

図-9 (2). 経済的切撤幅員
p=1.20 円

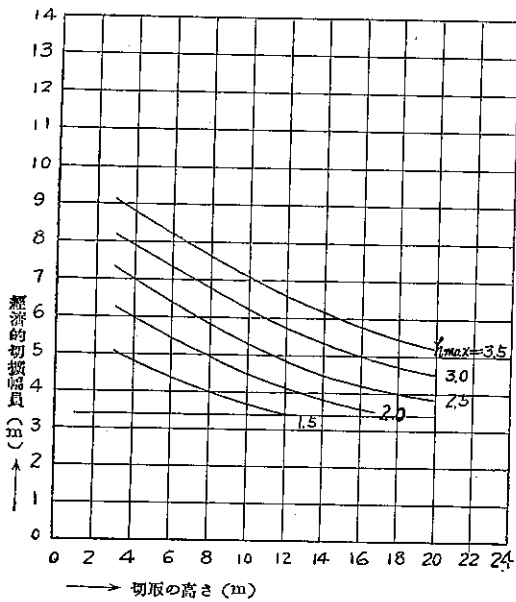
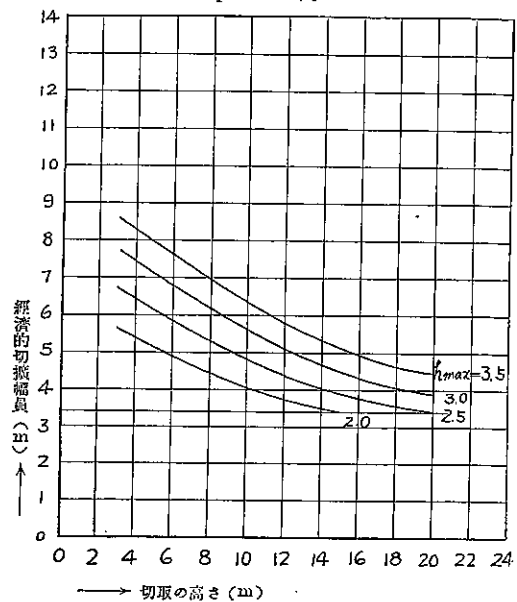


図-9 (3) 同
p=1.50 円



軌道材料の電蝕状態に就て

(昭和 13 年 7 月 16 日土木学会第 2 回年次学術講演会に於て)

會員 山 田 二 三 男*

要旨 本文は國有鉄道に於ける軌道材料の電蝕状態の現況を説明し、其の腐蝕電流に関する調査に基づき電蝕被害の軽減方法を併せ述べたものである。

目 次

- | | |
|--------------|----------------|
| 1. 緒 言 | 2. 電化區間と電蝕被害箇所 |
| 3. 電 蝕 の 實 状 | 4. 電 蝕 量 |
| 5. 電蝕軽減方法 | |

1. 緒 言

一般に地中に埋設された金属体即ち電力ケーブル、通信ケーブル、瓦斯鉄管及水道鉄管が電氣鉄道の軌條から流出する漏洩電流に因つて電氣分解作用を受け、缺損其の他の事故を發生してゐるが、國有鉄道に於ても線路の軌條及附屬品自体が同様に此の被害を受け相當注目すべきものがある。將來益々進展せんとする電化區間の増大に伴ひ、正に緊急之が防止対策をなすべきであるが故に、其の電蝕被害現況を知り、併せて電蝕に関する諸條件を究明する必要がある。

* 鉄道技師 工学士 鉄道省工務局保線課勤務

2. 電化区間と電蝕被害区間

國有鉄道に於ける電化区間は表-1 及 図-1 の如くである。

之を昭和 12 年度末本線軌道延長 20 501 km に比較すれば大略 6.4 % に相當する。

之等電化区間に於ては總て架空單線式を採用し軌條を電車電流の歸路に使用して居るが、此の場合には軌條より幾何かの電流が土地に漏洩し、軌道材料が其の流出箇所にて被害を受ける事は或程度避けられぬ事である。而も尙國有鉄道が架空複

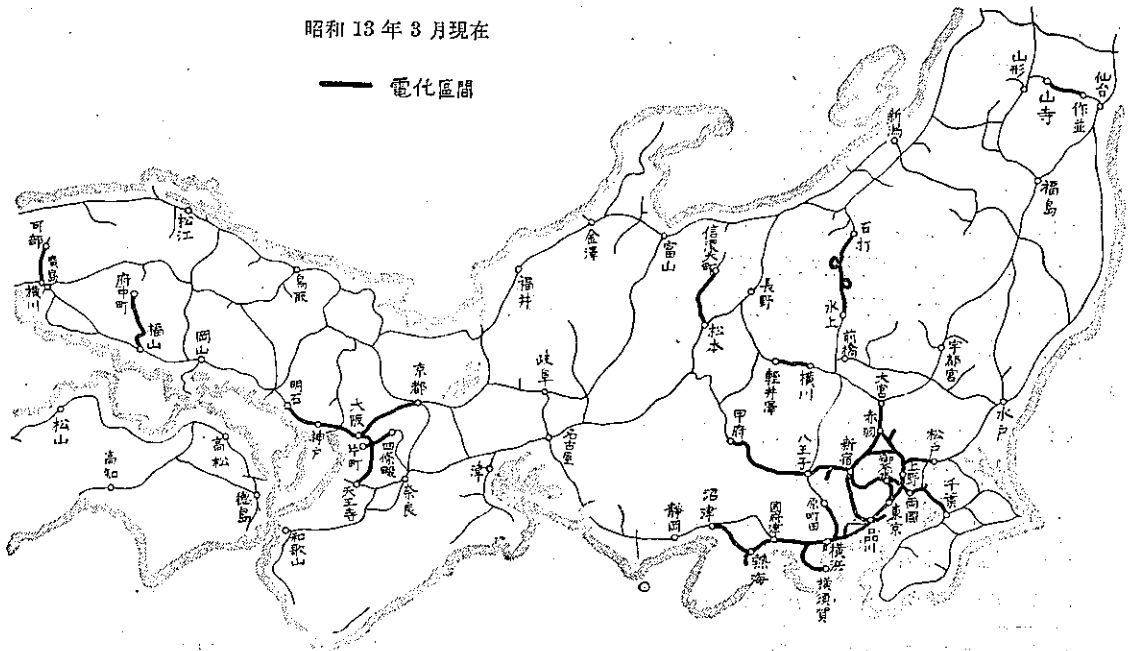
線式によらず單線式を採用してゐるのは技術的にも經濟的にも利便があり、のみならず架空電車線の故障が約半減する事と、電車への供給線中の電圧降下及電力損失が減少する等の爲である。

