

論 說 報 告

土木學會誌 第十六卷第十二號 昭和五年十二月

軌條波狀磨耗の狀況及び其の原因

會員工學士 景 山 質

On the Rail Corrugation and its Causes

By Sunao Kageyama, C. E., Member.

内 容 梗 概

軌條頂面に生ずる波狀磨耗の現象及びその修理方法を詳述し之れが原因を探究せるものなり。

第一編 軌條波狀磨耗の狀況

軌條上を車輛が運轉する結果軌條頂面が磨損する時は軌條の相當の長さに亘りて略ぼ均等に磨耗するのが普通であるが、茲に軌條が不均等に磨耗して軌條の長さに沿ひ多く磨耗した所は谷狀をなし、少く磨耗した所は峯狀をなし此の谷と峯とが交互に短き間隔に現はれ恰かも軌條頂面が波狀をなして磨耗することがある。之れを軌條の波狀磨耗 (rail corrugation) と稱する。

此の波狀磨耗の現象は市街地の路面併用電車軌道には多く發見せらるゝ様である、例へば東京は勿論大阪、京都、神戸等の市營電車軌道にも此の軌條波狀磨耗を生じたりと云ふ。

第一章 軌條波狀磨耗と其の被害

軌條波狀磨耗の發生する時は軌道に損害を蒙り電車運轉の際沿線市街の喧騒を増加するがため努めて之れを除去することを要するのである。軌條波狀磨耗による被害を列記すれば

- (a) 軌條頂面が不規則に磨耗するがため屢々軌條頂面を磨均らし或は布設後間もなく軌條を取替へねばならぬ。
- (b) 軌條波狀磨耗面を通る電車の衝動は軌道各部の密着を害し殊に磨耗甚だしき時は鋪裝の被害を著大にし軌道維持費を増加す。
- (c) 軌條に波狀磨耗を生ずれば通過する電車の車輪を障害し従つて其の經費を増加す。
- (d) 上記の結果軌條波狀磨耗箇所に於ては電車通過の際噪音劇甚となり市街を喧騒ならしめ軌道内路面破損及びこれが修理により一般交通を邪魔する機會を増加す。

第二章 軌條波狀磨耗の發生沿革（東京市營電車軌道に於て）

此の如く軌道經營上不都合なる軌條波狀磨耗の發生するに至れる沿革を調ぶるに東京市營の電車軌道には大正9年以前は軌道敷路面は板石を砂敷の上に空張したるものにして軌道敷外は概して砂利道なりしが當時は此の構造にて充分耐久力を有したりしも爾後電車運轉頻繁となり、又車馬自動車の交通増加のため著しく軌道及び路面の損傷せらるゝに至りたるを以て、大正10年急施工事として軌道敷内の路面敷石の大部分は之れを膠泥据に改め焦眉の急に應ずる事となせしが、當時交通益々頻繁となり自動車の交通量増加し軌道敷外路面に於ける鋪裝は漸次實施せられ電車の運轉噸數も増加するに及び、前記板石膠泥張構造軌道は到底所謂應急的施設に過ぎざるを認め、大正11年以降は之れを改良せる構造の軌道に改むることとし大正11年以來震災前後迄に全線軌道延長197哩の内約38哩を改良構造となしたり。而して是等の軌道構造の變更に伴ひ發生したる現象は軌條波狀磨耗の續生したる事なり。即ち大正9年以前敷石砂据の構造時代に於ては軌條及び枕木は砂利道床の上に置かれ恰も専用軌道内に板石を空張したる程度のもなりしが偶曲線部等の特種の箇所にて僅かに軌條波狀磨耗類似の現象表はれたるものありし位にて全然軌條波狀磨耗の存在を意識せざりしが、大正9年急施工事に於て敷石を膠泥据となすがため枕木間をコンクリートにて填充し敷石を膠泥据とし目地を膠泥にて填充したる構造となすや急施工事の箇所にて軌條に波狀磨耗の發生するを僅か計りづゝ散見するに至れり、其の後大正11年以後改良して施工したる軌道の構造は砂利道床を全廢し基礎コンクリート上にアスファルト薄層を敷き其の上に枕木を布設しアスファルトを以て軌條及び枕木より來る衝動のクッションとなし枕木周圍及び軌條中腹迄は更にコンクリートを以て水平に軌道全面を敷均し其の上に石塊、木塊又はアスファルトを以て鋪裝をなしたり。基礎コンクリート上のアスファルト層は枕木下面一體及び之れと接續して軌道の側面に沿ひ直立壁をなし兩側車道の鋪裝と隔絶壁を形成し軌道はアスファルトにより軌條を電氣的回線に用ふるも軌道外に電氣の漏洩せざる單線架空式設備を具有するものにして、之れ東京市電氣局の所謂改良軌道構造なり、抑も改良構造の特徴は砂利道床に代ふるにコンクリートを以てするが故に枕木は全然コンクリート中に埋設せられ軌條も底部は勿論腹部の一部はコンクリート中に埋まり頭部は敷石と膠泥を以て接着するものなれば軌條は既往諸構造に比し一層武装を強固にしたるの感あるものにして、軌條波狀磨耗は本改良構造に於ては軌道工事の竣工後間もなく續發し忽ちにして軌道の破損と修繕相次ぐ奇觀を呈せり。

第三章 軌條波狀磨耗の發生狀況

軌條波狀磨耗の起る場合及び場所を東京市電氣局軌道に於て調査したる結果次の如し。

(a) 電車速度の大なる場合に起るものゝ如し、即ち自轉車、馬車、自動車等の他交通の障礙物に妨げらるゝこと少く電車が自由に高速度を出し得る線路或は街路の片側又は兩側が堀河又は官衙、公園等にして一般に横町及び軒先出入淋しく運轉上支障少く速度を充分に出し得る線路に軌條波狀磨耗が多く起つて居る、例へば青山御所前外濠線等の如し。

(b) 曲線に於て半徑中位以上の場所には起り易きが如し、即ち東京市電氣局では半徑最小にて 60 呎なるも波狀磨耗は半徑 200~300 呎以上に於て徐行運轉の必要なく充分速度を出して運轉し得る線路に起るものゝ如し。斯かる線路の外側軌條には殆んど全部起ると言ふも過言でない、而して曲線部の内側軌條にも起つて居るものあれども、先づ外軌に起り次ぎて内軌に誘起さるゝと見受けらる、例へば軌道が交叉街路を直角に曲がる小半徑部分には無くて中間街路曲線部に發生するが如し（寫眞第一参照）。

(c) 直線軌道に於ては左右軌條に交互に發生する、即ち右側軌條に延長 10~20 呎に亘り波狀磨耗ありて左側軌條にはなく次には左側軌條に波狀磨耗（延長 10~20 呎）あり右側軌條には無く次には再び右側軌條に有りて左側軌條無く順次左右交互に發生する。（附圖第一参照）

(d) 軌道縱斷勾配は直接關係はなく寧ろ速度の關係によつて發生する様である。即ち急勾配で徐行する所には決して起らずして緩勾配で速度を出し得る場所に多く起る、概して電車が勾配を上る方向の線路では波狀磨耗が坂下に、電車が勾配を下る方向の線路では坂上に波狀磨耗が多いが勾配線が他の街路、又は橋梁と交叉する等の環境で多少の例外はある。

第四章 軌條波狀磨耗の現象

波狀磨耗は主に四輪車の電車を運轉する線路では明瞭に波狀の痕跡が現はれボギー車を運轉する線路では波狀重複し痕跡稍明確を缺く時あるも大體に波狀磨耗は次の通有性を具へて居る。（附圖第二及び寫眞第二参照）

波狀面の峯と峯との間隔が 0.15~0.25 尺であり、此の峯は軌道の中心線には直角でなく普通僅かの角度を有つて居る、峯の上より谷の底迄の深さは普通 0.005 尺位迄であるが著しき磨耗に於ては 0.02 尺位はある、而して前述せる如く此の波狀面は軌道の左右軌條交互に起るが原則らしく尙偶々左右軌條に一緒に起る時は一方の軌條の峯は他方の軌條の谷と相向ひ（附圖第三参照）而して峯と谷とに於ける軌條鋼表面硬度は峯は軟らかく谷は硬く普通峯ではブリネルの約 245 度谷では約 270 度の硬度である、然かも此の軌條硬度が長さに沿ひ不同となるのは元硬度均等の軌條（200~235 度のもの）を布設して僅かに數日運轉せば大體軌條頂面硬度を増し漸次硬度の不均衡を生ずるものゝ如し。而して専用軌道には軌條波狀磨耗の現象發生せず、改良構造の如く道床の剛性度高き構造の軌道には此の現象が著しく表はれることは前述した通りである。例へば信濃町より青山一丁目を経て天現寺四ノ橋に至る區間及び角

管餘丁町間等の専用軌道には軌條波狀磨耗が無いが信濃町より青山一丁目に至る専用軌道區間を鋪裝工事をなしたるに其の前は無かりし波狀磨耗が鋪裝竣工後軌條に表はれ始めた。

第五章 軌條波狀磨耗の發生する時期

軌條波狀磨耗の發生する時期は布設後短年月にて起るものがあるが概して砂利道床の軌道は波狀磨耗の發生がコンクリート道床の軌道よりも遅く T 型軌條では此の發生が遅く溝形軌條では早い。軌條布設後最も早く波狀磨耗を發生したる者を調査したるに次の如し。

軌條種別	砂利道床		コンクリート道床		備考
	曲線路 年月	直線路 年月	曲線路 年月	直線路 年月	
# 94 M 軌條	1-9	2-10	1-2	1-2	昭和二年六月調
75 T 軌條	2-4	ナシ	2-2	ナシ	
82 T 軌條	3-4	ナシ	3-5	4-4	
91 T 軌條	1-4	ナシ	0-9	1-11	

前表による時は溝軌條は T 軌條に比して軌條波狀磨耗を起し易いのであるが試に軌條波狀磨耗が電車の左右震動に依るものとして溝軌條の縦軸に對する斷面積の慣性能率と T 軌條の夫れと比較するに

軌條種別	斷面積 (inch) ²	I_x (inch) ⁴	I_y (inch) ⁴	I_y' (inch) ⁴ (頭部丈)	備考
# 94 M 軌條	9.2	64.5	15.0	7.2	I_x は横軸に對する 慣性能率 I_y は縦軸に對する 慣性能率
91 T 軌條	8.9	65.0	9.7	1.7	I_y' は同上頭部丈
M軌條のT軌條に 對する割合		0.8%少	5.6%多	324%多	

即ち略々同重の軌條にて兩者の左右振動に對する應力度合は 94 封度溝軌條が 91 封度 T 軌條に比し遙に剛率大にして更に試に軌條頂面幅を前記兩種の軌條に就きて比較する時は

軌條種別	94 [#] M 軌條	91 [#] T 軌條
軌條頭幅(吋)	$2\frac{7}{32}$	$2\frac{3}{4}$

即ち車輪の輪轉面に接する軌條頂面幅を比較せば 94 封度溝軌條は 91 封度 T 軌條よりも軌條頭幅狭く従ひて單位面積に於ける荷重の支持量は大となり易い、即ち車輪の轉壓により軌條頂面硬度の不均等が起り易い、之れを要するに溝軌條に軌條波狀磨耗が起り易い原因は前述の左右振動に對する剛率の大なる爲と思ふ。

第六章 軌道構造と軌條波狀磨耗の起る割合

軌道の道床が砂利であるかコンクリートであるかの別及び軌道が直線路か曲線路かの別に依り尙建設年次により波狀磨耗の發生狀況を調査したるに次表の如く曲線部では直線部より

