

タイ国国鉄線路維持管理改善報告書

昭和55年11月

国際協力事業団

派 一
J R
80-32

タイ国鉄線路維持管理改善報告書

昭和55年11月

国際協力事業団

JICA LIBRARY



1050262[3]

国際協力事業団	
受入 月日 '84. 3. 21	122
	74
登録No. 01119	EXF

は し が き

タイ国鉄は現在4,452 kmの軌道を持ち、既有路線の改良及び近代化に力を注いでおりますが、わが国に対し、レールの急激な摩耗及び多発する脱線事故の原因調査とその効果的な対策措置検討のため、技術協力を要請してまいりました。これに対しわが国は鉄道線路維持管理専門家として、日本国有鉄道の佐藤泰生氏を昭和54年10月2日から12月1日までタイ国へ派遣いたしました。

本報告書は、佐藤氏がタイ国鉄の協力のもとにレール摩耗状況調査、レール材質試験及び車両性能試験を実施、検討した成果をまとめられたものであって、今後の技術協力に大いに活かされることを願うものであります。

末筆ながら同氏及び同氏所属機関に深甚なる謝意を表します。

昭和55年11月

21/11/55

国際協力事業団

派遣
事業部長 河西 明

要 約

1. タイ国鉄の北本線山岳部の急曲線における著るしいレール摩耗は、ALSTHOM 型機関車が導入された 1975 年以後多くなり、レールの交換量が増加している。
2. この区間から採取したレールについて、材質の研究を実施した結果は、特に異常はなく、著るしい摩耗は車輪とレールの相互作用によるものであることが分った。
3. レール材質面から摩耗の進行を少なくするには、微細パーライト組織のレールが推奨されるが、この種のレールとしては既に敷設されて効果の確認されている合金レールより、経済性の点で優れている特殊な熱処理レールが良いと思われるので試験敷設を推奨する。
4. 調査の結果、カントを改良することにより、レール摩耗の進行を減少させるには、次の方法を取る必要のあることが分った。

- (1) タイ国鉄では、列車の標準運転線図が決められていないため、列車の速度は、許容されている最高速度と運転時間の範囲内でまらまらに運転されている模様であり、列車によっては、著るしいカント不足量で運転されていた。

それで、まず標準運転線図の研究を実施して、同種の列車については、運転速度の差を少なくすることが必要である。

- (2) 標準運転線図に則った秩序ある運転が実施されることを前提として、カントの計算として次式を推薦する。

$$e = \frac{8.338 V_0^2}{R}$$

$$V_0 = \sqrt{\frac{\sum V_i^2}{N}}$$

- (3) ただし、標準運転線図の研究を実施するには日時が掛るので、当面カント不足による外軌レールの摩耗の進行を減少させるには、

$$e = \frac{2}{3} \left[\frac{8.338 (V+10)^2}{R} \right]$$

の式によるカントを特に山岳地帯の急曲線について適用することが良いと考えられる。しかし、この方法は速度が高いとカントが大きくなり過ぎるので、最高速度が 45 km/h の区間のみとするのが良い。

- (4) 最大カントを増加させるには、風による車両の転倒を考慮しなければならないが、タイ気象庁の観測した最大風速の記録値に対しては、軽量車両では転倒の恐れがあることが分った。

これを防ぐためには、強風の吹きやすい橋梁に風速計をとりつけて、風速が 30 m/sec を超える場合には、列車を停止させるシステムを完成させることが推奨される。

しかし、このシステムの完成には、多くの日時が必要となるので、とりあえず最大カントを増加させて、カント不足による摩耗の進行を減少させるためには、最大カントを95mm程度まで増加することは、止むを得ないと考えられる。

5. 適正なスラックを研究するために、Porterの方法により機関車の横圧とスラックの関係を求める方法があるが、この計算を実行するためには、ALSTHOM型機関車の側受けのねじれについての弾性定数が必要であり、これについてのタイ国鉄による実験では正確な値が定められなかったため、この値がメーカーより得られ次第、あらためて計算することとした。

6. タイ国鉄の車輪の摩耗形状を調査した結果、レール摩耗の進行を減少させるために、次の処置を取るよう車両の保守面で配慮した方が良い。

(1) 図4.5.4.で示すような極端な摩耗車輪が使用されないように、車輪の切削時期を早めること。

(2) 図4.5.6で示すように、同じ車軸にある左右一対の車輪の摩耗が、それぞれ著るしく異ならないように、台車の狂いを整備する。

なお、タイ国鉄の平均的な車輛摩耗形状から考えて、レール摩耗の進行が少ないと思われるレールの形状は頭部の曲線半径の大きい、たとえばUIC型あるいは日本のN型レールではないかと思われる。

7. レールに偏摩耗の発生している区間が一部にあった。

この原因としては、曲線内の通り狂いにより部分的に曲線半径が小さくなっていることによるとと思われる。従ってこの防止のためには、曲線の整正を実施する必要があり、この目的のためには、曲線整正の計算をする計算機を揃える必要がある。

このために最近ではマイクロコンピューターを使用した取り扱いの容易な器械がある。

8. ALSTHOM型機関車の横圧を軌道の横変位の測定値より他の機関車と比較した所、GE機関車と比較して50%大きい横圧が発生していることが分った。

このALSTHOM機関車の大きな横圧が、著るしいレール摩耗の増加した現象の原因のひとつと考えられる。このALSTHOM機関車の横圧が大きい理由のひとつに、その側受け構造があると思われるので、この点を研究して、改善を考えた方が良いと思われる。

9. レール摩耗の進行を減少させるには、レールに塗油することが必要であるが、空転を少なくし、経済的かつ効果的な塗油を実施するには、車輛にフランジ塗油器を取付けることが望ましいと考える。

10. タイ国鉄の脱線について調査した結果、次の点を実行することを推奨する。

(1) 職員の取扱いの誤りによる脱線事故の件数が著るしく多いので、次の計画を実行すること。

① 職員が諸規則を厳正に守るよう教育を実施する。

② 列車の計画運転線図を研究し、運転士がこれに従って運転する様に教育し、列車の運

転時刻を正確にすること。

- ③ 運転時刻が正確となることを前提として、線路閉鎖工事および、モータートロリー使用のための規則を定め、これを厳しく守るよう教育すること。
- ④ 信号および転轍器の取扱いの責任を明確にして、この取扱いを厳正にすること。
- ⑤ 列車運転士、信号、転轍器の取扱業者、モータートロリーの運転者、工事の監督者の資員検査について研究し、これを実施すること。

(2) 車両および線路の不良による脱線事故を防止するため、次の計画を実施すること。

- ① 線路および車両部品の取替基準を研究して、これを実行に移す。
- ② 線路および車両関係の技術者が協力して、車両の横圧脱線係数を車上から測定し、その軽減策あるいは脱線防止策を研究し、これを実施する。

11. タイ国鉄の列車の途中脱線の最近の例を調査した結果、これには、ALSTHOM機関車が緩和曲線中で停止してから、再出発する時に発生している模様であることが分った。

この場合には、先頭軸外軌側の輸送が小さくなるにも拘らず大きな転向横圧が生ずることが、その原因のひとつにあると考えられるため、次の措置を取るよう推奨する。

- (1) 出来るだけ、緩和曲線中、あるいは曲線中の出発を避け、止むを得ない時には、衝動を少なくして出発するようにする。
- (2) 緩和曲線および曲線の整正を実施し、水準狂いを少なくするよう整備する。
- (3) 緩和曲線および曲線のレールおよびマクラギの不良品は更替し、締結を緊締しておくこと。
- (4) 曲線および緩和曲線の軌道狂いの管理を充実するために、軌道検測車の導入を研究し、推進する。

12. 現在の事故報告の方法は、若干不備の点があり、事故の究明および防止対策を実施するには不足している点がみられるので、表6.3.2.1～4に示す項目を記録しておくように推奨する。

13. タイ国鉄における線路関係の今後の改善計画は、7章にその考えられる項目を挙げたが、これらを引き続き熟練した専門家の協力を得て研究し、実行するよう要望する。

目 次

1. まえがき	1
2. タイ国鉄のレールの使用状況	3
2.1 タイ国鉄のレールの使用と交換	3
2.2 タイ国鉄のレールの摩耗状況	4
3. タイ国鉄の摩耗したレールの材質試験結果について	17
3.1 タイ国鉄の曲線外軌に使用されていたレール試料	17
3.2 試験の目的と種類	17
3.3 試験結果について	38
4. 車両および線路の構造とレールの摩耗	39
4.1 レール摩耗に主として関与する車両および線路の構造	39
4.2 カント不足量と横圧について	39
4.3 最大カント	55
4.4 線路のスラック	60
4.5 車輪とレールの摩耗形状	68
4.6 機関車型式による横圧の比較	80
4.7 レール側面およびフランジ側面の塗油	84
5. EDPSによるレールの管理	86
6. 脱線事故の防止	89
6.1 タイ国鉄の脱線事故の現状と特徴	89
6.2 タイ国鉄における機関車の脱線例	91
6.3 脱線事故の調査	101
7. タイ国鉄において今後実施すべき改善計画	108
8. あとがき	110
参考資料 1. タイ国鉄の現状	1
参考資料 2. タイ国鉄の線路の概要	19

1. ま え が き

タイ国鉄には、現在4,452kmの軌道があり、これらの軌道には、50 Ib、60 Ib、70 Ib 80 Ib のレールが主として敷設されている。

タイ国鉄のレールは、第2次大戦前には50 Ib レールが敷設されていたが、戦後に輸送量の増加および軸重の増加を図るために、より重い60 Ib、70 Ib および80 Ib レールに取り換えたものである。これらのレールは戦後の復興計画、近代化計画に従って順調に進められており、現在本線上に使用されていた50 Ib レールは姿を消している。

また、レール重量化政策と共にフラッシュバット溶接機が設置されて、現在全線の60%以上に接合レールが使用され、その中には1kmを超えるロングレールが多数敷設されている。

ロングレールは、20m以上の支間の橋梁および半径が800m以下の曲線には敷設されていないが、タイ国鉄の線路は表1.1に示す通り、その87%が直線区間であるので、ロングレールの敷設割合は更に増加する可能性があり、これは線路、車両の維持費の節約、列車の乗り心地の改善に寄与していると考えられる。

表 1.1 曲線半径別軌道延長の比率

曲 線 半 径	軌道延長の比率 (%)
直 線	87.25
1000 ^m 以上	5.47
1000-500 ^m	3.98
500-300 ^m	1.77
300-180 ^m	1.53
180 ^m 以下	0.

このように、国鉄全体としては急曲線区間の延長は僅かではあるが、その大部分は山岳地帯に集中しており急勾配区間と競合しているために、その区間の輸送力の向上あるいは速度高上をはばんでいる。この問題を克服して山岳地帯の輸送改善を果すためには、勾配および曲線を改良するのが最も効果的であるが、多大の改良費が必要となる。しかし、現用線路のまま輸送力を向上し、速度を高めることは特に多額の投資を必要とはしないが、このためには次のような問題を解決する必要がある。

1. 急勾配、急曲線用車輛の使用
2. 急曲線の軌道の強化
3. 急曲線の材料の損耗の防止

すなわち、急曲線区間におけるレールの損耗防止は、タイ国鉄の山岳地域の輸送改善のため

の基本的な重要問題のひとつである。

タイ国鉄では、蒸気機関車の老朽化に際して1975年より、フランス製ALSTHOM型の機関車を導入したが、その後山岳地帯の急曲線に著しいレール摩耗が発生し、レール交換が増加後車輛、線路の老朽化による脱線事故が引き続き発生しており、その中にはALSTHOM型機関車による事故も報告されている。

このように、タイ国鉄におけるレールの損耗および脱線防止の問題の解決は、今後のタイ国鉄の発展に重要な要素であり、今回の調査、研究が為されたものである。

タイ国鉄のレール摩耗についての調査は、過去にも実施された経緯があり、特に異常な摩耗を呈した区間についてESCAP専門家の調査と提案が為されている。

この調査によると、異常摩耗の主な原因を勾配区間の運転方法の問題であると指摘し、ブレーキ力に問題があるとしている。確かに、勾配区間における運転方法により、レール摩耗が増加することは当然と考えられないことはないが、レール摩耗の増加には、

- (1) 大きな横圧が発生していること
- (2) レールと車輛フランジの滑りと潤滑
- (3) レールの材質および熱処理

が影響するものであるから、今回の調査に際しては、車輛、線路の構造も含めて総合的な調査を行なった。

2. タイ国鉄のレールの使用状況

2.1 タイ国鉄のレールの使用と更新

序論において述べたように、タイ国鉄の線路に使用されているレールは、主として50 Ib、60 Ib、70 Ibおよび80 Ibレールであり、その使用状況は表2.1.1の通りであって、南線、北東線および北線の主要本線には70 Ibおよび80 Ibレールが使用されているが、これは戦後の復興計画および近代化計画に際して敷設されたものである。

表 2.1.1 タイ国鉄のレール種類別敷設延長（軌道キロ）

線 別	敷設延長	レール種別延長 (km)			
		50 Ib	60 Ib	70 Ib	70 Ib 以上
北 線	879	36	-	839	4
東 線	271	102	100	69	-
東 北 線	1,102	7	-	993	102
南 線	1,573	94	118	703	658
Mae Klong 線	65	34	31	-	-
合 計	3,890	273	249	2,604	764

これらのレールは、1975年以来表2.1.2に示すようにレール更新量が増加しており、その増加した更新レールは、山岳地帯の急曲線における外軌レールの側摩耗が主な原因であった。タイ国鉄ではこのようなレール更新量の急増に対して予備レールの使用、内外レールの入換などにより対処していたが、これらは恒久的な対策とはならず、根本的には新品レールを購入して更新することが必要である。

表 2.1.2

年 度	レール更新量 (m)				
	北 線	東 線	東 北 線	南 線	合 計
1975	930	-	-	6,177	7,107
1976	6,899	-	795	1,220	8,915
1977	14,037	-	3,631	2,273	19,941
1978	24,172	-	6,182	4,813	35,167
1979	12,845	-	940	5,811	19,596
合 計	58,883	-	11,548	20,295	90,726

しかし、一時的な対策ではあるが摩耗した外軌レールを内軌レールに振替えて使用することは、レールの寿命を伸ばすためには効果のある方法である。レールの振替え工事に際して注意すべきことは、継目位置がずれることであって、相対式継目の場合にはレールを切断して継目を合わせる必要が生ずる。

この場合に、レールを相互式に直すやり方もあるが、これは、

- (1) 列車のローリング動揺を起こしやすい。
- (2) 継目落ちが水準狂いとなって存在する。
- (3) 掲き固めのやりにくい継目部のまくらぎが増加する。

などの理由により、経験的に好ましくないので、相対式継目を維持することが良いと考えられる。

2.2 タイ国鉄のレールの摩耗状況

今回の調査は、主として北線および北東線の山岳地帯におけるレールの摩耗について実施した。

タイ国鉄では、曲線のレール摩耗を年1回測定しており、その結果を電子計算機で整理して更換地域の決定の資料としており、これは大変有効な方法である。

このレールの摩耗資料について北線の Hangechat 駅より Tha Chompu 駅間のデータは表 2.2.1 の通りとなっており、この区間は、北線のうち最も勾配が急で急曲線の連続する区間であって、その線路平面図および縦断面図は図 2.2.1 の通りである。

この区間で測定されたレール摩耗状況の典型的な例は図 2.2.2. に示す通りで、次のような点が特徴である。

- (1) 曲線の外軌側のレールは著るしい側摩耗を呈している。
- (2) 曲線の内軌側は水平摩耗を呈しているが、摩耗量はそれほど著るしくない。
- (3) 摩耗量は速度に影響があるように思われ、速度が高い曲線では側摩耗が多く、速度が比較的低い曲線では水平摩耗が存在しているが、側摩耗は比較的に小さい。
- (4) 勾配の大きさと摩耗量とは特に著るしい関係はみられない。

外軌側のレールが著るしい側摩耗を呈する主な要因は、

- (1) フランジとレールの間に強い横圧が発生している。
- (2) フランジとレールの間にすべりが発生している。
- (3) フランジとレールの間の潤滑が不十分である。
- (4) レールの耐摩性が不十分である。

ことと考えられる。

このほかに、この側摩耗を助長させる要因としては、

- (1) 列車の加速および減速

- (2) 勾配における撤砂
- (3) 軌道の横剛性
- (4) 路盤の弾性
- (5) 軌道狂いの存在
- (6) 車輛の保守状態、特に車輛の摩耗状況
- (7) 車輛の動揺特性

が挙げられる。

また、内軌側の水平摩耗が比較的大きくなる要因は、

- (1) レールに踏面から生ずる輪重
- (2) レールと踏面の間の滑りあるいはクリープ
- (3) レールの耐摩性の不足

であり、この外にこれを助長する要因として、外軌レールの側摩耗と同様の要因があげられる。

以下の章において、これらの要因の評価とその対策を述べることとする。

表 2.2.1

番号	位 置		延 長	半 径	耐 用 年 数	
	始 点	終 点			内 軌	外 軌
1	656.337 ^{km}	656.649 ^{km}	312	1000	49.4	14.1
2	660.038	660.299	262	400	42.5	4.6
3	660.925	661.051	126	400	32.5	9.6
4	661.172	661.369	197	200	35.0	5.3
5	661.384	661.498	114	400	41.8	5.2
6	661.528	661.779	251	200	29.1	2.8
7	661.779	661.923	144	250	35.0	4.9
8	661.923	662.046	123	300	37.4	2.5
9	662.046	662.177	132	250	38.2	4.8
10	662.177	662.381	203	180	29.1	1.9
11	662.439	662.848	409	180	28.2	1.8
12	662.860	663.006	147	200	30.7	1.8
13	663.139	663.282	144	300	39.0	3.4
14	663.306	663.725	418	200	34.9	6.3
15	664.122	664.368	246	400	40.4	11.1
16	664.854	665.035	181	400	43.4	4.2
17	665.113	666.442	329	300	36.1	2.4

番 号	位 置		延 長	半 徑	耐 用 年 数	
	始 点	終 点			内 軌	外 軌
18	km 665.442	km 665.849	407	300	41.7	2.5
19	666.007	666.545	538	200	37.1	3.8
20	666.617	666.889	273	300	38.8	3.7
21	666.889	667.105	216	400	40.7	9.2
22	667.135	667.279	144	200	34.4	2.9
23	667.303	667.494	192	300	36.8	5.6
24	667.530	667.722	192	400	39.8	9.9
25	667.740	667.998	257	200	34.4	0.6
26	667.998	668.144	146	250	34.0	2.9
27	668.288	668.515	227	180	28.6	3.3
28	668.515	668.886	371	300	34.2	4.9
29	668.976	669.158	182	300	37.5	3.8
30	669.188	669.350	161	200	29.0	4.9
31	669.375	669.560	185	400	41.3	3.5
32	669.590	669.775	188	400	40.2	8.1
33	669.998	670.250	253	300	38.7	9.7
34	670.590	670.832	252	800	49.5	12.4
35	670.868	671.037	169	200	34.1	3.7
36	671.561	671.753	191	180	26.1	5.2
37	671.777	672.077	301	180	28.5	4.6
38	672.210	672.417	207	180	26.0	0.5
39	672.440	672.662	222	180	25.9	2.3
40	672.679	672.848	169	200	32.2	1.9
41	673.069	673.219	150	200	26.7	0.3
42	673.219	673.547	328	800	51.2	13.9
43	673.577	673.912	335	300	37.4	4.0
44	674.154	674.346	191	180	24.3	3.2
45	674.370	674.525	156	180	27.7	2.6
46	674.657	674.867	210	600	46.3	10.9
47	674.891	675.178	287	180	27.2	1.6
48	675.208	675.459	251	180	25.9	1.5
49	675.477	675.722	245	180	23.8	4.4
40	675.746	676.004	258	180	28.2	0.8
51	676.022	676.207	185	180	24.3	4.4
52	676.261	676.321	60	300	36.3	3.2

番号	位 置		延 長	半 徑	耐 用 年 数	
	始 点	終 点			内 軌	外 軌
53	km 676.051	km 676.483	132	300	38.6	4.3
54	676.525	676.681	156	300	40.9	3.4
55	676.891	677.096	205	400	35.8	4.6
56	677.108	677.223	115	300	38.9	4.8
57	677.292	677.400	108	300	37.0	4.1
58	677.448	677.544	96	300	38.0	4.0
59	677.580	677.688	108	300	35.8	3.4
60	678.000				55.2	54.7
61	678.068	678.126	108	300	36.1	4.3
62	678.144	678.275	132	250	31.1	0.5
63	678.447	678.663	215	180	22.5	1.3
64	678.705	678.890	186	180	20.1	5.1
65	678.908	679.033	124	300	34.6	4.6
66	679.191	679.352	162	180	25.5	4.5
67	679.370	679.496	126	180	21.5	4.7
68	679.514	679.813	299	180	24.1	4.9
69	679.831	680.035	204	180	22.6	1.5
70	680.065	680.149	84	300	33.2	4.1
71	680.173	680.263	90	300	38.7	3.8
72	680.287	680.425	138	200	26.3	2.1
73	680.448	680.628	179	180	25.9	6.5
74	680.659	680.844	185	600	46.9	10.5
75	680.898	681.032	135	180	27.2	2.2
76	681.152	681.352	198	180	27.2	2.0
77	681.368	681.529	162	200	31.0	2.5
78	682.904	683.028	124	450	35.6	7.5
79	683.035	683.148	113	300	32.0	5.2
80	683.215	683.303	89	300	40.6	6.3
81	683.309	683.423	114	300	34.8	5.1
82	683.532	683.699	168	180	26.6	2.2
83	683.795	683.897	101	800	48.2	15.6
84	683.907	684.126	219	200	32.2	2.1
85	684.210	684.443	233	180	23.3	1.9
86	684.479	684.785	306	500	40.5	9.4
87	684.803	685.070	267	180	28.1	1.9

番 号	位 置		延 長長	半 徑	耐 用 年 数	
	始 点	終 点			内 軌	外 軌
88	<i>km</i> 685 081	<i>km</i> 685 377	296	200	32.9	2.5
89	685 379	685 746	368	180	27.9	4.9
90	685 902	686.057	156	180	30.8	5.2
91	686 089	686 283	193	180	26.3	2.3
92	686 360	686 625	266	180	24.1	2.8
93	686 668	686 918	249	180	27.5	5.0
94	686 975	687.058	82	180	31.3	4.7
95	687.089	687 331	242	180	28.1	5.0
96	687.500	687.589	89	180	28.3	4.9
97	687.614	687.984	370	180	28.6	5.0
98	687.997	688.177	180	180	25.0	2.2
99	688.236	688 405	169	180	25.6	5.0
100	688 355	688 630	275	300	41.4	5.2
101	688 912	689 037	125	250	38.7	4.2
102	689 049	689 167	117	250	35.3	6.9
103	689 195	689.399	204	180	27.7	1.8
104	689 417	689 723	306	180	30.3	5.5
105	689.883	690 273	390	200	36.9	2.4
106	690 413	690.614	201	200	32.7	2.3
107	691 221	691 462	241	300	41.4	5.7
108						
109						
110						
111						
112						
113						
114						
115						
116						
117						
118						
119						
120						

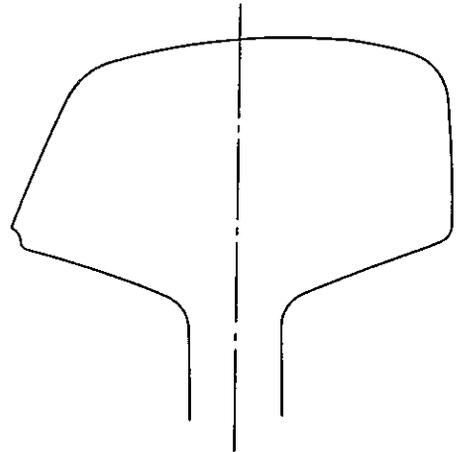
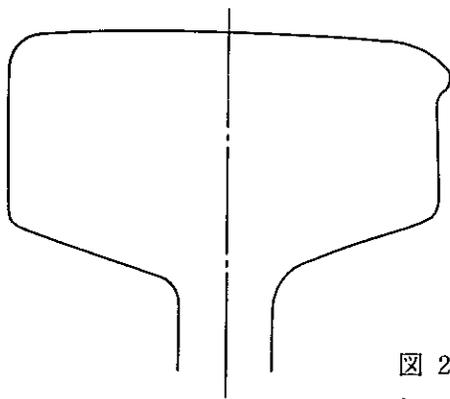
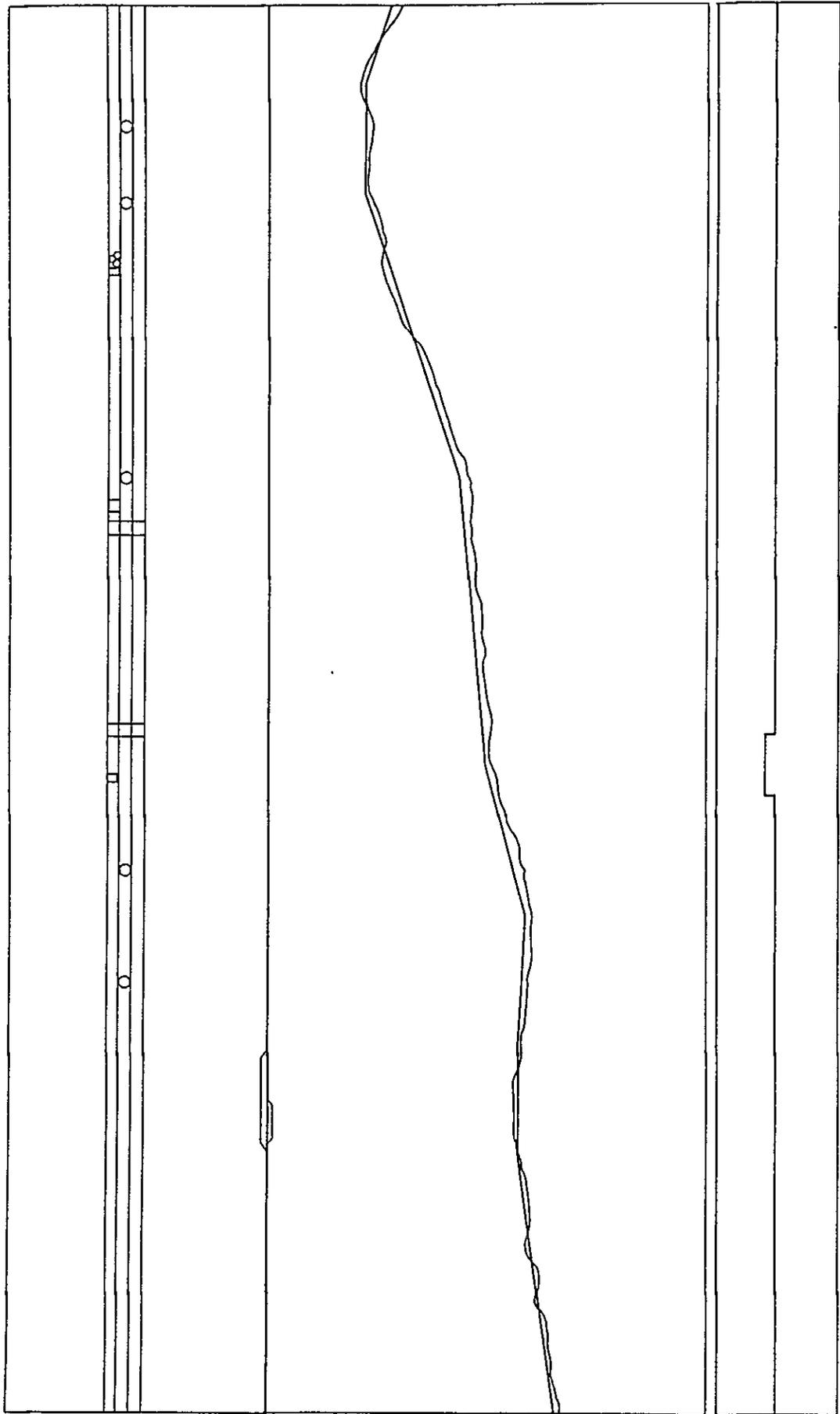
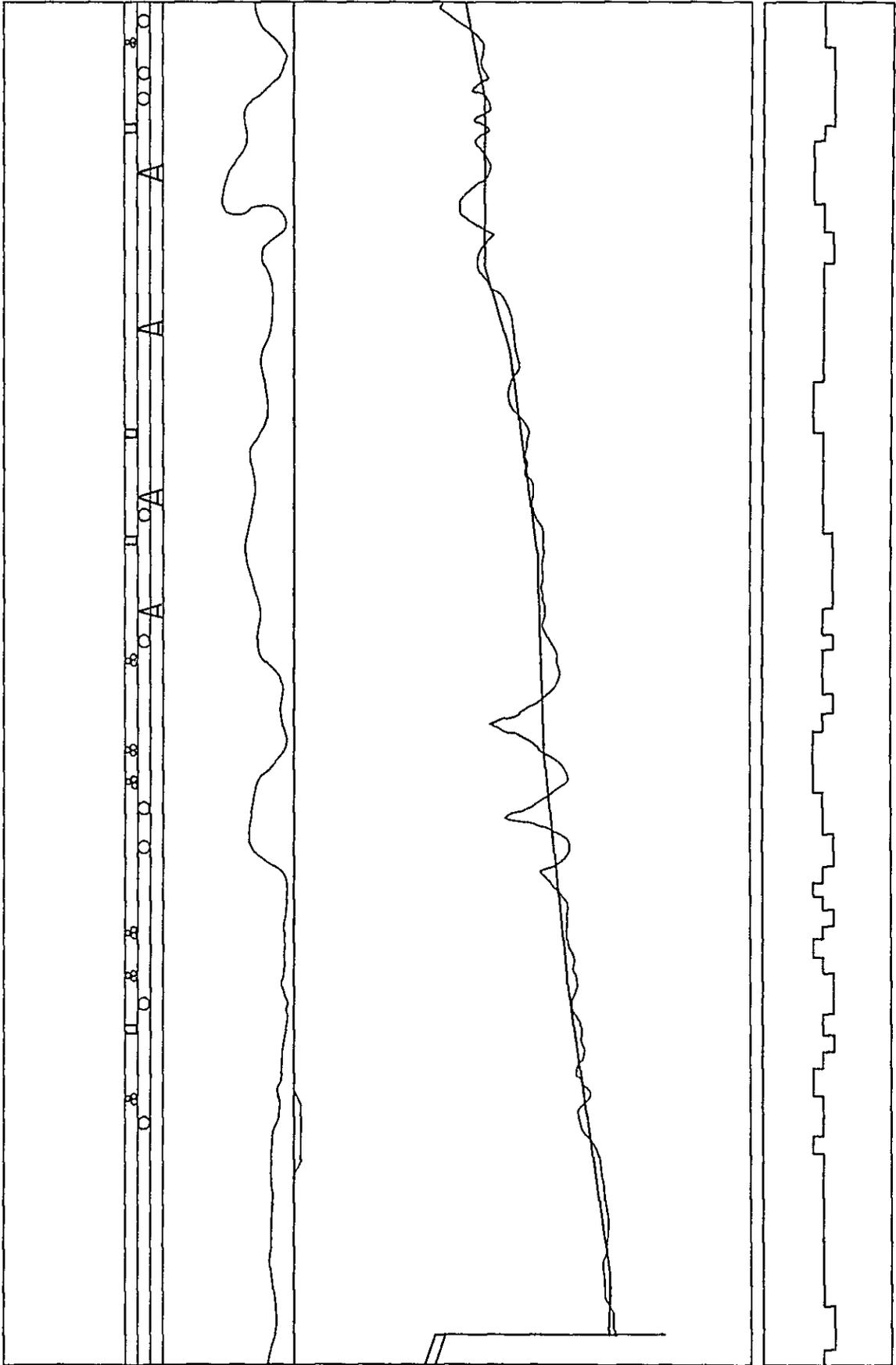


