

86

ISSN 0386-5878
土木研究所資料1434号
マイクロフィルム第 号

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)

昭和53年11月

建設省土木研究所
機 械 研 究 室

要 旨

本調査試験は、車輪式建設機械が、急旋回、急制動、不陸乗上げなどの施工時における転倒の危険に関して、安定性の試験方法、評価方法の開発を目的として実施したものである。

試験は、静的横荷重による横転、ラジオコントロール方式に改造した実機による急旋回、急制動、不陸乗上げ試験、および電子計算機による急旋回転倒のシミュレーションについて行ない、これらの方法について試験結果を比較した。

試験の結果、急旋回挙動に関するこれらの試験方法はほぼ同一の結果を示しており、急旋回時の転倒を予測することが可能となった。急制動では転倒に至らず、また不陸乗上げでは、その不陸の形状に左右されることが明らかになった。

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)

機械研究室

室 長 沢 田 茂 良
研究員 太 田 宏
境 友 昭

目 次

1. まえがき	1
2. 調査概要	1
3. 実験対象車輛	2
4. 静的試験の方法	4
4.1 重心位置の計測	4
4.2 静的転倒試験	6
4.3 慣性モーメント試験	6
4.4 タイヤのバネ係数試験	8
4.5 タイヤと路面の摩擦係数	8
5. 動的試験の方法	9
5.1 急旋回試験の方法	9
5.2 急制動試験の方法	9
5.3 不陸乗上げ試験の方法	11
6. シミュレーションによる急旋回挙動解析	13
6.1 車輛の軌跡(平面座標)	13
6.2 車輛のローリング(垂直座標)	15
6.3 運動方程式	17
7. 実験結果	18
7.1 静的試験の結果	18
7.2 動的試験の結果	26
7.3 シミュレーションによる転倒解析の結果	37
8. 結 論	39
9. あとがき	40
10. 参考文献	40
11. 附 録	41

1. ま え が き

建設工事における安全性の確保は、近年とみにその必要性が高まり、I.S.O (国際標準化機構)、J.I.S (日本工業規格)でもその規格化がすすめられている。建設工事の事故のうち建設機械に関連したものは、建設機械が大型化、多様化し広く普及するに伴い増加の傾向にあり、転落、転倒、轢車、まき込まれ、衝突等死亡事故に直接つながるものが多い。

建設機械の中でも、車輪式建設機械は、足廻りの維持費が履帯式と比較して安価なこと、高速作業が可能なこと、また低圧タイヤの開発によって軟弱地でも使用できることなどの理由で、最近急速に普及した。

しかし車輪式建設機械は、その構造上、重心位置が高く、急旋回中に転倒する危険が多く、過去には実際の事故も報告されている。

本調査試験は、建設工事の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」について試験方法の開発を目的として実施したもので、試験は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。本報告は、これらの結果について述べるものである。

2. 調 査 概 要

建設機械(以下車輛と言う)の転倒は、急旋回時における遠心力、急制動時における慣性力、不陸乗上げ時におけるローリング荷重、のように、転倒方向へ作用する慣性力、外力によって生じる。したがって、車輛の転倒を調べるためには、これらの作用力による転倒モーメントと、車輛自身が持っている安定モーメントの関係を明らかにしなければならない。

昭和51年度の調査では、供試車輛の重心位置を静的試験によって求め、またローリング方向に静的荷重を加えて車輛のローリングの状態とその時の荷重の関係を調べた。また、予備的に、急旋回時の転倒について、実際にこれを再現させ転倒することを確認した。

昭和52年度は、急旋回転倒のデータを積重ねるとともに、急制動、不陸乗上げについても動的挙動試験を行った。静的試験では、車輛のローリング、ピッチングの慣性モーメント、タイヤの縦横のバネ係数、タイヤと試験場の地面との摩擦係数を求めた。更に、これらのデータをもとにして、急旋回時の電子計算機シミュレーションプログラムを作成し、実際との比較を行なった。

調査は以下の項目を主眼においた。

- (1) 転倒に関与する要因を仮定し、作用する力を加速度計で計測した。
- (2) 転倒に至る重力角の変化をジャイロ型トランスジューサで計測した。
- (3) 車輛の軌跡、転倒角の経時変化をシミュレーションモデル化し、これを実際の転倒と比較した。
- (4) 車輛の転倒を予測する作業条件と安定性の関係図を作成した。

3. 実験対象車輛

本調査試験に用いた車輪式トラクタショベルの仕様諸元は、表-3.1に示すとおりであり、プロフィールを写真-3.1に示す。供試車輛の運転方式は、転倒実験に用いるところから、無線操縦とした。図-3.1は、無線操縦系統の一般図を示すものである。無線操縦は、通常操作と、緊急停止の2系統とし、通常操作系は、コントロールが失なわれた場合に車輛が停止するように、フェイルセーフ機構を採用している。即ち、コントロールが失なわれた場合、エンジン回転数低下（ローアイドル）、ブレーキ作動の状態となる。緊急停止では、無線操縦によって、フェイルセーフ機構が作動する。（附録-1 参照）

表-3.1 実験機の仕様

機 械 名	車輪式トラクタショベル	
規 格	山積 1.4 m ³ JH30	
整 備 重 量	7,000 Kg	
次 元	全 幅	2,360 mm
	全 高	2,650 mm
	全 長	5,720 mm
かじ取り機構	センターピンアーティキュレート	
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	最大 38 Km/h
	後進 4 段	最大 38 Km/h
機 関	名 称	いすず D500PJ
	定格出力	83 ps/2,200 r.p.m
タイヤサイズ	前輪	13.00-24 8PR
	後輪	13.00-24 8PR

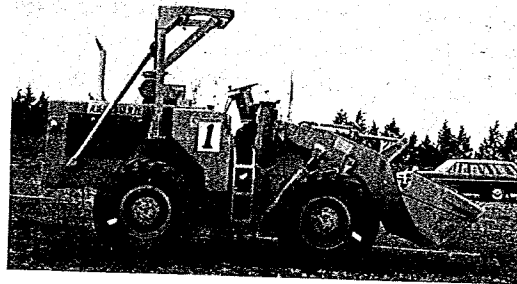


写真-3.1 試験車輛のプロフィール

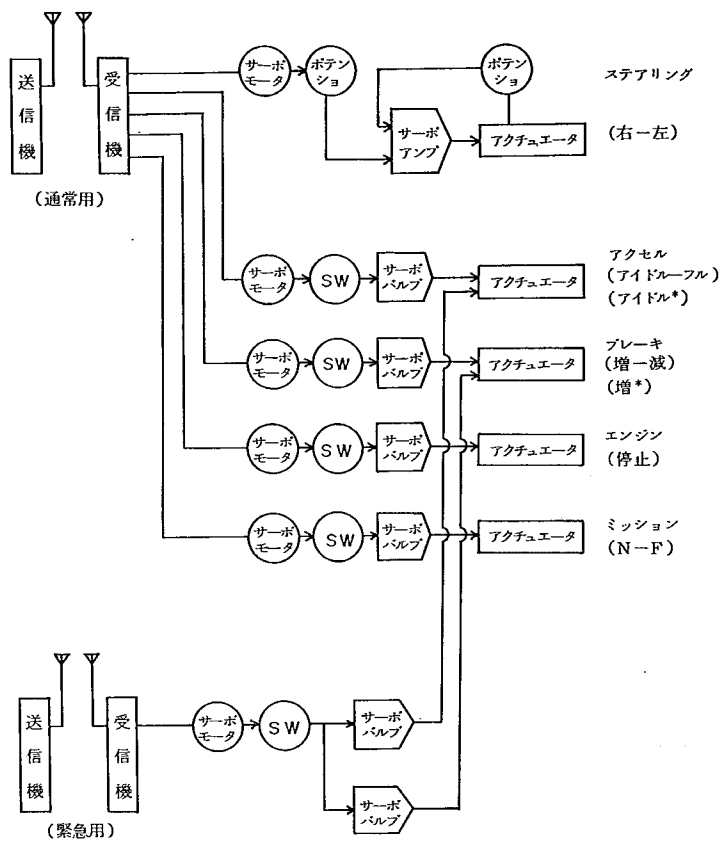


図-3.1 無線操作基本図

4. 静的試験の方法

4.1 重心位置の計測

4.1.1 測定条件

車輛の重心位置は、次の車輛条件、運転姿勢で測定した。

1) 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} バケット内に 2.1 ton の重量を載せる
- L_{23} バケット内に 2.3 ton の重量を載せる

2) バケット高さ

- B_c 運行姿勢 (ヒンジピン高さ 380 mm)
- B_r 最大リーチ (ヒンジピン高さ 1,780 mm)
- 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)

3) 車体屈折角

- V_s 屈折しない状態
- V_m 24.7° (DEG, ハーフターン回転半径 6.58 m)
- V_f 34.6° (DEG, フルターン, 回転半径 4.89 m)

4) タイヤ空気圧

空気圧 2.5 kg/cm² 標準状態

4.1.2 測定方法

車輛の重心位置の計測において、前輪軸中心からの水平距離を X 、車輛中心からの偏位 (右を+, 左を-) を Y 、重心のタイヤ接地面からの高さを Z と定義し、 X - Y 平面の重心座標は、図-4.1 に示す荷重分布を仮定し、前輪の輪荷重、後輪の軸荷重を計測し、次の計算により求めた。

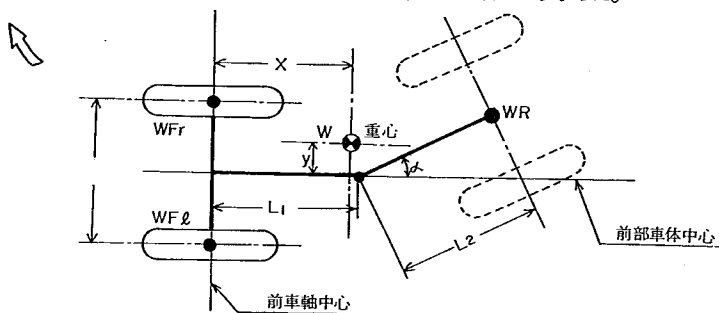


図-4.1 重心位置 (前車軸からの水平距離)

図-4.1において、重心を通り前車軸に平行な軸廻りのモーメントの釣合条件から、

$$(WF_r + WF_l) x = WR \{ (L_1 + L_2 \cos \alpha) - x \}$$

$$\therefore x = \frac{WR \cdot (L_1 + L_2 \cos \alpha)}{W} \dots\dots\dots (4.1)$$

また、重心を通り車軸中心線と平行な軸廻りのモーメントの釣合条件から

$$WF_r \left(\frac{T}{2} - y \right) + WR (L_2 \cdot \sin \alpha - y) = WF_l \left(\frac{T}{2} + y \right)$$

$$\therefore y = \frac{(WF_r - WF_l) \cdot T + 2WR \cdot L_2 \sin \alpha}{2W} \dots\dots\dots (4.2)$$

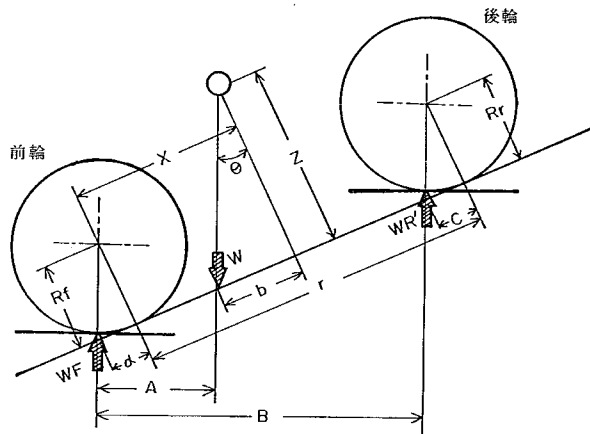


図-4.2 重心位置図

重心高さの計測では、図-4.2に示すように、後輪部を持ち上げ、この時の前後輪を結ぶ線と水平線とのなす角を θ とおき、後輪接地点廻りのモーメントの釣合条件

$$WF' \cdot B - W (B - A) = 0 \dots\dots\dots (4.3)$$

ここで、

$$A = (x + a - b) \cos \theta$$

$$B = (L + a - c) \cos \theta$$

また、

$$a = R_f \cdot \tan \theta$$

$$b = Z \cdot \tan \theta$$

$$c = R_r \cdot \tan \theta$$

x は、(4.1)において $\alpha = 0$ とおき

$$x = \frac{(W - WF) \cdot L}{W}$$

から、

$$Z = \frac{(WF' - WF) L + WF' (R_f - R_r) \cdot \tan \theta}{W \cdot \tan \theta} + R_r \dots\dots\dots (4.4)$$

が得られる。

4.2 静的転倒試験

4.2.1 測定条件

測定における車輛の条件は、4.1.1に準じて定めたが、タイヤの空気圧を、 P_s (標準状態 2.5 kg/cm^2)、 P_+ (加圧 3.5 kg/cm^2)、 P_- (減圧 1.5 kg/cm^2) の3条件として実施した。

4.2.2 測定方法

急旋回時における横方向の遠心力、不陸乗上げ時におけるローリング力を想定し、車輛を横方向へ引張った。側方荷重の作用点が重心附近に得られなかったため、仮の作用点を車輛上部に設け、図-4.3に示すように、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。荷重作用方向と反対側には、車輛の横転を回避するためアンカを置きワイヤロープをかけた。

転倒状態における車輛の姿勢は、車体のローリング角および前後輪端の高さをもって表示した。

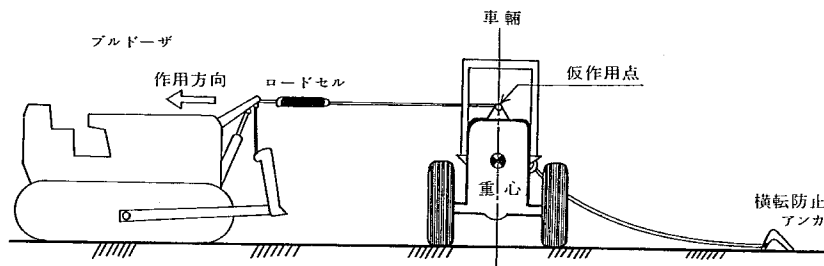


図-4.3 静的転倒試験の方法

4.3 慣性モーメント試験

4.3.1 測定条件

図-4.4に示す座標系を導入し、 x 軸廻り(ローリング)、 Y 軸廻り(ピッチング)の慣性モーメントを求める。車輛は、4.1.1に示す測定条件のうち、 L_0 、 B_c 、 V_s とした。

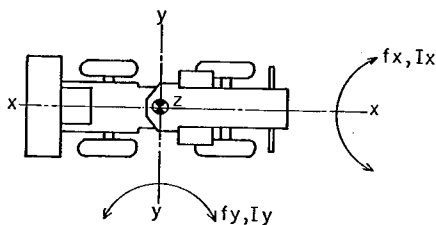


図-4.4 車輛の慣性モーメント測定の座標図

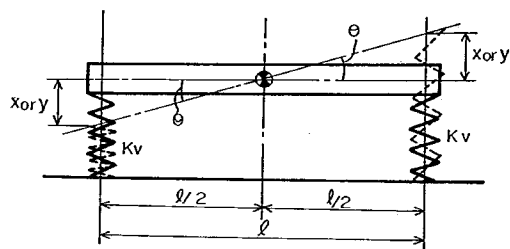


図-4.5 車輛の振動系

4.3.2 測定方法

車輛の支持条件は、近似的に図-4.5に示す、バネ-質量系と仮定される。この系に、微小調和振動入力を加えて、系の固有振動数で共振させる。系の運動方程式は、揺動角を θ として、

$$I \frac{d^2 \theta}{dt^2} + k \cdot l \cdot x = 0 \quad \dots\dots\dots (4.5)$$

θ を微小と仮定すれば、 $x = \frac{1}{2} \cdot l \theta$ 、したがって(4.5)式は、

$$I \frac{d^2 \theta}{dt^2} + \frac{1}{2} k l^2 \theta = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6)$$

固有振動数 f は、

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k l^2}{2I}} \quad \dots\dots\dots (4.7)$$

で与えられ、 f を測定することによって慣性モーメントが算出される。

(1) X軸廻り(ローリング)の慣性

X軸廻りの振動の場合、後輪軸が揺動機構であるため振動に供せられるバネ係数は、前輪タイヤのみによって生じると考えられる。したがって、(4.7)式から、

$$I_x = \frac{k}{2} \cdot \left(\frac{l}{2\pi f_x} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (4.8)$$

として与えられる。

(2) Y軸廻り(ピッチング)の慣性

Y軸廻りの場合、振動は前後輪全てのタイヤによって発生するため、(4.7)式において、 k は、 $2k$ に置換され、したがって、

$$I_y = k \left(\frac{l}{2\pi f_y} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (4.9)$$

として与えられる。

4.4 タイヤのパネ係数試験

タイヤのパネ係数は、タイヤの単位長さ当りのたわみを与えるために必要な静荷重と定義し、タイヤの垂直方向の変形の場合を縦パネ係数、水平方向の変形の場合を横パネ係数とし、単位は kg/mm で表わす。

4.4.1 縦パネ係数(k_v)

車輛の左前車輪を輪荷重計に載せ、車体を水平に保ち前輪軸をジャッキアップし、輪荷重を 0 kg 、縦たわみを 0 mm とする。除々に、ジャッキを下げていき、この時のリム中心における垂直沈下と、輪荷重を測定する。(写真4.1参照)

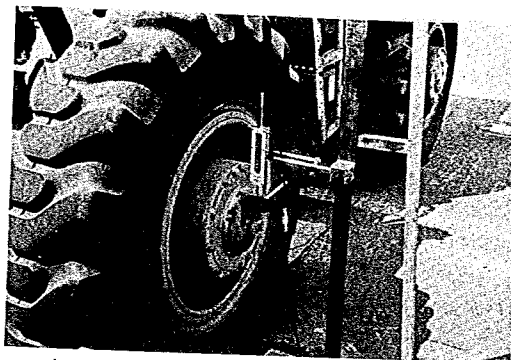


写真-4.1 縦パネ係数の測定

4.4.2 横パネ係数(k_h)

輪荷重計の上に水平方向に自由に摺動できる載荷板を設置し、車輛の左後車輪をこの載荷板の上に載せて車体を水平に保ち、載荷板を油圧シリンダによって水平方向に除々に加圧する。この時の油圧力(横荷重)とタイヤの水平方向のたわみ(たわみは、載荷板とタイヤがスリップするまで求める)から測定する。(写真-4.2参照)

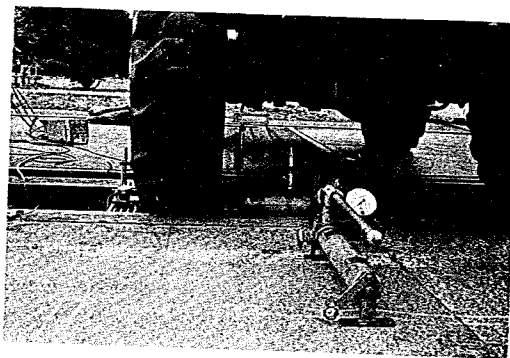


写真-4.2 横パネ係数の測定

4.5 タイヤと路面の摩擦係数

摩擦係数は、路面の状態によって異なる値をとると考えられるが、ここでは、急旋回、急制動試験を行う同一路面においての静止摩擦係数を求める。

車輛を運行状態にし、ブレーキをロックして、荷重変換器を介して車輛をX軸およびY軸方向にけん引し、車輛がスリップする直前の最大けん引力を測定し、この値を車輛の重量で除して摩擦係数とする。

5. 動的試験方法

動的試験は、図－5.1に示す実験場で行い、動的挙動を観測する撮映機、走行速度を測定する光電スイッチを配置した。

5.1 急旋回試験の方法

直線走行区間において、車輛に助走を行わせ、走行速度測定区間に進入する時点までに所定の速度での等速走行を行わせる。車輛が旋回区間に進入したところで、ラジオコントロール操縦者が、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トスイッチを取付けた）で右旋回させる。この時の、急旋回区間内における車輛の動的挙動を撮映し、転倒角、側方加速度、走行速度を計測し、テレメータを介してレコーダへ記録する。

5.1.1 測定項目

測定は次の項目について行う。

- ① 車輛の旋回速度： 車輛の左前輪に取付けたりミットスイッチによって回転パルスを得る。パルスの周波数およびタイヤの回転速度から走行速度を求める。
- ② 車体側方加速度： 車輛の重心附近に取付けた10Gの加速度変換器によって計測する。
- ③ 車体側方傾斜角： 車輛の重心附近に取付けた、ジャイロ式角度トランスジューサによって計測する。
- ④ 走行速度： 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10m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。
- ⑤ 旋回半径： 急旋回区間における車輪の軌跡を測量して求める。
- 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映し、これを観測する。

なお、試験条件のうち、バケット荷重は0 ton、バケット保持の位置は運行姿勢、タイヤ空気圧は2.5 kg/cm²（標準空気圧）とし、この条件は不変とした。

5.1.2 実験の組合せ

急旋回試験は、静的転倒試験の結果を基にして、表－5.1に示す組合せとした。転倒領域は、静的転倒試験によって、後輪揺動装置がロックするに至る荷重、遷移領域は前輪内輪が浮上する荷重、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行った。静的荷重は、急旋回時の遠心力に換算した。

表－5.1 急旋回試験の実施計画

速度 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

5.2 急制動試験の方法

車輛が高速走行時に急制動を行った場合、前方向の慣性力によって、車体はその前部がタイヤの弾性に

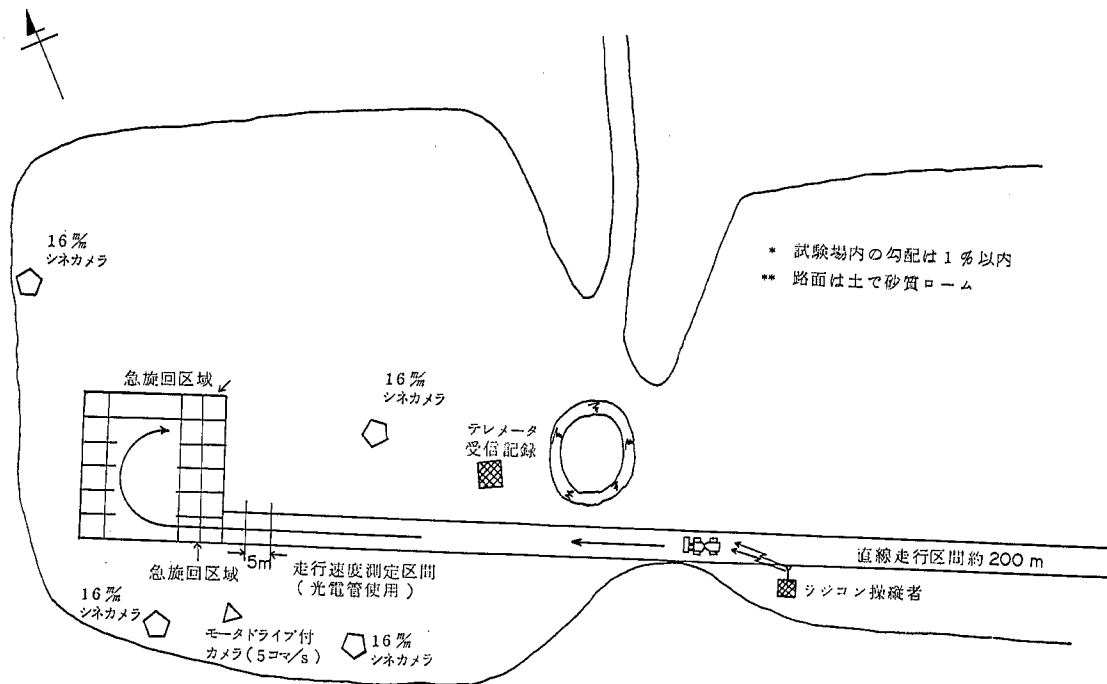


図-5.1 動的試験の実験場(急旋回試験)

よって沈み、後部は前車輪を支点として浮上するという状態が生じる。試験は、ラジオコントロール操縦者が、助走区間で所定の速度になるように助走を行なわせ、走行速度測定区間を通過した後、急制動の合図によって、エマージェンシーストップを発信し、エンジンの回転を下げるとともに急速にブレーキをかけ急制動を行せるという方法を用いた。

5.2.1 計測項目

計測は、次の項目について行う。

- ① 制動加速度： 加速度変換器を重心附近に取付け、 X 軸方向に生じる加速度を計測する。
- ② 走行速度： 車輛後方に第5輪を設け、この回転数をパルスで計測するとともに、左前車輪の回転数をも同様に計測して、速度を計算する。
- ③ 前傾傾斜角： ジャイロ式角度トランスジューサを用い傾斜の重力角を計測する。
- ④ 進入速度： 5.1.1と同様、光電スイッチとカウンタで走時を計測する。
- ⑤ 動的挙動： 5.1.1と同様、16mmシネカメラ、モータドライブ式カメラによって写真撮映し、観測する。

なお、車輛の条件は、表-5.2に示す条件とした。タイヤの空気圧は標準状態(2.5 kg/cm²)である。

表-5.2 急制動試験の試験条件と車体の状態

試験番号	試験条件	車両重量 W kg	前輪荷重 W_f kg	後輪荷重 W_r kg	重心位置 mm		車輪の荷重半径 mm		備 考
					X	Z	前 輪	後 輪	
1	L_0, B_c, V_{30}	7,470	1,815	1,920	1,284	1,108	602	599	重心位置 X : 前軸中心からの 水平距離 Z : 地面からの高さ
2	L_0, B_r, V_{30}	"	1,865	1,870	1,250	1,304	598	598	
3	L_{21}, B_c, V_{10}	9,570	1,520	1,260	659	1,044	563	608	
4	L_{21}, B_c, V_{20}	"	"	"	"	"	"	"	
5	L_{21}, B_c, V_{30}	"	"	"	"	"	"	"	
6	"	"	"	"	"	"	"	"	
7	L_{21}, B_r, V_{10}	"	3,715	1,070	558	1,461	560	611	前、後輪荷重及び車輪の荷重半径は、左右の平均値
8	L_{21}, B_r, V_{15}	"	"	"	"	"	"	"	
9	L_{21}, B_r, V_{20}	"	"	"	"	"	"	"	

5.3 不陸乗上げ試験の方法

走行路に、図-5.2に示す三角波の突起を設け、車輛が等速走行中に、右側前後輪で、これを乗越える場合の挙動を調査する。車輛には、不陸によって強制的に与えられるローリング、および乗上げ時、乗下げ時に発生する慣性力が入力される。

試験は、ラジオコントロール操縦者が、車輛に、助走区間でほぼ所定の速度になるように助走を行わせ、走行速度計測区間を通過した直後に所定の不陸を乗越えさせ、全輪が接地し安定状態に至った時点でエマージェンシーストップさせるという方法で行う。

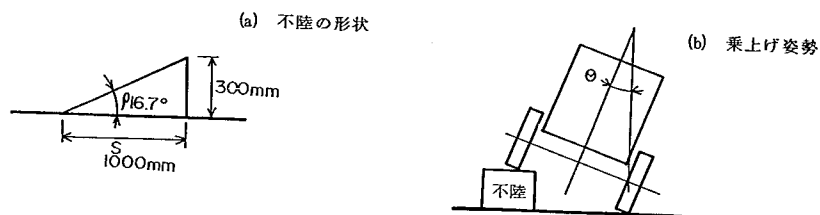


図- 5.2 不陸乗上げの状態

5.3.1 計測項目

計測は、次の項目について行う。

- ① 上下方向の加速度： 重心位置附近で、加速度変換器を用いて計測する。
- ② 左右方向の加速度： 同上の方法によって左右方向の加速度を計測する。
- 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： 5.1.1と同様の方法によって進入速度を計測する。
- ⑥ 動的挙動： 5.2.1と同様にして、動的挙動を観測する。

