

# 小型四輪トラクタの横転倒に対する安全率について

中 尾 清 治・田 辺 一

Seiji NAKAO and Hajime TANABE

On the Stability of Small Tractor for the Side-Overturning

## I 緒 言

トラクタによる圃場作業は不整地走行が多いので、転倒による危険を絶えずもっている。とくに畔越えなどの障害物乗越えや傾斜地での作業では、転倒に対するより高い安全性が要求される。トラクタの転倒事故には横転倒と後方転倒があり、このうち死亡事故の多い横転倒についての研究が多く<sup>1),2),3)</sup>、ここではこの横転倒に対する安全性について考察する。

横転倒は作業機の結合方法・路面・運転状態などによって決定されるが、L. W. Knapp<sup>4)</sup>が示すような、静的な要因によって示される横転倒角は、転倒現象における安全性の基本的な尺度として考えられる性質のものである。彼らの用いた安全率は、トレッドを基準にし、単に水平面上における重心位置から計算を行なっている。しかしトラクタは前車軸が一点であるために、特殊な転倒現象をするので、これを考慮した安全率の表示でなければならぬ。ここではこの安全率にさらにオペレータの位置・タイヤ剛性の影響などを併せて検討し、より高い安全率を求めるための評価を試みた。

なおこの研究を遂行するにあたり、実験、取りまとめに協力を得た昭和46年度4年生谷口道広・峯隆の両君に感謝の意を表す。

## II 静止横転倒角

### (i) オペレータの位置とトラクタの重心

四輪トラクタではオペレータの位置は輪距のほぼ中央、軸距の後方 $\frac{1}{3}$ 程度のところに位置しているのが多い。まずオペレータの搭乗による重心位置の移動量を計算する。

トラクタの重量  $W_T$ 、輪距  $d$ 、軸距  $l$  としたトラクタの重心の位置を高さ  $h_0$ 、後車軸からの距離  $l_0$ 、傾斜面での谷側車輪からの距離  $d_0$  とし、オペレータの重量

$W_M$  による重心位置の変化を高さの方向に  $h'_0$ 、軸距方向に  $l'_0$ 、輪距方向に  $d'_0$  とすると

$$h'_0 = \frac{W_M}{W}(h'_0 - h_0) + h_0 \quad (1)$$

$$l'_0 = \frac{W_M}{W}(l' - l_0) + l_0 \quad (2)$$

$$d'_0 = \frac{W_M}{W}(d' - d_0) + d_0 \quad (3)$$

ただし、 $W = W_M + W_T$

$h'$ 、 $l'$ 、 $d'$  はオペレータの位置を示す値で、それぞれトラクタの重心位置と同様の基準点からの距離を示す。

(1)、(2)、(3)から示されるように  $W_M/W$  の値が小さいとき、すなわちトラクタ重量に比してオペレータの重量が小さいときは、トラクタとオペレータの総合的な重心位置は、トラクタのみの重心位置とあまり変わらない。しかし小型四輪トラクタなどではこの値は大きくなるので、オペレータの位置によって重心位置は変化をし、その影響は大きいと考えられる。

### (ii) 任意の重心位置における静止横転倒角

静止横転倒角は松山<sup>2)</sup>によって次のように定義されている。すなわちトラクタを等高線方向に向けて静止し、地面傾斜を徐々に大きくしていった場合に、機体が転倒し始める傾斜角をいう。さらにこれは静止一次横転倒角と静止二次横転倒角に分けられ、前者は第1図に示されるように、前車軸系を除いたトラクタの重量の合力の作用線が、前輪中央部に取付けられたピン A と谷側の後輪の着地点を結ぶ直線を越えて山側後輪が浮上するまでの角度を、また後者は、それを越えたとき、前車輪の左右回転のストッパーが作用して完全転倒が阻止されるので、さらに地面を傾斜させると谷側の前後輪 BD 上を同上の作用線が越えることになるときの角度をいう。

