

脚基礎のものに限り外径 2.5 m, 環厚同前。井筒總數約 60 基, 1 基に要する工費 4000~5000 円程度である。

又日暮里・南千住間線路が高架に改築せられ, 三河島大踏切道が廢せられる迄の間, 在來の電動式の踏切門扇を假移転するに要する費用を節約するため, 簡易な踏切遮断装置として新考案の昇開式の踏切門扉を採用して見た。鐵道省としては試験的に初めて設置した。極めて評判良く最近各處に採用せられるに至つた。

由比興津間洞隧道変状に關する調査

鐵道省工務局保線課

1. 緒 言

昭和 10 年 9 月 28 日早朝東海道本線, 由比興津間洞隧道上り線側壁一部の孕出を發見し其の後監視中の處スプリング附近の疊築工に龜裂發生し, 同 30 日迄に漸次増大の傾向を示した爲, 一時單線運転を行ひ軌條センサーを以て補強を必要とするに至つた。

同隧道は明治 31 年 3 月の竣功であるが, 35 年 5 月既に変状を生じ明治 43 年 8 月の豪雨直後著しい増大を見たので一部改築及び補強したことがある隧道である。然るに今回同一箇所にと同様の龜裂を生じたのであるから, 之等の変状が決して偶然の原因に依つて發生したものと考へられない。隧道の周圍の地質又は隧道其のもの構造に密接な關係を有するものと推定し得る次第である。

今其の概況, 原因及び之が對策に就て調査した結果を記述すれば以下の如くである。

2. 隧道の沿革

イ. 構造の概要 洞隧道は庵原郡興津町大字洞窪陸山下を通ずる單線式隧道であつて, 上下線隧道中心間隔は最小約 13 m から最大約 25 m である(圖-1, 圖-4 及び 圖5-参照)。

該區間は明治 22 年 2 月 1 日先づ下り線によつて單線營業を開始し, 上り線洞隧道は明治 29 年 9 月起工し

圖-2. 東海道本線由比・興津間 162 km 160 洞隧道変状發生箇所上部山の形狀

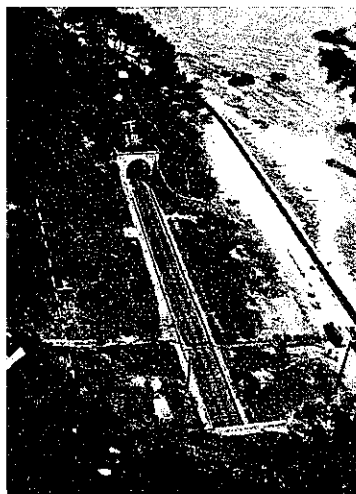


圖-1. 東海道本線由比・興津間 162 km 325 m 洞隧道西口附近



31年8月竣功、同年7月15日複線營業を開始したものである。

下り線洞隧道は図-2及び図-4に見る通り中間はオープンであつて、東側の第1隧道は延長97m、西側第2隧道は延長94mで中間の普通線路の延長は約75mである。

今回変状を生じた上り線隧道は總延長303mで東口より285mは水平之より西口まで18mは1/300のりである。又東口より17mまでは半径400m曲線で西口まで286m間は直線である。

