

149

I S S N 0386-5878

土木研究所資料第1742号

マイクロフィルム第 号

土木研究所資料

施工の安全性に関する調査試験

—車輪式建設機械の動的安定性—

(第 2 報)

昭和56年11月

建設省土木研究所
機 械 研 究 室

copyright © 56年度 by P.W.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director of P.W.R.I

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。
したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

まえがき

建設工事中建設機械に関係する災害で作業員の死傷事故や第三者に及ぼす事故は毎年あとを絶たず、建設工事における安全の確保は、工事施工上最重視されるものの一つで、近年特に関心が払われている。このため、ISO（国際標準化機構）やJIS（日本工業規格）における建設機械の安全性に関連する試験方法等あるいは安全構造物の規格の検討をはじめとして建設機械の安全性を高めるための努力は各方面で進められている。

建設機械の中で、車輪式建設機械は、履带式に比較して高速で作業ができ、足廻り維持費が安価なうえ、低圧タイヤの開発で軟弱地でも使用可能になった等の理由から近年急速に普及してきている。しかしながら、車輪式建設機械は、元来機械の重心が高く、最近の傾向である高速化並びに小半径旋回が可能なアーティキュレート操向の採用によって機械の作業能率の向上が著しい反面、急旋回時や不陸乗上げ時等における安定性が悪くなって、転倒の危険性が高くなることになる。

本調査試験は、建設工事における機械化施工の安全性をテーマとして、昭和51年度から「車輪式建設機械の動的安定性」について、機械の試験方法並びに転倒安定性の評価方法の開発を目的に実施しているものである。

本報告書は、(社)日本建設機械化協会建設機械化研究所に委託し、同研究所構内の建設機械性能試験場で行った実験と併せて電算機シミュレーションモデルの解析を行い、車輪式建設機械の転倒安定性を検討した結果について記述したものである。

昭和 56 年 11 月

機 械 研 究 室

室 長 沢 田 茂 良

主任研究員 太 田 宏

研 究 員 境 友 昭

目 次

まえがき	
1. 調査概要	1
2. シミュレーションモデル	3
2.1 ホイールロードの構造	3
2.2 記号	4
2.3 数学モデル	5
2.4 電子計算機によるシミュレーションプログラム	14
3. 実機による試験	17
3.1 試験車両	17
3.1 静的試験	19
3.3 不陸乗上げ試験	22
3.4 急旋回試験	26
3.5 急旋回・急制動試験	27
4. 結果と考察	29
4.1 静的試験の結果	29
4.2 不陸乗上げ試験の結果	30
4.3 急旋回試験の結果	40
4.4 急旋回・急制動試験の結果	47
4.5 転倒安定領域	51
5. ま と め	54
あ と が き	55
参 考 文 献	55
付 録	
付録1 シミュレーションプログラム詳細フロー	57
付録2 シミュレーションプログラム入力データ指示	87
付録3 シミュレーションプログラムリスト及び出力例	91

1. 調査概要

走行中の建設機械（以下車両という）は、急旋回時における遠心力、急制動時における慣性力及び不陸乗上げ時における外力のように転倒方向へ作用する力が、ある限度を超えると転倒に至る。したがって、これらの力により生ずる転倒モーメントと車両自身が持つ復元モーメントの関係を把握することによって車両の転倒問題を解明することができる。

調査試験は、昭和51年度から昭和53年度までの3年間にわたって行い、実験については、（社）日本建設機械化協会建設機械化研究所において実施した。

昭和51年度の調査試験では、試験車両に実験に必要な無線操縦方式の変更をはじめとした改造を実施した。次に静的試験を行い、試験車両の重心位置並びに横方向に静荷重を加えて車両の傾斜角と横荷重の関係を調査し、車両の安定限界を求めた。また、予備実験として急旋回試験を実施し、車両の安定限界を超える旋回条件では、車両が転倒することを確認した。

昭和52年度には、急旋回試験をさらに実施しデータの積重ねを行うとともに急制動試験及び不陸乗上げ試験を行い、車両の動的挙動を調査した。一方静的試験についても、車両のローリング及びピッチングに関する慣性モーメント、タイヤに関する縦及び横方向のバネ定数並びにタイヤと試験場の路面との摩擦係数を測定するための試験を実施した。

昭和53年度は、急旋回及び不陸乗上げ試験を実施した。すなわち、急旋回試験では、急旋回と急制動を与え、両者の複合作用の下における動的挙動を調査し、不陸乗上げ試験では、前年度より急傾斜の不陸角度にて実験を行った。また、静的試験では、タイヤの回転に関する慣性モーメントを測定した。

表 1.1 調査年度と項目

年 度	51	52	53
調査項目	1. 静的試験 - 重心位置 - 幾何学安定限界	1. 静的試験 - 車両の慣性モーメント - タイヤのバネ定数	1. 静的試験 タイヤの慣性モーメント
	2. 動的試験 急旋回	2. 動的試験 - 路面の摩擦係数 - 急旋回 - 急制動 - 不陸乗上げ	2. 動的試験 - 急旋回、急制動 - 不陸乗上げ
		3. シミュレーション	3. シミュレーション

車両の数学モデルによるシミュレーションでは、昭和52年度に急旋回運動の転倒に関し、電子計算機シミュレーションプログラムを開発した。昭和53年度からは、上記のシミュレーションプログラムを基にして、旋回途中に不陸の存在の有無並びにバケット載荷重の有無による転倒の挙動もシミュレートできるようにプログラム内容の拡張、改良を行った。

なお、昭和52年度までの調査試験に関しては、第1報¹⁾にとりまとめている。

2. シミュレーションモデル

2.1 ホイールローダの構造

本調査試験では、車輪式建設機械のなかでは最も一般的なホイールローダを取りあげた。ホイールローダには、専用機として設計されたもの、農業用トラクタのアタッチメントとして開発されたもの及びフォークリフトから派生したものがあるが、建設工事では、能力的に優れている専用機が主に普及している。

専用機として開発されたものは、ほとんどが全輪駆動方式であり、原動機にはディーゼルエンジンを使用し、視界を良くするためとバケット載荷とのバランスから、車体後部にこれを搭載している。

専用機の操向方式は、現在では大形機から小形機までの大部分でアーティキュレート方式(車体屈折式)が主流となっている。本方式は、図2.1のように車体を前部と後部に分割して中央部をピンで連結し、ピンを中心に油圧シリンダを伸縮させて操向を行うものである。この方式は旋回半径が小さく、前後輪が同じわだちを通るので軟弱地における走破性もよい。またバケットを $25^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 左右に振ることができるので均等に積み込むことが比較的容易に行える。また、操向軸を必要としないため、アクスル系統が比較的簡単な構造となり故障が少ないなどの特長もある。

懸架装置は、いわゆる一般の自動車のようなスプリングサスペンション機構ではなく、図に

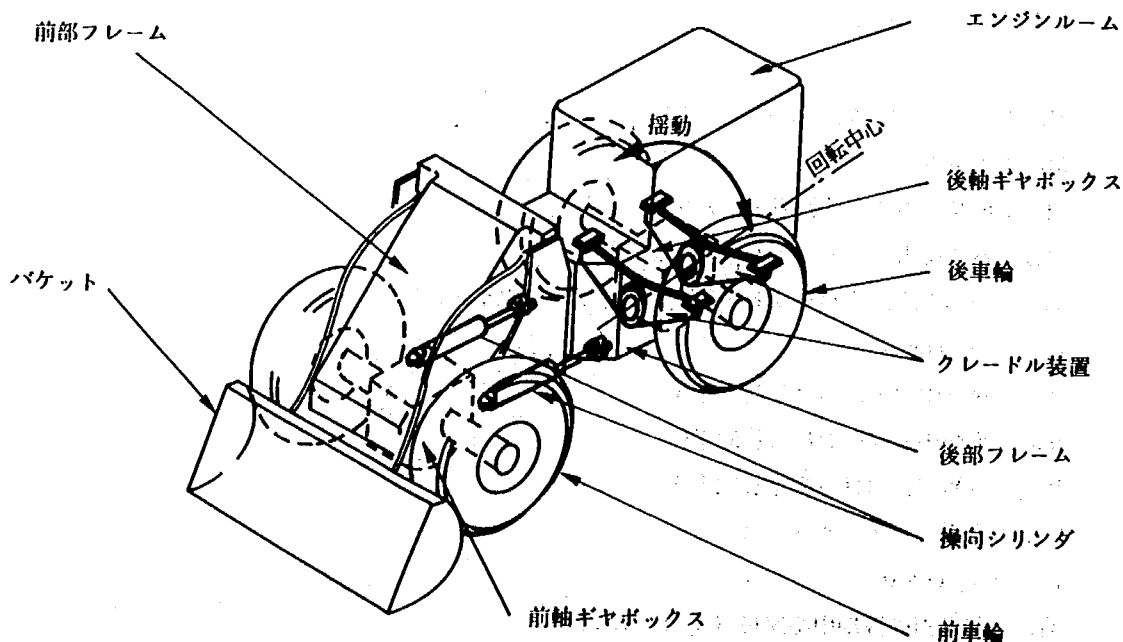


図2.1 ホイールローダの構造略図

示すように前軸が固定，後軸がクレードル装置によって揺動できるような三点支持機構となっている。したがって，仮にどれか一つのタイヤが不陸に乗り上げたり窪に落ち込んだ場合でもクレードル装置の揺動範囲内であれば装置が作動してすべてのタイヤは路面に接触していることができる。

2.2 記号

本報告で用いる主な記号を次のように定め，車両の前後で区別されるものには前側に関して1，後側に関して2を添字し，左右で区別されるものには左側に関して1，右側に関して2と添字して区別する。

- C : 旋回運動における瞬間中心
- G : 車両重心の位置
- g : 重力の加速度
- H : 不陸の高さ
- h_l : バケット載荷重の重心高
- h_0 : 車両の重心高 (空車時)
- I_{x0} : 車両の重心まわりの慣性モーメント (空車時)
- k : タイヤの縦バネ定数
- L : 不陸の長さ
- $2\ell_0$: 車両のトレッド
- $\ell = \ell_0 \cos \alpha$
- M_f : 旋回遠心力による転倒モーメント
- M_G : 車両重量による復元モーメント
- M_{Tf} : 前輪反力による転倒モーメント
- M_{Tr} : 後輪反力による転倒モーメント
- p_0 : 前軸中心からバケット載荷重の中心までの水平距離
- $p = p_0 \cos \alpha$
- R : 車体中央部における旋回半径
- R_c : 車軸中心部における旋回半径
- R_{lim} : 外輪部における設定旋回半径
- $2r_0$: 車両のホイールベース
- $r = r_0 \cos \alpha$
- T_{ij} : 各車両の接地中心座標 ($i, j=1, 2$)
- t : 旋回開始からの時間

U : 車両走行速度
 u : 車体中心から前後方向の重心偏位量
 v : 車体中心から左右方向の重心偏位量
 W : 車両総重量
 W_f : 車両の前軸重 (空車時)
 W_{ij} : 各輪の輪荷重 ($i, j = 1, 2$)
 W_l : バケット載荷重
 W_r : 車両の後軸重 (空車時)
 w : 空車時の重心高さからバケット載荷時の高さの偏位量
 x_{di} : 不陸乗り上げ時の不陸開始点から車輪までの距離
 2α : 車体屈折角度
 β : クレードルロック角度
 θ : 車両の傾斜角度
 λ : 操向角速度
 ρ : 不陸の角度
 φ : 車両の旋回角度
 ψ_i : 不陸によって生ずる車両の傾斜角度 ($i = 1, 2$)
 x, y, z : 固定座標
 x_c, y_c : 固定座標系における車両の旋回中心座標
 ξ, η, ζ : 運動座標

2.3 数学モデル

(1) 仮定

車両に関する数学モデルを作成するにあたり、次の条件を仮定した。

- ① 車両は、直進姿勢では車体中心線に対して左右対称である。
- ② タイヤの変形による車両重心位置の変化は無視する。
- ③ 操向による軸重の変化はないものとする。
- ④ 車両姿勢の変化による車両の慣性モーメントの変化は無視する。
- ⑤ バケット載荷自身の慣性モーメントは無視する。
- ⑥ タイヤの回転によるジャイロ効果は無視する。
- ⑦ タイヤと路面とのスリップは無視する。
- ⑧ 車両の走行速度は一定速度を保つ。
- ⑨ 車両に作用する空気力は無視する。

(2) 座標系

車両は、固定座標 (x, y, z) 上を直進もしくは旋回運動を行う。出発点は、直進姿勢で x 軸上に $+$ 方向を向き各輪の座標はそれぞれ $T_{11}(2r_0, \ell_0)$, $T_{12}(2r_0, -\ell_0)$, $T_{21}(0, \ell_0)$, 及び $T_{22}(0, -\ell_0)$ とする。

一方車両は、外輪を結ぶ軸とセンタピンを通りこれに直交する交点を原点とする運動座標の上でローリング運動を行う。

不陸は、固定座標における xy 平面上の予め決められた位置に設置されている。

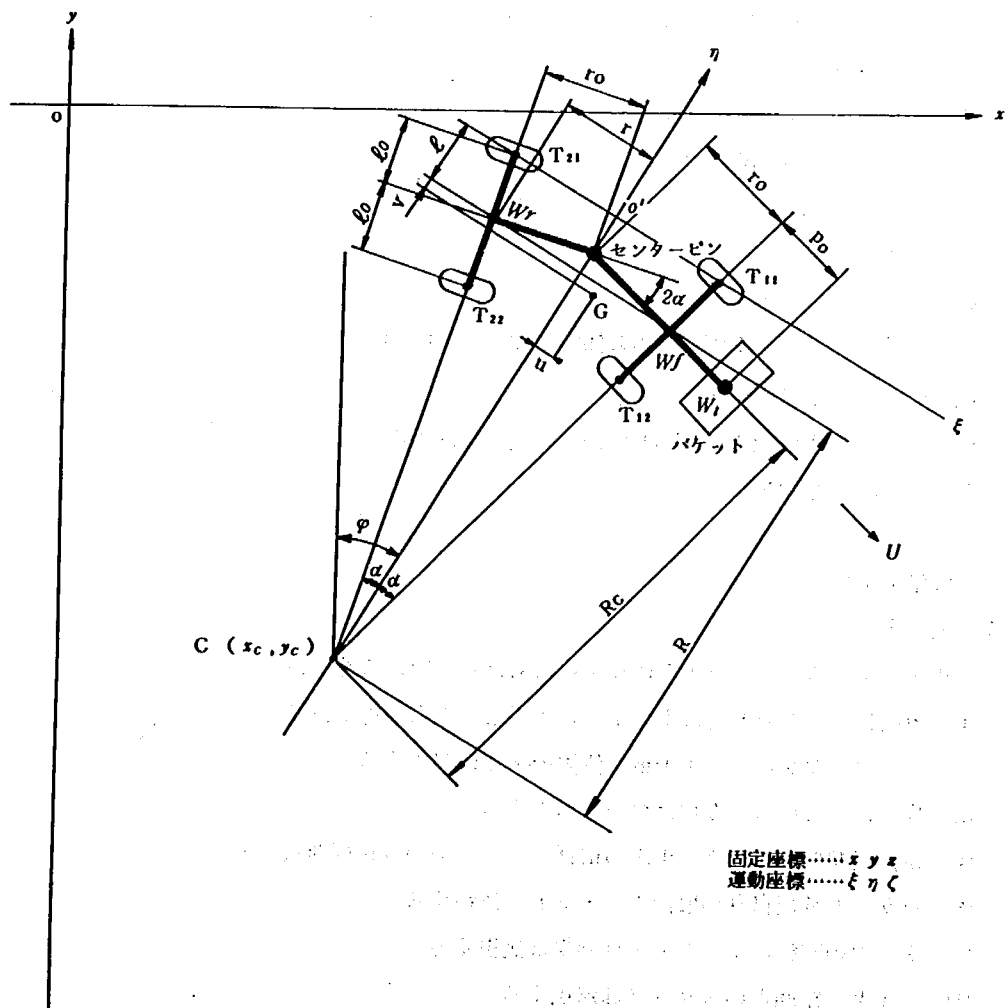


图 2.2 平面座標系

不陸乗上げ時（後輪）

旋回時

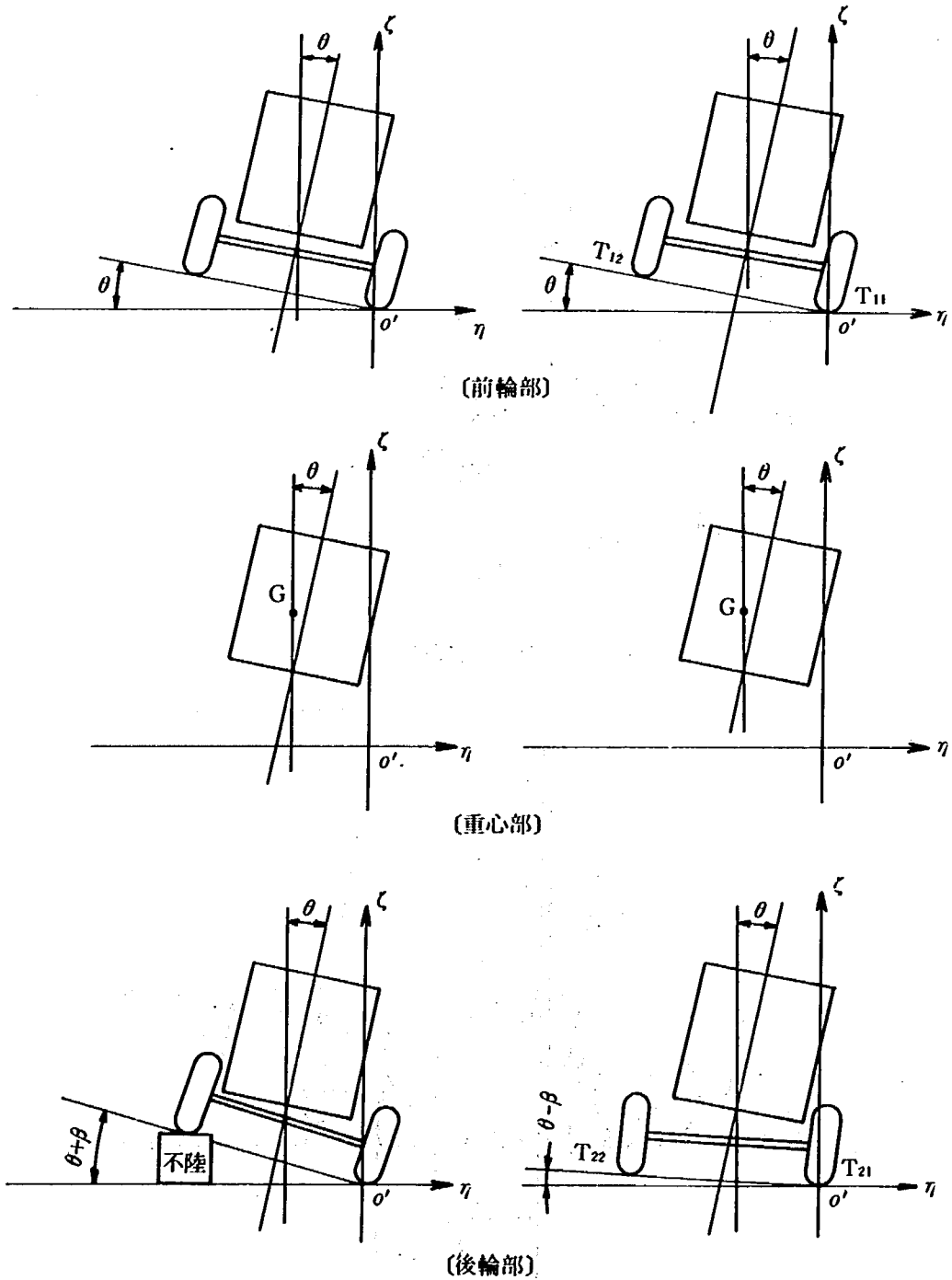


図 2.5 各断面における車両の傾斜

(3) 車両の重心位置と輪荷重

バケット載荷時の車両の重心位置を求める。まず車両の総重量 W は

$$W = W_f + W_r + W_l \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

で表わされる。

したがって、バケット載荷して旋回姿勢の時の重心位置が、車両の中心からそれぞれの方
向に u , v 及び w だけ偏位したとすると、 u , v , w は次のように算出できる。 u は、 η 軸まわ
りのモーメントの均合いより求まる。すなわち、

$$W_l (p+r) + W_f \cdot r - W_r \cdot r = W \cdot u$$

$$\therefore u = \frac{W_l (p+r) + (W_f - W_r) r}{W} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

また、 v は車体中心線 ($-\ell$ 軸) まわりのモーメントの均合いより求まる。

$$W_l \cdot p \cdot \tan \alpha = W \cdot v$$

$$\therefore v = \frac{W_l}{W} p \tan \alpha \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

上下方向の偏位量 w は、 z 軸まわりのモーメントの均合いより求まる。

$$(W_f + W_r) h_0 + W_l h_l = W (h_0 + w)$$

$$\therefore w = \frac{W_l h_l - \{W - (W_f + W_r)\} h_0}{W}$$

$$= \frac{W_l}{W} (h_l - h_0) \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

次に、各車輪に作用する荷重を計算する。まず、 $-\ell$ 軸まわりの均合いより

$$W_{11} \ell - W_{12} \ell + W \cdot v = 0 \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

次に η 軸まわりのモーメントの均合いより

$$- W_{11} (r + \ell \tan \alpha) - W_{12} (r + \ell \tan \alpha) + W_r \cdot r + W \cdot u = 0 \quad \dots\dots (2.6)$$

また、各荷重の均合いより

$$W_{11} + W_{12} + W_r - W = 0 \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

となる。以上の式 (2.5) ~ (2.7) より W_{11} , W_{12} 及び W_2 を求める。

式 (2.5) を変形して

$$W_{11} = \frac{W \cdot v}{\ell} + W_{12} \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

式 (2.6) を変形して

$$W_2 = \frac{W_{11} (r + \ell \tan \alpha) + W_{12} (r - \ell \tan \alpha) - W \cdot u}{r}$$

$$= \frac{-W(v \cdot r + U \ell \tan \alpha + U \ell) + 2r \cdot \ell \cdot W_{12}}{\ell \cdot r} \dots\dots\dots (2.9)$$

式(2.8)及び式(2.9)を式(2.7)に代入すると

$$\begin{aligned} & -\frac{W \cdot v}{\ell} + W_{12} + W_{12} + \frac{2r \cdot \ell \cdot W_{12} - W(v \cdot r + v \cdot \ell \tan \alpha + u \cdot \ell)}{r \cdot \ell} - W = 0 \\ \therefore W_{12} &= \frac{W \cdot r \cdot \ell + W(2v \cdot r + u \cdot \ell + v \cdot \ell \tan \alpha)}{4r \cdot \ell} \\ &= \frac{W}{4} \left\{ 1 + \frac{\ell \tan \alpha + 2r}{r \cdot \ell} v + \frac{1}{r} u \right\} \dots\dots\dots (2.10) \end{aligned}$$

式(2.8)と式(2.10)より

$$\begin{aligned} W_{11} &= \frac{W \cdot v}{\ell} + W \left\{ \frac{1}{4} + \frac{\ell \tan \alpha + 2r}{4r \cdot \ell} v + \frac{u}{4r} \right\} \\ &= \frac{W}{4} \left(1 + \frac{\ell \tan \alpha + 2r}{r \cdot \ell} v + \frac{1}{r} u \right) \dots\dots\dots (2.11) \end{aligned}$$

また、式(2.9)と式(2.10)より

$$\begin{aligned} W_r &= \frac{-W(v \cdot r + v \cdot \ell \tan \alpha + u \cdot \ell) + 2r \cdot \ell \cdot \frac{W}{4} \left(1 + \frac{\ell \tan \alpha + 2r}{r \cdot \ell} v + \frac{1}{r} u \right)}{r \cdot \ell} \\ &= \frac{W}{2} \left(1 - \frac{\tan \alpha}{r} v - \frac{1}{r} u \right) \end{aligned}$$

ここで、 W_{21} 及び W_{22} は

$$\begin{aligned} W_{21} &= W_{22} = \frac{W_r}{2} \\ \therefore W_{21} &= W_{22} = \frac{W}{4} \left(1 - \frac{\tan \alpha}{r} v - \frac{1}{r} u \right) \dots\dots\dots (2.12) \end{aligned}$$

が得られる。

(4) 運動座標上における車両各部の座標

運動座標 (ξ, η, ζ) 上における車両の重心など各部の座標を計算する。

重心の座標 (ξ_G, η_G, ζ_G) は、図2.2及び図2.3より幾何学的に次のようになる。

$$\xi_G = u \dots\dots\dots (2.13)$$

$$\begin{aligned} \eta_G &= - \left[\left\{ (\ell + v) \cos \theta - (h_0 + w) \sin \theta \right\} \frac{r+u}{2r} + \left\{ (\ell + v) \cos(\theta - \beta) \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - (h_0 + w) \sin \theta \right\} \frac{r-u}{2r} \right] \dots\dots\dots (2.14) \end{aligned}$$

$$\zeta_0 = \left\{ (\ell + v) \sin \theta + (h_0 + w) \cos \theta \right\} \frac{r+u}{2r} + \left\{ (\ell + v) \sin (\theta - \beta) \right. \\ \left. + (h_0 + w) \cos \theta \right\} \frac{r-u}{2r} + \frac{1}{2} \zeta_{22} \cdot \frac{r-u}{2r} \dots\dots\dots (2.15)$$

ただし、後輪が不陸に乗り上げていないときは、式(2.15)の右辺第3項の $\frac{1}{2} \zeta_{22} \frac{r-u}{2r}$ は0である。また $\theta < \beta$ のときは、 $\theta - \beta = 0$ とする。

車両が不陸に乗り上げていないとき、各車輪の接地点の座標はおの次のように表わせる。

$$\begin{cases} \eta_{11} = 0 \\ \zeta_{11} = 0 \end{cases} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$\begin{cases} \eta_{21} = 0 \\ \zeta_{21} = 0 \end{cases} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$\begin{cases} \eta_{12} = -2\ell \cos \theta \\ \zeta_{12} = 0 \end{cases} \quad (0 \leq \theta \leq \sin^{-1}(\frac{W_{11}}{2\ell k}) \text{の時}) \dots\dots\dots (2.18)$$

$$\quad = 2\ell \sin \left\{ \theta - \sin^{-1} \left(\frac{W_{11}}{2\ell k} \right) \right\} \quad \left(\sin^{-1} \left(\frac{W_{11}}{2\ell k} \right) < \theta \text{の時} \right)$$

$$\begin{cases} \eta_{22} = -2\ell & (0 \leq \theta \leq \beta \text{の時}) \\ \quad = -2\ell \cos (\theta - \beta) & (\beta < \theta \text{の時}) \\ \zeta_{22} = 0 & (0 \leq \theta \leq \beta \text{の時}) \\ \quad = 2\ell \sin (\theta - \beta) & (\beta < \theta \text{の時}) \end{cases} \dots\dots\dots (2.19)$$

車両の内輪が不陸に乗り上げた時(内陸が不陸に接触している時)、内輪接地点の座標は次のようになる。前輪が不陸に乗り上げている場合、車両の傾斜角 θ は不陸によって生ずる車両の傾斜角 ψ_1 となる。すなわち、

$$\psi_1 = \sin^{-1} \left(\frac{x_{d1} \tan \rho}{2\ell} \right) \dots\dots\dots (2.20)$$

であるから、この時 η_{12} 、 ζ_{12} は次のようになる。

$$\begin{cases} \eta_{12} = -2\ell \cos \psi_1 \\ \zeta_{12} = 2\ell \sin \psi_1 \end{cases} \dots\dots\dots (2.21)$$

また、後輪が不陸に乗り上げている時、車両の傾斜角 ψ_2 は次のようになる。

$$\psi_2 = \sin^{-1} \left[\frac{\{ x_{d1} - 2(r - \ell \tan \alpha) \} \tan \rho}{2\ell} \right] - \beta \dots\dots\dots (2.22)$$

ただし、式(2.22)で計算した ψ_2 が負になる時は、クレードル装置によって不陸に乗り上げた車両の傾斜は吸収されていることになるので、この場合 $\theta = 0$ である。

ここで、 η_{22} , ζ_{22} は次のようになる。

$$\begin{cases} \eta_{22} = -2\ell \cos \Psi_2 \\ \zeta_{22} = 2\ell \sin \Psi_2 \end{cases} \dots\dots\dots (2.23)$$

ここで当然ながら、(6)で述べる車両のローリング運動方程式によって計算した θ が、 Ψ_1 または Ψ_2 より大きい場合は、タイヤが不陸上にあっても不陸には接触していないため、運動方程式により計算した θ が車両の傾斜角となる。

(5) 車両の軌跡

車両が初期状態から旋回運動を開始し、 t 秒経過した後の固定座標上における車両の位置を計算する。図2.1より

$$R_c = \frac{r_0}{\tan \alpha} \dots\dots\dots (2.24)$$

$$\begin{aligned} R &= R_c \cos \alpha \\ &= r_0 \frac{\cos \alpha}{\tan \alpha} \dots\dots\dots (2.25) \end{aligned}$$

α は、操向角速度 λ が一定であるから

$$\alpha = \frac{\lambda}{2} t \dots\dots\dots (2.26)$$

である。したがって、 t 秒後における車両の旋回角度 φ は、次のようになる。

$$\begin{aligned} \varphi &= \int_0^t \frac{U}{R} dt \\ &= \frac{U}{r_0} \int_0^t \frac{\tan \alpha}{\cos \alpha} dt \dots\dots\dots (2.27) \end{aligned}$$

したがって、この時の旋回半径の瞬間中心の座標 (x_c, y_c) は、次式で表わされる。

$$x_c = U \int_0^t \cos \varphi dt + r_0 \dots\dots\dots (2.28)$$

$$\begin{aligned} y_c &= - \left\{ \int_0^t U \sin \varphi dt + R \cos \varphi \right\} \\ &= - \left\{ U \int_0^t \sin \varphi dt + r_0 \frac{\cos \alpha \cdot \cos \varphi}{\tan \alpha} \right\} \dots\dots\dots (2.29) \end{aligned}$$

一方、各車輪の座標 (x_{ij}, y_{ij}) は図2.1より幾何学的に次のように求まる。

$$\begin{cases} x_{11} = x_c + (R_c + \ell_0) \sin (\varphi + \alpha) \\ y_{11} = y_c + (R_c + \ell_0) \cos (\varphi + \alpha) \end{cases} \dots\dots\dots (2.30)$$

$$\begin{cases} x_{12} = x_c + (R_c - \ell_0) \sin (\varphi + \alpha) \\ y_{12} = y_c + (R_c - \ell_0) \cos (\varphi + \alpha) \end{cases} \dots\dots\dots (2.31)$$

$$\begin{cases} x_{21} = x_c + (R_c + \ell_0) \sin(\varphi - \alpha) \\ y_{21} = y_c + (R_c + \ell_0) \cos(\varphi - \alpha) \end{cases} \dots\dots\dots (2.32)$$

$$\begin{cases} x_{22} = x_c + (R_c - \ell_0) \sin(\varphi - \alpha) \\ y_{22} = y_c + (R_c - \ell_0) \cos(\varphi - \alpha) \end{cases} \dots\dots\dots (2.33)$$

固定座標における車両の重心座標 (x_G, y_G) は次のようになる。

$$\begin{cases} x_G = x_c + \{ (R_c + \ell_0) \cos \alpha + \eta_G \} \sin \varphi + u \cos \varphi \\ y_G = y_c + \{ (R_c + \ell_0) \cos \alpha + \eta_G \} \cos \varphi - u \sin \varphi \\ z_G = \zeta_G \end{cases} \dots\dots\dots (2.34)$$

(6) 車両のローリング運動方程式

右旋回運動中の車両について、転倒に関する安定性を検討するため、 ζ 軸まわりのモーメントを考える。 ζ 軸まわりのモーメントには、重力によるモーメント M_G 、遠心力によるモーメント M_f 、各内輪反力によるモーメント M_{Tf} 及び M_{Tr} 並びに内輪が不陸に乗り上げた時の反力によるモーメント M_{F1} または M_{F2} が車両に作用する。

重力によるモーメント M_G は

$$M_G = -\eta_G W \dots\dots\dots (2.35)$$

また、遠心力によるモーメント M_f は

$$M_f = -\frac{W}{g} \frac{U^2}{(R + \ell + \eta_G)} \zeta_G \dots\dots\dots (2.36)$$

前内輪の反力によるモーメント M_{Tf} は

$$M_{Tf} = k \theta \eta_{12}^2 + W_{12} \eta_{12} \dots\dots\dots (2.37)$$

また、後内輪の反力によるモーメント M_{Tr} は

$$M_{Tr} = W_{22} \eta_{22} \dots\dots\dots (2.38)$$

不陸乗上げによるモーメント M_F は、前内輪か後内輪が不陸に乗り上げている場合で異なり、前内輪が不陸に乗り上げた時は

$$M_{F1} = k \varphi_1 \eta_{12}^2 \dots\dots\dots (2.39)$$

となり、後内輪が不陸に乗り上げた時は

$$M_{F2} = W_{22} \eta_{22} \dots\dots\dots (2.40)$$

となる。

したがって車両のローリングに関する運動方程式は、それぞれ車両の傾斜（各輪の接地の状態）について、次のように表わせる。

四輪接地 $[0 \leq \theta \leq \sin^{-1}(\frac{W_{1f}}{2\ell k}) \text{ の場合}] \quad \text{--- Case A}$

$$I_x \ddot{\theta} = M_G + M_f + M_{Tf} + M_{Tr} + M_{F1} + M_{F2} \quad \dots\dots\dots (2.41)$$