以上の電車區間中信越線横川、輕井澤間の碓氷峠の特殊な區間を除けば總て大正年 14 以降に電化せられたものであつて、電蝕被害を我々が認むるに到つたのは漸く昭和 9 年中央線笹子隧道に於てである。即ち昭和 5 年 8 月以來鉄道省に於て電化前後の軌條の重量測定をした處、偶々昭和 9 年 8 月に軌條底部に缺損部分のあるのを發見したのが最初であつて、次に其の 12 月に遊間整理作業を施行した際各所に同様な状態を見出したので、他の隧道も

表-1. 電化区間延長調 (昭和 12 年度末)

類別	線路延長 (km)	軌道延長 (km)	記 事
電車専用線	129.2d	258.4	d=複線軌道 s=單線軌道
電機車、電車併用線	111.5 d+ 40.7 s	263.7	
汽車、電車併用線	135.1 d+ 84.2 s	354.4	
汽車、電機車併用線	63.0 d+ 4.9 s	130.9	
電機車専用線	68.4 d+159.8 s	296.6	
合計		1 304.0	

図-1. 國有鉄道電化区間略図



一齊に調査したのである。然るに當時は小佛隧道以外には其の傾向を認めなかつた。實際其の頃は殆ど電蝕に関する知識が無かつた爲、之等の隧道が電化後既に 3.5 年も経過してゐたわけであつたが電蝕を一般の腐蝕と考へてゐたのであつた。其の後漸次調査の結果、

- 中央線： 浅川初鹿野間各隧道，殊に小佛，笹子兩隧道
- 東海道線： 程ヶ谷戸塚間品濃隧道，小田原早川間小峯隧道
- 横濱線： 小机中山間城山隧道
- 上越線： 水上中里間各隧道，特に松川第 1，第 2 兩隧道
- 總武線： 船橋附近

等に於て電蝕の顯著な事實を知つたのである

3. 電蝕の實狀

之等の電蝕箇所及其の電蝕状態の共通點を列挙して見るに、

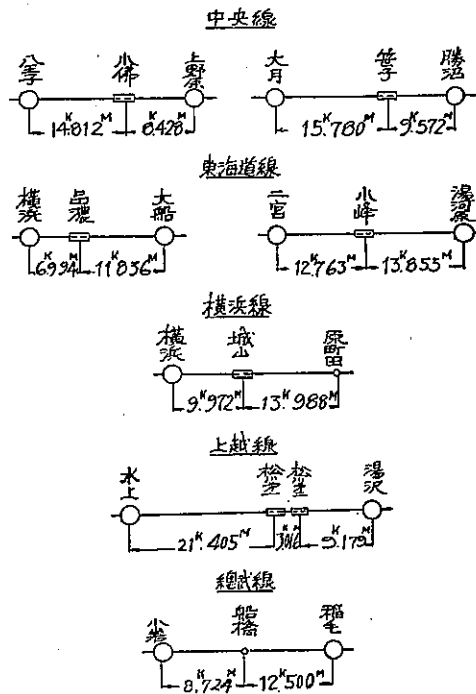
1. 電蝕箇所の共通條件

- (イ) 兩変電所区間の中央に近い事、図-2 に示す如くである。
- (ロ) 隧道である事、總武線以外は總て隧道内である。
- (ハ) 道床に濕氣の多い事 (* 腐蝕軌條 60 本中 37 本は濕地に發生せり)。
- (ニ) 道床が篩砂利である事、表-2 に示す如く現在中央線は碎石化せるも他は殆ど篩砂利を使用してゐる。
- (ホ) 道床バラスト薄き事、(* 腐蝕せる箇所は枕木下 104 mm で、腐蝕なき箇所は 193 mm であつた)。
- (ヘ) 枕木が素材である事、(* 素材使用箇所の腐蝕發生率は施薬枕木使用箇所に比較し約 15% 大であつた)。
- (ト) 湧水が幾分良導體である事。
- (チ) 路盤が比較的良導體である事。

2. 軌條及附屬品の電蝕箇所 電蝕する箇所は何れも軌條と附屬品相互の接觸部分及之等が枕木に接觸する部分である。

- (イ) 軌條： 大釘又は螺釘との接觸部及タイプレート又は枕木と接觸する底部。
- (ロ) タイプレート： 軌條，枕木及大釘又は螺釘との接觸部。
- (ハ) 大釘又は螺釘： 枕木内に打込まれたる全体，頭部及先端。
- (ニ) アンチクリーパー： 枕木との接觸部。

図-2. 電蝕箇所と変電所との關係



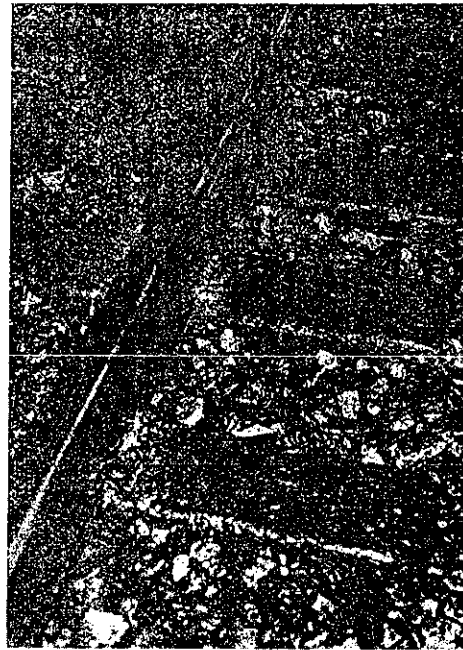
* 印は昭和 9 年笹子隧道の調査による、尙詳細は鉄道省工務局發行第 21 回保線講話記録参照

