

捺り構造ゲート

ローラの乗り上げ

目 次

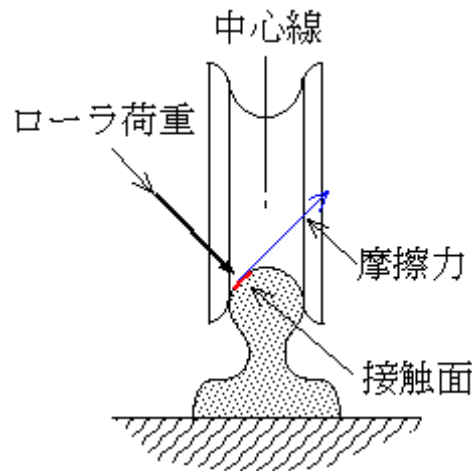
頁

1 . はじめに	1
2 . 乗り上げ現象は本当に存在するか？	2
3 . 特許明細書判定式	3
3 . 1 明細書の記述	3
3 . 2 算式背景	3
3 . 3 安全率の計算	4
3 . 4 説明内容の整理 (2 章・3 章)	4
4 . 乗り上げ現象事例	6
事例 1 : ローラ始動時のローラ移動力	6
(1) 計算式と説明	6
(2) 説明内容の整理	7
事例 2 : 接触面の安定位置	8
(1) 接触面の安定	8
(2) 安定条件式	8
(3) 数値計算	9
(3 - 1) 関数 $F(\quad)$ の値	9
(3 - 2) 安定条件式(9)の解	11
(3 - 3) ローラ移動力と移動阻止力の%表示	12
(4) 説明内容の整理	13
5 . 乗り上げ現象のイメージ	14

1. はじめに

本資料は特許明細書に示したローラ乗り上げ判定式の背景説明として作成した。

乗り上げ現象は存在しないが、仮定の偶発的要因を設定して存在を肯定することで検討を進めた。判定式の説明に加えて、2件の乗り上げ現象の解析を通して乗り上げ現象の本質を炙り出し、捕らえ所の無かった現象イメージの鮮明化を試みた。



結果は以下の通りである（上図参照）。

(1) 乗り上げ現象は存在しないが、レール摩擦とローラ荷重の不確実性を想定し、存在するとした。

(2) ローラの回転に伴い、

接触面の摩擦力でローラが中心線方向に移動して接触面が逆方向に動く。

接触面がローラ巾端に到達すると乗り上げが始まり、加速度的に脱輪に至る。

移動力と阻止力が釣り合って接触面移動が止まれば乗り上げは起こらない。

(3) 特許明細書判定式は信頼性が高い。

資料内容は以下の通りである。

乗り上げ現象は本当に存在するか？

特許明細書判定式

乗り上げ現象事例

事例1：ローラ始動時のローラ移動力

事例2：接触面の安定位置

乗り上げ現象のイメージ

2. 乗り上げ現象は本当に存在するか？

垂直方向に作用する扉体自重と水平方向に作用する水圧力を受けてローラがレール上を移動する時にローラのレール乗り上げが発生するとしたら、乗り上げ力はレール接触面から作用するものであり、それはローラ回転面上の点移動の下方向成分による摩擦力である。

