

Bangladesh People's Republic

Jamuna River Bridge Project Investigation Report

VI Geology and Stone Material Investigation

1976年8月

国際協力事業団

バングラデッシュ人民共和国

ジャムナ河架橋計画調査報告書

VOLUME VI 地質および石材調査

JICA LIBRARY



1011785E1J

1976年8月

国際協力事業団	
52.3.8	351.3
巻No. 4947	22.3
	374

国際協力事業団

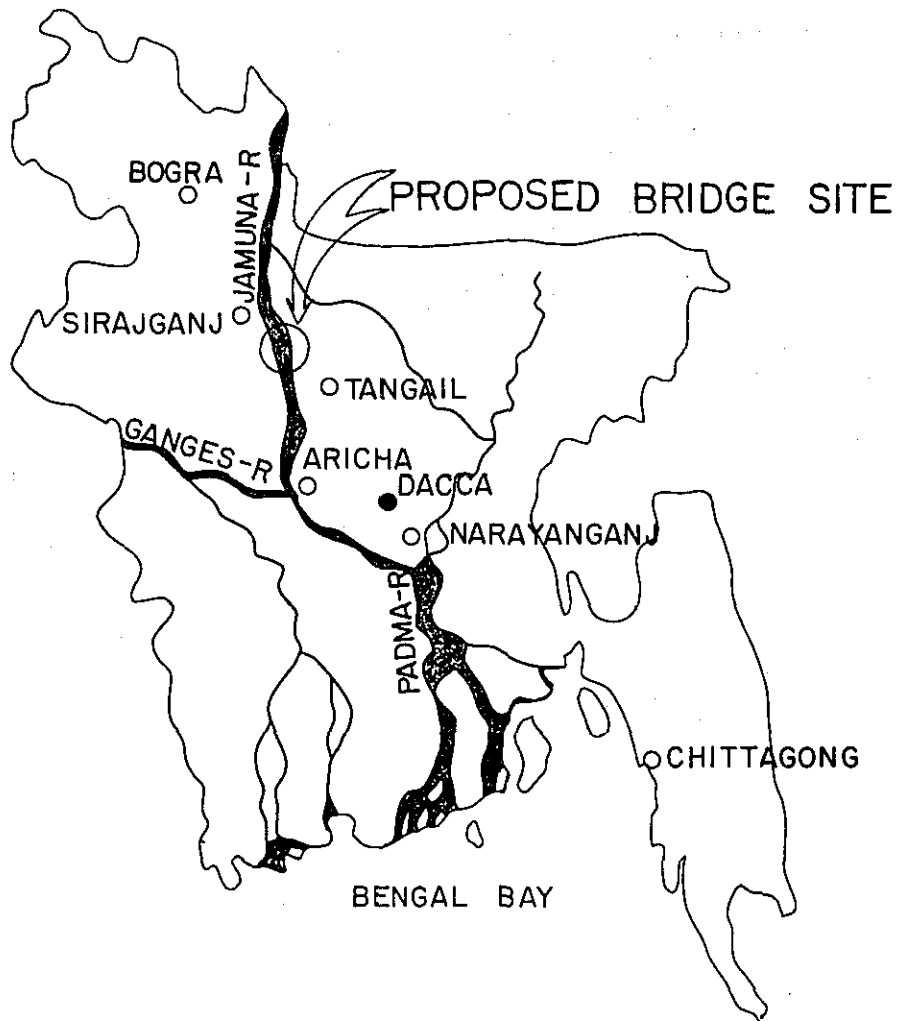
国際協力事業団

受入 月日	'84. 5. 21	101
登録No.	06228	61.5
		KE

ジャムナ河架橋計画調査報告書

- VOLUME I 概要および結論
- VOLUME II 河川制御計画
- VOLUME III 橋梁計画
- VOLUME IV 接続鉄道計画
- VOLUME V 接続道路計画
- VOLUME VI 地質および石材調査
- VOLUME VII 交通および経済便益調査
- VOLUME VIII 総合工事計画および経済評価

GUIDE MAP OF BRIDGE SITE



ABBREVIATION AND UNIT

Bangladesh	The People's Republic of Bangladesh.
Prefeasibility Report	Prefeasibility Report on Jamuna River Bridge Construction Project prepared by the Japanese Government Study Team for the OTCA in March 1973.
OTCA (JICA)	Overseas Technical Cooperation Agency, re-named to Japan International Cooperation Agency, Government of Japan.
Interim Report	Interim Study Report on Jamuna River Bridge Construction Project, prepared JICA, March 1975.
BWDB	Bangladesh Water Development Board.
D_{10}	effective grain size at 10 % passing.
D_{60}	grain size at 60 % passing.
U_c	Uniformity coefficient of grain size.
N	N-value, given the blow numbers of standard penetration test.
E	deformation modulus of soil.
C	Cohesion.
ϕ	Internal friction angle (degree).
γ_t	wet density, (unit weight).
k	coefficient of permeability.
m	meter.
mm	millimeter.
km	kilometer.
cm	centimeter.
g or gr.	gram.
kg	kilogram.
sec.	second.

cm ³	cubic centimeter.
cm ²	square centimeter.
W or w	moisture content.
%	percent.
W _n	natural moisture content.
D	degree of compaction on AASHO.
AASHO	American Association of State Highway Officials.
C.B.R.	California Bearing Ratio.
Y _s , or G _s	specific gravity of soil grains.
Y _d	dry density.
GL	ground level.
WL	water level.
GWL	ground water level.
EL	elevation level, (BWDB standard).
N	N-value, given the blow number of Standard Penetration Test.
L.L.T.	Lateral loading test (or tester).
JIS	Japan Industrial Standard.
ASTM	American Society for Technical Materials.
C _c	compression index for consolidation.
e (or e _o)	natural or initial void ratio.
E	deformation modulus.
E _m	measured elastic modulus.
H	measured water level of tank of LLT.
K	coefficient of soil reaction, meaning unified K-value.
K _m	Measured K-value.
k _o	specific K-value.

Ko	Model K-value.
Po	soil pressure at rest.
Py	yield pressure on LLT preconsolidation pressure on consolidation.
P	gage pressure of cell water on LLT.
P ₁	gage pressure of supplied gas on LLT.
P _G	reaction of rubber, given H-P _G curve for LLT.
Ps	static water head on LLT.
Pe	effective pressure on LLT.
C	coarse)
)
F	fine) in case of grain size.
)
M	medium)
)
C	clay)
)
M	silt) in case of soil classification.
)
S	sand)
U	undisturbed sample.
D	disturbed.
qu	unconfined compression strength.
e	strain at failure, given unconfined compression test.
v	poisson's ratio.
y	displacement of foundation.
rm	hole radius for calculation on LLT.
ro	initial hole radius on LLT.

PART I
地 質 調 査
目 次

略 号	iii
要 旨	1
第 1 章 一 般	11
1. 調査目的と経緯	11
2. 調査員の構成と日程	11
3. 調査方針と調査内容	12
4. 一般地形地質	13
第 2 章 架橋区間の地盤	15
1. 地層の分類と概要	15
2. 各地層の解説	15
3. 橋梁部設計用土性値の検討	24
3.1. N値の検討	26
3.2. C, ϕ の検討	26
3.3. r_t の検討	28
3.4. 地盤反力係数の検討	29
第 3 章 取付道路ルート of 土性	34
1. 調査検討の方針	34
2. ルートの地盤概要	34
3. 地層の分類	37
4. 盛土基盤の土性値	38
4.1. ① 層	38
1) ϕ 値の検討	40
2) C 値の検討	42
3) r_t , 単位体積重量の検討	42
4.2. ②および③層	43
1) ϕ 値の検討	44
2) C 値の検討	45
3) r_t の検討	45
5. 盛土材料について	46
5.1. 試料の検定	46
5.2. CBR 試験結果の吟味と設計値の選定	48
6. 土量の変化について	52
7. 圧密沈下	53
参 考 文 献	56
添 付 資 料	57

資 料 集 目 次

調査および諸試験の資料は別巻として別途編集した。その内容は次のとおり。

資 料 I 橋梁地点調査資料

1. 1. ボーリング位置図
1. 2. ボーリング柱状図（5孔分）
1. 3. 土 性 図
1. 4. 室内土質試験結果
 1. 4. 1. 室内土質試験一覧表
 1. 4. 2. 粒 度 試 験
 1. 4. 3. 一軸圧縮試験
 1. 4. 4. 圧 密 試 験
1. 5. 孔内水平載荷試験（LLT）
 1. 5. 1. LLT試験法の解説
 1. 5. 2. LLT試験結果図

資 料 II 取付道路調査資料

2. 1. 調査地点図（詳細はVolume. VI Fig. 3-1参照）
2. 2. スエーデン式貫入試験結果図
2. 3. ハンドオーガーボーリング柱状図
2. 4. 室内土質試験結果
 2. 4. 1. 室内土質試験結果総括表
 2. 4. 2. 粒度試験結果
 2. 4. 3. CBR試験結果（含突固め試験）

PART II
石 材 調 査
目 次

第1章 石材調査の概要	81
1. 調査地区	81
1) バングラデシュ領内	81
2) 印度領内	81
2. 調査項目	82
3. 調査の目標	82
第2章 石材資源の所在	83
第3章 堆積砂礫層	84
1. Sylhet 地方 Bholaganj Gravel Deposits	84
1.1. 産 状	84
1.2. 埋 蔵 量	86
1.3. 採石設備再建案	86
1.4. 生産量と輸送費	89
2. 印度アッサムとの国境に近いその他の砂礫産地	90
2.1. Looba 地区	90
2.2. Goyan 河上流	90
2.3. Pyanganj 砂礫産地	90
2.4. Sunamganj 北方の砂礫産地	90
3. バングラデシュ北西隅の砂礫層	90
3.1. Ramgarh 砂利採取地	93
3.2. Bhojonpur 砂利採取地	93
3.3. Titalia 砂利採取地	93
3.4. その他の情報地	93
3.5. Patgram 地区 Ramgpur District	94
4. 印度アッサム州北西部 Darjeering 及び Jalpaiguri 附近の巨礫	94
第4章 前第三紀の基盤岩及び Trap rock	97
1. アッサム州内の生カンブリア採石	97
2. アッサム州南辺の国境に近い石灰岩	99

3. Jaipurhat の石灰岩プロジェクト	100
4. Ranipukur 硬岩プロジェクト	100
5. 印度領 Rajmahal Hill の trap rock	105
5.1. Pachami-Hatgacha 地区の採石場	106
5.2. Nalhati 採石場	106
5.3. Rajgaon 地区採石場	111
5.4. Pakur 地区採石場	111
i) Black stone Production Ltd	111
ii) Pakur Quarries Ltd	111
5.5. Rajmahal 地域産石材の鉄道輸送	113
北廻り 南廻り	113
5.6. Rajmahal 地域産石材の水上輸送	114
 第5章 工中用石材の Sirajganj 集積	 116
1. 輸送計画の条件	116
2. 運賃計算	117
2.1. 鉄道輸送	117
2.2. 水上輸送	117
 第6章 結 論	 120
1. 石材調達の基本問題	120
2. 石材供給可能性	120
3. 石材の着地価格	121
参 考 資 料	122
APPENDIX I Bholaganj Gravel Deposits の採取可能量計算	123
APPENDIX II Bholaganj 採石場開発費	125
APPENDIX III 鑿坑による Ranipukur 硬岩開発	126

PART I

地 質 調 查

要 旨

Jamuna 河架橋計画は、1973年において4候補地があげられた (Prefeasibility Report, 1973)。それらの地点の優劣決定のため1973年から1974年にかけて第一次調査が実施され、Fig. S-1に示すSite③即ち、Sirajganj Siteが最優良地点として選定された (Interim Report, 1974)。

今回はこのSirajganj Siteを対象にヒージピリティー調査が実施された。調査は、土質、石材、測量、河川等各班により実施されたが、本報告は、土質部門の調査結果を集録したものである。

土質部門の調査は、橋梁部分の基礎地盤の調査と、既設の全天候道と橋梁部分を結ぶアクセス道路の基盤およびその盛土材料の概査とに大別される。

ジャムナ河流域の地質は第一次調査 (Interim Report, 1974)において解説したとおり、基盤は第三紀堆積岩類であるが、ヒマラヤ造山運動に関連する沈降と、氷期の海面低下に伴う侵蝕によってきわめて深い位置にしか存在しない。これらの基盤を覆って、更新世の堆積物があるがこれも沈降、侵蝕作用を受けて大半が数10m以深にしか存在しない。さらにこれらを不整合に覆う完新世沖積層が広く分布する。

第一次調査結果に基づいて推定したJamuna河に沿う地質推定断面図がFig. S-1である。第一次調査の結論としてFig. S-1の礫層である $A\ell_1$ 層が安定した連続性をもつならば、Site③が最良であるという結果を得た。今回 $A\ell_1$ 層が橋軸方向に連続性を持つか否かを確認することを主軸に調査が進められた。その結果、橋梁基礎の支持層たる礫層の連続性が確認され、Sirajganj Siteの有利性が一層高められた。

橋梁部基礎の地質調査として深度92mないし123mのボーリング5本が実施された。第一次調査 (1973)で実施されたS-0孔の結果と併わせてFig. S-2にその総括図、(Geological Profile and Explanation Table on Bridge Axis)を示す。即ち、第一次調査によって予測したとほとんど同様な地層層序を示し、5本のボーリングはいずれも1km以上の間隔をもっているにもかかわらず、相互の相関性が良く、変化の少ない安定した地層からなっていることが明らかとなった。

Fig. S-2において Du_3 層以下が更新堆積物 (洪積層)、いわゆるDupi-Tila累層と呼ばれているものである。 $A\ell_1$ 層は沖積基底礫層、 $A\ell_2$ より上部が沖積層である。

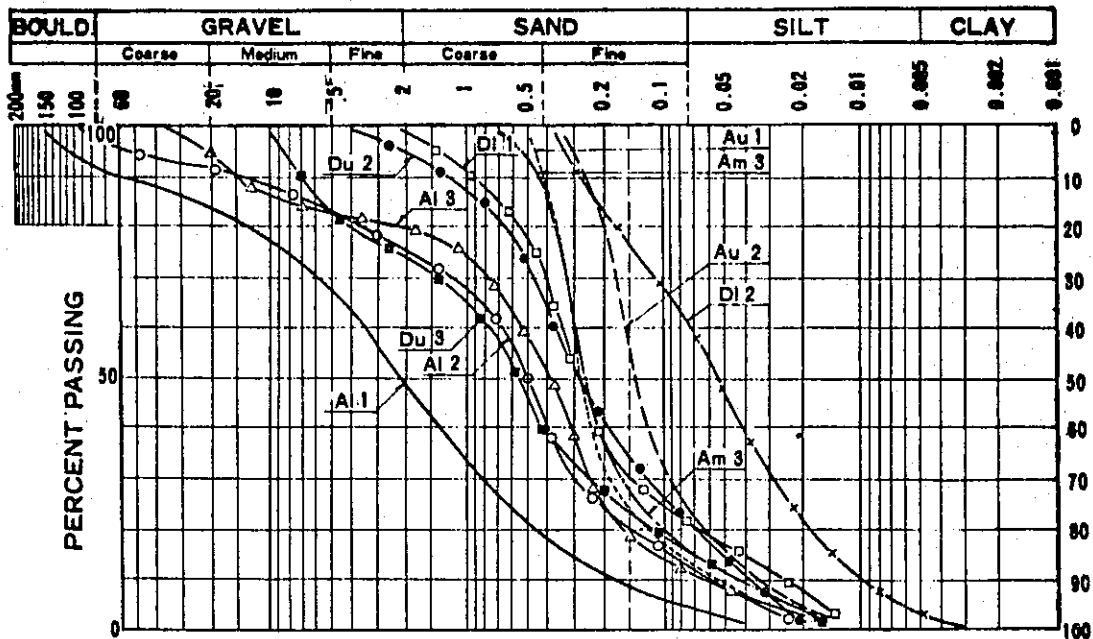
更新世後半の氷期 (約2万年以前)の海面は現在より約100mほど低下していた。この時代の河川を古ジャムナ河 (Proto-Jamuna)と呼ぶならば、この古ジャムナ河の河川勾配はかなり急であって、氷河の融解などによる大洪水により大量の超粗粒物が搬出されたわけで、その堆積物が $A\ell_1$ 層である。

その後、古ジャムナ河の河川勾配は海面の上昇 (後氷期海進)にともないゆるくなり、

この地域の沖積堆積物も上部にしたがい細粒なものを堆積したわけで、これらがAu₂からAl₂の層に相当する。

橋脚の建設に伴い、橋脚周辺に乱流が発生し、きわめて深いところまで洗掘されることは周知のとおりであって、洗掘の程度は構造物の形状、流速、流量、地盤を構成する土の粒子とその密度および固結度数等によって左右される。地盤の各層の代表的な粒度構成をFig. S-3に示す。

Fig. S-3 Typical Grain Size Distribution
of every Stratum



当地の地盤と洗掘抵抗性について述べるに、Fig. S-2およびFig. S-3においてAm₃層より上部は均等粒度の細砂により構成されており、これら沖積層中～上部のものは洗掘抵抗がきわめて小さい。Fig. S-3においてAu₂層は最も細粒で密度も低いことと、この層が現在Jamuna河岸において容易に洗掘されているのは周知のところである。したがって、この層は洗掘抵抗は無に等しい。Au₁層も典型的ともいえる均等細砂であって、これもほとんど洗掘に抵抗しないとみられる。Am₃層はAu₁層と同一の粒度分布を示すが、密度がやや高いことと、深い位置にあるため洗掘エネルギーが小さいと考えられるので、激しい洗掘はないと思われる。Al₂およびAl₃層は礫分を伴ったり礫層を挟むなどしており密度も高い、しかし固結してはいないので洗掘に対して強くはないが、深い位置にあることにより洗掘される可能性は少ない。

Al₁層は人頭大の巨礫を伴う粒度分布の良い砂礫層であって、仮にこの上部層まで洗掘されたとしても、EL-70mと深いところにあることと粗粒であることにより洗掘される

ことはないと思われる。

橋脚基礎の先端支持力は、水平支持力、洗掘深さ等から判断して、 $A\ell_1$ 層(EL-70.0 m)以下にケーソン方式の基礎構造として支持させるならば、十分安定したものとなる。 $A\ell_1$ 層の層厚は3~5 mと比較的薄い、その下部の Du_3 層は礫岩とも呼びうるほど固結した砂礫層であってその厚さ7~8 m、計10~13 mの層厚の礫層が支持層に相当する。さらに Du_2 、 $D\ell_1$ 等は、砂を主とした地層であるがN値100以上で半固結状態であるためきわめて安定したものである。

次に今回の調査資料の解析結果、地中構造物設計用土性値をTable S-1のとおり選定した。

Table S-1 地中構造物設計用土性値

地層 土質(統一分類)	粒 度		補 正 Uc	N 値 (回)	地盤変形 係数(E) (kg/cm^2)	C (kg/cm^2)	ϕ (度)	rt (g/cm^2)	k (cm/sec) $\times 10^{-4}$
	D10 (mm)	D60 (mm)							
Au_2 シルトおよび 細 砂(SM)	0.035	0.15	4.3	8	77	0~0.1	13~32	1.8~1.9	30~50
Au_1 細 砂(SM)	.06	.30	5.0	30	89	0	34	2.06	36
Am_3 細 砂(SM)	.045	.30	6.7	38	111	0	36	2.17	20
$A\ell_3$ 礫混り粗砂(SMg)	.065	.55	8.5	78	114	0	>40	2.21	50~90
$A\ell_2$ " (SMg)	.05	.70	14.0	78	114	0	>40	2.21	50~90
$A\ell_1$ 砂 礫(GM)	.20	3.60	18.0	>80	230	0	>40	2.26	90
Du_3 礫混り砂、固結(SMg)	.043	0.75	17.4	>100	>200	0	>40	2.26	1
Du_2 砂 (SMg)	.04	.35	8.8	>100	>200	0	>40	>2.26	0.7

Table. S-1の諸数値の選定方法は次のとおりである。

- 粒 度 同一地層の粒度加積曲線を重ね合せ、その最頻域に代表曲線を描き、その代表曲線よりよみとった。
- 補 正 N 値 実測N値を宇都式により深度補正し、同一層のN値をヒストグラムに表示してそのピークをとった。
- 地盤変形係数(E) 同一地層のLLTによる実測E値の平均値。
- 粘 着 力(C) 最上部層は室内土質試験結果を基に経験的判断によった。その他は砂質土のため恒例により0とした。
- 内部摩擦角(ϕ) 最上部層のみ室内土質試験とN値より経験的判断を加味して決定、他はその層の代表N値から一般的N- ϕ 関係式により算出した。
- 単位体積重量(rt) 最上部層は室内土質試験結果である。他は、飽和度100%と仮定して、同一層の実測の土粒子の比重と自然含水比をヒストグラムに表示

しそのピーク値をもって土の物理的性質の法則によって算定した。
 透水係数(k) 主として、D₁₀からHarzenのD₁₀-kの関係式により算定した。
 一部は粒度、密度等から経験的に判断した。経験的による数値には上
 に一を付し、計算によるものと区分した。

取付道路の基盤と盛土材料の性質の調査は道路班 (Interm Report, 1974) によって
 選定された Sjrājganj から Elenga までの Jamuna 河の東西合わせて約 30km 区間を対
 象に調査された。

調査方法は、スエーデン式貫入試験 37 点、オーガーボーリング 20 点、室内 CBR (手
 掘りによって試料を採取) 10 点などの簡易法によった。基本計画のための調査を目的と
 するため延長に比し極く少い調査ではあるが、全体的傾向を把握する意味において所期の
 目的を達することができた。

Fig. S-4 に調査位置およびその結果を縦断面図として表示した。即ち、調査結果を 3
 層に分類し、それぞれの層に関する土性値を検討した、盛土材としては①および②層を対
 象に検討した。

層区分を行うにあたり、当初これだけの延長を 1 つの層にまとめることに多少の無理が
 考えられたが、オーガーサンプルの粒度試験等の資料を解析した結果、①層においては 20
 ないし 30 % の砂質土を伴うが、シルト質土が大半を占めるのでこれを代表的土性とした。
 即ち、①層の全粒度曲線の重ね合せを行ない、その最頻域のカーブを土性値検討の対象と
 した。②および③層は比較的ばらつきが少い均等細砂である、これも①層同様最頻域の粒
 度曲線を採用した。粒度上では②と③層は同質であるが密度が異なる点で 2 分した。

Fig. S-4 の N 値曲線はスエーデン式サウンディングの N_{sw} 値から現場実験式により N 値
 に換算したものである。

以上の諸調査結果を解析して、盛土関係の設計用土性値として Table. S-4 を得た。

Table S-4 Design Soil Factor for Foundation and
 Bank material for Access Road.

FOUNDATION		Typical N	r_t	W_n	r_d	C	ϕ
Strata	Material	(blows)	g/cm^3	%	g/cm^2	kg/cm^2	(degr.)
①	Sand con tained Silty soil	<6	1.8	32	1.36	0.1	13
②	Silty Sand to Sand	6<10	1.9	20	1.58	0	28
③	Sand	10<20	1.9	20	1.58	0	32

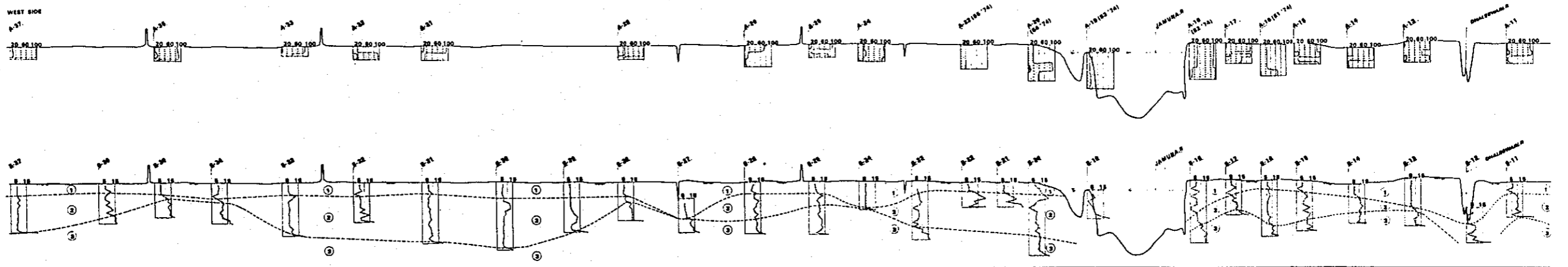
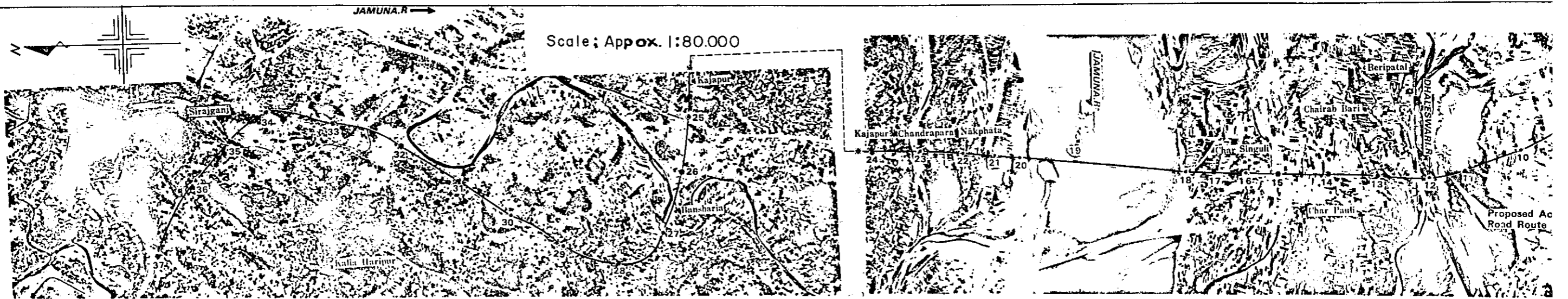
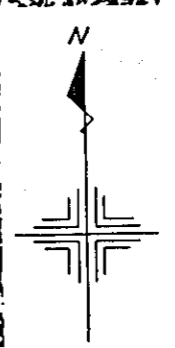


Fig. S-4

20



DESIGN SOIL FACTOR FOR FOUNDATION AND BANK MATERIAL FOR ACCESS ROAD

FOUNDATION

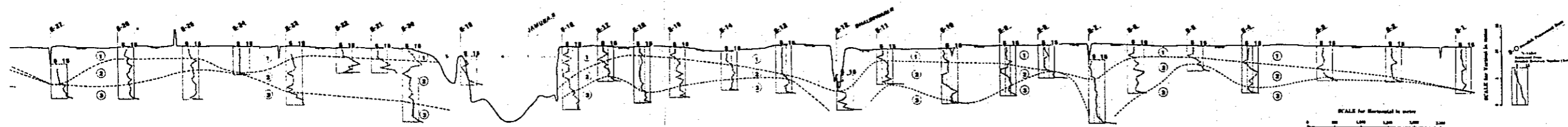
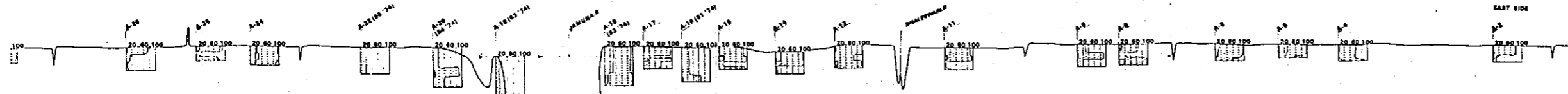
FOUNDATION MATERIAL	TYPE	71	74	C	φ
①	CLAY	1.0	1.0	1.0	1.0
②	CLAY	1.0	1.0	1.0	1.0
③	CLAY	1.0	1.0	1.0	1.0

BANKING MATERIAL

BANKING MATERIAL	74	71	C	φ	φ _{max}
①	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
②	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
③	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

* A MN Modified as Diratic of AARHI Computer
 * B MN Modified as Diratic of AARHI Computer

- Roadbed Protection spot
- Road Layer spot
- Roadbed spot by Road Right for C.B.R. Test



SCALE for Horizontal is 1:1000
 0 100 200 300 400 500

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
 PEOPLE'S REPUBLIC OF BANGLADESH
 JAMUNA RIVER BRIDGE CONSTRUCTION PROJECT
 DESIGN PROFILE FOR ACCESS ROAD ROUTE
 DRAWN BY: _____ DATE: _____
 APPROVED BY: _____ DATE: _____
 NAYON BISHI (ELTY)

BANK MATERIAL

Strata	Material	D	r_d (g/cm^3)	W (%)	r_t g/cm^3	C (kg/cm^2)	ϕ (degr.)	C.B.R. (%)
①	Sand con- tained Silty Soil	A	1.7	22	2	0.2	20	6
		B	1.6	26	2	0.15	17.5	5
②	Silty Sand to Sand	A	1.75	20	2.1	0	30	8
		B	1.65	22	2	0	27	7

A: 締め固め度95%のとき

B: " 90%のとき

Table. S-4 の諸数値選定方法は次のとおりである。

○ 基盤の土性

Typical N 橋軸ボーリングにおいて当地のN-N_{sw}の関係を調査し、現場実験式を求めこれによりN_{sw}からN値を算定した。各層の代表N値はその平均値である。

単位重量(r_t) はじめに橋軸ボーリングにおける不攪乱試料の試験結果から当地の土のWn- r_t の関係を導びいた。次に全ルートオーガボーリング試料の実測Wnをヒストグラムに表示してそのピークを採ってWn- r_t 曲線からよみとった。

自然含水比(Wn) オーガーサンプルの実測値の最頻値。

乾燥密度(r_d) オーガーサンプルの土粒子の比重(r_s)の実測値の最頻値(2.70)を採り、 r_t -Wn- r_d の関係法則により算定。

粘着力(C) 橋軸サンプルによる室内力学試験結果から①層に類似のデータを参照のうえ経験的判断を加味して決定した。②、③層については明らかな砂質土であるため恒例により0とした。

内部摩擦角(ϕ) 橋軸ボーリングのサンプルでの室内力学試験結果から、砂分含有量と ϕ の関係グラフを求め各層のオーガーサンプルの砂分含有量から ϕ を推定した。その他の方法でもその精度を確認した。

○ 盛土材料

突固め試験10試料には砂質土のものからシルト質土のものまで含まれている。これらはいずれも①層の上部からの試料であるが、砂質土のものは②層の代表粒度と近似し、シルト質土のものは①層のそれと近似する。即ち、突固めおよび水浸CBR試験結果の r_d -W曲線、および r_d -CBR曲線を重ね合せた図からシルト質土と砂質土のそれぞれの代表曲線を設定し、それぞれの締め固め度に対応する諸数値を設計値として選定した。また、シルト質土の代表値を①層の代表値とし、砂質土の代表値を②層の代表値とした。

次に盛土による圧密沈下を検討した結果、若干の沈下は予想されるが、きわめて小さい値であること、また沈下が考えられる①層にはサンドイッチ状に砂層が挟み、その下部が砂層であることから盛土完成とほとんど同時に沈下の完了が予想され、盛土完成後に沈下の障害が発生することはない。

盛土材の掘削および締め固めによる土量の変化率は、シルト質土(①層)を対象として現地盤の土量を1としたとき、締め固め後の土量(C-ratio)は0.85ないし0.95、掘削によりほぐした土量(L-ratio)は1.25ないし1.35の値と予想される。

第一章 一般

1. 調査目的と経緯

日本政府は、Bangladesh国政府の要請にもとずき首都Daccaと同国の西北地域を結ぶ一環としてのJamuna河架橋の調査を国際協力事業団(JICA)に委託した。

昭和42年以降、橋本、川崎らの調査団により事前調査が行なわれ4ヶ所の候補地点が挙げられた。さらに昭和48年度において、その4ヶ地点の優劣決定のため河川、橋梁、交通等各部門からなる調査隊が編成され現地調査が実施された。その結果は49年末に第一次調査報告としてまとめられた。この第一次調査のうち土質部門を日本工営が担当し、昭和49年11月付で報告された。

これらの報告と、日本政府、Bangladesh政府等関係当局者の中で協議の結果、SirajganjとTangailを結ぶSite③、いわゆるSirajganj Siteが最優良地点として選定された。

さらに今回昭和49年度に第二次調査として、Sirajganj Siteの基本設計のための調査として、測量隊と土質調査隊を主軸に各部門の調査が進められた。

本報告は土質部門の調査結果をとりまとめ、さらに基礎構造物設計のための土質値の決定を行ったものである。

2. 調査員の構成と日程

調査員の構成

境 田 正 宣	地質，土質総括責任者
千 田 正 雄	土質関係
渡 辺 文 雄	同
小 林 好 昭	ボーリング指導員
神 崎 治	機械管理，兼主任

Soiltech社(Dacca)ボーリングおよび室内土質試験

第一次調査は日本から指揮および調査管理員のみで現場の実作業は現地業者を使ったがその技術および資材的能力において工程上かなりの困難を伴った。今回の第二次調査はこの経験を踏まえて、一切の調査機材(室内試験器材を除く)を日本から搬入し、境田、千田が交代で調査方針の指揮に当り、神崎が資材管理および調査基地の主務、渡辺が取付道路調査をはじめ調査テクニックの指導と実務、小林がボーリング掘進の指揮と実務に当り現地業者に対し細部に亘る指導と管理を怠らないよう万全の態勢をとった。これらのことと関係当局者の協力を得て順調裏に成果を得て完了した。

調査員行程

境 田 正 宣	昭和50年 1月24日～ 2月28日	36日間
千 田 正 雄	昭和49年11月14日～ 12月28日	45日間
渡 辺 文 雄	昭和49年11月 9日～ 50年2月21日	75日間
小 林 好 昭	同 上	75日間
神 崎 治	昭和49年11月14日～ 50年3月14日	120日間

3. 調査方針と調査内容

今回の調査は、架橋区間の橋梁基礎としての地盤状況を調査することと、既設の全天候道路から橋梁に至る取付道路（東西両サイド、延長約30km）の路盤および盛土材の概略調査の二つに大別される。

前者については、第一次調査結果により、地層の構成があらかじめ予想されたことと、橋梁の規模もかなり限定されていることから、Jamuna本流東西兩岸河岸に各1本、それより約1km陸地に入った地点に各1本、本流中央部に1本の計5本のボーリングを配し、かつ第一次調査で実施した1本を引用して6本のボーリングにより橋梁全区間の地盤状況を把握する方針をとった。またそれぞれのボーリング掘進長は、第一次調査で確認されたEL-70m付近にみられる砂礫層の連続性を確認し得る深度とした。ボーリング孔においては標準貫入試験と、地盤反力係数測定のための孔内水平載荷試験の現位置試験を主体にし、表層部における不攪乱試料採取による室内土質試験と3m毎に攪乱試料を採取して土の物理的性質の試験を行った。即ち支持層の確認とその強度特性、杭および井筒に作用する水平反力係数の把握ならびに各地層の連続性の調査に主眼がおかれた。

一方、取付道路の路床路盤としての調査は、ルートがきわめて平坦なJamuna河氾濫原を通り、地盤条件が比較的単調なことが予想されること、資料集収は概略設計のためを目的としていることなどから簡易調査法により大局的に判定するための方法がとられた。即ち、延長約30km区間に約1km毎にスエーデン式サウンディングを実施し、要所においてバンドオーガーボーリングとピット掘削による攪乱試料を採取し室内CBR試験を行った。これらのデータと橋梁部における室内土質試験データを加味して間接的に設計用土性値を推定した。盛土材料についても現地土を盛り立てることを前提としてこれらの資料をもとに同様な方法で設計値を導びいた。調査位置の詳細ならびに調査結果の要約をFig. 1-1, Geological Profile and Explanation Table on Bridge Axis, Fig. 3-1, Subsoil Profile for Access Road Routeに示した。

調査作業数量はTable 1-1に示す。

Table 1-1 調査作業数量表

橋軸調査

ボーリング №	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	合計
掘進長 (m)	93.11	122.06	93.2	121.73	93.2	523.3
標準貫入試験	33	45	33	43	35	189
横方向載荷試験	6	6	6	6	6	30
室内土質試験 (物理試験)						
含水比	36	48	37	48	37	206
土粒子の比重	36	48	37	48	37	206
湿潤密度	3	3	4	4	2	16
乾燥密度	3	3	4	4	2	16
粒子試験	36	48	37	48	37	206
液性限界	1	4		1		6
塑性限界 (力学試験)	1	4		1		6
一軸圧縮試験	1	1		2		4
三軸圧縮試験	3	3	4	4	2	16

取付道路調査

スウェーデン式サウンディング	37 地点	307.73m
オーガーボーリング	20 地点	64.1 m
C.B.R試験用試料採取	10 点	

(室内土質試験)

物理試験	合計		合計
含水比	79	締固め試験	10
土粒子の比重	79	C.B.R試験	10
粒度試験	79		
液性限界	8		
塑性限界	8		

4. 一般地形地質

Jamuna河流域の一般地質状況は、1974年度調査報告書土質調査編2)に詳しいが、その要約を転載すれば次のとおりである。

Bangladeshの地質は、基盤が第三紀の堆積岩と先第三紀の地質であるが、国の東

方の一部に第三紀の地質が露出するほかは、Himalaya 造山運動の影響を受けて、著
じるしく沈降しており、ほとんどがきわめて深い位置にしか存在しない。

その基盤を覆って、更新世の堆積物があり、これも更新世から完新世古期の海面低下
時の河川の侵蝕を受け、Maduhpur hillなどに一部残存しているが、大半が数10m
以深にしか存在しない。

これらの氷期の谷を埋めて完新世沖積層が広く分布しこれが国土の大半を占めている。

Fig. S-1において、 $[Al_1]$ 層から沖積層であり、それ以深は洪積層である。沖積
層の大部分は細砂ないし中粒砂を主とし、深くなるにつれて密度を増し、沖積基底面は
礫層が分布する。この礫層は当架橋地点では標高-60~70m付近にあり、連続性が良
い。これより下部の洪積層は密度の高い砂質土を主とし、礫質土、固結粘性土等を挟在
する。

Fig. S-1において $[Du_2]$ 以下の地層は上部洪新世堆積物であり、Bangladeshの
洪新世で代表的ともいえるDupi Tila 累層に対応するものと考えられる。第一次調査
(73年度)においてこの地層から採取された化石木による絶対年代測定(14C)の結果
28,320年以前の地層と判定され、これはウルム氷期に相当することが確認された。同
様 $[Al_1]$ から上部は沖積層堆積物であり、 $[Al_1]$ がその基底礫層である。

この沖積層は $[Al_1 \sim 3]$ 除いて全般に細~中粒砂層からなり、中位~上位の密度を
もっている。

これらの地層分類は、地層の粒度、密度等を基に地層堆積学的配慮を加えて、当プロ
ジェクト独自で分類したものである。

以上の地層分布の概要からも判断される如く、架橋計画地域はきわめて平坦な沖積平
原をなし、その中をJamuna河が平地を10m余り切り込んだ形で蛇行しつつ北から南
へと流れ、またその派川も同様な形態をもって流れている。雨期(洪水期)においては、
水位が沖積平地面まで上昇し、付近一帯が水に被われている。

なお、Fig. 1-2 Geological Map of jamuna River Area (Bangladesh
Geological Survey 原図)に付近の一般地質概況を示す。図中決定されたBridge
siteはSITE-3付近である。

第 2 章 架橋区間の地盤

1. 地層の分類と概要

調査結果をもとに Fig. 1-1 Geological Profile and Explanation table on Bridge site を作成した。これに示す地層年代区分および層区分は、便義上当 Project 独自で分類したもので必ずしもオーソライズされたものではない。

区分の手法は主として、粒度分布、密度および地質層序学的な面を考慮した。また沖積世と洪積世の境界は、EL-70m 付近に一様に分布する礫質土層を沖積層の基底礫層と考え、それより下部を洪積層とした。

なお、EL-100m 付近 (Bore. S-0. S-2) において採取された化石木の 14C による年代測定結果洪積層であることの確証を得ている。

Fig. 1-1 の Explanation Table の補説説明をするに、Typical grain size distribution は、Fig. 2-1 のとおり、多くの粒度分析結果を各地層毎に重ね合わせ、その最も密な重なりを示す付近に代表線を描き、それからよみとったものを Typical grain size として表示したものである。この結果は Fig. 2-1 の Au2 層においてかなりのばらつきがみられるほかは比較的良くまとまっている。

Unified soil classification は、日本統一分類 (土質工学会) に準じて表示した。その他修正 N 値 (Corrected N-value)、ケーソン基礎の設計に重要な地盤変形係数 (E-value) ならびに C, γ , 等の導びき過程については 3. 項に詳しい。

Fig. 1-1 にみられるように架橋軸付近の地質は、最上部が Silty fine sand を主とし、深さを増すにつれ粒度が徐々に粗になり、密度も徐々に増大する傾向にあって、沖積層最下部は時に人頭大の巨礫を伴う連続性の良い砂礫層が分布し、この上面は EL-70m とほとんど水平である。

一方、洪積層に至っては礫層、礫混り砂層、固結粘土層等からなりきわめて高い密度にあり、時に軟質の岩盤様を呈する。

2. 各地層の解説

Au 2 層

Jamuna 河の氾濫とそれに伴う河川の移動により漂流する漂砂堆積物である。したがって堆積時の流速の変化にともなって微粒砂と砂質シルト、粘土質シルトなどがそれぞれ薄い層をなして互層している。しかし全体的には細粒砂が主体をなし、深さ数メートル以浅ではかなりの粘性土を伴う。

盛土の基礎はこの浅部がその対象となるのであまり大きな剪断抵抗は期待できない。基礎掘削などにおいて重要な値となる透水係数について述べるに、シルト分の卓越し

た部分については、粒度配合と第一次調査における室内試験から透水係数 $k = 2 \times 10^{-5}$ ないし 1×10^{-4} cm/sec と推定される。しかしシルト質の地層は比較的薄く、その上下に例外なく砂層がみられるので実用上は砂の透水性を重視しなければならない。砂層は Fig. 2-1 の粒度加積曲線でもみられるように 75~80% が細砂により構成されており、これに対応する第一次調査 (Bore No S-0) の室内試験データでは $k = 2.8 \times 10^{-3}$ cm/sec の値を示しており、クイックサンド現象には十分留意すべき地層である。

Au 1 層

Au 2 層に較らべて、シルト分 (シルトの薄層) が少なく、粒度分布は一段と淘汰の良い均等な中粒砂が主体で 0.2mm~0.55mm の粒径のものが 70% をしめ、シルト分は 13% 程度である。全層中で最も粒度分布にばらつきがない (Fig. 2-1) のもこの層の一つの特色である。粒子はやはり石英亜角粒を主とし、黒雲母の細粒破片を多く伴う。