なお、バケット荷重は、0 ton、バケット保持姿勢は、運行姿勢(B_c)、最大リーチ(B_r)の2条件、タイヤ空気圧は標準状態とした。

6. シミュレーションによる急旋回挙動解析

車輛の動的挙動のうち、急旋回時の挙動を解析的に模倣する手法の開発を行い、実際の挙動と比較する。
解析手法の開発にあたって次の仮定条件を設けた。

- ① ステアリングを切っても重心の絶対座標は変化しない。
- ② 旋回中前後輪の軸重量は変化しない。
- ③ 車輛はセンタビンに対して対象な座標系を持つ。

6.1 車輛の軌跡（平面座標）

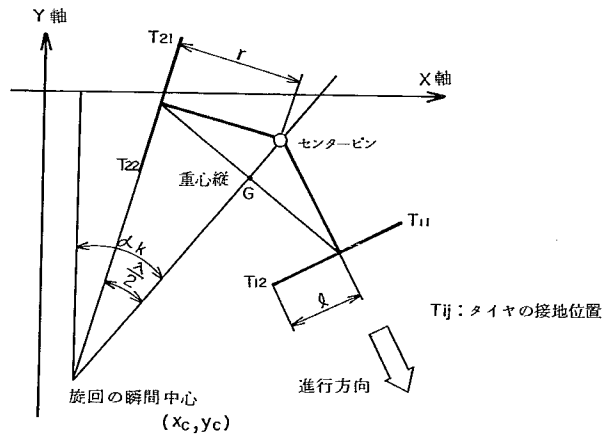


図- 6.1 車輛の任意の位置における平面座標

図- 6.1 は、車輛の任意の位置における平面座標を示すものである。左前輪の接地点を T_{11} ，右前輪の接地点を T_{12} というように定める。重心点の平面座標は、仮定①によって、前後輪の中心点を結ぶ線と、車輛座標系の対象軸との交点に位置する。今、任意の時刻における旋回の瞬間中心の平面座標を (x_c, y_c) とすると、

- 1) 旋回中心から、前後輪軸の中心までの距離 R は、

$$R = \frac{r}{\tan(\alpha)} \quad \dots\dots\dots (6.1)$$

として与えられる。

- 2) また各車輪の座標は、

$$\begin{cases} x(T_{11}) = x_c + (R+l) \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha - \phi\right) \\ y(T_{11}) = y_c + (R+l) \sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha - \phi\right) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (6.2)$$

$$\begin{cases} x(T_{12}) = x_c + (R-l) \cos(\frac{\pi}{2} - \alpha - \phi) \\ y(T_{12}) = y_c + (R-l) \sin(\frac{\pi}{2} - \alpha - \phi) \end{cases} \dots\dots\dots (6.3)$$

$$\begin{cases} x(T_{21}) = x_c + (R+l) \cos(\frac{\pi}{2} + \alpha - \phi) \\ y(T_{21}) = y_c + (R+l) \sin(\frac{\pi}{2} + \alpha - \phi) \end{cases} \dots\dots\dots (6.4)$$

$$\begin{cases} x(T_{22}) = x_c + (R-l) \cos(\frac{\pi}{2} + \alpha - \phi) \\ y(T_{22}) = y_c + (R-l) \sin(\frac{\pi}{2} + \alpha - \phi) \end{cases} \dots\dots\dots (6.5)$$

3) 重心の座標は,

$$\begin{cases} x(G) = x_c + R \cos \alpha \cdot \cos(\frac{\pi}{2} - \phi) \\ y(G) = y_c + R \cos \alpha \cdot \sin(\frac{\pi}{2} - \phi) \end{cases} \dots\dots\dots (6.6)$$

として与えられる。したがって、(6.1)～(6.6)式における α , ϕ , x_c , y_c が経時的に与えられることによって車輛の軌跡が得られる。

4) 今、車輛の運動を①ステアリングを $\Delta\lambda$ だけ切って② $v \cdot \Delta t$ だけ旋回する、という解析的手法によって近似すると、

トラクタシヤベルの各部の運動座標は、

① 状態-0において

$$\begin{cases} x(T_{11}) = x(T_{12}) = 2r \\ x(T_{21}) = x(T_{22}) = 0 \\ y(T_{11}) = y(T_{21}) = l \\ y(T_{12}) = y(T_{22}) = -l \\ x_G = r \\ y_G = 0 \\ R = \infty \\ x_c = r \\ y_c = -\infty \end{cases} \dots\dots\dots (6.7)$$

の初期値が与えられる。

② 状態-1

状態-0の位置からステアリングを λ だけ切り込む。

$$\begin{cases} \alpha_1 = \lambda/2 \\ \phi_1 = 0 \\ x_{c1} = r \end{cases}$$

$$\begin{cases} y_{c1} = R_1 \sin\left(-\frac{\pi}{2} + \frac{\lambda}{2}\right) \\ R_1 = r / \tan(\alpha_1) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (6.8)$$

③ 状態-2

状態-1の位置から、ステアリングを保持した状態でも時間だけ旋回する。

$$\begin{cases} \alpha_2 = \alpha_1 \\ \phi_2 = vt / R_1 \\ x_{c2} = x_{c1} \\ y_{c2} = y_{c1} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (6.9)$$

④ 状態-2n+1 (n=1, 2, 3, ..., n)

①~③の手法によって各状態における座標を解析的に求め、これを帰納法を用いて一般化する。

$$\begin{cases} \alpha_{2n+1} = \frac{\lambda}{2} \cdot (n+1) \\ \phi_{2n+1} = \sum_{i=1}^n vt / R_i \\ x_{c(2n+1)} = x_{c(2n-1)} + \left\{ R_n \cdot \cos\left(\frac{n\lambda}{2}\right) - R_{n+1} \cdot \cos\left(\frac{(n+1)\lambda}{2}\right) \right\} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \phi_{2n+1}\right) \\ y_{c(2n+1)} = y_{c(2n-1)} + \left\{ R_n \cdot \cos\left(\frac{n\lambda}{2}\right) - R_{n+1} \cdot \cos\left(\frac{(n+1)\lambda}{2}\right) \right\} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - \phi_{2n+1}\right) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (6.10)$$

⑤ 状態-2n+2 (n=1, 2, 3, ..., n)

$$\begin{cases} \alpha_{2n+2} = \alpha_{2n+1} \\ \phi_{2n+2} = \sum_{i=1}^{n+1} vt / R_i \\ x_{c(2n+2)} = x_{c(2n+1)} \\ y_{c(2n+2)} = y_{c(2n+1)} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (6.11)$$

が得られる。これは、クロノイド曲線を解析的に得ることに等しい。

6.2 車輛のローリング(垂直座標)

車輛の垂直座標系を、車輛の旋回中の外輪の接地点を結ぶ直線方向をX軸とし、この線と、旋回中心とセンタピンを結ぶ線の交点を原点として、座標系を定める。

後輪部は、揺動装置があるため、前輪部と後輪部とでは、転倒の状態が異なる。これを図-6.2に示す。

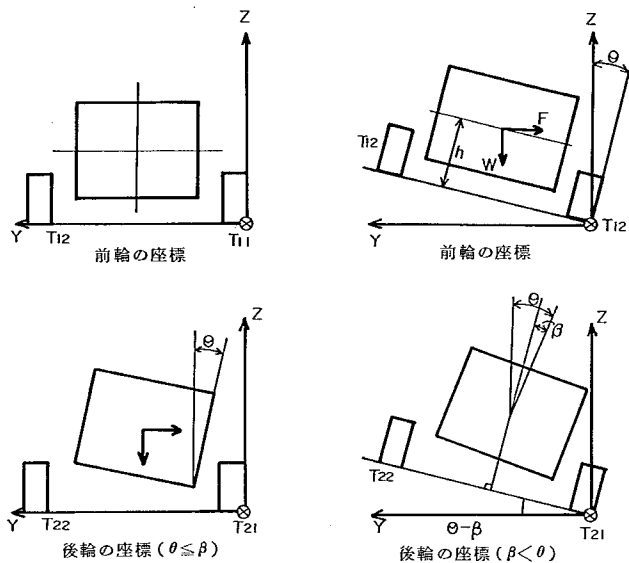


図- 6.2 トラクタシヨベルの垂直座標系

重心の座標は,

$$\begin{cases} y_G = l \cos \alpha \cdot \cos \theta - h \sin \theta \\ z_G = l \cos \alpha \cdot \sin \theta + h \cos \theta \end{cases} \dots\dots\dots (6.12)$$

前輪の内輪の座標は

$$\begin{cases} y_{T12} = 2l \cdot \cos \alpha \cdot \cos \theta \\ z_{T12} = 2l \cdot \cos \alpha \cdot \sin \theta \end{cases} \dots\dots\dots (6.13)$$

後輪の内輪の座標は,

- 1) 揺動装置が働いている時 ($\theta \leq \beta$, β : クレドール角)

$$\begin{cases} y_{T22} = 2l \cos \alpha \\ z_{T22} = 0 \end{cases} \dots\dots\dots (6.14-1)$$

- 2) 揺動装置がロックした後 ($\theta > \beta$)

$$\begin{cases} y_{T22} = 2l \cos \alpha \cdot \cos (\theta - \beta) \\ z_{T22} = 2l \cos \alpha \cdot \sin (\theta - \beta) \end{cases} \dots\dots\dots (6.14-2)$$

として与えられる。

6.3 運動方程式

X軸廻り（ローリング）の転倒モーメントは、

① 重力によるモーメント

$$M_G = -y(G) \cdot w \quad \dots\dots\dots (6.15)$$

② 遠心力によるモーメント

$$M_f = m \cdot \frac{v^2}{R} \cdot z(G) \quad \dots\dots\dots (6.16)$$

③ 前輪の反力によるモーメント

$$M_{Tf} = -k \cdot \theta \cdot y_{T12}^2 + \frac{W_f}{2} \cdot y_{T12} \quad \dots\dots\dots (6.17)$$

④ 後輪の反力によるモーメント

$$M_{Tr} = \frac{W_r}{2} \cdot y_{T22} \quad \dots\dots\dots (6.18)$$

として与えられる。

これより、

1) 四輪接地の場合（ $\theta < W_f / y_{T22} \cdot k$ ）

$$I_1 \ddot{\theta} = M_f + M_{Tf} + M_{Tr} + M_G \quad \dots\dots\dots (6.19)$$

2) 前輪内輪浮上後クレードルがロックするまで（ $W_f / y_{T22} \cdot k \leq \theta \leq \beta$ ）

$$I_2 \ddot{\theta} = M_f + M_{Tr} + M_G \quad \dots\dots\dots (6.20)$$

3) クレードルがロックされた後（ $\beta < \theta$ ）

$$I_2 \ddot{\theta} = M_f + M_G \quad \dots\dots\dots (6.21)$$

(6.19)式、(6.20)式において、車輛の慣性モーメントが異なっているのは、次の理由による。4輪接地の状態では、車輛のローリングは、内外輪のたわみによって支えられているため、車輛の回転半径を重心高さとしてすることができるが、前内輪が浮上することによって、タイヤのバネとしての作用はなくなり、回転半径が、外輪接地点から重心までの投影距離となる。したがって、

$$I_1 = I_0 + m \cdot h^2 \quad \dots\dots\dots (6.22)$$

$$I_2 = I_0 + m(h^2 + l^2) \quad \dots\dots\dots (6.23)$$

として与えられる。

電算機によるシミュレーションプログラムのフローチャートを附録-2に示す。

7. 実験結果

7.1 静的試験の結果

7.1.1 重心位置

表-7.1は、車輛の各々の条件における重心位置の結果を示したものである。図-7.1は表-7.1をもとにして、重心位置を車輛上に投影したものである。直線走行姿勢（ステアリング角 0^{DEG} ）では、Y軸方向の偏位はなく、したがって図では省略してある。

車体屈折時の重心位置は、6項において仮定した条件（前後輪軸の中心を結ぶ線と、旋回時の瞬間中心とセンタピンを結ぶ線の交点に重心がある）と同じ傾向であった。

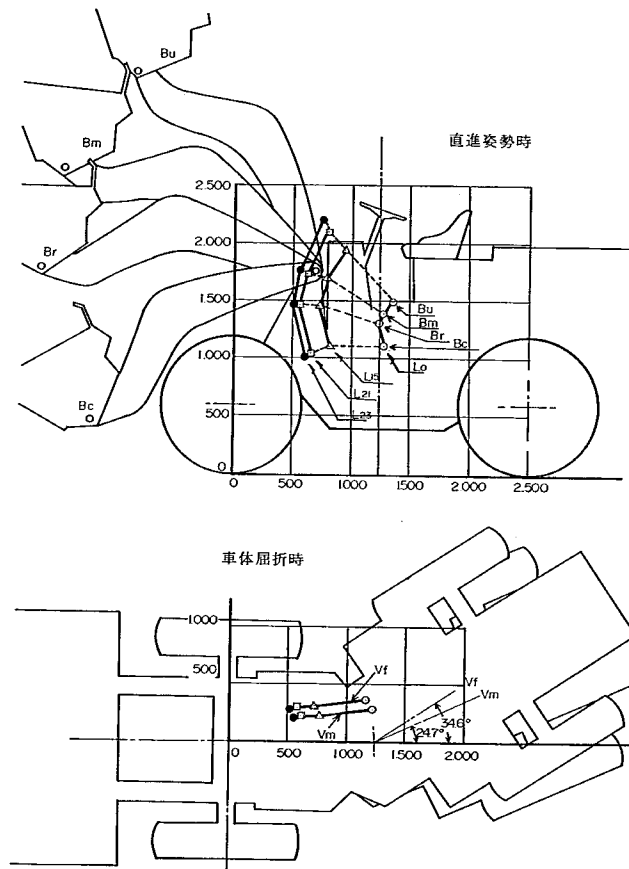


図-7.1 ロードの各種状態における重心位置

表-7.1 重心位置測定結果

重心位置 { X.....前軸中心からの水平距離
Y.....車両中心からのずれ(右を+左を-とする)
Z.....地面からの高さ

No.	測定条件	車両重量 (kg)	軸(輪)荷重 (kg)				重心位置 (mm)			車輪の荷重半径 (mm)			
			前 軸			後 軸	X	Y	Z	前 輪		後 輪	
			前軸荷重	左 輪	右 輪	荷 重				左	右	左	右
1	L ₀ B _c V _s	7,470	3,630	1,815	1,815	3,840	1,284	0	1,108	602	602	593	605
2	" " V _m	"	3,635	1,885	1,750	3,835	1,223	284	—	597	598	595	597
3	" " V _f	"	3,610	1,930	1,680	3,860	1,177	396	—	597	598	594	596
4	" B _r V _s	"	3,730	1,860	1,870	3,740	1,250	1.2	1,304	598	597	596	600
5	" B _m "	"	3,635	1,815	1,820	3,835	1,282	0.6	1,386	599	599	596	599
6	" B _u "	"	3,400	1,695	1,705	4,070	1,360	1.2	1,489	597	598	592	596
7	L ₁₅ B _c V _s	8,980	6,050	3,025	3,025	2,930	615	0	1,104	571	570	599	606
8	" " V _m	"	6,100	2,755	3,345	2,880	764	226	—	576	562	602	605
9	" " V _f	"	6,145	2,705	3,435	2,835	719	295	—	579	561	601	605
10	" B _r V _s	"	6,345	3,170	3,175	2,635	733	0.5	1,451	568	568	602	608
11	" B _m "	"	6,145	3,070	3,075	2,835	788	0.5	1,688	570	570	600	607
12	" B _u "	"	5,580	2,790	2,790	3,400	945	0	1,931	576	575	596	606
13	L ₂₁ B _c V _s	9,570	7,045	3,520	3,525	2,525	659	0	1,044	566	559	604	611
14	" " V _m	"	7,110	3,115	3,995	2,460	613	215	—	573	551	607	610
15	" " V _f	"	7,160	2,975	4,185	2,410	573	290	—	577	545	607	610
16	" B _r V _s	"	7,430	3,715	3,715	2,140	558	0	1,461	565	555	607	614
17	" B _m "	"	7,205	3,600	3,605	2,365	617	0.5	1,731	566	557	605	611
18	" B _u "	"	6,500	3,250	3,250	3,070	801	0	2,090	571	564	598	606
19	L ₂₃ B _c V _s	9,810	7,390	3,695	3,695	2,420	616	0	1,011	562	561	601	610
20	" " V _m	"	7,465	3,240	4,225	2,345	570	213	—	567	547	605	607
21	" " V _f	"	7,537	3,125	4,412	2,273	528	279	—	582	543	607	607
22	" B _r V _s	"	7,820	3,910	3,910	1,990	507	0	1,472	563	559	608	616
23	" B _m "	"	7,580	3,790	3,790	2,230	568	0	1,759	565	562	606	613
24	" B _u "	"	6,830	3,415	3,415	2,980	759	0	2,210	571	568	601	607

7.1.2 静的転倒荷重

表-7.2は、側方転倒荷重を、車輛の各測定条件について示したものである。荷重試験は、右後輪浮上（急旋回試験における後輪内輪に相当）をもって終端とした。

また、静的転倒荷重試験では、横方向けん引力が接地タイヤに対して直接に作用し、写真-7.1に示すように、タイヤがリムから外れる危険が生じ、当初予定した条件のうち、実施不可能なケースがあったのでこれは除外した。

表-7.3は、各測定条件における転倒角の変化を、前輪内輪浮上、揺動装置ロック、後輪内輪浮の場合について示したものである。2°~4°(DEG)を越える転倒角によって前輪内輪が浮上し、15.5°

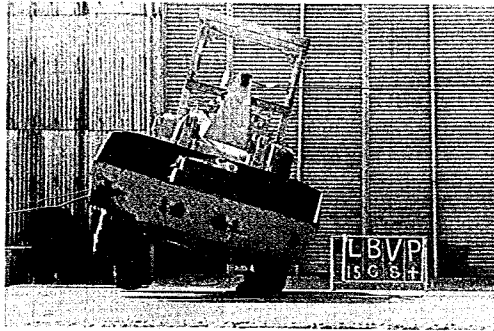


写真-7.1 静的転倒試験の状況

~17°を越えることによって後輪内輪も浮上した。表-7.3より明らかなとおり、輪荷重の変化を生じない揺動装置ロックの場合は、横方向けん引荷重が小さい。

7.1.3 タイヤのバネ係数

図-7.2は、タイヤの荷重たわみ曲線を示すものである。図より明らかな通り、荷重とたわみの関係は非線形となっており、一義的にバネ係数を決定できない。したがって、バネ係数を、荷重の微小変化に対するたわみの微小変化($\Delta\delta/\Delta L$)とし、縦バネ係数は、車輛が運行姿勢無荷重状態における輪荷重値附近における値、横バネ係数は、横たわみが0からスリップに至るたわみ（ここでは約100mm）のほぼ中間の位置における値をとった。

したがって、縦バネ係数は、

$$k_v = \left(\frac{\Delta L_v}{\Delta \delta_v} \right)_{L \approx 1.75} = \frac{1.7 - 2.0}{40 - 45} = 0.06 \text{ t/mm} \\ = 60 \text{ kg/mm}$$

横バネ係数は

$$k_h = \left(\frac{\Delta L_h}{\Delta \delta_h} \right)_{\delta = 52.5} = \frac{1.0 - 1.1}{50 - 55} = 0.02 \text{ t/mm} \\ = 20 \text{ kg/mm}$$

となった。

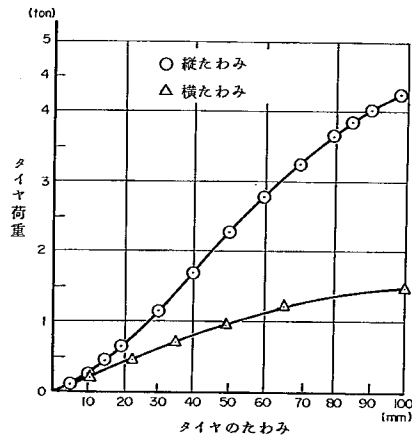


図-7.2 試験タイヤの荷重たわみ曲線図

表-7.2 ロード側方転倒荷重測定記録

No.	条 件	転倒荷重 (t)		仮作用点の位置 (m)		左右方向 の傾斜角 (度)	転倒状態における車両の姿勢 車軸端の地上高 (mm)				車両水平時の重心位置 (mm)			
		仮作用点に て(実測)	重心点に換 算(算出)	地上高	前車軸から の水平距離		前車軸		後車軸		X	Y	Z	
							左	右	左	右				
1	L ₀ B _c V _s P _s	1.92	4.18	2.41	1.28	17.0	464	1,105	532	670	1,284	0	1,108	
2	0 r s s	1.77	3.27	2.41	1.25	17.0	456	1,095	535	672	1,250	0	1,304	
3	0 u s s	1.65	2.67	2.41	1.36	17.0	470	1,105	522	657	1,360	0	1,489	
4	0 c f s	1.77	3.27	2.41	1.28	16.0	473	1,037	533	672	1,177	364	1,108	
5	0 r f s	1.65	3.05	2.41	1.25	16.0	475	1,032	532	676	—	—	1,304	
6	0 u f s	1.44	2.33	2.41	1.36	16.0	491	1,028	531	656	—	—	1,489	
7	0 c m s	1.85	4.02	2.41	1.28	16.5	480	1,052	534	674	1,223	284	1,108	
8	0 r m s	1.69	3.12	2.41	1.25	17.0	468	1,055	534	677	—	—	1,304	
9	0 u m s	1.47	2.38	2.41	1.36	16.0	477	1,070	524	678	—	—	1,489	
10	21 c s +	2.33	5.30	2.41	0.66	15.5	397	1,012	581	688	659	0	1,059	
11	15 c s +	2.20	4.75	2.41	0.82	16.0	423	1,036	574	674	815	0	1,116	
12	15 r s +	1.78	2.93	2.41	0.73	16.5	416	1,050	576	696	733	0	1,463	
13	15 u s +	1.48	1.84	2.41	0.95	16.0	448	1,049	566	654	945	0	1,941	
14	0 r s +	1.75	3.21	2.41	1.25	16.5	*500	1,123	**521	678	1,250	0	1,313	
15	0 c m +	1.90	4.10	2.41	1.28	15.5	*462	1,048	**539	658	1,223	284	1,117	
16	0 u f +	1.50	2.41	2.41	1.36	15.0	*468	1,036	**554	653	—	—	1,500	
17	0 c f —	1.60	3.55	2.41	1.28	17.5	*375	1,034	**473	668	1,177	396	1,087	
18	0 r m —	1.51	2.83	2.41	1.25	17.5	*379	1,038	**459	654	—	—	1,286	
19	0 u s —	1.86	3.04	2.41	1.36	19.0	*433	1,147	**414	666	1,360	0	1,474	右前輪が浮く以前にタイヤ (左前)の変形が甚だし く、危険なため初期荷重 のみ測定。
20	15 c s — (2.10)	—	—	2.41	0.82	(8.5)	*337	(661)	—	(611)	815	0	1,084	
21	15 c s s (2.30)	—	—	2.41	0.82	(6.5)	*439	(687)	—	(621)	815	0	1,104	
22	15 c m +	2.40	5.18	2.41	0.82	15.5	*406	992	**532	651	764	226	1,116	
23	15 u f +	1.52	1.89	2.41	0.95	15.5	*418	1,004	**536	655	—	—	1,941	

* 右側のみ実測し、車体傾斜角と車軸長さから算出した。

** 右側のみ実測し、後車軸傾斜角(車体傾斜角-揺動装置有効角)と車軸長さから算出した。

揺動装置有効角は 12.4°, 車軸長さ前後とも 2,193 mm

表-7.3 転倒に至る過程での荷重と傾斜角の変化

No	測定条件	右前輪浮		揺動装置ストップ効き		右後輪浮	
		荷重(t)	傾斜角(度)	荷重(t)	傾斜角(度)	荷重(t)	傾斜角(度)
1	$L_o B_e V_s P_s$	1.40	3.5	1.10	13.0	1.92	17.0
2	$0 r s s$	1.33	4.0	0.91	13.0	1.77	17.0
3	$0 u s s$	1.25	3.0	1.09	14.0	1.65	17.0
4	$0 c f s$	1.07	2.5	0.76	12.0	1.77	16.0
5	$0 r f s$	1.09	3.0	0.67	12.0	1.65	16.0
6	$0 u f s$	0.83	2.0	0.29	12.0	1.44	16.0
7	$0 c m s$	1.16	3.5	0.83	13.0	1.85	16.5
8	$0 r m s$	1.18	3.0	0.75	13.0	1.69	17.0
9	$0 u m s$	0.95	3.0	0.40	12.0	1.47	16.0
10	$21 c s +$	2.36	4.5	1.84	13.0	2.33	15.5
11	$15 c s +$	2.14	4.5	1.61	13.0	2.20	16.0
12	$15 r s +$	2.00	5.0	1.27	13.5	1.78	16.5
13	$15 u s +$	1.77	3.5	0.69	13.0	1.48	16.0
14	$0 r s +$	1.40	4.0	0.85	14.0	1.75	16.5
15	$0 c m +$	1.25	2.5	0.85	12.0	1.90	15.5
16	$0 u f +$	0.95	2.5	0.35	13.5	1.50	15.0
17	$0 c f -$	1.05	4.0	0.75	12.5	1.60	17.5
18	$0 r m -$	1.02	5.0	0.73	13.5	1.51	17.5
19	$0 u s -$	1.10	4.5	0.52	13.5	1.86	19.0
20	$15 c s -$ (2.10)	(8.5)	—	—	—	—	—
21	$15 c s s$ (2.30)	(6.5)	—	—	—	—	—
22	$15 c m +$	2.17	4.5	1.65	13.5	2.40	15.5
23	$15 u f +$	1.70	3.0	0.60	12.5	1.52	15.5

(荷重は仮作用点での側方転倒荷重である。)

7.1.4 慣性モーメント

1) X軸廻り(ローリング)慣性

図-7.3は、X軸廻りの固有振動数の測定結果を示すものである。左右輪は、ほぼ逆位相で振動し、振動の波形は、単振動とみなし得る。記録波形より振動の周波数を観測すると $f_x = 1.85 \text{ 1/sec}$ が得られた。7.1.3で得られたバネ係数および車輛の輪距を(4.8)式に代入して、

$$k = 60 \text{ kg/mm}$$

$$f_x = 1.85 \text{ 1/sec}$$

$$l = 1.755 \text{ mm}$$

故に、

$$I_x = 684 \text{ kgm}^2\text{-sec}^2$$

となった。

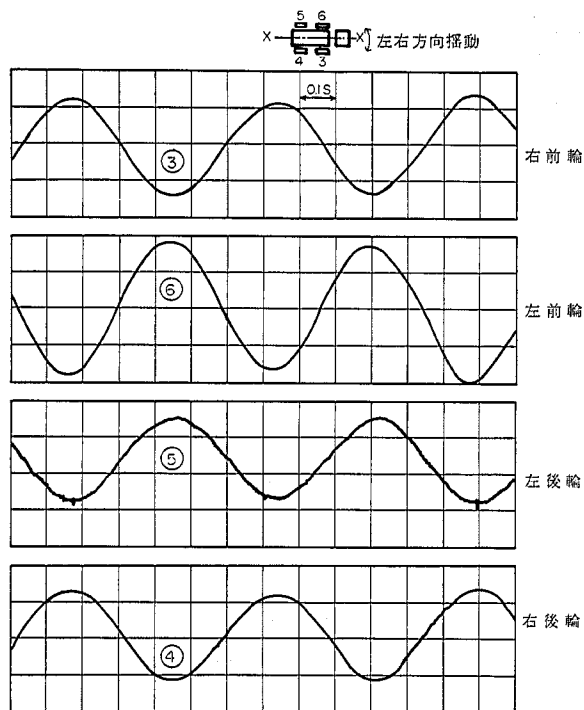


図-7.3 x 軸回りの固有振動数

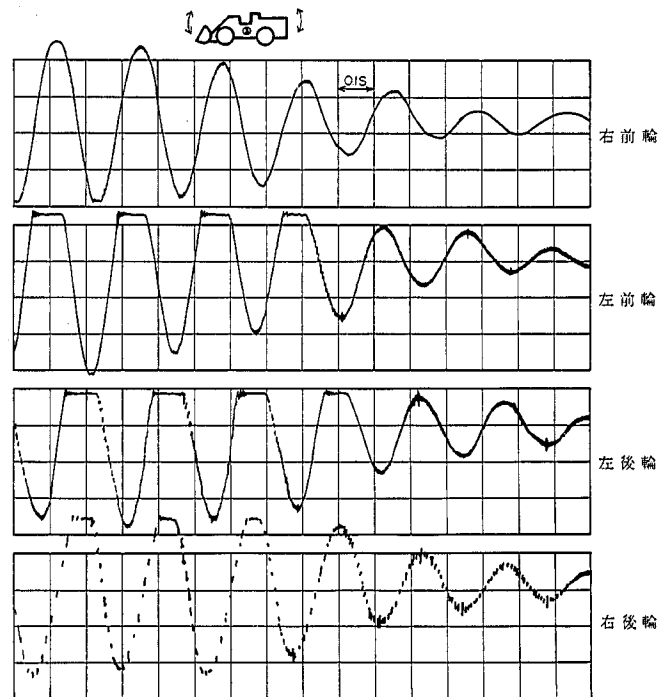


図-7.4 y 軸回りの固有振動数

2) Y 軸廻り (ピッチング) 慣性

図-7.4 は、Y 軸廻りの振動の測定結果を示すものである。振動は、前後輪が、ほぼ逆位相となり、記録においてオーバーシュートがあったものの、振動の波形は単振動とみなし得る。これより振動周波数を読み取ると、 $f_y = 4.17 \text{ 1/sec}$ となり、バネ係数、軸距を (4.9) 式に代入して、

$$k = 60 \text{ kg/mm}$$

$$f_y = 4.17 \text{ 1/sec}$$

$$l = 2.497 \text{ mm}$$

故に、

$$I_y = 545 \text{ kgm-sec}^2$$

が得られた。

なお、周波数の読取りは、全輪の位相差が最小となる時の値をとった。

7.1.5 タイヤと路面の摩擦係数

写真-7.2 は、摩擦測定試験の状況を示す。図-7.5、7.6 は、夫々 X 軸方向、Y 軸方向のけん引荷重の変化を示す。Y 軸方向の試験では、後輪軸部のみをけん引した。摩擦係数は、車輛がスリップする直前の最大けん引力を車輛の重量で除した値とした。表-7.4 は、摩擦係数の測定結果を示すものである。表より明らかとなり X 軸、Y 軸方向の摩擦係数は、ほぼ等しい。路面は、締固められた砂質ローム土であった。