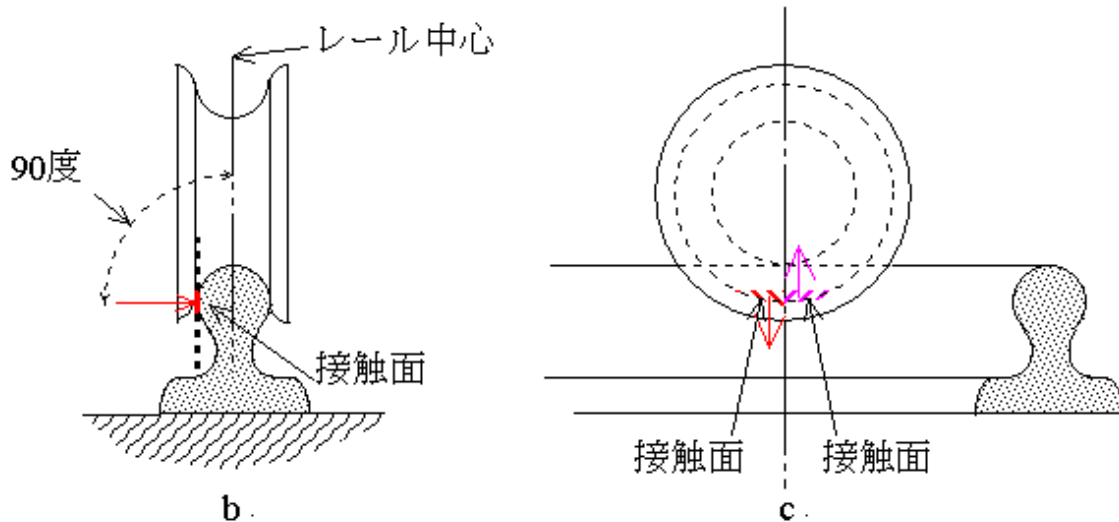


図 1.1 ローラ・レール接触面

図 1.1 はローラ・レールの接触面を示す。図 b は、例として、接触面がレール中心から 90 度の位置にある状態を示している。図 c は図 b の側面図で、赤と桃の矢印は接触面の摩擦力を示す。図示の様にローラ中心線両側の摩擦力は互いに反対方向に作用する。ローラ回転面上点移動の垂直成分が逆方向であるからである。左右接触面の摩擦力は打ち消し合い、乗り上げ力とはならない。摩擦力の打ち消し合いは 90 度より小さい角度の接触面の全てに共通するので、乗り上げ現象は存在しない。しかし、人の直感を尊重し、偶発的要因でこの様な安定状態が崩れる可能性があるとして想定し、乗り上げ現象が存在するとした。偶発的要因としては荷重方向、摩擦係数、摩擦面性状（形状・歪み分布・圧力分布）等の不確実性が考えられ、現れる結果は、例えば、図 c の左側摩擦力の消滅である。安定状態では左右領域の摩擦力による反回転モーメントがローラに作用する。これはローラ回転面上点移動の水平方向成分と共にローラの転がり摩擦としてゲートの開閉力に算入される。

3. 特許明細書判定式

3.1 明細書の記述

ローラのレールへの乗り上げ力はローラの回転に伴う回転面上の点移動の下方向成分による接触面の摩擦力である。この摩擦力は式(3.-1)で与えられる。一方、乗り上げ防止力はローラ荷重のローラ中心線方向の成分であり、式(3.-2)で与えられる。

$$\text{摩擦力} = \text{ローラ荷重} \times \cos(90 - \theta) \times \text{接触面の摩擦係数} \quad \dots\dots (3.-1)$$

$$\text{乗り上げ防止力} = \text{ローラ荷重} \times \sin(90 - \theta) \quad \dots\dots (3.-2)$$

3.2 算式背景

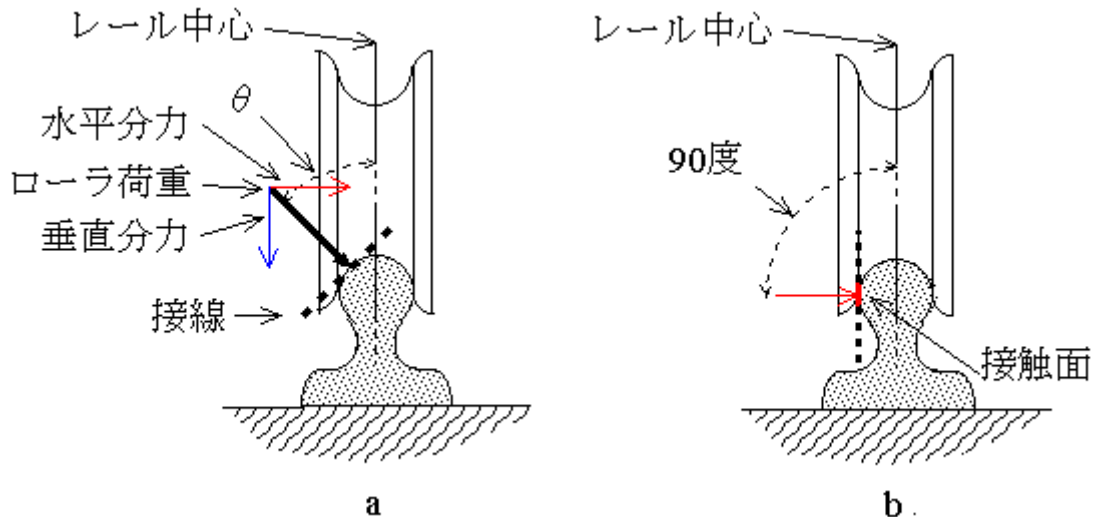


図 3.-1 式 (3.-1) 及び (3.-2) の根拠

図 3.-1 により式 (3.-1) 及び (3.-2) の背景を説明する。a はローラが静止状態にある時にゲート自重と水圧等の外力による荷重がローラに作用し、ローラ踏み面がレール頭に接触している状態を示す。ローラの回転に伴いレール接触面は接線方向に位置を変えるが、接触面が b の状態を経てローラはレールに乗り上がる。従って、b の状態の摩擦力が乗り上げ力、ローラ荷重の下方向成分が乗り上げ防止力であり、両者の算式は以下の通りである。

$$\text{乗り上げ力} = \text{摩擦力} = \text{水平分力} \times \text{摩擦係数} = \text{ローラ荷重} \times \sin(\theta) \times \text{摩擦係数} \quad \dots\dots (3.-1')$$

$$\text{乗り上げ防止力} = \text{垂直成分} = \text{ローラ荷重} \times \cos(\theta) \quad \dots\dots\dots\dots\dots (3.-2')$$

両式が明細書記述の式(3-1)及び(3-2)の背景である。従って、明細書の判定式はローラ踏面断面形状が 180 度の凹状円弧であることを前提条件としている。

乗り上げに対する安全率は以下の様に定義できる。

$$\text{安全率} = \text{乗り上げ防止力} \div \text{乗り上げ力} = 1 \div \tan(\theta) \div \text{摩擦係数} \quad \dots\dots(3-3)$$

3.3 安全率の計算

表 3.-1 及び図 3.-2 は式(3.-3)で与えられる安全率の試算結果である。摩擦係数 C_f (0.1 ~ 0.7) と荷重方向 (10 度以上で ~ 安全率が 1 ~ 20 の範囲) のステップを表示の如く設定した。通常は C_f 0.1、 $\theta = 10 \sim 30^\circ$ 程度である。

