



土木研究所資料

第 657 号

防護柵支柱の力学的特性に関する研究

昭和 46 年 9 月

建設省土木研究所

道路研究室
交通安全研究室

目 次

1. ま え が き	1
2. 支柱の土圧理論式の誘導	2
2-1 均一な支柱の支持力	2
2-2 根がらみ付支柱の支持力	5
3. 支柱実験の概要	8
4. わが国における過去の実験	9
5. 実物衝突実験における支柱の挙動	22
5-1 アルミガードレール実験	22
5-1-1 アルミガードレール支柱引張実験	22
5-1-2 アルミガードレール実物衝突実験	25
5-2 中央分離帯支柱実験	29
5-2-1 中央分離帯支柱引張実験	29
5-2-2 中央分離帯実物衝突実験	50
6. 土木研究所内盛土における実験	51
6-1 概 説	51
6-2 実験方法	51
6-2-1 実験施設	51
6-2-2 実験方法	52
6-2-3 土質試験	53
6-3 昭和41年度実験の結果	53
6-4 昭和43年度、44年度実験の結果との解析	64
6-4-1 実験の状況	64
6-4-2 実験の結果と解析(シリーズ1)	68
6-4-3 実験の結果と解析(シリーズ2)	80
7. 国道における支柱実験	92
7-1 概 要	92
7-2 道路上に設置された支柱の実験	92
7-2-1 実験状況	92
7-2-2 実験結果	92
7-3 国道の切土、盛土における実験	105
7-3-1 実験方法	105
7-3-2 実験結果	105
8. 実験値と土圧分布理論式との関係	111

9. 結 論	132
9-1 動的実験と静的実験の比較	132
9-2 土圧計算式	132
9-3 その他	136

参 考 文 献	137
---------------	-----

付 録	138
-----------	-----

1. 用いた計算式	138
-----------------	-----

1-1 均一な支柱の支持力	138
---------------------	-----

1-2 根がらみ付支柱の支持力	155
-----------------------	-----

2. 用いたプログラム	165
-------------------	-----

2-1 均一な支柱の支持力のプログラム (B001081)	165
-------------------------------------	-----

2-2 根がらみ付支柱の支持力のプログラム (B001083)	175
---------------------------------------	-----

1. まえがき—目的および概要

防護柵は、通常非永久構造物であって、車両の衝突に対して支柱が適度に変位し、それによってエネルギーを吸収するものである。車両のショックが小さく、他の車両に支障のないように走行、車線に復帰するのが最も望ましい構造であるといわれている。

しかし、これに関する研究にはさまざまな難かしい問題がある。中でもつぎの2つの問題が大きい。

まず第一は、衝突条件として、衝突する時のドライバーの心理状態によるハンドルの操作、車両の重量、車種、衝突速度及進入角度などの実際の分布状態である。

第二として、防護柵自身の力学的性質である。この中の特に大きな問題として、防護柵支柱の力学的特性があげられる。支柱が弱すぎると車両が転落する危険性があるが逆にビームが弱くて、支柱が強すぎる場合は、ボッキング状態になる可能性がある。ビームが十分な強度をもつ場合、支柱の強度が防護柵の強度を大きく左右する。しかし、防護柵支柱の埋込み深さを長くしても不経済となる。どの深さまで取ったら適当であるかは、土質及法肩からの距離等によって左右されるためにむずかしい問題である。

車両は、動的な外力を支柱にあたえるため、上記の支柱の強さは、動的な荷重に対して考えなければならない。過去にかなりの支柱引張実験がおこなわれているが、動的実験はほとんどおこなわれていない。若干伊吹山、佐藤氏ら及び枝村氏によっておこなわれているのみである。そのため昭和41年に土木研究所千葉支所構内に落下荷重によって水平方向衝撃を作り出す支柱盛土実験施設を作り、以後動的、静的引張実験をおこなった。動的実験に際し、支柱の埋込み部に応力歪ゲージをはってどのような断面力が生じるかを調べた。

また、実車衝突実験において、実際に車両が防護柵に衝突したとき支柱がどのような挙動を示すかを調べた。43年度より行われた中央分離帯用防護柵の開発に関連して平行方向弱、直角方向強という支柱の開発にあたった。また国道に設置されている耐用年数の長い支柱については、なんら明らかにされていないために実験をおこなった。

これら防護柵支柱の挙動については、適切な理論解はないが、Chang, Brom及びテルシアギーなどの式があげられる。しかしこれらの方法も動的挙動による大きな変位については、ある程度限界があるようである。

そこで、ここでは、独立に理論式を誘導したが、よく実験値と適合しており、支柱の埋込み深さについてのある程度の指針を得ることができた。

また、通常国道に設置されている根がらみ付支柱について、どの部分に取付けた場合効果的かを検討してみた。

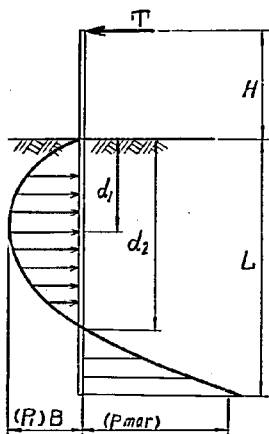
2. 支柱の土圧理論式の誘導

2-1 均一な支柱の支持力

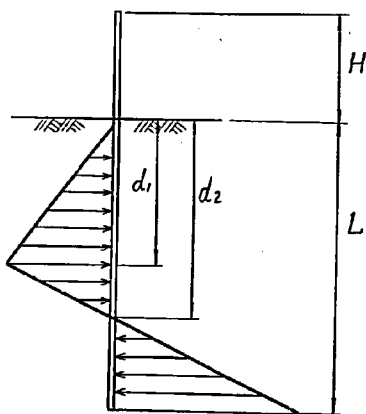
防護欄支柱は、だいたいにおいて通常曲がりが無視できる程度で、支柱の動きは回転運動に近い。そこで、短杭で剛性杭として考えることができる。実際に関東ローム層盛土における実験でも支柱自身の変形は見られなく、支柱の移動によって土自身が前方向に移動することによって後方に破壊領域ができる。

支柱の土中部分における地盤反力分布を、久保氏はつぎの方法を独自に適用している。それはエンゲル-物部式(図2-1)とテルツァギーによって提案した式(図2-2)、あるいはその二者を組合わせた式(図2-3)で、この三者で最後の複合曲線式(図2-3)が一番近似値に近いが、計算が著しく複雑である。

しかし、ここで取扱っている方法も、防護欄支柱には限界があるように思われる。それは通常の杭(短杭)や矢板のように水平方向の変位量が微小という仮定が使用できず、塑性領域(支柱の変位量は大きくなるが、側方向支持力は一定になる状態)までを必要とするものであるからである。



エンゲル-物部式図(2-1)



テルツァギー方式図(2-2)

$$(P_1)_B = \frac{T}{d_1 - \frac{1}{3}L} \left(\frac{d_1}{L} \right)^2$$

$$d = \frac{b}{2a} = \frac{\frac{3}{4}L + h}{2L + 2h} \cdot L$$

$$(P_1)_B = (P_1)_B \frac{(2d_1 - x)x}{(d_1)^2}$$

$$(P_{mar})_B = (P_1)_B \frac{(2d_1 - L) \cdot L}{L^2}$$

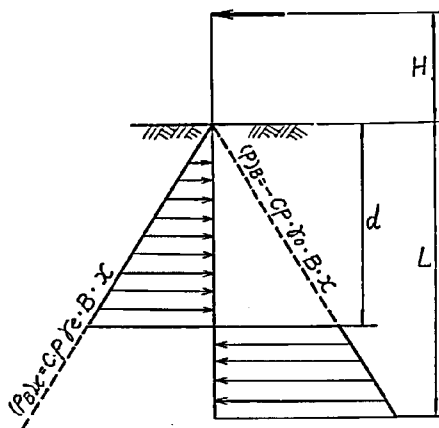
$$d = 2d_1$$

そこでフロチャート図(2-4)に示すように、地盤反力分布を側方向支持力の大きさによって変化させることとした。

まず、地盤反力を受動土圧係数 C_r 、土の単位重量 r_e 、支柱の幅 B と埋込み深さ x に比例するとおいた。力の釣合条件、モーメントの釣合条件によって回転中心を計算し、支持力を算出した。これを転倒荷重図(2-5)とした。支柱は、これ以上の支持力はだせない。

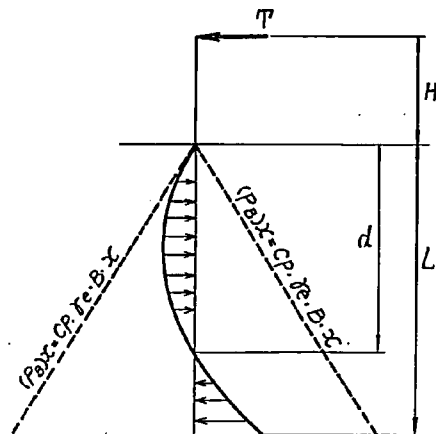
支持力が小さい場合を二次放物線(エンゲル-物部式と同じ)図(2-6)とし、ある程度支持力が大きくなるとこの二次放物線も正方向破壊線を越えてしまう。そこでこの部分を破壊部分にして複合曲線(直線、曲線)図(2-7)とした。

更に支持力が大きくなると、負方向破壊線を越えるので、その部分を負方向破壊線にする。それは複雑な複雑な曲線(直線、曲線、直線)図(2-8)になる。これは、最大支持力に近づくと共に初めにのべた転倒荷重である複合直線に近づく。これらの地盤反力表示を一回積分すれば



転倒荷重（複合直線）図（2-5）

$$\begin{aligned} 0 \leq x \leq d \text{ において} \\ (P_a)_x &= C_r \cdot r_e \cdot B \cdot x \\ d \leq x \leq L \text{ において} \\ (P_a)_x &= -C_r \cdot r_e \cdot B \cdot x \end{aligned}$$



二次放物線 図（2-6）

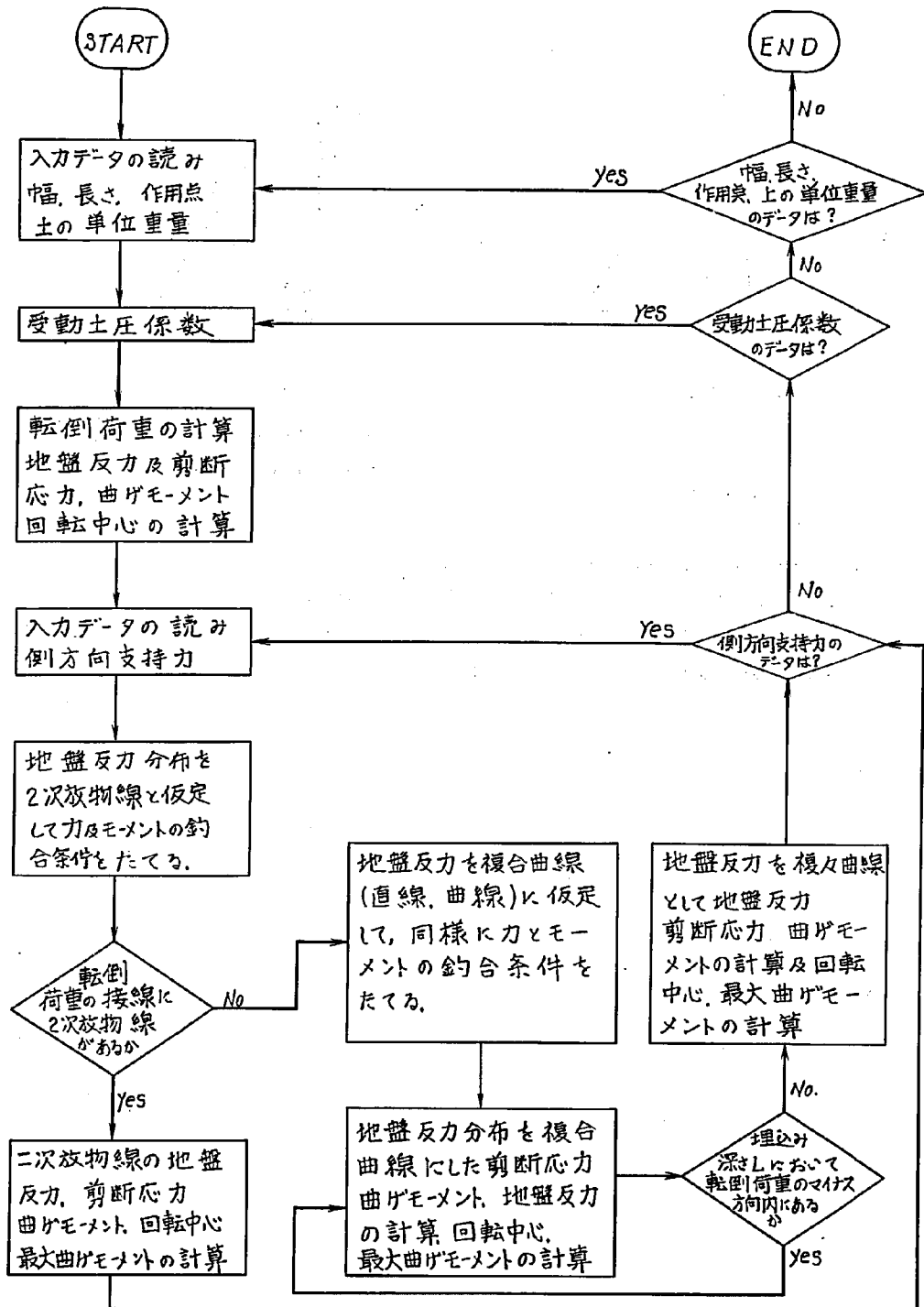
$$\begin{aligned} 0 \leq x \leq L \text{ において} \\ (P_a)_x &= a_1 x^2 + b_1 x \end{aligned}$$

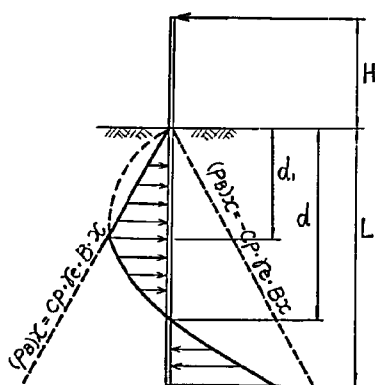
ば剪断力が得られ、二回積分すると曲げモーメントが得られる。

これらの式に従うと図（2-9）に示すような支持力と変位量との関係が得られる。

極限支持力は $T = C_r \cdot r_e \cdot B \cdot f(H \cdot L)$ であり、 C_r, B は土質による係数 α 、法肩からの距離 S 、動的係数 β_d 、静的係数 β_s などによって左右される。

フローチャート (図2-4)





複合曲線（直線・曲線）

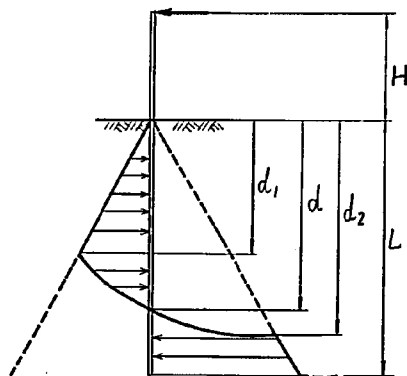
図（2-1）

$0 \leq x \leq d_1$ において

$$(P_B)_x = C_F \cdot r_e \cdot B \cdot x$$

$d_1 \leq x \leq L$ において

$$(P_B)_x = a_2 x^2 + b_2 x$$



複々曲線（直線・曲線・直線）

図（2-8）

$0 \leq x \leq d_1$ において

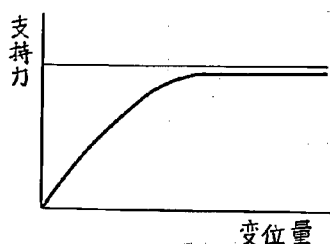
$$(P_B)_x = C_F \cdot r_e \cdot B \cdot x$$

$d_1 \leq x \leq d_2$ において

$$(P_B)_x = a_2 x^2 + b_2 x$$

$d_2 \leq x \leq L$ において

$$(P_B)_x = -C_F \cdot r_e \cdot B \cdot x$$



図（2-9）

これを関数形であらわすと $C_F \cdot B = F(\alpha, S, \beta_{d1}, \beta_{d2})$

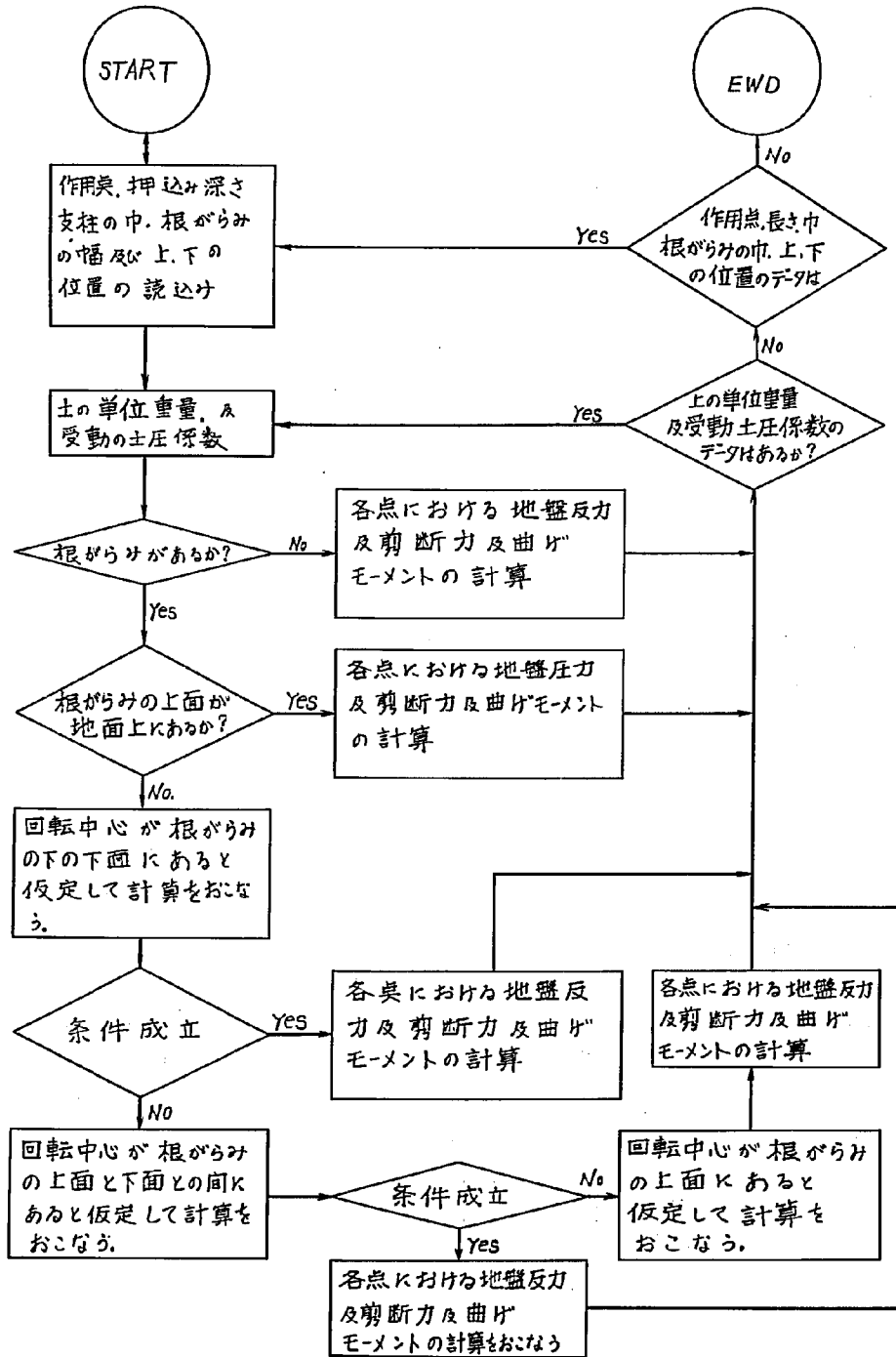
で示される。計算式の誘導およびプログラム（ALGOL）は付録に示す。

2-2 根がらみ付支柱の支持力

後に述べるが、土木研究所内盛土において、根がらみをつけない支柱について何点か応力ひずみゲージを取付けて動的実験をおこなった。その時の実験結果をプロチャート図（2-4）に示した。理論式による計算結果とは後に述べるようによく一致している。そこで土圧が変位量に関係なくなったときの支持力（耐荷力）のとき、土中に根がらみやプレートの付いた場合、すなわち支柱の幅が部分的に異なるときについて、この理論式を適用してみた。プロチャート図（2-10）に示す通りである。

根がらみの上端が地表にある場合は図（2-11）、また回転中心、つまり地盤反力が0の点が根がらみの下の位置より下にある場合は、図（2-12）のようにおこなう。

図(2-10) 根がらみ付支柱の挙動のプロチャート



3. 支柱実験の概要

防護柵の挙動は、先にのべたように防護柵支柱の強弱によって左右される。そのため防護柵実物実験とは別に各種条件で、支柱実験が重ねられてきた。しかし、ほとんどの実験方法は静的実験である。実際に、支柱は動的荷重を受け塑性領域まで抵抗し土と一体になって働くものである。

以下の章では、わが国における支柱実験を集積し、資料の不明および不足な点について行った追加実験のまとめをしている。

動的実験は千葉支所内実験施設を使用したもので、落下錘と滑車により水平方向に動的荷重を作り出したものである。

また実車衝突実験における実際の支柱の挙動を調べ、実物実験施設で車両(トラック)の後方にワイヤロープで支柱に取付け計画速度 20 km/h で引っ張り動的実験をおこなった。

また、現在国道上に設置されている使用年数の長い防護柵支柱の挙動を調べ、国道用地の盛土切土に法肩からの距離を変化させて建込み、動的、静的実験をおこなった。

以上の実験から防護柵支柱の力学的性状を把握し、実験結果と土圧分布理論式より誘導した理論解析結果との比較を行っている。

4. わが国の過去の実験

いままでのわが国における静的実験と動的实验をまとめたもので、枝村氏による総括のまとめの資料と他の資料を集積したものである。

静的実験において、着力点の変位と支持力との関係を示す曲線は様々ではないが、その一般的傾向をのべると変位を大きくしていけば、支持力は大きくなるが、ある点までいくと力は耐荷力に達し、一時的に一定となり、それ以後は小さくなる。実際は、実験における土質条件は様々ではないため、土質によってかなり耐荷力にバラツキがあるかと思われたが、それほどでもなかった。

表(4-1~6)に昭和31年からの静的実験と若干の動的实验を土質別にわけて集積した。

図(4-1~7)は、土研報告102号の資料の荷重と変位との関係を土質、法肩からの距離、埋込み深さ、断面形の種類の条件別にわけたものである。この資料では、広範囲に実験がおこなわれており資料としての価値が高い。しかし、埋込み深さが1.10m以下であり、この実験結果を要約すると、まず静的実験においては、

- ① 法肩からの距離をはなせば最大耐荷力は増大するが、埋込み深さの10割以上増しても効果がない。
- ② 支柱の断面形は、円形でも正方形でも耐荷力はほとんど変化しない。
- ③ 埋込み深さが短い時は、法肩からの距離を65cmから32.5cmに変化させても耐荷力はほとんど変化しない。
- ④ 砂質土では根がらみをとるにつけることにより、耐荷力は増大する。

動的实验については

- ① 荷重速度が増すにつれて耐荷力は大きくなるが、その大きさも極限值を持つ。
- ② 耐荷力の増加は粘性土においていちじるしく、その結果、静的試験の時とは反対に砂質土の耐荷力の方が粘性土より大きい。
- ③ 埋込み深さが増すと耐荷力は増大する。その増加率は静的実験の時と異って、ほぼ一次の直線に近いものである。
- ④ 法肩よりの距離が増大すると耐荷力は増大する。埋込み深さの8~10割以上に距離を増しても耐荷力は増大しなくなる。

表(4-1) わが国のガードレール支柱静的実験結果(砂質土)

名 称	作用点 H (m)	埋込み深 さL(m)	支 柱 の 幅 B (m)	根がらみの 有 無	断面形及 材 質	土 質	法肩からの 距離(m)	支 持 力 (t)		計算値(労働土圧係数) Cp	
								0.3m変位 時の荷重より	最大荷重	0.3m変位 時の荷重より	最大荷重より
日 本 鋼 管 技 報 第 9	0.50	0.80	0.0891	無	円・鉄	砂質土	∞	0.20	0.24	12.8	15.3
	0.50	1.20	0.0891	"	"	"	∞	0.62	1.08	14.9	26.0
	0.50	0.80	0.1398	"	"	"	∞	0.36	0.42	18.1	21.2
	0.50	1.00	0.1398	"	"	"	∞	0.44	0.80	12.9	23.4
	0.50	1.20	0.1398	"	"	"	∞	0.90	1.40	17.1	26.6
	0.50	1.20	0.1398	"	"	"	0.50	0.68	1.16	12.9	22.0
	0.50	0.80	0.1398	"	"	"	∞	0.42	0.46	21.1	23.1
	0.50	0.80	0.1398	"	"	"	0.50	0.20	0.20	10.1	10.1
	0.50	0.80	0.1398	"	"	"	1.00	0.34	0.40	17.1	20.1
日 本 鋼 管 NKK 式 昭和31年11月	0.50	0.80	0.1398	無	円・鉄	砂質土	∞	0.38	0.46	19.1	23.2
	0.50	0.80	0.1398	"	"	"	∞	0.60	0.60	30.2	30.2
	0.50	1.00	0.1398	"	"	"	∞	0.46	0.80	13.5	23.4
	0.50	1.03	0.1398	"	"	"	∞	1.00	1.10	29.3	32.2
	0.50	0.80	0.0891	"	"	"	∞	0.20	0.28	12.8	17.8
	0.50	1.20	0.0891	"	"	"	∞	0.60	1.10	14.5	26.5
	0.50	0.80	0.1398	"	"	"	∞	0.40	0.40	20.1	20.1
	0.50	1.00	0.0891	"	"	"	∞	0.44	0.80	10.6	19.3
	0.50	1.20	0.1398	"	"	"	∞	0.90	1.40	17.2	26.6
	0.50	1.20	0.1398	"	"	"	∞	0.90	1.40	17.2	26.6
	0.50	1.20	0.1398	"	"	"	∞	0.64	1.10	12.2	20.9
	0.50	0.80	0.1398	"	"	"	∞	0.40	0.44	20.1	22.2
	0.50	0.80	0.1398	"	"	"	∞	0.40	0.40	20.1	20.1
	0.50	0.80	0.1398	"	"	"	0.50	0.34	0.40	17.1	20.1
	0.50	0.80	0.1398	"	"	"	1.00	0.60	0.60	30.2	30.2
	0.50	0.80	0.0891	"	"	"	∞	0.20	0.26	12.8	16.6
	0.50	0.80	0.0891	"	"	"	∞	0.50	0.50	31.9	31.9

表(4-2) わが国のガードレール支柱静的実験結果(砂質土)

名 称	作用点 H(m)	埋込み深 さL(m)	支柱の幅 B(m)	根がらみの有無	断面形及 材 質	土 質	法肩からの 距離(m)	支 持 力 (t)		計算値(受動土圧係数)Cp	
								0.3m変位 による荷重	最大荷重	0.3m変位時 の荷重より	最大荷重より
	0.50	1.20	0.0891	無	円・鉄	砂質土	∞	9.90	1.20	21.7	28.9
	0.50	1.00	0.1398	"	"鉄	"	∞	1.00	1.10	29.3	32.2
	0.50	1.00	0.0891	無	円・鉄	砂質土	∞	0.84	0.96	31.4	36.0
土 木 研 究 所 報 告 102号	0.50	0.80	0.10	無	角・鉄	砂質土	0	0.17	0.18	10.3	13.6
	0.50	0.80	0.10	"	"	"	0.325	0.14	0.30	8.4	18.2
	0.50	0.80	0.10	無	角・鉄	砂質土	0.650	0.40	0.40	4.1	24.2
	0.50	1.10	0.10	無	角・鉄	砂質土	0	0.20	0.36	5.6	10.1
	0.50	1.10	0.10	"	"	"	0.325	0.33	0.56	9.2	15.7
	0.50	1.10	0.10	"	"	"	0.650	0.64	0.86	7.9	24.0
	0.50	0.80	0.09	無	円・鉄	砂質土	0	0.12	0.20	7.6	12.7
	0.50	0.80	0.09	"	"	"	0.325	0.14	0.30	8.9	19.1
	0.50	0.80	0.09	"	"	"	0.650	0.38	0.40	24.1	25.4
	0.50	1.10	0.09	無	円・鉄	砂質土	0	0.21	0.46	6.2	13.6
	0.50	1.10	0.09	"	"	"	0.325	0.28	0.54	8.2	15.9
	0.50	1.10	0.09	"	"	"	0.650	0.58	0.86	17.1	25.4
	0.50	1.10	0.115	無	円・鉄	砂質土	0	0.22	0.54	5.7	14.0
	0.50	1.10	0.115	"	"	"	0.325	0.34	0.70	8.8	18.2
	0.50	1.10	0.115	"	"	"	0.650	0.60	0.88	15.6	22.9
	0.50	1.10	0.225	無	V型・鉄	砂質土	0	0.24	0.50	6.0	12.5
	0.50	1.10	0.225	"	"	"	0.325	0.42	0.64	10.4	16.0
	0.50	1.10	0.225	無	"	砂質土	0.650	0.48	0.80	11.9	20.0
神 戸 製 鋼	0.54	1.40	0.1143	無	円・鉄	真砂土	0.70	1.14	1.70	17.3	25.9
	0.54	1.40	0.1143	"	"	"	0.35	1.40	1.40	21.3	21.3

表(4-3) わが国のガードレール支柱静的実験結果(砂質土)

名 称	作用点 H(m)	埋込み深 さL(m)	支 柱 の 幅 B(m)	根がらみ の有無	断面形及 材 質	土 質	法肩からの 距離(m)	支 持 力 (t)		計算値(受動土圧係数)C _p	
								0.3m変位 による荷重	最大荷重	0.3m変位時 の荷重より	最大荷重より
日 本 鋼 管 NKK式 昭和31年11月	0.50	0.80	0.1398	無	円・鉄	粘土質	∞	1.00	1.48	29.3	43.4
	0.50	0.80	0.0891	"	"	"	∞	0.74	0.96	47.2	61.3
	0.50	0.80	0.0891	"	"	"	∞	0.76	0.95	48.5	60.6
	0.50	0.80	0.0891	無	円・鉄	"	∞	0.94	0.94	60.0	60.0
	0.50	1.00	0.1398	"	"	粘土質	∞	1.02	1.26	29.9	36.9
土 木 研 究 所 報 告 102号	0.50	0.80	0.10	無	角・鉄	粘土質	0	0.16	0.25	9.7	15.1
	0.50	0.80	0.10	"	"	"	0.325	0.16	0.28	9.7	16.9
	0.50	0.80	0.10	"	"	"	0.650	0.40	0.40	24.1	24.1
	0.50	1.10	0.10	"	角・鉄	"	0	0.44	0.56	12.3	15.7
	0.50	1.10	0.10	無	"	粘土質	0.325	0.58	0.73	16.2	20.4
	0.50	1.10	0.10	"	角・鉄	"	0.650	0.70	1.00	19.6	28.0
	0.50	0.80	0.09	"	円・鉄	"	0	0.16	0.32	10.2	20.3
	0.50	0.80	0.09	"	"	"	0.325	0.26	0.38	16.5	24.1
	0.50	0.80	0.09	無	"	粘土質	0.650	0.34	0.50	21.6	31.8
	0.50	1.10	0.09	"	"	"	0	0.46	0.74	13.5	21.8
	0.50	1.10	0.09	"	円・鉄	"	0.325	0.40	0.72	11.8	21.2
	0.50	1.10	0.09	"	"	"	0.650	0.65	0.98	19.1	28.9
	0.50	1.10	0.115	無	"	粘土質	0	0.28	0.64	7.3	16.7
	0.50	1.10	0.115	"	"	"	0.325	0.37	0.68	9.6	17.7
	0.50	1.10	0.115	"	円・鉄	"	0.650	0.70	1.04	18.2	27.1
	0.50	1.10	0.125	無	V型・鉄	"	0	0.44	0.74	10.9	18.4
	0.50	1.10	0.125	"	"	粘土質	0.325	0.48	0.72	11.9	17.9
	0.80	1.10	0.125	無	V型・鉄	"	0.650	0.57	0.88	14.2	21.9
	0.80	1.40	0.1398	無	円・鉄	火山砂礫	∞	0.80	21.60	12.6	25.3
	0.80	1.40	0.1398	"	"	"	∞	0.82	22.50	12.9	39.5
	0.80	1.40	0.1398	無	円・鉄	火山砂礫	∞	1.18	23.30	18.6	52.1

表(4-4) わが国のガードレール支柱静的実験結果(砂質土)

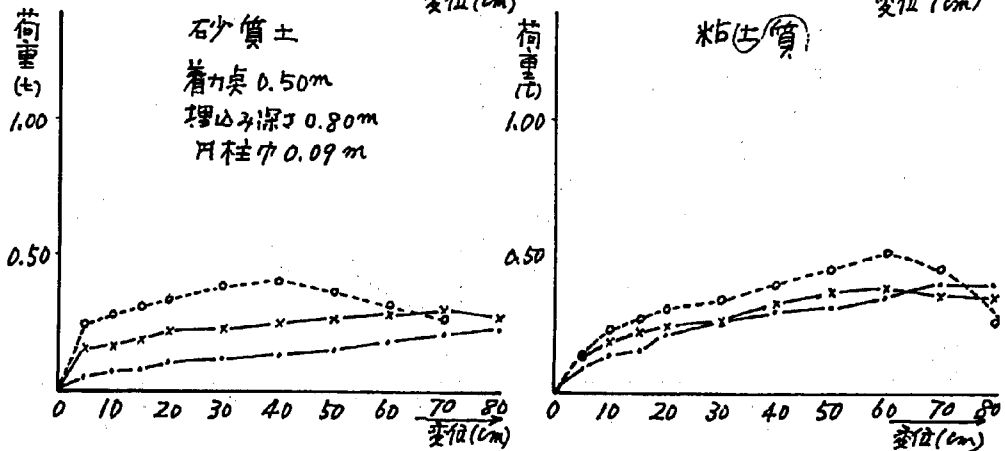
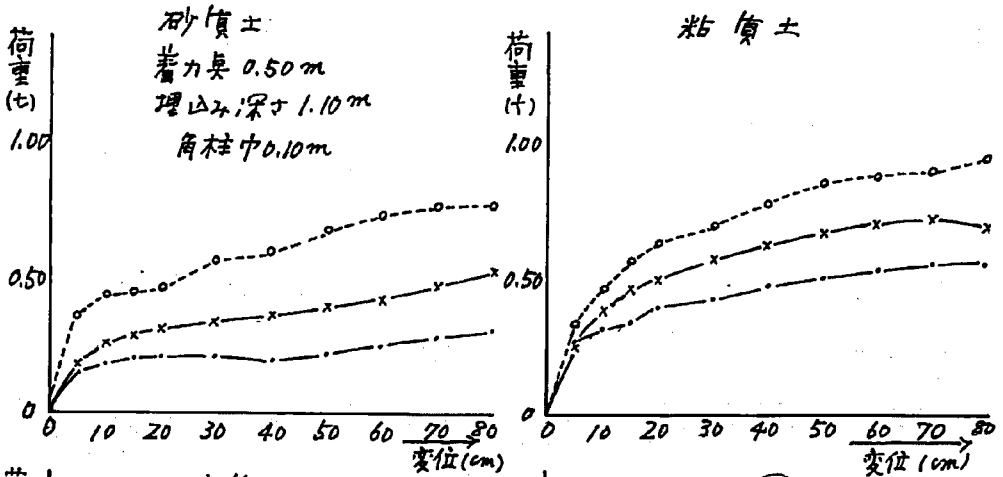
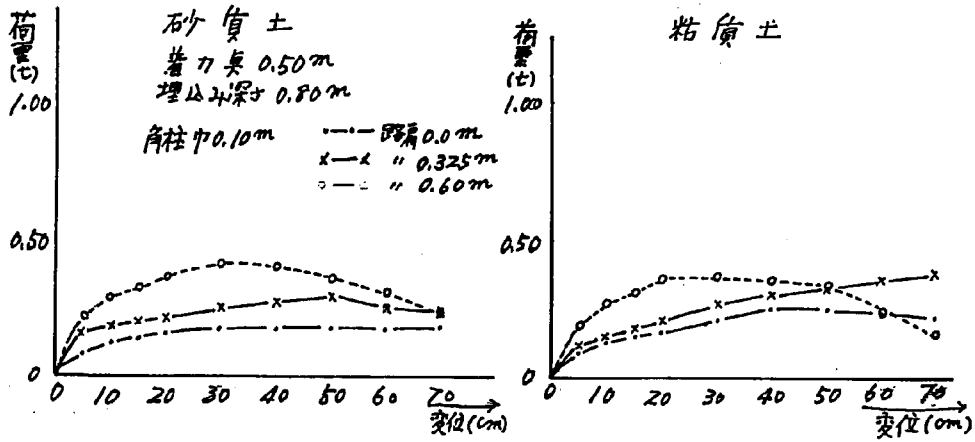
名 称	作用点 H (m)	埋込み深 さL (m)	支柱の幅 B (m)	根がらみの有無	断面形及 材質	土 質	法肩からの 距離 (m)	支 持 力 (t)		計算値 (受動土圧係数) C _p	
								0.3 m変位 による荷重	最大荷重	0.3 m変位時 の荷重より	最大荷重より
建設省土木研究所, 古川電工中央研究 所	0.62	1.39	0.10	無	I型・鉄	粘土質ローム	∞	1.14	1.20	19.8	20.9
	0.60	1.31	0.10	"	"	"	∞	-	1.04		20.6
	0.60	1.39	0.09	無	円・鉄	"	∞	0.80	1.20	14.5	21.7
	0.60	1.39	0.09	"	"	"	∞	0.68	1.50	12.3	27.1
	0.60	1.40	0.112	"	"	"	∞	1.20	1.70	19.1	27.1
	0.58	1.42	0.112	無	円・鉄	粘土質ローム	∞	-	1.70		25.9
	0.60	1.39	0.1143	"	"	"	∞	1.84	2.20	29.5	35.3
	0.60	1.39	0.1143	無	円・鉄	粘土質ローム	∞	1.26	2.20	20.2	35.3
八 幡 鋼 管 技 報 第19	0.60	1.40	0.1143	無	円・鉄	粘土質ローム	∞	1.76	2.30	27.8	36.3
	0.50	1.65	0.0891	無	円・鉄	砂礫質	∞	0.88	>1.20	10.1	13.8
	0.50	1.00	0.0891	"	"	"	∞	0.66	>0.70	24.5	26.0
	0.65	1.65	0.114	無	円・鉄	"	∞	1.50	>1.70	23.5	20.8
	0.65	1.50	0.114	"	"	"	∞	1.40	>1.80	19.3	24.9
	0.80	1.65	0.114	無	円・鉄	砂礫質	∞	1.22	>1.80	14.5	21.4
土 木 研 究 所 資 料 371号	0.60	0.80	0.114	無	円・アルミニウム	粘質土	0.40	0.10	0.10	6.1	6.1
	0.60	0.80	0.114	"	"	"	0.80	0.15	0.25	9.2	15.4
	0.60	0.80	0.114	"	"	"	1.20	0.20	0.60	12.3	36.9
	0.60	1.00	0.114	無	円・アルミニウム	粘質土	0.40	0.15	0.20	5.3	7.1
	0.60	1.00	0.114	"	"	"	0.80	0.20	0.70	7.1	24.8
	0.60	1.00	0.114	"	"	"	1.20	0.20	1.50	7.1	53.1
	0.60	1.20	0.114	無	円・アルミニウム	粘質土	0.40	0.50	1.10	11.4	25.0
	0.60	1.20	0.114	"	"	"	0.80	0.40	1.50	9.1	34.1
	0.60	1.20	0.114	"	"	"	1.20	1.00	2.80	22.8	63.7
	0.60	1.40	0.114	無	円・アルミニウム	粘質土	0	0.20	0.80	3.2	12.6
	0.60	1.40	0.114	"	"	"	0	0.48	1.00	7.6	15.8

表 (4 - 5)

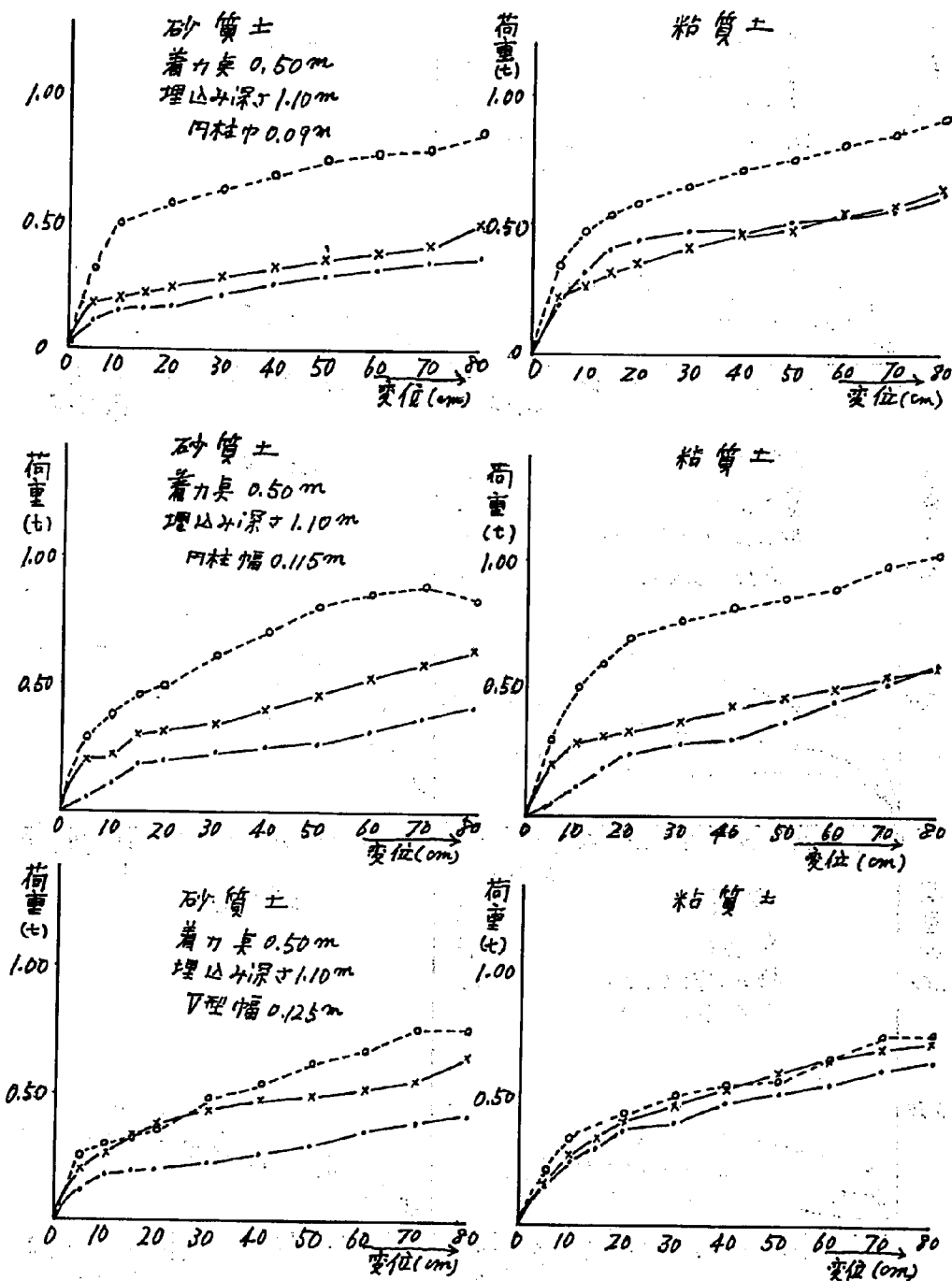
動的実験 (I)

名 称	作用点 H (m)	埋込み深 さL (m)	支柱の幅 B (m)	有がらみ の有無	断面形及 材質	土 質	法肩からの 距離 (m)	支 持 力 (t)		計算値 (受動土圧係数) C _p	
								0.3 m変位 による荷重	最大荷重	0.3 m変位時 の荷重より	最大荷重より
土 木 研 究 所 報 告 102号	0.50	0.80	0.10	無	角・鉄	砂質土	0	—	1.00	—	60.3
	0.50	0.80	0.10	“	“	“	0.325	—	1.30	—	78.4
	0.50	0.80	0.10	“	“	“	0.650	—	1.50	—	90.5
	0.50	1.10	0.10	無	角・鉄	砂質土	0	—	1.30	—	36.4
	0.50	1.10	0.10	“	“	“	0.325	—	1.50	—	42.0
	0.50	1.10	0.10	“	“	“	0.650	—	2.00	—	56.0
	0.50	0.80	0.10	無	角・鉄	粘質土	0	—	0.80	—	48.3
	0.50	0.80	0.10	“	“	“	0.325	—	0.84	—	50.7
	0.50	0.80	0.10	“	“	“	0.650	—	1.08	—	65.2
	0.50	1.10	0.10	無	角・鉄	粘質土	0	—	1.00	—	28.0
	0.50	1.10	0.10	“	“	“	0.325	—	1.18	—	33.0
	0.50	1.10	0.10	無	“	“	0.650	—	1.56	—	43.6
	0.50	0.80	0.10	下にあり	角・鉄	粘質土	0	—	1.00	—	—
	0.50	0.80	0.10	“	“	“	0.325	—	1.40	—	—
	0.50	0.80	0.10	“	“	“	0.650	—	1.50	—	—
	0.50	1.10	0.10	“	“	“	0	—	1.65	—	—
	0.50	1.10	0.10	下にあり	角・鉄	粘質土	0.325	—	1.90	—	—
	0.50	1.10	0.10	“	“	“	0.650	—	2.05	—	—
	0.50	1.10	0.10	上にあり	“	砂質土	0	—	1.30	—	—
	0.50	1.10	0.10	“	角・鉄	“	0.325	—	1.65	—	—
	0.50	1.10	0.10	上にあり	“	“	0.650	—	1.80	—	—
	0.60	1.00	0.1016	有	“	砂質土	∞	—	4.55	—	—
	0.60	1.00	0.0762	“	“	“	∞	—	1.76	—	—
	0.60	1.00	0.1016	“	“	砂質土	∞	—	2.08	—	—
	0.60	1.00	0.0762	有	“	“	∞	—	1.30	—	—
	0.60	1.00	0.1016	“	“	砂質土	∞	—	3.00	—	—
	0.60	1.00	0.0762	有	“	砂質土	∞	—	1.56	—	—
	0.60	1.00	0.1016	“	“	“	∞	—	1.88	—	—

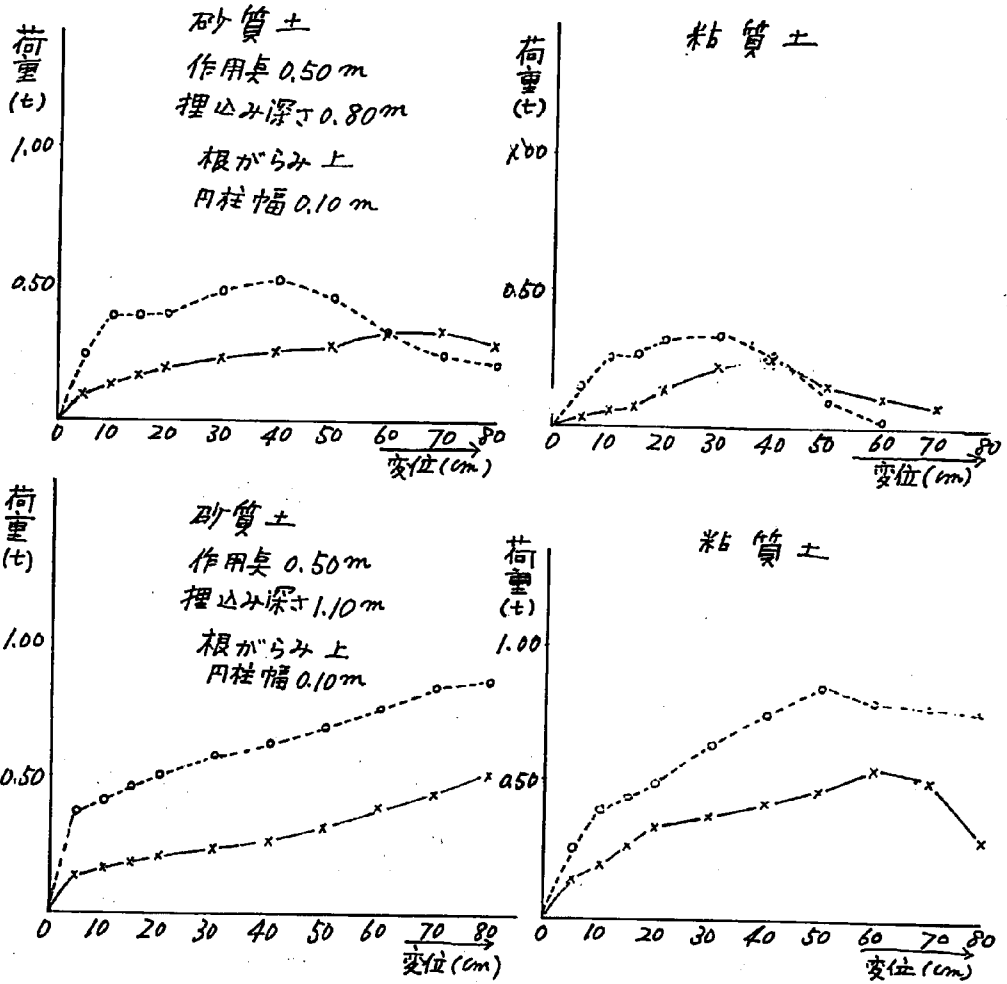
図(4-1) 粘質土と砂質土の支持力の違い



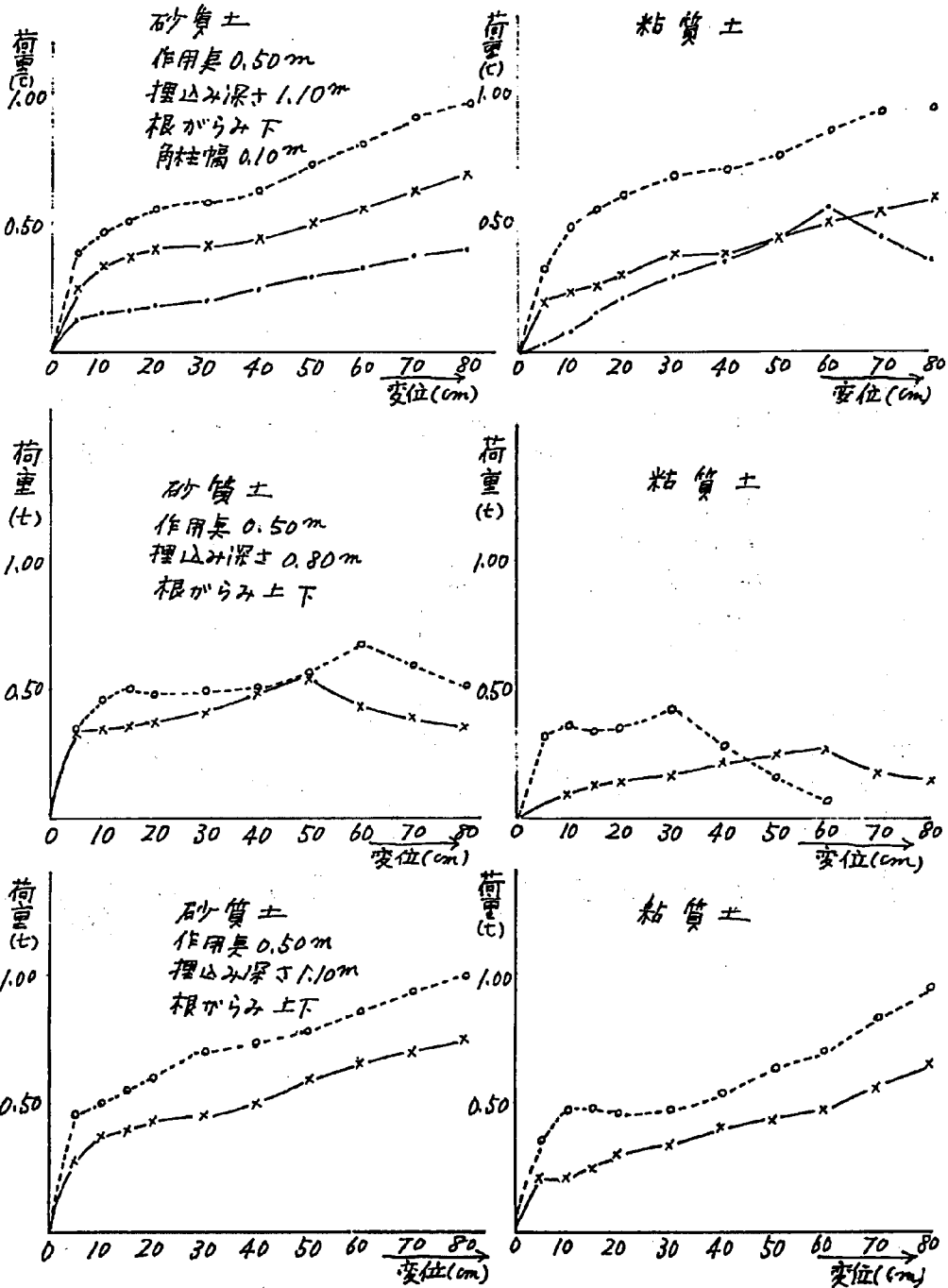
図(4-2) 粘質土と砂質土の支持力の違い



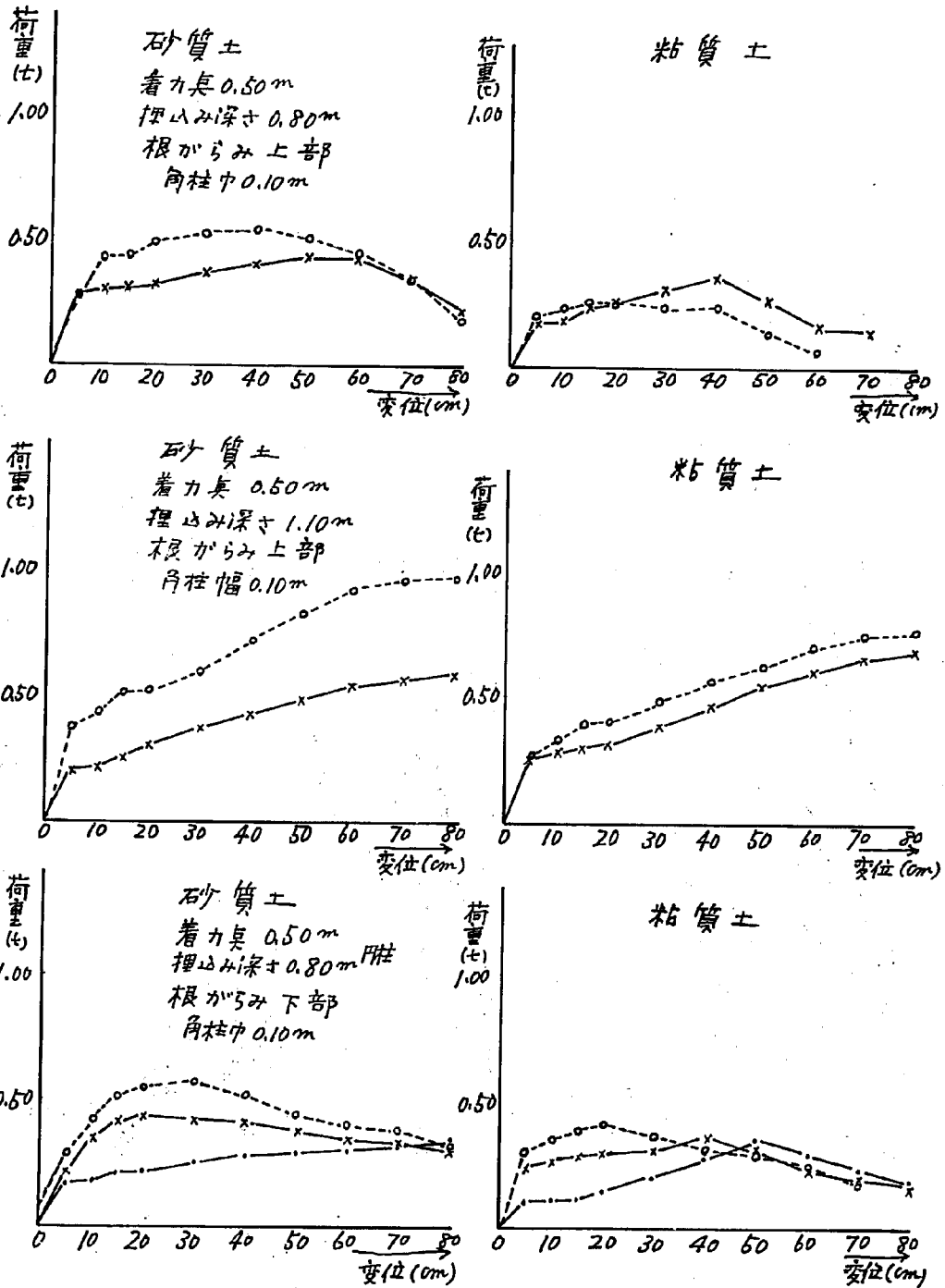
図(4-3) 粘質土と砂質土の支持力の違い



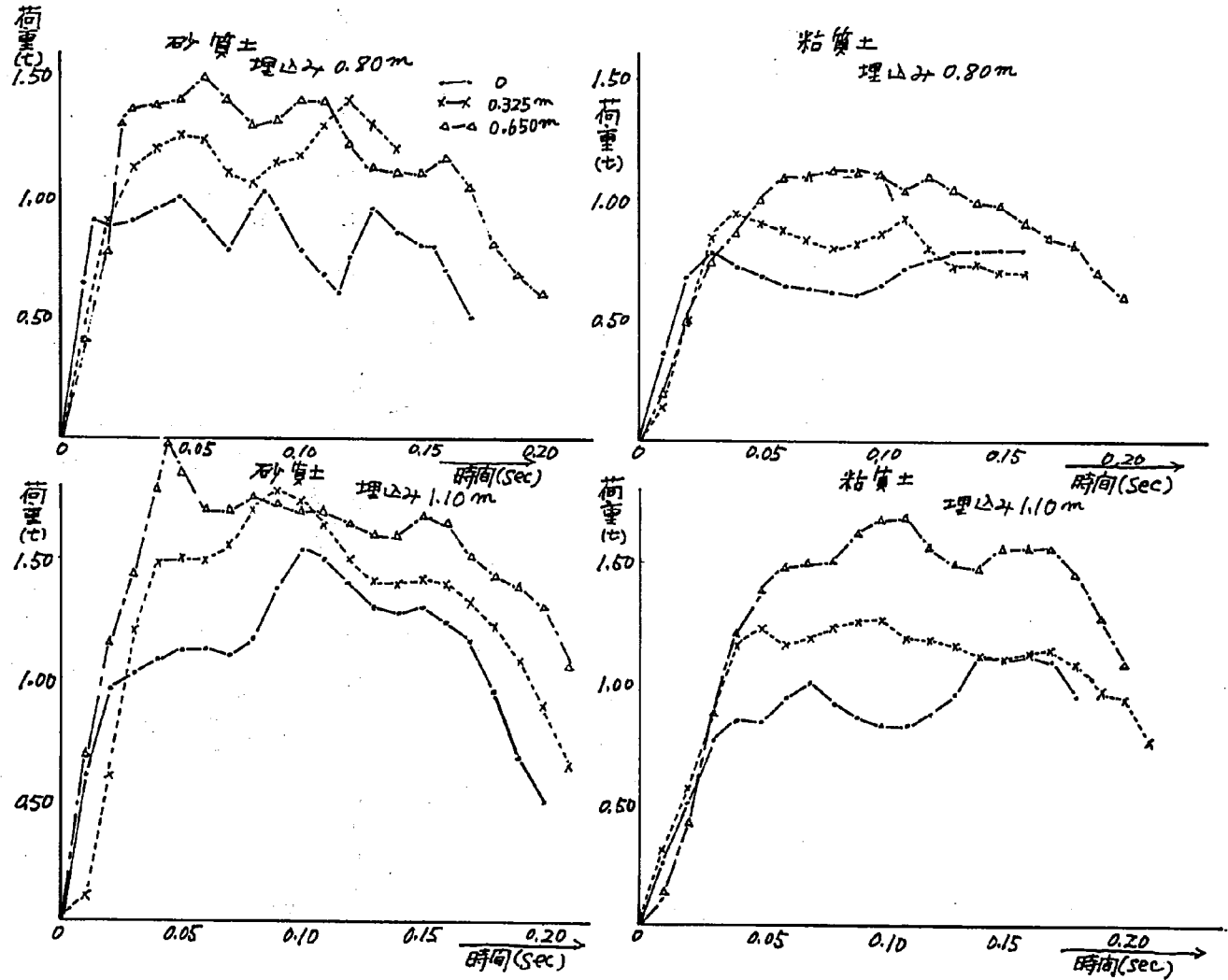
図(4-4) 粘質土と砂質土の支持力の違い



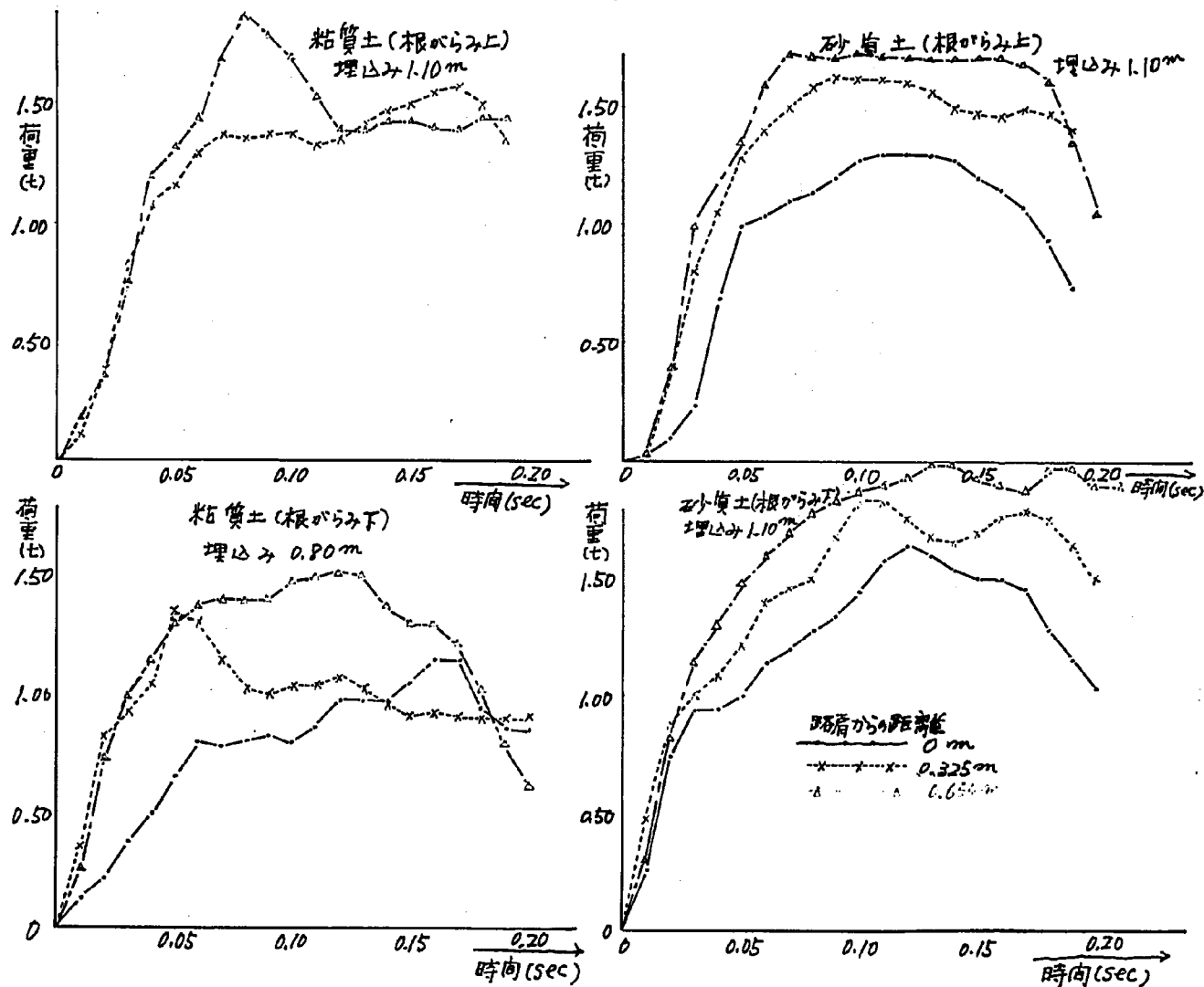
図(4-5) 粘質土と砂質土の支持力の違い



図(4-6) 粘質土と砂質土の支持力の違い



図(4-7) 粘質土と砂質土の支持力の違い



5. 実物衝突実験における支柱の挙動

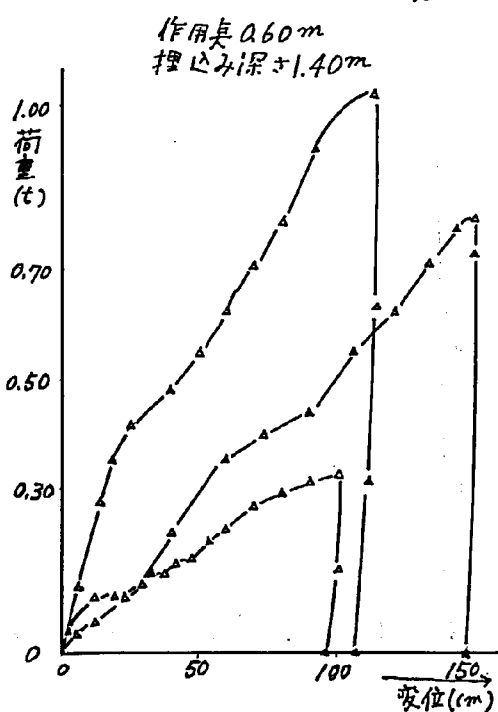
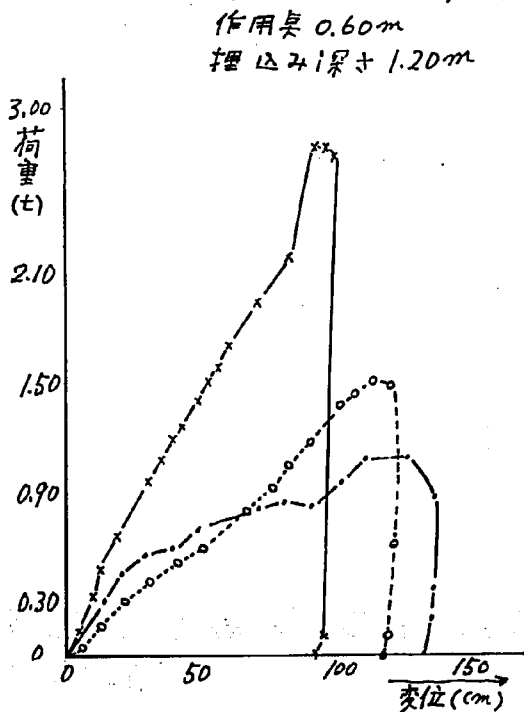
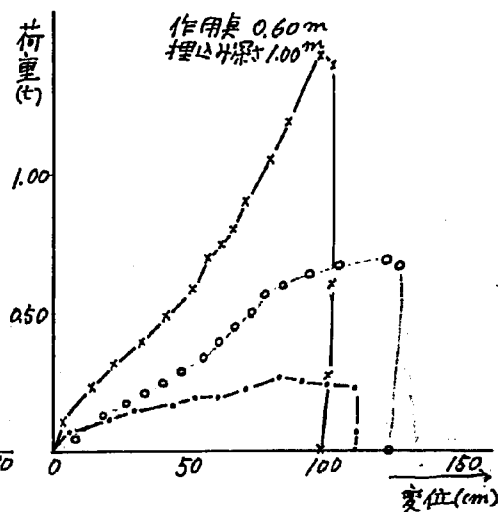
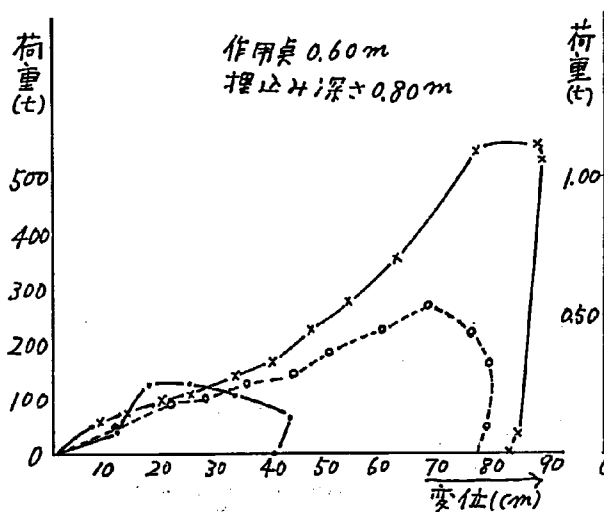
5-1 アルミガードレール実験

5-1-1 アルミガードレール支柱静的引張実験

実物衝突実験と並行して支柱引張実験をおこなったものである。実験供試体として、防護柵支柱を土中とコンクリート中に建込んで実験をおこない、土中における実験は、土木研究所盛土施設で法肩からの距離を0, 0.4, 0.80, 1.60 mとして引張実験をおこなった。図(5-1) 荷重と変位量の関係は最大荷重までかなり直線的であるが、初期と最大荷重の前に少しふくらみがみられる。コンクリート中での実験は、神戸製鋼名古屋工場にておこなった。図(5-2)