隧道の断面は馬蹄形であつて構造の概要を示せば

図-3. 由比興津間 162 km 100 m 附近線路縦断面図

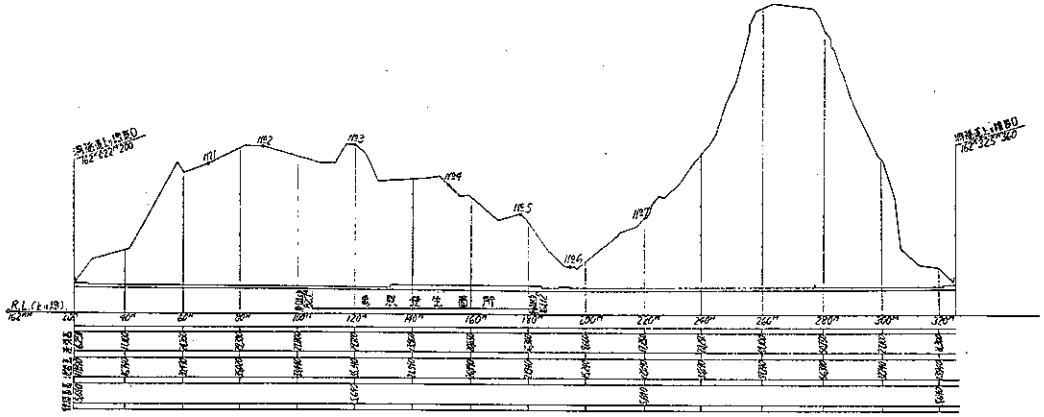
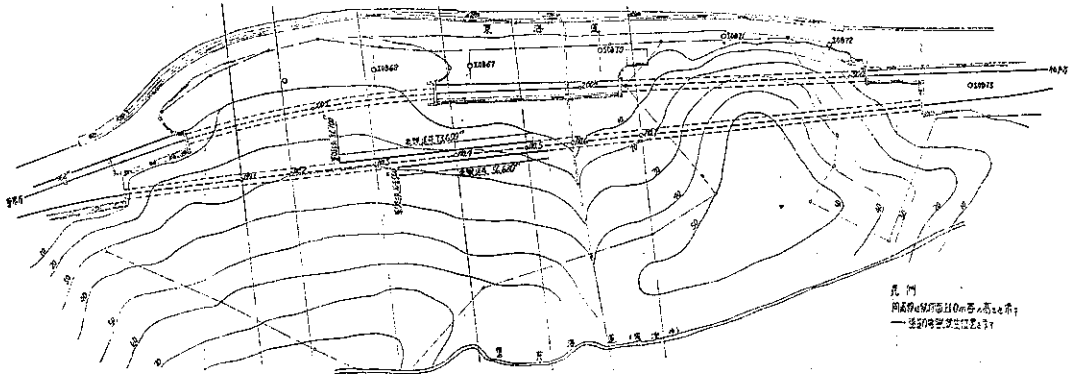


図-4. 由比興津間 162 km 200 m 附近平面図



断面、高、4572mm、幅、4572mm、

拱、煉瓦巻、巻厚 5枚(572mm) 東口12.2m間、中部6.6m間、西口12.5m間
4枚(460mm) 其他

側壁、石造、厚 (460mm) 但し東口6.1m間、中部4.6m、西口9.1m間扶壁あり

仰拱、厚 (460mm) 東口0.9m間石造。之に連続する4.3m間煉瓦造、之より151mを隔てたる箇所より39.6m間煉瓦造、

西口15.3m間石造

待 避 所 左側5箇所、右側1箇所、寸法幅1.2m、高2.1m
工 法 支保工を施し手掘

隧道横断面は図-5 の通りで地表面の傾斜は大体 40°~45°である。変状箇所は隧道天端より地表までの土被りの深さは最大 30 m 以下であつて、最も浅い所では僅に 2.5 m に過ぎない。

ロ. 明治 35 年 5 月調査変状記録 明治 35 年 5 月変状調査として記録に存するところによれば當時既に図-6 I の如く隧道一部に龜裂を生じてゐたものであるが、明治 43 年迄に別段修理工事を施行した模様はない。

龜裂、A. 東口左側 翼側と面壁との 接合目 地龜裂あり。

B. 東口より長 15 m 間及び起拱線より 41 枚上の目地龜裂あり。

C. 143 m より 148 m 迄右側起拱線上煉瓦 2 枚目の目地龜裂同所より斜に上方に向ひ 153 m 右側起拱線より 42 枚上の位置迄目地龜裂あり。

図-5. 隧道横断面図

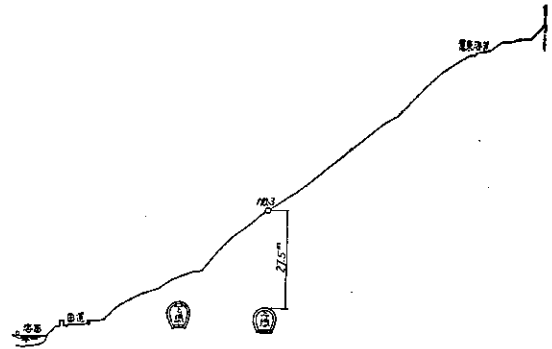


表-1. 明治 43 年沼津及び濱松測候所降雨量 (mm)

測候所 日 月	沼 津 測 候 所			濱 松 測 候 所	
	6 月	7 月	8 月	7 月	8 月
1			28.5		
2	10.3		1.0	56.7	
3	3.5	106.3	9.3		11.8
4	0.7	0.9		2.7	
5	4.5	0.1		6.3	
6	23.5	3.9	12.7		4.7
7		22.4	38.4	24.0	29.0
8		9.0	51.1	0.2	100.6
9		16.6	197.8	0.1未滿	344.1
10	7.1	13.4	261.3		197.9
11			1.0		
12					
13		3.0	77.0	13.1	127.4
14	100.5	0.1	18.9	0.1	24.2
15	13.4	1.5		0.7	
16	15.7	0.2	12.0	3.6	
17	0.1	7.7	1.1	6.1	0.7
18	0.2	0.2			
19	1.9		0.2		
20	3.0	0.1	1.0		
21					
22	1.1			0.5	
23	0.2				
24		9.2			
25	0.3	0.7			
26	2.5	185.4		11.6	
27		62.2	0.3	38.0	2.8
28	3.5	0.1	4.6		13.7
29			86.0		0.9
30	3.1	5.4			6.4
31			11.9	2.3	2.6

