



土木研究所資料

第1061号

● 施工の安全性に関する試験調査

— 第 1 報 —

ROPSを装着した土工機械の転落実験

● 昭和50年8月

建設省土木研究所

要 旨

本調査は、建設機械が作業中に転落した場合、運転員の生命を守るための運転員防護構造物（R O P S）に関して、I S Oの標準の妥当性の検討及びR O P S設計のための基礎資料を得ることを目的として実施したものである。このためR O P Sを取付けたブルドーザを、 30° の傾斜面より転落させ、R O P Sに加わる応力を測定するとともに、油圧ジャッキを用いて静的試験をおこない応力と荷重の関係を測定した。また、計算による応力解析とこれらの実測値とを比較検討し、転落時にR O P Sに加わる外力の大きさと方向を推定した。

その結果、I S O標準におけるR O P Sの試験方法の荷重の大きさは、転落1回転の範囲内では妥当な値であるが、荷重の作用点については問題のあることが判明した。

施工の安全性に関する試験調査

— 第 1 報 —

ROPSを装着した土工機械の転落実験

機械研究室

本 田 宜 史

芹 沢 富 雄

中 野 新 市

目 次

1. まえがき	1
2. 調査概要	1
3. ROPSに関する規格	2
3.1 ROPSの歴史	2
3.2 ISO標準	2
(1) ISO 3164	3
(2) ISO 3471	3
4. 転落実験用のROPS	7
5. 静的試験方法	10
6. 転落実験方法	14
6.1 転落実験場	14
6.2 転落実験方法	15
(1) 転落実験用ブルドーザ	15
(2) 転倒方法	15
(3) 測定方法	16
7. 有限要素法による応力解析	17
8. 実験結果	21
8.1 静的試験と応力解析の結果	21
(1) 部材の変形と荷重の関係	21
(2) 荷重と応力の関係	22

8.2 転落実験と応力解析結果の比較	31
(1) ブルドーザの転落状況	31
(2) 転落時の ROPS の応力の時間経過	34
(3) 転落時に ROPS に加わる外力	39
(4) 転落による ROPS の変形	49
8.3 転落時に人体の受ける加速度	49
9. 結論および今後の問題点	52
10. 付 録	53

1. ま え が き

作業時の安全性の向上は、労働環境の改善のための重要な条件の1つであって、近年とみに必要性が高まっている。建設工事の施工においても、ブルドーザ、トラクタショベルなどの土工機械は事故のひん度が高くしかも車輛ののり面からの転落、作業員のれき死等、死亡率の高い事故が多い。国際標準化機構（ISO）の土工機械専門委員会（TC127）では、車輛の転落と落石等の対策を議題として取り上げている。このうち、車輛の転落による事故に対処するため、昭和49年に、車輛の転落時の保護構造物（Roll-Over Protective Structure 略してROPS）に関する提案がなされ、昭和50年6月に制定された。我国でも、これを受けて、ROPSを標準化し、その装着を義務づけるための作業がおこなわれている。国内外共にROPSに関する車輛の転落実験が実施されている例はあるが資料として公開されているデータは極めて乏しい。そこで、土木研究所機械研究室では、実際にブルドーザが転落した場合にROPSに加わる力を明らかにして、安全な設計の資料とすると同時に、ISO標準の提案によるROPSの試験方法の妥当性について検討するため、ROPSを装備したブルドーザの転落実験を、日本建設機械化研究所に委託して実施した。

2. 調 査 概 要

ROPSは、車輛が転落する際に、斜面に衝突して、適当に変形することによって、運転員に加わる衝撃力を、弾塑性変形により吸収し、かつ、運転員が部材の変形により押しつぶされることのないように保護する安全防護構造物である。したがって、ROPSの合理的な設計と、安全性を調べるためには、ROPSを取り付けた車輛が転落するときに、転落の斜面との衝突により生じる、ROPSの部材への外力の加わり方を調べなければならない。昭和49年度の調査では、10トン級のブルドーザにROPSを取り付けて30°の斜面よりブルドーザの転落実験をおこない、以下の項目について調査した。

- (1) ROPSを取り付けた車輛の転落実験の方法の検討
- (2) ROPSを取り付けたブルドーザが転落する際にROPS部材に加わる外力を、部材に貼った歪ゲージで応力を測定することにより調べる。
- (3) 車輛の運転席に運転員ダミーを搭載し、ダミー内部に取付けた、3方向の加速度計を用いて、転落時の運転員の加速度を調べる。
- (4) ISO標準によるROPSの静的試験の方法の妥当性の検討
- (5) 有限要素法とラーメンの近似によるROPSの強度計算の可能性の検討

3. ROPSに関する規格

3.1 ROPSの歴史

ROPSの歴史は、米国において、1920年代に、トラクタに蒸気機関を搭載し、転倒事故が発生しはじめたころにはじまるといわれている。1950年初期に、林業用の車輻で、頭上落下物や、転倒などによる事故が多く発生したことから、林業用のキャノピを、転落保護や、転倒時の保護に使用する研究がはじまった。

1954年にスウェーデンは農業機械用転倒保護構造物に関する試験を開始した。1959年には、車輻の重量に比例した重錘を、振り子式にキャノピに衝突させ、打撃するスウェーデン式振り子試験による農業用トラクタのキャノピを装着することを義務づけた法律を定めた。後年の米国のROPSの試験方法は、構造物に静的に荷重を加えることを中心としているが、ヨーロッパでは、このスウェーデン式の試験方法の影響により、ペンデュラム試験をおこなう考え方が主流となっており、ISO標準においても、ROPSのペンデュラム試験方法が提案されている。



写真3.1 ROPSを装備して作業中のブルドーザ

1967年には、SAE (Society of Automotive Engineers) 規格に、ROPSの試験方法が定められ、これをうけて、OSHA (Occupational Safety and Health Administration) により、アメリカの土工機械にROPSの装着が義務づけられた。ISOではTC127の第2小委員会(SC2)において、ROPSの試験方法の規格が定められた。

3.2 ISO標準

ISO標準におけるROPSに関連する規格としては、ISO 3471 Earth - moving machinery - Roll - over protective structures - Laboratory tests and performance requirements (以下ROPSに関する規格と略称する) および、その補助的な規格として、ISO 3164 Earth-moving machinery-Laboratory evaluations of roll-over and falling-object protective structures-Specification for the deflection limiting volume (以下DLVの規格と略称する) がある。後者は、ISO 3449として規定され、建設機械に対する頭上落下物より運転員を保護するための規格(FOPS)に対しても、補助的な規格になっている。ISO 3164の規格は、防護構造物の変形(ROPSやFOPS)が侵入してはならない、運転員の空間 Deflection Limiting Volume 略して(DLV)を規定するものであ

る。すなわち、転落や頭上落下物があつた際に、これらの事故から運転員を防護するため、ROPSまたはFOPSは変形することによってエネルギーを吸収し、運転員を保護するものであるが、このとき変形が大きすぎると、変形した構造物により運転員が押しつぶされる危険があるので、構造物の変形が侵入してはならない空間を定めている。

以下にISO 3164とISO 3471の概要をのべる。

(1) ISO 3164 Specification for Deflection Limiting Volume (抄訳)

〔目的〕

この国際規格はISO 3471とISO 3449に規定される防護構造物の変形の限界を規定するものである。運転員の寸法については、ISO 3411に基づく。

〔定義〕

Deflection Limiting Volume (DLV) : ROPSおよびFOPSの室内試験をおこなうときの許容される変形の限度を定めるものである。このDLVに含まれる運転員は全運転員の95%である。

DLVの位置は、図3.1に示すようである。なお寸法の精度は、 $\pm 13\text{ mm}$ である。

(2) ISO 3471 Roll-over Protective Structure—Laboratory Tests and Performance Requirements (抄訳)

〔目的〕

この規格は、硬い粘土の 30° 以下の斜面で $0 \sim 16\text{ km/h}$ の速度で走行する車輛が 360° 以内回転して転落するとき運転員を防護する構造物の性能を規定する。

〔適用範囲〕

適用される車輛は、ゴムタイヤ式フロントエンドローダ、タイヤドーザ、モータグレーダ、ゴムタイヤ式ブライムムーバ、履帯式トラクタショベルおよびブルドーザで、20HP以下の機械は除く。適用機種のうち、重量 $3,650\text{ kg}$ 以下については、別のISO規格を検討中である。

用語は次のとおりである。

ROPS : Roll-over protective structure.

U : ROPSにより吸収されるエネルギー。単位は、Joule または、lb-in.

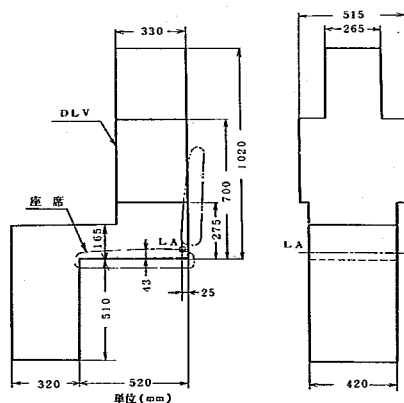


図 3.1 Deflection Limiting Volume (DLV)

F: 力で, 単位はNewton または lb

M: 車輛質量で, 単位は kg または lb

△: ROPSの変位で, 単位はmm または in.

〔静的試験〕

測定器

測定器の精度は, ROPSの変位の測定と, ROPSに加える力の測定はともに最大測定値の±5%以下でなければならない。

〔手順〕

側方载荷

側方载荷の荷重-変位特性は, 最も上にある長手方向メンバで決定する。

3本以上の支柱のあるROPSでは, 図3.2のように, ROPSの前後方向のメンバの長さLの80%以下の長さの荷重分散装置を用いて, 分布荷重として载荷する。

2本支柱のROPSでは, 図3.3のように, 長手方向のメンバの後方よりL/3の位置に载荷する。

変位の測定は荷重をかけた点で, 2.5mm以下のきざみでおこなうこと。この荷重と変位曲線を, 図3.4のようにプロットする。

試験は, 力FとエネルギーUが, 共に必要な大きさをこえるまでおこなう。エネルギーUは, 図3.4の特性曲線と横軸でかこまれる面積である。

(注: 図3.4の式を参照)

垂直载荷

垂直载荷試験は, 側方载荷を終了した後にROPSを修理したり, 変形を修正したりせずにおこなう。

(図3.5に代表的な試験の要領を示す)

〔要求性能〕

一般

各々の試験において, いかなるROPSのメン

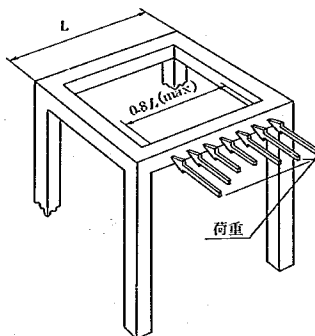


図3.2 側方载荷の方法(4本支柱のROPSの場合)

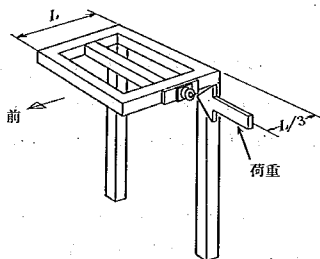


図3.3 側方载荷の方法(2本支柱のROPSの場合)

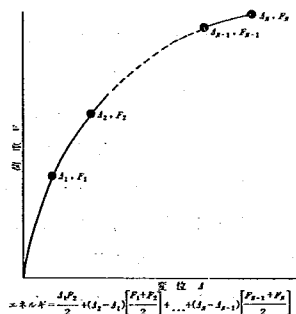


図3.4 変位と荷重による吸収エネルギーの計算方法

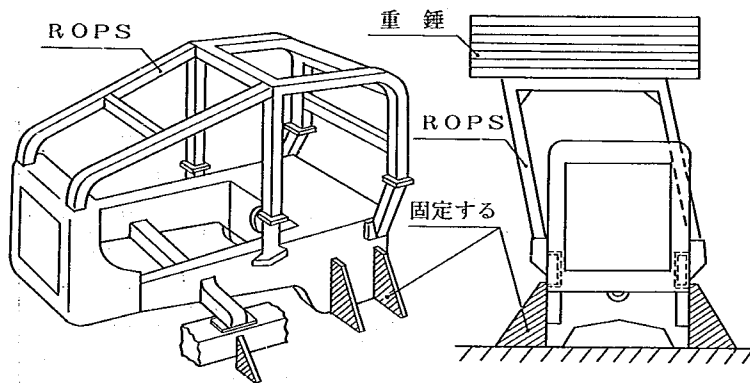


図 3.5 垂直载荷試験方法

ばも、ISO 3164に規定されるDLVにいくこむことがあてはならない。

側方载荷では、荷重Fは表 3.1 以上であること。

側方载荷での吸収エネルギーUは、表 3.2 に示す値以上であること。

垂直载荷では、車輛の自重と等しい荷重をROPSの上方より垂直に加えておこない、ROPSは、これ以上変形しないこと。

表 3.1 側方载荷の荷重

機 械	計 算 式			
	S I 単 位 系 1)		非 S I 単 位 系 2)	
ゴ ム タ イ ヤ 式 フ ロ ン ト エ ン ド ロ ー ダ と ド ー ザ	$F=60000$	$\frac{M}{10000} \quad 1.20$	$F=5220$	$\frac{M}{10000} \quad 1.20$
モ ー タ グ レ ー ダ	$F=70000$	$\frac{M}{10000} \quad 1.10$	$F=6600$	$\frac{M}{10000} \quad 1.10$
ブ ラ イ ム ム ー バ	$F=95000$	$\frac{M}{10000} \quad 1.20$	$F=8270$	$\frac{M}{10000} \quad 1.20$
ク ロ ー ラ ト ラ ク タ と ド ー ザ	$F=70000$	$\frac{M}{10000} \quad 1.20$	$F=6090$	$\frac{M}{10000} \quad 1.20$

1) F=荷重 (Newton) , M=車輛重量 (kg)

2) F=荷重 (lb) , M=車輛重量 (lb)

表 3.2 側方载荷の吸収エネルギー

機 械	計 算 式			
	S I 単 位 系 ¹⁾		非 S I 単 位 系 ²⁾	
ゴ ム タ イ ヤ 式 フ ロ ン ト エ ン ド ロ ー タ と ド ー ザ	U=12500	$\left[\frac{M}{10000} \right]$	1.25	U=41180 $\left[\frac{M}{10000} \right]$ 1.25
モ ー タ グ レ ー タ	U=15000	$\left[\frac{M}{10000} \right]$	1.25	U=49410 $\left[\frac{M}{10000} \right]$ 1.25
ブ ラ イ ム ム ー バ	U=20000	$\left[\frac{M}{10000} \right]$	1.25	U=65880 $\left[\frac{M}{10000} \right]$ 1.25
ク ロ ー ラ ト ラ ク タ と ド ー ザ	U=13000	$\left[\frac{M}{10000} \right]$	1.25	U=42830 $\left[\frac{M}{10000} \right]$ 1.25

1) U=エネルギー (Joule)

M=車輛重量 (kg)

2) U=エネルギー (lb-in)

M=車輛重量 (lb)

4. 転落実験用のROPS

このROPSは、後述の静的試験および、転落実験に使用するもので、ブルドーザが転落する際ROPSに加わる外力の大きさと方向を測定するために製作した実験用ROPSである。従って、支柱の応力の計測、解析を容易にするため、また、転落の方向をなるべく一定にするために形状を単純化した。静的試験と転落実験では、同じ形状、寸法のものを使用し部材の応力を測定するため歪ゲージも同一の場所に貼り静的試験用に1基、転落実験に3基の合計4基を製作した。

図4.1に、ROPSの外形と寸法を示す。材料はSS41であり一基あたりの重量は、487 kgである。

4本の支柱は、部材応力測定用のゲージを貼るため、変形の際の断面の応力分布が比較的単純な円筒状とした。縦梁は、2本のみぞ形鋼をつきあわせ溶接して角柱とした。各部材の接合部には、応力の集中をさけるため、補強のウェブを付けた。このROPSは、IS3471に定められた強度より剛性を高くしてある。これは、本年度の実験の主目的が外力の推定をすることであり、標準を満足する強度の場合には、部材の大部分が、静的試験または転落実験で、塑性変形し、歪ゲージによる測定が困難になることが予想されるためである。

ROPSの寸法は、単に運転席のみをおおうことができればよいが、そのように小さくした場合にはROPSの前部支柱がブルドーザの重心より後方になるため、ROPSを取付けたブルドーザの回転しながらの側方への転落はできないものと予想された。このため本実験では前部支柱をブルドーザの重心より前方に配置し、全長を長くした。