写真-7.2 摩擦係数測定試験の状況

表-7.4 摩擦係数測定結果表

	最大けん引力 Kg	けん引位置	ロードの重量 Kg	摩擦係数 μ
前後方向	4,350	後部けん引	全重量 7,470	0.58
左右方向	2,200	後軸中心	後軸荷重 3,840	0.57

ただし、路面は締固められた砂質ローム土である。

7.2 動的試験の結果

7.2.1 急旋回試験

1) 急旋回転倒の状況

写真-7.3は、急旋回時の転倒に至る経過を連続写真撮映の結果から抜き出したものである。車輛は、急旋回過程にはいることによって遠心力の作用により旋回の外輪側へ荷重移動をおこし、外側へ傾斜する。約 3° (deg) 傾斜すると前輪の内輪が浮上し、後輪は揺動装置があるため接地状態を保っているが、急速に傾斜角が増し、揺動装置がロックされる。更に傾斜が進み、外輪内輪が浮上すると瞬間的に転倒に至る。

車輪は、ローリング運動を生じながら旋回する(7.3項図-7.14を参照)が、内輪浮上による推力低下が大きいと転倒に至らず復帰する場合がある。したがって、転倒挙動から復帰する事例としては、前輪内輪浮上後、前後輪内輪浮上後の2様がある。

急旋回試験は、昭和51年度4回(予備試験を1回含む)、昭和52年度14回の計18回について実施し、このうち実際に転倒した回数2回、前後輪内輪浮上1回、前輪内輪浮上8回、転倒挙動を示さなかった回数7回であった。

昭和52年度の14回のうち、理論上転倒すると予測された回数は6回、遷移点3回、転倒しないと推定された回数は6回であった。

2) 急旋回試験の結果

表-7.5は、急旋回試験における車輛の挙動測定表である。図-7.7は、実験番号2-14の転倒事例について、車輛

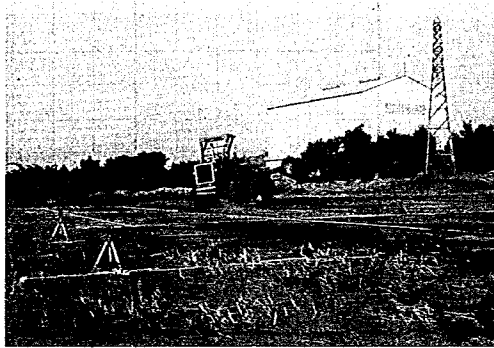


写真-7.3(1) 急旋回時の挙動



写真-7.3(2) 急旋回時の挙動

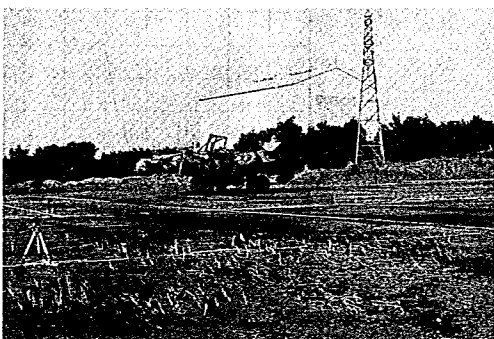


写真-7.3(3) 急旋回時の挙動

試験番号, 14 試験期日, 昭和52年11月11日 試験条件, $V_{25} \cdot R_0$

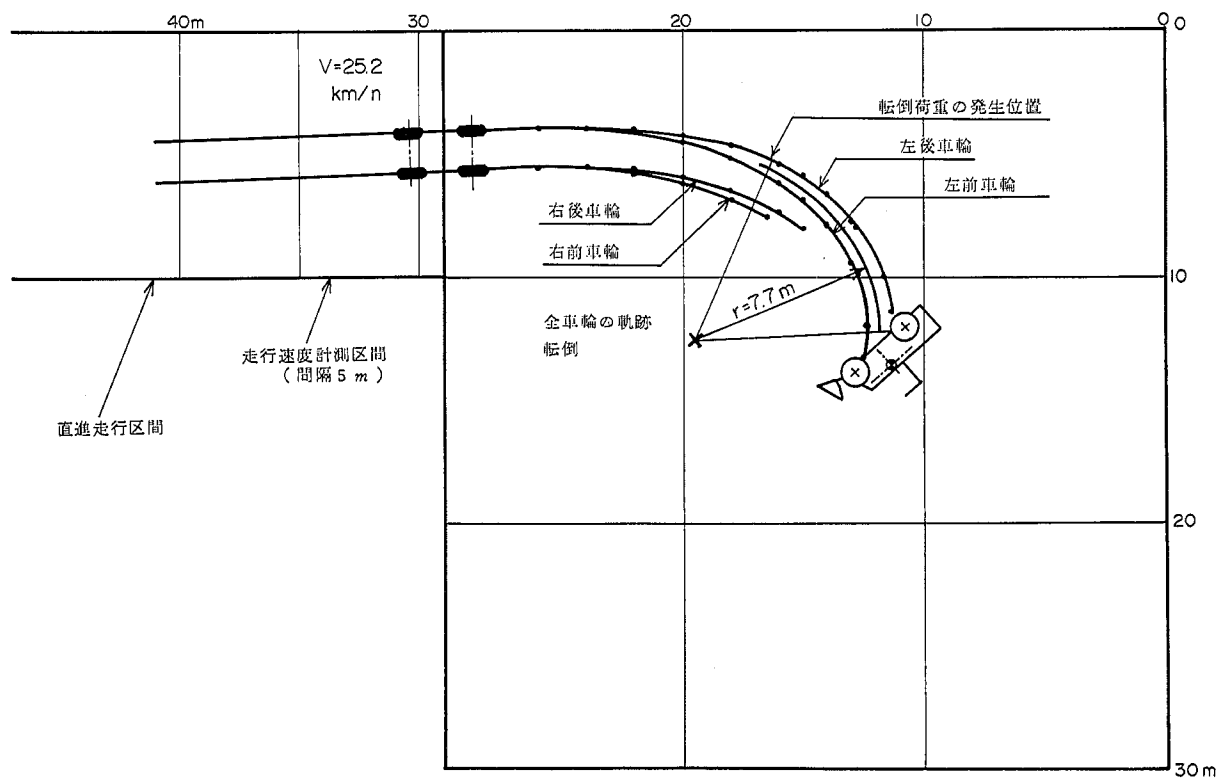


図-7.7 車輪の軌跡測定図

表-7.5 急旋回時のローダの挙動測定表

試験日 月/日	試験番号	試験条件	走行速度 Km/h	旋回半径 m	ローダの挙動	側方加速度 G m/s ²			側方傾斜角度°			合図地点からの走行距離 m				走行速度 Km/h				備考
						右前車輪 ①	右後車輪 ②	最大値 ③	右前車輪 ①	右後車輪 ②	最大値 ③	①の発生 or ②の発生 or ③の発生 ④	①の発生 or ②の発生 or ③の発生 ⑤	⑥ — ⑦ (sec) ⑧	①の発生 or ②の発生 or ③の発生 ⑨	①の発生 or ②の発生 or ③の発生 ⑩				
11/8	1	V ₁₀ R ₅	11.7	5.0	○全輪接地			0.30			1.7	6.4	6.8	0.4 (0.1)	12.7					
"	2	V ₁₅ R ₅	14.4	5.3	○			0.32			2.5	6.6	7.4	0.8 (0.2)	14.6					
11/9	3	V ₂₀ R ₇	21.8	7.8	⊗右前車輪 浮き	0.35		0.41	3.5		3.8	at ③ 5.6	at ③' 8.1	2.5 (0.4)	at ③ 23.0	at ③' 23.0				
"	4	V ₂₅ R ₁₀	32.7	14.8	×転倒	0.41	0.56		3.5	17		at ② 7.6	at ②' 13.4	5.8 (0.6)	at ② 32.6	at ②' 30.7				
"	5	V ₂₅ R ₁₀	24.9	10.4	○	0.38		0.45			4.2	at ③ 9.4	at ③' 0.3	0.9 (0.1)	at ③ 25.0	at ③' 25.0				
"	6	V ₂₇ R ₁₂	28.0	13.2	⊗	0.40		0.51	3.5		4.2	11.3	" 15.0	3.7 (0.5)	" 28.0	" 26.9				
11/10	7	V ₃₀ R ₁₂	30.4	14.2	⊗	0.41		0.52	3.5		4.2	13.4	" 17.1	3.7 (0.5)	" 28.8	" 26.9				
"	8	V ₃₂ R ₁₂	31.6	14.5	⊗	0.41		0.49	3.5		3.5	at ① 8.5	at ①' 11.7	3.2 (0.4)	at ① 31.1	at ①' 31.1				
"	9	V ₂₈ R ₁₀	28.7	13.5	⊗	0.40		0.56	3.5		17	at ③ 14.0	at ③' 19.2	5.2 (0.7)	at ③ 26.9	at ③' 24.6				
"	10	V ₂₃ R ₇	23.8	8.2	⊗	0.35		0.44	3.5		10.5								合図位置不明	
"	11	V ₁₇ R ₅	16.8	5.4	○				2.5		3.5		at ①' 9.1			at ①' 18.0			加速度不明	
"	12	V ₁₉ R ₅	18.6	6.2	⊗				3.5		6.3		" 8.4			" 19.2				
"	13	V ₂₂ R ₅	22.8	7.0	△右前後車輪 共浮き	0.34	0.54	0.81	3.5	17	25	at ① 4.0	" 7.8	3.8 (0.6)	at ① 24.2	at " 23.0			走行パルス不明箇所有り	
11/11	14	V ₂₅ R ₅	25.2	7.7	×	0.35	0.54		3.5	17		6.7	" 11.4	4.7 (0.6)	26.9	at " 23.0			"	

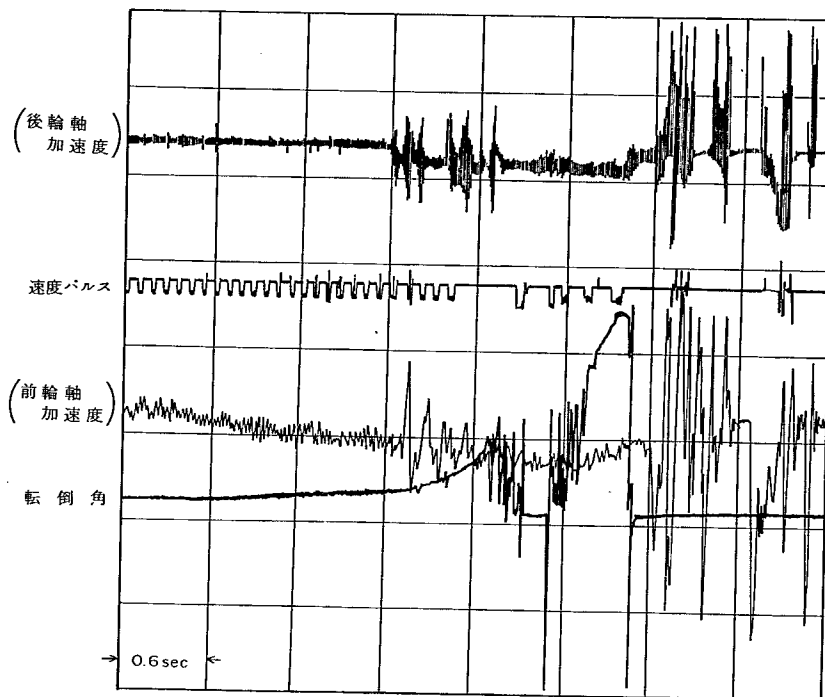


図-7.8 急旋回試験における実測例 (V_{25} , R_5)

の軌跡を示したものである。図-7.8は、同じ事例について、転倒に作用した加速度、転倒角、旋回速度の実測例を示すものである。前輪内輪が浮上するまでは、車輻はゆるやかなローリング振動をしながら旋回し、前輪内輪が浮上した後急速に転倒に至ることがわかる。(図-7.15 参照) また図-7.7の軌跡において、車輻の前後輪は、同一軌跡を描いておらず旋回中の後輪スリップが観測される。内輪浮上の点について観測すると、転倒事例では、内輪浮上後直ちに後輪浮上となっている。

図-7.9は、車輻に発生した加速度の変化を、いくつかの典型的な事例についてプロットしたものである。図より明らかとなり、転倒に至った事例では、加速度は一価格に増加し、途中で復帰した事例では加速度の減小が認められる。(附録-3に急旋回試験における車輻の軌跡および計測のデータを示す)

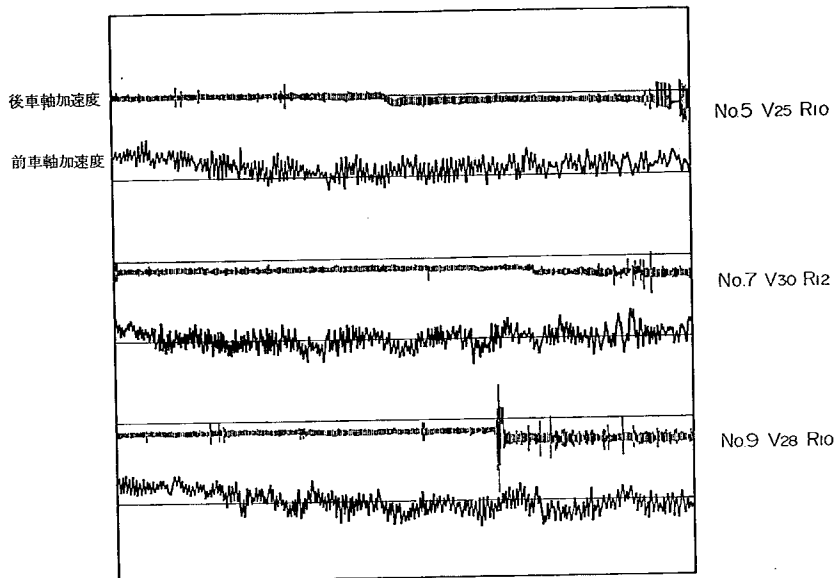


図-7.9 急旋回試験における加速度の変化

3) 急旋回試験のまとめ

図-7.10 は、急旋回試験における旋回半径と走行速度、これらから計算される遠心力の関係を示し、実際の結果をプロットしたものである。图中④-⑧線は、静的試験によって得られた後輪内輪浮上、⑨-⑬線は、同様にし得られた前輪内輪浮上の限界線を示すものである。

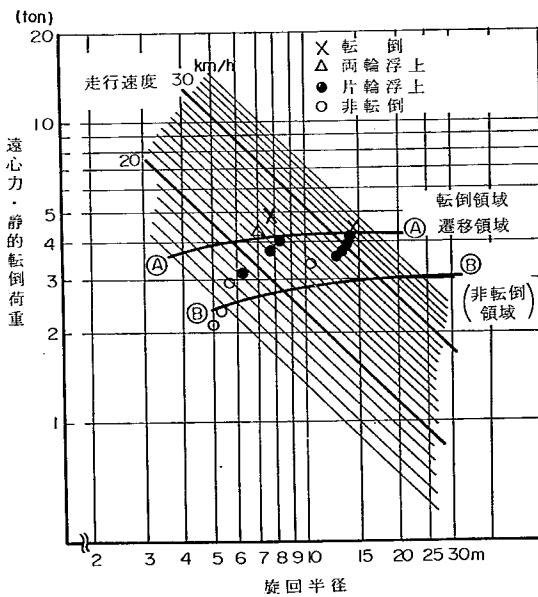


図-7.10 転倒安定図

実際の急旋回転倒の事例から判断すると、④-④線を越えるデータは、転倒あるいは内輪両輪浮上となり、よく一致しているが、⑤-⑤線を越える条件でも、実験番号2-5、2-11のように転倒挙動を示さないデータがあり静的な試験と実際の動的試験とは一致しない事例も認められた。

なお、図-7.10における走行速度は、速度計測区間における光電スイッチのデータを用いたもので、実旋回中の走行速度とは若干異なるであろう。

7.2.2 急制動試験

1) 急制動時の挙動

写真-7.4は、急制動時の挙動を示すものである。実際に、急制動による転倒は発生せず、写真にも示されるとおり、やや前傾してはいるものの、後輪が浮上するような事態は生じなかった。

2) 試験の結果

急制動試験は、車輛条件を変えて9回実施した。表-7.6にその結果を示す。



写真-7.4(1) 急制動試験の状況



写真-7.4(2) 急制動試験の状況

表-7.6 急制動時のロードの挙動測定表

試験日 昭和52年11月1日

試験 番号	試験条件	走行速度 v $\frac{\text{km/h}}{(\text{m/s})}$		制動 時間 Δt sec	前方加速度 $\alpha(G)$		前傾角度 θ°
		光電管	回 転 パルス		$v/\Delta t \cdot g$	実測値	
1	I_0, B_c, V_{30}	33.3	33.5 (9.3)	3.0	0.32	0.43	0.6
2	I_0, B_r, V_{30}	34.0	33.8 (9.4)	3.0	0.32	0.40	0.9
3	I_{21}, B_c, V_{10}	11.7	11.9 (3.3)	1.2	0.28	0.33	1.1
4	I_{21}, B_c, V_{10}	20.1	20.9 (5.9)	2.0	0.30	0.35	1.2
5	I_{21}, B_c, V_{20}	31.9	32.8 (9.1)	3.3	0.28	0.37	1.1
6	I_{21}, B_c, V_{30}	31.9	32.4 (9.0)	3.3	0.27	0.40	1.7
7	I_{21}, B_r, V_{10}	6.5	6.5 (1.8)	0.7	0.26	0.30	1.5
8	I_{21}, B_r, V_{15}	11.7	11.9 (3.3)	1.2	0.28	0.35	1.4
9	I_{21}, B_r, V_{20}	17.8	18.0 (5.0)	1.7	0.30	0.35	1.6

いずれの試験条件においても後輪浮上状態は発生せず、軌跡を観察しても、スリップした形跡は認められなかった。

制動においては、制動力を F 、走行速度を v とすれば、

$$Ft = mv \quad \dots\dots\dots (7.1)$$

t : 制動時間

m : 車輛質量

の関係があり、等加速度運動（速度の減小率が時間に対して一定）と仮定すれば、制動加速度 a は、

$$a = \frac{v}{t} = \frac{F}{m} \quad \dots\dots\dots (7.2)$$

で与えられる。図-7.11 は、急制動試験における X 軸方向の加速度、傾斜角（ビッチング）の 1 例を示したものであるが、図より明らかなとおり、急制動が作用して制動力が働き始めると、 X 軸方向の加速度は一定値になっている。即ち、これは、(7.2) 式の関係を示しているものであり、また、試験車輛の制動力は一定とみなせるところから、表-7.6 に示す前方向加速度は、ほぼ同じような値を示している。今回の試験の結果から、対象車輛の制動力は 2.5 ton と推定され転倒に至る可能性は認められなかった。

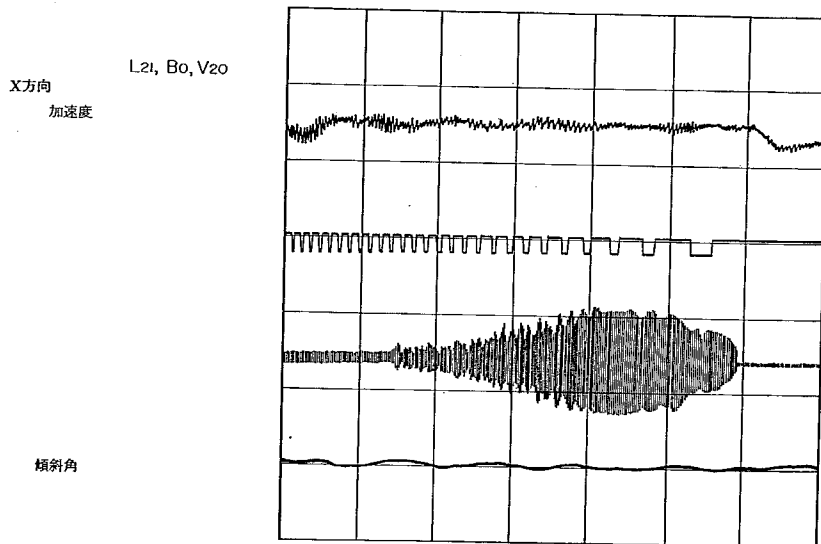


図-7.11 急制動実験結果

7.2.3 不陸乗上げ試験

1) 不陸乗上げの挙動

写真-7.5 に不陸乗上げ時の挙動を連続的に示す。不陸乗上げ試験は、バケット保時の位置が運行姿勢におけるものを3回、最大リーチにおけるものを1回実施した。今回の実験では転倒に至らなかった。

2) 試験の結果

表-7.7 は、不陸乗上げ時における車輻の挙動測定結果を示すものである。図-7.12 は実験番号3の加速度、傾斜角の経時変化を示したものである。不陸乗上げ時に発生する加速は、①乗上げた瞬間に生じ

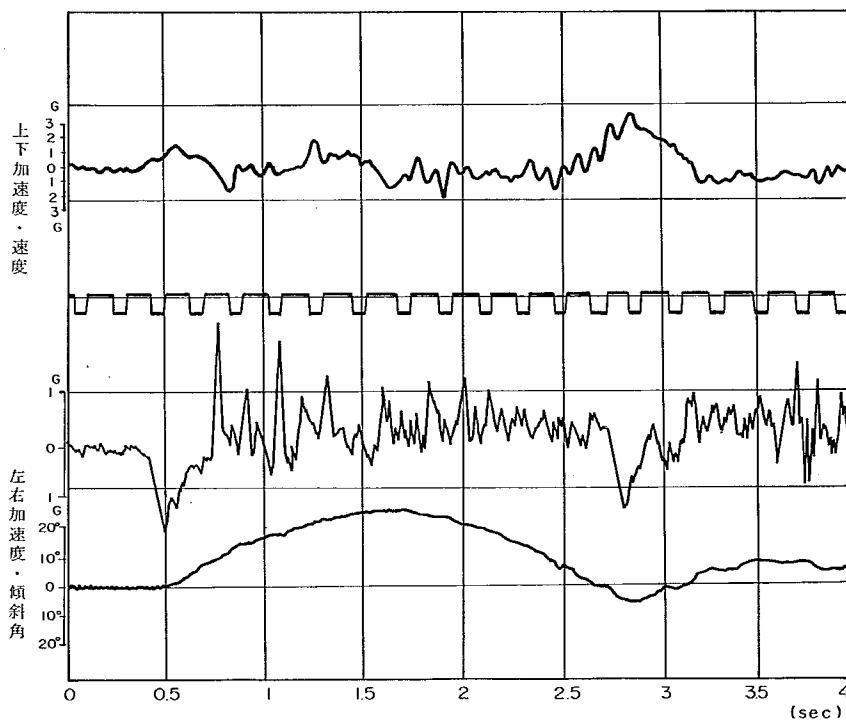


図-7.12 不陸乗上げ時の挙動

る上向速度の立上り時の加速度、②不陸面走行中の重心の旋回によって生じる加速度、③車輻接地瞬間の加速度の3様がある。①の加速度は、

$$\alpha_1 = \frac{v \cdot \sin \rho}{2 \cdot \Delta t} \quad \dots\dots\dots (7.3)$$

v : 進入速度

ρ : 不陸の勾配

Δt : 不陸に乗上げてから車輻が傾斜するまでの時間

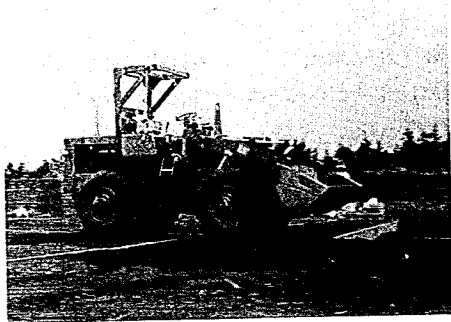


写真-7.5(1) 不陸乗上げ試験の状況

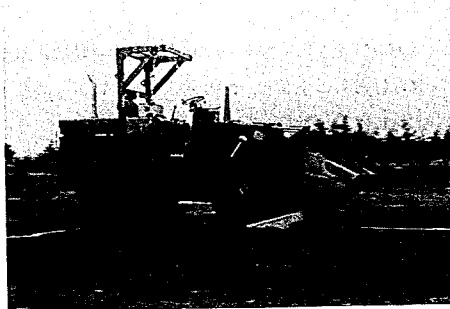


写真-7.5(2) 不陸乗上げ試験の状況

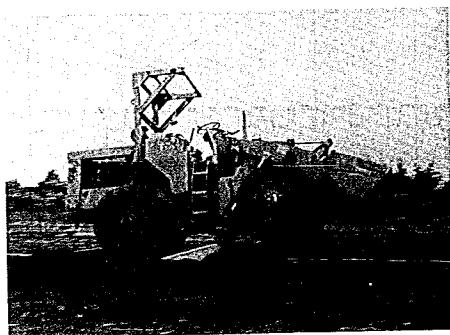


写真-7.5(3) 不陸乗上げ試験の状況



写真-7.5(4) 不陸乗上げ試験の状況

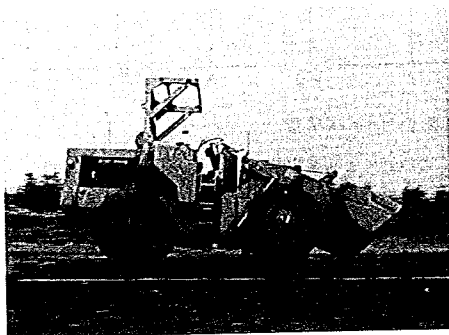


写真-7.5(5) 不陸乗上げ試験の状況



写真-7.5(6) 不陸乗上げ試験の状況

表-7.7 不陸乗上げ時のローダの挙動測定表

試験日 昭和52年11月2日

試験 番号	試験条件 バケット保持位置と走行速度	走行速度 V Km/h (m/s)		上下方向最大加速度 αG 実 測 値		左右方向最大加速度 $\alpha \phi G$ 実測値(ローダの進行方向により)		所 要 時 間 sec	
		光 電 管	回転パルス	下向き, + (重力方向)	上向き, - (反重力方向)	右方向 +	左方向 -	①が発生する までの時間	②が発生する までの時間
1	$B_c V_{10}$	9.5	9.5 (2.64)	① +0.40	② -0.44	③ +0.22	④ -0.48	⑤ 0.11	⑥ 0.27
2	$B_c V_{20}$	17.7	17.9 (4.97)	+0.68	-0.80	+0.68	-0.62	0.10	0.28
3	$B_c V_{30}$	28.8	28.8 (7.99)	+0.74	-0.67	+1.06	-0.44	0.08	0.20
4	$B_r V_{30}$	31.0	30.6 (8.51)	+0.60	-0.84	+0.44	-0.48	0.10	0.24
試験 番号	試験条件 (同上)	所 要 時 間 sec		不陸を乗越え 終るまでの時間 sec	側方最大傾斜 角度と所要時間 ° (sec)				
		③が発生する までの時間	④が発生する までの時間						
1	$B_c V_{10}$	⑦ 0.16	0.45	0.38	16.6 (0.59)				
2	$B_c V_{20}$	0.12	0.44	0.20	19.3 (0.41)				
3	$B_c V_{30}$	0.06	0.30	0.13	23.7 (0.51)				
4	$B_r V_{30}$	0.07	0.36	0.12	17.6 (0.53)				