而して電蝕の程度小なる箇所は主として犬釘に発生を見、程度大なる箇所は軌條並にタイプレートに及ぶのである。又此の電蝕の初期に於ては必ず軌條底部に発生した所謂電蝕ガス（第2酸化鉄約84%含有）が恰も赤褐色粘土状となつて枕木上にはみ出すのである。図-3, 4は其の typical な例である。

図-3. 笹子隧道に於ける電蝕初期の第2酸化鉄はみ出し状況



図-4. 笹子隧道に於ける電蝕初期の第2酸化鉄はみ出し状況



3. 電蝕状態の詳細 2. に於て一般的に説明せるものを表-2により各箇所就き示す事とする。

表-2. 代表箇所電蝕状態調(昭. 13. 6. 30. 調査) 註()内数字は参照図番號

箇所名	延長	電化年月	経過年数	道床種類	電蝕状態			電蝕による耐久年限			記事
					軌條	タイプレート	犬釘又は螺釘	軌條	タイプレート	犬釘又は螺釘	
笹子隧道	4656.08 ^m	昭6年4月	同7年2月	砕石(もと師砂を昭和10年3月電蝕甚しき箇所より更換し始め本年3月完了す)	全体に亘り電蝕甚しく底部螺釘又は犬釘に接觸する部分半月形に腐蝕す。その放の長さ及正矢は共に200mm程度に及び。軌條1本付15~20箇所ものあり。又底部の枕木に接觸する部分6~7mm腐蝕す。(12), (13), (14)	軌條と同様に腐蝕甚しく軌條及枕木に接觸する部分即ち上下兩面より腐蝕し厚さ4mm(新品13mm)に達せるもの相當あり。故に昭和9年より次に撤去し現在約2kmとなれり。(15)	殆ど全部電蝕され全体が細く腐蝕せり。先端15~20mm腐蝕せり。螺釘も殆ど全部電蝕され全体が細く腐蝕せしきものは先端18mmも腐蝕す。(61), (17)	4.5~6年	5~9年	3~6年	此の外湯ノ花、板橋、横吹第1、奥瀬、横道第2、橋澤、天屋、吉野各隧道に於ても程度低きものあり。尚笹子隧道に於ては本年3月軌條更換せる箇所を於て既に軌條の電蝕を感知しうる程度也。
小佛隧道	2545.08 ^m	昭6年4月	同7年2月	コンクリート	電蝕の状態は笹子と同程度也。底部の枕木に接觸する部分14mm腐蝕し2mm程度になれるものあり。(18), (19)	笹子以上に甚しく厚さ8mmに達せるもの相當あり。(19)	螺釘は笹子と殆ど同一状態を示せり。(20)	5~7年	5~7年	6年	
平野隧道	271.73 ^m	昭6年4月	同7年2月	砕石	一部電蝕相當大にして軌條と螺釘の接觸部の腐蝕甚しきものあり。(21)	軌條と同様に電蝕局所的であるが厚さ5mm程度に達せるものあり。	螺釘の先端部稍減損す。	9年	6~9年	6年	

更に枕木の壽命を考ふるに軌條底部半月形腐蝕により軌條の締着困難となり、大釘打換作業による枕木の損傷も當然増加される理で、笹子隧道の甚しい例によると大略其の壽命が半減され4ヶ年程度となつてゐる。

今上記の軌道材料各種につき概括的に普通線路と比較すれば表-3となる。

表-3. 軌道材料耐久年限比較

線別 品名	普通線路	電蝕線路
軌條	15年	5~9年
タイプレート	20 "	5~9 "
螺釘又は大釘	10 "	3~7 "
枕木	8 "	4~7 "

之等の壽命の差により電蝕の有無による線路保守費の増額を詳細に知る事は電蝕防止施設計畫に必要缺く可からざる要素である。一例として笹子隧道の線路1km當り1年間の保守費の増額を調べたるに約3000円を得たり。

4. 電蝕量

一般に金属が電氣分解作用を受くる場合にはファラデーの法則が存在する。

$$W = izt$$

茲に W : 電蝕量, i : 通過電流 (アムペア), t : 電流通過時間 (秒), z : 電氣化学當量

而して軌條を構成する鋼に於ては

$$z = 0.2898$$

であるから1アムペア時の電氣量に付きファラデーの法則により鋼が電蝕する量は1.0430grで1アムペア1年間には9.13kg電蝕する事になる。

又此の際生ずる生成物は青味がうつた黒名の酸化第1鉄(FeO)であるが之は不安定で直ぐ酸化し、赤褐色の酸化第2鉄(Fe₂O₃)となり其の容積は母材の約2~3倍となる(自然腐蝕の場合には、四三酸化鉄(Fe₃O₄), 所謂赤錆を生ずる)。

尙實際軌道に於て生ずる電蝕量は道床の温度、湿度等により左右せられる。即ち

$$W = \eta izt$$

で示される。

例へば總武線船橋駅構内に於ては、實測結果によれば、大釘電流は1.12~2.22mA/10V、軌條對地電圧は20.0Vであるから、 $\eta = 1$ と假定すれば、大釘の1年間の電蝕量は20~40grに達する事になる。

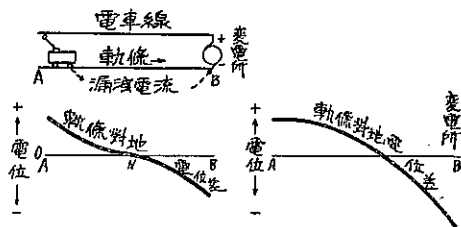
例. $W = 9.13 \times 1.12 \times 2.0 = 20.45 \text{ gr}$