実際にはこの静止一次横転倒角で走行不安定となり作

※ 農業機械工学研究室

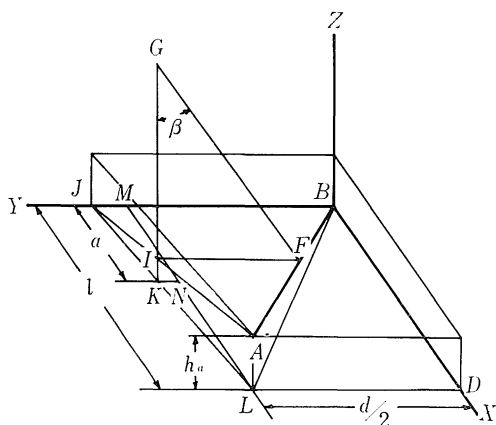
業不可能となる。したがって、ここではこの角度を基準に転倒現象の検討を行なうことにした。トラクタとオペレータの総合的重心位置は、オペレータの位置を変えることによって必ずしも中央とはならないので、任意の位置における静止一次横転倒角（以下これを静止横転倒角という）を、松山らと同様の計算方法を用いて検討した。

まず計算を容易にするために次の仮定をした。すなわち、前車軸系の重量による重心位置の変化を考慮しないこと、前輪・後輪の輪距は等しいこと、前車軸取付ピンと両前輪の接地点は地面に対して垂直面上にあること。第1図において  $B$  を谷側後輪の接地点、 $D$  を谷側前輪の接地点、 $G$  を重心位置、前車軸取付ピン  $A$  の高さを  $h_a$  とし、重心  $G$  を通り地面に垂直な線分を  $GK$ 、 $A$  を通り地面に垂直な線分を  $AL$ 、車輪の前後中心線を含む垂直面と地面との交線を  $LM$ 、 $LK$  の延長線と  $BM$  の延長線との交点を  $J$ 、 $K$  より引いた  $JM$  に平行な線分を  $KN$ 、 $A$ 、 $B$  および  $J$  を含む平面上で  $GK$  と交わり  $BJ$  に平行な線分を  $FI$  とすると、 $MJ = d/2$ 、 $GK = h'_0$ 、 $AL = h_a$ 、 $KN = d'_0 - d/2$ 、 $JK/JL = l'_0/l$ 、 $LK/LJ = KN/JM = (l - l'_0)/l$  となる。静止横転倒角を  $\beta$  とすると

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{FI}{GI}\right) \quad (4)$$

$$FI = BJ \frac{AI}{AJ} = BJ \frac{LK}{LJ} = BJ \frac{l - l'_0}{l} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} BJ &= BM + JM = \frac{d}{2} + KN \frac{l}{l - l'_0} \\ &= \frac{d}{2} + \left(d'_0 - \frac{d}{2}\right) \frac{l}{l - l'_0} \\ &= \frac{d'_0 l - 0.5dl'_0}{l - l'_0} \end{aligned} \quad (6)$$



第 1 図

(6)を(5)に代入して

$$FI = \frac{d'_0 l - 0.5dl'_0}{l} \quad (7)$$

$$GI = GK - IK = h'_0 - AL \frac{JK}{JL} = h'_0 - h_a \frac{l'_0}{l} \quad (8)$$

(7), (8)を(4)に代入すると

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{d'_0 l - 0.5dl'_0}{lh'_0 - h_a l'_0}\right) \quad (9)$$

