

付属資料一 2

現地調査日程

2. 現地調査日程

1-1. 第一次調査団

1991年6月23日(日)	日本(成田)出発
24日(月)	エジプト(カイロ)到着
25日(火)	駐エジプト・アラブ共和国日本大使館を表敬訪問、 ならびにトンネル現地調査
26日(水)	スエズ運河庁(イスマイリア)を表敬訪問、なら びに運河庁スタッフと討議
27日(木)	スエズ運河庁スタッフと討議、ならびに議事録に 署名
28日(金)	トンネル現地再調査
29日(土)	エジプト(カイロ)出発(団長) スエズ運河庁スタッフと討議(団員)
30日(日)	スエズ運河庁スタッフと討議(団員)
7月 1日(月)	駐エジプト・アラブ共和国日本大使館を訪問、な らびに報告
2日(火)	エジプト(カイロ)出発(団員)
4日(水)	日本(成田)到着

1-2. 第二次調査団

1991年8月 1日(木)	日本(成田)出発
2日(金)	エジプト(カイロ)到着
3日(土)	駐エジプト・アラブ共和国日本大使館、ならびに 国際協力事業団エジプト事務所を表敬訪問
5日(月)	カイロ出発、イスマイリア到着 スエズ運河庁を表敬訪問
6日(火)	スエズ運河庁スタッフと協議、ならびに本トンネ ル現地調査の概要を説明
7日(水)~31日(土)	トンネル現地調査
9月 1日(日)	スエズ運河庁スタッフと討議、ならびに議事録作 成
2日(月)	スエズ運河庁スタッフと協議、ならびに議事録に

署名

駐エジプト・アラブ共和国日本大使館を訪問、な
らびに報告

3日(火)～5日(木) 現地調査結果の整理、ならびに帰国
準備

6日(金) イスマイリア出発、カイロ到着

7日(土) エジプト(カイロ)出発

9日(月) 日本(成田)到着

付 属 資 料 ー 3

スエズ運河庁ならびに現地機関の関係者リスト

3. スエズ運河庁ならびに現地機関の関係者リスト

3-1. スエズ運河庁

Eng. Mohamed Ezzat Adel
Chairman

Dr. Eng. Farouk Abou-Taleb
Director of Management Dept. & Member of Board of
Directors

Dr. Eng. Abdel-Hamid Youssef Soliman
Director of Engineering Dept. & Member of Board of
Directors

Eng. Hani El-Bon
Director of Works Dept. & Member of Board of Directors

Eng. Naila Marzouk
Deputy director of Engineering Dept.

Dr. Eng. Isis Abdel-Halim Kamel
Deputy director of Works Dept.

Dr. Eng. Mohamed El-Ghamry
Deputy director of Engineering Dept.

Eng. Refaat E. M. Khalil
Manager of A. H. Tunnel, Works Dept.

Eng. Naim Mohamed Ramadan
Chief of Water Section, Works Dept.

Eng. Yehia Abdou Hassan
Chief of Maintenance & Electrical Section of A. H.
Tunnel, Works Dept.

Eng. Mohamed Nashat
Manager of Distribution System, Works Dept.

Eng. Said Dawoud
Manager of Ataka, Works Dept.

Eng. Saad Saleh
Executive Engineer of A. H. Tunnel, Works Dept.

Eng. Rafat Abdel-Sid
Executive Engineer of A. H. Tunnel, Works Dept.

3-2. 住宅復興省

Mr. Eng. Hassabalah El-Kafrawy
Minister

3-3. イスマイリア県

Dr. Ahmed Al Gowely
Local Governer

付 属 資 料 一 4

現 調 査 に お け る 討 議 議 事 録

MINUTES OF DISCUSSIONS
ON
THE BASIC DESIGN STUDY ON THE PROJECT
FOR REHABILITATION OF AHMED HAMDY TUNNEL
IN
THE ARAB REPUBLIC OF EGYPT

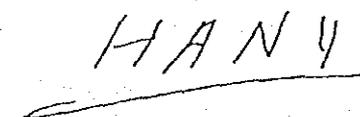
In response to the request made by the Government of the Arab Republic of Egypt, the Government of Japan decided to conduct a Basic Design Study on the Project for Rehabilitation of Ahmed Hamdy Tunnel (hereinafter referred to as "the Project") and the Japan International Cooperation Agency (JICA) has sent the Basic Design Study Team headed by Mr. Shigeru Nakamura, Director, Grant Aid Division, Economic Cooperation Bureau, Ministry of Foreign Affairs.

The Team had a series of discussions with the authorities concerned of the Government of the Arab Republic of Egypt and conducted a field observation.

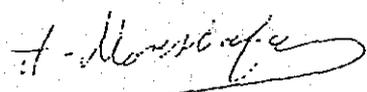
As a result of the study, both parties have agreed to recommend to their respective Governments that the major points of understanding reached between them as attached herewith should be examined towards the realization of the Project.

Cairo, June 27, 1991


Mr. Shigeru Nakamura,
Leader,
Basic Design Study Team
JICA


Eng. Hany Abdel Halim El-Bon
Director of Works Dept.
Suez Canal Authority

Witnessed by


Mr. Kamel Moustafa,
Undersecretary,
Ministry of International Cooperation

ATTACHMENT

1. Objective

The objective of the Project is to rehabilitate the Ahmed Hamdi Tunnel (hereinafter referred to as "the Tunnel")

2. Project Site

North of Suez city (location map is attached as Annex-1)

3. Responsible Organization, Executing Organization

(1) Responsible organization : Suez Canal Authority

(2) Executing organization : Suez Canal Authority

4. Contents Requested by the SCA

(1) rehabilitation work for the whole length (1650m.) of the Tunnel by the method of the secondary lining after applying the waterproofing sheet including the road deck and ventilation system.

(2) application of one lane open method for daily (and night) traffic during construction period.

5. Contents of the Basic Design Study

(1) Objectives

- a. to examine and assess the technical and economic viability of the Project.
- b. to make a basic design of the Project.
- c. to make a schedule required for implementation (rehabilitation work) of the Project.
- d. to estimate the cost of the Project in foreign and local currencies.

(2) Main Scope of the Basic Design Study

- a. status of the Project in the National and/or Regional development plan.
- b. background of the Project.
- c. traffic survey.
- d. present condition of the Tunnel (by measurement, core samples, etc.), excluding life line (telephone, electricity and water line).
- e. soil condition survey (by boring etc.).
- f. construction material survey.
- g. operation and maintenance situation
- h. activities of executive agency directly related to the Project.
- i. present ventilation system.

- (3) Tentative Schedule of the Basic Design Study
Tentative Schedule is attached as Annex-2, anyhow, SCA requested to accelerate the schedule as early as possible and the Japanese side took note about this request.

6. Japan's Grant Aid System

- (1) The SCA has acknowledged the system of Japanese Grant Aid
- (2) The SCA will take necessary measures described in Annex-3, on condition that the Grant Aid Assistance by the Government of Japan is extended to the Project.
- (3) The SCA's share in financing the Project (local currency) will be used in accordance with the relevant laws and regulations of the Arab Republic of Egypt such as tendering, procurement, etc.

7. Arbitration by the International Chamber of Commerce in dispute concerning the Tunnel
The SCA confirmed that;

- a. it will not involve the Japanese study team members in the arbitration in any way,
- b. it will not use any data, documents or reports prepared by the Japanese basic design study team for the arbitration, and will not present them to the courts neither in Egypt nor in Switzerland,
- c. there are no objections to boring and sampling of the Tunnel core and to any other survey activities carried out by the basic design study team for the objectives of the study without causing any serious damage to the Tunnel. The said survey is likely to be ended before the end of August, 1991.

8. Required Assistance from the SCA

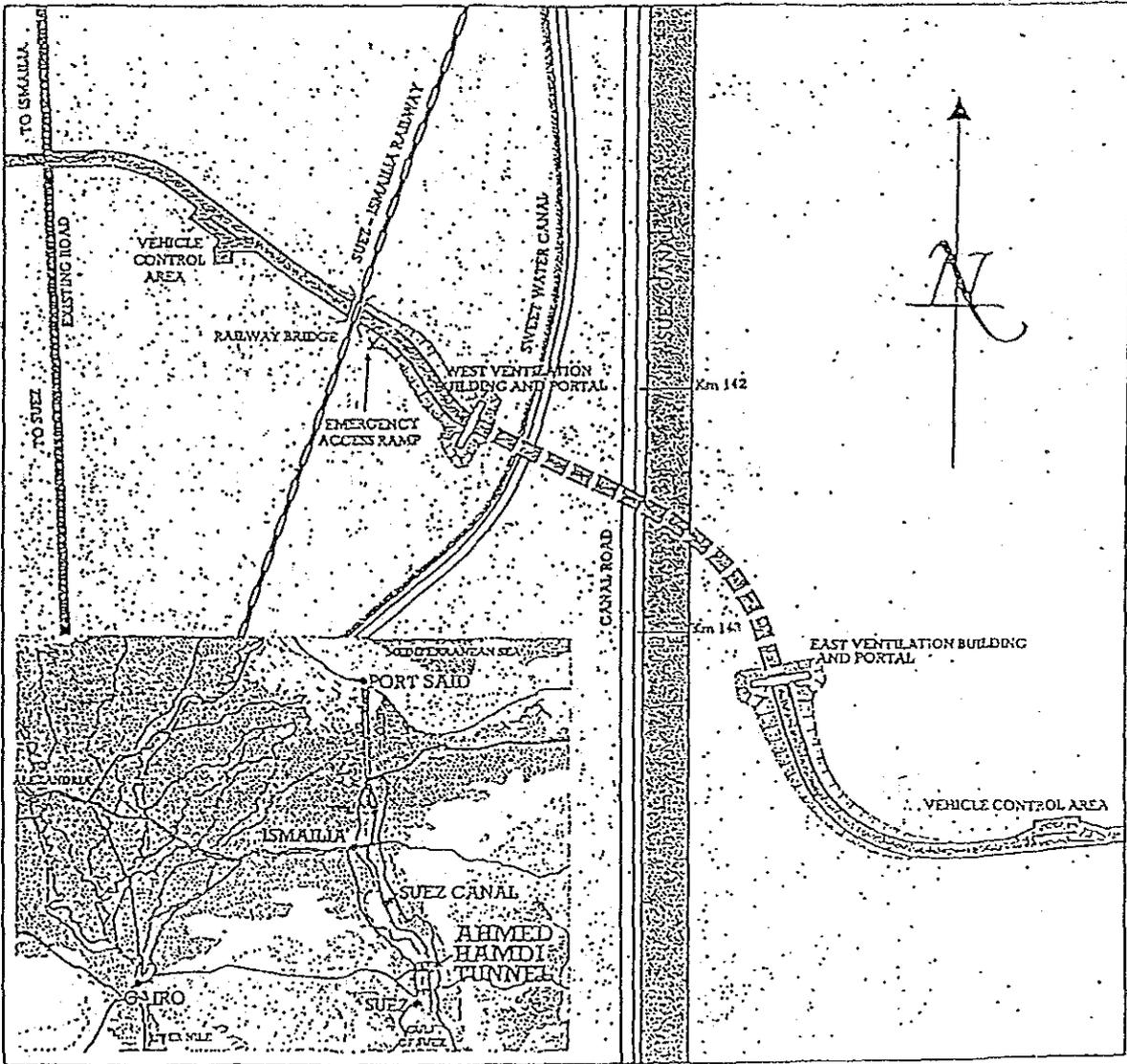
The SCA is requested to kindly afford the upcoming basic design study team with every possible assistance for the smooth implementation of the study. The following points are especially requested.

- a. to provide the basic design study team with available relevant data, information and local materials necessary for the execution of the study, these data and information are not eligible to be delivered to third party or brought to their notice unless there is a written consent by the SCA.
- b. to assign full time counterparts to the basic design study team during their stay in Egypt (4 or 5 engineers and 10 to 15 technicians)

- c. to remove existing wall panels inside the segmented lining for measurement, chipping concrete, etc.
- d. to coordinate the concerned ministries and/or agency, if items to be coordinated will arise.
- e. to provide the basic design study team with office for the study.
- f. to assist custom clearance of the equipment for the study in accordance with the relevant laws and regulations of the Arab Republic of Egypt.

HANI

ANNEX - I



The Location of the Tunnel

HANY

S. 22

付 4-5

ANNEX-2

Tentative Schedule of the Basic Design Study

Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.
①	②				③			⑤ A

- ①: field survey by technical(consultant) team
- ②: home office work
- ③: present and explanation of the draft final report
- ④: prepare the final report
- ⑤: submit the final report

HANU

S. M

ANNEX-3

Recommendation for Undertakings by the Government of Egypt in case Japan's Grant is executed:

1. to undertake incidental outdoor works such as gardening, fencing, gates and exterior lighting in and around the site.
2. to construct the access road to the site prior to the commencement of the construction.
3. to provide facilities for distribution of electricity, water supply, telephone, drainage, and other incidental facilities to the Project site.
4. to ensure prompt unloading and customs clearance at ports of disembarkation in the Arab Republic of Egypt and internal transportation therein of the products purchased under the Grant.
5. to secure, with respect to the supply of the products and services under the verified contracts that Japanese nationals shall not be subject to any customs duties, internal taxes and other fiscal levies which may be imposed in the Arab Republic of Egypt.
6. to accord Japanese Nationals whose services may be required in connection with the supply of the products and services under the verified contract such facilities as may be necessary for their entry into Egypt and stay therein for the performance of their work in accordance with the relevant laws and regulations of the Arab Republic of Egypt.
7. to maintain and use properly and effectively the facilities constructed and equipment under the Grant.
8. to bear all the expenses other than those to be borne by the Grant, necessary for the execution of the Project.

HANU

MINUTES OF DISCUSSIONS
ON
THE BASIC DESIGN STUDY ON THE PROJECT
FOR REHABILITATION OF AHMED HAMDI TUNNEL
IN
THE ARAB REPUBLIC OF EGYPT

A series of discussions on the Project for Rehabilitation of Ahmed Hamdi Tunnel (the Project) have been held between the Suez Canal Authority (S.C.A.) and the Basic Design Study team (the Team) sent by Japan International Cooperation Agency (JICA) and headed by Dr. Akira Inokuma, Head, Tunnel Division, Road Department of Public Works Research Institute, Ministry of Construction. The Team also has conducted a field survey.

As a result of the survey, both parties have agreed to recommend to their respective Governments that the major points of understanding reached between them as attached herewith should be examined towards the realization of the Project.

Ismailia, September 2, 1991



Dr. Akira Inokuma,
Leader,
Basic Design Study Team
JICA



Eng. Mohamed Ezzat Adel,
Chairman of
Suez Canal Authority

ATTACHMENT

1. Design Criteria

- (1) The Rehabilitation Works for the whole length (1650m) of the Tunnel shall be made by the method of the secondary lining after applying of the waterproofing sheet including the road deck.

The above mentioned rehabilitation design at the tunnel will allow the implementation of the future widening, deepening and doubling projects of the Suez Canal.

- (2) The existing road capacity and limits shall be secured. (The road limit shall be equal to the existing one that is 5.0m in height and 7.5m in width)
- (3) Concerning the drainage system, the ground water shall be directed to the drain at the invert and be collected into Nadir sump tank.
- (4) The Permanent Water Supply Pipelines shall be installed (two lines) outside of the Tunnel as syphon pipe system crossing of the Canal in order to secure the water supply to the Sinai Peninsula and to facilitate the Rehabilitation Works.
- (5) Ventilation System Plan

The transverse system has been recommended by the Team after the comparison between the transverse system and the semi-transverse system for the ventilation in consideration with the safety at the emergency such as "Fire".

On this recommendation, S.C.A. requested further study by the Team on the comparison among the transverse, the semi-transverse and the semi-transverse with the Pilot Shaft from the technical and economical view points to ensure easy maintenance in the future.

The Team has explained that the transverse system is also easy for the maintenance.

The Team has, however, accepted to make this study and to recommend the ventilation method which is considered to be most convenient to secure the safety of the tunnel at the emergency such as "Fire" and easy maintenance.

S.C.A. and the Team should endeavor to decide the ventilation system by the end of September 1991.

Akiro Imokuma

M. G. Abdel

2. Work Criteria

(1) The traffic restrictions during the Rehabilitation Works to be as follows :

- 1) One way traffic.
- 2) The speed limit 20km/h, further restriction to be applied to large vehicles.
- 3) The traffic to be stopped between 8:00 pm through 6:00 am. At the period of the special work change such as the assembling/dismantling/moving works for Centles and Sliding Forms, the traffic to be stopped the full day(s) as schedule of construction. The period of traffic stoppage should not exceed one month during the Rehabilitation Works. Each stoppage may continue 4 days maximum.

(2) The work to be carried out by 3 shifts. (24 hours per day)

3. Road System and Related Facilities

As a basic policy the road system and the related facilities after being rehabilitated shall recover their former function.

Items shall be replaced or reused as shown in Table 3.1.

The possibility of the reuse of any material will be decided according to the engineers technical points of view.

Akira Inokuma

ell. h. Adel.

Table 3.1 Road System and Related Facilities

ITEMS	EVALUATION AS TO REPLACE OR REUSE
1. Ventilation Exhaust Duct *1) 1) Ceiling panels 2) Cowlings to exhaust grille 3) Hangers 4) Beams(Support frame) 5) Coverings from wind leaking 6) Diaphragm	REPLACE REUSE REUSE REUSE REUSE REUSE
2. Wall Panels	——— *2)
3. Walkways 1) Steel frames 2) Deck plates 3) Side panels	REPLACE REUSE REUSE
4. Life Lines 1) 2x500mm NID pipes 2) Special telephone cables	REUSE ———
5. Other Pipes from Nadir Sump 1) Drainage pipes 2) Drain pipes 3) Exhaust pipes 4) Fire hydrant pipes	REPLACE REPLACE REPLACE REUSE
6. Monitoring CO/VI monitoring system CO(8) VI(5)	REUSE REUSE
7. Safety Facilities 1) Tunnel lighting (Except transformer and panel board) 2) TV Camera(26) 3) Fire points(22) 4) Telephone System(14) 5) Radio Telephone System	REUSE REUSE REUSE REUSE REUSE
8. Electrical Cables 1) Cable Below Walkway 2) 11kv Power Cable	REPLACE REUSE

*1) In case of transverse system

*2) Will be decided by the study team after the detail evaluation.

Akira Inokuma

M. G. Adil

4. Services and Products to be covered by the Egyptian side related with the Road System and the Related Facilities.

(1) Water Supply

- 1) The Canal dredging for the syphon portion
- 2) The excavation/earthing for the onland portion
- 3) Ductile Iron Pipe 500mm NID, 500m length (from S.C.A. stock)

(2) Special telephone cable

The temporary work and the permanent work to be carried out by the Egyptian side according to Japanese indication for the location and the work schedule of the construction.

(3) Ceiling panels

The ceiling panels (material only) in case needed.

5. Others

In regard to the items 1,2 and 3 in the ANNEX-3 of the Minutes of Discussions dated June 27, 1991, the following shall be defined as the matter to be carried out by S.C.A. at this point of time.

- 1) Temporary yard for work
- 2) Access road for Work
- 3) Ware house for material and equipment
- 4) Water supply for work
- 5) Electric Power supply for work
- 6) Installation of Telecommunication service (telephone and telefax) for work

Akira Onokuma *M. G. Abdel*

6. Inter-Relations between Rehabilitation Works of the Tunnel and Expanding(Widening) Work of the Canal.

Judging from the structurally and functionally deteriorated situation of the Tunnel and the safety of traffic in the Tunnel, and the Rehabilitation Works of the Tunnel, the team recommended that the Expanding(Widening) Work of the Canal should be executed after the Rehabilitation Works of the Tunnel is substantially completed.

S.C.A. has explained the importance of the widening the Canal for 20m on the east side and requested the study team to find out the most optimum work schedule for the Rehabilitation Works starting from the nominated Canal expansion portion of the Tunnel (east side).

The study team has accepted this.

Ahmed Mohamed

M. E. Adil

MINUTES OF DISCUSSIONS
BASIC DESIGN STUDY ON THE PROJECT FOR
REHABILITATION OF AHMED HAMDI TUNNEL IN
THE ARAB REPUBLIC OF EGYPT
(CONSULTATION ON DRAFT REPORT)

From June to September, 1991, the Japan International Cooperation Agency (JICA) dispatched study teams on the Project for Rehabilitation of Ahmed Hamdi Tunnel (hereinafter referred to as "the Project") to the Arab Republic of Egypt, and through discussions, field survey, and technical examination of the results in Japan, JICA has prepared the draft report of the study.

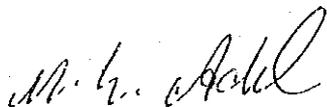
In order to explain and consult the Egyptian side on the components of the draft report, JICA sent to Egypt a study team, which is headed by Dr. Katsuhiko Iwai, Chief Tunnel Engineer, Department of Engineering, NIHON DORO KODAN, and is scheduled to stay in the country from November 22 to 29, 1991.

As a result of discussions, both parties confirmed the main items described on the attached sheets.

Ismailia, November 27, 1991



Dr. Katsuhiko Iwai
Leader,
Draft Report Explanation Team,
JICA



Eng. Mohamed Ezzat Adel,
Chairman of
Suez Canal Authority

ATTACHMENT

1. Draft Report

- 1) The Suez Canal Authority (S.C.A.) has agreed and accepted in principle the philosophy of Draft Report proposed by the Team.
- 2) The Egyptian side showed some remarks during discussions of the Draft Report and the Japanese side promised to take them into consideration in the Final Report.
- 3) The Team will finalize the Draft Report in accordance with the confirmed items, and JICA will send the Final Report to the Government of Arab Republic of Egypt by the end of March, 1992.

2. Duty of Egyptian side

Regarding item 5 in the Minutes of Discussions dated September 2, 1991, and items 1, 2 and 3 in the ANNEX-3 of the Minutes of the Discussions dated June 27, 1991, the following is a clarification of the task to be carried out by S.C.A.

- 1) Electric power supply for the work*
 - (1) in temporary yard
380V, 500kVA
 - (2) in tunnel
3.3kV, 400kVA
- 2) Fresh water supply for the work in the temporary yard*
500m³/day.

*S.C.A. shall provide the sources of electricity and water, while the Japanese side has to undertake all necessary arrangement, connections and installations to provide the sites with electricity and water.

K. Inai

M. G. Adil

3) Installation of telecommunication service facilities

- (1) One(1) phone and one(1) telefax for Supervisory Consultants.
- (2) Three(3) phones and one(1) telefax for Contractor

S.C.A. installs the telecommunication service facilities without paying the bills for the use of these services.

- 4) To prepare the space for demolished/dismantled concrete structures such as road deck, and those dismantled concrete blocks are allowed to be left as demolished condition.

The Japanese side takes all responsibilities to transport the demolished/dismantled concrete to the space identified by S.C.A.

- 5) To control the safety of traffic in the Tunnel between 6.00am and 8.00pm during the works
- 6) To provide fire extinguishers and one fire engine to be used in case of fire emergency for the safety of the traffic passenger(s) during the works.

Concerning items 5),6) S.C.A. authorizes the instructions proposed by the Japanese side to insure the safety of traffic in the Tunnel during the Rehabilitation Works.

3. Legal Dispute

The Team expressed the hope once again that the legal dispute related to A.H.Tunnel would be solved as soon as possible so that the Japanese side could start to take necessary steps toward the realization of the Project. S.C.A. promised to make at most effort and to take necessary measures for the smooth implementation of the Project.