も発生割合多くコンクリート道床は砂利道床よりも発生率が多い。

軌條種別	建設年度	砂利道床		コンクリート道床		備考
		曲線路 %	直線路 %	曲線路 %	直線路 %	
# 94 M 軌條	大正13	100 (6/6)	57 (4/7)	—	—	昭和2年6月調査
" "	14	25 (1/4)	0 (0/4)	—	100 (1/1)	右側分母は分母は調査箇所数 分子は波状磨耗ある箇所数
" "	15	—	—	100 (2/2)	100 (2/2)	
# 75 T 軌條	13	33 (1/3)	0 (0/3)	—	—	
" "	14	—	—	100 (2/2)	0 (0/2)	
# 91 T 軌條	14	31 (6/19)	0 (0/21)	50 (1/2)	33 (1/3)	
" "	15	0 (0/9)	0 (0/9)	50 (1/2)	0 (0/5)	

茲に於てコンクリート道床の改良構造の軌道の實施を全廢し昭和年代に於ては砂利構造に改善を加へて、之を東京市電氣局軌道標準構造となしたり。即ち本標準構造に於ては砂利を道床とし枕木を廣軌式の長8呎のものとし枕木には總てタイ・プレートを用ひ螺旋釘を以て軌條を締め付ける事としたり（尤も運轉閑散なる一部の線路には7呎の並枕木及び犬釘を用ひ）又鋪裝張石は改良し表裏周圍の各面平坦なる切石を用ひ電氣的絶縁は軌道に施設せず寧ろ埋設金屬工作物に於て施設する方針に改めたり。而して本標準構造の軌道は次章に説く所の軌道の弾性を保ち克く修理作業を簡約ならしむるの利あり。

第七章 軌條波状磨耗の防止及び修理方法

曩に軌條波状磨耗を生ずるは幾多の害あることを述べたり、軌條波状磨耗は後に説述するが如く軌道に對する車輪の振動に起因するものなれば、車輪運轉の衝激と調和し難き軌道構造に於ては修繕費と修繕回数増加するは當然にして波状磨耗發生を防止するは軌道維持費を節約する所以なり。茲に軌條波状磨耗を最も多く生ずるコンクリート道床軌道と比較的其

軌道構造	1年度修繕費1哩當	1年度修繕回数同一箇所
コンクリート道床軌道(木塊鋪裝)	8 120円	4—5回
同上(アスファルト鋪裝)	4 948	4—5
同上(石塊鋪裝)	2 600	2—3
砂利道床(板石鋪裝)	2 157	1
砂利道床(専用軌道鋪裝なし)	775	1

備考 石塊鋪裝は震災後竣工其他は大體震災前に竣工せるものなり

の稀少なる砂利道床軌道との1年間に於ける軌道維持修繕費と修繕回数とを掲げ實際に於ける經濟的利害を比較する時は軌條磨耗の生じ易きコンクリート道床構造の軌道は砂利道床構造軌道に比し修繕回数約4倍し修繕費亦約4倍を要することとなる故に軌條波状磨耗の原因の除去に努むるは緊要なり、即ち其の原因除去の方法は軌道に於ては弾性を保持せしむること及び電車運轉中一般的に動搖となるべき原因を除去する様修理すること車輪に於ては車輪の

輪縁面及び輪轉面の形を精確に保修すること等なり。東京市電氣局軌道に於て震災後軌條波状磨耗の最も顯著にして軌道修理費亦最も多額を費したる主なる軌道區間は次表の如し。

區 間	哩 程	軌 道 構 造	軌條種別	備 考
銀座一丁目—京 橋	1.20	{ コンクリート道床 木塊鋪裝	94 M 軌條	直線路及曲線路共に軌條波状磨耗ある區間を掲ぐ
大手町—神 田 橋	0.816	{ 同 上	"	
永 樂 町—常 盤 橋	0.646	{ コンクリート道床 軌條沿石塊張	"	震災復興事業により昭和3年度4年度に砂利道床板石張構造に改築す
青山一丁目—稻 荷 前	1.304	{ 同 上 アスファルト鋪裝	"	
飯 田 橋—水 道 橋	1.288	{ 同 上	75 T 軌條	街路片側青山御所
内 幸 町—大 手 町	2.111	{ コンクリート道床 木塊鋪裝	82 T 軌條	街路片側公園及濠、内日比谷大手町間は昭和4年度に於て砂利道床板石張構造に改築す
本 石 町—小 傳 馬 町	0.590	{ 基礎コンクリート 石塊鋪裝	"	
兩 國 驛—龜 澤 町	1.200	{ 同 上	75 T 軌條	
傳 馬 町—四 谷 見 附	1.709	{ コンクリート道床 軌條沿石塊張	"	
—麴町五丁目		{ アスファルト鋪裝 コンクリート道床	"	
日 比 谷—櫻 田 門	0.726	{ 石塊鋪裝	91 T 軌條	街路片側濠
赤 羽 橋—一 之 橋	0.613	{ 砂利道床 板石張鋪裝	94 M 軌條	街路片側病院及倉庫 { 街路片側濠、他側一部學校及病院
御 茶 ノ 水—水 道 橋	0.949	{ 同 上	"	
淺 草 橋—厩 橋	1.564	{ 同 上	"	
大 曲—飯 田 橋	0.954	{ 同 上	"	街路片側濠

軌條波状磨耗著しき時は電車の運轉中振動し易くなり、益々深刻に磨耗するが故に直接に軌條頂面に手入れをなし波状磨耗を修理する必要あるものなり其の修理方法は軌條磨修機 (Rail grinder) により電車運轉の間合及び夜間運轉休止時に軌條頂面を平滑に磨正することである。東京市電氣局に於ては次の軌條磨修機4臺を用ひ居れり。

- Reciprocating track grinder (ガソリン 運 轉) 3 台
- Rotary track grinder (同 上) 1 台

尙晝間作業のため電氣及び壓搾空氣により回轉する手用 grinder 4 個を購入する計畫あり、而して1臺の磨修機が2時間使用して軌條1本を磨修する割合となり居れり。

第 八 章 軌條波状磨耗發生に關する從來の學說

路面電車軌道に於ける軌條波状磨耗は何れの鐵道軌條にもある普通の磨耗とは趣を異にし特殊磨耗面を現はすことあること即ち一種の波状面をなして磨耗することは既に説述せり、此の現象を説明する幾多の理論が從來表れたがそれ等の理論中尤らしきものを擧ぐれば

- a. 軌條の鋼質不均等によるもの
- b. 軌條の振動によるもの
- c. 軌道の構造によるもの

d. 電車の輪軸の獨樂軸廻轉によるとなすもの

等なるが是等の何れかの理論が前述の軌條の波狀磨耗を或る程度迄は説明し得たが如きも充分には説明し得なかつた様である、是等の理論が軌條の波狀磨耗を説明し盡くし得る爲には曩に説述したる波狀磨耗の現象の各要項を説明し盡さねばならぬ、即ち次の現象要項が説明せられねばならぬのである。

- (1) 軌條の波狀磨耗は軌道の左右軌條に交互に現れる事
- (2) 専用軌道に表はれない事
- (3) 波狀面の峯と峯との間隔が 0.15~0.25 尺であること
- (4) 波狀面の峯は軌道の中心線に直角でなく僅かの角度を有つ事

波狀磨耗の是等の現象要項を説明し得る理論にあらざれば軌條波狀磨耗の完全なる學説とはなし難い、試に前述各學説につき其の理論を前掲現象要項と對照批評すれば

a. 軌條の鋼質の不均等によるとなすもの

軌條鋼の硬度はシューアの硬度計 30~40 電車々輪の輪轉面の硬度は遙に大きくシューアの硬度計の 70 にして著しく硬度に差あり、軌條面は鋼質に些少の差異あるも各部略均等に磨損される筈なり、軌條に輾壓する鋼は多少の成分に相異あり輾壓により軌條表面に多少の不同あらんも夫れが磨耗して波狀をなすことは説明し得ず。

b. 軌條の振動によるとなすもの

軌條は枕木に支へられ恰も琴の糸が琴柱によつて支へられたるが如く軌條に荷重が加へられ軌條の振動する様は實驗の結果琴の糸が弾手により振動せられ其の振動が琴柱と琴柱とを節として振動し琴柱と琴柱との間を振幅とするが如く軌條の振動は枕木と枕木との間を振幅として振動し此の振幅が軌條磨耗波狀振幅の十數倍多くて其の間に關係がない。

c. 軌道構造によるとなすもの

専用軌道には起らざるが故に路面軌道に起ることゝなるが路面軌道の構造上の何により何故に特種の波狀となるかを説明し難い。

d. 電車の輪軸の獨樂軸廻轉によるとなすもの

前の諸理論に比する時は數段進歩せる理論であるから、其の理論の要旨を先づ説明するならば電車の軸は軌道上にて一方の軌條上にては軸が定まる位置を保つのに他方の軌條上に於ける車輪は車軸が振動し乍ら同轉する、即ち直立同轉する獨樂の軸が地面に接する下部は定位置に居り乍ら頂部は振動する様に電車の車軸は水平の位置にて廻轉する時に左端は定位置にあり右端は振動し次の廻轉には右端定位置にありて左端は振動すると想像し尙電動機の齒輪のギヤの衝動により波狀磨耗の起るならんとの推論である。

此の理論は波狀磨耗の前記(1)(2)の現象、即ち軌道の左右軌條交互に起ること波の峯と峯との間隔は説明し得るが故に他の理論に比し大なる進歩をなせるものである。従來の諸學説の理論が説明し得ざりし磨耗の波長及び波の週期に付説明し得たるは感謝措く能はざる所なるも左右軌條交互に表はれる延長に論及せず、前記波狀現象(2)及び(4)に就きては充分に説明せざるは遺憾である、之れを要するに軌條波狀磨耗の現象を充分に説明したる學説は從來無いのである茲に於て根本的之れが原因を研究せんとし寧ろ電車の實際の運轉を測定し其の實測の結果に基き實驗的に軌條の波狀磨耗を起すべき原因を調査する事とした、其の調査による研究の梗概を報告せるものは次編に誌す通りにして予の此の調査に良く軌條波狀磨耗の諸現象を包容説明し盡くせるものと信ずるのである。

第二編 路面軌道電車の左右振動と軌條波狀磨耗との關係

緒 論

市街電車が運轉中如何なる動搖をなすかは具體的に調査したことなく従つて運轉中の電車が如何様に影響するかも具體的に調査し得ないから電車運轉の軌道に於ける影響は只管軌道に残れる跡を目撃したるのみで推斷して居つたのである、是れが従來の仕方であつた其處で市街電車運轉中の動搖を直接測定して電車が軌道に如何様に影響するかを研究し従來の調査と對比することは利益あるを以て東京市街電車軌道に於て昭和2年10月4日始めて運轉中の電車の動搖の測定をなした。

第一章 電車動搖測定の軌道區間

本測定をなしたる東京市街軌道の停留場區間は合計102區間(附圖第五參照)にして内軌道の構造が改良鋪裝の箇所40區間、専用軌道及び板石假鋪裝の箇所62區間、其の路長及び軌道延長は次の如し。

	路 長 哩	軌道延長 哩
改 良 鋪 裝 軌 道	9.24	18.47
専用軌道及板石假鋪裝構造軌道	14.38	28.74
合 計	23.62	47.23

第二章 電車動搖測定法

電車が運轉中になす動搖を測定するため試験車として4100型(四輪ボギー車)1臺を用ひ其の電車の車床上 bogie center 上に振動測定機械を据付けて振動を測定せり、而して大森式車輛