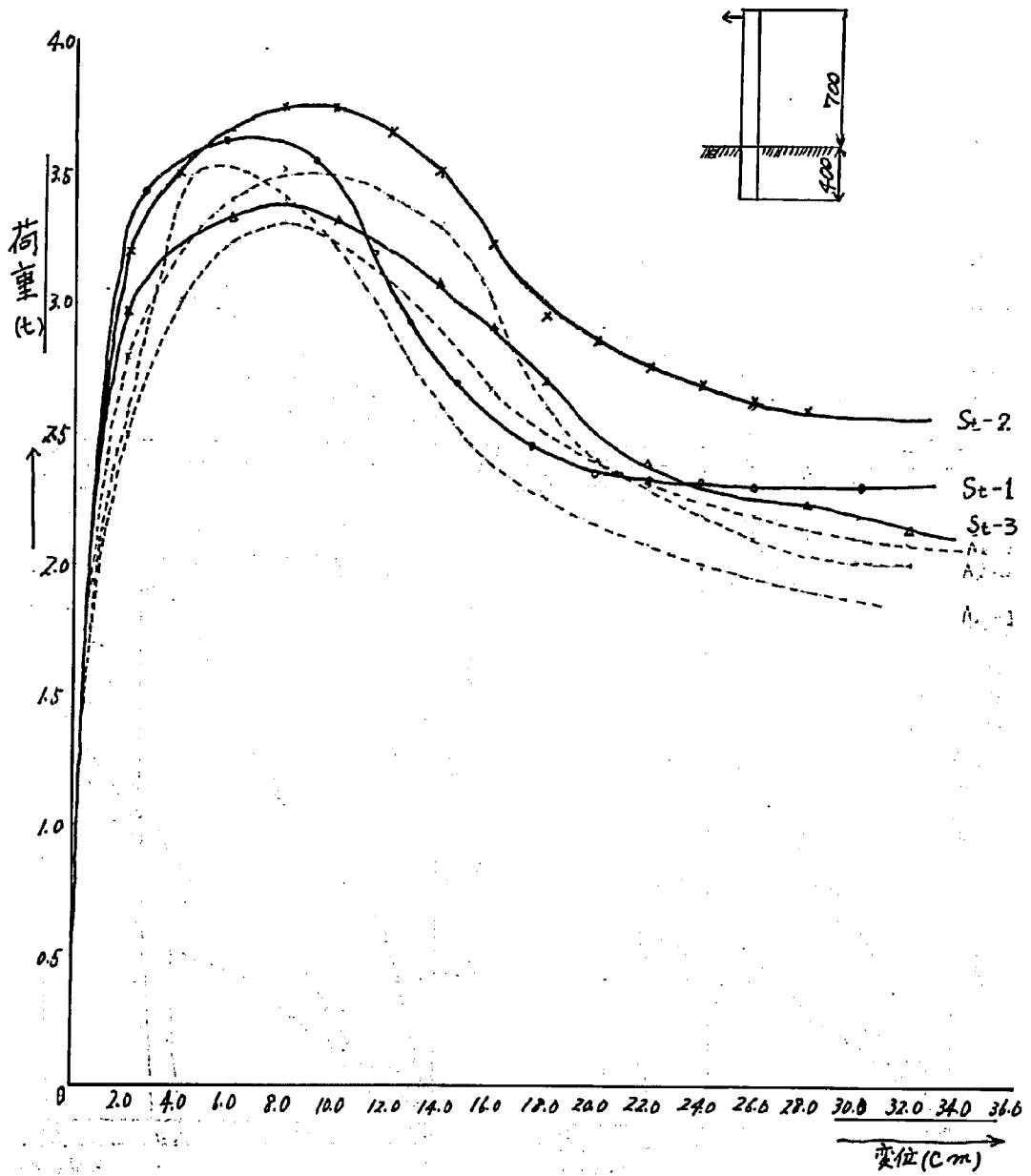
コンクリートに埋込んだ場合には、支柱自身がコンクリート基礎より弱いために曲がりが生じる。変位量10 cmぐらいで最大荷重に達し、それ以後は急激に減少している。この現象は土中の場合が大きな変位量で最大荷重に達しているのと対蹠的である。この場合最大荷重は支柱の極限曲げモーメント $M_0 = \sigma_y \cdot \alpha \cdot Z$ によって左右される。

図(5-1) アルミガードレール支柱実験(静的)



..... 路肩より 0.40m
 - - - - - " 0.80m
 - x - - - - " 1.60m
 - + - - - - " 0.0m

図(5-2) 支柱横引張実験(コンクリート中)



5-1-2 アルミガードレール実物衝突実験

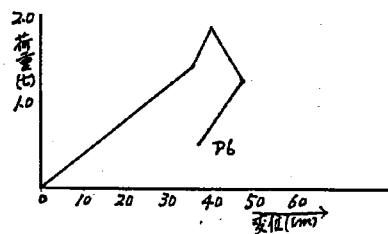
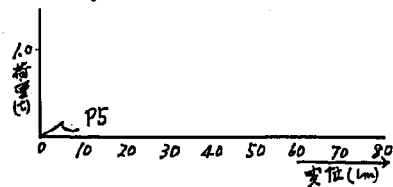
土木研究所構内の防護柵実験施設で大型トラックに土のうを積さいし、総重量 8.8~11.7 t、衝突角 20 度、衝突速度 28~50 km/h で 18 回の実車衝突実験を行った。高速カメラ（ミリケン DBM 4A-400 コマ/sec）でガードレールの変位量を測定し、ヒズミ計測によってガードレールの引張りおよび曲げモーメントなどを調べた。実験の条件と結果は表（5-1）に示す。支柱の変位量と荷重との関係は図（5-3~5）に示す。また支柱の変位量と傾きの関係を図（5-6~7）に示す。この図より支柱の回転中心の位置が求められる。

表（5-1） アルミニウム合金製ガードレール実験報告書

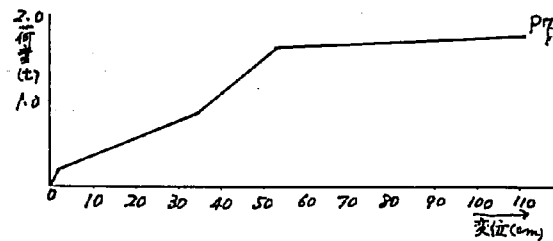
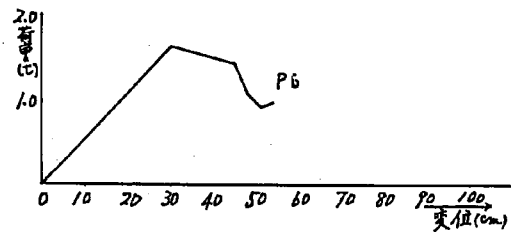
実験 番号	支柱断面 (mm)	ビーム (mm)	埋込み深さ (m)	車両の種別	重量 (t)	速度 (km/h)	最大変位 (cm)
1	ALφ114	AL93×2.3	1.25	トラック	9.80	33	—
2	Stφ114	St52×2.3	1.20	トラック	10.2	32	0.72
3	Stφ114	AL93×2.3	1.20	トラック	9.8	30	0.54
4	ALφ139	AL70×3.2	1.30	トラック	11.0	36	—
5	Stφ139	AL70×3.2	1.30	トラック	11.7	43	—
6	ALφ139	AL93×3.0	1.30	トラック	10.4	28	0.75
7	ALφ130	AL93×4.4	1.30	トラック	10.3	46	—
8	ALφ130	AL93×3.4	1.35	トラック	10.5	33	0.95
9	ALφ130	AL93×3.4	1.35	トラック	10.1	32	0.57
10	ALφ130	AL93×3.4	1.30	トラック	10.3	40	—
11	ALφ114	AL50×3.0	1.20	トラック	9.9	30	—
12	ALφ114	AL50×3.0	1.20	トラック	10.0	28	1.22
13	ALφ114	AL50×3.0	1.20	トラック	9.5	31	0.76
14	ALφ114	AL50×3.0	1.20	トラック	9.6	35	—
15	Stφ139	St70×3.2	1.30	トラック	9.7	44	1.05
16	ALφ114	AL50×3.0	1.20	トラック	11.0	34	—
17	ALφ114	AL50×3.0	1.20	トラック	10.3	29.8	1.42
18	Stφ114	St52×2.3	1.20	トラック	9.3	31	1.35
19	Stφ139	St70×3.2	1.30	トラック	8.8	50	1.22

図(5-3) アルミガードレール実験での支柱の
変位-力曲線

実験 NO.4

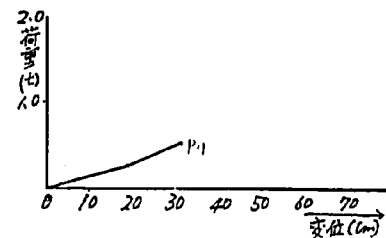
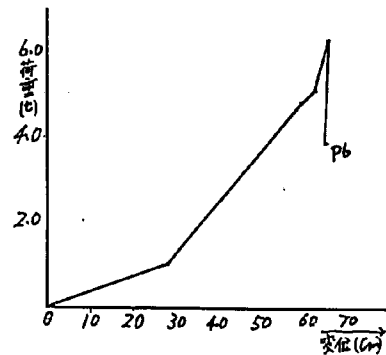
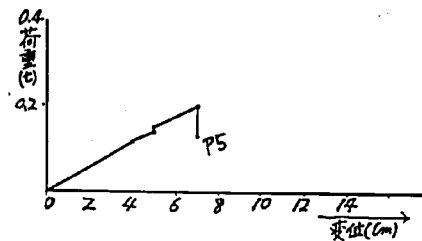


実験 NO.10

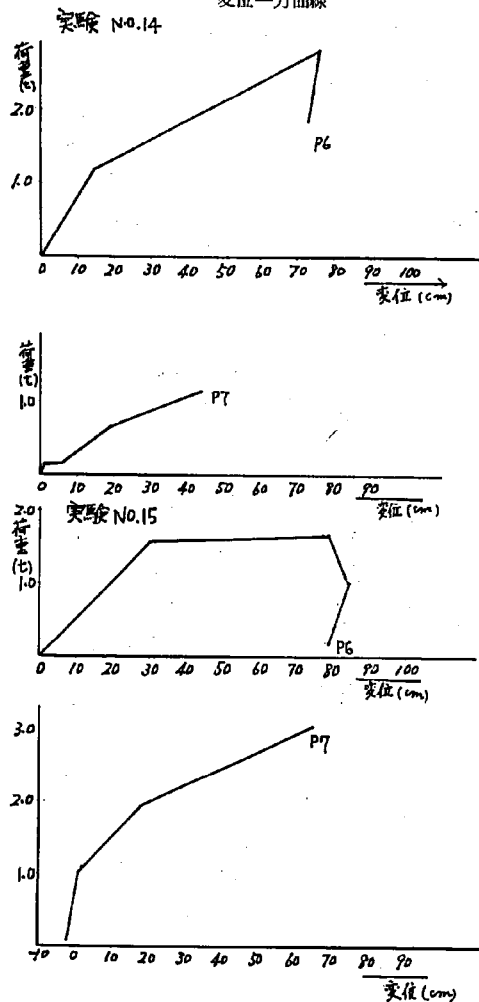


図(5-4) アルミガードレール実験での支柱の
変位-力曲線

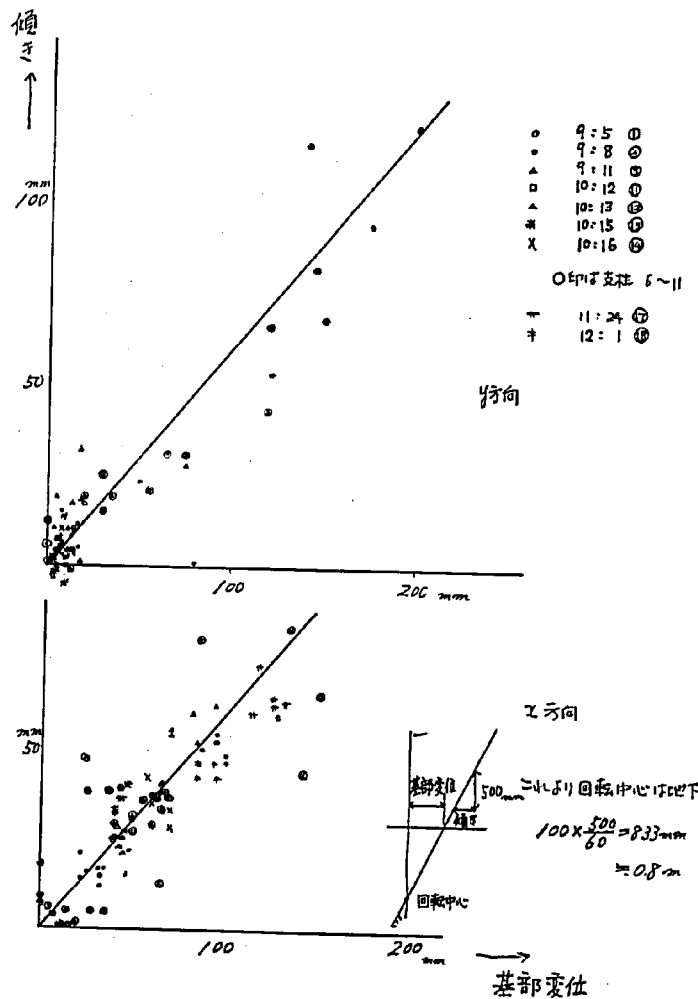
実験 NO.3



図(5-5) アルミガードレール実験での支柱の変位-力曲線



図(5-6) 支柱の傾きと基部変位



A scatter plot showing the relationship between two variables, 200mm (horizontal axis) and 500mm (vertical axis). The data points are represented by various symbols (circles, squares, triangles, crosses, etc.). A solid line represents the linear regression fit, showing a positive correlation. The axes are labeled with '200mm' and '500mm'.



5-2 中央分離帯支柱実験

5-2-1 中央分離帯支柱引張実験

中央分離帯委員会の委託で川鉄建材KKが土木研究所内実物実験施設で実物実験と並行しておこなったものである。これはボックスビーム用ガードレール支柱として、ビームに直角方向の支持力を強く、平行方向に弱い支柱を開発するためにおこなったものである。

平行方向の支持力が大きいと、車輪などもぎとられるなど、あらゆる面に不利な現象を作り出す要素となる。直角方向を2t以上とし平行方向を前者の2分の1ぐらいにすることを目標とした。平行方向を弱くするために欠損(スリット)をつけて支柱自体の強度をおとした。

実験方法は動の実験であり、車両(トラック)の後方につけたワイヤーロープで支柱を動的に計画速度15~20km/hで引張って支柱を倒した。

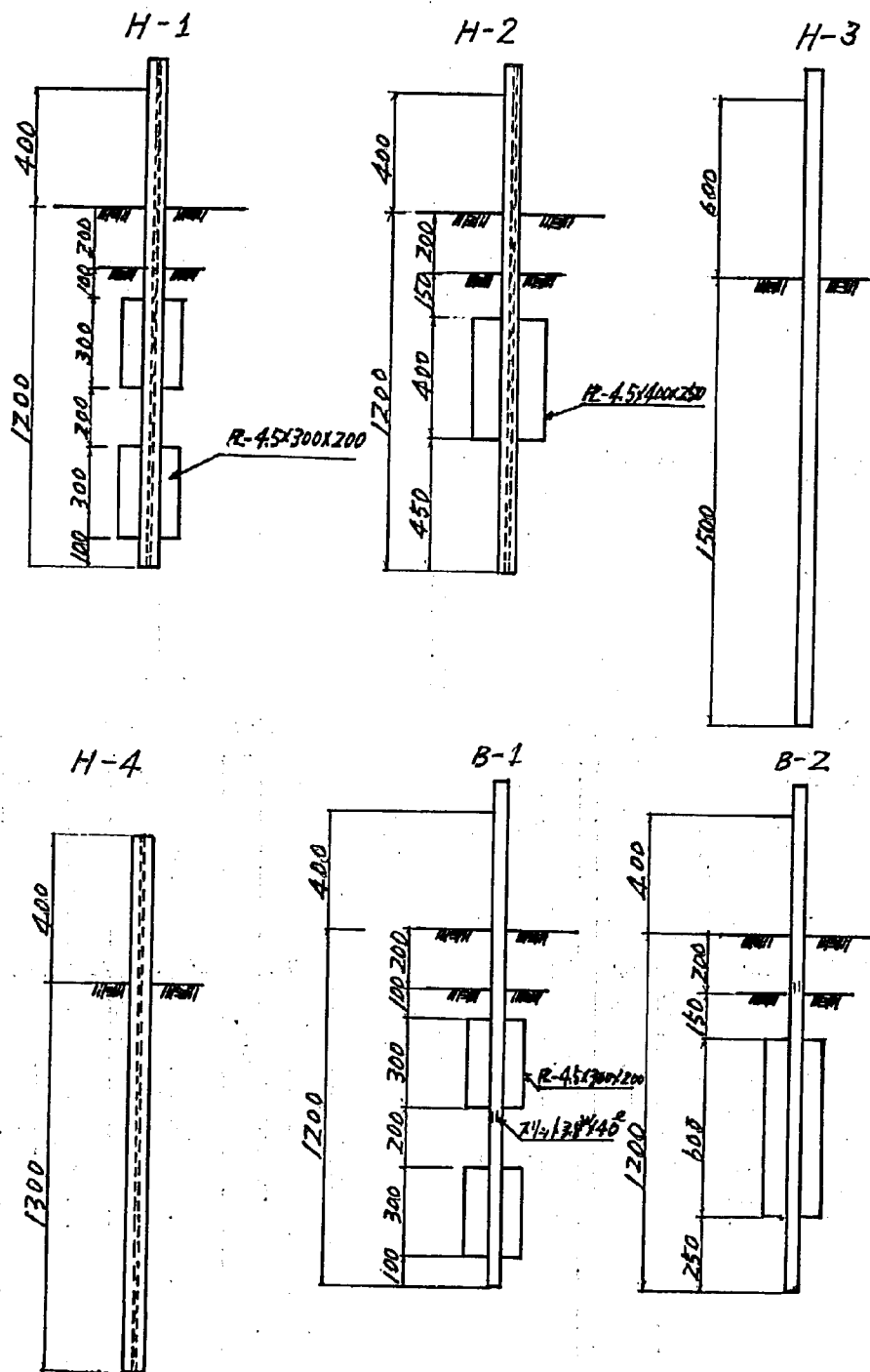
計測方法としては、ワイヤーロープにテンションを取付け、衝撃荷重を測定し、16mm高速カメラ(ローカム)で支柱の変位量を追跡し、荷重と変位量の時間的関係をつけるためにフラッシュを使用した。実験をおこなった支柱構造諸元は表(5-2)と図(5-8~9)、実験結果は表(5-3~5)、図(5-10~25)に示す。また、実際の現場での実験を中国縦貫道、宝塚インターチェンジ付近の中央分離帯でおこなった。

実験結果は図(5-26)に示す。

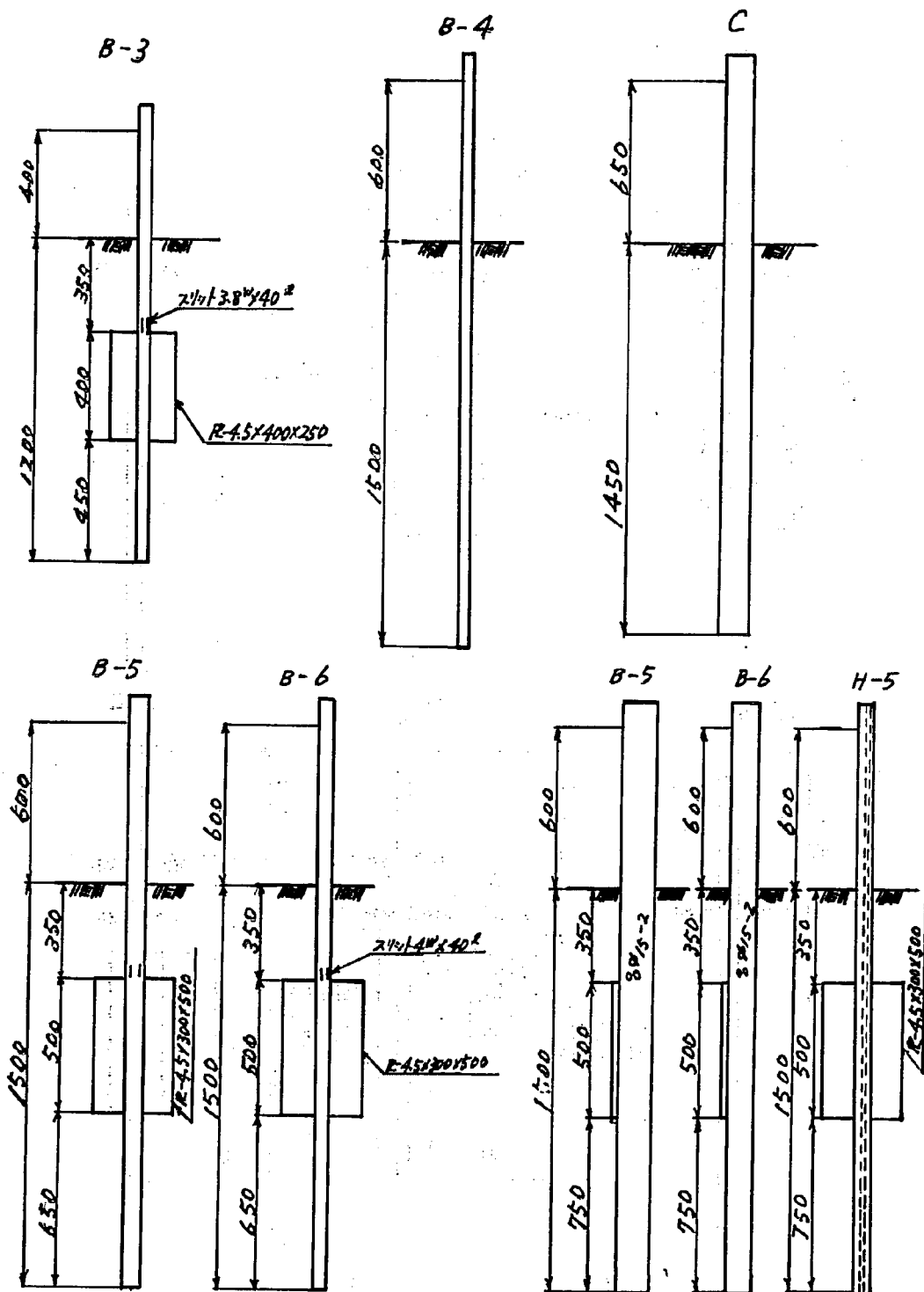
表(5-2) 中央分離帯用支柱動の実験供試体

設置呼 称又は 呼 称	作業点 (cm)	直 径 (cm)	断 面 ・ 形 状	根がらみ 補剛プレート	埋込み 深 さ (cm)	土 質	実験場所 又は備考
H-1	60	125×60	H型・補剛プレート	45×300×200	100	砂質土	土木研究所内 45年7月23日
	40	125×60	"	"	120	"	
H-2	60	125×60	H型・補剛プレート	45×400×250	100	砂質土	45年10月8日
"	40	125×60	"	"	120	"	
H-3	60	125×60	H 型	な し	150	砂質土	
H-4	40	150×75	"	"	130	"	
B-1	60	100×50	角型・補剛プレート	45×300×200	100	砂質土	
"	40	100×50	"	"	120	"	
B-2	60	100×50	角型・補剛プレート	45×600×200	100	砂質土	
"	40	100×50	"	"	120	"	
B-3	40	100×50	角型・補剛プレート	45×400×250	120	砂質土	
B-4	60	100×50	角 型	な し	150	"	
C	65	114.3	円 型	な し	145	砂質土	
B-5	60	127×76.2	角型・補剛プレート	45×300×500	150	"	
B-6	60	100×50	"	"	150	砂質土	
B-5	60	125×76.2	"	"	150	"	
B-6	60	100×50	角型・補剛プレート	45×300×500	150	砂質土	
H-5	60	125×60	H 型	な し	150	砂質土	

圖(5-8) 中央分離帶用防護欄支柱實驗供試體



图(5-9) 中央分離帶用防護柵支柱實驗供試体



表(5-3) 中央分離帯用防護柵支柱実験結果(Ⅵ-1)

記号及載荷 方 向	実験 番号	作用点 H(m)	埋込み 深 さ L(m)	支 柱 の 幅 (m)	支 柱 の 断 面 (mm)	根がらみ及プレート の 断 面 (m)	土 質	法肩か らの距 離(m)	欠 損	屈曲点	最大荷重 (t)	計算値(受動 土圧係数) Cp
H-1	1	0.60	1.00	0.06	H-125×60×4.5×6.5	L-45×200×300×2枚	砂質土	∞				
"	2	0.60	1.00	0.06	"	"	"	∞			1.50	33.8
" (平行)	3	0.60	1.00	0.125	"	"	"	∞		40	1.00	>39.4
H-2	4	0.60	1.00	0.075	H-150×75×5×7	L-150×75×5×7	砂質土	∞			1.30	42.4
"	5	0.60	1.00	0.075	"	"	"	∞			1.40	33.7
" (平行)	6	0.60	1.00	0.150	"	"	"	∞		15	1.00	>30.5
H-3	7	0.60	1.50	0.06	H-125×60×4.5×6.5	なし	砂質土	∞		14	1.70	>10.2
" (平行)	8	0.60	1.50	0.125	"	"	"	∞		19	0.80	>
B-1	9	0.60	1.00	0.05	□-100×50×32	L-45×200×300×2枚	"	∞			1.60	
"	10	0.60	1.00	0.05	"	"	砂質土	∞	スリット		0.72	24.3
" (平行)	11	0.60	1.00	0.10	"	"	"	∞	スリット		0.64	35.1
B-2	12	0.60	1.00	0.05	"	L-45×200×600	"	∞			1.08	35.8
"	13	0.60	1.00	0.05	"	"	砂質土	∞	スリット		1.10	26.3
B-3	14	0.40	1.20	0.05	□-100×50×32	L-45×250×400	"	∞			1.40	27.2
"	15	0.40	1.20	0.05	"	"	"	∞	スリット		1.45	31.8
" (平行)	16	0.40	1.20	0.10	"	"	砂質土	∞	スリット	35	1.50	>25.4
" (平行)	16	0.40	1.20	0.10	□-100×50×32	"	"	∞	スリット	35	1.20	>
B-4	17	0.60	1.50	0.05	"	なし	"	∞			1.50	
H-1	18	0.40	1.20	0.06	H-125×60×4.5×6.5	L-45×200×300×2枚	砂質土	∞			1.88	26.9
H-2	19	0.40	1.20	0.075	H-150×75×5×7	L-45×250×400	"	∞			1.48	37.1
H-4	20	0.40	1.30	0.075	"	なし	"	∞				25.9
" (平行)	21	0.40	1.30	0.150	"	"	砂質土	∞		31	1.84	>24.7
C	22	0.65	1.45	0.1143	φ114.3	"	"	∞			1.65	30.0
"	23	0.65	1.45	0.1143	"	なし	"	∞			2.00	
B-1	24	0.40	1.20	0.05	□-100×50×32	L-45×200×300×2枚	砂質土	∞			1.48	33.0
" (平行)	25	0.40	1.20	0.10	□-100×50×32	L-45×200×300×2枚	"	∞		30	1.56	>32.7

表(5-4) 中央分離帯用防護柵支柱実験結果

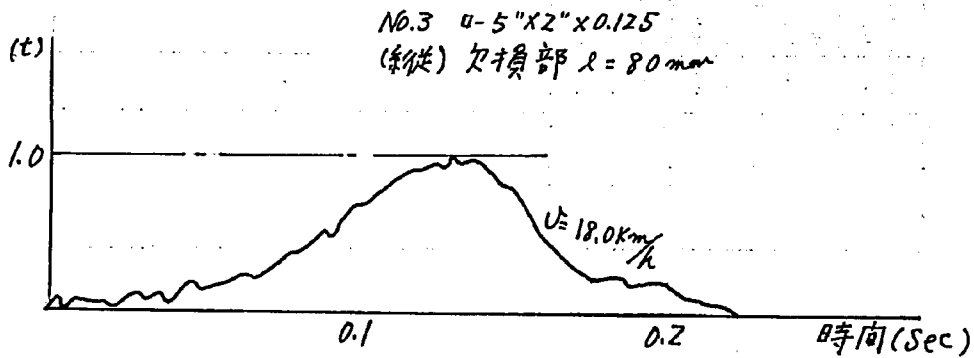
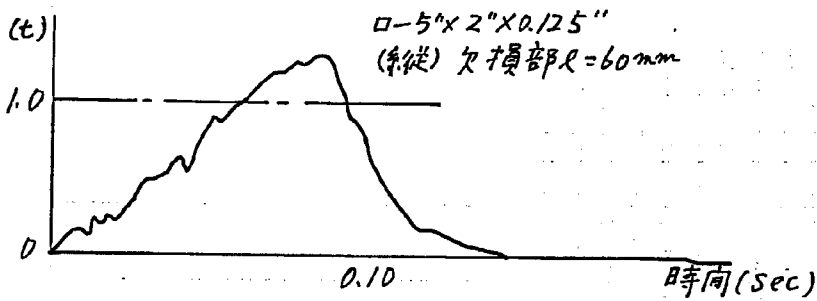
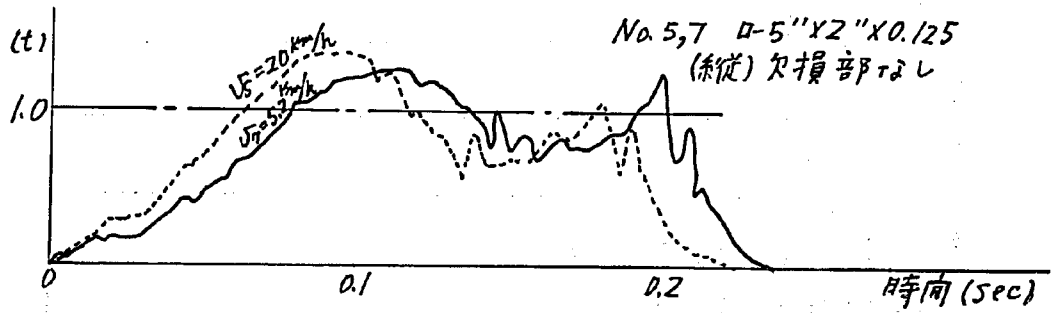
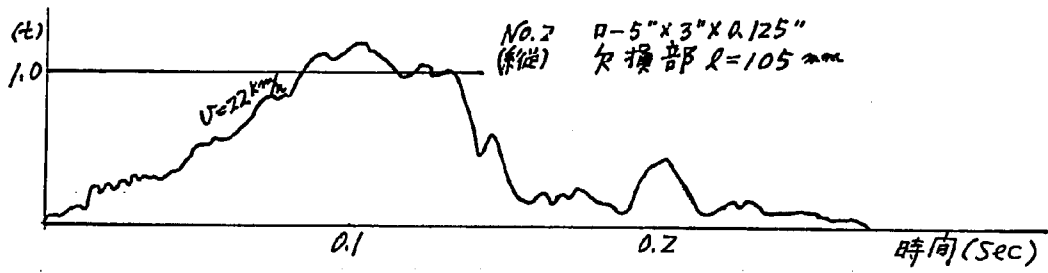
(A62)

記号及載荷 方 向	実験 番号	作用点 H(m)	埋込み 深さ L(m)	支 柱 の 幅 B(m)	支 柱 の 断 面 (mm)	根がらみ及プレート の 断 面 (m)	土 質	法肩か らの距 離(m)	欠 損	屈曲点	最大荷重 (t)	計算値(受動 土圧係数) Cp
B-2	26	0.40	1.20	0.05	□-100×50×32	⊂-45×200×600	砂質土	∞			1.68	3.22
" (平行)	27	0.40	1.20	0.10	"	"	"	∞				
B-3'	28	0.60	1.50	0.05	□-100×50×32	⊂-45×250×400	砂質土	∞	スリット	35	1.52	>
"	29	0.60	1.50	0.05	"	"	"	∞	スリット	35	1.48	>
B-3' (平行)	30	0.60	1.50	0.10	□-100×50×32	"	"	∞	スリット	35	1.25	>15.1
" (平行)	31	0.60	1.50	0.10	"	⊂-45×250×400	砂質土	∞	スリット	35	1.04	>13.2
B-4	32	0.60	1.50	0.05	□-100×50×32	なし	"	∞	スリット	35	0.92	>19.2
B-5	40	0.60	1.50	0.05	□-125×75×32	⊂-45×300×500	砂質土	∞			1.00	
" (平行)	41	0.60	1.50	0.075	"	"	"	∞	スリット	32	2.49	>26.7
"	42	0.60	1.50	0.125	"	"	"	∞	スリット	32	1.68	>21.5
" (平行)	43	0.60	1.50	0.075	□-125×75×32	⊂-45×300×500	砂質土	∞	丸φ15×2	32	2.81	>30.1
B-6	44	0.60	1.50	0.125	□-100×50×45	"	"	∞	φ15×2	32	1.72	>22.0
" (平行)	45	0.60	1.50	0.05	"	"	"	∞	スリット	32	1.93	>22.2
"	46	0.60	1.50	0.10	"	⊂-45×300×500	砂質土	∞	スリット	32	1.28	>18.4
" (平行)	47	0.60	1.50	0.05	□-100×50×45	"	"	∞	φ15×2	32	2.09	24.0
H-5	48	0.60	1.50	0.10	H-125×60×45×6.5	"	"	∞	φ15×2	32	1.36	>19.5
" (平行)	49	0.60	1.50	0.06	"	⊂-45×300×500	砂質土	∞		15	2.41	26.9
"	50	0.60	1.50	0.125	H-125×60×45×6.5	"	"	∞			0.72	> 9.2
B-6	51	0.60	1.50	0.26	□-100×50×45	"	"	∞			2.25	25.1
B-5	52	0.60	1.50	0.05	□-127×75×32	⊂-45×300×500	砂質土	∞	φ15×2		1.77	20.4
"	53	0.60	1.50	0.075	"	"	"	∞	φ15×2		2.41	25.8
" (平行)	54	0.60	1.50	0.125	"	"	"	∞	φ15×4	33	2.21	>23.6
B-5	55	0.60	1.50	0.075	□-127×75×32	⊂-45×300×500	砂質土	∞	φ15×4	33	1.93	>24.4
" (平行)	56	0.60	1.50	0.127	"	"	"	∞	φ15×5	33	2.13	>22.8
" (平行)	57	0.60	1.50	0.127	□-127×75×32	"	"	∞	φ15×5	33	1.21	>15.3
"	58	0.60	1.50	0.075	□-127×75×32	⊂-45×300×500	砂質土	∞	φ15×5	33	1.05	>13.3
									φ15×5	33	2.13	>22.8

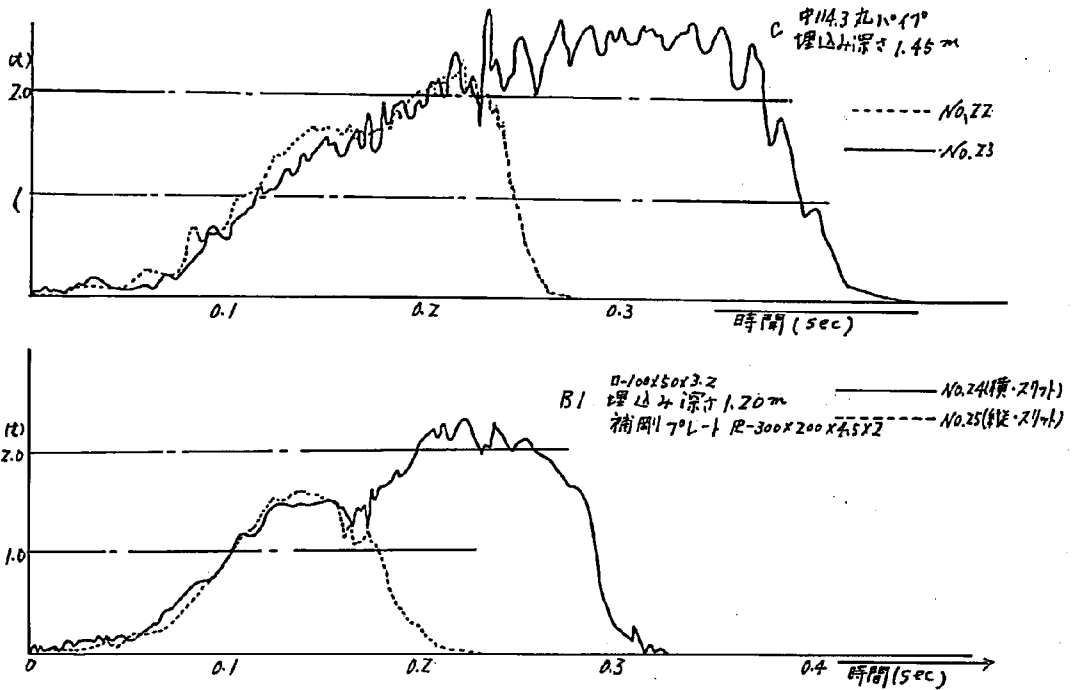
表(5-5) 中央分離帯用防護欄支柱実験結果

記号及載荷 方 向	実験 番号	作用点 H(m)	埋込み 深 さ L(m)	支 柱 の 幅 B(m)	支 柱 の 断 面 (mm)	根がらみ及プレート の 断 面 (mm)	土 質	法肩か らの距 離(m)	欠 損	屈曲点	最大荷重 (t)	計算値(受動 土圧係数) C _p
(平行)	59	0.60	1.50	0.075	□-125×75×32	E-45×300×500	砂質土	∞	スリット	33	1.30	>14.5
	60	0.60	1.50	0.125	□-125×75×32	E-45×300×500	"	∞	スリット	33	1.16	>14.7
(平行)	61	0.60	1.50	0.127	□-127×50×3.7	E-45×300×500	"	∞	スリット	33	0.95	>12.0
	62	0.60	1.50	0.05	□-127×50×3.7	E-45×300×500	砂質土	∞	スリット		1.55	17.8
(平行)	63	0.60	1.50	0.05	□-127×50×3.7	E-45×300×500	"	∞			1.95	22.4
	64	0.60	1.50	0.127	□-127×50×3.7	E-45×300×500	"	∞		33	1.28	>16.2
(平行)	65	0.60	1.50	0.05	□-127×50×3.7	E-45×300×500	砂質土	∞			2.29	26.3
	66	0.60	1.50	0.127	□-127×50×3.7	E-45×300×500	"	∞	スリット	33	1.29	>16.3
(平行)	67	0.60	1.50	0.05	□-127×50×3.7	E-45×300×500	"	∞	スリット		1.80	20.7
	68	0.60	1.50	0.127	□-127×50×3.7	E-45×300×500	砂質土	∞		33	1.38	>17.5

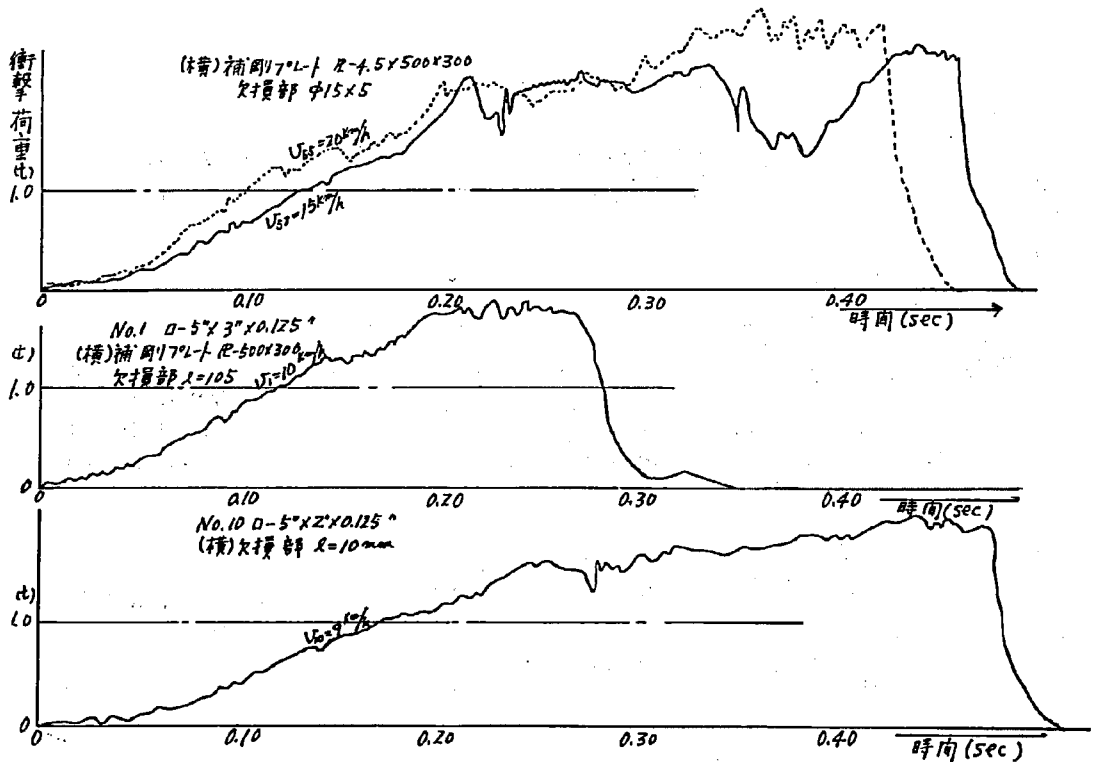
図(5-10) 支持力の時間的变化



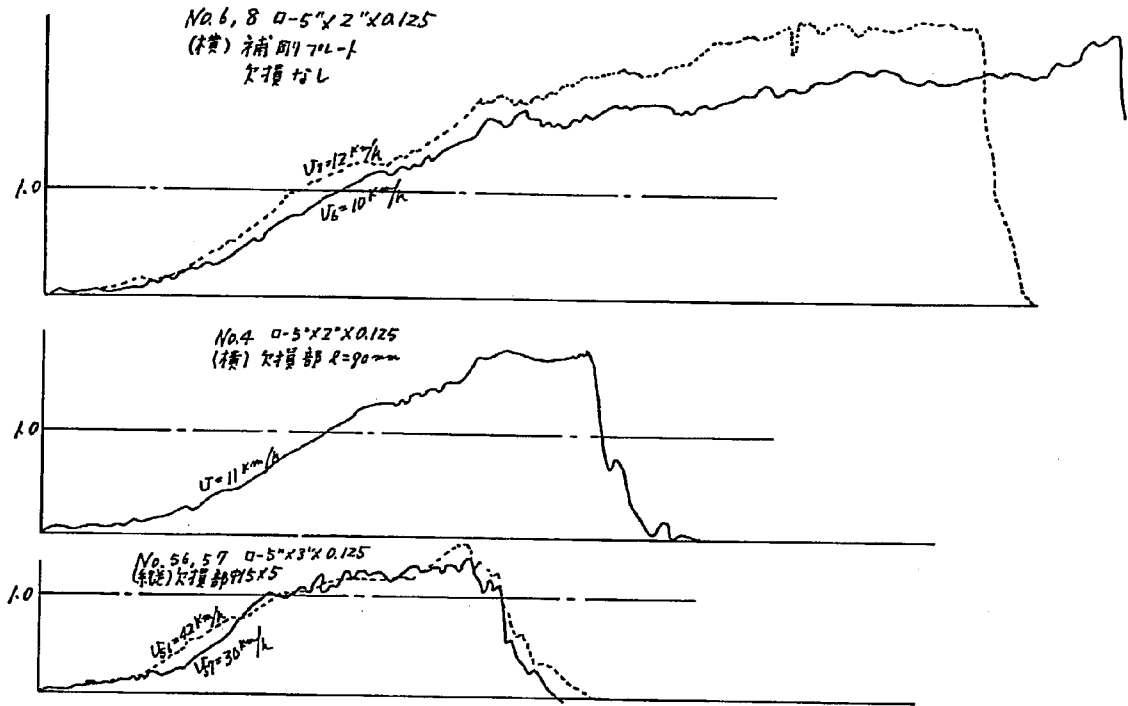
図(5-11) 支持力の時間的变化



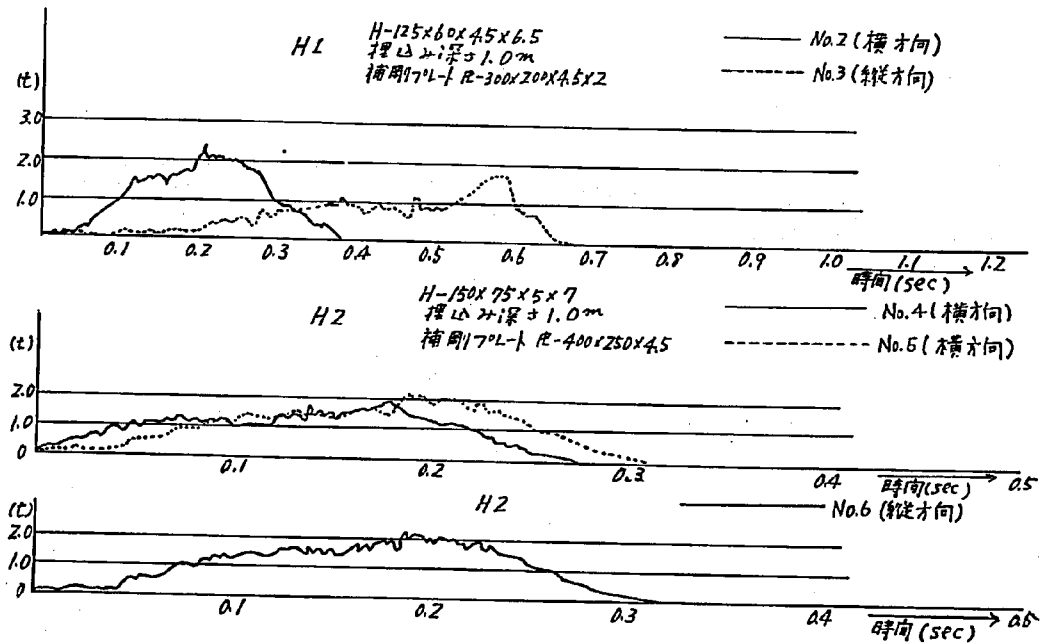
図(5-12) 支持力の時間的变化



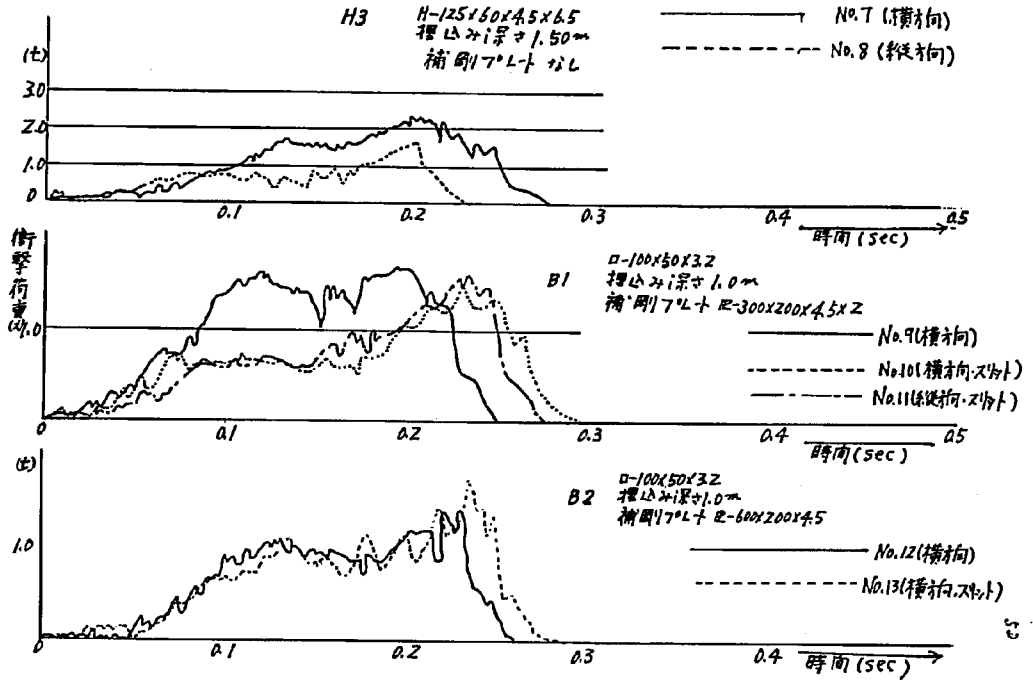
図(5-13) 支持力の時間的变化



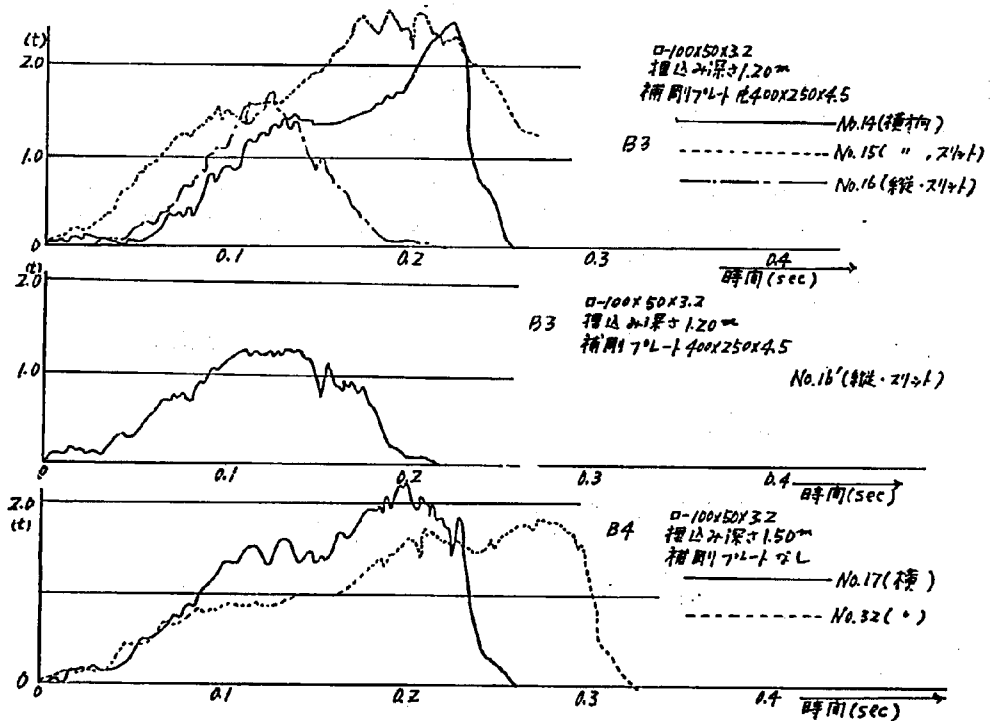
図(5-14) 支持力の時間的变化



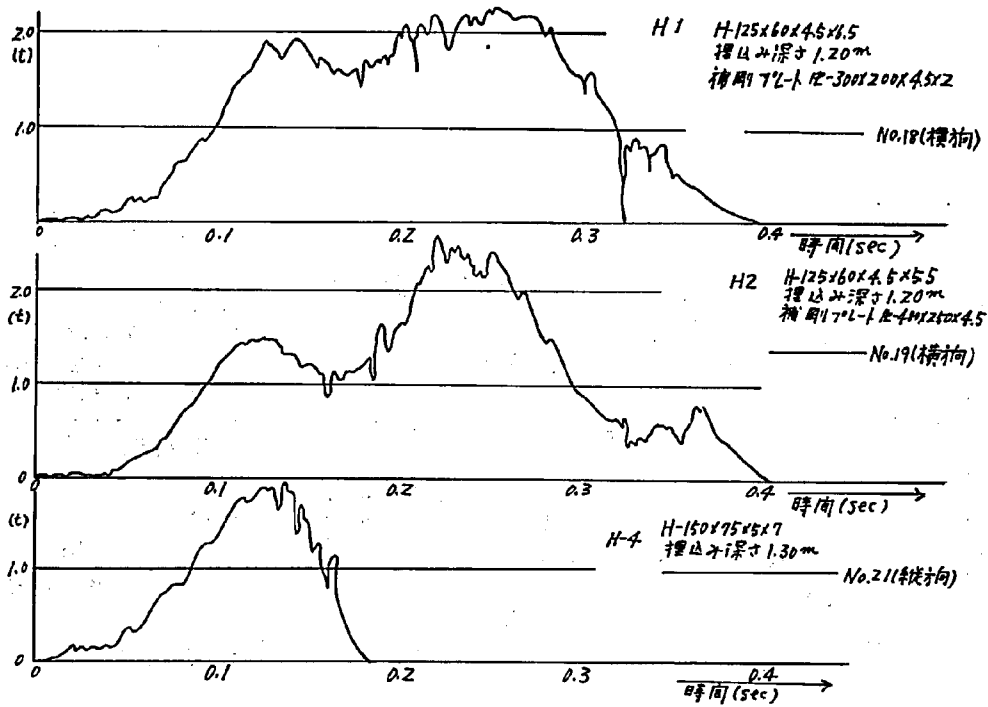
図(5-15) 支持力の時間的变化



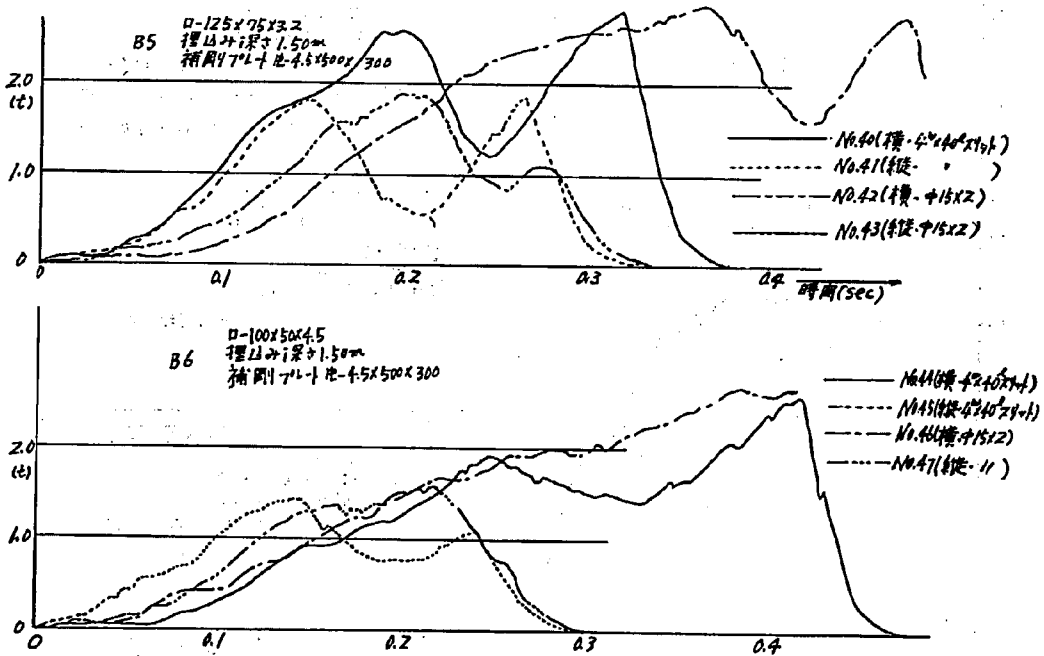
図(5-16) 支持力の時間的变化



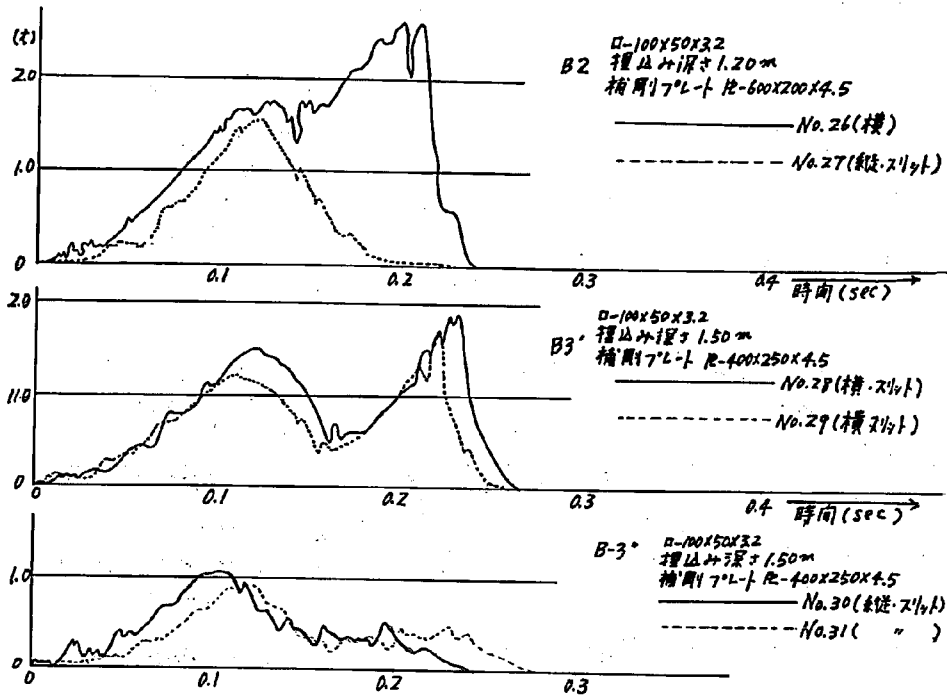
図(5-17) 支持力の時間的変化



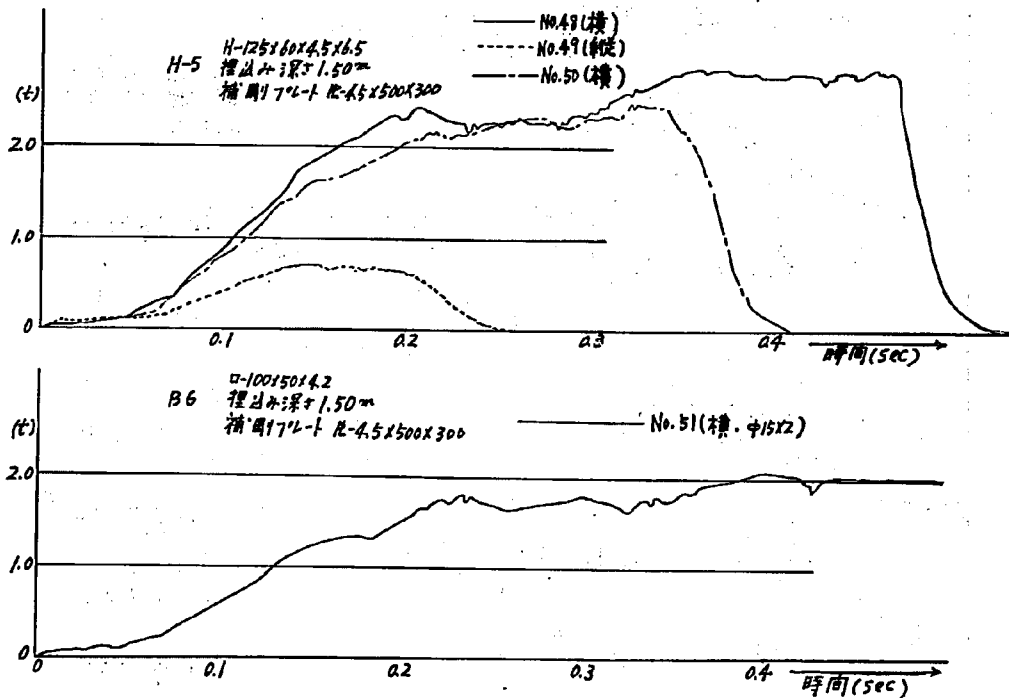
図(5-18) 支持力の時間的変化



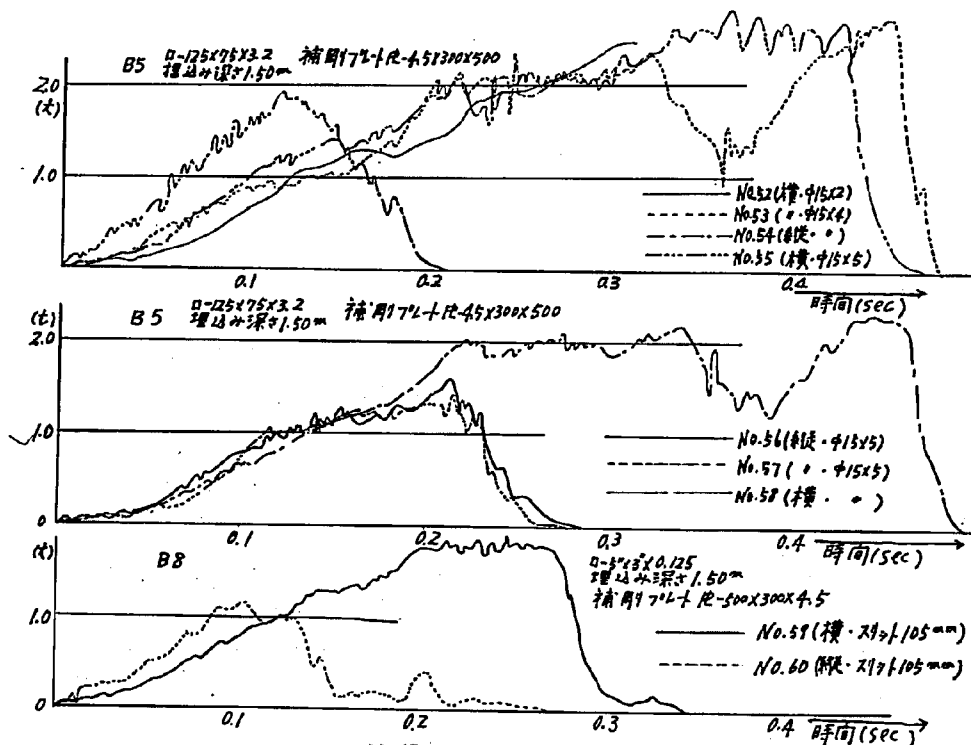
図(5-19) 支持力の時間的変化



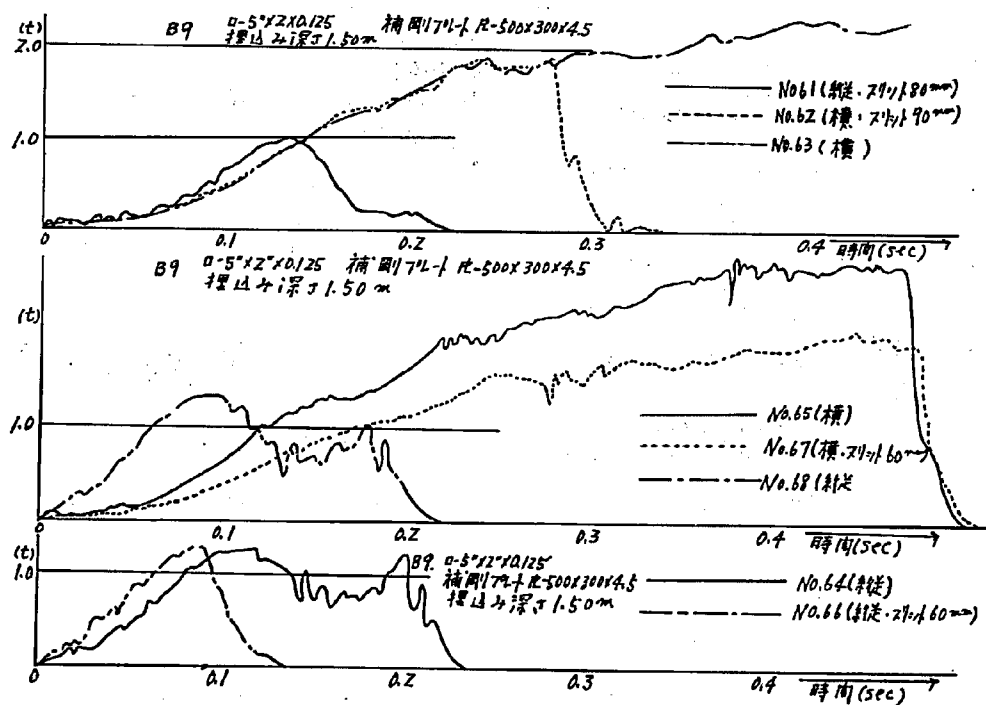
図(5-20) 支持力の時間的変化



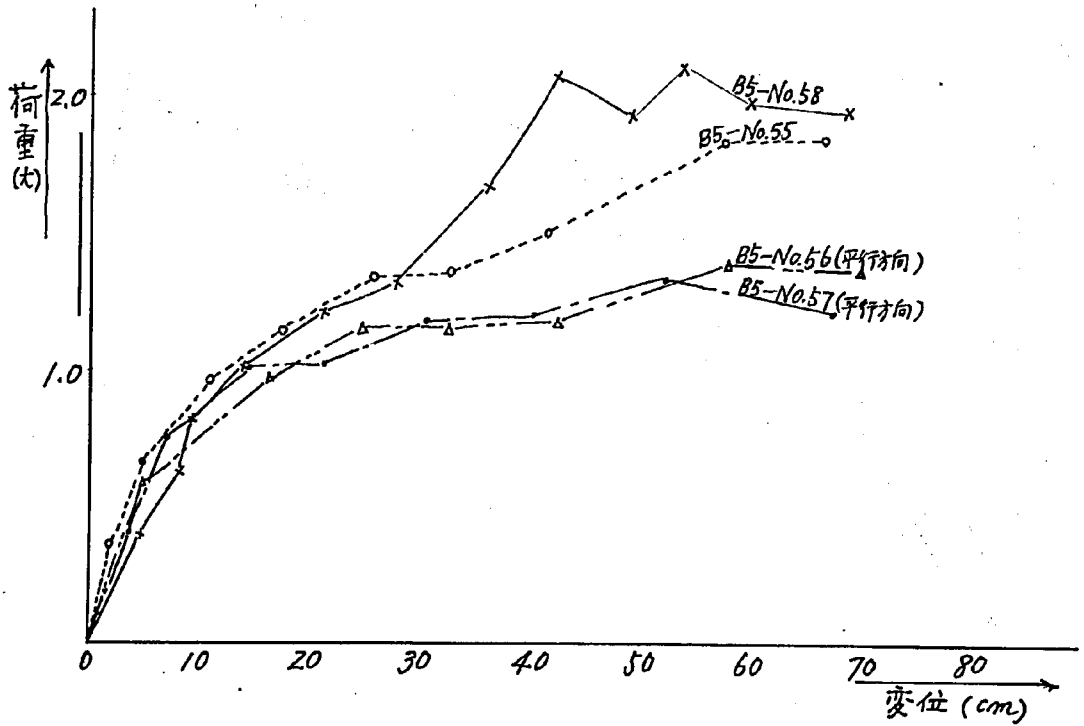
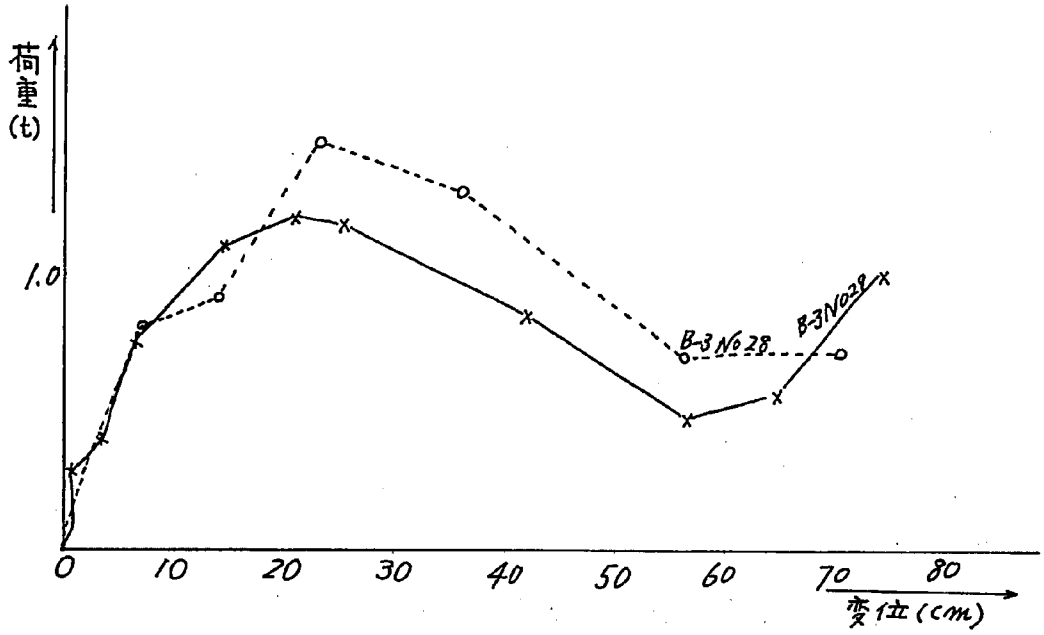
図(5-21) 支持力の時間的变化