したがって、(9)は重心位置  $h'_0$ 、 $l'_0$ 、 $d'_0$  の静止横転倒角である。

### III 重心位置の測定

#### (i) 重心位置の計算

IIで求めた任意の位置での静止横転倒角から、オペレータの位置の変化およびタイヤの剛性の影響などに対するトラクタの安定性を検討するために、小型四輪トラクタを用い傾斜状態での重心位置の測定を行なった。重心の位置は G. W. Steinbruegge<sup>5)</sup> によって示される方法を用いて測定した。すなわち、トラクタの前方を持ち上げて傾きを与え、前方から後方に重量変化させることによって次の式で計算される。

$$h'_0 = r_1 + \left\{ l'_0 - \frac{W'_f l \cos B}{W \cos A \cos(A+B)} \right\} \frac{1}{\tan(A+B)} \quad (10)$$

$$l'_0 = \frac{W'_f l}{W} \quad (11)$$

$$\text{ただし、} A = \tan^{-1}\left(\frac{r_1 - r_2}{l}\right),$$

$$B = \sin^{-1}\left\{\frac{(r_2 + a - r_1) \cos A}{l}\right\}$$

$W_f$  : トラクタの前後輪が左右水平面上にあるときの  
前輪荷重

$W'_f$  :  $W_f$  の状態から前輪が持ち上げられたときの  
前輪荷重

$r_1$  : 後輪の有効半径

$r_2$  : 前輪の有効半径

$a$  : 前輪の持ち上げ高さ

また、 $d'_0$  は  $h'_0$  が求まると次のようにして計算される。

$$d'_0 = \frac{W'}{W} d + h'_0 \tan \theta \quad (12)$$

$\theta$  : トラクタの横方向の傾斜角

$W'$  : 山側車輪の前後輪の車輪荷重

(10), (11), (12)より、 $r_1$ 、 $r_2$ 、 $l$ 、 $d$ 、 $W$  および  $a$  を固有値とすると、 $W_f$ 、 $W'_f$ 、 $W'$  を測定すれば重心位置は決定される。

(ii) 測定方法

ここで用いた供試トラクタはIIで述べたように、オペレータの重量によって重心位置の変化の影響が大きいと考えられる比較的小さい小型四輪トラクタを選定した。その主要諸元は第1表の通りである。このトラクタのシートの位置の高さを変えないで、正規位置より100mm間隔に500mmまで5段階に山側に横移動できるようにした。トラクタの横方向の傾斜角は、0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 30°の6段階とし、松板を用いてこれらの角度で傾斜させた状態と、その傾斜角で両方の前輪を150mm持ち上げた状態との各車輪にかかる荷重を測定した。タイヤ圧は1.5kg/cm<sup>2</sup>、オペレータ重量は50kgである。

IV 実験結果と考察

(i) 重心位置

IIIの実験によって得られた実験値を各車輪ごとに、傾斜角度に対して最小2乗法を用いて修正をし、(10), (11), (12)より重心位置の計算を行なった。その結果を第2表に示す。この表はトラクタのみの場合のW = 328.2kgでは、傾斜角θ = 0の重心位置h<sub>0</sub> = 289mm, l<sub>0</sub> = 460mm, d<sub>0</sub> = 406mmを、またオペレータが塔乗した場合のW = 378.2kgでは、θ = 0, シート位置b = 0の重心位置h'<sub>0</sub> = 343mm, l'<sub>0</sub> = 431mm, d'<sub>0</sub> = 400mmからオペレータの横移動すなわちb = 0, 100, 200, 300, 400, 500mmの各位置に対しては、d'<sub>0</sub>の理論値はそれぞれ400, 413, 426, 440, 453, 466mmとなるので、これらをそれぞれ基準にしてその比R<sub>h</sub>, R<sub>l</sub>, R<sub>d</sub>で示してある。

ここで傾斜角の変化およびオペレータの位置の変化に対する重心位置は理論値で変化がない、すなわちR<sub>h</sub> = 1, R<sub>l</sub> = 1, R<sub>d</sub> = 1と仮説して次の統計量の計算を行なった。

$$T_1 \text{ または } T_2 = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma \sqrt{n}} \quad (13)$$

T<sub>1</sub>: 傾斜角の変化に対する統計量

T<sub>2</sub>: オペレータの位置の変化に対する統計量

$\bar{x}$ : 標本平均

$\mu$ : 平均値

n: 自由度

$\sigma^2$ : 分散

(13)において  $\mu = 1$ , また  $\sigma$  は測定誤差の考慮から

第1表 供試トラクタ主要諸元

出力	9P.S.
重量	328.4kg
輪距	790mm
軸距	1000mm
前輪タイヤ半径	238mm
後輪タイヤ半径	282mm
前輪軸取付ピン高さ	270mm
前輪最大左右回転角	14deg.