實際船橋駅構内に於ける大釘の電蝕量は1年間25gr程度である。

而して此の通過電流即ち電蝕を發生せしむる電流は電車電流の歸路として使用せられる軌條より漏洩するものであつて、例へば一変電所區間に電車1輛が運転せられてゐる場合、即ち單一負荷の場合にはAB間の軌條の電圧は図-5の如く或る部分では大地より高く、或る部分では大地より低くなるが漏洩電流は此の電位差に比例して増減し軌條の漏洩抵抗に逆比例する。

又列車の頻繁區間に於ては分布負荷の状態に近づき其の電位差は図-5. bの如くなる。

図-5. 軌條對地電圧分布圖
(a) 單一負荷の場合 (b) 分布負荷の場合



即ち $i = E/R$

茲に E : 軌條の對地電圧 (ボルト)

R : 軌條と大地との間の漏洩抵抗 (オーム)

故に電蝕量 W は

$$W = \frac{E}{R} \eta z t$$

にて示されるが故に、電蝕量を軽減せんとすれば、

- (1) 軌條電圧 E を小にする事、
- (2) 漏洩抵抗 R を大にする事、
- (3) 電蝕能率 η を小にする事となるのである。

5. 電蝕被害軽減方法

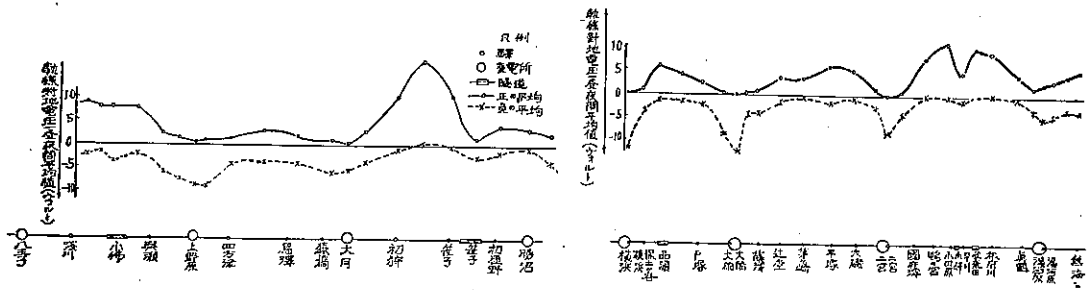
A. 軌道電圧を小にする方法

1. 電蝕被害大なる前述の箇所その他につき軌條對地電圧を測定せるに表-4 及 図-6 の如くである。

図-6. 軌條對地電圧實測分布図

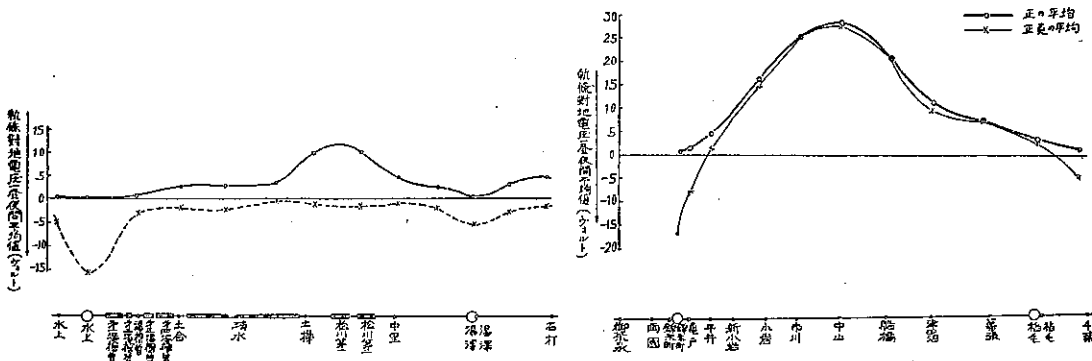
(1) 中央線 (昭. 11. 11~12. 測定)

(2) 東海道線 (昭. 4. 6. 測定)



(3) 上越線 (昭. 12. 10~11. 測定)

(4) 總武線 (昭. 10. 12~11. 2. 測定)



之等に依れば軌條對地電圧の正の 1 日間の平均値に於て笹子、小佛は 4~8 V、小峰は 8 V、松川は 6~9 V、船橋附近は 20 V、品濃は 5 V で、清水、丹那は 2 V 以下である。前者は正の値が大部分、負の値は零か或は殆ど無く、後者は正值、負値共相當な割合に存在して交替し此處には電蝕としてみるべきものがない。

又 図-6 の軌條電圧分布測定値より見るも正の値 6 V 程度以上の箇所に隧道があれば電蝕被害は充分豫知せら

れるのである。

表-4. 軌條對地電圧實測値

隧 道 名	軌條對電圧 1 日間平均値		測 定 年 月
	正 の 値	負 の 値	
中央線 笹子隧道 (東口)	7.85 V	0 V	昭. 10. 6.
" (中央)	3.71	0.78	"
中央線 小佛隧道 (中央)	6.68	0.38	10. 7.
東海道線 小峰隧道	6.72	0.37	10. 8.
" "	8.00	0.19	"
東海道線 品濃隧道	5.00	1.50	4. 3.
東海道線 丹那隧道 (中央)	1.86	1.22	10. 8
上越線 清水隧道 (中央)	1.79	0.55	"
" (北口)	1.60	1.17	"
上越線 松川第1隧道	5.75	0.36	11. 9.
" "	8.44 (正負差引値)		12. 10.
上越線 松川第2隧道	8.62 (")		"
總武線 船橋驛附近	20.00	—	11. 2.

