

卒業論文

鉄道の転てつ装置の最適保全のための
信頼性工学

平成 23 年 2 月 4 日提出
指導教員 酒井信介教授
90212 村中 亮太

目次

第1章 序論	8
1.1 研究の背景	8
1.2 本研究の目的	8
1.3 本論文の構成	9
第2章 転てつ装置	10
2.1 緒言	10
2.2 分岐器概要	11
2.3 転てつ装置の動作原理	12
2.4 分岐器の種類	12
2.4.1 普通分岐器	12
2.4.2 特殊分岐器	13
2.4.3 分岐器の数	13
2.5 転てつ装置の故障原因	13
2.6 フロントロッド	14
2.7 考察	15
第3章 摩耗の要因，モデル化	16
3.1 緒言	16
3.2 摩耗進行に影響するパラメータ	17
3.3 車両通行時の振動	17
3.3.1 列車振動を表すパラメータ	18
3.4 列車重量と振動	21
3.5 摩耗進行のモデル化	23
3.5.1 モデル①	23
3.5.2 モデル②	24
3.6 考察	25
第4章 摩耗データ解析	26
4.1 緒言	26
4.2 実測データ	27
4.3 モデル①	28
4.3.1 <パラメータ：日数>	28
4.3.1.1 F=90%の場合	28
4.3.1.1 F=95%の場合	30

4.3.1.2 F=99%の場合	31
4.3.2 比較<パラメータ：日数>	32
4.3.3 モデル①<パラメータ：通過トン数>	33
4.3.4 比較<パラメータ：通過トン数>	35
4.3.5 <パラメータ：列車振動>	36
4.3.6 比較<パラメータ：列車振動>	38
4.4 モデル②	39
4.4.1 <パラメータ：日数>	39
4.4.2 比較<パラメータ：日数>	41
4.4.3 <パラメータ：通過トン数>	42
4.4.4 比較<パラメータ：通過トン数>	43
4.4.5 <パラメータ：列車振動>	44
4.4.6 比較<パラメータ：列車振動 A>	45
4.5 考察	46
4.5.1 モデル①	47
4.5.1.1 <パラメータ：日数>	47
4.5.1.2 <パラメータ：通過トン数>	47
4.5.1.3 <パラメータ：列車振動>	48
4.5.2 モデル②	48
4.5.2.1 <パラメータ：日数>	48
4.5.2.2 <パラメータ：通過トン数>	49
4.5.2.3 <パラメータ：列車振動 A>	49
4.6 考察	50
第 5 章 転てつ装置全体への拡張	51
5.1 緒言	51
5.2 交換周期決定法の提案	52
5.3 普通分岐器	53
5.3.1 モデル①	53
5.3.1.1 F=90%の場合	53
5.3.1.2 F=95%の場合	54
5.3.1.3 F=99%の場合	54
5.3.2 モデル②	55
5.4 特殊分岐器	55
5.4.1 モデル①	55
5.4.1.1 F=90%の場合	56
5.4.1.2 F=95%の場合	56

5.4.1.3 F=99%の場合	57
5.4.2 モデル②	57
5.5 考察	58
第 6 章 結論	59
6.1 本研究における結論	59
6.2 今後の課題と必要なデータ	59
付録.....	60
参考文献.....	63
謝辞.....	64

図目次

図 2.1	分岐器概要.....	11
図 2.2	転てつ装置概要.....	12
図 2.3	フロントロッド.....	14
図 2.4	フロントロッド拡大図.....	14
図 3.1	加速度センサ設置位置.....	17
図 3.2	加速度データ(A 駅普通列車).....	18
図 3.3	振動比較A2.....	19
図 3.4	振動比較 Ax.....	20
図 3.5	振動比較 Ay.....	20
図 3.6	振動比較 Az.....	21
図 3.7	A 駅(車両重量+定員)振動比較.....	22
図 3.8	A 駅(車両重量+定員)二乗和積分値.....	22
図 3.9	摩耗モデル①.....	23
図 3.10		24
図 3.11	摩耗モデル②.....	25
図 4.1	A 駅摩耗量.....	27
図 4.2	C 駅摩耗量.....	27
図 4.3	摩耗変化(A 駅上り).....	28
図 4.4	摩耗変化 (A 駅下り).....	28
図 4.5	摩耗変化(C 駅下り 1 号).....	29
図 4.6	摩耗変化(C 駅下り 2 号).....	29
図 4.7	故障確率の変化モデル①(F=90%).....	29
図 4.8	摩耗変化(A 駅上り).....	30
図 4.9	摩耗変化(A 駅下り).....	30
図 4.10	摩耗変化(C 駅下り 1 号).....	30
図 4.11	摩耗変化(C 駅下り 2 号).....	30
図 4.12	故障確率変化モデル①(F=95%).....	31
図 4.13	摩耗変化(A 駅上り).....	31
図 4.14	摩耗変化(A 駅下り).....	31
図 4.15	摩耗変化(C 駅下り 1 号).....	32
図 4.16	摩耗変化(C 駅下り 2 号).....	32
図 4.17	故障確率の変化モデル①(F=99%).....	32
図 4.18	故障確率変化(F=90%).....	33
図 4.19	故障確率変化モデル①(F=95%).....	34

☒ 4.20	故障確率変化モデル①(F=99%).....	34
☒ 4.21	列車振動比較(A 駅, C 駅)	36
☒ 4.22	故障確率変化モデル①(F=90%)	37
☒ 4.23	故障確率変化モデル①(F=95%).....	37
☒ 4.24	故障確率変化モデル①(F=99%).....	38
☒ 4.25	摩耗変化(A 駅上り左).....	39
☒ 4.26	摩耗変化(A 駅上り右).....	39
☒ 4.27	摩耗変化(A 駅下り左).....	39
☒ 4.28	摩耗変化(A 駅下り右).....	39
☒ 4.29	摩耗変化(C 駅下り 1 号左)	40
☒ 4.30	摩耗変化(C 駅下り 1 号右)	40
☒ 4.31	摩耗変化(C 駅下り 2 号左)	40
☒ 4.32	摩耗変化(C 駅下り 2 号右)	40
☒ 4.33	故障確率変化モデル②(F=99%).....	40
☒ 4.34	故障確率変化モデル②(F=99%).....	41
☒ 4.35	故障確率変化モデル②(F=99%).....	42
☒ 4.36	故障確率変化モデル②(F=99%).....	43
☒ 4.37	故障確率変化モデル②(F=99%)	44
☒ 4.38	故障確率変化モデル②(F=99%).....	45
☒ 5.1	フローチャート	52

表目次

表 3.1	分岐器データ	18
表 3.2	列車種類	19
表 4.1	摩耗量データ概要	27
表 4.2	分岐器データ	28
表 4.3	許容確率比較モデル①(日数基準)	33
表 4.4	許容確率比較モデル①(通過トン数基準)	35
表 4.5	許容確率比較モデル①(列車振動 A^2 基準)	38
表 4.6	許容確率比較モデル②(A 駅, 日数基準)	41
表 4.7	許容確率比較モデル②(C 駅, 日数基準)	42
表 4.8	許容確率比較モデル②(A 駅, 通過トン数基準)	43
表 4.9	許容確率比較モデル②(C 駅, 通過トン数基準)	44
表 4.10	許容確率比較モデル②(A 駅, 列車振動 A^2 基準)	45
表 4.11	許容確率比較モデル②(C 駅, 列車振動 A^2 基準)	46
表 4.12	相対値比較モデル①(日数)	47
表 4.13	相対値比較モデル①(通過トン数)	47
表 4.14	相対値比較モデル①(列車振動 A)	48
表 4.15	相対値比較モデル②(日数)	48
表 4.16	相対値比較モデル②(通過トン数)	49
表 4.17	相対値比較モデル②(加速度積分値 A)	49
表 5.1	普通分岐器交換周期モデル①(F=90%)	53
表 5.2	普通分岐器交換周期モデル①(F=95%)	54
表 5.3	普通分岐器交換周期モデル①(F=99%)	54
表 5.4	普通分岐器交換周期モデル②(F=99%)	55
表 5.5	特殊分岐器交換周期モデル①(F=90%)	56
表 5.6	特殊分岐器交換周期モデル①(F=95%)	56
表 5.7	特殊分岐器交換周期モデル①(F=99%)	57
表 5.8	特殊分岐器交換周期モデル②(F=99%)	57

第1章 序論

1.1 研究の背景

JR 東日本では鉄道転てつ装置を用いてレールの切り替えを行っている。転てつ装置が故障すると電車の遅延や運行中止につながる。そのため、JR 東日本では転てつ装置の改善や研究開発が行われてきた。最近では電気転てつ装置を用いて、コンピュータで動作を常時監視するなどといった、安全運行ための技術開発が進んでいる。

しかしその一方で、転てつ装置の部品の交換・点検周期の決定については確固たる手法が定まっていない。たとえば、現在、転てつ装置前部に位置するフロントロッドの交換周期は本線で6～8年、車両基地等の側線では5～10年と幅を持たせている。しかし、これは収集した故障データや実験に基づいて定められたものではない。一日に通過する列車の本数や、切り替え回数などの環境条件によって、各転てつ装置には最適な交換・点検周期が存在するはずである。最適な交換周期が求まっていないと、必要のない部品交換や点検が行われ、コストや手間の無駄が生まれてしまう。このような無駄を省くために JR 東日本では早急な交換・点検計画の作成が必要とされている。

1.2 本研究の目的

本研究の目的は転てつ装置の劣化状態の傾向を定量的に把握し耐用年数以外の新たな交換指標を提言することである。今回は主に転てつ装置前部に位置するフロントロッドを研究対象とする。

現在、普通分岐器の場合は6～8年、特殊分岐器は1年とフロントロッドの交換周期が定まっているがこの数値は統計的なデータに基づいたものでなく、今までの経験から定められたものである。しかし、転てつ装置が劣化をする要因は多種多様で、劣化具合は設置環境などによって左右される。普通分岐器の場合でも関節分岐器と弾性分岐器の違いや、転てつ装置を列車が通過する方向などによって劣化具合が変わる。

本研究ではフロントロッドの摩耗量に着目し、フロントロッドの最適な交換・点検周期を提案できないかを検討する。

1.3 本論文の構成

第1章では本研究の背景と目的を述べた.

第2章では転てつ装置とフロントロッド, 故障原因について述べる.

第3章では本研究で用いる理論について述べる.

第4章では本研究で行ったデータの処理や解析の結果について述べる.

第5章では第4章で行った解析を転てつ装置一般へと拡張する.

第6章として本研究のまとめを行った.

第2章 転てつ装置

2.1 緒言

鉄道転てつ装置の劣化具合を検討するにあたり，転てつ装置の仕組みや各部品の役割を理解することは重要である．そこで，本章では転てつ装置の動作原理やその故障原因の種類について述べ，本研究の対象を明確にする．

2.2 分岐器概要

一般的に線路を分岐させる機構を分岐器と呼ぶ。分岐器はポイント部、リード部、クロッシング部の三つの部分から構成される。分岐器の概要を図 2.1 に示す。

列車の進路を決定するために左右に動くレールのことをトングレールと呼ぶ。

分岐器の左側に位置するポイント部とは、トングレールと、そのトングレールが基本レールに接する場所を表す。

右側のクロッシング部とはレールが交差する部分を表す。そしてリード部とはポイント部とクロッシング部をつなぐ部分である。

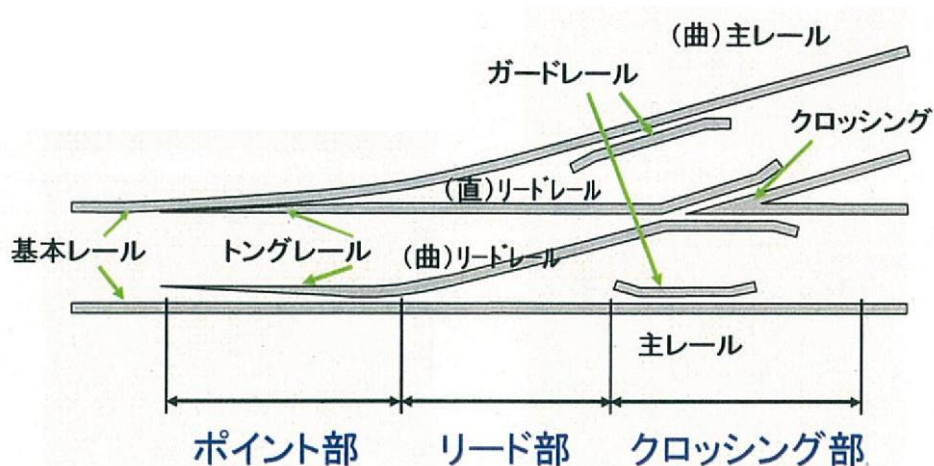


図 2.1 分岐器概要

一般的に転てつ器と呼ばれるものは「線路を分岐させる部分の軌道構造」[1]と JIS 規格で定義されている。一方、転てつ装置とは「転てつ器及び可動クロッシングの転換、鎖錠などに用いられる装置の総称」[1]と定義されており、一般的に分岐器周辺の装置のことを表す。本研究では転てつ装置の一部であるフロントロッドを研究の対象とする。

また転てつ機とはトングレールを動かすために取り付けられた装置のことである。

2.3 転てつ装置の動作原理

電車は分岐器に入るとき、トングレール上を通過する。このトングレールを左右に動かすことで列車の進路が決定する。電車の進行方向を決めるのが転てつ装置の役割である。トングレールは電気転てつ機と繋がっており、電気転てつ機が動作することによりトングレールが動く。

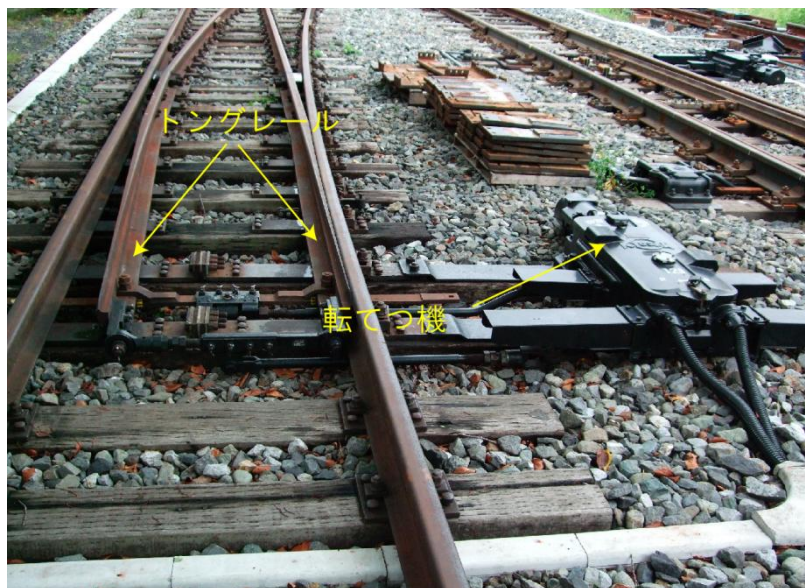


図 2.2 転てつ装置概要

2.4 分岐器の種類

分岐器は普通分岐と特殊分岐器の二つに大別される。

2.4.1 普通分岐器

普通分岐器とは両開き分岐器や片開き分岐器などのように一つのレールが二つに分岐するものを指す。普通分岐器は寸法が規格化されている。

普通分岐器の一つのメリットとしては、寸法が規格化されているので部品交換が容易であることが挙げられる。また、普通分岐器は特殊分岐器に比べて耐久性があるという長所もある。

一方デメリットは、用地に合わせた複雑な構造がとりにくいことである。普通分岐器は構造が決まっているので、その構造を満たすのに十分なスペースが必要である。

普通分岐器はさらに関節分岐器と弾性分岐器に分類される。

関節分岐器とはトンダレールの後ろ部分に継ぎ目をつけて、その継ぎ目を中心として回転させて転換を行う分岐器のことである。この種類の分岐器ではトンダレールとリードレールが分かれている。

一方弾性分岐器とはトンダレールとリードレールを一体化させたものでトンダレールの剛性を利用して転換を行う。

2.4.2 特殊分岐器

特殊分岐器とは一組（短い距離）で多くの進路を構成可能な分岐器のことである。特殊分岐器は普通分岐器とは異なり、各分岐器ごとに寸法などが異なる。特殊分岐器のメリットの一つは用地に合わせた構造をとれるので、用地を有効利用できることである。また、短い距離で多くのルート構成が可能なことも長所に挙げられる。他にも、配線構成上からは普通分岐器に比べて有利である。

一方デメリットは、可動部分が多く、使用できるレール長が短い(継ぎ目箇所が多い)ことがまず挙げられる。継ぎ目が多いと当然剛性が落ちる。またレールが輻輳し、両側から締結できる部分が少なく、レール締結力の保持が困難である。三つ目に、まくらぎ間の狭い箇所に可動するロッド類が輻輳し、道床不足箇所が多数出てきてしまう。そのため、日常の保守管理に労力を要する。

2.4.3 分岐器の数

分岐器はJR東日本の管轄内で約1万台ほどあるが、そのうち特殊分岐器は100～200台ほどある。しかし、特殊分岐器は保守点検に手間がかかるため、また耐久性が普通分岐器より劣るため、最近では特殊分岐器から普通分岐器へと変えていく傾向にある。

2.5 分岐器の故障原因

分岐器の主な故障原因は、トンダレール(可動レール)の転換不能と軌道回路故障(軌道短絡)の二つにわけられる。

転換不能は転換負荷の増大や鎖錠(ロック)不能により引き起こされる。転換不能の主な原因は

- ・熱膨張等による分岐器内レールのふく進や軌道変位
- ・潤滑油切れ等による電気転てつ機のロック不良
- ・異物の介在

がある。一方、軌道回路故障の原因は

- ・ まくらぎ，レールの移動による部品の接触
- ・ 絶縁部材料の損傷，脱落
- ・ 絶縁部での金属の接触

が挙げられる．

2.6 フロントロッド

本研究では時間の経過や通過トン数などとフロントロッドの摩耗量の関係を調べる．

フロントロッドとは，トンダレールの作動をロックロッド(鎖錠桿)に伝えるため左右のトンダレールを先端部で結ぶ機器．その後方に位置する第1スイッチアジャスタは転てつ器を転換するため，転てつ棒と転換装置とを結びトンダレールの密着力を調整する機器である．フロントロッドも電気転てつ機とは繋がっているが，可動部とは繋がっておらずレールの切り替えには直接作用しない．

