

目 次

1. まえがき	1
2. 実験の目的	2
3. 実験の概要	3
3.1 実験条件	3
3.2 実験に用いた管、測定機械、自動車	4
3.3 実験地の土質	4
3.4 実験の方法	5
4. 実験の結果	14
4.1 埋めもどし土による荷重と反力および曲げ応力	14
4.2 自動車荷重による管頂の荷重	14
4.3 曲げ応力および反力の各点における最大値	15
4.4 横断走行時の曲げ応力と反力	15
4.5 縦断走行時の曲げ応力と反力	15
5. 実験結果についての検討	93
5.1 埋めもどし土による土圧	93
5.2 埋めもどし土によって生ずる管底の反力と曲げ応力	94
5.3 管頂に作用する輪荷重	95
5.4 最大曲げ応力	98
5.5 曲げ応力の計算	99
6. 結 論	114

1. まえがき

この研究は、昭和41年度石綿管協会の委託にもとづいて、建設省土木研究所機械施工部土質研究室が実施したものである。

実験は土木研究所千葉支所構内（千葉市穴川4丁目12-52）において41年12月13日から12月21日の間に行なわれ、石綿管協会が担当し結果のとりまとめと考察に土木研究所土質研究室があたつた。

数多くの実験を行ない、データの読みとりに多大の労を払われた石綿管協会、および加盟の日本エタニット株式会社、久保田鉄工株式会社、秩父セメント株式会社の関係各位に謝意を表する。

41年3月

建設省土木研究所機械施工部土質研究室

2. 実験の目的

地中に埋設された管キヨの挙動については不明の点が多く、設計法が確立されるまでにはいたっていない。ある程度以上の口径の管は管軸に直角な方向におしつぶされて破壊する可能性が大きいので、リングとしての計算をすることができ、小口径の管は長さの方向に弱らく曲げモーメントによって破壊することが多い。この管の長さ方向の設計法は現在のところ理論的な取扱いが不充分であるにもかかわらず、現実には小口径管にかぎらず、ボックスカルバートのようなものでも長さ方向の曲げによって破壊した例が、管軸直角方向の圧壊よりもはるかに多くみられる。

そこでこの実験は管キヨの長さ方向の挙動を明らかにして、設計上不明な次のような点を説明する目的で行なったものである。

- 1) 土かぶりによる静荷重の計算式
- 2) 自動車荷重による動荷重の大きさとその分布
- 3) 管底における反力の分布
- 4) 管に生ずる長さ方向の曲げ応力

これらに影響する要素として土かぶり、管の口径（したがって埋設する溝の幅）管底の支持条件（溝底の仕上げ状況）を考えこれらをいろいろ変えて実験を行なった。

そして最終的には、土かぶり、管の口径、管底の支持条件に応じて、管に生ずる曲げ応力の計算式を実験的に求め、できれば理論的な説明を加えることを目的とした。

3. 実験の概要

3.1 実験条件

埋設管の挙動に影響する要素のうちの主なものとして

- (a) 土かぶりの厚さ
- (b) 管の口径（掘削する溝の幅）
- (c) 管底の支持条件（溝底の仕上げの状態）

が考えられるので、これらをそれぞれ次のように変えて実験をした。

- (a) 土かぶりの厚さ 60 , 90 , 120 cm
- (b) 管の口径と溝の幅 呼び径 100mm , 200mm , 300mm

の3種の管を用い溝幅は標準土工定規として示されているものによったが、管の寸法については3.2に掘削断面の寸法は図1、表-1に示す。

- (c) 管底の支持条件 図-1に示す5種とした。

- ① 素掘 掘削した溝の底を平らにならしたままのうえに管を設置した。
- ② 砂床 溝底に砂を15cm敷いた上に管を設置した。
- ③ 砂巻立て 溝底に砂を15cm敷いた上に管を設置し、管の周囲および上部15cmを砂で埋めもどした。
- ④ 不陸25cm 溝底の管長中央部のあたる部分を長さ25cm、深さ10cmにわたって掘削し、この部分に埋めもどし土が入らないようビニールカバーをかけ、管底の一部分に支持層のない状態にした。

⑤ 不陸50cm 上記の管底のくぼみの長さを50cmとしたもの
管底の支持条件のうち③砂巻立て、④不陸25cm、⑤不陸50cmは呼び径100mmについてのみ実験を行ない、呼び径200mm、300mmの場合は①素掘と②砂床だけの条件の実験を行なった。

これらの実験条件の組み合わせと実験番号を表-2に示す。

管周には曲げ応力を測定するためストレインゲージをはりつけ、反力および上載荷重を測定するため管底と管頂に土圧計を設置したが、その位置は図-2に示すとおりである。なお管の呼称は呼び径によって $\phi 100$ 、 $\phi 200$ 、 $\phi 300$ とあらわすこととし、ついで土かぶり、支持条件をつづけて書いて「 $\phi 100$ 、60cm、素掘りNo.23」のように試験条件を書きあらわす。

3.2 実験に用いた管、測定機械、自動車

供試管はJIS1種管でその寸法は表-3のとうりである。なお両端には長さ1mの短管をカラー継手で接続したものを実験に用いた。埋設実験終了後に掘りおこした管(φ100のもの3本、φ200のもの2本)についてJISA5301-62にもとずいた曲げ試験を行ない、さらにφ200、φ300については長さ30cmに切断したリング状片について圧縮試験を行なった。その結果は表-4のとうりで弾性係数Eは実験結果によれば $E = 0.25 \times 10^{+6} \text{ kg/cm}^2$ であるが従来の計算では $E = 0.26 \times 10^{+6} \text{ kg/cm}^2$ としているので、ここではデータの整理には $E = 0.26 \times 10^{+6} \text{ kg/cm}^2$ の値を用いることとする。曲げ試験はスパン3等分点の2点に集中荷重を加えて行なわれたがその荷重作用点のたわみを測定したところ破壊時のたわみはわからないが、長さ3.0mのφ100では10~12mm、長さ4.0mのφ200では12~13mmのたわみではまだ破壊にはいたっていない。またリング状片の圧縮試験では内径20cmに対して1.0~1.2mmのたわみではまだ破壊していない。

荷重として用いた自動車は自重9.37tの後輪二軸フソウセルフロードトラックで全重量を約20tとするためNTK10tブルドーザおよび鉄塊を積載した。この自動車の寸法および輪荷重は図-3に示すとうりである。

土圧計はカールソン型のもので最大測定圧は 2 kg/cm^2 から 5 kg/cm^2 のもので動ひずみ計、静ひずみ計、電磁オシログラフをそれぞれ2台ずつ用意し、1台は土圧の測定に1台は曲げ応力の測定にあてた。測定点数は土圧曲げ応力ともに6点ずつである。

3.3 実験地の土質

実験地は関東ローム地盤でかなり締まった状態である。カッター法によって現場密度を測定しようとしたが、表面から30cmぐらいの深さまでにはレキが混入しているためカッターの圧入は不可能であった。しかしその締まりぐあいと他の関東ローム地盤における測定結果から判断して自然状態における湿潤密度はほぼ $\gamma_s = 1.3 \sim 1.5 \text{ t/m}^3$ と考えられる。自然含水比は気象条件等により異なるが、地表面では $w_n = 100\%$ 、深さ1mぐらいで、あまり季節的な変化のないところでは $w_n = 140 \sim 150\%$ であることが観測

されている。

また現位置での強度としては標準貫入試験のN値は $N=5\sim7$ 、オランダ式コーン貫入試験(先端角 30° 底面積 10 cm^2 の円錐を地中に圧入する試験)のコーン支持力 q_c (圧入に要する荷重を円錐の底面積 10 cm^2 で割ったもの)は $q_c=8\sim10\text{ Kg/cm}^2$ 、スウェーデン式サウンディングの結果は $N_{SW}=20\sim30$ という値が地表から $1\sim2\text{ m}$ の深さの層について求められている。

地盤の反力係数(地盤係数あるいはK値ともいう)を求めるため地表面において3点約 50 cm 堀削した面において1点の計4点について平板載荷試験を行なった。試験方法はJIS A 1215改訂案“道路の平板載荷試験法”のとうりとし載荷板は直径 30 cm の円板を用いた。このときの荷重強さ $q\text{ (Kg/cm}^2\text{)}$ と沈下量 $s\text{ (cm)}$ の関係は図-4のようになり、地盤係数 K は $K=\frac{q}{s}$ であるから直線部分のコウ配として K を求めるとその値は図中に示したとうりとなつて最初の載荷に対しては平均して $K=4.6\text{ Kg/cm}^2$ 、一度荷重を除いた後の再載荷に対しては $K=3.9\text{ Kg/cm}^2$ という結果を得た。土を弾性体と考えそのポアソン比を μ 、弾性係数を E 、剛性円形載荷板の半径を R とすると

$$K = \frac{q}{s} = \frac{E}{1.57(1-\mu^2)R} \quad (1)$$

なる関係があるが、これからわかるように K 値は載荷板の半径 R によつて変わる。したがつて載荷板の直径を添字として K_{30} のように書くのが普通であるが、管キヨの長さ方向の計算に弾性支承上のハリの理論を適用するときに必要な K 値として K_{30} の値をどのように修正して用いればよいかは現在のところ不明確なまとなつてゐる。

最初の載荷では土の塑性変形があらわれるので弾性的な性質をあらわす K 値としては再載荷の場合の $K_{30}=3.9\text{ Kg/cm}^2$ をとるのが適當であらう。

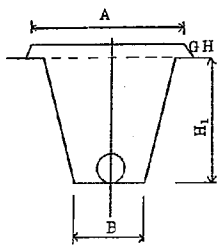
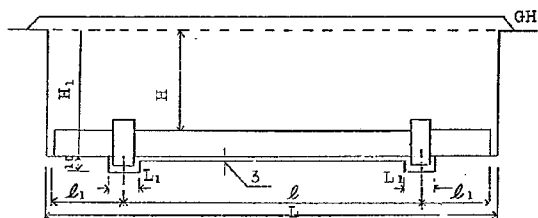
3.4 実験方法

ツルハシあるいはスコップによる人力堀削で所定の断面の溝ができあがつた後に、素堀りおよび不陸の条件で試験する場合には、溝底を平らに仕上げた後に土圧計の入るだけのくぼみを堀り溝底と土圧計受圧板が同一水平面になるように土圧計を設置する。ついで管を布設するが、管が土圧計

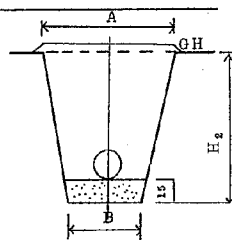
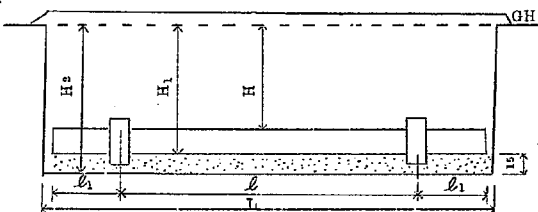
受圧面に直接接触しないよう 3 cm 程度の厚さの砂で土圧計をおおう。砂床、砂巻きの場合はあらかじめ砂を敷いてその中に土圧計を設置する。埋めもどしは締固め後の厚さが 30 cm になるように行ない、木ダコにより溝の長さ方向に往復のつきかためをする。埋めもどし土による土圧および応力の測定は土かぶりが 30, 60, 90, 120 cm のときにそれぞれ行なった。地表まで埋めもどしさらに 5 ~ 10 cm の余盛りをしたので自動車通過前の土かぶりは表 - 2 に示すように予定のものよりいくぶん大きくなっているが、自動車の通過により表面は 5 ~ 15 cm 沈下した。

溝の表面には管軸および管の中央を通ってこれに直角な方向に石灰で線を引き、自動車を片側車輪が常にこの線上を通るように走行させた。管軸に平行な方向に走る縦断走行 4 回と管の中央を片側車輪が横断する横断走行 4 回について土圧 6 点、応力 6 点の測定を行なった。通常の測定は土圧については図 - 2 の A, B, C, D, E, F, 応力については a, b, c, d, e, f であるが、その他の点について測定した場合もある。なお走行は前進、後進各 2 回ずつで、各走行後に管中央部の地表面の沈下をレベルで観測した。

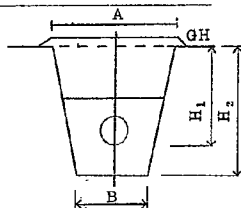
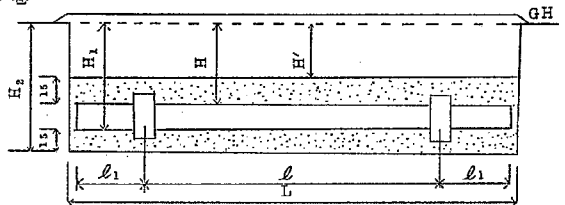
素組



砂床



砂巻



不陸

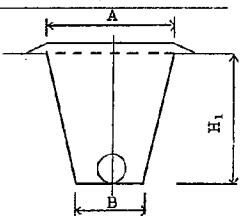
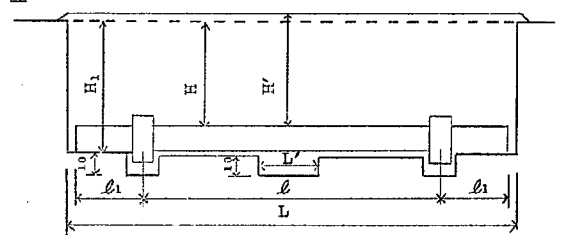


図 - 1 溝の断面寸法および管の支持条件

表-1 溝の断面寸法 (単位 cm)

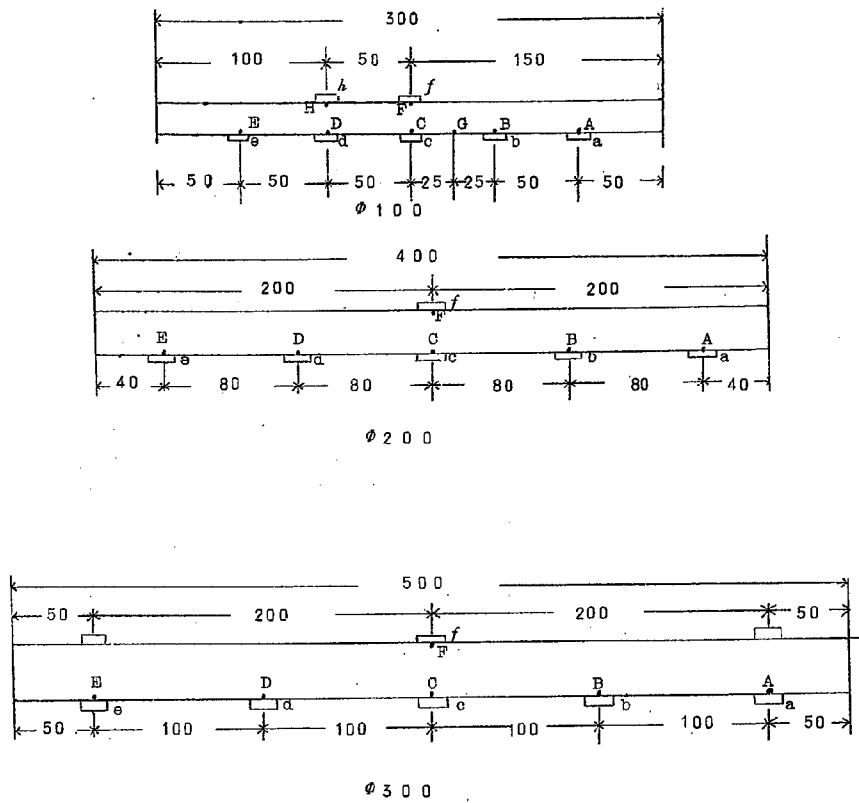
管 種		試験 番号	H	A	B	H ₁	H ₂	L	実際の 土かぶり H	備 考	
渠 堀	φ100	23	60	57	35	75		700	640		
		1	90	67	35	105		700	970		
		6	120	76	35	135		700	1245		
	φ200	11	60	76	50	85		900	650		
		13	90	86	50	115		900	970		
		15	120	94	50	145		900	1275		
	φ300	17	60	100	70	100		1100	665		
		19	90	109	70	130		1100	980		
		21	120	118	70	160		1100	1255		
砂 床	φ100	24	60	63	35	75	90	700	680		
		2	90	67	35	105	120	700	945		
		7	120	76	35	135	150	700	1250		
	φ200	12	60	76	50	85	100	900	615		
		14	90	86	50	115	130	900	940		
		16	120	94	50	145	160	900	1280		
	φ300	18	60	100	70	100	115	1100	685		
		20	90	109	70	130	145	1100	980		
		22	120	118	70	160	175	1100	1280		
砂 巻		φ100	3	90	67	35	105	120	700	935	
8	120		76	35	135	150	700	1285			
不 陸	25 cm	φ100	4	90	67	35	105		700	965	
	9		120	76	35	135		700	1251		
	50 cm		25	60	57	35	75		700	635	
			5	90	67	35	105		700	930	
			10	120	76	35	135		700	1259	

表-2 実験条件一覧

管 種	土かぶり	管底の支持条件	試験番号	備 考
φ100 1種	60 cm	素 堀	23	
	60	砂 床	24	
	60	不陸 50 cm	25	
	90	素 堀	1	
	90	砂 床	2	
	90	砂 巻	3	
	90	不陸 25 cm	4	
	90	不陸 50 cm	5	
	120	素 堀	6	○
	120	砂 床	7	○
	120	砂 巻	8	○
	120	不陸 25 cm	9	○
	120	不陸 50 cm	10	○
φ200 1種	60	素 堀	11	
	60	砂 床	12	
	90	素 堀	13	
	90	砂 床	14	
	120	素 堀	15	○
	120	砂 床	16	○
φ300 1種	60	素 堀	17	
	60	砂 床	18	
	90	素 堀	19	
	90	砂 床	20	
	120	素 堀	21	○
	120	砂 床	22	○

○：堀めもどし土のみによる静的状態での測定も行なったもの

単位 cm

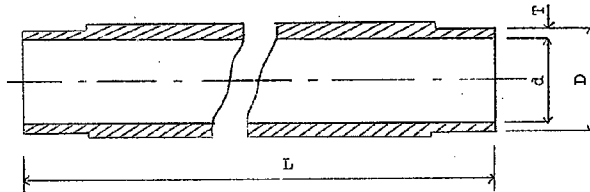


- 曲げ応力測定位置 (ストレインゲージの位置)
- 反力測定位置 (土圧計の位置)

$\phi 200$ 、 $\phi 300$ については f の点において管軸と直角方向に $18\text{ cm} \sim 25\text{ cm}$ の間隔で3個の土圧計をならべて設置した場合もある。

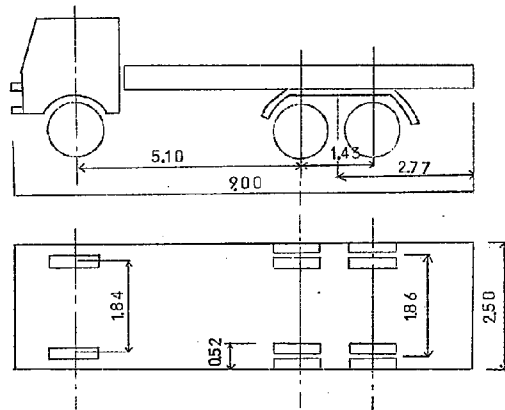
図-2 応力および反力測定位置図

表-3 供試管寸法



呼び径 (mm)	内径 d(mm)	管厚 T(mm)	外径 D(mm)	長さ L(m)	断面2次モーメント I (cm ⁴)
100	100	12	124	3.0	6.69×10^3
200	200	21	242	4.0	8.98×10^5
300	300	30	360	5.0	4.27×10^8

トラック寸法



全重量 (kg)	前輪荷重 (kg)	後輪荷重 (kg)
20,850	3,650	17,200

図-3 自動車の寸法および輪荷重

表-4 供試管の強度試験結果

a 曲げ試験

管種	破壊応力 (kg/cm^2)	弾性係数 (kg/cm^2)	破壊箇所 (m)
$\phi 100$ $\ell=3.0m$	286.7	0.265×10^6	1.235
	268.6	0.272×10^6	1.31315
	287.0	0.244×10^6	1.680
$\phi 200$ $\ell=4.0m$	269.9	0.228×10^6	2.185
	261.8	0.213×10^6	1.710

b 圧縮試験

管種	破壊応力 (kg/cm^2)	弾性係数 (kg/cm^2)
$\phi 200$ $\ell=3.0cm$	628.8	0.214×10^6
	606.9	0.228×10^6
$\phi 300$ $\ell=3.0cm$	655.6	0.280×10^6
	575.7	0.285×10^6

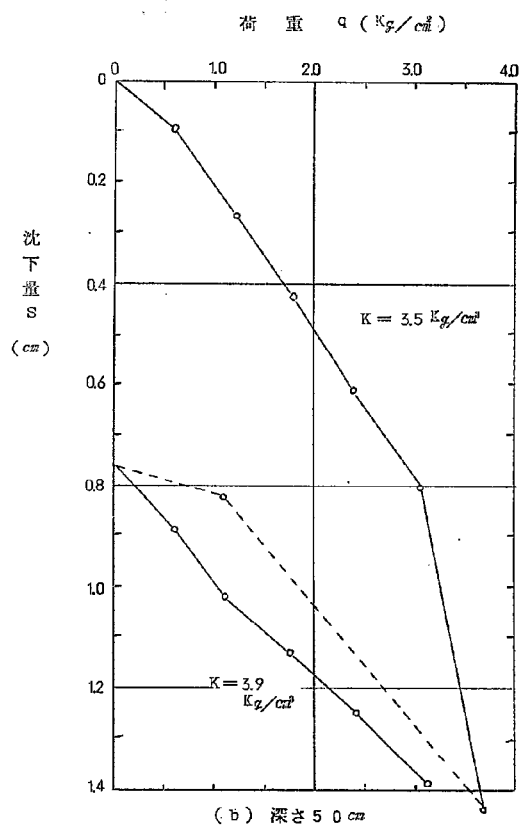
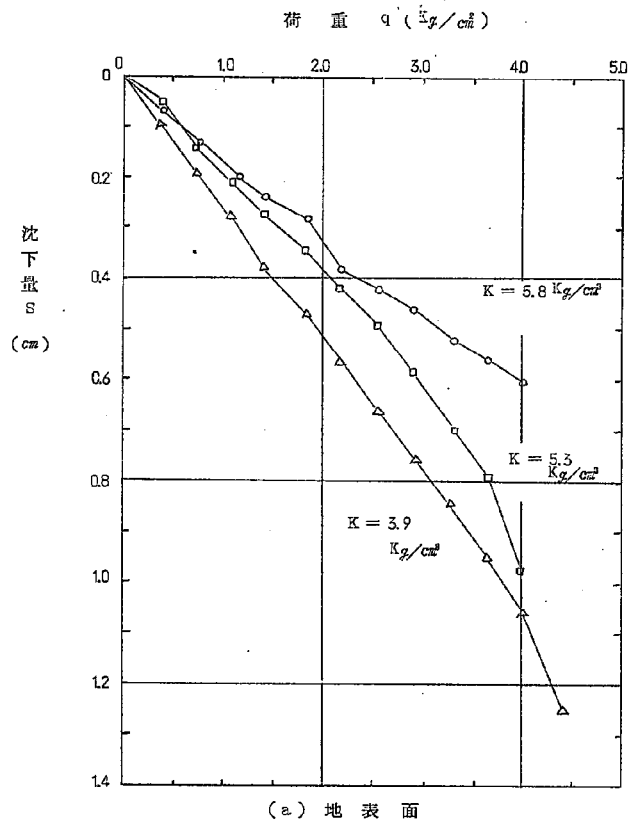


図-4 平板載荷試験結果 (載荷板直径 30 cm)

4. 実験の結果

4.1 埋めもどし土による荷重と反力および曲げ応力

土かぶり 120 cm の実験については土かぶりが 30 cm 増すごとに、埋めもどし土によって管頂にかかる荷重と管底各部分の曲げ応力および基礎の反力を測定した。

図-5 は土かぶり厚と管頂に作用する荷重の実測値を書いたもので、図中に入れた実線は、垂直荷重 p が土かぶりを H 土の単位体積重量を γ としたとき $p = \gamma H$ であらわされると考えたときの計算値で $\gamma = 1.5 \text{ t/m}^3$ としている。また点線は Marston の式（水道関係で用いているといわれている Marston の式ではなく、後述するように Janssen の式といわれているものと同じの式である）による計算値で、絞密には溝幅により変わるが $\phi 100$ の場合と $\phi 300$ の場合でもあまり差がないので平均的な値を示した。

図-6 に土かぶり厚ごとの曲げ応力と反力の長さ方向の分布の状態を示した。なお管の両端において反力は 0 になるかどうか測定されていないのでわからないが一応 0 と考えて書いておいた。

4.2 自動車荷重による管頂の荷重

前輪および後輪による管頂の土圧計の読みを管の支持条件ごとにまとめると、前輪については図-7、後輪については図-8 のようになる。図中に示した点線は Fröhlich による集中荷重直下の応力を求める式

$$p = \frac{\nu P}{2 \pi z^2} \quad (2)$$

による計算値で $\nu = 3, 4, 5, 6$ の場合について計算している。なお荷重 P の値は図-3 より前輪に対しては $P_1 = 1825 \text{ kg}$ 、後輪については $P_2 = 8600 \text{ kg}$ とした。

(2)において $\nu = 3$ とした特別の場合が Boussinesq の式である。

図-7、図-8 には横断走行と縦断走行を区別して示したが、両者には特に目立つちがいは認められないので平均値として示したものは、横断走行の場合と縦断走行の場合のすべての平均である。ただし極端に大きな値は除外している。管頂に作用する輪荷重の平均値をまとめると表-5 のようになる。

4.3 曲げ応力および反力の各点における最大値

前輪および後輪の荷重により各測定点に生ずる曲げ応力の最大値を縦横断および前後進別にまとめると表-6のようになる。なお最大値としては絶対値の大きい方の応力をとっており-(マイナス)記号は圧縮応力を示す。同様に反力の最大値は表-7のとうりである。

4.4 横断走行時の曲げ応力と反力

自動車は管軸を横断するときに生ずる応力と反力の最大値は管の真上に車輪がきたときの応力であるから、表-6および7の横断走行の欄からこれを知ることができる。すなわち第2回目の前進走行のときのデータにより、横断走行時の曲げ応力と反力の分布を図示すると前輪荷重については図-9 後輪荷重については図-10のようになった。常に片側車輪が管中央を通るように走行しており、車輪間隔が約1.8mであるから全長3mの $\phi 100$ の場合には、もう一方の車輪は管上にはないことになる。

4.5 縦断走行時の曲げ応力と反力

管の真上を管軸に沿って自動車が行走する場合には、ある点の反力および曲げ応力は車輪がその点の真上にきたときに最大となると考えられる。したがって図-2のB点の応力が最大になったときの他の点の応力をオシロペーパー上で読みとれば、車輪がBの点にきたときのA, C, D, E, F 各点の応力を知ることができる。このようにして後輪の乗っている位置がかわっていくときの各測定点の曲げ応力と反力の変化をまとめたものが表-8で、このうち前進走行の場合を図示したのが図-11である。

前輪と後輪の間隔は5.1mであるから最も長い $\phi 300$ ($l=5m$) の場合でも管上に前後輪が同時にのことはないが、実際には荷重は土中において広がりをもって分布するので、後輪が一端の上にあるときには他端は前輪の影響を受けていると考えられる。

なお、 $\phi 200$, $\phi 300$ についてはすべての実験についてはこのような整理をしていない。

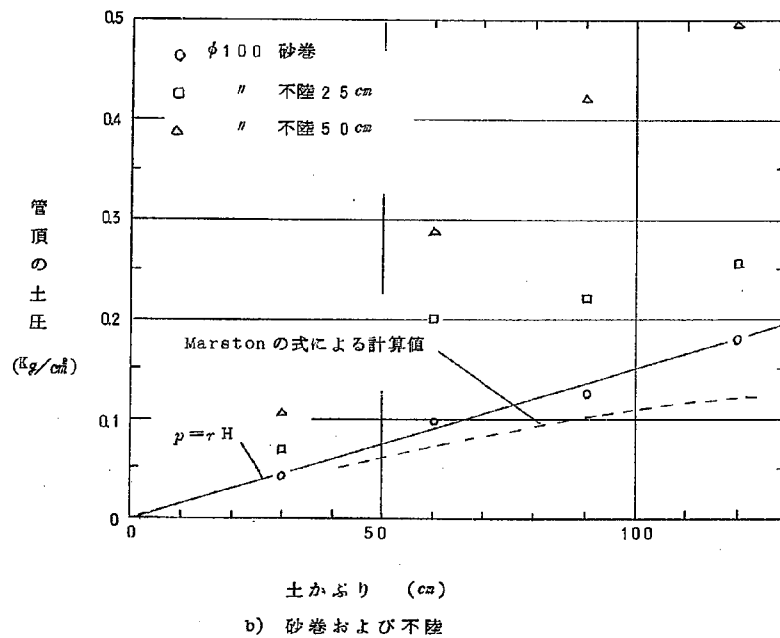
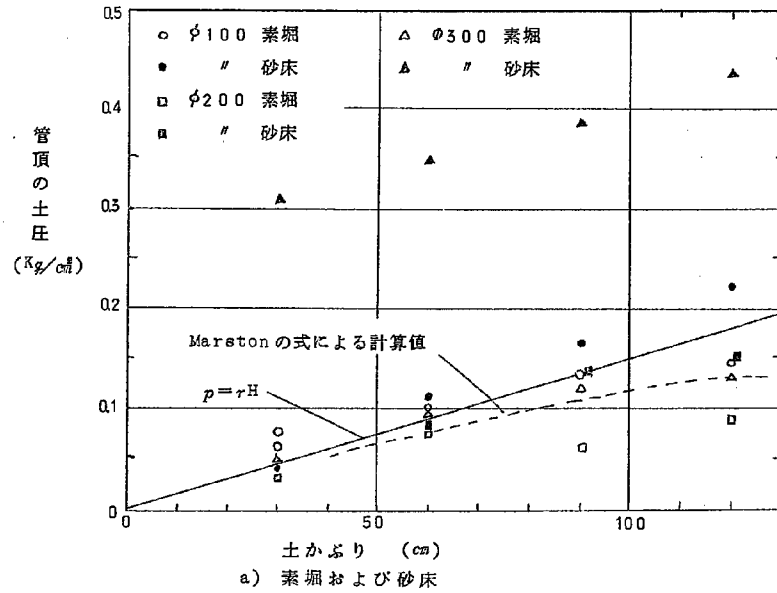


図-5 埋めもどし土による鉛直荷重

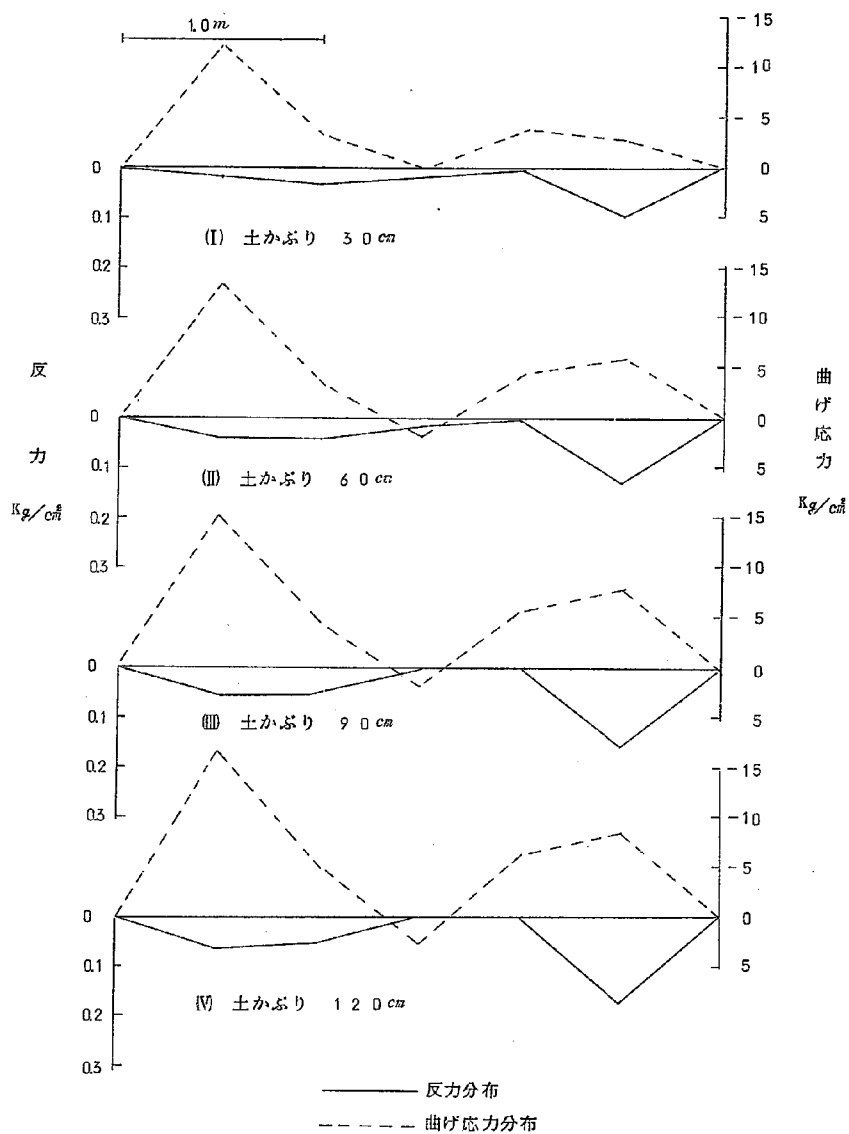


図 - 6 (I) 土かぶりによる反力分布と曲げ応力分布
($\phi 100$, 120 cm 素堀 No. 6)

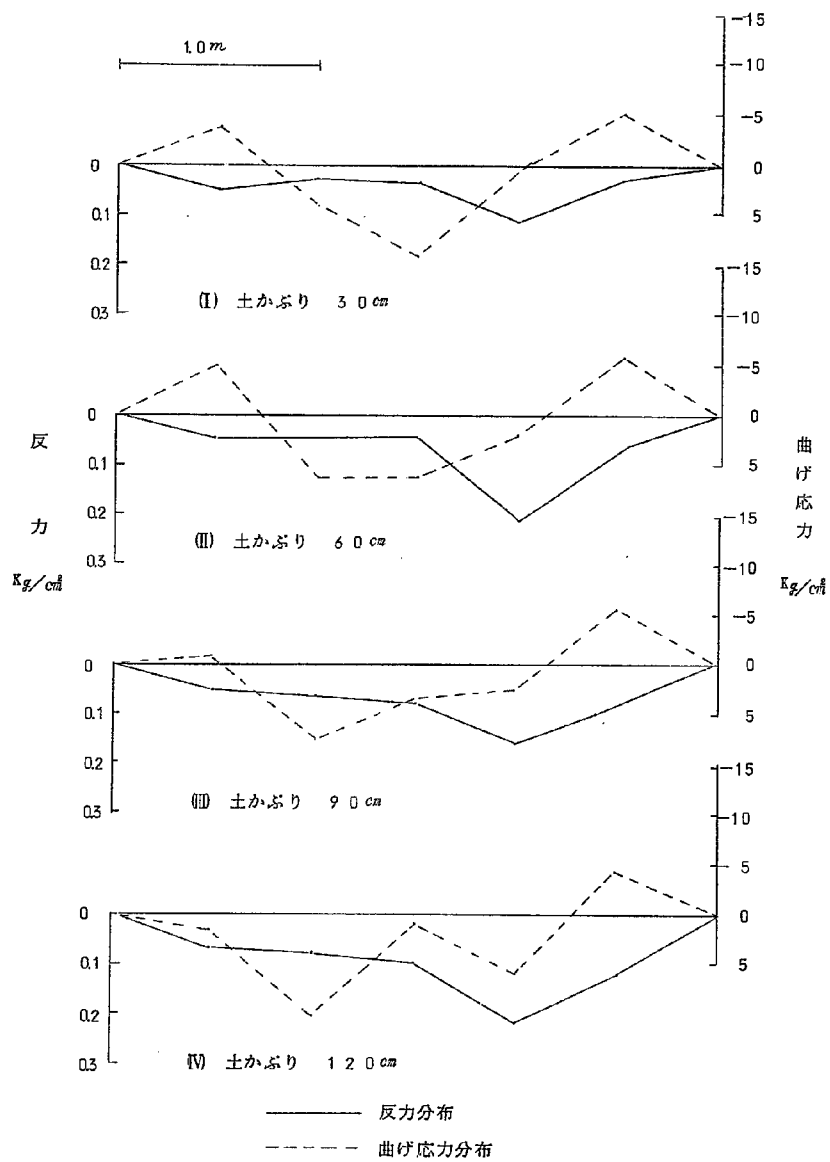


図 - 6 (2) 土かぶりによる反力分布と曲げ応力分布
($\phi 100$ 120cm 砂床 №7)