三輪接地 $[\sin(\frac{W_H}{2\ell k}) < \theta \leq \beta \text{ の場合}]$ ——— Case B

$$I_x \ddot{\theta} = M_G + M_f + M_{Tr} + M_{F1} + M_{F2} \quad \dots\dots\dots (2.42)$$

二輪接地の場合 $[\beta < \theta \text{ の場合}]$ ——— Case C

$$I_x \ddot{\theta} = M_G + M_f + M_{F2} \quad \dots\dots\dots (2.43)$$

式(2.41)～式(2.43)で車両全体の慣性モーメント I_x は、各ケースについて次式のように表わす。

すなわち、Case A の時は近似的に重心まわりのローリング運動とみなして

$$I_x = I_{x0} + \frac{W_f}{g} (h_0 - h_f)^2 \quad \dots\dots\dots (2.44)$$

また、Case B及びCの時は、 ξ 軸まわりのローリング運動として

$$I_x = I_{x0} + \frac{W_f + W_r}{g} (h_0^2 + \ell^2) + \frac{W_f}{g} \{ h_f^2 + (\ell + p \tan \alpha)^2 \} \dots\dots (2.45)$$

とする。

以上(3)～(6)で記述した式によってホイールロードに関する旋回運動、不陸乗り上げ運動の数学モデルが記述されたことになる。

2.4 電子計算機によるシミュレーションプログラム

2.3で作成した車両運動の数学モデルは、FORTRANによって電算プログラム化した。シミュレーションプログラムは、図2.6のフローチャートに示してあるようにメインプログラムと18のサブルーチンとによって構成されている。

入力データは、車両走行速度など21データで一条件となり、各々の条件の入力データを入れることで電子計算機の容量の範囲内で多条件を一度に計算できる。また出力は、ライソプリンタ出力及びX-Yプロッタ出力の両方であり、ラインプリンタは、各計算ステップ毎に時刻、旋回半径及び各座標などが出力され、X-Yプロッタでは、ローリング角度の時間変化並びに車両重心及び各輪の軌跡がプロットされる。

計算の流れを図2.6のフローチャートに沿って概略を記述する。

先ず、一組のデータを読み込んだ後、初期条件を設定し、タイトル及び入力条件をプリントアウトする。

次に、計算の時間刻みを計算した後、各刻み時刻における計算に入る。最初に、車両の重心位置、各輪荷重並びに旋回中心及び車輪、車両重心の座標を計算し、不陸のある場合には不陸に関する各項目の計算を行う。

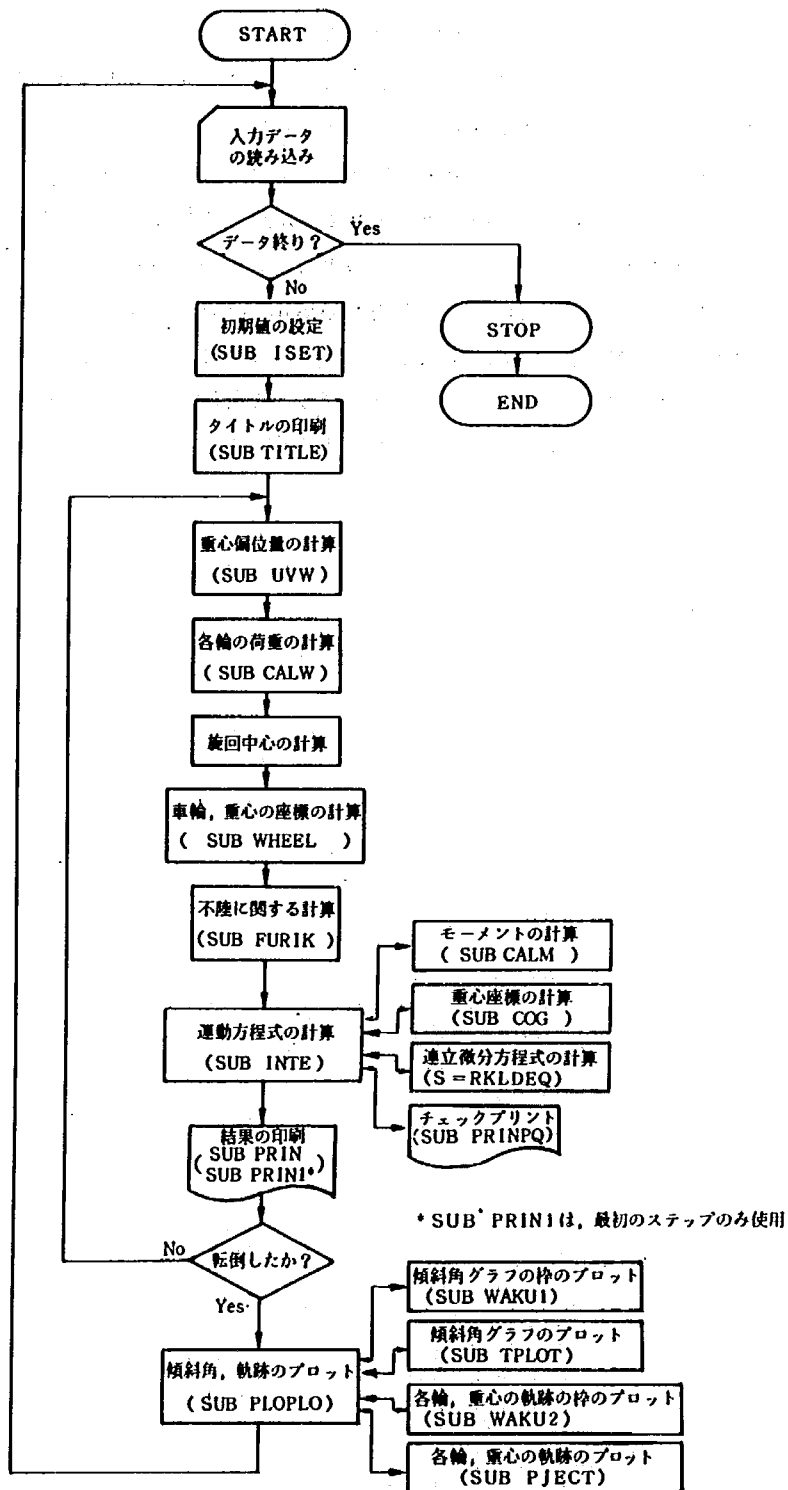


図 2.6 シミュレーションプログラムのフローチャート

車両の運動方程式では、車両に作用する各々のローリングモーメントを計算し、重心の座標を計算した後に、ルンゲ・クッタ・ギル法によって連立微分方程式を数値解析している。ここで必要ならば、各々の計算結果のチェックプリントを行う。

計算が終了したところで、結果をプリントアウトし、次の時刻のステップへ移る。

以上の計算を繰返して行い、車両が転倒したり、または計算終了時間になったら、X-Yプロットへ出力する。X-Yプロットへの出力は、最初に車両のローリング角度の時間変化のグラフの枠を描いた後に、ローリング角度の変化をプロットする。さらに、車両重心及び各輪の軌跡のグラフの枠を描いて、車両重心、各輪についてプロットしていく。

巻末の付録1にシミュレーションプログラムの詳細な仕様書、付録2に使用マニュアル及び付録3にシミュレーションプログラムリストを掲載した。

3. 実機による試験

3.1 車両試験

表3.1に本調査試験に使用したホイールローダの仕様諸元を示す。試験車両の運転は、転倒試験等に用いるところから無線操縦方式とした。無線での操縦系統は通常操作系と緊急停止系の二系統によって構成されている。通常操作系では無線による制御が不能となった場合に車両が停止するようにフェイルセーフ機構を採用した。

無線操縦の安定状態は、㊸エンジン回転数ローアイドル、㊹制御装置作動、㊺トランスミッションニュートラル、㊻エンジン停止であり、緊急停止系はこのうち㊸、㊹に対して安定状態への回帰作動を行わせるものである。図3.1に無線操縦系統図を示す。

表 3.1 試験車両の主な仕様

名 称	車輪式トラクタショベル	
規 格	山積 1.2 m ³	
モ デ ル 名	45 (東洋運搬機製)	
整 備 重 量	7,470 kg (改造後)	
次 元	全 長	5,680 mm
	全 幅	2,360 mm
	全 高	3,210 mm (ROPS含む)
操 向 機 構	センターピンアーティキュレート方式	
軸 距	2,500 mm	
輪 距	前 輪	1,750 mm
	後 輪	1,750 mm
走 行 速 度	前進4段	最高 38 km/h
	後進4段	最高 38 km/h
最 小 旋 回 半 径	最外輪中心 5.0 m	
機 関	名 称	いすゞ D500PJ
	定格出力	83PS/2,200rpm
タ イ ヤ	前 輪	13.00-24-8PR
	後 輪	13.00-24-8PR



写真 3.1 試験車両

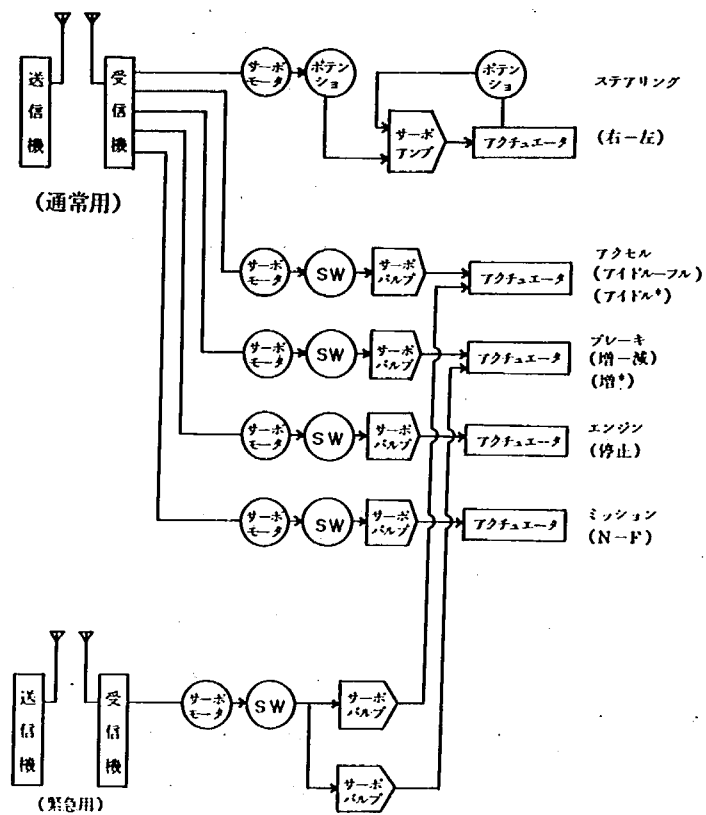


図 - 3.1 無線操縦基本図

3.2 静的試験

試験車両の物理条件を明らかにするため、①重心位置²⁾、②慣性モーメント、③タイヤのバネ定数、④タイヤと試験フィールドの摩擦係数、⑤タイヤの慣性モーメントを測定した。①～④については第一報¹⁾に詳しく記述しているのでここでは結果のみを表3.2及び表3.3に示す。

表3.2 重 心 位 置

測定条件		車両重量 (kg)	軸 荷 重 (kg)		重 心 位 置 (mm)		
			前 軸	後 軸	X	Y	Z
L ₀ , V ₀	B _c	7,470	3,630	3,840	1,284	0	1,108
	B _r		3,730	3,740	1,250	1.2	1,304
	B _m		3,635	3,835	1,282	0.6	1,386
	B _u		3,400	4,070	1,360	1.2	1,489
L ₁₀ , V ₁₀	B _c	8,980	6,050	2,930	815	0	1,104
	B _r		6,345	2,635	733	0.5	1,451
	B _m		6,145	2,835	788	0.5	1,688
	B _u		5,580	3,400	945	0	1,931
L ₂₀ , V ₂₀	B _c	9,570	7,045	2,525	659	0	1,044
	B _r		7,430	2,140	558	0	1,461
	B _m		7,205	2,365	617	0.5	1,731
	B _u		6,500	3,070	801	0	2,090
L ₃₀ , V ₃₀	B _c	9,810	7,390	2,420	616	0	1,011
	B _r		7,820	1,990	507	0	1,472
	B _m		7,580	2,230	568	0	1,759
	B _u		6,830	2,980	759	0	2,210

表3.3 静的試験結果

慣 性 モーメント	ローリング	68400 kg cm s ²
	ピッチング	54500 kg cm s ²
タイヤバネ定数		550 kg/cm
タイヤ	進行方向	0.58
摩擦係数	横 方 向	0.57
クレードルロック角		13°

(1) タイヤの慣性モーメント試験

車両が旋回ローリング運動を行う時、タイヤ（リムを含む）の回転運動によってジャイロモーメントが発生し、この力は車両のローリング運動を抑制する方向に作用する。この力はローリング運動による求心加速度と比較して有意な大きさではないものと思われるが、数学モデルの対象とすることが可能なように測定を行ったものである。

① 試験方法

図3.2のねじり振動系において、ねじり角が微小である場合の運動方程式は、

$$I_0 \ddot{\theta} + G\theta = 0 \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

I_0 ; 回転体の慣性モーメント

G ; ねじりバネの剛性係数

θ ; 微小の回転角

として示される。これより系の固有振動数 f_0 は、

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{G}{I_0}} \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

となる。この系の回転体上に、慣性モーメント I が未知なタイヤを結合してねじり振動をさせた場合、運動方程式は、

$$(I + I_0) \ddot{\theta} + G\theta = 0 \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

I ; タイヤの慣性モーメント

となり、この時の固有振動数は、同様にして

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{G}{I + I_0}} \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

である。(3.2)、(3.4)式から G を消去すると

$$I = I_0 \left(\frac{f_0^2 - f^2}{f^2} \right) \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

として、タイヤの慣性モーメントが得られる。

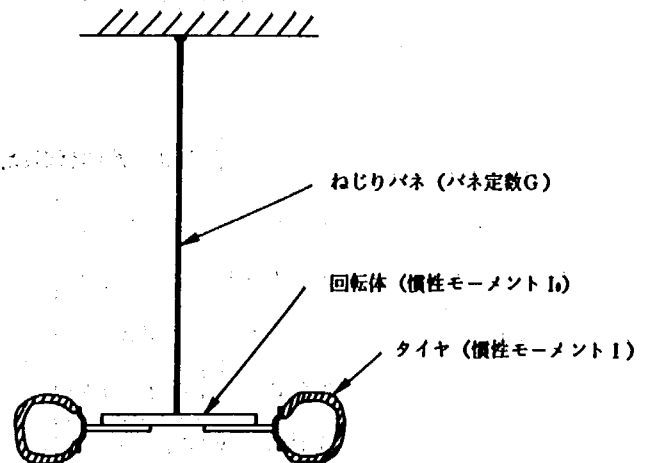


図3.2 タイヤ慣性モーメント測定原理

② 試験結果

表 3.4 に試験結果を示す。この時のタイヤの空気圧は標準空気圧（2.5 kg/cm²）とし、この時のタイヤ重量は 155.7kg であった。タイヤの慣性モーメントは、車体のそれに比較して約 1/220 である。

表 3.4 タイヤの慣性モーメントの測定結果

回転体の慣性モーメント	I_0	8.40 kg cm s ²
回転体のみの振動数	f_0	0.141 1/s
(回転体+タイヤ)の振動数	f	0.023 1/s
タイヤの慣性モーメント	I	307 kg cm s ²

(2) 静的転倒試験

車両の急旋回時あるいは不陸乗上げ時の転倒問題は、求心加速度、ローリング荷重等車両を転倒させる方向に作用するモーメント（転倒モーメントと言う）に依存するものと考えられる。静的な転倒と動的な条件での転倒とは基本的に異なった現象ではあるが、これらの両者の転倒条件に近似的あるいは線形な関係があれば、静的な転倒条件を計測することによって、動的な転倒条件を推定することが可能となる。

静的な転倒試験は、動的転倒の条件を明らかにするものとして位置付けられる。最終的な静的転倒条件は、車両の幾何学的安定条件に漸近すると考えられるが、対象車両がタイヤ式建設機械であるところから、転倒に至る過程での静的転倒モーメントは一様に変化せず、また最終的な転倒モーメントは幾何学的な条件とは異なったものとなるであろう。

① 測定における機械の条件

測定における車両の条件は次のとおりとした。これは重心測定の場合の車両条件と同じであるが、タイヤの空気圧を変化させたものである。

a) バケット荷重

L_0 バケット内無荷重

L_{15} バケット内に 1.5 ton の重量を載せる

L_{21} " 2.1 ton "

L_{23} " 2.3 ton "

b) バケット高さ

B_c 運行姿勢（ヒンジピン高さ 380mm）

B_r 最大リーチ（ヒンジピン高さ 1,780mm）

B_u 最大高さ（ヒンジピン高さ 3,485 mm）

B_m 最大リーチと最大高さの中間位置（ヒンジピン高さ 2,633 mm）

c) 車体屈折角

V_s 屈折しない状態

V_m 24.7°（ハーフターン、回転半径 6.58 m 相当）

V_f 34.6°（フルターン、回転半径 4.89 m 相当）

d) タイヤ空気圧

P_s 標準空気圧（2.5 kg/cm²）

P_+ 加圧（3.5 kg/cm²）

P_- 減圧（1.5 kg/cm²）

② 測定方法

図 3.3 に静的転倒試験の方法を示す。試験車両の重心位置に作用点が設けられないので、仮の作用点を車両上部に設け、ワイヤロープにロードセルを介してブルドーザで水平方向に引張った。また、転倒防止のため、荷重作用方向と反対側にはアンカーを置きワイヤロープを掛けた。転倒状態における車両の姿勢は、車両のローリングおよび前後輪外側中心の高さをもって表示した。

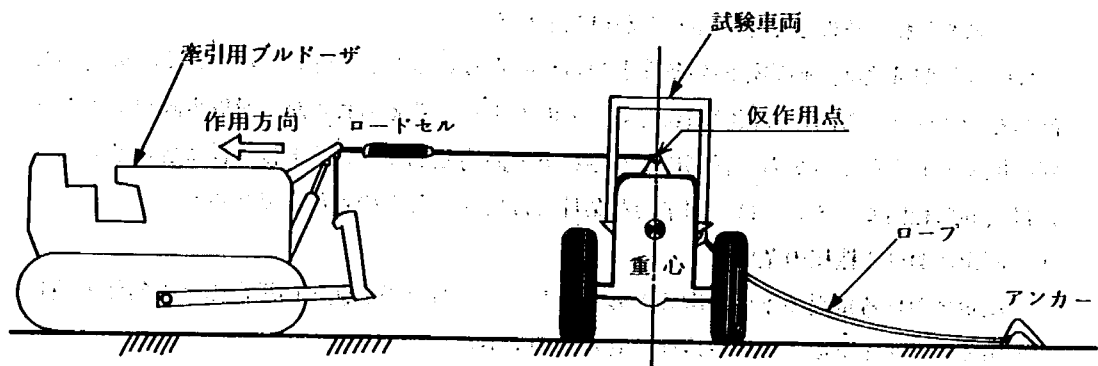


図 3.3 静的試験方法

3.3 不陸乗上げ試験

図 3.4 は不陸乗上げ試験の実験フィールドを示すもので、実験フィールド内直線走行路の終端に三角波状の突起を設け、これを不陸模型とみなした。不陸の形状は、図 3.5 に示す三種類を準備した。なお、不陸は、図 3.5 中に示す鉄筋コンクリート製の菱形ブロックを製作し埋設方法を変えて形成したものである。

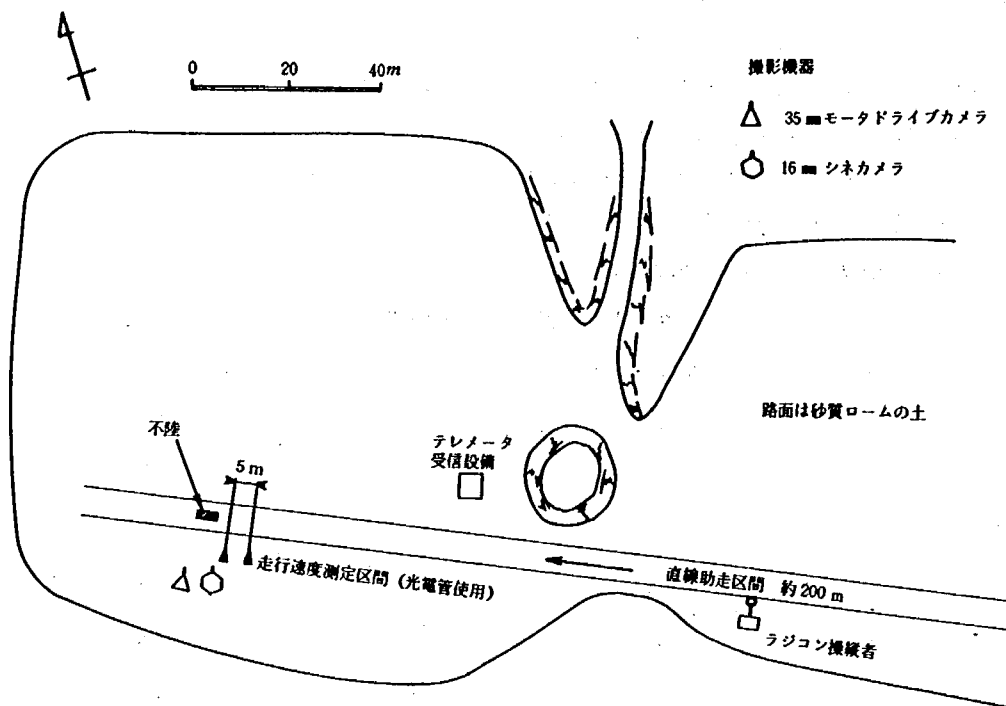


図3.4 不陸乗上試験場

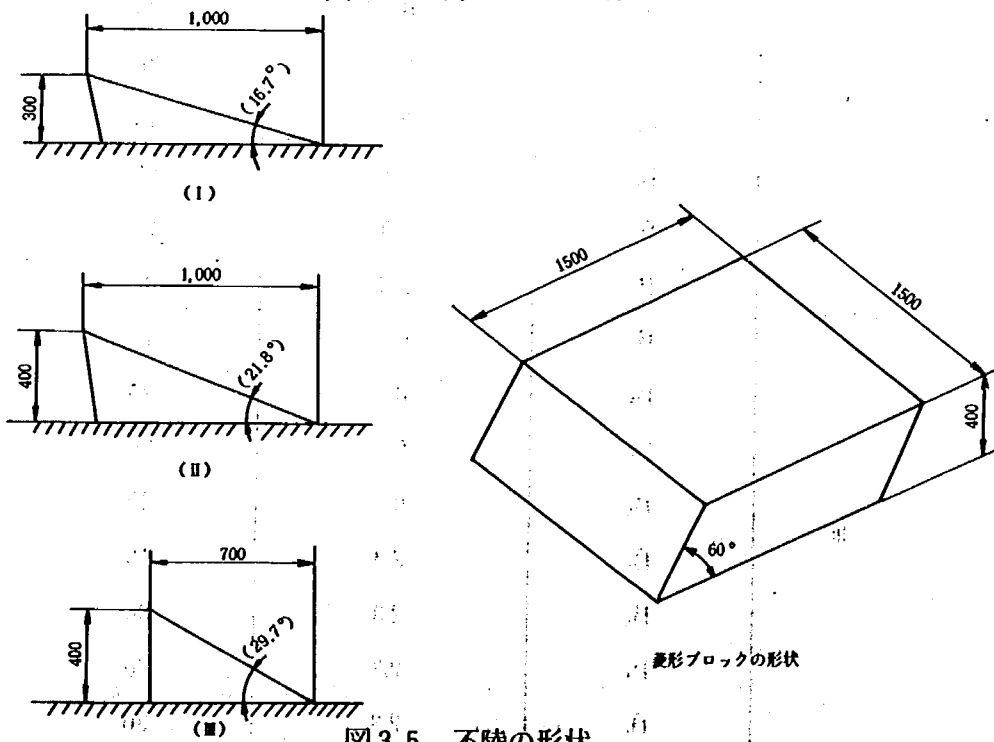


図3.5 不陸の形状

(I) 実験条件

表 3.5 に不陸乗上げ試験の試験条件を示す。不陸乗上げ試験は、昭和52年度に予備試験を実施し（表 3.5 に示す実験ブロック I）、昭和 53 年度に、これらの成果を基にして実験ブロック II、III に示す試験を行ったものである。

不陸の高さが 400 mm の場合、バケットが不陸に接触するため、運行姿勢（ B_c ）のヒンジピン高さを正規の位置（380 mm）から 160 mm 高くして、これを B_c とおいた。またタイヤの空気圧は標準空気圧（2.5 kg/cm²）とした。

表 3.5 不陸乗上試験の実験条件

不 陸 形 状	バケット姿勢	バケット荷重(t)	走行速度(km/h)
I	B_c	0	10
	B_c	0	20
	B_c	0	30
	B_r	0	30
II	B_c	0	15
	B_c	0	20
	B_c	0	25
	B_c	0	30
	B_c	2.3	15
	B_c	2.3	20
	B_c	2.3	25
	B_c	2.3	30
III	B_c	0	15
	B_c	0	20
	B_c	0	25
	B_c	0	30
	B_c	2.3	15
	B_c	2.3	20
	B_c	2.3	25
	B_c	2.3	30

(2) 測定項目

計測は、次の項目について行った。

- ① 上下方向の加速度：重心位置附近に取付けた加速度変換器（歪ゲージ式 5 G）で計測する。
- ② 左右方向の加速度：同上
- ③ 走行速度：不陸乗上げ時の走行速度を計測するため、左前輪の回転数をパルスで計測する。
- ④ ローリング角：ジャイロ式角度トランスジューサで重力角を計測する。
- ⑤ 進入速度：走行速度計測区間において、2 個の光電スイッチ（光軸を遮断した時 on）を 5 m 間隔でセットし、この出力を各々ユニバーサルカウンタの START、STOP 入力端子に接続し、計測区間を走破する時間から進入速度を求める。
- ⑥ 動的挙動：16mm シネカメラ、モータドライブ付カメラ等によって写真撮影し、これを観測する。

測定値の記録は、昭和 52 年度はテレメータを介していたが、昭和 53 年度の実験は、データレコーダを直接試験車両の搭載して記録した。この時の計測器の設置位置、測定系を図 3.6 に示す。

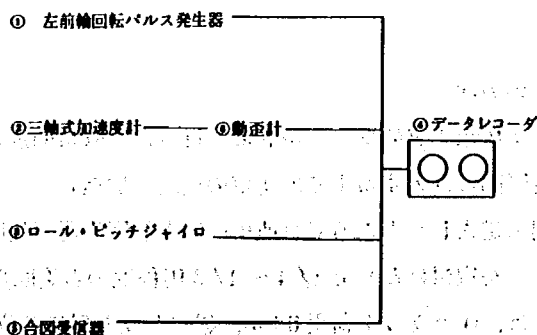
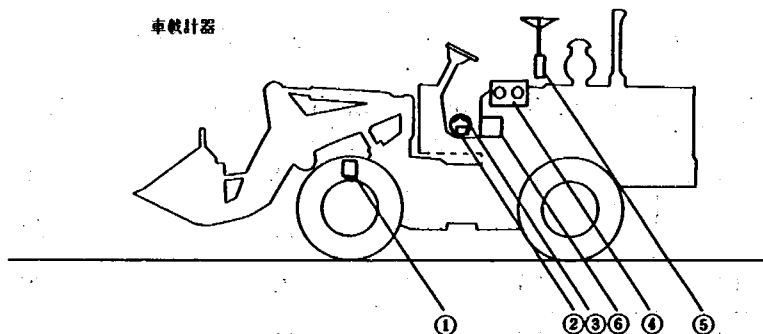


図 3.6: 測定器の設置位置、測定系

(3) 試験方法

直線助走区間約 200 m で所定の速度まで助走させ、等速度のまま左前後輪で不陸を乗越えさせる方法をとった。車両が不陸を乗越えて全輪が着地した後、約 20 m 走行した時点で緊急停止させた。

3.4 急旋回試験

ホイールローダの作業時の転倒は、急旋回走行時に生じる可能性が高いところから、急旋回実験を行い、その動的挙動について調査した。

(1) 試験条件

表 3.6 に急旋回試験の試験条件を示す。これは静的試験の結果を基にして定めたものであり、転倒領域は静的転倒試験で後輪揺動装置（クレードル）がロックし、後内輪が浮上する荷重、遷移領域は前内輪浮上に至る荷重、非転倒領域はこれらの荷重に達しない荷重という領域区分を表す。静的荷重は、急旋回時の求心加速度に換算し、これから、旋回半径および進入速度を決定した。

表 3.6 急旋回試験の実施計画

区 分 旋回 半径(m)	進 入 速 度 (km/h)		
	非 転 倒 領 域	遷 移 領 域	転 倒 領 域
5	16	18	20
7	20	22	23
10	25	27	29
12	27	29	31

(2) 急旋回試験の方法

実験は図 3.7 に示す実験フィールドにて行った。直線助走区間において助走を行なわせ、走行速度測定区間に進入するまでに所定の速度に加速し、その後等速走行を行なわせる。車両が旋回区間に進入したところで急速に所定の旋回半径（旋回半径をステアリング角で調整するリミッターを取付けた）で $1/4 \sim 1/3$ 円程度の右旋回させた。

車両の条件は、①バケット荷重 0 ton; ②バケット保持の位置は運行姿勢 (B_c)、③タイヤ空気圧は標準空気圧 (2.5 kg/cm^2) とし、この条件は不変とした。

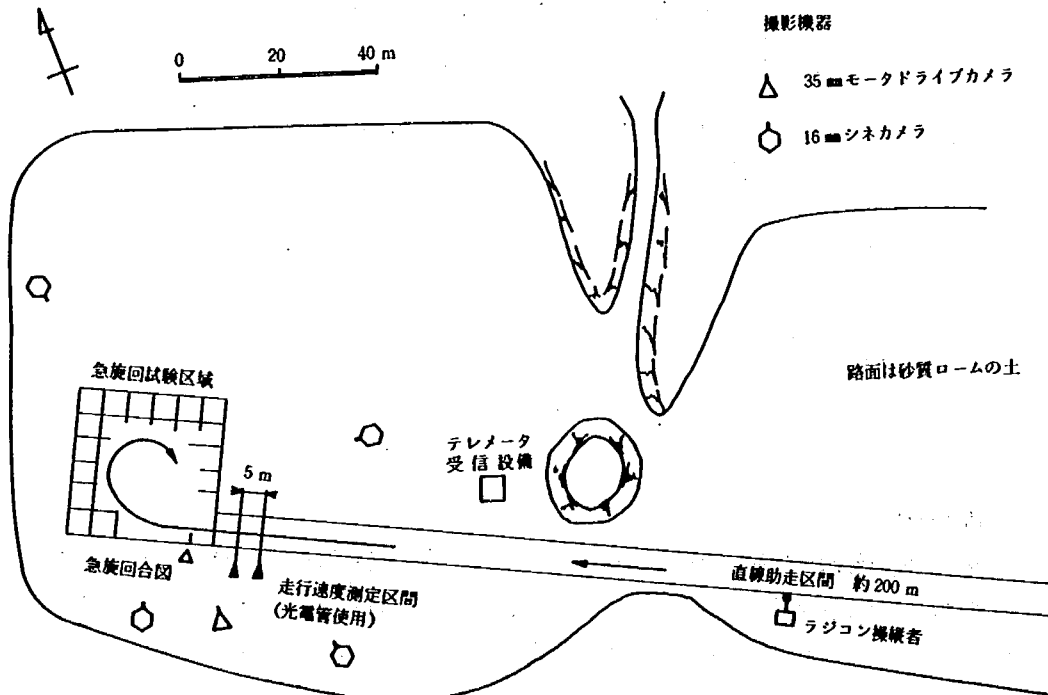


図 3.7 急旋回試験場

(3) 測定項目

主な測定項目は、3.3 (2)の①～⑥と同じである。ただし実験では急旋回区間における車輪の軌跡を測定し、実際の旋回半径を求めた。

3.5 急旋回・急制動試験

急旋回運動による転倒危険を回避する方法として、①ステアリングを戻し旋回半径を大きくする、②制動をかけ走行速度を遅くするの2つの方法が考えられる。これらの判断は、急旋回転倒危険に遭遇したオペレータの判断に依存するが、十分なオープンスペースが確保されていない状況では必然的に②の方法を選択せざるを得ない。一般的な高速車両の運転技能としては、旋回中急制動を施すことは転倒危険を増大させるか、あるいは車両の制御を失なう危険があるとされている。しかし、建設機械の場合土道上でしかも高速車両と比較すれば、はるかに低速走行であるから、高速車両での常識的判断とは異なる挙動を示すとも考えられ、これらの挙動を確認する意味を含めて、急旋回・急制動試験を実施した。

表 3.7 急旋回・急制動試験の実施計画

区分 旋回半径(m)	進 入 速 度 (km/h)		
	非 転 倒 領 域	遷 移 領 域 ～ 転 倒 領 域	
5	15	20	23
7	—	20	23 28
10	—	28	30
12.5	—	32	

(1) 試験条件

表 3.7 に急旋回・急制動試験の実験条件を示す。領域の区分は、3.4 (1)と同じである。走行速度は、急旋回試験の場合よりやや遅く設定した。これは、車両が高速になるに従って静的な条件より転倒しやすくなることが、急旋回試験の傾向から判断されたためである。

(2) 試験方法

試験の方法は、急旋回試験の場合とほぼ同じであるが、車両が急旋回運動にはいった後、おおむね 1/8 円程度旋回した時点で、緊急停止指令による制動を施した。

この時車両の条件は、急旋回試験の場合と同じく、 B_c 、 L_0 、 P_0 とした。

(3) 測定項目

測定および観測項目、その方法についても急旋回試験の場合とほぼ同様とした。ただし、制動加速度および制動による前傾を測定するため、①車両に作用する前後方向の加速度、②車両の前後方向の傾斜角を測定したが、上下方向の加速度の測定は省略した。

