

第5章 架橋地点及び路線調査

第 5 章 架橋地点及び路線調査

5.1 概 要

当初の3カ月間（調査フェイズ1）、調査団は架橋地点と路線の選定作業に注力した。この章は、如何なる代替路線が検討対象となったか、どの様にして最良案を選定したかを記述する。

5.2 代替案

5.2.1 既存道路及び制約条件

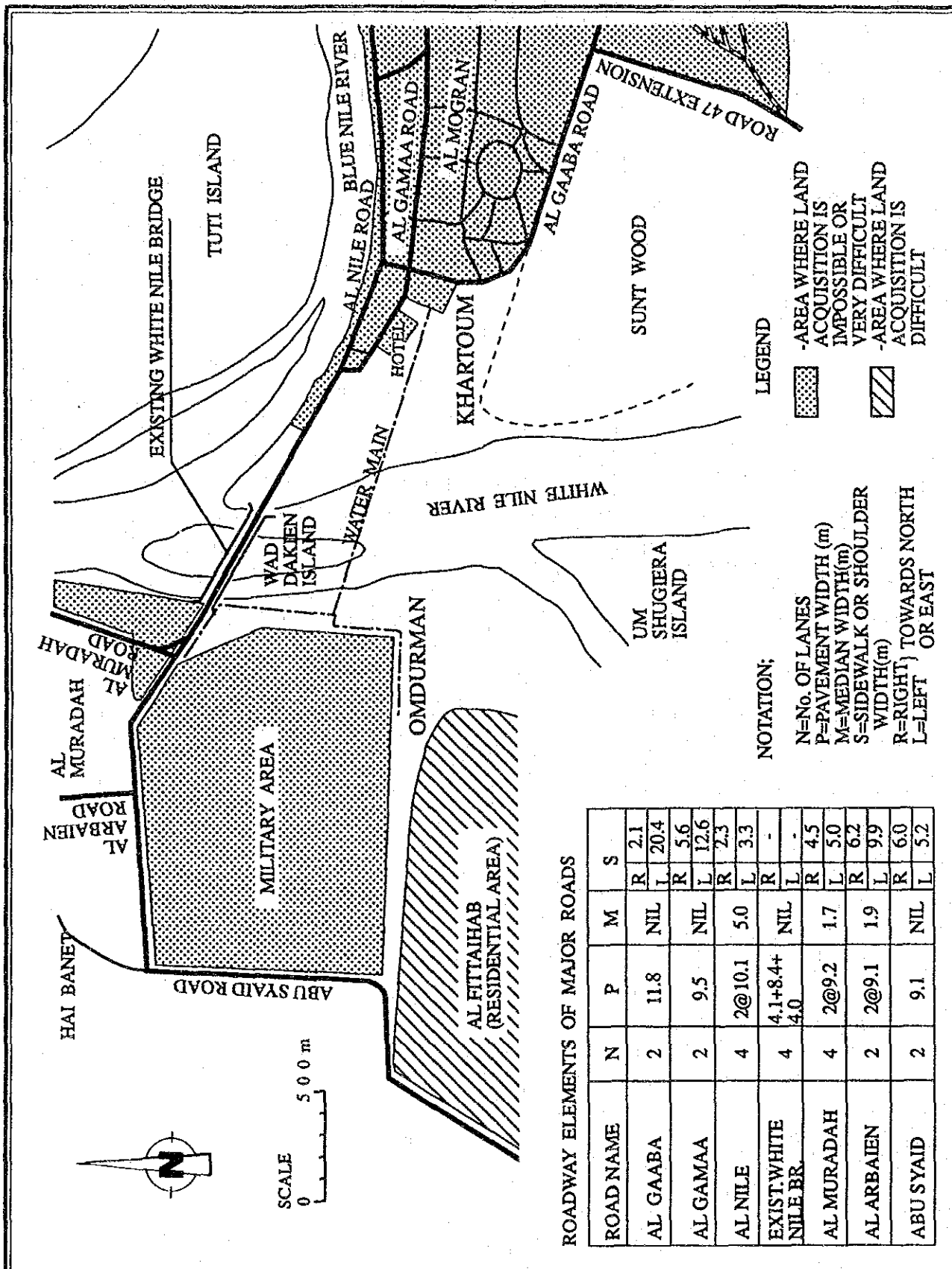
図5.1.Aと5.1.Bに新白ナイル橋に接続出来る既存の幹線道路を示す。

白ナイル川の西岸付近のオムドルマン市には軍事施設が存在する。この地域は、約1.3平方キロメートルありアブ・サイド道路、白ナイル川と自然排水路に囲まれている。アル・アルバイエン道路を軍事施設地域内に延長し新白ナイル橋の取付道路に結ぶ事が出来れば非常に便利なものになるが、この軍事施設地域に関しては、市民の利用のためには使用出来ないといった制約がある。このため、この軍事施設を通過する様な取付道路案を路線選定の対象から除外すべきとした。



オムドルマン地区のアル・フィタイハブ町とそれに続く住宅地域は南方に拡大して来ている。この地域では、将来、土地の取得や建物の補償に関し若干の困難が予想される。そこで、この地域を通る路線では、用地買収と建物補償を出来る限り少なくする様にしなくてはならない。

ハルツーム市では、アル・モグランに数多くの重要な場所や建物があり、これらの用地買収と建物補償は非常に難しい。このため、この地域を通る路線を路線選定の対象から除外すべきとした。

これらの制約条件と既存道路の要素を図5.1（A）と5.1（B）に図示する。



LEGEND

 -AREA WHERE LAND ACQUISITION IS IMPOSSIBLE OR VERY DIFFICULT
 -AREA WHERE LAND ACQUISITION IS DIFFICULT

NOTATION:

N=No. OF LANES
 P=PAVEMENT WIDTH (m)
 M=MEDIAN WIDTH(m)
 S=SIDEWALK OR SHOULDER WIDTH(m)
 R=RIGHT } TOWARDS NORTH
 L=LEFT } OR EAST

ROADWAY ELEMENTS OF MAJOR ROADS

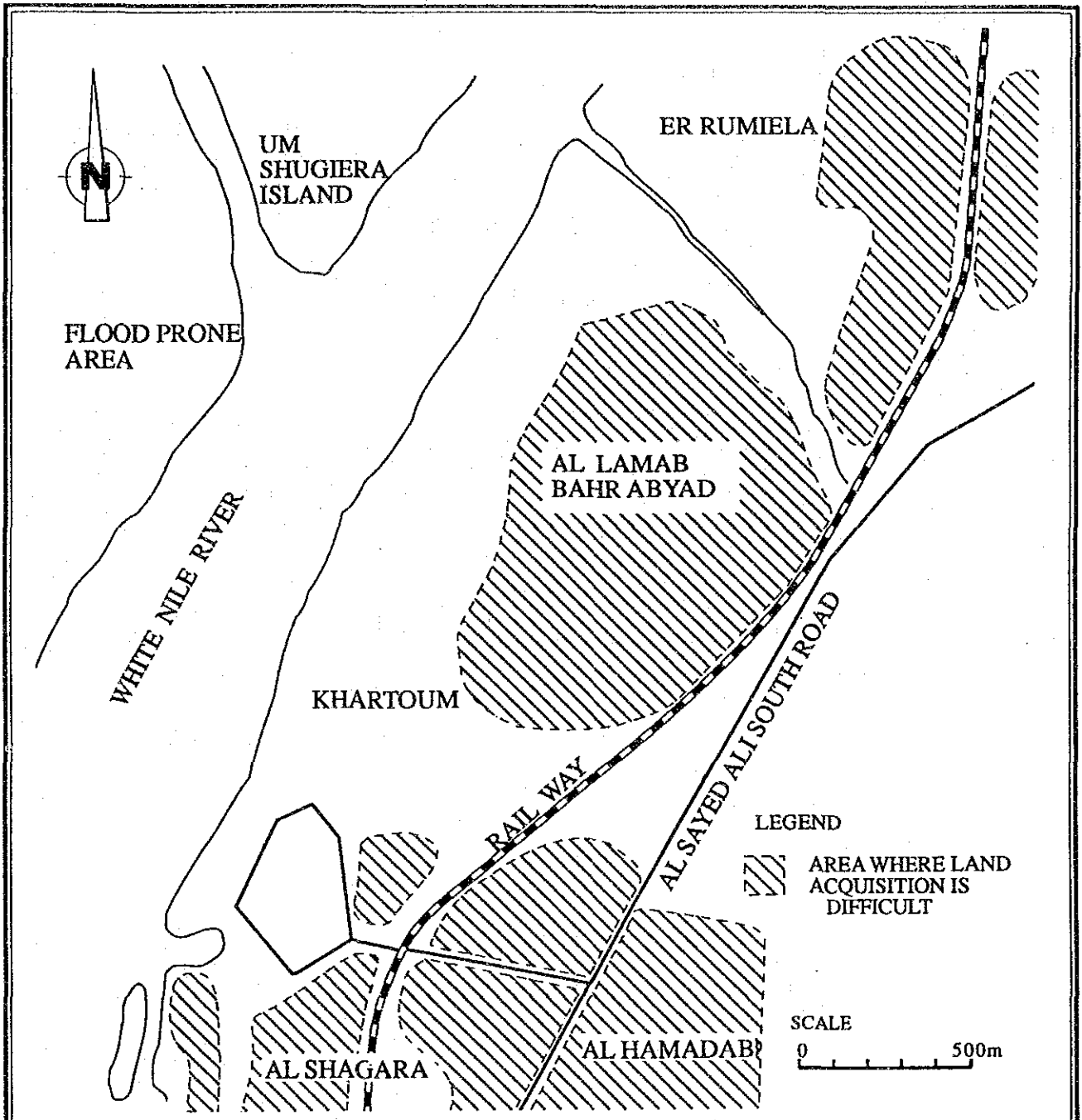
ROAD NAME	N	P	M	S			
				R	L		
AL GAABA	2	11.8	NIL	R	2.1	L	20.4
AL GAMAA	2	9.5	NIL	R	5.6	L	12.6
AL NILE	4	2@10.1	5.0	R	2.3	L	3.3
EXIST. WHITE NILE BR.	4	4.1+8.4+4.0	NIL	R	-	L	-
AL MURADAH	4	2@9.2	1.7	R	4.5	L	5.0
AL ARBAIEN	2	2@9.1	1.9	R	6.2	L	9.9
ABU SYAID	2	9.1	NIL	R	6.0	L	5.2

THE FEASIBILITY STUDY ON THE CONSTRUCTION OF THE NEW WHITE NILE BRIDGE

Fig. 5.1 (A)

プロジェクト予定地周辺の既存道路 (その1)

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY



ROADWAY ELEMENTS OF MAJOR ROADS

ROAD NAME	N	P	M	S	
AL SAYED ALI SOUTH	4	2@8.1	1.3	R 3.5	L 2.3

NOTATION;

N=No. OF LANES

P= PAVEMENT WIDTH (m)

M= MEDIAN WIDTH (m)

S= SIDEWALK OR SHOULDER WIDTH (m)

R= RIGHT, L= LEFT } TOWARDS NORTH OR EAST

THE FEASIBILITY STUDY ON THE
CONSTRUCTION OF THE NEW WHITE
NILE BRIDGE

Fig.
5.1 (B)

プロジェクト予定地周辺の既存道路
(その2)

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

5.2.2 機能上の分類

この路線選定調査に限っては、1983年UNDP資金によりBCEOMが実施した“Khartoum Traffic Management and Public Transport Study”（以後UNDP調査と称する）等の以前行われた調査結果を想定代替案とし、それに調査団が新たに追加したものを代替案とした。ここで代替案として立案されたものは、基本的には、次に示す3種類に分類される。

(1) 分類-A : 白ナイル川を渡河する既設幹線道路の交通容量の拡大案

この路線案は、既存の白ナイル橋及びその取付道路の交通容量を増大させ、ハルツーム地区とオムドルマン地区間を1級幹線道路として供用するものである。

(2) 分類-B : ベルトウェイへの接続の可能なバイパス路線案

この路線は2つの機能を有する。即ち、

- a) 既存の白ナイル橋を利用する通過交通をバイパスのパターンで拡張すると同時にハルツーム地区とオムドルマン地区を結ぶ1級幹線道路として供用するもの。
- b) UNDP調査で立案された将来のベルトウェイに結合され、ハルツーム首都圏の長トリップ交通を環状化する可能性を持たせるもの。

(3) 分類-C : ベルトウェイへの接続案

この路線は、将来完成するベルトウェイ（高速道路）と結び、ハルツーム首都圏の長トリップ交通を環状化するものである。

5.2.3 路線代替案の設定

前述の5.2.1、5.2.2並びに次に示す条件にもとづいて、数案の路線／架橋地点が検討された。

- a) 既存の白ナイル橋は、その旋回橋の機能を失っているけれども、水運公社（RTC）は白ナイル川に船を運行させる予定である。このため、すべての代替路線案は、第7章に記述されている航路空間を満足させるものとする。
- b) 既存の白ナイル橋はNCKの適切な補修と維持管理により将来においても利用出来るものとする。
- c) 経済性と設計上の信頼性を確保するため、代替案の線形は出来る限り白ナイル川に対し直角に交差するものとする。
- d) 分類-Aの場合、設計速度と道路幾何構造基準を暫定的に次の様にする。

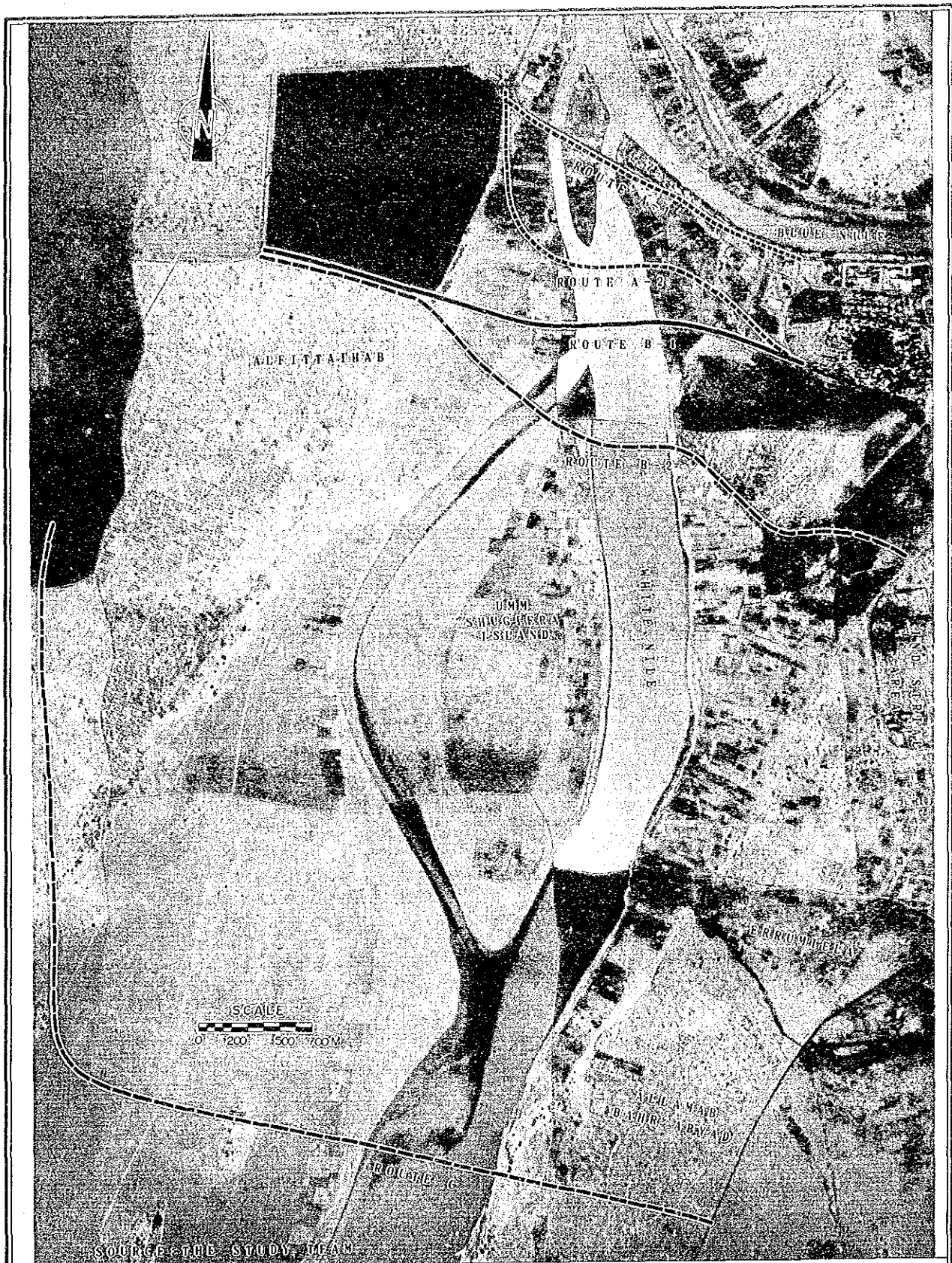
$$\begin{aligned} \text{設計速度} &= 60\text{km/h} \\ \text{平面曲線半径} &\geq 150\text{ m} \\ \text{縦断勾配} &\leq 5\% \end{aligned}$$