各々のROPSには、静的試験と転落実験のときに、ROPSに加わる荷重と部材の応力の関係を測定するために、ローゼット歪ゲージを取り付けた。(写真4.1参照)歪ゲージは図4.2のように、各支柱の両面に1枚ずつ、従って1本の支柱に2枚、4本の支柱で合計8枚のゲージを貼った。後方より見て、支柱の左側の面のゲージを荷重側、右側の面のゲージを反荷重側と呼ぶことにする。ゲージの取り付け高さは、基板より50 cmの高さの位置である。これは、支柱の上端または、下端では部材の応力分布が複雑で、実験によって、塑性変形する可能性があり、また、支柱の中央では応力が小さく、測定誤差がはいりやすいなどの配慮をおこなって位置を定めたものである。

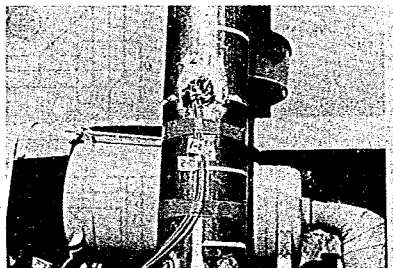


写真4.1 ROPSに貼った歪ゲージ

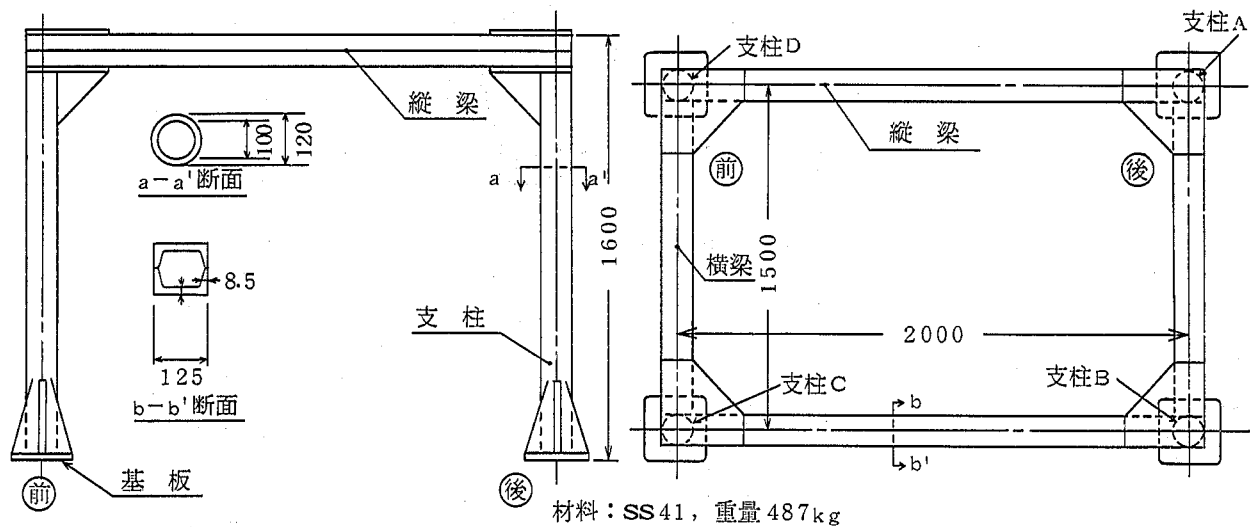


図 4.1 転落実験用の ROPS

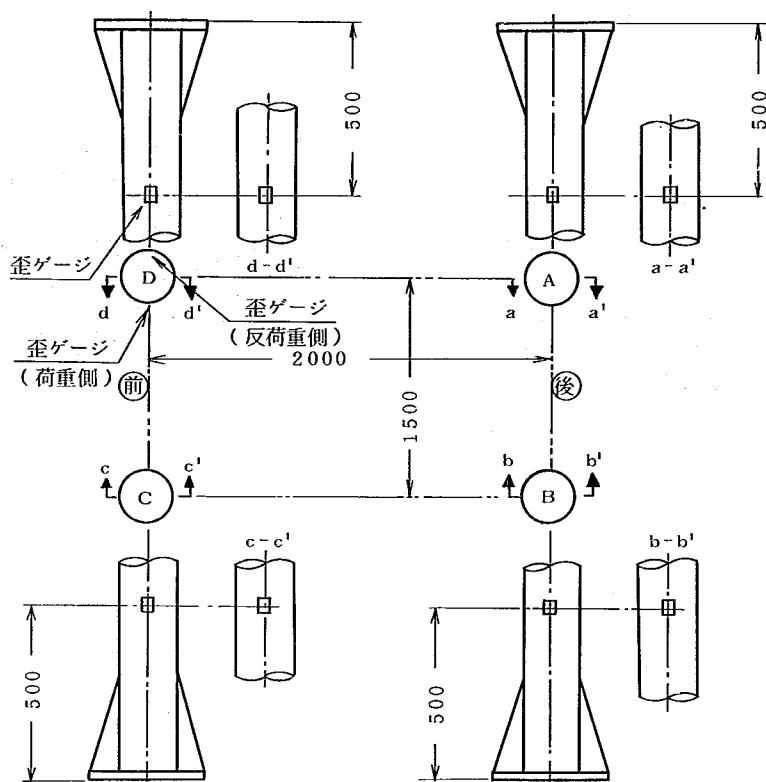


図 4.2 歪ゲージの位置

5. 静的試験方法

静的試験は、ROPSを試験台上で静荷重を加えて、この荷重の大きさと、部材に発生する応力の関係を測定し、これにより転落実験を行った際に発生した応力より、ROPSを装着したブルドーザが転落の際に受ける外力と等価な静荷重を推定するために行うものである。

ISO3471の静的試験は、第3項のように、ブルドーザが転落する際の代表的な外力の大きさと方向でROPSに静的荷重を加えるものである。



写真5.1 静的試験全景

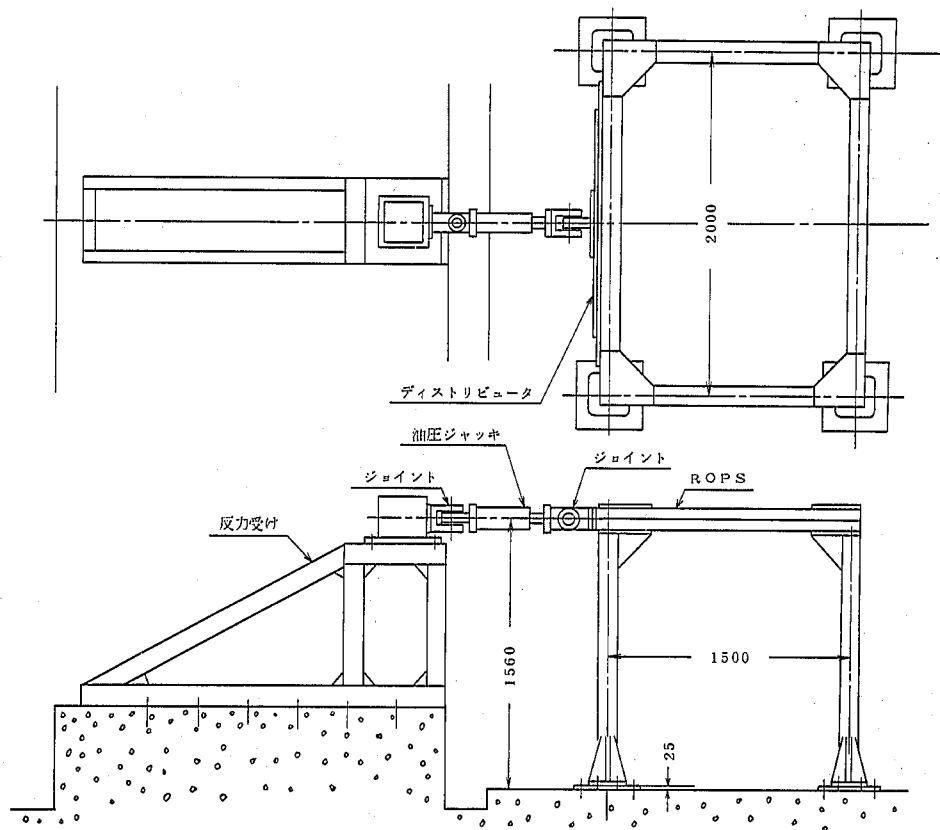


図 5.1 静的試験の方法

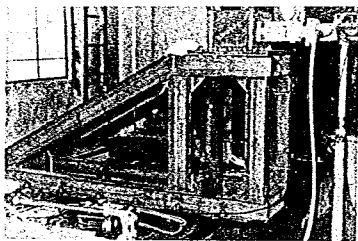


写真5.2 静的試験用反力受け

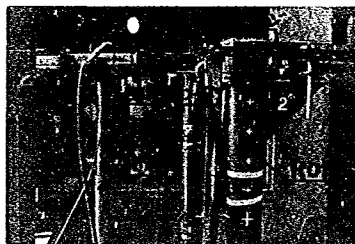


写真5.3 荷重の載荷方法

従って、本調査の静的試験は、暫定的に、ISO 3471 の静的試験方法に準ずることとした。なお、この試験のうち、垂直载荷は、車輛の自重と等しい重錘を ROPS の上方に载荷する方法であり、これについて、本調査が ROPS が強度的に ISO 標準を満足するかどうかの検定ではないため省き、側方载荷のみおこなうこととした。

静的試験の状況の全景を、写真 5.1 に示す。

静的試験は、図 5.1 のように、油圧シリンダにより縦梁の中央に、水平方向に静荷重 F を加える。荷重の大きさ F は油圧シリンダの圧力計で測定した。

油圧シリンダの反力は写真 5.2 に示す鋼フレームの反力受けでうける。油圧シリンダは、写真 5.3 のようにディストリビュータを通して ROPS に静荷重を加える。このときの支柱の応力は写真 5.4 のように支柱に貼ったストレインゲージで測定され、支柱の変位

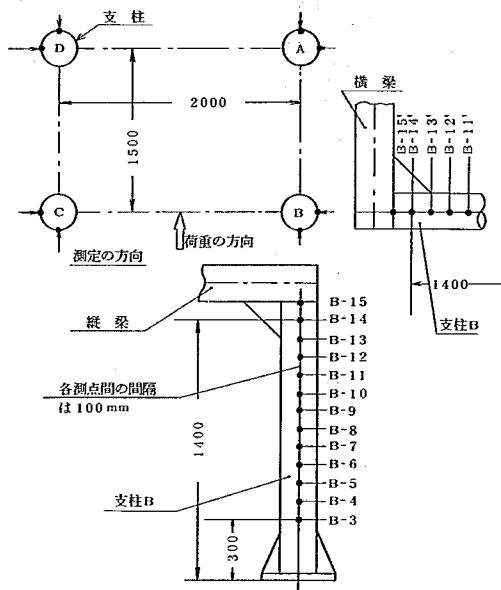


図5.2 変位の測定点

量は、写真5.5のように、ダイヤルゲージで測定される。変位の測定点を図5.2に示す。変位の測定方向は、静的試験と平行な向きとこれに直角な向きで、水平面内での変位量を計った。図においては支柱Bで説明したが、他の支柱も同様であり、各測定点の間隔は、100mmとした。静的試験においては、部材のたわみの形状を測定する必要がないので測定は、この図に示した測定点のうち、代表的なものについてだけおこなった。なお図の測定点は、後述のように、転落実験の前後において永久歪を測定する場合も同様である。



写真54 支柱に貼った歪ゲージ



写真55 ダイヤルゲージによる変位の測定

6. 転落実験方法

6.1 転落実験場

ISO標準では、 30° の傾斜角をもった斜面を、車輛が転落した場合にROPSにより運転員を保護することを目的としているので本実験では、これに準じて、転落実験場を 30° の土の傾斜面として、斜面頂部にROPSを取り付けたブルドーザを置いた。

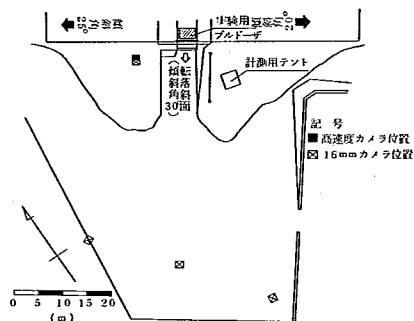


図 6.1 転落実験場平面図

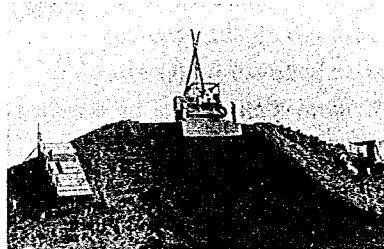


写真 6.1 転落実験場

転落実験場の平面を、図 6.1 に示す。この実験場は、建設機械化研究所構内の登坂試験場の傾斜角 30° の登坂斜面を、転落実験用に改装したものである。(写真 6.1 参照) 斜面の左側の中腹には、計測用 TENT を置いて、動歪計、加速度計と電磁オシログラフなどの測定器を配置した。

ROPS を取付けたブルドーザは、転落実験場の斜面の頂部に、斜面の方向に対し直角におく。本実験では、斜面の傾斜角を 30° としたがこの傾斜角では、ROPS を取付けたブルドーザは回転しながら転落することはないと推定されたので、転落斜面の頂部を図 6.2 のようにした。この斜面では図のように、転落をはじめたブルドーザは、斜面に埋め込まれたコンクリートブロックに履帯が最初に衝突する。このコンクリートブロックは高さを十分とっており、ROPS の角が斜面に衝突するときは、ブルドーザの重心が ROPS と斜面の接地点より前方に移動しているのでブルド

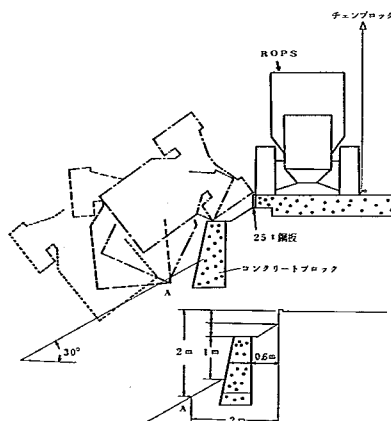


図 6.2 転落実験場の頂部

ザは横回転を続ける。この間に車輻は、回転慣性が与えられ、 360° 回転ののちも横転をするものと推定された。なお、コンクリートブロックに履帯が衝突することにより転落のエネルギーが1部失われるが、コンクリートブロックの剛性が高いので、このエネルギーの損失は少く、斜面上でROPSが衝突するときの力はほとんど減少することはないと考えられる。

6.2 転落実験方法

(1) 実験用ブルドーザ

実験に用いた車輻は日特金属工業株式会社製のNTK6C形ブルドーザ61657号機(昭和43年製造)で、実験に際しては、排土板が、横転のときの回転をさまたげることをないように、写真6.2のように排土板および、排土板昇降装置(油圧ポンプを除く、Uフレーム、油圧シリンダ等)を取外したトラクタの状態として使用した。

ROPSを取付けたブルドーザを、写真6.3、6.4に示す。

ブルドーザの仕様は下記の通り。

トラクター重量11,700kg(オペレータおよび燃料無、水およびオイル規定量)、トラクタ全長約3.9m、トラクタ全幅約2.9m、履帯中心距離1,880mm、履帯巾457mm、重心高さ(推定)約0.8m、

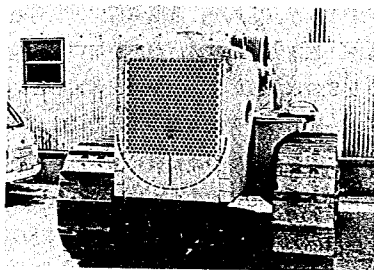


写真6.2 転落実験用ブルドーザ

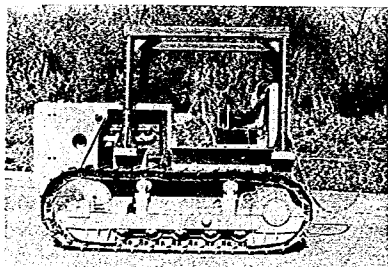


写真6.3 ROPSを取付けたブルドーザ（側面）

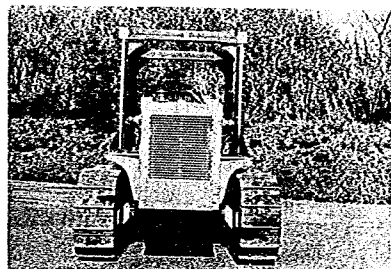


写真6.4 ROPSを取付けたブルドーザ（正面）

(2) 転倒方法

図6.2のように、車輻の下にワイヤをあてて、ワイヤをチェーンブロックで引上げることににより、車輻に傾斜を与え、車輻の後方よりみて、左側に転倒させた。従って、転落は自重により自然に転倒するものであり、初期の回転速度は与えてはいない。

転落は、実験毎に状態が異なるものと予想されたので、実験の回数は3回とし、車輻はすべて同一のものをを用いた。ROPSは、転落後永久変形が残るため、1回の実験には、1基のROPSを使用して、合計3基のROPSを用いた。

