

論 說 報 告

第 24 卷 第 2 號 昭 和 13 年 2 月

無鉄筋コンクリート拱型隧道工事報告

會 員 光 井 三 郎*

要 旨 大阪市高速鉄道工事は或る特種區間を除いては多くは鋼矢板土留工法又は鉄杭土留工法によつて閉鑿式によつて施工したが、當高速鉄道第 1 號路線中住吉區天王寺高臺附近に於ては地質良好なるため延長約 80 m 間に無鉄筋コンクリート拱型隧道を築造した。本文は昭和 12 年 2 月工事に着手し、昭和 12 年 10 月工事完成を見たもので其の工事状況を報告せるものである。

1. 緒 言

地下鉄道として無鉄筋拱型隧道の代表的なものは巴里市地下鉄である。大阪市高速鉄道に於て今般施工したる約 80 m 區間の無鉄筋コンクリート拱型隧道は最初計畫の時は、巴里市地下鉄と同一工法によつて施工する豫定であつたが路面を交通使用の必要にも迫られず、尙其の他の事情のため途中施工法を変更して其の拱部のみは閉鑿式によつたが側壁以下の逆巻工法は巴里市と同一方法によつたものである。

以下大略巴里市地下鉄施工順序を述べて本工事報告に及ぶこととする。巴里市の地盤は大部分殆んど岩質に近い砂及赤色粘土の層から成り市中に於てこの逆巻工法をなしても地上に大なる影響も與へない様な良質の地盤であつて同市地下鉄は古くからこの工法を採用してゐる。即ち路線に沿ふて約 50 m 間隔に堅坑を設けその坑から拱の中央部に相當する所に適當の幅を以つて導坑をつくり左右へ順次拱型を切り擴げ拱部掘鑿を完了するや直ちに拱部疊築をなすのである。1 回に施工する掘鑿延長は約 2 m 位宛小區間づゝ固めて行く。拱巻立はコンクリートを使用せず、巴里市附近に産出する割石を練積として用ふ。拱完成後は左右側壁を築造し最後に仰拱をつくる。然して側壁以下の逆巻工法及掘鑿順序は大體巴里市地下鉄と大阪市地下鉄とは共に同一であるから後述することとする。

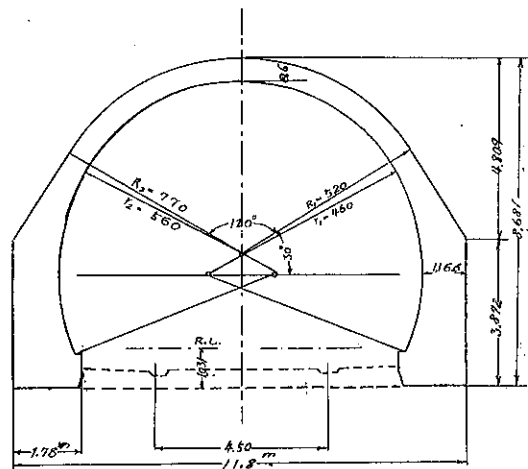
図-1 は拱型隧道の完成後の断面及寸法を示したものである。

2. 工事概要

(1) 地質 (図-2) 東端から約 25 m までの間に於て地表面から約 8.3 m の地層、即ち白色砂層と褐色粘土層の間から湧水があつた。

(2) 施工順序 図-3、図-4 に示す如く約 8 分の法勾配を附し切り下げ所定の高さに支保工を設けて拱部を構築する。尙起拱部迄掘鑿したる後側壁外側線に沿ひ土留板 (6 cm × 25 cm、長さ 4.50 m) を打込む豫定であつたが現場にては地質良きため長さ 4.50 m の木板は完全

図-1. 拱型隧道断面



* 大阪市技師 工学士 大阪市高速鉄道建設部第三建設事務所長

に打込み得ず約 2.50m 位で切断した。拱部構築後拱支保工を除去し 図-3 の ③④ の順に掘鑿を進め更に側部へ向つて⑥の如く掘鑿をなす。この側壁部の掘鑿は 図-5. の如く A, B, C と 3 区分し、1 区分の長さは最大 2.50 m を限度とし(拱部打継箇所は 2m とした) 左右対称に同時に掘鑿する事は絶対に避けた。