用振動計を以て上下振動を記録せしめ Wimperis Accelerometer を以て左右振動の加速度を記録せしめたり、但し左右動の記録は水平的左右動に左右傾斜動揺を加味し得る装置となしたり、上下振動の測定は質動を自動的に記録し振動の週期を測知し得る様時計の秒数を併せ自動的に記録せしめ同時に電車の運轉速度を測知し得る様装置せり。左右振動の測定は振動の加速度（毎秒毎秒呎にて）及び時計の秒数を自動的に記録せしめ振動の週期は毎 10 秒間に於て波數によりて測知する装置とせり。而して本試験車は試験の軌道區間を平素運轉する氣持を以て運轉することゝし常時當該區間運轉に馴れたる運轉手を選抜し從事せしめたり。本測定機械は鐵道省官房研究所大井分室に委託し武藏技師外 4 名出張装置し實施試験せられたり。

第三章 電車の左右振動

從來軌道に對する電車運轉の影響として不審にせられたる波状磨耗 corrugation 等の研究に對しては差當り電車の上下振動よりも其の左右振動の方を詳細知悉するの必要あるにより（本測定の上下振動に對しては鐵道省官房研究所大井分室の報告に相當詳かにせられたり。左右振動に對する報告は稍簡單なるにより茲に再審することゝせり）主として以下左右振動に關して詳述せん。本測定に於ては振動の週期は毎 10 秒間に動搖する波數を自動記録することにより觀測し振動量は振動加速度毎秒毎秒呎數を自動記録する波によりて觀測し得らる、電車の左右振動の振幅は觀測したる週期及び加速度波により公式によつて算出することゝせらる。

$$\text{振動幅} \quad S = \lambda \cos \varphi \quad \text{角速度} \quad \omega = \frac{d\varphi}{dt}$$

$$\text{振動速度} \quad v = \frac{dS}{dt} = -\lambda \sin \varphi \frac{d\varphi}{dt}$$

$$\text{振動加速度} \quad \alpha = \frac{dv}{dt} = -\lambda \cos \varphi \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 + \lambda \sin \varphi \frac{d^2\varphi}{dt^2}$$

左右振動の或間に於ては $\omega = \text{const.}$ と見做し $\frac{d^2\varphi}{dt^2}$ の項を無視することゝし

$$\alpha \doteq \lambda \cos \varphi \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2$$

而して S_{max} は $\varphi = 0$ なる時に於て其の時は $S_{max} \equiv \lambda_0 = \lambda$ なる故振動の振幅 2λ を加速度より見出さんに λ_0 と同位相にある加速度波の振幅 $2\lambda_0$ との關係は

$$\alpha_0 \doteq \lambda \cos \varphi_0 \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2, \quad \varphi_0 = 0, \quad \cos \varphi_0 = 1,$$

$$\alpha_0 \doteq \lambda \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2$$

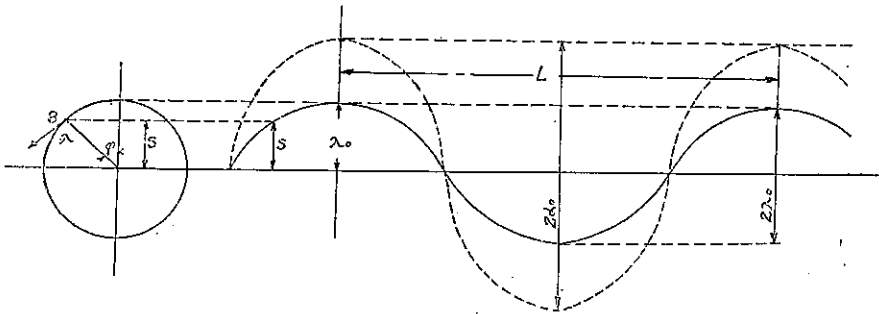
加速度の 10 秒間に於ける回数を f とせば振動の週期 T は $T = \frac{10}{f}$ なる故

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{2\pi}{T} \quad \therefore \quad \alpha_0 = \lambda \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 = \lambda \left(\frac{2\pi}{10/f} \right)^2 = \lambda \left(\frac{2\pi f}{10} \right)^2,$$

$$\lambda = \frac{\alpha_0}{\left(\frac{2\pi f}{10} \right)^2} = \frac{100\alpha_0}{(2\pi f)^2}, \quad 2\lambda = \frac{100(2\alpha_0)}{(2\pi f)^2}$$

即ち本公式中の $2\alpha_0$ に観測したる加速度波の振幅を、 f に観測したる毎 10 秒間の波回数を
入れて電車の振動の振幅 2λ (呎) を算出することを得るなり。

第一圖



第四章 左右振動測定成績

試験電車の運轉したる左右振動加速度波より観測したる振幅及び毎 10 秒間の波数の停留場區間毎に平均値を求めたるものを掲記すれば附表第一の如し。

附表第二によりて電車の左右振動を概説すれば左右振動の週期は 10 秒間に 13~25 の波数の割合となり、稀に 28 の波数に及ぶことあり。而して左右振動の加速度は毎秒毎秒 0.3~3.0 呎にして大なる時は 6.0 呎に達し最大なる時は 8.0 呎又は 9.0 呎に及ぶ事あり、之れ等の値を前記の公式に適用して電車の左右振動の振幅を算出せば

(1) 毎 10 秒間に於ける振動波数が 13 なる時 即ち $f=13$

(a) 加速度毎秒毎秒 0.3 呎なる時 即ち $2\alpha_0=0.3$

$$2\lambda = \frac{100 \times 0.3}{(2 \times 3.1416 \times 13)^2} = \frac{30}{6672} = 0.00405 \text{ 呎}$$

(b) 加速度毎秒毎秒 3.0 呎なる時 即ち $2\alpha_0=3.0$

$$2\lambda = \frac{100 \times 3.0}{(2 \times 3.1416 \times 13)^2} = \frac{300}{6672} = 0.041 \text{ 呎}$$

(c) 加速度毎秒毎秒 6.0 呎なる時 即ち $2\alpha_0=6.0$

$$2\lambda = \frac{100 \times 6.0}{(2 \times 3.1416 \times 13)^2} = \frac{600}{6672} = 0.081 \text{ 呎}$$

(d) 加速度毎秒毎秒 9.0 呎なる時 即ち $2\alpha_0 = 9.0$

$$2\lambda = \frac{100 \times 9.0}{(2 \times 3.1416 \times 13)^2} = \frac{900}{6672} = 0.123 \text{ 呎}$$

(2) 毎 10 秒間に於ける振動波数が 25 なる時 即ち $f = 25$

(a) 加速度毎秒毎秒 0.3 呎なる時 即ち $2\alpha_0 = 0.3$

$$2\lambda = \frac{100 \times 0.3}{(2 \times 3.1416 \times 25)^2} = \frac{30}{24674} = 0.0012 \text{ 呎}$$

(b) 加速度毎秒毎秒 3.0 呎なる時 即ち $2\alpha_0 = 3.0$

$$2\lambda = \frac{100 \times 3.0}{(2 \times 3.1416 \times 25)^2} = \frac{300}{24674} = 0.0121 \text{ 呎}$$

(c) 加速度毎秒毎秒 6.0 呎なる時 即ち $2\alpha_0 = 6.0$

$$2\lambda = \frac{100 \times 6.0}{(2 \times 3.1416 \times 25)^2} = \frac{600}{24674} = 0.0242 \text{ 呎}$$

(d) 加速度毎秒毎秒 9.0 呎なる時 即ち $2\alpha_0 = 9.0$

$$2\lambda = \frac{100 \times 9.0}{(2 \times 3.1416 \times 25)^2} = \frac{900}{24674} = 0.0363 \text{ 呎}$$

此の計算によりて見る時は左右振動の加速度が 9 呎以内なる時は運轉中の電車左右振動の振幅 0.001~0.123 呎にして車輪は軌條に對しこれ丈け左右に滑動し左右振動の加速度が 9 呎以上に及ぶ時は電車の左右振動の振幅は 0.123 呎を越える事あるべく、従つて電車の車輪が軌條に對して左右に滑動する程度も前記寸法より大なる事あるべし、而して電車臺か左右振動をなす際には車輪に於ては其の輪轉面が運轉中軌條頂面を其の振幅に相當するだけ左右に滑動する事も推定し得べし、毎 10 秒間に於ける電車左右振動波數 f の種々の値と其の左右振動加速度 α_0 の種々の値とに對して電車左右振動の振幅を算出したるものは附表第一なり。

第五章 電車の左右振動と軌道の構造

前記公式によれば振幅は波數の 2 乗に反比例して變化し附表第一を見れば波數の大なる程(週期の小なる程)振幅が著しく小なるを以て附表第二に於ては波數の多い時と波數の少き時とを分類したり、而して左右振動中最も普通に起る波數は毎 10 秒間に 22 以下なるにより附表第二に於て $f \leq 22$ なる波數のもの及び $f \geq 23$ なる波數多きものに分類し加速度及び波數の觀測したる儘を掲記し尙波數の多きものと少きものとを兩者に於て各別に波數の平均及び加速度の平均値を求めたり。

尙附表第三は軌道の状況及び構造により左右振動の相異を知るため改良構造の區間と改良構造に非らざる區間とに分類し且直線軌道と曲線軌道とにて分類したり、觀測したる波數及

び加速度平均値は波數に於ては軌道の状態及び構造による差異少きも加速度に於ては**附表第三**の通り相當差異ありて、左右振動の波數少きものに於ては直線軌道曲線軌道とも改良構造に於ける加速度平均値は改良構造にあらざる軌道に於ける加速度平均値よりも約2割大なり(茲に左右振動に相當する電車運轉速度平均値を併記し参考するも何れの構造にても運轉速度には大差なし)波數多きものに於ては改良構造の直線軌道に於ける加速度平均値は稍小なりと雖も改良構造の曲線軌道に於ける加速度平均値は改良構造に非ざるものに於ける加速度平均値よりも3.3割大なり(此の場合電車の運轉速度の平均値を参考するに平均運轉速度の割合に比して加速度平均値の割合が改良構造にて頗る大なり)而して軌道状態につきて比較するときは大體に於て曲線軌道に於ける振動は直線軌道に於けるものより大なり、更に試験電車の振動の變化多き各區間毎に振動の最大部を觀測し諸區間を通計したる最大振動平均値を前記のものと同様の方法により求めれば**附表第四**の如し。**附表第四**を見る時は軌道の構造により波數には大差なきも加速度は改良構造の軌道に於けるものが運轉速度の相異なる割合に比し改良構造にあらざる軌道の加速度よりも著しく大にして3~4割だけ大なり。以上**附表第三**、**第四**の兩表により一般に改良構造の軌道に於ては他の構造の軌道に於けるよりも左右振動大なるかと思はる。

第六章 左右振動の振幅と軌條波狀磨耗の關係

試験運轉の軌道區間中實際軌條の波狀磨耗所謂 corrugation を起したる區間の振動觀測に基き**附表第一**により求めたる電車左右振動の振幅と實際軌條面波狀磨耗の現象存在の關係を調査するときは**附表第五**の如し、即ち平素の運轉が試験運轉と大差なしと考ふれば振幅0.003呎迄は車輛の輪轉面の軌條面に於ける左右滑動は軌條上に其の痕跡を残すに至らざるも此の程度を越えて該振幅が0.005呎位に達すると輪轉面の軌條面上に左右滑動の痕跡を残し所謂 corrugation を生ずるものゝ如く該振幅が0.008呎以上に達する時は盛に corrugation を生ずるに至るかと思はる、但し前述せる所は専用軌道を除外せる話にして専用軌道には corrugation の現象存在せず、今**附表第六**により専用軌道に於ける左右振動の振幅を見るに振幅が前述の範圍を越えて軌條に磨耗を生ずるも其の磨耗面に波狀なく corrugation を生ずる事なし。

附表第五の corrugation を存する區間に於ける左右振動の加速度及び振幅を改良鋪裝の構造の區間と板石假鋪裝の區間とに分ちて計算したる各區間の平均値を見るときは**附表第七**の如し、本表に依れば改良鋪裝構造の區間の運轉平均速度と板石假鋪裝の區間の運轉平均速度とは直線軌道にても曲線軌道にても大差なきに直線軌道にても曲線軌道にても改良鋪裝の構造の區間に於て左右振動の加速度及び振幅が大なるを見れば此の構造區間にては概して左右