(3) 測定方法

ROPS支柱の歪：転落のときROPSに加わる外力の推定のため、静的試験データとの比較をおこなうことのできるよう、第4項に示すように静的試験と同一の位置にロゼット歪ゲージを取り付けた。この歪ゲージの出力を、動歪計を通して、電磁オシログラフに記録した。

ROPS支柱の変位：静的試験と同様に図5.2に示すような測定点で、基準垂直定規からの水平距離を、転落実験の前後に鋼尺を用いて測定し、ROPSの永久歪による変形量を測定した。

ダミー頭部の衝突加速度：運転席には、写真6.5のように衝突実験用の運転員のダミーを搭載し、このダミー頭部に3方向の加速度計を置いて、車輻の転落のとき、運転員に与えられる加速度を測定した。この加速度計は、ストレインゲージ型なので、動歪計を通して、電磁オシログラフに記録した。これらの測定器の出力のケーブルは、転落の際に破断しないようブルドーザ後方に取付けた写真6.6のようにブームによって取り出した。

車輻の転落状況：転落時の車輻および、ダミーの挙動を観測するため、図6.1のように、高速度カメラ1台、16mm撮影機3台、および、ビデオレコーダ1台を設置して、撮影をおこなった。



写真6.5 運転員のダミー

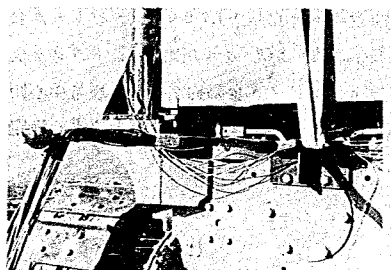


写真6.6 測定ケーブルの取り出しブーム

7. 有限要素法による応力解析

転落実験の際に、ROPSに加えられた動的な外力と等価な静的荷重を推定するため、有限要素法による応力解析をおこなった。解析は、静的試験と同一の条件で荷重を加える荷重条件1と、転落実験で高速度カメラで推定された荷重の方向と、ゲージにより測定された応力により推定した、転落のときの、荷重の大きさを模擬した荷重条件2の2つの条件でおこなった。荷重条件2は第2回の転落実験に対応させた。

荷重条件は図7.1のように

(1) 荷重条件1：荷重の大きさ $W_1 = 5,000 \text{ kg}$

荷重の作用点は、縦梁の中心

(2) 荷重条件2：荷重の大きさ $W_2 = 14,600 \text{ kg}$

荷重の方向は、 $\theta = 11^\circ$

荷重の作用点は支柱Bの真上の縦梁端部

図7.2に、応力解析の入力モデルの図を示す。このモデルでは剛性が高いため、塑性変形と、要素の大変形による非線形性は考慮しなかった。モデルのヤング率は、 $E = 2.1 \times 10^6 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$ ポアソン比0.3、節点数2,500、要素数4,251である。

ただし、静的試験では、ディストリビュータを通して荷重が加えられているため、分布荷重に近いと考えられたが、ディストリビュータは、薄厚の板なので、集中荷重と仮定して荷重条件1を決めた。

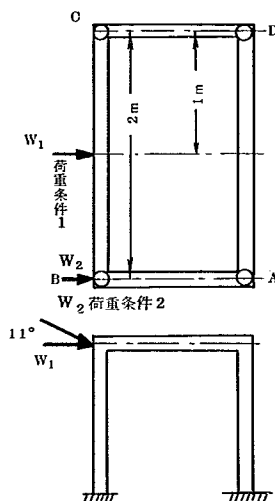


図7.1 応力解析の荷重条件

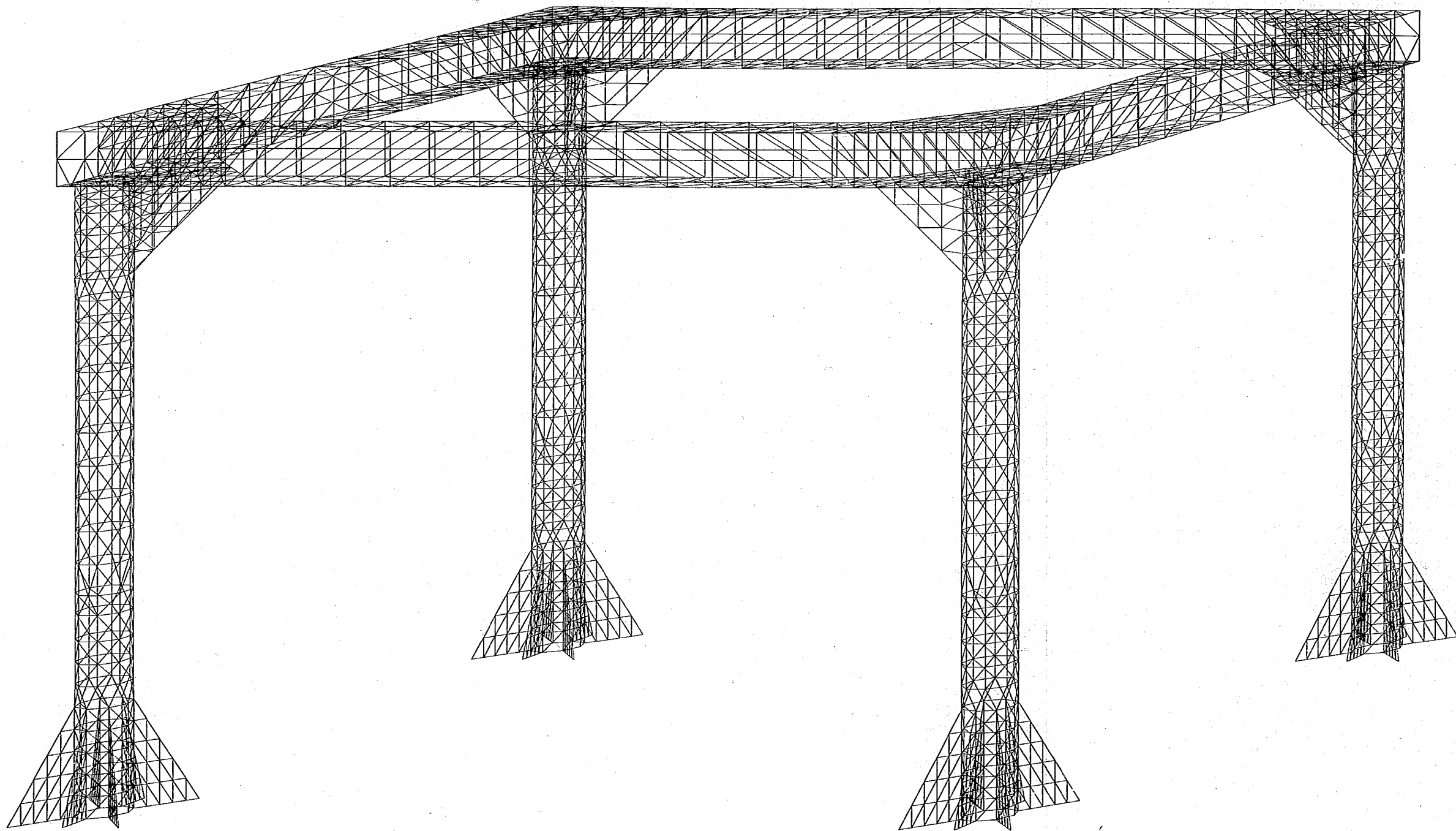


図 7.2 有限要素法による応力解析の入力モデル

8. 実験結果

8.1 静的試験と応力解析の結果

(1) 部材の変形と荷重の関係

有限要素法による解析モデルの妥当性を調べるため、静的試験における部材の変形と荷重の関係と応力解析の結果とを比較した。

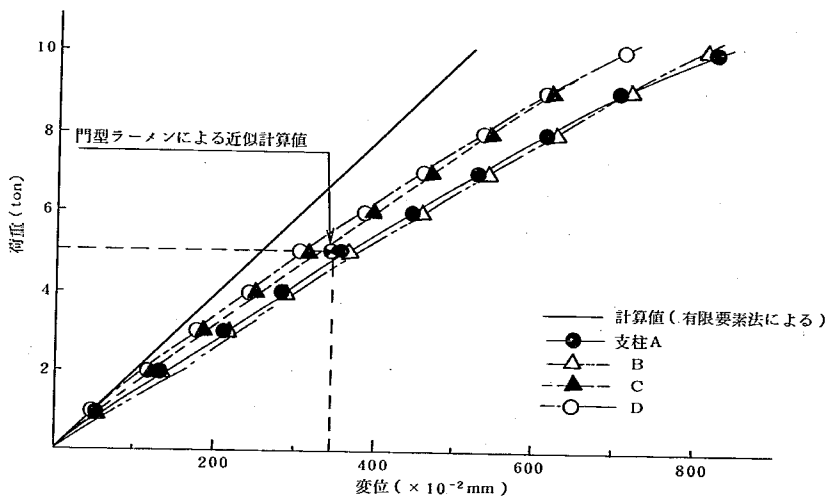


図 8.1.1 静的試験による変位と荷重の関係

変位の測定点 (A-15, B-15, C-15, および, D-15) における荷重方向の水平変位を、プロットしたものを、図 8.1.1 に示す。計算値の各支柱の間の変位量の相違はわずかであったので、この図には、計算値は、全支柱の変位の差は、あらわれていない。応力解析は、モデルが完全に線形であるので、図に示した計算値の直線は、荷重条件 1 の 5 ton の荷重で計算した変位と、座標の原点とを直線で結んだものである。

この図によれば、実測値は、同一の荷重に対して、応力解析結果より変位が大きく、また、変形がわずかに非線形である。この理由としては、

- (i) 静的試験では、ディストリビュータを用いたが、計算上、集中荷重としたため、計算モデルでの縦梁のたわみが大きく、荷重をこの部分で受けもって、支柱側の変位量が小さくなった。
- (ii) 静的試験の際に、ROPS と床とは、ボルトにより結合されていたため、この結合の影響があった。

などが考えられる。

次に、ROPSをラーメンと考えた場合のROPSの変位を比較してみた。図8.1.2のように、ROPSを、縦梁を除き横梁と、2本の支柱で構成される2つの門型ラーメンとして考えた。この場合、载荷された荷重 F は、 $F/2$ づつ、各々のラーメンに均等に载荷されるものとする。このように考えた場合、総荷重 $F=5\text{ ton}$ の場合、各々のラーメンには 2.5 ton の荷重が加わり、この場合のモーメント図は、図8.1.3のようにになる。たわみは、エネルギー式により求める。1本の柱の頂部に荷重 $F/4=1.25\text{ ton}$ が加わり、荷重方向に v だけ変位したものとすれば吸収エネルギー $U_F=(1.25 \times v)/2$ である。一方、部材の断面 x でのモーメントを M_x とすれば、長さ l の部材で歪エネルギー U_M は(剪断歪を無視すれば)

$$U_M = \frac{1}{2EI} \int_0^l M_x^2 dx$$

である。 $U_F=U_M$ であるから、図8.1.2のモーメント分布を用いれば、 $v=3.49\text{ mm}$ (荷重 5 ton の場合)である。この値を図8.1.1にラーメンによる計算値としてプロットした。この数値は有限要素法による計算値よりも実測値に近く、4本の柱のほぼ平均値であると考えられる。以上の結果より、本実験のように、剛で、弾性域内で変形すると考えられるROPSの変位の概略の計算においては、ラーメンによる近似で十分な精度があるものと考えられる。ただし、ROPSの強度を考えるために、応力分布を求める場合、ラーメンで近似した場合には、応力分布はモーメント図と相似になる④で強度上最も重要なROPS部材の接合物付近の応力が実際とことなったものになるので、強度設計の場合においては、有限要素法による応力解析が重要になってくるものと考えられる。

(2) 荷重と応力の関係

ROPSに加わる荷重と支柱での応力の関係から、転落実験の際に支柱の応力を測定しておいて、これにより外力を推定するために、静的試験の際の荷重と応力の関係を求めた。

各支柱の荷重側の面のゲージの応力と荷重の関係を図8.1.4(主応力 σ_1 , σ_2)と図8.1.5(最

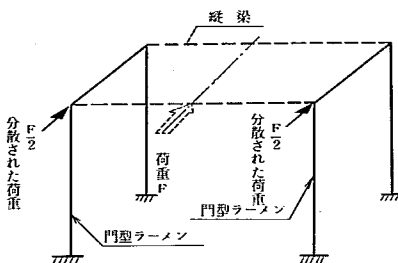


図8.1.2 門型ラーメンによるROPSの近似

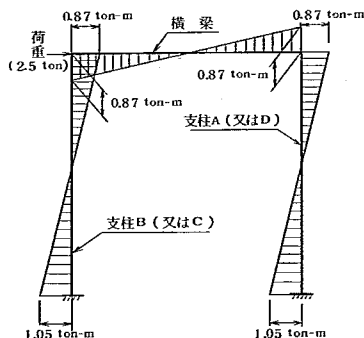


図8.1.3 門型ラーメンと考えた場合のROPSのモーメント図

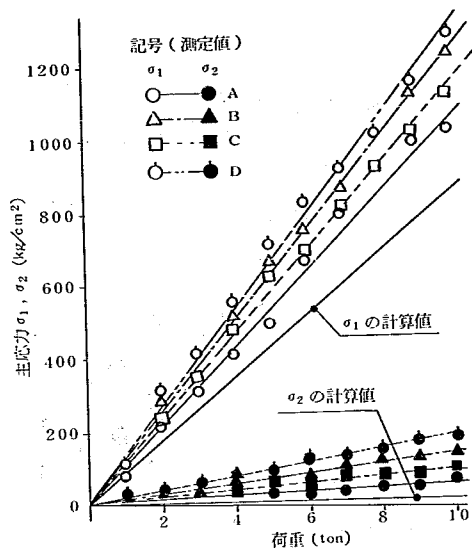


図 8.1.4 静的試験の荷重と主応力の関係 (荷重側)

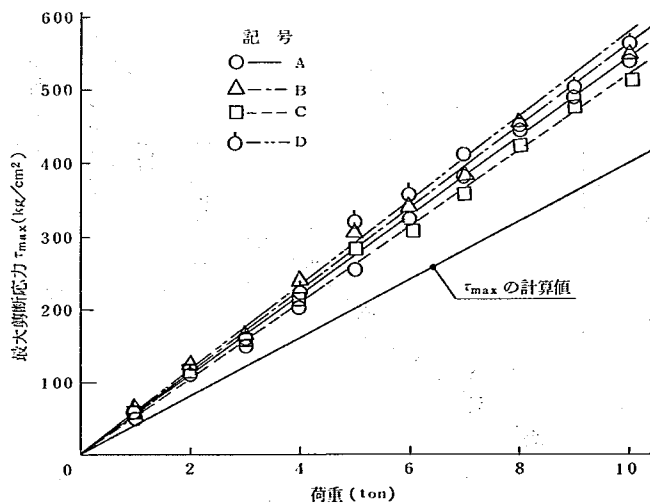


図 8.1.5 静的試験の荷重と最大剪断応力 (荷重側)

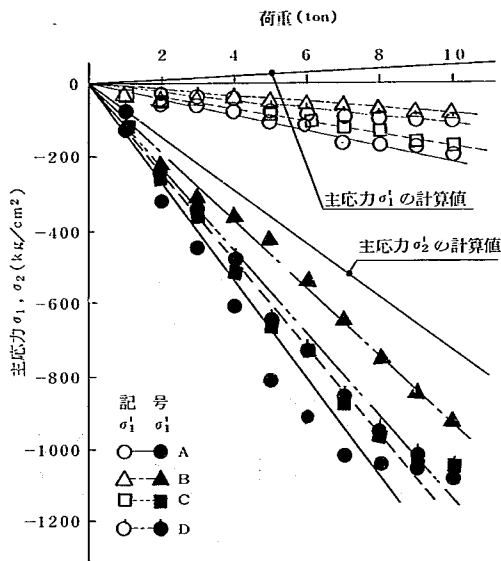


図 8.1.6 静的試験の荷重と主応力の関係 (反荷重側)