本工事に於て最も留意すべきは側壁背面に弛緩空隙を生ぜしめると能動土圧が側壁に働く心配があるから絶対に背面地盤との間に些かの空隙も生ぜざる様、又地盤の弛緩を来さない様に最小区間づゝ急速にコンクリート打をなした。

このためにセメントは特に淺野ペロセメント又は築業高級セメントを用ひた。尙側部コンクリート打をなすにあたり起拱部附近までに約 30cm 位

図-2. 地質状態

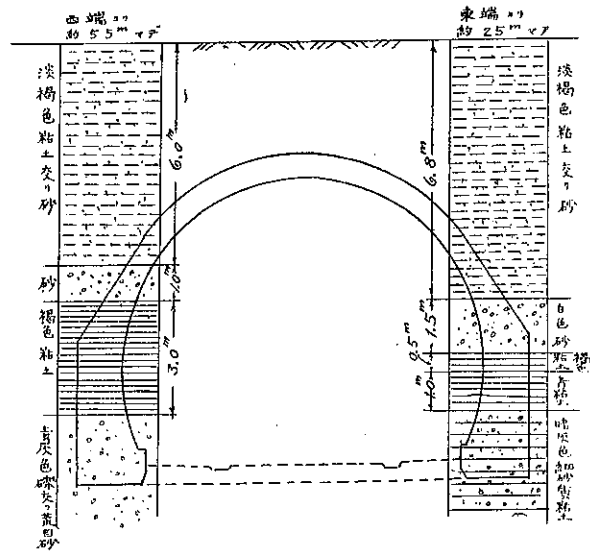
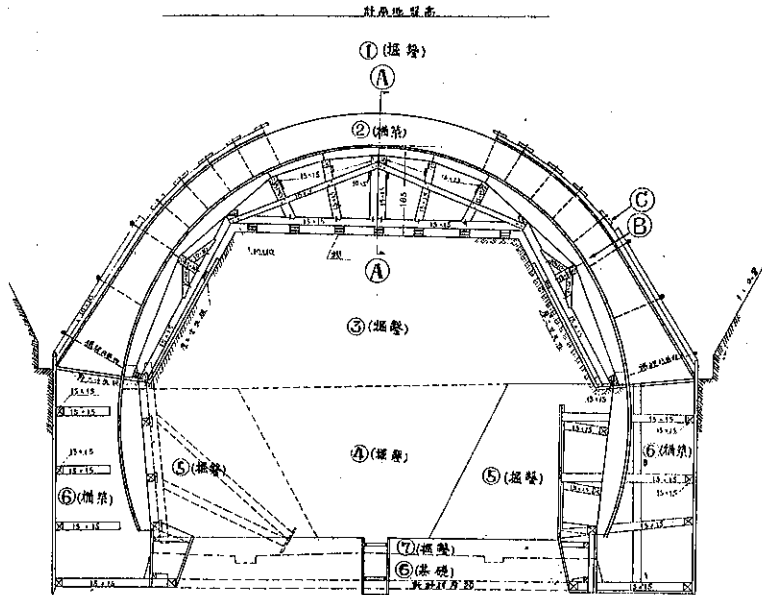


図-3. 施工順序及支保工図



迄打上つた時、一時コンクリート打を中止し、約 4~6 時間放置し側部コンクリートの凝結を待つて硬練りコンクリートを以つて残りの 30cm の空間を填充した。

側部掘鑿及コンクリート打をなすにあつては 図-5 の通り A, B, C の順序に行つたけれど特記しなければならぬ事は先づ拱部打継箇所に対応する側部から掘鑿に着手し且つその幅もこの部分のみは打継線左右 1m 宛とした。この理由は側壁構築中は拱部打継線に沿ふて龜裂生じ易く、この部分を施工したため、その龜裂の度合及沈下を少くした。