3.4 説明内容の整理 (2 章・3 章)

判定式のローラ踏み面凹状円弧角度は 180° である。

判定式は接触面 = 限界位置の極限的仮定に基づいて導出されている。

論理的である。

結果として信頼性が高い。

ゲートの開閉力に接触面摩擦力の影響を考慮する必要がある。

偶発的要因としては、摩擦係数、摩擦面性状等の不確実性が考えられる。

表 3.-1 安全率試算結果

摩擦係數	Cf=0.1	Cf=0.2	Cf=0.3	Cf=0.4	Cf=0.5	Cf=0.6	Cf=0.7
θ (度)	安全率						
10.00			18.90	14.18	11.34	9.45	8.10
12.00			15.68	11.76	9.41	7.84	6.72
14.04		20.00	13.33	10.00	8.00	6.67	5.71
18.00		15.39	10.26	7.69	6.16	5.13	4.40
22.00		12.38	8.25	6.19	4.95	4.13	3.54
26.56	20.00	10.00	6.67	5.00	4.00	3.33	2.86
28.00	18.81	9.40	6.27	4.70	3.76	3.13	2.69
30.00	17.32	8.66	5.77	4.33	3.46	2.89	2.47
35.00	14.28	7.14	4.76	3.57	2.86	2.38	2.04
40.00	11.92	5.96	3.97	2.98	2.38	1.99	1.70
45.00	10.00	5.00	3.33	2.50	2.00	1.67	1.43
50.00	8.39	4.20	2.80	2.10	1.68	1.40	1.20
55.01	7.00	3.50	2.33	1.75	1.40	1.17	1.00
59.04	6.00	3.00	2.00	1.50	1.20	1.00	
63.43	5.00	2.50	1.67	1.25	1.00		
68.20	4.00	2.00	1.33	1.00			
73.30	3.00	1.50	1.00				
78.70	2.00	1.00					
84.30	1.00						

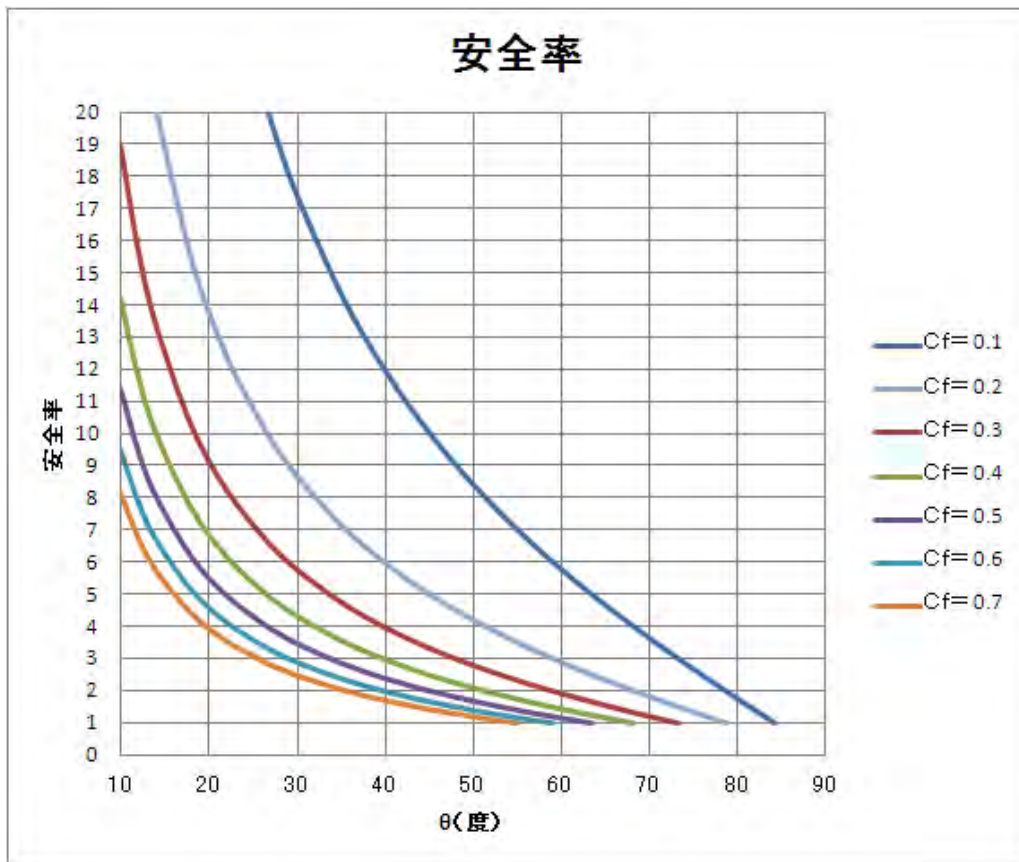


圖 3.-2 安全率試算結果

4. 乗り上げ現象事例

事例1：ローラ始動時のローラ移動力

(1) 計算式と説明

ローラ始動時は図 3-1 a の状態であり、この時のローラ移動力を図 4-1 のローラ形状で考える。ローラ半幅はローラ荷重点、即ち、接触点と一致している。図の右側は接触点を含む回転面上点移動下方向成分の接線方向成分と荷重方向成分を示す。ローラ移動力は式(4-1)で与えられる。これは式(3-1)の乗り上げ力に等しい。

$$\begin{aligned} \text{ローラ移動力} &= \text{ローラ荷重} \times \text{下方向点移動接線方向成分} \times \text{摩擦係数} \\ &= \text{ローラ荷重} \times \sin(\theta) \times \text{摩擦係数} \dots \dots \dots (4-1) \end{aligned}$$