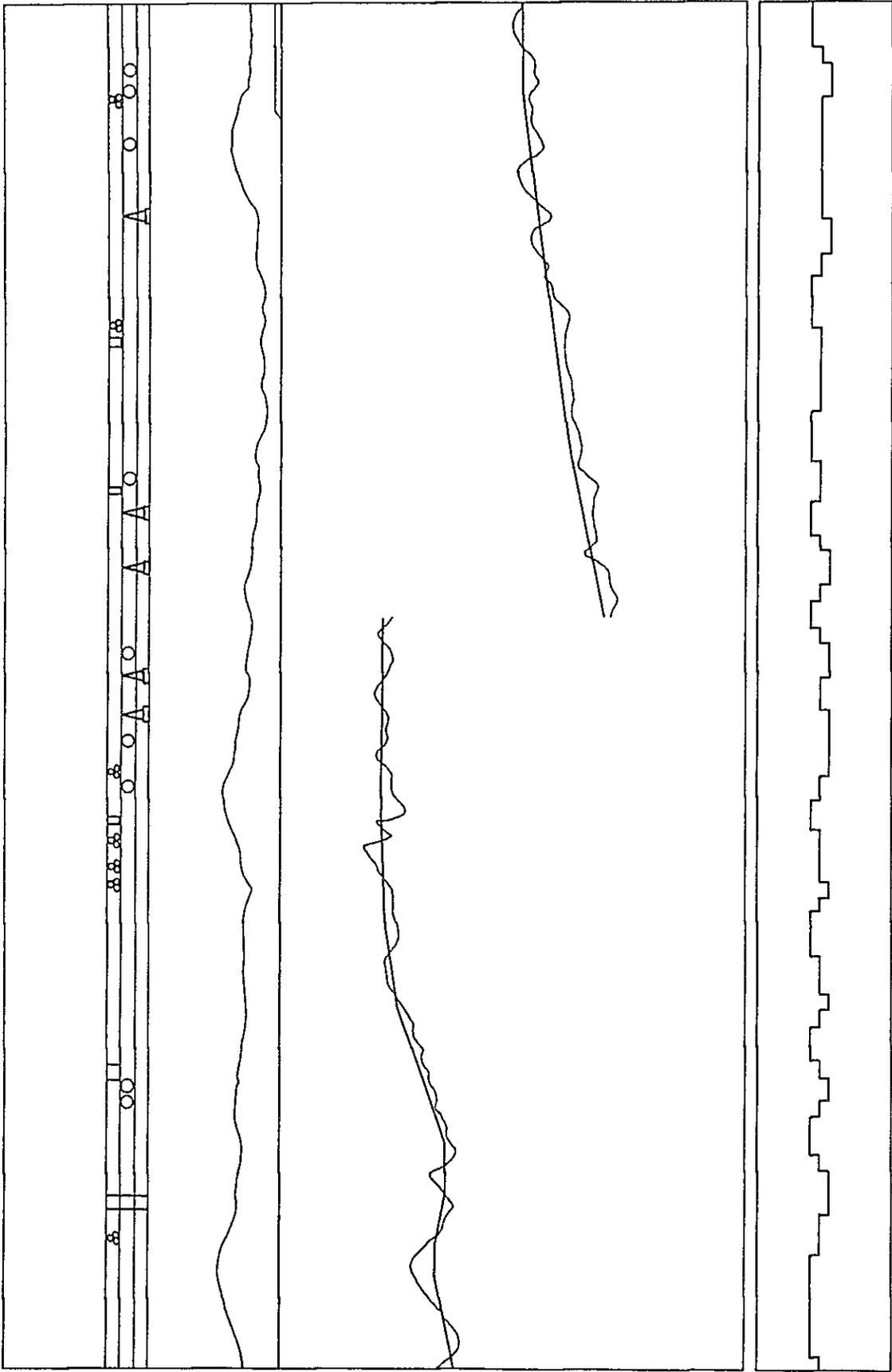
図 2.2.2 典型的な
レール摩耗形状の一例

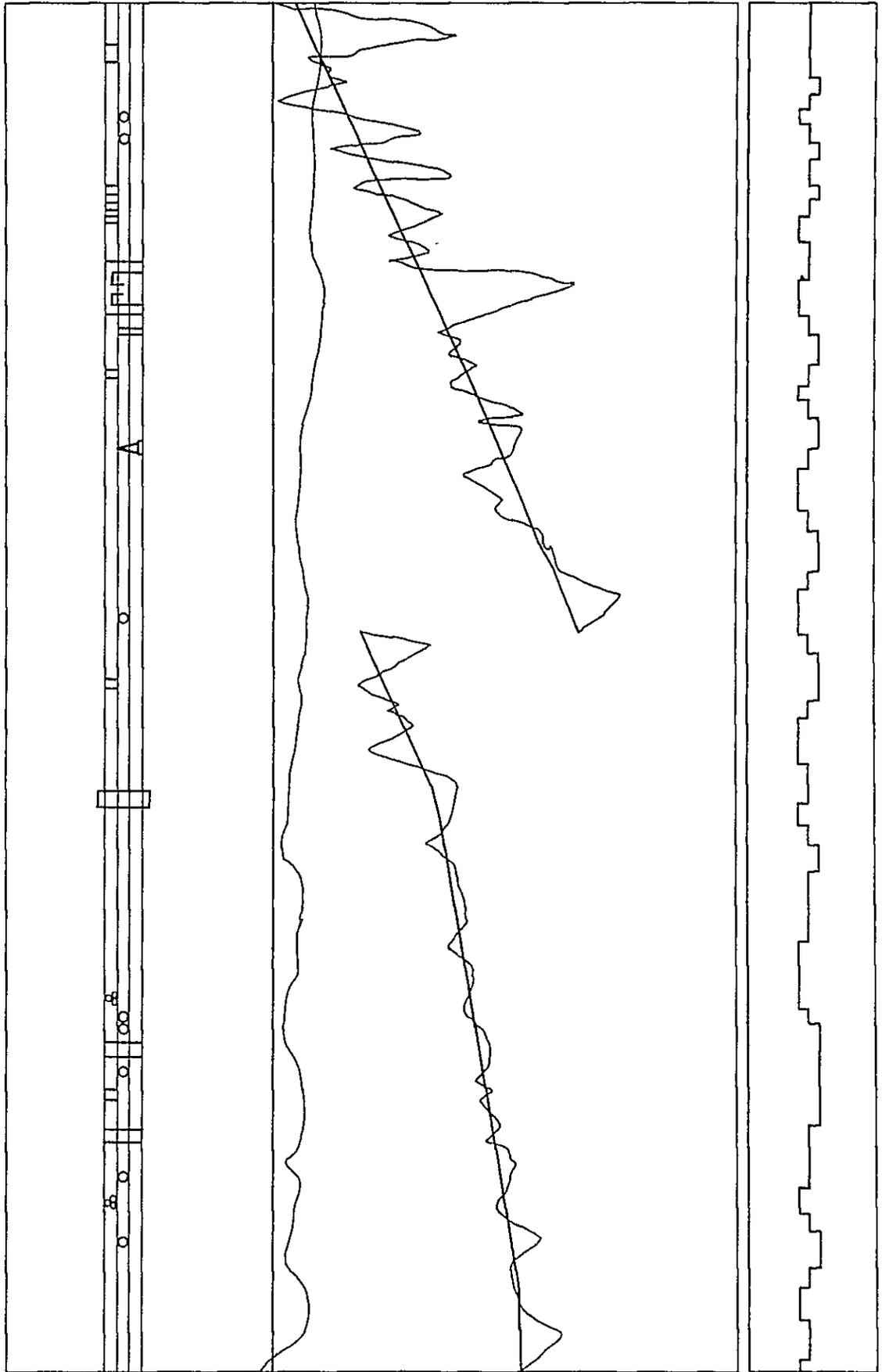
北線 569km付近

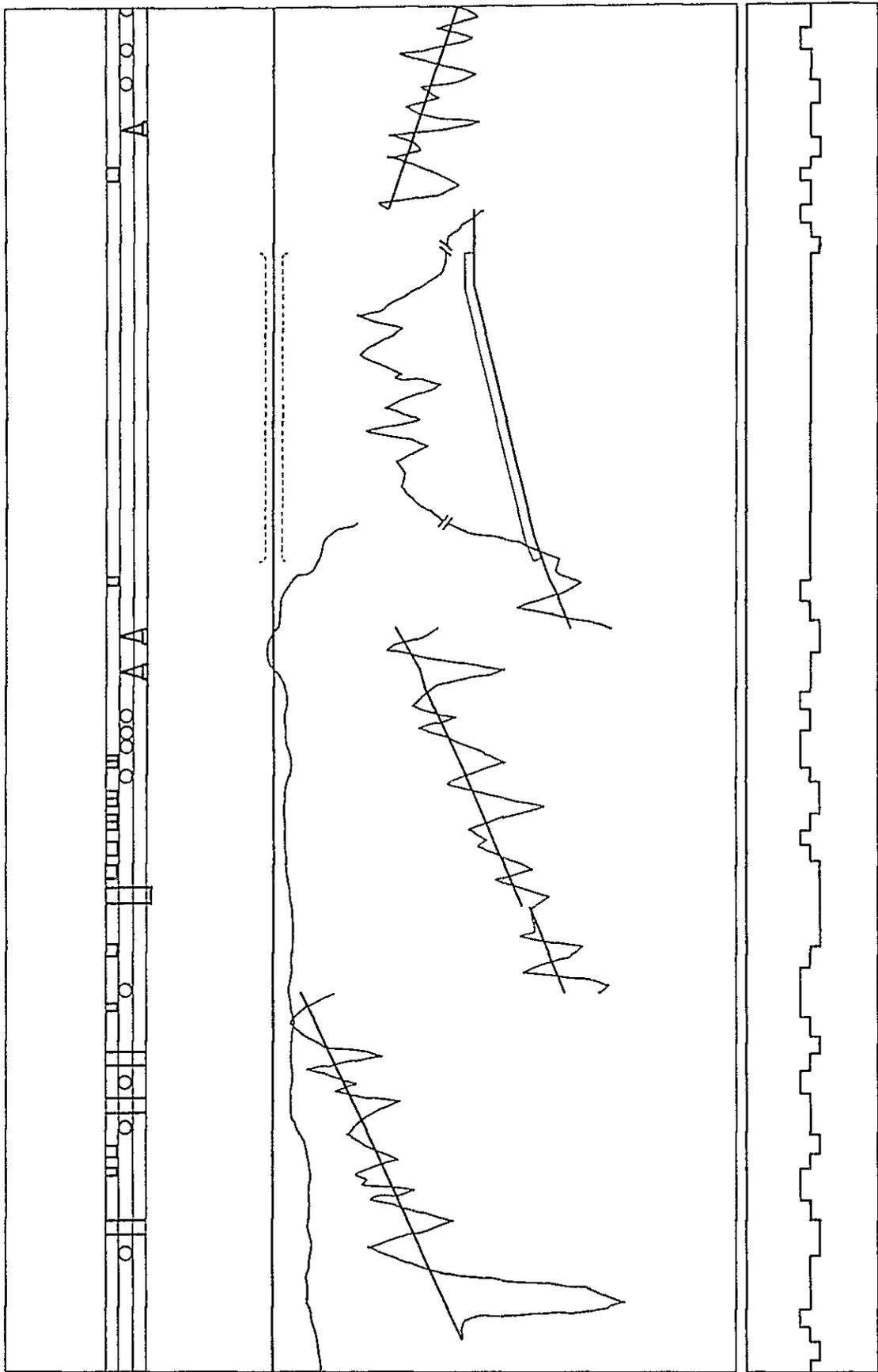
图 2.2.1

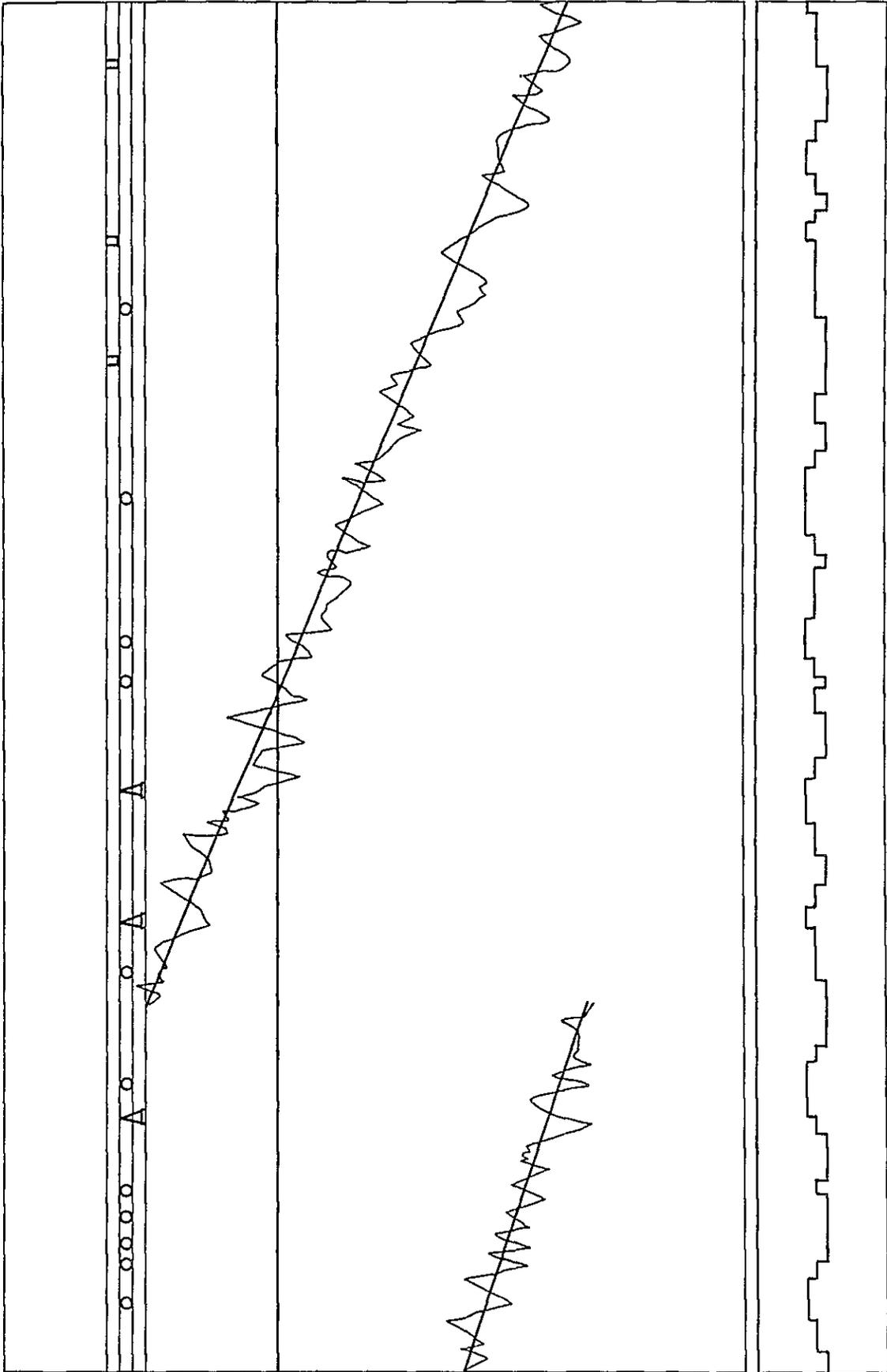


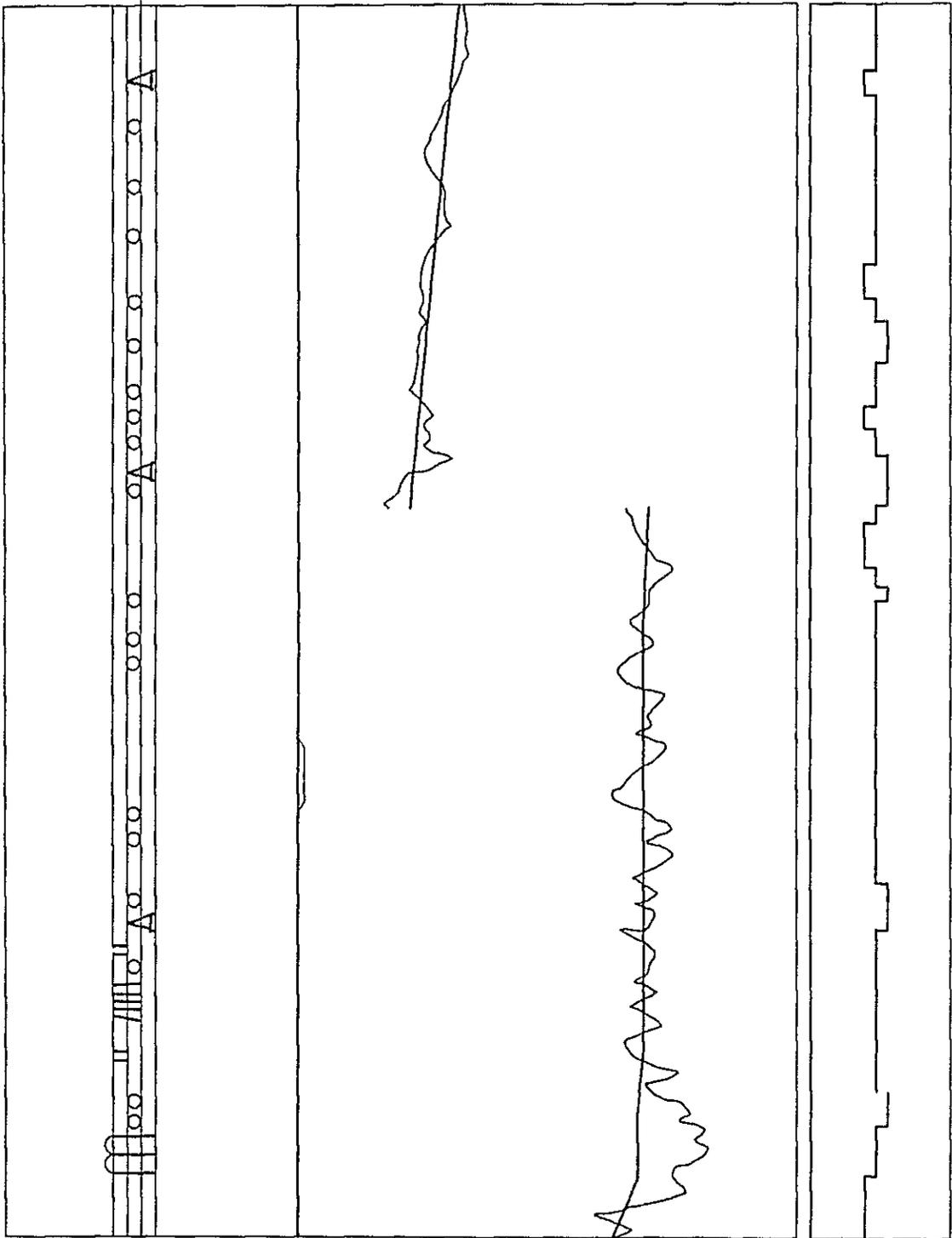












3 タイ国鉄の摩耗したレールの材質試験結果について

3.1 タイ国鉄の曲線外軌に使用されていたレール試料

タイ国鉄の曲線外軌に使用され、著るしく摩耗したレールの材質について調査した結果は、次に示す通りである。

調査する試料は、表 3.1.1 の通りで、北線に使用されていた普通レール 3 種類および頭部を熱処理した硬頭レール 2 種類ならびにタイ国鉄で使用されている車輪タイヤである。

表 3.1.1

試料の種類	番号
普通レール (DenchaiCPI)	2302
“ (LanpangCPI)	2305
“ (LanphunCPI)	2303
硬頭レール (富士釜石製)	2301
“ (八幡製)	2304
タイ国鉄の車輪タイヤ	2300

3.2 試験の目的と種類

摩耗レールは、次の試験を行なってその材質を調査し、レール摩耗との関連について考察する。

試験の種類

1. 摩耗形状
2. 化学組成分析
3. サルファープリント
4. マクロ腐食組織
5. 顕微鏡組織分布
6. 硬さ分布

3.2.1. 摩耗形状

供試スライス試料の断面を研究して、そのプロフィールを記録した。これを図 3.2.1～図 3.2.6 に示す。供試レールは曲線外軌敷設されて軌間内側のゲージコーナ部はいずれも著しく摩耗している。

なお、供試レールの一部のレール底面には締結装置との接触によるものと考えられる階段

的摩耗が認められるものもある。

表 3.2.1 はこれらの調査結果の概要を示すものである。

表 3.2.1 摩耗量

試料番号	H (mm)	V (mm) (最大)
2301	10.5	1.0
2302	19.5	-
2303	8.5	-
2304	12.0	1.2
2305	22.5	1.4

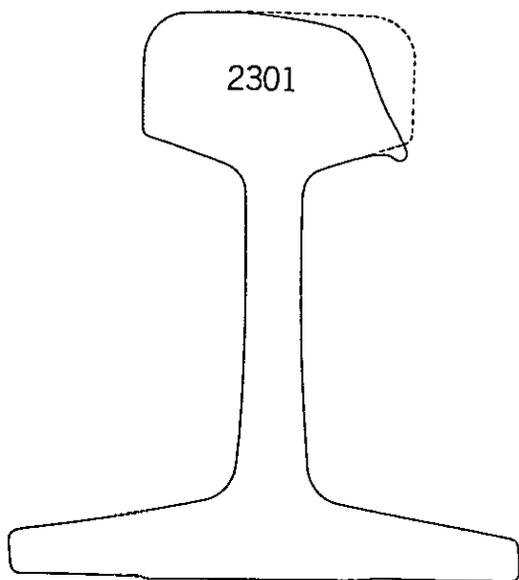
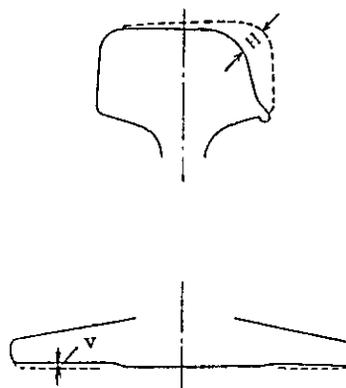


図 3 2 1

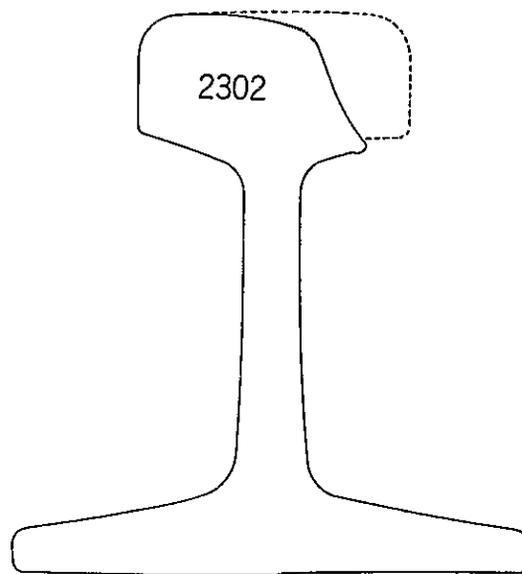


図 3 2 2

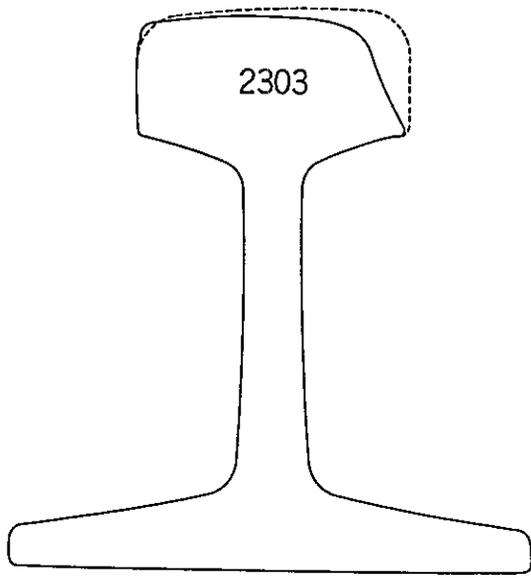


图 3 2.3

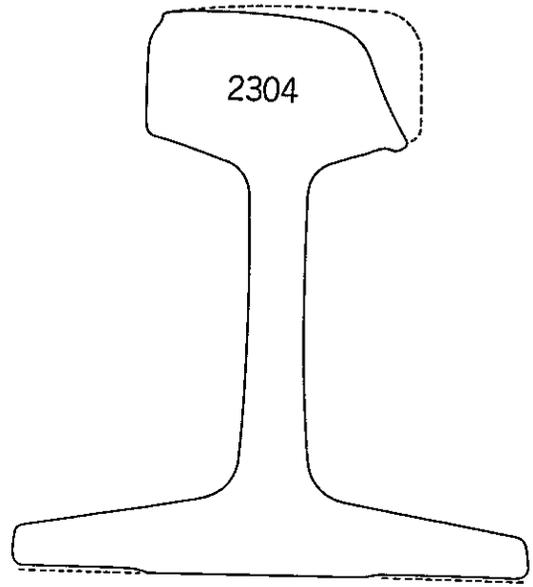


图 3 2.4

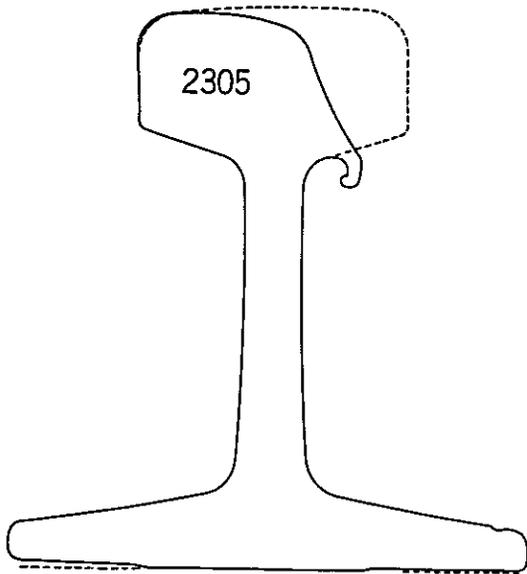


图 3.2 5

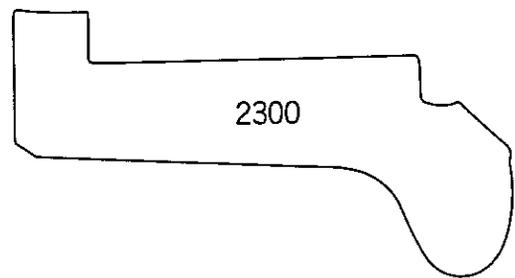


图 3 2 6

3.2.2 化学分析試験

化学分析試験は図3.2.7に示す位置から採取した試料によって、試薬による化学分析試験と発光分光分析試験を行った。

表3.2.2、表3.2.3はこれらの試験結果を示す。

試薬法と分光法とは結果においてわずかの差異が認められたが、供試レールそれぞれの鋼種が判別された。

表3.2.3は分析試験結果から推定される供試レールの鋼種とその製鋼法である。

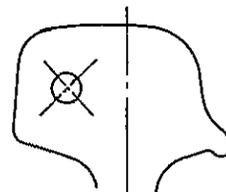


図3.2.7 分析試料採取位置

表3.2.4 供試レールの鋼種と推定される製鋼法

試料記号	鋼種	製鋼法
2301	80kg/mm ² 級高炭素鋼	塩基性平炉鋼
2302	70kg/mm ² 級中C、Mn	塩基性平炉 またはトーマス転炉鋼
2303	80kg/mm ² 級高炭素鋼	塩基性平炉鋼
2304	80kg/mm ² 級高炭素鋼	塩基性平炉鋼
2305	70kg/mm ² 級中C-Mn鋼	塩基性平炉鋼
2300	80kg/mm ² 級高炭素鋼	塩基性平炉鋼

分析試験結果

表3.2.2 化学分析

成分(%) 試料番号	C	Si	Mn	P	S
2300	0.71	0.31	0.64	0.025	0.026
2301	0.61	0.15	0.68	0.012	0.026
2302	0.48	0.15	1.10	0.027	0.035
2303	0.61	0.13	0.84	0.022	0.028
2304	0.64	0.13	0.86	0.017	0.033
2305	0.44	0.20	1.08	0.016	0.026

表3.2.3 QV分析

成分(%) 試料番号	C	Si	Mn	P	S
2300	0.68	0.29	0.67	0.022	0.023
2301	0.60	0.15	0.68	0.011	0.023
2302	0.46	0.15	1.13	0.024	0.029
2303	0.58	0.13	0.85	0.020	0.024
2304	0.61	0.14	0.87	0.015	0.024
2305	0.43	0.19	1.09	0.014	0.023

3.2.3 サルファープリント試験

供試面のサルファープリント試験結果を写真 3.1 に示す。

いずれの供試レールおよび参考タイヤ材とも有害な硫化物偏析層の存在は認められず良好な結果を呈している。

3.2.4 マクロ腐食組織試験

供試面のマクロ腐食組織試験結果を写真 3.2 に示す。

試験結果は、供試材により差異が認められた。表 3.2.5 はこれら観察結果の概要を示す。

表 3.2.5 マクロ腐食組織試験結果

試料番号	マ ク ロ 組 織 分 布	偏析欠陥の状況
2301	レール頭部硬頭化熱処理	良 好
2302	圧延のまま	良 好
2303	圧延のまま	良 好
2304	レール頭部硬頭化熱処理	良 好
2305	圧延のままのレール頭頂面に肉盛加工が施された	良 好
2300	圧延のままのタイヤ ただしフランジ部のみが施された	良 好

3.2.5 顕微鏡組織分布

供試レールの各部分における顕微鏡組織分布の状況を写真 3.3～3.8 に掲げる。これら観察結果の要旨はつぎのとおりである。

- 1) 3201 中央頭頂面真下は硬頭化熱処理による適切な焼もどしマルテンサイトを呈している。摩耗した頭側表層では焼もどしマルテンサイト層はすでに削除されて微細パーライト層が車輪接触により塑性流動している様相が認められる。レール頭部中央ではやゝ結晶粒の大きいフェライト+パーライト組織が、またレール底部中央では結晶粒の小さいフェライト+パーライト組織が認められた。この結晶粒度の差異は圧延終了後の冷却速度の相違によるものと考えられる。
- 2) 3202 車輪接触による塑性流動はフェライト+パーライトの変形により観察され、頭頂中央表層部よりもゲージコーナに近い部位ではさらに著しく認められる。頭部内層の結晶粒は大きい、薄肉の底部側では細かく、かつ表層には脱炭層が存在している。
- 3) 3203 レール頭部は表層、内層とも結晶粒は大きく、頭頂面には塑性変形が認められる。底部側での結晶粒は小さく、かつ、表層脱炭層は供試レール中、最も顕著である。
- 4) 3204 中央頭頂表層では焼もどしマルテンサイト+微細パーライト組織が変形した様

相がみられる。熱処理硬化層としてはやゝ不十分なことがうかがえる。底面の表層脱炭層はさしたるものではない。

- 5) 3205 頭頂部には肉盛補修層と、これに隣接する内層には肉盛溶接による熱影響変質層の存在が認められる。

溶接金属層は低炭素系合金鋼のペーナイト状鑄造組織を呈している。熱影響変質層のうち溶接金属に近い部分では微細粒のフェライト+パーライトを呈しているが末端部では素材よりも粗い様相が認められる。摩耗した頭側表層はすでに肉盛補修域ではなく、レール母材が塑性変形している。その摩耗量、表形程度は供試レール中最も顕著である。

レール底部の結晶は細かく表層には脱炭層が大きく存在している。

- 6) (参考) 3200 初析フェライトは殆んど存在しないパーライト組織を呈した圧延タイヤとして正常な組織を呈している。

フランジ部は再加熱後放冷されたと考えられるフェライト、パーライト組織を呈し、かつその内層もわずかな影響変質が認められる。

3.2.6. 硬さ分布試験

レール頭部供試面のビッカース硬さ試験による分布状況を図3.2.8～図3.2.12ならびに参考材、タイヤのブリネル硬さ試験結果を図3.2.13に示す。試験結果の概要はつぎのとおり、

- 1) 2301 熱処理硬化層は頭側のアゴ部で規格値を超えるやゝ高い部分があるほかは硬さ深さ線図はほぼ適正な様相がうかがえる。供試レール中最も高い値を示している。

素材硬さはHV220。

- 2) 2302 素材硬さはHV235を示し表層と内層とでは本質的には変らない。しかし車輪接触によって摩耗があまりそく進されない、頭頂中央とか、ゲージコーナとは反対側の表層では常温加工硬化による硬さ上昇が認められ、その最大は硬さHV330、深さ約8mmに達する。

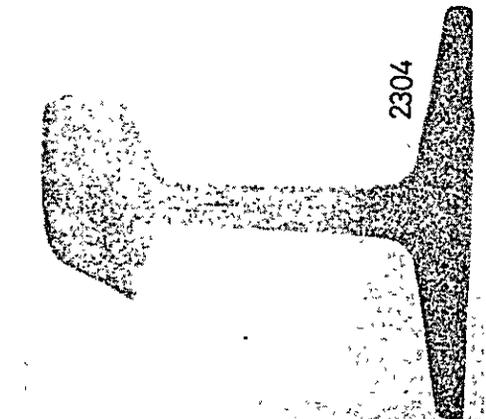
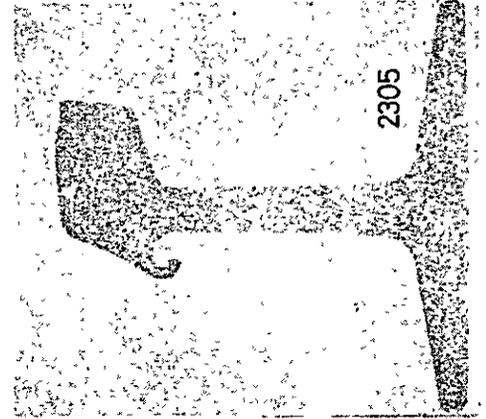
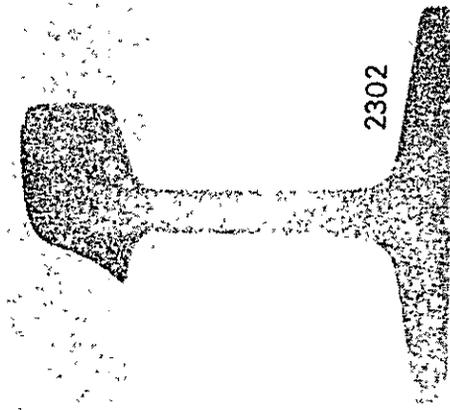
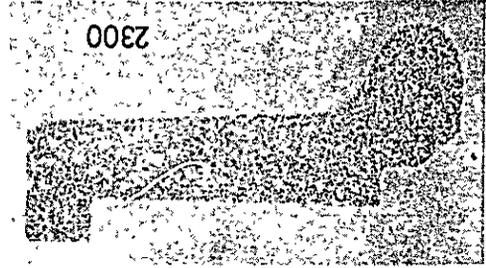
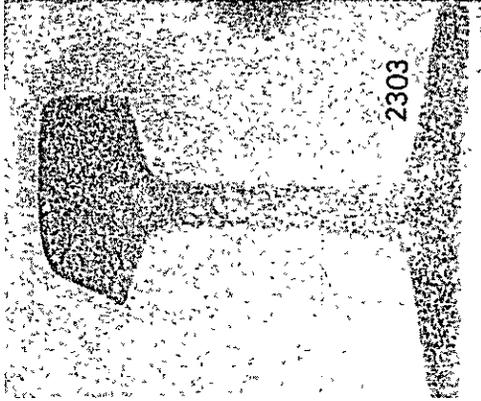
- 3) 2303 レール素材として表層と内層の間にはわずかな硬さの差がみられ表層側がやゝ高い。これに加工硬化層が伴ない、その最大は硬さHV320、深さ約4mmが認められる。