- e) 分類-BとCの場合、設計速度と道路幾何構造基準を暫定的に次の様にする。

$$\begin{aligned} \text{設計速度} &= 80\text{km/h} \\ \text{平面曲線半径} &\geq 280\text{ m} \\ \text{縦断勾配} &\leq 4\% \end{aligned}$$

この結果として、次に示す5つの代替案（A-1、A-2、B-1、B-2、C案）が設定され、以後、比較検討の対象とする。

これらの路線の位置概念図を図5.2に示す。



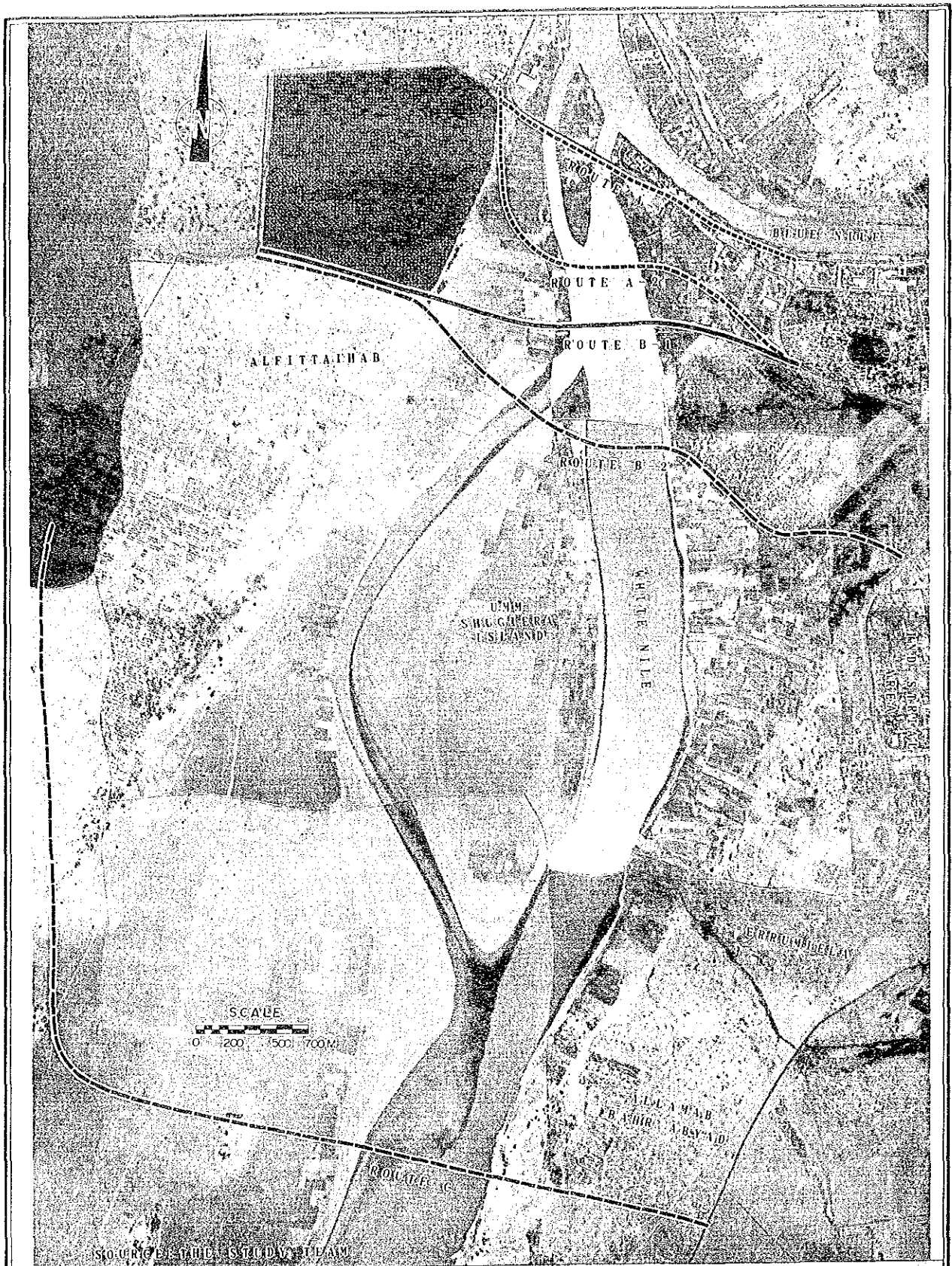
THE FEASIBILITY STUDY ON THE
CONSTRUCTION OF THE NEW WHITE
NILE BRIDGE

Fig.

5.2

代替路線案

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY



THE FEASIBILITY STUDY ON THE
CONSTRUCTION OF THE NEW WHITE
NILE BRIDGE

Fig.

5.2

代替路線案

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

(1) 代替路線案 A-1

この路線案は分類 A で可動橋を対象として考えたものである。

a) 線形

路線はオムドルマン側のアブ・サイド道路とアル・ムラダ道路の交差点を起点としてアブ・サイド道路を拡幅するものとし、既存橋の上流部を平行に渡り、ハルツーム側でヒルトンホテルの近くのアル・ニエル道路とアル・ジャマ (AL Gamaa) 道路の交差点を過ぎて、アル・ニエル道路とアル・ジャバ (AL Gaaba) 道路の交差点を終点とするものである。

路線の総延長は、約 2,100m。

b) 橋梁

新橋は、既存橋の上流側に 60m 以内の所に建設されることになる。これにより、平面曲線に係わる道路幾何基準が満足される。

オムドルマン側の起点から新橋の橋台までの取付道路の距離が僅か 300m 程度であるため、航路空間を確保して船の航行を許すためには既存橋の様な可動橋のみがこの案を可能にする。

既存橋と新橋の 2 橋間の水平空間距離が 60m に限られるので、可動橋形式としては跳開橋或いはリフト橋が使用される事になる。

橋長は約 620m ~ 700m。

c) 交差点

起終点の交差点は立体交差として計画する事で良いと考えられる。しかし、ヒルトンホテル近くの交差点は西側に Uターン・ランプを設けた部分的立体化する複合交差形式とする。

予想される交差点は以下の通り。

オムドルマン側	:	1 カ所	——	立体交差
ハルツーム側	:	1 カ所	——	平面交差 (複合)
		1 カ所	——	立体交差

計 : 3 カ所

(2) 代替路線案 A-2

この路線案は、分類-Aで固定橋の場合のものとして立案されたものである。

a) 線形

この路線は、代替路線案 A-1 と同じ場所をオムドルマン側の起点とする。この路線の線形は、アル・ムラダ道路の南方への延伸とし、そこから東方に曲がってワド・ダキン島の南方約 200m の所で渡河した後、南東に向いそしてアル・ジャバ (AL Gaaba) 道路に結ばれるものである。

路線の総延長は、約 2,900m。

b) 橋梁

架橋地点はワド・ダキン島の南側約 200m の所とした。これだけ島から離す事により橋梁の中間に航路空間を確保出来る。

鋼橋形式とコンクリート橋形式ともにこの路線案は適用可能である。

橋長は、約 700~800 m。

c) 交差点

予想される交差点は、以下の通り。

オムドルマン側	:	1カ所	——	立体交差
ハルツーム側	:	1カ所	——	平面交差

計	:	2カ所
---	---	-----

(3) 代替路線案 B-1

この路線は、分類-Bでハルツーム側のアル・ジャバ道路に結ばれるものである。

a) 線 形

この路線は、オムドルマン側のアル・フィタイハブ町の所でアブ・シャイド道路が北側から西側にカーブする所を起点とし、軍事施設地の柵の南側を通過してから白ナイル川を直角に渡河してからスント・ウッド (Sunt Wood, Sunt Forest とも呼ぶ) の北端を通りアル・ジャマ (Al Gaama) 道路に継がるものである。

路線の総延長は約 4,400m。

b) 橋 梁

新橋の架橋地点は、既存橋から南方に約 1,000m～1,200m離れた所を予定する。

調査団が1989年2月に実施した測量結果によれば、河川幅は 540m (乾期の岸から岸まで)、水深は最も深い所で 2.2 mであった。

航路空間を新橋の中央部の主橋梁に確保するものとする。

コンクリート橋形式及び鋼橋形式ともにこの路線案に適用可能である。

橋梁は、約 700m～800 m。

c) 交 差 点

予想される交差点は、以下の通りである。

オムドルマン側	:	1カ所	——	平面交差
ハルツーム側	:	1カ所	——	平面交差

計	:	2カ所
---	---	-----

(4) 代替路線案 B-2

この路線は分類-Bの場合で、ハルツーム3地区の Road No.47に結ばれるものである。この Road No.47は目下アメリカの援助で舗装工事が進められているものである。

a) 線 形

この路線のオムドルマン側の起点は代替路線案B-1と同じとし、渡河地点はウム・シュジェラ (Um Shugiera) 島の北端となる。そしてセント・ウッドの南部を通過し、ハルツーム3地区の Road No47に至る。

この路線の総延長は約 5,200m。

b) 橋 梁

新橋の架橋地点は、既存橋より南方に 1,700m離れた所とする。調査団が1989年2月に実施した測量結果によると、右側(東側)水路で川幅が 460m、左側(西側)水路で 160mとなっている。この時の最大水深は2.0mであった。

航路空間を右側水路の中央部分に確保するものとする。

コンクリート橋形式及び鋼橋形式ともにこの路線に適用可能である。

橋長は、約 1,100m~1,300 m。

c) 交 差 点

予想される交差点は、以下の通りである。

オムドルマン側	:	1カ所	——	平面交差
ハルツーム側	:	1カ所	——	平面交差

計 : 2カ所

(5) 付替路線案 C

この路線は、分類-Cを対象としたものである。

a) 線 形

この路線はアブ・シャイド道路を延伸するものであり、アル・フィタイハブ町の南側でアスファルト舗装が途切れる所を起点とする。この路線は、南方に走った後東側に曲がってから白ナイル川をウム・シュジェラ島の南方約2 kmの所で渡河し、AL Lamab Bahr Abyad町の南部を通過してから鉄道をオーバーし、そしてアル・シャイド・アリ南部道路に結びつくものである。

この路線の延長は、約 7,400m。

b) 橋 梁

新橋の架橋地点は既存橋の南方約 6,200mである。航路空間を新橋の中央に確保するものとする。

コンクリート橋形式及び鋼橋形式ともにこの路線に適用可能である。

橋長は、約 1,000m～1,300 m。

c) 交 差 点

予想される交差点は、以下の通り。

オムドルマン側	:	無	し
ハルツーム側	:	1カ所	—— 鉄道フライオーバー
		1カ所	—— 平面交差

計 : 2カ所

5.3 比較路線ごとの将来交通量推計

5.3.1 交通配分手法

提案した橋梁部及び道路網への将来交通量を推計するために、以下の交通配分手法を採用した。

ステップ1. 道路網の各リンクに交通を配分する前に、まず交通量と旅行時間の関係を設定した。この関係は $Q-V$ 式が採用され、旅行時間が増加すれば交通量も増大すると関係にある。(同一リンク上で)

ステップ2. 自動車OD交通を3段階に区分し、配分する。まず第1段階は総交通量の50%を配分し、各リンク毎の旅行時間を計算する。次に総交通量の30%を同様に各リンクに配分し、旅行時間を計算する。最初に残りの20%を配分し、旅行時間を計算する。すなわち、交通量は3分割法を採用した。

この3分割手法を採用することにより、リンク上の交通量配分量が増加すると伴に、旅行時間を増大している。そのため、走行速度は実際の走行速度より減少気味に計算される。

5.3.2 交通配分上の道路網

交通配分上の基本概念は以下の通りである。

(1) 代替路線

路線の代替案として“A-1”、“A-2”、“B-1”、“B-2”及びCの5つの代替路線について交通量配分を行う。

上記5代替路線の詳細は7.3節に記述してある。

(2) 既存白ナイル橋

既存白ナイル橋は2015年までに十分な維持管理が行われ、現在の状態が確保されているものとする。

(3) 1995年の道路網

- Al Gaaba Extension 道路 (Al Gaaba道路～Al Shagra 道路間) 及び北ハルツーム位置の鉄道沿道路は、往復 2 車線のアスファルトコンクリート舗装道路として考えた。
- 上記以外の他道路は現況と不変なものと考えた。

(4) 2005年の道路網

- Al Gaaba道路とAbu Syaid 道路の一区間は往復 4 車線道路として考えた。
- ハルツーム地区とオムドルマン地区に計画されているベルトウェイ道路の一部は往復 4 車線道路として供用開始される。また、比較案“B-1”、“B-2”及び“C”ではベルトウェイ道路はハルツーム地区とオムドルマン地区を新橋で結ぶことを考えた。

(5) 2015年の道路網

ハルツーム地区及びオムドルマン地区に存在するベルトウェイ道路の一部区間は往復 6 車線と考えた。

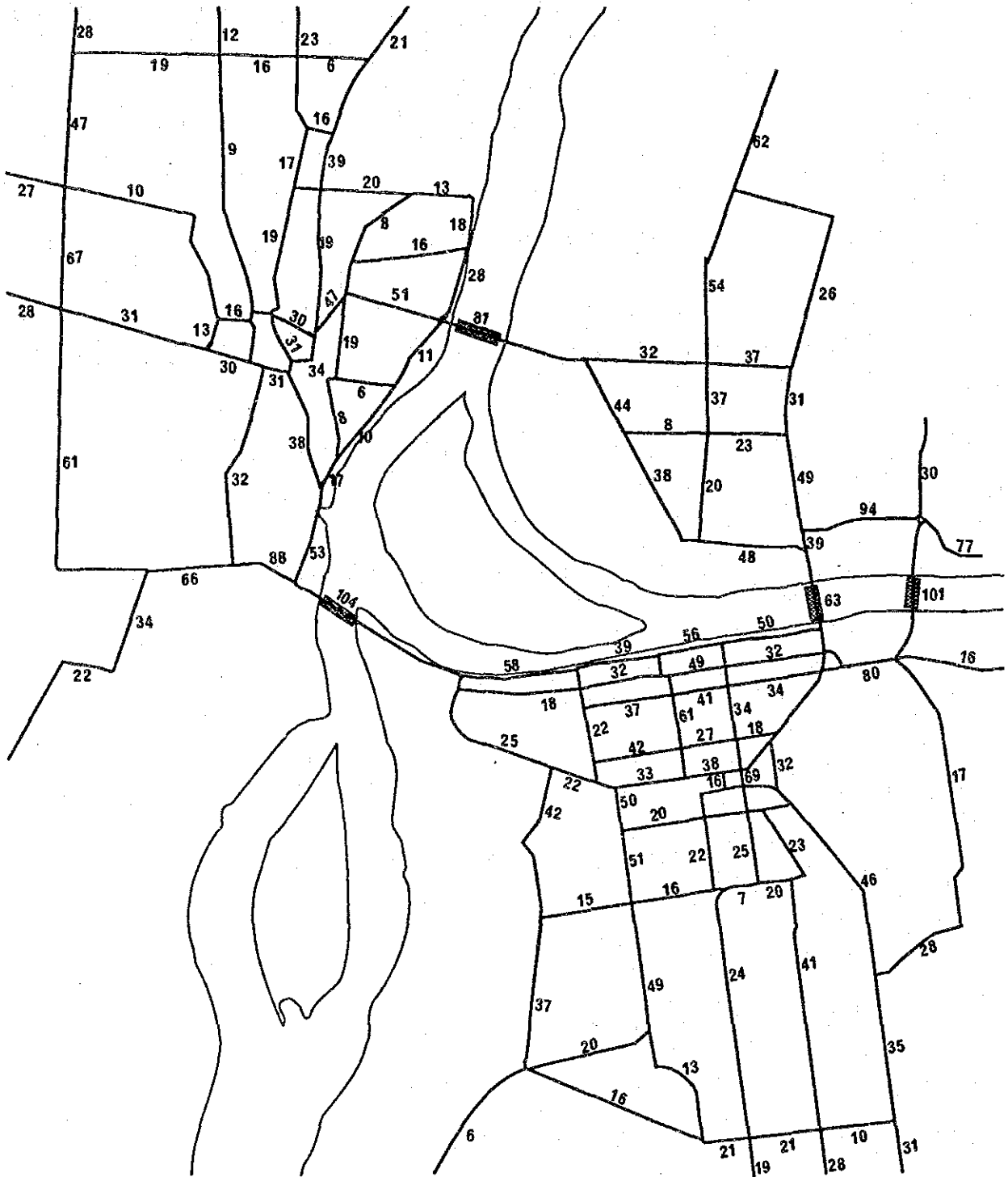
5.3.3 将来交通量

前節 4.1 で述べたように、Q-V 式を使用し、将来道路網における各リンク上の将来交通量を推計した。

この調査では、道路の交通容量及び一般道路の走行速度の 2 項目から OD ペアの最短旅行時間が決められる。もし、ある区間の道路断面が飽和度に達した場合、次の自動車は次の最短時間で行ける経路を探し、そこを通過する。たとえ、走行距離が長くなっても最短時間経路を通るものである。