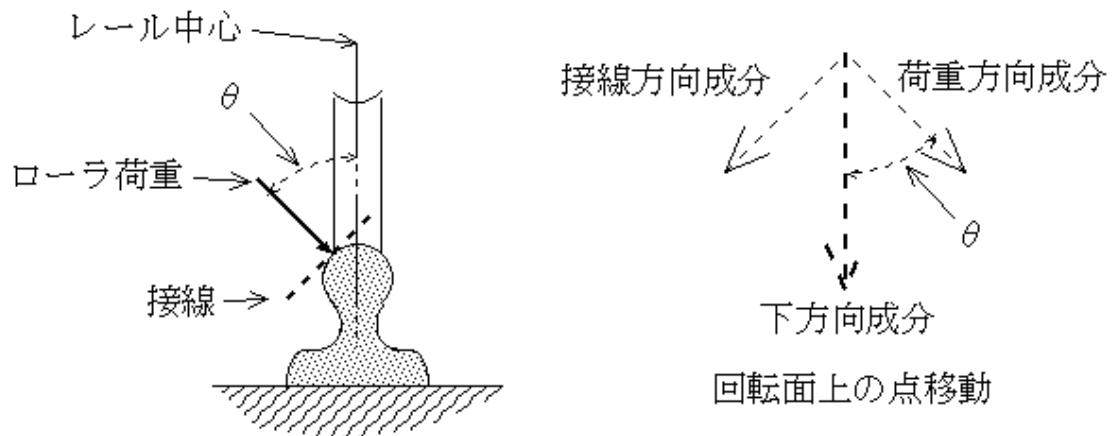


図 4-1 ローラ移動力（移動開始時）

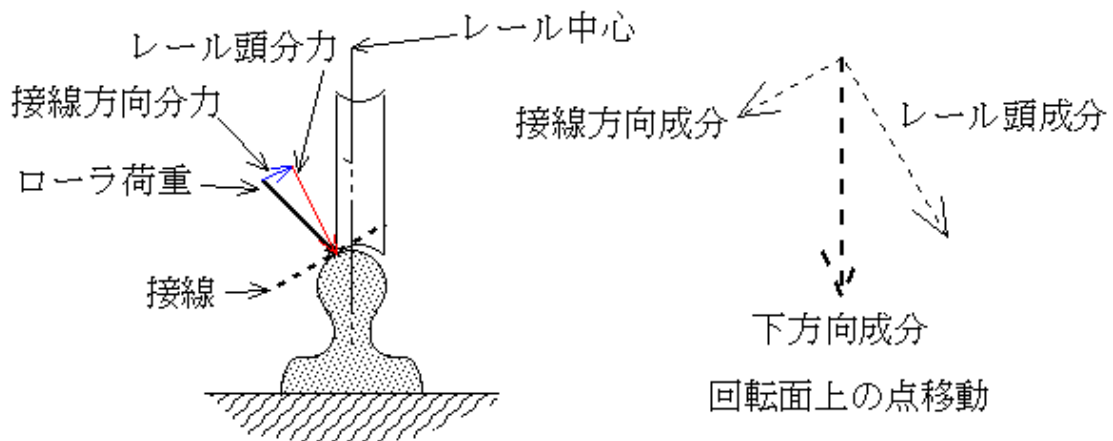


図 4-2 移動中のローラ

ローラ移動阻止力が零である。ローラ回転が始まると式(4-1)の移動力がローラに作用してローラがレール中心方向に移動を始める。図 4-2 は移動中のローラを示す。ローラ荷重

は図に示される様にレール頭分力と接線方向分力に分かれる。レールの摩擦力は移動と共に減少するが、接線方向分力（青色）は増加しながら移動力として作用するので、ローラ移動が加速されて脱輪に至る。即ち、このケースは乗り上げの開始時点にあり、接触面位置とローラ巾端の一致が乗り上げ開始の条件である。

（２）説明内容の整理

ローラ始動時のローラ移動力は乗り上げ力（式 3-1'）に等しい。
本ケースは乗り上げ開始状態にあり、接触面位置とローラ巾端が一致している。
乗り上げがローラ回転と共に始まり、加速的に進んで脱輪に至る。

事例 2 : 接触面の安定位置

(1) 接触面の安定

ローラ巾が図 4-1 の場合は接触面位置がローラ巾端と一致している。図 3-1 a の接触面位置はローラ巾より内側にあるので、ローラは回転が始まるとレール中心側に超微小移動するが、それと同時に接触面が逆方向に位置を変える。図 4-3 が位置変更後を示している。ローラ荷重はレール頭分力と接線方向分力に分かれる。位置変化に伴いレール頭分力は減少し回転面上点移動下方向成分の接線方向成分(図 4-3 右参照)は増加するので摩擦力の増減は定量検討を要するが、接線方向分力(青色)は大幅に増加してローラ移動の阻止力として作用するので、摩擦力と阻止力が釣り合ってローラ移動が止まり接触面が安定する。