- 4) 2304 熱処理硬化層の硬さとしてはやゝ低く規格値下限域を示す。これに加工硬化現象が伴ないその最大はHV400、深さ2mmが認められる。素材硬さはHV230。

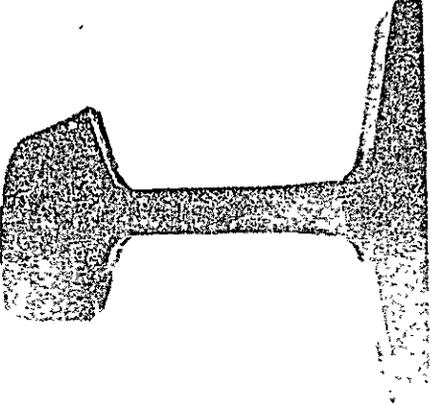
- 5) 2305 素材硬さはHV210、供試レール中最も低い。

補修肉盛溶接金属は車輪接触の加工硬化を含めてHV310を示す。側面摩耗の顕著な表層部はHV300にも硬化している。

- 6) 2300(参考) タイヤの硬さはHB220、炭素量と比較してやゝ低い。再加熱変質層はHB210でさらに低い。



2303



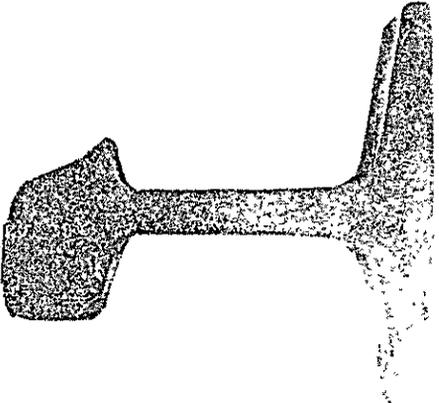
12 14 15 16 17 18

2300

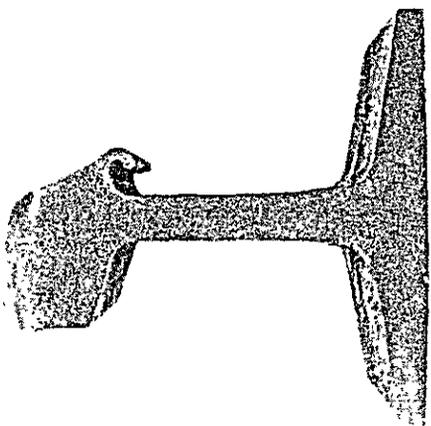


15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27

2302

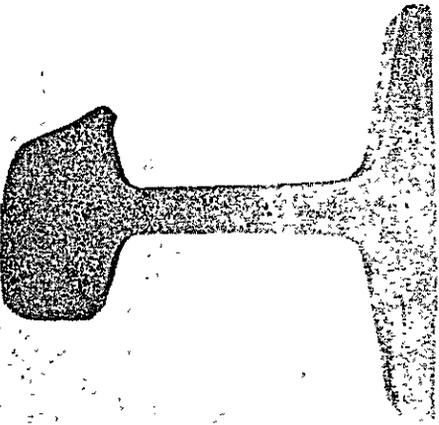


2305

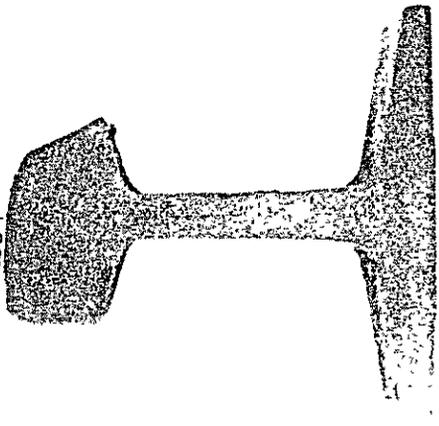


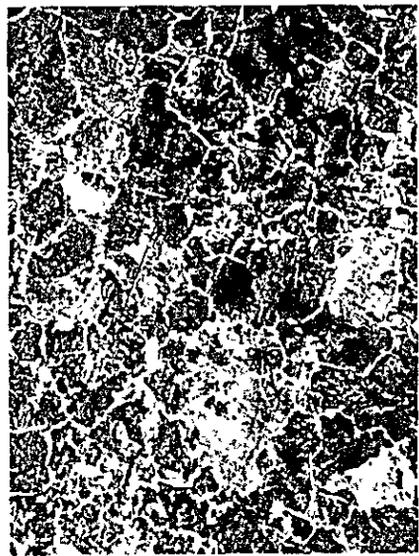
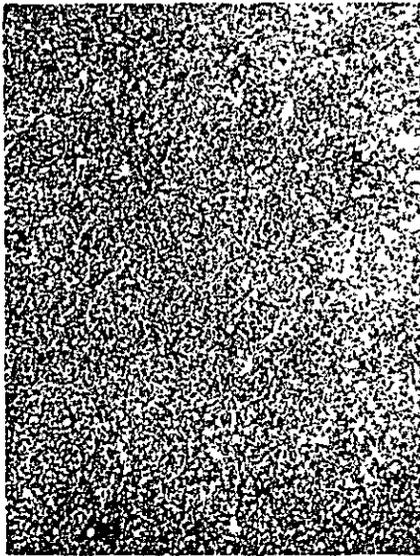
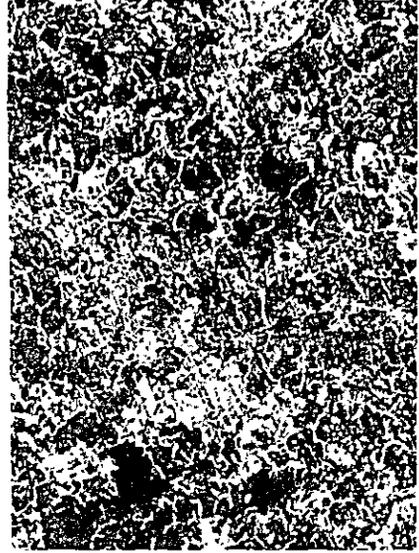
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19

2301



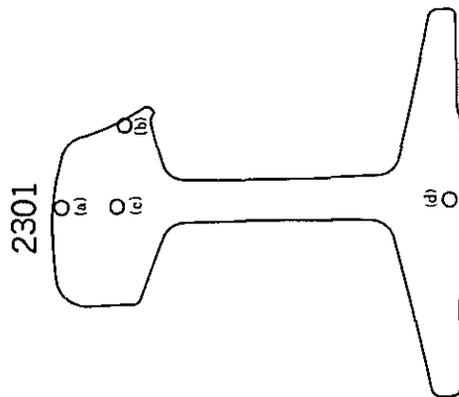
2304

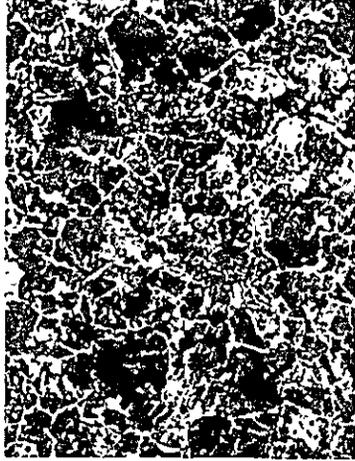
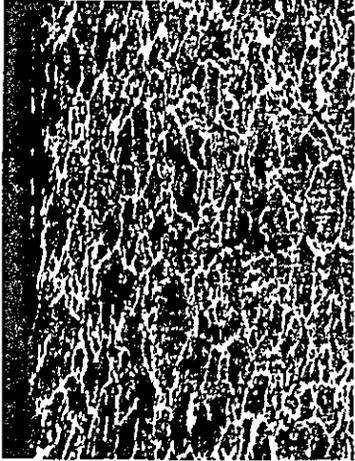
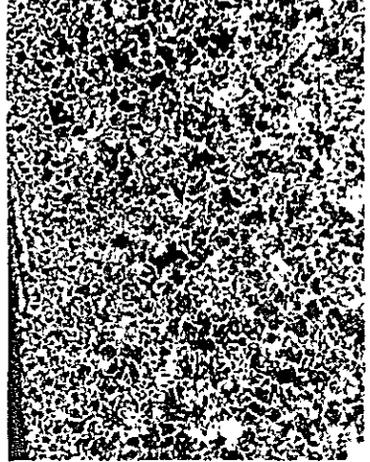
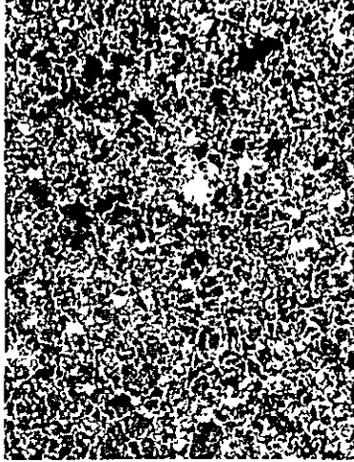
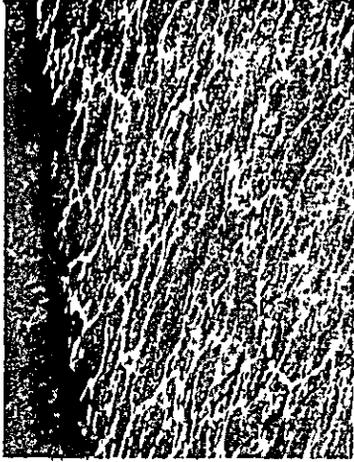




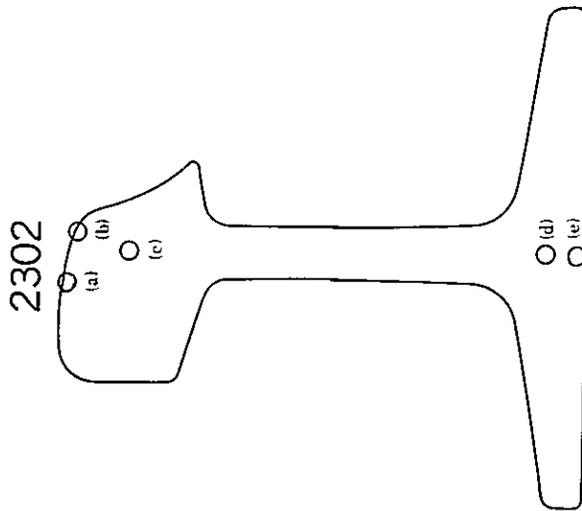
銅微鏡組織

字號 3 3





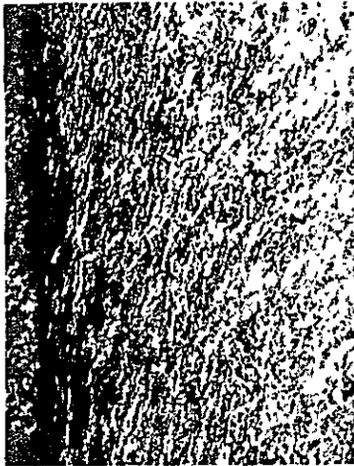
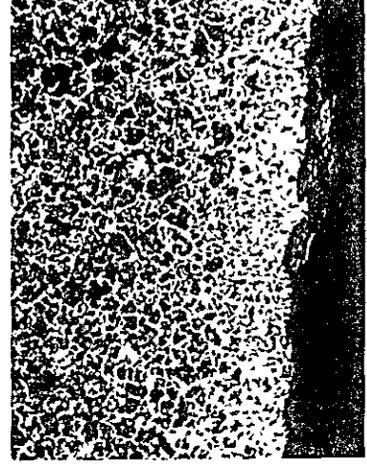
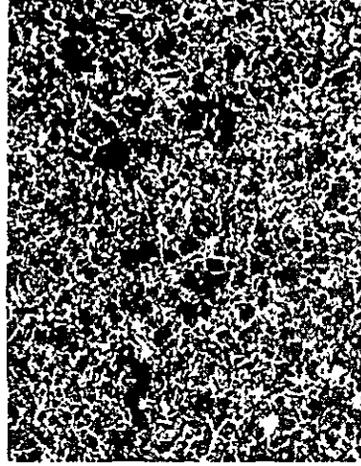
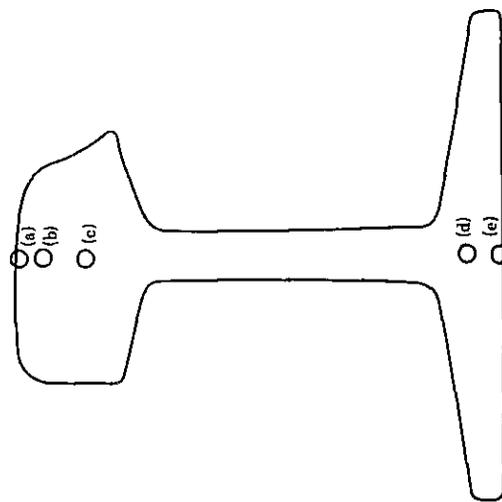
顯微鏡組織
写真 3.4

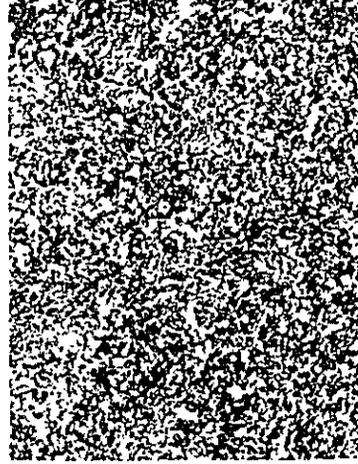
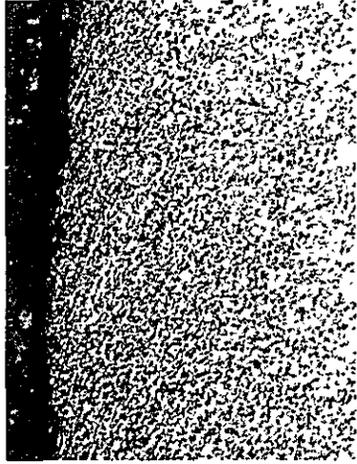
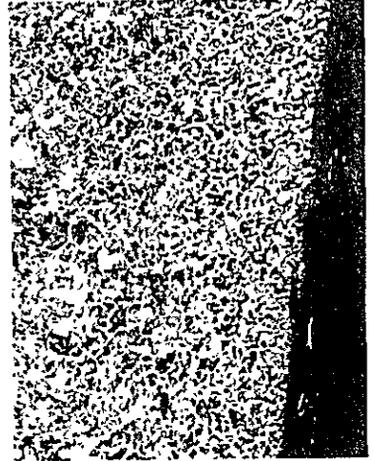
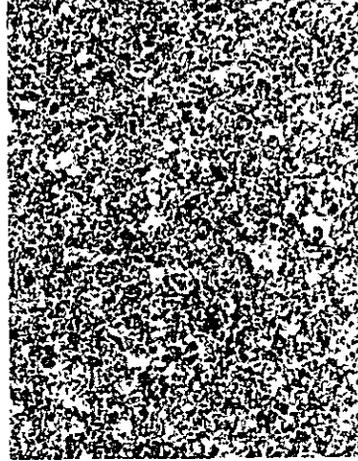


纤维组织

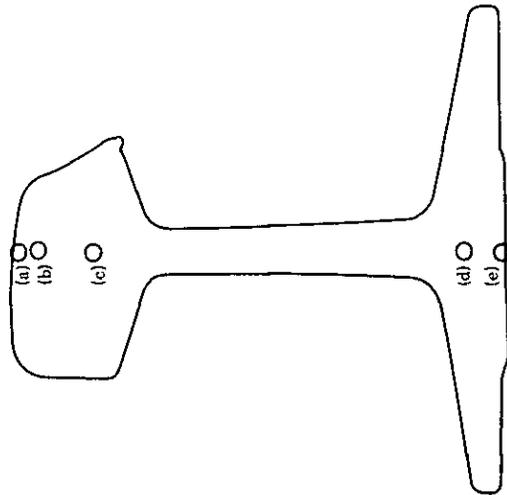
写真 3.5

2303



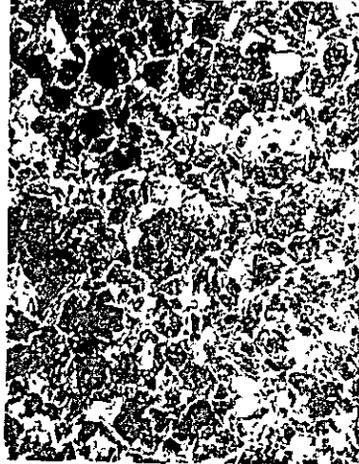


2304



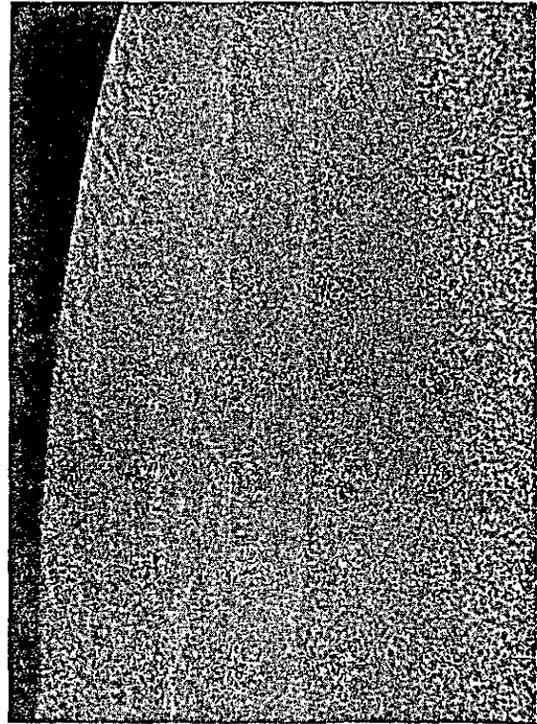
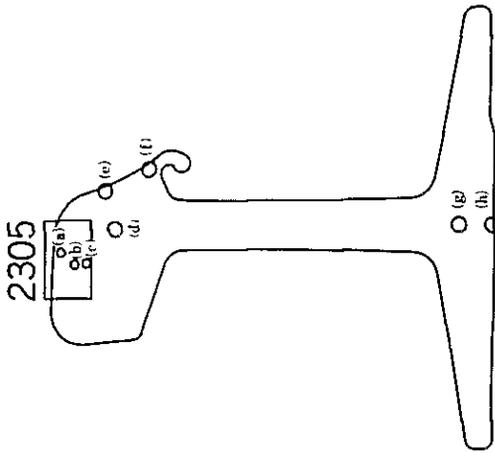
顯微鏡組織

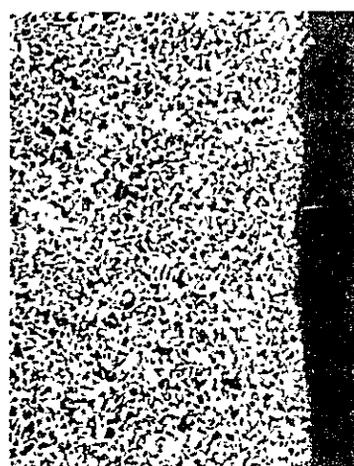
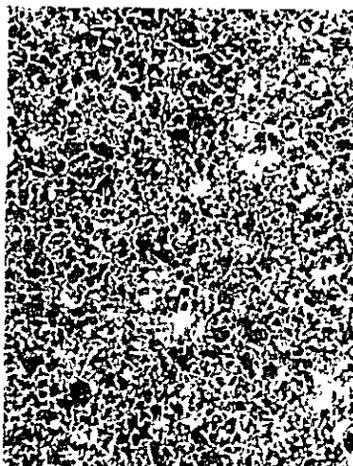
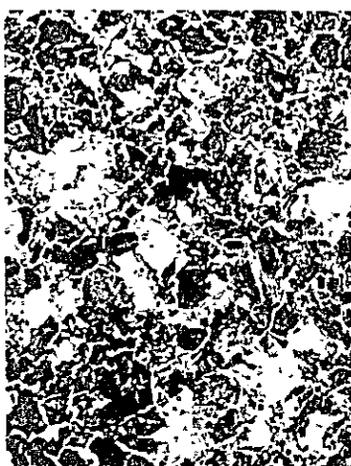
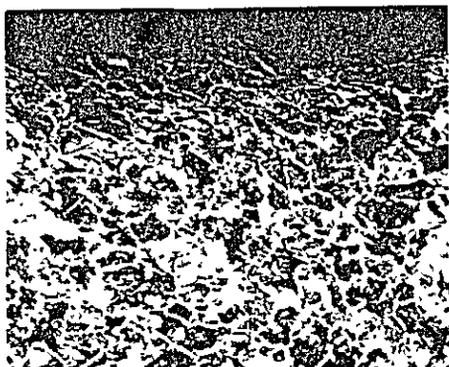
写真 3.6

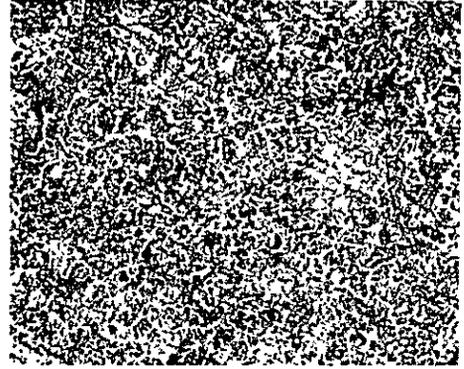


顯微鏡組織

寫真 3 7 1







顯微鏡組織

写真 3.8

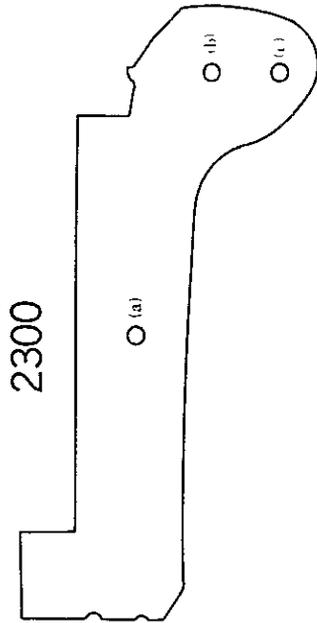


図 3.2.8

Vickers Hardness
No 2301
(Load 10kg)

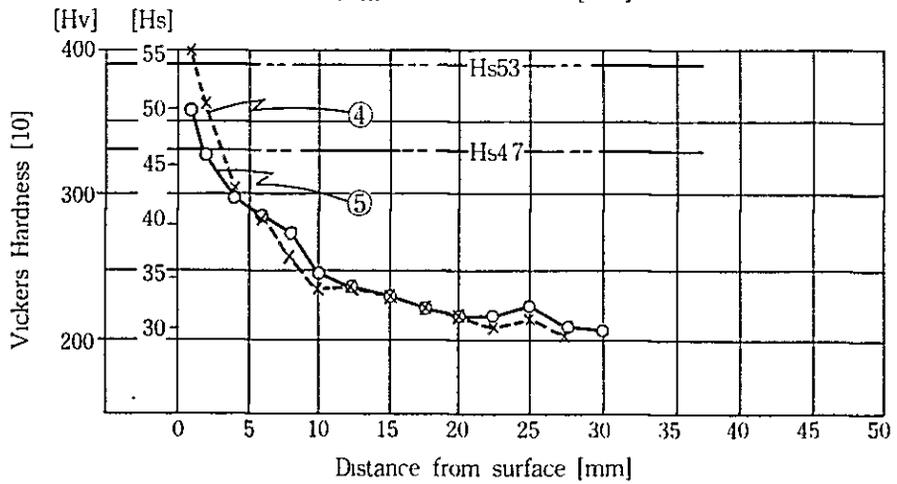
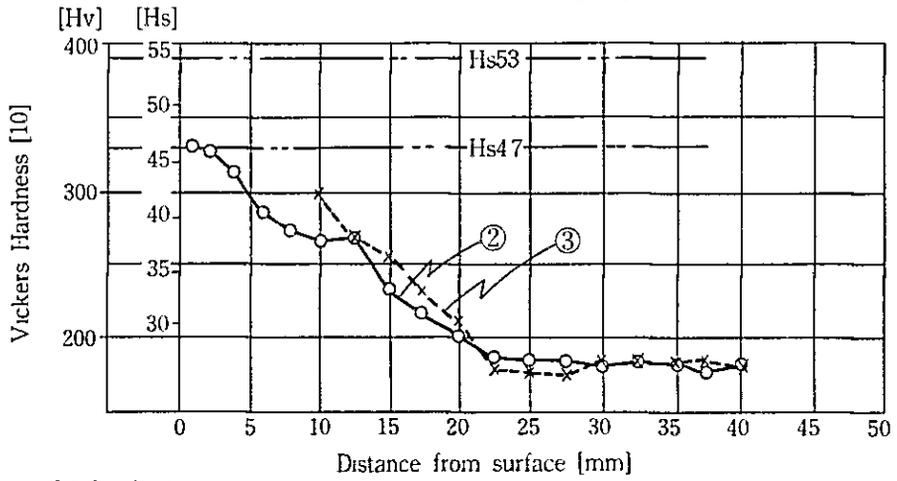
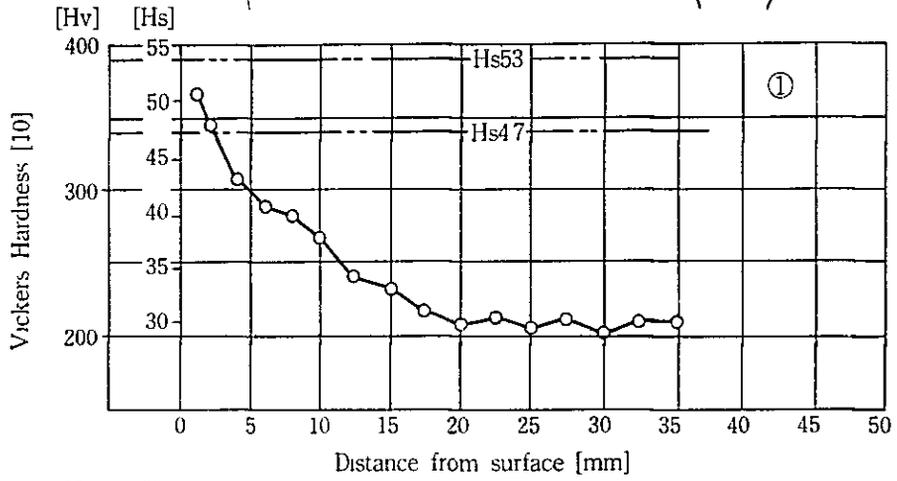
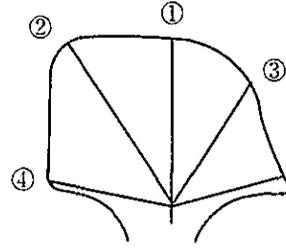


図 3.2.9

Vickers Hardness
No.2302
(Load 10kg)

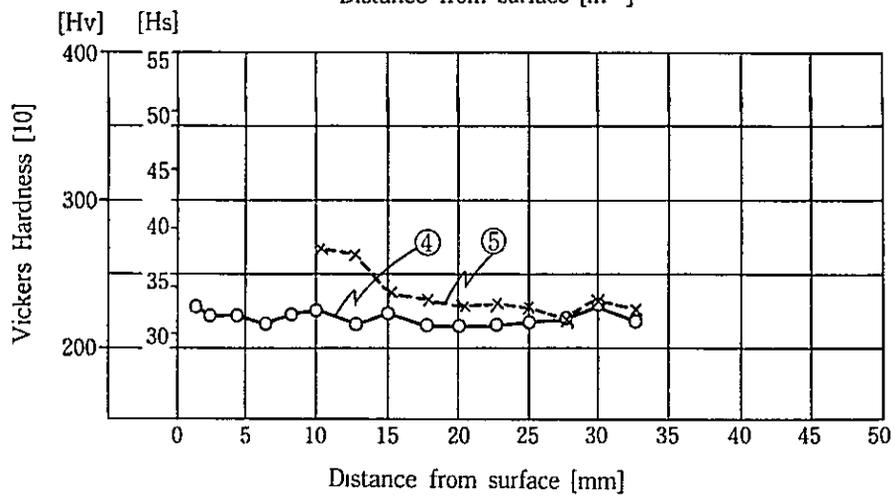
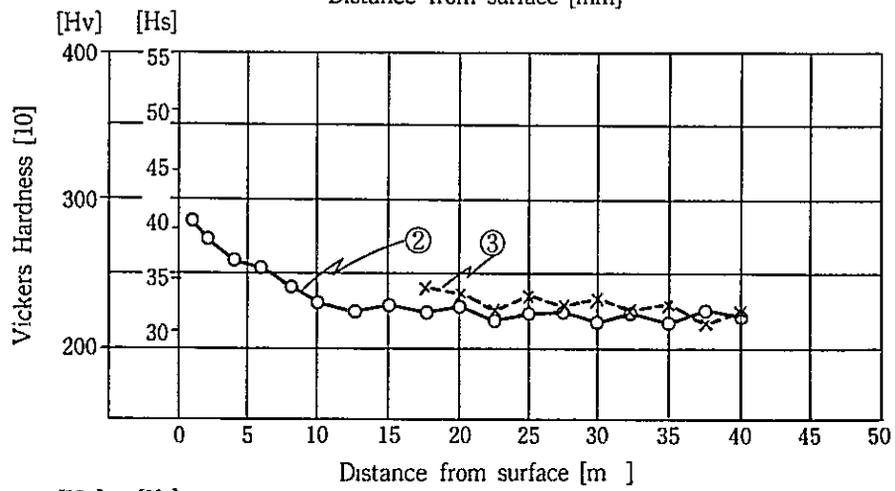
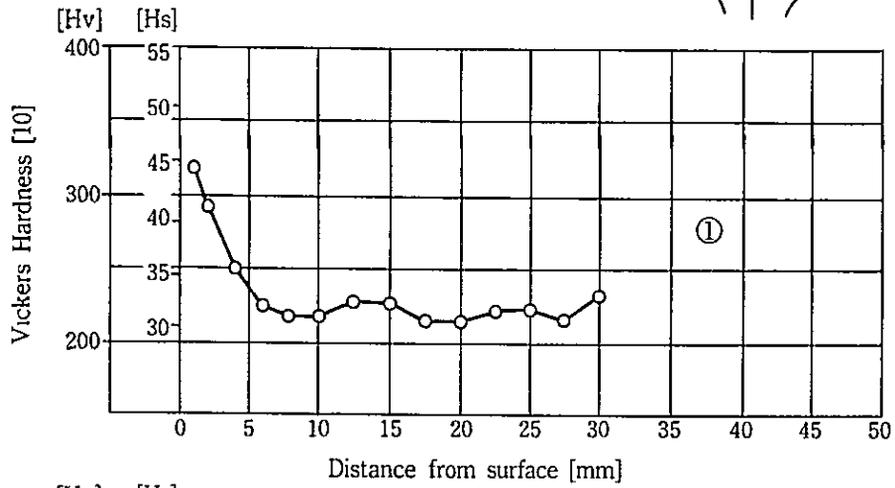
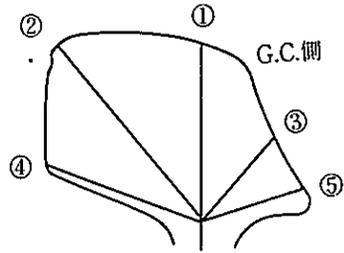


図 3.2.10

Vickers Hardness
No.2303
(Load 10kg)