振動が大なることを推斷し得べし。

尙直線軌道に於ける左右振動と曲線軌道に於ける左右振動とを比較すれば前者は加速度 $2\alpha_0 = 1.11$ 及び振幅 0.009 弱、後者は加速度 $2\alpha_0 = 1.35$, 振幅 0.010 強にして曲線軌道の方概して左右振動大なり、従つて曲線軌道の方 corrugation を起し易きものと思はる、而して試に直線軌道及び曲線軌道を通じ corrugation の存在區間に於ける試験運轉中の左右振動の波數及び加速度を求むれば附表第七末行の通り毎 10 秒間の波數は平均 20, 加速度は毎秒毎秒平均 1.23 呎なり。

第七章 左右振動の振幅と軌道の構造との關係

附表第八には専用軌道を除きたる試験運轉區間全體の直線軌道に於ける左右振動の振幅及び同様曲線軌道に於ける左右振動の振幅を掲記し、兩表共改良構造軌道に於けるものと板石假鋪裝構造軌道に於けるものに分類したるものに於て其の平均値を求めたり。

	振 幅 平 均 値 (呎)		
	直線軌道	曲線軌道	直曲線軌道を合せて
改良鋪裝構造軌道	0.006	0.009	0.0069
板石假鋪裝構造軌道	0.005	0.008	0.0062

此の平均値を比較するときは直線軌道にても曲線軌道にても概して改良鋪裝構造に於ける平均振幅は板石假鋪裝構造に於ける平均振幅より大なり。

第八章 左右振動に基く軌道波状磨耗の理論

左右振動による電車々輪の輪轉面の軌條面上の摩擦を考ふれば

v_0 = 一對の gearing に對する side slip

r = 電車々輪半徑(輪轉面の一點)

n = 電車の gear wheel の teeth の數

$\frac{1}{H}$ = 輪轉面の勾配

とせば左右振動の方向側の車輪々轉面の一對の gearing に對する圓弧長

$$\frac{2\pi}{n} \left(r + \frac{v_0}{H} \right)$$

左右振動の方向に反對側の車輪の輪轉面の一對の gearing に對する圓弧長

$$\frac{2\pi}{n} \left(r - \frac{v_0}{H} \right)$$

左右振動の方向側の車輪の輪轉面の gearing に對して slip する長を l とせば

$$l = \frac{2\pi}{n} \left(r + \frac{v_0}{H} \right) - \frac{2\pi}{n} \left(r - \frac{v_0}{H} \right) = \frac{8\pi v_0}{nH}$$

東京市街軌道電車にては $H=20$ なる故

$$l = \frac{8\pi v_0}{nH} = \frac{2\pi v_0}{5n}$$

Corrugation の谷及び峯が軌道中心線への垂線となす角度を θ とし

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{l}{v_0} = \frac{2\pi v_0}{5n} \times \frac{1}{v_0} = \frac{2\pi}{5n} \quad (\text{第三圖参照})$$

東京市街電車に於ては n は 67 及び 83 なり、之れを本公式に適用せば

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{2\pi}{5n} = 0.4 \times 3.1416 \times \frac{1}{67} = 0.0188 \quad \theta = 1^\circ 5'$$

$$\text{又は} \quad \operatorname{tg}\theta = \frac{2\pi}{5n} = 0.4 \times 3.1416 \times \frac{1}{83} = 0.0152 \quad \theta = 5^\circ 2'$$

故に波状磨耗は軌條中心線の方に對し直角方向に起らずして東京市街軌道にては $5^\circ 2' \sim 1^\circ 5'$ の角度をなすものなり。

第九章 Corrugation と電車の運轉速度

V = 電車の運轉速度 (哩/時)

L = 左右振動一週期の時間に電車の通過する軌道延長

d = 電車々輪の輪轉面の直徑

n = 齒輪の齒數

f = 毎10秒間の波數

左右振動の週期は $\frac{10}{f}$ 秒、一週期の間に電車の軌道を通過する距離 L は

$$L = \frac{V \times 5280}{60 \times 60} \times \frac{10}{f} = 14.667 \frac{V}{f}$$

車輪の輪轉面の周圍長 πd , L の距離に於ける齒輪 gearing の回數

$$L \times \frac{n}{\pi d} = \frac{Ln}{2\pi d}$$

Corrugation の pitch P は one gearing の間に電車の通過する距離なり

$$P = L \div \frac{Ln}{2\pi d} = \frac{2\pi d}{n} \quad (\text{呎})$$

此の公式による P は電車の運轉速度に關係なく車輪の一回轉中の齒數による gearing 一回毎に於ける軌道通過距離であると考へ得。

電車の運轉速度により左右振動の一週期間に軌道を通過する距離は前掲の振動波數及び運轉速度の値を取りて上記公式に適用すれば

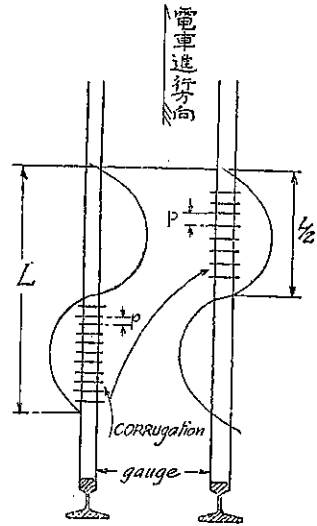
\sqrt{f}	L の値 (呎)		
	13	17	20
10	11.28	8.63	7.33
12	13.54	10.35	8.80
15	16.92	12.94	11.00
17	19.18	14.67	12.47
19	21.44	16.39	13.93

此の L の距離に於て半分丈は右に半分だけは左に動揺し軌條面に其の滑動の痕跡を残すものなり。之れが右軌條と左軌條に交互に corrugation として存する現象なり。(第二圖参照)而して gearing 一回毎に軌條面に現はるゝ痕跡波の谷の長さ P を上記公式にて求むるには東京市街軌道電車にては車輪の直径は $660^{mm} (=2.2^{呎})$ 又は $790^{mm} (=2.4^{呎})$ なれば $d=2.0$ 又は 2.4 とし齒輪の齒數は 67 及び 83 なれば $n=67$ 又は 83 とし次表の通り P の値を得

$d \backslash n$	P の値 (呎)	
	67	83
2.0	0.1875	0.161
2.4	0.2250	0.182

之れが corrugation として軌條面上に波状の磨耗痕を残すものゝ峯の pitch に相當する値なり。

第二圖



第十章 Corrugation の幻滅

以上述べたる所により電車左右振動は毎 10 秒間の波數過多にして振動加速度亦過少にして左右振動の振幅が相當大に達せざる時は軌條面の磨耗痕が corrugation として目撃し得る現象を存せざるも之れに反し波數過多ならず、振動加速度過少ならずして振幅が相當大なる時は corrugation の現象を存するものなるが如し。即ち附表第一中第一斜段上は (0.003 より小なるもの) corrugation の現象目撃し難き振幅、第二斜段下は大抵は corrugation の現象を存すべき振幅なり。然るに茲に corrugation を存在し得べき振幅に於て之れを幻滅せしむるかと思像せらるゝ關係を掲ぐれば

1. gearing に伴ふ shock は齒輪の齒が磨耗して其の回轉が正確でないためである故齒の磨耗が少なく shock 微少なれば corrugation も現れ難い
2. axle が古くなり磨耗して直径小さくなれば journal に exact fit をなさずして 2^{mm}

以上の間隙が出来軌條に沿ふ車輪の slip はそれだけ幻滅される。

3. 齒輪は axle の中央より外れた一側にある故齒の磨耗不規則なれば gearing の shock 毎に axle は進行の方向に直角の位置から動揺し片車輪のなす slip を幻滅する。

4. 輪轉面の傾斜（圓錐面）が磨耗のため圓筒状なれば軌條に沼ふ slip が起らないで済むこと、

以上は corrugation を減失し又は一様ならしめざる原因であるが殊に (4) の輪轉面の傾斜は磨耗の結果傾斜の度が急なれば第八章の corrugation の峯の角度 θ は變化する。

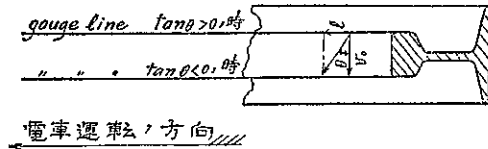
實例によれば傾斜度 $\frac{1}{H}$ が $\frac{1}{6}$ 位にはなつて居るから第八章の峯の角度は次の如くなり得る

$$\text{tg}\theta = 0.062 \quad \theta = 3^{\circ}33'$$

$$\text{又は} \quad \text{tg}\theta = 0.052 \quad \theta = 2^{\circ}59'$$

5. 輪轉面の傾斜は車心に向いて直徑を増加すべきに拘らず磨耗が著しきものは却て車心に向ひて直徑を減じ negative slope をなすものがあれば $\text{tg}\theta$ が negative になり、第八章にては $\text{tg}\theta$ が positive にて車輪が軌間外に押出る時に corrugation の峯が V 状に現はれたが $\text{tg}\theta$ が negative の時は車輪

第三圖



が軌間内に押戻る時に corrugation の峯が八状に表はれる、而して後者の場合には車輪が軌條外の泥に浸されてから軌條面上を摩擦する結果 corrugation の表れ方が比較的著しい（第三圖参照）

實例によれば negative slope が矢張 $-\frac{1}{20} \sim -\frac{1}{6}$ 位迄ある故 corrugation の峯の角度は次の如くなる。

$$\text{tg}\theta = -0.062 \quad \theta = -3^{\circ}30'$$

$$\text{又は} \quad \text{tg}\theta = -0.061 \quad \theta = -2^{\circ}55'$$

(2), (3) のため或は制動のため車輪は slip し θ は更に大きくなる場合がある。

附表第一 左右振動振幅 2λ の値 (呎)