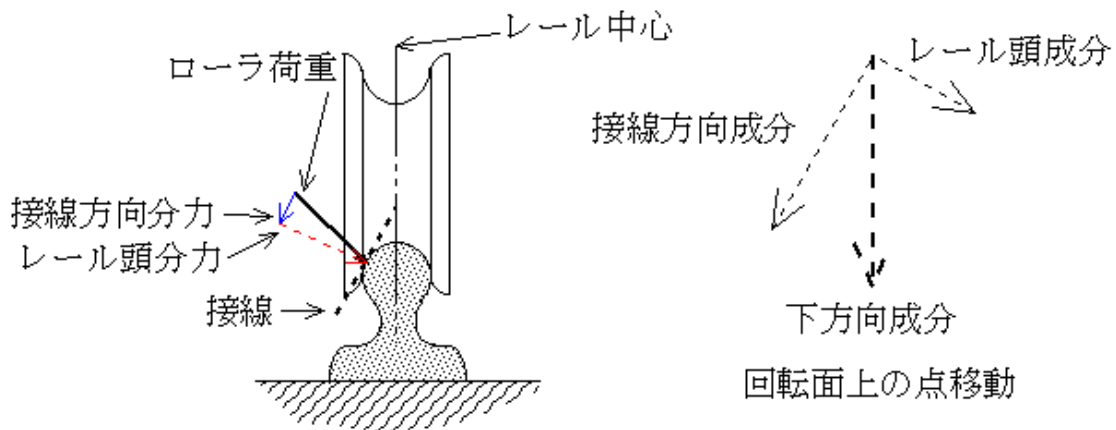


図 4.-3 接触面の外側移動

(2) 安定条件式

図 4-4 は図 4-3 に を追加した図である。図 3-1 a で定義した (ローラ荷重の入射角) も同図に示す。図示の諸量は と を用いて以下の式で表現できる。

$$\text{接線方向分力} = \text{ローラ荷重} \times \sin(\quad - \quad)$$

$$\text{レール頭分力} = \text{ローラ荷重} \times \cos(\quad - \quad)$$

$$\text{下方向成分の接線方向成分} = \sin(\quad)$$

従って、

$$\begin{aligned} \text{ローラ移動力} &= \text{レール頭分力} \times \text{下方向点移動接線方向成分} \times \text{摩擦係数} \\ &= \text{ローラ荷重} \times \cos(\quad - \quad) \times \sin(\quad) \times \text{摩擦係数} \dots \dots \dots (4-2) \end{aligned}$$

$$\text{移動阻止力} = \text{接線方向分力} = \text{ローラ荷重} \times \sin(\theta) \quad \dots\dots\dots (4-3)$$

接触面安定位置に於いてローラ移動力と移動阻止力が等しいので、次ぎの式が成り立つ。

$$\text{ローラ移動力} - \text{移動阻止力} = 0 \quad \dots\dots\dots (4-4)$$

$\theta = \text{接触面位置変化量}$ と置き、式(4-2)及び(4-3)を式(4-4)に代入、整理して安定条件式が得られる。

$$\sin(\theta + \beta) \times \text{摩擦係数} - \tan(\beta) = 0 \quad \dots\dots\dots (4-5)$$

式(4-5)の左辺を $F(\theta)$ と置き、(4-6)とする。

$$F(\theta) = \sin(\theta + \beta) \times \text{摩擦係数} - \tan(\beta) \quad \dots\dots\dots (4-6)$$

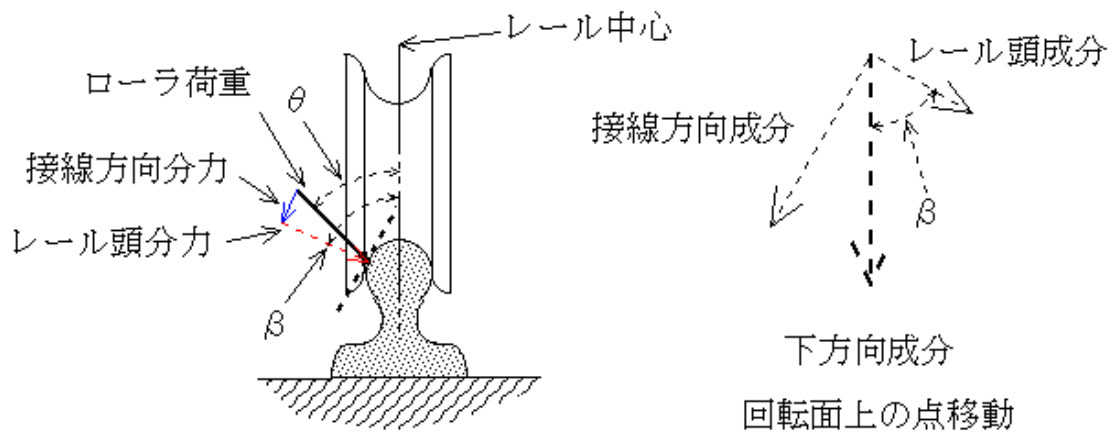


図 4-4 安定条件式

(3) 数値計算

(3-1) 関数 $F(\theta)$ の値

表 4-1 に示す摩擦係数とローラ荷重入射角 θ (°) の組み合わせについて関数 $F(\theta)$ の値を β に対して算出した結果を図 4-5 に示す。本図から以下のことが判る。