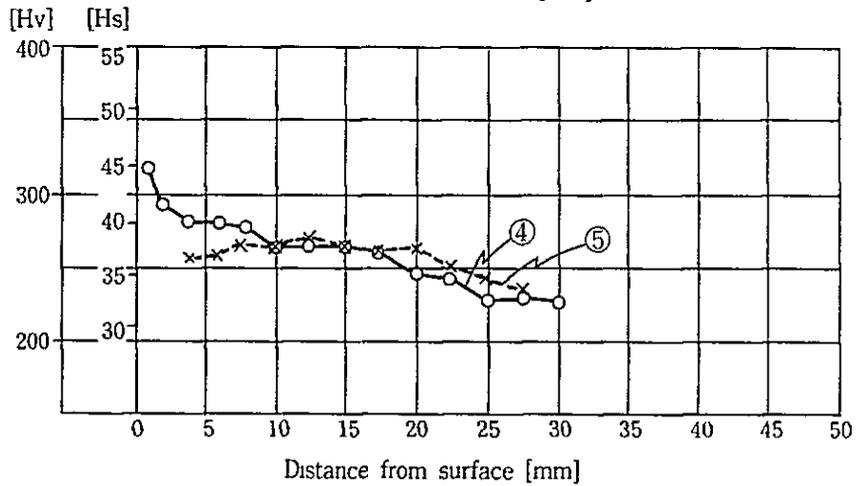
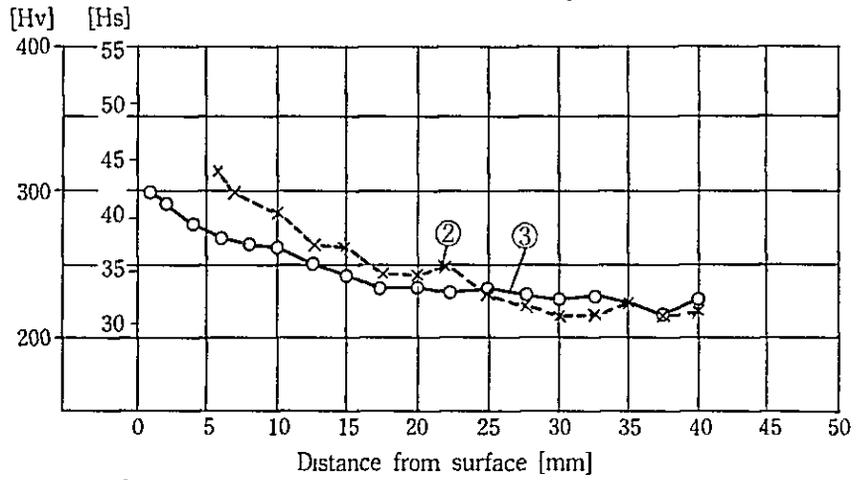
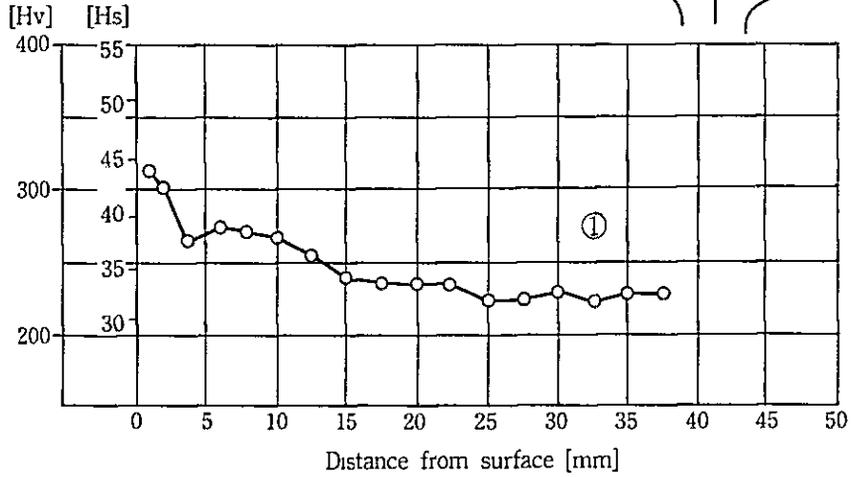
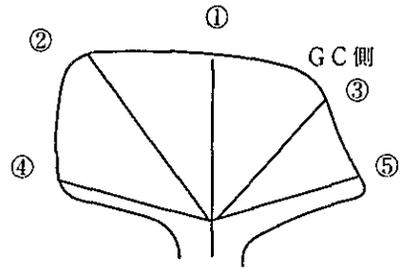


図 3.2.11

Vickers Hardness
No.2304
(Load 10kg)

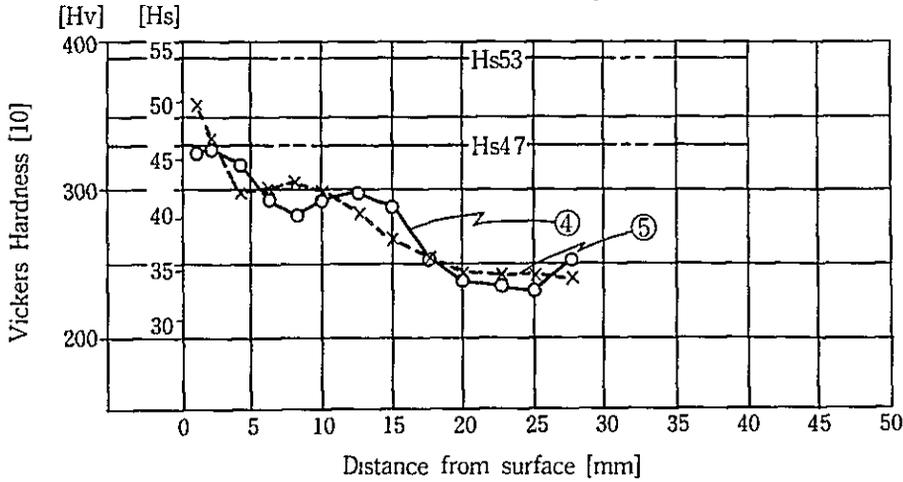
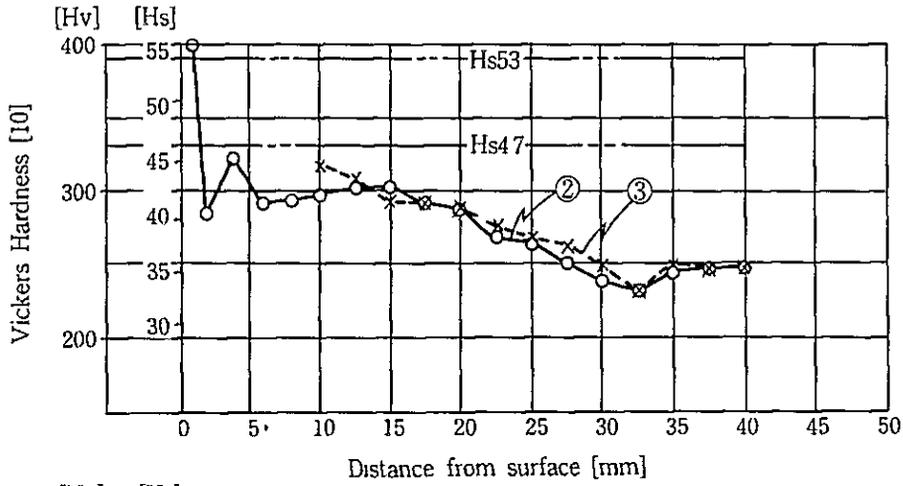
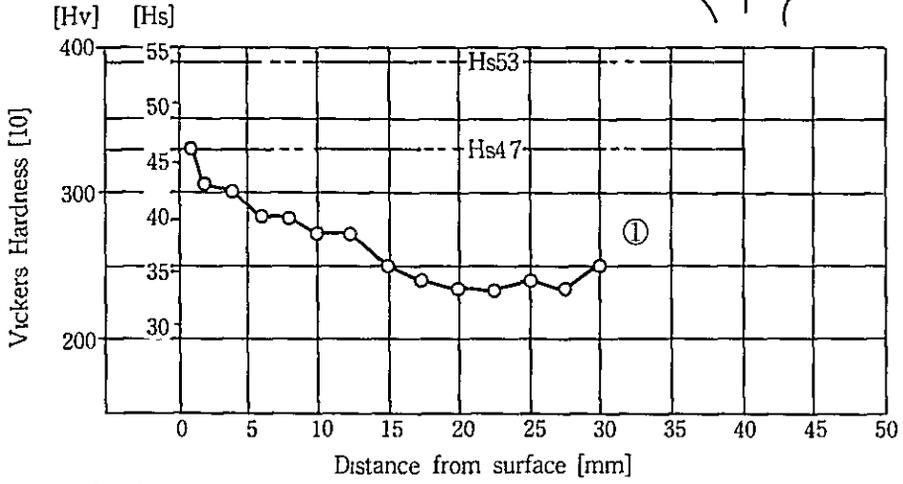
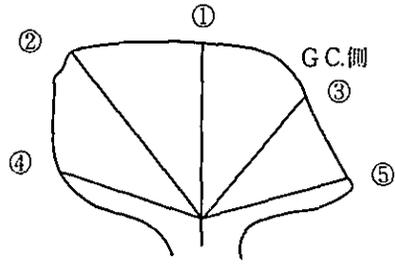
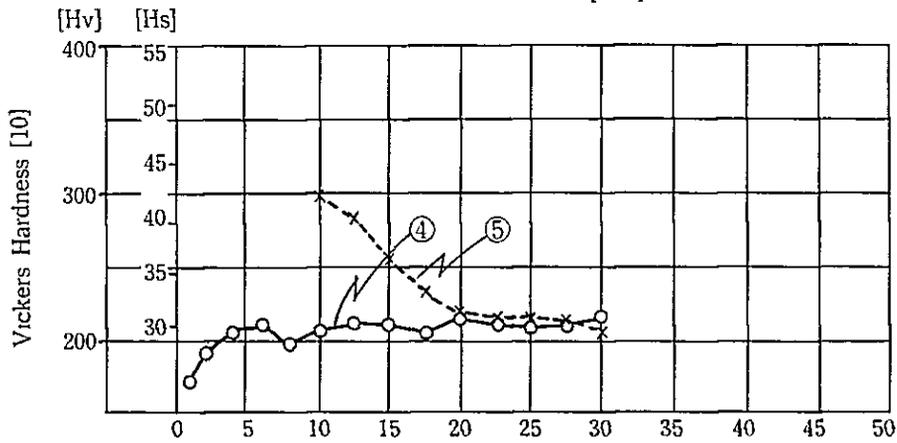
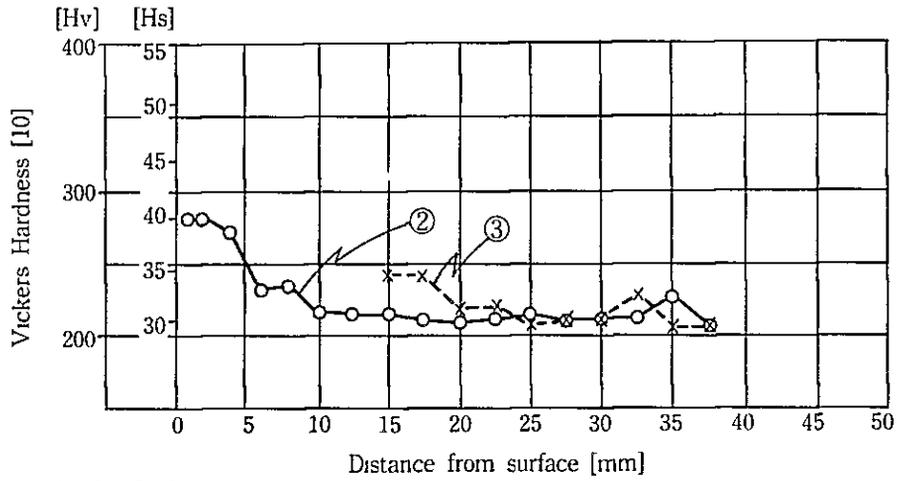
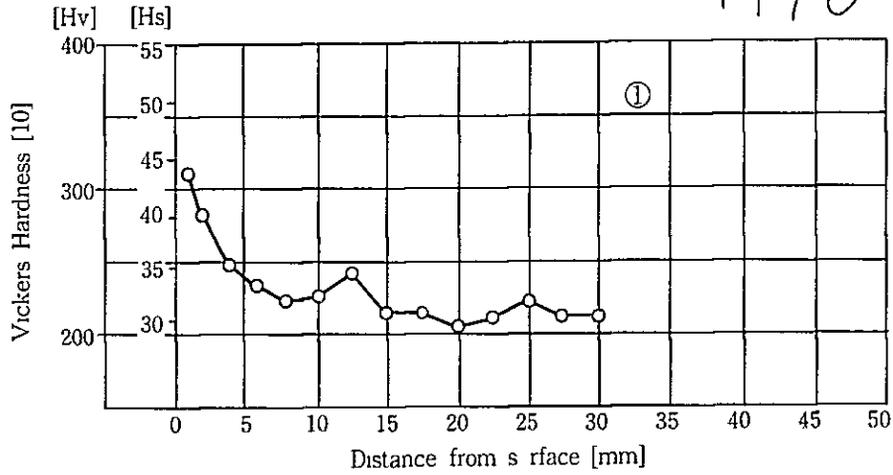
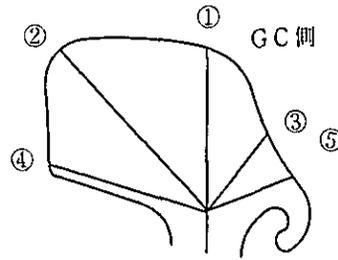


図 3.2.12

Vickers Hardness
No.2305
(Load 10kg)



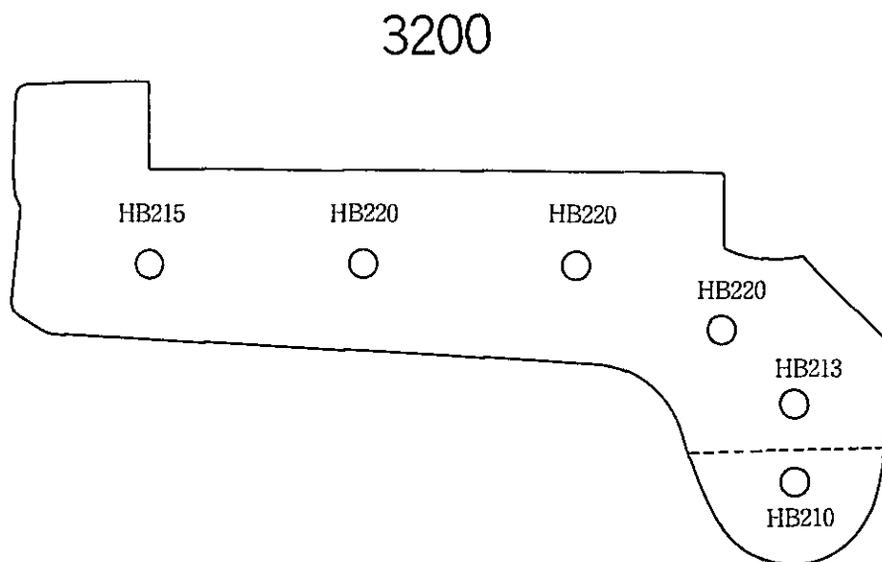
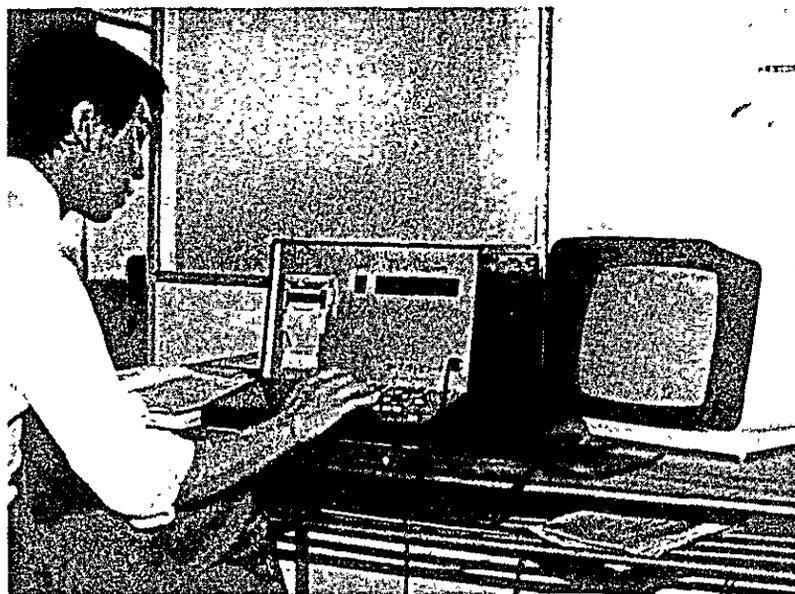


図 3.2.13 タイヤの硬さ分布



3.3. 試験結果について

試験の結果、特に異常な欠陥の表われたものはなかった。従って、試料のレール摩耗は材質の欠陥によるものではないと判断される。

試料として得られたレールの使用期間、使用条件は同一ではなく、またそれぞれ明らかでないため、比較することは困難である。

しかし、これらの摩耗したレールのうち、最も著しい摩耗形状の2305は70 kg/mm²級の中炭素系マンガン鋼である。このことからみて、タイ国鉄の山岳地帯のレール摩耗が著しい区間に使用するレールとして、摩耗が少なくなると考えられるレールは、高炭素鋼の微細パーライト組織をもつものが良いと考えられる。

このレールとしては、

(1) 高炭素耐摩耗性合金鋼レール

西ドイツ クルップ社、ATH

(2) レール頭部加熱スラック焼入れ硬頭レール

USスチール(カーブマスター)、新日鉄、日本鋼管

NHHレール

が該当する。

西ドイツ製の合金レールは、既に北東線に試験敷設されて現実に摩耗の減少がみられている。しかしこれらの合金レールは、クロームなどの高価な元素を使用するので、価格が高くなる欠点がある。

焼入れによる微細パーライト組織を持つレールは、価格の点で合金レールよりも経済的であると思われる。

参考のために、日本国鉄で使用しているこの種のレールの概要を附録に示す。

なお、タイ国鉄の急曲線は、半径200 m程度の特に急な曲線であるので、日本国鉄の曲線で使用されている硬頭レールでは、その効果は少ないものと考えられ、北線における測定結果においても普通レールと比較して摩耗の進行に著しい差はみられなかった。

4. 車輛および線路の構造とレールの摩耗

4.1 レール摩耗に主として関与する車輛および線路の構造

レール摩耗の要因については、2.2節に述べた所であるがそのうち、フランジとレール間の横圧の発生およびフランジとレール間のすべりの発生については、車輛および線路の構造ならびにその部材の形状に関係がある。

線路の構造および軌道用材料の形状のうち、特にこれらの要因に関係すると思われる項目は、

- (1) 線路のカント
- (2) 線路のスラック
- (3) レールの形状

である。

また車輛の構造および車輛用部品の形状のうち、特にこれらの要因に関係すると思われる項目は、

- (1) 車軸の配置
- (2) 台車の回転性能
- (3) 軸重
- (4) 車輪の形状および輪軸の寸法

である。

4.2 カント不足量と横圧について

列車が曲線を通過する際に生ずる遠心力を相殺して、遠心力と重力の合力の作用線が軌道中心に近くなるように、線路にはカントがつけられている。

しかし、曲線を通過する列車は、設定カントに対する均衡速度で常に走行するとは限らないので、曲線を通過する列車には多かれ少なかれ不均衡遠心加速度が作用する。

この不均衡遠心加速度は、カント不足量あるいはカント過大量により生ずるのであり、カントが不足していると、車輛に曲線外へ向く加速度を生じ、カントが過大であると車輛には曲線中心に向かう加速度が生ずる。これらの加速度は車体と台車の連結部を通じて台車に作用し、横圧に影響する。

例えば、極く簡単に振動を無視したボギー車の摩擦中心点が後軸付近にあると仮定すると横圧 Q はほぼ次式となる。

$$Q \doteq \frac{W}{2} \left[\mu \left\{ 1 - \frac{h_G^*}{a} \left(\frac{v^2}{gR} - \alpha \right) \right\} + 2 \left(\frac{v^2}{gR} - \alpha \right) \right]$$

…… (4.1)

この式で、 W : 軸重
 μ : レールと車輪間の摩擦係数
 a : 軌間の $\frac{1}{2}$
 h_G^* : 重心高さ
R : 曲線半径
 v : 速度
 α : カント角
 g : 重力加速度

である。

(4.1) 式中の

$$\left(\frac{v^2}{gR} - \alpha \right)$$

は、カント不足量による遠心加速度の項であるから、これをCとおくと、(4.1) 式は、

$$Q \doteq \frac{W}{2} \left\{ \mu \left(1 - \frac{h_G^*}{a} C \right) + 2C \right\}$$

$$= \frac{W}{2} \left\{ \mu + \left(2 - \frac{\mu h_G^*}{a} \right) C \right\}$$

となり、通常の車輛では、

$$\mu \doteq 0.3$$

$$\frac{h_G^*}{a} \doteq 1.5 \sim 2.0$$

であるから、Cの増加、すなわちカント不足量の増加は、横圧の増加をもたらすこととなる。

タイ国鉄では線路の設定カント e を

$$e = \frac{2}{3} \left[\frac{8.338 (V+5)^2}{R} \right] \text{ mm}$$

V : 曲線の最高速度 (km/h)

R : 曲線半径 (m)

で求めており、これは均衡カントの $\frac{2}{3}$ に相当し、この値は、表 4.2.1 で示される。

また、タイ国鉄ではカントの最大値を 90 mm とし、カント不足量の許容値を 50 mm としていることから、曲線の最高速度は、

$$V_{\max} = \sqrt{\frac{(e+50)R}{8.338}}$$

で $(e+50) < 90 \text{ mm}$ の範囲で与えられるとしている。

タイ国鉄における列車の最高速度は、実際には軌道構造の条件を加味して決めており、表

4.2.2の通りである。

タイ国鉄の機関車には、速度記録計が設置されており、走行速度が記録されているので、1979年11月中の列車8本について、北線の主要本線のHangchat 駅 Thachompu駅間105ヶ所の曲線の通過速度を調査した。

この区間の線路図は、図2.2.1に示す通りの勾配区間であって、最高速度は45 km/hで抑えられている。

この調査結果は、表4.2.3.1～表4.2.3.3に示す通りであって、速度計が正しいとすれば最高速度をかなり上まわって走行した区間もあった。各列車と曲線の相対度数を速度について図示すると図4.2.1の通りで、ほぼ30%の曲線と列車が最高速度を上まわったと記録されていた。

この記録より均衡カントを計算し、表4.2.1の所定のカントより、カント不足量を計算すると、表4.2.3.4～6および図4.2.2が求められた。

この表および図より次のことがいえる。

- (1) 10 mm以上のカント不足量で列車が通過する場合は30%以上あった。
- (2) 30 mm以上のカント不足量で列車が通過する場合は10%以上あった。
- (3) 特急列車および旅客列車は、著るしいカント不足量で曲線を通過する場合があった。

調査によって求められた著るしいカント不足量による曲線走行は著るしい横圧の原因となるので、改善する必要があると考えられる。

これを改善する方法は、列車速度に応じてカント量を設定することである。

日本国鉄におけるカントの計算方法は、

$$C = 8.4 \frac{V_0^2}{R}$$

C : 設定カント

V_0^2 : 平均速度

R : 曲線半径

となっており、この式の平均速度の計算方法は、多くの公式が提案されているが、一般には、

$$V_0 = \sqrt{\frac{\sum V_i^2}{N}}$$

V_i : その曲線を通過する列車の速度

N : 列車回数

で求めている。

タイ国鉄のカントの式より考察すると、たとえば $R = 180 \text{ m}$ のような急曲線ではほとんどの列車が制限速度 45 km/h で走行すると仮定すると、その時のカント不足量

$$\begin{aligned}
 E - e &= \frac{8.338}{R} V^2 - \frac{2}{3} \left[\frac{8.338 (V+5)^2}{R} \right], \\
 &= \frac{8.338}{180} (45)^2 - \frac{2}{3} \left[\frac{8.338 (50)^2}{180} \right] \\
 &= 16.6
 \end{aligned}$$

は、全ての列車に発生することとなる。

設定カントを均衡カントの $\frac{2}{3}$ というように決める方法は、曲線を走行する列車の速度がまちまちであるような場合には、実用的な方法であるが、列車の速度の種類が少ない場合には合理的な方法ではない。

タイ国鉄で、この設定カントの公式を不合理ながら使わねばならない理由は、列車運転を計画的に行なうための計画運転線図（スピードカーブ）が明らかになっていないことによるものと考えられる。

この計画運転線図は、機関車の引張力と列車抵抗を基にして、列車の進行と共に運転速度と運転時分がどのように変化するかを図化したものであり、列車の運転記録を基にした実際運転線図を理論的に求めたものである。

計画運転線図を定めておく効用は次の通りである。

- (1) 列車の運転時分が明確になり、正確な運転となる。
- (2) 列車の動力消費量の推定に用いられる。
- (3) 曲線改良、こう配改良、路線変更による速度向上の評価に用いられる。
- (4) 列車速度向上による短縮時分の評価に用いられる。
- (5) 線路構造の計画、たとえば設定カントおよび緩和曲線長を定める時に用いられる。

この計画運転線図の図示方法は次の手順によるもので、その一例は、図4.2.3である。

- ① 動力車の引張力と速度の関係を示す図を画く。
- ② 列車抵抗の計算図を画く。
- ③ ①と②から速度毎の列車の加速力を計算する。
- ④ ③より次式により速度、距離曲線を画く。

$$S = \frac{a (V_2^2 - V_1^2)}{f_m}$$

S : 距離

a : 定数(日本では4.1~4.3)

f_m : 平均加速力

V_l : 速度

$$S = \frac{V^2}{7.2D}$$

D : ブレーキ減速度

⑤ ④により計画運転線図を画く。

画かれた計画運転線図は、実際の列車の走行と比較して、季節、天候の差を把握し、更に正確にすることが望まれる。

すなわち、カント不定量を出来るだけ少なくするためには上記の計画運転線図により、単線における上下方向の曲線通過速度を求め、前記、

$$V_0 = \sqrt{\frac{\sum V_l^2}{N}}$$

式により平均速度を求めるのが良いと考えられる。

計画運転線図は多くの効用があるから、運転の専門技術者と協同して線路設備計画用として作製し備えておくことが望ましいが、差し迫った計画の場合には、実績運転線図による方法がある。

これは、タイ国鉄の機関車に取りつけられている速度計の記録を整理して標準的な運転線図を得て、その結果からカントを設計するものであるが、この方法は、次の点で前記の効用が薄れることは止むを得ない。

(1) 実績の運転線図であるため、運転計画をするための、強制力に欠けること、すなわち、計画運転線図は、車両が正常状態に維持されていれば、運転線図に示された運転方法に従って運転すれば、計画された運転速度および運転時分に従って運転できるのであるが、実績運転線図を平均したものでは必ずしも同じ運転となる保証はない。

(2) 運転方法が、必ずしも最も効率が良い方法であるとは限らないため、運転時分、燃料消費の点で損失がある場合がある。

しかし、いずれにしても、急曲線におけるカント不定量を少なくすることは、レール摩耗を少なくすることに効果があると考えられるので、

(1) 現在タイ国鉄の機関車に取りつけられている記録計の運転記録を統計的に整理して、曲線の平均的な通過速度を得る。

(2) 得られた通過速度により著るしいカント不定量が生じないようカントの設定を行なう。ことを推奨する。

このためには、少なくとも200本以上の各種の列車について統計的に整理することが望まれ、今回調査した8本の記録ではカントを計算するには少なすぎると思われる。

以上は合理的なカントの設定方法であるが、若干合理性を無視した考え方によれば、次の方法がある。

すなわち、図4.2.3.に示す通りカント不足量が70mmにもなる速度で走行する列車があるとすれば、平均的にカントを大きくして、カント不足量を少なくすることが必量であると考えられるから、このためには設定カントを計算する速度を更に高くする方法がよいと思われる。

すなわち、現在

$$(V+5) \text{ km/h}$$

としているカント設定のための速度を

$$(V+10) \text{ km/h}$$

とすると、 $V=45 \text{ km/h}$ についての設定カントは、表4.2.4となる。

表4.2.4

曲線半径	$V=45 \text{ km/h}$ の 均衡カント	現行カント	改定カント
200m	84.4	69.5	84.1
400m	42.2	34.7	42.0
600m	28.1	23.2	28.0
800m	21.1	17.3	21.0
1,000m	16.9	13.9	16.8

従ってこのようにすると平均的にカント不足量が小さくなって、レール摩耗を少なくする効果ができると予想される。

ただし、この方法は最高速度の高い区間では、カントが過大になると思われるので、最高速度の低い区間に適用するのが良いと思われる。

また、この式は、

$$e = \frac{2}{3} \frac{8.338 (V+10)^2}{R}$$

となり、この式に $R=180 \text{ m}$ を代入すると、

$$e = \frac{2}{3} \frac{8.338 (45+10)^2}{180} = 93.4 \text{ mm}$$

となって、最大カントを95mmとすることが望まれる。

Table 4.2.1. - Actual Cant in mm

Speed km/hr Radius m.	5 10 15 20 25 30 35 40 45 50										55 60 65 70 75 80 85 90								Speed km/hr Radius m.
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	
160	5	10	15	20	30	45	55	70	85									160	
165	5	10	15	20	30	45	55	70	85									165	
180	5	5	10	20	30	40	50	65	75									180	
200	5	5	10	10	25	35	45	55	70	85								200	
225	5	5	10	10	20	30	40	50	60	75	90							225	
250	5	5	10	10	20	25	35	45	55	65	80							250	
300	5	5	5	10	15	25	30	40	45	55	65	80	90					300	
325	5	5	5	10	15	20	25	35	45	50	60	70	85					325	
350	5	5	5	10	15	20	25	30	40	50	55	65	80	90				350	
375	5	5	5	10	15	20	25	30	35	45	55	65	75	85				375	
400	5	5	5	10	15	15	20	30	35	40	50	60	70	80	90			400	
420	5	5	5	10	10	15	20	25	35	40	50	55	65	75	85			420	
450	5	5	5	10	10	15	20	25	30	35	45	50	60	70	80	90		450	
470	5	5	5	10	15	20	25	30	35	45	50	60	65	75	85			470	
500	5	5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	55	65	70	80	90		500	
550	5	5	5	10	15	15	20	25	30	35	45	55	65	75	80	90		550	
575	5	5	5	10	10	15	20	25	30	35	40	45	55	60	70	80	85	575	
600	5	5	5	10	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	65	75	85	600	
650	5	5	5	5	10	15	15	20	25	30	35	40	50	55	60	70	75	650	
700	5	5	5	5	10	15	15	20	25	30	35	40	45	50	55	65	70	700	
750	5	5	5	5	10	10	15	20	25	25	30	35	40	45	55	60	65	750	
800	5	5	5	10	10	15	15	20	25	30	35	40	45	50	55	65	65	800	
880	5	5	5	10	10	15	15	20	25	25	30	35	40	45	50	55	55	880	
900	5	5	5	10	10	15	15	20	20	25	30	35	40	45	50	55	55	900	
985	5	5	5	5	10	10	15	15	20	25	30	30	35	40	45	50	50	985	
1000	5	5	5	5	10	10	15	15	20	25	30	30	35	40	45	50	50	1000	
1100	5	5	5	5	10	10	15	15	20	20	25	30	35	35	40	45	45	1100	
1165	5	5	5	5	10	10	10	15	10	20	25	25	30	35	40	45	45	1165	
1200	5	5	5	5	5	10	10	15	10	20	25	25	30	35	40	40	40	1200	
1230	5	5	5	5	10	10	15	15	10	20	20	25	30	35	35	40	40	1230	
1250	5	5	5	5	5	10	10	15	10	20	20	25	30	30	35	40	40	1250	
1300	5	5	5	5	5	10	10	15	10	20	20	25	25	30	35	40	40	1300	
1400	5	5	5	5	5	10	10	10	10	15	20	25	25	30	30	35	35	1400	
1500	5	5	5	5	10	10	10	10	10	15	20	20	25	25	30	35	35	1500	
1600	5	5	5	5	5	5	10	10	10	15	15	20	20	25	30	30	30	1600	
1700	5	5	5	5	5	5	10	10	10	15	15	20	20	25	25	30	30	1700	
1750	5	5	5	5	5	5	10	10	10	15	15	20	20	25	25	30	30	1750	
1800	5	5	5	5	5	5	10	10	10	15	15	15	20	25	25	30	30	1800	
2000	5	5	5	5	5	5	5	5	10	10	10	15	15	20	20	25	25	2000	
2500	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10	10	10	15	15	15	20	20	2500	
3000	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10	10	10	10	15	15	15	3000	
4000	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10	10	10	10	15	4000	
5000	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10	10	10	10	5000	
7000	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	7000	

表 4.2.2. DATA ON TRAIN SPEED

Track Characteristics	Max. allowable train speed (Kph.)	Track condition
Tangent	100	-80 -lb long welded rails with elastic rail fastenings; wood or concrete sleepers at 65 -cm. spacing; 20 - cm. ballast cushion.
	90	-70/80-lb rails(or reconditioned 80 - lb long weldod rails) with either elastic rail fastenings, or a combination of dog spikes and elastic rail fastenings; wood or concrete sleepers at 65 - 67 - cm spacing; 20 -cm ballast cushion.
	70	-60 -80 -lb rails either standard rail length or short welded with either dog spikes, or a combination of dog spikes and elastic rail fastenings; 2 nd grade wood sleepers, or reconditioned ones at 70 -cm spacing; 15 -cm ballast cushion.
Curve	45	-R < 400 m, and G > 15 ‰
	55	-R < 400 m, and 10 ‰ ≤ G ≤ 15 ‰
	Same as tangent	-R ≥ 400 m, and G < 10 ‰
Turnout	80/30	-80 lb, No 12
	60/15	-70 lb, No 10
Siding	30	-Turnouts of No 12 only.
	15	-When turnouts of less than No 12 are concerned.