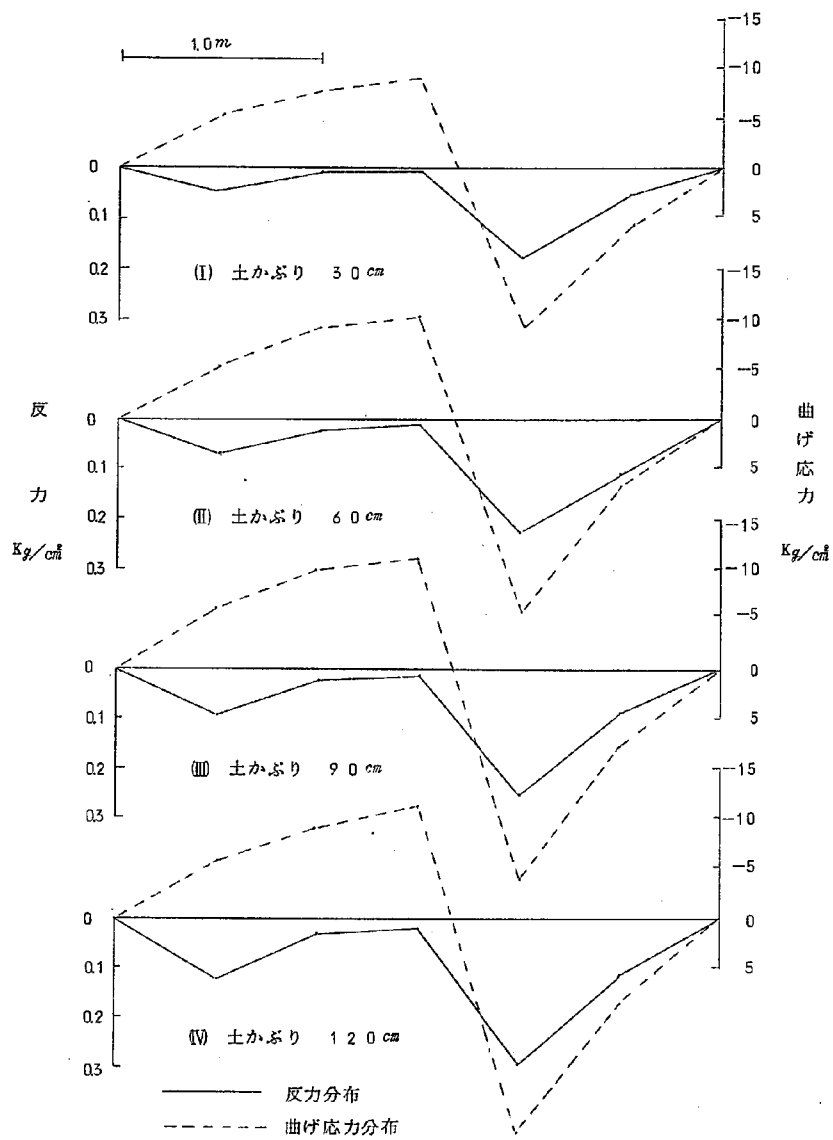


図 - 6 (3) 土かぶりによる反力分布と曲げ応力分布

($\phi 100$ 120 cm 砂巻 No 8)

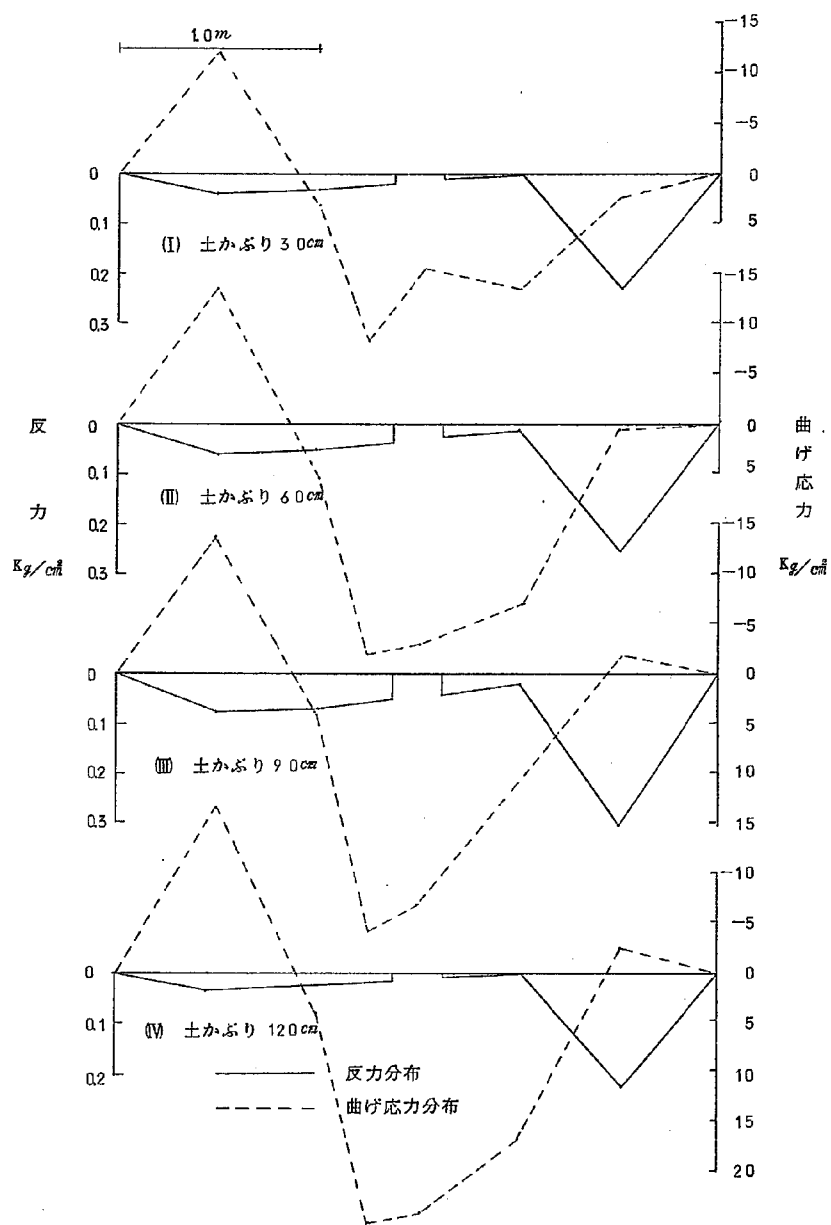


図 - 6 (4) 土かぶりによる反力分布と曲げ応力分布
($\phi 100$ 120cm 不陸 2.5cm No. 9)

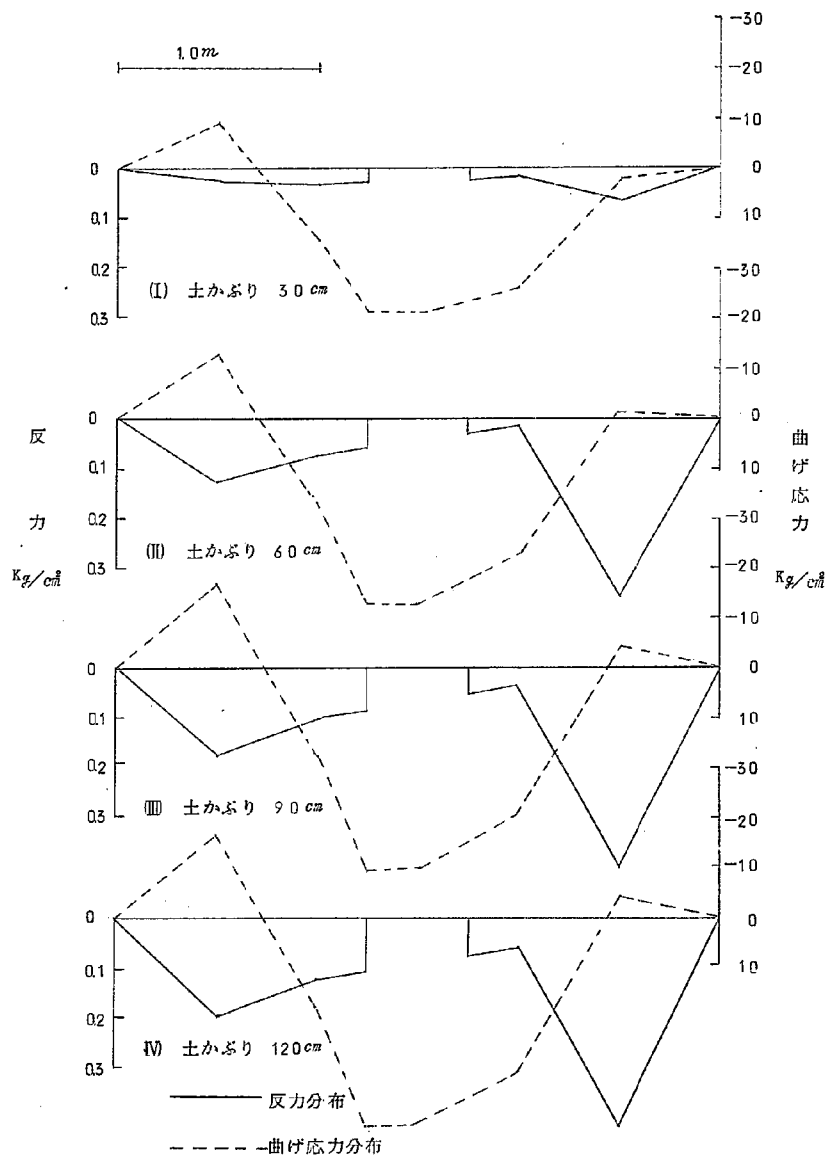


図 - 6 (5) 土かぶりによる反力分布と曲げ応力分布
($\phi 100$ 120 cm 不陸 50 cm No 10)

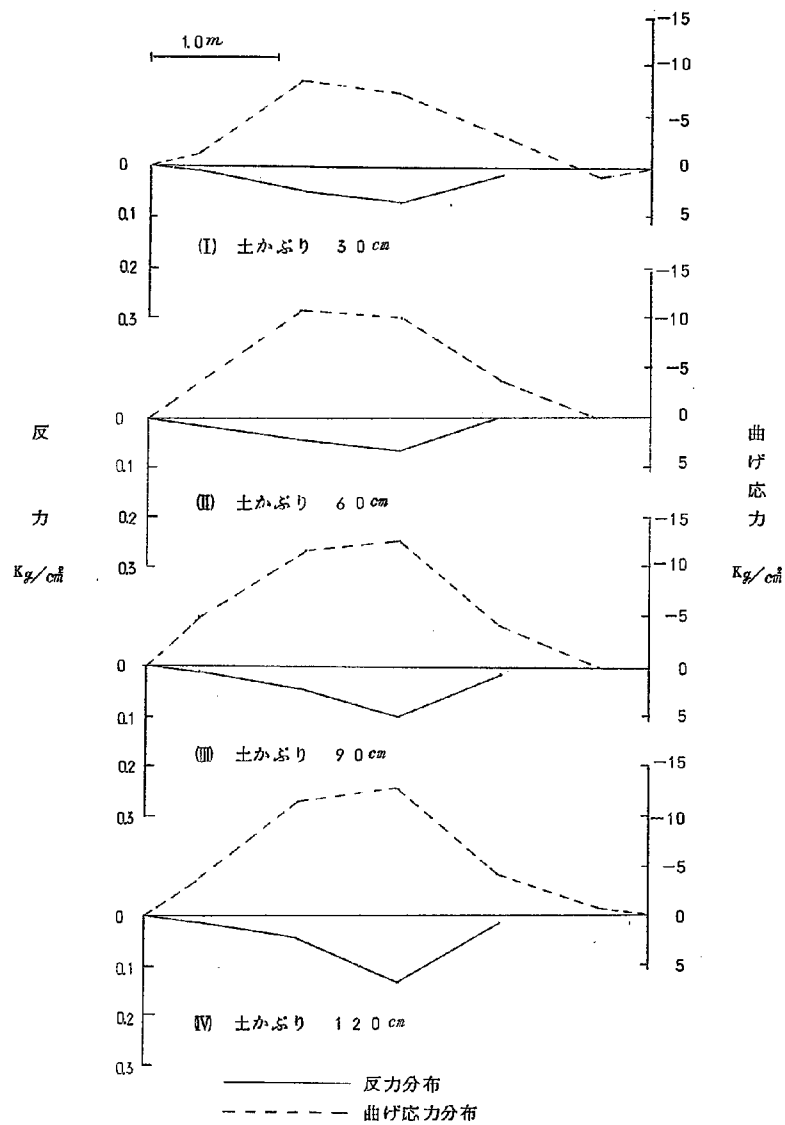


図 - 6 (6) 土かぶりによる反力分布と曲げ応力分布
($\phi 200$ 120 cm 素堀 No 15)

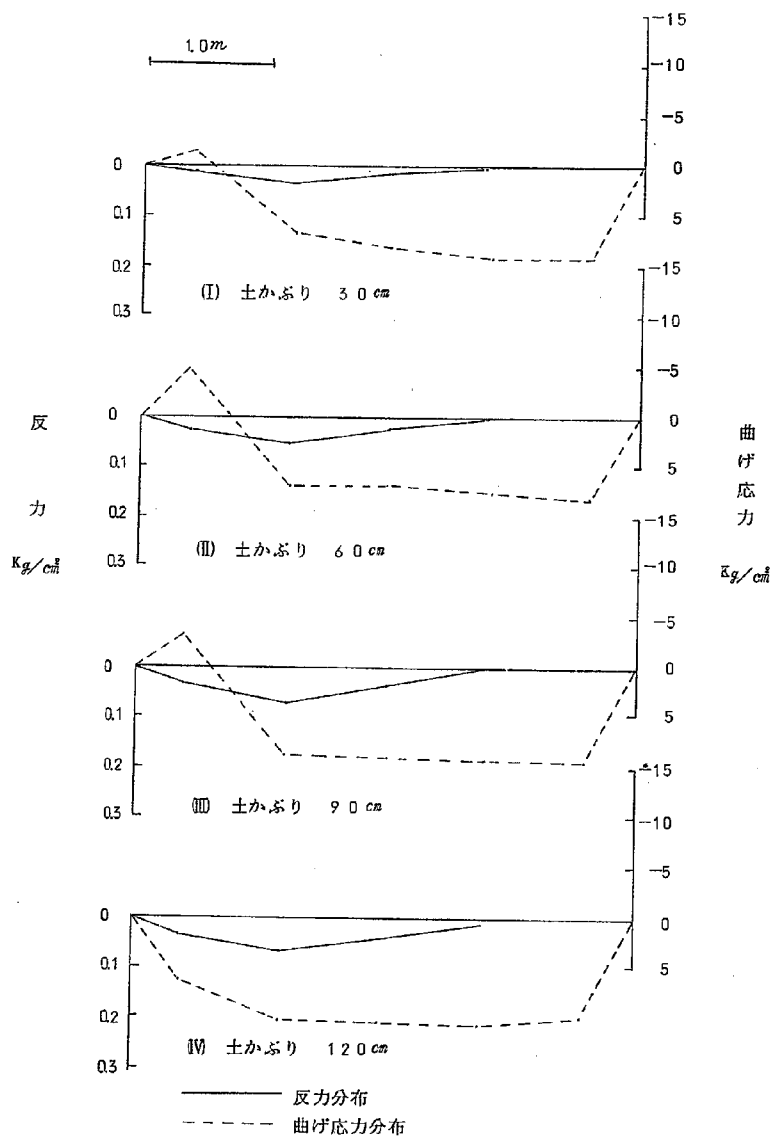


図 - 6 (7) 土かぶりによる反力分布と曲げ応力分布
($\phi 200$ 120 cm 砂床 No.16)

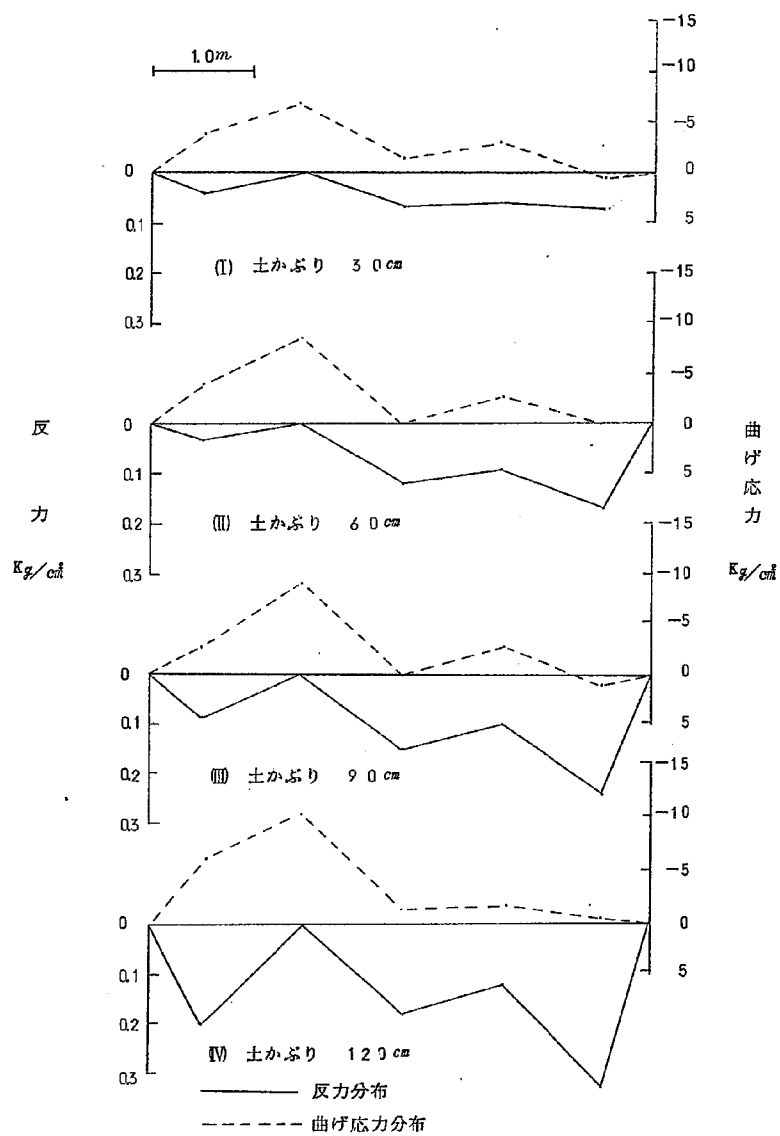


図 - 6 (8) 土かぶりによる反力分布と曲げ応力分布
($\phi 300$ 120 cm 素組 No 21)

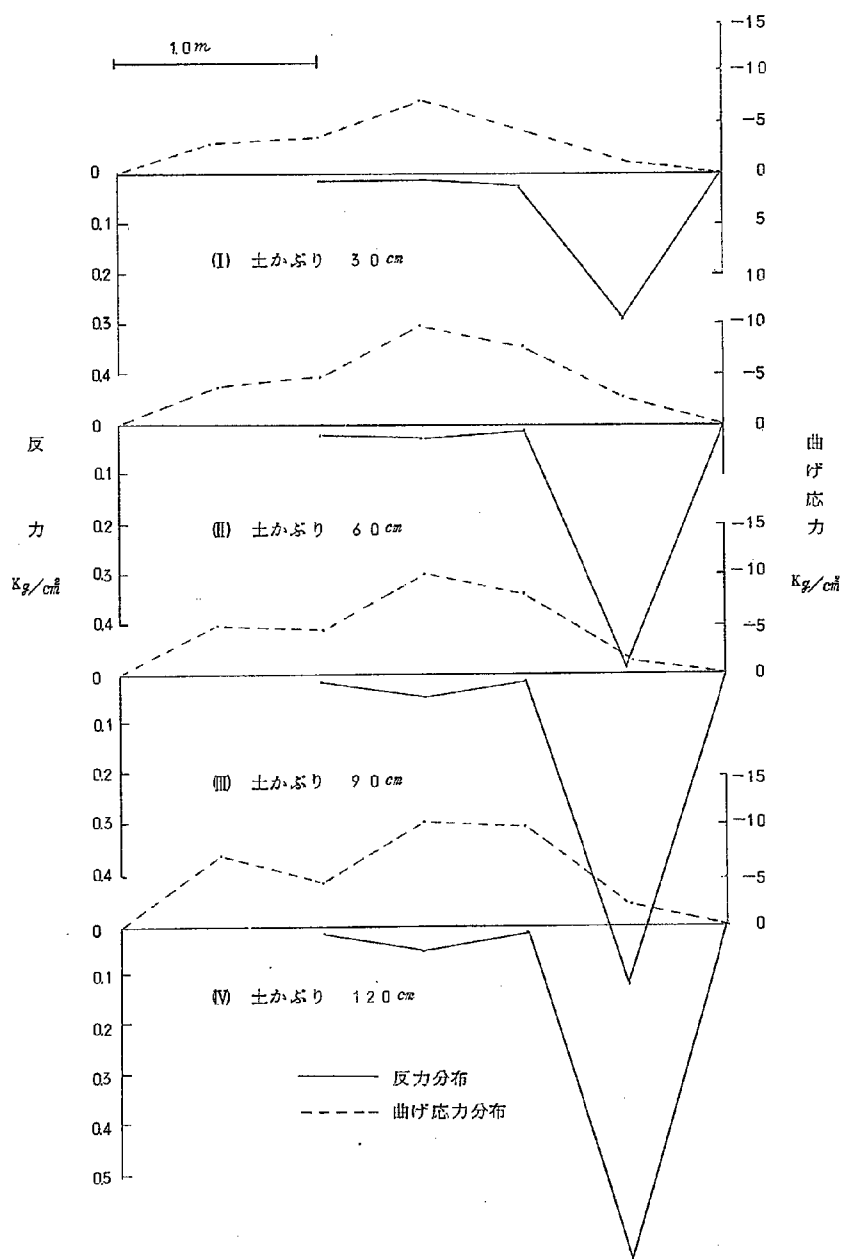


図-6 (9) 土かぶりによる反力分布と曲げ応力分布
($\phi 300$ 120 cm 砂床 No 22)

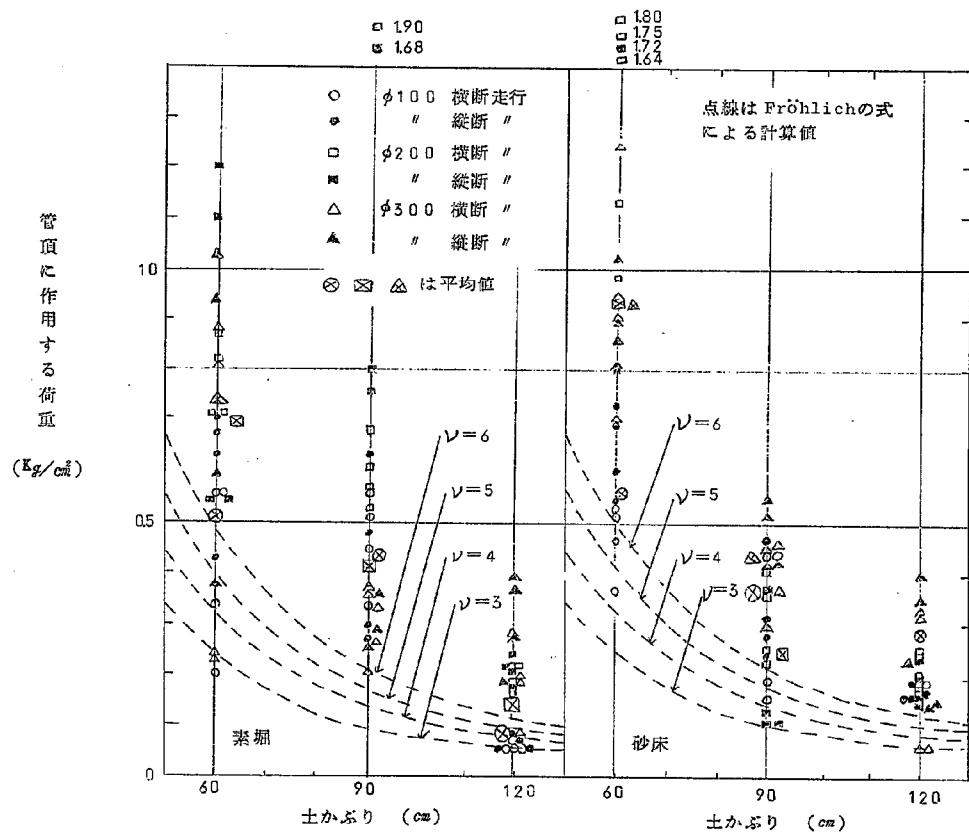


図-7 (1) 管頂に作用する前輪荷重

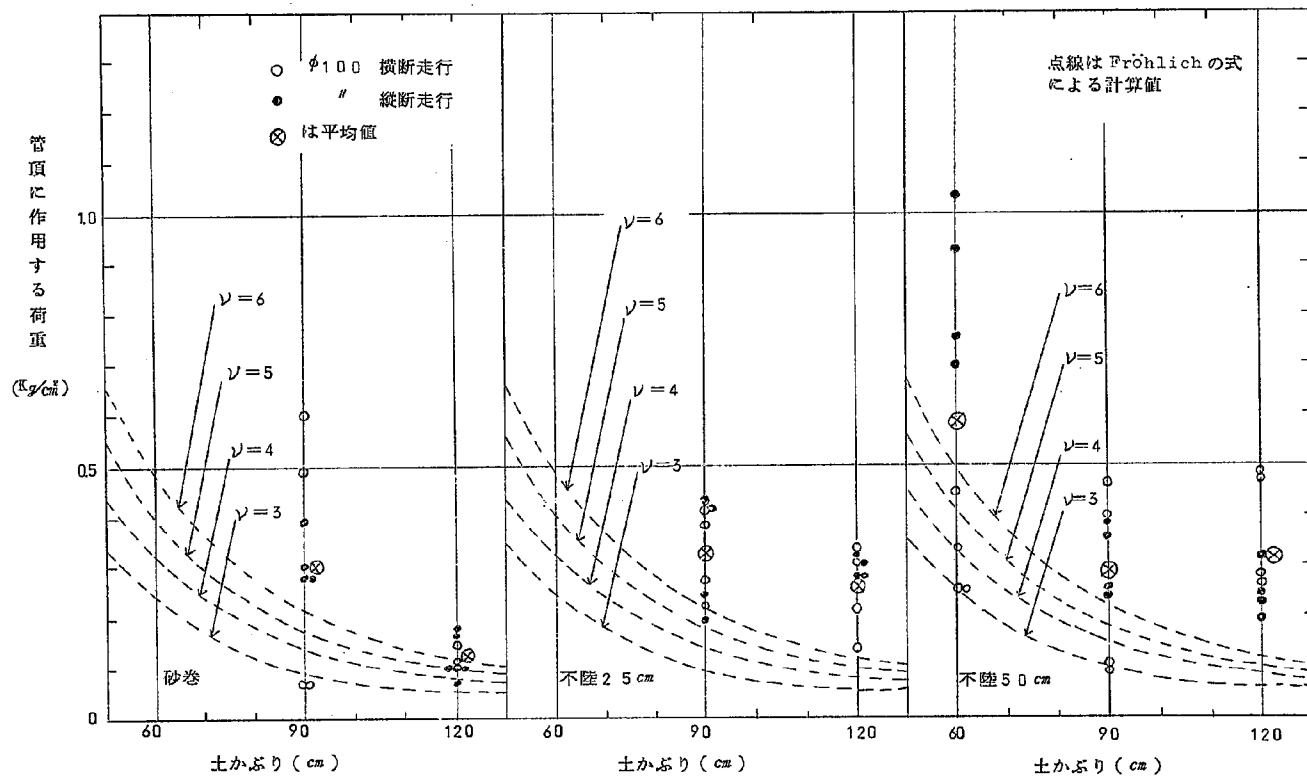


図-7 (2) 管頂に作用する前輪荷重

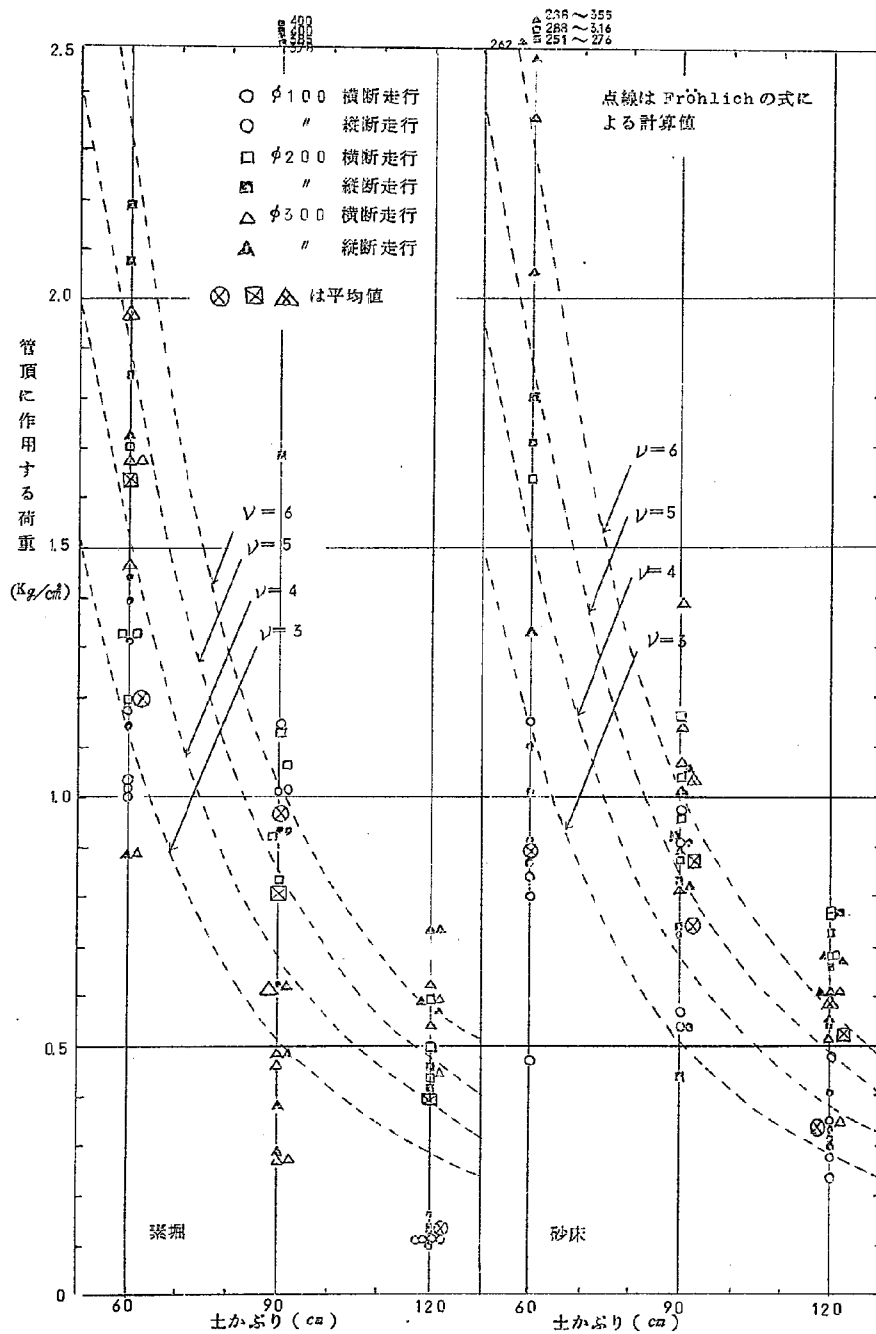


図 - 8 (I) 管頂に作用する後輪荷重

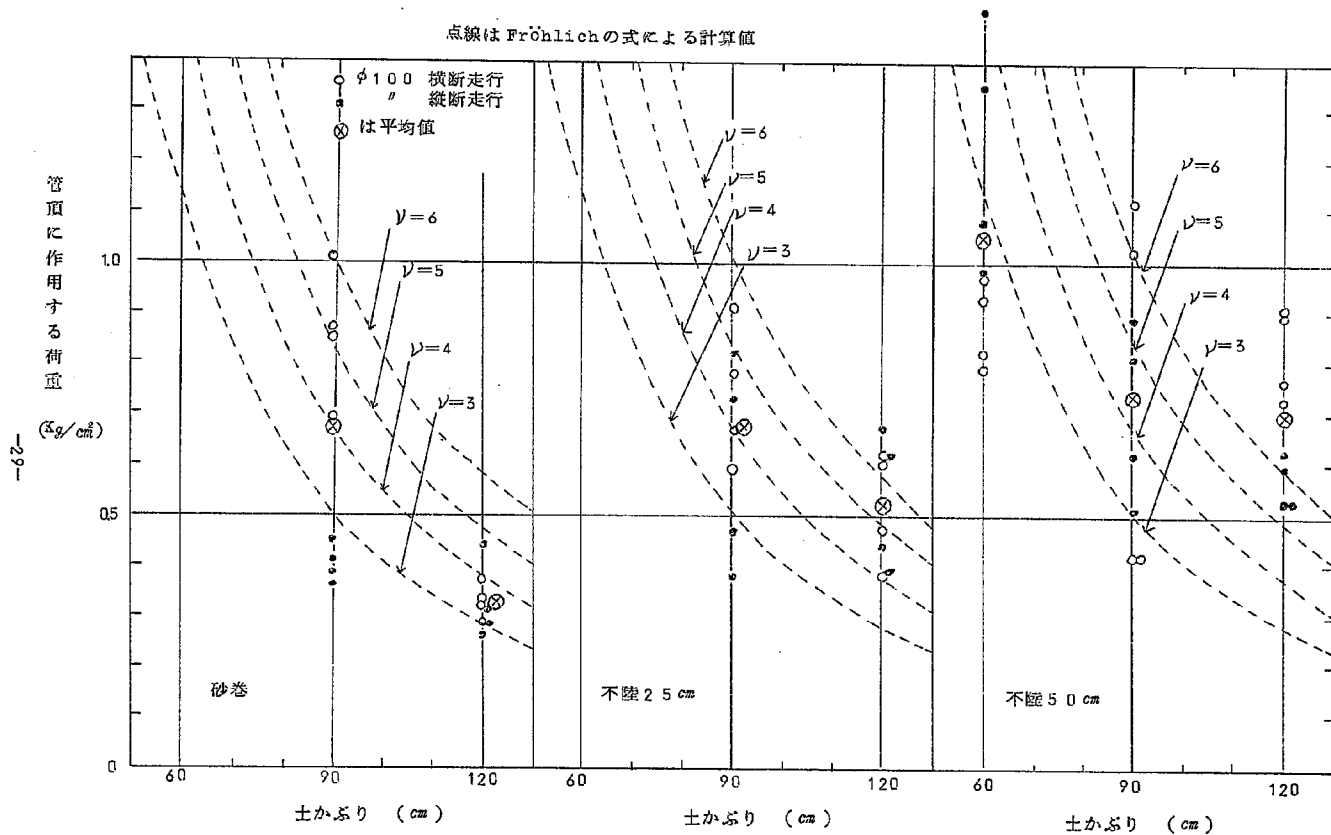


図-8 (2) 管頂に作用する後輪荷重

表-5 管頂に作用する輪荷重の平均値

管 種	土 か ぶり		前 輪	後 輪
Φ100	素 堀	60	0.51	1.19
		90	0.43	0.96
		120	0.07	0.11
	砂 床	60	0.56	0.89
		90	0.38	0.74
		120	0.18	0.34
	砂 巻	60	0.58	1.05
		90	0.30	0.67
		120	0.12	0.32
	不 陸 25 cm	90	0.32	0.67
		120	0.24	0.52
	不 陸 50 cm	90	0.28	0.73
120		0.31	0.70	
Φ200	素 堀	60	0.70	1.63
		90	0.41	1.80
		120	0.14	0.39
	砂 床	60	0.93	2.71
		90	0.26	0.87
		120	0.20	0.70
Φ300	素 堀	60	0.73	1.96
		90	0.22	0.61
		120	0.21	0.51
	砂 床	60	0.92	2.60
		90	0.44	1.40
		120	0.23	0.57