- 全てのケースで F 値が単純減少する (阻止力増加 > 移動力増加)。
- 摩擦係数が小さいほど F 値の減少が早い (阻止力増加が早い)。
- ローラ荷重入射角 θ が小さい程 F 値の減少が早い (阻止力増加が早い)。

表 4.1 数値計算ケース

摩擦係数の値		ローラ荷重入射角 θ	
ケース記号	値	ケース記号	値(°)
I	0.1	①	11.25
II	0.2	②	22.50
III	0.3	③	33.75
iv	0.4	④	45.00
V	0.6		
VI	0.8		
VII	1.0		

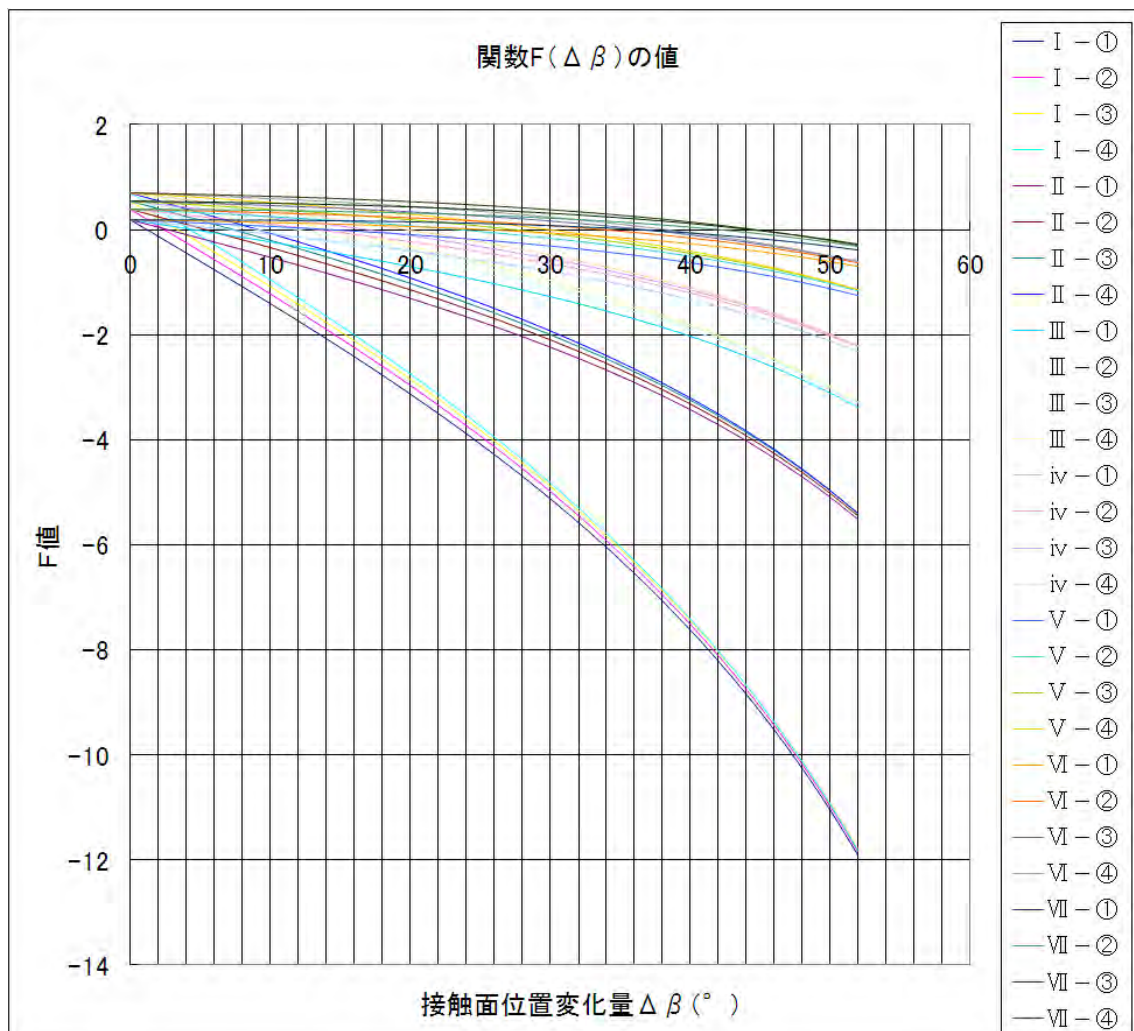


図 4.5 関数 F () の値

(3 - 2) 安定条件式(9)の解

表 4.2 安定条件式の解 ()

ローラ荷重 θ°	11.25	22.5	33.75	45
摩擦係数0.1	1.24	2.42	3.46	4.34
摩擦係数0.2	2.78	5.33	7.51	9.21
摩擦係数0.3	4.72	8.88	12.15	14.49
摩擦係数0.4	7.25	13.08	17.27	19.91
摩擦係数0.6	14.72	23.26	27.78	30.11
摩擦係数0.8	25.67	33.60	37.08	38.48
摩擦係数1.0	36.55	42.09	44.36	44.98