図 4.2.1

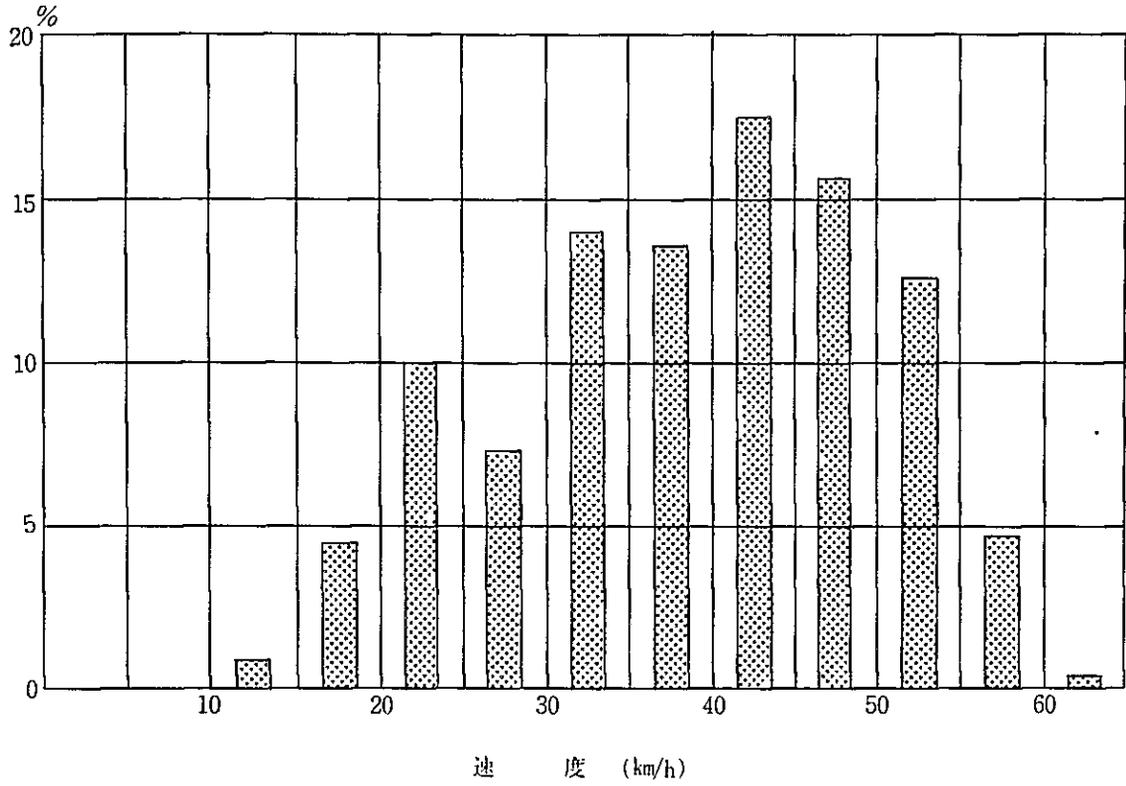


図 4.2.2

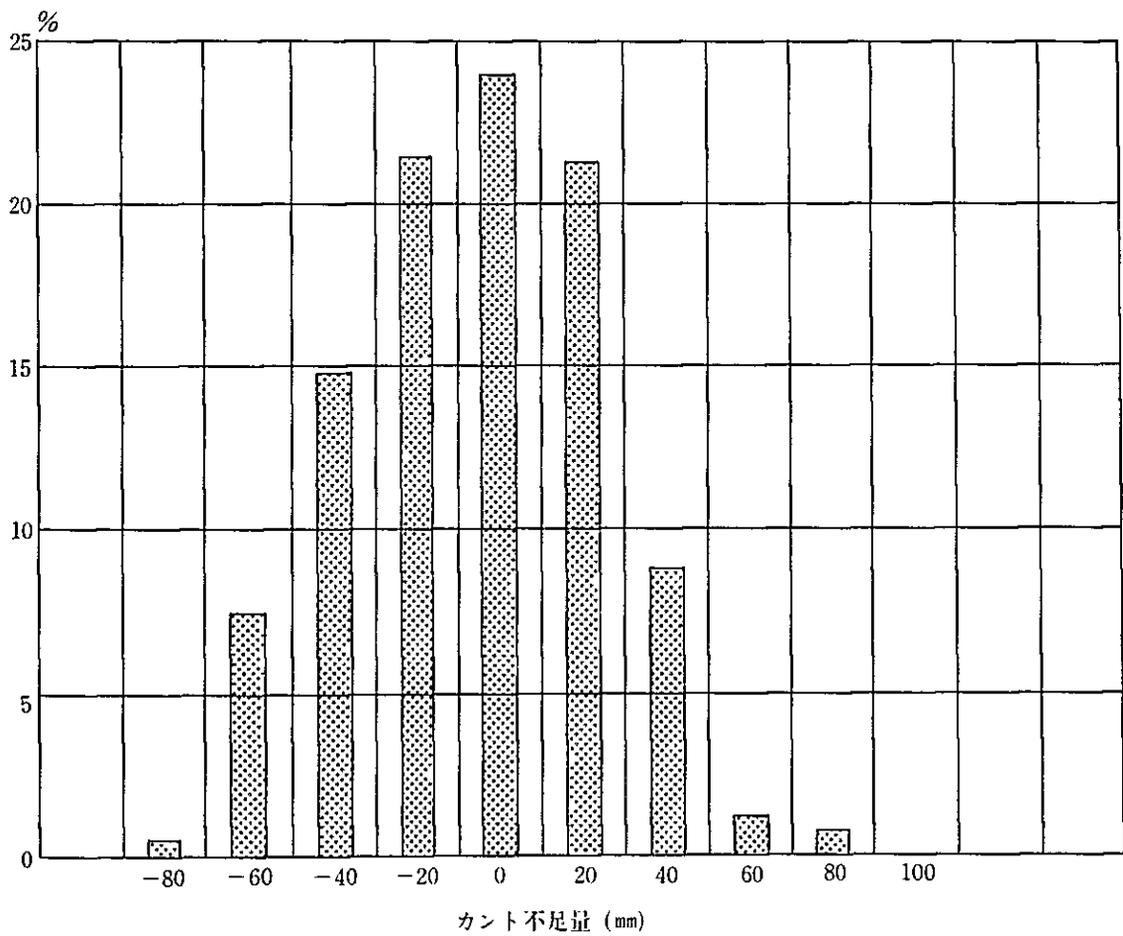


表 4.2.3.1

(1979.11)

位 置		曲線半径 m	各 列 車 の 通 過 速 度 (km/h)							
B	C		643	602	643	636	7	8	38	37
660.038	660.299	400	46	50	50	37	50	50	50	48
925	661.051	400	37	37	45	47	37	40	40	52
661.172	369	200	33	37	43	47	40	40	50	50
384	498	400	33	37	43	47	45	37	55	48
528	779	200	33	37	40	47	46	35	55	50
779	923	250	35	37	40	49	49	25	53	50
923	662.046	300	35	37	40	50	50	30	52	50
662.046	177	250	40	37	42	50	50	50	52	50
177	381	180	40	37	44	50	50	55	51	50
439	848	180	43	37	45	50	50	55	51	50
860	663.006	200	43	40	42	50	52	57	52	50
663.139	282	300	45	40	42	50	52	59	52	50
306	725	200	45	42	42	52	50	59	52	50
664.122	664.368	400	45	45	50	50	51	59	57	51
854	665.035	400	35	40	42	50	55	50	50	58
665.113	442	300	37	40	40	45	55	50	42	58
442	849	300	45	46	45	42	50	51	45	52
666.007	666.545	200	43	48	50	52	45	40	48	51
617	889	300	45	40	42	50	50	35	40	52
889	667.105	400	50	48	50	45	45	59	50	48
667.135	279	200	45	50	52	45	40	59	54	47
303	494	300	40	45	50	47	40	55	55	49
530	722	400	32	45	50	45	40	55	50	50
740	998	200	32	40	40	45	42	45	40	55
998	668.144	250	32	45	32	47	50	45	40	56
668.288	515	180	40	45	35	47	50	40	37	52
515	886	300	35	42	40	45	52	35	35	52
976	669.158	300	50	42	48	45	50	40	35	50
669.188	350	200	50	45	48	45	47	50	35	49
375	560	400	45	47	49	50	42	55	35	49
590	775	400	40	47	47	50	40	55	40	50
998	670.250	300	32	47	40	50	40	55	35	51
670.580	832	800	37	49	35	49	50	50	40	50
868	671.037	200	30	49	39	42	46	47	40	45
671.561	735	180	20	40	38	48	45	47	40	55
777	672.077	180	25	35	40	40	50	35	42	50

表 4.2.3.2

(1979.11)

位 置		曲線半径 m	各 列 車 の 通 過 速 度 (km/h)							
B. C	E. C		643	602	643	636	7	8	38	37
672.210	672.417	180	30	35	42	45	50	35	45	49
440	662	180	33	37	44	45	50	37	45	48
679	848	200	33	41	45	40	46	40	47	47
673.069	673.219	200	35	45	40	45	46	45	52	50
219	547	800	37	42	40	45	50	42	52	50
577	912	300	40	42	41	45	50	42	51	50
674.154	674.346	180	43	40	42	45	45	47	48	49
370	525	180	43	37	45	45	40	47	45	45
657	867	600	35	40	47	45	40	62	42	40
891	675.178	180	28	38	42	37	27	45	41	35
675.208	459	180	27	48	40	37	27	45	42	35
477	722	180	25	38	35	35	25	45	40	33
746	676.004	180	25	38	25	35	20	47	41	31
676.022	207	180	25	38	20	35	25	46	41	31
261	321	300	25	38	20	30	17	47	41	31
351	483	300	25	38	25	30	15	47	41	31
525	581	300	25	35	25	30	15	50	40	31
891	677.096	400	25	30	22	27	17	40	40	31
676.108	223	300	25	20	20	25	17	40	30	31
292	400	300	25	20	21	20	20	40	47	31
448	544	300	25	15	22	20	20	37	40	31
580	688	300	25	25	20	20	20	40	37	31
677.018	678.126	300	25	30	18	20	20	40	32	31
144	275	250	25	27	20	22	20	45	30	31
447	663	180	25	28	18	20	22	45	37	31
705	890	180	25	32	15	20	22	42	49	31
908	679.033	300	25	32	18	20	22	43	40	31
678.191	352	180	25	30	18	22	22	45	40	31
370	496	180	25	30	18	22	22	45	40	31
514	813	180	25	27	15	25	22	45	40	31
831	680.035	180	25	22	20	22	20	40	42	31
679.065	149	300	25	15	20	20	20	41	41	31
173	263	300	25	15	18	20	20	40	40	31
287	425	200	25	15	18	20	20	40	40	31
448	628	180	25	25	15	20	21	40	40	31
659	844	600	25	25	15	22	21	40	41	31

表4.2.3.3

(1979. 11)

位		置		曲線半径	各列車の通過速度 (km/h)						
B. C	km	E. C	km		643	602	643	636	7	8	38
680.898		681.032	180	25	26	15	22	21	45	41	31
681.152		350	180	25	25	15	20	21	50	40	31
368		529	200	20	27	17	25	22	40	40	31
682.904		683.028	450	10	20	15	30	30	20	10	30
683.035		145	300	10	15	10	20	30	20	20	20
215		303	300	20	20	15	30	30	20	30	30
309		423	300	20	25	17	30	40	35	35	40
532		699	180	20	35	15	32	52	30	37	45
795		897	800	20	40	15	35	50	36	36	40
907		684.126	200	20	40	15	35	35	36	35	40
684.210		443	180	18	38	17	35	37	36	33	42
479		785	500	22	38	20	37	40	35	32	41
803		685.075	180	20	37	15	35	50	35	34	40
685.081		377	200	18	37	15	35	45	32	34	38
379		746	180	18	35	17	32	47	30	35	42
902		686.057	180	22	32	10	32	37	30	37	40
686.089		283	180	22	32	20	32	45	30	37	41
360		625	180	22	30	22	32	55	30	35	40
668		918	180	22	28	20	32	55	30	35	42
975		687.058	180	22	25	20	32	52	30	35	45
687.089		331	180	10	25	22	32	52	30	35	42
500		589	180	20	25	25	32	55	30	34	42
614		984	180	22	25	30	32	47	30	31	41
997		688.177	180	20	27	32	32	50	30	30	45
688.236		405	180	22	30	33	32	55	30	31	45
355		630	300	22	30	35	32	55	30	32	42
912		689.037	250	25	38	40	32	50	30	33	45
689.049		167	250	27	42	42	32	55	30	32	45
195		399	180	27	45	43	32	57	32	33	45
417		723	180	26	40	43	35	52	35	35	45
883		690.273	200	42	37	46	35	50	45	42	45
690.413		614	200	35	38	50	45	40	50	49	45
691.221		691.462	300	35	40	48	45	50	51	53	50

表 4.2.3.4

位		置		曲線半径	カント (mm)	レール摩耗(mm ²)		各列車のカント不定量 (mm)						
B. C	E. C	km	km			内軌	外軌	643	602	643	636	7	8	38
660.038	660.299	400	35	1,857	1,660	9.1	111	171	-6.5	171	17.1	40.0	13.0	
925	661.051	400	35	1,772	1,840	-6.5	-6.5	7.2	11.0	-6.5	-1.0	-32.9	21.3	
661.172	369	200	70	1,852	1,842	-24.6	-12.9	7.1	22.0	-3.3	-3.3	34.2	34.2	
384	498	400	35	1,851	1,683	-12.3	-6.5	3.5	11.0	7.2	-6.5	28.1	13.0	
528	779	200	70	1,795	1,680	-24.6	-12.9	-3.3	22.0	18.2	-18.9	56.1	34.2	
779	923	250	55	1,824	1,760	-14.1	-9.3	-1.6	25.0	25.0	-34.2	38.6	28.4	
923	662.046	300	45	1,830	1,610	-10.9	-6.9	-0.5	24.5	24.5	-19.9	30.1	24.5	
662.046	177	250	55	1,855	1,755	-1.6	-9.3	3.8	28.4	28.4	28.4	35.1	28.4	
177	381	180	75	1,821	1,630	-0.9	-11.6	14.7	40.8	40.8	65.1	45.5	40.8	
439	848	180	75	1,811	1,624	10.6	-11.6	18.8	40.8	40.8	65.1	45.5	40.8	
860	663.006	200	70	1,812	1,611	7.1	-3.3	3.5	34.2	42.7	65.5	42.7	34.2	
663.139	282	300	45	1,845	1,652	11.3	-0.5	4.0	24.5	30.1	51.7	30.1	24.5	
306	725	200	70	1,855	1,905	14.4	3.5	3.5	42.7	34.2	75.1	42.7	34.2	
664.122	664.368	400	35	1,839	1,895	7.2	7.2	17.1	17.1	19.2	37.5	32.7	19.2	
854	665.035	400	35	1,865	1,647	-9.5	-1.6	1.8	17.1	28.1	17.1	17.1	35.1	
665.113	442	300	45	1,819	1,607	-6.9	-0.5	-0.5	11.3	39.0	24.5	4.0	48.5	
442	849	300	45	1,869	1,610	11.3	13.8	11.3	4.0	24.5	27.3	11.3	30.1	
666.007	666.545	200	70	1,877	1,741	7.1	26.0	34.2	42.7	14.4	-3.3	26.0	38.4	
617	889	300	45	1,843	1,663	11.3	-0.5	4.0	24.5	24.5	-10.9	-0.5	30.1	
889	667.105	400	35	1,842	1,827	17.1	13.0	17.1	7.2	7.2	37.5	17.1	13.0	
667.135	279	200	70	1,850	1,685	14.4	34.2	42.7	14.4	-3.3	75.1	51.6	22.0	
303	494	300	45	1,825	1,750	-0.5	11.3	24.5	16.4	-0.5	39.0	39.0	21.7	
530	722	400	35	1,834	1,852	-13.7	7.2	17.1	7.2	-1.6	28.1	17.1	17.1	
740	998	200	70	1,850	1,535	-27.3	-3.3	-3.3	14.4	3.5	14.4	-3.3	56.1	
998	668.144	250	55	1,815	1,653	-20.8	12.5	-20.8	1.7	28.4	12.5	-1.6	49.6	
668.288	515	180	75	1,815	1,732	-0.9	18.8	-18.3	27.3	40.8	-0.9	-11.6	50.3	
515	886	300	45	1,802	1,718	-10.9	4.0	-0.5	11.3	30.1	-10.9	-10.9	30.1	
976	669.158	300	45	1,831	1,669	24.5	4.0	19.0	11.3	24.5	-0.5	-10.9	24.5	
669.188	350	200	70	1,794	1,815	34.2	14.4	26.0	14.4	22.0	34.2	-15.9	30.1	
375	560	400	35	1,847	1,622	7.2	11.0	15.0	17.1	1.8	28.1	9.5	15.0	
590	775	400	35	1,837	1,788	-1.6	11.0	11.0	17.1	-1.6	28.1	-1.6	17.1	
998	670.250	300	45	1,842	1,938	-16.5	16.4	-0.5	24.5	-0.5	39.0	-10.9	27.3	
670.580	832	800	15	1,850	1,760	-0.7	10.0	-2.2	10.0	11.0	11.0	1.7	11.0	
868	671.037	200	70	1,847	1,736	-32.4	30.1	-6.6	3.5	18.2	22.0	-3.3	14.4	
671.561	753	180	75	1,787	1,870	-56.5	-0.9	-8.1	31.7	18.8	27.3	-18.3	65.1	
777	672.077	180	75	1,814	1,827	-46.0	-18.3	-0.9	-0.9	40.8	-18.3	6.7	40.8	

表 4.2.3.5

位		置		曲線半径	カント (mm)	レール摩耗 (mm ²)		各列車のカント不足量							(mm)		
B. C	km	E. C	km			内軌	外軌	643	602	643	7	8	38	37			
672.210	180	672.417	180	75	1,786	1,530	-183	6.7	18.8	40.8	-18.3	18.8	36.2				
440	180	662	180	75	1,785	1,657	-11.6	14.7	18.8	40.8	-11.6	18.8	31.7				
679	200	848	200	70	1,827	1,622	0.1	14.4	-3.3	18.2	-3.3	2.0	22.0				
673.069	200	673.219	200	70	1,770	1,512	1.44	-3.3	1.44	18.2	1.46	4.27	34.0				
219	800	547	800	15	1,857	1,792	34	1.7	6.1	11.0	3.4	13.1	11.0				
577	300	912	300	45	1,816	1,680	4.0	1.7	11.3	24.5	4.0	27.3	24.5				
674.154	180	674.346	180	75	1,767	1,725	-0.9	6.7	18.8	18.8	27.3	31.7	36.2				
370	180	525	180	75	1,805	1,680	-11.6	18.8	18.8	-0.9	27.3	18.8	18.8				
657	600	867	600	25	1,848	1,782	-2.8	5.7	3.1	-2.8	28.4	-0.5	-2.8				
891	180	675.178	180	75	1,800	1,610	-8.1	6.7	-11.6	-41.2	18.8	2.9	-18.3				
675.208	180	459	180	75	1,785	1,602	-8.1	-0.9	-11.6	-41.2	18.8	6.7	-18.3				
477	180	722	180	75	1,762	1,810	-8.1	-1.83	-1.83	-46.0	18.8	-0.9	-24.6				
746	180	676.004	180	75	1,811	1,550	-8.1	-4.60	-1.83	-56.5	27.3	2.9	-30.5				
676.022	180	207	180	75	1,767	1,810	-8.1	-5.65	-1.83	-46.0	23.0	2.9	-30.5				
261	300	321	300	45	1,820	1,643	-4.9	-3.39	-1.99	-37.0	16.4	1.7	-18.3				
351	300	483	300	45	1,841	1,690	-4.9	-2.76	-1.99	-38.7	16.4	1.7	-18.3				
525	300	681	300	45	1,862	1,650	-10.9	-2.76	-1.99	-28.7	24.5	-0.5	-18.3				
891	400	677.096	400	35	1,800	1,660	-16.2	-2.49	-1.98	-38.9	-1.6	-1.6	-14.9				
677.108	300	223	300	45	1,844	1,715	-3.39	-3.39	-2.76	-37.0	-0.5	-0.5	-18.3				
292	400	400	300	45	1,827	1,684	-3.39	-3.27	-3.39	-3.39	-0.5	-6.9	-18.3				
448	300	544	300	45	1,836	1,677	-3.87	-3.15	-3.39	-3.39	-6.9	-0.5	-18.3				
580	300	688	300	45	1,825	1,651	-2.76	-3.39	-3.39	-3.39	-0.5	6.4	-18.3				
678.018	300	678.126	300	45	1,810	1,691	-19.9	-3.60	-3.39	-3.39	-0.5	-6.5	-18.3				
144	250	275	250	55	1,788	1,520	-39.6	-5.33	-4.98	-53.3	12.5	-4.9	-22.9				
447	180	663	180	75	1,747	1,590	-38.6	-6.00	-5.65	-52.6	18.8	-1.6	-30.5				
705	180	890	180	75	1,720	1,861	-27.6	-6.45	-5.65	-52.6	6.7	-4.5	-30.5				
908	300	679.033	300	45	1,805	1,706	-16.5	-3.60	-3.39	-31.5	6.4	-0.5	-18.3				
679.191	180	352	180	75	1,781	1,821	-3.34	-5.00	-5.26	-52.6	18.8	-0.9	-30.5				
370	180	496	180	75	1,736	1,833	-3.34	-5.00	-5.26	-52.6	18.8	-0.9	-30.5				
514	180	813	180	75	1,755	1,844	-4.12	-5.46	-4.60	-52.6	18.8	-0.9	-30.5				
831	180	680.035	180	75	1,748	1,601	-5.26	-5.65	-5.26	-5.65	-0.9	6.7	-30.5				
680.065	300	149	300	45	1,793	1,684	-38.7	-3.39	-3.39	-33.9	1.7	1.7	-18.3				
173	300	263	300	45	1,842	1,669	-38.7	-3.60	-3.39	-33.9	-0.5	-0.5	-18.3				
287	200	425	200	70	1,766	1,632	-60.6	-5.65	-5.33	-53.3	-3.3	-3.3	-29.9				
448	180	628	180	75	1,785	1,962	-46.0	-6.46	-5.65	-54.6	-0.9	-0.9	-30.5				
659	600	844	600	25	1,852	1,770	-16.3	-2.19	-1.82	-18.9	-2.8	-1.6	-11.6				

表4 2.3.6

位		置		曲線半径 m	カント (m)	レール摩耗(mm)		各列車のカント不足量 (mm)							
B. C	km	E. C	km			内軌	外軌	643	602	643	636	7	8	38	37
680.898		681.032		180	75	1,800	1,650	-46.0	-43.7	-64.6	-52.6	-54.6	188	2.9	-30.5
681.152		350		180	75	1,800	1,640	-46.0	-46.0	-64.6	-56.5	-54.6	40.8	0.9	-30.5
368		529		200	70	1,815	1,659	-53.3	-39.6	-57.9	-43.9	-49.8	-3.3	-3.3	-29.9
682.904		683.028		450	30	1,790	1,742	-28.1	-22.5	-25.8	-13.3	-13.3	-22.5	-28.1	-13.3
683.035		148		300	45	1,782	1,735	-42.2	-38.7	-42.2	-33.9	-19.9	-33.9	-33.9	-33.9
6	215	303		300	45	1,857	1,785	-33.9	-33.9	-38.7	-19.9	-19.9	-33.9	-19.9	-19.9
309		423		300	45	1,807	1,727	-33.9	-27.6	-37.0	-19.9	-0.5	-10.9	-10.9	-0.5
532		699		180	75	1,793	1,655	-56.5	-18.3	-64.6	-27.6	50.3	-33.4	-11.6	188
795		897		800	15	1,841	1,828	-10.8	1.7	-12.7	-2.2	11.0	-1.5	-1.5	1.7
907		684.126		200	70	1,827	1,633	-53.3	-3.3	-60.6	-18.9	-18.9	-16.0	-18.9	-3.3
684.210		443		180	75	1,756	1,635	-60.0	-8.1	-61.6	-18.3	-11.6	-15.0	-24.6	67
479		785		500	30	1,822	1,780	-21.9	-5.9	-23.3	-7.2	-3.3	-9.5	-12.9	-20
803		685.070		180	75	1,810	1,633	-56.5	-11.6	-64.6	-18.3	40.8	-18.3	-21.5	-0.9
685.081		377		200	70	1,820	1,660	-56.5	-12.9	-60.6	-18.9	14.4	-27.3	-21.8	-9.8
379		746		180	75	1,808	1,846	-60.0	-18.3	-61.6	-27.6	27.3	-33.4	-18.3	67
902		686.057		180	75	1,740	1,867	-52.6	-27.6	-70.4	-27.6	-11.6	-33.4	-11.6	-0.9
686.089		283		180	75	1,768	1,660	-52.6	-27.6	-56.5	-27.6	18.8	-33.4	-11.6	29
360		625		180	75	1,715	1,693	-52.6	-33.4	-52.6	-27.6	65.1	-33.4	-18.3	-0.9
668		918		180	75	1,770	1,852	-52.6	-38.6	-56.5	-27.6	65.1	-33.4	-18.3	6.7
975		687.058		180	75	1,822	1,830	-52.6	-46.0	-56.5	-27.6	50.3	-33.4	-18.3	18.8
687.089		331		180	75	1,773	1,857	-70.4	-46.0	-52.6	-27.6	50.3	-33.4	-18.3	6.7
500		589		180	75	1,772	1,845	-56.5	-46.0	-46.0	-27.6	65.1	-33.4	-21.5	6.7
614		984		180	75	1,800	1,856	-54.6	-46.0	-33.4	-27.6	27.3	-33.4	-30.5	2.9
997		688.177		180	75	1,775	1,650	-56.5	-41.2	-27.6	-27.6	40.8	-33.4	-33.4	18.8
688.236		405		180	75	1,744	1,857	-52.6	-33.4	-24.6	-27.6	65.1	-33.4	-30.5	18.8
355		630		300	45	1,850	1,735	-31.5	-19.9	-10.9	-16.5	39.0	-19.9	-16.5	4.0
912		689.037		250	55	1,837	1,718	-34.2	-6.8	-1.6	-20.8	28.4	-24.9	-18.6	12.5
689.049		167		250	55	1,827	1,865	-30.7	3.8	3.8	-20.8	45.9	-24.9	-20.8	12.5
195		399		180	75	1,877	1,627	-41.2	18.8	10.6	-27.6	75.5	-27.6	-24.6	18.8
417		723		180	75	1,835	1,890	-43.7	-0.9	10.6	-18.3	50.3	-18.3	-18.3	18.8
883		690.273		200	70	1,789	1,655	-3.5	-12.9	18.2	-18.9	34.2	14.4	3.5	14.4
690.413		614		200	70	1,765	1,642	-18.9	-9.8	34.2	14.4	-3.3	34.2	30.1	14.4
691.221		691.462		300	45	1,866	1,755	-10.9	-0.5	19.0	11.3	24.5	27.3	33.0	24.5

4.3 最大カント

前節で述べたようにタイ国鉄の最大カントは90mmとなっており、これは軌間が1,000mmであることを考慮しても、日本国鉄の場合よりも幾分少な目である。

最大カントが小さいことは、急曲線におけるカント不足量が大きくなる場合があるので、最大カントを増加させる事について考察する。

カントの最大値は、列車が停止または、極めて低速度で走行した場合に、曲線内方への転倒に対する安全によって定められる。

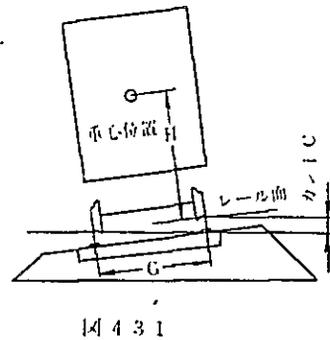
簡単に曲線内方に対する転倒安全率を図4.3.1により計算すると、

$$\frac{C}{G} H \leq \frac{1}{S} \cdot \frac{G}{2}$$

$$S = \frac{G}{C} \cdot \frac{G}{2H}$$

$$= \frac{G^2}{2 \cdot HC}$$

この式で C：カント
G：軌間
H：車両重心高
S：安全率



である。

この計算式で、日本国鉄の例とタイ国鉄の比較は次の通りとなる。

日本国鉄 G = 1,067mm
H = 1,700mm
C = 105mm

$$S = \frac{1,067^2}{2 \times 1,700 \times 105} = 3.19$$

タイ国鉄 G = 1,000mm
H = 1,700mm (日本国鉄と同じと仮定)
C = 90mm

$$S = \frac{1,000^2}{2 \times 1,700 \times 90} = 3.26$$

日本国鉄と同様の安全率を取った場合の G = 1,000mm に対する最大カントを計算すると、

$$C = 90 \times \frac{3.26}{3.19}$$

$$= 92 \text{ mm}$$

でほとんど差がないことが分る。

この安全率は、風が吹いていない場合の値であって、カントのある曲線中で車両が停止している場合に、風圧により車両の外軌側の車輪が浮き上がる時の限界風圧は、次の式で与えられる。

$$U_c = U_{co} \sqrt{1 - \frac{C}{G} - \frac{2h_G}{G}}$$

この式で、 U_{co} はカントが 0 mm の転覆限界風圧で、

$$U_{co} = \sqrt{\frac{WG}{C_y \cdot \rho \cdot S \cdot h_{BC}}} \quad \text{ただし、} h_{BC} = h_{BC} + (C_y + C_y \rho \cdot e) W_B$$

で与えられる。

これらの式中の

- W : 車両重量の 1/2 (kg)
- G : 軌間 (m)
- C : カント (m)
- h_G : 有効重心高さ (m)
- C_y : 台車バネの横力による変位係数 (m / kg)
- ρ : 空気密度 (kg · sec² / m⁴)
- S : 車体の横投影面積の 1/2 (m²)
- h_{BC} : レール面から車体風圧中心高さ (m)
- e : 車体重心から横風に対する風圧中心の距離 (m)
- $C_y \rho$: モーメントに対する台車バネ装置の角変位の係数 (1 / kg)
- W_B : 車体重量の 1/2 (kg)

である。

日本国鉄の車両について、 U_{co} を計算すると、表 4.3.2.1 の通りとなる。

表 4.3.2.1

m/s

車両形式	ナハ10	スハ43	キハ17
U_{co}	37.0	42.6	50.1

この値を基準として、軌間が1,000 mmとなった場合の転覆限界風速U_cをカント毎に計算すると、表4.3.2.4となり、これを図示すると図4.3.2となる。

この車両が曲線中を走行する場合の転覆限界風速Uは、

$$U = U_{c0} \sqrt{1 - \frac{2h_{GT}}{G} \left\{ \left(1 - \frac{\mu}{1+\mu} \cdot \frac{h_{GT}}{h_{GT}}\right) \alpha_H \cdot \pm \left(\frac{v^2}{Rg} - \frac{C}{G}\right) \right\}}$$

で与えられ、この式中で、

h_{GT} : レール面から台車重心までの高さ (m)

v : 走行速度 (m/sec)

g : 重力加速度 (9.8 m/sec²)

W_T : 台車重量

μ : W/W_B

α_H : $\alpha_H = 0.00125V$ ($V \leq 80 \text{ km/h}$)

$\alpha_H = 0.1V$ ($V \geq 80 \text{ km/h}$)

この式により、カント不足量60 mmで曲線を走行する車輛の風圧による転覆限界速度U_cは、表4.3.2.2となる。

表4.3.2.2

m/s (カント不足60mm)

車輛形式	ナハ10	スハ43	キハ17
U _c	28.4	35.6	37.9

これに対して、タイ国内で観測された最大風速は、タイ国気象庁の調査によると表4.3.3となっている。

表4.3.3

地域	観測地	風速	
		km/h	m/s
北部	Lampang	129.50	35.9
北東部	Ubon Rachathani	125.80	34.9
中央部	Don Muang	157.50	43.7
東部	Sattahip	135.05	37.5
南部	Songkhla	140.60	39.1

日本国鉄では、運転取扱基準規程 491 条に風速 30 m をこえる場合には列車運転を停止させることとなっているが、タイ国鉄においてこのような運転規則は行なわれていない。

日本国鉄においては、風速が 30 m を超えるか否かについては、橋梁に風速計を取りつけて、駅および保線区でこれを観測している。

従って、現行の最大カント 90 mm を更に増加させるためには、最大風速が転覆限界速度をこえないように、強風時に列車運転を停止する措置を講ずることが推奨される。

しかし、

- (1) タイでは強風の出現回数は日本と比較して非常に少ない。
- (2) 強風時に急曲線で列車が停止する場合は稀である。
- (3) 強風が停止した列車に曲線外軌より直角に吹くことは少ない。

以上の可能性は極めて稀であることから、その分の安全性を無視すれば、現行 90 mm の最大カントを、95 mm まで、増加することは、実用上差支えないものと思われる。