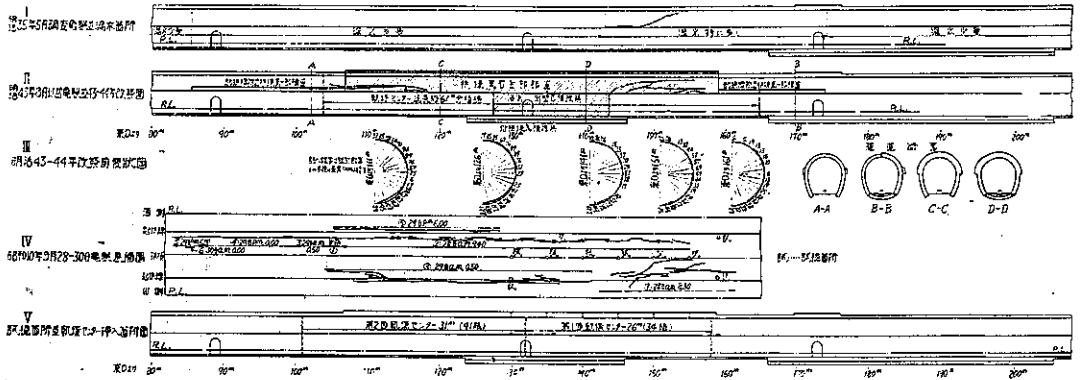
漏水, D. 漏水は 14.2 m より 30.4 m まで特に多く夫より 44.7 m 迄稍々少く 41.3 m 迄多量, 85 m 迄少量, 143 m 迄多量, 173 迄特に多く夫より西口迄少量

八、明治 43 年 8 月龜裂狀況及び其の修理方法

降雨狀況: 明治 43 年は中部關東奥羽等廣範圍に互つて水害を蒙つて居り, 沼津及び濱松測候所の記録による日雨量は表-1 の通りで, 濱松は 8 月 5 日から 8 月 9 日迄 5 日間の計 676.3 mm, 沼津は 8 月 6 日から 8 月 10 日迄 5 日間の計 561.3 mm である。同表に見る如く 6 月初旬より 8 月下旬に到る滿 3 箇月間殆ど連日の降雨があり, 特に 8 月 9 日及び 10 日の兩日は記録的の豪雨で遂に 8 月 12 日頃隧道上部の土砂崩壊すると共に拱に変状を生じた模様である。

龜裂狀況: 43 年の龜裂は圖-6 II に示す様に今回の龜裂箇所と略同一箇所が生じて居る。又隧道断面の變形状態は圖-6 の如く實測した線と變形前の設計断面との比較から想像すると, 山側からの偏圧を受けて變形した傾向が窺はれる。

圖-6



参考として明治 43 年水害記事から概要を抜萃すれば次の通りである。

108 哩 50 鎖 25 節上り線洞隧道は連日降雨の爲, 上部地層地入り陥落を生じ偏圧を來し拱龜裂及び側壁膨出延長 260 呎に及び, 列車運転上危険なるに依り被害の箇所軌條裂センターを据付け, 次で龜裂したる拱煉瓦巻を改築し上部にはモルタルを塗抹し側壁は石積を改築すると共に裏込にはコンクリート工を以て擁護せしむるの計畫となし總工費 46502 円の豫算を以て 44 年度継続工事として進行中なり。

依て 43 年 12 月 1 日より修繕工事に着手して翌 44 年 6 月 30 日に竣功した。修繕工事の大要は

表-2.