本研究で摩耗測定の対象となるのは図 2.4 において赤い円で囲まれた部分である．レールの切り替えには作用しないので，切り替えによる摩耗はごくわずかである．一方で列車が通過する際の振動や重みが原因でこの部分は摩耗する．

本研究ではフロントロッドの摩耗量の交換基準値は 0.5mm と定義し，特殊分岐器の場合は約 1 年，普通分岐器の場合はだいたい 6～8 年でこの基準に到達すると考える．

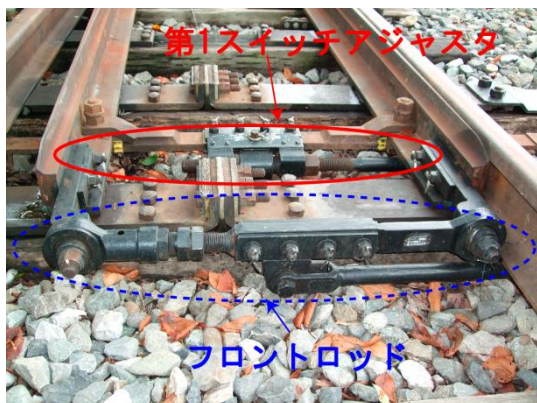


図 2.3 フロントロッド



図 2.4 フロントロッド拡大図

2.7 考察

次章からは，このフロントロッドの摩耗を実測されたデータからモデル化し，いくつかのパラメータを考慮しながら，最適な交換周期の提案を目指す．

第3章 摩耗の要因，モデル化

3.1 緒言

本章では，フロントロッドの摩耗が起こる要因について考察し，摩耗の進行に関してモデル化を行った．

3.2 摩耗進行に影響するパラメータ

摩耗に関連するパラメータは様々なものが考えられるが主に，使用日数，通過トン数，列車通過時の振動の 3 つが影響すると考えられる．

使用日数が多いと，列車の通過本数などが増えるので，使用日数が短いものに比べて摩耗量は多い．また通過トン数が多ければフロントロッドにかかる負荷は大きくなり，摩耗も進行すると考えられる．列車通過時の振動も同様にフロントロッドに負荷がかかるので摩耗は進行すると予測できる．

3.3 車両通行時の振動

本研究では列車通過時にフロントロッドに作用する加速度を測定するため，実際に使用されている転てつ装置のフロントロッドに加速度センサを取り付け，加速度を実測した．加速度センサは図 3.1 加速度センサ設置位置 の赤く示した部分に取り付けた．使用した加速度センサは歪みゲージ式加速度計である．加速度計は一つの分岐器につき 3 つとりつけ，それぞれ軌間内外方向(x 方向)，鉛直方向(y 方向)，レール平行方向(z 方向)の三方向の加速度を計測した．



図 3.1 加速度センサ設置位置

加速度センサを取り付けた分岐器は 3 つの駅にわかれる．それぞれ上下線に取り付けたので合計で 6 つの分岐器にセンサを設置した．設置した分岐器の駅名は，A 駅，B 駅，C 駅とする．各駅の分岐器の種類や通過本数，通過トン数などは表 3.1 の通りである．

表 3.1 分岐器データ

駅名称	分岐器番号	普通／特殊	関節／弾性	列車本数(/1日)	通過トン数(/1日) 単位:千トン
A 駅	上り	普通	関節	92	33.6
	下り	普通	弾性	92	39.4
B 駅	65 口	特殊	関節	76	30.3
	65 ハ	特殊	関節	76	30.3
C 駅	下り 1 号	特殊	関節	176	114.4
	下り 2 号	特殊	関節	176	114.4

次にそれらのセンサによって列車通過時に採取された加速度の時間ごとの変化の一例を図 3.2 に示す. このデータは A 駅で採取され, 522M という普通列車の加速度の時間変化を示したものである. 赤が鉛直方向, 緑が軌間内外方向, 青がレール平行方向を表す. 単位は縦軸が加速度(m/s^2), 横軸が時間(s)である.

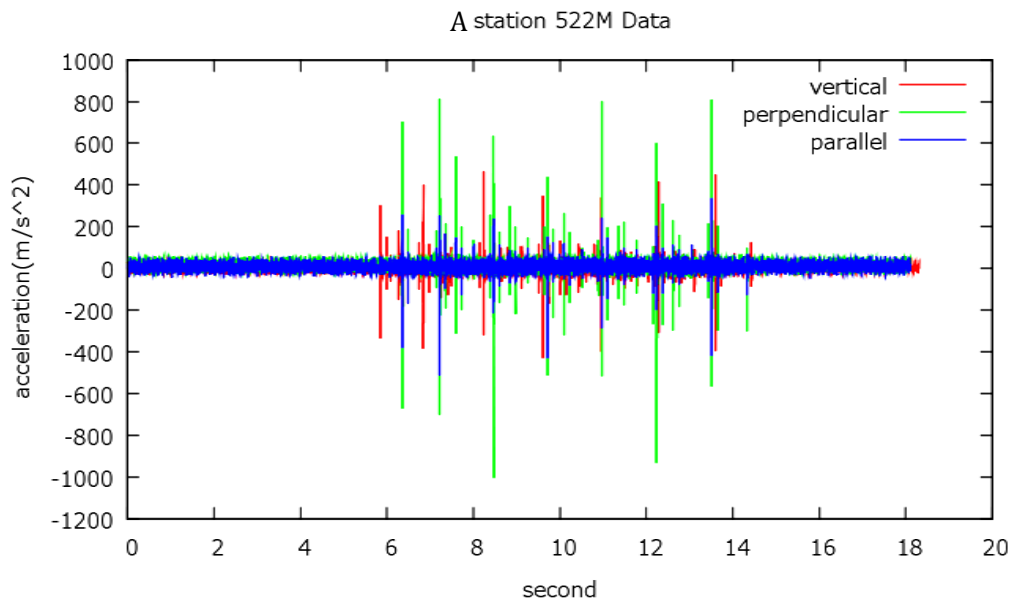


図 3.2 加速度データ(A 駅普通列車)

3.3.1 列車振動を表すパラメータ

振動に関するパラメータとして本研究では, 各方向の加速度を時間で積分した値 (A_x , A_y , A_z , 単位は m/s) と各方向の二乗和を積分した値 ($A^2 = A_x^2 + A_y^2 + A_z^2$, 単位は m^2/s^3) を考えた. 図 3.2 では A_x , A_y , A_z は各方向の面積に対応する.

各駅で採取された列車の加速度データの内訳を表 3.2 に示す.

表 3.2 列車種類

駅名	普通列車	特急列車	貨物列車
A 駅	5	2	0
B 駅	2	2	0
C 駅	4	0	2

A_x , A_y , A_z , A^2 の駅別、列車別による比較は図 3.3～図 3.6 のようになる。いずれのグラフにおいても横軸が列車の種類、縦軸が加速度積分値である。

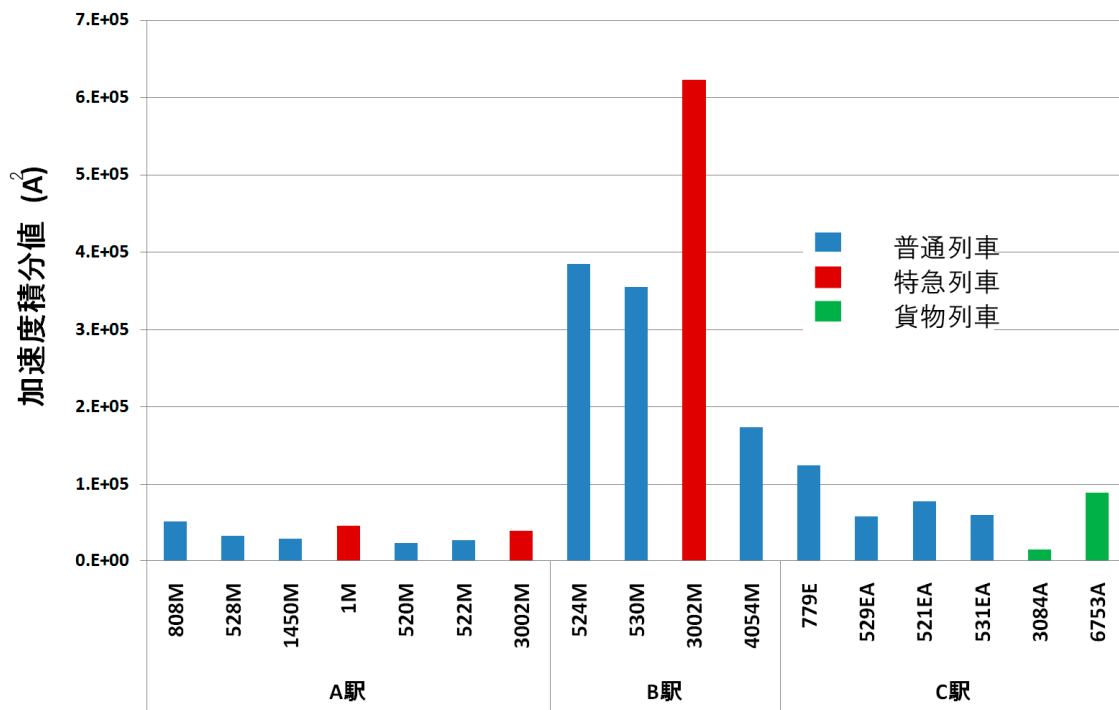


図 3.3 振動比較A²

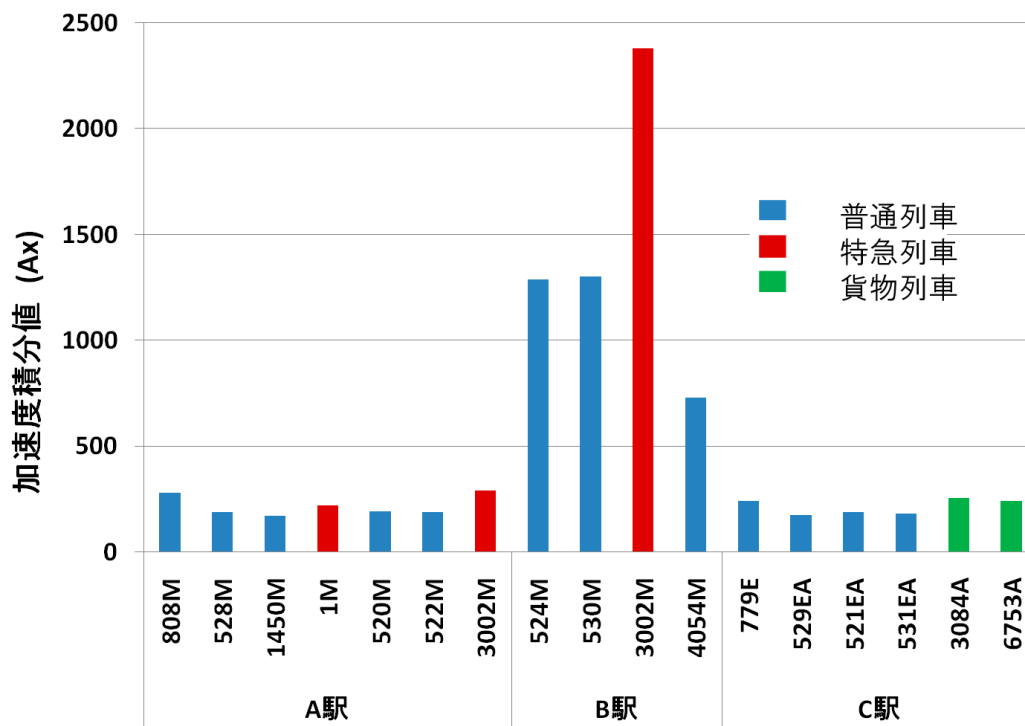


図 3.4 振動比較 Ax

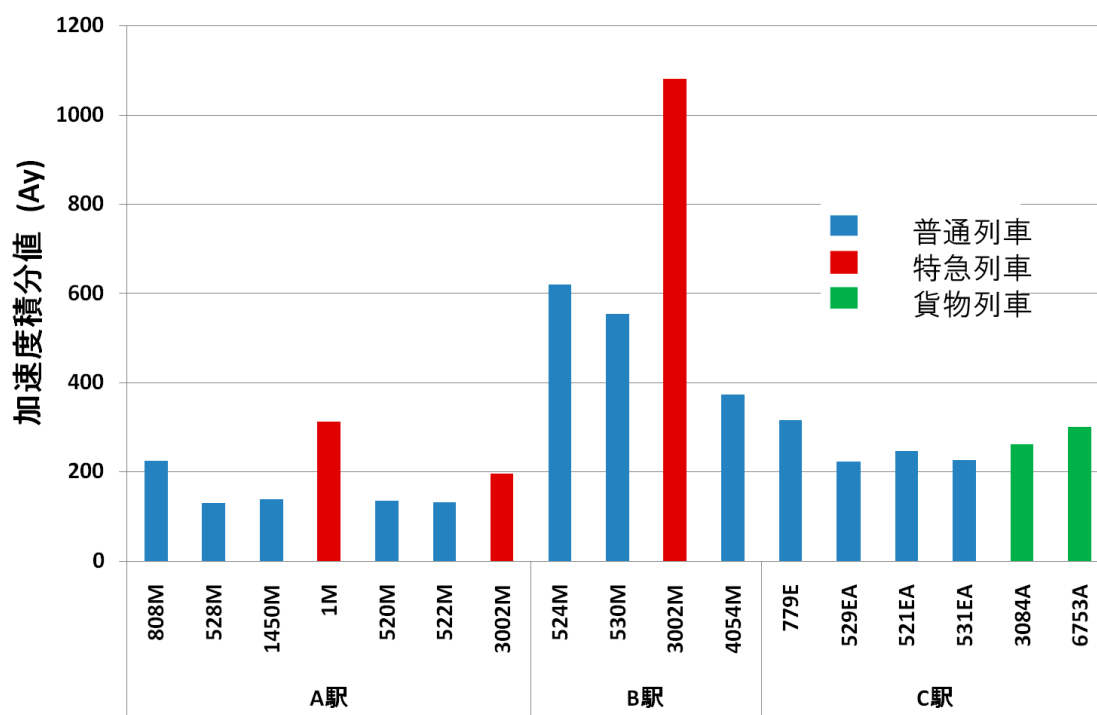


図 3.5 振動比較 Ay

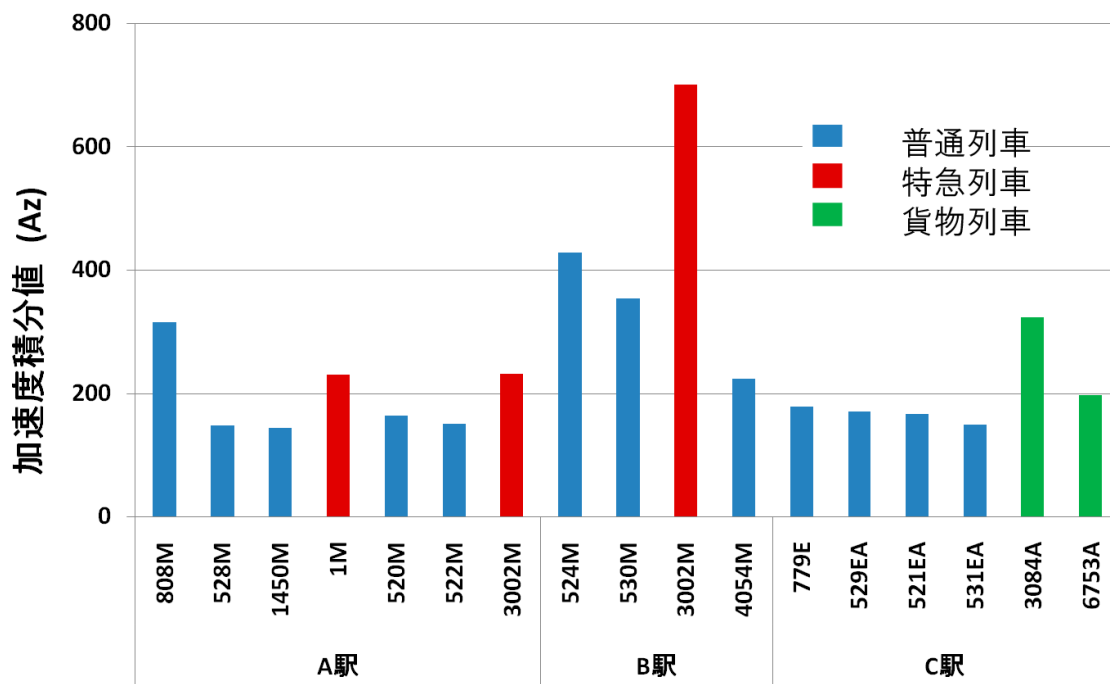


図 3.6 振動比較 Az

これらの比較から分かることは特殊分岐器の B 駅がいずれの方向でも大きな値を示すということである。例えば「3002M」は A 駅も B 駅も通過する同じ種類の列車である。しかし、どの方向においても B 駅の値は A 駅のそれを大きく上回っている。これは特殊分岐器が普通分岐器よりも締結部などが少なく構造的に弱いことに原因があると考えられる。また C 駅についても平均的に普通分岐器を使用する A 駅より大きな値が得られた。