防水は拱部のみ玄光 2 回塗りとしコンクリート打継線の部は瀝青布防水とした。

図-4. 起拱部に於ける假基礎工

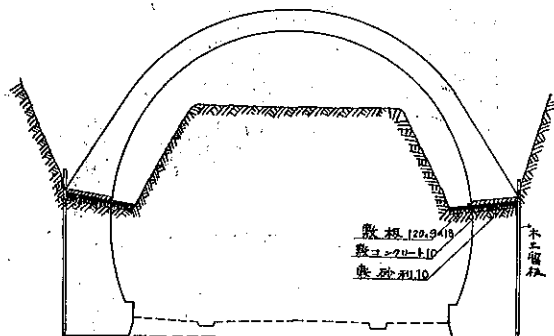


図-5. 側部掘鑿順序 (A, B, C の順)

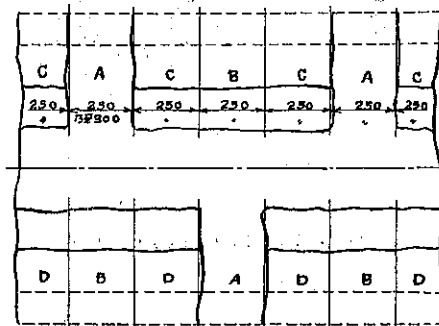


図-6. 起拱部掘鑿後側壁外側線に沿って土留
木板を打込むところ

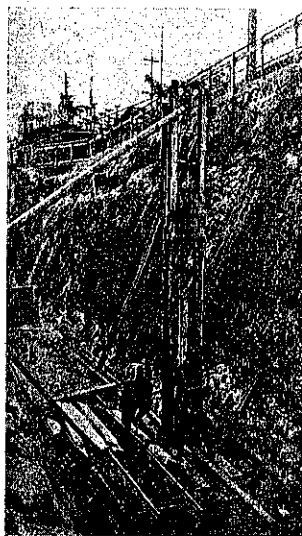


図-7. 掘鑿①を完了し拱支保工を設置するため
地均しせるところ

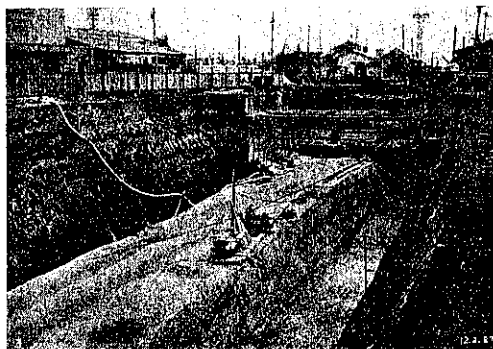


図-8. 拱部支保工

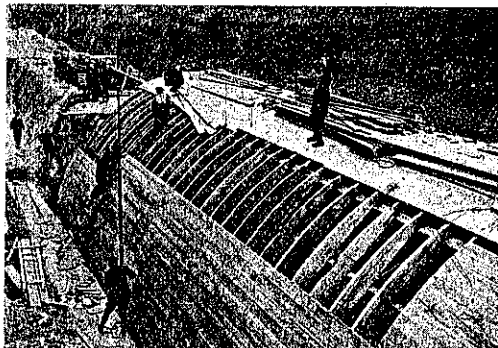
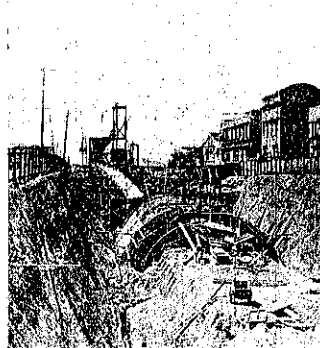


図-9. 拱部支保工を所定地盤上に設けコン
クリート打をなすところ



結果鉄筋コンクリートの配合に就ては砂利、砂比 $\left(\frac{G}{S}\right)$ を 1.6 とし骨材セメント比 $\left(\frac{S+G}{C}\right)$ によつて 3 種別にしてある。即ち表-2、表-3 の如し。

表-2. 乾燥重量比

種別	スランプ (cm)	セメント糊 (セメント:水) : 砂 : 砂利	骨材セメント比
甲	12	1.53 (0.99:0.60) : 2.5 : 4.0	7.0
乙	15	1.65 (1:0.65) : 2.5 : 4.0	6.5
丙	18	1.96 (1.19:0.77) : 2.5 : 4.0	5.5