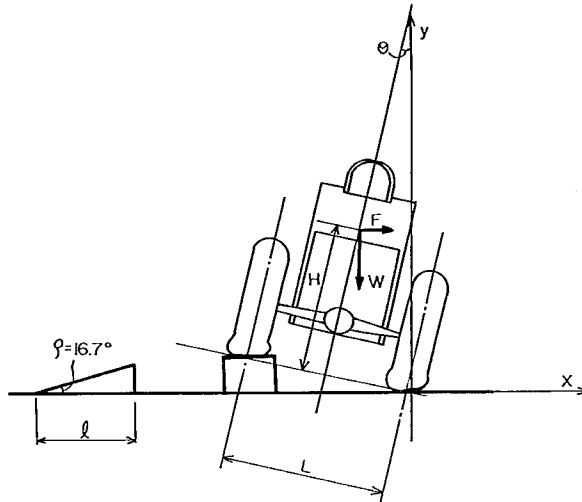


図-7.13 不陸面走行中の重心座標系

であたえられる。実測値から dt を求め、 α_1 を計算すると、 α_1 は、 $1.44 G$ となり、実測値の合成加速度は $1.3 G$ であり、よく一致する。②の加速度は、重心の座標を 2 回微分して、図-7.13 に示す関係図において、

$$z = H \cdot \cos \theta + \frac{L}{2} \sin \theta \quad \dots\dots\dots (7.4)$$

$$y = -H \cdot \sin \theta + \frac{L}{2} \cos \theta \quad \dots\dots\dots (7.5)$$

また図より、

$$\cos \theta = \left\{ 1 - \left(\frac{l}{L} \cdot \sin \rho \right)^2 \right\}^{1/2} \quad \dots\dots\dots (7.6)$$

$$\sin \theta = \frac{l}{L} \cdot \sin \rho \quad \dots\dots\dots (7.7)$$

(7.4) 式を時間で 2 回微分して、 $d^2 l / dt^2 = 0$ (定速走行) だから、(7.4)、(7.5) 式は、

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = H \left(\frac{d \theta}{dt} \right)^2 \left\{ - \left\{ 1 - \left(\frac{l}{L} \sin \rho \right)^2 \right\}^{-3/2} \left(\frac{\sin \rho}{L} \right)^4 \cdot l^2 + \left\{ 1 - \left(\frac{l}{L} \sin \rho \right)^2 \right\}^{-1/2} \right\} \dots\dots (7.8)$$

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{d^2 z}{dt^2} \cdot \frac{L}{2H} \quad \dots\dots\dots (7.9)$$

ここで、 $(l \cdot \sin \rho / L)^2$ が微少項であるから、2 項定理により展開して高次項を省略すると、

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = H \cdot \left\{ 1 - \frac{3}{2} \left(\frac{l}{L} \sin \rho \right)^2 \right\} \cdot \left\{ 1 + \left(\frac{l}{L} \sin \rho \right)^2 \right\} \cdot \left(\frac{\sin \rho}{L} \right)^2 \cdot \left(\frac{d \theta}{dt} \right)^2 \dots\dots (7.10)$$

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{L}{2H} \cdot \frac{d^2 z}{dt^2} \quad \dots\dots\dots (7.11)$$

更に高次項を省略して,

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{l}{L} \sin \rho \right)^2 \right\} \cdot \left(\frac{\sin \rho}{L} \right)^2 \cdot \left(\frac{dl}{dt} \right)^2 \cdot H \quad \dots\dots\dots (7.12)$$

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{l}{L} \sin \rho \right)^2 \right\} \cdot \left(\frac{\sin \rho}{L} \right)^2 \cdot \left(\frac{dl}{dt} \right)^2 \cdot \frac{L}{2} \quad \dots\dots\dots (7.13)$$

ここで,

H : 重心点の地面からの高さ

L : 輪 距

l : 不陸の始点からの距離

ρ : 不陸の勾配

が得られる(7.12), (7.13)に諸数値を代入して合成加速度を求めると($9.0 \times 10^{-3} G$)となり, ②の状態では加速度が生じないものとみなせる。また計算された加速度の比率は, 水平方向が大きい。実測値においても水平方向の加速度が大きく観測されている。しかしその値は計算によって得られる値よりもはるかに大きく, 実際の挙動では加速度発生の原因が他にあるものと思われる。接地点において生じる加速度は, 自由落下中の物体が急速に停止する現象と等しいので, 理論的に $2G$ の加速度が発生する。実測値では約 $2.5G$ の加速度が作用している。

3) 不陸乗上げによる転倒

図-7.1.2の傾斜角の時間変化は, 近似的に放物線と考えられる。この仮定から,

① 車輻が不陸を越えて接地するまでの時間 t_0 は,

$$t_0 = \frac{v}{g} = \frac{7.86 \text{ m/sec}}{9.8 \text{ m/sec}^2} = 0.8 \text{ (sec)}$$

実測値において, 不陸ステップを離れた瞬間から, この時の勾配と同じになる時間は, 0.8 sec と計算値に等しい。この仮定により最大傾斜角は,

$$\phi = \sin^{-1} \cdot \frac{1}{L} \left(\frac{\sin^2 \theta}{2g} \cdot v^2 + l \cdot \tan \theta \right) \quad \dots\dots\dots (7.14)$$

で与えられる。実験番号3について, (7.14)式に車速を代入すると $\phi = 19^\circ$ となるが, 実測値は 23.7° であり, 実測値の方が大きい。また, 他の実験例においても一致しない。これは, (7.6)式がタイヤのバネ係数, 車輻の回転慣性力を無視した結果生じた誤差と思われる。

7.3 シミュレーションによる転倒解析の結果

図-7.1.4は, シミュレーションの結果を, 図-7.1.0に示す転倒安定図にプロットしたものである。シミュレーションでは, 現実の急旋回とは異なって, 旋回途中での走行速度の低下がないため, 転倒, 非転倒の2様の形態のみである。旋回速度 27.5 km/h を越える条件では全て転倒に至り, 25 km/h 以下では, ④-④線を越える領域でも転倒に至らない事例がある。これは, 前輪内輪が浮上した時点で, 方程式が発散するためであって, 実際は, 内輪浮上によって速度が低下し, 遠心力が小さくなって発散しない場

合がある。

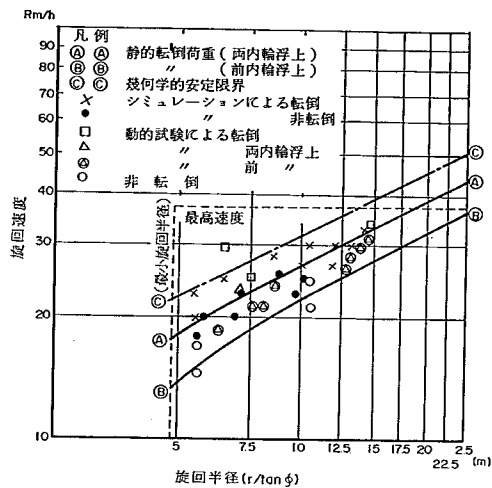


図-7.14 車輛の転倒安定図 (試験車輛)

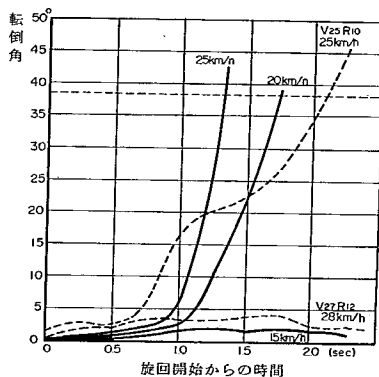


図-7.15 トラクタシミュレーション結果

図-7.15は、図-7.14の④-⑧線の、ほぼ線上をシミュレーションした結果を、転倒角の経時変化で示したものである。転倒に至らない事例では、車輛は1.6～2.0 Hzで振動しており、これは慣性モーメント試験において求めた車輛のローリング振動周波数1.85 Hzとほぼ等しい。

転倒に至った事例では全て前輪内輪浮上を境として、転倒側へ大きく発散していく形となっている。現実の車輛においても、転倒角が生じると、重心位置は高くなり重心の水平距離は短くなるため((6.12)式参照)、安定モーメントは減少し、逆に転倒モーメントは大きくなり、運動は発散的である。後輪は揺動装置があるためバネ反力は考えられず、したがって、前輪内輪浮上の時点が発散点となっている。

8. 結 論

昭和51, 52年度の調査試験によって、種々の条件における動的挙動が観測され、車輪式トラクタショベルの動的安定性に関して次の結論が得られた。

(1) 急旋回では、転倒に至る危険がある。また転倒は、車輛の幾何学的な安定限界内で生じ、これは静的試験における前後輪内輪浮上の条件（図-7.14の④-④線）に近似している。電子計算機によるシミュレーションの結果も同様な傾向を示している。これは、(6.21)に示す運動方程式において、 $(M_f + M_G > 0)$ の条件が成立すればこの方程式は単純増加関数となることから裏付けられる。また、 θ が増加するに従って、 M_G は減少し、 M_f が増加することから、(6.20)式から(6.21)式に変化する時点で、先の $(M_f + M_G)$ は正であり、したがってクレードルがロックする条件を超えれば、車輛は発散的に転倒へ至ることになる。

静的試験と動的試験を比較すると、タイヤの変形は、著しく異なっている。静的な引張試験では、タイヤの著しい横たわみが観測されるが、動的試験では、タイヤの変形は小さい。このように、部分的な挙動では異なっているものの全体的には、急旋回時の転倒を静的試験に置き換えることが可能である。電算機によるシミュレーションは、旋回中の速度変化、あるいはホイールの慣性、車体のヨーイング慣性を考慮し、より実際のな形とする必要がある。

(2) 急制動では転倒しない。

現実に車輛においても1Gを超える制動力を備えておらず、また、転倒に必要な制動加速度は、キャリ状態で1G以上である。

(3) 不陸乗上げでは、転倒に至る可能性がある。昭和52年度の実験では転倒に至らなかったが(7.6)式に示されるように、傾斜角は、不陸勾配、進入速度に対して増加関数となっており、勾配、進入速度の条件次第では、転倒に至ることが考えられる。

9. あ と が き

車輪式トラクタシヨベルを含めて、建設機械は転倒しないものというのが、これまでの一般的な考え方であった。しかし、本試験の結果、条件によっては車輪式トラクタシヨベルは、転倒することが明らかになった。

我々は、この成果を基にして、建設機械の安全性試験における横転試験法を提案するとともに、ハードウェア的には、横転に対して安定性の大きな建設機械の設計法等について検討していくつもりである。

次年度は、複合事象の場合について実験し、またシミュレーションプログラムの精度を向上させる予定である。

なお、本試験のうち、転倒実験は、建設機械化研究所に委託して実施したものであり、末尾ながら感謝の意を表する。

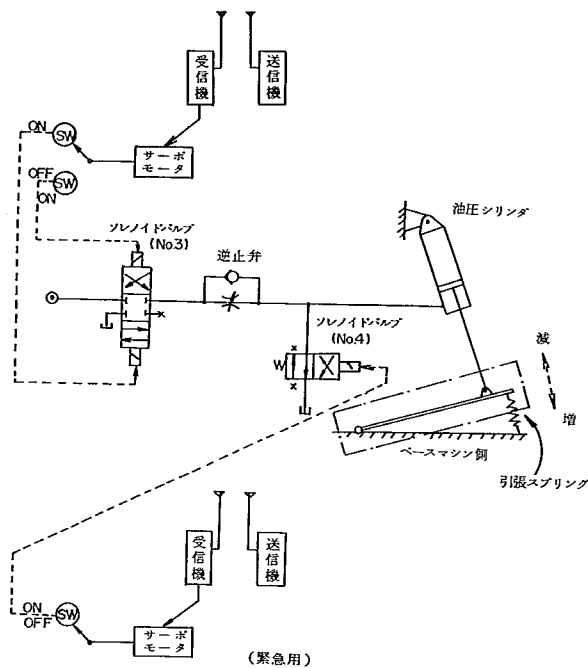
10. 参 考 文 献

トラクタシヨベルの運動方程式を作成する段階で、次の論文・文献を参考にした。

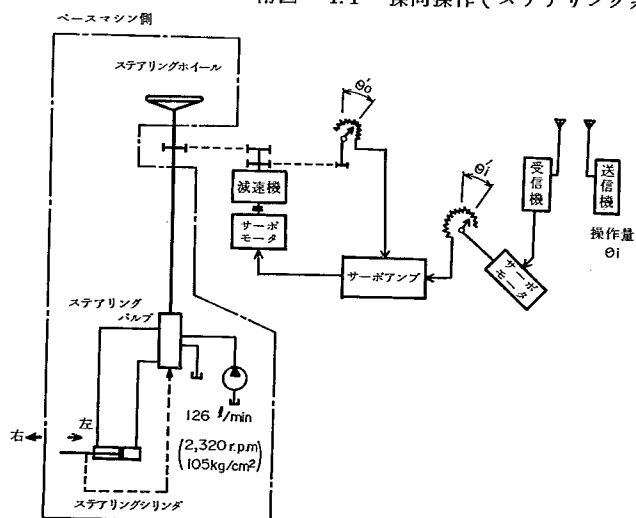
- 1) 横田卓佳・今泉弘男 実車衝突および転覆試験方法
自動車技術 Vol 22 ㍿9 1968 P 857
- 2) 中塚武司・高波克治 自動車の旋回時の安定について(第2報)
自動車技術 Vol 21 ㍿2 1967 P 128
- 3) 近藤政市 自動車の旋回時のロール角および各車輪荷重の計算法
自動車技術 Vol 16 ㍿7 1962 P 360

附録一 1 車輛の無線操縦系

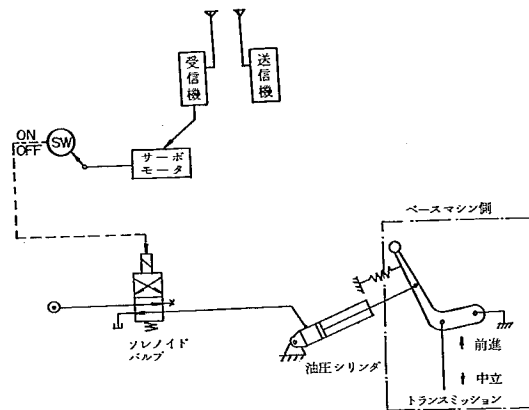
無線操縦の送受信機は市民バンド帯に搬送周波数を有する民生用の 6 ch マルチプルラジオコントロールである。操縦系の機構は、附図一 1.1 ～附図一 1.5 に示すとおりである。



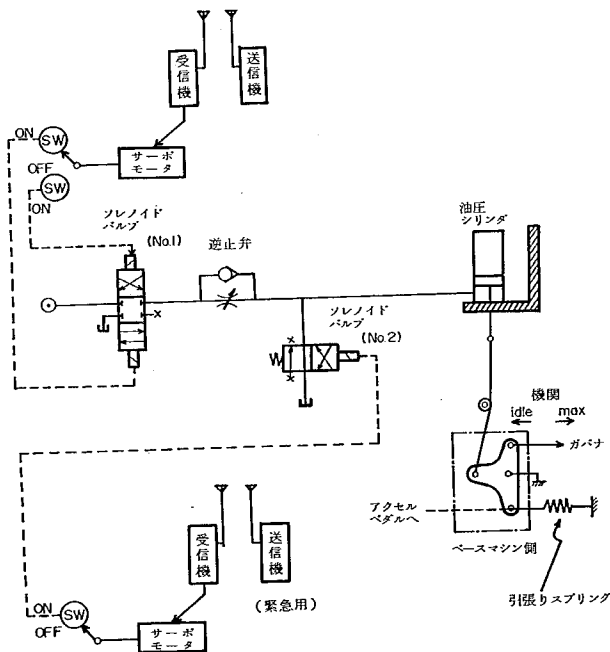
附図-1.1 操向操作(ステアリング系)



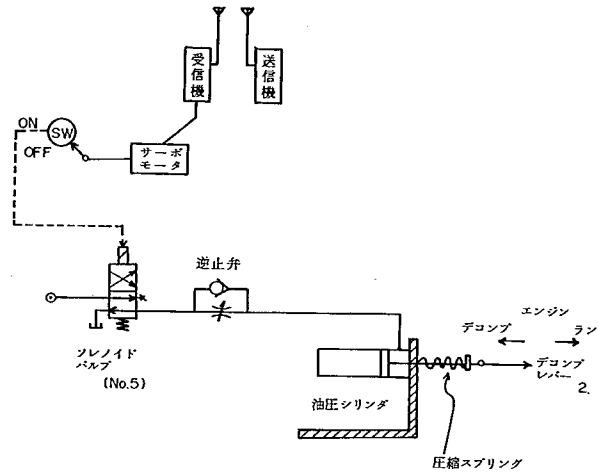
附図-1.2 制動操作系(ブレーキ系)



附図-1.3 変速操作 (トランスミッション系)



附図-1.4 減速操作 (アクセル系)



附図－ 1.5 機関停止操作（エンジン系）

附録—2 シミュレーションプログラム

車輛の急旋回時の転倒は、(6.1)～(6.23)式によって記述される。ここに示すプログラム記述書、プログラムのジェネラルフローおよびプログラムリストは、上述の解析式を用いて、これを電子計算機で実行可能なフォーメーションに変換したものである。(6.19)～(6.21)に示す微分方程式は、Runge-Kutta-Gillの方法で解いたものである。このファンクションは、RKLDEQのコーリングネームを持ち、CDC-6600およびCDC-3600のアプリケーションプログラムとして供給されているものである。したがって、上述の電子計算機以外では、サポートされないので注意が必要である。なお、このファンクションは、サブルーチンINTE(転倒角計算ルーチン)の中で用いられている。

1) プログラム記述書

④ 入力データ

主プログラムの入力データは、車輛の進入速度、ステアリングを切る速度である。対象車輛の物理諸元は、サブルーチンISETで入力される。

⑤ 計算の順序

計算のフローは、附図—2.1～2.3に示すとおりである。但し、(6.8)、(6.9)式に示す状態1.2では帰納式による一般解が与えられないので、個別に計算される。これらの状態ステップの判別はメインプログラムで実行され、状態1.2はまたメインプログラム中に含まれている。

個々の計算ステップは全てサブルーチン化されており詳細は、プログラムリスト中にコメントとして示されている。

時刻と計算のステップは、附図—2.4を参考にされたい。

⑥ 出力データ

出力は、附図—2.4に示す、ステップ(STEP)、時刻(TIME)および、ステアリング切り角(STEERING ANGLE)、旋回角(MOTION-ANGLE)、転倒角の各ステップごとの初期値(GRAVITY ANGLE)を標題として出力し、各車輪、重心位置、旋回の瞬間中心の立体座標、および転倒角のサブステップ(SUB-STEP)ごとの時刻、ステアリング切り角、重心の傾斜角、内輪(前輪)の浮上高さ、および車輛の傾斜状態(A:四輪接地、B:前内輪浮上、C:両内輪浮上、FALL DOWN:転倒)を示す。

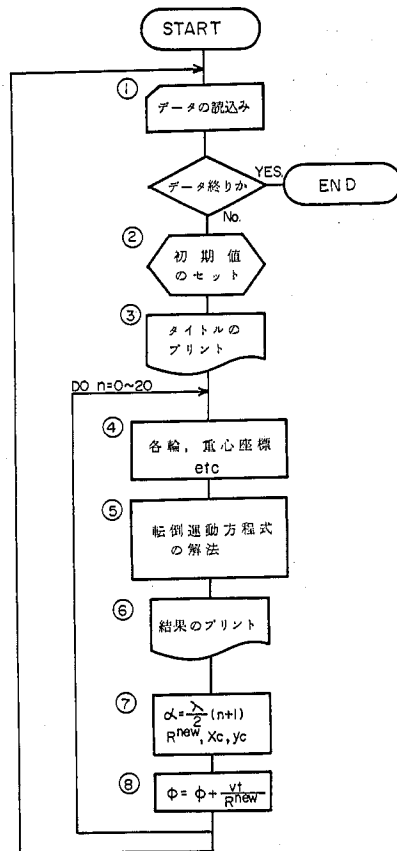
2) プログラムリスト

附表—2.1に転倒解析プログラムのプログラムリストを示す。

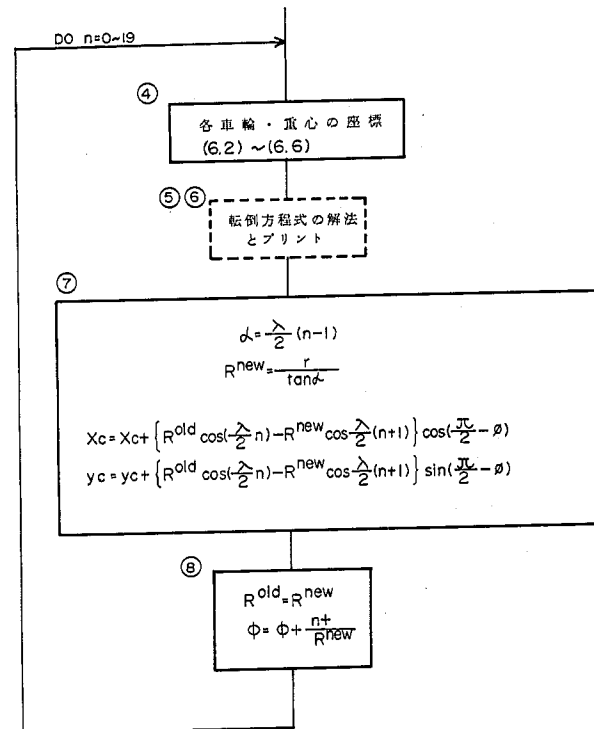
3) 実行結果

附表—2.2は、実行結果のプリントアウトの1例を示すものである。出力フォーマットの内容については、1)～⑥の記述を参考にされたい。

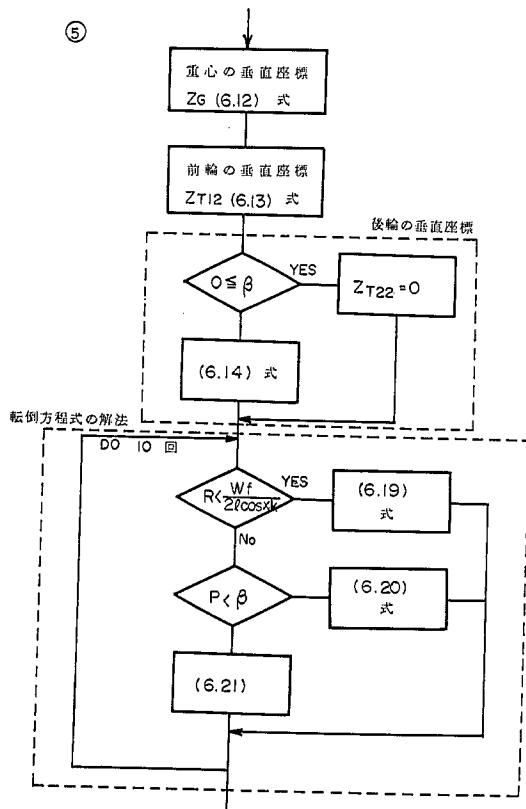
附図—2.5～2.32は、シミュレーション解析結果の1部を示したものである。図は、急旋回運動にはいつてからの経過時間と、その時の重心の傾斜角(deg)で示されている。なお、Vは旋回速度(km/h)、VSはステアリングを切る速度(30 degを回転させる時間)、RFは旋回半径である。



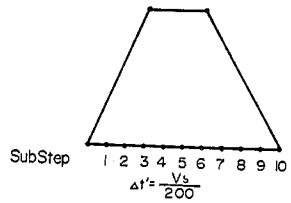
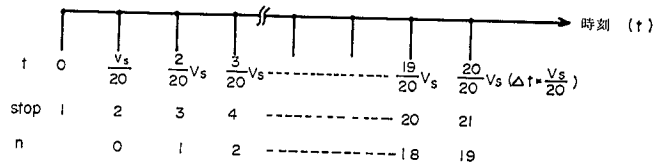
附図-2.1 プログラムのジェネラルフロー



附図-2.2 軌跡の計算ルーチン

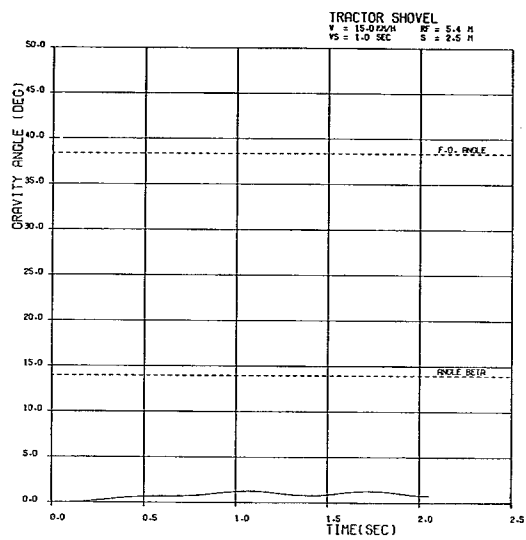


附図一 2.3 重心傾斜角の計算ルーチン

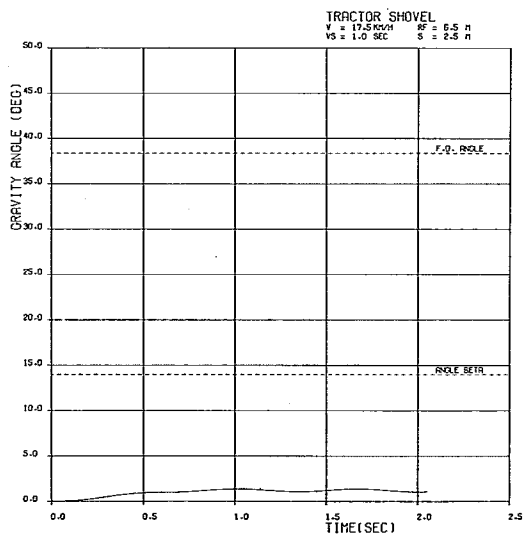


$$\text{時刻} \quad t = (\text{step} - 1) \times \frac{V_s}{20} + \text{SubStep} \times \frac{V_s}{200}$$

