

土木学会第1回年次学術講演會講演

(鉄道之部 No. 12)

電化区間の踏切舗装に就て

(On Pavements of Highway Crossings in Electrified)
Section of the Japanese Government Railways.

會員 八 木 建 二*

1. 電気絶縁の必要と絶縁方法

國有鉄道の電化区間に於ては一部を除いて架空單線式で、電圧は 1 500 V、電流は直流、軌條は電流の歸線として利用されてゐる。歸線軌條に生ずる對地電圧は種々の條件に依つて常に變化してゐるのであつて、100 V 以上に達する箇所もある(圖-1 参照)。

踏切を通行する人畜中馬は最も電氣的に弱く、約 20 V で苦しみ始め約 30 V で死ぬと言はれてゐる。故に電化区間の踏切は他区間の踏切と異なり電気絶縁設備をする必要がある。

電気絶縁方法として次の 2 方法がある。

(1) 軌條絶縁方法 踏切部分の軌條を前後の軌條と電氣的に絶縁する方法であつて、踏切部分の軌條と前後の軌條の合端、軌條と接目板、軌條とボルト、接目板とボルト相互間にファイバー類の絶縁物を挿入し、前後の軌條間はジャンパーを以て連絡するのである。ジャンパーは 200 mm² 高压用ゴム被覆線を使用し鉄管又はその他の線樋中に藏められてゐる。

(2) 絶縁舗装方法 軌條は絶縁せずその儘歸線として利用するが、電気絶縁性物質を以て舗装し軌條對舗装の電圧を人畜に危害を與へない程度以下にする方法であつて、軌間並に馬の体長を考へ軌條の外側 2.5 m 舗装する必要がある。

2. 軌條對地電圧

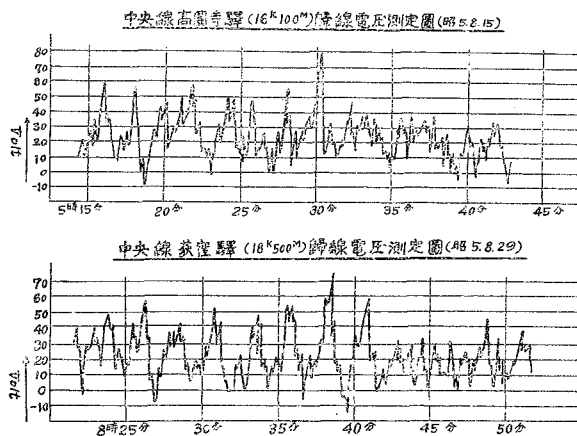
踏切に於ける軌條對地電圧は舗装種類の決定に非常に影響を及ぼすものである。

(1) 計算値

(a) 單一負荷の場合: 圖-2 の如く B 點に於て饋電され、A 點に負荷のある場合、任意の點 P に於ける軌條對地電圧を考へる。

$$L = AB$$

圖-1.



* 鉄道局技師 工学士 東京鉄道局新橋保線區長 (昭和 12 年 4 月 10 日講演)

- i : P 點に於ける軌條電流
- e : " " 軌條對地電圧
- δ : 單位長の軌條抵抗
- η : " " 軌條對地漏洩抵抗
- I : 饋電々流
- $\alpha = \sqrt{\frac{\delta}{\eta}}$: 漏洩係數

P 點に於て次式が成立する。

$$\frac{de}{dx} = i\delta, \quad \frac{di}{dx} = -\frac{e}{\eta}$$

然る時は

$$i = \frac{I}{\sinh \alpha L} \{ \sinh \alpha x + \sinh \alpha(L-x) \}$$

$$e = \frac{\eta \alpha I}{\sinh \alpha L} \{ \cosh \alpha x - \cosh \alpha(L-x) \}$$