表-3. 乾燥重量比

種別	セメント:水:砂:砂利	骨材セメント比	施工部
甲	1 : 0.65 : 2.7 : 4.3	7.0	下床版、アーチ敷、コンクリート
乙	1 : 0.65 : 2.5 : 4.0	6.5	上床版、梁、支柱、側壁
丙	1 : 0.65 : 2.1 : 3.4	5.5	特に断面小なるもの

扱て無鉄筋コンクリートには如何なる配合のものが最も適當なるや従来の如き鉄筋コンクリートの場合の配合に比して種々の點から研究の結果表-4 の様な調査表を得た (大阪市高速鉄道建設部材料試験所調査による)。

表-4. 各種コンクリート配合表

記号	配合 (セメント:水:砂:砂利)	骨材セメント比	スランプ (cm)	耐圧強 (kg/cm ²)	材料費 (%)	
1-N	1:0.65:2.7:4.3	7.0	1.6	10.2	22.9	10.442
2-N	1:0.65:2.5:4.0	6.5	1.8	10.2	21.8	10.473
1-A	1:0.65:2.5:4.0	6.5	1.6	15.0	1.91	10.797
2-A	1:0.65:2.3:4.2	1.8	1.6	1.94	10.766	
3-A	1:0.65:2.2:4.3	2.0	1.7	1.82	10.860	
4-A	1:0.65:2.0:4.5	2.3	1.9	1.70	10.815	
5-A	1:0.65:1.8:4.7	2.6	1.6	1.58	10.931	
1-B	1:0.60:2.5:4.0	6.5	1.6	5.0	2.63	10.797
2-B	1:0.60:2.3:4.2	1.8	1.6	8.5	2.74	10.837
3-B	1:0.60:2.2:4.3	2.0	1.8	2.65	10.908	
4-B	1:0.60:2.0:4.5	2.3	1.9	2.82	10.887	
1-C	1:0.55:2.5:4.0	6.5	1.6	3.0	2.88	10.797
2-C	1:0.55:2.3:4.2	1.8	1.6	3.6	2.94	10.908
3-C	1:0.55:2.2:4.3	2.0	5.0	2.84	10.957	
4-C	1:0.55:2.0:4.5	2.3	6.1	2.73	10.958	
5-C	1:0.55:1.8:4.7	2.6	8.1	2.70	11.005	
1-D	1:0.50:2.5:4.0	6.5	1.6	0.4	3.24	10.779
2-D	1:0.50:2.3:4.2	1.8	0.7	2.96	10.931	
3-D	1:0.50:2.2:4.3	2.0	0.7	3.19	10.985	
4-D	1:0.50:2.0:4.5	2.3	0.6	3.06	11.073	
5-D	1:0.50:1.8:4.7	2.6	0.6	3.28	11.079	
1-E	1:0.65:2.9:4.6	7.5	1.6	3.0	2.10	10.101
2-E	1:0.65:2.7:4.8	1.8	5.4	2.30	10.180	
3-E	1:0.65:2.5:5.0	2.0	7.0	2.38	10.269	
4-E	1:0.65:2.3:5.2	2.3	7.9	2.08	10.240	
5-E	1:0.65:2.1:5.4	2.6	11.0	2.02	10.284	

表-5. 無鉄筋コンクリート強度表



配合 1:2.5:4.5 (乾燥重量比)

コンクリート打回數	W/C	壓 縮 強 度 (kg/cm ²)			試野	備考	
		3日	7日	28日			
No. 1	L	0.62	201	232	280	試野	
	M					max 2.5	
	U					min 0.2	
No. 2	L	0.62	147	192	252	全上	
	M	0.55					max 14.6
	U						min 0.9
No. 3	L	0.63	178	240	276	全上	
	M	0.63	170	310	319		max 1.5
	U	0.65	184	229	361		min 1.1
No. 4	L	0.61	118	187	256	全上	
	M	0.60	193	177	271		max 100
	U	0.53	154	187	287		min 1.3
No. 5	L	0.60	65	135	281	試野	
	M					max 15.0	
	U					min 0.1	
No. 6	L	0.65	89	176	311	高強	
	M	0.60	114	129	331		max 16.0
	U	0.55	108	225	229		min 2.1
No. 7	L	0.64	130	164	215	高強	
	M	0.60	124	173	263		max 12.0
	U	0.60	109	193	229		min 3.0
No. 8	L	0.60	123	176	226	高強	
	M	0.60	123	176	226		max 17.0
	U	0.56	165	188	236		min 3.1
No. 9	L	0.65	139	205	258	高強	
	M	0.64	115	175	228		max 14.3
	U	0.60	112	157	227		min 3.3