表 - 6 (1) 各測定点における曲げ応力の最大値

(単位 ㎏)

		横 断 走 行				縦 断 走 行					
		前 進 走 行		後 進 走 行		前 進 走 行		後 進 走 行			
		前輪による力	後輪による力	前輪による力	後輪による力	前輪による力	後輪による力	前輪による力	後輪による力		
素 堀	φ 100	A	- 21.4 - 23.9	- 45.2 - 61.6	- 5.7 - 10.9	- 30.8 - 31.1	- 19.7 - 15.7	- 28.4 - 35.0	15.3 17.5	43.7 29.3	
		B	5.7 - 10.1	16.5 - 22.2	23.4 15.2	57.5 55.8	- 13.0 13.0	- 26.0 - 30.3	26.0 30.3	48.5 32.1	
	60cm	C	34.3 35.4	69.7 65.8	20.0 34.1	92.8 92.3	33.8 33.8	66.8 63.4	35.9 33.8	61.3 55.0	
		D	4.0 10.9	12.5 27.4	5.0 4.7	12.5 8.5	44.5 36.3	65.5 61.4	18.1 21.1	61.3 43.6	
	Na 25	E	- 10.9 - 8.6	- 20.0 - 14.4	- 5.7 - 9.2	- 28.2 - 28.7	24.9 21.7	- 44.6 - 40.0	- 19.7 13.1	- 49.4 - 21.3	
		F	- 31.7 - 32.8	- 45.6 - 60.8	- 25.0 - 29.4	- 86.3 - 84.8	- 27.0 - 28.4	- 54.2 - 53.8	- 32.8 - 29.3	- 59.0 - 50.2	
	砂 床	φ 100	A	- 19.3 - 16.9	- 43.8 - 44.2	- 24.6 - 31.6	- 64.9 - 68.5	16.6 15.9	61.5 59.0	6.9 11.4	18.9 19.7
			B	- 7.9 - 10.7	- 21.0 - 43.6	- 11.4 - 37.3	- 29.8 - 5.8	27.3 26.7	57.6 72.5	15.2 12.6	32.8 34.1
		60cm	C	32.6 25.3	44.2 33.2	38.9 27.7	75.7 45.9	24.6 25.6	27.8 33.1	27.8 29.9	35.9 47.0
			D	15.9 25.3	33.2 78.0	19.1 35.1	65.8 88.2	15.6 21.0	65.6 58.5	36.4 42.3	60.3 52.3
		Na 24	E	11.0 - 6.9	13.4 10.8	9.8 6.9	15.8 7.9	11.7 15.6	6.4 62.1	21.5 21.5	42.9 40.0
			F	- 27.9 - 22.0	- 40.4 - 27.4	- 30.8 - 25.2	- 64.5 - 40.7	- 22.2 - 21.2	- 21.2 - 22.3	- 20.7 - 23.4	- 29.0 - 37.8
不 陸 50cm		φ 100	A	- 14.1 - 13.3	- 19.1 - 19.9	- 4.2 - 7.5	- 16.6 - 15.7		5.8 13.7		12.9 24.1
			B	- 19.8 - 19.8	- 42.5 - 46.8	- 24.2 - 33.2	- 83.0 - 128.0				36.8 36.8
		60cm	C	45.8 45.2	81.8 87.2	53.2 48.4	124.0 132.5				
			D	- 15.6 - 16.6	- 31.2 - 33.2	- 15.6 - 19.2	- 49.4 - 52.3				16.6 19.1
		Na 25	F	- 40.6 - 44.7	- 75.8 - 85.3	- 36.6 - 47.5	- 126.0 - 127.4				- 59.4 - 73.0
			G	46.3 45.7	90.0 95.0	44.2 57.2	144.0 155.5				59.3 54.6
	素 堀	φ 100	A	- 21.9 - 19.3	- 33.8 - 35.6	- 16.7 - 16.5	- 38.4 - 37.4	- 14.2 - 17.7	- 18.6 - 28.8	- 9.2 - 16.0	- 33.7 - 32.9
			B	- 6.7 - 7.8	8.5 8.1	3.6 3.3	10.6 12.0	12.7 11.5	12.7 18.7	16.1 22.9	28.9 25.4
		90cm	C	22.7 22.5	41.5 43.4	12.2 15.7	40.4 43.8	13.7 20.5	28.9 38.0	12.9 20.5	33.4 37.2
			D	8.5 8.5	21.3 22.8	5.0 4.3	17.2 16.2	22.4 32.1	44.8 56.4	7.2 18.8	17.3 21.7
		Na 1	E	- 8.4 - 7.9	14.9 - 15.6	- 5.3 - 6.4	- 15.5 - 16.4	13.5 12.0	- 39.0 - 46.5	- 12.7 - 23.5	- 48.8 - 50.3
			F	- 18.1 - 18.1	- 34.1 - 34.8	- 10.7 - 13.6	- 34.5 - 38.5	- 13.0 - 17.6	- 21.4 - 30.6	- 9.2 - 18.3	- 26.8 - 32.5

表 - 6 (2)

各測定点における曲げ応力の最大値

(単位 ㎏)

		横 断 走 行				縦 断 走 行			
		前 進 走 行		後 進 走 行		前 進 走 行		後 進 走 行	
		前輪による 応	後輪による 力	前輪による 応	後輪による 力	前輪による 応	後輪による 力	前輪による 応	後輪による 力
砂 床 No 2	Φ100	- 7.8	- 11.3	- 2.8	- 5.7			15.4	30.7
		- 5.6	- 12.0	- 21.8	- 5.4	13.0	29.5	17.0	37.1
	90°	2.5	20.1	0	13.2	13.2	23.7	11.5	20.4
		4.1	14.0	4.1	9.3	11.4	15.4	19.2	24.9
	C	18.4	49.1	4.8	22.9	- 12.8	- 34.0	12.2	22.2
		17.9	40.0	7.0	19.9	10.9	23.4	16.0	31.0
	D	3.6	14.3	2.3	4.6	20.5	6.3	14.4	22.2
		5.1	14.2	0	6.8	15.3	45.3	13.4	26.3
	E	- 4.5	- 10.3	- 3.2	- 7.1	26.5	71.8	11.2	22.7
		- 2.8	- 5.7	- 1.3	- 3.8	18.6	44.8	12.5	21.0
	F	- 14.1	- 41.1	- 5.7	- 19.2			11.2	14.4
		- 14.1	- 35.4	- 3.8	- 15.7	7.6	17.7	- 12.9	- 23.6
砂 巻 No 3	Φ100	- 10.8	- 17.1	0	- 15.2	10.0	17.6	10.4	11.3
		- 12.2	- 24.4	0	- 17.0	7.6	15.7	8.0	10.7
	B	5.8	17.2	4.7	10.8	6.8	15.8	16.8	11.6
		3.3	- 24.4	- 3.3	- 4.0	8.9	- 17.3	11.9	12.1
	C	23.5	47.6	5.1	36.1	6.1	17.5	16.5	17.0
		16.5	32.4	5.4	26.0	10.3	14.2	13.9	21.2
	D	0	6.3	0	2.8	16.2	26.8	12.8	18.8
		4.4	17.0	2.9	14.4	13.3	25.1	10.9	16.3
	E	- 2.1	- 11.4	0	8.3	15.4	3.4	10.7	15.0
		- 4.6	- 4.1	0	3.2	14.9	31.6	11.3	12.4
	F	- 19.2	- 41.9	- 4.1	- 28.5	9.0	24.6	- 13.3	- 13.4
		- 15.0	- 26.4	0	- 19.2	- 8.7	15.5	- 10.8	- 14.9
不 陸 25° No 4	Φ100	- 26.7	- 35.5	- 17.0	- 45.1	- 17.9	- 27.6	- 15.4	- 23.7
		- 28.7	- 46.5	- 20.9	- 48.2	- 17.9	- 28.5	- 17.1	- 26.6
	B	- 9.6	- 14.5	- 2.4	- 9.5	- 9.9	- 18.0	- 14.9	- 18.6
		- 13.9	- 23.1	- 6.6	- 15.8	- 10.9	- 19.5	- 17.1	- 19.4
	C	27.4	54.6	17.8	56.1	27.4	54.6	17.8	56.1
		27.2	44.1	17.9	46.0	27.2	44.1	17.9	46.0
	D	4.6	37.4	2.5	10.0	4.6	37.4	2.5	10.0
		6.6	17.5	3.7	3.5	6.6	17.5	3.7	3.5
	E	- 25.8	- 52.8	- 15.9	- 52.5	- 25.8	- 52.8	- 15.9	- 52.5
		- 25.1	- 41.2	- 19.2	- 43.9	- 25.1	- 41.2	- 19.2	- 43.9
	G	24.2	28.7	18.5	52.8	10.8	22.8	28.3	51.9
		21.8	36.3	15.8	41.0	13.1	14.4	27.6	57.0
不 陸 50° No 5	Φ100	- 19.8	- 42.8	- 8.5	- 24.0	- 15.2	- 26.5	- 14.4	- 27.6
		- 21.7	- 45.8	- 9.6	- 27.1	- 13.5	- 15.8	- 12.1	- 24.8
	B	- 2.9	5.4	- 1.3	4.0	- 9.2	- 21.2	12.7	24.4
		- 4.5	- 9.3	- 2.4	2.7	- 8.3	- 19.9	- 13.2	28.1
	C	34.5	84.5	10.1	35.0	18.6	46.2	24.8	61.4
		36.4	82.2	14.0	42.1	18.3	44.7	24.4	61.1
	D	2.8	13.7	2.3	9.3	12.6	37.7	10.9	23.1
		3.8	17.1	2.3	9.3	12.7	34.8	13.2	24.4
	E	- 32.4	- 81.9	- 9.8	- 33.1	- 17.0	- 40.3	- 25.4	- 62.7
		- 33.2	- 78.0	- 11.4	- 39.1	- 15.8	- 37.0	- 21.0	- 58.5
	G	21.7	54.3	7.4	24.3	9.0	25.7	23.2	52.8
		22.0	47.7	8.9	28.1	8.6	25.3	23.0	51.2

表-6(3) 各測定点における曲げ応力の最大値

(単位 ㎏)

		横 断 走 行				縦 断 走 行			
		前 進 走 行		後 進 走 行		前 進 走 行		後 進 走 行	
		前輪による 応力	後輪による 応力	前輪による 応力	後輪による 応力	前輪による 応力	後輪による 応力	前輪による 応力	後輪による 応力
素 掘 No 6	φ100	- 2.8	- 6.2	- 3.5	- 6.9	3.0	9.7	- 3.9	9.7
		- 2.8	- 7.0	- 3.5	- 8.5	2.8	7.6	- 2.8	10.0
	B	1.5	8.1	1.5	6.2	7.3	18.3	5.6	14.1
		2.2	8.7	2.9	8.5	7.3	11.7	5.9	16.7
	120cm C	6.4	15.3	7.7	16.0	7.5	17.6	9.7	19.9
		11.2	16.0	7.0	16.4	6.6	13.0	9.8	23.2
	D	1.8	7.2	3.6	13.4	6.7	18.4	4.6	10.1
		2.0	6.2	2.4	8.5	5.0	13.3	5.9	12.9
	E	- 1.5	- 2.2	- 0.7	- 1.7	2.8	12.5	2.9	5.9
		- 1.5	- 3.0	- 0.7	- 1.4	2.9	6.6	1.5	- 5.9
	F	- 4.3	- 8.3	- 4.6	- 8.8	- 5.8	- 10.1	- 5.7	- 13.3
		6.5	- 10.1	- 5.4	- 8.5	- 5.4	- 7.2	- 6.5	- 15.2
砂 床 No 7	φ100	- 1.7	- 3.5	- 3.2	- 7.2	5.6	10.7	5.6	10.6
		- 1.6	- 2.7	- 4.0	- 6.7			5.5	11.5
	B	2.5	9.9	2.7	6.0	6.5	10.1	7.5	15.3
		3.8	16.8	2.8	8.0			7.8	14.8
	120cm C	7.0	15.0	9.2	15.2	6.5	10.5	8.4	18.3
		7.6	16.8	9.8	21.2			7.3	13.4
	E	- 2.9	- 6.5	- 3.2	- 5.0	- 1.7	8.2	4.6	8.3
		- 3.2	- 7.3	- 3.7	- 9.5			4.6	6.7
	F	- 4.4	- 7.5	- 5.7	- 9.1	- 4.3	7.1	- 4.3	- 10.1
		- 4.2	- 7.0	- 6.8	- 14.4			- 4.0	- 7.4
	H	0.6	1.5	- 2.0	- 3.1	- 2.8	- 8.5	- 4.1	- 8.5
		0.8	2.8	- 3.5	- 4.0			- 3.9	- 6.6
砂 巻 No 8	φ100	0	- 4.7	- 1.8	- 4.8	3.7	13.1	5.2	10.5
		- 1.4	- 2.6	- 1.8	- 4.7	4.4	12.8	5.1	11.2
	B	3.0	4.1	3.2	5.5	3.8	11.8	5.1	9.1
		3.0	5.1	3.0	7.0	3.8	11.4	5.3	12.4
	120cm C	5.4	15.5	7.1	17.4	4.1	10.7	8.8	12.9
		9.0	13.5	7.1	18.7	3.9	10.7	8.1	16.8
	D	2.7	11.3	5.1	14.1	6.4	18.4	8.3	12.0
		4.8	9.3	4.7	13.4	6.1	18.4	8.0	14.0
	E	0	2.7	1.8	4.2	4.5	14.5	4.8	7.7
		- 1.8	- 3.0	- 1.8	4.6	3.3	15.1	4.5	9.5
	F	- 2.0	- 10.6	- 4.0	- 9.6	- 3.1	6.6	- 4.5	- 6.0
		- 4.0	- 7.3	- 4.0	- 11.2	- 3.1	- 6.2	- 4.7	- 9.5
不 陸 25cm No 9	φ100	- 1.9	- 4.4	- 2.5	- 7.5	- 2.8	- 10.4	5.0	8.8
		- 0.9	- 4.9	- 3.7	- 6.2	5.0	- 10.1	5.0	8.8
	B	2.4	7.8	- 1.6	- 6.5	- 4.2	- 12.7	9.0	17.0
		2.9	5.5	2.4	5.9	5.1	- 8.8	6.1	13.6
	120cm C	7.9	22.9	13.4	29.9	13.4	34.1	13.0	25.8
		5.5	23.6	15.0	34.7	11.9	38.0	10.2	24.3
	D	1.2	4.6	4.8	12.1	4.4	21.3	7.3	13.8
		1.8	4.8	3.0	5.8	4.7	22.4	7.7	14.6
	F	- 5.4	- 18.2	- 10.8	- 23.5	- 11.5	- 28.4	- 11.5	- 23.8
		- 3.9	- 20.4	- 13.2	- 28.2	- 10.1	- 31.0	- 8.1	- 20.0
	G	8.0	20.7	11.9	23.0	- 11.6	29.1	13.6	25.9
		5.4	22.0	13.7	43.3	10.0	31.2	8.7	22.7

表 - 6 (4) 各測定点における曲げ応力の最大値

(単位 ㎏)

		横 断 走 行				縦 断 走 行			
		前 進 走 行		後 進 走 行		前 進 走 行		後 進 走 行	
		前輪による 応力	後輪による 応力	前輪による 応力	後輪による 応力	前輪による 応力	後輪による 応力	前輪による 応力	後輪による 応力
不 陸 50cm No 10	A	- 1.9	- 7.4	- 5.4	- 10.1	4.5	7.5	5.0	7.2
		- 3.0	- 7.4	- 5.3	- 10.0	3.0	4.8	4.3	7.2
	B	2.8	6.2	2.3	3.1	7.2	14.5	8.4	13.0
		1.7	6.2	2.7	2.8	3.8	9.5	5.6	12.1
	C	9.4	27.6	15.6	32.0	8.9	26.0	10.5	24.1
		10.8	29.8	15.6	33.2	7.6	22.2	10.9	20.9
	D	1.3	6.6	4.8	8.7	5.5	9.2	6.4	12.9
		1.3	7.9	4.8	9.4	3.9	11.6	10.2	11.9
	F	- 7.9	- 24.5	- 14.2	- 29.5	- 6.2	- 18.9	- 7.3	- 19.0
		- 8.5	- 25.2	- 14.2	- 29.0	- 5.6.7	- 16.0	- 10.1	- 17.5
素 堀 60cm No 11	A	3.5	- 7.0	1.8	- 6.6	8.8	15.6	8.8	18.6
		1.5	- 3.5	0	- 3.5	8.3	13.7	7.8	16.1
	B	- 5.5	- 31.8	- 8.2	- 28.5	11.2	- 34.7	- 19.7	- 33.1
		- 7.7	- 3.8	- 8.8	- 26.9	13.1	- 34.6	- 14.9	- 28.3
	C	9.8	9.8	10.9	16.4	8.7	37.3	13.8	30.5
		12.0	16.0	9.8	16.4	9.4	36.3	18.1	31.9
	D	2.1	- 3.6	- 2.1	- 5.7	14.4	46.5	- 26.0	- 35.6
		21.5	6.7	0	- 6.0	13.7	39.7	- 23.3	- 23.7
	E	0	- 5.6	0	- 3.2	6.6	- 28.2	- 15.0	- 30.1
		- 1.9	- 2.1	0	- 4.9	7.5	- 24.4	- 15.0	- 23.5
砂 床 60cm No 12	A	- 9.0	- 27.0	- 8.7	- 16.9			9.9	3.1
		- 9.0	- 25.0	- 10.0	- 18.0	0.9	0		
	B	- 18.9	- 18.9	- 14.7	- 18.9			11.4	39.0
		- 12.6	- 21.0	- 12.6	- 16.9	14.3	17.1		
	C	13.0	27.8	19.5	46.2	12.7	48.3	25.4	51.8
		11.2	40.8	20.4	50.2	14.4	54.3		
	D	5.0	6.6	3.3	14.9			11.9	27.6
		3.3	8.3	3.3	16.5	20.0	4.3		
	E	- 1.7	- 6.6	- 3.3	- 7.0			4.5	8.2
		- 3.3	- 8.3	- 3.3	- 6.6	4.5	6.7		
素 堀 90cm No 13	A	0	- 3.9	0	- 6.4	4.6	- 7.6	- 3.8	- 8.7
		0	0	- 3.1	- 4.4	4.6	- 6.9	- 4.1	- 8.4
	B	- 8.6	- 22.3	- 10.1	- 24.5	7.4	- 28.3	- 14.4	- 29.4
		- 8.2	- 17.8	- 8.9	- 23.8	8.5	- 25.3	- 14.0	- 31.5
	C	2.7	8.6	7.9	11.9	5.9	31.1	- 10.0	- 19.8
		7.7	- 6.6	7.5	13.2	4.8	25.1	- 9.0	- 19.4
	D	2.4	2.9	3.3	3.3	8.7	39.0	- 6.8	- 14.4
		3.7	3.7	0	5.0	9.4	32.2	- 6.0	- 13.9
	E	0	- 3.7	- 2.6	- 3.9	3.5	- 10.6	- 6.5	- 13.5
		0	0	0	- 3.9	4.5	- 9.4	0	- 14.2
	F	- 7.1	9.5	- 8.8	- 11.5	- 5.6	- 29.1	9.4	18.3
		- 5.8	7.1	- 10.1	- 8.5	- 5.6	- 22.5	9.0	18.0

表 - 6 (5) 各測定点における曲げ応力の最大値

(単位 ㎏)

		横 断 走 行				縦 断 走 行			
		前 進 走 行		後 進 走 行		前 進 走 行		後 進 走 行	
		前輪による力	後輪による力	前輪による力	後輪による力	前輪による力	後輪による力	前輪による力	後輪による力
砂 床 No. 14	A	1.0	7.8	2.0	4.9		5.9	2.9	3.9
		0	6.8	2.0	3.9	4.9	3.9	2.9	2.9
	B	1.9	15.2	3.8	13.3		23.2	3.2	19.2
		0	18.1	3.8	14.6	12.2	14.7	6.1	18.3
	C	8.6	32.4	10.5	37.1	5.6	26.0	11.5	25.2
		8.6	37.1	11.4	37.1	7.4	2.6	12.1	26.9
	D	2.9	5.9	0	9.6		34.6	7.4	15.6
		1.5	7.4	0.8	7.4	11.1	27.5	6.7	13.4
	E	0	5.7	3.3	4.9		11.1	1.8	5.6
		0	5.8	1.6	5.8	4.6	5.6	0	4.6
	F	-8.4	-31.1	-10.8	-31.8	-4.3	-19.5	-9.1	-22.7
		-6.5	-35.1	-10.1	-33.2	-6.1	-22.5	-12.3	-26.6
素 堀 No. 15	A	0	0.7	1.6	3.1	2.5	4.6	3.1	7.2
		-1.0	3.9	1.0	2.2	2.2	4.9	2.4	4.4
	B	1.6	5.4	1.8	4.0	7.6	7.7	4.1	12.5
		2.2	6.9	1.4	3.0	6.6	8.1	5.5	10.3
	C	3.1	7.0	3.6	6.5	3.3	14.4	4.3	9.6
		4.0	5.7	3.1	6.4	3.1	14.0	5.3	7.0
	D	2.4	5.0	0.3	2.0	7.6	21.1	5.0	8.9
		1.5	3.3	1.0	3.7	4.8	22.0	4.4	7.9
	E	-0.6	1.4	0.9	1.6	2.7	4.5	17.2	4.0
		-0.8	2.0	0.9	4.0	2.7	5.3	1.3	2.8
	F	-2.7	5.5	3.3	5.5	3.2	13.5	4.6	9.9
		-3.7	4.3	3.8	5.6	3.4	13.1	4.8	5.7
砂 床 No. 16	A			1.4	5.5	1.5	0	1.7	0.7
		-3.4	7.2	3.4	7.7	1.0	0	1.7	1.0
	B			6.0	15.2	5.8	14.5	6.8	14.8
		3.6	15.6	5.4	13.0	7.0	19.0	6.8	11.6
	C			8.3	24.9	3.8	19.4	5.8	18.5
		5.1	23.6	8.3	23.0	3.8	19.4	5.5	21.3
	D	-1.0	2.1	1.0	1.8	3.0	7.4	1.9	4.4
						3.5	6.9	1.9	4.0
	E	1.9	5.4	3.5	7.4		6.6	4.9	8.1
				1.9	6.2	5.4	7.2	5.8	7.2
	F			8.0	21.8	2.7	15.2	4.9	15.7
		-4.4	19.5	6.5	19.8	3.9	7.7	5.8	13.4
素 堀 No. 17	A	0	2.4	1.4	2.9	9.1	23.8	7.5	10.4
		0.8	1.6	1.4	3.0	8.5	22.8	7.8	9.1
	B	2.0	6.7	6.5	13.3	9.2	27.8	4.3	23.0
		2.6	5.5	6.9	13.3	10.0	34.1	5.9	20.6
	C	-5.1	15.4	11.2	27.5	7.9	27.8	10.8	27.6
		-6.4	18.1	12.1	29.4	7.2	23.8	10.5	28.2
	D	3.7	10.4	15.5	32.2	7.5	30.4	10.1	30.8
		5.2	12.4	15.4	32.0	7.8	27.6	10.7	34.0
	E	-0.6	1.6	0	0.9	3.7	10.0	3.6	9.8
		-0.7	17.5	0.7	1.2	3.8	11.0	3.7	11.6
	F	-3.1	9.6	15.0	31.5	8.3	27.0	11.6	32.2
		-4.4	12.4	14.6	31.5	7.1	28.7	11.9	36.1

表 - 6 (6) 各測定点における曲げ応力の最大値

(単位 ㎏)

		横 断 走 行				縦 断 走 行			
		前 進 走 行		後 進 走 行		前 進 走 行		後 進 走 行	
		前輪による 応力	後輪による 応力	前輪による 応力	後輪による 応力	前輪による 応力	後輪による 応力	前輪による 応力	後輪による 応力
砂 床 No 18	Φ 300	A				18.4 18.5		2.7 3.0	0.9
		B				5.0 2.5	6.1 13.9	6.3 9.3	11.0 8.6
	60cm	C				10.4 6.1	16.6 19.7	7.4 8.0	25.8 20.2
		D				7.8 4.5	23.4 26.7	6.7 6.7	17.8 12.2
	E					3.8 5.7	3.7 6.3	3.8 5.7	3.7 5.7
		F				- 12.5 - 8.3	- 14.5 - 16.6	- 8.3 - 10.4	- 27.0 - 21.8
	F								
素 堀 No 19	Φ 300	A	0 0.8	0.8 2.3	0.8 1.8	- 5.1 - 7.0	- 12.1 - 10.2	- 5.1 - 4.4	- 8.0 - 7.4
		B	1.5 2.9	3.6 8.4	4.6 4.3	9.6 9.6	8.0 8.0	23.9 - 17.7	4.0 4.8
	90cm	C	- 3.4 - 3.7	- 9.6 - 9.6	- 7.4 - 5.9	- 13.2 - 14.1	- 4.7 - 5.5	- 19.1 - 17.3	- 6.2 - 6.2
		D	4.7 5.6	11.2 - 15.3	11.8 10.5	23.5 23.2	6.2 6.4	2.7 27.4	7.7 8.5
	E		- 5.9 - 0.7	- 1.8 - 1.8	- 1.0 - 0.9	- 1.4 - 2.1	- 2.8 - 2.8	- 8.5 - 9.9	- 3.5 - 4.3
		F	- 3.4 - 4.2	- 8.3 - 10.4	- 10.0 - 8.6	- 18.7 - 17.7	- 6.0 - 6.4	- 26.7 - 19.1	- 6.0 - 8.0
	F								
砂 床 No 20	Φ 300	A	- 0.8 - 0.8	- 1.7 - 0.4	- 0.9 - 0.4	- 2.3 - 1.2	0.8 0.6	1.3 1.4	1.6 1.8
		B	3.6 2.7	14.7 16.7	3.5 3.2	9.5 10.2	5.5 5.9	14.6 14.2	6.6 6.6
	90cm	C	7.0 5.3	25.0 20.2	6.9 6.4	24.1 18.6	7.7 7.7	13.3 15.6	5.7 6.0
		D	1.6 0.8	5.2 3.5	0.5 0.7	1.4 2.4	0.6 5.4	15.2 16.7	5.3 5.4
	E		- 1.0 - 1.0	- 3.4 - 2.4	- 1.0 - 1.0	- 2.9 - 2.4	1.5 1.9	3.2 2.4	0 0
		F	- 7.3 - 5.1	- 23.6 - 18.2	- 6.3 - 5.5	- 17.0 - 16.5	- 8.2 - 7.5	- 11.0 - 13.0	- 6.2 - 5.5
	F								
素 堀 No 21	Φ 300	A	- 1.4 0	- 2.7 0	- 0.4 0.7	- 1.3 1.5	- 4.6 - 4.6	- 7.7 - 7.7	- 3.8 - 3.5
		B	1.8 3.9	8.2 12.7	2.2 5.6	8.2 13.1	8.2 8.2	19.2 21.8	3.9 3.9
	120cm	C	- 2.4 - 4.2	- 10.1 - 13.1	- 4.2 - 4.9	- 11.3 - 12.0	- 4.4 - 3.8	- 15.4 - 16.0	- 6.6 - 6.0
		D	1.3 3.8	8.2 15.2	3.1 5.8	8.8 13.2	4.6 5.0	22.0 24.5	6.5 8.1
	E		- 0.5 - 0.5	- 2.5 0.7	- 0.9 0	- 2.2 0	2.1 2.1	- 9.6 - 8.7	- 3.1 - 2.5
		F	- 5.2 - 2.8	- 5.6 - 11.9	- 2.0 - 4.8	- 8.0 - 9.3	- 3.9 - 3.7	17.9 - 18.3	- 6.4 - 6.1
	F								

表 - 6 (7) 各測定点における曲げ応力の最大値

(単位 ㎏)

		横 断 走 行				縦 断 走 行			
		前 進 走 行		後 進 走 行		前 進 走 行		後 進 走 行	
		前輪による 応 力	後輪による 応 力	前輪による 応 力	後輪による 応 力	前輪による 応 力	後輪による 応 力	前輪による 応 力	後輪による 応 力
Φ 300 120cm 砂 床 No 22	A	1.5	7.9	3.4	6.4	0.8	2.0	0.8	1.7
		2.5	7.3	2.7	7.6	0.8	2.0	1.2	2.3
	B	1.5	9.6	4.9	7.4	3.0	3.4	2.6	4.8
		1.0	4.7	2.9	4.6	2.2	3.4	3.7	5.9
	C	1.9	9.2	5.3	10.1	3.4	3.9	3.4	8.8
		2.4	7.7	4.8	11.1	0.6	13.7	7.6	21.7
	D	1.1	2.4	1.4	4.3	2.9	7.7	3.6	6.4
		1.3	2.5	2.0	5.4	2.4	9.9	20.3	9.5
	E	- 0.5	- 1.4	- 0.7	- 1.8		0.5	1.0	0.5
		- 0.7	- 2.2	- 1.6	- 2.4	0.8	0.6	0.9	1.7
	F	- 0.9	- 6.3	- 4.6	- 8.4	- 2.9	- 4.6	4.6	4.6
		- 1.9	- 6.7	- 5.0	- 9.6	- 1.3	- 4.0	- 4.5	- 10.2

表 - 7 (1) 各測定点における反力の最大値

(単位 剎)

		横 断 走 行				後 断 走 行			
		前 進 走 行		後 進 走 行		前 進 走 行		後 進 走 行	
		前輪による 反力	後輪による 反力	前輪による 反力	後輪による 反力	前輪による 反力	後輪による 反力	前輪による 反力	後輪による 反力
炭 掘 No 25	φ 100	0.11	0.28	0.11	0.43		0.52		0.54
		0.08	0.32	0.12	0.48	0.39			0.56
	60cm	0.08	0.19	0.09	0.19		0.26		0.29
		0.06	0.14	0.08	0.15	0.19			0.28
	c	0.09	0.19	0.04	0.23	0.10	0.25	0.09	0.23
		0.08	0.15	0.06	0.24	0.23	0.23	0.10	0.23
	d	0.06	0.12	0.03	0.14		0.26		0.27
		0.07	0.12	0.06	0.15	0.16			0.26
	e	0.05	0.12	0.05	0.19		0.43		0.45
		0.04	0.17	0.10	0.21	0.09			0.38
	f	0.56	1.01	0.20	1.03	0.70	1.44	0.63	1.14
		0.56	1.00	0.34	1.17	0.67	1.39	0.43	1.31
砂 床 No 24	φ 100	0.083	0.156	0.105	0.226	0.121	0.340	0.199	1.250
		0.086	0.231	0.094	0.275	0.136	0.382	0.192	0.287
	b	0.009	0.018	0.008	0.019	0.009	0.046	0.016	0.023
		0.009	0.026	0.013	0.020	0.009	0.046	0.016	0.023
	c	0.008	0.016	0.008	0.018	0.008	0.019	0.011	0.013
		0.006	0.020	0.009	0.016	0.006	0.029	0.010	0.016
	d	0.009	0.023	0.019	0.039	0.018	0.090	0.031	0.051
		0.010	0.028	0.024	0.046	0.024	0.107	0.033	0.062
	e	0.009	0.032	0.028	0.057	0.028	0.115	0.019	0.115
		0.008	0.044	0.037	0.087	0.033	0.136	0.060	0.129
	f	0.518	0.799	0.533	1.148	0.549	0.870	0.734	0.908
		0.361	0.474	0.467	0.841	0.600	1.013	0.694	1.100
砂 巻 No 25	φ 100	0.251	0.658	0.224	1.029	0.239	0.370	0.187	0.325
		0.268	0.714	0.282	1.141	0.140	0.268	0.187	0.314
	b	0.143	0.401	0.090	0.740	0.056	0.261	0.124	0.200
		0.142	0.430	0.121	0.644	0.082	0.210	0.139	0.234
	d	0.026	0.055	0.009	0.088	0.082	0.371	0.019	0.012
		0.027	0.062	0.016	0.106	0.036	0.067	0.031	0.075
	e	0	0.010	0	0.015	0.018	0.035	0.014	0.023
		0	0.012	0	0.014	0.009	0.028	0.014	0.023
	f	0.251	0.793	0.250	0.925	0.694	1.504	0.922	0.980
		0.449	0.819	0.331	0.971	0.755	1.350	1.034	1.082
炭 掘 No 1	φ 100	0.40	0.75	0.33	0.98	0.439	0.790	0.23	0.842
		0.37	0.84	0.38	1.00	0.522	1.11	0.615	1.253
	b	0.14	0.32	0.07	0.323	0.12	0.42	0.09	0.42
		0.15	0.377	0.11	0.42	0.11	0.473	0.25	0.47
	c	0.45	0.87	0.23	0.89	0.36	0.85	0.246	0.829
		0.45	0.92	0.34	0.99	0.47	1.05	0.50	0.94
	d	0.125	0.232	0.058	0.21	0.11	0.23	0	0.15
		0.13	0.27	0.08	0.26	0.22	0.349	0.155	0.34
	e	0.15	0.35	0.10	0.354	0.63	1.11	1.380	1.41
		0.17	0.40	0.11	0.38	0.64	1.490	0.62	1.44
	f	0.508	0.939	0.33	1.01	0.30	0.62	0.27	0.934
		0.54	1.01	0.44	1.14	0.47	0.93	0.62	1.068

表 - 7 (2) 各測定点における反力の最大値

(単位 ㎏)