(b) 均一負荷の場合: 圖-3 の如く任意の點 P に於て次式が成立する。

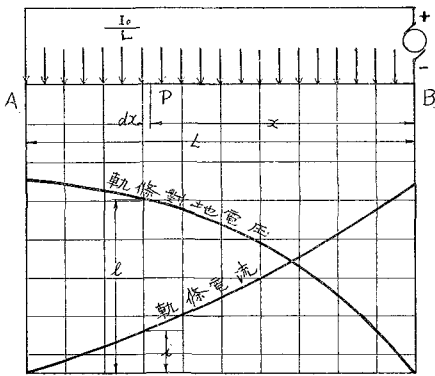
$$\frac{de}{dx} = \delta i, \quad \frac{di}{dx} = -\frac{I}{L} + \frac{e}{\eta}$$

然る時は

$$i = \frac{I}{\sinh \alpha L} \sinh \alpha(L-x)$$

$$e = \eta I \left\{ \frac{1}{L} - \frac{\alpha}{\sinh \alpha L} \cosh \alpha(L-x) \right\}$$

圖-3. 軌條對地電圧及軌條電流曲線 (均一負荷の場合)



(2) 軌條對地電圧に影響する條件 上記の計算は δ, η を一定と考へ且つ負荷も單一或は均一の場合であるが、實際に於てはかかる簡単な場合は無く非常に複雑してゐる。軌條對地電圧に影響する主なるものを挙げると次の様である。

(a) 負荷の大き及運轉狀態: ある饋電区間に於て負荷の大きが大なる程、且つ同時に多くある程軌條電流は大となり従つて軌條對地電圧は高まるが、饋電線の電圧降下、各車輛の加速運轉、惰走運轉等の運轉狀況により饋電々流は非常に變化する。然しラッシュアワーに於て車輛が踏切を通過する直前直後に軌條對地電圧の最高値が表はれる事は想像し得る。

(b) 軌條抵抗 δ , 漏洩抵抗 η , 及漏洩係數 $\alpha = \delta/\eta$: 軌條抵抗は軌條種別、軌條長、ボンドの種類、軌條とボ

圖-2. 軌條對地電圧及軌條電流曲線 (單一負荷の場合)

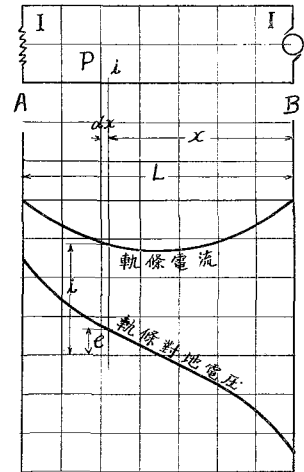
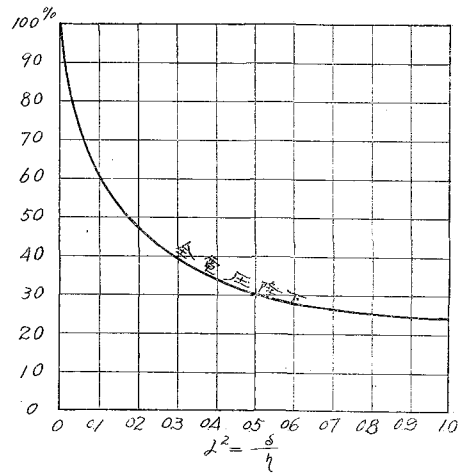


圖-4. 漏洩係數 $\alpha^2 = \frac{\delta}{\eta}$ と全軌條電圧降下との關係



ソドの接合状態、軌條、ボンドの磨耗、腐蝕状態等に依りその値は異なる。軌條断面及軌條長の異なる程、ボンドの保守状態が良好なる程小さくなり全軌條電圧降下、従つて軌條對地電圧は低くなる。單線としては 0.020~0.026 Ω/km である。

漏洩抵抗は枕木の間隔及腐朽状態、道床砂利の種類、厚さ及含水量、路盤の成分及含水量等により異なる。岩盤で道床の乾燥してゐる線路に於ては大となり、濕潤な所で附近に河、海が存在する線路に於ては小となつてゐる。

