

3-5 トンネル構造物ならびに機能の劣化に関する現地調査

1) 現地調査

現状のトンネルの安全性を評価することを目的として、劣化状況調査を、8月10日から8月29日にわたって実施した。
各調査項目の調査概要を以下に示す。

① S. C. A. による最近の劣化状況調査報告書の評価

S. C. A. によって、過去4年間にわたって行われてきたセグメント、床版ならびに天井版の劣化状況の調査報告書を受け取るとともに、S. C. A. エンジニアに劣化状況をヒヤリングした。

② 目視によるコンクリート、鉄筋、継手およびボルトの観察

S. C. A. の劣化状況報告書および昨年度の専門家チームの調査結果に基づいて、特に劣化の著しいと判断される部分の劣化状況の目視観察、記録および写真撮影を行った。

③ 鉄筋応力の測定

鉄筋の被りコンクリートをはつり、ひずみゲージを貼った後、鉄筋を切断して、鉄筋切断前後のひずみ変化を測定した。この結果から、現在、鉄筋に生じている応力を算定した。

④ ひび割れ幅の測定

②の目視観察にともなって、ひび割れ幅をクラックゲージによって測定した。

2) トンネル本体の安全性

以下の理由から、トンネル本体の安全性は急速に低下しており、改修工事ではできるだけ早急に着手する必要がある。

- ① セグメントリングは、日毎に劣化（ひび割れ、被りコンクリートの剥離、欠損）が進行している。
- ② 図-3.2.2(4)-1 に示す S. C. A. の過去4年間のデータによれば、床版より上方のセグメントについては、全リングの内約94%にひび割れ、被りコンクリートの剥離が生じており、局部的な補修では対応できない。
- ③ 今回の調査結果によると、特に、トンネル両出入口のセグメントの劣化が著しく、トンネル側部においてはリップ部のコンクリートが最大5cmの厚さで欠落し、鉄筋も消失している。（図-3.2.2(4)-2）
- ④ セグメントリングの組立が、いも継ぎになっているのに加えて、セグメント分割数が多い（16分割）ので、リング強度が小さい構造になっている。
- ⑤ セグメントの目開き量、目違い量が非常に大きいので、真円ではなく、応力集中や変形が大きいことが考えられる。
- ⑥ セグメント継手部からは、漏水にともなって土砂がトンネル内に流入しているために、セグメント周辺地山の支持状態が悪くなっていることや、偏圧が作用していること等が考えられる。
- ⑦ Kセグメントは軸方向挿入式であるが、セグメント継手の継手面がくさび形になっていないことや、リング間に継手ボルトがないことから、トンネル内側に落ち込みやすい。
- ⑧ 鉄筋の応力は、表-3.2.2(4)-1 に示す調査結果から、腐食していない健全な鉄筋で700～1000 kgf/cm² 程度のレベルである。また、20%程度腐食している鉄筋では、1500 kgf/cm² のものも確認されている。観察によると、鉄筋断面積Asが1/2～1/3程度になっている部分もある。この部分では、鉄筋応力が1400～2100kgf/cm²程度のレベルに達していることも考えられる。

- ⑨ トンネル外面の水道形成によって、周辺土砂が軟弱化している可能性があり、作用土圧の変化が考えられる。

なお、セグメント本体にトンネル軸方向クラック ($W_s=0.5\sim 2.0\text{mm}$) が発生しているが、ひび割れ性状*1) から、これは組立時にボルトの締め付け、ジャッキ推力 (目違い) によって生じたものと推測される。しかしながら、このひび割れがトンネルの安全性を失うきっかけとなることも考えられるので、常に性状の変化を観察記録しておく必要がある。

*1) ひびわれは、セグメントの厚さ方向に貫通している。

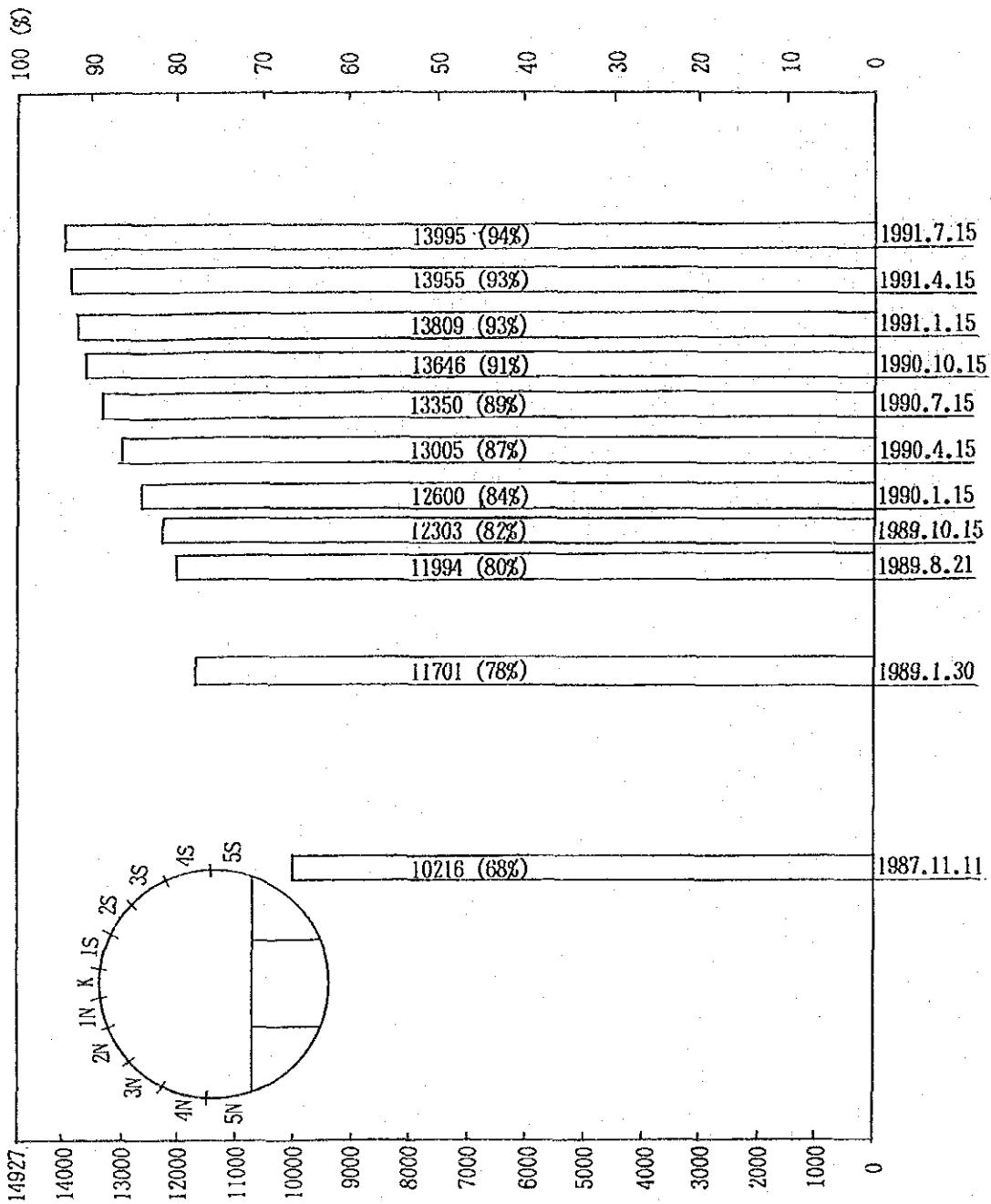


図-3.2.2(4)-1 クラックの発生しているセグメントの総数 (トンネル上部、S.C.A.資料による)

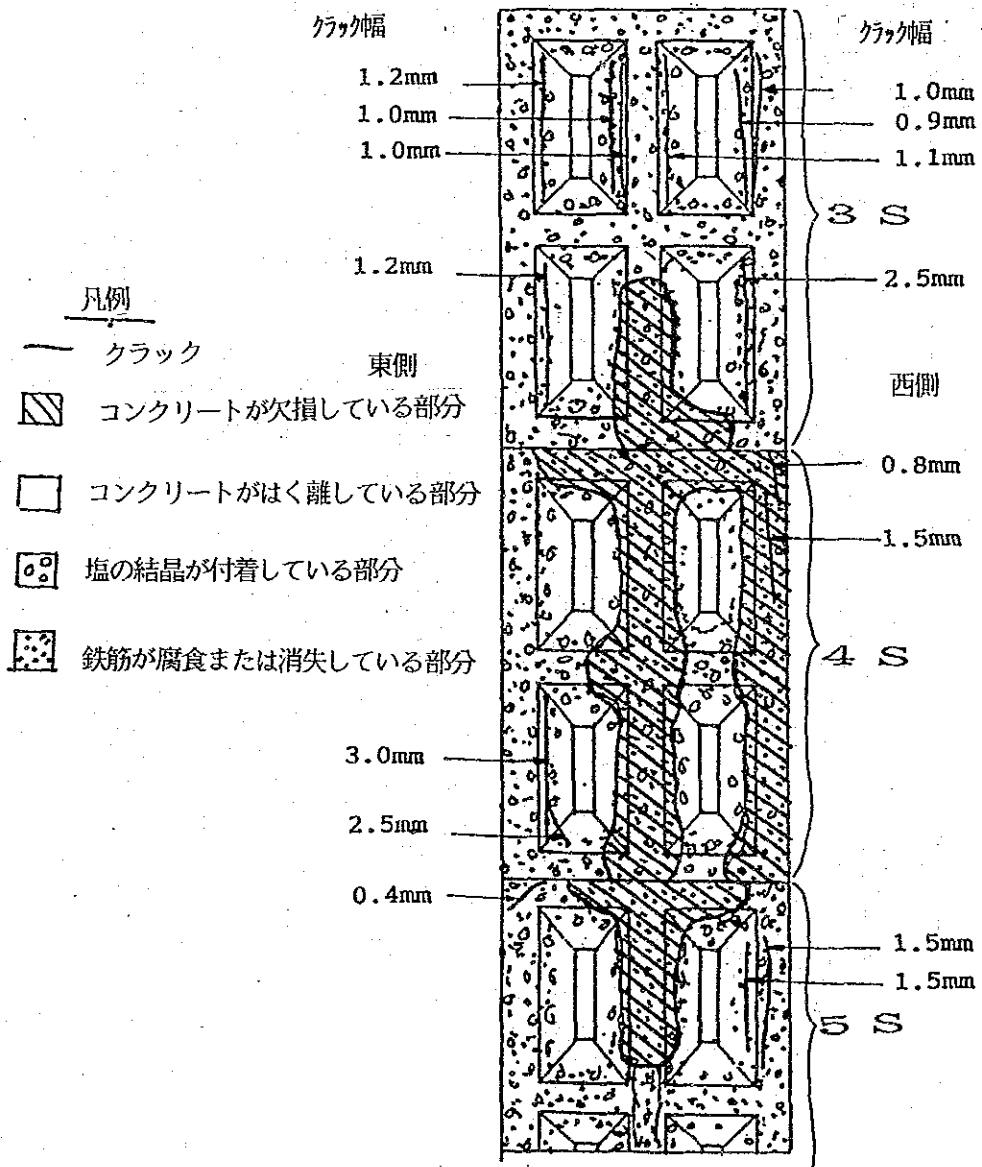
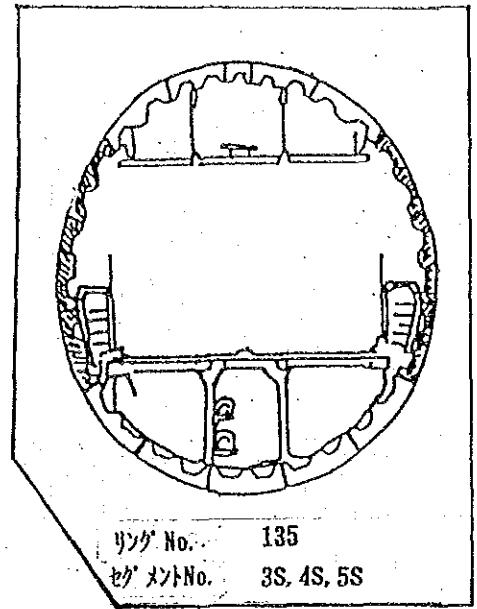


図-3.2.2(4)-2 セグメントの劣化状況

表-3.2.2(4)-1 鉄筋の応力測定結果

ポイント番号	リング番号	セグメント番号	応力 (kgf/cm ²)	鉄筋の断面比率 (%)
1	134	N1	- 704	100
2	266	N1	- 357	100
3	379	N1	- 281	100
4	402	N1	- 279	100
5	531	N1	- 331	100
6	531	S1	- 122	100
7	670	N1	- 295	100
8	762	N1	- 376	100
9	762	S1	- 622	100
10	800	N1	- 999	90
11	931	N1	- 395	100
12	1070	N1	-1155	100
13	1070	S1	- 265	100
14	1200	N1	- 425	100
15	1337	N1	- 443	100
16	1037	S1	- 628	70
17	1002	S1	-1187	100
18	618	N4	165	70
19	134	N7	- 454	100
20	266	N7	- 111	100
21	379	N7	-1484	80
22	402	N7	- 508	100
23	531	N7	20	100
24	670	N7	-1045	80
25	762	N7	- 672	100
26	800	N7	-1385	70
27	931	N7	- 992	70
28	1070	N7	- 743	100
29	1200	N7	- 919	100
30	1337	N7	-1108	100
31	260	S7	- 63	100
32	379	S7	- 333	100
33	449	S7	- 396	100
34	549	S7	- 595	80
35	636	S7	325	45
36	782	S7	- 425	70
37	799	S7	- 184	100
38	893	S7	- 473	80
39	993	S7	- 851 *	100
40	1193	S7	- 749	100
41	1086	N1	- 454	90
42	986	N1	-2099	60
43	802	N1	- 243	100
44	759	S1	-1276	100
45	744	S1	- 335	100

* 8点の平均値

3) 床版ならびに支持壁の安全性

以下の理由から、床版ならびに支持壁の安全性は急速に低下しており、改修工事はできるだけ早急に着手する必要がある。

① 床版、支持壁とも日毎に劣化が進行している。

図-3.2.2(4)-3 に示す、S. C. A. による過去4年間の床版の劣化データによれば、全体の約71%にひび割れ、被りコンクリートの剥離が生じている。

② 支持壁の均しコンクリート（床版の高さ調整）部分は、中性化および塩化物の侵入によって、著しく強度低下を招いており、現時点でも局部的な補修を実施しないと、床版の落ち込みによる事故が発生することが考えられる。このため、現在実施している制限速度 $V=20\text{km/h}^{*2)}$ は今後も必要である。（図-3.2.2(4)-4）

③ 支持壁の被りコンクリート（特に「フレッシュ-ダ」外）は中性化および塩化物の侵入によって、70%近くに浮き、剥離、欠損が生じている。現在、部分的に補修しているにもかかわらず、この現象は進行しており、床版の支持が不完全な状態になりつつある。（図-3.2.2(4)-5）

④ 床版についても劣化は進行しており、鉄筋断面積が減少していることから、局部的な欠落が考えられる。

*2) 実際は、 $V=40\sim 60\text{km/h}$ となっており、さらに管理が必要である。

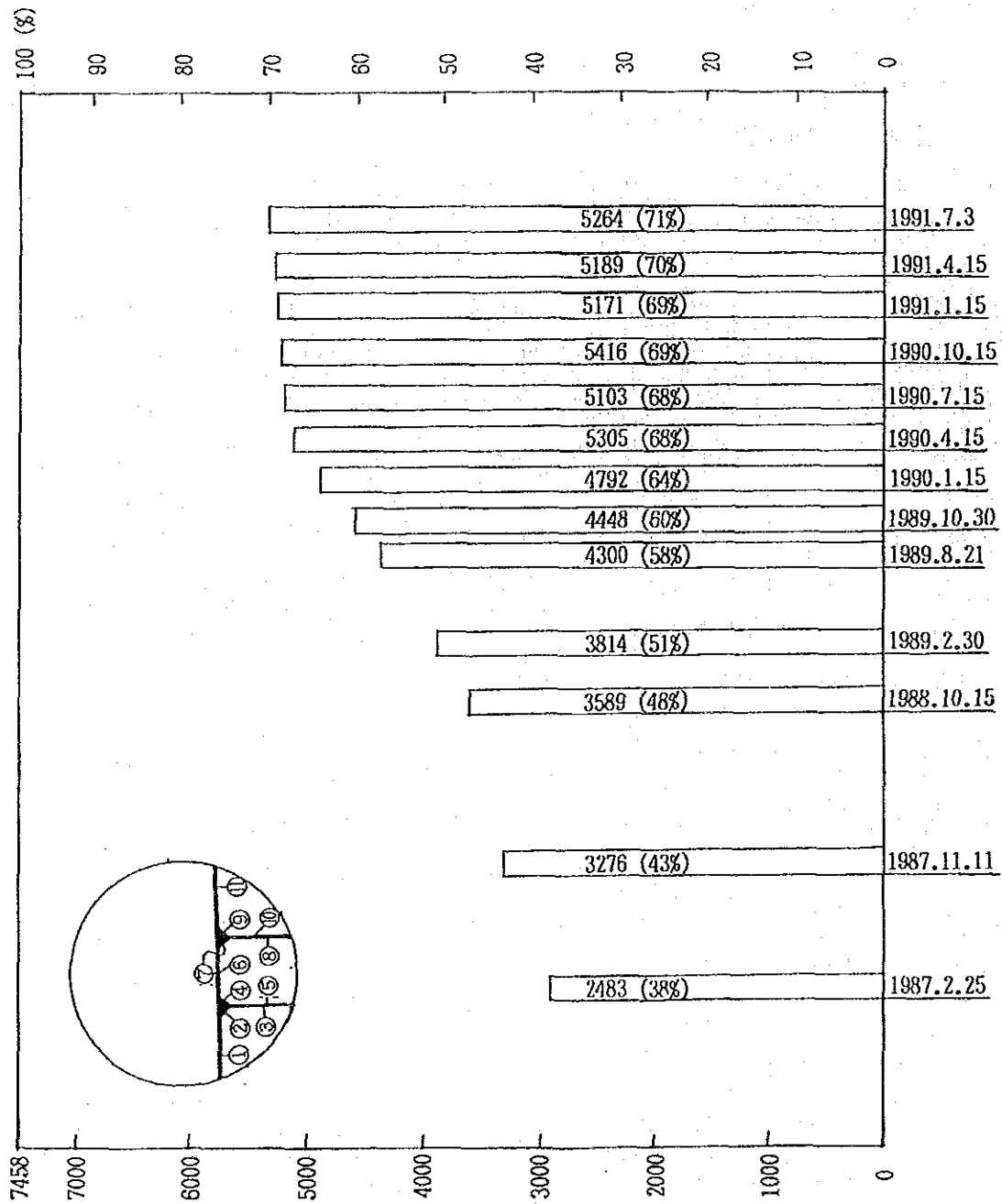


図-3.2.2(4)-3 クラックの発生しているユニットの総数 (床版ならびに支持壁、S.C.A.資料による)

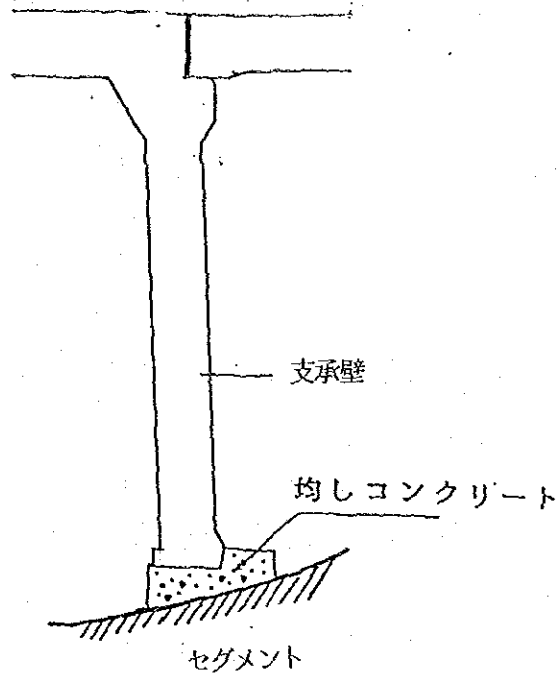


図-3.2.2(4)-4 均しコンクリート

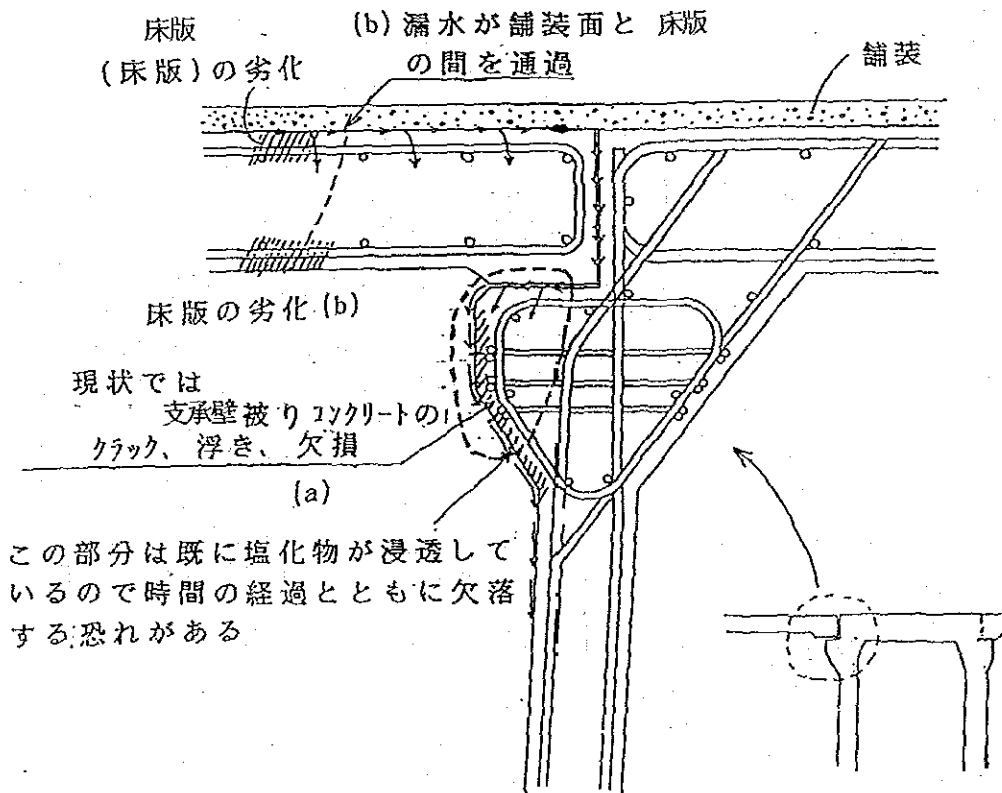


図-3.2.2(4)-5 床版および支持壁の被りコンクリートの破損

3-6 トンネル設備・施設の現状調査

1) 調査要領

a. 調査実施のステップ

調査実施のステップは下記の順序によった。

Step 1. 完成図書による設備・機器の概要の把握

Step 2. トンネル管理事務所の各設備機器の維持管理担当者同行の上、現状調査を行った。その結果を評価シートに記入した。

Step 3. 再度完成図書と現況の対比を行い、内容に相違のないことを再確認した。

b. 設備・施設の評価シート

上述のステップにより調査された内容は別紙のトンネル設備・施設の評価シートに従って記入し、再利用の可否判断にて総合的に評価している。

2) 現状の概要

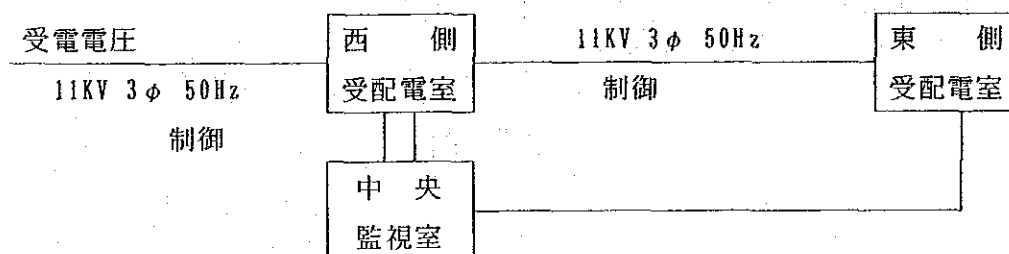
a. トンネル設備（電気関係）

① 調査の概要

本調査は、トンネル本体改修に伴う、設備機器の現状復帰に必要な資料収集および機器の状態調査を目的として行なったものである。以下各設備についての調査結果を報告する。

② 現状施設

イ) 受配電系統



ロ) トンネル照明設備

・トンネル照明

トンネル照明は基本部照明を蛍光灯、入口緩和照明は蛍光灯及び高圧ナトリウム灯にて照明されている、基本部照明の路面輝度が $8\text{cd}/\text{m}^2$ と非常に高い輝度で設計されているため基本部照明は全延長に渡り連続照明となっている。

・配電方式

基本部照明は24時間点灯するよう設計されているため、配電方式は経済性を考慮したものと思われトンネル内(監査路下部)に変圧器(3 ϕ 3.3KV 220V)を設置し、これより側壁に設けた配電盤に給電し点灯している。入口緩和照明は調光が必要となるため両坑口の各受配電室より配電(3 ϕ 220V)している。又非常用照明の電源として無停電電源設備が設置されている。

・配線方式

配線はすべてケーブルフックによる露出配線となっている。

・照明器具の状態

照明器具の腐食は殆どなく良好な状態であるが、灯具の清掃が余りされていないため汚れが目立っていた。

・変圧器及び配電盤の状態

すべて再使用可能であるが、配電盤の一部が全面扉の不良がある程度である。

・トンネル内機器数量

基本部照明

蛍光灯 1 \times 65W 2040 台

1 \times 65W 36 台

入口緩和照明

高圧ナトリウム灯 2 \times 400W 180 台

2 \times 250W 96 台

1 \times 250W 96 台

2 \times 150W 24 台

1 \times 150W 24 台

変圧器

乾式 30kva 3φ 3.3KV-380V	10台
配電盤（壁掛型）	20台

・照明設備改修案の比較

－現状復帰

総体的に機器は良好な状態であるため再使用による現状復帰は可能である。本体改修により機器の取付位置が変更されるので、機器取付金物及びトンネル配線ケーブルは新規取替えが必要である。また、膨大な照明器具が設置されているため再使用可能な器具は、取外し時に於ける破損及び長時間（3年）の保管時の不備による再使用可能数は50%程度と思われる。

基本部照明電源変圧器は監査路下部に設置してあるため、本体ライニングにより現状設置が不可能となる。現状復帰を原則とすれば、変圧器はサービスダクト内に設置することになる。（エジプト側はサービスダクト内に機器の設置は不可としている）

－設計の見直し

現状復帰案で50%の照明器具を必要とすれば、概算 1,100台必要となる、設計見直しにより概略灯具数を算出すると、

- ・基本条件 路面輝度 8cd/m² (144LXアスファルト舗装)
- ・光源 低圧ナトリウム灯 NX135.L (12,500 Lm)使用

$$L = \frac{12,500 \times 0.38 \times 0.6 \times 2}{7.5 \times 5.0} = 146L (8.1cd/m^2)$$

取付台数（取付間隔 5m）

トンネル延長 1,700m

$$1,700m \div 5m = 340 \times 2 = 680台$$

となり、設計を見直しすれば現状復帰灯具数の 1/4で全体計画ができる。また、設計見直しにより現状の変圧器及び開閉器類がすべてトンネル内に置く必要がなくなる（制御機器はすべて配電室に設置）ため保守点検が容易になる。また、中央監視室にても点灯状況が監視出来る様に計画する

上記考察より現状復帰は経済的、及び管理面からも殆どメリットがない。従って本改修工事に置ける照明設備は、見直し案で計画すべきと考える。

ハ) 消火設備

消火設備は、トンネル内火災発生事故による消火対策として消火栓および消火器が約70m間隔に設置されている。消火水はナイル川支流の水をポンプUPし、貯水層に貯水している。平常時は自然流下圧及びジョッキープンプにて一定圧(8 bar)を保っている。消火栓使用時には消火ポンプが駆動する。消火栓扉を開くと中央監視室に警報及び赤色表示される。

- ・設備機器は下記設備から構成される。

貯水槽

消火ポンプ

60 馬力

1,500 liter/min at 8 bar 380V 3φ 50Hz

ジョッキープンプ

5.5 馬力

70 liter/min at 8 bar 380V 3φ 50Hz

取水ポンプ

2 馬力 15m³/h T. g. h

消火栓 トンネル内

22 台

(ホース 1式、消火器 2本、
消火栓 1個)

坑外

4 台

配水本管

150 φ

- ・機器の状態

機器はすべて正常に稼働できる状態にあり再使用は可能と思われる。

消火栓箱については扉ヒンジ、扉止め金具及び箱本体の錆、破損が見受けられる。

- ・配管

配水本管については再使用可能と思われるが、消火栓への枝管及び継手管については本管の位置がズレるため新規接続管が必要となる。

以上の通り、総体的に機器は良好な状態であるが、既設機器及び配管の再使用は、これらの取外し、保管状況等を考えると、再使用可能な数量は破損等により、かなり減少すると思われる、従って完成時年に同一製品の購入は非常に困難と思われるので、トンネル内における器材はすべての新規製品により改修すべきと考える。