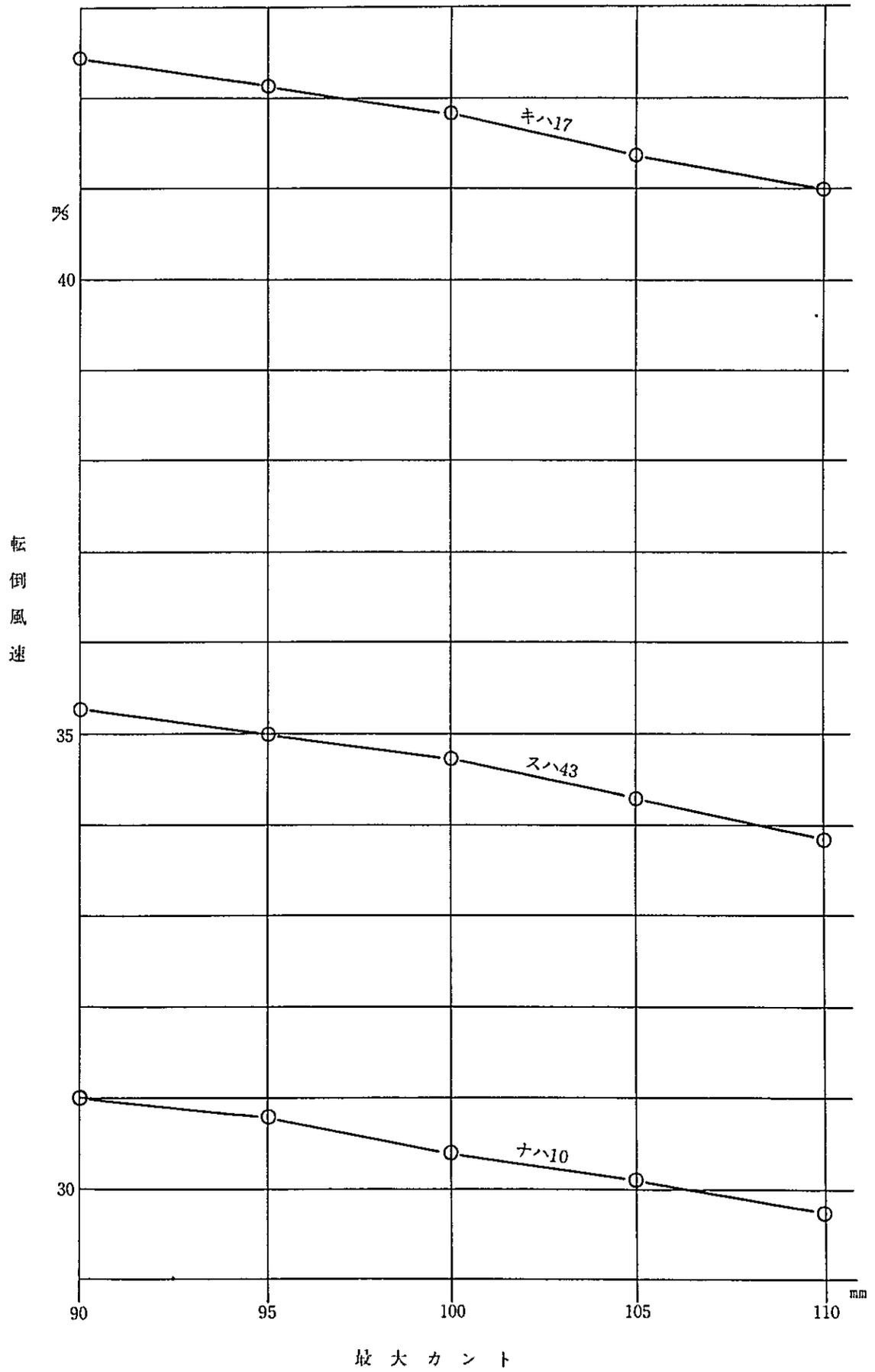
表 4.3.2.3 G = 1,000 mm の場合の U_{co} m/s

車輛形式	ナハ10	スハ43	キハ17
U_{co}	36.0	41.4	48.7

表 4.3.2.4 最大カント時の曲線内方転倒限界風速 m/s

車輛形式 最大カント	ナハ10	スハ43	キハ17
90 mm	31.0	35.3	42.5
95 mm	30.7	35.0	42.1
100 mm	30.4	34.6	41.8
105 mm	30.1	34.2	41.4
110 mm	29.1	33.8	41.0

図 4.3.2



4.4 線路のスラック

日本国鉄では、車輛が線路を通過するために十分なスラックの値は、次の理論に基づいて計算している。

すなわち、図 4.4.1 において、車輛が曲線を通過する時には、過去の経験によると台車はその固定軸距の前軸からおよそ $\frac{3}{4}$ の点で、車軸に平行な直線が曲線中心に向う位置を取るとされている。

従って、この位置において後軸がなんら抵抗をうけることなく曲線内を通過するためには、

$$S_1 = \frac{L^2}{8R} = \frac{(1.5B)^2}{8R}$$

この式に固定軸距の最大値 4.6 m を代入すると、

$$S_1 \doteq \frac{6}{R} \text{ (m)}$$

となる。これを mm 単位に直し、さらに日本国鉄の車輛では、最大のフランジ外面間距離が 1,054 mm で、最小の軌間との差が 9 mm、また所定の軌間との差が 13 mm であることから可動余裕を 10 mm として、その半分を前記の値から差引いた値、すなわち、

$$S_1 = \frac{6,000}{R} - 5 \text{ (mm)}$$

を十分なスラックの値と考えた。

また次に、車輛が線路を通るために必要な線路のスラックは、次の理論に基づいて計算している。

すなわち、図 4.4.2 において、後輪の内軌側のフランジが内軌レールに接触して通る条件は、

$$S_1 = \frac{(3/4 \cdot B)^2}{2R} \qquad S_2 = \frac{(1/4 \cdot B)^2}{2R}$$

から、

$$\begin{aligned} S &= S_1 - S_2 \\ &= \frac{B^2}{4R} \end{aligned}$$

であると考え、これに固定軸距の最大値 4.6 m を代入して mm 単位に直すと、

$$\begin{aligned} S &= \frac{(4.6)^2}{4R} = \frac{5.3}{R} \text{ (m)} \\ &= \frac{5,300}{R} \text{ (mm)} \end{aligned}$$

を得る。

そして、この値から前記の可動余裕 10 mm を差引いた値、すなわち、

$$\frac{5,300}{R} - 10 \text{ mm}$$

を車輛が曲線を通るために必要なスラックと考えた。

この2つのスラックの値を図示すると図 4.4.3.になるが、日本国鉄では所定のスラックは、以前はこの中間にあると考えて表 4.4.1 の如く決めていたが、最近では2軸貨車を連結した貨物列車のスピードアップに際して、蛇行動による貨車の脱線を防ぐために、最大カントを25 mmとして表 4.4.2 に示すスラックとした。

この日本国鉄のスラックと、タイ国鉄のスラックを比較するために図示すると図 4.4.4 となる。

しかし、これらの考え方によるスラックの値は必ずしも機関車の横圧を最少とするスラックの値とは限らない。

曲線を走行する機関車に生ずる横圧に対するスラックの影響を Porter の方法を用いて計算する方法を紹介する。

すなわち、ALSTHOM 型の機関車を例にとって計算を進めるためには、計算の前提は次の通りとなる。

- (1) 機関車は 500 トン牽引を実施している。
- (2) 曲線半径は 180 m。
- (3) 曲線の通過速度は 48 km/h。
- (4) 曲線のカントは 75 mm。
- (5) 勾配は 20/1,000 の上り勾配とする。

この条件で、スラックを変更して、Porter の方法により外軌横圧を計算することが可能であり、これにより適当なスラックを計算することが可能となる。

Porter の方法により横圧を計算するために、機関車に働く既知あるいは、半既知の外力の計算を行なった。

(1) 既知の外力

① 貨物列車の走行抵抗

貨車の走行抵抗は多くの方程式があるが、日本国鉄で求められた公式を用いると、

$$R_w = r_w \cdot W_w$$
$$r_w = 2.07 + 0.000653 V^2$$

この式で

R_w : 貨車の列車抵抗 (kg)

r_w : 貨車の走行抵抗 (kg/t)

W_w : 貨車の重量 (t) = 500 ton

V : 走行速度 (km/h) = 45 km/h

よって、 R

$$\begin{aligned} R_w &= (2.07 + 0.000653 \times 48^2) \times 500 \text{ (kg)} \\ &= 1,787 \end{aligned}$$

機関車の走行抵抗は、

$$R_e = r_e \cdot W_e$$

$$r_e = 2.2 + 0.015V$$

この式で、

R_e : 機関車の走行抵抗

W_e : 機関車の重量 (t) = 82.5 ton

よって、

$$\begin{aligned} R_e &= (2.2 + 0.015 \times 48) \times 82.5 \\ &= 241 \text{ kg} \end{aligned}$$

また、列車の空気抵抗は、

$$R_a = 0.6f \left(\frac{V}{10} \right)^2$$

この式で

R_a : 空気抵抗

f : 前頭部投影面積 (m^2) = 9 m^2

よって、

$$\begin{aligned} R_a &= 0.6 \times 9 \times \left(\frac{48}{10} \right)^2 \\ &= 124 \text{ kg} \end{aligned}$$

以上より貨物列車の走行抵抗 R_f は、

$$\begin{aligned} R_f &= R_w + R_e + R_a \\ &= 1,787 + 241 + 124 \\ &= 2,152 \text{ kg} \end{aligned}$$

となる。

② 曲線抵抗

日本国鉄では曲線抵抗 r_r を、

$$r_r = \frac{600}{R} \text{ (kg/t)} \quad R : \text{曲線半径} = 180 \text{ m}$$

と計算しているから、貨車の曲線抵抗は、

$$R_{rw} = \frac{600}{180} \times 500 \text{ kg}$$

$$= 1,667 \text{ kg}$$

であり、機関車の曲線抵抗は

$$R_{re} = \frac{600}{180} \times 82.5$$

$$= 275 \text{ kg}$$

である。

③ こう配抵抗

こう配抵抗 R_G は、

$$R_G = W \cdot G_d \text{ kg} \quad G_d : \text{こう配 (0/00)}$$

であるから、貨車のこう配抵抗 R_{Gw} は、

$$R_{Gw} = 500 \times 20$$

$$= 10,000 \text{ kg}$$

また機関車のこう配抵抗は

$$R_{Ge} = 82.5 \times 20$$

$$= 1,650 \text{ kg}$$

である。

④ 遠心力

機関車の重心に作用する遠心力 P は、

$$P = \left(\frac{v^2}{gR} - \frac{C}{G} \right) \cdot W$$

であり、式中で、

$$v : \text{速度 } m/s = 48 / 3.6 = 13.33 \text{ m/s}$$

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$C : \text{カント} = 75 \text{ mm}$$

$$G : \text{軌間} = 1,060 \text{ mm (カント計算用)}$$

であるから、

$$P = \left(\frac{13.33^2}{9.8 \times 180} - \frac{75}{1,000} \right) \times 82,500 \text{ kg}$$

$$= 2127 \text{ kg}$$

以上から ALSTHOM型の機関車に働く外力は表 4.4.3 の通りにまとめられる。

表 4.4.1 日本国鉄の旧規定によるスラック

曲線半径	スラック
170 ^m 未満	30
170 ^m ～200 ^m 未満	25
200 ^m ～240 ^m "	20
240 ^m ～320 ^m "	15
320 ^m ～440 ^m "	10
440 ^m ～600 ^m まで	5

表 4.4.2 日本国鉄の新規定によるスラック

曲線半径	スラック
200 ^m 未満	25mm
200 ^m ～240 ^m	20mm
240 ^m ～320 ^m	15mm
320 ^m ～440 ^m	10mm
440 ^m ～600 ^m	5mm

図 4.4.1

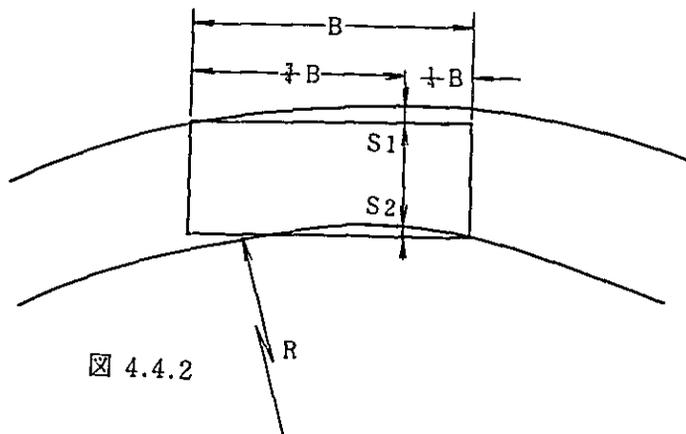
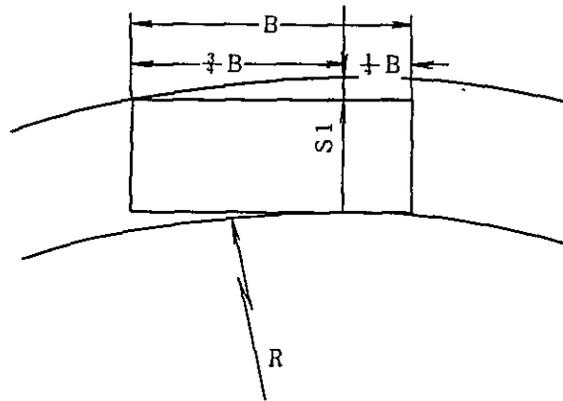


図 4.4.2

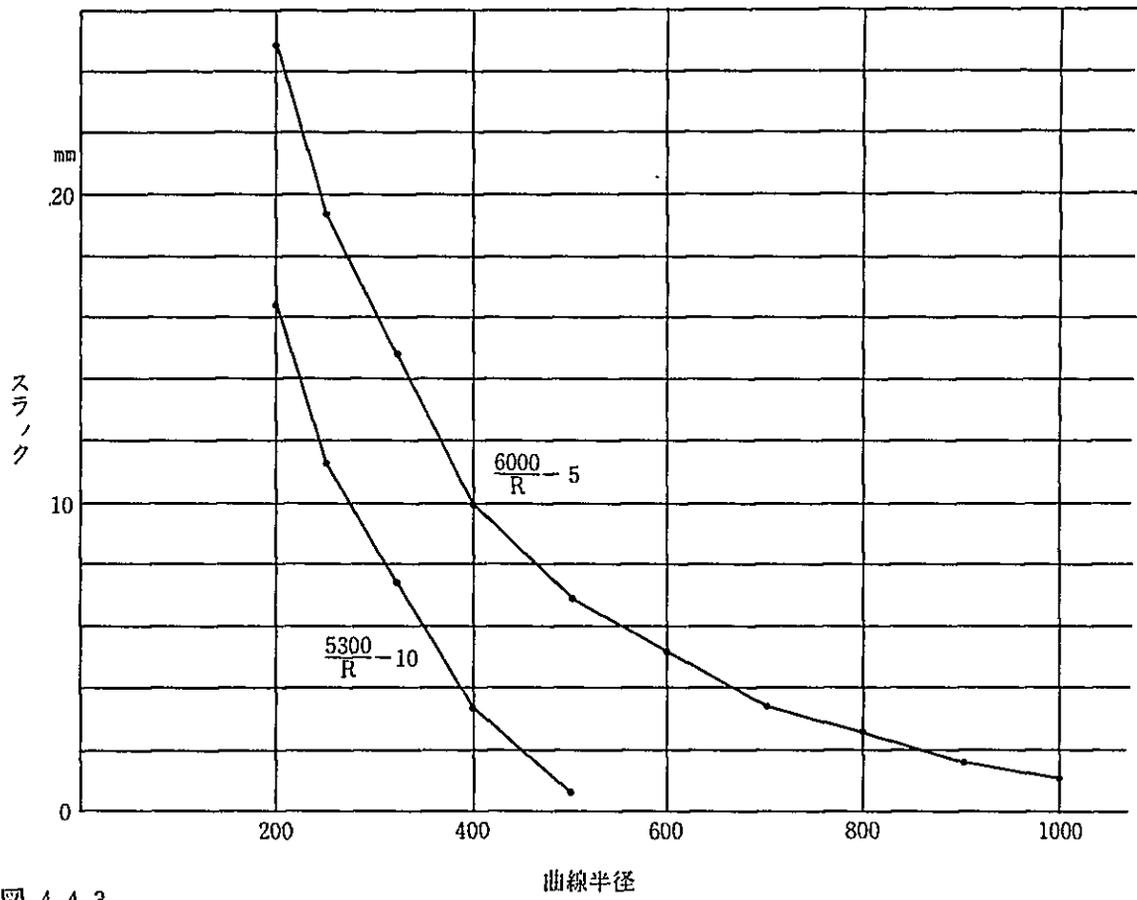


図 4.4.3

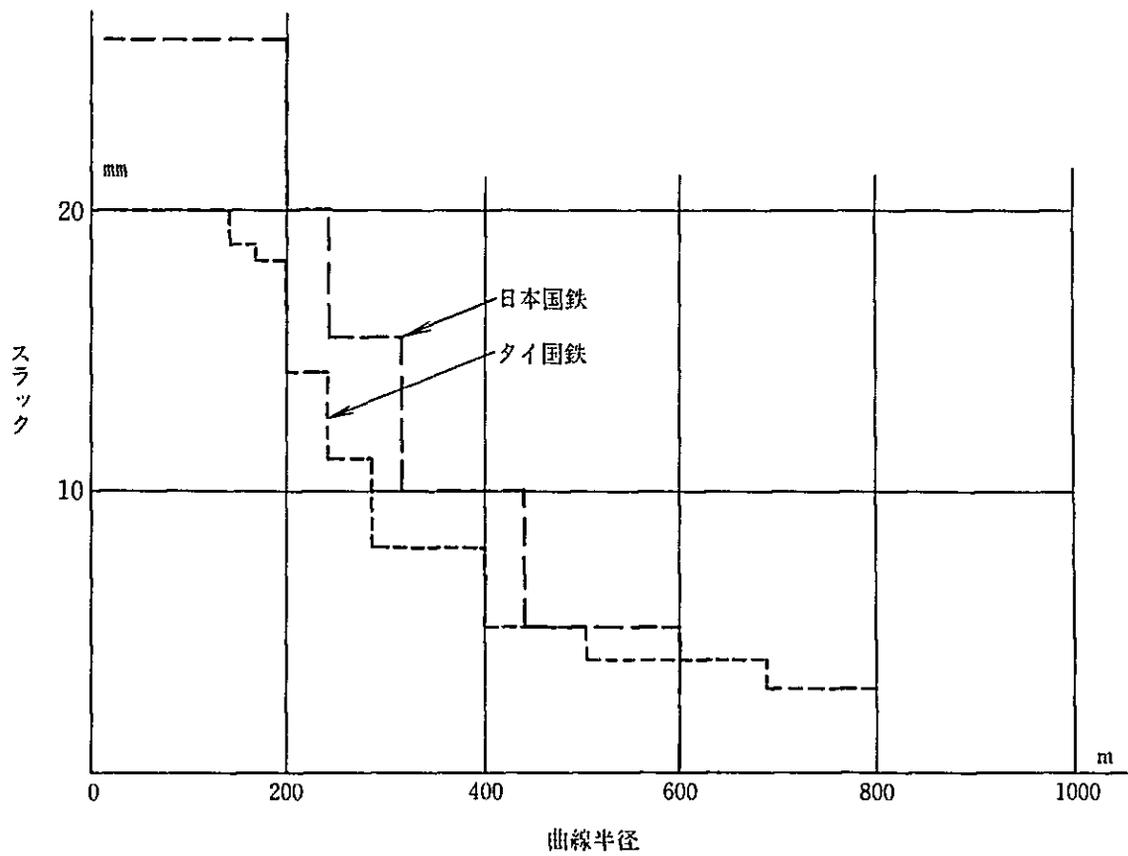


図 4.4.4

(2) 外力による輪重の変動

ALSTHOM型機関車の重心の位置は、明確ではないが、日本国鉄の機関車より推定して $HG = 1.675m$ として、計算を進めると次の通りである。

表 4.4.3

外力	機関車	貨車
走行抵抗	241	1,787
空気抵抗	124	-
曲線抵抗	275	1,667
勾配抵抗	1,650	10,000
遠心力	2,127	-

すなわち、遠心力による左右輪重の変動は、

$$\delta W = W_e \cdot \frac{HG}{G} \left(\frac{v^2}{Rg} - \frac{C}{G} \right)$$

HG : 機関車の重心高さ $\approx 1.675m$

から

$$\delta W = 82,500 \times \frac{1.675}{1.06} \left(\frac{13.33}{180 \times 9.8} - \frac{75}{1,000} \right)$$

$$= 3,360kg$$

よって、内外軌の輪重は、

$$\text{外軌は } 82,500 \div 12 + 3,360 \div 6 = 7,435$$

$$\text{内軌は } 82,500 \div 12 - 3,360 \div 6 = 6,315$$

(3) 半既知の外力

ALSTHOM型式の機関車はゴム製の側受けを有しており、曲線中で台車が回転すると、回転角に応じた復元力が台車に加わる構造を持っている。

この復元力と台車の回転角の関係は明確ではないが、台車の側受の位置と回転角の関係およびタイ国鉄の実験より得られた側受けの変形と力との関係より、これを推定すると次の通りである。

すなわち、台車の回転中心と側受けの位置の関係は、図 4.4.4 の通りであり、これより台車の回転角と各側受けの変形量との関係は表 4.4.4 の通りである。

表 4.4.4

番号	l	回転角に対する変位置 (mm)					
		0.5°	1.0°	1.5°	2.0°	2.5°	3.0°
①	1,569	13.69	27.39	41.09	54.79	68.50	82.23
②	952	8.31	16.62	24.93	33.25	41.57	49.89
③	952	8.31	16.62	24.93	33.25	41.57	49.89
④	1,569	13.69	27.39	41.09	54.79	68.50	82.23

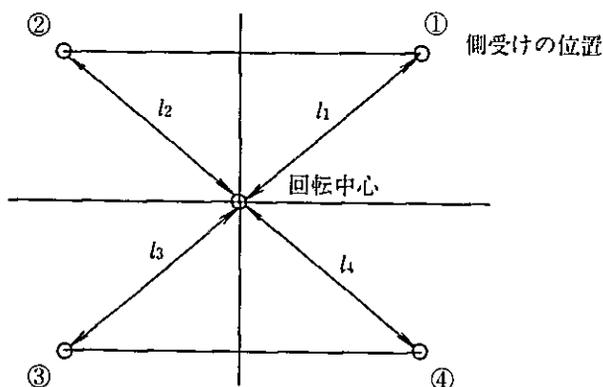


図 4.4.4

また、ALSTHOM 機関車に使用されている側受けの回転に対する復元モーメントは、側受けの横方向の弾性定数を与えることにより得られるが、タイ国鉄の実験では、実験に用いたすべり板の摩擦抵抗が予想以上に大きかったために、横方向の弾性定数は直接的には求められなかった。

従って、この報告書においては、現在タイ国鉄でメーカーに問合せしている側受けの性能が明らかになった場合に、計算を実施する時の参考となるように、計算方法を記述することとした。

すなわち、側受けによる復元モーメントは、台車の車体に対する回転角に依存するのであって、これは台車の摩擦中心点の位置が求まらないと、正確な値は得られないが、Porter が彼の論文で取り扱っているように、Roy の図などからおよその値を推定して計算を進めることが可能であり、この推定値の正確さについては、摩擦中心点の位置が得られてから検算することができる。

以上の条件から Porter の方法により機関車の横圧を求めるための外力をまとめると図 4.4.5 となる。

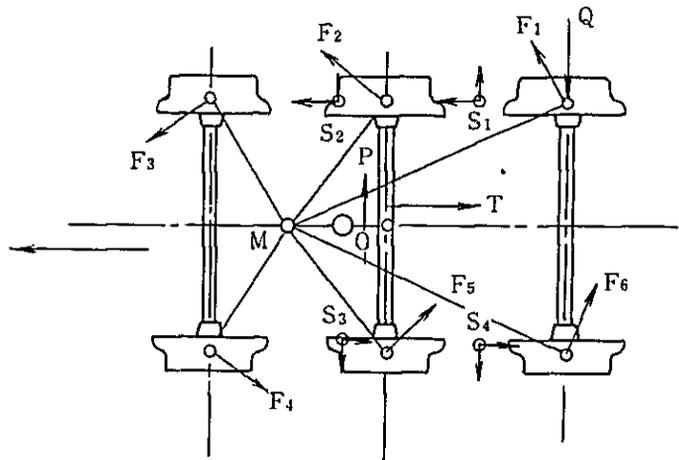


図 4.4.5

T : (走行抵抗
 曲線抵抗
 空気抵抗
 こう配抵抗)

P : (遠心力)

これらの条件によって、M点を計算し、横圧Qとスラックの関係を求めることが可能となる。

これらの計算は、タイ国鉄でメーカーに問合せている側受けの性能が明らかになれば、実行可能であり、それによって、横圧Qを少なくするようなスラックの値のおよその関係を求めることができる。

しかし、これらの計算結果は、静力学的な検討値であるから、実際の適用にあたっては、試験区間を設定して実験を積み重ねてから全線に適用することが望ましい。

なお、調査にあたって、ウタラディットの構内でスラックを変化させた側線があったので、ここで測定を行なったが、前記のように、理論計算のための定数が充分得られないので、この解析については、その方法を検討中であり、この報告書とは別に報告することにする。

スラックの値は、横圧の発生以外の条件によっても考慮が払われる。そのひとつは、曲線用コンクリートまくらぎの締結装置の軌間調節の問題である。

曲線用のコンクリートまくらぎの締結装置は、スラックの変化に対して調節する必要があるが、安価で良い機能を持った締結装置の製作は困難な問題である。従ってコンクリートまくらぎを曲線用として用いるためには、スラックの値を可能なだけ小さくすることが有利である。

また、大きなスラックは固定軸距の短い二軸貨車の蛇行動の原因となり、脱線を誘発することになるので、好ましいことではない。

4.5 車輪とレールの摩耗形状

レールの摩耗は、車輪形状により影響をうけるが、その度合は明らかでない部分が多い。日本国鉄では、車輛およびレールの摩耗形状を調査した結果、摩耗形状に近い形状のレール

ルを設計することによりレール摩耗を少なくしようと考えた。

今回の調査にあたって、車輪およびレールの摩耗形状について測定を実施した。その結果は次の通りである。

(1) 車輪の摩耗形状

車輪の摩耗は、機関車、客車、貨車について合計225個について測定した。これを図4.5.1の位置について摩耗量を求め、整理した結果は表4.5.1の通りである。

この表より平均的な車輪の摩耗形状を求めると図4.5.2の通りである。

測定された車輪の中には図4.5.3に示すように、極端に摩耗した車輪があった。このように著しく摩耗した車輪は、摩耗したレールと図4.5.4の状態で接触する。図で分る通り、レール踏点(A)とフランジ接点(B)のところがり速度が直径の差によって異なるために、フランジ接点では滑りを生じてレール摩耗を促進させる傾向がある。(図4.5.5は平均的な摩耗の場合)

また測定された車輪の中には図4.5.6に示す通り、同じ車軸にはめ込まれた2個の車輪の摩耗形状が著しく異なるものがあった。これは車輪の転走の際、車軸がねじれてレールに対して角度をもっているものと推定できる。

このような偏よった走行特性を持った台車の車輪がレールに強く接すると、レール摩耗を促進させると考えられる。

また、このように著しく偏よった走行特性を持った台車を持つ車輛は、走行が不安定となって車輛の寿命を縮める結果となることも考えられる。

(2) レールの摩耗形状

調査が実施された北線の曲線のレールの摩耗形状第3章の通りであるが、曲線のレールは、特に著しい偏摩耗は生じていなかった。

しかし、北東線の一部の半径400mの曲線では、波状の偏摩耗がみられた。

これは、曲線内の通り狂いが著しく円度が良くない区間に発生している。

この通り狂いの様子は、たとえば北線の671km18において測定されたものを例にとれば、その正矢のグラフは図4.5.7に示す通りであって、この図のⒶ点の正矢は83mmでⒷ点の正矢は57mmである。

従って、この2点の曲線半径を概算すると、

$$R = \frac{l^2}{8C}$$

R : 曲線半径

l : 弦の長さ = 10m

C : 正矢

より、

Ⓐ点では

$$R = \frac{10 \times 10}{8 \times 0.083}$$

$$= 151 \text{ m}$$

Ⓑ点では

$$R = \frac{10 \times 10}{8 \times 0.057}$$

$$= 219 \text{ m}$$

となり、68 mの差があるが、このように曲線半径が極端に差のある部分が連続すると、半径の小さな部分のレール摩耗が進行して偏摩耗となると考えられる。

従って、このためには糸張り法による曲線整正を実施する必要があり、そのためには曲線整正用の計算器を用意しておかなければならない。最近この計算を容易に行なうためにマイクロコンピュータを内蔵した機械が比較的安価で求められるようになり、便利である。

如れの方法によってもよいが、曲線内の通り狂いは直線と比較して検査が難かしい上に、補修しにくいものであるが、レールの寿命延伸ならびに脱線事故防止のために計画的に実施する必要がある。

表 4.5.1

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.6	1.5	2.5	1.2	1.6	1.2	1.1	0.9	0.3	0
2	0.4	1.9	3.0	1.4	1.8	2.0	2.1	2.1	2.0	1.2
3	1.0	2.0	4.4	2.0	2.0	1.9	1.2	1.0	0.4	0
4	0.5	1.0	2.0	1.2	2.0	2.0	1.7	1.2	1.0	0
5	1.5	1.5	4.0	10.0	11.0	0.0	10.0	8.5	7.0	4.0
6	1.5	1.1	1.5	5.0	7.5	7.5	8.0	7.0	7.0	2.5
7	1.1	0.5	1.0	5.5	8.5	8.5	6.5	7.0	4.5	3.0
8	1.0	1.5	4.0	9.5	9.5	9.0	8.0	6.5	4.5	2.0
9	1.2	1.0	2.0	2.0	3.0	3.8	3.5	3.0	2.2	0
10	0.5	0.8	2.5	5.0	5.0	5.0	4.5	3.5	2.0	0.5
11	0.5	1.0	3.0	8.0	8.0	8.5	7.5	6.7	4.0	2.0
12	0.8	0.5	0.5	2.9	5.2	5.9	5.2	4.8	3.5	1.0
13	0	0	0	4.0	7.0	7.0	6.5	6.1	5.0	2.5
14	0	0	1.0	7.0	7.1	6.2	5.5	4.5	3.0	0.5
15	0.5	0.0	2.0	1.0	0.7	1.0	1.0	0.5	0	0
16	2.0	2.8	2.8	2.0	1.5	1.0	1.1	1.1	0.5	0

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
17	0.5	2.0	4.5	2.5	2.0	1.5	1.0	1.0	0.5	0
18	0	0	0.5	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0	0.5	0
19	0.5	0	1.0	2.0	1.7	1.7	1.1	1.0	0.5	0
20	0	0	1.0	1.5	1.1	1.0	0.9	0.5	0.2	0
21	0	0	1.0	1.1	1.5	1.2	1.0	0.5	0.2	0
22	0	0	1.0	0.5	1.0	1.0	0.5	0.2	0	0
23	1.0	1.0	2.0	1.0	1.2	1.0	1.0	0.5	0.2	0
24	0	0	0	0	0.7	0.9	0.3	0	0	0
25	0	0	0	0.2	1.0	1.1	1.0	0.8	0	0
26	0	0	2.5	1.1	1.5	1.1	1.0	0.5	0	0
27	0	0	1.5	1.0	1.1	1.0	1.0	0.3	0	0
28	0	0	0.5	1.0	1.9	2.0	1.1	0.5	0	0
29	0	0	1.5	5.0	5.0	5.0	4.0	4.0	3.0	2.0
20	1.0	0.5	1.0	2.8	4.2	5.0	4.2	4.0	3.0	2.5
31	0.5	0	4.0	5.0	5.0	4.5	3.8	3.0	2.5	1.5
32	0	0	0	0.5	2.5	3.5	3.1	3.0	2.5	2.5
33	0	0	3.0	4.5	5.0	4.5	4.0	3.0	2.2	1.5
34	1.0	0	0	1.1	2.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
35	0	0	0	3.5	4.0	4.0	3.0	2.5	2.0	0.5
36	0.5	0	0.5	1.5	3.0	3.2	3.0	2.1	2.5	0.8
37	0	1.0	5.0	4.5	3.2	3.0	2.0	1.5	1.0	0
38	0	0	0.5	1.5	1.2	1.5	1.5	1.5	0.5	0
39	0	1.0	2.0	2.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	1.5
40	0.5	1.0	5.5	5.0	5.0	4.5	4.0	3.0	2.0	1.0
41	0.5	2.0	4.0	2.0	2.0	1.5	1.0	1.0	0.5	0
42	0	0	1.0	0.5	1.0	1.5	1.5	1.5	1.1	0.3
43	1.0	3.0	5.0	2.5	2.0	2.0	1.5	1.0	0	0
44	0.5	0	1.0	1.5	1.0	1.0	1.5	1.5	1.0	0
45	2.0	3.5	4.0	2.0	2.0	1.5	1.0	1.0	0.5	0
46	1.0	2.0	2.2	1.0	1.7	2.0	2.0	1.5	1.0	0.2
47	1.0	1.5	2.0	2.0	1.2	1.0	1.0	1.0	0.2	0
48	0.5	1.1	2.0	2.1	3.0	3.0	2.5	2.2	1.1	0
49	1.0	2.0	3.0	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	1.0	0.5
50	1.0	1.2	3.5	4.0	4.2	4.1	3.8	3.0	2.0	1.0
51	0.5	1.5	2.2	1.0	1.2	1.2	1.5	1.5	1.0	0
52	0.5	1.8	5.0	3.5	3.5	3.5	2.5	2.2	2.0	0