2. 軌條の對地電圧を低下せしむるには大体次の方法が考へられる。即ち

- (1) 変電所饋電區域を縮小する, (2) 軌條の重量を増大する, (3) 軌條ボンドを或可く太くし, 傳導率を大とする (4) クロスボンドを設ける, (5) 補助饋線を設ける等である。

今 (1) に就て少しく説明するに;

電蝕被害各地に於ける変電所の間隔は比較的大で 図-2 の如く 19~34km であつて、之等の對地電圧分布實測圖は 図-6 の如くである。

尙変電所間隔に對する軌條對地電圧の変化の割合を一例を以て図示すれば 図-7 の如くで、即ち変電所間隔 20km の軌條對地電圧を 100 とすれば、間隔がその 1/2 となれば電圧は約 1/3 となり、間隔が 1 1/2 倍となれば電圧は約 2 倍となるのであつて、軌條對地電圧を小にせんとすれば適當の間隔に変電所を設置する必要がある。而も此の事は電力供給側よりも重要な問題である。

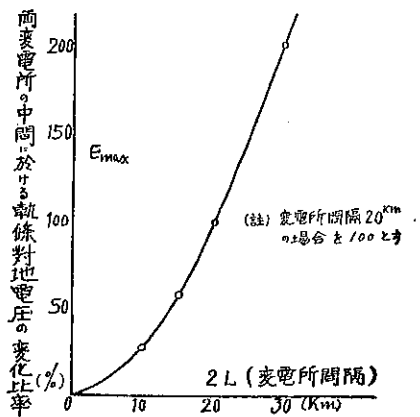
B. 漏洩抵抗 R を大にする方法

1. 軌道床の電気抵抗を高め軌條よりの漏洩電流を軽減する事は重要な問題であるが、前記の如き軌條電圧を有する箇所に於ては大體電気抵抗値はどの位の値に於て電蝕被害を受けるかをみるに 図-8 の如く各箇所の調査結果よりすれば測定値は大體 6000~10000 オーム附近に集中してゐる。

図-7. 変電所間隔と軌條對地電圧との關係

$$E_m = i_0 \rho \left\{ 1 - \frac{\alpha L}{\sinh \alpha L} \right\}$$

$R = 0.0165 \Omega/\text{km}$ 50 kg rail
 $\rho = 20$ " = 漏洩低抵
 $\alpha = \frac{\sqrt{R}}{\rho}$ = 漏洩係數



今 軌條對地電圧平均値 $E=10\text{ V}$
 許容流出電流密度 $i=0.75\text{ mA}$

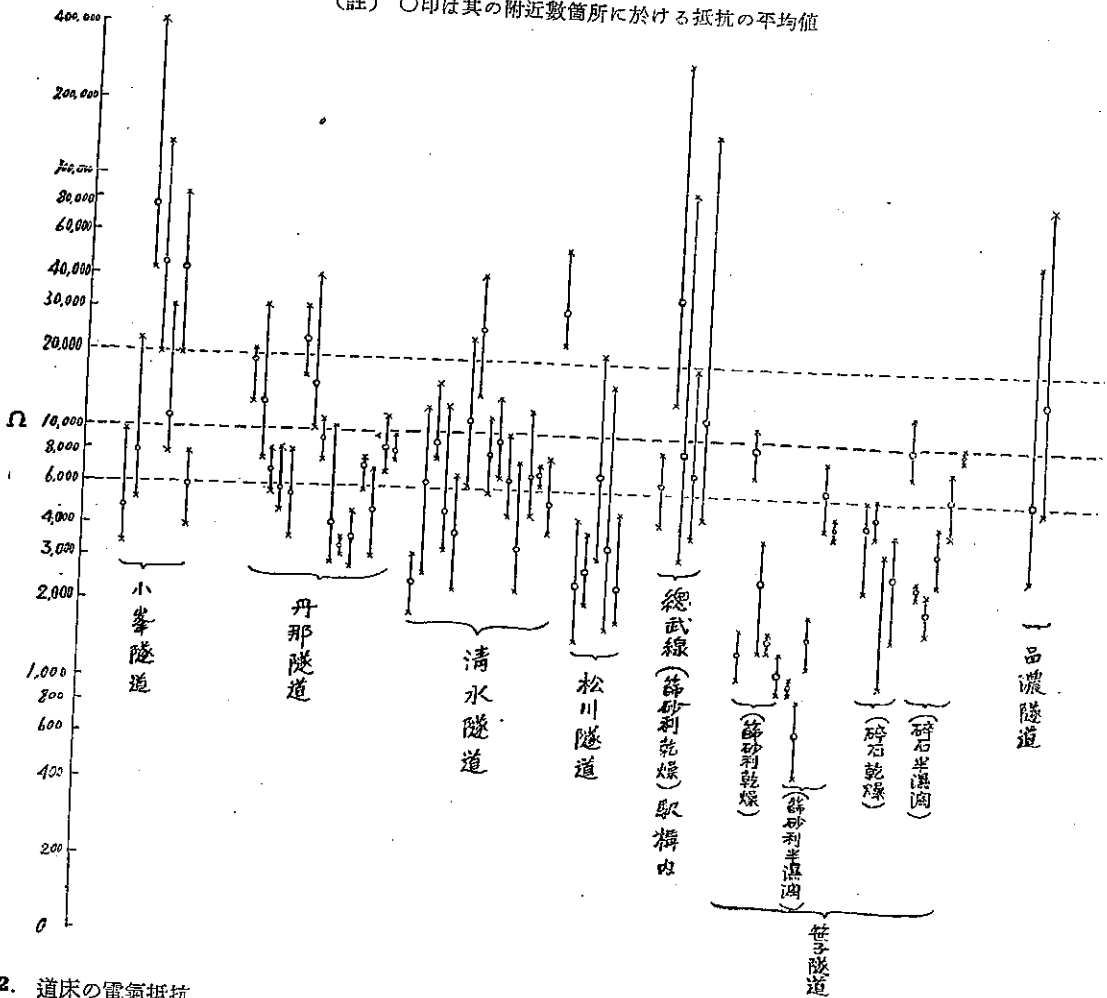
とすれば、犬釘の枕木に接觸する面積は約 0.6 dm^2 であるから

$$R = \frac{10}{0.75 \times 0.6} = 22(\times 10^3 \Omega)$$

となる。

この計算値と 図-8 とを對照すれば之等の箇所に於ては約 20 000 オームあれば電蝕を或程度輕減し得る事を知る。勿論軌條電圧高き箇所に於ては相當大なる抵抗を必要とすべし。