横濱線	横濱驛附近	0.92 Ω/km	上越線	水上・石打間	3.26~5.75 //
總武線		2.18~3.33 //			

饋電區電が一定で單一負荷の場合、漏洩係數と全軌條電圧降下との關係を示すと 図-4 の如くであつて、 δ を一定とみるならば η が小なる程軌條對地電圧は小となり、踏切に於ける電氣絶縁關係として好條件となるのであるが、漏洩電流の増大に依る電力の損失、軌條、犬釘、地下埋設物等の電蝕が大となるので好ましい事でない。

(c) 歸線軌條數：歸線軌條數が多くなる程軌條抵抗、漏洩抵抗は小となり、軌條抵抗は並列の場合として計算した値とよく一致するが漏洩抵抗は並列計算値より大となつてゐる。之は並列軌條より流れ出す電流が互に干渉し合ふ事より考へて當然である。故に歸線軌條數が多い程漏洩係數が小となり、軌條電流が同一ならば軌條對地電圧が高まる事になるが、實際に於ては電流が各軌條に配分される事によつて軌條對地電圧の変化は緩となるので平均電圧は高まるが最高電圧は反つて減少する様である。

(d) 饋電區域及踏切と変電所間の相互位置：饋電區域が大なる程軌條全電圧降下従つて軌條對地電圧は大となる事は計算に於ても明かであるが、實際に於ても変電所間の距離の大なる總武線に於ける軌條對地電圧が変電所間の距離の小なる京濱間のそれよりも著しく高くなつてゐる。

軌條對地電圧の最高値は変電所附近に於ては(-)で、中間に於ては(+)であつて、絶對値に於ては中央附近が最大となつてゐる。

以上の如く軌條對地電圧は計算を以て正確には求め得ない。現場に於て 1 晝夜連続して測定せねばならぬ。

3. 各種舗装の電氣絶縁性

馬が踏切道に差し掛つた際に受ける電圧が最も大きい場合は、片脚を軌條にかけた時であつて、舗装の絶縁抵抗に依り軌條對地電圧の幾分かを受ける事になる。

軌條對地電圧を V 、馬の前後兩脚間の電氣抵抗を r 、舗装面を踏んでゐる脚の蹄より大地に至る間の電氣抵抗を R とすれば、馬の受くる電圧 v は

$$v = V \times \frac{r}{R+r} \text{ となる。 } R \text{ は舗装の種類によつて異なるが、現在用ひられてゐる各種の舗装を大別すると次の如くである。}$$

- | | |
|--------------------------|-------------------------------------|
| (1) 敷板 (図-5, 6 参照) | (2) 敷石 (図-7 参照) |
| (3) コンクリート | (4) コンクリートブロック (図-8, 9 参照) |
| (5) アスファルト乳劑 (図-10 参照) | (6) シートアスファルト (図-11, 12 参照) |
| (7) アスファルトブロック (図-13 参照) | (8) アスファルトコンクリート (図-14, 15, 16. 参照) |

以上の各種舗装の電氣絶縁性を昭和 11 年 10 月本省で調査した。調査の概略は 図-17. の如く直径 125 mm の鉄板 2 枚を舗装面に當て、之と軌條とをある抵抗を挿入して繋いだ時に流れる電流 i を軌條對地電圧 V と對照測定するものであつて、挿入抵抗値を s とすれば舗装對地電抵抗 R は $R = \frac{V}{i} - s$ となる。

R は s に比例して大となるが、s が同一値であつても踏切が乾燥状態であると高く、湿潤状態であると低くなつてゐる。

挿入抵抗値 s 即ち馬自身の電気抵抗 r が今日未だよく判らないので、最大軌條對地電圧及舗装の電気抵抗が判つてゐても馬の受くる電圧は判明しない。

馬の電気抵抗を 1 kΩ と仮定し、湿潤状態に於て軌條對地電圧を 100 V とせる時、馬の受くる電圧は表-1 の如くである。

表-1 を見るにアスファルトコンクリート最も絶縁性に富み、アスファルト類概して成績良好、次いで敷板、敷石、コンクリートの順序でコンクリートは殆ど絶縁の役目をなさない。コンクリートブロックが比較的成績好く表はれてゐるが、測定数も少く且つ甚だ乾燥してゐた時に撤水して測定したのであるからその成績は疑問である。

軌條對地電圧が低ければ敷板類でも絶

表-1.

