

24. 土工機械転倒時運転保護構造(ROPS)の 転落実験について

1. まえがき

この報告は、土工機械（以下車両という）が転倒した場合に運転員がおしつぶされないように保護する構造物（Roll-Over Protective Structures以下ROPSという）の実験結果について記す。

ROPSは車両のあらゆる転倒事故において運転員を保護するものではなく、最大傾斜30°の硬い表面の斜面を、斜面との接触を失なうことなく、車両の縦軸まわりに360°回転した場合、シートベルトを着けた運転員がおしつぶされるのを保護することを期待するものである。したがってROPSは転倒の際に破壊しない強度を有すると共に、適当な弾・塑性変形をすることによって転倒の衝撃を吸収できるものでなければならない。このようなROPSを設計し、あるいは安全性について検討する場合に必要なことは、転倒時にROPSに対してどのような外力が作用しているかを知ることである。このような実験は国内外で多くの実績があると聞くが、公表されたデータは極めて乏しい。このため、ROPSに関する基礎資料を得るため、またROPSの安全性について検討しあわせてISO規格の妥当性を検討する目的で以下の実験を行なったものである。

2. 実験方法

2-1 実験に使用した車両と実験回数

実験 年度	機 種	機械名	実験時 重 量	ROPS仕様			静的試 験回数	転落実 験回数	備 考
				寸法(タテ×ヨコ×高)	支柱材料	重量			
49	履帯式ブルドーザ	NTK6	11.95t	1.5m×2.0m×1.6m	120φ×10t	487kg	1	3	1)
50	"	"	12.07	"	101φ×5t	370kg	1	1	2)
	"	BD17	15.74	1.5m×2.0m×1.8m	101φ×6t	460kg	1	1(+1)	
	車輪式ショベル	WS20	9.62	0.6 1.1)×1.6m×1.7m	101φ×5t	300kg	1	1(+1)	

注 1)ROPSはほとんど変形しない。転落実験では車両は2回転以上転落する。

2)ROPSは適当な弾・塑性変形する。転落実験は1回転。但し(+1)は2回転。

2-2 静的試験

ROPSは、寸法・形状・材質・工作法等全く同一のものを各機種につき2基製作し、1基を静的試験に、他の1基を転落実験に使用する。

静的試験は、図-1に示すように試験台上に固定したROPSの縦梁中央に荷重分布板を介して水平方向に荷重を加え、このときの〔荷重〕とROPSの〔たわみ〕の関係を求める。またROPSの支柱には歪ゲージを貼り〔荷重〕と〔ROPS支柱に発生する応力〕の関係を求める。これらの関係は、転落実験時に作用する外力を推定する際の校正曲線として利用する。

ISO規格によれば、静的試験は車両とROPSアセンブリで行なわれるが（車両フレームも

変形の一部を受持つ)、今回はR O P Sを直接試験台上に固定した。

2-3 転落実験

転落実験は、図-2に示すように傾斜30°の斜面を用い、車両はチェンブロックで片側を吊上げ転落させた。実験場の造成にあたり車両の転落軌跡を検討した結果、傾斜30°で車両に回転の初速度を与えずに転落させた場合、車両は回転を続けることができないと推定されたので、斜面頂部にコンクリートブロックで段差を設けた。

R O P Sには静的試験と同じ位置に歪ゲージを貼り、転落時に[R O P S支柱に発生する応力]を計測する。また3方向加速度計により[加速度]を計測する。転落の状況