4. 結果と考察

4.1 静的試験の結果

写真4.1は、静的転倒試験での車両の姿勢を示すものである。写真は、右後輪が浮上した直後の状況を示すものであるが、写真4.1より明らかな通り、左前輪が著しく変形しタイヤがリムから外れる危険がある。このため、当初予定した条件のうち実施に危険が伴うケースがあり、これは試験条件から除外した。

水平に荷重をかけた場合、動的挙動の場合とは異なって垂直分力（ F_v ）が作用する。また、動的な条件では、タイヤの弾性応答が遅いため、写真4.1のようにたわむことはなかった。

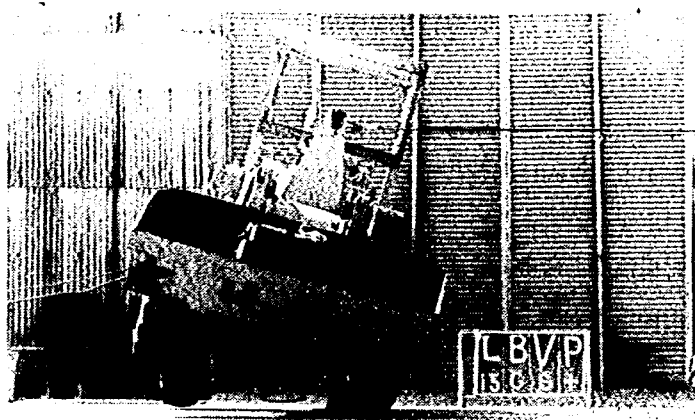


写真4.1 静的転倒試験

表4.1 静的転倒荷重と傾斜角

旋回半径 (m)	右前輪浮き		クレードルストップ効き		右後輪浮き	
	荷重(t)	傾斜角(度)	荷重(t)	傾斜角(度)	荷重(t)	傾斜角(度)
4.89	2.33	2.5	1.65	12.0	3.85	16.0
6.58	2.52	3.5	1.81	13.0	4.02	16.5
∞	3.05	3.5	2.39	13.0	4.18	17.0

試験条件 L_o B_c V_s P_s

表 4.1 は、各測定条件で転倒に至る過程での荷重と傾斜角の変化を示すものである。傾斜角（ローリングの重力角）が $2^{\circ} \sim 4^{\circ}$ になると右前輪が浮上し、この場合、前輪軸重は全て左前輪側へ移行する。この時、右前輪が負担していた反力は解放されるので、大きな水平力が必要となる。右前輪浮上後、ローリング運動の瞬間中心座標は左前輪の接地点近傍に移行し、ローリング運動に伴って重心の位置は相対的に高くなり、また左前輪側に近づくため、必要な水平力は減少する。この状態は後輪のクレードル装置がロックするまで続くが、クレードルがロックされると後軸の輪荷重は左後輪側へ移行し、この時大きな水平力が必要となる。表 4.1 の水平荷重の変化はこの現象を示しており、右後輪が浮上する時の荷重が最も大きく、ついで右前輪浮上時の荷重が大きい。

また、前輪浮上後、後輪が浮上するまでの間の水平力が、いずれの場合より小さいことから、前輪が浮上した後、ローリング角は急速に大きくなることがわかる。急旋回に伴う求心加速度は、ステアリングを切り込んでいく、クロソイド運動をする場合、単純に増加して更に重心の相対位置が高くなることから、前輪が浮上した場合に転倒モーメントは急速に成長し、これが右後輪浮上荷重に達すると車両は転倒に至る。このことから、前輪浮上時の荷重がホイールロードの急旋回転倒の重要な要素となっているものと推定される。また、動的挙動で発生する求心加速度の終値が右後輪浮上荷重より大きい場合、求心加速度は時間とともに単純に増加することから確実に転倒に至るものと推定される。

4.2 不陸乗上げ試験の結果

(1) 不陸乗上げ時の動的挙動

写真 4.2 (a)~(f) は、不陸乗上げ時の車両の動的挙動を示すものである。不陸乗上げ試験で転倒に至った事例はなく、ほとんどの実験例での挙動は写真 4.2 に示す事例に近かった。(a) は、車両の左前輪が不陸に衝突した直後を示すものである。前輪は、不陸と衝突することによって、大きくたわみ制動が働いた状態となる。(b) は、前輪が不陸を通過した後の写真を示すものであるが、前輪は不陸の高さよりも高く浮上し、これに伴って後輪がやや浮上しかけているのがわかる。

後輪が不陸に乗上げることによって、車両の傾斜角は更に増加するが、転倒に至らない場合は(d), (e), (f)の経過で全輪接地の状態に戻る。

(2) 試験の結果

表 4.2 に不陸乗上げ時の車両の挙動測定結果を示し、表 4.3 は、同条件でのシミュレーション結果を示したものである。

図 4.1 は、実験のなかから、車両のローリング角度、左右及び上下方向の加速度の経時変

化の一例を示したものである。

図4.2は、実験結果のうち、不陸乗上げ時のローリング最大角度と車速の関係を表したもので、図4.3はシミュレーションによる同様の関係を表したものである。なお、シミュレーションでは、実験で行った試験条件以外の結果についても併せて表してある。

実験結果とシミュレーション結果を比較すると、全般的にシミュレーションの方が最大ローリング角度が大きくなっており、実験では非転倒の結果となった実験条件で、シミュレーションでは転倒の結果となったものが見られる。このことは図4.1に示される実験結果とシミュレーション結果とを比較すると、実験では不陸乗上げ後短時間でローリング角度が復元しているのに対し、シミュレーションではしばらく上昇を続けてから復元状態に移行している。このため、滞空時間もシミュレーションではかなり長くなっており、車速が大きいほど、またバケット載荷時にこの傾向が著しく現われている。

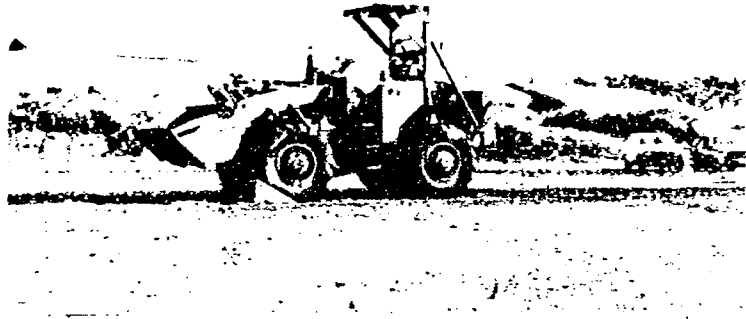
このように実験結果とシミュレーション結果の異なる理由としては、まずタイヤ変形と反発力が考えられる。すなわち、タイヤが不陸に衝突し、次いでその反発力により車体の運動を変化させる要因となることが考えられるが、シミュレーションでは、単に衝突のエネルギーに相当する分がタイヤを変形させることしか考慮していないことである。不陸側のように勾配が急なものでは、特にこの不陸への衝突エネルギーの問題が大きく影響してくる。次にシミュレーションでは、車体のピッチング運動に関する運動方程式を考慮していないので、不陸乗越し後は、放物運動の軌跡となっているが、特にバケット載荷時では、先端が重いいため、実験では不陸乗越し後直ちにバケット載荷重によって先端が下がって前車輪が接地してしまう。これは、前述の車両の滞空時間の長さに関係があると考えられる。また、不陸側の実験時には、車両についているステップが不陸に当たってしまい、完全なデータが得られなかったことも一つの原因となっている。

したがって、図4.2と図4.3を比較してみると、車速の大きいほど、また不陸角度が大きいほど両者の違いは大きく現われているのが分る。

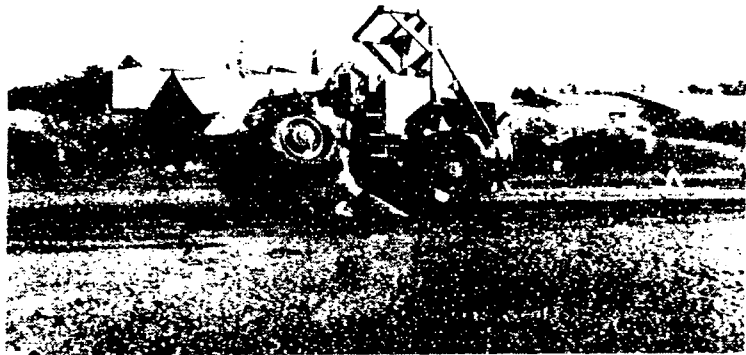
しかしながら、図4.2及び図4.3から、ローリング最大角度は、車速が大きいほど、不陸角度が大きいほど大きくなるのは当然としても、バケット載荷の有無、車両姿勢にも影響される。すなわち、 B_c 、 $L_{2,3}$ の状態が最も安定性が良く、 B_c 、 L_0 と B_f 、 $L_{2,3}$ がほぼ同等の安定性があることが判明した。

今回取り上げたような三角形の不陸では、不陸勾配が大きくなっても、車両の衝突効果などで、実際には一般的な作業速度範囲では転倒に至らないことが確認できた。

(a)
左前輪不陸
乗上げ開始



(b)
左前輪浮き

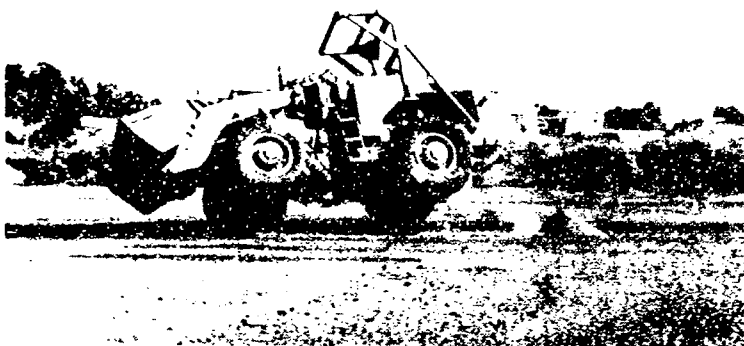


(c)
左後輪
不陸乗越し

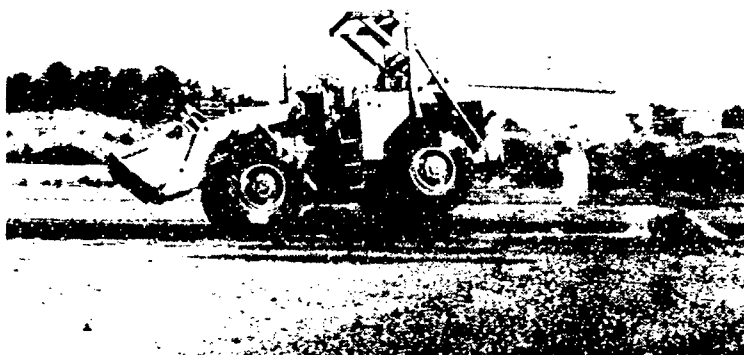


写真 4.2 不陸乗上時の動的挙動（実験番号 7）

(d)
不陸乗越と
右前輪着地



(e)
左 前 輪 着
地



(f)
全 輪 着 地



表 4.2 不陸乗上げ試験測定結果

実 験 番 号	不 陸 形 状	試験条件 バケット位置 ・ 荷重 走行速度		走行速度 km/h(m/s)		上下方向加速度				左右方向加速度			
				光電管	回転 パルス	上 向		下 向		左 向		右 向	
						最 大 加速度 (G)	発生まで の 時 間 (s)	最 大 加速度 (G)	発生まで の 時 間 (s)	最 大 加速度 (G)	発生まで の 時 間 (s)	最 大 加速度 (G)	発生まで の 時 間 (s)
1	I	B _c	L ₁	V ₁₀	9.5 (2.64)	0.44	0.27	0.40	0.11	0.48	0.45	0.22	0.16
2	"	"	"	V ₂₀	17.7 (4.97)	0.80	0.28	0.68	0.10	0.62	0.44	0.68	0.12
3	"	"	"	V ₃₀	28.8 (7.99)	0.67	0.20	0.74	0.08	0.44	0.30	1.06	0.06
4	"	B _r	"	"	31.0 (8.51)	0.84	0.24	0.60	0.10	0.48	0.36	0.44	0.07
5	II	B _c	"	V ₁₀	20.7 (5.75)	0.0	1.50	1.7	0.63	1.1	0.11	0.5	0.39
6	"	"	"	V ₂₀	25.7 (7.14)	0.8	0.35	0.9	0.19	1.1	0.09	0.6	0.29
7	"	"	"	V ₃₀	32.1 (8.93)	1.1	0.20	0.7	0.71	1.7	0.09	0.9	0.26
8	"	"	L _{2,3}	V ₁₀	16.4 (4.55)	0.3	0.12	0.6	0.47	0.7	0.08	0.5	0.67
9	"	"	"	V ₂₀	20.0 (5.56)	1.5	0.73	0.6	0.50	0.8	0.17	0.6	0.57
10	"	B _r	"	V ₁₀	9.6 (2.63)	0.3	0.77	0.4	0.59	0.4	0.27	0.8	0.80
11	"	"	"	V ₂₀	14.5 (4.05)	1.0	0.31	1.6	0.75	0.5	0.16	0.5	0.36
12	"	"	"	"	14.8 (4.10)	1.1	0.50	1.8	0.74	0.4	0.36	0.6	0.12
13	III	B _c	"	"	14.6 (4.10)	0.8	0.55	0.5	0.41	0.6	0.10	0.8	0.33
14	"	"	"	V ₂₀	19.9 (5.54)	0.8	0.13	0.5	0.41	1.1	0.17	1.3	0.30
15	"	B _r	"	V ₁₀	14.9 (4.15)	0.3	0.06	0.9	0.39	0.8	0.16	0.75	0.35
16	"	B _c	L ₁	V ₂₀	20.2 (5.56)	0.6	0.08	1.0	0.24	1.2	0.11	0.8	0.44
17	"	"	"	V ₃₀	23.7 (6.40)	0.6	0.44	1.1	0.16	1.3	0.10	0.7	0.39
18	"	"	"	V ₄₀	30.0 (8.00)	1.2	0.08	1.0	0.17	2.0	0.11	0.8	0.38

注1 発生までの時間とは、左前輪が不陸に乗上げ始めたと判断される時から各々の現象が発生するまでの時間とする。

注2 最大加速度とは、不陸乗上げによって発生した最初のピーク値を示す。

前 後 方 向 加 速 度				左 右 方 向 傾 斜 角 度				前 後 方 向 傾 斜 角 度				不陸を 乗越え 終るま での時 間 (s)	不陸端 から左 前輪の 最初の 着地点 までの 距離 (m)	備 考
前 向		後 向		左 向		右 向		前 向		後 向				
最 大 加速度 (G)	発生まで の 時 間 (s)	最 大 加速度 (G)	発生まで の 時 間 (s)	最 大 傾斜角 (度)	発生まで の 時 間 (s)	最 大 傾斜角 (度)	発生まで の 時 間 (s)	最 大 傾斜角 (度)	発生まで の 時 間 (s)	最 大 傾斜角 (度)	発生まで の 時 間 (s)			
				16.6	0.59							0.38		
				19.3	0.41							0.20		
				23.7	0.51							0.13		
				17.6	0.53							0.12		
				19	0.35	2	1.30						2.5	
				22	0.35	3	1.01						3.6	
				30	0.82	10	1.31						8.0	
				12	0.39	3	2.23						2.1	
				15	0.42	1	2.78						2.9	
0.4	0.20	0.3	0.75	—	—								1.1	
0.5	0.16	0.2	0.45	9	0.14	4	1.73							
0.5	0.16	0.2	0.47	11	0.38	15	1.86						1.4	
0.5	0.10	0.3	0.37	10	0.34	1	1.02	7	0.47	10	1.29		1.9	
1.2	0.13	0.8	0.22	10	0.35	1	2.87	7	0.53	30	1.38			不陸破損
0.5	0.17	0.3	0.30	6	0.30	2	1.42	4	0.54	14	1.40		2.5	
0.9	0.09	0.3	0.38	15	0.35	1	0.88	6	0.39	16	0.97		2.9	
0.85	0.08	0.3	0.37	12	0.29	1	0.93	9	0.34	16	0.80		3.7	
1.7	0.08	0.7	0.14	24	0.62	3	1.10	11	0.37	4	0.77		6.9	

表 4.3 不陸乗上げシミュレーション結果

実験 番号	不 陸 形 状	走 行 速 度 (km/h)	最 大 傾 斜 角 (度)	不陸を乗越え終る 時 間 (s)	不陸端から左前輪 着地までの距離 (m)	備 考
1	I	9.5	8.1	0.38	1.8	
2	"	17.8	15.3	0.20	5.7	
3	"	28.8	32.4	0.13	15.1	
4	"	30.8	転 倒	0.12	—	
5	II	20.7	29.1	0.17	11.4	
6	"	25.7	転 倒	0.14	—	
7	"	32.1	"	0.11	—	
8	"	16.4	13.6	0.22	3.9	L _{2.3} , B _c
9	"	20.0	17.7	0.18	6.0	" , "
10	"	9.5	10.4	0.38	2.0	" , B _r
11	"	14.5	16.3	0.25	1.1	" , "
12	"	14.8	16.6	0.24	1.4	" , "
13	III	14.7	16.4	0.17	3.9	" , B _c
14	"	19.7	32.3	0.12	11.2	" , "
15	"	14.9	転 倒	0.17	—	" , B _r
16	"	20.1	"	0.12	—	
17	"	23.4	"	0.11	—	
18	"	29.4	"	0.08	—	

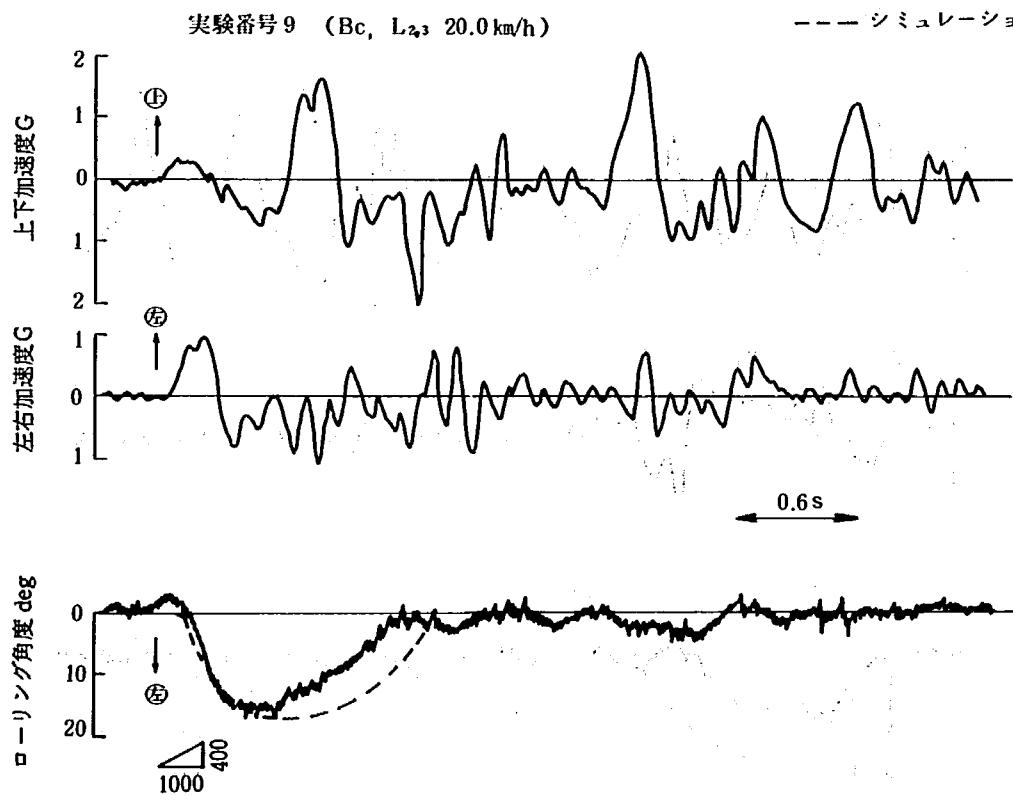
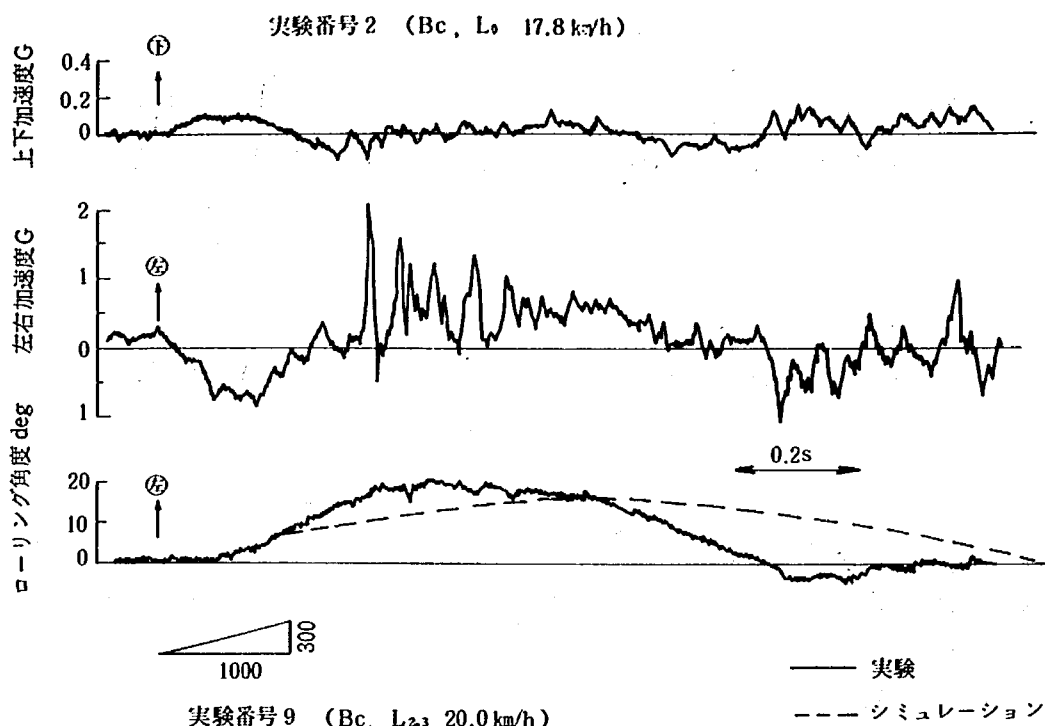


図 4.1 (a) 不陸乗り上げ時の経時変化

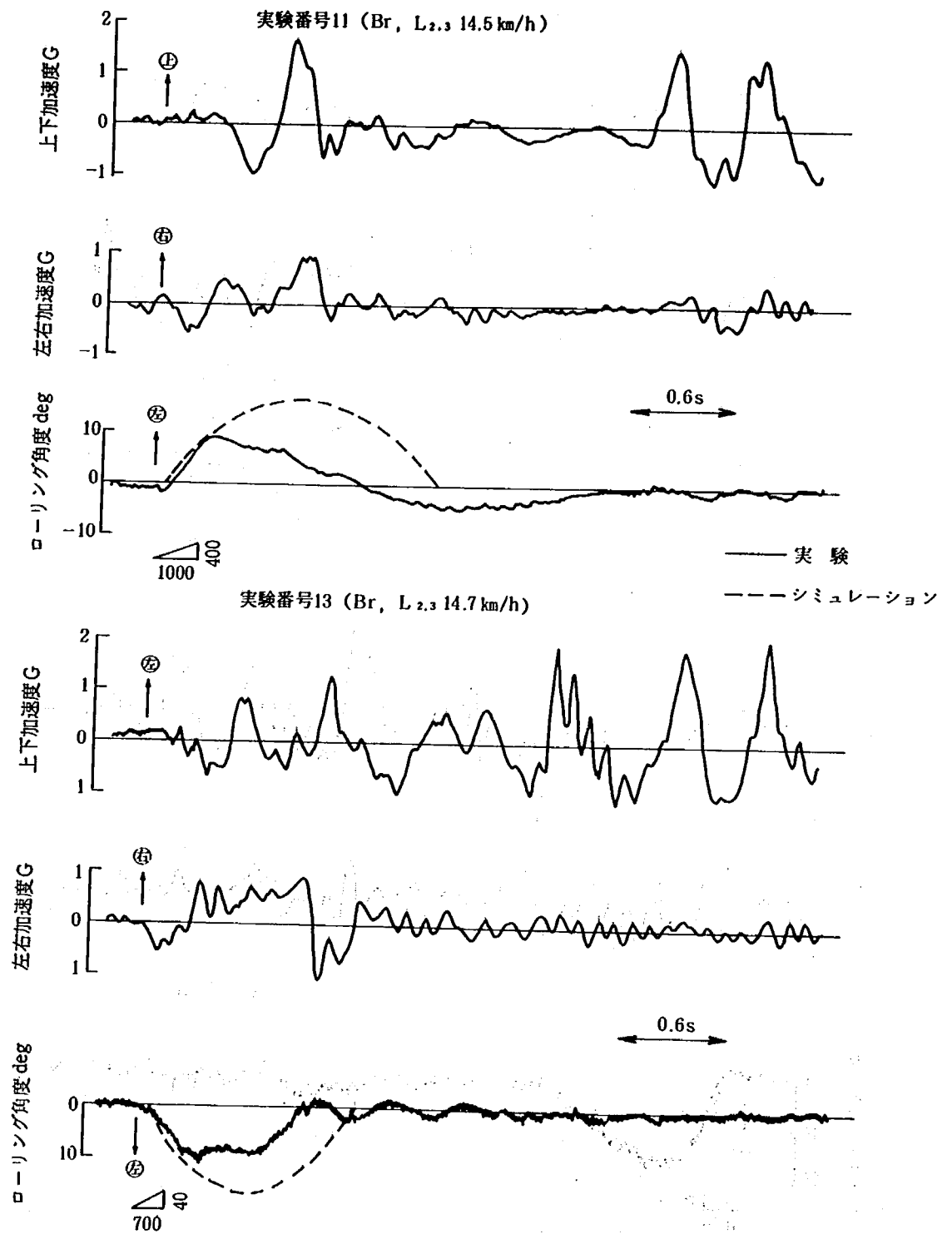


図4.1 (b) 不陸乗り上げ時の経時変化

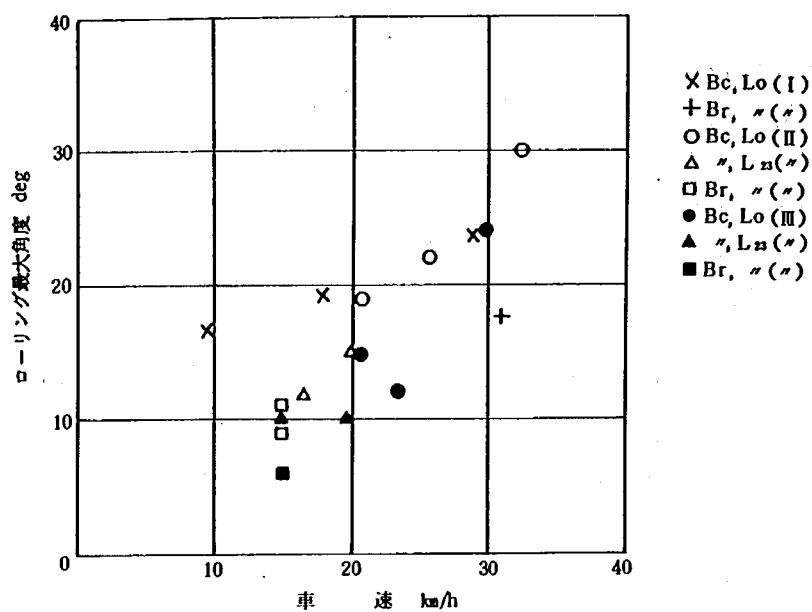


図 4.2 車速と車両ローリング角度 (実験結果)

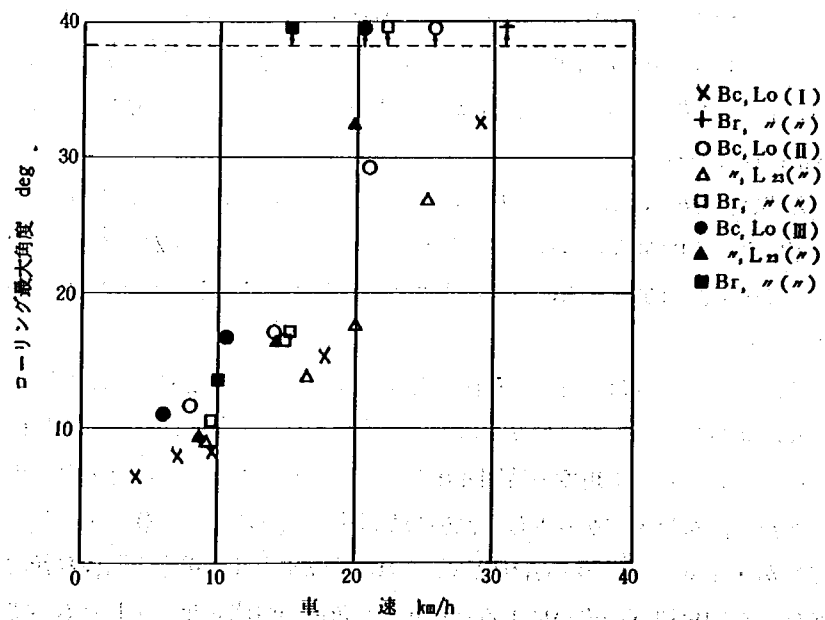


図 4.3 車速と車両ローリング角度 (シミュレーション結果)

4.3 急旋回試験の結果

(1) 急旋回時の動的挙動

急旋回時における車両の転倒に至るまでの挙動を写真 4.3 の連続撮影写真に示す。車両は急旋回にはいることにより遠心力の作用で外輪側に荷重の移動が生じ、外側へ傾斜する。車両のローリング角度が $2 \sim 4^\circ$ 傾斜すると前内輪が地表面から浮上し始める。このとき、後輪はクレードル装置の働きによって接地状態を保っているが、傾斜角が増大していくとやがてクレードル装置がロックされる。このときの車両の傾斜角は $13 \sim 17^\circ$ である。さらに車両の傾斜が進むと両内輪が浮上し、車両はそのまま急速に転倒状態に移行する。

表 4.4 は、急旋回試験の実験結果を一覧表にしたものであるが、実験番号 13, 17 のように両内輪が浮上しても途中から復元するケースもみられた。この理由としては両内輪浮上による推進力の低下、急旋回運動における走行抵抗の増加による減速が原因とみられる。また、地表面が砂質ロームと軟かいため、タイヤのスリップがかなり生じたのも原因の一つと考えられる。

(2) 急旋回試験の結果

図 4.4 は、ローリング角度の時間変化の実験結果とシミュレーション結果の一例を併せて示したものである。また、図 4.5 は、車輪の軌跡の測定値とシミュレーション結果の一例を併せて示したものである。シミュレーションでは、直進状態から設定旋回半径までの 60° 急旋回として計算した。

図 4.4 より、車両が急旋回によって転倒に至る状況は、旋回始めのうち、ローリング角度は小さいが、途中から急激に増加し、そのまま短時間に転倒に至る様子が実験及びシミュレーションともに示されている。また、実験結果よりシミュレーション結果の方が転倒しやすい傾向が表われている。

両者の結果に差が表れた理由としては、実験では、4.3 (1) で述べたように、タイヤスリップや減速による原因が考えられるのに対し、シミュレーションでは、タイヤの横すべりの影響や旋回途中に減速がなく常に一定の車速で走行しているとしているための相違点によるものと考えられる。

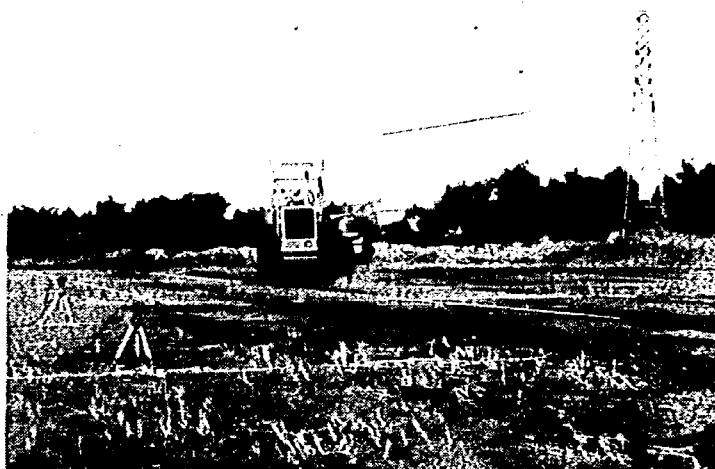
急旋回時、バケット载荷の有無、車両姿勢及び操向角速度が転倒安定性に対してどのような影響を及ぼすかをシミュレーションによって検討した。図 4.6 は、バケット载荷と車両姿勢の相違によるローリング角度の時間変化を示す。これによると、载荷・キャリア姿勢が最も安定性が良く、载荷・バケット最上高姿勢が最も安定性に劣り、载荷・バケット最大リーチは、無载荷・キャリア姿勢とほぼ同じで、これは不陸乗上げの場合と同様な傾向である。

図 4.7 は、操向角速度の違いによるローリング角度の時間変化を示したものである。これより、操向角速度の小さい方がローリング角度の変化が小さく、安定側に移行することが分る。