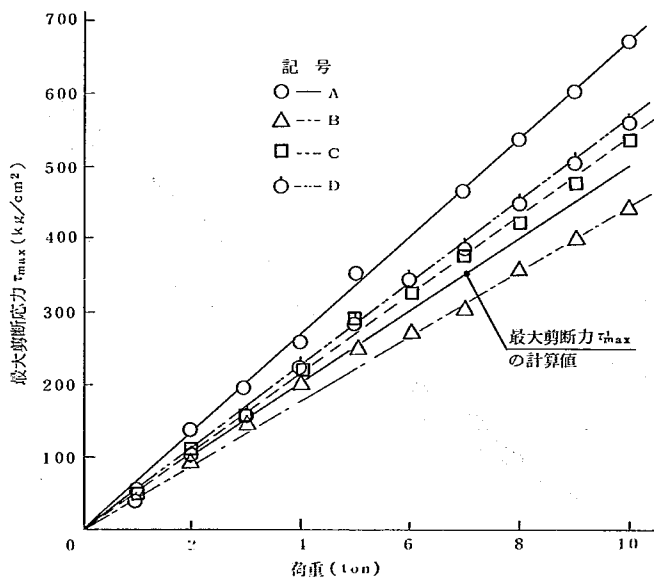


図 8.1.7 静的試験の荷重と最大剪断応力 (反荷重側)

大剪断応力 σ_1, σ_2) に示す。各支柱の反荷重側の応力と荷重との関係を図 8.1.6 (主応力 σ_1, σ_2) と図 8.1.7 (最大剪断応力 τ_{max}) に示す。これらの図には、有限要素法による荷重条件 1 の計算の結果をあわせて記してある。

図によれば、主応力 σ_1 と σ'_1 および σ_2 と σ'_2 の符号が反対であることから、単純曲げの状態に近いことがわかる。また、荷重と応力は反荷重側の主応力 σ'_2 が 7 ton 以上の荷重で直線的な関係からはずれるのを除けば、いずれの場合もほぼ完全に線形な関係である。また、応力と荷重はこの試験内では比例しており、この関係はゲージを貼った点が塑性変形をしない範囲においてほぼ適用できるものと思われる。測定値は、計算値よりも、大きな応力となるが、これは荷重と変位の関係の項で述べたことと同じ理由によるものと考えられる。

図 8.1.8 と 8.1.9 に静的試験に対応する応力解析の荷重条件 1 の変位図と応力図を示す。図 8.1.8 は、支柱 A と B の変位を荷重に直角方向より透視したもの、図 8.1.9 は、支柱 A と D の反荷重側の応力を示したものである。変位は部材の寸法にくらべるとわずかなので変位図では、部材の寸法にくらべて、変位の比率を図中に示したように拡大してあり、図の破線が荷重を加えないとき、実線が、荷重を加えたときの部材の位置である。この図では、矢印の長さが主応力の大きさに比例し、矢印の向きが主応力の向きを表わす。図によれば、R O P S の変形は、梁の部分でわずかで、ほとんど、支柱の変形によるものであることがわかる。梁の部分は変形が少ないと同時に、応力も小さく、柱との接合部の圧縮応力が大きくなっているのをのぞけば、縦梁の中での応力は均一の大きさで分布している。支柱では、中央が応力がほぼ 0 に近く、中央を上または下にはなれるのに従って、応力が大きくなり、主軸は、ほぼ、支柱の軸方向およびそれに直角な方向と一致する。最も応力の大きいのは、支柱下端のウェブ付近である。上端のウェブ付近では応力は比較的小さい。ここでは、反荷重側の部材について説明したが、荷重側では、同じ傾向で、応力の向きが逆になり、縦梁で、荷重の作用点の付近の部材での応力が大きくなる点が相違する。

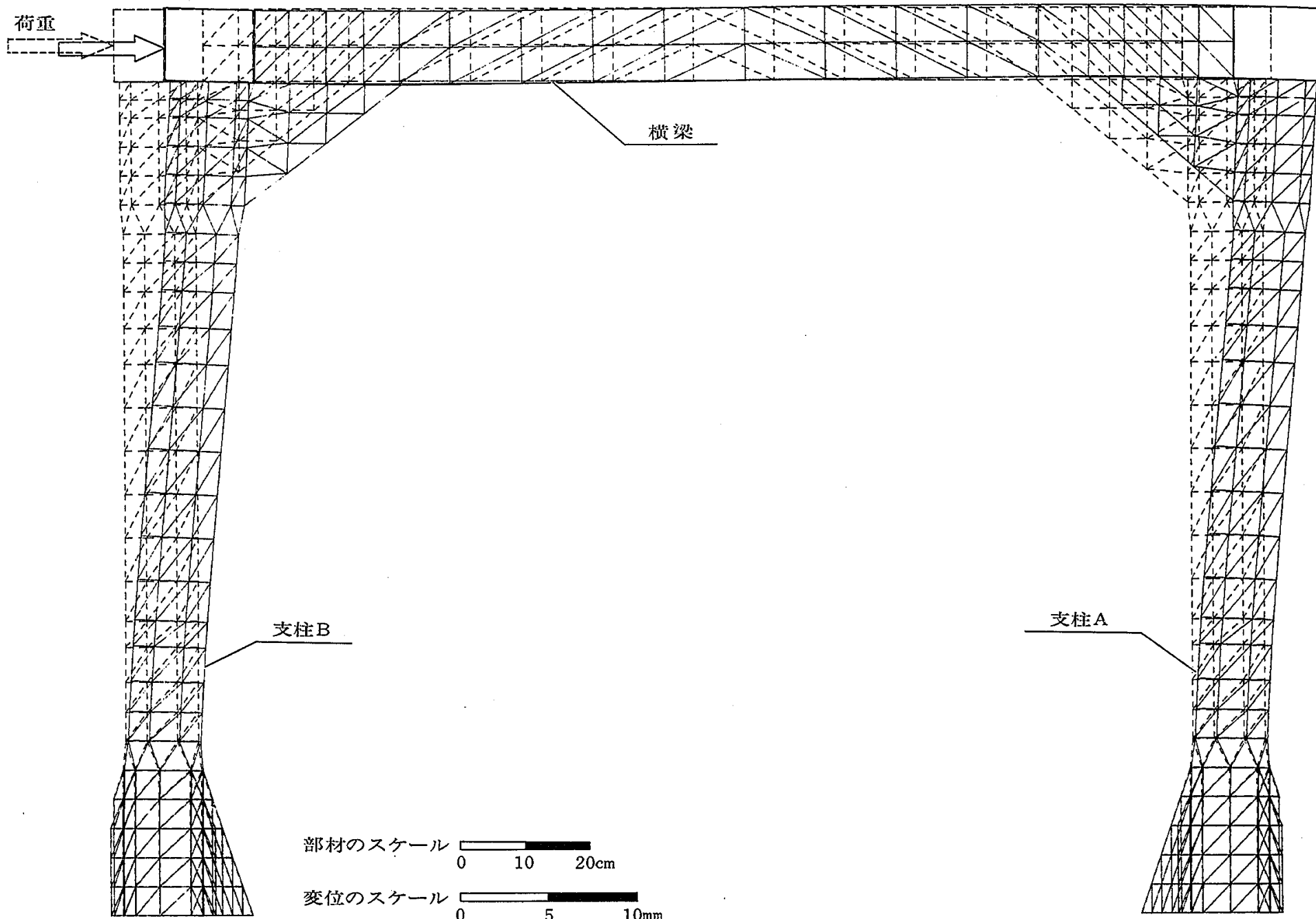


図 8.1.8 静的試験の有限要素法の解析による変位図

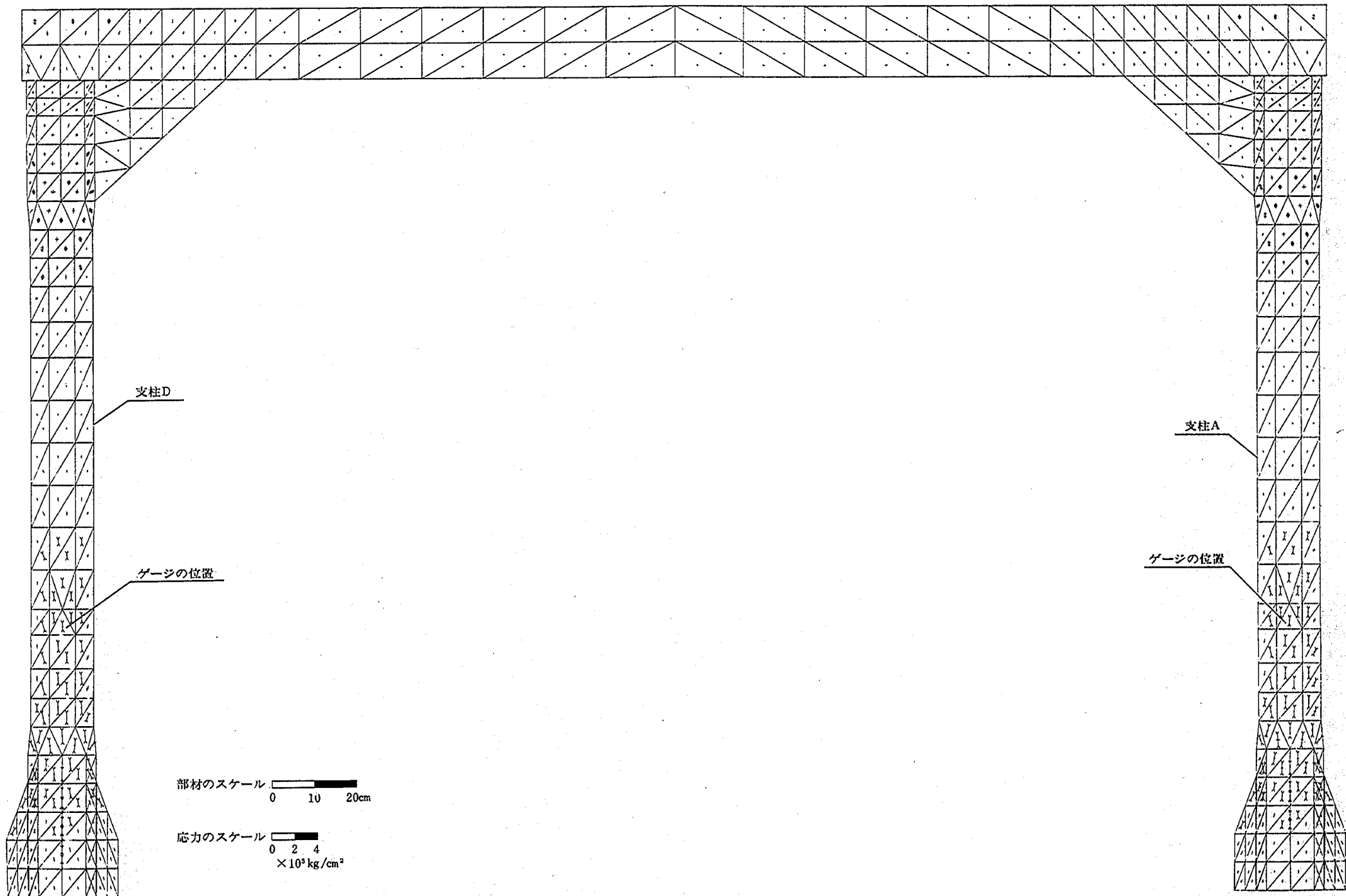


図 8.1.9 静的試験の有限要素法の解析による応力図

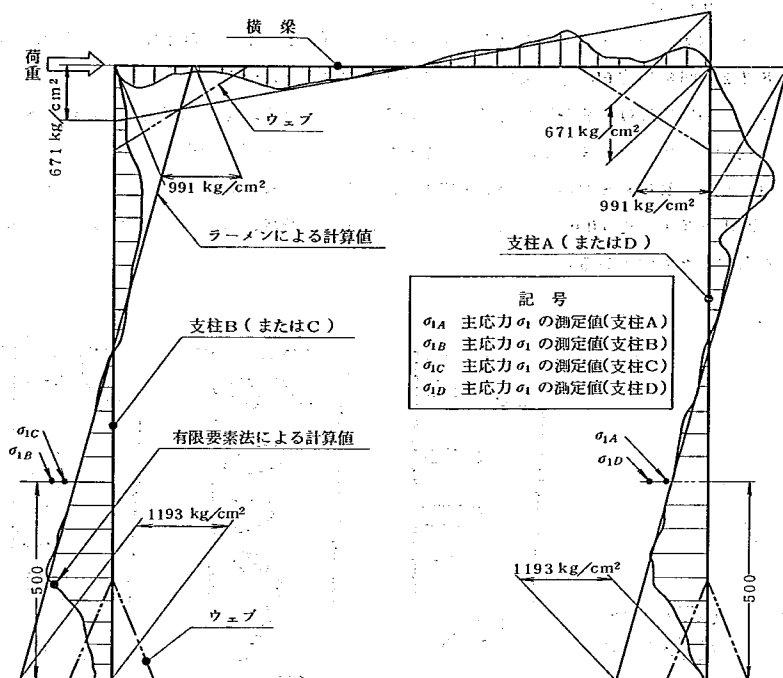


図 8.1.10 ラーメンによる近似と有限要素法による応力計算値の比較

次に、支柱A (またはD) とB (またはC) の荷重側、これをつなぐ横梁の上面の応力の有限要素法による計算値と、対応する門型ラーメン近似による応力の大きさを比較した。これを図8.1.10に示す。図には、主応力を表示し、あわせて測定値 (荷重 $F = 5 \text{ ton}$ のとき) も並記した。有限要素法による計算値は、ウェブのある部分の支柱または梁では、ウェブが荷重の1部をうけもつため、応力が小さくなっている他は、ラーメンによる近似計算とよく一致し、ROPSの概略の応力計算では、ラーメンによる近似が可能であることがわかる。一部で、ウェブと部材の接合部で応力がラーメンの計算より大きくなっていて、ウェブの形状の設計には、応力の集中に注意しなければならないことを示している。

8.2 転落実験と応力解析結果の比較

(1) ブルドーザの転落状況

転落実験は3回おこなわれ、第1回と第2回実験では、2回転と1/2回転して停止し、第3回実験では、2回転だけで停止した。転落の状態がわかるように、35mmカメラで撮影した転落の

状況を以下に連続的に示す。

ブルドーザはチェーンブロックで傾斜が与えられる（写真8.2.1）。自重で傾斜をましてゆく（写真8.2.2，回転角約 60° ）。履帯がコンクリートブロックに衝突する（写真8.2.3，回転角約 140° ）。斜面上にROPSの角が衝突してくいこむ。このとき，1回転以内ではROPSに最大の外力が加わった（写真8.2.4，回転角約 180° ）。ほぼ1回転を終了した（写真8.2.6）。2回転目になり，ROPSの角が斜面上に衝突する。このとき，ROPSには最も大きい外力が加わった（写真8.2.7，約 500° 回転）。ただし，以上の写真は，3回の実験の写真をわかりやすく，組みなおしたものである。

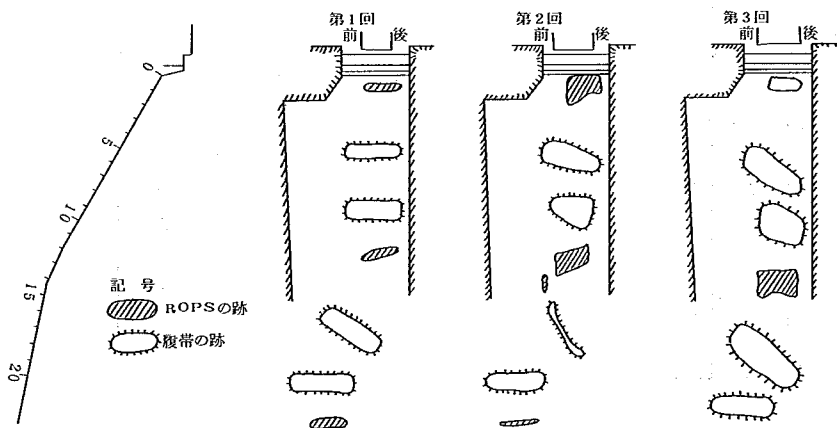


図8.2.1 転落実験のブルドーザの接地跡

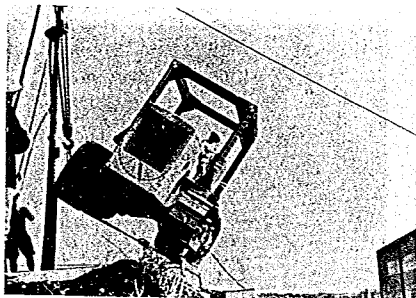


写真 8.2.1 回転角 35°

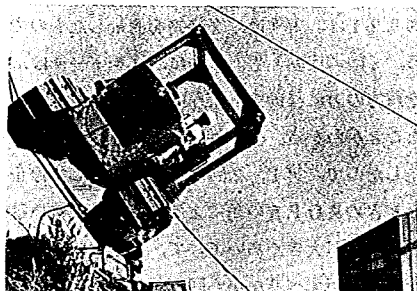


写真 8.2.2 回転角 60°

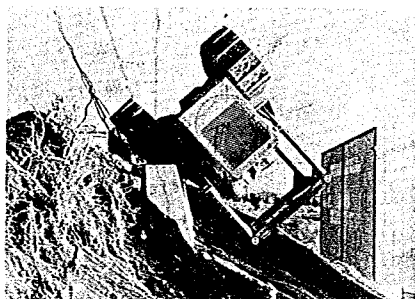


写真 8.2.3 回転角 140°

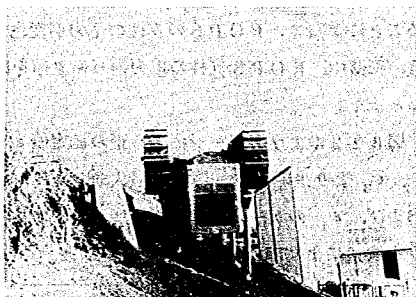


写真 8.2.4 回転角 180°



写真 8.2.5 回転角 340°



写真 8.2.6 回転角 500°

写真 8.2.1～8.2.6 ブルドーザの転落状況

次に図 8.2.1 と写真 8.2.7 に、転落実験のとき ROPS と履帯が地面に接触した跡の模様を示す。図 8.2.1 は、実験後、実験場を測量したものである。3 回の実験とも、一様に、ブルドーザは、やや前方の方に移動するようにして、回転していったことがわかる。第 3 回実験では、2 回転して停止したので、第 1, 2 回実験での横倒して停止したときの ROPS の角による跡がなく、接地跡同志の間隔が大きくあいていて、転落する際に、ブルドーザがすべりながら回転していたものと思われる。