将来 OD 表が作成された後、ゾーン間交通は将来道路網へ配分される。図 5.2 (A) から図 5.2 (F) に 2015 年の各比較案毎の将来交通配分結果を示す。比較案に加えベースケース (現況道路網) をも示す。

BASE CASE 2015



UNIT: 1000pcu/day

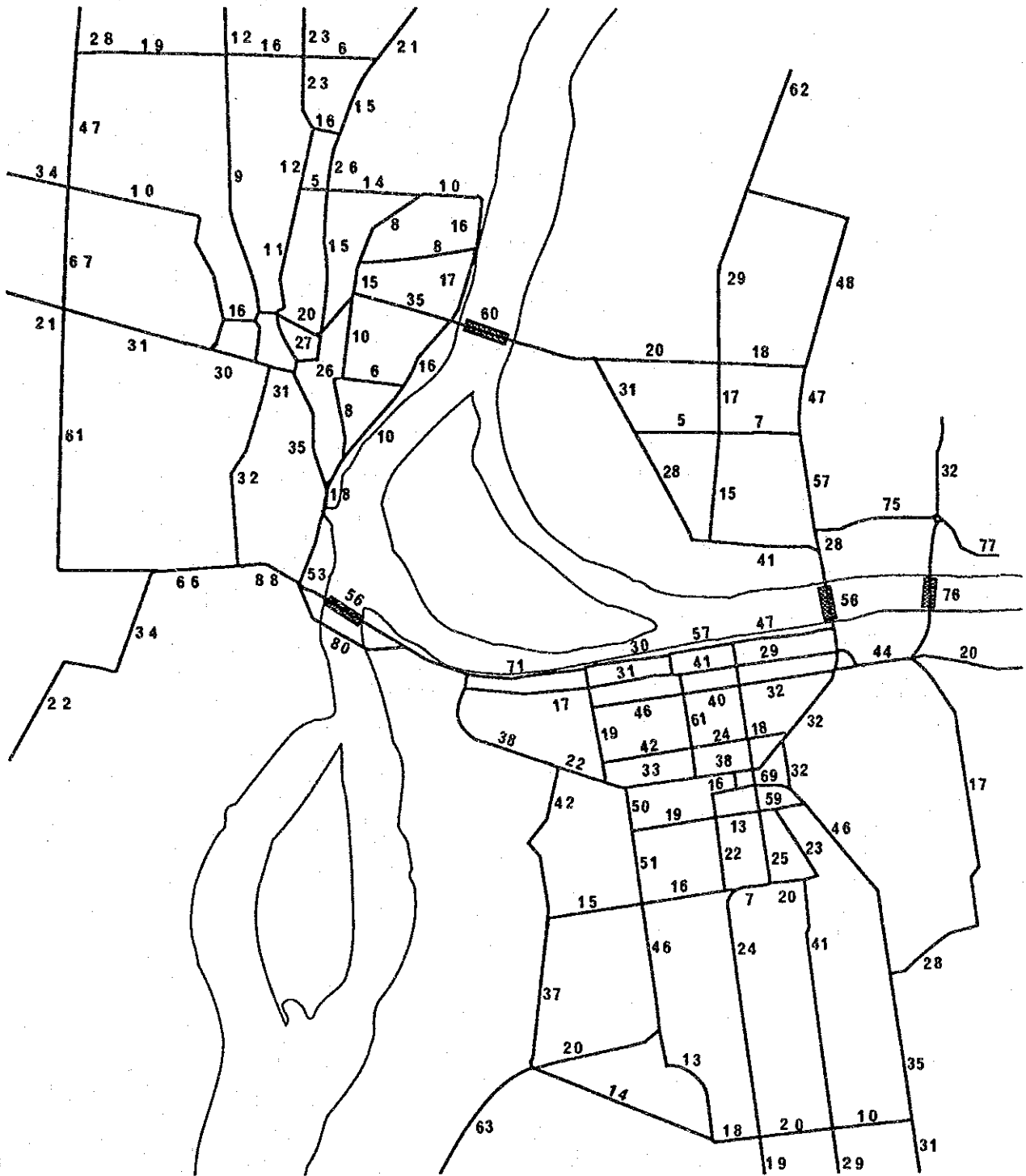
**THE FEASIBILITY STUDY ON THE
CONSTRUCTION OF THE NEW WHITE
NILE BRIDGE**

Fig.
5.3 (A)

西暦2015年に対する配分交通量
(ベース・ケース)

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

CASE A-1 2015



UNIT: 1000pcu/day

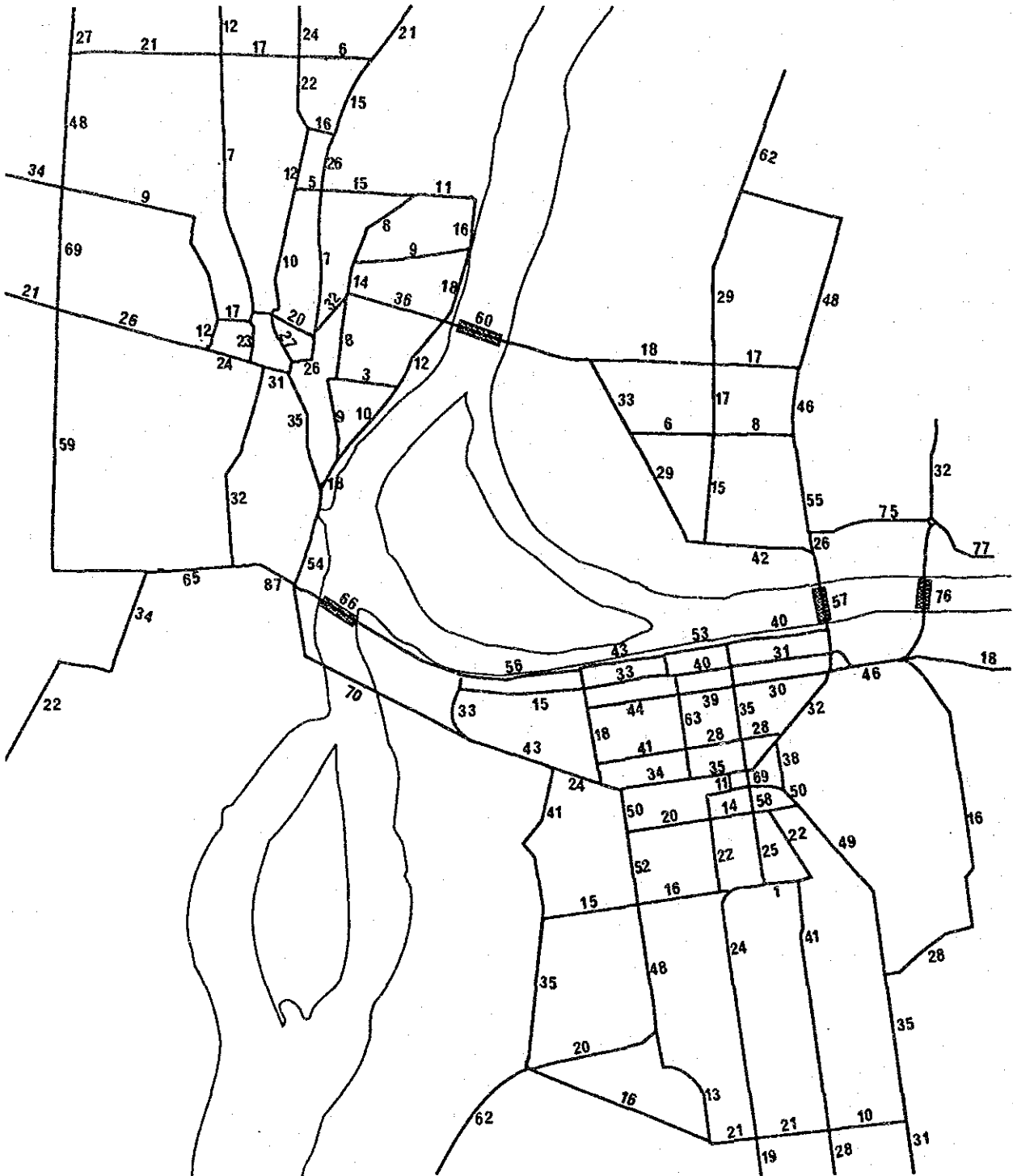
**THE FEASIBILITY STUDY ON THE
CONSTRUCTION OF THE NEW WHITE
NILE BRIDGE**

**Fig.
5.3 (B)**

西暦2015年に対する配分交通量
(路線代替案A-1)

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

CASE A-2 2015



UNIT: 1000pcu/day

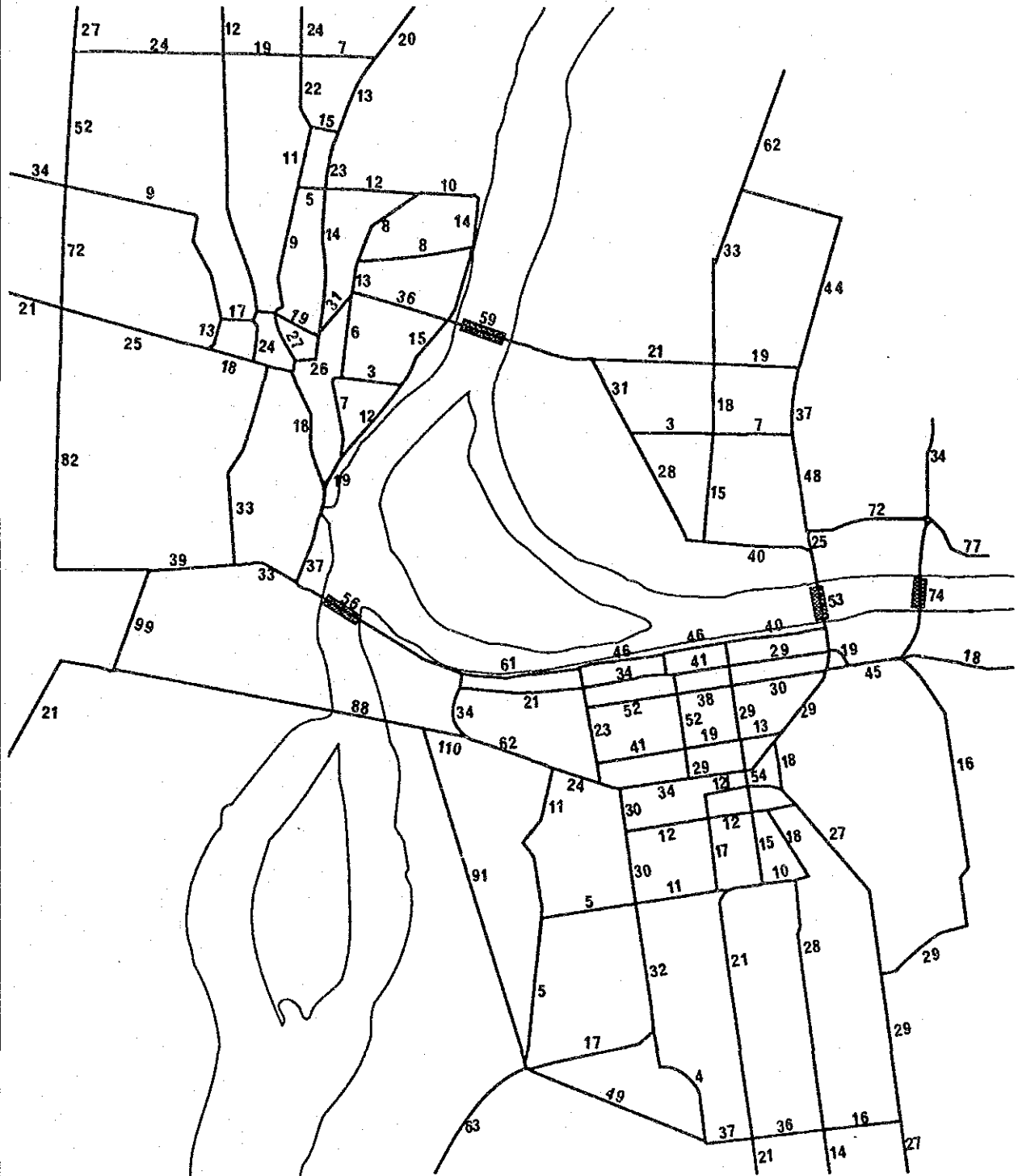
**THE FEASIBILITY STUDY ON THE
CONSTRUCTION OF THE NEW WHITE
NILE BRIDGE**

**Fig.
5.3 (C)**

西暦2015年に対する配分交通量
(路線代替案A-2)

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

CASE B-1 2015



UNIT: 1000pcu/day

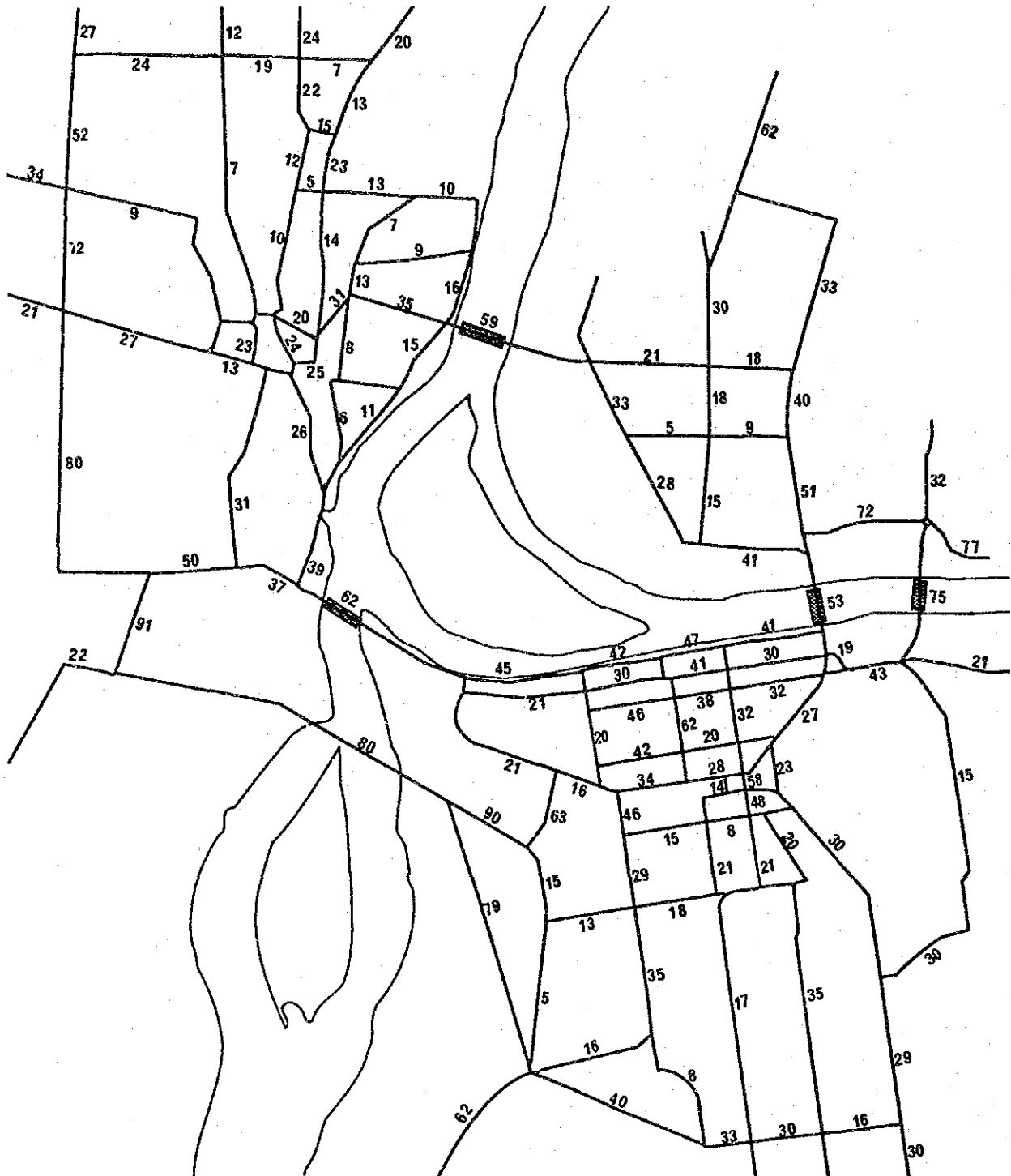
**THE FEASIBILITY STUDY ON THE
CONSTRUCTION OF THE NEW WHITE
NILE BRIDGE**

Fig.
5.3 (D)

西暦2015年に対する配分交通量
(路線代替案B-1)