Au 2 層は密度が比較的小さい (代表 N 値 8) のに対しこの層の代表 N 値 30 とかなり締った状態にある。

しかし均等砂であることから透水係数はやや大きい。ちなみに Hazen の式からそれを推定すれば次のとおりである。

$$k = C \cdot D_{10}^2 \dots\dots\dots (2.1)$$

k ; 透水係数 cm/sec

C ; 常数 (50~100)

D_{10} ; 10% 径 (cm)

式 (2.1) により D_{10} は 0.004~0.009 平均 0.006 cm により、 $k - \max = 8.1 \times 10^{-3}$, $k - \min = 1.6 \times 10^{-3}$, $k - \text{average} = 3.6 \times 10^{-3}$ となる。

これからも、この層はかなり締ってはいるが均等砂であることと、それにともなって透水係数も大きいことがわかる。

このことは Au 2 層同様、掘削時のクイックサンドが発生しやすいことを物語っている。

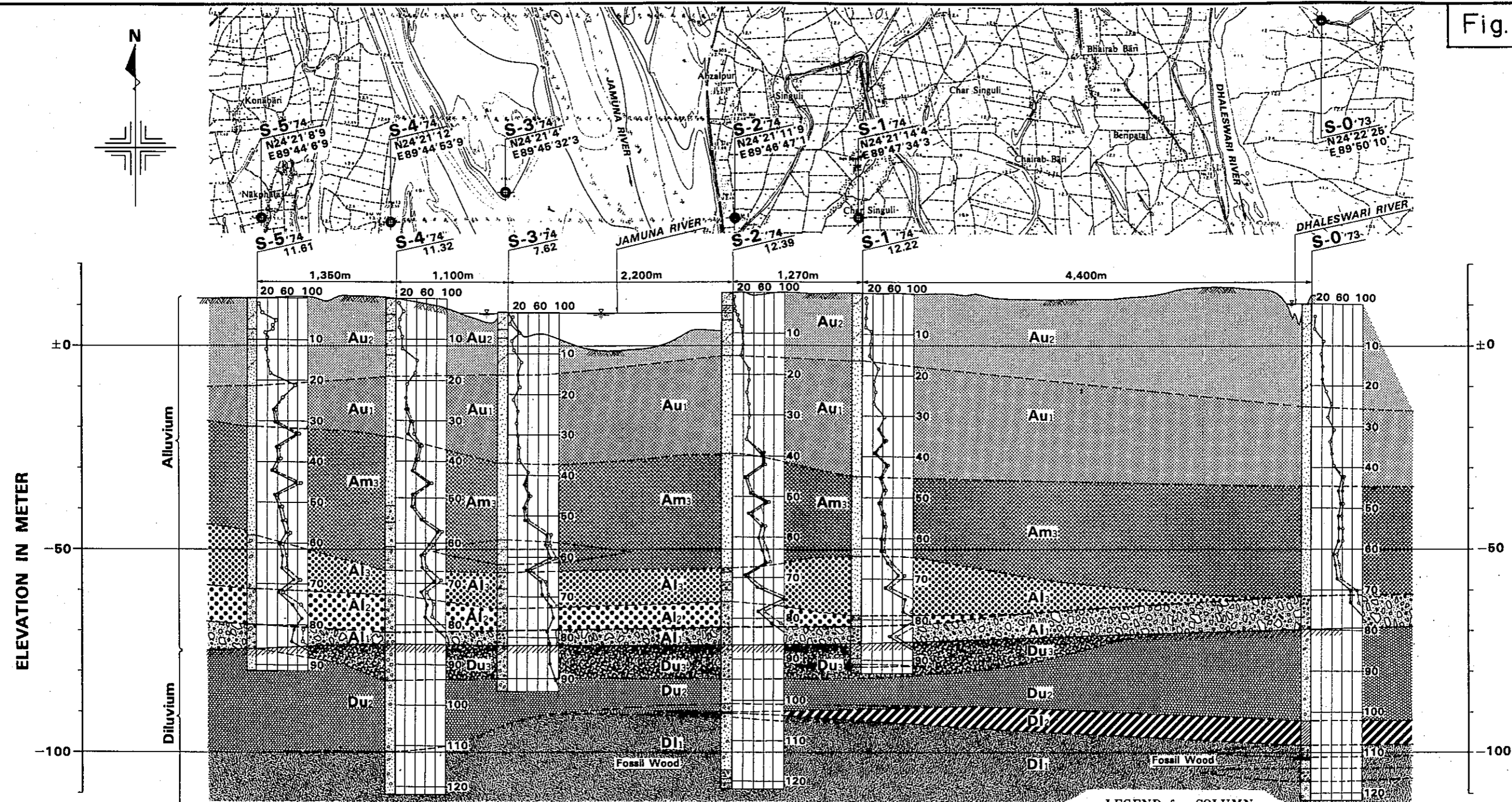
Am 3 層

粒度分布は上の層より若干粗粒であるが全体としてはやはり淘汰のよい均等砂が主である。密度も上層の N 値 30 に対し、この層は 40 回であることからより密なものである。粒度は石英亜角粒で黒雲母の細片が混る。

上層同様、均等砂であることから透水性は比較的大きく式 (2.1) によれば次のとおりである。

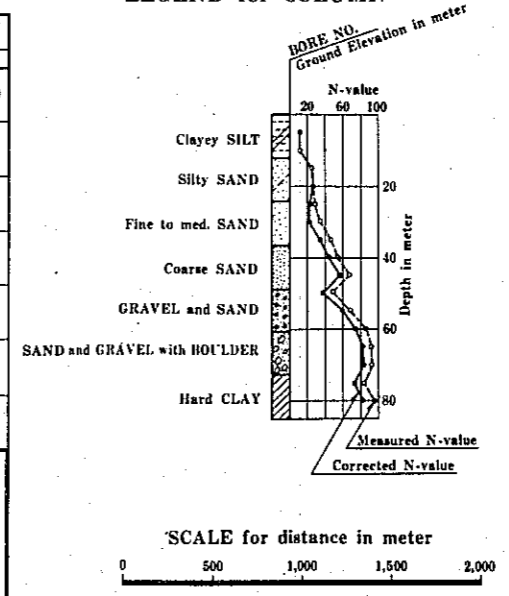
$D_{10} - \max$	0.009,	$k - \max$	8.1×10^{-3} cm/sec
$D_{10} - \min$	0.002,	$k - \min$	4.0×10^{-4}
$D_{10} - \text{ave}$	0.0045,	$k - \text{ave}$	2.0×10^{-3}

Fig. 1-1

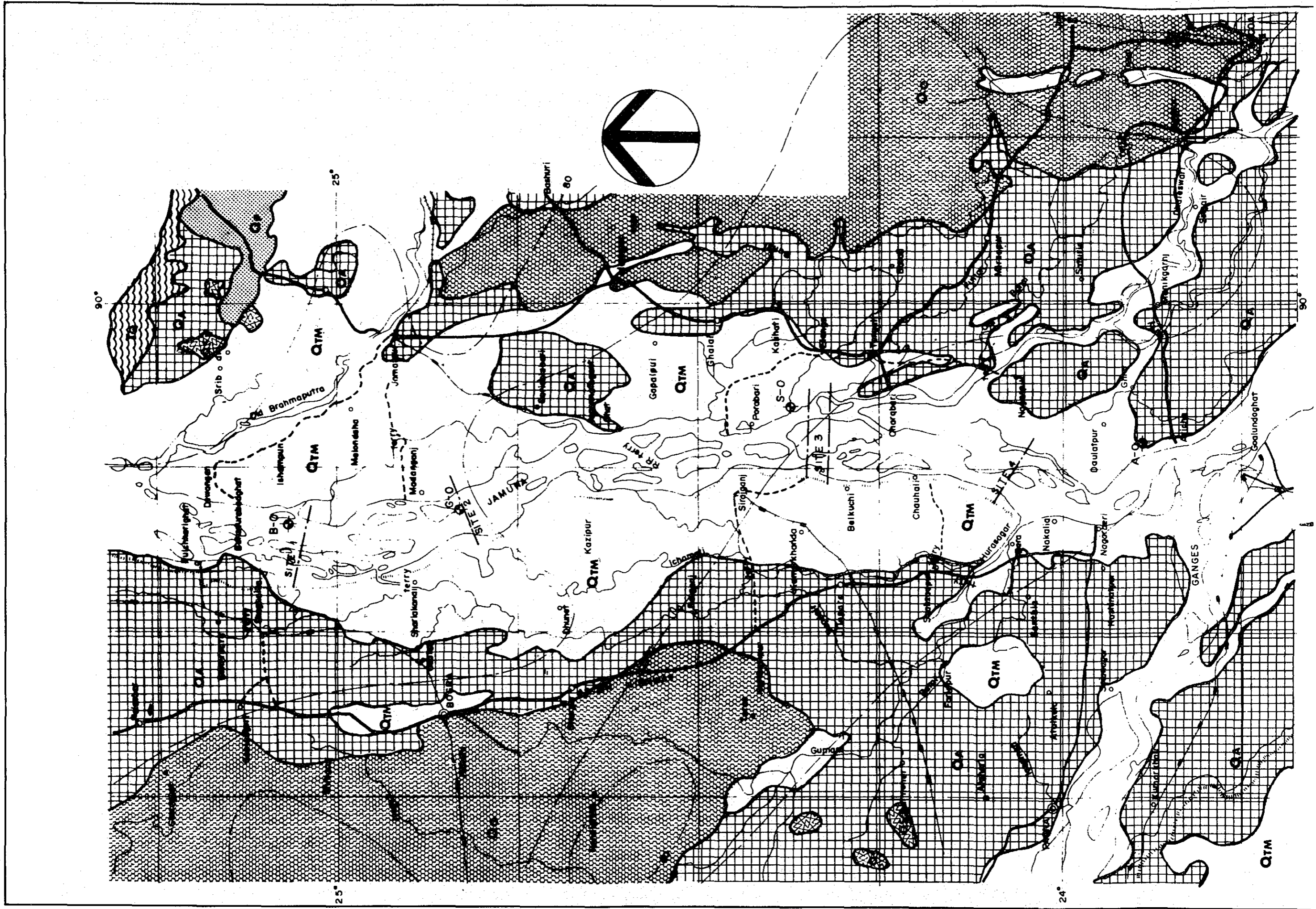


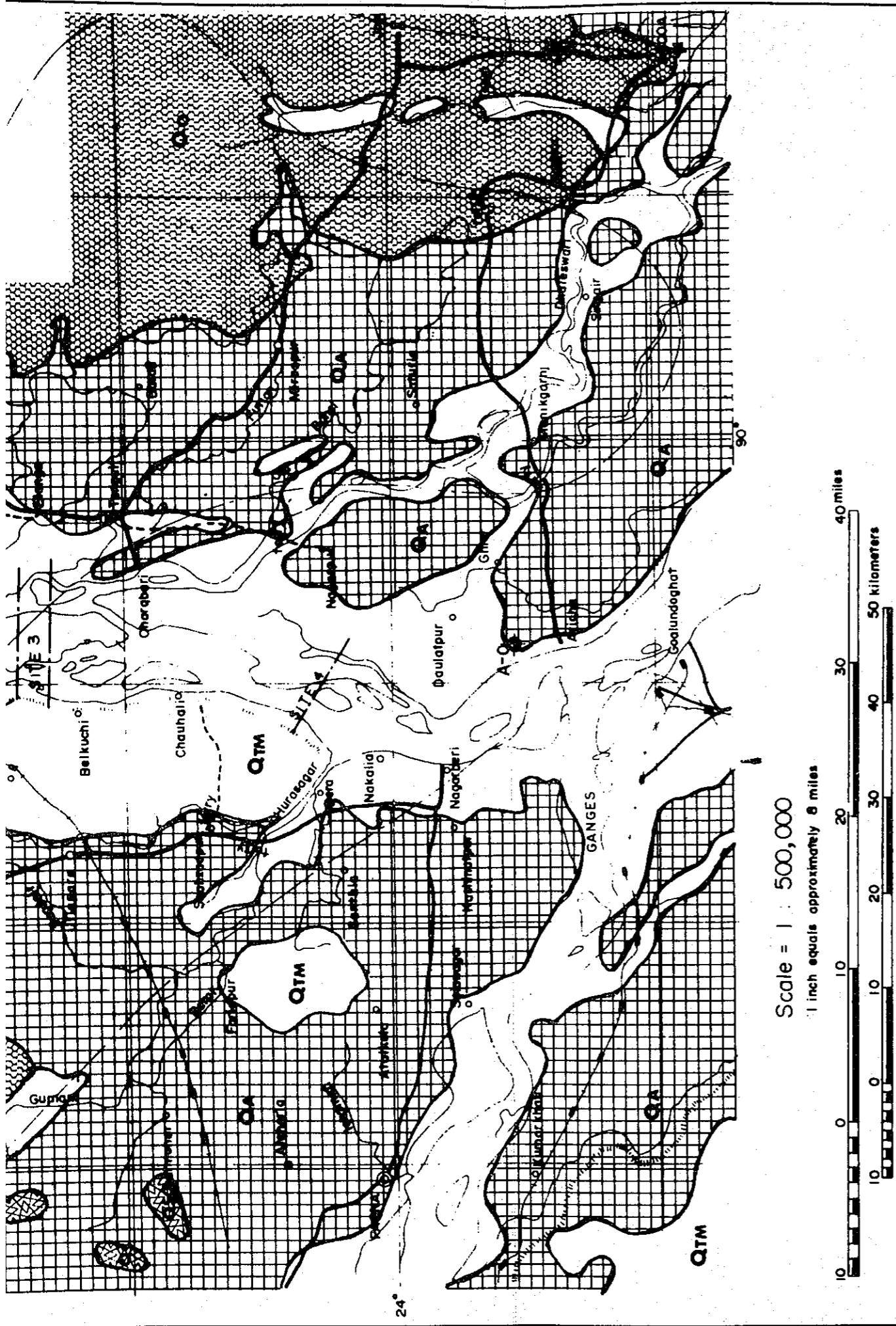
LEGEND for COLUMN

GEOLOGICAL AGE	STRAIT-GRAPHY	STRATA	DESCRIPTION			TYPICAL GRAIN SIZE DISTRIBUTION			UNIFIED SOIL CLASSIFICATION	CORRECTED N-VALUE by UTO'S FORMULA	CORRECTED N-VALUE by INSITU DATA	DEFORMATION MODULUS (E-VALUE) (kg/cm ²)			ESTIMATED SOIL MECHANICAL VALUE			
			CHARACTER	COLOR	FACIES	AVERAGE OF	D ₁₀ (mm)	D ₆₀ (mm)				U _c	E ₁	E ₂	E ₃	C	φ	γ _t
HOLOCENE	YOUNG ALLUVIAL DEPOSITS	UPPER	Au2	SILT and Fine SAND	GRAY	Fluvial to deltaic	0.035	0.15	4.3	S M	8	10	56	28	77	0 ~ 0.1	13 ~ 32	1.8 ~ 1.9
		MIDDLE	Au1	Fine to Med. SAND	-do-	-do-	0.06	0.3	5	S M	30	36	210	101	89	0	34	2.06
		LOWER	Am3	Fine to Med. SAND	-do-	Terrace to Fluvial	0.045	0.3	6.7	S M	38	40	266	112	111	0	36	2.17
	OLD ALLUVIAL DEPOSITS	LOWER	AL3	GRAVEL and coarse SAND	-do-	Basal of Alluvium	0.065	0.55	8.5	S-Mg	78	60	546	168	114	0	40 <	2.21
			AL2	GRAVEL and coarse SAND	-do-	-do-	0.05	0.7	14	S-Mg	78	60	546	168	114	0	40 <	2.21
			AL1	SAND and GRAVEL with BOULDERS	-do-	-do-	0.2	3.6	18	C-M	80 <				230	0	40 <	2.26
PLEISTOCENE	YOUNG ALLUVIAL DEPOSITS	UPPER	Du3	Coarse SAND with small gravels	-do-	Upper of Diluvium	0.043	0.75	17.4	S Mg						0	40 <	2.26
		UPPER	Du2	Coarse SAND scattered small gravels	-do-	-do-	0.04	0.35	8.8	S Mg								
	OLD ALLUVIAL DEPOSITS	LOWER	DL2	Hard CLAY	greenish GRAY	Lower of Diluvium	0.009	0.07	7.8	MH								
			DL1	Gravel and SAND, dense	GRAY	-do-	0.028	0.36	12.5	S M								

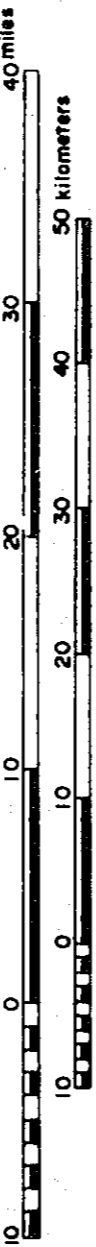


JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
 PEOPLE'S REPUBLIC OF BANGLADESH
 JAMUNA RIVER BRIDGE CONSTRUCTION PROJECT
 GEOLOGICAL PROFILE AND EXPLANATION
 TABLE ON BRIDGE SITE.
 DRAWN *[Signature]* DATE 14. Nov. 1975
 APPROVED _____ DATE _____
 NIPPON KOEI CO.LTD

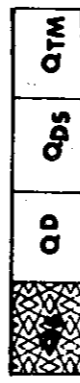




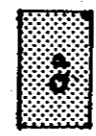
Scale = 1 : 500,000
 1 inch equals approximately 8 miles



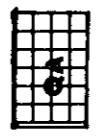
GEOLOGICAL EXPLANATION



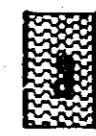
Q5, Swamp deposits
Qd, Deltaic deposits
Qps, swamp and deltaic deposits, undifferentiated
Qtm, Terrace and meander deposits, including swamp deposits in some areas



Piedmont Deposits
 Detrital material derived from the highlands of India and Burma and deposited on gentle slopes to the south and west.



Interstream Deposit
 Silt, sand, and gravel deposits at a slightly higher altitude than adjacent flood plain and low level terrace deposits



Older Alluvial Deposits
 Madhupur Clay; mostly red and orange clay deposits at a slightly higher altitude than interstream deposits (Qa) and having an incised dendritic drainage pattern; generally not subject to seasonal flooding. Possibly equivalent to the Dupai Tila formation.



Pleistocene And Pliocene Sedimentary Rocks

REGEND

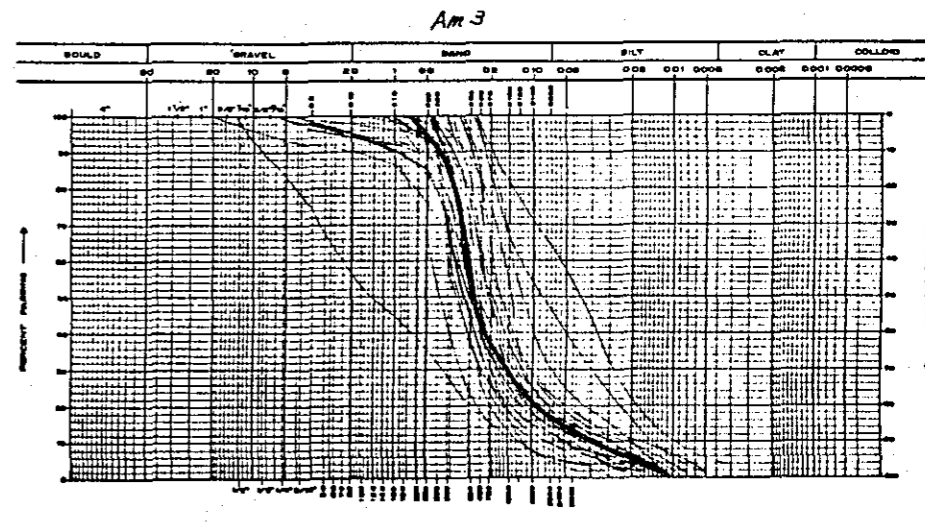
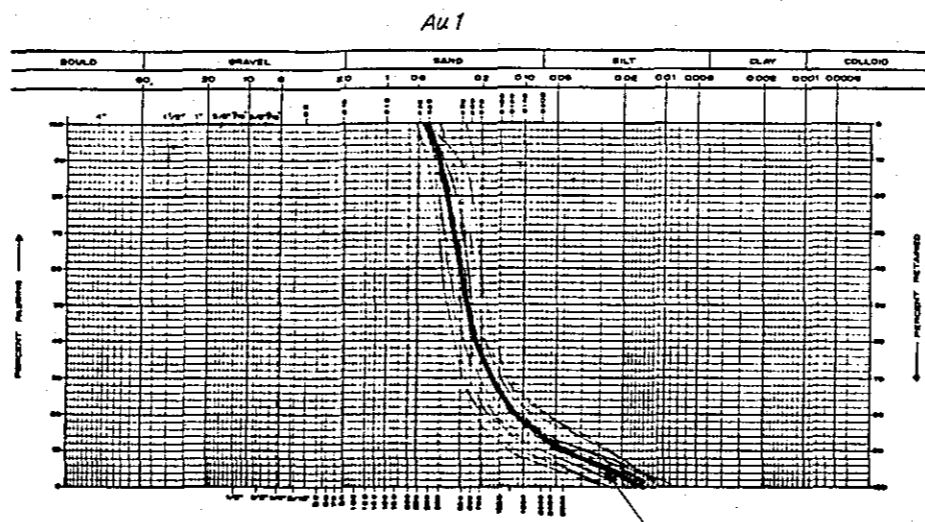
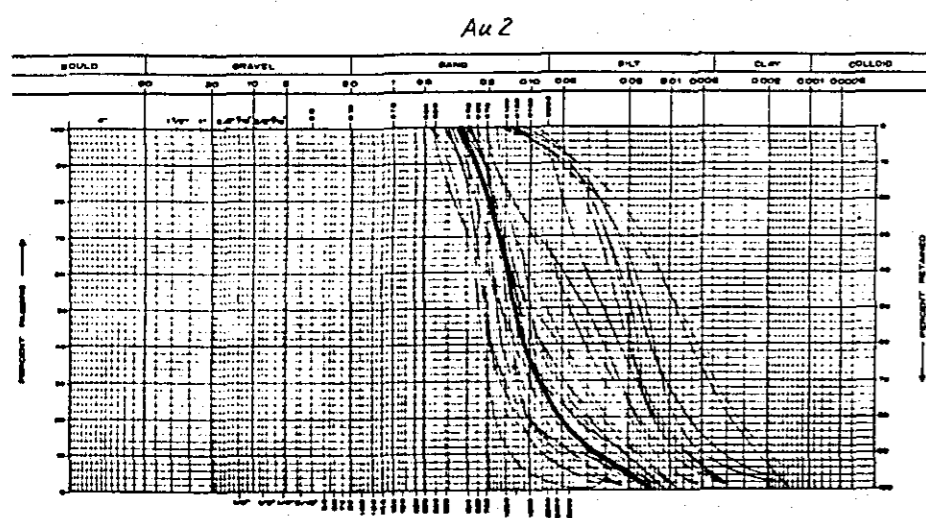
- ★ Provincial Headquarters
- ◎ Divisional Headquarters
- ⊙ District Headquarters
- Subdivision or Thana Headquarters smaller towns and villages
- Railroads
- Embankment
- All Weather Road
- Annual Rainfall (in inches)
- Existing Road
- SITE 1 Proposed Site of Jamuna Bridge
- Proposed Alignment
- S-O Soil investigation hole for Bridge Site (Bored by O.T.C.A Japan)

Fig. 1-2

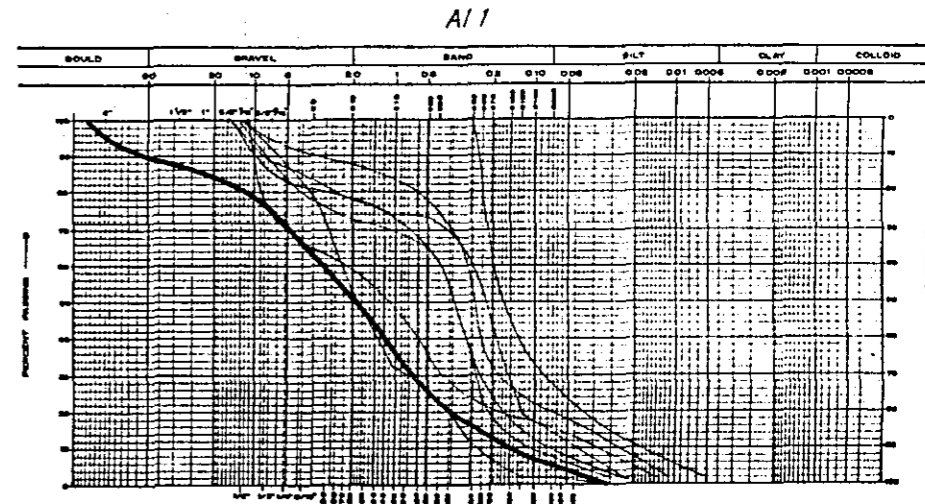
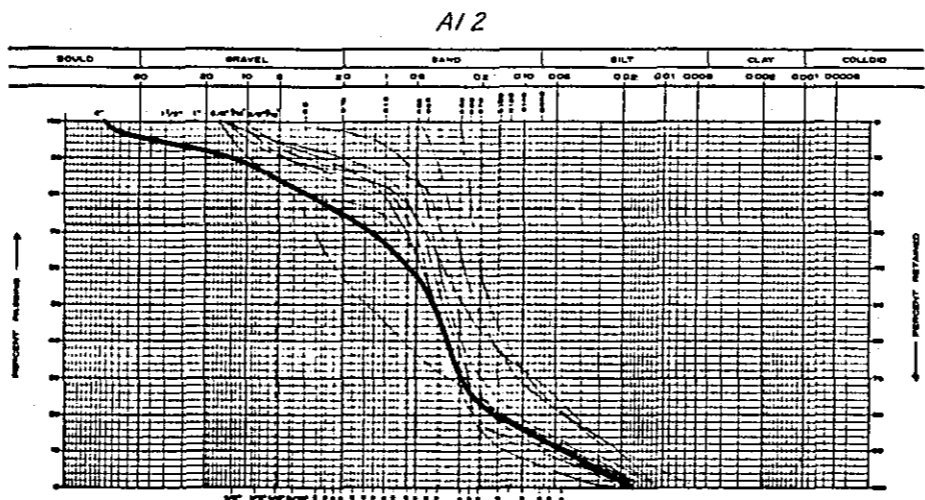
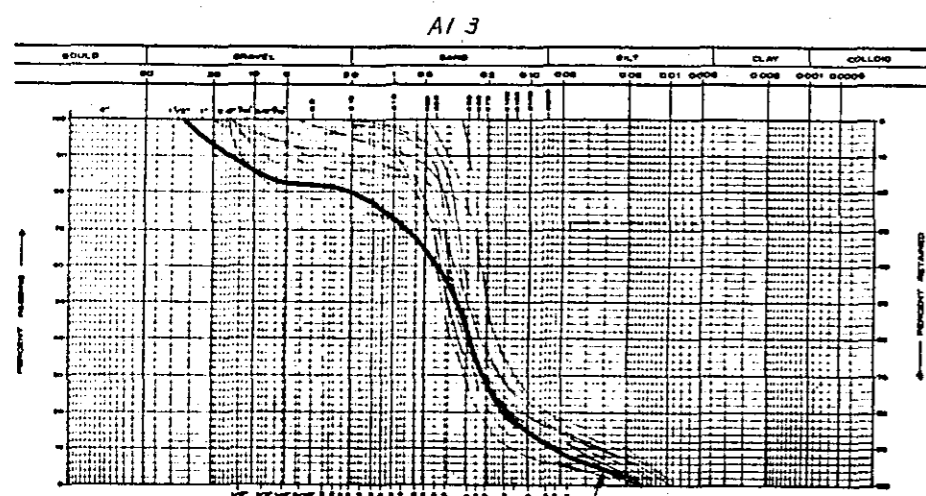
OVERSEAS TECHNICAL COOPERATION AGENCY JAPAN
PEOPLES REPUBLIC OF BANGLADESH
JAMUNA RIVER BRIDGE PROJECT
GEOLOGICAL MAP OF JAMUNA RIVER AREA
DRAWN <i>[Signature]</i> DATE
APPROVED <i>[Signature]</i> DATE
NIPPON KOEI CO., LTD Fig

Cited from Bangladesh Geological Survey data

Fig 2-1 Grain Size Distribution for strata

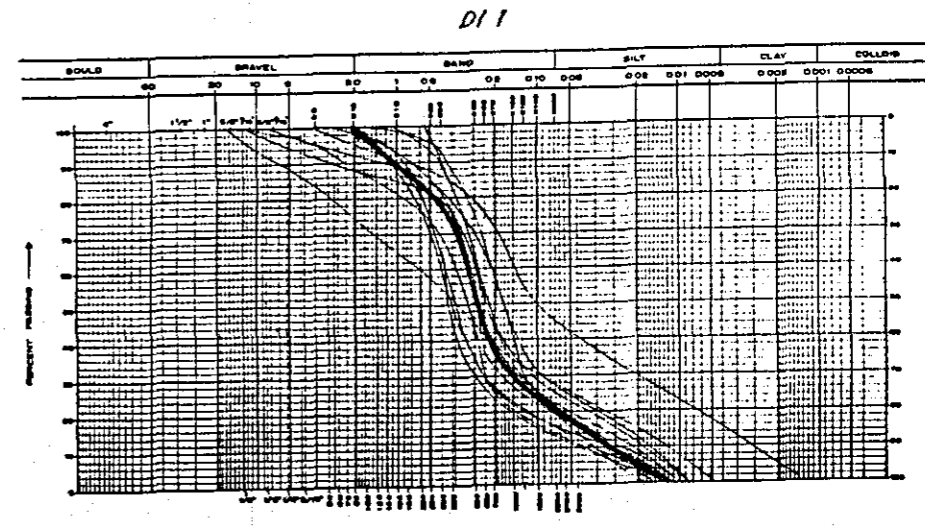
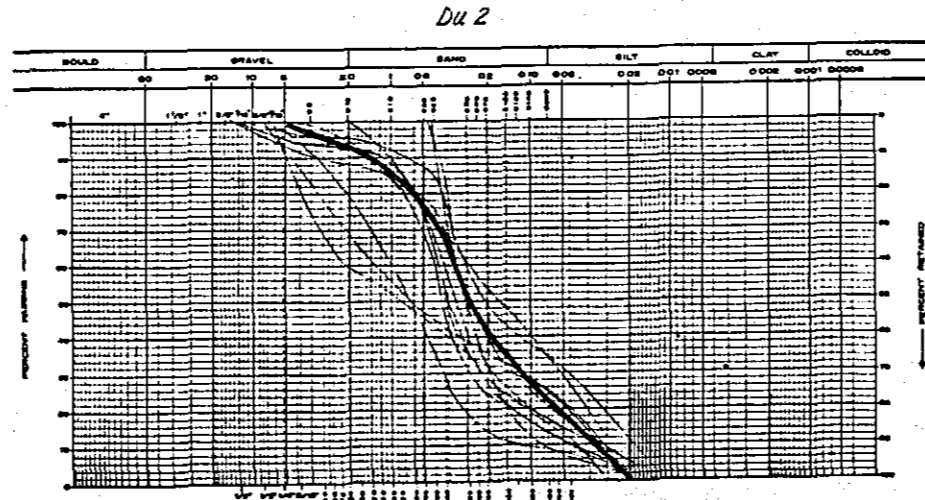
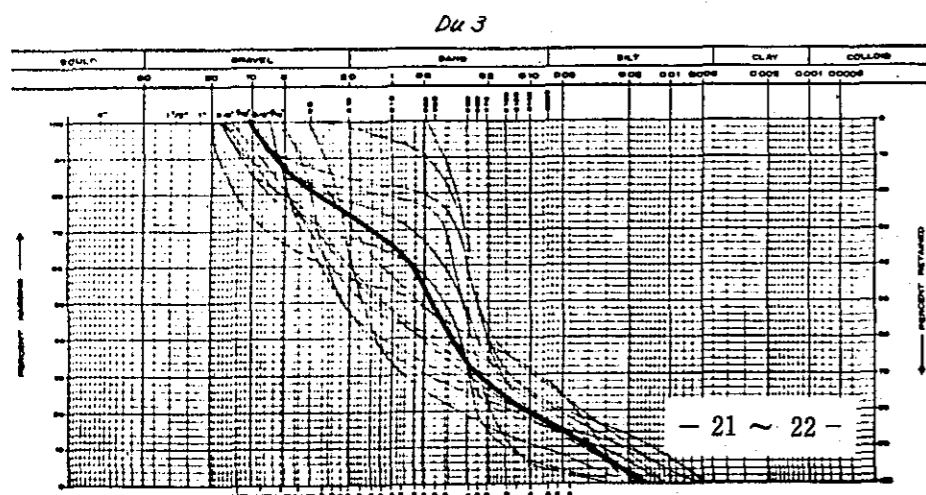


Typical curve



Typical curve

AL₃ to AL₁ : Coarse grain parts on typical curves were Adjusted because of recovering miss due to shortage of sampler diameter



よって、粒度が Au 1 とほとんど同様な粒度を示すことから透水係数も大差ないといえる。

A 1 3 層

Am 3 層と類似の砂層に小礫が点在する層と薄い砂礫層の互層からなっている。この互層中の砂礫層は最大径 30 mm 程度の円礫を 20 ~ 40 % 程度伴う。しかし砂分の 50 % は Am 3 層とほぼ同種のものである。砂の粒子は、亜角石英粒を主とし、黒雲母の細粒破片を伴う。礫は、片麻岩、珪化砂岩等の極めて硬質なものからなり、よく水磨された円礫である。透水度は砂層において $k = 5 \times 10^{-3}$ cm/sec, 礫質の部分で約 9×10^{-3} cm/sec 程度とみられる。

N 値は 30 から 100 までかなりばらつくが、その多くは 70 ~ 80 に集中する。

A 1 2 層

A 1 3 層と類似の地層であるが、礫分がより多い。礫は砂層中に点在するもので、ときに薄い礫層となっている。砂、礫ともに石英質の硬いもので、よく水磨されている。砂層中には黒雲母や緑色鉱物を縞状に薄く挟み lamination が認められる。密度、透水性とも A 1 3 とほとんど同様と考えられる。

A 1 1 層

沖積層最下部のいわゆる基底礫層 (basal gravel layer) である。この特色は大きな玉石 (boulders) を主とすることでその最大径は約 30 cm と推定される。第一次調査における jamuna 河に沿うボーリングでもみられることから、当計画区域全域にほとんどとぎれることなく分布していることは確実である。また当架橋計画区間ではこの層の表面がほとんど BL-70 m にあり、きわめて平坦な広がりをもっている。礫および玉石の性質は花崗片麻岩、珪質砂岩および粘板岩、石英岩、石灰岩等の硬質のものからなるほか、まれに更新世の軟質泥岩を含む。形状はいずれ良く水磨された円形のものである。ボーリングにより採取されたコアサンプルはビット径 (ϕ 86 mm) により制限されて大きなものは採取されていないが、掘進中の feeling では ϕ 60 mm 以上の玉石は 10 ~ 20 % をしめるようである。

ボーリング中に若干の泥水の逸水があり、かつ希薄されたことから伏流水が流れていることも考えられる。即ち、かなり大きな透水係数のようである。

粒度分布が良いこととときわめて深い位置にあることから高い密度をもっている。

橋脚としてのケーソン等の支持層としては申し分なくしっかりしたものである。

Du 3 層

この地層より下部が洪積層である。この上の層まで灰色を呈する地層であるが、この層以下は時に褐灰色、主に灰緑色を呈し、一段と緻密で細粒分の多い部分では固結状態にある。おのずと含水比も低く、難透水性である。

このDu 3層は、20～40%以上がφ最大20mmの礫分からなり、シルト分から砂分もほぼ均等に分布する。この層の最大の特色はきわめて密度が高く半固状態にあって、軟質礫岩とも呼ぶほどのものである。例えば、標準貫入試験の値は打数100回に対して貫入量10cm程度のことが多い。時に褐色を程するが多くは暗緑灰色である。まれに軟質シルト岩（固結シルト）や細粒密な砂層を挟む。

Du 2層

粗粒砂からシルトまでほぼ均等に分布の良い砂層である。この層には全体的に少粒礫を点在するほか、時にうすい小粒砂礫層やごく薄いシルト岩（又は固結シルト）を挟む、これも上層同様非常に緻密であるが固結していることは少い。緻密であることから含水比も低く難透水性である。緻密な程度をN値からみれば打数100での貫入量は15から20cmである。

D1 2層

D1 1からDu 2まで同一グループの地層であるが、D1 1とDu 2の中間に泥質の地層がみられ、これをD1 2と表示した。

この層は泥岩ないしシルト岩であって、固結粘性土層とも表現し得る。砂分の多い部分は固結度が低いが、シルトおよび粘土分の多い個所は完全に固結している。

ボーリングにおいても固結したコアサンプルとして回収されることが多い。

この層はS-0孔（'73年第一次調査）において層厚5.8mであったが、今回の調査ではS-1において0.5m厚で確認されたほかは、時々きわめて薄い層（seam）として認められるのみであった。

D1 1層

今回の調査深度の最下部層である。層相はDu 1と類似するが、より一層緑色を帯びていることと、しばしば泥岩のシーム（薄い層）をlamina状に狭む。即ち、緻密な砂層に小礫が点在し、ときに薄い礫層および泥岩のシームを挟むもので、基礎地盤としてきわめて安定した地層である。

一般的なN値は打数100に対し10ないし15cmの貫入量である。

3. 橋梁部の設計用土性値の検討

橋脚基礎の設計に必要な土性値の選定には次のような手法によって検討した。

- a) 地質層序学的な判断によって、調査深度範囲内の地層を10種の層に区分した(Fig. 1-1)。
- b) 区分した各層の物理的性質（粒度分布、比重、含水比）をそれぞれヒストグラフに表示し、その代表値とそのばらつきを検討した(Fig. 2-1, Fig. 2-2, Fig. 2-3)。
- c) きわめて深い位置での標準貫入試験を行っており、深度による補正の必要があり、

Fig. 2.3.2 Histograms of specific gravity for strata

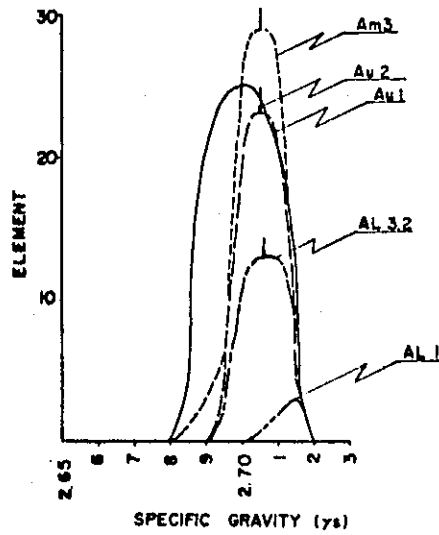


Fig. 2.3.3 Histograms of natural moisture for strata

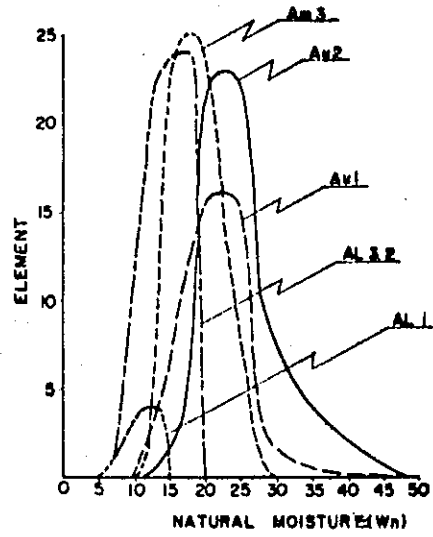
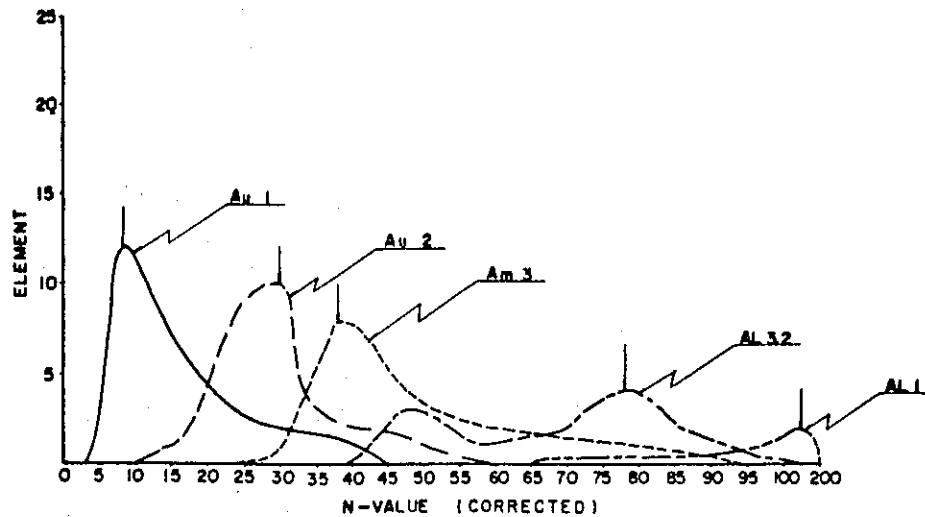


Fig. 2.3.4 Histograms of N-value for strata



その検討を行った(3.1項)。

- d) 各層毎のN値をヒストグラムに表示し、そのバラツキと代表値の検討を行った(Fig. 2-4)。これには適正と思われる補正方法による補正N値を使用した。
- e) 基礎杭およびケーソン基礎に関連する横方向地盤反力係数の検討を行った。これには実測値から導入する方法や、N値から間接的に導入する方法等それぞれについて検討した(3.4項)。
- f) 各層の透水係数を粒度分布から間接的に推定した(2項)。

以上各種の検討から、橋脚基礎の設計土性値として重要である土の基本値としてN, C, ϕ , r_1 , r_s , E, およびkのそれぞれを導びいた。

以下にその導入過程について詳述する。

3.1. N値の検討

今回の調査の重要な現位置試験である標準貫入試験によるN値の測定結果は、実測値をそのまま使用することには問題がある。即ち、非常に深い位置での測定値が多いことから打撃エネルギーが地盤に達するまで、各種のエネルギーロスが生ずる。

これらの補正については、Terzaghi-peck(1948), 池田(1959), Thornburn(1963), 宇都(1974)等多くの研究成果が発表されている。

ここでは、深度によるN値の誤差は打撃エネルギーが孔底に伝達される過程のロスが最も大きいと考え、その補正は宇都(1974)の式により補正し、設計値に導入するときに扱われるN値は常にこれによる補正值を用うることとした。

N値補正公式(宇都, 1974)⁸⁾

$$\begin{aligned} N &= N' && (\ell < 20\text{m}) \\ N &= (1.06 - 0.003\ell)N' && (\ell \geq 20\text{m}) \end{aligned} \quad 2.2.$$

N ; 補正 N 値 ℓ ; ロッド長 (m)
N' ; 実測 N 値

さらに、現位置において実施したLLT試験結果とN値の関係からの補正も行ない、宇都式の補正結果と対比させてその精度を確かめた。その結果はさして大きな差ではなく、宇都の式による補正式を使えることを確認した。

3.2. C, ϕ の検討

当プロジェクトの土性は、一部を除いて砂質土および礫質土からなる。したがって直接的な土の力学試験が困難なため実施していないが、N値を検討することにより、 ϕ 値を間接的に導びくことができる。

N値と ϕ の関係については、Peck-Hanson-Thornburn.(1953), Durham(1954), Terzaghi-peck(1948), Meyerhof(1956), 大崎(1959)等多くの研究がなされている。

ここでは、次に示す Dunham の式が最適と判断し、この式から ϕ を導びく。

Dunham 式

均等、かつ丸い粒子の砂…………… $\phi = 12N + 15$ (2.3.)