舗装種別	舗装對地電気抵抗 R (KΩ)		馬の受ける電圧 V = $\frac{1}{1+R} \times 100$	
	最小	平均	最大	平均
敷板	0.70	2.68	59.0	27.2
敷石	0.62	2.63	62.0	27.5
コンクリート	0.41	0.82	71.0	55.0
コンクリートアスファルト付	0.42	5.20	70.0	16.1
シートアスファルト付	1.60	6.10	38.5	14.1
鉄筋コンクリート舗装道路	1.05	4.30	49.0	18.9
アスファルトブロック	0.93	5.20	52.0	16.1
アスファルトコンクリート	4.03	33.10	20.0	2.9
アスファルト乳劑	1.05	2.37	49.0	29.7
(舗装セザル道路)	0.14	0.51	88.0	65.0
(門扉)	0.10	0.225	91.0	82.0
(敷板類)	0.70	0.90	59.0	53.0

図-8. コンクリートブロック舗装

甲装コンクリート版踏切(旭川工場入口) 見取番

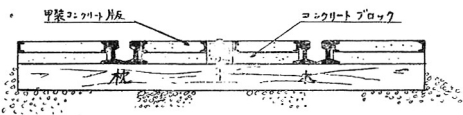


図-5. 敷板舗装

小名木川駅構内旧境川踏切

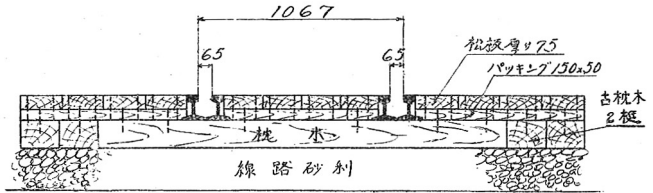


図-6. 敷板舗道

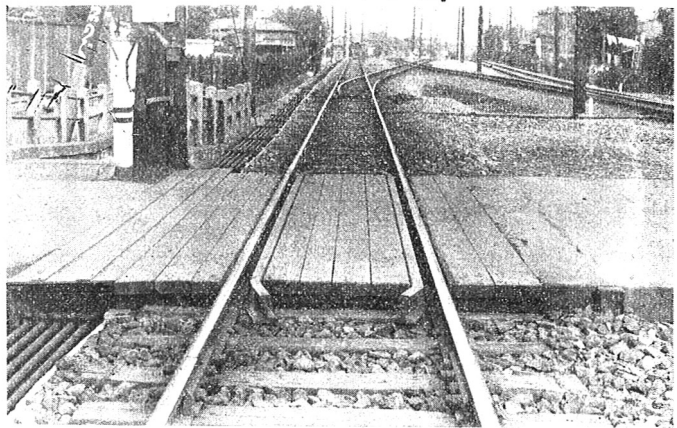


図-7. 敷石舗装



図-9. コンクリートブロック舗装



縁舗装として有効と思はれるが、馬の抵抗が判明してゐないので上記の数字は決定的ではない。現在に於ては軌條絶縁をなさない場合は、電気工作物規程細則第98條に於て“アスファルトコンクリートの如き絶縁物を以て踏切道の舗装をなす事、軌道整備心得第138條に於て“絶縁物を以て踏切道の舗装をなす事、”と規定されてゐるので絶縁舗装をする場合にはアスファルト類に限られてゐる様であるが、更に馬の抵抗を調査し軌條對地電圧に對應して絶縁舗装種類の適用範囲を定めるべきと考へらる。

4. 各種舗装の構造

踏切部分は他の部分に比較して濕潤であり且つ塵埃、土砂の混入が甚だしいので軌道の狂を生ずる事早く且つ、修理に當つて舗装の取外し、取付けによる材料の損傷、道路交通の障害を來す故出来るだけ軌道を強化し修繕回数を少くする必要がある。

