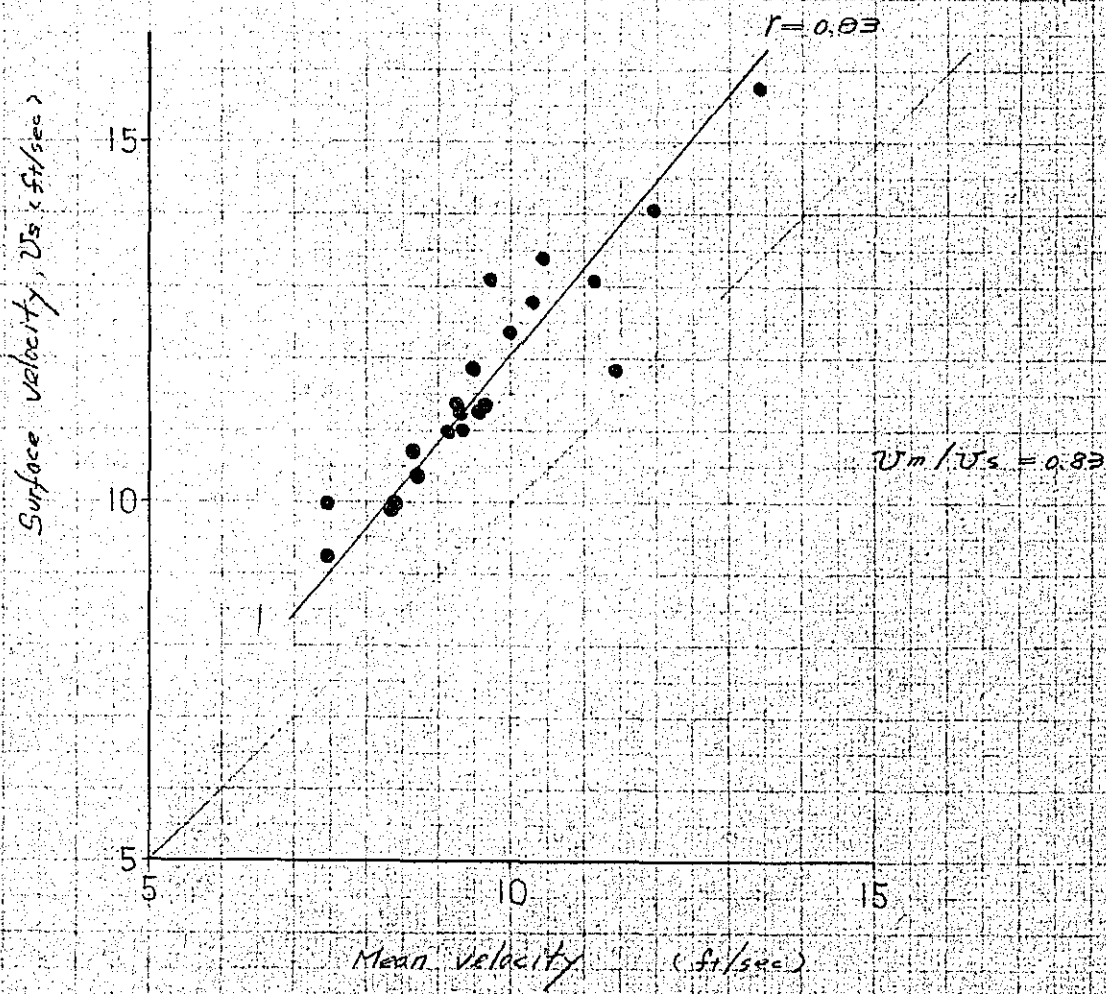


Table 5 - 3 Discharge and Mean Velocity at Hardinge Bridge

date	R.L. (ft)	A (10^3 ft^2)	Q (10^3 cfs)	V_M (ft/s)	(m/s)
Design	250.0	294	2,500	8.50	2.59
Aug. 26, 1971	248.0	285	2,163	7.58	2.31
Sept. 16, 1970	242.5	237	1,577	6.66	2.03
Aug. 15, 1970	243.2	254	1,637	6.43	1.96
Aug. 23, 1969	246.0	277	1,952	7.05	2.15
Sept. 22, 1956	246.1	277	2,028	7.32	2.23
Aug. 23, 1955	247.2	282	2,086	7.40	2.26
Aug. 25, 1954	246.8	280	2,006	7.17	2.18