図-8. 軌條の漏洩抵抗(犬釘1本當り)
 (註) ○印は其の附近數箇所に於ける抵抗の平均値



2. 道床の電氣抵抗

(1) 枕木の抵抗: 枕木の材質及種類に對する電氣抵抗は從來種々調査せられてゐるが統計的に判然たる數値を示す事が困難なる故、之に就ては今後の調査に俟つ事とし抽象的に示せば

(イ) 一般に含水量大なる程抵抗は小となる。圖-9 は樺を清水に浸して實測せる一例を示したものである。

- (ロ) 敷設經過年数大なる程小となる。
- (ハ) クレオソート注入材は素材よりも稍大となる。
- (ニ) コンクリート枕木は木材枕木より小である。

例：コンクリート枕木 1000Ω (1:2:4 コンクリート 5160Ω/cm³)
 木材枕木 10000Ω (枕木材 18000Ω/cm³)

- (ホ) クリ材は他の材より小である。

表-5 にみる如く、材種によつて異なるが晴雨により 50% 以上の差を示す。

尚枕木の電氣抵抗を増大する特殊の方法としてパラフィン注入を試みたが図-10 の如く其の量相當大とならざれば効果に於てみるべきものなく又 1 挺の價格 10 円程度 (注入量 20%) となり、今後相當此の種の研究の餘地がある。

表-5. 枕木材種別電氣抵抗比較

枕木種別	電氣抵抗 (kΩ)	
	晴	雨
クリ (素)	2.76	3.89
ブナ (注)	8.06	12.44
マツ (注)	9.44	6.71
ナラ (注)	9.65	6.15

備考：電氣抵抗値は敷設状態に於て大釘 2 本に對するものを示す。

- (2) 道床の抵抗： 道床は其の含水量少き程抵抗が大となる。

即ち

(イ) 碎石と篩砂利との比較を示せば表-6 の如くで、碎石は篩砂利よりも 2 倍以上高く、且其の粒の大なる程それが著しい。

(ロ) 道床バラスト篩分け前後に於ける電氣抵抗を比較するに、篩砂利 (土砂混入割合約 30%) 施行前 3820Ω/cm³ のものが施行後 13450Ω/cm³ を示せり。即ち砂利篩分けに依り相當に抵抗を増す事が出来る。

- (ハ) コンクリート道床に於ては一般にバラスト道床より抵抗低く、

表-6. 道床バラスト種類別電氣抵抗

天候	電氣抵抗 (MΩ/cm ³)		抵抗比	バラスト種別	電氣抵抗 (kΩ)	
	碎石	篩砂利			晴	雨
晴 (雪後 2 日目)	1.99	1.09	1.83	篩砂利	2.24	1.03
雪	4.30	1.70	2.53	碎石 (小) 10~50mm	417	4.8
曇 (雪後 1 日目)	1.77	0.915	1.93	" (中) 30~80mm	196	* 73.5
曇	1.76	0.904	1.94	" (大) 50~100mm	5990	20.9

備考：電氣抵抗は大釘 2 本に對するものを示す
 * は雨後 3 日目にして他より遙かに乾燥せり

図-9. 木材の含有水分と電氣抵抗の關係 (昭 5. 2~5. 6 測定)
 試料樺素材

備考：始の状態は 絕對乾燥法に對し約 10% の水分を含む

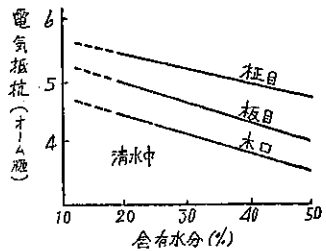
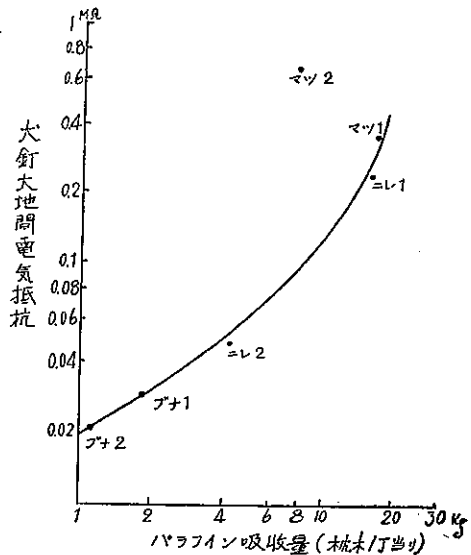


図-10. 枕木のパラフィン吸収量と電氣抵抗との關係



1 : 2 : 4 コンクリート 5160 Ω/cm^2

1 : 3 : 6 コンクリート 8000 Ω/cm^2

である。

3. 之等軌道床の電気抵抗を構成する内容を調べてみるに、軌條の大地に對する電気抵抗は枕木、道床バラスト及其の下の廣い土地の状況に關係してゐるが、實測の結果大部分枕木及砂利の部分に存在する事が判つた。

今 V_1 : 軌條, 大地間電位差 V_2 : 軌條, 道床バラスト底部間の電位差
とすれば V_2/V_1 の實測値は表-7 の如くである。

表-7. 道床部分と路盤との電気抵抗分布率

測定年月	測定場所	V_2/V_1 (%)	Y (m)
昭和3年6月	横濱線 小机驛附近	86.5	100
"	" 小机中山の略中間	89.6	"
"	" 長津田驛附近	89.5	"
昭和5年5月	東海道線 戸塚驛附近	73.2	500
"	" 大船変電所附近	93.0	"
"	" 茅ヶ崎驛附近	93.7	400
"	" 二宮変電所附近	90.6	200
"	中央線 荻窪驛附近	80.5	500
"	" 西荻窪驛附近	89.8	"
"	" 武蔵境変電所附近	87.4	"
"	" 立川驛附近	78.9	"
	以上平均	86.6	