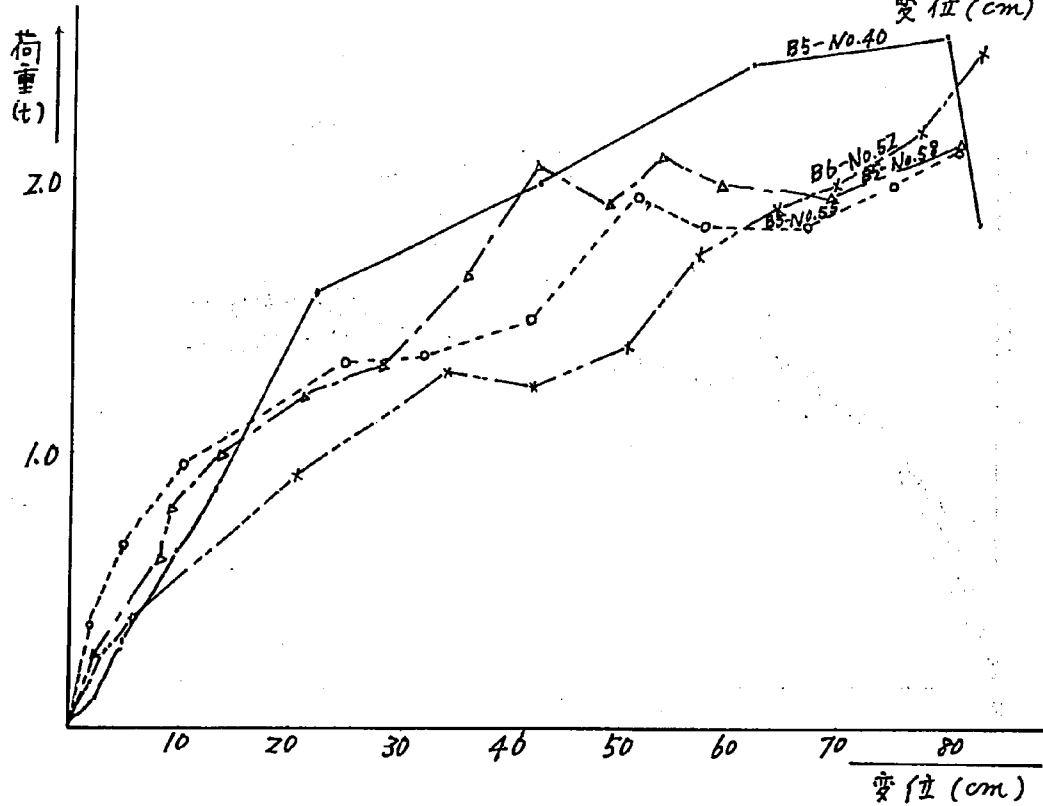
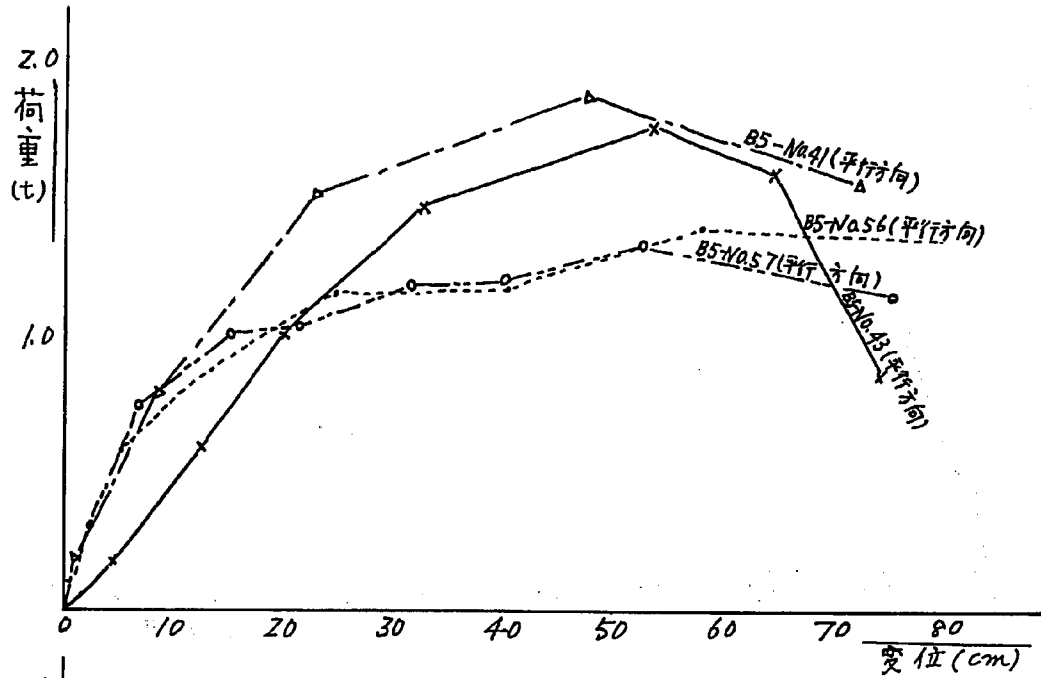
図(5-22) 支持力の時間的变化



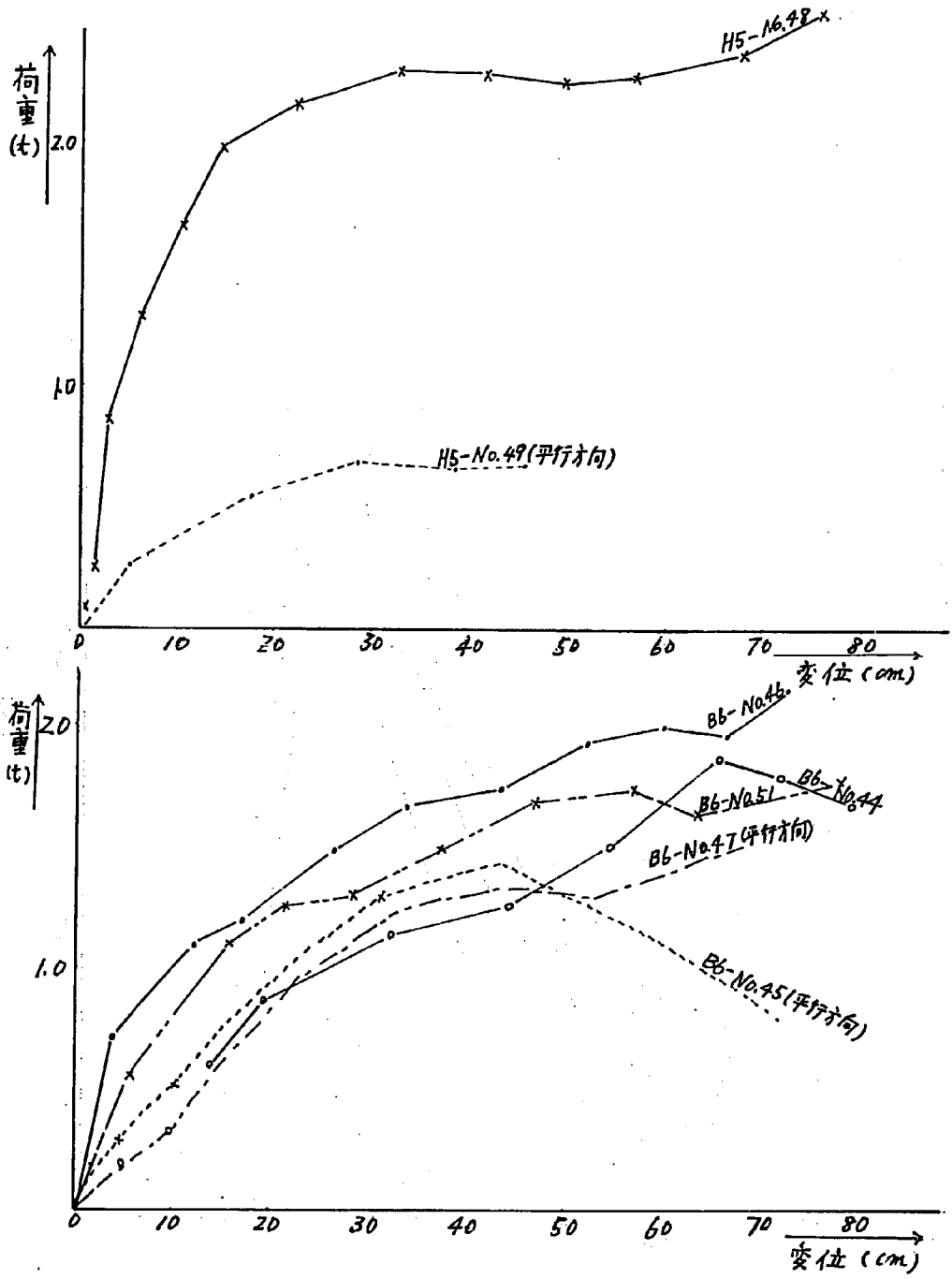
图(5-23) 变化—力曲线



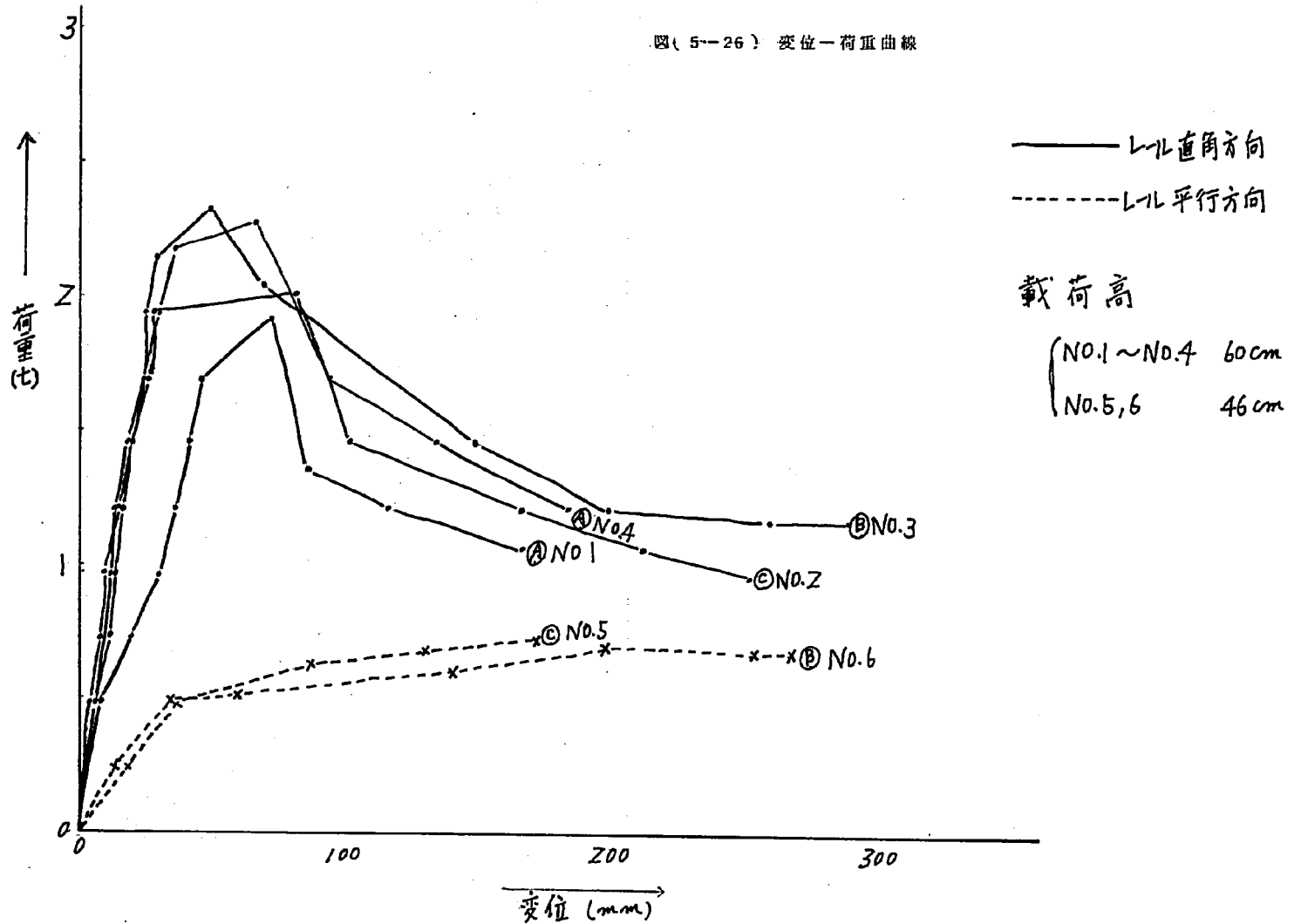
圖(5-24) 变化—力曲線



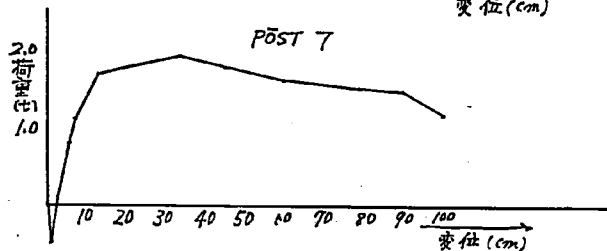
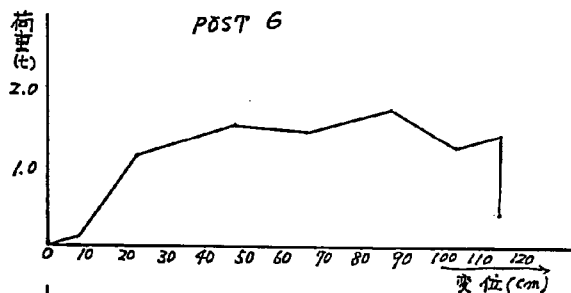
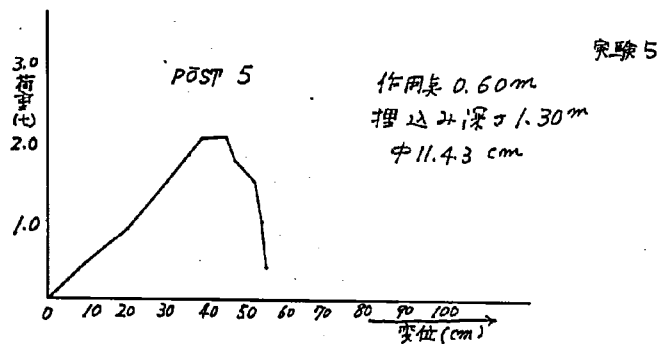
图(5-25) 变化一力曲线



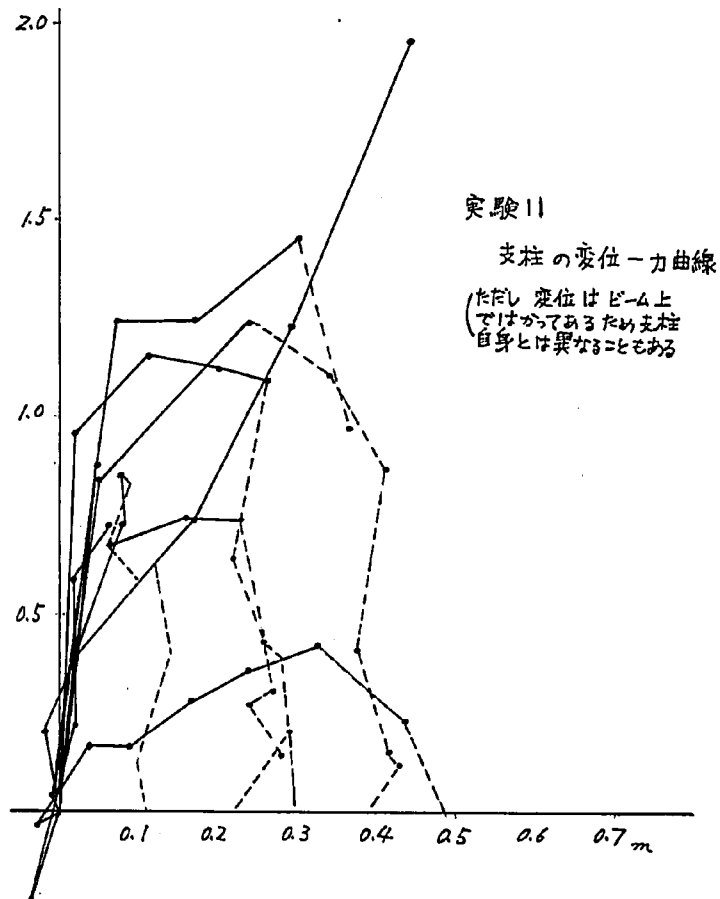
图(5--26) 变位—荷重曲线



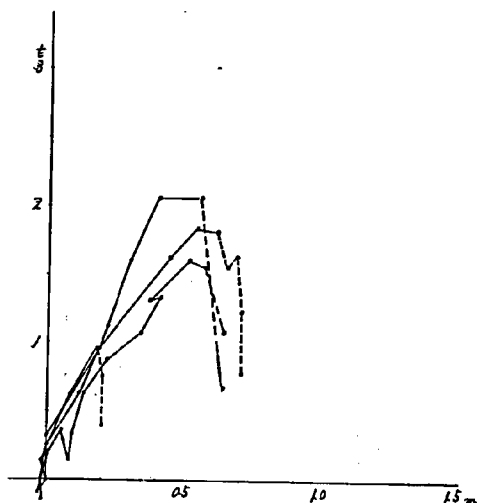
図(5-27) 中央分離帯用ガードレール実験, 支柱の変位
—荷重曲線



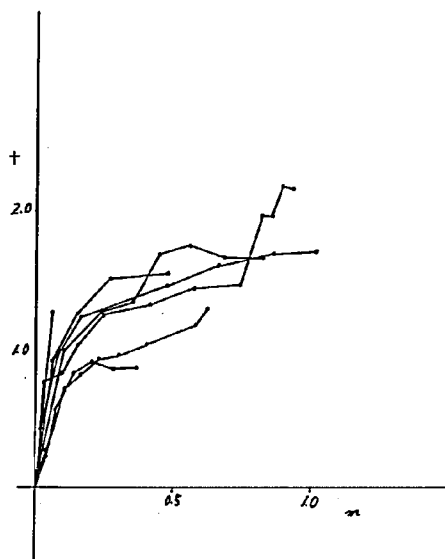
図(5-28) 実験 11 支柱の変位と力曲線



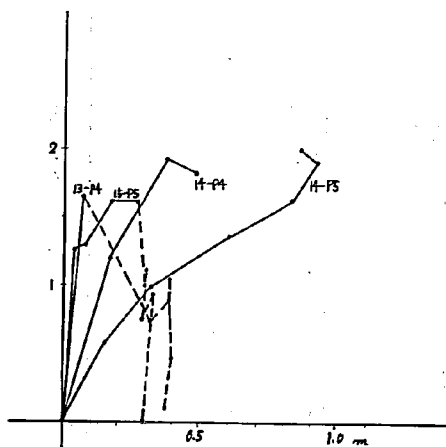
図(5-29) 実験 10 支柱の変位と力曲線



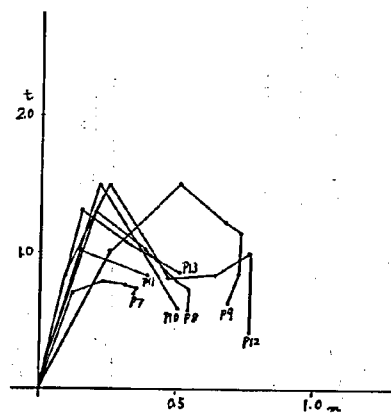
図(5-30) 実験 2 支柱の変位と力曲線



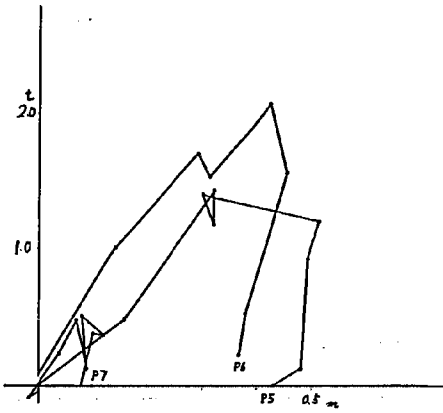
図(5-31) 実験 13, 14 支柱の変位と力曲線



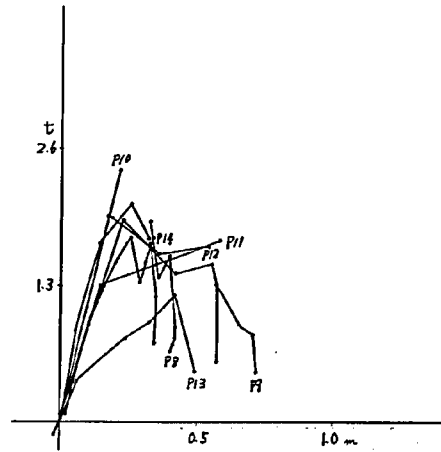
図(5-32) 中分 15 支柱の変位と力曲線



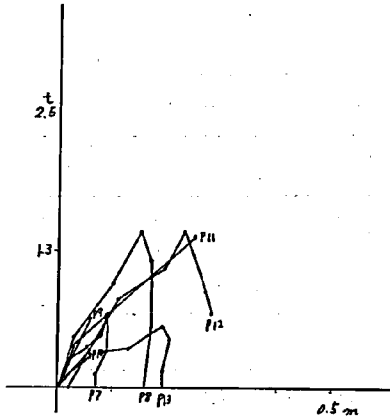
図(5-33) 中分16 支柱の変位-力曲線



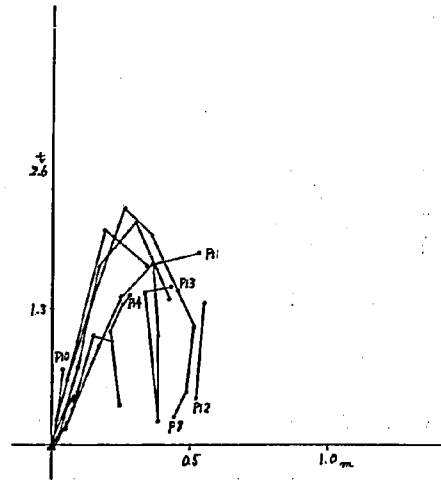
図(5-34) 中分20 支柱の変位-力曲線



図(5-35) 中分21 支柱の変位-力曲線



図(5-36) 中分22 支柱の変位-力曲線



5-2-2 中央分離帯実物衝突実験

実験に使用した施設は、アルミガードレール実物実験をおこなった時よりも改造したもので、三菱ディーゼルエンジンDH24W形(330馬力)ウインチによって衝突車を加速させるもので(加速距離は200m)、加速中の方向維持は、衝突車に取りつけられたローラーが加速路にひかれた鉄道用レールをはさむことによ

ってなされる。
最大加速能力は乗用車で120km/h、大型トラック60km/hである。また衝突地点の上方より写真撮影をするための高さ10mの塔、歪計測のための観測小屋がある。力学的挙動を計測するためにビームおよび各支柱に貼付した歪ゲージによって歪測定を行った。また支柱の変位を測るために16mm撮影機(ミリケンDMB 4A 200~400コマ/sec)を使用した。実験結果は表(5-6)に示す。また変位量と力との関係は図(5-27~36)に示す。

表(5-6) 中央分離帯実験結果一覧表

実験 番号	種 別	支 柱 断 面 (mm)	ビ ー ム (mm)	埋込み 深さ(m)	車両の種類	重量 (t)	速度 (km/h)	最大変位 (cm)
10	ブロックアウト 両面型ガード レール	φ114.3	3.2×350×4300	1.45	TH17 (大型トラック)	14.0	46	130
11	ボックス ビーム	H-150×75×5×7	ロー-203×203×4.76	1.30	セドリック	1.33	90	68
12	ボックス ビーム	H-150×75×5×7	ロー-203×203×4.76	1.30	TH17 (大型トラック)	13.9	45	154
13	ガード ケープル	φ114.3	—	1.50	クラウン	13.3	69	75
14	ガード ケープル	φ114.3	—	1.50	三菱UD (大型トラック)	13.5	48	>110
15	ボックスビーム ガードレール	ロー-100×50×3.2	ロー-203×203×6.35	1.50	TH17 (大型トラック)	13.8	48	120
16	ブロックアウト 両面型	φ114.3	3.2×350×4300	1.45	クラウン	13.4	76	55
20	ボックス ビーム ガードレール	ロー-127×76×3.2	ロー-203×203×6.35	1.50	TH17 (大型トラック)	14.0	51	124
21	ボックス ビーム	ロー-127×76×3.2	ロー-203×203×6.35	1.50	セドリック	1.25	78	34
22	ボックス ビーム ガードレール	ロー-127×76×3.2	ロー-203×203×6.35	1.50	TD 70-1	1.45	43	113
5	ブロックアウト 両面型ガード レール	φ114.3	ロー-203×203×6.35	1.45	乗用車	1.25	87	102

6. 土木研究所盛土における実験

6-1 概 説

防護柵支柱引張実験を関東ローム層盛土についておこなったものであり、動的实验を主として動的实验に対する比較用として静的实验を行った。实验は昭和41年度、43年度、44年度にまたがって行われた。

41年度においては過去の实验との比較および資料不足に対処するためにつぎの实验をおこなった。

- ① 最近用いられるようになった直径の大きい、埋込み深さの比較的大きい鋼管支柱に関する实验。
- ② 土の工学的性質に関する記述、とくに粘土性の場合の粘着力などの記述された实验。
- ③ ガードレールの連続梁効果を考えたとき問題となる一担载荷された方向と逆方向に荷重が加わるときの変位反力曲線の性質を調べる实验。

43年度および44年度においては41年度の实验の不足点を補うため以下の点に重点をおいて实验を行った。

① 支柱の作用点と支持力

車両が直接支柱に衝突した時とガードレールを介して支柱に力を与える両方の場合を想定して作用点を変化させた实验をおこなう。

② 動的实验における支柱の挙動

支柱の動的实验はまだ例が少ないため、その時の支柱の挙動についての資料は十分ではない。そのため、動的荷重によって支柱自身にどのような断面力が生じるかを調べてみる。

③ 静的实验と動的实验における耐荷力の違い

動的实验のりい積がまだ足りないため、この耐荷力の違いに対するデータは不十分であるので比較用のデータを得る。

④ 法肩からの距離と耐荷力の関係

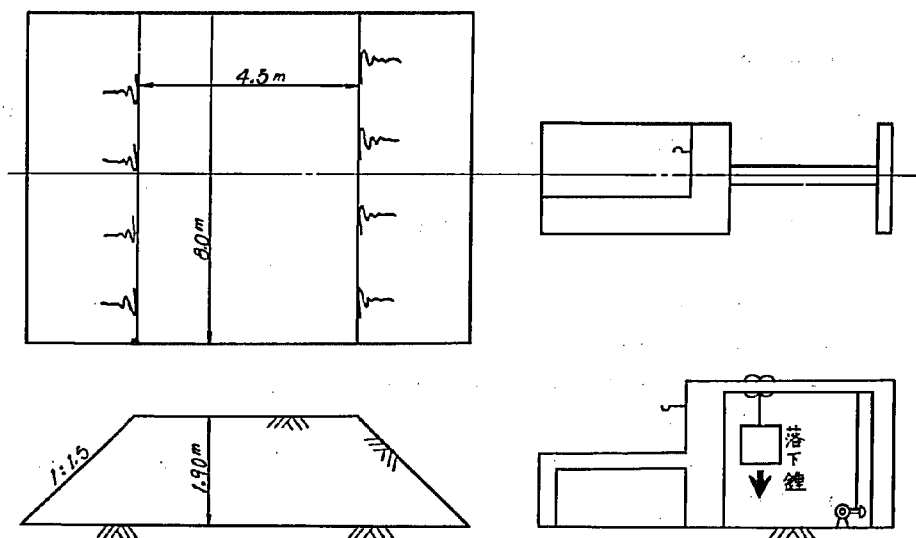
過去实验から埋込み深さ、作用点と同じであっても法肩からの距離によって、耐荷力が大きく左右するので、ここで系統的に取扱ってみる。

6-2 実験方法

6-2-1 実験施設

図(6-1)に示すように、関東ローム層の高さ1.90m、頂面幅4.5m、長さ8.0m、法肩勾配1:1.5の盛土をつくり、その両側にコンクリート構造物をつくり、鉄筋フックをつけ、静的引張実験のアンカーとする。3.0tの落下錘を二台の減速機で減速させたモーターで地上面2.0mの高さまであげた後落下させ、滑車によって水平方向衝撃力に変える。

図(6-1)



6-2-2 実験方法

(1) 建込み

オーガーで穴を掘って支柱を建込み、実験日まで4日間放置しておく。これは土が回復する期間としておいた。

(2) 静的実験

建込んだ支柱の着力点のボルト部にワッカを取付け引張方向にロードセルをつけて、一方は図で示すようなコンクリートに埋込んであるフックをアンカーとして、その間をヒッパラーで徐々に力を加えてゆき、一定間隔ごとにロードセルに生ずる引張力を読んだ。それと同時に支柱の後方に固定点をつくり、着力点と地表面の水平変位及鉛直変位を測定した。

(3) 動的実験

図(6-1)の施設で、水平方向衝撃力を作りだした。計測の方法は、衝撃力が瞬時であるため引張方向にロードセルを取付けストレインメーターにつなぎ、ピシグラフに書きませた。

支柱の動きを追跡するために高速度カメラ(DBM4A)400コマ/secの速さで写した。撮影速度をチェックするために高速度時計を画面に写した。これをメモションアナライザーでよみ、変位を測定した。

支柱自身にどんな応力現象が生じているかを調べるために、支柱の埋込み部に引張側方向の前後にストレインゲージを8点張った(44年度)。

衝撃力と支柱の動きの関係でどこが始点であるかをあわせるため、落下ボタンを押すと同時に高速度カメラにタイミングマークがはいり、ピシグラフにもタイミングマークが同様にはいるようにした。それと同時に支柱のところに高速度カメラから写る程度の位置にフラッシュをおき周期させた。

6-2-3 土質試験

関東ローム層には多くの要因が含まれているが、ここでは基本的な含水比、サウンディング試験にだけとどめた。ローム層は天候によって土質の強弱が大きく左右されることはいうまでもない。そこで実験前には、スウェデン貫入試験及コンペトロメータによる貫入試験をおこなった。

6-3 41年度実験の結果

昭和40年6月17日～8月18日の第一シリーズと昭和41年12月7日～42年1月20日の第二シリーズと2回にわけて実施した。

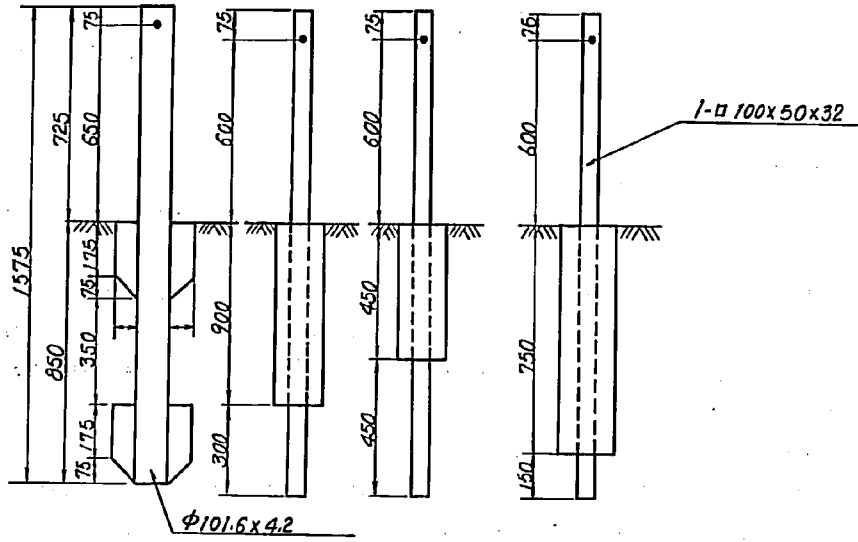
第一シリーズは雨期にあたり、盛土が比較的軟弱であったため支持力が小さかった。実験における支柱種別は表(6-1)に示すようにA、C、D型で、防護柵設置要綱にしたがったものと、支柱を20cm増減したものである。IやJ型などは Strong Beam Weak Post (剛ビーム弱支柱)の概念を取入れた形式である。IやJ型には図(6-2)に示すように、根がらみプレートを取付けて実験をおこなった。法肩からの距離を0.3m、0.60m、0.90m、1.20mに変化させた。

実験結果は表(6-2～4)に示す。荷重-変位量曲線は図(6-3～6)に示すが、ある程度バラツキがある。動的荷重における衝撃荷重と変位の時間的变化は図(6-7～8)に示す通りであって、支柱の衝撃速度は2.88～8.40Km/hである。

表(6-1) 41年度の支柱実験

呼 称	作用点 (cm)	直 径 (cm)	断面・形状	埋込み深さ (cm)	土 質	実験場所及備考
A	60.0	13.98	円柱・鋼管	150.0	粘 質 土	土木研究所 千葉支所内
C	60.0	11.43	"	130.0	"	
C+20	"	"	"	150.0	"	
C-20	60.0	11.43	"	110.0	"	
D	"	10.16	"	130.0	"	
I	60.0	10.0×5.0	角形・鋼管	90.0	"	
I+15	"	"	"	90.0	"	
I+15	"	"	"	90.0	粘 着 土	
J	60.0	10.16	円形・鋼管	90.0	"	

図(6-2) 支柱の供試体



表(6-2) 静的実験

名 称	作用点 H (m)	埋込み深 さL (m)	支柱の幅 B (m)	有がらみ の有無	断面形及 材 質	土 質	法肩からの 距離 (m)	支 持 力 (t)		計算値 (受動土圧係数) C _p	
								0.3 m変位 による荷重	最大荷重	0.3 m変位時 による荷重	最大荷重より
土 研 盛 土 4 1 年 度 Ⅱ 1	0.60	1.50	0.1398	無	円・鉄	粘質土	0.90	1.12	1.60	13.4	19.2
	0.60	1.50	0.1398	"	"	"	1.20	1.18	1.50	14.1	18.0
	0.60	1.50	0.1398	"	"	"	0.60	0.62	0.78	7.4	9.3
	0.60	1.50	0.1398	無	円・鉄	粘質土	0.30	0.39	0.48	4.7	5.8
	0.60	1.30	0.1143	"	"	"	0.90	0.80	1.16	15.0	21.8
	0.60	1.30	0.1143	"	"	"	0.60	0.30	0.60	5.6	11.3
	0.60	1.30	0.1143	無	円・鉄	粘質土	0.90	0.28	0.60	5.3	11.3
	0.60	1.30	0.1143	"	"	"	0.60	0.31	0.56	5.8	10.5
	0.60	1.30	0.1143	"	"	"	0.60	0.24	0.25	4.5	4.7
	0.60	1.30	0.1143	無	円・鉄	粘質土	0.60	0.04	0.10	0.8	1.9
	0.60	1.30	0.1143	"	"	"	1.20	0.04	0.09	0.8	1.7
	0.60	1.30	0.1143	"	"	"	0.60	0.06	0.18	1.1	3.4
	0.60	1.50	0.1143	無	円・鉄	粘質土	0.60	0.58	0.70	7.8	9.4
	0.60	1.30	0.1143	"	"	"	0.60	0.55	0.65	10.3	13.2
	0.60	1.30	0.1143	"	"	"	0.60	0.36	0.40	6.8	7.5
	0.60	1.10	0.1143	無	円・鉄	粘質土	0.90	0.4	0.50		
	0.60	1.30	0.1143	"	"	"	0.30	0.34	0.62	6.4	11.7
	0.60	1.30	0.1143	"	"	"	0.60	0.81	1.10	15.2	20.7
	0.60	1.30	0.1143	無	円・鉄	粘質土	0.60	0.90	1.35	16.9	25.4
	0.60	1.50	0.1143	"	"	"	1.20	1.24	2.6	16.6	34.9
	0.60	1.30	0.1016	"	"	"	0.30	0.48	0.64	9.6	12.8
	0.60	1.30	0.1016	無	円・鉄	粘質土	0.60	0.55	0.72	11.0	14.4
	0.60	1.30	0.1016	"	"	"	0.90	0.38	0.9	7.6	18.0
	0.60	1.30	0.1016	無	円・鉄	粘質土	1.20	0.92	1.70	12.4	34.0

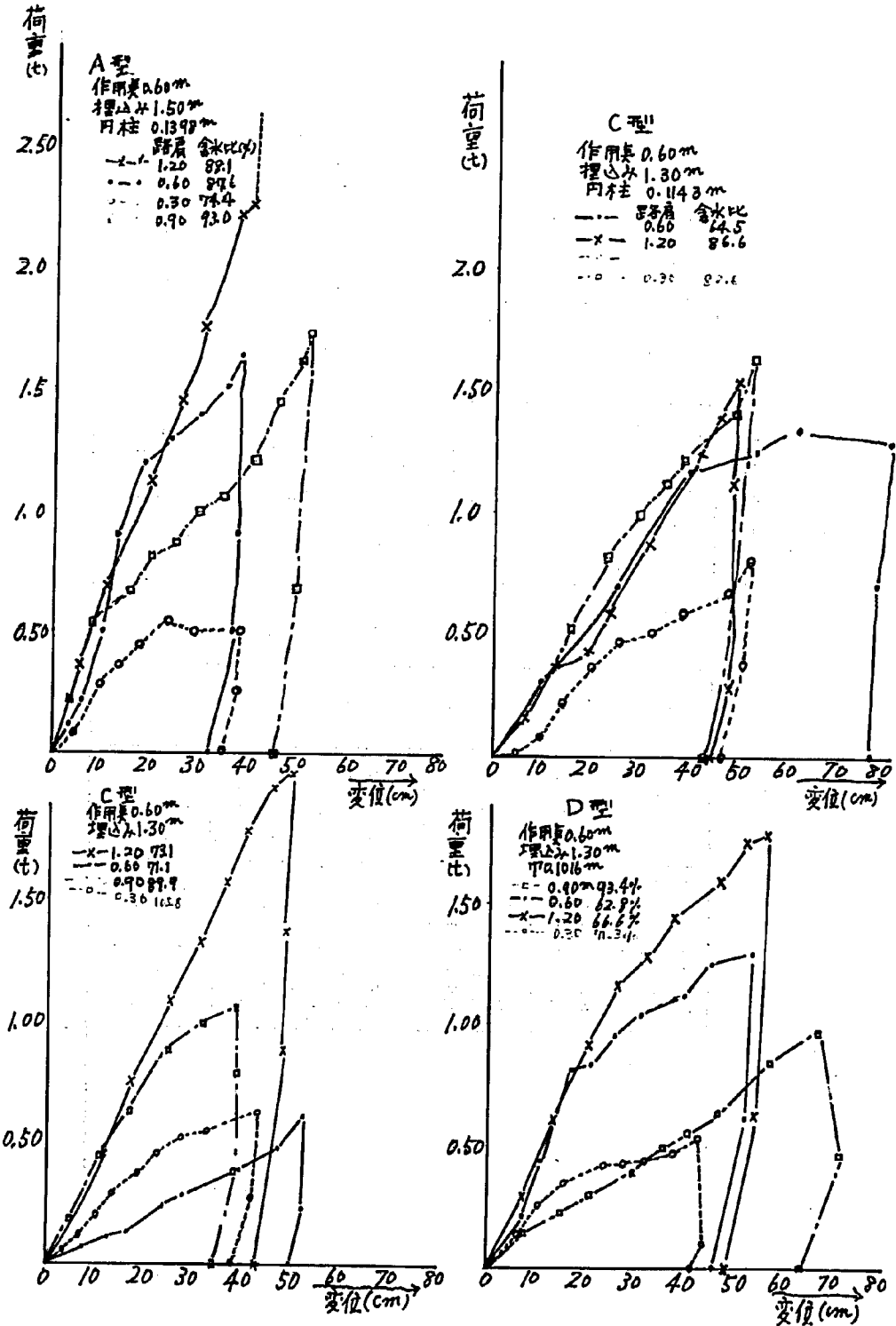
表(6-3) 静的実験

名 称	作用点 H(m)	埋込み深 さL(m)	支柱の幅 B(m)	根がらみ の有無	断面形及 材質	土 質	法肩からの 距離(m)	支 持 力 (t)		計算値(受動土圧係数)C _p	
								0.3m変位 による荷重	最大荷重	0.3m変位に よる荷重	最大荷重
土 研 盛 土 41年度 №2	0.60	1.30	0.1143		円・鉄	粘質土	0.90	1.54	1.90	2.90	35.7
	0.60	1.30	0.1143		"	"	1.20	1.36	1.90	2.56	35.7
	0.60	1.30	0.1143		"	"	0.60	0.9	1.30	1.69	24.5
	0.60	1.30	0.1143		"	"	0.30	0.78	0.78	1.47	14.7
	0.60	1.30	0.1143		円・鉄	粘質土	1.20	1.44	1.80	2.71	33.9
	0.60	1.30	0.1143		"	"	0.90	0.96	1.10	1.81	20.7
	0.60	1.30	0.1143		"	"	0.30	0.52	0.65	9.8	11.3
	0.60	1.30	0.1143		"	"	0.90	0.9	1.20	1.69	23.5
	0.60	1.30	0.1143		円・鉄	粘質土	0.60	0.3	0.50	5.6	9.4
	0.60	1.30	0.1143		"	"	1.20	0.74	1.60	1.39	30.1
	0.60	1.30	0.1143		"	"	0.90	1.0	1.60	1.88	30.1
	0.60	1.30	0.1143		"	"	0.60	0.6	1.00	1.13	18.8
	0.60	1.50	0.1398		円・鉄	粘質土	1.20	1.65	>3.80	1.98	45.5
	0.60	1.50	0.1398		"	"	0.60	1.4	1.80	1.68	21.6
	0.60	1.50	0.1398		"	"	0.90	1.0	1.60	1.20	19.2
	0.60	1.50	0.1398		"	"	0.30	0.56	0.56	6.7	6.7
	0.60	1.50	0.1398		円・鉄	粘質土	0.90	1.8	1.90	2.16	22.8
	0.60	1.50	0.1398		"	"	0.60	1.1	1.10	1.32	13.2
	0.60	1.50	0.1398		"	"	0.30	0.74	0.74	8.9	8.9
	0.60	1.50	0.1143		"	"	0.60	2.12	1.18	15.0	15.8
	0.60	1.10	0.1143		円・鉄	粘質土	0.60	0.66	0.82		
	0.60	1.30	0.1143		"	"	0.60	0.50	0.84	9.4	15.8
	0.60	1.30	0.1143		"	"	0.60	0.26	0.62	4.9	11.7
	0.60	1.30	0.1016		"	"	0.30	0.48	0.52	9.6	10.4
	0.60	1.30	0.1016		円・鉄	粘質土	0.60	0.98	1.30	1.96	26.0
	0.60	1.30	0.1016		"	"	0.90	1.18	1.50	2.36	30.0

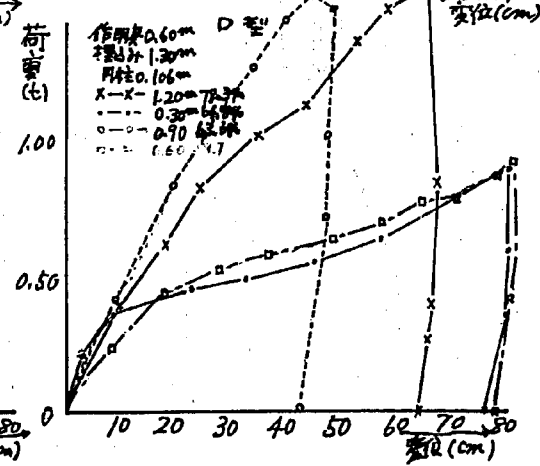
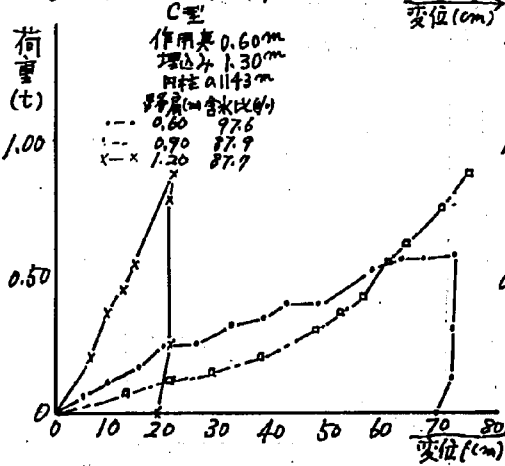
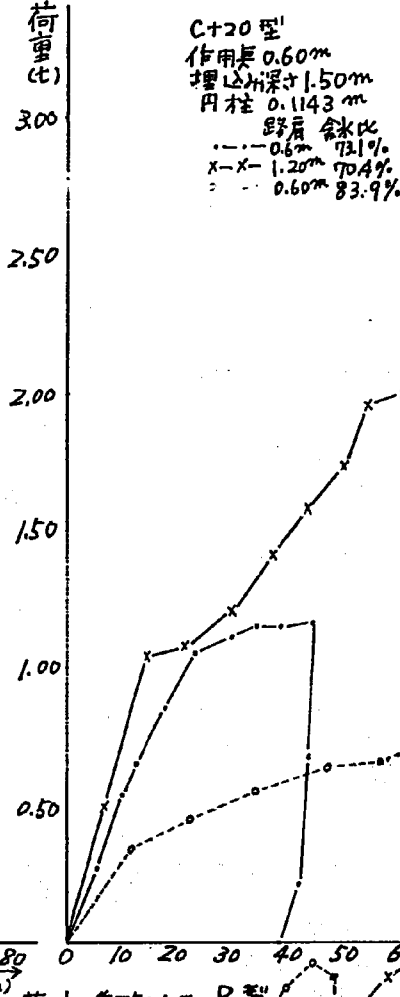
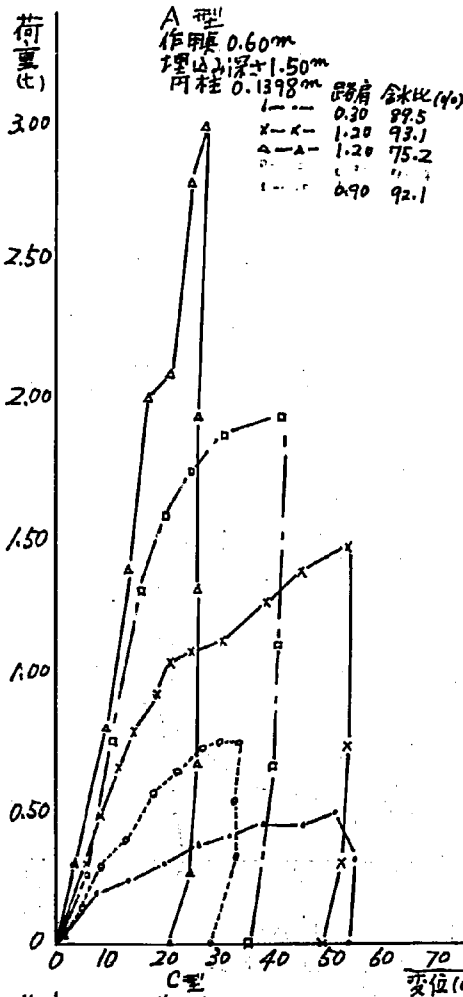
表(6-4) 動的実験

名 称	作用点 H(m)	埋込み深 さL(m)	支 柱 の 幅 B(m)	根がらみ の有無	断面形及 材 質	土 質	法肩からの 距離(m)	支 持 力 (t)		計算値(受動土圧係数)Cp	
								0.3m変位 による荷重	最大荷重	0.3m変位に よる荷重	最 大 荷 重
土 研 盛 土	0.60	1.30	0.1143	無	円・鉄	粘質土	1.20	—	2.03	—	38.2
	0.60	1.30	0.1143	"	"	"	∞	—	2.25	—	42.3
	0.60	1.30	0.1143	"	"	"	0.30	—	1.43	—	26.9
	0.60	1.30	0.1143	無	円・鉄	粘質土	∞	—	2.05	—	38.6
	0.60	1.30	0.1143	"	"	"	0.90	—	1.81	—	34.0
	0.60	1.30	0.1143	"	"	"	∞	—	2.32	—	43.6
	0.60	1.30	0.1143	無	円・鉄	粘質土	0.60	—	1.59	—	29.9
	0.60	1.30	0.1143	"	"	"	∞	—	2.24	—	42.1
	0.60	1.30	0.1143	"	"	"	0.90	—	2.14	—	40.3
	0.60	1.30	0.1143	"	"	"	∞	—	2.11	—	39.7
	0.60	1.30	0.1143	無	円・鉄	粘質土	0.60	—	1.43	—	26.6
	0.60	1.30	0.1143	"	"	"	1.20	—	1.67	—	31.4
	0.60	1.30	0.1143	"	"	"	0.60	—	0.53	—	10.0
	0.60	1.30	0.1143	無	円・鉄	粘質土	0.90	—	1.24	—	23.3
	0.60	1.30	0.1143		円・鉄	粘質土	0.90	—	0.976	—	18.4
	0.60	1.30	0.1143		"	"	1.20	—	0.510	—	9.6
	0.60	0.90	0.1016		円・鉄	粘質土	1.80	—	0.25	—	
	0.60	0.90	0.10		角・鉄	粘質土	1.80	—	0.345	—	
	0.60	0.90	0.10		"	"	1.80	—	0.674	—	
	0.60	0.90	0.10		角・鉄	粘質土	1.80	—	0.437	—	

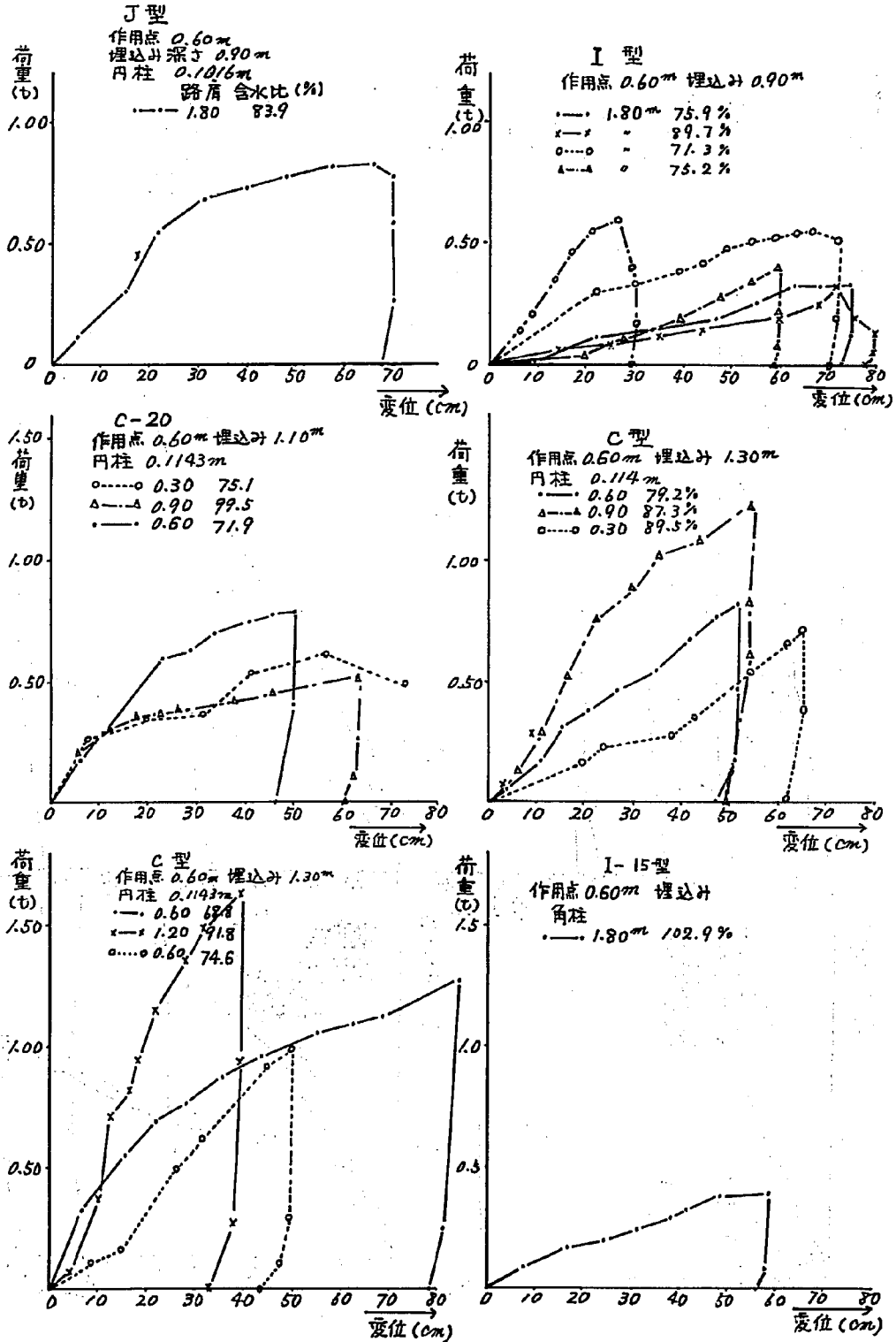
図(6-3) 静的における変位と荷重の関係



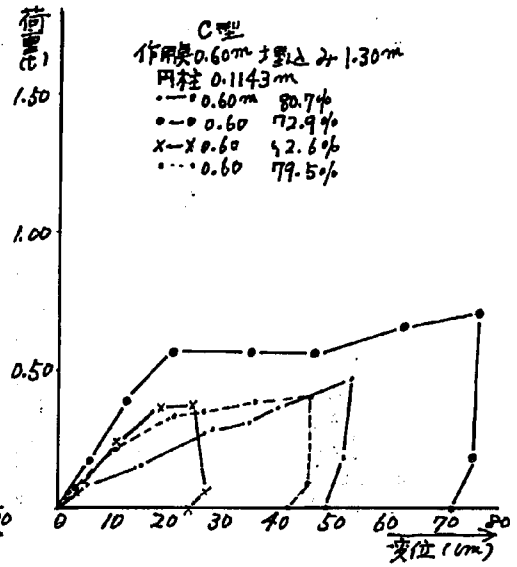
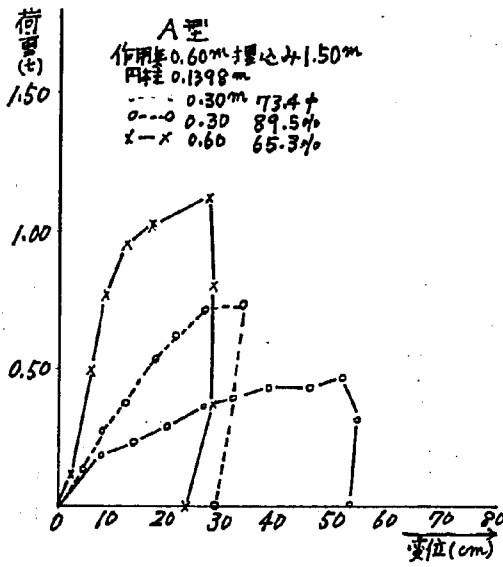
図(6-4) 静的における変位と荷重との関係



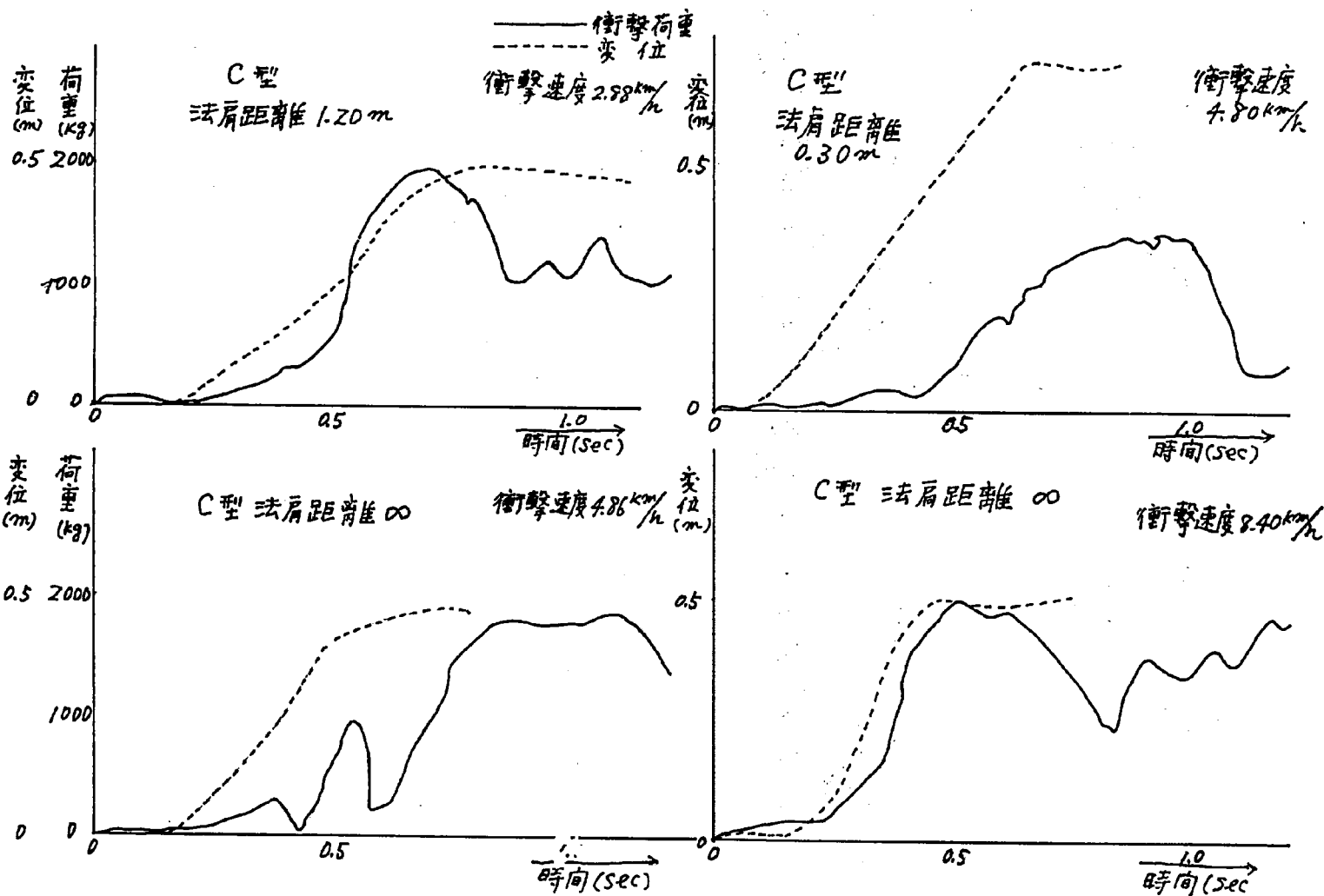
図(6-5) 静的における変位と荷重との関係



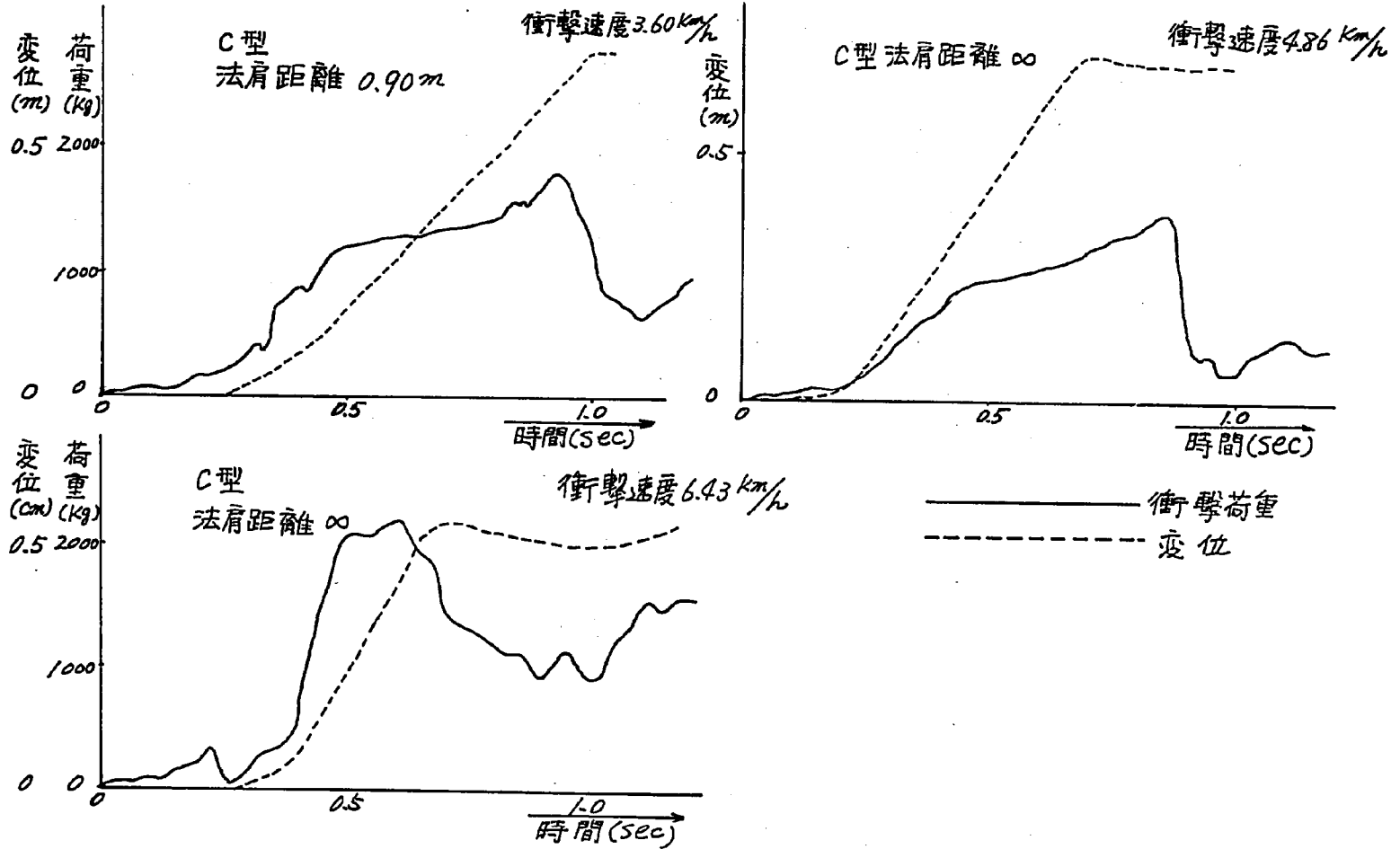
図(6-6) 静的における変位と荷重との関係



図(6-7) 動的実験における荷重と変位の時間的变化



図(6-8) 動的実験における荷重と変位の時間的变化



6-4 43年度, 44年度実験の結果と解析

6-4-1 実験の状況

実験はシリーズを二回に別けた。初めのシリーズは、静的実験と動の実験をおこなった。本数は動的24本、静的24本である。作用点を2種(0.60m, 0.30m), 埋込み深さは3種(0.90m, 1.20m, 1.50m)にておこなった。動の実験において落下荷重は、2種(1.50t, 2.0t)を使用した。シリーズ2は防護欄支柱自身の動的荷重によって生じる力学的現象を重点的に調べた。作用点は一種(0.60m), 埋込み深さは2種(1.20m, 1.40m)である。落下荷重は衝撃速度を早くするために2.30tを加え、8本をおこなった。

シリーズ1は昭和43年11月23日から昭和44年3月2日まで雨天の少ない冬の季節を選んだが、予想に反して雨天の日が周期的につづいた。実験は全部で12回に別けておこない表(6-5~6)に示すように、実験回ごとに5~6本建込み、動的は3本、静的は2本ずつ実験をおこなった。つぎの回に実験する場合に建込む時に掘り返した所をかけやで突固めを綿密におこなった。建込みから実験までの期間を4日とおいたが、土が回復するためには、ある程度無理があったように思われる。又、法肩からの距離が短い所では、支柱が法面をこわすために修理するに手間がかかった。また、雨天が続き、建込みから実験までの期間が延びた時は支柱の埋込みの端部に水がたまり悪条件などがあった。若干ではあるが、動の実験において支柱自身の変形が見られるものもあった。作用点0.60m, 埋込み深さ0.90mの支柱には引抜きが生じた。破壊領域は表(6-5~6)に示すようにだいたい17~36cmぐらいである。垂直変位は大きいものになると12cmぐらいも生じる。

シリーズ2は昭和44年12月から昭和45年1月までに実験をおこなった。表(6-7)に示すようにこの期間はほとんど晴天がつづき、シリーズ1よりは土が締固まっていたためにコーンペネトロメータがはいらない箇所もあった。実験は3回おこない、建込み後実験までの期間はシリーズ1と同じく3日とした。

動の実験は1回あたり、2~4本ずつおこなった。落下荷重は2.30tとシリーズ1より重くしたために、支柱は落下錘の可能範囲いっぱいまで動いた。

表(6-5) シリーズ1の実験状況 板1

実験	動, 静 的実験	作用点 H (m)	埋込み深 さL (m)	路 肩 (m)	落下荷重 (t)	作用点の 残留変位(m)	地表面変位 (cm)	鉛直変位 (cm)	破壊領域 (cm)	落下高さ (m)	最終の高さ (m)	天 候	備 考
1	静	0.60	0.90	1.0	—	47.6	36.0	6.2	27.0	—	—	晴	
	"	0.30	0.90	"	—	62.3	39.9	8.5	26.0	—	—		
	"	0.60	1.20	"	—	74.3	50.5	10.4	38.5	—	—		
	"	0.30	1.50	1.0	—	27.6	21.9	-2.1	17.0	—	—		
	"	0.30	1.20	1.0	—	56.0	44.4	5.9	37.5	—	—		
2	動	0.30	1.20	1.0	1.50	42.4	31.6	-1.4	34.0	1.00	0	晴	
	"	0.30	1.50	∞	"	24.3	19.4	-0.2	20.5	1.00	0.15		
	"	0.60	0.90	1.0	"	44.6	16.3	0.6	23.0	0.90	0		
	静	0.60	0.90	∞	—	45.3	21.6	10.7	21.0	—	—		
	"	0.60	1.20	∞	—	44.3	26.3	2.8	24.0	—	—		
3	動	0.30	1.50	1.0	1.50	78.4	60.7	2.0	27.0			晴	
	"	0.60	0.90	∞	"	82.0	46.8	2.5	36.0				
	"	0.60	1.20	∞	1.50	31.7	5.7	12.1	31.0				
	静	0.60	1.50	∞	—	62.3	47.1	4.7	30.0	—	—		
	"	0.30	0.90	1.85	—	58.0	47.3	3.6	28.0	—	—		
4	動	0.60	1.50		1.50	41.9	18.1	-0.8	0.44	1.00	0	くもり	
	"	0.30	0.90		1.50	62.3	44.9	7.8	0.00	1.00	0		
	"	0.60	0.90		1.50	74.6	40.1	4.7	0.44	1.07	0		
	静	0.60	1.20	2.30	—	30.8	24.8	1.9	0.66	—	—		
	"	0.30	1.50	2.30	—	48.0	28.2	5.0	0.55	—	—		
5	動	0.60	1.20		1.50	76.2	53.8	0.5		1.00	0	くもり	
	"	0.60	1.50		"	41.4	25.9	0.3		1.00	0		
	"	0.30	1.20		1.50	93.6	72.4	4.3		1.00	0		
	静	0.60	1.50		—	39.1	24.1	2.7		—	—		
	"	0.30	0.90		—	45.2	30.4	3.1		—	—		

表(6-6) シリーズ1の実験状況 第2

実験	動, 静的 區別	作用点 H(m)	埋込み深 さL(m)	路 肩 (m)	落下荷重 (t)	作用点の 残留変位(m)	地表面変位 (cm)	鉛直変位 (cm)	落下高さ (cm)	最終の高さ (cm)	破壊傾斜 (cm)	天 候	備 考
6	動		0.90		1.50	65.8	43.8	3.5	100	0		晴	
	"	0.30	1.50		1.50	14.4	8.0	0.3	100	52			
	動	0.60	1.50		1.50	9.2	6.9	0.2	100	65			
	静	0.60	1.50		—	29.0	17.4	1.1	—	—	31.0		
	"	0.30	1.20		—	46.6	35.5	3.7	—	—	15.5		
7	動	0.30	1.20		1.50	80.7	60.9	10.9	100	0	60.5	くもり	
	"	0.60	1.20		1.50	39.4	21.8	2.3	100	0	19.4		
	静	0.30	1.20		—	44.3	32.1	7.6	—	—	34.2		
	"	0.30	1.50		—	42.5	33.2	0.9	—	—	30.3		
	動	0.30	1.20		2.00	71.7	53.0	8.3	100	0	56.0		
8	"	0.60	1.50		2.00	54.3	33.0	6.0	100	15	35.0	くもり	
	静	0.60	0.90		—	65.3	32.2	14.6	—	—	33.5		
	動	0.60	0.90	1.10	2.00	87.6	51.6	13.5	100	0	51.5		
9	"	0.60	1.50	1.30	"	59.8	38.1	-6.7	100	0	30.0	くもり	ポスト抜ける
	"	0.30	0.90	2.10	"								
	"	0.30	1.50	2.30	2.00	81.5	58.5	-9.0	100	0	62.0		
	動	0.30	1.50	1.50	2.00	37.1	28.3	0.3	100	25	30.0		
10	"	0.60	1.50	1.60	"	64.7	25.4	5.2	100	9	17.0		
	"	0.30	1.50	2.50	"	20.1	14.6	3.7	100	42	36.0		
	動	0.60	1.20	3.00	2.00	76.1	24.0	5.1	100	0	45.0		
	動	0.30	1.50	2.00	2.00	60.8	47.2	-9.0	100	0	44.0		
11	"	0.60	1.20		"							くもり	
	"	0.60	1.20	3.10	"	60.9	39.5	-3.4	100	0	42.0		
	動	0.30	1.20	3.10	2.00	66.0	52.8	2.6	100	0	34.0		
	静	0.30	1.50	2.00	—	40.3	31.9	3.0	—	—			
	"	0.60	1.20	2.10	—	67.0	37.5	12.1	—	—			
	動	0.30	1.50	2.00	2.00	60.8	47.2	-9.0	100	0	44.0		

表(6-7) シリーズ2の実験状況(動的実験)