Table 5 - 4 V_M and $V_{m \text{ max}}$ of the Jamuna and the Ganges

date	site	V_M		$V_{m \text{ max}}$		
		(ft/s)	(m/s)	(ft/s)	(m/s)	
Oct. 4, 1973	Nagarbari	2.82	0.86	3.54	1.08	Table 5-1
Sept. 24, 1973	Sirajganj	3.84	1.17	4.66	3.84	"
Oct. 17, 1973	Gabargaon	3.87	1.18	3.90	1.19	"
Oct. 11, 1973	Bahadurabad	2.72	0.83	3.80	1.16	"
Aug. 26, 1971	Hardinge	7.57	2.31	13.38	4.08	Table 5-2
Aug. 23, 1969	Hardinge	7.05	2.15	10.43	3.18	"
Sept. 22, 1956	Hardinge	7.31	2.23	9.64	2.94	"
Aug. 23, 1955	Hardinge	7.41	2.26	9.28	2.83	"
Aug. 25, 1954	Hardinge	7.15	2.18	9.57	2.92	"

Fig. 5-7

Hardinge Bridge

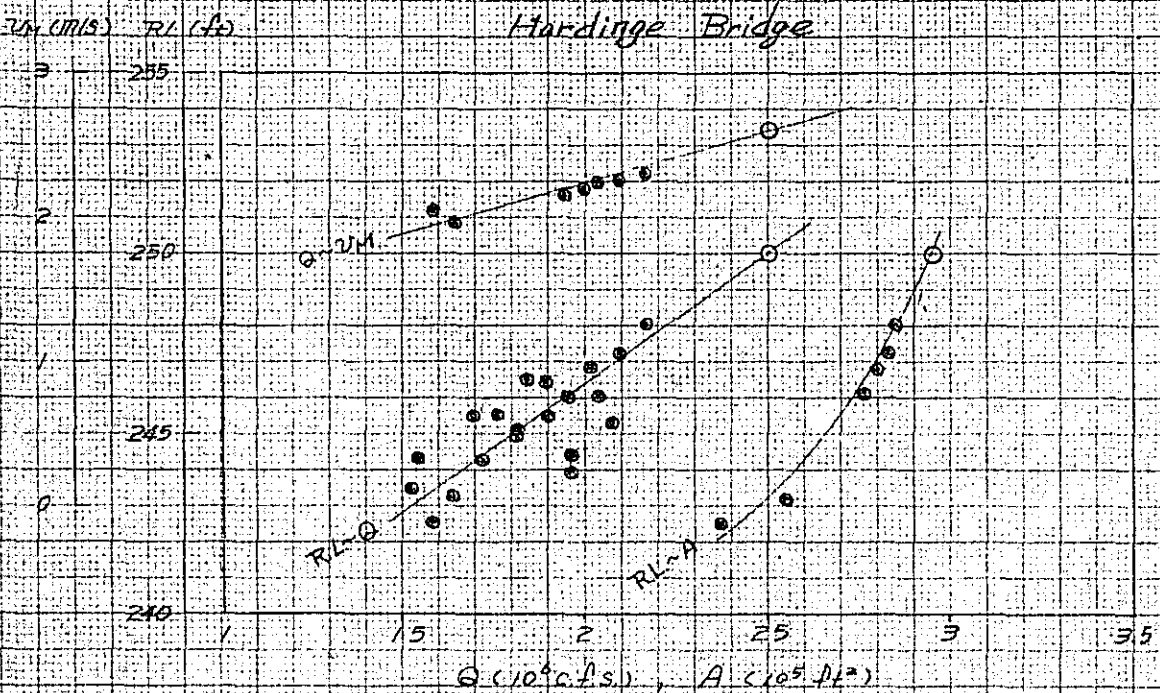
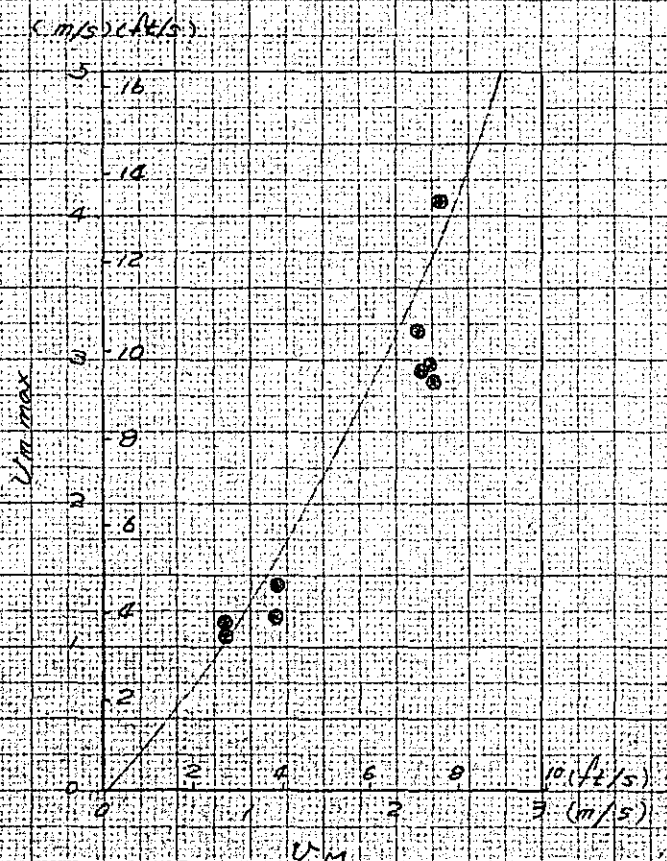