即ち枕木及バラスト部分の電気抵抗は大体 86.6% で其の他の部分の抵抗は 13.4% である。尙此の 86.6% は枕木と道床バラストに如何に配分せられてゐるかを實測せるに表-8 を得たのである。

茲に V/i : 大釘 2 本の大地 (軌條より約 100 m 離隔せる地點) に對する電気抵抗

V_1/V : 上記電気抵抗の枕木部分に含まるゝ割合

V_2/V : 上記電気抵抗の枕木及バラスト部分に含まるゝ割合

$V_1/i = V/i \cdot V_1/V$: 枕木部分の電気抵抗

$\frac{V_2 - V_1}{i} = V/i (V_2/V - V_1/V)$: バラスト部分の電気抵抗

表-3 の如く其の 50% 以上は枕木に存し, 20% 程度は道床バラストに存する事が大体判明したのである。而して此の割合も晴雨により相當変動がある。

然し場所によつて異なるが一般に軌道床の電気抵抗を大にするには枕木の抵抗を大とする事が最も望ましい方法であつて, 道床バラストは前述の如く碎石を用ふるとか, 篩分けによりそれ自身の抵抗は増すが比較的其の効果は少ない様である。

4. 以上よりして漏洩抵抗を大にする方法を列挙すれば

- (イ) 枕木は完全なる施薬材を使用する事
- (ロ) 碎石砂利を使用する事
- (ハ) 道床バラストは篩分けを勵行する事
- (ニ) 砂利の厚さを増す事

表-8. 道床部分の電気抵抗比較

測定場所	枕木	バラスト	V_1/V (%)	V_2/V (%)	V/i (kΩ)	V_1/i (kΩ)	$\frac{V_2-V_1}{i}$ (kΩ)
(1) 船橋驛内	ナラ (注)	砂利	76.2 (73.5)	93.3 (93.7)	7.85 (13.1)	6.15 (9.65)	1.13 (2.33)
(2) "	マツ (注)	"	76.1 (57.9)	89.0 (93.8)	8.82 (15.8)	6.71 (9.44)	0.89 (4.20)
(3) "	クリ (素)	"	71.1 (62.6)	85.4 (91.5)	4.77 (4.40)	3.39 (2.76)	0.63 (1.06)
(4) "	ブナ (注)	"	78.3 (77.8)	88.4 (89.9)	9.57 (10.73)	7.49 (8.36)	0.66 (1.21)
(5) 下總中軌— 船橋間	"	"	87.7 (78.2)	95.3 (96.3)	10.14 (8.26)	8.83 (6.50)	0.67 (0.94)
(6) "	"	碎石 小	72.5 (3.2)	93.5 (96.3)	20.7 (441)	15.0 (6.4)	4.8 (417)
(7) "	"	碎石 大	59.3 (≠0)	97.5 (88.2)	111.7 (6790)	54.2 —	20.9 (5990)
(8) 船橋— 津田沼間	"	砂利	79.6 (49.5)	93.8 (93.3)	30.2 (24.5)	24.0 (12.1)	4.2 (10.8)
(9) "	"	碎石 中	23.1 (≠0)	87.7 (91.7)	159 (214)	36.7 —	73.5 (196)
平均			69.4 (50.5)	91.9 (92.8)	差	22.5% (42.3%)	

(備考) 括弧なきは雨天, 括弧あるは晴天時を示す。

等である。

尙アルマイトの酸化皮膜の絶縁性を利用し軌條とタイプレート間にアルマイト板を挿入し軌條の漏洩抵抗を高めようと試みたが取付後僅か1ヶ月餘に於て殆ど酸化皮膜が傷付いて絶縁の効果を失つたのである。

C. 電蝕能率 η を小さくする方法

電蝕能率とは前述の如く實際に生ずる電蝕量をアラデーの法則による電蝕量の百分率で示したものであるが、之は非常に複雑な内容をもつてゐるので今後相當研究を要する問題である。然し大体鉄、クロム、ニッケル等の合金は電蝕に對して相當抵抗し得る様である。

図-11. 管子隧道内に於て軌條底部タイプレート間に
理研のアルマイト製絶縁板を挿入せる状況



参考写真

図-12. 笹子隧道發生品軌條 7年経過, タイ
プレート 5年経過, 螺子 4年経過
(昭. 13. 6. 撮)

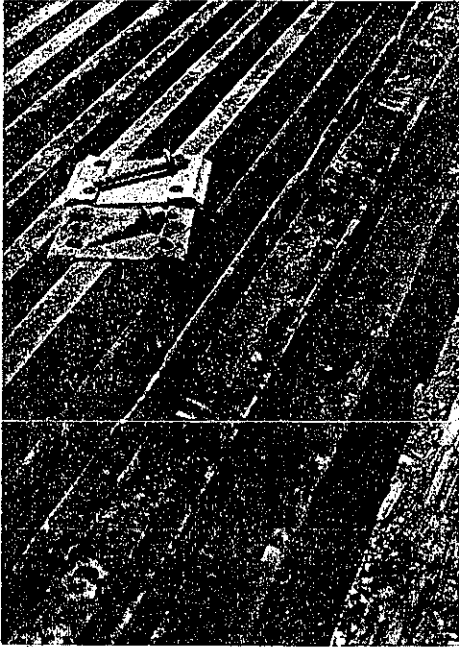


図-15. 小佛隧道發生品 7箇年経過
(昭. 13. 6. 撮)