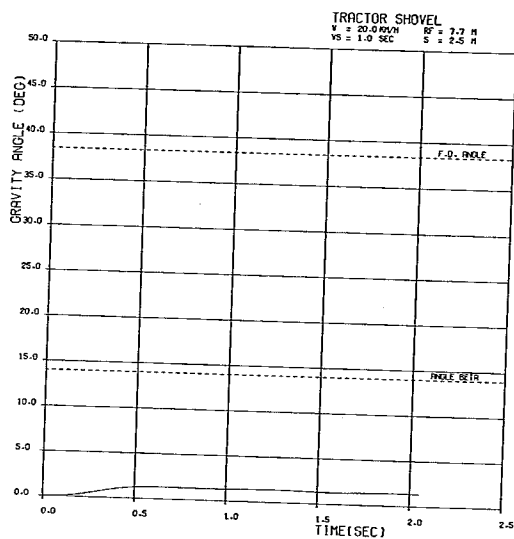
附図-2.4 量子化時間と計算のSTEP



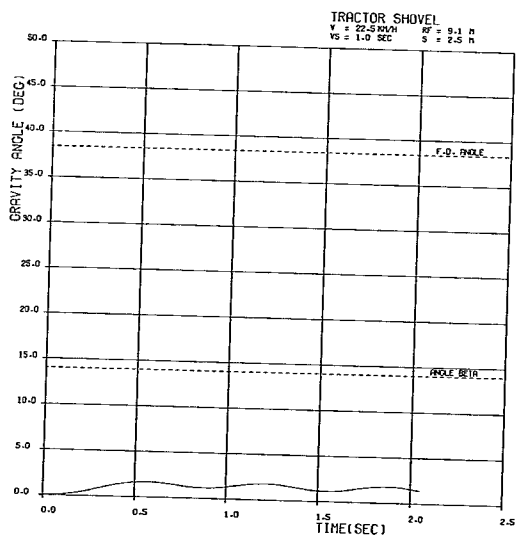
附图 - 2.5



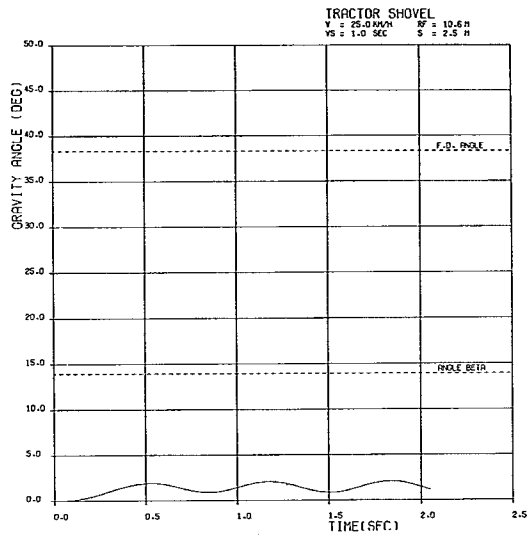
附图 - 2.6



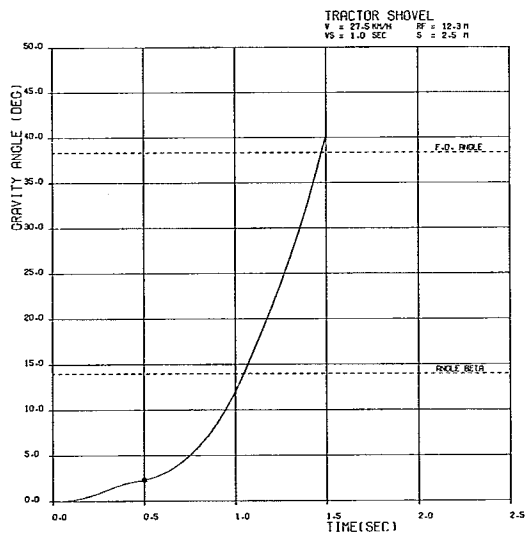
附图 - 2.7



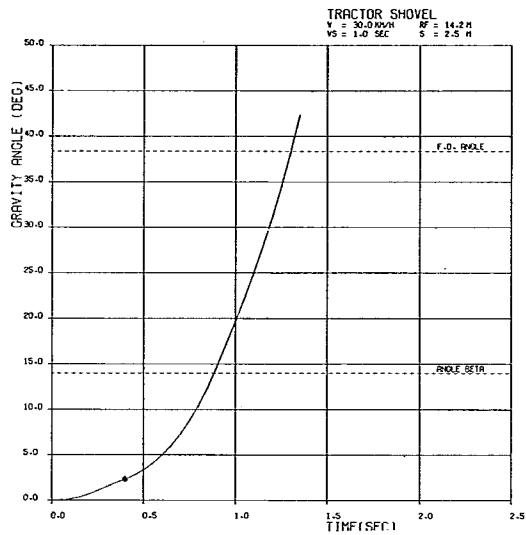
附图 - 2.8



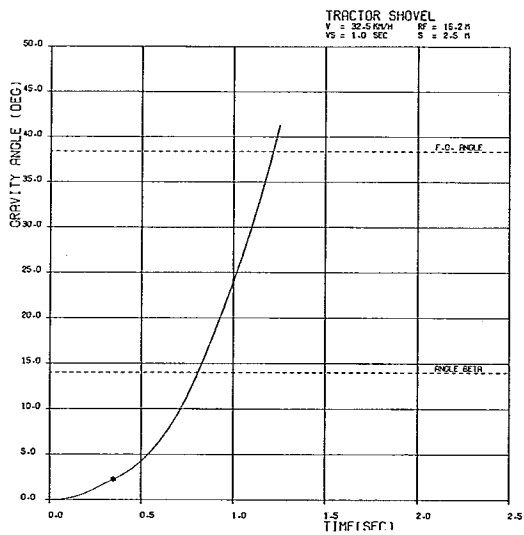
附圖 - 2.9



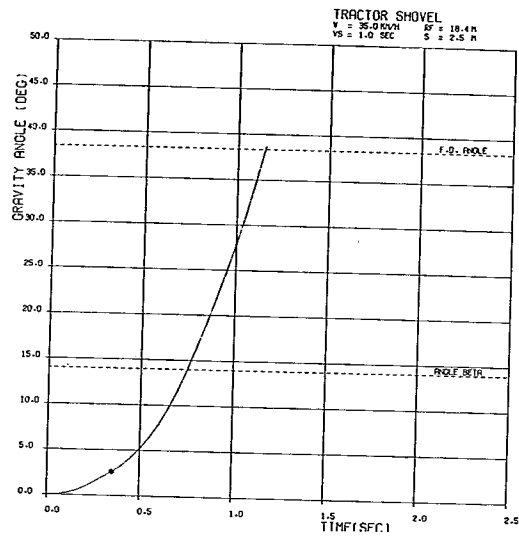
附圖 - 2.10



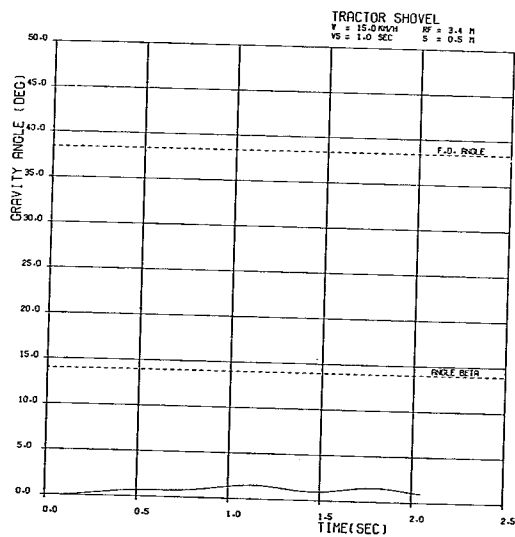
附图 - 2.1 1



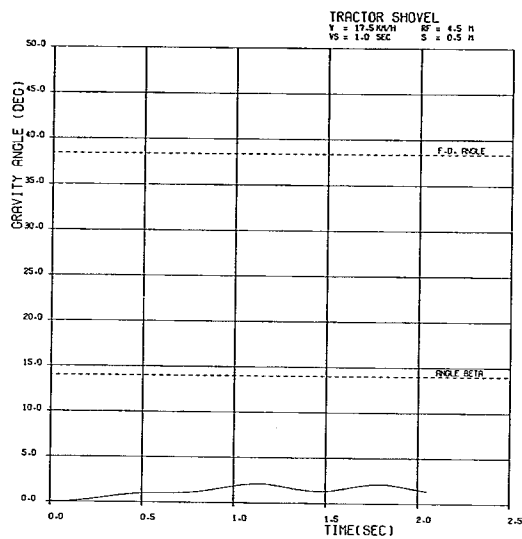
附图 - 2.1 2



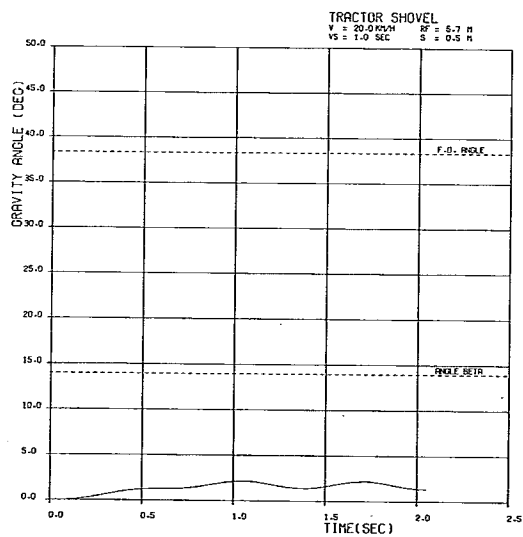
附圖 - 2.1 3



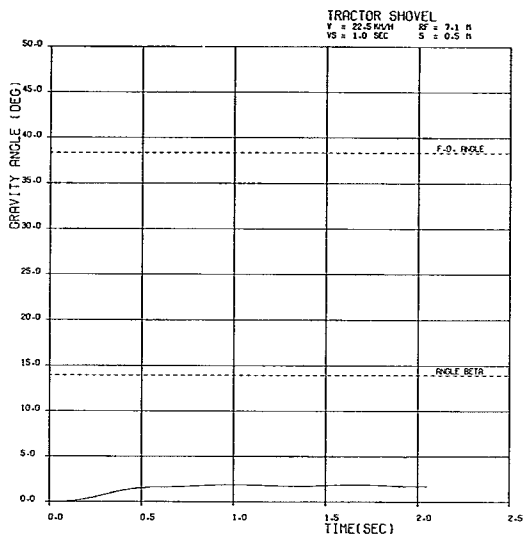
附圖 - 2.1 4



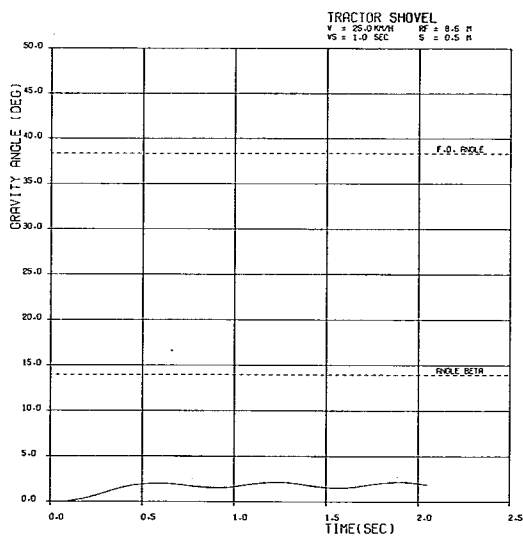
附图 — 2.1 5



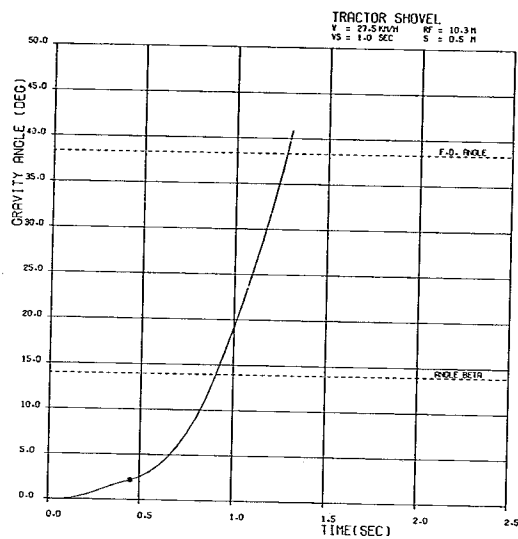
附图 — 2.1 6



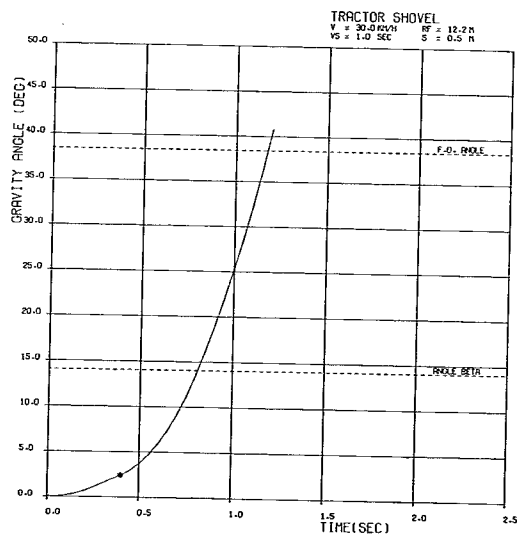
附图 - 2.1 7



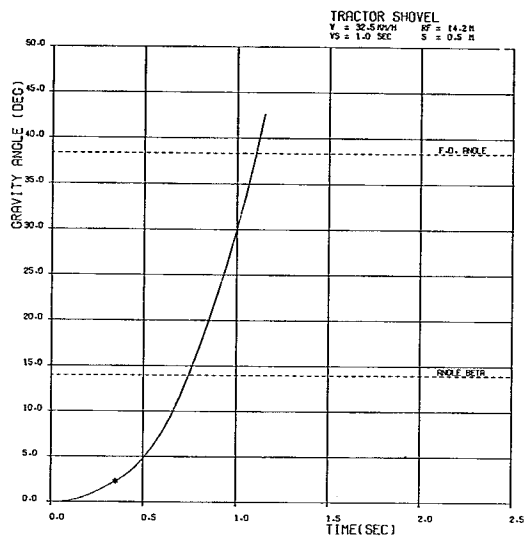
附图 - 2.1 8



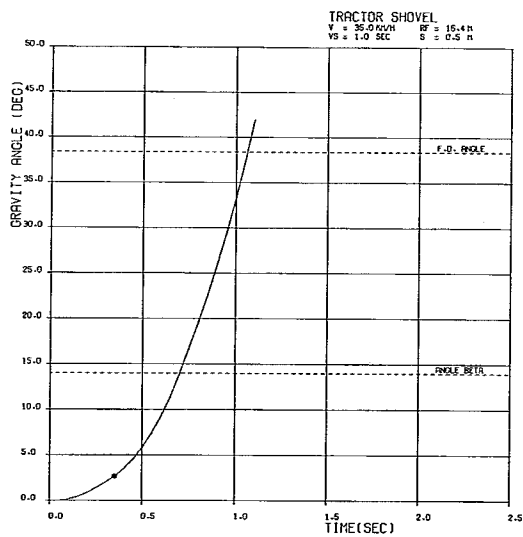
附图 - 2.19



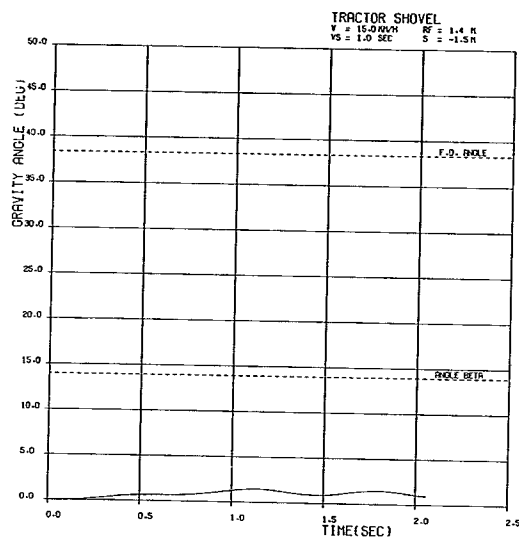
附图 - 2.20



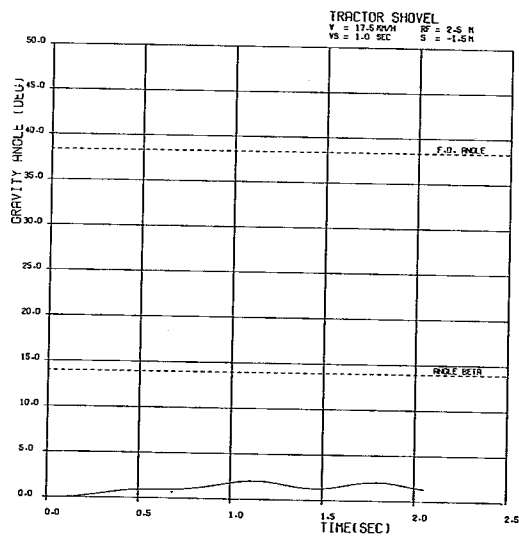
附图 - 2.2 1



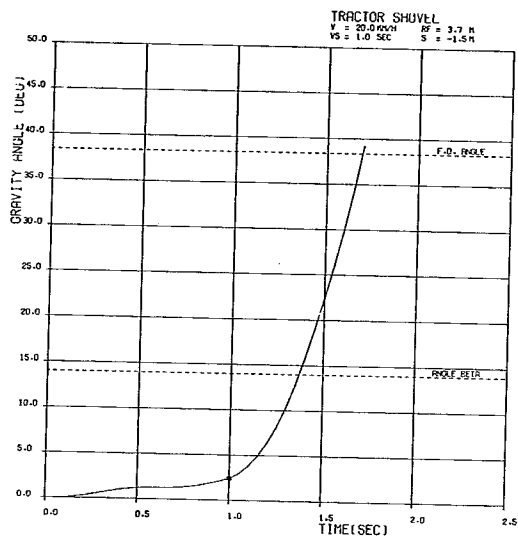
附图 - 2.2 2



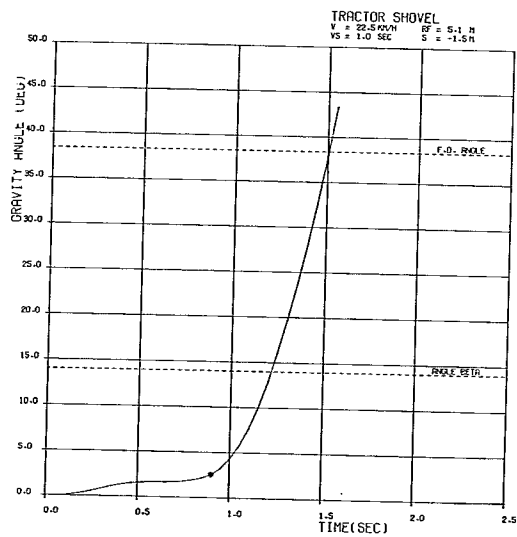
附圖 - 2.2 3



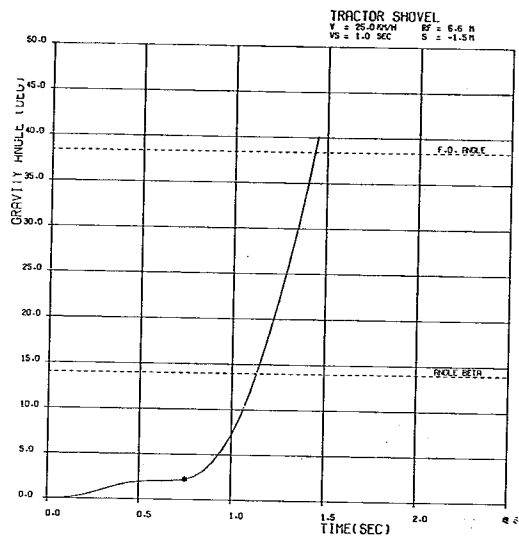
附圖 - 2.2 4



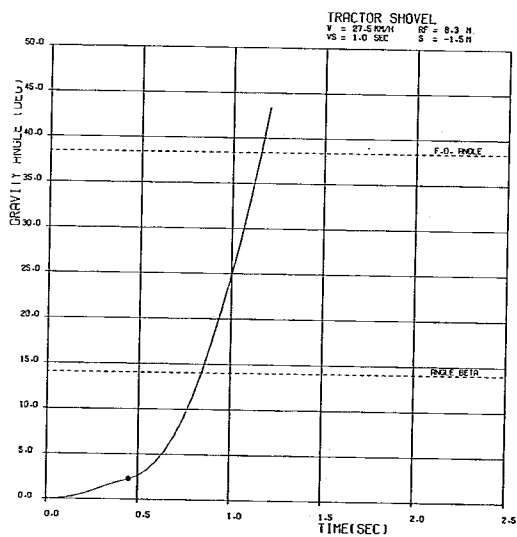
附图 — 2.2 5



附图 — 2.2 6



附图 - 2.2 7



附图 - 2.2 8

附表-2.1 プログラムリスト

```

25      C
      C
      C.... CONSTANT ASSIGNMENT ....
      C
      C      1/2 TREAD                      XL
      C      1/2 WHEEL BASE                SR
30      C
      C      MOMENT OF INERTIA              XI1,XI2
      C      HEIGHT OF C.O.G.              HEIGHT
      C
      C      WEIGHT ... TOTAL                THAIT
      C      FRONT WHEEL                    FHAIT
      C      REAR WHEEL                     RHAIT
35      C
      C      TIRE CONSTANT                  BANE
      C
40      C
      C.... VARIABLE ASSIGNMENT ....
      C
      C      TIME                          TIME
45      C
      C      TRACTOR SPEED                  VELO
      C      STEERING SPEED                 VELOS
      C      STEERING ANGLE                 ALFA,ALFAD
      C      ANGLE PHAI                     PHAI,PHAID
50      C      FALL DOWN ANGLE              TENT,TENTC
      C
      C      CENTER OF ARC                  XC,YC
      C      RADIUS OF ARC                  R
      C
55      C      CO-ORDINATES OF EACH WHEELS  XT11,XT12,XT21,XT22
      C      CO-ORDINATES OF C.O.G.         YT11,YT12,YT21,YT22
      C      XC,YC,ZG
60      C.....C
      C
      C      CALL PLOTS(BUF,1000,10)
      C      CALL P763M
65      C
      C.... INPUT
      C
      C      306 READ(5,100) VELO,VELOS,IC
      C      IF(EOF(5)) 301,302
      C      301 CONTINUE
70      C      CALL PLOT(0.0,0.0,999)
      C      STOP
      C      302 CONTINUE
      C
      C.... INITIAL SET .
75      C
      C      CALL ISET
      C
      C.... PRINT TITLE
      C
80      C
      C      CALL TITLE
      C
      C      VELO = VELO*1000.0*100.0/3600.0
      C      DELT = VELOS/20.0
      C
85      C.... LOOP FOR STEP ( 1 - 21 )
      C
      C      DO 401 I=1,21
      C      TIME = FLOAT(I-1)*DELT
      C      ALFA = 0.5*XLUM*FLOAT(I-1)
90      C      IF(I.EQ.1) GO TO 303
      C      IF(I.EQ.2) GO TO 304
      C
      C.... XC,YC
95      C
      C      ANG1 = 0.5*XLUM*FLOAT(I-2)
      C      ANG2 = 0.5*XLUM*FLOAT(I-1)
      C      ANG3 = 0.5*PAI - PHAI
      C      R = SR/TAN(ALFA)
      C      PHAI = PHAI + VELO*DELT/R

```

(附表-2.1 つづき)

```

100      R1 = SR/TAN(ANG1)
        R2 = R
        C
        XC = XC + ( R1*COS(ANG1) - R2*COS(ANG2) ) * COS(ANG3)
        YC = YC + ( R1*COS(ANG1) - R2*COS(ANG2) ) * SIN(ANG3)
105      C
        CALL INTE(TIME,DELT,ITYPE)
        CALL WHEEL
        CALL PRIN(I,TIME,ITYPE)
        GO TO 305
        303 CONTINUE
110      C
        C.... STEP 1
        C
        CALL PRIN(I,TIME,ITYPE)
        GO TO 305
115      304 CONTINUE
        C
        C.... STEP 2
        C
        R = SR/TAN(ALFA)
        PHAI = VELO*DELT/R
120      C.... XC,YC
        XC = SR
        YC = -R*COS(ALFA)
        C
125      CALL INTE(TIME,DELT,ITYPE)
        CALL WHEEL
        CALL PRIN(I,TIME,ITYPE)
        305 CONTINUE
        C.... FALL DOWN CHECK .
130      IF(TETA.LE.TENT) GO TO 401
        PHAID = 180.0*PHAI/PAI
        WRITE(6,200) TIME,PHAID
        WRITE(6,200) TIME,PHAID
        WRITE(6,200) TIME,PHAID
135      GO TO 300
        401 CONTINUE
        C
        C
        C.... CIRCULAR MOTION FROM THIS STEP .
        C
140      I = 0
        402 I = I+1
        TIME = FLOAT(I)*DELT + VELOS
        ISTEP= I+21
        PHAI = PHAI + VELO*DELT/R
        CALL INTE(TIME,DELT,ITYPE)
        CALL WHEEL
        CALL PRIN(ISTEP,TIME,ITYPE)
        PHAID = 180.0*PHAI/PAI
150      IF(PHAID.GT.90.0) GO TO 300
        C.... FALL DOWN CHECK .
        IF(TETA.LE.TENT) GO TO 402
        WRITE(6,200) TIME,PHAID
        WRITE(6,200) TIME,PHAID
        WRITE(6,200) TIME,PHAID
155      300 CONTINUE
        CALL PLOPLO
        GO TO 306
        100 FORMAT(2F10.0,I5)
160      200 FORMAT(1H , 27H === TRACTOR FALL DOWN === , 4HTIME,F6.3, 2X,
        *          14H MOTION ANGLE ,F6.3, 5H(DEG)
        )
        END

```

(附表-2.1 つづき)

SUBROUTINE WHEEL

74/74 OPT=1

FTN 4.6+428

93/20/78

```

1      SUBROUTINE WHEEL
      COMMON /CONST/ XL,SR,HEIGHT,IWAIT,FWAIT,RWAIT,BANE,XLUM,TENT
      COMMON /VALUE/ VELO,VELOS,ALFA,PHAI,TETA,BETA,R,XI1,XI2
5      COMMON /CORDG/ XC,YC,XG,YG,ZG
      COMMON /CORD4/ XT11,XT12,XT21,XT22,YT11,YT12,YT21,YT22
      *      ,ZT11,ZT12,ZT21,ZT22
      C
      C.... THIS ROUTINE FOR CALCULATES CO-ORDINATES OF WHEELS AND C.O.G.
      C
10     DATA PAI / 3.1415926 /
      C
      HPAT=0.5*PAI
      C
15     XT11 = XC + ( R+XL )*COS( HPAT - ALFA - PHAI )
      XT12 = XC + ( R-XL )*COS( HPAT - ALFA - PHAI )
      XT21 = XC + ( R+XL )*COS( HPAT + ALFA - PHAI )
      XT22 = XC + ( R-XL )*COS( HPAT + ALFA - PHAI )
      C
20     YT11 = YC + ( R+XL )*SIN( HPAT - ALFA - PHAI )
      YT12 = YC + ( R-XL )*SIN( HPAT - ALFA - PHAI )
      YT21 = YC + ( R+XL )*SIN( HPAT + ALFA - PHAI )
      YT22 = YC + ( R-XL )*SIN( HPAT + ALFA - PHAI )
      C
25     XG = XC + R*COS(ALFA)*COS(HPAT-PHAI)
      YG = YC + R*COS(ALFA)*SIN(HPAT-PHAI)
      C
      RETURN
      END

```

SUBROUTINE TITLE

74/74 OPT=1

FTN 4.6+428

03/20/78

```

1      SUBROUTINE TITLE
      COMMON /CONST/ XL,SR,HEIGHT,IWAIT,FWAIT,RWAIT,BANE,XLUM,TENT
      COMMON /VALUE/ VELO,VELOS,ALFA,PHAI,TETA,BETA,R,XI1,XI2
5      COMMON /CORDG/ XC,YC,XG,YG,ZG
      COMMON /CORD4/ XT11,XT12,XT21,XT22,YT11,YT12,YT21,YT22
      *      ,ZT11,ZT12,ZT21,ZT22
      DATA PAI / 3.1415926 /
      C
      C.... THIS ROUTINE FOR PRINT TITLE AND CONSTANTS .
      C
10     BETAD = 180.0*BETA/PAI
      TENTD = 180.0*TENT/PAI
      WRITE(6,201)
      WRITE(6,202) XL,SR,XI1,XI2,HEIGHT,IWAIT,FWAIT,RWAIT,BANE,
15     *      BETAD,TENTD,VELO,VELOS
      RETURN
201  FORMAT(1H1,15H TRACTOR SHOVEL )
202  FORMAT(
20     *//,40X,28H 1/2 TREAD . . . . .,E15.7,18H ( CM )
      *//,40X,28H 1/2 WHEEL BASE . . . . .,E15.7,18H ( CM )
      *//,40X,28H MOMENT OF INERTIA I1 . . . ,E15.7,18H ( KGW,CM,SEC..2 )
      *//,40X,28H . . . . . I2 . . . ,E15.7,18H ( KGW,CM,SEC..2 )
      *//,40X,28H HEIGHT OF C.O.G. . . . .,E15.7,18H ( CM )
25     *//,40X,28H TOTAL WEIGHT ( MASS ) . . . ,E15.7,18H ( KG )
      *//,40X,28H WHEEL WEIGHT ( FRONT ) . . .,E15.7,18H ( KGW )
      *//,40X,28H WHEEL WEIGHT ( REAR ) . . .,E15.7,18H ( KGW )
      *//,40X,28H TIRE CONSTANT . . . . .,E15.7,18H ( KGW/CM )
30     *//,40X,28H FALL DOWN ANGLE . . . . .,E15.7,18H ( DEG )
      *//
      *//,40X,28H TRACTOR SPEED . . . . .,E15.7,18H ( KM/HOUR )
      *//,40X,28H STEERING SPEED . . . . .,E15.7,18H ( SEC )
      *)
      END

```

(附表-2.1 つづき)