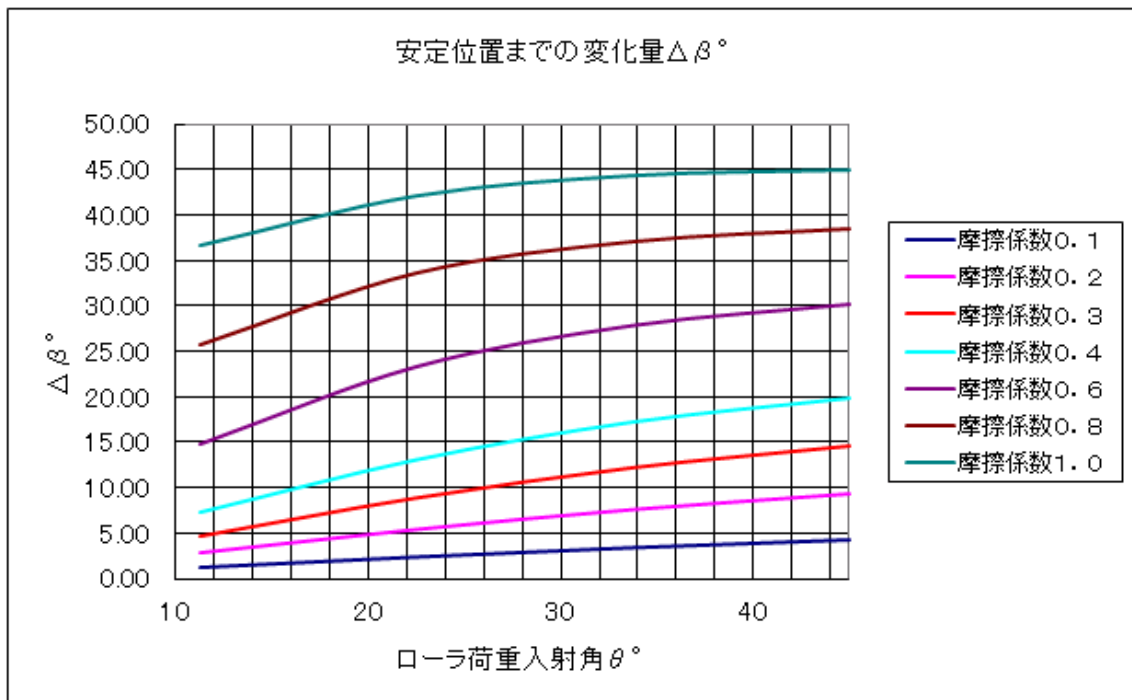


図 4.6 安定条件式の解 ()

表 4.1 のケースについて安定条件式(4.5)を解いた結果を表 4.2 と図 4.6 に示す。これらの値は図 4.5 で F 値が軸を横切る点、即ち、接触面の安定位置 () である。本図から以下のことが判る。

ローラ荷重入射角 () が小さいと安定位置にすぐ到達する。

摩擦係数が小さいと安定位置にすぐ到達する。

安定位置がローラ巾外側の場合、接触面位置 = ローラ巾端で乗り上げが始まる。

(3 - 3) ローラ移動力と移動阻止力の%表示

ローラ移動力と移動阻止力の式(4.2)及び式(4.3)の値を図4.4に示した β の変化に対して%で表す。 $\beta = 90^\circ$ の値を 100 とすると%表示式は以下の通りである。

$$\begin{aligned} \text{ローラ移動力\%} &= 100 \times \cos(\theta - \beta) \times \sin(\beta) \div \sin(\theta) \\ &= 100 \times \{ \cos(\theta) \sin(\beta) \div \sin(\theta) + 1 \} \dots\dots\dots (4.7) \end{aligned}$$

$$\text{移動阻止力\%} = 100 \times \sin(\theta - \beta) \div \cos(\theta) \dots\dots\dots (4.8)$$