アスファルト類は一旦撤去すればその儘再用する事は出来ず、撤去、復舊費に多額を要するので、道床としては長期間修理の必要のないコンクリート道床が必要である。

敷板、敷石、コンクリートブロックは絶縁性が低く更に軌條絶縁を必要とする事、撤去後その儘使用し得る事等より考へてコンクリート道床とするのは不適當で碎石砂利道床とする方がよい。

敷板類は建設費の低廉なる事、修理の容易なる事、足掛りがよき事等の利點を有し壽命の短い事が最短所である。腐蝕及磨耗し難く且つ強靱なる材質を必要と

図-10. アスファルト乳劑舗装

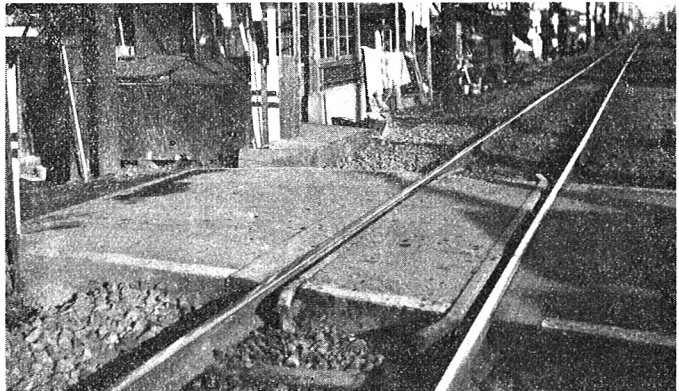


図-11. シートアスファルト舗装

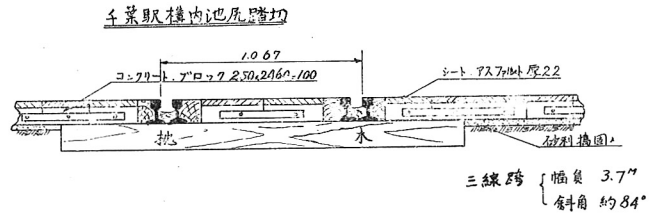


図-12. シートアスファルト舗装

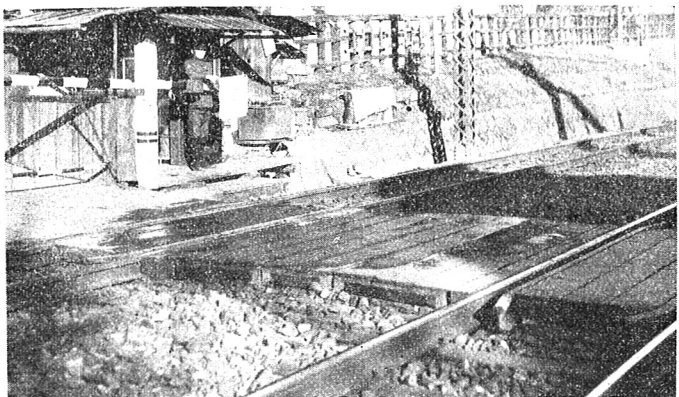
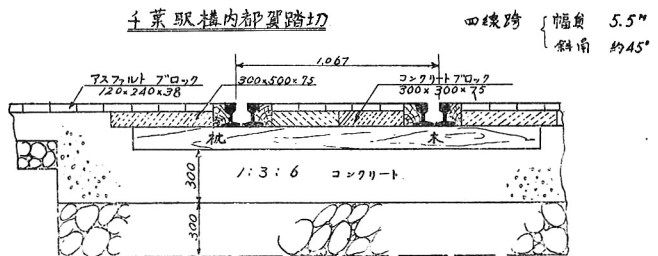