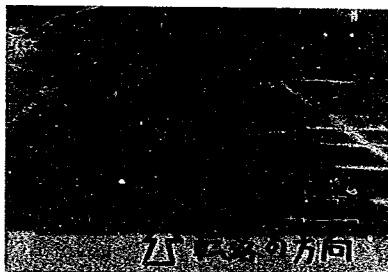


写真 8.2.7 転落実験の後の斜面

(2) 転落時の ROPS の応力の時間的経過

転落中、ROPS やブルドーザが斜面に衝突することによって、ROPS の支柱の応力が変化する。転落中、ROPS 支柱の応力のピーク値を読みとった。

図 8.2.2 のようにゲージによる歪の測定値 ϵ_1 , ϵ_2 , ϵ_3 より主応力 σ_1 , σ_2 , 最大せん断力 $\tau_{\max}$ および、 ϵ_1 のゲージラインと主応力のなす角度 θ を次式により求めた。

$$\sigma_1 = \frac{E}{2} \left\{ \frac{\epsilon_1 + \epsilon_3}{1 - \nu} + \frac{\sqrt{2}}{1 + \nu} \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2} \right\}$$

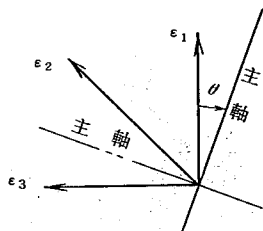


図 8.2.2 ゲージの方向と主応力の方向

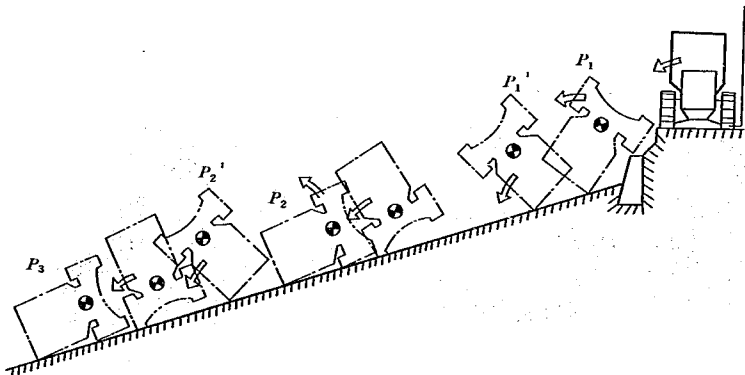


図 8.2.3 ブルドーザの転落状況

$$\sigma_2 = \frac{E}{2} \left\{ \frac{\epsilon_1 + \epsilon_3}{1-\nu} - \frac{\sqrt{2}}{1+\nu} \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2} \right\}$$

$$\tau_{\max} = G \sqrt{2} \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2}$$

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{\epsilon_1 + \epsilon_3 - 2\epsilon_2}{\epsilon_1 - \epsilon_3}$$

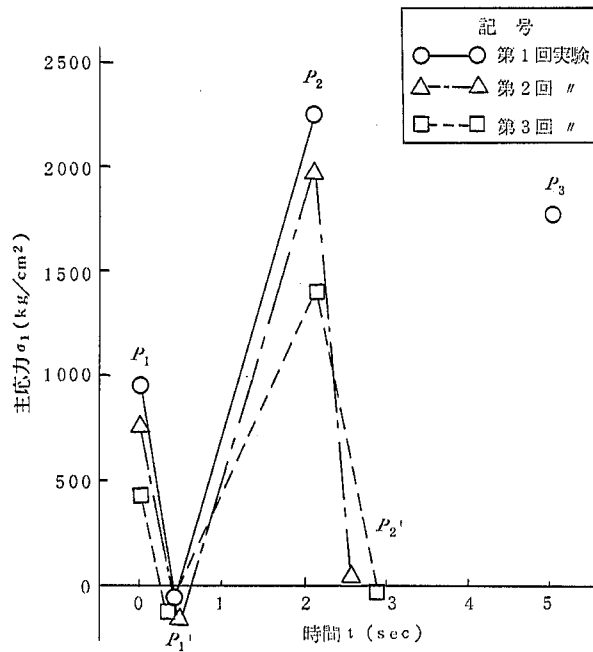


図 8.2.4 主応力 σ_1 の時間経過
(支柱 A)

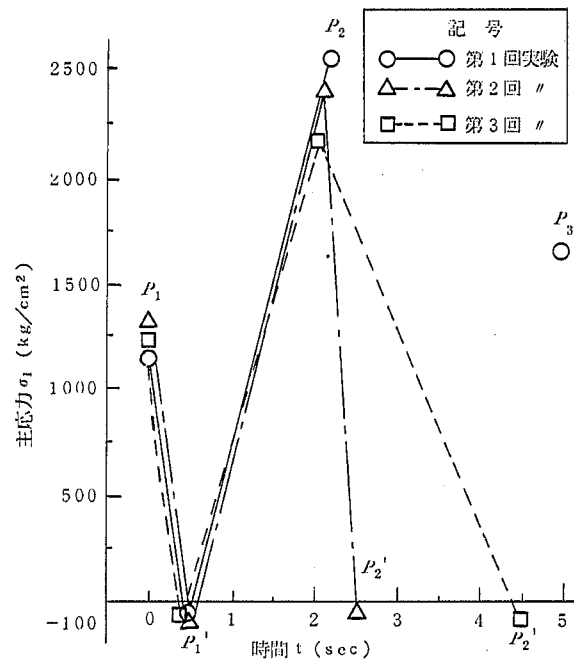


図 8.2.5 主応力 σ_1 の時間経過
(支柱 B)

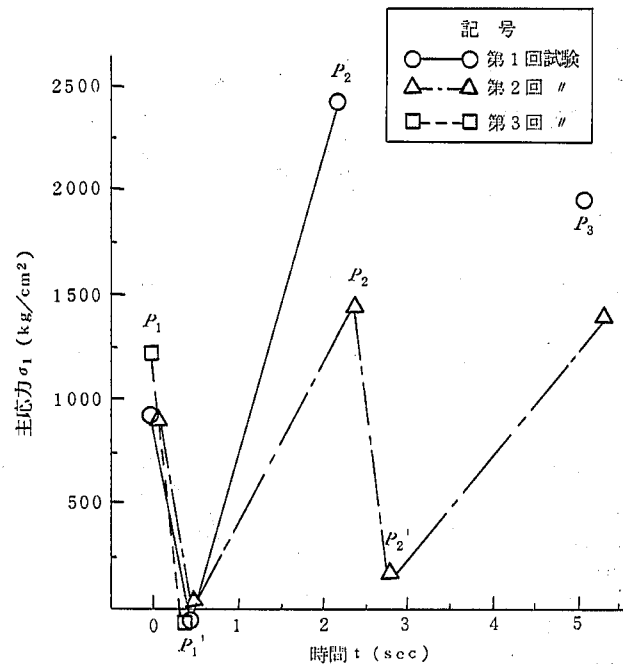


図 8.2.6 主応力 σ_1 の時間経過
(支柱 C)

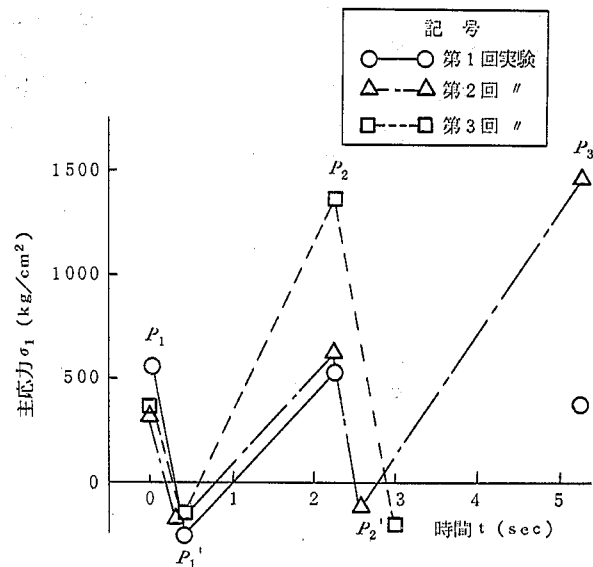


図 8.2.7 主応力 σ_1 の時間経過
(支柱 D)

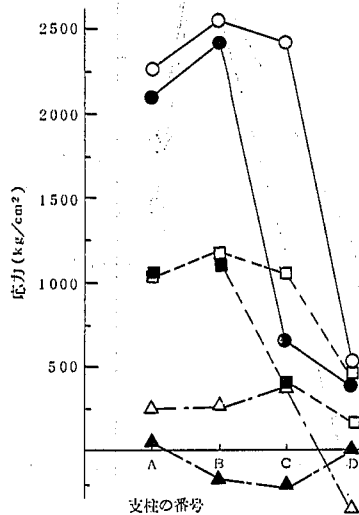


図 8.2.8 計算値と測定値の応力の傾向
(第 1 回実験)

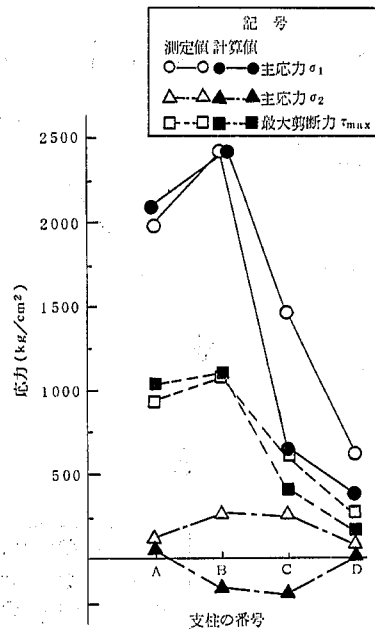


図 8.2.9 計算値と測定値の応力の傾向
(第 2 回実験)

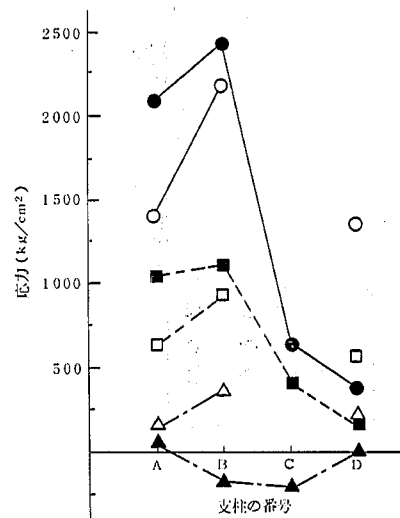


図 8.2.10 計算値と測定値の応力の傾向
(第 3 回実験)

ただし、 E ; ヤング率 ($2.1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$), G ; 剪断弾性係数 ($8.1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$), ν ; ポアソン比 (0.3)

図 8.2.3 のように、1 回転目の最初に ROPS の角があたる時を P_1 、その直後に反対側の ROPS の角があたる時を P'_1 、1 回転目を終了して、2 回転目にはじめて ROPS の角が衝突する時を P_2 、その直後に反対側の ROPS の角があたる時を P'_2 、最後に 3 回転目にはいって横倒しになった状態で ROPS の角があたる時を P_3 と定める。このようにして、各支柱の荷重側のゲージで測定した応力のうち特に各応力を代表しているものと思われる、主応力 σ_1 の時間的経過を図 8.2.4 から図 8.2.7 に示す。図において時間軸は P_1 を 0 とした。第 3 回実験で P_3 が無いのは、2 回転しただけで停止したためである。

図によれば各支柱とも時間的経過の傾向は類似であって、 P_2 または P_3 の時点における応力が最大であるが、これは、1 回転目に比べ 2 回転または 3 回転目は回転の慣性が与えられているので、荷重側の ROPS の角が地面に衝撃的にあたるためである。本実験では、 P_2 は P_3 より大きい、 P_3 の時点では地面との衝突でエネルギーが吸収されていることや、平坦部に移り回転が停止しているためと思われる。圧縮 (負)、荷重はいずれも小さく、 P'_1 または P'_2 の時点だけである。この場合、図 8.2.2 のようにブルドーザが ROPS を下にして倒立しているので、ブルドーザの自重により支柱が荷重を受けている。最大の圧縮応力は第 1 回実験の P'_1 の支柱 D において、 $\sigma_1 = -251 \text{ kg/cm}^2$ が発生する。同時に支柱 A は $\sigma_1 = -61 \text{ kg/cm}^2$ 、支柱 B は $\sigma_1 = -32 \text{ kg/cm}^2$ 、支柱 C は $\sigma_1 = -64 \text{ kg/cm}^2$ であってこれらの応力を単純な軸力によるものと考えれば上記の 4 本の柱の応力の合計と支柱の断面積の積が垂直方向の軸力と考えられる。従って、垂直方向には、14.1 ton の荷重が加わっていることになる。ISO 標準では、1 回転以内の転落時に運転員の保護をするため、垂直載荷試験として、ROPS 上方より車輛自重に等しい荷重を加えることになっている。本実験では、 30° の斜面で側方回転をさせるために、頂部にコンクリートブロックで段差を設けているため、垂直荷重は、車輛の自重 11.7 ton より大きいものと考えられる。

図 8.2.3 と図 8.2.6 のように、第 1 回と 2 回の実験は比較的応力の大きさが等しく、第 3 回実験がこれより小さい値を示す。これは第 3 回目が前の 2 回の実験と異なり、車輛は 2 回転しただけで停止したため、他の実験と状況が多少異なることによる。

支柱 D の第 1 回、2 回実験を除いて、 P_1 の応力は P_2 の応力の $1/2$ 以下であった。すなわち、ROPS は剛性が高く塑性変形をほとんどおこさないで、外力の大きさと ROPS 支柱の応力の大きさの関係が線形であると考えれば、1 回転以内に ROPS に加わる最大の外力は、2 回転目でそのそれに比べて $1/2$ 以下程度であると推定される。

(3) 転落時に ROPS に加わる外力

図 8.2.4 ~ 8.2.7 のように、第 2 回実験ではデータとして十分なものが得られたので、以下主にこれについて考察する。

ROPS の応力の最大値は、 P_2 の時点で得られたので、このときの主応力 σ_1 、 σ_2 、最大剪断力 $\tau_{\max}$ を、各支柱毎に表わし整理したものを、図 8.2.8 (第 1 回実験)、8.2.9 (第 2 回実験)、

および 8.2.1.0 (第3回実験) に示す。有限要素法による応力解析の荷重条件 2 による、応力解析結果もこの図に並記して比較してある。

図 8.2.7 ~ 8.2.9 によれば、一般に転落の際の最も外力の大きい、 P_2 においては、ROPS は、縦梁で衝突せず、支柱 B の頂部で衝突するので、主応力 σ_1 は支柱 B が最も大きく、そのあと支柱 A、C、D の順になっている。これから、計算の際の荷重条件 2 のように、支柱 B の頂部に荷重がほぼ集中して加わり、縦梁に分布荷重として、均等に荷重が加わらないことを示している。ただし、計算値の方が相対的に支柱 B の応力が大きく、測定値では、この傾向がやや緩和されていて、外力が単純な集中荷重でなく、縦梁にも 1 部分が分布していることがわかる。せん断力はいずれの場合にも小さく、荷重が、ほぼ真横より加わりねじれなどがなく、支柱は単純曲げ応力の状態に近いことがわかる。第3回実験は、計算値に対するばらつきが大きく、最も不規則な転落状況であったことがわかり、第2回実験では、最もよく計算値と類似の傾向を示す。