実 験	作用点 H (m)	埋込み深 さL (m)	路肩から の 距 離 (m)	荷重の重 さ (kg)	落下高さ (m)	最 終 の 高さ (m)	作用点の 水平変位 (m)	地表面の 水平変位 (m)	作用点の 鉛直変位 (m)	破 壊 領 域 縦×横 (m)	カ メ ラ		天 候	備 考
											露出F	距離(m)		
1	0.60	1.20	∞	2.30	1.15	0	0.97	0.53	0.15	0.45×0.64	5.6	7.50	晴	
	0.60	1.40	∞	2.30	1.30	0	1.00	0.68	0.08	0.69×0.28	8	9.0	"	
2	0.60	1.40	1.96	2.30	1.24	0	1.08	0.75	0.19	0.45×0.81	11	8.5	晴	
	0.60	1.20	∞	2.30	1.30	0	1.17	0.70	0.27	0.40×0.85	5.6	7.5	"	
	0.60	1.20	∞	2.30	1.32	0	1.20	0.64	0.29	0.40×0.75	5.6	8.9	"	
3	0.60	1.40	1.20	2.30	1.20	0	1.02	0.66	0.19	0.40×0.75	11	8.2	晴	
	0.60	1.20	2.00	2.30	1.30	0	1.07	0.65	0.20	0.35×0.79	11	8.9	"	
	0.60	1.20	∞	2.30	1.10	0	0.93	0.51	0.18	0.46×0.60	11	8.0	"	
	0.60	1.40	∞	2.30	1.24	0	0.64	0.36	0.04	0.32×0.47	11	8.7	"	

6-4-2 実験結果と解析(シリーズ1)

表(6-8~9)はシリーズ1の実験結果を示す。これからわかるように埋込み深さ0.90mでは最大荷重にかなりのバラツキがあり、信頼度も低い。ここで扱ったのは法肩からの距離を無限大についての実験ばかりであり、含水比および土の支持力などは考慮に入れていないためある程度疑問があるが、静的と動的の最大支持力の比を表(6-10)に示す。作用点の違いによる最大荷重の違いは表(6-11)に示す。全体的な静的支持力と動的支持力の関係を回帰直線で表わすと $y = 1.36x$ である。図(6-11)

表(6-10)

作用点 (m)	埋込み深さ (m)	動的 / 静的
0.60	0.90	1.64
0.60	1.20	1.24
0.60	1.50	1.44
0.30	0.90	1.70
0.30	1.20	1.00
0.30	1.50	1.20

表(6-11)

埋込み深さ L(m)	静 的 0.60m / 0.30m	動 的 0.60m / 0.30m
0.90	0.81	0.78
1.20	1.21	1.33
1.50	0.82	0.70

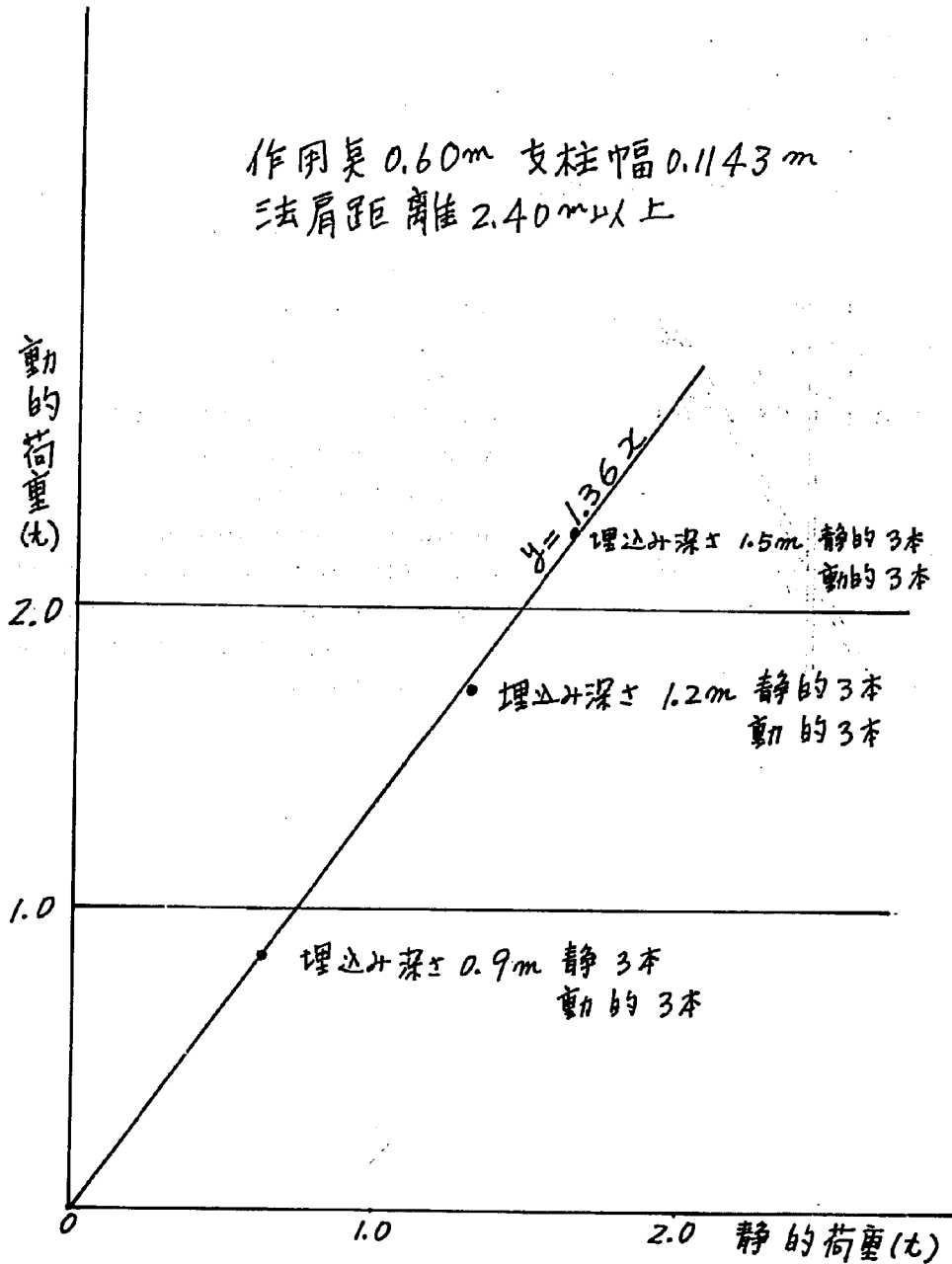
表(6-8) シリーズ1静の実験結果

作用点 H (m)	埋込み深さ L (m)	路 肩 (m)	含 水 比 (%)		変 位 量 (cm)		最大荷重 (t)	受 動 土 圧 係 数	備 考
			0.5 m	1.0 m					
0.6 0	0.9 0	∞	9 5.6	9 9.8	8 2.0		0.9 0 0	4 1.4	
		∞	9 7.4	9 8.3	7 4.6		1.5 4 0	7 0.8	
		1.1 0	8 8.2	9 4.7	8 7.6		0.8 0 0	3 6.8	
		1.5 0	9 3.3	9 8.6	9 1.4				
0.6 0	1.2 0	∞	9 0.3	1 0 2.4	3 1.7		2.1 8 0	4 9.6	
		∞	9 2.7	9 4.6	3 9.7		1.7 5 0	3 9.8	
		∞	9 4.6	1 0 0.7	6 0.9		0.5 4 0	1 2.3	
		2.8 0	9 5.2	9 1.6	5 6.4		1.7 2 0	2 9.2	
0.6 0	1.5 0		9 1.1	9 4.1	4 1.9		2.1 6 0	1 9.0	
			9 6.8	9 6.7	4 1.4		2.1 0 0	1 8.2	
		∞	9 8.6	1 0 7.8	1 4.4		2.0 0 0	1 6.8	
		∞	8 9.7	9 0.4	5 4.3		2.4 2 0	3 2.5	
		1.3 0	9 5.1	8 8.9	5 9.8		2.5 5 0	3 4.2	
0.3 0	0.9 0	∞	9 9.8	9 9.1	6 2.3		1.5 6 0	5 4.9	
			9 8.9	1 0 3.0	6 5.8		1.3 0 0	4 5.8	
			1 0 1.1	8 0.2			0.8 6 0	3 0.3	
0.3 0	1.2 0		9 4.1	8 1.8	9 3.6		1.5 2 0	2 7.8	
		∞	9 4.2	9 8.7	6 6.0		1.1 6 0	2 1.2	
		1.4 0	9 2.7	9 4.5	9 0.7		0.9 5 0	1 7.4	
0.3 0	1.5 0	1.0 0	8 9.7	1 0 3.6	7 8.4		1.3 8 0	1 5.4	
		∞	9 9.1	1 1 1.2	9.2		2.4 8 0	2 7.6	
		∞	9 0.3	8 6.6	8 1.5		1.9 0 0	2 1.2	
		∞	9 4.1	8 8.8	2 0.1		2.4 5 0	2 7.3	
		2.0 0	9 5.4	9 7.3	6 0.8		1.6 6 0	1 8.5	

表(6-9) シリーズ1 動的実験結果

作用点 H(m)	埋込み深さ L(m)	路 肩 (m)	含 水 比 (%)		変 位 量 (cm)	0.3mのとき の 荷 重(t)	最 大 荷 重 (t)	受 動 土 圧 係 数 C_p	備 考
			0.5m	1.0m					
0.60	0.90	1.00	73.2	79.6	47.9		0.725	33.3	
		∞	91.3	92.7	67.4	0.70	0.848	39.0	
		2.70	99.7	97.3	70.9	0.40	0.636	29.2	
0.60	1.20	1.00	83.6	83.3	74.3	0.60	0.913	20.7	
		∞	82.4	83.1	44.3		1.223	27.8	
		∞	97.7	96.9	46.5		1.337	30.4	
		∞	97.6	98.4	40.3		2.020	45.9	
		1.40	109.4	100.2	70.4		1.385	31.5	
0.60	1.50	∞	101.3	104.2	62.3	1.00	1.440	19.3	
		∞	104.5	100.2	39.1	1.50	1.539	20.6	
		∞	90.8	97.7	29.0	1.60	1.614	21.6	
		2.40	95.6	97.1	73.1	1.20	1.940	26.0	
0.30	0.90	1.00	83.0	85.5	62.9				
		∞	90.2	97.8	52.3	0.70	0.990	33.8	
		∞	85.2	82.9	39.3	0.83	0.842	29.7	
0.30	1.20	1.00	84.2	81.9	56.0		1.174	21.4	
		∞	97.1	93.4	46.6		1.174	21.4	
		∞	96.7	90.1	44.3		1.532	28.0	
		1.55	98.7	96.4	51.4		1.270	23.6	
0.30	1.50	1.00	84.3	83.4	27.8		1.549	17.3	
		∞	96.4	97.4	48.0		1.920	21.4	
		∞	81.4	89.3	42.5		1.630	18.1	
		∞	97.6	98.4	40.3		2.020	22.5	

図(6-11) 静的支持力と動的支持力との関係
(関東ローマ層盛工)



また動の実験における防護欄支柱の衝撃力（荷重）と変位量の時間的変化は図（6-12~14）に示す。動の実験における同時間に対する変位と荷重との関係を図（6-15~16）に示す。同様に静的実験のもとを同図左側に示す。動の実験では、静的実験に比較して初期荷重が大きく働いている。

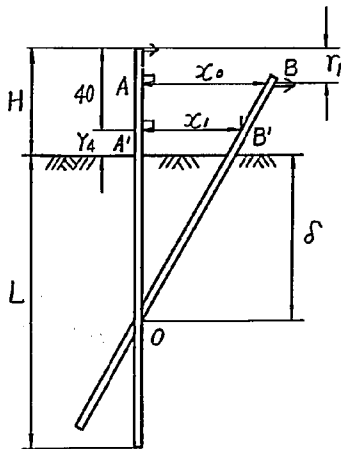
動の実験の場合は20~30cmの変位で最大荷重に達している。しかし変位量40cm以後になると荷重は落ちない。静的実験の場合は、動的に比較して力と変位の関係がなめらかな傾向をおびている。埋込み深さが深くなるほど立上りが大きい。そして全体的に変位が40~50cmぐらいで最大荷重に達している。

動の実験においては静的実験に比べ初期の小さな変位で大きなエネルギーを土に吸収するために支柱の引張側方向の後部にある土の表面のこわれが大きい。

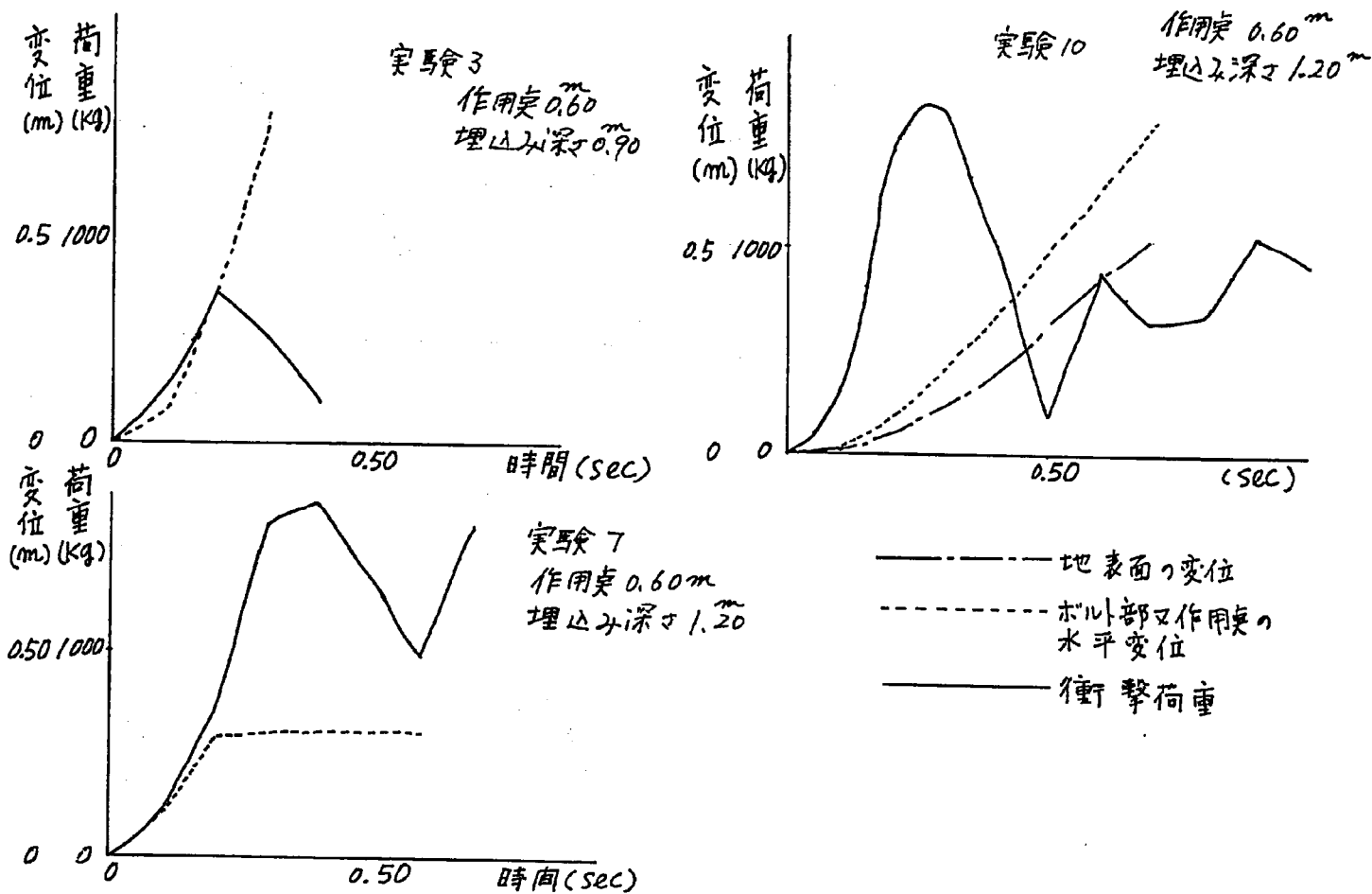
支柱の回転中心の位置は支柱の力学特性を考察する上重要な要因である。回転中心を求める計算式は

$$\delta = \frac{40x_1}{x_1 - x_2} - r_1 \text{ (cm) である。}$$

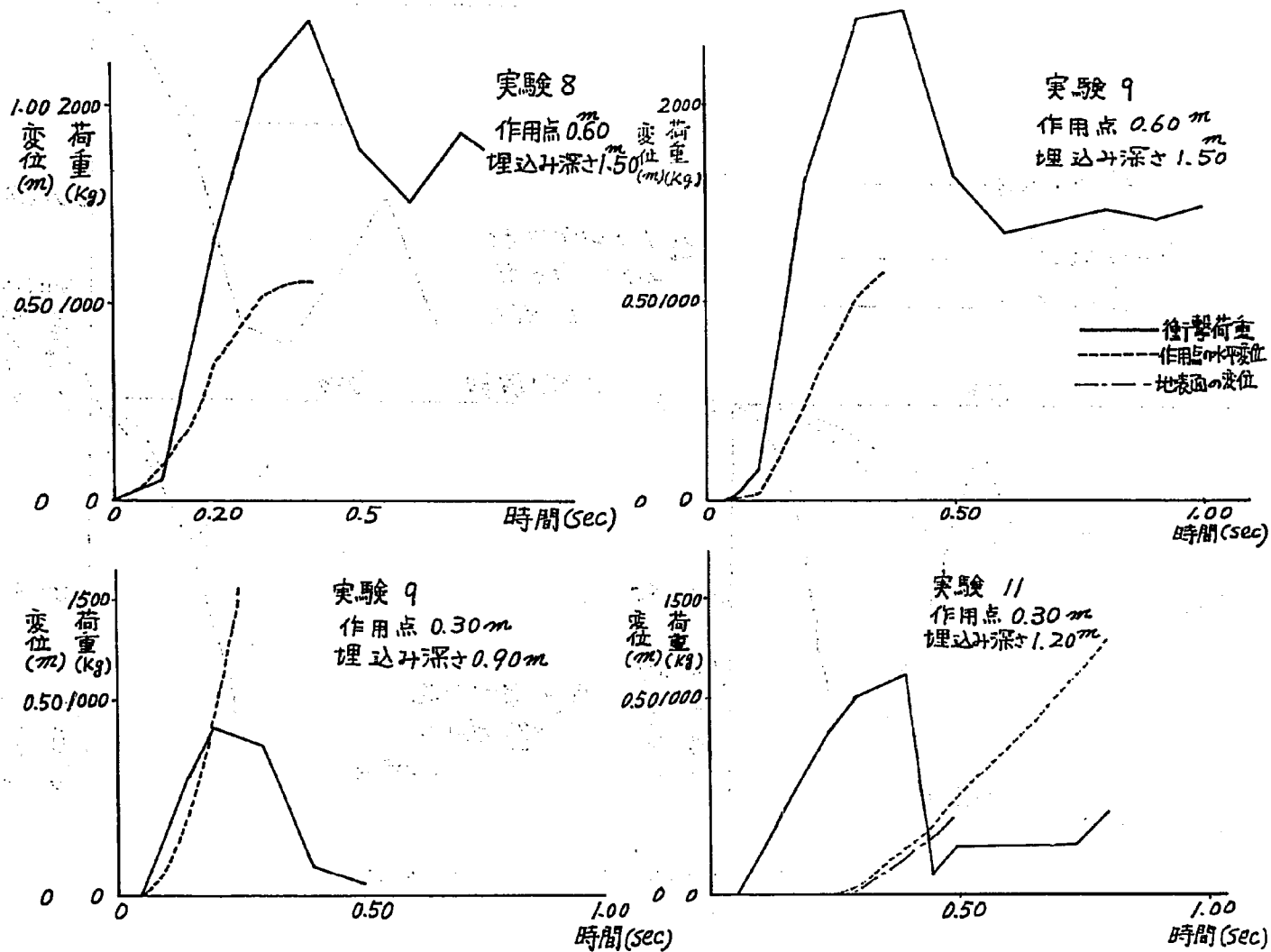
回転中心は地盤反力が0になる位置である。静的実験と動の実験の比較をおこなうと、図（6-17~18）に示すように、動の実験の場合は回転中心は変化しない。しかし、静的実験の場合、回転中心は支柱の変位量が大きくなると共に上方向に上がる傾向がある。この違いは引張りに時間をかけた場合（静的）には支柱の引抜きがおこるためではないかと思われる。含水比と最大荷重との関係を調べてみたが、資料にバラツキが多く検出できなかった。



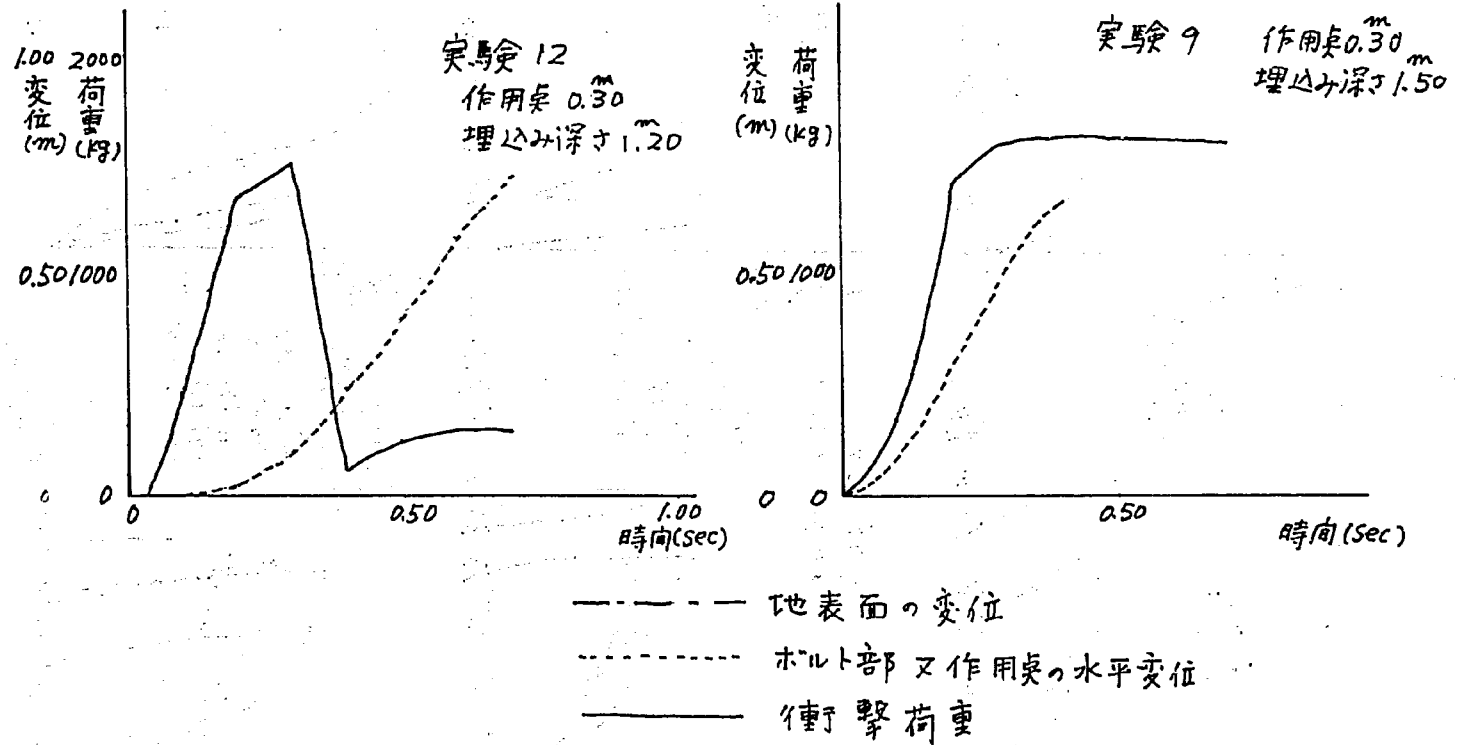
図(6-12) 動的実験における荷重と変位の時間的变化



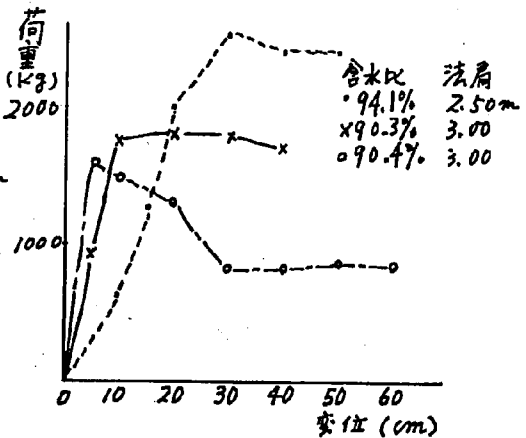
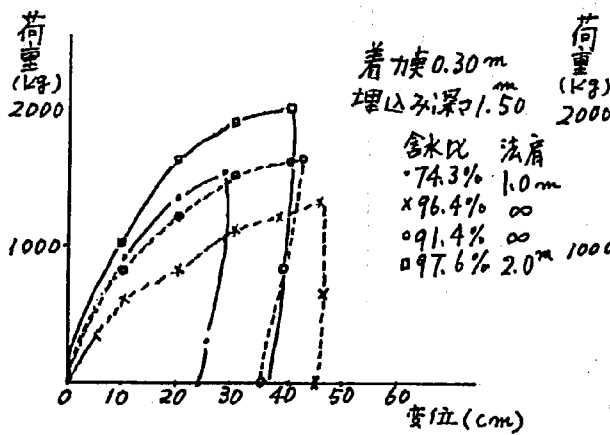
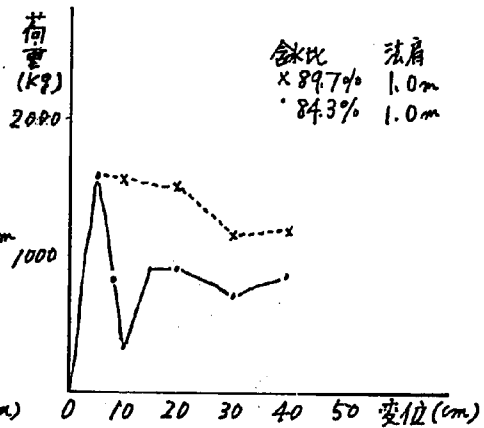
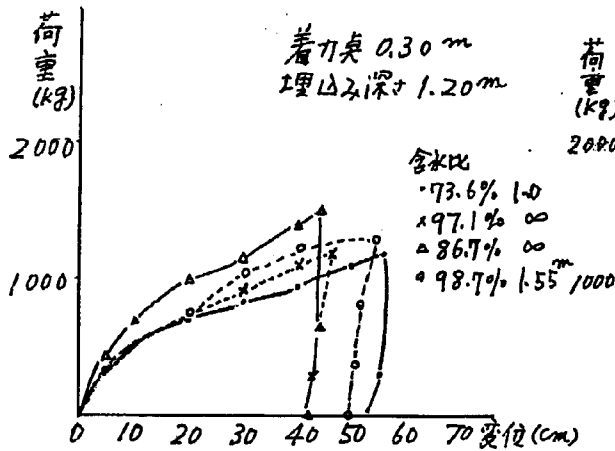
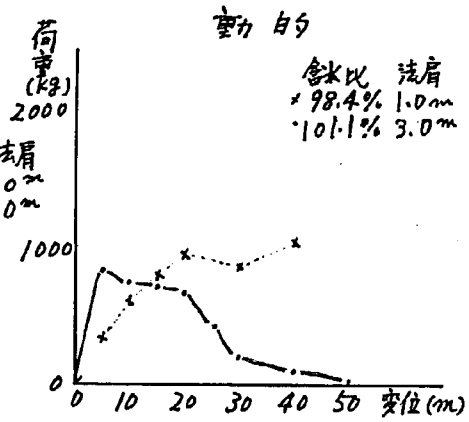
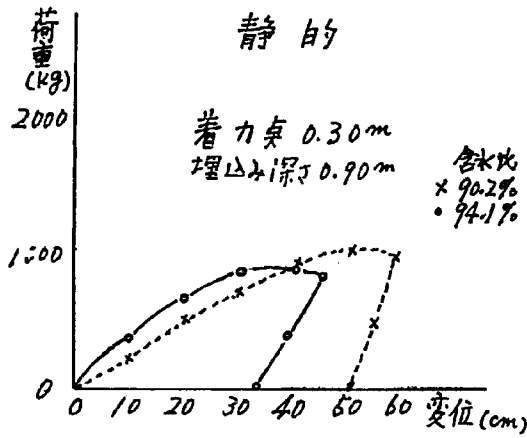
図(6-13) 動的実験における荷重と変位の時間的变化



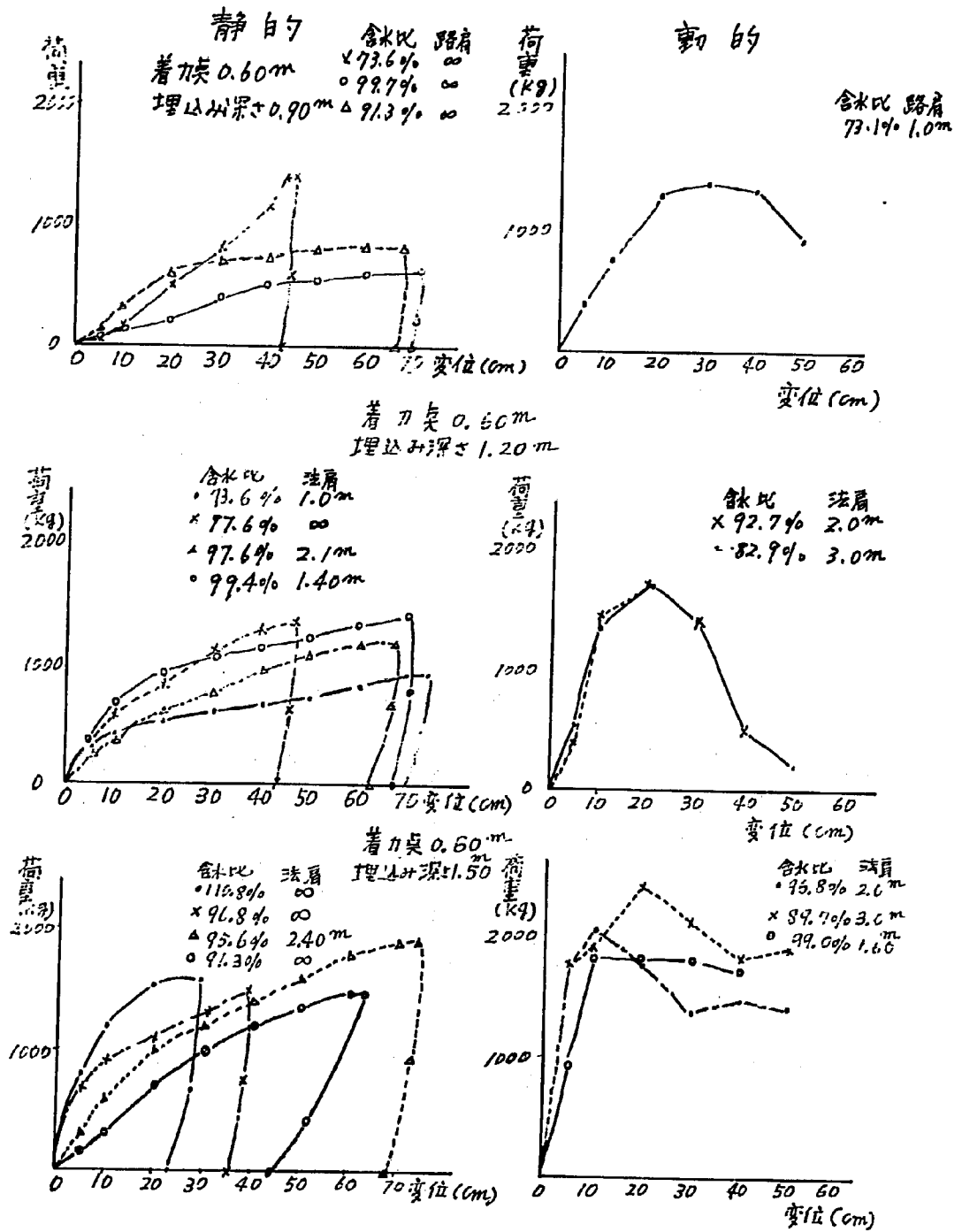
図(6-14) 動的実験における荷重と変位の時間的变化



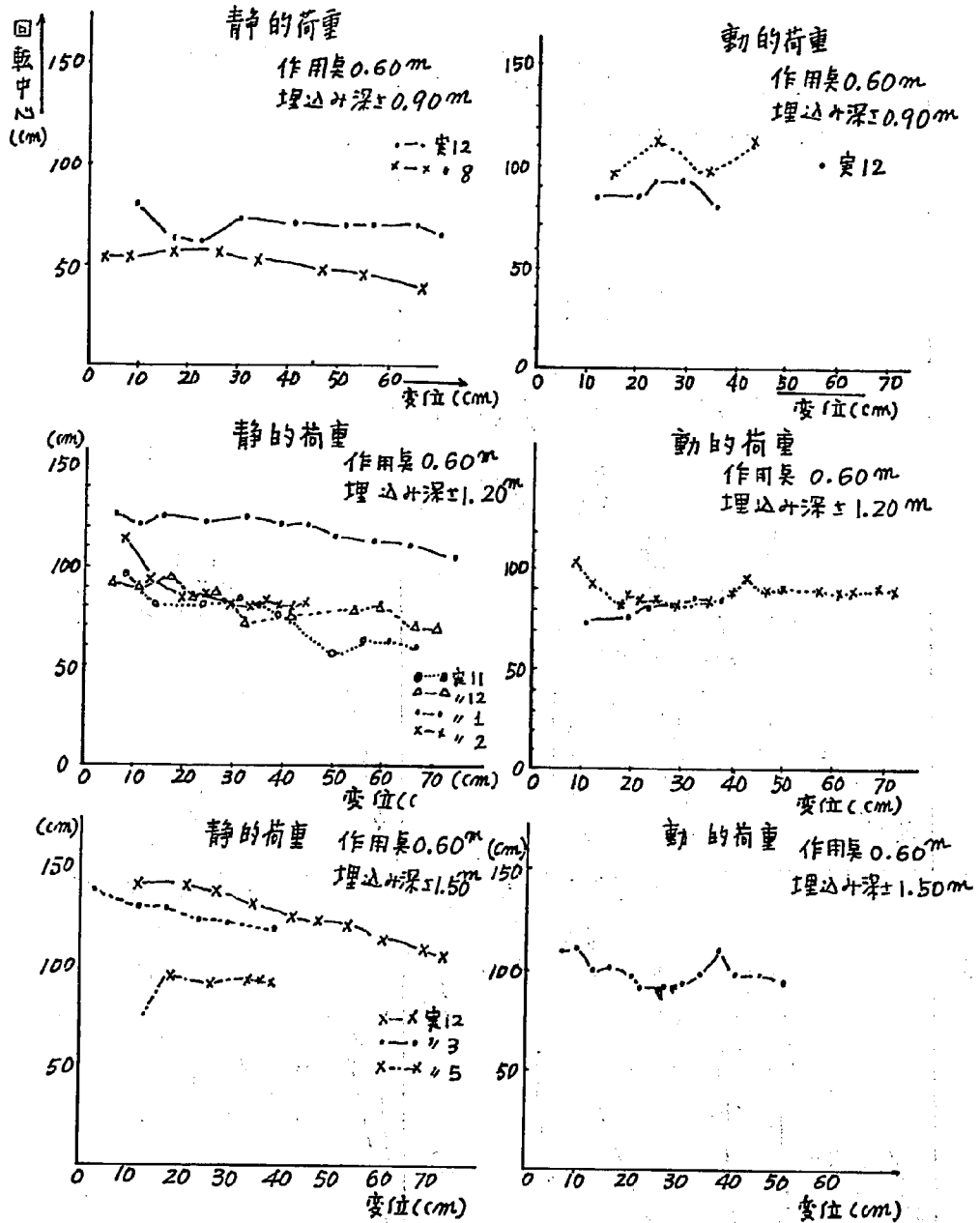
図(6-15) 荷重と変位の変化



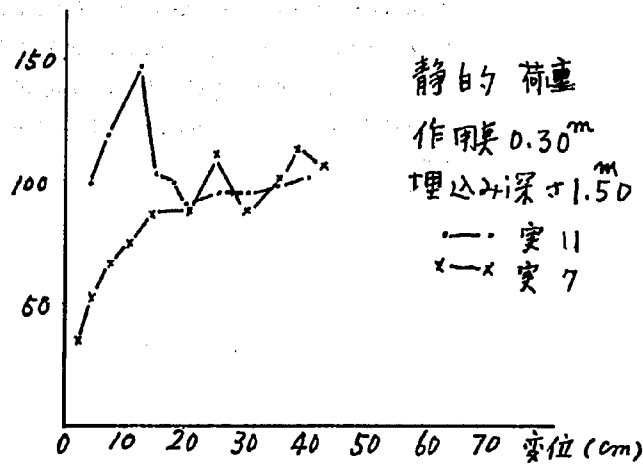
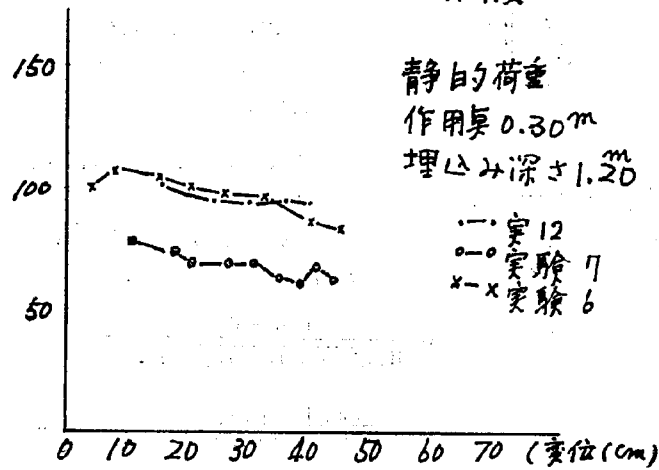
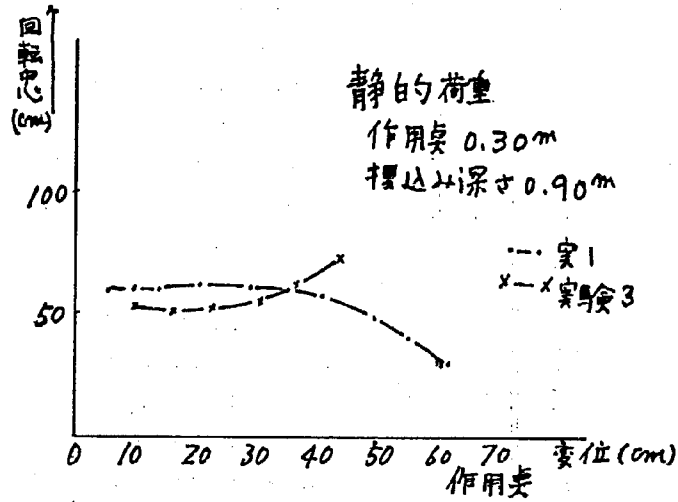
図(6-16) 荷重と変位の変化



図(6-17) 支柱の回転中心の動き



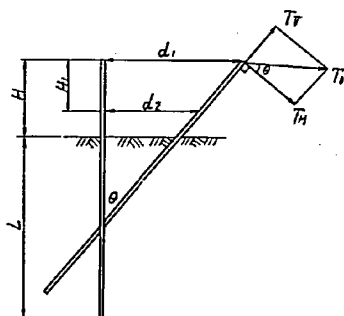
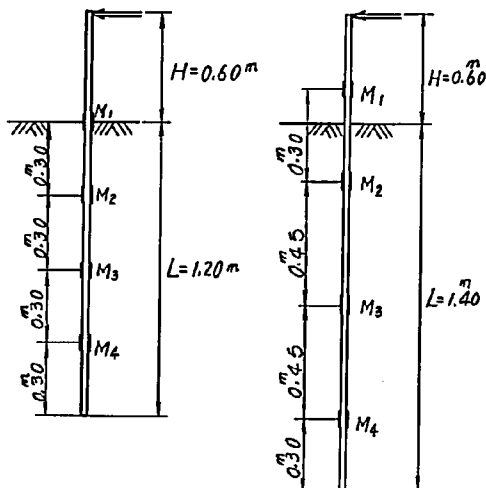
図(6-18) 支柱の回転中心の動き



6-4-3 実験結果と解析 (シリーズ 2)

支柱の埋込み深さは 2 種で、ゲージを張った位置は図 (6-19) に示す通りである。

図 (6-19)



実験結果のまとめを表 (6-16) に示す。これからわかるように雨天がなかったために含水比は小さかった。支柱の変位と荷重 (衝撃力) の時間的変化は図 (6-20~26) に示す。

落下荷重が同じで法肩からの距離が無限大のときは、埋込み深さが深いほど衝撃速度は遅くなる。

変位量と荷重との関係は図 (6-27) に示す。土研 102 号の結果のように衝撃速度と支持力は比例しない。地盤反力がゼロの位置である回転中心は図 (6-28) に示すようにあまり変動がなく、埋込み深さ 1.40 m は 0.95 m ぐらいである。また埋込み深さ 1.20 m では 0.85 m ぐらいである。

支柱にどのくらい引抜き力が生じているか計算をおこなってみる。まず鉛直変位は微小であるため無視すると、

$$T_v (\text{引抜き力}) = T_0 (d_1 - d_2) / H_1 \dots\dots\dots ①$$

ここで

$$T_H (\text{断面力}) = \sqrt{T_0^2 - T_v^2} \dots\dots\dots ②$$

である。①式と②式より

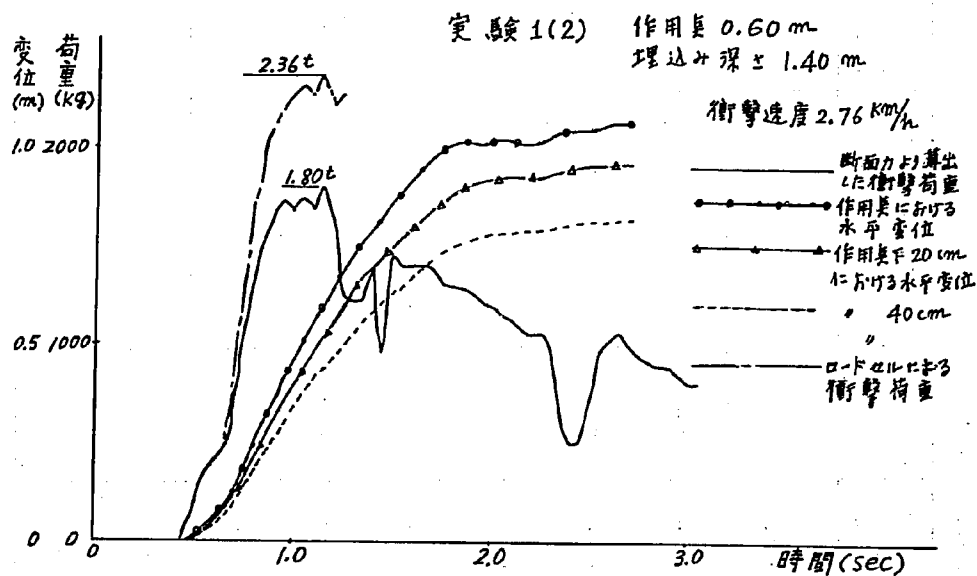
$$\begin{aligned} T_v &= \frac{T_H (d_1 - d_2)}{H_1 \sqrt{1 - (d_1 - d_2)^2 / H_1^2}} \\ &= \frac{T_H (d_1 - d_2)}{\sqrt{H_1^2 - (d_1 - d_2)^2}} \dots\dots\dots ③ \end{aligned}$$

結果は図 (6-29) に示す。支柱の変位量が大きくなると引抜き力もそれに比例して大きくなる。そのため変位量が大きくなれば最終的には引抜き力だけになり、引抜かれることになる。図 (6-30~37) はゲージを貼った位置の時間に対する曲げモーメントの挙動である。

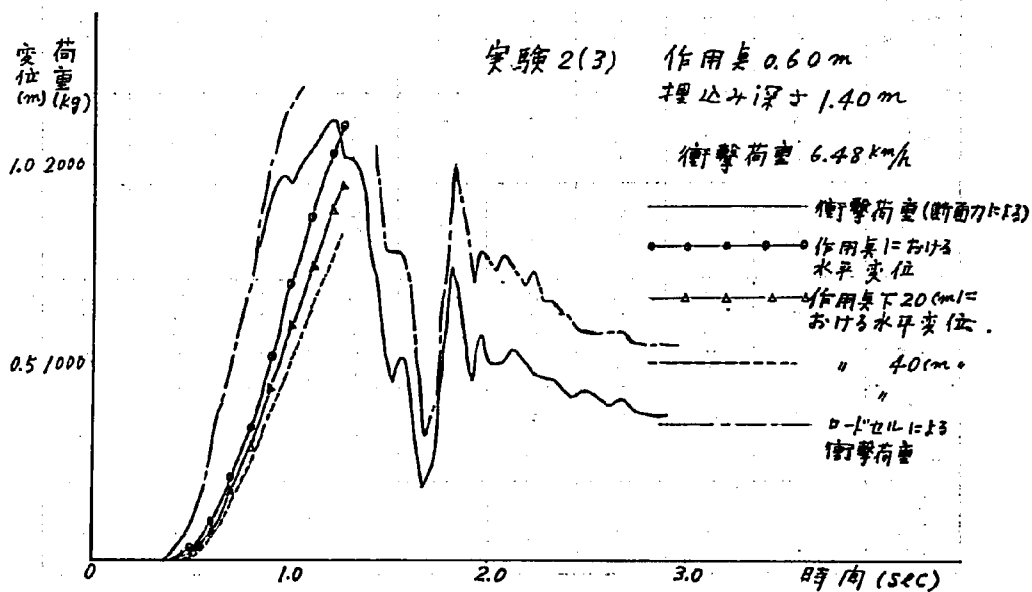
表(6-16) シリーズ2 支柱動的実験結果

作用点 H (m)	埋込み 深さ L (m)	支柱幅 B (m)	路肩 (m)	含水比 (%)	コーン支持力 qc (Kg/cm ²)	作用点の 水平変位 (m)	支柱の衝 撃速度 (Km/h)	断面力による 最大荷重 (t)	ロードセルに よる最大荷重 (t)	最大曲げ モーメント (t・m)	断面力による受 動土圧係数Cp (ロードセルによる)
0.60	1.20	0.1143	∞	80.5	21	0.97	8.28	—	—	—	—
0.60	1.40	0.1143	∞	86.9	21	1.00	2.76	1.80	2.35	2.0	—
0.60	1.40	0.1143	2.00	83.8	29	1.08	6.48	2.17	2.60	1.50	34.1 (41.1)
0.60	1.20	0.1143	∞	87.3	19	1.17	6.21	1.62	2.21	1.49	37.0 (50.4)
0.60	1.20	0.1143	∞	87.1	23	1.20	4.32	1.95	2.58	1.40	44.6 (58.9)
0.60	1.40	0.1143	1.20	67.0		1.02	5.76	1.90	2.30	1.70	29.9 (36.3)
0.60	1.20	0.1143	2.00	81.2	16	1.07	6.66	1.42	2.15	1.20	32.5 (49.2)
0.60	1.20	0.1143	∞	78.5	15	0.93	—		—	1.70	
0.60	1.40	0.1143	∞	79.3	12	0.64	—	2.35	2.90	1.90	37.1 (45.7)