加速度波振幅 $2\alpha_0$ ft/sec ²	毎 10 秒間加速度波数 f															
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
0.3	0.005	0.004	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
0.4	0.006	0.005	0.005	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001
0.5	0.007	0.006	0.006	0.005	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
0.6	0.009	0.008	0.007	0.006	0.005	0.005	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
0.7	0.010	0.009	0.008	0.007	0.006	0.006	0.005	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002
0.8	0.012	0.010	0.009	0.008	0.007	0.006	0.006	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003
0.9	0.013	0.012	0.010	0.009	0.008	0.007	0.006	0.006	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003
1.0	0.015	0.013	0.011	0.010	0.009	0.008	0.007	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.003
1.1	0.016	0.015	0.013	0.011	0.010	0.009	0.008	0.007	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004
1.2	0.018	0.016	0.014	0.012	0.011	0.010	0.009	0.008	0.007	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004
1.3	0.020	0.017	0.015	0.015	0.012	0.010	0.009	0.008	0.008	0.007	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.004
1.4	0.021	0.018	0.016	0.014	0.012	0.011	0.010	0.009	0.008	0.007	0.007	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005
1.5	0.022	0.020	0.017	0.015	0.013	0.012	0.011	0.010	0.009	0.008	0.007	0.007	0.006	0.006	0.005	0.005
1.6	0.024	0.021	0.018	0.016	0.014	0.013	0.011	0.010	0.009	0.008	0.008	0.007	0.007	0.006	0.006	0.005
1.7	0.025	0.022	0.019	0.017	0.015	0.013	0.012	0.011	0.010	0.009	0.008	0.008	0.007	0.007	0.006	0.006
1.8	0.027	0.023	0.020	0.018	0.016	0.014	0.013	0.012	0.010	0.010	0.009	0.008	0.007	0.007	0.006	0.006
1.9	0.028	0.025	0.022	0.019	0.017	0.015	0.013	0.012	0.011	0.010	0.009	0.008	0.008	0.007	0.007	0.006
2.0	0.030	0.026	0.023	0.020	0.018	0.016	0.014	0.013	0.012	0.011	0.010	0.009	0.008	0.008	0.007	0.007
2.5	0.037	0.032	0.028	0.025	0.022	0.020	0.018	0.016	0.014	0.013	0.012	0.011	0.010	0.009	0.009	0.008
3.0	0.045	0.039	0.034	0.030	0.026	0.024	0.021	0.019	0.017	0.016	0.014	0.013	0.012	0.011	0.011	0.010
3.5	0.052	0.045	0.040	0.035	0.031	0.027	0.025	0.022	0.020	0.018	0.017	0.016	0.014	0.013	0.012	0.011
4.0	0.060	0.052	0.045	0.040	0.035	0.031	0.028	0.025	0.023	0.021	0.019	0.018	0.016	0.015	0.014	0.013
4.5	0.067	0.058	0.051	0.045	0.040	0.035	0.032	0.029	0.026	0.023	0.022	0.020	0.018	0.017	0.016	0.015
5.0	0.075	0.065	0.056	0.050	0.044	0.039	0.035	0.032	0.029	0.026	0.024	0.022	0.020	0.019	0.018	0.016
5.5	0.082	0.071	0.062	0.055	0.048	0.043	0.039	0.035	0.032	0.029	0.026	0.025	0.022	0.021	0.019	0.018
6.0	0.090	0.078	0.068	0.060	0.053	0.047	0.042	0.038	0.035	0.032	0.029	0.027	0.024	0.023	0.021	0.019
6.5	0.097	0.084	0.073	0.065	0.057	0.051	0.046	0.041	0.037	0.034	0.031	0.029	0.026	0.024	0.023	0.021
7.0	0.105	0.091	0.079	0.069	0.061	0.055	0.049	0.044	0.040	0.037	0.034	0.031	0.028	0.026	0.024	0.023
7.5	0.112	0.097	0.085	0.074	0.066	0.059	0.053	0.048	0.043	0.039	0.036	0.033	0.031	0.028	0.026	0.024
8.0	0.120	0.104	0.090	0.079	0.070	0.063	0.056	0.051	0.046	0.042	0.038	0.035	0.032	0.030	0.028	0.026
8.5	0.127	0.110	0.096	0.084	0.075	0.067	0.060	0.054	0.049	0.045	0.041	0.038	0.035	0.032	0.030	0.028
9.0	0.135	0.116	0.101	0.089	0.079	0.070	0.063	0.057	0.052	0.047	0.043	0.040	0.037	0.034	0.031	0.029

(土木學會誌第十六卷第十二號附表)

附表第二(其一)

直線 鋪裝ある所

區 間	$f \leq 22$			$f \geq 23$		
	f	$2\alpha_0$	v	f	$2\alpha_0$	v
青山六-青山四	19	0.6	11.7	—	—	—
青山四-青山一	—	—	—	24	0.8	18.9
青山--稻荷前	22	0.6	11.0	24	0.3	16.5
稻荷前-赤坂見附	—	—	—	—	—	—
赤坂見附-稻荷前	—	—	—	23	0.7	11.0
稻荷前-青山一	22	0.3	14.1	27	0.3	12.3
青山一-青山四	—	—	—	23	0.6	14.1
青山四-青山六	15	1.5	16.0	23	0.5	14.0
青山四-青山六	22	0.6	11.2	—	—	—
赤坂-溜池	22	0.9	15.1	—	—	—
溜池-虎ノ門	—	—	—	25	0.7	11.6
虎ノ門-溜池	21	0.7	10.0	—	—	—
銀座四-銀座一	21	1.0	12.9	—	—	—
銀座一-京橋	—	—	—	25	0.7	7.0
銀座一-銀座四	—	—	—	24	0.8	11.1
銀座四-出雲町	—	—	—	23	0.8	13.6
内幸町-日比谷	—	—	—	23	1.2	16.4
内幸町-櫻田本郷	—	—	—	25	0.5	—
櫻田本郷-内幸町	21	0.2	4.0	—	—	—
日比谷-内幸町	18	2.8	15.1	—	—	—
溜池-今井町	20	0.5	16.8	27	0.7	16.8
京橋-通三丁目	20	0.9	9.4	—	—	—
通三丁目-日本橋	17	0.9	9.4	—	—	—
室町-本石町	20	0.6	9.8	24	0.3	9.8
木石町-今川橋	21	0.6	10.6	—	—	—
今川橋-神田驛	19	0.7	8.8	赤坂-平川町	0.4	11.8
神田驛-須田町	18	0.9	10.1	24	—	—
日本橋-通三丁目	20	0.7	8.2	平川町-赤坂	0.5	11.2
通三丁目-京橋	22	0.6	13.0	23	—	—
櫻田門-日比谷	22	0.6	13.0	—	—	—
日比谷-櫻田門	17	1.4	14.9	24	0.9	11.0
馬場先-大手	21	1.0	15.3	—	—	—
大手-神田橋	21	0.3	15.3	—	—	—
神田橋-大手	18	1.2	14.9	—	—	—
大手-馬場先	13	1.1	18.5	—	—	—
馬場先-大手	13	2.4	18.5	—	—	—
大手-神田橋	—	—	—	26	0.8	11.9
神田橋-大手	—	—	—	24	0.7	10.5
大手-馬場先	15	2.3	12.9	—	—	—
馬場先-大手	21	1.0	12.9	—	—	—
今井町-溜池	22	0.9	15.1	—	—	—
溜池-今井町	22	0.9	15.1	—	—	—
平均	19.6	0.96	12.5	24.3	0.64	12.8

直線 鋪裝なき所

區 間	$f \leq 22$			$f \geq 23$		
	f	$2\alpha_0$	v	f	$2\alpha_0$	v
廣尾-赤十字	21	0.4	15.4	—	—	—
霞町-墓地下	22	0.3	10.4	—	—	—
墓地下-三聯隊	18	0.4	12.8	—	—	—
三聯隊-青山一	20	0.3	12.4	—	—	—
青山一-三聯隊	19	0.4	13.2	—	—	—
三聯隊-墓地下	21	0.8	13.5	—	—	—
墓地下-霞町	—	—	—	26	0.6	13.0
霞町-赤十字	22	0.4	12.5	—	—	—
赤十字-廣尾	22	0.3	14.2	24	0.6	16.0
廣尾-天現寺	20	0.3	12.4	—	—	—
薩摩原-札ノ辻	20	1.0	10.5	24	0.4	11.5
薩摩原-札ノ辻	20	1.0	10.5	25	0.5	11.5
厩橋-片町	21	0.8	11.5	24	0.4	10.6
平川町-櫻田門	21	0.9	15.7	25	0.8	11.7
芝口-宇田川町	20	0.3	15.75	30	1.3	14.2
札ノ辻-薩摩原	21	0.7	12.1	—	—	—
大門口-宇田川町	16	1.8	16.8	—	—	—
宇田川町-大門口	20	0.3	16.8	—	—	—
宇田川町-大門口	18	1.3	8.0	24	0.4	0.2
神田橋-錦町	20	0.8	13.6	23	0.8	9.2
神保町-水道橋	20	0.9	6.0	春日町-水道橋	0.6	14.5
神保町-水道橋	22	0.8	6.0	24	—	—
水道橋-神保町	16	1.8	13.3	23	0.8	6.3
水道橋-神保町	21	0.8	13.3	—	—	—
竹早町-同心町	20	1.2	15.6	—	—	—
高師前-辻町	20	0.9	11.5	—	—	—
辻町-高師前	17	1.6	15.2	—	—	—
辻町-高師前	22	0.9	9.3	—	—	—
同心町-竹早町	20	0.9	8.5	23	1.0	8.4
霞町-青山六	21	0.8	19.2	27	0.5	11.0
青山六-霞町	20	1.0	19.2	24	0.5	13.0
數寄屋橋-日比谷	22	0.9	7.4	27	0.7	16.8
數寄屋橋-日比谷	18	0.9	10.6	28	0.3	16.2
黒門町-廣小路	18	0.9	10.6	23	1.8	—
三原橋-數寄屋橋	21	1.0	7.4	—	—	—
三原橋-數寄屋橋	18	0.6	7.6	日比谷-數寄屋橋	0.9	7.4
上野廣小路-車坂	18	0.6	7.6	23	—	—
馬喰町-淺草橋	22	0.6	13.9	—	—	—
馬喰町-淺草橋	—	—	—	23	0.9	16.9
宇田川町-芝口	—	—	—	24	0.3	11.6
泉岳寺-札ノ辻	—	—	—	23	1.1	12.9
平 均	20	0.8	12.4	24.6	0.72	12.1

附表第二(其二) 曲線 鋪裝ある所

區 間	$f \leq 22$			$f \geq 23$		
	f	$2\alpha_0$	v	f	$2\alpha_0$	v
青山—稻荷前	14	3.5	17.7	—	—	—
稻荷前—青山一	22	1.0	16.2	—	—	—
青山—青山四	21	0.7	9.2	—	—	—
青山四—青山六	16	1.2	17.7	—	—	—
赤坂見附—稻荷前	—	—	—	27	0.5	12.9
赤坂見附—虎ノ門	21	0.3	8.1	24	1.1	—
銀座—京橋	20	1.2	7.5	—	—	—
大手—神田橋	—	—	—	27	1.2	10.7
神田橋—大手	16	3.5	12.8	—	—	—
溜池—今井町	21	0.5	15.3	—	—	—
今井町—溜池	—	—	—	24	1.1	3.9
櫻田門—日比谷	16	1.2	11.7	—	—	—
日比谷—櫻田門	22	0.8	7.7	—	—	—
	22	0.4	6.0	—	—	—
本石町—今川橋	18	0.6	10.7	—	—	—
今川橋—神田驛	20	0.9	10.4	—	—	—
小傳馬町—本石町		1.0	13.8	—	—	—
赤坂見附—平川町	21	0.8	7.2	—	—	—
平川町—赤坂見附	21	1.8	6.0	—	—	—
平 均	19.5	1.21	11.1	25.5	0.98	12.5

曲線 鋪裝ある所

區 分	$f \leq 22$			$f \geq 23$		
	f	$2\alpha_0$	v	f	$2\alpha_0$	v
天現寺—廣尾	22	0.6	7.4	—	—	—
廣尾—赤十字	23	0.9	15.5	—	—	—
赤十字—霞町	19	0.4	10.8	—	—	—
霞町—墓地下	19	0.9	10.9	—	—	—
墓地下—三聯隊	—	—	—	23	0.7	5.0
三聯隊—青山一	18	0.8	12.7	—	—	—
青山一—三聯隊	16	0.8	12.8	—	—	—
三聯隊—墓地下	17	0.9	12.5	—	—	—
墓地下—霞町	18	1.0	12.0	—	—	—
霞町—赤十字	16	0.9	12.3	—	—	—
	22	0.8	12.3	—	—	—
赤十字—廣尾	19	1.3	9.5	24	0.8	15.5
廣尾—天現寺	19	0.3	8.7	—	—	—
	22	0.8	11.8	—	—	—
馬喰町—小傳馬町	20	0.7	—	—	—	—
厩橋—片町	19	1.2	11.2	—	—	—
片町—淺草橋	17	1.7	8.4	—	—	—
三宅坂—櫻田門	18	1.7	11.1	—	—	—
	22	0.8	11.1	—	—	—
櫻田門—三宅坂	21	0.6	11.7	—	—	—
札ノ辻—薩摩原	—	—	—	28	0.3	12.1
大門—宇田川町	18	1.5	12.6	—	—	—
宇田川町—芝口	20	0.3	11.9	—	—	—
薩摩原—札ノ辻	15	3.0	—	—	—	—
	17	1.0	11.0	—	—	—
	19	1.4	—	—	—	—
芝口—宇田川町	22	0.9	14.6	—	—	—
神田橋—錦町	18	1.2	6.7	—	—	—
神保町—水道橋	—	—	—	24	0.6	7.4
水道橋—神保町	19	1.1	11.8	—	—	—
錦町—神田橋	21	1.0	10.0	—	—	—
傳通院—竹早町	18	1.0	9.8	—	—	—
竹早町—同心町	20	2.6	12.0	—	—	—
高師前—辻町	22	0.9	10.5	—	—	—
辻町—高師前	19	0.8	8.3	25	0.8	14.3
六本木—材木町	22	1.2	16.9	—	—	—
材木町—六本木	17	0.8	14.5	—	—	—
	20	0.9	12.8	—	—	—
黒門町—廣小路	18	0.6	8.0	—	—	—
	18	1.1	8.1	—	—	—
	19	0.8	9.4	—	—	—
上野公園—上野驛	—	—	—	23	1.2	10.7
上野驛—車坂	21	0.4	7.0	—	—	—
平 均	19.2	1.01	11.0	24.5	0.73	10.8