Fig. 5-8





1 7 5 8

Fls. 5-9 Water Surface Profile from Sept. to Oct., 1973

Level (P.W.D.)

Sirajganj site
24th Sept., 1973
Nagarbani site
Date of measurement, 4th Oct., 1973
Gabaragan site
12th Oct., 1973
Banadurabad site
17th Oct., 1973

Banadurabad site

Gabaragan site

Sirajganj site

Nagarbani site

Water

I=1/12731

I=1/26136

I=1/23837

Confluence of
Hurasganj R.

Division of
Dhansiri R.

Gabaragan

Scale Horizontal: 1:5000
Vertical: 1:100

Trace

Section No.

3

3-1

4

5

5-1

6

6-1

9

9-1

10

10-1

11

11-1

12

12-1

13

Fig. 5 - 10 Values of n Calculated from Discharge Measurements

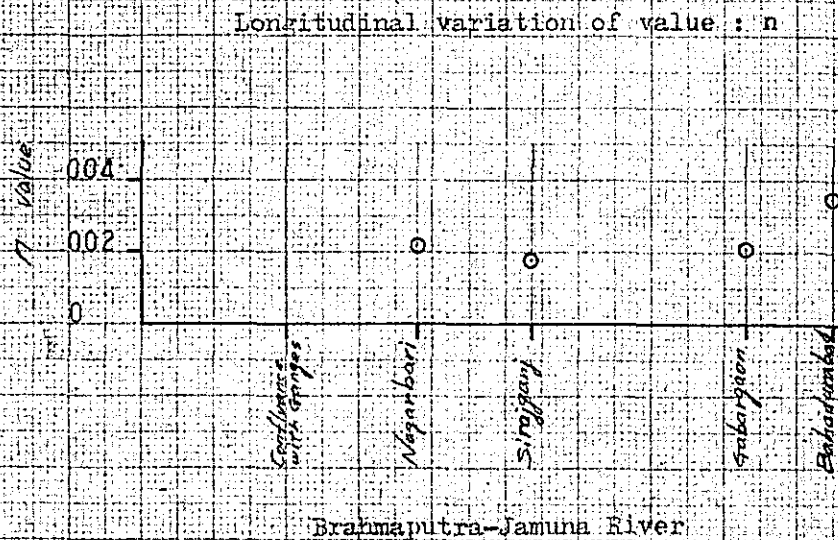
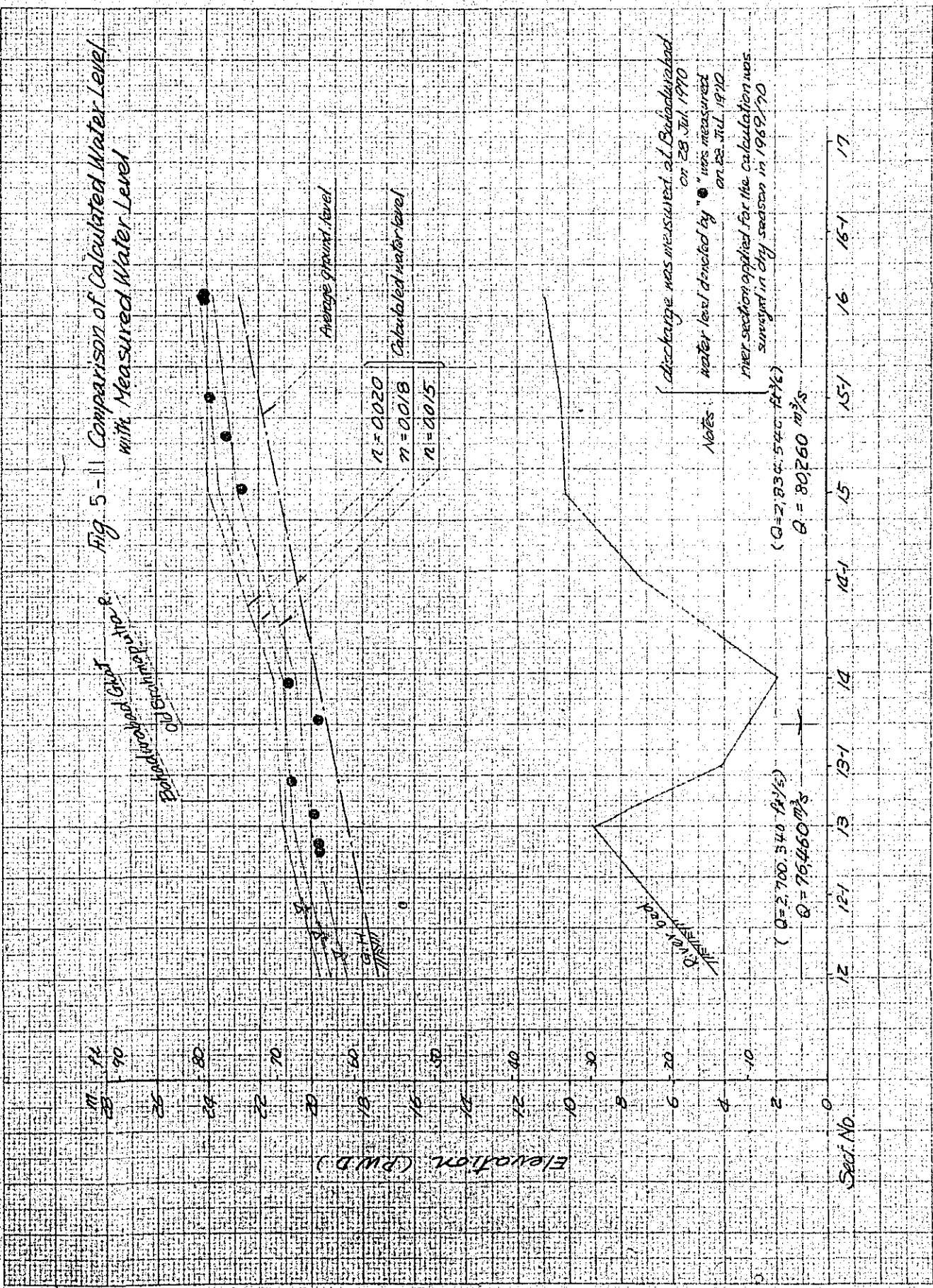


Table 5 - 5 Calculation of value : n

Measured	site	Nagarbari	Sirajganj	Gabargaon	Bahadurabad	remarks
	Q/A	0.858 m/s	1.166 m/s	1.178 m/s	0.831 m/s	
I	1/23,840	1/26,140	1/12,730	1/12,730		
R	4.87 m	6.34 m	4.56 m	5.97 m	A/D	
I^2	0.006477	0.006185	0.008863	0.008863		
R^2	2.875	3.426	2.750	3.291		
n	0.022	0.018	0.021	0.035		