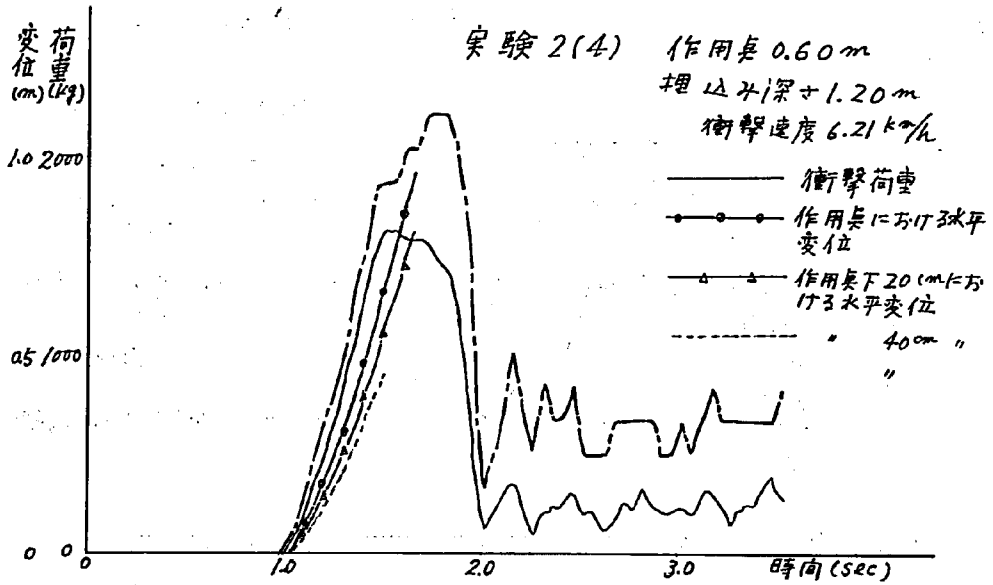
図(6-20) 荷重と変位の時間的变化



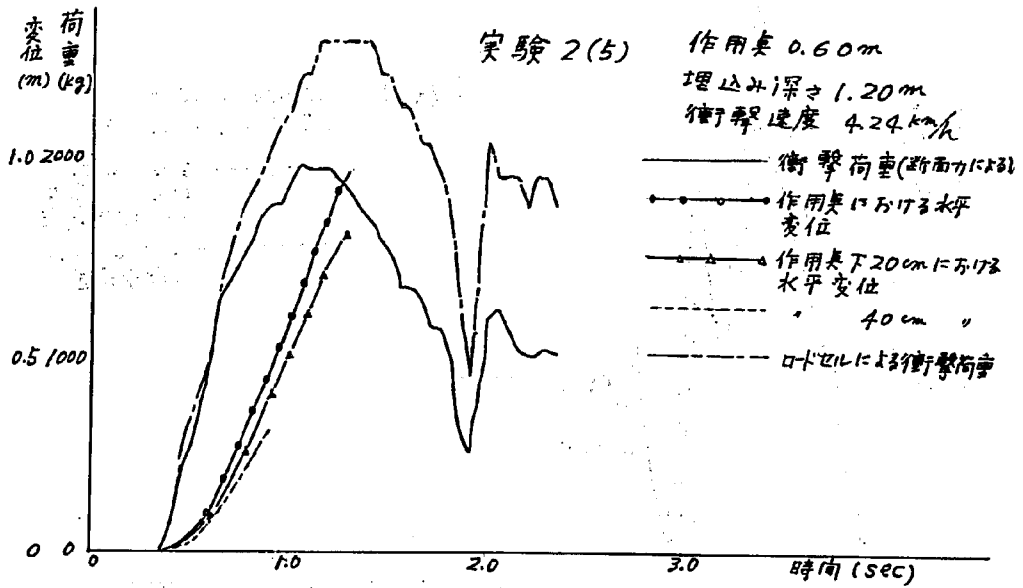
図(6-21) 荷重と変位の時間的变化



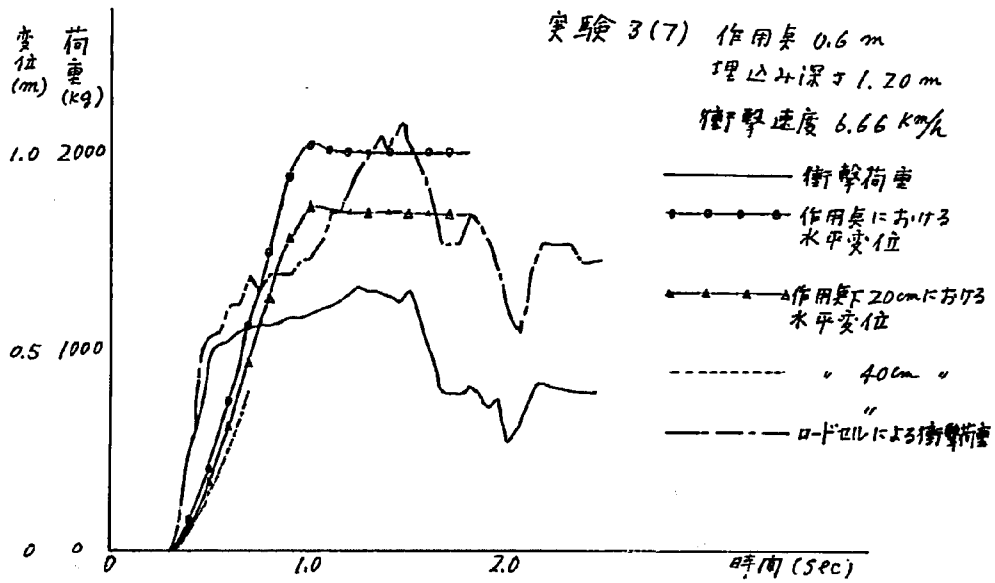
図(6-22) 荷重と変位の時間的变化



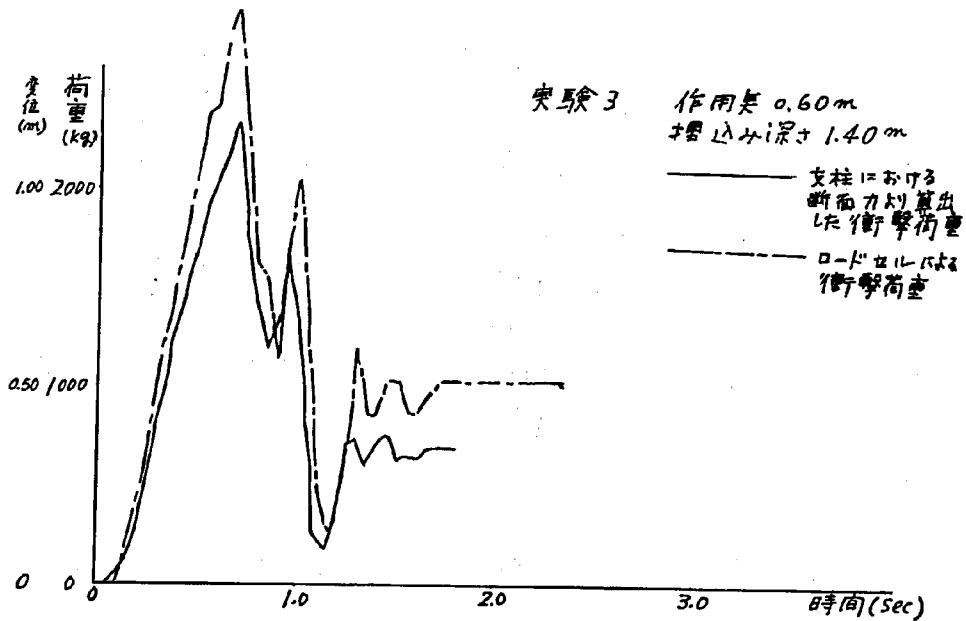
図(6-23) 荷重と変位の時間的变化



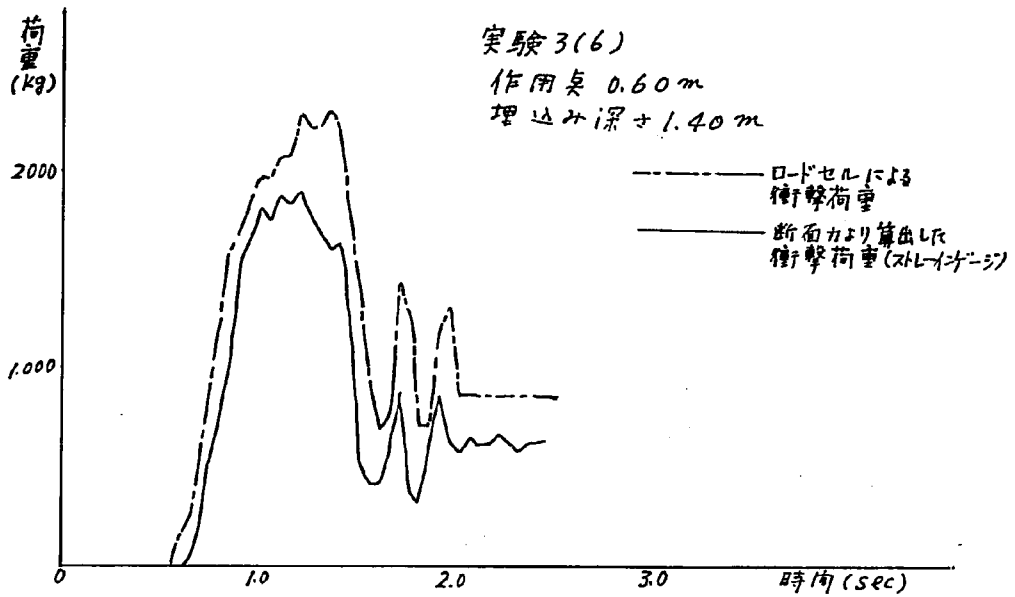
図(6-24) 荷重と変位の時間的变化



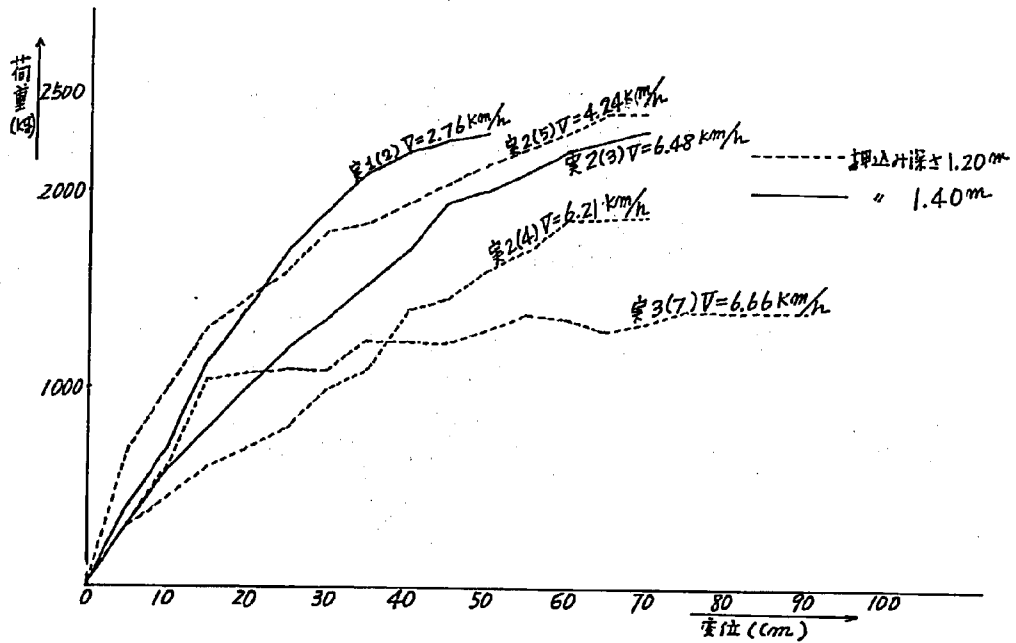
図(6-25) 荷重と変位の時間的变化



図(6-26) 荷重と変位と時間的变化

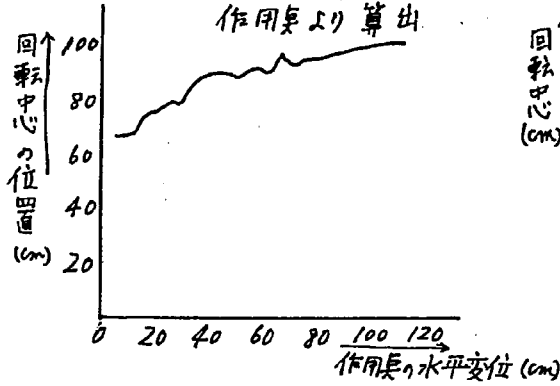


図(6-27) シリーズ2 変位-荷重曲線

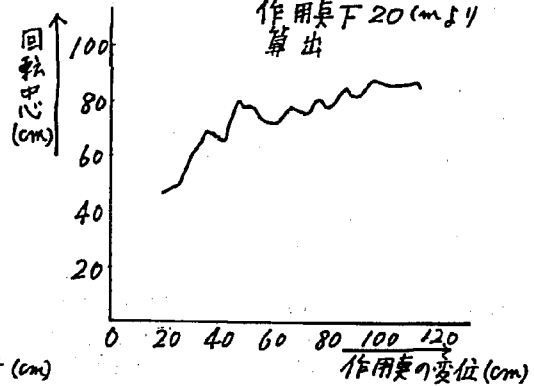


図(6-28) 回転中心の動き

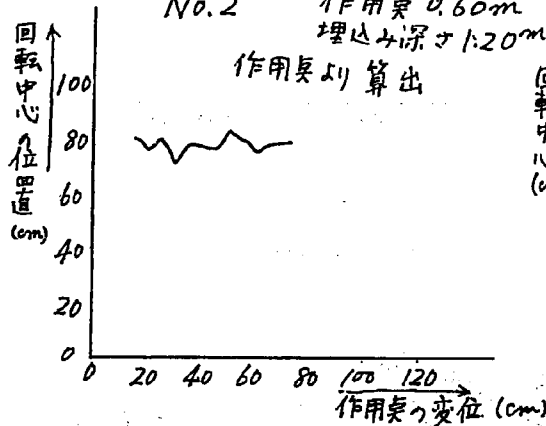
No.1 作用長 0.60m
埋込み深さ 1.40m
作用長より算出



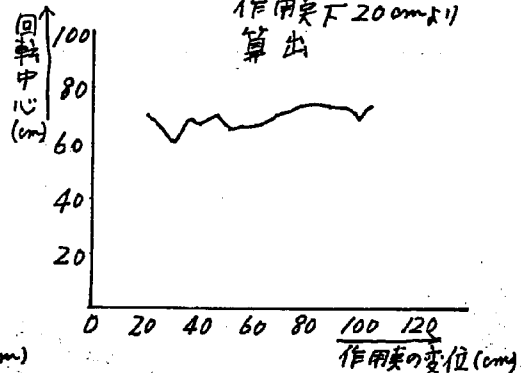
作用長下 20cmより算出



No.2 作用長 0.60m
埋込み深さ 1.20m
作用長より算出

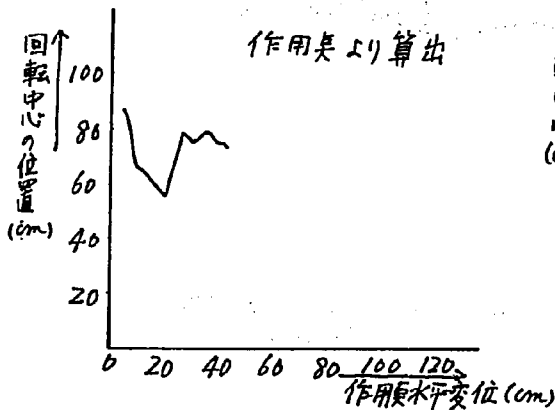


作用長下 20cmより算出

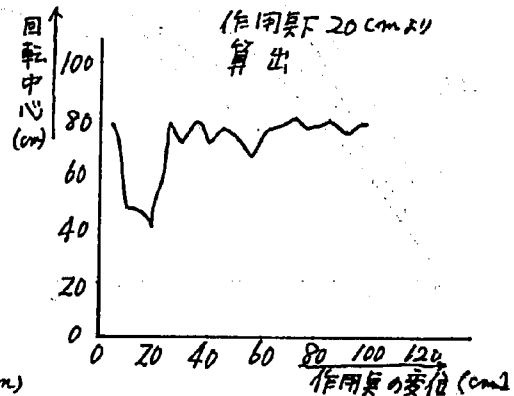


No.3 作用長 0.60m
埋込み深さ 1.20m

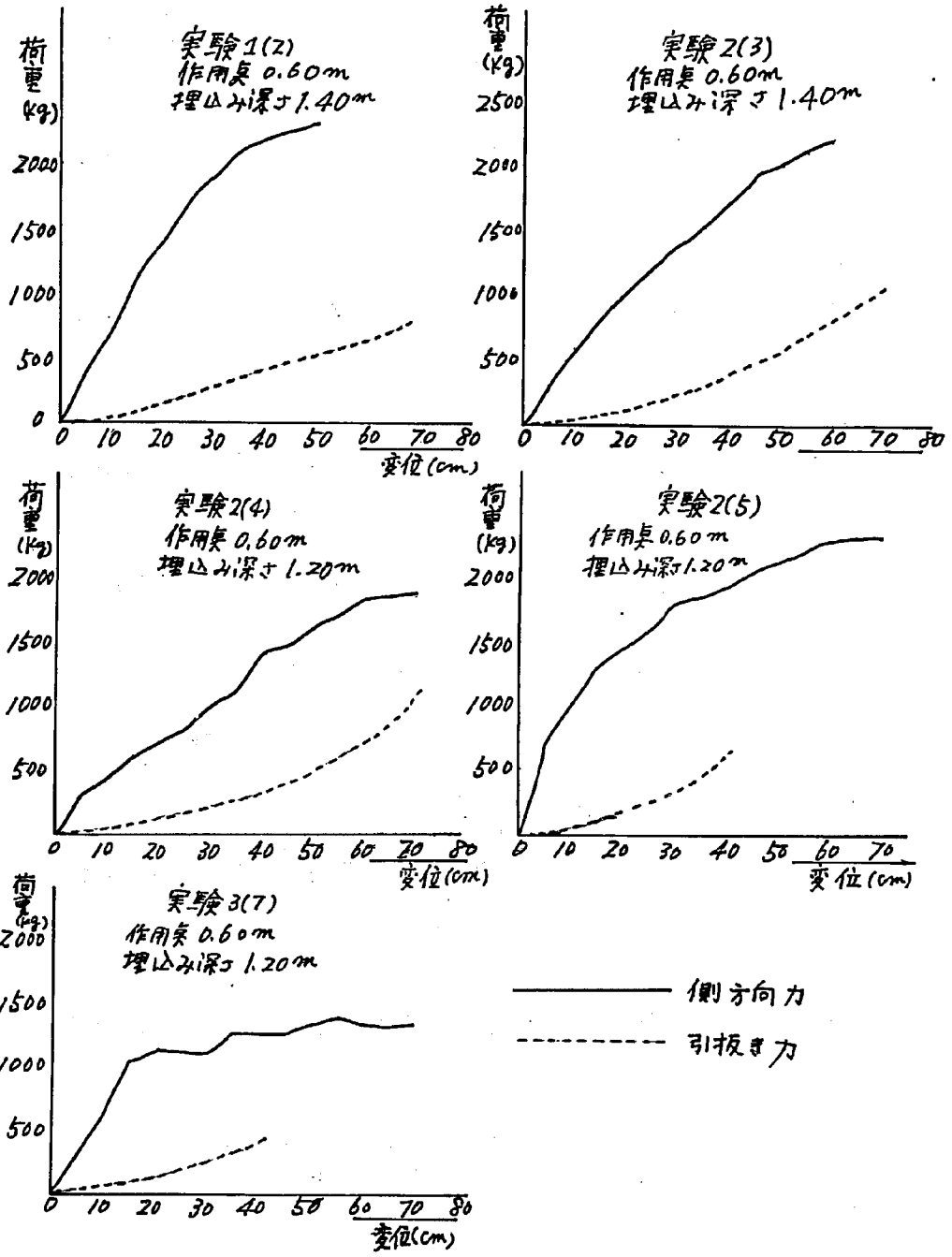
作用長より算出



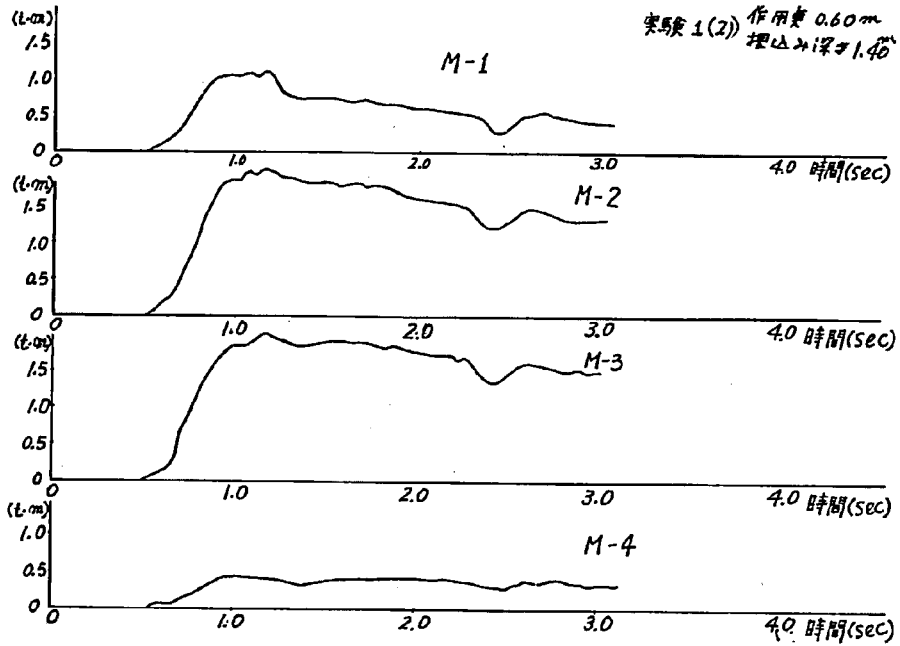
作用長下 20cmより算出



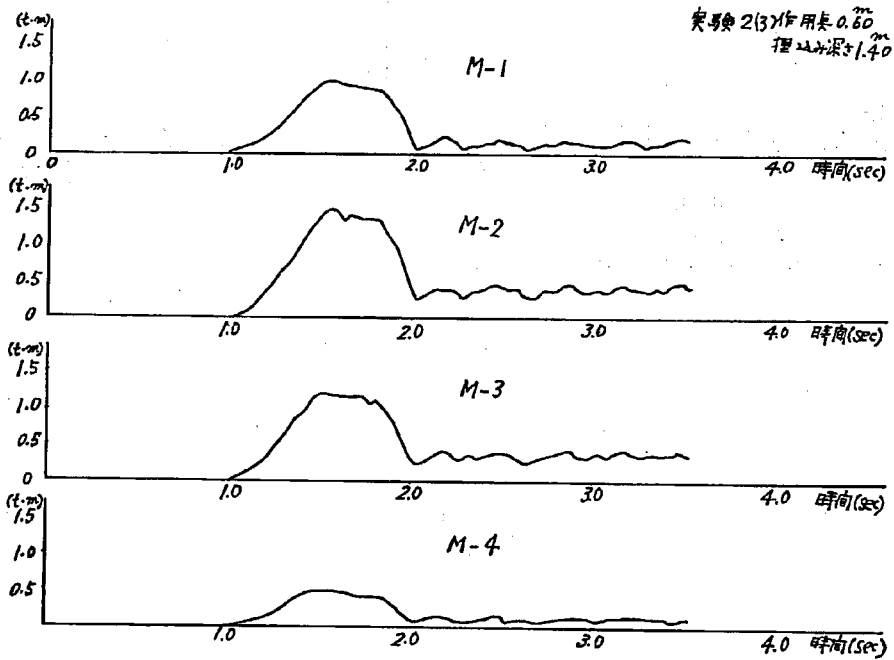
図(6-29) 動の実験における側方向力と引抜き力



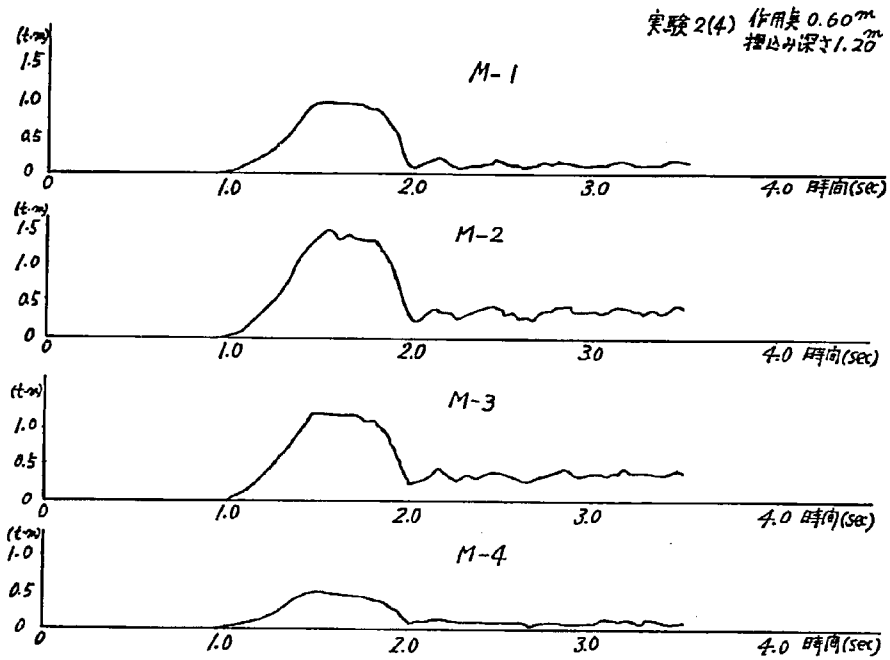
図(6-30) ガードレール支柱の曲げモーメント



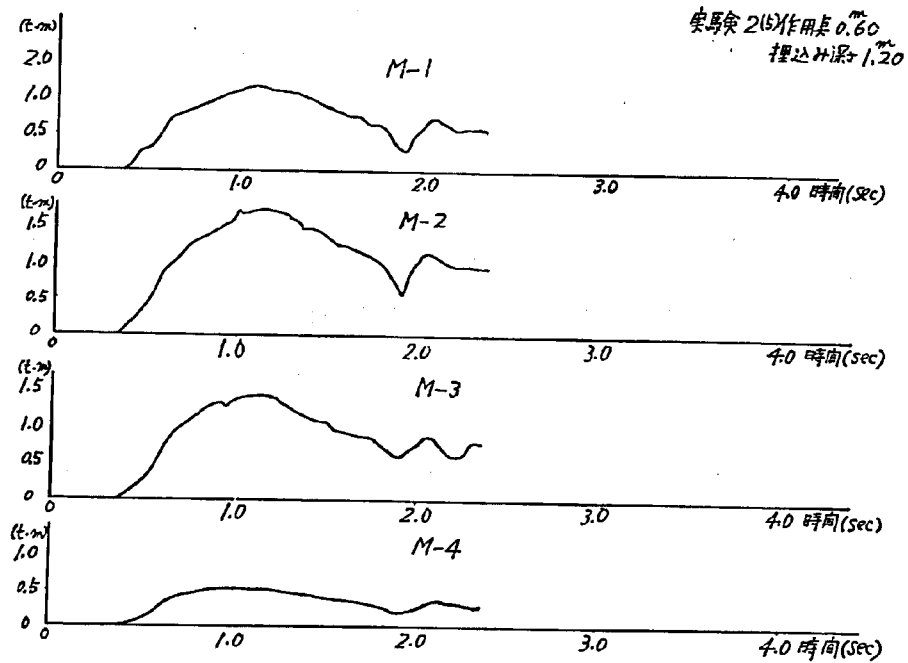
図(6-31) ガードレールの曲げモーメント



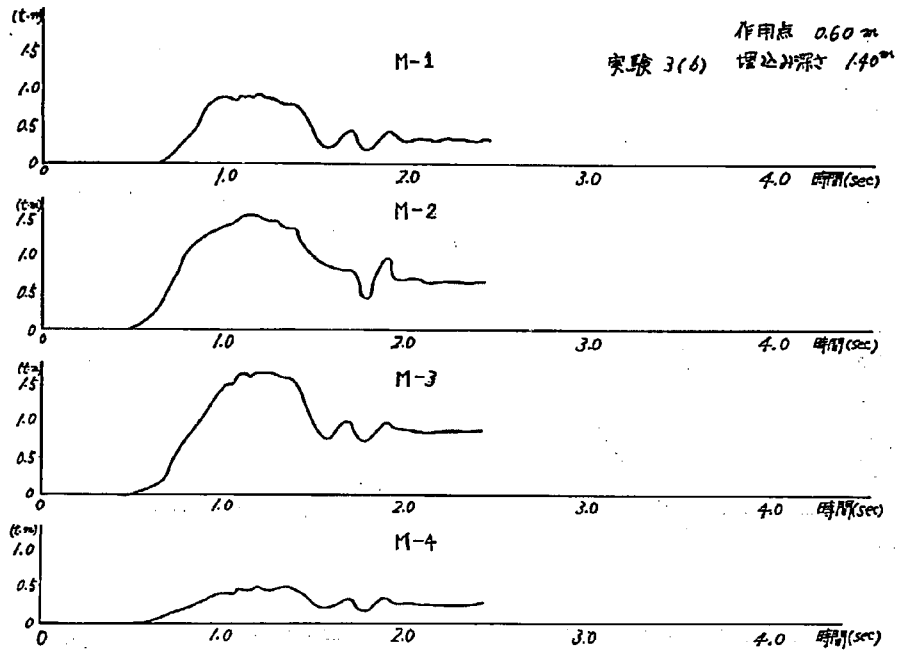
図(6-32) ガードレール支柱の曲げモーメント



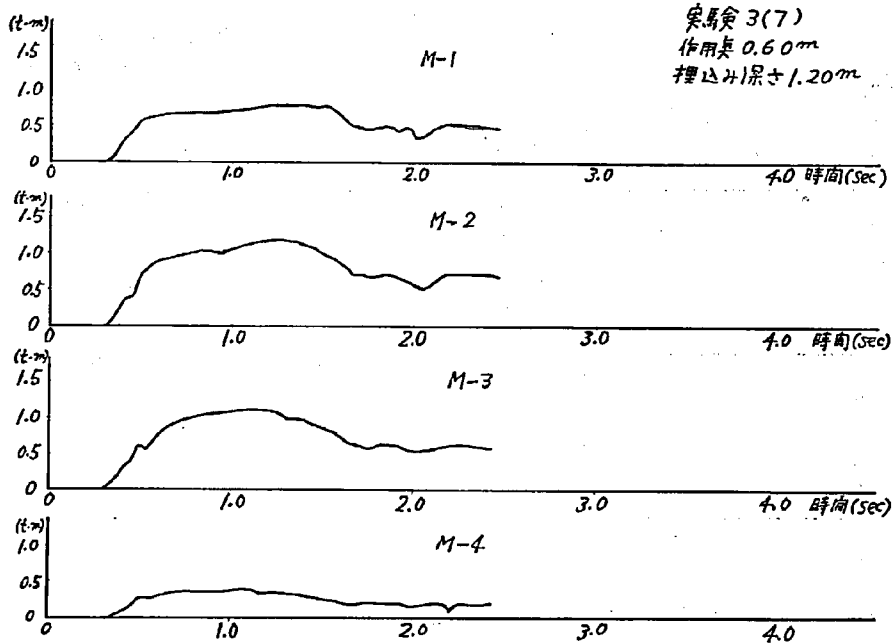
図(6-33) ガードレールの曲げモーメント



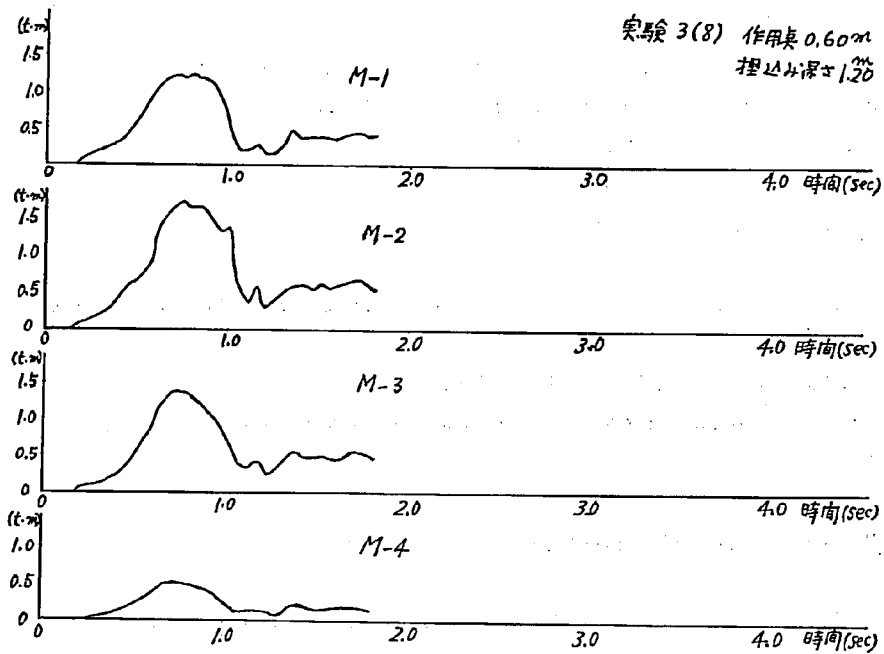
図(6-34) ガードレール支柱の曲げモーメント



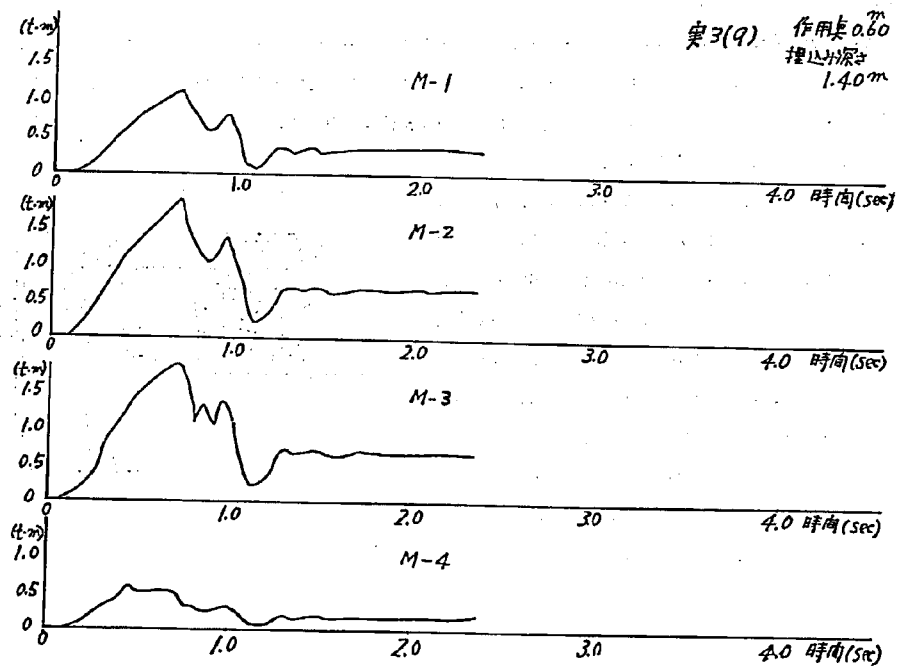
図(6-35) ガードレールの曲げモーメント



図(6-36) ガードレール支柱の曲げモーメント



図(6-37) ガードレールの曲げモーメント



7. 国道における支柱実験

7-1 概 要

現在まで土木研究所構内で防護欄支柱動的小よび静的横方向引張実験を重ねてきた。しかし国道に設置され設置後年数の長い支柱の力学的性質についてまだなんら明らかにされていない。

そこでそれらについてつぎのことを調べることにした。

- ① 支柱の変位量と支持力との関係
- ② 法肩からの距離と最大荷重との関係
- ③ 回転中心と変位量との関係

一般国道には、ほとんど土中にコンクリート根がらみ付の支柱が設置されているために今まで実験した支柱とは挙動が異なる。

また国道用地の盛土、切土部に支柱を建込み引張実験をおこなった。

これらと他の実験結果との相関性および支柱のどの位置に根がらみを取付けた場合に最適かを8章で検討している。

7-2 道路上に設置された支柱の実験

7-2-1 実験状況

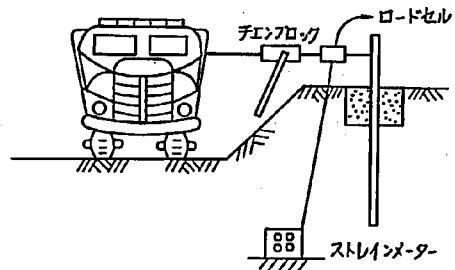
実験は岡山国道工事々務所と長崎工事々務所の協力を得て、表(7-1)に示すように国道53号、34号で実験箇所を選定し、45年10月19日~45年10月23日におこなった。

実験方法として、車両の後方のフレームに荷重計を取付けてバックで衝撃力を加えて、動的小験もおこなう予定であったが車が車線上に直角方向にして、他の交通を遮断しなければならないために静的実験だけにとどめた。

その方法は支柱のボルト部にワイヤーを取付け、引張方向にロードセル(荷重計)をつけて、一方はアンカーとしてその間をヒッパラーまたはチェーンブロックで徐々に力を加えてゆくものである。そして、一定間隔ごとにストレインメーターで荷重をよむ。それと同時に支柱の後方に固定点をつくり、ボルト部と地表面上20cmの水平変位及垂直変位を測定した。

通常防護欄は設置要綱に従って路側、巾目、線形等構造物、事故の関係で危険な箇所に設置されている。そのため、静的実験は道路に直角方向に支柱を引張って実験をおこなうのがたてまえであるが、アンカーをつくる箇所がないことが多く、その場合には道路と平行方向に引張り、近くの他の支柱をアンカーとした。法肩と防護欄の間隔が広い箇所では、長い支柱を建込んでアンカーをつかって直角方向に実験をおこなった。盛土が低い箇所で、図(7-1)のように車両が乗り入れられるところでは直角方向に引張った。

図(7-1)



表(7-1) 実験箇所の選定

管轄工事々務所	国 道	設置場所	実験 期 日	写真番号	支柱の幅(㎝)	法 肩 の有無	土 質	根がらみの 有無
岡山国道 工事々務所	53号	岡山より 21.0Km	10月19日	Ⓐ 1	φ0.0936	無	粘質土	有
	"	35.8Km	10月19日	Ⓐ 11	φ0.1143	無	"	"
	"	岡山より 54.5Km	10月19日	Ⓐ 3	φ0.1143	無	粘質土	有
	53号	岡山より 54.5Km	10月20日	Ⓐ 3	φ0.0936	有	"	"
	"	岡山より 56.2Km	10月20日	Ⓐ 2	φ0.1143	有	粘質土	有
	53号		10月20日	Ⓐ 19	φ0.1143	無	"	"
長崎工事々務所	34号	89.5Km	10月22日	Ⓐ 5	φ0.1143	無	粘質土	有
	"	92.5Km	10月22日	4	φ0.1143	有	"	有
	"	17.5Km	10月23日	Ⓐ 7	φ0.1143	有	"	有
	34号	13.2Km	10月23日	Ⓐ 13	φ0.1143	有	粘質土	有

7-2-2 実験結果

表(7-2~4)に示すように、埋込み深さが等しく法肩からの距離が無限度である時、防護柵支柱の最大荷重は、場所ごとによく一致している。

通常は土中には純粹に土ばかりでなく砂利などが混入しており、また土の締固り度合が異なるために大差があると思われたが若干の差があるだけであった。同様に変位—荷重曲線図(7-2~11)も場所ごとではよく一致している。変位量0.30~0.40mでほとんど最大荷重に耐し、それ以後はそれほど大きくなっていない。コンクリート根がらみがついているため今までに実験したものに比べ荷重の立ち上がりが早く、最大荷重も同様に高い。そのためかコンクリート根がらみの方に欠損が生じたものもあった。

回転中心(地盤反力ゼロ点)は図(7-12~21)に示す。

土木研究所構内で、根がらみのついていない支柱について静的実験をおこなったときは、回転中心は変位が大きくなるに従って、上にあがる傾向を示した。しかし、この結果からは、回転中心は変位量とともに下に若干さがるか直線的になるようである。しかし回転中心の位置は、根がらみがない時より、もともと上にある場合が多い。

表(7-2) 国道に実在する支柱実験 Ⅱ

場 所	作用点 H (m)	埋込み深さ L (m)	支柱幅 B (m)	断面形	根がらみ $B_1 \times B_2 \times d_1$ (m)	土 質	路肩からの 距離 (m)	最大荷重 (t)	0.30m変位 における 荷重(t)	労働土圧 係 C_p
岡山国道 工事事務所	0.60	1.00	0.0936	円	0.50×0.50×0.40	粘質土	∞	1.131	—	24.8
	0.60	1.00	0.0936	円	"	"	∞	1.131	1.130	24.8
	0.60	1.00	0.0936	円	0.50×0.50×0.40	粘質土	∞	1.247	1.240	27.3
	0.60	1.00	0.1143	円	0.30×0.30×0.30	粘質土	∞	2.013	1.830	58.5
	0.60	1.00	0.1143	円	0.30×0.30×0.30	"	∞	2.028	2.000	59.0
	0.60	0.80	0.1143	円	根がらみ無	粘質土	∞	1.746	0.700	107.0
	0.60	0.80	0.1143	円	"	粘質土	0	0.565	0.260	34.7
	0.60	1.00	0.0936	円	0.50×0.50×0.42	粘質土	∞	0.466	0.450	9.9
	0.60	1.00	0.0936	円	0.50×0.50×0.42	粘質土	∞	0.566	0.380	12.1
	0.60	1.00	0.1143	円	0.30×0.30×0.35	粘質土	0.35	1.081	0.870	30.0
	0.60	1.00	0.1143	円	0.30×0.30×0.35	粘質土	∞	1.248	1.240	34.6
	0.60	1.00	0.1143	円	0.30×0.30×0.30	粘質土	∞	0.865	0.740	25.2
	0.60	1.00	0.1143	円	0.30×0.30×0.30	粘質土	∞	1.131	1.000	32.9

* 推定値

表(7-3) 国道に実在する支柱実験 462

場 所	作用点 H (m)	埋込み深さ L (m)	支柱幅 B (m)	断面形	根がらみ $B_1 \times B_2 \times d_1$ (m)	土 質	路肩から の 距 離 (m)	最大荷重 (t)	0.30m変位 における 荷重 (t)	受働土圧 係数 C_p
長崎工事事務所	0.60	1.20	0.1143	円	0.30×0.30×0.30	粘 質 土	∞	2.360 コンクリート破壊	2.340	46.3
	0.60	1.20	0.1143	円	0.30×0.30×0.30	粘 質 土	∞	0.940	0.730	18.4
	0.60	1.20	0.1143	円	0.30×0.30×0.30	粘 質 土	∞	2.411 コンクリート破壊	2.400	47.3
	0.60	1.30	0.1143	円	0.40×0.30×0.30	粘 質 土	0.80	1.247	1.250	20.6
	0.60	1.30	0.1143	円	0.40×0.30×0.30	粘 質 土	∞	1.529	1.500	25.2
	0.60	1.30	0.1143	円	0.40×0.30×0.30	粘 質 土	∞	1.413	1.400	23.3
	0.60	1.30	0.1143	円	0.30×0.30×0.30	粘 質 土	∞	1.048	1.00	17.3
	0.60	1.30	0.1143	円	0.30×0.30×0.30	粘 質 土	0	0.499	0.460	9.2
	0.60	1.30	0.1143	円	0.30×0.30×0.30	粘 質 土	∞	1.048	0.880	17.3
	0.60	1.30	0.1143	円	0.30×0.30×0.30	粘 質 土	∞	1.164	0.880	19.2
	0.60	1.30	0.1143	円	0.30×0.30×0.30	粘 質 土	0	0.200	0.180	3.3
	0.60	1.30	0.1143	円	0.30×0.30×0.30	粘 質 土	1.30	1.230	1.130	20.3
	0.60	1.30	0.1143	円	0.30×0.30×0.30	粘 質 土	∞	1.913	—	31.5

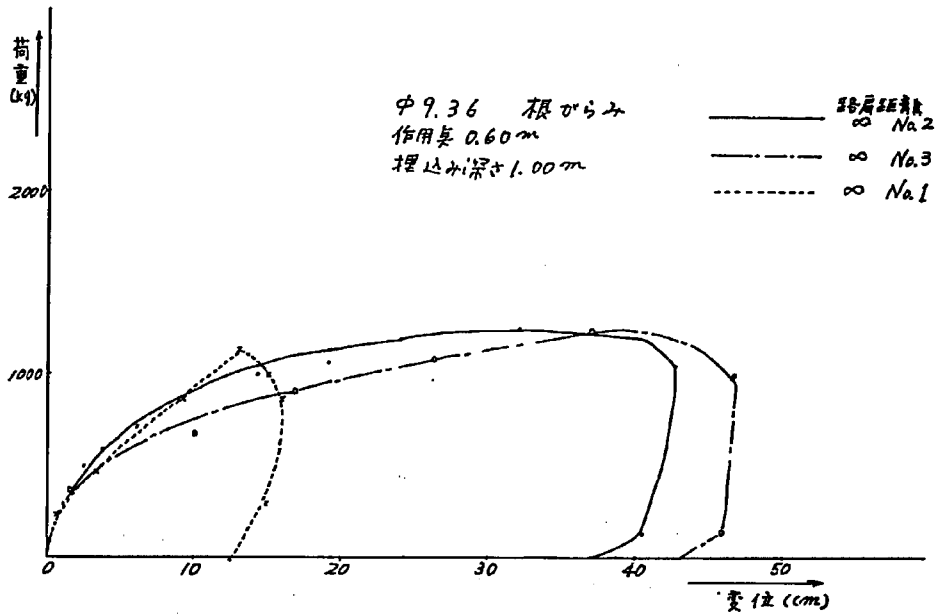
• 推定値

表(7-4) 国道に実在する支柱実験 表3

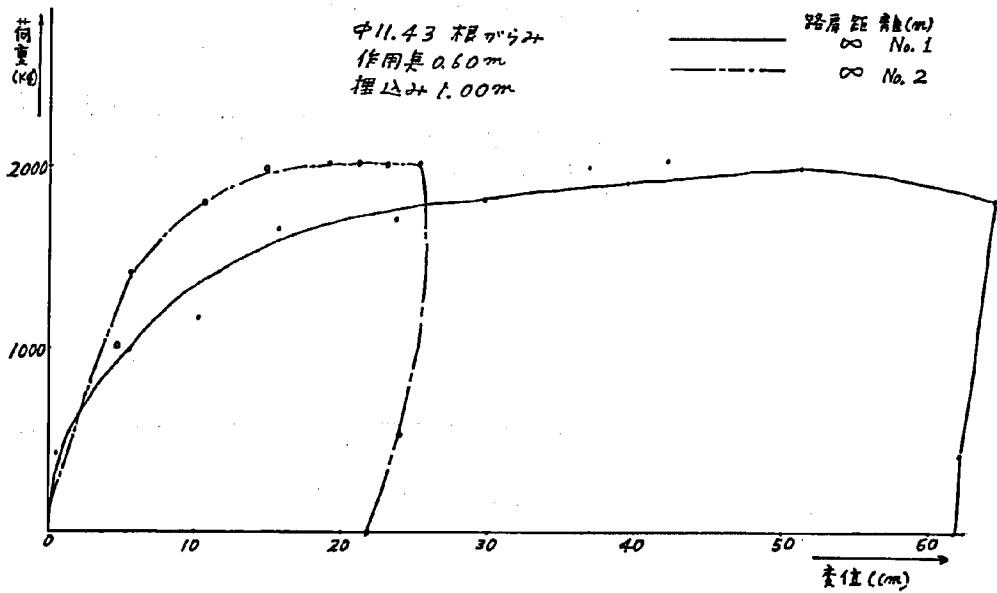
場 所	作用点 H (m)	埋込み深さ L (m)	支柱幅 B (m)	断面形	根 が ら み $B_1 \times B_2 \times d_1$ (m)	土 質	路肩から の 距 離 (m)	最大荷重 (t)	0.30 m変 位における 荷重 (t)	動的におけ る 荷 重 (t)
長崎工事事務所	0.60	1.30	0.1143	円	$0.30 \times 0.30 \times 0.30$	粘 質 土	1.60	1.331	1.700	21.9
	0.60	1.30	0.1143	円	$0.30 \times 0.30 \times 0.30$	粘 質 土	∞	1.048	1.00	17.3
	0.60	1.30	0.1143	円	$0.30 \times 0.30 \times 0.30$	粘 質 土	∞	1.414	1.400	23.3

* 推定値

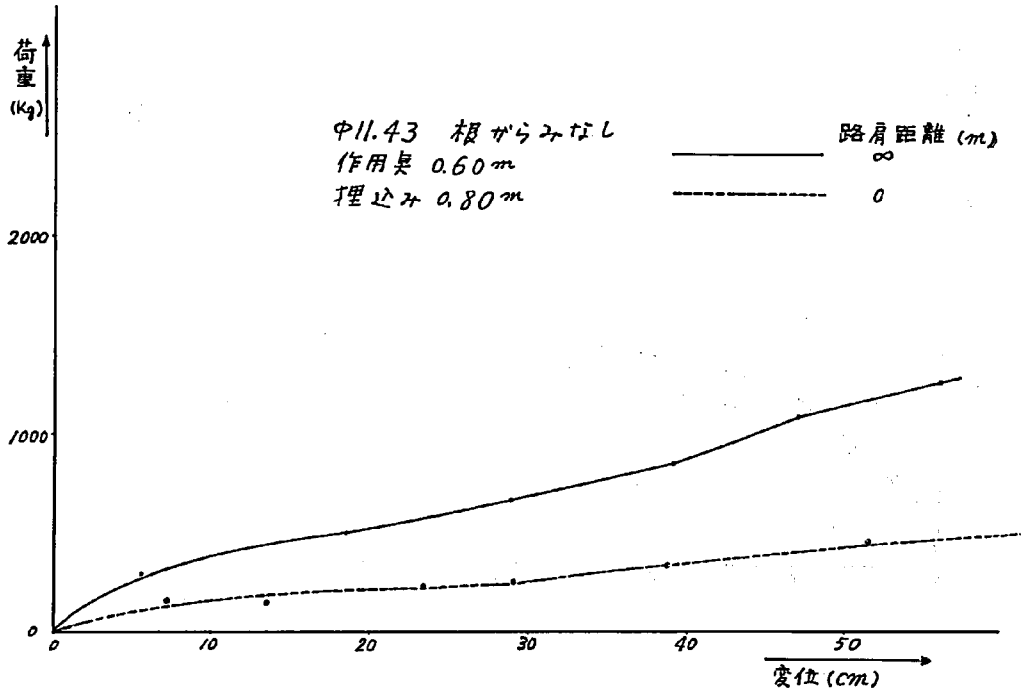
図(7-2) ガードレール支柱実験 岡山国道 53号



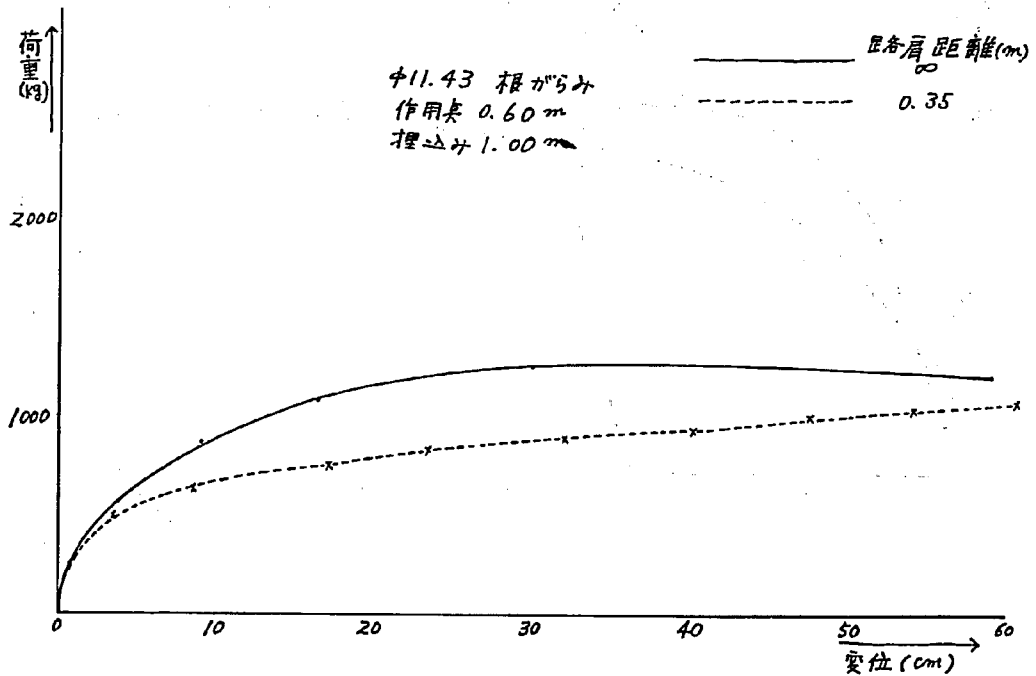
図(7-3) ガードレール支柱実験 岡山国道 No. 11



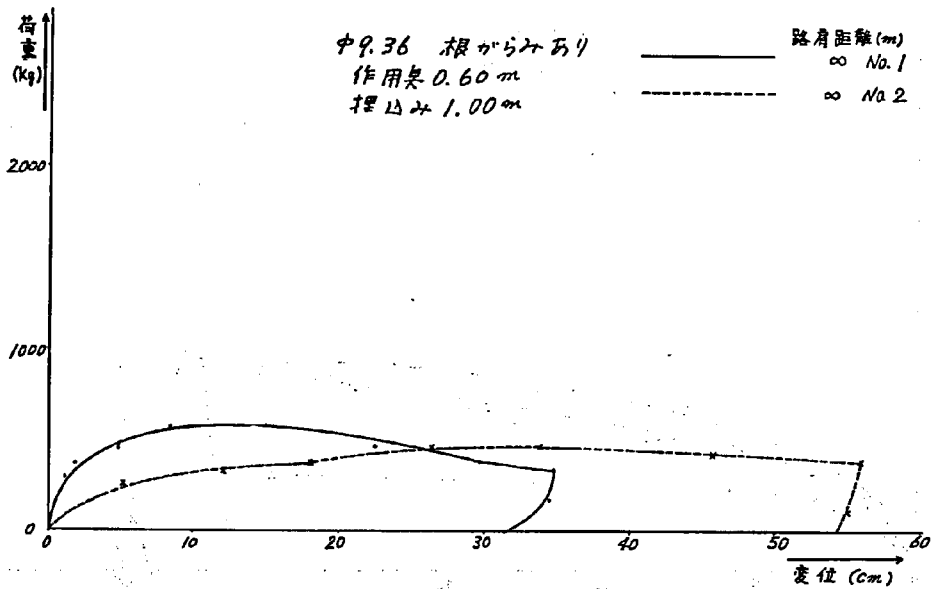
図(7-4) ガードレール支柱実験 岡山国道 53号 63~11



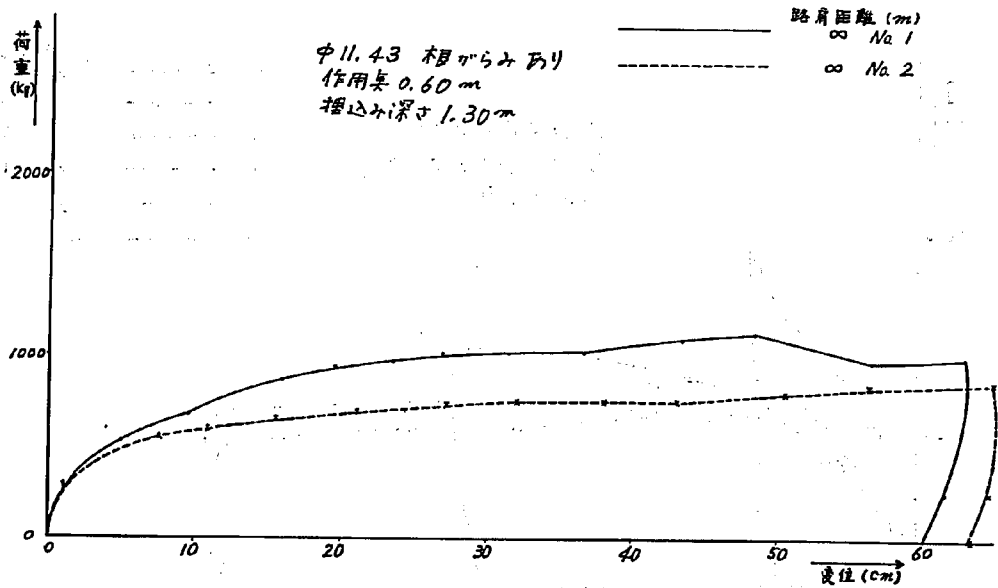
図(7-5) ガードレール支柱実験 岡山国道 62



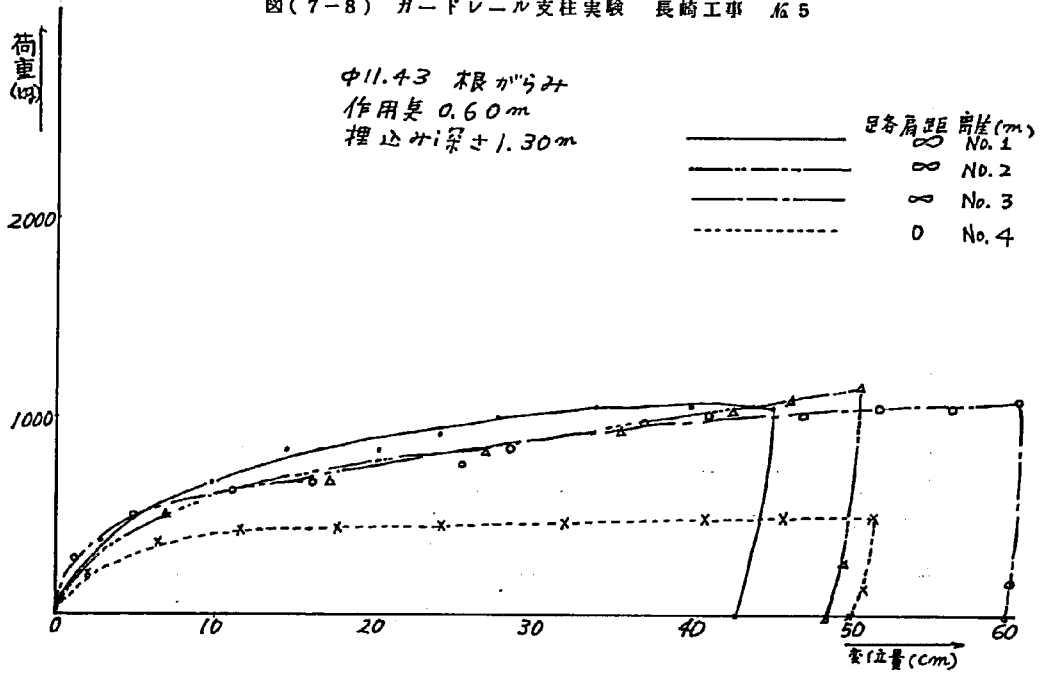
図(7-6) ガードレール支柱実験 岡山国道 版3



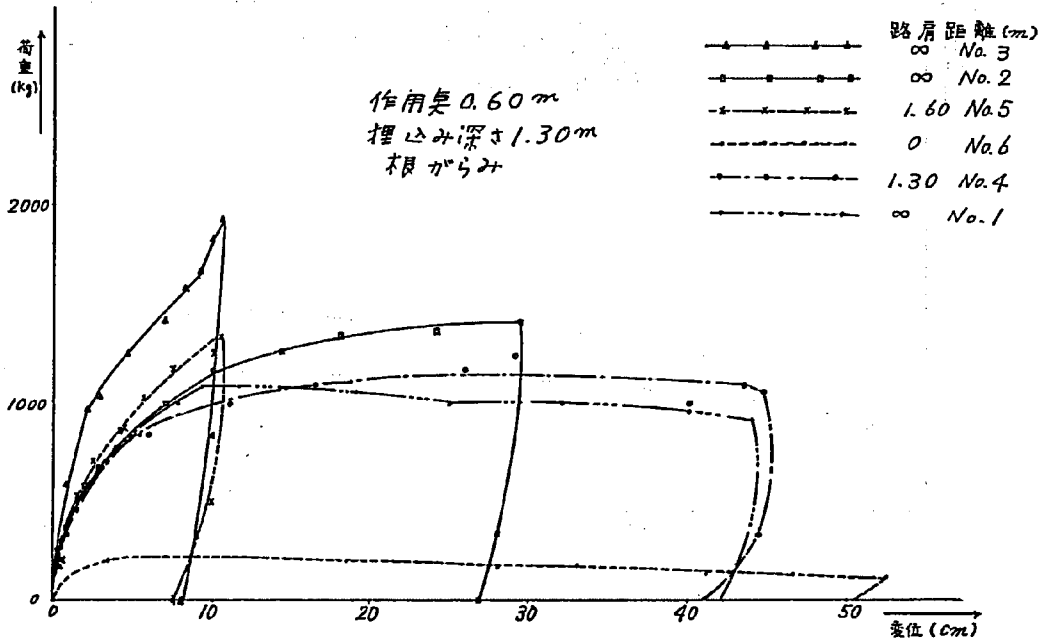
図(7-7) ガードレール支柱実験 岡山国道 版18



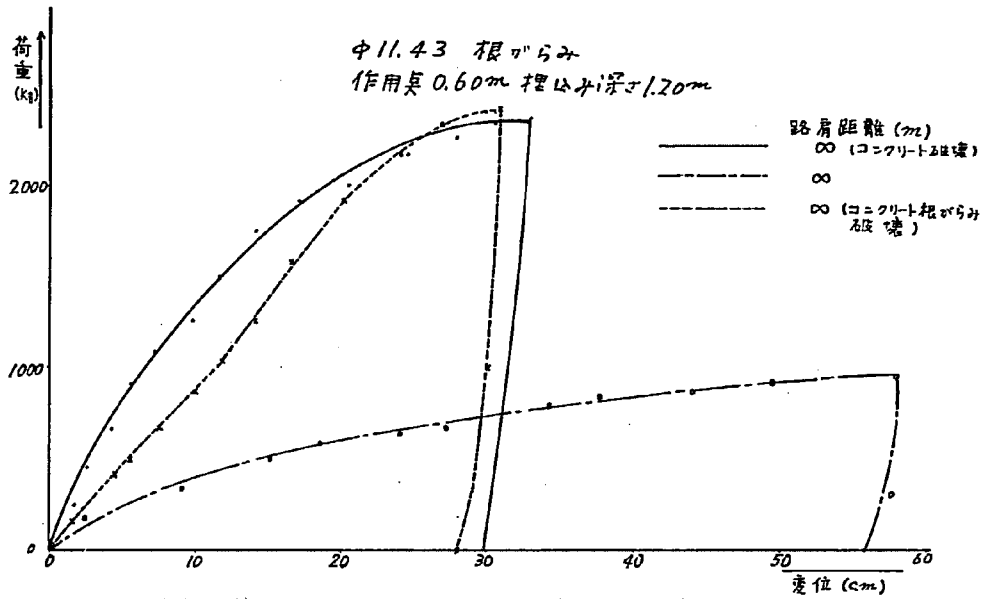
図(7-8) ガードレール支柱実験 長崎工事 №5



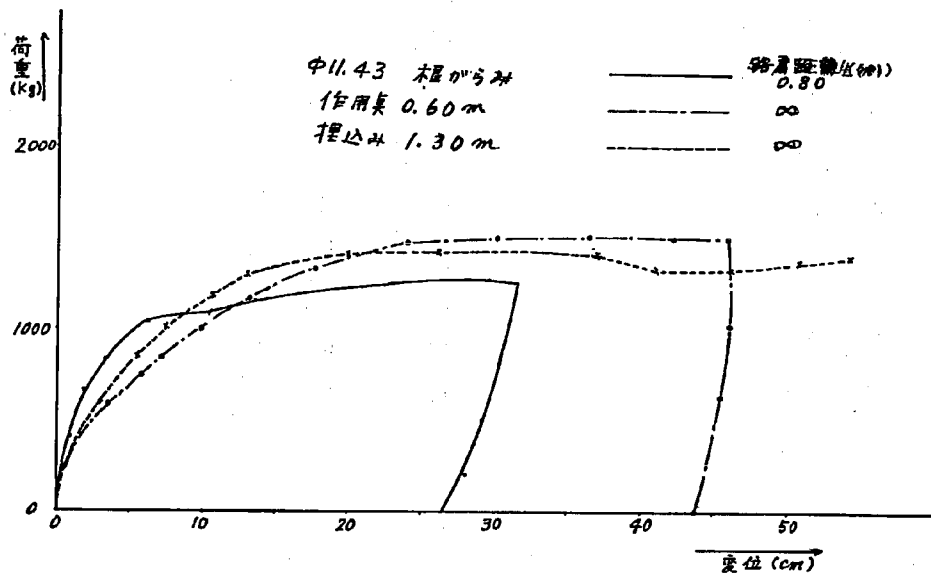
図(7-9) ガードレール支柱実験 長崎工事 №4 φ11.43



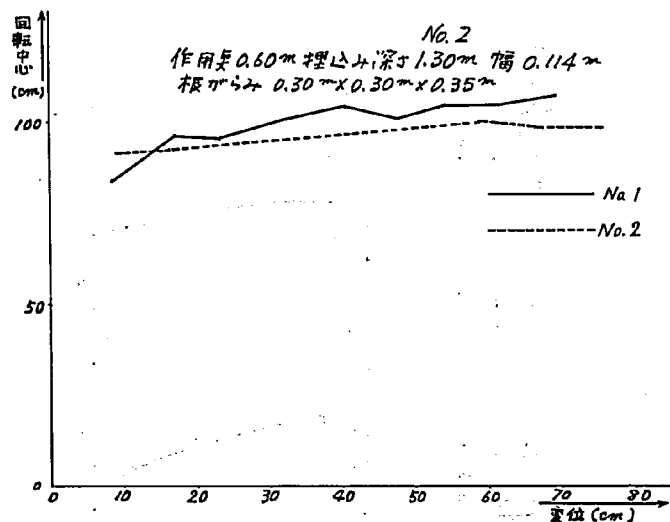
図(7-10) ガードレール支柱実験 長崎工事 版7



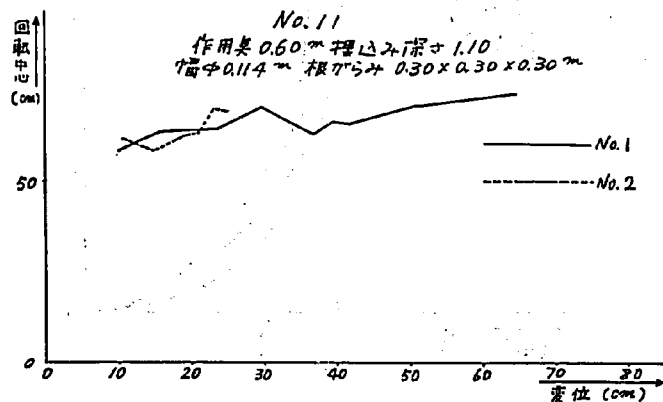
図(7-11) ガードレール支柱実験 長崎工事 版13



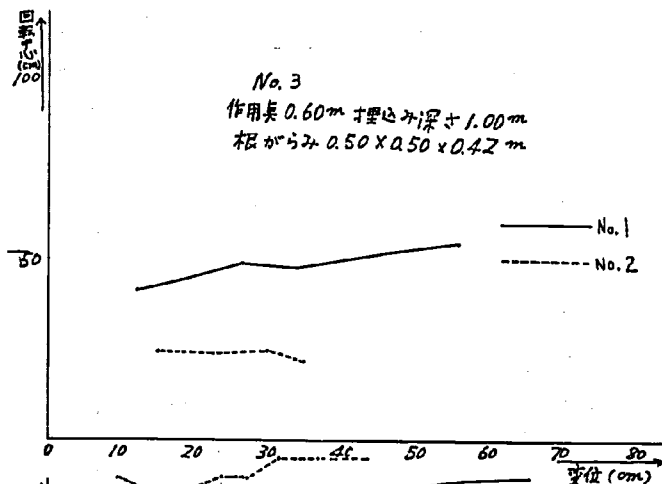
図(7-12) ガードレール支柱実験 岡山国道(国道33号)



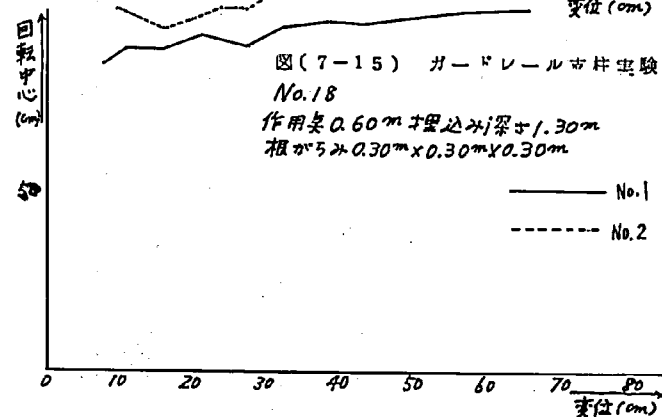
図(7-13) ガードレール支柱実験



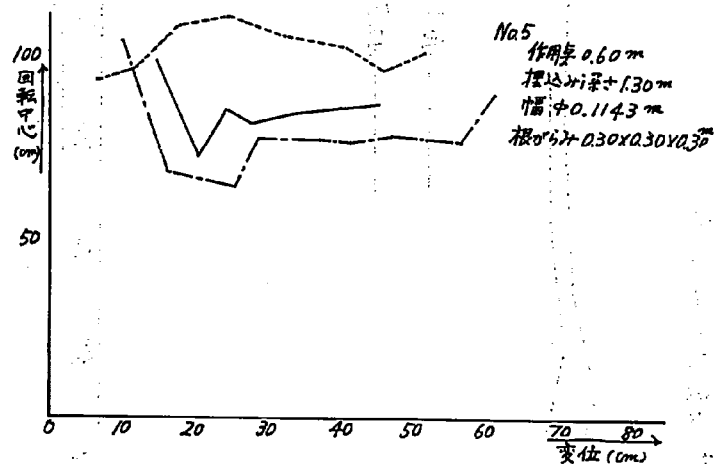
図(7-14) ガードレール支柱実験 岡山国道(国道33号)



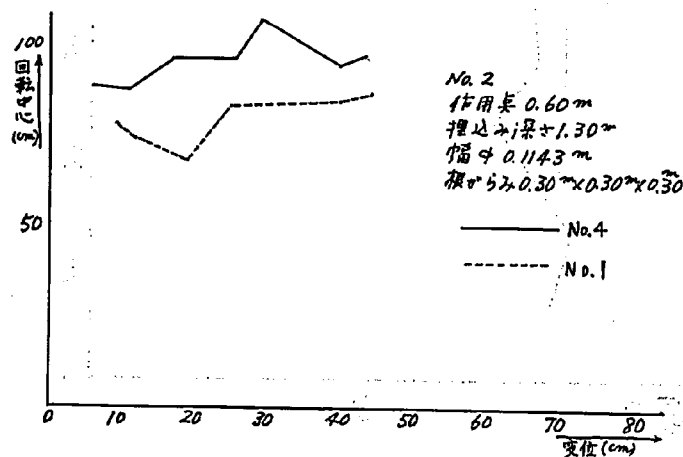
図(7-15) ガードレール支柱実験



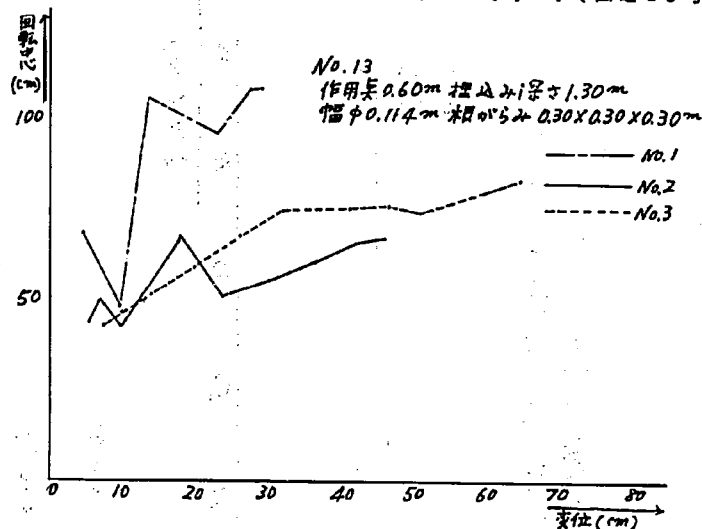
図(7-16) ガードレール支柱実験 長崎工事(国道33号)



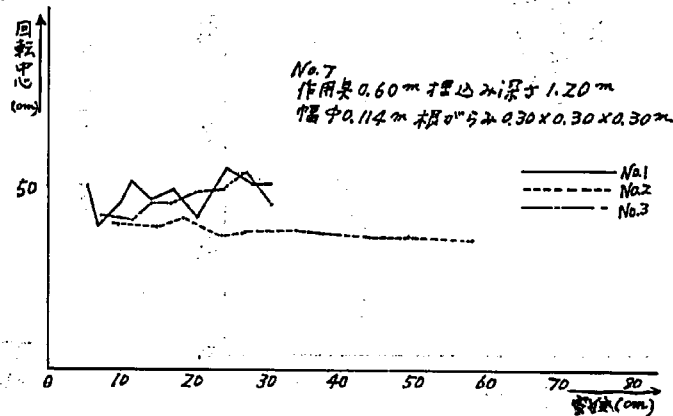
図(7-17) ガードレール支柱実験 国道33号



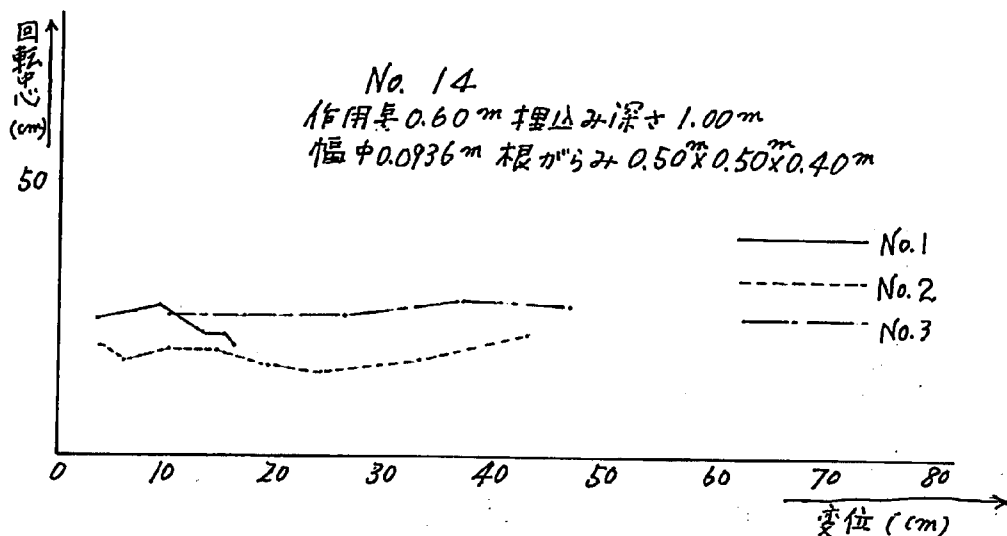
図(7-18) ガードレール支柱実験 長崎工事(国道33号)



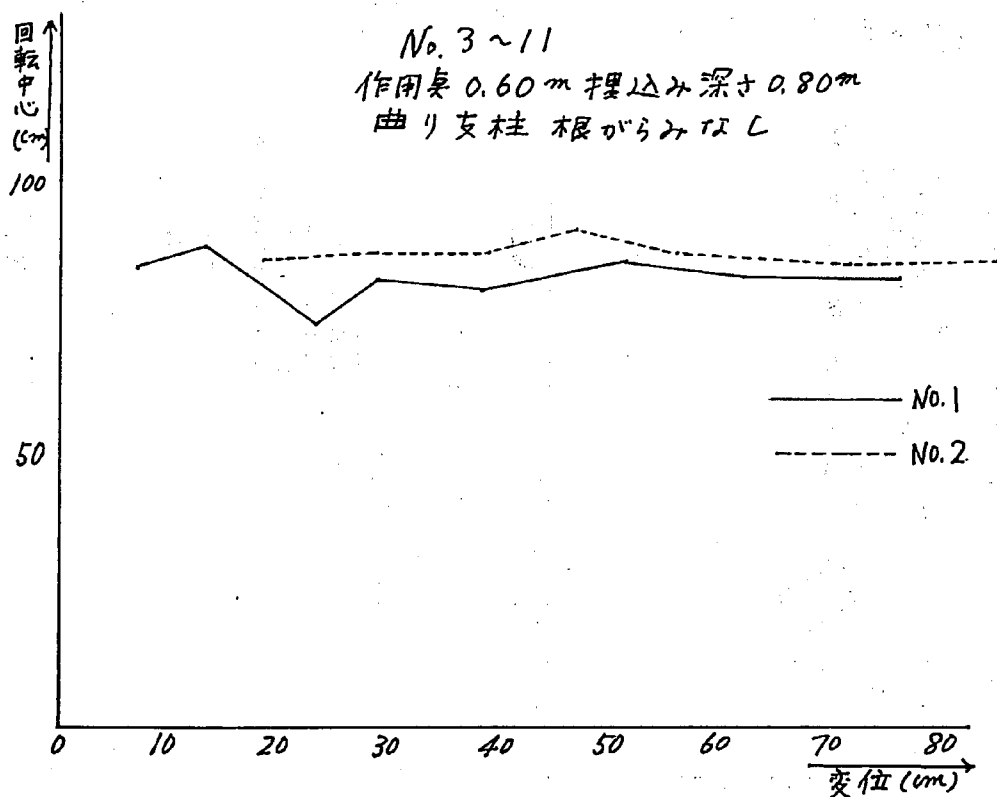
図(7-19) ガードレール支柱実験 国道33号



図(7-20) ガードレール支柱実験 岡山国道(33号)



図(7-21) ガードレール支柱実験



7-3 国道の切土、盛土部における実験

7-3-1 実験方法

昭和45年11月に千葉国道工事事務所の管轄内である国道16号線用地の盛土、切土部に法肩からの距離を変化させて支柱を建込み実験をおこなった。

実験方法として、静的、動の実験をおこなった。動の実験は車両の後方のフレームに荷重計設置機器を取付け荷重を計測し16mm高速度カメラ（ローカム）で変位量を計測し、変位と荷重との同一点をあわせるためにフラッシュを使用した。

しかし、場所の関係上で計測類等を動かすためのA-C電源がとれなかったためにD-C電源を使用した。A-C電源に変換するためのコンバーターの容量が小さかった。そのためにローカムは正常に作動したが、ピシグラフが思うように記録できなかった。

静的実験は車両を乗入れて、車両自身をアンカーとして支柱とその間を除々に引っぱって実験をおこなった。

7-3-2 実験結果

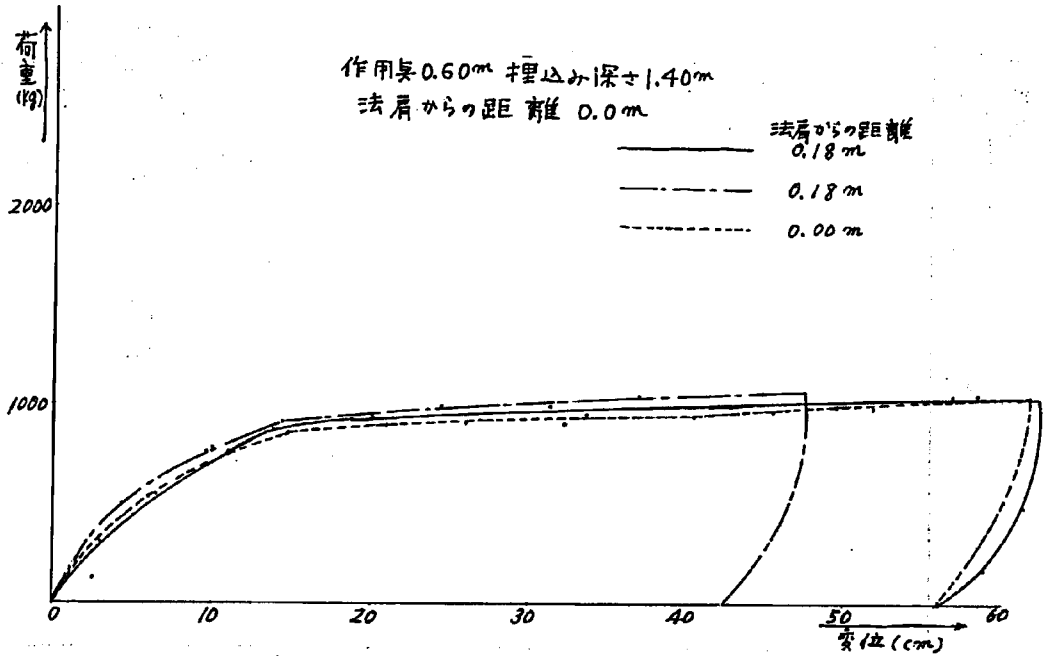
表(7-5)は切土における静的実験結果である。法肩からの距離が同じであるとき最大荷重との関係がよく一致している。

ここでは、土木研究所内盛土と同じように土質が一樣であり、土がみだされていないためにより結果が得られたものと思われる。

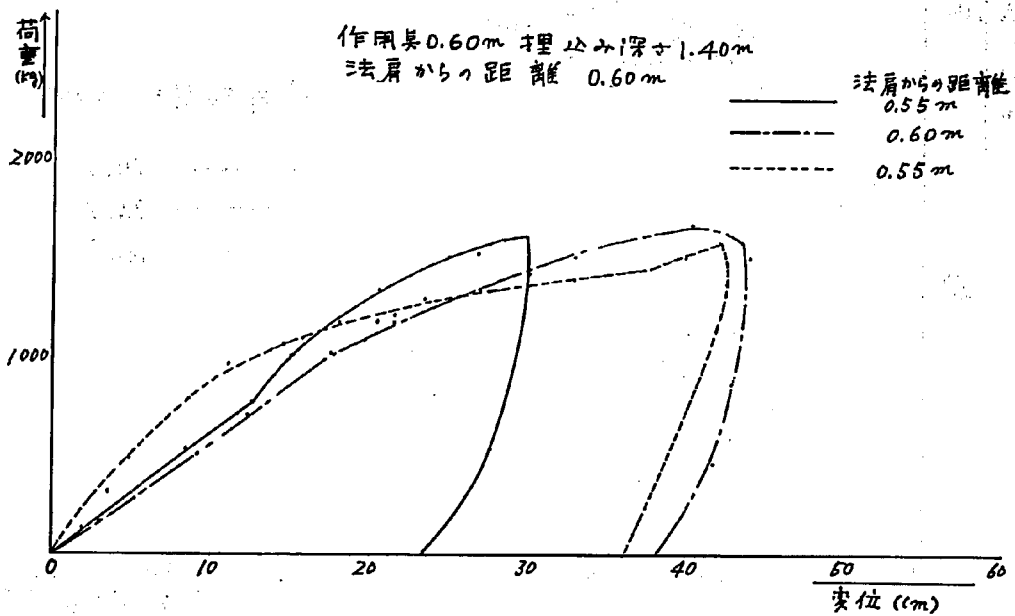
変位量-荷重曲線は図(7-22~23)に示す。法肩からの距離が0.0mの場合は非常によく一致している。法肩からの距離0.55mでは多少ばらつきはあったが、変位量0.30mで最大荷重に達している。

動の実験は、余りいい結果を得ることができなかった。図(7-26~27)は時間と荷重曲線、また図(7-28)の時間と変位曲線を示す。

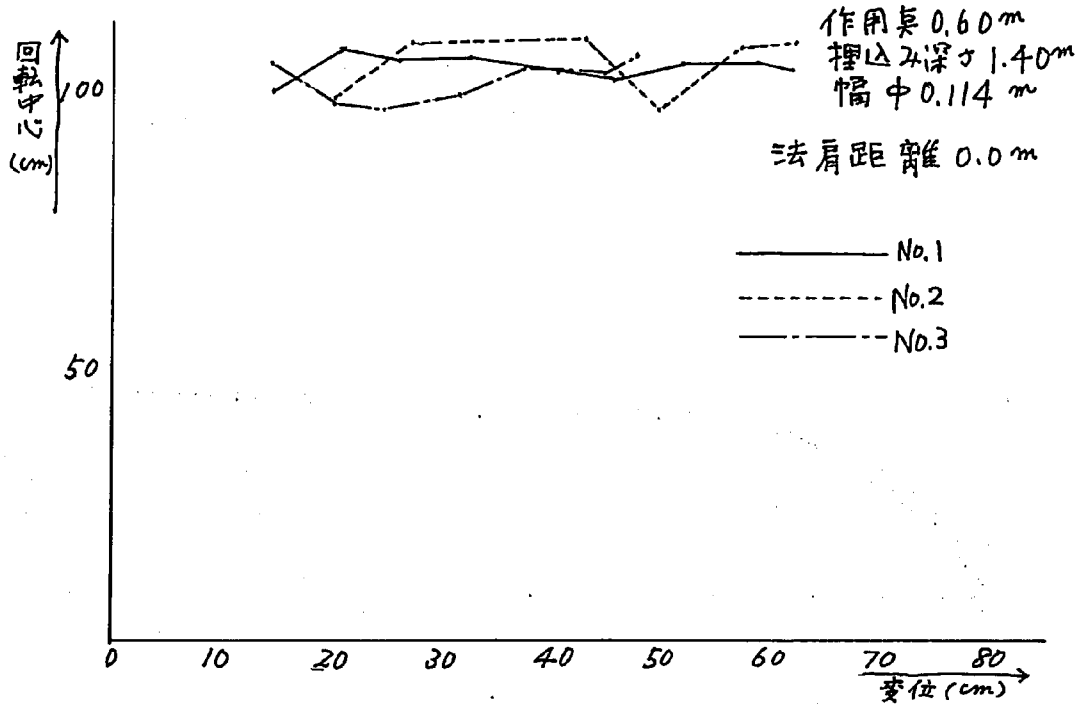
図(7-22) 千葉国道における実験



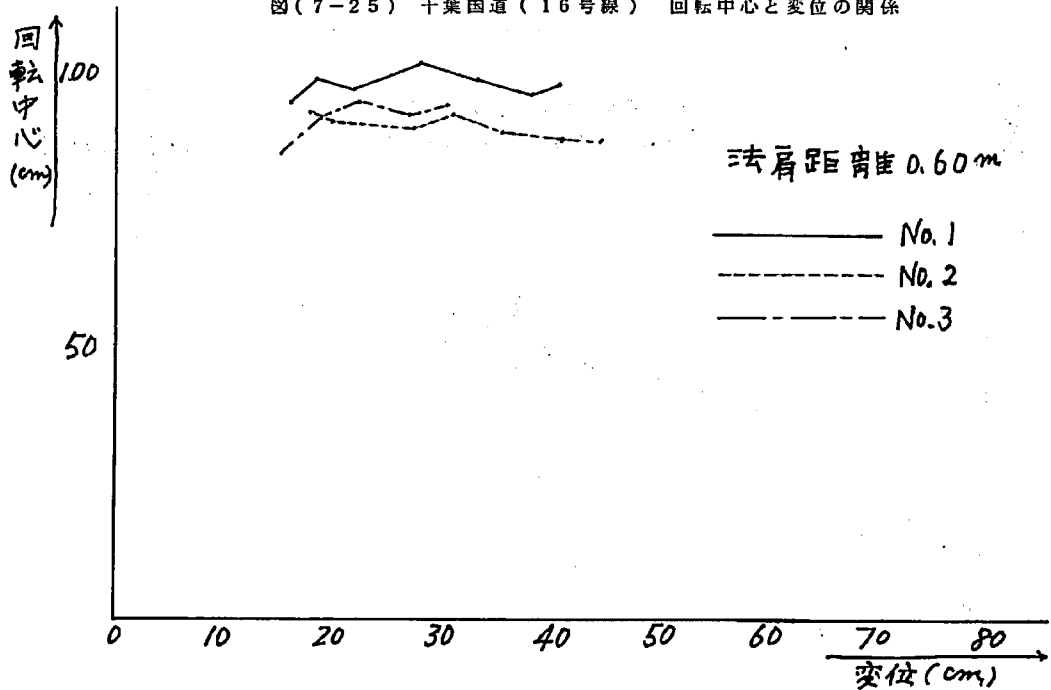
図(7-23) 千葉国道における実験



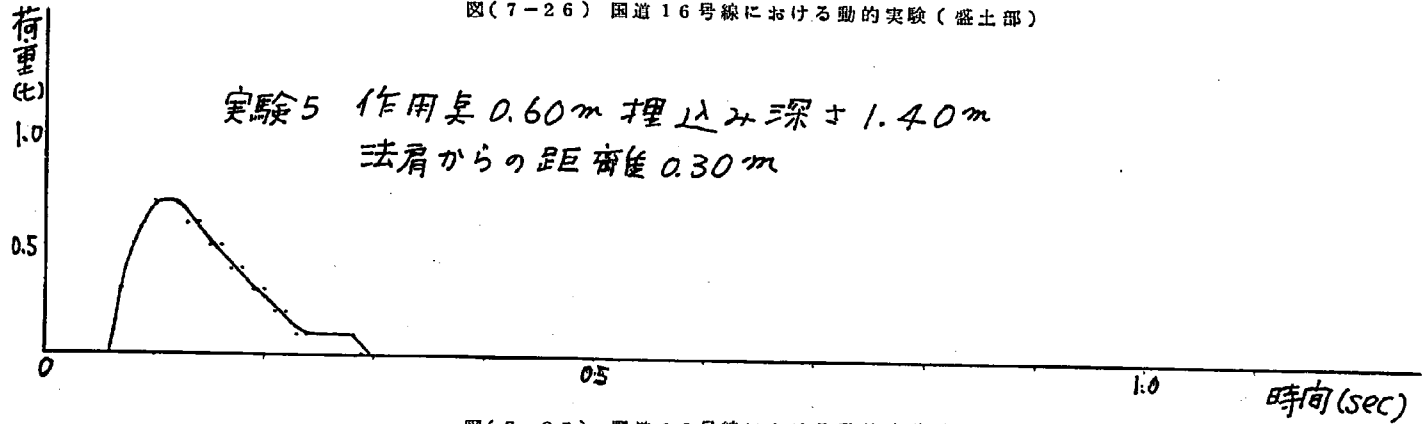
図(7-24) 千葉国道(16号線) 回転中心と変位の関係



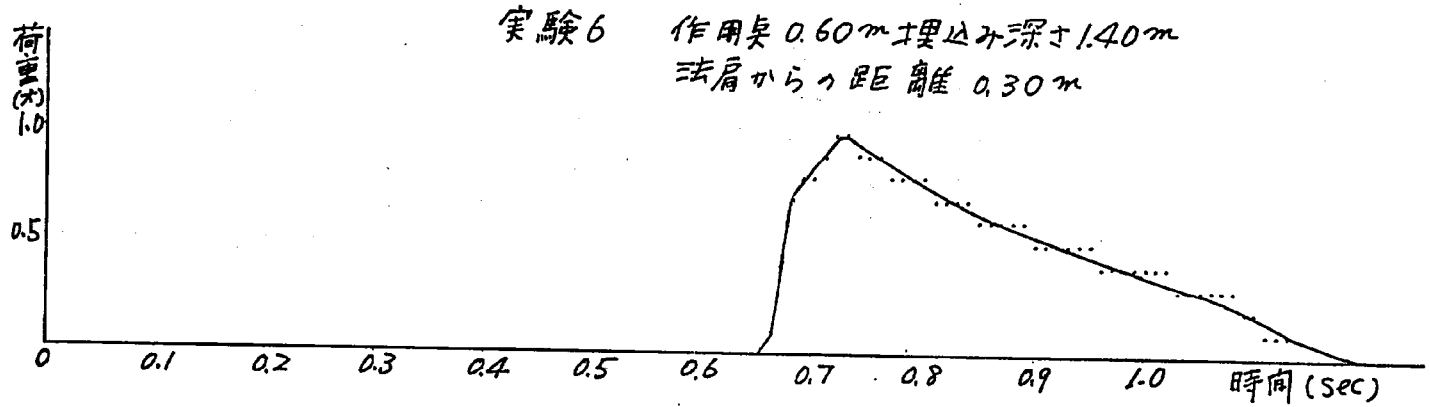
図(7-25) 千葉国道(16号線) 回転中心と変位の関係



図(7-26) 国道16号線における動的実験(盛土部)