粒度分布の良い角ばった砂…………… $\phi = 12N + 25$

粒度分布の良い丸い砂…………… $\phi = 12N + 20$

均等、かつ角ばった砂……………

当地の砂質土は、全体的に均等粒子からなっていること、かつ、角ばった砂も含むが、やや丸味の砂が多いことから(式 2.3.)を用うることとする。

この Dunham の式は地層が砂質土であることが条件となっているが、(Fig. 2-1)各層の典型的な粒度曲線に示すとおり、いずれの層も砂質土ないし礫質土として取扱うことができる。

特に、Au 2, Au 1, Am 3, Du 2, D1 1, 等は典型的である。A1 2, A1 1, A1 3, Du 3, 等は礫混りの層である。なお、各層の粒度試験値のばらつきは Fig. 2-1 に示すとおりである。

N 値の分布をヒストグラムによってその分布範囲を Fig. 2-4 に示す。

Au 1, Am 3, A1 3, A1 2 の各層はピークをそのまま採用する。

A1 1 層は礫分が多く実測値に測定誤差が含まれ、過大に出ている可能性がある。よって、実測値を(式 2-2)により補正した最少値を採用する。Du 2 層以下は、ことごとく $N > 100$ である。N 値の測定機構から判断して N 値が 100 以上のものは信頼性に貧しいので上限を 100 とする。

粘着力 C については、砂質土の場合、C がきわめて小さく通常ネグレクトブルであるので無視した。但し、Au 2 層の浅い部分については、室内土質試験値から C を導びいた。

以上述べた手法により各層の N, C, ϕ を Table 2-1 に示す。

Table 2-1 N, C, ϕ , for Strata

STRATA	N	C	ϕ
Au 2 Silty part	8	0.1	13
Au 2 Sand	10	0	32
Au 1	30	0	34
Am 3	38	0	36
A1 3, A1 2	78	0	>40 [#]
A1 1	>80 [*]	0	>40 [#]
Du 3	>80 [*]	0	>40 [#]

* 100 以上が記録されているが、砂礫層のため過大にでていることが考えられ、そ

の下限值 80 を採用する。

N 値から推定して 40° 以上になる。文献(5)では N 値からの推定値は 45° 以下にとどめると規定されており、40° ないし 45° の範囲を採用できる。

3.3 r_t の検討

各ボーリング孔から約 3 m 毎に採取したスプリットスプーンによる攪乱試料の含水比 (W_n)、土粒子の比重、粒度を室内土質試験により測定した。

含水比、土粒子の比重を各地層毎にヒストグラムによりその頻度分布を調べ、そのピークを各地層の代表的な数値として選定した (Fig. 2-2, Fig. 2-3)。

r_t は次式により導びくことができる。

$$r_t = \frac{1 + W_n / 100}{1 / r_s + W_n / (r_w \cdot S_r)} \dots\dots\dots (2.4.)$$

ここに r_t : Wet density (Unit weight) g/cm^3

r_s : Specific gravity of soil (g/cm^3)

W_n : Natural Moisture content (%)

r_w : Specific gravity of water ($1g/cm^3$)

S_r : Saturation degree

ここでは地下水位が GL - 4.5 m 以浅にあるので、Au 1 以深の地層の $S_r = 100\%$ 、 $r_w = 1g/cm^3$ と仮定する。

r_s は Fig. 2-2 にみられるように若干のばらつきがあるが、各層とも一率に $2.70g/cm^3$ として算出した。

さらに Fig. 2-3 から W_n をよみとり (式 2.4) により間接的に計算された各層の r_t は Table 2-2 に示すとおりであって、十分信頼し得るものである。但し、Au 2 層については室内土質試験結果より導びいた。

Table 2-2 Unitweight for Strata

Strata	Moisture W (%)	Specific gravity	
		r_s (g/cm^3)	Unit weight r_t (g/cm^3)
Au 2	Silty	2.70	1.8
	Sand	2.70	1.9
Au 1	22	2.70	2.06
Am 3	20	2.70	2.17
Al 1	15	2.70	2.21
Al 2	15	2.70	2.21
Al 1	13	2.70	2.26
Du 3	13	2.70	2.26

3.4. 地盤反力係数の検討

1) 検討方針

橋脚基礎はケーソン方式により非常に深い位置から立ち上げられる公算が大きい。

この場合、基礎には地震、流水圧、風圧などによって大きな水平力が加わることになる。その水平力は基礎体の剛性と周囲の地盤の水平反力とによって支持することになる。したがって地盤の水平反力がどの程度かを調査することが今回の調査の大きな目的の一つであった。

地盤の水平反力導入の方法には、(a)N値から実験的経験的方法により算出する方法、(b)平板載荷試験によって実際に測定する方法、(c)試験杭を使って実測する方法、(d)ボーリング孔内においてゴムチューブを使って孔壁に載荷実測する方法などがある。このうち、調査段階で一般的に行われるものは(a)と(d)である。当地においても(a)と(d)の双方から検討することとした。

(d)のゴムチューブ法には、土研式、LLT式、プレシオ式などがあるがここではLLT式を用いた。LLTの機構と解析方法についてはData Book. 1. 5. 1.に詳しい。

地盤反力の算定には載荷面積（基礎の大小）と地盤固有の変形係数（E値）が基本値となる。そこでE値の導入に、LLTにより実測したもの、N-Eの関係を日本における実験的關係、N-Eの関係を現地測定したものの3方向から検討した。さらに実測E値から実測N値の深度補正を行なう方法も併せて検討した。

2) N-Eの關係

a) 日本におけるN-E値の關係はいくつかの実験式が発表されている。その中で吉中の式 $E = 6.78N^{0.99}$ (文献6) ($E \approx 7N$) が代表的である。一方今回の現場における実測では $E = 2.8N$ の關係を得た (Fig. 2-5)。

しかしこの $E = 2.8N$ は、深さに無關係に一括してプロットした図から導びいたものである。その各要素を測定深度毎に分割してプロットすれば、Fig. 2-6のごとくなり、その結果を同一図表に記入すればFig. 2-7のとおりを得る。Fig. 2-7からさらに各深度におけるN値からE値を導びきやすいように表示したのがFig. 2-8である。したがって、現場における実測のE-Nの關係は深度とも関連し、単純な公式にまとめ得ない關係にあることが判る。

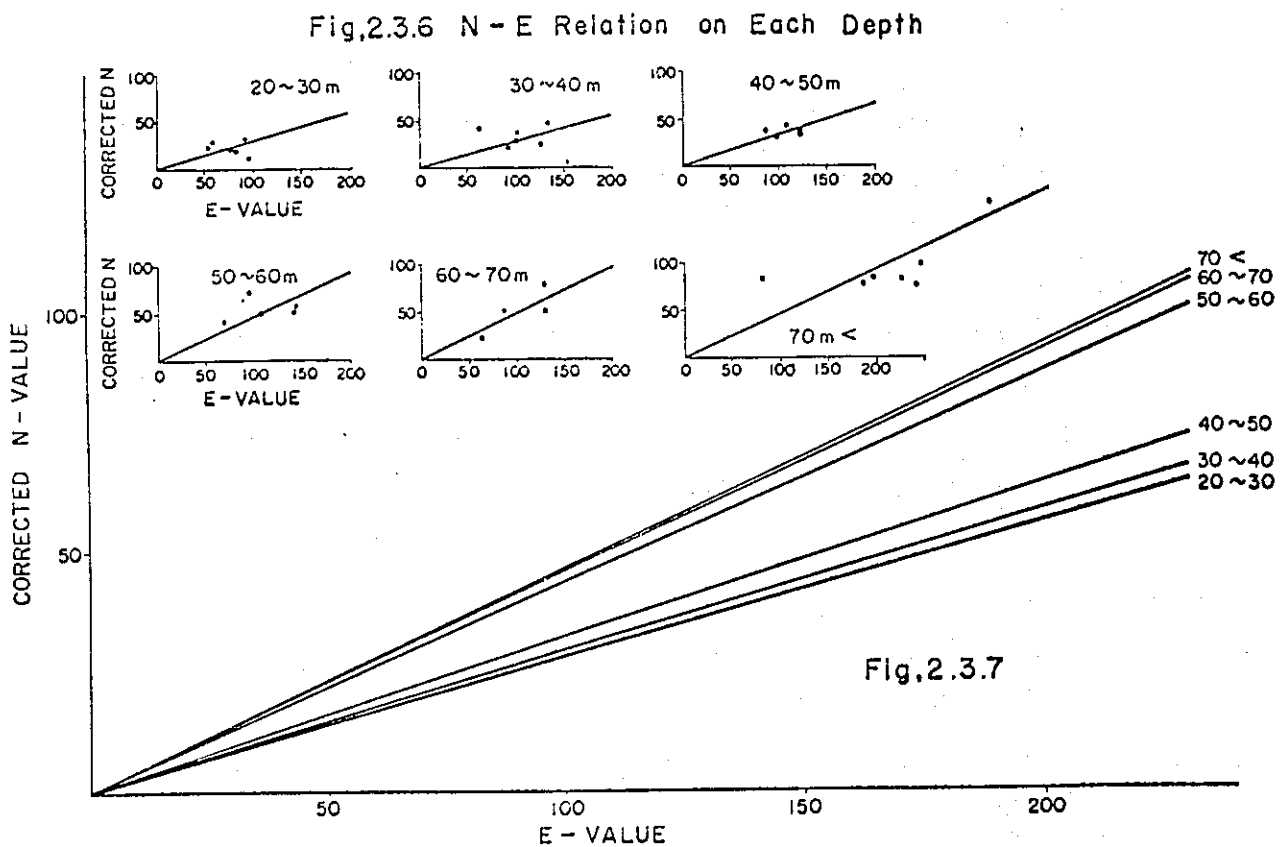
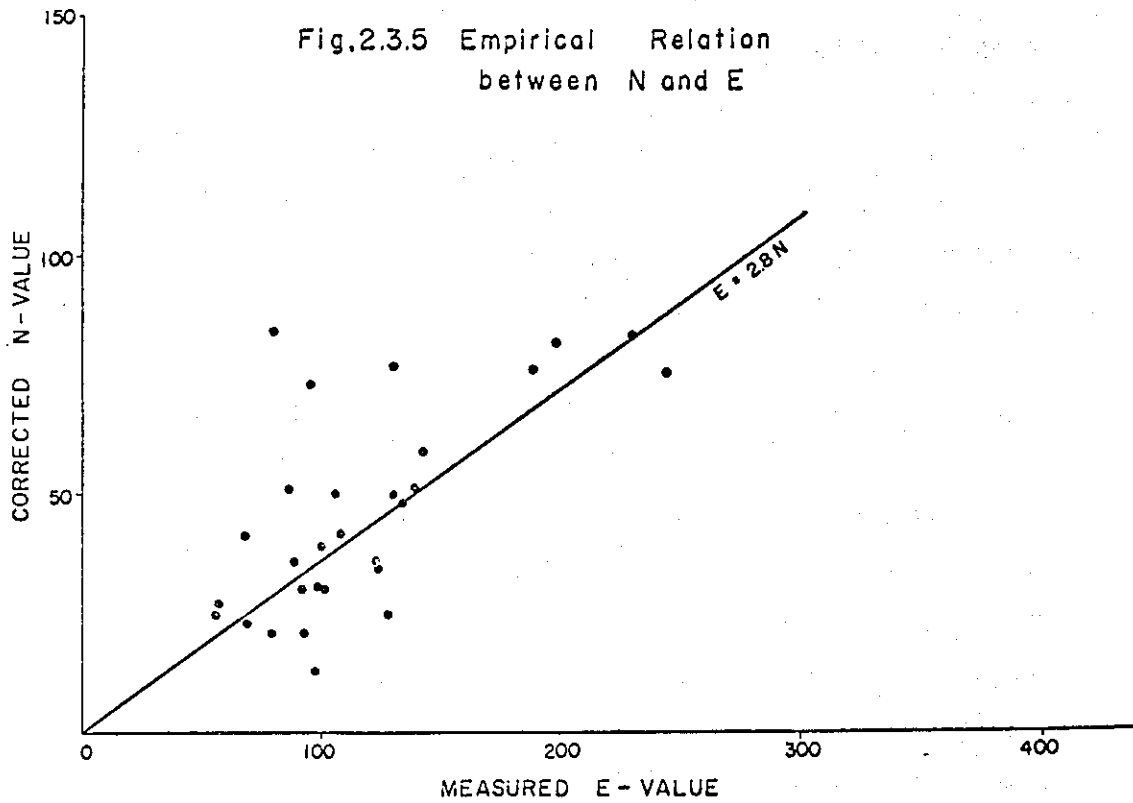
この場合のN値は、宇都式 (式2-2) による補正值を使用している。これをさらに現場に適合するように補正するにはFig. 2-8によって導びくことができる。

3) E値の算定

a) E_1 , 吉中の式によるN値からの推定

各地層のN値の代表値 (Fig. 2-4) によって次の式から導びく

吉中の式



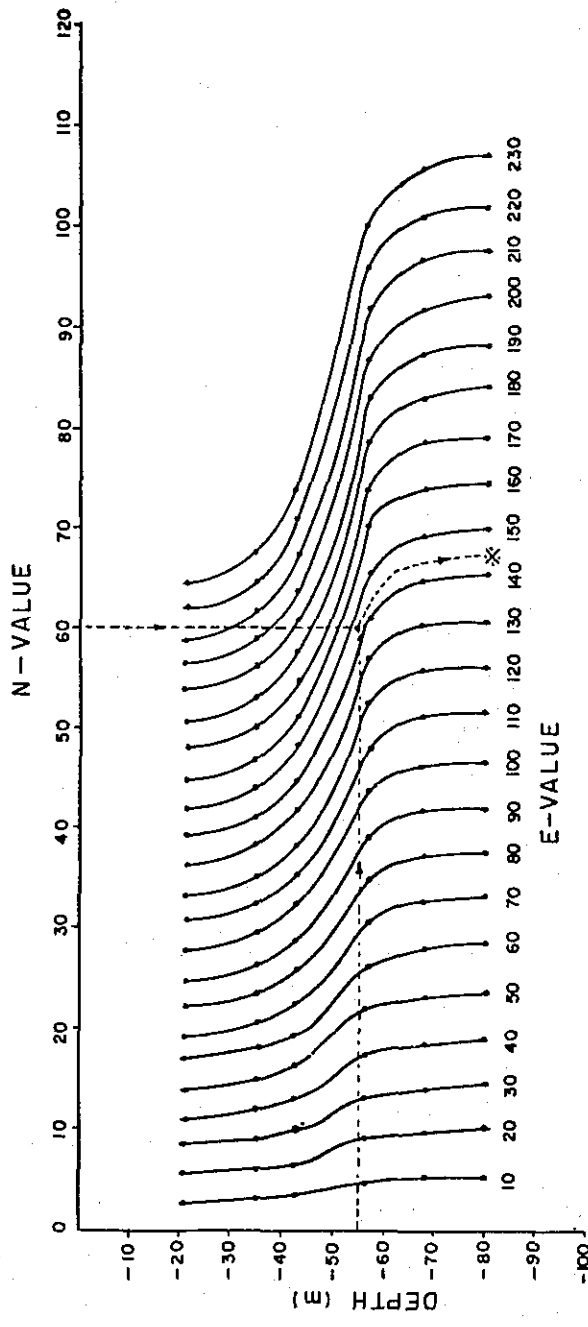
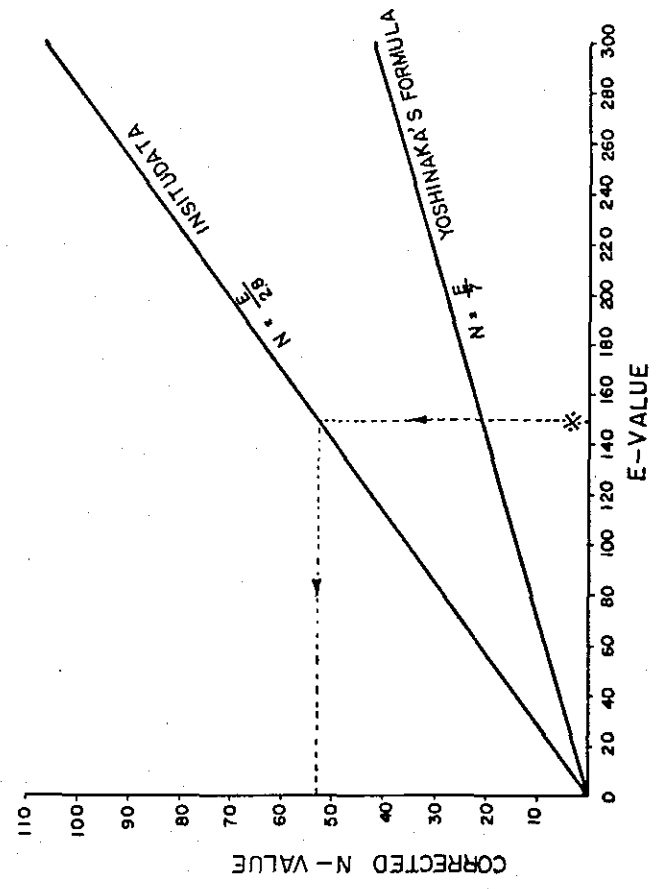


Fig. 2.3.8 EXPERIMENTAL RELATION
between
Measured N-value, E-value and
Corrected N-value



$$E = 7N \dots\dots\dots (2.5)$$

b) E_2 , 現場資料の E-N 関係より推定

現場式 (Fig. 2-5)

$$E = 2.8N \dots\dots\dots (2.6)$$

c) E_3 , 現場実測値より求める。

Table 2-3 に示すとおり各地層毎の実測値の平均値とする。

以上, 3つの検討方法の E 値をまとめた結果を Table 2-4 に示す。

Table. 2-4 算出方法別 E 値の対比

STRATA	TYPICAL-N	E_1	E_2	E_3
				(kg/cm ²)
Au 2	8	56	28	77
Au 1	30	210	101	89
Am 3	38	266	112	111
AL 3, A1 2	78	546	168	114
A1 1	>80	>560	>224	230

Fig. 2-4 において A1 1 の N 値は礫質土のため, 補正值で 100 回以上を記録しているものが多いが, その下限は 80 回程度でありこれを採った。

E_1, E_2, E_3 を対比してみるに E_1 は E_3 に対し, 0.7~4.7 倍の差がある。これは E_1 は日本における実験的 N-E 関係から導びいたもので当地の地層は, 粒度分布が日本の一般の砂質土よりも均等粒であることなどからくる土性の相違に起因すると思われるが詳しくは不明である。

E_2 は現場の実験的な E-N 関係より導びいたもので本来は E_3 と大きな差が生じてはならないが, その差は E-N 関係のばらつきに起因している。

E_3 は現場の測定値そのものであって, より信頼度が高く, 設計値として推奨できる。

但し, 現場測定値は測定点数が必ずしも十分ではなく, N 値を測定してあって, E 値の測定を行っていない局所的な場所の E 値が必要な場合 Fig. 2-8 により N 値とその深度からその点の E 値を求めるのが良い。概略値を求める場合は (式 2.6) により求めても大きな差は生じない。

ここでは各層の代表的な値として Table 2-5 に表示してあり, 基本設計的な計算にはこれを使うことを推奨する。

Table 2-5 各層毎の基本設計用地盤変形係数(E)

層	Au 2.	Au 1.	Am 3.	A1 3.	A1 2.	A1 1.
E(kg/cm ²)	77.	89.	111.	114.	114.	230

Table 2-3 Measured Results of Lateral Loading Test

Strata	Bore No. & Depth (m)	Materials	Measured N-value	Measured K-value (kg/cm ³)	Initial radius r _o (cm)	Calculated radius r _m (cm)	Measured soil Reaction E (kg/cm ²)
Au-2	S-0 16.40	Fine SAND	20	13.6	4.43	4.58	81.0
	S-0 22.56	Med. sand	28	15.8	4.48	4.60	94.5
	S-5 20.50	Fine to Med. SAND	25	8.1	5.00	5.29	55.73
							* 77.07
Au-1	S-0 30.96	Fine to Med. SAND	44	8.7	5.23	5.52	62.4
	S-1 23.20	-do-	27	9.8	4.30	4.49	57.2
	S-1 32.40	-do-	31	16.3	4.56	4.76	100.88
	S-2 20.40	-do-	30	16.5	4.12	4.29	92.0
	S-2 35.50	-do-	26	20.7	4.58	4.77	128.5
	S-3 20.60	-do-	13	16.2	4.44	4.65	97.9
	S-3 35.40	-do-	22	13.4	4.87	5.37	92.5
	S-4 20.40	-do-	21	12.4	4.59	4.83	79.1
							* 88.8
Am-3	S-1 47.20	Fine to Med. SAND	45	16.0	4.80	5.23	108.8
	S-1 56.30	-do-	46	9.8	5.01	5.36	68.6
	S-2 48.50	-do-	37	20.6	4.42	4.63	123.99
	S-2 59.40	-do-	57	18.1	4.30	4.51	106.08
	S-3 47.50	-do-	33	14.3	5.09	5.36	99.7
	S-3 56.30	-do-	82	15.7	4.10	4.47	94.2
	S-4 35.50	-do-	51	21.3	4.47	4.53	135.4
	S-4 47.50	-do-	39	19.7	4.50	4.79	122.7
	S-4 53.20	-do-	57	22.8	4.40	4.51	140.4
	S-5 36.10	-do-	41	16.2	4.61	4.81	100.3
	S-5 47.50	-do-	39	13.6	4.53	5.02	88.7
	S-5 56.40	-do-	66	20.6	5.05	5.35	143.3
AL-3,2	S-1 65.55	Grovel and SAND	58	23.8	4.10	4.23	130.8
	S-2 68.50	-do-	27	11.1	4.07	4.79	69.03
	S-2 79.80	-do-	93	31.0	4.45	4.78	189.34
	S-3 71.20	-do-	99	12.6	4.25	4.92	80.6
	S-4 66.90	-do-	90	21.5	4.33	4.66	130.3
	S-5 65.50	-do-	59	14.0	4.43	4.74	86.3
							*114.3
AL-1	S-1 84.90	Grovel and Boulder	100	33.8	4.45	4.57	197.86
	S-4 83.20	-do-	100/25	43.3	4.24	4.43	248.4
	S-5 80.40	-do-	91	39.9	4.49	4.71	244.3
							230.1
Du-3	S-3 83.50	Coarse sand with gravel	102	31.8	5.28	5.5	229.4

* Average of measured soil reaction value.

第 3 章 取付道路ルート of 土性

1. 調査, 検討の方針

橋梁地点は Sirajganj 市街の下流 10km にあり, 付近は両岸とも牛車道程度の若干の道路を除いて, 全天候道路は皆無である。最も近接する全天候道は西側地区では Hartikumpul を通るアジアハイウエーから Sirajgani に通ずる道路であり, 東部では, Tangail から Elenga を通って Mymensingh に通ずる国道である。Jamuna 架橋に伴うアクセス道路は, これらの東西の全天候道路に接続させるべく, Fig. 3-1 のとおり, Sirajganj から Elenga までの 30 km に計画されている。

このアクセス道路の建設は, ことごとく盛土によって施工される見込みであり, 特に橋梁部へのアプローチ部分は高盛土となる。(ここではアプローチ部分も含めてアクセスロードと呼ぶこととする)。

本来, 当プロジェクトは, 架橋計画が主力であるが, アクセス道路の基本計画も併せて実施しようとするものである。

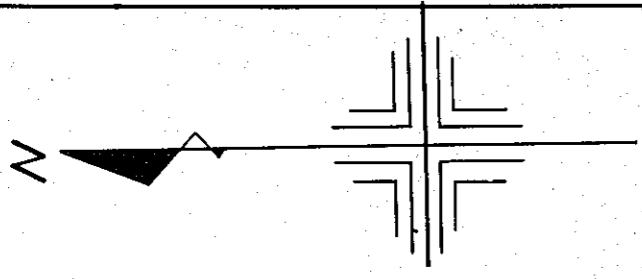
したがって, アクセスルートの地盤調査もそのアウトラインのみを把握しようとするもので, きわめて概略的な調査がなされたものである。したがって, 詳細設計に当たっては, 測量はむろんのこと, 地盤調査も本格的に実施されなければならないことは当然である。

調査内容は, Table 1-1 および Fig. 3-1 に示す。即ち道路班 (INTERIM REPORT. 1974) によって計画されたルート沿いに約 1 km 毎にスウェーデン式サウンデング (Swedish Penetration test) を実施し, N_{sw} 値から N 値を間接的に推定した。また主な同一地点においてハンドオーガーによる攪乱試料を採取し, その粒度分析, 含水比, 比重等の室内試験を行った。さらに主要な点 10 点を任意に選び手掘りによる攪乱試料を採取し, 室内突固め試験および CBR 試験を実施した。以上のデータと若干の現地踏査から総合的に判断して, 盛土の基礎および盛土材の設計用土性値の推定を行った。

2. ルートの地盤概要

この附近の Jamuna 河に沿う地形学的な地盤分類は地形班の大矢 (文献) によれば沖積扇状地域, 自然堤防域, 後背湿地域等に分類される。当アクセスルートは自然堤防域に属し, その形態は広大な沖積平原をなしている。

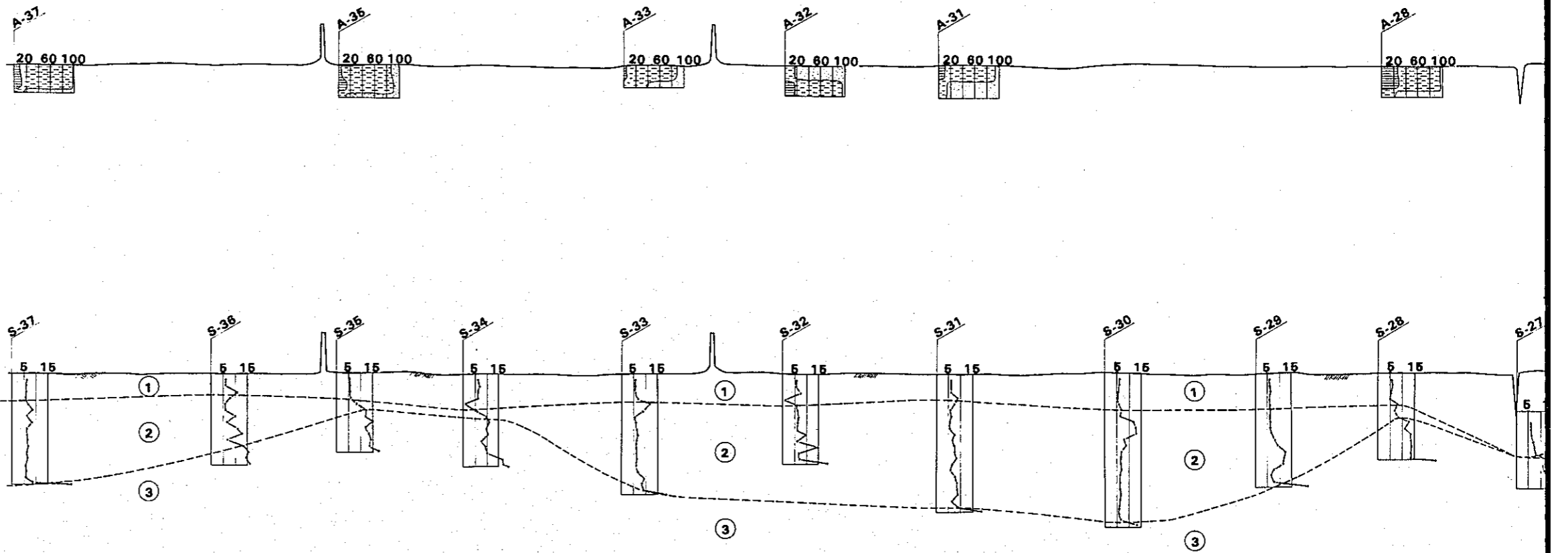
この沖積平原は旧期沖積平原 (低沖積段丘) と現沖積平原とに大別される。さらにこれらを細分すれば, Nomal fluvial Plain, Natural levee, meander scroll, dry river bed, abandoned river channel, 等に分類される。

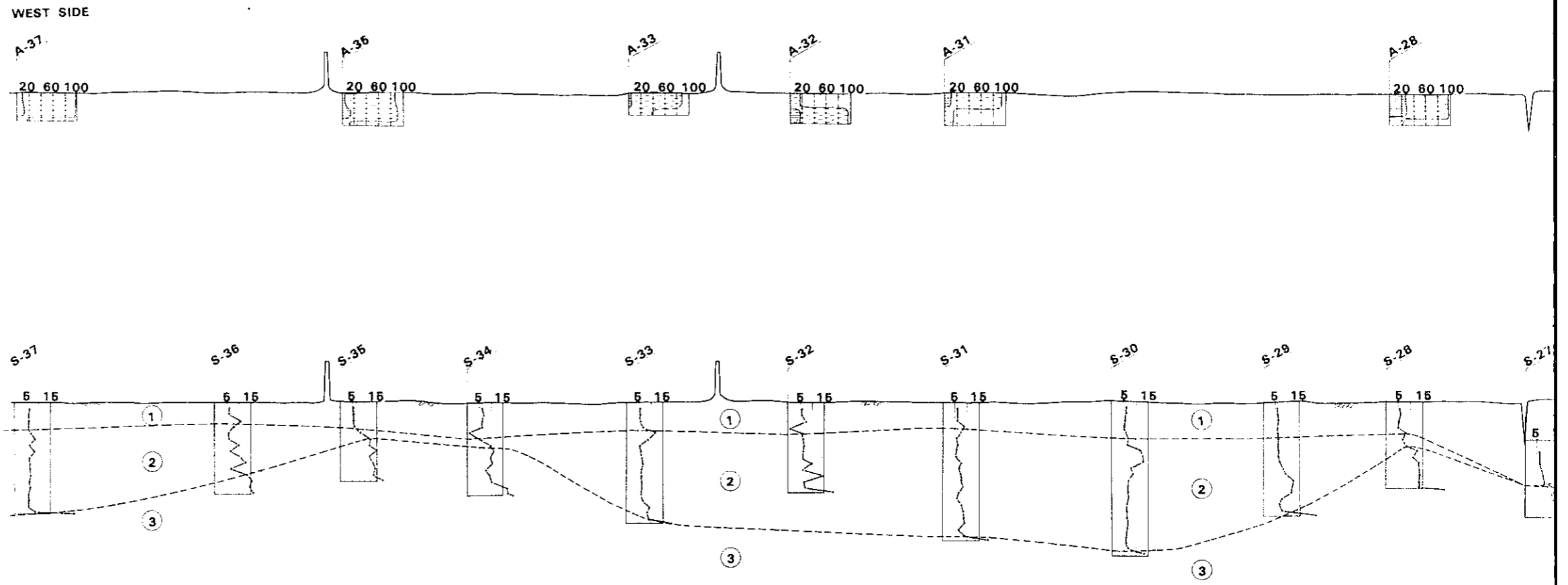
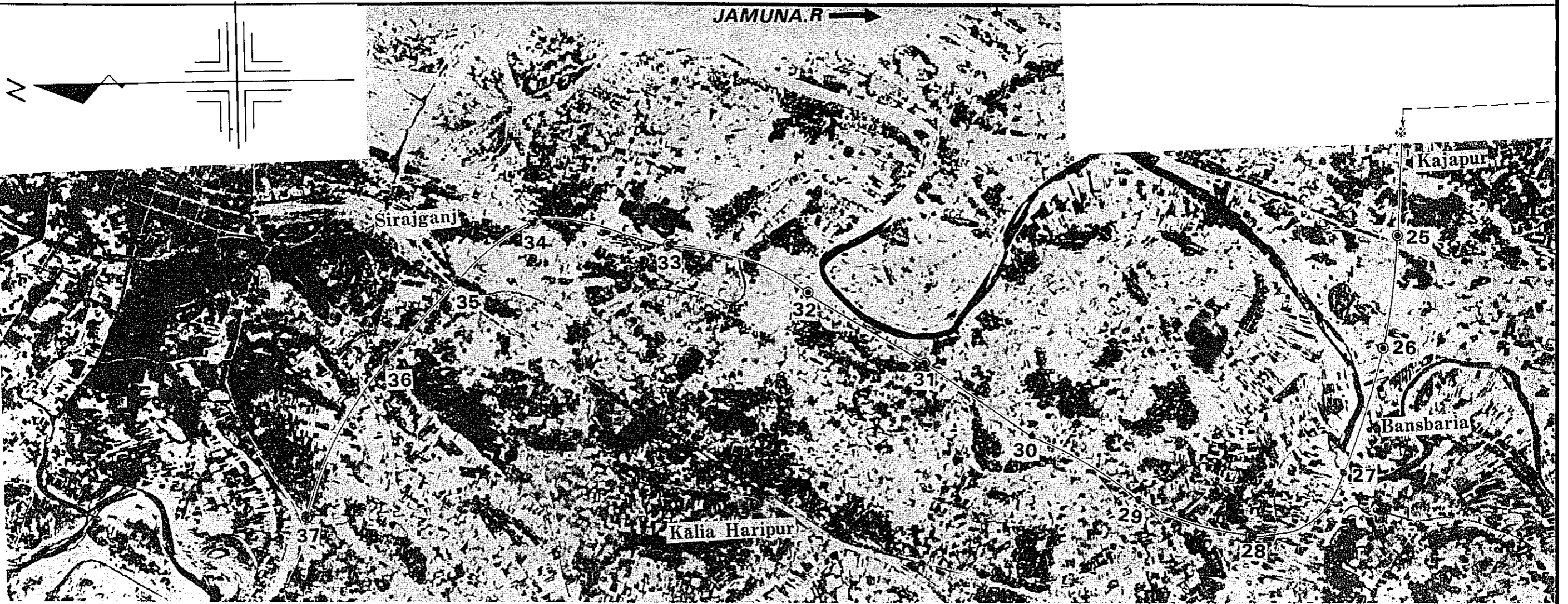


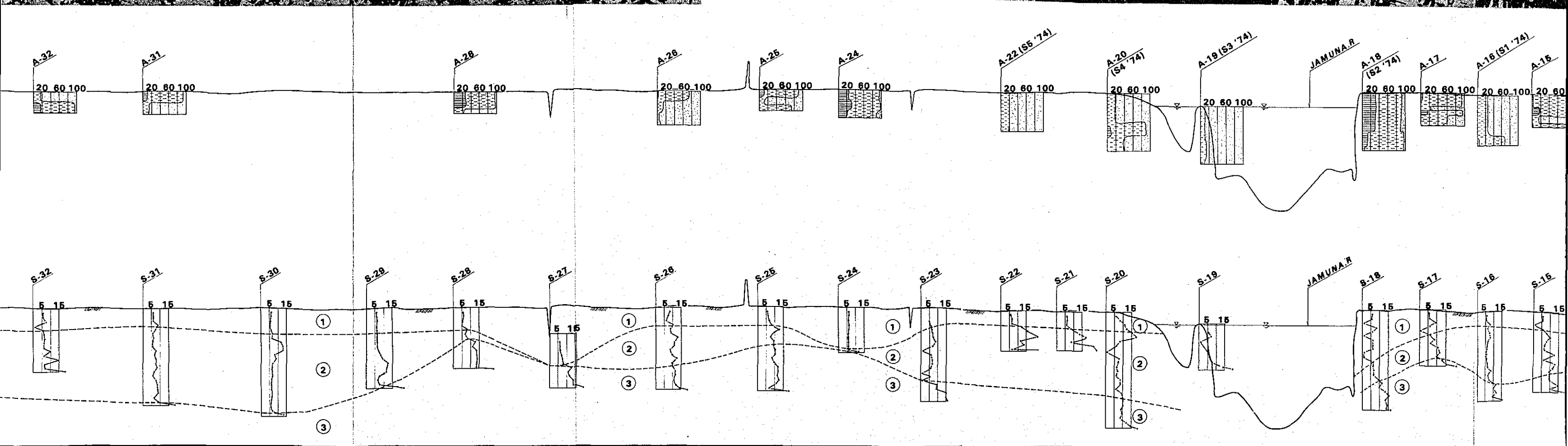
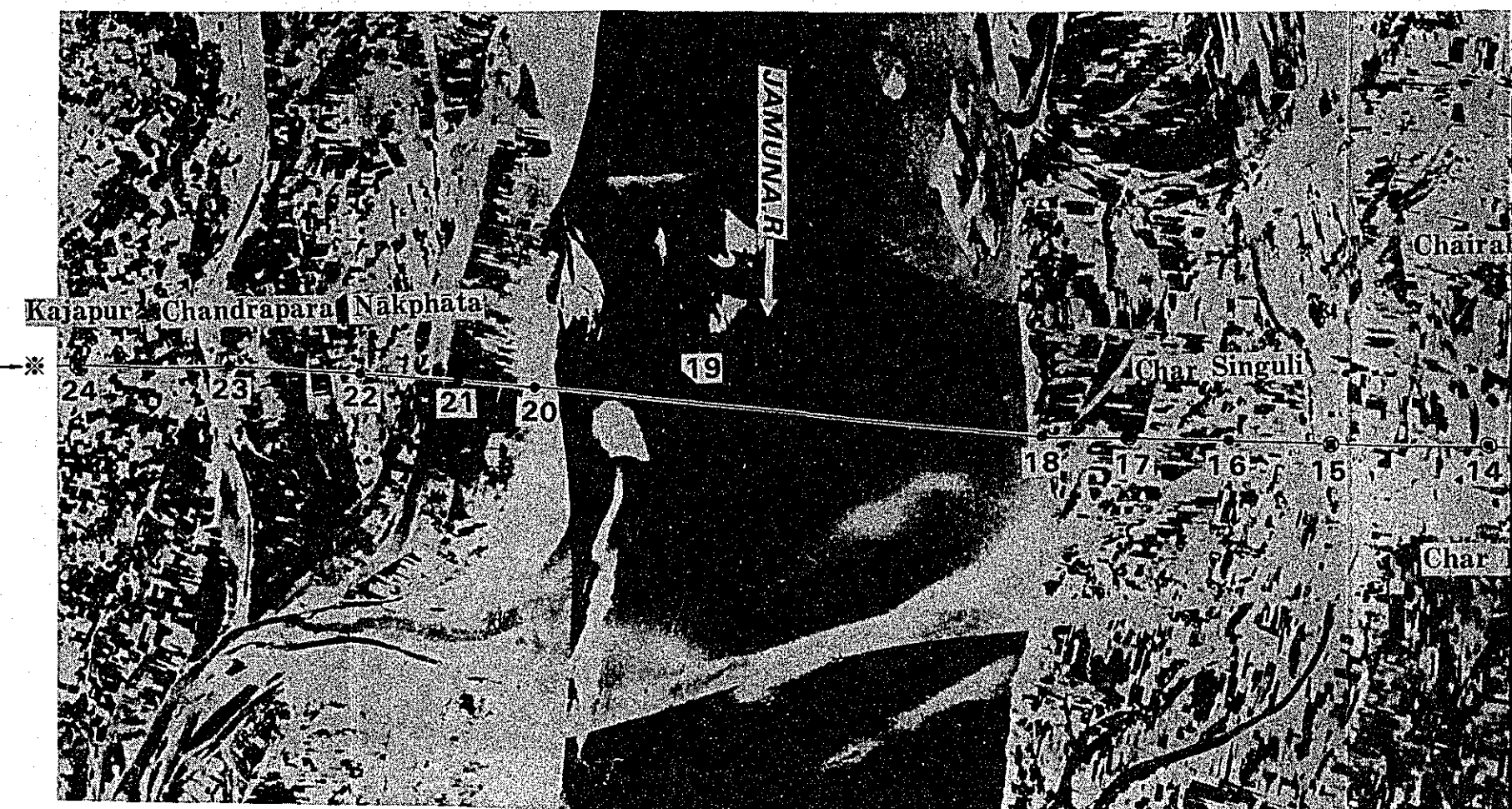
JAMUNA R →