(a)
旋回直前



(b)
旋回中
四輪接地



(c)
前回輪浮上
直前

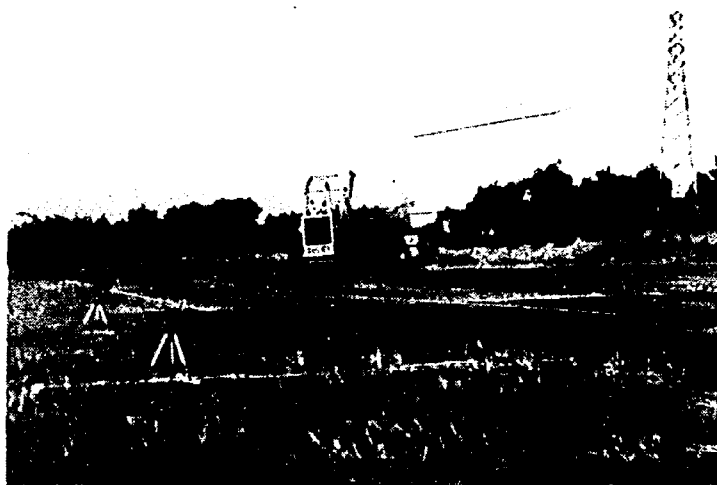
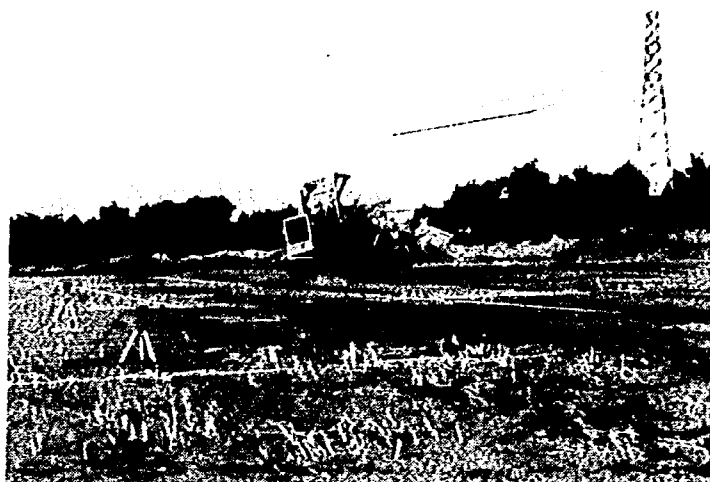


写真 4.3 急旋回試験の動的挙動（実験番号18）

(d)
前内輪浮上中



(e)
両内輪浮上中



(f)
転倒



表 4.4 急旋回試験実験結果

実験番号	年 度	走 行 速 度 U (km/h)	旋 回 半 径 R _{lim} (m)	車両の挙動	最 大 側 方 加 速 度 (G)	最 大 側 方 傾 斜 角 (度)	備 考
1	51	31.0	6.2	×		—	加速度不明
2		20.5	10.6	○		2	"
3		21.3	7.2	⊗		5	"
4		29.3	6.4	×		—	"
5	52	11.7	5.0	○	0.30	1.7	加速度不明 "
6		14.4	5.3	○	0.32	2.5	
7		21.8	7.8	⊗	0.41	3.8	
8		32.7	14.8	×	—	—	
9		24.9	10.4	○	0.45	4.2	
10		23.0	13.2	⊗	0.51	4.2	
11		30.4	14.2	⊗	0.52	4.2	
12		31.6	14.5	⊗	0.49	3.5	
13		28.7	13.5	△	0.56	17.0	
14		23.8	8.2	⊗	0.44	10.5	
15		16.8	5.4	○		3.5	
16		18.6	6.2	⊗		6.3	
17		22.8	7.0	△	0.81	25.0	
18		25.2	7.7	×	—	—	

○ 両内輪接地 ⊗ 前内輪浮上 △ 両内輪浮上 × 転倒

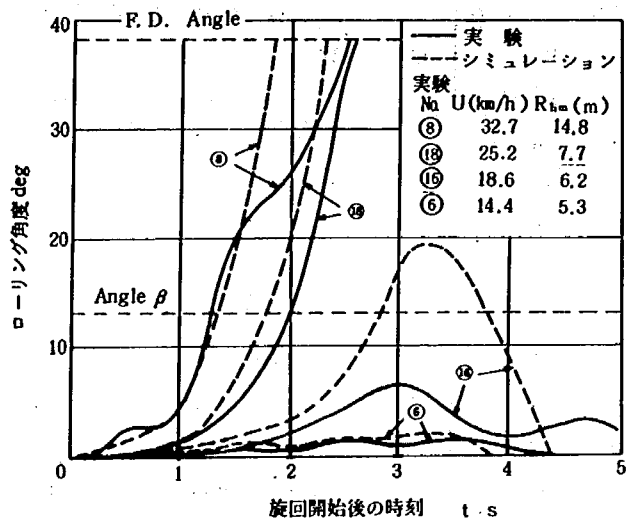


図 4.4 ローリング角度の時間変化

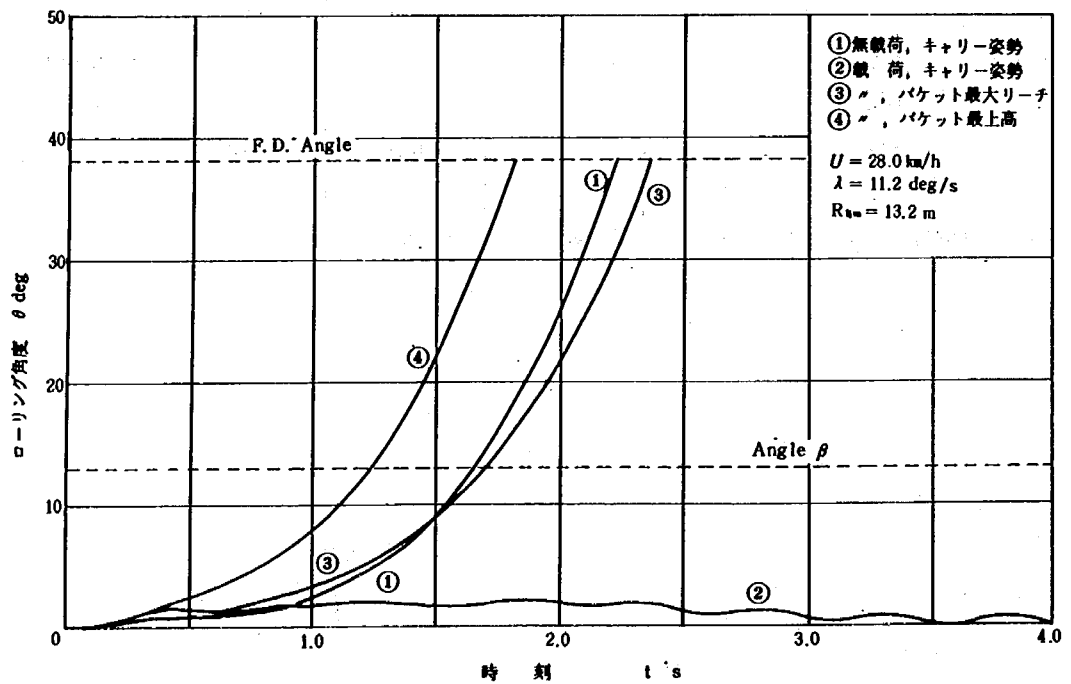


図 4.6 パケット载荷による安定性の変化

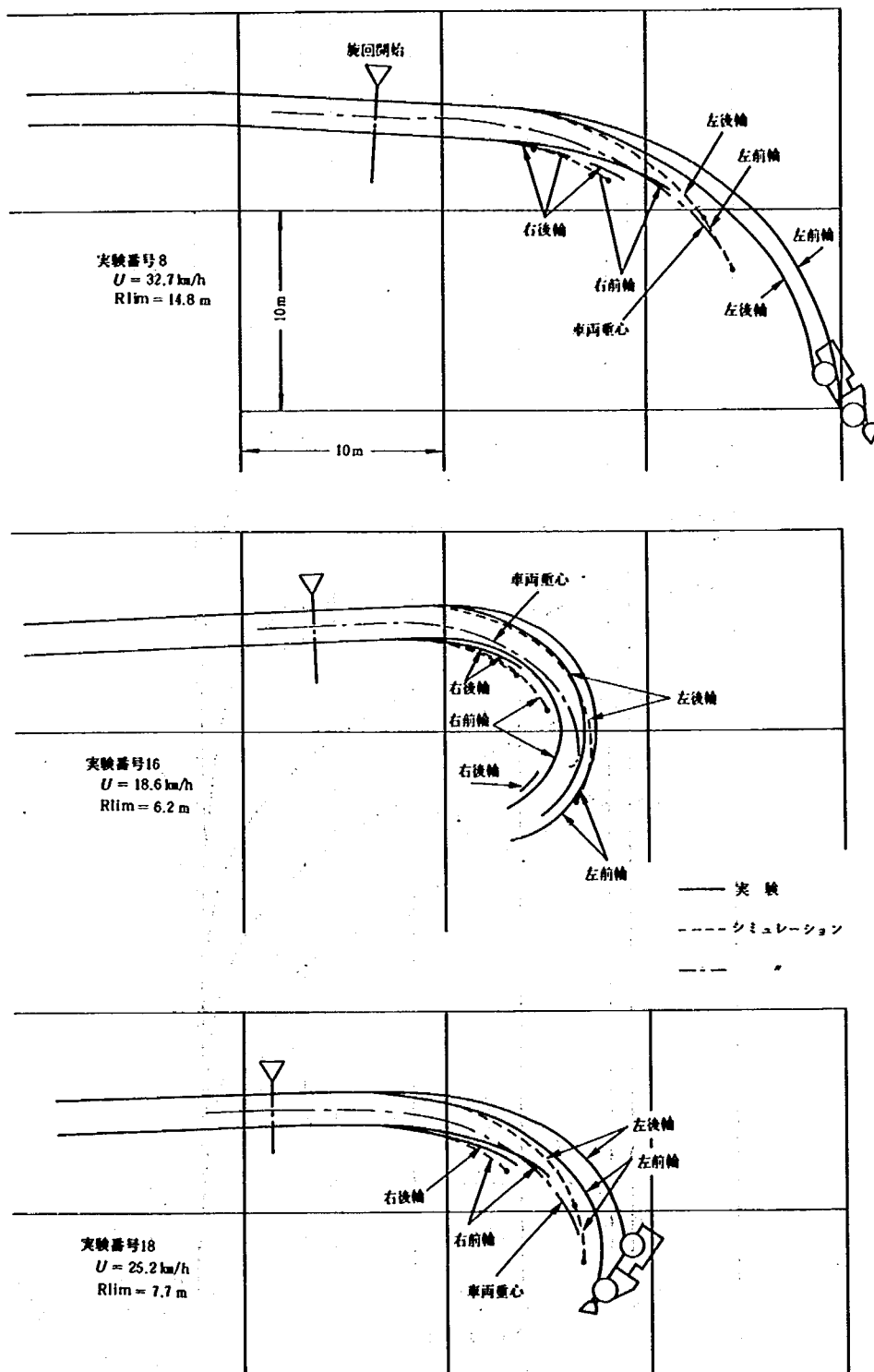
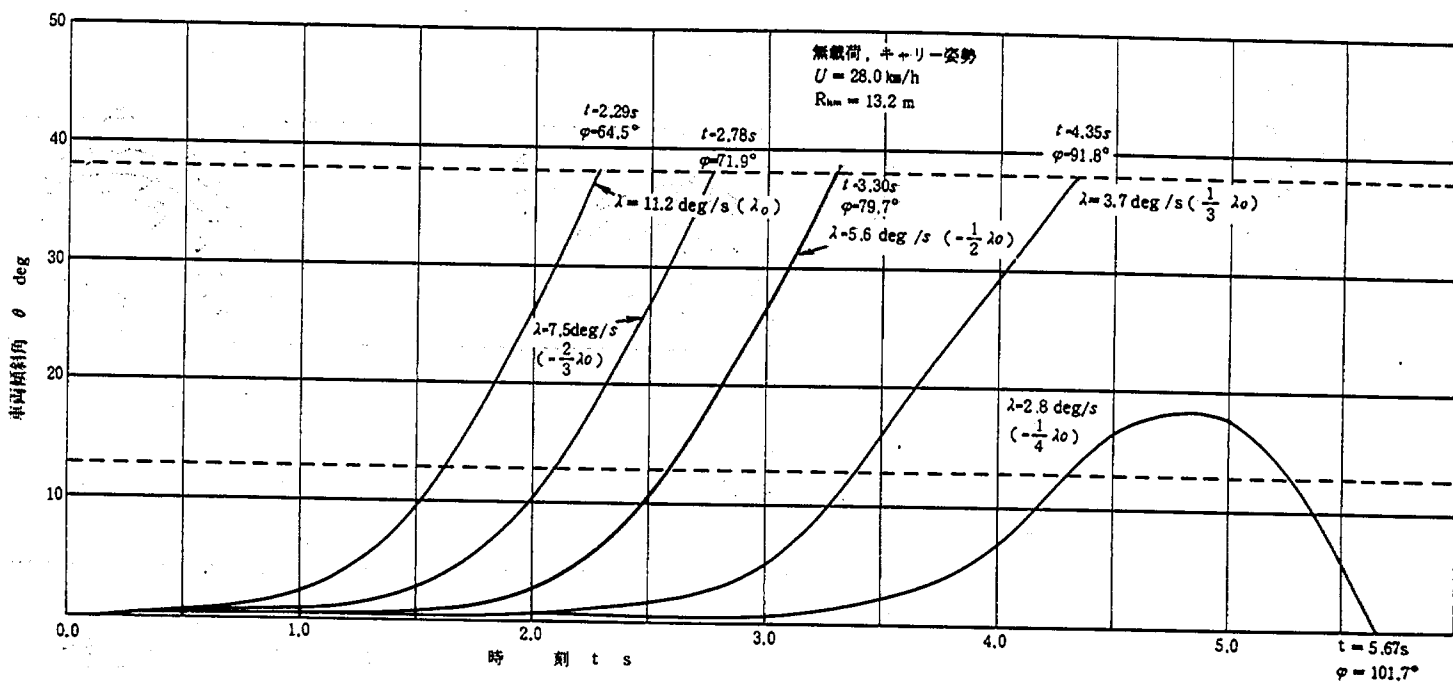


図 4.5 急旋回試験の軌跡の一例

図 4.7 操向角速度による安定性の変化



4.4 急旋回・急制動試験の結果

急旋回・急制動試験の実験結果を表 4.5 に示す。この実験では、実験番号 8 の制動のタイミングを逸し、転倒したケースを除いては、すべて途中から安定状態へ復元した。途中復元の様子を写真 4.4 (a)～(f) に示す。

表 4.5 急旋回急制動試験実験結果

実験番号	走行速度 (km/h)	旋回半径 (m)	車 両 の 挙 動	最大側方 加 速 度 (G)	最大側方 傾 斜 角 (度)	制動まで 走行距離 (m)	減 速 度 (G)	備 考
1	16.1	6.5	○	0.27	2	7.4	0.43	制動前に転倒
2	20.7	7.6	⊕	0.35	3	7.9	0.40	
3	23.1	8.1	△	0.65	10	18.2	0.40	
4	20.7	7.6	⊕	0.35	2	8.5	0.40	
5	23.1	8.8	⊕	0.36	2	9.3	0.43	
6	26.5	10.5	△	0.64	10	20.5	0.40	
7	28.6	12.2	△	0.65	11	13.2	0.43	
8	30.5	13.2	×	—	—	—	—	
9	29.5	13.5	△	0.60	10	17.3	0.40	

○ 車内輪接地 ⊕ 前内輪浮上 △ 両内輪浮上 × 転 倒

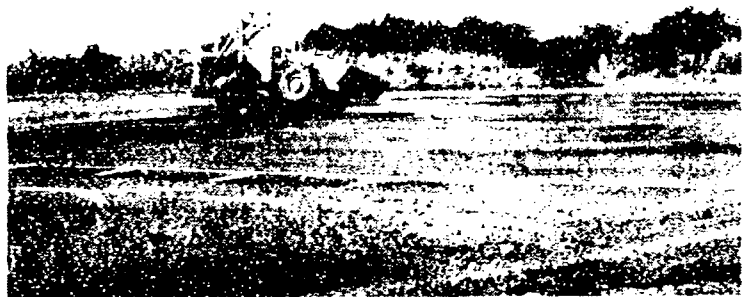
図 4.8 は、左右及び前後加速度並びにローリング角度の記録波形の一例を示す。車両が旋回を始めると左右加速度が増加していき、やがてローリング角度も増してゆくが、その途中で制動をかけると後方加速度が生じ、ローリング角度の増加は止り、車両が停止に至る間に安定状態へ復元する様子が分かる。しかしながら、実験番号 3, 6, 7 及び 9 では、両内輪浮きであるにもかかわらず、最大ローリング角度が 10～11° 程度となっているが、実験後のタイヤ軌跡及び写真等から判断するとそれ以上傾斜しているようであり、記録ミスであると判断される。

急旋回・急制動実験より、旋回途中での制動は、転倒防止に対して有効であることが確認され、制動時期としては早い程良いことが判明した。

(a)
右前輪浮上り
直 前



(b)
右前輪浮上り

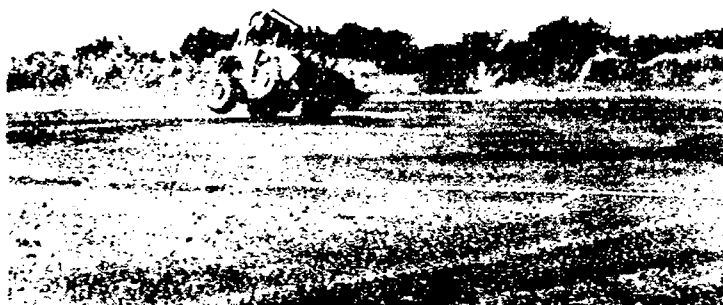


(c)
右後輪浮上り
直 前



写真 4.4 急旋回，急制動の動的挙動（実験番号 3）

(d)
右前後輪
浮上り



(e)
復元中



(f)
右前輪着地
直前



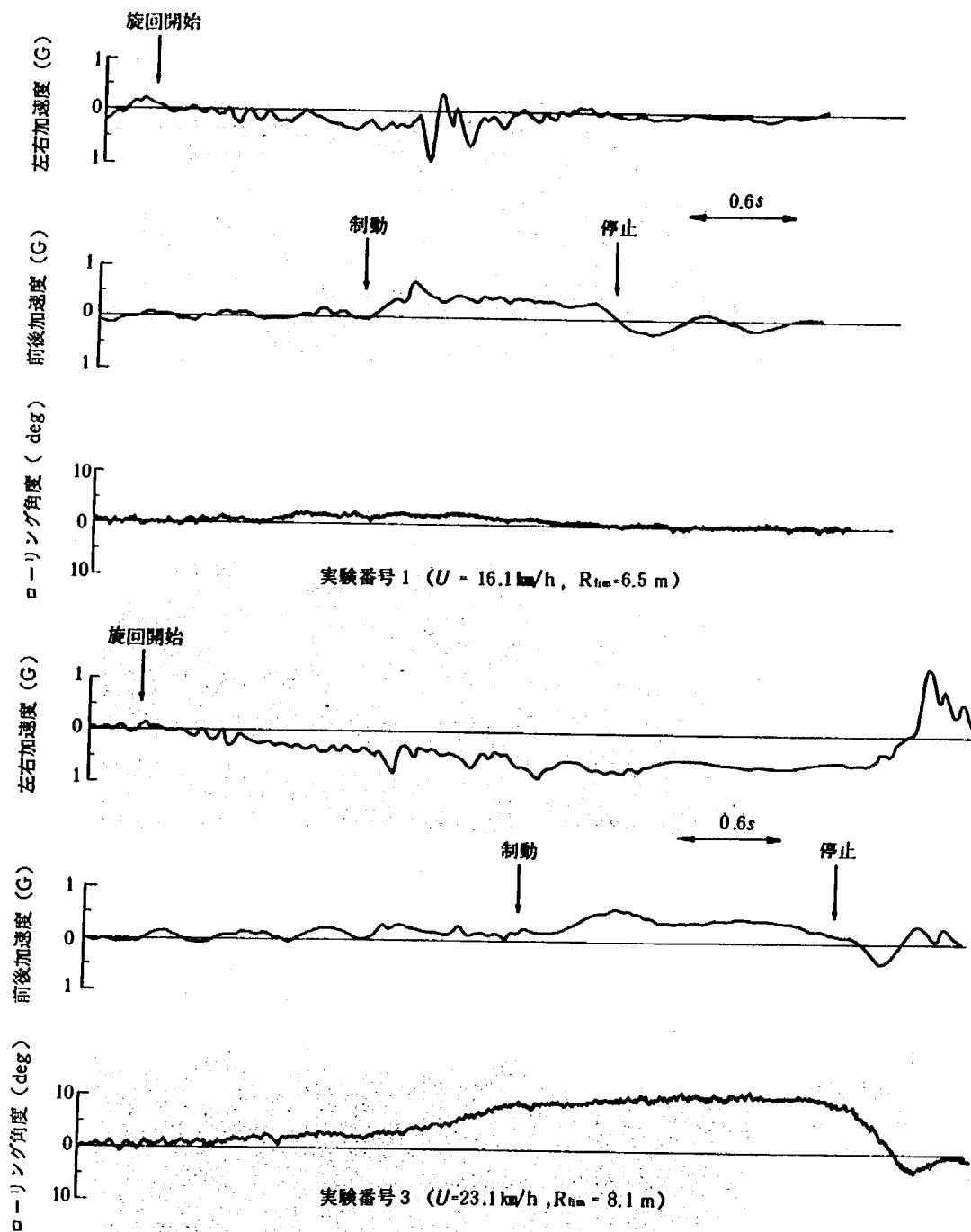


図 4.8 急旋回・急制動の経時変化

4.5 転倒安定領域

車両の旋回走行中に転倒する条件としては、旋回走行中に重心に作用する遠心力によって生ずる転倒モーメント WU^2/gR_Gh_G が車両の復元モーメント $W\ell$ より大きいとき、すなわち、 $U^2/gR_G \geq \ell/h_G$ が成立するときに車両は幾何学的に転倒条件を満足することになる。この時の $\ell/h_G = \tan \phi$ とおくと、 ϕ は最大傾斜角と呼ばれ、 ϕ は車両の転倒安定性を考えるときの指標として考えられている。ただし、本報告で扱っているアーティキュレート操向の車両の場合は、旋回半径によって ℓ が変化するため、ここでは、 ℓ に代えて一定値 ℓ_0 をとって考えることにする。

遠心力による転倒モーメントと復元モーメントの比をとって、

$$\frac{U^2/gR_G}{\ell_0/h_G} = \frac{U^2 h_G}{gR_G \ell_0}$$

を転倒モーメント比と呼んで考えると、転倒モーメント比が同一な値でも、 U と R_G の組合せがどのように転倒安定性に影響を及ぼすかを検討することができる。

図4.10は、転倒モーメント比が0.637として、 U と R_G と変化させた時のローリング角度の時間変化についてのシミュレーション結果を示したものである。このことから、転倒モーメント比が同じでも走行速度が大きいほど車両は転倒しやすいことが分る。

車両の転倒安定性を車両の仕様から幾何学的に決められる転倒限界である最大傾斜角と比較して評価するための転倒安定図を図4.11に示す。ここでは、縦軸に前述の転倒モーメント比をとり、横軸には旋回半径比として $R_G/r_0 = \cot \alpha$ をとって無次元化を図り、急旋回試験の実験結果及びシミュレーション結果を併せてプロットした。実験結果では、全輪接地及び前内輪浮きの状態を安定とし、両内輪浮き及び転倒の状態のものを転倒としてある。

車両は、図4.11で車体の最大屈折状態（最小旋回半径）と最高速度走行状態とで囲まれる三角形の領域内で旋回走行が可能である。転倒モーメント比が1より大きい領域では静的な転倒領域、それより下の領域は安定領域である。このことから、車両の有する旋回走行性能の範囲内ですでに幾何学的な転倒領域が存在することになる。

さらに、図中にプロットした実験結果及びシミュレーション結果から、動的な安定限界はすべて幾何学的安定限界を下廻っており、走行速度が高くなるにつれ安定限界は低下していく傾向がある。

以上のことから、車両の旋回走行時における安定限界は、車両の有する最大傾斜角に相当する旋回走行限界と比較して低いところに存在し、高速走行になるにつれて安定限界はさらに低下していく傾向があるため、旋回走行には、この要因について十分な配慮が必要なことを示している。

図4.11 車両の旋回走行時における安定限界

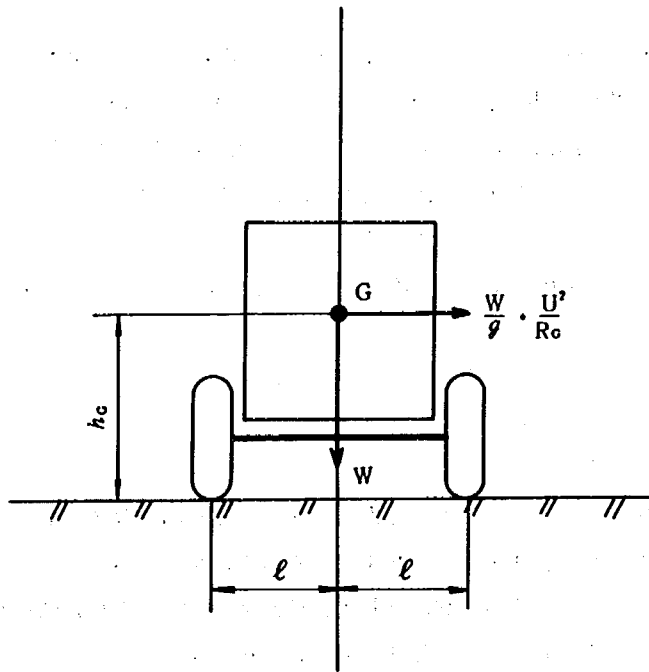


図 4.9 旋回時に車両に作用する力

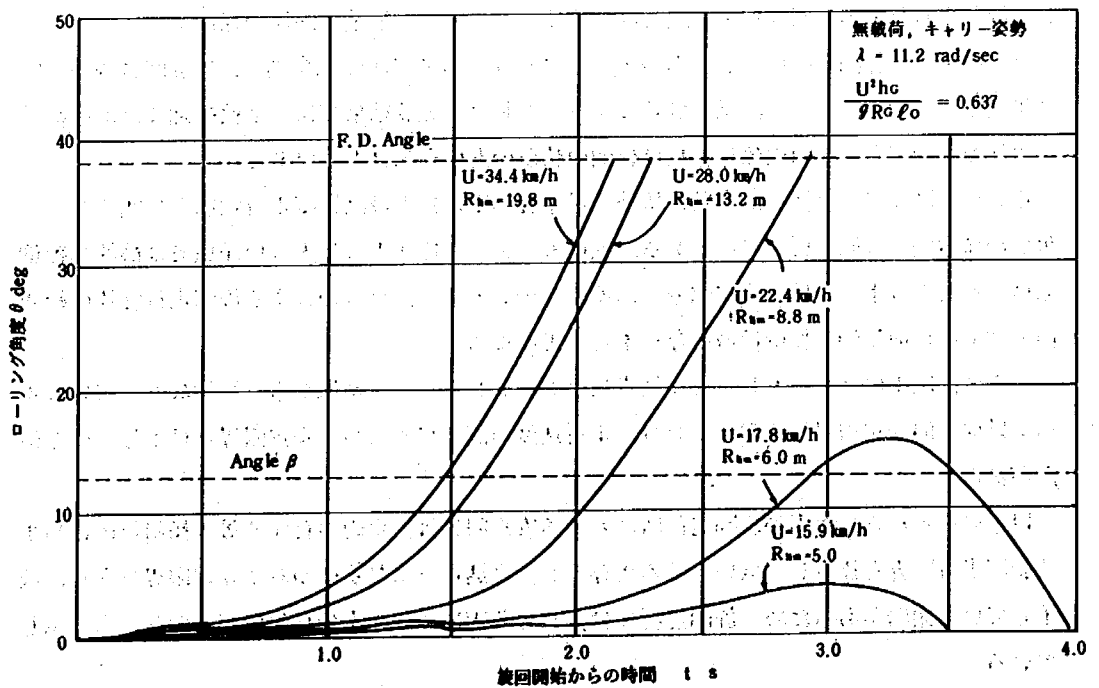


図 4.10 走行速度の違いによる安定性の変化

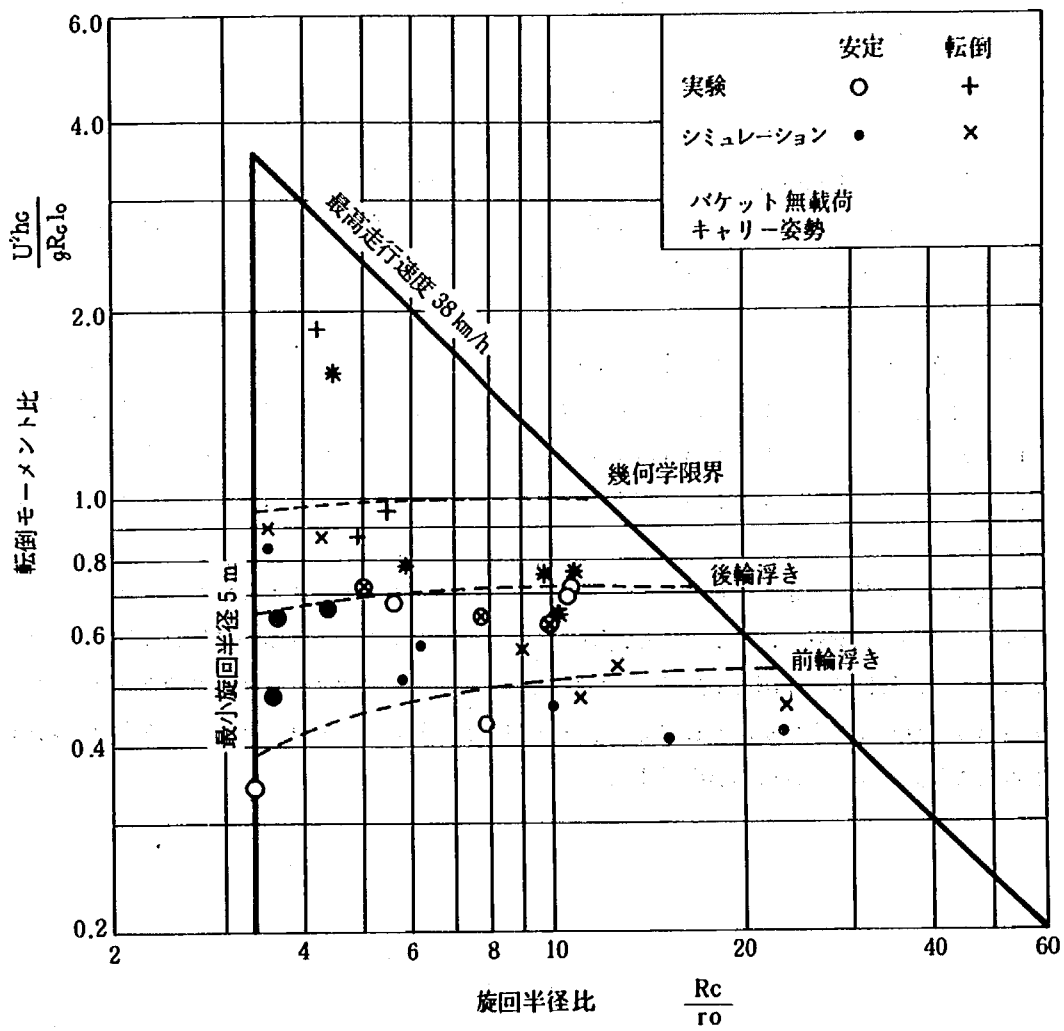


図 4.11 転倒安定図

5. まとめ

本報告書では、ホイールロードの作業時における転倒問題を取りあげ、不陸乗上げ及び急旋回走行について転倒安定性を検討した。調査方法としては、実機実験並びに数学モデルによるシミュレーションの手法によって、数学モデルの妥当性を確認するとともに、車両の動的安定性に関する要因を分析した結果を述べた。

本研究によって得られた結論をまとめると次のようになる。

(1) 不陸乗上げでは、不陸角度、高さによっては転倒の可能性がある。一般的には、走行速度が大きいくほど、不陸傾斜角の大きいほどローリング角度が大きく、すなわち不安定になり、反対にバケット載荷でキャリング姿勢が最も良いといえる。しかしながら現実には、タイヤの弾性等の効果によって、不陸傾斜角や走行速度が大きくても単純に不安定とはいえないケースもみられた。

(2) 急旋回では、車両の有する性能の範囲内に安定限界が存在し、条件によっては転倒に至る。動的な安定限界は、車両の幾何学的限界すなわち最大傾斜角より常に小さく、走行速度、操向角速度の大きいほど安定限界は低下する傾向がある。また、バケット載荷・キャリー姿勢が最も安定性が良く、バケット最上高姿勢を除いては、バケット載荷の方が無載荷より安定性が良い。

急旋回走行の動的安定性の評価については、図 4.11 の転倒安定図によって判定できる。

(3) 急旋回・急制動では、車両の転倒防止に十分な効果があり、制動の時期は早いほど良い。すなわち、急旋回時の車両の挙動は、旋回開始からしばらくの間はローリング角が小さく途中から急速にローリング角が増大してそのまま転倒に至るので、このローリング角が急速に増加する前に制動をかければ傾斜が復元する。

あ と が き

建設機械は、一般に走行速度が小さいため、転落以外の転倒事故に対してあまり注意が払われていなかった。しかしながら、最近のように生産性の向上から、特に車輪式建設機械では高速化、アーティキュレート操向の採用が進んでいるため、不陸乗上げや急旋回時等の安定性について検討する必要が生じている。