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

CASE B-2 2015



UNIT: 1000pcu/day

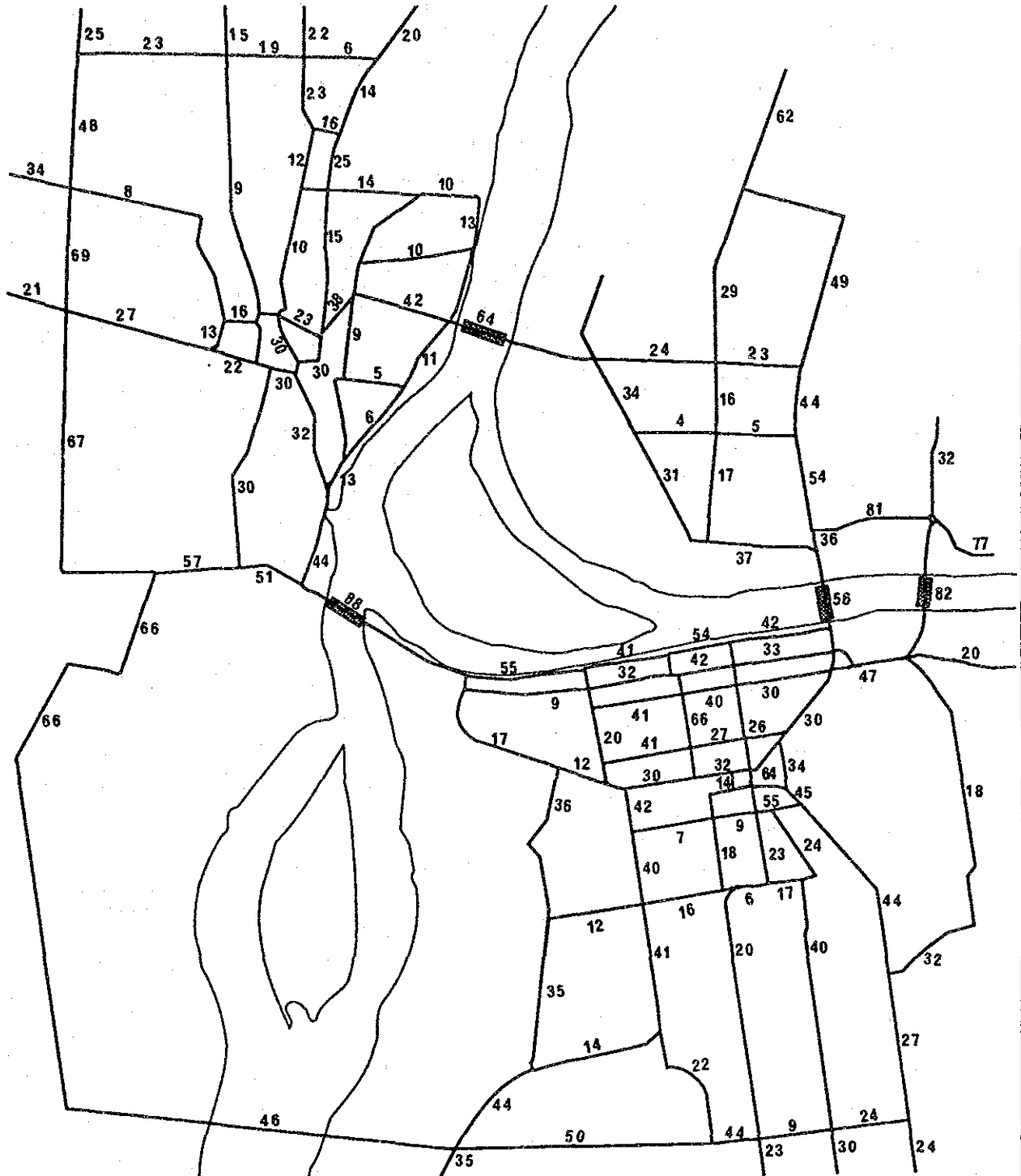
**THE FEASIBILITY STUDY ON THE
CONSTRUCTION OF THE NEW WHITE
NILE BRIDGE**

**Fig.
5.3 (E)**

西暦2015年に対する配分交通量
(路線代替案B-2)

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

CASE C 2015



UNIT: 1000pcu/day

**THE FEASIBILITY STUDY ON THE
CONSTRUCTION OF THE NEW WHITE
NILE BRIDGE**

**Fig.
5.3 (F)**

西暦2015年に対する配分交通量
(路線代替案C)

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

5.3.4 交通上の優良路線評価

(1) 評価基準

将来交通需要を各路線代替案に交通配分した結果をもとにして、路線代替案毎の評価をする。この場合、以下の項目を評価基準にした。

- a) 各路線代替案の交通量
- b) 既存の白ナイル橋の混雑度の低減
- c) 既に交通量が飽和状態にあると予想される既存白ナイル橋の接続道路の混雑度の低減（ハルツーム側の Al Niel, Al Gama' a , Al Gaama 道路；オムドルマン側の Al Murradah, Abu Syaid 道路）
- d) 青ナイル橋とブリー橋の混雑度の低減
- e) シャンバット橋の混雑度の低減

(2) 将来の道路網の評価

上記評価基準に基づき、西暦2015年に対するローケースの交通需要を用いて交通混雑度を比較検討した。表5.1に比較結果を示す。

その結果、交通工学上の観点から路線代替案B-1が最良案と判断される。そして、路線代替案B-2が第2位と判断され、B-1との優位差は小さい。

これに反し、路線代替案A-1とA-2は高い得点を得られない。これは、接続道路のうち特にオムドルマン側で一層交通混雑を引き起こすためである。

更に追記すると、この新白ナイル橋の他に更にハルツーム～オムドルマン間とハルツーム～ハルツーム・ノース間に各1橋ずつ橋梁建設が必要となろう

表 5.1 将来道路網評価

Criterion	Alternative					
	Do-nothing	A1	A2	B1	B2	C
Traffic on New Bridge	-	79,880 (2)	69,847 (2)	88,213 (3)	80,079 (3)	45,713 (1)
Congestion on White Nile Bridge	2.1	1.16 (3)	1.37 (2)	1.16 (3)	1.29 (2)	1.83 (1)
Congestion on KRT Access Road	1.44	1.88 (0)	1.15 (2)	1.27 (2)	1.03 (3)	1.22 (2)
Congestion on ODM Access Road	2.18	2.44 (0)	2.43 (0)	1.22 (3)	1.33 (2)	1.65 (1)
Congestion on Blue Nile & Burri Bridges	2.28	1.85 (2)	1.85 (2)	1.77 (3)	1.78 (3)	1.92 (1)
Congestion on Shambat Bridge	1.69	1.25 (3)	1.25 (3)	1.19 (3)	1.22 (3)	1.34 (2)
TOTAL POINTS		10	11	17	16	8

Note: Numbers in () are points for the alternative. These points reflect the relative benefits of each alternative.

5.4 最適路線案の選定

5.4.1 各路線の概略経済評価

内部収益率（IRR）を経済評価における指標とした。

次に示すものをIRRを求めるために設定した。

(1) 概略工事費

この節で示す全ての費用は各代替路線毎の建設費の大小の順位を見比べる目的の概略費用である。以下に示す費用は、建設費を対象とし、税金とか用地買収費、コンサルタント費用などを除外した。

A) 単価積算の基本

1989年2月時点のスーダンにおける市場価格としての積算をし、スーダンポンドで表示するものとした。

B) 推定数量

各代替路線案毎の必要数量は、過去の類似プロジェクトから類推した。橋梁形式に関しては、暫定的に代替路線案A-1では鋼製の跳開橋とし他案A-2、B-1、B-2、Cは全てプレストレスト・コンクリート橋として数量を推計する。

C) 各作業項目の単価

a) 橋梁工事

長大橋のうち、コスティにある1975年に完成した新白ナイル橋（コスティ橋と呼称する）が最も最近のものであるから、これらの実績をこの概略工事費に転用する。

この場合、1975年から1989年までの間のズレを考慮して、過去のスーダンにおける消費者物価指数にコスティ橋の建設費を乗じて橋梁工事費とした。消費者物価指数は Appendix 5.3 に示す通りである。

b) 取付道路及び交差点

土工と舗装の最近の入札価格を転用した。これには、現在進行中の“The Greater Khartoum Roads Construction”等を参考にした。他の作業項目は上記 a) の橋梁工事のものを転用した。

c) 建設ヤード用の埋立て

図 6.7 (A) に示す Borrow - 1 から土を取り 5 km 以内の運搬距離として暫定的に積算した。

d) 河川の護岸工

護岸工に関しては、コスティ橋の価格を過去の消費者物価数をもとに割り増して用いた。

D) 予備費

数量増減に係わる予備費として、工事費の10%を計上した。

E) 各路線代替案毎の概略工事費

結果として、表 5.2 に示す様な概略直接工事費が得られた。

表5.2 概略工事費

単位：百万スーダンポンド

項 目	代 替 路 線 案				
	A-1	A-2	B-1	B-2	C
橋 梁	734	445	496	803	534
取 付 道 路	104	143	154	177	217
交 差 点	69	41	—	—	—
鉄道フライオーバー	—	—	—	—	24
建 設 ヤ ード	70	70	70	70	70
そ の 他	118	70	36	53	42
小 計	1,095	769	756	1,103	887
予 備 費	110	77	76	110	89
合 計	1,205	846	832	1,213	976
(コストの順位)	(4)	(2)	(1)	(5)	(3)

注) 上記のコストは、1989年3月時点の平行・レート \$ 1.0 = Ls12.1に基づき積算したものであり、路線選定の目的に限って使用出来るものである。

(2) 経済費用

前記の建設費及び維持費は財政費用であるため、この財政費用は経済費用に変換されなければならない。ここでの最初の経済評価においては以下の標準変換係数（SCF）を用いて財政費用は経済費用に変換されている。

$$SCF = (E + I) / (E + I + I \text{ tax} - E \text{ tax})$$

ここで、

E : 輸出
I : 輸入
I tax : 輸入税
E tax : 輸出税

SCFは、1) 輸出 578百万スーダンポンド、2) 輸入 1,185百万スーダンポンド、3) 輸入税 1,600百万スーダンポンド、輸出税60百万スーダンポンド（いずれも1987/1988年度）の諸データを用い、0.53と推定された。

この係数を建設費の内貨分（建設費の35%と仮定された）に適用し、経済的建設費を計算した。各代替案の経済費用は表5.3に示されている。

表5.3 経済的建設費用

Cost Item	Alternatives (LS.million)				
	A-1	A-2	B-1	B-2	C
Construction cost	1,195	708	696	1,015	817
Maintenance cost per year	1.4	0	0	0	0
Operation cost per year	1.3	0	0	0	0

(3) 便 益

新白ナイル橋の建設から得られる便益は走行費用節約便益、時間費用節約便益及び現況の白ナイル橋の維持費節約便益とから構成されている。

A) 走行費用節約便益

走行費用節約便益は、次の式により計算される。

$$CT = \sum_{i,j,k} \sum C^k \cdot \Delta C^{k,ij} \cdot T^{k,ij}$$

ここで、

- CT : 走行費用節約便益
- C^k : k車種の走行費単位
- $\Delta C^{k,ij}$: i、j間の走行費用の節約額
- $T^{k,ij}$: i、j間の交通量
- k : 車種

上式において、 T^{ij} は交通量を道路網に配分することによって得られる。 C^k は「Sudan Feeder Roads Master Plan Updating General Report, 19986年8月」に基づき、車種ごとに設定された。表5.4は設定された走行費単価である。

表5.4 走行費単価

Unit:LS./vehicle:km

Type of vehicle	1984 price	Price escalation coeff.	1989 price
Passenger Car	0.353	3.16	1.115
Mini Bus	0.498	3.16	1.574
Bus	1.286	3.16	4.064
Truck	1.238	3.16	3.912
Trailer	2.593	3.16	8.194

上記の走行費単価から走行費用の節約便益は表5.5に示されているとおりに推定された。

表5.5 走行費用節約便益

Year	A-1	Alternatives (LS1,000)			C
		A-2	B-1	B-2	
1995	15,935	12,515	11,805	7,965	-850
2005	29,005	24,070	4,945	6,090	-10,455
2015	49,435	38,800	3,370	210	-33,765

B) 走行時間節約便益

走行時間節約便益は次式により推定される。

$$BT = \sum_i \sum_j \sum_k V^k \cdot \Delta t_{ij} \cdot T_{ij}^k$$

ここで、

- BT : 時間費用節約便益
- V^k : k車種の時間価値
- Δt_{ij} : i、j間の時間費用節約便益
- T_{ij} : i、j間の交通量
- k : 車種

各車種の時間価値は次のような手順で設定された。

a) 乗用車及びバス利用者の所得の推定

UNDPの調査によるカルツームの所得分布を基に、乗用車とバス利用車の所得水準に対する割合は、表5.6のとおり推定された。

表5.6 車の保有者と非保有者の各所得水準における割合

Income level	0-300	301-600	601-900	901+
Price escalation coefficient	5.77	5.77	5.77	5.77
Income class	0-1730	1731-3462	3463-5193	5194+
Income (medium)	850	2500	4500	11000
Share				
Income class (%)	33.8	32.6	15.6	18.0
Car owner (%)	5.8	39.9	77.2	100.0
Non-car owner (%)	94.2	60.1	22.8	0.0

b) 時間価値の推定

車の保有者は車を利用し、非保有者はバスを利用するという仮定のもとに車とバスの利用者の時間価値が推定された。推定に必要な各所得水準に対する車の保有率は表5.7のとおりである。

表 5.7 各所得水準に対する車の保有率

Income class	Weight	Share (%)
0-1730	$33.8 \times 0.058 = 2.0$	4.4
1731-3462	$32.6 \times 0.399 = 13.0$	28.9
3463-5193	$15.6 \times 0.772 = 12.0$	26.7
5194+	$18.0 \times 1.000 = 18.0$	40.0

上記の割合から車の所有者の時間価値は以下のように計算される。

車の保有者の時間価値

$$\begin{aligned}
 &= 850 \times 0.044 + 2500 \times 0.289 + 4500 \times 0.267 \\
 &\quad + 11000 \times 0.400 \\
 &= 6361.4 \quad (\text{スーダンポンド/月}) \\
 &= 30.0 \quad (\text{スーダンポンド/時}) \\
 &\quad (1 \text{月} = 30 \text{日}, 1 \text{日} = 7 \text{時間労働と設定した})
 \end{aligned}$$

他方、各所得水準に対するバス利用者の割合は表 5.8 に示されたように計算される。

表 5.8 各所得水準に対するバス利用者の割合

Income class	Weight	Share (%)
0-1730	$33.8 \times 0.942 = 31.8$	57.8
1731-3462	$32.6 \times 0.601 = 19.6$	35.6
3463-5193	$15.6 \times 0.228 = 3.6$	6.6
5194+	$18.0 \times 0.000 = 0.0$	0.0

上記の割合から、車の非保有者の時間価値は以下のように計算される。

車の非保有者の時間価値

$$\begin{aligned}
 &= 850 \times 0.578 + 2500 \times 0.356 + 4500 \times 0.066 \\
 &\quad + 11000 \times 0.000 \\
 &= 1678.3 \quad (\text{スーダンポンド/月}) \\
 &= 8.0 \quad (\text{スーダンポンド/時}) \\
 &\quad (1 \text{月} = 30 \text{日}, 1 \text{日} = 7 \text{時間労働と設定した})
 \end{aligned}$$

c) 車の時間価値の推定

上記で推定された車とバスの利用者の時間価値を用いて、車の時間価値が推定された。この推定は表5.9に示された交通調査結果によって得られたトリップ目的及び平均乗者人員に基づいてなされた。時間節約便益は通勤トリップを含むビジネストリップのみに関して求められた。

表5.9 車種別トリップ目的

	Occupancy rate (person)	Business trip	Non-business trip
Passenger car including taxi and pick-up	2 ^{/1}	3343 (66.5%)	1684 (33.5%)
Mini bus	15.3	587 (87.1%)	87 (12.9%)
Bus	42.8	166 (87.8%)	23 (12.2%)

Note : ^{/1} not to include persons who are not related to business trip

- 乗用車の時間価値

$$30.3 \times 2 \times 0.665 = 40.3 \quad (\text{スーダンポンド/時})$$

- ミニバスの時間価値

$$8.0 \times 15.3 \times 0.871 = 106.6 \quad (\text{スーダンポンド/時})$$

- バスの時間価値

$$8.0 \times 42.8 \times 0.878 = 300.6 \quad (\text{スーダンポンド/時})$$

表5.10 時間節約便益

(Unit : LS. 1,000)

Year	Alternatives				
	A-1	A-2	B-1	B-2	C
1995	18,180	41,160	68,341	36,360	77,430
2005	77,430	77,430	241,380	223,200	154,860
2015	500,160	854,670	1,245,480	1,209,120	1,072,440

(3) 白ナイル橋の維持費の節約便益

新白ナイル橋が完成すれば、大多数の交通が白ナイル橋から新白ナイル橋へ転換する。従って、新白ナイル橋の建設後には現在の白ナイル橋の維持費は減少する。この維持費の節約額は本プロジェクトの建設により生ずる便益である。この維持費用節約便益は次のように推定された。

- 大規模改修費用の節約便益 30百万スーダンポンド (ただし1995年のみ)
- 維持費用の節約便益 1.4百万スーダンポンド (毎年)
- 運営費の節約便益 0.3百万スーダンポンド (毎年)