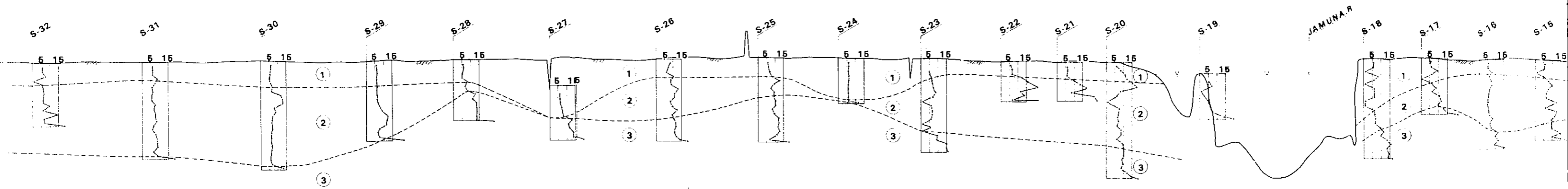
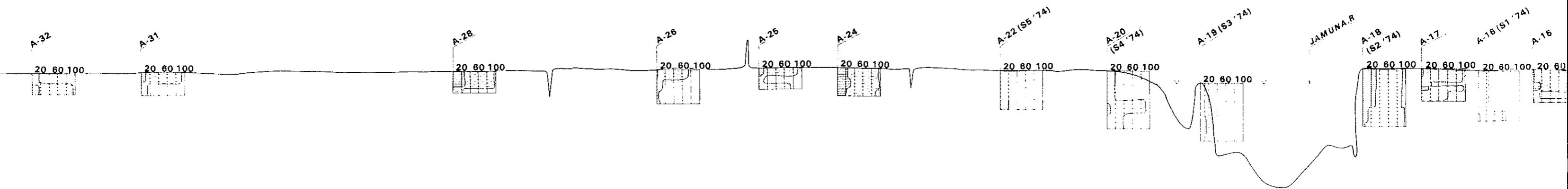
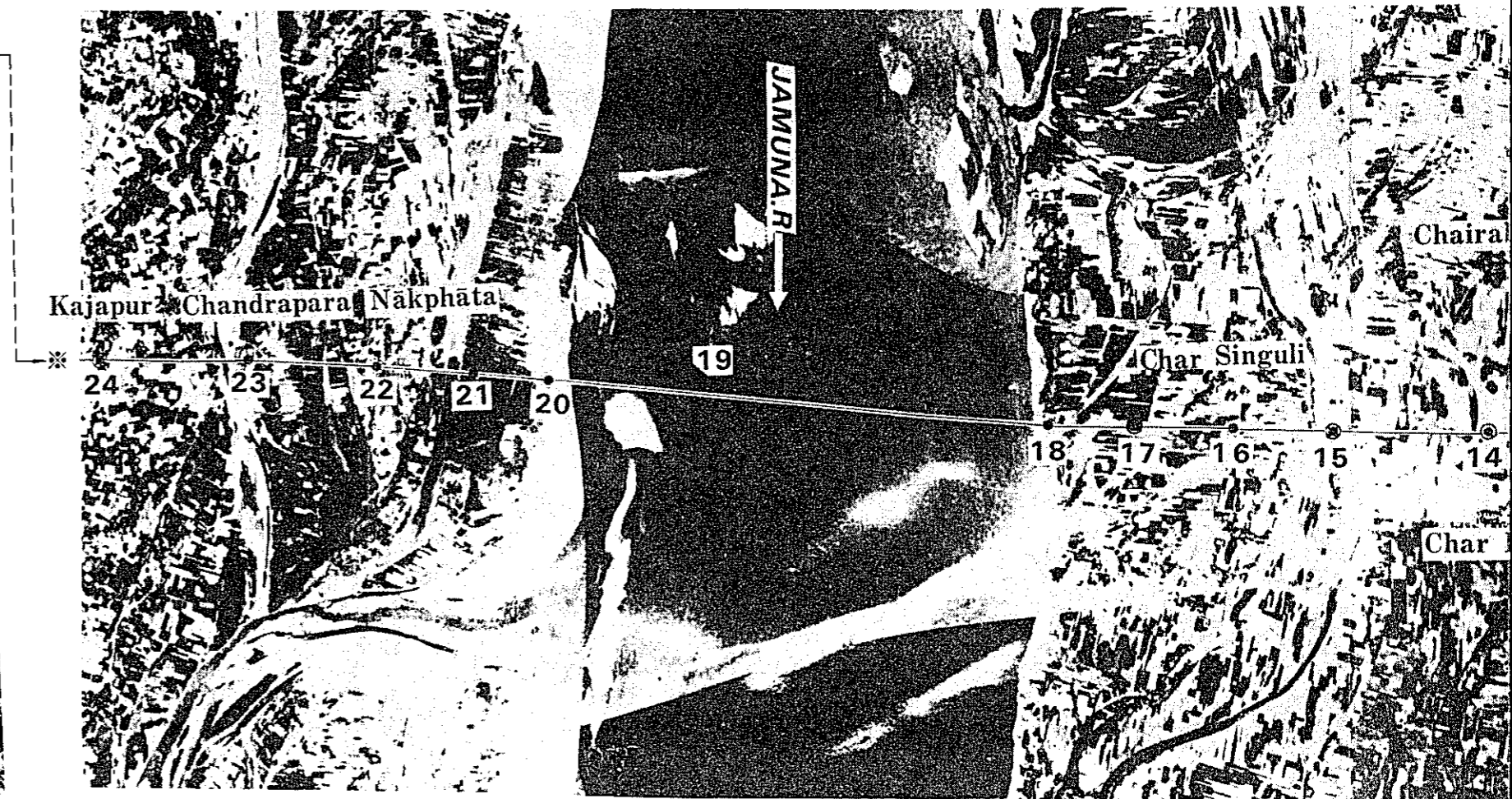
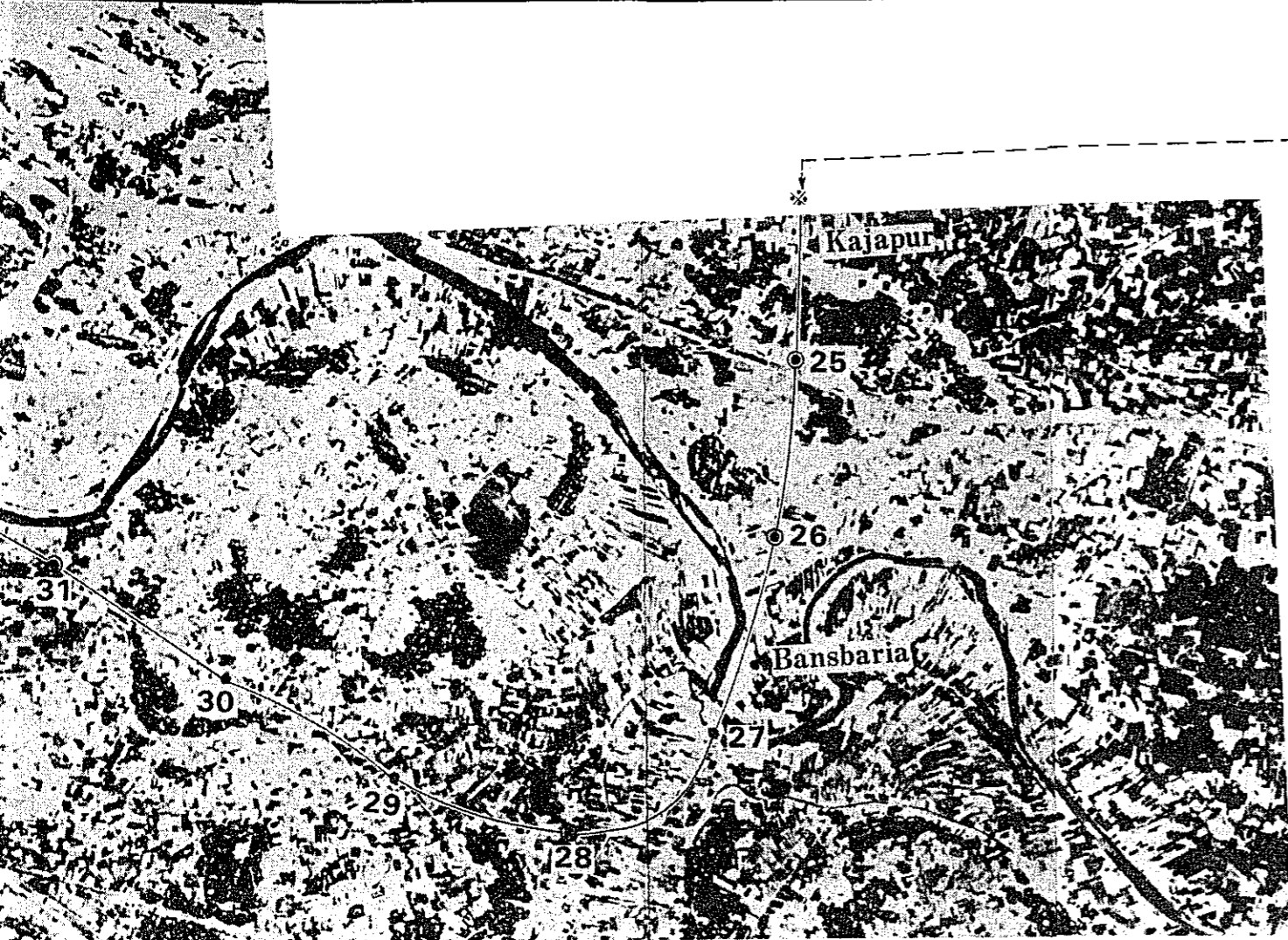


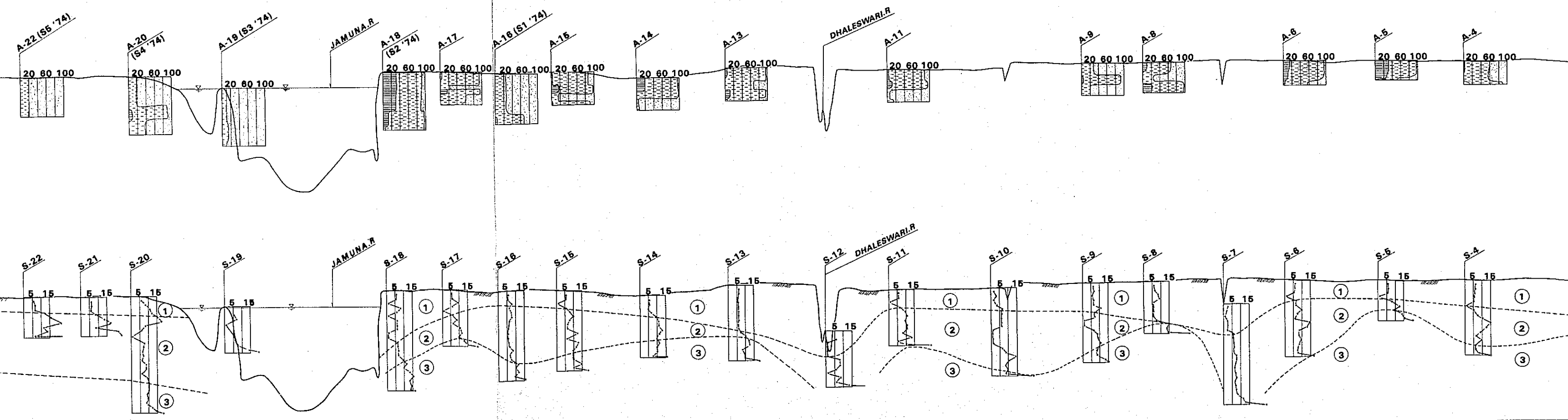
WEST SIDE











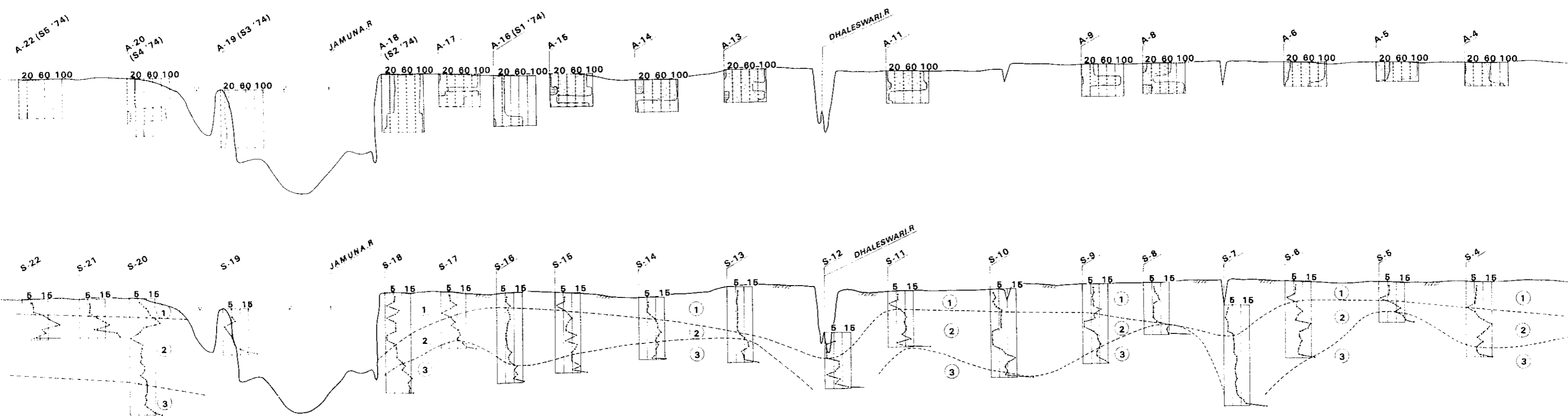
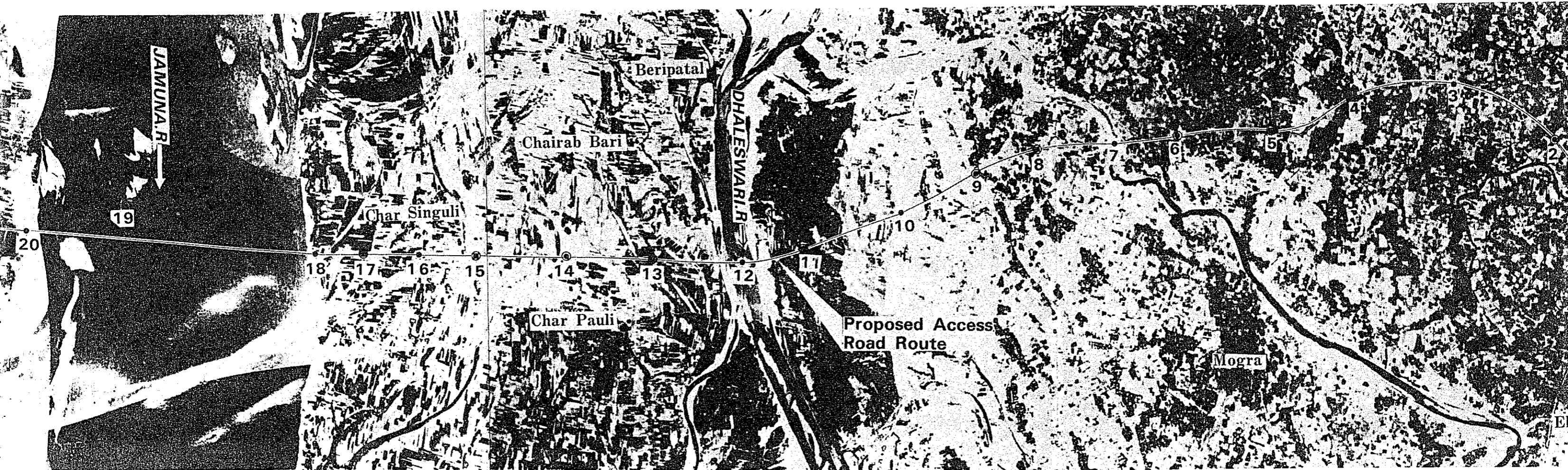
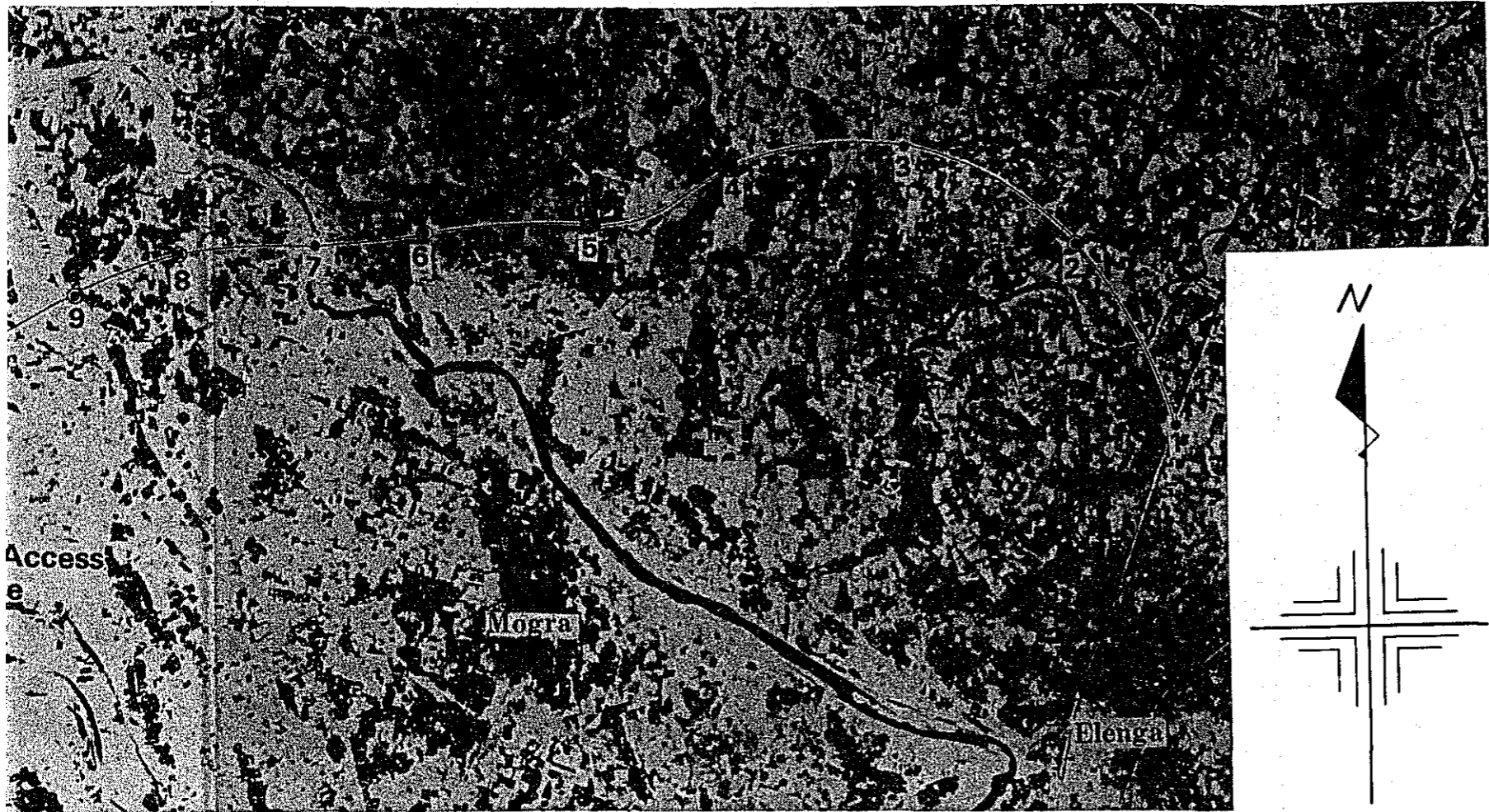


Fig. 3-1



DESIGN SOIL FACTOR FOR FOUNDATION AND BANK MATERIAL FOR ACCESS ROAD

FOUNDATION

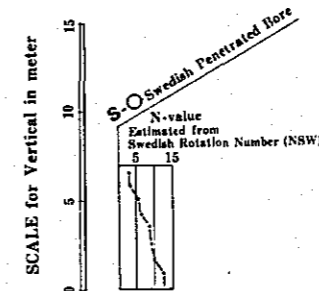
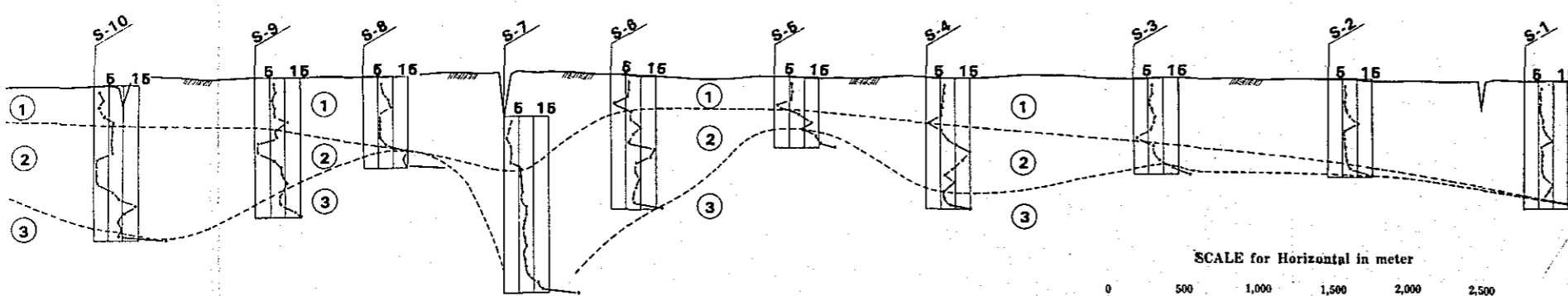
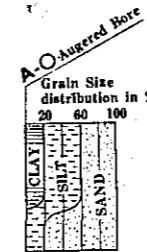
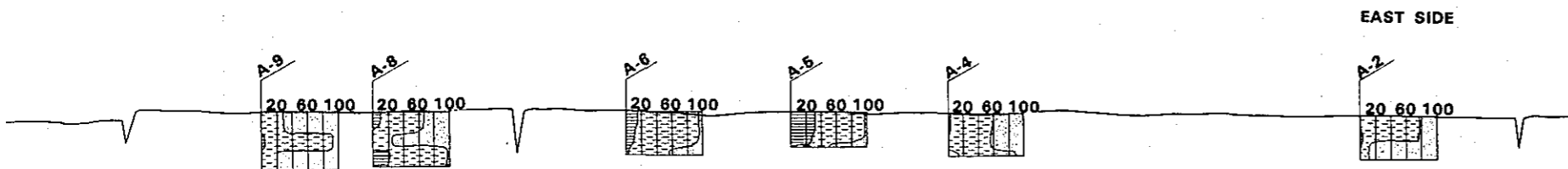
STRATA	MATERIAL	TYPICAL N-VALUE	γ_t	ω	γ_d	C	ϕ
①	Sand contained Silty Soil	<6	1.8	32	1.36	0.1	13
②	Silty SAND to SAND	6<10	1.9	20	1.58	0	28
③	SAND	10<20	1.9	20	1.58	0	32

BANKING MATERIAL

STRATA	MATERIAL	γ_d	ω	γ_t	C	ϕ	C.B.R	
①	Sand contained Silty soil	*A	1.7	22	2	0.2	20	6
		*B	1.6	26	2	0.15	17.5	5
②	Silty SAND to SAND	A	1.75	20	2.1	0	30	8
		B	1.65	22	2	0	27	7

* A 95% Modified on D-ratio of AASHO Compaction
 * B 90% Modified on D-ratio of AASHO Compaction

- Swedish Penetration spot
- ⊙ Hand Auger spot
- ⊙ Sampling spot by Hand digging for C.B.R-Test



JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY	
PEOPLE'S REPUBLIC OF BANGLADESH	
JAMUNA RIVER BRIDGE CONSTRUCTION PROJECT	
SUBSOIL PROFILE FOR ACCESS ROAD ROUTE	
DRAWN <i>K. Chida</i>	DATE
APPROVED	DATE
NIPPON KOEI CO.LTD	

アクセスルートの大半はNormal fluvial plain上を通り、ごく部分的に特殊地点を通過する。例えば明らかにNatural levee上に位置するのは、Fig. 3-1のspot No.のうち、36, 9, 8, 4, 2,等である。さらにMeander scroll上に位置するのは28, 15, Dry river bed上にあるのは20, 19, 12, Abandoned river channelに位置するのは27, 7, である。

以上地形的にはいくつかのパターンに分類されるものの、それらは土質工学的には大きな意味をもたない。即ち、調査の結果と地形分類との関連をみだすことができず、平面的な変化は微少である。それよりも深さ方向の変化が大きな意味をもっていることが判明した。

さらに、深さ5~8m以浅の地層はシルト質土が優勢であり、それ以深は砂質土が卓越していることがFig. 3-1よりよみとることができる。

したがって、全般的にいえることは盛土の基盤はシルト質土が多く、その土質力学的強度は必ずしも大きくはない。しかし、シルト質土の層厚が比較的薄く下部が砂質土からなることにより圧密沈下による障害はない。

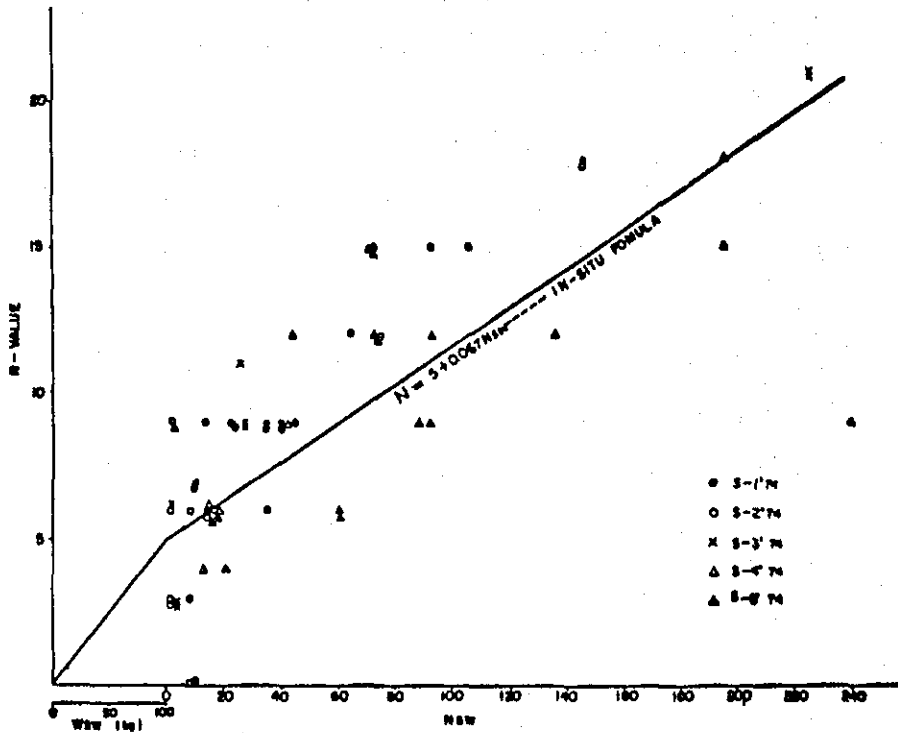
3. 地層の分類

スエーデン式貫入試験の N_{sw} 値からFig. 2-2の現場実験式よりN値を求め、かつハンドオーガー（地下水位付近まで）の試料の室内物理試験、橋軸ボーリング資料等を参考にしてTable 3-1ごとく地層を分類した。その結果はFig. 3-1の断面上に表示した。

Table 3-1 アクセスルートの地層分類

地 層	代表的 N 値分布	主 な 土 質
①	$N < 6$	シルト質土, 砂混りシルト
②	$6 \leq N \leq 10$	シルト質砂, 砂
③	$N > 10$	砂 (細 砂)

Fig. 3-2 Experimental Relation
between
M-value and Naw & Wsw-values



4. 盛土基盤の土性値

4.1. ① 層

この層はオーガーボーリングによって試料を採取し、多くの粒度分析、含水比、土粒子の比重試験を行っている。その粒度分布をまとめると Fig. 3-3 のとおりである。これによると、シルト質土が大勢を占めているが、砂質土もかなり分布している。シルト質土と砂質土は互層をなして分布しているもので、土の基盤としてその安定性を検討する場合、シルト質土の性質が支配的な役割をもつことになる。したがってここでは砂質土部分をネグレクトして、Fig. 3-3 のシルト質土の模式曲線 (Typical curve) を画き、これを①層の代表粒度として検討した。

Fig. 3-3 Grain Size Distribution of Stratum ①

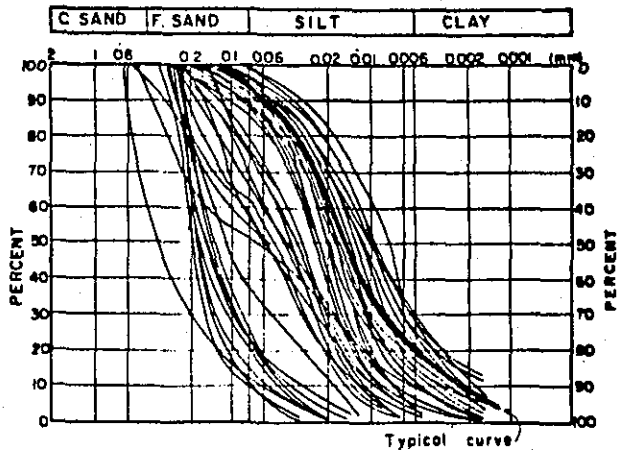


Table 3-2 Results of Mechanical Test,
Undisturbed Sample of Bridge Axis Bores

Bore No.	Stratum	Depth (m)	C (kg/cm ²)	ϕ	r_t (g/cm ³)	Grain distribution		
						sand	silt	clay (%)
S-1	(1)	2-2.57	0.27	30.25	1.72	74	26	
	(2)	5-5.75	0.28	26.5	1.84	33	64	3
	(3)	7-7.9	0.21	30	1.95	85	15	
S-2	(1)	2.4-3.18	0.31	13	1.8	9	61	30
	(1)	4.7-5.45	0.25	17	1.9	2	86	12
	(1)	6.1-6.7	0.14	19.25	1.81	6	90	4
S-3	(1)	2-2.7	0.16	31.5	1.81	90	10	
	(2)	4-4.7	0.14	39	1.89	86	14	
	(2)	6-6.7	0.35	36.5	1.9	91	9	
	(2)	8-8.65	0.2	37	1.94	84	16	
S-4	(1)	2-2.7	0.14	33	1.73	83	17	
	(2)	4-4.73	0.36	12	1.77	9	83	8
	(2)	6-6.7	0.28	34	1.84	62	38	
	(2)	8-8.7	0.12	36	1.85	98	2	
S-5	(2)	2-2.4	0.28	30	1.77	80	20	
	(2)	4-4.5	0.14	36	1.94	82	18	

1) ϕ 値の検討

模式曲線によれば、砂分 9%、シルト分 70%、粘度分 21% の分布である。これに対する土性を検討するに、限られた調査、試験データから長大なルートの代表的な値を選定する手段として次のことが考えられる。

- a) 模式粒度と近似の試料の力学試験結果から推定する。
 - b) スエーデン式貫入試験結果から間接的に N 値を導びき、 $N - \phi$ の一般公式を使って推定する。
 - c) 橋軸ボーリング試料の力学試験結果から砂分含有量 (S_n) と ϕ の関係を求め、全ルートの粒度試験の砂分含有量を調べそれに対応する ϕ を求める。
- a) について検討すれば、模式粒度と最も近似する試験データは Table 3-2 のうち S-2 グループのデータである。即ち、 $\phi = 13^\circ \sim 19^\circ$ が得られる。
- b) について検討すれば Fig. 3-1 に示す N 値※からその平均値 $N = 6$ を求めた。一般的に信頼されている $N - \phi$ の関係公式をあげれば次のようなものがある。

※ N_{sw} から Fig. 3-2 によって N 値を求めて画いてある。

$$\phi = 12N + 15 \quad \dots\dots\dots (3.1) \quad \text{Danham}$$

$$\phi = 20N + 15 \quad \dots\dots\dots (3.2) \quad \text{大崎}$$

$$\phi = 15N + 15 \quad \dots\dots\dots (3.3) \quad \text{道路橋下部構委員会}$$

この式にそれぞれ $N = 6$ を代入すれば、

$$(3.1) \quad \phi = 23.5^\circ \quad (\tan \phi = 0.435)$$

$$(3.2) \quad \phi = 26.0^\circ \quad (\tan \phi = 0.488)$$

$$(3.3) \quad \phi = 24.5^\circ \quad (\tan \phi = 0.456)$$

ただし、これらの公式は完全な砂 (Clean sand) を対象にしたものであるのに対し、①層はシルト質土であるため、このまま対応させることはできない。シルト分が多くなるにつれ ϕ が低下すること、特に粒径 $2/100 \text{ mm}$ 以下が多くなるとその傾向が強い。あえてこれらの式に対応させる手段として、Fig. 3-3 において $2/100 \text{ mm}$ 以上が 40% をしめているので、その分だけこれらの式で求めた ϕ が低減されると仮定すると次のごとき ϕ が得られる。

式	$\tan \phi$	補正值	補正 $\tan \phi$	補正 ϕ
(3.1)	0.435	0.4	0.174	9.8
(3.2)	0.488	0.4	0.195	11.2
(3.3)	0.456	0.4	0.182	10.3

c) について検討すれば、橋軸ボーリングの試料の三軸圧縮試験結果から Fig. 3-4 にしめす砂分含有量 (S_n) - ϕ の関係を得た。この関係が全ルートの地層に対応できるとすれば、(S_n) から ϕ を求めることができる。

Fig. 3-4 Relation between Sand Fraction and Internal Friction

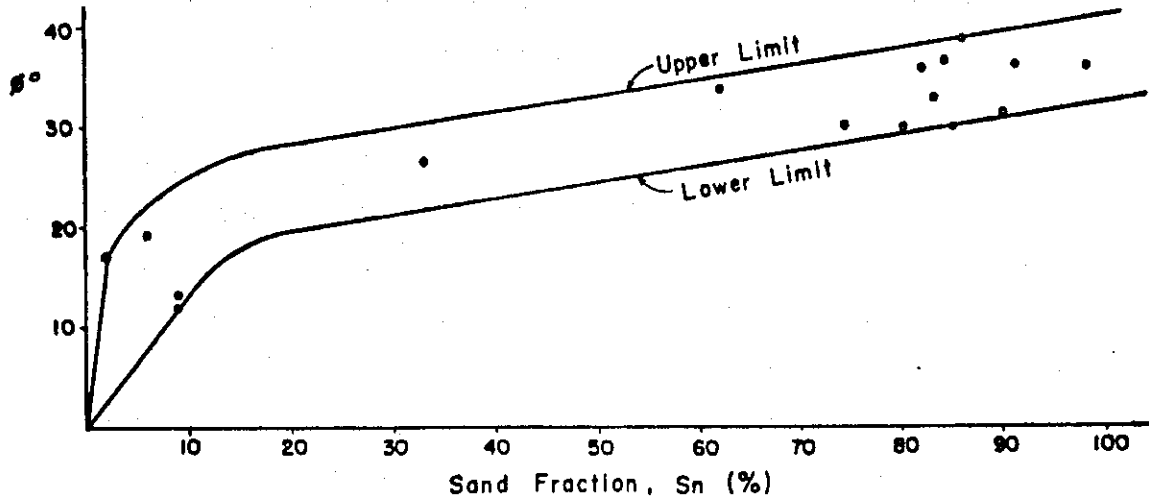


Fig. 3-3により①層の(Sn)は9%である。Fig. 3-4の下限曲線から ϕ を求めれば、 $\phi = 13^\circ$ を得る。

以上、a), b), c) の3ケースの ϕ を要約すると、

- a) $\phi = 13 \sim 19^\circ$
- b) $\phi = 10 \sim 11^\circ$
- c) $\phi = 13^\circ$

このうちのどの数値を採るべきかを検討すればc)の値である $\phi = 13^\circ$ が最も妥当性をもっている。その理由について記せば下記のとおりである。

○粒度と力学特性の関係は一般に砂分60%以下は粘性土($\phi = 0$)の傾向をもっている。①層の代表粒度は、砂分9%であるから粘性土に分類される。

しかし、主成分はシルトであって一がいに粘土と決めつけられない。シルトは、土粒子自体砂に近い特性をもつので特に2/100mm以上の粒子が数10%をしめる①層においては、検討結果の巾 $\phi = 10^\circ$ から $\phi = 19^\circ$ までの内部摩擦は期待できる。

○三軸圧縮試験をおこなった試料の粒度をもとにTable. 3-2から①層に最も近似するデータを選べばS-2(2.4~3.18m)が挙げられる。これによれば $\phi = 13^\circ$ である。

○3つのケースの ϕ のうち、b)のものはスエーデン式貫入試験の N_{sw} 値からNを求め、Nから ϕ を導びきさらに細粒分の含有量により補正しているなど4段階もの過程を径てきている。

これにより算出した ϕ はa), c)の結果と近似するものの、やや信頼度が低い。

以上の理由により採用すれば、a)又はc)であり、a)の巾の中にc)が入っているのでc)の値が最も信頼すべきものとみなされる。

2) 粘着力(c)の検討

橋軸上のボーリング孔からの不攪乱試料採取による室内土質試験結果から①層の代表的粒度と近似するのはTable 3-2のうち、S-2であることは前述した。

S-2のデータは、 $C = 0.14 \sim 0.31$ となっておりその平均値は約0.2である。

①層の粒度構成は、シルトを主体としている。シルトの力学的役割りは粘性土よりむしろ砂質土に近い性状を示すので、試験値をそのまま採用するとやや危険側になりやすいのが一般的である。また試験個数も少ないので、この試験値を全体に対応させるには必ずしも十分な精度ではない。ここでは、試験の平均的な値を50%低減して $C = 0.1 \text{ kg/cm}^2$ を設計値として推奨する。

3) 単位体積重量(γ_t)の検討

橋軸ボーリングよりの不攪乱試料での含水比と密度の関係を示せば、Fig. 3-5のとおりである。一方、ルートオーガーボーリングによる試料の含水比頻度を示せばFig. 3-6のとおりであり、砂質帯びたものとシルト分が特に多いものと差が表われている。①層の粒度の模式曲線はシルト分が非常に多いことから①層の代表的含水比はFig. 3-6より32%とみてよい。これをFig. 3-5に対応させることにより γ_t が求められる。Fig. 3-5の $W_n - \gamma_t$ の関係は斜線部分だけのバラツキがあり、安全側としてその下限値で対応させれば、①層の代表的な含水比32%のとき(γ_t)は1.8が得られる。

砂分>10%の試料を吟味すれば、どちらかという②層の粒度に近い、よってその代表的含水比を②層の含水比を代表するとみることができるので②層の(γ_t)は1.9と推定される。

Fig. 3-6 Histogram of Moisture of Access Route

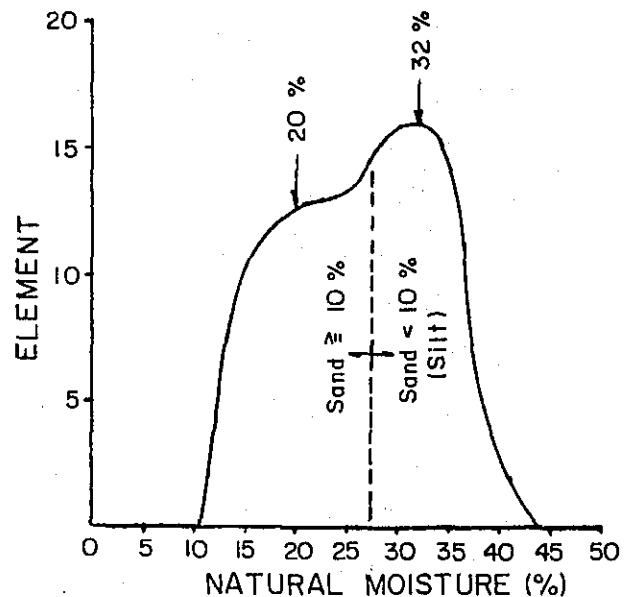
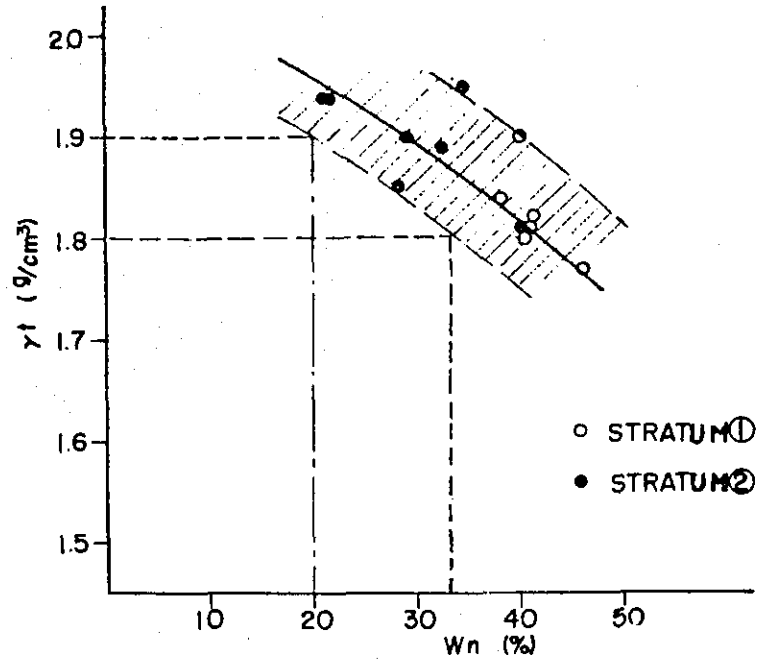


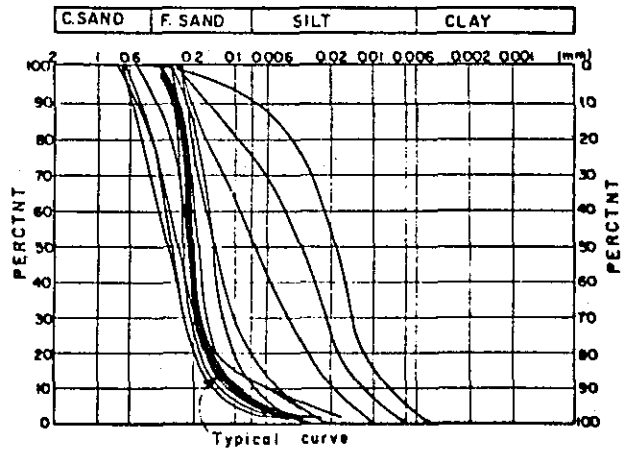
Fig. 3-5 $W_n - r_t$ Relation by Data of Bridge Axis



4.2. ②および③層

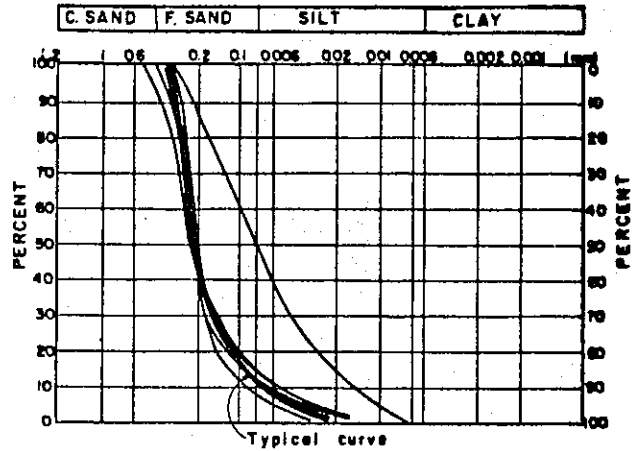
ハンドオーガーボーリングでこの層に達しているものは少い(地下水位以下は深い掘進が困難なため)ことにより採取試料の個数が少ないが、橋軸におけるボーリングのデータも加えて、粒度分析結果をまとめると Fig. 3-7, Fig. 3-8のごとくである。

Fig. 3-7 Grain Size Stratum ②



これらのFigによれば、いくらかのシルト質土も含まれるが細砂が大勢を占めている。また、Fig. 3-1のN値分布をみても砂質土の傾向をもっているので、②、③層とも砂質土として取扱うことができる。Fig. 3-7とFig. 3-8のそれぞれにシルト質土を neglect し、砂質土の模式曲線 (Typical Curve) を設定した。

Fig. 3-8 Grain Size in Stratum ③



1) ϕ の検討

検討方法は次の3つのケースが考えられる。

- a) 模式粒度と近似の粒度をもつ試料の力学試験から推定。
- b) スエーデン式貫入試験から求めたN値より推定。
- c) 砂分含有量よりFig. 3-4から求める。

a) の方法

Fig. 3-7のTypical curveより②層の砂分含有量は約90%である。

Table 3-2から②層の砂分80%以上の試験データをピックアップすれば、Table 3-3のとおりである。

Table 3-3 Internal Friction Strata ②

Sample	N_u	ϕ	Sand content (%)
S-3	4.0 - 4.7	39	86
	6.0 - 6.7	36.5	91
	8.0 - 8.65	37	84
S-4	8.0 - 8.7	36	98
S-5	2.0 - 2.4	30	80
	4.0 - 4.5	36	82
Average		35.8	86.8

③層についてはデータ不足のためこの方法による検討は困難である。しかし、粒度からみれば、②層とほぼ同様と推定される。

b) の方法

Fig. 3-1から②層のN値の平均値を求めれば $N = 8$ である。(式3.1)から、(式3.3)に代入すればそれぞれ $\phi = 24.8^\circ$ 、 $\phi = 25.9^\circ$ を得る。③層について②層と同様な手法により求めれば、平均N値は14が得られる。よって、それぞれの

式による ϕ は 27.9° , 31.7° , 29.5° となる。

c) の方法

Fig. 3-7, Fig. 3-8 の Typical curve から②, ③層とも, 砂分含有量は, 90%である。この90%から Fig. 3-4 により ϕ を求めれば, ともに $\phi = 32^\circ$ が得られる。

以上 a), b), c) 3つの方法による検討結果をまとめれば Table 3-4 のとおりである。

Table 3-4 Comparison of ϕ between ② and ③

Method	Stratum ②	Stratum ③
	ϕ°	ϕ°
a)	35.8	-
b)	24.8 ~ 27.6	27.9 ~ 31.7
c)	32	32

Table 3-4 の中でどの ϕ を設計値として採用すべきかを検討するに, ②層においては時にシルト層を挟むことおよびスエーデン式貫入試験結果 35.8° もの高い ϕ を得られるほどの値が得られていないことなどから, 経験的判断においても $\phi = 35.8^\circ$ は過大である。c)による方法はかなり近似的とみられるが, 砂質土におけるスエーデン式貫入試験の精度は比較的高いことにより, b)の方法による最大値 $\phi = 27.6^\circ$ (約 28°)が設計値として, 最もふさわしい値と判断する。

③層についても同様な判断から 31.7° (約 32°)を推奨する。

2) C値の検討

室内土質試験では若干のC値が②, ③層とも得られている。しかし, 粒度分布(Fig. 3-7, 3-8)は90%もの高い砂分含有量である。砂分含有量85%以上の砂質土について設計値を採る場合粘着力を無視するのが通例であり, これは理論的にもいえることである。

したがって, ここでは習慣にしたがって②, ③層とも $C = 0$ を推奨する。

3) r_t の検討

①層における検討の要領で吟味すれば, ②層の含水比の試験結果は約20%のものが多い。これから Fig. 3-5 により r_t を求めれば約1.9である。③層のデータが不足であり全体的な検討は困難であるが, 1ヶの室内試験データ (Table 3-2, S-1, 7.0~7.9) では $r_t = 1.95 \text{ g/cm}^3$ となっている。スエーデン式貫入試験でも②層より③層の方が密度が高いことが定性的に判っている。しかし, ②層より若干上廻るだけとみられ, 経験的判断からも③層は1.9から1.95の範囲と推定されるが確実性の高い安全側の設計数値として1.90を推奨する。土粒子の比重 r_s は試験結果2.70

が得られている。

以上、1) から 2) 項までの結果をまとめたものが Table 3-5 である。

Table 3-5 Design Soil Factor Bank Foundation.