ニ) 移動無線装置

移動無線装置は、トンネル内全長に温浅同軸ケーブルを付設し、移動無線器により中央監視室と通話を可能としている。

・配線

トンネル内配線は側壁上部にハンガー吊りにゆる露出配線となっている。再使用は十分可能である。

ケーブルの損傷はなく再使用には問題ないが、工事期間中の保管にケーブルが破損しないように十分管理が必要である。

ホ) 一酸化炭素検出装置 (CO計)

CO計は、トンネル内警戒区域をbブロックに、また、天井内を3ブロックに分割し中央監視室にて監視している。CO計の換気設備との連動機能は最大警戒設定値により換気ファンの全台(8台)運転のみとしている。平常は中央監視卓の指示計を切換えスイッチにより各警戒区域の濃度を監視している。

CO計は現在、トンネル内5台、天井内3台取付られておりすべて正常に稼動している。また、トンネル内配線はすべて監査路下部のケーブルラック上に露出配線となっている。

工事期間中の保管を十分管理すれば、再使用による現状復帰は可能である。通常機器の経年寿命は10年とされているため工事完成後の機器性能低下は否めない。再使用については十分な技術的配慮が必要である。

ヘ) 煙霧透過率測定装置 (VI計)

VI計は、トンネル内警戒区域を5ブロックに分割し、中央監視室にて監視している。VI計の換気設備との連動機能は最大警戒設定値により換気ファンの全台(8台)運転のみとしている。平常は中央監視卓の指示計を切換えスイッチにより各警戒区域の状態を監視している。

VI計はトンネル内に5組設置されており、すべて正常に稼動している。また、トンネル内配線はすべて監査路下部のケーブルラック上に露出配線となっている。

工事期間中の保管を十分管理すれば、再使用による現状復帰は可能である。通常機器の経年寿命は10年とされているため工事完成後の機器性能低下は否めない。再使用については十分な技術的配慮が必要である。

ト) 非常電話設備

非常電話設備は、トンネル内事故発生時の通報及び保守点検時の連絡等を目的として約120m間隔に両側壁に千鳥配列となっている。通話は中央監視室との直接通話となっており事故発生の場合は中央監視室より電話機上部に取り付けられた赤色灯がフリッカーするようになっている。

非常電話設備はトンネル内に14台設置されており、すべて正常に稼働している。また、トンネル内配線はすべて監査路下部のケーブルラック上に露出配線となっている。

機器はすべて良好な状態である。工事期間中の保管を十分管理すれば、再使用による現状復帰は可能である。

また、現状では電話機設置表示がなく、一般通行者には電話機の存在が確認しにくいため、改修後はこの表示を設置する必要があると考えられる。

チ) I T V 設備

I T V 設備は、トンネル内および郊外にテレビカメラを設置し、中央監視室にてモニターにて監視している。

トンネル内は、カメラ22台（固定式）、郊外にはカメラ4台（回転式ズーム付）を設置し、中央監視室には、モニター26台（モノクロ）が設置されている。

また、トンネル内配線はすべて監査路下部のケーブルラック上に露出配線となっている。

機器は郊外カメラのモニター映像を除けば、概ね良好な状態である。

工事期間中の保管を十分管理すれば、再使用による現状復帰は可能である。通常機器の経年寿命は10年とされている。したがって、機器の性能低下は否めない。再使用については十分な技術的配慮が必要である。

b. トンネル設備（土木関係）

① 天 井

巾 2,323mm×長 1,190mm（中央パネル）巾 2,325mm×長 1,190mm（両パネル）厚さ 85mmのプレキャストコンクリート板が、断面的に4ヵ所の上下調整可能な吊材により支持されている鋼製のフレーム上に置かれ、そのフレームとボルト固定されている。天井板相互並びにフレームとの隙間はモルタルが充填されている。なお、天井板と両端セグメントとの空きはプラスチック板により風漏れが防がれている。

天井板の断面方向の中央部に鋼製の吸気口が設けられ、その吸気口により取入れられた汚染された空気は換気設備によりトンネル外に導かれる構造となっている。

換気設備は稼働していたが、天井板の両端部に設けられ、ライニングとの間の風漏れを防止するためのプラスチック板がセグメントの点検のために、全長にわたり取り外されていたために、換気の機能を果たしていなかった。しかし、本部機の取外しが

なければ本来の機能を有しているものと考えられる。

② 内装板

4mm厚、巾 900mm、長さ1.64mのプラスチック板がセグメントとの間に数mmの間隔を空けて並列に並べ、同じプラスチック板の細長い板が、その隙間を覆う形で外側よりステンレスボルトで固定されている。

内装板としての2次ライニングの機能は果たしている。しかし、セグメントの点検のために頻繁に取外し作業が行われているために、幾分かの破損が観察される。また、今後も継続してその作業が実施されるためにその破損率は高まるものと思われる。

今後再使用する場合は耐火性の点から、トンネルの火災時に必要とされる所要耐火性を保有しているかどうかの問題があるものと思われる。

③ 歩廊部

両車道の地覆部の外側に設けられた巾約 900mmの歩廊部は、その本体が構成で制作されたフレームと歩廊部のデッキと前面部の防護部のプレキャストコンクリートにより構成されている。

鋼製により構成されているフレーム内側の空間部は電気・通信設備・機器並びにナディアサンプからの排水管 1-φ200、消火用給水管 1-φ150等数多くのトンネル用付帯設備を取めている。

セグメントからの塩水の付着並びに塩分粒子の雰囲気のために、鋼材の錆発生による傷損は著しく進行している。また、内側に取められている。ケーブル類の支持トラフは上述の理由に加えてセグメントの維持・補修作業のための部分的な移設のために著しく破損している。また、車の衝突から内部を守るためのプレキャストコンクリートによる防護板は、セグメントの点検の取外し作業のために相当数(約50%)と部材にわれが観察されている。

今後補修用のライニングの増設により、さらに内側の建築限界を守る必要性から歩廊部の巾は狭くなり、内部スペース内に納められている付帯物の配置に支障を来すことが予想される。従って、最終的な外形上の寸法が決定された段階で歩廊形式と取納量の検討並びに広いスペースを必要としている変圧器の撤去のための電気のシステムの変更も含めた広範な検討を要するものと思われる。

④ ライフライン

ライフラインはサービスダクト内に設けられたダグタイル铸铁管(2-φ500)による水道管と歩廊部内に設けられた6条の特殊通信ケーブルである。

水道管は所定の間隔で上、下に2条支えられサービスダクト側壁に固定されている。

管理状況は良好であり、水漏れ、損傷等は観察されていない。

本水道管はトンネルライニング工事に先立って撤去されることになっているが、次の点に留意することが望まれる。

- 狭小箇所での撤去作業であるため、安全確実な施工法が立案されること。
 - 鋼管継手部は損傷を受け易いため、今後の再使用を前提にすれば、特別な解体撤去装置が工夫される必要がある。
 - 再使用に当たっては継手部の微妙な変形、損傷があれば、水漏れの原因となるので、今回のプロジェクトでの再使用を避けて、重要度の低い対象のプロジェクトに回すのがよいが、経済性から再使用する場合は、事前に水漏れテストを実施し、慎重な検討を必要とするものと思われる。
- また、上記の特殊通信ケーブルは、工事施工のステップに合わせて数度の移設が予想されるため、工事関係者の密接な協議・連絡を要するものと思われる。

⑤ その他の配管

その他の配管類としては、下記のものがある。

- ナディアサンプからのポンプ排水管 (1-φ200)
- 雨水排水パイプ (1-φ150)
- ナディアサンプからの換気パイプ (1-φ150)

注) 消化用配水管は電気設備の中に含めて記述している。

上記の配管類は、塩水による損傷が著しくしかも、ライニング工事による取付け位置の変更並びに再取付け時の部材継手部の再現性の難しさを考えると新規制作は避けられないものとする。

3-7 換気設備に関する実態調査

1) 概要

a. 換気設備の現状

- ① 現在の換気設備は完全な横流式で次のような容量をもっている。
最大給気量 : $616 \text{ m}^3/\text{sec}$ (8ファン)
最大排気量 : $648 \text{ m}^3/\text{sec}$ (8ファン)
- ② 1～7の段階別手動運転システムとなっており、現在は日交通量1,500台(ディーゼルカー混入率36%)に対して、給気量 $118 \text{ m}^3/\text{sec}$ のレベル3の運転を行っている。
- ③ 最近、トンネルセグメントの清掃のため2次覆工板をはずすことが多く、同時に排気ダクトの隅角部の板もはずしているため、排気ダクトは十分に機能していない。
- ④ トンネル内のCO濃度、VI煤煙濃度の指示計は必ずしも正確に作動していないようで、トンネル内に1台も車がない時に250 PPMを示すことがあり(キャリブレーションを時々実施して訂正している)VI計は化粧板をはずす際にレーザー光線のラインがずれて機能しないものもある。
- ⑤ 換気設備の配置は下記の略図に示すとおりで、この既存設備の資産価値は1,500万エジプトポンドと推定された。

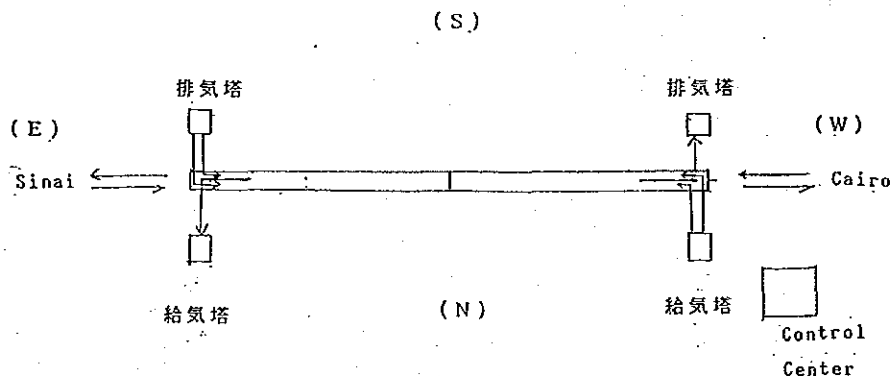


図-3.2.2(6)-1 換気設備の配置略図

b. 将来交通量

① 8月9日、11日の交通量調査結果によれば、日交通量（以下、ADT）1,500～1,800台と報告されている。また、S. C. A. の報告によれば、過去最大のADTは、約5,000台であった。

② 今、下記の仮定で将来交通量を予想すれば、

低めの予想 : $1,500\text{ADT} \times (1 \times 0.06) 20 = 4,800 \text{ ADT}$

高めの予想 : $5,000\text{ADT} \times (1 \times 0.03) 30 = 12,150 \text{ ADT}$

高めのADTから、時間交通量を1日10時間として算出すると1,200台/時という将来交通量が得られる。しかしながら、トンネル設備の設計においては可能交通量に基づくというPIARC基準に従えば、1,500台/時が設計交通量となる。

c. 適用設計基準

1980年の本トンネルの設計時は、一部日本のトンネル換気に関する考え方の報告書を反映させながら、当時のPIARC基準に基づいて設計がなされた。

今回の換気設備能力の基本検討にあたっては、再新のPIARC（1987）に基づいて見直すことにした。

ただし、1台あたりのCOガス、煤煙りの発生量は、エジプトの国内事情を配慮して、ガス規制のない国の規準（PIARCの基準D）を適用した。

2) 所要換気量

a. 通常走行時

— 設計交通量 1,500 台/h

— 設計速度 60 km/h

— ディーゼル車混入率 36 %

を前提として、以下に必要換気量を示す。

① COガスに対する所要換気量

PIARCは許容濃度を150 PPMとし、これに対する換気量は $121 \text{ m}^3/\text{sec}$ となる。

② VI基準に対する所要換気量

トンネル内の照明基準にも影響されて、PIARC ($8 \text{ cd}/\text{m}^3$) では $410 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、日本の基準 ($2.3 \text{ cd}/\text{m}^3$) では $434 \text{ m}^3/\text{s}$ の所要換気量となる。(S. C. Aとの協議によ

b. 適用設計基準

1980年の本トンネルの設計時は、一部日本のトンネル換気に関する考え方の報告書を反映させながら、当時のPIARC基準に基づいて設計がなされた。

今回の換気設備能力の基本検討にあたっては、再新のPIARC (1987)に基づいて見直すことにした。

ただし、1台あたりのCOガス、煤煙りの発生量は、エジプトの国内事情を配慮して、ガス規制のない国の規準 (PIARCの基準D) を適用した。

2) 所要換気量

a. 通常走行時

- 設計交通量 1,500 台/h
- 設計速度 60 km/h
- ディーゼル車混入率 36 %

を前提として、以下に必要換気量を示す。

① COガスに対する所要換気量

PIARCは許容濃度を150 PPMとし、これに対する換気量は $121 \text{ m}^3/\text{sec}$ となる。

② VI基準に対する所要換気量

トンネル内の照明基準にも影響されて、PIARC ($8 \text{ cd}/\text{m}^3$) では $410 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、日本の基準 ($2,3 \text{ cd}/\text{m}^3$) では $434 \text{ m}^3/\text{s}$ の所要換気量となる。(S.C.Aとの協議によりトンネル内照明はPIARC基準に従うことが確認された。)

b. 渋滞時

- 設計交通量 2,000 台/h
- 設計速度 10 km/h
- ディーゼル車混入率 0 %
- 最大許容COガス濃度 250 PPM

を前提としてCOガス濃度に対する所要換気量を求めると $490 \text{ m}^3/\text{sec}$ となる。

以上の基本的な検討結果から、最大所要換気量はPIARC基準によるVI煤煙濃度を確保のために $410 \text{ m}^3/\text{sec}$ が所要最大換気量と計算される。

3) トンネル改修後の換気設備の能力

a. 運転レベル別の換気量

- ① 中央制御室の設備はそのままトンネル本体の改修後も維持されるものとするれば、以下に示す現状の運転レベル別の換気量必要量に応じて調整される。

運転レベル	換 気 (m^3/sec)	排 気 (m^3/sec)
7 (非常時)	616	648
6	504	528
5	338	354
4	244	254
3	118	126
2	62	66
1 (逆転)	0	0

- ② PIARC に基づいて見直された最大所要換気量 ($410 \text{ m}^3/\text{sec}$) は現在のレベル6の運転で達成され、ファンの設備は能力的に問題がないといえる。

b. ダクト断面縮小の影響

- ① 新規コンクリート巻立て厚を 450mm とすれば、給排気ダクト断面は約70%に縮小される。
- ② これに対して、最大給気量 ($616 \text{ m}^3/\text{sec}$) の70%は約 $431 \text{ m}^3/\text{sec}$ であり、所要換気量 ($410 \text{ m}^3/\text{sec}$) を上まわることになり支障がないと判断される。(これは既存のファンを運転して、縮小ダクトと連絡してもファンに与える圧は当初設計以上には増加しないことに基づく。)

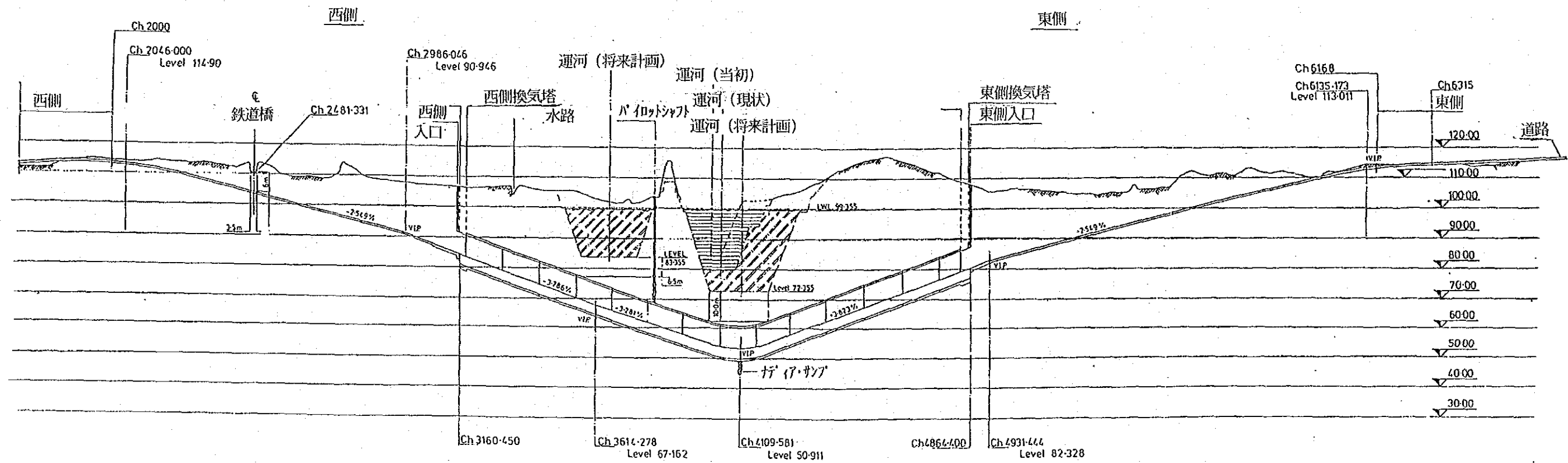


図-3. 2. 2 (6) -2 トンネル縦断面と坑口図

3-8 建設材料に関する品質調査ならびに室内試験

本調査は、改修工事を行うに際し、二度とこの様な劣化を起こさないために、トンネル各所から採取したコンクリート供試体について、各種の分析試験を実施し、この結果に基づいて調査する目的で行ったものである。調査試験内容を以下に示す。

1) 調査項目

① 環地調査

目視によるセグメントの変質状況調査とボルト等金属部の腐食状況調査

② 供試体採取

セグメントの供試体採取と使用材料としての骨材、セメントならびに水の調査と試料採取

③ セグメントの分析試験

- 中性化深測定
- 偏光顕微鏡観察
- 塩分分析
- 元素分布分析
- セメント硬化体の粉末 X線回折試験
- 鉄筋腐蝕度試験
- 一軸圧縮強度試験
- 動弾性係数測定および静弾性係数測定
- 配合推定分析 (含アルカリ量分析)
- 鉄筋の引張強度とヤング係数

④ 使用材料調査のための分析試験

④-1 骨材 (粗骨材および細骨材)

- ふるい分け試験
- 比重・吸水率試験
- 洗い試験
- 単位体積重量測定
- 粘土塊量
- すりへり試験
- 軟石量試験
- 塩分分析
- 比重 1.95 に浮く粒子量

- アルカリシリカ反応静試験（化学法）
- 粉末 X 線回析試験
- 偏光顕微鏡観察

④-2 セメント

- 比重測定
- 粉末度測定
- 凝結試験
- 強度試験（曲げ、圧縮）
- 水和熱測定
- 異常凝結
- 化学分析、強熱減量、不溶残分、 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , MnO , S , 遊離石灰, Cl , Na_2O

④-3 水

- 水道法第 4 条の理科学試験
- JASS -ST -301による試験
- 化学分析、 Na_2O , K_2O , CaO , MgO , SO_2 , S , Cl

2) 調査分析試験結果概要

a. セグメントの分析試験

① 中性化深測定

目的：コンクリートが内部に向かってどの程度中性化（空気中の炭酸ガスとセメントとの反応によって劣化）しているかを調べる。

方法：コンクリートの切断面にフェノールフタレインを噴霧し、赤色に発色しない部分（PH 8.3以下）の層の厚さ（深さ）を測定する。

結果：フェノールフタレイン法によって調べたコンクリートの中性化深は、湿潤部では 1~3mm, 乾燥部では 9~10mm であった。

② 偏光顕微鏡観察

目的：使用骨材の岩石及びその構成鉱物、セメント硬化体、コンクリートの組織およ

び変質状況（含中性化）を調べる。

方法：偏光顕微鏡を用いて日本コンクリート工学協会（JCI），JCI-DD3「骨材に含まれる有害鉱物の判別（同定）方法（案）」とJCI-DD4「有害鉱物の定量方法（案）」に準じて観察する。

結果：粗骨材は石灰石質ドロマイトでコンクリート中 30%以上、細骨材は砂である。セメント硬化体中には水酸化カルシウムの生成が目立ち、塩分などが入って、アルカリ分が多くなったセメント水和物の特徴を示す。空気量は 1% 以下と少ない。

③ 塩分分析

目的：コンクリートの変質劣化に大きく関与するコンクリート中の塩分量を調べる。

日本の場合（英国も同様）鉄筋コンクリートではコンクリート 1 m^3 中に含まれる塩化物（塩素イオン換算）の含有量を 0.03 kgf 以下と規定している。

方法：硬化コンクリート中の全塩分量は、JIC腐食防食研究委員会が提案した「硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法」に従って分析する。

結果：乾燥部分ではコンクリート表面の塩分がやや少なく深さ $2\sim 3\text{ cm}$ の部分に凝集する。芯部では $1\sim 2\text{ kgf/m}^3$ である。

湿潤部分では表面の濃度が高く深部にはいるほど低くなるが、深さ 5 cm では、 $6\sim 8\text{ kgf/m}^3$ の値を示し、さらに相当深くまでの塩分浸透があることがうかがえる。

④ 元素分布分析

目的：セメント系の Na, K, Cl, S, 等はコンクリートが変質すると凝集したり拡散したりする。コンクリートの切断面におけるこれら元素の分布状況を分析する。

方法：EPMA（電子線マイクロアナライザー）により、描く元素特有の二次X線を分析して、元素の分布状況を調べる。

結果：乾燥部では Kが深部（ $5\sim 10\text{ cm}$ ）に移動、Cl, Na, S は表面部から深さ $7\sim 8\text{ cm}$ までに凝集する。

湿潤部では、Cl と Na は、深さ $7\sim 8\text{ cm}$ まで浸透している。特にClの浸透は著しく、深さ 10 cm 以上浸透していて鉄筋の腐蝕の原因となっていることがうかがえる。

⑤ セメント硬化体の粉末 X線回折試験

目的：コンクリートの変質はセメント硬化体の変質することである。セメント硬化体が正常か否かを生成セメント鉱物を調べることによって検討する。

方法：粉末 X線回折装置によりコンクリート粉末を分析し、セメントの変質生成鉱物を調べる。

結果：検出されたセメント鉱物は水酸化カルシウムと炭酸カルシウムであった。

コンクリートの表面部分0~10mm では、炭酸カルシウムの回折線が強く、中性化によって、セメント中のカルシウムが炭酸カルシウムに変化していることがわかる。

⑥ 鉄筋腐蝕度試験

目的：コンクリート中の鉄筋の腐蝕状況を調べることを目的とする。

方法：ボーリングによって採取したコア供試体中铁筋の様子を肉眼で観察する。

結果：乾燥部、湿潤部を問わず、程度の深さまでの鉄筋は裏面に発錆が認められる。

浅いところの鉄筋ほど腐蝕が強い。

⑦ 一軸圧縮試験

目的：コンクリート強度が、設計強度に対してどうであるかを調べる。

方法：JIS A 1107 「コンクリートからのコア及びはつりの切り取り方法及び試験方法」に従って試験する。

結果：415 ~ 650 kgf/cm³ で、強度は充分である値を示す。

⑧ 動弾静係数及び静弾性係数測定

目的：コンクリートの正常性を調べる目的で行う。

方法：動弾係数測定---JIS A 1127 「共鳴振動によるコンクリートの動弾性係数、動せん弾性係数及び動ポアソン比試験方法」

静弾性係数測定---日本道路公団試験法 KODAN 302 「コンクリートの静弾性係数試験方法」

結果：動弾性係数は、 $3.30 \sim 5.19 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^3$ 、静弾性係数は、 $2.63 \sim 3.75 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^3$ の値で、圧縮強度に対する値としてはいずれも通常コンクリートよりもやや低めの値である。

⑨ 配合推定分析

目的：正常な配合でコンクリートを打設したか否かを推察するために行う。

方法：配合推定-----セメント協会コンクリート専門委員会が定めた「昭和49年9月
f-5」

アルカリ量推定---試料煮沸して得た液を分析してアルカリ量を求める熱水抽出
法による。

結果：単位セメント量は、388~447 kg/m³、使用セメントのアルカリ量は、等価
Na₂O 量 = 0.40~0.54% と推定される。

b. 使用材料調査のための分析試験

① 骨材

採取した粗骨材4種と細骨材3種の分析試験結果を表-7.1.1に示す。

表-7.1.1 骨材の物理試験結果

実施した試験		粗骨材				細骨材			規格値		
		砂利(20~4mm) Gineifa Quarry	碎石(60~25mm) Suez Canal Autholity	碎石(25~8mm) Suez Canal Autholity	碎石(25~8mm) Arab Contractor Co	砂 Gineifa Quarry	砕砂(8~2mm) Suez Canal Autholity	砕砂(8~2mm) Arab Contractor Co	粗骨材	細骨材	
JIS A 1102 「骨材のふるい 分け試験」	ふるい 呼び 寸法 (mm)	+60	-	-	-	-	-	-	別表1を 参照	100	
		60~40	-	-	-	-	-	-			
		40~25	-	30	-	-	-	-			
		25~20	18	61	-	23	-	-			
		20~15	17	9	62	73	-	-			
		15~10	18	-	32	4	-	7			27
		10~5	46	-	6	-	1	85			65
		5~2.5	1	-	-	-	3	7			8
		2.5~1.2	-	-	-	-	8	-			-
		1.2~0.6	-	-	-	-	27	-			-
		0.6~0.3	-	-	-	-	41	-			-
		0.3~0.15	-	-	-	-	16	-			-
		-0.15	-	-	-	-	4	-			-
合計	100	100	100	100	100	100	100	100~80	100~80		
JIS A 1109 「細骨材の比重 及び吸水率 試験」	表乾比重	-	-	-	-	2.60	2.70	2.71	-	-	
	絶対比重	-	-	-	-	2.59	2.66	2.68	-	2.5 以上	
	吸水率 (%)	-	-	-	-	0.53	1.42	1.04	-	3.5 以下	
JIS A 1110 「粗骨材の比重 及び吸水率 試験」	表乾比重	2.57	2.73	2.68	2.70	-	-	-	-	-	
	絶対比重	2.55	2.70	2.64	2.67	-	-	-	2.5 以上	-	
	吸水率 (%)	0.54	0.78	1.50	1.01	-	-	-	3.0 以下	-	
JIS A 1103 「骨材の洗い 試験」	74μm を通過 する量の百分 率 (%)	0.42	0.28	0.41	0.28	1.85	0.31	0.45	1.0 以下	7.0 以下	
JIS A 1104 「骨材の単位 容積質量及び 実積率試験」	単位容積質量 (kg/L)	1.66	1.57	1.57	1.56	1.68	1.54	1.49	-	-	
	実積率 (%)	64.9	58.0	58.5	58.4	65.0	57.8	55.6	55 以上	53 以上	
JIS A 1137 「骨材中に含 まれる粘土塊 量の試験」	粘土塊量 (%)	0.9	0.2	0.3	0.2	1.3	0.3	0.4	0.25 以下	1.0 以下	
JIS A 1126 「ひっかき硬さ による粗骨材中 の軟石量試験」	軟石量 百分率 (%)	0.0	0.0	1.6	1.1	-	-	-	-	-	
JASS 5I-202 「普通粗骨材 中の塩分試験」	塩分(NaCl) 重量百分率 (%)	-	-	-	-	0.04	0.03	0.06	-	-	
JIS A 5308 附属書2 「骨材中の比重 1.85の液体に浮 く粒子の試験」	比重1.85の 液体に浮く 粒子の重量 百分率 (%)	0.2	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.5~1.0 以下	0.5~1.0 以下	

② セメント

化学分析の結果を、表-7.1.2 に示す。

表-7.1.2 セメントの化学分析結果

項目		試料				
		Helwan	El Suez	Tora		
物理試験	比重		3.14	3.17	3.13	
	粉末度	比表面積 (ブレン法)	3320 cm ² /g	3540 cm ² /g	3290 cm ² /g	
	凝結	水量	22.5 %	25.0 %	22.5 %	
		始発	1-05	1-35	1-10	
		終結	2-10	2-40	2-25	
	安定性	煮沸方法	良好	良好	良好	
	強さ	曲げ強さ	3日	23 kgf/cm ²	30 kgf/cm ²	23 kgf/cm ²
			7日	32 "	41 "	31 "
			28日	46 "	66 "	46 "
		圧縮強さ	3日	82 kgf/cm ²	112 kgf/cm ²	81 kgf/cm ²
			7日	118 "	166 "	126 "
			28日	180 "	251 "	184 "
	水和熱	3日	- cal/g	- cal/g	- cal/g	
		7日	61.5 "	62.2 "	61.0 "	
		28日	72.5 "	74.9 "	71.3 "	
真状凝結標準棒	5分後					
	10分後					
化学分析	Ig-loss		2.88 %	1.91 %	2.61 %	
	Insoluble Remnant		1.02 %	0.47 %	0.93 %	
	SiO ₂		20.41 %	21.56 %	21.01 %	
	Al ₂ O ₃		6.62 %	6.08 %	6.29 %	
	Fe ₂ O ₃		1.61 %	1.73 %	1.64 %	
	CaO		60.62 %	61.72 %	62.00 %	
	MgO		2.84 %	1.57 %	2.68 %	
	TiO ₂		0.62 %	0.44 %	0.61 %	
	MnO		0.05 %	0.02 %	0.05 %	
	SO ₃		0.65 %	0.79 %	0.59 %	
	S		0.00 %	0.00 %	0.00 %	
	P ₂ O ₅		0.03 %	0.04 %	0.03 %	
	Extricate CaO		0.97 %	0.28 %	1.33 %	
	Na ₂ O		0.59 %	0.47 %	0.57 %	
	K ₂ O		0.31 %	0.31 %	0.31 %	
Na ₂ O eq.		0.79 %	0.67 %	0.77 %		