(4) 経済評価

表5.11は経済的費用と便益とから、各代替ルートに対する内部収益率がまとめられている。

表5.11 代替ルート別の内部収益率

代替路線案	IRR (%)
A-1	9.7
A-2	15.6
B-1	21.3
B-2	16.0
C	16.6

表5.11のIRRをみると、代替案B-1が5つの代替案のなかで21.3%という最も高い内部収益率を示している。従って、ルート選定のための経済評価においてはB-1ルートが経済的観点からみると最もフィージブルであると推せんできる。この経済評価は人口予測の成長率の高いケース“High Case”に対しても行われた。High CaseにおけるIRRは上記のIRRよりも低く推定された。その理由は“High Case”において予測された非常に多くの交通量は道路状況が提案されている以上に改良されないかぎり、結果的には多くの車に迂回路をとらせることとなり、このことが負の走行費用節約便益をもたらすからである。もし、“High Case”のような状況が出てくれば、NCKは市内の道路網の改善をはかるのみでなく、UNDPの調査で提言された車の抑制策の実施が必要となるであろう。

5.4.2 概略技術評価

(1) 道路と橋梁分野

A) 線形

曲率の大きな線形は望ましくない、特に橋梁部では好ましくない。この理由は、設計及び工事がより難しくなる事である。この観点から、路線代替案B-1とCが他案より優れている。

B) 橋梁形式

路線代替案A-1の場合の橋梁形式は鋼製の跳開橋となる。しかし、路線代替案A-2、B-1、B-2、Cの場合の橋梁形式は、コンクリート形式でも鋼形でも可能であり、A-1と異なりより理想的なものを採用することが出来よう。この様な柔軟性は、最適形式を決定する上で構造形式だけでなく建設材料や建設方法をより幅広く検討できることから有意義なものである。この件に関し、路線代替案A-1は他の4案より劣る。

C) 橋梁の斜角

橋梁の工事費、設計上の信頼性、工事の安全性及び外観上の観点より、橋梁の中心線が川に対して直交する事が最良である。このことから、路線代替案B-1は他案より優れている。

(2) 河川工学分野

新たに建設する橋脚の本数とその寸法は河川に対して重要な意味を有する。各路線代替案の主橋梁は、殆ど同じ橋長と支間長になると考えられ。このため、この評価条件としては、川の流下能力の阻害や洗掘に深く係わりのある橋脚幅を対象とする。跳開橋の橋脚幅は非常に大きくなるから、路線代替案A-1は、好ましくない。

(3) 航行安全

白ナイル川は既存橋の付近で川幅が狭くなっており、流速はワド・ダキエン島の上流に比べると速い。

この観点から、新白ナイル橋は出来る限りワド・ダキエン島の上流に架橋すべきと考える。更に、路線代替案は跳開橋案であり、一方、既存橋が旋回橋でもある。このため、路線代替案A-1は航行安全上極めて危険なものと言える。

(4) 交通混雑の緩和度

新白ナイル橋が完成する事により、既存橋とその取付道路上に発生している現状の交通渋滞は、緩和されるであろう。

この緩和度は次式により求める事が出来、その結果は表5.12に示す通りである。

$$R, D = (1 - C, Di / C, Do) \times 100$$

ここに、 R, D : 交通混雑緩和度 (%)

C, Di : 新白ナイル橋が出来た場合の2015年時点での混雑

C, Do : 新白ナイル橋が出来無い場合の2015年時点での混雑

(表5.1参照)

表5.12 各路線代替案別の混雑緩和度

対 象 道 路	A-1	A-2	B-1	B-2	C
既 存 白 ナ イ ル 橋	47 %	37 %	50 %	41 %	16 %
オムドルマン側取付道路	- 12 %	- 11 %	44 %	40 %	24 %
カルツーム側取付道路	- 31 %	20 %	10 %	28 %	15 %

この結果、以下の事が明らかになった。

- 路線代替案A-1は既存の白ナイル上の交通混雑を緩和する。しかし、この案は、カルツームとオムドルマン側両方の接続道路の交通を一層混雑させてしまう。
- 路線代替案A-2は、既存の白ナイル橋とカルツーム側の接続道路の混雑を緩和する。しかし、この案はオムドルマン側の接続道路でより混雑を増大させてしまう。
- 路線代替案B-1、B-2とCは、既存橋及びカルツーム側とオムドルマン側両方の接続道路の交通混雑を緩和出来る。

(5) 地質分野

支持地盤等の地質条件に関しては、路線代替案A-1～Cの間で特筆出来る様な違いは見込まれない。

(6) 将来のメンテナンス

路線代替案A-1は、跳開橋とするために他案より将来のメンテナンス費用がかかる。

(7) 用地買収と補償費

橋梁の工事着手前に何らかの補償費を必要になる。即ち、

- 用地買収費。
- 現在ある建物や構造物の撤去、例えば家屋、電線と電柱、白ナイル川を横断している水道管など。

調査対象地域における上記事項の現況に従えば、路線代替案A-1、A-2、B-1とB-2の場合は用地買収と補償は比較的容易なものと思われる。一方、路線代替案Cは、そのルートがオムドルマン側のアル・フィタイハブ町の住宅地を通過する事になるので、用地買収と補償が困難である。

5.4.3 選定された路線

前述の5.4.1項と5.4.2項の結果を図5.4に総括した。

この結果、路線代替案B-1が最適案と判断される。この理由は、B-1はIRRをはじめ全ての評価項目で他の案より優れているためである。そして、以後の調査作業は、この路線代替案B-1に基づいて行うものとする。

		Route Alternatives				
		A-1	A-2	B-1	B-2	C
Outline of Each Route	Functional Classification	Enlargement of Existing Arterial Road over the White Nile		By-pass with Potentiality of Beltway Connector		Beltway Connector
	Project Length	2,100 m	2,900 m	4,400 m	5,200 m	7,400 m
	Bridge Length	620 - 700 m	700 - 800 m	700 - 800 m	1,100 - 1,300 m	1,000 - 1,300 m
	Bridge Type	Movable Bridge	Fixed Bridge	Fixed Bridge	Fixed Bridge	Fixed Bridge
Evaluation	Economic Internal Rate of Return (EIRR)	8.9 %	15.6 %	21.3 %	16.0 %	16.6 %
	Road and Bridge Engineering Aspect	△	○	●	○	○
	River Hydrological Aspect	△	●	●	●	●
	Navigational Safety	×	●	●	●	●
	Relief Degree of Traffic Congestion	△	△	●	●	○
	Future Maintenance	△	○	○	○	○
	Land Acquisition and Compensation	●	○	○	○	△
OVERALL EVALUATION		△	○	●	○	○

LEGEND:

- Very Good
- Good
- △ Fair
- × Bad

Recommended

THE FEASIBILITY STUDY ON THE
CONSTRUCTION OF THE NEW WHITE
NILE BRIDGE

Fig.
5.4

路線代替案の評価表

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

第6章 技術調査及び現場調査

第 6 章 技術調査及び現場調査

6.1 概 要

広範な現地調査と判定を実施する必要があった。即ち、資料収集、地形測量、土質と材料調査及び内業を行って技術的フィージビリティ調査に供することとした。これらの調査と判定はそれぞれ平行作業として実施されたのであるが、それぞれの結果等を関連させながら進められた。

ここで記述する現地とは、第 5 章で選定された路線 B-1 の通過する地域並びに盛土の土取場とか骨材用の岩石採取場等の建設材料に関係する地域である。

6.2 地形測量

6.2.1 測量の方法

測量は、白ナイル川の周辺で北緯 $15^{\circ} 3' \sim 15^{\circ} 32'$ 、東経 $32^{\circ} 20' \sim 32^{\circ} 31'$ の範囲で実施された。この地域は、ハルツーム市とオムドルマン市の 2 つの行政区域に分かれている。そして、この地域は、ゆるやかに起伏しており土で出来た家とか軍事施設地がオムドルマン側に存在している。また、白ナイル川をはさんで、ハルツーム側、オムドルマン側両方に野菜畑がありさらに未舗装の道路もある。

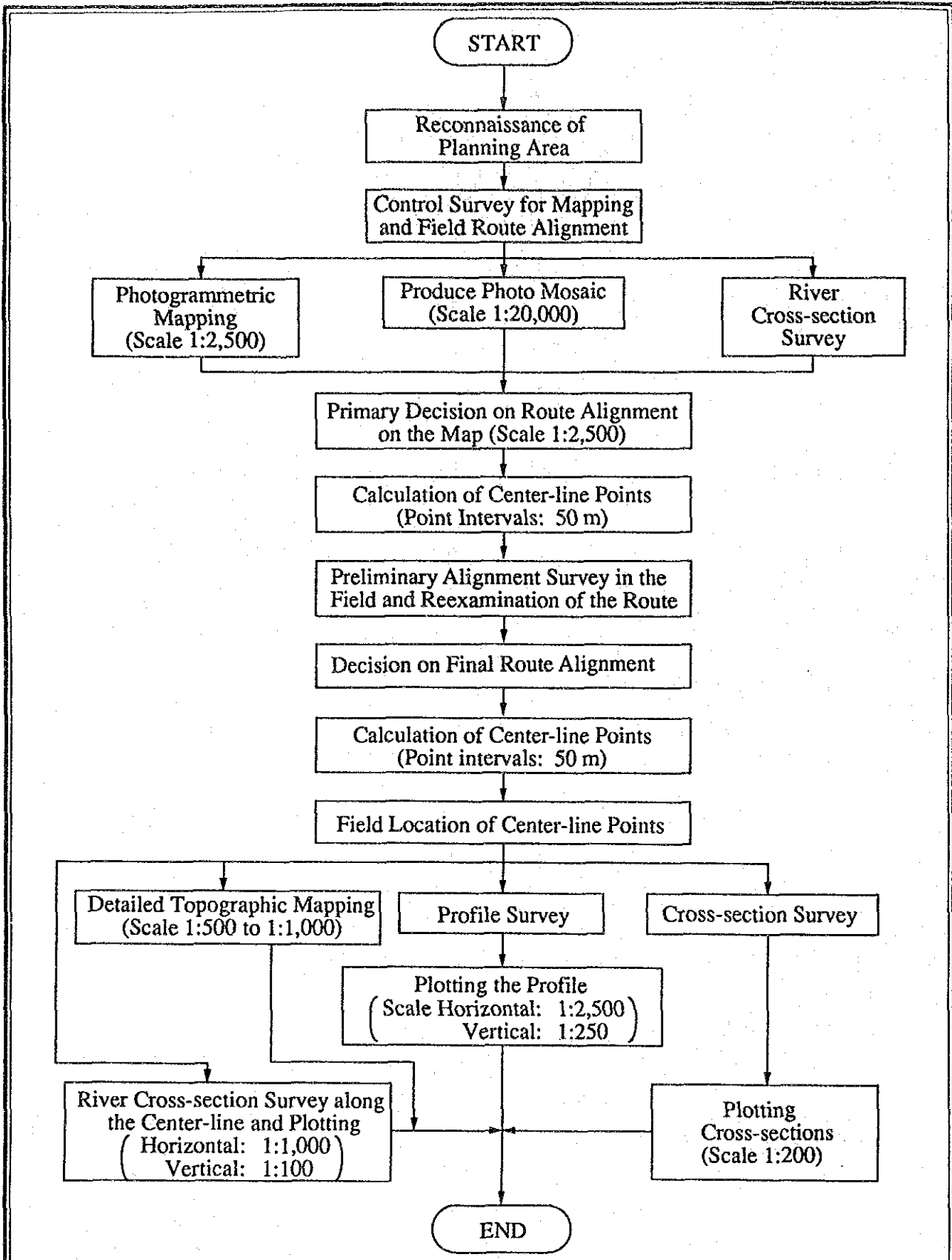
この地形測量で実施した測量の手順を図 6.1 に示す。なお、詳細を Appendix 6.1 に示す。

6.2.2 採用した基準点

既存のベンチ・マークと今回新たに設けたベンチ・マークを表 6.1 と図 6.2 に示す。この報告書に示す測量結果は全てこれらに準拠し、標高はエジプトのアレキサンドリアの平均海面からの比高として RL+メートルで表示する。