		横 断 走 行				縦 断 走 行			
		前 進 走 行		後 進 走 行		前 進 走 行		後 進 走 行	
		前輪による 反	後輪による 反	前輪による 反	後輪による 反	前輪による 反	後輪による 反	前輪による 反	後輪による 反
砂 床 No 2	Φ 100	0.01	0.03	0	0.02	0.01	0.04	0	0.02
		0.01	0.03	0.01	0.27	0	0.02	0	0.03
	90cm	0.02	0.04	0	0.01	0.01	0.05	0.01	0.03
		0.01	0.04	0	0.03	0	0.04	0.02	0.05
	砂 床	0.02	0.05	0	0.03	0	0.03	0	0.02
		0.03	0.06	0	0.03	0.01	0.04	0.02	0.05
	d	0.01	0.02	0	0.01	0	0.02	0	0.01
		0	0.02	0	0.05	0	0.01	0.01	0.035
	e	0.01	0.02	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0.01	0	0	0	0
	f	0.44	0.91	0.19	0.54	0.27	0.73	0.33	0.54
		0.45	0.97	0.16	0.57	0.30	0.72	0.47	0.91
砂 巻 No 3	Φ 100	0.11	0.176	0.01	0.15	0.13	0.28	0.06	0.09
		0.07	0.158	0	0.13	0.08	0.224	0.03	0.06
	b	0.17	0.254	0.02	0.26	0.12	0.27	0.13	0.12
		0.11	0.236	0.03	0.21	0.11	0.24	0.09	0.15
	c	0.09	0.14	0	0.12	0.10	0.04	0.05	0.07
		0.05	0.13	0	0.10	0.05	0.12	0.04	0.08
	d	0.10	0.26	0	0.22	0.17	0.36	0.12	0.23
		0.14	0.27	0.01	0.21	0.16	0.36	0.11	0.20
	e	0.02	0.03	0	0.03	0.06	0.08	0.03	0.07
		0.01	0.03	0	0.04	0.06	0.12	0.02	0.05
	f	0.60	1.01	0.07	0.87	0.28	0.39	0.39	0.36
		0.49	0.85	0.07	0.69	0.28	0.45	0.30	0.41
不 陸 25cm No 4	Φ 100	0.37	0.746	0.24	0.80	0.80	1.180	0.48	0.94
		0.38	0.718	0.34	0.828	0.49	0.844	0.41	0.752
	b	0.22	0.506	0.12	0.53	0.325	0.675	0.35	0.63
		0.20	0.378	0.15	0.46	0.13	0.495	0.26	0.543
	d	0.15	0.335	0.07	0.31	0.457	1.62	0.23	0.45
		0.17	0.298	0.11	0.29	0.13	0.435	0.21	0.36
	e	0.12	0.25	0.04	0.24	0.41	0.68	0.71	1.206
		0.13	0.28	0.08	0.24	0.52	1.007	0.57	0.977
	f	0.41	0.906	0.23	0.78	0.24	0.47	0.43	0.82
		0.38	0.59	0.27	0.67	0.19	0.38	0.41	0.73
不 陸 50cm No 5	Φ 100	0.32	0.05	0.13	0.53	0.543	1.140	0.38	1.01
		0.28	1.01	0.18	0.54	0.49	1.05	0.48	1.05
	b	0.38	0.95	0.06	0.38	0.15	0.82	0.32	0.87
		0.28	0.933	0.09	0.31	0.18	0.87	0.36	0.93
	d	0.21	0.535	0.05	0.22	0.12	0.59	0.15	0.48
		0.19	0.59	0.05	0.20	0.16	0.61	0.16	0.49
	e	0.12	0.46	0.01	0.17	0.60	1.53	0.52	1.26
		0.13	0.61	0.03	0.22	0.50	1.27	1.49	1.38
	f	0.46	1.02	0.09	0.42	0.24	0.51	0.38	0.81
		0.39	1.12	0.10	0.42	0.25	0.62	0.36	0.89

表 - 7 (3) 各測定点における反力の最大値

(単位 ㎏)

		横 断 走 行				縦 断 走 行			
		前 進 走 行		後 進 走 行		前 進 走 行		後 進 走 行	
		前輪による 反力	後輪による 反力	前輪による 反力	後輪による 反力	前輪による 反力	後輪による 反力	前輪による 反力	後輪による 反力
素 堀	Φ100	0.02	0.04	0.02	0.04	0.03	0.06	0.03	0.05
		0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.05	0.02	0.05
	120cm	0.02	0.04	0.02	0.04	0.02	0.04	0.02	0.03
		0.02	0.03	0.01	0.03	0.02	0.04	0.01	0.03
	Na 6	0	0.04	0	0.04	0.01	0.06	0.03	0.06
		0	0.04	0	0.03	0.02	0.04	0.03	0.08
砂 床	Φ100	0.01	0.05	0.01	0.04	0.01	0.06	0.04	0.06
		0.02	0.06	0.01	0.06	0.03	0.05	0.07	0.05
	120cm	0.06	0.12	0.06	0.12	0.06	0.13	0.04	0.09
		0.05	0.12	0.04	0.10	0.04	0.15	0.04	0.09
	Na 7	0.06	0.10	0.06	0.10	0.06	0.12	0.08	0.12
		0.07	0.10	0.06	0.10	0.06	0.09	0.07	0.14
砂 巻	Φ100	0.05	0.12	0.04	0.10	0.05	0.17	0.07	0.16
		0.04	0.12	0.04	0.14	0.03	0.18	0.06	0.12
	120cm	0.02	0.05	0.02	0.05	0.03	0.06	0.03	0.06
		0.02	0.05	0.02	0.06	0.02	0.07	0.03	0.06
	Na 8	0.04	0.07	0.05	0.08	0.03	0.09	0.04	0.08
		0.04	0.07	0.04	0.10	0.03	0.09	0.03	0.07
不 陸	Φ100	0.10	0.22	0.10	0.21	0.09	0.35	0.13	0.28
		0.10	0.24	0.10	0.28	0.09	0.326	0.10	0.30
	120cm	0.02	0.05	0.02	0.04	0.04	0.13	0.05	0.11
		0.03	0.05	0.02	0.05	0.04	0.12	0.04	0.10
	Na 9	0.17	0.24	0.19	0.35	0.17	0.34	0.19	0.41
		0.18	0.28	0.19	0.48	0.16	0.32	0.16	0.30
25cm	Φ100	0.02	0.03	0.02	0.11	0.04	0.14	0.04	0.07
		0.02	0.12	0.03	0.11	0.04	0.15	0.06	0.13
	120cm	0.01	0.03	0.01	0.03	0.02	0.04	0.01	0.03
		0.01	0.03	0	0.02	0.01	0.04	0.01	0.04
	Na 8	0.02	0.03	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
		0.02	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.02	0.03
Na 9	Φ100	0.01	0.12	0.04	0.18	0.05	0.22	0.07	0.16
		0.07	0.15	0.05	0.21	0.05	0.23	0.07	0.23
	120cm	0	0.04	0.02	0.03	0.04	0.148	0.05	0.11
		0.02	0.04	0.03	0.06	0.05	0.17	0.06	0.17
	Na 9	0.11	0.33	0.07	0.37	0.10	0.28	0.17	0.26
		0.15	0.28	0.10	0.32	0.10	0.31	0.18	0.44
Na 9	Φ100	0.03	0.09	0.03	0.10	0.03	0.08	0.03	0.06
		0.03	0.08	0.03	0.10	0.03	0.08	0.03	0.07
	120cm	0.02	0.06	0.02	0.06	0.02	0.053	0.02	0.037
		0.01	0.05	0.02	0.06	0.02	0.052	0.02	0.04
	Na 9	0.03	0.09	0.04	0.10	0.03	0.10	0.05	0.12
		0.03	0.08	0.03	0.12	0.05	0.11	0.04	0.10
Na 9	Φ100	0.03	0.08	0.04	0.06	0.06	0.16	0.04	0.11
		0.02	0.07	0.03	0.08	0.03	0.12	0.04	0.11
	120cm	0.20	0.47	0.28	0.62	0.28	0.62	0.26	0.44
		0.12	0.38	0.30	0.60	0.26	0.67	0.19	0.39
	Na 9								

表-7(4)

各測定点における反力の最大値

(単位kgf)

		横断走行				縦断走行			
		前進走行		後進走行		前進走行		後進走行	
		前輪による力	後輪による力	前輪による力	後輪による力	前輪による力	後輪による力	前輪による力	後輪による力
φ100	a	0.02 0.02	0.07 0.05	0.03 0.04	0.09 0.10	0.03 0.03	0.08 0.07	0.02 0.03	0.07 0.06
	b	0.015 0.015	0.05 0.05	0.02 0.03	0.06 0.07	0.015 0.015	0.05 0.05	0.02 0.03	0.05 0.05
	d	0.04 0.04	0.11 0.10	0.06 0.05	0.12 0.12	0.05 0.03	0.12 0.08	0.03 0.03	0.12 0.11
	e	0.02 0.02	0.05 0.05	0.02 0.03	0.05 0.05	0.04 0.03	0.09 0.08	0.03 0.03	0.01 0.09
	f	0.28 0.26	0.77 0.73	0.48 0.47	0.91 0.90	0.22 0.19	0.63 0.53	0.24 0.12	0.60 0.53
	No. 10								
φ200	a	0.04 0.05	0.27 0.23	0.05 0.41	0.28 0.24	0 0.10	0.27 0.23	0.09 0.75	0.28 0.24
	b	0.02 0.03	0.10 0.07	0.03 0.02	0.11 0.08	0 0.04	0.13 0.11	0.05 0.04	0.11 0.11
	c	0.01 0.01	0.03 0.02	0.02 0	0.04 0.02	0 0.03	0.06 0.06	0 0.02	0.06 0.06
	d	0.08 0.07	0.15 0.12	0.09 0.05	0.18 0.13	0.12 0.14	0.33 0.32	0.13 0.13	0.33 0.24
	e	0.01 0.02	0.05 0.04	0.02 0.01	0.05 0.03	0.13 0.23	0.57 0.60	0.13 0.23	0.51 0.53
	f	0.71 0.71	1.32 1.19	0.87 0.82	1.70 1.32	0.55 1.10	2.18 2.09	0.55 1.20	2.07 1.84
φ200	a	0 0	0.03 0.03	0 0.03	0.05 0.08	0.22 0.37	0.91 0.69	0.24 0.27	0.66 0.70
	b	0.04 0.07	0.14 0.18	0.04 0.09	0.18 0.21	0.12 0.21	0.43 0.38	0.11 0.20	0.44 0.36
	c	0.02 0.05	0.10 0.10	0.03 0.05	0.10 0.10	0.04 0.08	0.21 0.12	0.03 0.07	0.18 0.12
	d	0.04 0.07	0.14 0.15	0.05 0.10	0.16 0.17	0.08 0.08	0.24 0.15	0.02 0.06	0.18 0.11
	e	0.61 0.70	1.38 1.27	0.62 0.72	1.51 1.31	0.63 0.77	1.57 1.41	0.44 0.65	1.30 1.37
	f	1.13 1.75	2.95 3.16	0.98 1.64	2.88 2.96	0.80 1.80	2.51 2.76	0.80 1.72	2.51 2.69
φ200	a	0.02 0.16	0.17 0.05	0.02 0.16	0.19 0.05	0.03 0.06	0.15 0.13	0.03 0.05	0.15 0.12
	b	0.13 0.31	0.44 0.16	0.14 0.35	0.51 0.19	0.15 0.11	0.41 0.34	0.13 0.13	0.38 0.37
	c	0.10 0.16	0.22 0.10	0.10 0.17	0.25 0.11	0.06 0.07	0.25 0.21	0.07 0.11	0.26 0.23
	d	0.03 0.03	0.05 0.02	0.02 0.04	0.05 0.02	0.03 0.03	0.08 0.07	0.03 0.04	0.08 0.07
	e	0.02 0.02	0.03 0.01	0.02 0.02	0.03 0.01	0.10 0.11	0.33 0.34	0.09 0.12	0.32 0.31
	f	0.55 0.83	1.06 0.60	0.53 0.92	1.13 0.67	0.75 1.90	4.00 3.78	0.80 1.68	3.85 4.00

表 - 7 (5)

各測定点における反力の最大値

(単位 ㏑)

		横 断 走 行				縦 断 走 行			
		前 進 走 行		後 進 走 行		前 進 走 行		後 進 走 行	
		前輪による 反力	後輪による 反力	前輪による 反力	後輪による 反力	前輪による 反力	後輪による 反力	前輪による 反力	後輪による 反力
砂 床 No 14	Φ200	0	0.02	0	0.03	0.06	0.13	0.05	0.15
		0	0.02	0	0.02	0.07	0.17	0.06	0.16
	90cm	0	0.03	0	0.02	0.01	0.05	0	0.04
		0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02
	c	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.08	0.01	0.07
		0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04
	d	0.01	0.03	0.01	0.03	0	0.03	0	0.03
		0.01	0.02	0.01	0.03	0.01	0.02	0	0.02
	e	0.04	0.20	0.03	0.19	0.04	0.29	0.04	0.27
		0.05	0.13	0.04	0.14	0.07	0.21	0.07	0.19
	f	0.26	1.04	0.28	1.16	0.11	0.44	0.13	0.74
		0.37	0.88	0.41	0.96	0.38	0.84	0.11	0.92
素 堀 No 15	Φ200	0.01	0.07	0.02	0.06	0.01	0.06	0.02	0.04
		0.02	0.07	0.02	0.06	0.01	0.06	0.02	0.05
	b	0.01	0.04	0.01	0.03	0.01	0.03	0	0.02
		0.01	0.04	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03
	c	0.09	0.30	0.10	0.21	0.06	0.31	0.10	0.24
		0.12	0.30	0.11	0.23	0.07	0.33	0.11	0.24
	d	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0
	e	0.02	0.05	0.02	0.04	0.02	0.06	0	0.05
		0.02	0.05	0.02	0.04	0.02	0.07	0.02	0.05
	f	0.16	0.58	0.21	0.45	0.20	0.68	0.21	0.43
		0.18	0.59	0.21	0.50	0.17	0.69	0.23	0.47
砂 床 No 16	Φ200	0	0.01	0	0.01	0.01	0.03	0.01	0.02
		0	0.01	0	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02
	b	0.01	0.04	0.01	0.06	0.02	0.10	0.02	0.09
		0.03	0.09	0.03	0.07	0.04	0.08	0.03	0.05
	c	0.01	0.03	0.01	0.04	0.06	0.32	0.06	0.31
		0.01	0.04	0.01	0.04	0.06	0.28	0.07	0.14
	d	0	0.01	0	0.02	0.01	0.04	0.01	0.04
		0	0.01	0	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02
	e	0.10	0.31	0.09	0.23	0	0.02	0	0.02
		0.09	0.29	0.15	0.35	0.01	0.01	0	0.01
	f	0.21	0.68	0.16	0.68	0.14	0.73	0.15	0.77
		0.24	0.76	0.25	0.77	0.23	0.66	0.20	0.53
素 堀 No 17	Φ300	0.44	1.16	0.83	1.53	0.31	1.99	0.33	1.14
		0.53	1.46	0.64	1.25	0.40	1.49	0.38	1.30
	b	0.07	0.29	0.18	0.60	0.17	0.72	0.23	0.71
		0.12	0.58	0.22	0.73	0.22	0.80	0.21	0.79
	c	0.12	0.35	0.20	0.53	0.21	1.73	0.22	0.52
		0.12	0.38	0.22	0.60	0.14	0.62	0.17	0.52
	d	0.07	0.37	0.19	0.47	0.16	0.59	0.29	0.52
		0.05	0.23	0.20	0.52	0.05	0.37	0.14	0.39
	e	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0.15	0	0.13
	f	0.24	0.88	0.81	1.46	0.38	1.72	0.94	2.29
		0.23	0.88	0.83	1.67	0.59	1.67	1.03	2.44

表-7(6) 各測定点における反力の最大値

(単位 ㎏)

		横 断 走 行				縦 断 走 行			
		前 進 走 行		後 進 走 行		前 進 走 行		後 進 走 行	
		前輪による 反力	後輪による 反力	前輪による 反力	後輪による 反力	前輪による 反力	後輪による 反力	前輪による 反力	後輪による 反力
砂 床 No 18	Φ300	0	0.03	0	0.02	0.09	0.16	0.10	0.25
		0	0.02	0	0.03	0.09	0.24	0.12	0.26
	60cm	0.01	0.02	0.01	0.02	0	0.02	0.01	0.03
		0.01	0.03	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.03
	c	0.01	0.05	0.03	0.01	0.02	0.09	0.04	0.07
		0.02	0.09	0.05	0.10	0.02	0.06	0.04	0.08
	d	0.04	0.25	0.13	0.27	0.04	0.38	0.09	0.18
		0.07	0.43	0.17	0.39	0.05	0.27	0.08	0.21
	e	0.01	0.13	0.02	0.14	0.01	0.35	0.01	0.15
		0.20	0.42	0.02	0.18	0.12	0.25	0.01	0.14
	f	0.71	2.36	0.89	2.88	0.88	2.62	1.02	2.05
		3.55	0.94	1.24	3.50	0.81	1.33	0.85	2.48
素 堀 No 19	Φ300	0.27	0.86	0.33	0.93	0.29	0.92	0.37	0.93
		0.21	1.00	0.35	0.84	0.26	1.08	0.35	0.92
	b	0.07	0.30	0.12	0.39	0.11	0.25	0.11	0.38
		0.10	0.38	0.13	0.39	0.12	0.36	0.11	0.38
	90cm								
	d	0.04	0.15	0.09	0.25	0.03	0.15	0.09	0.18
		0.05	0.11	0.23	0.08	0.04	0.28	0.19	0.22
	e	0	0.06	0	0.06	0.19	0.56	0.32	0.76
		0	0	0.03	0.18	0.19	0.78	0.29	0.77
	f	0.05	0.27	0.17	0.48	0.12	0.28	0.24	0.48
		0.07	0.27	0.21	0.46	0.25	0.62	0.22	0.38
砂 床 No 20	Φ300	0.01	0.03	0.02	0.03	0.11	0.27	0.13	0.30
		0.01	0.04	0.01	0.02	0.11	0.28	0.13	0.32
	b	0	0.01	0	0.01	0	0.01	0	0
		0.01	0.02	0	0.01	0	0.01	0	0
	90cm	0	0.01	0	0.01	0	0.01	0	0
		0	0.01	0	0.01	0	0.01	0	0
	d	0.04	0.20	0.10	0.23	0.04	0.23	0.09	0.17
		0.06	0.30	0.14	0.35	0.05	0.28	0.09	0.19
	e	0.16	0.44	0.19	0.19	0.12	0.42	0.12	0.36
		0.18	0.54	0.21	0.61	0.12	0.43	0.11	0.37
	f	0.32	0.82	0.33	1.14	0.42	0.90	0.51	1.01
		0.45	1.07	0.46	1.39	0.45	0.83	0.54	1.16
素 堀 No 21	Φ300	0.09	0.49	0.26	0.70	0.11		0.21	0.35
		0.19	0.45	0.24	0.45	0.16	0.65	0.22	0.42
	b	0.02	0.11	0.06	0.14	0.08		0.07	0.22
		0.05	0.17	0.07	0.19	0.14	0.14	0.04	0.25
	c	0.01	0.35	0.15	0.32	0.09	0.32	0.14	0.24
		0.13	0.36	0.12	0.32	0.11	0.41	0.12	0.21
	d	0.03	0.11	0.05	0.13	0.05		0.03	0.21
		0.05	0.16	0.08	0.18	0.06	0.11	0.03	0.04
	e	0.02	0.04	0.02	0.05	0.17		0.23	0.63
		0.04	0.15	0.04	0.12	0.15	0.83	0.27	0.67
	f	0.08	0.54	0.28	0.59	0.18	0.73	0.38	0.57
		0.19	0.62	0.18	0.47	0.27	0.73	0.40	0.59

表 - 7 (7) 各測定点における反力の最大値

(単位: 割)

		横 断 走 行				縦 断 走 行			
		前 進 走 行		後 進 走 行		前 進 走 行		後 進 走 行	
		前輪による 反力	後輪による 反力	前輪による 反力	後輪による 反力	前輪による 反力	後輪による 反力	前輪による 反力	後輪による 反力
$\phi 300$	a	0	0.01	0.02	0.04	0.04	0.41	0.16	0.34
	b	0	0.04	0	0.07	0.05	0.39	0.15	0.33
120cm	c	0.29	0.74	0.30	0.84	0.04	0.41	0.16	0.34
	d	0.28	0.88	0.30	0.96	0.05	0.39	0.15	0.33
砂 床	e	0	0.01	0	0.01	0	0.02	0	0.01
	f	0	0.01	0	0.02	0	0.02	0	0.01
No 22	g	0.02	0.11	0.07	0.15	0.03	0.24	0.13	0.20
	h	0.03	0.20	0.11	0.30	0.03	0.23	0.13	0.24
	i	0.13	0.33	0.20	0.49	0.07	0.35	0.24	0.32
	j	0.18	0.53	0.23	0.69	0.09	0.36	0.22	0.42
	k	0.06	0.59	0.32	0.51	0.15	0.54	0.40	0.67
	l	0.06	0.35	0.33	0.59	0.16	0.68	0.35	0.59

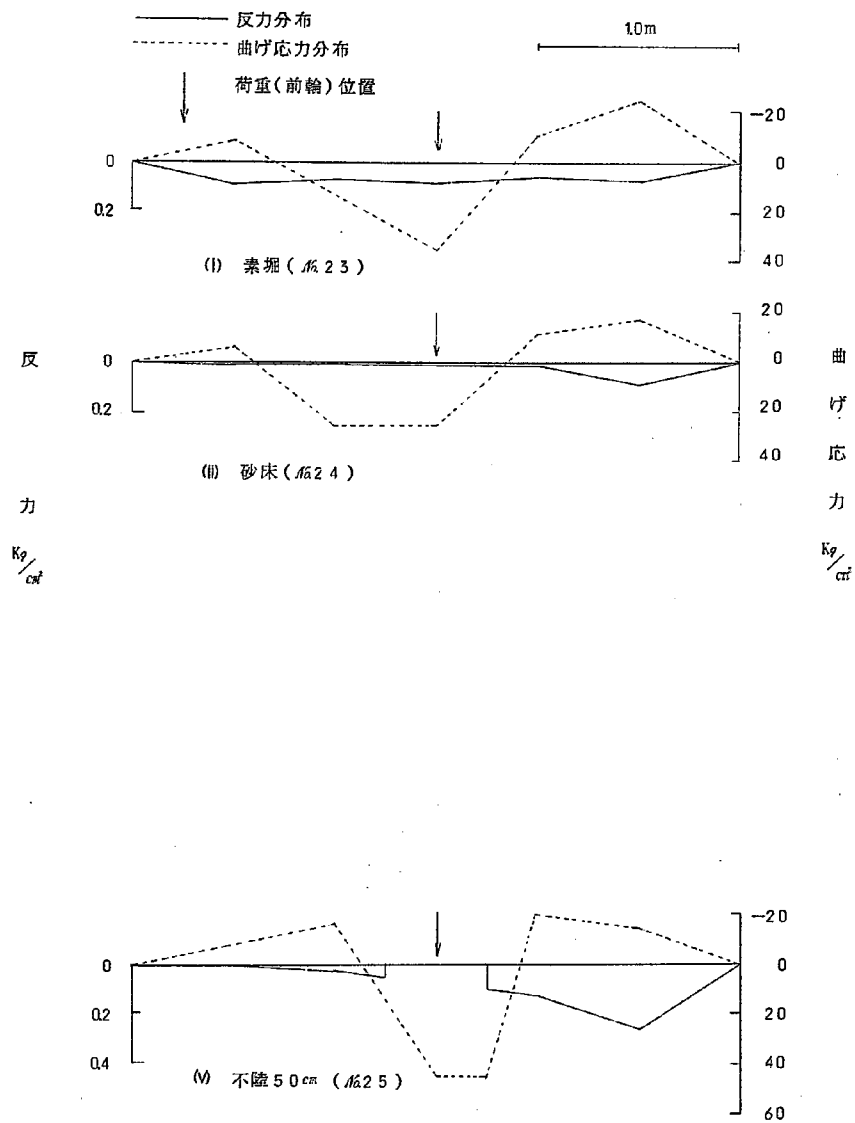


図 - 9 (i) 横断走行時の反力と曲げ応力の分布 (前輪荷重)
($\phi 100, 60 \text{ cm}$)

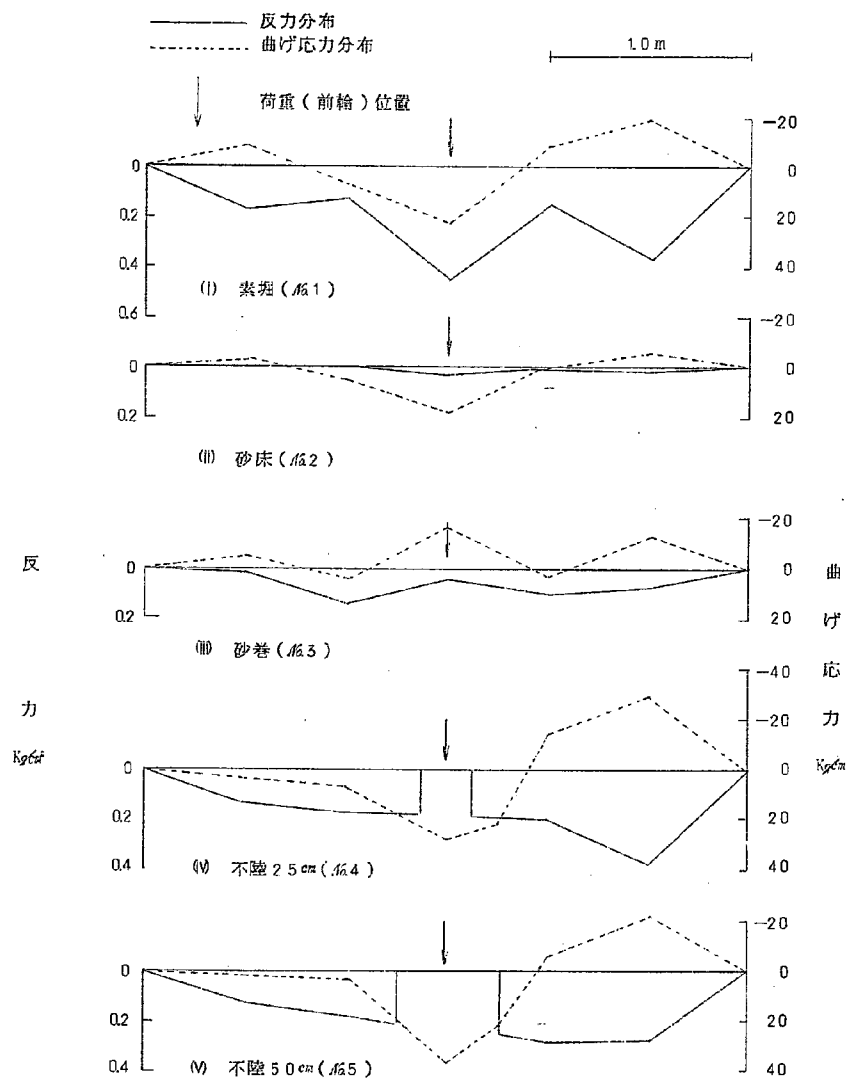


図 - 9 (2) 横断走行時の反力と曲げ応力の分布 (前輪荷重)
(90 cm, δ 100).

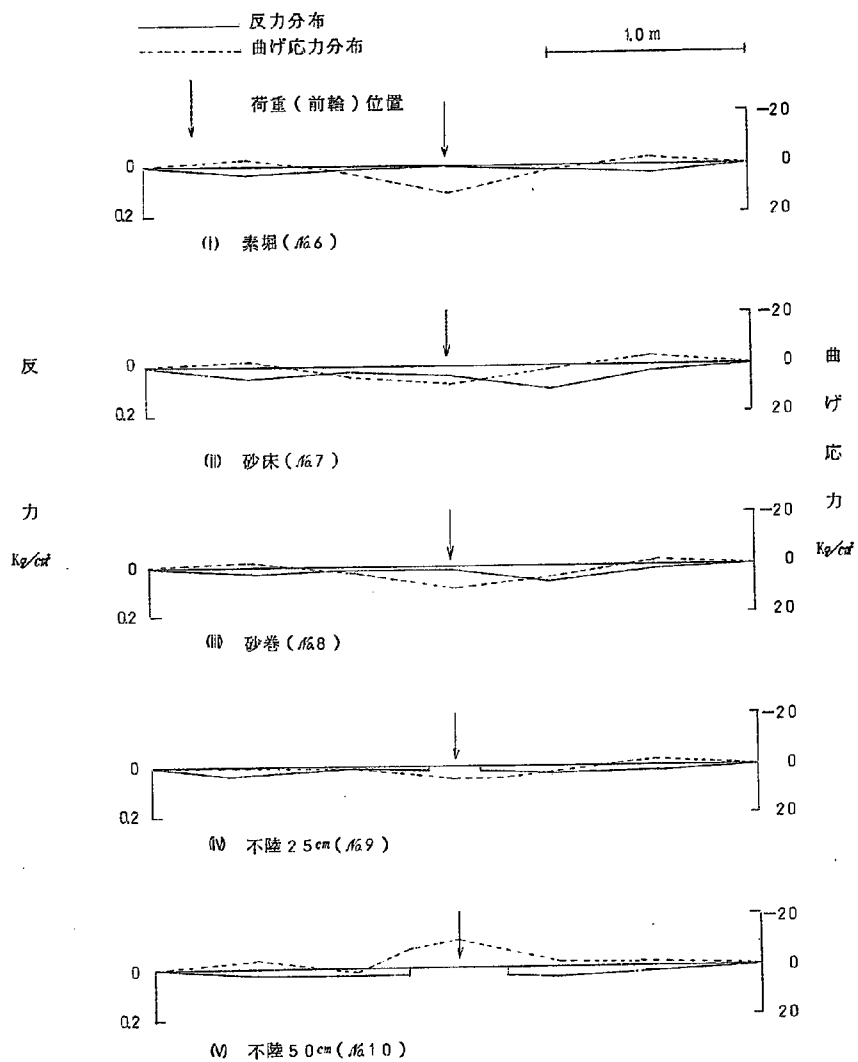


図 - 9 (3) 横断走行時の反力と曲げ応力の分布 (前輪荷重)
(120 cm, ϕ 100)

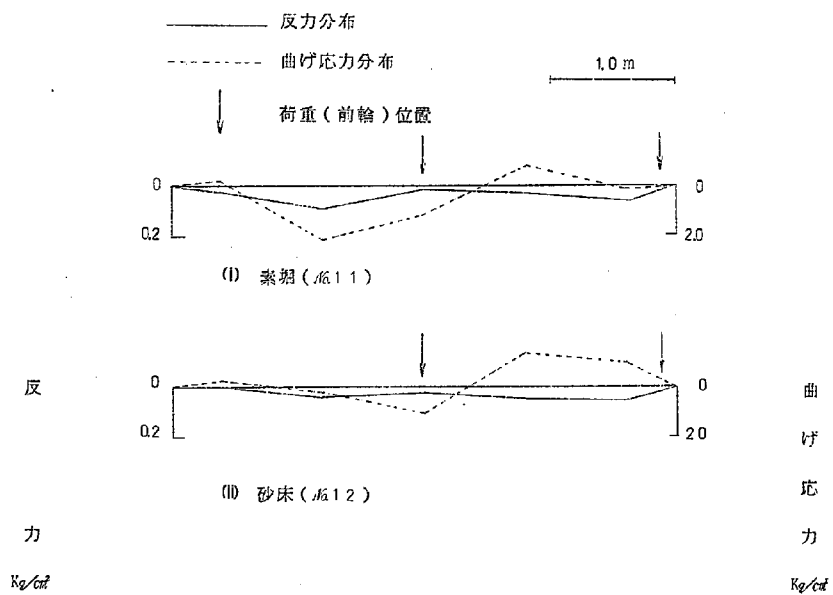


図 - 9 (4) 横断走行時の反力と曲げ応力の分布 (前輪荷重)
(60 cm, f200)

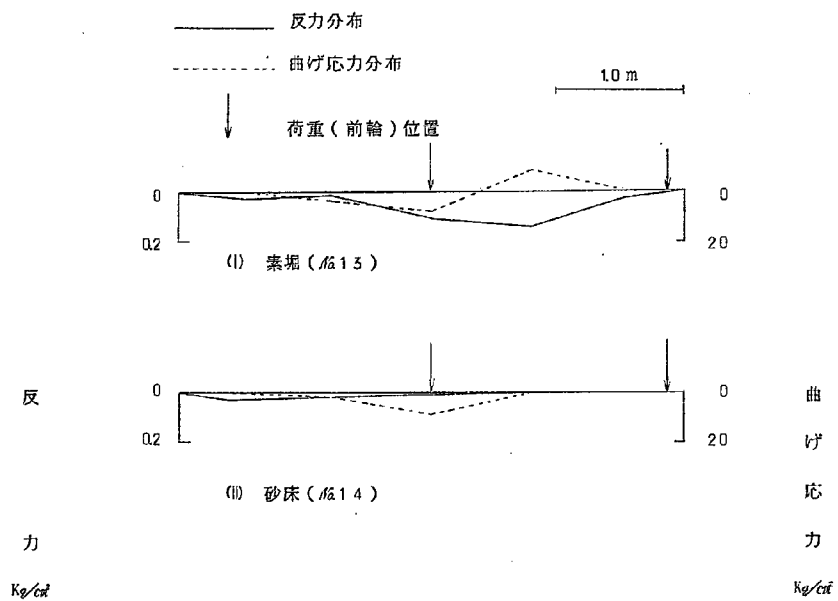


図-9 (5) 横断走行時の反力と曲げ応力の分布（前輪荷重）
(90cm, 2000)

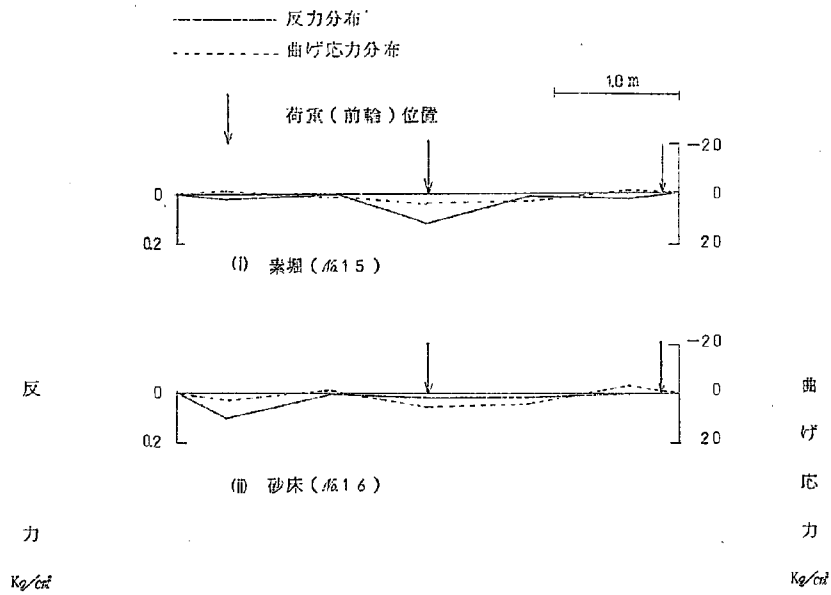


図 - 9 (a) 横断走行時の反力と曲げ応力の分布（前輪荷重）
 (120cm, 200)

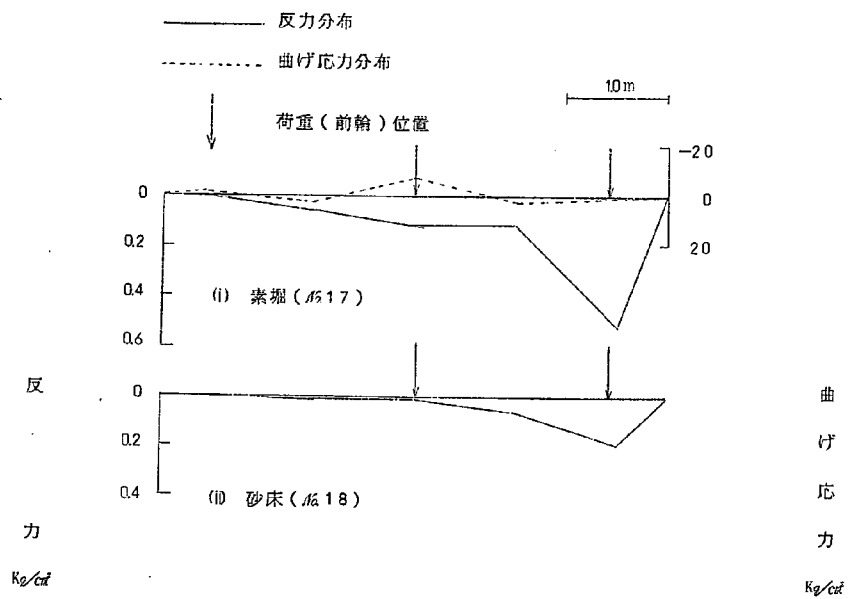


図 - 9 (7) 横断走行時の反力と曲げ応力の分布 (前輪荷重)
 (6000 kg, 3000 kg)