工 事 種 類	位 置	延 長
起拱線附近拱煉瓦一部積直工 (起拱線附近幅 1 m 間 煉瓦 4 枚巻を 7 枚巻に改築)	東坑門を距る { 自 85.4 m 間 至 106.7 m	21.3 m
	西 { 自 129.2 m 間 至 144.5 m	15.3 m
拱煉瓦石全部積直工 (拱煉瓦 4 枚巻を 7 枚巻に改築)	東口を距る 106.7 m 間 西口 " 144.5 m	51.8 m
右側々壁石積改築工	東口を距る 127.4 m 間 西口 " 159.5 m	16.1 m
仰拱煉瓦石増築工	東口を距る 123.7 m 間 西口 " 156.8 m	22.5 m

即ち右總延長 79.3 m の修繕を行つたのであつて側壁は裏込コンクリート填充を施した。

尙當時の職員が記憶する所によれば、現存の堅排水溝の所で上り線上を拱の上から掘り進んで巻直しを行つた様であるから、然る時は一部巻直し部分の拱の背部は地山が非常にいためられて居るものと考へられる。

3. 昭和 10 年 9 月龜裂状況

今回の変状を發見したのは昭和 10 年 9 月 23 日午前 5 時 50 分頃であつて、倉澤丁場線路工手長が上り線隧道東口より約 145~150 m 附近右側側壁粗石積表面剥落せんとしてゐるのを發見したのに始まる。

其の後漸次龜裂箇所及延長を増し、右側々壁の孕み出しは最大 50 mm に及び 30 日午前 0 時まで龜裂の進行をみた。変状の進行状態は図-6 IV 龜裂展開図に示した通りである。

静岡保線事務所は 28 日午後 0 時 30 分第 702 列車より現場 30 km/h の徐行運転を執つたが逐次龜裂進行し危険と認めたのでレールセンター挿入の準備に着手し 30 日午前 7 時 50 分 704 列車より 852 列車まで興津由比間單線運転を行つて第 1 回軌條センター 34 組を変状最も著しい區間 26 m 間に間隔約 0.8 m 毎に挿入した。尙之に伴つて建築限界を縮小した爲、10 月 1 日 952 列車から時速 20 km の徐行運転とした。尙引続き軌條センターの製作をなし第 2 回 41 組は 10 月 6, 7, 8 日 3 日間晝間のみ單線運転を行つて之を挿入し 8 日第 710 列車から複線運転に復歸したのである。

応急修理対策として変状箇所延長約 80 m に亘つて隧道拱頂部裏側にモルタル注入計畫を樹てたが其の大要は隧道内から拱頂に約 6 m 間隔の孔を穿け之と交互する様に側壁左右に起拱線上約 1 m 附近の箇所に穿孔し低圧モルタル注入を行ふものであつて、10 月 23 日から 3 日間單線運転で穿孔を終り 26 日から列車運転の儘西側よりモルタル注入を開始し拱頂の孔からのみ注入して 28 日迄に約半を終つた。然るに龜裂箇所からモルタルの漏洩が多いので暫時硬化の時間を與へる爲、29 日からは残り半分を東口から西口に向つて拱頂のモルタル注入を進めてゐるが、中央で會した後は兩り西側に向つて進め又東側に戻り全部を完了する豫定である。

4. 変状發生の原因に對する考察

イ. 地質状況 水成岩であつて凝灰岩又は砂岩と頁岩との互層をなし大体走向は N 25°~30° W 傾斜 NE 60~75° 線路との交角約 65° である。然して地形からの觀察、所々に龜裂のある事竝に縦横に破碎されてゐる部分のある事等から、此の附近は斷層破碎帯の様に見られ風化の甚しい部分が侵蝕されて現在の地形をなしてゐるものゝ様である。

今回疊築に異状を來した上り線隧道部分は厚 50~100 mm の凝灰岩の層と厚 100~200 mm のシェールの互層で、シェールの層は風化の爲、龜裂が微細に入つて居るばかりでなく、すでに相當粘土化した部分もある模様である。長期間降雨があれば雨水は龜裂に沿つて地山中に浸透し之が粘土化したシェールの層序中に停滞して益々風化の傾向を助長するから粘土は流動性の爲め土圧を増し多分に崩壞の傾向を示すものゝ様である。

明治 35 年同 43 年及び今回の変状は何れも殆ど同一箇所發生して居る以上此の附近の地質が特に軟弱であるか或は崩壞性を有して居るものであると考へて差支へない。

図-7. 東海道本線驛由比興津間
162 km 160 m 附近上線隧
道内変状箇所應急補強レ
ールセンター建込状況



之に比すれば下り線第2洞隧道上の山は風化程度幾分低いものであるが、然も8月25日約5000m³の崩壊を來たした。

ロ. 降雨 表-2は蒲原在勤保線手の観測による降雨量調査表であつて8月初旬以來殆ど連日降雨あり、特に9月31日より35日に至る5日間降雨量は計717mmであつて最大は25日の219mmであつた。然して前記の通り8月28日に上り線隧道の異状を發見したのである。既往に於て明治43年8月の変状も大雨の直後の發生であつて當時の降雨量は前に記した如く沼津に於て5日間計561.3mm、濱松に於て676.3mmで然かも其の以前に於て滿20日以上に亙つて連続して降雨があつたのである。