6.2.3 道路中心線測量の模式図

図 6.3 に示す模式図に基づいて道路中心線測量を実施した。この測量中に 50m 間隔で地面に杭を打込み、また、横断測量も実施した。

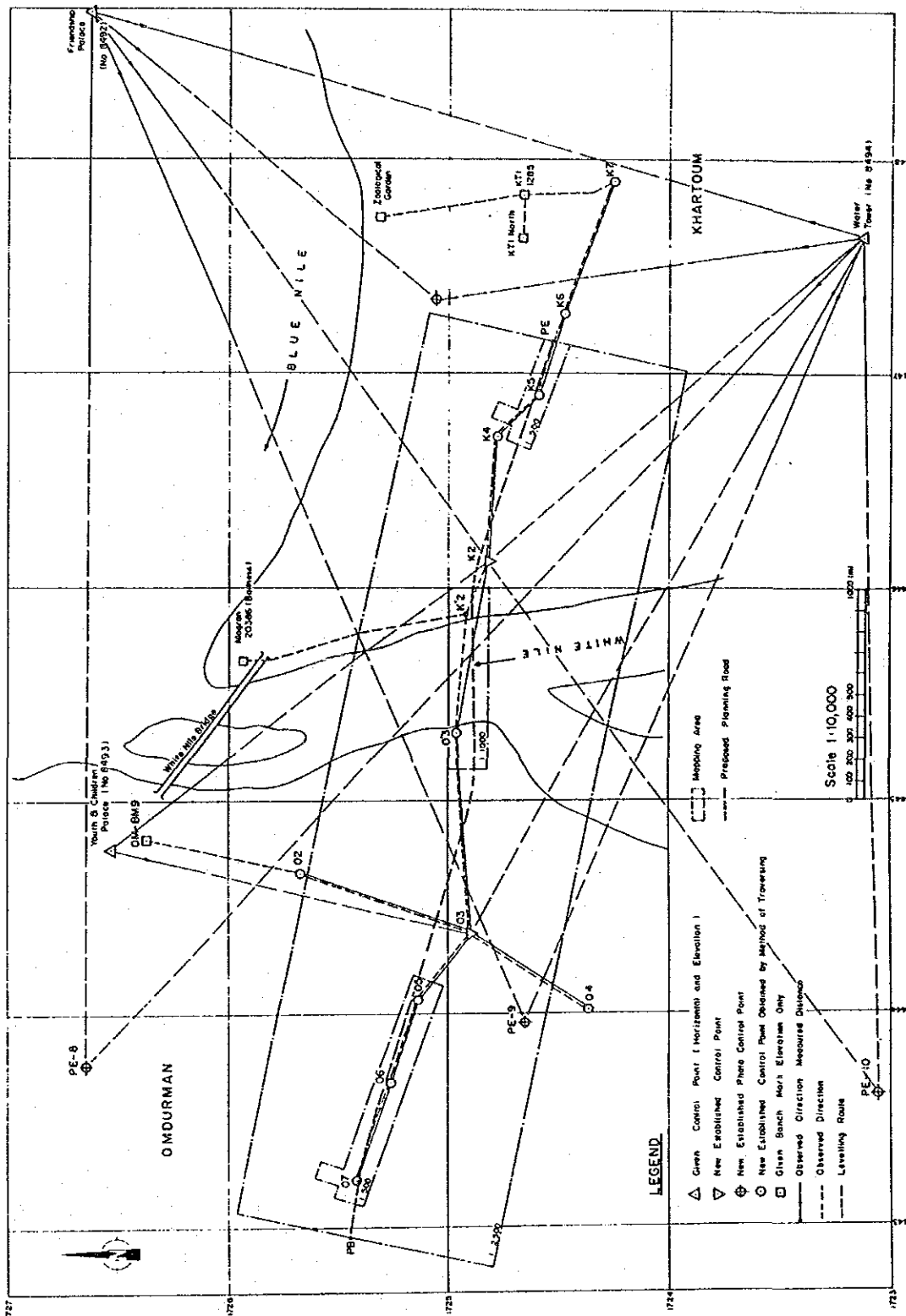


THE FEASIBILITY STUDY ON THE
CONSTRUCTION OF THE NEW WHITE
NILE BRIDGE

Fig.
6.1

測量手順の流れ図

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

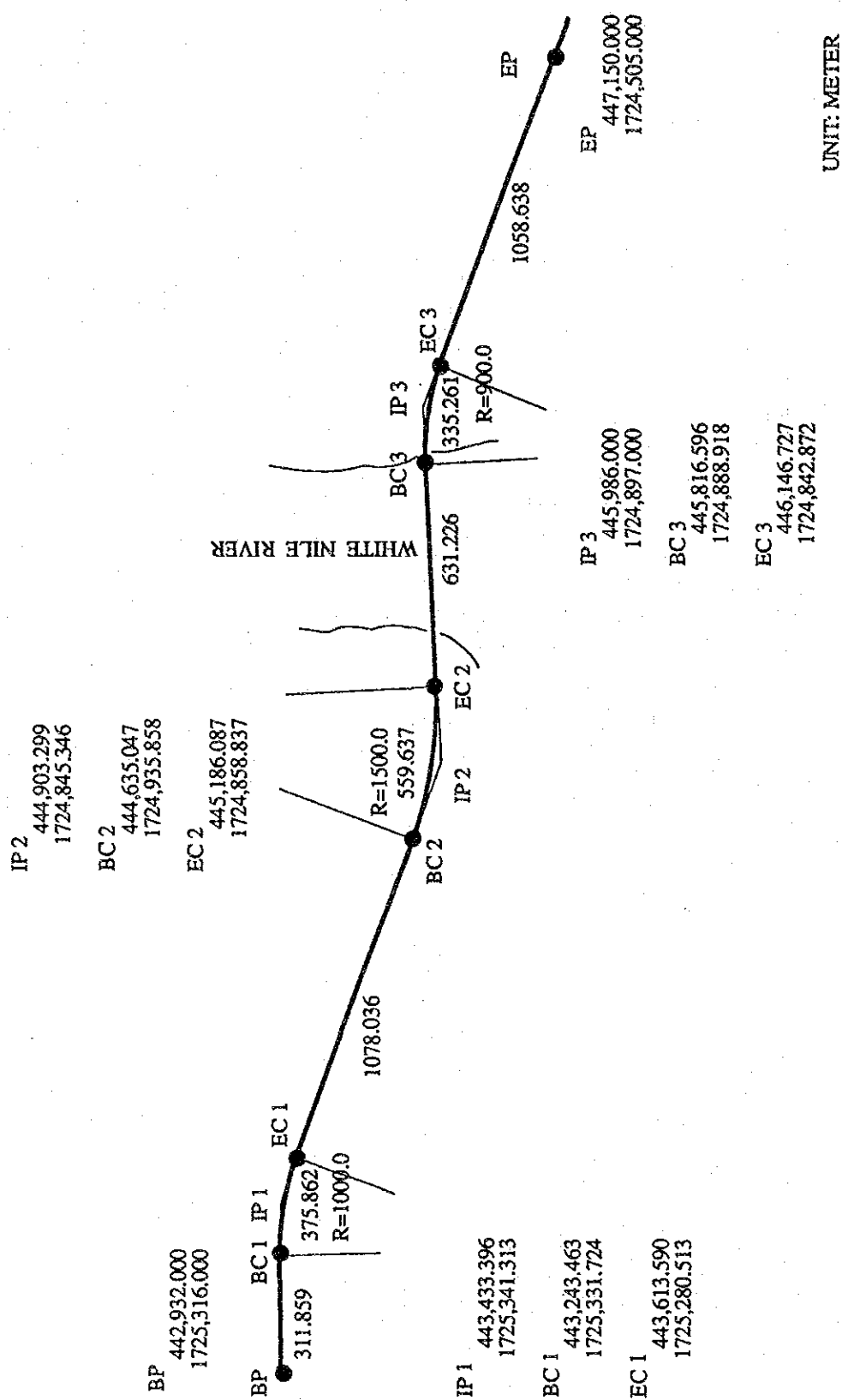


THE FEASIBILITY STUDY ON THE
CONSTRUCTION OF THE NEW WHITE
NILE BRIDGE

Fig. 6.2

基準点位置図

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY



UNIT: METER

THE FEASIBILITY STUDY ON THE CONSTRUCTION OF THE NEW WHITE NILE BRIDGE

Fig. 6.3

道路中心線模式図

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

表 6.1 基準点と水準点

Point Name or Number	Coordinate		Elevation RL+(m)	Remarks
	N (m)	E (m)		
<u>(C o n t r o l s)</u>				
Youth & Childr. P	1,726,520.630	444,776.228	413.555	Sudan Control No.8439
Water Tower	1,723,120.720	447,649.155	421.220	Sudan Control No.8494
Friendship Hotel	1,726,630.736	448,680.724	433.940	Sudan Control No.8492
K2	1,724,769.883	446,113.917	376.843	JICA Team Control
K4	1,724,770.457	446,706.678	380.812	ditto
K5	1,724,577.985	446,894.096	379.673	ditto
K6	1,724,460.172	447,267.683	379.109	ditto
K7	1,724,254.667	447,898.818	380.621	ditto
O2	1,725,648.628	444,667.862	377.362	ditto
O3	1,724,882.867	444,384.110	376.681	ditto
O3'	1,724,968.747	445,311.831	375.724	ditto
O4	1,724,243.628	444,030.217	376.796	ditto
O5	1,725,120.536	444,070.991	380.642	ditto
O6	1,725,249.527	443,681.424	383.648	ditto
O7	1,725,328.437	443,213.898	385.264	ditto
<u>(L e v e l C o n t r o l s)</u>				
Zoological Garden			381.305	Sudan Control
KTI (12852)			379.678	Sudan Control
OM-BM9			384.714	Sudan Control
Mogran (20386)				Sudan Control (bad)

6.3 地質及び土質調査

6.3.1 地質概況

アフリカ大陸の地質年代は、約 100億年と言われており、ナイル川は古代から現代まで広大な大陸をゆっくりと流れつづけている。

図 6.4 に示す様にナイル川流域の地質基盤は主にプレ・カンブリアン層（20億年前のもので、花崗岩、片麻岩などが岩状を呈している）である。一方、白亜紀のもの（10億年前のもので、砂岩等から岩状を呈している）が北部地域のある範囲で分布している。

更に年代の新しい第 3 期層と第 4 期層も同様に存在している。殊に、ナイル川沿いには第 4 期層が広範囲に分布している。

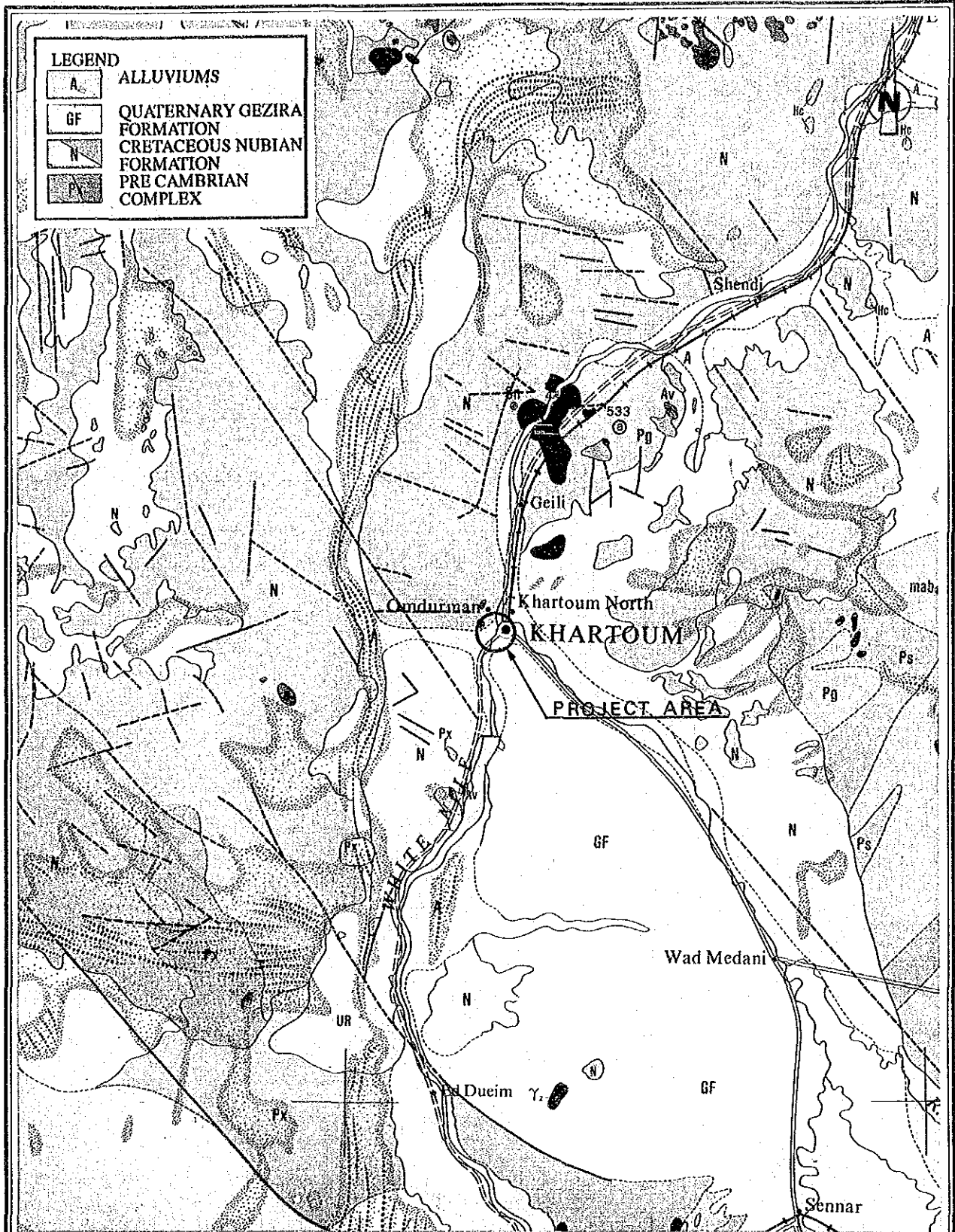
構造形態学的に見ると、平坦な土地がこの地域に広く分布している。一方、丘陵地帯（造山帯）はナイル川の東側に形成されている。平坦部は永い間の乾燥気候により平坦化されたもので、極めて代表的平原の特徴を示している。

造山帯は紅海に対して平行に走り南から北に向かって約 1,000km の長さでまた幅約 200m で分布している（この造山帯はアフリカ・リフトに継っている）。

岩石学上、プレ・カンブリアン層は主として花崗岩と片麻岩で構成されているが、若干量であるが堆積岩も含まれている。白亜紀層は、これとは別の基岩層で、泥岩を含んだ砂岩から成っている。更に、所々に玄武岩が貫入状態で存在している。ナイル川沿の第 4 紀層は細砂から成っている。

口絵に示した様にプロジェクト地域は白ナイル川と青ナイル川の合流地点の上流側に位置している。この地域では、川底の勾配は非常に緩やかで勾配は約 1/10,000 である。平均的な川幅は、白ナイル川で約 700m、青ナイル川で約 400m である。白ナイル川では雨期になると両岸とも数 100m 幅で湛水する。このため、白ナイル川は季節によっては約 2,500m の川幅になり、三日月形や平たい中洲（粘土）が形成されている。これらの中洲（粘土）は、乾期の水面より 5～10m 高くなっている。

基盤は、ヌビア層と呼ばれている白亜紀の地層である。この層は、主として砂岩と泥岩の互層で、薄い礫層も混じっている。この岩層は、白ナイル川の川岸から 200～500m 離れた所に、所々露頭している。



SOURCE GEOLOGICAL MAP OF SUDAN

SCALE: 1/2,000,000

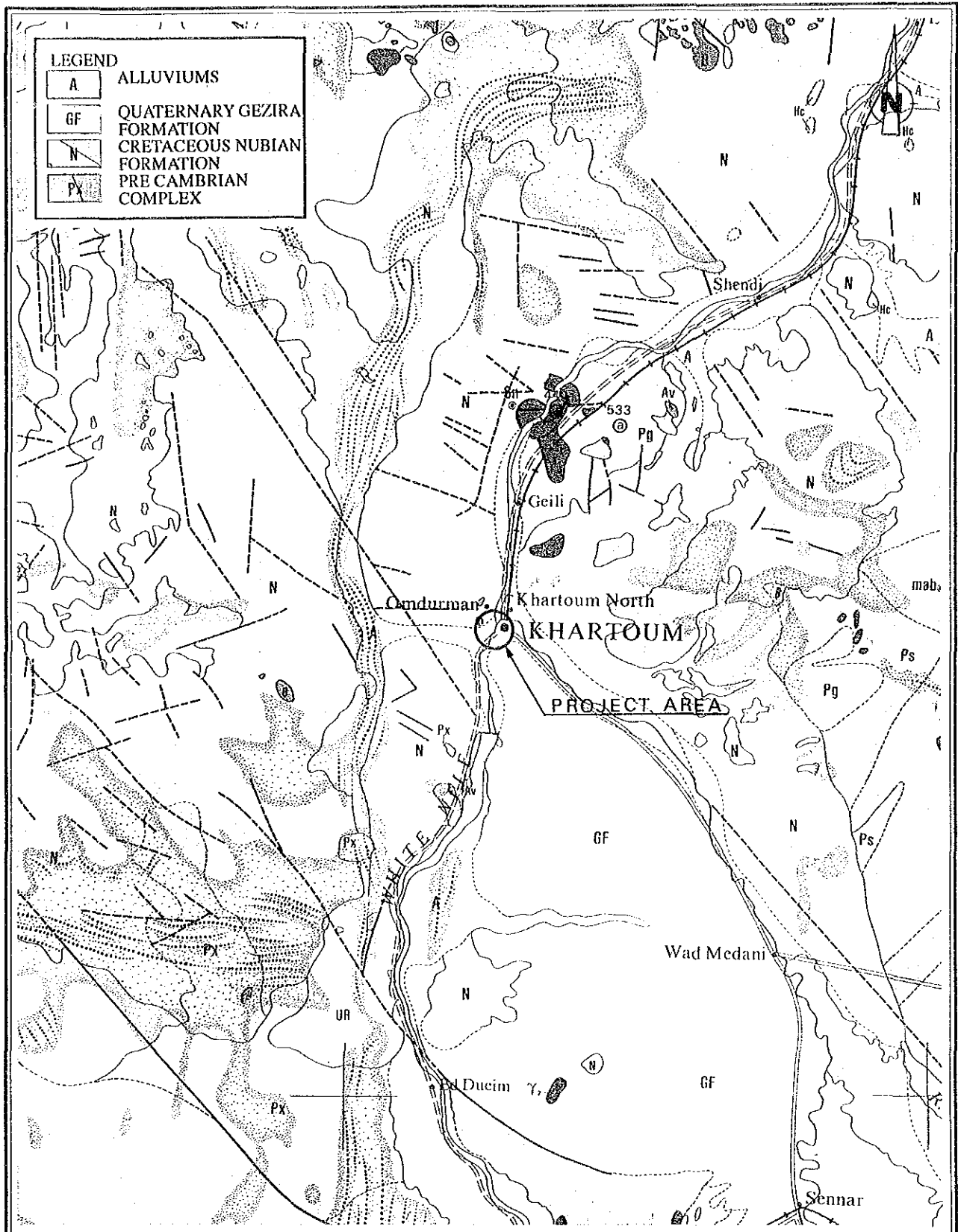
THE FEASIBILITY STUDY ON THE
CONSTRUCTION OF THE NEW WHITE
NILE BRIDGE

Fig.

6.4

地質図

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY



SOURCE GEOLOGICAL MAP OF SUDAN

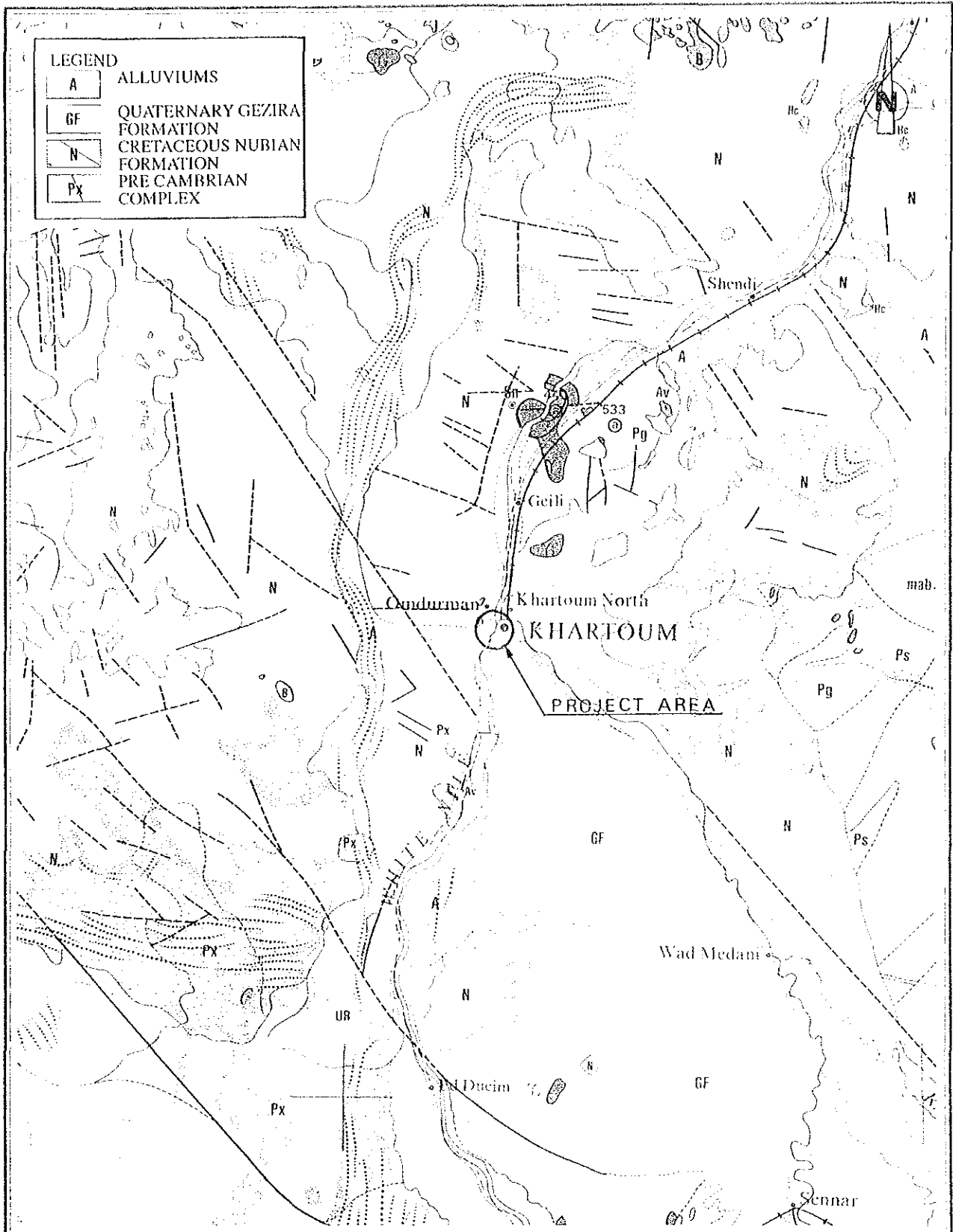
SCALE: 1/2,000,000

THE FEASIBILITY STUDY ON THE
CONSTRUCTION OF THE NEW WHITE
NILE BRIDGE

Fig.
6.4

地質圖

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY



THE FEASIBILITY STUDY ON THE
CONSTRUCTION OF THE NEW WHITE
NILE BRIDGE

Fig.
6.4

地 質 図

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

この地域の表層は、第4紀の土層である。これは、主に粘性土で、川岸沿に広範囲に分布している。若干ではあるが、川底と合流点下流の中洲に砂層がある。一方、部分的に貫入状の玄武岩もあり岩の採取場となっている。