	N	r_t	w	r_d	r_s	c	ϕ
① Silly soil	6	1.8	32	1.36	2.70	0.1	13
② Silty sand to sand	8	1.9	20	1.58	2.70	0	28
③ Sand	14	1.9	20	1.58	2.70	0	32

5. 盛土材料について

盛土材料を、盛土の安定に支障きたさない範囲で最も近接した場所から直接採取するものと仮定する。即ち、盛土基礎の土と同一のものを使うとして検討する。

盛土材料を対象とした調査は、主として手掘りによって深さ1 m程度掘削して攪乱試料を採取し、室内突固め試験とCBR試験を行った。採取個所は約3 km毎に10ヶ地点、10試料である。

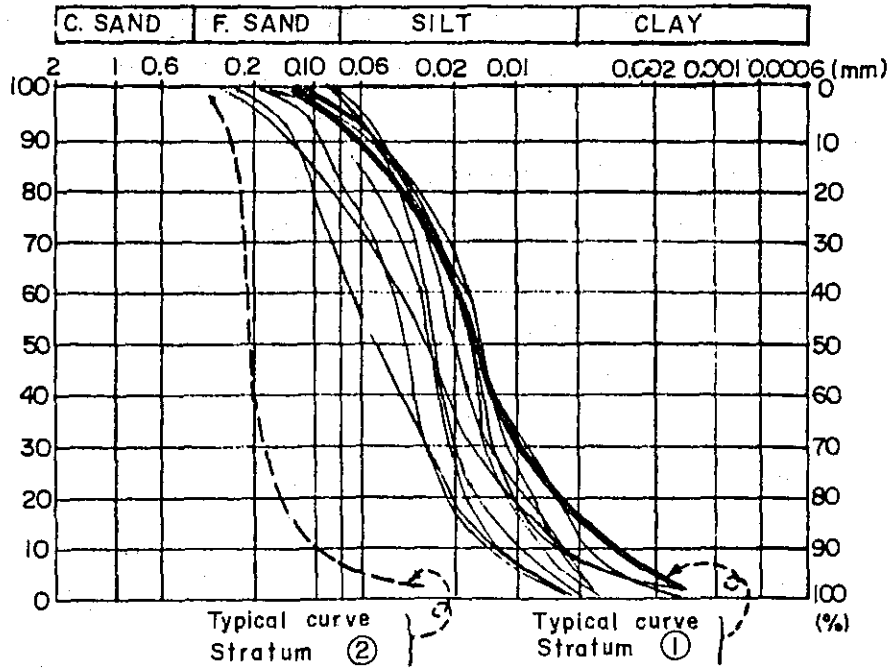
この10試料が、全ルート of 代表試料たり得るか否か検討する。

5.1 試料の検定

全ルートのデータは前項までに述べたとおり、約1 km毎に行ったスウェーデン式貫入試験と1~2 km毎に行ったハンドオーガーによる試料の粒度、含水、比重の各試験データにより、その大要は把握されている。これらのデータとCBR試験を行った試料のデータを対比することにより、限られた数のCBR資料が全ルートに対応できるかどうかを判明する。

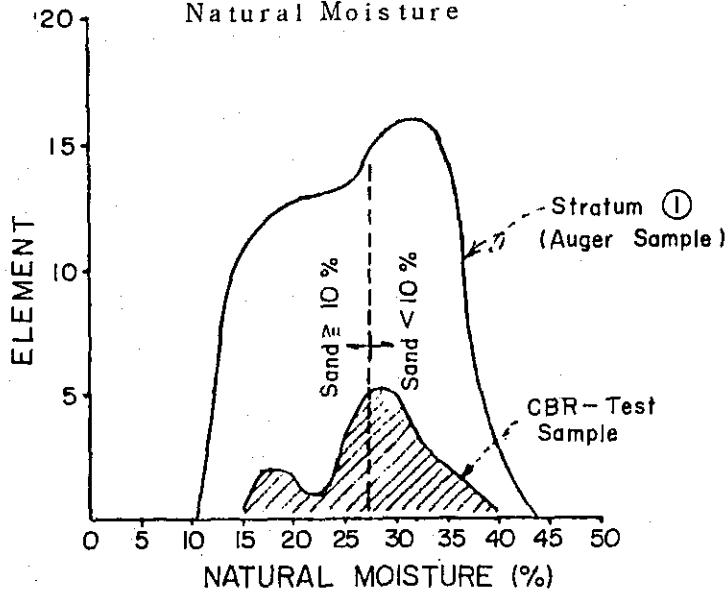
粒度から検討するに、Fig. 3-9はCBR試験に供した試料の粒度分布である。これにFig. 3-3から求めた①層の模式曲線(Typical curve)を入れたのが太線で示した曲線であり、Fig. 3-7より求めた②層のTypical curveを入れたのが破線である。即ちCBR試験は①層を対象にして試験してあるので②層とはかなり異質であるが、①層のTypical curveに対比してはCBRの試料が若干粗粒側の傾向をもつものの、大むね同質であるとみなして良い。

Fig. 3-9 Grain Size Distributions
of C.B.R. Test Samples



一方、自然含水比の対比を Fig. 3-10 に示す。CBR 試験個数が少ないので、同形の曲線にはなっていないが、範囲とピークがほぼ同一になっており、同質の試料であることがわかる。

Fig. 3-10 Comparison between Stratum ①
and CBR Sample by Histogram of
Natural Moisture



また、Fig. 3-10において、試験データを細部にわたって点検すれば、全体にシルト質土ながら砂分10%以上の試料と10%以下の試料では含水比30%ないし、27%を境に、前者が低い含水比を示し、後者が高い側にあることがいえる。このことは全ルート of 試料およびCBR-Test 試料の双方とも同様の傾向であって例外は約20%である。

さらに、土粒子の比重(r_s)について対比すると、全ルートの平均値が2.692に対し、CBR用の試料は2.685であって大差はみられない。両者とも、数字を丸めて2.7として取扱って良い。

以上三つの方向から対比した結果、両者に大きな差はみられないので、ここで行ったCBR試験結果は④層を代表するものとして検討する。

5.2. CBR試験結果の吟味と設計値の選定

突固めおよびCBR試験結果はFig. 3-11に示す。この中からおもな値をとりだし一覧表にしたのがTable 3-6である。なお、図示のNoは採取地点兼試料Noを示す(Fig. 3-1参照)。

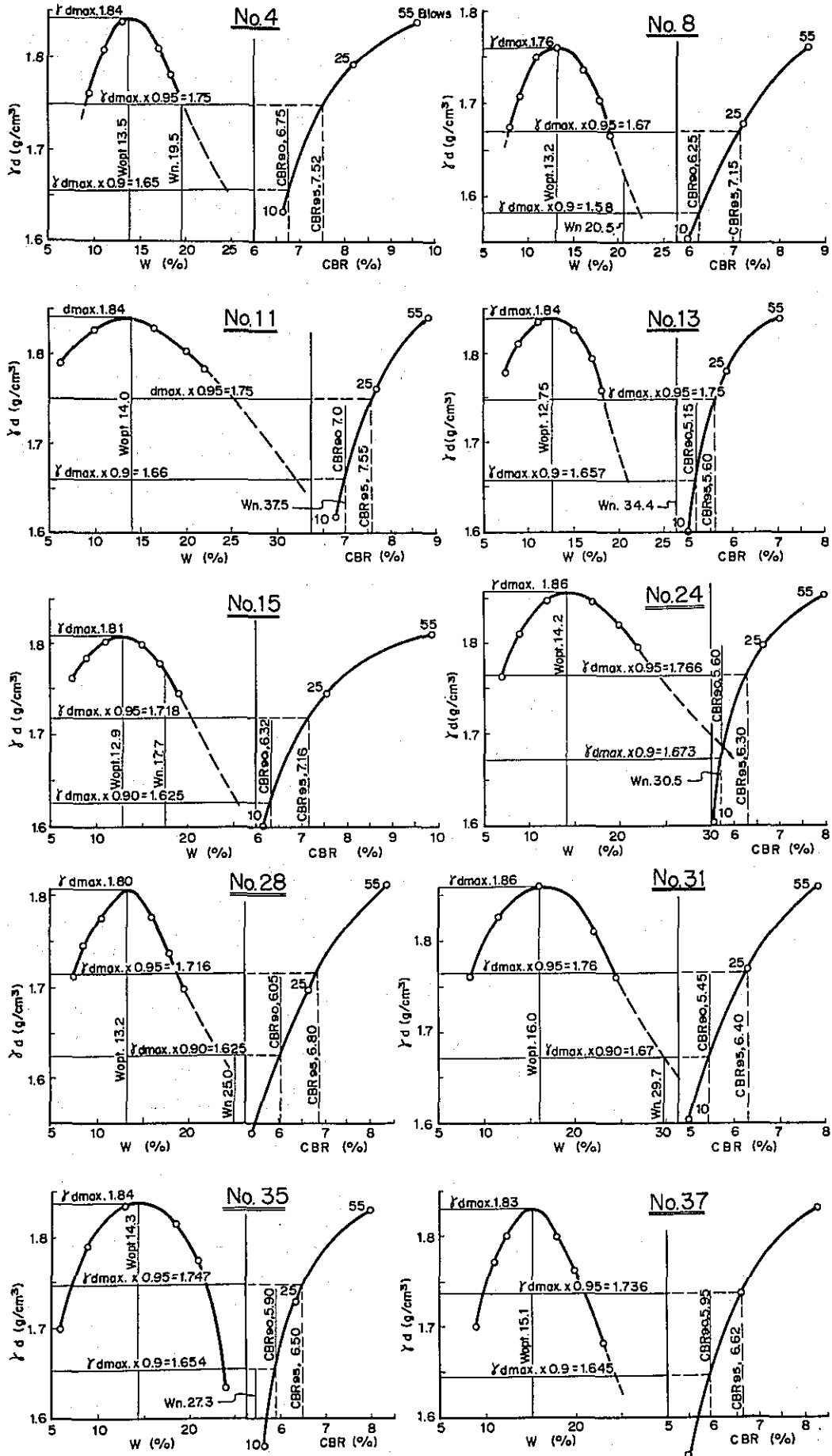
単純に算術平均すればTable. 3-6のAveに示すとおりである。しかし、この内容を吟味すれば、 rd_{max} で1.76から1.86までの巾があり、CBR95にして7.52から5.60までの巾があり、必ずしも一定しない。そこで、そのばらつきの要因の主なものを探った結果、 rd が大きく、かつCBR値も大きくでているのは、砂分を若干伴う粗粒シルトをかなり含んだ土質であり、反対に低いのは細粒シルトを主体としたものであることが判明した。

バラツキの傾向をさらに見やすくするため、Fig. 3-12の各曲線を重ね合わせてみ

Table 3-6 Compaction & CBR-Test Results

No.	rd_{max} (g/cm^3)	$rd(95\%)$ (g/cm^3)	$rd(90\%)$ (g/cm^3)	W_{opt} (%)	W_n (%)	CBR95 (%)	CBR90 (%)
4	1.84	1.75	1.65	13.5	19.5	7.52	6.75
8	1.76	1.67	1.58	13.2	20.5	7.15	6.25
11	1.84	1.75	1.66	14.0	37.5	7.55	7.00
13	1.84	1.75	1.66	12.8	34.4	5.60	5.15
15	1.81	1.72	1.63	12.9	17.7	7.16	6.32
24	1.86	1.77	1.67	14.2	30.5	6.30	5.60
28	1.81	1.72	1.63	13.2	25.0	6.80	6.05
31	1.86	1.76	1.67	16.0	29.7	6.40	5.45
35	1.84	1.75	1.65	14.3	27.3	6.50	5.90
37	1.83	1.74	1.65	15.1	32.7	6.62	5.95
Ave.	1.83	1.74	1.65	13.9	27.5	6.76	6.04

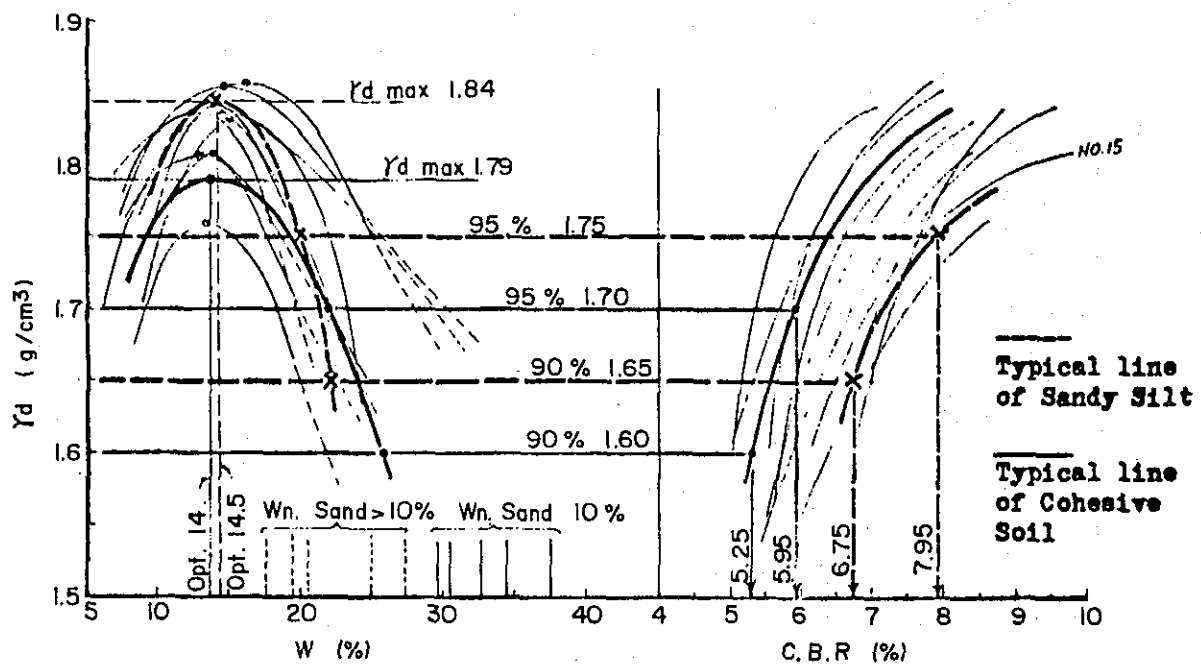
Fig. 3-11 Compaction and CBR Test Record



たのが Fig. 3-12 の細い線で示す曲線である。これらの曲線と、それらに対応する試料の粒度や曲線の型状等吟味したところ、 $rd-W$ 曲線において、最大乾燥密度(rd) 1.82 付近を境に、上部が砂分を含むか、粗粒シルトを多く伴う土質であり、一般的砂質土の傾向を示していることと、下部のものは、細粒シルトが多くどちらかといえば粘性土の傾向をもっていることが判明した。そこで Fig. 3-11 の $rd-W$ 曲線において rd_{max} 1.82 を境に、各 $rd-W$ 曲線のピークを上下に分割し、それぞれのピークの平均的位置を図上で選んでそれぞれの代表ピークとした。次に各エレメント(細線で示す $rd-W$ 曲線)から、砂質土的な傾向を示す曲線と粘性土的な傾向を示すものを選び、それと相似の曲線を、各代表ピークを通過させて画いたのを各代表 $rd-W$ 曲線 (Fig. 3-11 の太線で示す $rd-W$ 曲線) である。

一方、 $rd-CBR$ 曲線も、同様の手法をもって画き、砂質の傾向を示すものと、粘性土の傾向を示すそれぞれの代表 $rd-CBR$ 曲線 (Fig. 3-12 に太線で示す $rd-CBR$ 曲線) とした。

Fig. 3-12 Selection of CBR



これらの代表曲線 (Typical curve) から AASHO 法に基づき各土質の CBR 値を求めた。その結果を総括したのが Table 3-7 である。

Table 3-7 Typical CBR of Material

(各土質の代表 CBR)

MATERIAL	rdmax	Optw	95% AASHO COMPACTION			90% AASHO COMPACTION		
			rd	W	CBR	rd	W	CBR
Sandy silt (Strata ②)	1.84	14.5	1.65	22	7.95 (8)	1.65	22	6.75 (7)
Cohesive soil (Strata ①)	1.79	14.0	1.60	22	5.95 (6)	1.60	26	5.25 (5)

(注) Table 3-7に示す諸数値は、限られたデーターの解析結果であって、あくまでも全体的な傾向を示すものである。したがって、CBR値を設計に反映する場合などは()内で示すラウンドにまとめた数値を使って良い。

また、ここでいう土質(material)はいずれも一般的に言ってシルト質土である。それを二分してあるがSandy siltと表示したのは土質の物性を工学的にみたとき砂質土の傾向を示すものことであって一般にいうSandy siltとは異なる。Cohesive soilと表示したのも同様、どちらかという粘度性の傾向を示すものであって一般にいう粘性土とは若干異なるもので、扱いについては特に注意されたい。

ここでいうCohesive soilの諸数値は、①層の全体的な地層に良く対応するもので①層の代表値として扱って良い。またSandy siltの諸数値は、①層のサンプルの試験結果ながら、やや砂質側の傾向を示すもので、①層よりも②層に近い、②層の代表粒度は明らかな均等細砂で、粒度上はここでいうSandy siltとやや異なるが締固め特性が類似の傾向を示すので、締固め特性(含CBR値)に関する限りここでいうSandy siltの諸数値を②層の値として扱って良いと判断する。

盛土工事の場合、自然含水比と締固め特性の関係は施工性に大きく影響する。以下にこれについて述べる。

今回の調査は1974年12月から1975年1月の乾期に実施されており、この時期の地下水位は平均的にGL-2mないしGL-4m付近にあった。盛土施工もこのような時期に実施されることが予想されるので、調査試験の状態と同じ条件と考えて、調査資料をそのまま適用できる。また土取場の掘削も、主に地下水位以上のものが使われると仮定する。

今回のCBRおよび突固め試験試料は、いずれもGL-1m付近から採取されたもので地下水より上部のものである。

Fig. 3-12に示すように、①層を代表し得る試料(砂<10%)の自然含水比

(W_n)は30%~47%の範囲にあり、土取場の対象となる地下水面上では、 W_n 30%付近のものが多い。①層を代表する材料 (Table 3-7の Cohesive soil) の締固め度95%に対応する含水比は22%であって約8%の気乾が必要である。また締固め度90%に対応する含水比は26%であって、これにはほとんど問題とならない。したがって路体材料はほとんど問題ないが、特に上部路床材などの高いCBRを必要とする場合困難が予想される。しかし、ここで用いた試験材料はGL-1mのものであるが、GL-0m~0.5m付近のものは特に試験は実施していないが、経験的に20%前後にあると思われるので、浅い部分の材料を用うることにより容易に所定の値を得ることができる。

②層の材料は砂質土であり、自然含水比20%付近のものも多く、たとえ地下水以下のものを用いるとしても、含水比の調整は容易である。なお、①層の中にも②層と同質の材料が部分的ながら存在するので、このような個所の施工は容易である。しかしルート全体を総合した場合、このような材料は少いので、基本計画段階のこの報文ではとりあげないこととする。

6. 土量の変化について

土は地山にあるとき、それをほぐしたとき、ほぐしてから締め固めたときとは体積が異なる。道路土工指針4)によれば、当地の土質に適応するその変化率を地山土量を1としたときの比はTable 3-8のとおりである。

地山の土量 (掘削すべき土量)	ν 値
ほぐした土量 (運搬すべき土量)	L 値
締固め後の土量 (できあがり盛土量)	O 値

Table 3-8 Shrinkage of Earth Volume (文献4)

Material	L	G
Sandy soil 砂質土	1.10 ~ 1.30	0.85 ~ 0.90
Fine grained Soil (Cohesive soil) 粘質土	1.25 ~ 1.35	0.85 ~ 0.95

当地の土質は、Sandy soilないしSilty soilであって、大局的にみたとき、Table. 3-8におけるSandy soilとFine grained soilの中間的な値を示すものと考えられる。

また、密度変化によってO値を求める方法4)をあげれば、

$$O = \frac{r_{1\nu}}{r_{1c}}$$

ここに、 r_{tv} …………… 地山密度の平均値

r_{tc} …………… 締め固め後の平均値

前述した、①層の代表的な密度 1.80 g/cm^3 (Table. 3-5) と CBR 試験結果の値 (Table 3-7) から推定すると次のとおりとなる。

r_{tv} …………… 1.80 g/cm^3

$r_{tc(95)}$ (Table. 3-7) の①層の突固め度 95% のときの r_d 1.70, r_s 2.70,

W 22% のとき,

$$r_{tc95} = \left(1 + \frac{W}{100}\right) r_d$$

$$r_{tc95} = \left(1 + \frac{22}{100}\right) \times 1.70$$

$$r_{tc95} = 2.07$$

$r_{tc(90)}$ (Table 3-7) の①層の突固め度 90% のときの $r_d = 1.60$,

r_s 2.70, W 26% のとき,

$$r_{tc90} = \left(1 + \frac{26}{100}\right) 1.60$$

$$r_{tc90} = 2.01$$

$$C_{95} = \frac{1.80}{2.07}$$

$$= 0.89$$

$$C_{90} = \frac{1.80}{2.01}$$

$$= 0.89$$

∴ C_{95} , C_{90} , それぞれ 95%, 90% の締固め度のときの C 値。

これらを Table 3-8 と対比するとき 0.85 ~ 0.95 範囲にあり概略の C 値としては妥当な数値と考えられる。

L 値については、現場実験によらなければ推定困難であるが、基本設計段階の値としては 1.30 程度ではないかと予想される。

7. 盛土による圧密沈下

Jamuna 河流域において圧密沈下が特に問題となる地域は Aricha 付近から海岸にかけてのいわゆる Padma 河流域の海成沖積層および海岸後背湿地域である。本架橋地点はその種の地盤はほとんどみられないため沈下に対して大きく問題になることはない。

Fig. 3-1, Fig. 1-1 などにみられるように深さ 8 ~ 10 m 以深は $N > 15$ の地層であって沈下の懸念はない。

しかし、GL-8 m 程度まではシルト質土ないしルーズな砂質土 (④層および②層) のため若干の沈下が予想される。

ここで、その沈下について簡易式をもって概略の検討を行う。盛土高さ 4 m, その単位重量 2.0 g/cm^3 と仮定し、盛土応力が圧密対象層厚 $H = 8 \text{ m}$ までの地層に 100% 伝

達されんとする。ただし対象の地層は正規圧密層と考える。ここに全沈下量(S), 初期応力(P₀)に対応する初期間隙比(e₀), 増加応力(P₁)に対応する沈下後の間隙比(e₁)とする。①層の代表的土質の圧密試験資料(橋軸ボーリングS-1, GL-3m)を, Fig. 3-13に示す。

これらの資料を圧密理論式(3.4)に代入する。

$$S = H \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} \dots\dots\dots (3.4)$$

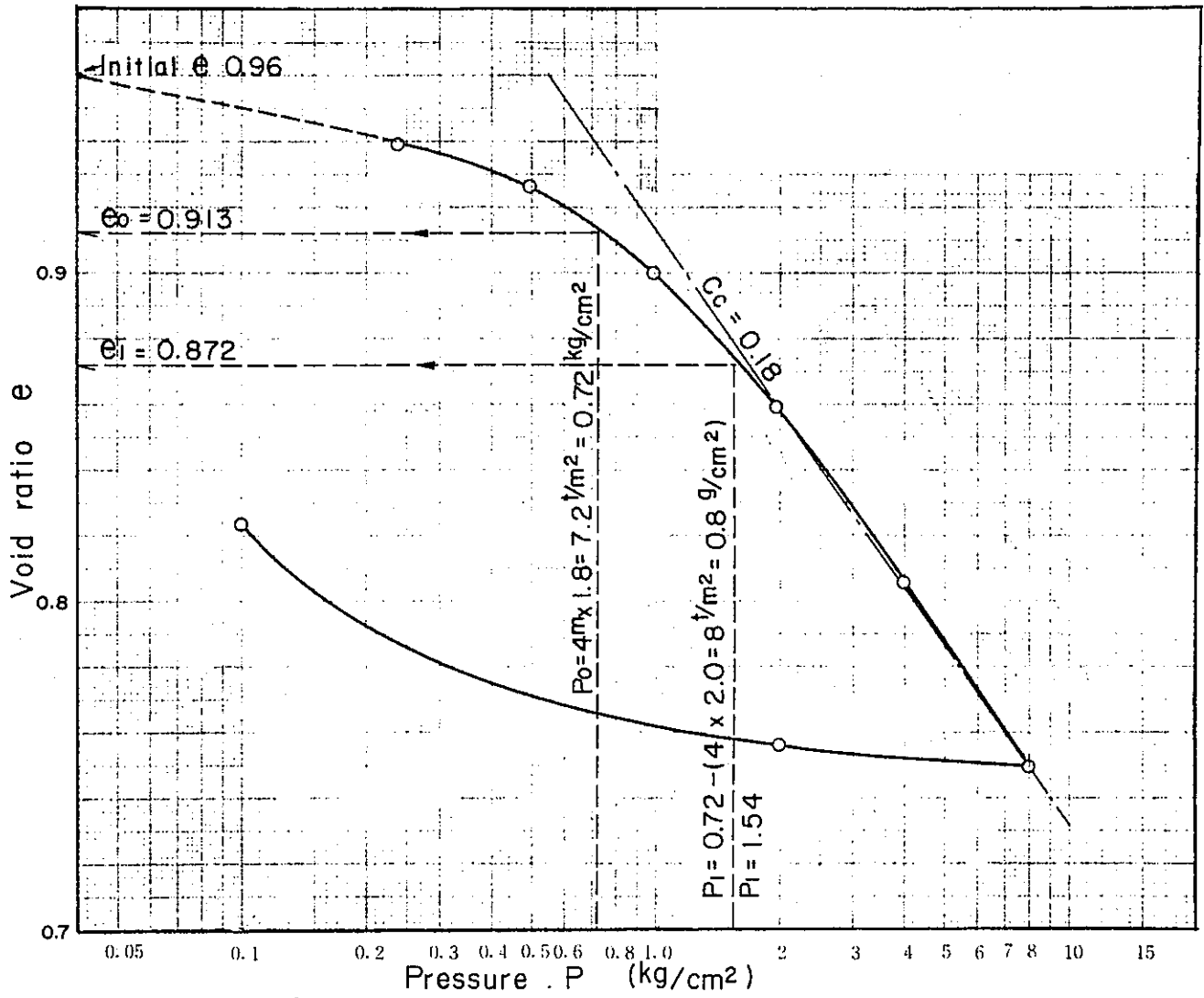
$$S = 800 \text{ cm} \times \frac{0.913 - 0.872}{1 + 0.913}$$

$$S \doteq 15 \text{ cm}$$

即ち4mの盛土に対し15cm程度の沈下が予想される。しかし当地の地層はシルト質土ながら砂層をサンドイッチ状に狭むことと, 下部が透水性地盤であることから, 盛土の完成, 即ち, 沈下完了の状態が予想され, 盛土完成後に沈下による障害が発生することは考えられない。またこの程度の沈下量では基本計画段階では特に論ずるを要さない。

以上のとおり, 今回のデータからは沈下に対する特別な問題は発見されていないが, 今後の詳細調査に当たっては, この件に関しても十分調査がなされてしかるべきである。

Fig. 3 - 13 Typical $e - \log P$ Curve
for Stratum ①



参 考 文 献

- 1) 国際協力事業団 1974年11月
ジャムナ河架橋計画調査中間報告書，特に第Ⅱ章地質，第Ⅳ章河川，第Ⅷ章取付道路
の各項を参照した。
- 2) 国際協力事業団 1974年11月
ジャムナ河架橋計画調査報告書
地質調査部門，土質調査編（第一次）
- 3) 海外技術協力事業団 1973年3月
ジャムナ河架橋計画事前調査報告書
- 4) 日本道路協会 1970年 道路土工指針
- 5) 日本道路協会 1968年 道路橋下部構設計指針
- 6) 吉中 龍之進 1968年
横方向地盤反力（土木技術資料 Vol.10, №1）
- 7) 土質工学会 1970年 土質工学ハンドブック
- 8) 宇 都 一 馬 1974年
標準貫入試験の機構（土と基礎 Vol.22, №2）
- 9) バングラデッシュ地質調査所，バングラデッシュ地質図

添 付 資 料

- 1) ボーリング位置図
- 2) ボーリング柱状図 S-0, S-1, S-2, S-3, S-4, S-5
- 3) 土 性 図 S-0, S-1, S-2, S-3, S-4, S-5
- 4) オーガーボーリング土性図 20孔

JAMUNA RIV

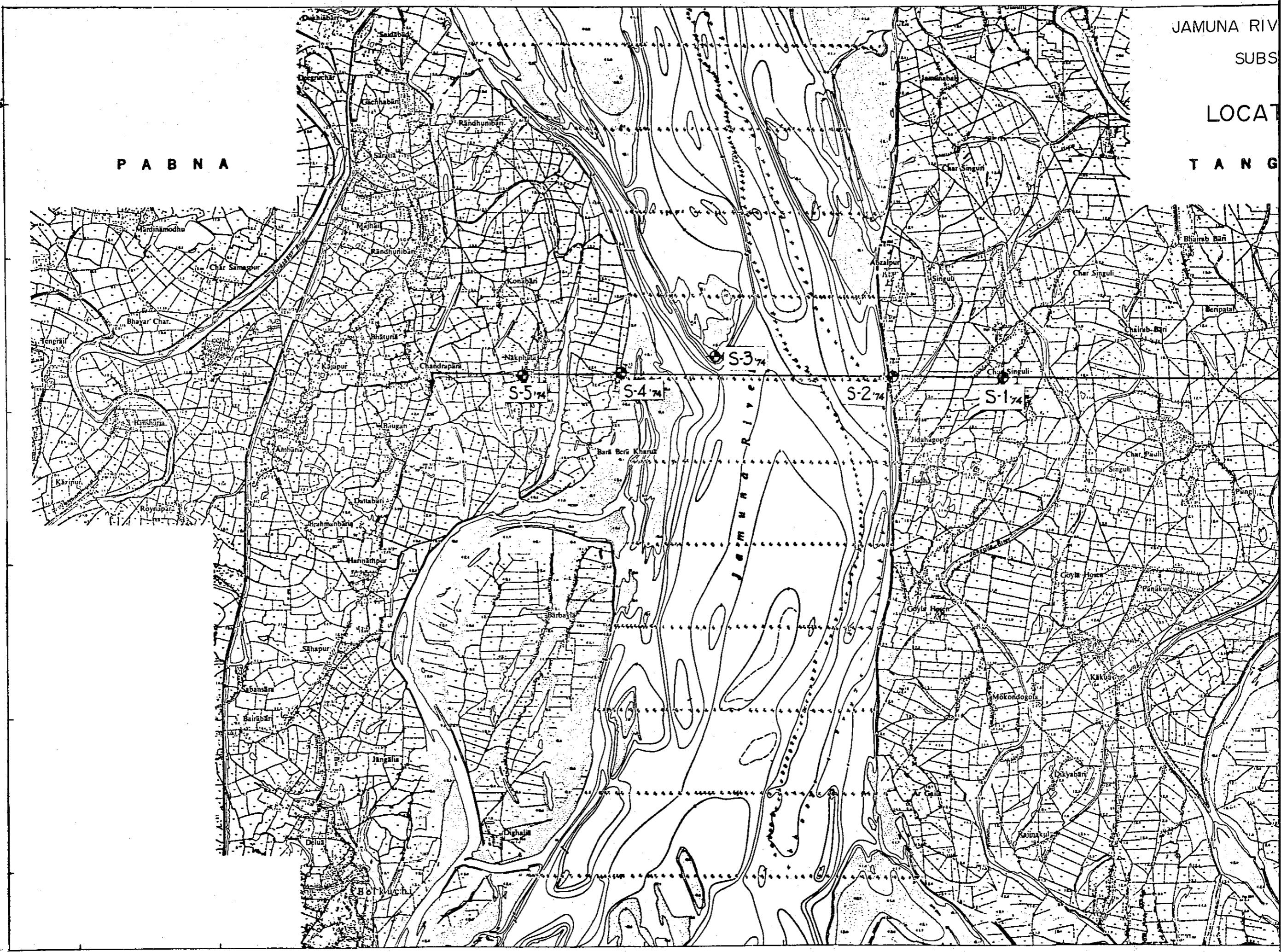
SUBS

LOCAT

TANG

P A B N A

24-25



JAMUNA RIVER BRIDGE CONSTRUCTION PROJECT

SUBSOIL INVESTIGATION WORKS

LOCATION OF BORE-HOLES

Scale, 1 : 40 000

T A N G A I L

NO. 11

NO. 12

NO. 13

NO. 14

NO. 15

NO. 16

NO. 17

NO. 18

NO. 19

NO. 20

NO. 21



DRILL LOG

HOLE NOS. 1-74 SHEET NO. OF

Table with columns: DATE, ELEVATIONS, DEPTH, THICKNESS, SECTION, COLOR, INSERT, STRATUM, FORMATION, DESCRIPTION, STANDARD PENETRATION TEST, TEST VALUES, SCALE. Includes detailed soil descriptions and test data for Hole No. 1-74.

DATE: 3-3-75 PLAN No. ST-800D NIPPON KOEI CO., LTD. CONSULTING ENGINEERS, TOKYO.

SOILTECH INTERNATIONAL LIMITED DACCA-CHITTAGONG

Client: NIPPON KOEI, UNDER O.T.C.A. (JAPAN) JAMUNA BRIDGE, BENKURSA-DURGAPUR TANGAIL, SIRAJGANJ SITE (BANGLADESH)

Bore chart of Boring No. S-O

Table with columns: DATE, SHIFT, DEPTH IN METRE, STRATA ENCOUNTERED, SOIL TESTS, STANDARD PENETRATION TESTS, LATERAL LOADING TESTS, CO-ORDINATE (Approx.), REDUCED ELEV. (Approx.), and HOLE NO. Includes soil descriptions and test data for Hole No. S-O.

DRN - DATE: 3-3-74 SCALE: 1:300 PLAN No. ST-587D

DRILL LOG

HOLE NO. S-3-74 SHEET NO. OF

Table with columns: DATE, ELEVATION, DEPTH, THICKNESS, SECTION, COLOR, MATERIAL, DESCRIPTION, SAMPLING NO., TEST VALUES, SCALE. Includes a graph at the top showing data points and a trend line.

PROJECT: JAWA RIVER BRIDGE CONSTRUCTION PROJECT... CLIENT: JAWA INTERNATIONAL CO-OPERATION AGENT... DATE: 23-12-74... PLAN No. ST-811/B... NIPPON KOEI CO., LTD.

DRILL LOG

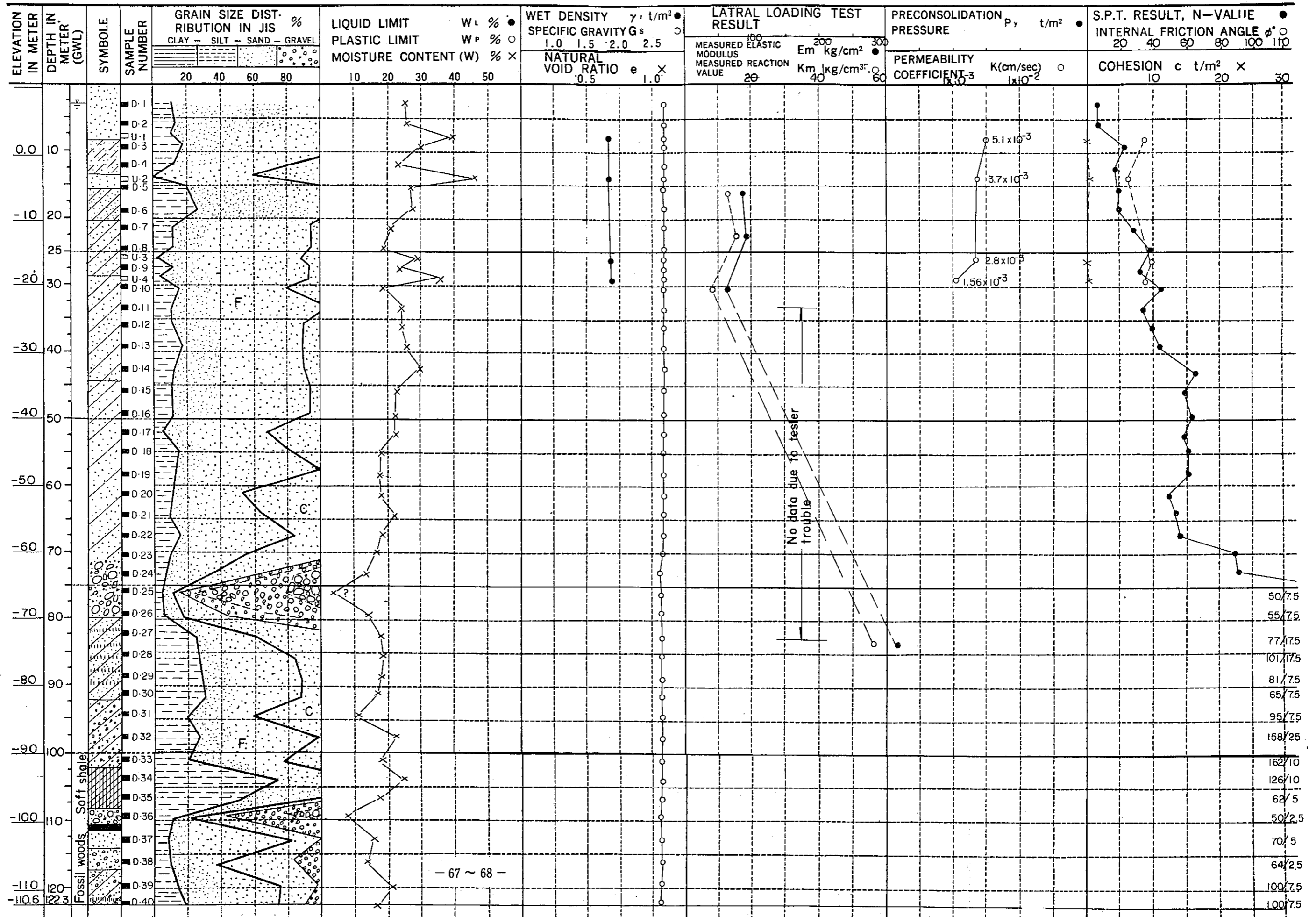
HOLE NO. S-2-74 SHEET NO. OF

Table with columns: DATE, ELEVATION, DEPTH, THICKNESS, SECTION, COLOR, MATERIAL, DESCRIPTION, SAMPLING NO., TEST VALUES, SCALE. Includes a graph at the top showing data points and a trend line.

PROJECT: JAWA RIVER BRIDGE CONSTRUCTION PROJECT... CLIENT: JAWA INTERNATIONAL CO-OPERATION AGENT... DATE: 16-12-74... PLAN No. ST-810/B... NIPPON KOEI CO., LTD.