3.4 列車重量と振動

分岐器の通過トン数に直結するのが分岐器を通過する列車の重さである。この節では各列車の重さと振動について調べる。列車の重量と定員に関して十分なデータがあるのは A 駅についてだけだったので、A 駅で採取されたものについて計算を行った。列車重量は、乗車人数が定員よりも少ない場合があることを考慮し

$$\text{列車重量} = \text{本体重量} + \text{定員} \times 0.8$$

と定義した。

列車重量と振動の関係を表したグラフを図 3.7 に示す。

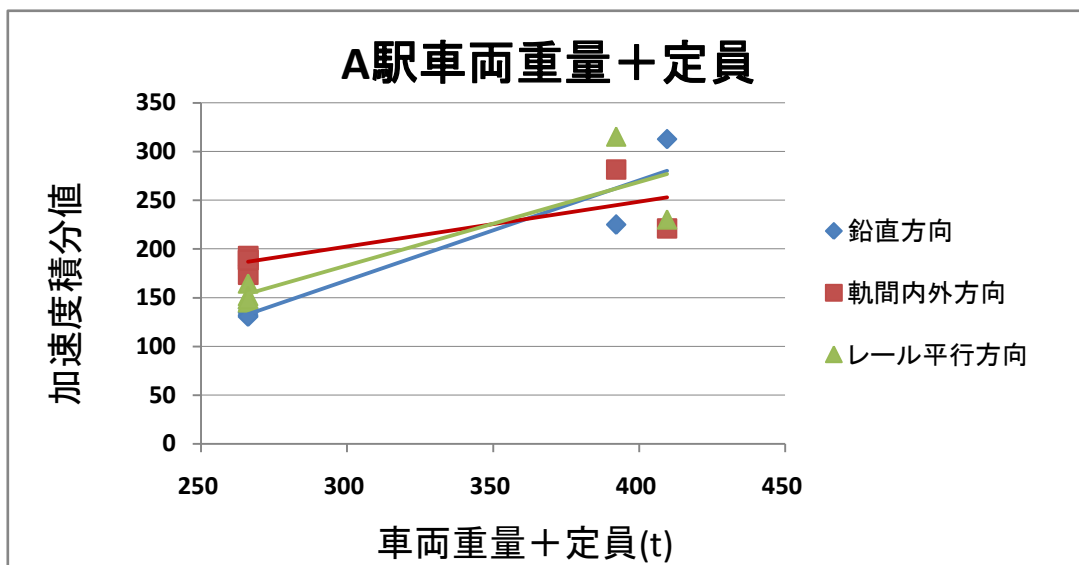


図 3.7 A 駅(車両重量＋定員)振動比較

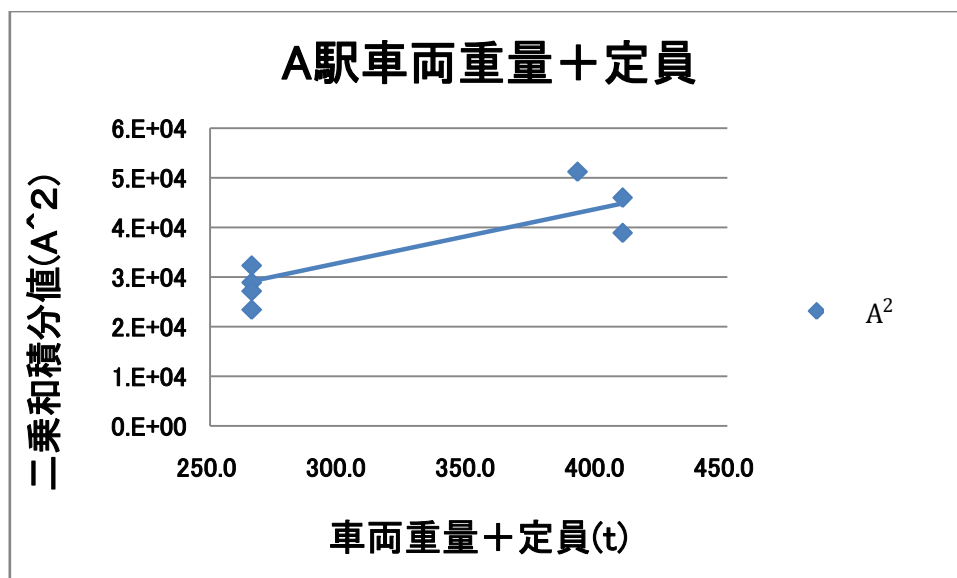


図 3.8 A 駅(車両重量＋定員)二乗和積分値

図 3.7, 図 3.8 からは, いずれの方向の加速度積分値においても, 通過重量と一定の関係があるということがわかる.

3.5 摩耗進行のモデル化

3.5.1 モデル①

本研究では実際に使用されている転てつ装置の摩耗データを用いることでフロントロッ
ドの摩耗のモデル化を行った。

以下にモデル化の手法について説明する。

まず単純化を図るため摩耗は線形的に進行すると仮定する。次に、ある時点での摩耗量
は正規分布に従うと仮定する。その場合、平均値 μ としては原点と実測された摩耗量を結
んだ直線上の点とする。

また基準年を設定し、基準年での摩耗量半径が 0.5mm 以下になる累積確率を F と定義し
た。F の値としては信頼性の分野によく登場する、90%、95%、99%の三種類を採用した。
基準年での平均値 μ と累積確率 F の値から標準偏差 σ を決定する。

標準偏差は摩耗進行速度にばらつきがないと考え、原点を通り日数に比例して大きくな
ると仮定する。各日数で正規分布に従う摩耗量が 0.5mm を超える累積確率を故障確率と定義
する。

基準年は普通分岐器の場合 7 年、特殊分岐器の場合は 1 年と設定する。

摩耗進行のモデル化を図示したものが図 3.9 である。

図 3.9 は日数を横軸のパラメータにとったものだが本研究では日数、通過トン数、列車
振動の 3 つのパラメータを考慮して研究を進める。

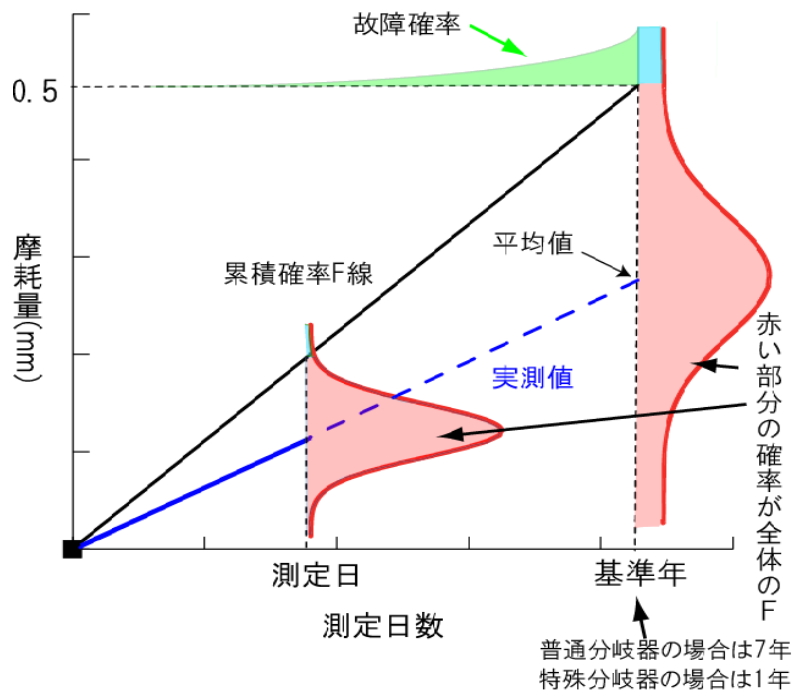


図 3.9 摩耗モデル①

3.5.2 モデル②

モデル①では摩耗進行において一日あたりの摩耗量が一定だと仮定しモデル化を行った。一方、モデル②では摩耗により失われる体積が一日あたり一定であると考え、モデル化した。このモデル化について、パラメータを日数にとった場合を説明する。

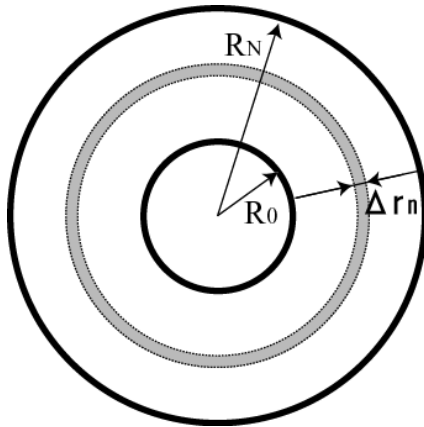


図 3.10

前後の穴の径である。図 3.10 の R_0 が使用前の穴の半径、 N 日使用した後の半径を R_N で表す。本研究では使用前中後において円を保つと考えた。

今回のモデル化では奥行きは単位長さを考えた。 N 日使用するまでに失われた体積を日数 N でわり、一日あたりの摩耗量と考えた。つまり一日あたりの摩耗量は

$$C = \frac{\pi(R_N^2 - R_0^2)}{N}$$

と表される。

本研究で得られる実測データは実際に使用されたフロントロッドの使用

そして C の値から一日あたりの摩耗進行量 Δr_n を求める事ができる。

前節で行ったモデル化と大きく異なる点は、摩耗体積を一定にとった点である。

各日数において得られた累積摩耗量 $R = \sum \Delta r_n$ はモデル①と同じように、正規分布に従うと仮定し故障確率の基準も同様に半径摩耗量が 0.5mm にとった。また n 日目の標準偏差 σ_n は累積摩耗量に依存すると考え、基準日数での標準偏差 σ_N をまず求め、

$$\sigma_n = \frac{R}{(N \text{ 日目の平均値})} \times \sigma_N$$

として計算を行った。

パラメータを通過トン数や列車振動にとった場合は N の値をそれぞれ測定日数に対応した値に変換し計算を行えばよい。パラメータを変えた場合の詳しい計算方法は第 4 章で述べる。

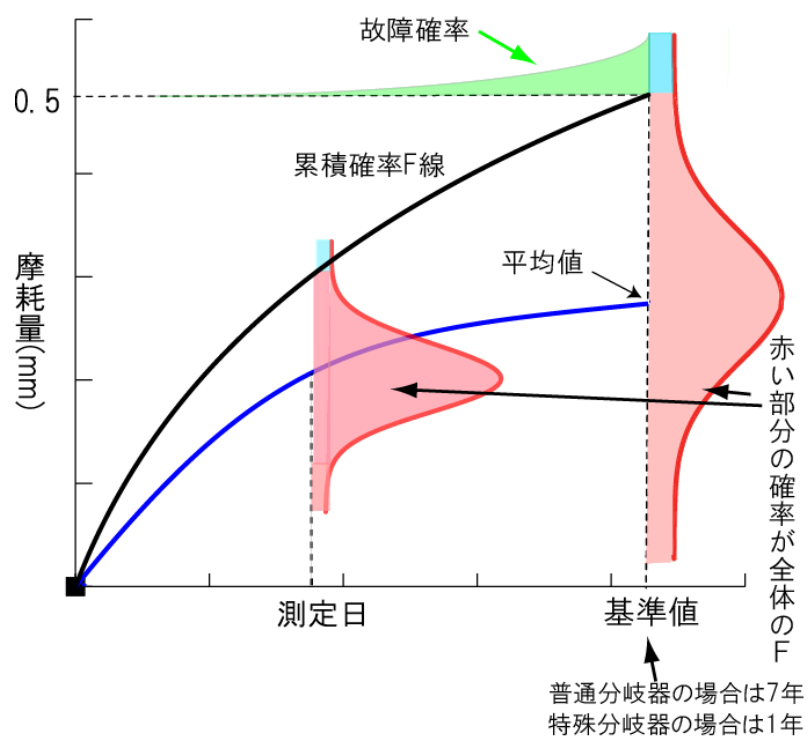


図 3.11 摩耗モデル②

3.6 考察

本研究では日数，通過トン数，列車振動の3種類のパラメータを用いて，モデル①とモデル②の二つのモデルについてフロントロッドの摩耗との関係を調べていく。

第4章 摩耗データ解析

4.1 緒言

本章では実際の線路で採取された摩耗データを，前章でモデル化した摩耗の進行に適用し適切な交換周期を決定する手法を開発する．

前章で検討した 3 つのパラメータを考慮し，交換周期が現在の基準に比べてどの程度伸ばすことができるかを検討する．

4.2 実測データ

本研究を進めるにあたり，二つの駅に設置された転てつ装置のフロントロッドについて摩耗量の測定を行った．測定を行ったのは共同研究先の JR 東日本テクニカルセンターである．

測定したフロントロッドが設置されていた駅は，前章の加速度振動の測定の際に登場した A 駅と C 駅である．A 駅は普通分岐器，C 駅は特殊分岐器について測定を行った．測定した分岐器は上下線で1つずつ，また各フロントロッドについて左右の2箇所を測定した．

摩耗量を測定した期間や摩耗量を表 4.1 に示す．

表 4.1 摩耗量データ概要

駅名	種類	名称	箇所	試験前(mm)	試験後(mm)	摩耗量 (mm)	測定日数
A 駅	普通	上り	対向左	0.005	0.013	0.008	73
			対向右	0.004	0.011	0.007	
		下り	対向左	0.004	0.017	0.013	70
			対向右	0.005	0.016	0.011	
C 駅	特殊	下り 1 号	対向左	0.119	0.126	0.007	195
			対向右	0.112	0.119	0.007	
		下り 2 号	対向左	0.108	0.135	0.027	195
			対向右	0.105	0.118	0.013	

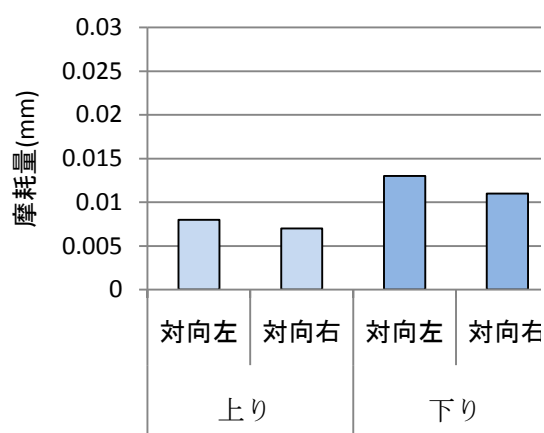


図 4.1 A 駅摩耗量

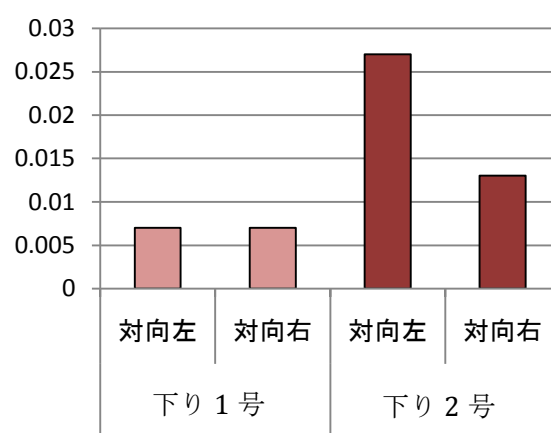


図 4.2 C 駅摩耗量

また各分岐器の詳しいデータについては表 4.2 を参照。

表 4.2 分岐器データ

駅名称	名称	種類	列車本数(/1日)	通過トン数(/1日) 単位:千トン	基準年
A 駅	上り	普通	92	33.6	7 年
	下り		92	39.4	
C 駅	下り 1 号	特殊	176	114.4	1 年
	下り 2 号		176	114.4	

今回の計算ではモデル化した際、基準年での累積確率値 F の値として $F=90\%$, 95% , 99% の三種類を用いた。

4.3 モデル①

まずモデル①について考える。普通分岐器の A 駅上り、A 駅下り、特殊分岐器の C 駅下り 2 号、C 駅下り 1 号の 4 種類についてモデル化を行った。摩耗量が左右で異なった場合は平均値を摩耗量として採用した。

4.3.1 <パラメータ：日数>

パラメータとして日数をとった場合の摩耗量変化の様子、故障率の変化を示す。

4.3.1.1 $F=90\%$ の場合

摩耗の進行は、横軸を日数にとった場合以下のようなになる。

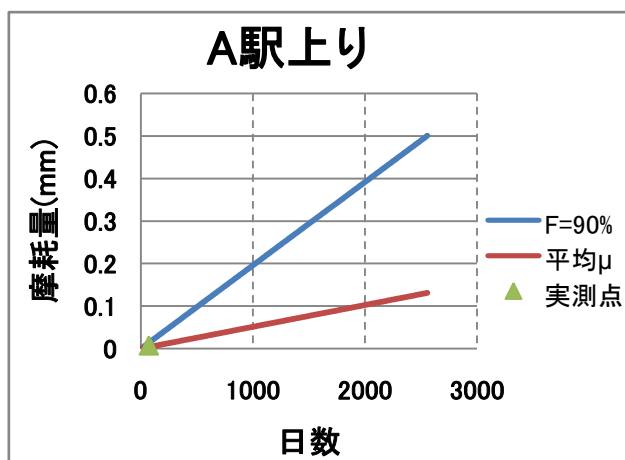


図 4.3 摩耗変化(A 駅上り)

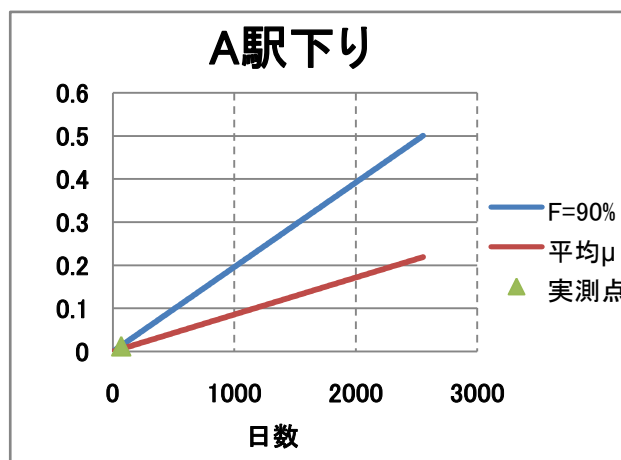


図 4.4 摩耗変化 (A 駅下り)