Fig. 5 - Comparison of Calculated Water Level with Measured Water Level



第6章 最小河幅

1. Lacey の公式

India および Pakistan の諸河川および水路について行われた G. Lacey の研究〔1〕によると、沖積平野における大河川の安定最小河幅は次式によって表わされる。

$$W_{min} = 2.67 \sqrt{Q} \quad (1)$$

ここに

W_{min} = 安定水路の最小河幅 (ft)

Q = 流量 (c. f. s)

Jamuna 河の設計流量 (100年洪水) の配分は第4章で述べた通りであり、Bahadurabad から Ganges 河合流点に至る間の平均流量は約 90,000 cms である。上式が Jamuna 河にも適用できるものとすれば、この流量に対する安定最小河幅は

$$W_{min} = 4.900 \text{ ft} = 1.500 \text{ m}$$

となる。

2. Jamuna 河の 実態

Ministry of Flood Control, Water Resources Development and Power が Gauges 河合流英から上流約 220 Km の範囲にわたって 1964/65 dry season から 1971/72 dry season まで毎年行った横断測量の結果を用いて地盤面以下の河積と地盤面における河幅との関係を調べると Fig. 6-1 の通りである。これによれば、同一流積について最小河幅が存在するものと考えられる。

1970年の最大洪水量 $2,700,000 \text{ cfs}$ ($76,460 \text{ cms}$) を $n = 0.02$ として、1969/70 dry season に測られた断面に流した時の水位は地盤面から 3~5 m 高くなる。また設計流量 (100年洪水) を 1964 年から 1971 年までの平均断面に流した場合の水位も、100年洪水を 1973年に測られた断面に流した時の水位も同じく地盤面から 3~5 m 高くなる。また、その時の平均流速 (断面全体についての平均流速) V_m は上記のケースとも全河川長についての平均で約 1.6 m/s (5.2 ft/s) となった。

洪水流が両岸の堤防で河道に押し込められ、その河道に流量が計画流量にほぼ近い 90,000 呔 流れた場合の水位は地盤上約 4 m 上昇するものと仮定する。

今、 Q を $90,000 \text{ m}^3/\text{s}$ とすると、流量は次の様に表わすことができる。

$$Q = A_1 U_{m1} + A_2 U_{m2} \quad (a)$$

ここで A_1 , U_{m1} は地盤面上の流積、及びその平均流速であり、 A_2 , U_{m2} は同じく地盤面下の流積、平均流速である。流量 Q と与えることにより式 (a) より A_2 が得られる。

式 (a) は非線型であり、 A_2 の概略を得るといふ点から近似計算を行うものとする。まず第一に式 (a) を次の様に書き直す。

$$A_2 = Q/U_{m2} - A_1 (U_{m1}/U_{m2}) \quad (b)$$

この式で U_{m1}/U_{m2} の代わりに U_s/U_m を、又 U_{m2} の代わりに U_m を用いて近似計算をすれば、 A_1 を与えることにより A_2 を知ることができる。

さて、 U_{m2} を 1.6 m/s 、前に述べた様に流量 $90,000 \text{ m}^3/\text{s}$ の場合、水位上昇は地盤上約 4 m 上昇と仮定する。ここでもし guide bank 間の川幅の値を仮定すれば A_1 の値が解かり、式 (b) より A_2 の値を得ることができる。この A_2 の値に対する川幅を Fig. 6-1 から読みとる。この値が仮定値に等しくなるまで、この過程をくりかえすことにより、流量を $90,000 \text{ m}^3/\text{s}$ としたときの最小河幅の概略値を推定することができる。

水中の1垂直線上での平均流速 v_m と表面流速 v_s との関係は

Jamuna 河の場合は

$$v_m = 0.78 v_s$$

Ganges 河の場合は

$$v_m = 0.83 v_s$$

であった。平均すれば

$$v_m = 0.8 v_s \quad (2)$$

となる。

流量 90,000 ㊦ が流れた時の地盤面から上の流積の流速は、ほぼ表面流速に等しく、地盤面から下の流積の流速は、ほぼ平均流速に等しいと見なされるから (2) の関係を用いれば表面流速の河幅平均値 v_s は

$$v_s = \frac{v_m \cdot v_s}{v_m} = \frac{1.6}{0.8} = 2 \text{ m/s}$$

となる。また、この時の水位は平均して地盤面上 4 m である。そこで、河幅を仮定し、流量 90,000 ㊦ を地盤面上のものと地盤面から下のものとに分割すれば、後者に対する最小河幅を Fig. 6-1 から読みとることができる。その値が仮定値に等しくなるまでくりかえすことにより、流量 90,000