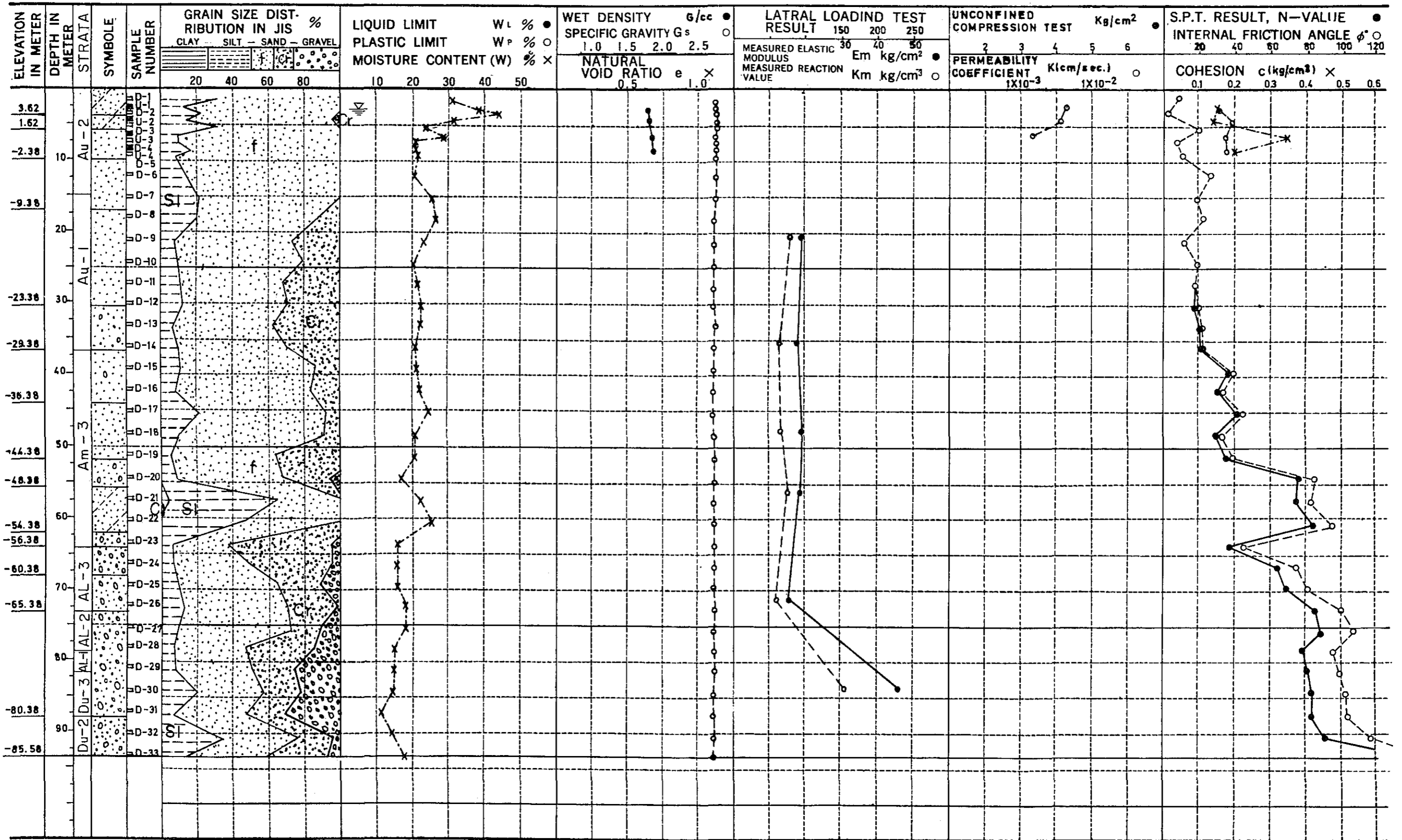
SUMMARIZED CHART OF SOIL CHARACTER

PROJECT JAMUNA BRIDGE (SIRAJGANJ SITE) HOLE NO. S - 0 EL. APROX. 10.7 m GWL. GL. - 2.70 m COORDINATE: N.24°-22'-25" E.89°-50'-10"

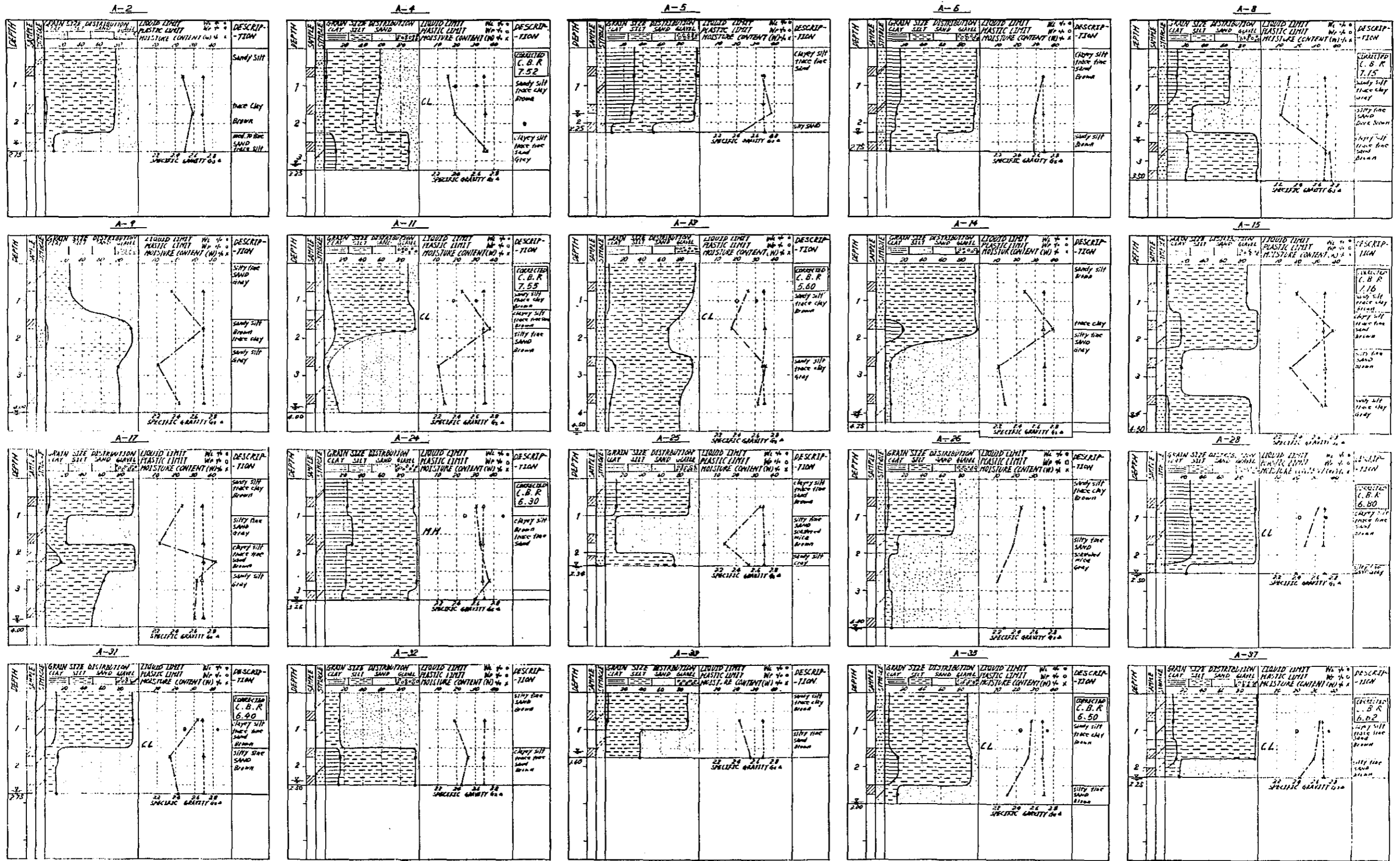


SUMMARIZED CHART OF SOIL CHARACTER

PROJECT JAMUNA RIVER BRIDGE CONST. HOLE NO. S-3' 74 EL. 7.62 m GWL GL. - 1.8 m COORDINATE: N24° 21' 22" 4 E 89° 45' 32" 3
PROJECT 2ND. PHASE



SUMMARIZED CHART OF AUGERED BORES



PART II

石 材 調 査

第 1 章 石材調査の概要

ジャムナ河は広大な沖積平原の中を貫流する特殊の河状をもつ乱流河川で、これに架橋するには直接、間接に、極めて大量の石材を必要とする。然るに、一方この国は国土の大部分が厚い第四紀層に被われて、土木工事に使用する石材の入手がむづかしい。

ジャムナ河架橋計画のフィージビリティ調査を行うに当り、莫大な所要石材の経済的な入手は、架橋工事費を大きく左右する重要課題である。そのため利用し得るあらゆる石材資源を広く調べることになった。

1. 調査地区

1972年後半に行われた予備調査報告書の中に示唆された石材資源の調査地区は次の通りである。

東北部 Sylhet 地区

西北部 Dinajpur Hat Rangpur 地区

Rangpur, Jaipur 地区の石炭、石灰岩採掘に伴う岩石 Bogra 地区の人工骨材

印度アッサム州内 Bagmara, Tura 西方 Dhubri 地区

今回の調査団は、ダッカ到着後関係機関より得た種々の情報を検討の結果、下記の地区を調査することにした。

1) バングラデシュ領内

Sylhet 地区の河砂利

Dinajpur District の Pachagarh, Titulia 地区

Tista 河上流々域

Jaipurhat の石灰岩開発計画地

2) 印度領内

Assam 州内の生産地及びこれより現在供給されている Sirajganj の護岸用捨石の現況

然るに、Assam 州内への調査旅行に関して再三の申し入れに拘らず、印度政府の許可が得られなかったため、現地踏査が出来なかった。よって、Assam 州内の石州生産状況について書面を以って照会を發し、回答を待つと共に、第 2 年度に調査を延長して、印度 Bihar, West Bengal 両州境の Rajmahal Hill の石材産地を訪ねて、その生産の実態と能力を検討した。この間に印度政府よりは Assam 州の石材生産の実情について、或程度の情報が回答されて来た。

一方、Bangladesh 国内で計画されている Banipurkur の地下に潜在する石材資源を開発する Hard rock project の生産性を検討した。

2. 調査項目

本調査に於ける調査項目は岩種，岩質，採取可能量の推定，採取方法，輸送方法，所要経費の概算である。今回の調査段階では，石材の強度試験，現地地形測量などの定量的な計測は行わないで，上記項目を総合判断し，各地区の優劣を比較し，供給源としての優先順位をつけることを目的とした。それ以上の調査は精査の段階に委ねることにした。

3. 調査の目標

石材の対象は，構造物用のコンクリート骨材と，河床，河岸の工事用捨石，護岸材料とに分けて考え，前者は数十万立米，後者は数百万立米を5～7年間と想定される架橋工事期間中に架橋地点に供給することが可能かどうかを目標とした。これらの所要量は，夫々日産数百屯及び数千屯の程度の大きい量である。従って，生産能力のみならず，架橋地点への運搬も大きい問題であるので，この点も併せて検討した。

一方，このような大量の石材を使用するため，その石材価格は工事費を大きく左右するので，生産費と輸送費の秤価には十分の配慮を配った。

第2章 石材資源の所在

この国は、ガンジス河 (Ganges or Padma River) ジャムナ河及びメグナ河の三大河川が貫流して、国土の大半はこれら大河によって運ばれた砂泥の沖積平原である。国の南端ビルマと印度に境するチッタゴ山脈は南北に延長し Sylhet の南まで伸びている。この山脈は第三紀層より成り、その岩石は一般に軟質、且つ風化に弱いので、この地帯に大量かつ良質の骨材や石材の資源を期待することは出来ない。

一般に、石材資源を探すに当っては、大別して第四紀の扇状地及びこれにつづく推積砂礫層を対象とする Gravel pit と硬質岩石を期待出来る前第三紀の岩盤や熔岩系の trap rock を対象とする Quarry の二種に分けられる。

前者の推積砂礫層は、沖積平野がその後背地の山地に接する地区に生成されるもので、バングラデシュ領内の北部国境近くにみられる。Sylhet 北方、Dinajpur 北方、Tista 河上流及び印度領 West Bengal 州の北西辺 Darjeering 東方の所謂 Himalaya piedmont district 等の扇状地、又はこれにつづく砂礫層がこれに当る。

後者の硬質岩盤は、バングラデシュ領内には殆んど存在しないと云っても過言でない。唯一つ比較的浅い沖積層の下底に潜在する古期硬岩々盤として、バングラデシュ北西部 Ranipukur 地区の地下花崗岩々盤と Jaipurhat の地下石灰がこれに当る。沖積層の被覆は Ranipukur で 150m 余、Jaipurhat で 500m と云われる。

印度領内にはアッサム州 Shillong Plateau と称せられる高原性山塊の前カンブリア紀岩盤露出地や Bihar West Bengal 州境の玄武岩系の Rajmahal hill の trap rock 露出地がこれに当る。これら印度領内のものは現在及び過去に相当まとまった量の生産実績をもっている。

何れにしても、石材の生産地は広大なベンガル沖積平野の北部辺境や印度領内の山地や台地に分布している。沖積平野の中心に位置するジャムナ架橋地点とこれら資源地とは数百軒を距ているので、その間の輸送が石材供給の中の大きい因子を占める。

第3章 推積砂礫層

1. Sylhet 地方 Bholaganj Gravel Deposits (Fig. 1 参照)

1.1 産 状

バングラデシュ領 Sylhet District と印度領 Assam State の接する国境を横切って流下する急流 Dahalganj 河の河床に推積する砂礫層である(Sylhet 市の北東 20 マイル, Chhatak 町の北 11 マイル, $25^{\circ}-8'N$, $91^{\circ}-42'E$)。

交通は Chhatak より Surma 河の支流 Piyan 河をボートで溯って達する。別に Sylhet から Bholaganj の対岸を通して印度領に入る, 旧英印軍の軍用道路があるが, 今は荒廃して自動車通行が出来ない。

この Gravel pit は, 早くからコンクリート骨材やバラスト用に採取され, Chittagong 漁港のコンクリート護岸や, カルナフリ河のカブタイ・ダム of 構造物のコンクリート骨材として遠く船と鉄道で運ばれた。カブタイ・ダム工事には, 20million cu ft (= 570,000 m^3) を供給したと云われる。

Dahalganj 河は Shillong 高原の Mun 山 (6102') を源流とする河で, 流域の先カンブリア紀の硬岩の風化浸蝕岩屑を多量に流送する。国境線に略々一致する東西の断層崖を流下した直後, 基盤の第三紀層を被って扇状地推積物として, 大量の砂礫を推積している。現在稼行されている推積砂礫層は, 南北方向に 2,500m, 東西方向に 1,400 ~ 600m に亘って推積して, この国で最大の砂利推積層である。その厚さは 14m 以上に達する。最大径 60cm のものから砂まで広い粒度分布を示す。(Fig. 2 参照)

岩質は花崗岩, 片麻岩, 珪岩, 硬砂岩, 塩基性岩のよく円磨された硬岩で, 骨材やバラストとして最良質のものである。

1956 年の調べでは, この国の全長 2,600 マイルに達する鉄道の路床を維持するためには, 年間 28,000 m^3 のバラストの補給が必要と計算された。当時の政府はこの調べに基き 1962 年このバラスト供給のために Bholaganj 開発に着手することになった。Rs 20million を投下して, 1970 年 3 月 gravel の生産設備を完成した。当時の埋蔵量見積は約 300million cu ft (= 8.5million m^3)。これに毎年雨期の出水により上流より 0.7million cu ft (= 20,000 m^3) が流下補給されるとした。完成した設備の概要は次の如くである。

- 1) Bholaganj 採石と破碎篩分設備
- 2) Bholaganj-Chhatak 間 11.25 マイルの索道
- 3) ニヶ所の屈曲点に原動機用発電機 2 台
- 4) Chhatak 終点の積卸と貨車積設備

以上の設備で, 生産能力 60million cu ft / 年 (= 170,000 m^3 / 年) とされたが,

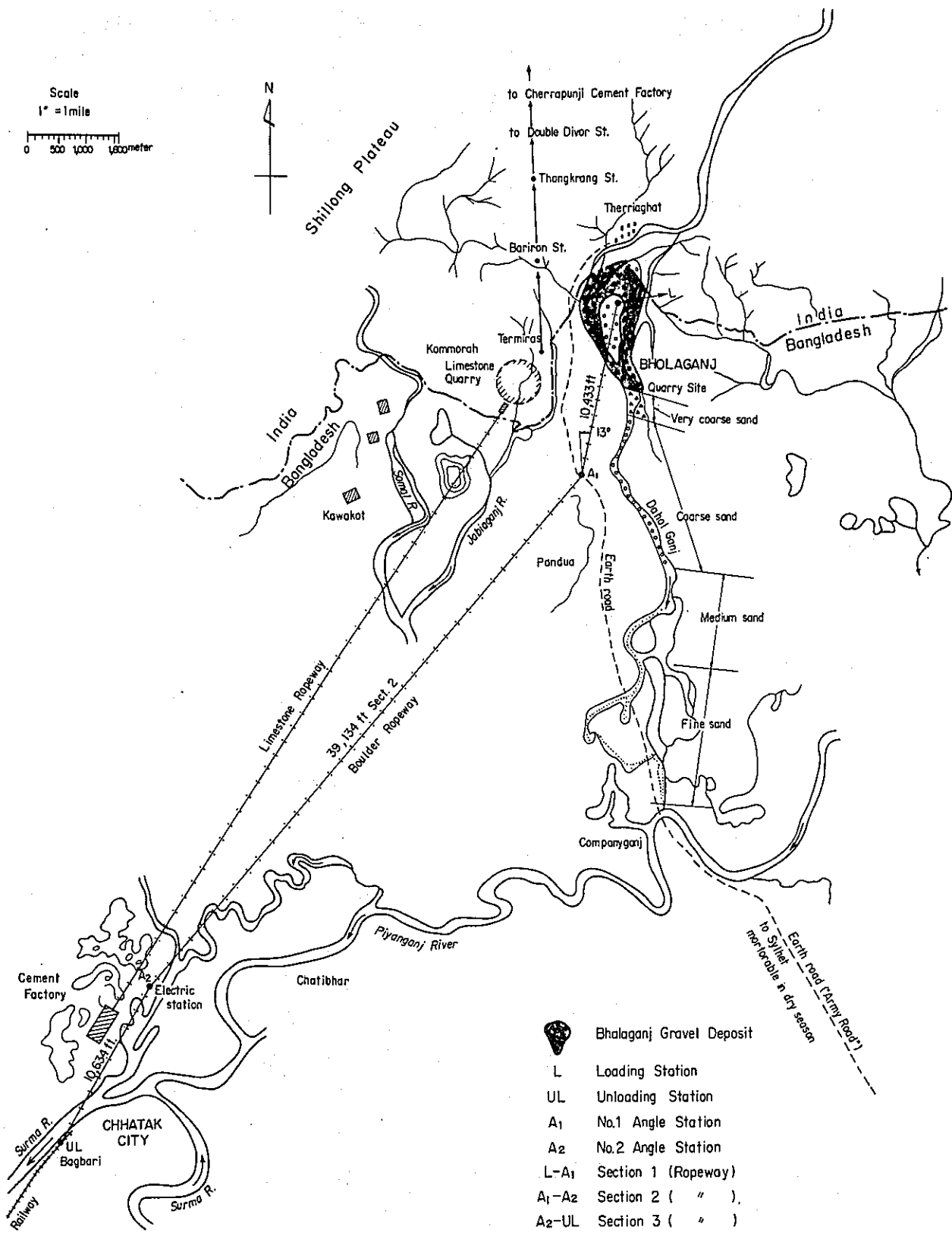


Fig.1 Locality Map of Bholaganj Quarry Site, Sylhet District

1970年より約1年間の試運転の結果は、多くの機械的欠陥を露呈して、生産実績は次の通りで、計画の3%にも達しなかった。

砂	74,600 cu ft (42.1%)
細 礫	21,700 " " (12.2%)
バラスト	81,100 " " (45.7%)
計	177,400 cu ft (= 5,100 m ³)

然るに、この設備は翌年1971年の独立戦争によって、その大部分が破壊されたので現在機械類の修理、再使用は不可能なまでに荒廃してしまった。僅かに索道のみが修理可能である。

戦争後は、人力により小規模に採取して船で積出されている。

1.2. 埋 蔵 量

今回の踏査に当り、簡易測量により地形スケッチを作った (Fig. 2) 概測により分布面積を見積った。厚さは14m以上と考えられるが、乾期の水面下6mまでを採掘可能と仮定して概算すると、

採取可能埋蔵量 約9.1million m³

と算定される。(計算は Appendix I)

その粒度内訳は、

φ 9" 以上 (Pitching stone)	3.6 %	約 330,000 m ³
φ 4" ~ 3/16" (Balast)	49.2 %	約 4,470,000 m ³
φ 3/16" 以下 (Sand)	47.2 %	約 4,300,000 m ³

1.3. 採石設備再建案

1970年に完成した機械設備を挙げれば次のようである。

- (1) 単線式索道：60201ft (11.25mils) 途中二ヶ所に屈曲点あり、ディーゼルエンジン 237HP×2台、ポスト数 122基、ロープ 1¹/_{4"}、搬器 388箇 (13.44cft)、運搬能力：75' 屯/時
- (2) 採取設備：ドラッグラインエクスカベーター 100HP, 65HP, 各1台
- (3) 破碎篩分プラント：インペラブレーカー 1, 分級機 1, 振動篩 2
ディーゼルエンジン 475HP×2台
発電機 242KVA×2台

これらの殆んどすべては戦争によって破壊された。これを再建するに当って、次のような方針を仮定する。

- i) 索道と建家の一部を除いて、破壊された残存設備は利用しない。
- ii) ドラッグライン採掘をやめて、バックホウとダンブトラックの組合せを採用。
- iii) 破碎篩分設備は塔式を廃し、平地式とする。

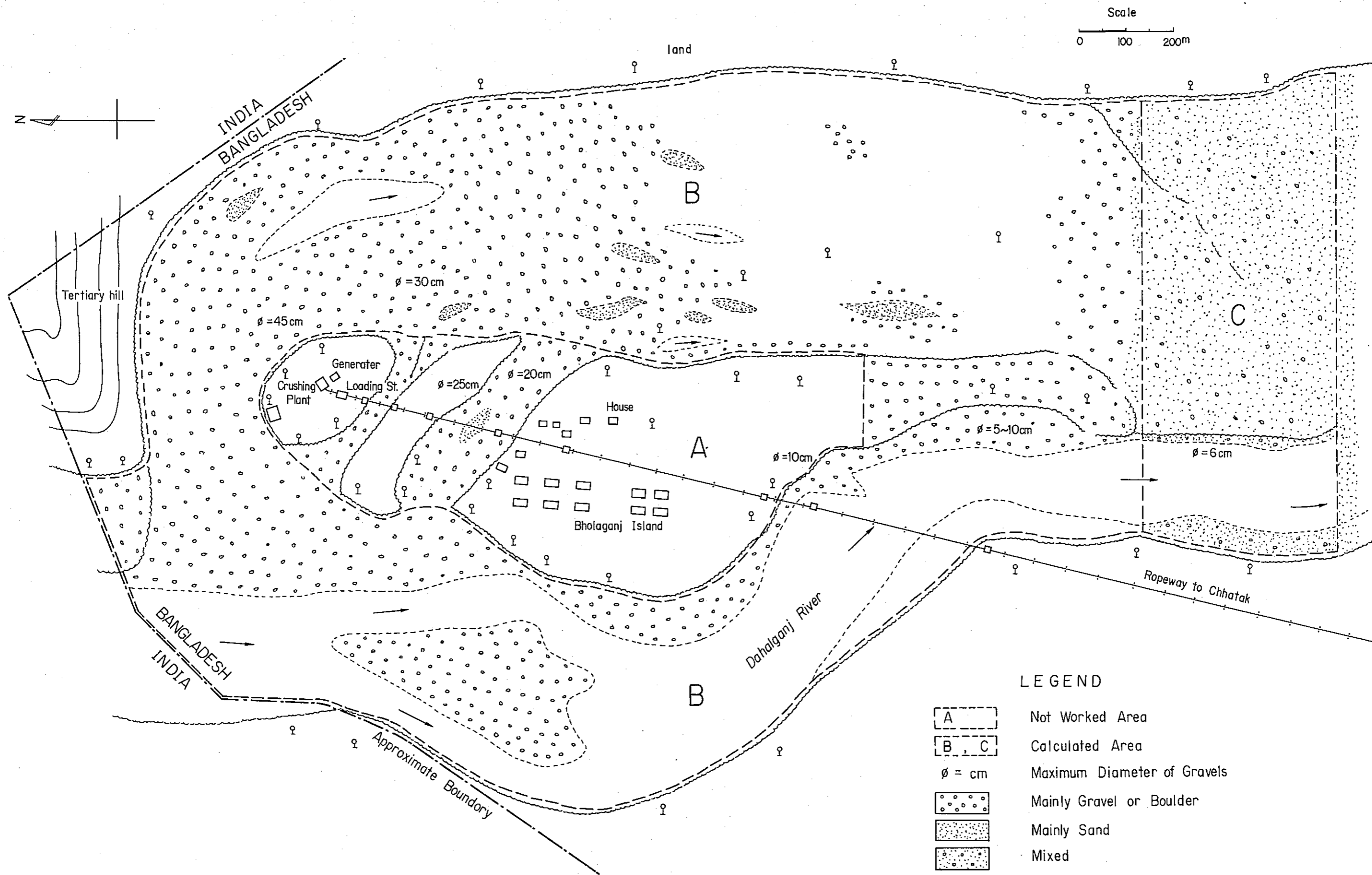


Fig. 2 Geological Map of Bholaganj Quarry Site, Sylhet District, Bangladesh
by Dr. Z.YOSHIDA 17, Jan. 1974.

IV) 粗骨材を索道輸送し，砂と one-man-stone は別途輸送（水上又は道路）

V) 生産量の半分は鉄道用に，半分をジャムナ架橋工事に供給する。

以上の方針で操業規模をきめると次のようになる。

a) 索道運搬量（生産量）

$$1 \text{ 日運搬量} \quad 75 \text{ 吨/時} \times 24 \times 75\% = 1350 \text{ 吨/日}$$

$$1 \text{ 月} \quad " \quad 1350 \text{ 吨} \times 25 \text{ 日} = 33,750 \text{ 吨/月}$$

$$1 \text{ 年} \quad " \quad 1350 \text{ 吨} \times 300 \text{ 日} = 405,000 \text{ 吨/年}$$

b) 採掘量と処理量

径 9" 以上の pitching stone と径 $3/16$ " 以下の砂は索道によらず，別途輸送することになると，これらの量は採掘量の 50% に達する。又雨期 3ヶ月を操業不能として除くと，

$$\text{採掘日数は} \quad 25 \text{ 日} \times 9 \text{ ヶ月} = 225 \text{ 日}$$

選別と取扱いロスを 10% とみると

$$\text{所要採掘量} \quad \frac{405,000 \text{ t}}{225 \text{ 日}} \times 0.9 \times \frac{50}{100} = 4,000 \text{ 吨/日}$$

破碎，篩分は年間 300 日稼働として

$$\frac{405,000 \text{ t}}{300 \text{ 日}} \times 0.9 \times \frac{50}{100} = 3,000 \text{ 吨/日}$$

以上の操業フローシートは Fig. 8 に示す。

開発設備の明細は Appendix II に示す通りで総額 \$ 6 million となる。

1.4 生産費と輸送費

	処理鉞量屯当り	碎石鉞量屯当り
採掘費	\$ 0.2	\$ 0.4
選鉞費	\$ 0.5	\$ 1.0
運鉞費		\$ 1.2
その他		\$ 0.5
償却費		\$ 1.9
合計		\$ 5.0 = Tk 39.0

但し，償却費算定の条件は，

採掘，運搬機械の耐用年数 5 年，その他の機械 8 年，金利 8%，残存価格は取得価格の 10% とした。

輸送費

船運賃 (Chhatak-Sirajganj)	Tk 500 / 100 cft
積込積卸	Tk 80 / 100 cft
計	Tk 580 / 100 cft
100 cft = 5 屯とすると	Tk 116 / 屯

依って Sirajganj 着の価格：

Tk 39.0 + Tk 116 = Tk 155 / 屯 or Tk 775 / 100cft

2. 印度アッサムとの国境に近いその他の砂礫産地 (Fig. 3 参照)

上記 Bholaganj の東と西数十マイルの範囲で国境を横断して南流する数本の溪流の扇状地に同じような成因で出来た砂礫の産地が点々と数ヶ所ある。1962年 Haque によって報告されている。

2.1. Looba 地区 (25°-5' N, 92°-20' E)

Bholaganj の東 40 マイル, Looba 河に沿って 10 million cft の砂礫が見積られている。最大径 6", 平均 4"~1" でコンクリート骨材に適する。Looba 河を船で Sylhet まで運ぶことが出来るので, この地方の一般需要には応じられるが, 大規模の開発に値するだけの量はない。

2.2. Goyan 河上流

小規模に河床礫を掘って, 小舟で砂利を搬出しているが, 詳しい情報がない。

2.3. Pyanganj 砂礫産地

Pyanganj 河の河床の扇状地堆積物としての砂礫が報告されているが, その量や質について十分な情報がない。

2.4. Sunamganj の北方の砂礫産地

Sunamganj の北方 7 マイルの Mukai 河の国境に近い印度領内に 300 million cft の砂礫が報告されているが, その産状も不明で, 且つ生産の実績も明らかでない。以上の情報地は何れも Shillong 山地の硬質岩層を浸蝕した小河川が, 多量の砂礫を運搬して, 国境線に近い扇状地に堆積したものであることが, 地形地質の両面から容易に推定出来る。

何れも Bholaganj と大同小異の成因によって出来たものであろう。然し, 規模が小さいか交通不便かの何れかの理由によって生産実績が明らかでない。さし当り, ジャムナ架橋工事のための供給は期待出来ない。

3. バングラデシュ北西隅の砂礫層 (Fig. 4 参照)

Bangladesh の北西隅の Karatoya 河上流 Ramgarh 及び Mahananda 河上流 Titulia の周辺で砂礫の生産が行われている。これらの河の河床とその両側に発達する砂層の中に挟まれている薄い礫層から生産されるものである。これらは, 更に上流印度領内の山麓堆積層の延長であるが, 大部分中砂と粗砂より成り, その中に洪水時に運ばれて来たレンズ状の礫の層を挟んでいる。礫層の厚さは 10 cm より 100 cm まで不規則に分布しているため, 各単層に含まれる礫の量は数立方米から 100 立方米位である。礫径は稀に 30 cm

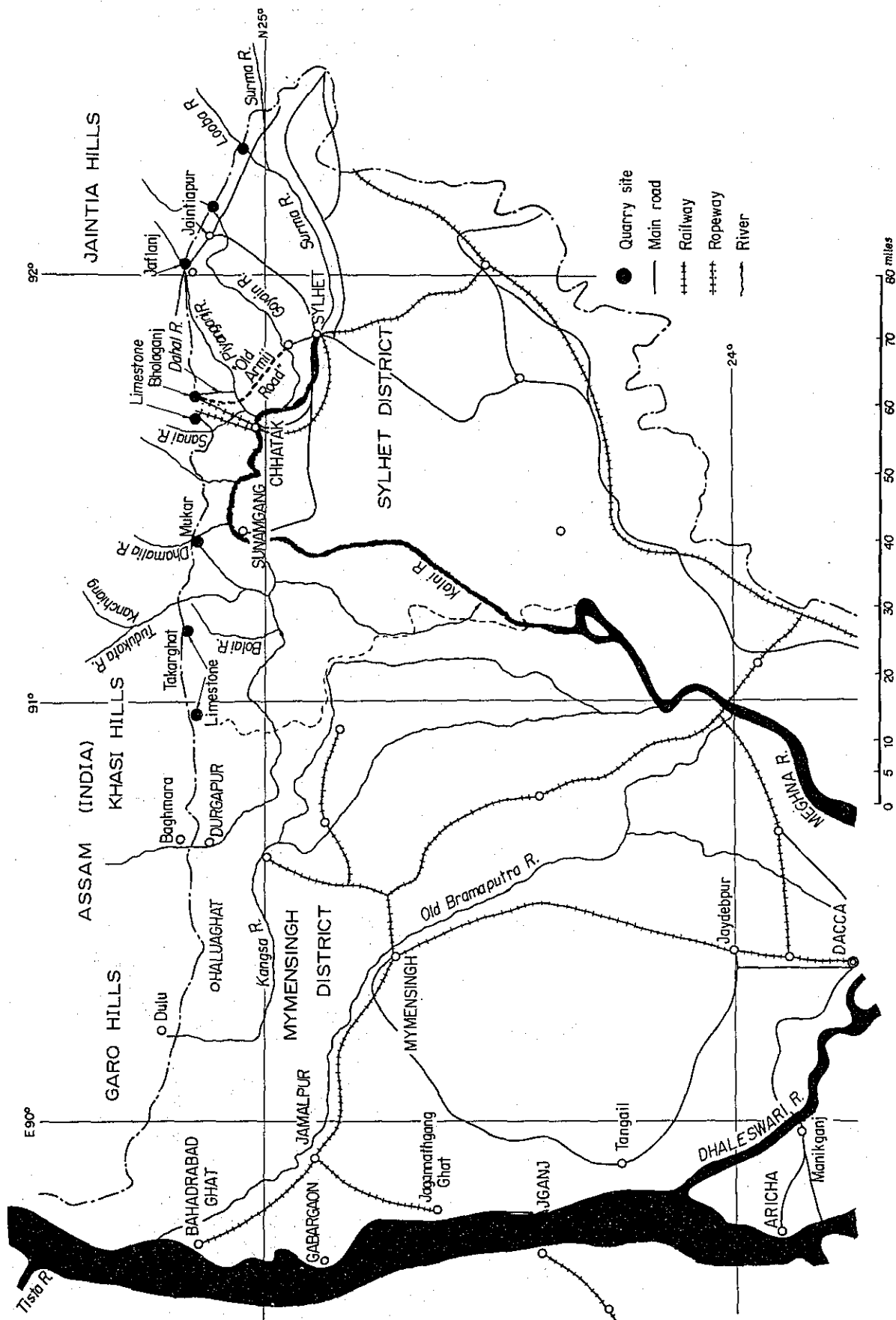


Fig.3 Distribution of Gravel Deposits around Sylhet District

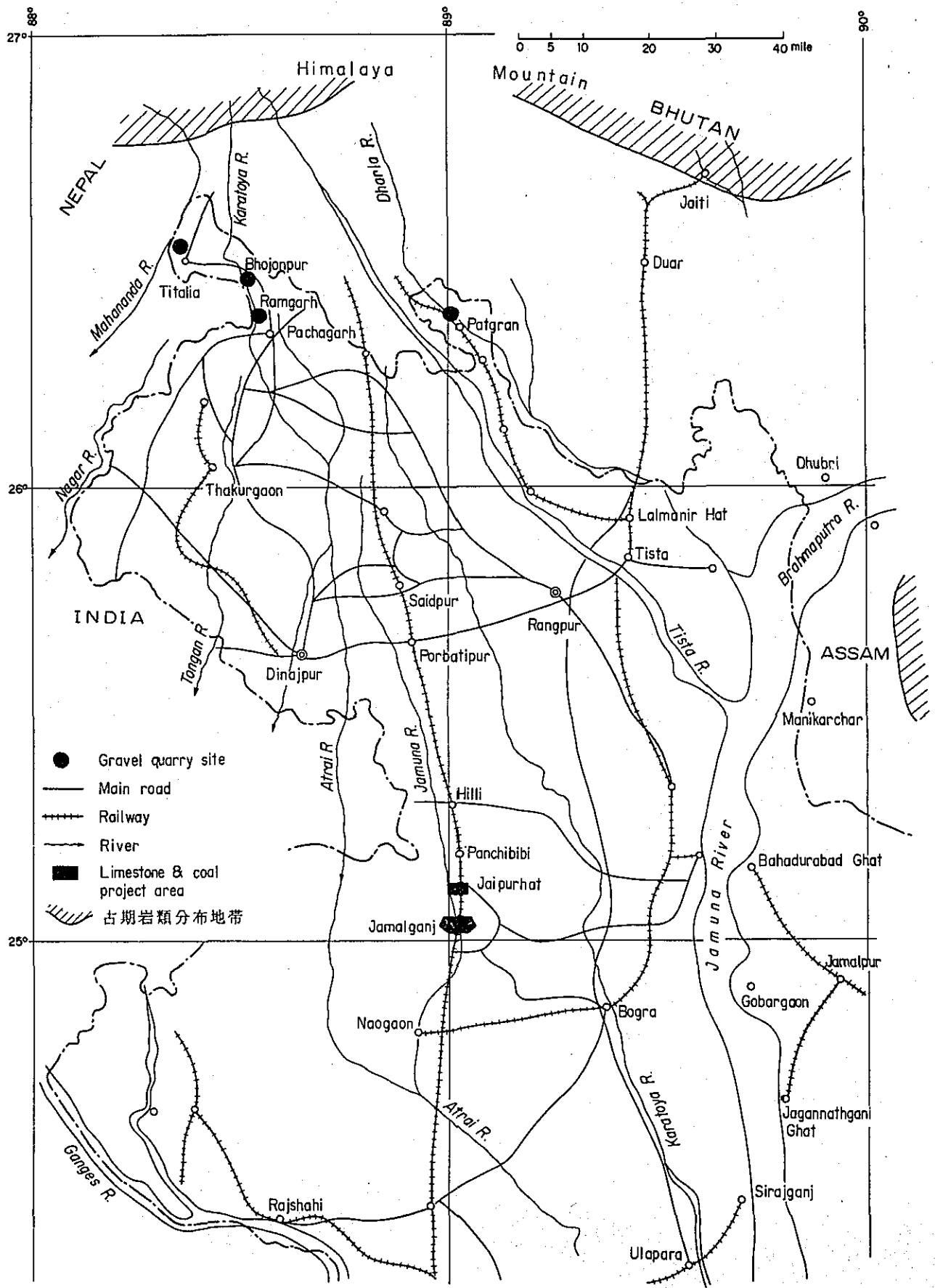


Fig.4 Gravel Deposits in Dinajpur and Rangpur Districts

に達するが、普通は最大径 15cm である。礫は花崗岩、閃緑岩、片麻岩、珪岩及び硬砂岩等で、極めて硬質且つよく円磨されている。現在、人力で礫を篩い分けて、小規模にコンクリート用骨材や道路材に供給されている。

3.1. Ramgarh 砂利採取地

Pachagarh の西 $3\frac{1}{2}$ マイル、Karatoya 河の河床の洪水堆積層である国道に近く、搬出に便利である。又、Karatoya 河を船で Dinajpur に搬出の便もある。

礫層の成因は洪水時の二次堆積物で、砂層の間に厚さ 20～30cm の礫層がレンズ状に挟まれて、その分布は不規則である。砂と礫との割合は 35% 位が砂で占められている（礫径 1"～3"）。現在人力でザル上げによって採取し、篩分けて近辺の小口需要に供しているが、大量採取の対象にはならない。

現場渡し Tk 200/100 cft …………… Tk 40/屯

最寄りの Pachagarh 駅までのトラック運賃は Tk 50/100 cft …… Tk 10/屯

3.2. Bhojonpur 砂利採取地

Pachagarh の北 15 マイル、Titalia の東 12 マイル、Karatoya 河の右岸にある。前項 Ramgarh よりも上流に位置するので、礫径やや大きく、最大 6" のものもあるが、大部分は 2"～3"。砂層中の不規則なレンズ状のなすことは前項の Ramgarh の産状と同じで、採取方法も同様である。

礫層の厚さは 30～100cm

現場渡し Tk 200/100 cu ft

Pachagarh 駅までのトラック賃 Tk 80/100 cu ft

1973 年中の生産量は 500,000 cft (25,000 tons) と云われる。

3.3. Titalia 砂利採取地

北西隅の国境をかすめて流れる Mahananda 河の堆積物である。比高 30' の河岸の崖に 2 層の礫層がみられる。上位層は厚さ 30～60cm、下位層は約 100cm あるが、共に洪水時に運ばれ堆積した砂礫層である。礫の含有率は 65% 位である。最大径 30cm、普通は 12cm 以下のものが多い。岩種は珪岩、片麻岩、緑色片岩、花崗閃緑岩、硬砂岩等である。現在採掘は中止されている。搬出のための小運搬が他の地点に比して高くつくからであろう。

3.4. その他の情報地

Haque (1962) によれば、この地域では上記の他に Karatoya, Chani, Telma, Daukkhal, Mahanda の諸河川に沿って前項のものに似た砂利採取地が多数にあると云う。Boy (1961) の調べた埋蔵量は次のように報告されている。

Karatoya 砂利層	10,000,000 cft	(285,000 m ³)
Mahananda "	5,000,000	(143,000 m ³)

Chani	砂利層	5,000,000	(143,000 m ³)
Telma	"	4,000,000	(114,000 m ³)
Barkakhal	"	160,000	(4,600 m ³)
Daukkhal	"	70,000	(2,000 m ³)
合 計		24,230,000 cft	(692,000 m ³)

これらは実地踏査を省略したが、その堆積の成因と上記の数量から考えて、何れも大規模採掘の対象となり得ず、精々地方の小需要に応える程度のものである。

3.5. Patgram地区, Rangpur District

Rangpur Districtの北部、海拔227～196呎の山麓台地の砂利層である。交通はRangpur駅よりLalmanirhatを経て現地に入る道がある。途中Tistaを渡る渡船が運行していないために現地踏査が出来なかった。幸いこの堆積層も1964 Royによって調査された詳しい報告がある。

それによれば、Dharla河流域の山麓沖積層中の礫層と砂層とのうすい互層である。不規則なレンズ状をなして河床に分布し、厚さ15cm～200cm、平均60cmである。礫層の中にも尚35%の砂分を含んでいる。試堀によって得られた層序は次のようである。

	厚 　　さ	平均厚さ
河 床 砂	10 cm～120 cm	75 cm
シルト質粘土	20 cm～300 cm	180 cm
砂	25 cm～150 cm	90 cm
礫	12 cm～120 cm	60 cm

多数の試堀とハンドオーガーとによって調査された結果、

全埋蔵量 5×10^6 cu ft

採掘可能量 3.5×10^6 cu ft

と算定され、これが 8.3×10^6 sq ftの地域に散在すると報告されている。

Patgram-Lalmanirhat間の鉄道による搬出の便には恵まれているが、礫層がうすく、大規模生産は不可能である。

現在生産地FOB Tk 300/100 cu ftで、地方の需要に応じている。

4. 印度アッサム州北西部Darjeering及びJalpaiguri附近の巨礫 (Fig. 5 参照)

アッサム州北西部のSikkim, Bhutanの国境に近いヒマラヤの山麓平野に巨礫 — 所謂one-man-rockが存在することが報ぜられている。成因的にはBholaganjの扇状地堆積物と同様と考えられるが、後背地がSikkim, Bhutanの山地であるから、その規