は[高速度写真]撮影を行ない、

転落終了后にはR O P Sの[永久たわみ]を計測する。これらの値を静的試験結果と比較することにより、転落時にR O P Sに作用する外力を推定する。

2-4 計算値による解析

電子計算機を利用した有限要素法およびラーメン近似法による解析を行ない、静的試験結果との比較を行なう。

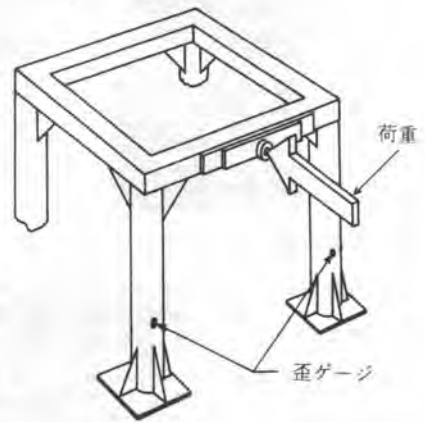


図-1 静的試験方法

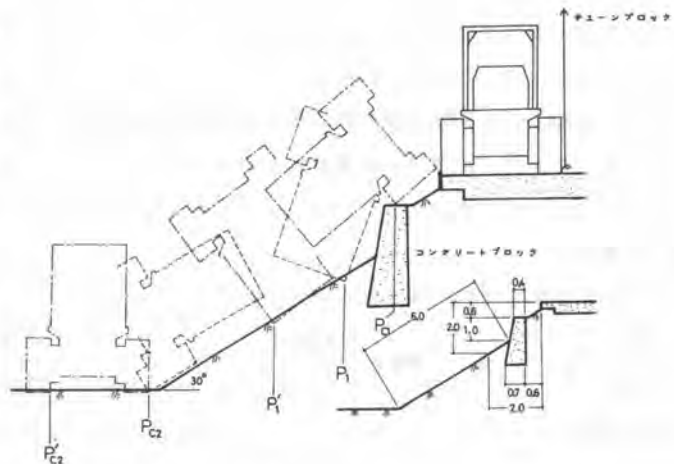


図-2 転落実験

3. 実験結果

3-1 外力の方向の推定

転落時にR O P Sに作用する外力の方向は、(1)高速度写真により転落の軌跡を求め、軌跡の接線方向を外力の方向とする、(2)3方向加速度の合成されたベクトルの方向を外力の方向とする、2つの方法によって推定した。図-3はR O P S上端が斜面に接地してから斜面に貫入する過程の外力の方向を示す。両方法による推定値は必ずしも一致していないがほぼ側方より外力が作用したと思われる。

3-2 外力の大きさの推定

(1) 主応力による推定

転落実験においては、車両は図-2に示すように回転しながら転落してゆき、転落1回転以内ではP点において主応力

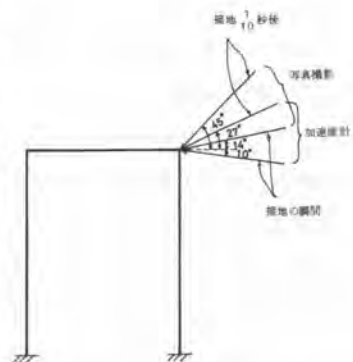


図-3 外力の方向

σ_{11} の最大値が発生している。ROPSの強度に関してはこの時点の荷重に耐えられればよいことになる。図-4は転落時にROPS支柱に発生する最大主応力を時間経過と共に示したものである。P₁点におけるB支柱、C支柱に発生する応力はNTK6ではほぼ一致し、BD17及びWS20では必ずしも一致していない。車両はほぼ真横に転がっているものの2本の支柱に均等に荷重がかからなかったものと思われるが、2本の支柱の応力の差は約10%程度であり、以下の考察上とくに問題はないものと考えられる。

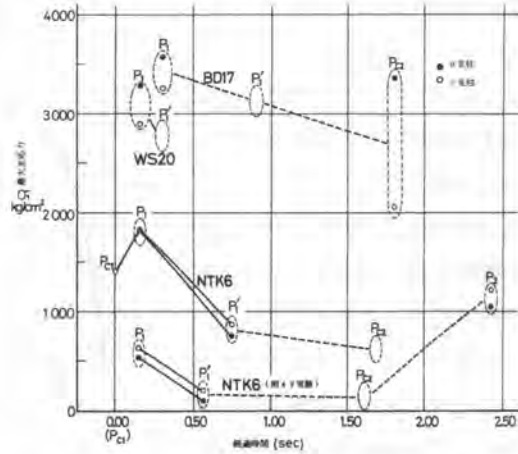


図-4 転落実験(支柱に発生する応力)

図-4で得られた結果を図-5に代入すると、転落時に作用する外力が、静的試験の側方荷重に相当する荷重として推定することができる。昭49年度剛性の高い(ほとんど変形しない)ROPSを着けたNTK6と、昭50年度剛性の低い(適当な弾・塑性変形をする)ROPSを着けたNTK6とでは、ほぼ同じ外力が推定され実験の再現性が確かめられた(図-5参照)。

(ii) 変形量による推定

転落後のROPSの永久変形量より外力の大きさを推定する。車両の転落によりROPSは変形し、その一部は永久変形として残る。この永久変形量を静的試験における荷重～たわみ線図に代入することにより、静的試験の側方荷重に相当する荷重として外力を推定することができる。