即ち降雨の状態と龜裂發生の關係が明治43年の場合と殆ど其の軌を一にして居ると言つても良い。

ハ. 地震 本年7月11日静岡の地震は安倍川以東清水間に被害を生じ清水に於て最も被害が甚しかつたが、由比附近でも可成人体に感じた程度であつて前記の如く壘築に異状を來した部分が相當弱帯であるところから、此の部分は弛緩を來し雨水の浸透を容易ならしめる状態にあつたものと見る事が出来る。

ニ. 隧道内漏水状況 明治35年5月変状調査當時の記録によると當時の龜裂區間と漏水區間とが略一致して居るが、今回の龜裂發生前に於ても略同一區間の漏水が甚しかつたと稱せられてゐる。之等の點から考へて今回変状を來した部分は比較的雨水を浸透し易い箇所であつて相當シールドが風化して居るものと想像されるが、長期の降雨によつて此の部に滞水するため地山に弛みを生じ將に滑落せんとする傾向にあつたものが、豪雨の影響によつて或る滑り面に於て極微量丈け移動し、其の結果新なる接觸面に於て平衡を保つに至つたものと推定出来る。

ホ. 試掘成績 隧道壘築工裏側の状態を調査するため変状發生後側壁部に4箇所、拱頂部に6箇所試掘を行つた(圖-6 IV 及び V 参照)。

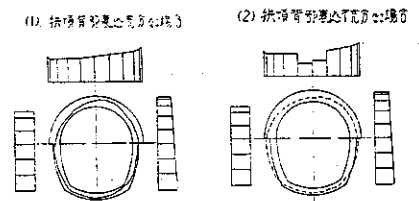
其の結果によれば側壁部は岩盤に接して居るか然らざるも充分裏込層が填充されて居て空隙を見出すことが困難である。然るに拱頂背面には多少裏込材料が堆積して居るが地山まで完全に填充されて居なくて上部に相當の空隙を有して居る、即ち拱頂部には比較的少ない荷重しか懸かつて居ないものと考へることが至當である。

隧道に作用する外力を圖-8(1)の如く假定して壘築工に對する圧力線を入れて見ると大体断面の中央1/3の範圍内に納めることが出来るが、圖-8(3)の場合の如く拱頂上部の圧力を著しく減ずる

表-2. 昭和10年蒲原附近降雨量(mm)

月 日	8月	9月
1		63.0
2		103.0
3	1.0	
4		
5		
6		
7		
8		
9	0.5	8.0
10	90.5	13.0
11	18.0	
12	1.0	
13		2.0
14	60.0	2.0
15	23.0	
16	25.0	
17		45.0
18		5.0
19		
20		23.0
21		57.0
22		90.0
23		115.0
24	28.0	213.0
25	1.0	219.0
26		
27	26.0	
28	40.0	
29	30.0	
30		
31	25.0	

圖-8.



と圧力線は點線の通り断面の中央 1/3 の範圍より遠く離れるから、何うしても疊築工の部に過度の張応力を生じて龜裂を生ずることは免れない。

若し拱頂背部の裏込めが完全であれば假令上部より能土圧は作用しない様な場合でも、疊築工が側圧を受けた場合下向きの負土圧を發揮して圧力線の位置を整調するから、龜裂の發生を防止することが出来る。依て洞隧道の場合拱頂背部の裏込めの不充分であつたことが変状の發生に大なる關係があつたものと考へられるのである。

へ. 地表面の傾斜 圖-5 横断面図に見る通り隧道上部の地表面は約 45° の傾斜を以て海側に傾いて居るためクロームの所謂崩壊面と地表面との間に挟まれた楔形土塊の重量は隧道の左右に於て大なる差があつて、従つて疊築に加はる地圧の分布は非對稱となり偏圧を生ずるのである (圖-9 参照)。

相當大なる偏圧を受ける隧道の疊築工の断面を本隧道の如く垂直軸に對し對稱形となすは甚しく不合理であつて、尠くとも圧力線を断面の中央 1/3 の範圍内に入れるためには圖-10 に示した断面に近似せしむることが必要である。

ト. 疊築工巻厚の急変 明治 43 年疊築工修理に際し拱頂部は從來巻厚棟瓦 4 枚の處之を 7 枚に改築したが、側壁部は従前通り 4 枚厚の儘復舊した、其の結果圧力線が拱部側壁共に中央 1/3 を通る機會は極めて尠く、結局巻厚の急変部に於ては小なる断面に支配されて折角増大した巻厚も有效に作用して呉れないから少しの偏圧を受けても此の境界附近で龜裂を生ずる虞れがある。