K. Iwai

M. G. Adid.

付 属 資 料 一 五

トンネル構造・履工の計画

覆工の設計

1. 土圧、水圧、および自重に対する設計

1-1. 検討条件

二次覆工横断面の検討は、土被りおよび地下水位（運河水位）を変化させて、次の3ケースについて行った。

- ・ CASE-1 : 最大土被り厚 ----- H = 40m, Hw = 24m
- ・ CASE-2 : 運河下（現状） ----- H = 18m, Hw = 37m
- ・ CASE-3 : 運河下（拡張後） ----- H = 7m, Hw = 37m

それぞれのケースは概ね下図に示す位置を対象としている。

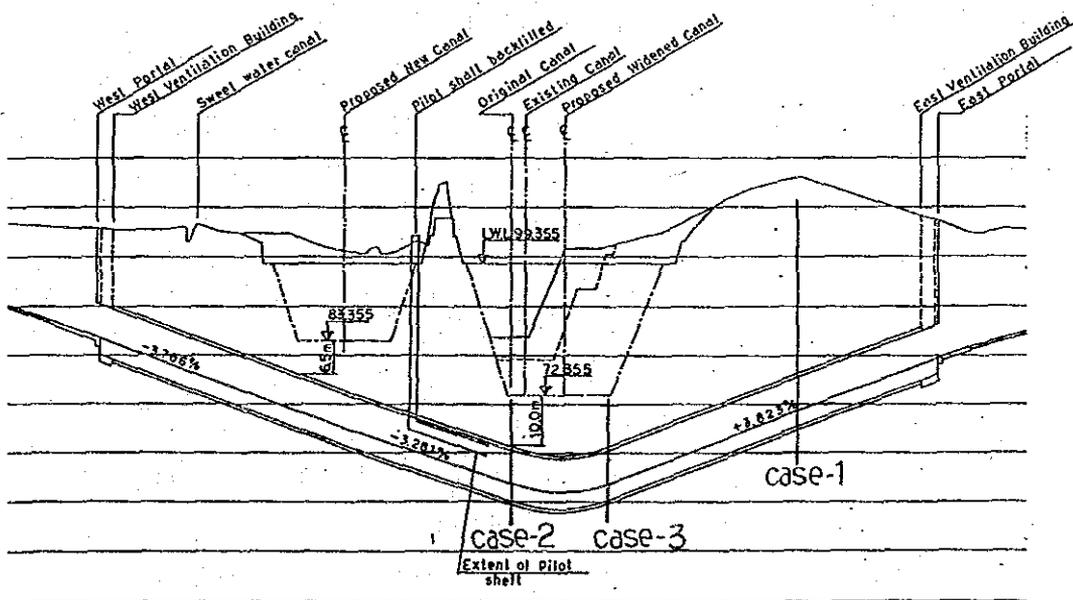


図-1.1.1 トンネル縦断面図

CASE-1は、当該トンネルの路線上で最も土被りが大きい位置を対象としている。case-2は、現状の運河下を対象としている。さらに、CASE-3は、最終的な運河の拡張工事によってトンネル上部の土被りが小さくなった状態を対象としている。

さらに、それぞれのケースについて、自重および土圧が作用した場合と、自重、土圧および水圧が作用した場合を検討した。

自重および土圧が作用するケースは、当該トンネルが排水トンネルであるため、基本的にトンネルに水圧が作用しない状態にあることを評価したもので、定常状態と考えられる。このため、このケースにおける二次覆工の安全性の評価は、許容応力度設計法によるものとする。

自重、土圧および水圧が作用するケースは、当該トンネルの排水機構が万一機能しない場合、トンネルに外水圧が作用する状態になることを評価したもので、極めて特殊な状況であると考えられることから、発生断面力によって二次覆工が破壊しないことを確認するものとする。このため、このケースにおける二次覆工の安全性の評価は、限界状態設計法（終局限界）によるものとする。

1-1-1. 土質条件

土の単位体積重量	$\gamma = 1.95 \text{ tf/m}^3$
水の単位体積重量	$\gamma_w = 1.05 \text{ tf/m}^3$
土の水中単位体積重量	$\gamma' = 0.90 \text{ tf/m}^3$
側方土圧係数	$\lambda = 0.8 (0.5)$
地盤反力係数	$k = 3000 (5000) \text{ tf/m}^3$
土の内部摩擦角	$\phi' = 15^\circ$
土の粘着力	$c' = 19 \text{ tf/m}^2$

各土質定数は、地質調査結果に基づいて決定したものである。

土のポアソン比	$\nu = 0.45$
側方土圧係数	$\lambda = \nu / (1 - \nu) = 0.45 / (1 - 0.45) = 0.82$
土の変形係数	$E_o = 1800 \text{ kg/cm}^2$
地盤反力係数	$k = E_o / R = 1800 / 580 = 3.1 \text{ kgf/cm}^3$

側方土圧係数および地盤反力係数の()内の数値は、それぞれ、静止土圧係数および「土木学会：トンネル標準示方書（シールド編）・同解説」の参考値を採用したもので、土質情報が不足している場合に我国の通常の設計に用いられている条件として参考に検討を加えた

ものである。

我国の設計実績では、土の内部摩擦角と粘着力は、非圧密・非排水状態の数値を使っているが、今回は、現地の土質状況を考慮して、圧密・排水状態の数値を用いるものとした。

1-1-2. 構造条件

トンネル外径 (セグメント)	$D_o = 11.60 \text{ m}$
内径	$D_i = 9.50 \text{ m}$
図心半径	$R_c = 4.95 \text{ m}$
厚さ	$t = 0.40 \text{ m}$
弾性係数	$E = 2650000 \text{ tf/m}^2$
断面積	$A = 0.40 \text{ m}^2/\text{m}$
断面二次モーメント	$I = 0.005333 \text{ m}^4/\text{m}$
コンクリートの設計基準強度	$\sigma_{ck} = 270 \text{ kgf/cm}^2$
コンクリートの許容圧縮応力度	$\sigma_{ca} = 90 \text{ kgf/cm}^2$
鉄筋の引張強度 (SD40)	$\sigma_{sy} = 4000 \text{ kgf/cm}^2$
鉄筋の許容引張応力度	$\sigma_{sa} = 2100 \text{ kgf/cm}^2$

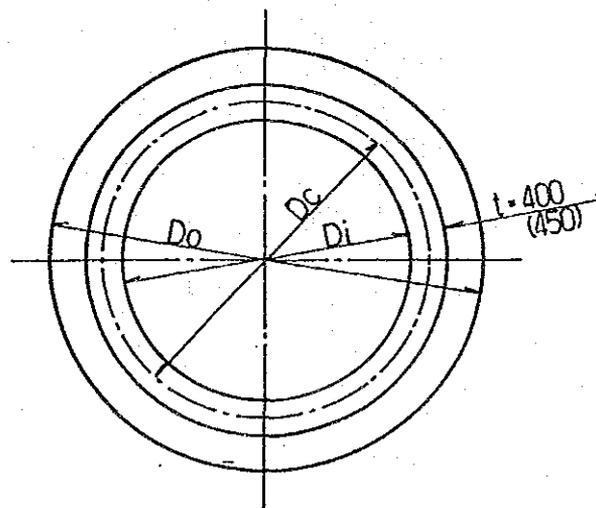


図-1.1.2 トンネル断面

二次覆工厚は、450mmで施工するが、現状のトンネル覆工（セグメントリング）の最大直径変化量が100mm程度であることから、構造計算に用いる覆工厚は400mmとした。

また、鉄筋は、エジプト国で入手可能な鉄筋がD19以上の鉄筋ではSD40であるため、この仕様とした。

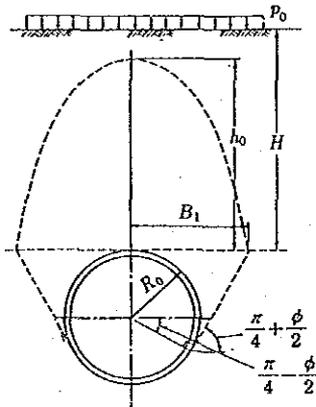
1-2. 慣用計算法による設計

1-2-1. 荷重の算定

(1) 算定条件

土圧の算定は、図-1.2.1に示す、テルツァギの緩み高さに基づいて算定した。
算定には、前項、1-1-1.に示した土質条件を用いた。

運河下における緩み高さの算定にあたっては、運河の水圧を上載荷重として取り扱った。



$$h_0 = \frac{B_1(1-C/B_1/\gamma)}{K_0 \tan \phi} \cdot (1 - e^{-K_0 \tan \phi \cdot H/B_1}) + \frac{P_0}{\gamma} \cdot e^{-K_0 \tan \phi \cdot H/B_1}$$

$$B_1 = R_0 \cdot \cot \left(\frac{\pi/4 + \phi/2}{2} \right)$$

h_0 : 土の緩み高さ

K_0 : 水平土圧と鉛直土圧の比(通常 $K_0=1$ としてよい)

ϕ : 土の内部摩擦角

P_0 : 上載荷重

γ : 土の単位体積重量

c : 土の粘着力

ただし、 P_0/γ が H に比し小さい場合は下記の式によってよい。

$$h_0 = \frac{B_1(1-C/B_1/\gamma)}{K_0 \cdot \tan \phi} \cdot (1 - e^{-K_0 \tan \phi \cdot H_1/B_1})$$

ここに H_1 : 換算土盛り $\left(H + \frac{P_0}{\gamma} \right)$ (m)

図-1.2.1 テルツァギの緩み高さ

(2) 荷重の算定結果

前述の条件に従って各ケース毎に算定した緩み高さ、およびこれに基づいた鉛直荷重、水平荷重の算定結果を、表-1.2.1 に示す。

CASE-3 の土圧の算定にあたっては、緩み高さが全土被り厚を上回るため、全土被り厚(7m)に加え地表面上に存在する水の重量を上載荷重としてトンネルに作用するものとした。

表-1.2.1 荷重の算定結果

	CASE-1	CASE-2	CASE-3
土被り	40.0 m	18.0 m	7.0 m
地下水位	24.0 m	37.0 m	37.0 m
緩み高さ	4.5 m	9.4 m	7.0 m
鉛直土圧	4.050 tf/m ²	8.460 tf/m ²	37.800 tf/m ²
頂部水平土圧	3.240 tf/m ²	6.768 tf/m ²	30.240 tf/m ²
底部水平土圧	12.880 tf/m ²	16.800 tf/m ²	38.592 tf/m ²
頂部水圧	25.200 tf/m ²	38.850 tf/m ²	38.850 tf/m ²
底部水圧	37.380 tf/m ²	51.030 tf/m ²	51.030 tf/m ²

1-2-2. 断面力の算定

(1) 断面力の算定方法

断面力の算定は、下図に示すように二次覆工を剛性一様なリングで、地盤反力をリング周辺の地盤ばねで評価した構造モデルに、慣用計算法で用いられる台形分布荷重を作用させて行った。このとき、床版が二次覆工と一体構造となることから、構造部材として取り入れて計算を行っている。

地盤反力は、二次覆工が初期状態から外側（地盤側）に変形している部分にのみ作用するようにしている。地盤反力の作用方向は、二次覆工の廻りに防水シートが存在することによってせん断力の伝達は無いものとし、リング方線方向のみ作用するようにした。

また、構築時には、二次覆工はセグメントリングを介して周辺地盤から十分な反力を得られると判断して、二次覆工の自重に対しても地盤反力を考慮した。

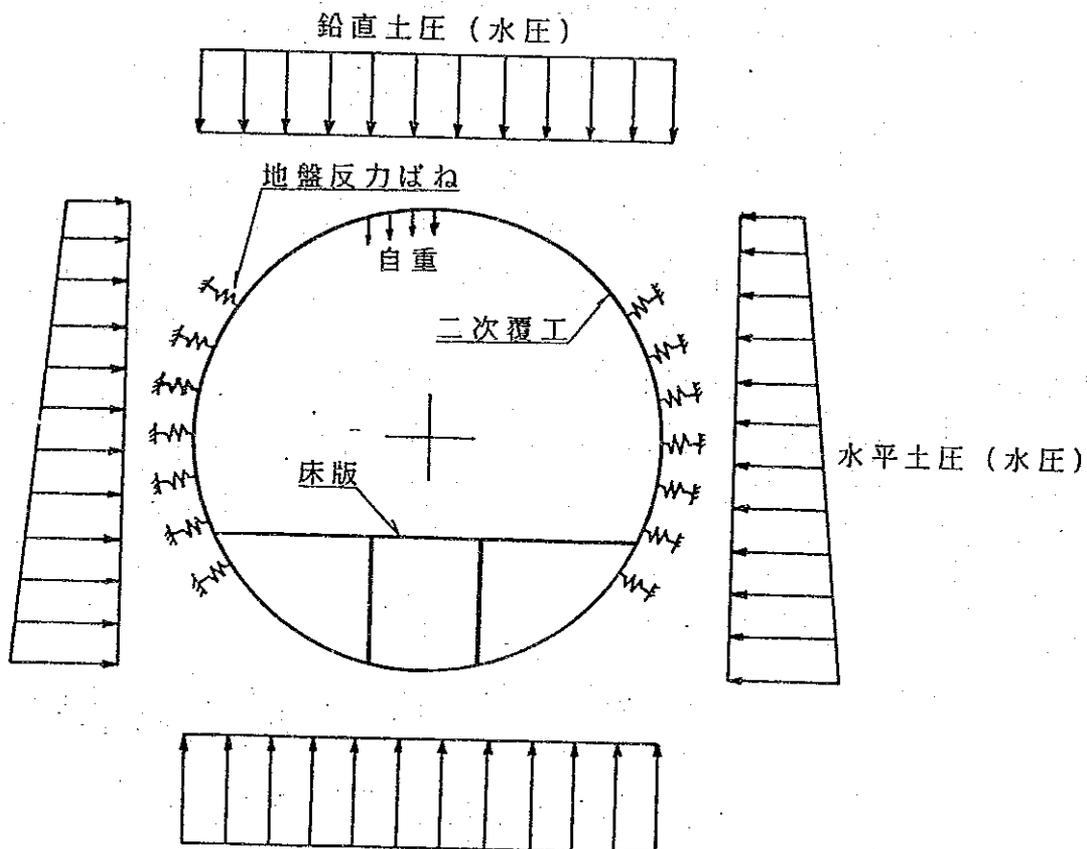


図-1.2.2 解析モデル

(2) 断面力の算定結果

断面力の算定結果を、表-1.2.2 に示す。

表中の断面力の算定結果は、二次覆工の自重を考慮したものである。

また、表中の \square 部分は、許容応力度設計法による安全性の評価を行うものとし、他の部分については、限界状態設計法による終局耐力を超えないことを確認するものとした。

表-1.2.2 断面力の算定結果

	荷重の種別	最大曲げモーメント tf・m		軸力 tf	
		k=3000 $\lambda=0.8$	k=5000 $\lambda=0.5$	k=3000 $\lambda=0.8$	k=5000 $\lambda=0.5$
case-1	土圧	\square 2.280	2.288	\square 27.960	20.869
	土圧+水圧	10.890	6.738	156.396	153.150
case-2	土圧	\square 1.859	5.253	\square 50.773	37.915
	土圧+水圧	9.994	3.938	242.329	240.436
case-3	土圧	\square 11.180	24.890	\square 174.677	151.454
	土圧+水圧	10.686	4.178	232.422	228.479

1-2-3. 安全性の評価

断面力の算定結果のうち、定常的な荷重状態である土圧のみが作用する場合と、非常時である土圧と水圧が作用する場合について、許容応力度法による応力度の照査を行った。

応力度の算定は、図-1.2.3 に示す断面について行った。

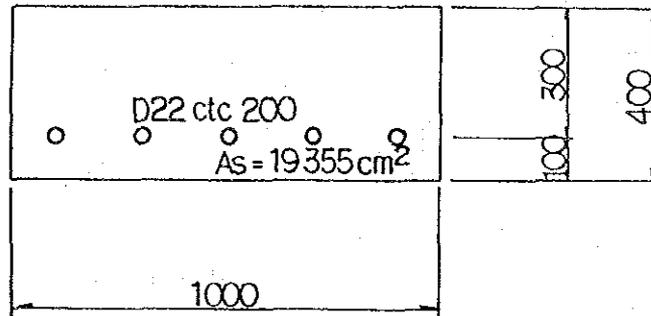


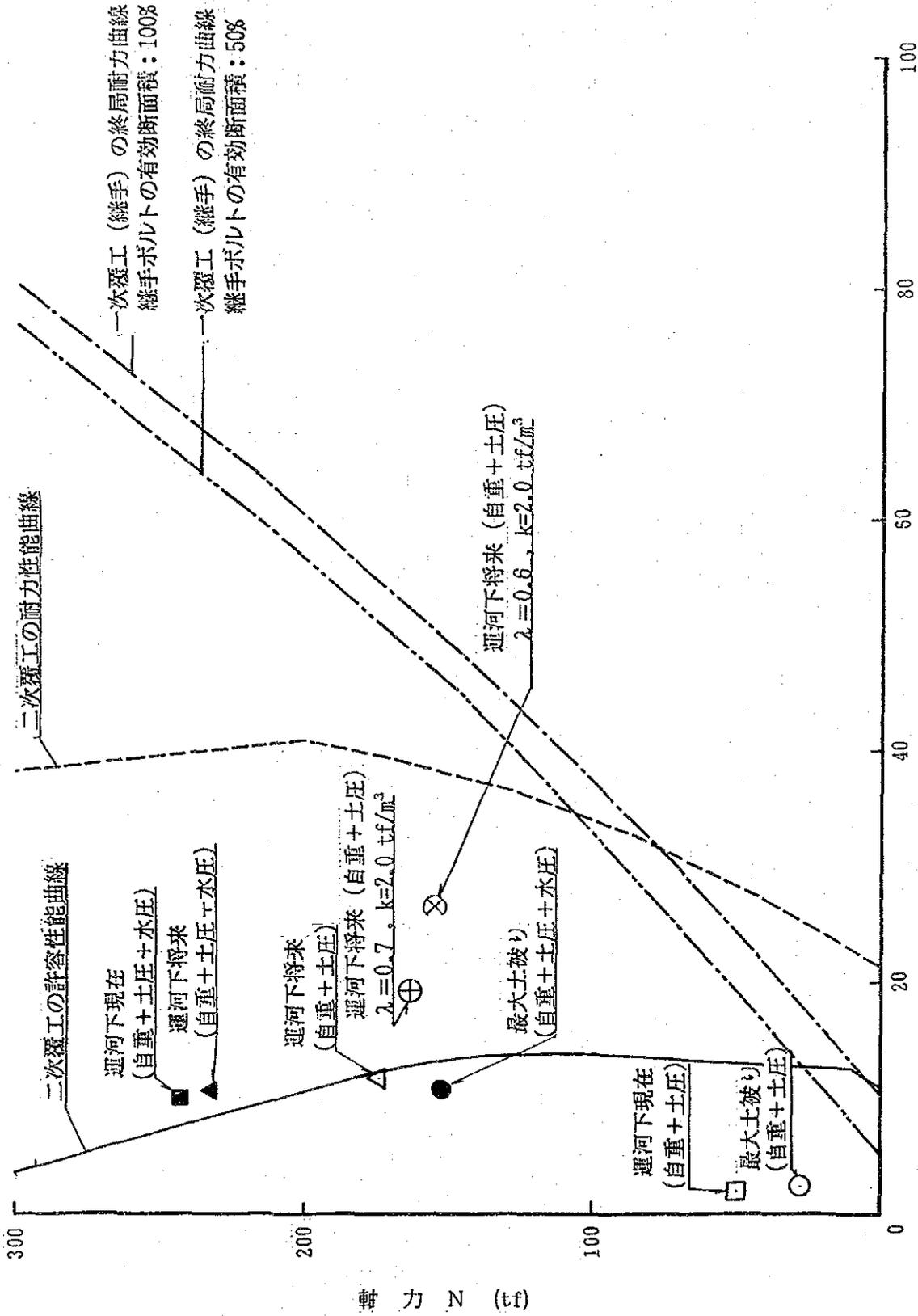
図-1.2.3 断面条件

応力度の算定結果を表-1.2.3 に示す。

表-1.2.3 応力度の算定結果

		土圧のみ		土圧および水圧	
		σ_c kgf/cm ²	σ_s kgf/cm ²	σ_c kgf/cm ²	σ_s kgf/cm ²
CASE-1	k = 3000, $\lambda = 0.8$	15.6	----	80.5	----
	k = 5000, $\lambda = 0.5$	15.1	16.0	64.3	----
CASE-2	k = 3000, $\lambda = 0.8$	20.0	----	99.4	----
	k = 5000, $\lambda = 0.5$	34.8	146.7	76.6	----
CASE-3	k = 3000, $\lambda = 0.8$	86.3	----	99.4	----
	k = 5000, $\lambda = 0.5$	167.5	1129.1	74.4	----

土圧と水圧を作用させた場合と $k = 5000 \text{tf/m}^3$, $\lambda = 0.5$ を用いた場合の断面力の算定結果については、トンネル覆工体に水圧が作用するのは極めて異常な場合であり、 $k = 5000 \text{tf/m}^3$, $\lambda = 0.5$ は今回の設計では基本的な数値ではないので、図-1.2.4 に示すように終局限界によってその安全性を確認した。



曲げモーメント M (tf·m)

図-1.2.4 解析結果および安全性の照査

表-1.2.4 応力度算定結果一覽表 (覆工自重+土圧)

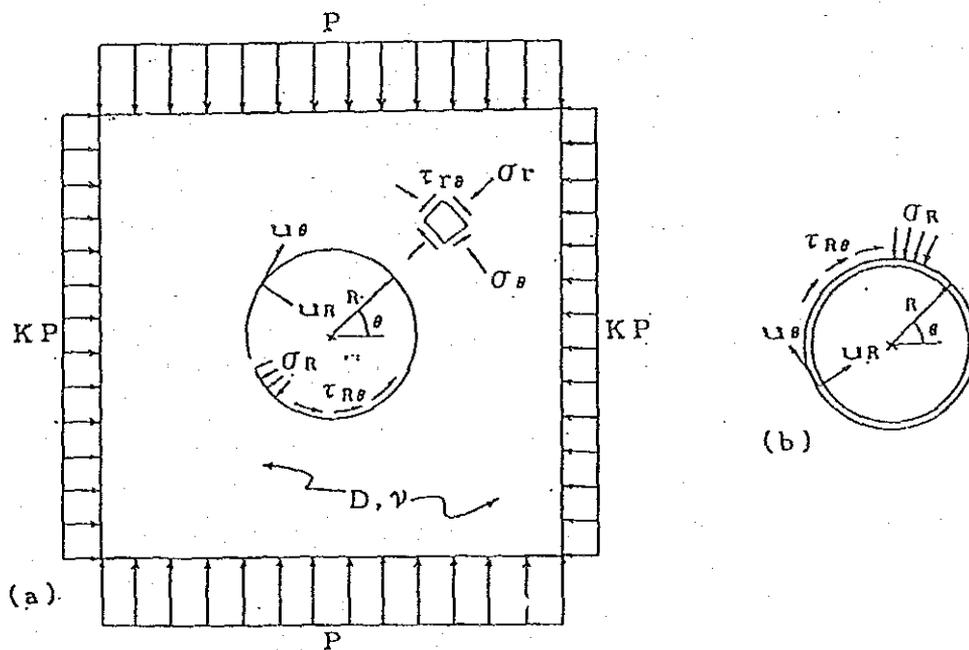
Task Team Report		Basic Design			
最大土流り		最大土流り		運河下(将来)	
設計断面					
土流り 地下水位					
粘着力 c (tf/m ²)	c' = 2.74	CU = 19		CU = 19	
内摩擦角 φ (deg.)	φ' = 27	φ _u = 15		φ _u = 15	
掘り高さ h _o (m)	15.2	4.5		7.0	
地盤反力係数 K (tf/m ²)	2000	3000	5000	3000	5000
側圧係数 λ	0.7	0.8	0.5	0.8	0.5
M _{max} (tf-m)	7.800	2.280	2.283	1.859	5.253
N (tf)	73.000	27.960	20.869	50.773	37.915
σ _c (kgf/cm ²)	56.4	15.6	15.1	20.0	34.8
σ _s (kgf/cm ²)	—	—	16.0	—	146.7
					1129.1

表-1.2.5 応力度算定結果一覽表 (覆工自重+水圧+土圧)

Task Team Report		Basic Design			
最大土被り		最大土被り	運河下 (現状)	運河下 (将来)	
現況断面					
土被り 地下水位					
粘着力 c (tf/m ²)	c' = 2.74	Cu = 19	Cu = 19	Cu = 19	
内部摩擦角 φ (deg.)	φ' = 27	φu = 15	φu = 15	φu = 15	
覆工高さ ho (m)	15.2	4.5	9.4	7.0	
地盤反力係数 K (tf/m ²)	2000	3000	3000	3000	5000
脚圧係数 λ	0.7	0.3	0.8	0.8	0.5
Mmax (tf-m)	3.700	10.890	9.994	3.938	10.686
N (tf)	200.000	156.396	242.329	240.436	228.479
σc (kgf/cm ²)	72.0	80.5	99.4	76.5	99.4
σs (kgf/cm ²)	—	—	—	—	—

1-3. 連続体モデルによる設計

ここでは、図-1.3.1 に示すように、鉛直荷重 P 、水平荷重 PK (K :側圧係数)が作用している変形係数 E 及び、ポアソン比 ν の弾性地山内に、半径 R の円形トンネルを掘削し、断面剛性 $E_s A_s$ 、曲げ剛性 $E_s I_s$ の覆工 (E_s :弾性係数、 A_s :断面積、 I_s :断面二次覆工モーメント)を設置した場合の、トンネル壁面の変位と覆工に生じる断面力を求める。



Herbert H. Einstein, M.ASCE and Charles W. Schwartz, A.M.ASCE

「Simplified Analysis for Tunnel Supports」

Journal of the Geotechnical Engineering Division, April 1979, pp.499~518

図-1.3.1 連続体による解析モデル

1-3-1. 荷重の算定

計算モデルは、慣用計算で断面力が大きいCASE-3 を対象とした。
荷重の算定は以下の通りである。

鉛直荷重：P

$$P_e = 12.8\text{m} \times (1.95 - 1.05)\text{t/m}^3 = 11.52\text{tf/m}^2$$

$$P_w = 42.8\text{m} \times 1.05\text{t/m}^3 = 44.94\text{tf/m}^2$$

$$\begin{aligned} \therefore P &= P_e + P_w \\ &= 11.52 + 44.94 = 56.46\text{tf/m}^2 \end{aligned}$$

側圧係数：K

ここでは、見かけの側圧係数K' で算定する。

土の側方土圧係数 λ : $\lambda = 0.8$

$$\therefore \lambda P_e = 0.8 \times 11.52\text{t/m}^2 = 9.216\text{tf/m}^2$$

水の側圧係数 λ_w : $\lambda_w = 1.0$

$$\therefore \lambda_w P_w = 1.0 \times 44.94\text{t/m}^2 = 44.94\text{tf/m}^2$$

$$K P = \lambda P_e + \lambda_w P_w = 9.216 + 44.94 = 54.156\text{tf/m}^2$$

$$K' = K P / P = 54.156 / 56.46 = 0.96$$

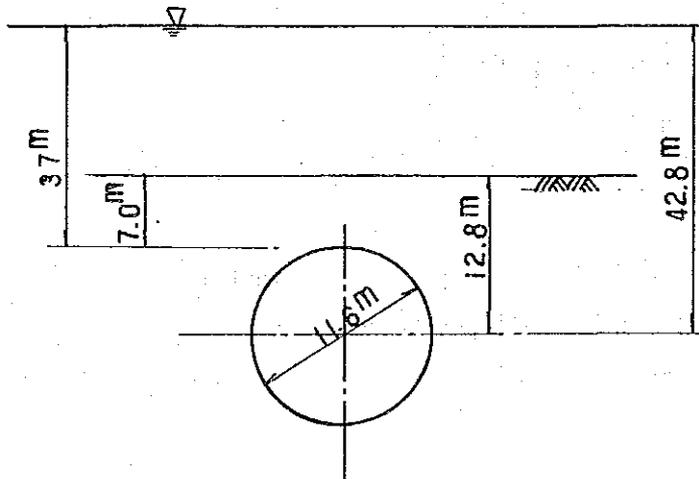


図-1.3.2 トンネル土被り

1-3-2. 断面力の算定

断面力算定に用いた入力定数は、以下の通りである。

地盤の弾性係数	$E =$	15000.00 tf/m^2
覆工の弾性係数	$E_s =$	3500000.00 tf/m^2
弾性係数比	$E/E_s =$	0.004286
地盤のポアソン比	$\nu =$	0.45
覆工のポアソン比	$\nu_s =$	0.20
覆工の半径	$R =$	4.950 m
覆工の断面積	$A_s =$	0.400 m^2
覆工の断面二次モーメント	$I_s =$	0.0533 m^4
側圧係数	$K =$	0.96
鉛直荷重	$P =$	56.46 tf/m^2

断面力の算定結果は、下表に示す通りである。

表-1.3.1 断面力の算定結果

角 度	曲げモーメント (tf・m)	軸 力 (tf)	備 考
0	7.4596	266.152	
10	7.0097	266.061	
20	5.7144	265.800	
30	3.7298	265.399	
40	1.2954	264.907	
50	-1.2953	264.384	
60	-3.7298	263.892	
70	-5.7144	263.491	
80	-7.0097	263.229	
90	-7.4596	263.138	