1 回転目 (P_1 の時点) と、2 回転目 (P_2 の時点) との主応力の分布の傾向を 3 回の実験について比較したものを、図 8.2.1.1 に示す。図によれば、1 回転目でも、最大の主応力を示すのは、支柱 B であって、傾向は、2 回転目の場合と同様で、1 回転目においても外力は有限要素法による解析の荷重条件 2 と相似に近い条件で加わっていることがわかる。2 回転目に比べると、支柱 D の応力は相対的に大きく、外力はより分布荷重に近い条件になっているが、1 回転目の P_1 の時点の外力も、支柱 B に集中荷重として外力が加わっていると考えてさしつかえない。

図 8.2.1.2 に、第2回転落実験の 2 回転目の P_1 の時点の外力を等価な静荷重でおきかえた荷重

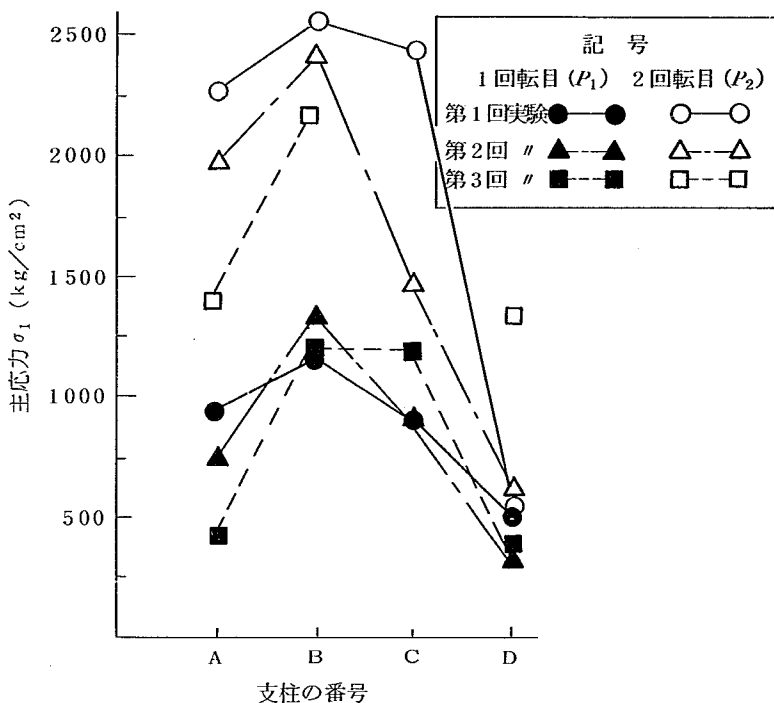


図 8.2.1.1 1 回転目と 2 回転目の主応力の (測定値)

条件 2 の有限要素法による解析の応力図を示す。図は、支柱 A と D および、これをつなぐ縦梁の反荷重側の面の主応力を示し、矢印は、主応力の方向と大きさを示す。この図により、ウェブ等の応力の分布がわかるが、数値的に検討を行うため、静的試験と同様に、支柱 A と B の荷重側の面とこれをつなぐ横梁の上面の主応力の分布を図 8.2.1.3 に示した。支柱 C と D は、荷重の加わっていない側の支柱で、図 8.2.1.2 でみるとおり、応力は少ないので省略した。図には、第 2 回実験の 2 回転目 (P_2) の最大の主応力の測定値を、ラーメンによる計算として、荷重 14.6 ton を門型ラーメン 1 個の頂部に、加えた場合と、静的試験と同様に $14.6 / 2 = 7.3$ ton を門型ラーメンを頂部に加えた場合の計算値とを並記してある。これによれば、ウェブ付近をのぞけば、有限要素法による計算値は、14.6 ton の荷重を加えたラーメンよりも応力は小さいが、分布は相似である。従って、この場合も、静的試験と同様に、ラーメンを用いた近似で、応力の分布の予測をすることができる。また、荷重条件 1 (静的試験の模擬) と荷重条件 2 (転落実験の模擬) による応力解析は、支柱における応力分布が (荷重条件 2 で、荷重の加わっている側の支柱と他の支柱の応力の大きさが異なっていることを除いて) ほぼ相似であるので、ISO 標準の側方載荷試験の荷重の加え方はほぼ妥当であると考えられる。

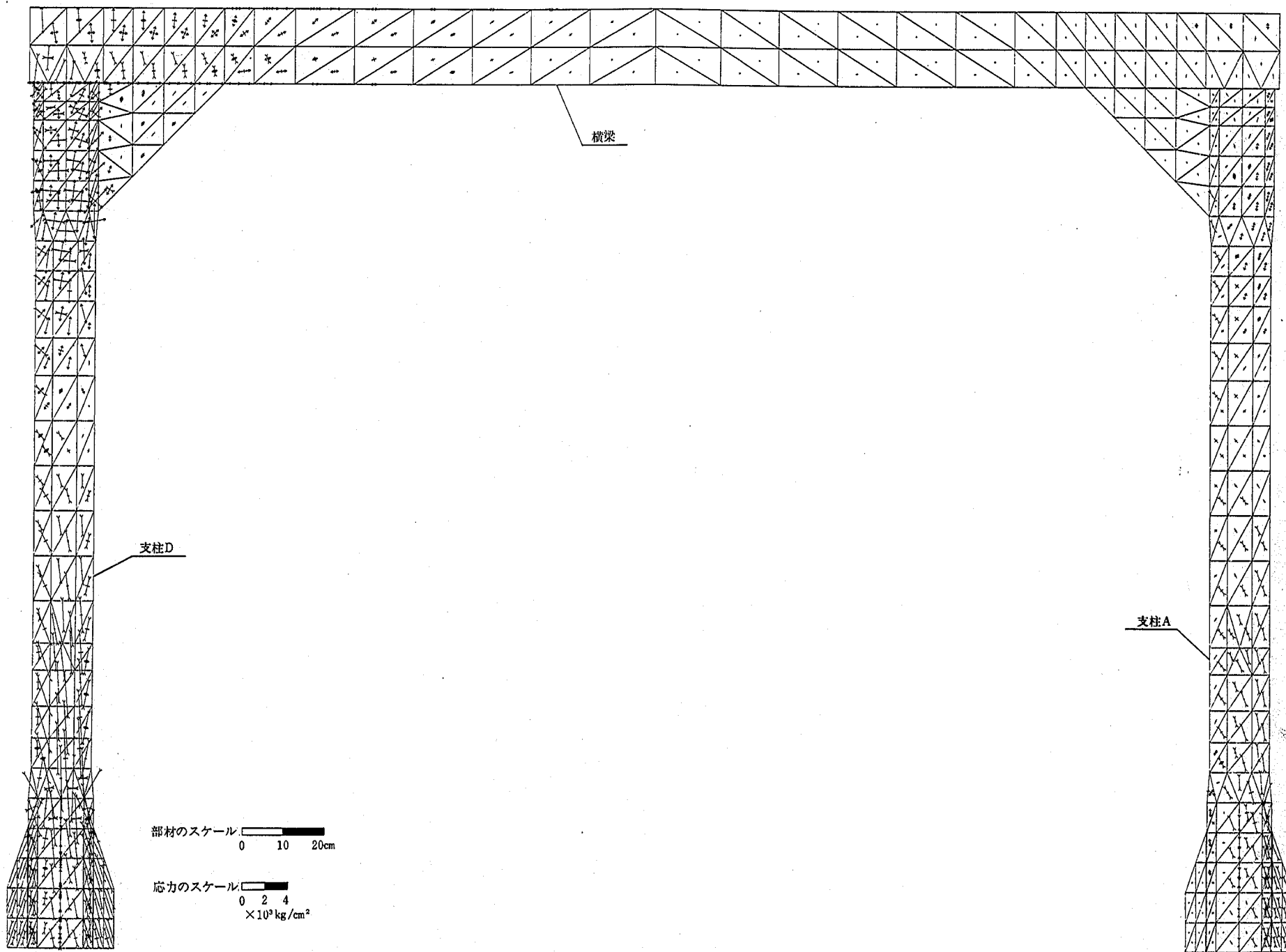


図 8.2.12 有限要素法による解析の応力図

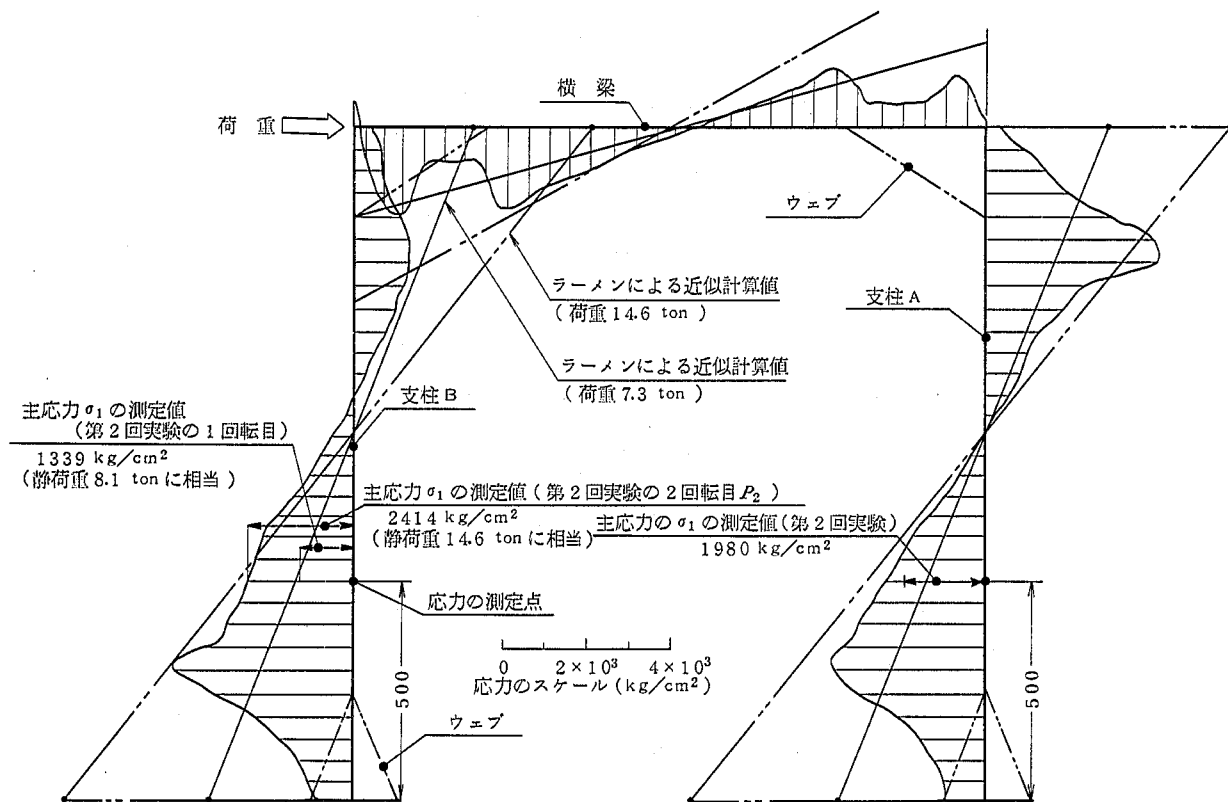


図 8.2.1 3 転落実験の荷重を模擬した有限要素法による応力の計算値

次に転落により ROPS に加わる外力の大きさについて述べる。静的試験においては、外力と、ROPS の応力は比例することが明らかにされた。有限要素法の解析の荷重条件 2 では、支柱 B の頂部に上方に 11° 偏向した大きさ 14.6 ton の荷重が、加わった場合に、転落実験による第 2 回実験の 2 回転目 (P_2 の時点) の測定値の主応力 $2,414 \text{ kg/cm}^2$ と等価であることがわかった。他の 2 回の実験の際の外力の大きさは、ROPS 部材に加わる外力と荷重の関係がほぼ線形であると考えられることから推定できる。支柱 B の主応力 σ_1 の最大値は、第 1 回実験で、 $\sigma_1 = 2,550 \text{ kg/cm}^2$ 、第 3 回実験では $2,181 \text{ kg/cm}^2$ であるから、転落時の外力の最大値は、第 1 回実験で最も大きく、 15.4 ton 、第 3 回実験が最少で、 13.2 ton と推定された。

以上の推定は、第 2 回転目までをふくめた外力の最大値であった。ISO 3471 では 360° 回転以内での運転員の保護を規定しているので、この実験では、 P_1 の時点での外力の大きさが最も重要である。前述のように、 P_1 の時点の外力の加わり方も P_2 の時点の際と同様であることが確かめられたので、この場合も、応力解析の荷重条件 2 の結果より推定できる。なお P_1 の時点では図 8.2.2 のように、斜面に対してほぼ垂直に接しているが、履帯がコンクリート板に拘束されてブルドーザが回転しているため、ROPS には、水平に近い方向より外力が加わる。 360° 以内の回転での最大の外力は P_1 の時点で加わり、支柱 B における主応力が、第 1 回実験では、 $1,147 \text{ kg/cm}^2$ 、第 2 回実験では $1,339 \text{ kg/cm}^2$ 、第 3 回実験では $1,205 \text{ kg/cm}^2$ であるので、外力の大きさは、第 1 回実験で 6.9 ton 、第 2 回実験では 8.1 ton 、第 3 回実験で 7.3 ton である。ISO 3471 によれば、静的試験の最大荷重 F は、車輛重量 W により決まり、本実験のブルドーザは $W = 11,700 \text{ kg}$ であるから、 $F = 8.6 \text{ ton}$ であり、本実験で推定した外力よりやや大きい。

実際の転落事故においては、ISO 標準のように縦梁中央に分布荷重として加わることはまれで、むしろ本実験のように、整端された条件のもとでも、荷重は ROPS の角に加わる場合が多いものと思われるが、本実験では、転落実験の外力が ISO 標準の試験の外力と相似の応力分布を示し、外力の大きさも、ISO 標準よりもわずかに小さな値を示すので、標準的な、静荷重による試験方法としては、ISO 3471 の静的試験は妥当であると思われる。

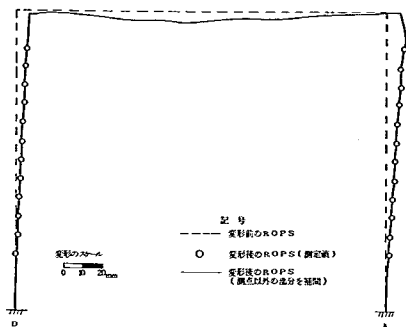


図 8.2.14 転落実験によるROPSの変形
(第1回実験)

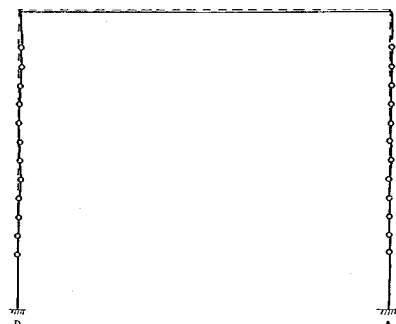


図 8.2.15 転落実験によるROPSの変形
(第2回実験)

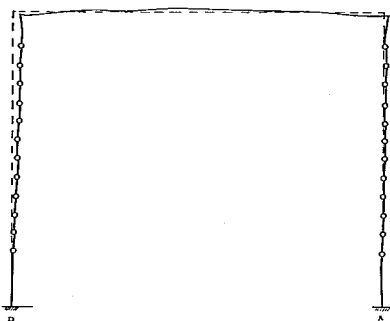


図 8.2.16 転落実験によるROPSの変形
(第3回実験)

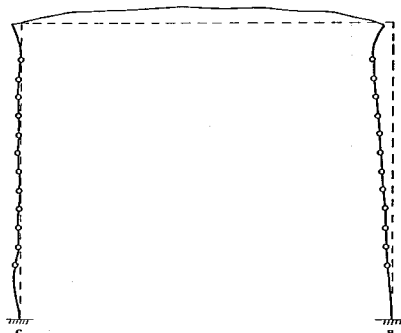


図 8.2.17 転落実験によるROPSの変形
(第1回実験)

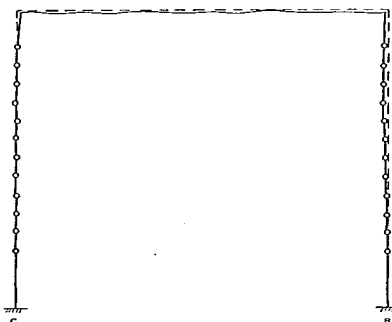


図 8.2.18 転落実験によるROPSの変形
(第2回実験)

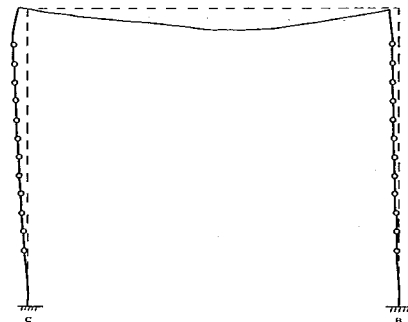


図 8.2.19 転落実験によるROPSの変形
(第3回実験)