表 4.1 に示した 4 種類のローラ荷重入射角 θ に対して両式の値を算出した結果を図 4.7 に示す。本図から以下のことが判る。

ローラ移動力は $\beta = 90^\circ$ で最小となる。

移動阻止力は $\beta = 90^\circ$ で最大となる。

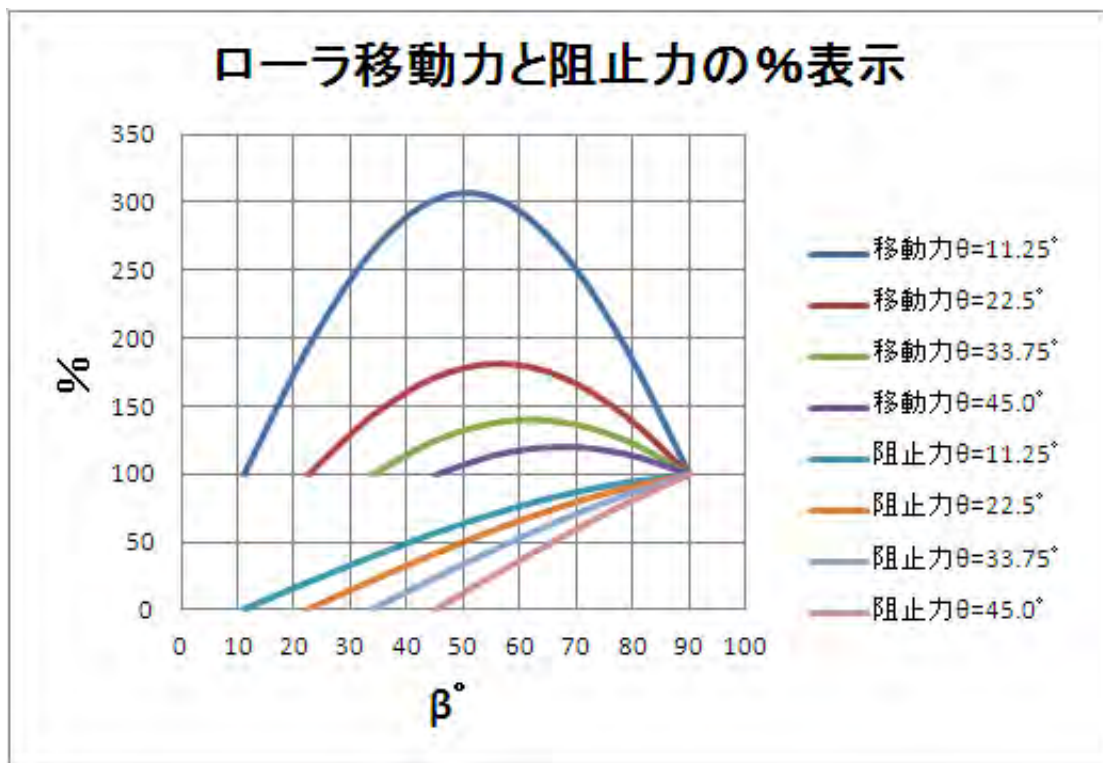


図 4.7 ローラ移動力と阻止力の%表示

(4) 説明内容の整理

(A) 接触面位置変化に伴う F 値の変化

全てのケースで F 値が単純減少する (阻止力増加 > 移動力増加) 。

摩擦係数が小さいほど F 値の減少が早い (阻止力増加が早い) 。

ローラ荷重入射角 () が小さい程 F 値の減少が早い (阻止力増加が早い) 。

(B) 接触面の安定位置について

ローラ荷重入射角 () が小さいと安定位置にすぐ到達する。

摩擦係数が小さいと安定位置にすぐ到達する。

安定位置がローラ巾外側の場合、接触面位置 = ローラ巾端で乗り上げが始まる。

(C) 乗り上げについて

乗り上げ前のローラ超微小移動と乗り上げ後のローラ移動は別物。

乗り上げの終局は脱輪である。

(D) ローラ移動力と阻止力について

ローラ移動力は $\theta = 90^\circ$ で最小となる。

移動阻止力は $\theta = 90^\circ$ で最大となる。

5. 乗り上げ現象のイメージ

摩擦と荷重の不确实性が無い環境では乗り上げは起こらない。乗り上げ現象のイメージについて次の結論が得られた。

(A) ローラ乗り上げのシナリオ

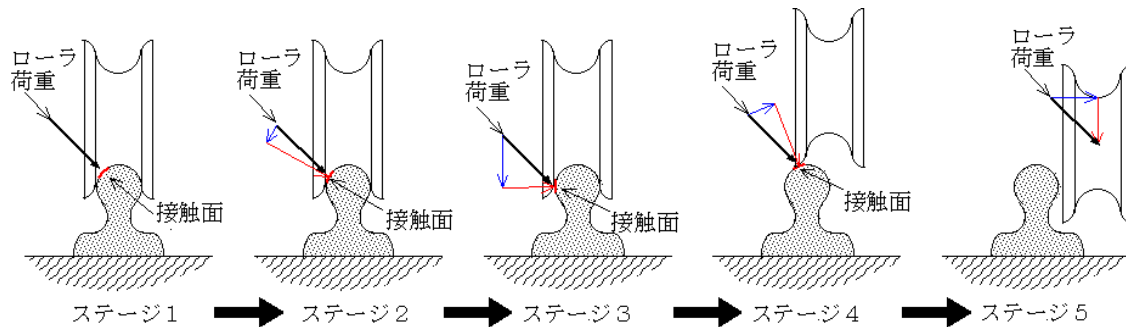


図 - 9 ローラ乗り上げのシナリオ

【ステージ1．ローラ静止状態】：ローラ荷重線は接触面に直交してレール中心に向かう。

【ステージ2．ローラ回転状態】：接触面がレール中心と逆方向に動く。

【ステージ3．乗り上げ開始】：接触面がローラ巾端に到達して乗り上げ開始。

【ステージ4．乗り上げ進行】：摩擦力と荷重分力（青色）で乗り上げ進行。

【ステージ5．脱輪】：レール頂で荷重分力（青色）に押されて一挙に脱輪。

備考 接触面移動は偶発的要因で始まると考えられる。

動きも不安定なものになると予想される。

乗り上げ開始から脱輪へは加速的に進む。

(B) レール接触面の移動

接触面の摩擦力はローラをレール中心方向に移動する力として働く。

ローラ移動に伴い、接触面が逆方向に移動して移動力が減じ阻止力が増す。

阻止力 = 移動力の位置で接触面位置が安定して乗り上げに至らない。

(C) 特許明細書判定式

判定式のローラ踏み面凹状円弧角度は 180° である。

判定式は接触面が限界位置にあると仮定して導出されている。