SUBROUTINE ISET

74/74 OPT=1

FTN 4.6+428

03/20/78

```

1      SUBROUTINE ISET
      COMMON /CONST/ XL,SR,HEIGHT,IWAIT,FWAIT,RWAIT,BANE,XLUM,TENT
      COMMON /VALUE/ VELO,VELOS,ALFA,PHAI,TETA,BETA,R,XI1,XI2
      COMMON /CORDG/ XC,YC,XG,YG,ZG
5      COMMON /CORD4/ XT11,XT12,XT21,XT22,YT11,YT12,YT21,YT22
      *      ,ZT11,ZT12,ZT21,ZT22
      COMMON /INTEG/ Y(2),F(2)
      COMMON /PLOTD/ TT(1000),CORD(100,5,2),GANGLE(100),ISTAT(100)

10     C
      C.... THIS ROUTINE FOR INITIAL SET .
      C
      DATA PAI / 3.1415926 /
      XL      = 87.75
      SR      = 129.0

15     C
      XI1     = 162.0E3
      XI2     = 220.9E3
      HEIGHT  = 119.8
      ZG      = HEIGHT

20     C
      IWAIT   = 7.622
      FWAIT   = 3630.0
      RWAIT   = 3840.0
      BANE    = 550.0

25     C
      PHAI    = 0.0
      TETA    = 3.0
      BETA    = 14.0*PAI/180.0
      XLUM    = PAI/6.0 /20.0
30     TENT   = 0.6698239

      C
      Y(1) = 0.0
      Y(2) = 0.0
      F(1) = 0.0
      F(2) = 0.0
35     DO 401 I=1,100
      401 GANGLE(I)=-1.0
      RETURN
      END

1      SUBROUTINE PRINC(ISTEP,X,ITYPE,F)
      COMMON /CONST/ XL,SR,HEIGHT,IWAIT,FWAIT,RWAIT,BANE,XLUM,TENT
      COMMON /VALUE/ VELO,VELOS,ALFA,PHAI,TETA,BETA,R,XI1,XI2
      COMMON /CORDG/ XC,YC,XG,YG,ZG
5      COMMON /CORD4/ XT11,XT12,XT21,XT22,YT11,YT12,YT21,YT22
      *      ,ZT11,ZT12,ZT21,ZT22
      COMMON /CHEKP/ XMOM1,XMOM2,XMOM3,XMOM4,UKI
      COMMON /ICHEK/ IC
      DATA PAI / 3.1415926 /

10     C
      C.... THIS ROUTINE GIVES SEVERAL VALUES FOR PROGRAMER .
      C
      ALFAD = 180.0*ALFA/PAI
      TETAD = 180.0*TETA/PAI
15     UKID = 180.0*UKI /PAI

      C
      WRITE (6,201) ISTEP,X,ALFAD,TETAD,UKID,F,XMOM1,XMOM2,XMOM3,XMOM4,
      *      R,ITYPE
      RETURN
201  FORMAT(1H,3H I=,I2,
      *      3H T=,F5.3,
      *      3H A=,F7.3,
      *      3H T=,F7.3,
      *      3H U=,F7.3,
      *      3H F=,E11.4,
      *      3H M=,4E11.4,
      *      3H R=,E11.4,
      *      3H T=,A2 )
25     END

```

(附表-2.1 つづき)

SUBROUTINE PRIN

74/74 OPT=1

FTN 4.6+428

03/20/78

```

1      SUBROUTINE PRIN(I,TIME,ITYPE)
      COMMON /CONST/ XL,SR,HEIGHT,TWAIT,FWAIT,RWAIT,BANE,XLUM,TENT
      COMMON /VALUE/ VELO,VELOS,ALFA,PHAI,TETA,BETA,R,XI1,XI2
5      COMMON /CORDG/ XC,YC,XG,YG,ZG
      COMMON /CORD4/ XT11,XT12,XT21,XT22,YT11,YT12,YT21,YT22
      *      ,ZT11,ZT12,ZT21,ZT22
      COMMON /PLOTD/ TT(1000),CORD(100,5,2),GANGLE(100),ISTAT(100)
      DATA PAI / 3.1415926 /
10     C
      C.... THIS ROUTINE FOR RESULT PRINT .
      C
      ALFAD = 180.0*ALFA/PAI
      PHAID = 180.0*PHAI/PAI
      TETAD = 180.0*TETA/PAI
15     WRITE(6,201)
      WRITE(6,202) I,TIME,ALFAD,R,PHAID,TETAD
      WRITE(6,203) XC,YG,ZG,XT11,YT11,ZT11
      *      ,XT12,YT12,ZT12
      *      ,XT21,YT21,ZT21
20     *      ,XT22,YT22,ZT22
      *      ,XC,YG
      TT(I) = TIME
      GANGLE(I) = TETAD
      ISTAT(I) = ITYPE
25     CORD(I,1,1) = XT11
      CORD(I,1,2) = YT11
      CORD(I,2,1) = XT12
      CORD(I,2,2) = YT12
      CORD(I,3,1) = XT21
30     CORD(I,3,2) = YT21
      CORD(I,4,1) = XT22
      CORD(I,4,2) = YT22
      CORD(I,5,1) = XG
      CORD(I,5,2) = YG
35     RETURN
201  FORMAT(//, 60H STEP      TIME      STEERING  RADIOUS  MOTION  GR
      *AVITY
      *      /, 60H
      *NGLE      ANGLE      OF      ANGLE      A
40     *      /, 60H NO.      (SEC)      (DEG)      ARC      (DEG)      (
      *DEG)
      *      /, 70X,40H== X==      == Y ==      == Z ==      )
202  FORMAT( 1X,I3,3X,F6.3,3X,F10.5,3F10.3)
45     203  FORMAT( //,50X,15H      C.O.G.      ,3E15.4,
      *      //,50X,15H      T-11      ,3E15.4,
      *      //,50X,15H      T-12      ,3E15.4,
      *      //,50X,15H      T-21      ,3E15.4,
      *      //,50X,15H      T-22      ,3E15.4,
50     *      //,50X,15H      XC,YC      ,2E15.4,// )
      END

```

SUBROUTINE PJECT

74/74 OPT=1

FTN 4.6+428

03/20/78

```

1      SUBROUTINE PJECT
      COMMON /VALUE/ VELO,VELOS,ALFA,PHAI,TETA,BETA,R,XI1,XI2
      COMMON /PLOTD/ TT(1000),CORD(100,5,2),GANGLE(100),ISTAT(100)
      C
      C.... TRAJECTORY PLOT .
      C
      C.... C.O.G.
      C
10     X = CORD(1,5,1)
      Y = CORD(1,5,2)
      C
      CALL SYMBOL(X,Y,1.0,1,0.0,-1)
      C
15     DO 401 I=2,100
      IF(GANGLE(I).LT.0.0) GO TO 301
      X = CORD(I,5,1)
      Y = CORD(I,5,2)

```

(附表-2.1 つづき)

```

                CALL SYMBOL(X,Y,1.0,1.0,0,-2)
20             4J1 CONTINUE
                301 CONTINUE
                C.... T11
                C
                X = CORD(1,1,1)
                Y = CORD(1,1,2)
25             C
                CALL SYMBOL(X,Y,1.0,1.0,0,-1)
                C
                DO 402 I=2,100
                IF(GANGLE(I).LT.0.0) GO TO 302
                X = CORD(I,1,1)
                Y = CORD(I,1,2)
                CALL PLOT(X,Y,2)
30             402 CONTINUE
                302 CONTINUE
                C.... T21
                C
                X = CORD(1,3,1)
                Y = CORD(1,3,2)
40             C
                CALL SYMBOL(X,Y,1.0,1.0,0,-1)
                C
                DO 4J3 I=2,100
                IF(GANGLE(I).LT.0.0) GO TO 303
                X = CORD(I,3,1)
                Y = CORD(I,3,2)
45             C
                CALL PLOT(X,Y,2)
                C
                403 CONTINUE
                303 CONTINUE
50             C.... T12
                C
                X = CORD(1,2,1)
                Y = CORD(1,2,2)
55             C
                CALL SYMBOL(X,Y,1.0,1.0,0,-1)
                C
                DO 404 I=2,100
                IF(GANGLE(I).LT.0.0) GO TO 304
                IF(ISTAT(I).NE.1HA) GO TO 404
60             X = CORD(I,2,1)
                Y = CORD(I,2,2)
                CALL PLOT(X,Y,2)
                404 CONTINUE
                304 CONTINUE
65             C.... T22
                C
                X = CORD(1,4,1)
                Y = CORD(1,4,2)
70             C
                CALL SYMBOL(X,Y,1.0,1.0,0,-1)
                C
                DO 4J5 I=2,100
                IF(GANGLE(I).LT.0.0) GO TO 305
                IF(GANGLE(I).GE.14.0) GO TO 405
75             X = CORD(I,4,1)
                Y = CORD(I,4,2)
                C
                CALL PLOT(X,Y,2)
                C
80             4J5 CONTINUE
                305 CONTINUE
                CALL PLOT(490.0,-350.0,-3)
                RETURN
                END

```

(附表-- 2.1 つづき)

```

SUBROUTINE PRINPQ      74/74   OPT=1                      FJN 4.6+428      03/20/78

1      SUBROUTINE PRINPQ(ISTEP,X,ITYPE)
COMMON /CONST/ XL,SR,HEIGHT,TWAIT,FWAIT,RWAIT,BANE,XLUM,TENT
COMMON /VALUE/ VELO,VELOS,ALFA,PHAI,TETA,BETA,R,XI1,XI2
5      COMMON /CORDG/ XC,YC,XG,YG,ZG
COMMON /CORD4/ XT11,XT12,XT21,XT22,YT11,YT12,YT21,YT22
*      ,ZT11,ZT12,ZT21,ZT22
COMMON /CHEKP/ XPM1,XPM2,XPM3,XPM4,UKI
COMMON /ICHEK/ IC
DATA PAI / 3.1415926 /

10     C
C.... THIS ROUTINE GIVES CHECK PRINT .
C
      ALFAD = 180.0*ALFA/PAI
      TETAD = 180.0*TETA/PAI
15     UKID = 180.0*UKI /PAI
      WRITE(6,201) ISTEP,X,ALFAD,TETAD,UKID,ITYPE
C
      RETURN
201  FORMAT(5X,19H SUB-STEP ,I2,10H      TIME =,F6.3,
*          ,10H      ALFA =,E12.4,
*          ,10H      TETA =,E12.4,
*          ,10H      UKI  =,E12.4,
*          ,10H      TYPE =,A2      )
      END

```

```

SUBROUTINE WAKU1      74/74   OPT=1                      FJN 4.6+428      03/20/78

1      SUBROUTINE WAKU1
COMMON /VALUE/ VELO,VELOS,ALFA,PHAI,TETA,BETA,R,XI1,XI2
COMMON /PLOTD/ TT(1000),CORD(100,5,2),GANGLE(100),ISTAT(100)
5      TATE = 250.0
      YOKO = 250.0
C
C.... DRAW FRAME .
C
      DO 401 I=1,11
10     Y = TATE/10.0*FLOAT(I-1)
      FPN= 5.0*FLOAT(I-1)
      CALL NUMBER(-15.0,Y,3.0,FPN,0.0,1)
      CALL PLOT(-2.0,Y,3)
      CALL PLOT(YOKO,Y,2)
15     401 CONTINUE
C
      DO 402 I=1,6
      X = YOKO/5.0*FLOAT(I-1)
      FPN= 0.5*FLOAT(I-1)
23     CALL NUMBER(X,-10.0,3.0,FPN,0.0,1)
      CALL PLOT(X,-2.0,3)
      CALL PLOT(X,TATE,2)
      402 CONTINUE
C.... TITLE
25     CALL SYMBOL(150.0,-17.0,5.0,9H TIME(SEC),0.0,9)
      CALL SYMBOL(-17.0,150.0,5.0,19H GRAVITY ANGLE (DEG),90.0,19)
      CALL SYMBOL(150.0,265.0,5.0,14H TRACTOR SHOVEL,0.0,14)
      CALL SYMBOL(150.0,260.0,3.0,14H V =      KM/H ,0.0,14)
      CALL SYMBOL(150.0,255.0,3.0,14H S =      SEC ,0.0,14)
30     C
      V = VELO*3600.0/100000.0
      S = VELOS
C
      CALL NUMBER(162.0,260.0,3.0,V,0.0,1)
      CALL NUMBER(162.0,255.0,3.0,S,0.0,1)
35     RETURN
      END

```

(附表-2.1 つづき)

SUBROUTINE TPLOT 74/74 OPT=1

FTN 4.6+428

03/20/78

```

1      SUBROUTINE TPLOT
      COMMON /PLOTD/ TT(1000),CORD(100,5,2),GANGLE(100),ISTAT(100)
      C
      C.... PLOT ANGLE BETA ,
      C
      CALL PLOT(0,0,0,0,3)
      DO 401 I=2,100
      X=TT(I)*100,0
      Y=GANGLE(I)*5,0
10     IF(Y.LT.0,0) GO TO 300
      CALL PLOT(X,Y,2)
      IF(ISTAT(I-1).EQ.1HA.AND. ISTAT(I).EQ.1HB) GO TO 301
      401 CONTINUE
      301 CONTINUE
15     CALL SYMBOL(X,Y,3,0,14,0,0,-1)
      CALL PLOT(X,Y,3)
      GO TO 401
      300 CONTINUE
      Y = 14,0*5,0
20     C
      CALL LINTYP(0,0,Y,250,0,Y,3,4,0)
      CALL SYMBOL(210,0,71,0,3,0,10HANGLE BETA,0,0,10)
      C
      Y = 5,0*38,38
25     C
      CALL LINTYP(0,0,Y,250,0,Y,3,4,0)
      CALL SYMBOL(210,0,193,0,3,0,10HF.D. ANGLE,0,0,10)
      CALL PLOT(270,0,0,0,-3)
      RETURN
30     END

```

SUBROUTINE INTE 74/74 OPT=1

FTN 4.6+428

03/20/78

```

1      SUBROUTINE INTE(TIME,DELT,ITYPE)
      COMMON /CONST/ XL,SR,HEIGHT,TWAIT,FWAIT,RWAIT,BANE,XLUM,TENT
      COMMON /VALUE/ VELO,VELOS,ALFA,PHAI,TETA,BETA,R,XI1,XI2
      COMMON /CORDG/ XC,YC,XG,YG,ZG
      COMMON /CORD4/ XT11,XT12,XT21,XT22,YT11,YT12,YT21,YT22
      *      ,ZT11,ZT12,ZT21,ZT22
      COMMON /CHEKP/ XMOM1,XMOM2,XMOM3,XMOM4,UKI
      COMMON /ICHEK/ IC
      COMMON /INTEG/ Y(2),F(2)
10     C
      C.... THIS ROUTINE GIVES TETA , ZG , AND SO ON .
      C
      NT = 0
      N = 2
15     H = DELT/10,0
      UKI= 0,5*FWAIT/XL/COS(ALFA)/BANE
      TETA = Y(1)
      C
      DO 401 I=1,10
      ISTEP = I
      X = TIME + DELT/10,0*FLOAT(I-1) - DELT
      ST = SIN(TETA)
      SA = SIN(ALFA)
      CT = COS(TETA)
      CA = COS(ALFA)
25     C
      IF( Y(1).GT.BETA) GO TO 301
      IF( Y(1).GE.UKI ) GO TO 302
      C
      C.... CASE A
      C
      XMOM1 = TWAIT*VELO*VELO*( XL*CA*ST + HEIGHT*CT ) / R
      XMOM2 = -4,0*BANE*XL*XL*TETA*CA*CA*CT*CT
      *      +FWAIT*XL*CA*CT
      XMOM3 = RWAIT*XL*CA
      XMOM4 = -( FWAIT + RWAIT )*( XL*CA*CT - HEIGHT*ST )
35     C

```

(附表-2.1 つづき)

```

C
501 F(1) = Y(2)
40 F(2) = ( XMOM1 + XMOM2 + XMOM3 + XMOM4 ) / XI1
C
S = RKLOEQ(N,Y,F,X,H,NT)
C
IF(S-1.0) 501,501,502
45 502 CONTINUE
ZG = XL*CA*ST + HEIGHT*CT
ZT12 = 2.0*XL*CA*ST
ZT22 = 0.0
ITYPE = 1HA
50 GO TO 303
302 CONTINUE
C
C.... CASE B
C
55 XMOM1 = TWAIT*VELO*VELO*( XL*CA*ST + HEIGHT*CT ) / R
XMOM2 = RWAIT*XL*CA
XMOM3 = -( FWAIT + RWAIT )*( XL*CA*CT - HEIGHT*ST )

503 F(1) = Y(2)
F(2) = ( XMOM1 + XMOM2 + XMOM3 ) / XI1
60 C
S = RKLOEQ(N,Y,F,X,H,NT)
C
IF(S-1.0) 503,503,504
65 504 CONTINUE
ZG = XL*CA*ST + HEIGHT*CT
ZT12 = 2.0*XL*CA*ST
ZT22 = 0.0
ITYPE = 1HB
70 GO TO 303
301 CONTINUE
C
C.... CASE C
C
75 XMOM1 = TWAIT*VELO*VELO*( XL*CA*ST + HEIGHT*CT ) / R
XMOM2 = -( FWAIT + RWAIT )*( XL*CA*CT - HEIGHT*ST )
505 F(1) = Y(2)
F(2) = ( XMOM1 + XMOM2 ) / XI2
C
S = RKLOEQ(N,Y,F,X,H,NT)
80 C
IF(S-1.0) 505,505,506
506 CONTINUE
ZG = XL*CA*ST + HEIGHT*CT
ZT12 = 2.0*XL*CA*ST
85 ZT22 = 2.0*XL*CA*SIN(Y(1)-BETA)
ITYPE = 1HC
303 CONTINUE
TETA = Y(1)
IF(IC.EQ.1) CALL PRINPQ(ISTEP,X,ITYPE)
90 IF(IC.EQ.2) CALL PRINC(ISTEP,X,ITYPE,F(2))
401 CONTINUE
RETURN
END

```

SUBROUTINE PLOPLO 74/74 OPT=1

FTN 4.6+428

03/20/78

```

1 SUBROUTINE PLOPLO
COMMON /VALUE/ VELO,VELOS,ALFA,PHAI,TETA,BETA,R,XI1,XI2
COMMON /PLOT/ T(1000),CORD(100,5,2),GANGLE(100),ISTAT(100)

5 C.... PLOT TETA AND LOCUS .
C
C
C WRITE(6,200)
C DO 401 I=1,100
10 IF(GANGLE(I).LT.0.0) GO TO 301
C WRITE(6,201) I,TT(I),((CORD(I,K,L),L=1,2),K=1,5),GANGLE(I)
C * ,ISTAT(I)
C 401 CONTINUE
301 CONTINUE

```

(附表-2.1 つづき)

```

15      DO 402 I=1,100
          DO 402 J=1,5
              CORD(I,J,1)=CORD(I,J,1)*0.2
              CORD(I,J,2)=CORD(I,J,2)*0.2
20      402 CONTINUE
          C.... 1-ST , PLOT TETA .
          C
              CALL WAKU1
              CALL TPLOT
              CALL WAKU2
25      CALL PJECT
          RETURN
200  FORMAT(1H1)
201  FORMAT(1H ,I3,F6.3,10F10.2,5X,F10.2,A1)
          END

1      SUBROUTINE WAKU2
          COMMON /VALUE/ VELO,VELOS,ALFA,PHAI,TETA,BETA,R,XI1,XI2
          COMMON /PLOTD/ TT(1000),CORD(100,5,2),GANGLE(100),ISTAT(100)
          C
5      C.... DRAW FRAME FOR TRAJECTORY .
          C
              CALL PLOT(50.0,350.0,-3)
              CALL PLOT(0.0,-310.0,2)
              CALL AROHD(0.0,-310.0,0.0,-315.0,5.0,2.0,6)
10      CALL SYMBOL(-5.0,-325.0,5.0,7H-Y (CM),0.0,7)
          C
              DO 401 I=1,4
                  X = 20.0
                  Y = -100.0*FLOAT(I-1) + 0.0
15      F = -500.0*FLOAT(I-1)
          C
              IF(I.EQ.1) GO TO 301
              CALL NUMBER(X,Y,3.0,F,0.0,1)
20      301 CONTINUE
              CALL PLOT(-2.0,Y,3)
              CALL PLOT( 0.0,Y,2)
              401 CONTINUE
              CALL PLOT(0.0,0.0,3)
              CALL PLOT(410.0,0.0,2)
25      CALL AROHD(410.0,0.0,415.0,0.0,5.0,2.0,6)
              CALL SYMBOL(420.0,0.0,5.0,6HX (CM),0.0,6)
          C
              DO 402 I=1,5
                  X = 100.0*FLOAT(I-1)
30      F = 500.0*FLOAT(I-1)
          C
              CALL PLOT(X,0.0,3)
              CALL PLOT(X,2.0,2)
          C
35      X = X-10.0
              CALL NUMBER(X,3.0,3.0,F,0.0,1)
              402 CONTINUE
              CALL SYMBOL(330.0,-20.0,5.0,14HTRACTOR SHOVEL,0.0,14)
              CALL SYMBOL(330.0,-25.0,3.0,14HV = KM/H ,0.0,14)
40      CALL SYMBOL(330.0,-30.0,3.0,14HS = SEC ,0.0,14)
              V = VELO*3600.0/100000.0
              S = VELOS
              CALL NUMBER(342.0,-25.0,3.0,V,0.0,1)
              CALL NUMBER(342.0,-30.0,3.0,S,0.0,1)
45      RETURN
          END

```

(附表-2.1 つづき)

SUBROUTINE PRIN1

74/74 OPT=1

FTN 4.6+428

03/20/78

```

1      SUBROUTINE PRIN1(I,TIME,ITYPE)
      COMMON /CONST/ XL,SR,HEIGHT,IWAIT,FWAIT,RWAIT,BANE,XLUM,TENT
      COMMON /VALUE/ VELO,VELOS,ALFA,PHAI,TETA,BETA,R,XI1,XI2
5      COMMON /CORDG/ XC,YC,XG,YG,ZG
      COMMON /CORD4/ XT11,XT12,XT21,XT22,YT11,YT12,YT21,YT22
      * COMMON /CORD5/ ZT11,ZT12,ZT21,ZT22
      COMMON /PLOT0/ TT(100),CORD(100,5,2),GANGLE(100),ISTAT(100)

C
C.... THIS ROUTINE FOR INITIAL PRINT .
C
13     XC = SR
      YG = 0.0
      XC = SR

C
15     XT11 = XT12 = 2.0*SR
      XT21 = XT22 = 0.0

C
      YT11 = YT21 = XL
      YT12 = YT22 = -XL

20     C
      ZT11 = ZT12 = ZT21 = ZT22 = 0.0

C
      WRITE(6,201)
      WRITE(6,202) I,TIME,ALFA,PHAI,TETA
25     WRITE(6,203) XC,YG,ZG,XT11,YT11,ZT11
      * ,XT12,YT12,ZT12
      * ,XT21,YT21,ZT21
      * ,XT22,YT22,ZT22
      * ,XC
30     TETAD=180.0/3.1415926*TETA
      TT(I) = TIME
      GANGLE(I) = TETAD
      ISTAT(I) = ITYPE
35     CORD(I,1,1) = XT11
      CORD(I,1,2) = YT11
      CORD(I,2,1) = XT12
      CORD(I,2,2) = YT12
      CORD(I,3,1) = XT21
      CORD(I,3,2) = YT21
40     CORD(I,4,1) = XT22
      CORD(I,4,2) = YT22
      CORD(I,5,1) = XC
      CORD(I,5,2) = YG
      RETURN
45     201 FORMAT(//, 60H STEP      TIME      STEERING  RADIOUS  MOTION      GR
      * AVITY
      * /, 60H
      * ANGLE      OF      ANGLE      A
50     * /, 60H NO.      (SEC)      (DEG)      ARC      (DEG)      (
      * /, 70X,43H== X==      == Y ==      == Z ==      )
      202 FORMAT( 1X,I3,3X,F6.3,3X,F10.5,10H INFINITE ,3F10.3)
55     203 FORMAT( //,50X,15H C.O.G. ,3E15.4,
      * //,50X,15H T-11 ,3E15.4,
      * //,50X,15H T-12 ,3E15.4,
      * //,50X,15H T-21 ,3E15.4,
      * //,50X,15H T-22 ,3E15.4,
      * //,50X,15H XC,YC , E15.4,15H -INFINITE ,/)
      END

```

附表-2.2 出力結果の例

STEP NO.	TIME (SEC)	STEERING ANGLE (DEG)	RADIOUS OF ARC	MOTION ANGLE (DEG)	GRAVITY ANGLE (DEG)				
18	.425	12.75000	552.421	9.647	1.225	== X ==	== Y ==	== Z ==	
					C.O.G.	.3000E+03	-.1002E+02	.1126E+03	
					T-11	.4536E+03	.5068E+02	0.	
					T-12	.3867E+03	-.1116E+03	.3634E+01	
					T-21	.1750E+03	.9804E+02	0.	
					T-22	.1845E+03	-.7721E+02	0.	
					XC+YC	.2097E+03	-.5412E+03		
SUB-STEP 1	TIME = .428	ALFA = .1350E+02	TETA = .1234E+01	UKI = .2216E+01	TYPE = A				
SUB-STEP 2	TIME = .430	ALFA = .1350E+02	TETA = .1243E+01	UKI = .2216E+01	TYPE = A				
SUB-STEP 3	TIME = .433	ALFA = .1350E+02	TETA = .1252E+01	UKI = .2216E+01	TYPE = A				
SUB-STEP 4	TIME = .435	ALFA = .1350E+02	TETA = .1260E+01	UKI = .2216E+01	TYPE = A				
SUB-STEP 5	TIME = .438	ALFA = .1350E+02	TETA = .1269E+01	UKI = .2216E+01	TYPE = A				
SUB-STEP 6	TIME = .440	ALFA = .1350E+02	TETA = .1277E+01	UKI = .2216E+01	TYPE = A				
SUB-STEP 7	TIME = .443	ALFA = .1350E+02	TETA = .1285E+01	UKI = .2216E+01	TYPE = A				
SUB-STEP 8	TIME = .445	ALFA = .1350E+02	TETA = .1293E+01	UKI = .2216E+01	TYPE = A				
SUB-STEP 9	TIME = .448	ALFA = .1350E+02	TETA = .1301E+01	UKI = .2216E+01	TYPE = A				
SUB-STEP 10	TIME = .450	ALFA = .1350E+02	TETA = .1309E+01	UKI = .2216E+01	TYPE = A				

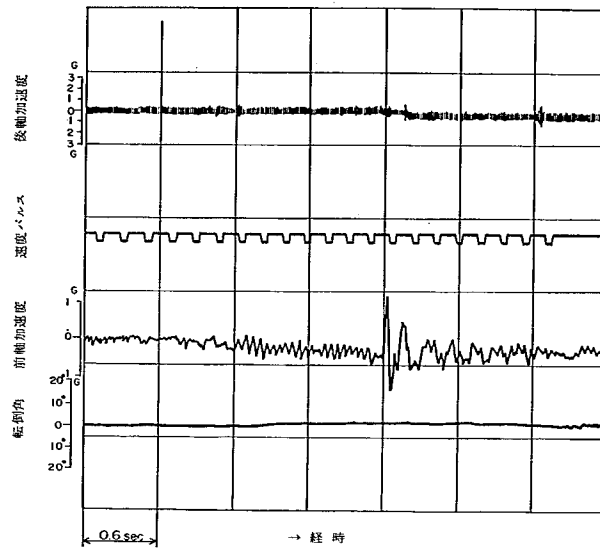
附録一 3 動的試験結果

急旋回，不陸乗上げ，および急制動試験の測定結果を図に示す。なお急旋回試験のデータは，車輪の軌跡も示す。

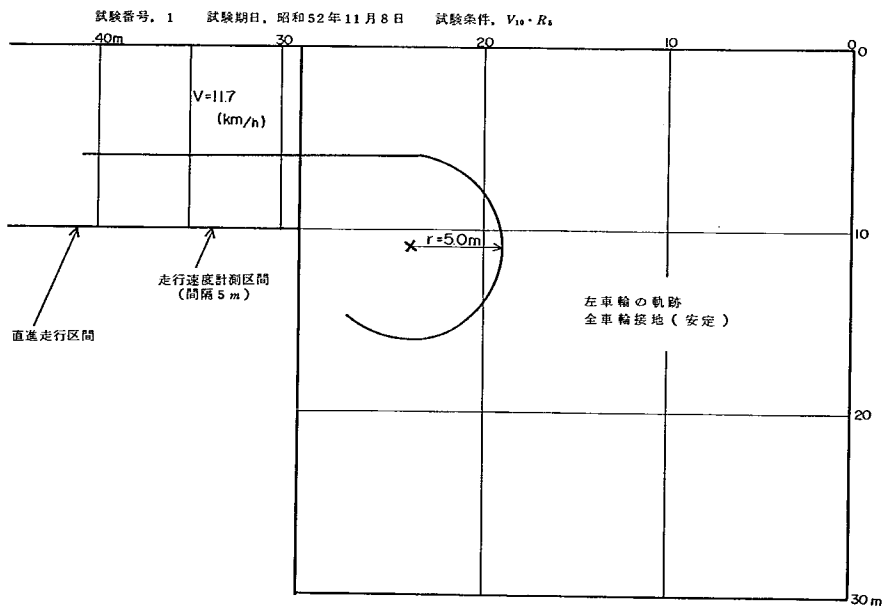
附図一 3.1 ～ 3.14 急旋回試験

附図一 3.15 ～ 3.18 不陸乗上げ試験

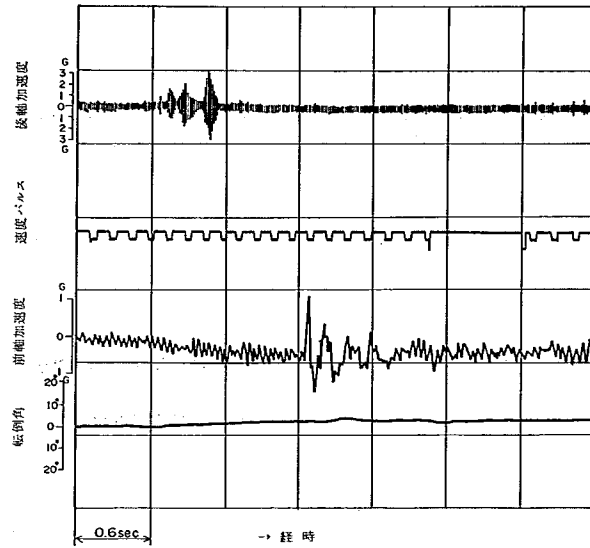
附図一 3.19 ～ 3.27 急制動試験の結果



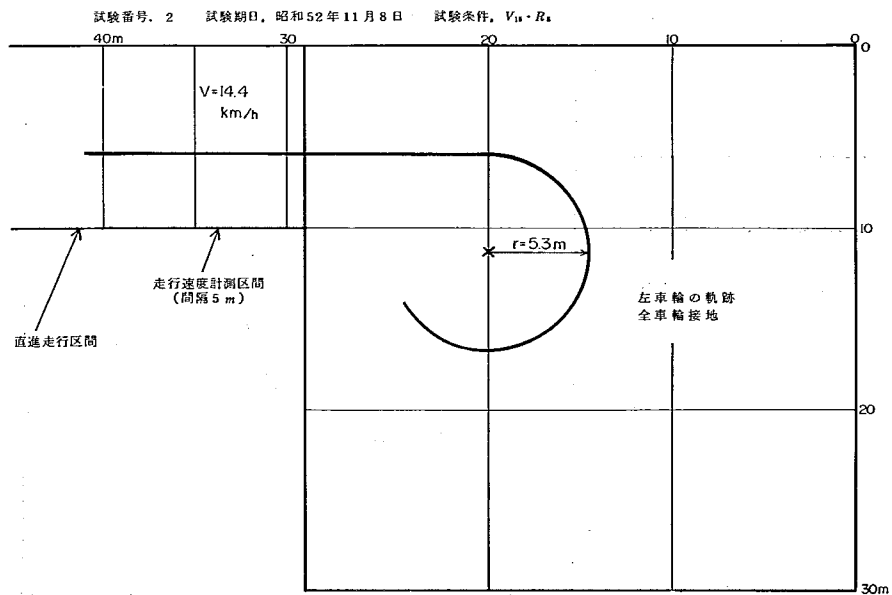
附図— 3.1(a) 急旋回試験 (No. 1, V_{10} , R_5)