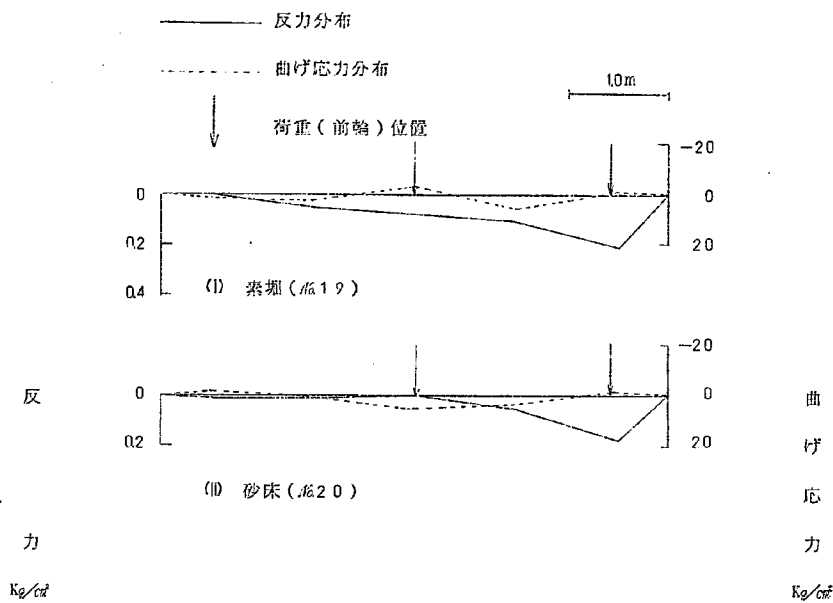


図 - 9 (8) 横断走行時の反力と曲げ応力の分布（前輪荷重）
(90cm, 300)

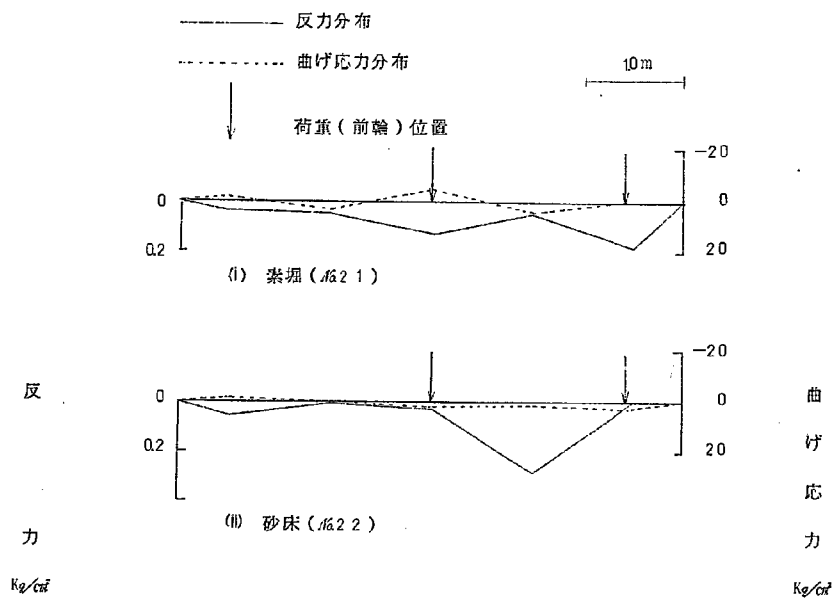


図 - 9 (9) 横断走行時の反力と曲げ応力の分布 (前輪荷重)

(1 2 0 cm , δ 3 0 0)

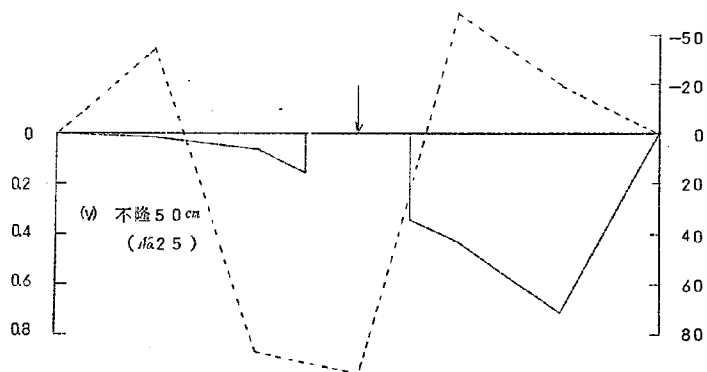
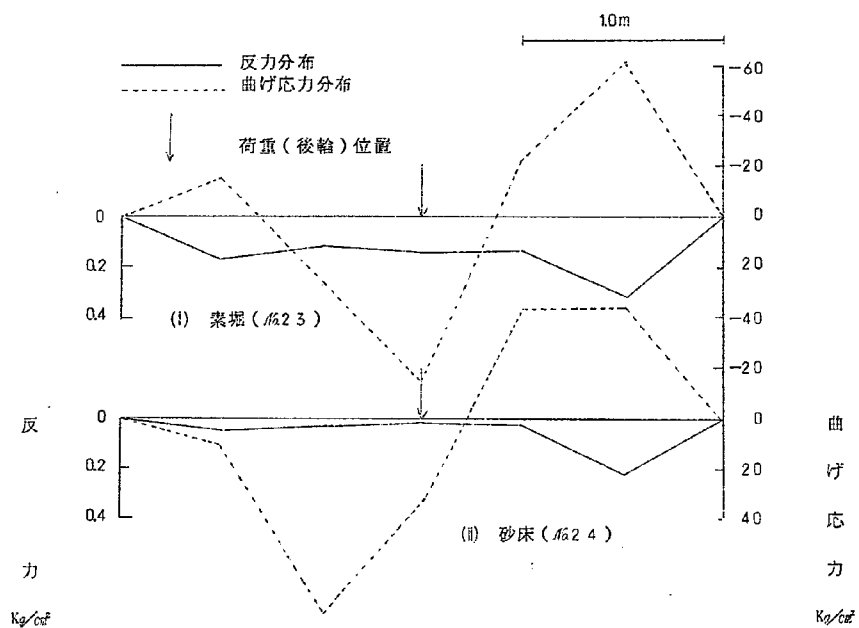
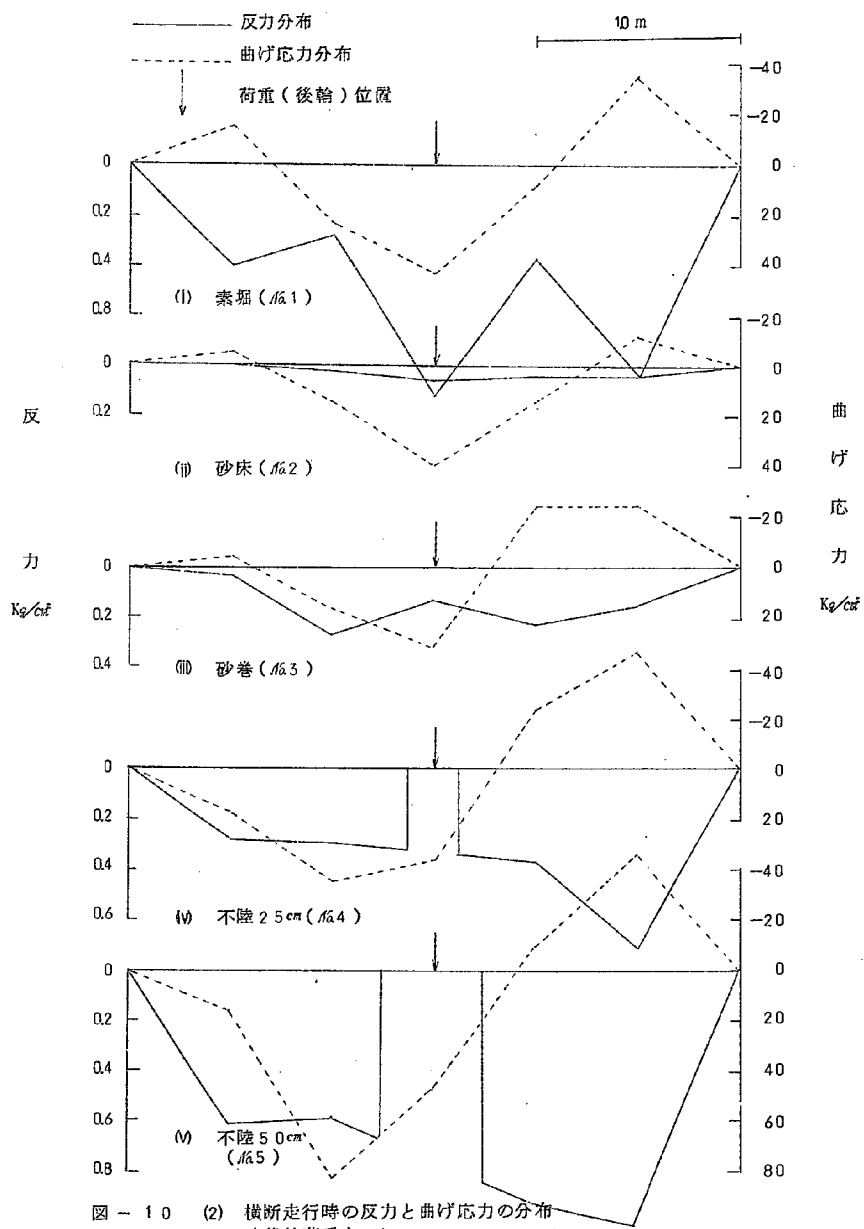


図 - 10 (1) 横断走行時の反力と曲げ応力の分布（後輪荷重）
(f 100, 60 cm)



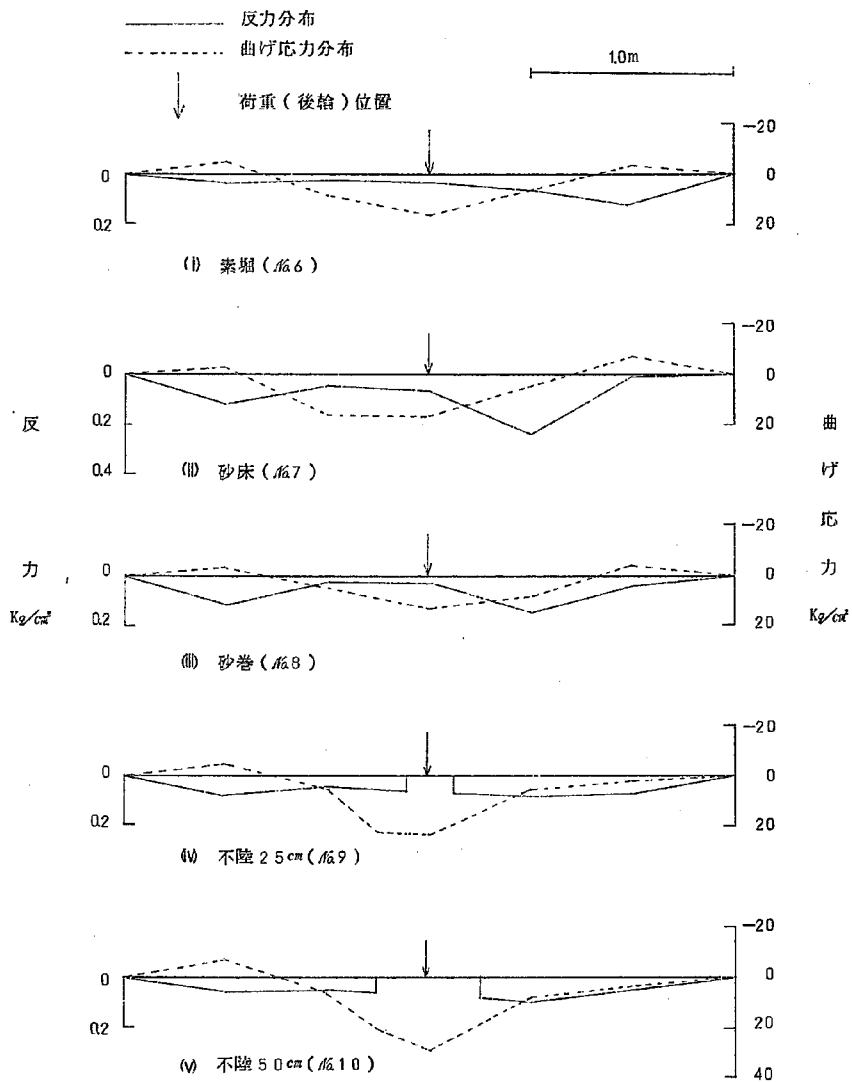


図 - 10 (3) 横断走行時の反力と曲げ応力の分布 (後輪荷重)
 (120cm, ϕ 100)

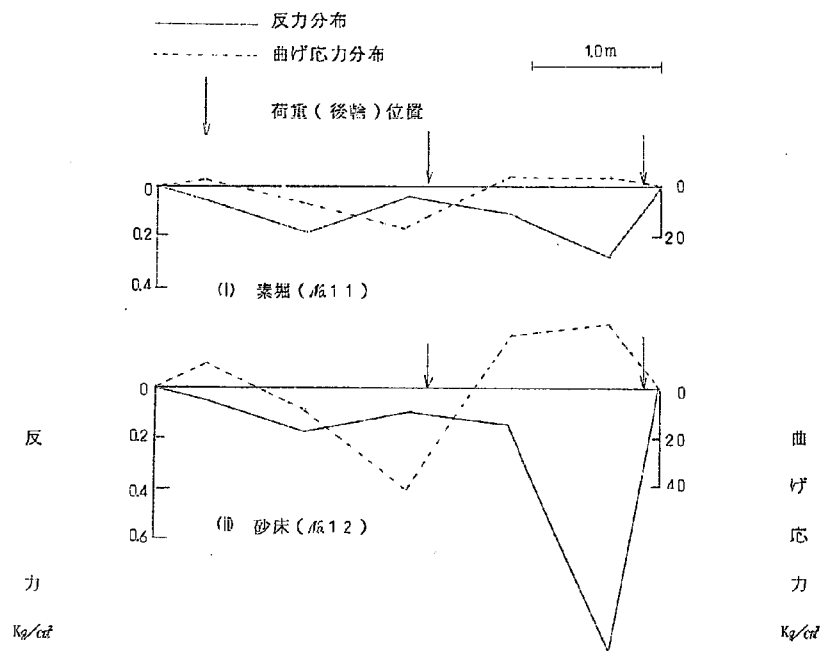


図 - 10 (4) 横断走行時の反力と曲げ応力の分布(後輪荷重)
(60cm, 200)

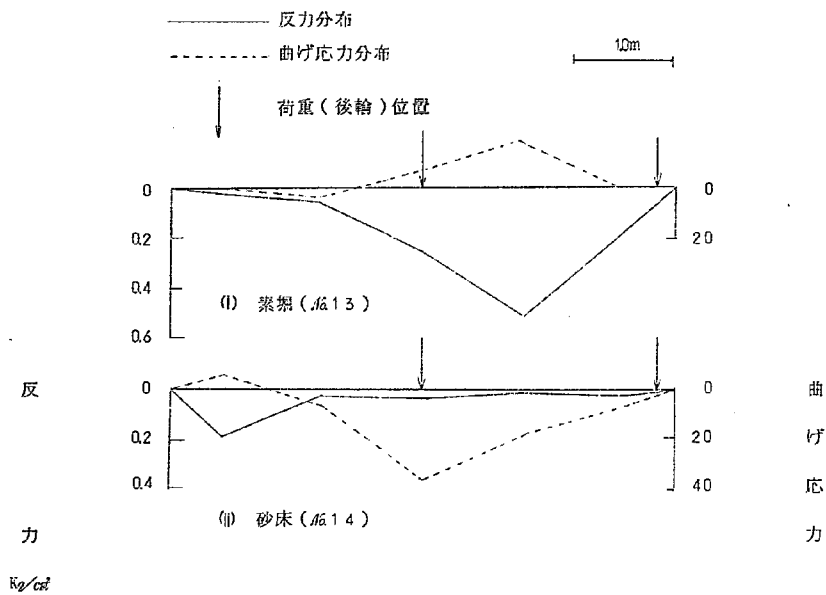


図 - 10 (5) 横断走行時の反力と曲げ応力の分布（後輪荷重）
(90 cm , 200)

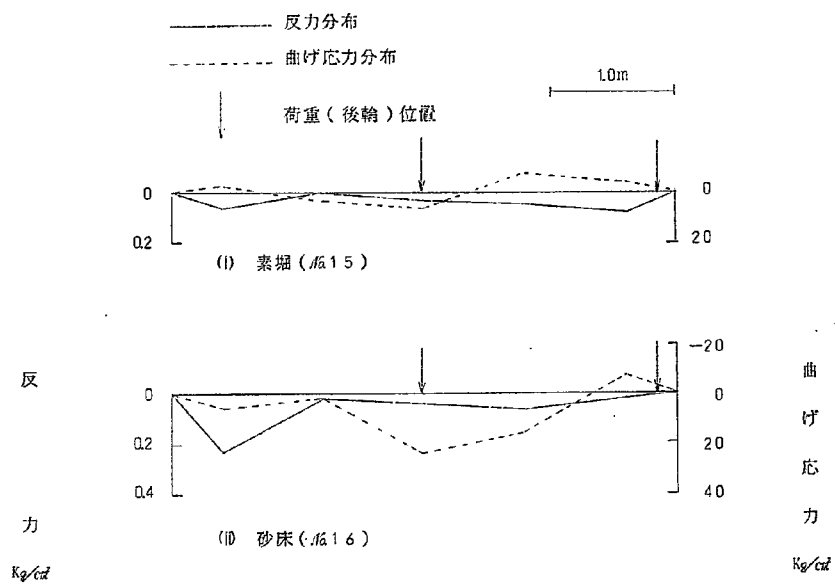


図 - 10 (6) 横断走行時の反力と曲げ応力の分布（後輪荷重）
(120 cm , 200)

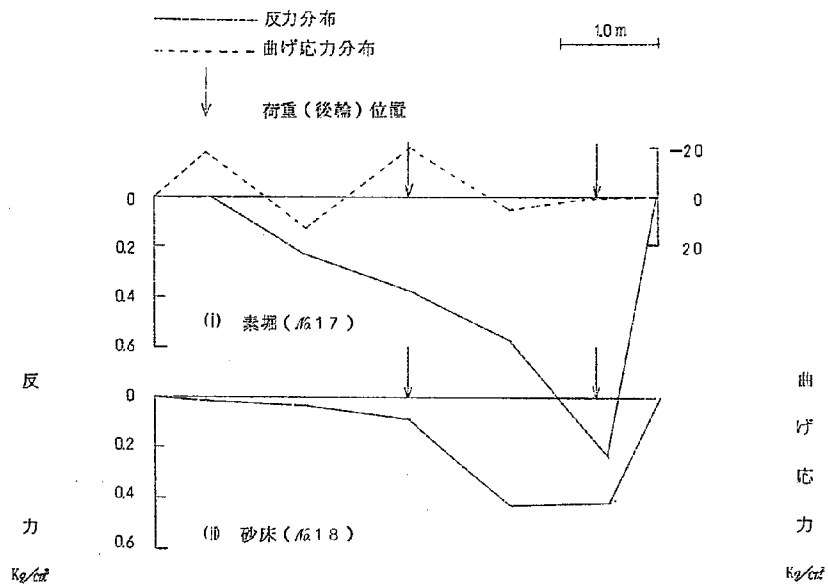


図 - 10 (7) 横断走行時の反力と曲げ応力の分布 (後輪荷重)

(60 cm, 300)

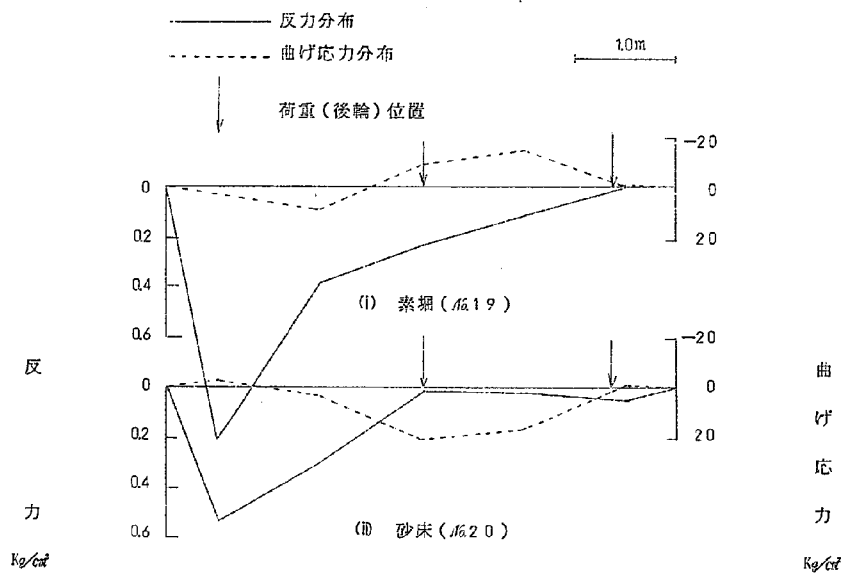


図 - 10 (8) 横断走行時の反力と曲げ応力の分布 (後輪荷重)
(90cm, 300)

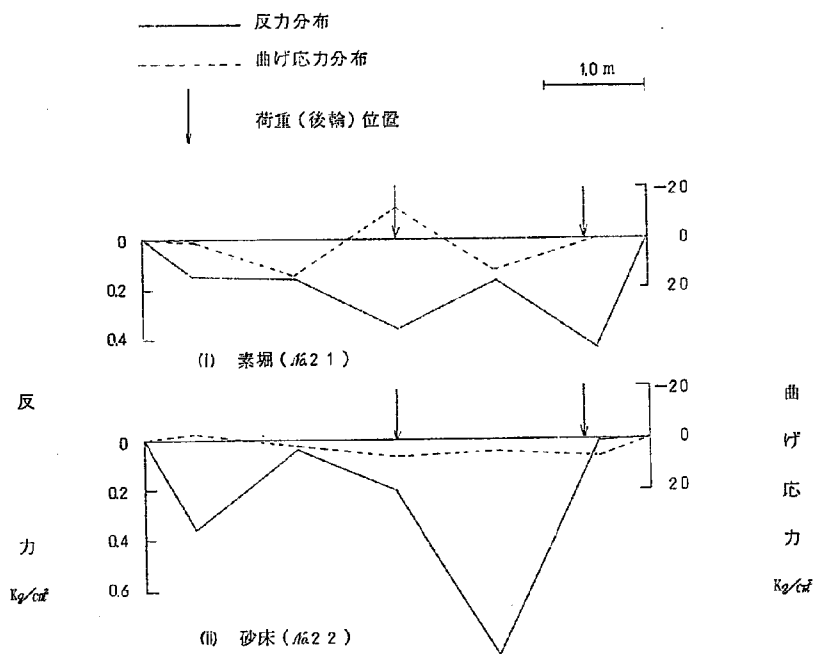


図 - 10 (9) 横断走行時の反力と曲げ応力の分布 (後輪荷重)

(120 cm, f 300)

表 - 8 (1) 縦断走行時の曲げ応力と反力の変化(後輪荷重)($\phi 100, 60\text{cm}$ 柔組, $\#23$)

測定点 走行方向 の荷重 の位置	曲 げ 応 力 (Kg/cm^2)						反 力 (Kg/cm^2)						
	A	B	C	D	E	F	a	b	c	d	e	f	
前 進	A	-284	-238	-42	0	20	66	0.39	0.11	0.26	0	0	0.01
	B	-241	-268	-106	-21	20	13.1	0.25	0.19	0.14	0.05	0.02	0.71
	C	-218	-52	668	106	-138	-542	0.32	0.18	0.23	0.14	0.09	1.39
	D	13	-87	211	655	79	-13.1	0.27	0.17	0.16	0.19	0.26	1.99
	E	-109	-130	127	-43	-447	-87	0.09	0.09	0.09	0.12	0.45	0.36
	F												
後 進	A	436	240	-127	-161	-79	-13.1	0.56	0.24	0.04	0.01	0.02	0
	B	218	486	85	-148	-119	-22	0.48	0.29	0.08	0.03	0.02	0.11
	C	-175	-130	-618	169	-138	-590	0.25	0.19	0.23	0.14	0.14	1.31
	D	79	-87	85	619	0	-22	0.23	0.18	0.22	0.26	0.31	0.21
	E	-109	-152	148	-63	494	-175	0.14	0.19	0.13	0.22	0.38	0.01
	F												

表 - 8 (2) 縦断走行時の曲げ応力と反力の変化(後輪荷重)($\phi 100, 60\text{cm}$, 砂床, $M24$)

測定点 走行方向と荷重の位置	曲 げ 応 力 (Kg/cm^2)						反 力 (Kg/cm^2)					
	A	B	C	D	E	F	a	b	c	d	e	f
前進	A	61.5	52.0	-20.3	10.2	19.5	25.6					
	B	38.6	58.0	-8.6	52	27.3	100	0.382	0.041	0.006	0	0.006 0.038
	C	-13.6	-10.7	27.8	2.7	15.6	-2.12					
	D	-12.4	-3.49	-18.2	650	480	27.8	0.169	0.029	0.029	0.107	0.114 0.234
	E	-7.1	-2.74	-35.2	36.6	64	40.5	0.061	0.029	0.026	0.098	0.135 0.159
	F							0.122	0.027	0.021	0.043	0.001 0.101
後進	A	19.7	82	-8.5	6.1	3.9	10.6					
	B	53	34.1	1.2	-8.8	14.6	-45	0.287	0.023	0.010	0.025	0.009 0.131
	C	-8.3	52	47.0	0	-13.7	-37.8	0.163	0.015	0.016	0.051	0.024 1.105
	D	-8.3	-16.6	64	52.3	-13.7		0.127	0.009	0.012	0.062	0.041 0.770
	E	-4.6	-14.1	13.9	15.6	40.0	100	0.041	0.007	0.010	0.056	0.130 0.695
	F											

表 - 8 (3) 縦断走行時の曲げ応力と反力の変化(後輪荷重)($\phi 100, 60\text{cm}$, 不陸 50cm , M_{25})

測 定 点 走 行 の 方 向 と 荷 重 の 位 置	曲 げ 応 力 (Kg/cm^2)						反 力 (Kg/cm^2)					
	A	B	G	C	D	F	a	b	d	E	F	
前 進	A											
	B						1230	0880	0211	0047	1021	
	C	-32.9	-18.4	643	117.0	-27.7	-106.5					
	D						1020	0721	0274	0056	0361	
	E						0269	0089	0134	0117	0047	
	F						1090	0593	0157	0032	1505	
後 進	A											
	B						1082	0667	0015	0	0078	
	C	-12.9	-19.0	402	89.8	-17.4	-83.7					
	D						0526	0495	0211	0032	0172	
	E						0281	0208	0091	0076	0008	
	F						0533	0402	0045	0	0984	

表 - 8 (4) 縦断走行時の曲げ応力と反力の変化(後輪荷重)($\phi 100, 90\text{cm}$, 素掘, №1)

測定点 走行の方向と荷重の位置		曲げ 応 力 (Kg/cm^2)						反 力 (Kg/cm^2)					
		A	B	C	D	E	F	a	b	c	d	e	f
前 進	A	18.6	-13.5	-7.6	-5.1	-3.0	3.1	0.793	0.372	0.853	0.225	0.698	0.314
	B	-1.8	12.7	0	-5.8	-3.0	1.5	0.786	0.420	0.853	0.225	0.697	0.314
	C	-12.4	-3.4	28.9	23.1	-7.5	-2.14	0.786	0.420	0.853	0.225	0.697	0.314
	D	-1.8	6.8	6.1	4.47	9.8	-7.6	0.623	0.320	0.784	0.230	0.872	0.201
	E	-6.5	-11.9	-3.0	5.8	3.90	-4.6	0.005	0.045	0.220	0.050	1.082	0.040
	F							0.720	0.286	0.643	0.117	0.238	0.616
後 進	A	-3.37	-3.05	-12.2	-1.16	-5.3	6.1	0.845	0.382	0.700	0.073	0.184	0.749
	B	-7.1	28.9	15.2	-13.0	-11.5	-10.7	0.829	0.420	0.820	0.126	0.184	0.738
	C	-1.77	11.9	3.34	0	-1.27	-2.68	0.829	0.420	0.830	0.146	0.251	0.935
	D	-3.5	3.4	-6.1	1.73	6.6	6.1	0.250	0.185	0.544	0.194	1.060	0.218
	E	-8.9	-10.2	3.0	-1.45	-4.88	-6.1	0.112	0.142	0.440	0.179	1.382	0.345
	F							0.816	0.420	0.826	0.145	0.254	0.935

表 - 8 (5) 縦断走行時の曲げ応力と反力の変化 (後輪荷重) ($f 100, 90 \text{ cm}$, 砂床, №2)

測 定 点 走行の方向と荷重の位置		曲 げ 応 力 (Kg/cm ²)						反 力 (Kg/cm ²)					
		A	B	C	D	E	F	a	b	c	d	e	f
前 進	A	32.0	0	-17.1	- 8.0	- 15	16.9	0.050	0.036	0.028	0	0.011	0.037
	B	53	-158	-126	- 44	- 12	8.0	0.029	0.053	0.045	0.019	0.011	0.715
	C	102	43	228	8.7	- 25	-153	0.029	0.051	0.050	0.032	0.036	0.420
	D	136	5.1	3.4	468	295	64	0.022	0.047	0.047	0.037	0.060	0.244
	E	63	5.6	- 5.7	2.77	4.73	113	0.015	0.036	0.038	0.032	0.061	0.210
	F							0.028	0.052	0.040	0.018	0.011	0.715
後 進	A	3.48	9.1	- 9.1	-12.4	3.7	9.7	0.044	0.044	0.005	0	0	0.048
	B	118	283	148	- 73	- 4.7	- 9.7	0.024	0.053	0.045	0.019	0.006	0.897
	C	5.1	136	34.1	5.8	- 3.7	-25.4	0.025	0.053	0.045	0.018	0.005	0.897
	D	135	3.4	11.4	28.4	123	0	0.020	0.044	0.041	0.024	0.016	0.583
	E	5.1	8.0	- 4.0	10.0	24.0	9.7	0.005	0.016	0.013	0.015	0.037	0.193
	F							0.024	0.053	0.045	0.019	0.006	0.897

表 - 8 (6) 縦断走行時の曲げ応力と反力の変化(後輪荷重)($\phi 100, 90\text{cm}$, 砂巻, $\#3$)

測定点 走行方向と荷重の位置		曲げ応力 (Kg/cm ²)						反力 (Kg/cm ²)					
		A	B	C	D	E	F	a	b	c	d	e	f
前進	A	115	27	- 72	- 44	0	128	0222	0144	0019	0024	0	0032
	B	- 47	160	-105	- 48	- 11	67	0135	0255	0149	0410	0123	0346
	C	0	0	256	163	28	-148	0135	0255	0149	0410	0123	0346
	D	20	- 07	118	367	260	- 27	0135	0255	0149	0410	0123	0346
	E	- 16	0	13	157	342	27	0102	0220	0115	0377	0126	0245
	F							0105	0238	0127	0229	0030	0661
後進	A	170	133	- 26	-106	- 40	13	0220	0185	0026	0030	0	0032
	B	40	227	- 83	113	- 40	- 94	0146	0262	0171	0245	0018	0880
	C	- 26	106	337	62	- 19	-268	0146	0262	0171	0245	0018	0880
	D	64	26	109	232	135	- 26	0095	0180	0121	0313	0087	0318
	E	07	36	0	82	182	40	0012	0087	0056	0205	0123	0362
	F							0146	0262	0166	0254	0018	0880

表 - 8 (7) 縦断走行時の曲げ応力と反力の変化(後輪荷重)($\phi 100, 90\text{cm}$, 不陸 25cm , No.4)

測 定 点 走 行 の 方 向 と 荷 重 の 位 置	曲 げ 応 力 (Kg/cm^2)						反 力 (Kg/cm^2)						
	A	B	G	C	D	F	a	b	c	d	e	f	
前 進	A	-285	-15.1	- 70	- 70	- 47	44	0.880	0.180		0	0	0
	B	-265	-195	-105	- 90	- 58	63	0.460	0.510		0.446	0.873	0.213
	C	- 27	- 47	187	260	192	-214						
	D	- 41	- 58	140	200	320	-170	0.460	0.510		0.446	0.873	0.213
	E							0.209	0.260		0.301	0.943	0.188
	F	- 88	0	222	244	29	-228	0.185	0.295		0.205	0.723	0.372
後 進	A	-266	-140	- 58	- 42	- 29	0	0.813	0.150		0	0.061	0
	B	136	194	408	-328	- 58	-276	0.676	0.653		0.341	0.368	0.827
	G	-231	47	111	558	29	-516						
	C	217	0	549	575	81	529						
	D	- 34	- 52	569	195	256	-164	0.280	0.370		0.414	1.118	0.172
	E							0.246	0.355		0.389	1.151	0.213
	F							0.676	0.653		0.341	0.367	0.827

表 - 8 (8) 縦断走行時の曲げ応力と反力の変化(後輪荷重)($\phi 100, 90\text{cm}$, 不陸 50cm , $\Delta 5$)

測 定 点 走行の方向と荷重の位置		曲 げ 応 力 (Kg/cm ²)						反 力 (Kg/cm ²)					
		A	B	G	C	D	F	a	b	c	d	e	f
前 進	A	-255	-185	-118	- 81	- 56	30	0905	0230		0	0	0
	B	-212	-198	-134	- 95	- 70	51	0785	0800		0591	0868	0422
	G	-167	27	342	475	0	-439						
	C	-144	- 79	279	577	170	-502	0746	0746		0426	0387	0695
	D	76	- 46	152	393	379	-318	0785	0800		0591	0868	0422
	E							0525	0600		0447	1038	0205
後 進	A	-215	-132	- 89	- 61	- 28	06	0825	0250		0	0061	0
	B	- 75	227	352	271	- 70	302	0744	0820		0286	0312	0663
	G	-302	145	486	570	- 20	-556						
	C	-182	53	460	614	25	586	0660	0676		0359	0388	0756
	D	- 30	- 28	77	237	237	-207	0290	0415		0374	1102	0148
	E						0150	0325	0312		0312	1217	0319

表 - 8 (9) 縦断走行時の曲げ応力と反力の変化(後輪荷重)($\phi 100, 120\text{cm}$, 率掘, M_6)