表-4 によつて見るに水量 60%~65% の範囲内に於

て 1-N (1:2.7:4.3) 及 2-N (1:2.5:4.5) 配合が本工事に對して最も適當であるとして採用した。尙施工部分に応じてウオーカビリティーを適當に調節する必要があるが、骨材セメント比が一定されてゐるので水量の加減によつて所要スランプのものを得た。大体セメント 1, 水 0.65, 砂 2.5, 砂利 4.5 の配合のものを一般拱部に用ひ、セメント 1, 水 0.65, 砂 2.7, 砂利 4.3 の配合のものを側壁部に使用する事にした。

一般拱部コンクリート打は先づ延長 80m を 9 回に分ち 1 回の拱部を更に 3 區分に分つて其のコンクリート強度を測定した (表-5)。

表-5 中に※印の附した部の拱部にはバイブレーターを使用した。機械は米國モール會社製のものである。其の性能は

220 volt, 6 ampere, 60 cycle,
 3 phase, 1 1/2 H. P., 3 450 R. P. M.,
 Type 9001 G, Serial No. 60244,
 モートル 60 lbs, 全重量 138 lbs.

Maker "Mall" Tool Company, Chicago.

尙振動コンクリートによる諸種実験成績はセメント界彙報 4 月號 (第 349 號) に當建設部團野技師の研究發表がある。

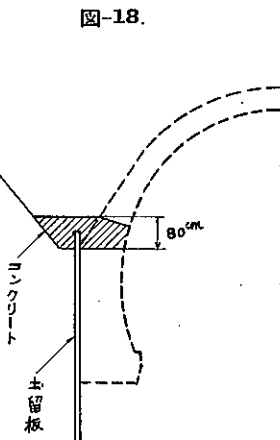
本現場の様な無鉄筋コンクリート施工にあつてはバイブレーター使用によつて好結果を得た。

(4) 拱部コンクリートの龜裂に就て 拱部内面に 図-17 に示す様に縦横に無数の龜裂が生じた。この龜裂は拱部の強度に大した影響を及ぼしたものと考へられぬが何分無鉄筋構造物の事なれば之等の龜裂の生じた原因を調査しそれに基づいて對策考究の上注意して施工した。この龜裂は拱部支保工の撤去前後に亙つて生じたから 調査説明の順序として之を 2 つに分けることとする。

(A) 支保工撤去前即ちコンクリート打施工數日後に生じた龜裂: (A) の場合の龜裂は主として隧道中心線に沿ふて生じたのが特徴である。この原因としては次の諸項目が考へられる。

- (イ) 起拱部が左右に移動したのではないか。
- (ロ) 拱部全体が沈下したか又は拱頂部のみが沈下したのではないか。
- (ハ) 起拱部は不均等に沈下したか。
- (ニ) 早強セメントを使用したためか。
- (ホ) コンクリート全体が凝結の際收縮したためか。
- (ヘ) 気温の変化による伸縮のためか。