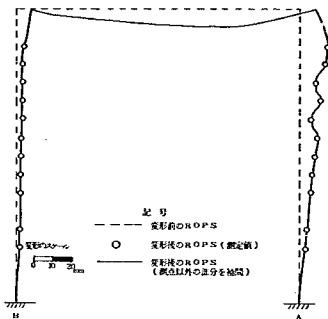


図 8.2.2.0 転落実験によるROPSの変形
(第1回実験)

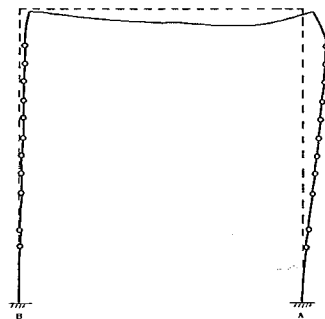


図 8.2.2.1 転落実験によるROPSの変形
(第2回実験)

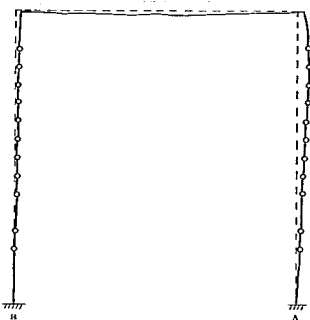


図 8.2.2.2 転落実験によるROPSの変形
(第3回実験)

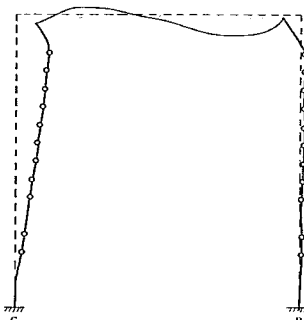


図 8.2.2.3 転落実験によるROPSの変形
(第1回実験)

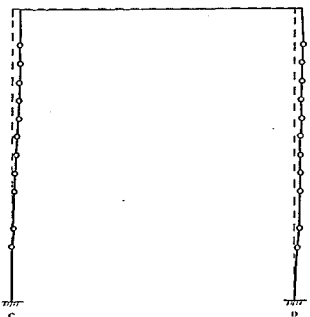


図 8.2.2.4 転落実験によるROPSの変形
(第2回実験)

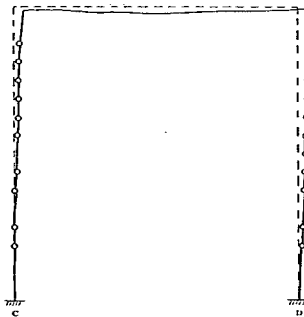


図 8.2.2.5 転落実験によるROPSの変形
(第3回実験)

(4) 転落によるROPSの変形

本実験のROPSは、転落時の外力の推定のため剛性を高めたので変形はほとんどないはずであったが実験の前後に、変形量を測定したところ、塑性変形をしていたことがわかった。この実験は、安全対策を直接の目的としておらず変形によるエネルギーの吸収は期待していないので、この変形の意味は重要ではないが参考までにあげておく。荷重側の方向よりみた支柱AとDの変形を図8.2.14~8.2.16に示す。同じく、支柱BとCの変形を図8.2.17~8.2.19に示す。次にROPSを後方より見た場合の支柱AとBの変形を図8.2.20~8.2.22に示す。同じく、支柱CとDの変形を図8.2.23~8.2.25に示す。図の測定点は、図5.2に示したもので、図において測定点のデータは、円で表わした。破線は、変形前のROPSの支柱と梁の中心線で表わした形状であるが、簡単のために、変形前のROPSは、図4.1のように忠実に作られているものとした。測定点の間の実線は、測定値と矛盾しないように、推定して補間したものである。

図によれば、変形の大きさは、第1回実験が最大で、第3回実験が最少であり、推定された外力の大きさに、変形量が比例していることがわかる。また、ブルドーザの前後方向には、ほとんど荷重が加わっていないので、荷重側からみた部材の変形は少ない。ブルドーザ後方よりみた、荷重方向への変形は、大きな荷重が直接かかることのないCとDの支柱は変形が少なく、直接に最大の荷重が加わる、Bの支柱と、この荷重を横梁を通して受ける支柱Aは、大きく変形している。

8.3 転落時に人体の受ける加速度

転落時に人体の受ける加速度を運転員のダミーの頭部に設置した、3方向の加速度計で、頭部の上下、左右、前後方向の加速度を測定した。この場合の方向は、ダミーが正常に座席に固定されて、頭部が前方に向いている場合を示すのであって、転落中には、ダミー自体方向が変化するため測定値はダミーの頭部を基準とした値である。

転落中、ダミー頭部の加速度が衝撃的に高い値を示す時点だけのデータを読みとって表わしたのが図8.3.1(第2回実験)と図8.3.2(第3回実験)である(第1回実験では加速度計の故障のため測定できなかった)。時間軸の始点は、8.2項と同じく、最初にROPSの角が斜面に接触したときの時点をとっている。

図によれば、第3回の最大加速度 $7.9g$ (時間 P_2 の上下方向)に対し、第2回の最大加速度、 $8.8g$ (時間 P_{c1} の上下方向)で、いずれも上下方向の加速度が大きいが第2回実験の方が第3回実験よりも大きい。第2回と第3回の最大値の表われる時点が異なるので一概には言えないが、ROPS支柱の応力の最大値も第2回実験の方が大きいことと一致するが、第2回の実験は転落のとき2回転と $1/2$ 回転しているのに対し、第3回では2回転で停止していることからみて、回転の慣性力の差によるものと思われる。

各方向で最も大きい加速度を示すのは上下方向であって、転落開始後1回転を終えて次に横倒しにROPSの角が斜面に接触した時点であろうと推定された。この状態では8.2項で推定したように外力はROPSの側方より載荷されるが、加速度は左右方向が上下方向より小さいのは、ダミーの頭部は人体と同様に曲ることができるためと、外力が側方より加わると首が振り子のように回転

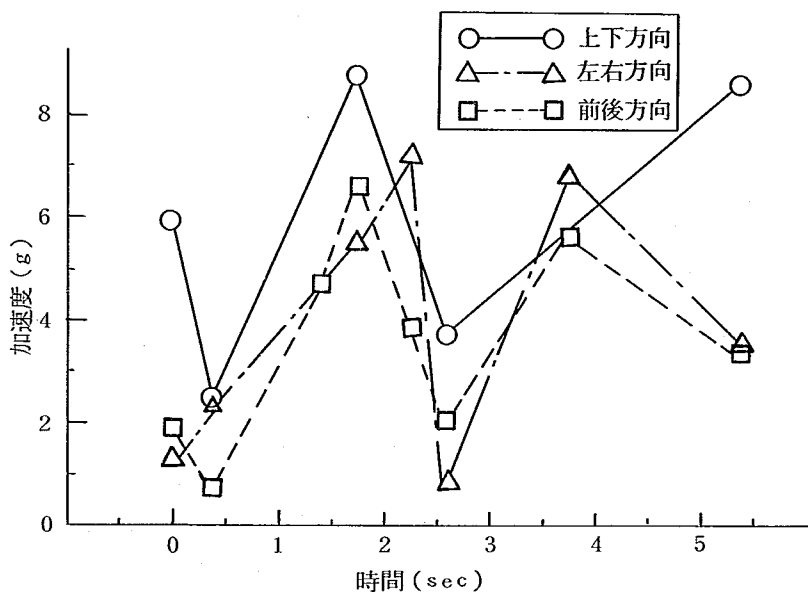


図 8.3.1 転落時のダミー頭部の加速度 (第 2 回実験)

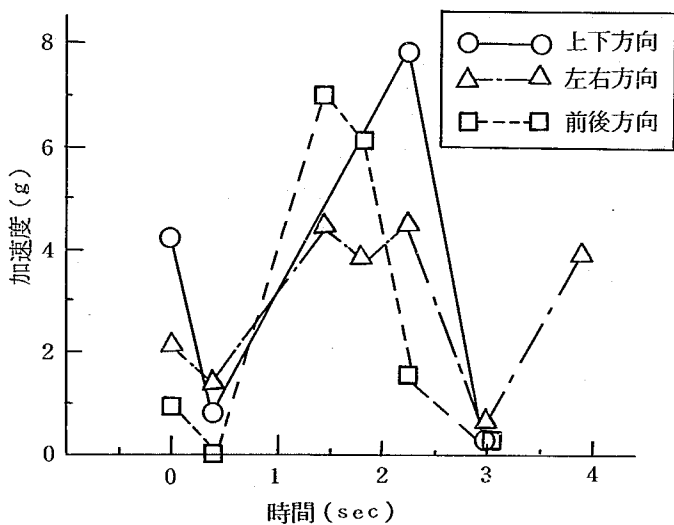


図 8.3.2 転落時のダミー頭部の加速度 (第 3 回実験)

して側方に向き頭部の上下方向が外力の方向と一致するためと考えられる。

いずれの場合も前後方向は最少の加速度を示すが、前後方向は、転落の方法から、前後方向の移動が少ないためである。数値的には、左右方向の最大加速度 7.2 g に対して、前後方向 6.6 g （いずれも第2回実験で測定した加速度）であって、前後方向は左右方向にくらべてわずかに小さいだけである。これは、首を完全に固定していないために上下や左右の振動によって前後方向にもダメージの頭部が揺動するためと推定される。

加速度の最大値は 8.8 g であって、通常の間が耐えられるのは 5 g 程度であるから、この実験の ROPS は転落により構造物が押しつぶされることはないが、大きな加速度のために、運転員にとって危険であると考えられるが、これは前述のように外力の推定のためゲージを貼り、弾性域内での変形しかしないように ROPS の剛性を高くして、支柱の塑性変形による転落のエネルギーの吸収を行っていないためである。

履帯が衝突した場合の加速度は最大で 2.6 g （第2回実験で）、または 3.7 g （第3回実験で）、いずれの場合も ROPS の角が斜面に衝突した場合に比べかなり小さな加速度であって、人体には大きな加速度を与えないので、ROPS の強度を減じて ROPS の衝突によるエネルギーを吸収することができれば運転員に危険な加速度をやわらげることができるものと推定される。

9. 結論および今後の問題点

本年度の調査により、ROPSを取付けたブルドーザの転落時の状況が観測、解析でき、ROPSを取付けたブルドーザに転落時に加わる外力の大きさと方向が推定された。外力の最大値は2回転目の14.6 ton、荷重の作用点は縦梁の前後のいずれかの角に集中荷重としてかかり、今回の場合は、水平方向より 11° 程度上方から荷重が加わる。ISO標準のように、1回転以内の転落に限定した場合はその約50%であって、約8.1 tonと推定されISO標準での最大荷重8.624 tonよりも小さく、ISO標準の方が安全側であるが、荷重の作用点については、必ずしも実際的でないことがわかった。

本実験では同一の条件で3回の実験を行って、転落の方法と、この条件でのROPSに加わる外力の状況の推定を行ったので、今後に残された問題点としては、

- (1) 現在研究されているROPSは、本来構造物の塑性変形により転落のエネルギーを吸収するためのものであって、今年度の実験のROPSは外力の推定のため剛性を高くしてあるので、次には実用的に使用される剛性の低いROPSの実験を行う必要がある。
- (2) ISO標準や、SAE標準では、車種によるエネルギーの吸収量を規定しているが、実際に静的試験を満足しているROPSを転落させた場合に、DLVにくいこまない範囲で変形し、エネルギーを吸収し、しかも運転員に危険な衝撃を与えないか検討しなければならない。
- (3) 土工機械には走行装置として、履帯式と車輪式の2形式に大別され、両者では転落の状況が異なるものと予想される。49年度では履帯式土工機械の代表としてブルドーザを用いて実験したが、車輪式の機械についても調べる必要がある。
- (4) ROPSの規格では、外力の大きさや、吸収するエネルギーの量は車輛の重量の関数になっており、実際にもROPSに加わる外力などは重量に関係するはずであるので、転落する車輛の重量を変えて、車輛の重量と、外力の大きさ、あるいは、エネルギーの問題などについても検討する必要がある。

10. 付 録

R O P S の静的試験および転落実験で得られたデータで、本報告書の作成に使用されたデータの
一覧表を以下に付録として掲載する。

- (1) A-5.1 静的試験で測定したロゼットゲージの歪の値を、主応力 σ_1 、 σ_2 、最大剪断力 $\tau_{\max}$ および、ゲージの方向と、主応力のなす角度 θ を各支柱毎に表にした、この表は、荷重側の面に貼ったゲージによる測定値である。
- (2) A-5.2 A-5.1と同じであるが、ゲージが反荷重側の面のもので、この表では反荷重側の記号として“' ”（ダッシュ）記号を付してある。
- (3) A-5.3 静的試験のときのR O P S の変位を示す。測定点を示すA-1 5、B-6などの記号は、図5.2に示してある。
- (4) A-8.1とA-8.2に、転落時に、各支柱に発生する歪の極大値を読みとって、主応力 σ_1 、 σ_2 、最大剪断力 $\tau_{\max}$ および、ゲージの方向と主応力の方向のなす角度 θ を示す。ただしA-8.1は荷重側、A-8.2は、反荷重側で測定した値である。 P_1 、 P'_1 、…等のピーク番号は、図8.2.1に基づいた。
- (5) A-8.3、A-8.4、A-8.5、A-8.6に転落実験の前にR O P S の基準定規から測定した水平距離と転落実験をおこなって変形したR O P S について測定した値および、これらの値の差を計算した変形量を表にしたものを示す。A-8.3は支柱A、A-8.4は支柱B、A-8.5は支柱C、A-8.6は支柱Dについて、測定したもので、測点の記号は図5.2に示される。
- (6) A-8.7 転落実験の際にブルドーザに乗せたダミー頭部における加速度（上下、左右、前後の3方向）を示した。表で用いた記号 P_1 、 P'_1 は、時間を表わし、図8.2.1に示した記号である。

A 5.1 静的試験の ROPS 支柱の応力と主軸の方向（荷重側）

柱記号 応力等 荷重 (t)	A				B				C				D			
	σ_1	σ_2	$\tau_{\max}$	θ (度)	σ_1	σ_2	$\tau_{\max}$	θ (度)	σ_1	σ_2	$\tau_{\max}$	θ (度)	σ_1	σ_2	$\tau_{\max}$	θ (度)
1	93	-15	55	33.6	144	0.1	73	44.0	122	10	56	30.2	152	28	63	36.7
2	221	0.2	112	34.3	288	24	133	36.1	249	24	114	30.7	303	48	128	36.7
3	302	-1.6	153	33.1	375	24	177	34.4	359	25	168	31.5	405	60	174	37.6
4	418	7.4	207	32.7	537	60	240	38.1	484	35	227	32.1	552	78	239	36.9
5	596	2.5	274	32.9	677	64	309	38.7	610	44	285	31.4	719	97	313	37.5
6	674	16	331	33.6	757	68	347	38.7	692	49	324	31.7	821	112	357	37.7
7	791	25	386	33.3	866	100	387	38.7	803	61	375	32.0	928	128	403	37.8
8	905	34	440	33.2	1027	110	463	38.7	925	71	431	31.8	1027	139	448	37.3
9	997	38	483	33.2	1132	119	511	38.3	1025	76	478	31.6	1165	164	505	37.7
10	1134	51	546	32.9	1232	132	555	38.9	1133	88	527	31.9	1288	170	564	37.8

応力の単位は (kg/cm^2)

A 5.2 静的試験の ROPS 支柱の応力と主軸の方向(反荷重側)

柱記号 荷重 (t)	A				B				C				D			
	σ'_1	σ'_2	$\tau'_{\max}$	θ' (度)	σ'_1	σ'_2	$\tau'_{\max}$	θ' (度)	σ'_1	σ'_2	$\tau'_{\max}$	θ' (度)	σ'_1	σ'_2	$\tau'_{\max}$	θ' (度)
1	-43	-146	52	39.2	-11	-115	52	32.1	-18	-126	55	39.8	-7.7	-88	41	43.9
2	-56	-319	132	40.6	-34	-221	94	30.3	-36	-255	110	39.3	-23	-226	103	36.5
3	-78	-462	194	39.4	-35	-325	146	29.6	-52	-372	161	39.9	-30	-342	158	37.8
4	-98	-601	254	38.8	-23	-415	197	30.4	-73	-512	221	39.4	-38	-481	224	38.0
5	-120	-822	354	38.5	-34	-533	252	30.8	-96	-672	290	40.0	-60	-633	289	37.3
6	-138	-912	391	39.0	-40	-578	270	30.3	-104	-742	322	39.9	-66	-741	340	36.7
7	-158	-1084	467	38.5	-45	-648	304	31.1	-125	-883	382	39.6	-74	-844	388	36.5
8	-186	-1245	534	38.7	-48	-750	354	30.6	-136	-974	422	40.1	-87	-963	442	36.2
9	-187	-1376	600	38.9	-54	-843	398	31.1	-158	-1114	483	39.9	-100	-1088	498	36.2
10	-213	-1541	670	38.5	-53	-925	439	30.9	-170	-1222	531	39.8	-118	-1220	556	36.2