③ 水

水の分析結果を、表-7.1.3 に示す。

表-7.1.3 水の分析結果

試料	深さ	懸濁物質の量	溶解性蒸発残留物の量	塩素イオン量	Na	K	Ca	Mg	SO ₃	SO ₄
		(g/l)	(g/l)	(ppm)	(mg/l)	(ng/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
運河横水路	0.5m	0.06	0.42	153	108	7.91	4.21	0.50	0.00	0.08
	1.0m	0.07	0.38	153	108	7.88	4.13	0.50	0.00	0.08
	2.0m	0.08	0.37	153	107	7.66	4.02	0.48	0.00	0.08
トンネル現場 水道水		0.06	0.40	146	104	7.64	1.04	0.51	0.00	0.08
スエズ市内水道水		0.01	0.42	170	125	8.12	4.59	0.03	0.00	0.10
規格値		2 以下	1 以下	200以下	-	-	-	-	-	-

3) 考察

① セグメント分析試験

セグメントの分析結果から、以下のことがいえる。

- 粗骨材は石灰湿ドロマイトでコンクリート中約 30% 以上含まれる。細骨材は砂である。使用セメントは耐硫酸塩セメントで、コンクリート深部にも塩分が 1~2 kg/m³ 含まれ、当初から塩分の多いコンクリートであった。
- コンクリート単位セメント量は 388~477 kgf/m³, 使用セメント量は Na₂O, 換算で 0.40~0.54%, 強度は 415~650kgf/cm², 動弾性係数は 3.30~5.19X10⁵ kgf/cm², 静弾性係数は 3.30~5.19X10⁵kgf/cm²で強度に対して弾性係数はやや低い。
- フェノールフタレイン法による中性化深測定結果では、湿潤部で、1~3 mm, 乾燥部では、9~10 mmであった。しかし、湿潤部では、Na は深さ 7~8 cm, Cl は深さ10cmで浸透, 塩分深さ (Cl) では深さ 5cm で、6~8 kgf/cm² であった。乾燥部では、K は深さ 5~10 cm に移動濃縮、Cl, Na, Sは深さ 2~8 cmに濃集する。
- 乾燥, 湿潤部を問わず深さ 7~8 cm程度までの鉄筋は、表面に発錆がある。

② 劣化の原因

コンクリート中に当初から塩分が高く含まれていると、鉄筋腐食の原因となるばかりでなく、セメント・ペーストのアルカリ分が多くなり、セメントから Ca を分離させ、Ca(OH)₂ が多く生成されて密度の低いセメント硬化体となる。また、骨材に石灰石やドロマイトを使用してもCa(OH)₂ の生成が促成される。密度が低いセメント硬化体のコンクリートは、水や空気の浸透拡散が容易である。

当トンネルでは塩分を含んだ漏水がコンクリートに浸透し、水分は蒸発する。コンクリート中の浸透水の塩分濃度が塩分の融解度を越えると塩が結晶化してコンクリート剥離の原因となる。鉄筋の腐食は乾燥部での Cl などの物質移動によっても起こる。

したがって、当コンクリートの劣化は、施工の問題を除いて使用材料を検討してみると、耐久性はあまり良くないといわれている耐硫酸塩セメントの使用、石灰質ドロマイト骨材の使用、塩分を含んだ水あるいは塩分を含んだ骨材の使用がその要因としてあげらる。

③ 改修工事用材料調査

a. 骨材

石灰質ドロマイトを骨材として使用した当該コンクリートは品質が良くなかったので、改修工事には、石灰質ドロマイトや石灰以外の骨材を使用するのが良いと判断される。

今回採取した骨材試料の中では、砂利と砂が良いと思われるが、砂利と砂は試験の結果から見るように、粘土塊量の試験値が高く、アルカリシリカ反応性試験（化学法）で有害の判定となった。

粘土塊量試験では砂利・砂中に0.6mm 前後の砂が塊で存在しこれが水中で崩れることによって試験値を大きくするが、コンクリートに有害な粘土は含んでいない。この問題に対しては予め砂の塊が粉化して砂の粒度構成を変えることを前提に考えれば良い。

アルカリシリカ反応性試験に対しては、化学法で有害とされた場合にはモルタルバー法で再試験することになっている。当砂利及び砂は微小石英から構成されるチャート、珪質片岩あるいはめのうであり、鉱物学的にモルタルバー法の試験をしないまでもモルタルバー法では無害になることが予想される。また、アルカリ骨材対策には、アルカリの総量規制で対応することもできる。すなわち、コンクリート中の等価 Na_2O を 3 kgf/m^3 以下にすればよく、エジプト産普通ポルトランドセメントのアルカリ量は $0.67\sim 0.79\%$ であり、設計上の単位セメント量が 300 kgf/m^3 であるから上記の値は充分カバーできる。

b. セメント

エジプト産普通ポルトランドセメント3試料について試験した。物性試験と化学分析を行った結果では、特に問題はない。アルカリ量は等価 $\text{Na}_2\text{O}=0.67\sim 0.79\%$ であり、日本製の普通ポルトランドセメント（ $\text{Na}_2\text{O}=0.67\sim 0.7\%$ ）よりもアルカリ量が多いものがあるが、十分な品質管理を行えば、特に問題ない。

c. 水

3箇所から採取した水は、いずれも淡水であり、コンクリート用水として使用できる性状のものであった。

第 4 章

計画の内容

第4章 計画の内容

4-1. 目的

エジプト・アラブ共和国政府、ならびにS. C. A. は、前述の国家の政策的目標を達成するために、スエズ運河の河底を横断してエジプト本土とシナイ半島を連絡している唯一の陸上交通施設である本トンネルの本格的改修を実施して、かつ、当初の設計において想定した交通容量を全面的に回復することを企図している。

本計画は、エジプト・アラブ共和国政府ならびにS. C. A. の企図に協力し、本トンネルの構造、機能両面にわたる深刻な劣化状況を全面的に改善することを目的として、既設のトンネル構造の内側全面に防水シートを張り付けた後、新しいトンネル構造体として、鉄筋コンクリート覆工、道路床版等を施工し、かつ、トンネル設備、施設等の機能を回復する改修工事を、経済的、効率的に実施しようとするものである。

4-2. 要請内容の検討

4-2-1. 計画の妥当性、必要性の検討

本トンネル改修の妥当性、必要性については、エジプト経済社会開発5ヶ年計画そして、スエズ運河兩岸、ならびにスエズ半島地域の経済社会開発計画のために不可欠な唯一の陸上輸送ルートとしての本トンネルの重要性、特に、本トンネルの改修が直接的側面、間接的側面の両方にわたってもたらす経済的、ならびに社会的効果等を十分に考慮して、判断する必要がある。

(1) 本トンネル改修計画の直接的効果

本計画は、以下に述べる通り、幾つかの直接的効果が見込まれる。

- 現在、一車線は本トンネルの維持補修のために、定期的に、相当の期間にわたって閉鎖されざるを得ない状況にあるが、本計画は、本トンネルの交通上の安全性を改善し、当初の設計において想定した交通容量を全面的に回復し得ること、
- 従来、S. C. A. による本トンネルの維持補修のために、毎日、70人に達する作業員と年間平均140万エジプト・ポンドの費用を投入しながら、本トンネルの劣化状況の改善に必ずしも役に立っていないが、かかる作業員と費用を節約

し得ること、

- 一本計画は、スエズ運河拡張プロジェクト（既設の運河の水深と河幅を拡大する）のための浚渫工事の施工中に生ずる可能性がある作用土圧の変化に耐えられる本トンネルの構造的安全性を確保できること。

（２）本トンネル改修計画の間接的効果

本計画は、前述した直接的効果に加えて、以下に述べる通り、幾つかの間接的効果が見込まれる。

- 一本計画は、エジプト本土とシナイ半島を連絡する唯一の主要陸上交通ルートとして、本トンネルの交通容量を全面的に活用して、シナイ半島の住民のための地域開発の主目的である農業、製造業、鉱業、観光業等の開発、拡大とともに、近隣アラブ諸国との貿易の拡大に大いに寄与し得ること、
- 一本計画は、シナイ半島の全地域にわたって、エジプト本土における余剰労働人口の恒久的入植を可能ならしめるための良好な環境を確立するとともに、経済、文化、政治のあらゆる面で、シナイ半島をエジプト本土統合することを指向する政策的目標を達成するのに大いに役に立つこと、
- 一本計画は、将来、スエズ運河拡張プロジェクト（既設の運河の水深と河幅を拡大する）が完了した後に、同運河を通行することが見込まれる大型船舶の航行可能性に対する国際的ニーズに対処するのに寄与し得るとともに、エジプト国民経済のために運河通行料収入の増大にも大いに寄与し得ること。

以上、述べた通り、スエズ運河兩岸、ならびにシナイ半島地域における地域開発、ひいては、エジプトの国内経済を活性化する観点から、本トンネル改修計画の緊急性、必要性は極めて高いものと言って良く、また、本計画がもたらし得る経済的、社会的効果から判断して、本トンネル改修計画は、日本政府による無償資金協力案件として極めて妥当であり、かつ、推奨し得るものであると十分に強調し得るものである。

また、本トンネルの交通上の安全性を維持し、かつ、当初の設計において想定した交通容量を全面的に確保する方策としては、本トンネルの構造、機能を、早急に、かつ、全面的に改修する以外に適当な代案がないことを付記するものである。

4-2-2. 実施運営計画の検討

多年にわたり、現地側にて本トンネルの維持運営に携わって来た機関は、S. C. A. である。

同運河庁における本トンネルの維持、運営に関する責任組織は、S. C. A. 工務部である。同部に所属するトンネル事務所の要員は、現在、所長以下、多年にわたり蓄積した技術力、経験を有する技術者、作業員等を含む157人にて構成されており、毎年、平均140万エジプト・ポンドを本トンネルの維持運営に関する費用として支出している。

S. C. A. (トンネル維持管理部門)の組織図を、図-4.2.1に示す。

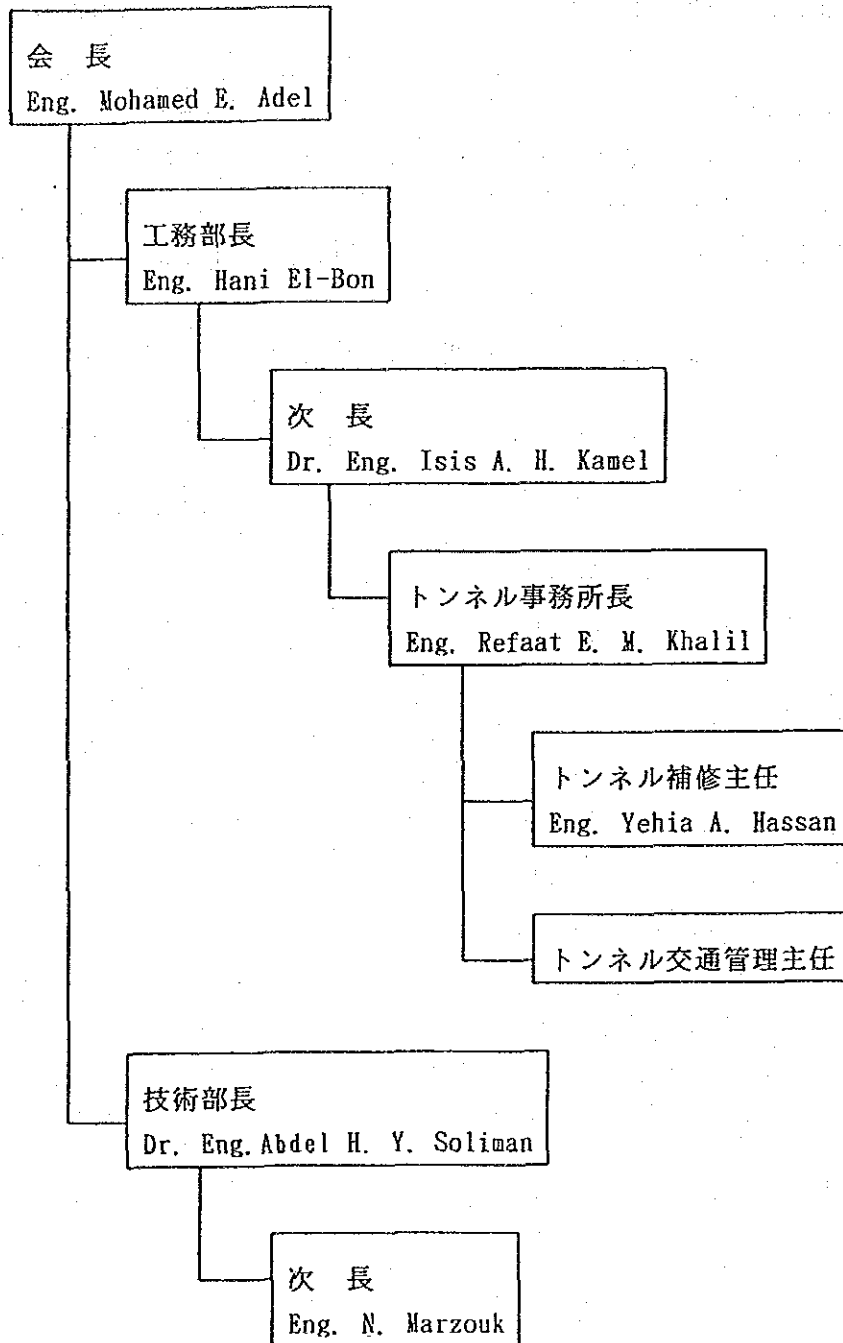


図-4.2.1 S. C. A. (トンネル維持管理部門)の組織図

4-2-3. 類似計画および国際機関等の援助計画との関係、重複等の検討

現在、エジプト国内においては、本計画と類似する計画、あるいは国際機関等による本計画に対する援助計画等も見当たらず、日本国政府による無償資金協力と重複する状況にはないと判断する。

4-2-4. 要請施設、機材の内容

本計画の対象は、スエズ運河の河底を横断してエジプト本土とシナイ半島を連絡している全長1,640mにわたる本トンネルの機能と構造を、早急に、かつ、全面的に改修、回復することにある。また、トンネル改修施工の全期間にわたって、トンネル交通を最小限確保するため、一車線は、供用することを条件としている。トンネル改修後、再び同じ劣化を起こして大規模な改修を必要としないトンネル構造とする。このため、既設のトンネル構造の内側全面に防水シートを張り付けた後、新しいトンネル構造体として、鉄筋コンクリート覆工および道路床版等施工するとともに、トンネル設備、施設等の機能を回復し、本トンネルの構造と機能両面にわたる改修工事を実施するものである。

本計画に関わる要請施設、機材等は、本トンネルの機能と構造を全面的に改修するために使用されるものであり、経済性、工期短縮等の要請を考慮して、原則として、既設のトンネル設備、部材等のなかで再利用可能なものは、可能な限り、利用するものとした。

4-2-5. 技術協力の必要性検討

本トンネルの改修完了、再供用後における維持、運営については、S. C. A. 工務部の要員が多年にわたり蓄積した技術力、経験からみて、日本政府が準備する本トンネルの維持管理法に基づき、S. C. A. 工務部の要員にて十分に対応することが可能であるため、本計画に関わる技術協力の必要性はないものと判断される。

4-2-6. 協力実施の基本方針

本計画については、以上の検討により、本計画がもたらす経済的ならびに社会的効果、本計画の現実性、現地側におけるS. C. A. の実施能力等が確認されたこと、また、本計画の効果が日本国政府による無償資金協力制度に合致していること等から、日本国政府による無償資金協力にて実施することが妥当であると判断される。

よって、以下において、日本国政府による無償資金協力を前提として、本計画の概要を検討し、基本設計を実施することとする。

4-3. 計画の概要

4-3-1. 実施機関および運営体制

現地側における本計画の実施機関は、S. C. A. である。また、S. C. A. における本計画の実施に関する責任組織は、S. C. A. 工務部である。同部組織内のトンネル事務所の要員は、現在、所長以下、技術者、作業員等を含む157人にて構成されており、トンネルの運転、保守の体制はととのっている。

また、本トンネルの改修完了、再供用後における維持、運営については、S. C. A. 工務部の要員の技術力、経験からみて、日本政府が準備する本トンネルの維持管理方法に基づき、S. C. A. 工務部の要員にて十分に対応することが可能であると判断される。（既述「4-2-2. 実施、運営計画の検討」および「図-4.2.1」参照）

4-3-2. 事業計画

本計画の対象であるアハムド・ハムディ・トンネルは、全長1,640mに及ぶ自動車専用2車線道路である。トンネル構造躯体は、鉄筋コンクリートセグメントを組み立てたシールド・トンネル、トンネル外径11.6m、内径10.4mの道路トンネルである。

本計画は、本トンネルの劣化した構造機能の全面的回復をはかるため、既設のトンネル構造の内側全面に防水シートを張り付けた後、新しいトンネル構造体として鉄筋コンクリート・覆工、道路床版等を施工するとともに、トンネル設備、施設等の機能を改修して、本トンネルの構造と機能両面にわたる回復工事を実施するものである。

4-3-3. 維持管理計画

トンネルの維持管理は、安全性の確保ならびにトンネル機能確保の面から、非常に重要なものである。

本トンネルの維持管理上の点検対象は、

- 覆工、床版および排水溝などの構造物
- 換気、照明などの設備・施設

となる。

トンネルの年間維持管理費を、改修前と改修後について表-4.3.3に示す。

表中、トンネル改修前のトンネルの維持管理費は、支出実績、トンネル改修後の維持管理費は推定金額である。

また、補修費は、主に、労務費、補修材料費、トンネル照明、換気設備の運転に必要な電力料金である。

表-4.3.3 トンネルの年間維持管理費

費目別	トンネル改修前	トンネル改修後
補修費	57,400,000円	11,455,400円
維持管理費	35,260,000円	35,260,000円
合計	92,660,000円	46,715,400円

本トンネルの改修、再供用後は、維持管理費の大幅な減少が見込まれる。

さらに、S. C. A. は、運河収入を目的とした実務的な管理体制と、財政的にも充実していることから、維持管理には十分対応することが可能である。

第 5 章

アハムド・ハムディ・トンネルの 改修に関する基本設計

第5章 アハムド・ハムディ・トンネル改修に関する基本設計

5-1. 設計方針

5-1-1. トンネル構造

既設トンネル覆工の破損は、供用後わずか9年で、トンネル全体の90%以上にも達し、現在も進行している。そのため、既設覆工の補修は、非常に困難であり、今後これを強度部材として期待することはできない。

その結果、図-5.1.1に示すとおり、既設トンネル内側に覆工を施工し、新たなトンネルを構築するものと同等とする。

なお、床版についても損傷が激しいため、新設する。

設計の基本方針を以下に示す。

1) トンネル本体構造物は、将来において十分な安全性を確保したものとす。

供用後現状の劣化状況を二度と繰り返さないように、覆工設計には、特に以下のことを考慮する。

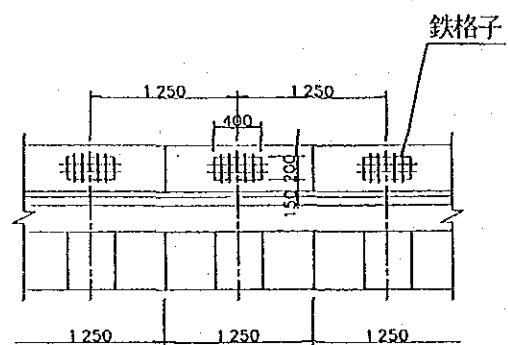
- 外圧に対しては、覆工のみで十分抵抗できる構造物とする。
- 鉄筋かぶりを十分確保する。
- 新設される覆工への水、酸素の供給を防水シートにより遮断し、劣化を防止する。
- 確実な排水構造（導水、集水）とする。
- 適正な使用材料の選定を行う。

2) 将来スエズ運河の増深、拡幅にも十分耐えうる構造とする。

将来において、トンネル直上のスエズ運河の増深、拡幅に対、トンネルに与える影響を検討し、これに耐えうる構造物とする。

3) 改修工事完了後のトンネルのメンテナンスを考慮した構造とする。

供用後、できるだけメンテナンスフリーのトンネルにするとともに、そのメンテナンス方法についても明確にしておく。



換気孔の配置

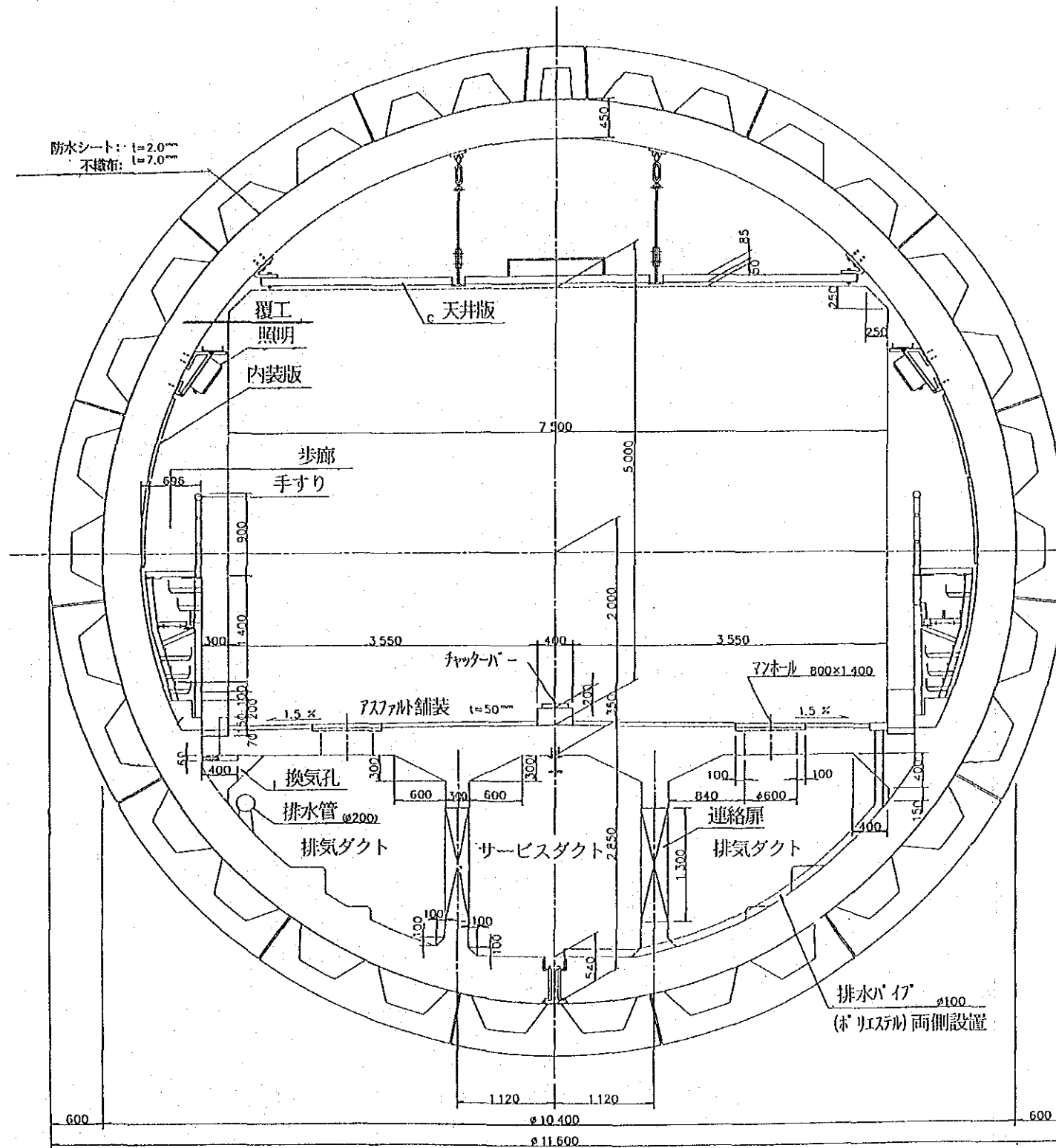


図-5.1.1 トンネル標準断面図

5-1-2. トンネル設備・施設

(1) 換気設備の設計方針

- 1) アハメド・ハムディトンネルは換気設備としては完全な横流式換気設備を持っており、換気塔(4基)、換気ファン(16台)、換気ダクトの施設の資産価値を推定すると円貨で約6億円と算定された。トンネル断面改修に伴う換気設備の設計方針としては既存の施設を最大に利用することを第一に考えることとした。
- 2) 換気設備の機能の見直しにあたり、現在の交通量は1,500台/日であるが、将来計画交通量の算定がシナイ半島の開発計画により左右され、予想が困難であるため、トンネル通過可能最大交通量を対象とすることにした。試算の結果、1,500台/時間の交通量を設計交通量とする。
- 3) 設計基準は、PIARC 1987年基準を適用することとし、COガス、煤煙の1台当り発生量は Standard D : ガス規制のない国の基準を適用することとした。
- 4) 管理施設および換気運転に係る管理器具等は既存の施設をそのまま改修後も利用することとする。

(2) トンネル設備(電気関係)

- 1) 現在の蛍光煙照明設備は工事中の照明として継続使用する。トンネル本体改修は新たにナトリウム煙による照明に変更する。
- 2) その他の電気関連施設(電話、送電ケーブル、TVカメラ、CO計VI計)は工事中撤去、調整、保管し、改修後再使用する。ただし、現在の歩廊下の電線は撤去により破損が激しいので新設とする。
- 3) 消化栓等防災設備も整備後利用する。

(3) トンネル設備 (土木関係)

1) 天 井

- ① 横流式の排気ダクトとして、その必要空間を出来る限り大きくとる。そのため、両端部のライニングとの固定方法を既存の吊方式からブラケット方式に変更し、従って、風漏れ防止板が不要な形式となる。
- ② 天井板は寸法の変更により、新規にプレキャスト板を製作するが、再使用が可能と考えられるターンバックル、吸気口の缶構造並びに留金具類は使用する。
- ③ 点検用の空間としては、頭上がやゝ低いために、人力式の点検車を設置する。

2) 内装材

- ① 既存ライニング材の再使用の可否について、耐火性の観点から考察する。
- ② 本邦で使用実績のある内装について性能、施工性、経済性などについて総合比較を行う。
- ③ 比較検討に当っては、内装板の他に塗装方式も加え、適切と思われる内装材について提示する。

3) 歩廊部

- ① ライニング厚により歩廊部巾 450mmだけ狭くなる。
道路側前面部寸法 (建築限界) を守るが、添架物用の収納スペースは、上下に段数を増設することにより、必要量を確保することとする。
- ② 配管と電力・通信ケーブルが混存して、収納されるので、既存構造物と同様に維持・管理に容易な、オープン可能な構造形式とする。
- ③ 歩廊部を覆っているプラスチック板は、耐火性を考えて鋼板に変更する。
- ④ 配管類

既存配水管と相当又は同等以上の性能を有するパイプを使用することとする。

表-5.1.2-1 トンネル設備・施設の再利用の可能性の評価

設備名	評価	
1. 排気ダクト部 1) 天井板 2) 排気口カバー 3) 吊り金具 4) 支持フレーム 5) 風漏れ防止板 6) 中央部隔壁板	更 新 再 利 用 再 利 用 更 新 更 新 更 新	<ul style="list-style-type: none"> ・トンネル断面が小さくなるので寸法の調整をする必要があることから再利用できないものと判断して、構造は経済性、施工性を考慮し、既存のと同じプレキャスト板（厚さt=85mm）とした。 ・5),6)の材料は耐火性より問題があり、更新するものとした。また、4)は5)との関係もあり、効率的な支持方式に変更した。 ・天井部の空間がせまくなるので、維持管理の容易な点検車を設置する。
2. 内装板	更 新	<ul style="list-style-type: none"> ・既設の材質は、耐火性がないので、防災面上から再利用できないものと判断し、耐火性があり、かつ、実績が多く、経済的である、無機質塗装硬質けいカル板（石綿スレート板）とした。
3. 歩廊部 1) 鋼フレーム 2) デッキプレート 3) 前面パネル	更 新 再 利 用 再 利 用	<ul style="list-style-type: none"> ・歩廊構造は、配線および維持管理の作業性を考慮して、図-1に示すように現在の構造と同じ型式とした。ただし、プラスチック板は耐久性がないので、亜鉛メッキ鋼板に更新した。 ・歩廊下部排水パイプ（200φ）は、設置スペースが確保できないので送気ダクトに移動した。 ・ケーブルトレイ幅は、現行の幅を確保することとした。
4. 配管類 1) ポンプ排水管 2) 雨水排水パイプ 3) 換気パイプ 4) 消火用給水パイプ	更 新 更 新 更 新 再 利 用	<ul style="list-style-type: none"> ・配管類は塩化物により内面が腐食していることが予想されること、ならびに寸法が変更になるので、再利用は不可能であり、更新するものとした。ただし淡水用の配管4)は再利用を前提としている。
5. 測定器 CO計器 VI計器	再 利 用 再 利 用	<ul style="list-style-type: none"> ・調整が必要であるが、再利用が可能であると判断した。ただし、配線ケーブルは更新するものとした。
6. 防災、通信設備 1) トンネル照明 2) TVカメラ 3) 消火栓 4) 電 話 5) 無線電話システム	更 新 再 利 用 再 利 用 再 利 用 再 利 用	<ul style="list-style-type: none"> ・トンネル照明は工事中に現設備照明を利用し、改修後は更新するものとした。 ・防災、通信設備の本体は再利用するが、配線ケーブルは更新することにした。
7. 配線ケーブル 1) 歩廊部内 2) 11kvケーブル	更 新 再 利 用	<ul style="list-style-type: none"> ・歩廊下のケーブルは寸法の変化と現状の劣化状況から、再利用は不可能で更新するものとし、11kvケーブルは再利用可能とした。