附表第三

	直線軌道					
	少波数のもの			多波数のもの		
	fの平均	2α₀の平均	vの平均	fの平均	2α₀の平均	vの平均
改良構造の軌道	19.6	0.96 ^呎	12.5 ^哩	24.3	0.64 ^呎	12.8 ^哩
改良構造に非ざる軌道	20.0	0.80	12.4	24.6	0.72	12.1

	曲線軌道					
	少波数のもの			多波数のもの		
	fの平均	2α₀の平均	vの平均	fの平均	2α₀の平均	vの平均
改良構造の軌道	19.5	1.21 ^呎	11.1 ^哩	25.5	0.98 ^呎	12.5 ^哩
改良構造に非ざる軌道	19.2	1.01	11.0	24.5	0.73	10.8

備考 vは電車平均運轉速度哩數(毎時)

附表第四

	直線軌道					
	少波数のもの			多波数のもの		
	fの平均	2α₀の平均	vの平均	fの平均	2α₀の平均	vの平均
改良構造の軌道	18.8	2.57 ^呎	13.95 ^哩	24.0	2.00 ^呎	15.3 ^哩
改良構造に非ざる軌道	18.8	1.99	14.95	25.0	1.54	13.3

	曲線軌道					
	少波数のもの			多波数のもの		
	fの平均	2α₀の平均	vの平均	fの平均	2α₀の平均	vの平均
改良構造の軌道	18.1	3.23 ^呎	14.7 ^哩	22.5	1.55 ^呎	15.8 ^哩
改良構造に非ざる軌道	18.9	2.26	13.1	23.0	1.20	16.4

附表第五 Corrugation ある軌道區間の左右振動觀測表

	直線軌道				曲線軌道				
	10秒間の波數 f	加速度 2α₀	振 幅 2λ	運轉速度 v	10秒間の波數 f	加速度 2α₀	振 幅 2λ	運轉速度 v	
改良鋪裝の構造區間	赤坂見附-稻荷前	23	0.7	0.003	11.0	—	—	—	
	稻荷前-青山一	23	0.6	0.003	14.1	—	—	—	
	青山四-青山六	15	1.5	0.017	16.0	—	—	—	
		22	0.6	0.003	11.2	—	—	—	
	赤坂-溜池	22	0.9	0.005	15.1	—	—	—	
	溜池-虎ノ門	25	0.7	0.003	11.6	—	—	—	
	日比谷-内幸町	21	0.7	0.004	10.0	—	—	—	
		18	2.8	0.022	15.0	—	—	—	
	櫻田門-日比谷	21	1.0	0.006	15.3	22	0.80	0.004	7.7
						16	1.20	0.012	11.7
	馬場先-大手	18	1.1	0.009	18.5	—	—	—	
		13	2.4	0.036					
	大手-神田橋	26	0.8	0.003	11.9	16	3.50	0.035	12.8
	銀座-京橋	—	—	—	—	20	1.20	0.008	7.5
	本石町-今川橋	—	—	—	—	18	0.60	0.005	10.7
今川橋-神田驛	—	—	—	—	20	0.90	0.006	10.4	
平均	20.6	1.15	0.010	12.5	19.2	1.40	0.012	10.1	
板石假鋪裝構造區間	竹早町-同心町	20	1.2	0.008	15.6	18	1.00	0.008	9.8
		20	0.9	0.006	8.5	20	2.60	0.016	12.0
	高師前-辻町	20	0.9	0.006	11.5	19	0.80	0.006	8.3
		22	0.9	0.005	9.3	22	0.90	0.005	10.5
		17	1.6	0.014	15.2				
	厩橋-片町	21	0.8	0.005	11.5	19	1.20	0.010	11.2
	馬喰町-小傳馬町	22	0.6	0.003	13.9	—	—	—	—
平均	20.0	1.13	0.007	12.2	19.6	1.30	0.009	10.3	
諸鋪裝の構造區間を通計	20.4	1.11	0.009弱		19.4	1.35	0.010強		

直線軌道及び曲線軌道を通計せし平均 f=20, 2α=1.23

(土木學會誌第十六卷第十三號附表)

附表第六 専用軌道区間の左右振動観測表

	直線軌道			曲線軌道		
	10秒間の波数	加速度	振 幅	10秒間の波数	加速度	振 幅
	f	$2\alpha_0$	2λ	f	$2\alpha_0$	2λ
天現寺—廣尾	—	—	—	22	0.6	0.003
廣尾—赤十字	21	0.4	0.002	23	0.9	0.004
赤十字—霞町	—	—	—	19	0.4	0.003
霞町—墓地下	22	0.3	0.002	19	0.9	0.006
墓地下—三聯隊裏	18	0.4	0.003	23	0.7	0.003
三聯隊裏—青山一	20	0.3	0.002	18	0.8	0.006
青山一—三聯隊裏	19	0.4	0.003	16	0.8	0.008
三聯隊裏—墓地下	21	0.8	0.005	17	0.9	0.008
墓地下—霞町	—	—	—	18	1.0	0.008
霞町—赤十字	22	0.4	0.002	16 22	0.9 0.8	0.009 0.004
赤十字—廣尾	22	0.3	0.002	19	1.3	0.009
廣尾—天現寺	20	0.3	0.002	19 22	0.3 0.8	0.002 0.004
平 均	20.6	0.4	0.003	19.5	0.8	0.006

附表第七

(土木學會誌第十六卷第十二號附誌)

	直線軌道				曲線軌道			
	f の 平均値	$2\alpha_0$ の 平均値	振幅の 平均値	v の 平均値	f の 平均値	$2\alpha_0$ の 平均値	振幅の 平均値	v の 平均値
改良鋪裝構造の軌道	20.6	1.15	0.010	12.5	19.2	1.40	0.012	10.1
板石假鋪裝の軌道	20.0	1.13	0.007	12.2	19.6	1.30	0.009	10.3
合 計 の 平 均	20.4	1.11	0.009弱		19.4	1.35	0.010強	
直曲線軌道を通じ平均	20.0	1.23						

附表第八(其一) 軌道構造別振幅調表(専用軌道を除く)

← $f \leq 22$ →

直線部				曲線部			
改良舗装		板石張假舗装		改良舗装		板石張假舗装	
青山六-青山四	0.004	薩摩原-札ノ辻	0.006	青山一-稻荷前	0.045	馬喰町-小傳馬町	
青山四-青山一	—	厩橋-片町	0.005	稻荷前-青山一	0.005	厩橋-片町	
青山一-稻荷前	0.003	平川町-櫻田門	0.005	青山一-青山四	0.004	片町-淺草橋	
稻荷前-赤坂見附	—	芝口-宇田川町	0.002	青山四-青山六	0.012	三宅坂-櫻田門	
赤坂見附-稻荷前	—	札ノ辻-薩摩原	0.004	赤坂見附-稻荷前	—	櫻田門-三宅坂	
稻荷前-青山一	0.002	大門-宇田川町	0.018	赤坂見附-虎ノ門	0.002	札ノ辻-薩摩原	
青山一-青山四	—	宇田川町-大門	0.002	銀座一-京橋	0.008	大門-宇田川町	
			0.010				
青山四-青山六	0.017	神田橋-錦町	0.005	大手-神田橋	—	宇田川町-芝口	
	0.003						
赤坂見附-溜池	0.005	神保町-水道橋	0.006	神田橋-大手	0.035	薩摩原-札ノ辻	
			0.004				
溜池-虎ノ門	—	水道橋-神保町	0.018	溜池-今井町	0.003	芝口-宇田川町	
			0.005				
虎ノ門-溜池	0.004	竹早町-同心町	0.008	今井町-溜池	—	神田橋-錦町	
銀座四-銀座一	0.006	高師前-辻町	0.006	櫻田門-日比谷	0.012	神保町-水道橋	
銀座一-京橋	—	辻町-高師前	0.014	日比谷-櫻田門	0.004	水道橋-神保町	
銀座一-銀座四	—		0.005				
銀座四-出雲町	—	同心町-竹早町	0.006	本石町-今川橋	0.002	錦町-神田橋	
内幸町-日比谷	—	霞町-青山六	0.005	今川橋-神田驛	0.006	傳通院-竹早町	
内幸町-櫻田本郷	—	青山六-霞町	0.006	小傳馬町-本石町	0.006	竹早町-同心町	
櫻田本郷-内幸町	0.001	數寄屋橋-日比谷	0.005	赤坂見附-平川町	0.005	高師前-辻町	
日比谷-内幸町	0.022	黒門町-廣小路	0.007	平川町-赤坂見附	0.010	辻町-高師前	
溜池-今井町	0.003	三原橋-數寄屋橋	0.006			六本木-材木町	
		上野廣小路	0.005			材木町-六本木	
橋-通三丁目	0.006	馬喰町	0.003			黒門町-廣小路	
通三丁目-日本橋	0.008	宇田川町-芝口				上野公園-上野驛	
	0.004	泉岳寺-札ノ札				上野驛-車坂町	
室町-本石町	0.003						
本石町-今川橋	0.005						
今川橋-神田驛	0.007						
神田驛-須田町	0.004						
日本橋-通三丁目	0.003						
通三丁目-京橋	0.012						
櫻田門-日比谷	0.006						
日比谷-櫻田門	0.002						
日比谷-櫻田門	0.010						
馬場先-大手	0.009						
	0.036						
大手-神田橋	—						
神田橋-大手	—						
大手-馬場先	0.025						
	0.006						
今井町-溜池	0.005						
平均	0.008	平均	0.007	平均	0.010	平均	

(土木學會誌第十六卷第十二號附録)

附表第八(其二) 軌道構造別振幅調表(専用軌道を除く)