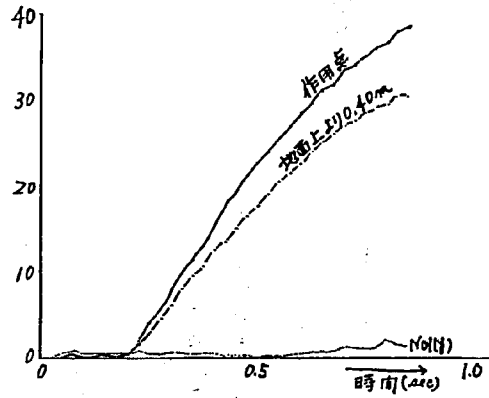


図(7-27) 国道16号線における動的実験(盛土部)



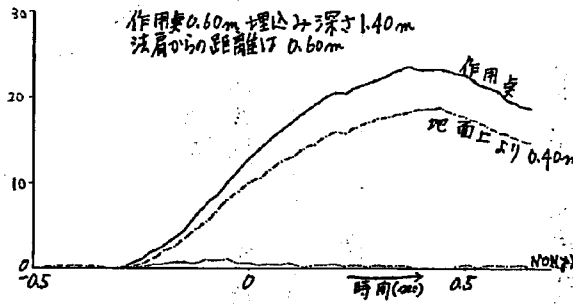
図(7-28) 動的における変位と時間との関係

作用点 0.60m 埋込み深さ 1.40m 法肩
からの距離 0.30m



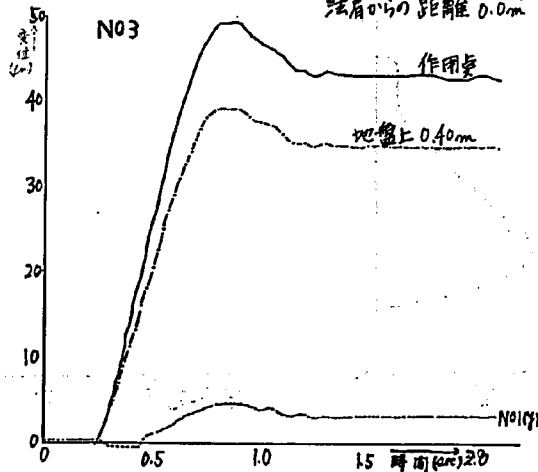
図(7-29) 動的における変位と時間との関係

作用点 0.60m 埋込み深さ 1.40m
法肩からの距離 0.60m



図(7-30) 動的における変位と時間との関係

作用点 0.60m 埋込み深さ 1.40m
法肩からの距離 0.0m



8. 実験値と土圧分布理論式との比較

土圧分布理論式において耐荷力は

$$T = C_p \cdot r_e \cdot B \left(d^2 - \frac{1}{2} L^2 \right) \dots\dots\dots (8-1)$$

で表わされる。

ここで

$$4d^3 + 6Hd^2 - (3L^2H + 2L^3) = 0 \dots\dots\dots (8-2) \text{ より求める。}$$

C_p : 受動土圧係数, r_e : 土の有効単位重量, B : 支柱幅, d : 回転中心 (m)

L : 埋込み深さ (m), H : 作用点の高さ (m),

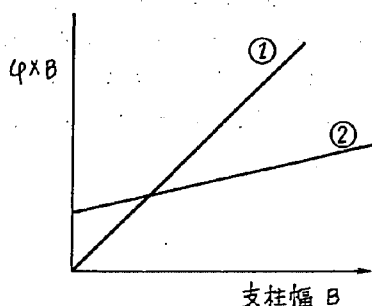
重要な要因として $C_p \times B$ を一つのパラメータと考えると

$C_p \times B$ は

$$C_p \cdot B = T / r_e \cdot \left(d^2 - \frac{1}{2} L^2 \right) \dots\dots\dots (8-3)$$

で求められる。ここで右辺の分母は実験条件より得られ、分子は実験で示された耐荷力である。

図(8-1)



図(8-1)に示すように、支柱幅 B と $C_p \times B$ との関係は理論式にもとずけば①のように比例する。しかし、実験結果より得られた耐荷力を(8-3)式に代入すると②の傾向を示すようである。この違いを修正するため便宜上支柱自身にあらかじめ初期幅 B_0 を考えた。図(8-2~3)に示すように初期幅は0.10mぐらいとすればよいと思われる。そこで初期幅 B_0 が加わった受動土圧係数 C_{p0} は

$$C_{p0} = T / (B + B_0) \cdot r_e \cdot \left(d^2 - \frac{1}{2} L^2 \right) \dots\dots\dots (8-4)$$

より求められる。この C_{p0} は法肩からの距離 S 、静的荷重 β_s 、動的荷重 β_d 、土質 α の要因が含まれている。

つまり

$$C_{p0} = F(S, \beta_s, \beta_d, \alpha) \dots\dots\dots (8-5)$$

で表わされる。

法肩からの距離 S と受動土圧係数 C_{p0} の関係を回帰直線で表わすと図(8-4~9)に示すようになる。砂質土の場合パラツキは小さいが、粘質土は含水比、土の締固めなどの変動しやすい要因が多いためにかなりバラツキがある。図(8-10~15)

これらの回帰直線より得られた値 C_{p0} をプログラム B001 の入力とすれば、最大荷重時の地盤反力、剪断力、曲げモーメント分布の計算を表示することができる。埋込み深さを変化させて、最大荷重の計算をおこなうと図(8-16~17)のようになる。図(8-17)は44年度以後の関東ローム層盛土における実験結果より得た C_{p0} の値を使った計算値と実験値をプロットしたもので、動的実験における耐荷力(支持力)として2.0tを得るためには、埋込み深さは1.35m必要である。

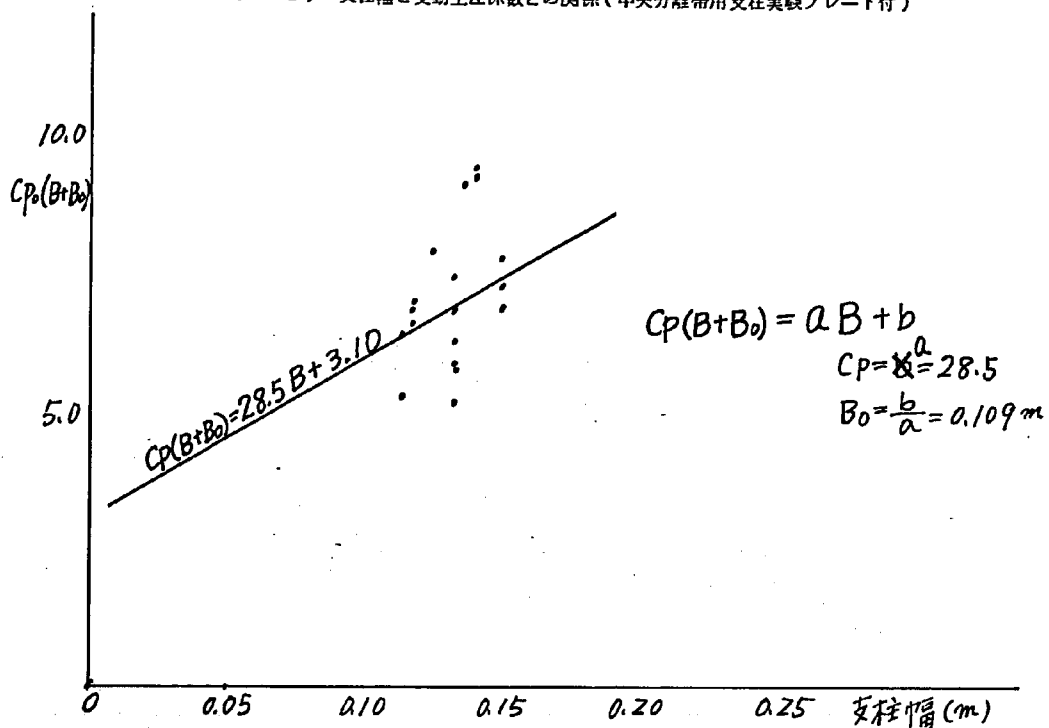
つぎに、シリーズ2の実験から支柱の土中部分にヒズミゲージをはって得られた曲げモーメント分布と理論式より得られたモーメント分布を比べてみる。図(8-18~24)は、理論式より得られた地盤反力分布、剪断力分布、曲げモーメント分布表示を示す。図(8-25~32)に示すように、実験における曲げモーメント分布と計算式による曲げモーメント分布とはよく一致している。

この図からもよくわかるように、支持力が増すに従って曲げモーメント分布が下方に下がり、回転中心が下がる傾向は、理論式からも説明しうる。土が非弾性的な挙動を示していることがその原因である。もし土が完全に弾性体であるとすれば、荷重-変位曲線は直線となり、また曲げモーメント、支柱面変位および地盤反力の値も荷重に比例して大きくなるが、その分布の形は相似をたもち、したがってその最大値やゼロの点などの深度は変わらないはずである。土に非弾性的な部分が生ずると、曲げモーメントなどの分布曲線は次第に下方にひろがってゆく。静的実験で回転中心が上にあがったが、これは支柱が引抜かれ、土中部分が短くなったためであろうと思われる。

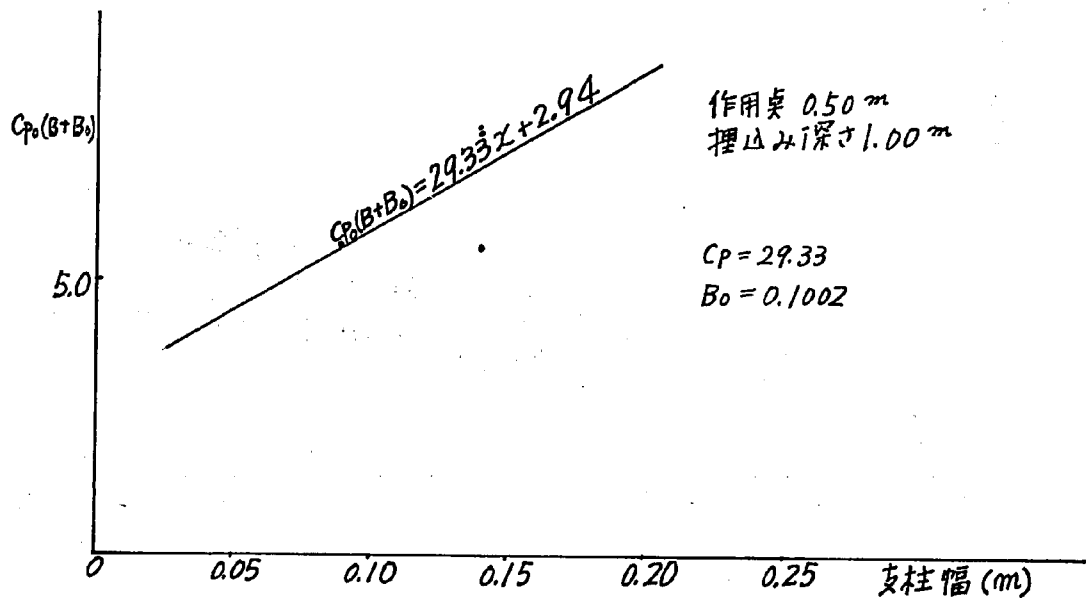
つぎに、支柱のどの位置に根がらみを取付けたらよいかの検討をおこなう。 C_{po} (受動土圧系数)は、中央分離帯実験で根がらみ付の実験をおこなった資料を使い、根がらみ付支柱の計算式にて計算すると、通常国道に設置されている作用点0.60m、埋込み深さ1.30m、支柱幅0.1143mに根がらみ0.30m $\times$ 0.30m $\times$ 0.30mでは、根がらみを深い箇所に取付けても効果がないことが図(8-33)からわかる。地盤面より土中方向へ0.65mが下面になるようにするのが最も効果的である。

これはあくまで理論的であり、実際には地表面が破壊されるために最直点は若干前者よりも深くなる。またこの箇所に取付けた場合、回転中心が上にあって曲げモーメントが大きいために支柱の曲げ剛性が小さい場合、支柱自身に曲がりが生ずる可能性がある。しかし、幅0.1143mの場合は、曲がりが生じることはないと思われる。回転中心が上にあると、作用点の変位量の変化によって支柱頭部の高さが低くなる。図(8-34)は地盤の応力分布の表示を示す。

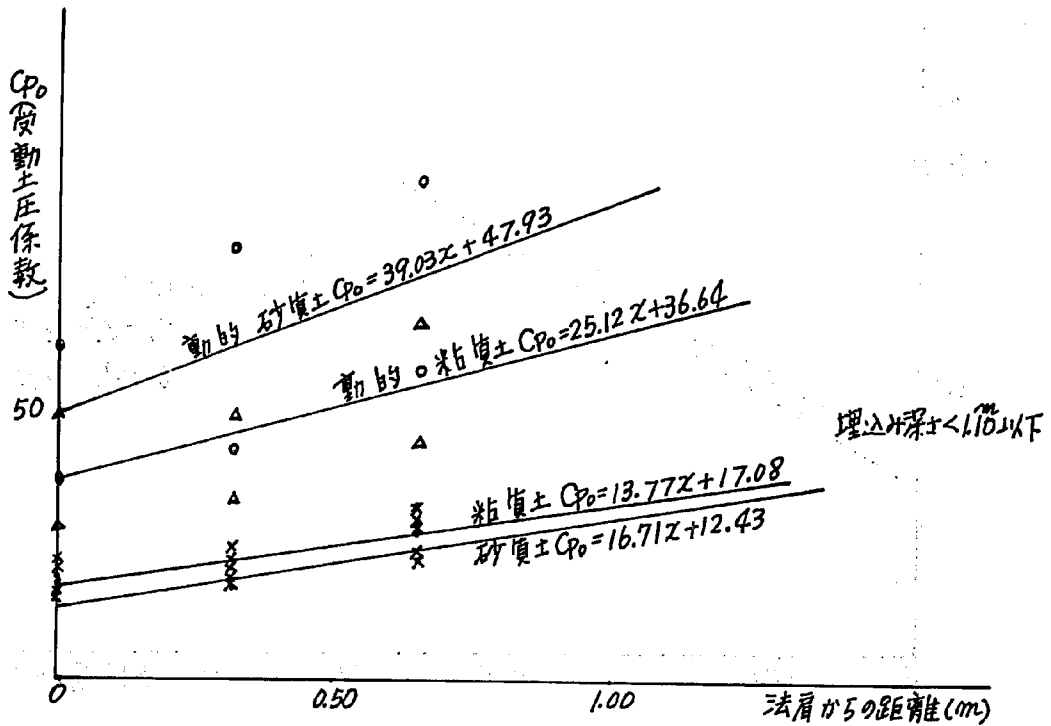
図(8-2) 支柱幅と受動土圧係数との関係(中央分離帯用支柱実験プレート付)



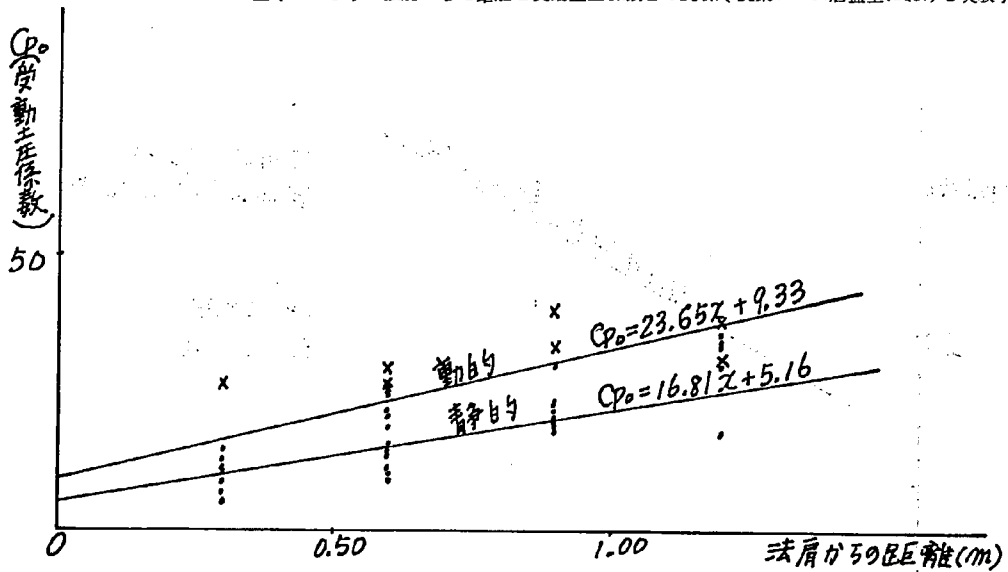
図(8-3) 支柱幅と受動土圧係数との関係(日本鋼管資料)



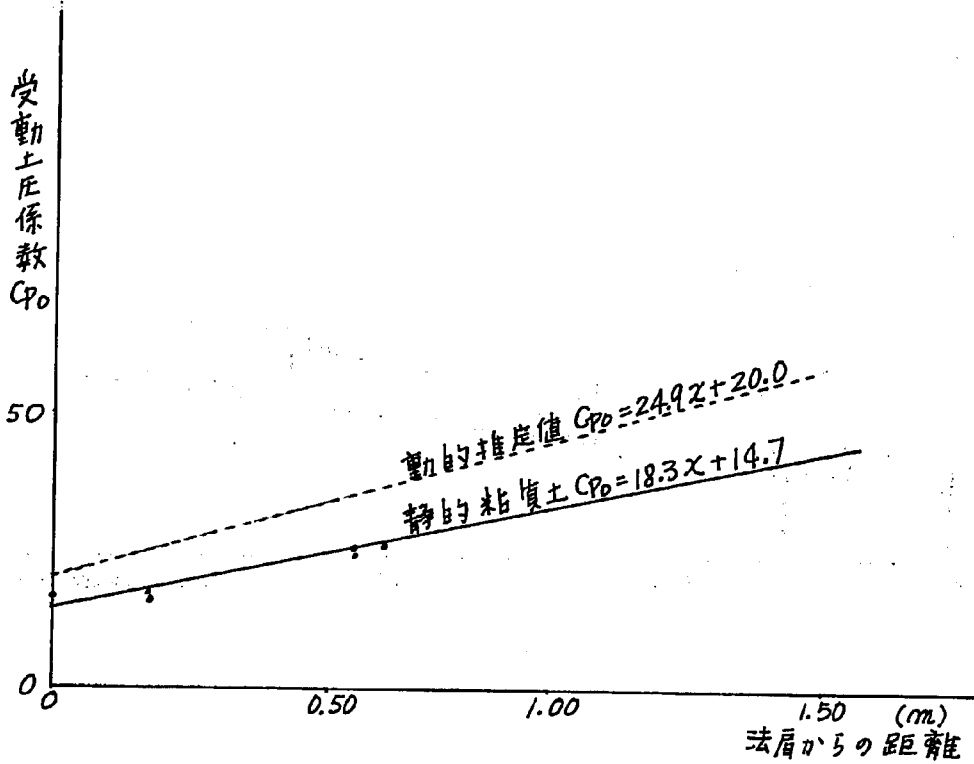
図(8-4) 法肩からの距離と受動土圧係数との関係(土研報告102号)



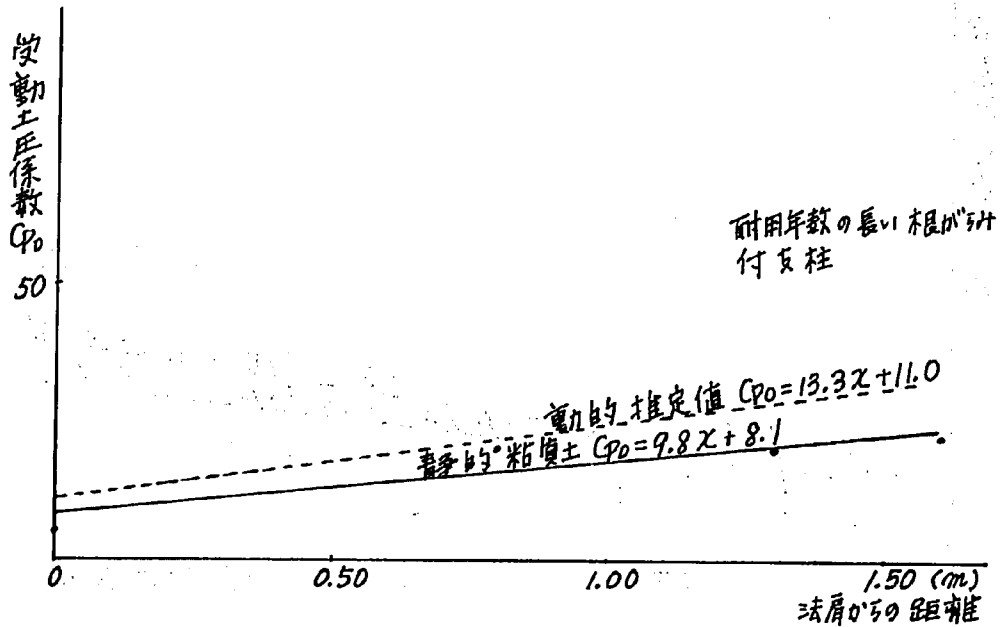
図(8-5) 法肩からの距離と受動土圧係数との関係(関東ローム層盛土における実験)



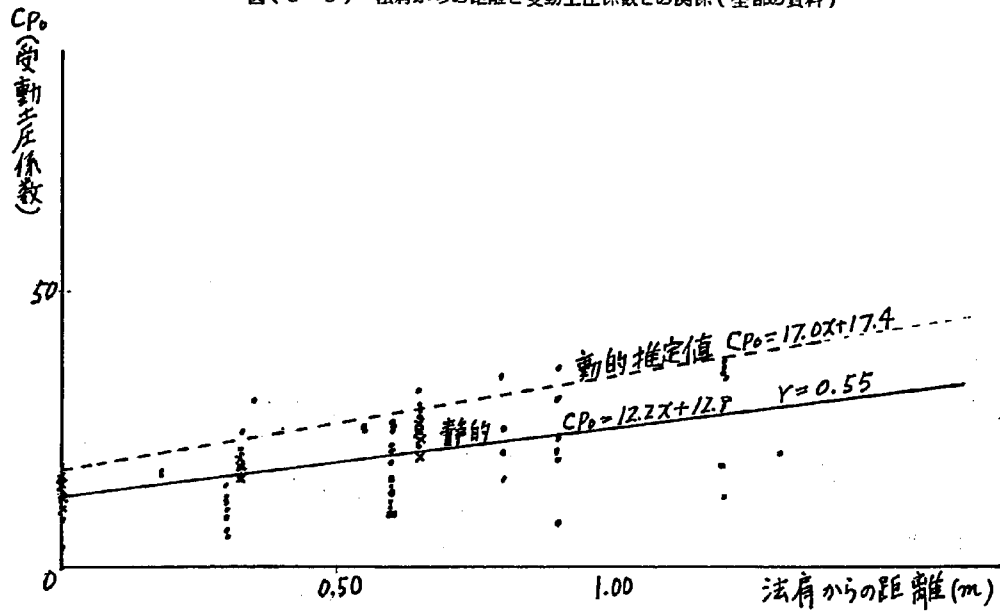
図(8-6) 法肩からの距離と受動土圧係数との関係(国道16号盛土における実験)



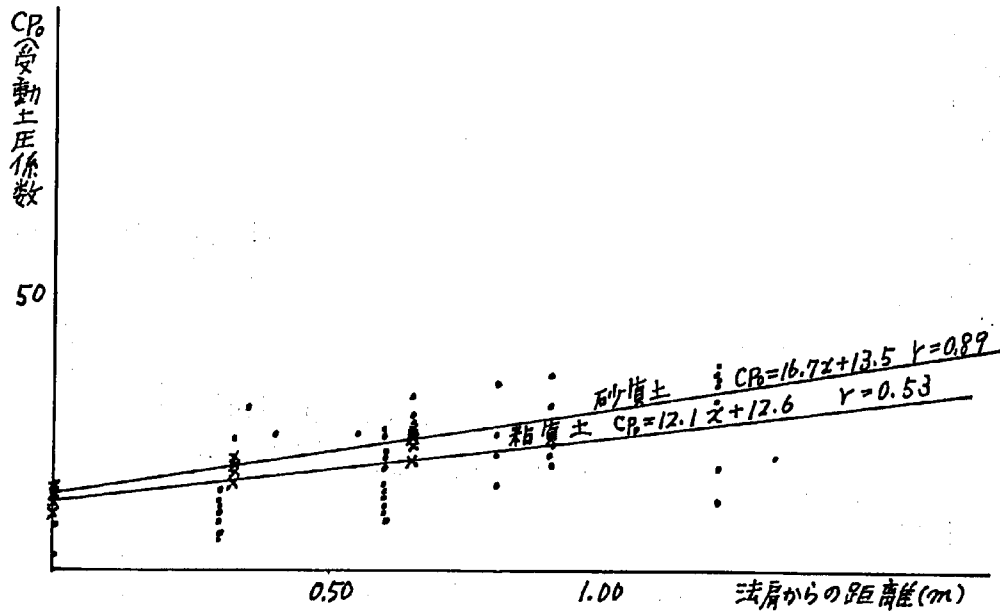
図(8-7) 法肩からの距離と受動土圧係数との関係(国道34号, 53号における実験)



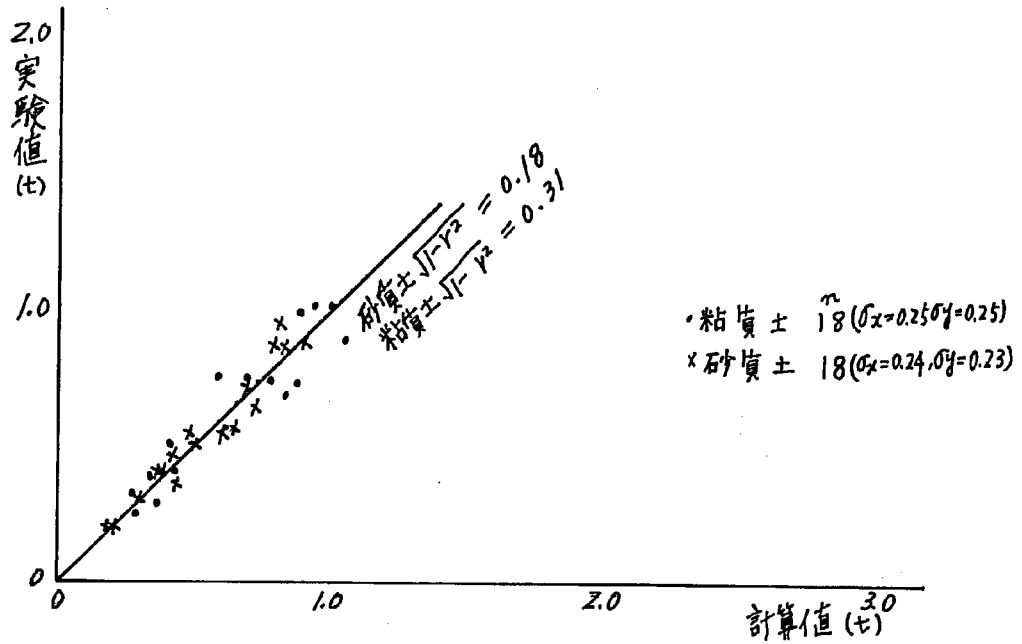
図(8-8) 法肩からの距離と受動土圧係数との関係(全部の資料)



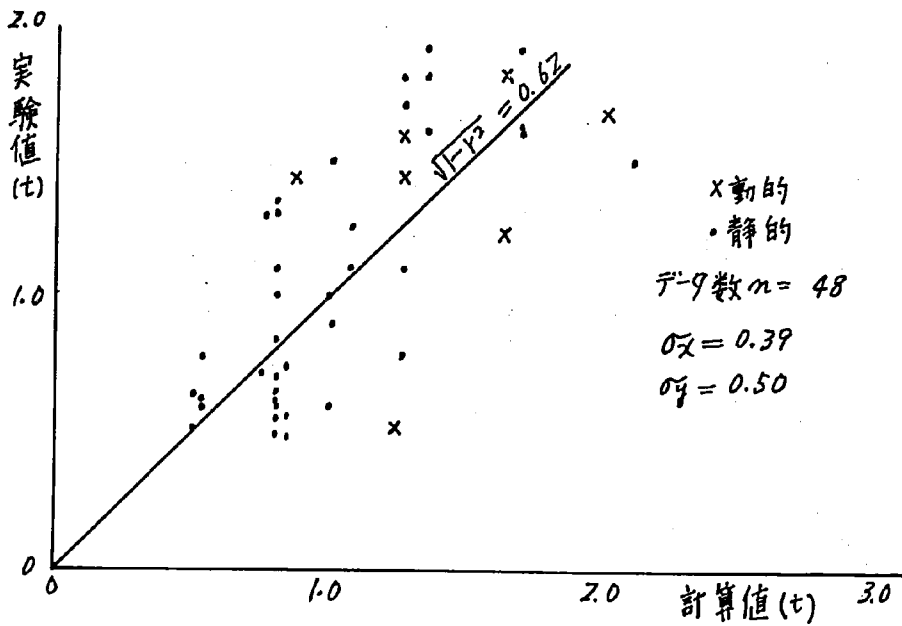
図(8-9) 法肩からの距離と受動土圧係数との関係(全部の資料による)



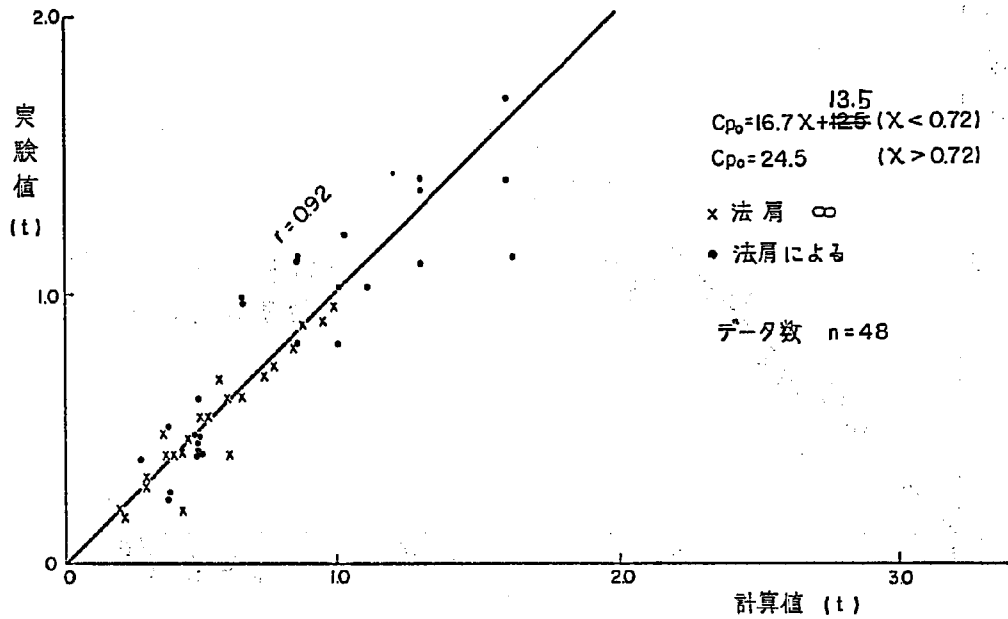
図(8-10) 最大荷重の実験値と計算値との関係(土研102号 静的実験)



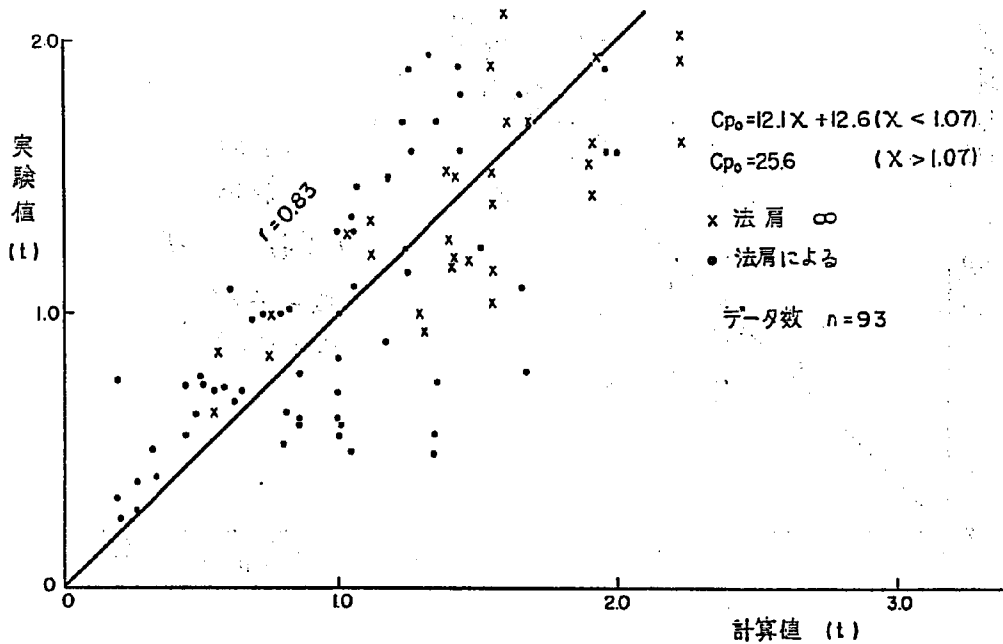
図(8-11) 関東ローム層盛土における実験(昭和41年度)



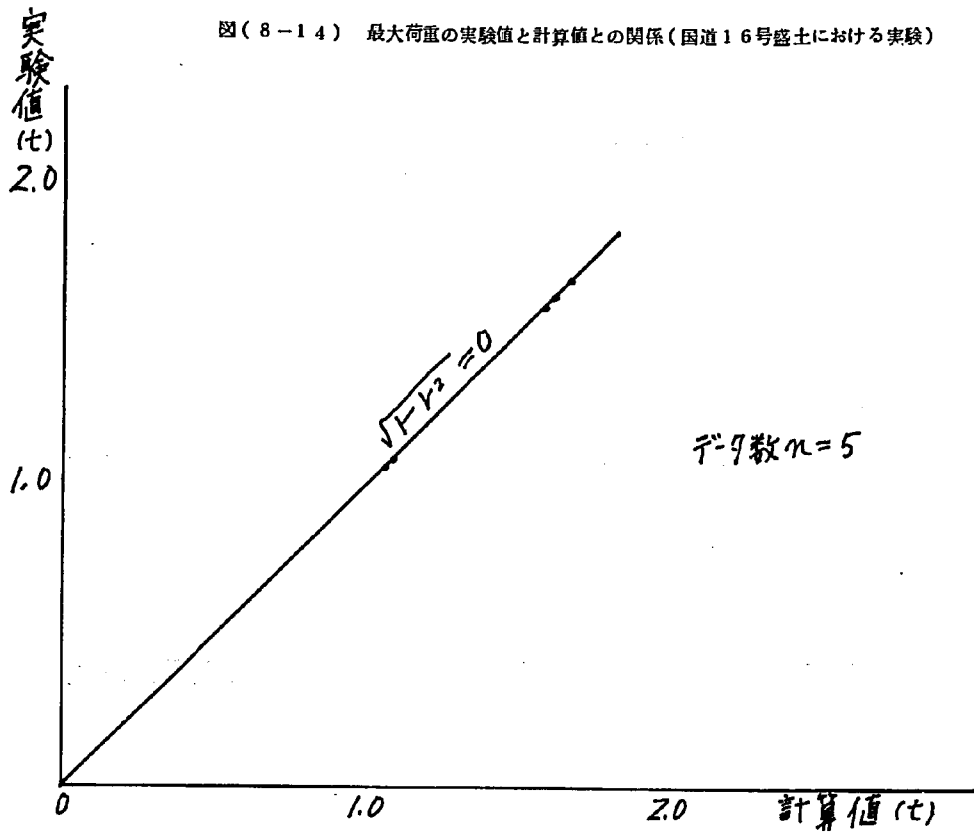
図(8-12) 最大荷重の実験値と計算値との関係(砂質土における全体の資料による)



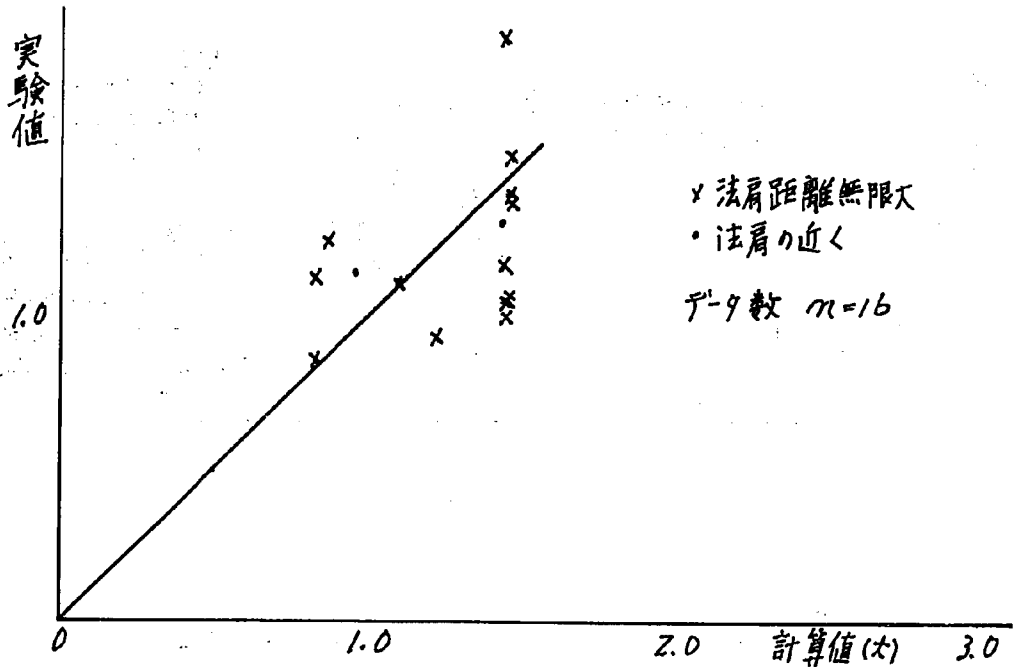
図(8-13) 粘質土における全体の資料による



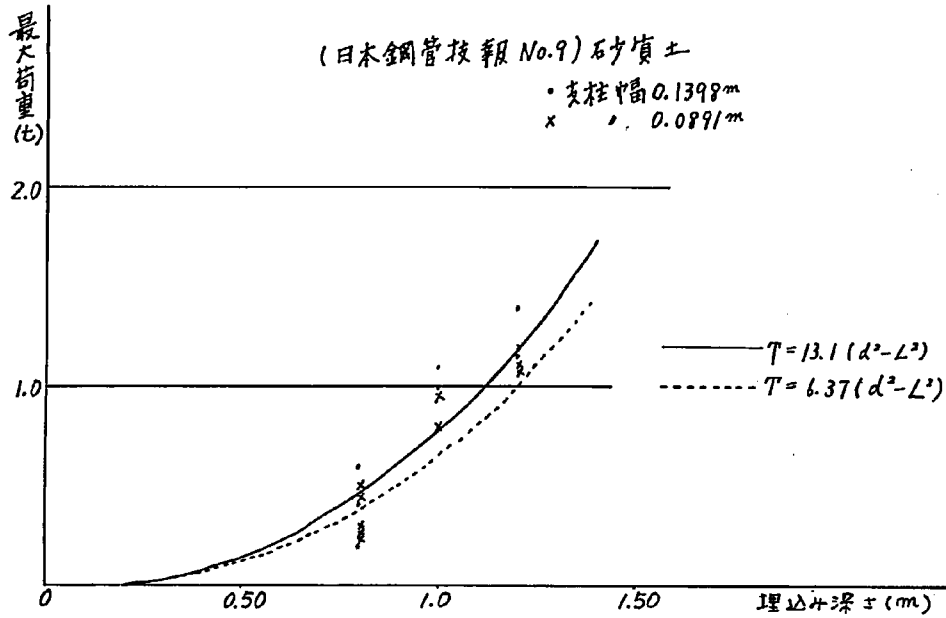
図(8-14) 最大荷重の実験値と計算値との関係(国道16号盛土における実験)



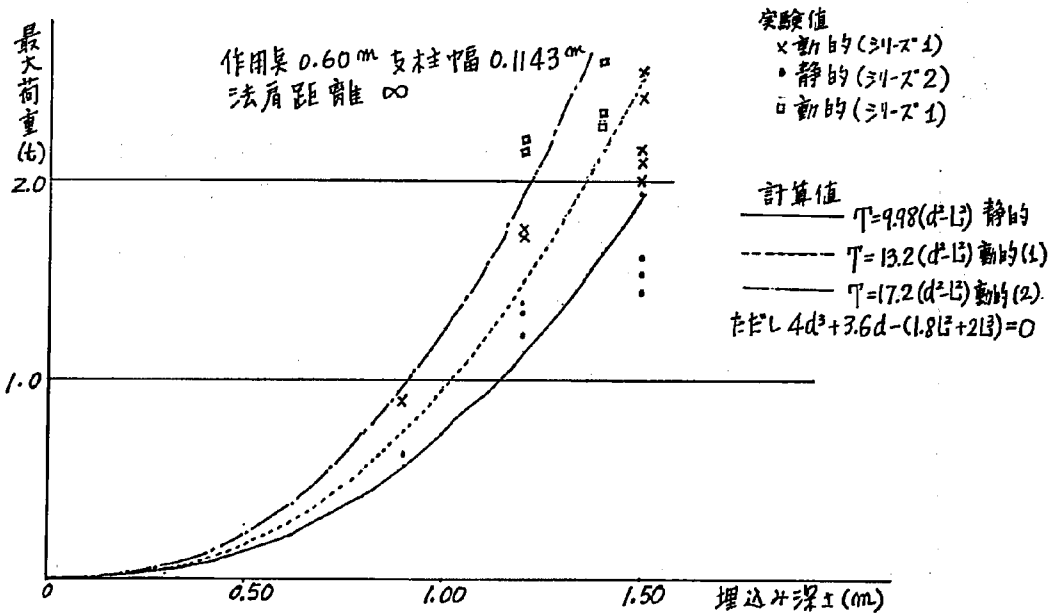
図(8-15) 国道34号・53号における実験



図(8-16) 埋込み深さと最大荷重の関係

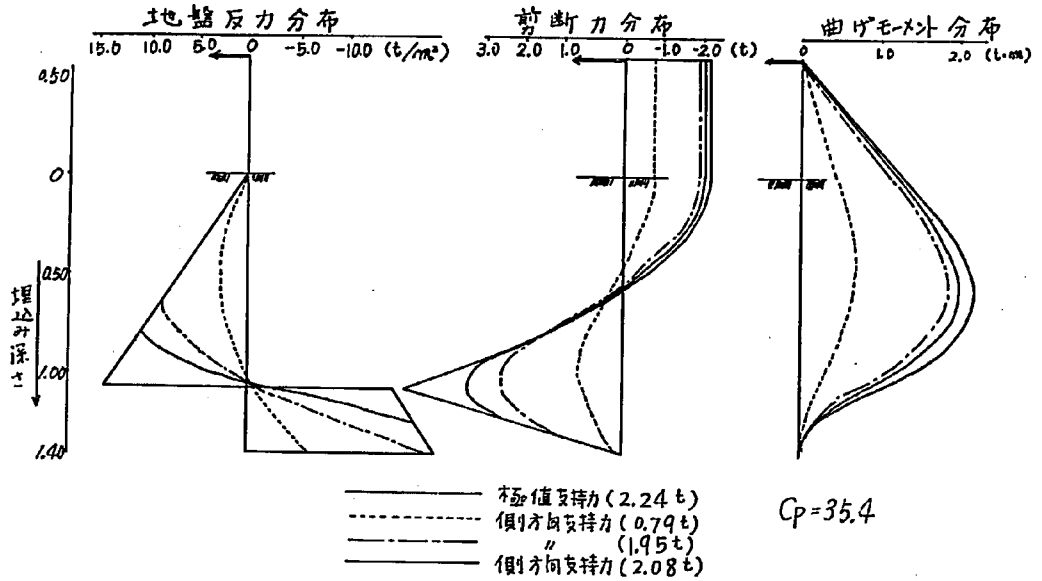


図(8-17) 埋込み深さと最大荷重の関係 (土研関東ローム層盛土)



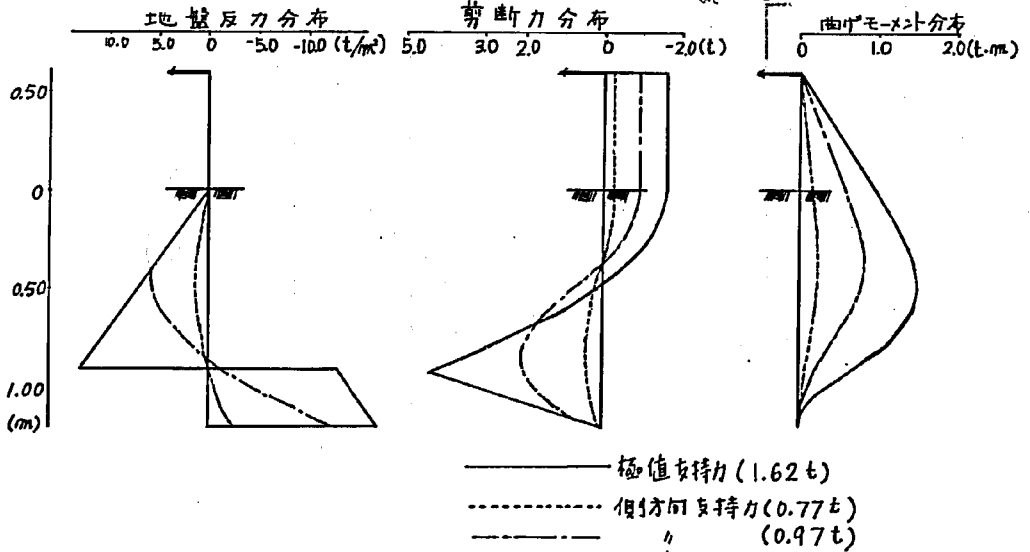
図(8-18) 理論式より求めた地盤反力, 剪断力, 曲げモーメントの分布

実験 2(3) 作用長 0.60 m
埋込み深さ 1.40 m



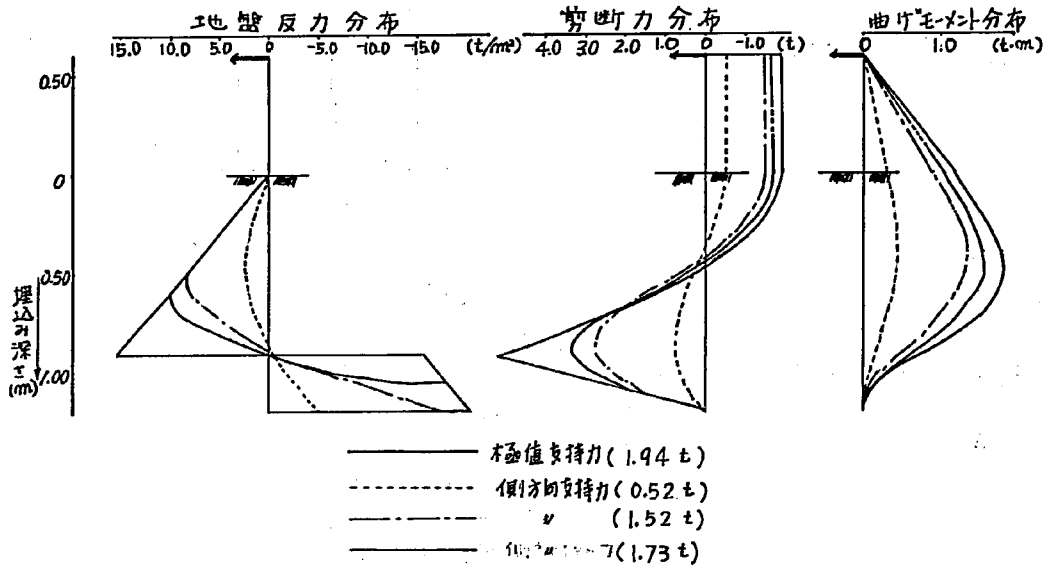
図(8-19) 理論式より求めた地盤反力, 剪断力, 曲げモーメントの分布

実験 2(4) 作用長 0.60 m
埋込み深さ 1.20 m $C_p = 37.07$



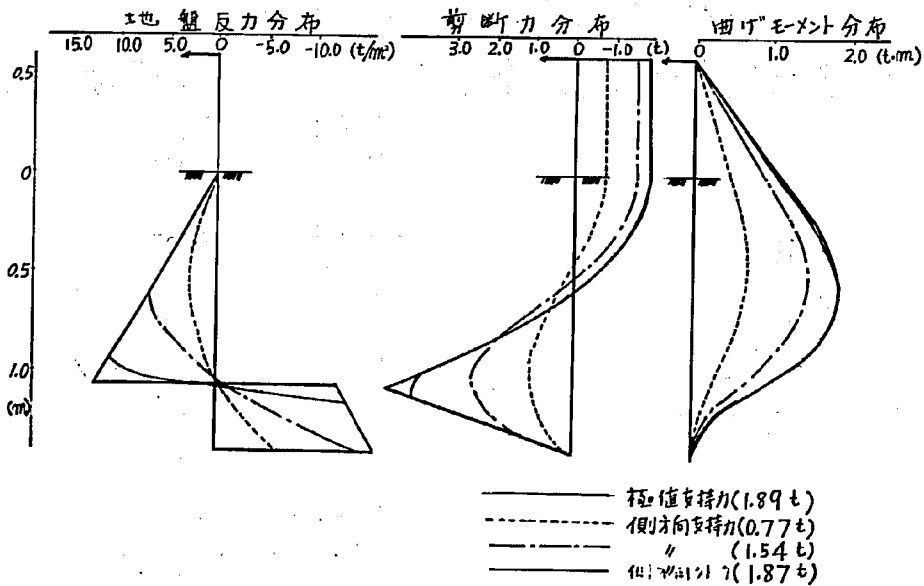
図(8-20) 理論式より求めた地盤反力, 剪断力, 曲げモーメントの分布

実験2(5) 作用長 0.60 m
埋込み深さ 1.20 m $C_p=44.4$



図(8-21) 理論式より求めた地盤反力, 剪断力, 曲げモーメント分布

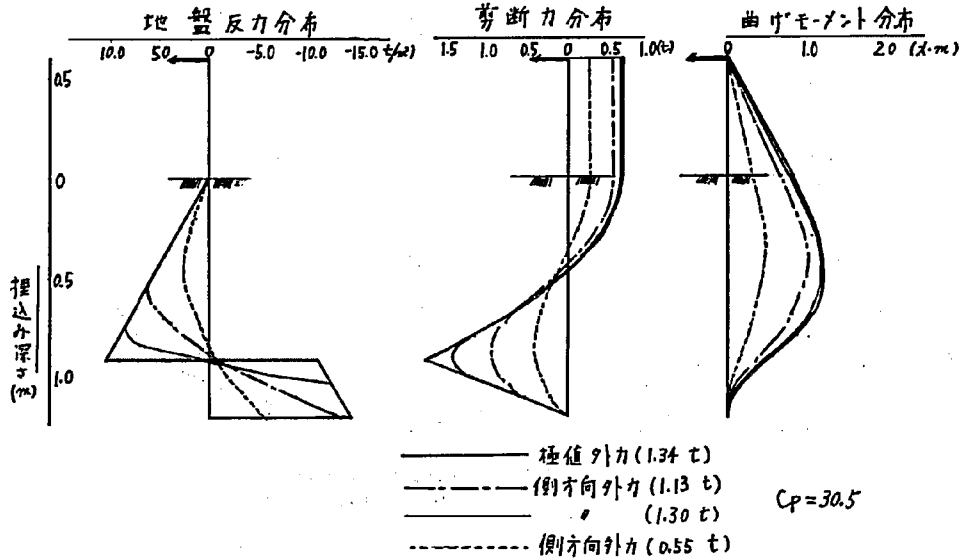
実験3(6) 作用長 0.60 m
埋込み深さ 1.20 m $C_p=29.9$



図(8-22) 理論式より求めた地盤反力, 剪断力, 曲げモーメント分布

実験 3(7)

作用長 0.60 m
埋込み深さ 1.20 m

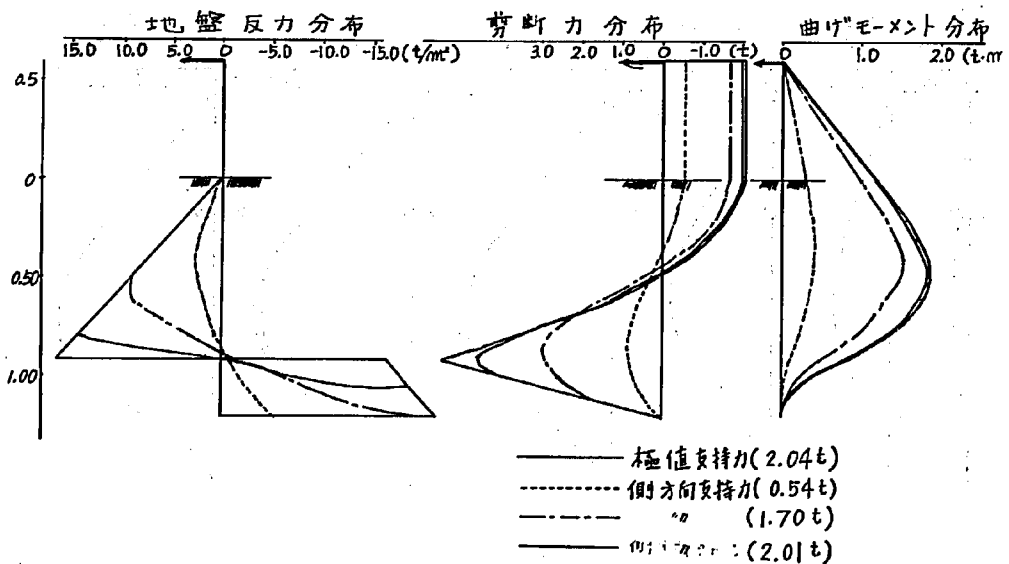


図(8-23) 理論式より求めた地盤反力, 剪断力, 曲げモーメント分布

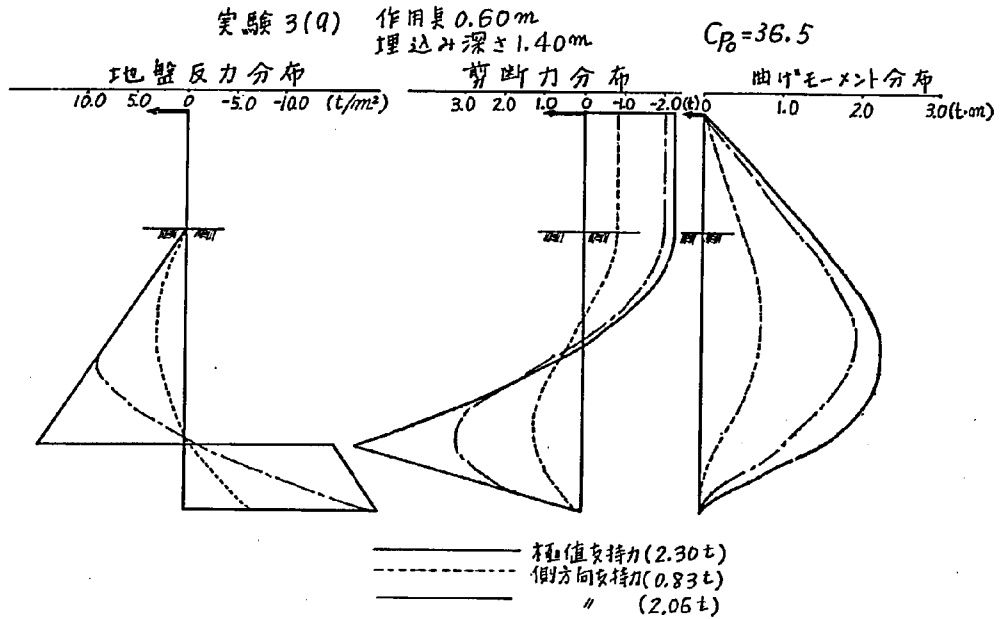
実験 3(8)

作用長 0.60 m
埋込み深さ 1.20 m

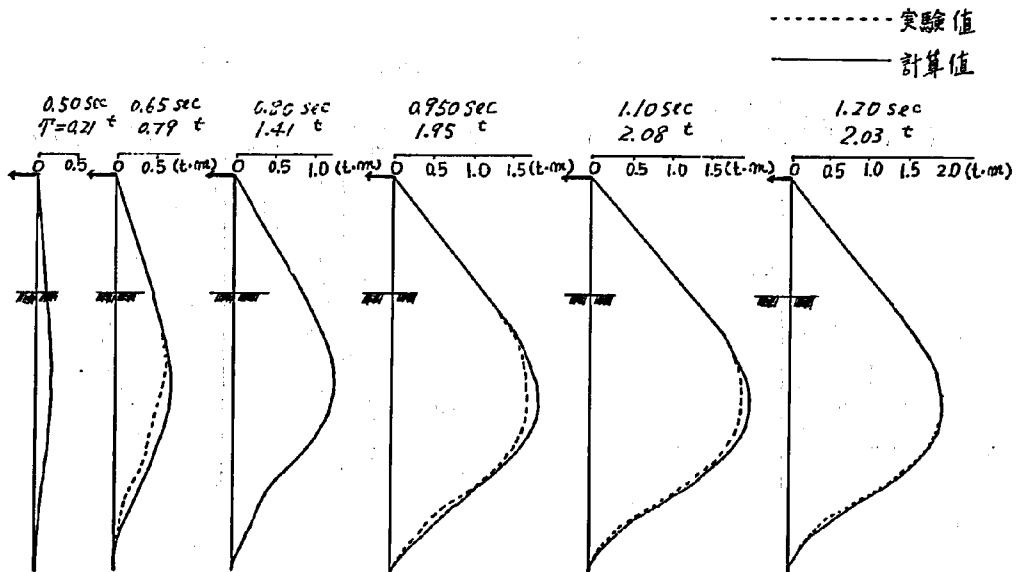
$C_p = 87.2$



図(8-24) 理論式により求めた地盤反力、剪断力、曲げモーメント分布



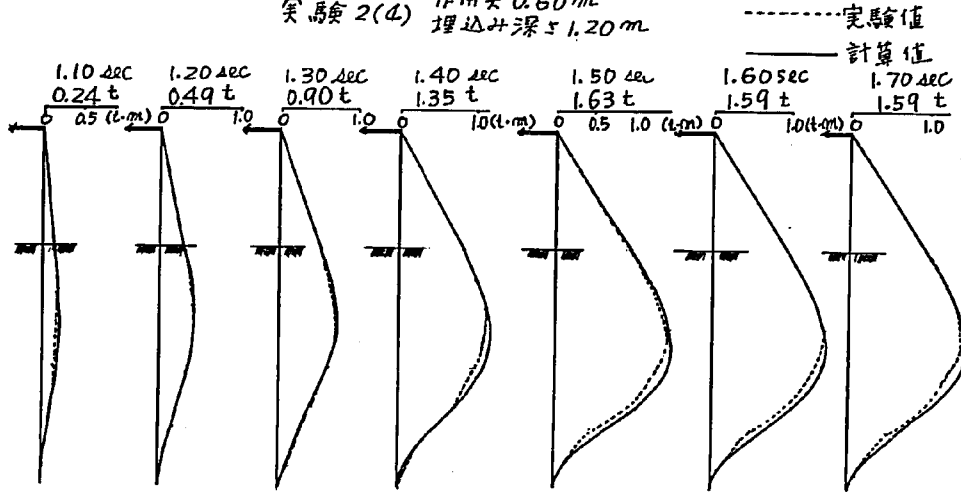
図(8-25) 動的実験における曲げモーメントと計算値との比較 作用点 0.60 m
実験 2(3) 埋込み深さ 1.40 m $C_p = 35.4$



図(8-26) 動の実験における曲げモーメントと計算値との比較

$C_p = 3\%$

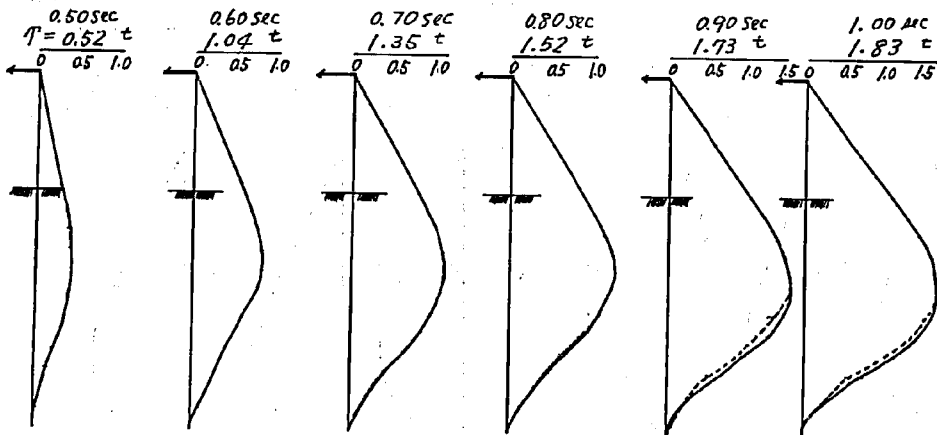
実験 2(4) 作用長 0.60 m
埋込み深さ 1.20 m



図(8-27) 動の実験における曲げモーメントと計算値との比較

実験 2(5) 作用長 0.60 m
埋込み深さ 1.20 m

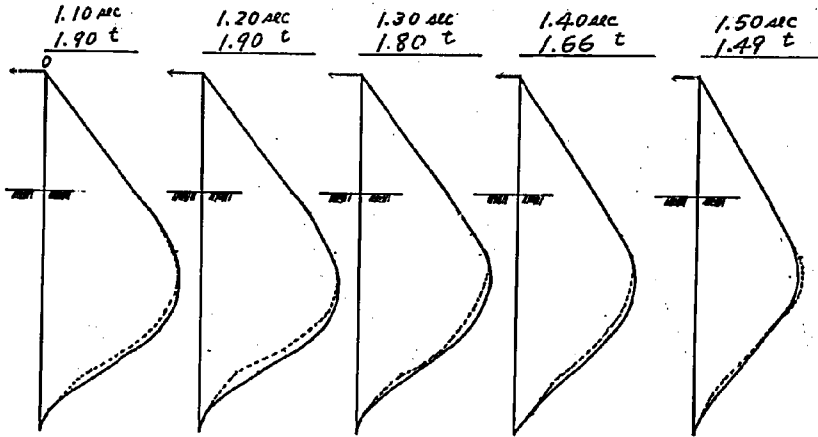
$C_p = 44.4$ ----- 実験値
—— 計算値



図(8-28)

作用長 0.60 m
実験 2(5) 埋込み深さ 1.20 m

(No. 2)

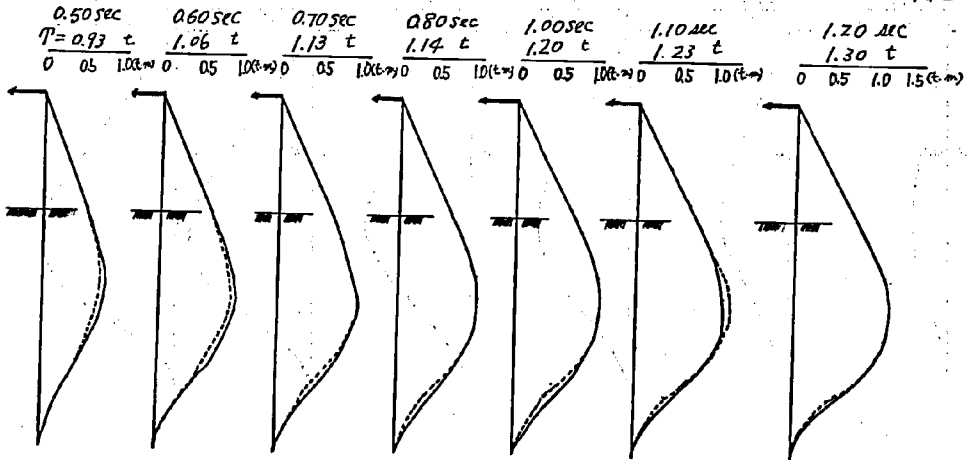


図(8-29) 動の実験における曲げモーメントと計算値との比較

実験 3(7) 作用長 0.60 m
埋込み深さ 1.20 m

$C_p = 20.5$

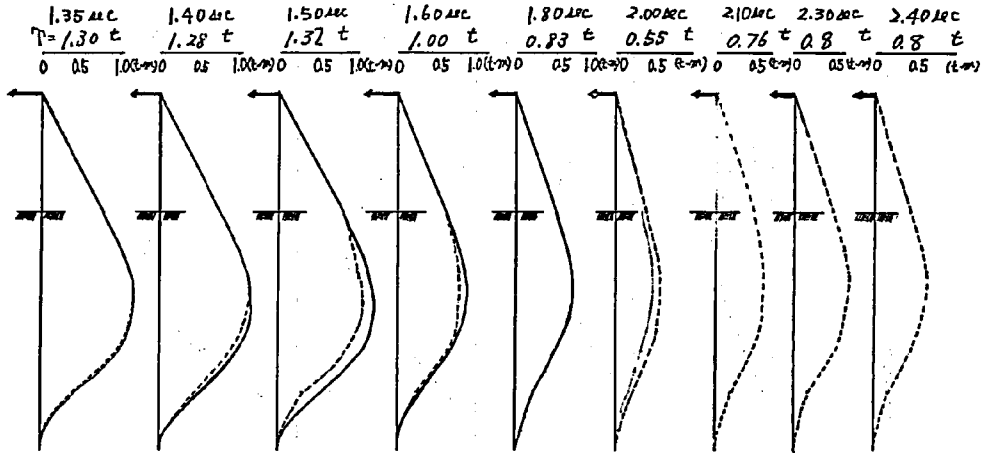
----- 実験値
————— 計算値



図(3-30)