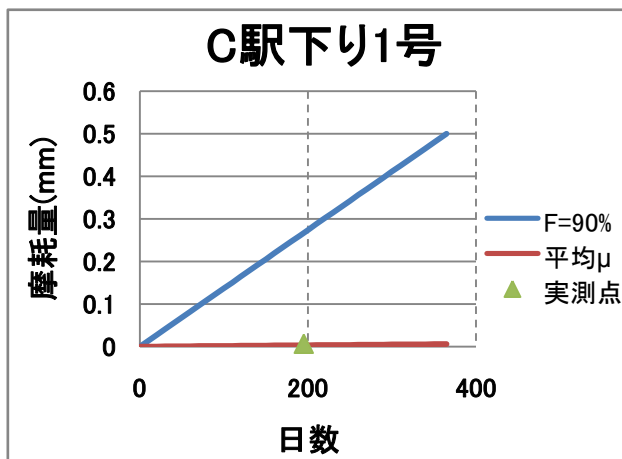


図 4.5 摩耗変化(C 駅下り 1 号)

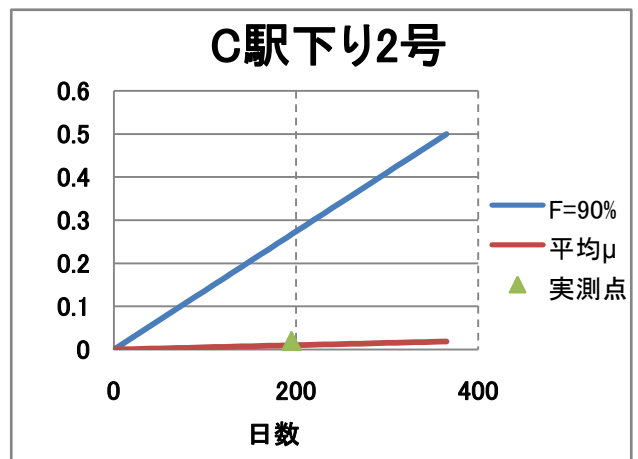


図 4.6 摩耗変化(C 駅下り 2 号)

次に、各日数の正規分布うち摩耗量が 0.5mm を超える確率(故障確率)の変化を図 4.7 に示す。縦軸は故障確率を対数表示し、横軸には日数をとった。

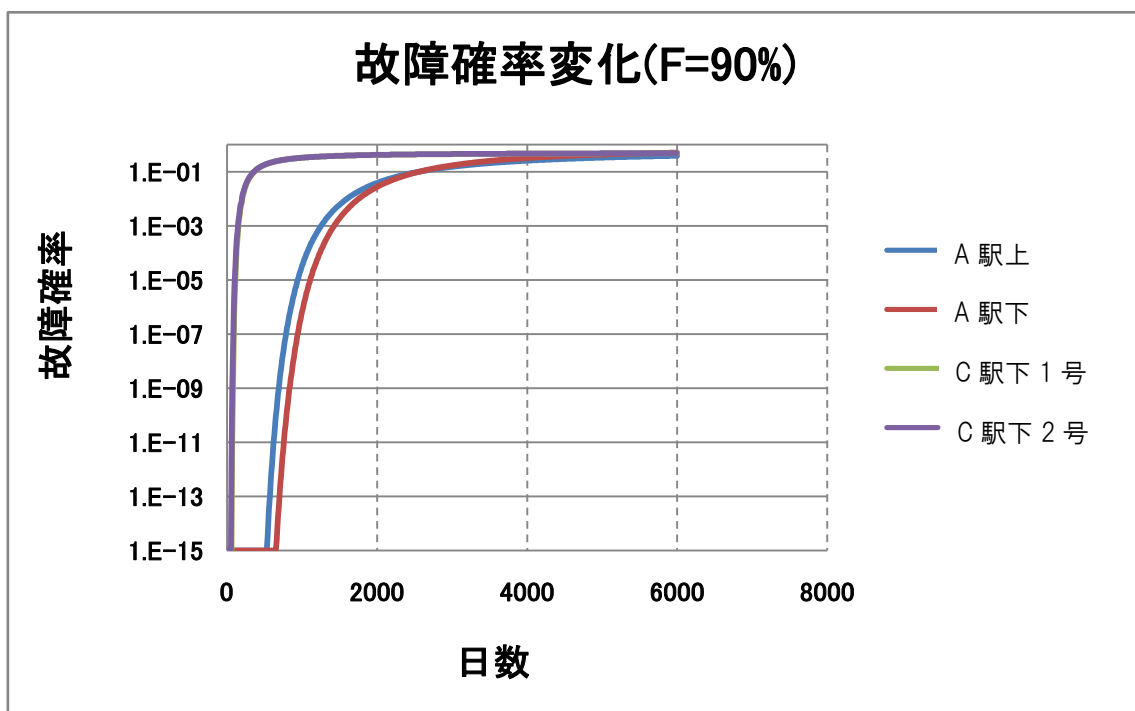


図 4.7 故障確率の変化モデル①(F=90%)

4.3.1.1 F=95%の場合

次に F=95%とした場合の摩耗進行，故障確率変化のグラフを示す。

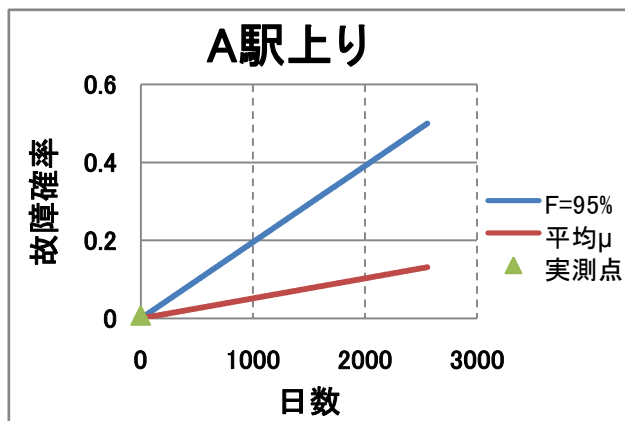


図 4.8 摩耗変化(A 駅上り)

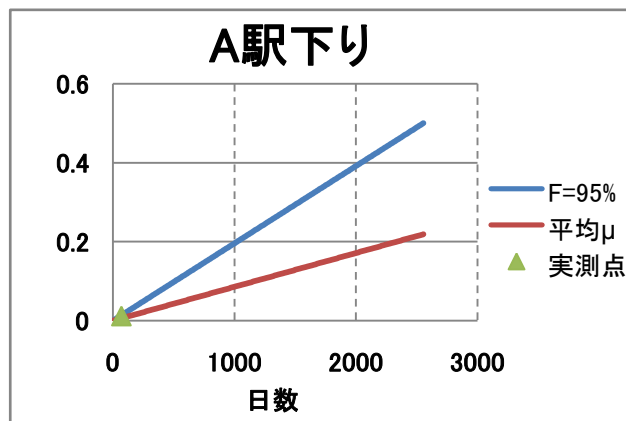


図 4.9 摩耗変化(A 駅下り)

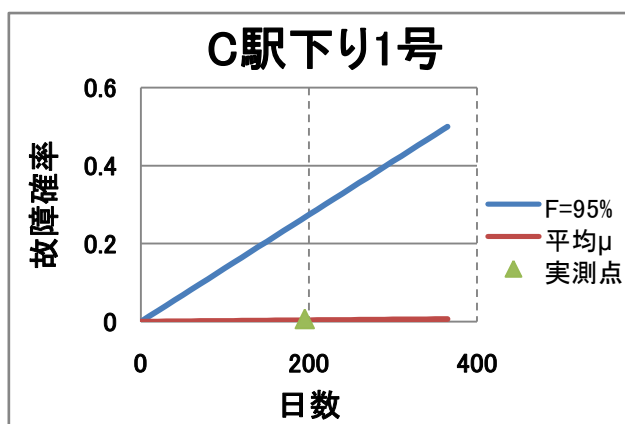


図 4.10 摩耗変化(C 駅下り 1 号)

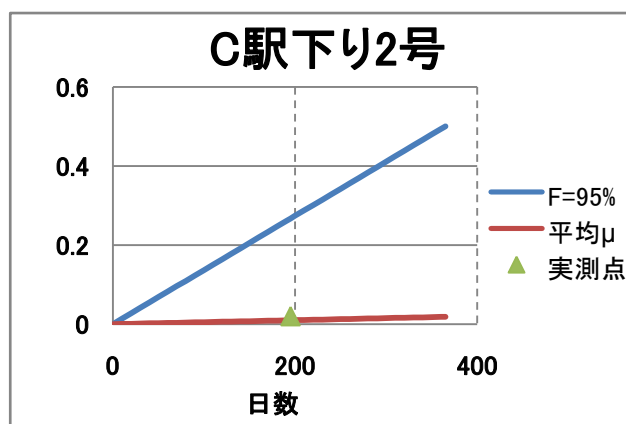


図 4.11 摩耗変化(C 駅下り 2 号)

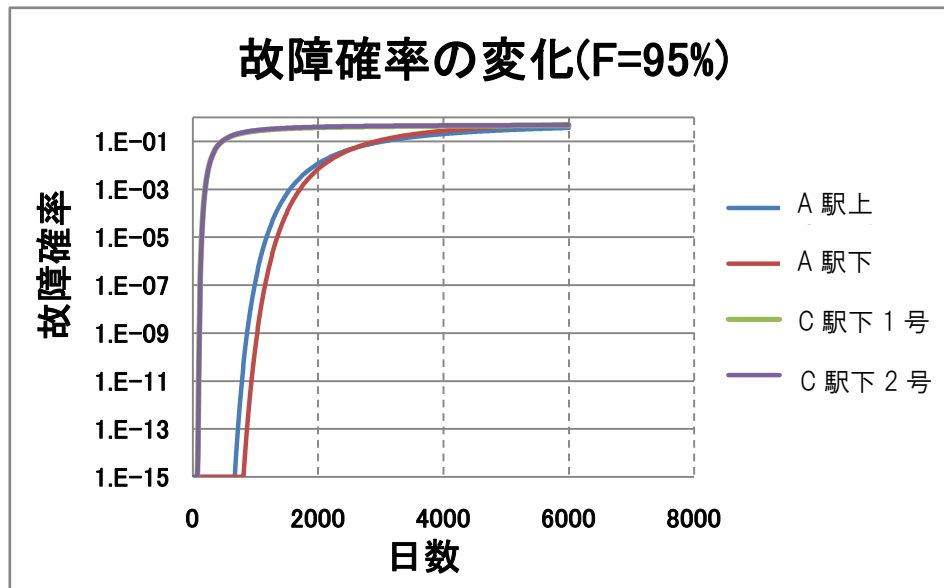


図 4.12 故障確率変化モデル①(F=95%)

F=90%の場合に比べ, 故障確率が増加する位置が右にずれていることが分かる. これは, 基準年で故障率を小さくとしているからである.

4.3.1.2 F=99%の場合

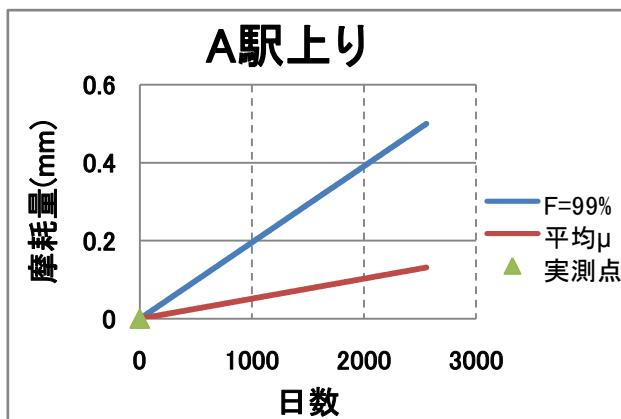


図 4.13 摩耗変化(A 駅上り)

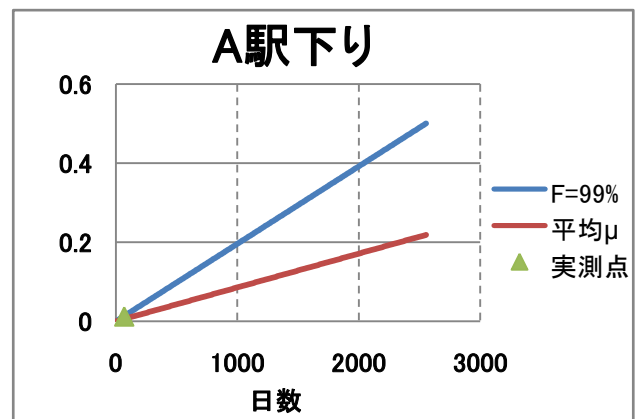


図 4.14 摩耗変化(A 駅下り)

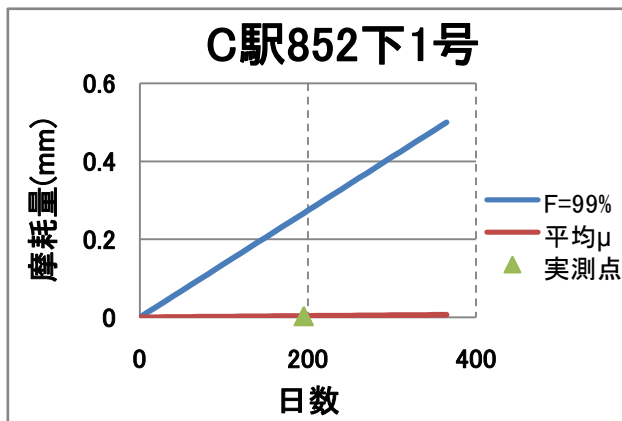


図 4.15 摩耗変化(C 駅下り 1 号)

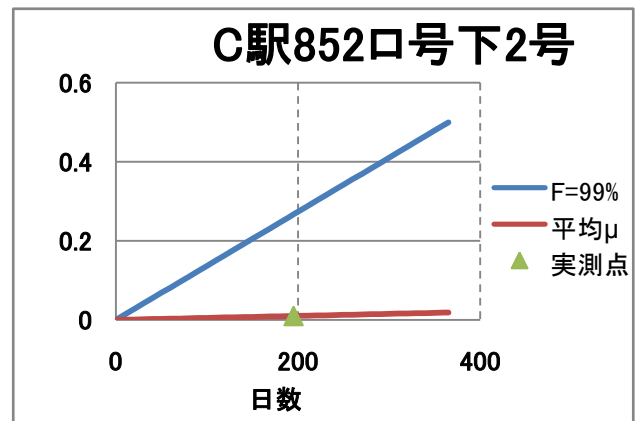


図 4.16 摩耗変化(C 駅下り 2 号)

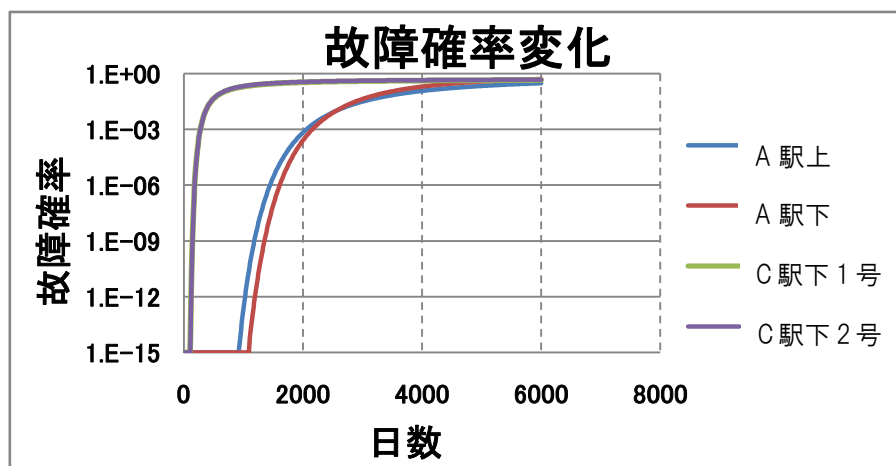


図 4.17 故障確率の変化モデル①(F=99%)

F=99%にとった場合はさらに故障確率が増加し始めるのが右にずれる。

4.3.2 比較<パラメータ：日数>

故障確率をある値まで許容できる場合，その故障確率を**許容確率**と呼ぶことにする．許容確率を小さくとると故障を起こす台数は減るが，交換する周期は短くなる．一方，許容確率を大きくとると，交換周期は長くなるが故障を起こす台数が増える．

表 4.3 には代表的な許容確率に達するまでの日数の目安を示してある．赤字で表された数字は各 F の値で基準とした日数のことである．

表 4.3 許容確率比較モデル①(日数基準)

		A 駅上り			A 駅下り			C 駅下り 1 号			C 駅下り 2 号		
F		90%	95%	99%	90%	95%	99%	90%	95%	99%	90%	95%	99%
故障確率	1%	—	—	2555	—	—	2555	—	—	365	—	—	365
	5%	—	2555	3260	—	2555	3050	—	365	510	—	365	500
	10%	2555	3050	3820	2555	2910	3410	365	460	650	365	460	640
	15%	2970	3510	4320	2870	3220	3700	450	570	800	440	560	780
	20%	3430	4000	4830	3200	3520	3980	550	700	980	540	680	940
	25%	3930	4530	5370	3520	3820	4250	700	870	1220	680	840	1150
	30%	4540	5140	5970	3860	4140	4520	870	1110	1550	840	1060	1430

4.3.3 モデル①<パラメータ：通過トン数>

次に、日数のかわりに通過トン数をパラメータにとる。参考にした通過トン数は表 4.2 に示した通りである。

通過トン数を基準にした場合、交換の基準となる値が変わる。交換の基準年数は特殊分岐器で 1 年、普通分岐器で 7 年である。基準年数と対応させるため、A 駅では、「(上りと下りの通過トン数の平均)×7 年」を交換の基準通過トン数とした。一方、C 駅の場合、下り 2 号、下り 1 号で通過トン数は同じなので基準通過トン数はシンプルに「(1 日あたりの通過トン数)×1 年」とした。