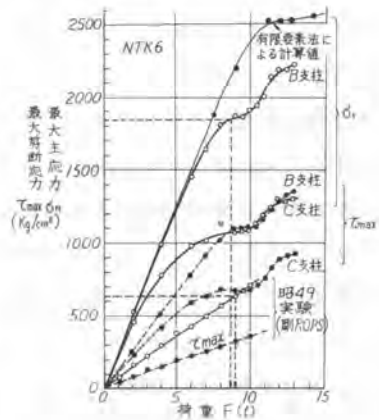


図-5 静的試験(支柱に発生する応力)

図-6は、静的試験による荷重～たわみ線図を示す。転落後に計測される変形量は永久変形量のみであるが、転落途中ではこれに弾性変形分が加わっているはずである。したがって変形量から荷重を求める際にはこのことに注意する必要がある。このようにして外力を求めると、主応力による推定結果とほぼ同じ値が得られた。

3-3 ISO規格との比較

ISO3471によれば、ROPSは静的試験の結果により次の点で評価される。

- (イ) ROPSは、ROPSの変形によって、ROPSのいかなる部分もたわみ限界領域(DLV)に侵入してはならないし、また仮想地面(SGP)がDLVに侵入してはならない。
- (ロ) 側方負荷時の荷重および吸収エネルギーは、車両重量の関数で示されるある値以上でなくてはならない。

(イ) 側方負荷を除去した後、車両重量に相当する垂直荷重に耐えられなくてはならない。

(イ)は、ROPSの変形により部材が運転員に当たらないこと、また地面が運転員に当たらないことを保証するもので、また(イ)はP₁点ですでに変形してしまったROPSが倒立状態になった車両を支え得ることを保証しようとするもので妥当な考え方である。問題は(ロ)の荷重の大きさと荷重の方向(及び吸

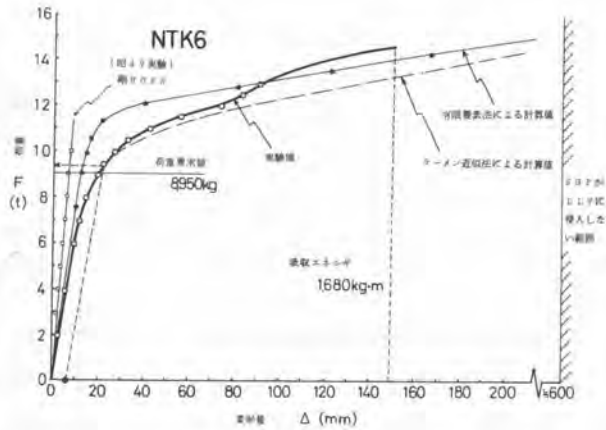


図-6 荷重～たわみ線図

取エネルギーの大きさ)にあるだろう。無論、実際の転落事故のケースは千差万別であり静的試験で全てのケースを再現することは不可能に近いから、静的試験では図-1に示す側方水平方向よりの載荷で代表している。今回の実験により推定された外力とISOの値を比較すると再者はほぼ一致しており、今回実験の車両重量範囲内ではほぼ妥当なものと言える。ただし、推定された外力は前述したように真の外力そのものを求めたものではなく、静的試験時に負荷された荷重と等価な荷重であり、かつ真の外力は図-3の如くROPSに対してある角度をもって作用していると考えられるから、外力の水平分力に相当するものである。この意味では真の外力そのものが水平方向から作用すると考えるとISO規格は危険側になる可能性がある。

なお支柱に発生する応力は、図-5の如く主応力がせん断応力のほぼ2倍であり単純曲げに近い状態と考えられる。実際の荷重は前述の如く水平ではなくある角度をもっていていると考えられるが、一般にROPSは圧縮に対してはひじょうに強く、曲げに対して弱い構造となっているから、水平方向からの荷重で代表してもよいと考えられる。

3-4 変形状況の観察

転落后(または静的試験終了後)のROPSの形状を観察すると、ROPSは全体として大きな塑性変形を残すものの部材全体にわたって塑性変形しているものではなく、曲げモーメントが最大となる下部ウェブ補強部付近で大きな変形を起こしている。また上部ウェブ補強部分も変形後も元の形をほぼ保持している。このことは、ROPSの設計、工作にあたって応力集中に十分注意する必要があることを示している。