5-1-3 水道管

(1) トンネル内水道管の仮設・移設計画

本トンネル内関連設備のうちシナイ半島向上水道供給の水道管についての現状は次の通りである。

- ① ダクタイト 500mmφ (ノミナルサイズ : スピゴット型ネオプレンゴム
パッキン継手) 2本

トンネル内約1640m Through Service Duct内2本、
標準断面図 (No AC 8501) に示す通りである。

- ② スエズ運河庁 (Suez Canal Authority, 以下 S. C. A.) の管理範囲は、図-5.1.3-1 に示すように両端バルブピット外壁以内にて、その外側は下記のように住宅・復興省 (Ministry of Housing and Reconstruction 以下 MOHR) の所管。

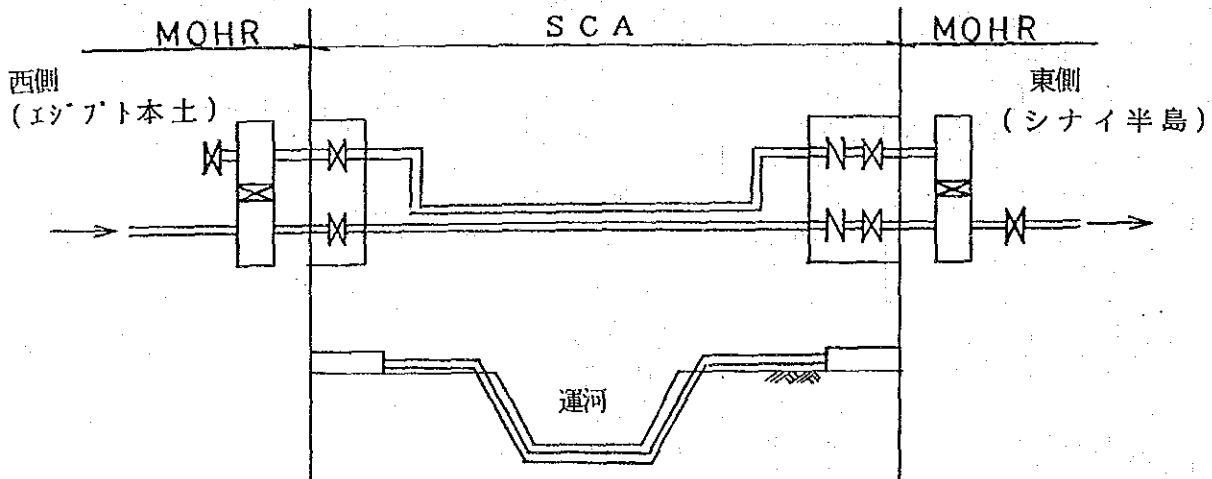


図-5.3.1-1 水道管の配置

③ 水処理ならびに水供給はMOHR所管

④ 水処理能力

現行 150 l/sec (=540m³/hr)

将来 400 l/sec (=1440m³/hr) 現在水処理施設増設中

⑤ 水供給の能力と実態 (現在2本中1本使用中、能力200bar, 800m³/hr)

現行 8bar 夏(5-9月) 324m³/hr、17時間運転 (6:00 ~ 23:00)

夏はシナイ半島南部の観光地等の需要が増加する。

(配水池能力との見合いによる。)

冬(10-4月) 324m³/hr、10時間運転 (6:00~16:00)

⑥ トンネル内の管移設またはトンネル外への持ち出し作業に関連した確認

・特別な国会法令の有無 -----なし

・特別な指定(認定)業者制度の有無-----なし

⑦ 既設管の仕様、規格、メーカーについて

・仕様、規格レベル BS4772 Class k9 (500NID, 25bar PN)

・メーカー、国名 STANTON PLC, イギリス

⑧ トンネル改修に伴う将来の管理に対する予測、改修中の需要増対策も考慮して向こう5年間(1996年末)までの増は2倍以内と考える。(MOHR)

従って、500mmφは能力800m³/hrにて現行の324m³/hrに対し、約2.5倍(=300/324)であり、現状のまま十分である。

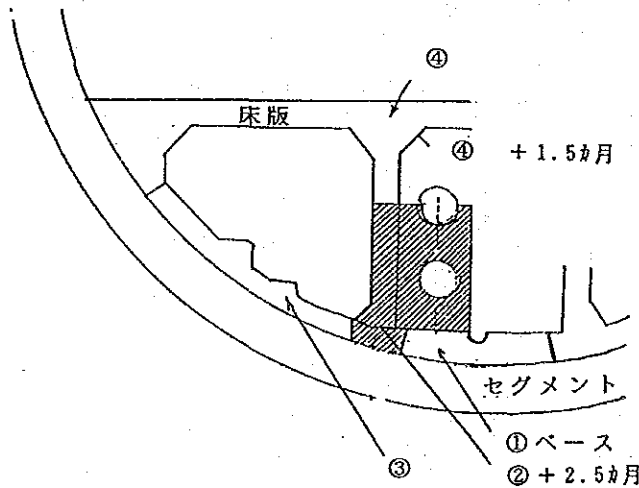
しかしながら、イスマイリア県知事 Dr. Gowelyによるとシナイ半島は将来大規模農業開発を重点的に実施していくことを表明している。これは、急激な農業人口の増加を招くことにもなる。従って、シナイ半島への飲料水の供給は非常に重要な課題である。(付属資料集参照)

2) 水道管コンクリート巻建て案

本案は水道管を移設する必要がない利点を有するが、次に示す問題点・課題がある。

- イ) 工程 : ②の壁打ち工程が増える。
- ロ) 作業スペースがなくなり、次の5点が追加課題となる。
- ・カントリークレーンの長足レールのためのスペースがなく、南側スラブを利用することとなる。
 - ・共同溝内の作業場がほとんどなく、資機材置き場、資機材の持ち込み・管理について詳細な計画および実行の配慮が必要である。
 - ・安全管理についても詳細な計画および実行の配慮が必要である。
 - ・床版は片側施工となるので床版のつなぎ鉄筋はカプラーに切り替える。
 - ・床版④の型枠に手間と資材増および工程の追加が生じる。
- ハ) 継手部の漏水等に対する維持管理が困難である。(日本では陸上部は水道管を保護する為に、コンクリート巻建てを行うが河川横断の場合にはコンクリート巻建てをせず、監査通路を設けている。)

- 1 壁打ち工程が増える (S. + 2.5ヵ月、N. + 2.5ヵ月)
- 2 道路床版④部工程が増える (S. + 1.5ヵ月、N. + 0.5~1.5ヵ月)



ガントリークレーン上を材料の1ロット分の置場

図-5.1.3-2 コンクリート巻建て案の工期増の内訳 (D-3案に対して)

3) 伏越管

仮設管は、図-5.1.3-3 に示す通りスエズ運河伏越（サイフォン）管を含む約3200mを敷設する。仮設管に上水道供給を切り替えることにより共同溝内の2本の水道間を一時取り外し、仮置きすることによりトンネル改修工事の全面的作業推進を可能にする。

水道間運河伏越管仮設案の概略を図-5.1.3-3 に示す。規模・施工法については以下の通りである。

- ・管路延長 : 3200m
 - ・運河部 : 350m (鋼管 500φ x 12.7mm/コンクリート約5cm)

 - ・陸路部 : 2850m (ダクタイル鋳鉄管)
 - ・調査事項 : 地形、地質、土被、護岸構造、浚渫関係
 - ・施工法
-
- 運河部 : ボトムプル工法
 - ・工期 約7ヶ月
(製造4ヶ月、輸送1.5ヶ月、コンクリート巻1.5ヶ月、段取り(併行)5ヶ月、敷設等約14日)
 - 陸上部 : 工期はトンネルのベースコンクリート打設開始までに完了しておく。
-
- ・工期 : D-3案の33ヶ月に対し、運河部、陸上部共に*印の7ヶ月を遵守することにより工期のプラス要素はない。

(2) トンネル改修に伴う水道管の取扱いに対する検討

1) D-3案の見直し (派遣専門家報告書 (1990年5月))

S. C. A. の要請を基にD-1, D-2案の改修計画に対し、D-3案が追加された。

D-3案は次の設計方針に基づき作成されたものであり、派遣専門家報告書 (1990年5月) の '10, SUPPLEMENTAL STUDIES' にその詳細が述べられている。

- ・全面二次ライニング改修
- ・道路交通を遮断しない

このD-3案は、「2本の水道管のうち、未使用管1本を同一共同溝内に置いて、北側から南側に移設のうえ仮設として切り替え使用する。既使用管は一時本工事遂行のため取り外し、仮置きしておく。」というのが骨子であった。

今回、このD-3案計画を再検討の結果、次の問題点があり、実施は困難であると判断する。

- ① 工期 : 最低8カ月工期延長となる。(33+8=41ヶ月)
- ② 工事機関をとおり、トンネル内での小工区毎に車道、設備等のもり替えすることになり、トンネル内水漏れ対策、資機材搬入対策、交通路対策、安全対策等、不確定要素が多すぎる。また、必要推量の確保も難しく、排水される水処理にはトンネル最下部排水ピット (ナディアサンプタンク : 30m³) は小さすぎる。

そのため、次の2つの代案を立案した。

- ① 現在位置のまま水道管コンクリート巻建て案とする。
- ② 仮設管1本をトンネル外に敷設する。 : 伏越管仮設案

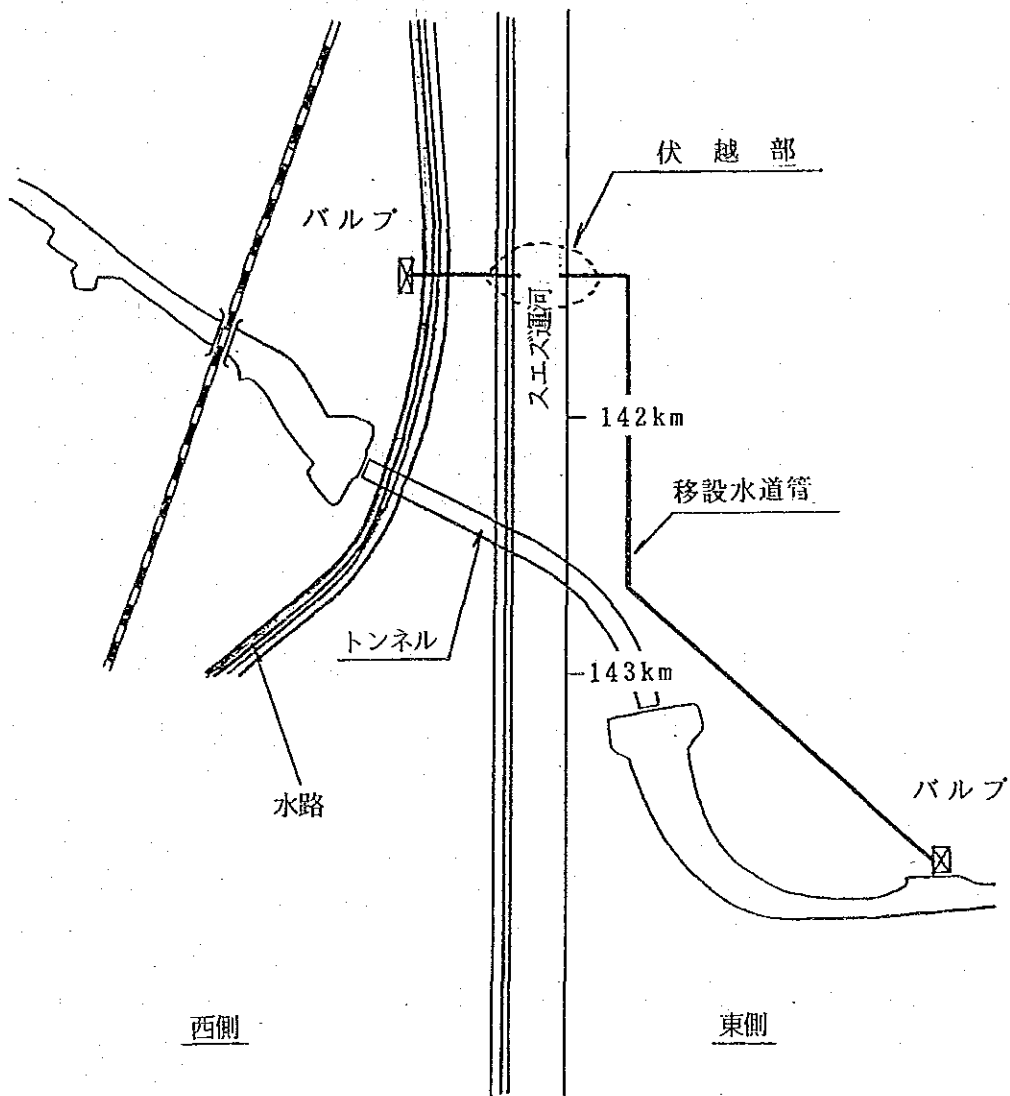


図-5.1.3-3 水道管伏越移設案の概略

(3) コンクリート巻建て案と伏越管仮設案との比較

2つの案の概要と施工性、工期の確保および経済性に関する比較を表-5.3.1-1に示す。

この内容を総合して、伏越管仮設案が良いと判断する。

この他、自動車等をフェリーを用いて輸送し、全面交通ストップする案も考えられるが、床版の施工における養成が必要になり工期短縮の大幅なメリットがないので対象外とした。

(4) 水道管の移設計画

前項にてトンネル内水道管のトンネル改修時の取扱いを検討し、図-5.3.1-3に示すような「スエズ運河伏越(サイフォン)管を含むルート」が施工性、工期の確保および経済性から望ましいと結論づけられた。

これ加えてS.C.A.からの改修後トンネルの保守の作業性ならびに安全性から、トンネル改修時の仮設のみならず、このルートを水道管移設計画として取り込んで欲しいという希望を要請された。

この要請については、再度トンネル改修全体の内容について次の検討をかさねた。すなわち、「スエズ運河伏越管を含むルート」について次のA, B 2案を比較検討シール材、これを表-5.3.1-2に示す。

- A. 仮設案 : トンネル外1本敷設、トンネル改修後トンネル内2本敷設(現形復旧)
- B. 移設案 : トンネル外2本敷設(うち2本目はトンネル内からの撤去管を充当)

これらの検討結果は、基本的に記述の表-5.3.1-1に示した比較内容にも一致する。

従って、「スエズ運河伏越管横断を含むトンネル外ルート」はトンネル改修の施工性・安全性、個うっきの確保ならびに経済性からみて優位性のあることから、個のS.C.A.の要請を受け入れることとし、S.C.A.管理範囲の水道管(図-5.3.1-1)は図-5.3.1-3に示すルートに「水道管の移設計画」として、2本敷設することとした。

表-5.1.3-1 コンクリート巻建て案と伏越し管案の比較

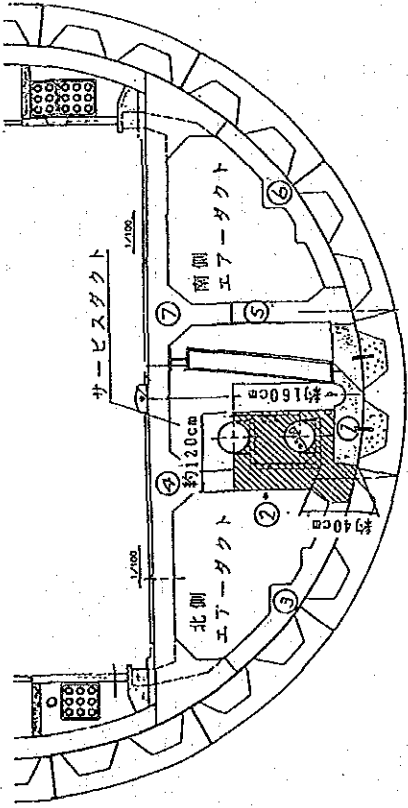
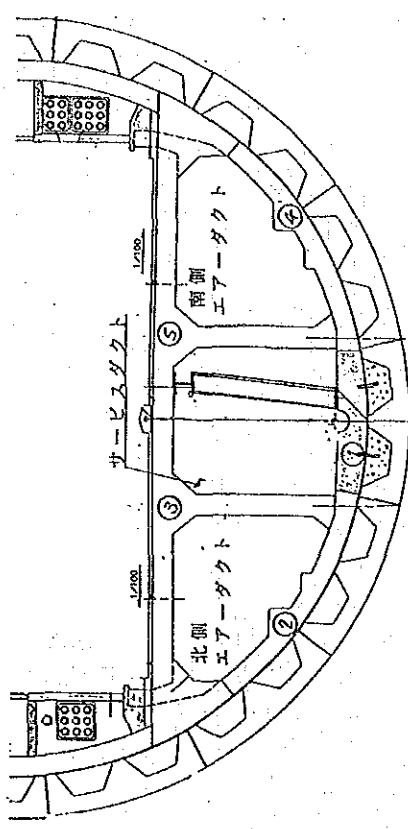
	コンクリート巻建て案 (7ステップ)	伏越し管仮設案 (5ステップ)
<p>施工概要図</p> 		
<p>施工手順</p>	<p>① インバート床版を敷いた後、底版コンクリートを打設する。 ② 北側壁を敷いた後、ト御壁部、および水道管巻建て部のコンクリートを打設する。 ③ 北側壁を敷いた後、送気ダクト底部コンクリートを打設する。 ④ 北側壁を敷いた後、コンクリート御壁部のコンクリートを打設する。 ⑤ 南側壁を敷いた後、サービスダクトのコンクリートを打設する。 ⑥ 南側壁を敷いた後、送気ダクト底部コンクリートを打設する。 ⑦ 南側壁を敷いた後、サービスダクトのコンクリートを打設する。</p>	<p>① 既設水道管を撤去した後、インバート部分の防水シートを布設し、底版コンクリートを打設する。 ② 北側壁を敷いた後、北側送気ダクト部分の防水シートを布設し、底部コンクリートを打設する。 ③ 北側壁を敷いた後、および床版コンクリート部分を打設する。 ④ 北側壁を敷いた後、南側送気ダクト部分の防水シートを布設し、底部コンクリートを打設する。 ⑤ 南側壁を敷いた後、および床版コンクリート部分を打設する。</p>
<p>施工性</p>	<p>① 水道管下の防水シートの施工性が悪いため、作業に多くの時間を要する。 ② 水道管の支保が狭いため、多くの施工期間を要する。 ③ 水道管の施工期間が増えるため、合計5ヶ月が、エアダクト側とサービスダクト側が合わないため、工期が合計3ヶ月延びる。</p>	<p>① トンネル内水道管の撤去、保管、設置が必要となる。(費用1億円程度) 水道管の引き抜き、運搬作業において損傷する可能性がある。</p>
<p>工期</p>	<p>4 1 カ月</p>	<p>3 3 カ月</p>
<p>工費</p>	<p>—</p>	<p>コンクリート巻建て案に比べて若干高い。</p>
<p>備考</p>	<p>クレーンで型枠移動するために設備と時間が増える。 *1)特に、横断方向のシート接合が不完全になり易い。</p>	<p>型枠移動は、レール式(自走式)で行う。 型枠の継手は、引き抜き可能であるが、引き抜き時、運搬時の損傷を見込んで計算する必要がある。</p>

表-5.1.3-2 A. 仮設案とB. 移設案の比較

	A. 仮設案	B. 移設案	備考
内 容	トンネル外1本布設, トンネル改修後トンネル内2本布設(現形復旧)	トンネル外2本布設(うち2本目はトンネル内からの撤去管を充当)	
施工手順	<ul style="list-style-type: none"> トンネル外1本布設 同上通水後、トンネル内2本の铸铁管撤去, 保管 トンネル改修工事本確化 トンネル床版改修後2本の铸铁管布設(現形復旧) 同上1本目完成通水後、仮設管の撤去開始 	<ul style="list-style-type: none"> トンネル外1本布設 同上通水後、トンネル内2本の铸铁管撤去, トンネル外2本目布設(撤去管使用) トンネル改修工事工確化 	<ul style="list-style-type: none"> A, B 共通
施工性 安全性	<ul style="list-style-type: none"> 1本目布設は仮設管 トンネル内改修工事は表-5.1.1に示すとおり、既設管撤去後、下部覆工床版の本確着手となる 床版改修後、撤去・品質確認・保管中の铸铁管をより狭くなったトンネル内に再搬入し据付ける 伏越管, 水管橋はそれぞれ1本 	<ul style="list-style-type: none"> 1本目布設は移設1本目 トンネル内改修工事は表-5.1.1に示すとおり、既設管撤去後、下部覆工床版の本確着手となる 撤去管は、品質確認の後、2本目の布設に使用する 1本目同様より安全な施工 伏越管, 水管橋はそれぞれ2本同時連続施工 	<ul style="list-style-type: none"> A, B 共通 A, B 共通 <p style="text-align: center;"><u>A << B</u></p> <ul style="list-style-type: none"> A, B 共通
工期確保	<ul style="list-style-type: none"> 全工程 : 35ヶ月 水道管累計工程: 10ヶ月 1本目布設 : 2.5ヶ月 撤去 : 3.0ヶ月 トンネル内再布設: 4.5ヶ月 1本目布設2.5ヶ月はクリティカル トンネル内再布設はより狭くなった場所内のため時間がかかるが、改修工事のクリティカルパスにはならない 	<ul style="list-style-type: none"> 全工程 : 35ヶ月 水道管工程 : 6ヶ月 1本目布設 : 2.5ヶ月 撤去および2本目布設 : 3.5ヶ月 1本目布設2.5ヶ月はクリティカル 	<ul style="list-style-type: none"> 表-5.1.1の33ヶ月が35ヶ月になったのは別作業要素による <p style="text-align: center;"><u>A < B</u></p>
工 費	<ul style="list-style-type: none"> 1本目(仮設) <ul style="list-style-type: none"> 铸铁管 ○ 伏越管 ○ 水管橋 ○ 2本目 <ul style="list-style-type: none"> トンネル内再付設 ◎ 铸铁管 - 伏越管 - 水管橋 - 仮設管撤去 ○ 	<ul style="list-style-type: none"> 1本目 <ul style="list-style-type: none"> 铸铁管 ○ 伏越管 ○ 水管橋 ○ 2本目 <ul style="list-style-type: none"> 撤去管布設 ○ *材料費が中心 ○ 工事費増は小 ○ 	<ul style="list-style-type: none"> A, B 共通 工費経済性 <ul style="list-style-type: none"> A < B A > B* A > B* A < B
維持管理	<ul style="list-style-type: none"> 定期的な点検が必要となる 	<ul style="list-style-type: none"> 定期点検は水管橋のみ 	<ul style="list-style-type: none"> A < B
総合評価	A < B		

5-2. トンネル改修の基本設計

5-2-1. トンネル構造

(1) 覆工

本トンネルの覆工体の設計において考慮すべき荷重として、次のものが挙げられる。

- a. 土圧
- b. 水圧
- c. 自重
- d. 浮力
- e. 運河拡張工事による地盤変位
- f. 地震荷重
- g. その他（運行船舶の影響）

このうち、一般的な設計条件として、a, b, c, があげられる。

また、本設計特有の条件として、将来の運河拡張時において、土被りの減少に対してd、周辺地盤の変位に対してeがあげられ、さらにトンネル近傍における地震データに基づきf、運河航行船舶による影響（投錨、座礁）からgがあげられる。

これらの荷重のうち、a, d, e, fを正確に評価するためには、土質条件、施工条件の他に覆工と地盤の相互作用を考慮する必要がある。しかしながら、現状においては、それらの評価手法が確立されていない。

したがって、本基本設計においては、現状で考えられる全ての手法を用いて解析し、覆工の安全性を確認することとした。

本トンネル覆工設計の解析概要を、図-5.2.1(1)-1に示す。

なお、以下には、これらの設計手法、設計条件、および設計結果の要約を示すのみとし、これらについての詳細は、付属資料-5に示す。

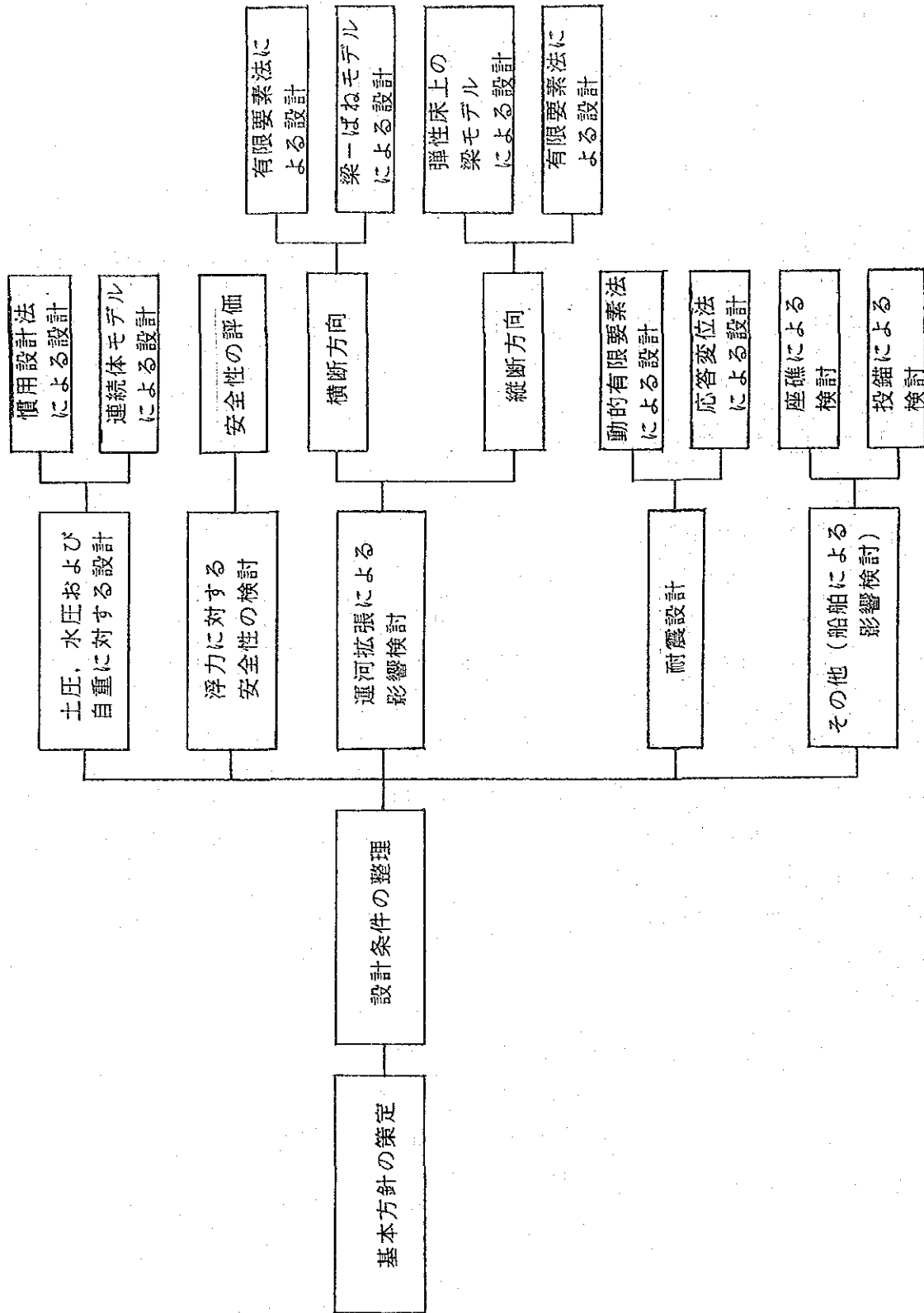


図-5.2.1(1)-1 トンネル覆工設計の解析概要

1) 安全性の照査方法

トンネル覆工の安全性の照査方法は、許容応力度設計法と限界状態設計法があるが、本設計では以下のように適用することを考える。

- ・許容応力度設計法 ----- 通常の状況における設計条件*1)に対して適用する。
- ・限界状態設計法 ----- 極めて特殊な状況*2)や、最も厳しい設計条件に対して適用する。
(終局限界状態)