1-3-3. 安全性の検討

安全性の評価は、図-1.3.3 に示すように終局限界によって確認した。

照査した断面力位置は、表-1.3.1 における角度0度とした。その結果十分安全であることが確認できた。

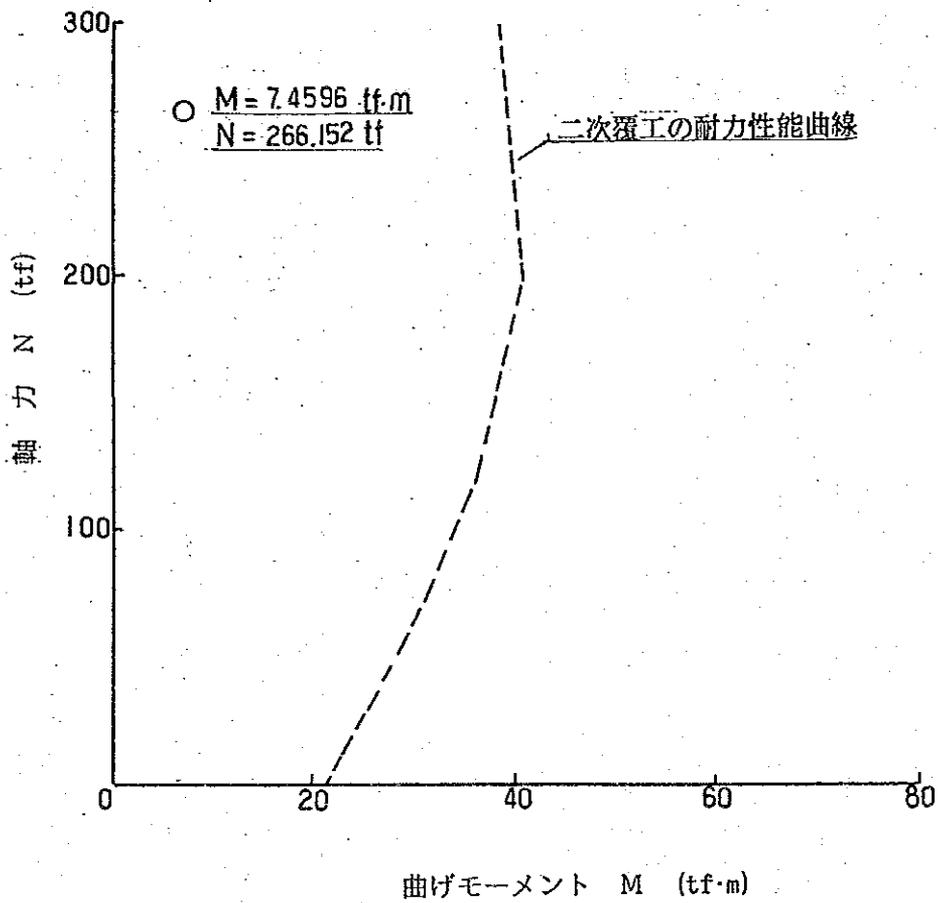


図-1.3.3 計算結果および安全性の照査

2. 浮力に対する検討

シールドトンネルの安定は、図-2.1.1に示すように土被り部分のせん断抵抗力（S）を考慮するものとし、シールド本体に作用する浮力（F）と、上載地山の重量（P）およびトンネル自重（一次覆工 W_1 、二次覆工 W_2 ）とに、次の関係が得られれば、安定は確保される。

$$W_1 + W_2 + 2S + P \geq \alpha \cdot F \quad \text{-----式-(2.1.1)}$$

（ α ：安全率）

ここで、

$$\text{一次覆工} : W_1 = 41.71 \text{tf}$$

$$\begin{aligned} \text{覆工} : W_2 &= \pi \times D_c \times t \times \gamma_c \\ &= \pi \times 9.9 \times 0.4 \times 2.5 \\ &= 31.10 \text{tf} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{上載地山の重量} : P &= D_o \times h \times (\gamma - \gamma_w) \\ &= 11.6 \times 7 \times (1.95 - 1.05) \\ &= 73.08 \text{tf} \end{aligned}$$

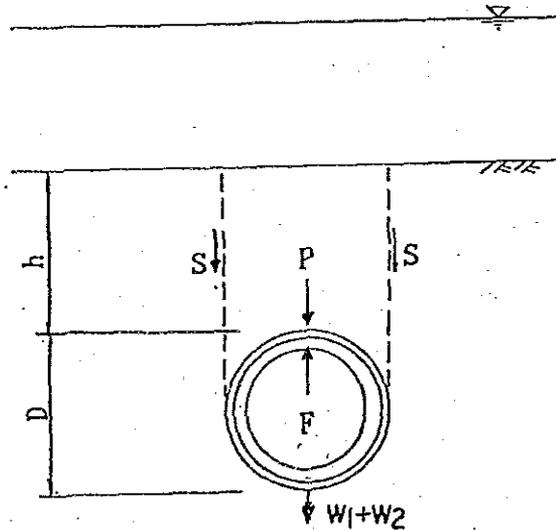


図-2.1.1 トンネルに作用する浮力と上載地山の重量の関係

$$\begin{aligned}
\text{土被り部分のせん断抵抗力: } S &= h \cdot c' + k/2 (\gamma - \gamma_w) \cdot h^2 \cdot \tan \phi \\
&= 7 \times 19 + 0.589/2 \times (1.95 - 1.05) \times 7^2 \times \tan 15 \\
&= 133 + 3.48 \\
&= 133.48 \text{tf}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{ここで、 } k : \text{土圧係数} \quad k &= \tan^2(45 - \phi/2) \\
&= \tan^2(45 - 15/2) \\
&= 0.589
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{トンネルに作用する浮力} : F &= \pi/4 \cdot D_0^2 \times \gamma_w \\
&= (\pi/4) \times 11.6^2 \times 1.05 \\
&= 110.97 \text{tf}
\end{aligned}$$

式-(2.1.1)より、

$$W_1 + W_2 + 2S + P = \alpha \cdot F$$

$$\alpha = (41.71 + 31.10 + 2 \times 133.48 + 73.08) / 110.97$$

$$\alpha = 3.72$$

本トンネルの土質条件およびライニング諸元に基づいて、浮力に対する安全性を計算すると、 $\alpha = 3.72$ となり、安全性が確認できる。

3. 運河の拡張に対する影響検討

3-1. 横断方向

3-1-1. FEMによる検討

(1) 検討条件

運河拡張に伴う地盤のリバウンドによる、二次覆工横断面への影響をFEMで検討した。FEMの解析モデルは次頁に示す通りであり、掘削による影響を見るため掘削荷重 ($p = 33 \text{ tf/m}^2$) のみを作用させる。

ここでは運河中央部でトンネル横断面の検討を行うが、運河の掘削荷重はトンネル奥行き方向に無限ではなく、本来は3次元解析を行う必要がある。今回は簡略のため2次元解析を行うが、この時、変位算定上で地盤層厚が問題となる。本解析モデルでは、リバウンド量を後述の縦断方向FEMのそれと合わすため、地盤層厚を200mとした。

検討に用いた条件は以下の通りである。

・土質条件

$$\text{弾性係数 } E = 15000 \text{ tf/m}^2$$

$$\text{ポアソン比 } \mu = 0.4$$

・トンネルの条件

一次覆工 (セグメント)

$$\text{弾性係数 } E = 17500000 \text{ tf/m}^2 \quad (= 50\% \times E)$$

$$\text{断面積 } A = 0.3859 \text{ m}^2$$

$$\text{断面二次モーメント } I = 0.01131 \text{ m}^4/\text{m}$$

覆工

$$\text{弾性係数 } E = 2650000 \text{ tf/m}^2$$

$$\text{断面積 } A = 0.4 \text{ m}^2/\text{m}$$

$$\text{断面二次モーメント } I = 0.005333 \text{ m}^4/\text{m}$$

床版

$$\text{弾性係数 } E = 2650000 \text{ tf/m}^2$$

$$\text{断面積 } A = 0.35 \text{ m}^2$$

$$\text{断面二次モーメント } I = 0.003573 \text{ m}^4/\text{m}$$

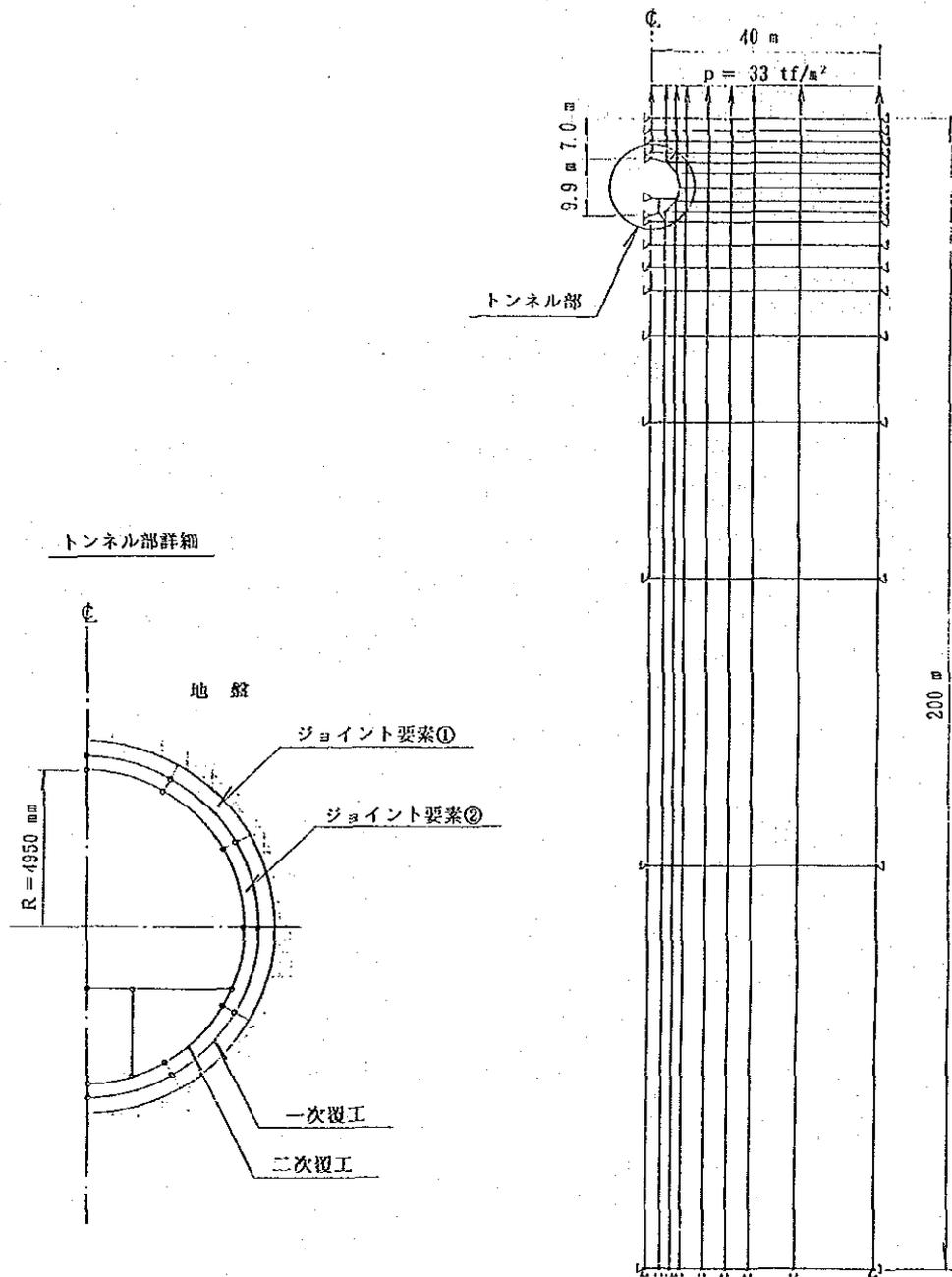


図-3.1.1 FEM解析モデル

床版脚柱

$$\text{弾性係数 } E = 2650000 \text{ tf/m}^2$$

$$\text{断面積 } A = 0.3 \text{ m}^2/\text{m}$$

$$\text{断面二次モーメント } I = 0.002250 \text{ m}^4/\text{m}$$

また、地盤とセグメント間には、地盤とセグメントの縁切れを評価するためにジョイント要素①を設けた。同様にセグメントと二次覆工間に、ドレーン材の不織布を考慮したジョイント要素②を設けた。これらジョイント要素の諸元は以下の通りである。

ジョイント要素①

$$\text{弾性係数 } E = 15000 \text{ tf/m}^2$$

$$\text{せん断弾性係数 } G = 6250 \text{ tf/m}^2$$

ジョイント要素②

$$\text{弾性係数 } E = 12500 \text{ tf/m}^2$$

$$\text{せん断弾性係数 } G = 0 \text{ tf/m}^2$$

(2) 検討結果

運河掘削により発生する変位量、二次覆工断面力は以下の通りである。

・変位量

地表面 $\delta = 210.6 \text{ mm}$

トンネル天端 $\delta = 210.8 \text{ mm}$

トンネルインバート $\delta = 171.9 \text{ mm}$

・二次覆工断面力

軸力 $N = 18.012 \text{ tf}$

曲げモーメント $M = 6.508 \text{ tf}\cdot\text{m}$

せん断力 $S = 12.742 \text{ tf}$

これらを図-3.1.2～図-3.1.4 に示す。

STAGE NO.1
STEP NO.1

DISPLACEMENT

1000mm

$\delta = 210.50 \text{ mm}$

$\delta = 210.80 \text{ mm}$

$\delta = 171.89 \text{ mm}$

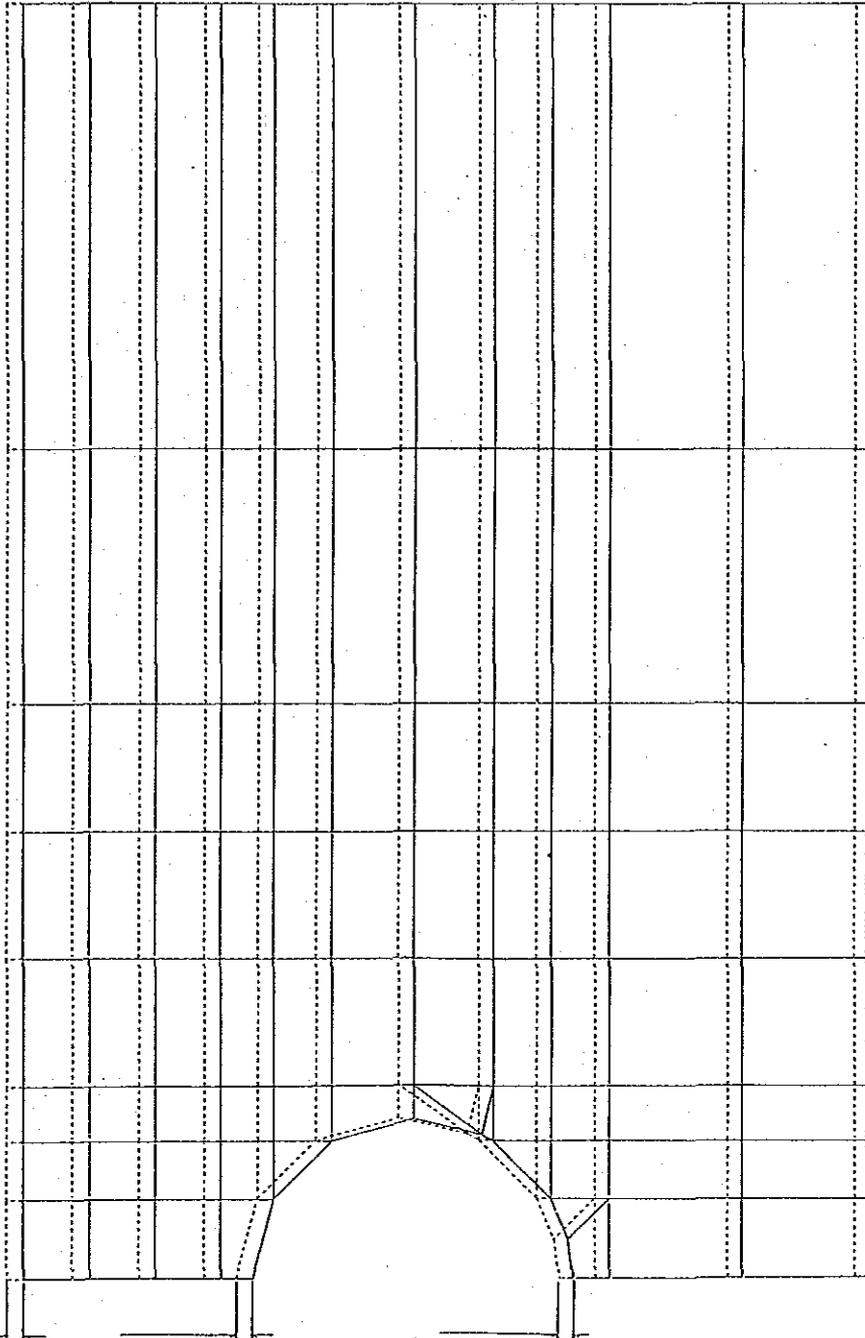
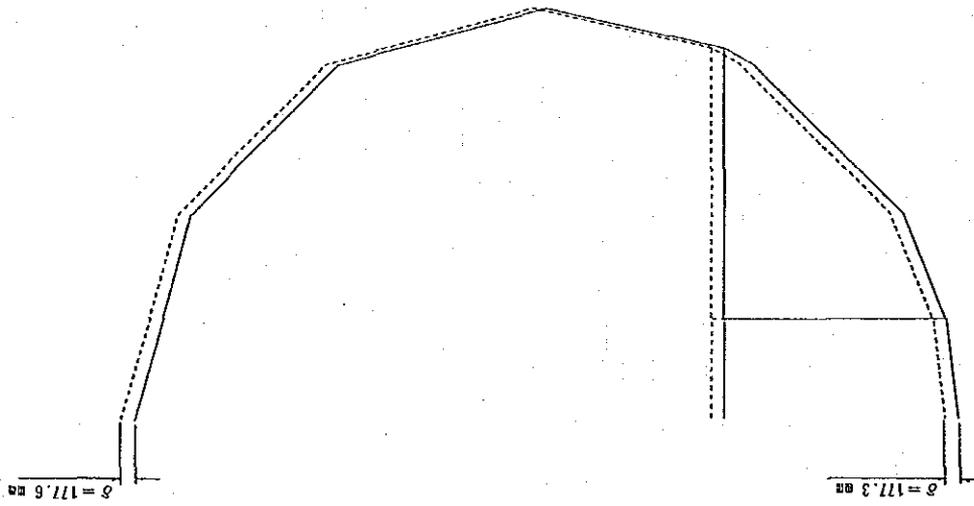
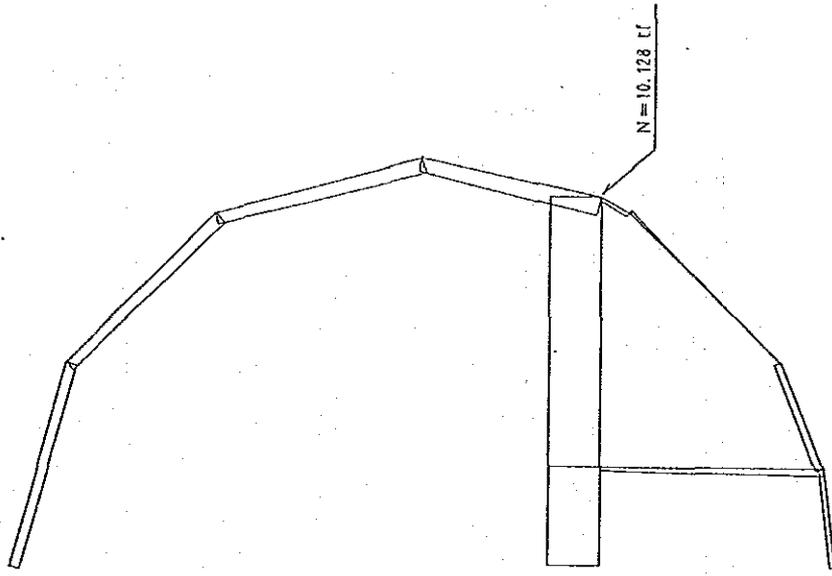


图-3.1.2 地盤変位

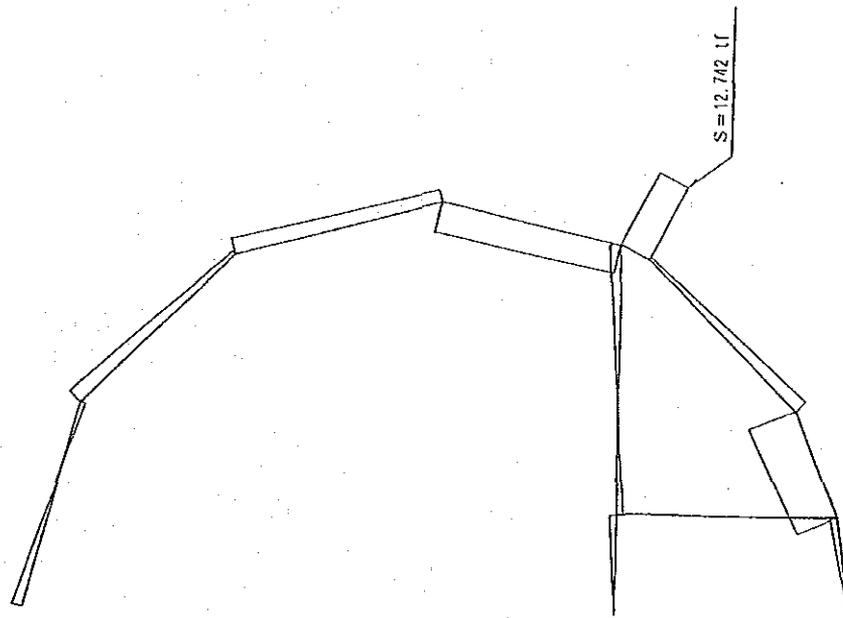


(a)

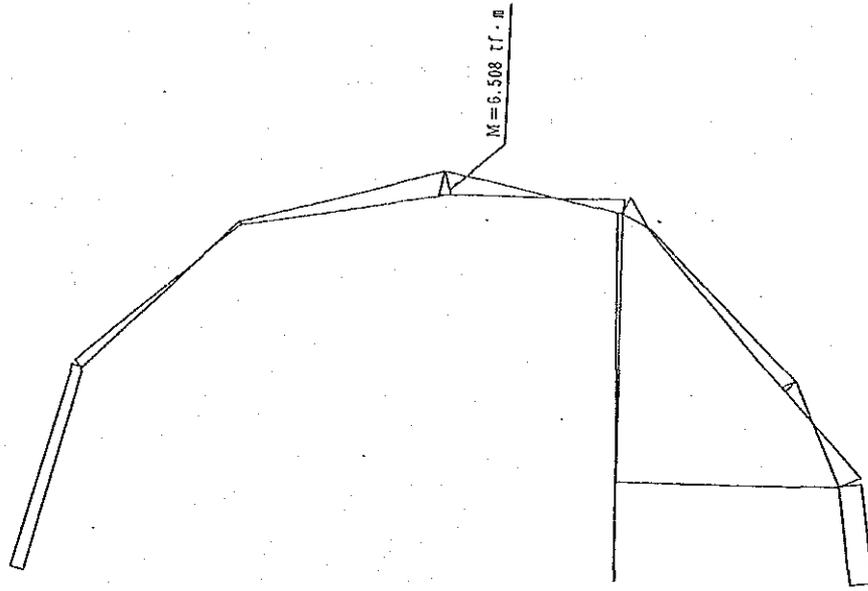


(b)

図-3.1.3 トンネル変位、軸力



(a)



(b)

図-3.1.4 せん断力、曲げモーメント

(3) 安全性の評価

運河の掘削は二次覆工施工後、長期に渡って施工される。そのため、運河の掘削完了時までには現在の土圧が二次覆工に作用しているものと思われる。

従って、二次覆工の安全性の評価は以下のように検討する。

- ・常時 : 現在荷重による断面力+掘削により生じる断面力
- ・異常時 : 掘削により生じる断面力のみ

表-3.1.1 断面力集計表

		現 状*1)	掘削による断面力 (今回の結果)	合 計
常 時	N (tf)	49.183	18.012	57.983
	M (tf・m)	0.486	6.508	6.994
	S (tf)	--	12.742	12.742
異 常 時	N (tf)	--	18.012	18.012
	M (tf・m)	--	6.508	6.508
	S (tf)	--	12.742	12.742

*1) 5.2.1(1) 2) 慣用計算法の計算結果参照

計算結果を表-3.1.2 に示す。この結果いずれの場合も許容応力度内に入る。

表-3.1.2 応力度算定結果

(単位: kgf/cm²)

	σ_c	σ_{ca}	σ_s	σ_{sa}
常 時	46.0	90.0	104.4	2100.0
異常時	46.6	135.0	1017.6	3150.0

1 矩形断面の応力度計算

断面 NO.	1	2
M [t・m]	6.99	6.51
N [t]	57.98	8.80
S [t]	12.74	12.74
b [cm]	100.0	100.0
h [cm]	40.0	40.0
d [cm]	30.0	30.0
d' [cm]	0.0	0.0
As [cm ²]	19.355	19.355
As' [cm ²]	0.000	0.000
n = Es/Ec	15.00	15.00
P=As/(b*d) [%]	0.645	0.645
u=d-h/2 [cm]	10.000	10.000
f=M/N+u [cm]	22.056	83.955
f/d	0.735	2.798
d'/d	0.000	0.000
As'/As	0.000	0.000
M'=M+N*u [t・m]	12.788	7.388
x [cm]	26.061	12.221
C	3.241	5.681
S	0.490	8.264
Z	0.597	1.128
σ_c [kg/cm ²]	46.0	46.6
σ_s [kg/cm ²]	104.4	1017.6
$\sigma_{s'}$ [kg/cm ²]	562.9	0.0
τ [kg/cm ²]	2.54	4.79
τ_m [kg/cm ²]	4.25	4.25
σ_{ca} [kg/cm ²]	90.0	90.0
σ_{sa} [kg/cm ²]	2100.0	2100.0
τ_a [kg/cm ²]	4.75	4.75

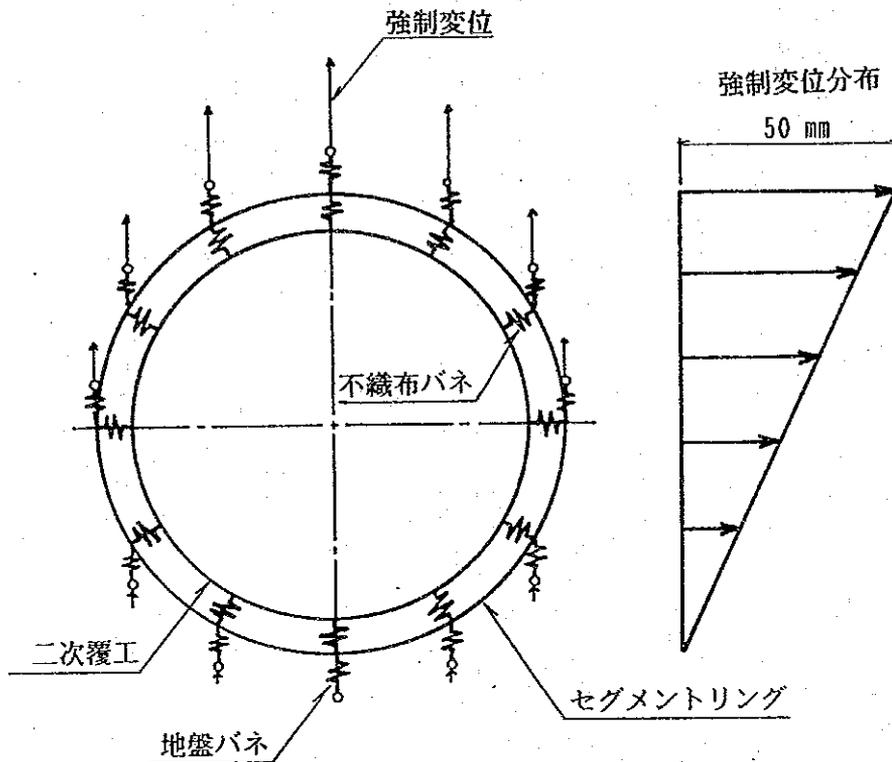
注： σ_s の-は圧縮を示す。 $\sigma_{s'}$ の-は引張を示す。
 τ_m は平均せん断応力度を示す。