F=90%, 95%, 99% の三種類についての故障確率の変化の計算結果をに示す。グラフの横軸はすべて通過トン数(千トン)、縦軸は故障確率である。

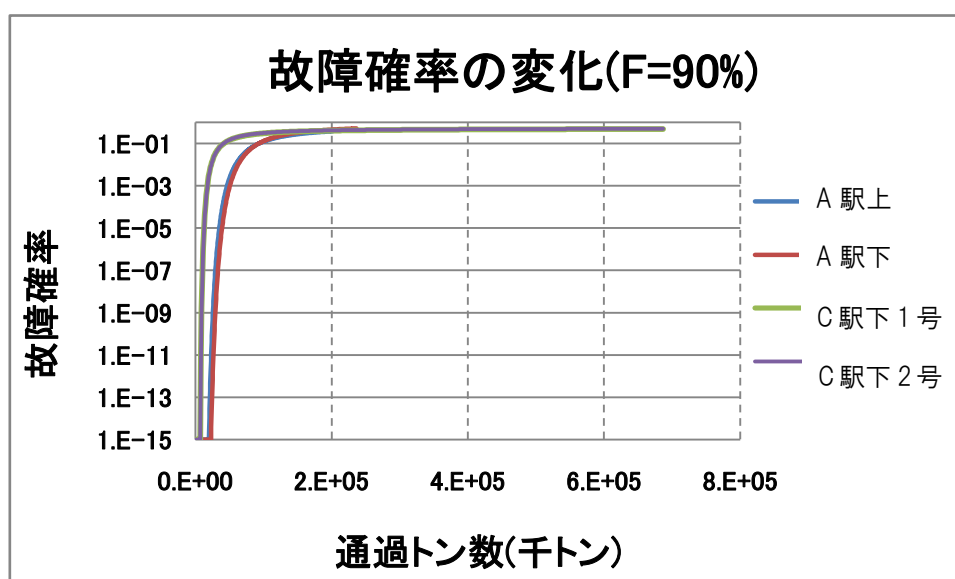


図 4.18 故障確率変化(F=90%)

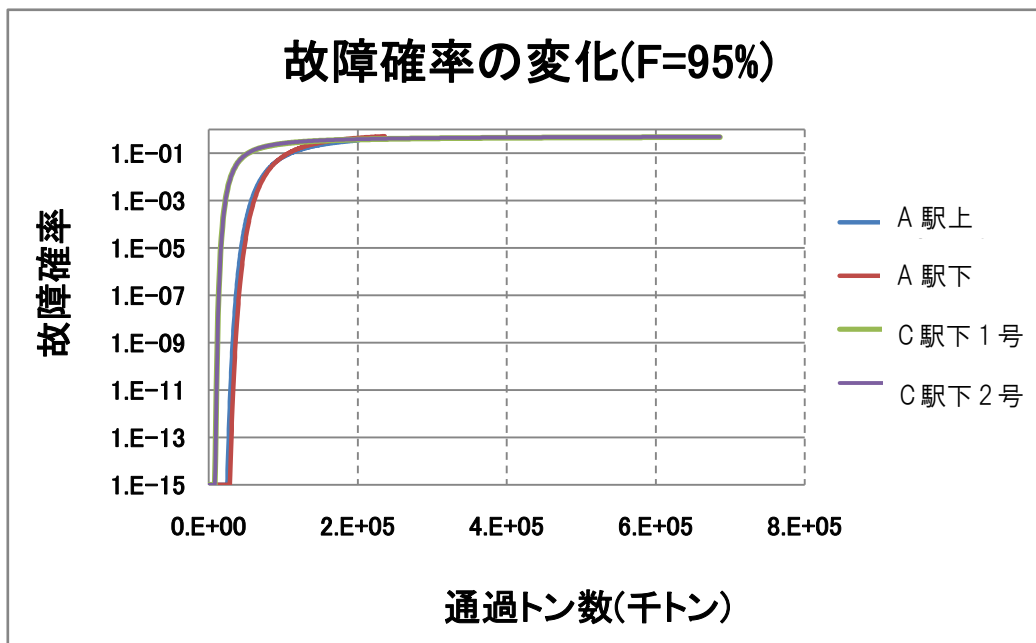


図 4.19 故障確率変化モデル①(F=95%)

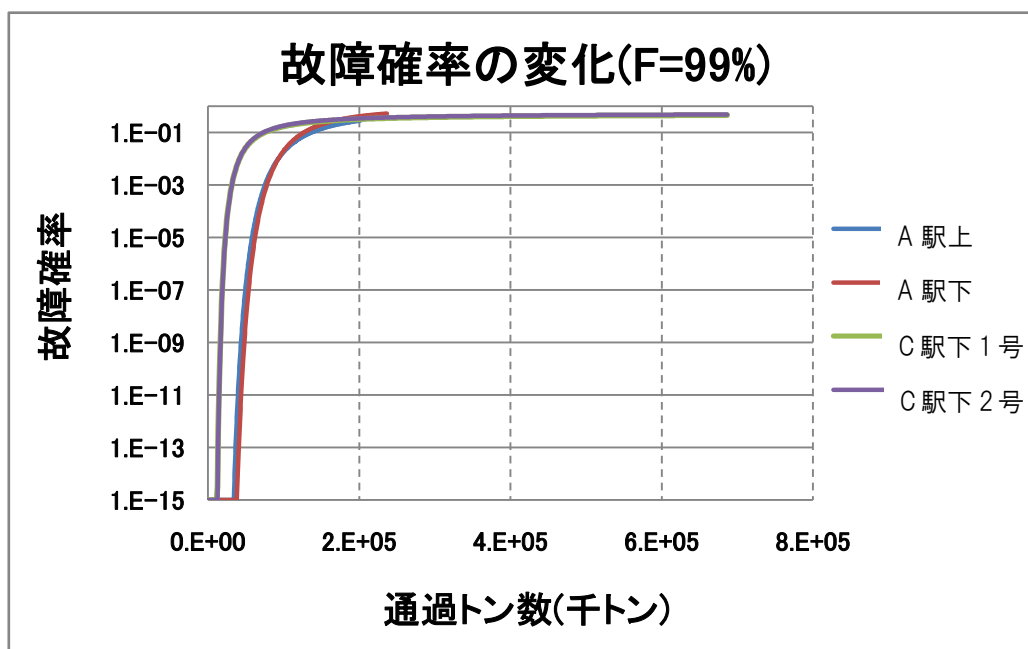


図 4.20 故障確率変化モデル①(F=99%)

グラフをみて分かりますとおり，日数をパラメータにとった場合に比べて故障率が大きくなる位置が A 駅，C 駅で相対的に近付いている．これは C 駅のほうが一日あたりの通過トン数が A 駅に比べて多いからである．

4.3.4 比較＜パラメータ：通過トン数＞

通過トン数をパラメータとした場合の故障確率の変化を表にまとめると表 4.4 のようになる。

表 4.4 許容確率比較モデル①(通過トン数基準)

単位:千トン		A 駅上り			A 駅下り			C 駅下り 1 号			C 駅下り 2 号		
F		90%	95%	99%	90%	95%	99%	90%	95%	99%	90%	95%	99%
故障確率	1%	—	—	93258	—	—	93258	—	—	41756	—	—	41756
	5%	—	93258	117600	—	93258	112684	—	41756	58344	—	41756	57200
	10%	93258	110880	137088	93258	107168	126868	41756	52624	74360	41756	52624	73216
	15%	107856	126672	154224	104804	119382	138688	50336	65208	91520	50336	64064	89232
	20%	123648	143472	171360	117018	131202	150114	62920	80080	112112	61776	77792	107536
	25%	141120	161280	189168	129626	143416	161146	77792	99528	139568	76648	96096	131560
	30%	161616	181776	201600	143810	156418	172572	99528	126984	177320	96096	121264	163592

4.3.5 <パラメータ：列車振動>

パラメータとして列車の振動をとった場合も日数、通過トン数と同様に扱った。列車振動には、三方向の加速度の二乗和の積分値(A^2)を採用した。使用した列車の種類と A^2 の値は図 4.21 の通りである。

加速度積分値の代表値としては A 駅, C 駅それぞれの各列車の平均をとり、一台あたりの列車振動とした。また、表 4.2 より一日あたりの列車本数がわかるので

$$(\text{合計列車振動}) = (\text{一台あたりの列車振動}) \times (\text{本数})$$

とした。

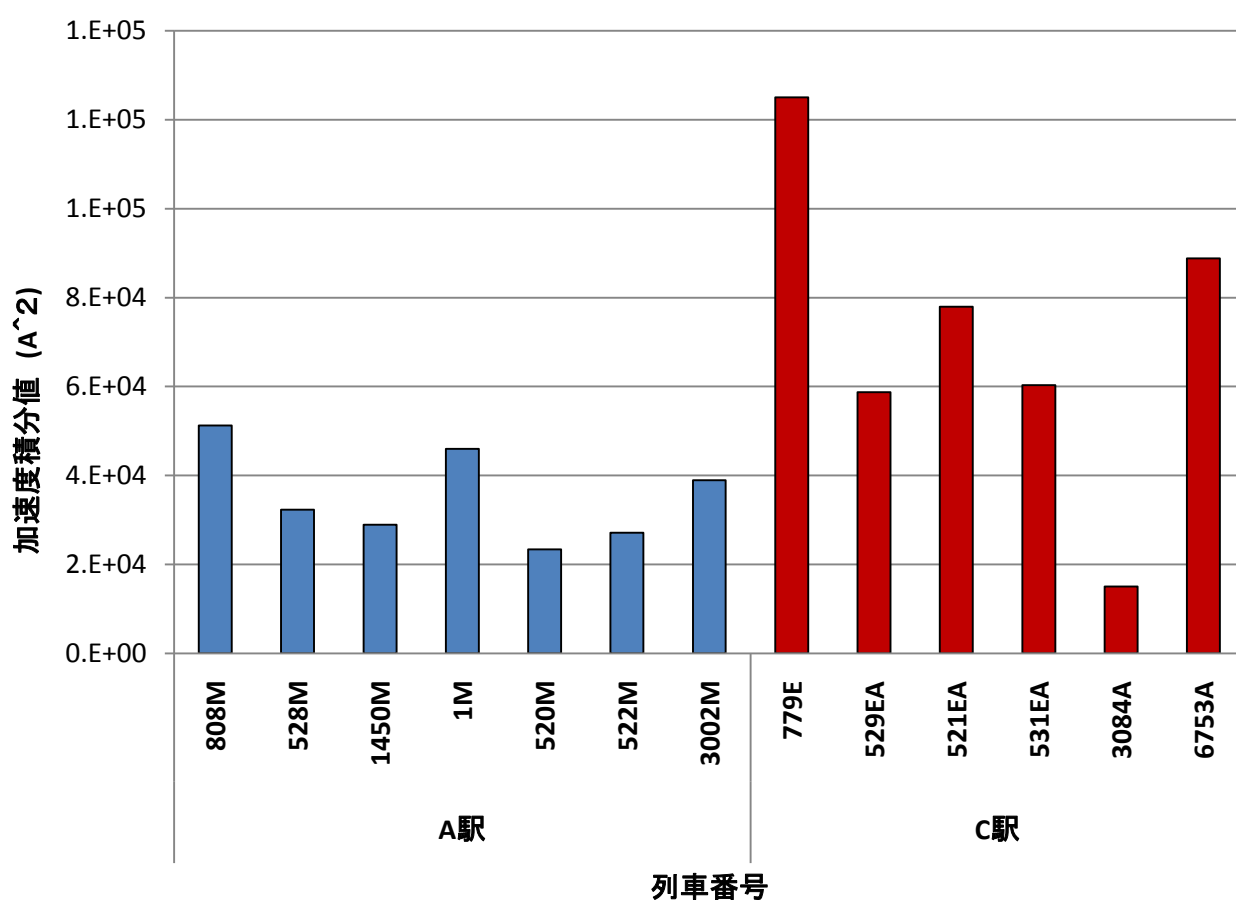


図 4.21 列車振動比較(A 駅, C 駅)

パラメータの列車振動をとった場合の計算結果を図 4.22～図 4.24 に示す。摩耗の様子は、パラメータに日数をとった場合と概観がほとんど変わらないので、ここではのせていない。

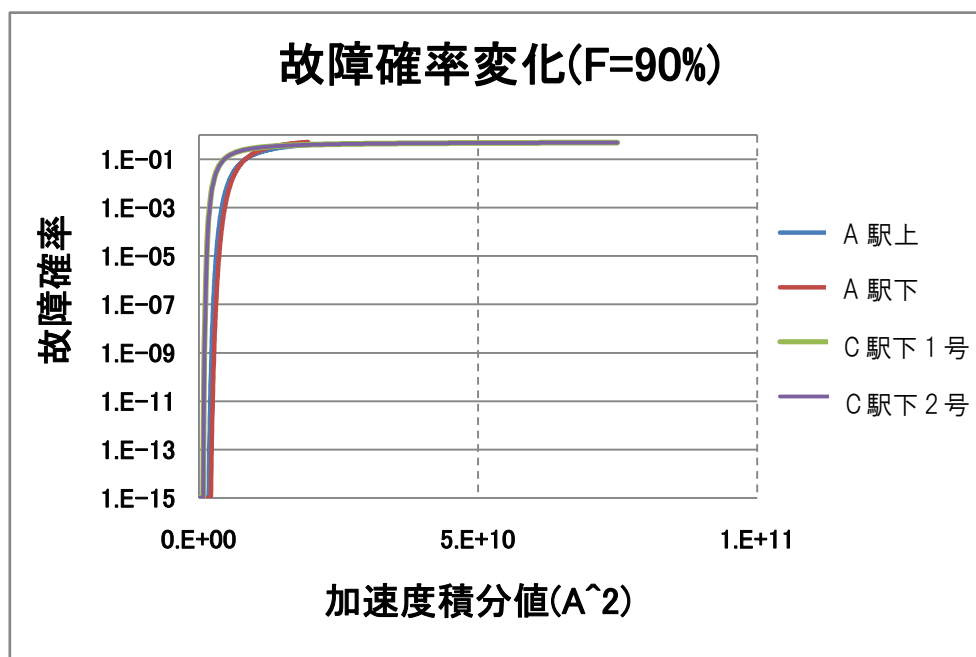


図 4.22 故障確率変化モデル①(F=90%)

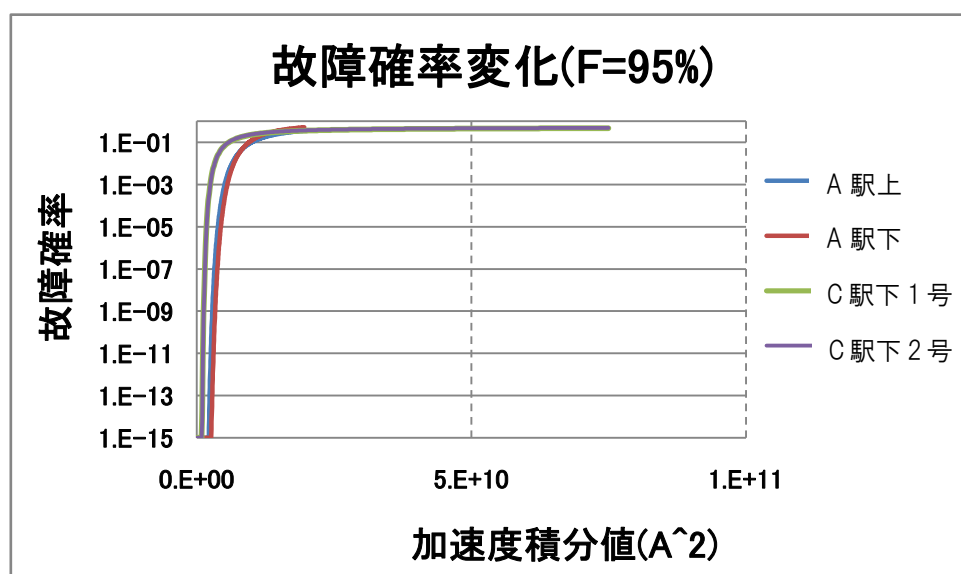


図 4.23 故障確率変化モデル①(F=95%)

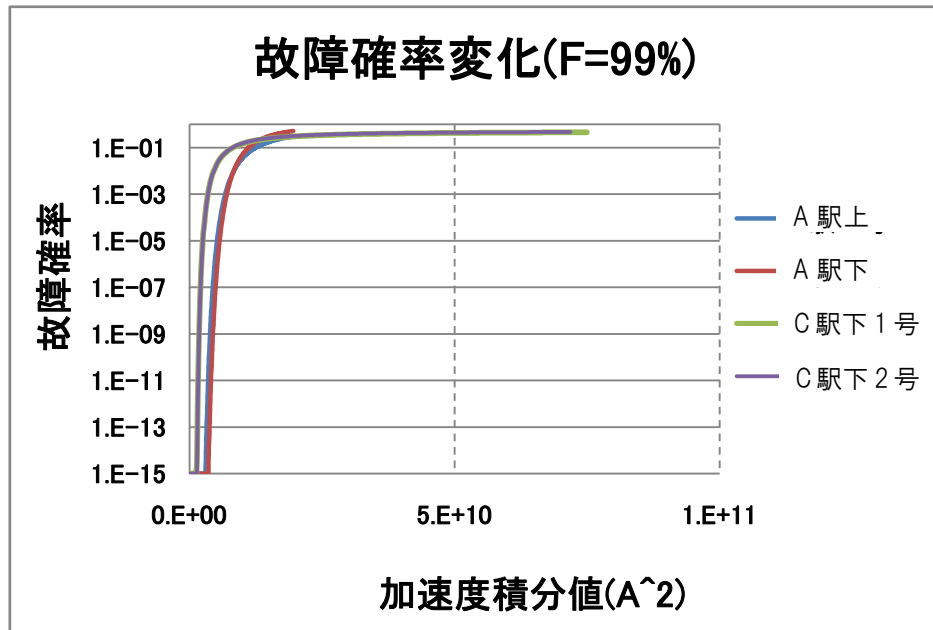


図 4.24 故障確率変化モデル①(F=99%)