(イ) に對しては測量の結果左右に擴まつた様子は認められず、尙萬全を期するため第 4 回目の拱部コンクリート打からは起拱部から高さ約 1m 位まで

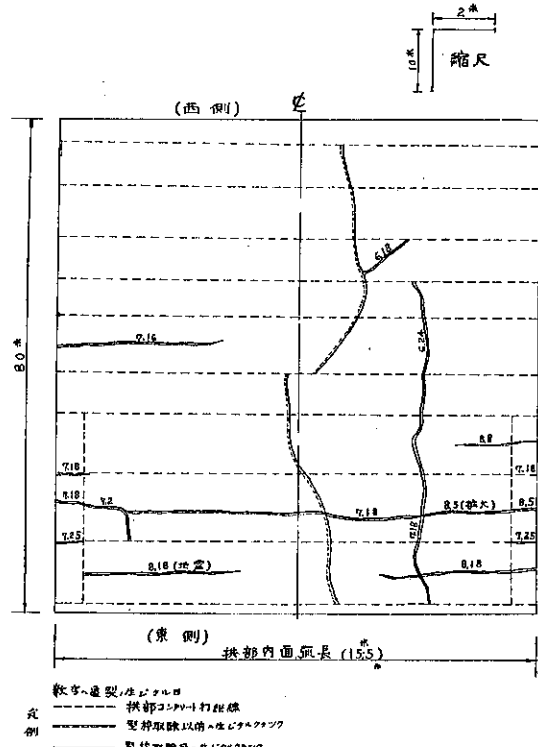


で地山に接するまでコンクリートを打つた (図-18 参照)。

図-16. 拱部コンクリート打にバイブレーターを使用するところ



図-17. 拱部コンクリート (クラック) 平面図



(ロ)(ハ)に對しては前述の様に起拱部に於て特に其の沈下を防止するため敷板、敷コンクリート、敷砂利を使用したため不均等に沈下したとは認められず、しかし拱頂部の沈下は自重、支保工の締り等のため當然或る程度の沈下は免れない。コンクリート打後實測の結果、最大 30mm、最小 12mm の沈下を見た(表-6 拱部沈下表参照)。

表-6. 拱部沈下表

測量點番號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
「コンクリート」 打1日後の沈下	8	5	10	4	6	3	16	4	7	11
型枠撤去後の沈下	5	1	4	6	11	1	6	2	3	3
側部調整後の沈下	6	10	10	13	13	9	2	6	2	1
合計	19	16	24	23	30	13	24	12	12	15

細目箇所はコンクリート打後箇所より 50 cm 高さの所、沈下量は mm を以て表はす。

(ニ)に對しては早強セメント使用の途中で比較のため普通セメントを使用してみた。早強セメントは3日目に龜裂を發見し普通セメントは7日目に龜裂を發見した。従つてセメントの種類により多少の時日の差は認められるが何れも大差なく龜裂を生ずる。

(ホ)に對してはコンクリート全体が凝結の時収縮する場合鉄筋があれば龜裂が全体に分布されて多くの毛狀龜裂となつて目に立たぬが無鉄筋の場合は比較的大きな龜裂が1ヶ所に即ちコンクリートの強度の変化してゐる所(拱頂部中心左右々約2m程の區域は他の部よりも特に施工上硬練りとした、即ち水セメント比を異にし従つて強度を異にした)に集中したものではないかと思ふ。

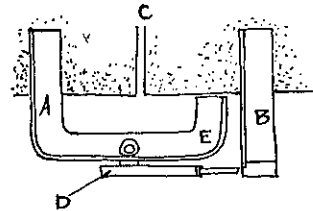
(ヘ)に對しては氣温の変化による影響は多少あると思ふ。即ちコンクリート温度が昇れば龜裂の幅は縮少しコンクリート温度が降れば龜裂の幅は擴大する。この龜裂の幅の伸縮状態を一晝夜間の変化及稍長時間の変化と外氣温とコンクリート温度との關係を調査した。

龜裂の幅の測定方法として(圖-19)アングル鉄 AB を作つて龜裂 C のに埋め込みダイヤルゲージ D を取付けて龜裂が擴まれば D の讀みは小さくなり縮まれば讀みは大きくなる様にしてあり $\frac{1}{100}$ mm まで讀むことが出来る。又別に BE 間の間隙をマイクロメーターで計れば龜裂が擴まれば BE 間も擴まるから直接讀む事も出来て約 20 分毎に測定した。