本調査試験の結果から、不陸乗上げ及び急旋回走行時の転倒に及ぼす種々の要因の影響を把握することができた。

今後は、不整走行時の安定性についても検討を加えるとともに、実験方法及びシミュレーションプログラムの精度の向上についても調査試験を進めて行く必要があるであろう。

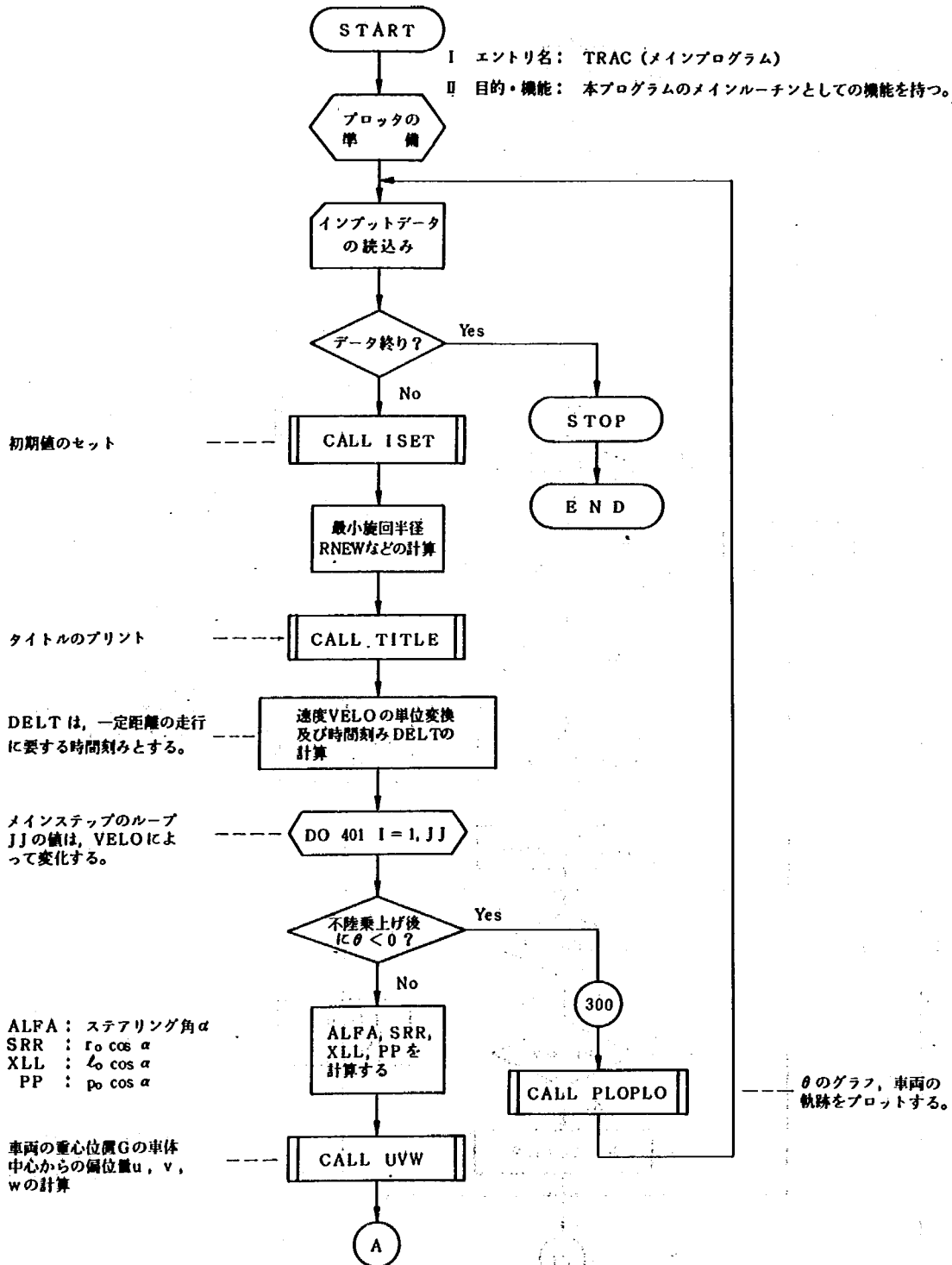
最後に、実機実験について協力頂いた、建設機械化研究所の担当者に感謝の意を表する。

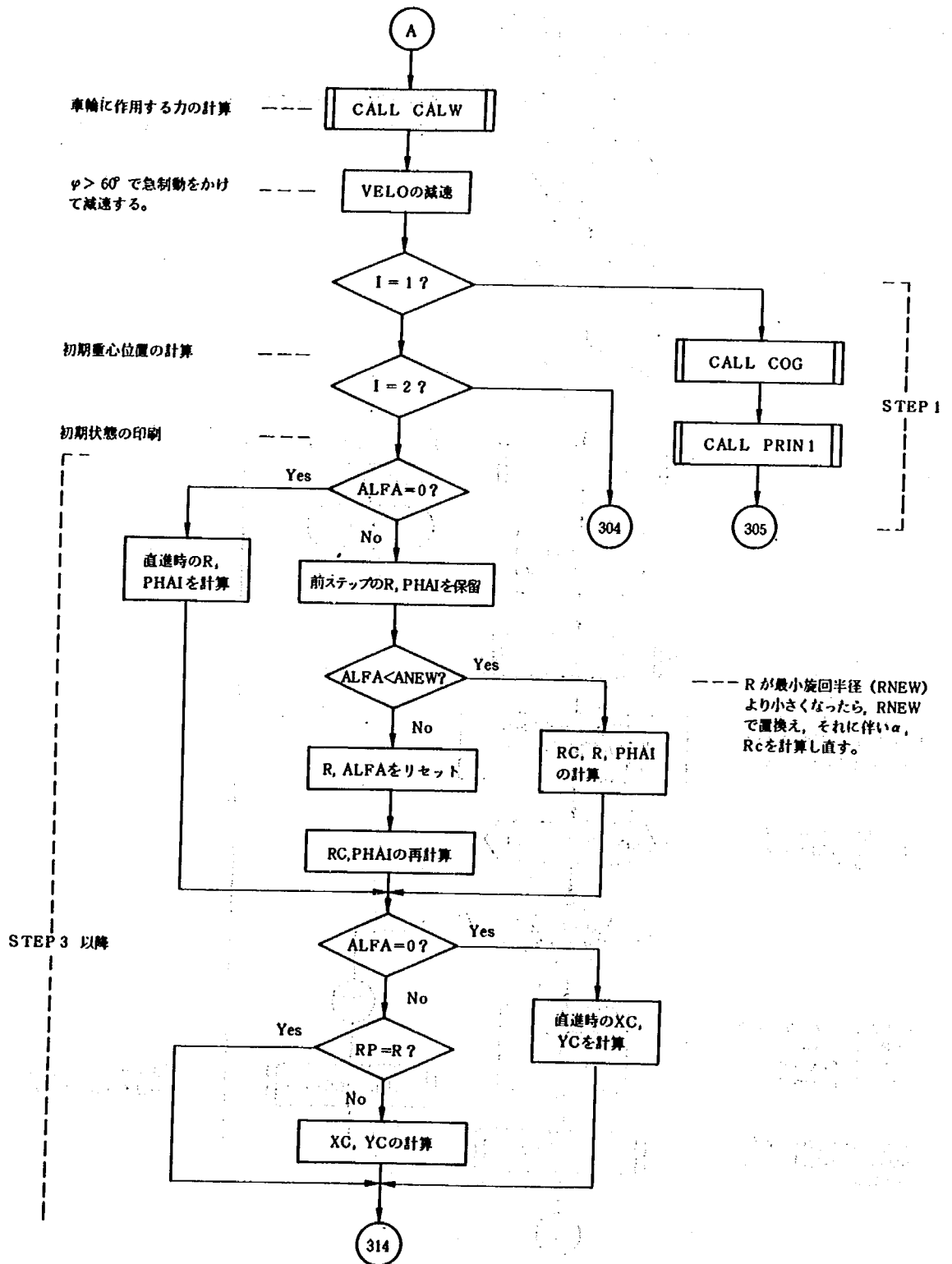
参 考 文 献

- 1) 沢田, 太田, 境 施工の安全性に関する調査試験——車輪式建設機械の動的安定性——(第1報)
土木研究所資料第1434号
- 2) ISO 5005 Earth-moving machinery — Method for the locating the centre of gravity 1977
- 3) (社)自動車技術会 新編 自動車工学ハンドブック p3-61