6.3.2 地質構成

試験ボーリングを行って地質構成を調査した。ボーリング位置図と地質横断図を図6.5に示す。

計画予定地点における地層は沖積層と基盤層であるヌビア層から成っている。

ボーリング柱状図に従うと、沖積層は、3種類の粘土層と1種類の砂層に分類出来る(Appendix 6.2を参照)。ヌビア層は、砂岩と泥岩の互層になっている。

これらの各層の特性をまとめると以下の通りである。

(1) 粘土 ACL1

新しい河川堆積土砂。この層は川底の表層部に数メートルの厚さに分布している。標準貫入試験のN値は1で非常にゆるく軟らかな粘土である。

(2) 粘土 ACL2

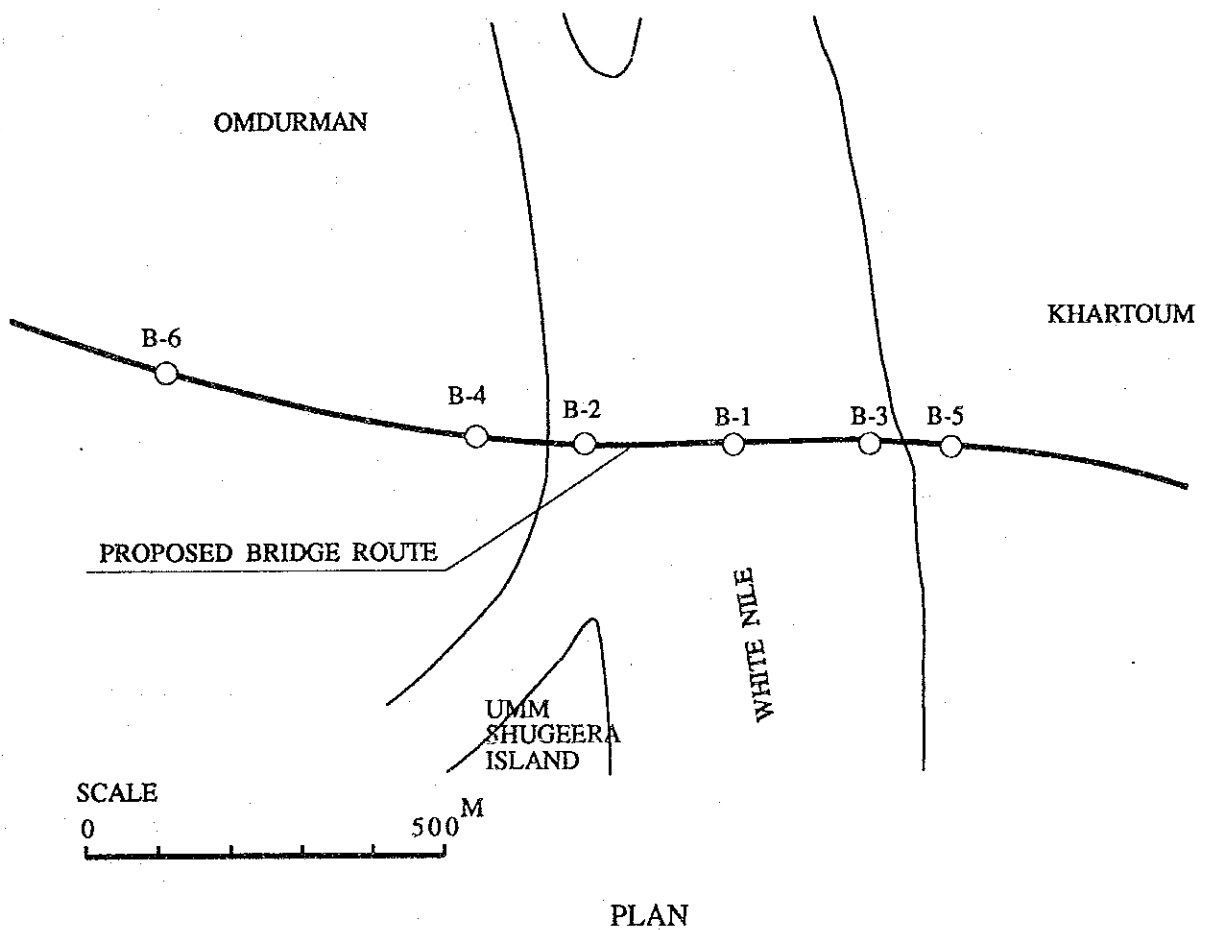
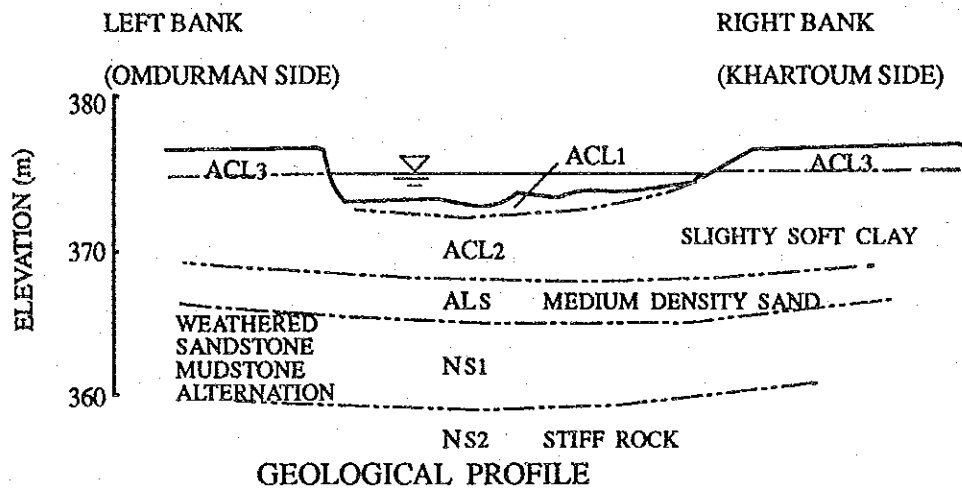
均一に堆積している土砂。この粘土層は若干のシルト分を含有している。N値は平均で5でコンシステンシーは中位のもの。

(3) 粘土 ACL3

この層は河岸段丘の様な形になっていて川の両岸に分布している。土質形式は、約15%程度のシルト分を含有しているシルト質粘土である。非常に固くしまっており固結粘土の様になっているが、これは異常気象による洪水の場合を除いて常に乾燥の影響を受けている為である。N値は6~11。

(4) 砂 As

この層は粘土層ACL2の下に4~5m厚に存在している。これは均一な細砂(貧粒度分布)から成っている。N値は20~40で比較的よくしまっている。



THE FEASIBILITY STUDY ON THE
CONSTRUCTION OF THE NEW WHITE
NILE BRIDGE

Fig. 6.5

ボーリング実施位置と地質横断図

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

(5) ヌビア層 N b

この層は泥岩と砂岩の互層の岩盤層である。多くの部分は濃度の高い鉄分の酸化現象の影響を受けており、しっかりと固結しているが上層部分は風化作用を受けている。

設計用諸量すなわち粘着力Cや内部摩擦角 ϕ 、単位体積重量 γ 、変形係数E_oはN値と土質試験から決定される。

これら諸量は表6.2に示す通りである。

表6.2 基本技術諸量

層	N値	C tf/m ²	ϕ 度	γ tf/m ³	E _o kgf/m ²
A C L 1 粘土	1	1	0	1.4	14
A C L 2 粘土	6	3	0	1.6	35
A C L 3 粘土	5	3	0	1.6	40
A s 砂	20	0	30	1.8	135
N s 砂岩+泥岩	> 50	50	35	2.3	1,250

現場試験のN値の結果より、C、 ϕ は次の様に推定出来る。

$$\text{粘土層} : C = 0.6 \times N \quad (\text{tf/m}^2)$$

$$\text{砂層} : \phi = 12N + 15 \quad (\text{度})$$

ヌビア層から得られたボーリング・コアの試料を判断すると、 $C = 50 \text{ tf/m}^2$ 、 $\phi = 35^\circ$ 、 $\gamma = 2.3 \text{ tf/m}^3$ となる。

粘土層の粘着力に注目して見れば、湿潤状態の粘着力は洪水時の状態を考慮して与えられる。

6.3.3 橋梁基礎工の支持層

計画予定地域に分布している基岩層のヌビア層が橋梁基礎工の支持層となる。機械ボーリングによる地質調査結果から、ヌビア層は沖積層（粘土と砂）の下にあり、ほぼ地表から10mの深度に現れる。この支持層の上層部の数メートル分は化学作用を受けゆるんでいる。このため、橋梁基礎工はこのゆるい部分を貫入し、かたく締まった岩まで入れる必要がある。

平成元年6月中旬に完了したB1～B5のボーリング結果から、上部工反力を支持するに十分と考えられるものは河床より約15mと判断された。

6.3.4 盛土の検討

洪水の影響を受ける地域に橋台が計画される場合には、最大盛土高が橋長決定の重要な要素になる。このため、最大盛土高を求めるために圧密沈下と円弧滑りについて検討を加えた。

これらの計算内容の詳細については、Appendix 6.3に示す通りであり、概要は次にまとめられている。

(1) 圧密沈下

ボーリング結果より判断すると、約4m厚の粘土層が圧密層と思われる。オスターベルクの方法で圧密を求めたものが表6.3であり、この時の盛土単位体積重量を 1.8 tf/m^3 と仮定した。

表 6.3 圧密量と盛土高

盛土高	圧密沈下
6 m	40 cm
8 m	50 cm
10 m	55 cm
12 m	70 cm

この沈下量の80%沈下に要する期間は450日が見込まれる。

(2) 円弧滑り

次の2ケースについて計算した。

- 押え盛土無しの場合の盛土に対して
- 押え盛土を設けた場合の盛土に対して

分割法により、単位体積重量を 1.8 tf/m^3 として粘着力を 3.0 tf/m^2 とした場合、次の結果を得る。

A) 押え盛土無しの場合

最大盛土高 = 8.0 m

B) 押え盛土を設けた場合

- 最大盛土高 = 10.0 m
- 押え盛土 = 0.3 tf/m^2

(3) 推奨される最大盛土高

上記(1)と(2)より、次の様に最大盛土高が結論づけられる。

円弧滑りに対して押え盛土対策工を設け無い場合の最大盛土高 = 8.0 m

円弧滑り対策工として押え盛土を設けた場合の最大盛土高 = 10.0 m

もしも押え盛土を設けたとすれば、理論的には 12 m まで盛土高が可能であるけれども、この場合には2年以内に 70 cm にも達する圧密沈下が生じるので実際的ではない。

6.4 水文調査

6.4.1 水文調査の方法

新白ナイル橋とその関連構造物に対する気象水文及び河川水理上の設計条件を設定する目的で、以下の調査を実施した。

- a) 計画地域の気象・水文状況の把握
- b) 計画高水位と低水位及びその時の流速の設定
- c) 確率風速の推算
- d) 確率風速によって生じる設計波高の算出
- e) 橋脚周辺部の洗掘深の推算
- f) 確率雨量強度の推算

上記事項のため、資料収集及び作業手順の設定作業を実施した。この詳細は以下に示す通りである。

(1) 利用可能なデータ

A) 気象データ

スーダン国防省の気象調査部 (Meteorological Department, Ministry of Defense, the Republic of the Sudan) がずっと気象観測を続けて来ている。ハルツームでは2カ所の観測点があるが、それらは、1)ハルツーム観測点と、2)シャンバット観測点である。

ハルツーム観測点は国際空港にあり、ここでは20世紀初頭から観測作業が実施されて来ている。シャンバット観測点はハルツーム・ノースに1937年設立されたものである。

本調査において、ハルツーム観測点で記録されている気象データを収集したが、これはシャンバット観測点に比べると測定期間が長いという理由による。

新白ナイル橋及びその関連施設の計画と設計に係わる次のデータを収集した。

- a) 気 温
- b) 湿 度
- c) 蒸発量
- d) 風速並びに風向
- e) 降 雨

上記データで利用出来るものについて Appendix 6.4 (1)にリストアップした。

B) 水文データ

計画予定地域の周辺には4カ所の水位観測点がある。即ち、1)ナイル川のタマニアット (Tamaniat)、2)青ナイル川のハルツーム、3)白ナイル川のモグランと、4)白ナイル川のゴードン・トゥリーの4カ所である。更に、1937年にジベル・アウリア・ダムが完成しその時から水文観測が続けられている。これらの位置及び設置時期を次表に示す。

表6.4 水 位 観 測 点

観 測 点 名	設置年	ゼロゲージ (RL. m)	白ナイル川と青ナイル川 との合流点からの距離
a) ナイル川			
タマニアット	1912	361.73	下流 40 km
b) 青ナイル川			
ハルツーム	1904	363.00	上流 4 km
c) 白ナイル川			
モグラン	1915	362.70	上流 10 m
ゴードン・トゥリー	1913	363.35	上流 7 km
ジベル・アウリア	1935		上流 40 km

出典 : Ministry of Irrigation

これらの観測点はスーダン国灌漑省とエジプト灌漑局により運営・管理されている。調査団は水位、流量等の水文データを収集し、白ナイル川の流下特性を把握した。

収集したデータのインベントリーを Appendix 6.6 に示す。

C) 白ナイル川に係わるデータ

白ナイル川の河道変動の変遷を明らかにする目的で1952年、1964年、1965年、1984年、1988年に国防省の測量局により撮映された航空写真を収集した。

(2) 手順一般

現地踏査、データ収集とその編集により、気象・水文状況の把握を次に示す様な手順で実施することになった。

A) 計画高水位と低水位及びその時の流速

ハルツーム市の水位観測所の水位は70年以上に亘って測定されて来ている。このため、近傍の橋梁である既存白ナイル橋、シャンバット橋、青ナイル橋とブリー橋の設計水位は夫々の近くの最高水位記録に基づいている。

本調査において、計画地点に隣接しておりしかも74年間に亘って観測されているモグラソ水位観測点の年間最高水位が利用可能である。これらの水位記録に基づき、モグラソ水位観測点での既往最大の水位を設計高水位に決定した。

設計低水位についても同様な手法によるモグラソ水位観測点での年間低水位を用いて決定した。

B) 確率風速の推算

橋梁及び河川構造物の設計に対する風速は 100年確率の風速によって決定する事とした。

1983年～1988年の51年間の風のデータが本調査に利用出来、そして確率風速を計算するには確率頻度分析が適用出来るものと判断した。

C) 確率風により生じる設計風速の設定

計画地点近傍の白ナイル川は、雨期になると青ナイル川のバック・ウォーターの影響を受けるため自然遊水池の様な挙動をする。同じくこの頃には、白ナイル川に沿って南方からハブーブと呼ばれる砂嵐しが吹く。