図-13. アスファルトブロック舗装



し檜、栗、楮が適してゐる。腐蝕、磨耗を考へ且つ取外しの際折損せぬ様厚さ90 mm 以上を要する様である。

コンクリートブロックはコンクリートのみであると縁邊より破損し易いので山形鋼又は溝形鋼を以て圍み鉄筋コンクリートブロックとせるものが普通用ひられてゐる。出來上りが正確であるので各ブロックの馴染良く間隙を生ずる事はない。現場に施工する時は軌條との間に抜木を挿入して軌條の振動を受ける事を少なくする様に注意すべきである。厚さは100 mm 以上が適當と思はれる。耐久力の大なる事、修繕費が比較的低廉なる事が長所であり、比較的建設費が大なる事、敷石に比し破損し易く破損すると修理が困難なること等の短所がある。

コンクリートは線路間の鋪裝として専ら使用されて居り厚さは約 200 mm である。

敷石は厚さ 100 mm 以上で花崗岩その他硬質なるものを要する。足掛り悪く噪音を發する短所があり、耐久年限の大なる事、重量物に耐える等の利點がある。

アスファルト鋪裝の中シートアスファルト付鉄筋コンクリートブロックは砂利道床の上に使用されてゐるのであるが、ブロックの接目より割れ易い事及ブロックより剥げ易い事等の爲に成績は悪い。

コンクリート道床を有するアスファルト鋪裝中、シートアスファルトは夏季柔軟となる事及重量物に耐えない故成績は良好でない。

アスファルトコンクリート、アスファルトブロックは共に絶縁鋪裝として廣く用ひられてゐるのであつて、

図-14. アスファルトコンクリート鋪裝

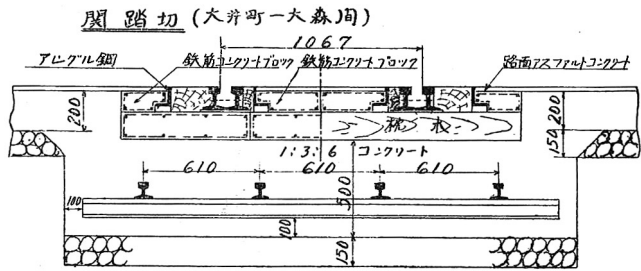


図-15. アスファルトコンクリート鋪裝

津田沼駅構内 (範橋方)

田原跨 幅員2.70"

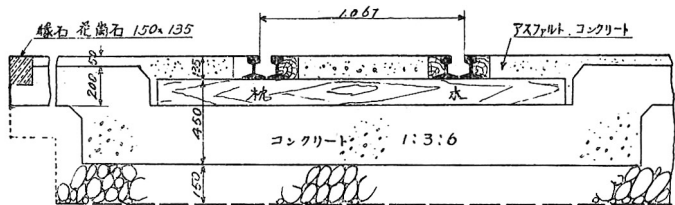


図-16. アスファルトコンクリート鋪裝

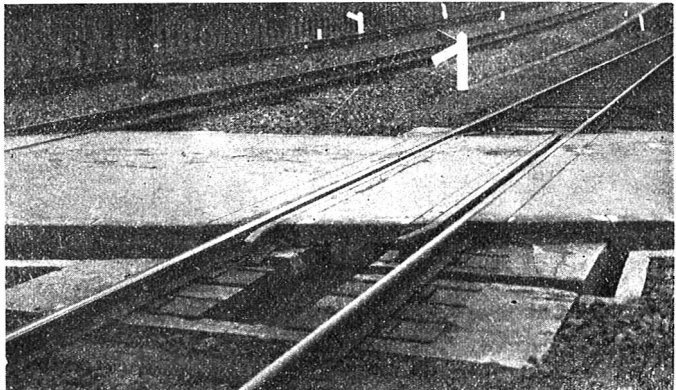
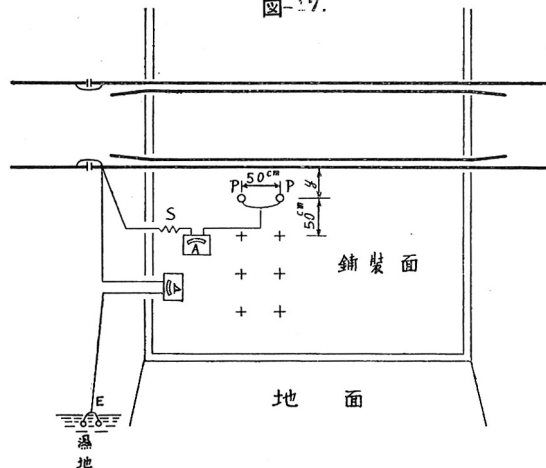


図-17.