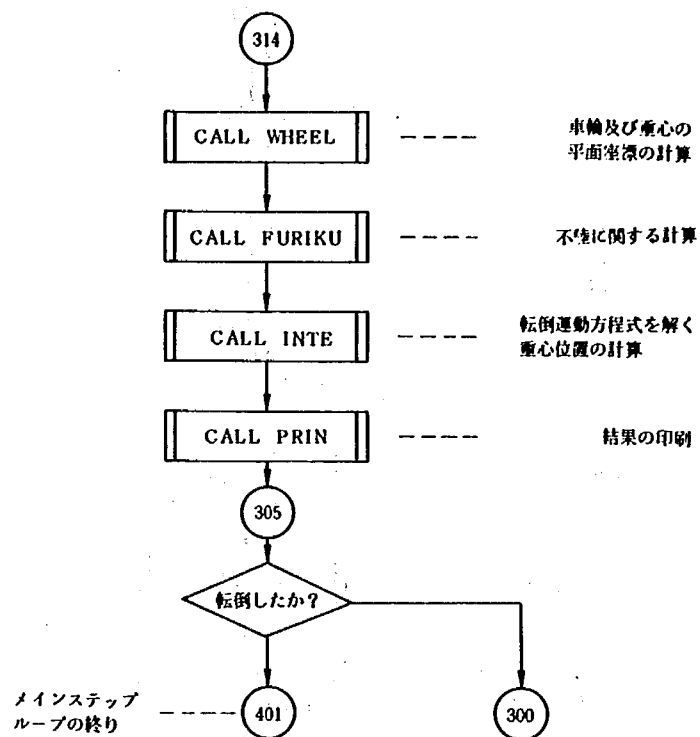
付 録

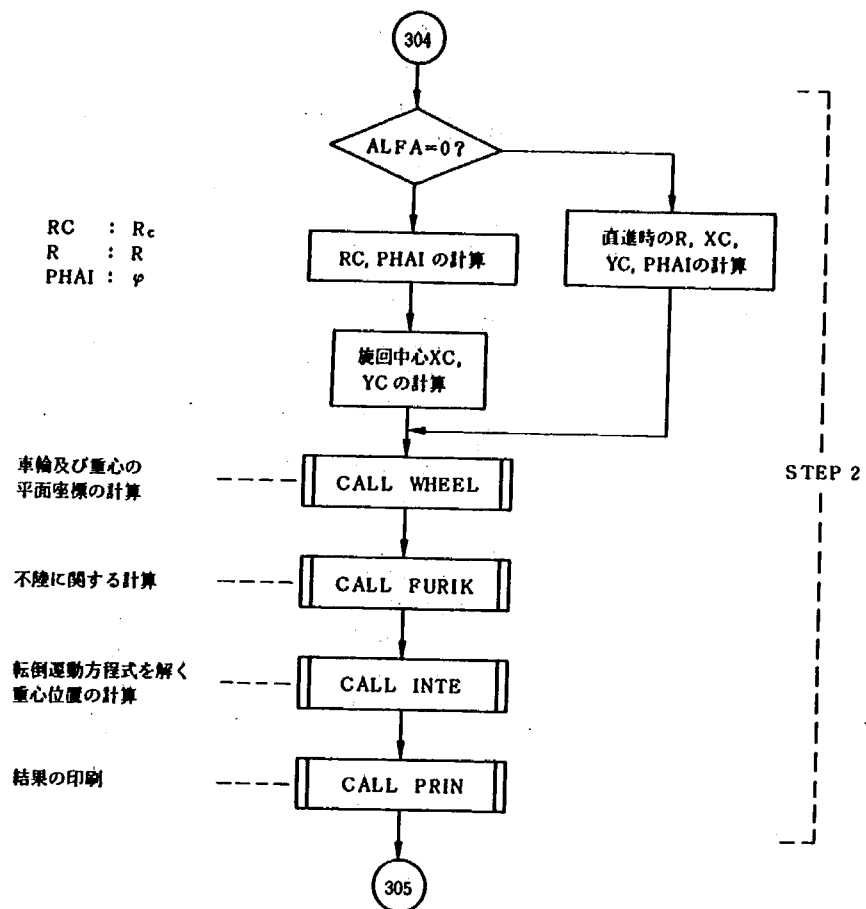
付録1 シミュレーションプログラム詳細フロー





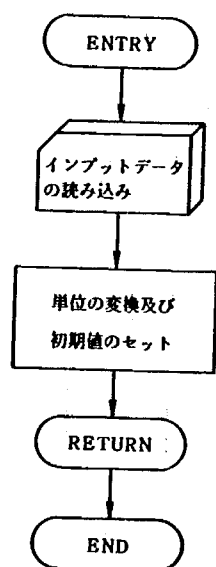
STEP 3以降





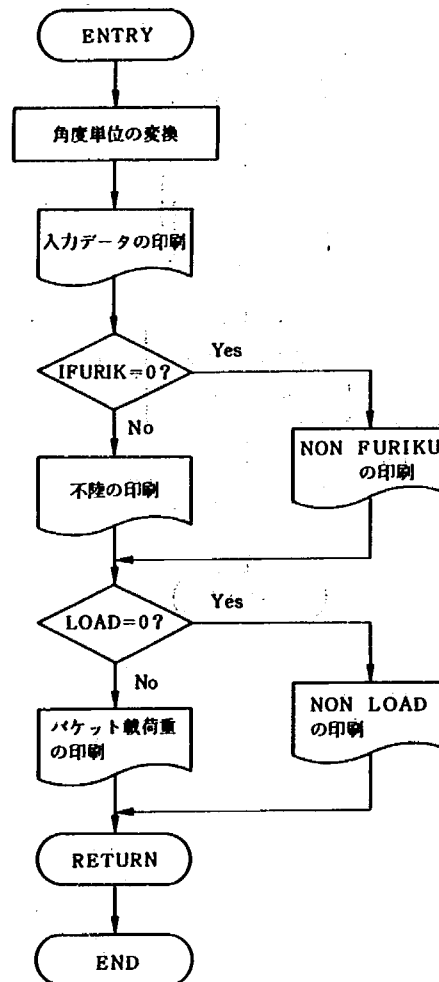
I エントリ名: ISET

II 目的・機能: インプットデータを読み込み、すべての値の初期値をセットする。
また、必要なものは単位の変換を行う。



I エントリ名: TITLE

II 目的・機能: 入力データ及び初期状態をプリントアウトする。

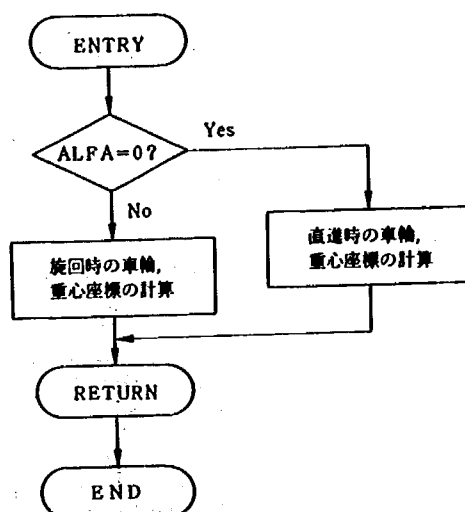


IFURIK : 不陸の有無を示すフラッグ
= 0 : 無
= 1 : 有

LOAD : バケット載荷の有無を示すフラッグ
= 0 : 無
= 1 : 有

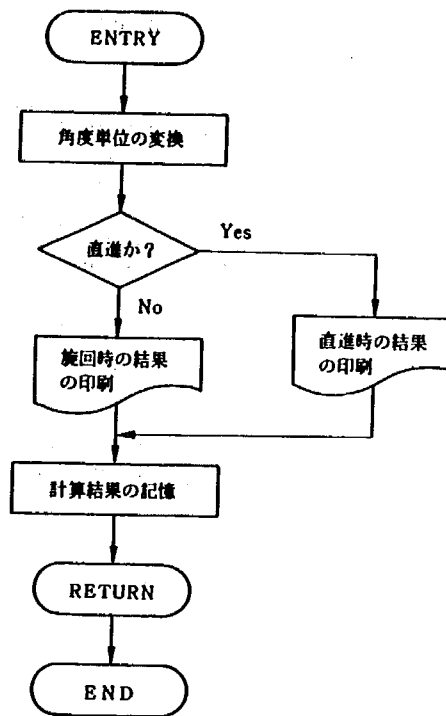
I エントリ名: WHEEL

II 目的・機能: 固定座標における車輪, 重心の平面座標を計算する。



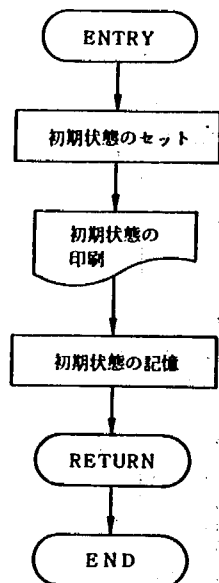
I エントリ名: PRIN

II 目的・機能: 各ステップ毎の計算結果をプリントアウトする。



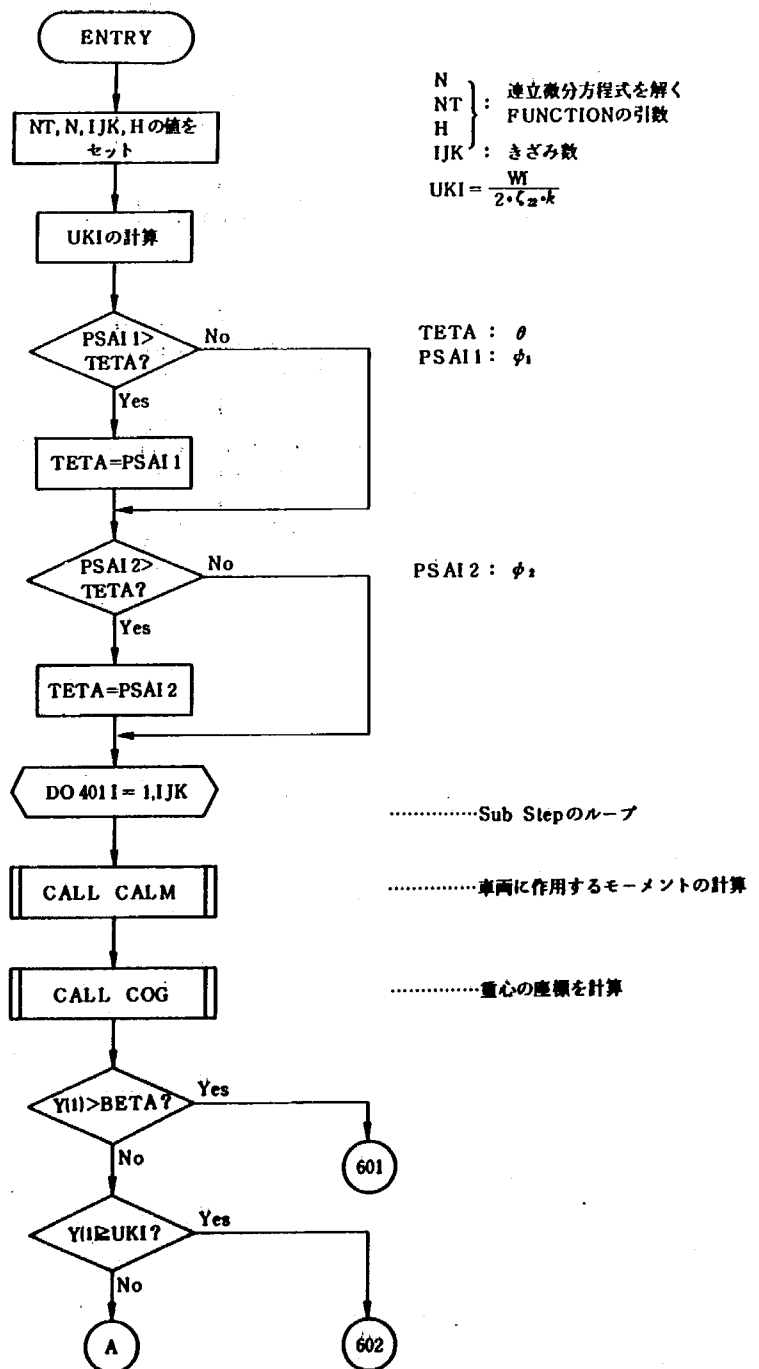
I エントリ名: PRIN I

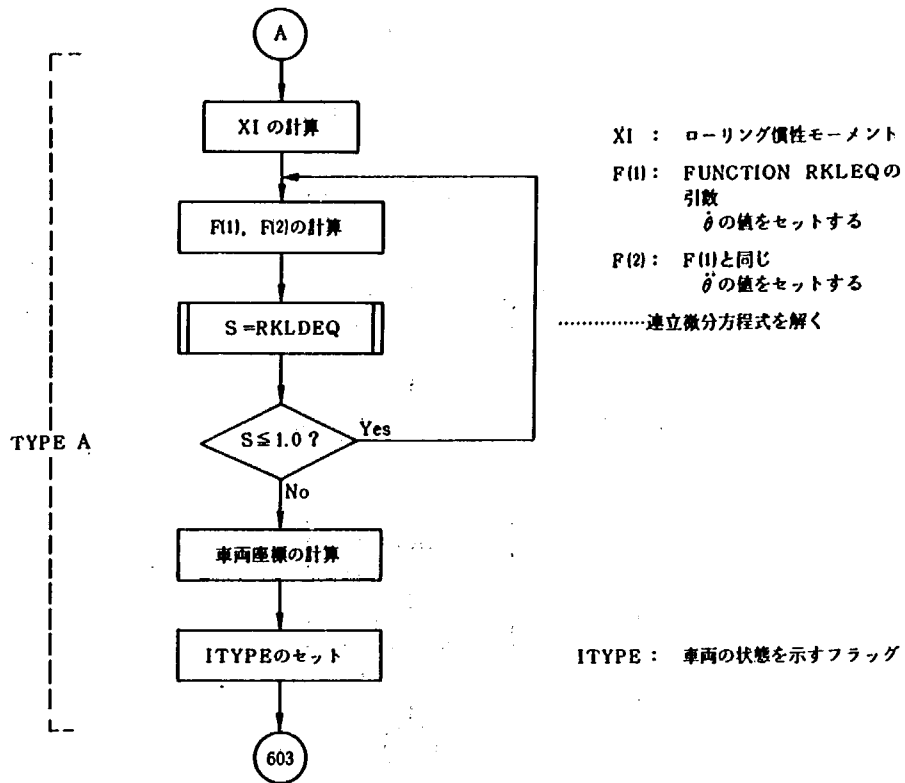
II 目的・機能: 車両の初期状態をプリントアウトする。

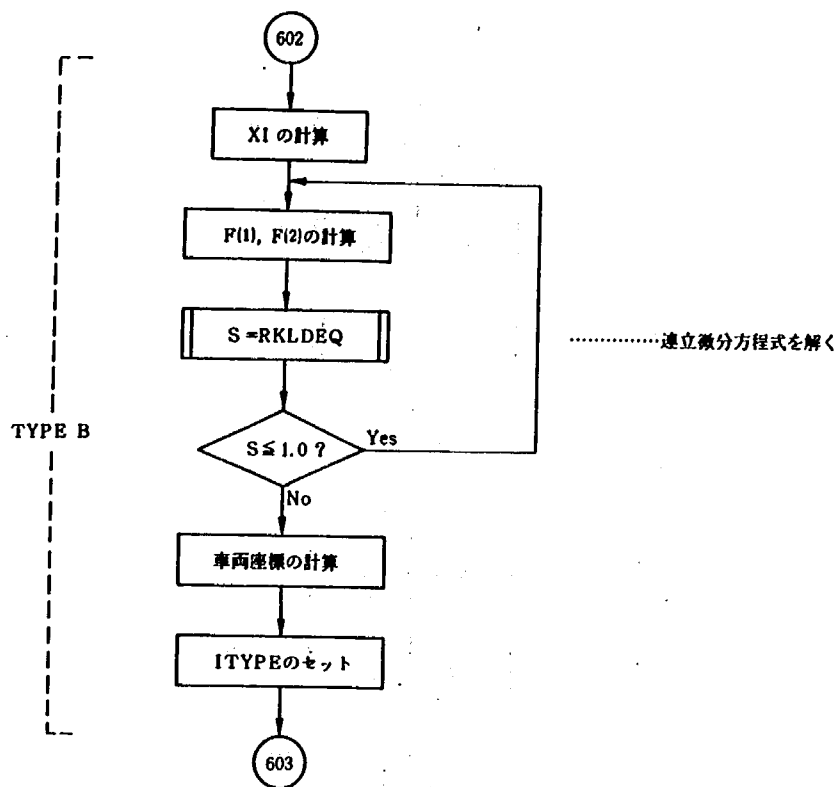


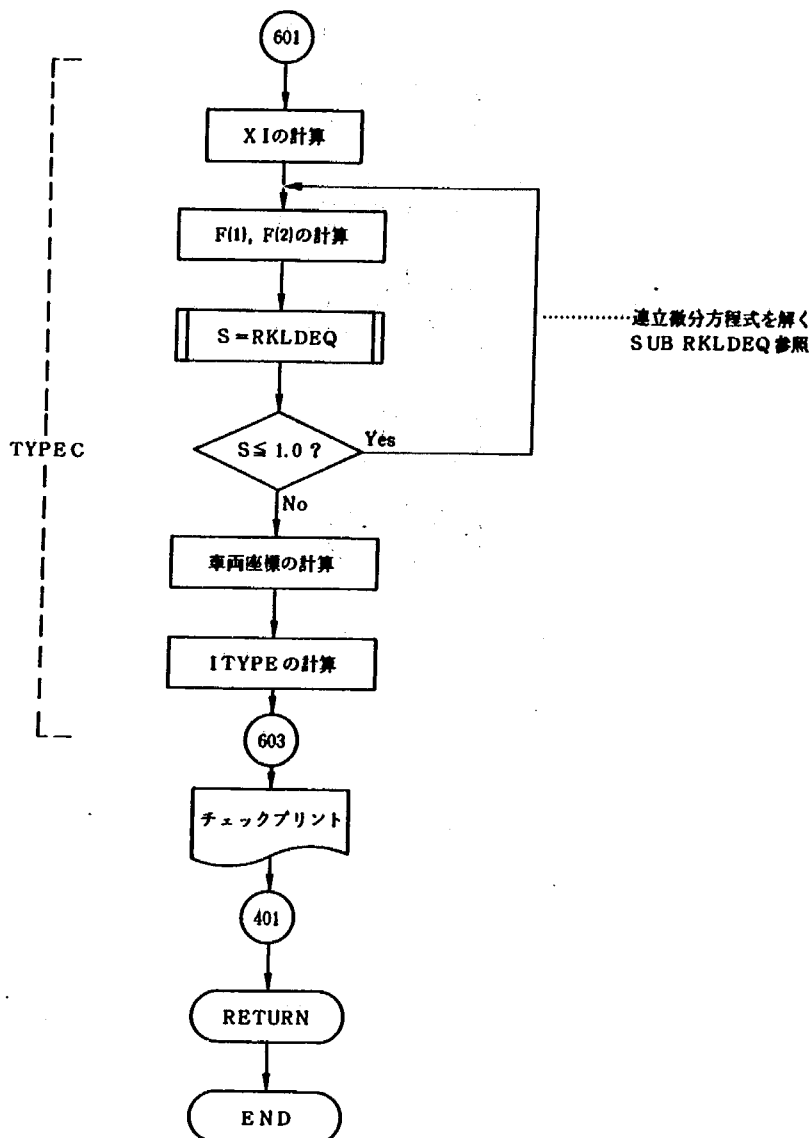
I エントリ名: INTE

II 目的・機能: 転倒運動方程式を解いて傾斜角 θ を求め、運動座標における重心、車輪の座標を計算する。



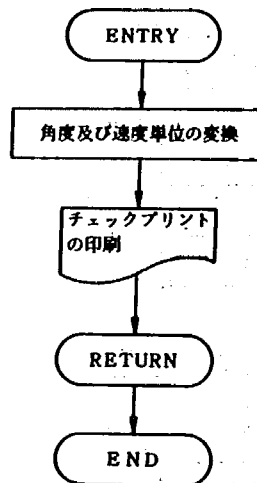






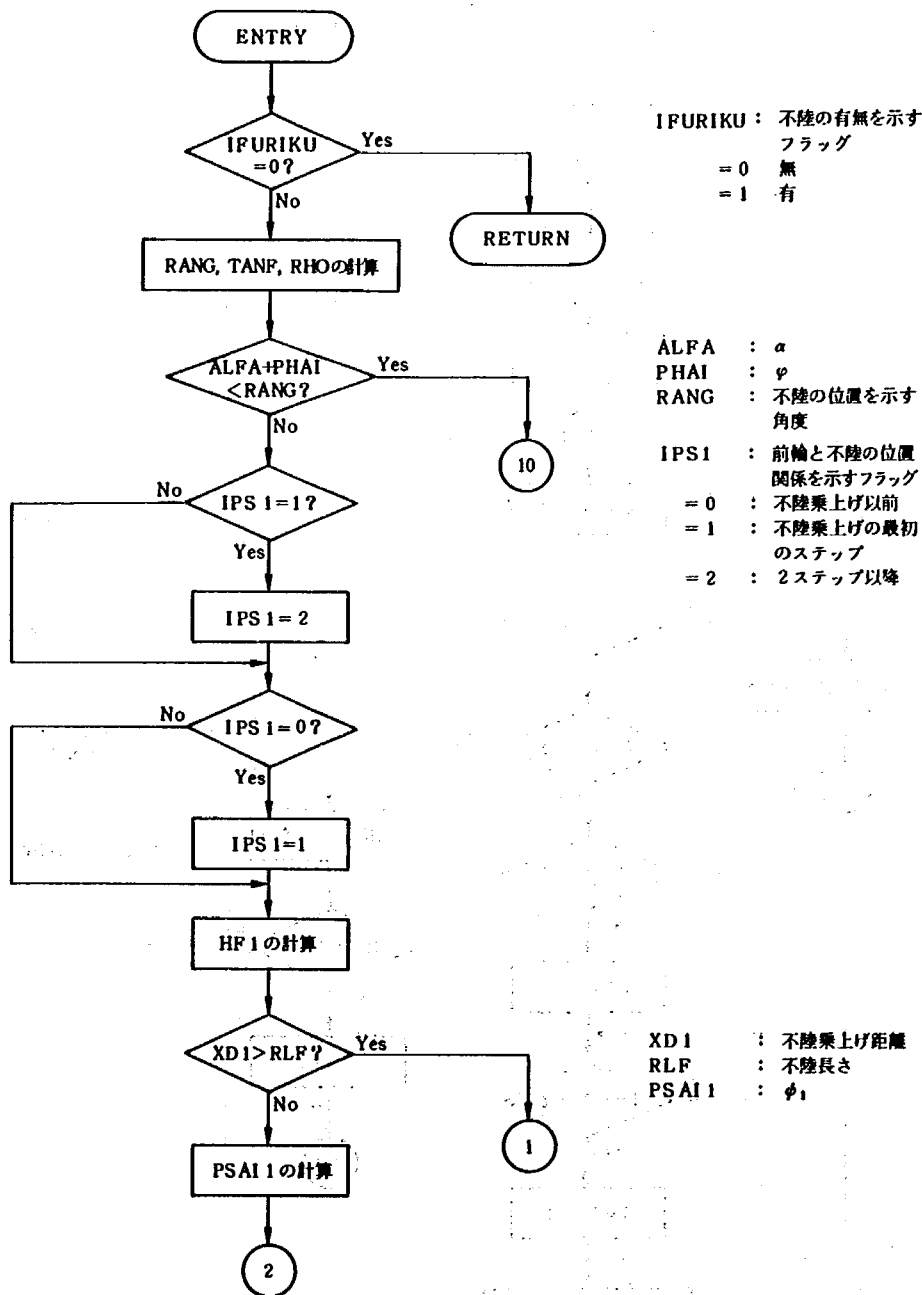
I エントリ名: PRINPQ

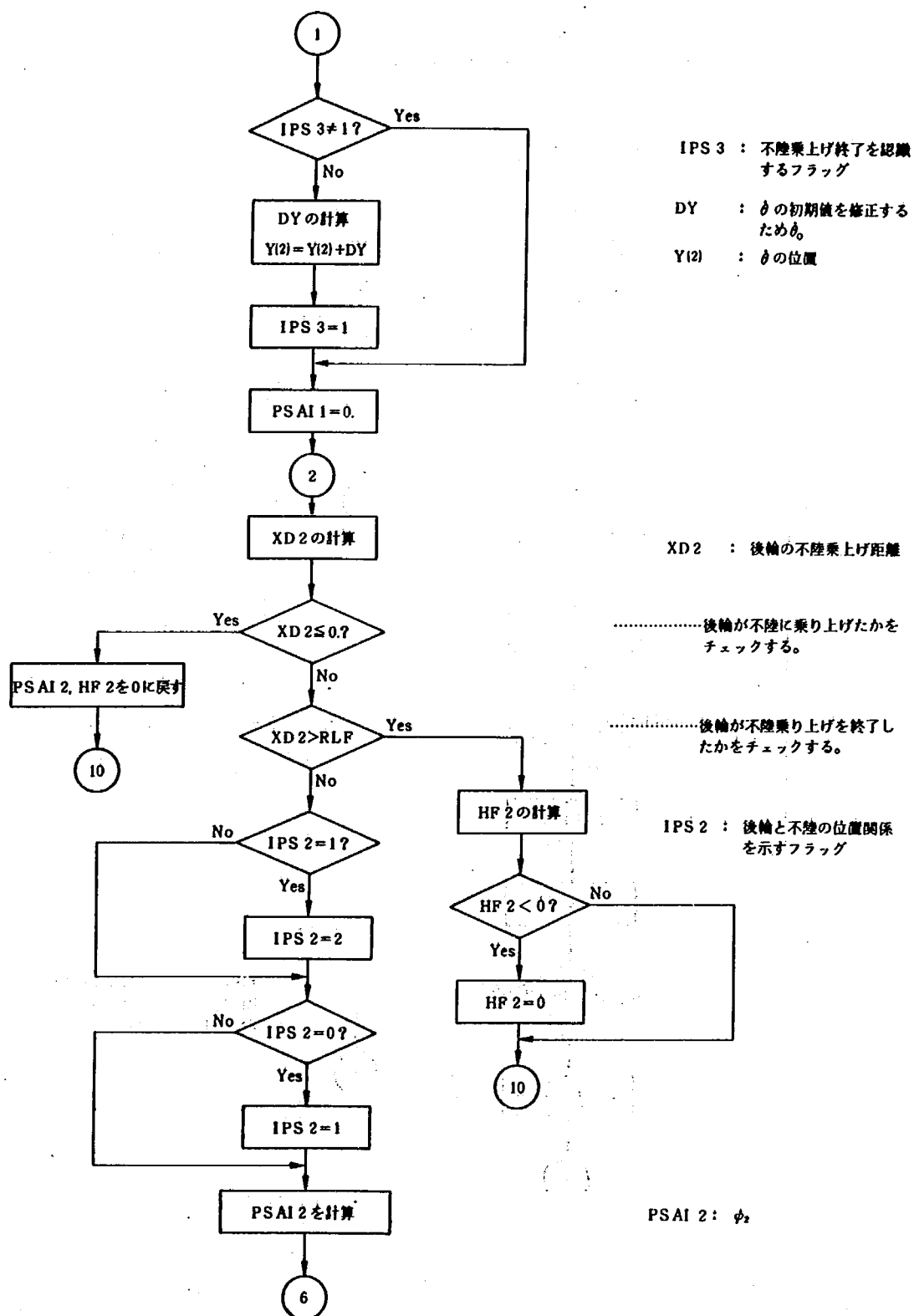
II 目的・機能: チェックプリントを打出す。

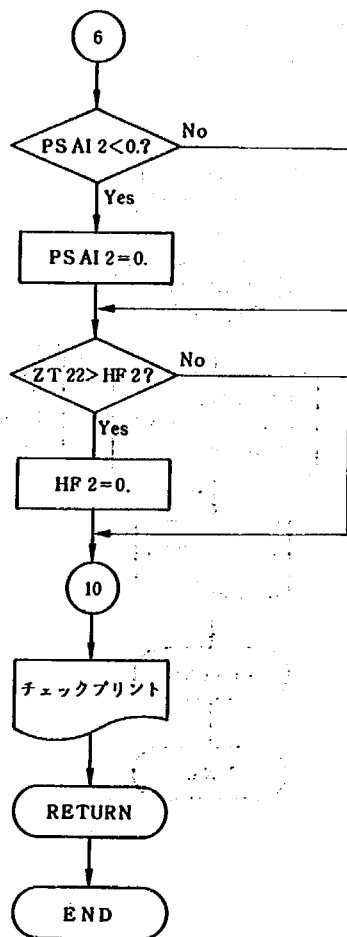


I エントリ名: FURIKU

II 目的・機能: 不陸乗上げ時の車両の傾斜角 θ 等を計算する。





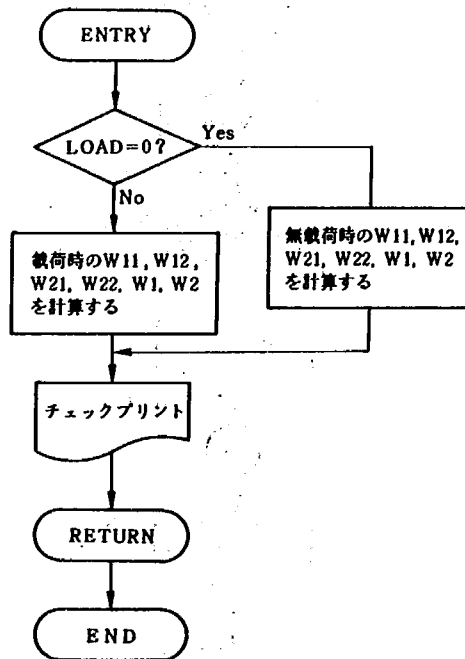


PSAI 2 : ϕ

.....右後輪の高さが不陸高さより
高いかをチェックする。
ZT 22 : C_{22}

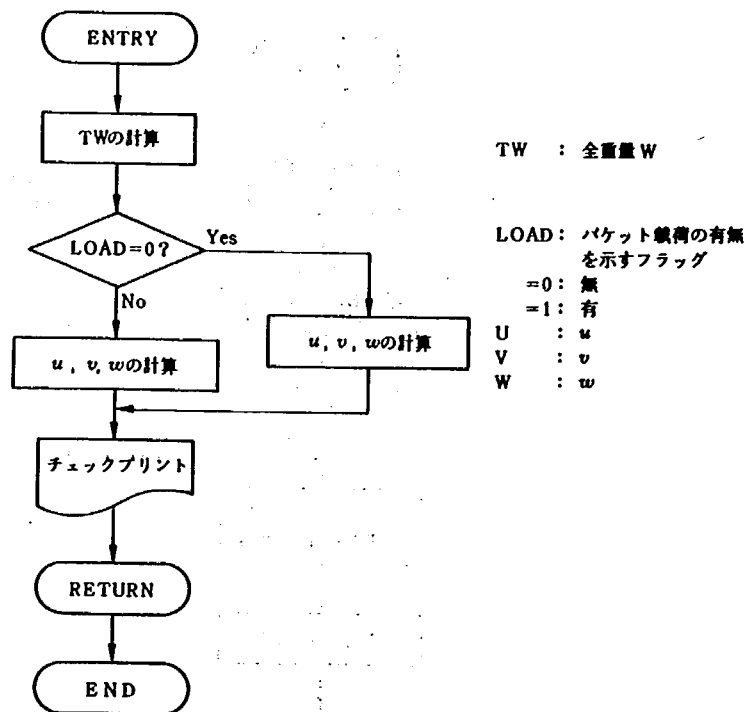
I エントリ名: CALW

II 目的・機能: 輪重, 軸重を計算する。



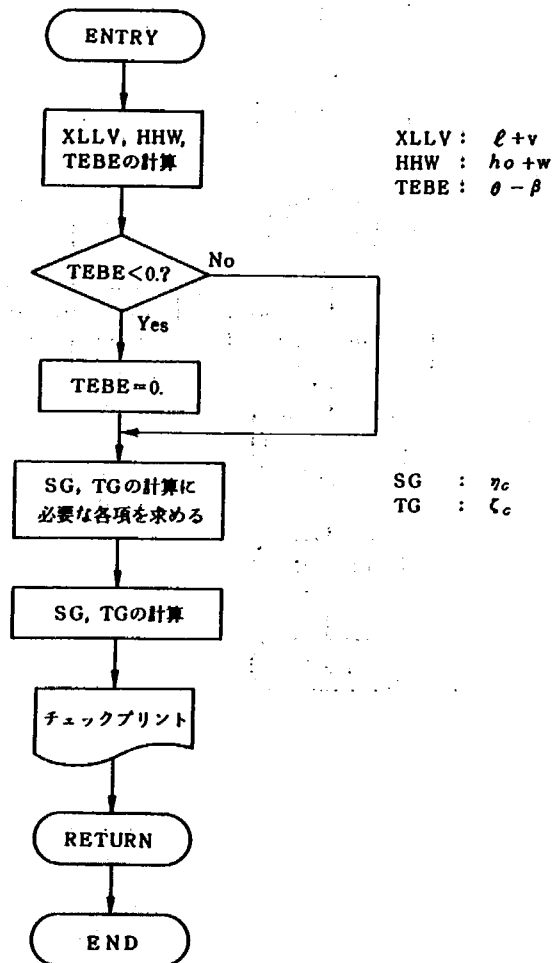
I エントリ名: UVW

II 目的・機能: 車体中心からの重心の偏位置 u , v , w を計算する。



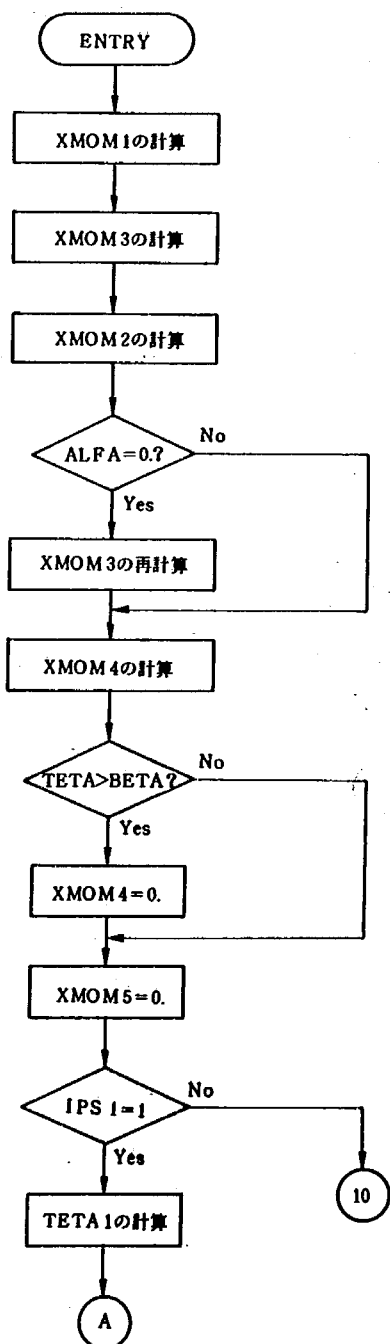
I エントリ名: COG

II 目的・機能: 運動座標における重心の座標を計算する。



I エントリ名: CALM

II 目的・機能: 車両の転倒運動方程式を解くために必要な各々のモーメントを計算する。



XMOM1: 重力によるモーメント M_g

XMOM2: 遠心力によるモーメント M_f

XMOM3: 前内輪の反力による
モーメント M_{r_f}

直進の場合のXMOM3の計算

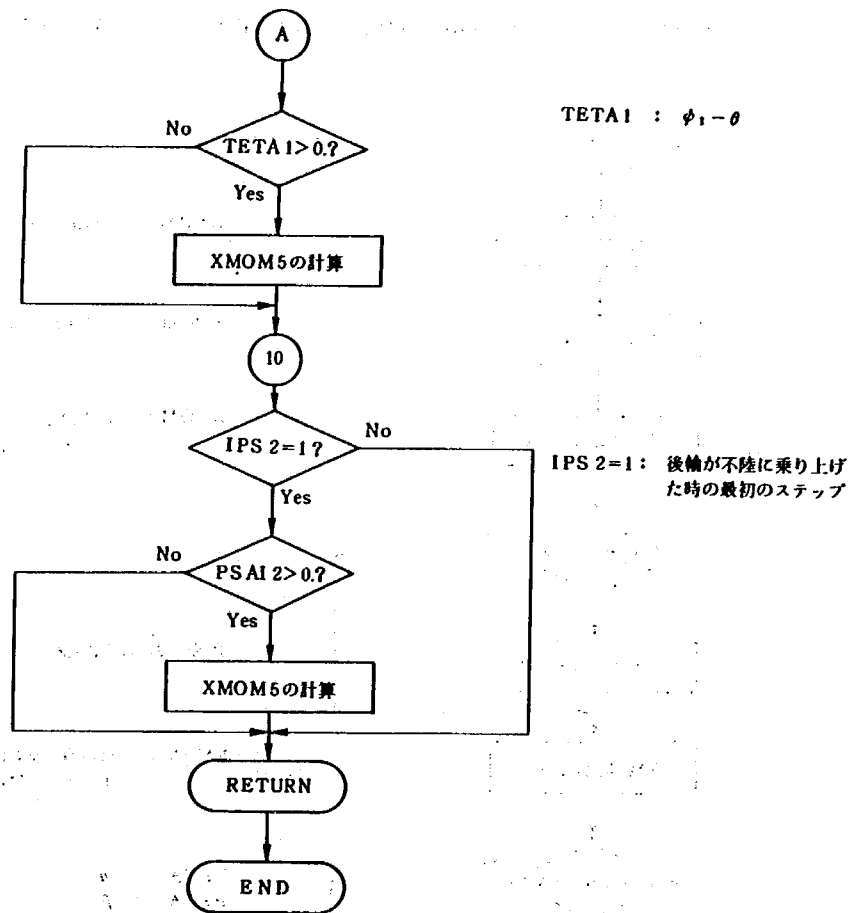
XMOM4: 後内輪の反力による
モーメント M_{r_r}

TEETA : θ
BETA : β

XMOM5: 不陸に乗り上げ時の M_f
及び M_r の修正項

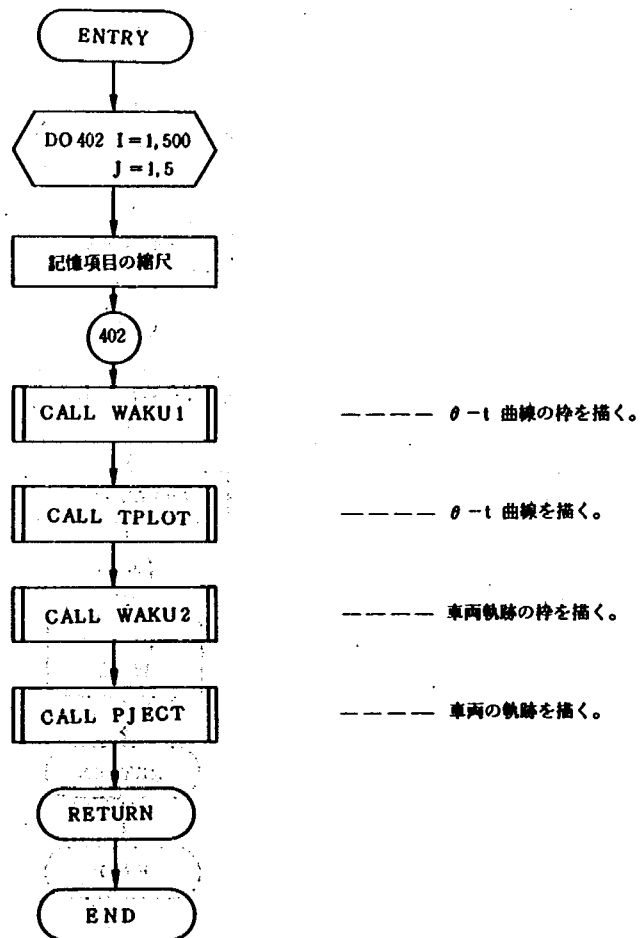
IPS1=1: 前輪が不陸に乗り上げ
た時の最初のステップ

TEETA1 : $\phi_1 - \theta$



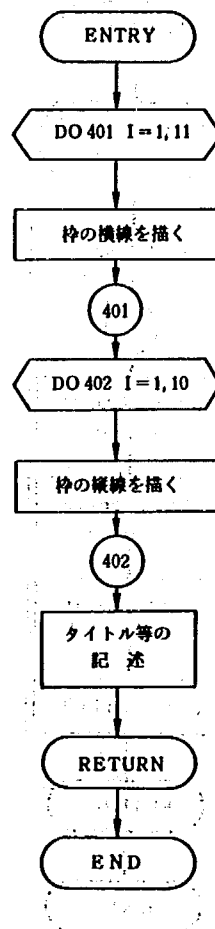
I エントリ名: PLOPLO

II 目的・機能: 計算結果をプロットに描かせる。



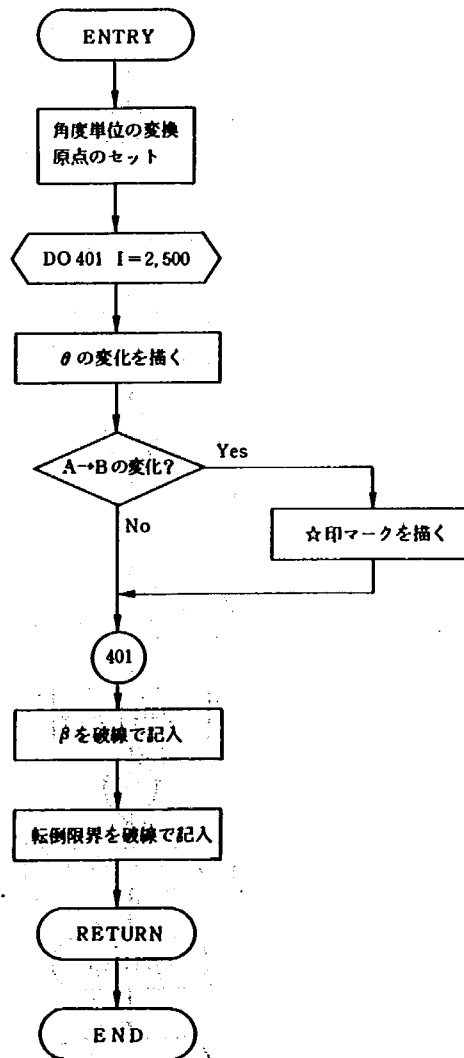
I エントリ名: WAKU I

II 目的・機能: 車両傾斜角 θ の時間変化のグラフの枠を描く。



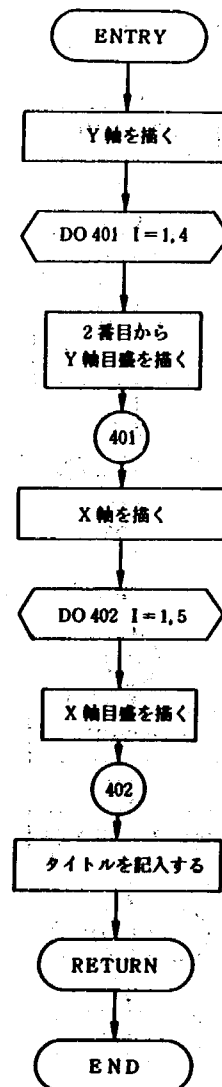
I エントリ名: TPLOT

II 目的・機能: 車両傾斜角 θ の時間変化のグラフを描く。



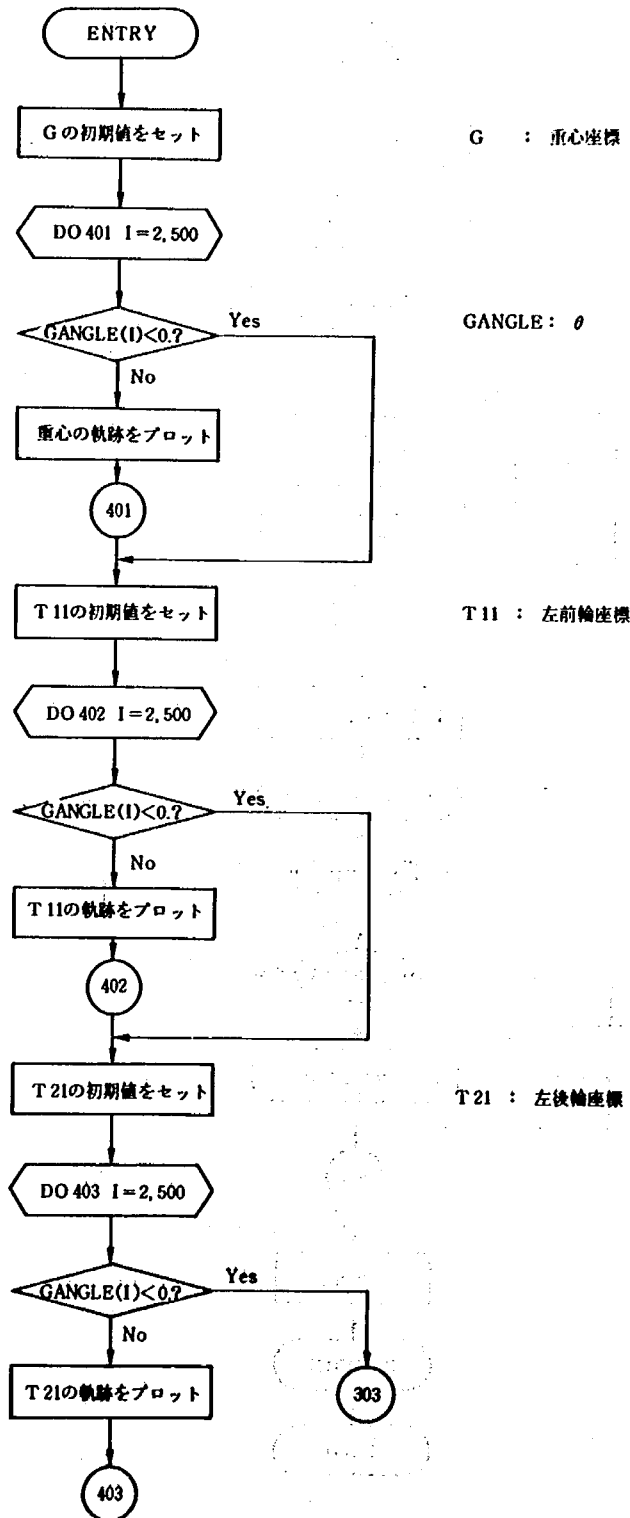
I エントリ名: WAKU2

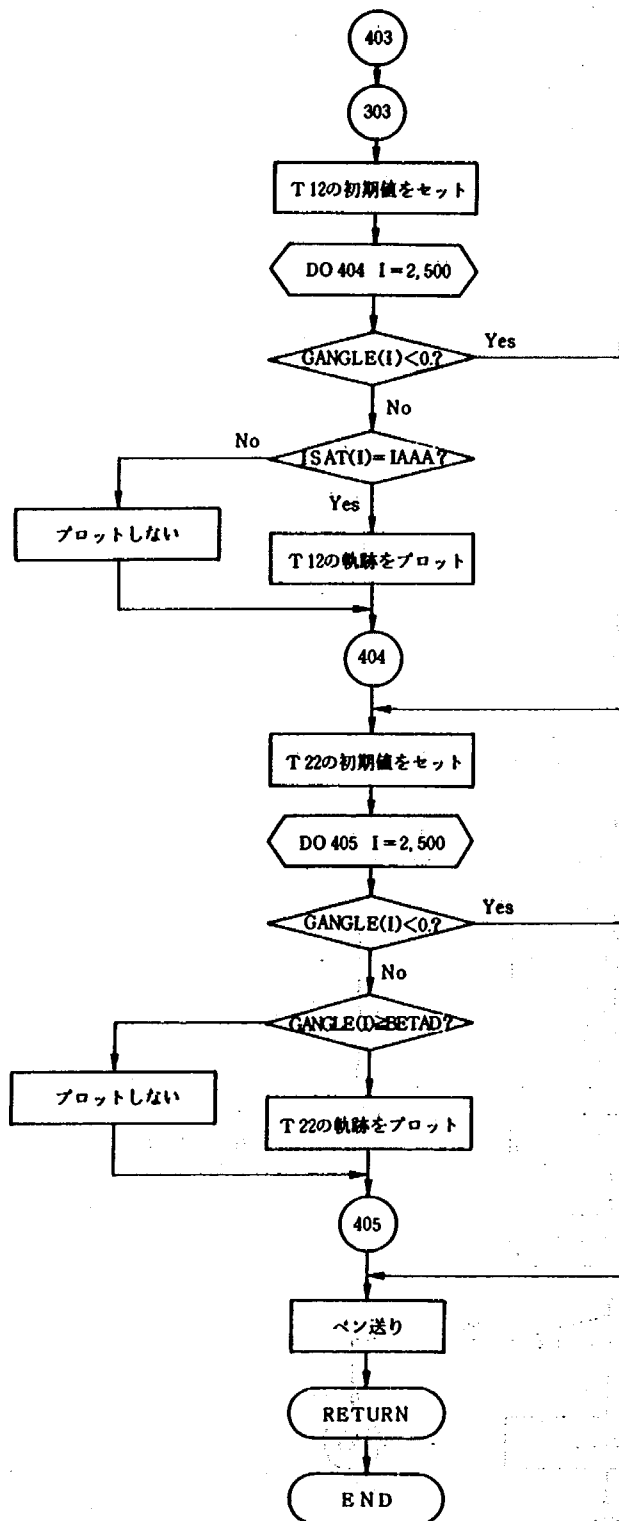
II 目的・機能: 車輪及び車両重心の平面軌跡のグラフの枠を描く。



I エントリ名: P J E C T

II 目的・機能: 車輪及び車両重心の平面軌跡を描く。





T 12 : 右前輪座標

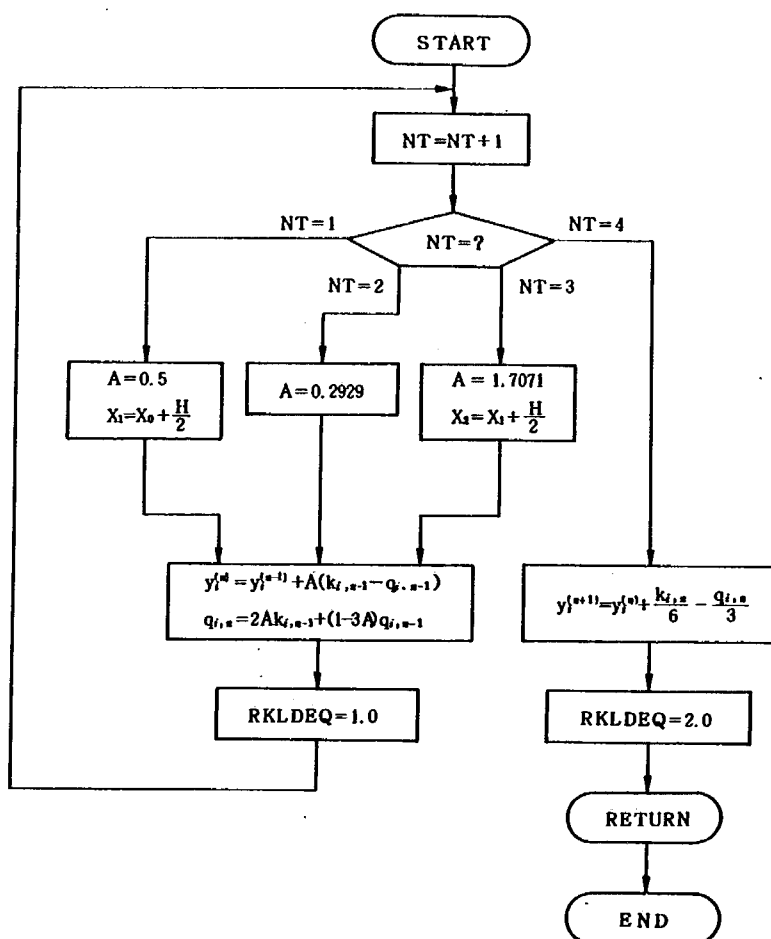
ISTAT : 車両の傾斜状態を示すフラグ
 = IAAA : ケースA
 = IBBB : ケースB
 = ICCC : ケースC

T 22 : 右後輪座標

BETAD : β (deg)

I エントリ名: RKLDEQ

II 目的・機能: 連立微分方程式をルンゲクッタギル法によって解く。



H: 時間刻み

.....繰返し演算の制御は、
RKLDEQの値によ
ってSUB INTEで
行っている。

1. 10/10/10
2. 10/10/10
3. 10/10/10

1. 10/10/10
2. 10/10/10
3. 10/10/10

1. 10/10/10

付録2 シミュレーションプログラム入力データ指示

(1) 速度, チェックプリント等の指示

Col.1 11 21 26 31

VELO	XLUMD	I C	TEND	
------	-------	-----	------	--

(2F10.1, I 5, F 5.1)

VELO : 車両走行速度 U (km/h)

XLUMD : 操行角速度 λ (deg/s)

I C : データチェックビット I Cの値によって次の内容がプリントされる。

I C = 0 : Sep No

時刻

各輪の座標 (X, Y, Z)

重心の座標 (X, Y, Z)

旋回中心の座標 (X, Y)

操向角度

旋回半径

重心傾斜角

車両姿勢の状態

I C = 1 : 上記の外

Sub Step No

時刻

重心の傾斜角

I C = 2 : 上記の外, チェックプリント及びメモリの内容がプリント

される。(一般向きでない)

TEND : 演算打ち切り時刻 t (s)

(2) バケット载荷の指示

Col.1 11 21 31

XLWATT	P	HL	
--------	---	----	--

(3F10.1)

XLWAIT : バケット載荷重 W_r (kg)
P : 前輪からバケット重心までの水平距離 p (cm)
HL : バケット載荷重の重心の高さ h (cm)

(3) 車両重量 (空車時) の指示

Col. 1	11	21	31	
	TWAIT	FWAIT	RWAIT	(3F 10.1)

TWAIT : 全軸重 $W_f + W_r$ (kg)
FWAIT : 前軸重 W_f (kg)
RWAIT : 後軸重 W_r (kg)

(4) 車両の諸元(1)の指示

Col. 1	11	21	31	
	XL 2	SR 2	HEIGHT	(3F 10.1)

XL 2 : トレッド $2l_0$ (cm)
SR 2 : ホイールベース $2r_0$ (cm)
HEIGHT : 重心高 (空車時) h_0 (cm)

(5) 車両の諸元(2)の指示

Col. 1	11	21	31	
	BETAD	RLIM	TENTD	(3F 10.1)

BETAD : クレードルロック角 β (deg)
RLIM : 設定旋回半径 (於外輪) R_{lim} (cm)
TENTD : 転倒角 θ (deg)

(6) 不陸の指示

Col.1 11 21 31

ANGF	RLF	HF	
------	-----	----	--

 (3F10.1)

ANGF : 前輪が不陸に乗上げ始める時の車両の旋回角 (deg)

RLF : 不陸の長さ L (cm)

HF : 不陸の高さ H (cm)

(7) 車両の諸元(3)の指示

Col.1 11 21

XI0	BANE	
-----	------	--

 (2F 10.1)

XI0 : 車両のローリング慣性モーメント (空車時) I_{xo} (kgcms²)

BANE : タイヤのバネ定数 k (kg/cm)

以上の(1)~(7)をケース毎に繰返す。また、終りにはゼロカードを1枚入れておく。

1. The first part of the report is a general introduction to the subject of the study. It discusses the importance of the study and the objectives of the research.

2. The second part of the report is a detailed description of the methodology used in the study. It includes information about the sample size, the data collection methods, and the statistical analysis techniques.

3. The third part of the report is a discussion of the results of the study. It presents the findings of the research and discusses their implications for the field of study.

4. The fourth part of the report is a conclusion and a summary of the findings. It provides a final assessment of the study and its contributions to the field.