これらにより、本トンネルは最悪でも破壊しないように設計できる。

- *1) このトンネルは排水トンネルであるため、通状の状況として、覆工に対し、土圧および自重が作用するものとした。
- *2) トンネルの排水機構が万一機能しない場合、極めて特殊な状況として、覆工に対し、土圧および自重に加えて、水圧が作用するものとした。

2) 覆工の厚さならびに鉄筋量

設計に用いる覆工厚は、図-5.2.1(1)-2 に示すように、現状のトンネルの変形状態を考慮して、施工厚450mm、設計厚400mm とする。

基本的な鉄筋量として、横断方向鉄筋は、図-5.2.1(1)-3 に示すように D22ctc200 とする。

また、縦断方向鉄筋は、D19ctc200とする。

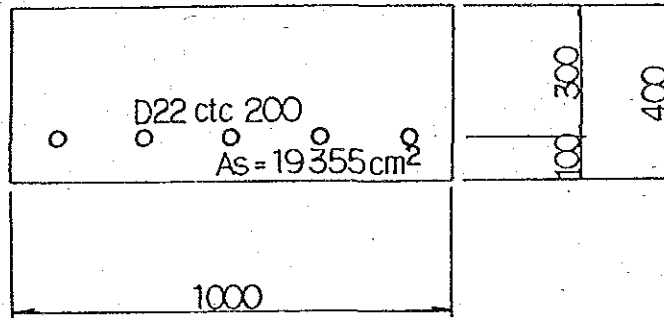
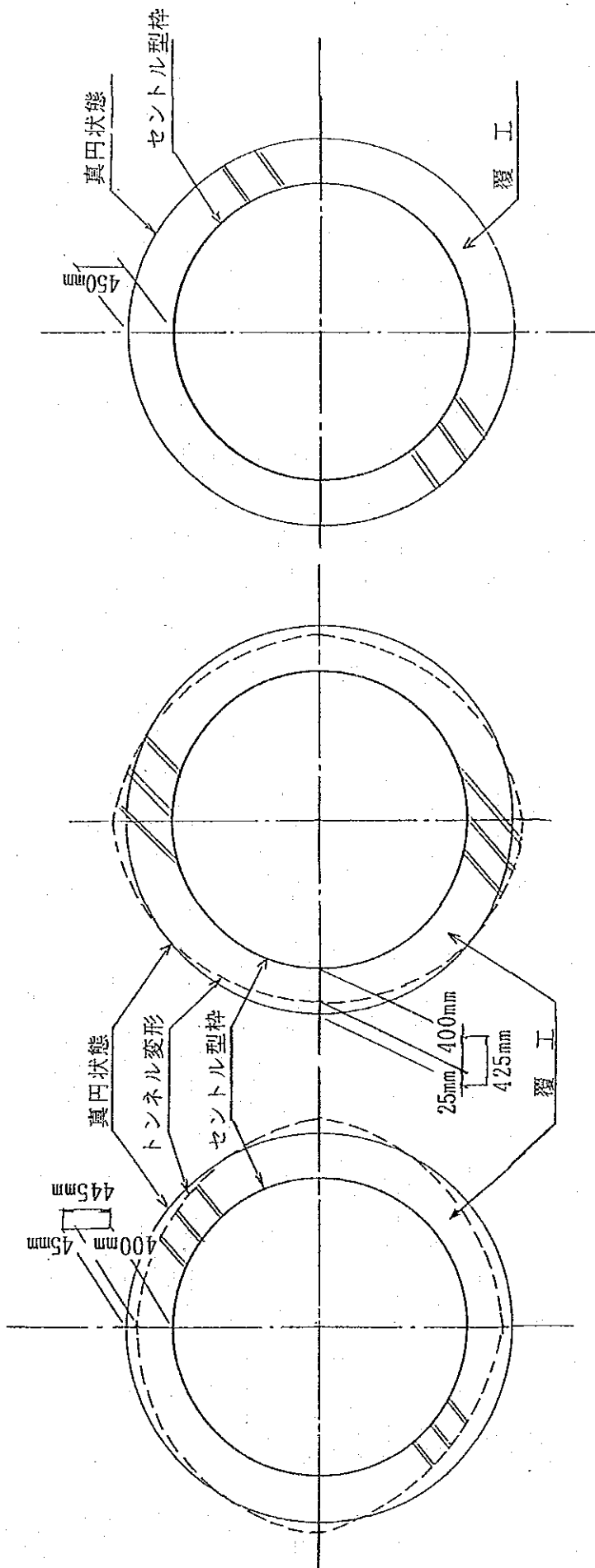


図-5.2.1(1)-3 覆工の断面条件



(a) 横長変形の場合

(b) 縦長変形の場合

(c) 真円の場合

※測量結果によるトンネル変形モード

図-5.2.1(1)-2 施工性から必要となる覆工厚

3) 設計結果

①土圧、水圧、および自重に対する設計

考えられる荷重条件に対して、図-5.2.1(1)-4 に示す慣用設計法に基づく計算モデルを用いて設計した結果を、図-5.2.1(1)-5 に示す。これより本トンネル覆工は、安全であることが確認できる。

また、覆工に土圧・水圧が作用した場合、覆工と地盤が一体として挙動したものととして、図-5.2.1(1)-6 に示す連続体モデルを用いて設計した結果を図-5.2.1(1)-7 に示す。

このモデルによる安全性の照査方法は、前項1) 安全性の照査方法に示す、限界状態設計法が用いられ、これによると、図-5.2.1(1)-7 に示すとおり、安全であることが確認できる。

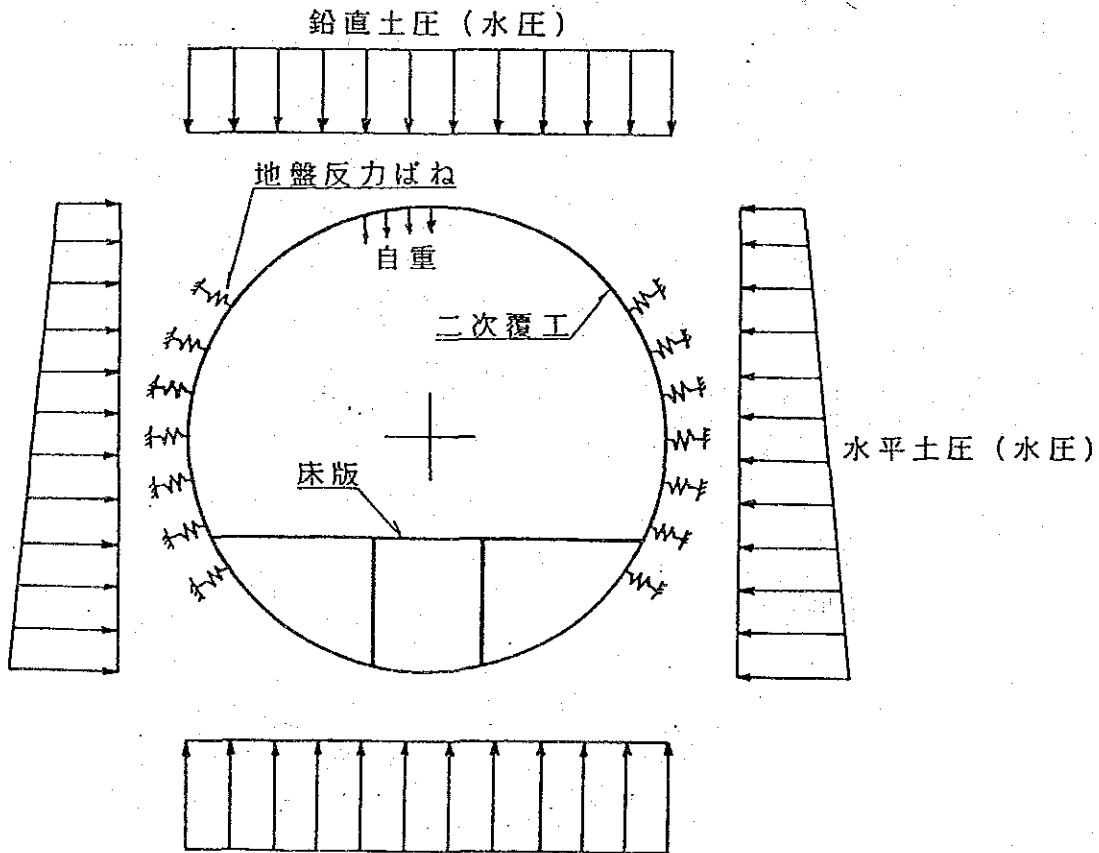


図-5.2.1(1)-4 慣用設計法による解析モデル

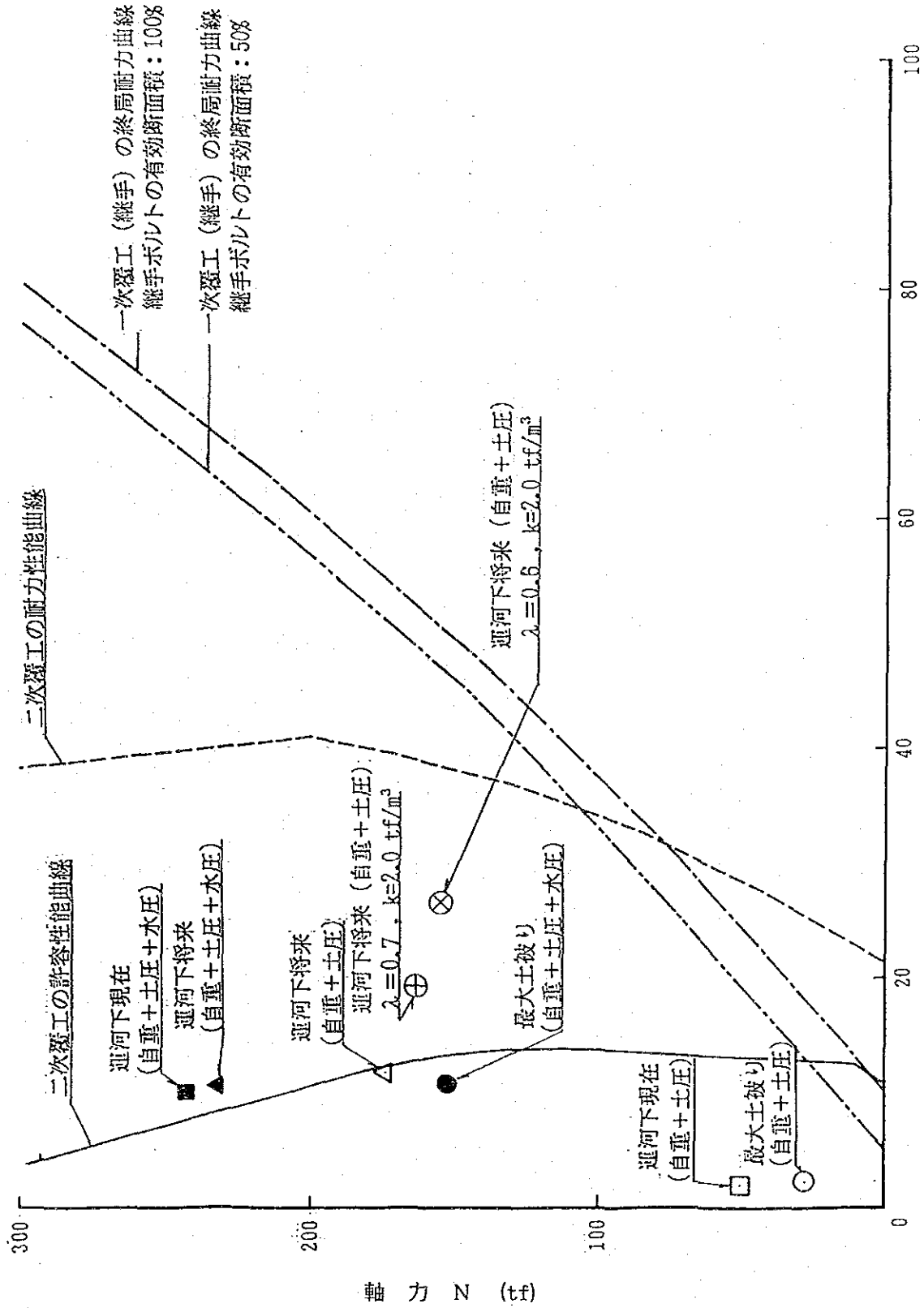
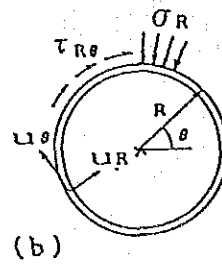
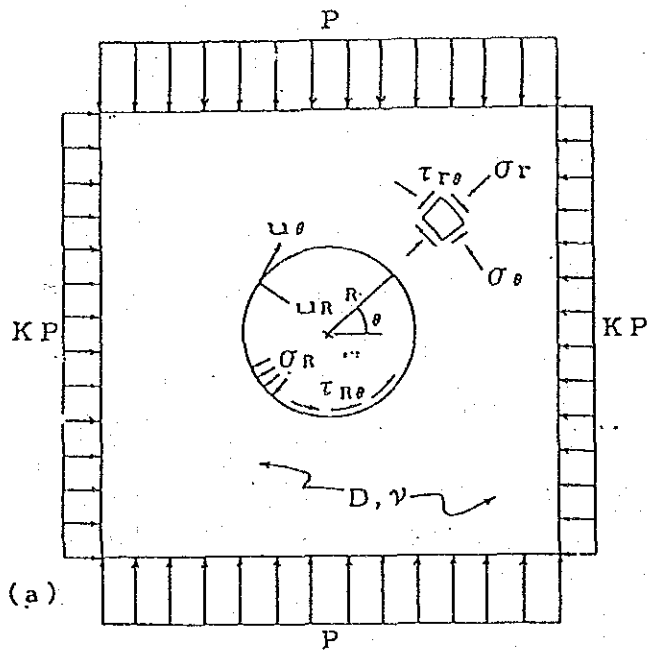


図-5.2.1(1)-5 慣用設計法による計算結果および安全性の照査



- P : 鉛直荷重
 KP : 水平荷重 (K : 側圧係数)
 σ_R, σ_θ : トンネル壁面の地山応力
 U_R, U_θ : トンネル壁面の地山変位
 $\tau_{R\theta}$: トンネル壁面のせん断応力

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-5.2.1(1)-6 連続体モデル

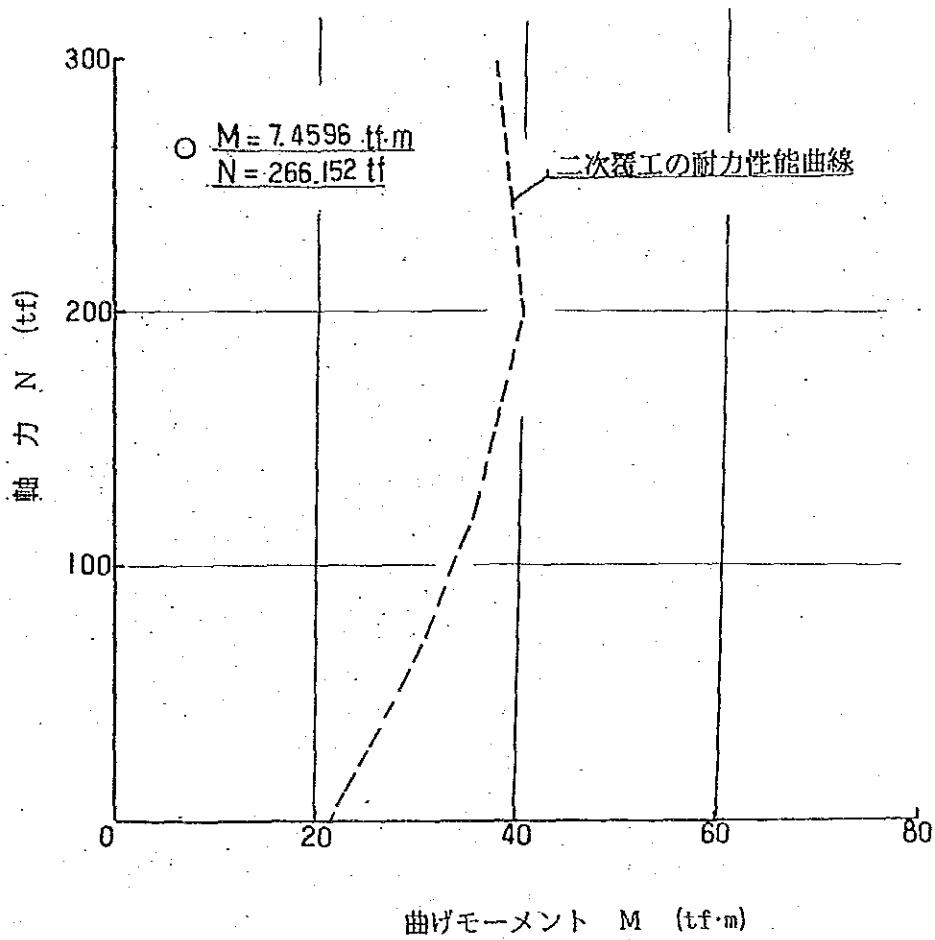


図-5. 2. 1 (1) -7 連続体モデルによる計算結果および安全性の照査

②浮力に対する安定性

本トンネルは排水トンネルであるため、理論上の浮力が100%作用することは考え難い。しかしながら本検討では、確実に安全を確保するため、ここでは理論上の浮力が100%トンネル本体に作用するものとして設計した。

シールドトンネルの安定を検討するため、図-5.2.1(1)-8 に示すとおり、トンネル本体に作用する浮力 (F) に対し、上載地山の重量 (P) およびトンネル自重 (W₁:セグメントリング, W₂:覆工) に加えて、土被り部分のせん断抵抗力 (S) についても考慮し、この関係から安全率を求めると下記のとおりになる。

$$\alpha = \frac{W_1 + W_2 + 2S + P}{F}$$

- ここに
- α : 安全率
 - W₁ : セグメントリングの重量
 - W₂ : 覆工の重量
 - P : 上載地山の重量
 - S : 土のせん断抵抗力

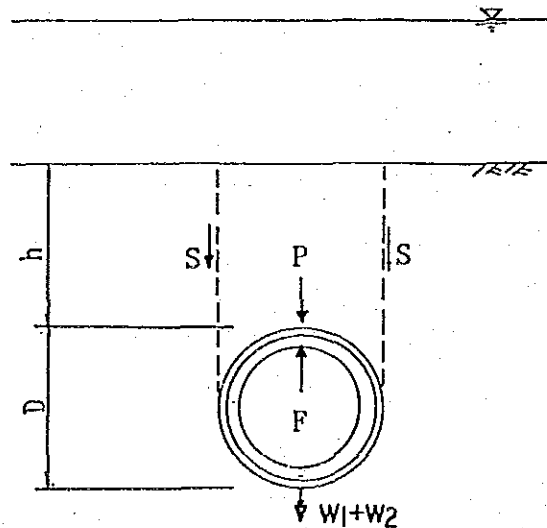


図-5.2.1(1)-8 トンネルに作用する浮力と抵抗力の関係

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率を計算すると、α=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

a. 横断方向

運河拡張の影響に対しては、拡深-27.0mの状態がトンネルに対し最も厳しい条件になる。

ここでは、図-5.2.1(1)-9 に示す有限要素法と、図-5.2.1(1)-10 に示すようにセグメントと覆工を梁で評価した2層リングモデルを用いて、安全性を照査した。

有限要素法によると、トンネル周辺地盤の浮き上がり量は、図-5.2.1(1)-11 に示すとおり、200mm程度と推定され、応力度算定結果を表-5.2.1(1)-1 に示す。この結果、発生応力度はいずれも許容応力度内に入り、安全であることが確認できる。

2層リングモデルによると、図-5.2.1(1)-12 に示すようにセグメントリングと覆工の間に厚さ14mmのfleeceを設置して、地盤変位にともなうセグメントの変形を吸収すれば、十分対応できる。

表-5.2.1(1)-1 有限要素法による計算結果および応力度算定結果

	σ_c	σ_{ca}	σ_s	σ_{sa}
常時 ^{*1)}	46.0	90.0	104.4	2100.0
異常時 ^{*2)}	46.6	135.0	1017.6	3150.0

(単位 : kgf/cm²)

σ_c : コンクリートの発生応力度

σ_{ca} : コンクリートの許容応力度

σ_s : 鉄筋の発生応力度

σ_{sa} : 鉄筋の許容応力度

*1) 常時 : 現在荷重による断面力+掘削により生じる断面力

*2) 異常時 : 掘削により生じる断面力のみ

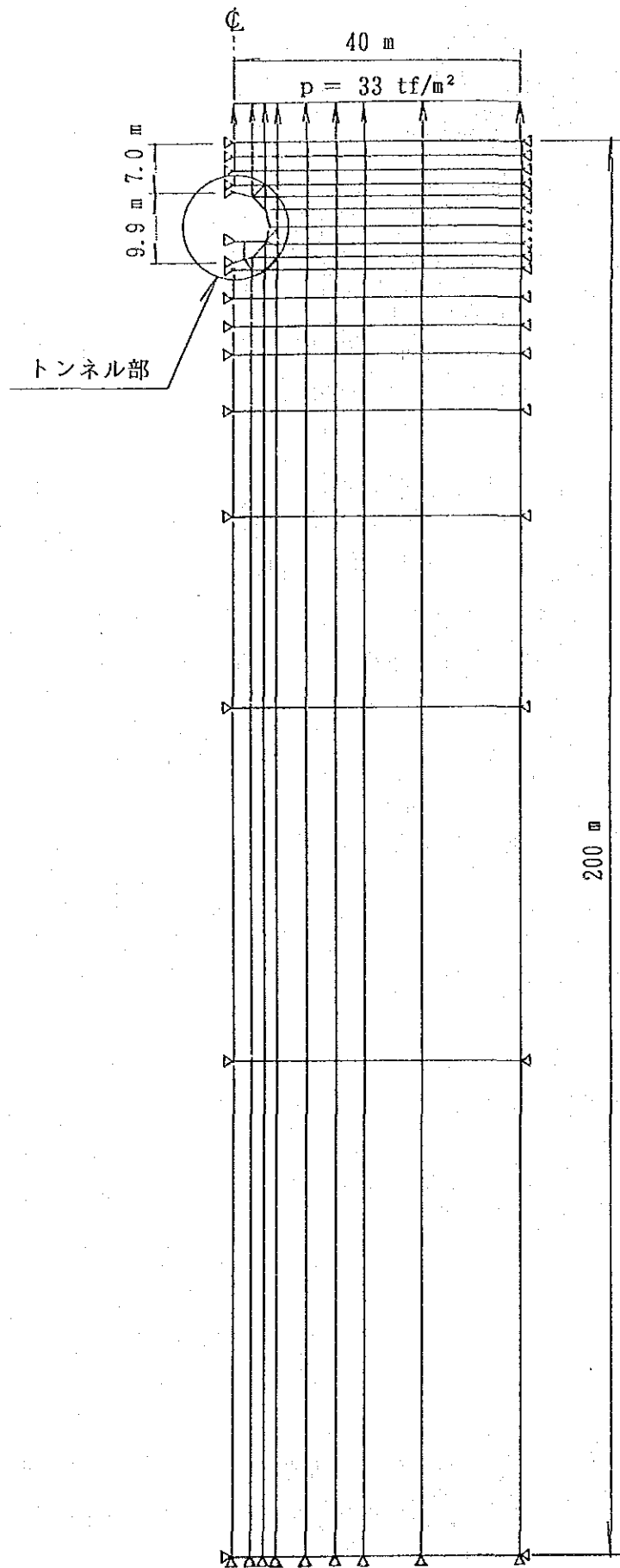
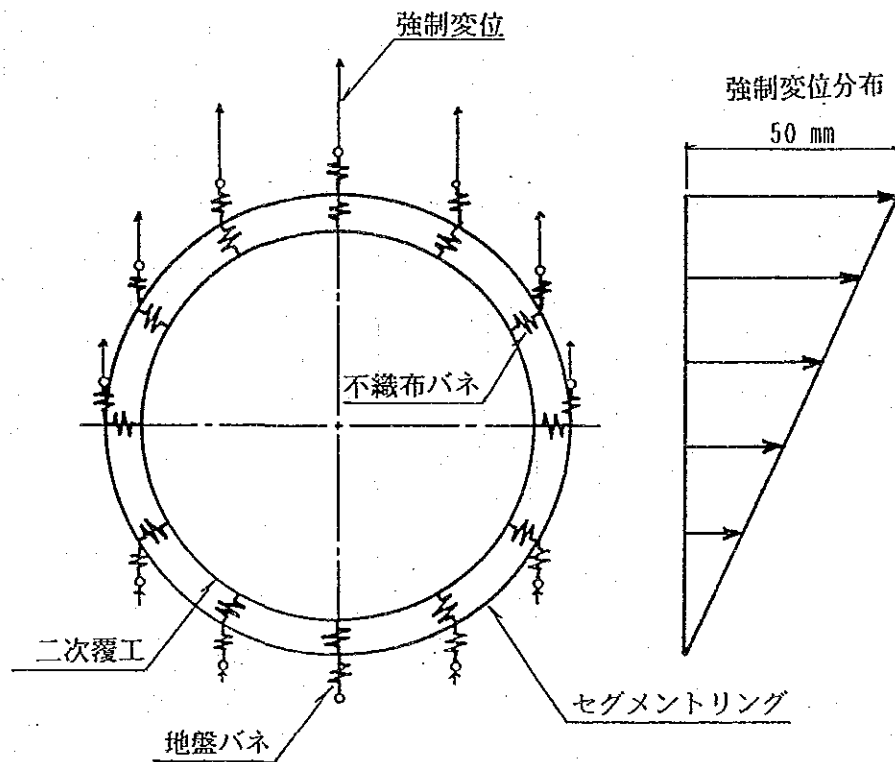