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
53	0	0.2	1.5	1.0	1.5	2.0	2.0	1.5	1.0	0
54	0	1.0	2.0	1.1	2.0	2.0	1.8	1.1	0.5	0
55	0.5	1.5	2.0	1.5	2.0	2.0	1.5	1.0	0.5	0
56	0.5	1.0	2.0	1.0	1.5	1.5	1.0	1.0	0.5	0
57	0	1.0	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0	0
58	0	0.5	1.5	1.0	1.0	1.2	1.0	0.5	0	0
59	0	1.0	2.0	1.1	1.5	1.5	1.5	1.0	0.5	0
60	0.5	1.0	2.0	1.1	2.0	1.5	1.5	1.1	0.5	0
61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
64	0	0	1.0	0.5	0.5	0.2	0	0	0	0
65	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0
66	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0
67	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0
68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
73	0	0.5	2.0	0.5	1.0	1.0	1.0	0.5	0.2	0
74	0	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0
75	0.5	0	2.0	1.0	1.1	1.0	1.0	0.5	0.2	0
76	0	0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0	0
77	0	1.0	1.0	0.5	0.5	1.0	0.5	0.5	0	0
78	0	0.5	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.2	0
79	1.0	2.0	4.5	4.0	4.0	4.0	3.5	3.0	2.0	1.0
80	1.0	0.5	2.0	2.5	3.0	4.0	3.5	3.2	2.0	1.0
81	0.5	1.0	1.5	1.5	2.0	2.5	2.0	2.0	1.0	0.5
82	0	0	1.0	1.0	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0
83	0.2	1.5	3.5	3.0	3.0	2.5	2.0	1.5	0.2	0
84	0.2	1.5	2.5	1.0	1.5	2.2	2.2	2.0	1.5	0
85	0	0.5	2.0	2.0	2.5	3.0	2.5	2.0	1.5	0
86	0	0	2.0	2.1	3.0	3.0	2.5	2.0	1.0	0
87	0	0.5	1.0	1.1	1.5	2.0	2.0	2.0	1.0	0
88	1.0	1.0	1.5	1.0	1.2	2.0	2.0	2.0	1.5	0

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
89	0	1.0	2.0	1.5	2.0	2.5	2.1	2.0	1.5	1.0
90	0	1.0	3.0	3.0	3.5	3.5	3.0	2.5	1.1	0
91	0	0	2.0	1.5	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0	0
92	0	0	0	1.0	0.5	1.0	1.0	1.0	0.5	0
93	0	0	0.5	1.0	1.0	1.0	1.2	1.0	0.5	0
94	0	0	2.0	2.0	2.0	1.8	1.0	0.5	0.2	0
95	0	0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.2	0
96	0	0	2.0	1.2	1.5	1.5	1.0	1.0	0.7	0
97	0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0	0
98	0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0	0
99	0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.2	0	0
100	0	0.8	2.0	1.0	1.1	1.0	1.0	0.2	0	0
101	0	0	1.1	1.1	1.6	1.5	1.1	1.0	0.2	0
102	0	0	1.8	1.2	1.5	1.2	1.0	0.5	0	0
103	0	0	1.1	1.0	1.1	1.2	1.0	1.0	0.5	0
104	0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0	0
105	0	0.6	2.0	2.0	2.1	2.0	2.0	1.5	0.6	0
106	0	1.0	2.5	2.0	2.1	2.1	2.0	1.5	1.0	0
107	0	0.5	2.0	2.0	2.1	2.2	2.0	2.0	1.1	0.5
108	0	0	1.1	1.0	1.2	1.5	1.1	1.0	0.2	0
109	0	1.0	1.8	1.5	1.7	1.7	1.1	1.0	0.3	0
110	0	1.0	2.0	1.5	1.8	1.8	1.5	1.2	1.0	0
111	0	1.5	2.5	1.8	1.8	2.0	1.8	1.5	1.0	0
112	1.0	2.0	2.5	1.5	1.5	1.6	1.3	1.0	0.5	0
113	0.5	1.1	3.0	3.0	3.0	2.5	2.0	2.0	1.5	0.5
114	0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.3	0
115	0	1.0	2.5	2.0	2.0	2.0	1.5	1.0	1.0	0
116	0.2	1.0	2.5	2.0	2.0	2.0	1.2	1.0	0.5	0
117	0	0.5	2.5	3.0	3.0	3.0	2.5	2.0	1.0	0
118	0	0	1.5	2.0	3.0	3.0	2.5	2.0	1.1	0
119	0	0	1.8	2.0	2.5	2.5	2.0	1.5	1.0	0
120	0	0	2.0	2.5	3.0	3.0	2.5	2.0	1.0	0
121	0	0.5	2.0	2.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0
122	0	0	2.0	2.0	2.2	2.5	2.0	1.8	1.0	0
123	0	0	2.0	3.0	3.2	3.0	2.5	2.0	1.1	0
124	0	0	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
125	0	0	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0
126	0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0	0
127	0	0	1.0	0.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0	0
128	0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0
129	0	0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.5	0.5	0	0
130	0	0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0
131	1.0	2.0	1.5	1.0	0.5	0.5	0.5	0	0	0
132	0	0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0
133	0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0	0	0
134	0	0	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	0.2	0	0
135	0	0	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	0	0	0
136	0	0	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	0.5	0	0
137	0	0	1.0	0.8	1.0	1.0	0.5	0.2	0	0
138	0	0	2.0	1.0	1.1	1.0	0.5	0	0	0
139	0	0	0	0.5	1.0	1.0	1.0	0.5	0	0
140	0	0	1.0	0.3	1.0	1.0	1.0	1.0	0.3	0
141	0	0	1.2	0.5	1.1	1.1	1.1	1.0	0.2	0
142	0	0.5	0	0	1.0	1.0	1.2	1.5	1.0	0
143	0	0	0	0.2	1.0	1.0	0.8	0.3	0	0
144	0	1.0	1.5	1.0	1.1	1.2	1.1	1.0	0.3	0
145	0	1.5	2.0	0	1.0	1.2	1.2	1.2	0.3	0
146	0	0.5	2.0	1.0	1.2	1.5	1.2	1.0	0.2	0
147	0	0	1.5	1.0	1.8	2.0	1.5	1.2	0.5	0
148	0	1.0	0.3	0.3	1.0	1.3	1.2	1.0	0.5	0
149	0	1.0	1.0	0.5	1.0	0.8	0.8	0.5	0.3	0
150	0	0	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.2	0
151	0	0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.3	0	0	0
152	0	0	1.0	1.0	0.8	0.5	0	0	0	0
153	0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.3	0.2	0	0	0
154	0	0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0	0	0
155	0	0	1.0	1.0	0.5	0.3	0	0	0	0
156	0	0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.3	0	0	0
157	0	1.0	1.0	1.0	0.3	0	0	0	0	0
158	0	0	2.0	1.1	1.8	2.0	1.5	1.1	0.5	0
159	0	0	2.0	1.5	2.0	1.8	1.1	1.8	0	0
160	0	0.5	0.5	1.0	1.0	1.1	1.5	1.5	1.1	0

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
161	0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.7	0.5	0	0
162	0	1.0	2.0	1.5	1.5	2.0	2.0	1.5	1.0	0
163	0	0	1.0	1.0	1.7	2.0	1.5	1.0	1.5	0
164	0	0	0	1.0	1.2	1.0	0.5	0.5	0	0
165	0	0	0	0.5	0.5	0	0	0	0	0
166	0	0	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	0.5	0	0
167	0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0
168	0	0	1.1	0.5	1.0	1.0	1.0	0.5	0	0
169	0	0	1.0	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0
170	0	0	1.0	0.5	1.0	1.0	1.0	0.5	0	0
171	0	1.0	2.5	1.5	1.5	1.2	1.0	1.0	0.5	0
172	0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0	0
173	0	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.5	0
174	0	0	1.1	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.0	0
175	0	1.1	6.0	5.0	5.0	4.5	4.0	3.0	2.0	0.5
176	0	0	0.5	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	0
177	0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.5	0
178	0	0	1.0	1.5	3.0	3.0	2.5	2.2	1.8	0
179	0	0	1.0	1.5	2.0	3.0	3.0	3.0	2.5	0.5
180	0	1.0	5.0	5.0	5.0	4.5	4.0	3.0	2.0	0
181	0	0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	0.5
182	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
183	0	0	0	0.5	0.5	0	0	0	0	0
184	0	0	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0
185	0	0	0	0.5	0.5	0	0	0	0	0
186	0	0	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0
187	0	0	0.5	1.0	0.5	0	0	0	0	0
188	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
189	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0
190	0	1.5	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0
191	0	0	1.5	1.0	1.0	1.2	1.0	1.0	0.5	0
192	1.0	1.5	3.0	2.0	2.0	2.0	1.0	0.5	0	0
193	0	1.0	2.5	1.5	1.5	1.2	1.0	0.5	0	0
194	0.5	2.0	4.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.0	0.3	0
195	1.0	2.0	4.0	2.0	2.0	1.5	1.0	1.0	0	0
196	1.0	1.5	2.0	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	0.5	0

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
197	0	0	1.0	0.5	1.0	1.0	1.0	0.5	0	0
198	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.0	0
199	0	0	1.0	1.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.0	0
200	0	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.3	0	0
201	0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.0	0.5	0
202	0	0	2.0	4.0	4.2	4.2	4.0	1.5	2.0	0
203	0	0	1.0	1.0	1.5	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0
204	0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0	0
205	0	0	2.5	1.5	1.2	1.0	0.8	0.3	0	0
206	0	0	1.5	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0	0
207	0	0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.3	0
208	0	0	0	1.0	0.5	1.0	1.0	0.5	0.2	0
209	0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.2	0
210	0	0	1.0	1.5	2.0	1.5	1.2	1.0	0.5	0
211	0	0	1.0	1.0	1.2	1.0	1.0	1.0	0.5	0
212	0	0	1.0	1.5	2.0	2.5	2.5	2.0	1.5	0
213	0	0	1.5	2.0	2.0	2.0	1.5	1.0	1.0	0
214	0	0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.0	1.0	0	0
215	0	0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.0	0.5	0
216	0	0	1.0	1.2	1.5	1.5	1.5	1.0	0.5	0
217	0	0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.0	0.5	0
218	0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0
219	0	0	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	0.5
220	0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0
221	0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0
222	0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.3	0.3	0	0
223	0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0	0
224	0	0	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0	0.3	0	0
225	0	0	2.0	1.0	1.5	1.5	1.0	1.0	0.5	0

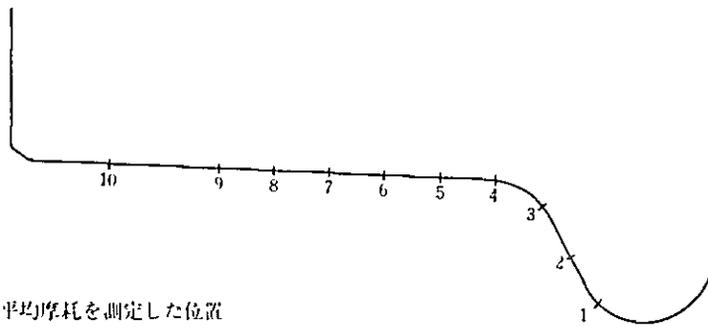


図 4.5.1 平均摩耗を測定した位置

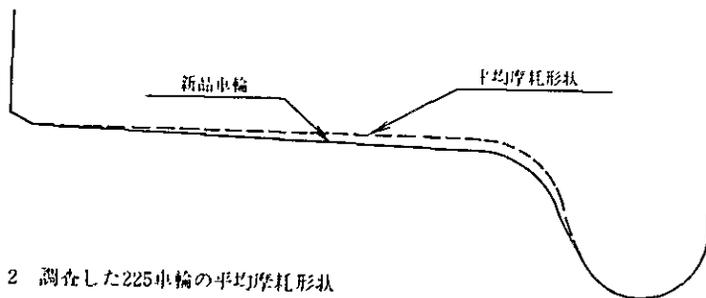


図 4.5.2 調査した225車輪の平均摩耗形状

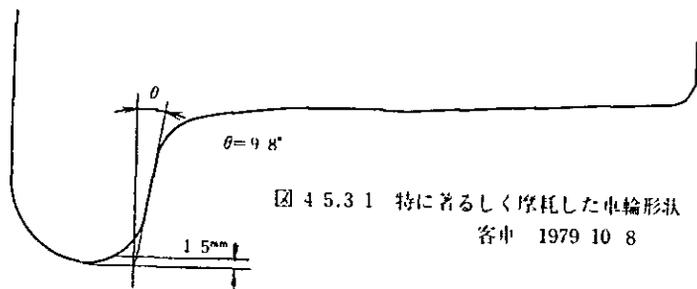


図 4.5.3.1 特に著るしく摩耗した車輪形状
客車 1979 10 8

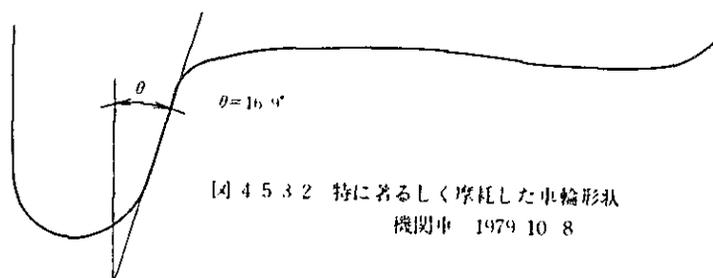


図 4.5.3.2 特に著るしく摩耗した車輪形状
機関車 1979 10 8

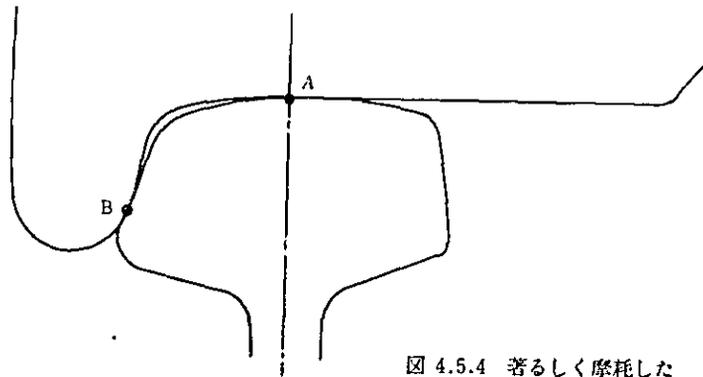


図 4.5.4 著るしく摩耗した
車輪と摩耗したレールの接触例

車輪： 客車 BSC 1979.10.25
レール： 687km付近

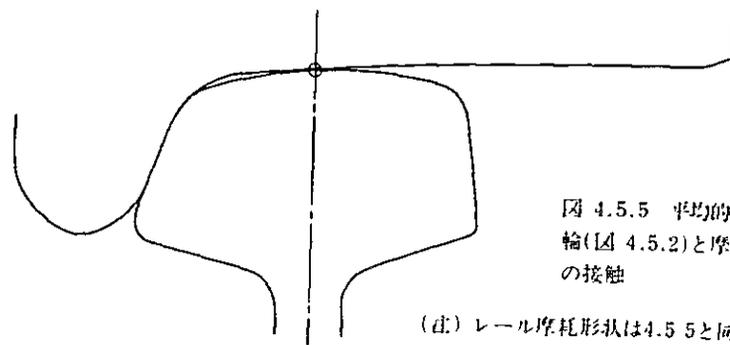


図 4.5.5 平均的な摩耗車
輪(図 4.5.2)と摩耗レール
の接触

(注) レール摩耗形状は4.5.5と同じ

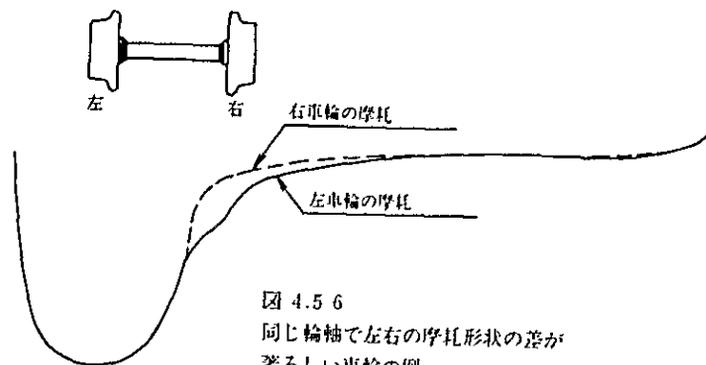


図 4.5.6
同じ輪軸で左右の摩耗形状の差が
著るしい車輪の例
ディーゼルカー 1979 10 8

北線 Mae Tan Noi 橋内

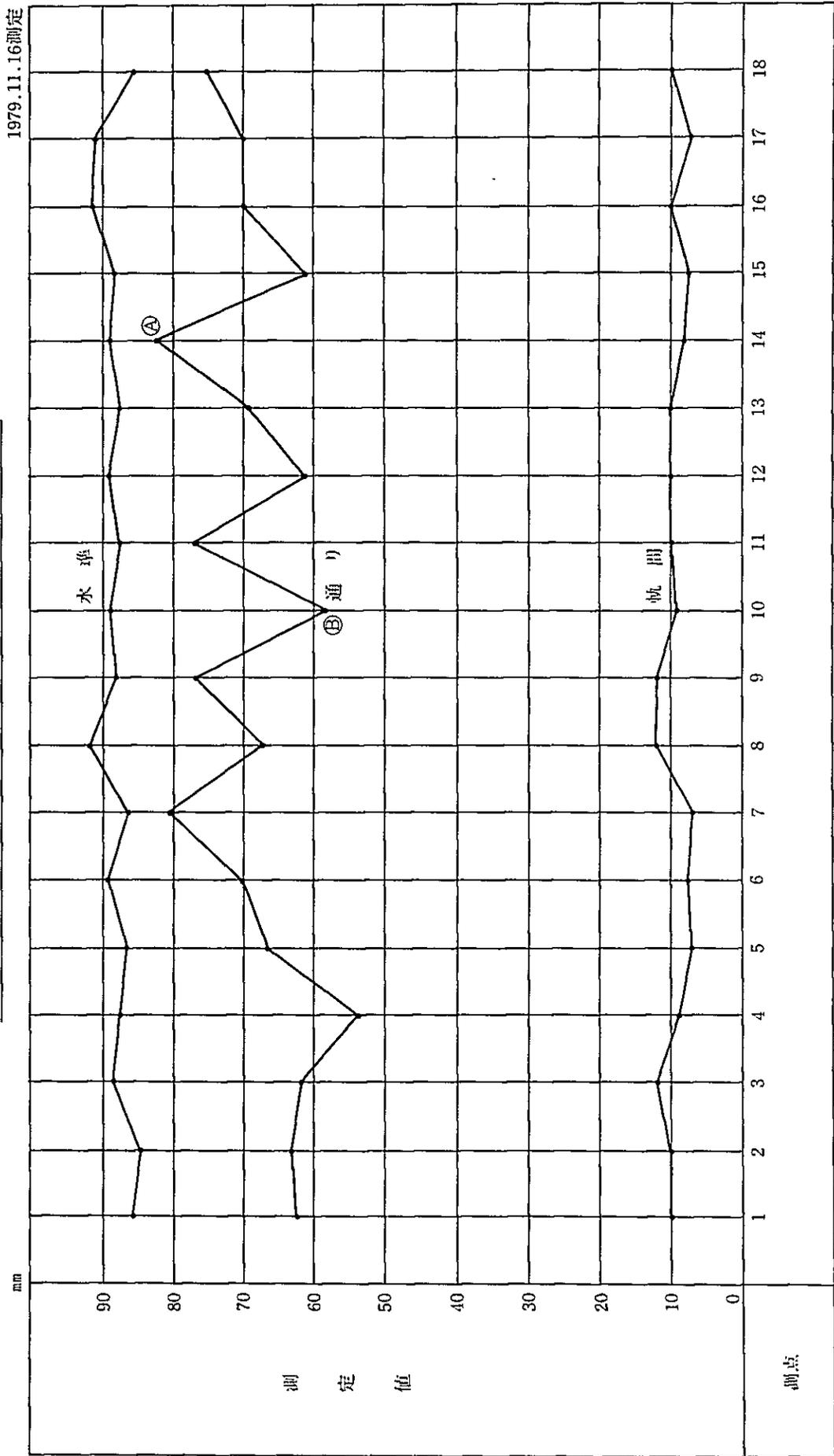


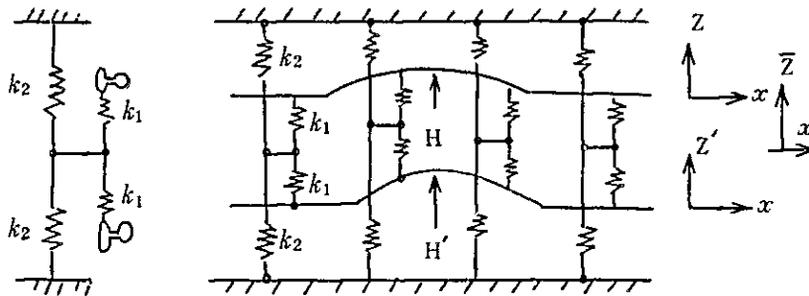
图 4.5.7

4.6 機関車型式による横圧の比較

機関車型式による横圧を比較する資料を得るために、北線の本線において、レールの横方向変位の測定を行なった。

レールの横方向の変位は、図 4.6.1 のモデルに基いて方程式をたてると、次の通りとなる。

図 4.6.1



$$EIy \frac{d^4 Z}{dx^4} + k_1 (Z - \bar{Z}) = 0$$

$$EIy \frac{d^4 Z'}{dx^4} + k_1 (Z' - \bar{Z}) = 0$$

$$k_1 (Z - \bar{Z}) + k_1 (Z' - \bar{Z}) = 2k_2 \bar{Z}$$

において、次の境界条件で解くと

(1) $x = 0$ において

$$\frac{dZ}{dx} = \frac{dZ'}{dx} = 0$$

$$2EIy \frac{d^3 Z}{dx^3} = H$$

$$2EIy \frac{d^3 Z'}{dx^3} = H'$$

(2) $x \rightarrow \infty$ で

$$Z' \rightarrow 0$$

$$\beta_1 = \sqrt[4]{\frac{k_1}{4EIy}}$$

$$\beta_2 = \sqrt[4]{\frac{k_1 k_2}{4(k_1 + k_2)EIy}}$$

とにおいて

$$Z = \frac{1}{16EI_y} \left\{ \frac{H+H'}{\beta_2^3} \varphi_1(\beta_2 x) + \frac{H-H'}{\beta_1^3} \varphi_1(\beta_1 x) \right\}$$

$$Z' = \frac{1}{16EI_y} \left\{ \frac{H+H'}{\beta_2^3} \varphi_1(\beta_2 x) + \frac{H-H'}{\beta_1^3} \varphi_1(\beta_1 x) \right\}$$

を得る。

この式で

$$\varphi_1(x) = e^{-x} (\cos x + \sin x)$$

である。

$\varphi_1(x)$ の式は、 $x=0$ で最大値

$$\varphi_1(0) = 1$$

を得るから、レールの横変位の最大値は、横圧の作用点に生じており、その値は

$$Z = \frac{1}{16EI_y} \left\{ \frac{H+H'}{\beta_2^3} + \frac{H-H'}{\beta_1^3} \right\}$$

$$Z' = \frac{1}{16EI_y} \left\{ \frac{H+H'}{\beta_2^3} - \frac{H-H'}{\beta_1^3} \right\}$$

となる。

β_1, β_2 は、レール、まくらぎおよび締結装置によって異なる上、保守状態によって差があるので、調査された点における値を求めることは出来ないが、同一地点で同一の間は一定であったと考えることはできる。

従って、測定された各列車について β_1, β_2 は一定であったと考えられる。

日本国鉄における β_1, β_2 の値の一例は

$$\beta_1 = 3.94 \times 10^{-2} \text{ cm}^{-1}$$

$$\beta_2 = 1.62 \times 10^{-2} \text{ cm}^{-1}$$

であり、 β_1 の方が β_2 よりも大きい値を示している。

調査の行なわれた Mae Tan Noi 構内におけるレール横変位の実測値は、表 4.6.1 に示す通りであって、内外軌共に外側に押し出されており、これは Z と Z' がたがいに反対方向であることを示している。

これより日本国鉄の β_1, β_2 の値を参考として、ALSTHOM 型の機関車と GE 型の機関車の横圧の比較を実施すると

$$Z = \frac{1}{16EI_y} \left\{ \frac{H+H'}{(1.62 \times 10^{-2})^3} + \frac{H-H'}{(3.94 \times 10^{-2})^3} \right\}$$

$$Z' = \frac{1}{16EI_y} \left\{ \frac{H+H'}{(1.62 \times 10^{-2})^3} + \frac{H-H'}{(3.94 \times 10^{-2})^3} \right\}$$

ここで、ZとZ'の平均値(表4.6.1)

表4.6.1

機関車	ALSTHOM	GE
Z	3.1	1.7
Z'	-1.7	-1.6

を代入して

$$R_A = \frac{HA}{HG} = \frac{\text{ALSTHOMのH}}{\text{GEのH}}$$

$$R_A' = \frac{HA'}{HG'} = \frac{\text{ALSTHOMのH}'}{\text{GEのH}'}$$

を求めると

$$R_A \doteq 1.5$$

$$R_A' \doteq 1.4$$

が得られた。

これは、GE型機関車と比較して、ALSTHOM型機関車は外軌側の横圧が1.5倍、内軌側横圧が1.4倍発生している疑いのあることを示している。

表 4.6.1

1979. 11. 16 測定

LOCOMOTIVE	ALSTHOM					G E				
	98	97	38	Average	468	617	602	Average		
TRAIN										
横方向外軌	5.6 2.8 2.3 3.0 3.4 3.4 Average	5.2 4.6 3.1 3.0 3.6 3.9	1.9 1.9 1.6 1.7 2.2 1.9	4.2 3.1 2.3 2.6 3.1 3.0	3.2 2.0 2.1 2.8 2.8 2.6	2.3 1.0 0.5 0.6 1.4 1.2	1.0 0.9 1.3 1.8 1.3 1.3	2.2 1.3 1.3 1.7 1.8 1.7		
横方向内軌	3.0 2.0 1.2 1.6 2.0 1.9 Average	2.8 2.4 2.1 1.4 1.0 1.9	1.2 1.6 0.8 1.1 0.6 1.1	2.3 2.0 1.4 1.4 1.2 1.7	2.8 2.3 1.6 2.6 2.9 2.4	1.6 1.6 1.3 1.6 1.1 1.4	1.1 1.5 1.0 1.0 0.6 1.0	1.8 1.8 1.3 1.7 1.5 1.6		
垂直方向外軌	4.6 3.8 3.5 3.1 5.4 4.1 Average	3.8 3.8 3.1 2.3 5.4 3.8	3.8 2.7 3.1 1.9 5.4 3.3	4.1 3.4 3.2 2.4 5.4 3.7	3.8 3.8 3.1 2.3 5.4 3.7	3.8 2.3 2.7 1.9 5.4 3.2	3.8 3.5 3.1 2.3 5.4 3.6	3.8 3.2 3.0 2.2 5.4 3.5		
垂直方向内軌	6.2 6.2 7.7 3.1 3.5 5.3 Average	5.4 6.2 7.7 3.8 3.8 5.4	5.4 5.4 6.9 3.8 3.5 5.0	5.7 5.8 7.4 3.5 3.6 5.2	5.4 6.2 7.7 3.1 3.8 5.2	6.2 6.2 7.7 3.8 4.6 5.7	4.6 5.4 5.4 3.5 3.5 4.5	5.4 5.9 6.9 3.5 4.0 5.1		

4.7 レール側面およびフランジ側面の塗油

レールの摩耗に関係のある重要な因子のひとつに、レールと車輪フランジの間の潤滑の程度がある。

金属の摩耗は摩擦面あるいはころがり面の潤滑の程度により大きな差があるので、レールと車輪フランジの接点に摩耗防止油による潤滑面を作ることが行なわれており、タイ国鉄においても、P & M社製のレール塗油器によってレールと車輪フランジに塗油が行なわれている。

今回調査した区間のレール塗油器の、摩耗防止油の吐出状態は良好で、レール塗油器の取りつけてある曲線では、レール側面は良い潤滑状態は比較的良い状態にあると見受けられた。

レールに塗油器を取りつけて塗油を行なう方法は、手軽で一般に行なわれている方法であるが、長い延長の曲線に十分に塗油するためには、列車通過の都度大量の油を塗布することとなるので、塗油器附近のレール頭部には吐出した摩耗防止油が広がって、タイヤとレール頭面間で空転を起すことが多い。

タイ国鉄では、このような問題のために取りつけてあったレール塗油器を取り外していた所があった。

塗油器を取り外せば、レールとフランジ面の潤滑は悪くなるので、レール摩耗と車輪フランジの摩耗は著るしく進行する。

車輪の空転の現象は、特に勾配区間に急曲線の介在する山岳地帯においてしばしば起る現象であって、レール塗油器による潤滑方法では、摩耗防止油の吐出量の調節が比較的難かしいから、このような空転現象をなくすことが出来ないのは止むを得ないことと考えられる。

空転の起る原因は、摩耗防止油がレール頭面に広がってレールとタイヤ踏面との摩擦係数を小さくするためである。

この摩擦係数の値は、一般に粘着係数と云われているものであって

$$T \geq \mu \cdot W_e$$

T : 機関車引張力

μ : 粘着係数

W_e : 機関車重量

になると空転を生ずる。

列車が走行するためには、機関車引張力は列車抵抗に打ち勝つだけ充分に大きくなければならないから、空転を起さないためには、粘着係数が大きくなければならない。

第4.4節で計算した貨物列車の列車抵抗を用いて、計算してみると、表4.4.3より貨物列車の走行抵抗は、勾配抵抗を変数とすると、

$$R_t = 4094 + 582.5 Gd$$

となるので、この列車抵抗に打ち勝つための機関車引張力で空転しないための粘着係数は、

$$\mu > \frac{Rt}{We} = \frac{1}{82500} (4094 + 582.5 Gd)$$

となる。

これを図示すると、図4.7.1が得られる。

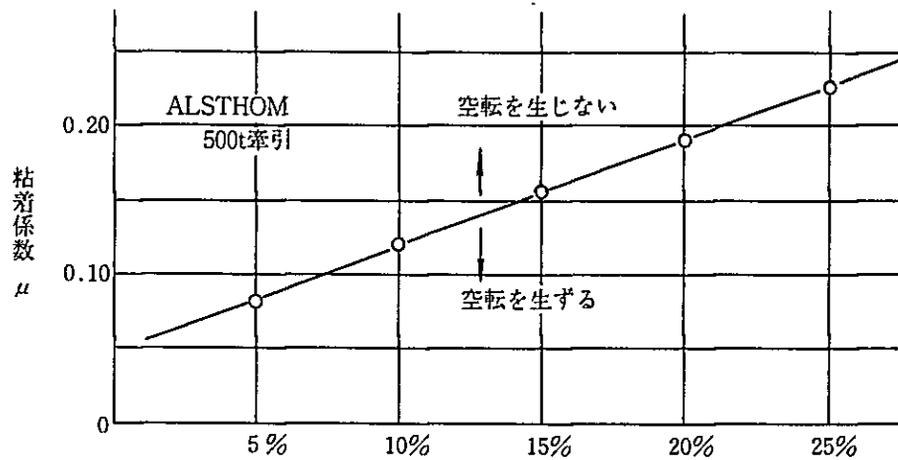


図4.7.1

一般に粘着係数の上限は0.2程度であると思われるから、山岳地帯の曲線区間のレール頭面に油が付着すれば空転が発生して勾配を上げられなくなることが分る。

レール塗油を行ないつつ空転を防ぐには、空転を生じない程度の機関車引張力に相当する荷重まで牽引輛数を下げるか、機関車を重連として一輛あたりの引張力を下げるしかない。

その他には、塗油器を車上に取りつけて塗油する方法がある。この方法の効果は、

- (1) 曲線通過中に全域にわたって少量の油をフランジの必要な面のみ塗油するので、レールに固定したレール塗油器よりも塗油量を少なく出来、空転が少なくできる。
- (2) 車輛に取りつけるので、塗油器の総数が少なくて済み、維持管理が容易である。

ことである。

タイ国鉄のレール塗油器の中には、場所により半月に1回以上の給油を要するものがあり、維持管理を充分に行なって効果的な摩耗防止を実行するには、車上式のフランジ塗油器の設置が望まれる。

5. EDPSによるレールの管理

タイ国鉄では、前述のように電子計算機を利用してレールの摩耗データを処理して、レール
更換のため情報を得ている。

EDPSによる線路の管理の目的は、

- (1) 業務に必要な人力を少なくすること
- (2) 業務の近代化
- (3) 経営のための情報の整備

であって、科学的手法を取り入れることによって、保守管理の水準を高めることである。

この目的を達成するために、EDPSにより情報処理することが望ましいと考えられる線路
管理の項目は、レール管理だけでなく、保守作業、軌道用材料、機械器具、建造物、工事、建
物を含む多くの項目があり、管理する事項についても、予算、決算、資材の需給、要員、用地
あるいは統計資料のための特別な事項を含み、巾広い事項にわたっている。

日本国鉄における施設業務のためのEDPによる管理システムの構成は、図5.1.1に示すも
のであって、本社、地方局、現場間で情報の送受を行なって、それぞれの段の管理資料を得よ
うとするものである。