チ. 仰拱 圖-6 に示す通り洞隧道は東口より 166 m より以西 206 m 迄 40 m 間は建設當初より仰拱あり、其の後明治 43 年改築の際東口より 124 m より 146 m 迄 22 m の間に仰拱を増築した。

今回の変状は仰拱のある部分は程度が輕微で仰拱なき部分即ち 124 m 以東と 146 m 以西 166 m 迄の間に顯著なる龜裂を生じ特に後者の區間に於てはアーチに著しい龜裂喰違が發生したばかりでなく側壁石積工が孕出した様な次第である。本隧道の如く土質不良で而かも偏圧を受ける場合仰拱の施設のないことは重大な缺點であつて之亦変状發生の原因の一に數へることが出来る。

リ. 結論 以上各項に於て述べた各種の條件が直接間接に今回の変状の原因をなして居るのであるが、之を概括して示すならば左の通りである。

A. 変状發生の外的原因

1. 含水すれば粘土化し易きシエールの層よりなること
2. 斷層破砕帯の存在すること
3. 地表面傾斜し偏圧を受くること
4. 明治 43 年に於ける修理に際し拱背部の地山に悪影響を及ぼしたること
5. 約 2 箇月間に亘り降雨連続し最後に記録的豪雨ありたること
6. 7 月中旬静岡地方強震の影響ありたること

圖-9.

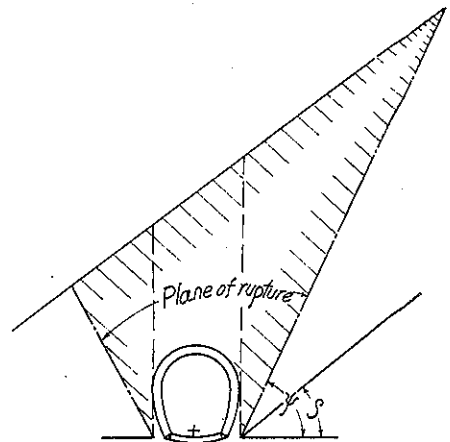
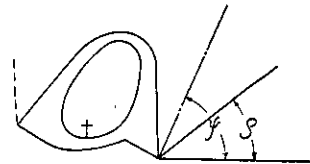


圖-10



B. 同内的原因

1. 偏圧隧道として断面形状不適当なること
2. 仰拱なきこと
3. 拱頂背部の裏込め不充分なること
4. 疊築工巻厚変せるため有効断面減少し居ること

5. 応力より見たる適當なる断面

龜裂の最も甚しかつた個所 (圖-3 及び圖-5 於ける横断箇所) 附近の例により隧道の疊築工に如何なる応力を生じ居るかをクーロムの土圧論によつて試算すると下記の如くである。

破壊面を $46^\circ \sim 75^\circ$ の間にとり、且つ之等に對する土の安息角を $35^\circ \sim 45^\circ$ の間にとつてクルマン線を畫けば圖-11 (I) の如くなる。土の重量を 1.7 t/m^3 とし、土圧力は隧道背面に直角に作用するものとして各安息角に對する最大土圧を計算し、石工拱の計算法により圧力線を畫いてみると夫等のうち安息角 38° の場合が略々隧道の龜裂状態に接近してゐるので、土の安息角を 38° と假定した。然る時は最大土圧を與へる破壊面の斜傾は 52° 最大土圧 306 t である。

此の土圧は地表面から側壁基底まで直線的に分布するものと假定し、隧道の高さに相當する部分の土圧が側圧として作用するものとし、鉛直荷重は疊築上部地表面までの全部をとつて計算した。