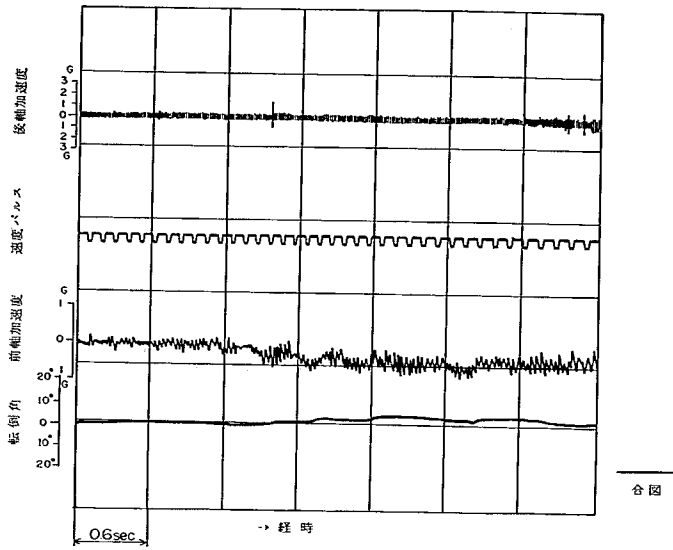
附図— 3.1(b) 急旋回試験 (No. 1, 車輛中心の軌跡)



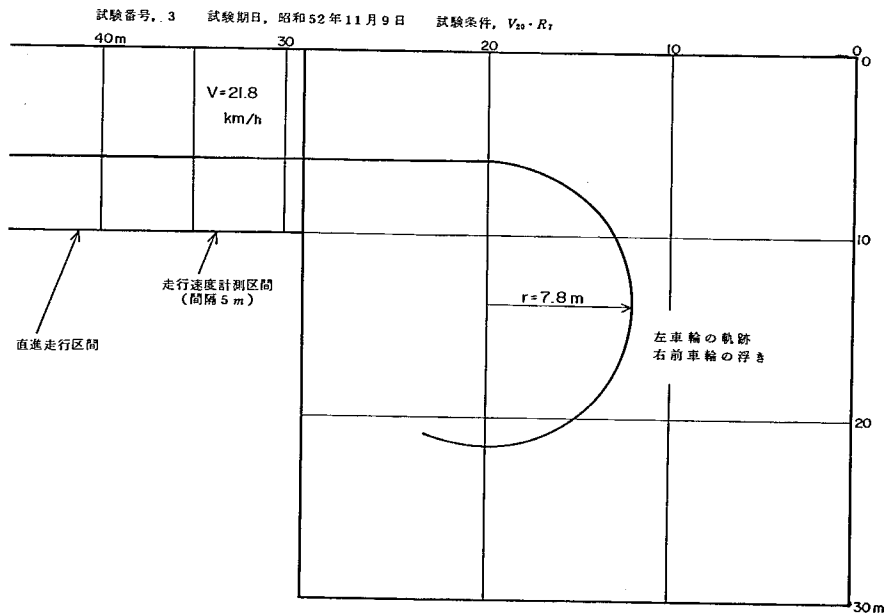
附図－ 3.2 (a) 急旋回試験 (No. 2, V_{15} , R_5)



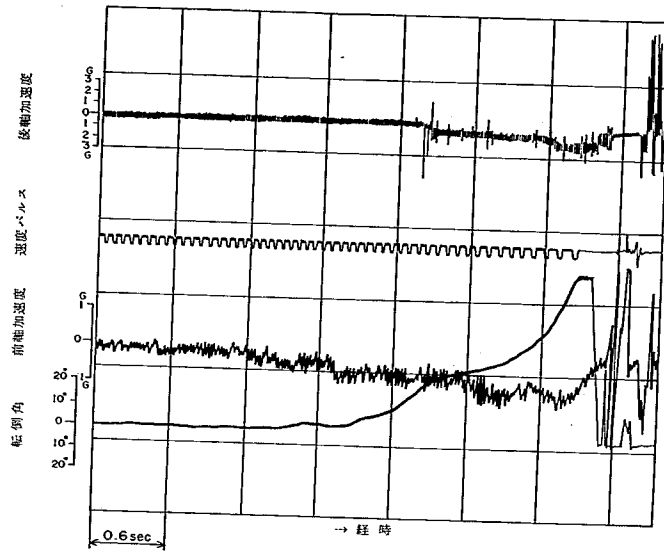
附図－ 3.2 (b) 急旋回試験 (No. 2, 車輛中心の軌跡)



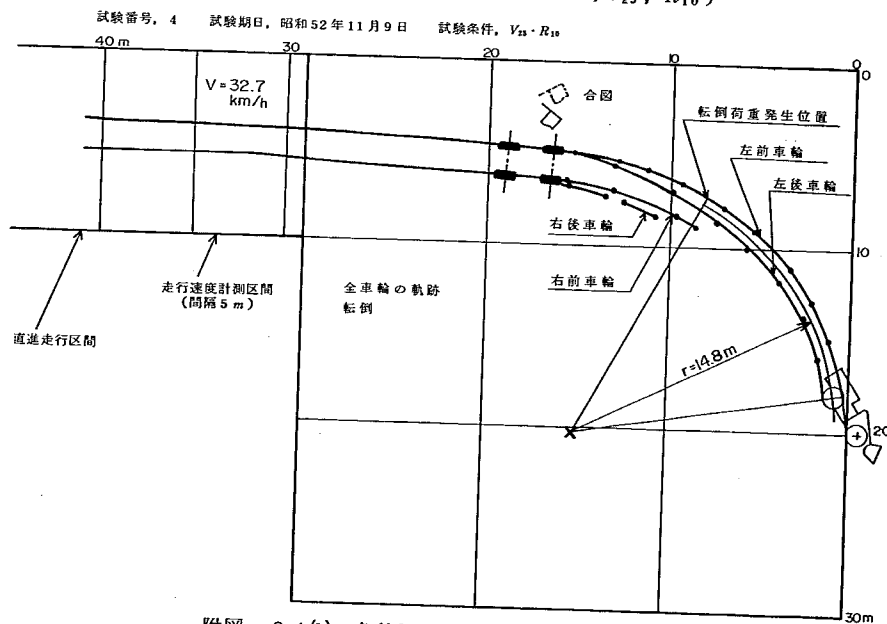
附図- 3.3(a) 急旋回試験 (No. 3, V_{20} , R_7)



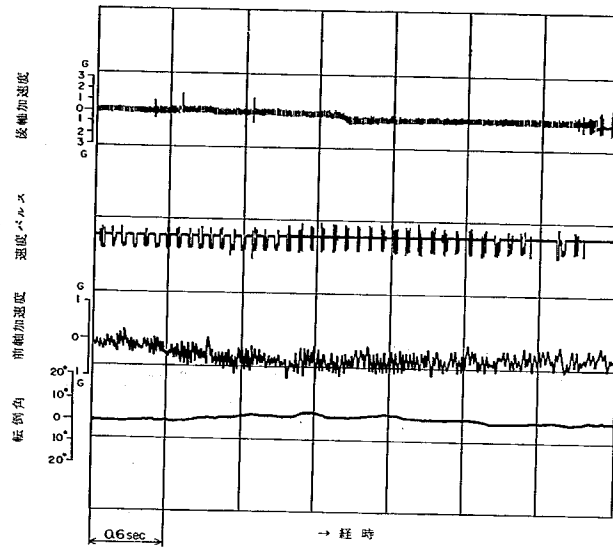
附図- 3.3(b) 急旋回試験 (No. 3, 車輛中心の軌跡)



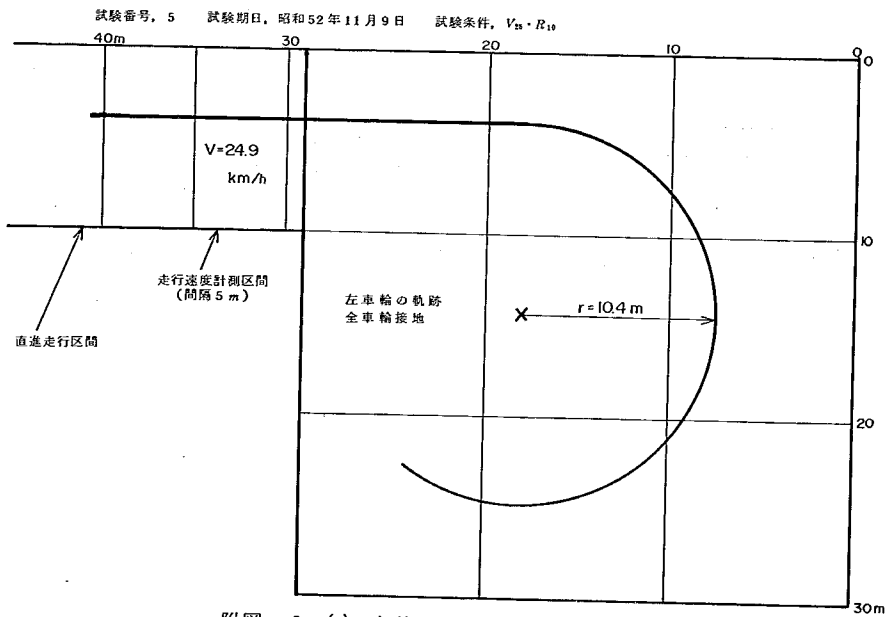
附図- 3.4 (a) 急旋回試験 ($\mu 4, V_{25}, R_{10}$)



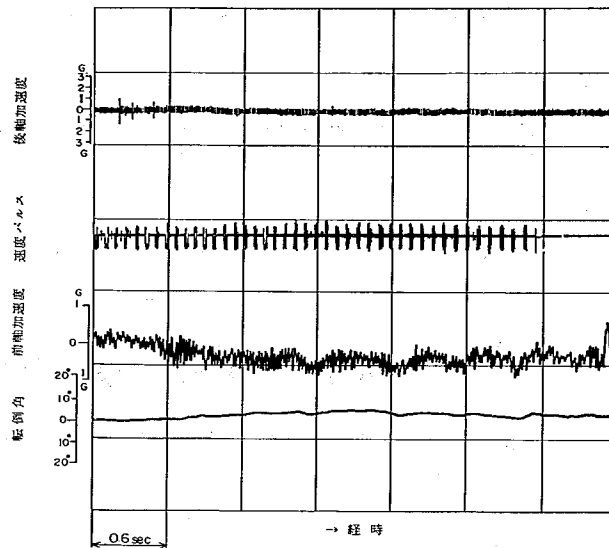
附図- 3.4 (b) 急旋回試験 ($\mu 4$, 車輛中心の軌跡)



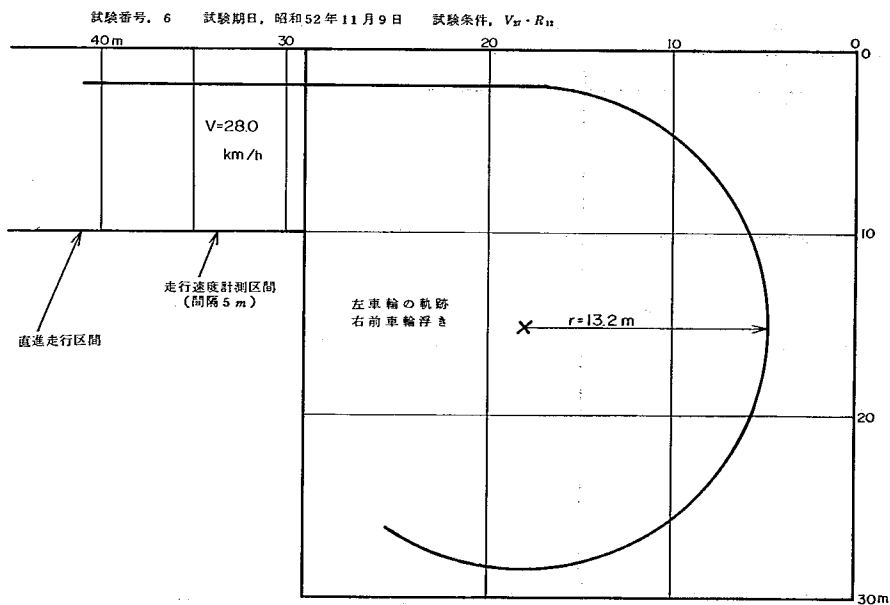
附図- 3.5 (a) 急旋回試験 ($\mu 5, V_{25}, R_{10}$)



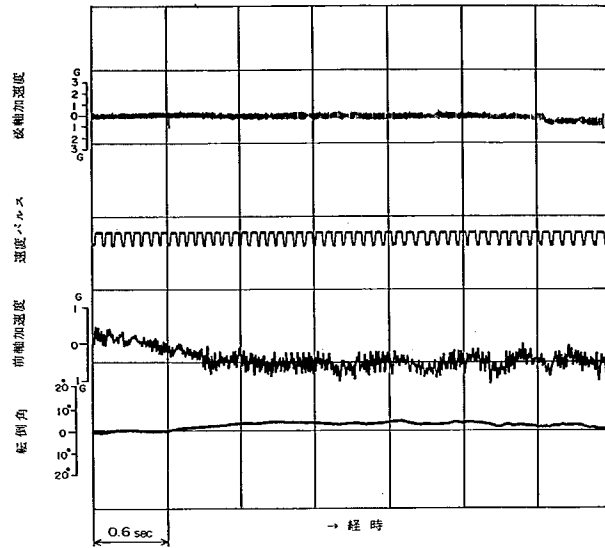
附図- 3.5 (b) 急旋回試験 ($\mu 5$, 車輛中心の軌跡)



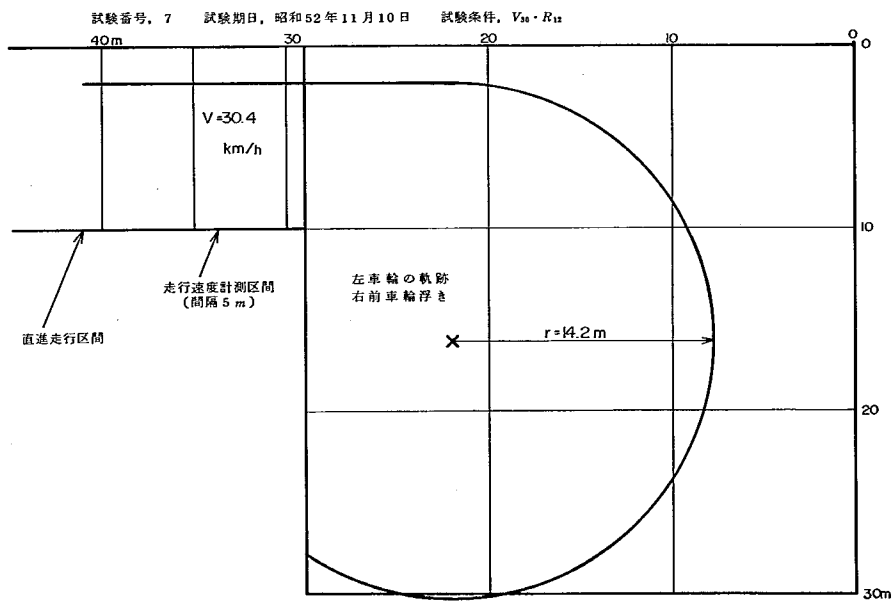
附図— 3.6(a) 急旋回試験 (No. 6, V_{27} , R_{12})



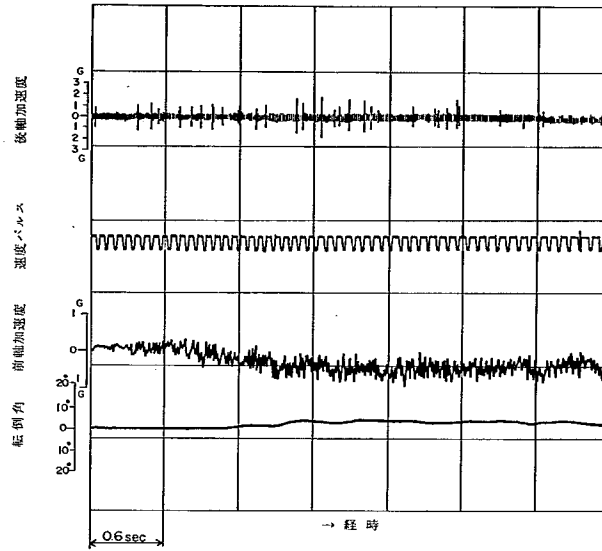
附図— 3.6(b) 急旋回試験 (No. 6, 車輛中心の軌跡)



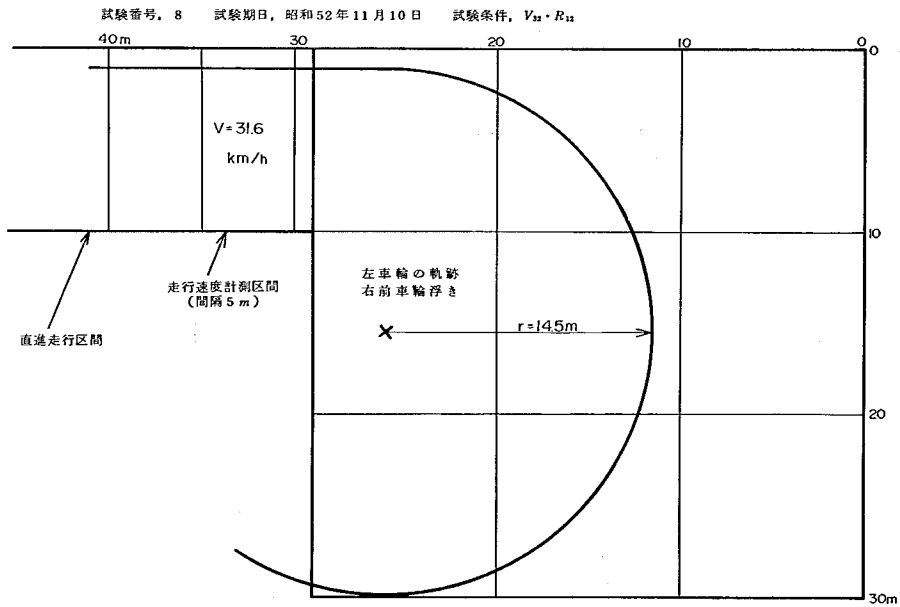
附図－3.7(a) 急旋回試験 (No. 7, V_{30} , R_{12})



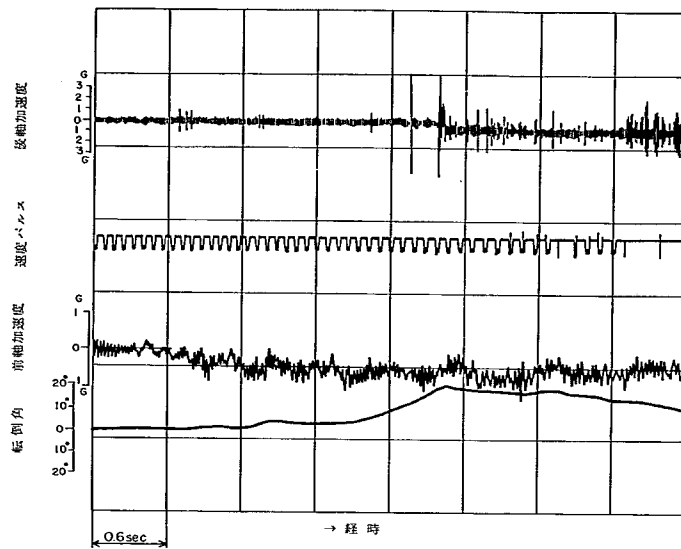
附図－3.7(b) 急旋回試験 (No. 7, 車輛中心の軌跡)



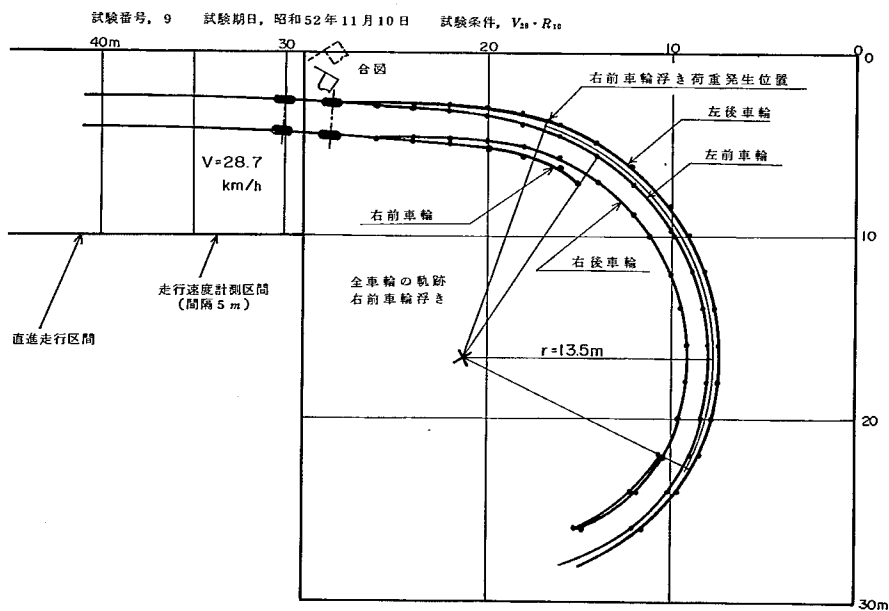
附図— 3.8(a) 急旋回試験 (No 8, V_{32} , R_{12})



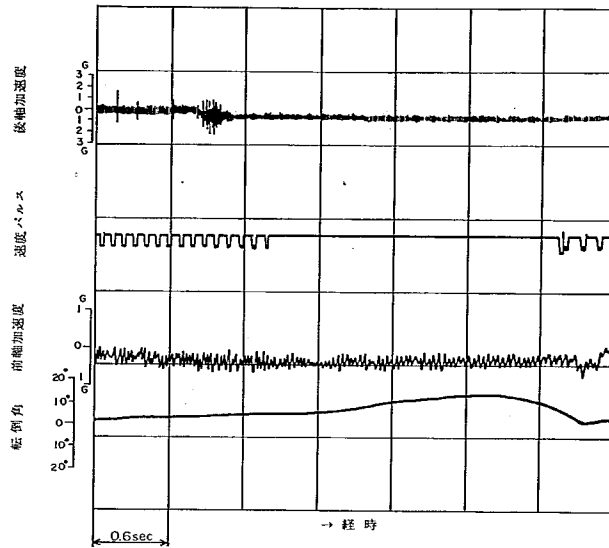
附図— 3.8(b) 急旋回試験 (No 8, 車輛中心の軌跡)



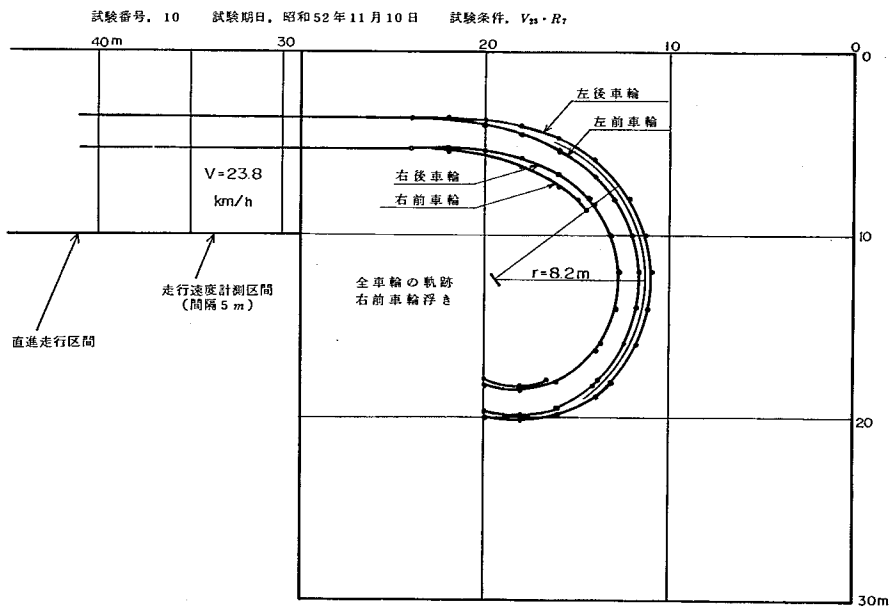
附図－3.9(a) 急旋回試験 (No. 9, V_{28} , R_{10})



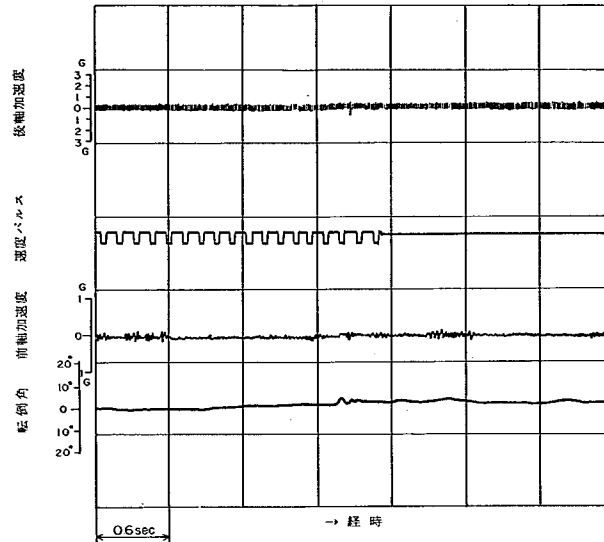
附図－3.9(b) 急旋回試験 (No. 9, 車輛中心の軌跡)