5. The fifth part of the report is a list of references. It includes all the sources of information used in the study.

付録3 シミュレーションプログラム

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
1		C *** PROGRAM TRAC ***
2		C
3		C * (INPUT, OUTPUT, TAPES=INPUT, TAPE6=OUTPUT, TAPE10)
4		C
5		C
6		C
7		C CONSTANT ASSIGNMENT
8		C
9		C 1/2 TREAD XL (CM)
10		C 1/2 WHEEL BASE SR (CM)
11		C
12		C MOMENT OF INERTIA X11,X12 (KG*CM*SEC..2)
13		C HEIGHT OF C.O.G. HEIGHT (CM)
14		C
15		C HEIGHT ... TOTAL T*AIT (KG*)
16		C FRONT WHEEL F*AIT (KG*)
17		C REAR WHEEL R*AIT (KG*)
18		C LOADING XLWAIT (KG*)
19		C
20		C CRADLE ANGLE BETA,BETAD (RAD,DEG)
21		C FALL DOWN ANGLE TENT,TENTD (RAD,DEG)
22		C TIRE CONSTANT BANE (KG*CM)
23		C CIRCULAR RADIUS LIMIT (CM)
24		C (AT OUTER TIRE) RLIM (CM)
25		C
26		C HEIGHT OF BUCKET HL (CM)
27		C LOCATION OF BUCKET (X) P (CM)
28		C
29		C FURIKU ... LOCATION (DEG) ANGF (DEG)
30		C LENGTH RLF (CM)
31		C HEIGHT HF (CM)
32		C
33		C VARIABLE ASSIGNMENT
34		C
35		C TIME TIME (SEC)
36		C
37		C TRACTOR SPEED VELO (KM/H,CM/S)
38		C STEERING SPEED XLUM,XLUMD (RAD/S,DEG/S)
39		C STEERING ANGLE ALFA,ALFAD (RAD,DEG)
40		C ANGLE PHAI PHAI,PHAID (RAD,DEG)
41		C
42		C CENTER OF ARC XC,YC (CM)
43		C RADIUS OF ARC R (CM)
44		C
45		C CO-ORDINATE OF TIRES XT11,XT12,XT21,XT22 (CM)
46		C YT11,YT12,YT21,YT22 (CM)
47		C ZT11,ZT12,ZT21,ZT22 (CM)
48		C
49		C CO-ORDINATES OF C.O.G. XG,YG,ZG (CM)
50		C TRAVELING CO-ORDINATE
51		C C.O.G. SG,TG (CM)
52		C TIRES S11,S12,S21,S22 (CM)
53		C T11,T12,T21,T22 (CM)
54		C
55		C SLANT ANGLE BY FURIKU
56		C FRONT WHEEL PSA11 (RAD)
57		C REAR WHEEL PSA12 (RAD)
58		C
59		C
60		C
61	00001	C COMMON /CONST/ XL,SR,HEIGHT,T*AIT,F*AIT,R*AIT,BANE,ALIM,TENT,SM,RF
62	00002	C COMMON /CONS1/ XLL,SRR,HH,X10,GG
63	00003	C COMMON /VALUE/ VELO,XLUM,ALFA,PHAI,TETA,BETA,R,X11,X12,RC
64	00004	C COMMON /LOAD1/ LOAD
65	00005	C COMMON /LOAD2/ XLWAIT,P,PP,U,V,W,T,HL
66	00006	C COMMON /COR00/ XC,YC,XG,YG,ZG
67	00007	C COMMON /COR04/ XT11,XT12,XT21,XT22,YT11,YT12,YT21,YT22
68		C * ZT11,ZT12,ZT21,ZT22
69	00008	C COMMON /FUR11/ IFURIK,IPS1,IPS2,IPS3
70	00009	C COMMON /FUR12/ ANGF,RLF,HF,TANF,PSA11,PSA12,TETA1,X01
71	00010	C COMMON /ICHECK/ IC
72	00011	C DIMENSION BUF(1000)
73	00012	C DATA PAI / 3.1416 /
74		C
75	00013	C CALL PLOTS(BUF,1000,10)
76		C
77		C INPUT
78		C
79	00014	C 300 READ(5,100) VELO,XLUMD,IC,TEND
80	00015	C IF(VELO.EQ.0.0) GO TO 301

CARD	ISH	SOURCE STATEMENT
81	00016	GO TO 302
82	00017	301 CONTINUE
83	00018	CALL PLOT(0.0,0.0,999)
84	00019	STOP
85		C
86	00020	302 CONTINUE
87		C
88		C.... INITIAL SET .
89		C
90	00021	CALL ISET
91	00022	S.I = XL/100.
92	00023	RF = 0.0127*VELO*VELO/TAN(TEXT) + SM
93	00024	RNEW = SR/SIN(ALIM)-SR*RSIN(ALIM)
94	00025	ANEW = ALIM
95	00026	XLUM = XLUM*PAI/180.0
96	00027	CANE = COS(ANE.I)
97		C
98		C.... PRINT TITLE
99		C
100	00028	CALL TITLE
101	00029	DELT = 0.36/VELO
102	00030	VELO = VELO*1000.0*100.0/3600.0
103	00031	VJ = VELO
104		C
105		C.... LOOP FOR STEP (1 - JJ)
106		C
107	00032	JJ = HFIX(TE*DELT) + 1
108	00033	DO 401 III=1,JJ
109	00034	I=III
110	00035	IF(I.GE.500) GO TO 300
111	00036	IF(I*PS1.EQ.2.AND.TETA.LT.-1.0) GO TO 300
112	00037	TIME = FLOAT(I-1)*DELT
113	00038	ALFA = 0.5*XLUM*TIME
114	00039	IF(ALFA.GE.ANEW) ALFA=ANEW
115	00040	COXA = COS(ALFA)
116	00041	SHR = SR * COXA
117	00042	XLL = XL * COXA
118	00043	PP = P * COXA
119	00044	HH = HEIGHT
120		C
121		C.... CALCULATION OF RELATIVE DISTANCE U,V,W
122		C
123	00045	CALL UVA (I)
124		C
125		C.... CALCULATION OF FORCE ON EACH WHEEL
126		C
127	00046	CALL CALX (I)
128	00047	IF(I.EQ.1) GO TO 303
129	00048	IF(I.EQ.2) GO TO 304
130		C
131		C.... REDUCTION OF VELOCITY
132		C
133	00049	IF(PHAI.LT.1.0472) GO TO 210
134	00050	VELO = VELO - 320.0*DELT
135	00051	IF(VELO.LE.0.0) GO TO 300
136	00052	210 CONTINUE
137		C
138		C.... XC,YC
139		C
140	00053	IF(ALFA.EQ.0.) GO TO 311
141	00054	RP = R
142	00055	PHAI*P= PHAI
143	00056	IF(ALFA.LT.ANEW) GO TO 310
144	00057	R = RNEW
145	00058	RC = R/CANE
146	00059	PHAI = PHAI + VELO*DELT/R
147	00060	GO TO 312
148	00061	310 CONTINUE
149	00062	RC = SR/TAN(ALFA)
150	00063	R = RC*COXA
151	00064	PHAI = PHAI + VELO*DELT/R
152	00065	GO TO 312
153	00066	311 CONTINUE
154	00067	PHAI = 0.
155	00068	R = 1.E50
156	00069	312 CONTINUE
157	00070	IF(ALFA.EQ.0.) GO TO 313
158		C
159	00071	IF(R.EQ.RP) GO TO 314
160	00072	XC = XC + VELO*COX(PHAI)*DELT - R*RSIN(PHAI) + RP*RSIN(PHAI*P)

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
161	00073	YC = YC - VELOHSIN(PHAI)RDEL - RRCOS(PHAI) + RPRCOS(PHAI)
162	00074	GO TO 314
163	00075	313 CONTINUE
164	00076	XC = XC + VELORDEL
165	00077	YC = -R
166	00078	314 CONTINUE
167		C
168	00079	CALL WHEEL (TIME)
169	00080	CALL FURIKU (I,DELT)
170	00081	CALL INTE(TIME,DELT,ITYPE)
171	00082	CALL PRIN(I,TIME,ITYPE)
172	00083	GO TO 305
173	00084	303 CONTINUE
174		C
175		C.... STEP 1
176		C
177	00085	CALL CGS (I)
178	00086	CALL PRIN(I,TIME,ITYPE)
179	00087	GO TO 401
180	00088	304 CONTINUE
181		C
182		C.... STEP 2
183		C
184	00089	IF (ALFA.E2.0.) GO TO 315
185	00090	RC = SA/TAN(ALFA)
186	00091	R = RRCOSA
187	00092	PHAI = VELORDEL/R
188		C
189		C.... XC,YC
190		C
191	00093	XC = XC + VELORDEL - RRSIN(PHAI)
192	00094	YC = -RRCOS(ALFA)
193	00095	GO TO 316
194	00096	315 CONTINUE
195	00097	R = 1.E50
196	00098	XC = XC + VELORDEL
197	00099	YC = -R
198	00100	PHAI = 0.
199	00101	316 CONTINUE
200		C
201	00102	CALL WHEEL (TIME)
202	00103	CALL FURIKU (I,DELT)
203	00104	CALL INTE(TIME,DELT,ITYPE)
204	00105	CALL PRIN(I,TIME,ITYPE)
205	00106	305 CONTINUE
206		C
207		C.... FALL DOWN CHECK .
208		C
209	00107	IF (TETA.LE.TE4T) GO TO 401
210	00108	PHAI0 = 180.0RPHAI/PAI
211	00109	WRITE(6,200) TIME,PHAI0
212	00110	WRITE(6,200) TIME,PHAI0
213	00111	WRITE(6,200) TIME,PHAI0
214	00112	GO TO 300
215	00113	401 CONTINUE
216		C
217	00114	300 CONTINUE
218	00115	VELO = V0
219	00116	CALL PLUPLO
220	00117	GO TO 306
221		C
222	00118	100 FORMAT(2F10.1,15,F5.1)
223	00119	200 FORMAT(1H , 27H === TRACTOR FALL DOWN === , 4HTIME,F6.3, 2X,
224		* 14H MOTION ANGLE ,F6.3, 5H(DEG))
225	00120	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
226	00001	SUBROUTINE ISET
227	00002	COMMON /CONST/ XL,SR,HEIGHT,TWAIT,FWAIT,RWAIT,BANE,ALIM,TENT,SN,RF
228	00003	COMMON /VALUE/ VELO,XLUM,ALFA,PHA1,TETA,BETA,R,X11,X12,RC
229	00004	COMMON /CONS1/ XLL,SRR,HH,X10,GG
230	00005	COMMON /LOAD1/ LOAD
231	00006	COMMON /LOAD2/ XLWAIT,P,PP,U,V,W,TW,HL
232	00007	COMMON /FUR11/ IFURIK,IPS1,IPS2,IPS3
233	00008	COMMON /FUR12/ ANGFR,RLF,HF,TANF,PSA11,PSA12,TETA1,XD1
234	00009	COMMON /CORD3/ S11,T11,S12,T12,S21,T21,S22,T22,SG,TG
235	00010	COMMON /CORD4/ XT11,XT12,XT21,XT22,YT11,YT12,YT21,YT22
236		* ZT11,ZT12,ZT21,ZT22
237	00011	COMMON /INTE6/ Y(2),F(2)
238	00012	COMMON /PLOT0/ TT(1000),CORD(500,5,2),GANGLE(500),ISTAT(500)
239	00013	COMMON /FURIK/ HF2,J
240	00014	DATA PA1 / 3.1416 /
241		C
242		C.... THIS ROUTINE FOR INITIAL SET .
243		C
244	00015	READ(5,1000) XLWAIT,P,HL
245	00016	READ(5,1000) TWAIT,FWAIT,RWAIT
246	00017	READ(5,1000) XL2,SR2,HEIGHT
247	00018	READ(5,1000) BETAD,RLIM,TENTO
248	00019	READ(5,1000) ANGFR,RLF,HF
249	00020	READ(5,1000) X10,BANE
250		C
251	00021	GG = 980.
252	00022	IFURIK = 0
253	00023	LOAD = 0
254	00024	IF(XLWAIT.GT.0.0) LOAD = 1
255	00025	IF(HF.GT.0.0) IFURIK = 1
256	00026	XL = XL2/2.0
257	00027	SR = SR2/2.0
258	00028	SG = -XL - V
259	00029	TG = HEIGHT + W
260	00030	PHA1 = 0.0
261	00031	TETA = 0.0
262	00032	TLIM = SR/(RLIM-XL)
263	00033	ALIM = ATAN(TLIM)
264	00034	BETA = BETAD*PA1/180.
265	00035	TENT = TENTD*PA1/180.
266	00036	X11 = X10
267		C
268	00037	J = 0
269	00038	HF2 = 0.0
270	00039	IPS1 = 0
271	00040	IPS2 = 0
272	00041	IPS3 = 0
273	00042	XD1 = 0.
274	00043	S11 = 0.
275	00044	T11 = 0.
276	00045	S12 = -2.*XL
277	00046	T12 = 0.
278	00047	S21 = 0.
279	00048	T21 = 0.
280	00049	S22 = S12
281	00050	T22 = 0.
282		C
283	00051	Y(1) = 0.0
284	00052	Y(2) = 0.0
285	00053	F(1) = 0.0
286	00054	F(2) = 0.0
287	00055	DO 401 I=1,500
288	00056	GANGLE(I)=-1.0
289	00057	401 CONTINUE
290	00058	RETURN
291		C
292	00059	1000 FORMAT(3F10.1)
293	00060	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
294	00001	SUBROUTINE TITLE
295	00002	COMMON /CONST/ XL,SR,HEIGHT,TWAIT,FWAIT,RWAIT,BANE,ALIM,TENT,SH,RF
296	00003	COMMON /VALUE/ VELO,XLUM,ALFA,PHAI,TETA,BETA,R,X11,X12,RC
297	00004	COMMON /FUR1/ IFURIK,IPSI,IPSI2
298	00005	COMMON /FUR2/ ANGF,RLF,HF,TANF,PSA11,PSA12,TETA1,XD1
299	00006	COMMON /LOAD/ LOAD
300	00007	COMMON /LOAD2/ XLWAIT,P,PP,U,V,X,T,H,L
301	00008	DATA PAI / 3.1416 /
302		
303		C
304		C.... THIS ROUTINE FOR PRINT TITLE AND CONSTANTS .
305	00009	C
306	00010	BETA0 = 180.0*BETA/PAI
307	00011	TENT0 = 180.0*TENT/PAI
308	00012	XLUM0 = 120.0*XLUM/PAI
309	00013	WRITE(6,201)
310		WRITE(6,202) XL,SR,X11,HEIGHT,TWAIT,FWAIT,RWAIT,BANE,
311	00014	BETA0,TENT0,VELO,XLUM0,SH,RF
312	00015	IF(IFURIK.EQ.0) GO TO 1
313	00016	WRITE(6,203) ANGF,RLF,HF
314	00017	GO TO 11
315	00018	1 CONTINUE
316	00019	WRITE(6,205)
317	00020	11 CONTINUE
318	00021	IF(LOAD.EQ.0) GO TO 2
319	00022	WRITE(6,204) XLWAIT,P,HL
320	00023	GO TO 21
321	00024	2 CONTINUE
322	00025	WRITE(6,206)
323	00026	21 CONTINUE
324		RETURN
325	00027	C
326	00028	201 FORMAT(1H1,25H *** TRACTOR SHOVEL ***)
327		202 FORMAT(
328		//,40X,28H 1/2 TREAD,E13.5,18H (CM)
329		//,40X,28H 1/2 WHEEL BASE,E13.5,18H (CM)
330		//,40X,28H MOMENT OF INERTIA I0,E13.5,18H (KGX.CM.SEC..2)
331		//,
332		//,40X,28H HEIGHT OF C.O.G.,E13.5,18H (CM)
333		//,40X,28H TOTAL HEIGHT,E13.5,18H (KGW)
334		//,40X,28H WHEEL WEIGHT (FRONT),E13.5,18H (KGW)
335		//,40X,28H WHEEL WEIGHT (REAR),E13.5,18H (KGW)
336		//,40X,28H TIRE CONSTANT,E13.5,18H (KGW/CM)
337		//,40X,28H ANGLE BETA,E13.5,18H (DEG)
338		//,40X,28H FALL DOWN ANGLE,E13.5,18H (DEG)
339		//,
340		//,40X,28H TRACTOR SPEED,E13.5,18H (KM/HOUR)
341		//,40X,28H STEERING SPEED,E13.5,18H (DEG/SEC)
342		//,40X,28H S,E13.5,18H (M)
343		//,40X,28H RF,E13.5,18H (M)
344	00029	//,
345		203 FORMAT(
346		//,40X,28H ANGLE TO GET ON FURIKU,E13.5,18H (DEG)
347		//,40X,28H LENGTH OF FURIKU,E13.5,18H (CM)
348	00030	//,40X,28H HEIGHT OF FURIKU,E13.5,16H (CM)
349		204 FORMAT(
350		//,40X,28H WEIGHT OF BUCKET,E13.5,18H (KGW)
351		//,40X,28H LOCATION OF BUCKET (X),E13.5,18H (CM)
352	00031	//,40X,28H HEIGHT OF C.O.G WITH LOAD,E13.5,16H (CM)
353	00032	205 FORMAT(//,40X,12H NON FURIKU)
354	00033	206 FORMAT(//,40X,10H NON LOAD)
		END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
355	00001	SUBROUTINE WHEEL (TIME)
356	00002	COMMON /CONST/ XL,SR,HEIGHT,TWAIT,FWAIT,RWAIT,BANE,ALIN,TENT,SH,RF
357	00003	COMMON /VALUE/ VELO,XLUM,ALFA,PHA1,TETA,BETA,R,X11,X12,RC
358	00004	COMMON /LOAD2/ XLWAIT,PP,PP,U,V,W,TM,HL
359	00005	COMMON /CORDG/ XC,YC,XG,YG,ZG
360	00006	COMMON /CORD3/ S11,T11,S12,T12,S21,T21,S22,T22,SG,TG
361	00007	COMMON /CORD4/ XT11,XT12,XT21,XT22,YT11,YT12,YT21,YT22
362		*,ZT11,ZT12,ZT21,ZT22
363		C
364		C.... THIS ROUTINE FOR CALCULATES CO-ORDINATES OF WHEELS AND C.O.G.
365		C
366	00006	IF (ALFA.EQ.0.) GO TO 1
367	00009	XT11 = XC + (RC+XL) * SIN(PHA1 + ALFA)
368	00010	XT12 = XC + (RC-XL) * SIN(PHA1 + ALFA)
369	00011	XT21 = XC + (RC+XL) * SIN(PHA1 - ALFA)
370	00012	XT22 = XC + (RC-XL) * SIN(PHA1 - ALFA)
371		C
372	00013	YT11 = YC + (RC+XL) * COS(PHA1 + ALFA)
373	00014	YT12 = YC + (RC-XL) * COS(PHA1 + ALFA)
374	00015	YT21 = YC + (RC+XL) * COS(PHA1 - ALFA)
375	00016	YT22 = YC + (RC-XL) * COS(PHA1 - ALFA)
376		C
377	00017	RR = RC + XL
378	00018	XG = XC + (RR * COS(ALFA) + SG) * SIN(PHA1) + UR * COS(PHA1)
379	00019	YG = YC + (RR * COS(ALFA) + SG) * COS(PHA1) - UR * SIN(PHA1)
380		C
381	00020	GO TO 2
382	00021	1 CONTINUE
383		C
384	00022	XT11 = 2 * SR + VELO * TIME
385	00023	XT12 = XT11
386	00024	XT21 = VELO * TIME
387	00025	XT22 = XT21
388	00026	YT11 = XL
389	00027	YT21 = XL
390	00028	YT12 = -XL
391	00029	YT22 = -XL
392	00030	XG = XC + U
393	00031	YG = XL + SG
394	00032	2 CONTINUE
395	00033	RETURN
396	00034	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
397	00031	SUBROUTINE PRIN(I,TIME,ITYPE)
398	00032	COMMON /CONST/ XL,SR,HEIGHT,TWAIT,FWAIT,RWAIT,BANE,ALIN,TENT,SH,RF
399	00033	COMMON /VALUE/ VELO,XLUM,ALFA,PHA1,TETA,BETA,R,X11,X12,RC
400	00034	COMMON /CORDG/ XC,YC,XG,YG,ZG
401	00035	COMMON /CORD4/ XT11,XT12,XT21,XT22,YT11,YT12,YT21,YT22
402		*,ZT11,ZT12,ZT21,ZT22
403	00036	COMMON /PLOT0/ IT(1000),CORD(500,5,2),GANGLE(500),ISTAT(500)
404	00037	DATA PAI / 3.1416 /
405		C
406		C.... THIS ROUTINE FOR RESULT PRINT.
407		C
408	00038	ALFAD = 180.0 * ALFA / PAI
409	00039	PHAID = 180.0 * PHA1 / PAI
410	00040	TETAD = 180.0 * TETA / PAI
411	00041	WRITE(6,201)
412	00042	IF (R.EQ.1.E50) GO TO 1
413	00043	RR = RC + XL
414	00044	WRITE(6,202) I,TIME,ALFAD,RR,PHAID,TETAD,ITYPE
415	00045	WRITE(6,203) XG,YG,ZG,XT11,YT11,ZT11
416		*,XT12,YT12,ZT12
417		*,XT21,YT21,ZT21
418		*,XT22,YT22,ZT22
419		*,XC,YC
420	00046	GO TO 2
421	00047	1 CONTINUE
422		C
423	00048	WRITE(6,204) I,TIME,ALFAD,PHAID,TETAD,ITYPE
424	00049	WRITE(6,205) XG,YG,ZG,XT11,YT11,ZT11
425		*,XT12,YT12,ZT12
426		*,XT21,YT21,ZT21
427		*,XT22,YT22,ZT22
428		*,XC
429	00050	2 CONTINUE

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
430		C
431	00021	TT(1) = TIME
432	00022	GANGLE(1) = TETAO
433	00023	ISTAT(1) = ITYPE
434	00024	CORD(1,1) = XT11
435	00025	CORD(1,2) = YT11
436	00026	CORD(1,3) = XT12
437	00027	CORD(1,4) = YT12
438	00028	CORD(1,5) = XT21
439	00029	CORD(1,6) = YT21
440	00030	CORD(1,7) = XT22
441	00031	CORD(1,8) = YT22
442	00032	CORD(1,9) = XG
443	00033	CORD(1,10) = YG
444	00034	RETURN
445		
446	00035	C
447		201 FORMAT(/, 60H STEP TIME STEERING RADICUS MOTION GR
448		# HAVITY
449		# /, 70H ANGLE OF ARC ANGLE A
450		# CASE
451		# /, 60H NO. (SEC) (DEG) (CM) (DEG) (
452		#DEG)
453		# /, 70X, 40H== X== == Y == == Z ==)
454	00036	202 FORMAT(1X, I3, 3X, F6.3, 3X, F10.3, 3F10.3, 5X, A4)
455	00037	203 FORMAT(/, 50X, 15H C.O.G. , 3E15.4,
456		# //, 50X, 15H T-11 , 3E15.4,
457		# //, 50X, 15H T-12 , 3E15.4,
458		# //, 50X, 15H T-21 , 3E15.4,
459		# //, 50X, 15H T-22 , 3E15.4,
460	00038	204 FORMAT(1X, I3, 3X, F6.3, 3X, F10.3, 10H INFINITE , 3F10.3, 5X, A4)
461	00039	205 FORMAT(/, 50X, 15H C.O.G. , 3E15.4,
462		# //, 50X, 15H T-11 , 3E15.4,
463		# //, 50X, 15H T-12 , 3E15.4,
464		# //, 50X, 15H T-21 , 3E15.4,
465		# //, 50X, 15H T-22 , 3E15.4,
466		# //, 50X, 15H XC, YC , E15.4, 15H -INFINITE , /)
467	00040	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
468	00001	SUBROUTINE PRIN1(I, TIME, ITYPE)
469	00002	COMMON /CONST/ XL, SR, HEIGHT, T, AIT, F, AIT, R, AIT, BANE, AL, M, TENT, SH, RF
470	00003	COMMON /VALUE/ VEL3, XLUN, ALFA, PHAI, TETA, BETA, R, X11, X12, RC
471	00004	COMMON /LOAD2/ XLHAI, P, PP, U, V, X, TX, HL
472	00005	COMMON /CORDG/ XC, YC, XG, YG, ZG
473	00006	COMMON /CORD4/ XT11, XT12, XT21, XT22, YT11, YT12, YT21, YT22
474		# , ZT11, ZT12, ZT21, ZT22
475	00007	COMMON /PLOT0/ TT(1000), CORD(500, 5, 2), GANGLE(500), ISTAT(500)
476		C
477		C... THIS ROUTINE FOR INITIAL PRINT .
478		C
479	00008	XG = SR + U
480	00009	YG = 0.0
481	00010	ZG = HEIGHT + A
482	00011	XC = SR
483		C
484	00012	XT11 = 2.0*SR
485	00013	XT12 = 2.0*SR
486	00014	XT21 = 0.0
487	00015	XT22 = 0.0
488		C
489	00016	YT11 = XL
490	00017	YT21 = XL
491	00018	YT12 = -XL
492	00019	YT22 = -XL
493		C
494	00020	ZT11 = 0.0
495	00021	ZT12 = 0.0
496	00022	ZT21 = 0.0
497	00023	ZT22 = 0.0

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
498		C
499	00024	WRITE(6,201)
500	00025	WRITE(6,202) I,TIME,ALFA,PHAI,TETA
501	00026	WRITE(6,203) XG,YG,ZG,XT11,YT11,ZT11
502		X
503		X
504		X
505		X
506	00027	TETA0=180.0/3.1416
507	00028	TT(1) = TIME
508	00029	GANGLE(1) = TETA0
509	00030	ISTAT(1) = ITYPE
510	00031	CORD(1,1,1) = XT11
511	00032	CORD(1,1,2) = YT11
512	00033	CORD(1,2,1) = XT12
513	00034	CORD(1,2,2) = YT12
514	00035	CORD(1,3,1) = XT21
515	00036	CORD(1,3,2) = YT21
516	00037	CORD(1,4,1) = XT22
517	00038	CORD(1,4,2) = YT22
518	00039	CORD(1,5,1) = XG
519	00040	CORD(1,5,2) = YG
520	00041	RETURN
521		C
522	00042	201 FORMAT(/, 60H STEP TIME STEERING RADIOUS ACTION GR
523		MAVITY
524		X
525		ANGLE /, 60H ANGLE OF ARC ANGLE A
526		X
527		NOEG) /, 60H NO. (SEC) (DEG) (CM) (DEG) (
528		X
529	00043	202 FORMAT(/, 70X,40H== X== == Y == == Z ==)
530	00044	203 FORMAT(/, 1X,13,3X,F6.3,3X,F10.3,10H INFINITE ,3F10.3)
531		X
532		X
533		X
534		X
535		X
536	00045	EVO

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
537	00001	SUBROUTINE INTE(TIME,DELT,ITYPE)
538	00002	COMMON /CONST/ XL,SR,HEIGHT,THAIT,FWAIT,RWAIT,BANE,ALIM,TENT,SH,RF
539	00003	COMMON /VALUE/ VELO,XLUH,ALFA,PHAI,TETA,BETA,R,X11,X12,RC
540	00004	COMMON /CORDG/ XC,YC,XG,YG,ZG
541	00005	COMMON /CORD3/ S11,T11,S12,T12,S21,T21,S22,T22,SG,TG
542	00006	COMMON /CORD4/ XT11,XT12,XT21,XT22,YT11,YT12,YT21,YT22
543		X
544	00007	COMMON /CHECK/ XMOH1,XMOH2,XMOH3,XMOH4,XMOH5,UK1
545	00008	COMMON /ICHECK/ IC
546	00009	COMMON /INTEG/ Y(2),F(2)
547	00010	COMMON /CONST/ XLL,SRH,HH,X10,GG
548	00011	COMMON /WEIGH/ W11,W12,W21,W22,H1,W2
549	00012	COMMON /LOAD1/ LOAD
550	00013	COMMON /LOAD2/ XLHAIT,P,PP,U,V,W,T,HL
551	00014	COMMON /FUR11/ IFUR1K,IPS1,IPS2
552	00015	COMMON /FUR12/ ANGFL,RLF,HF,TANF,PSA11,PSA12,TETA1,XD1
553	00016	COMMON /FUR1K/ HF2,J
554	00017	DIMENSION KTYPE(3)
555	00018	DATA KTYPE / 4HA , 4HB , 4HC /
556		C
557		C.... THIS ROUTINE GIVES TETA , ZG , AND SO ON .
558		C
559	00019	NT = 0
560	00020	N = 2
561	00021	IJK = 4
562	00022	H = DELT/FLOAT(IJK)
563	00023	UK1= ASIN(0.5R411/XLL/BANE)
564	00024	IF(IPS1.EQ.2.AND.PSA11.GT.TETA) TETA = PSA11
565	00025	IF(IPS2.EQ.2.AND.PSA12.GT.TETA) TETA = PSA12
566	00026	Y(1) = TETA
567		C
568	00027	DO 401 III=1,IJK
569	00028	I=III
570	00029	ISTEP = I

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
571	00030	A = TIME + HRFLOAT(1-1) - DELT
572	00031	ANH2 = ASIN(0.5*HF2/XLL)
573		C
574		C.... CALCULATION OF MOMENT
575		C
576	00032	CALL CALM
577		C
578	00033	TETA = Y(1)
579	00034	S11 = 0.
580	00035	S21 = 0.
581	00036	T11 = 0.
582	00037	T21 = 0.
583	00038	S12 = -2.*XLL*CO\$(TETA)
584	00039	T12 = 2.*XLL*\$(TETA)
585		C
586		C.... CALCULATE C.J.G - (S3,TG)
587		C
588	00040	CALL COG (1)
589	00041	IF(Y(1).GT.BETA) GO TO 601
590	00042	IF(Y(1).GE.UK1) GO TO 602
591		C
592		C.... CASE A (4 WHEELS CONTACT)
593		C
594	00043	X1 = X10 + XL*AIT*(HEIGHT-HL)*2/GG
595	00044	601 CONTINUE
596	00045	F(1) = Y(2)
597	00046	F(2) = -(X10*1 + X10*2 + X10*3 + X10*4 + X10*5) / X1
598		C
599	00047	S = RKLOEQ (N,Y,F,X,H,HT)
600		C
601	00048	IF(S.LE.1.0) GO TO 801
602	00049	S22 = -2.*XLL*CO\$(ANH2)
603	00050	T22 = 0.0 + HF2
604	00051	ZG = TG
605	00052	ZT12 = 0.0
606	00053	ZT22 = T22
607	00054	ITYPE = KTYPE(1)
608	00055	GO TO 603
609	00056	602 CONTINUE
610		C
611		C.... CASE B (3 WHEELS CONTACT)
612		C
613	00057	X1 = X10 + (F*AIT+R*AIT)*(HEIGHT*HEIGHT+XLL*XLL)/GG
614		* XL*AIT*(HL*HL+(XLL*PPATAN(ALFA))*2)/GG
615	00058	604 F(1) = Y(2)
616	00059	F(2) = -(X10*1 + X10*2 + X10*4 + X10*5) / X1
617		C
618	00060	S = RKLOEQ (N,Y,F,X,H,HT)
619		C
620	00061	IF(S.LE.1.0) GO TO 604
621	00062	S22 = -2.*XLL*CO\$(ANH2)
622	00063	T22 = 0.0 + HF2
623	00064	ZG = TG
624	00065	ZT12 = T12 - 2.*XLL*\$(UK1)
625	00066	ZT22 = T22
626	00067	ITYPE = KTYPE(2)
627	00068	GO TO 603
628	00069	601 CONTINUE
629		C
630		C.... CASE C (2 WHEELS CONTACT)
631		C
632	00070	X1 = X10 + (F*AIT+R*AIT)*(HEIGHT*HEIGHT+XLL*XLL)/GG
633		* XL*AIT*(HL*HL+(XLL*PPATAN(ALFA))*2)/GG
634	00071	605 F(1) = Y(2)
635	00072	F(2) = -(X10*1 + X10*2 + X10*5) / X1
636		C
637	00073	S = RKLOEQ (N,Y,F,X,H,HT)
638		C
639	00074	IF(S.LE.1.0) GO TO 605
640	00075	S22 = -2.*XLL*CO\$(Y(1)-BETA)
641	00076	T22 = 2.*XLL*\$(Y(1)-BETA)
642	00077	ZG = TG
643	00078	ZT12 = T12 - 2.*XLL*\$(UK1)
644	00079	ZT22 = T22
645	00080	ITYPE = KTYPE(3)
646	00081	603 CONTINUE
647	00082	IF(IC.GE.1) CALL PRINPO(ISTEP,X,ITYPE)
648	00083	401 CONTINUE
649	00084	RETURN
650	00085	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
651	00001	SUBROUTINE PRINPG(ISTEP,X,ITYPE)
652	00002	COMMON /VALUE/ VELO,XLUM,ALFA,PHAI,TETA,BETA,R,X11,X12,RC
653	00003	COMMON /CHECK/ XH01,XH02,XH03,XH04,XH05,UKI
654	00004	DATA PAI / 3.1416 /
655		C
656		C.... THIS ROUTINE GIVES CHECK PRINT .
657		C
658	00005	ALFAD = 180.0*ALFA/PAI
659	00006	TETAD = 180.0*TETA/PAI
660	00007	UKID = 180.0*UKI /PAI
661	00008	VELOH = VELOH*.036
662	00009	WRITE(6,201) ISTEP,X,ALFAD,TETAD,UKID,ITYPE,VELOH
663	00010	RETURN
664		C
665	00011	201 FOR IAT(5X,1CHSUB-STEP ,I2,10H TIME =,F6.3,
666		* 10H ALFA =,E12.4,
667		* 10H TETA =,E12.4,
668		* 10H UKI =,E12.4,
669		* 10H TYPE =,A4,
670		* 10H VELO =,F6.3)
671	00012	END
672	00001	SUBROUTINE FURIKU (I,DELT)
673		C
674		C.... THIS SUBROUTINE IS TO CALCULATE SLOPE ANGLES DUE TO RIDING ON
675		C.... FURIKU
676		C
677		C PARAMETERS
678		C X01 DISTANCE MOVED ON FURIKU BY FRONT
679		C X02 WHEELS
680		C X02 DISTANCE MOVED ON FURIKU BY REAR
681		C WHEELS
682		C RLF LENGTH OF FULIK
683		C HF HEIGHT OF FULIK
684		C ANGF ANGLE OF INCLINATION BY RIDING OF
685		C PSA11 FRONT WHEELS ON FURIKU
686		C PSA12 ANGLE OF INCLINATION BY RIDING OF
687		C REAR WHEELS ON FURIKU
688		C
689		C
690	00002	COMMON /CONST/ XL,SR,HEIGHT,THAIT,FNAIT,RNAIT,BANE,ALH,TENT,SH,RF
691	00003	COMMON /CONST/ XLL,SRR,HH,X10,GG
692	00004	COMMON /VALUE/ VELO,XLUM,ALFA,PHAI,TETA,BETA,R,X11,X12,RC
693	00005	COMMON /FUR11/ IFURIK,IP51,IP52,IP53
694	00006	COMMON /FUR12/ ANGF,RLF,HF,TANF,PSA11,PSA12,TETA1,X01
695	00007	COMMON /INTEG/ Y(2),F(2)
696	00008	COMMON /WEIGH/ W11,W12,W21,W22,W1,W2
697	00009	COMMON /ICHECK/ IC
698	00010	COMMON /CORD4/ XT11,XT12,XT21,XT22,YT11,YT12,YT21,YT22
699		* ZT11,ZT12,ZT21,ZT22
700	00011	COMMON /FURIK/ HF2,J
701	00012	DATA PAI / 3.1416 /
702		C
703	00013	IF(IFURIK.EQ.0) RETURN
704	00014	RAO = PAI/180.
705	00015	RANG = ANGF*RAO
706	00016	TANF = HF/RLF
707	00017	RHO = ATAN(TANF)
708	00018	IF(ALFA*PHAI.LT.RANG) GO TO 10
709	00019	IF(IP51.EQ.1) IP51 = 2
710	00020	IF(IP51.EQ.0) IP51 = 1
711		C
712		C.... CALCULATION OF PSA11
713		C
714	00021	X01 = X01 + VELO*DELT
715	00022	XLL2 = XLL*2
716	00023	TX = VELO*TANF*SQRT(W12/(GG*BANE))
717	00024	HF1 = X01*TANF - TX
718	00025	IF(HF1.LT.0.0) HF1 = 0.0
719	00026	IF(X01.GT.RLF) GO TO 1
720	00027	PSA11 = ASIN(HF1/XLL2)
721	00028	GO TO 2
722		C
723		C.... WHEN FRONT WHEELS GET OVER FURIKU
724		C
725	00029	1 CONTINUE
726	00030	IF(IP53.NE.0) GO TO 3
727	00031	OY = VELO*SIN(RHO)/(XLL2*SQRT(1.-(HF1/XLL2)**2))
728	00032	Y(2) = Y(2) + OY
729	00033	IP53 = 1
730	00034	3 CONTINUE