$\frac{m^3}{s}$ (3,180,000 cfs) に対応する最小河幅を見積ることができ
る。

その値は

$$W_{min} = 3.900 \text{ m}$$

と定めた。

3. 最小河幅

上に述べた考え方により 3,900 m をもって 100 年洪水に対する Jamuna 河の最小河幅の目安とした。

この値は Lacey の公式によって計算されたものとの間に大きな差をもつが、粘土質河岸の存在しない Jamuna 河には Lacey の式は適用できないものと思われる。Ingilis [2] は flood plain における蛇行河川の河幅 W を

$$W = 4.88 \sqrt{Q} \quad (3)$$

$$W = \text{河幅 (ft)}$$

$$Q = \text{流量 (ft}^3\text{/s)}$$

で表わしている。これによると $Q = 90,000 \text{ cms}$ (3,180,000 cfs) に対して

$$W = 2,700 \text{ m} \quad (8,700 \text{ ft})$$

となる。

Hardinge 橋地央での Ganges 河の設計流量は 2,500,000 cfs (70,750 cms) であり、これを超える流量は今までの記録の中には存在しない。この程度の流量は Jamuna 河ですでに流れているが、その時の平均流速 v_M は 1.5 m/s の程度であり、Fig. 5-8 によれば、河幅内での最大平均流速 v_{max} は 2.2 m/s (7.2 ft/s) 程度である。これに対して、

Hardinge橋地奥では同一流量に対して、Fig. 5-71によれば $v_M = 2.6 \text{ m/s}$ であり、従って v_{Mmax} は 4.6 m/s (15 ft/s)、その時の表面流速は 5.8 m/s (19.0 ft/s) に達するものと推定される。

また、もし $Q = 90,000 \text{ cms}$ ($3,180,000 \text{ cfs}$) が Hardinge 橋地奥を流れるとすれば、Fig. 5-71 から $v_M = 3 \text{ m/s}$ (9.8 ft/s) と推定され、断面内での最大平均流速 v_{Mmax} は 5.6 m/s (18.4 ft/s)、その表面流速は 7.0 m/s (23.0 ft/s) にも達することになる。これに対して Jamuna 河の場合は $v_M = 1.6 \text{ m/s}$ (5.2 ft/s)、 $v_{Mmax} = 2.3 \text{ m/s}$ (7.5 ft/s)、 $v_{ms} = 2.9 \text{ m/s}$ (9.5 ft/s) にとどまるであろう。このことから Hardinge 橋の場合は河幅をせよめすぎていると考えられる。

Jamuna 河の最小河幅 $3,900 \text{ m}$ は、この河の長さ全体についての平均流速 $v_M = 1.6 \text{ m/s}$ に基いて考えられたものであるが、その河川長の中では平均流速が 2 m/s に達するところもある。そこで $Q = 90,000 \text{ cms}$ 、地盤上の水深は 4 m として、おと同様の手順で最小河幅を探ると