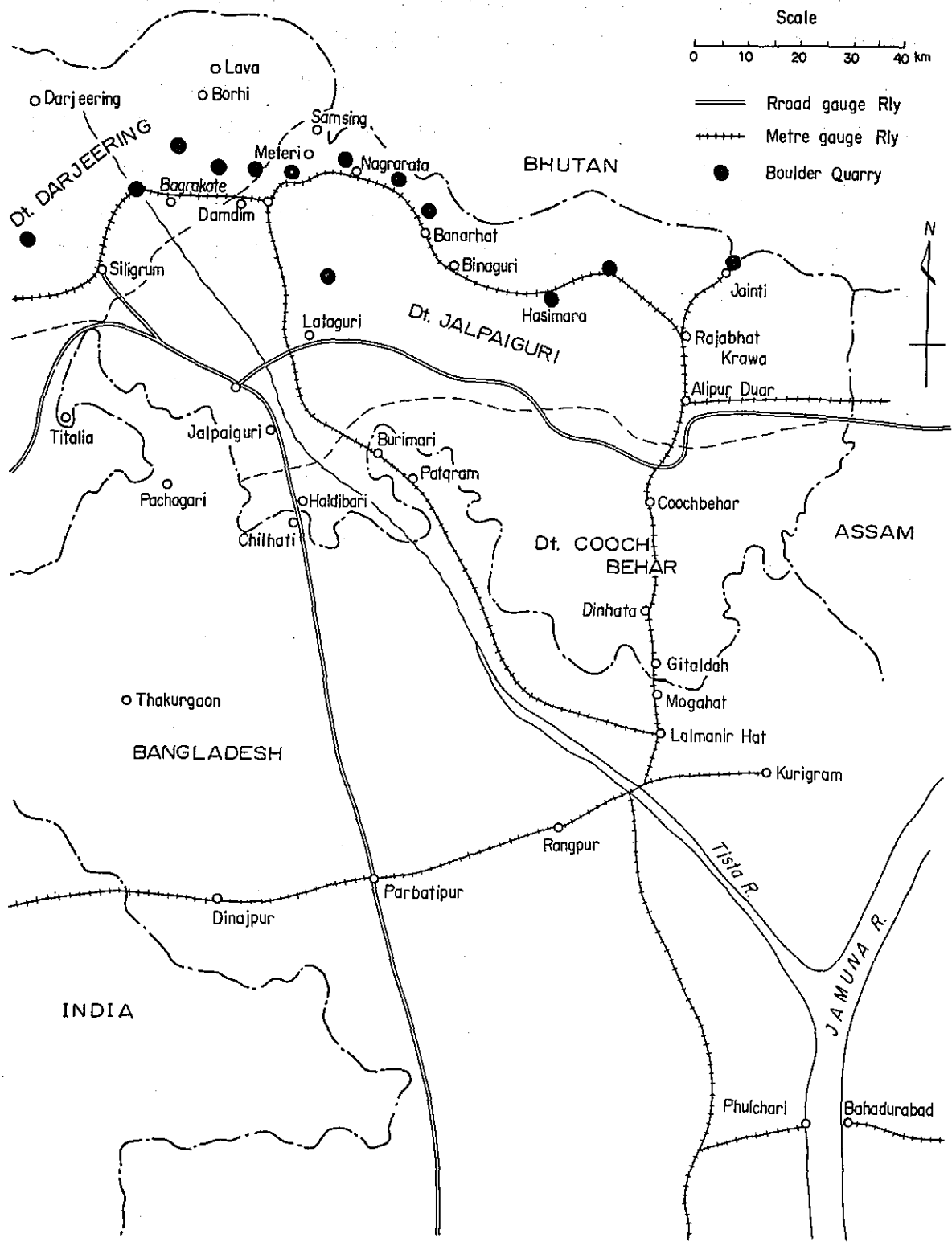


Fig. 5 Locality Map of the River Boulder Quarries at the Himalaya Mountain Foot Area, India

模が相当大きいものと期待される。

かってGanges河に架けられたHardinge Bridgeの工事の当時one-man-stoneの一部をこの地域のJaintiより供給されたことが記録に残っている。

この地域のone-man-stoneの主要産地を図5に示す(West Bengal Mineral Development and Trading Corporation提供)。これらの産地は、東西に走る鉄道に近く(何れも1~5kmと云われる)積み出しに便である。この鉄道により印度—ベンガラデシュの国境を通過して南に運べば、約200kmでSirajganj上流80kmのPhulchhari附近のジャムナ右岸船着場に出すことが出来る。鉄道の輸送能力とジャムナ舟運80kmとの組合せ輸送が問題である。

第4章 前第三紀の基盤岩及びTrap Rock

バングラデシュとその周辺に於ける古期基盤岩は、印度アッサム州の Shllong 山地に於ては地表に露出するが、この山地の西端ジャムナ河畔で西落ちの南北断層で断ちきられ、厚い沖積層の下に入ってしまう。Darjeejing 附近で再び地上に出るまでは、全く沖積層にかくされて地上に姿をみせない。この古期基盤岩の露出地は大量の石材供給源として期待することが出来る。一方印度領ガンヂス河南岸の Rajmahal Hill には玄武岩質の Trap rock が広く露出し、古くから良質の石材産地として利用されている。

本報告の初めに述べたようにアッサム州内の立入り承認が得られなかったため、印度政府に宛てて書面を以てアッサム州石材の情報を請求した所、1974年末になって若干の情報が回答されて来た。これに基づいて Shllong 山地の石材生産能力を推定することが出来た。一方バングラデシュ領内で沖積層の下に潜在する硬質基盤岩を地下採掘する計画が政府に於て立案されているので、その生産性を検討した。又、印度領 Rajmahal Hill については1974年末に現地を調査することが出来たので、その生産状況を検討し、且つ有力な生産業者である West Bengal Mineral Development and Trading Corporation からその増産の可能性について多くの情報を得た。

1. アッサム州内の先カンブリア採石 (Fig. 6 参照)

アッサム州 Shllong 山地には、先カンブリア紀の岩層が広く露出し、その内残丘として侵蝕に端えた硬質岩が石材採掘場として開かれている。

印度政府よりの情報によれば、アッサム州内には大小250ヶ所の採石場がある。花崗閃緑岩、片麻岩、斑岩、角閃岩、玄武岩等の硬岩よりなる残丘で、何れもジャムナ河岸に近い Goalpara と Dhubri 地区の硬質岩の残丘を選んで採掘し、最寄りの河港に運んで船積みしている。主要採石場と生産力、価格は次のようである。

Rakhyashini Hill	ジャムナ左岸	Pancharatna へ 13km	40,000 m ³	} Rs 35 ~ 45 / m ³
Ajagarh Hill	"	" 26km	30,000 m ³	
Bhairab Hill	ジャムナ右岸	Jagighopa へ 10km	55,000 m ³	
Sonamukk	"	} Dhubri 又は Jagioghopa へ 55 ~ 58 km	100,000 m ³	} Rs 55 / m ³
Dudhnath	"			
Tokrabandha	"			
合計			225,000 m ³	

この中最後の Sonamukk, Dudhnath 及び Tokrabandha は夫々採掘者能力1,000,000 m³と見積られている。

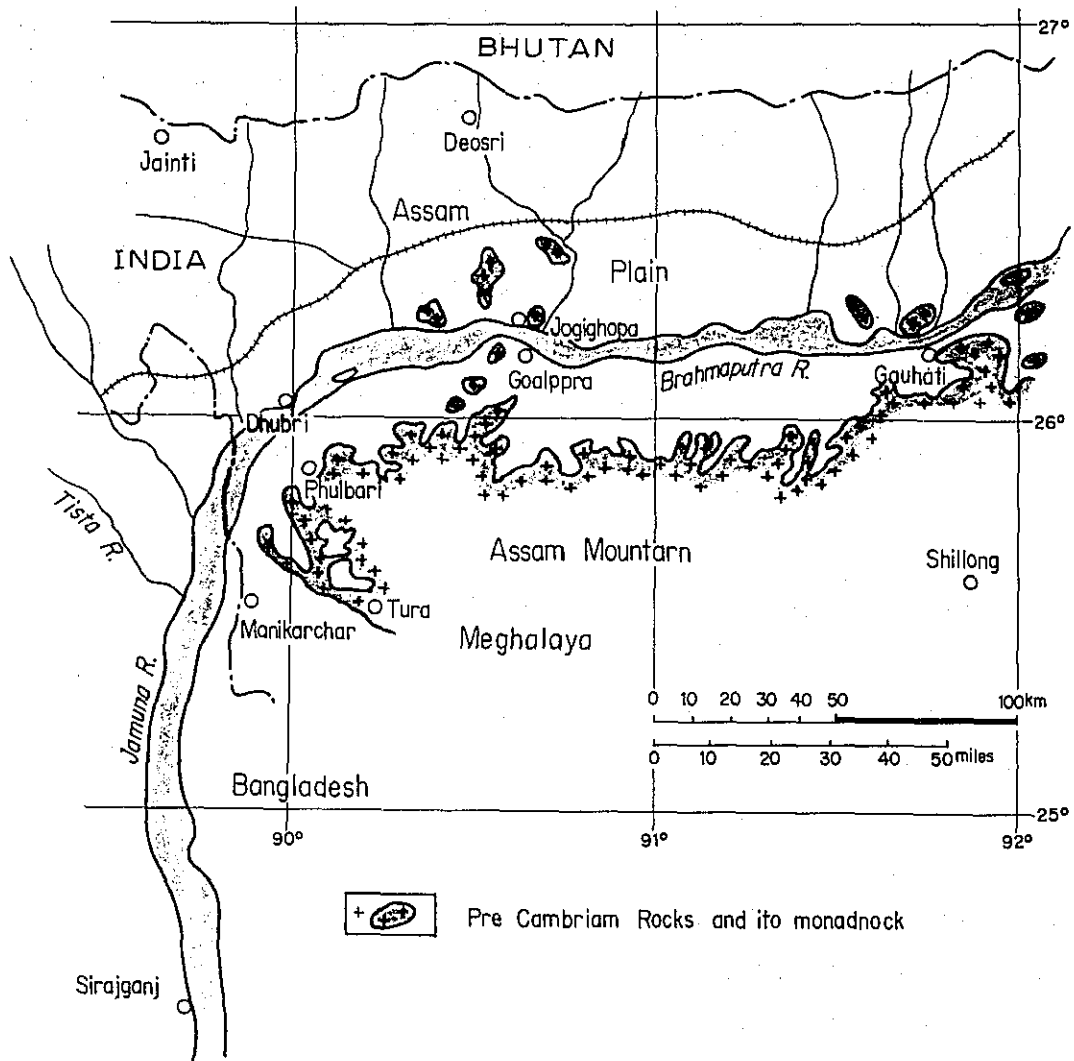


Fig.6 Distribution of Pre - Cambrian Monadnock near Dhubri and Goalpara Districts, Assam State, India (Geol. Surv. India, 1962)

採掘は削孔、爆破による露天掘でPWD及びE & D Departmentで運営されている。バラスト生産にはクラッシャーとトロンメルを用い、運搬はトラックで行われている。雨期には生産量がやや制限をうける。

ブルドーザー、ローダー、トラック等の重機を補充すれば現在の生産量を倍增することは容易であろう。むしろ河港からSirajganjまでの水上輸送が検討されねばならない。

Jagighopa又はDhubriよりSirajganjまでは夫々280km、200kmである。後述する印度領West BengalのDhulianよりSirajganjへの船賃単価Tk0.98/100cft. kmをそのままあてはめると

$$\text{Jagighopa} - \text{Sirajganj} \quad \text{Tk}0.98 \times 280 = \text{Tk}274/100\text{cft}$$

$$\text{Dhubri} - \text{Sirajganj} \quad \text{Tk}0.98 \times 200 = \text{Tk}196/100\text{cft}$$

従ってSirajganj河岸渡し価格は次のようになる。

	Jagighopa 積出	Dhubri 積出
河港 FOB 価格 (利益を含む)	Rs106/100cft*	Rs156/100cft*
船運賃	Tk274/ "	Tk196/ "
積卸し	Tk 50/ "	Tk 50/ "
計	Tk430/ "	Tk402/ "
バングラデシュ政府課税 42%	Tk181/ "	Tk169/ "
	Tk611/ "	Tk571/ "

*) 附近採石の現地平均価格

一方Dhubriから更に50km下流左岸のManikarcharから現在Sirajganjの護岸材料として送られているpitching stoneのCIF価格は次のように報告されている。

採掘運搬費	Tk540/100cft
輸送業者利益	Tk 30/ "
印度政府へのroyalty	Tk100/ "
印度の税金	Tk 30/ "
合計	Tk700/100cft

今仮りに1,000屯/日即ち25,000屯/月の原石を輸送するのに4隻のバージと1隻のタグボートの一船団で以て1,000屯積載すると仮定すると

$$\frac{25,000}{\frac{30}{13} \times 1,000} = 10.8 \text{ 船団} \quad \text{予備} 10\% \text{ とすると } 12 \text{ 船団}$$

即ちタグボート12隻、バージ(250屯積)48隻を必要とする。

2. アッサム州南辺の国境に近い石灰岩

Assam 州南辺の国境線に沿って第三紀暁新世の石灰岩 — シレット石灰岩と呼ばれる

が点在する。国境を挟んでバングラデシュ側と印度側に夫々石灰岩鉱石が稼行されているが、これらは8~20mの厚い表土に被われているので大量な露天掘に適せず、僅にバングラデシュ側のChhatakセメント工場に原料を供給したり、石灰の原料に使うのが精々で一般建設用石材を供給する余力はない。

3. Jaipurhat 石灰岩プロジェクト (Fig. 7, 8 参照)

予ねてから Bogra 地方を中心に実施された広範な物理探査の研究から厚い沖積層の地下に潜在する前第三紀の基礎岩盤の深さの大要が究明された (Fig. 7)。この基礎岩盤の分布が明らかになるとこれを対象とする深部地下資源を開発することが着目されて、この地域に Jamalganj 石炭開発, Jaipurhat 石灰岩開発, 及び Ranipukur 硬岩開発が相次いで計画されている。これら諸計画の中、当面ジャムナ架橋計画に関連のあるものは、石灰岩開発と硬石開発である。

Jamalganj 石炭開発の調査ボーリングに伴って古生代石炭層の上位に良質の石灰岩層を確認した。これは前節に述べた Bholaganj に近い Takerghat の石灰岩と同じシレット石灰岩である。

Jaipurhat は Bogra の西方 25 マイル, Jamalganj 石炭開発の北 5 マイルに位置する。この地に 2 本の試錐を行って地下 600m に石灰岩を確認した。1966 年石炭開発プロジェクトと共にこの石灰岩開発プロジェクトについてもフィージビリティ報告が作られた。それによると地表より 80m の厚さの砂とシルトより成る沖積層と、その下に厚さ 500m 余の第三紀層が在り、その下に略水平層の石灰岩層が確認されている。その厚さ 18m, その内セメント用原料として採掘可能な石灰岩層は 10~12m, 可採鉱量 100×10^6 屯と云われる。生産計画は 10^6 屯/年である。

この石灰岩採掘に伴って出る低品位石灰岩又は石屑を石材として利用することが考えられている。然しかかる大規模の石灰岩開発には生産開始までに 10 年を要する上に、暁新生の石灰岩や砂岩頁岩はその硬度が十分でないと考えられる。且つ石灰岩採掘の副産品としての石材はその供給量が不安定である。従って架橋プロジェクトの石材供給源として適当でない。

4. Ranipukur 硬岩プロジェクト (Fig. 9 参照)

前述した大規模な第 4 紀層下底の基盤調査の結果 Jaipurhat の更に北方の第 4 紀層の最もうすい部分が発見された。そこで 1967 年 Ranipukur 附近に試錐 EDH-7 を掘った結果、沖積層、洪積層併せて 372 呎の下に花崗岩を確認した。その概略柱状図は次の通りである。

0 ~ 372' (113m) 第四紀層

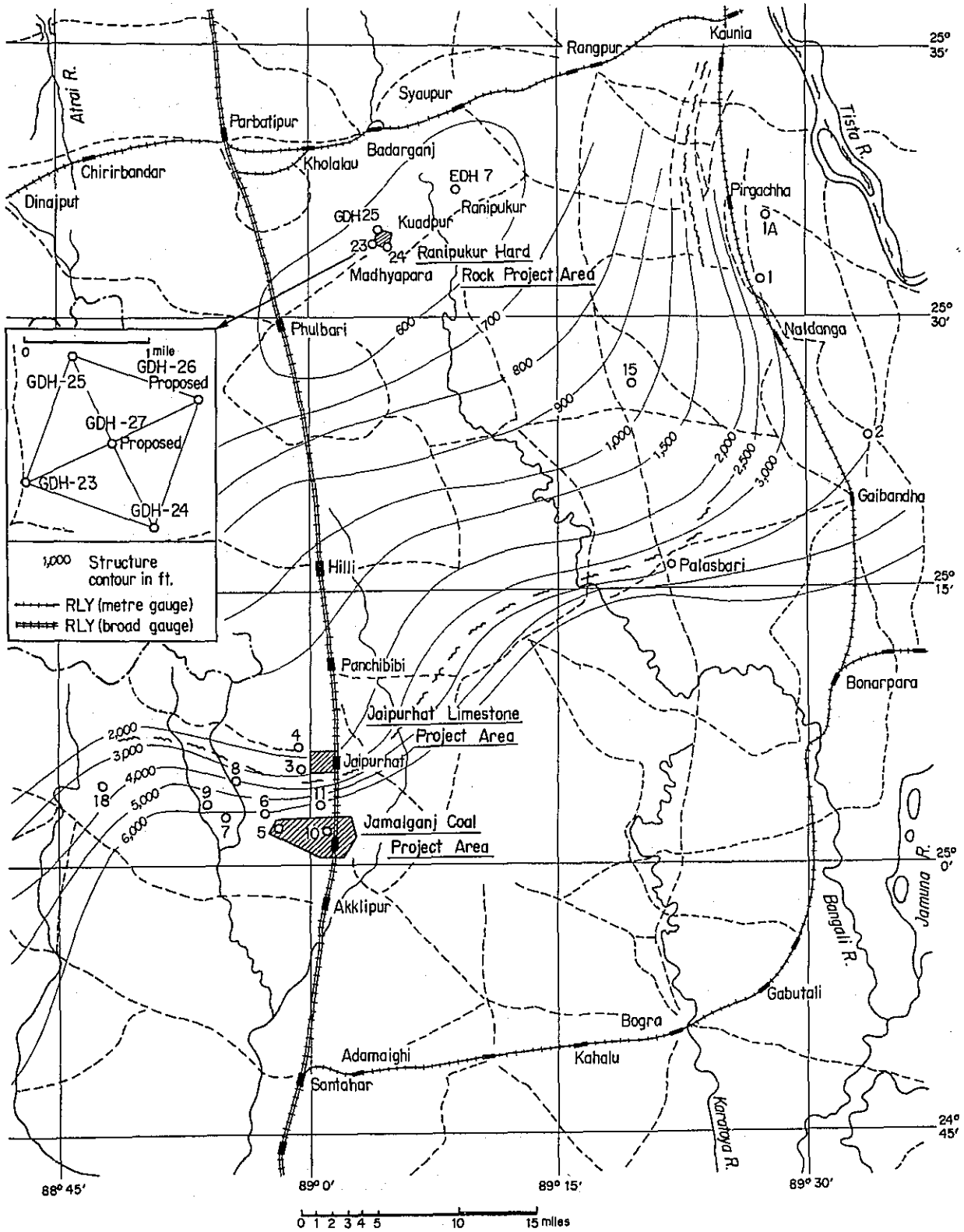


Fig. 8 Structure Contour on the Surface of Archaean Basement Complex in Rangpur, Bogra, Rajshahi Districts, Bangladesh (1969, G.S. of Bangladesh)

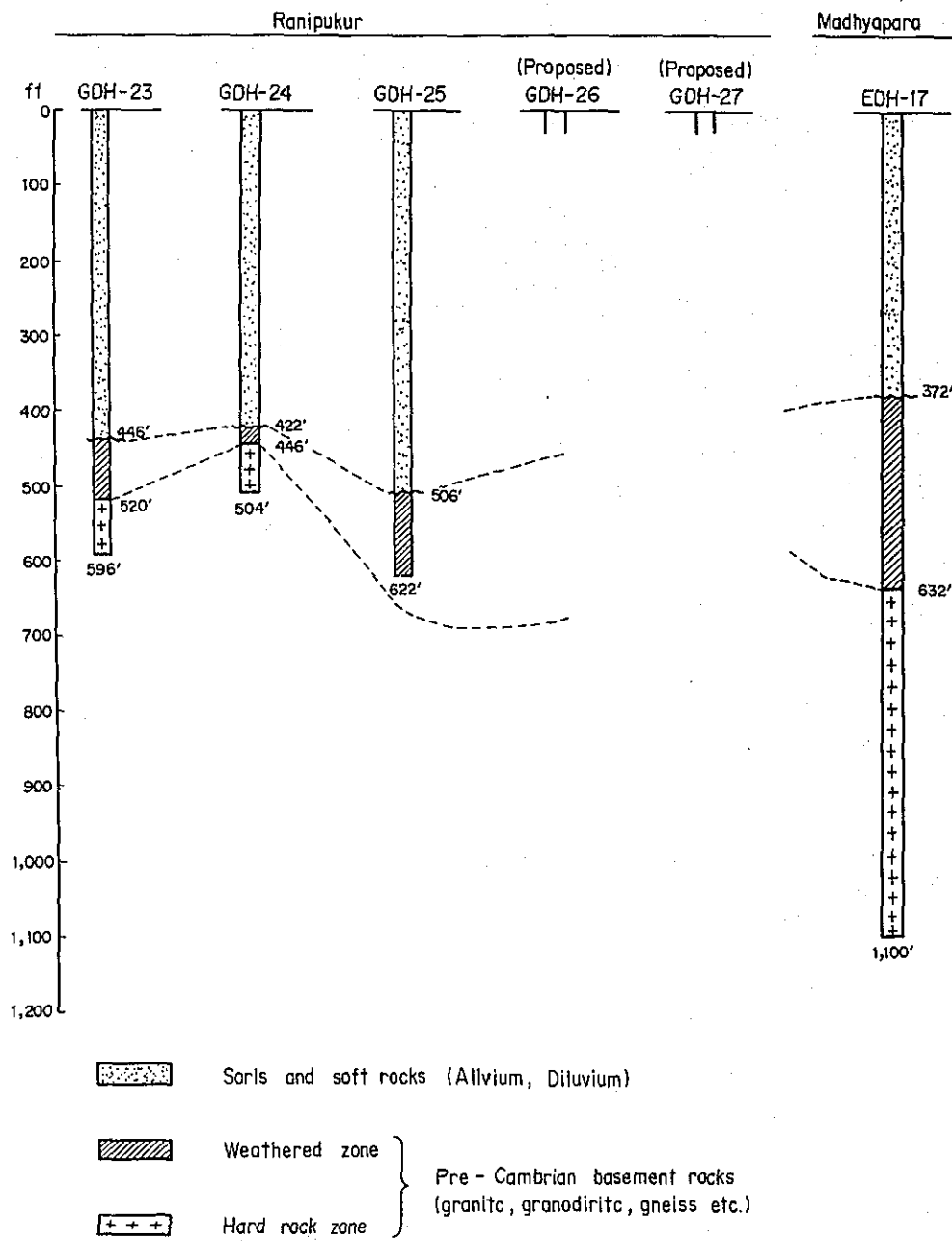


Fig.9 Outline geological logging in the "Ranipukur Hard Rock Project" Area (Compiled by Z.YOSHIDA)

372' ~ 632' (193m) 風化花崗岩

632' ~ 1,100' (335m) 新鮮な花崗岩

次に1970年Ranipukur西南8マイルのMadhyaparaに更に物探を行って1974年GDH-23, GDH-24, GDH-25に試錐を行って図8に示すように夫々520'(158m), 446'(130m), 506'(179m)に新鮮な花崗閃緑岩を確認した。

この岩盤を坑内採掘する計画は、1966年頃からフィージビリティ調査がなされ、初期投資Tk300million, 生産計画1,000屯/月, 原石単価Tk1/cftと予定された。

その後1973年Bangladesh Mineral Exploration and Development Corporationによって新しく計画され、起業費Tk784.89million(その中53%は外貨)日産3,000屯, 原価Tk2/cftと修正された。

この計画を以下に検討する。

条件として第四紀層の厚さ150m基礎岩盤の風化層20m

花崗閃緑岩 比重2.7 起爆比重1.8屯/m³

これに運搬堅坑, 補助堅坑を夫々410m, 360m掘削するとして起業案をたてて検討した。

.....Appendix III

その結果 投資 Tk 506.5 million

生産費 Tk 82.8/屯 or Tk 414/100cft

となった。これをSirajganjまで290kmを鉄道輸送すると

山元生産費 Tk 414/100cft

Tk 350/ "

Tk 50/ "

合計 Tk 814/100cft

但し課税, 利益を含まず。

5. 印度領Rajmahal Hillのtrap rock (Fig. 10参照)

印度亜大陸高原の東北端がGanges平原に接する部分をRajmahal Hillと呼ばれる。1962年の1/2,000,000印度地質図によれば、この地域はPre-Cambrianの岩盤を被ってRajmahal Trap rock(玄武岩熔岩)が東西50km南北130kmに亘って分布する。南北の長軸はBihar州とWest Bengalの州境に沿っている。地形は露岩の多い比高10-20mのゆるやかな台地で州境から東に向かってゆるやかに傾斜している。熔岩台地によくみられるように土中の水の保有率が悪く凹地に水田が散点するだけで大部分は草原である。

このtrap rock地域の東縁にはCalcutta-Burdwan-Rajmahal-Patnaを結ぶ広軌鉄道が通じている。このtrap rockを対象に昔から多数の採石場が開発されている。

何れも上記鉄道へ5～15kmの距離にある。今回下記の4地区を踏査した(Fig. 11参照)。

Pachami-Hatgacha (West Bengal State)

Nalhati 地区 "

Rajgaon "

Pakur "

広く地表を被う trap rock は風化深度が比較的浅く、大部分が3m以内である。且つ岩体には柱状節理がよく発達し採掘に便利である。年間雨量は1,200～1,300^{mm}/m程度で温暖な気候である。これらの諸条件は露天掘採掘に好都合な条件である。現在は破碎設備とトラック輸送以外の機械設備は殆んど使われず人力の部分が多い。多少の重機設備を導入すれば増産は容易である。

5.1. Pachami-Hatgacha 地区の採石場 (Fig. 12参照)

位置はSuri市の北26kmの州境に近くMallarpur駅の西16kmにある。鉄道はMallarpur駅よりHowrah駅(Calcutta市)まで194km。

この地区には現在24の小規模採石場が稼動し、合計年産100,000tonを産出している。1975年中には更に新規開業26ヶ所を加えて50ヶ所から、年産200,000tonを産出の予定である。

各採石場は何れも小規模の設備でサク岩機と1～2台の破碎設備以外はほとんど人力稼行で、生産品をMallarpur駅からCalcuttaに出荷する。

採石場の風化表土の厚さは、丘の高みの部分で0.3m～2.0m、中腹スロープで1.5m～3.0m、最大6.0mである。数年前から地質調査が行われて、石材採掘可能地域は25km²に及び、表土0～2.0の下に厚さ20m～150mの玄武岩熔岩が分布することが確認された。埋蔵量は $2,500 \times 10^6 \text{ cuft} = 70 \times 10^6 \text{ m}^3$ と見積られている。そこでWest Bengal Mineral Development and Trading Corporationがこれら群小採石場を統合し、11Kvの電力線を引き込んで採掘設備を近代化しMallarpur駅まで16kmの石材専用軌道を敷設し、1978年には年産1,350,000屯の増産を計画し、すでに準備に入っている。採掘切羽の区画割を図12に示す。この設備近代化により、現在的人力採掘の可採深度10mを倍加して、上記の増産計画は実現可能であろう。

鉄道運賃：Mallarpur-Calcutta 194km：Rs90/100cuft

5.2. Nalhati 採石場

Nalhati駅の西方7～8km、州境までのゆるやかな波状丘陵に分布するトラップを採掘している。石材専用軌道が採石場と駅を結んでいる。採石はこれによって運ばれ、駅前の破碎工場(処理能力100t/日)により処理される。生産比率の実績は

$1 \frac{1}{4}$	1"	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	ダスト
30%	30%	15%	10%	10%	5%

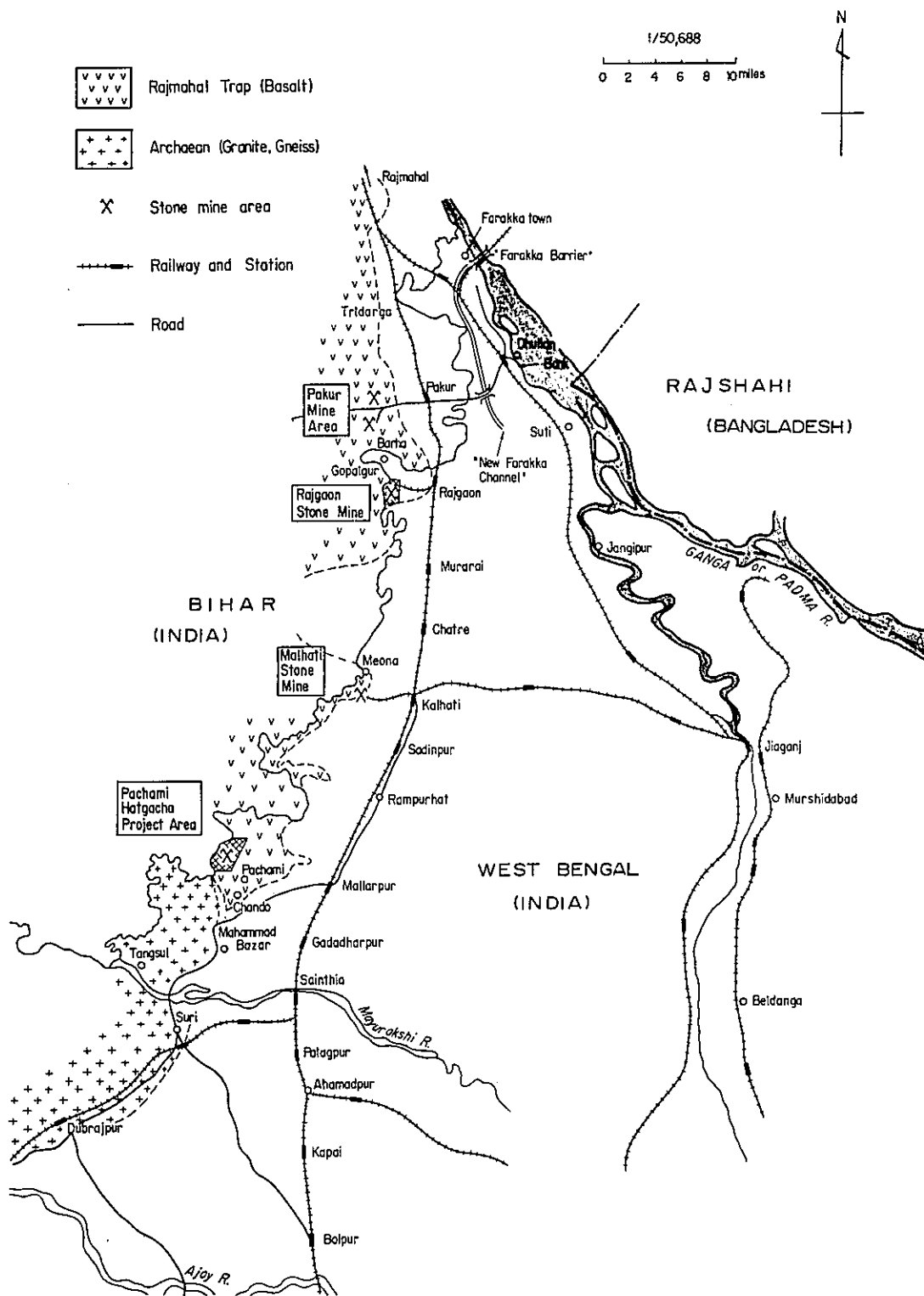


Fig.11 Geological Map of Dt. Birbhum (St. West Bengal) and Dt. Santal Parganas (St. Bihar), India

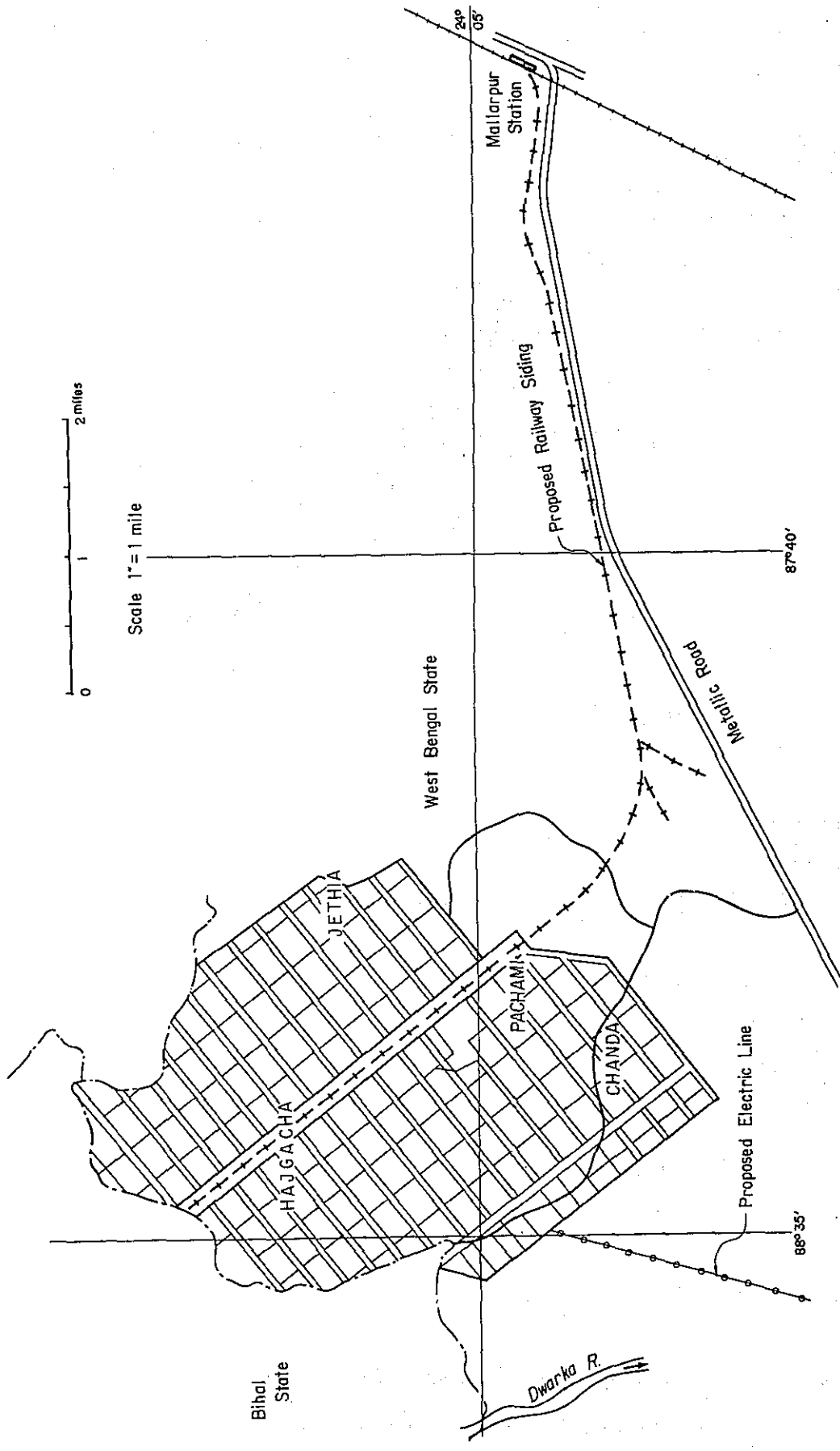


Fig.12 Map Showing Position of Pachami - Hatgacha Project
 West Bengal Mineral Development & Trading Corporation Ltd. (1974)

5.3. Rajgaon 地区採石場

Rajgaon 駅の西方 5 km。この地区に Rajgaon Stone Mining Co. が "Gopalpur Stone Mine" を 1914 年に開いたのが始まりである。専用軌道 5 km で駅に結ばれている。覆土の厚さ平均 2.0 m ~ 2.5 m である。柱状節理間隔 30 ~ 40 cm で節理に沿って割れ易い。生産能力 200 ~ 300 屯/日

$1 \frac{1}{4}$ "	1"	$\frac{3}{4}$ "	$\frac{1}{2}$ "	$\frac{1}{4}$ "	ダスト
15%	22%	22%	18%	15%	8%

採掘費：Rs 1.25/cft

鉄道運賃：Rajgaon-Calcutta 249 km Rs 105/100cft

5.4. Pakur 地区採石場

Pakur 駅西方 8 - 13 km の範囲に大小 80 余の採石場あり。合計年産量 1.2×10^6 tons.