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
731	00035	PSA11 = 0.
732	00036	1 2 CONTINUE
733		C
734		C.... CALCULATION OF PSA12
735		C
736	00037	X02 = X01 - 2.*(SRR-XLL*TAN(ALFA))
737	00038	IF(X02.LE.0.) GO TO 5
738	00039	IF(X02.GT.0.) GO TO 4
739	00040	IF(IPS2.EQ.1) IPS2 = 2
740	00041	IF(IPS2.EQ.0) IPS2 = 1
741	00042	HF2 = X02*TANF
742	00043	PSA12 = ASIN(HF2/XLL2) - BETA
743	00044	IF(PSA12.LT.0.) PSA12 = 0.
744	00045	IF(ZT22.GT.HF2) HF2=0.0
745	00046	GO TO 10
746		C
747		C.... WHEN REAR WHEELS GET OVER FURIKU
748		C
749	00047	4 CONTINUE
750	00048	J = J + 1
751	00049	FUTH = FLOAT(J)*DELTA
752	00050	HF2 = HF - GG*FUTH*FUTH/2.0
753	00051	IF(HF2.LE.0.0) HF2=0.0
754	00052	GO TO 10
755	00053	5 CONTINUE
756	00054	PSA12 = 0.
757	00055	HF2 = 0.
758	00056	10 CONTINUE
759		C
760		C CHECK PRINT
761		C
762	00057	IF(IC.LT.2) GO TO 11
763	00058	WRITE(6,100) 1,IPS2,X01, X02, PSA11,PSA12
764	00059	11 CONTINUE
765	00060	RETURN
766		C
767	00061	100 FORMAT(1H ,4X, 10H* STEP # ,12,10H IPS2 =,12,
768		* 10H X01 =,E12.4,
769		* 10H X02 =,E12.4,
770		* 10H PSA11 =,E12.4,
771		* 10H PSA12 =,E12.4,)
772	00062	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
773	00001	SUBROUTINE UVW (I)
774	00002	COMMON /CONST/ XL,SRR,HEIGHT,TWAIT,FWAIT,RWAIT,BANE,ALIM,TENT,SM,RF
775	00003	COMMON /CONS1/ XLL,SRR,HH,X10,GG
776	00004	COMMON /VALUE/ VELO,XLUM,ALFA,PHAI,TETA,BETA,R,X11,X12,RC
777	00005	COMMON /LOAD1/ LOAD
778	00006	COMMON /LOAD2/ XLWAIT,P,PP,U,V,W,TH,HL
779	00007	COMMON /ICHECK/ IC
780		C
781		C.... THIS ROUTINE IS TO CALCULATE U,V,W (RELATIVE DISTANCE FROM
782		C.... CENTER OF TRACTOR)
783		C
784	00008	TH = FWAIT + RWAIT + XLWAIT
785	00009	IF(LOAD.EQ.0) GO TO 1
786	00010	U = (XLWAIT*(PP*SRR) + (FWAIT-RWAIT)*SRR)/ TH
787	00011	V = XLWAIT*PP*TAN(ALFA)/TH
788	00012	W = XLWAIT*(HL-HEIGHT)/ TH
789	00013	GO TO 2
790	00014	1 CONTINUE
791		C
792	00015	U = (FWAIT-RWAIT)*SRR/TH
793	00016	V = 0.
794	00017	W = 0.
795	00018	2 CONTINUE
796	00019	IF(IC.LE.1) GO TO 3
797	00020	WRITE(6,100) 1,LOAD,U,V,W
798	00021	3 CONTINUE
799	00022	RETURN
800		C
801	00023	100 FORMAT(1H ,4X,10H* STEP # ,12,10H LOAD =,12,
802		* 10H U =,E12.4,
803		* 10H V =,E12.4,
804		* 10H W =,E12.4)
805	00024	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
806	00001	SUBROUTINE CALW (I)
807	00002	COMMON /CONST/ XL,SR,HEIGHT,T,FAIT,FMAIT,RMAIT,BANE,ALIM,TENT,SM,RF
808	00003	COMMON /CONS1/ XLL,SRR,HH,X10,GG
809	00004	COMMON /VALUE/ VELO,XLU,ALFA,PHA1,TETA,BETA,R,X11,X12,RC
810	00005	COMMON /LOAD1/ LOAD
811	00006	COMMON /LOAD2/ XLFAIT,PP,PP,U,V,W,T,HL
812	00007	COMMON /AE134/ A11,A12,A21,A22,A1,A2
813	00008	COMMON /ICHECK/ IC
814		C
815		C.... THIS ROUTINE IS TO CALCULATE FORCE ON EACH WHEEL
816		C
817	00009	IF(LOAD.EQ.0) GO TO 10
818	00010	A4 = TW/4.
819	00011	TANA = TAN(ALFA)
820	00012	XLT = XLLRTANA
821	00013	SRL = SRRXLL
822	00014	S2 = SRRX2.
823	00015	USR = U/SRR
824	00016	A11 = A4*(1. + ((XLT-SR2)*V/SRL) + USR)
825	00017	A12 = A4*(1. + ((XLT-SR2)*V/SRL) + USR)
826	00018	A21 = A4*(1. - TANAV/SRR - USR)
827	00019	A22 = A21
828	00020	A2 = A21*A2.
829	00021	A1 = A11 + A12
830	00022	GO TO 11
831	00023	10 CONTINUE
832		C
833		C.... WHEN LOAD = 0
834		C
835	00024	A11 = FMAIT*G.5
836	00025	A12 = A11
837	00026	A21 = RMAIT*G.5
838	00027	A22 = A21
839	00028	A1 = FMAIT
840	00029	A2 = RMAIT
841	00030	11 CONTINUE
842	00031	IF(IC.LE.1) GO TO 1
843	00032	WRITE(6,100) I,A1,W11,A12,A2,A21,A22
844	00033	1 CONTINUE
845	00034	RETURN
846		C
847	00035	100 FORMAT(1H,4X,10H STEP # ,I2,
848		6H A1 =,E12.4,
849		6H A11 =,E12.4,
850		6H A12 =,E12.4,
851		6H A2 =,E12.4,
852		6H A21 =,E12.4,
853		6H A22 =,E12.4)
854	00036	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
855	00001	SUBROUTINE CGG (I)
856	00002	COMMON /CONST/ XL,SR,HEIGHT,T,FAIT,FMAIT,RMAIT,BANE,ALIM,TENT,SM,RF
857	00003	COMMON /CONS1/ XLL,SRR,HH,X10,GG
858	00004	COMMON /VALUE/ VELO,XLU,ALFA,PHA1,TETA,BETA,R,X11,X12,RC
859	00005	COMMON /LOAD2/ XLFAIT,PP,PP,U,V,W,T,HL
860	00006	COMMON /COR03/ S11,T11,S12,T12,S21,T21,S22,T22,SG,TG
861	00007	COMMON /ICHECK/ IC
862	00008	COMMON /FUR1/ HF2,J
863		C
864		C.... THIS SUBROUTINE IS TO CALCULATE CO-ORDINATES OF CENTER OF GRAVITY
865		C
866	00009	XLLV = XLL + V
867	00010	HHW = HH + W
868	00011	TEBE = TETA - BETA
869	00012	IF(TEBE.LT.10.) TEBE = 0.
870	00013	STEB = SIN(TEBE)
871	00014	CTEB = COS(TEBE)
872	00015	STET = SIN(TETA)
873	00016	CTET = COS(TETA)

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
874	00017	RU2 = (SRK-U)*0.5/SRR
875	00018	RU1 = (SRK+U)*0.5/SRR
876		C
877	00019	SG = -((XLLV*CTET - HH*STET)*RU1) + ((XLLV*CTEB - HH*STET)*RU2)
878	00020	TG = ((XLLV*STET + HH*CTET)*RU1) + ((XLLV*STEB + HH*CTET)*RU2)
879	00021	PFURIX = 0.5*T22*RU2
880	00022	IF(HF2.GT.0.0) TG = TG + PFURIX
881		C
882	00023	IF(IC.LT.2) GO TO 1
883	00024	WRITE(6,100) I, SG,TG,S11,T11,S12,T12,S21,T21,S22,T22
884	00025	1 CONTINUE
885	00026	RETURN
886		C
887	00027	100 FORMAT(1H,4X, 10HSUB-STEP ,I2, 10H SG =,E12.4,
888		10H TG =,E12.4/
889		17X,10H (S,T)*4 =,8E13.4)
890	00028	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
891	00001	SUBROUTINE CALM
892		C
893		C... THIS SUBROUTINE IS TO CALCULATE EACH MOMENT
894		C
895		C PARAMETERS
896		C XMO*1 MOMENT BY GRAVITY
897		C XMO*2 MOMENT BY CENTRIFUGAL FORCE
898		C XMO*3 MOMENT BY REACTION FORCE OF FRONT
899		C WHEEL
900		C XMO*4 MOMENT BY REACTION FORCE OF REAR
901		C WHEEL
902		C XMO*5 MOMENT BY RIDING ON FURIKU
903		C
904	00002	COMMON /CONST/ XL,SR,HEIGHT,T*AIT,F*AIT,R*AIT,BANE,ALIM,TENT,SM,RF
905	00003	COMMON /CONS1/ XLL,SRR,HH,X10,GG
906	00004	COMMON /VALUE/ VELO,XLUM,ALFA,PHAI,TETA,BETA,R,X11,X12,RC
907	00005	COMMON /CONS3/ S11,T11,S12,T12,S21,T21,S22,T22,SG,TG
908	00006	COMMON /LOAD2/ AL*AIT,P*PP,U*V,W*TH,HL
909	00007	COMMON /FUR11/ IFURIK,IPS1,IPS2
910	00008	COMMON /FUR12/ ANG*RLF,H*F,TAN*F,PSA11,PSA12,TETA1,X01
911	00009	COMMON /WEIGH/ W11,W12,W21,W22,W1,W2
912	00010	COMMON /CHECK/ XMO*1,XMO*2,XMO*3,XMO*4,XMO*5,UK1
913		C
914	00011	XMO*1 = -SG*TH
915	00012	XMO*2 = 0
916	00013	IF(R.LT.1.E50)
917		XMO*2 = -TH*VELO*VELO*RG/(GG*(R+XLL*SG))
918	00014	XMO*3 = BANE*TETA*HS12*W12 + W12*HS12
919	00015	IF(ALFA.EQ.0.) XMO*3 = W12*HS12
920	00016	XMO*4 = W22*HS22
921	00017	IF(TETA.GT.BETA) XMO*4 = 0.
922	00018	XMO*5 = 0.
923	00019	IF(IPS1.NE.1) GO TO 10
924	00020	TETA1 = PSA11-TETA
925	00021	IF(TETA1.GT.0.) XMO*5 = -BANE*TETA1*HS12*W12
926	00022	10 CONTINUE
927	00023	IF(IPS2.NE.1) GO TO 20
928	00024	IF(PSA12.GT.0.) XMO*5 = W22*HS22
929	00025	20 CONTINUE
930	00026	RETURN
931	00027	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
932	00001	SUBROUTINE PLOPLO
933	00002	COMMON /PLOTD/ TT(1000),CORD(500,5,2),GANGLE(500),ISTAT(500)
934		C
935		C.... PLOT TETA AND LOCUS .
936		C
937	00003	391 CONTINUE
938	00004	DO 402 I=1,500
939	00005	DO 402 J=1,5
940	00006	CORD(I,J,1)=CORD(I,J,1)*0.2
941	00007	CORD(I,J,2)=CORD(I,J,2)*0.2
942	00008	402 CONTINUE
943		C
944		C.... 1-ST , PLOT TETA .
945		C
946	00009	CALL WAKU1
947	00010	CALL TPLOT
948		C
949		C.... 2-ND , PLOT LOCUS .
950		C
951	00011	CALL WAKU2
952	00012	CALL PJECT
953	00013	RETURN
954	00014	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
955	00001	SUBROUTINE WAKU1
956	00002	COMMON /CONST/ XL,SRIHEIGHT,TWAIT,FWAIT,RTAIT,BANE,ALIM,TENT,SH,RF
957	00003	COMMON /VALUE/ VELO,XLUM,ALFA,PHAI,TETA,BETA,R,XI1,XI2,RC
958	00004	DATA PAI / 3.1415 /
959	00005	TATE = 250.0
960	00006	YOKO = 450.0
961		C
962		C.... DRAW FRAME .
963		C
964	00007	DO 401 I=1,11
965	00008	Y = TATE/10.0*FLOAT(I-1)
966	00009	FPN = 5.0*FLOAT(I-1)
967	00010	CALL NUMBER(-15.0,Y,3.0,FPN,0.0,1)
968	00011	CALL PLOT(-2.0,Y,3)
969	00012	CALL PLOT(YOKO,Y,2)
970	00013	401 CONTINUE
971		C
972	00014	DO 402 I=1,10
973	00015	X = YOKO/9.0*FLOAT(I-1)
974	00016	FPN = 0.5*FLOAT(I-1)
975	00017	CALL NUMBER(X,-10.0,3.0,FPN,0.0,1)
976	00018	CALL PLOT(X,-2.0,3)
977	00019	CALL PLOT(X,TATE,2)
978	00020	402 CONTINUE
979		C
980		C.... TITLE
981		C
982	00021	CALL SYMBOL(150.0,-17.0,5.0,9HTIME(SEC),0.0,9)
983	00022	CALL SYMBOL(-17.0,150.0,5.0,19HGRAVITY ANGLE (DEG),90.0,19)
984	00023	CALL SYMBOL(250.0,265.0,5.0,14TRACTOR SHOVEL,0.0,14)
985	00024	CALL SYMBOL(250.0,260.0,3.0,15HV = KM/H ,0.0,15)
986	00025	CALL SYMBOL(250.0,255.0,3.0,15HVS = DEG/S,0.0,15)
987	00026	CALL SYMBOL(300.0,260.0,3.0,15HRF = M ,0.0,15)
988	00027	CALL SYMBOL(300.0,255.0,3.0,15HSA = M ,0.0,15)
989		C
990	00028	V = VELO*3600.0/100000.0
991	00029	VS = 180.*XLUM/PAI
992		C
993	00030	CALL NUMBER(264.0,260.0,3.0,V ,0.0,1)
994	00031	CALL NUMBER(264.0,255.0,3.0,VS,0.0,1)
995	00032	CALL NUMBER(314.0,260.0,3.0,RF,0.0,1)
996	00033	CALL NUMBER(314.0,255.0,3.0,SH,0.0,1)
997	00034	RETURN
998	00035	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
999	00001	SUBROUTINE TPL0T
1000	00002	COMMON /CONST/ XL,SR,HEIGHT,T,AIT,FAIT,RHAI,BAHE,ALIN,TENT,SM,RF
1001	00003	COMMON /VALUE/ VELO,XLUM,ALFA,PHAI,TETA,BETA,R,X11,X12,RC
1002	00004	COMMON /PLOT0/ TT(1000),CORD(500,5,2),GANGLE(500),ISTAT(500)
1003	00005	DATA IA,IB/4HA,4HB /
1004	00006	DATA PAI / 3.1415 /
1005		C
1006		C.... PLOT ANGLE TETA .
1007		C
1008	00007	BETA0 = BETA*180./PAI
1009	00008	TENT0 = TENT*180./PAI
1010	00009	CALL PLOT(0.0,0.0,3)
1011	00010	DO 401 I=2,500
1012	00011	X=TT(I)*100.0
1013	00012	Y=GANGLE(I)*5.0
1014	00013	IF(Y.LT.-1.0) GO TO 300
1015	00014	CALL PLOT(X,Y,2)
1016	00015	IF(ISTAT(I-1).EQ. IA.AND. ISTAT(I).EQ. IB) GO TO 301
1017	00016	401 CONTINUE
1018	00017	301 CONTINUE
1019	00018	CALL SYMBOL(X,Y,3,0,14,0.0,-1)
1020	00019	CALL PLOT(X,Y,3)
1021	00020	GO TO 401
1022	00021	300 CONTINUE
1023		C
1024	00022	Y = 5.0*BETA0
1025		C
1026	00023	CALL PLOT(0.0,Y,3)
1027	00024	CALL DASHLP(450.0,Y,2.0)
1028	00025	ANGB = Y+1.0
1029	00026	CALL SYMBOL(410.0,ANGB,3.0,10,HANGLE BETA,0.0,10)
1030		C
1031	00027	Y = 5.0*TENT0
1032		C
1033	00028	CALL PLOT(0.0,Y,3)
1034	00029	CALL DASHLP(450.0,Y,2.0)
1035	00030	FDAHG = Y+1.0
1036	00031	CALL SYMBOL(410.0,FDAHG,3.0,10,HF.D. ANGLE,0.0,10)
1037	00032	CALL PLOT(500.0,0.0,-3)
1038	00033	RETURN
1039	00034	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
1040	00001	SUBROUTINE MAKU2
1041	00002	COMMON /VALUE/ VELO,XLUM,ALFA,PHAI,TETA,BETA,R,X11,X12,RC
1042	00003	DATA PAI / 3.1415 /
1043		C
1044		C.... DRAW FRAME FOR TRAJECTORY .
1045		C
1046	00004	CALL PLOT(50.0,350.0,-3)
1047	00005	CALL PLOT(0.0,-310.0,2)
1048	00006	CALL ARQHD(0.0,-310.0,0.0,-315.0,5.0,2.0,6)
1049	00007	CALL SYMBOL(-5.0,-325.0,5.0,7H-Y (CM),0.0,7)
1050		C
1051	00008	DO 401 I=1,4
1052	00009	X = -20.0
1053	00010	Y = -100.0*FLOAT(I-1)
1054	00011	F = -500.0*FLOAT(I-1)
1055		C
1056	00012	IF(I.EQ.1) GO TO 301
1057	00013	CALL NUMBER(X,Y,3.0,F,0.0,1)
1058	00014	301 CONTINUE
1059	00015	CALL PLOT(-2.0,Y,3)
1060	00016	CALL PLOT(0.0,Y,2)
1061	00017	401 CONTINUE
1062	00018	CALL PLOT(0.0,0.0,3)
1063	00019	CALL PLOT(410.0,0.0,2)
1064	00020	CALL ARQHD(410.0,0.0,415.0,0.0,5.0,2.0,6)
1065	00021	CALL SYMBOL(420.0,0.0,5.0,6HX (CM),0.0,6)
1066		C

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
1067	00022	DO 402 I=1,5
1068	00023	X = 100.0*FLOAT(I-1)
1069	00024	F = 500.0*FLOAT(I-1)
1070		C
1071	00025	CALL PLOT(X,0.0,3)
1072	00026	CALL PLOT(X,2.0,2)
1073		C
1074	00027	X = X-10.0
1075	00028	CALL NUMBER(X,3.0,3.0,F,0.0,1)
1076	00029	402 CONTINUE
1077	00030	CALL SYMBOL(330.0,-20.0,5.0,14,TRACTOR SHOVEL,0.0,14)
1078	00031	CALL SYMBOL(330.0,-25.0,3.0,14,HV = KM/H,0.0,14)
1079	00032	CALL SYMBOL(330.0,-30.0,3.0,14,HVS = DEG/S,0.0,14)
1080	00033	V = VELO*3600.0/100000.0
1081	00034	VS = 180.*XLUX/PAI
1082	00035	CALL NUMBER(342.0,-25.0,3.0,V,0.0,1)
1083	00036	CALL NUMBER(342.0,-30.0,3.0,VS,0.0,1)
1084	00037	RETURN
1085	00038	END

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
1086	00001	SUBROUTINE PJCT
1087	00002	COMMON /VALUE/ VEL0,XLUX,ALFA,PHAI,TETA,BETA,R,X11,X12,RC
1088	00003	COMMON /PLOT0/ TT(1000),CORD(500,5,2),GANGLE(500),ISTAT(500)
1089	00004	DATA IAAA/4HA /
1090	00005	DATA PAI / 3.1416 /
1091		C
1092		C.... TRAJECTORY PLOT .
1093		C
1094		C.... C.O.G.
1095		C
1096	00006	X = CORD(1,5,1)
1097	00007	Y = CORD(1,5,2)
1098	00008	BETA0 = BETA*180./PAI
1099		C
1100	00009	CALL SYMBOL(X,Y,1.0,1,0.0,-1)
1101		C
1102	00010	DO 401 I=2,500
1103	00011	IF(GANGLE(I).LT.0.0.AND.1.GT.100) GO TO 301
1104	00012	X = CORD(1,5,1)
1105	00013	Y = CORD(1,5,2)
1106	00014	CALL SYMBOL(X,Y,1.0,1,0.0,-2)
1107	00015	401 CONTINUE
1108	00016	301 CONTINUE
1109		C
1110		C.... T11
1111	00017	X = CORD(1,1,1)
1112	00018	Y = CORD(1,1,2)
1113		C
1114	00019	CALL SYMBOL(X,Y,1.0,1,0.0,-1)
1115		C
1116	00020	DO 402 I=2,500
1117	00021	IF(GANGLE(I).LT.0.0.AND.1.GT.100) GO TO 302
1118	00022	X = CORD(1,1,1)
1119	00023	Y = CORD(1,1,2)
1120	00024	CALL PLOT(X,Y,2)
1121	00025	402 CONTINUE
1122	00026	302 CONTINUE
1123		C
1124		C.... T21
1125	00027	X = CORD(1,3,1)
1126	00028	Y = CORD(1,3,2)
1127		C
1128	00029	CALL SYMBOL(X,Y,1.0,1,0.0,-1)
1129		C
1130	00030	DO 403 I=2,500
1131	00031	IF(GANGLE(I).LT.0.0.AND.1.GT.100) GO TO 303
1132	00032	X = CORD(1,3,1)
1133	00033	Y = CORD(1,3,2)
1134		C
1135	00034	CALL PLOT(X,Y,2)
1136		C
1137	00035	403 CONTINUE

CARD	ISL	SOURCE STATEMENT
1138	00036	303 CONTINUE
1139		C
1140		C.... T12
1141	00037	X = CURD(1,2,1)
1142	00038	Y = CURD(1,2,2)
1143		C
1144	00039	CALL SYMBOL(X,Y,1.0,1.0,0,-1)
1145		C
1146	00040	DO 404 I=2,500
1147	00041	IF(GANGLE(I).LT.0.0.AND.1.GT.100) GO TO 304
1148	00042	X = CURD(1,2,1)
1149	00043	Y = CURD(1,2,2)
1150	00044	IF(ISTAT(1).NE.1AAA) GO TO 294
1151		C
1152	00045	CALL PLOT(X,Y,2)
1153		C
1154	00046	GO TO 404
1155	00047	294 CONTINUE
1156	00048	CALL PLOT(X,Y,3)
1157	00049	404 CONTINUE
1158	00050	304 CONTINUE
1159		C
1160		C.... T22
1161	00051	X = CURD(1,4,1)
1162	00052	Y = CURD(1,4,2)
1163	00053	CALL SYMBOL(X,Y,1.0,1.0,0,-1)
1164		C
1165	00054	DO 405 I=2,500
1166	00055	IF(GANGLE(I).LT.0.0.AND.1.GT.100) GO TO 305
1167	00056	X = CURD(1,4,1)
1168	00057	Y = CURD(1,4,2)
1169	00058	IF(GANGLE(I).GE.BETAU) GO TO 295
1170		C
1171	00059	CALL PLOT(X,Y,2)
1172		C
1173	00060	GO TO 405
1174	00061	295 CONTINUE
1175	00062	CALL PLOT(X,Y,3)
1176	00063	405 CONTINUE
1177	00064	305 CONTINUE
1178	00065	CALL PLOT(490.0,-350.0,-3)
1179	00066	RETURN
1180	00067	END

CARD	ISL	SOURCE STATEMENT
1181	00001	FUNCTION RKLOEQ(A,Y,F,X,H,NT)
1182	00002	DIMENSION Y(10),F(10),Q(10)
1183		C REAL X,H--INTEGER N,NT--COMMENT--BEGIN INTEGER I,J,L--REAL A
1184	00003	NT=NT+1
1185	00004	GO TO (1,2,3,4),NT
1186		C
1187	00005	GO TO 5(NT)
1188	00006	1 DO 11 J=1,N
1189	00007	11 Q(J)=0.
1190	00008	A=.5
1191	00009	X=X+H/2.
1192		C
1193	00010	A=.29289321881
1194	00011	2 A=.2929
1195		C
1196	00012	A=1.7071067812
1197	00013	3 A=1.7071
1198	00014	X=X+H/2.
1199	00015	GO TO 5
1200	00016	4 DO 41 I=1,N
1201	00017	41 Y(I)=Y(I)+H*F(I)/6+Q(I)/3.
1202	00018	NT=0
1203	00019	RKLOEQ=2.
1204	00020	GO TO 6
1205	00021	5 DO 51 L=1,N
1206	00022	Y(L)=Y(L)+H*(H*F(L)-Q(L))
1207	00023	51 Q(L)=2.*H*H*F(L)+(1.-3.*H)*Q(L)
1208	00024	RKLOEQ=1.
1209	00025	16 CONTINUE
1210	00026	RETURN
		END

(出力例) 急旋回運動 実験番号18

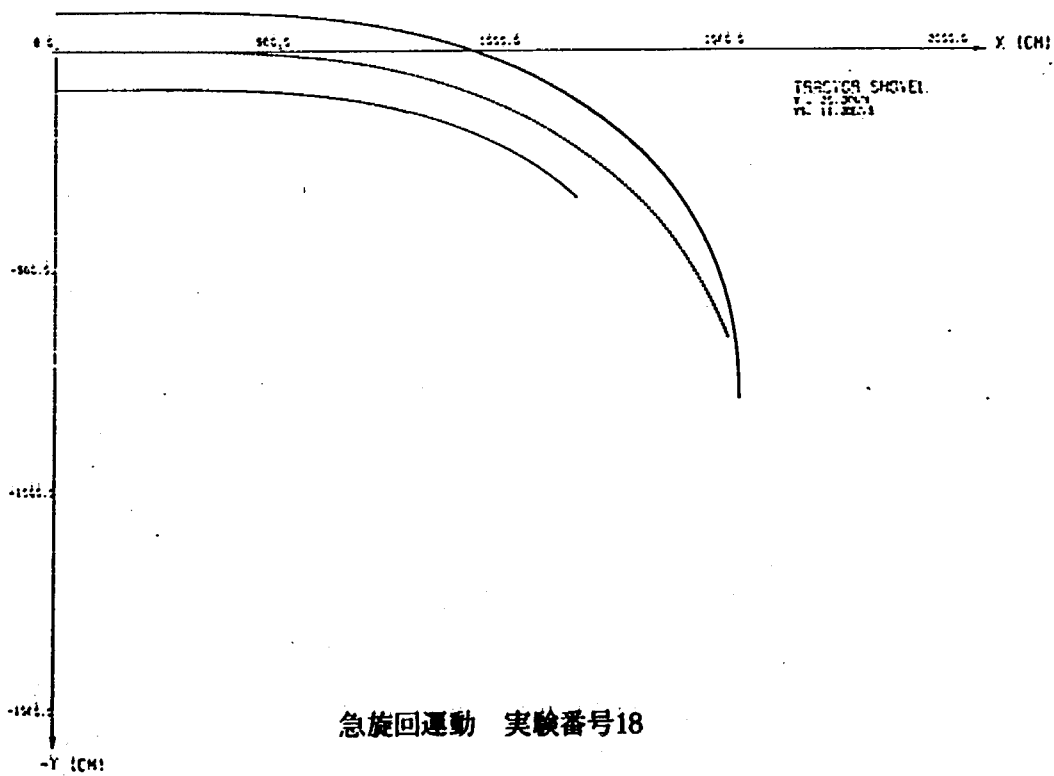
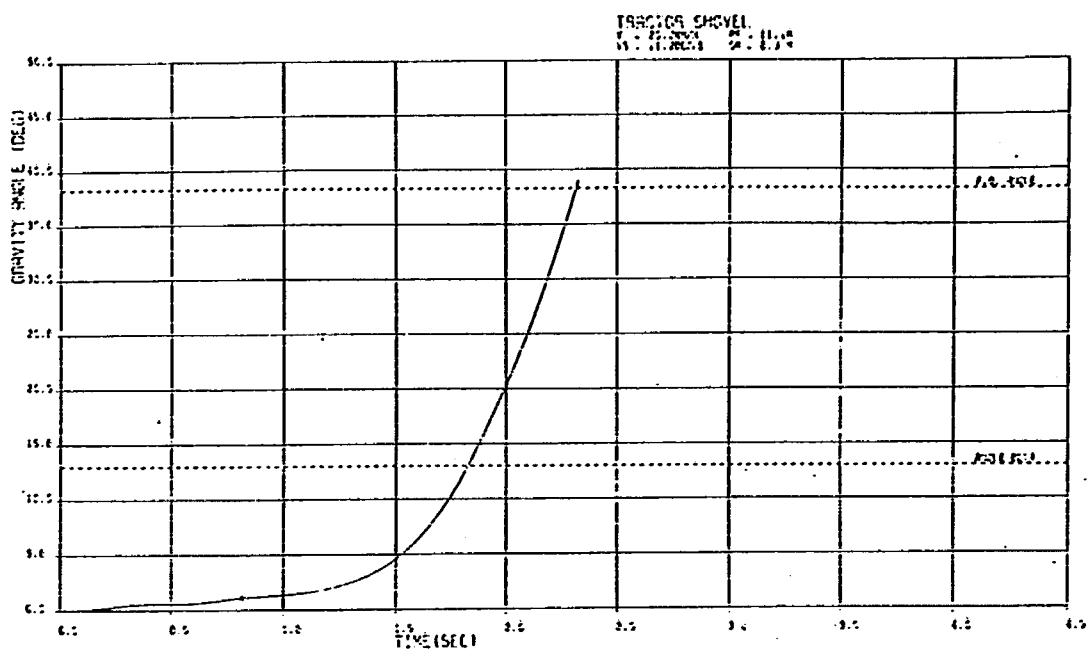
*** TRACTOR SHOVEL ***

1/2 TREAD 0.87500E+02 (CM)
 1/2 WHEEL BASE 0.12500E+03 (CM)
 MOMENT OF INERTIA IO 0.68400E+05 (KGX.CM.SEC..2)
 HEIGHT OF C.O.G. 0.11080E+03 (CM)
 TOTAL WEIGHT 0.74700E+04 (KGW)
 WHEEL WEIGHT (FRONT) . . . 0.36300E+04 (KGW)
 WHEEL WEIGHT (REAR) 0.38400E+04 (KGW)
 TIRE CONSTANT 0.55000E+03 (KGX/CM)
 ANGLE BETA 0.13000E+02 (DEG)
 FALL DOWN ANGLE 0.38300E+02 (DEG)
 TRACTOR SPEED 0.25200E+02 (KM/HOUR)
 STEERING SPEED 0.11200E+02 (DEG/SEC)
 S 0.87500E+00 (M)
 RF 0.11087E+02 (M)

NON FURIKU

NON LOAD

STEP NO.	TIME (SEC)	STEERING ANGLE (DEG)	RADIOUS OF ARC (CM)	MOTION ANGLE (DEG)	GRAVITY ANGLE (DEG)	CASE	== X ==	== Y ==	== Z ==
1	0.0	0.0	INFINITE	0.0	0.0				
					C.O.G.		0.1215E+03	0.0	0.1108E+03
					T-11		0.2500E+03	0.8750E+02	0.0
					T-12		0.2500E+03	-0.8750E+02	0.0
					T-21		0.0	0.8750E+02	0.0
					T-22		0.0	-0.8750E+02	0.0
					XC,YC		0.1250E+03	-INFINITE	0.0
2	0.014	0.080	89611.937	0.006	0.000	A			
					C.O.G.		0.1315E+03	0.1254E+00	0.1106E+03
					T-11		0.2601E+03	0.8763E+02	0.0
					T-12		0.2599E+03	-0.8738E+02	0.0
					T-21		0.9888E+01	0.8763E+02	0.0
					T-22		0.1011E+02	-0.8738E+02	0.0
					XC,YC		0.1250E+03	-0.8952E+05	
3	0.029	0.160	44849.629	0.019	0.001	A			
					C.O.G.		0.1415E+03	0.1418E+00	0.1108E+03
					T-11		0.2703E+03	0.8759E+02	0.0
					T-12		0.2697E+03	-0.8740E+02	0.0
					T-21		0.1979E+02	0.8768E+02	0.0
					T-22		0.2022E+02	-0.8732E+02	0.0
					XC,YC		0.1300E+03	-0.4476E+05	
4	0.043	0.240	29928.859	0.038	0.004	A			
					C.O.G.		0.1515E+03	0.1664E+00	0.1108E+03
					T-11		0.2804E+03	0.8758E+02	0.0
					T-12		0.2796E+03	-0.8741E+02	0.0
					T-21		0.2969E+02	0.8775E+02	0.0
					T-22		0.3031E+02	-0.8725E+02	0.0
					XC,YC		0.1350E+03	-0.2984E+05	



施工の安全性に関する調査試験
— 車輪式建設機械の動的安定性 —
(第2報)

ISSN 0386-5878
土研資料 第1742号
昭和56年11月(1981年)
建設省土木研究所機械研究室
沢田茂良, 太田 宏, 境 友昭

キーワード: 建設機械, 動的安定性, 転倒, シミュレーション

要旨

ホイールローダの施工時における動的挙動(不陸乗上げ, 急旋回及び急旋回急制動)に関して, 実機実験及び数学モデルによるシミュレーションを行い, 車両の動的安定性を検討した。



郵便はがき

40円切手を
はって下さ
い。

3 0 5 - □ □

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

機械研究室 御中

No. 149

配布先氏名

配布先住所

No. 149

土木研究所資料第1742号

部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印