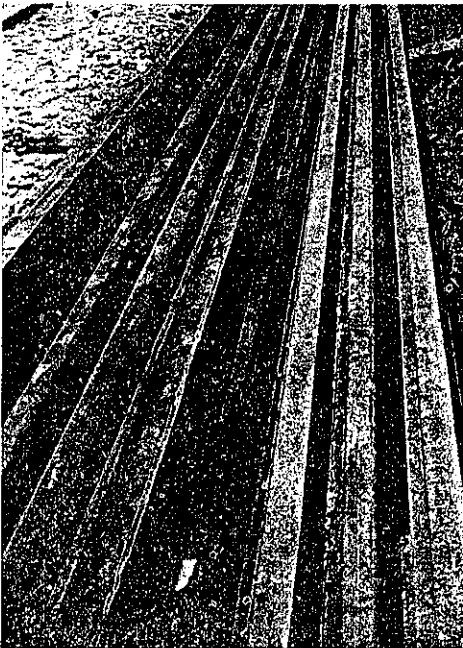


図-13. 笹子隧道 3年7箇月経過 (昭. 13. 1. 撮)

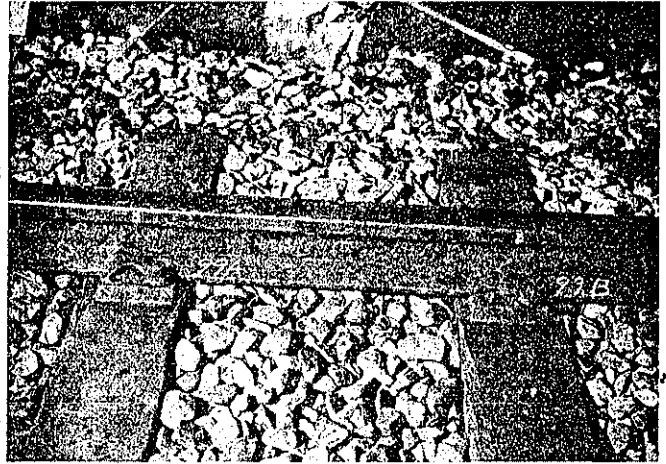


図-14. 笹子隧道 7年2箇月経過 (昭. 13. 6. 撮)



図-16. 笹子, 小佛隧道發生品 (昭. 13. 6. 撮)

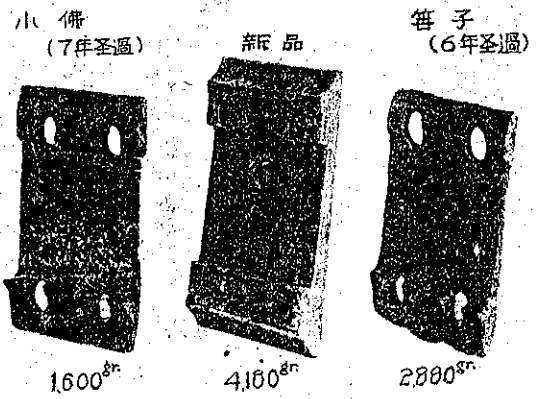


図-17. 笹子隧道發生品 (昭. 13. 6. 撮)

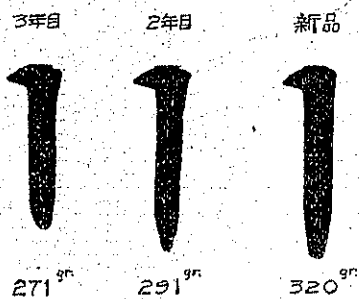


図-18. 小佛隧道 7年 2箇月経過 (昭. 13. 6. 撮)

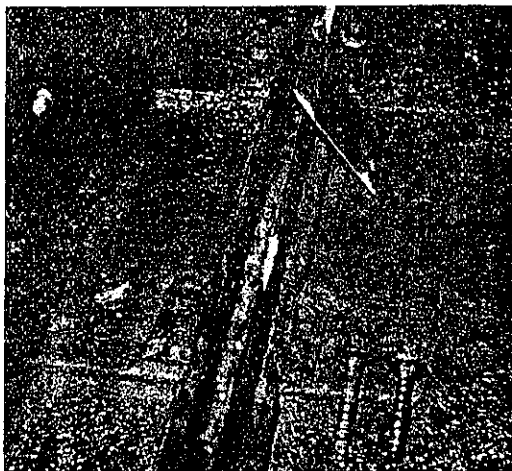


図-19. 笹子隧道發生品 (昭. 13. 6. 撮)

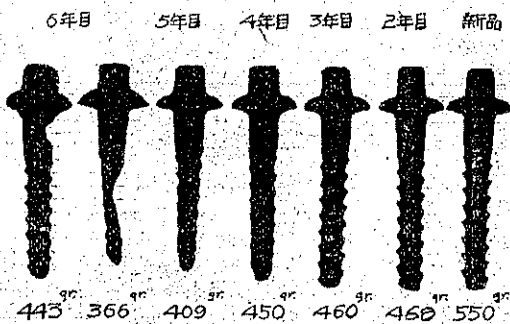


図-20. 平野隧道タイプレート發生品 7年 2箇月経過 (昭. 13. 6. 撮)

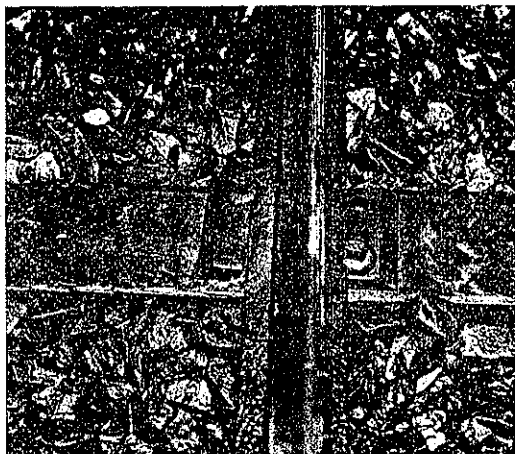


図-21. 小佛隧道發生品 (昭. 13. 6. 撮)