図-5.2.1(1)-9 有限要素法による解析モデル



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-5.2.1(1)-10 2層リングモデル

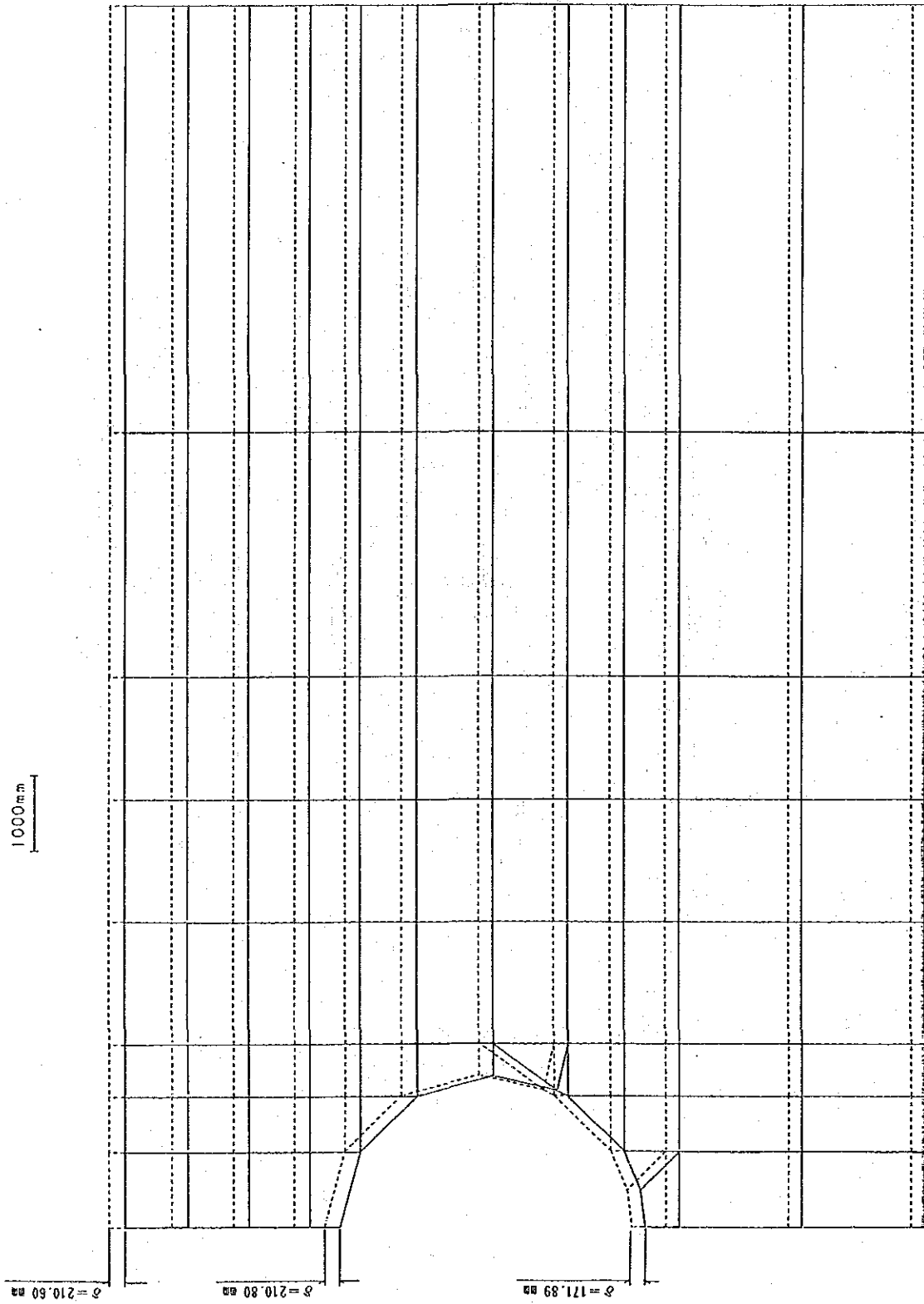


図-5.2.1(1)-11 有限要素法による地盤変位

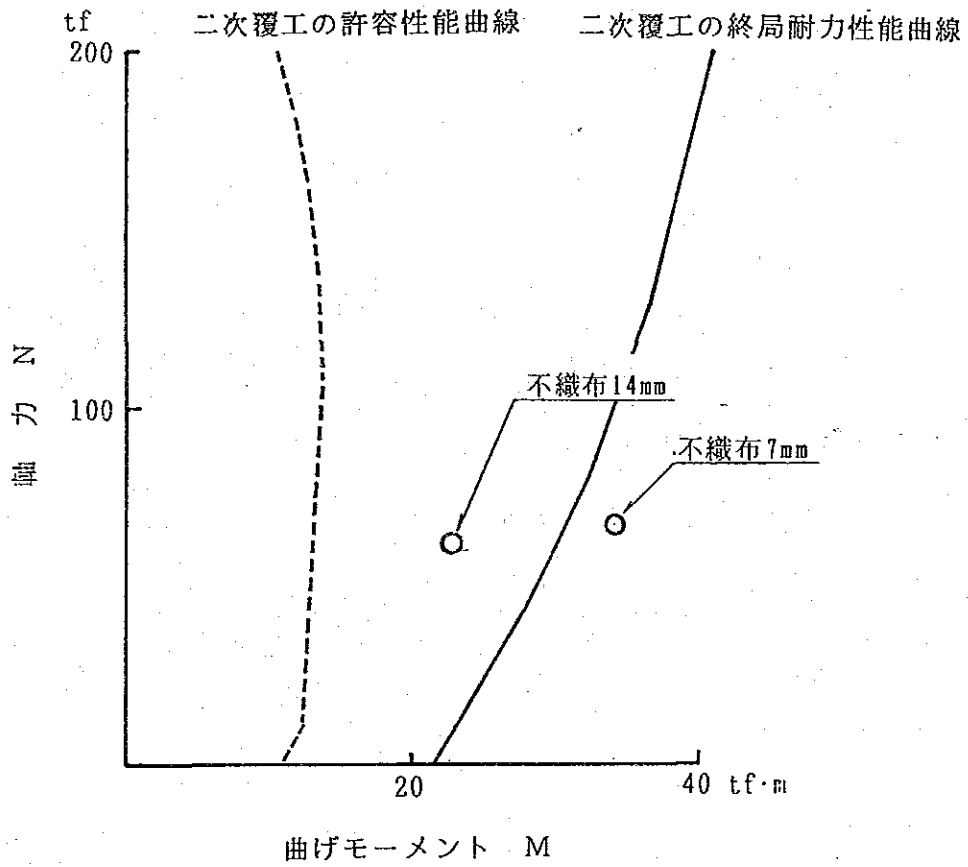


図-5.2.1(1)-12 2層リングによる計算結果および安全性の照査

b. 縦断方向

運河が拡張されれば、トンネルの縦断方向には、図-5.2.1(1)-13 に示されるように作用荷重が変化する。

これに対しても、図-5.2.1(1)-14 に示す弾性床上の梁モデルと、図-5.2.1(1)-15 に示す有限要素法を用いて安全性を照査した。

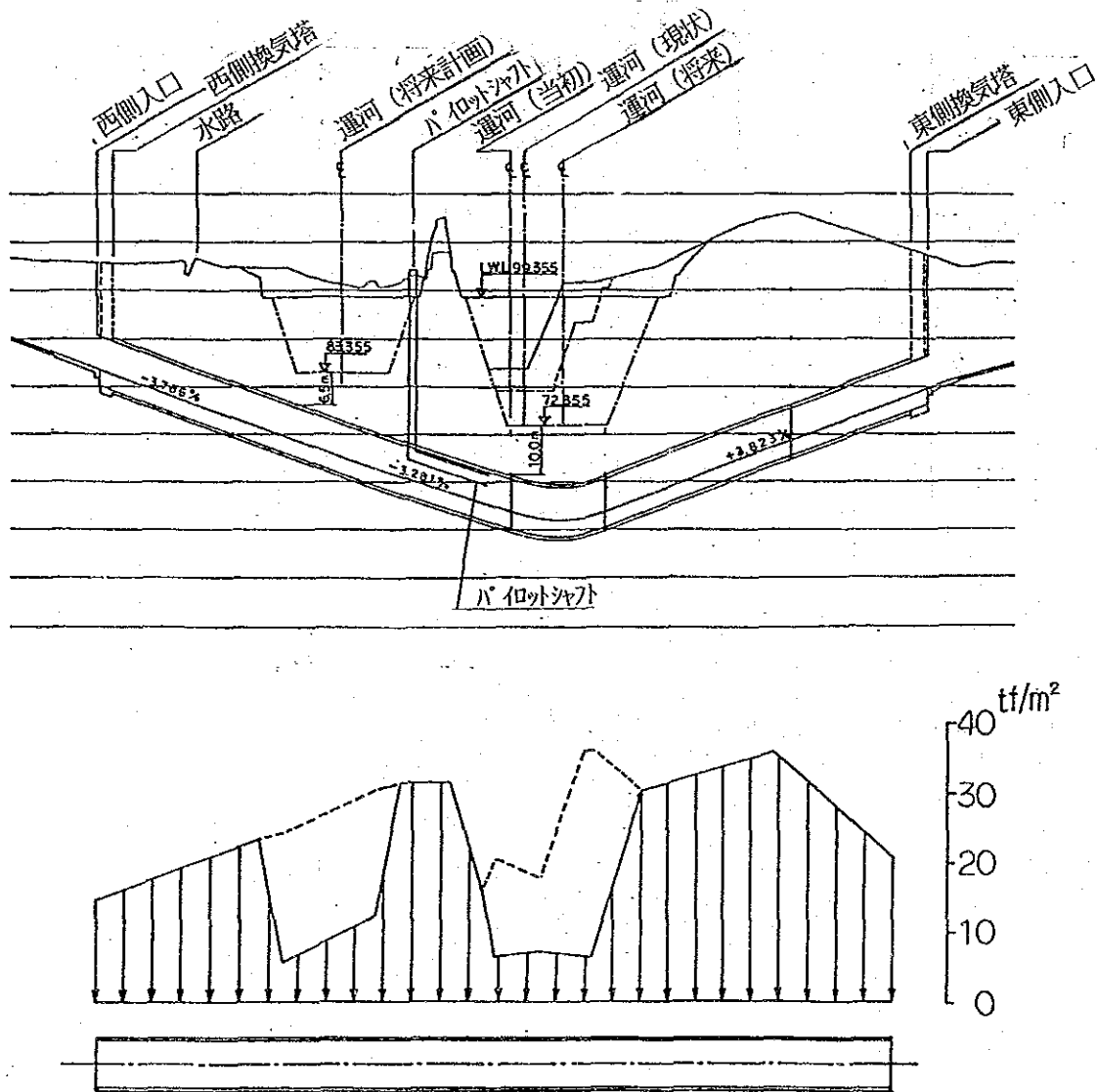


図-5.2.1(1)-13 トンネル縦断方向の鉛直荷重の変化

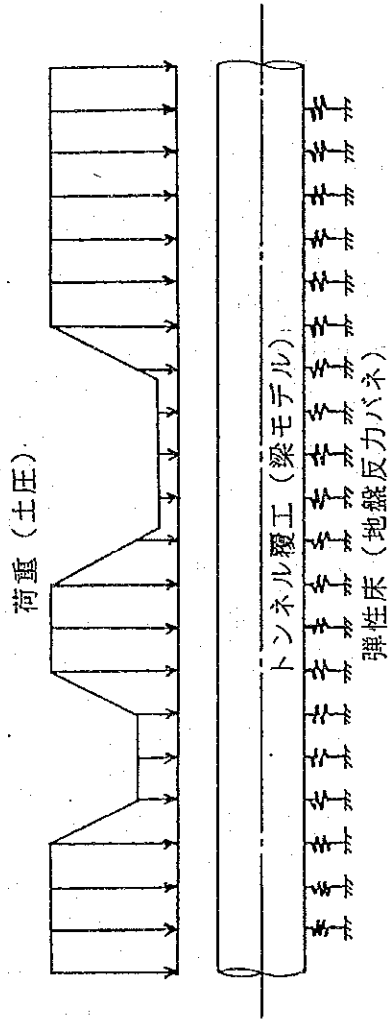


図-5.2.14 弾性床上の梁による解析モデル

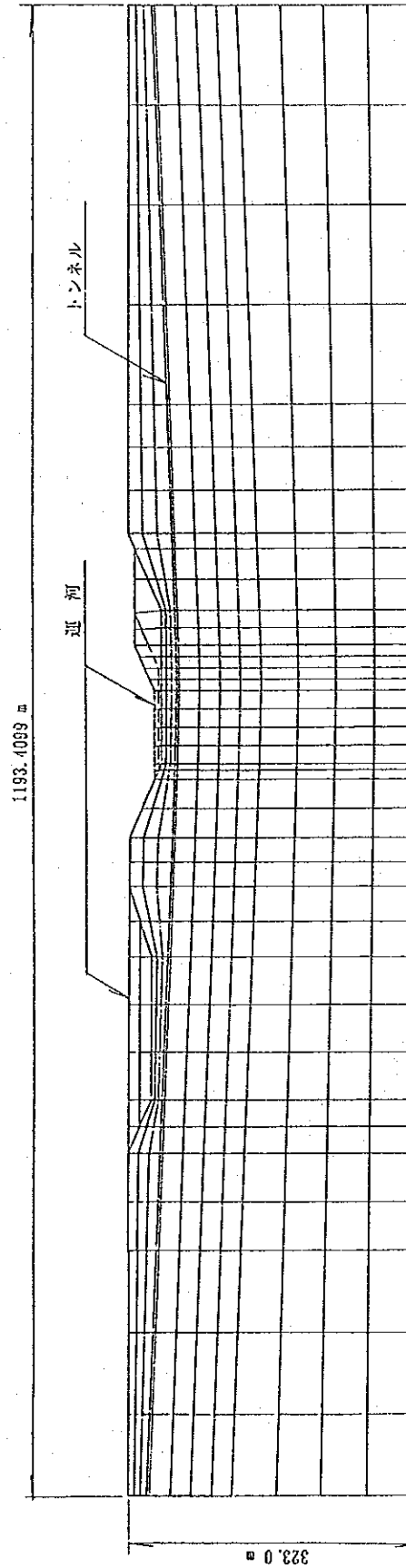


図-5.2.1(1)-15 有限要素法による解析モデル

その結果、弾性床上の梁モデルの場合、表-5.2.1(1)-2 に示すとおり、対策なしで対応できる。

表-5.2.1(1)-2 弾性床上の梁モデルによる計算結果および応力度照査

	σ_c	σ_{ca}	σ_s	σ_{sa}
$k=3000\text{tf/m}^3$	46.0	90.0	104.4	2100.0
$k=2000\text{tf/m}^3$ *1)	46.6	135.0	1017.6	3150.0

(単位：kgf/cm²)

σ_c : コンクリートの発生応力度

σ_{ca} : コンクリートの許容応力度

σ_s : 鉄筋の発生応力度

σ_{sa} : 鉄筋の許容応力度

*1) 地盤反力については、地質調査結果から推定される地盤反力係数 $k=3000\text{t/m}^2$ 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、 $k=2000\text{tf/m}^2$ についても計算した。

また、有限要素法の場合、下記のとおり、鉄筋をダブル（複鉄筋）で配置することで、対応可能になる。

終極耐力 M_{ud} は、

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

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

これに対し、計算結果による曲げモーメント $M = 7910.0 \text{ tf} \cdot \text{m}$ であるから、

単鉄筋の場合： $M > M_{ud}$ ----- 対応不可能

複鉄筋の場合： $M < M_{ud}$ ----- 対応可能

となる。

④地震に対する影響

過去91年間（1990年～1991年）に発生したトンネル近傍の地震記録をプロットすると、図-5.2.1(1)-16 に示す通りとなる。このデータに基づいて設計に作用する解析条件を 統計的に求めると次の値が、100年に一回の確率で起こりうる地震規模となる。

震央距離 : 30km
 マグニチュード : M=7.0
 入力加速度 : $\alpha = 215\text{gal}$

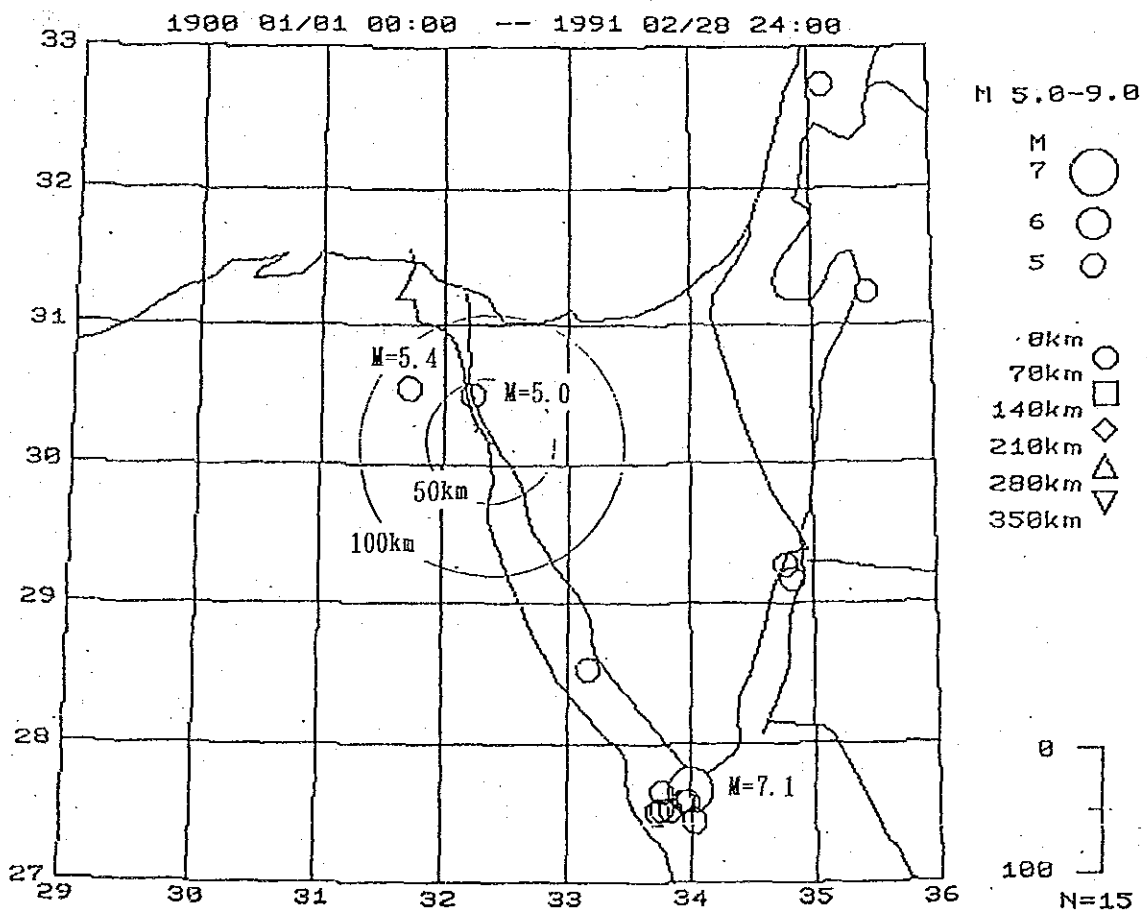


図-5.2.1(1)-16 トンネル近傍における過去の地震記録

解析は、動的有限要素法と応答変位法により行った。

動的有限要素法の解析プログラムのひとつである"FLASH"による計算結果によると、トンネル周辺地盤の最大ひずみ γ_{max} は、

$$\gamma_{max}=4400\sim 4500\mu$$

となる。

この値は、鉄筋の降伏ひずみ 2000μ を越えるので、残留ひずみは残るが、復元限界ひずみ $\epsilon_{sh}=13,000\mu$ 以下であるので、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。

- 計算結果では、コンクリートにひび割れが発生するが、実際に発生したとしても防水シートが配置されているため問題ない。
- セグメントと覆工の間には不織布が配置されており、これによる縁切り効果が期待できることから、地震力は覆工に100%伝達されない。
- したがって、地震に対しては、安全な構造になっている。

また、応答変位法による計算結果によると、下記のとおり、発生曲げモーメント： M は、終局曲げモーメント： M_{ud} に対し、約 $1/3$ 以下であるため、安全であることが確認できる。

$$M=2106 \text{ tf}\cdot\text{m} < M_{ud}=7616 \text{ tf}\cdot\text{m}$$

⑤ 船舶による影響検討

船舶による影響検討として、座礁と投錨に対して行ったが、これらの荷重が作用した場合は、トンネル覆工が破壊する恐れがあるので、運河船舶に対する十分な運行管理が必要である。

4) まとめ

覆工構造に関する検討結果から、以下のことが結論づけられる。

- ① 覆工の断面は、設計覆工厚400mm（打設覆工厚450mm）、D22ctc200の単鉄筋とした。
この断面は、建築限界を侵さない最大覆工厚である。
さらに、トンネル軸方向の鉄筋は、D19ctc200の単鉄筋とした。
配筋図を、図-5.2.1(1)-17に示す。
- ② 土圧、水圧に対する安全性は、許容応力度に基づき確認した。
- ③ 運河拡張工事による土被りの減少によって生じる浮力に対するトンネルの安定性は、検討の結果、安全であることが確認された。
- ④ 運河拡張工事による地盤の浮き上がりに対して、検討の結果、安全性が確認された。
しかしこれらの設計には種々の仮定を基にしており、十分な安全性を確保するためには、運河拡張工事の影響範囲下のトンネル部分は、以下の対策を施す必要がある。
 - ・表-5.2.1(1)-3に示す対策を総合的に評価すると、鉄筋の組立施工性の課題はあるものの、図-5.2.1(1)-18に示すとおり、鉄筋量を増やす方法が適していると判断される。
 - ・トンネルの変形、鉄筋応力を計測することにより、トンネルの安全性を確認する。
- ⑤ トンネル周辺地域で大規模な地震が発生しても、トンネルは破壊しないことが確認された。
- ⑥ 船舶による影響検討として、座礁と投錨に対して行ったが、これらの荷重が作用した場合は、トンネル覆工が破壊する恐れがあるので、運河船舶に対する十分な運行管理が必要である。

鉄筋材料表

NO.	品名	規格	数量	単位	重量	備注
1	鉄筋	Φ16	10.20	m	2.01	
2	鉄筋	Φ18	10.20	m	2.26	
3	鉄筋	Φ20	10.20	m	2.51	
4	鉄筋	Φ22	10.20	m	2.76	
5	鉄筋	Φ25	10.20	m	3.21	
6	鉄筋	Φ28	10.20	m	3.66	
7	鉄筋	Φ32	10.20	m	4.11	
8	鉄筋	Φ36	10.20	m	4.56	
9	鉄筋	Φ40	10.20	m	5.01	
10	鉄筋	Φ45	10.20	m	5.46	
11	鉄筋	Φ50	10.20	m	5.91	
12	鉄筋	Φ55	10.20	m	6.36	
13	鉄筋	Φ60	10.20	m	6.81	
14	鉄筋	Φ65	10.20	m	7.26	
15	鉄筋	Φ70	10.20	m	7.71	
16	鉄筋	Φ75	10.20	m	8.16	
17	鉄筋	Φ80	10.20	m	8.61	
18	鉄筋	Φ85	10.20	m	9.06	
19	鉄筋	Φ90	10.20	m	9.51	
20	鉄筋	Φ95	10.20	m	9.96	
21	鉄筋	Φ100	10.20	m	10.41	
22	鉄筋	Φ105	10.20	m	10.86	
23	鉄筋	Φ110	10.20	m	11.31	
24	鉄筋	Φ115	10.20	m	11.76	
25	鉄筋	Φ120	10.20	m	12.21	
26	鉄筋	Φ125	10.20	m	12.66	
27	鉄筋	Φ130	10.20	m	13.11	
28	鉄筋	Φ135	10.20	m	13.56	
29	鉄筋	Φ140	10.20	m	14.01	
30	鉄筋	Φ145	10.20	m	14.46	
31	鉄筋	Φ150	10.20	m	14.91	
32	鉄筋	Φ155	10.20	m	15.36	
33	鉄筋	Φ160	10.20	m	15.81	
34	鉄筋	Φ165	10.20	m	16.26	
35	鉄筋	Φ170	10.20	m	16.71	
36	鉄筋	Φ175	10.20	m	17.16	
37	鉄筋	Φ180	10.20	m	17.61	
38	鉄筋	Φ185	10.20	m	18.06	
39	鉄筋	Φ190	10.20	m	18.51	
40	鉄筋	Φ195	10.20	m	18.96	
41	鉄筋	Φ200	10.20	m	19.41	
42	鉄筋	Φ205	10.20	m	19.86	
43	鉄筋	Φ210	10.20	m	20.31	
44	鉄筋	Φ215	10.20	m	20.76	
45	鉄筋	Φ220	10.20	m	21.21	
46	鉄筋	Φ225	10.20	m	21.66	
47	鉄筋	Φ230	10.20	m	22.11	
48	鉄筋	Φ235	10.20	m	22.56	
49	鉄筋	Φ240	10.20	m	23.01	
50	鉄筋	Φ245	10.20	m	23.46	
51	鉄筋	Φ250	10.20	m	23.91	
52	鉄筋	Φ255	10.20	m	24.36	
53	鉄筋	Φ260	10.20	m	24.81	
54	鉄筋	Φ265	10.20	m	25.26	
55	鉄筋	Φ270	10.20	m	25.71	
56	鉄筋	Φ275	10.20	m	26.16	
57	鉄筋	Φ280	10.20	m	26.61	
58	鉄筋	Φ285	10.20	m	27.06	
59	鉄筋	Φ290	10.20	m	27.51	
60	鉄筋	Φ295	10.20	m	27.96	
61	鉄筋	Φ300	10.20	m	28.41	
62	鉄筋	Φ305	10.20	m	28.86	
63	鉄筋	Φ310	10.20	m	29.31	
64	鉄筋	Φ315	10.20	m	29.76	
65	鉄筋	Φ320	10.20	m	30.21	
66	鉄筋	Φ325	10.20	m	30.66	
67	鉄筋	Φ330	10.20	m	31.11	
68	鉄筋	Φ335	10.20	m	31.56	
69	鉄筋	Φ340	10.20	m	32.01	
70	鉄筋	Φ345	10.20	m	32.46	
71	鉄筋	Φ350	10.20	m	32.91	
72	鉄筋	Φ355	10.20	m	33.36	
73	鉄筋	Φ360	10.20	m	33.81	
74	鉄筋	Φ365	10.20	m	34.26	
75	鉄筋	Φ370	10.20	m	34.71	
76	鉄筋	Φ375	10.20	m	35.16	
77	鉄筋	Φ380	10.20	m	35.61	
78	鉄筋	Φ385	10.20	m	36.06	
79	鉄筋	Φ390	10.20	m	36.51	
80	鉄筋	Φ395	10.20	m	36.96	
81	鉄筋	Φ400	10.20	m	37.41	
82	鉄筋	Φ405	10.20	m	37.86	
83	鉄筋	Φ410	10.20	m	38.31	
84	鉄筋	Φ415	10.20	m	38.76	
85	鉄筋	Φ420	10.20	m	39.21	
86	鉄筋	Φ425	10.20	m	39.66	
87	鉄筋	Φ430	10.20	m	40.11	
88	鉄筋	Φ435	10.20	m	40.56	
89	鉄筋	Φ440	10.20	m	41.01	
90	鉄筋	Φ445	10.20	m	41.46	
91	鉄筋	Φ450	10.20	m	41.91	
92	鉄筋	Φ455	10.20	m	42.36	
93	鉄筋	Φ460	10.20	m	42.81	
94	鉄筋	Φ465	10.20	m	43.26	
95	鉄筋	Φ470	10.20	m	43.71	
96	鉄筋	Φ475	10.20	m	44.16	
97	鉄筋	Φ480	10.20	m	44.61	
98	鉄筋	Φ485	10.20	m	45.06	
99	鉄筋	Φ490	10.20	m	45.51	
100	鉄筋	Φ495	10.20	m	45.96	
101	鉄筋	Φ500	10.20	m	46.41	
102	鉄筋	Φ505	10.20	m	46.86	
103	鉄筋	Φ510	10.20	m	47.31	
104	鉄筋	Φ515	10.20	m	47.76	
105	鉄筋	Φ520	10.20	m	48.21	
106	鉄筋	Φ525	10.20	m	48.66	
107	鉄筋	Φ530	10.20	m	49.11	
108	鉄筋	Φ535	10.20	m	49.56	
109	鉄筋	Φ540	10.20	m	50.01	
110	鉄筋	Φ545	10.20	m	50.46	
111	鉄筋	Φ550	10.20	m	50.91	
112	鉄筋	Φ555	10.20	m	51.36	
113	鉄筋	Φ560	10.20	m	51.81	
114	鉄筋	Φ565	10.20	m	52.26	
115	鉄筋	Φ570	10.20	m	52.71	
116	鉄筋	Φ575	10.20	m	53.16	
117	鉄筋	Φ580	10.20	m	53.61	
118	鉄筋	Φ585	10.20	m	54.06	
119	鉄筋	Φ590	10.20	m	54.51	
120	鉄筋	Φ595	10.20	m	54.96	
121	鉄筋	Φ600	10.20	m	55.41	
122	鉄筋	Φ605	10.20	m	55.86	
123	鉄筋	Φ610	10.20	m	56.31	
124	鉄筋	Φ615	10.20	m	56.76	
125	鉄筋	Φ620	10.20	m	57.21	
126	鉄筋	Φ625	10.20	m	57.66	
127	鉄筋	Φ630	10.20	m	58.11	
128	鉄筋	Φ635	10.20	m	58.56	
129	鉄筋	Φ640	10.20	m	59.01	
130	鉄筋	Φ645	10.20	m	59.46	
131	鉄筋	Φ650	10.20	m	59.91	
132	鉄筋	Φ655	10.20	m	60.36	
133	鉄筋	Φ660	10.20	m	60.81	
134	鉄筋	Φ665	10.20	m	61.26	
135	鉄筋	Φ670	10.20	m	61.71	
136	鉄筋	Φ675	10.20	m	62.16	
137	鉄筋	Φ680	10.20	m	62.61	
138	鉄筋	Φ685	10.20	m	63.06	
139	鉄筋	Φ690	10.20	m	63.51	
140	鉄筋	Φ695	10.20	m	63.96	
141	鉄筋	Φ700	10.20	m	64.41	
142	鉄筋	Φ705	10.20	m	64.86	
143	鉄筋	Φ710	10.20	m	65.31	
144	鉄筋	Φ715	10.20	m	65.76	
145	鉄筋	Φ720	10.20	m	66.21	
146	鉄筋	Φ725	10.20	m	66.66	
147	鉄筋	Φ730	10.20	m	67.11	
148	鉄筋	Φ735	10.20	m	67.56	
149	鉄筋	Φ740	10.20	m	68.01	
150	鉄筋	Φ745	10.20	m	68.46	
151	鉄筋	Φ750	10.20	m	68.91	
152	鉄筋	Φ755	10.20	m	69.36	
153	鉄筋	Φ760	10.20	m	69.81	
154	鉄筋	Φ765	10.20	m	70.26	
155	鉄筋	Φ770	10.20	m	70.71	
156	鉄筋	Φ775	10.20	m	71.16	
157	鉄筋	Φ780	10.20	m	71.61	
158	鉄筋	Φ785	10.20	m	72.06	
159	鉄筋	Φ790	10.20	m	72.51	
160	鉄筋	Φ795	10.20	m	72.96	
161	鉄筋	Φ800	10.20	m	73.41	
162	鉄筋	Φ805	10.20	m	73.86	
163	鉄筋	Φ810	10.20	m	74.31	
164	鉄筋	Φ815	10.20	m	74.76	
165	鉄筋	Φ820	10.20	m	75.21	
166	鉄筋	Φ825	10.20	m	75.66	
167	鉄筋	Φ830	10.20	m	76.11	
168	鉄筋	Φ835	10.20	m	76.56	
169	鉄筋	Φ840	10.20	m	77.01	
170	鉄筋	Φ845	10.20	m	77.46	
171	鉄筋	Φ850	10.20	m	77.91	
172	鉄筋	Φ855	10.20	m	78.36	
173	鉄筋	Φ860	10.20	m	78.81	
174	鉄筋	Φ865	10.20	m	79.26	
175	鉄筋	Φ870	10.20	m	79.71	
176	鉄筋	Φ875	10.20	m	80.16	
177	鉄筋	Φ880	10.20	m	80.61	
178	鉄筋	Φ885	10.20	m	81.06	
179	鉄筋	Φ890	10.20	m	81.51	
180	鉄筋	Φ895	10.20	m	81.96	
181	鉄筋	Φ900	10.20	m	82.41	
182	鉄筋	Φ905	10.20	m	82.86	
183	鉄筋	Φ910	10.20	m	83.31	
184	鉄筋	Φ915	10.20	m	83.76	
185	鉄筋	Φ920	10.20	m	84.21	