応力の単位 (kg/cm^2)

A 5.3 静的試験による ROPS の変位

支柱記号 変位 荷重 (t) ($\times 10^{-2}$ mm)	A		B				C		D	
	A-15	A-15'	B-6	B-10	B-15	B-15'	C-15	C-15'	D-15	D-15'
1	61	2	12	40	67	11	56	0	54	1
2	136	4	36	92	141	22	120	3	119	4
3	215	5	74	148	219	31	185	9	182	7
4	284	4	96	203	294	38	251	10	247	10
5	361	4	124	258	372	43	319	12	313	14
6	453	3	163	325	461	48	397	17	388	19
7	531	3	194	387	546	53	471	18	462	21
8	616	5	229	450	630	60	547	20	536	25
9	706	4	265	517	722	65	624	26	616	26
10	827	2	301	586	816	71			715	32

A 8.1 転落時の ROPS 支柱の応力と主軸の方向 (荷重側)

実験 No.	時間 No.	柱記号 応力等	A				B				C				D			
			σ_1	σ_2	r_{max}	$\theta(度)$	σ_1	σ_2	r_{max}	$\theta(度)$	σ_1	σ_2	r_{max}	$\theta(度)$	σ_1	σ_2	r_{max}	$\theta(度)$
1		P ₁	958	131	417	36.8	1147	188	484	43.9	917	121	402	40.4	552	99	229	43.3
		P _{1'}	-61	-485	214	40.3	-32	-241	105	43.0	-64	-212	75	-44.4	-251	-330	545	35.8
		P ₂	2265	250	1016	35.2	2550	252	1159	42.9	2431	359	1045	38.6	526	-367	450	19.3
		P _{2'}																
		P ₃	1786	149	826	32.8	1643	37	810	38.6	1930	410	767	43.8	375	-165	273	22.5
2		P ₁	767	82	346	36.8	1339	206	571	39.8	903	139	385	36.8	318	31	145	38.7
		P _{1'}	-155	-697	273	40.7	-55	-371	160	35.5	2	-161	82	-35.2	-177	-1362	598	34.5
		P ₂	1980	120	938	35.5	2414	268	1083	35.5	1460	262	604	38.5	614	82	268	41.7
		P _{2'}	10	-85	48	32.3	-87	-327	121	-33.7	158	22	69	22.5	-132	-798	336	39.6
		P ₃									1399	308	551	44.5	1450	206	627	41.0
3		P ₁	422	-92	259	19.3	1205	145	535	38.3	1203	166	523	37.2	342	73	136	41.9
		P _{1'}	-126	-900	391	38.5	-84	-510	214	36.3	-38	-316	140	-43.7	-152	-1570	715	35.5
		P ₂	1404	156	629	37.2	2181	364	917	41.7					1359	225	572	42.1
		P _{2'}	-34	-386	178	40.3	-93	312	110	41.8					-190	-1523	672	37.4
		P ₃																

応力の単位は (kg/cm²)

A 8. 2 転落時の R O P S の支柱の応力と主軸の方向 (反荷重側)

突降 時間 No.	柱番号 No.	A				B				C				D			
		σ'_1	σ'_2	τ'_{max}	θ' (度)	σ'_1	σ'_2	τ'_{max}	θ' (度)	σ'_1	σ'_2	τ'_{max}	θ' (度)	σ'_1	σ'_2	τ'_{max}	θ' (度)
1	P ₁	- 89	-1147	533	33.3									- 15	-597	294	31.1
	P' ₁	330	45	144	35.2									698	79	312	34.5
	P ₂	-236	-2827	1307	33.7									-309	-2145	926	39.5
	P' ₂																
	P ₃	-378	-2686	1164	39.7									- 68	-1732	839	31.1
2	P ₁	- 70	- 935	436	33.3	-109	-1442	672	328								
	P' ₁	428	41	195	39.0	389	79	156	441								
	P ₂	560	-1397	987	15.5	-389	-2785	1208	363	-336	-2244	963	366				
	P' ₂	0	0	0	0	- 9	- 66	29	-225	115	14	51	-37.0				
	P ₃	167	- 839	507	21.0	112	-481	299	175	-148	- 602	229	133				
3	P ₁	- 71	- 868	402	33.3	- 59	-1024	487	311	-230	-1724	754	36.3	- 25	-320	149	25.1
	P' ₁	560	58	254	34.5	385	47	170	37.2	100	14	44	22.5	867	45	415	32.8
	P ₂	-290	-1464	592	28.2	- 13	-1304	651	30.0	-191	-1723	773	34.5	- 23	-697	340	37.6
	P' ₂	348	105	123	43.7	152	46	54	45.0	307	32	139	30.0	775	98	342	36.3
	P ₃																

応力の単位は (kg / cm²)

A 8.3 ROPSの転落実験による変形（支柱A）

実験 状況 測点	1			2			3		
	転落前	転落後	変形	前	後	変形	前	後	変形
A - 3	69.5	67.0	2.5	67.0	65.0	2.0	66.0	64.5	1.5
- 4	69.5	66.0	3.5	66.5	64.0	2.5	65.5	64.0	1.5
- 5	70.0	—	—	66.5	—	—	65.5	—	—
- 6	70.5	65.0	5.5	67.0	62.5	4.5	65.0	63.0	2.0
- 7	70.5	64.5	6.0	67.0	61.5	5.5	65.0	62.5	2.5
- 8	71.0	63.5	7.5	67.0	60.5	6.5	65.0	61.5	3.5
- 9	71.5	63.5	8.0	67.0	60.0	7.0	65.0	61.5	3.5
-10	72.5	63.0	5.5	68.0	60.0	8.0	65.0	61.0	4.0
-11	73.5	63.0	10.5	68.0	59.0	9.0	65.5	61.0	4.5
-12	74.5	63.0	7.5	68.5	58.5	10.0	66.0	61.0	5.0
-13	75.0	62.5	12.5	68.5	58.0	10.5	66.0	60.5	5.5
-14	76.0	62.5	13.5	69.0	58.0	11.0	66.5	60.5	5.0
A - 3'	64.5	62.0	1.5	66.5	66.5	0.0	65.0	65.0	0.0
- 4'	63.5	66.5	2.0	65.5	65.5	0.0	64.5	65.0	0.5
- 5'	62.0	65.0	3.0	64.5	64.5	0.0	64.0	64.5	0.5
- 6'	60.5	65.5	4.0	63.5	63.5	0.0	64.0	64.5	0.5
- 7'	59.5	64.0	4.5	62.0	62.5	0.0	63.5	64.0	0.5
- 8'	58.5	64.5	5.0	61.0	62.0	1.0	63.0	64.0	1.0
- 9'	57.5	63.0	5.5	60.0	60.5	0.5	63.0	64.0	1.0
-10'	57.0	63.0	6.0	59.5	60.0	0.5	63.0	64.0	1.0
-11'	56.5	63.5	7.0	58.5	59.5	1.0	63.0	64.0	1.0
-12'	55.5	63.5	8.0	58.0	59.0	1.0	63.5	64.5	1.0
-13'	55.0	63.0	8.0	57.5	58.5	1.0	63.5	65.0	1.5
-14'	54.5	63.5	9.0	56.5	58.0	1.5	64.0	65.0	1.0

単位 (mm)

A8.4 ROPSの転落実験による変形(支柱B)

測点	実験No. 状態	1			2			3		
		転落前	転落後	変形	前	後	変形	前	後	変形
B-3		69.0	67.0	2.0	66.0	67.0	1.0	66.5	67.0	0.5
-4		68.5	66.5	2.0	66.0	67.0	1.0	66.0	67.0	1.0
-5		68.5	-		66.0	-		66.0	-	
-6		68.0	65.5	2.5	66.0	67.5	1.5	65.5	67.0	1.5
-7		68.0	65.5	2.5	66.0	67.5	1.5	65.5	67.0	1.5
-8		68.0	65.0	3.0	66.0	67.5	1.5	65.5	67.0	1.5
-9		68.0	65.0	3.0	66.0	68.5	2.5	65.5	67.0	1.5
-10		68.0	65.0	3.0	66.5	69.0	2.5	66.0	68.0	2.0
-11		68.5	65.0	3.5	67.5	70.0	2.5	66.5	68.5	2.0
-12		69.0	65.5	3.5	68.0	70.5	2.5	67.0	69.0	2.0
-13		69.0	66.0	3.0	68.5	71.5	3.0	67.5	70.0	2.5
-14		69.5	66.0	3.5	68.5	71.5	3.0	68.0	70.5	2.5
B-3'		65.5	67.5	2.0	68.5	69.0	0.5	63.0	63.5	0.5
-4'		64.0	67.5	3.5	68.0	68.5	0.5	62.5	63.0	0.5
-5'		63.5	67.0	3.5	67.5	68.0	0.5	61.5	62.5	1.0
-6'		62.5	66.5	4.0	67.5	68.0	0.5	61.0	62.5	1.5
-7'		61.5	66.5	5.0	67.0	68.0	1.0	60.0	62.0	2.0
-8'		60.5	66.5	6.0	67.0	68.0	1.0	60.0	62.0	2.0
-9'		59.5	66.0	6.5	67.0	68.0	1.0	59.0	61.5	2.5
-10'		59.0	66.0	7.0	67.0	68.5	1.5	59.0	61.5	2.5
-11'		58.5	66.5	8.0	67.0	69.0	2.0	59.0	61.5	2.5
-12'		58.0	67.0	9.0	67.5	69.0	1.5	58.5	61.5	3.0
-13'		57.5	67.0	9.5	67.5	69.5	2.0	58.5	61.5	3.0
-14'		57.0	67.5	10.5	68.0	70.0	2.0	58.0	61.5	3.5

単位(mm)

A 8.5 ROPSの転落実験による変形（支柱C）

実験No. 測点 状態	1			2			3		
	転落前	転落後	変形	前	後	変形	前	後	変形
C - 3	68.0	71.5	3.5	67.0	67.5	0.5	65.5	65.0	0.5
- 4	67.5	72.5	5.0	66.0	67.5	1.5	65.0	64.5	0.5
- 5	67.0	-	-	66.0	-	-	65.0	-	-
- 6	66.0	73.5	7.5	65.0	67.0	2.0	64.0	63.0	1.0
- 7	65.5	74.0	8.5	65.0	67.0	2.0	64.0	62.5	1.5
- 8	65.0	75.5	10.5	64.0	67.0	3.0	63.5	62.0	1.5
- 9	64.5	76.0	11.5	64.0	67.0	3.0	63.0	61.5	1.5
-10	64.5	77.0	12.5	64.0	67.5	3.5	63.5	61.0	2.5
-11	64.5	78.5	14.0	64.0	68.0	4.0	63.5	61.0	2.5
-12	64.5	79.5	15.0	64.0	68.5	4.5	63.5	61.0	2.5
-13	64.5	80.5	16.0	64.0	69.0	5.0	64.0	61.0	3.0
-14	64.5	81.0	16.5	64.0	69.0	5.0	64.0	61.0	3.0
C - 3'	67.5	64.5	3.0	67.5	67.5	0.0	63.5	65.0	1.5
- 4'	67.0	66.0	1.0	67.5	67.0	0.5	63.0	65.0	2.0
- 5'	66.5	65.0	1.5	67.5	67.5	0.0	62.0	64.5	2.5
- 6'	65.5	64.5	1.0	67.5	67.5	0.0	61.0	64.5	3.5
- 7'	65.0	64.0	1.0	67.5	67.5	0.0	60.5	64.0	3.5
- 8'	65.0	63.5	1.5	67.5	67.5	0.0	60.0	64.5	4.5
- 9'	64.5	63.0	1.5	68.0	67.5	0.5	59.5	64.5	5.0
-10'	64.0	63.0	1.0	68.0	68.0	0.0	59.0	64.5	5.5
-11'	64.0	62.5	1.5	68.5	68.0	0.5	59.0	65.0	6.0
-12'	64.0	62.5	1.5	69.0	68.5	0.5	58.5	65.0	6.5
-13'	64.0	62.5	1.5	69.5	69.0	0.5	58.5	65.5	7.0
-14'	63.5	63.0	0.5	70.0	70.0	0.0	58.0	66.0	8.0

単位 (mm)

A 8.6 ROPSの転落実験による変形(支柱D)

測 点 状 態	1			2			3		
	転落前	転落後	変 形	前	後	変 形	前	後	変 形
D - 3	65.5	66.0	0.5	69.0	68.0	1.0	64.5	63.5	1.0
- 4	64.5	65.0	0.5	68.5	67.0	1.5	64.0	62.5	1.5
- 5	63.5	-		68.0	-		63.5	-	
- 6	62.5	62.5	0.0	68.0	66.0	2.0	63.0	61.0	2.0
- 7	62.0	61.5	0.5	68.0	65.5	2.5	63.0	60.5	2.5
- 8	61.0	60.5	0.5	67.5	65.0	2.5	62.5	60.0	2.5
- 9	60.5	59.5	1.0	67.5	65.0	2.5	62.5	59.5	3.0
-10	60.0	59.0	1.0	68.0	64.5	3.5	62.5	59.5	3.0
-11	59.5	58.5	1.0	68.0	65.0	3.0	63.0	59.5	3.5
-12	59.0	58.0	1.0	68.0	65.0	3.0	63.0	59.0	4.0
-13	59.0	57.5	1.5	68.5	65.0	3.5	63.5	59.0	4.5
-14	58.5	57.5	1.0	69.0	65.5	3.5	63.5	59.0	4.5
D - 3	68.0	69.0	1.0	70.0	70.0	0.0	63.0	64.0	1.0
- 4	67.0	69.0	2.0	70.0	70.5	0.5	62.5	64.0	1.5
- 5	66.5	68.5	2.0	70.0	71.0	1.0	62.0	63.5	1.5
- 6	66.0	68.0	2.0	70.0	71.0	1.0	61.5	63.5	2.0
- 7	65.5	68.0	2.5	70.5	72.0	1.5	60.5	63.0	2.5
- 8	65.0	68.0	3.0	71.0	72.0	1.0	60.5	63.0	2.5
- 9	64.5	68.0	3.5	71.5	72.5	1.0	60.0	63.0	3.0
-10	64.5	68.0	3.5	72.5	73.5	1.0	60.0	63.5	3.5
-11	64.5	69.0	4.5	73.5	74.5	1.0	60.0	63.5	3.5
-12	64.5	69.0	4.5	74.0	75.5	1.5	60.0	64.0	4.0
-13	64.5	69.5	5.0	74.5	76.5	2.0	60.0	64.0	4.0
-14	64.5	70.5	6.0	75.5	77.0	1.5	60.0	64.5	4.5

単位 (mm)

A 8.7 転落実験によるダミー頭部の加速度

実験No.	時 間 (sec)		P ₁	P' ₁	P _{c1}	P' _{c1}	P ₂	P' ₂	P _{c2}	P' _{c2}
			0.0	0.3 8	1.4 1	1.7 7	2.2 5	2.6 1	3.7 5	5.4 4
2	加 速 度 (g)	上 下	5.9	2.6	—	8.8	—	3.7	—	8.6
		左 右	1.3	2.5	—	5.5	7.2	0.8	6.8	3.6
		前 後	1.9	0.7	4.7	6.6	3.8	2.1	5.6	3.5
3	時 間 (sec)		0	0.4 3	1.4 5	1.7 8	2.2 6	2.9 8	3.9 0	—
	加 速 度 (g)	上 下	4.2	0.8	—	—	7.9	0.3	—	—
		左 右	2.1	1.4	4.5	3.9	4.5	0.6	3.9	—
		前 後	0.9	0.0	7.0	6.1	1.5	0.3	—	—

施工の安全性に関する調査試験

土木研究所資料第1061号
昭和50年8月(1975年)

建設省土木研究所機械研究室
本田宜史, 芹沢富雄, 中野新市

キーワード 建設機械, ROPS, 転落事故

要旨 建設機械による転落事故の運転員保護のための構造物(ROPS)をブルドーザに装着して転落実験をおこなった結果, ISO標準の試験方法の荷重の大きさは妥当であるが, 荷重の作用点については問題のあることが判明した。



郵便はがき

2 8 0 - □ □

十円切手
は
い
っ
て
下
さ

千葉県千葉市穴川

四丁目十二番五二号

建設省土木研究所 千葉支所

機械研究室 御中

No. 297

配布先氏名

配布先住所

No. 297

土木研究所資料第1061号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印