直線部				曲線部			
改良鋪裝		板石假鋪裝		改良鋪裝		板石假鋪裝	
青山四-青山一	0.004	薩摩原-札ノ辻	0.002	赤坂見附-稻荷前	0.002	札ノ辻-薩摩原	0.001
	0.001		0.002				
稻荷前-赤坂見附	0.003	厩橋-片町	0.002	赤坂見附-虎ノ門	0.005	神保町-水道橋	0.003
赤坂見附-稻荷前	0.001	平川町-櫻田門	0.003	大手-神田橋	0.004	辻町-高師前	0.003
稻荷前-青山一	0.003	芝口-宇田川町	0.003	今井町-溜池	0.005	上野公園-上野驛	0.006
青山一-青山四	0.002	宇田川町-大門	0.002	—	—	—	—
溜池-虎ノ門	0.003	神田橋-錦町	0.004	—	—	—	—
銀座一-京橋	0.003	神保町-水道橋	0.003	—	—	—	—
銀座一-銀座四	0.004	水道橋-神保町	0.004	—	—	—	—
銀座四-出雲町	0.004	同心町-竹早町	0.005	—	—	—	—
内幸町-日比谷	0.006	霞町-青山六	0.002	—	—	—	—
内幸町-櫻田本郷	0.002	青山六-霞町	0.002	—	—	—	—
溜池-今井町	0.002	數寄屋橋-日比谷	0.002	—	—	—	—
通三丁目-日本橋	0.001	黒門町-廣小路	0.009	—	—	—	—
通三丁目-京橋	0.004	上野廣小路	0.001	—	—	—	—
			0.004	—	—	—	—
大手町-神田橋	0.003	宇田川町-芝口	0.004	—	—	—	—
			0.001	—	—	—	—
神田橋-大手町	0.003	泉岳寺-札ノ辻	0.005	—	—	—	—
平均	0.003	平均	0.003	平均	0.004	平均	0.003

f の大小を通じ合計平均

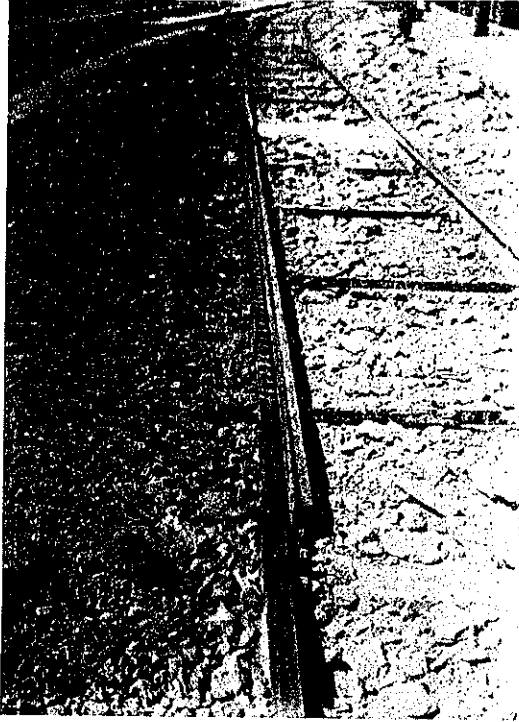
直線部		曲線部	
改良鋪裝	0.006	板石假鋪裝	0.005

直線部		曲線部	
改良鋪裝	0.009	板石假鋪裝	0.008

直線部曲線部を通じ平均

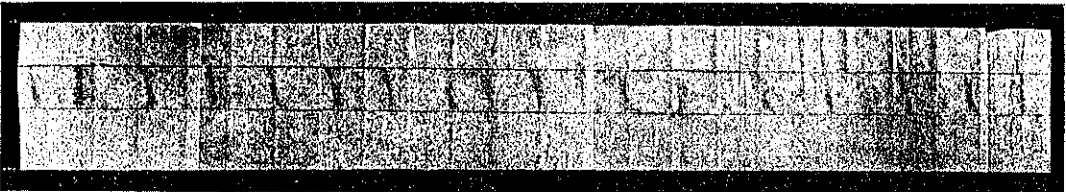
改良鋪裝	0.0069	板石假鋪裝	0.0062
------	--------	-------	--------

寫真第一



波狀磨耗軌條取替前

寫真第二

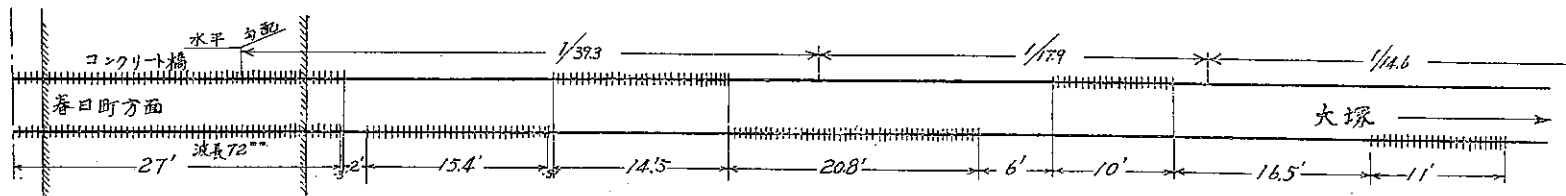
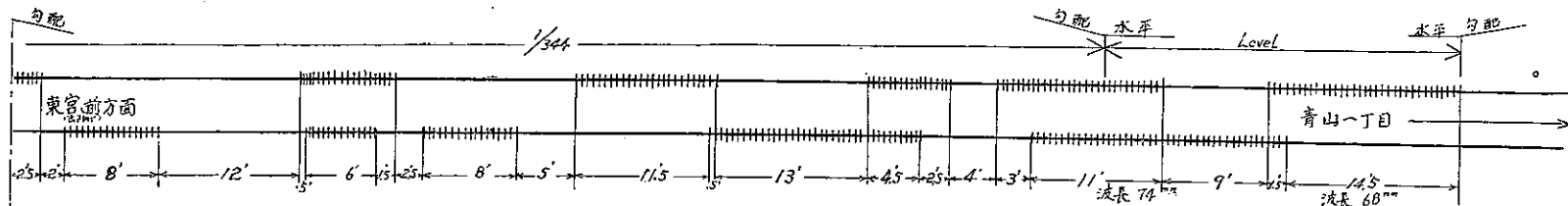


軌條波狀磨耗狀態

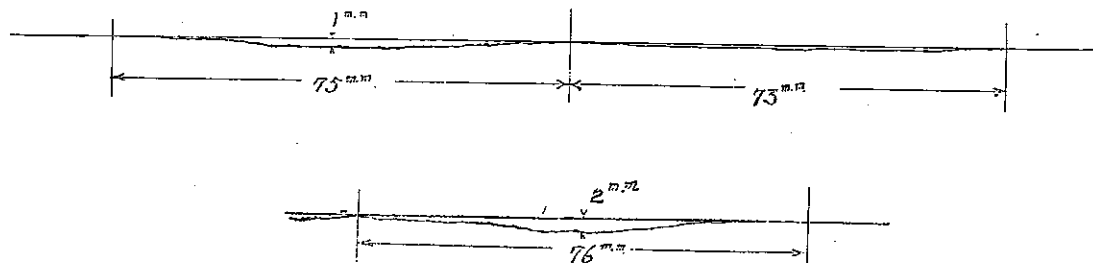
(土木學會誌第十六卷第十二號附圖)

1002-70

附圖第一 左右軌條交互の現象



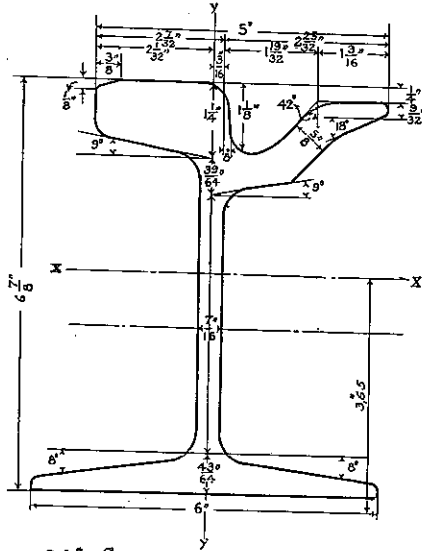
附圖第二 波長及谷の深



附圖第三 左右軌條に於ける峯と谷の位置

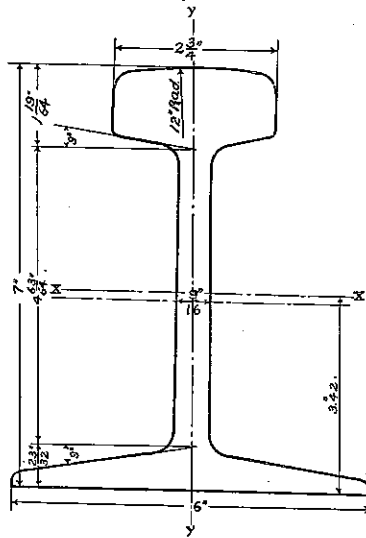


附圖第四 軌條の断面



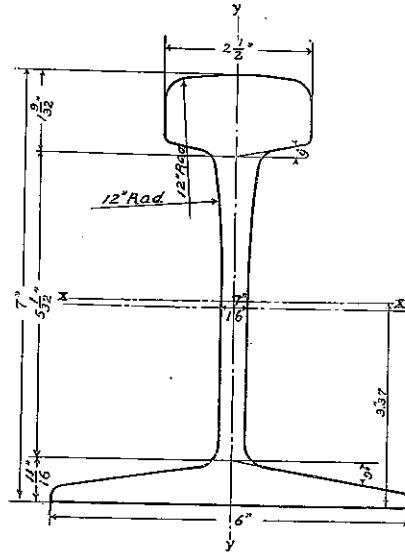
94° Grooved Girder Rail.

$A = 9.21$
 $I_x = 64.54$
 $I_y = 15.00$
 $I_{y'} = 1.755$



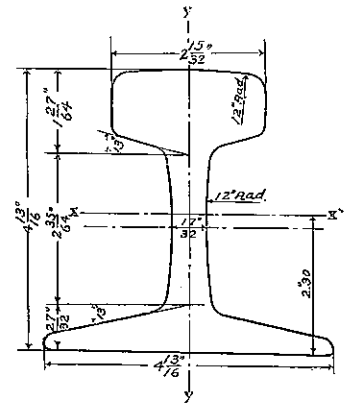
91° High T-Rail.

$A = 8.92$
 $I_x = 65.05$
 $I_y = 9.56$
 $I_{y'} = 1.73$



82° High T-Rail.

$A = 8.04$
 $I_x = 59.76$

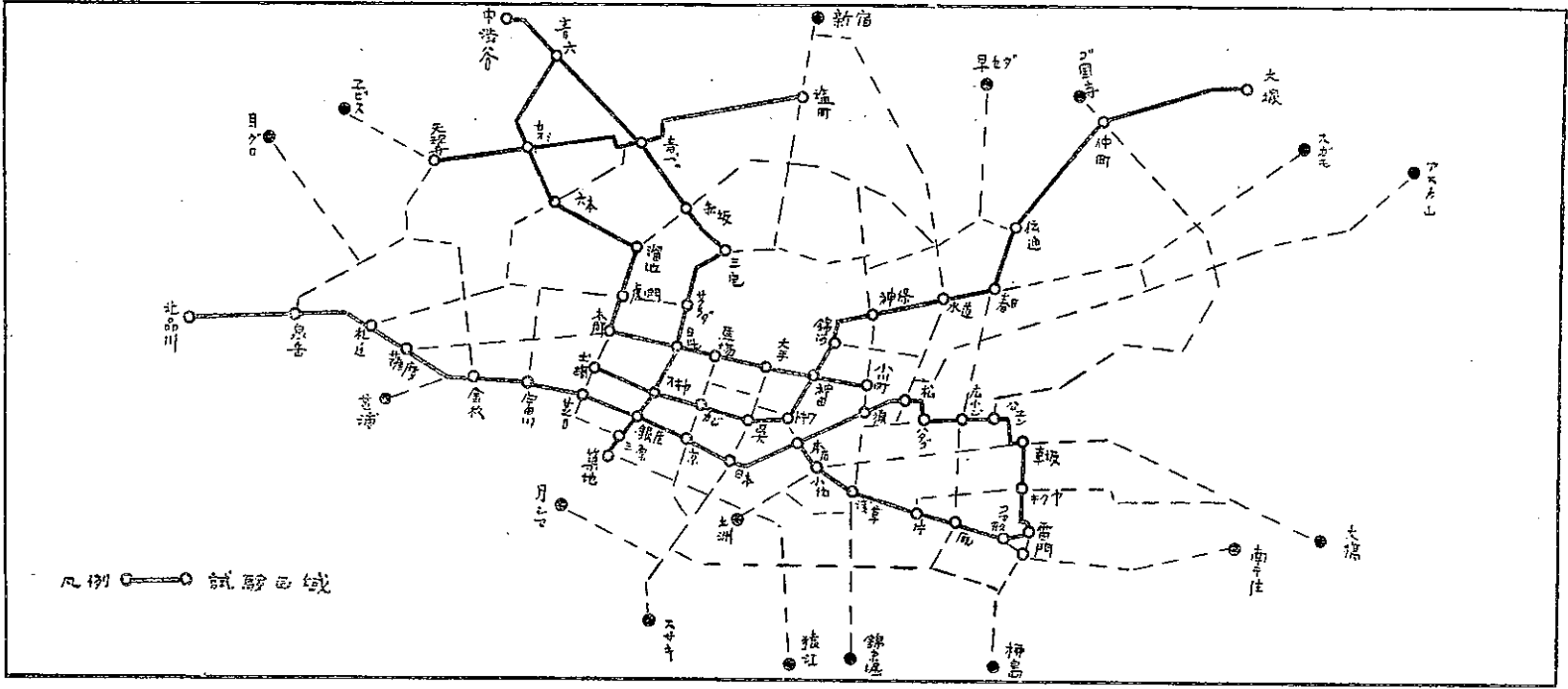


75° T-Rail.