このシステムの中で、一例としてレール管理システムの概要を述べると次の通りである。

(1) レール管理システムの概要

レール管理システムは

- ① レールの敷設状況のデータ
- ② 曲線区間の摩耗状況のデータ
- ③ トンネル内レールの周期更換のデータ

を基本データとして、線区に応じて本社で定める取替基準値にデータを照合して、レール更
換計画を作製するものである。

この処理は、次の順序により電子計算機により処理される。

- ① 現場において前年度の台帳を更新する。
- ② 本社において更換基準値を基礎として、予算、施策に合った位置別レール更換計画表
を作製する。
- ③ 地方局において、要員や地域の特別な事情を考慮して更換計画表を修正する。
- ④ 本社で修正に基いて、レール更換実施計画表を作製する。
- ⑤ この実施計画表に基いて、現場において作業が進められる。

(2) 入力帳表および出力帳表

日本国鉄のレールの総延長は約80,000kmあり、現在約25年程度に1回の周期の割合で
レール更換が実施されている。

現在レール管理システムに入力するデータおよび出力するデータに関する帳表は、表5.1.1および表5.1.2に示す通りであり、これらの帳表はそれぞれ本社、地方局および現場で作製され、電算処理后、それぞれ使用される。

施設システムの作製を開始する前に考慮せねばならない事項は、次の通りである。

- (1) 将来の全体構想を当初から組み立てておいて、それぞれのシステム間の連絡をしやすいようにしておくこと。
- (2) 入力のためのデータの種類、構造、精度、収集方法は慎重に考えて、全体のシステムで有効に使用できるようにしておくこと。
- (3) 管理システムの目的、目標を明確にしておいて、システムの進展、維持のための要員資材を効果的に投入していくこと。
- (4) プログラムの作製、維持のための組織、責任を明確にしておくこと。

このように施設システムは将来の設備管理機能を左右する重要な問題であるから、その計画にあって十分な知識と経験を有する専門家の助言を得ることが重要であると考えられる。

図 5.1.1

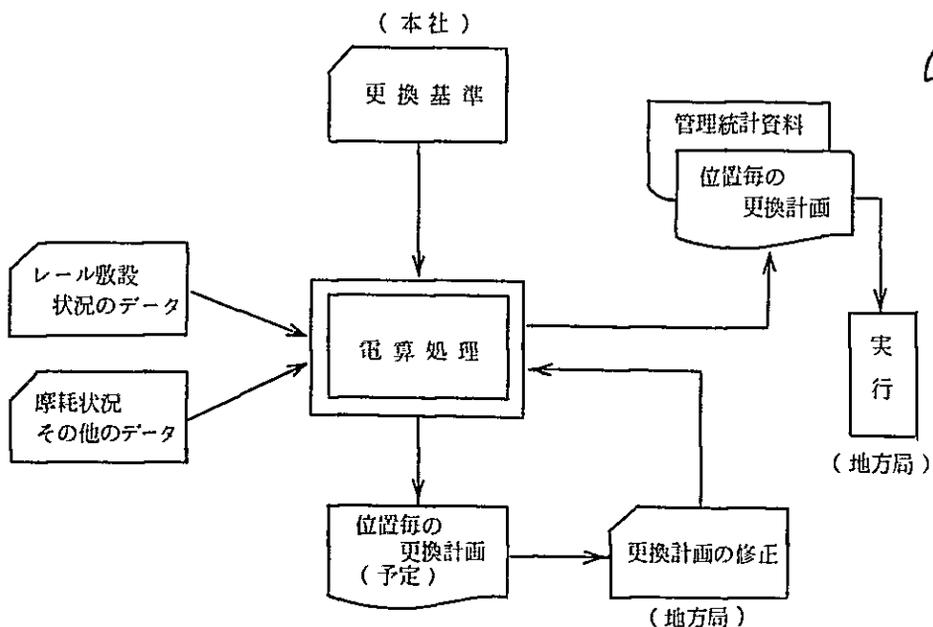


表 5.1.1 入力データ

No	データ名	作製箇所	備考
1	保線支区境界表	地方局	
2	レール原票	保線支区	
3	レール摩耗調査表	〃	
4	トンネル表	地方局	
5	工事計画表	〃	
6	ロングレール計画表	〃	
7	レール位置毎更換計画	保線支区	
8	調整更換計画	〃	
9	他目的レール、予備レール	地方局	
10	側線レール原票	保線支区	

表 5.1.2 出力帳表

No	出力帳表名	使用箇所	備考
1	路線図	本社	
2	重量別レール延長表	〃	
3	経年別レール延長表	〃	
4	累積トン別レール延長表	〃	
5	ロングレール表	〃	
6	費目別レール更換計画表	〃	
7	本線レール位置別更換計画表	地方局	(予定)
8	〃	〃	(実行)
9	本線レール更換延長表	本社	(予定)
10	〃	〃	(実行)
11	レール使用金額表	〃	
12	基準毎の更換数量表	〃	
13	発生レール延長表	〃	
14	側線レール重量別延長表	〃	
15	側線レール更換実績表	〃	

6. 脱線事故の防止

6.1 タイ国鉄の脱線事故の現状と特徴

タイ国鉄の統計では、1968年より10年間に1年平均437回の運転事故が発生しており、そのうちの60%が脱線事故を起している。

タイ国鉄の線路延長および軌道延長から、運転事故の発生率を100kmあたりで計算すると表6.1.1の通りである。

表 6.1.1

単位：件（延長は1977年度末）

	延長 km	運転事故発生率 10年平均 100kmあたり		運転事故発生率 1977年度 100kmあたり	
		運転事故	脱線事故	運転事故	脱線事故
線路延長	3,765	11.6	7.1	15.9	10.5
軌道延長	4,452	9.8	6.0	13.5	8.8

この発生件数は、非常に多いと考えられる件数であって、運転事故および脱線事故の防止は、タイ国鉄の経営改善のために緊急の課題であると考えられる。

タイ国鉄で1968年から1977年の10年間に発生した脱線事故の統計は表6.1.2であり、これを図示すると図6.1.1になる。

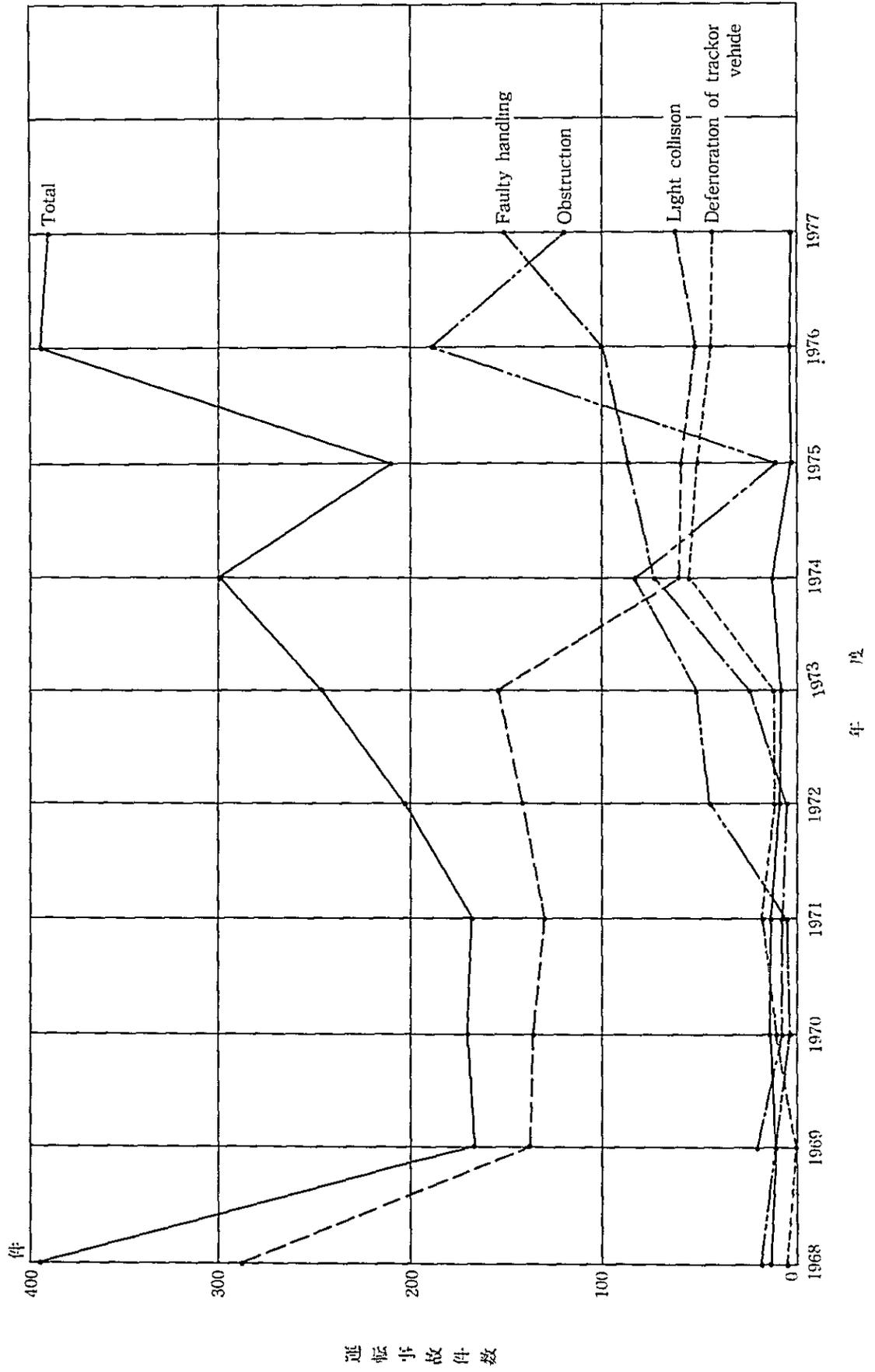
この図よりタイ国鉄の脱線事故の特徴が次のようにまとめられる。

- (1) 脱線事故の総件数は、1969年に急減したが、1971年より再び漸増し、1976年には再び1968年当初の件数となった。
- (2) 近年は、職員の取扱いの誤りによる脱線事故の件数と妨害による脱線事故の件数が増加しており、これが重大事故の発生原因となっている。
- (3) 車両および線路の損耗に起因する脱線事故の件数は1974年に急増して以来、余り減少していない。

以上の事象より考えて、タイ国鉄の脱線事故の防止対策として、特に次に述べる施策を講ずるのが効果的であると思われる。

- (1) 職員の教育を徹底し、諸規則の厳正な遵守を習慣づけること。
- (2) 列車の計画運転線図の標準を定めて、総ての運転士がこれを守ることによって、列車の運転時刻を正確にすること。
- (3) 駅の運転取扱職員による信号および転轍器の取扱いを厳正にすること。
- (4) 線路閉鎖工事、トロリー使用の規則を定めてこれを遵守し、通告、連絡を徹底すること。

图 6.1 1



运转事故件数

- (5) 線路および車輛の近代化、強化を実施し、部材の取替基準を明確にして、線路、車輛の損耗に起因する脱線事故の減少を図ること。
- (6) 列車運転士、駅、保線、信号の運転取扱者の資質の検査を実施し、待遇、研修制度を全般的に検討すること。
- (7) 地方自治体、教育機関と関係を取り列車妨害の防止を図ること。

これらの運転事故防止の施策は、運転、車輛、施設を管理する部局が総合的に推進するものであって、速やかな実施が望まれるものである。

6.2 タイ国鉄における機関車の脱線例

タイ国鉄における車輛脱線の一般的な傾向は、前節に述べた通りであるが、最近発生している機関車の途中脱線について2、3の例をあげて、その傾向を分析すると次の通りである。

- (1) 1965年6月22日に北線578km845m附近において発生したGE4020機関車の脱線事故

この脱線事故は、GE4020機関車が33輛(518トン)の貨物列車を牽引し、Phakan駅を発車直後に発生した。速度は低速であり、車輛、線路の欠陥は明確ではない。

事故地点の線型は線路平面図において調査した。この線路平面図は必ずしも正確に現地と一致しているわけではないが、およそ正確であると思われる。

この調査によると、この脱線事故は線型上次の点の特徴である。

- ① 緩和曲線と縦曲線の競合区間と思われる。
- ② 出発直後の事故である。
- ③ 内軌側と外軌側のまくらぎ痕跡の発生位置が一致していないので、軌間拡大の疑いがあるが、定かでない。(図6.2.1)

- (2) 1976年9月7日、北線671km808mのMae Tan Noi 駅構内で発生したALSTHOM 4146機関車の途中脱線事故

この脱線事故はALSTHOM 4146機関車が客車6両を牽引し、Mae Tan Noi 駅を出発直後に発生した。

速度は低速であり、車輛および線路に脱線に結びつく明確な欠陥は報告されていない。

この事故についても同様の調査を行ない、その特徴を列記すると次の通りである。

- ① 曲線中の事故である。
- ② 出発直後の事故である。

乗り上がり地点と、まくらぎ痕跡の始点との間が離れているが、軌間拡大の有無は明確でない。

- (3) 1977年3月1日、北線574km522mで発生したALSTHOM 4119機関車の

の脱線事故

この脱線事故は、ALSTHOM 4119 機関車が26 輛の貨車を牽引し、脱線地点直前で軌道自転車に衝撃して停止し、出発した後で発生した。

この脱線事故の特徴は次の通りである。

- ① 緩和曲線と縦曲線の競合区間と思われる。
- ② 出発直後の事故である。

(4) 1977年3月11日、北線568km450m 附近で発生したALSTHOM 4128 機関車の脱線事故

この脱線事故はALSTHOM 4128 機関車が9 輛の貨車を牽引して同地点にさしかかった時に発生した。

この脱線事故の特徴は次の通りである。

- ① 線路平面図では緩和曲線中となっている。
- ② レールの摩耗が著るしい。

以上の例について、共通することに次の点がある。

- (1) 曲線中または緩和曲線中の事故であること。
- (2) 出発直後であるか、低速度中の事故である。

(5) 緩和曲線および曲線中における脱線について

車輪がレールに乗り上げるためには、Nadalの式が成立つと云われている。これは

$$\frac{Q}{P} > \frac{\tan\theta - \mu}{1 + \mu \tan\theta} \quad \begin{array}{l} Q ; \text{横圧} \\ P ; \text{輪重} \end{array}$$

であり、タイ国鉄の新品車輪では $\theta \cong 60^\circ$ であることから、

$$\frac{Q}{P} \gtrsim 1.0$$

で乗り上がりが生ずるものと考えられる。 Q/P は一般に脱線係数と呼ばれているもので、 Q が大きくなり、 P が小さくなることは、車輪がレールに乗り上がりやすいことになる。

急曲線中では、一般に轉向横圧が働くので、 Q は大きくなっている。また曲線から走り出る側の緩和曲線では、カントの逓減勾配によって、図6.2.5のように先頭車輪は浮き気味になり、輪重は少なくなっている。

また、今回調査した緩和曲線では、図6.2.6に示す通り、大きな水準狂いや通り狂いが存在していることが分った。このような狂いは大きな横圧を発生させると共に、輪重抜けを生ぜさせるので、更に脱線しやすくなるのである。

タイ国鉄では、平面性の限度を15 mmとしているが、これは逓減勾配によるねじれを差し引いた値で管理すべきものであり、緩和曲線中の大きな水準狂いは、大きな平面性狂いとなるので、厳しく管理することが必要である。

このように、ALSTHOM型機関車のように脱線しやすい機関車を急曲線に通す場合には、軌道狂いの管理が充分になされるべきであり、そのためには、軌道検測車を使用して軌道狂いを測定すべきものと考えられる。

カントのある曲線を低速で進行すると、超過カント量により、外輪側の輪重は減少し内軌側の輪重が増加する。この輪重の変動分は、

$$\Delta W = \frac{W}{H} \left(\frac{V^2}{127g} - \frac{C}{G} \right)$$

であって

$$V = 5 \text{ km/h}$$

では

$$\Delta W = 10.95 \text{ ton}$$

となる。

これが静止輪重に比例して変動すると考えると、1車輪あたりの変動量 (W_L) は、

$$\Delta W_L = \frac{10.95}{6} \text{ ton} = 1.82 \text{ ton}$$

となり、Pがこの分だけ減少して Q/P は大きくなる。

また機関車には、列車抵抗が働いており、力行中であっては引張り牽引力が連結器に働いている。この牽引力は図 6.2.7 のようにモーメントを生じ、これにより先頭軸の輪重を減少させる。

この値は

$$M = T h = \Delta P l$$

$$\Delta P = \frac{T h}{l} = 2.2 \text{ ton}$$

これが各車輪に静止輪重に比例して働くとすると、

$$\Delta P_L = \frac{\Delta P}{6} = 0.4 \text{ ton}$$

だけ輪重が減少する。

このように、輪重の減少は、

- ① カント逡減勾配による輪重減少
- ② 超過カント量による輪重減少
- ③ 牽引力による輪重減少

が生じて、機関車が曲線あるいは緩和曲線中を低速度で力行する場合に脱線を生じやすくする。

このような理由で大きな横圧を発生するALSTHOM型機関車が、前例に示した脱線を

起しているものと推定される。

従って、このような脱線事故を防止するためには、

ALSTHOM型機関車の走行安定性、すなわち横圧(Q)と輪重(P)を車輪にワイヤストレインゲージを貼付して測定し、その値を調査して対策をたてることが望ましく、タイ国鉄の運転局の技師がこれらの機械を現在準備中であるので、施設局も協力してALSTHOM機関車について早急に測定すべきであると思う。

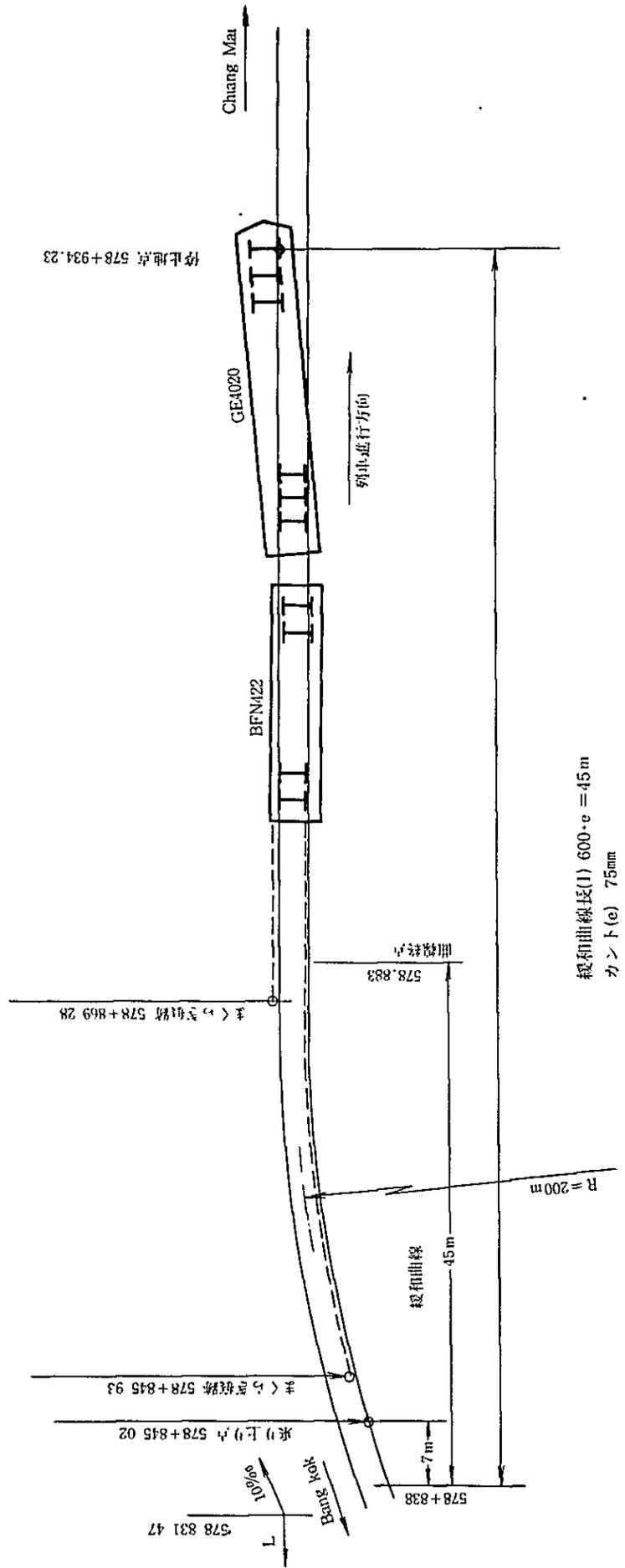
これらの調査は、多くの手間と日数が必要であって、直ちに結果が求められるわけではないので、取りあえず脱線防止のために実行した方が良いと思われる項目を列記すると、次の通りであると考えられる。

- ① ALSTHOM機関車が通過する急曲線中の不良まくらぎは出来るだけ早急に更换してタイプレートを挿入し、犬釘を増やして打っておくこと。
- ② タイ国鉄のレールクリップは、小返りに対して有効な形状にはなっていないので、レール小返りに対してチョックを使用すること。
- ③ ALSTHOM機関車の通過する急曲線の緩和曲線とカント逓減勾配は正確にしておくこと。
- ④ ALSTHOM機関車が曲線、特に曲線出口の緩和曲線内で出発する時には、急な牽引は避けること、特に上り勾配中の場合には特に危険となるので、緩和曲線を外した直線部で出発することが望ましいと考える。

いずれにしても、ALSTHOM機関車については、車輪にワイヤストレインゲージを貼付して横圧、輪重を測定しておくことが大切と思われるが、そのためには熟練した専門家の協力の元を実施することが望ましいと考える。

図 6.2.1

北線 578km 845m におけるGE4020 機関車の脱線
 発生 1975年 6月22日



緩和曲線長(l) $600 \cdot e = 45\text{ m}$
 カント(e) 75mm

図 6.2.2

北線 671km 910m Mae Tam Nou 橋内における AL4146 機関車の脱線
発生 1976年 9月 7日

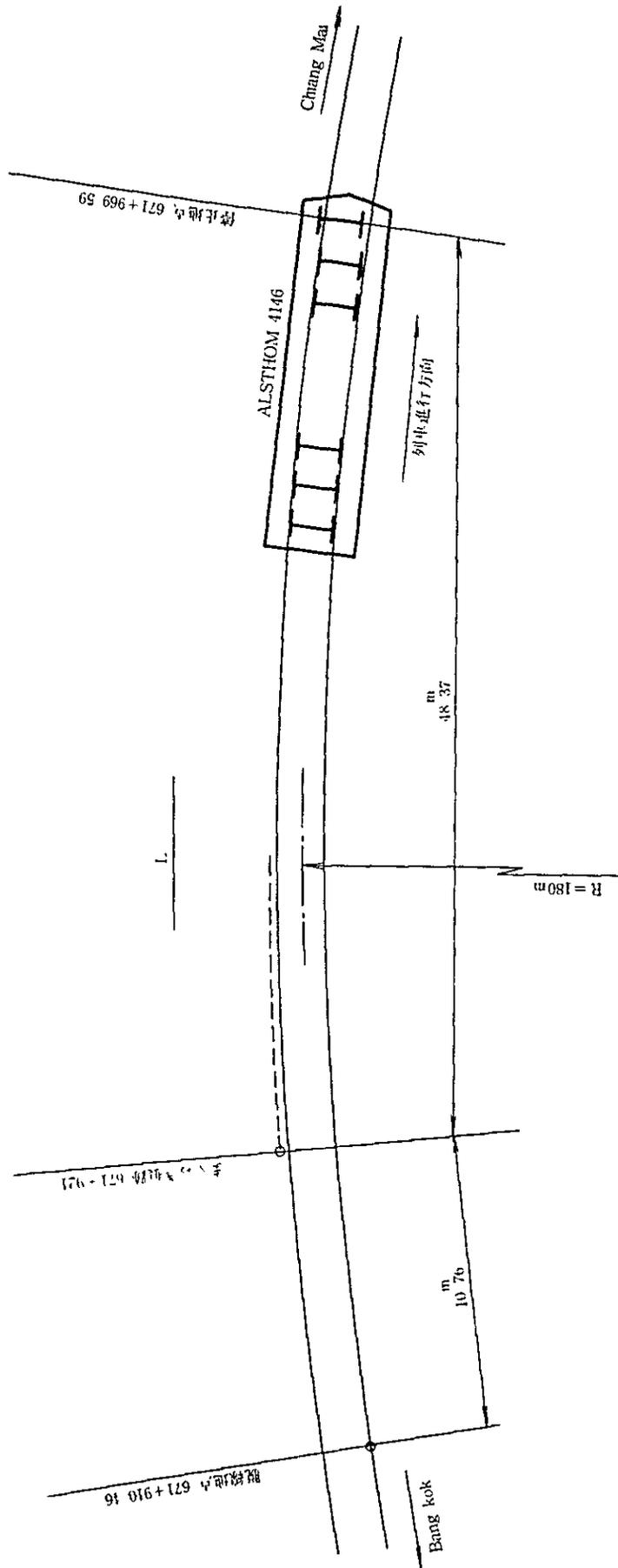


図 6.2.3

北線 574km 513mにおける AL4119 機関車の脱線

発生 1977年3月1日

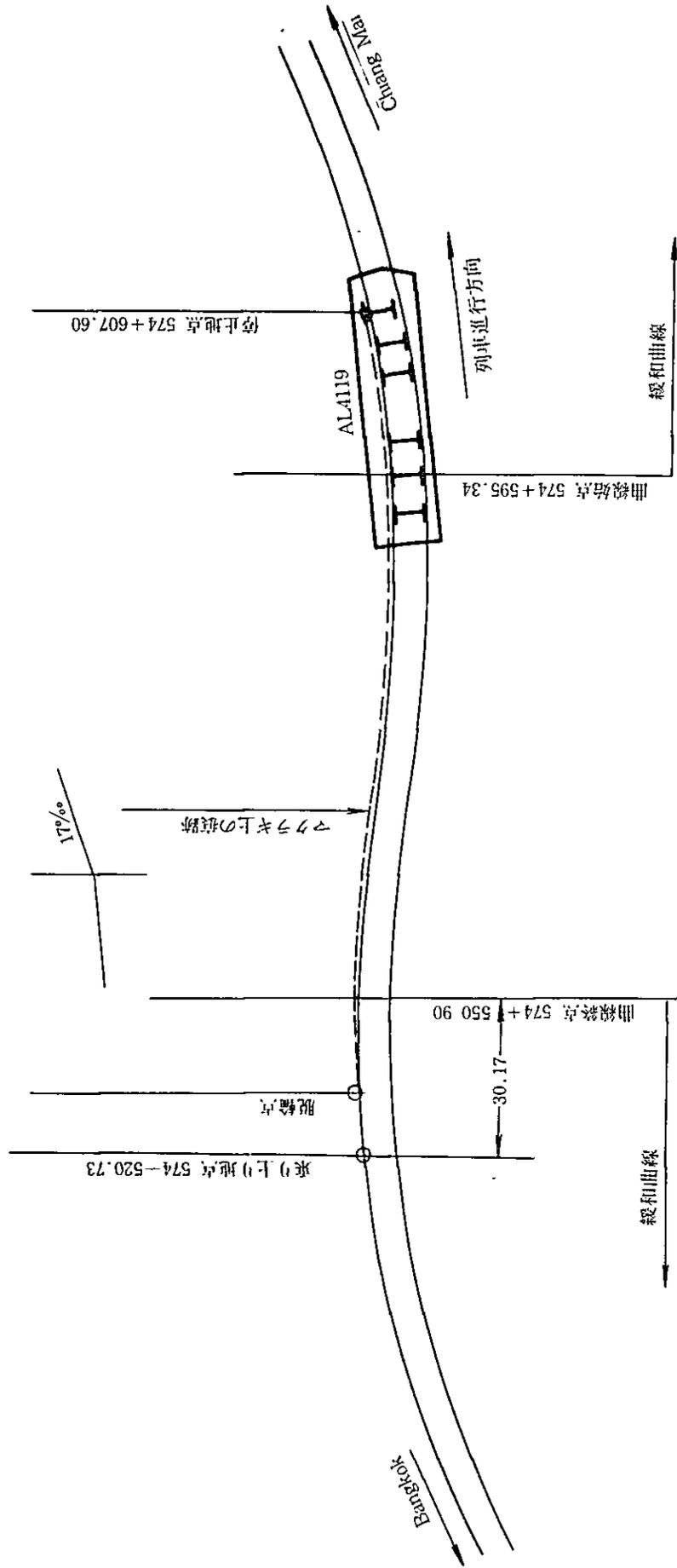
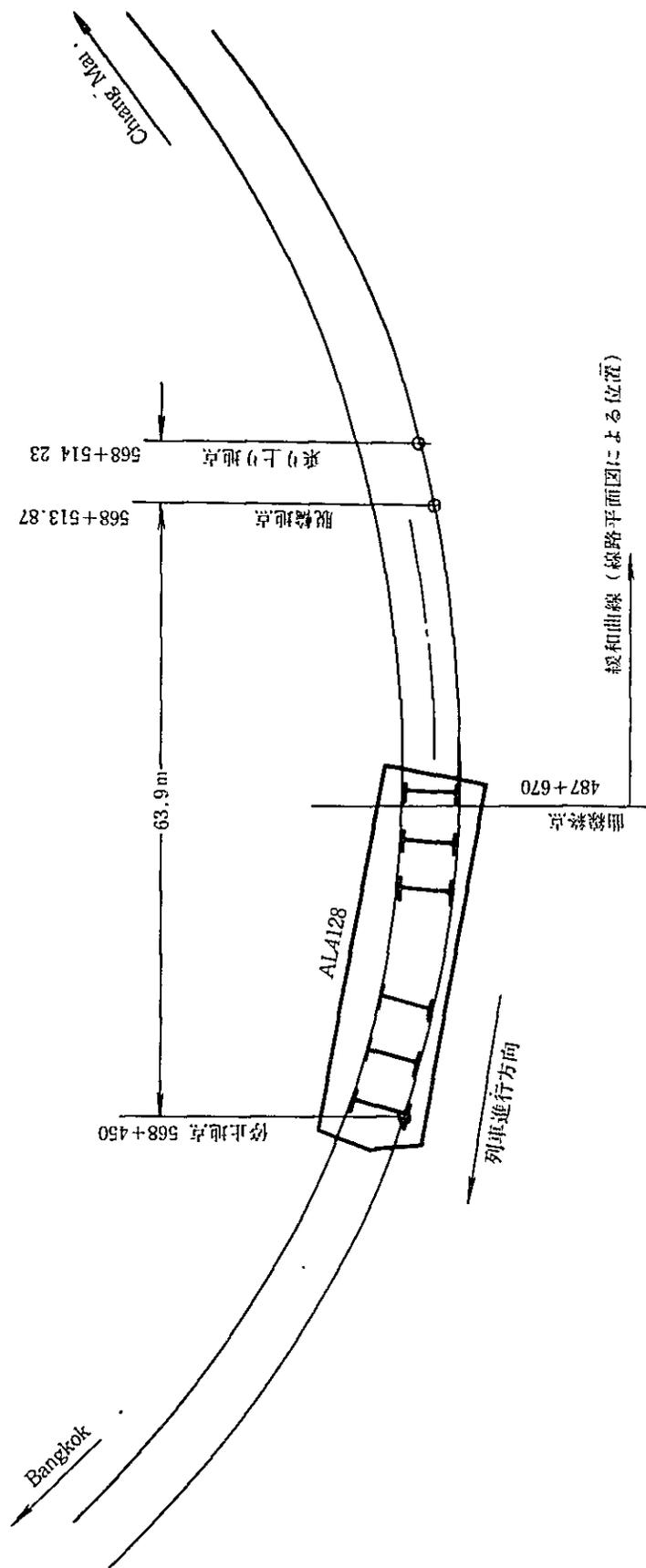


図 6.2.4

北線 568km 513m における ALSTHOM 4128 機関車の脱線
発生 1977年 3月11日



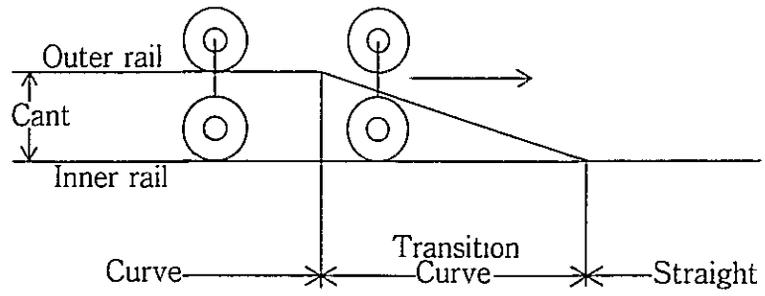


图 6.2.5

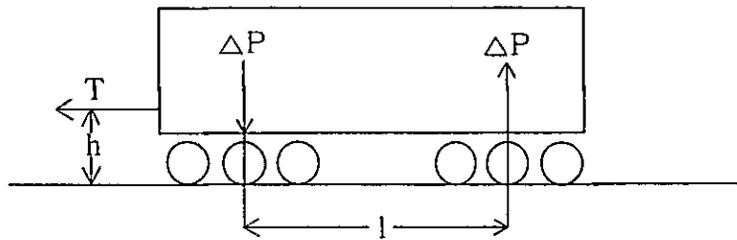


图 6.2.7