測 定 点 走 行 の 方 向 と 荷 重 の 位 置		曲 げ 応 力 (Kg/cm ²)						反 力 (Kg/cm ²)					
		A	B	C	D	E	F	a	b	c	d	e	f
前 進	A	7.7	9.1	— 2.8	— 7.2	—3.1	3.6	0.045	0.031	0.027	0.031	0.036	0.054
	B	5.1	11.7	1.3	— 6.5	—3.3	1.5	0.039	0.035	0.035	0.033	0.042	0.060
	C	1.5	5.9	14.3	8.3	0	— 9.9	0.037	0.031	0.039	0.037	0.044	0.072
	D	1.8	4.4	10.9	13.3	5.9	5.1	0.037	0.031	0.039	0.044	0.044	0.072
	E	0	4.6	7.7	10.7	6.6	— 2.9	0.037	0.007	0.006	0.038	0.101	0.012
	F							0.025	0.027	0.037	0.034	0.044	0.088
後 進	A	10.1	13.2	1.3	— 6.4	—3.7	0	0.048	0.021	0.037	0.040	0	0.052
	B	8.1	16.7	6.8	— 4.2	—3.7	— 5.1	0.019	0.029	0.061	0.066	0.057	0.123
	C	1.4	10.3	23.2	8.3	—2.9	—15.2	0.013	0.028	0.071	0.066	0.054	0.127
	D	1.7	4.7	17.0	12.9	0.7	— 9.0	0.014	0.028	0.071	0.066	0.054	0.127
	E	1.7	2.8	1.4	5.4	—5.9	0	0	0	0.020	0.053	0.082	0.014
	F							0.014	0.027	0.065	0.077	0.058	0.129

表 - 8 (0 縱断走行時の曲げ応力と反力の変化 (後輪荷重) ($\phi 100, 120 \text{ cm}$, 砂床, #6.7)

測 定 点 走行 の方 向と 荷重 の位 置		曲 げ 応 力 (Kg/cm^2)						反 力 (Kg/cm^2)					
		A	B	C	H	E	F	a	b	c	d	e	f
前 進	A	10.7	5.6	6.0	-1.3	-0.6	0	0.178	0.063	0.055	0.112	0.010	0.142
	B	10.0	10.1	4.6	-2.5	3.1	0	0.140	0.067	0.074	0.181	0.016	0.270
	C	- 4.3	- 3.9	10.5	-7.5	3.1	2.7	0.023	0.027	0.088	0.300	0.073	0.270
	D	- 4.7	- 6.2	- 5.6	-8.5	6.1	1.6	0.027	0.030	0.081	0.326	0.112	0.321
	E	- 3.4	- 6.4	- 1.9	-2.5	8.2	7.1	0.012	0.023	0.021	0.293	0.112	0.292
	F							0.027	0.030	0.081	0.314	0.112	0.321
後 進	A	10.7	10.7	3.9	1.5	-1.1	1.4	0.156	0.054	0.040	0.078	0.010	0.080
	B	4.6	15.3	11.6	1.9	2.5	- 4.6	0.152	0.057	0.042	0.087	0.010	0.094
	C	- 1.3	8.3	18.3	-2.3	-1.1	-1.0	0.102	0.056	0.080	0.268	0.100	0.465
	D	- 3.3	- 2.7	7.3	-8.5	2.6	- 4.0	0.108	0.056	0.055	0.275	0.040	0.405
	E	- 3.2	- 4.8	0	-3.3	8.0	2.7	0.032	0.031	0.061	0.274	0.106	0.256
	F							0.108	0.056	0.055	0.274	0.040	0.405

表 - 8 (1) 縦断走行時の曲げ応力と反力の変化(後輪荷重)($\phi 100, 120\text{mm}$, 砂巻, №8)

測定点 走行の方向と荷重の位置		曲 げ 応 力 (Kg/cm ²)						反 力 (Kg/cm ²)					
		A	B	C	D	E	F	a	b	c	d	e	f
前 進	A	145	74	4.1	4.1	2.5	0	0.135	0.037	0.014	0.060	0	0.128
	B	88	118	6.5	5.7	3.7	-6.6	0.114	0.037	0.016	0.086	0.013	0.214
	C	- 18	0	10.7	8.7	3.2	-5.3	0.035	0.021	0.021	0.205	0.110	0.208
	D	- 3.6	- 4.6	10.7	20.2	9.3	-2.5	0.035	0.021	0.020	0.208	0.146	0.229
	E	- 2.9	- 8.2	0	15.8	16.1	6.6	0.029	0.017	0.019	0.204	0.148	0.201
	F	- 2.9	- 8.7	- 3.2	9.3	16.1	6.5	0.023	0.016	0.017	0.189	0.143	0.209
後 進	A	10.5	9.1	5.2	2.2	0.8	0.7	0.070	0.026	0.020	0.075	0	0.198
	B	6.4	9.2	5.2	1.1	2.2	0	0.070	0.026	0.020	0.075	0	0.198
	C	- 2.6	0	14.4	10.6	3.8	-6.1	0.025	0.019	0.020	0.160	0.100	0.117
	D	- 2.6	- 3.4	8.1	12.0	6.7	-4.6	0.025	0.019	0.020	0.160	0.100	0.115
	E	- 2.6	- 5.1	3.9	10.6	7.7	-2.3	0.020	0.016	0.020	0.160	0.100	0.115
	F							0.060	0.022	0.016	0.080	0.020	0.257

表 - 8 (2) 縦断走行時の曲げ応力と反力の変化(後輪荷重)($\phi 100, 120\text{cm}$, 不陸 25cm , M_{29})

測定点 走行方向と荷重の位置		曲 げ 応 力 (Kg/cm^2)						反 力 (Kg/cm^2)					
		A	B	G	C	D	F	a	b	d	e	f	
前 進	A	-10.1	- 2.9	2.91	3.6.6	16.1	-30.0	0.08	0.05	0.04	0.01	0.296	
	B	- 63	-11.9	5.6	12.7	17.8	- 8.8	0.07	0.053	0.080	0.027	0.586	
	G	- 8.6	- 0.9	3.12	3.55	12.6	-2.95						
	C	- 9.0	0	3.12	3.80	14.4	-3.08	0.070	0.053	0.110	0.053	0.675	
	D	- 8.8	-10.7	12.1	2.18	20.1	-1.63	0.060	0.048	0.110	0.060	0.634	
	E							0.044	0.015	0.100	0.124	0.247	
後 進	A	8.8	11.5	14.0	13.7	1.5	-10.1	0.06	0.031	0.023	0.006	0.160	
	B	6.2	13.6	1.63	1.50	1.5	-1.15	0.06	0.040	0.003	0.008	0.257	
	G	- 1.2	6.8	2.04	2.11	4.0	-1.73						
	C	- 2.5	4.4	1.98	2.18	4.9	-1.80	0.050	0.039	0.045	0.018	0.387	
	D	- 3.8	4.2	8.2	1.16	13.0	- 9.4	0.021	0.030	0.100	0.106	0.220	
	E							0.015	0.025	0.090	0.115	0.230	

表 - 8 (4) 縦断走行時の曲げ応力と反力の変化(後輪荷重)($\phi 100, 120\text{cm}$ 、不陸 50cm 、 $\beta 10$)

走行測 定 点 の 方 向 と 荷 重 の 位 置		曲 げ 応 力 (Kg/cm^2)						反 力 (Kg/cm^2)					
		A	B	G	C	D	F	a	b	d	e	f	
前 進	A	7.2	10.7	14.6	14.8	2.6	-11.3	0.09	0.027	0.020	0.017	0.050	
	B	0.7	14.5	2.33	2.41	2.6	18.6	0.06	0.048	0.106	0.058	0.600	
	G												
	C	-14	8.4	20.4	26.0	5.8	-18.9	0.05	0.045	0.096	0.050	0.640	
	D	-2.9	- 2.2	4.4	11.4	9.2	- 5.7	0.04	0.045	0.122	0.080	0.507	
	E							0.04	0.038	0.110	0.093	0.300	
後 進	A	7.2	12.2	14.6	15.2	1.6	-10.1	0.070	0.030	0.017	0	0.086	
	B	5.1	13.0	16.0	15.2	1.6	-10.1	0.070	0.052	0.077	0.018	0.521	
	G	-1.5	6.1	16.8	2.28	6.4	17.6						
	C	-2.9	3.8	15.3	2.41	9.0	-18.9	0.060	0.050	0.083	0.023	0.600	
	D	-3.6	- 0.5	8.7	19.7	12.7	-16.4	0.030	0.037	0.120	0.090	0.306	
	E							0.020	0.030	0.105	0.100	0.340	

表 - 8 (4) 縦断走行時の曲げ応力と反力の変化 (後輪荷重) ($\phi 200$, 60cm , 桑畑, №11)

測 定 点 走 行 の 方 向 と 荷 重 の 位 置	曲 げ 応 力 (Kg/cm^2)						反 力 (Kg/cm^2)						
	A	B	C	D	E	F	a	b	c	d	e	f	
前 進	A	13.7	- 6.3	-2 4.7	13.0	- 3.4	2.9	0.28	0.0 9	0.0 1	0	0	0
	B	- 6.8	-3 4.7	-1 7.4	-1 0.9	- 5.6	1.98	0.07	0.14	0.05	0.29	0.04	1.9 1
	C	6.8	11.0	3 6.3	6.8	- 5.6	-3 3.6	0.04	0.12	0.0 6	0.34	0.11	0.65
	D	- 1.0	7.9	2 1.8	3 9.1	3.8	-1 9.2	0.03	0.10	0.0 4	0.35	0.15	0.28
	E	- 2.0	- 9.5	-1 0.2	-1 0.9	-2 4.4	8.4	0	0	0	0.1 6	0.5 1	0
	F	6.8	11.0	3 6.3	6.8	- 5.6	-3 3.6	0.08	0.13	0.05	0.25	0.02	2.07
後 進	A	16.1	6.3	-1 6.0	-1 3.7	- 1.9	6.0	0.24	0.0 6	0	0	0	0
	B	- 8.8	-2 8.4	-1 8.9	-1 5.7	- 3.1	6.6	0.14	0.14	0.0 3	0.13	0	0.44
	C	8.8	12.6	3 2.0	4.8	- 1.2	-3 1.2	0.11	0.13	0.0 6	0.19	0.0 1	1.50
	D	- 2.9	- 9.5	-1 0.2	-2 4.0	-1 3.2	1 0.8	0	0.0 1	0.0 1	0.24	0.47	0.40
	E	- 1.5	- 7.6	-1 1.6	-1 9.1	-2 3.5	1 3.0	0	0.0 1	0.0 1	0.22	0.53	0.20
	F	8.8	12.6	3 2.0	4.8	- 1.2	-3 1.2	0.08	0.11	0.05	0.22	0.03	1.84

表 - 8 (9) 縦断走行時の曲げ応力と反力の変化(後輪荷重)($\phi 200 \cdot 60 \text{ cm}$, 砂床, M_{12})

測 定 点 走 行 の 方 向 と 荷 重 の 位 置		曲 げ 応 力 (Kg/cm ²)						反 力 (Kg/cm ²)					
		A	B	C	D	E	F	a	b	c	d	e	f
前 進	A							0.19	0.18	0.43	0.13	0.30	0.07
	B							0.19	0.18	0.43	0.13	0.30	0.07
	C							0.19	0.16	0.44	0.10	0.33	0.07
	D							0.02	0.06	0	1.30	0	0.07
	E							0.06	0.07	0.21	0.10	0.66	0.11
	F	-1.4	12.4	5.43	0	-6.7	-5.23	0.10	0.11	0.17	0.33	0	2.50
後 進	A	3.1	10.4	- 6.8	- 8.6	-1.5	3.9	0.12	0.10	0.17	0.42	0	2.57
	B	-4.5	3.90	10.2	-1.14	-1.5	-1.28	0.10	0.11	0.20	0.78	0.06	0.20
	C	3.1	1.90	5.18	2.2	-3.0	-5.11	0.09	0.05	0.37	0.05	0.51	1.27
	D	0	- 9.5	16.9	2.76	3.0	-1.66	0.02	0.06	0.06	0.14	0.04	0.09
	E	-0.4	- 3.8	1.18	7.1	8.2	12.1	0.05	0.02	0.23	0.09	0.70	0
	F	-3.7	4.00	22.9	1.19	-1.5	1.92	0.12	0.10	0.29	0.45	0	2.69

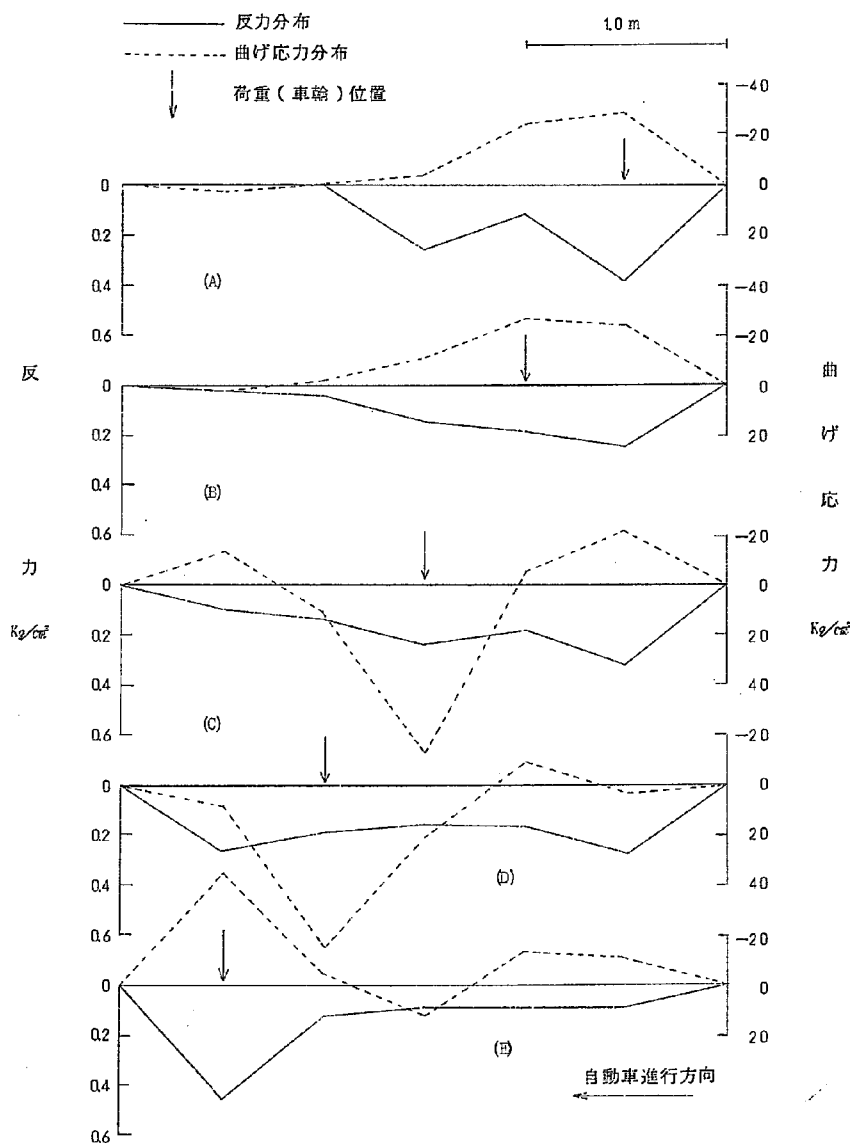


図 - 1 1 (1) 縦断走行時の反力と曲げ応力の変化(後輪荷重)
($\phi 100$, $60 cm^2$, 素堀, 筋23)

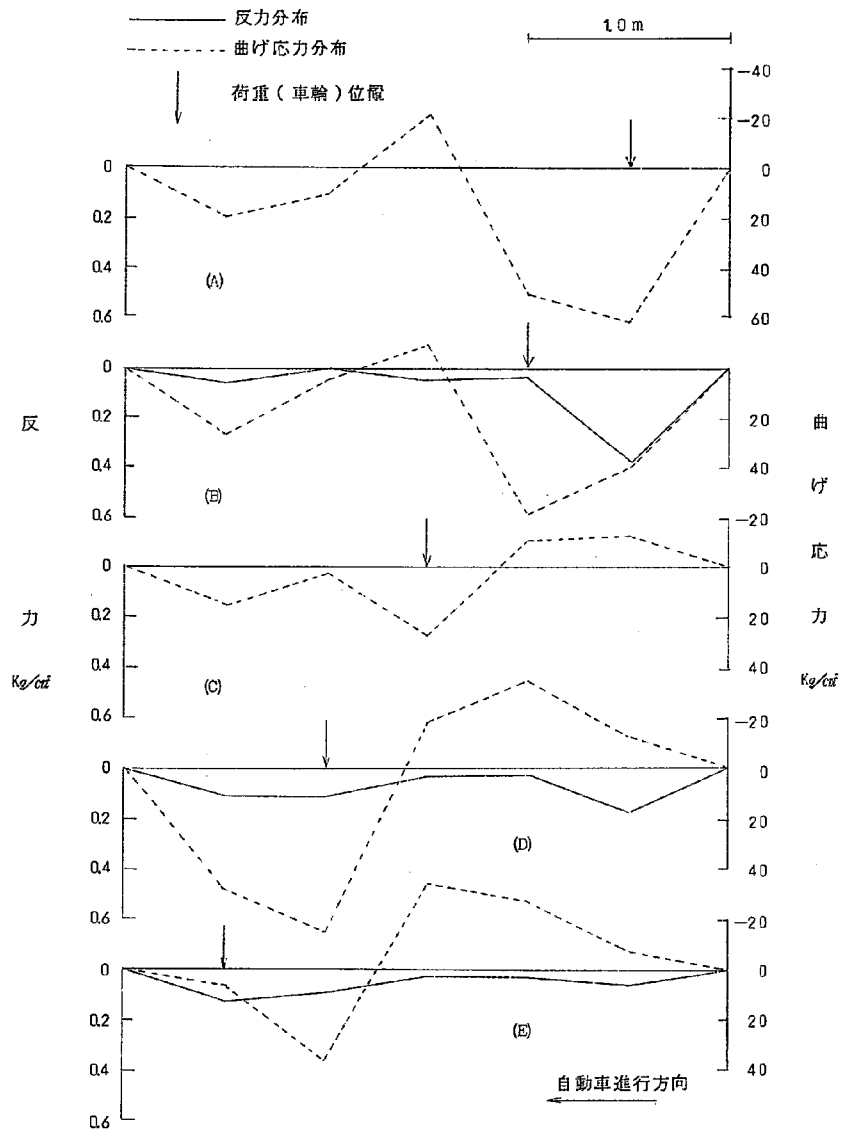


図 - 1 1 (2) 縦断走行時の曲げ応力と反力の変化 (後輪荷重)
($\phi 100$, 60 cm , 砂床, $\Delta 2.4$)

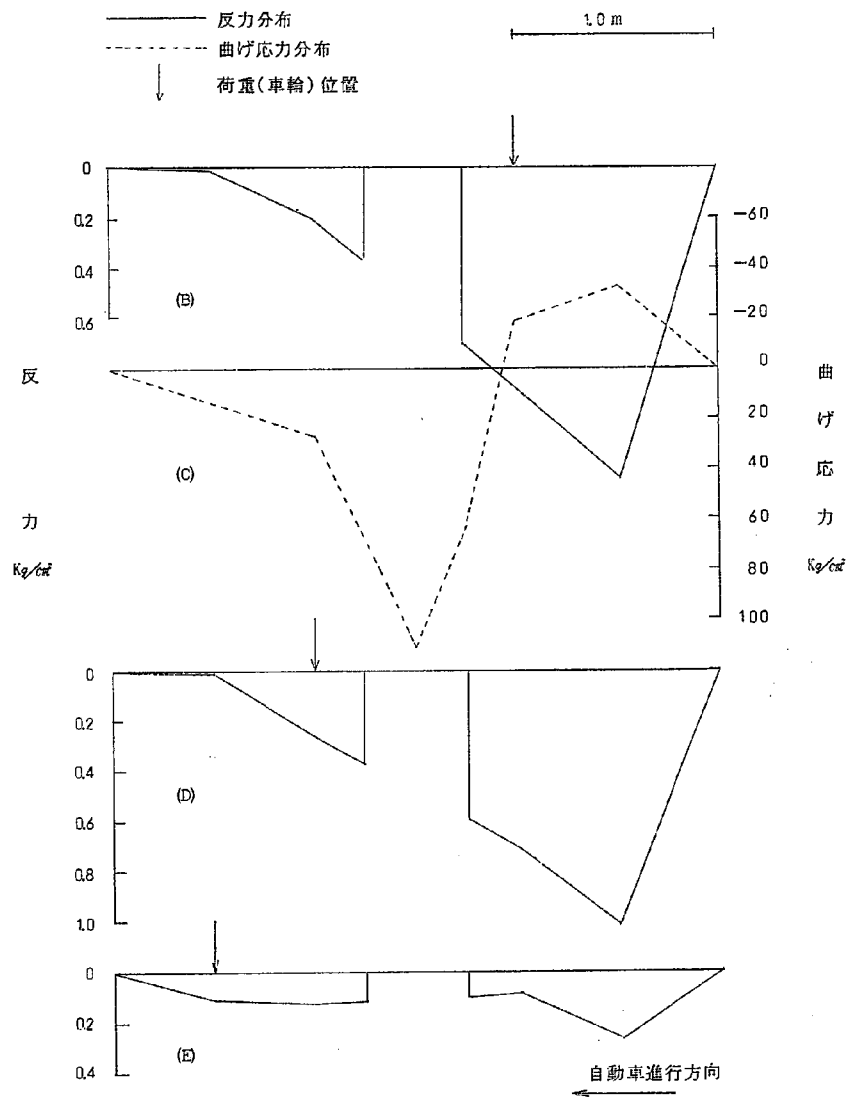
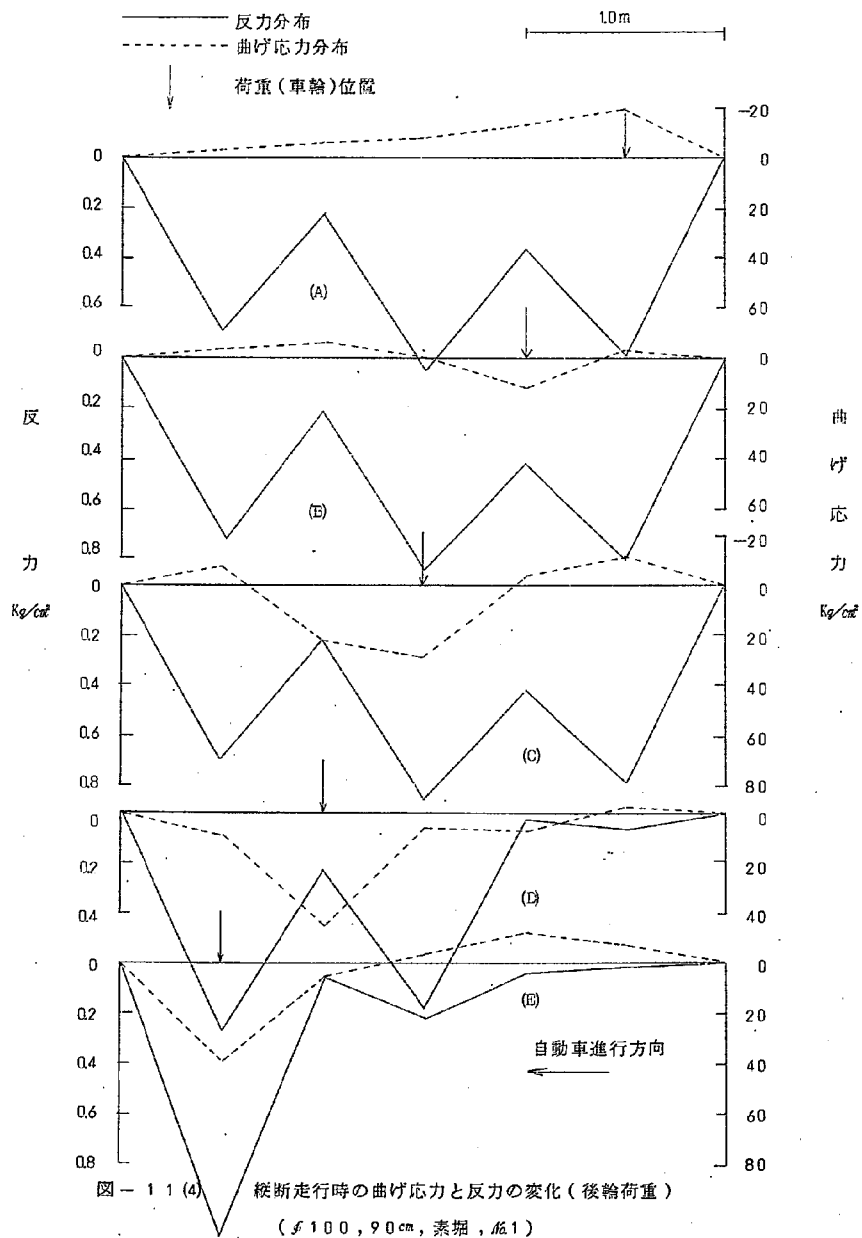


図 - 11 (3) 横断走行時の曲げ応力と反力の変化(後輪荷重)
($\phi 100, 60 \text{ cm}$, 不陸 50 cm , $\Delta 25$)



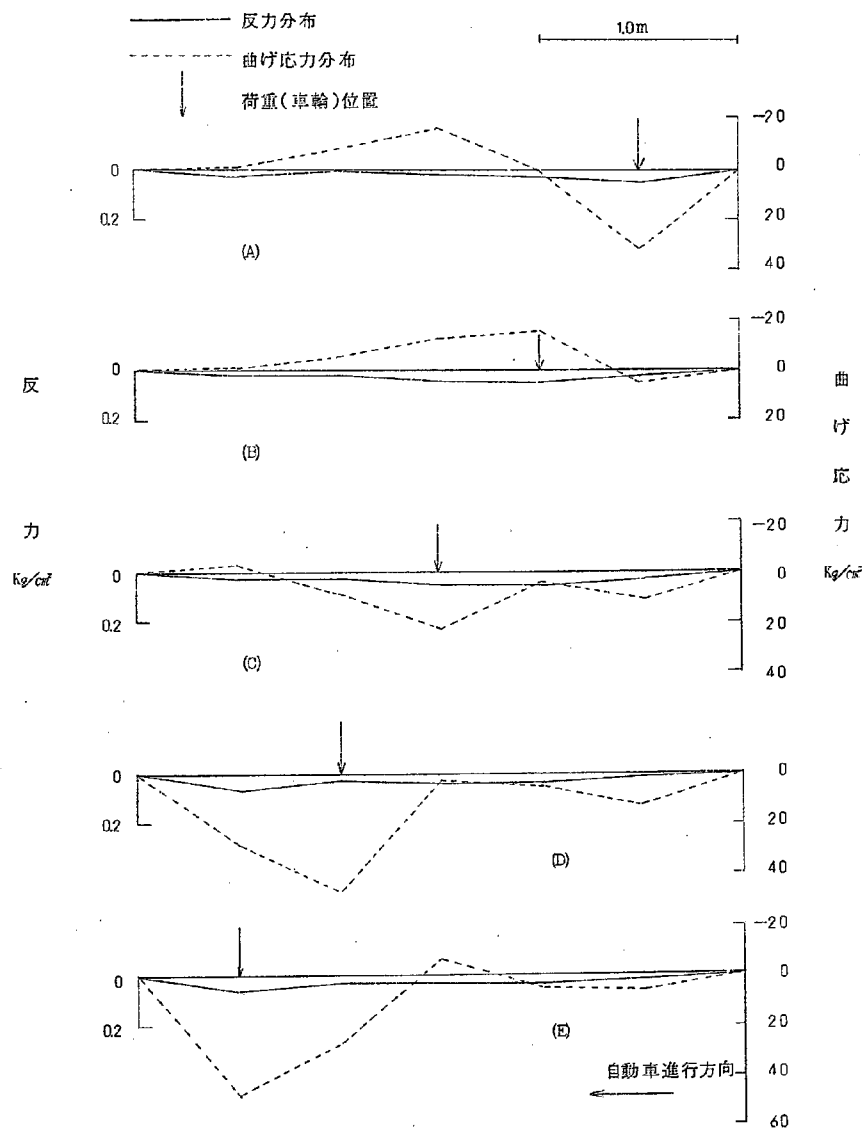


図 - 11 (5) 縦断走行時の曲げ応力と反力の変化(後輪荷重)
($\phi 100, 90\text{ cm}$, 砂床, μ_2)

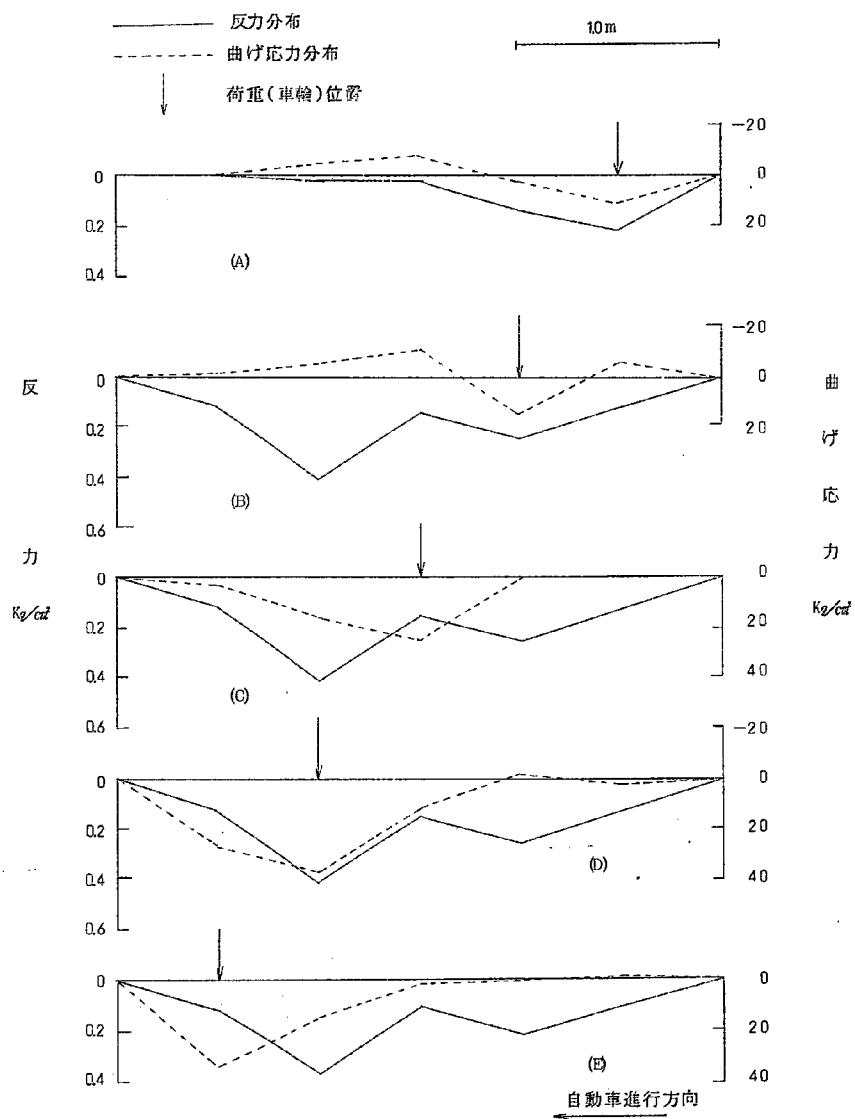


図 - 1 1 (d) 縦断走行時の曲げ応力と反力の変化(後輪荷重)

(f 100, 90cm, 砂巻, M_3)

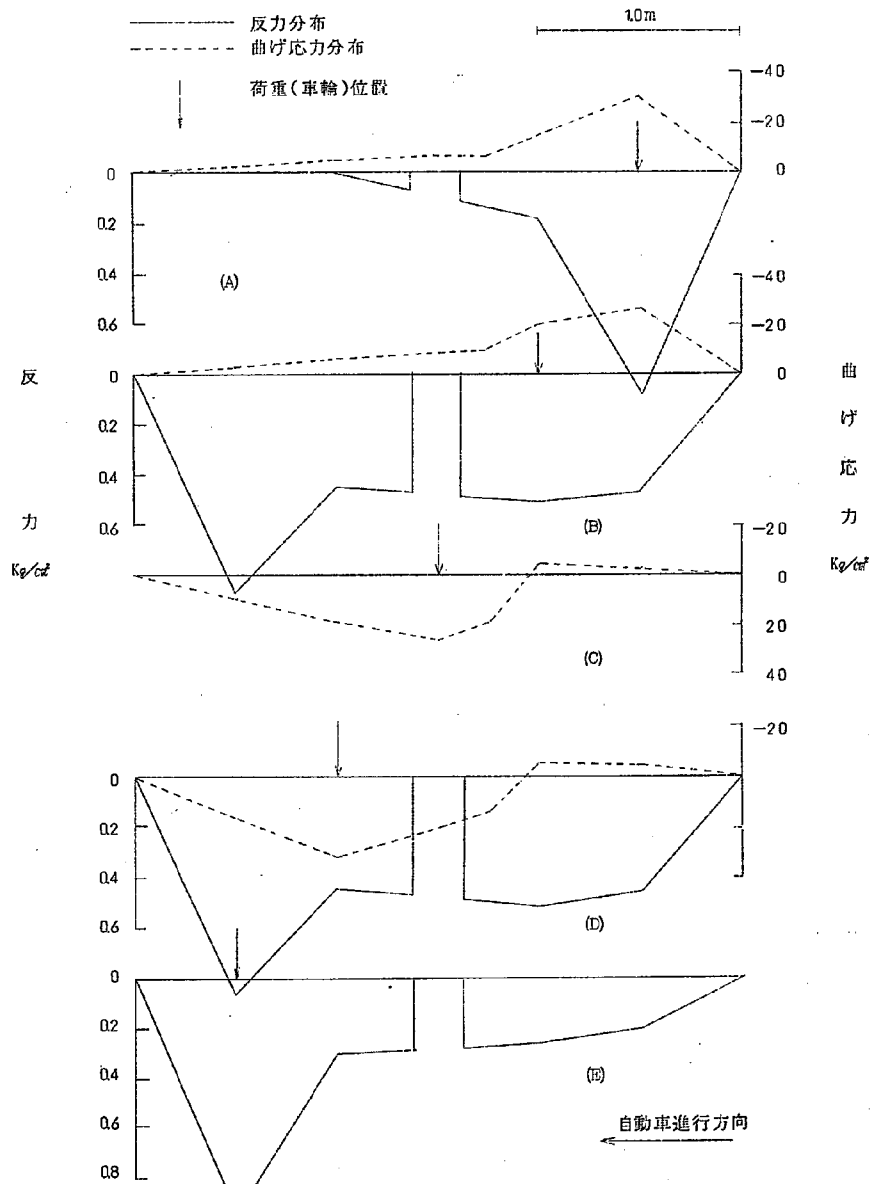


図 - 11 (7) 縦断走行時の曲げ応力と反力の変化 (後輪荷重)

($\phi 100$, 90cm , 不陸 25cm , $\#4$)