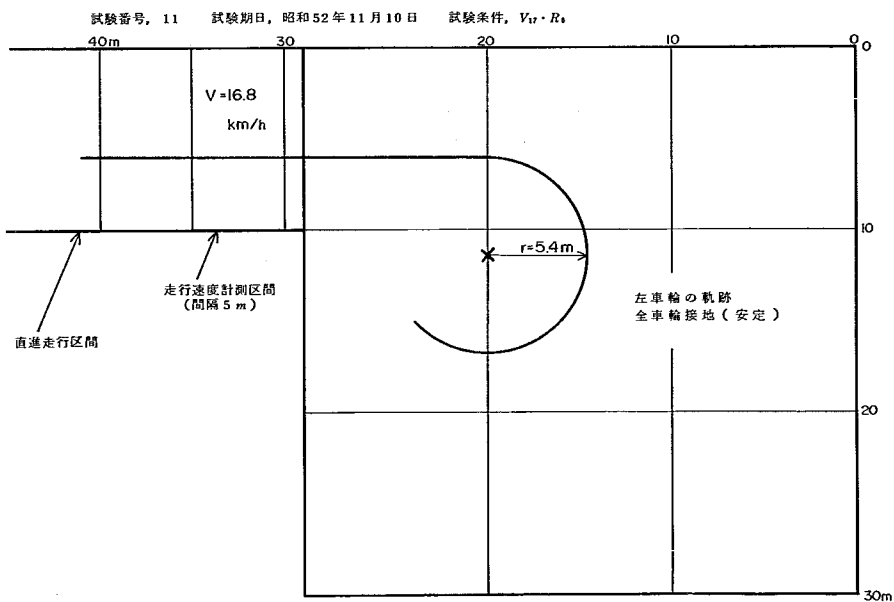
附図- 3.10 (a) 急旋回試験 ($\mu 10, V_{23}, R_7$)



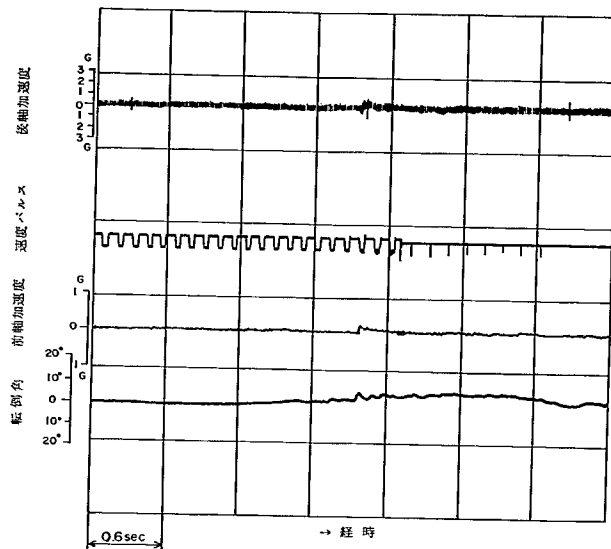
附図- 3.10 (b) 急旋回試験 ($\mu 10$, 車輛中心の軌跡)



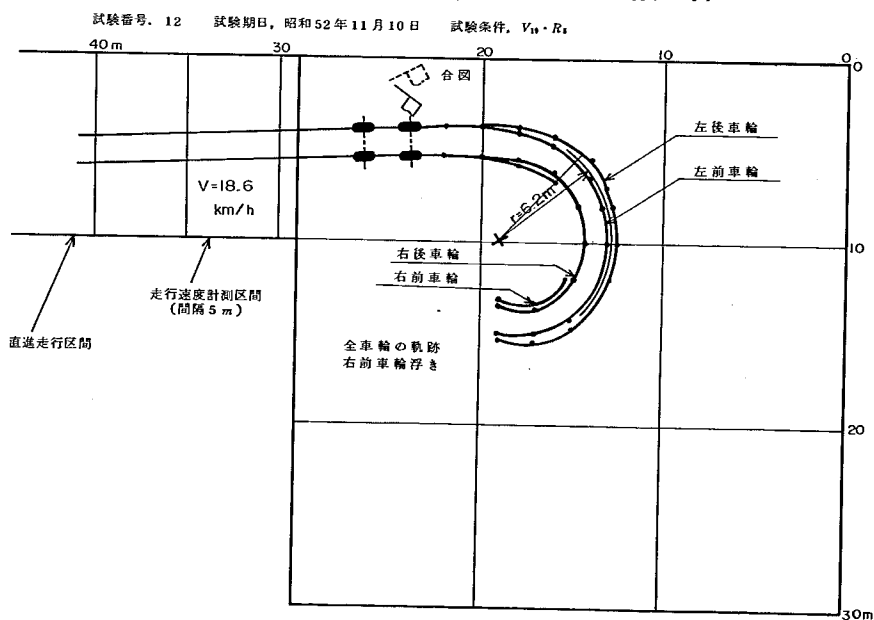
附図－3.11(a) 急旋回試験 (No. 11, V_{17} , R_5)



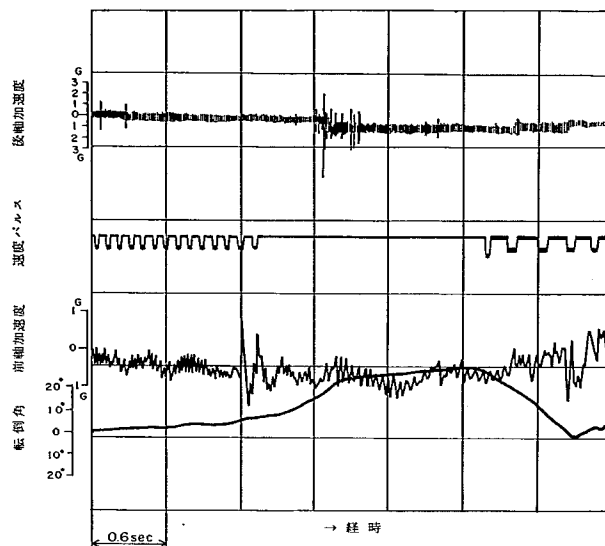
附図－3.11(b) 急旋回試験 (No. 11, 車輛中心の軌跡)



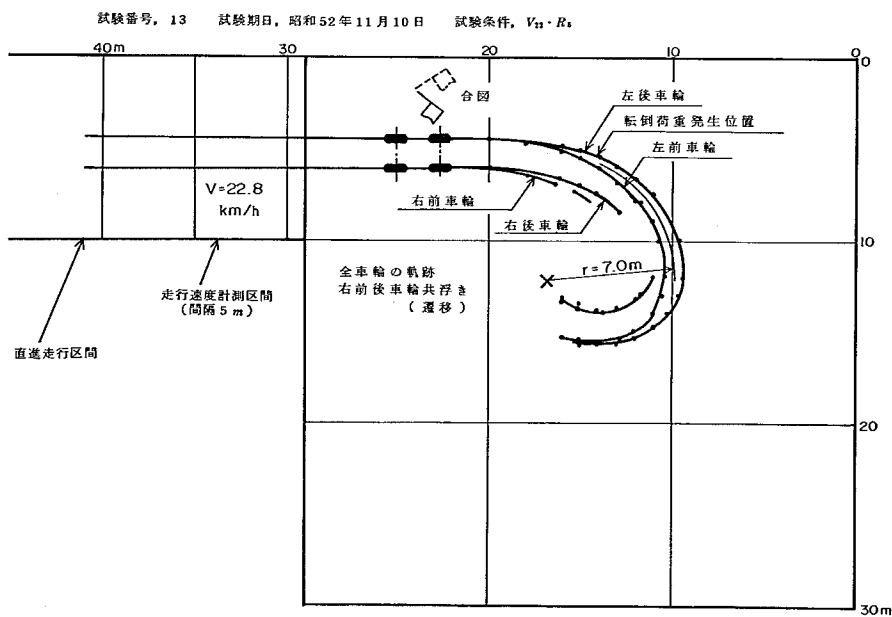
附図－3.12(a) 急旋回試験 (No.12, V_{19} , R_5)



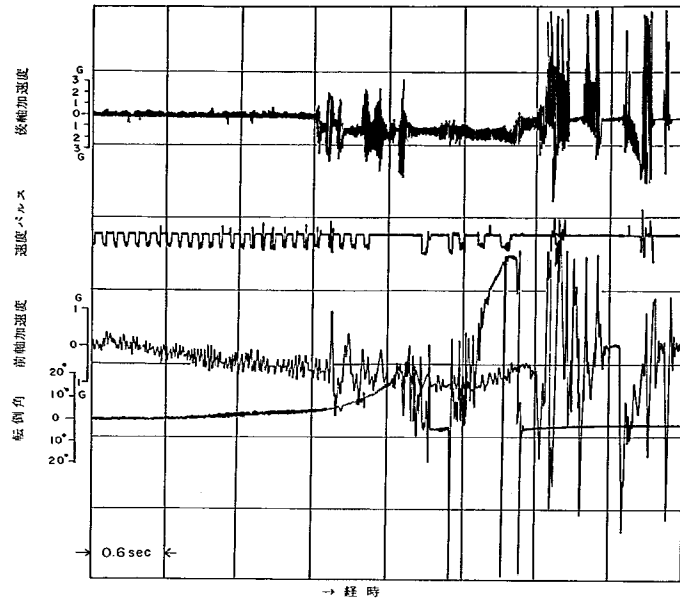
附図－3.12(b) 急旋回試験 (No.12, 車輛中心の軌跡)



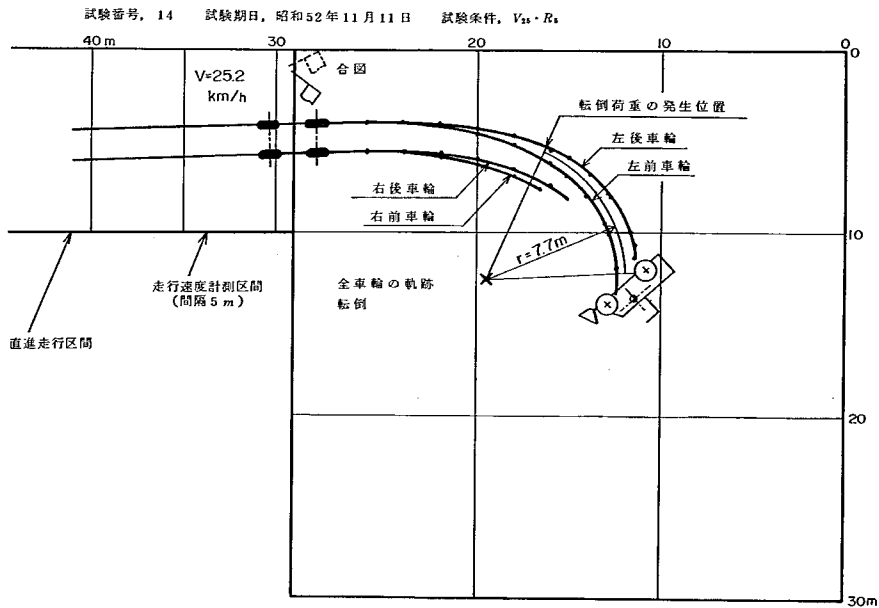
附図-3.13(a) 急旋回試験 (No. 13, V_{22} , R_5)



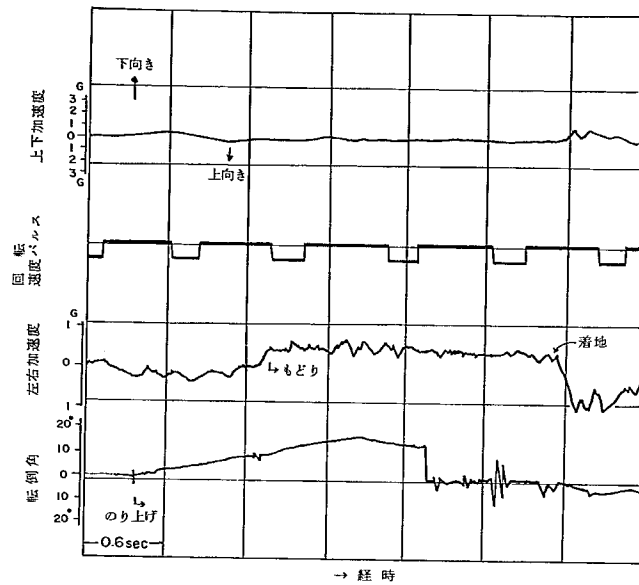
附図-3.13(b) 急旋回試験 (No. 13, 車輛中心の軌跡)



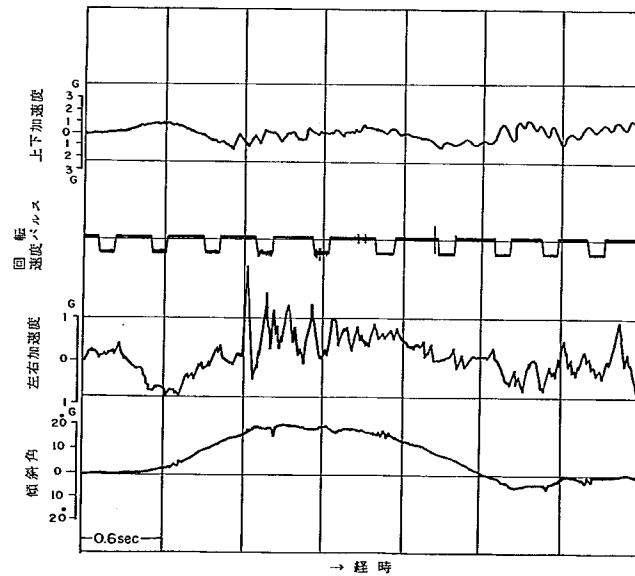
附図- 3.14 (a) 急旋回試験 (No. 14, V_{25} , R_5)



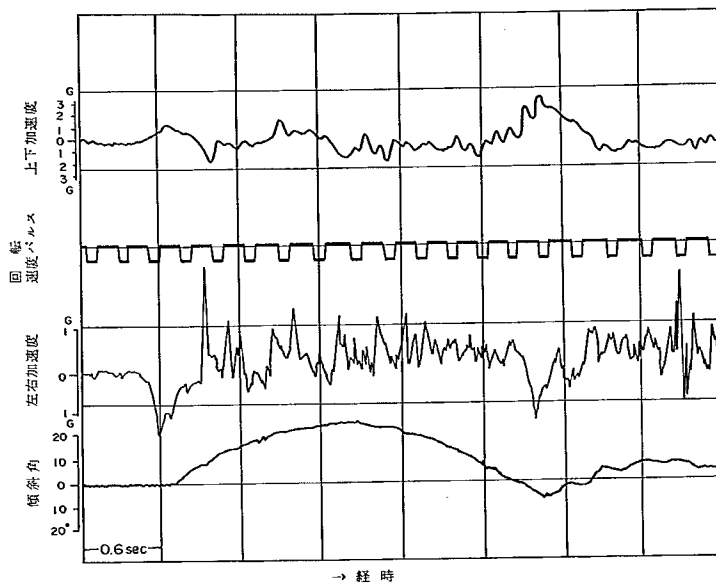
附図- 3.14 (b) 急旋回試験 (No. 14, 車輛中心の軌跡)



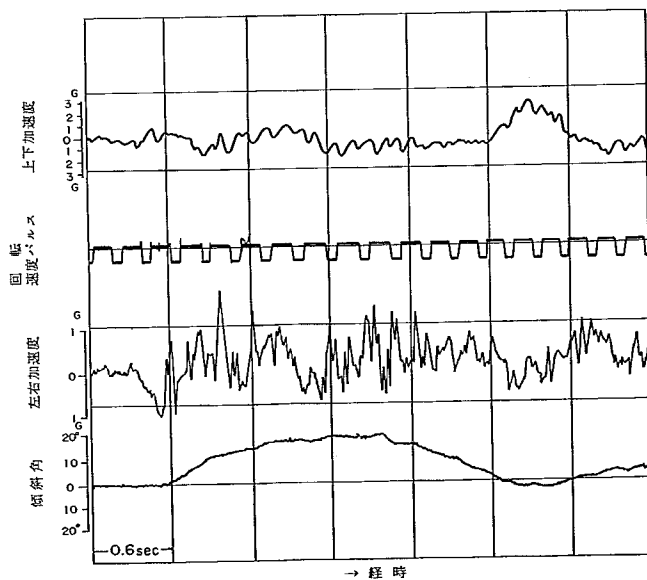
附図-3.15 不陸乗上げ試験 ($\#1, B_c, V_{10}$)



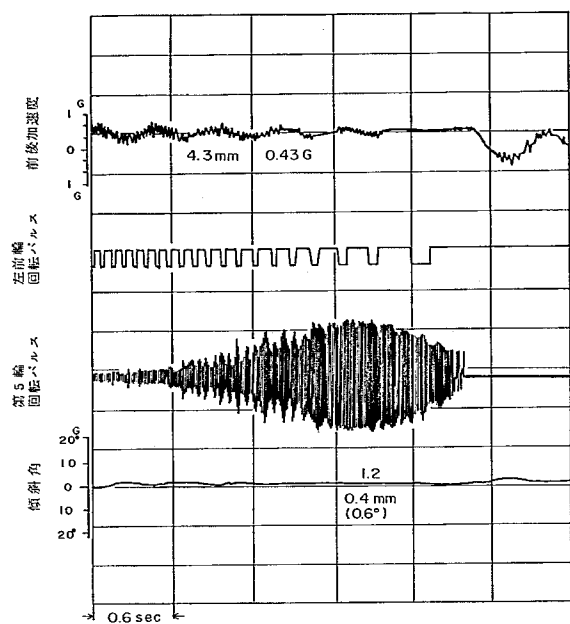
附図-3.16 不陸乗上げ試験 ($\#2, B_c, V_{20}$)



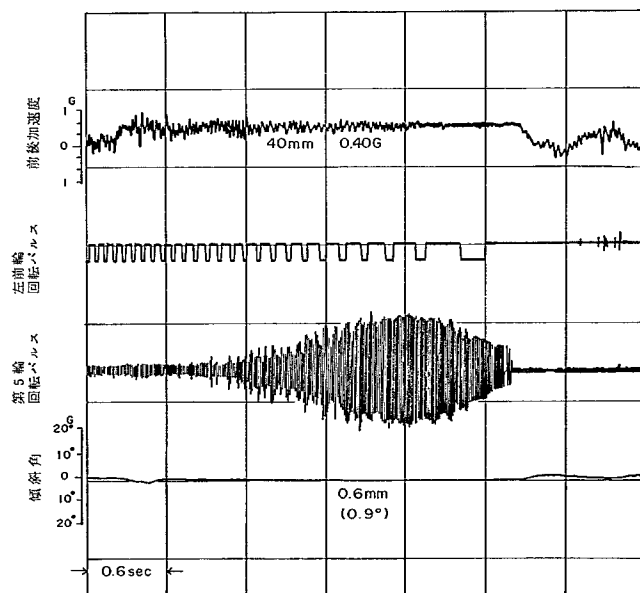
附図— 3.17 不陸乗上げ試験 (No. 3, B_c , V_{30})



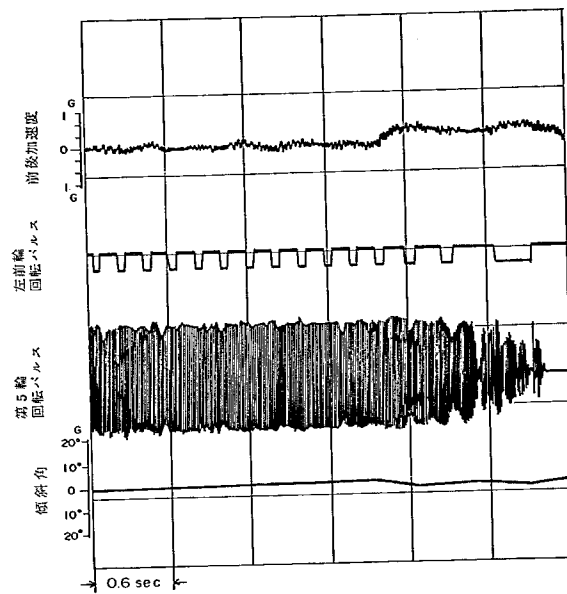
附図— 3.18 不陸乗上げ試験 (No. 4, B_r , V_{30})



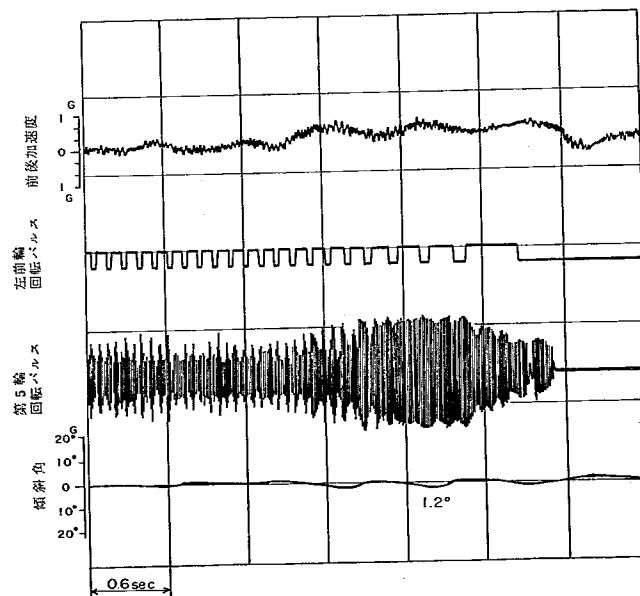
附図— 3.19 急制動試験 (N_1, L_0, B_C, V_{30})



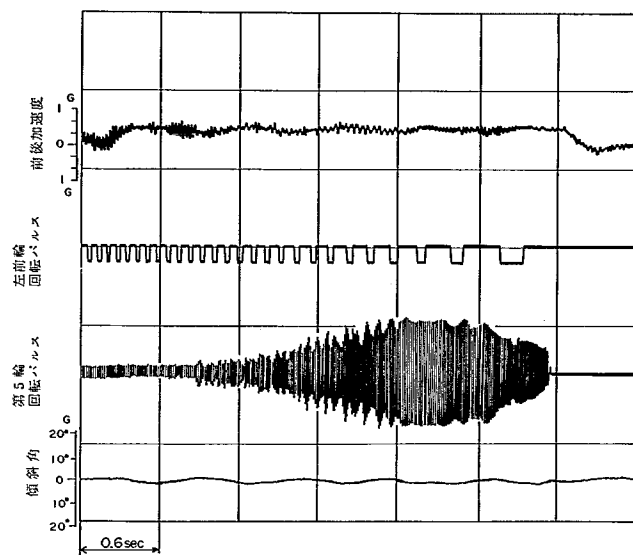
附図— 3.20 急制動試験 (N_2, L_0, B_T, V_{30})



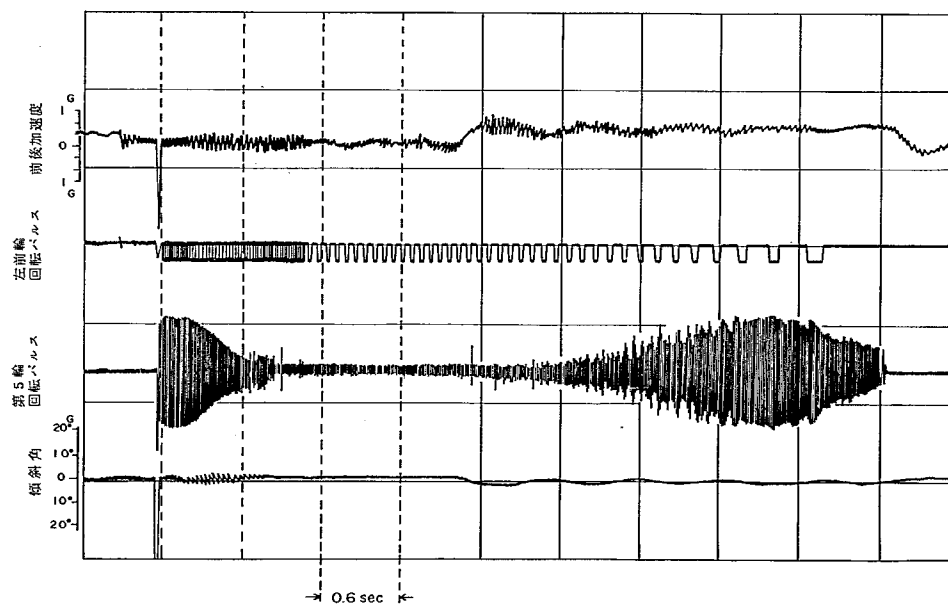
附図— 3.21 急制動試験 (№ 3, L_{21} , V_{10})



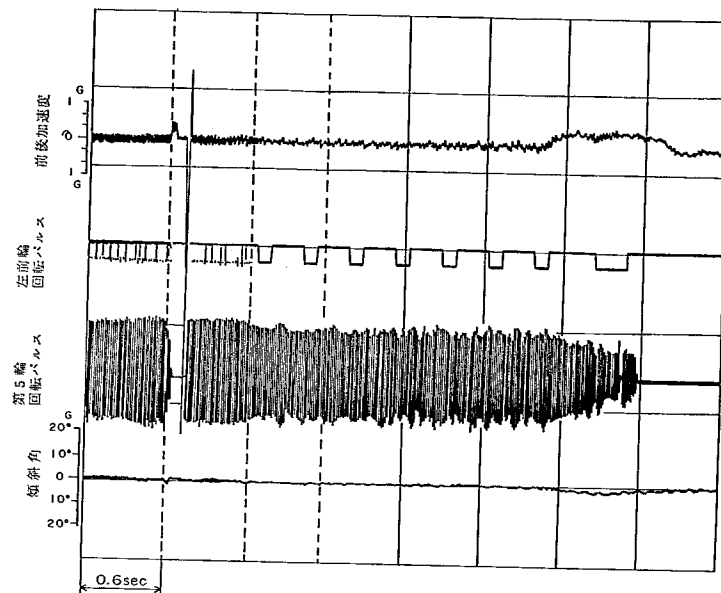
附図— 3.22 急制動試験 (№ 4, L_{21} , B_C , V_{20})



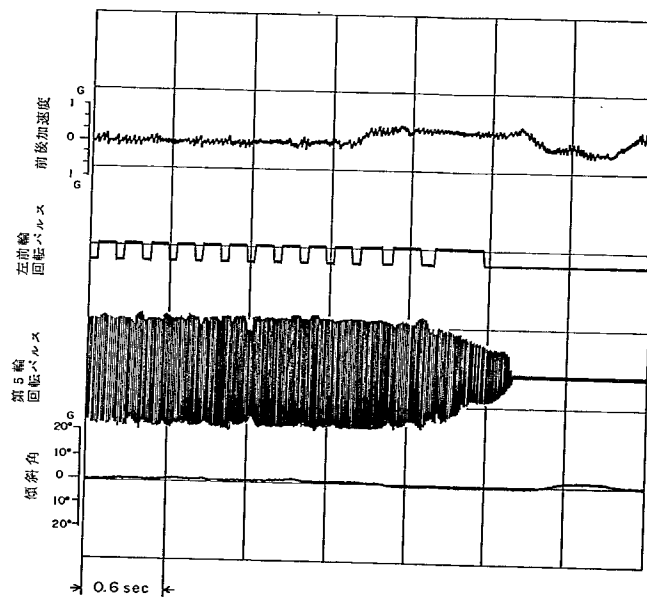
附図— 3.23 急制動試験 (№ 5, L_{21} , B_C , V_{20})



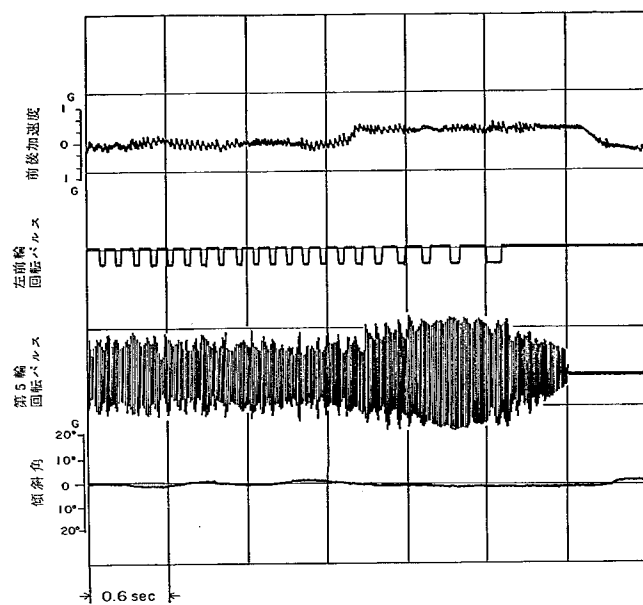
附図— 3.24 急制動試験 (№ 6, L_{21} , B_C , V_{30})



附図— 3.25 急制動試験 (№ 7, L_{21} , B_r , V_6)



附図— 3.26 急制動試験 (№ 8, L_{21} , B_r , V_{12})



附図— 3.27 急制動試験 (N_9, L_{21}, B_r, V_{18})