鉄筋材料表

NO.	ALL QUANTITY	UNIT	NO. OF BARS	NO. OF JOINTS	NO. OF BARS
1	107	1.60	3	14	171
2	100	3	73	101	7
3	133	3	12	99	7
4	109	3	6	89	7
5	109	3	6	89	7
6	109	3	6	89	7
7	109	3	6	89	7
8	109	3	6	89	7
9	109	3	6	89	7
10	109	3	6	89	7
11	109	3	6	89	7
12	109	3	6	89	7
13	109	3	6	89	7
14	109	3	6	89	7
15	109	3	6	89	7
16	109	3	6	89	7
17	109	3	6	89	7
18	109	3	6	89	7
19	109	3	6	89	7
20	109	3	6	89	7
21	109	3	6	89	7
22	109	3	6	89	7
23	109	3	6	89	7
24	109	3	6	89	7
25	109	3	6	89	7
26	109	3	6	89	7
27	109	3	6	89	7
28	109	3	6	89	7
29	109	3	6	89	7
30	109	3	6	89	7
31	109	3	6	89	7
32	109	3	6	89	7
33	109	3	6	89	7
34	109	3	6	89	7
35	109	3	6	89	7
36	109	3	6	89	7
37	109	3	6	89	7
38	109	3	6	89	7
39	109	3	6	89	7
40	109	3	6	89	7
41	109	3	6	89	7
42	109	3	6	89	7
43	109	3	6	89	7
44	109	3	6	89	7
45	109	3	6	89	7
46	109	3	6	89	7
47	109	3	6	89	7
48	109	3	6	89	7
49	109	3	6	89	7
50	109	3	6	89	7
51	109	3	6	89	7
52	109	3	6	89	7
53	109	3	6	89	7
54	109	3	6	89	7
55	109	3	6	89	7
56	109	3	6	89	7
57	109	3	6	89	7
58	109	3	6	89	7
59	109	3	6	89	7
60	109	3	6	89	7
61	109	3	6	89	7
62	109	3	6	89	7
63	109	3	6	89	7
64	109	3	6	89	7
65	109	3	6	89	7
66	109	3	6	89	7
67	109	3	6	89	7
68	109	3	6	89	7
69	109	3	6	89	7
70	109	3	6	89	7
71	109	3	6	89	7
72	109	3	6	89	7
73	109	3	6	89	7
74	109	3	6	89	7
75	109	3	6	89	7
76	109	3	6	89	7
77	109	3	6	89	7
78	109	3	6	89	7
79	109	3	6	89	7
80	109	3	6	89	7
81	109	3	6	89	7
82	109	3	6	89	7
83	109	3	6	89	7
84	109	3	6	89	7
85	109	3	6	89	7
86	109	3	6	89	7
87	109	3	6	89	7
88	109	3	6	89	7
89	109	3	6	89	7
90	109	3	6	89	7
91	109	3	6	89	7
92	109	3	6	89	7
93	109	3	6	89	7
94	109	3	6	89	7
95	109	3	6	89	7
96	109	3	6	89	7
97	109	3	6	89	7
98	109	3	6	89	7
99	109	3	6	89	7
100	109	3	6	89	7

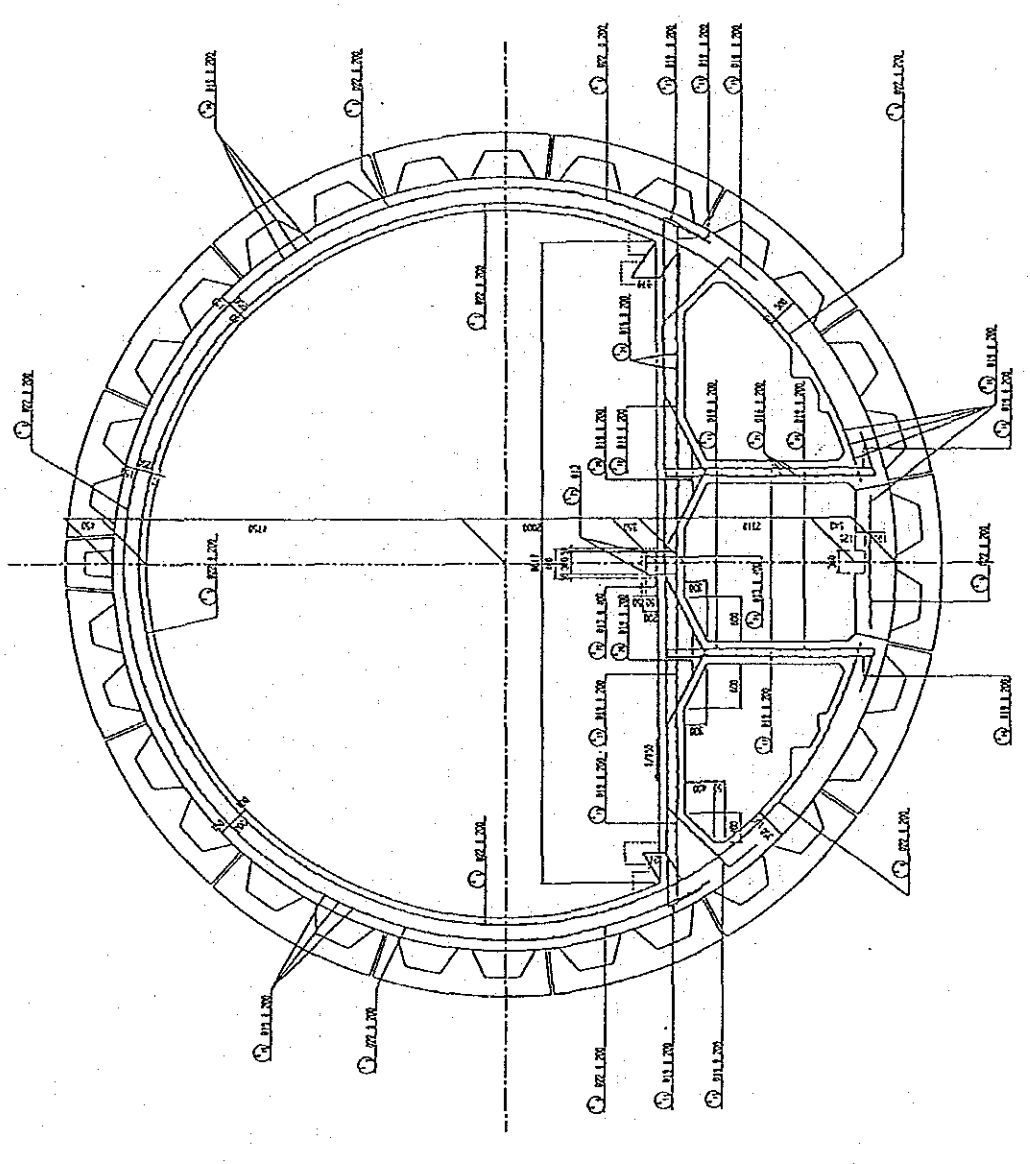


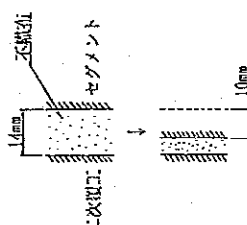
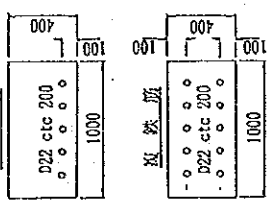
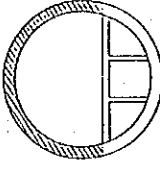
図-5.2.1(1)-18 配筋図 (運河下)

AHAMED HAMDJI TUNNEL
 配筋図 (運河下)

Scale: _____ Date: _____ Review: _____

JICA.

表-5.2.1(1)-3 運河拡張工事に関する対策

	要込め注入	窪入による地山補強	不緻密を不厚くする	必要筋量の増加(複鉄筋)	S F R C の使用	G F C の使用
<p>期待ち架</p>	<p>既設セグメントの背面に要込め注入を施工することによって、トンネル現工体と地山の密着性が向上し、十分な地盤反力が期待できる。</p>	<p>地山の亀裂に注入し、地山を補強することによって運河拡張による地山崩壊を防止する。</p>	<p>既設セグメントの筋力がある程度期待できることを前提として、運河拡張の影響を不密性の影響に比べ、その影響が二次工工へ伝達しにくくする。</p>	<p>鉄筋の配置を既設筋にすることによって、掘削方向、掘削方向の筋力を向上させることができる。</p> <p>掘削方向 単鉄筋 : $A_{st} = 35.44tf$ ■ 複鉄筋 : $A_{st} = 33.23tf$ ■</p> <p>掘削方向 単鉄筋 : $A_{st} = 7.615.83tf$ ■ 複鉄筋 : $A_{st} = 14.908.90tf$ ■</p>	<p>スチールファイバーコンクリートを用いることにより、鉄筋コンクリートの劣化である、剥離、引裂け、ひび割れや衝撃に対する抵抗力を向上させることが可能であり、運河拡張工事に対する対策として有効であると考えられる。</p>	<p>耐荷性能については、基本的に S F R C と同等に考えることが可能である。さらに、材料的に劣化が生じない等の耐蝕性が期待される。</p>
<p>架橋問題点</p>	<p>要込め注入は、防水シートを施工する前に行う必要があり、取トンネルの継手の状態を考慮すると、事前にコーキング等の補助工法が必要となる。</p>	<p>要込め注入を十分に行った上で実施する必要がある。また、注入作業に際してトンネルに圧力が作用することが考慮されることから、セグメントリングの變形などに十分な注意が必要である。</p>	<p>取トンネルの筋力が高いため、既設セグメントの筋力を期待する必要はない。セグメントと二次工工の相対変位が約10mmであるのに対し、厚さ14mmでは、変形能力が7mm程度(圧縮率50%)であるため、既設セグメントの變形を吸収できない恐れがある。</p> 	<p>施工実績は数多くあるが施工性から順次実施が望ましい。ひび割れ発生を防止できない。</p> <p>(D22 etc 200 程度)</p> 	<p>コンクリートにおいてはECLの現工体として多くの実績がある。防蝕剤として効果があると報告されているが、研究例は少ない。施工現場のスケジュールが厳しいため、表面処理が必要である。</p>  <p>特に曲げモーメントが大きい継手部(上平筋部)について S F R C による補強を行う。</p>	<p>二次工工のコンクリート打設がポンプ圧送による場合、圧送が原因となる可能性がある。施工実績が少ない。</p>
<p>工期</p>	<p>全体工期には影響しない</p>	<p>—</p>	<p>全体工期には影響しない</p>	<p>全体工期には影響しない</p>	<p>全体工期には影響しない</p>	<p>全体工期には影響しない</p>
<p>架橋(対象区間650m)</p>	<p>△</p>	<p>○</p>	<p>○</p>	<p>○</p>	<p>△</p>	<p>X</p>
<p>総合評価</p>	<p>△</p>	<p>○</p>	<p>○</p>	<p>○</p>	<p>○</p>	<p>△</p>

5-2-1 (2) 床版

日本道路公団「設計要領第二集」に基づき、設計を行なう。

1) 許容応力度

① コンクリート

- ・設計基準強度 $\sigma_{ck} = 270 \text{ kgf/cm}^2$
- ・許容圧縮応力度 $\sigma_{ck} = 90 \text{ kgf/cm}^2$

② 鉄筋

- 許容引張り応力度 $\sigma_{ta} = 1400 \text{ kgf/cm}^2$ (SD30)

2) 自動車荷重

作用させる自動車荷重は、次のものとする。

- ・ T-20 : 総重量: 20tf
- ・ TT-43 (トレー荷重) : 総重量: 43tf

各車両による荷重値を、図-5.2.1(2)-1 に示す。

設計基準によると、一後輪荷重の最大値は、

T-20の場合、 $16\text{tf}/2=8\text{tf}$

TT-43の場合、 $13\text{tf}/2=6.5\text{tf}$

となるため、T-20による荷重値を基に設計を行なうが、特に支間については、

TT-43の車両の特性から、T-20による断面力を割増すことにしているため、ここではこれに準じる。

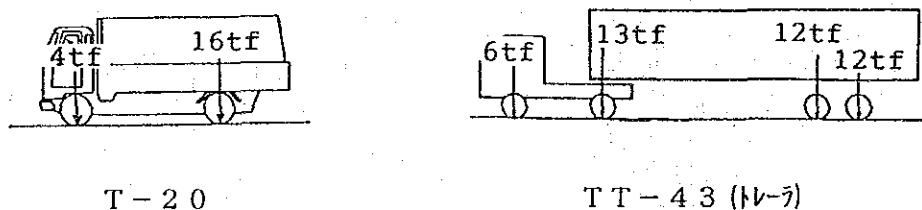


図-5.2.1(2)-1 各車両による車輪荷重

3) 断面力の算定

① 設計曲げモーメント

a. 自動車荷重による曲げモーメント

日本道路公団(設計要領第二集)によれば、図-5.2.1(2)-2 に示す各点の曲げモーメントは、次のとおり算出される。

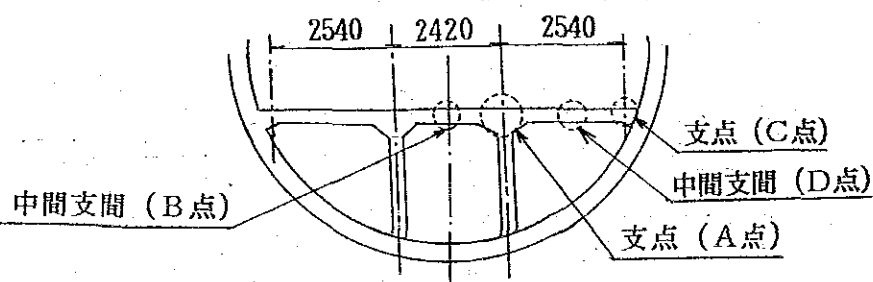


図-5.2.1(2)-1 曲げモーメント照査位置

・ 支点(A点、およびC点)

$$M_{max} = -(0.15 \times L + 0.125) \times P$$

ここに、L:床版の支間

$$= 2.54\text{m}$$

P:自動車の一後輪荷重

$$= 8.0 \times 1.2$$

$$= 9.6\text{tf}$$

$$= -(0.15 \times 2.54 + 0.125) \times 9.60$$

$$= -4.86\text{tf}\cdot\text{m}$$

・中間支間(B点)

$$M_{\max} = (0.12 \times L + 0.07) \times 0.8 \times P$$

ここに、L:床版の支間

$$= 2.42\text{m}$$

P:自動車の一後輪荷重

$$= 8.0 \times 1.2$$

$$= 9.6\text{tf}$$

$$= -(0.12 \times 2.42 + 0.07) \times 0.8 \times 9.60$$

$$= 2.77\text{tf}\cdot\text{m}$$

・中間支間(D点)

$$M_{\max} = (0.12 \times L + 0.07) \times 0.8 \times P$$

ここに、L:床版の支間

$$= 2.69\text{m}$$

P:自動車の一後輪荷重

$$= 8.0 \times 1.2$$

$$= 9.6\text{tf}$$

$$= (0.12 \times 2.69 + 0.07) \times 0.8 \times 9.60$$

$$= 2.88\text{tf}\cdot\text{m}$$

b. 等分布荷重による曲げモーメント

等分布荷重

・スクラブ自重 $2.50\text{tf/m}^3 \times 0.35\text{m} = 0.875\text{tf/m}^2$

・舗装自重 $2.35\text{tf/m}^3 \times 0.05\text{m} = 0.118\text{tf/m}^2$

$$W_d = 0.993\text{tf/m}^2$$

・支点(A点、およびC点)

$$M = -W \cdot L^2 / 10$$

ここに、W:等分布荷重

$$= 0.993\text{tf/m}^2$$

L:床版の支間

$$= 2.54\text{m}$$

$$= -0.993 \times 2.54^2 / 10$$

$$= -0.64\text{tf}\cdot\text{m}$$

・中間支点(B点)

$$M = W \cdot L^2 / 14$$

ここに、W:等分布荷重

$$= 0.993\text{tf/m}^2$$

L:床版の支間

$$= 2.42\text{m}$$

$$= 0.993 \times 2.42^2 / 14$$

$$= 0.49\text{tf}\cdot\text{m}$$

・中間支点(D点)

$$M = W \cdot L^2 / 14$$

ここに、W:等分布荷重

$$= 0.993\text{tf/m}^2$$

L:床版の支間

$$= 2.54\text{m}$$

$$= 0.993 \times 2.54^2 / 14$$

$$= 0.46\text{tf}\cdot\text{m}$$

c. TT-43荷重による曲げモーメント

T-20による支間のモーメントに対して、表-5.2.1(2)-1に示すとおり、割増しを行なう。

表-5.2.1(2)-1 中間支間の割増係数

ℓ (m)	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.3	3.5	3.7	3.8
K	1.04	1.05	1.06	1.07	1.075	1.08	1.09	1.10	1.12	1.18	1.14

ℓ (m)	4.0	5.0	6.0
K	1.15	1.20	1.25

ℓ (m) : 床板の支間 (m)

・ 中間支間 (B点)

$$K = 1.04 \text{ より、}$$

$$M = 2.77 \times 1.04$$

$$= 2.88 \text{ tf} \cdot \text{m}$$

・ 中間支間 (D点)

$$K = 1.04 \text{ より、}$$

$$M = 2.88 \times 1.04$$

$$= 3.00 \text{ tf} \cdot \text{m}$$

d. 曲げモーメントの算出

上記 a. ~ c. の算出結果を総計して、各点における発生曲げモーメントの割増しを行なう。

・ 支点 (A点、およびC点)

$$\begin{aligned} M &= -0.63 + (-4.86) \\ &= 5.50 \text{tf} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

・ 中間支点 (B点)

$$\begin{aligned} M &= 0.49 + 2.88 \\ &= 3.37 \text{tf} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

・ 中間支点 (D点)

$$\begin{aligned} M &= 0.46 + 3.00 \\ &= 3.46 \text{tf} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

4) 応力度照査結果

応力度照査結果を表-5.2.1(2)-2 に示す。

この結果、コンクリートの発生応力度 σ_c は、24.7~51.2 kgf/cm²で、許容応力度 $\sigma_{ca}=90$ kgf/cm²以下となり、同様に鉄筋の発生応力度 σ_s は、832~1242 kgf/cm²で、許容応力度 $\sigma_{sa}=1400$ kgf/cm²以下となることから、十分に安全である。

表-5.2.1(2)-2 応力度算出結果

部 位 項 目		支 点		中 間 支 間	
		A 点	C 点	B 点	D 点
曲げモーメント M (tf・m)		-5.50	-5.50	3.37	3.46
幅 b (cm)		100	100	100	100
桁高 h (cm)		53	43	35	31
鉄筋被り D (cm)		10	10	10	10
鉄筋量	A s	D-19 20cm ピッチ	D-19 20cm ピッチ	D-19 20cm ピッチ	D-19 20cm ピッチ
	A s'	D-19 20cm ピッチ	D-19 20cm ピッチ	D-19 20cm ピッチ	D-19 20cm ピッチ
コンクリートの発生応力度 σ_c (kgf/cm ²)		24.7	37.9	36.9	51.2
判 定 $\sigma_{sa} = 90\text{kgf/cm}^2$		O. K.	O. K.	O. K.	O. K.
鉄筋の発生応力度 σ_c (kgf/cm ²)		832.2	1076.8	1037.8	1242.1
判 定 $\sigma_{sa} = 1400\text{kgf/cm}^2$		O. K.	O. K.	O. K.	O. K.

5-2. トンネル改修の基本設計

5-2-1. トンネル構造

(3) 防水工

本トンネルの

1) 湧水排水 (一次覆工と新設される覆工の間を侵入した水の排水)、

2) 路面排水 (雨水等路面上を流れる水の排水)

に対する設計を行なう。

トンネル全体の排水システム図を、図-5.2.1(3)-1(横断図)、図-5.2.1(3)-2(縦断図)に示す。

その内容を以下に示す。

1) 湧水排水システム

既設トンネルと二次覆工の間を侵入する水は、以下の排水システムで対応する。

- ① 防水シートにより、覆工へ侵入する水を遮断させるとともに、この背面に張り付けられている不織布を通して下部の排水溝に導水させる。 (図-5.2.1(3)-1)
- ② 排水溝を通じて、トンネル最深部へ集水させる。 (図-5.2.1(3)-2)
- ③ Nadir sumpより地上へ排水する。

2) 路面排水システム

路面上の雨水等の水は、以下の排水システムで対応する。

- ① 路面上の水は、舗装面の横断勾配により、車道両端へ導水させる。 (図-5.2.1(3)-1)
- ② この水は、舗装両端を流れ、トンネル最深部へ集水させる。 (図-5.2.1(3)-2)
- ③ トンネル最深部に設けた排水パイプにて、中央の排水溝へ導水させる。 (図-5.2.1(3)-1)
- ④ Nadir sumpより地上へ排水する。

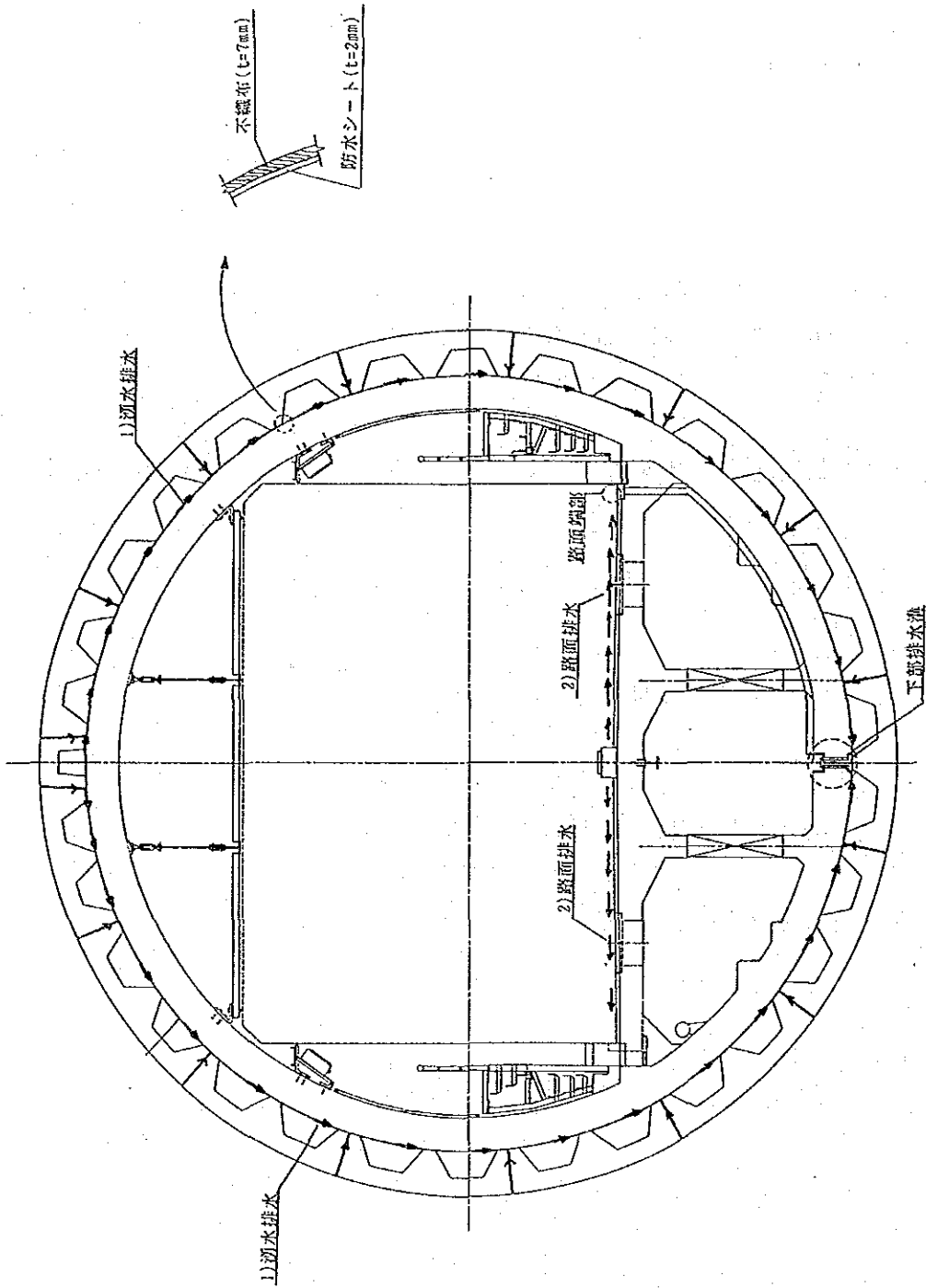


図-5.2.1(3)-1 排水システム横断面図

a. 防水シート

① 材質

防水シートの材質は、プラスチック系、ゴムアスファルト系、合成ゴム系、等その種類は多岐に渡るが、本トンネルには、特に以下に示す理由から、ECB (Ethylene Co-polymer Bituminous) が適していると考えられる。