3-1-2. 梁バネモデルによる検討

ここでは、運河拡張工事の影響によって生じる地盤のリバウンドを図-3.1.5 に示すように、セグメントリングと覆工を梁で評価した2層リングモデルによって検討した。

その際、防水シートと共にセグメントと覆工の間に設置される不織布が、図-3.1.6 に示すように可圧縮性を有していることから、これを圧縮バネとしてセグメントリングと覆工の間に評価した。ただし、引張力に対しては、不織布が抵抗できないと考えられるため、引張バネは考えていない。

リバウンドは、セグメントリング底部と頂部の相対変位を50mm（アハムド・ハムディ・トンネル設計図書より引用）とし、底部が0mm、頂部が50mmとなるように、直線補間して地盤バネを介して強制変位として入力した。



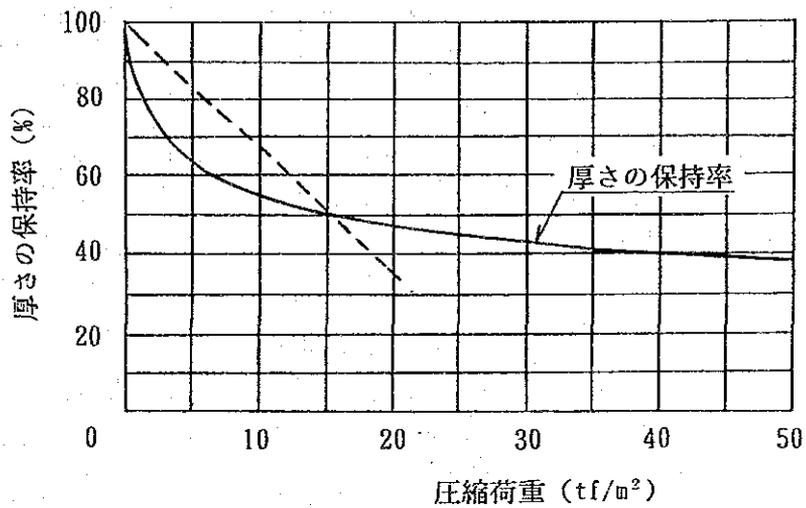
セグメントリング
 $E = 3500000 \text{ tf/m}^2$
 $I = 0.01131 * \eta = 0.005655 \text{ m}^4 \quad (\eta = 0.5)$
 $A = 0.3859 \text{ m}^2$

図-3.1.5 解析モデル

不織布の圧縮バネは、図-3.1.6 に示すように、圧縮率50%時の荷重と変位の関係から、以下の値を用いた。

CASE-1: $k = 2,500 \text{ tf/m}^2$ (7mm 不織布を1枚使用した場合)

CASE-2: $k = 1,250 \text{ tf/m}^2$ (7mm 不織布を2枚使用した場合)



$$k = \frac{\text{不織布の厚さ} \times (100 - \text{厚さの保持率}) \%}{\text{圧縮荷重}}$$

図-3.1.6 不織布の圧縮性能曲線

断面力の算定にあたっては、運河拡張工事前に覆工は既に土圧を受けていると考えられることから、運河拡張前の覆工の断面力算定結果と重ね合わせることにした。

断面力の算定結果は、表-3.1.3 に示す通りであった。

また、このときのセグメントリングおよび覆工の変位は、表-3.1.4 に示す通りであった。

表-3.1.3 断面力の算定結果

		最大曲げモーメント tf・m		軸力 tf	
		segment	二次覆工	segment	二次覆工
運河拡張前の断面力		----	0.382	----	48.845
CASE-1	運河拡張の影響	-80.435	33.644	-0.402	18.318
	重ね合わせ結果	----	34.026	----	67.163
CASE-2	運河拡張の影響	-77.346	22.144	6.322	12.794
	重ね合わせ結果	----	22.526	----	61.639

表-3.1.4 変位の算定結果

		セグメントリング	二次覆工
CASE-1	頂部変位	48.44 mm	29.77 mm
	底部変位	2.56 mm	15.10 mm
	相対変位	45.88 mm	14.67 mm
CASE-2	頂部変位	48.76 mm	19.14 mm
	底部変位	2.14 mm	9.89 mm
	相対変位	46.62 mm	9.25 mm

安全性の評価は、限界状態設計法の終局耐力によって行った。

照査の結果は、図-3.1.7 に示すように、CASE-1 の場合は、単鉄筋の終局耐力を上回っており、CASE-2 の場合は、終局耐力内に収まっている。

このことから、不織布を14mm (7mm×2) とすることが、運河拡張工事の影響に対して有効であることがわかる。

セグメントリングは、局所的な断面破壊を生ずるが、トンネル周辺が地盤で拘束されていることや、内側に覆工が存在することからヒンジが形成され、セグメントリング全体が破壊にいたることはない判断する。

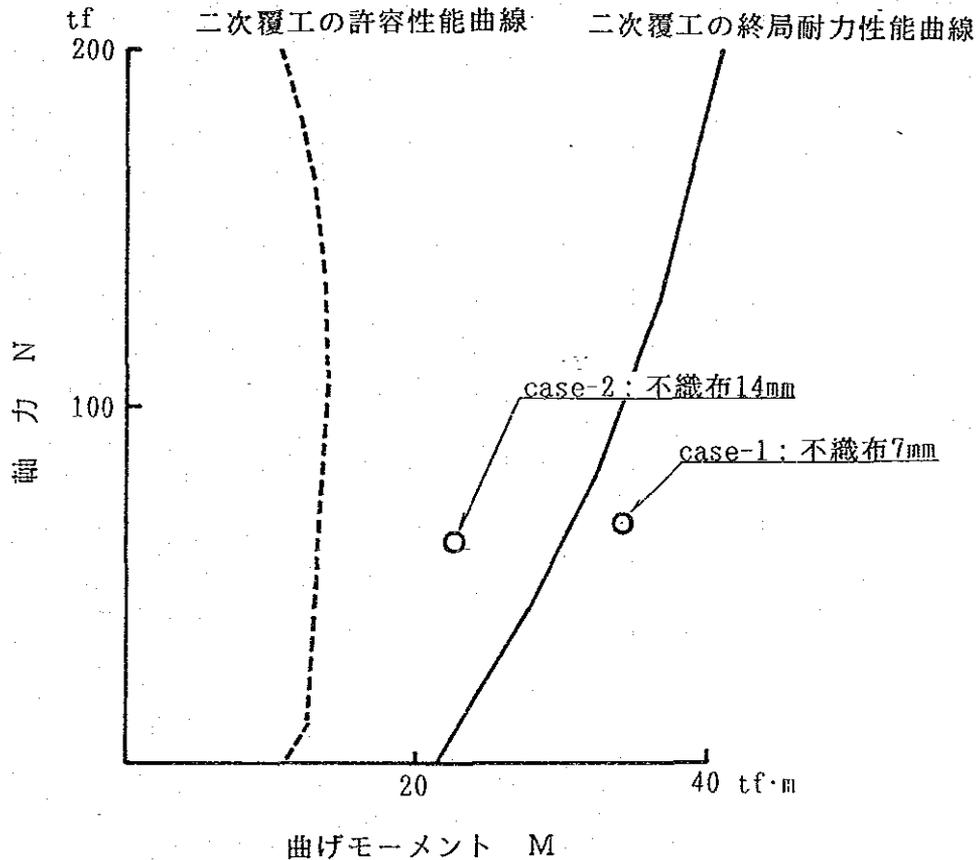


図-3.1.7 計算結果および安全性の照査

また、運河拡張工事の影響を受けた場合、床版に大きな曲げモーメントが発生することから、交通荷重による発生断面力と、運河拡張工事による発生断面力を重ね合わせ、安全性の確認を行った。

表-3.1.5 床版の安全性の照査

	単 位	支 点		中 間 支 間	
		A 点	C 点	B 点	D 点
M (交通荷重)	tf・m	-5.50	-5.50	3.37	3.46
M (運河拡張)	tf・m	-1.38	4.33	-1.38	1.61
M (合 計)	tf・m	-6.88	-1.17	1.99	5.07
N (運河拡張)	tf	81.14	80.10	81.14	80.10
桁高 h	cm	53.0	43.0	35.0	31.0
鉄筋被り d	cm	10.0	10.0	10.0	10.0
鉄筋量 $A_s = A_s'$		D19ctc200	D19ctc200	D19ctc200	D19ctc200
σ_c	kgf/cm ²	29.7	21.5	29.8	52.8
σ_s	kgf/cm ²	----	----	----	----

この結果、運河拡張工事の影響による断面力の変動によって、床版に支障が無いことが確認できる。

3-2. 縦断方向の検討

3-2-1. 弾性床上の梁モデルによる検討

(1) 検討条件

当該トンネルは、今後予定されているスエズ運河の拡張工事の影響によって、その土被りが大きく変化する。

このとき、運河拡張工事の影響は、トンネル延長の一部に対して発生することから、トンネル縦断方向への影響が大きいと考え検討を行った。

検討に用いた条件は以下の通りである。

・土質条件

土の単位体積重量	$\gamma = 1.95 \text{ tf/m}^3$
水の単位体積重量	$\gamma_w = 1.05 \text{ tf/m}^3$
土の水中単位体積重量	$\gamma' = 0.90 \text{ tf/m}^3$
地盤反力係数	$k = 3000 \text{ tf/m}^3$ (2000 tf/m^3)

これらの土質定数は、基本的にトンネル横断方向の検討を行った際の値と同様のものである。

この中で、地盤反力係数については、地質調査結果から推定される地盤反力係数、 3000 t/m^3 に対して、その値が2/3程度に低下した場合でも破壊に至らないことを確認するために、 $k = 2000 \text{ tf/m}^3$ を用いた検討を参考に行っている。

・構造条件

トンネル外径 (セグメント)	$D_o = 11.60 \text{ m}$
内径	$D_i = 9.50 \text{ m}$
図心半径	$R_c = 4.95 \text{ m}$
厚さ	$t = 0.40 \text{ m}$
弾性係数	$E = 2650000.0 \text{ tf/m}^2$
断面積	$A_l = 12.44 \text{ m}^2/\text{m}$
断面二次モーメント	$I_l = 152.663 \text{ m}^4/\text{m}$
コンクリートの設計基準強度	$\sigma_{ck} = 270 \text{ kgf/cm}^2$
コンクリートの許容圧縮応力度	$\sigma_{ca} = 90 \text{ kgf/cm}^2$
鉄筋の引張強度 (SD40)	$\sigma_{sy} = 4000 \text{ kgf/cm}^2$
鉄筋の許容引張応力度	$\sigma_{sa} = 2100 \text{ kgf/cm}^2$

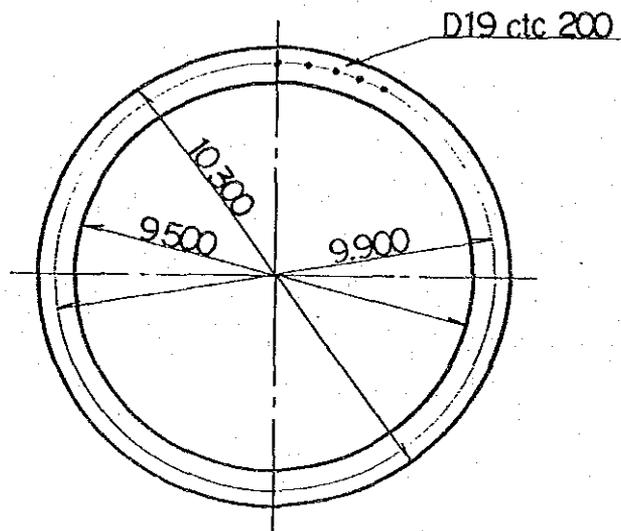


図-3.2.1 覆工断面

(2) 荷重の算定

運河拡張工事によってトンネル縦断方向に変化する鉛直荷重は、図-3.2.2 に示すように、現状の土被りと運河掘削後の土被りの変化との差から算定した。

算定結果を表-3.2.1 および図-3.2.3 に示す。

表-3.2.1 荷重の算定結果

距離 (m)	現状の土被り	現状の土圧	拡張後土被り	拡張後土圧
0.0	17.0 m	15.3 tf/m ²	17.0 m	15.3 tf/m ²
300.0	26.0 m	23.4 tf/m ²	26.0 m	23.4 tf/m ²
360.0	27.0 m	24.3 tf/m ²	7.0 m	6.3 tf/m ²
580.0	34.0 m	30.6 tf/m ²	14.0 m	12.6 tf/m ²
640.0	35.0 m	31.5 tf/m ²	35.0 m	31.5 tf/m ²
720.0	35.0 m	31.5 tf/m ²	35.0 m	31.5 tf/m ²
780.0	18.0 m	16.2 tf/m ²	18.0 m	16.2 tf/m ²
820.0	23.0 m	20.7 tf/m ²	12.0 m	10.8 tf/m ²
920.0	21.0 m	18.9 tf/m ²	10.0 m	9.0 tf/m ²
980.0	20.0 m	18.0 tf/m ²	9.0 m	8.1 tf/m ²
1030.0	40.0 m	36.0 tf/m ²	10.0 m	9.0 tf/m ²
1050.0	40.0 m	36.0 tf/m ²	10.0 m	9.0 tf/m ²
1160.0	34.0 m	30.6 tf/m ²	34.0 m	30.6 tf/m ²
1310.0	40.0 m	36.0 tf/m ²	40.0 m	36.0 tf/m ²
1647.0	23.0 m	20.7 tf/m ²	23.0 m	20.7 tf/m ²

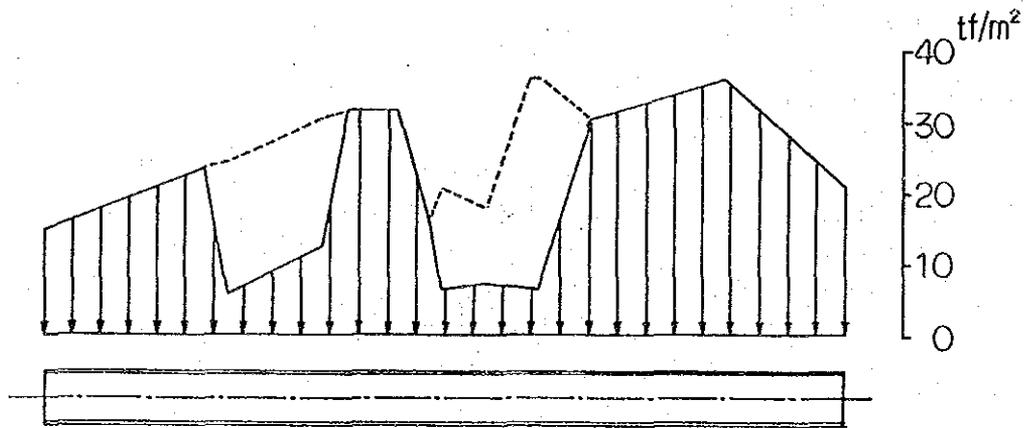
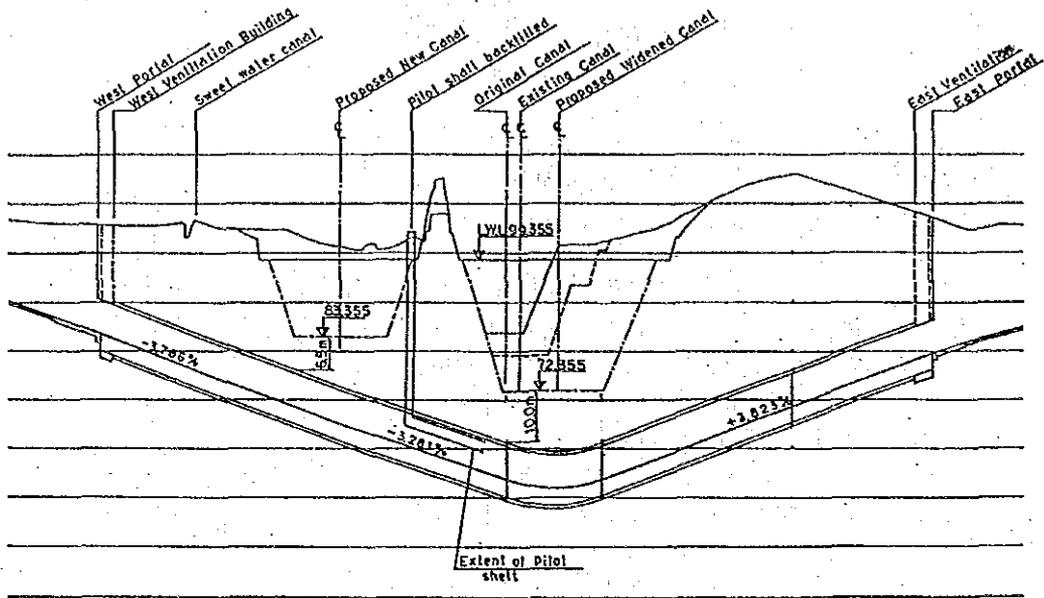


図-3.2.2 トンネル縦断方向の鉛直荷重変化

(3) 断面力の算定

1) 断面力の算定方法

断面力の算定は、図-3.2.3 に示すように覆工を縦断方向に一様な剛性を持つ梁で、地盤反力を弾性床で評価した構造モデルに、先に求めた荷重を作用させ、現状の土被りによる土圧と運河拡張完了後の土被りによる土圧の差について行った。

地盤反力は、トンネル覆工の変形に係わらず常に期待できるものとした。地盤反力の作用方向は、覆工の廻りに防水シートが存在することによってせん断力の伝達は無いものとし、トンネル軸直角方向のみに作用するものとした。

また、この方法は、地盤が掘削されることによって生じる土圧の変化を荷重によって評価した方法であり、最も一般的に行われている方法である。

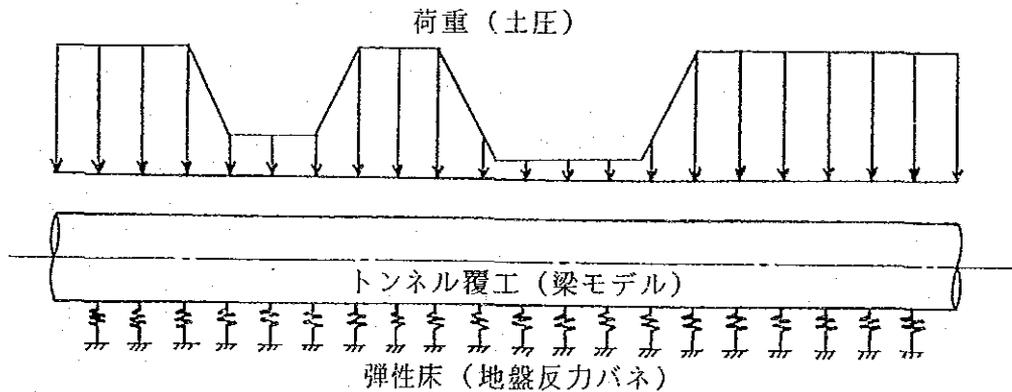


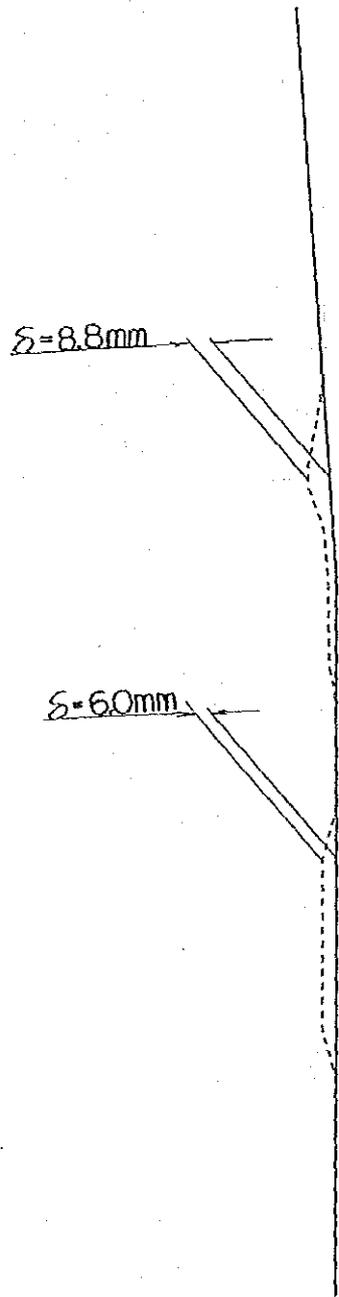
図-3.2.3 解析モデル

2) 断面力の算定結果

断面力の算定結果を表-3.2.2 および図-3.2.4, 図-3.2.6 に示す。
また、このときの変位分布を図-3.2.5, 図-3.2.7 に示す。

表-3.2.2 断面力の算定結果

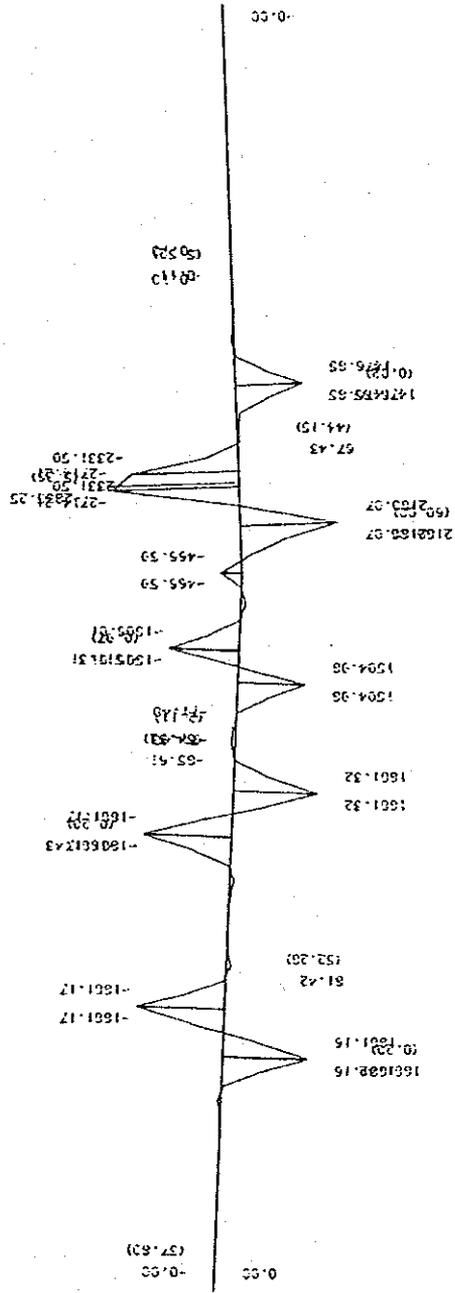
		最大曲げモーメント tf・m	最大変位 mm
case-1	$K=3,000\text{tf/m}^2$	1,994	8.8
case-2	$K=2,000\text{tf/m}^2$	2,835	13.1



$K=2000 \text{ tf/m}^2$

图-3.2.5 变位图

$M_{max} = 2835 \text{ tf}\cdot\text{m}$



$K = 2000 \text{ tf/m}^2$

図-3.2.6 曲げモーメント

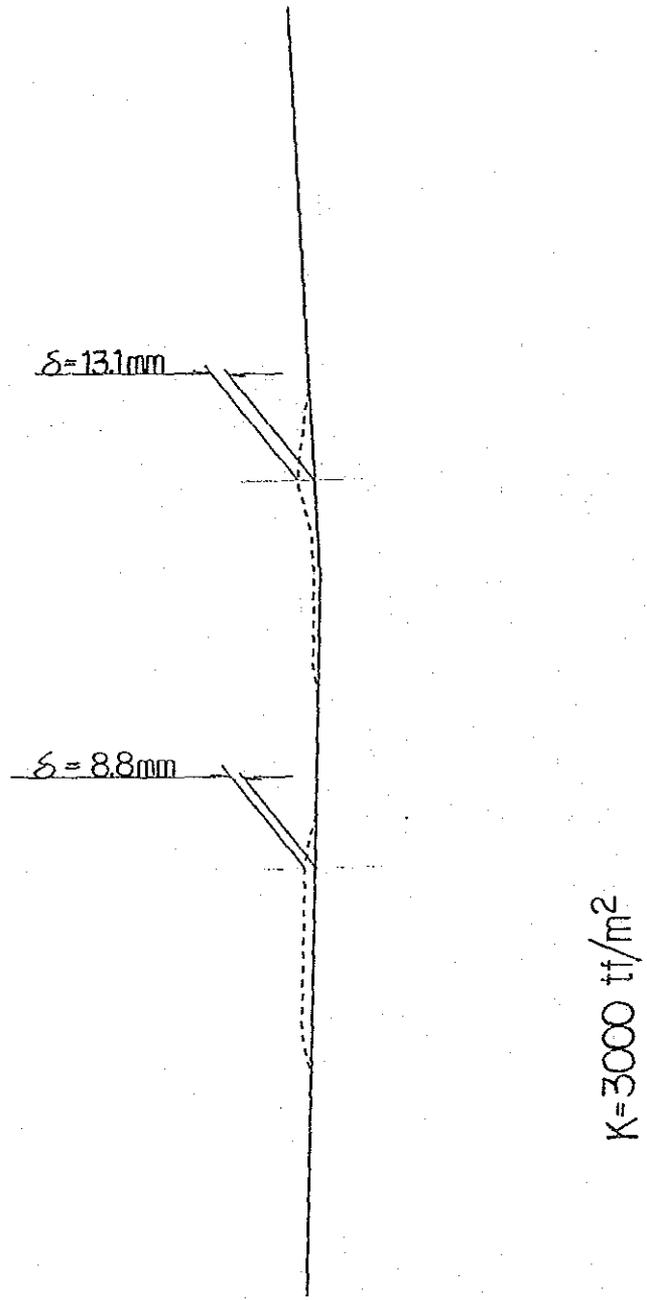


图-3.2.1 变位图

3) 安全性の評価

断面力の算定結果から、許容応力度法による応力度の照査を行った。
 応力度の算定は、図-3.2.8 に示す断面について行った。
 その結果を、表-3.2.3 に示す。