作用長 0.60 m
実験 3(7) 埋込み深さ 1.20 m

$$C_B = 30.5$$

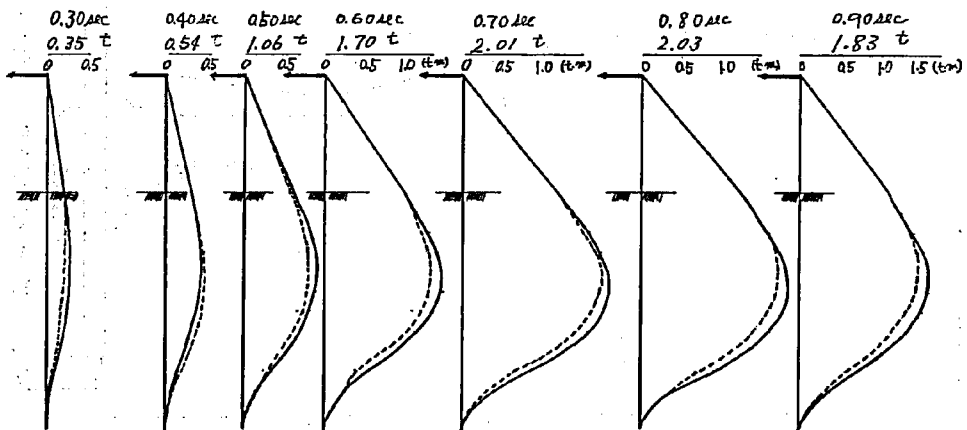


図(8-31) 動的実験における曲げモーメントと計算値との比較

実験 3(8) 作用長 0.60 m
埋込み深さ 1.20 m

$$C_B = 32.0$$

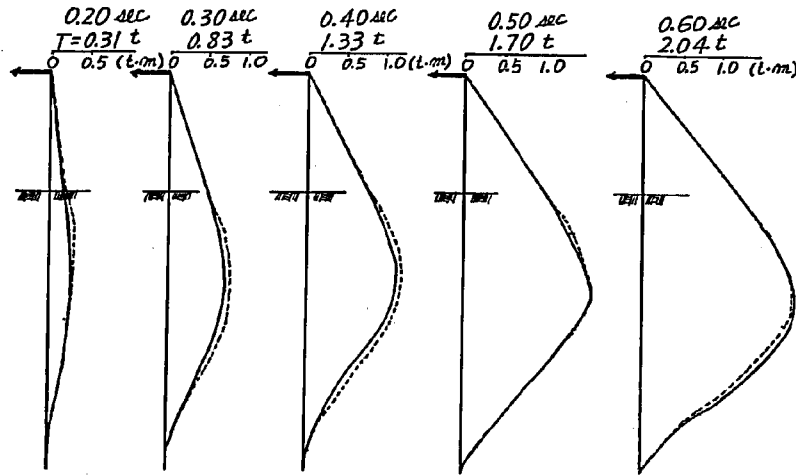
----- 実験値
————— 計算値



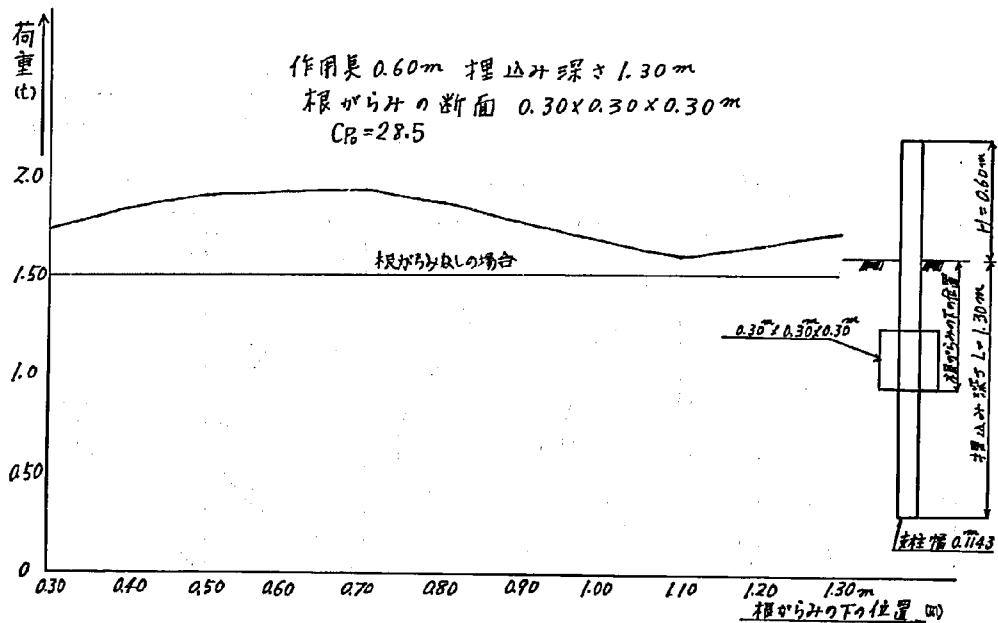
図(8-32) 動の実験における曲げモーメントと計算値との比較

実験3(9) 作用長 $0.60m$ 埋込み深さ $1.40m$ $C_B=36.5$

----- 実験値
————— 計算値

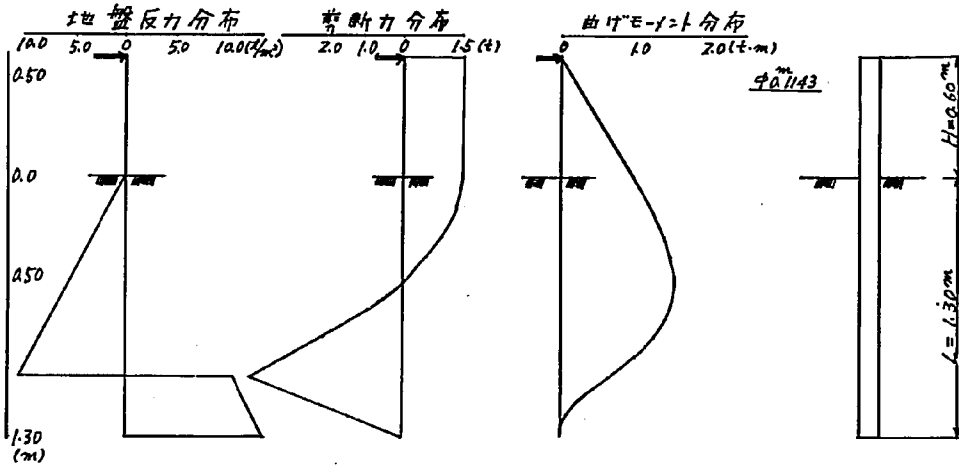


図(8-33) 根がらみの位置と最大荷重との関係



図(8-34) 計算による地盤の応力分布, 剪断力, 曲げモーメント

作用長 0.60m 埋込み深さ 1.30m
根がらみ係数 $C_R = 28.5$



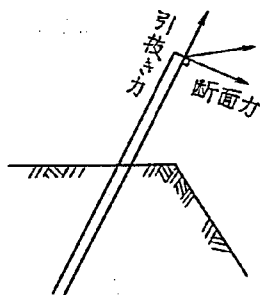
最大荷重 1.516 t
回転中心 0.991 m

9. 結 論

9-1 動的実験と静的実験の比較

- ① 動的実験において、防護柵の回転中心（地盤反力が零の位置）は変化しない。しかし静的実験の場合に、回転中心は上にあがる傾向を示す。（P 図6-17）
- ② 動的実験では、作用点の変位量20cmで最大支持力にたっている。静的実験では40cmである。
（P 図6-15～16）
- ③ 動的実験と静的実験の最大荷重の関係を回帰直線で示すと41年度の実験では $y = 1.40x$ である。また43年度、44年度の実験では $y = 1.36x$ で表わすことができる。（P 図6-11）
- ④ 粘土質（関東ローム層盛土）では、埋込み深さ1.20m以下であるときに最大荷重にばらつきが大きい。
（P 表6-8～9）
- ⑤ 支柱の支持力としては、初めは回転角が小さいために断面力だけが働くが回転角が大きくなると断面力だけでなく引抜き力も比例して大きくなる。そのために埋込み深さの短い支柱は大きな変位では引抜かれる可能性がある。埋込み深さ1.30m以下の場合、変位量60cmぐらいで断面力より引抜き力が大きくなる。（P 図6-29）

図(9-1)



9-2 土圧理論式の検討

土圧理論式において、耐荷力は

$$T = C_p \cdot B \cdot \gamma_s \cdot f(H, L) = C_{p0} (B + B_0) \gamma_s \cdot f(H, L)$$

で表わされる。ここで $C_{p0} = F(S, \beta_s, \beta_d, \alpha)$ である。記号を示すと C_p = 受動土圧係数、 B : 支柱幅、 γ_s : 土の密度

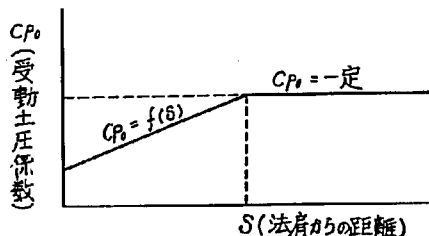
B_0 : 支柱の初期幅、 C_{p0} : 初期幅を考えた受動土圧係数、 H : 作用点、 L : 埋込み深さ、 S : 法肩からの距離、 β_s : 静的荷重、 β_d : 動的荷重、 α : 土質による係数 以上である。条件として、支柱は曲がりが生じなく、土の変形により動くとは定する。

関東ローム層盛土での実験で、支柱にゲージをはって得た曲げモーメント分布と土圧理論式による曲げモーメント分布とよく一致している。（P 図8-28～35）

いままでの実験結果と理論式より得た受動土圧係数 C_{p0} と法肩からの距離 S との関係を回帰直線で表わすと表(9-1)のようになる。

ところで、図(9-2)に示すように受動土圧係数 C_{p0} が法肩からの距離 S に関係しなくなったときに一定になるとした。法肩からの距離が無窮大における実験結果の平均値と法肩からの距離が関係している実験結果からの回帰直線にいく違いがあるがわずかである。これらの回帰直線に対してどのぐらいのばらつきがあるか調べてみると粘質土では大きい。（P 図8-13～18）

図(9-2)



表(9-1)

実験箇所	土質	法肩からの距離 無限大				法肩からの距離との関係		備考
		静的	データ数	動的	データ数	動的・静的	データ数	
関東ローム層 盛土実験	粘質土	—	—	—	—	静的 $C_{po}=16.8x+5.2$	33	41年度 土木研究所内
		—	—	—	—	動的 $C_{po}=23.6x+9.3$	7	盛土実験施設
		30.3	—	41.2	—	—	—	43年度 "
		—	—	46.9	6	—	—	44年度 "
国道 34・35号	粘質土	24.2	15	—	—	静的 $C_{po}=9.8x+8.1$	4	耐用年数の長い 根がらみ付(45年度)
国道 16号	粘質土	—	—	—	—	静的 $C_{po}=18.3x+14.7$	6	国道16号線 切土部(45年度)
土木研究所・古川電工	粘質土	26.7	8	—	—	—	—	
土研 102号 報告	粘質土	—	—	—	—	静的 $C_{po}=13.8x+19.1$	18	埋込み深さ 1.10m以下
	砂質土	—	—	—	—	静的 $C_{po}=16.7x+12.4$	18	
日本鋼管技報 69	砂質土	23.2	6	—	—	—	—	
日本鋼管 NNK 式	砂質土	26.3	18	—	—	—	—	
中央分離帯 支柱実験	砂質土	—	—	29.8	19	—	—	45年度 プレート付等
全体的実験結果による	砂質土	24.5	26	—	—	静的 $C_{po}=16.7x+13.5$	22	交点 $x=0.72$
	粘質土	25.6	62	—	—	静的 $C_{po}=12.1x+12.1$	31	交点 $x=1.07$

砂質土、粘質土、支柱幅、法肩からの距離、静的、動的別において埋込み深さと最大支持力(耐荷力)の関係を示すと図(9-3~4)である。防護柵設置要綱の73頁に示されている支柱1本当りに加わる力とこの計算値を種別ごとに比較してみると表(9-2)のようになる。

表(9-2)

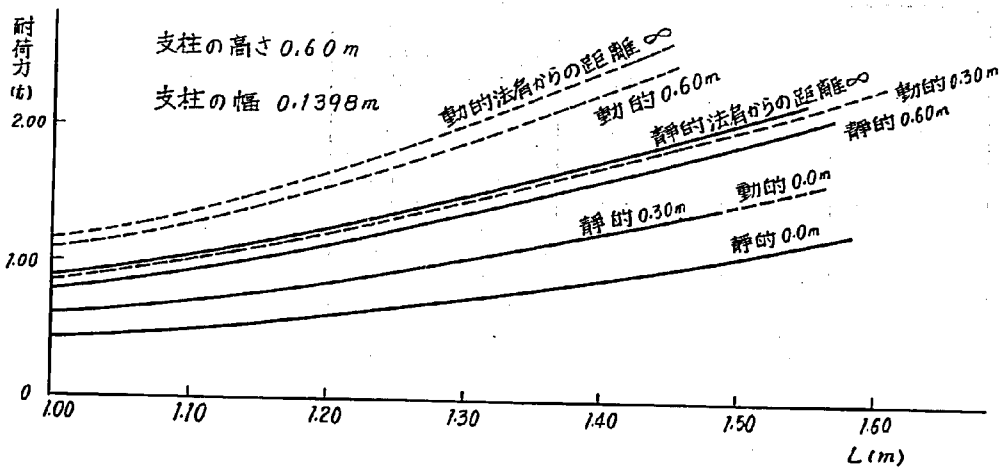
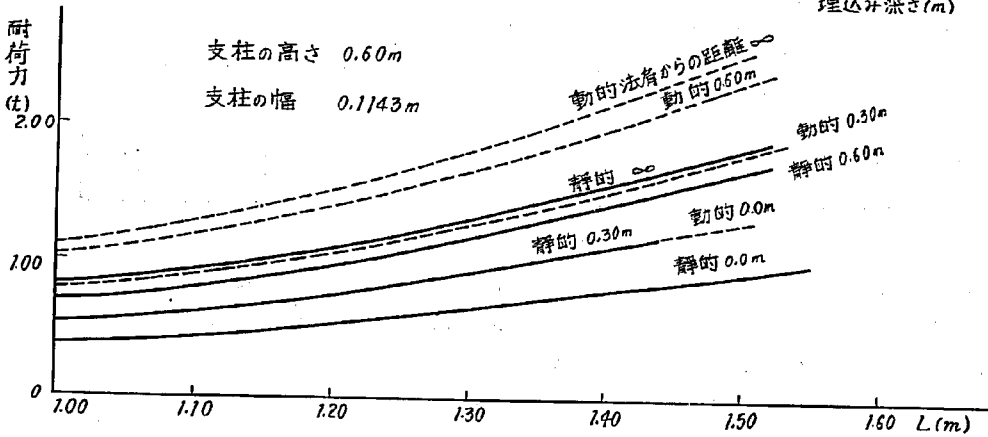
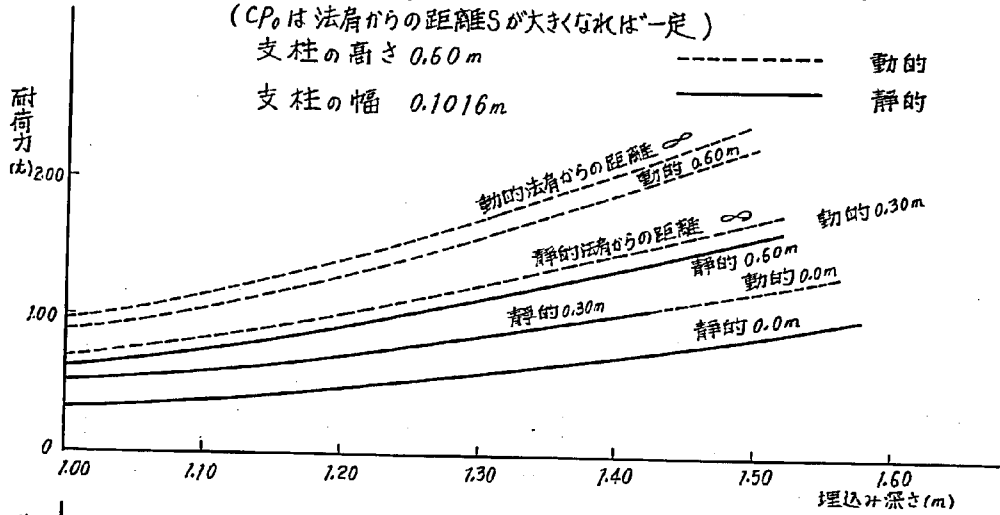
種別		値 t			
		A 139.8mm 1.65m	B 139.8mm 1.50m	C 114.3mm 1.40m	C 101.6mm 1.35m
防護柵設置要綱 (土中)		1.6	1.3	0.9	0.7
静的荷重	粘質土	1.4	1.1	0.8	0.7
動的荷重	粘質土	1.8	1.4	1.1	0.9
静的荷重	砂質土	1.4	1.1	0.8	0.
動的荷重	砂質土	1.9	1.6	1.2	1.0

図(9-3)

石質土における法肩からの距離、埋込み深さと耐荷力との関係
(CP_0 は法肩からの距離 S が大きくなれば一定)

支柱の高さ $0.60m$

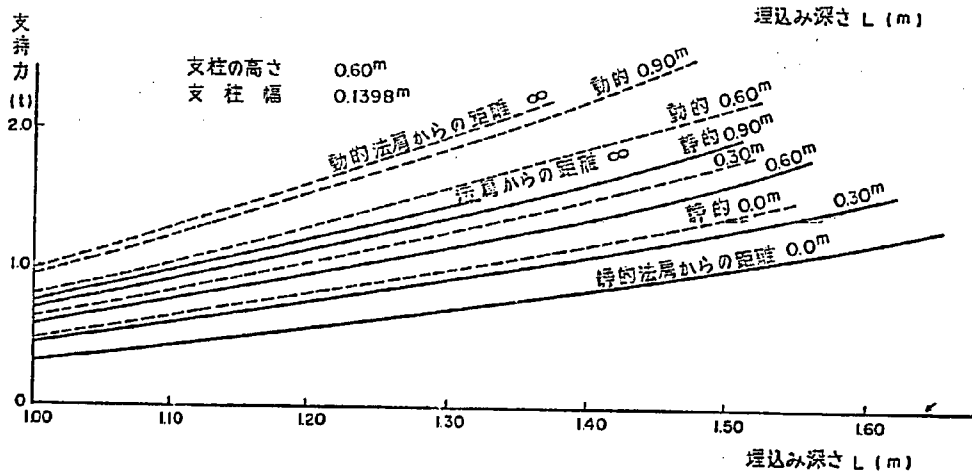
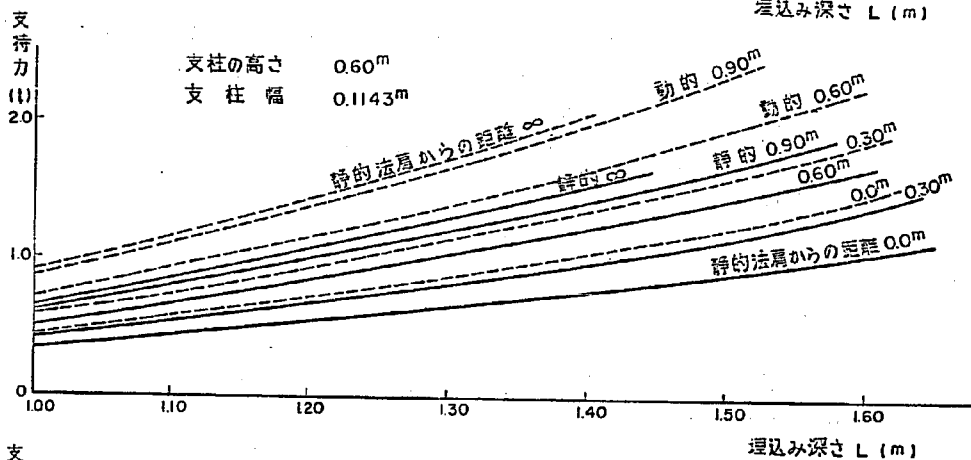
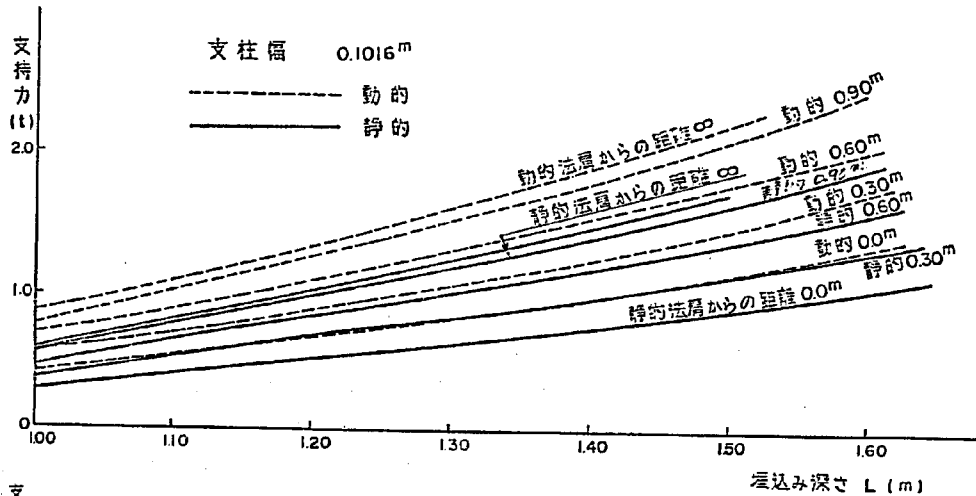
支柱の幅 $0.1016m$



図(9-4) 粘質土における法肩からの距離

埋込み深さと耐荷力との関係

(CP₀は法肩からの距離Sが大きくなれば一定)



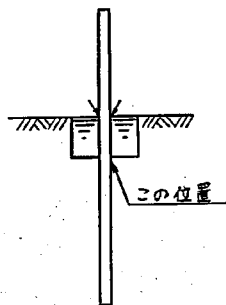
要綱にかかっている支持力は、静的と動的荷重の間にほとんどおさまる。

根がらみ付防護柵支柱について理論式を適用してみると、通常一般国道に設置されているタイプで作用点 0.60 m 、埋込み深さ 1.30 m 、コンクリート根がらみ $0.30 \times 0.30 \times 0.30\text{ m}$ の場合、根がらみの下の位置が 0.65 m に取付けた時が最も効果的である。(P 図 8-36) これはあくまで理論的であるために実際は若干深い方が適当であろう。またこれは、法肩からの距離が無限大であるときである。

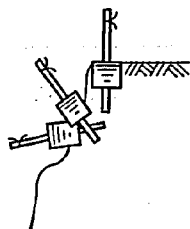
9-3 その他

- ① 実車衝突実験で、しばしば衝突車の車輪がもぎとられた例があった。そこで、直角方向強、平行方向弱の概念を取り入れ、角形と I 型支柱にプレートを取り付けて支柱動的引張実験をおこなった。(P)
実験結果から角形より I 型鋼にプレートを二枚より一枚取り付けた場合が効果的である。
- ② 根がらみ付でない支柱は、設置後において使用年数が長くなると支柱自身が沈下する傾向がある。
- ③ 使用年数の長い径の小さい支柱でコンクリート根がらみの下の位置で錆が生じていることがある。国道で実験をおこなったとき、この位置で曲りが生じ支持力が小さかった。

図(9-5)



図(9-6)



これは、空気と水が交互に触れるために生じるようである。そこで設置する場合に十分な防錆をしなければならない。

- ④ 法肩からの距離がなく、法肩勾配が急な場合、支柱にコンクリート根がらみを取付けたとしても背面には抵抗土がなく、地形上変位を抑制するものではなく、下端を中心として回転し倒れるようである。そこで安全なために法肩からの支柱の中心まで 50 cm 以上にするか、または埋込み深さを深くする方が効果的である。

参 考 文 献

- 伊吹山・佐藤 : 道路用ガードレール支柱の側方向耐荷力に関する実験(土木研究所報告) Jan. 1959
- 枝 村 俊 郎 : ガードフェンスの研究(建設工学研究所) 昭和43年3月
- 久 保 浩 一 : 短杭の横抵抗(港湾技術研究所報告) Vol. 5
- 土 木 学 会 : 振動便覧
- 土木研究所資料371号: アルミニウム合金製ガードレール実験報告資料(建設省土木研究所 昭和43年3月)
- 土質工学会 : 鋼グイの横抵抗に関する研究
- エヌ・カ・ス・ニトロ : 静・動土圧(産業図書 昭和42年7月訳書)
- 横 山 幸 満 : 鋼杭の設計と施工(山海堂 昭和38年3月)
- Broms. B. B : Lateral Resistance of Piles in Cohesive soils (Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proc. of A.S.C.E March, 1964 P27~63)
- Broms. B. B : Lateral Resistance of Piles in Cohesive soil (Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proc. of the A.S.C.E, May 1964 P123~156)
- P. G ホール : 初等統計学(培風館) 昭和38年9月
- 近 藤 次 郎 : 技術者・研究者のための応用数学(上). 丸善 昭和40年4月
- 日本道路協会 : 防護柵設置要綱 昭和42年12月

付 録

1. 用いた計算式

1-1 均一な支柱の支持力

まず誘導するにあたって主な共通符号を記入すると

T : 横方向外力 (t)

B : 支柱の径又は支柱の幅 (m)

x : 地盤面からの深さ (m)

H : 作用点又は着力点 (m)

P : 深さ x における支柱の単位面積当りの地盤反力 (t/m²)

(P_B) : 深さ x における支柱の単位長さ当りの地盤反力 (P_B) = P × B (t/m²)

γ : 土の有効単位体積重量 (t/m³)

C_p : 受動土圧係数

L : 支柱の根入れ長さ又は埋込み深さ (m)

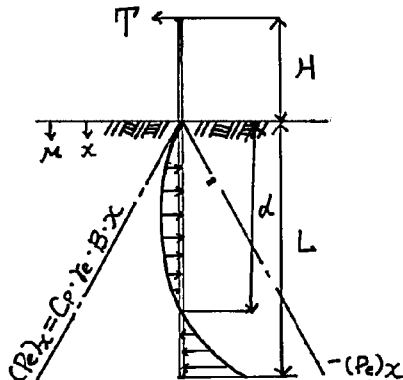
d : 地盤反力は 0 になる深さ又は回転中心 (m)

S_x : x における剪断力 (t)

M_x : 深さ x における曲げモーメント (t・m)

(P_e)_x : 深さ x における転倒又は破壊方程式 (t/m²)

1-1-1 放物線表示



この場合においては転倒荷重における破壊方程式

$$(P_e)_x = A_x$$

ここで $A = C_p \cdot \gamma \cdot B$ とすると放物線表示 $(P_B) =$

$a_1 x^2 + b_1 x$ との関係について

$$\frac{d(P_e)_x}{dx} \geq \frac{d(P_B)_x}{dx} \quad \text{..... (1)}$$

の条件が成立する場合は

$(P_B) = a_1 x^2 + b_1 x$ としておこなう

(1) 地盤反力

まず力の釣合条件により

$$T = \int_0^L (a_1 x^2 + b_1 x) dx = \frac{1}{3} a \cdot L^3 + \frac{1}{2} b \cdot L^2 \quad \text{..... ①}$$

モーメントの釣合条件より

$$-T \cdot H = \int_0^L (a_1 x^2 + b_1 x) dx \quad \text{..... ②}$$

これより

$$-T \cdot H = \frac{1}{4} a_1 L^4 + \frac{1}{3} b_1 L^3 \quad \text{..... (2')}$$

①と②'より未知数 $a \cdot b$ を求めると

まず

$$b = \frac{18TL + 24TH}{L^3} \quad \text{..... (1-1)}$$

同様にして

$$a = -\frac{24TL + 36TH}{L^4} \quad \text{..... (1-2)}$$

この2式より $(P_B)_x$ に代入すれば地盤反力は得られる。

(2) 曲げモーメント及剪断力の関係について

剪断力は地盤反力を一回積分と曲げモーメントは二回積分すると求めることができる。

(a) 剪断力

・ $0 \leq x \leq L$ において

$$S_x = S_L + \int_L^x (a_1 u^2 + b_1 u) du = S_L + \frac{1}{3} a_1 (x^3 - L^3) + \frac{1}{2} b_1 (x^2 - L^2) \quad \text{..... (3)}$$

初期条件として $x=L$ においては剪断力は0であるため

$$S_L = \frac{1}{3} a_1 (L^3 - L^3) + \frac{1}{2} b_1 (L^2 - L^2) \quad \text{..... (1-3)}$$

・ $x=0$ においては

$$S_0 = -\frac{1}{3} a L^3 - \frac{1}{2} b L^2 \quad \text{..... (4)}$$

・ $-H \leq x \leq 0$ においては

$$S_x = S_0 = -\frac{1}{3} a L^3 - \frac{1}{2} b L^2 \quad \text{..... (1-4)}$$

(b) 曲げモーメント

$0 \leq x \leq L$ において

$$M_x = \iint (P_B)_x \cdot dx dx = \int_L^x S_x dx = \int_L^x \left\{ \frac{a_1}{3} (u^3 - L^3) + \frac{1}{2} b_1 (u^2 - L^2) \right\}$$

$$\cdot du + M_L = \frac{1}{12} a_1 (x^4 - L^4) + \frac{1}{6} b_1 (x^3 - L^3) - \left(\frac{1}{3} a L^3 + \frac{1}{2} b L^2 \right)$$

$$\cdot (x - L) + M_L \quad \text{..... (5)}$$

同様にして $x=L$ においては曲げモーメントは0である。

ゆえに

$$M_x = \frac{1}{12} a_1 (x^4 - L^4) + \frac{1}{6} b_1 (x^3 - L^3) - \frac{1}{3} (a_1 L^3 + \frac{1}{2} b L^2)$$

$$\cdot (x - L) \quad \text{..... (1-5)}$$

$x=0$ においては

$$\begin{aligned} M_0 &= -\frac{1}{12} a_1 L^4 - \frac{1}{6} b_1 L^3 + \frac{1}{3} a_1 L^4 + \frac{1}{2} b_1 L^3 \\ &= \frac{1}{4} a_1 L^4 + \frac{1}{3} b_1 L^3 \end{aligned} \quad \text{..... ⑥}$$

$-H \leq x \leq 0$ においては

$$M_x = M_0 - S_0 x = \frac{1}{4} a_1 L^4 + \frac{1}{3} b_1 L^3 + \frac{1}{3} a_1 L^3 x + \frac{1}{2} b_1 L^2 x \quad \text{..... (1-6)}$$

支点において曲げモーメントは0であるために $x=-H$ においては0でなければいけない。そのため M_H を求める。その為に $x=-H$ を(1-6)に代入すると

$$\begin{aligned} M_H &= \frac{1}{4} a_1 L^4 + \frac{1}{3} b_1 L^3 + \frac{1}{3} a_1 L^3 H + \frac{1}{2} b_1 L^2 H \\ &= a_1 L^3 \left(\frac{1}{4} L + \frac{1}{3} H \right) + b_1 L^2 \left(\frac{1}{3} L + \frac{1}{2} H \right) \end{aligned} \quad \text{..... ⑦}$$

⑦式に(1-1), (1-2)を代入すると

$$\begin{aligned} M_H &= \left(-\frac{24 TL + 36 TH}{L^3} \right) \cdot L^3 \cdot \left(\frac{1}{4} L + \frac{1}{3} H \right) + \left(\frac{18 TL + 24 TH}{L^3} \right) \\ &\quad \cdot L^2 \cdot \left(\frac{1}{3} L + \frac{1}{2} H \right) = - (6 TL + 9 TH) - \left(\frac{18 TLH + 12 TH^2}{L} \right) \\ &\quad + (6 TL + 8 TH) + \left(\frac{9 TLH + 12 TH^2}{L} \right) = -9 TH - 8 TH + 8 TH + 9 TH = 0 \end{aligned}$$

ゆえにこの条件は成立する。

(3) 最大曲げモーメント及回転中心

剪断力が0のところでは曲げモーメントは最大である。

その点は(1-3)式より

$$\frac{1}{3} a_1 (x^3 - L^3) + \frac{1}{2} b_1 (x^2 - b^2) = 0$$

これは3次方程式であるがこれを近似解(ニュートン法)により求めてこれを(1-5式)に代入すればよい。同様に地盤反力が0のところが回転中心である。それで $d_1 = -b_1/a$ で表わされる。

(4) 検 算

(a) 剪断力

$-H \leq x \leq 0$ において

$$S_x = -T \quad \text{..... (1)}$$

$0 \leq x \leq L$ において

$$S_x = -T + \int_0^x (a_1 u^2 + b_1 u) = -T + \frac{1}{3} a_1 x^3 + \frac{1}{2} b_1 x^2 \quad \text{..... (2)}$$

$x=L$ においては

$$S_L = -\frac{1}{3} aL^3 + \frac{1}{2} bL^2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

(b) 曲げモーメント

$-H \leq x \leq 0$ において

$$M_x = \int_H^x S_x dx = \int_H^x -T du = -T(x+H) \quad \dots\dots\dots (4)$$

$x=0$ において

$$M_0 = -TH \quad \dots\dots\dots (5)$$

$0 \leq x \leq L$ において

$$\begin{aligned} M_x &= M_0 + \int_0^x (-T + \frac{1}{3} a \cdot u^3 + \frac{1}{2} b u^2) du \\ &= -TH -Tx + \frac{1}{12} a \cdot x^4 + \frac{1}{6} b \cdot x^3 \quad \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

$$x=L \text{ においては } M_L = -TH -TL + \frac{1}{12} a L^4 + \frac{1}{6} b L^3 \quad \dots\dots\dots (7)$$

変点においては曲げモーメント及び剪断力は0である。

その為③と⑦式より

③ $\times 6L$ - ⑦ $\times 24$ とすると

$$24TH + 18TL - b_1 L^3 = 0$$

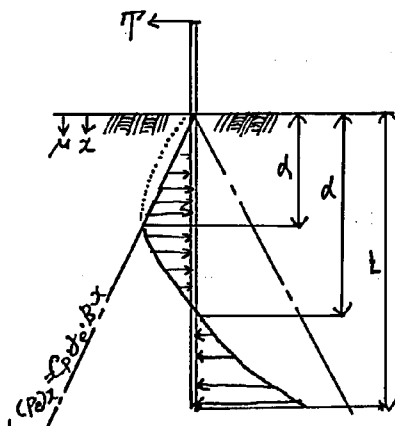
$$b_1 = \frac{24TH + 18TL}{L^3} \quad \dots\dots\dots (8)$$

同様にして

$$a_1 = -\frac{24TH + 36TH}{L^4} \quad \dots\dots\dots (9)$$

ゆえに(8), (9)は(1-1), (1-2)と同じである。

よってこの式は成り立つ。



1-1-2 複合曲線表示

荷重(T)が大きくなると(1-1-1)が成立しなくなる。それで $(P_B) = a_1 x^2 + b_1 x$ において

$$\frac{d(P_B)_1}{dx} < \frac{d(P_B)}{dx} \quad \text{なる場合には、地盤反力分布を}$$

複合曲線として表示する。

(1) 地盤反力

$0 \leq x_1 \leq d_1$ において

$$(P_B) = Ax \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

$d_1 \leq x \leq L$ において

$$(P_B) = a_2 x^2 + b_2 x^2 \quad \dots\dots\dots (2-2)$$

$x = d_1$ において

$$(P_B) d_1 = A d_1 = a_2 d_1^2 + b_2 d_1 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$d_1 = \frac{A - b_2}{a_2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

力の釣合条件より

$$\begin{aligned} T &= \int_0^{d_1} A x dx + \int_{d_1}^L (a_2 x^2 + b_2 x) dx = \frac{1}{2} A d_1^2 + \left(\frac{1}{3} a_2 L^3 + \frac{1}{2} b_2 L^2 \right) \\ &\quad - \left(\frac{1}{3} a_2 d_1^3 + \frac{1}{2} b_2 d_1^2 \right) \quad \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

(2)を(3)に代入すると

$$\begin{aligned} T &= \frac{1}{2} A \left(\frac{A - b_2}{a_2} \right)^2 + \left(\frac{1}{3} a_2 L^3 + \frac{1}{2} b_2 L^2 \right) - \frac{1}{3} a_2 \left(\frac{A - b_2}{a_2} \right)^3 \\ &\quad - \frac{1}{2} b_2 \left(\frac{A - b_2}{a_2} \right)^2 = L^2 \left(\frac{a_2 L}{3} + \frac{1}{2} b_2 \right) + \frac{1}{6} \left(\frac{A - b_2}{a_2} \right)^3 \quad \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

モーメントの釣合条件より

$$-T \cdot H = \int_0^{d_1} A x \cdot x dx + \int_{d_1}^L (a_2 x^2 + b_2 x) x dx \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$-T \cdot H = \frac{1}{4} a_2 L^4 + \frac{1}{3} b_2 L^3 - \left(\frac{1}{4} a_2 d_1^4 + \frac{1}{3} b_2 d_1^3 \right) + \frac{1}{3} A d_1^3 \quad \dots\dots\dots (5)'$$

(5)'に(2)を代入すると

$$\begin{aligned} -T \cdot H &= \frac{1}{4} a_2 L^4 + \frac{1}{3} b_2 L^3 - \frac{1}{4} a_2 \left(\frac{A - b_2}{a_2} \right)^4 - \frac{1}{3} b_2 \left(\frac{A - b_2}{a_2} \right)^3 \\ &\quad + \frac{1}{3} A \left(\frac{A - b_2}{a_2} \right)^3 \\ -T \cdot H &= L^3 \left(\frac{a_2 L}{4} + \frac{b_2}{3} \right) + \frac{1}{12} \frac{(A - b_2)^4}{a_2^3} \quad \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

ここで

$$\frac{A - b_2}{a_2} = d_1 \quad \frac{a_2}{A} = m \quad \frac{T}{A} = n \quad \dots\dots\dots (7)$$

とおくと

(7)の式を(5), (6)の両辺にAで割って代入すると

$$-n \cdot H = \frac{L^4}{4} \cdot m + \frac{L^3}{3} (1 - d_1 \cdot m) + \frac{1}{12} d_1^4 \cdot m \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$n = \frac{L^3}{3} \cdot m + \frac{L^2}{2} (1 - d_1 \cdot m) + \frac{1}{6} d_1^3 \cdot m \quad \dots\dots\dots (9)$$

両辺のmを消去すると

$$\begin{aligned} & \left(n - \frac{L^2}{2} \right) \left(\frac{L^4}{4} - \frac{L^3}{3} \cdot d_1 + \frac{1}{12} d_1^4 \right) + \left(n \cdot H + \frac{1}{3} L^3 \right) \\ & \cdot \left(\frac{L^3}{3} - \frac{L^2}{2} \cdot d_1 + \frac{1}{6} d_1^3 \right) = 0 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (10)$$

⑩は d_1 の 4 次式になる。

$$A A \cdot d_1^4 + B d_1^3 + C d_1 + D = 0 \quad \dots\dots\dots (11)$$

ここで

$$\begin{aligned} A A &= \frac{1}{12} \left(n - \frac{L^2}{2} \right) & B &= \frac{1}{6} \left(n \cdot H + \frac{L^3}{3} \right), \\ C &= -\frac{L^3}{3} \left(n - \frac{L^2}{2} \right) - \frac{L^2}{2} \left(n \cdot H + \frac{1}{3} L^3 \right) \quad \dots\dots\dots (12) \\ D &= \frac{1}{4} L^4 \left(n - \frac{1}{2} L^2 \right) + \frac{1}{3} L^3 \left(n \cdot H + \frac{1}{3} L^3 \right) \end{aligned}$$

以上の式より

(7)の式から n を求める。その値を⑩の式に代入して⑪式から d_1 を求める。 d_1 の式が求まったら⑨の式を誘導して

$$m = \frac{n - L^2/2}{(L^3/3 - d_1 L^2/2 + d_1^3/6, 0)}$$

の式に代入する。

それによって a_2 , b_2 を求める。これがわかれば (2-2) 式に代入すれば地盤反力を知ることができる。

(2) 曲げモーメントおよび剪断力の関係について

(a) 剪断力

$d_1 \leq x \leq L$ において

$$S_x = S_L + \int (a_2 u^2 + b_2 u) du = S_L + \frac{1}{3} a_2 (x^3 - L^3) + \frac{1}{2} b_2 (x^2 - L^2) \quad \dots\dots\dots (13)$$

初期条件として $S_L = 0$ であるため

$$S_x = \frac{1}{3} a_2 (x^3 - L^3) + \frac{1}{2} b_2 (x^2 - L^2) \quad \dots\dots\dots (2-3)$$

$x = d_1$ において

$$S_{d_1} = \frac{1}{3} a_2 (d_1^3 - L^3) + \frac{1}{2} b_2 (d_1^2 - L^2) \quad \dots\dots\dots (14)$$

$0 \leq x \leq d_1$ において

$$\begin{aligned} S_x &= \int_0^x A u \cdot du + S_{d_1} = S_{d_1} + \frac{1}{2} A (x^2 - d_1^2) \\ &= \frac{1}{3} a_2 (d_1^3 - L^3) + \frac{1}{2} b_2 (d_1^2 - L^2) + \frac{1}{2} A (x^2 - d_1^2) \quad \dots\dots\dots (1-4) \end{aligned}$$

$x = 0$ においては

$$S_0 = S_{d_1} - \frac{1}{2} A d_1^2 = \frac{1}{3} a_2 (d_1^3 - L^3) + \frac{1}{2} b_2 (d_1^2 - L^2) - \frac{1}{2} A d_1^2 \quad \dots\dots\dots (15)$$

$-H \geq x \geq 0$ においては

$$S_x = S_0 \quad \dots\dots\dots (1-5)$$

(b) 曲げモーメント

$d_1 \leq x \leq L$ においては

$$M_x = M_L + \iint (P_B) dx dx = M_L + \int_1^x \left\{ \frac{1}{3} a_2 (u^3 - L^3) + \frac{1}{2} b_2 (u^2 - L^2) \right\} du \quad \dots (16)$$

初期条件として $M_L = 0$ である。ゆえに

$$M_x = \frac{1}{12} a_2 (x^4 - L^4) + \frac{1}{6} b_2 (x^3 - L^3) - \frac{1}{3} (a_2 L^3 + \frac{1}{2} b_2 L^2) (x - L) \quad \dots (1-6)$$

$x = d_1$ において,

$$Md_1 = \frac{1}{12} a_2 (d_1^4 - L^4) + \frac{1}{6} b_2 (d_1^3 - L^3) - \left(\frac{1}{3} a_2 L^3 + \frac{1}{2} b_2 L^2 \right) (d_1 - L) \quad \dots\dots\dots (17)$$

$0 \leq x \leq d_1$ においては,

$$\begin{aligned} M_x &= Md_1 + \int_{d_1}^x S_x du = Md_1 + \int_{d_1}^x \left\{ S d_1 du + \frac{1}{2} A (u^2 - d_1^2) \right\} du \\ &= \frac{1}{12} a_2 (d_1^4 - L^4) + \frac{1}{6} b_2 (d_1^3 - L^3) - \left(\frac{1}{3} a_2 L^3 + \frac{1}{2} b_2 L^2 \right) \\ &\quad \cdot (d_1 - L) + \frac{1}{3} a_2 (d_1^3 - L^3) (x - d_1) + \frac{1}{2} b_2 (d_1^2 - L^2) (x - d_1) \\ &\quad + \frac{1}{6} A (x^3 - d_1^3) - \frac{1}{2} A d_1^2 (x - d_1) \quad \dots\dots\dots (1-7) \end{aligned}$$

$x = 0$ のとき

$$M_0 = -\frac{1}{4} a_2 d_1^4 + \frac{1}{4} (A - b_2) d_1^3 + \frac{1}{4} a_2 L^4 + \frac{1}{3} b_2 L^3 \quad \dots\dots\dots (18)$$

$-H \leq x \leq 0$ において

$$\begin{aligned} M_x &= M_0 - S_0 x = -\frac{1}{4} a_2 d_1^4 + \frac{1}{3} (A - b_2) d_1^3 + \frac{1}{4} a_2 L^4 \\ &\quad + \frac{1}{3} b_2 L^3 - \left\{ \frac{1}{3} a_2 (d_1^3 - L^3) + \frac{1}{2} b_2 (d_1^2 - L^2) - \frac{1}{2} A d_1^2 \right\} \cdot x \quad \dots\dots\dots (1-8) \end{aligned}$$

$x = H$ において

$$\begin{aligned} M_H &= M_0 - S_0 H = -\frac{1}{4} a_2 d_1^4 + \frac{1}{3} (A - b_2 - a_2 H) d_1^3 \\ &\quad - \frac{1}{2} H (b_2 - A) d_1^2 + \left(\frac{1}{4} a_2 L^4 + \frac{1}{3} b_2 L^3 + \frac{1}{3} a_2 H L^3 + \frac{1}{2} b_2 H L^2 \right) \quad \dots\dots\dots (19) \end{aligned}$$

支点において曲げモーメントは0でなければならないそのために M_H は0である。

そのためにまず, (19)の式に(17)式に代入すると

$$m = \frac{3(2T + AL^2)}{A(2L^3 + 3L^2 d_1 + d_1^3)} \quad \dots\dots\dots (20)$$

図式に(7)を代入すると

$$a_2 = A \cdot m = \frac{3(2T + AL^2)}{2L^3 + 3L^2 d_1 + d_1^3} \quad \dots\dots\dots (21)$$

同様に、(7)式に(21)式を代入すると

$$b_2 = A - a_2 d_1 = \frac{2L^3 A - 6T d_1 + A d_1^3}{2L^3 + 3L^2 d_1 + d_1^3} \quad \dots\dots\dots (22)$$

(21)に(22)を代入すると

$$\begin{aligned} & (-3AL^2 + 6T) d_1^4 + (12TH + 4AL^3 + 12AL^2 H) d_1^3 \\ & + (-24TL^3 - 36HL^3 T) d_1 + (18TL^4 + 24THL^3 + 17L^4 A + 24AHL^3) = 0 \quad \dots\dots\dots (23) \end{aligned}$$

(7)を(23)式に代入すると

$$\begin{aligned} AA &= \frac{1}{24} (2T - L^2 A), \quad B = \frac{1}{18A} (3TH + AL^3), \\ C &= -L^2 A (2L + 3H) / 6A, \quad D = \frac{L^3}{72A} (18LT + 24TH - AL^3) \end{aligned}$$

以上のAA, B, C, Dを(23)式に代入すると

$$\begin{aligned} & (-3AL^2 + 6T) d_1^4 + (12TH + 4AL^3 + 12AL^2 H) d_1^3 \\ & + (-24TL^3 - 36HL^3 T) d_1 + (18TL^4 + 24THL^3 + 17L^4 A + 24AHL^3) = 0 \quad \dots\dots\dots (24) \end{aligned}$$

よって(23), (24)は成立する。

(3) 最大曲げモーメント

(1-4)式が0のとき曲げモーメントは最大である。

よって

$$x = \sqrt{\frac{3Ad_1^2 + 2a_2 d_1^3 - 2a_2 L^3 + 3b_2 d_1^2 - 3b_2 L^2}{3A}} \quad \dots\dots\dots (25)$$

(4) 検 算

(a) 剪断力

$-H \leq x \leq 0$ において

$$S_x = -T \quad \dots\dots\dots (1)$$

$0 \leq x \leq d$ において

$$S_x = -T + \frac{1}{2} A x^2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$x = d_1$ において

$$S_{d_1} = -T + \frac{1}{2} A d_1^2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$d_1 \leq x \leq L$ において

$$S_x = S_{d_1} + \int_{d_1}^x (a_2 u^2 + b_2 u) du = S_{d_1} + \frac{1}{3} a_2 (x^3 - d_1^3) + \frac{1}{2} b_2 (x^2 - d_1^2) \quad \dots\dots\dots (4)$$

(4)式に(3)式を代入すれば

$$S_x = -T + \frac{1}{2} A d_1^2 + \frac{1}{3} a_2 (x^3 - d_1^3) + \frac{1}{2} b_2 (x^2 - d_1^2) \quad \dots\dots\dots (5)$$

$x=L$ において

$$S_L = -T + \frac{1}{2} A d_1^2 + \frac{1}{3} a_2 (L^3 - d_1^3) + \frac{1}{2} b_2 (L^2 - d_1^2) \quad \dots\dots\dots (6)$$

(b) 曲げモーメント

$-H \leq x \leq 0$ において

$$M_x = \int_{-H}^x S_x du = -T (x + H) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$x=0$ において

$$M_0 = -TH \quad \dots\dots\dots (8)$$

$0 \leq x \leq d$ において

$$M_x = M_0 + \int_0^x S_x du = -TH - T_x + \frac{1}{6} A x^3 \quad \dots\dots\dots (9)$$

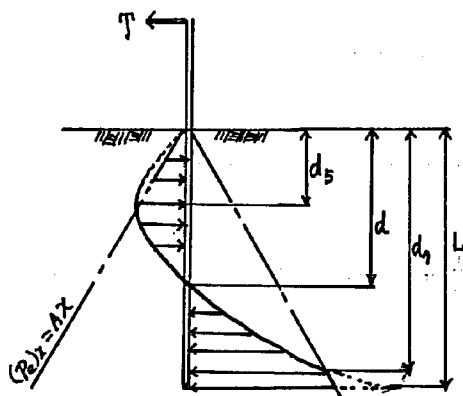
$d \leq x \leq L$ において

$$\begin{aligned} M_x &= M_d + \int_d^x S_x du = M_d + \int_d^x \left\{ -T + \frac{1}{2} A d^2 + \frac{1}{3} a_2 (u^3 - d^3) \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2} b_2 (u^2 - d^2) \right\} du = -TH - Td + \frac{1}{6} A d^3 - T(x-d) \\ &\quad + \frac{1}{2} A d^2 (x-d) + \frac{1}{12} a_2 (x^4 - d^4) - \frac{1}{3} a_2 d^3 (x-d) \\ &\quad + \frac{1}{6} b_2 (x^3 - d^3) - \frac{1}{2} b_2 d^2 (x-d) \quad \dots\dots\dots (10) \end{aligned}$$

$x=L$ においては(10)式に代入する。

支点 $x=L$ 及 $x=-H$ においては、曲げモーメント及剪断力は0である。よってこれより d について解き(10)式に等しいのでこの式は成立する。

1-1-3 複々曲線



この場合は

$$\frac{d(P_B)}{dx} \geq \frac{d(P_e)}{dx} \quad (1)$$

で荷重 T が大きくなると $x=L$ において負破壊方程式より小さくなる。

そこで

$$(P_B) = a_2 x^2 + b_2 x \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$-(P_e) = -AL \quad \dots\dots\dots (3)$$

である。よって

$(P_B) < -(P_e)$ なる条件を満たすときである。

(1) 地盤反力

力の釣合条件より

$$T = \int_0^{d_1} A u \, du + \int_{d_1}^{d_2} (a_1 u^2 + b_1 u) \, du + \int_{d_2}^L -A u \, du$$

$$= \frac{1}{3} a_1 d_1^3 + \frac{1}{2} b_1 d_1^2 + \frac{1}{2} A d_1^2 + \frac{1}{2} A d_2^2 - \frac{1}{3} a_1 d_2^3 - \frac{1}{2} b_1 d_2^2 - \frac{1}{2} A L^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

モーメントの釣合条件より,

$$-T \cdot H = \int_0^{d_1} A u^2 \, du + \int_{d_1}^{d_2} (a_1 u^3 + b_1 u^2) \, du + \int_{d_2}^L -A u^2 \, du$$

$$-T \cdot H = \frac{1}{4} a_1 d_1^4 + \frac{1}{3} b_1 d_1^3 + \frac{1}{3} A d_1^3 + \frac{1}{4} A d_2^4 - \frac{1}{3} b_1 d_2^3 - \frac{1}{4} a_1 d_2^4 - \frac{1}{3} A L^3 \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで $A d_2 = a_1 d_2^2 + b_1 d_2$

$$d_2 = \frac{A - b_1}{a_1} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{同様に} -A d_1 = a_1 d_1^2 + b_1 d_1 \quad d_1 = \frac{-(A + b_1)}{a_1} \quad \dots\dots\dots (4)$$

(3), (4)を(1)に代入して両辺に $6 a_1^2$ を掛けると

$$6 a_1^2 T = 6 A b_1^2 + 2 A^3 - 3 a_1^2 A L^2 \quad \dots\dots\dots (5)$$

(3), (4)式を(2)式に代入し, 両辺に $-3 a_1^3$ を掛けると

$$3 a_1^3 T H = 2 b_1^3 A + 2 b_1 A^2 + A L^3 a_1^3 \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$(5), (6) \text{式より} \quad b_1^3 = \frac{6 a_1^2 T + 3 a_1^2 A L - 2 A^3}{6 A} \quad \dots\dots\dots (7)$$

(7)を(5)式に代入すると

$$b_1 = \frac{3 a_1^3 (3 T H - A L^3)}{a_1^2 (6 T + 3 A L^2) + 4 A^3} \quad \dots\dots\dots (3-2)$$

(5)式に(3-2)式を代入すると

$$6 a_1^2 T \left\{ a_1^4 (6 T + 3 A L^2)^2 + 8 A^3 a_1^2 (6 T + 3 A L^2) + 16 A^6 \right\}$$

$$= 2 A^3 \left\{ a_1^4 (6 T + 3 A L^2)^2 + 8 A^3 a_1^2 (6 T + 3 A L^2) + 16 A^6 \right\}$$

$$+ 54 A a_1 (3 T H - A L^3)^2 - 3 A L^2 a_1^2 \left\{ a_1^4 (6 T + 3 A L^2)^2 \right.$$

$$\left. + 8 A^3 a_1^2 (6 T + 3 A L^2) + 16 A^6 \right\} \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここで $X = a_1^2$ とし, X についてまとめると

$$E X^3 + F X^2 + G X + H = 0 \quad \dots\dots\dots (3-3)$$

とする。そこで

$$E = 27 (8 T^3 + 12 A L^2 T^2 + 6 A^2 L^4 T - 18 A H^2 T^2 + 12 A^2 H L^3 T - A^3 L^6) \quad \dots\dots (9)$$

$$F = 54 A^2 (2 T + A L^2)^2 \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$G = 0$$

$$H = -32 A^3 \quad \dots\dots\dots (11)$$

(2) 曲げモーメント

(a) 剪断力

$d_7 \leq x \leq L$ において

$$S_x = S_1 - \frac{1}{2} A (x^2 - L^2) \quad \dots\dots\dots (12)$$

初期条件として $S_1 = 0$ であるため

$$S_x = -\frac{1}{2} A (x^2 - L^2) \quad \dots\dots\dots (3-4)$$

$x = d_7$ においては

$$S_{d_7} = -\frac{1}{2} A (d_7^2 - L^2) \quad \dots\dots\dots (13)$$

$d_8 \leq x \leq d_7$ において

$$S_x = S_{d_7} + \int_{d_7}^x (a_1 u^2 + b_1 u) du = S_{d_7} + \frac{1}{3} a_1 (x^3 - d_7^3) + \frac{1}{2} b_1 (x^2 - d_7^2) \quad \dots (3-5)$$

$x = d_8$ において

$$S_{d_8} = S_{d_7} + \frac{1}{3} a_1 (d_8^3 - d_7^3) + \frac{1}{2} b_1 (d_8^2 - d_7^2) \quad \dots\dots\dots (14)$$

$0 \leq x \leq d_8$ において

$$S_x = S_{d_8} + \int_{d_8}^x A \cdot u du = S_{d_8} + \frac{1}{2} A (x^2 - d_8^2) \quad \dots\dots\dots (3-6)$$

$x = 0$ においては

$$S_0 = S_{d_8} - \frac{1}{2} A d_8^2 \quad \dots\dots\dots (15)$$

$-H \leq x \leq 0$ において

$$S_x = S_0 \quad \dots\dots\dots (3-7)$$

(b) 曲げモーメント

$$\begin{aligned} M_x &= \int S_x dx = M_L + \int_L^x \frac{1}{2} A (u^2 - L^2) du = M_L - \frac{1}{6} A (x^3 - L^3) \\ &\quad + \frac{1}{2} A L^2 (x - L) \quad \dots\dots\dots (16) \end{aligned}$$

初期条件として $x = L$ において $M_L = 0$ である。

ゆえに

$$M_x = -\frac{1}{6} A (x^3 - L^3) + \frac{1}{2} A L^2 (x - L) \quad \dots\dots\dots (3-8)$$

$x = d_7$ において

$$M_{d_7} = -\frac{1}{6} A (d_7^3 - L^3) + \frac{1}{2} A L^2 (d_7 - L) \quad \dots\dots\dots (17)$$

$d_8 \leq x \leq d_7$ において

$$M_x = M d_7 + \int_{d_7}^x S_x du = M d_7 + S d_7 (x - d_7) + \frac{1}{12} a^3 (x^4 - d_7^4) \\ - \frac{1}{3} a_3 d_7^3 (x - d_7) + \frac{1}{2} b_3 (x^3 - d_7^3) - \frac{1}{2} b_3 d_7^2 (x - d_7) \dots\dots\dots (3-9)$$

$x = d_8$ においては、(3-9)式に(7)、(9)式を代入すると

$$M d_8 = -\frac{1}{6} A (d_7^3 - L^3) + \frac{1}{2} A L^2 (d_7 - L) - \frac{1}{2} A (d_7^2 - L^2) (d_8 - d_7) \\ + \frac{1}{12} a_3 (d_8^4 - d_7^4) - \frac{1}{3} a_3 d_7^3 (d_8 - d_7) + \frac{1}{6} b_3 (d_8^3 - d_7^3) - \frac{1}{2} b_3 d_7^2 (d_8 - d_7) \dots\dots\dots (10)$$

$0 \leq x \leq d_8$ において

$$M_x = M d_8 + \int_{d_8}^x \left\{ S d_8 + \frac{1}{2} A (u^2 - d_8^2) \right\} du = M d_8 + S d_8 (x - d_8) \\ + \frac{1}{6} A (x^3 - d_8^3) - \frac{1}{2} A d_8^2 (x - d_8) \dots\dots\dots (3-10)$$

$x = 0$ においては、(3-10)式に代入すると

$$M_0 = M d_8 - S d_8 \cdot d_8 - \frac{1}{6} A d_8^3 + \frac{1}{2} A d_8^3 \dots\dots\dots (11)$$

$-H \leq x \leq 0$ において

$$M_x = M_0 - \int_0^x S_x du = M_0 - S_x x \dots\dots\dots (3-11)$$

$x = H$ においては(3-11)式に(11)、(12)式を代入し、又この点においては、曲げモーメントは0であるためにこれについてまとめ a_3 について係数を項別すると

$$P a_3^4 + Q a_3^3 = 0 \dots\dots\dots (12)$$

ここで

$$P = 6 T H A L^2 \dots\dots\dots (13), Q = 36 A^3 T H - 96 A^4 L^3 + 12 A^5 H L^2 \dots\dots\dots (14)$$

よって(12)式は(3-3)と同じであるためこの式は成り立つ。

(検算)

(a) 剪断力

$-H \leq x \leq 0$ において

$$S_x = -T \dots\dots\dots (1)$$

$0 \leq x \leq d_8$ において

$$S_x = -T + \int_0^x A u du = -T + \frac{1}{2} A x^2 \dots\dots\dots (2)$$

$$x = d_8 \text{ においては, } S d_8 = -T + \frac{1}{2} A d_8^2 \dots\dots\dots (3)$$

$d_8 \leq x \leq d_7$ において

$$S_x = S d_8 + \int_{d_8}^x (a_3 u^2 + b_3 u) du = S d_8 + \frac{1}{3} a_3 (x^3 - d_8^3) + \frac{1}{2} b_3 (x^2 - d_8^2) \dots\dots\dots (4)$$

$d_1 \leq x \leq L$ において

$$\begin{aligned} M_x &= M d_1 + \int_{d_1}^x S_x du = M d_1 + \int_{d_1}^x \left\{ S d_1 - \frac{1}{2} A (u^2 - d_1^2) \right\} du \\ &= M d_1 + S d_1 (x - d_1) - \frac{1}{6} A (x^3 - d_1^3) + \frac{1}{2} A d_1^2 (x - d_1) \quad (4) \end{aligned}$$

$x=L$ においては

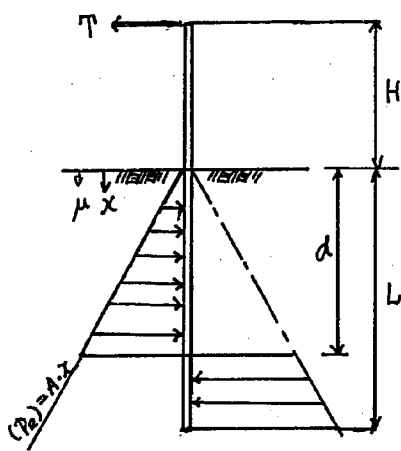
$$M_L = M d_1 + S d_1 (L - d_1) - \frac{1}{6} A (L^3 - d_1^3) + \frac{1}{2} A d_1^2 (L - d_1) \quad (5)$$

(5)式に(3), (5)式を代入し

支点Lにおいて曲げモーメント及剪断力は0である。ゆえに(5)式と(7)式より解き, d_1 , d_2 の(3), (4)式を代入する。そして(3-3)式において成り立つのでこの計算は成立する。

1-1-4 転倒荷重(破壊荷重)

このとき最大荷重(極値)であって, 大きな変位をするが, 荷重は一定限界に耐する領域である。



(1) 地盤反力

$0 \leq x \leq d$ において

$$(P_x) = A \cdot x \quad (4-1)$$

$d \leq x \leq L$ において

$$(P_x) = -A \cdot x$$

まず, 力の釣合条件より

$$T = \int_0^d A u \cdot du + \int_d^L -A u du = A \left(d^2 - \frac{1}{2} L^2 \right) \quad (1)$$

モーメントの釣合条件より

$$\begin{aligned} -T \cdot H &= \int_0^d A u \cdot u du + \int_d^L -A u \cdot u du \\ -T H &= \frac{1}{3} A (2d^3 - L^3) \quad (2) \end{aligned}$$

(1), (2)より d を求めると

$$4Ad^3 + 6AHd^2 - (3AL^2 + 2AL^3) = 0 \quad (3)$$

$$\text{ここで, } I d^3 + J d^2 + K = 0 \quad (4-3)$$

すると $I=4$, $J=6H$, $K=-(3L^2H+2L^3)$ である。

$x = d_7$ においては(4)式に代入すると

$$S_{d_7} = S_{d_5} + \frac{1}{3} a_2 (d_7^3 - d_5^3) + \frac{1}{2} b_2 (d_7^2 - d_5^2) \quad (5)$$

$d_7 \leq x \leq L$ において

$$S_x = S_{d_7} + \int_{d_7}^x -A u \, du = S_{d_7} - \frac{1}{2} A (x^2 - d_7^2) \quad (6)$$

$x = L$ において

$$\begin{aligned} S_L &= S_{d_7} - \frac{1}{2} A (L^2 - d_7^2) = S_{d_5} + \frac{1}{3} a_2 (d_7^3 - d_5^3) \\ &= -T + \frac{1}{2} A d_5^2 + \frac{1}{3} a_2 (d_7^3 - d_5^3) + \frac{1}{2} b_2 (d_7^2 - d_5^2) - \frac{1}{2} A (L^2 - d_7^2) \quad (7) \end{aligned}$$

(b) 曲げモーメント

$-H \leq x \leq 0$ において

$$M_x = \int_x^{-H} S_u \, du = \int_x^{-H} -T \, du = -T (x + H) \quad (8)$$

$x = 0$ においては

$$M_0 = -TH \quad (9)$$

$0 \leq x \leq d_5$ において

$$M_x = \int_0^x S_u \, du = \int_0^x \left\{ -T + \frac{1}{2} A u^2 \right\} du + M_0 = -TH - Tx + \frac{1}{6} A x^3 \quad (10)$$

$x = d_5$ においては

$$M_{d_5} = -TH - Td_5 + \frac{1}{6} A d_5^3 \quad (11)$$

$d_5 \leq x \leq d_7$ において

$$\begin{aligned} M_x &= \int_{d_5}^x S_u \, du = \int_{d_5}^x \left\{ S_{d_5} + \frac{1}{3} a_2 (u^3 - d_5^3) + \frac{1}{2} b_2 (u^2 - d_5^2) \right\} du \\ &+ M_{d_5} = \left(-T + \frac{1}{2} A d_5^2 \right) (x - d_5) + \frac{1}{12} a_2 (x^4 - d_5^4) \\ &- \frac{1}{3} a_2 d_5^3 (x - d_5) + \frac{1}{6} b_2 (x^3 - d_5^3) - \frac{1}{2} b_2 d_5^2 (x - d_5) \\ &- TH - Td_5 + \frac{1}{6} A d_5^3 \quad (12) \end{aligned}$$

$x = d_7$ において

$$\begin{aligned} M_{d_7} &= \left(-T + \frac{1}{2} A d_5^2 \right) (d_7 - d_5) + \frac{1}{12} a_2 (d_7^4 - d_5^4) \\ &- \frac{1}{3} a_2 d_5^3 (d_7 - d_5) + \frac{1}{6} b_2 (d_7^3 - d_5^3) - \frac{1}{2} b_2 d_5^2 (d_7 - d_5) \\ &- TH - Td_5 + \frac{1}{6} A d_5^3 \quad (13) \end{aligned}$$

(2) 剪断力及曲げモーメント

(a) 剪断力

$d \leq x \leq L$ において

$$S_x = \int (P_y) dx = S_L - \frac{1}{2} A (x^2 - L^2) \quad \dots\dots\dots (4)$$

初期条件として、剪断力 $S_L = 0$ である。

よって、

$$S_x = -\frac{1}{2} A (x^2 - L^2) \quad \dots\dots\dots (4-4)$$

$$x = d \text{ においては, } S_d = -\frac{1}{2} A (d^2 - L^2) \quad \dots\dots\dots (5)$$

$0 \leq x \leq d$ において

$$S_x = \int (P_y) dx = \int_d^x A u du + S_d = S_d + \frac{1}{2} A (x^2 - d^2) \quad \dots\dots\dots (6)$$

(6)式に(5)式を代入すると

$$S_x = \frac{1}{2} A (x^2 - d^2) - \frac{1}{2} A (d^2 - L^2) \quad \dots\dots\dots (4-5)$$

$x = 0$ において

$$S_0 = \frac{1}{2} A L^2 - A d^2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

$-H \leq x \leq 0$ において

$$S_x = S_0 = \frac{1}{2} A L^2 - A d^2 \quad \dots\dots\dots (4-6)$$

(b) 曲げモーメント

$$\begin{aligned} M_x &= \iint (P_y) dx dx = \int_L^x S_x u du + M_L = \int_L^x -\frac{1}{2} A (u^2 - L^2) \cdot du + M_L \\ &= -\frac{1}{6} A (x^3 - L^3) + \frac{1}{2} A L^2 (x - L) + M_L \quad \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

初期条件として $M_L = 0$ である。

ゆえに

$$M_x = -\frac{1}{6} A (x^3 - L^3) + \frac{1}{2} A L^2 (x - L) \quad \dots\dots\dots (4-7)$$

$x = d$ において

$$M_d = -\frac{1}{6} A (d^3 - L^3) + \frac{1}{2} A L^2 (d - L) \quad \dots\dots\dots (9)$$

$0 \leq x \leq d$ において

$$M_x = \int_d^x \left\{ S_x + \frac{1}{2} A (u^2 - d^2) \right\} du + M_d$$

$$= \frac{1}{6} A (x^3 - d^3) - \frac{1}{2} A d^2 (x - d) - \frac{1}{2} A (d^2 - L^2) (x - d) + M_s \dots\dots\dots (10)$$

(10)式に(9)式を代入すると

$$M_s = \frac{1}{6} A (x^3 - d^3) - \frac{1}{2} A d^2 (x - d) - \frac{1}{2} A (d^2 - L^2) (x - d) \\ - \frac{1}{6} A (d^3 - L^3) + \frac{1}{2} A L^2 (d - L) \dots\dots\dots (4-8)$$

$x=0$ においては(4-8)式に代入すると

$$M_s = \frac{2}{3} A d^3 - \frac{1}{3} A L^2 \dots\dots\dots (11)$$

$-H \leq x \leq 0$ において

$$M_s = M_s - S_s \cdot x = \frac{2}{3} A d^3 - \frac{1}{3} A L^2 - \frac{1}{2} A L^2 x + A d^2 x \dots\dots\dots (4-9)$$

$x=H$ においては

$$M_H = \frac{2}{3} A d^3 - \frac{1}{3} A L^2 - \frac{1}{2} A L^2 H + A H d^2 \dots\dots\dots (12)$$

支点においては、曲げモーメントは前項と同様に0であるために $x=H$ においては0でなければならない。よって(13)式に(12)式を代入するとまず、(12)式を $6/A$ を掛けると一致するためこの計算は正しい。

(3) 曲げモーメント最大及回転中心

$$(4-5) \text{式より} \quad S_s = \frac{1}{2} A (x^2 - d^2) - \frac{1}{2} A (d^2 - L^2) = 0$$

これより

$$x = \sqrt{2d^2 - L^2} \dots\dots\dots (4-10)$$

よって(4-10)式を(4-8)式に代入すると曲げモーメント最大が得られる。

回転中心は(4-3)式から得られる。

(4) 検 算

(a) 剪断力

$-H \leq x \leq 0$ において

$$S_s = -T \dots\dots\dots (1)$$

$x=0$ においては同様に $S_s = -T$

$$\dots\dots\dots (2)$$

$0 \leq x \leq d$ において

$$S_s = S_s + \int_0^x A u du = -T + \frac{1}{2} A x^2 \dots\dots\dots (3)$$

$x=d$ においては

$$S_s = -T + \frac{1}{2} A d^2 \dots\dots\dots (4)$$

$d \leq x \leq L$ において

$$S_x = Sd + \int_0^x -A u du = Sd - \frac{1}{2} A d^2 \quad \dots\dots\dots (5)$$

(5式に4式を代入すると

$$S_x = -T + \frac{1}{2} A d^2 - \frac{1}{2} A (x^2 - d^2) \quad \dots\dots\dots (6)$$

$x=L$ においては

$$S_L = -T + \frac{1}{2} A d^2 - \frac{1}{2} A (L^2 - d^2) \quad \dots\dots\dots (7)$$

(b) 曲げモーメント

$-H \leq x \leq 0$ において

$$M_x = \int_x^0 -T du = -T(x+H) \quad \dots\dots\dots (8)$$

$x=0$ においては

$$M_0 = -TH \quad \dots\dots\dots (9)$$

$0 \leq x \leq d$ において

$$M_x = M_0 + \int_0^x (-T + \frac{1}{2} A u^2) du = -TH - T \cdot x + \frac{1}{6} A x^3 \quad \dots\dots\dots (10)$$

$x=d$ において

$$M_d = -TH - Td + \frac{1}{6} A d^3 \quad \dots\dots\dots (11)$$

$d \leq x \leq L$ において

$$\begin{aligned} M_x &= M_d + \int_d^x \left\{ -T + \frac{1}{2} A d^2 - \frac{1}{2} A (u^2 - d^2) \right\} du = -TH - Td \\ &\quad + \frac{1}{6} A d^3 - T(x-d) + \frac{1}{2} A d^2 (x-d) - \frac{1}{6} A (x^3 - d^3) \\ &\quad + \frac{1}{2} A d^2 (x-d) - \frac{1}{6} A (x^3 - d^3) + \frac{1}{2} A d^2 (x-d) \quad \dots\dots\dots (12) \end{aligned}$$

$x=L$ においては

$$\begin{aligned} M_L &= -T(H+d) + \frac{1}{6} A d^3 - T(L-d) + \frac{1}{2} A d^2 (L-d) \\ &\quad - \frac{1}{6} A (L^3 - d^3) + \frac{1}{2} A d^2 (L-d) \quad \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

$x=L$ においては、曲げモーメント及剪断力は0である。そのために(7)式、(13)式についてTを消去し、 d について整理すると、

$$-4d^3 - 6Hd^2 + (3HL^2 + 2L^3) = 0 \quad \dots\dots\dots (14)$$

よって(14式は(4-3)式と等しいためこの計算は成り立つ。

1-2 根がらみ付支柱の支持力

根がらみがどの部分にあるかをフロチャート図-4に示すように誘導した。

そこで、誘導するにあたって共通符号を記入すると

H : 作用点及着力点 (m)

L : 埋込み深さ (m)

γ_e : 土の有効単位重量

C_p : 受動土圧係数

x : 地盤面からの深さ (m)

d_1 : 根がらみの上の位置 (m)

d_2 : 根がらみの下の位置 (m)

B_0 : 支柱の幅 (m)

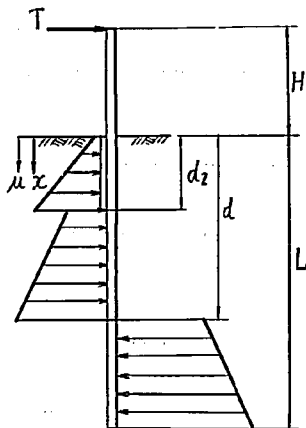
B_1 : 根がらみの幅 (m)

(P)_x : 深さ x における地盤反力 (t/m²)

S_x : " 剪断力 (t)

M_x : 深さ x における曲げモーメント (t・m)

d : 回転中心又は回転半径 (m)