±5%を許容限度としてσ<sup>2</sup> = 0.05<sup>2</sup>とした。この計算結果を第3表、第4表に示す。この仮説に対して有意水準1%の両側検定を行なうと、2.58より小さいTの値は、T<sub>1</sub>ではW = 328.2kgのR<sub>l</sub>およびR<sub>d</sub>の全部、W = 378.2kgのR<sub>l</sub>およびR<sub>d</sub>の全部、T<sub>2</sub>ではR<sub>l</sub>の全部とθ = 0°, 5°, 10°, 15°のR<sub>d</sub>である。これらはR<sub>l</sub> = 1, R<sub>d</sub> = 1の仮説が棄却されないで、この範囲では車軸方向および軸距方向の重心位置は、トラクタの傾斜やオペレータの位置の変化に対して計算通りで求められ、データの若干の増加の傾向があるようであるが大差ないということになる。

第2表 実測による重心位置の変化割合

W(kg)	b(mm)	θ(deg.)	R <sub>h</sub>	R <sub>l</sub>	R <sub>d</sub>
328.4	-	0	1.00	1.00	1.00
		5	1.07	1.00	1.01
		10	1.21	1.00	1.02
		15	1.33	1.01	1.04
		20	1.43	1.01	1.06
		30	1.47	1.02	1.07
378.4	0	0	1.00	1.00	1.00
		5	1.08	1.00	1.07
		10	1.24	1.01	1.03
		15	1.36	1.01	1.04
		20	1.45	1.01	1.07
		30	1.48	1.01	1.08
378.4	100	0	1.03	1.00	1.00
		5	1.08	1.00	1.01
		10	1.22	1.01	1.02
		15	1.35	1.01	1.05
		20	1.43	1.01	1.07
		30	1.47	1.02	1.08
378.4	200	0	1.05	1.00	1.01
		5	1.10	1.01	1.07
		10	1.22	1.01	1.03
		15	1.31	1.01	1.04
		20	1.39	1.01	1.06
		30	1.45	1.02	1.07
378.4	300	0	1.08	1.00	1.01
		5	1.13	1.00	1.02
		10	1.24	1.01	1.03
		15	1.35	1.01	1.04
		20	1.41	1.02	1.06
		30	1.43	1.03	1.07
378.4	400	0	1.13	1.01	1.02
		5	1.18	1.00	1.02
		10	1.27	1.01	1.03
		15	1.34	1.01	1.14
		20	1.38	1.02	1.05
		30	1.40	1.03	1.06
378.4	500	0	1.18	1.00	1.02
		5	1.22	1.00	1.02
		10	1.29	1.00	1.13
		15	1.34	1.01	1.04
		20	1.36	1.02	1.04
		30	1.37	1.04	1.05