コンクリートの温度測定法としてコンクリートの龜裂 C の附近即ち拱部内側に深さ約 5 cm の孔を穿ち寒暖計を差込んで温度の変化を測つた。

隧道内氣温及濕度測定方法としては該拱部内測定場附近に乾球濕球温度計を置き乾球の讀みを大氣温度として濕球との讀みの差を濕度に換算して關係温度を % で表はした。外氣温は高速鉄道材料試験所室外に於ける外氣温を採つた。それ等の測定結果を調査すると外氣温が降れば龜裂の幅は縮少し外氣温が昇れば龜裂の幅は擴大する様である。この事實は常識としては外氣温が降ればコンクリートが縮少する譯であるから、龜裂が擴大しなければならぬと考へられるので更にコンクリートの温度の昇降を調査すると甚だ微量ではあるが外氣温の昇る時コンクリート温度は昇る様である。換言すれば1日中でコンクリート温度が昇れば龜裂の幅は縮少し1日中でコンクリート温度が降れば龜裂の幅は擴大することとなるから其の關係が明瞭になつてくる。コンクリートは厚さ 60 cm もあつて温度は外面から傳つて外面は直ぐ温められるが、内面に至る程其の影響は少くなり且つ熱の傳導時間がのびるものと考へられる。尙長期間に龜裂状態が如何に変化するや即ち其の幅が擴大するか縮少するかを調査すべ

圖-19.



きであるが、本工事報告作製造に其の結果を發表出来なかつたのは遺憾である。

(B) 支保工撤去後生じた龜裂について： 圖-16 に示した様に主として隧道中心に直角の方向に生じたのが特徴でコンクリート打継線に沿ふて生じた龜裂が著しい。この原因としては

- (イ) 側壁部擁壁により拱の自重及上部埋戻土砂の荷重のため拱自体が不均等に沈下した事。
- (ロ) ある一部では地層の急変化によつて其の部分から湧水あり。このため一部土砂崩れのためである。これら原因による沈下は表-6 に示してある。

この龜裂防止方法としては

- (1) (A) の対策としては拱部内側に縦横に 9mm 又は 12mm 位の鉄筋を 30cm 又は 40cm 間隔に配置すること。
- (2) (B) の対策としては起拱部に古軌條 4 本位を一束として全延長に亙つて熔接によつて 1 本の桁の様な働きをなさしめ側壁部コンクリート打に際しては埋め込んでおく。

3. 工事費及各種工法比較

無鉄筋拱型隧道工法にも次の様な數種の施工法がある。

- (A) 當現場にて施工した方法。
- (B) (A) と大体類似なれども先づ圖-3 の ① 部の擁壁をなし② に側壁部を木杭土留をなしつゝ擁壁し側部コンクリート打をなし、③ には拱部コンクリートを打ち其れ以後拱内部の擁壁をなす法。
- (C) 鉄杭土留をなし基礎迄擁壁をなし底部、側壁拱部の順にコンクリート打上げをなす法——この方法は近く大阪市高速鉄道第3號路線に施工することになつてゐる。

以上 3 方法に夫々長所短所がある。先づ工事施工の難易の點から云へば(C) (B) (A) の順であらう。(C) (B) は拱部の沈下の心配少く従つて龜裂の生ずる程度も少い。又路面を一般交通に使用するため急を要するならば (A) が最良方法と思ふ。しかし (C) の場合も路面覆工すれば交通の用に拱せられるが其れ丈餘分の費用を要し撤去の際一時的にも交通の支障を來す譯である。

次に工事費の比較であるが参考として從來施工した鉄筋函型隧道の費用を(D) として付け加へて比較して置た。

表-7. 工 費 比 較 表

	A		C		D		摘 要
	數量	金額(円)	數量	金額(円)	數量	金額(円)	
擁 壁	13 386 ^{m²}	26 592	12 200 ^{m²}	13 420	12 200 ^{m²}	13 420	鉄杭打込費、支保工、土留板損料及撤去費 鉄杭引抜費、鉄杭損料 (A)(C)は底版コンクリート打費及其の材料費 材料費共 工費材料費共
土留工			80 ^m	24 220	80 ^m	24 220	
基礎工	80 ^m	5 190	80 ^m	5 190	80 ^m	2 830	
コンクリート	1 650 ^{m³}	35 200	1 650 ^{m³}	35 200	1 200 ^{m³}	21 400	
鉄 筋					130 ^t	28 600	
防 水		640		640		8 710	
埋 戻		6 050		3 650		4 480	
剩土搬出		10 260		10 260		4 720	
雜 費		1 678		1 851		2 193	
合 計		85 610		94 431		110 573	
1 m 當り		1 070		1 180		1 382	