4.3.6 比較<パラメータ：列車振動>

パラメータに加速度積分値をとった場合の許容確率ごとの比較を表 4.5 に示す。

表 4.5 許容確率比較モデル①(列車振動 A^2 基準)

F	A 駅上り			A 駅下り			C 駅下り 1 号			C 駅下り 2 号		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%	90%	95%	99%	90%	95%	99%
故障確率												
1%	—	—	8.3E+09	—	—	8.3E+09	—	—	4.6E+09	—	—	4.6E+09
5%	—	8.3E+09	1.1E+10	—	8.3E+09	9.9E+09	—	4.6E+09	6.4E+09	—	4.6E+09	6.2E+09
10%	8.3E+09	9.9E+09	1.2E+10	8.3E+09	9.5E+09	1.1E+10	4.6E+09	5.7E+09	8.1E+09	4.6E+09	5.7E+09	8.0E+09
15%	9.7E+09	1.1E+10	1.4E+10	9.4E+09	1.0E+10	1.2E+10	5.6E+09	7.1E+09	1.0E+10	5.5E+09	7.0E+09	9.7E+09
20%	1.1E+10	1.3E+10	1.6E+10	1.0E+10	1.1E+10	1.3E+10	6.9E+09	8.7E+09	1.2E+10	6.7E+09	8.5E+09	1.2E+10
25%	1.3E+10	1.5E+10	1.8E+10	1.1E+10	1.2E+10	1.4E+10	8.7E+09	1.1E+10	1.5E+10	8.5E+09	1.0E+10	1.4E+10
30%	1.5E+10	1.7E+10	1.9E+10	1.3E+10	1.3E+10	1.5E+10	1.1E+10	1.4E+10	1.9E+10	1.0E+10	1.3E+10	1.8E+10

4.4 モデル②

前節までは摩耗量が一定であるモデル①について計算を行ったが本節からは摩耗体積が一定であるモデル②について計算をする。摩耗に関するデータを示した表 4.1 のように、同じフロントロッドにおいても左右で試験前の穴の寸法は異なる。そこで、モデル②については各フロントロッドについて左右を分けて計算を行う。

またモデル②については $F=99\%$ についてのみ計算を行った。

4.4.1 <パラメータ：日数>

$F=99\%$ とした場合の摩耗進行の様子、故障確率の変化は以下ようになる。

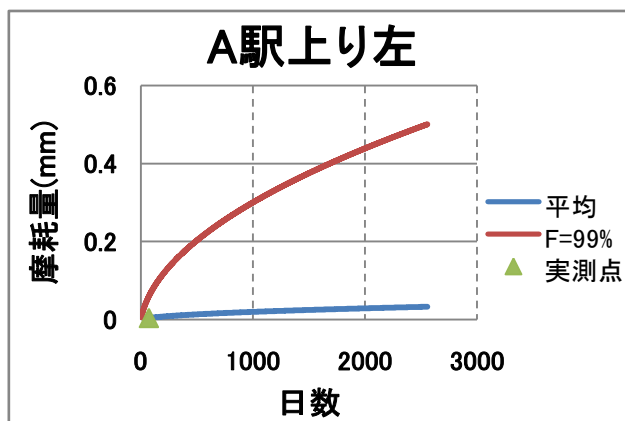


図 4.25 摩耗変化(A 駅上り左)

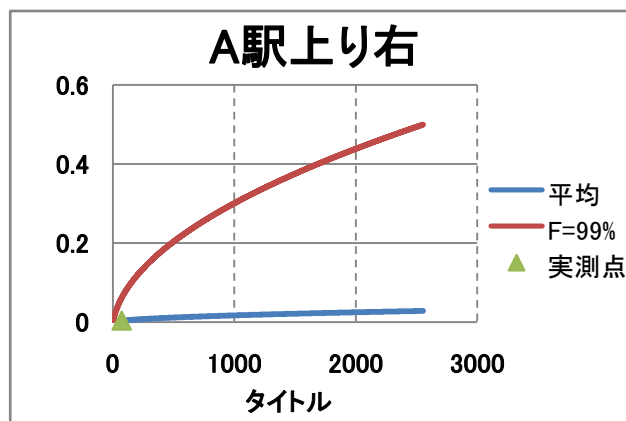


図 4.26 摩耗変化(A 駅上り右)

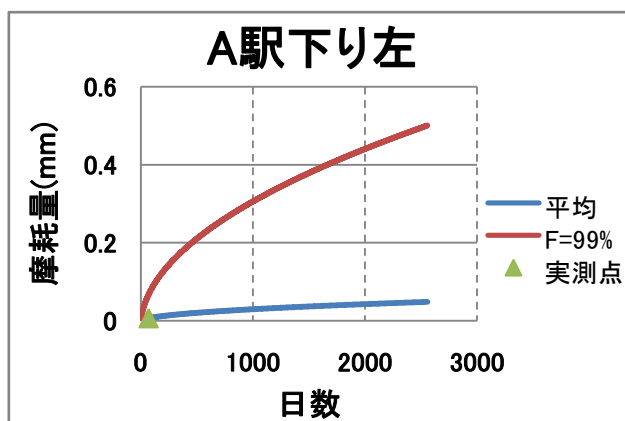


図 4.27 摩耗変化(A 駅下り左)

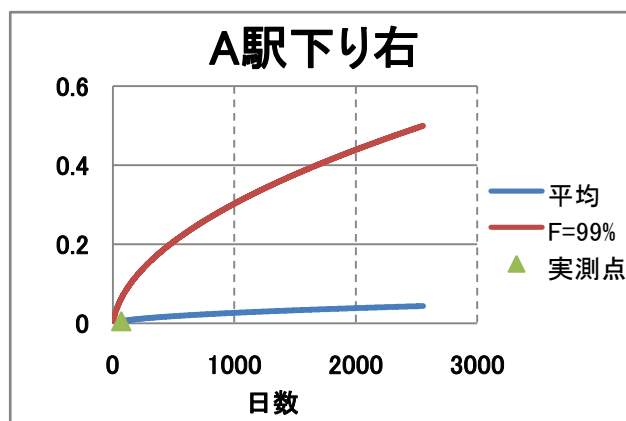


図 4.28 摩耗変化(A 駅下り右)

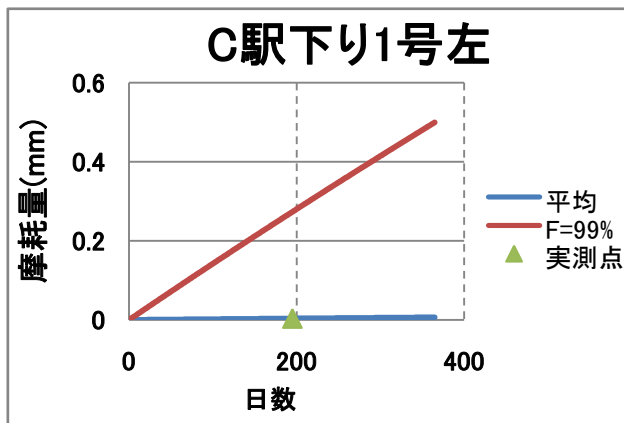


図 4.29 摩耗変化(C 駅下り 1 号左)

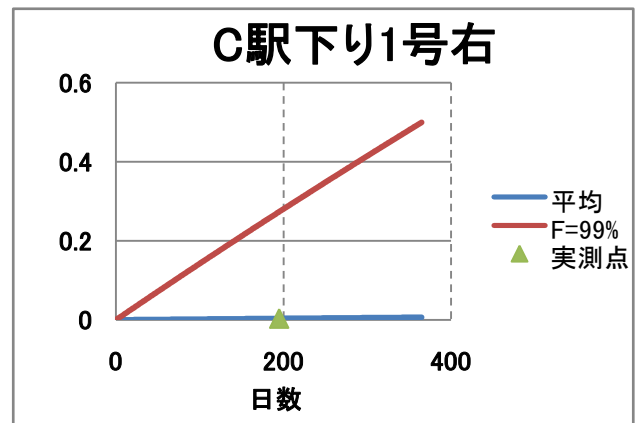


図 4.30 摩耗変化(C 駅下り 1 号右)

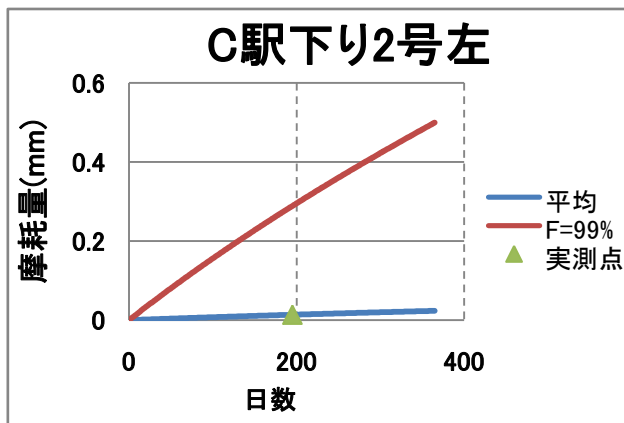


図 4.31 摩耗変化(C 駅下り 2 号左)

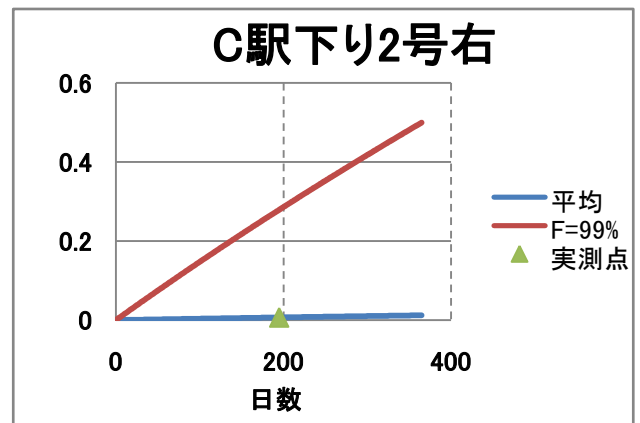


図 4.32 摩耗変化(C 駅下り 2 号右)

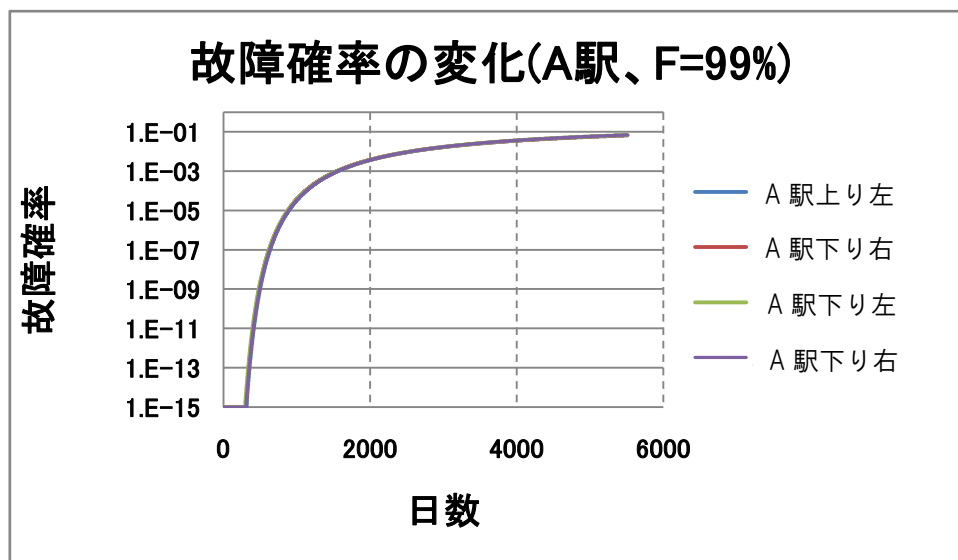


図 4.33 故障確率変化モデル②(F=99%)

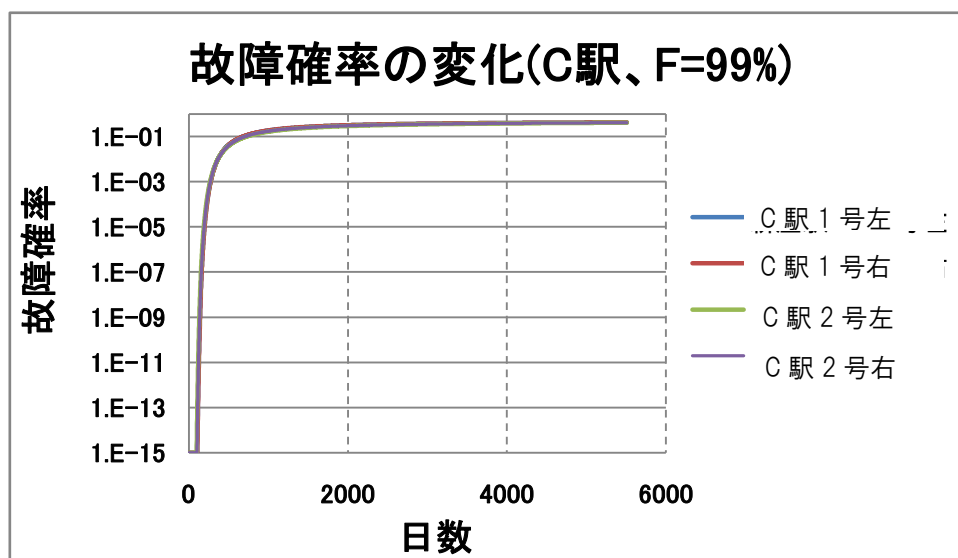


図 4.34 故障確率変化モデル②(F=99%)

図 4.33 をみて分かるようにモデル①に比べ、A 駅では上り、下りに関係なく故障確率は同じように変化する。また、A 駅では故障確率の増加具合もモデル①に比べて小さくなっている。摩耗体積を一定にとったことで、摩耗量がモデル①より少ないからである。

4.4.2 比較<パラメータ：日数>

モデル①の場合と同様に各許容確率に到達する日数を示す。A 駅と C 駅で表を分けた。

表 4.6 許容確率比較モデル②(A 駅, 日数基準)

故障確率	A 駅上り左	A 駅上り右	A 駅下り左	A 駅下り右
1%	2555	2555	2555	2555
2%	3175	3185	3174	3169
3%	3700	3721	3690	3686
4%	4191	4222	4170	4166
5%	4668	4712	4634	4632
6%	5145	5202	5094	5095

単位: 日数

表 4.7 許容確率比較モデル②(C 駅, 日数基準)

故障確率	C 駅下り 1 号左	C 駅下り 1 号右	C 駅下り 2 号左	C 駅下り 2 号右
1%	365	365	365	365
2%	416	416	420	417
3%	456	456	464	459
4%	491	492	504	496
5%	524	525	541	531
6%	556	557	577	565
7%	588	589	613	599
8%	619	620	649	632
9%	651	652	686	666
10%	682	684	723	701

単位: 日数

計算はどちらの駅についても約 5500 日まで行ったが, A 駅の方はこの日数では故障確率が 10%を超えることはなかった.

4.4.3 <パラメータ: 通過トン数>

パラメータに通過トン数をとった場合の計算結果を示す. 基準通過トン数はモデル①と同じ値を採用した.

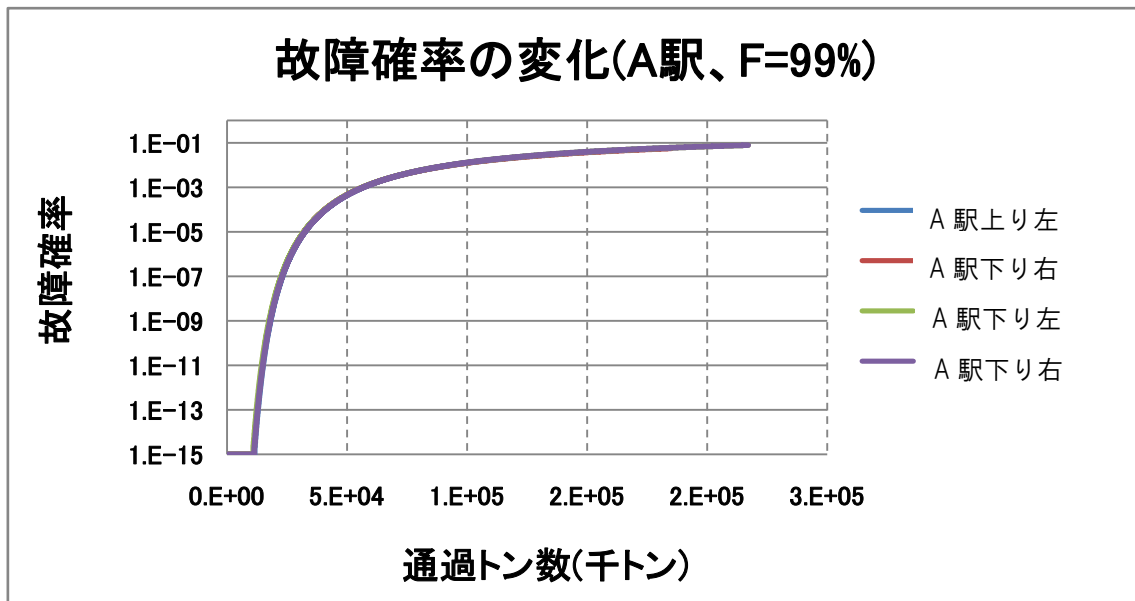


図 4.35 故障確率変化モデル②(F=99%)