一方 2.58 より大きい  $T$  の値は、 $T_1$  では  $W = 328.2\text{kg}$  の  $R_b$  および  $W = 378.2\text{kg}$  の  $R_b$  の全部、 $T_2$  では  $R_b$  の全部と  $\theta = 20^\circ, 30^\circ$  の  $R_d$  である。これらの値は  $R_b = 1, R_d = 1$  の仮説が棄却される。このうち  $R_b$  についての変化は第 2 図のように示され、トラクタが傾斜すると重心高さは高くなり、 $\theta = 30^\circ$  で 35~45%の増加となっている。またオペレータの位置の変化は、 $\theta < 15^\circ$  ではオペレータが山側に移動するほど高くなり、 $\theta > 15^\circ$  ではその逆の結果になっている。 $R_d$  についての変化は、 $\theta = 20^\circ, 30^\circ$  のときは理論値より 5~8%高い値を示している。この  $R_d$  の全体のデータを基にして考察すると、 $\theta$  が増加するにしたがって  $R_d$  の値は少しずつ増加している。それが  $\theta = 20^\circ$ ,

第 3 表  $T_1$  の 値

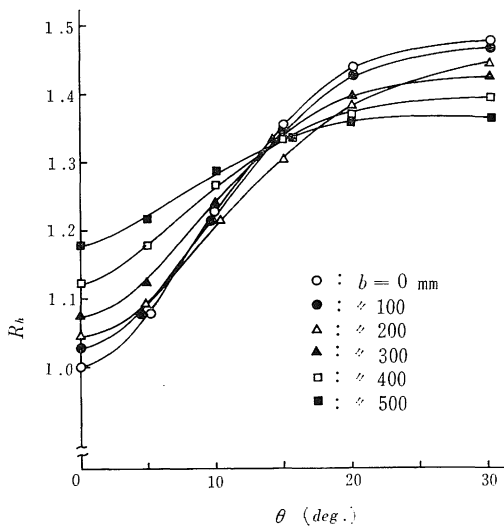
$b(\text{mm})$	328.4		378.4				
	—	0	100*	200*	300	400	500
$R_b$	12.238*	13.090*	12.894*	12.409*	13.301*	13.840*	14.379*
$R_t$	0.358	0.407	0.451	0.514	0.554	0.598	0.578
$R_d$	1.558	1.847	1.874	2.219	1.773	1.715	1.651

\* 危険率 1%水準で有意

第 4 表  $T_2$  の 値

$\theta(\text{deg.})$	0	5	10	15	20	30
$R_b$	3.831*	6.369*	12.042*	16.721*	19.753*	21.203*
$R_t$	0.122	0.181	0.328	0.500	0.710	1.264
$R_d$	0.146	1.190	1.298	2.048	2.807*	3.243*

\* 危険率 1%水準で有意



第 2 図

$30^\circ$  になると、ここでの許容限度を越えるので、このような結果になると考えられる。これらの原因は、トラクタの傾斜やオペレータのシート位置の変化によって左右車輪の荷重差が大きくなり、タイヤ剛性の影響や前輪のピン A の作用などにより、前車軸と後車軸は傾斜角に対して互に平行でなくなるものと考えられる。

オペレータが塔乗することによる重心位置の変化は、 $h'_0/h_0 = 1.187, l'_0/l_0 = 0.937, d'_0/d_0 = 0.985$  となり、許容限度  $\pm 5\%$  とすればこの範囲内は  $d'_0/d_0$  のみで、 $h'_0/h_0$  および  $l'_0/l_0$  は変化する。とくにここでの小型四輪トラクタでは重心高さは約 19% も高くなる。

(ii) 安全率

前項の検討結果では、トラクタの傾斜角の変化およびオペレータのシート位置の変化によって  $l'_0$  は理論的計算結果と同一と認められたが、 $d'_0$  の一部と  $b'_0$  は認められなかった。このうち認められなかった  $d'_0$  の一部は、理論値と大きな差はないのでここでは  $l'_0$  と同様の取り扱いをし、 $h'_0$  の変化のみに対するトラクタの安全性を安全率の評価から検討した。

従来の安全率の検討は、I で述べたように L. W. Knapp らによって示されるトレッドと重心高さのみから計算している。すなわちこの横転倒角を  $\alpha$  とすると

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{d'_0}{h'_0}\right) \tag{14}$$