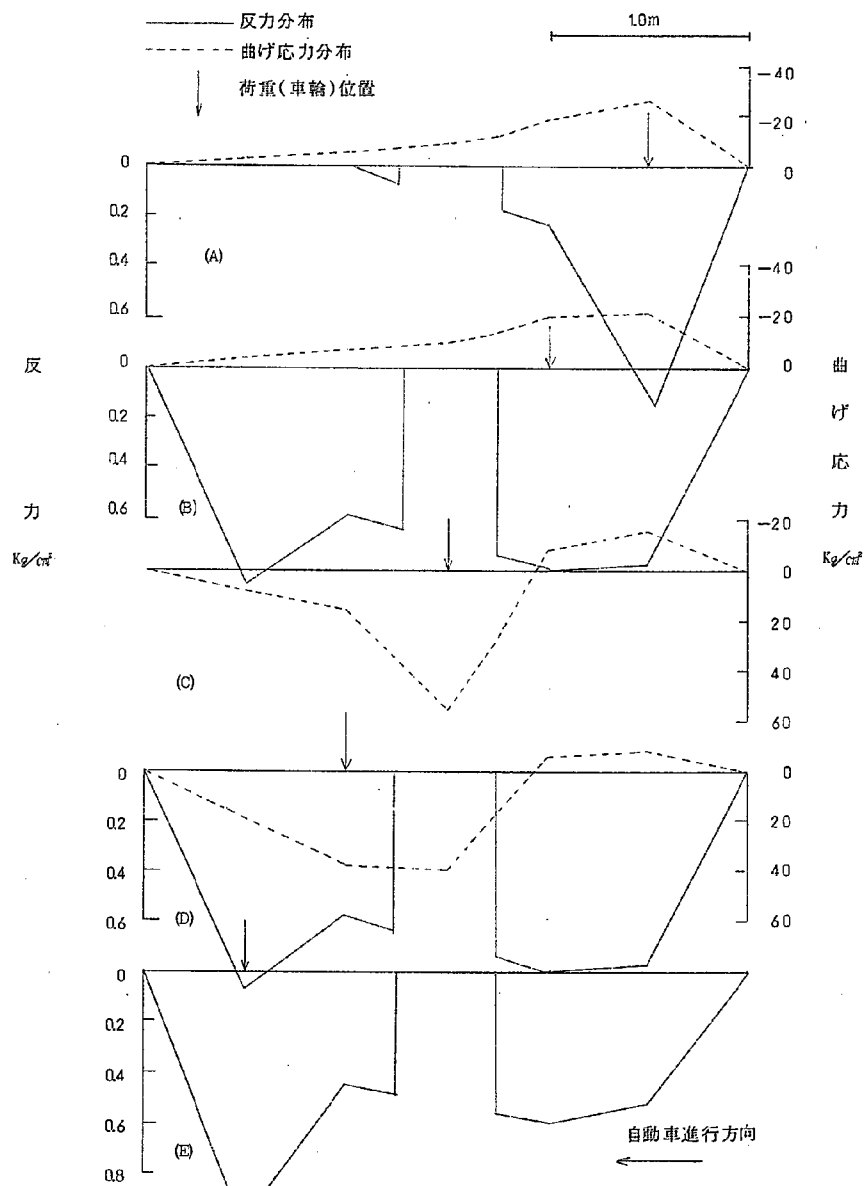


図 - 11 (8) 縦断走行時の曲げ応力と反力の変化 (後輪荷重)
($\phi 100$, 90cm , 不陸 50cm , 板5)

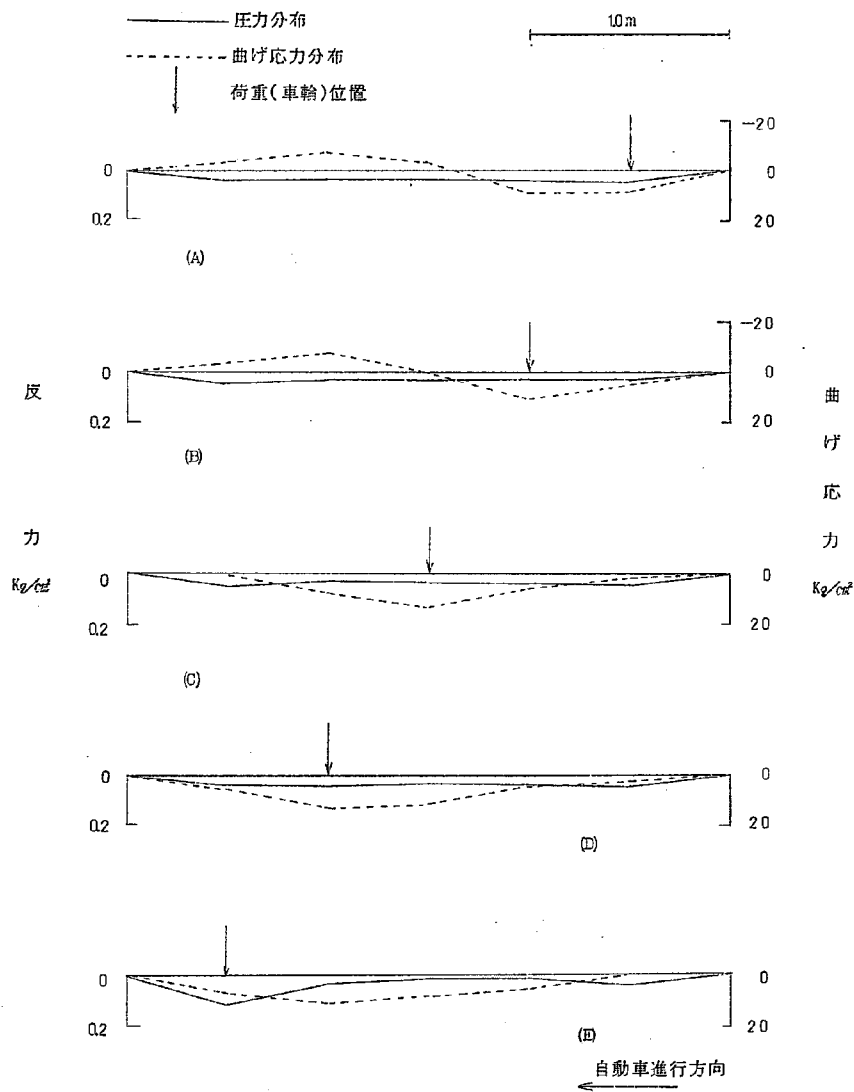


図 - 11 (9) 横断走行時の曲げ応力と反力の変化(後輪荷重)
 (φ100, 120cm, 索堀, №6)

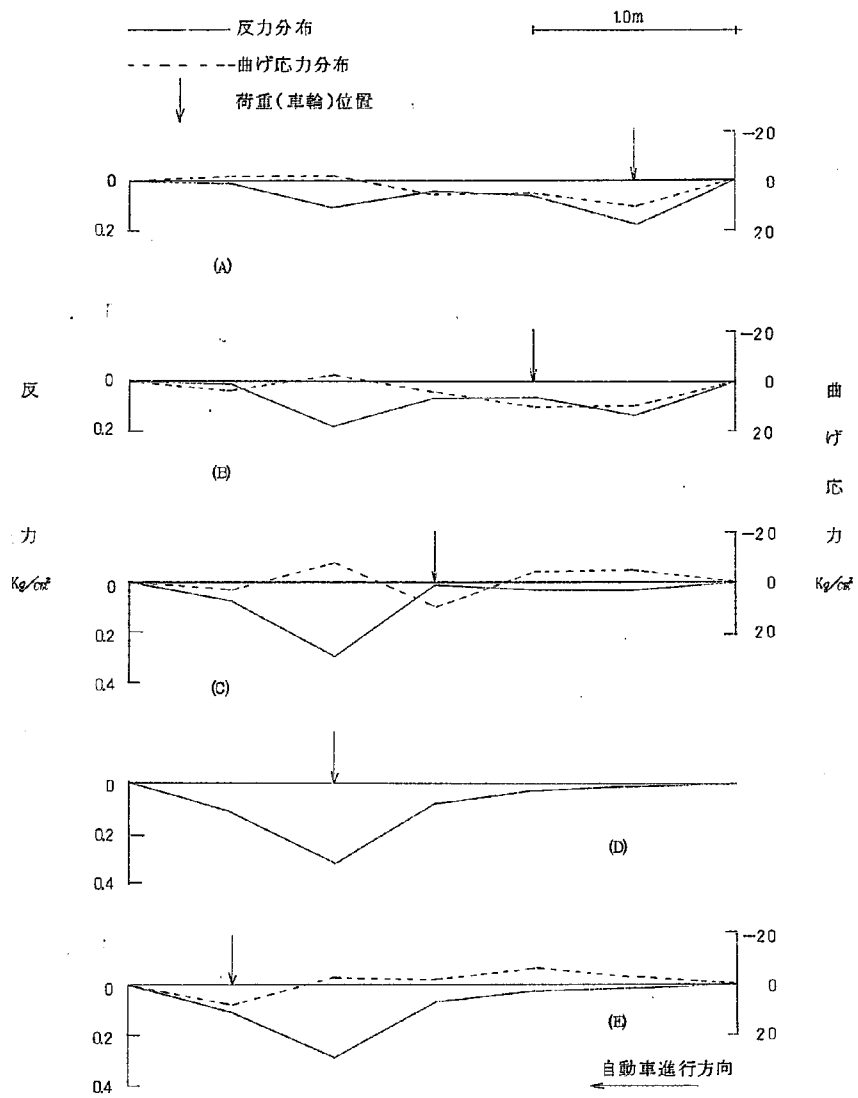


図 - 11 00 縦断走行時の曲げ応力と反力の変化(後輪荷重)

($\phi 100, 120\text{cm}$, 砂床, $\mu 7$)

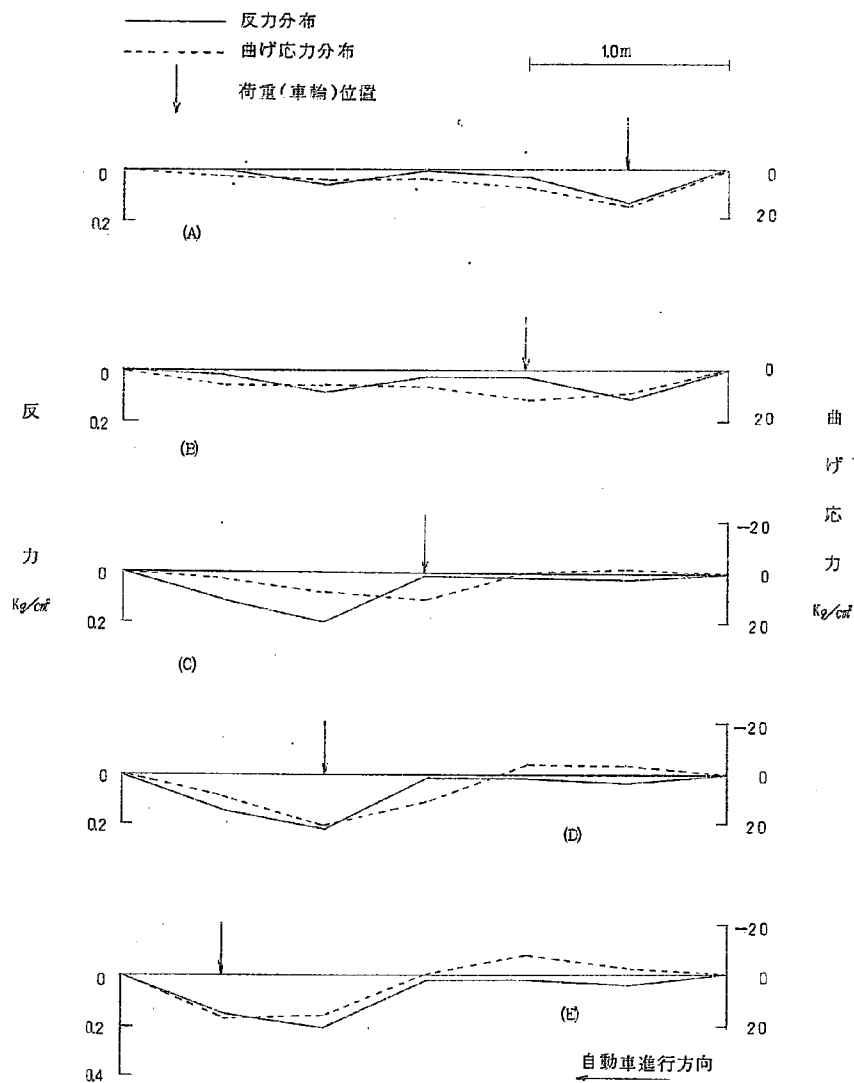


図 - 11 (1) 縦断走行時の曲げ応力と反力の変化(後輪荷重)
 ($\phi 100, 120\text{cm}$, 砂巻, $M\&S$)

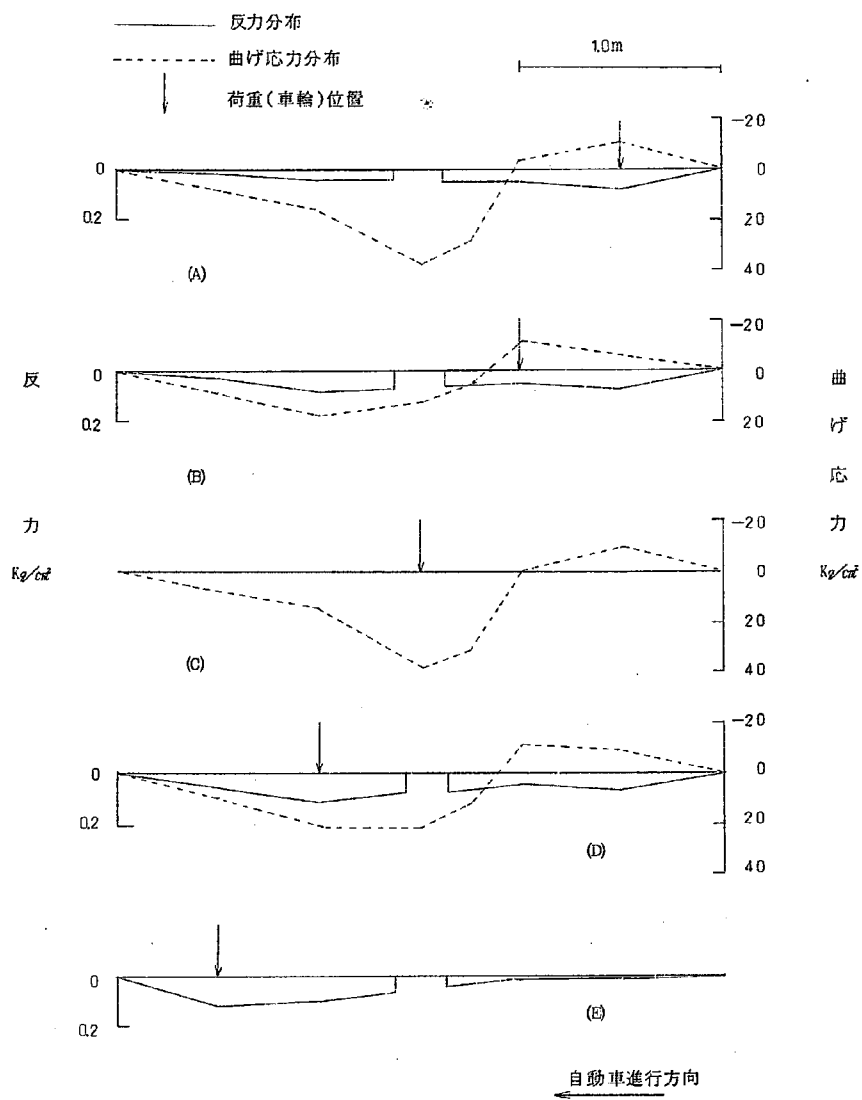
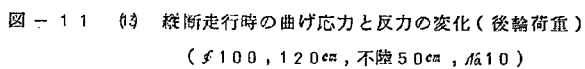


図 - 11 04 縦断走行時の曲げ応力と反力の変化(後輪荷重)

($\phi 100, 120\text{cm}$, 不陸 2.5cm , 1/29)



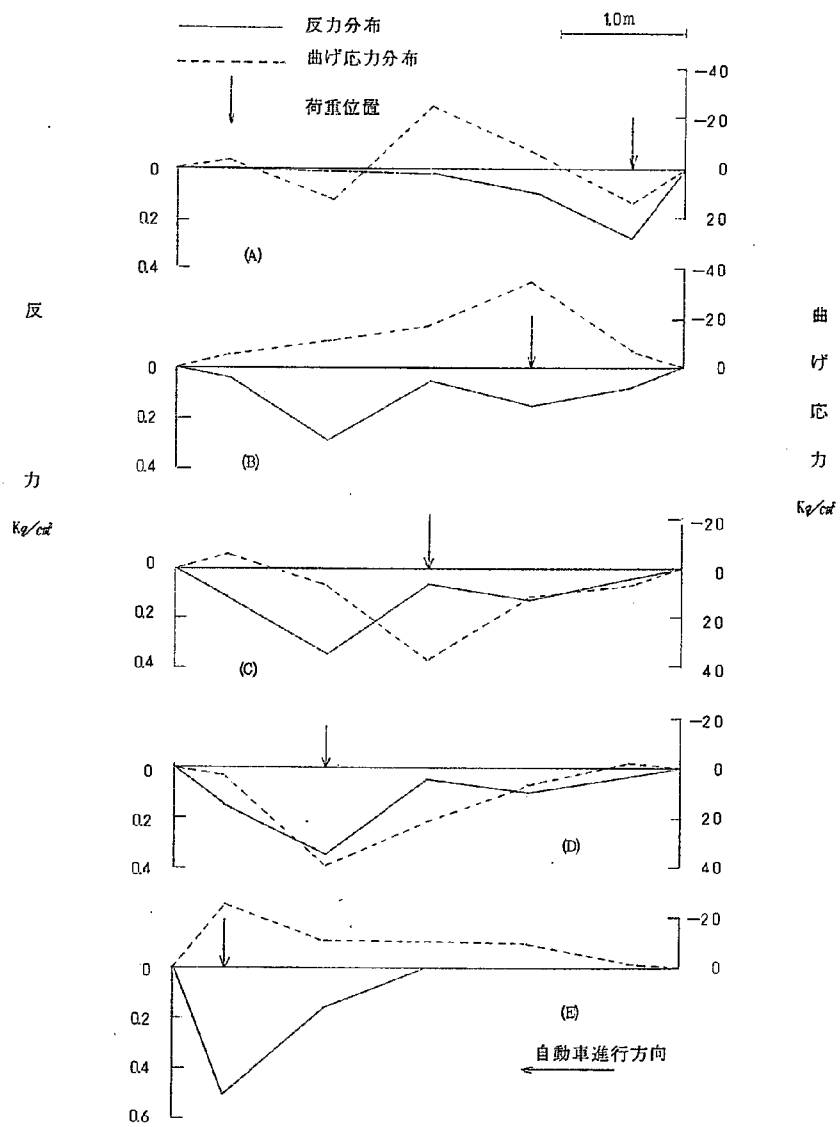


図 - 11 (14) 縦断走行時の曲げ応力と反力の変化 (後輪荷重)
($\phi 200$, 60cm, 素堀, №11)

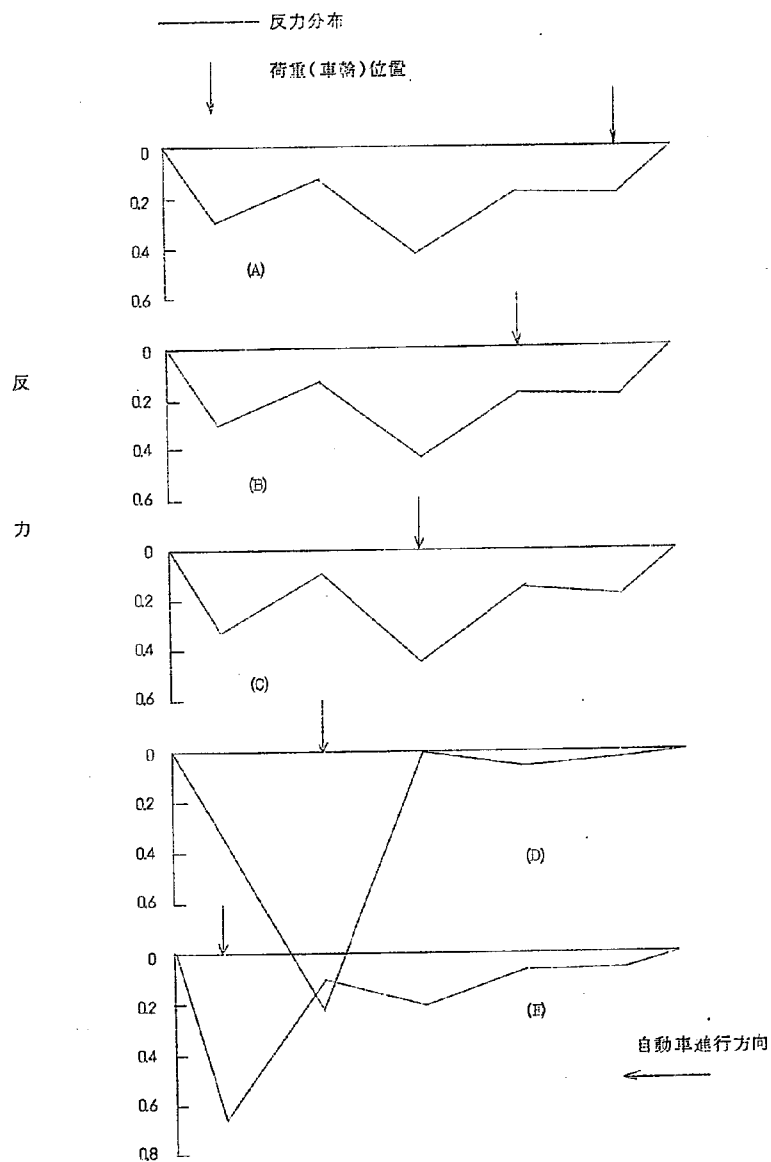


図 - 1 1 (19) 縦断走行時の曲げ応力と反力の変化(後輪荷重)
($\phi 200$, 60cm, 砂床, 派12)

5 実験結果についての検討

5.1 埋めもどし上による土圧

管キヨを溝内に設置して埋めもどした場合、埋めもどし土による静的な土圧を求める式としては通常 Marston の式

$$p = \frac{1 - \exp(-2K\mu' \frac{H}{B})}{2K\mu'} rB \quad (3)$$

が用いられている。^{*1}

ここで K = 埋めもどし土の主動土圧係数でマサツ角を ϕ とすると

$$K = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

μ' = 埋めもどし土と溝壁の間のマサツ係数で $\mu' = \tan \phi$ と考えてよい。

H = 土かぶり

B = 溝の幅

r = 土の単位体積重量

一方水道管の設計に用いられている Janssen の式は上記(3)式と同じ仮定のもとに導かれたものであるが(3)の Marston 式では埋めもどし土の粘着力を無視しているのに対して Janssen 式ではこれを考慮している。しかし溝内の埋めもどし土の重量と溝壁のマサツ力のつりあいを考えて管キヨにかかる土圧を計算しようとする基本的な考えかたは同じで Janssen の式は埋めもどし土の粘着力 c を考えて

$$p = \frac{1 - \exp(-2K\mu' \frac{H}{B})}{2K\mu'} (rB - 2c) \quad (4)$$

となつている。

したがつて、 $c > 0$ 、 $\phi > 0$ なる土の場合には $c = 0$ としている(3)式の方が大きい土圧を与えることになる

さて図-5は管頂に作用する土圧の実測値で点線は(3)式において $\phi = 10^\circ$ として $K\mu' = \tan^2 40^\circ$ 、 $\tan 10^\circ = 0.176$ として計算した値である。もちろん H/B の値により異なるがその差は小さいので平均の値を示した。実験結果は(3)式による理論値よりも大きいものがほとんどで、実線で示した静水圧的な土圧

$$p = rH \quad (5)$$

* 1 M. G. Spangler "Soil Engineering, P411~P413"

* 2 杉戸清 "下水道学, P123~P126"

の方がまだ実験値に近い。しかし(5)式による計算値よりもかなり大きいものもあり、これは埋めもどしあるいは締固めの際の土の状態が均一でないため、土圧分布が一様にならないものと考えられる。

Marstonの式(あるいはJanssenの式)が実際の土圧よりも過小の値を与える理由としては、関東ロームはねり返しによる強度低下が大きく圧縮性も大きいので溝壁と埋めもどし土の間にマサツ力が生ずることなく埋めもどし土の全重量が管キヨにかかってしまうということが考えられる。

なお(5)式による計算値より大きい土圧がある点に働いているときには、力のつりあいから考えて当然他のどこかでは(5)の計算値より小さい土圧が作用していることになり、管キヨの長さ方向の土圧の荷重分布は一様ではない。

5.2 埋めもどし土によって生ずる管底の反力と曲げ応力

反力と曲げ応力は埋めもどし土の土圧の大きさよりもむしろその分布の状況あるいは基礎の支持条件が長さ方向に均一でないことにより大きく影響される。図-6によれば、反力と曲げ応力は土かぶりが増加してもあまり変わらず、埋めもどし初期に生じたままの分布であることがわかる。当然予想されることではあるが基礎に不陸があって均一に支持されていないものに大きな曲げ反力が生じ、素堀よりも基礎と管の接触が良好になると思われる砂床の場合が曲げ応力反力ともに小さくなっている。基礎をできるだけ均一にするという点から砂床は素堀よりも有効であろう。

埋めもどしと基礎の支持が理想的な状態であれば管にはほとんど応力を生じないはずであるが、実験によれば図-6のように曲げ応力が観測されているので、設計にあたっては動荷重による応力のほかにこの静的な応力も考慮しなければならない。その応力としては図-6の結果から不陸のある場合は現実このようなことのある可能性は少ないからこれを除外して考え、その他の場合の平均的な値として引張り側および圧縮側ともに 10kg/cm^2 程度をとるものとする。基礎が不均一と思われるときは不陸の場合の応力実測値を参考として、静的な応力として $15\sim 20\text{kg/cm}^2$ を考える。

5.3 管頂に作用する輪荷重

地表面に集中荷重 P があるときその直下の深さ z における応力 P は

Fröhlich の式

$$P = \frac{uP}{2\pi z^2} \cos^{u+2}\psi \quad (6)$$

で $\psi = 0$ として計算することができる。 u は集中係数といわれ $u = 3$ の場合が Boussinesq の式である。

実測値と計算値の比較は図-7および図-8に示すとうりであるが図-7の前輪荷重の場合に実測値が計算値よりも大きくなっている。そして後輪の場合には一応 $u = 3 \sim 6$ の範囲には入っているが、この計算値は後輪荷重を $P_2 = 8600 \text{ kg}$ としているのに対して、後輪は2軸であるからひとつの車輪には軸重の半分である 8600 kg よりも小さい荷重がかかっているものと思われる。実際に土圧計のオシロペーパーをみると後輪については2つの山形のカーブがあらわれ後輪のうちで前方の車輪による土圧の約 $1/3$ の土圧が後方の車輪により生じている。したがって後輪は2軸が $3:1$ の割合で軸重を負担していると考えられ、その場合には図-8における計算値は $3/4$ 倍になり、それだけ実測値が計算値より大きいという場合が多くなる。

u については応力集中の程度の大きい砂について $u = 6$ ぐらいといわれているがこの関東ローム地盤の場合に u が 6 よりも大きいと考えれば、理論値と合う値もでてくるが図-7, 8の結果からは測定値のちらばりが大きいので、この実験の結果から u の値を推定することは困難である。

ここで少し視点をかえて、管頂における輪荷重の測定値から土中応力分布を検討してみる。

Fröhlich の理論によれば深さ z において応力は無限の広さの範囲に分布していることになるが実測によれば図-aに示すように応力の分布する範囲は限られており分布の形は垂直面内では三角形、したがって実際には円錐形になっているとみなすことができる。

ある距離 L をへだてて設置されている二つの土圧計 A、B の記録はオシロペーパー上で図-aのようになっ

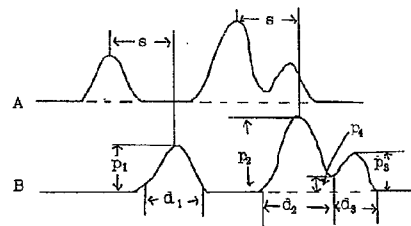


図-a 土圧の記録

ている。ここで左端のピークは前輪荷重による土圧、中央のピークと右端のピークは二軸後輪によるもので、その読みを図-aのとおりとすれば、土中の応力分布範囲 $2r$ (図-b) は

$$2r = \frac{d}{s} L \quad (7)$$

で計算できる。

管頂の2点に土圧計を設置して測定した結果は $\phi 300$ 、素掘りの条件で土かぶり $60, 90, 120 \text{ cm}$ (試験底 $17, 19, 21$) があり、これについて応力分布範囲 $2r$ を(7)によって計算すると平均値として表-aの値を得た。この場合 $L=400 \text{ cm}$ $s=4.5$ $\sim 5.0 \text{ cm}$ となっている。

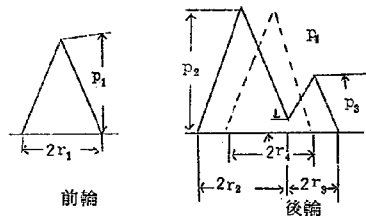


図-6 輪荷重による土中の応力分布

表-a 輪荷重分布範囲 (図-b)

深さ z (cm)	$2r_1$ (cm)	$2r_2$ (cm)	$2r_3$ (cm)	$2r_4$ (cm)
60	150	150	135	170
90	190	190	150	220
120	210	210	160	260

ある深さにおいて分布する応力の総和は地表に作用する荷重に等しいから、応力分布が円錐状をなし、荷重直下で最大応力が p 、その点より半径 r の円上で 0 になるように直線的に減少するものとすれば、前輪荷重を P_1 とするとき

$$P_1 = \frac{1}{3} \pi p_1 r_1^2 \quad (8)$$

である。また後輪については図-bの P_4 を無視して考えると (実測によれば $p_4 \approx 0.1 p_2$ 程度である) 後輪荷重を P_2 として

$$P_2 = \frac{1}{3} \pi p_2 r_2^2 + \frac{1}{3} \pi p_3 r_3^2 = \frac{\pi}{3} (p_2 r_2^2 + p_3 r_3^2) \quad (9)$$

と書くことができる。

後輪荷重の分布範囲を単純化するため(9)を最大荷重が p_2 で分布半径が r である円錐形の等価応力分布 (図-bの点線で示したもの) におきかえて考える。

$$\text{すなわち} \quad P_2 = \frac{1}{3} \pi p_2 r^2 \quad (10)$$

である。(9)と(10)より等価応力分布範囲 r を求めると

$$r_4 = \sqrt{r_2^2 + \left(\frac{p_3}{p_2}\right) r_3^2} = r_2 \sqrt{1 + \left(\frac{p_3}{p_2}\right) \left(\frac{r_3}{r_2}\right)^2} \quad (11)$$

となる。表-aに示した r は試験結果による p_1/p_2 の平均値 $p_1/p_2 = 0.33$ を用いて(1)式により計算したものである。

ここで z と r の関係を同対数グラフ上にプロットすると直線関係が認められたので $r = m z^n$

の形に書いて、表-aの値により定数 m 、 n を求めると(r 、 z の単位は cm)

$$\text{前輪荷重に対して} \quad r = 6.7 z^{0.59} \quad (3)$$

$$\text{後輪荷重に対して} \quad r = 10 z^{0.53} \quad (4)$$

を得た。図-12は(3)(4)の関係を示す。

をそれぞれ(8)および(9)に代入すれば p_1 、 p_2 を求める実験式

$$p_1 = \frac{3 P_1}{\pi r_1^2} = \frac{3 P_1}{m^2 \pi z^{2n}} = 0.0213 \frac{P_1}{z^{1.18}} \quad (5)$$

$$p_2 = \frac{3 P_2}{\pi r_2^2} = \frac{3 P_2}{m^2 \pi z^{2n}} = 0.0096 \frac{P_2}{z^{1.06}} \quad (6)$$

が得られる。

前輪について $P_1 = 1825 \text{ kg}$ 、後輪について $P_2 = 8600 \text{ kg}$ として計算した結果を図-13に示す。実測値と比較すると前輪の場合は実測値の方が全般に大きく後輪については土かぶり 60 cm のときは実測値の方が大きいが土かぶり 90 cm 、 120 cm についてはだいたい一致しているといつてよい。

実測値とFröhlichによる計算値あるいは(5)(6)による計算値の一致しない理由のひとつに車輪の衝撃効果が考えられる。しかし衝撃係数については不明な点が多く最高 30% (輪荷重の 1.3 倍をもって衝撃を考えた動荷重とする)をとるとする方法あるいは舗装してない道路では $50 \sim 100\%$ とするべきとの考えもある*2

管頂に作用する動荷重に対する溝幅および管底支持条件の影響はこの実験結果からは明らかではない。

実測値の変動が大きいので、輪荷重計算式としてどれが適当か判断することが困難であるが、かなり大きな垂直荷重が管頂で測定されることがあることを考慮して後輪軸重 17 t 程度については $v=6$ としたFröhlichの式を用いて設計すれば比較的安全側の結果が得られるものと思われる。

(5)および(6)は土かぶりが 60 cm 以下の場合には過小の値を与える傾向があるの

*1 真田光夫「地下埋設管」土と基礎の設計法。P321

*1 M.G.Spangler「Soil Engineering」P432

で土かぶりの小さいときには適当な衝撃係数を考慮する必要がある。

管頂に作用する動荷重に対する滑削の影響は、

円錐形に分布する応力の一部（図-Cの斜線部分）が滑壁によって切りとられるようになることと滑壁面に沿ってマサツが上向きに働らくことのため管に作用する輪荷重が変化するものとして考察することができる。

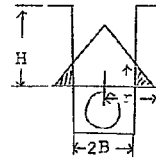


図-C 滑の影響

5.4 最大曲げ応力

ひとつの走行実験について最大曲げ応力の生ずる位置はだいたい管中央部底面（測定点C）と考えてよい。中央部の管頂と管底の応力を比較した場合にはその絶対値はわずかに管底の方が大きい。

表-9はおのおのの試験条件のもとで後輪荷重により生じた最大曲げ応力の値とその位置を示したもので中央点C以外の点で曲げ応力が最大となったものについては、中央点Cの応力を併記した。

管の口径と支持条件によって管中央に生ずる曲げ応力がどのようにちがうかを調べるため中央点の応力の平均値を比較すると表-10のようになりφ100素堀、土かぶり60cmのときの応力を1とすると他の条件で生ずる応力はこれと比較して表-11のようになっている。

また表-9に示した結果から横断走行縦断走行の別なくC点において測定された最大の応力をもって、土かぶり別にプロットすると図-14のようになりφ100、素堀、土かぶり60cmのときの応力 928 kg/cm^2 を基準値1とすればそれぞれの条件においては表-12のような比率になっている。

なおφ300、素堀については中央点において圧縮応力が測定されているが、これはどう解釈すべきかわからないので除外した。

表-11および表-12の結果から、深さが増す場合に管応力の減少する割合と管底支持状態の相異が曲げ応力におよぼす影響を非常に大まかに次のようにいうことができる。

まず土かぶりが増す場合 土かぶり60cmの場合を1として

90cmでは 0.65~0.85 120cmでは 0.30~0.40

砂床と素堀を比較すると 素堀の場合を1として

砂床では $\phi 100$ について 0.80~0.90 $\phi 200$ で 1.50
 $\phi 200$ 砂床の場合の応力が素堀の場合より大きくなっているが、これはむしろ $\phi 200$ 素堀の場合の応力が小さすぎるためのように思われ、全体の傾向としては砂床の方が素堀より曲げ応力が小さくなると考えるのが自然であろう。
 また $\phi 100$ について素堀の場合と不陸のある場合を比較すると素堀の場合の応力を 1 とすれば

不陸 25cmでは 土かぶり 90cmのとき 1.0 120cmのとき 1.6~2.0

不陸 50cmでは 1.4~1.5

の応力が生じている。

5.5 曲げ応力の計算

図-9~図-11の曲げ応力と反力の分布図をみると大体の傾向として荷重の作用点で管底に最大の引張り応力を生じ管端に向って応力は減少し圧縮応力にかわり、管端では継手がある程度曲がり得る構造になっているので曲げ応力は0であると考えられる。また反力の分布も荷重点で最大となっているものが多いが管端部では反力測定をしていないので図-9~図-11に示したように0になるかどうかはわからない。しかしこれらの結果からみてこの管を弾性支承上のハリと考えて計算することについてまず問題はないと思われるので以下にこの考えかたで議論をすすめることとする。