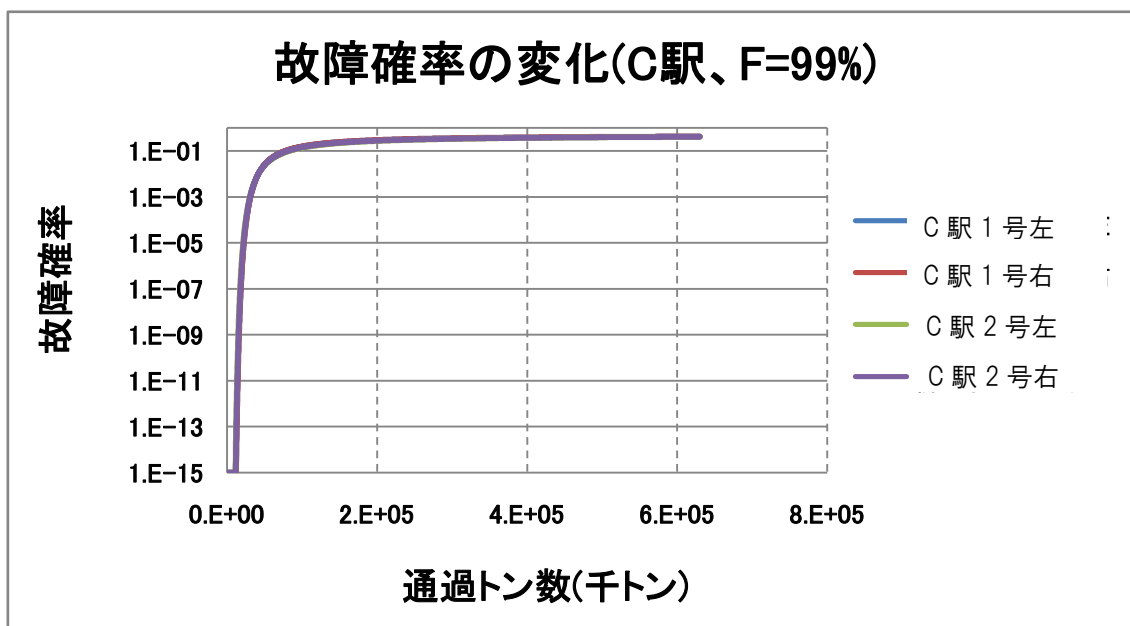


図 4.36 故障確率変化モデル②(F=99%)

モデル②においてパラメータを通過トン数にとった場合の故障確率の変化を示したのが図 4.35 と図 4.36 である。縦軸は対数表示である。また 2 つの図で横軸の最大値が異なる。ことに注意が必要である。これは A 駅、C 駅で一日あたりの通過トン数が異なるので同じ日数で考えた場合通過トン数の最大値が一致しないからである。

4.4.4 比較<パラメータ：通過トン数>

パラメータに通過トン数をとった場合、各許容確率に達するまでの通過トン数の目安を示した表を以下に示す。

表 4.8 許容確率比較モデル②(A 駅, 通過トン数基準)

故障確率	A 駅上り左	A 駅上り右	A 駅下り左	A 駅下り右
1%	93273.6	93273.6	93259.8	93259.8
2%	115852.8	116256.0	115796.6	115678.4
3%	134971.2	135777.6	134787.4	134590.4
4%	152846.4	154056.0	152399.2	152202.2
5%	170217.6	171897.6	169459.4	169262.4
6%	185102.4	185102.4	186401.4	186243.8

単位: 千トン

表 4.9 許容確率比較モデル②(C 駅, 通過トン数基準)

故障確率	C 駅下り 1 号左	C 駅下り 1 号右	C 駅下り 2 号左	C 駅下り 2 号右
1%	41756.0	41756.0	41756.0	41756.0
2%	47476.0	47590.4	48048.0	47704.8
3%	52052.0	52166.4	53081.6	52509.6
4%	56056.0	56170.4	57657.6	56742.4
5%	59831.2	60060.0	61890.4	60746.4
6%	63492.0	63720.8	66008.8	64636.0
7%	67038.4	67267.2	70127.2	68525.6
8%	70699.2	70928.0	74245.6	72300.8
9%	74245.6	74588.8	78478.4	76190.4
10%	77906.4	78249.6	82711.2	80194.4

単位:千トン

4.4.5 <パラメータ：列車振動>

次にモデル②においてパラメータを加速度積分値 A にとったときの故障確率の変化を A 駅, C 駅について示す.

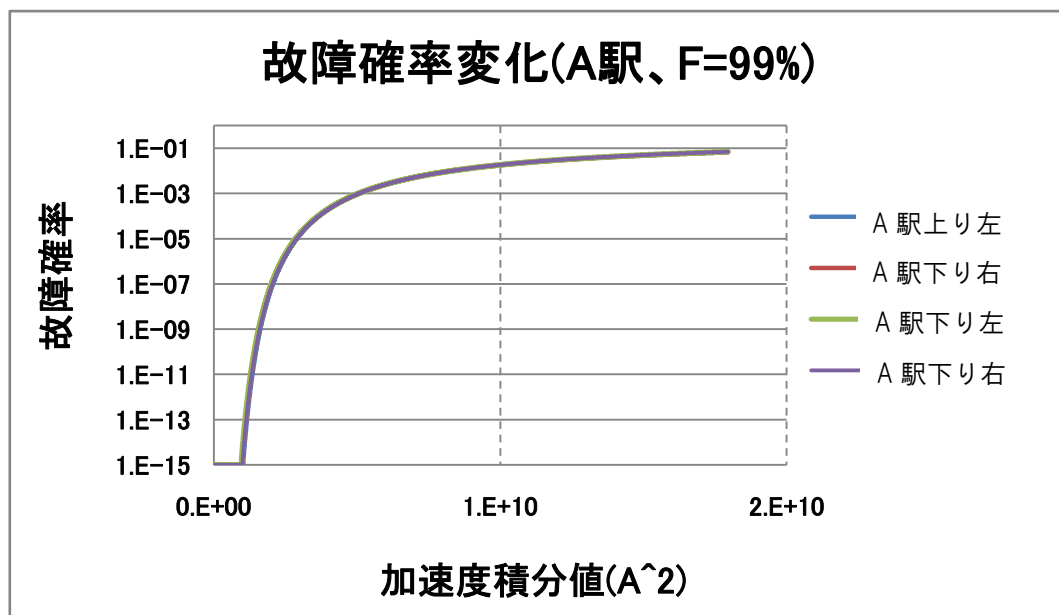


図 4.37 故障確率変化モデル②(F=99%)

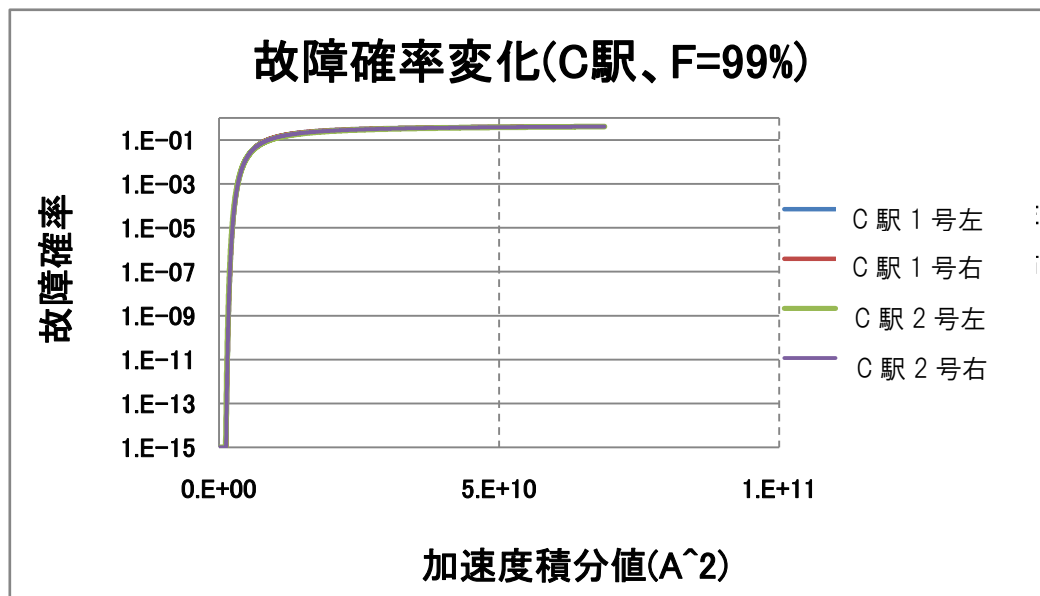


図 4.38 故障確率変化モデル②(F=99%)

縦軸の故障確率は対数表示である。通過トン数の場合と同様に横軸は図 4.37 と図 4.38 で最大値が異なることに注意。

4.4.6 比較<パラメータ：列車振動 A>

各許容確率に達するまでの列車振動を以下の表 4.10，表 4.11 に示す。

表 4.10 許容確率比較モデル②(A 駅，列車振動 A²基準)

故障確率	A 駅上り左	A 駅上り右	A 駅下り左	A 駅下り右
1%	8.33E+09	8.33E+09	8.33E+09	8.33E+09
2%	1.03E+10	1.04E+10	1.03E+10	1.03E+10
3%	1.21E+10	1.21E+10	1.20E+10	1.20E+10
4%	1.37E+10	1.38E+10	1.36E+10	1.36E+10
5%	1.52E+10	1.54E+10	1.51E+10	1.51E+10
6%	1.68E+10	1.70E+10	1.66E+10	1.66E+10

表 4.11 許容確率比較モデル②(C 駅, 列車振動 A^2 基準)

故障確率	C 駅下り 1 号左	C 駅下り 1 号右	C 駅下り 2 号左	C 駅下り 2 号右
1%	4.56E+09	4.56E+09	4.56E+09	4.56E+09
2%	5.20E+09	5.20E+09	5.25E+09	5.21E+09
3%	5.70E+09	5.70E+09	5.80E+09	5.73E+09
4%	6.13E+09	6.15E+09	6.30E+09	6.20E+09
5%	6.55E+09	6.56E+09	6.76E+09	6.63E+09
6%	6.95E+09	6.96E+09	7.21E+09	7.06E+09
7%	7.35E+09	7.36E+09	7.66E+09	7.48E+09
8%	7.73E+09	7.75E+09	8.11E+09	7.90E+09
9%	8.13E+09	8.15E+09	8.57E+09	8.32E+09
10%	8.52E+09	8.55E+09	9.03E+09	8.76E+09

4.5 考察

各グラフを見ていくと、パラメータの種類を変更すると故障確率が大きく変化を始める位置関係が相対的に変化することがうかがえる。

本章ではパラメータに、日数、通過トン数、列車振動をとった場合の摩耗の進行や故障確率を計算し比較した。最後に、各パラメータをとった場合、現在の基準値に比べてどれくらい交換周期を伸ばせるかという値を示す。これは F の値を決めた際、ある許容確率に対して基準値に対し交換周期を何倍に設定出来るかを表したものである。

4.5.1 モデル①

まずはモデル①について相対値の比較を行った。

4.5.1.1 <パラメータ：日数>

パラメータを日数にとった場合について示す。

表 4.12 相対値比較モデル①(日数)

		A 駅上り			A 駅下り			C 駅下り 1 号			C 駅下り 2 号		
F		90%	95%	99%	90%	95%	99%	90%	95%	99%	90%	95%	99%
許容確率	1%	—	—	1.00	—	—	1.00	—	—	1.00	—	—	1.00
	5%	—	1.00	1.28	—	1.00	1.19	—	1.00	1.40	—	1.00	1.37
	10%	1.00	1.19	1.50	1.00	1.14	1.33	1.00	1.26	1.78	1.00	1.26	1.75
	15%	1.16	1.37	1.69	1.12	1.26	1.45	1.23	1.56	2.19	1.21	1.53	2.14
	20%	1.34	1.57	1.89	1.25	1.38	1.56	1.51	1.92	2.68	1.48	1.86	2.58
	25%	1.54	1.77	2.10	1.38	1.50	1.66	1.92	2.38	3.34	1.86	2.30	3.15
	30%	1.78	2.01	2.34	1.51	1.62	1.77	2.38	3.04	4.25	2.30	2.90	3.92

4.5.1.2 <パラメータ：通過トン数>

次に通過トン数をパラメータにとった場合の結果を示す。

表 4.13 相対値比較モデル①(通過トン数)

		A 駅上り			A 駅下り			C 駅下り 1 号			C 駅下り 2 号		
F		90%	95%	99%	90%	95%	99%	90%	95%	99%	90%	95%	99%
許容確率	1%	—	—	1.00	—	—	1.00	—	—	1.00	—	—	1.00
	5%	—	1.00	1.26	—	1.00	1.21	—	1.00	1.40	—	1.00	1.37
	10%	1.00	1.19	1.47	1.00	1.15	1.36	1.00	1.26	1.78	1.00	1.26	1.75
	15%	1.16	1.36	1.65	1.12	1.28	1.49	1.21	1.56	2.19	1.21	1.53	2.14
	20%	1.33	1.54	1.84	1.25	1.41	1.61	1.51	1.92	2.68	1.48	1.86	2.58
	25%	1.51	1.73	2.03	1.39	1.54	1.73	1.86	2.38	3.34	1.84	2.30	3.15
	30%	1.73	1.95	2.16	1.54	1.68	1.85	2.38	3.04	4.25	2.30	2.90	3.92

4.5.1.3 <パラメータ：列車振動>

最後に列車振動をパラメータにとった場合について計算結果を示す。

表 4.14 相対値比較モデル①(列車振動 A)

	A 駅上り			A 駅下り			C 駅下り 1 号			C 駅下り 2 号			
F	90%	95%	99%	90%	95%	99%	90%	95%	99%	90%	95%	99%	
故障確率	1%	－	－	1.00	－	－	1.00	－	－	1.00	－	－	1.00
	5%	－	1.00	1.28	－	1.00	1.19	－	1.00	1.40	－	1.00	1.37
	10%	1.00	1.19	1.50	1.00	1.14	1.33	1.00	1.26	1.78	1.00	1.26	1.75
	15%	1.16	1.37	1.69	1.12	1.26	1.45	1.23	1.56	2.19	1.21	1.53	2.14
	20%	1.34	1.57	1.89	1.25	1.38	1.56	1.51	1.92	2.68	1.48	1.86	2.58
	25%	1.54	1.77	2.10	1.38	1.50	1.66	1.92	2.38	3.34	1.86	2.30	3.15
	30%	1.78	2.01	2.34	1.51	1.62	1.77	2.38	3.04	4.25	2.30	2.90	3.92

4.5.2 モデル②

次にモデル②についての許容確率ごとの交換周期の相対値を示す。モデル②については F=99%のみ行った。

4.5.2.1 <パラメータ：日数>

表 4.15 相対値比較モデル②(日数)

	A 駅				C 駅			
	上り左	上り右	下り左	下り右	下り 1 号左	下り 1 号右	下り 2 号左	下り 2 号右
許容確率	1%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	2%	1.24	1.25	1.24	1.14	1.14	1.15	1.14
	3%	1.45	1.46	1.44	1.25	1.25	1.27	1.26
	4%	1.64	1.65	1.63	1.35	1.35	1.38	1.36
	5%	1.83	1.84	1.81	1.44	1.44	1.48	1.45
	6%	2.01	2.04	1.99	1.52	1.53	1.58	1.55
	7%	2.16	2.16	2.16	1.61	1.61	1.68	1.64
	8%	－	－	－	1.70	1.70	1.78	1.73
	9%	－	－	－	1.78	1.79	1.88	1.82
	10%	－	－	－	1.87	1.87	1.98	1.92

4.5.2.2 <パラメータ：通過トン数>

通過トン数をパラメータにとった場合は表 4.16 相対値比較モデル②(通過トン数)のようになる。

表 4.16 相対値比較モデル②(通過トン数)

	A 駅				C 駅			
	上り左	上り右	下り左	下り右	下り1号左	下り1号右	下り2号左	下り2号右
許容確率	1%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	2%	1.24	1.25	1.24	1.14	1.14	1.15	1.14
	3%	1.45	1.46	1.45	1.25	1.25	1.27	1.26
	4%	1.64	1.65	1.63	1.34	1.35	1.38	1.36
	5%	1.82	1.84	1.82	1.43	1.44	1.48	1.45
	6%	1.98	1.98	2.00	1.52	1.53	1.58	1.55
	7%	—	—	—	1.61	1.61	1.68	1.64
	8%	—	—	—	1.69	1.70	1.78	1.73
	9%	—	—	—	1.78	1.79	1.88	1.82
	10%	—	—	—	1.87	1.87	1.98	1.92

4.5.2.3 <パラメータ：列車振動 A>

パラメータに列車振動をとった場合の計算結果は以下のようなになる。

表 4.17 相対値比較モデル②(加速度積分値 A)

	A 駅				C 駅			
	上り左	上り右	下り左	下り右	下り1号左	下り1号右	下り2号左	下り2号右
許容確率	1%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	2%	1.24	1.25	1.24	1.14	1.14	1.15	1.14
	3%	1.45	1.46	1.44	1.25	1.25	1.27	1.26
	4%	1.64	1.65	1.63	1.35	1.35	1.38	1.36
	5%	1.83	1.84	1.81	1.44	1.44	1.48	1.45
	6%	2.01	2.04	1.99	1.52	1.53	1.58	1.55
	7%	2.16	2.16	2.16	1.61	1.61	1.68	1.64
	8%	—	—	—	1.70	1.70	1.78	1.73
	9%	—	—	—	1.78	1.79	1.88	1.82
	10%	—	—	—	1.87	1.87	1.98	1.92

加速度積分値については

$$(\text{一台あたりの列車振動}) \times (\text{一日あたりの列車本数}) \times \text{日数}$$

と定義しているので，相対値だけを見るとパラメータを日数にとった場合と加速度積分値 A^2 にとった場合では同じ表が得られる．

4.6 考察

本章ではパラメータを日数，通過トン数，加速度積分値にとった場合について，許容確率別に交換となる基準値の算出を行った．

これらの計算を元にし，一般的な転てつ装置の交換周期を割り出せないかを次章で検討する．

第5章 転てつ装置全体への拡張

5.1 緒言

前章までは特定のフロントロッドについての摩耗予測を行なってきた。しかし，データを採取可能な転てつ装置は限られてくる。そこで，一般的な転てつ装置について摩耗予測の拡張を試みる。