この安全率  $P_A$  は次のようになる。

$$P_A = \frac{d'_0 \cos\theta - h'_0 \sin\theta}{h_K \tan\alpha_K} \times 100 \tag{15}$$

ただし、 $h_K, \alpha_K$  は  $\theta = 0$  のときの  $h'_0$  および  $\alpha$  である。(14)より  $d'_0$  は一定値であるが、 $h'_0$  の増加とともに  $\alpha$  の値は減少する。前項で述べたように、トラクタの傾斜とともに  $h'_0$  は増加するので、 $h'_0$  を一定とする L. W. Knapp らの安全率より実際のトラクタの安全率は減少する。

また、トラクタの特性により静止横転倒角で事実上走行が不可能となるので、安全率はこの角度を考慮して決定されなければならない。すなわち、同様の計算方法からこのときの安全率  $P_B$  は次のように示される。

$$P_B = \frac{d'_0 \cos\theta - h'_0 \sin\theta - (d_K - h_K \tan\beta_K) \cos\theta}{h_K \tan\beta_K} \times 100 \tag{16}$$

ただし、 $d_K, \beta_K$  は  $\theta = 0, b = 0$  のときのそれぞれ  $d'_0, \beta$  である。(15)を(16)に代入して  $P_A$  と  $P_B$  の関係を示すと

$$P_B = \frac{\tan\alpha_K P_A - \left(\frac{\tan\alpha_K}{\tan\beta_K} - 1\right) \cos\theta}{\tan\beta_K} \times 100 \tag{17}$$

第5表 実測による転倒角と安全率の理論値との比較

$W$ (kg)	$b$ (mm)	$\theta$ (deg.)	$\alpha$ (deg.)	$P_A$	$P_{AK}$	$P_A/P_{AK}$	$\beta$ (deg.)	$P_B$	$P_{BK}$	$P_B/P_{BK}$
328.4	—	0	54.6	100.0	100.0	1.000	53.7	100.0	100.0	1.000
		5	52.7	93.0	94.0	0.996	50.5	92.8	93.2	0.996
		10	49.3	83.6	86.1	0.971	44.9	83.1	85.7	0.970
		15	46.6	72.1	78.2	0.922	40.8	71.3	77.6	0.919
		20	44.6	59.3	69.6	0.852	38.0	58.2	68.9	0.845
30	43.8	34.4	51.0	0.675	36.8	32.8	49.9	0.657		
378.4	0	0	49.4	100.0	100.0	1.000	45.4	100.0	100.0	1.000
		5	47.2	91.6	92.2	0.994	42.1	90.3	91.0	0.992
		10	43.3	80.1	83.6	0.958	36.8	77.3	81.4	0.950
		15	40.6	66.4	74.4	0.893	33.3	61.9	71.1	0.871
		20	38.9	51.6	64.7	0.798	31.2	45.2	60.2	0.751
30	38.2	23.0	43.7	0.526	30.4	13.5	37.3	0.362		
378.4	100	0	49.4	103.3	103.3	1.000	45.6	103.7	103.7	1.000
		5	48.1	94.8	95.4	0.994	43.7	94.1	94.8	0.993
		10	44.7	83.6	86.8	0.963	38.9	81.3	85.0	0.957
		15	41.7	69.8	77.5	0.901	35.0	65.7	74.7	0.880
		20	40.1	55.1	67.7	0.814	33.0	49.3	63.8	0.773
30	39.4	26.5	46.6	0.569	32.1	17.5	40.5	0.432		
378.4	200	0	49.7	106.5	106.5	1.000	46.3	107.5	107.5	1.000
		5	48.5	97.9	98.6	0.993	44.5	97.6	98.5	0.991
		10	45.5	86.7	90.0	0.963	40.3	85.0	88.7	0.958
		15	43.5	73.8	80.7	0.915	37.5	70.4	78.3	0.899
		20	41.8	59.4	70.8	0.839	35.4	54.2	67.3	0.805
30	40.6	30.0	49.4	0.607	33.9	21.5	43.8	0.491		
378.4	300	0	49.9	110.0	110.0	1.000	46.8	111.5	111.5	1.000
		5	48.7	101.2	102.1	0.991	44.9	101.4	102.5	0.989
		10	45.9	89.8	93.4	0.962	41.0	88.5	92.7	0.955
		15	43.7	76.4	84.1	0.908	38.0	73.4	82.2	0.893
		20	42.4	62.2	74.1	0.839	36.4	57.4	71.1	0.807
30	41.9	34.0	52.4	0.649	35.8	26.1	47.3	0.552		
378.4	400	0	49.6	113.3	113.3	1.000	46.4	115.2	115.2	1.000
		5	48.3	104.0	105.4	0.987	44.6	104.7	106.2	0.986
		10	46.1	92.6	96.6	0.959	41.5	91.7	96.4	0.951
		15	44.6	79.7	87.2	0.914	39.5	77.1	85.8	0.899
		20	43.7	65.8	77.1	0.853	38.3	61.6	74.6	0.826
30	43.4	38.1	55.2	0.690	37.9	30.8	50.5	0.610		
378.4	500	0	49.0	116.5	116.5	1.000	45.7	119.0	119.0	1.000
		5	48.2	107.0	108.6	0.985	44.5	108.1	109.9	0.984
		10	46.5	95.5	99.8	0.957	42.2	95.1	100.0	0.951
		15	45.4	82.8	90.3	0.917	40.7	80.7	89.4	0.903
		20	44.9	69.5	80.2	0.867	40.1	65.8	78.1	0.843
30	44.8	42.3	58.0	0.729	40.0	35.6	53.7	0.663		