このハブーブが川面に波を起し、そして橋脚や橋台、盛土構造に碎波する。

浅海発生波理論を用い、本調査中に実施した地形測量の結果や推算された風速にもとずいて、この風浪の特性を調査した。

D) 橋脚周辺部の局所洗掘の推算

橋脚のフーチングの洗掘防止対策工の計画するために、局所洗掘深を経験式を使用して求めた。この場合、既存の白ナイル橋の洗掘状況にも配慮した。

E) 確率降雨強度の推算

これは道路排水構造物の寸法決定のために必要なものであり、また排水集水域の降水量に適用するものである。

確率頻度分析を用いて、確率降雨量及びその強度と継続時間を推算する。そして確率頻度分析の結果より確率雨量強度～継続期間関係式を設定した。

6.4.2 気 候

ハルツーム気象観測所の記録に基づき、以下に気象概況を示す（詳細は Appendix 6.4 (3)）。

(1) 気 温

ハルツームにおける月間平均気温は、1月の23.2℃から次第に上昇して6月に33.7℃に達し、その後は翌年の1月まで気温が下降する。年間平均気温は28.8℃である。

過去90年間のハルツームにおける絶対最高気温は1940年6月に記録した47.7℃で最低は1903年1月の6.0℃である。

(2) 湿度

ハルツーム市は乾燥地帯に属する故に、年間平均湿度は30%と低い。年間変動は、10月～5月の乾期では20～30%で雨期の6月～9月は40～50%となっている。

(3) 蒸発量

蒸発皿を用いて測定された月間平均蒸発量は13mm/日～20mm/日、そして年間平均では16.1mm/日となっており、これは年間総蒸発量の5,900mmに対応する。

(4) 風速

年間平均風速は4m/秒である。月間平均風速は一年を通して変化が小さい。しかし、10分間継続時間に対する月間最高風速は10m/秒から30m/秒を超過する時もある。そして雨期中に20m/秒を超えるハブーブがひんぱんに発生する。瞬間最大風速としては、1947年8月に約40m/秒を記録した。

風向について言えば、乾期には北風が卓越し、一方、雨期には主に南風になる。

(5) 降雨

ハルツームでは年間約150mmの降雨があり、この90%が6月～9月の4カ月に集中する。

一年間に0.1mm以上の降雨日数は僅かに22日間である。

ハルツーム市は1988年の洪水で多大な被害を受けたそしてこの時に記録した200mm/日が1950年～1988年の約40年間の最高記録であった。

6.4.3 河道現況

第5章の路線代替案で考慮した地域は青ナイル川の合流地点からウム・シュジェラ(Um Shugiera)島の上流2kmの範囲内にある。

白ナイル川における上記約6.5kmの範囲内の河川縦横断と洪水流下状況を以下に述べる。

(1) 河川縦横断

A) 河川縦断

白ナイル川はジベル・アウリア・ダムからハルツームのモグラン水位観測点に至るまで緩い勾配1/10,000で流れている。しかしながら本調査団が実施した水深測量結果によればこの河床勾配は架橋予定地域付近で急激に変化し1/400程度になっている。

路線調査で対象とした河道範囲には、2カ所の中洲が存在する。即ち、既存白ナイル橋のある所のワド・ダキエンとそこから約700m上流にあるウム・シュジェラ島である。これらの中洲は乾期に現れるが、洪水時には冠水してしまう。

B) 河川横断

白ナイル川は700m程度の低水路と洪水時に4,000mにも及ぶ広大な川幅となる様な高水路を有する複雑な河川横断を有している。

この低水路は、ワド・ダキエン島とウム・シュジェラ島の2島によって乾期中は2本に分かれる。

ワド・ダキエン島付近では、左側の低水路幅は約80mそして右側は130m程度であるが、ウム・シュジェラ島では左側約120m、右側500mとなっている。これら2島の間では、川は一本のみとなっていて、その川幅は約500mである。乾期中の水深は、ワド・ダキエン島付近で4～5m、これ以外の所では水深約2mである。

洪水時の水路を毎年の雨期に水没する地域と定義すれば、この洪水時の水路は低水路より両岸にそれぞれ1.5～2.0kmの範囲に広がる川幅を有することになる。

(2) 既存白ナイル橋周辺の河川構造物

ウム・シュジェラ島上流部分までの川沿には数個の河川構造物が存在している。これらは、1)既存橋梁の橋脚、2)既存橋梁の取付道路の法面保護工、3)灌漑用で50ℓ/分以下の小型揚水ポンプ、4)雨期の排水ポンプ等である。

本プロジェクトに係わる施設の現状は以下の通りである。

A) 護岸工

モルタル・リップラップが5m高の盛土の保護工として用いられている。そして、この保護工は完成してから約70年経過している。この施設はおおむね良好な状態にあるが、1988年の洪水時に船舶の衝突により数箇所が損傷している。

B) 橋脚と橋台

河川内の橋脚周辺の局部洗掘が起きている旨が“Assessment, Inspection and Rehabilitation of the White Nile Khartoum - Omdurman Bridge”の報告書に記述されている。このため、本調査団はエコーサウンダーによる測定を実施した。

既存橋梁の河川横断測量の結果によると、河川内橋脚周辺の最大洗掘深は約3mと測定された。その他の高水敷とウド・ダキエン島上の橋脚と橋台には洗掘と侵食は見受けられないが、これは洪水時には水が静止状態にあるためである。

(3) 河川の流下状況

A) 年間の河川流下能力

白ナイル川のジベル・アウリア・ダム及び青ナイル川のカルツーム水位観測点での月別流量は表6.5に示す通りである。

表 6.5 ハルツームとジベル・アウリア・ダムにおける月別流量

月	ハルツームの 青ナイル川 (m ³)	ジベル・アウリア・ ダムの白ナイル川 (m ³)	比 (ハルツーム/ジベルアウリア・ダム)
1月	259	950	0.27
2月	178	845	0.21
3月	148	884	0.17
4月	149	1,046	0.14
5月	183	881	0.21
6月	419	723	0.58
7月	1,956	465	4.21
8月	5,787	516	11.22
9月	5,208	709	7.35
10月	2,708	1,031	2.63
11月	909	1,043	0.87
12月	442	1,031	0.43
平均	1,539	844	1.82

注) 上記数値は1912年～1982年のハルツームにおける月平均値及び1943年～1982年のジベル・アウリア・ダムにおける月平均値である。

出典) Ministry of Irrigation

白ナイル川流域には、大きな湖や広大な沼地やジベル・アウリア・ダム等があり、これらが白ナイル川の流量調整に役立っている。前掲の表に示す様に、ジベル・アウリア・ダムより下流の白ナイル川は比較的流量変動が少ない。これに反して、青ナイルは極めて変動が大きく、148m³/秒～5,787m³/秒となっており、この比は約40にも達している。

白ナイルは、ハルツームの既存白ナイル橋付近で青ナイル川と合流する。青ナイルと白ナイル川の流量比は、乾期の0.1～洪水期の11に変化する。青ナイル川の流量は、洪水期にのみ支配的となっている。

B) 洪水の流下状況

1988年には、大洪水が発生しハルツーム首都圏に多大な被害を与えた。図6.6に示すこの時の洪水状況を写した航空写真によれば、白ナイル川の水は青ナイル川のバック・ウォーターの影響により流れにくくなっている。

この時の洪水における架橋地点近傍の水位観測点に記録された水位は次に示す通りである。

表6.6 1988年の洪水位

観 測 点	高 水 位 (RL. m)	
	観 測 日	水 位
a) ナイル川 タマニアット	8月27日	378.69
b) 青ナイル川 ハルツーム	8月28日	379.94
c) 白ナイル川 モグラン	8月28日	379.75
ゴードン・トゥリー	8月27日	379.62
ジベル・アウリア・ダム	8月26日	379.70

出典) Ministry of Irrigation

上表に示す様に、モグランとジベル・アウリア・ダムの間の水位は殆ど水平である。この時、ジベル・アウリア・ダムは貯水量が一杯になったために、 $800\text{m}^3/\text{秒}$ の水量を排水した。

青ナイル川のカルツームでの流量と流速は約 $9,000\text{m}^3/\text{秒}$ 、 $2\text{m}/\text{秒}$ となった。

モグランでの水位記録によれば、過去最高水位は1946年8月に観測されたRL+379.96mであり、1988年洪水は第2位の記録である。(Appendix 6.9を参照)。



THE FEASIBILITY STUDY ON THE
CONSTRUCTION OF THE NEW WHITE
NILE BRIDGE

Fig.
6.6

1988年洪水時の流下状況

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY



THE FEASIBILITY STUDY ON THE
CONSTRUCTION OF THE NEW WHITE
NILE BRIDGE

Fig.
6.6

1988年洪水時の流下状況

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

6.4.4 水 文

水理検討は、架橋ルート選定時の路線代替案 B-1 に対して行った河川横断測量結果を用いて実施したものである。

(1) 高水位と低水位及びその流速の設定

A) 設計高水位

カルツーム市付近での白ナイル川に関連した河川改修計画は無く、計画高水位と洪水流量は未だ設定されていない。

既存橋梁である白ナイル橋、シャンバット橋、青ナイル橋及びブリー橋の計画高水位は、それぞれのサイトに於ける既往最大値に定められている。

本プロジェクト・サイト近傍の白ナイル川と青ナイル川における水位記録を収集し、既往最高水位を分析した。

モグラン水位観測点は1915年に設置され、その位置は青ナイル川との合流点より10m上流にある。新白ナイル橋の架橋位置がモグラン水位観測点近くにあり、このモグランでの過去74年間の最高記録である水位RL+379.96mを設計高水位を定めた。

B) 設計低水位

乾期における流速は洪水期のものより速い。これは表面の流水勾配が洪水期より急になるためと考えられる。この事に配慮して、マンニング式を用いて低水位を設定する。

$$\text{マンニング式} \quad : \quad Q = A R^{2/3} i^{1/2} / n$$

ここに、
Q ; 流 量 $\text{m}^3/\text{秒}$
A ; 流下断面 m^2
R ; 径 深 m
i ; 平均河床勾配
n ; 粗度係数

架橋地点での乾期の最小流量はモグランにおける最低水位の場合であり、これはジベル・アウリア・ダムからの放水量に対応している。

モグランに於ける過去最低水位はRL+372.62mであり、ジベル・アウリア・ダムからの放水量は370m³/秒であった(Appendix 6.4 (5)参照)。

流量を370m³/秒とした場合の低水位はRL+373.54mとなったが、この時マニング式における粗度係数を0.03そして河床勾配を1/400とした。

C) 流速

上述した高水位における流速算定には1988年12月の排水量1,520m³/秒が架橋地点まで流下して来るものと仮定する(Appendix 6.4 (6)参照)。

低水位に対する流速では、上述した低水位RL+373.54mで流量が370m³/秒を採用して算出する。

水位と流量からの変換については、次に示す連続方程式に基づいた。

連続方程式 $V = Q / A$

ここに、
 V ; 流速 m/秒
 Q ; 流量 m³/秒
 A ; 流下断面 m² これは水位と河川横断より求めたもの。

上記のものにより、高水位と低水位は次の様に求められた(Appendix 6.4 (10)参照)。

表 6.7 高水位及び低水位の流速

水 位 (RL+m)	流 量 (m ³ /秒)	断 面 積 (m ²)	流 速 (m/秒)
379.96	1,520	4,400	0.35
373.54	370	280	1.32

(2) 風 速

10分間継続時間に対する確率平均風速は1938年～1988年の年間最大風速を用い、岩井氏の方法により算出した。この岩井氏の式は、日本で提案されたもので、log-normal 分布にサンプルが属するものと仮定している(Appendix 6.12と6.13参照)。

算出された確率風速は次の通りである。

表 6.8 確 率 風 速

再現期間 (年)	風 速	
	(m/秒)	(マイル/時)
2	20.1	45
5	23.7	53
10	25.8	58
20	27.7	62
50	30.0	67
100	31.5	70

(3) 風 浪

新白ナイル橋の橋脚及び橋台は、計画高水位 R L + 379.96m から測って水深が 6 m 以上になる所に位置することになる。

調査地点においては、雨期中にハブーブが時々起こり、これが橋脚や橋台設計に考慮しなければならない風浪を発生させる。

風浪特性はブレッドシュナイダー氏により提案された浅海発生波理論に基づき、白ナイル川の水深を考慮して計算するものとする。

風浪特性を算定するために、以下の条件を設定する。

- a) 風向はカルツーム市の雨期中の卓越風である南風とし、風速は 100年再現確率の風速 31.5m/秒とする。
- b) 吹送距離は架橋地点から南側 11,000m の Al Kalakla の蛇行地点迄とする。
- c) 水深を 6 m とする。

ブレードシュナイダーは過去の観測記録に基づいて波高、風速、吹送距離の関係を作成した。この関係をAppendix 5. 9 にノモグラムとして添付したが、これにより以下のものが算出された。

- a) 波 高 2. 1 m
- b) 波の周期 4. 3 秒
- c) 波 長 29. 1m

(4) 局部洗掘深

橋脚の設計に考慮すべき局部洗掘深を次に示す経験式を用いて算出した。

a) Laursen 式

$$(D/h) = 5.5 (Z/h) \{ (Z/11.5/h + 1)^{1.7} - 1 \}$$

b) Lacey 式

$$Z = 0.47 (Q/f)^2$$

c) Neil式

$$(Z/D) = 1.5 (h/D)^{0.3}$$

- ここにおいて、
- D ; 橋脚の幅又は径 m
 - h ; 平均水位 m
 - Z ; 河床からの洗掘深 m
 - Q ; 流 量 m³/秒
 - f ; Lacey のシルト係数

予備的な仮定として、1)橋脚幅を5 m、2)平均水深はジベル・アウリア・ダム在完成後の1943年～1982年の間の年間平均水位 RL + 374. 35mと河橋地点の河床高 RL + 372. 1 mを考えて水深2. 5 mとする、3)ジベル・アウリア・ダムからの過去の最大放水量1, 520m³/秒を流量とする。4)白ナイル川の河床材料がシルト質粘土という事を考慮してLacey のシルト係数を0. 5とする。この結果、局部洗掘深は次の様に得られる。

表6.9 局部洗掘深

算出方法	局部洗掘深 (m)
Laursen	3.9
Lacey	6.8
Neil	6.1

本プロジェクトに於いては、上記の算出方法のうちで最も洗掘深の大きな値となるものを橋脚の設計洗掘深とする。

(5) 降雨強度と継続時間

降雨水深～継続時間解析を行い、カルツームにおける確率降雨強度～継続時間関係を設定した。この場合、1951年～1981年の年間最大降雨量を用い、次に示す岩井氏の方法により算出したものである。

A) 確率降雨

10分間、20分間、30分間、60分間及び120分間と異なった継続時間に対する確率降雨量を年間最大降雨量をもとに算出すると次の様になる (Appendix 6.4 (11)及び6.4 (12)参照)。

表6.10 確率降雨量と継続時間

再現期間 (年)	確率降雨量 (mm)				
	継続時間 (分)				
	10	20	30	60	120
2	11	16	19	25	28
3	14	20	23	30	34
5	17	24	29	38	43
10	21	29	37	49	55
20	25	34	47	62	68

B) 確率降雨強度

確率降雨強度は、前述の確率雨量及び継続時間より、次表の通り推定される。

表 6.11 確率降雨強度と継続時間

再現期間 (年)	確率降雨強度 (mm/時)				
	継続時間 (分)				
	10	20	30	60	120
2	66	48	38	25	14
3	84	60	46	30	17
5	102	72	58	38	22
10	126	87	74	49	28
20	150	102	94	62	34

C) 降雨強度－継続時間関係式

これは、計画施設の排水地域の異なった遅れ時間に対する流量を算出するために必要なものである。このため、次式を適用する。

$$I = a / (t^n + b)$$

ここに、 I ; 降雨強度 mm/時
t ; 遅れ時間 分
a, b, n ; 定数

定数 a と b は、表 6.11 に示す降雨強度と継続時間を用いて最小二乗法により求められるもので、n はこの式から得られる降雨強度と表 6.11 の間の標準偏差値を最小にする様な値として定義される。

結局、確率降雨強度関係式の各定数は次の様になる (Appendix 6.16~6.18 参照)。

表 6.12 降雨強度～継続時間関係式の定数

再現期間 (年)	定数		
	a	b	n
2	276	0.057	0.6
3	336	0.000	0.6
5	420	- 0.028	0.55
10	442	- 0.014	0.55

6.5 土及び岩材料

6.5.1 地質起源

現場での地質調査結果として、次に示す3種類の土及び岩が本プロジェクトの建設材料として予想されるものである。これらは、1)ナイル川の堆積土砂、2)砂漠の土砂、3)丘陵部の岩である。

(1) ナイル川の堆積土砂

コンステンシーの軟らかなもので密度の低いシルト質粘土からなっているもの。細砂は単一粒度であり、小さな範囲でかつ局所的に存在する。砂利は発見されていない。粘土のうちで、あるものは低盛土に使用可能である。

(2) 砂漠の土砂

砂漠地帯には、種々の土砂が見られる。これらは、堆積岩が長期間に亘って風化されて出来たものである。実際の土砂のタイプは以下の通りである。

- a) 粘土で角立った砂利（砂岩及び泥岩が風化や変質したもの）を含むもの、これは盛土材に有効。
- b) 砂利（礫岩が風化・変質したもの）、これはチャート及び石英質の石から成っており、極めて硬くコンクリート骨材とか舗装材料として使用出来るもの。
- c) 砂（砂岩が風化・変質したもの）、これは細粗～粗粒まで良好な粒度分布しておりコンクリート用骨材として利用可能であるが、その量が限られている。