1. 厚さ 40~50 mm 舗装し道床コンクリート間にコンクリートブロックを挿入する方法,
2. コンクリートブロックを使用せず軌條厚アスファルトコンクリートを施工する方法.
3. 舗装厚 40~50 mm を残してコンクリート道床を施行する方法,

があるが、第 1 の方法が修理、道路交通その他より見て最も成績良好である。

アスファルト舗装の破損状態の中主な

るものを挙げると

コンクリート道床

1. 施工接目より龜裂を生ず,
2. 主として線路方向縁邊附近の枕木側面直下より約 45° の方向に龜裂を生ず (図-18 参照),

舗装 (図-19 参照)

1. 枕木端を連ねた線に沿ひ龜裂を生ず,
2. 軌條に沿へる部分、縁邊、軌間内に於て破損し易い,

以上の破損状態より考へて次の様な事を工夫すればよい (図-20, 21 参照)。

(1) コンクリート道床の厚さを更に増す必要あり。電車線に於ては枕木下約 400 mm, 列車線に於ては約 500 mm の厚さとして且つ古軌條或は鉄筋を挿入し、路盤の軟弱なる箇所は抗打を施工する事。

(2) 軌條桁を線路方向に直角に約 500 mm 間隔に敷設し踏切幅員の大小に拘らずコンクリートを一時に施工し得るやうにする事。

(3) 枕木間隔を狭め且つ左右軌條を 1 挺の枕木で受ける様にし、軌條の波動及枕木の受くる荷重を減少する事。

(4) 枕木の振動を舗装に傳へない爲、枕木間のコンクリート道床面を枕木上面より高くし、コンクリートブロックは枕木に載らざる様にする事。

(5) 枕木喰込を防ぐ爲にタイプレート幅は枕木幅とし、長さは本線軌條がタイプレートの中央に位する様にし厚さも約 20 mm とする事。

(6) 枕木腐朽を防ぐ爲に輪縁路に水抜工を施す事。

(7) 車輛の踏切部分に對する衝撃を緩和せしむる爲、篩砂利道床、碎石砂利道床、碎石砂利道床 コンクリート

図-18. コンクリート道床の龜裂

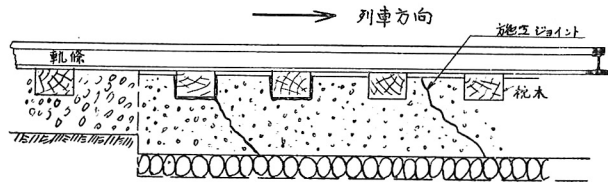


図-19. 踏切舗装の破損状態

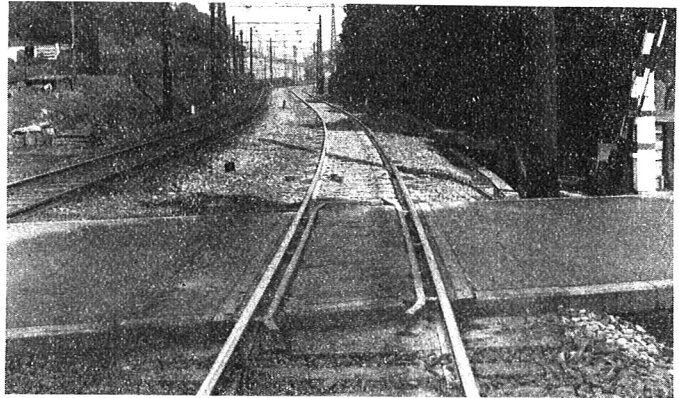


図-20.