したがって、(9)、(13)、(15)、(17)から  $h'_0$  の変化に対する  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $P_A$ 、 $P_B$  の値を計算し、 $h'_0$  を一定とする理論計算の  $\alpha_K$  および  $\beta_K$  に対する安全率を  $P_{AK}$ 、 $P_{BK}$  として比較した。計算結果を第5表に示す。

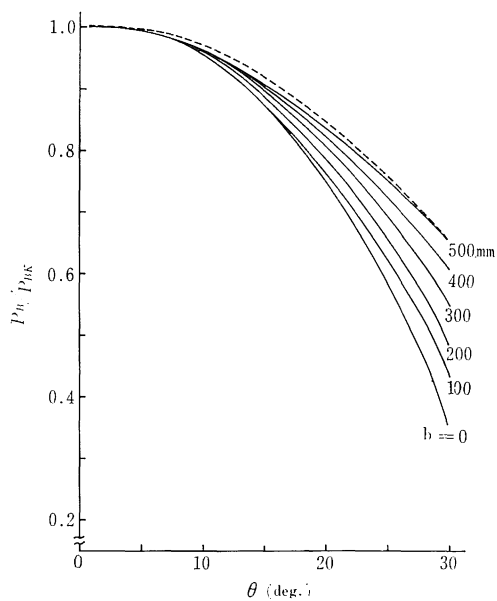
安全率100%とする基準の転倒角は、トラクタのみの場合  $\alpha = 54.6^\circ$ 、 $\beta = 53.7^\circ$ 、オペレータ搭乗の場合  $\alpha = 49.4^\circ$ 、 $\beta = 45.4^\circ$  となり、 $\alpha$  および  $\beta$  の正接の比は 0.825 および 0.749 となる。これはトラクタのみを基準とする安全率の比を示すので、このような小型トラクタではオペレータ搭乗による安全率の減少は大き

い。

第5表より  $\alpha$ 、 $\beta$  の値は傾斜角が増加するといずれも減少している。したがって傾斜すれば理論値以上に転倒しやすいことになる。また、 $\alpha > \beta$  であるので実際の走行不態状態は実質転倒よりも角度が小さいことが示される。したがって、L. W. Knapp らの表示による安全率  $P_{AK}$  では  $h'_0$  の変化もあることから、実際の安全率  $P_B$  との差は大きいのでトラクタの安全率は  $P_B$  の表示でなければならぬ。