$A = 7.33$
 $I_x = 22.86$

A = Sectional area
 I_x = Moment of Inertia about XX
 I_y = " " " YY
 $I_{y'}$ = " " YY, head only

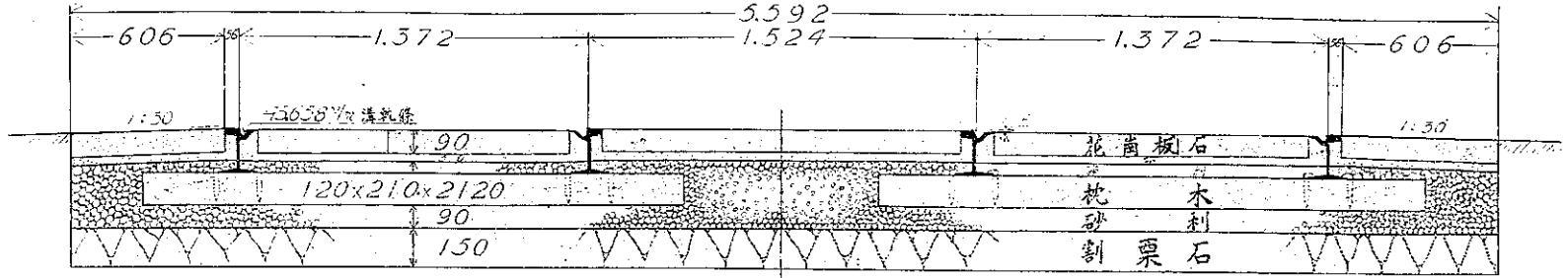
附圖第五 左右震動試驗區域



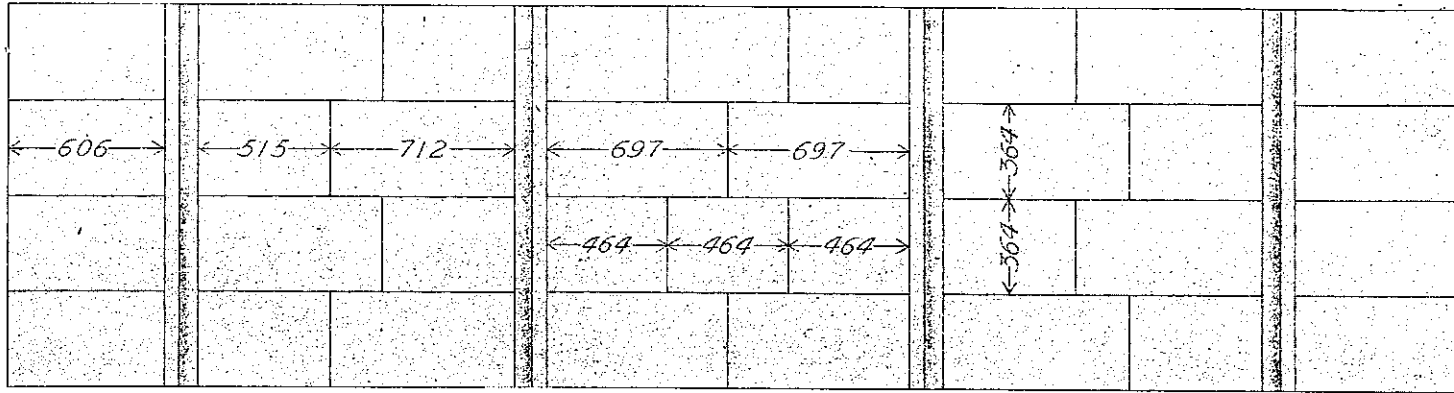
- 北品川 ↔ ② 三田車庫 ① ↔ 薩摩原 ↔ 銀座 ↔ 本石町 ↔ 草坂 ↔ 雷門
 土橋 ③ ↔ 数寄屋橋 ↔ 呉服橋 ↔ 一ツ橋 ↔ 春日町 ↔ 大塚
 中法谷 ↔ ④ 青山車庫 ↔ ⑤ 青山一丁目 ↔ 三宅坂 ↔ 築地
 青山六丁目 ⑥ ↔ 霞町 ↔ 溜池 ↔ 櫻田本御町 ↔ 神田橋 ↔ 小川町
 天現寺 ↔ 霞町 ↔ ⑦ 青山一丁目 ⑧ ↔ 塩町

附圖第六 東京市電創始時代の軌道構造圖

横断面圖



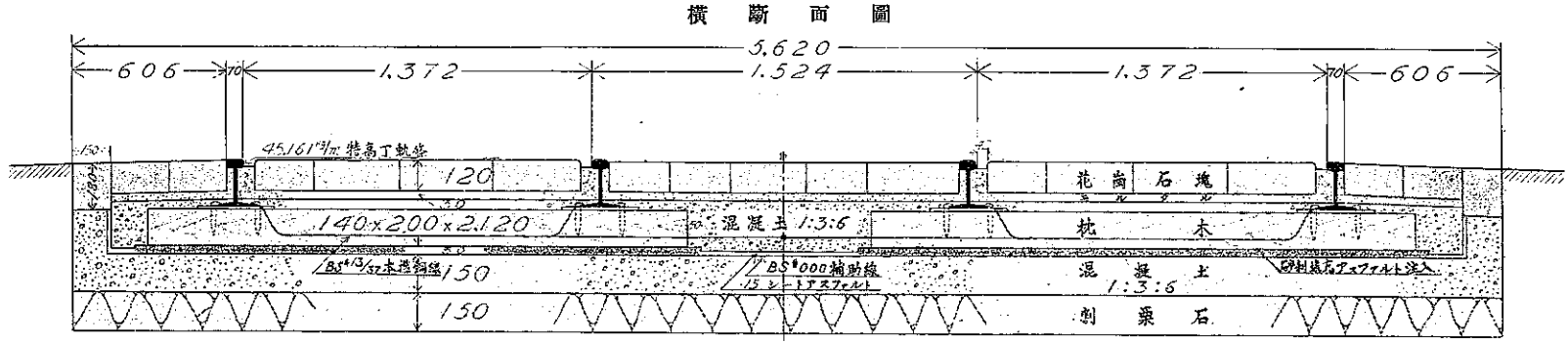
平面圖



説明 構造輕易にして發達せる現在の過重運轉及び一般交通車馬の爲毀損し易きを以て順次他の構造に改造しつゝあり。

2-1-1

附圖第七 舊改良構造圖

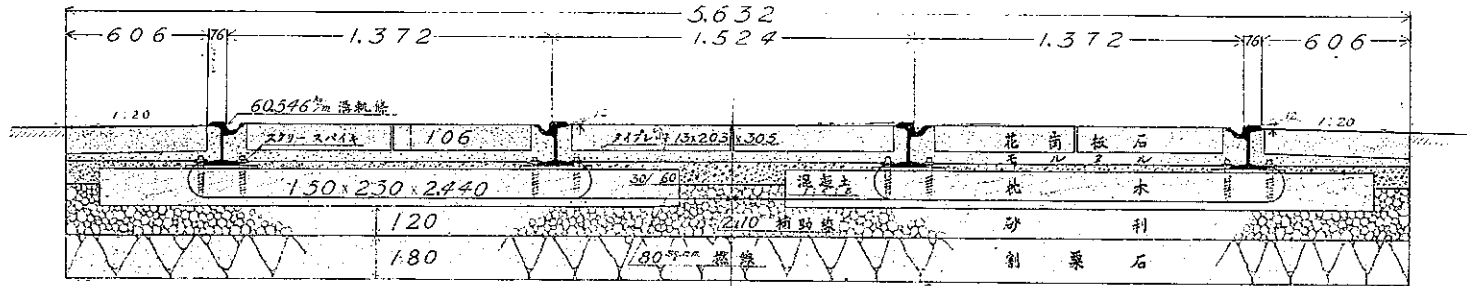


説明 創始時代の軌道中約 64 軒を大正 9 年より 15 年迄に此の構造に改造せるも構造強固に過ぎ彈性に乏しかりし爲著しく軌條面に波狀磨耗現象を生じ耐久力比較的乏し、波狀磨耗を生ずる時は軌道は迅速に毀損するのみならず構造上完全なる修理の方法なきを以て全然改築を要し且つ電車走行の際著しく噪音を發し都市噪音の主因をなすを以て此の現象を生じたる時は直ちに軌條を交換するか又は頭部を平滑に招り直すを要す。

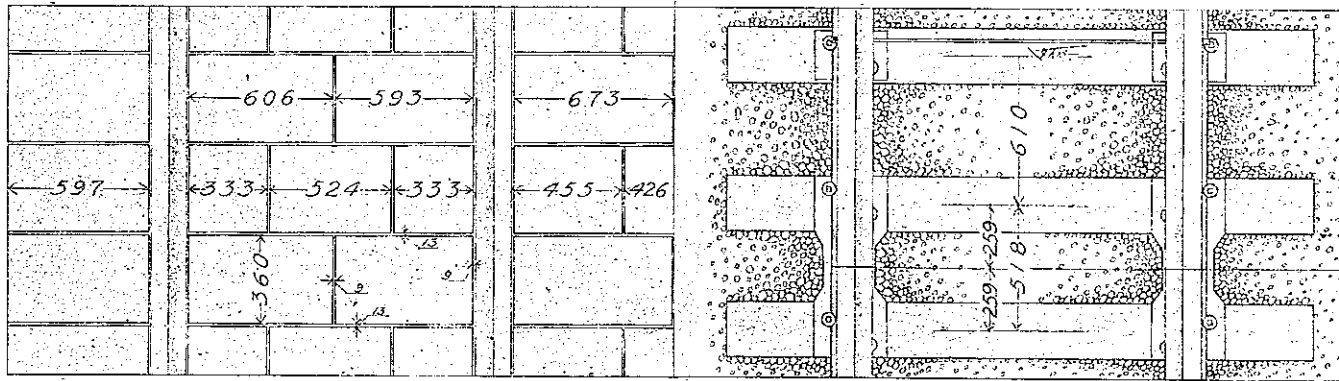
(土木學會誌第十六卷第十二號附圖)

附圖第八 新構造(標準構造と稱す)軌道圖

横 斷 面 圖



平 面 圖



説明 舊改良構造の缺點を除去したるものにして昭和 2 年以來本構造を採用し既に約 156 軒を之れに改築せり、本構造は改築以來 2 年餘の成績に依れば波狀磨耗を生ずること尠なく維持修理亦容易にして耐久力充分なる事實を認めたり。

テルミット格接ヲサ
サマル個所ニハジイ
ントブレートヲ用フ