さて弾性支承上のハリの問題で常に問題となるものは

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{K}{4EI}}$$

07

とおいたときの λl の値である。

ここで K = 地盤の反力係数

E = ハリの弾性係数

I = ハリの断面二次モーメント

l = ハリの長さ

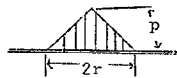
で λl は無次元の数である ($L = \sqrt[4]{4EI/K}$ として l/L をとっている場合もある)

K の値はどの程度であるか不明確な要素が強いが 3.3 で一応 $K_0 = 4K_g/cm^2$ という値を得たので $K = 1 \sim 10$ 程度に対して λ と λl を計算すると図-15の

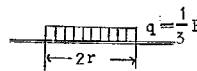
ようになった。

$\lambda \ell$ は基礎とハリ（この場合には管）の相対的な剛比を示すものと考えられ
 $\lambda \ell < \pi/4$ の場合はハリの曲げを無視して剛体とみなし $\pi/4 < \lambda \ell < \pi$ のときは
 有限長さのハリとして計算すべきであるといわれているが*1 図-15よりこの管
 の場合には有限長さのハリの問題として考えるのが適当であることがわかる。

弾性支承上のハリの解は複雑になりやすいのでここではかなり単純化して考
 えることとする。管に作用する荷重は5.3で述べたように円錐形になっている
 （すなわち管軸面では三角形分布）がこれをその分布範囲内全体（管の断面方
 向にも）に等分布な等価荷重におきかえる。そのときは、車輪直下の応力を p
 その分布範囲を $2r$ とすると、おきかえられた荷重 q



a) 実際の荷重



b) 単純化した荷重

図-d 荷重の単純化

$$\frac{1}{3} \pi p r^2 = \pi q r^2 \text{ より}$$

$$q = \frac{1}{3} p$$

89

となる。

曲げ応力は荷重が管の中央に作用するとき最大になると考えてよいので、中
 央に対称等分布荷重の作用した弾性支承上のハリのモーメントを求める。

図-eのような場合の中央点の曲げモー
 メント M はハリの幅（この場合には管の外径）
 を D とすると

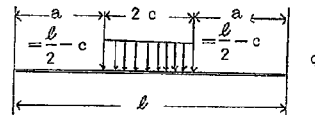


図-e 載荷状態の想定

$$M = \frac{q D}{\lambda^2} \frac{\sin \lambda c \sinh \frac{\lambda \ell}{2} \sinh \lambda a + \sinh \lambda c \sin \frac{\lambda \ell}{2} \sin \lambda a}{\sinh \lambda \ell + \sin \lambda \ell}$$

90

である。*2

図-16は M/qD を c と $\lambda \ell$ から求める図である。

したがって輪荷重 p とその分布範囲 r がわかると $q = \frac{1}{3} p$ $c = r$ としてモ
 ーメント M を求め、曲げ応力 σ を

*1 M. Hetenyi "Beams on Elastic Foundation, P 46

$$\sigma = \frac{M}{I} \cdot \frac{D}{2} \quad (20)$$

で計算することができる。

②を変形すると

$$\sigma = \frac{M}{I} \cdot \frac{D}{2} = \frac{D^2}{2I} \left(\frac{M}{qD} \right) \cdot q = \frac{D^2}{2I} \cdot \frac{1}{3} P \left(\frac{M}{qD} \right) \quad (21)$$

ここで輪荷重 P が Fröhlich の式(6)で求められるとすると(ただし $\psi = 0$)

$$\sigma = \frac{D^2}{2I} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{\nu P}{2\pi z^3} \cdot \frac{M}{qD} \quad (22)$$

$$\therefore \frac{12\pi I}{\nu D^3 P} \sigma = \frac{1}{z^3} \cdot \frac{M}{qD} \quad (23)$$

また P が ④あるいは ⑤であらわされるとすると(21)は

$$\sigma = \frac{D^2}{2I} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{3P}{m^3 \pi z^{2n}} \cdot \frac{M}{qD} \quad (24)$$

$$\therefore \frac{2m^3 \pi I}{\nu D^3 P} \sigma = \frac{1}{z^{2n}} \cdot \frac{M}{qD} \quad (25)$$

(23)と(25)の左辺の σ の係数は土かぶり z には無関係な値で右辺は土かぶり z の関数であるから(23)あるいは(25)によって土かぶり z の変化による曲げ応力の変化を知ることができる (M/qD は ②で与えられるように σ すなわち r の関数で r は ②で示されるように z の関数であるから M は z の関数である)

土かぶりが曲げ応力に影響するのは、土かぶりが増加することによって輪荷重が減少することおよび荷重の分布範囲が広がって曲げモーメントを減少させることの2点から説明できるが ②と ④の右辺において $1/z^3$ あるいは $1/z^{2n}$ の項は土かぶりによって荷重の減少する効果を M/qD の項は土かぶりによって荷重分布範囲が広がって曲げ応力が減少する効果を示すものと考えられる。

後輪荷重による曲げ応力を $\phi 100$ と $\phi 200$ について ②および ④で計算した結果を図-17に示す。ここで $\nu = 6$ 、 $m = 10$ 、 $n = 0.53$ 、 $P = 8600 \text{ kg}$ とした。点線は ②式による計算値で地中の輪荷重が Fröhlich の式に従うものとした場合、実線は ④式による計算値で輪荷重を ③で求めたものである。これを図-14の最大曲げ応力の実測値と比較すると ④式が比較的よく実測値に一致しているように見える。後輪荷重による管頂土圧の実測は土かぶりが小さいときには ③より Fröhlich の式による計算値がよく一致するにもかかわらず曲げ応力を計算すると ③によるものの方が実際に近いという結果になった(ただし

*2 M. Hetényi "Beams on Elastic Foundation" P59

$\nu = 3 \sim 4$ と考えれば土かぶりの浅いところでは計算値と実測値は近くなるが深い土かぶりでは合わなくなる)

反力係数は 3.3 で述べたように測定に用いた載荷板の大きさ、形状によって変わるの、その値をそのまま計算に用いることは適當ではない。そして弾性支承上のハリの理論ではめ式の λ あるいは λl の値が重要であるが図-15 よりわかるように口径が大きいものほど K がかわっても λl の変化は小さく、したがって図-17 からわかるように曲げ応力が K 値によって影響される程度も少くなる。

この実験の場合測定された反力係数 $K_{s_0} = 4 \text{ kg/cm}^2$ をそのまま用いた計算が実測値にほぼ一致したがすべての場合に反力係数として K_{s_0} を考えてよいかどうかは今後検討を要するものである。

また図-14 の実測値は、測定データの中から最高値をえらんだものであるので、これと計算値が一致するということは計算式がかなり安全側の結果を与えるようなものであるといえることができる。

石綿管の規格として曲げによる破壊強度は $\sigma_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ としている。いま、埋めもどし土によって生ずると考えられる応力を 5.2 で考えた程度の値 (素堀、砂床の場合は 10 kg/cm^2 、不陸のおそれのある場合は 15 kg/cm^2) としてこれに、表-9 に示した動荷重による最大曲げ応力を加えたものを $\sigma_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ で割って安全率を計算すると表-13 のようになる。

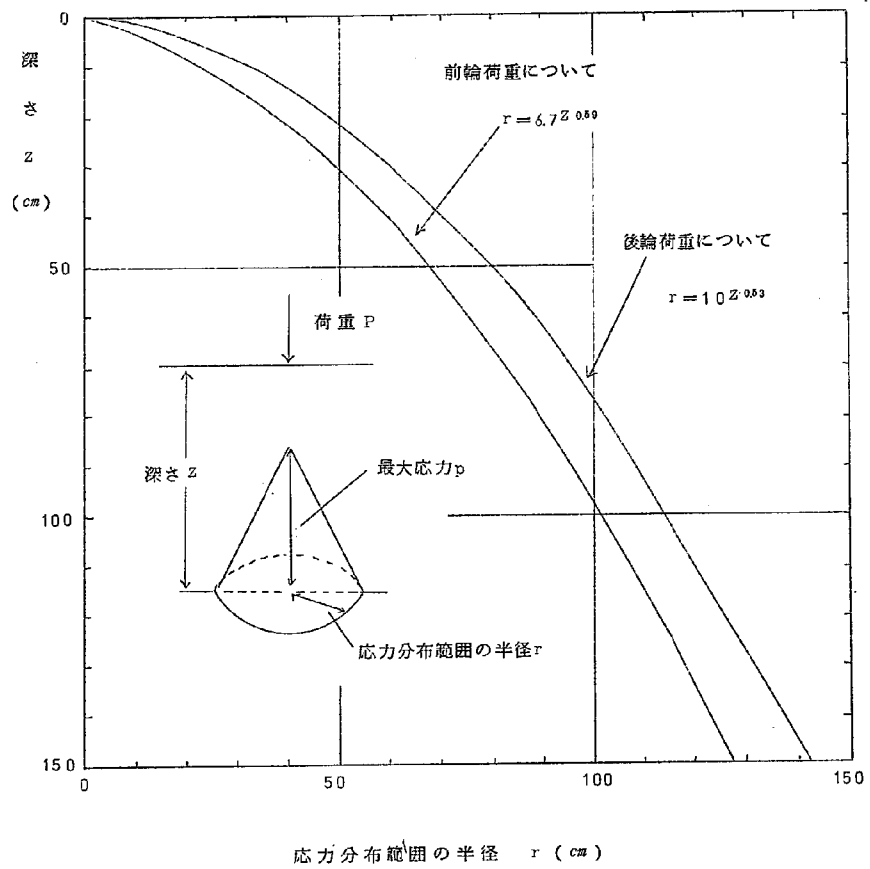


図-12 深さ Z と応力分布範囲 r の関係

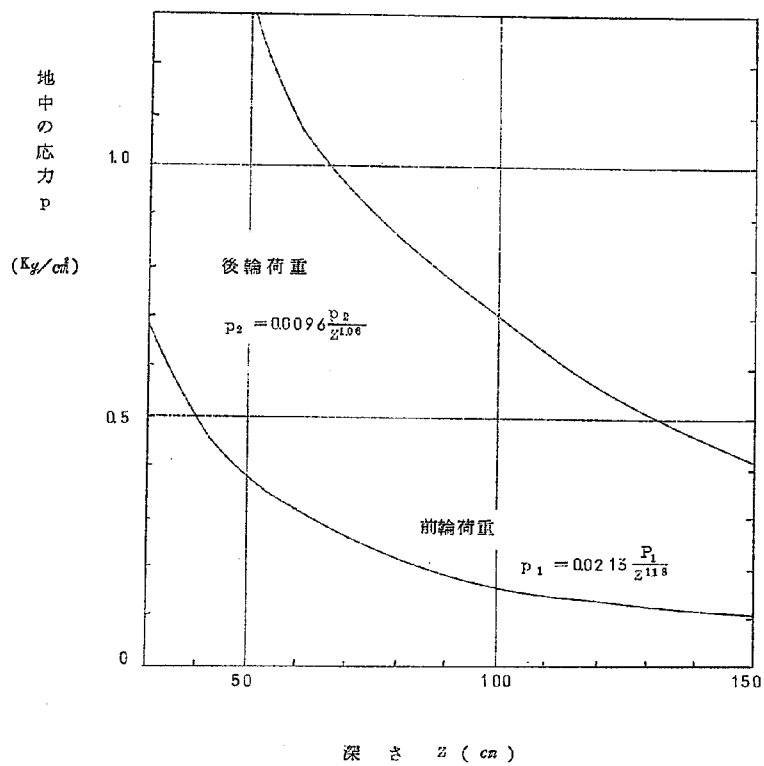


図-13 輪荷重による地中応力の計算値

表-9 輪荷重による最大曲げ応力

管種	支持条件	土かぶり	横断走行			縦断走行		
			応力 (kg/cm^2)	位置	備考	応力 (kg/cm^2)	位置	備考
$\phi 100$	素堀	60	928	C		668	C	
		90	438	C		564	D	380
		120	164	C		232	C	
	砂床	60	882	D	75.7	725	B	470
		90	491	C		453	D	-340
		120	212	C		183	C	
	砂巻	90	476	C		246	F	212
		120	187	C		184	D	168
	不陸 25cm	90	546	C		570	G	566
		120	433	G	347	380	C	
	不陸 50cm	60	1555	G	1325	1182	C	
		90	845	C		614	C	
		120	332	C		260	C	
$\phi 200$	素堀	60	164	C		465	D	373
		90	132	C		390	D	311
		120	70	C		220	D	144
	砂床	60	502	C		543	C	
		90	371	C		346	D	269
		120	249	C		213	C	
$\phi 300$	素堀	60	322	D	-29.4	341	B	-28.2
		90	235	D	-14.1	274	D	-19.1
		120	152	D	-13.1	245	D	-16.0
	砂床	60				267	D	258
		90	250	C		216	C	
		120	111	C		217	C	

備考欄の数字は中央点Cの最大曲げ応力

表-10 管中央点の曲げ応力の平均値

管 種 土かぶり	素 堀			砂 床			砂 巻			不 陸 25cm			不 陸 50cm		
	60	90	120	60	90	120	60	90	120	60	90	120	60	90	120
φ100	709	383	145	435	298	138		265	145		417	292	1030	571	270
φ200	243	80	88	399	317	200									
φ300				206	200	108									

表-11 管中央点の曲げ応力の平均値の比較（φ100、素堀、60cmの場合を1とする）

管 種 土かぶり	素 堀			砂 床			砂 巻			不 陸 25cm			不 陸 50cm		
	60	90	120	60	90	120	60	90	120	60	90	120	60	90	120
φ100	1	0.540	0.205	0.614	0.420	0.195		0.374	0.205		0.588	0.412	1.453	0.805	0.381
φ200	0.343	0.113	0.124	0.563	0.441	0.282									
φ300				0.291	0.282	0.141									

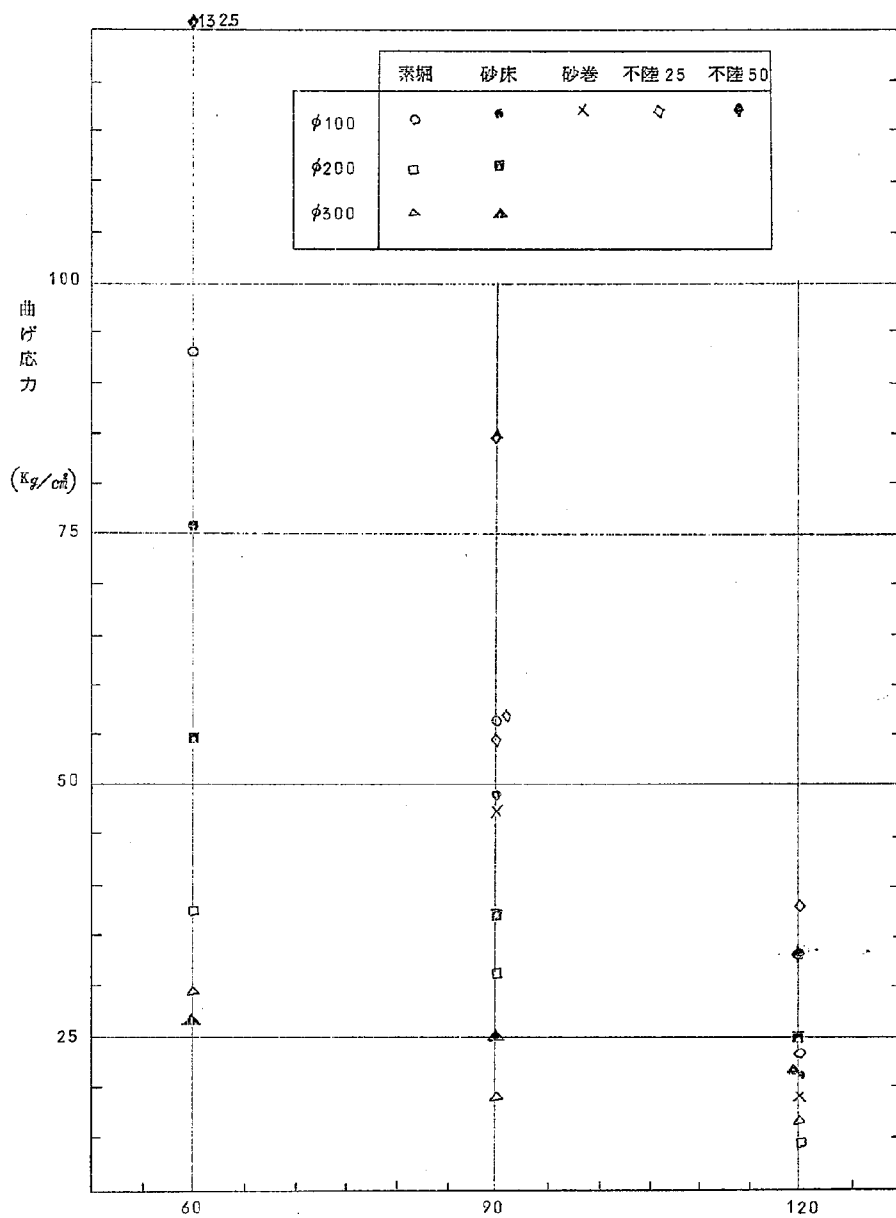


図 - 1 4 土かぶりと管中央の最大曲げ応力

表-12 管中央部の曲げ応力の最大値の比較 ($\phi 100$ 、素掘60cmの場合を1とする)

管 種 類 土かぶり	素 掘			砂 床			砂 巻			不 陸 25cm			不 陸 50cm		
	60	90	120	60	90	120	60	90	120	60	90	120	60	90	120
$\phi 100$	1	0.608	0.250	0.816	0.529	0.228		0.513	0.202		0.610	0.409	1.428	0.911	0.358
$\phi 200$	0.402	0.335	0.155	0.585	0.400	0.263									
$\phi 300$				0.278	0.269	0.234									

表-13 曲げに対する安全率 (破壊応力 $\sigma_b = 250 \text{ kg/cm}^2$)

管 種 類 土かぶり	素 掘			砂 床			砂 巻			不 陸 25cm			不 陸 50cm		
	60	90	120	60	90	120	60	90	120	60	90	120	60	90	120
$\phi 100$	2.43	4.65	~~7.53~~ 1.09	2.92	~~4.23~~ 5.10	~~8.01~~ 11.8		4.36	8.71		3.59	4.72	1.69	2.51	5.19
$\phi 200$	5.29	6.08	10.3	3.89	5.31	7.16									
$\phi 300$				6.96	7.15	7.89									

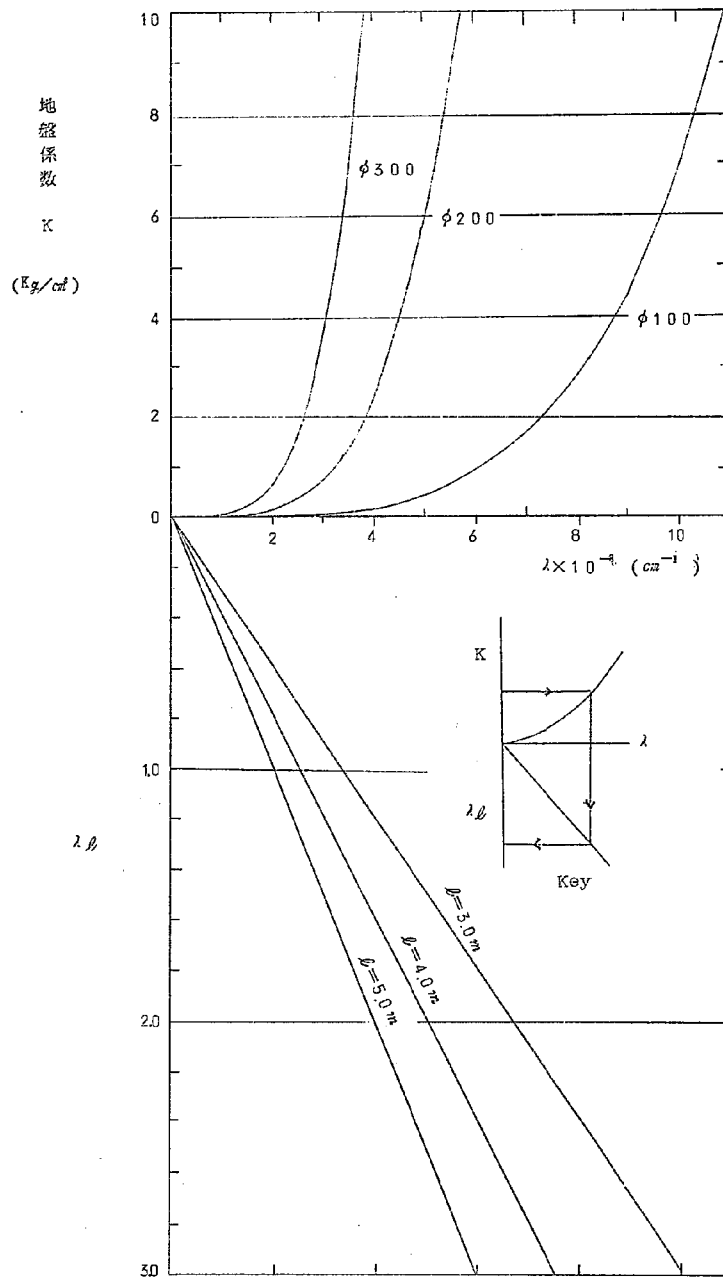


図 - 1 5 Kより λ および $\lambda \ell$ を求める図

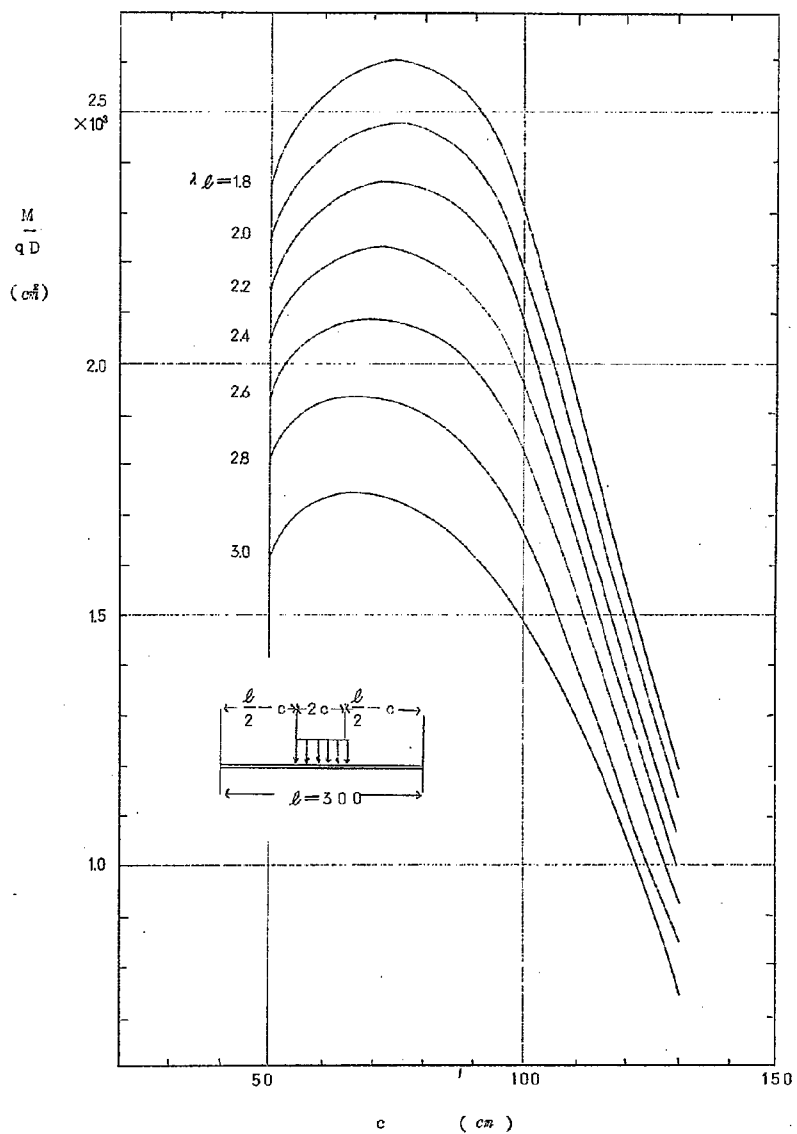


図-16(1) $\lambda\ell$ と c より M/qD を求める図($\phi 100$)

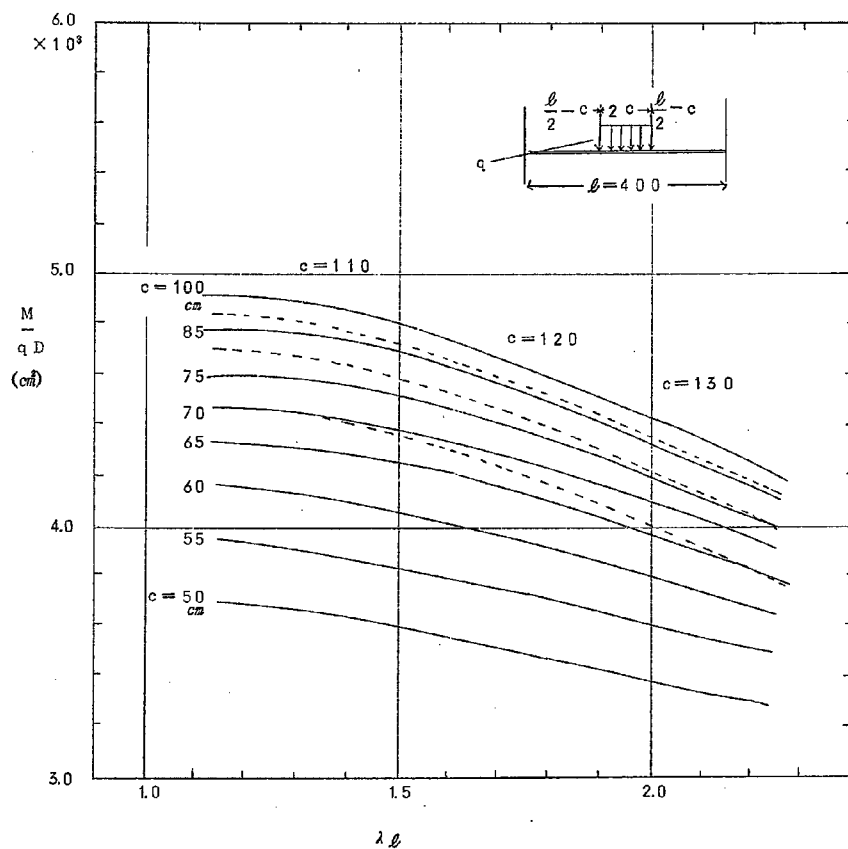


図-16(2) $\lambda \ell$ と c より M/qD を求める図 ($\phi 200$)

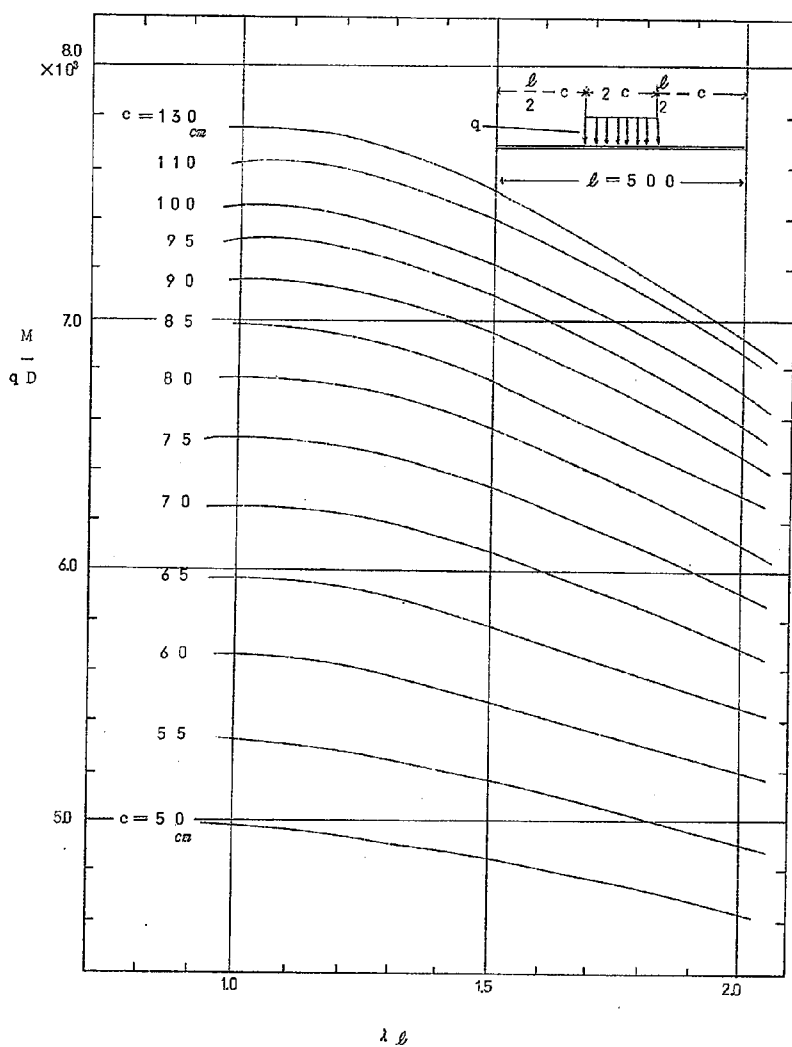


図-16(3) $\lambda \ell$ と c より M/qD を求める図 ($\phi 300$)

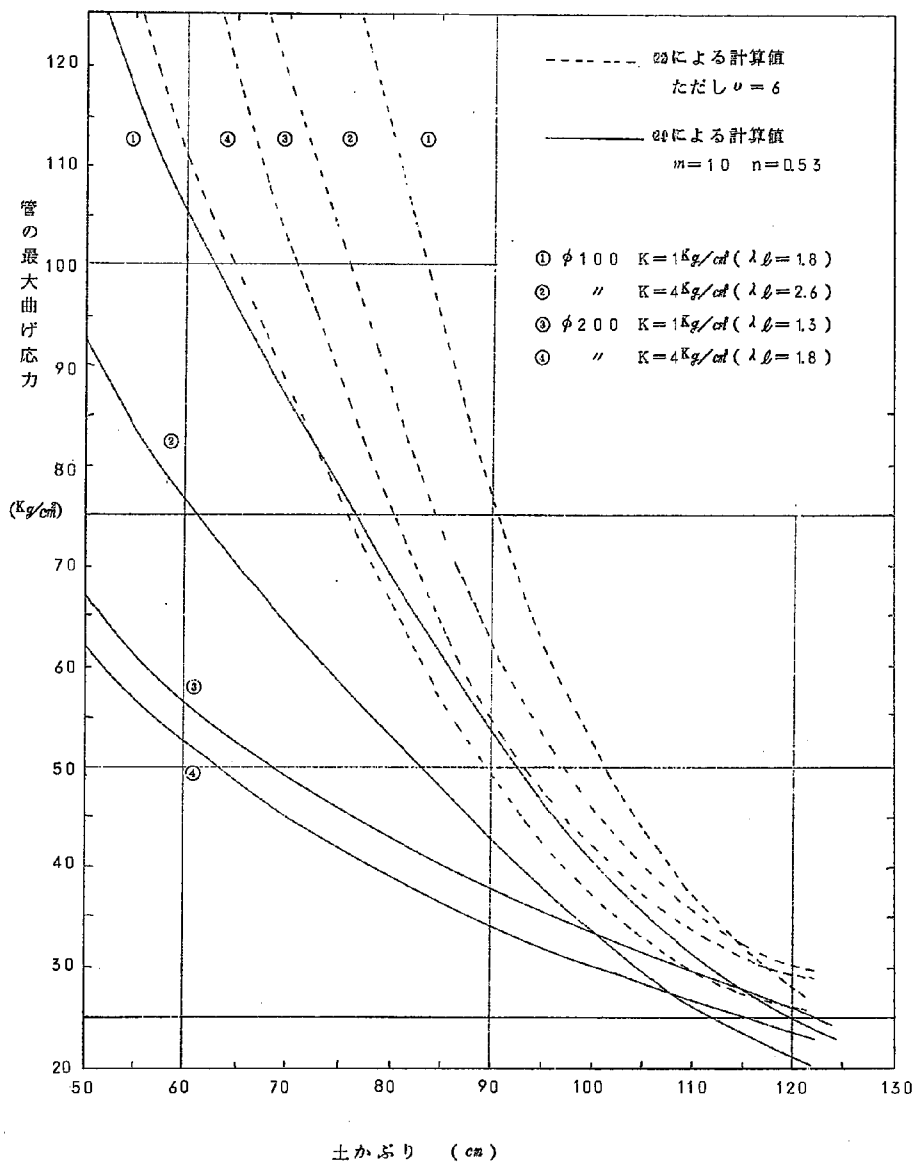


図 - 17 最大曲げ応力の計算値

6 結 論

いままで考察してきたことをまとめると次のようなことがいえるが、これはあくまでこの実験のみについての結論であって条件のちがう場合について一般的に布延するにはさらに検討の必要のあることを認識しておかなければならない。

1) 埋めもどし土による荷重は Marston の式 (水道関係で Janssen の式といわれているものと同じ) では過小な値を与えるのでむしろ静水圧に類似した式 $p=rH$ を使った方が計算も簡単でよい。

2) 埋めもどしによって管には最大 10 Kg/cm^2 程度の応力が生じているものと考えなければならないが、基礎が不均一な場合はこの応力を $15 \sim 20 \text{ Kg/cm}^2$ とみなさなければならないこともある。

3) 輪荷重によって管頂に作用する荷重を計算する式は、Fröhlich の式あるいは 84 図のようなものが考えられるがどれが適しているかはっきりしない。

4) 輪荷重は土中のある深さ z では 84 式によってあらわされる r の半径の円内に分布し、荷重直下で最大となり半径 r の円周上で 0 になるように直線的に減少する円錐状分布とみなすことができる。84 図は図-12 により求めることができる。

5) 管底の基礎は溝の紫堀のままに比較して砂を 15 cm 敷いた砂床の場合の方が曲げ応力を小さくするのにいくらか有効であるが管の周囲全体を 15 cm 砂で埋めもどしたものは砂床に比較して特に有効であるとはいえない。ただしある程度締まった関東ロームについては溝底の仕上げに留意すれば必ずしも砂を敷く必要はないと思われる。

6) 管の曲げ応力は、管の中央部に自動車後輪がのった場合を想定して弾性支承上のハリの理論により次のように行なう。

a) 土の反力係数 K を求め 84 より λ をさらに λl を計算する。

b) 輪荷重の大きさ p を (6) あるいは 84 により求める。

c) 輪荷重の分布範囲 r を 84 により計算する。

d) $q = \frac{1}{3}P$, $c = r$, $a = \frac{l}{2} - c$ とおいて 84 によりモーメント M を求める。

e) 84 により曲げ応力 σ を計算する。

この計算はすでに作成しておいた計算図により次のようにすれば簡単である。

a) 図-15 を用いて K より λ および λl を求める。

b) 図-8 (点線で示した曲線) あるいは図-13 より p を求める。

- c) 図-12により r を求める。
 - d) $c = r$ として図-16より M/qD を求める。
 - e) 20式より σ を計算する。
- 7) 測定された K 値をどのように修正して計算に用いればよいかは今後の検討を必要とするが、この実験に関しては K_s をそのまま用いてほぼ満足すべき結果を得た。
- 8) この実験で、埋めもどし土と20トントラックの荷重を受ける石綿セメント管の長さ方向の曲げについて表-13のような安全率を得た。

結 語

かなり大胆な仮定のもとで単純化して議論をすすめてきたこと、時間的な制約のため十分検討できなかったことのための不明確な点は今後の研究の課題としたい。