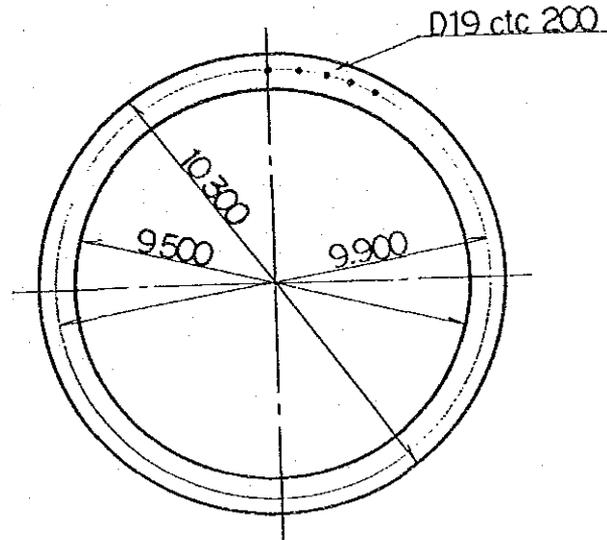


図-3.2.8 応力度照査断面

表-3.2.3 応力度の算定結果

		σ_c kgf/cm ²	σ_{ca} kgf/cm ²	σ_s kgf/cm ²	σ_{sa} kgf/cm ²
case-1	k = 3000 tf/m ³	14.9	90.0	1310.7	2100.0
case-2	k = 2000 tf/m ³	21.2	90.0	1863.5	2100.0

以上の結果、いずれの検討ケースも許容応力度以下であった。

3-2-2. FEMによる検討

(1) 検討条件

運河拡張によるトンネル縦断方向の影響検討をFEMで行う。FEMの解析モデル図は図-3.2.9に示す通りである。

・土質条件

$$\text{弾性係数} \quad E = 15000 \text{ tf/m}^2$$

$$\text{ポアソン比} \quad \nu = 0.4$$

$$\text{単位体積重量} \quad \gamma' = 0.9 \text{ tf/m}^3$$

$$\text{粘着力} \quad c = 190 \text{ tf/cm}^2$$

$$\text{内部摩擦角} \quad \phi = 20^\circ$$

・トンネルの条件

覆工

$$\text{弾性係数} \quad E = 2650000 \text{ tf/m}^2$$

$$\text{断面積} \quad A = 12.44 \text{ m}^2$$

$$\text{断面二次モーメント} \quad I = 153 \text{ m}^4$$

トンネルは覆工のみを考慮することとし、これを梁部材で考える。

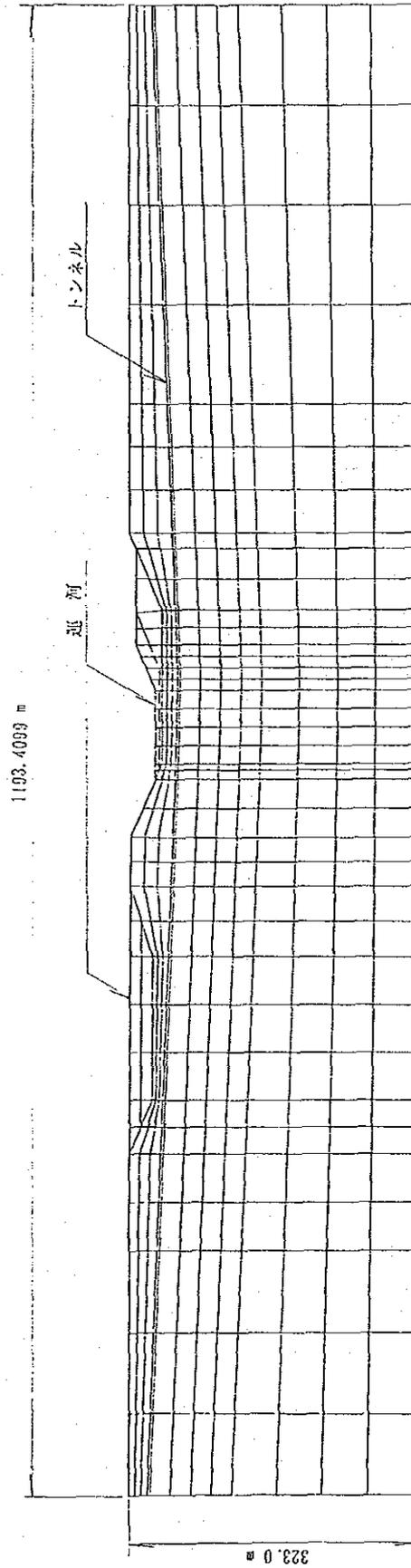


図-3.2.9 FEM解析モデル

(2) 検討結果

運河掘削により発生する変位置、断面力は以下の通りである。

・変位置

掘削底最大地盤変位置 $\delta r = 239.0 \text{ mm}$

トンネル最大変位置 $\delta r = 226.4 \text{ mm}$

・トンネル断面力

軸力 $N = 1235.7 \text{ tf}$

曲げモーメント $M = -7910.0 \text{ tf}\cdot\text{m}$

せん断力 $S = 158.9 \text{ tf}$

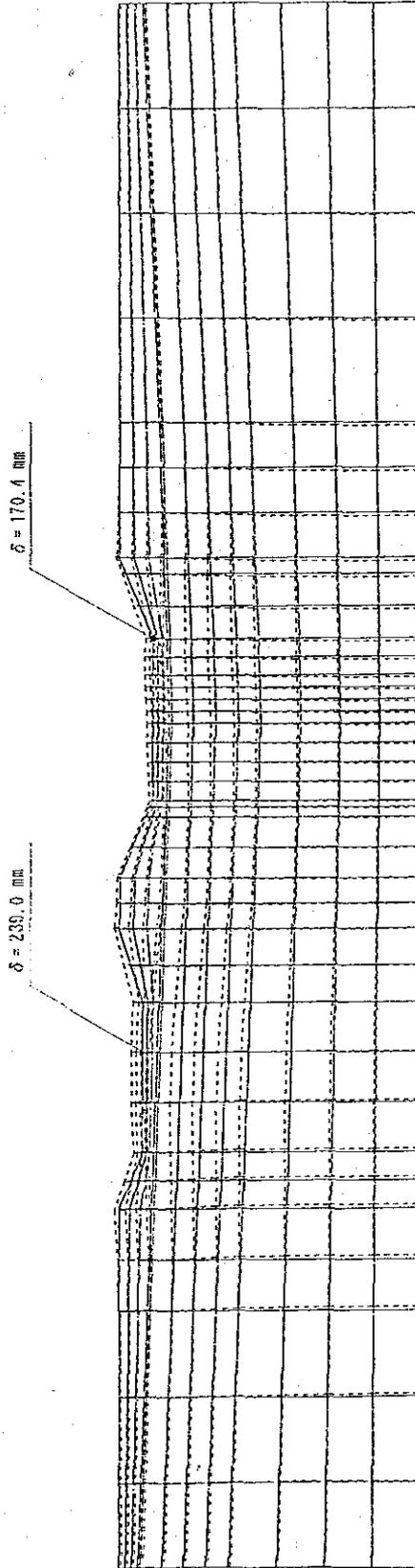
これらの結果を図-3.2.10～図-3.2.14に示す。

EXAC. ANALYSIS

STAGE NO.4
STEP NO.1

DISPLACEMENT

2000mm



图一3.2.10 地盤変位

EXAC. ANALYSIS

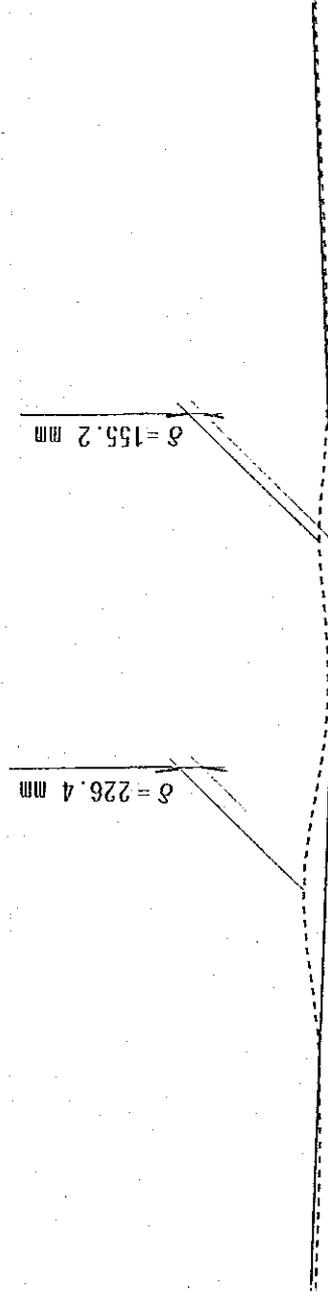


図-3.1.11 トンネル変位

EXAC. ANALYSIS

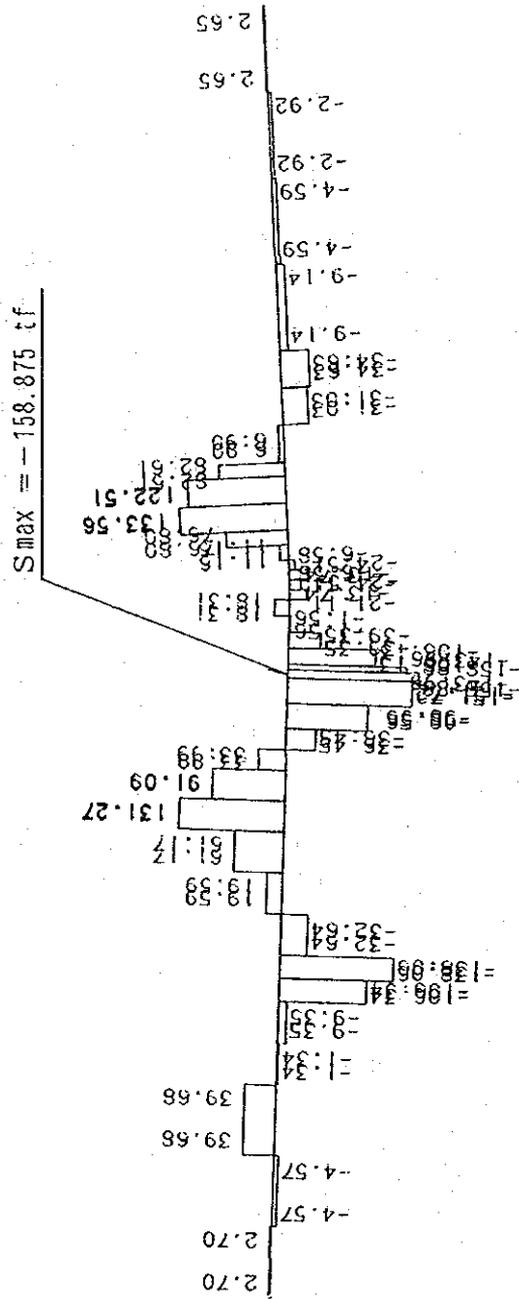
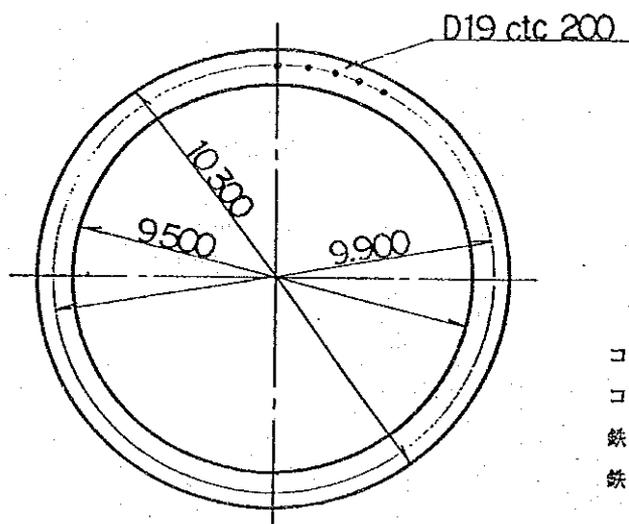


図-3.2.13 せん断力

(3) 安全性の評価

ここでは限界状態設計法による終局耐力での安全性を確認する。終局耐力は単鉄筋、複鉄筋の2ケースで計算すれば次のようになる。



コンクリートの設計基準強度	$\sigma_{ck} = 270 \text{ kgf/cm}^2$
コンクリートの許容圧縮応力度	$\sigma_{ca} = 90 \text{ kgf/cm}^2$
鉄筋の引張強度(SD40)	$\sigma_{sy} = 4000 \text{ kgf/cm}^2$
鉄筋の許容引張応力度	$\sigma_{sa} = 2100 \text{ kgf/cm}^2$

図-3.2.15 終局耐力算定断面

単鉄筋: $M_{ud} = 7615.9 \text{ tf}\cdot\text{m}$

複鉄筋: $M_{ud} = 14908.9 \text{ tf}\cdot\text{m}$

従って、終局耐力での安全性は以下のように、単鉄筋ならばわずかにオーバーし、複鉄筋とすればOKとなる。

$$M = 7910.0 \text{ tf}\cdot\text{m} > M_{ud} = 7615.9 \text{ tf}\cdot\text{m} \quad (\text{単鉄筋}) \quad , \quad \text{NO}$$

$$< M_{ud} = 14908.9 \text{ tf}\cdot\text{m} \quad (\text{複鉄筋}) \quad , \quad \text{OK}$$

4. 地震に対する影響検討

4-1. 動的FEMによる検討

トンネルの縦断方向の耐震検討は動的FEM（プログラム名：FLUSH）によって行うこととする。検討条件および解析手法は以下の通りである。

(1) 入力地震動の設定

a. 地震規模の設定

一般に、耐震設計に用いる入力地震動は対象とする建設構造物近傍に発生した過去の強震記録をもとに、想定する地震規模、震央距離、地盤の動的特性から設定する。

そこで、本構造物近傍における過去の強震記録を、気象庁による震源カタログより調べると、図-4.1.1 および表-4.1.1 に示すように表わされる。ここで、同図および同表は1900～1991年（91年間）に当該地点で $M=5$ （マグニチュード：5）以上の地震を抽出したものである。

図-4.1.2 および表-4.1.2 より地震の発生分布をみると、構造物より半径100km以内に発生した強震記録には $M=5.0, 5.4$ があり、しかもこれらは深さ24km, 33kmと比較的浅い所に震源をもつ地震動となっている。また、構造物より南東約330km付近では僅か3年間で $M=5.0\sim 7.1$ の規模の地震が8回も発生しており、とりわけ $M=7.1$ の大規模地震が発生していることが注目される。さらに、同箇所と構造物を結ぶ線上においても $M=5.0$ の地震が発生している。

これらのことから、紅海に沿う地殻変動の可能性は十分予想され、その規模は、

震央距離	: 構造物より半径100km 以内
震源深さ	: 約20～40km程度
マグニチュード	: $M=5$ 以上

程度と推測される。

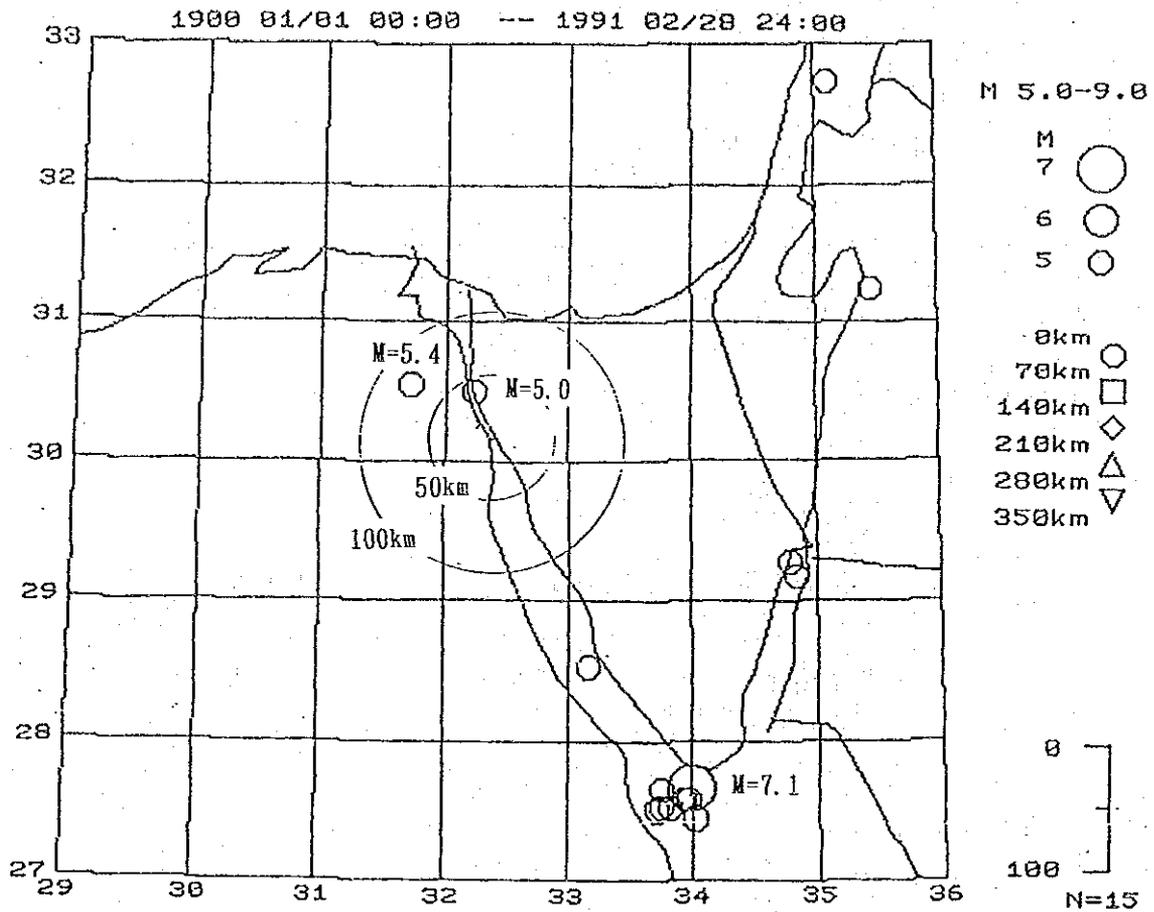


図-4.1.1 当該地点近傍における過去の強震記録

表-4.1.1 当該地点近傍における過去の強震記録 (気象庁:震源カタログより)

1900年 1月1日 0時0分~1991年 2月28日 24時

: マグニチュード 5.0 -9.0 : 深さ 0 -350km : 地域 1

N	Y	M	D	H	MIN	イト°	ケイト°	フカサ	M
1	1969	3/24	11:54	27°31.7'	33°49.7'	21	5.2		
2	1969	3/31	7:15	27°40.1'	33°59.2'	33	7.1		
3	1969	3/31	21:44	27°27.7'	34°1.7'	6	5.0		
4	1969	4/8	10:31	27°30.2'	33°43.3'	15	5.2		
5	1969	4/16	8:12	27°35.2'	33°58.1'	33	5.0		
6	1969	4/23	13:37	27°35.6'	33°56.5'	28	5.0		
7	1972	1/12	8:15	27°31.6'	33°44.9'	54	5.1		
8	1972	6/28	9:49	27°38.9'	33°45.6'	15	5.6		
9	1974	4/29	20:4	30°31.7'	31°43.3'	33	5.4		
10	1979	4/23	13:1	31°14.6'	35°27.7'	33	5.1		
11	1983	2/3	13:46	29°9.9'	34°49.9'	10	5.1		
12	1983	2/3	23:30	29°16.3'	34°46.0'	10	5.1		
13	1983	6/12	12:0	28°30.5'	33°10.3'	10	5.0		
14	1984	8/24	6:2	32°44.3'	35°5.6'	24	5.0		
15	1987	1/2	10:14	30°28.8'	32°13.3'	24	5.0		

そこで、本設計においては本構造物の重要性を考慮し、地震動規模を次のように設定する。

震央距離 : 構造物直下
震源深さ : 30km 直下型地震を想定
(実効距離 : 30km)
マグニチュード : M=7.0

b. 設計地震動の最大加速度の設定

設計地震動の最大加速度の設定には、マグニチュードと震央距離の関係から推定する手法が一般的であり、これまでに多くの関係式が提案されている。我国においても、港湾地域における強震観測より得られた多数の実測記録をもとに基盤（耐震上の基盤を指す）での最大加速度を推定する方法が図-4.1.3のように示されている。

そこで、同図を用い、先に設定した地震規模における基盤での最大加速度を求めると次のようになる。

・ M=7, 実効距離 : 30km 図-4.1.3 $\alpha_{max} = 215 \text{ gal}$

c. 設計地震動の加速度波形の設定

加速度波形の選定する場合、想定する地震と同程度の規模の地震の際に得られた記録であることが望ましく、さらに対象構造物付近で実測されたものが望ましいとされている。しかし、着目している地点付近で想定する規模の地震記録が得られることは希なことから、一般には過去の強震記録より地震規模、および地盤特性の類似した記録を用いることとしている。

本設計地域の地盤は、図-4.1.4に示すボーリングデータより、地表面より深度:6.5m~20.0mの範囲にシルト質粘土が、深度:20.0m以深には泥岩が分布する地層構成となっており、PS検層より得られたVs（せん断弾性波速度）が、粘性土で290m/sec、泥岩で300m/secであることを考慮すると堅固な地盤状態であるといえる。

このような堅固な地盤状態のもとで先に設定した地震規模：M=7となる観測波形としてはエル・セントロ波（正式名称：Imperial Valley）が代表的であり、各種の耐震設計に用いられている。

本設計においても類似の地盤状態であること、および想定している地震規模が同規模であることから、エル・セントロ波を入力波形として選定することとする。

以下、図-4.1.5 にエル・セントロ波の記録波形を示す。

d. 耐震上の基盤面の設定

耐震上の基盤とは、地質工学上の基盤とは異なり、それ以浅の表層地盤の影響がなく、それ以深では弾性的挙動を示す地盤面と定義され、一般的には岩盤あるいはN値50以上の洪積層に設定される。

本設計においては、地質調査の結果よりN値の深度に伴うばらつきが一定になると考えられる深度100mの位置を耐震上の基盤面と設定することとする。

基盤における入力地震動

設定したエル・セントロ波を地盤露頭部における地震動と考え、基盤における入力地震動としては、その1/2とした地震動（加速度波形および最大振幅を1/2： $\alpha_{max}=215\text{gal}/2=107.5\text{gal}$ ）を与えることとする。

(2) 土質定数

解析に用いる土質定数を表-4.1.2 に示す。

(3) 構造条件ならびにトンネルの断面諸元（トンネルの覆工のみを対象とする）

弾性係数	$E=350000$ (tf/m ²)
断面積	$A=12.44$ (m ²)
断面二次モーメント	$I=153$ (m ⁴)

(4) 解析手法

動的FEMによる解析は、プログラム名：FLUSHを用い、疑似三次元モデルによる地震応答解析とした。これは、通常の二次元モデルによるモデル化では奥行き方向にまでトンネルが存在するモデルとなってしまうことに対し、疑似三次元モデルではトンネルの存在する主断面と同時に奥行きに自然地盤を表わす副断面を設定できるためである。また、解析上副断面方向（面外方向）への地震波動の逸散効果を考慮することができるという特長を有している。