さらに静止横転倒角を基準とする安全率について

$P_B/P_{BK}$  の変化をグラフに示すと第3図のようになる。この図からも傾斜角度に対する安全率の減少は大きいことがわかる。とくにオペレータ塔乗のときの通常状態  $b=0$  では減少割合が他と比較して大きい。 $b=500\text{mm}$  になってトラクタのみと同じ位置まで回復する結果になっている。このことから、このような小型トラクタは、傾斜地走行では傾斜による重心高さの変化を考慮しな



第3図

なければならない。とくにオペレータ塔乗では極度に安全率は減少し危険となるので、できるだけ安全率を向上させるため、無人トラクタの開発またはオペレータの位置および付加おもりを有効的に考慮する必要がある。

## V 摘 要

トラクタは前車軸の支持点が一点であるために特殊な転倒現象があり、これをここでは静止横転倒角  $\beta$  とし

て任意の重心位置における計算式を導いた。その結果を(9)に示す。この式を用いたトラクタの重心位置と安全率の関係を求め、さらに小型四輪トラクタを用いて重心位置の測定を行ないトラクタの安全性を検討した。

実験結果は次の通りである。

1. トラクタは傾斜角が増加するにしたがって重心位置は軸距方向、輪距方向はほぼ計算通りであるが、高さの方向は変化をし増加する。
2. オペレータ塔乗のときはトラクタのみのときに比べて重心位置は約19%高くなった。
3. 安全率の表示は重心高さの変化もあることから、L. W. Knapp の示す安全率  $P_{AK}$  と静止横転倒角基準の安全率  $P_B$  とでは大きな差があり、実際には後者で表示されなければならない。
4. 2. で示した重心高さの変化では、トラクタのみの場合の  $P_B$  に対するオペレータ塔乗のときの  $P_B$  の比は0.749 となり、オペレータ塔乗による安全率の減少は大きい。
5.  $P_B$  は重心高さが傾斜角に対して変化するので極度に減少する。したがって安全率向上のため傾斜地ではオペレータの位置および付加荷重を有効的に考慮する必要がある。

## 参 考 文 献

1. M. HANSEN: Agr. Eng. **47**: 472-474, 1966.
2. 松山龍男・川崎健・藤岡澄行・前岡邦彦: 農機誌 **32** (2): 111-116, 1970.
3. 土屋功位・上出順一・赤瀬 章: 農機誌 **34** (4): 294-299, 1973.
4. L. W. KHAPP, J. T. PARKS: Agr. Eng. **51**: 456-459, 1970.
5. G. K. STEINBRUGGE: Trans. of ASAE **12** (5): 681-684, 1969.

### Summary

The 4-wheel tractor is very similar to 3-wheel type car in overturning caused by one hinge point connecting the front axle with the chassis. The critical angle of static side-overturning of the tractor can be determined by location of center of gravity, tread, wheel base, and height of its hinge point. The stability of the tractor on a side slope is essentially related to the critical angle versus the angle of inclination.

In this paper, the stability of the tractor is investigated experimentally using the small tractor, such as how the location of the center of gravity is influenced by the position of operator.

The test results are as follows :

- (1) The Location of the center of gravity of the tractor is approximately equal to the calculated value in the longitudinal and lateral direction but increases in height with the increase of the angle of inclination.
- (2) The center of gravity of the tractor increases 19% in height by having an operator riding on it, and then its decrease ratio of the stability is equal to 0.749.
- (3) The stability loss increases with more ratio than the value calculated by the angle of inclination. Therefore, the more effective locating of operator and additional weight should be investigated to prevent the overturning of the tractor.