$$W = 2,900 \text{ m}$$

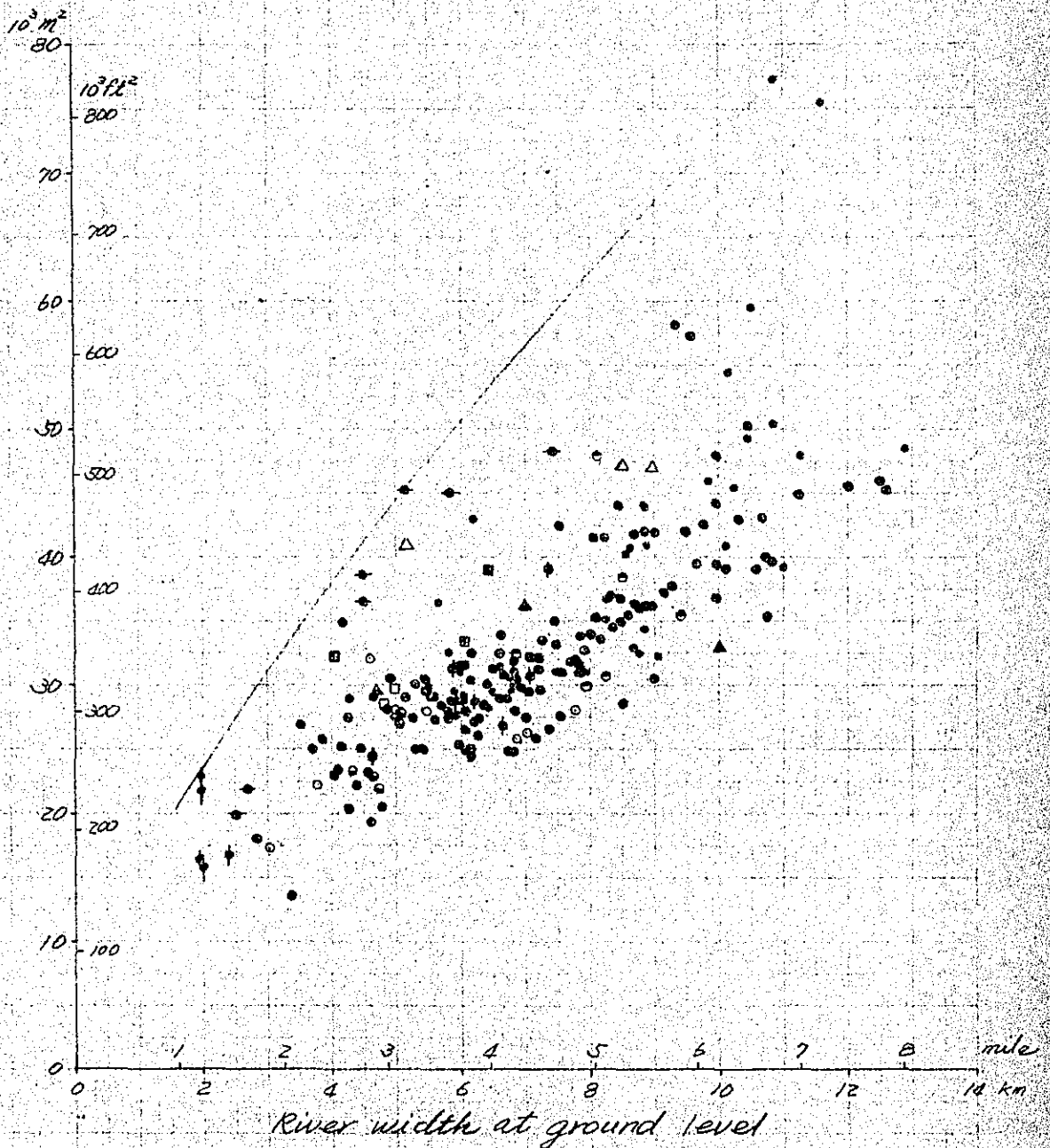
となる。

架橋のための最小河幅は、河川処理に要する費用に架橋に要する費用を加えたものが最小であるような河幅が、橋梁建設費の面から望まれるが、河川処理とくに将来の河川維持およびこの河川によつたる将来計画のことを考えると $W = 4000$ m のていどが望ましい。如何に河橋を圧縮するとしても 3000 m 以下にしないことが望ましい。

第六章に引用された文献

- (1) Gerald Lacey : *Stable channels in alluvium*, Proc. I.C.E., Vol. 229, 1929-30.
- (2) C.C. Inglis : *The relationship between meandering belts, distance between meanders on axis of stream, width and discharge of rivers in flood plains and incised rivers*. Government of India, Central Board of Irrigation and Power, Annual Report, 1938-1939, New Delhi; or Handbook of Applied Hydrology.

Fig. 6-1



- Measured in 1973
- Nagarbari
 - Sirajganj
 - △ Gabargaon
 - ▲ Bahadurabad
 - J# 4
 - J# 6
 - ◐ J# 11
 - ◑ J# 13
 - ◆ J# 1
 - † J# 0-1