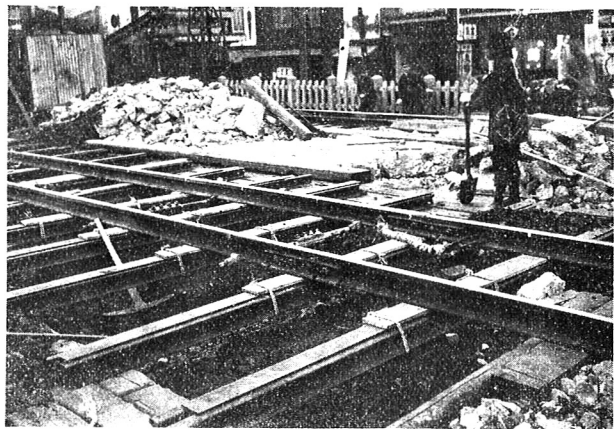
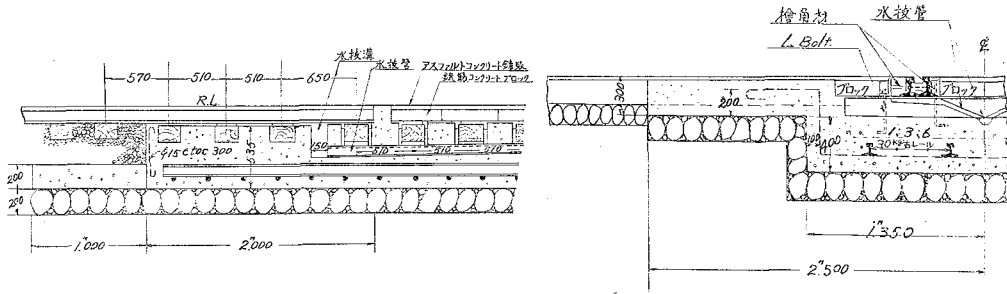


図-21. 踏切舗装及コンクリート道床



路盤、コンクリート道床の4段階に分ち道床の弾性を次第に変化せしむる事。

- (8) 軌條の横振を舗装に傳はらざる様舗装と軌條の間に 100~200mm 幅の挟木を挿入する事。

5. 各種舗装の適用範圍

ある踏切に對し、絶縁舗装方法、軌條絶縁方法の中の何れが適してゐるか、又如何なる種類の舗装が適してゐるか云ふ事に付き考慮すべき點は非常に多いが主要な點を挙げると

- | | | |
|--------------|---------|---------------------|
| 1. 軌條對地電圧 | } 電気絶縁性 | |
| 2. 舗装の電気絶縁抵抗 | | |
| 3. 踏切幅員 | | 4. 設備費及維持費を考慮せる年間經費 |
| 5. 鉄道交通 | | 6. 道路交通 |
| 7. 耐久性 | | 8. 路盤 |

である。

軌條絶縁をする場合、踏切内の軌條は他部分と絶縁せられてゐる故、電気機關車或は電車の外端輪軸間距離よりも小なる事を要するので夫々 7.5 m, 12 m 以下となり、且つ絶縁接目部の搦固め等の線路保守の必要上踏切幅員は軌條長より更に小となり、電気機關車運転區間に於ては 5.4 m 以内、電車運転區間に於ては 9.9 m 以内の制限を受ける。故に之より大なる幅員の踏切は絶縁舗装に必ずせなければならない。

大都市の如き道路、鉄道共に交通量が著しく大で軌道或は舗装の修理をする事が非常に困難な踏切に於ては、耐久力の大なるコンクリート道床、アスファルトコンクリート或はアスファルトブロック舗装を採用するの必要を生ずるのである。

道路交通量の少い時は敷板がよく、重量物の通過する箇所に於ては敷石、コンクリートブロックを使用するがよい。

鉄道交通量少く道路交通量大なる時は敷石、コンクリートブロック、アスファルト類がよい。

然し軌條絶縁をする場合、絶縁に相當費用を要し、且つ絶縁せる接目部は弱く保守上困難を感じて居り、現場當事者が絶縁舗装を要望してゐる事は注意すべきである。