図-4.1.6 に疑似三次元モデルの概念図を示す。また、図-4.1.7には本解析に用いる解析モデル（メッシュ図）を示す。

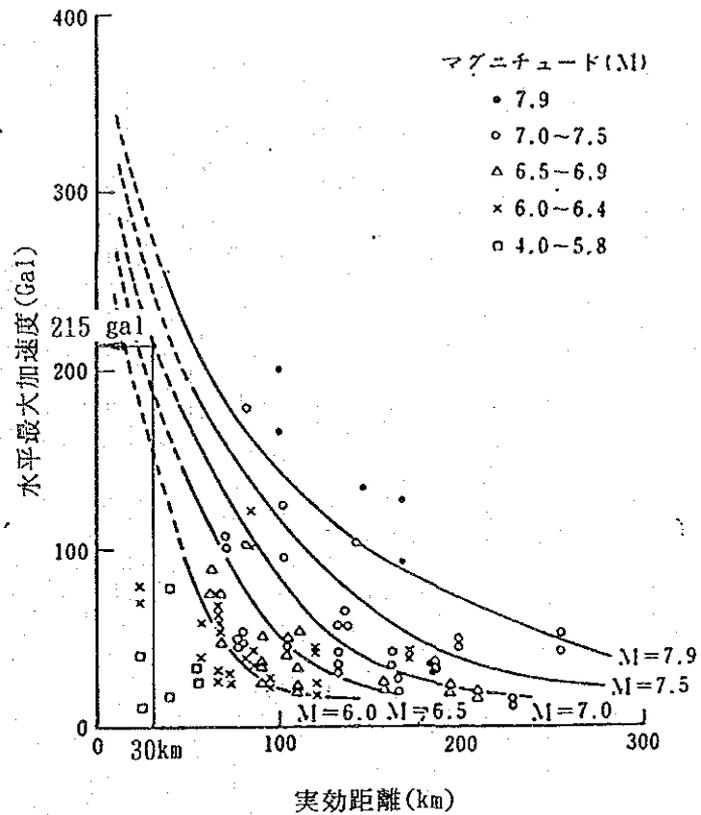


図-4.1.3 基盤最大加速度の距離減衰曲線

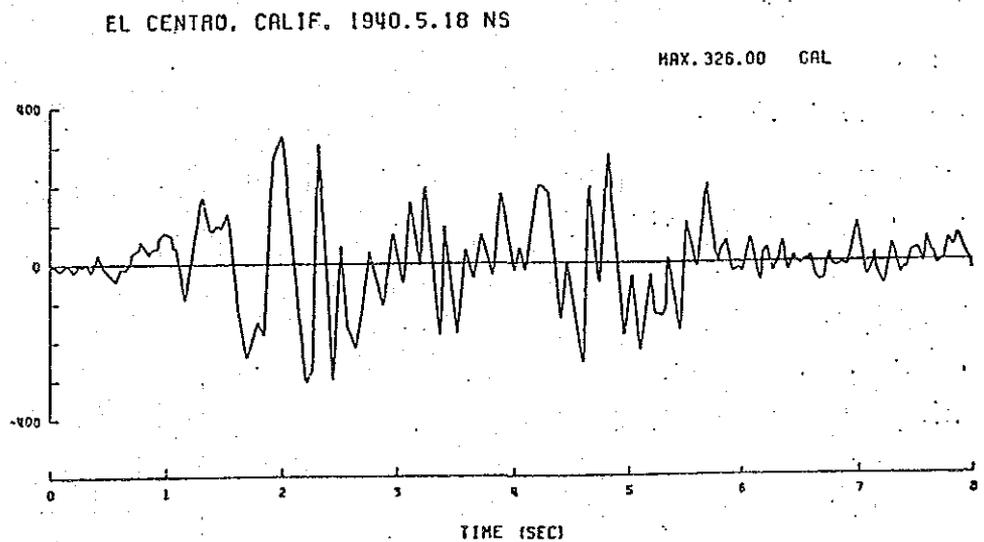
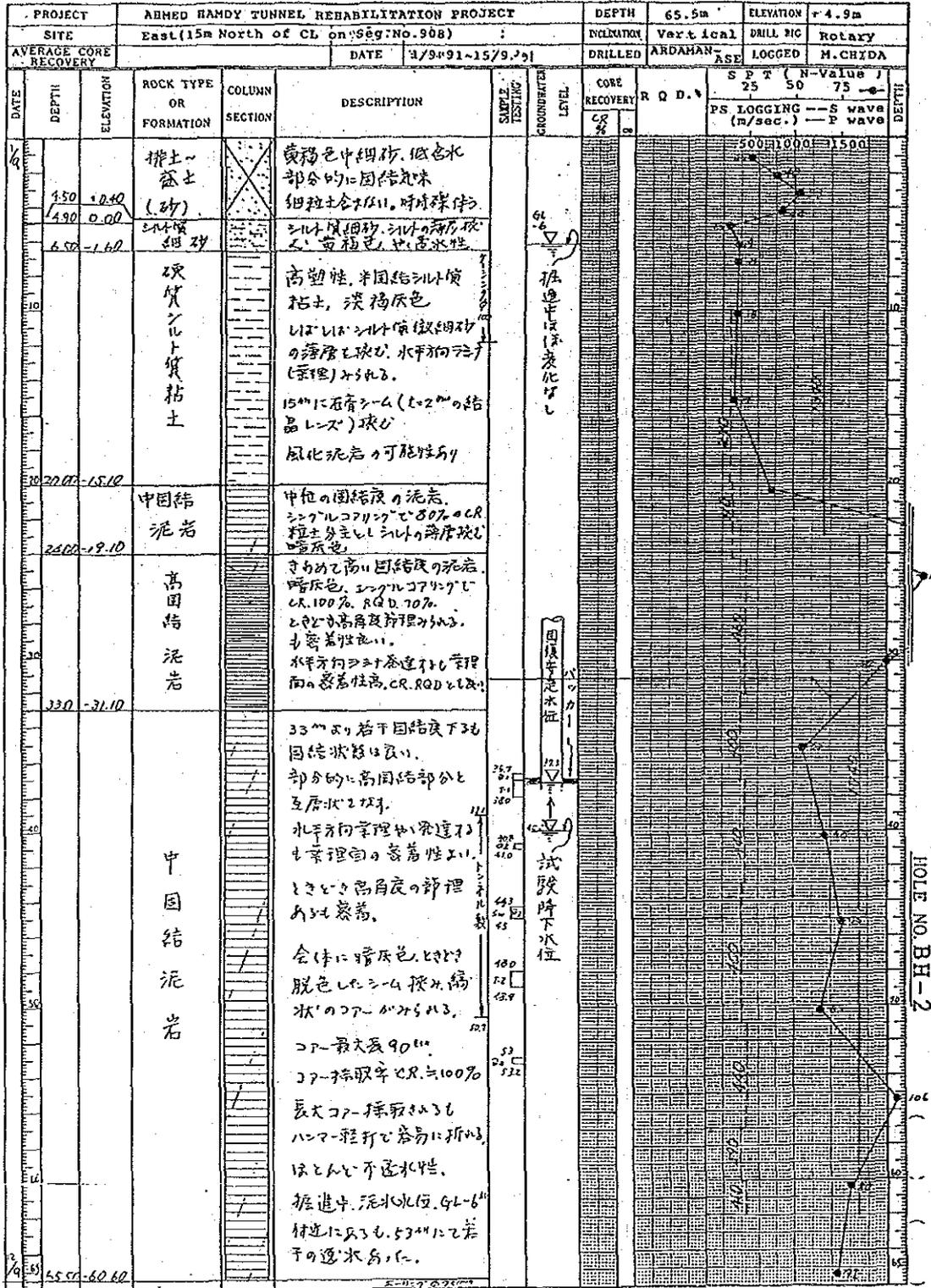


図-4.1.5 エル・セントル波の記録波形

ボーリング柱状図 HOLE NO. BH-2 SHEET NO. 1 OF 1



* R.Q.D. is Rock Quality Designation. R.Q.D. = (Total length of cylindrical cores longer than 10 cm / Total core length) x 100%

NIPPON KOEI CO., LTD.

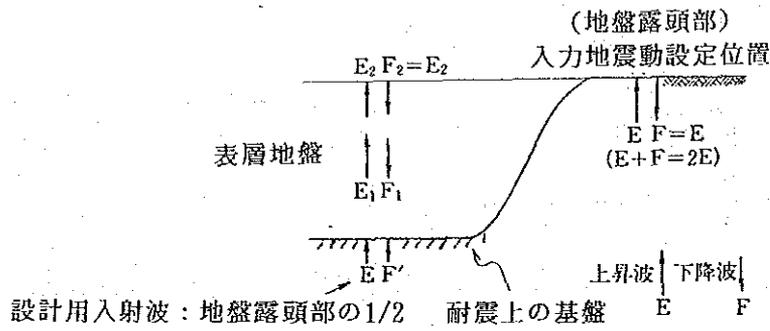
図-4.1.4 ボーリング柱状図

表-4.1.2 土質定数一覧表

層名	静的弾性波速度 Vs (m/s)	動的弾性波速度 Vs (m/s)	せん断剛性 G *1	単位体積重量 γ (tf/m ³)	ポアソン比 ν
ob	200	100	1990	1.95	0.48
ch	290~310	150	4477	1.95	0.47
Mdm & Mdw	444 (460, 400, 440, 390, 460) *2	222	9807	1.95	0.465

*1 $G = (\gamma / g) V_s^2$ $g = 9.8 \text{ m/s}^2$

*2 各層について層高を乗じ、加重平均して444 m/sとした。



基盤における入力地震動・概念図

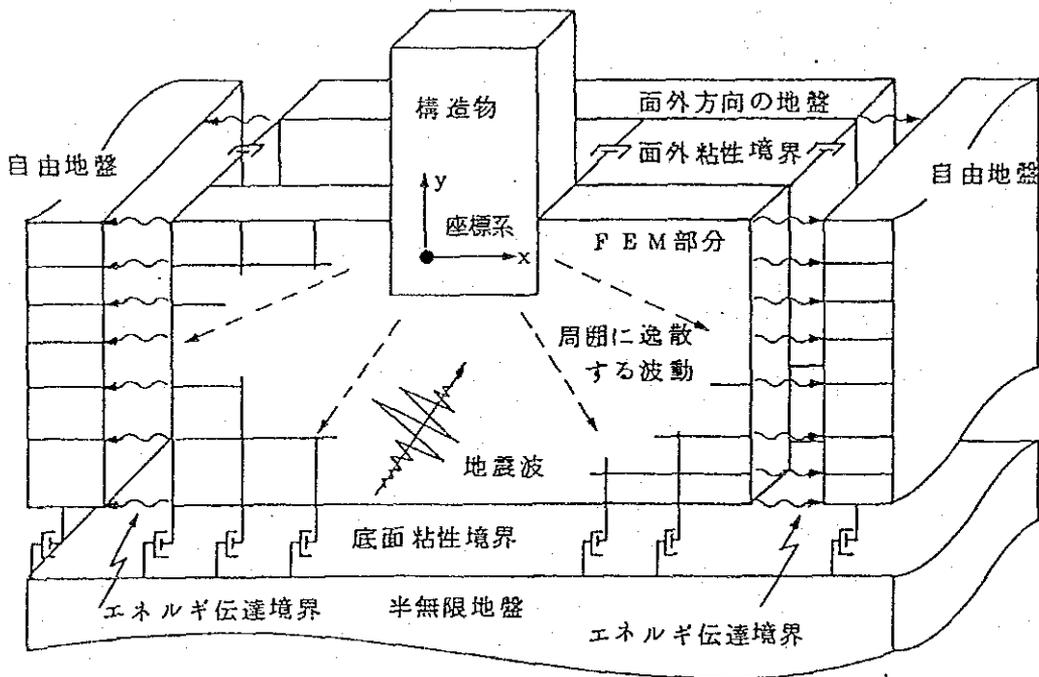


図-4.1.6 疑似三次元解析モデル概念図

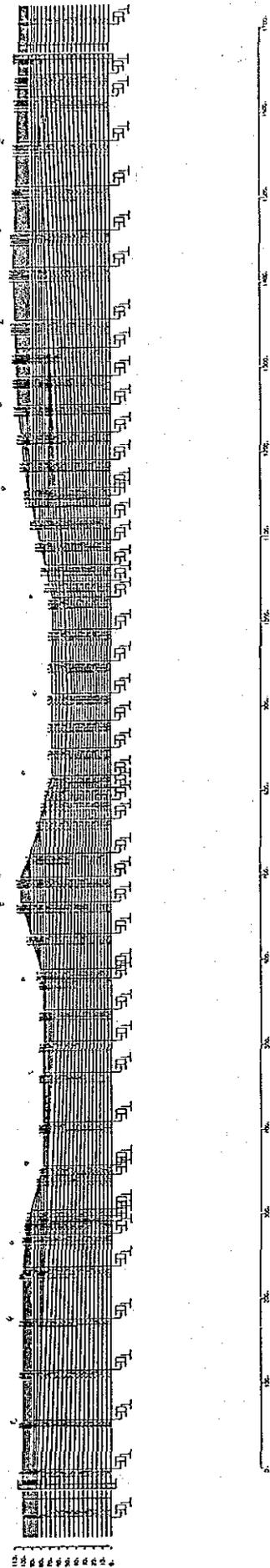


図-4.1.7 解析モデル図

(5) 解析結果

解析結果のうち、トンネル中心の節点間に生じる最大ひずみの値を表-4.1.3に示す。最大ひずみの算出は、トンネル中心の節点間に生じる最大の相対変位を求め、その値を節点間距離で除して求めたものである。なお、表中負号は引張りひずみを表わすものである。

表-4.1.3より、最大ひずみの最高値を示す箇所は図-4.1.7に示す位置であり、その値は、 $\gamma_{max} = 4400 \sim 4500 \mu$ となっている。その他の箇所では $\gamma_{max} = 4000 \mu$ 以下を示す結果である。

また、 $\gamma_{max} = 4400 \sim 4500 \mu$ の最大ひずみを生じる時の時刻における水平変位分布を表わしたものを参考として図-4.1.8に示す。

表-4.1.3 トンネル中心の節点間に生じるひずみの値

NO.	JOINT 節点番号	STRAIN 最大ひずみ	節点間に生じる最大の相対変位	
			R - DISP. (M)	LENGTH (M)
1	9 - 33	0.0004239606	0.026922	58.7840
2	33 - 57	-0.0004760765	-0.027906	58.7840
3	57 - 82	-0.0010167561	-0.062357	61.2104
4	82 - 106	-0.0002056226	-0.012586	61.2104
5	106 - 134	0.0012890210	0.050301	39.0227
6	134 - 160	0.0024237605	0.036135	14.9085
7	160 - 187	0.0026061630	0.017549	6.2536
8	187 - 210	0.0023966561	0.017985	7.5043
9	210 - 232	0.0024953475	0.102973	41.2739
10	232 - 254	0.0017712503	0.019738	11.2565
11	254 - 276	0.0012912701	0.066216	51.2777
12	276 - 307	0.0001853931	0.010667	58.6177
13	307 - 329	-0.0015076366	-0.055393	36.7419
14	329 - 351	-0.0032654745	-0.119781	36.7422
15	351 - 364	-0.0045331530	-0.166557	36.7419
16	364 - 386	-0.0044758655	-0.050301	11.2561
17	386 - 411	-0.0033110429	-0.136655	41.2725
18	411 - 441	-0.0010702045	-0.039797	37.3704
19	441 - 471	0.0008189714	0.024580	30.0163
20	471 - 496	0.0021539326	0.059388	27.5717
21	496 - 518	0.0033912286	0.139237	40.7632
22	518 - 538	0.0032812720	0.072957	22.2343
23	538 - 558	0.0025854083	0.039324	14.8230
24	558 - 578	0.0021881002	0.032634	14.8230
25	578 - 598	0.0024095054	0.077335	32.3035
26	598 - 618	0.0023994809	0.077512	32.3035
27	618 - 638	0.0012444854	0.040201	32.3032
28	638 - 658	-0.0007928160	-0.029922	37.7416
29	658 - 678	-0.0021208618	-0.080044	37.7413
30	678 - 698	-0.0016515257	-0.062331	37.7413
31	698 - 718	-0.0010807652	-0.020531	19.2737
32	718 - 739	-0.0014973192	-0.028859	19.2737
33	739 - 762	-0.0027355244	-0.079086	28.9103
34	762 - 786	-0.0032806769	-0.086935	26.4991
35	786 - 812	-0.0023225633	-0.061546	26.4993
36	812 - 840	-0.0014042491	-0.013533	9.6366
37	840 - 868	-0.0003012952	-0.009834	32.6402
38	868 - 898	0.0014592018	0.047629	32.6402
39	898 - 932	0.0027509348	0.089791	32.6402
40	932 - 964	0.0031838501	0.105865	33.2505
41	964 - 977	0.0028795379	0.095746	33.2505
42	977 - 1028	0.0024346008	0.080952	33.2508
43	1028 - 1059	0.0014125872	0.088096	62.3651
44	1059 - 1089	-0.0008964633	-0.002973	42.9707
45	1089 - 1118	-0.0002261727	-0.011912	52.6677
46	1118 - 1147	0.0001468427	0.007734	52.6681
47	1147 - 1175	-0.0007430285	-0.039134	52.6677
48	1175 - 1203	-0.0005457279	-0.014901	26.3391

最大ひずみ：7 mm... =4400 ~4500 μを示す箇所

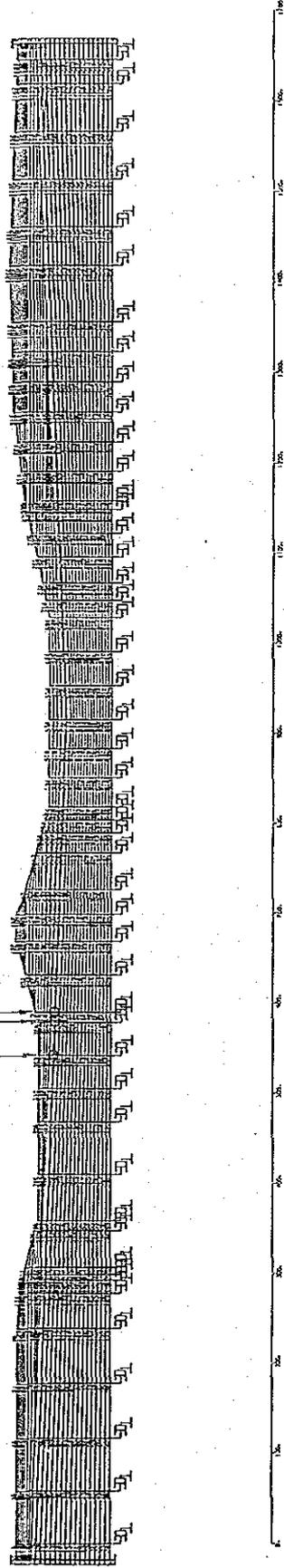


図-4.1.7 最大ひずみ発生箇所

0.00 0.10 (M)

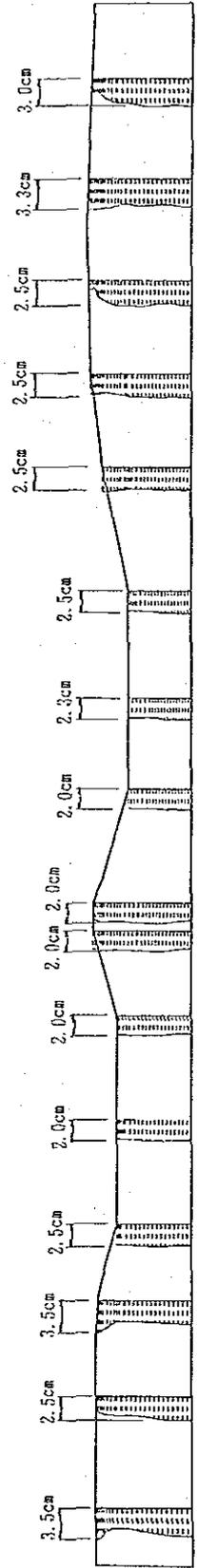


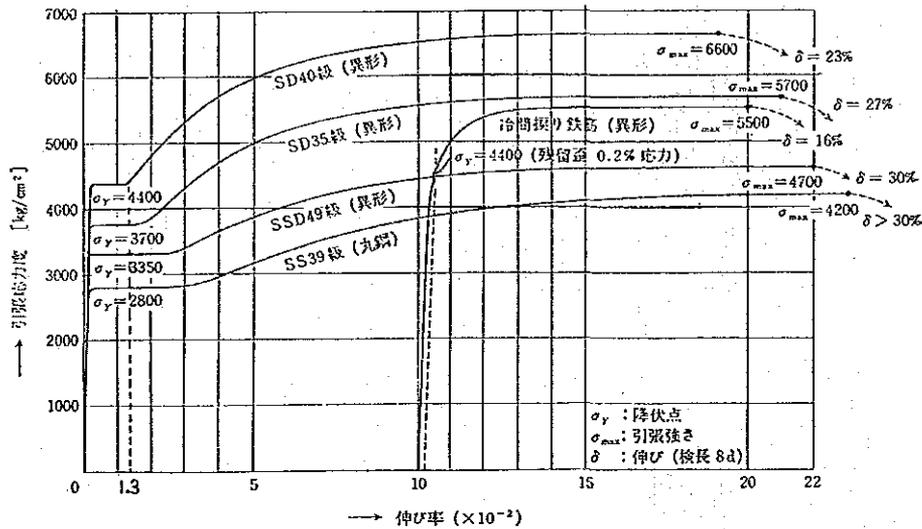
図-4.1.8 最大ひずみの生じる時刻 (t=2.56sec) における水平変位分布

・安全性の評価

上記解析結果によると、トンネル周辺地盤の最大ひずみ γ_{max} は、4000~4500 μ となる。この値は、鉄筋の降伏ひずみを越えるので、残留ひずみは残るが、復元限界ひずみ $\epsilon_{sh} = 13000\mu$ 以内であるので、地震終了後はトンネルは完全に復元し、安全である。

さらに、以下のことを考慮すると、本トンネルは地震に対して安全であると云える。

- ① セグメントリングと覆工間には腐食布ならびに防水シートが配置されていることによりアイソレーション効果が期待できことから、本解析で発生している相対ひずみは覆工には100%伝達しないと考えることができる。
- ② コンクリートにひび割れが発生したとしても、防水シート（限界伸び率：500%）が配置されているので漏水の問題はない。



各種強度の鉄筋の応力歪曲線

4-2. 日本道路協会；「共同溝設計指針」による検討

トンネルの耐震検討は、日本道路協会；「共同溝設計指針」に準じて、応答変位法を用いて行う。

(1) 検討条件

トンネル位置は、図-4.2.1 に示す通りである。

なお、設計基盤面は、運河掘削面下70m（トンネル下端から約50m）とした。

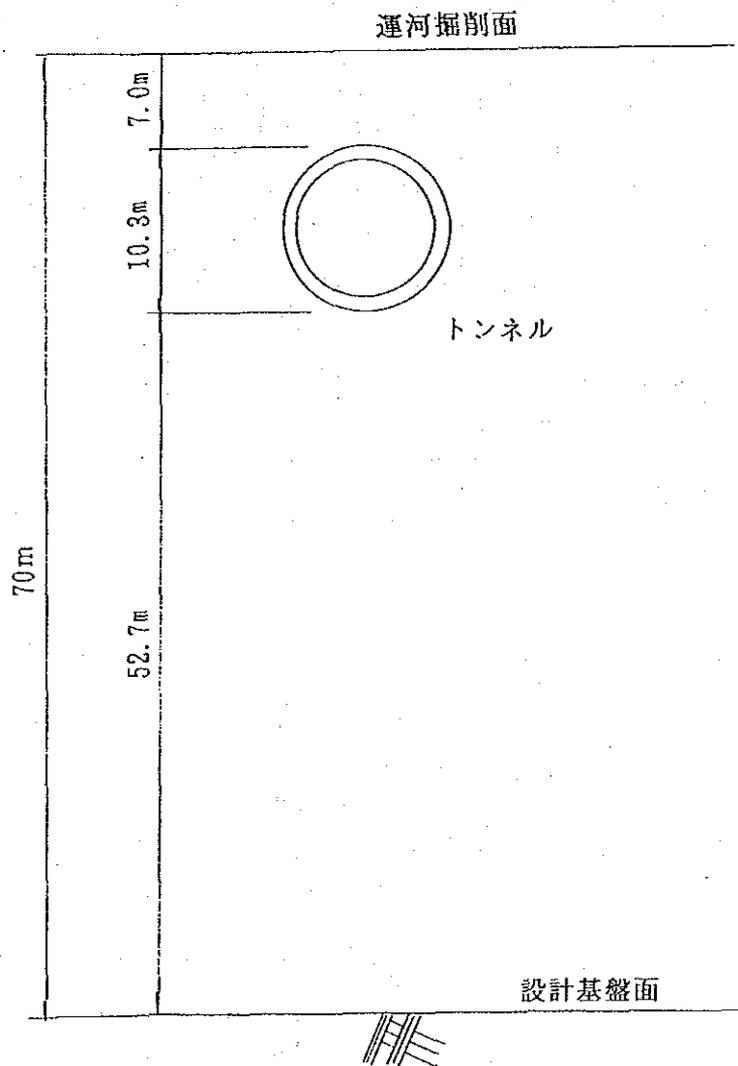


図-4.2.1 解析モデル

検討に用いる各定数は、表-4.2.1, 表-4.2.2 に示す通りである。

表-4.2.1 検討条件

	単 位	CASE-1
タイトル		egypt
地域区分		C
地層数		1
表層地盤厚 H	(m)	70.00
基盤のせん断 弾性波速度 VBS	(m/s)	1000.00
トンネル中心深度 Z	(m)	12.80
トンネルのヤング率 E	(t/m ²)	2.6500E+06
トンネルの断面積 A	(m ²)	1.2440E+01
トンネル水平面内 断面2次モーメント I _h	(m ⁴)	1.5266E+02
トンネル鉛直面内 断面2次モーメント I _v	(m ⁴)	1.5266E+02
継手間隔	(m)	20.000

表-4.2.2 地盤条件

C A S E - 1			
タイトル	egypt		
	層 厚 H _i (m)	平 均 重 γ _{ti} (t/m ³)	平均せん断 弾性波速度 V _{si} (m/s)
1 層	70.00	1.950	300.0

(2) 断面力の算定方法

応答変位法にて計算を行なう。

応答変位法では、地震時に生じる表層地盤の変形を、図-4.2.2 に示す正弦波状の地震波が伝搬することによるものと仮定し、弾性床土上の梁理論を用い、断面力を次式により算定する。

$$\left. \begin{aligned} P_h &= \alpha_1 \cdot \xi_1 \frac{\pi E \cdot A}{L} \cdot U_h \\ P_v &= \alpha_1 \cdot \xi_1 \frac{\pi E \cdot A}{L} \cdot \frac{U_h + U_v}{2} \\ M_h &= \alpha_2 \cdot \xi_2 \frac{4 \pi^2 E \cdot I_h}{L^2} \cdot U_h \\ M_v &= \alpha_3 \cdot \xi_3 \frac{4 \pi^2 E \cdot I_v}{L^2} \cdot U_v \end{aligned} \right\} \text{ (式-1)}$$

ここに、

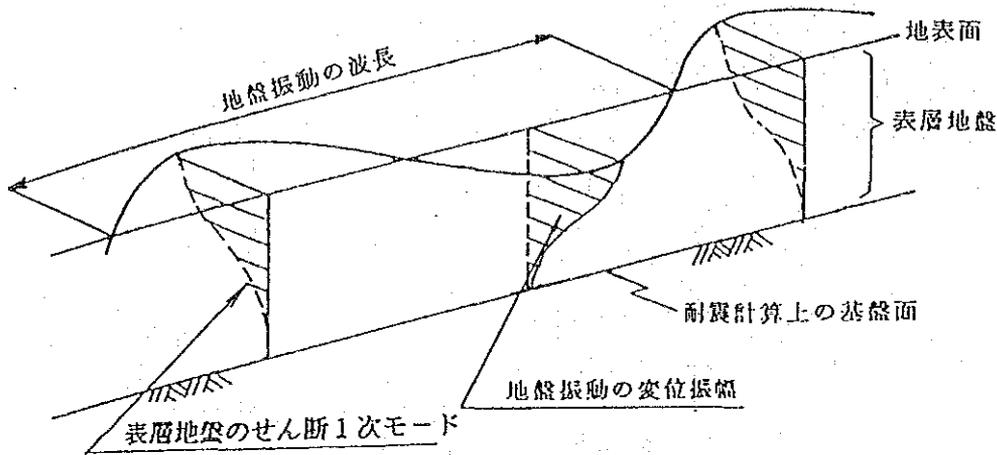
- P_h 、 P_v : 水平面内及び鉛直面内の地震振動による軸力 (t)
- M_h 、 M_v : 水平面内及び鉛直面内の地盤振動による曲げモーメント (t・m)
- $E \cdot A$: トンネル軸方向剛性 (t)
- $E \cdot I_h$: トンネル水平面内の曲げ剛性 (t・m⁴)
- $E \cdot I_v$: トンネル鉛直面内の曲げ剛性 (t・m⁴)
- U_h 、 U_v : 共同溝の重心の深さにおける地震振動の水平方向および鉛直方向の変位振幅 (m)
ただし、本検討では水平方向の変位振幅のみに着目し、
 $U_v = 0$
とする。