之等の土圧に對し道隧基底の反力竝に海側の負土圧は夫々圖-11 (II) 竝に圖-12 に記す様に假定した。

圖-11. 仰拱ある場合の力

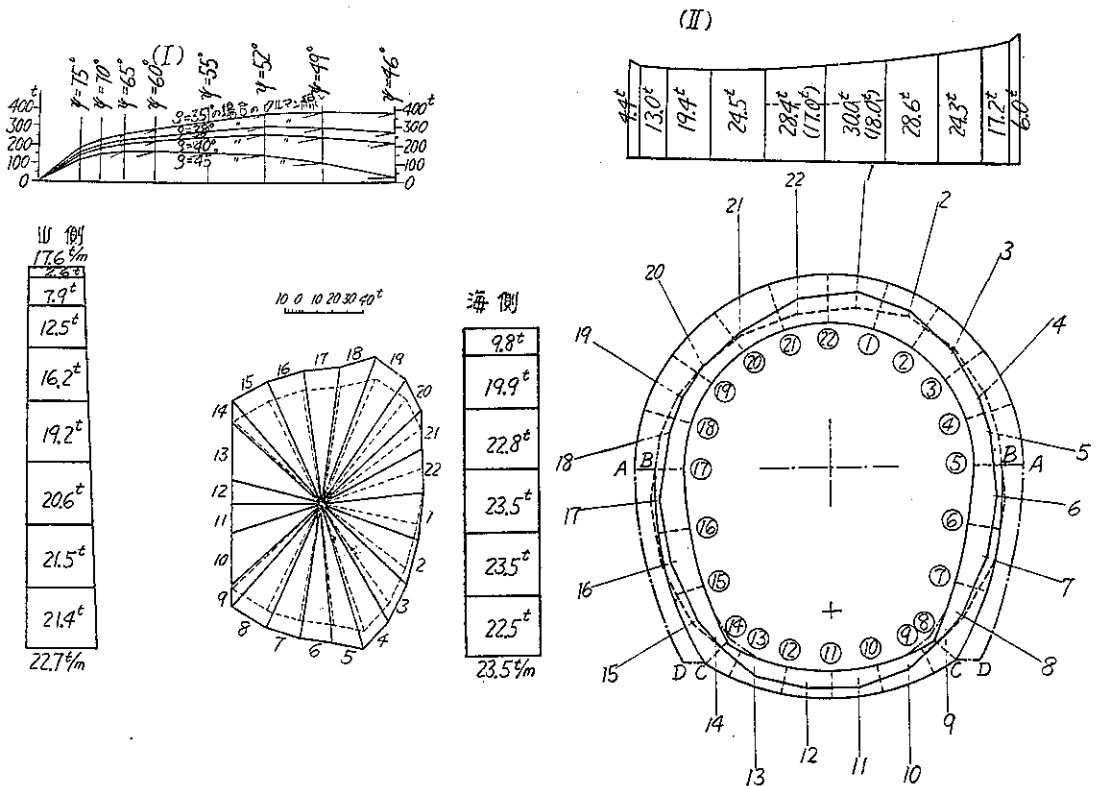
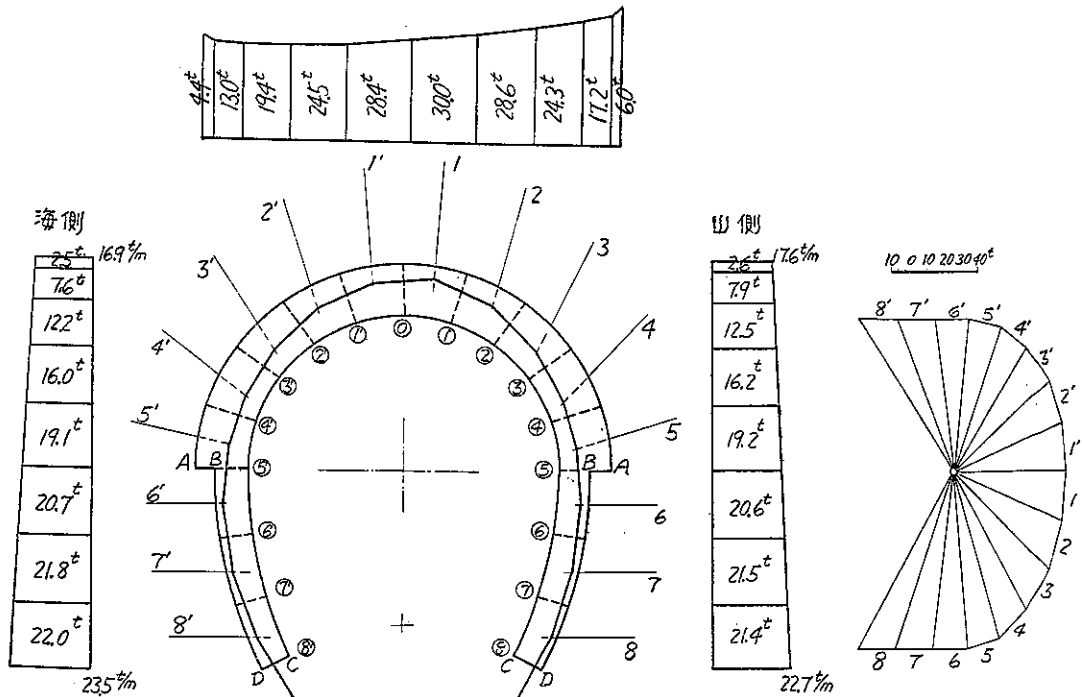