－溶着の際の溶融温度の幅が広い。

－シングルレイヤ加工 (黒字のシートの表面に白く薄いシートがコーティング) が可能であり、傷がつくと本体の黒字が現れるため、小さな損傷部でも目視で発見できる。

厚さについては、実績から2mmが適していると考えられる。

② シート、不織布の設置方法、およびシート連結方法

シート、不織布の設置、およびシート連結方法を図-5.2.1(3)-3に示す。

シートの連結は、自走式の電気ゴテにより溶着させる。

さらに接合部は、圧縮空気を送り込んで、検査する。

③ シートの展開図

シートの展開図を、図-5.2.1(3)-4～図-5.2.1(3)-7に示す。

④ 吊り鉄筋金具

吊り鉄筋金具の詳細図を図-5.2.1(3)-8に示す。

⑤ 不織布

防水シートと既設セグメントの間には以下の目的から、不織布を設置する。

－防水シート背面水に対する通水性を向上させ、侵入水をすみやかに下部排水溝へ導水させる。

－運河拡幅時、地震時等に、覆工へ与える影響を緩衝させる。

なお、材質は、耐アルカリ性の高いポリプロピレンが適していると考えられる。

厚さについては、緩衝材としても使用するため、一般的なものよりも厚く、7mmとする。

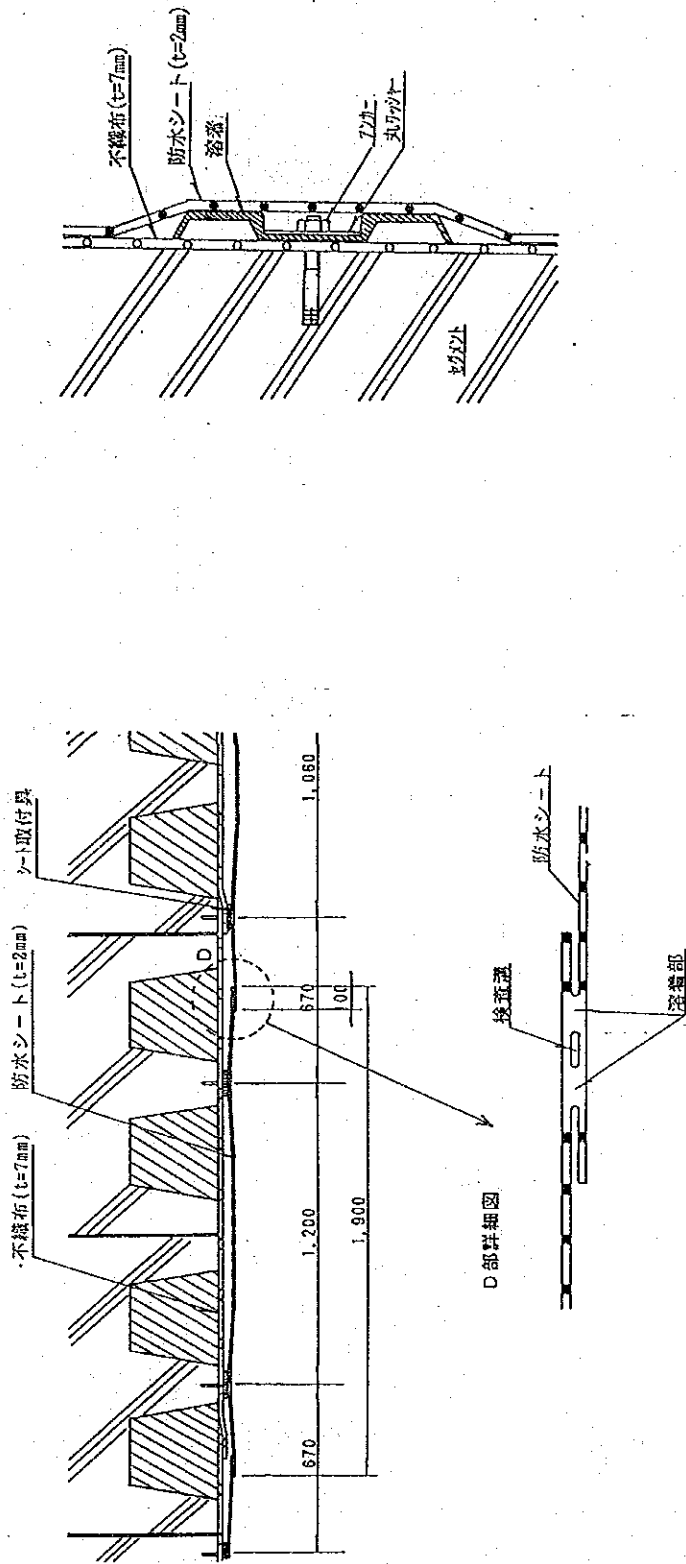


図-5.2.1 (3)-3 シート、不織布、およびその連結方法

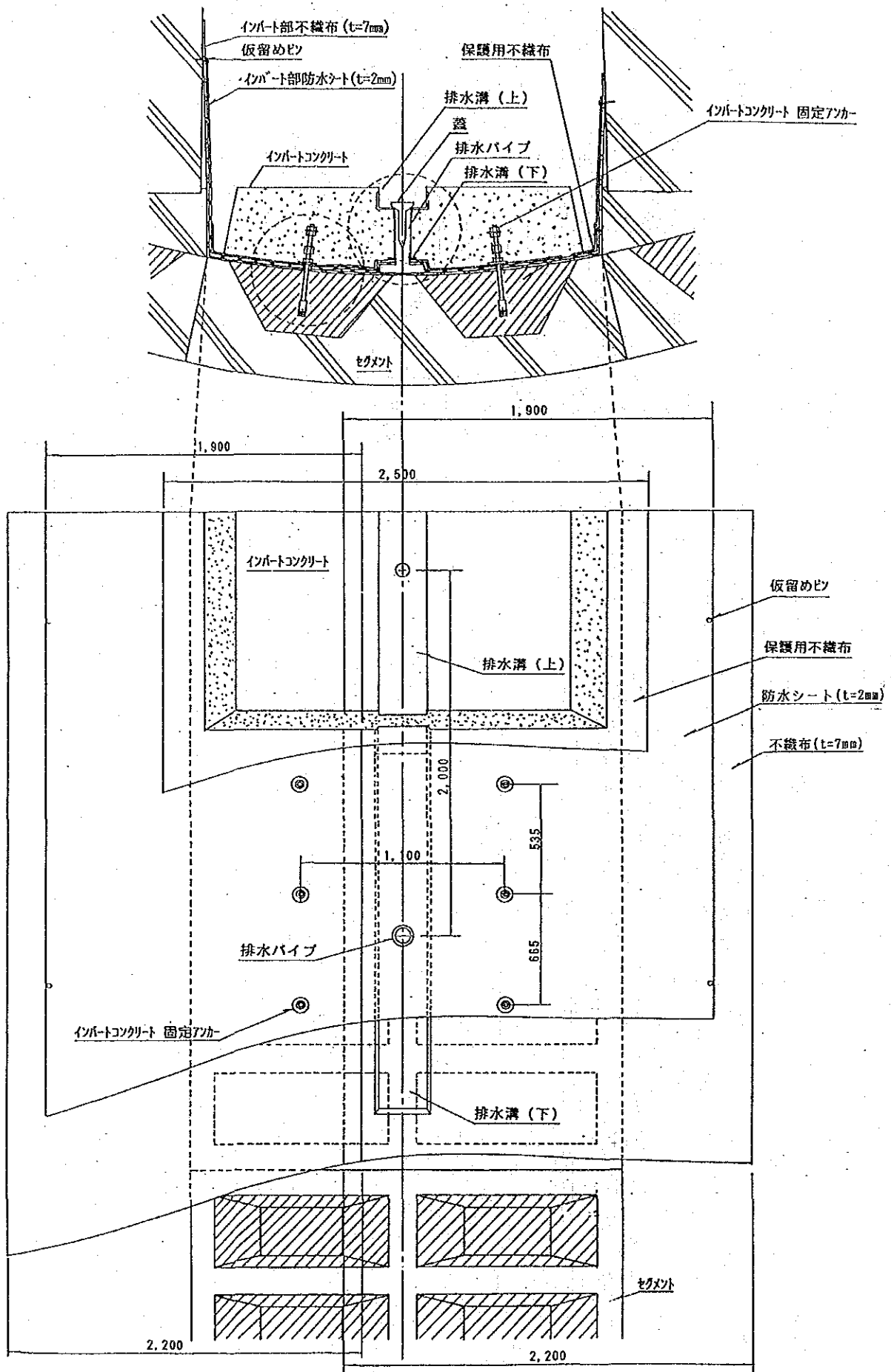


図-5.2.1(3)-4 防水シート展開図 (インポートコンクリート施工時)

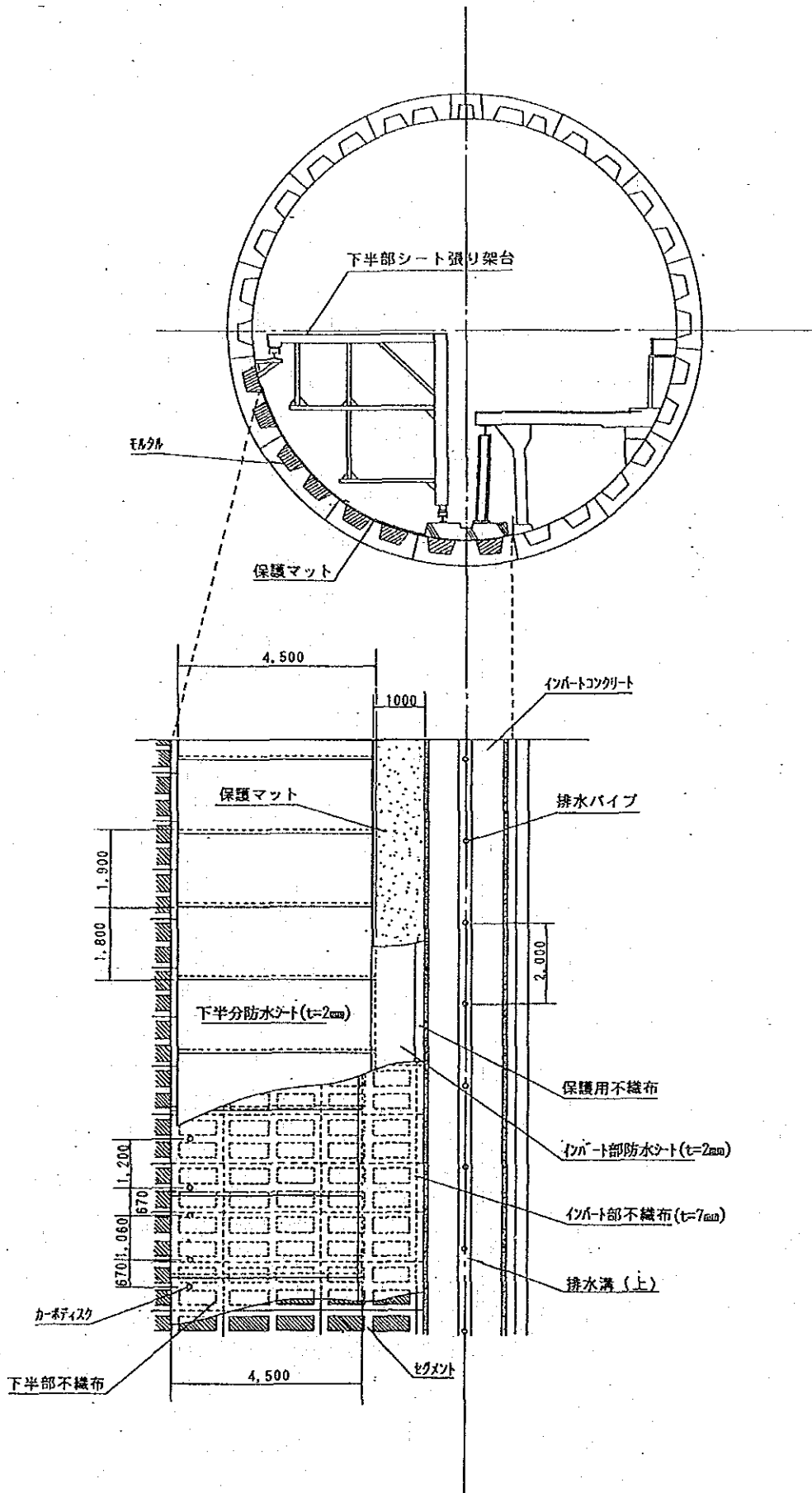


図-5.2.1(3)-5 防水シート展開図(下半分施工時(1))

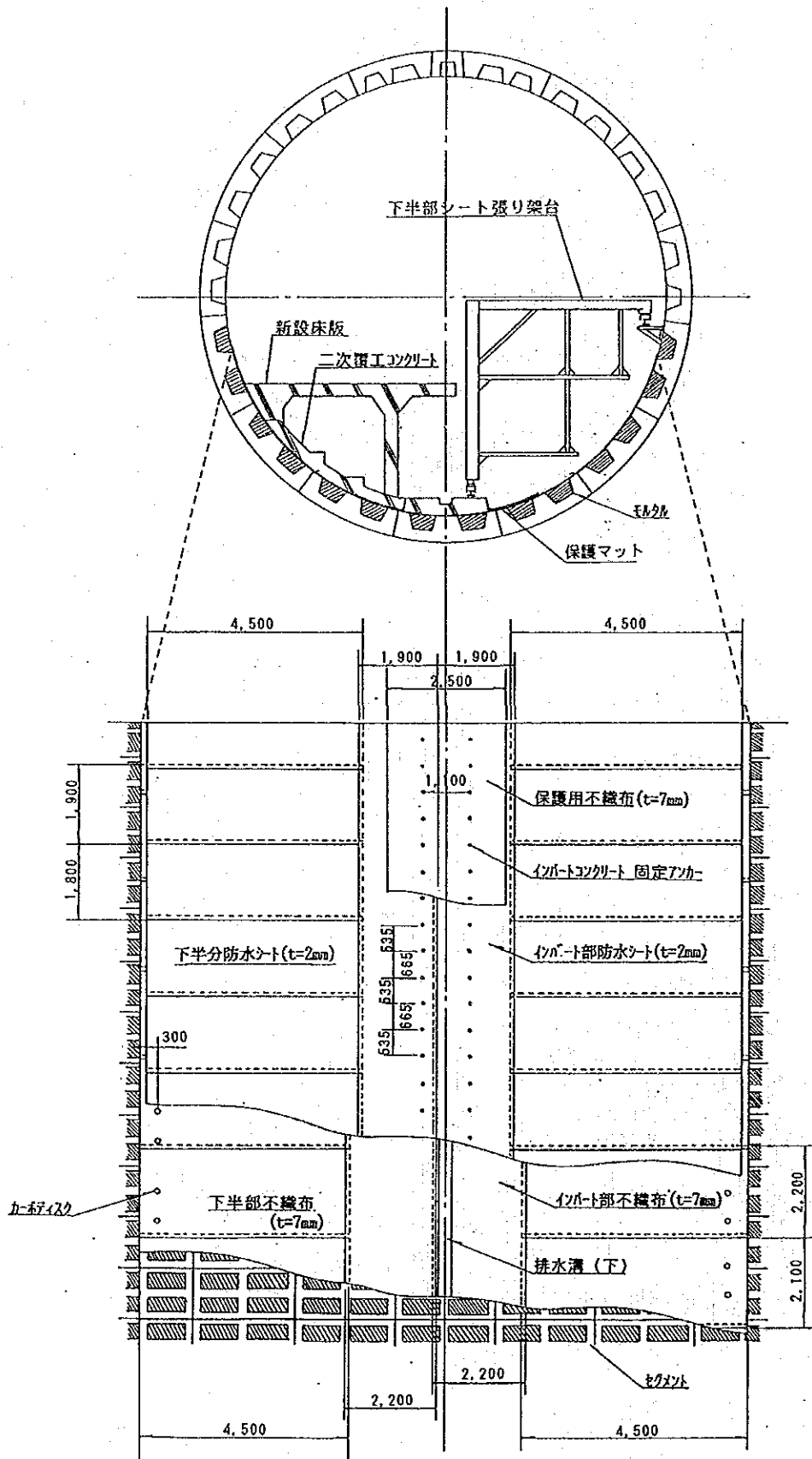


図-5.2.1(3)-6 防水シート展開図(下半分施工時(2))

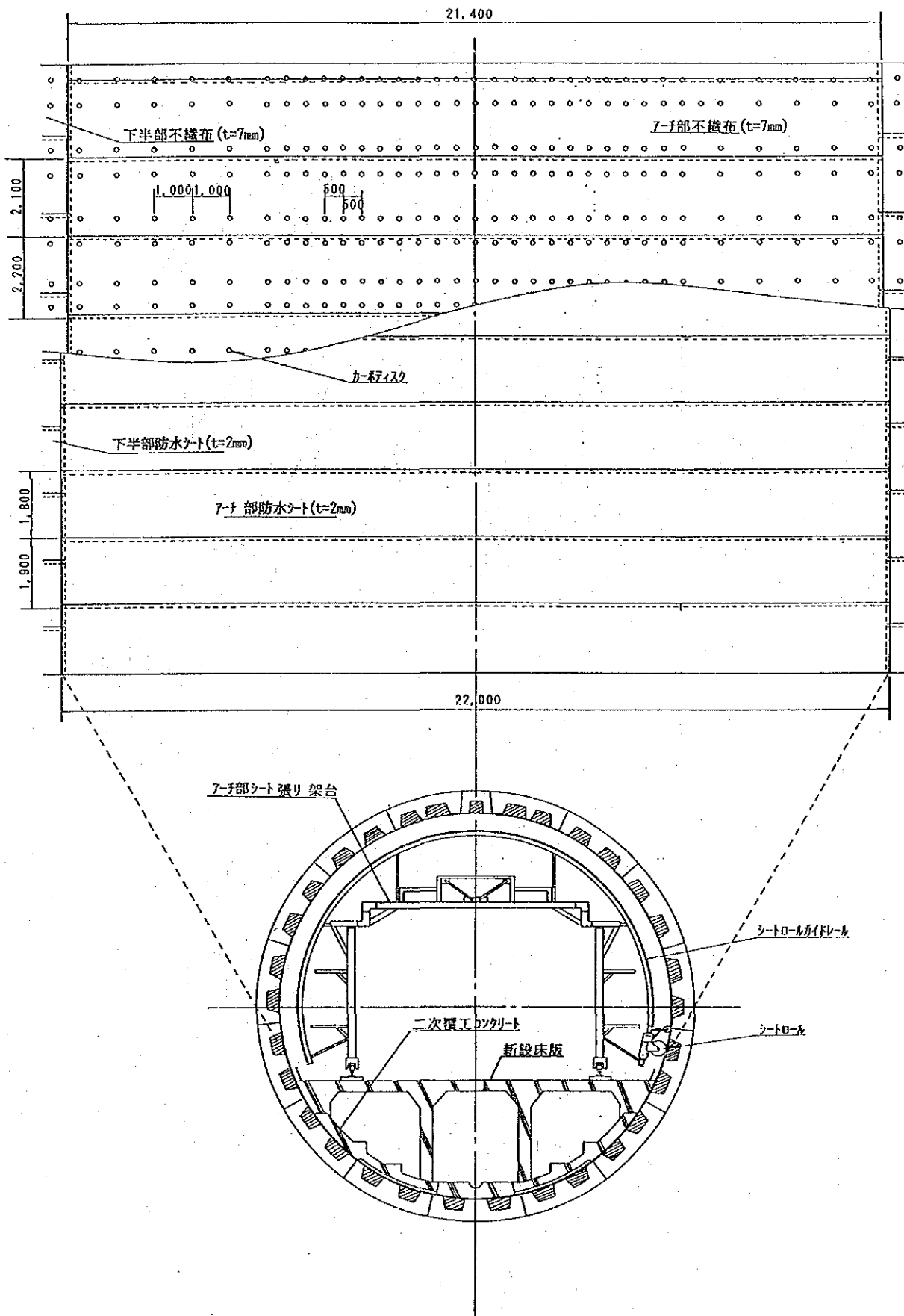


図-5.2.1(3)-7 防水シート展開図 (上部アーチ施工時)

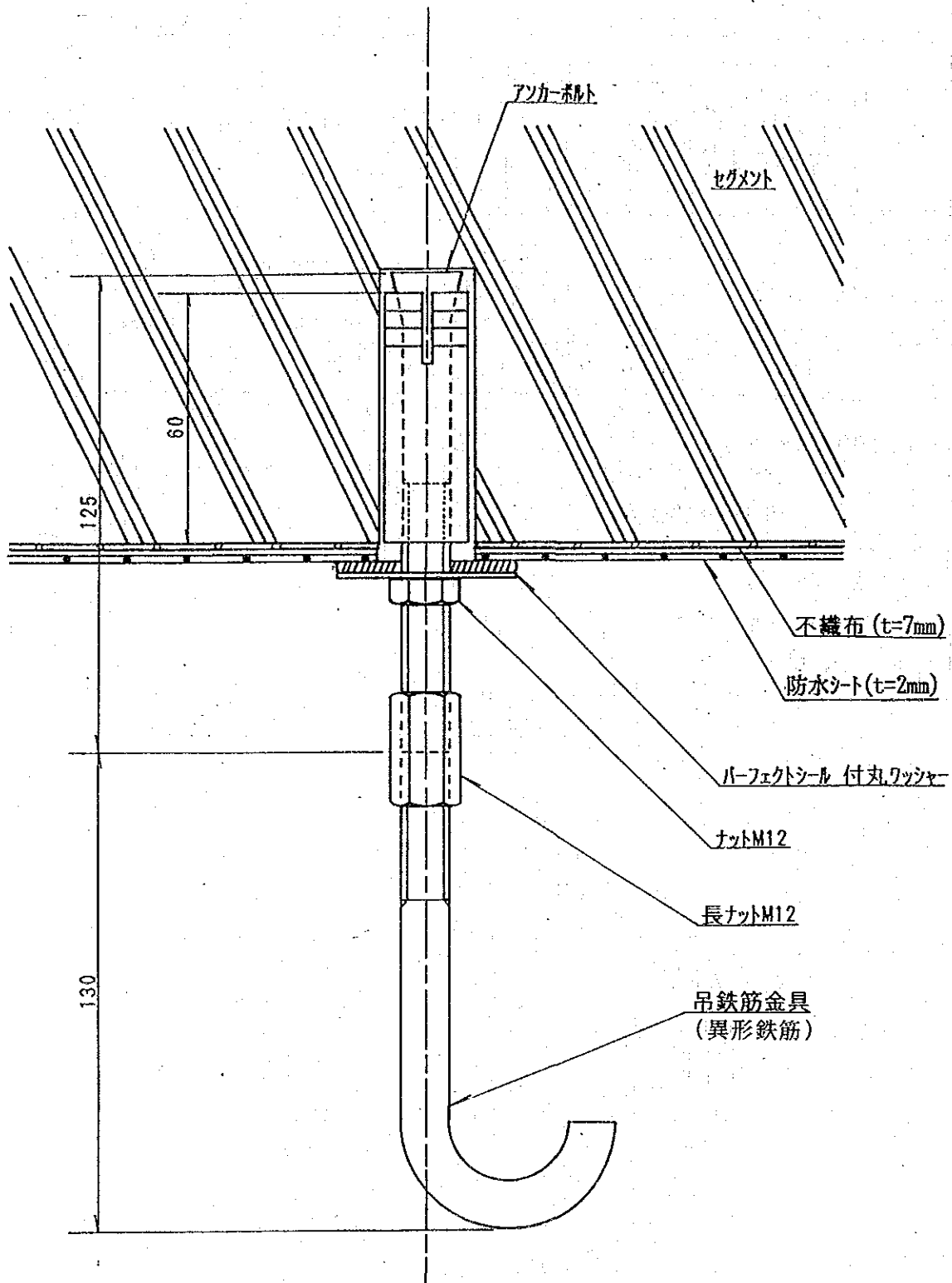


図-5.2.1(3)-8 吊り鉄筋金具

b. 排水溝

排水溝の詳細図を図-5.2.1(3)-9に示す。

集水された浸水水は、通常は下端の排水溝を流れ、この容量を越えた場合、上部の排水溝で対応させる。

この下部と上部の排水溝は、図-5.2.1(3)-10に示す2m間隔に設ける排水パイプで連結させ、パイプには、ものが入らないように蓋をしておく。

図-5.2.1(3)-9に示す下部排水溝の規模は、以下の検討から、対応可能と判断できる。

可能排水容量Qは、下式で示される。

$$Q = A \cdot v$$

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

ここに、

Q : 流量

A : 断面積

S : 潤辺

n : 粗度係数 = 0.01

R : $A/S = 0.25 \cdot 0.05 / 0.34$

I : 導水勾配 = 0.038

$$v = 1/0.01 \cdot (0.036)^{2/3} \cdot (0.038)^{1/3}$$

$$= 0.14 \text{ m/sec}$$

$$Q = 0.25 \cdot 0.05 \cdot 3.67$$

$$= 0.0018$$

現在のトンネルの漏水量Q'は、トンネル片側からのものとして、

$$Q' = 50 \quad \text{m}^3/\text{day}/2$$

$$= 1.04 \quad \text{m}^3/\text{hr}$$

$$= 0.003 \quad \text{m}^3/\text{sec} \ll Q$$

であることから、十分対応可能である。

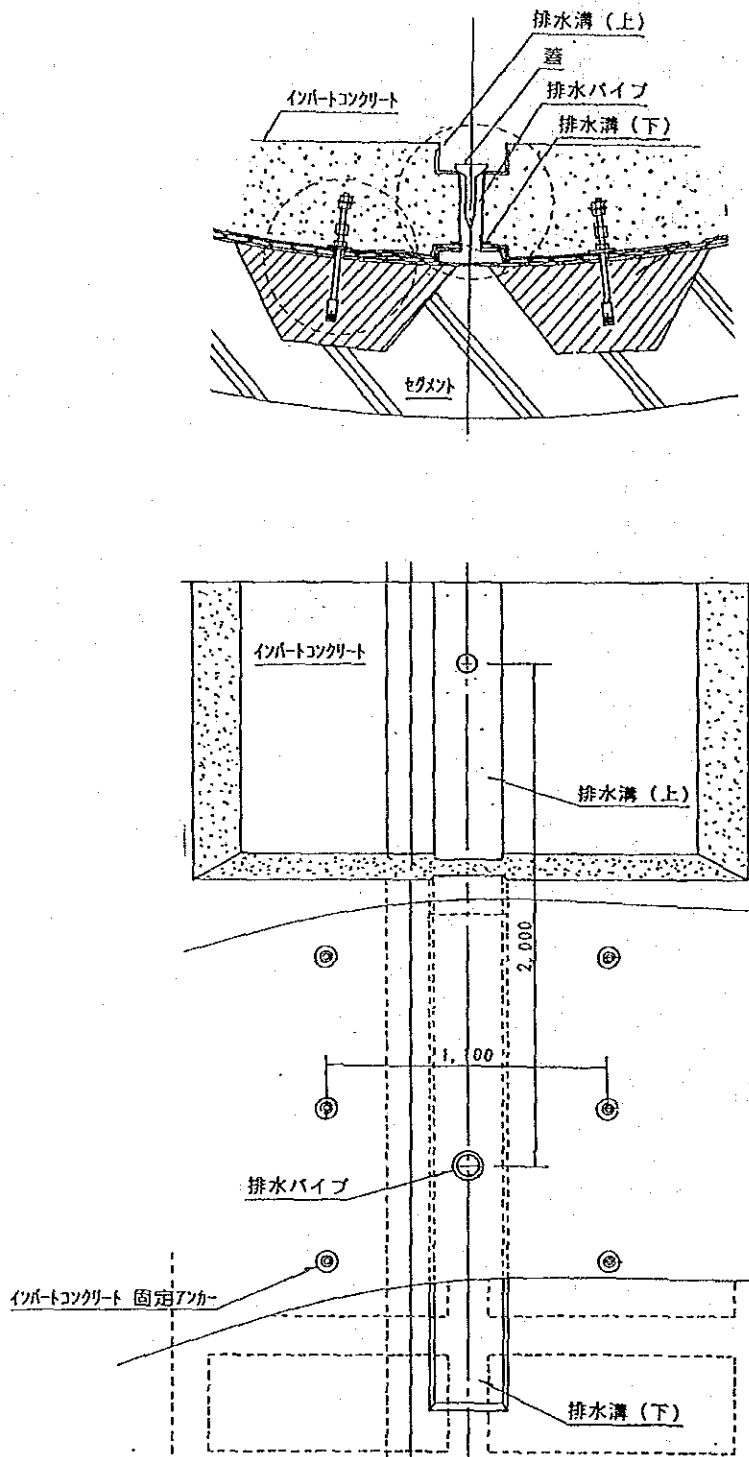


図-5.2.1(3)-9 排水溝構造図

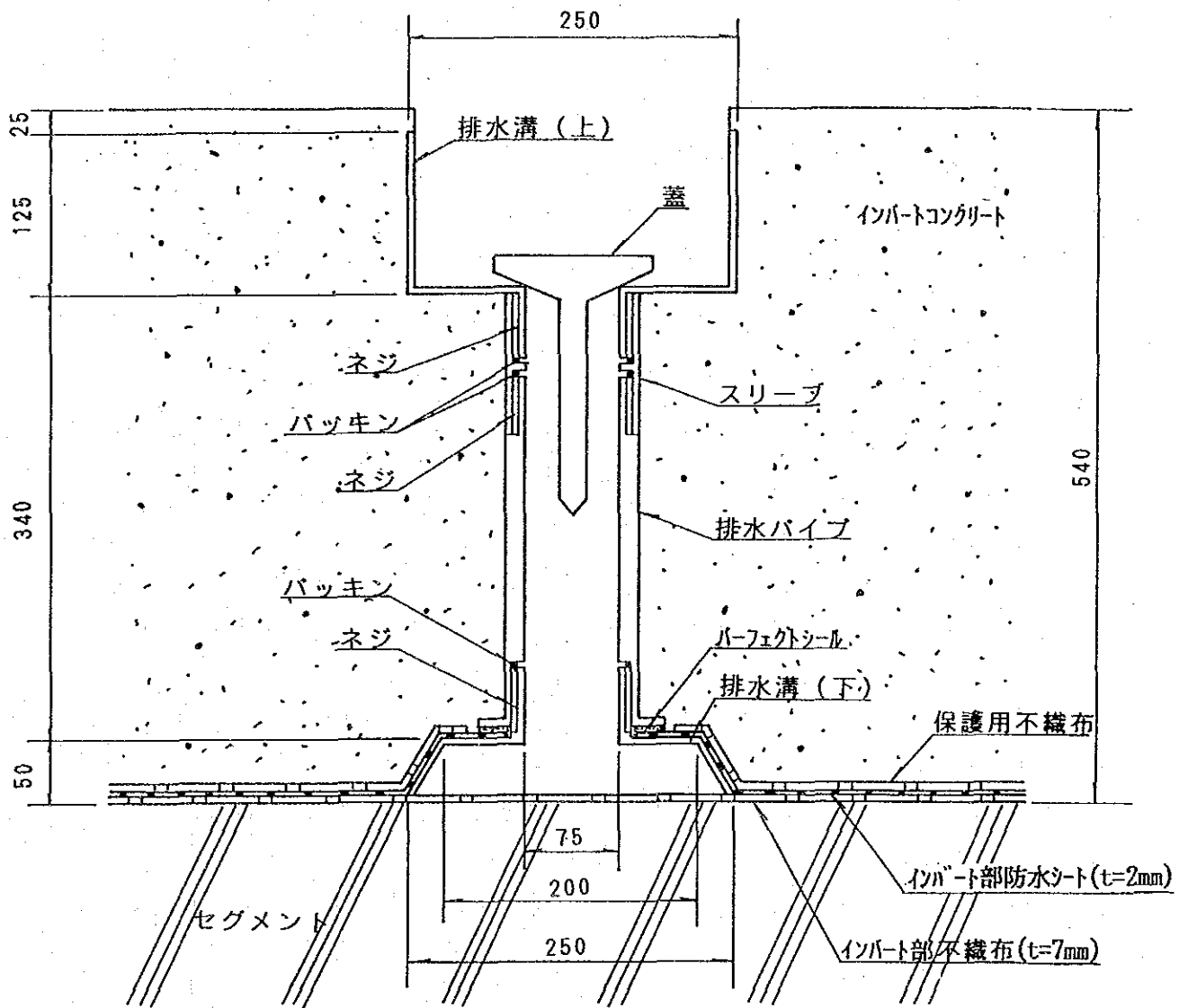


図-5.2.1(3)-10 排水溝構造詳細図