生産地と駅の間には 5 km の専用軌道 2 本の他に国道も通じているので搬出の便がよい。代表的な大きい砕石場は二つある。

i) Black stone production Ltd. 所有の "Pakur Stone Mine"

サク岩と破碎の設備をもち、採掘深度 10 ~ 12 m。需要に応じ one-man-stone も生産する。その規格は平均 33 kg である。

Pakur-Dhulian (ガンジス河右岸の河港) : 20 km, 運賃 Rs 2.25/km \times 20 = Rs 45/100cft

鉄道：Pakur-Calcutta (259 km) : Rs 107/100cft

労働賃金：熟練工 Rs 15 ~ 40

未熟練工 Rs 5 ~ 10

側線貨車積込費：Rs 10/100cft

パーツ積込費：Rs 40 ~ 50/100cft

ii) Pakur Quarries Private Ltd. 所有の "Pakur Stone Mine" (Fig. 13 参照)

この地区で最も古く開発された採石場で、現在生産実績は 25,000 屯/月。

周辺地区の全採石場の運搬設備を整備すれば、バラストとチップを併せて 250,000 屯/月、one-man-stone を 25,000 屯/月増産供給可能である。出荷は Dhulian の河港にも、Pakur 駅にも出せる (図参照) が、市街地と鉄道及び橋梁を横切るので輸送能力が著しく制限される。河港 Dhulian への輸送は 1,000 屯/月が最大局限である。

石材の価格は

a) FOB Dhulian (ガンジス河港)

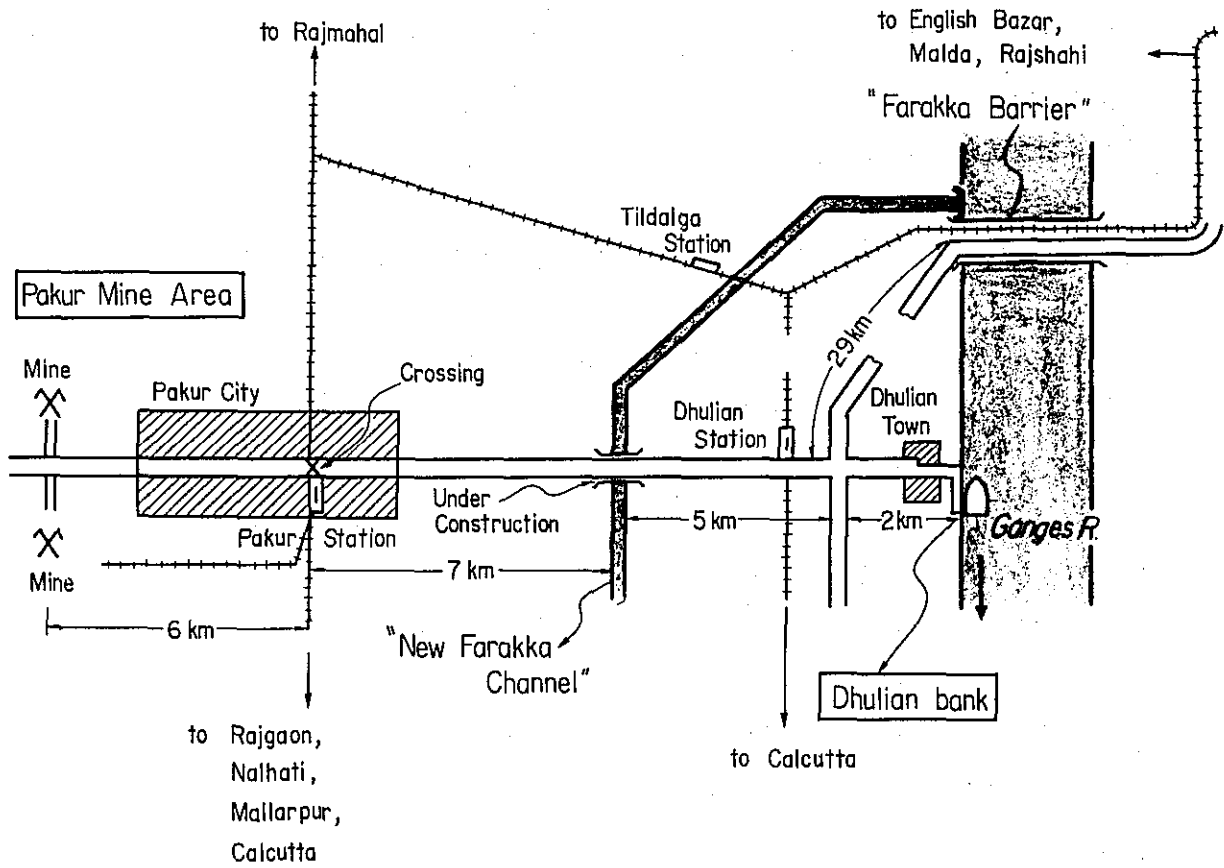


Fig.13 Outline map of road and railway between Pakur Main area and Dhulian Bank (Ganges River Side)

one-man-stone Rs 200/100cft

バラスト及びチップ Rs 225/ "

b) FOR Benapole (Jessore-Calcutta 鉄道の国境駅)

one-man-stone Rs 275/100cft

バラスト及びチップ Rs 300/ "

1972年 Dhulian よりバージでバングラデシュの Rajshahi (Hardinge Bridge site) に輸出された実績は 5,000 屯である。

5.5. Rajmahal 地域産石材の鉄道輸送

以上述べたように Rajmahal Hill 地域には 100 に余る採石場があるが、これら群小採石場の生産する石材をジャムナ架橋に大量供給する鉄道輸送には北廻りと南廻りの二つのルートがある。

a) 北廻り

最寄り駅→Farakka Barrier→English Bazar→Malda→Mochia (印度側) —国境— (バングラデシュ側) Rohanpur→Rajshahi→Sirajganj

b) 南廻り

最寄り駅→Bordwan→Chinsura→Naihati (印度側) —国境— (バングラデシュ側) Chuadanga→Hardinge Bridge→Sirajganj

後者の南廻りルートについてはすでに印度、バングラデシュ両政府間に鉄道輸送協定がある。

北廻りルートは近年完成した Farakka Barrage の上に鉄道と道路が併設されたのでこれを利用する。印度国境の Mochia までの広軌鉄道も完成した。バングラデシュ側では Amnura-Nachol-Rohanpur 間の狭軌を広軌に改める工事が完成に近い。今後両国間の輸送協定が結ばれることになっている。

南廻りルートは北廻りに比して距離が遠いばかりでなく、印度国内の主要物資の輸送がすでに過密状態に在り、大量の石材輸送をこのルートに入れることは、鉄道の大改良を必要とする。

北廻りは新規開通であり、且つ物資の移動も緩慢で石材の大量輸送を組入れるのに、大きい支障はない。又距離の短いことは輸送列車の運行廻転も早くなる。然し尚重量貨車運行のためには路床、橋梁の補強整備は勿論必要であろう。

仮りに印度側鉄道の現況を基にして判断すると

北廻りルートには 1 日 3～5 専用列車

南廻りルート 1 日 1 専用列車

貨物列車 50～60 輛編成 (30 屯車) とすれば一列車輸送能力 1,500～2,000 屯。

依て北廻りには少くとも 4,500 屯/日、南廻りで 1,500 屯/日、計 6,000 屯/日の搬

出が可能である。要はバングラデシュ領内の鉄道輸送能力に制約される。

バングラデシュ鉄道の現有貨車は広軌で17～27吨、狭軌で13～20吨である。安全をみて15吨貨車40輛で一列車とすると600吨/列車。

現行の鉄道運転状況から判断すると、石材専用列車がSirajganjに入るのは1日5列車とみて、輸送能力3,000吨/日となる。勿論これに必要な機関車貨車の新配置が必要である。

5.6. Rajmahal 地域産石材の水上輸送

この地区の石材は又ガンジス河港 Dhulian に集めて水上輸送によって出荷することも出来る。印度側とバングラデシュ側に夫々大量の水上輸送を扱う機関がある。

a) 印度の The Central Inland Water Transportation Corporation Ltd. は、カルカッタを中心にバングラデシュ領内及びアッサム州の各地元の航運を営む機関である。このCIWTから水上輸送に関する情報を得ることが出来た。

現行のバージ輸送は1,000～1,200HPのpaddle tug boatが600吨積のbarge 2隻を曳航し、tug boat自体にも200吨を積むので

$$1 \text{ 船団の輸送力は } 600 \text{ 吨} \times 2 + 200 \text{ 吨} = 1,400 \text{ 吨}$$

この船団は年間洪水期の3ヶ月を除いてDhulian-Sirajganj間を1ヶ月2往復出来るので

$$1 \text{ 船団の輸送力は } 1,400 \text{ 吨} \times 2 \times 9 \text{ ヶ月} = 25,200 \text{ 吨/年}$$

20船団を用意すれば、年間500,000吨を運ぶことが出来る。但し20船団を用意するには莫大な初期投資(Tk80～100million)を必要とする(現有船はtug boat 11隻、flat & barge 32隻)

上記CIWTCの運賃見積:

$$\text{Dhulian-Sirajganj 水上 } 224 \text{ miles} = 361 \text{ km}$$

$$\text{現行運賃単価} = \text{Rs } 0.08 / \text{ton km}$$

これに20%のsurcharge(一種の賦課金)と帰航の空荷のため2倍すると

$$\text{Rs } 0.08 \times 1.2 \times 2 = \text{Rs } 0.192 / \text{ton km}$$

$$\text{距離 } 361 \text{ km で Rs } 69.3 / \text{ton Sirajganj 着}$$

b) BangladeshのGreen & White Ltd. は国内最大の水上輸送会社であるが、同社から得た情報を検討すると次のようになる。

この会社はtug 4隻とバージ16隻を保有し、1隻のtugで4隻のbargeを曳いて船団を作るが、雨期3ヶ月は2隻のbargeを曳く。DhulianよりSirajganj間6日を要し一往復12日、1ヶ月2往復である。

$$1 \text{ 船団 } 1 \text{ ヶ月運搬能力: } 250 \text{ 吨} \times 4 \text{ 隻} \times 2 \text{ 回} = 2,000 \text{ 吨}$$

但し洪水期3ヶ月は運搬量半減するので

1 船団 1 年間能力：2,000 屯×9 月+1,000 屯×3 月=21,000 屯

(月平均 1,750 屯)

一方石材産地 Pakur より Dhulian までの陸上トラック輸送能力は 1,000 屯/月、
1 ヶ月 25,000 屯。

これを全部運ぶには、25,000 屯/1,750 屯=15 船団を必要とする。この数字は当
社の現有 4 船団に比し、余りにも大きく莫大な新船団を準備しなければ全量を輸送出
来ないことは、前項 CIWTC の場合と同じである。

運賃については

Dhulian 積出し Rajshahi 河岸渡し rock boulder : Tk 519/100cft, Tk
100/屯。新しく Sirajgang 河岸渡しを見積ると Tk 856/100cft, Tk 170/屯。

内訳

Dhulian FOB Rock boulder : Tk 200/100cft

Dhulian-Sirajganj 運賃 Tk 353/100cft

利益 Tk 50/100cft

小計 Tk 603/100cft

Bangladesh 課税 (Sale tax 22%, import licence fee : 20%)

Tk 253/100cft

合計 Tk 856/100cft

上記の運賃 Tk 353/100cft を距離 361km で割って逆算すると船賃単価は Tk
0.98/100cft・km = Tk 0.196/ton・km となり、前項 CIWTC の単価 Tk
0.192/ton・km に略一致する。

第 5 章 工事用石材の Sirajganj 集積

前章までに各石材産地の現況を述べ、その生産物を現状の施設を以て箇々に出荷する輸送費の情報と試算を示した。然しこれらの石材供給を現実の架橋工事の施工に直結するためには、工事工程に合わせて総量 300 万立米の石材を所定の時期に現地に集荷するための組織的な計画輸送をしなければならない。各産地の地方条件により生産能力輸送手段におのずから制限があるのでかような大量の石材を単一の生産地だけで賄うことは困難であり又安定した供給を計る上に得策ではない。又すでに生産実績を持つ印度の Rajmahal やバングラदेश領内の Bholaganj の如きは従来の生産実績の枠外にジャムナ架橋用の需要を満たさねばならない。

そこで調査結果に基いて、この計画輸送に十分見合う有力な供給地を次のように選定し、これを水上輸送と鉄道輸送により夫々 Sirajganj に運ぶ案をたてた。施工側の要請により水上輸送分は左岸側に、鉄道輸送分は右岸側に夫々半分宛集積することにする。

バングラदेश領内

ボラガンジー砂利	水上輸送	102,000 屯/年
ラニブクール硬岩プロジェクト	鉄道輸送	180,000 屯/年

印度領内

	Dhulian 河港より水上輸送	378,000 屯/年
ラジマハール・トラップ・ロック	Pakur 駅より鉄道輸送	720,000 屯/年
アッサム州ブラマプトラ河岸	水上輸送	
Manikarchar		163,000 屯/年
Dhubri		142,000 "
Jagioghopa		125,000 "

計 1,810,000 屯/年

1. 輸送計画の条件

- 1) 工事必要量 3,000,000 立米 (5,400,000 屯) を工事工程を勘案して 3 年間に集積する (年間平均 1,800,000 屯/年)。
- 2) 供給可能地を前記数ヶ所に分散し各地能力に応じて出荷する量を仮定する。
- 3) 水上輸送と鉄道輸送で需要量の略半分宛に分ける。
- 4) 所要の輸送量はこの国の現在の貨物輸送に比し極めて大きいので輸送に必要な設備は全量新規購入とする。
- 5) その為の機関車と貨車の購入費はバングラ国鉄当局より得た価格で購入するものと

する。これらの運行期間中の修繕管理費は現地で情報が得られなかったので日本国鉄の実績を参照して、1/2の費用を計上した。それは日本での稼働時間の荷酷さと人件費の高さを考慮したものである。終着駅での引込線、操車場、荷卸設備は概略\$0.3 millionと見込んでこれを3年間の集積量で割ってTK2/屯を賦課した。

水上輸送でも同様、新規購入のタグボードとバージの購入費に対し年間償却費を出してこれに修繕管理費、運転費を加えて運賃とした。

2. 運賃計算

2.1. 鉄道輸送

列車編成 40t貨車×30輛=1,200屯/列車

ディーゼル機関車 TK5million, 12年償却…TK417,000/年

貨車 TK0.23million, 10年償却…TK23,000/年

一列車償却費 TK417,000+TK23,000×30=TK1,107,000/年

年間修繕管理費(日本の実績1/2)

ディーゼル機関車(¥4,500,000)=TK204,000/年

貨車(¥200,000)×30=TK9,100×30=TK273,000

一列車修繕管理 TK204,000+TK273,000=TK477,000/年

燃料 0.21/HP Hr, TK1.0/1 *TK0.2/HP. Hr

燃料以外の消耗品を30%みこむとTK0.26/HP. Hr, TK260/1,000HP. Hr

以上の金額は各ルート運行による運搬屯数で割って屯当り費用を出す。

2.2. 水上輸送

船団編成 タグボード1隻+バージ2隻

積載量 200屯+2×600屯=1,400屯/船団

タグボード(1,000HP) TK6.8million 14年償却TK486,000/年

バージ TK2.3million×2 12年償却TK383,000/年

一船団年間償却 TK486,000+TK383,000=TK869,000/年

一船団年間修理管理 TK204,000/2=TK102,000/年

燃料消費 TK260/1,000HP. Hr

労務費 タグボード船員+バージ水夫賃金=TK500/日

以上の基礎数字を用いて各生産地よりSirajganjに集積される石材の価格を算定して示すと次の二つの表の如くなる。

Table 1. Transportation Cost from Quarry to the Project Site

Railway transportation		Pakur Station - Sirajganj Station	Ranipukur Station - Sirajganj Station
Distance		300 Km	240 Km
Annual Shipment		1,200 t × 2 trains × 300 days = 720,000 t (2,400 t/day)	1,200 t × 1/2 train × 300 day = 180,000 t (600 t/day)
One traffic cycle		4 days	4 days
Number of train		2 train/day; * 8 train	1/2 train/day * 2 train
Depreciation cost		Tk 1,107,000 × 8/720,000 t = Tk 12.3/ton	Tk 1,107,000 × 2/180,000 = Tk 12.3/t
Maintenance cost		Tk 477,000 × 8/720,000 t = Tk 5.3/ton	Tk 477,000 × 2/180,000 = Tk 5.3/t
Fuel		Tk 260 × 15 Hr × 2/1,200 t = Tk 6.5/t	Tk 260 × 12 Hr × 2/1,200 t = Tk 5.2/t
Wages		Tk 100 × 4/1,200 t = Tk 0.33/t	Tk 100 × 4/1,200 t = Tk 0.33
Charge at marshall yard		Tk 20/t	Tk 2.0/t
Freight Cost		Tk 26.4/t	Tk 25.1/t
Waterway transportation			
	Dhulian on the Ganges	Bholaganj in Sylhet District	Manikchar on the upper Jamuna
	300 Km	470 Km	140 Km
	260 × 34 Hr × 2/1,400 = Tk 12.6/t	1,400 t × 2 × 9 m 15 feet = 378,000 t	200 Km
Distance			260 Km
Annual shipment		(1,400 t × 2.7 × 9 × 3) = 102,060 t	(1,400 × 3.75 × 9 × 3) = 141,750 t
Navigation cycle	15 days, twice a month	11 days 2.7 times a month	8 days 3.75 times a month
Number of fleet	15 fleets	3 fleets	3 fleets
Depreciation	Tk 869,000 × 15/378,000 = Tk 34.5/t	Tk 869,000 × 3/102,060 = Tk 25.5/t	Tk 869,000 × 3/141,750 = Tk 18.4/t
Maintenance cost	Tk 102,000 × 15 = Tk 4.0/t	Tk 102,000 × 3 = Tk 3.0/t	Tk 102,000 × 3 = Tk 2.2/t
Fuel	Tk 260 × 34 Hr × 2/1,400 = Tk 12.6/t	Tk 60 × 58 Hr × 2/1,400 = Tk 21.5/t	Tk 260 × 15 Hr × 2/1,400 = Tk 5.6/t
Wages	Tk 500 × 15 day/1,400 = Tk 5.4/t	Tk 500 × 11/1,400 = Tk 3.9/t	Tk 500 × 8 day/1,400 = Tk 2.9/t
Freight Cost	Tk 56.5/t = Tk 283/100 cu.ft	Tk 54.0/t = Tk 270/100 cu.ft	Tk 32.0/t = Tk 160/100 cu.ft
			Tk 37.7/t = Tk 189/100 cu.ft

Table 2 Price of Stone Material delivered at Bridge Site

	Dhulian on the Ganges	Bholaganj Sylhet Dist.	Manikarchar Upper Jamuna	Dhubri Upper Jamuna	Jagioghopa Upper Jamuna	Sub-total	Pakur West Bengal	Total
Annual shipment	378,000 t	102,060 t	162,540 t	141,750 t	124,740 t	909,090 t	720,000 t	1,629,090 t
Price at a station or port (100 cu.ft.)	(Rs.200) Tk312	Tk300	(Old Tk250) Tk390	(Rs.156) Tk243	(Rs.106) Tk165		(Rs.150) Tk234	
" (Tk/ton)	Tk62.4	Tk 60	Tk 78	Tk48.6	Tk 33		Tk46.8	
Freight (Tk/100 cu.ft.)	Tk283.0	Tk270.0	Tk130.0	Tk160.0	Tk189.0		Tk132	
(Tk/ton)	Tk56.5	Tk54.0	Tk26.0	Tk32.0	Tk37.7		Tk26.4	
Loading and (Tk/100 cu.ft.)	Tk 50	Tk50.0	Tk 50	Tk32.0	Tk37.7		Tk26.4	
Unloading (Tk/ton)								
Price of (Tk/100 cu.ft.)	Tk64.5	Tk620	Tk570	Tk453	Tk404		Tk391	
stone (Tk/ton)	Tk129	Tk124	Tk114	Tk90.6	Tk80.8		Tk78.2	
Total amount	Tk 48,762,000	Tk12,655,440	Tk19,000,900	Tk13,367,000	Tk10,078,992	Tk102,868,542	Tk56,304,000	Tk159,192,542

$$\frac{\text{Tk}159,172,542}{909,090 \text{ t} + 720,000 \text{ t}} = \text{Tk}97.7/\text{ton}$$

$$= \text{Tk}488.5/100 \text{ cu.ft.}$$

or $\text{Tk}175.86/\text{m}^3$

第 6 章 結 論

1. 石材調達の基本問題

ジャムナ架橋計画のための所要石材の調達には次のような特殊な天然条件がある。

1) ジャムナ河は世界でも有数の流量をもつ大河である上に河状が極めて特異な乱流河川である。そこでこれに架ける橋梁は非常に長大なものになる上に大規模な護岸工事を必要とする。

橋脚と護岸に使用する石材は三百万立米に達し、しかもこれを工事の工程に合わせて3～4年の期間中に調達しなければならない。

2) ジャムナ河は広大なベンガル平野の中心を南北に貫流しているため、その周辺には石材を供給する山地がない。

3) 計画工事に用うるに足る硬質石材となるのは第三紀以前の右期岩層又はトラップ岩でなければならない。地形、地質の構造からかような地質はバングラディッシュ領内には殆んど露出せず印度領からネパール、シッキム、ブータンにかけてのみ発達している。

4) 従って石材の原産地と使用地点である架橋地点まで長距離(140km～300km)の輸送を必要とし、その費用を加えると石材価格は著しく高いものになる。

2. 石材供給可能性

バングラディッシュ国内は勿論、隣接する印度領内にも亘って、多くの石材産地を調べた結果、ジャムナ架橋計画に供給出来る主要な供給地域は次の4箇である。

Bangladesh 領内

ボラガンジー砂礫層

ラニブクール硬岩プロジェクト(地下採掘)

印度領内

ラヂマハールのトラップ・ロック

アッサム州ブラマブートラ河岸

この4産地の内、生産能力はラヂマハール地域が最も大きく、アッサム州のものがこれに次ぐ。ボラガンジーは従来Bangladesh 国内の唯一の大生産地である。ラニブクールは数年前に発見されて地下採掘の計画が採り上げられたばかりのもので現在未だ開発に着手されていない。

これら生産地の生産能力、輸送能力を調べるとただ一箇所だけで所要の石材量を安定的に供給出来るものはない。四箇所の生産地を併せ利用し鉄道、水上の両輸送を併用しなければ所要量を集めることは出来ない。

一応各地の条件下で生産，輸送の能力を検討すると次の如くなる。

ボラガンジー砂礫層

ラニブクール硬岩プロジェクト

ラジマハール・トラップ・ロック

Dhulian 河港より水上輸送 378,000 吨／年

Pakur 駅より鉄道輸送 720,000 吨／年

アッサム州ブラマブトラ河岸の三河港より水上輸送 430,000 吨／年

計 1,810,000 吨／年

これを3ケ年に亘って輸送集積すると5,430,000 吨 = 3,000,000 立米の所要量を達成出来る。

これらの輸送には新しく40 吨貨車30 輛の列車を10 列車と2 隻のバージを曳くタッグボートの船団を27 船団，新規購入しなければならない。

3. 石材の着地価格

前項の条件で輸送費を算出し着地価格を見積ると各産地別にかなりの違った着地価格が出てTK3.9/cuft からTK6.7/cuft の範囲に入るが全量を併せた総合価格にするとTK5.07/cuft となる。

参 考 资 料

- Amil Baran Roy (1964): "Gravel Deposits of Patgram, Thame, Rangpur District", East Pakistan Information No.18.
- A.F.M. Mohsenul Haque (1962): "Construction materials in East Pakistan" Symposium on "Industrial Rocks and Minerals"
- Geological Survey of India (1962): "Geological Map of India" 1/2,000,000
- Electrical Foreman Bholaganj Ropeway (1973):
"Report on Bholaganj Ropeway Project"
- Fried Krupp Rohstoffe (1966): "Jaipurhat Limestone Project, Development and Mining Scheme Feasibility (Summery)"
- Fried Krupp Rohstoffe (1966):
"Jamalganj Coal Project Development and Mining Scheme Feasibility"
- Powell Duhryn Technical Services Ltd. (1969):
"Assessment of the Feasibility Report for the Exploitation of the Jaipurhat Limestone"
- Powell Duhryn Technical Services Ltd. (1969)
"Assessment of the Feasibility Report for the Exploitation of the Jamarganj Coal"
- Geological Survey of India (1973):
"Geological and Mineral Map of Arunacha, Pradesh, Assam, Manipur, Maghalaya, Mizoram, Nagaland and Tripura"
- M. R. Chaudhuri (1971): "The Industrial Landscape of West Bengal"
- West Bengal Mineral Development and Trading Corporation Ltd. (1974):
"Pachami-Hatgacha Stone Project"
- Ministry of External Affairs of India (1975):
"Information on Rock Material in Assam for the Jamuna Bridge Project"
- The Government of the Peoples Republic of Bangladesh (1944):
"Bangladesh Transport Survey"

APPENDIX I Bholaganj Grovel Depositsの採取可能量計算

条件 確認される現河川敷内の堆積砂礫のみを対象とした。

簡易測量による平面図 (Fig. 2) を基とした。

破碎, 搬出等の諸施設を配置する地区を採掘禁止区域として埋蔵量から除外した。

粒度分布は観察による概数値を仮定した。破碎後の粒度分布は一般の破碎プラントの実績を基にして仮定した。

堆積の厚さは一部に14m以上を確認したが, バックホウによる採掘深度を乾期水面下6mと仮定したので, 可採量は深さ6mまで計算した。

測量誤差安全率を0.8, 採掘実収率を0.8と仮定した。

	A地区	B地区	C地区	計
分布面積	469,000 m ²	1,993,800 m ²	377,400 m ²	2,840,200 m ²

A地区を採掘禁止区として除外し, B, C区について採掘深度6m, 安全率と実収率を夫々0.8とすると

$$(1,993,800 \text{ m}^2 + 377,400 \text{ m}^2) \times 6 \text{ m} \times 0.8 \times 0.8 = 9,105,408 \text{ m}^3$$

粒度別採取可能埋蔵量

粒 別	B 地 区		C 地 区		計	
	比率	採掘可能量	比率	採掘可能量	比率	採掘可能量
9"以上	4.3%	328,205			3.6%	328,205 m ³
9"~4"	20.6	1,552,218			17.1	1,555,218
4" 3/16	35.4	2,710,292	20%	289,843 m ³	32.9	3,000,135
小 計	60.0	4,593,715			53.6	4,883,558
3/16以下	40.0	3,062,477	80%	1,159,373	46.4	4,221,850
		7,656,192		1,449,216		9,105,408

上期の中φ9"以上をPitching stone用としφ9"~4"を破碎機にかけてバラストと砂を作るとすると, その破碎生産量を次のように推定する。

粒 別	比 率	破碎生産量
4"~3/16"	95%	1,477,457
3/16"以下	5%	77,761
計		1,555,218

上記二つの表をまとめて次表の粒度別生産量が期待される。

粒 度 別 生 産 量

9"以上 (Pitching stone)	3.6%	328,205 m ³
4"~3/16" (バラスト)	49.2	4,477,592 m ³

3/16"	(砂)	47.2	4,299,611 m ³
		100.	9,105,408 m ³

APPENDIX II Bholaganj 採石場開発費

単位：千\$

項目	数量	重量	F.O.B.	運賃 手数	保険 数量	バン グ ラ デ シ ュ エ 国内輸送	組立据付 基礎工事	合計
採掘機械		190	560.0	96	23			679
1.2m ³ バックホウ	3	150	420.0	56	18			494 digging clepth 7.0m
D-7ブルドーザー	2	40	140.0	40	5			185 183HP, 20 ton
運搬機械		127	388	105	15			508
23m ³ ホイールローダー	2	25	88	25	3			116 124 ton
18屯ダンプトラック	6	102	300	80	12			392 230HP,
選鉱設備		523	1045	281	62		535	1,923
固定グリズリー	1	18	28	8	2			38 5m×5m×2, 開き9"
貯石ホッパー	2	120	190	50	14			254 10m×15m×3m×2, 500 ton×2
振動フィーダー	1	5	17	5	1			23 1840×2440 ^m / _m , 11KW
振動スクリーン	2	18	50	10	2			62 2130×6100 ^m / _m 2床式, 30KW 2130×4880 ^m / _m 2床式, 15KW
コーンクラッシャー	1	38	130	38	5			173 1260 ^m / _m ハイドロコーン 110KW
ベルトコンベアー	400 ^m	240	460	120	28			608 750 ^m / _m , 600 ^m / _m \$ 100/m×15%
シュート, 架台等		64	100	30	8			138
その他		20	70	20	2			92
据付工事							120	120 貯石ホッパーを除く機械屯数×\$ 300
基礎工事							400	400 m ² =機械屯数×5 \$ 200/m ²
電気設備			300	85	4		45	434
250KW ^{ディーゼル} 発電機	3	30	300	85	4			389
据付工事							9	9 機械屯数×\$ 300
基礎工事							36	36 m ² =機械屯数×6 \$ 200/m ²
修理工場			60	18	2.4		17	97.4
建家備品		20 ^屯	60	18	2.4			80.4
工事費							17	17
道路及び整地							25	25
関連施設		40	170	50	5		100	325
索道修理			170	50	5		170	395
施工管理			270					270
その他			300	100	6		170	576
予備費			1000					1000
合計			4263.	785	122.4		1062	6232.4

補助堅坑費	75.0	360m 開削費 47.2, 巻上設備 222, 排気設備
(2) 採掘準備坑費	19.4	
坑道費	6.9	坑道全長 4260m, 切上り 200m, その他掘さく 2,000 m ³
機械設備	12.5	削岩, 運搬, 排水等の機械
(3) 処理機械費	27.8	地上に設備する破碎, 篩分設備
(4) 附属設備費	83.3	修理工場, 電気設備, 倉庫, 火薬庫, 給水設備, 居住設備
(5) 施工管理費	24.0	Tk 0.3 × 16 人 × 5 年
(6) 諸掛費	4.5	輸送, 通信, 保険, 関税, 手数料
(7) 建設期間中の経費	79.3	
金利	73.8	年利 8% 5 年間(1)~(6)の 1/2
技術教育費その他	5.5	
(8) 小計	448.2	
(9) 予備費	58.3	(8)の 13%
(10) 合計	506.5	
5) 生産費 (製品屯当り)		
採掘費	Tk 13.9	
処理費	4.2	
諸費	5.6	
償却費	59.1	上記開発費償却 10 年金利 8%
合計	Tk 82.8/屯 = Tk 149/m ³ or Tk 414/100 cft	

APPENDIX III 豎坑による Ranipukur 硬岩開発
(Fig. 14, 15, 16, 17, 18 参照)

採石量 4,000 屯/日 $4,000 \text{ 屯} \times 300 = 1,200,000 \text{ 屯/年}$
 $= 667,000 \text{ m}^3/\text{年}$

1) 豎坑

	運搬豎坑	補助豎坑
全長	410m	360m
内至	5m	5m
工法	J.W.S.工法	155m
	S.S. 工法	255m
		155m
		205m

注：J.W.S. Jet well-sinking method : 上部軟弱土質に施工

S.S. Short step method : 風化及び新鮮な花崗岩に施工

上部軟弱土質の第四紀層に豎坑を掘さくするには薬液注入による地盤改良法の導入とか、凍結工法の導入とかの方法があるが何れも処理工事に種々の不確定要素が多くて実施の上に不安がある。

Jet well-sinking method は井筒下端の鋼沓刃先の全周を掘削して井筒を自重によって沈下せしめる方法である。

井筒が地下水面以下に進入すると筒内にも水を満して内外の水圧を均衡させた後井筒外壁の摩擦抵抗は圧縮空気を噴出させてこれを消去して沈下を容易ならしめる (Fig. 15 参照)。

花崗岩の硬岩中の豎坑掘削は穿孔、発破によって掘り下り場所打ちコンクリートによって築壁を施しつつ進行する Short step method を用う (Fig. 16 参照)。

2) 地下採掘

Fig. 17 に示す 2 本の豎坑によって地下 220m ~ 320m の 100m 区間を採掘する。この間 20m 間隔に水平坑道を設けて Fig. 18 に示すような区画に分けて掘削する。切羽運搬にはスクレイパーを主要坑道運搬にはディーゼル機関車を、豎坑運搬にはスキップ巻上げを用いる。換気と排水には十分な容量をもつ送風機とポンプを設置する。

3) 地上処理

豎坑によって地上に運ばれた原石は二系列の破碎、篩分工程によって最終製品とする。

4) 開発費 (Tk million)

(1) 豎坑費 169.4

運搬豎坑費 94.4 410m 開削費 528, 巻上設備 41.6

運搬立坑

補助立坑

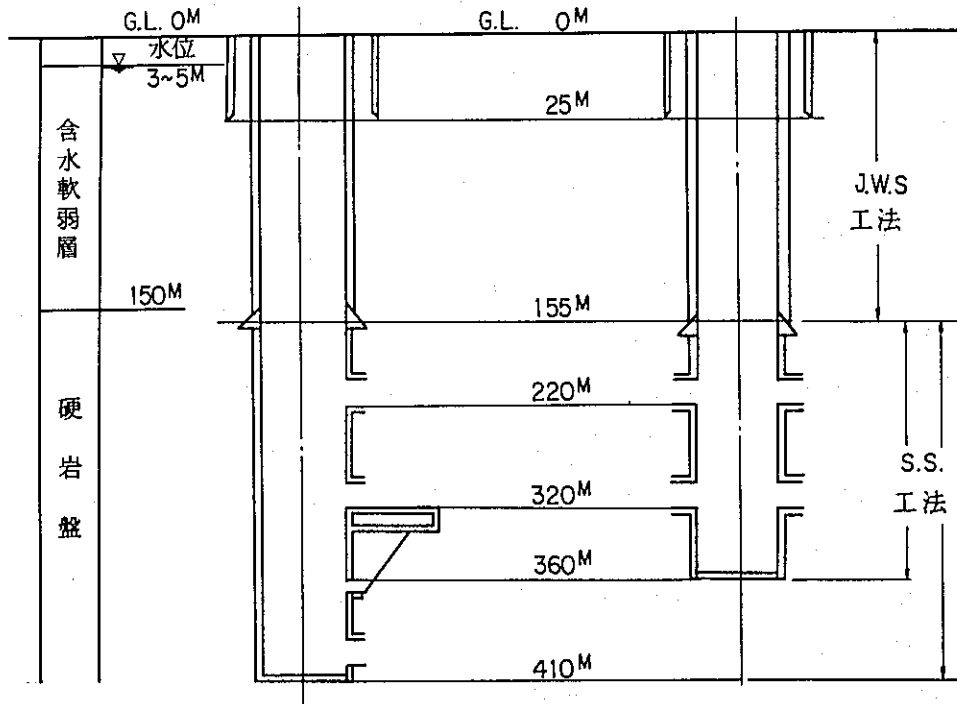


Fig.14 立坑深度概念圖

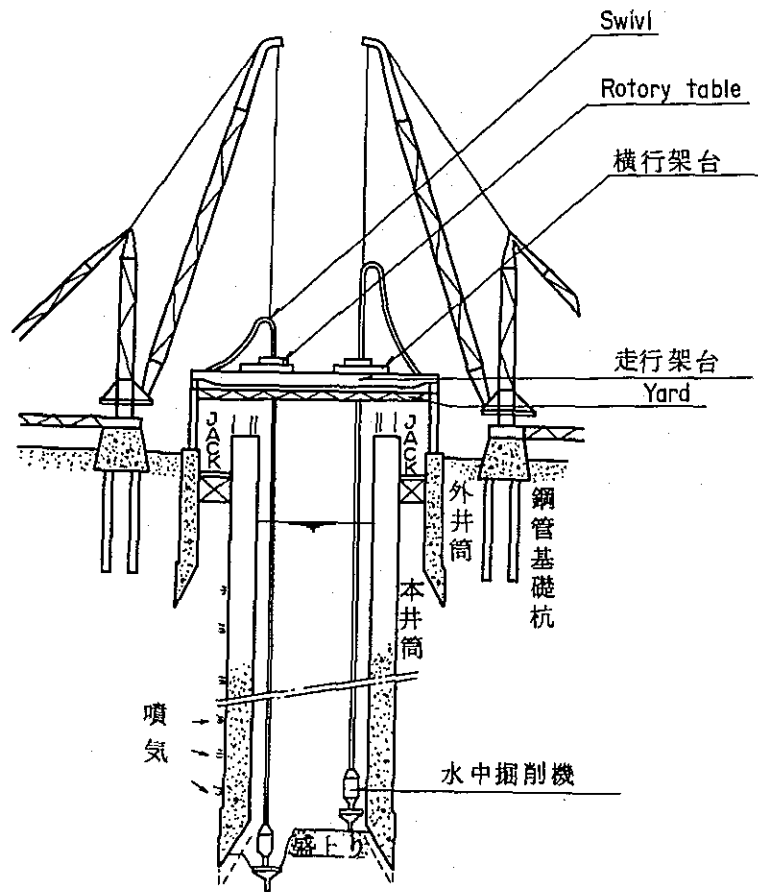


Fig. 15 JWS 工法 概念圖

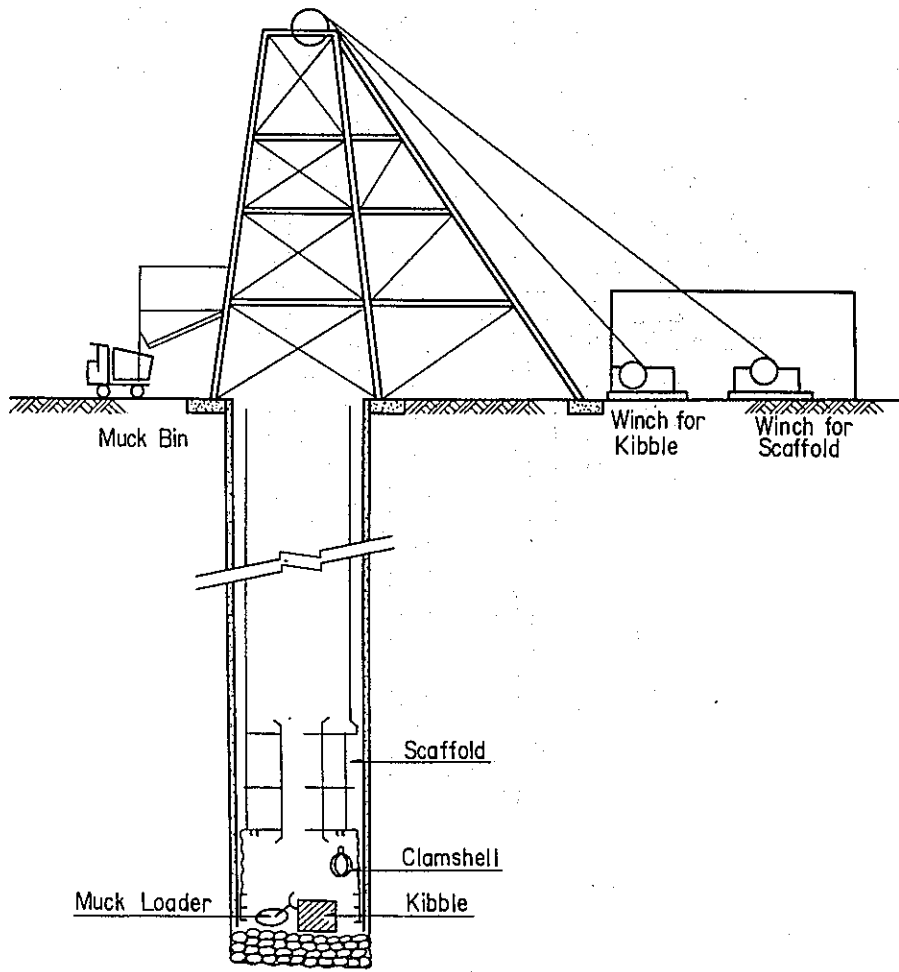


Fig. 16 S.S.工法概念図

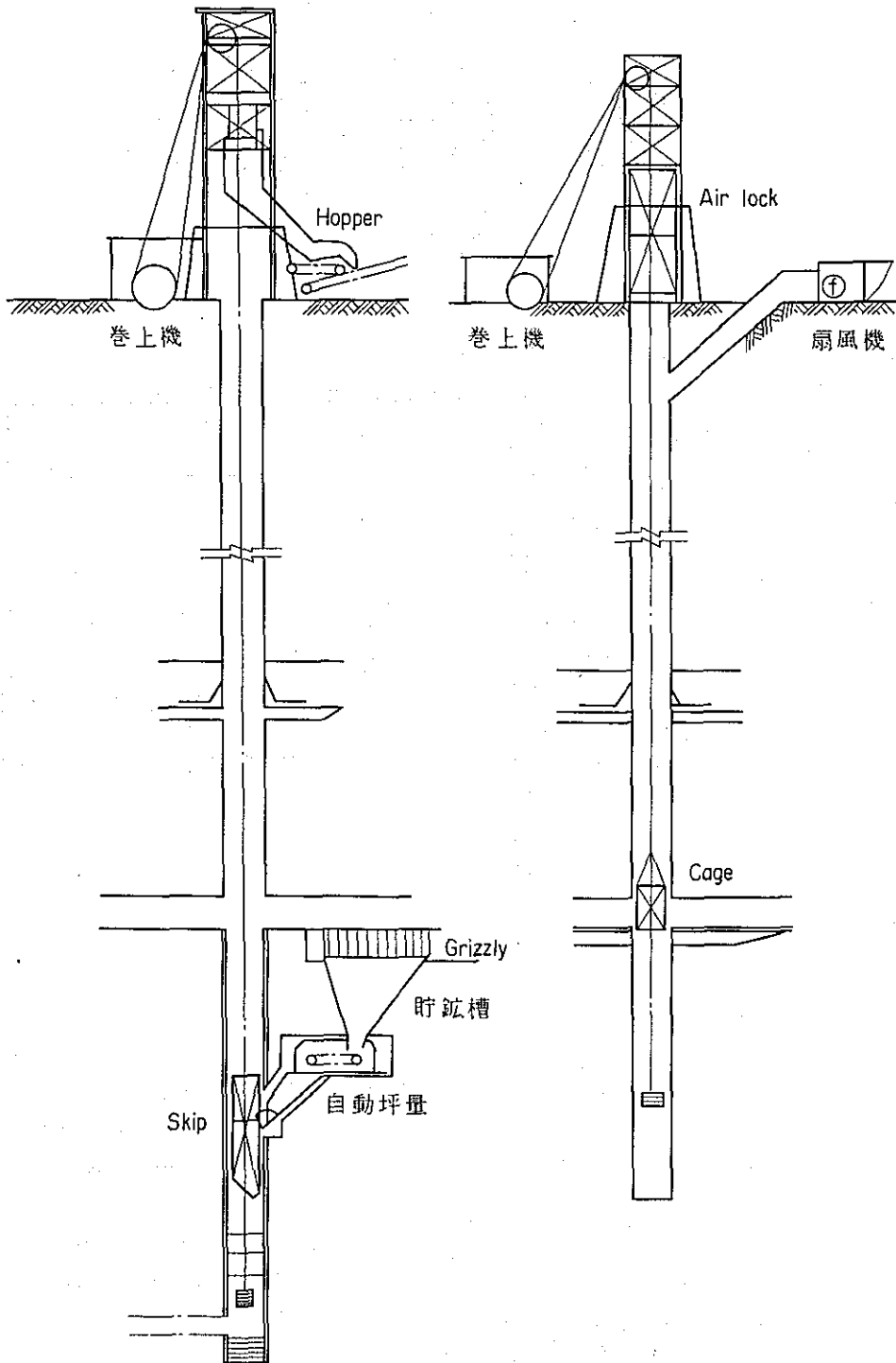
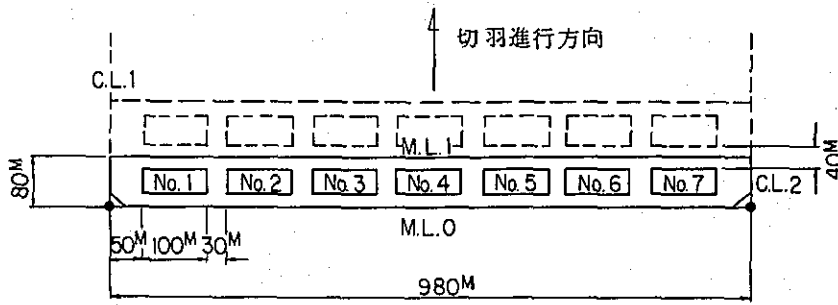
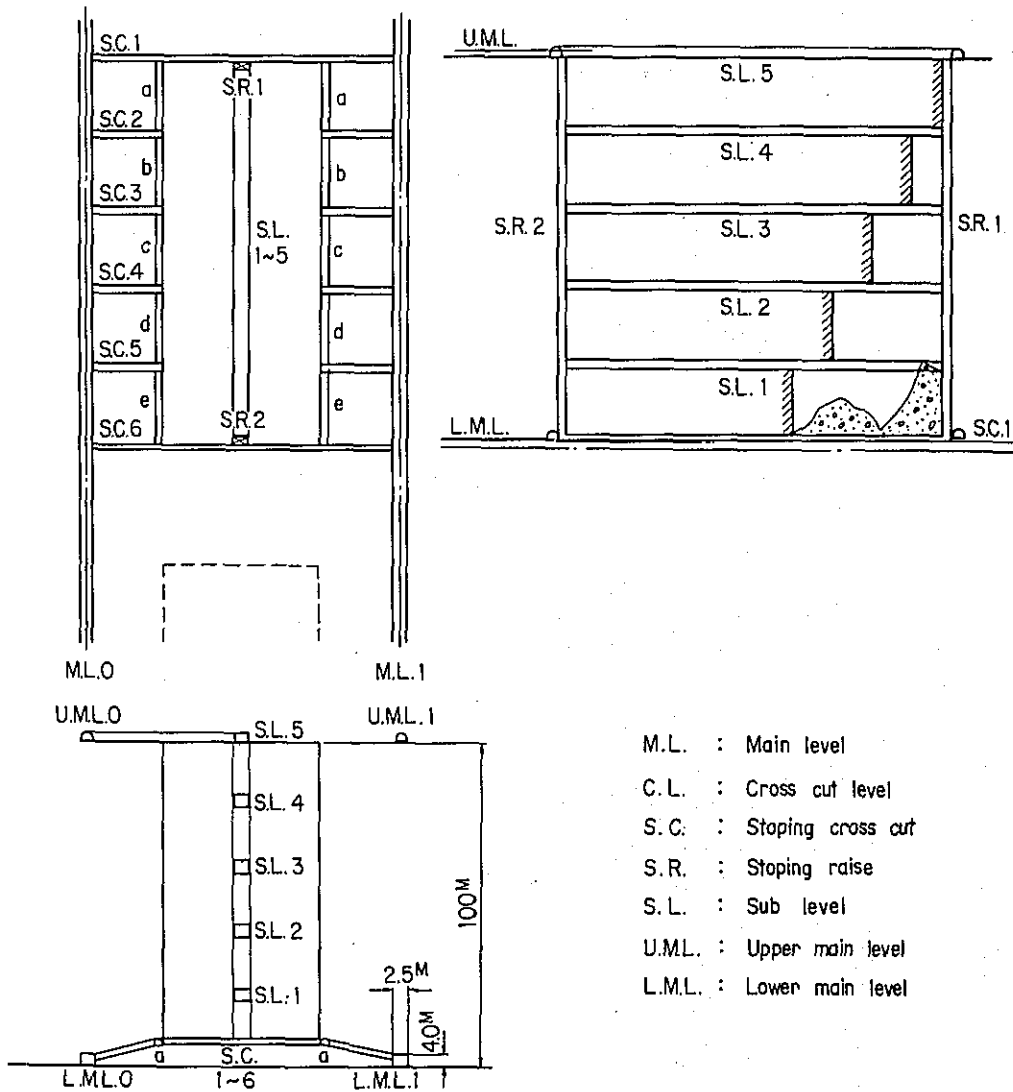


Fig. 17 運搬立坑・補助立坑の概念図

開坑平面圖



切羽平面圖・載面圖



- M.L. : Main level
- C.L. : Cross cut level
- S.C. : Stopping cross cut
- S.R. : Stopping raise
- S.L. : Sub level
- U.M.L. : Upper main level
- L.M.L. : Lower main level

Fig. 18 探掘法概要圖