根がらみの下の位置 d_2 が回転中心 d より上にある
場合においておこなうと

$0 \leq x \leq d_2$ において

$$(P_x) = C_p \cdot \gamma_e \cdot B_1 x = A_1 x \quad \dots\dots\dots (1)$$

$d_2 \leq x \leq d$ において

$$(P_x) = C_p \cdot \gamma_e \cdot B_0 x = A_0 x \quad \dots\dots\dots (2)$$

$d \leq x \leq L$ において

$$(P_x) = -A_0 x \quad \dots\dots\dots (3)$$

力の釣合条件より

$$T = \int_0^{d_2} A_1 x dx + \int_{d_2}^d A_0 x dx + \int_d^L -A_0 x dx$$

$$T = A_0 d^2 + \left(\frac{1}{2} A_1 d_2^2 - \frac{1}{2} A_0 d_2^2 - \frac{1}{2} A_0 L^2 \right) \quad \dots\dots\dots (4)$$

モーメントの釣合条件より

$$-T \cdot H = \int_0^{d_2} A_1 x^2 dx + \int_{d_2}^d A_0 x^2 dx + \int_d^L -A_0 x^2 dx$$

$$-T \cdot H = \frac{1}{3} A_1 d_2^3 + \frac{1}{3} A_0 (d^3 - d_2^3) - \frac{1}{3} A_0 (L^3 - d^3)$$

$$-T \cdot H = \frac{2}{3} A_0 d^3 + \left(\frac{1}{3} A_1 d_2^3 - \frac{1}{3} A_0 d_2^3 - \frac{1}{3} A_0 L^3 \right) \quad (5)$$

ここで(4)式より

$$T = P d^2 + Q \quad (4')$$

$$P = A_0 \quad Q = \frac{1}{2} A_1 d_2^2 - \frac{1}{2} A_0 d_2^2 - \frac{1}{2} A_0 L^2$$

(5)式より

$$-T \cdot H = R d^3 + S \quad (5')$$

$$R = \frac{2}{3} A_0, \quad S = \frac{1}{3} A_1 d_2^3 - \frac{1}{3} A_0 d_2^3 - \frac{1}{3} A_0 L^3$$

$$(4)' \text{ と } (5)' \text{ より } R d^3 + P H d^2 + (Q H + S) = 0 \quad (6)$$

これより三次方程式を解けば、回転中心 d が得られる。

(2) 剪断力

$-H \leq x \leq 0$ において

$$S_x = -T \quad (1)$$

$$x = 0 \text{ においては } S_0 = -T \quad (2)$$

$0 \leq x \leq d_2$ において

$$S_x = S_0 + \int_0^x A_1 u du = -T + \frac{1}{2} A_1 x^2 \quad (3)$$

$$x = d_2 \text{ において } S_{d_2} \text{ において } S_{d_2} = -T + \frac{1}{2} A_1 d_2^2 \quad (4)$$

$d_2 \leq x \leq d$ において

$$S_x = S_{d_2} + \int_{d_2}^x A_0 u du = S_{d_2} + \frac{1}{2} A_0 (x^2 - d_2^2) \quad (5)$$

$$S_d = S_{d_2} + \frac{1}{2} A_0 (d^2 - d_2^2) \quad (6)$$

$$S_x = S_d + \int_d^x -A_0 u du = S_d - \frac{1}{2} A_0 (d^2 - x^2) \quad (7)$$

(3) 曲げモーメント

$-H \leq x \leq 0$ において

$$M_x = \int_{-H}^x -T du = -T(x+H) \quad (1)$$

$$x = 0 \text{ において } M_0 = -TH \quad (2)$$

$0 \leq x \leq d_2$ において

$$M_x = M_0 + \int_0^x S_x du = M_0 + \int_0^x S_0 du + \int_0^x \int_0^u A_1 u du = M_0 + \int_0^x T du$$

$$+ \int_0^x \frac{1}{2} A_1 u^2 du = M_0 - T x + \frac{1}{6} A_1 x^3 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$x = d_2$ においては

$$M_{d_2} = -(TH + Td_2) + \frac{1}{6} A_1 d_2^3 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$d_2 \leq x \leq d$ において

$$M_x = M_{d_2} + \int_{d_2}^x S_x dx = M_{d_2} + \int_{d_2}^x S_{d_2} du + \int_{d_2}^x \int_{d_2}^u A_0 u du du$$

$$= M_{d_2} + S_{d_2} (x - d_2) + \int_{d_2}^x \frac{1}{2} A_0 (u^2 - d_2^2) du$$

$$= M_{d_2} + S_{d_2} (x - d_2) + \frac{1}{6} A_0 (x^3 - d_2^3) - d_2^2 (x - d_2) / 2 \quad \dots\dots\dots (5)$$

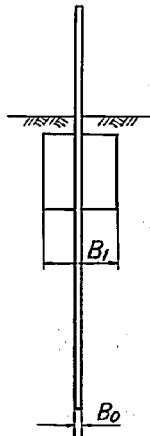
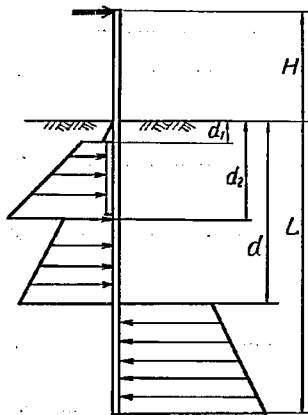
$x = d$ においては

$$M_d = M_{d_2} + S_{d_2} (d - d_2) + \frac{1}{6} A_0 (d^3 - d_2^3) - d_2^2 (d - d_2) / 2 \quad \dots\dots\dots (6)$$

$d \leq x \leq L$ において

$$M_x = M_d + \int_d^x S_x du = M_d + \int_d^x S d du + \int_d^x \frac{1}{2} A_0 (d^2 - u^2) du$$

$$= M_d + S d (x - d) + \frac{1}{2} A_0 d^2 (x - d) - \frac{1}{6} A_0 (x^3 - d^3) \quad \dots\dots\dots (7)$$



根がらみの上の位置 d_1 が地盤上より深く、
下の位置 d_2 が回転中心より上にある場合に
おいては、まず地盤反力を求めると

$$0 \leq x \leq d_1 \text{ において } (P_B) = A_0 x \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$d_1 \leq x \leq d_2 \text{ において } (P_B) = A_1 x \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$d_2 \leq x \leq d \text{ において } (P_B) = A_0 x \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$d \leq x \leq L \text{ において } (P_B) = -A_0 x \quad \dots\dots\dots (4)$$

力の釣合条件より

$$T = \int_0^{d_1} A_0 x dx + \int_{d_1}^{d_2} A_1 x dx + \int_{d_2}^L A_0 x dx + \int_L^L -A_0 x dx$$

$$T = A_0 d^2 + \left(\frac{1}{2} A_0 d_1^2 + \frac{1}{2} A_1 d_2^2 - \frac{1}{2} A_1 d_1^2 - \frac{1}{2} A_0 d_2^2 - \frac{1}{2} A_0 L^2 \right) \quad (5)$$

モーメントの釣合条件より

$$-TH = \int_0^{d_1} A_0 x^2 dx + \int_{d_1}^{d_2} A_1 x^2 dx + \int_{d_2}^L A_0 x^2 dx + \int_L^L -A_0 x^2 dx$$

$$-TH = \frac{2}{3} A_0 d^3 + \left(\frac{1}{3} A_0 d_1^3 + \frac{1}{3} A_1 d_2^3 - \frac{1}{3} A_1 d_1^3 - \frac{1}{3} A_0 d_2^3 - \frac{1}{3} A_0 L^3 \right) \quad (6)$$

$$(5) \text{式より } T = \alpha d^2 + \beta \quad (5)$$

$$(6) \text{式より } -TH = \theta d^3 + \eta \quad (6)$$

$$\text{ここで } \alpha = A_0, \quad \beta = \frac{1}{2} A_0 d_1^2 + \frac{1}{2} A_1 d_2^2 - \frac{1}{2} A_1 d_1^2 - \frac{1}{2} A_0 d_2^2 - \frac{1}{2} A_0 L^2$$

$$\theta = \frac{2}{3} A_0, \quad \eta = \frac{1}{3} A_0 d_1^3 + \frac{1}{3} A_1 d_2^3 - \frac{1}{3} A_1 d_1^3 - \frac{1}{3} A_0 d_2^3 - \frac{1}{3} A_0 L^3$$

(5)', (6)' の 2 式より

$$\theta d^3 + \alpha H d^2 + (\beta H + \eta) = 0 \quad (7)$$

これより d を求める。

(2) 剪断力

$-H \leq x \leq 0$ において

$$S_x = -T \quad (1)$$

$$x=0 \text{ において } S_0 = -T \quad (2)$$

$0 \leq x \leq d_1$ において

$$S_x = S_0 + \int_0^x A_0 u du = S_0 + \frac{1}{2} A_0 x^2 \quad (3)$$

$$x=d_1 \text{ においては } S_{d_1} = -T + \frac{1}{2} A_0 d_1^2 \quad (4)$$

$d_1 \leq x \leq d_2$ において

$$S_x = S_{d_1} + \int_{d_1}^x A_1 u du = S_{d_1} + \frac{1}{2} A_1 (x^2 - d_1^2) \quad (5)$$

$$x=d_2 \text{ においては } S_{d_2} = S_{d_1} + \frac{1}{2} A_1 (d_2^2 - d_1^2) \quad (6)$$

$d_2 \leq x \leq d$ において

$$S_x = S_{d_2} + \int_{d_2}^x A_0 u du = S_{d_2} + \frac{1}{2} A_0 (x^2 - d_2^2) \quad (7)$$

$$x=d \text{ においては } S_d = S_{d_2} + \frac{1}{2} A_0 (d^2 - d_2^2) \quad (8)$$

$d \leq x \leq L$ において

$$S_x = Sd + \int_0^x -A_0 u du = Sd - \frac{1}{2} A_0 (x^2 - d^2) \quad \dots\dots\dots (9)$$

(3) 曲げモーメント

$-H \leq x \leq 0$ において

$$M_x = -T(x + H) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$x = 0 \text{ において } M_0 = -TH \quad \dots\dots\dots (2)$$

$0 \leq x \leq d_1$ において

$$M_x = M_0 + \int_0^x S_0 du + \int_0^x \int_0^u A_0 u du du = M_0 + S_0 x + \frac{1}{6} A_0 x^3 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$x = d_1 \text{ においては } Md_1 = M_0 + S_0 d_1 + \frac{1}{6} A_0 d_1^3 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$d_1 \leq x \leq d_2$ において

$$M_x = Md_1 + \int_{d_1}^x S d_1 du + \int_{d_1}^x \int_{d_1}^u A_1 u du du = Md_1 + S d_1 (x - d_1) + \frac{1}{2} A_1 \{ (x^3 - d_1^3) - d_1^2 (x - d_1) \} = Md_1 + S d_1 (x - d_1) + \frac{1}{6} A_1 (x^3 - d_1^3) - \frac{1}{2} A_1 d_1^2 (x - d_1) \quad \dots\dots\dots (5)$$

$x = d_2$ において

$$Md_2 = Md_1 + S d_1 (d_2 - d_1) + \frac{1}{6} A_1 (d_2^3 - d_1^3) - \frac{1}{2} A_1 d_1^2 (d_2 - d_1) \quad \dots\dots\dots (6)$$

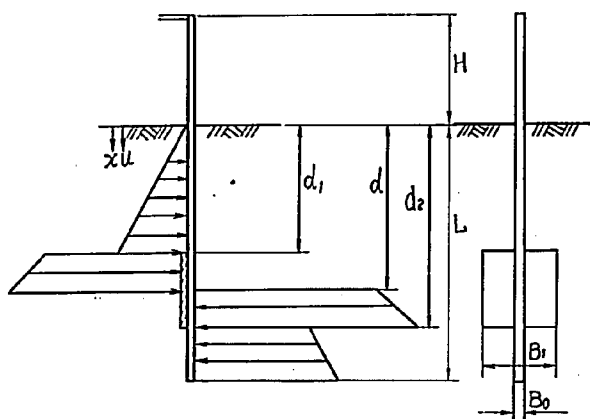
$d_2 \leq x \leq d$ において

$$M_x = Md_2 + \int_{d_2}^x S d_2 du + \int_{d_2}^x \int_{d_2}^u A_0 u du du = Md_2 + S d_2 (x - d_2) + \frac{1}{6} A_0 (x^3 - d_2^3) - \frac{1}{2} A_0 d_2^2 (x - d_2) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$x = d \text{ においては } Md = Md_2 + S d_2 (d - d_2) + \frac{1}{6} A_0 (d^3 - d_2^3) - \frac{1}{2} A_0 d_2^2 (d - d_2) \quad \dots\dots\dots (8)$$

$d \leq x \leq L$ において

$$\begin{aligned} M_x &= Md + \int_d^x S d du + \int_d^x \int_d^u -A_0 u du du \\ &= Md + S d (x - d) - \frac{1}{2} A_0 \left\{ \frac{1}{3} (x^3 - d^3) - d^2 (x - d) \right\} \\ &= Md + S d (x - d) - \frac{1}{6} A_0 (x^3 - d^3) + \frac{1}{2} A_0 d^2 (x - d) \quad \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$



回転中心 d が根がらみの上の位置にある場合におこなうとまず地盤反力は

$$0 \leq x \leq d_1 \text{ において}$$

$$(P_B) = A_0 x \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$d_1 \leq x \leq d \text{ において}$$

$$(P_B) = A_1 x \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$d \leq x \leq d_2 \text{ において}$$

$$(P_B) = -A_1 x \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$d_2 \leq x \leq L \text{ において}$$

$$(P_B) = -A_0 x \quad \dots\dots\dots (4)$$

力の釣合条件より

$$T = \int_0^{d_1} A_0 x dx + \int_{d_1}^d A_1 x dx + \int_d^{d_2} -A_1 x dx + \int_{d_2}^L -A_0 x dx$$

$$T = \frac{1}{2} A_0 d_1^2 + \frac{1}{2} A_1 (d^2 - d_1^2) - \frac{1}{2} A_1 (d_2^2 - d^2) - \frac{1}{2} A_0 (L^2 - d_2^2)$$

$$T = A_1 d^2 + \left(\frac{1}{2} A_0 d_1^2 - \frac{1}{2} A_1 d_1^2 - \frac{1}{2} A_1 d_2^2 - \frac{1}{2} A_0 L^2 + \frac{1}{2} A_0 d_2^2 \right) \quad \dots\dots\dots (5)$$

モーメントの釣合条件より

$$-TH = \int_0^{d_1} A_0 x^2 dx + \int_{d_1}^d A_1 x^2 dx + \int_d^{d_2} -A_1 x^2 dx + \int_{d_2}^L -A_0 x^2 dx$$

$$-TH = \frac{1}{3} A_0 d_1^3 + \frac{1}{3} A_1 (d^3 - d_1^3) - \frac{1}{3} A_1 (d_2^3 - d^3) - \frac{1}{3} A_0 (L^3 - d_2^3)$$

$$-TH = \frac{2}{3} A_1 d^3 + \left(\frac{1}{3} A_0 d_1^3 - \frac{1}{3} A_1 d_1^3 - \frac{1}{3} A_1 d_2^3 - \frac{1}{3} A_0 L^3 + \frac{1}{3} A_0 d_2^3 \right) \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$(5) \text{ 式より } T = I d^2 + J \quad \dots\dots\dots (5')$$

$$\text{ここで } I = A_1, \quad J = \frac{1}{2} A_0 d_1^2 - \frac{1}{2} A_1 d_1^2 - \frac{1}{2} A_1 d_2^2 - \frac{1}{2} A_0 L^2 + \frac{1}{2} A_0 d_2^2$$

$$(6) \text{ 式より } -TH = K d^3 + M \quad \dots\dots\dots (6')$$

$$\text{ここで } K = \frac{2}{3} A_1, \quad M = \frac{1}{3} A_0 d_1^3 - \frac{1}{3} A_1 d_1^3 - \frac{1}{3} A_1 d_2^3 - \frac{1}{3} A_0 L^3 + \frac{1}{3} A_0 d_2^3$$

2式より

$$K d^3 + I H d^2 + (M + J H) = 0$$

これより回転中心 d を求める。

(2) 剪断力

$$-H \leq x \leq 0 \text{ において}$$

$$S_x = -T \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$x=0 \text{ においては } S_0 = -T \quad \dots\dots\dots (2)$$

$0 \leq x \leq d_1$ において

$$S_x = S_0 + \int_0^x A_0 u du = -T + \frac{1}{2} A_0 x^2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$x = d_1 \text{ においては } S_{d_1} = -T + \frac{1}{2} A_0 d_1^2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$d_1 \leq x \leq d$ において

$$S_x = S_{d_1} + \int_{d_1}^x A_1 u du = S_{d_1} + \frac{1}{2} A_1 (x^2 - d_1^2) \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$x = d \text{ においては } S_d = S_{d_1} + \frac{1}{2} A_1 (d^2 - d_1^2) \quad \dots\dots\dots (6)$$

$d \leq x \leq d_2$ において

$$S_x = S_d + \int_d^x -A_1 u du = S_d + \frac{1}{2} A_1 (d^2 - x^2) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$x = d_2 \text{ においては } S_{d_2} = S_d + \frac{1}{2} A_1 (d^2 - d_2^2) \quad \dots\dots\dots (8)$$

$d_2 \leq x \leq L$ において

$$S_x = S_{d_2} + \int_{d_2}^x -A_0 u du = S_{d_2} + \frac{1}{2} A_0 (d_2^2 - x^2) \quad \dots\dots\dots (9)$$

(3) 曲げモーメント

$-H \leq x \leq 0$ において

$$M_x = \int_{-H}^x T du = -T(x+H) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$x=0 \text{ においては } M_0 = -TH \quad \dots\dots\dots (2)$$

$0 \leq x \leq d_1$ において

$$\begin{aligned} M_x &= M_0 + \int_0^x S_0 du + \int_0^x \int_0^u A_0 u du du = M_0 + \int_0^x (-T + \frac{1}{2} A_0 u^2) du \\ &= M_0 - Tx + \frac{1}{6} A_0 x^3 \quad \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

$$x = d_1 \text{ においては } M_{d_1} = -TH - T d_1 + \frac{1}{6} A_0 d_1^3 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$d_1 \leq x \leq d$ において

$$\begin{aligned} M_x &= M_{d_1} + \int_{d_1}^x S_{d_1} du + \int_{d_1}^x \int_{d_1}^u A_1 u du du = M_{d_1} + S_{d_1} (x - d_1) \\ &\quad + \int_{d_1}^x (\frac{1}{2} A_1 u^2 - \frac{1}{2} A_1 d_1^2) du = M_{d_1} + S_{d_1} (x - d_1) + \frac{1}{6} A_1 (x^3 - d_1^3) \\ &\quad - \frac{1}{2} A_1 d_1^2 (x - d_1) \quad \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

$$x = d \text{ においては } M_d = M_{d_1} + S_{d_1} (d - d_1) + \frac{1}{6} A_1 (d^3 - d_1^3) - \frac{1}{2} A_1 d_1^2 (d - d_1) \quad \dots\dots\dots (6)$$

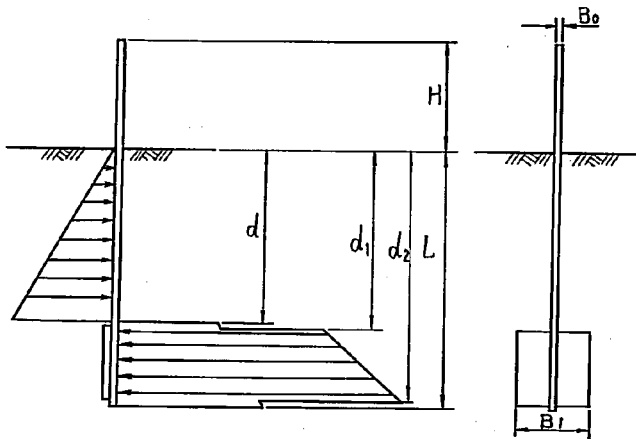
$d \leq x \leq d_2$ において

$$M_x = Md + \int_d^x S d u + \int_d^{d_2} -A_1 u d u = Md + Sd(x-d) + \frac{1}{2} A_1 \{d^2(x-d) - \frac{1}{3}(x^3 - d^3)\} = Md + Sd(x-d) + \frac{1}{2} A_1 d^2(x-d) - \frac{1}{6} A_1 (x^3 - d^3) \dots \dots \dots (7)$$

$$x = d_2 \text{ においては } Md_2 = Md + Sd(d_2 - d) + \frac{1}{2} A_1 d^2(d_2 - d) - \frac{1}{6} A_1 (d_2^3 - d^3) \dots \dots \dots (8)$$

$d_2 \leq x \leq L$ において

$$M_x = Md_2 + \int_{d_2}^x S d_2 u + \int_{d_2}^{d_1} -A_0 u d_2 u = Md + Sd_2(x-d_2) + \int \frac{1}{2} A_0 (d_2^2 - u^2) du = Md + Sd_2(x-d_2) + \frac{1}{2} A_0 \{d_2^2(x-d_2) - \frac{1}{3}(x^3 - d_2^3)\} = Md + Sd_2(x-d_2) + \frac{1}{2} A_0 d_2^2(x-d_2) - \frac{1}{6} A_0 (x^3 - d_2^3) \dots \dots \dots (9)$$



根がらみの上の位置 d_1 が回転中心 d より下にある場合におこなう
まず地盤反力を求めると

$$0 \leq x \leq d \text{ において } (P_B) = A_0 x \dots \dots \dots (1)$$

$$d \leq x \leq d_1 \text{ において } (P_B) = -A_0 x \dots \dots \dots (2)$$

$$d_1 \leq x \leq d_2 \text{ において } (P_B) = -A_1 x \dots \dots \dots (3)$$

$$d_2 \leq x \leq L \text{ において } (P_B) = -A_0 x \dots \dots \dots (4)$$

力の釣合条件より

$$T = \int_0^d A_0 x dx + \int_d^{d_1} -A_0 x dx + \int_{d_1}^{d_2} -A_1 x dx + \int_{d_2}^L -A_0 x dx$$

$$T = \frac{1}{2} A_0 d^2 + \frac{1}{2} A_0 (d^2 - d_1^2) + \frac{1}{2} A_1 (d_1^2 - d_2^2) + \frac{1}{2} A_0 (d_2^2 - L^2)$$

$$T = A_0 d^2 + (-\frac{1}{2} A_0 d_1^2 + \frac{1}{2} A_1 d_1^2 - \frac{1}{2} A_1 d_2^2 + \frac{1}{2} A_0 d_2^2 - \frac{1}{2} A_0 L^2) \dots \dots \dots (5)$$

モーメントの釣合条件より

$$\begin{aligned}
 -TH &= \int_0^d A_0 x^2 dx + \int_{d_1}^{d_1} -A_0 x^2 dx + \int_{d_1}^{d_2} -A_1 x^2 dx + \int_{d_2}^L -A_0 x^2 dx \\
 -TH &= \frac{1}{3} A_0 d^3 + \frac{1}{3} A_0 (d^3 - d_1^3) + \frac{1}{3} A_1 (d_1^3 - d_2^3) + \frac{1}{3} A_0 (d_2^3 - L^3) \\
 -TH &= \frac{2}{3} A_0 d^3 + \left(-\frac{1}{3} A_0 d_1^3 + \frac{1}{3} A_1 d_1^3 - \frac{1}{3} A_1 d_2^3 + \frac{1}{3} A_0 d_2^3 - \frac{1}{3} A_0 L^3 \right) \dots\dots\dots (6)
 \end{aligned}$$

$$(5) \text{式より } T = U d^2 + V \dots\dots\dots (5)'$$

$$\text{ここで } U = A_0, \quad V = -\frac{1}{2} A_0 d_1^2 + \frac{1}{2} A_1 d_2^2 - \frac{1}{2} A_1 d_2^2 + \frac{1}{2} A_0 d_2^2 - \frac{1}{2} A_0 L^2$$

$$(6) \text{式より } -TH = W d^3 + X \dots\dots\dots (6)'$$

$$\text{ここで } W = \frac{2}{3} A_0, \quad X = -\frac{1}{3} A_0 d_1^3 + \frac{1}{3} A_1 d_1^3 - \frac{1}{3} A_1 d_2^3 + \frac{1}{3} A_0 d_2^3 - \frac{1}{3} A_0 L^3$$

$$2 \text{式より } W d^3 + U H d^2 + (X + V H) = 0 \dots\dots\dots (7)$$

(2) 剪断力

$-H \leq x \leq 0$ において

$$S_x = -T \dots\dots\dots (1)$$

$$x = 0 \text{ においては } S_0 = -T \dots\dots\dots (2)$$

$0 \leq x \leq d$ において

$$S_x = S_0 + \int_0^x A_0 u du = S_0 + \frac{1}{2} A_0 x^2 \dots\dots\dots (3)$$

$$x = d \text{ においては } S_d = S_0 + \frac{1}{2} A_0 d^2 \dots\dots\dots (4)$$

$d \leq x \leq d_1$ において

$$S_x = S_d + \int_d^x A_0 u du = S_d + \frac{1}{2} A_0 (x^2 - d^2) \dots\dots\dots (5)$$

$$x = d_1 \text{ においては } S_{d_1} = S_d + \frac{1}{2} A_0 (d_1^2 - d^2) \dots\dots\dots (6)$$

$d_1 \leq x \leq d_2$ において

$$S_x = S_{d_1} + \int_{d_1}^x A_1 u du = S_{d_1} + \frac{1}{2} A_1 (x^2 - d_1^2) \dots\dots\dots (7)$$

$$x = d_2 \text{ においては } S_{d_2} = S_{d_1} + \frac{1}{2} A_1 (d_2^2 - d_1^2) \dots\dots\dots (8)$$

$d_2 \leq x \leq L$ において

$$S_x = S_{d_2} - \int_{d_2}^x A_0 u du = S_{d_2} + \frac{1}{2} A_0 (x^2 - d_2^2) \dots\dots\dots (9)$$

(3) 曲げモーメント

$-H \leq x \leq 0$ において

$$M_x = \int_{-H}^x -T du = -T (x + H) \dots\dots\dots (1)$$

$$x=0 \text{ において } M_0 = -TH \quad \dots\dots\dots (2)$$

$0 \leq x \leq d$ において

$$\begin{aligned} M_x &= \int_0^x S_0 du + \int_0^x \int_0^u A_0 u du + M_0 = -TH + \int_0^x \left(-T + \frac{1}{2} A_0 u^2 \right) du \\ &= -TH - Tx + \frac{1}{6} A_0 x^3 \quad \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

$$x=d \text{ においては } M_d = -TH - Td + \frac{1}{6} A_0 d^3 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$d \leq x \leq d_1$ において

$$\begin{aligned} M_x &= M_d + \int_d^x S_d du - \int_d^x \int_d^u A_0 u du = M_d + S_d (x-d) - \frac{1}{6} A_0 (x^3 - d^3) \\ &\quad + \frac{1}{2} A_0 d^2 (x-d) \quad \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x=d_1 \text{ においては } M_{d_1} &= M_d + S_d (d_1 - d) - \frac{1}{6} A_0 (d_1^3 - d^3) \\ &\quad + \frac{1}{2} A_0 d^2 (d_1 - d) \quad \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

$d_1 \leq x \leq d_2$ において

$$\begin{aligned} M_x &= M_{d_1} + \int_{d_1}^x S_{d_1} du - \int_{d_1}^x \int_{d_1}^u A_1 u du = M_{d_1} + S_{d_1} (x-d_1) - \int_{d_1}^x \frac{1}{2} A_1 (u^2 - d_1^2) du \\ &= M_{d_1} + S_{d_1} (x-d_1) - \frac{1}{6} A_0 (d_1^3 - d^3) + \frac{1}{2} A_0 d^2 (x-d_1) \quad \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

$x=d_2$ においては

$$M_{d_2} = M_{d_1} + S_{d_1} (d_2 - d_1) - \frac{1}{6} A_1 (d_2^3 - d_1^3) + \frac{1}{2} A_1 d_1^2 (d_2 - d_1) \quad \dots\dots\dots (8)$$

$d_2 \leq x \leq L$ において

$$\begin{aligned} M_x &= M_{d_2} - \int_{d_2}^x A_0 u du + \int_{d_2}^x S_{d_2} du = M_{d_2} + S_{d_2} (x-d_2) - \int_{d_2}^x \frac{1}{2} A_0 (u^2 - d_2^2) du \\ &= M_{d_2} + S_{d_2} (x-d_2) - \frac{1}{6} A_0 (x^3 - d_2^3) + \frac{1}{2} A_0 d_2^2 (x-d_2) \quad \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

2. 用いたプログラム

2-1 均一な支柱の支持力のプログラム(BOO1081)

```

begin
  comment This program is calculation of quadrall post;
  CASE1 if CP,Re,Bx<Pb then
    Ax↑2+Bx=Pb
  CASE2: if CP,Re,Bx>Pb then
    (CP,Re,Bx=Pb) and
    -CP,Re,Bx<Pb
    (Ax↑2+Bx=Pb)
  CASE3: if CP,Re,Bx>Pb
    (CP,Re,Bx=Pb) and
    -CP,Re,Bx>Pb
    (-CP,Re,Bx=Pb)
  CASE: if CP,Re,B,X>(Pb) and
    -CP,Re,B,X<(Pb) then limit, weight;
  real A3,B,C,N1,L,H,CP,GANE,SB,D1,M,T,PB0,B1,X, SAA, SBB, SCC,DHA,
  PB05,SMX1,MMY,MMT1,MMT,SO,SM0,SMX,SMX0,MMX,PB0,SDD,MOD,AAA,
  SX5,MX5,SX6,MX6,MX7,SLO,SD1,MLO,MD1, MD00,XSN,MER,XC,XC3,
  MXC3,MXC,MRD,MR0, SD2,MD2,SD3,MD3,SD4,MD4,
  SH,MH,MHY,MD0,MD5,SX7,SZ,MY, PPL1, PPH1, PPL2,
  TMAX,RAGA,SA1,SB1,AA11,AA12,AA13,AA14,PB10,PB01,PP0,D3,PP01,
  PRN,D5,D7,PBB1,PBB0,PBBN,ASA,BSB,DMA,X,DNN,
  PB1,K,SL,SM,P,D,Q,D0,W,SA,U,Z,S,S1,AYS, XMAX,MLIM;
  array A[0:4],RX,[X[1:4],RP,[P[1:100],PU[0:3],AA,LD,LHD,XAN[0:90],XCSC[1:7]
  integer I,J,RR,SY,KA,IY,IQ,PV,UM1;
  procedure NEWTON(NN,A0,A1,A2,A3,ARS);
    value A0,A1,A2,A3,NN;
    integer NN; real A0,A1,A2,A3;
    real ARS;
  begin
    real IXX,RF,RQ; array AA1[0:3];
    integer I,JJ;
    AA1[0]=A0;
    AA1[1]=A1;
    AA1[2]=A2;
    AA1[3]=A3;
    IXX=0.0;
    for I:=0 step 1 until NN-2 do
      L1:
      begin
        RF=RQ:=AA1[0];
        for JJ=1 step 1 until NN-1 do
          begin
            RF=RF+IXX+AA1[JJ];
            if JJ<NN-1 then
              RQ=RQ+IXX+RF;
          end;
          if RQ=0.0 then begin IXX=IXX+1.0; go to L1; end;
          IXX=IXX-RF/RQ;
          if ABS(RF/RQ)>10*(-10) then go to L1;
        end;
      end;
    end;
  end;

```

```

    for JJ:=1 step 1 until (NN-1) do
      AA1[JJ]:=AA1[JJ]+IXX*AA1[JJ-1]; AA1[NN-1]:=IXX;
    end;
    AA1[1]:=-AA1[1]/AA1[0]; AR5=AA1[1];
  end;

procedure MM(A1,A2,B1,B2,C1,C2);
  value A1,A2,B1,B2,C1,C2;
  real A1,A2,B1,B2,C1,C2;
  begin

    C1:=A1*B1-A2*B2;
    C2:=A1*B2+A2*B1;
  end;

procedure SS(A1,A2,C1,C2);
  value A1,A2; real A1,A2,C1,C2;
  begin
    real W;
    if A2<0.0 then
      begin
        W:=SQRT(A12+A22);
        if A1>0.0 then
          begin
            C1:=SQRT(0.5*(W+A1)); C2:=0.5*A2/C1;
          end else
          begin
            C2:=SQRT(0.5*(W-A1)); C1:=0.5*A2/C2;
          end;
        end else
        begin
          if A1<0.0 then
            begin
              C1:=0.0; C2:=SQRT(-A1); end
            else
              begin
                C2:=0.0; C1:=SQRT(A1); end;
            end;
          end;
        procedure @@(RP,IP,NN);
          value NN; integer NN;
          array RP,IP;
          begin
            real WR,WI,DR,DI; integer I;
            for I:=1 step 2 until (NN-1) do
              if IP[I]=0.0 and IP[I+1]=0.0 then
                begin
                  WR:=-0.5*RP[I]; DR:=WR2-RP[I+1];
                  if DR<0.0 then
                    begin
                      RP[I]=WR; RP[I+1]=WR; DR:=SQRT(ABS(DR));
                      IP[I]=DR; IP[I+1]=-DR;
                    end else

```

```

begin
  DR:=SQRT(DR); IP[I]:=IP[I+1]=0.0; RP[I]:=WR+DR;
  RP[I+1]:=WR-DR;
end;
end else
begin
  WR:=-0.5*RP[I]; WJ:=-0.5*IP[I];
  MM(WR,WJ,WR,WJ,DR,DI);
  DR:=DR-RP[I+1]; DI:=DI-IP[I+1];
  SS(DR,DI,DR,DI);

  RP[I]:=WR+DR; IP[I]:=WJ+DR; RP[I+1]:=WR-DR;
  IP[I+1]:=WJ-DI;
end;
end;CRLF(5);
READ(UM1);
for PV:=1 step 1 until UM1 do
begin READ(RR);
  READ(H,L,B,GANE);
  CRLF(5);
  OUTO(6,'5B'KONO  PROGRAM  WA  SHITYU NO KEISAN');

  OUTO(6,'!');
  for I:=1 step 1 until RR do
  begin
    READ(SY);
    READ(CP);

    RAGA=CP*GANE*B;
    PU[0]=0.6667; PU[1]=H;
    PU[2]=0.0; PU[3]=-(H*L*2/2.0+L*3/3.0);
    if KEY(5) then begin NEWTON(4,PU[0],PU[1],PU[2],PU[3]); end;

    LD[0]=L;
    I0:=1;
    LLW: if I0>15 then go to LW;
    LD[I0]=LD[I0-1]-(4.0*LD[I0-1]*3+6.0*H*LD[I0-1]*2-(3.0*
      L*2*H+2.0*L*3))/(12.0*LD[I0-1]*2+12.0*H*LD[I0-1]);
    I0:=I0+1; go to LLW;
    LW: DMAX=LD[I0-1];
    TMAX=RAGA*(DMAX*2-L*2/2.0); CRLF(5);
    XMAX=SQRT(2.0*DMAX*2-L*2);
    MLIM=RAGA*(XMAX*3-DMAX*3)/6.0-RAGA*DMAX*2*(XMAX-DMAX)/2.0
      -RAGA*(DMAX*2-L*2)*(XMAX-DMAX)/2.0-RAGA*(DMAX*3-L*3)
      /6.0+RAGA*L*2*(DMAX-L)/2.0;
    OUT4(6,'5B'***DMAX=',N,4B'***KAZU Limit, MAX=',N,
      'XMAX=',N,'MMAX=',N,DMAX,TMAX,XMAX,MLIM);
    CRLF;

    OUT5(6,'5B'H',N,'LENTH',N,'GANE',N,'HABA',N,'CP',N,
      H,L,B,GANE,CP);
    CRLF(5);
    OUTO(6,'8B'X=-----',15B'DO=X-----'9B'SEARING(1)');
  end;
end;

```

```

      (8B*BEND)NG(t,m)')/');
SMX=-TMAX+RAGA*DMAX+2/2.0;
SM0=-TMAX;
MRD=-TMAX*H-TMAX*DMAX+RAGA*DMAX+3/6.0;
MRO=-TMAX*H;
for X=0.0 step 0.05 until L do
begin
  if X≤DMAX then
  begin
    SMX0=SM0+RAGA*X+2/2.0;

    MMX=MRO-TMAX*X+RAGA*X+3/6.0;
    PR0=CP*GANE*B*X;
    OUT4(6,'10B4Z.3D14B.N.6B.N.6B.N',X,PB0,SMX0,MMX); CRLF;
  end else
  if X>DMAX then
  begin
    PB0S=-CP*GANE*B*X;
    SMX1=SMX-RAGA*(X+DMAX)/2.0;
    MMY=MRD-TMAX*(X-DMAX)+RAGA*DMAX+2*(X-DMAX)/2.0-RAGA*(X+DMAX)/6.0+
      RAGA*DMAX+2*(X-DMAX)/2.0;

    OUT4(6,'10B4Z.3D14B.N.6B.N.6B.N',X,PB0S,SMX1,MMY);
    CRLF;
  end;
end;
for X=0.0 step -0.10 until -H do
begin
  MMT=-TMAX*(X+H);
  OUT3(6,'10B4Z.3D.37B.N.6B.N',X,SM0,MMT);
  CRLF;
end;

OUT0(6,'END MAX'); OUT0(6,'I');

if SY=0.0 then go to END6;
for J=1 step 1 until SY do
begin
  READ(T);
  SA1=(36.0*T*H+24.0*T*L)/L+4;
  SB1=(18.0*T*L+24.0*T*H)/L+3;

  AAA=2.0*T+RAGA*L*L;

  AA11=27.0*(AAA+3-2.0*RAGA*(3.0*T*H-RAGA*L+3)/12);
  AA12=54.0*RAGA+3*AAA+2;
  AA13=0;
  AA14=-32.0*RAGA+9;
  N1=T/(CP*R*GANE); A3=(N1-L+2/2)/12.0;
  R1=(N1*H+L+3/3)/6.0;
  C=(-L+3)*(N1-L+2/2)/3.0-L+2*(N1*H+L+3/3.0)/2.0;
  D1=L+4*(N1-L+2/2.0)/4.0+L+3*(N1*H+L+3/3.0)/3.0;
  A[0]=A3; A[1]=B; A[2]=0.0; A[3]=C; A[4]=D1;
  if A[0]≠1.0 then

```

- 160-

- 170-

- 180-

- 190-

- 200-

```

begin
  W:=1.0/A[0];
  for I:=0 step 1 until 4 do
    A[I]:=A[I]*W;
  end;
  K:=-3.0*A[1]+2/8.0*A[2];
  SL:=A[1]+3/8.0-0.5*A[1]*A[2]+A[3];
  SM:=-3.0*A[1]+4/256.0+A[1]+2*A[2]/16.0
    -A[1]*A[3]*0.25+A[4];
  if SL=0.0 and SM=0.0 then
    - 210-
  begin
    RX[1]:=0.5*A[1]; RX[2]:=A[1]+2/16.0+K;
    IX[1]:=IX[2]=0.0;
    Q0(RX, IX, 2);
    RX[3]:=-A[1]*0.25; RX[4]:=-A[1]*0.25;
    IX[3]:=IX[4]=0.0;
  end else
  begin
    P:=-0.4*SM/3.0-K+2/9.0;
    Q:=8.0*K*SM/3.0-SL+2-2.0*K+3/27.0;
    - 220-
    if P=0.0 and Q=0.0 then
      U:=K/3.0
    else
      begin
        D:=-Q+2+4.0*P+3;
        if D>0.0 then
          begin
            W:=ABS(Q)+SQRT(D);
            if Q>0.0 then
              begin SA:=2.0*Q+3/W; SB:=-W*0.5; end
            - 230-
            else
              begin SA:=W*0.5; SB:=-2.0*P+3/W; end;
            if SA=0.0 then
              begin if SA>0.0 then SA:=EXP(LN(SA)/3.0)
                - 240-
                else
                  SA:=-EXP(LN(-SA)/3.0);
                end;
              if SB=0.0 then
                begin if SB>0.0 then SB:=EXP(LN(B)/3.0)
                  else SB:=-EXP(LN(-B)/3.0);
                end;
              U:=SA+SB+K/3.0;
            end else
              begin
                Z:=ARCTAN(-SQRT(-D)/Q); U:=2.0*SQRT(-P)*COS(Z/3.0)+K/3.0;
                end;
              S:=U-K; S1:=SQRT(ABS(S));
              if S>0.0 then
                begin
                  - 250-

```

```

if S>0.0 then
  begin
    RX[1]=S1; RX[2]=0.5*(U-SL/S1);
    RX[3]=-S1; RX[4]=0.5*(U+SL/S1);
  end else
  begin
    RX[1]=RX[3]=0.0; RX[2]=0.5*U; RX[4]=0.5*U;
  end;
  for I=1 step 1 until 4 do
    IX[I]=0.0;

- 260-

  end else
  begin
    RX[I]=PX[3]=0.0; RX[2]=0.5*U; RX[4]=0.5*U;
    IX[1]=S1; IX[3]=-S1; IX[2]=-0.5*SL/S1; IX[4]=0.5*SL/S1;
  end;
  @@(RX,IX,4); W=0.25*A[1];
  for I=1 step 1 until 4 do
    RX[I]=RX[I]-W;
  end;
  PB10=SB1;

- 270-

  PB01=RAGA;
  PP01=-RAGA*L;
  if PB10<PB01 then
    begin
      XAN[0]=0.30; IKA=1;

  ASS: if IKA>15 then go to OK;
  XAN[IKAI]=XAN[IKAI-1]-(SA1*XAN[IKAI-1]*3/3.0+SB1*XAN[IKAI-1]
    *2/2.0-T)/(SA1*XAN[IKAI-1]*2+SB1*XAN[IKAI-1]);
    IKA=IKA+1; go to ASS;

- 280-

  OK: XSN=XAN[IKAI-1];
  MER=-T*H-T*X+SA1*XSN*4/12.0+SB1*XSN*3/6.0;
  D1=-SB1/SA1;
  CRLF(3);
  OUT1(6,'3B'D1=',N',D1); CRLF(1);
  OUT8(6,'6B'H'B2Z,3D2B,'KAZU'B4Z,3D,'LENGTH'B3Z,3D3B,
    'HABA'B3Z,3D3B,'GANE'B4Z,2D3B,'CP'B3Z,2D',H,T,L,B,GANE,CP); CRLF
  OUT4(6,'6B'SA1',N,'SB1',N,'XU',N,'MMAX',N,'SA1,SB1,XSN,MER);
  CRLF(2);
  OUT0(6,'8B'(Pb)=aX12+bX'); CRLF;

- 290-

  OUT0(6,'8B'X=-----'15B'D0=X-----'15B'D0=X<L-----'15B,
    'SHEARING(t)'6B'BENDING(t,m)'); CRLF;
  for X=0.0 step 0.05 until L do
    begin
      SH=-T+SA1*X*3/3.0+SB1*X*2/2.0;
      MH=-T*H-T*X+SA1*X*4/12.0+SB1*X*3/6.0;
      PBN=SA1*X*2+SB1*X; OUT4(6,'10B4Z,3D43B,N,6B,N,6B,N',X,PBN,SH,MH);
      CRLF;
    end;
  for X=0.0 step -0.10 until -H do
- 300-

```

```

begin
  MHY:=-T*(X+H);
  OUT3(6,'10B4Z.3D.65B.N.6B.N',X,-T,MHY);
  CRLF;
end; OUT0(6,'END1'); OUT0(6,'1');
END; end else
begin
  for I:=1 do
  begin
    real USA; USA=RX[I];

    M:=(N1-(L12/2))/(L13/3-RX[I]*L12/2+RX[I]*3/6.0); - 310-
    SA=M*CP*B*GANE; SB=CP*B*GANE-RX[I]*SA;
    PPL1=SA*L12+SB*L1;
    SDD:=-T+RAGA*USA12/2.0;
    MDD:=-T*H-T*USA+RAGA*USA13/6.0;
    XC=SQRT(2.0*T/RAGA);

    MXC:=-T*H-T*XC+RAGA*XC13/6.0;
    CRLF(3);
    OUT1(6,'6B'KON NO ATA1='N',RX[I]);

    CRLF; - 320-
    OUT6(6,'6B'H'B2Z.3D2B,'KAZU'B4Z.3D2B,'LENGTH'B3Z.3D3B,
      'HABA'B3Z.3D3B,'GANE'B4Z.2D3B,'CP'
      B3Z.2D'H,T,L,B,GANE,CP);
    CRLF;
    OUT5(6,'6B'A='N,2B,'B='N,2B,'C='N,2B,'D='N,2B,'E='
      N,2B,'A[0],A[1],A[2],A[3],A[4]);
    CRLF;
    OUT6(6,'6B'N1='N,1B,'M='N,2B,'SA='N,1B,'SB='
      N,'XSHAO='N,'BENDMAX='N,N1,M,SA,SB,XC,MXC); - 330-
    CRLF(2);
    OUT0(6,'8B'(Pb)=CP*re,B,XA(Pb)=aX12+bX1'); CRLF;
    OUT0(6,'8B'X-----,15B'DO>X-----,15B
      'DO<X<L-----,15B'SHARING(t)'6B'BENDING(t,m)');
    CRLF;
    for X=0.0 step 0.05 until L do
    begin
      if X<USA then
      begin
        PB0=CP*B*GANE*X;
        SX5:=-T+RAGA*X12/2.0; - 340-
        MX5:=-T*H-T*X+RAGA*X13/6.0;
        OUT4(6,'10B4Z.3D14B.N.33B.N.6B.N',X,PB0,SX5,MX5);
        CRLF;
      end;
      if X>=USA then
      begin
        PB1=SA*X12+SB*X;
        SX6=SDD+SA*(X13-USA13)/3.0+SB*(X12-USA12)/2.0;
        MX6=MDD-T*(X-USA)+RAGA*USA12*(X-USA)/2.0+SA*(X14-USA14)/12.0-
          SA*USA13*(X-USA)/3.0+SB*(X13-USA13)/6.0-SB*USA12*(
          - 350-

```

```

      X=USA)/2.0;
      OUT4(6,'10B4Z,3D43B,N,6B,N,6B,N',X,PB1,SX6,MX6);
      CRLF;
    end;
  end;
  for X=0.0 step -0.10 until -H do
    begin
      MX7=-T*(X+H);
      OUT3(6,'10B4Z,3D,61B,N,6B,N',X,-T,MX7); CRLF;
    end; OUT0(6,'END2'); OUT0(6,'');
  - 360-

  if PPL1<PP01 then
    begin
      if KEY(4) then begin NEWTON(4,AA11,AA12,AA13,AA14); end;
      LHO(0)=SA;
      IY=1;
    F: if IY>20 then go to F1;
      LHO(IY)=LHO(IY-1)-(AA11*LHO(IY-1)+AA12*LHO(IY-1)+AA13*
        LHO(IY-1)+AA14)/(3.0*AA11*LHO(IY-1)+2.0*AA12*LHO(IY-1)+AA13);
      if KEY(6) then begin OUT2(6,'CHEEK',22D,N',IY,LHO(IY-1));
        - 370-
      CRLF; end;
      IY=IY+1;
    go to F;
    F1: AYS=LHO(IY-1);
      SAA=AA11; SBB=AA12+SAA*AYS; SCC=-AA14/AYS;
      DHA=SBB+2-4.0*SAA*SCC; XCS(1)=AYS;
      OUT5(6,'10B'AYS=',N',SAA=',N',SBB=',N',SCC=',N',DHA=',N',
        AYS,SAA,SBB,SCC,DHA); CRLF;
      OUT4(6,'10B'AA11=',N',AA12=',N',AA13=',N',AA14=',N',AA11,AA12,AA13,AA14); CRLF;
      if DHA<0.0 then
        - 380-
      begin
        XCS(2)=XCS(3)=*20;
        OUT0(6,'10B'FUCUSOSU');
      end else
      begin
        XCS(2)=(-SBB-SQRT(DHA))/(2.0*SAA); XCS(3)=(-SBB+SQRT(DHA))/(2.0*SAA);
        OUT3(6,'10B'X12(1)',N',X12(2)',N',X12(3)',N',XCS(1),XCS(2),XCS(3));
        CRLF;
      end;
      for j=1 step 1 until 3 do
        - 390-
      begin
        if XCS(1)>10 then begin OUT0(6,'FUKUSOSU1'); go to END5; end;
        if XCS(1)<0.0 then begin OUT0(6,'FUKUSOSU1'); go to END5; end;

        ASA=-SQRT(XCS(1));
        CRLF;
        BSB=3.0*ASA+3*(3.0*T*H-RAGA*L13)/(6.0*ASA+2*T+3.0*RAGA*L12*
          ASA+2*4.0*RAGA*L13);
        DNN=-BSB/ASA;
        D5=(RAGA-B5B)/ASA; D7=(-RAGA-B5B)/ASA; if D5<0.0 then go to END5;
        - 400-

```

```

SD1=-T+RAGA*D512/2.0;
SLO=SD1+ASA*(D713-D513)/3.0+BSB*(D712-D512)/2.0;
MD1=-T+H-T*D5+RAGA*D513/6.0;
MLO=SD1*(D7-D5)+ASA*(D114-D514)/12.0
      -ASA*D513*(D7-D5)/3.0+BSB*(D713-D513)/6.0+BSB*D512*
      (D7-D5)/2.0+MD1;

XC3=SQRT(2.0*T/RAGA);
MXC3=-T+H-T*XC3+RAGA*XC313/6.0;
OUT5(6,'10B'D5=',N,'D7=',N,'DNN=',N,'ASA=',N,'BSB',N,'D5,D7,DNN,ASA,BSB);
      - 410-
CRLF; OUT2(6,'10B'BENDMAX=',N,'XC3',N,'MXC3,XC3);
CRLF;
OUT6(6,'6B'H'B2Z,3D2B,'KAZU(t)'B4Z,3D2B,'LENGTH(m)'
      B3Z,3D3B,'HABA(m)'B3Z,3D3B,'GANE(t/m13)'
      B4Z,2D3B,'CP'B3Z,2D,N',H,T,L,B,GANE,CP);
CRLF;
OUT4(6,'6B'AA11=',N,'AA12=',N,'AA13=',N,'AA14=',N,'AA11,AA12,AA13,AA14);
CRLF(1);
OUT0(6,'10B'Pb=CP,Fe,B,XA(Pb)=aX12+bX ^ (Pb)=-CP,Fe,B,X');
CRLF;
      - 420-
OUT0(6,'8B'X=(m)---',15B'D5aX(t/m2)'3B'D5aXaD7---'3B'D5aXaL---'
      13B'SHEARING(t)'6B'BENDING(t,m)');
CRLF;
for X=0.0 step 0.05 until L do
begin
  if D5>D7 then begin OUT0(6,'ERROR'); go to END5; end;
  if XaD5 then
  begin
    SD2=-T+RAGA*X12/2.0;
    MD2=-T+H-T*X+RAGA*X13/6.0;
      - 430-
    PBB1=RAGA*X; OUT4(6,'10B4Z,3D14B,N,32B,N,6B,N',X,PBB1,SD2,MD2);
    CRLF;
  end;
  if XaD5 ^XaD7 then
  begin
    SD3=SD1+ASA*(X13-D513)/3.0+BSB*(X12-D512)/2.0;
    MD3=MD1+SD1*(X-D5)+ASA*(X14-D514)/12.0-ASA*D513*
      (X-D5)/3.0+BSB*(X13-D513)/6.0+BSB*D512*(X-D5)/2.0;
    PBB0=ASA*X12+BSB*X; OUT4(6,'10B4Z,3D30B,N,16B,N,6B,N',X,PBB0,SD3,MD3);
    CRLF;
      - 440-
  end;
  if XaD7 then
  begin
    SD4=SLO-RAGA*(X12-D712)/2.0;
    MD4=MLO+SLO*(X-D7)+RAGA*D712*(X-D7)/2.0-RAGA*(X13-D713)/6.0;
    PBBN=-RAGA*X; OUT4(6,'10B4Z,3D40B,N,6B,N,6B,N',X,PBBN,SD4,MD4);
    CRLF;
  end;
end;
S0=SD1-RAGA*D512/2.0 MD0=MD1-SD1*D5-RAGA*D513/6.0+RAGA*D513/2.0;
      - 450-

```

```

      for X=0.0 step -0.10 until -H do
      begin
        MD5:=-T*(X+H);
        OUT3(6,'10B4Z.3D.57B.N.6B.N',X,-T,MD5);CRLF;
      end;
      OUT0(6,'END3'); OUT0(6,''); END5;
    end;
  end;
end;
END6: end;
end;
END3: OUT0(6,'END OF PROGRAM'); OUT0(6,'');

```

- 460-

2 - 2 根がらみ付支柱の支持力のプログラム (BOO1083)

```

begin
comment KNO PROGRAM WA GUARDRAIL SHITHIU NOKEIKAN DE
NEGARAM GA THUITERU TOKI DE ARU!
array X[0:10];
real H,L,B0,B1,D1,D11,GANE,CP,A0,A1,I,J,K,P,Q,INF,INB,PF2,PF3,PF4,PA5,
BNE,RET,NET,FUC,SF1,MF1,SF2,MF2,SF3,MF3,
TOK,MU,DDS,USA,HA1,MUA,SF4,MF4,SF5,MF5,
R,S,U,X0,V,M,X1,UH,VH,PH,OH,IH,JH,ONM,SX,MX,SX1,T,MX1,
PB,PB1,PB2,PB3,PB4,PB5,PB6,PB13,PB14,PB15,PB16,
SX12,W,DIC,MX12,SX13,MX13,SXC1,MXC1,SXC2,MXC2,SXC3,MXC3,
SXC4,MXC4,SXC5,MXC5,DM,SX0,MX0,SX11,MX11,SX2,MX2,SX3,
MX3,SX4,MX4;
integer DEAD,LIFE,I2,NNO,I13;
procedure NEW(AA,BB,CC,X);
value AA,BB,CC; real AA,BB,CC;
array X;
begin
integer I;
real D,E,F,G,DDA;
array XA[0:40]; D:=90.0;
XA[0]:=D; I:=1;
AU: if I>30 then go to OK;
XA[I]:=XA[I-1]-(AA*XA[I-1]+3+BB*XA[I-1]+2+CC)/(3.0*AA*XA[I-1]+2
+2.0*BB*XA[I-1]);
I:=I+1; go to AU;
OK: X[I]:=XA[I-1];
E:=AA; F:=CC/X[I]+2; G:=-CC/X[I];
DDA:=F+2-4.0*E*G;
if DDA<0.0 then
begin
X[2]:=X[3]:=0.0; go to EN;
end;
X[2]:=(-F+SQR(DDA))/(2.0*E);
X[3]:=(-F-SQR(DDA))/(2.0*E);
for I:=1 step 1 until 3 do
begin
if X[I]>180.0 or X[I]<-10.0 then
begin X[I]:=0.0; go to EN;
end;
end;
EN;
end;
procedure TAU;
begin
OUTO(6,'5B'X(m),'11B'shearing(T)'17B'Beinging(tm)'10B'Pa(kg/cm+2)')//';
end;
procedure TMAX(X,Y);
value X,Y; real X,Y;
begin
OUT2(6,'//10B'T='N'10B'ONM='N'X,Y); CRLF;

```

```

end;
procedure AA(X);
  real X;
  if KEY(2) then begin OUT1(6,'5B,N',X); end;
  procedure NGRAM(H,L,B,GANE,CP);
    value H,L,B,GANE,CP; real H,L,B,GANE,CP;
    begin
      integer IQ;
      array LD[0:40];
      real DMAX,SMX0,SMX,XMAX,TMAX,MLIM,MRD,MRO,SMO,MMX,PBQ,
        PBQS,SMX1,MMY,MMT,X,RAGA;
      RAGA=CP*GANE*B;
      LD[0]=L;
      IQ:=1;
      LLW: if IQ>15 then go to LW;
      LD[IQ]=LD[IQ-1]-(4.0*LD[IQ-1]+3.0*H*LD[IQ-1]+2.0*(3.0*
        L+2.0*H+2.0*L+3.0))/(12.0*LD[IQ-1]+12.0*H*LD[IQ-1]);
      IQ:=IQ+1; go to LLW;
      LW: DMAX=LD[IQ-1];
      TMAX=RAGA*(DMAX+2-L+2/2.0); CRLF(5);
      XMAX=SORT(2.0*DMAX+2-L+2);
      MLIM=RAGA*(XMAX+3-DMAX+3)/6.0-RAGA*DMAX+2*(XMAX-DMAX)/2.0
        -RAGA*(DMAX+2-L+2)*(XMAX-DMAX)/2.0-RAGA*(DMAX+3-L+3)
        /6.0+RAGA*L+2*(DMAX-L)/2.0;
      OUT4(6,'5B',DMAX,'N',4B,'KAZU Limit, MAX=',N,
        'XMAX=',N,'MMAX=',N,'DMAX,TMAX,XMAX,MLIM');
      CRLF;
      OUT5(6,'5B',H,'N','LENTH',N,'GANE',N,'HABA',N,'CP',N,
        H,L,B,GANE,CP);
      CRLF(5);
      OUTO(6,'8B',X='-----',15B'DO=X-----',9B'SEARING(t)',
        8B'BENDING(t,m)');
      SMX:=TMAX+RAGA*DMAX+2/2.0;
      SMO:=TMAX;
      MRD:=TMAX*H-TMAX*DMAX+RAGA*DMAX+3/6.0;
      MRO:=TMAX*H;
      for X=0.0 step 0.05 until L do
        begin
          if X<DMAX then
            begin
              SMX0=SMO+RAGA*X+2/2.0;
              MMX=MRO-TMAX*X+RAGA*X+3/6.0;
              PBQ=CP*GANE*B*X;
              OUT4(6,'10B4Z,3D14B,N,6B,N,6B,N',X,PBQ,SMX0,MMX); CRLF;
            end else
              if X>DMAX then
                begin
                  PBQS=CP*GANE*B*X;
                  SMX1=SMX-RAGA*(X+2-DMAX+2)/2.0;
                end
            end
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;

```

```

      MMY=MRD-TMAX*(X-DMAX)+RAGA*DMAX2*(X-DMAX)/2.0-RAGA*(X3-DMAX3)/6.0+
      RAGA*DMAX2*(X-DMAX)/2.0
      OUT4(6,'10B4Z.3D14B.N.6B.N.6B.N',X,PB0S,SMX1,MMY);
      CRLF;
    end;
  end;
  for X=0.0 step -0.10 until -H do
  begin
    MMT=-TMAX*(X+H);
    OUT3(6,'10B4Z.3D.37B.N.6B.N',X,SMO,MMT);
    CRLF;
  end;
  OUT0(6,'END MAX'); CRLF;
end;
EAD(NNO);
or I13=1 step 1 until NNO do
begin
  READ(H,L,B0,B1,D1,D11);
  AD(GANE,CP);
  if D1=0.0 and D11=0.0 then
    begin NGRAM(H,L,B0,GANE,CP); go to OWR; end else go to MEN;
  EN; AO=CP*GANE*B0; A1=CP*GANE*B1;
  I=A1;
  J=(AO*D112-A1*D112-A1*D112-A0*L12+A0*D112)/2.0;
  K=2.0*A1/3.0;
  M=(AO*D113-A1*D113-A1*D113-A0*L13+A0*D113)/3.0;
  P=A0; Q=(A1*D112-A0*D112-A0*L12)/2.0;
  R=2.0*A0/3.0;
  S=(A1*D113-A0*D113-A0*L13)/3.0;
  U=A0;
  V=(-A0*D112+A1*D112-A0*D112+A0*D112-A0*L12)/2.0;
  W=A0*2.0/3.0;
  X0=(A1*D113-A0*D113-A1*D113+A0*D113-A0*L13)/3.0;
  BET=(A0*D112+A1*D112-A1*D112-A0*D112-A0*L12)/2.0;
  NET=(A0*D113+A1*D113-A1*D113-A0*D113-A0*L13)/3.0;
  UH=U*H;
  H=X0+V*H; PH=P*H; QH=Q*H+S; JH=J*H;
  JH=M+J*H; BNE=BET*H+NET;
  OUT6(6,'///.3B'I='N,J='N,K='N,3B'H='N,3B'p='N,3B'Q='N,I,J,K,M,P,Q); CRLF;
  OUT5(6,'3B'R='N,3B'S='N,3B'V='N,w='N,x='N,R,S,V,W,X0); CRLF;
  OUT6(6,'3B'UH='N,VH='N,PH='N,QH='N,JH='N,JH='N,UH,VH,PH,QH,JH,JH); CRLF;
  OUT6(6,'///.3B'H='N,L='N,B0='N,B1='N,D1='N,N'H,L,B0,B1,D1,D11); CRLF;
  OUT4(6,'3B'GANE='N,CP='N,AO='N,A1='N,GANE,CP,A0,A1);
  CRLF(3);
  NEW(R,PH,QH,X);
  for I2=1 step 1 until 3 do
  begin
    ONM=X[I2]; AA(ONM);
    if ONM=0.0 then go to EN0;
  end;

```

```

if ONM=DII/ADI=0.0 then go to O1 else go to OK11
T:=A0*ONM12+01
OUT2(6,'10B,CASE***ONE**T=',N,'ONM=',N',T,ONM);
CRLF;
TAU;
for X1=-H step 0.05 until 0 do
begin
SX=-T1 MX=-T*(X1+H)
OUT3(6,'5BZ,2D,10B,N,10B,N',X1,SX,MX);
CRLF;
end; CRLF;
for X1=0 step 0.05 until DII do
begin
SX1=SX+A1*X112/2.01
MX1=MX+A1*X113/6.0-T*X11
PB1=A1*X11
OUT4(6,'5BZD,2D,10B,N,10B,N,10B,N',X1,SX1,MX1,PB1);
CRLF;
end; CRLF;
TOK:=(ONM-DII)/10.01;
for X1=DII step TOK until ONM do
begin
SX12=SX1+A0*(X112-DII12)/2.01
MX12=MX1+SX1*(X1-DII)+A0*(X113-DII13)/6.0-DII12*(X1-DII)/2.01
PB1=A0*X11
OUT4(6,'5BZ,3D,10B,N,10B,N,10B,N',X1,SX12,MX12,PB1); CRLF;
end;
CRLF;
MUJ:=(L-ONM)/10.01;
for X1=ONM step MUJ until L do
begin
SX13=SX12+A0*(ONM12-X112)/2.01
MX13=MX12+SX12*(X1-ONM)+A0*ONM12*(X1-ONM)/2.0-
A0*(X113-ONM13)/6.01
PB2=-A0*X11
OUT4(6,'5BZ,3D,10B,N,10B,N,10B,N',X1,SX13,MX13,PB2); CRLF;
end; go to OWRI; ENO1
OK1:
end;
NEW(W,UH,BNE,X);
for I2=1 step 1 until 3 do
begin
FUC=X[I2]; AA(FUC);
if FUC=0.0 then go to EEEL
if FUC>DII/ADI>0.0 then go to ATC else go to EEEL
ATC: T:=A0*FUC12+RET1
OUTO(6,'10B,*****CASE**TWO**'/');
TMAX(T,FUC);
TAU;
for X1=-H step 0.05 until 0 do

```

- 160-

- 170-

- 180-

- 190-

- 200-

```

begin
SF1=-T; MF1=-T*(X1+H);
OUT3(6,'5BZ.2D.10B.N.10B.N',X1,SF1,MF1); CRLF;
end;
for X1=0.0 step 0.05 until D1 do
begin
SF2=SF1+A0*X12/2.0;
MF2=MF1+SF1*X1+A0*X13/6.0;
PF2=A0*X1;
OUT4(6,'5BZ.2D.10B.N.10B.N.10B.N',X1,SF2,MF2,PF2); CRLF;
end;
for X1=D1 step 0.05 until D11 do
begin
SF3=SF2+A1*(X12-D12)/2.0;
MF3=MF2+SF2*(X1-D1)+A1*(X13-D13)/6.0-A1*D12*(X1-D1)/2.0;
PF3=A1*X1;
OUT4(6,'5BZ.2D.10B.N.10B.N.10B.N',X1,SF3,MF3,PF3); CRLF;
end; CRLF;
INF=(FUC-D11)/10.0;
for X1=D11 step INF until FUC do
begin
SF4=SF3+A0*(X12-D112)/2.0;
MF4=MF3+SF3*(X1-D11)+A0*(X13-D113)/6.0-A0*D112*(X1-D11)/2.0;
PF4=A0*X1;
OUT4(6,'5BZ.3D.10B.N.10B.N.10B.N',X1,SF4,MF4,PF4); CRLF;
end;
CRLF;
CRLF;
INB=(L-FUC)/10.0;
for X1=FUC step INB until L do
begin
SF5=SF4-A0*(X12-FUC2)/2.0;
MF5=MF4+SF4*(X1-FUC)-A0*(X13-FUC3)/6.0+A0*FUC2*(X1-FUC)/2.0;
PF5=-A0*X1;
OUT4(6,'5BZ.2D.10B.N.10B.N.10B.N',X1,SF5,MF5,PF5); CRLF;
end;
go to OWR1;
EEE:
end; go to BBN1;
MUU: NEW(W,UH,VH,X);
for I2=0 step 1 until 3 do
begin
DIC=X[I2];
AA(DIC);
if DIC=0 then go to FNO1;
if DIC<0 then go to KKO else go to ENO1;
KKO: T=A0*DIC2+V1;
OUTO(6,'/','****CASE**FORE**/');
TMAX(T,DIC);

```

```

TAU: for X1=H step 0.05 until 0 do
  begin
    SXC1:=T; MXC1:=T*(X1+H);
    OUT3(6,'5BZ,2D,10B,N,10B,N',X1,SXC1,MXC1); CRLF;
  end;

  USA=DIC/10.0;
  for X1=0.0 step USA until DIC do
    begin
      SXC2:=SXC1+A0*X12/2.0;
      MXC2:=MXC1+A0*X13/6.0-T*X1;
      PB13:=A0*X1;
      OUT4(6,'5BZ,3D,10B,N,10B,N,10B,N',X1,SXC2,MXC2,PB13);
      CRLF;
    end;
    DDS=(DI-DIC)/10.0;
    for X1=DIC step DDS until DI do
      begin
        SXG3:=SXC2-A0*(X12-DIC2)/2.0;
        MXG3:=MXC2+SXC2*(X1-DIC)-A0*(X13-DIC3)/6.0
          +A0*DIC2*(X1-DIC)/2.0;
        PB14:=A0*X1;
        OUT4(6,'5BZ,3D,10B,N,10B,N,10B,N',X1,SXC3,MXC3,PB14);
        CRLF;
      end; CRLF;
      for X1=DI step 0.05 until DI do
        begin
          SXC4:=SXC3-A1*(X12-DI2)/2.0;
          MXC4:=MXC3+SXC3*(X1-DI)-A1*(X13-DI3)/6.0
            +A1*DI2*(X1-DI)/2.0;
          PB15:=A1*X1;
          OUT4(6,'5BZ,2D,10B,N,10B,N,10B,N',X1,SXC4,MXC4,PB15); CRLF;
        end; CRLF;
        for X1=DI step 0.05 until L do
          begin
            SXC5:=SXC4-A0*(X12-DI2)/2.0;
            MXC5:=MXC4+SXC4*(X1-DI)-A0*(X13-DI3)/6.0+
              A0*DI2*(X1-DI)/2.0;
            PB16:=A0*X1;
            OUT4(6,'5BZ,2D,10B,N,10B,N,10B,N',X1,SXC5,MXC5,PB16); CRLF;
          end; CRLF;
          go to OWR;
        EN01;
      end;
      go to SIU;
    BBN: NEW(K, IH, JH, X);
    for I2=1 step 1 until 3 do
      begin
        DM=X[I2]; AA(DM);
        if DM=0.0 then go to ON2;
      end;

```

- 260-

- 270-

- 280-

- 290-

- 300-

```

    if DM=0 then go to ON else go to ON2
ON:  T:=DM*2+J  OUT0(6, '/', '***CASE***THREE***', '/')
    TMAX(T, DM)
    TAU
    for X1=-H step 0.05 until 0 do
    begin
        SX0=-T  MX0=-T*(X1+H)
        OUT3(6, '5BZ.2D.10B.N.10B.N', X1, SX0, MX0)  CRLF
    end  CRLF
    for X1=0 step 0.05 until D1 do
    begin
        SX11=SX0+A0*X1*2/2.0
        MX11=MX0+A0*X1*3/6.0-T*X1
        PB3=A0*X1
        OUT4(6, '5BZ.2D.10B.N.10B.N.10B.N', X1, SX11, MX11, PB3)
        CRLF
    end  CRLF
        HAI=(DM-D1)/10.0
    for X1=D1 step HAI until DM do
    begin
        SX2=SX11+A1*(X1*2-D1*2)/2.0
        MX2=MX11+SX11*(X1-D1)+A1*(X1*3-D1*3)/6.0-A1*D1*2*(X1-D1)/2.0
        PB4=A1*X1
        OUT4(6, '5BZ.3D.10B.N.10B.N.10B.N', X1, SX2, MX2, PB4)  CRLF
    end  CRLF
        MUA=(D1-DM)/10.0
    for X1=DM step MUA until D1 do
    begin
        SX3=SX2+A1*(DM*2-X1*2)/2.0
        MX3=MX2+SX2*(X1-DM)+A1*DM*2*(X1-DM)/2.0-A1*(X1*3-DM*3)/6.0
        PB5=-A1*X1
        OUT4(6, '5BZ.3D.10B.N.10B.N.10B.N', X1, SX3, MX3, PB5)  CRLF
    end  CRLF
    for X1=D1 step 0.05 until L do
    begin
        SX4=SX3+A0*(D1*2-X1*2)/2.0
        MX4=MX3+SX3*(X1-D1)+(D1*2*(X1-D1)-(X1*3-D1*3)/3.0)*A0/2.0
        PB6=-A0*X1
        OUT4(6, '5BZ.3D.10B.N.10B.N.10B.N', X1, SX4, MX4, PB6)  CRLF
    end  CRLF
    go to OWRI
ON2:
    end
    go to MUUI
SUU:
OWRI:
    OUT0(6, ' ' )
    end  OUT0(6, 'END OF PROGRAM')  OUT0(6, ' ' )

```