U_h は次式で算定する。

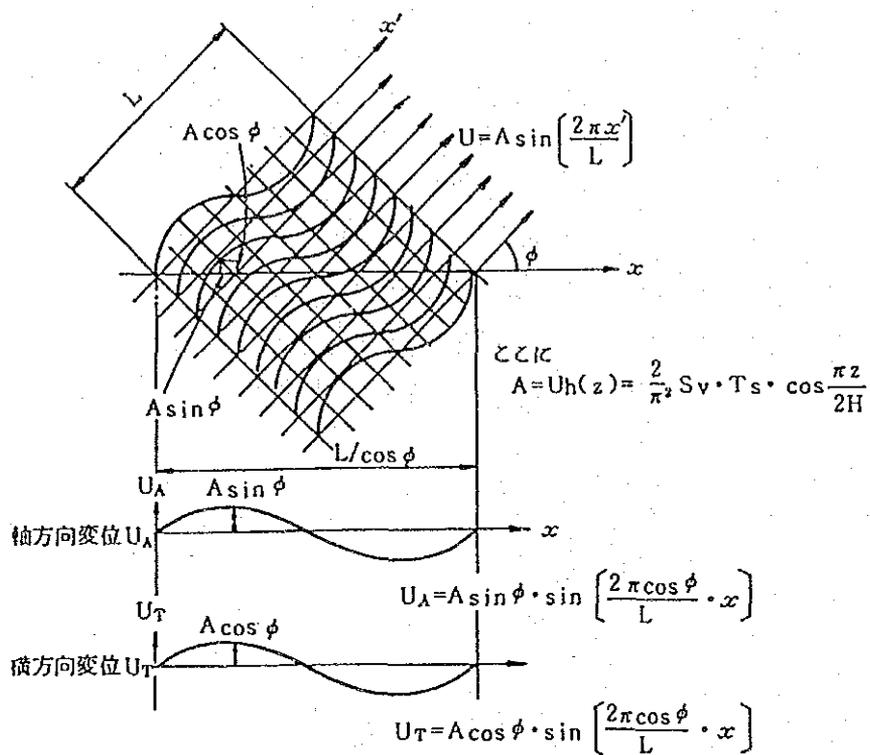
$$U_h(z) = \frac{2}{\pi^2} S_v \cdot T_s \cdot \cos \frac{\pi z}{2H} \text{ (式-2)}$$

ここに、

- $U_h(z)$: 地表面からの深さ z (m) における水平方向の変位振幅 (m)
- S_v : 設計応答速度 (m/s) であり、表層地盤の固有周期 T_s 、及び地震活動度の地域区分に応じ 図 5.2.1(1)-41 より求める。
- T_s : 表層地盤の固有周期 (s)



地盤振動の波長および変位振幅



地震動の伝播とこれによる地盤の変形

図-4.2.2 応答変位法による地盤変位概念図

$$L = \frac{2 L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2} \quad \left. \begin{array}{l} L_1 = V_{DS} \cdot T_s \\ L_2 = V_{BS} \cdot T_s \end{array} \right\} \text{ (式-3)}$$

ここに

V_{BS} : 基盤のせん断弾性波速度(m/s)

V_{DS} : 表層地盤のせん断弾性波速度(m/s)

である。

また、 L は地盤振動の波長(m)であり次式より求める。

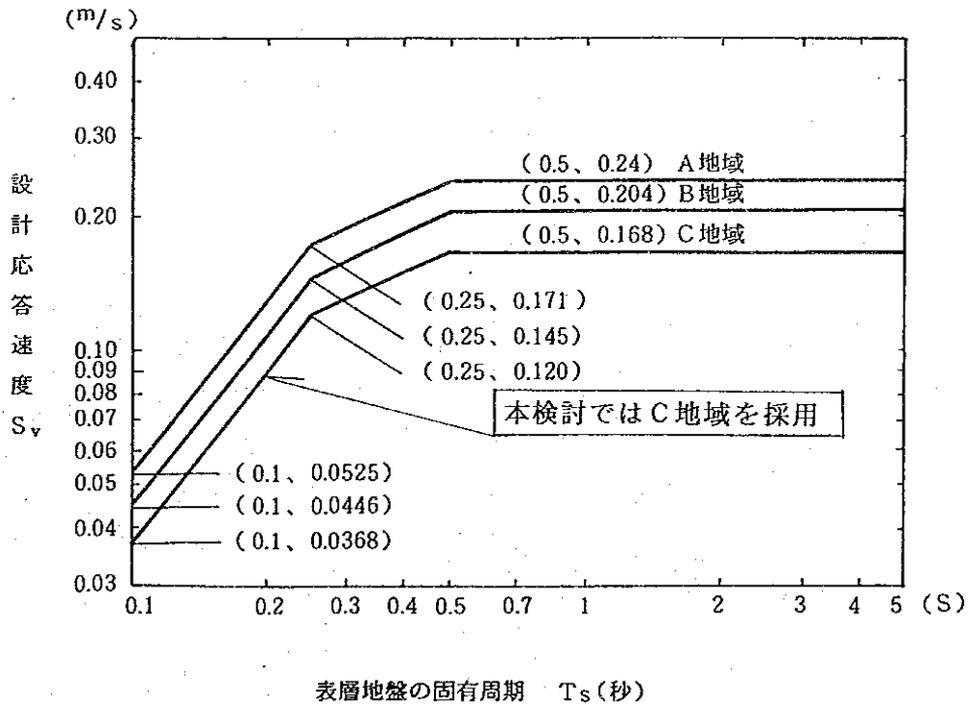


図-4.2.3 設計応答速度

(3) 解析結果

解析結果は、表-4.2.3 に示す通りである。

表-4.2.3 解析結果

		CASE-1
	タイトル	egypt
	継手間隔 l (m)	20.000
軸力 (t)	修正前軸力 P	8541.23
	修正係数 $\xi 1$	0.100
	修正後軸力 $P' = \xi 1 \cdot P$	854.12
水平面内 曲げモー メント (t·m)	修正前水平面内曲げ モーメント M_h (t·m)	2106.38
	修正係数 $\xi 2$	0.100
	修正後水平面内曲げ モーメント $M_h' = \xi 2 \cdot M_h$	210.64
鉛直面内 曲げモー メント (t·m)	修正前鉛直面内曲げ モーメント M_v (t·m)	1054.12
	修正係数 $\xi 3$	0.100
	修正後鉛直面内曲げ モーメント $M_v' = \xi 3 \cdot M_v$	105.41

(4) 安全性の評価

ここでは、限界状態設計法による終極耐力での安全性を確認する。また、軸力については、防水シートによるアイソレーション効果が期待できることから、覆工には発生しないものとした。

表-4.2.3 より、発生モーメントは、2106 tf·m となる。
また、単鉄筋での軸力がゼロの場合の終極耐力 (M_{ud}) は、7615.9 tf·m であるので、十分安全である。

$$M = 2106 \text{ tf} \cdot \text{m} < M_{ud} = 7615.9 \text{ tf} \cdot \text{m} \quad \text{----- OK}$$

付 属 資 料 一 六

シナイ半島開発とアハムド・ハムデイ・トンネル

(By Dr. A. E. Gowely)

ARAB REPUBLIC OF EGYPT
SUEZ CANAL AUTHORITY

Ismailia August 21, 1991

pt : of Works

Telephone : 064-220000/9 Ismailia

ax. { 064 / 220784
220785



جمهورية مصر العربية
هيئة قناة السويس

١٩

إدارة
رقم الترخيص
رقم الملف
عدد الملاحظات

Subject : - Data given from his Excellency the Governor of Ismailia, Professor Dr. Ahmed El-Gowely, in his office to the Japanese experts (JICA) Mr. T. OHTSUKA and Mr. T. TSUNASHIMA on Sunday 11/8/91 (from 10 to 11 a.m.)

Concerning : - The future Development plan of Sinai and the relationship between these projects and Ahmed Handy Tunnel

1) - The Canal Area divided into : -

North Sinai Governorat, South Sinai Governorat, Port-Said Governorate, Ismailia (and East of the Canal) Governorate, Suez Governorate and Sharkia Governorate.

2) - The Area of Ismailia Governorate: 1158929 feddans (x4200 m2)

This area including the lands from Al-Kantara to Sarabium (east and west the Canal).

* 488550 feddans lands east the Canal in Sinai.

* 626122 feddans lands west the Canal.

* 52013 feddans the water area of the Canal and the lakes.

3) - Water sources in Sinai: -

South part: The syphon of Sarabium (km. 93.)

North part: The syphon of km. 27 which is an extension of Salam Canal which is a branch of the River Nile (Damieta branch). They have terminated the first stage and they will start the second stage immediately. That stage includes the operation of passing the syphon under the Canal water, and it is expected that this stage will be terminated within two years. That stage is financed by a Kuwait fund.

4) - Lands Reclamation: -

That project includes 400000 feddans out of which 75000 feddans belong to Ismailia Governorate and the rest belong to North Sinai Governorate.

5) - The labour hands required to reclaim the land at least 2 persons per feddan, one for cultivation process and one for the service of the land, and the result is 800000 job opportunity.

Since the average number of the family of each worker is 5, the total volume of immigrants coming from the west of the Canal to Sinai (North Sinai and the easter Ismailia) becomes $8000 \times 5 = 4000.000$ people at least (between 4 and five million people).

6) - Prior projects: -

- Agriculture: cultivating fruits, vegetables and olives.
- Agroindustries such as storing, processing and packing agricultural products, that kind of industries that mainly depend on agriculture, and industries that depend of the existence of quarries as lime quarries, marble quarries etc.

7) ~~7)~~ Tourism

Many tourist villages and hotels including playgrounds and green areas have been established on the beaches of the Bitter lakes and the Canal, in addition to many other projects that will be established during the development plan of the next stage 1992/1997. These areas are characterized by their being near from Gairo, the pure nature and the marvellous nature of the beaches.

8) ~~8)~~ Infrastructure projects which are necessary for the immigrants and the merger of the east and west regions of the Canal including building primary, preparatory and secondary schools, agricultural and industrial training centers, hospitals, in addition to establishing internal transportation roads.

. / ...

9) - Marketting: -

Arranging markets inside and outside Egypt for the agricultural and industrial products of Sinai.

10) - The present number of inhabitants in Ismailia

200000 in Sinai . . .

700000 in the area west the Canal .

In holidays and festivals, Ismailia receives about one million Egyptians guest / year.

11) - Means of connection between east and west the Canal

Ahmed Hamdy Tunnel is considered one of the most important means for connecting the Delta and the Nile valley to Sinai and the project of the rehabilitation of Ahmed Hamdy Tunnel is very important and vital to excute the development plans of Sinai the present time and the future.

We hope to increase the cooperation between us and the Government of Japan for building Tunnels and Bridges for the same purpose.

The Governor of Ismailia hopes to exchange cooperation between the Egyptian Government and Japanese Government in training farmers and agronomists in the field of agriculture development and Land reclamation.

イスマイリア県ならびにシナイ半島北部の農業灌漑開発計画について

Dr. Ahmed El-Gowely (イスマイリア県知事)によれば、イスマイリア州の全面積 1,151,000,000 ha 中、運河東岸地区はその約42%の 480,000,000 ha あり、ナイル運河からのサイフォン管により淡水供給が図られている。現在イスマイリア市北端のサイフォン1本であるが、1年半後には、県北部に新しい大型サイフォンが完成する予定で、この結果、1993~1997年の5年間にはイスマイリア県の 75 kha を含む、シナイ半島北部 400 khaの農業灌漑開発が実施される。

1 haに2人の入植(農民1人、その他1人)が計画されており、シナイ半島北部 400 khaの開発では80万人、家族5人として 400万人の入植が図られる。これは、エジプトの第一優先プロジェクトとして位置づけられる。カイロ北部のデルタ地区からの農業の集約移動も含めて、麦、玉ねぎ、にんじん、トマト、じゃがいも等の野菜に加え、西瓜、いちご、オレンジ、マンゴ等の果物の大量生産が行われ、カイロ、アレキサンドリア、ポートサイド等の国内消費地区向け出荷と共に、大幅なヨーロッパやアラブ諸国への輸出を対象とした生産となっている。シナイ半島北部からの直接輸出を除き、国内消費地向け農産物の出荷には、一部6ヶ所のフェリーよりもはるかに大量輸送のあるアハムド・ハムディ・トンネルの存在がこの計画の基本になっている。

これは、カイロ北部デルタ人工密集地対策であるとともに、個人所得の大幅増加や農業関連産業の振興にも寄与するものである。住宅産業、学校建設を含めた教育水準、生活関連施設(マーケット、商店、病院、農機具店、小工業、文化・慰労センター、公園等)の建設に伴う住環境の向上など、将来は明るい。

観光事業も、農業灌漑、緑化、緑地化に伴い、ホテル、リゾート地、道路網の整備の他に週末農場付きの新しい憩いの場の推進も図られている。

付属資料一 7

スエズ運河将来計画

スエズ運河拡張計画

----- S. C. A. Dr. ISIS からの情報 (次頁(1991.6.21 付 FAX)参照)

1. 運河のトンネル付近の現況

- ・水深 : 19.50m
- ・川巾 : 224.0m -----第1次計画完了時

2. 将来の拡張計画との関係

(1) 第2次 --- 1期

- ・トンネル位置(約 142.43km)を含む南側(123-162km)は未着手なるも、その他の北側の約2/3 区間は既に実施中
- ・拡張内容

水深	:	19.5m	----->	24.0m
河巾	:	224.0m	----->	287.0m

(2) 第2次 --- 2期

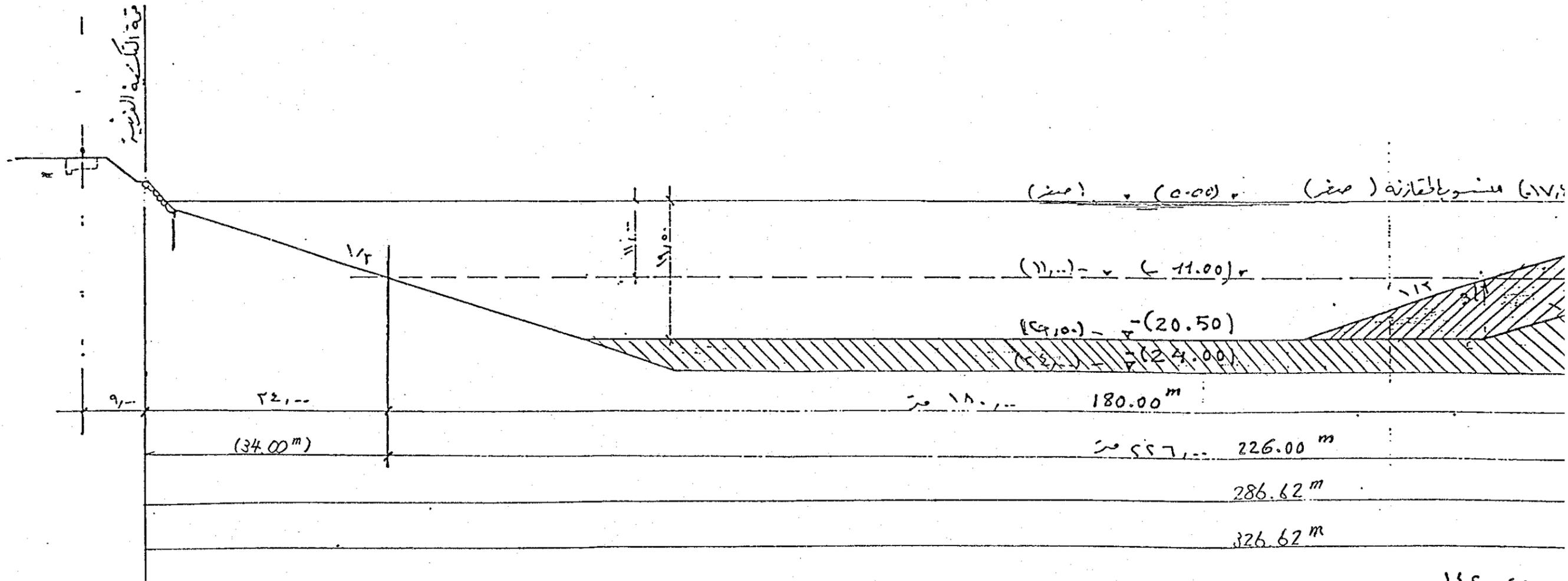
- ・現在1991年末 完成を目標にF. S (フジビリティグ'イ)中

(3) 資料にある Case 3, Case 4 は将来のことにて今回の検討対象外とする

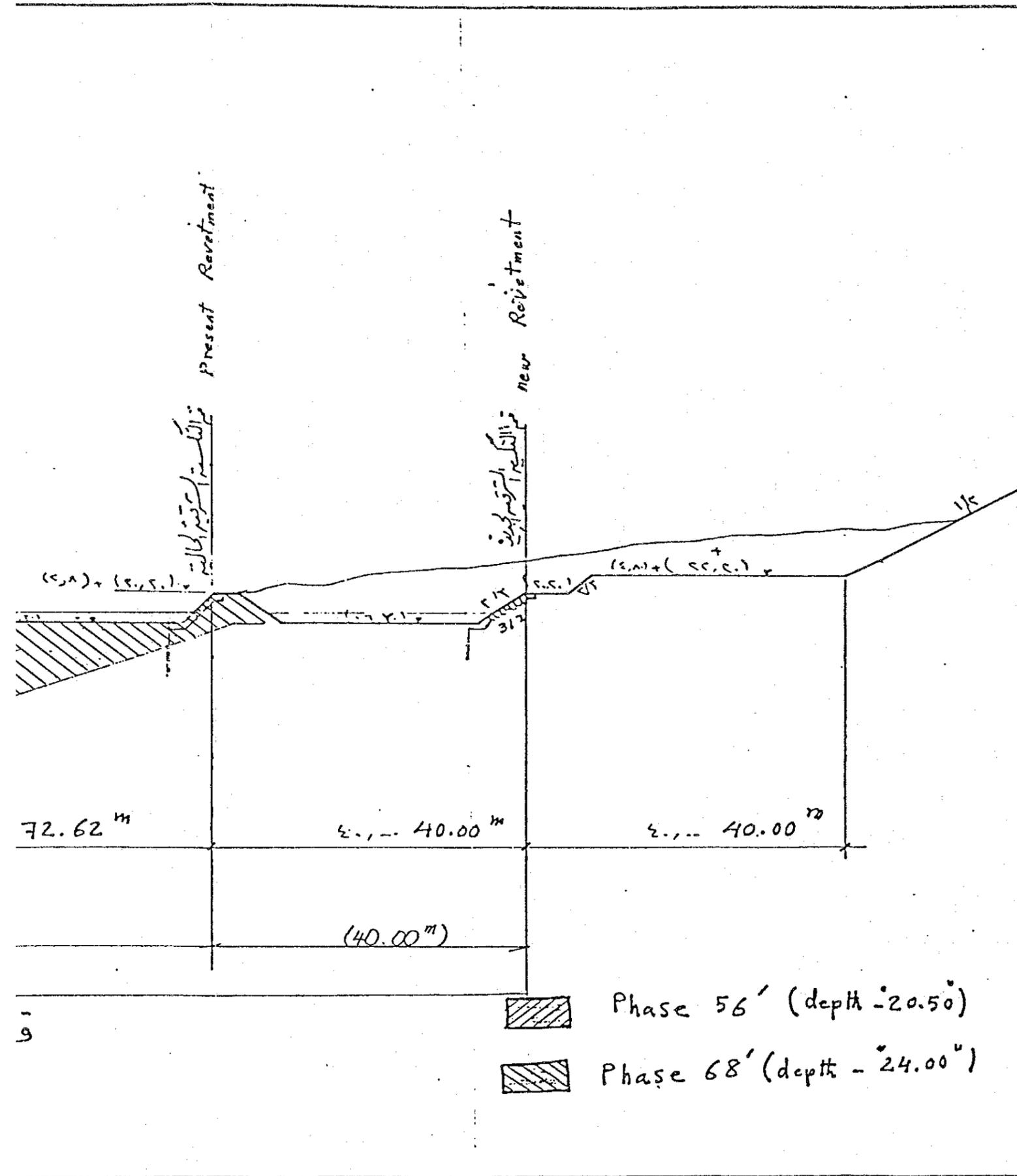
3. Dr. ISIS のコメント : トンネル問題により生じた拡張計画への制約・対処

- (1) トンネル設計者の勧告は「トンネル頂部の浚渫には最大の注意を払わねばならない」としている
- (2) この勧告はスエズ運河拡張計画にいくつかの困難をきたしている
- (3) 日本のコンサルタントチームはS. C. A. が安全にトンネル頂部浚渫が出来るよう改修工事の設計に配慮されたい
- (4) したがって、S. C. A. はコンサルタントの提出する浚渫方法に従ってトンネル頂部の第2次浚渫(19.5m → 24.0m)をトンネル改修開始前に完了させる
- (5) このことにより、第2次浚渫により生ずるいかなる問題も、トンネル改修計画の中に取り込みたい
- (6) 例えば、浚渫方法について : 浚渫深さ(m), 浚渫速度, カッター数の制限 (枚数 何枚以上/以下), 等
- (7) コンサルタントは上記(第6項まで)につき検討のうえ、制約を設定、提案する
- (8) このS. C. A. 案により我々はトンネル改修後の浚渫によるトンネル本体に対するいかなる将来の問題も排除しうる
- (9) コンサルタントの結論は トンネル改修工事着手前に第2次浚渫が開始出来るよう早急にS. C. A. に提案されたい

	1976 ~ 1980	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97
Case 1 First Stage	Ship Capacity (DWT/draught) 150,000 (19.67m) 35	Depth (m) 19.50						
Case 2 Second Stage (First Phase)	180,000- (17.97m) 56	(24.00)		*1				(Except for Km 123-162)
Case 2' Second Stage (Second Phase)	260,000 (20.73m) 68	+4.5 24.00	f	*1				(Under F.S.)
Case 3	500,000 (22.86m) 75	+3.0 27.00						(FAR FUTURE)
Case 4	Doubling { East for North West for South							(FAR FUTURE)
Tunnel Rehabilitation	BD/DD WORK							*2
Notes :	(1) *1 : by Dr. ISIS on Aug. 11, 1991. (2) *2 : by JICA Report of May 1990.							



١٤٥ ، ٤٨ -



أعمال التوسيع للعمارة
 موقع تقوية التوسيع
 Widening + Deepening SCA
 at
 Tunnel site
 Cross-section
 مناسير الرسم

00/1

	M. Yalmy	م. يالمي

V.10

سبتمبر 1991

ARAB REPUBLIC OF EGYPT
SUEZ CANAL AUTHORITY

Ismailia, Oct. 19, 1991
Dept : of Works
No :
Re :
Telephone : 064-220050/9 Ismailia
Fax : 064 / 220784 / 220785

-1-



مديرية نيمصر الغربية
مكتب قناة السويس

I.K./S.R.
إدارة
رقم الترسيد
رقم الملف
عدد المرفقات

FAX 81 - 3 - 3807 - 0866

Sent to :

Name : Mr. Eng. Takayoshi OHTSUKA
Address: Japan Shield Engineering Co., Ltd.
No. 2 Tokyo Higashi Mitsubishi Building
Fax : 81 - 3 - 3807 - 0866

From :

Name : Dr. Eng. Isis A, KAMEL
Number of pages to follow : 3 pages including this one.

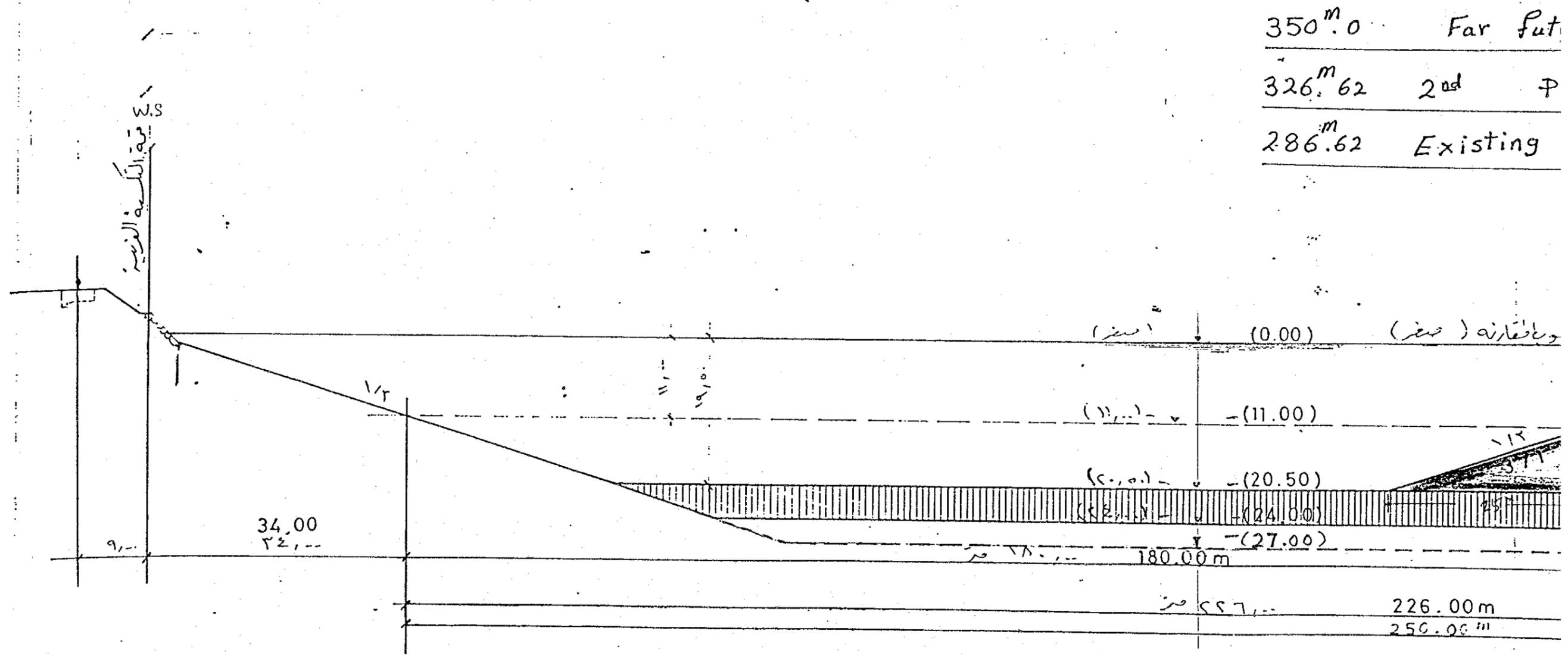
Sub. Basic Design Study on the project for
Rehabilitation of AHMED HAMDY Tunnel.

Dear Sirs,

- 1 - Concerning the Ventilation system, we accept your choice for the use of the transverse ventilation system, taking into consideration your technical points 4.3 page 7 fax dated Oct. 11, 1991.
We hope that you have contacted the manufacturer to ascertain yourselves about operation of the existing fans in relation to the reduction of the ventilation duct area.
- 2 - We join here with results of some mechanical & physical properties of S.C.A. Attaka quarry.
- 3 - Cross section of S.C. after widening & deeping projects, at (-) 24m. and (-) 27 m. depth.