実際に使われている転てつ装置について知りうるパラメータは，通過トン数と日数だけである。この2つのパラメータを用いて一般的な転てつ装置の摩耗予測を行う。

5.2 交換周期決定法の提案

一般的な転てつ装置について摩耗予測を行う際、モデル化を行った際に考えた平均値 μ と標準偏差 σ の決定が重要である。この2つの精度を上げるには多くのデータを用いて割り出すことが必要となる。

本章では、代表的な値を普通分岐器、特殊分岐器それぞれについて定め、計算を行った。

パラメータとして日数をとる場合は、特に計算は必要なく、基準年での累積確率値 F と許容確率を設定し、前章の表 4.3 を参考にすればよい。

一方通過トン数から交換周期を割り出す際は以下のフローチャートを参考にすればよい。

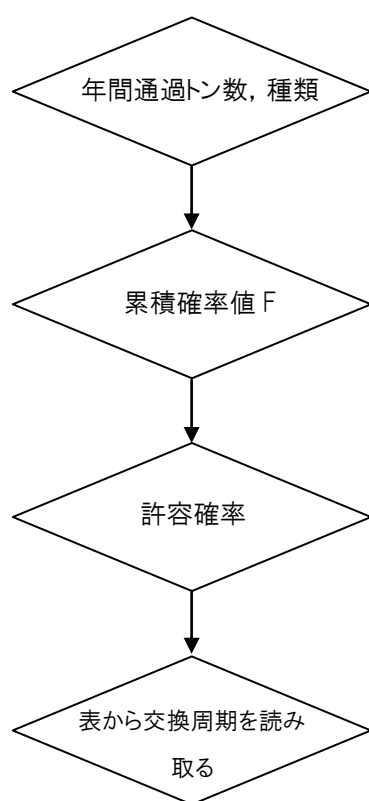


図 5.1 フローチャート

まず、交換周期を決定したい転てつ装置の種類(普通または特殊)と年間通過トン数を調べる。

次に基準通過トン数での故障確率を決め、累積確率値 F を設置する。本研究では、 $F=90\%$, 95% , 99% を考えた。

そして、 F を決定した後は許容確率を決定する必要がある。許容確率は $1-F$ より大きい値を採用したほうが、交換周期を既存のものより伸ばすことができる。本研究のモデル①では $1\sim30\%$ までの許容確率を、モデル②では $1\sim10\%$ を考えた。

最後に、次ページ以降に示した表から設定した値に対応する年数を読み取り、交換周期として決定する。

5.3 普通分岐器

実際の現場では転てつ装置上を通過する列車のトン数を記録している場合が多い。

また、代表的な通過トン数として、年間 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45(単位：百万トン)を考慮した。

5.3.1 モデル①

まずモデル①についての計算結果をまとめた表を示す。表は、横軸に年間通過トン数(百万トン)を、縦軸に許容確率をとった。そして、各通過トン数と許容確率に対応する数字が交換周期を示す。交換周期に単位は年数である。

1 年あたりの通過トン数から交換周期を決定する際に A 駅下りを代表的な値として採用した。モデル①については F=90%, 95%, 99%, の三種類について計算した。

5.3.1.1 F=90%の場合

まず F=90%についての計算結果を示す。

表 5.1 普通分岐器交換周期モデル①(F=90%)

年間通過トン数 (百万トン)		5	10	15	20	25	30	35	40	45
許 容 確 率	1%	16.15	8.08	5.38	4.04	3.23	2.69	2.31	2.02	1.79
	5%	17.65	8.83	5.88	4.41	3.53	2.94	2.52	2.21	1.96
	10%	18.65	9.33	6.22	4.66	3.73	3.11	2.66	2.33	2.07
	15%	19.38	9.69	6.46	4.85	3.88	3.23	2.77	2.42	2.15
	20%	19.94	9.97	6.65	4.98	3.99	3.32	2.85	2.49	2.22
	25%	20.49	10.24	6.83	5.12	4.10	3.41	2.93	2.56	2.28
	30%	20.96	10.48	6.99	5.24	4.19	3.49	2.99	2.62	2.33

単位:年

5.3.1.2 F=95%の場合

次に F=95%とした際の交換周期の目安を示す。

表 5.2 普通分岐器交換周期モデル①(F=95%)

年間通過トン数 (百万トン)		5	10	15	20	25	30	35	40	45
許容確率	1%	17.26	8.63	5.75	4.31	3.45	2.88	2.47	2.16	1.92
	5%	18.65	9.33	6.22	4.66	3.73	3.11	2.66	2.33	2.07
	10%	19.46	9.73	6.49	4.87	3.89	3.24	2.78	2.43	2.16
	15%	20.02	10.01	6.67	5.00	4.00	3.34	2.86	2.50	2.22
	20%	20.57	10.28	6.86	5.14	4.11	3.43	2.94	2.57	2.29
	25%	20.96	10.48	6.99	5.24	4.19	3.49	2.99	2.62	2.33
	30%	21.43	10.72	7.14	5.36	4.29	3.57	3.06	2.68	2.38

単位:年

5.3.1.3 F=99%の場合

最後に F=99%についての計算結果を表 5.3 に示す。

表 5.3 普通分岐器交換周期モデル①(F=99%)

年間通過トン数 (百万トン)		5	10	15	20	25	30	35	40	45
許容確率	1%	18.65	9.33	6.22	4.66	3.73	3.11	2.66	2.33	2.07
	5%	19.78	9.89	6.59	4.94	3.96	3.30	2.83	2.47	2.20
	10%	20.41	10.20	6.80	5.10	4.08	3.40	2.92	2.55	2.27
	15%	20.80	10.40	6.93	5.20	4.16	3.47	2.97	2.60	2.31
	20%	21.20	10.60	7.07	5.30	4.24	3.53	3.03	2.65	2.36
	25%	21.51	10.76	7.17	5.38	4.30	3.59	3.07	2.69	2.39
	30%	21.83	10.91	7.28	5.46	4.37	3.64	3.12	2.73	2.43

単位:年

5.3.2 モデル②

モデル②では代表値として、A 駅下り左の値を用いた。F=99%についてのみ計算を行った。

表 5.4 普通分岐器交換周期モデル②(F=99%)

年間通過トン数 (百万トン)		5	10	15	20	25	30	35	40	45
許容確率	1%	18.65	9.33	6.22	4.66	3.73	3.11	2.66	2.33	2.07
	2%	23.16	11.58	7.72	5.78	4.63	3.86	3.31	2.89	2.57
	3%	26.96	13.48	8.99	6.73	5.39	4.49	3.85	3.37	3.00
	4%	30.48	15.24	10.16	7.61	6.10	5.08	4.35	3.81	3.39
	5%	33.89	16.95	11.30	8.46	6.78	5.65	4.84	4.24	3.77
	6%	37.28	18.64	12.43	9.31	7.46	6.21	5.33	4.66	4.14

単位: 年

モデル①の F=99%の場合と比べて、交換周期は伸びている。これは摩耗量が対数的な増え方をするからである。

5.4 特殊分岐器

続いて特殊分岐器についての交換周期を提案する計算結果を示す。特殊分岐器についても代表的な年間通過トン数として、5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45(百万トン)を考えた。

5.4.1 モデル①

始めにモデル①についての計算結果を示す。特殊分岐器の代表的な値としては C 駅下り 1 号の値を採用した。モデル①では F=90%, 95%, 99%を考えた。

5.4.1.1 F=90%の場合

表 5.5 特殊分岐器交換周期モデル①(F=90%)

年間通過トン数 (百万トン)		5	10	15	20	25	30	35	40	45
許容確率	1%	4.58	2.29	1.53	1.14	0.92	0.76	0.65	0.57	0.51
	5%	6.64	3.32	2.21	1.66	1.33	1.11	0.95	0.83	0.74
	10%	8.35	4.18	2.78	2.09	1.67	1.39	1.19	1.04	0.93
	15%	10.30	5.15	3.43	2.57	2.06	1.72	1.47	1.29	1.14
	20%	12.58	6.29	4.19	3.15	2.52	2.10	1.80	1.57	1.40
	25%	15.56	7.78	5.19	3.89	3.11	2.59	2.22	1.94	1.73
	30%	19.68	9.84	6.56	4.92	3.94	3.28	2.81	2.46	2.19

単位(年)

5.4.1.2 F=95%の場合

続いて F=95%の計算結果を示す。

表 5.6 特殊分岐器交換周期モデル①(F=95%)

年間通過トン数 (百万トン)		5	10	15	20	25	30	35	40	45
許容確率	1%	5.95	2.97	1.98	1.49	1.19	0.99	0.85	0.74	0.66
	5%	8.35	4.18	2.78	2.09	1.67	1.39	1.19	1.04	0.93
	10%	10.75	5.38	3.58	2.69	2.15	1.79	1.54	1.34	1.19
	15%	13.04	6.52	4.35	3.26	2.61	2.17	1.86	1.63	1.45
	20%	16.02	8.01	5.34	4.00	3.20	2.67	2.29	2.00	1.78
	25%	19.45	9.72	6.48	4.86	3.89	3.24	2.78	2.43	2.16
	30%	24.71	12.36	8.24	6.18	4.94	4.12	3.53	3.09	2.75

単位(年)

5.4.1.3 F=99%の場合

最後に F=99%の場合についての計算結果を載せる.

表 5.7 特殊分岐器交換周期モデル①(F=99%)

年間通過トン数 (百万トン)		5	10	15	20	25	30	35	40	45
許容確率	1%	8.35	4.18	2.78	2.09	1.67	1.39	1.19	1.04	0.93
	5%	11.67	5.83	3.89	2.92	2.33	1.94	1.67	1.46	1.30
	10%	14.87	7.44	4.96	3.72	2.97	2.48	2.12	1.86	1.65
	15%	18.30	9.15	6.10	4.58	3.66	3.05	2.61	2.29	2.03
	20%	22.19	11.10	7.40	5.55	4.44	3.70	3.17	2.77	2.47
	25%	27.00	13.50	9.00	6.75	5.40	4.50	3.86	3.37	3.00
	30%	34.09	17.05	11.36	8.52	6.82	5.68	4.87	4.26	3.79

単位:年

5.4.2 モデル②

モデル②では C 駅下り 1 号左の摩耗を元にし、年間の通過トン数別の交換周期を計算した。F=99%の場合のみ計算を行った。

表 5.8 特殊分岐器交換周期モデル②(F=99%)

年間通過トン数 (百万トン)		5	10	15	20	25	30	35	40	45
許容確率	1%	8.35	4.18	2.78	2.09	1.67	1.39	1.19	1.04	0.93
	2%	9.50	4.75	3.17	2.37	1.90	1.58	1.36	1.19	1.06
	3%	10.41	5.21	3.47	2.60	2.08	1.74	1.49	1.30	1.16
	4%	11.21	5.61	3.74	2.80	2.24	1.87	1.60	1.40	1.25
	5%	11.97	5.98	3.99	2.99	2.39	1.99	1.71	1.50	1.33
	6%	12.70	6.35	4.23	3.17	2.54	2.12	1.81	1.59	1.41
	7%	13.41	6.70	4.47	3.35	2.68	2.23	1.92	1.68	1.49
	8%	14.14	7.07	4.71	3.53	2.83	2.36	2.02	1.77	1.57
	9%	14.85	7.42	4.95	3.71	2.97	2.47	2.12	1.86	1.65
	10%	15.58	7.79	5.19	3.90	3.12	2.60	2.23	1.95	1.73

単位:年

5.5 考察

このように摩耗をモデル化するとパラメータを設定し、通過トン数や日数が分かれば交換周期をだいたい決定することが可能になる。

普通分岐器，特殊分岐器どちらにおいても，モデル①のほうが交換周期が短く算出された。これは以前に述べたように，モデル①では摩耗が線形的に進行し，モデル②では対数的に進行するからである。

第6章 結論

6.1 本研究における結論

本研究では転てつ装置前部に位置するフロントロッドの摩耗について研究を行った。

摩耗に関するデータが得られれば摩耗をモデル化し、種類(普通／特殊)によってある程度の交換周期を決定できることがわかった。

6.2 今後の課題と必要なデータ

本研究でフロントロッドの摩耗を測定しモデル化を行うことで交換周期を決定する手法を確立した。しかし、本研究に用いたデータは限られたものであり、精度を上げるにはデータ数を増やすことが必要である。

まず、本研究では基準年での累積確率値を設定することから標準偏差を決定した。そして、標準偏差はパラメータに比例的に、または何らかの関係をもって増加すると仮定した。これは標準偏差に関するデータが今回はなかったからである。今後は、同じ日数について複数のデータを採取することで、データから標準偏差を決定することができる。さらに、異なる日数についてデータを採取すると、平均値の推移や標準偏差の変化の仕方もみることができるので有用である。最低でも二日分のデータが必要である。

また本研究で用いた実測データではフロントロッドの使用前後のギャップ量しか測定しおらず、振動が加わっている途中の測定は行っていない。今後は同じフロントロッドについて途中の摩耗量も測定し、摩耗進行のメカニズムを知ることが必須となる。途中の摩耗具合を理解することで、モデル化も実際の摩耗に近いものに設定することが出来る。

さらに、本研究の本来の予定では共同研究先の JR 東日本テクニカルセンターにおいて、現場で測定した加速度データを用いた振動試験を行う予定であった。しかしその方法に不備があり本研究では使用できなかった。振動試験を行うと、現場では何日もかかってしまう摩耗の観測を数日から数週間で行うことが可能となる。固定方法や振動のかけ方をよく検討して今後の研究にぜひとも活用したい。

付録

最後に付録として具体的な駅について得られたデータを元に交換周期の目安を示す。この付録で基準にしたデータではモデル②を参考にし、F=99%、許容確率 1%に設定した。

駅・駅間	通トン (百万トン)	普通／特殊	交換周期(年)
A	4.4	特殊	9.49
B	10.4	特殊	4.02
C	18.3	特殊	2.28
D	21.3	特殊	1.96
E	25.9	特殊	1.61
F	27	特殊	1.55
G	28.8	特殊	1.45
H	30.4	特殊	1.37
I	32.3	特殊	1.29
J	33.8	特殊	1.24
K	44.1	特殊	0.95
L	2.1	普通	44.41
M	2.7	普通	34.54
N	2.9	普通	32.16
O	3.4	普通	27.43
P	3.7	普通	25.21
Q	4.3	普通	21.69
R	4.5	普通	20.72
S	5	普通	18.65
T	7.5	普通	12.43
U	7.8	普通	11.96
V	8.3	普通	11.24
W	8.9	普通	10.48
X	9	普通	10.36
Y	9.1	普通	10.25
Z	11.9	普通	7.84
AA	12.2	普通	7.64

AB	13.5	普通	6.91
AC	14.2	普通	6.57
AD	14.3	普通	6.52
AE	15.4	普通	6.06
AF	15.7	普通	5.94
AG	15.7	普通	5.94
AH	15.7	普通	5.94
AI	16.3	普通	5.72
AJ	16.4	普通	5.69
AK	16.5	普通	5.65
AL	16.6	普通	5.62
AM	17.1	普通	5.45
AN	17.3	普通	5.39
AO	18.3	普通	5.10
AP	18.6	普通	5.01
AQ	18.7	普通	4.99
AR	19.1	普通	4.88
AS	19.2	普通	4.86
AT	19.5	普通	4.78
AU	19.8	普通	4.71
AV	20.6	普通	4.53
AW	21.3	普通	4.38
AX	22.4	普通	4.16
AY	22.7	普通	4.11
AZ	22.7	普通	4.11
BA	23	普通	4.05
BB	24.8	普通	3.76
BC	25.2	普通	3.70
BD	25.2	普通	3.70
BE	25.9	普通	3.60
BF	25.9	普通	3.60
BG	27.9	普通	3.34
BH	28.4	普通	3.28
BI	28.8	普通	3.24
BJ	29.7	普通	3.14

BK	30.3	普通	3.08
BL	30.3	普通	3.08
BM	30.3	普通	3.08
BN	30.5	普通	3.06
BO	30.5	普通	3.06
BP	30.6	普通	3.05
BQ	31.7	普通	2.94
BR	31.8	普通	2.93
BS	32.3	普通	2.89
BT	32.8	普通	2.84
BU	34	普通	2.74
BV	34.3	普通	2.72
BW	35.1	普通	2.66
BX	36.1	普通	2.58
BY	37	普通	2.52
BZ	37.2	普通	2.51
CA	37.3	普通	2.50
CB	37.6	普通	2.48
CC	37.7	普通	2.47
CD	38.3	普通	2.43
CE	38.3	普通	2.43
CF	38.6	普通	2.42
CG	38.6	普通	2.42
CH	40.7	普通	2.29
CI	41.3	普通	2.26
CJ	44.1	普通	2.11

参考文献

[1] JIS E3013 “鉄道信号保安用語”

謝辞

本論文作成にあたり，一年間ご指導してくださった酒井教授・泉准教授に深く感謝いたします。また，研究室での生活がスムーズに進むように影で支えてくださった田中展助教に心から感謝します。

打ち合わせの際に，的確な指摘やアドバイスを下さった群馬大学岩崎准教授に深く感謝いたします。

またこちらが必要な情報を迅速に提供していただき，実際の技術者の目線からアドバイスを下さった東日本旅客鉄道株式会社 JR 東日本研究開発センターの市倉様・花前様，研究に協力していただいた東日本旅客鉄道株式会社様に深く感謝いたします。

研究室の雰囲気はいつも明るく，毎日通っても飽きないような場所でした。研究室全体に皆様に深く感謝します。そして，最後まで戦い続ける勇気をくれた，ザッケローニ監督率いるアジアカップ日本代表の皆様に感謝します。その他に私が気づかないようなところでなにかしら手伝ってくれた方々に感謝します。また，エクセルという素晴らしいソフトを作っていただいたマイクロソフト社に心から御礼申し上げます。エクセルの「リンクを貼り付ける」という機能には全米が泣きました。今後の活躍を期待しています。

最後に研究だけでなく生活を支えてくれた家族や友人にも感謝します。

以上，研究に関わった全ての人に感謝の意を表します。

以上

卒業論文

平成 23 年 2 月 4 日提出

90212 村中 亮太