図-12. 仰拱なき場合の力



A. 仰拱ある場合 拱頂背部の裏込めが完全で上部土覆りの重量を全部能土圧として計算することが出来る様な理想的の場合に付て壘築に作用する外力を計算すれば図-11 の如くて、此の場合の圧力線は實線の位置を占める。応力計算の結果を示せば 表-3 の如くである。

表-3. 仰拱ある場合の応力 (kg/cm²)

(裏込め完全なる場合)

断面	5	6	8	14	15	17
内外側						
内側	-4.2	-11.2	46.4	42.8	-20.0	-4.2
外側	41.2	47.8	-14.0	-9.9	55.8	41.2

備考 正: 応圧力, 負: 応張力

壘築は応張力に抵抗出来ないものとするれば此の場合断面 5~8 及び 15~18 の間に於て龜裂を生ずる。然しながら側壁の厚さを拱厚と同一に増し B~C の代りに A~D の断面となすならば、圧力線は断面の中央 1/3 に入り力学的に安全なものとなる。

次に拱頂背部の裏込めが不完全な場合を考へて 1 及び 23 の荷重を 40% 減じ夫々 18t 及び 17t とし其の他は前記の場合と同一にとるときは圧力線は図-11 中の點線の位置に來り、前者に比し圧力線は一層中央を離れ応力の値も表-4 の如く増加するから龜裂の發生の傾向は益々甚しくなることが知られる。

B. 仰拱なき場合 図-12 は仰拱なき場合拱頂背部の裏込め完全なものとして圧力線を入れたのであるが、此の場合 6, 7, 及び 6', 7' の断面に應張力を生じて龜裂の虞れがある。

加之側壁下部の反力は 8 及び 8' に於て夫々 1m² 當り 248t 及び 223t に達する、此の附近の地盤として支

表-4. 仰拱ある場合の応力 (kg/cm²)

(表込め不完全なる場合)

断面		5	6	16	17	20	21	22
内外面								
内側		-30.7	-35.6	-45.6	-28.0	23.7	23.6	20.6
外側		63.5	67.2	77.2	60.0	-3.5	-6.3	-4.1

備考: 正: 応圧力 負: 応張力

持力は精々 1 m² 當り 20~60 t 程度であるから、隧道は全体として沈下を起すこととなり、到底安定を維持することは出来ない。従て此の地盤として仰拱は絶対的に必要である。

現場の状態より推察するに反力は図-12 の C~D 面よりも寧ろ A~B 面が其の大部を負担して居るものと考えられるのであるが、若し A~B 面に変移があれば拱は変状を來さざるを得ない實情である。

6. 補強の対策

1. 裏込を充分にすること 図-11 に示した様に、拱頂部分の裏込不十分の時は山側からの能土圧に對して拱頂に於て負土圧を發揮せぬ事となり、側壁内面に張力による龜裂を生ずる原因となる。

理想は地質の関係上高压セメント注入であるが、現在隧道に龜裂の 入つてゐる爲、逆噴の多い事と 疊築破壊の危険もあるので、先づ低圧でモルタルを注入し、其の後高压セメント乳を注入するにある。

2. 隧道断面の変更 仰拱なき部分に仰拱を設けることは絶対に必要である。且つ仰拱ある場合も図-11 鎖線の如く隧道断面を改築する必要がある。

改築後の応力を計算すれば表-5 に示す如く許容応力の範囲内に收まつて安全である。

表-5. 断面改築後の応力 (kg/cm²)

断面		5	6	8	14	16	17
内外側							
内側		15.8	13.3	25.6	25.5	10.7	17.0
外側		6.2	8.5	1.0	3.5	10.6	4.4

3. 地表水の滲透防止 地表水は断層破碎帯又はシェールの層序中に發生した微細な網狀龜裂を滲透し崩壊の主原因となるものであるから、水の滲透を防止する意味に於て高压セメント注入を施行し地盤中の空隙を填充することが必要である。

國鉄の雪害概況

(昭和 11 年 1 月の大雪に因る被害)

鐵道省工務局保線課

1. 緒言 従來の記録に依れば大雪の週期は大抵 5 年である。最近の大雪は昭和 8 年度であつたから今冬は差したることはあるまいといふのが従來の記録から見た一般の豫想であつた。然るに今冬の雪は恰も生れ立ての猛獸が直に立ち上つたかのやうに全く豫想を裏切つて猛然とやつて來た。初雪の降り出しが既に斯くの如き猛然たるものであり、それが日を経るに従つて益々跳梁跋扈を逞しうする一方でいつか衰頹の氣色を見せやうともしない。全く恐るべき猛烈な降り方である。