Best regards,

Dr. Eng.
19.10.1991
(Isis A. KAMEL)



350 ^m .0	Far fut
326 ^m .62	2 nd P
286 ^m .62	Existing

Analysis by TSU/JICA-JSE

350^m Far Future Phase (72')

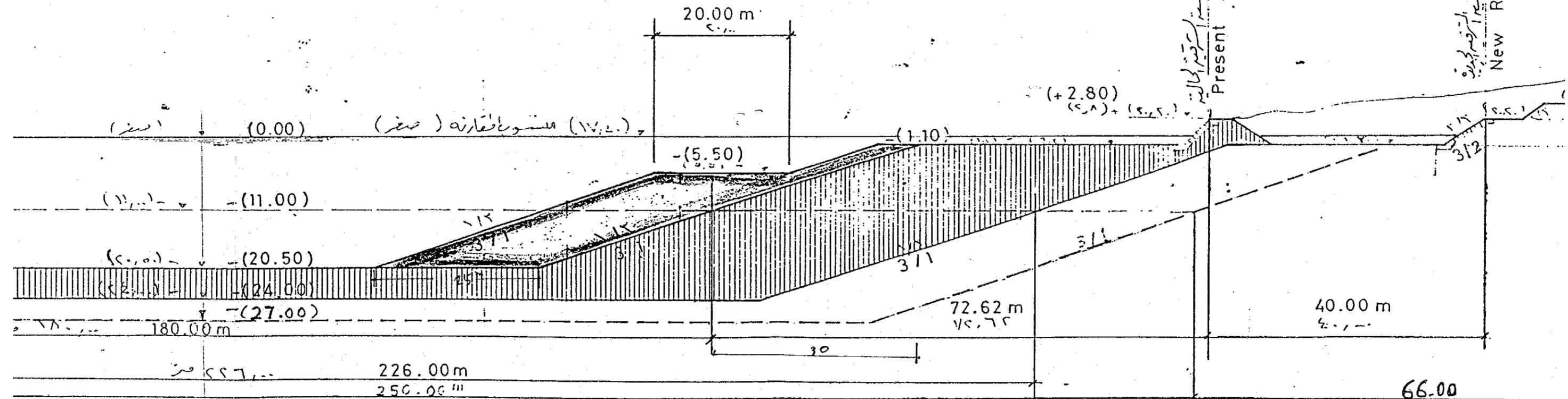
$$350.0 = 340 + 250.0 + 66.0$$

326.62 2nd Phase (68')

$$326.62 = 340 + 180.0 + 72.62 + 40.0$$

286.62 Existing S.C.

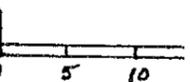
$$286.62 = 340 + 180.0 + 72.62$$



قطاع عرض عند الكم ١٤٢, ٤٨٠

Cross Section at Km 142 - 480 m

-  Phase 56 (depth -
-  Phase 68 (depth -



Widening & Deepening
of Seuz Canal
at
Tunnel Site Km. 142.480

أعمال التطوير للمرحلة الثانية
بموقع نفق الشهيد محمد قمرى
(قطاع عرضى)

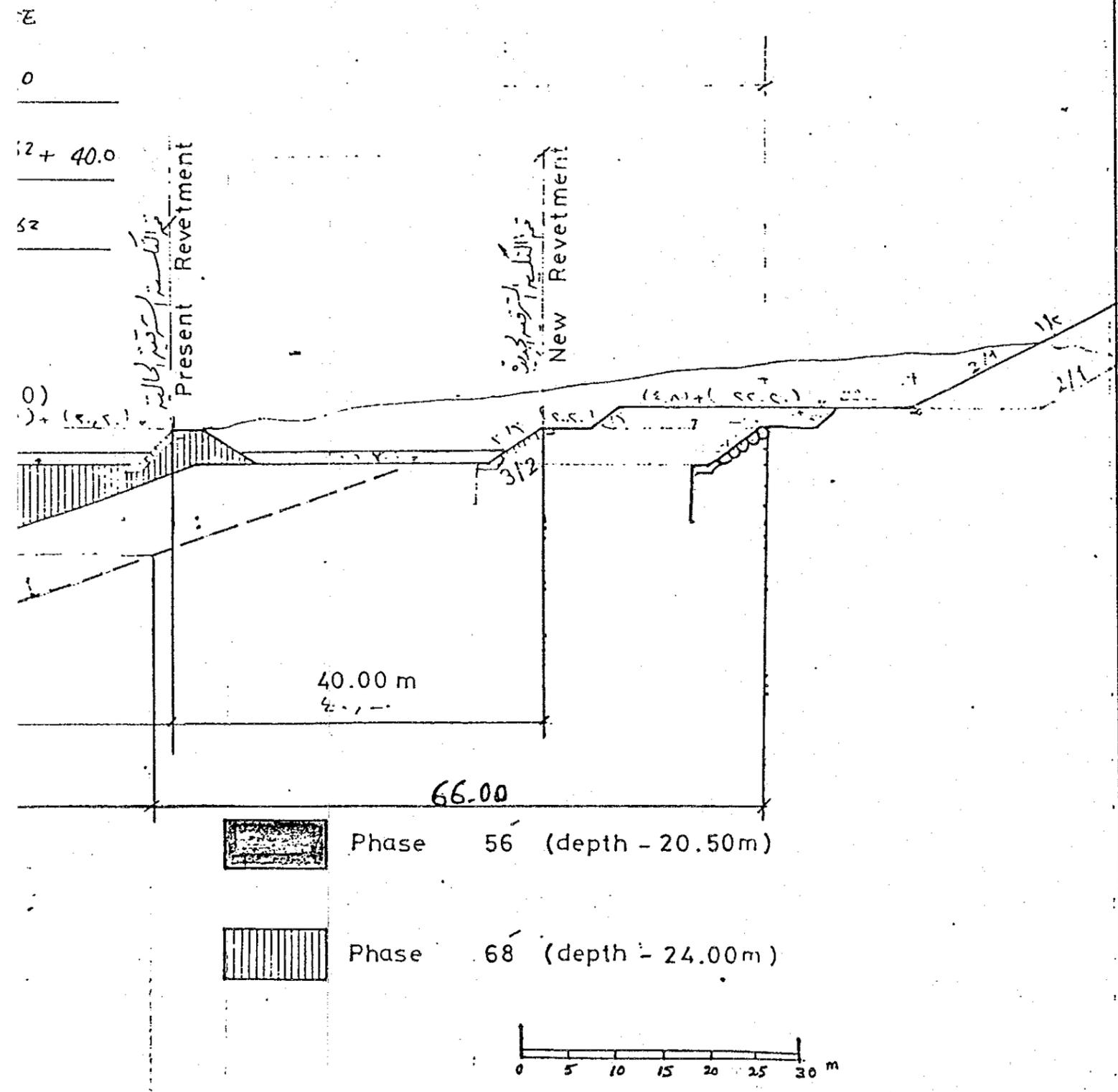
Cross Section

مقياس الرسم
٥٠/١

مركز الدراسات والبحوث
JICA

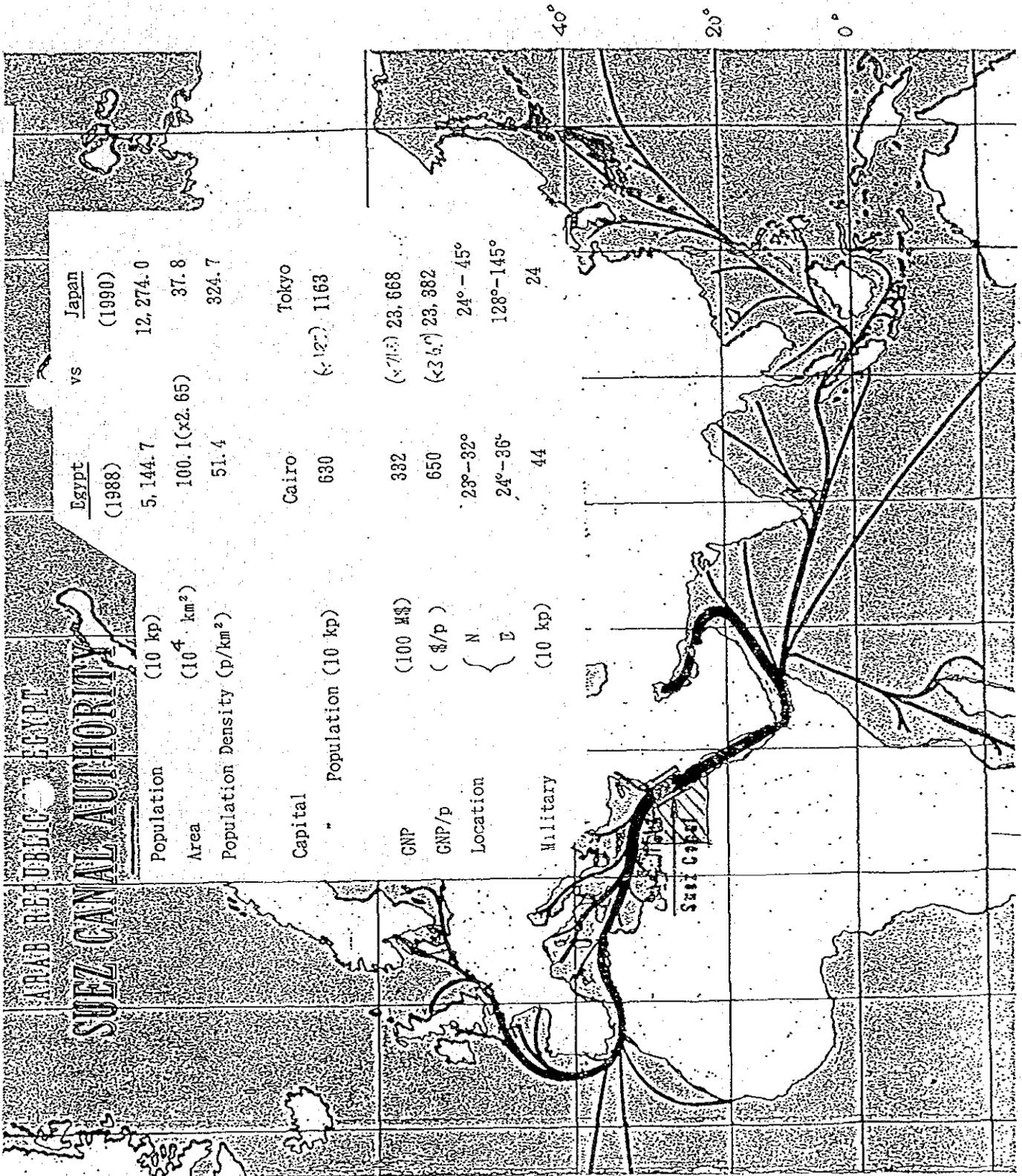
مكتب الدراسات والبحوث
بمركز الدراسات والبحوث

مدير الإدارة	وكيل مدير	الرسم:
	نائب مدير	المهندس
	مهندس	مهندس
٧٠١٥ / ديسمبر ١٩٩١		رسم المهندس في ١٩٩١



付屬資料一 8

運河通行量 (船舶)



Egypt vs Japan
(1988) (1990)

Population (10 kp)	5, 144.7	12, 274.0
Area (10 ⁴ km ²)	100.1(x2.65)	37.8
Population Density (p/km ²)	51.4	324.7

Capital	Cairo	Tokyo
Population (10 kp)	630	6, 122, 1163

GNP (100 M\$)	332	(x71.5) 23, 668
GNP/p (\$/p)	650	(x35.4) 23, 382

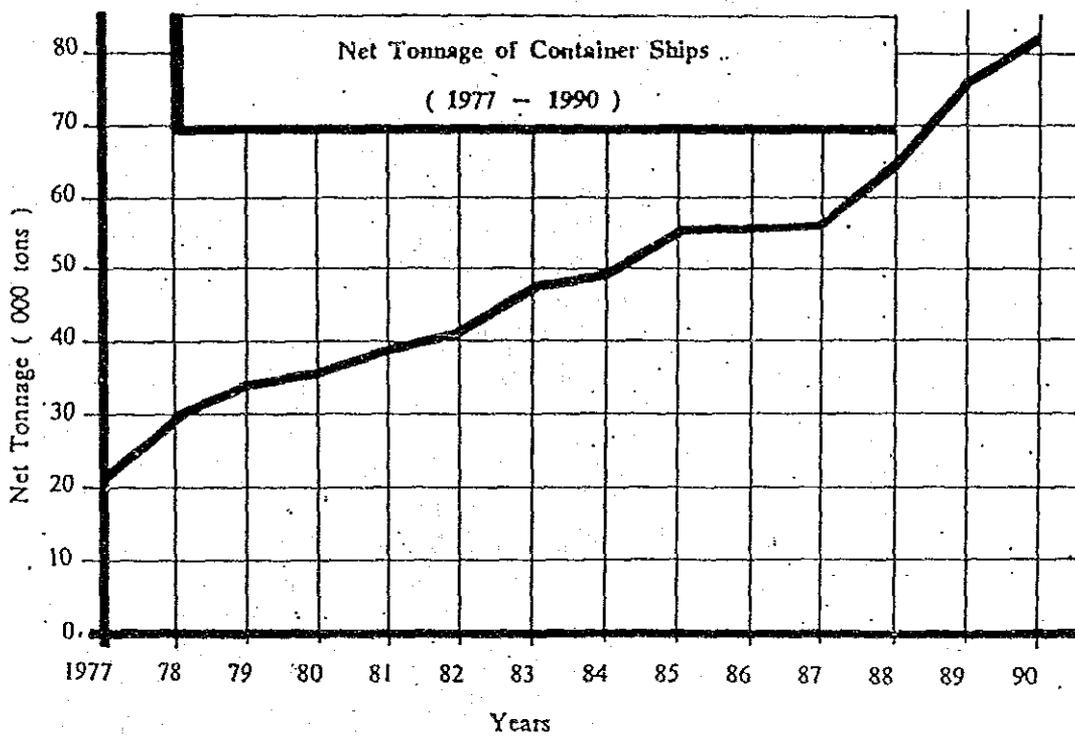
Location	28°-32° N	24°-45° E
	24°-36° N	128°-145° E

Military (10 kp)	44	24
------------------	----	----

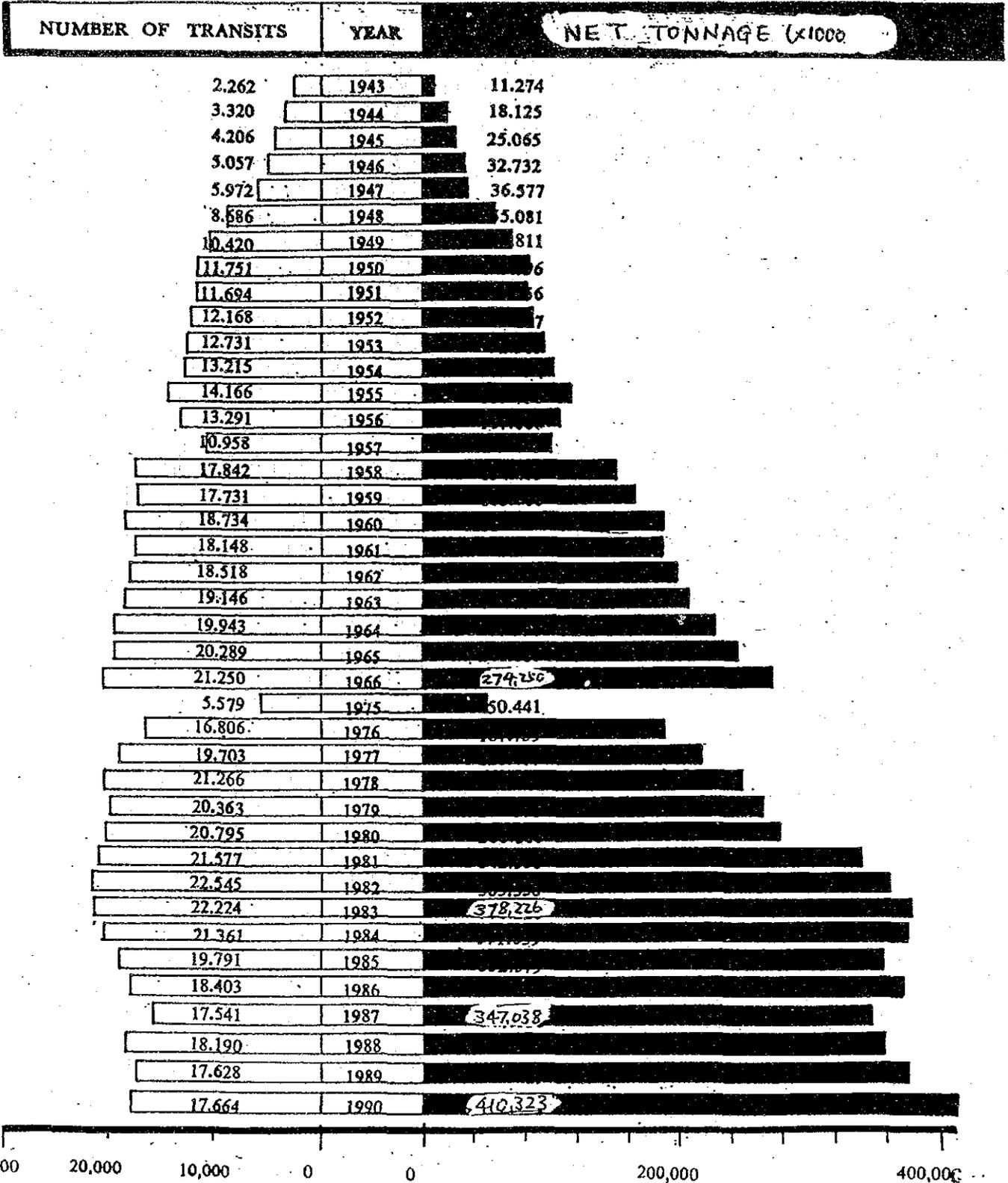
CONTAINER SHIPS :

This category occupies a remarkable position in the Canal traffic, as it represents the modern development in maritime transportation. The number and the net tonnage of these vessels have been increasing since the Canal was reopened in 1975.

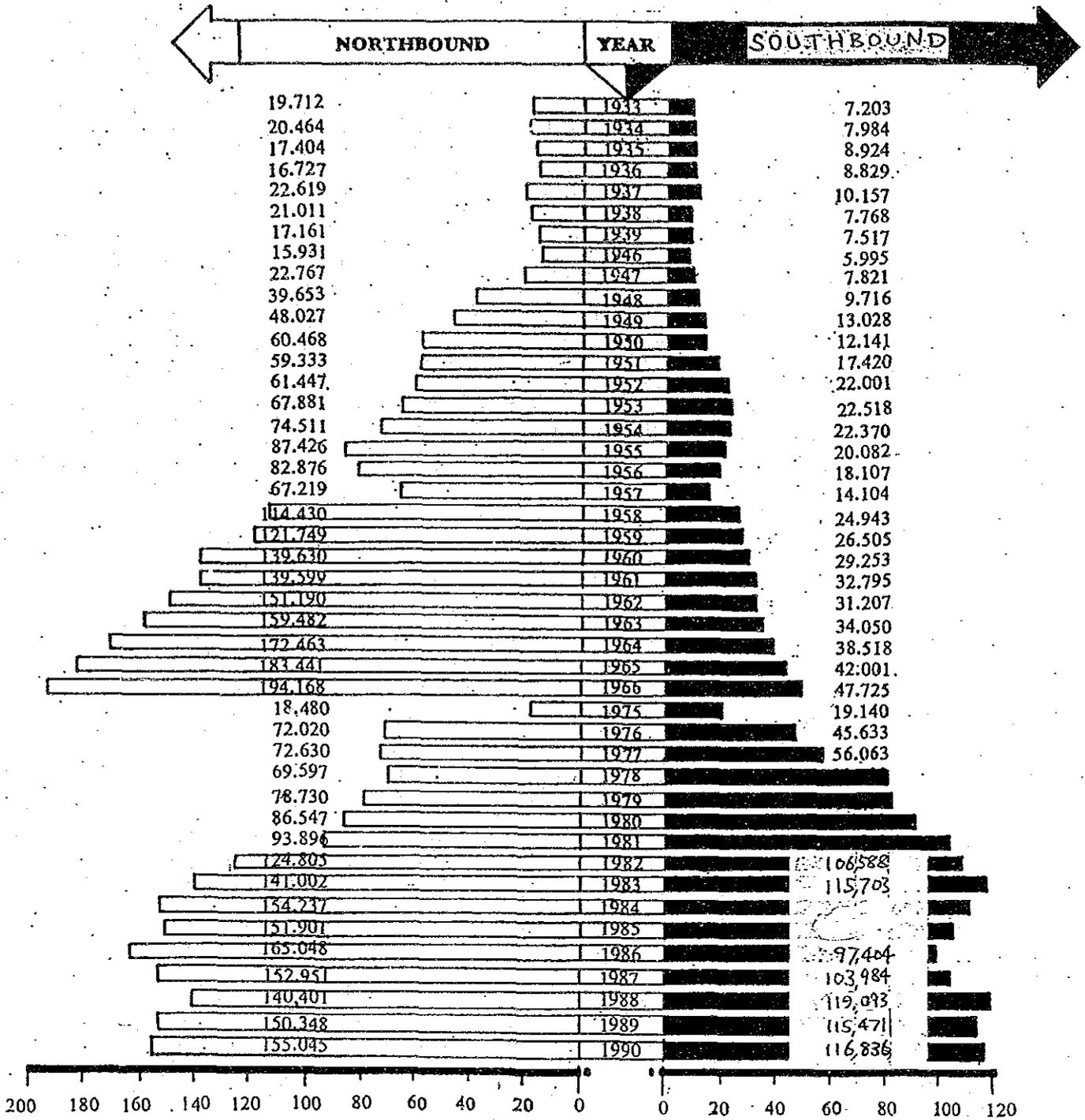
The following diagram shows the net tonnage of this category (1977 - 1990) :



NUMBER OF TRANSITS & NET TONNAGE



GOODS TRAFFIC (Thousand Tons)



⑤/5

付 属 資 料 一 九

運河横断量 (フェリーならびにトンネル)

Second : The period between Canal nationalisation and development

While being under the management of the Egyptian administration following year 1956, a widening and deepening project of the canal known by the second modified programme was carried out, and it was followed by the widening operations which aimed at developing the transit services, the following operations were carried out : -

1 - The northern region : - (km 46)

A 45^T ferry boat line has been set up capable of carrying 12 cars at a time, besides the other line known as the French ferries.

2 - Kantara region : -

Due to the slow speed of the chain ferry, it has been replaced by 45 ton self-propelled ferries to shorten the crossing time and to upraise their manoeuvrin efficiency.

3 - Ismailia region : -

3 - 1 : A new bridge has been constructed at El-Ferdan (km 66) area to replace the old one. The new bridge was automatically operated, opened and closed in not more than 7 minutes, against more than 30 minutes that were needed to open or close the old bridge manually.

3 - 2 : The chain ferry working at area no. 6/^{km 76} was replaced.

4 - The Southern region : -

The ferry of this area was replaced by a self-propelled one.

Third : The period after canal development

After resumption of navigation following October war, The SCA embarked on carrying out the development project for widening the Suez Canal to the width of 320 m. with an increase of 120 to 130 meters, to allow the transit of tankers up to half million tons in ballast instead of 100 000 ton tankers before development. In the meantime, Sinai liberation

./...

was followed by its reconstruction and rehabilitation and connecting it to the mother land, the matter that entailed the development of the means of linking the canal two banks, and in this domain, the following operations were carried out : -

The northern area (Port-Fouad/Port-Said)

- Two additional ferry lines have been set up, known as temporary line 3 at Port-Said harbour including 5 ferries, each of 150 tons capacity capable of carrying 22 cars. Later these ferries have been developed to accommodate 52 cars.
- A ferryboat line was constructed at El-Raswa area including 2 ferryboats, each of 150 tons.
 - The French ferryboat constructed before the nationalization of the Canal was replaced by two double floor ferryboats to carry people and cars.

El-Kantara area

- A ferryboat line of 45 tons, 2 km. south El-Kantara was constructed, including 2 ferryboats working day and night. This area allows the construction of trucks and cars entries and waiting areas.
- A ferryboat line was constructed at the old ferryboat area for carrying people including 2 boats, each of 84 passengers.
- A ferryboat line of 150 tons is being constructed. It is scheduled to finish at the first half of 1992.

Ismailia area : -

- A ferryboat line of 45 tons was constructed at Sarabyoum, south of Ismailia. Km 91
- The ferryboat line at no. 6 area/^{Km 76} was developed including ferryboats, each of 45 tons.
- A ferryboat line of 150 tons was constructed at El-Ferdan for carrying trucks. Km 66

. / ...

Southern area :

- The construction of Ahmed Hamdy Tunnel by Ministry of Construction at (km. 148).
- A ferryboat line of 150 tons is being constructed at El-Shat area (km. 148). (will be in work at April 1992)

This is a historical outline about the development of ferry-boats accross the Suez Canal since the Nationalization of the Suez Canal till now as for number and means of transport to cope with the development in the Canal waterway and the reconstruction of Sinai .

The crossing capacity between the canal two banks : -

This capacity is outlined as follows individuals and cars represented in the following : -

- Diagram No. 1 : shows the total annual transits of ferries.
- " No. 2 : shows the monthly average of transits.
- " No. 3 : shows the daily average of transits "comparatively"
- " No. 4 : The total transits for previous years and the expected transits.
- " No. 5 : ferries transits curve during a year"comparatively"

Fourth: - The preference between the different means of transit , ferries tunnel and bridge : -

1 - Ferries : -

- 1 : Ferries advantages, the capability of upraising the transit capacity in any ferry line through carrying out the following either being separated or put together.
 - * Increasing number of ferries operating in the line.
 - * Increasing tonnage capacity of the ferry operating in the line
 - * Adding new line-axis for the vertical line (existing line) and this takes a record time not exceeding a year. apart from the less costs of construction (15 million for the 150 ton ferry line) if compared to other crossing means.
- The ferry lines cannot restrict canal widening projects or its doubling future.

. / ...

- Their operation costs are less than their other means.
 - Maintenance cannot hinder transit of ships (as an additional ferry is working on more than one line during maintenance time as regards the berths, they are maintained on long intervals (from 4 - 5 years))
- 1 - 2 - The ferries disadvantages : -
- 1 - Transit capacity/hour is less than other means.
 - 2 - They dont work except between convoys. Even this is allowed at present during convoys passage but the crossing is cautiously done and God is our Guardian.
- 2 - Tunnels : -
- 2/1 : Advantages of tunnels : -
- Crossing capacity per hour is high in comparison with ferryboats. Crossing goes on all the time without being effected by navigation in the Suez Canal.
 - Tunnels are not obstacles against development projects of the Canal.
 - They are not obstacles against the passage of giant ships or oil rigs up to 160 meters high.
 - The tunnel allows the Authority to double the Canal - if it is taken into consideration while planning - as it is in the case of Ahmed Hamdy Tunnel.
- 2/2 : Disadvantages of tunnels : -
- 1 - operating ^scofts are high since they need ventilation system and artificial lighting working all the time, in addition to observation and warning costs.
 - 2 - The rising of maintenance expenses which include maintenance of the whole body of the tunnel, maintenance of ventilation system, lighting, warning and observation equipment that should work effeciently all the time.
 - 3 - There are kinds of cars/^{and chais} that are restricted from passing through the tunnel.
 - 4 - The passage of cars through the tunnel should be stopped in case of making serious overhauls in one of the above mentioned items of maintenance.

. / ...