

土木研究所資料

第428号

遠心力鉄筋コンクリート管埋設実験報告書

昭和44年3月

建設省土木研究所

目 次

1. ま え が き	1
2. 研 究 の 目 的	2
3. 実 験 の 概 要	3
3.1 管種および埋設工事概要	3
3.2 測定項目および測定計器	4
3.3 工 程	4
4. 原地盤および埋めもどし土の性質	5
4.1 原地盤の性質	5
4.2 埋めもどし土の性質	5
5. 測 定 結 果	7
5.1 管きよにかかる土圧	7
5.2 地下水位	7
5.3 管きよ基礎の沈下	7
5.4 周辺地盤の変位	8
5.5 管きよに生ずる応力	8
6. 考 察	51
6.1 解析に用いた数値	51
6.2 管きよにかかる土圧	52
6.3 地表変位	57
6.4 管きよ基礎の沈下	58
6.5 管きよに作用する土圧の計算法	59
6.6 管きよの応力計算	61
7. 結 論	80
付 録 A Marston の溝形条件の式の2層問題	82
付 録 B Marston の完全突出条件の式の2層問題	84
付 録 C Voellmy の溝形条件の式	85
付 録 D Voellmy の均質地盤内の管きよの式	87
参 考 文 献	88

1. ま え が き

これは、埋設管きよにかかる土圧の現場測定実験の観測および結果の解析について東京都下水道局より委託を受けて建設省土木研究所土質研究室が実施した研究の報告である。

実験は昭和43年10月に開始され、工事は12月下旬に終了したが観測はその後も行なわれた。実験の場所は東京都板橋区新河岸町3-1-1 東京都下水道局新河岸処理場構内である。実験工事は東京都下水道局が担当し、鹿島建設株式会社が施工にあたり、観測ととりまとめは土木研究所があつたが、測定および初期のデータ整理は八千代エンジニアリングが行なった。

計画の段階から終始御協力いただいた関係各位に謝意を表する。

土木研究所における作業では計算その他に土質研究室、光武富雄、広瀬邦治両技官の協力を得た。

昭和44年3月

建設省土木研究所土質研究室

矢 部 正 宏

2. 研究の目的

大口径の遠心力鉄筋コンクリート管が埋設後ひびわれを生じた例がかなり報告され、これに対処するため管の強度を引き上げるよう JIS 規格を改訂しようという機運になってきた。それには管きょに作用する外力（土圧と反力）と管きょの設計法の検討から始めなければならないが、その問題点はほぼ次の2点と考えられる。^①

1. 現在の土圧計算式である Marston 公式では埋めもどし土と溝の間にまさつ力が働らくと考えているが、土留矢板を抜いたときなどにはこのまさつ力は期待できないので実際には計算値以上の土圧が作用する可能性がある。
2. コンクリートでまさたてたときの応力計算は固定アーチの理論にもとづいているが、ひびわれの実態からみてこの考えかたは正しくない。

管の反力については剛性管きょの場合には荷重（土圧）と分離して独立に考察できるとされているので、^② 別の機会にゆずり、2.の問題については模形実験での検討が一応可能なのでその結果を用いることとし、1.の問題を解明するため実際に埋設された管きょの土圧を測定し合理的な土圧計算式を見出しそれにもとづいて JIS 規格改訂のための基礎資料として管きょにかかる土圧とそれによって生ずる応力の計算方法を提案する。

管きょにかかる土圧は矢板引抜きに伴う変化に特に留意し、周辺地盤の変位、地下水位、管の沈下等土圧に関係する種々の要因の測定もあわせて行ない、現在発表されている土圧計算式による理論値と比較した。現在の理論式では矢板を抜いたときに管に生ずる付加的な土圧についてはなんら触れられていないので特にこの問題について検討を加えた。

Marston の式が理論的に不備な点を持っていることは明らかでそれにかわる理論的な考察が必要であるが、この研究期間内では時間がなく純粋に理論的な検討を加えることができなかった。2.の問題についても新しい応力計算法の大体の考えかたは明らかになっているが完結させる時間的余裕がなく暫定的な結果をここに引用した。

3. 実験の概要

3.1 管種および埋設工事概要

この実験は大口径管を対象としているので、呼び径 2500, 2000, 1800 mm のものを用いることとし、2000 mm について2種の実験を行なったので実験数は4で半円管5本を連結したもの（長さは $2.43\text{ m} \times 5 = 12.15\text{ m}$ ）を1実験単位としている。管頂で5mの土かぶりになるように埋設するものとし、矢板をG.L. - 11.30 m まで打設して掘削した後、コンクリート基礎を施工し、荷重計または金属支承を置いて半円管を上に乗せた。5本連結したうちの中央の管のみについて測定を行うこととし1本について片側5個づつ10個の荷重計を設置した。掘削幅、基礎の寸法等は東京都下水道局において実際に施工されているものにてできるだけ合わせた。この詳細は図-3.1に示すとおりである。

実験用管は図-3.1中に記載した厚さの特厚管で鉄筋量も通常のものにくらべて大きくなっている。コンクリートの強度は円柱供試体で $\sigma_{28} = 480 \sim 600\text{ kg/cm}^2$ 、円筒供試体（外径20cm、内径10cm、高さ30cm）で $\sigma_{28} = 510 \sim 640\text{ kg/cm}^2$ 、弾性係数は $E = (3.4 \sim 4.9) \times 10^4\text{ kg/cm}^2$ （平均 $3.6 \times 10^4\text{ kg/cm}^2$ ）であることが工場の試験結果からわかった。

このような実験方式を採用した理由、特に完全な円管でなく半円管を用いた理由は次のようなものである。

1. 管きょ1本のみの実験では側壁の影響を大きく受けて3次元的な現象となり、解析が困難となるので測定する管の両側にそれぞれ2本づつ余分な管をつけて完全に2次元問題とした。
2. 管きょ表面に土圧計を設置して土圧を測定する方法は計器設置がむずかしいことのほかに、現在用いられている土圧計の寸法（高さ）が大きく管きょ表面に受圧面が突出して正しい土圧を測定することが容易でないという点から適当ではないと考え、管きょの下にのこす部分の荷重計で半円管にかかる全土圧を測定することとしたが、測定精度をあげるため片側5個づつ10個の荷重計を設置した。この方式では土圧分布の形はわからないが、設計計算では簡略化して等分布としているので全土圧のみを知ることとした。
3. 全土圧を測定するには完全な円管の下端に荷重計を設置する方法も考えられるが、これは実際の計器設置が容易ではない欠点がある。そして室内実験によれば剛性管きょの場合には上部に作用する土圧分布は基礎の形式に無関係に決まるので、管きょに作用する土圧と基礎反力は独立したものとして分離して考えてよいとされている。^{〔2〕} この実験では上部から作用する土圧のみを測定することを目的としているのでこのように半円管を用いた方法でよい。

ただし、この半円管を用いた方式では溝幅全体にわたってコンクリート基礎が作られ完全な円管の場合にくらべて管の周囲の土が少なく（高さが半分）したがって周囲の土の圧縮量が少

ないので溝内の土圧の非圧縮性コンクリート基礎によって受けもたれる量がかかなりあって、それだけ管きょにかかる土圧が小さくなるという欠点がある。これについては6.考察のところで検討したい。

実験区間は次のようになっている。

区 間	管 種	掘削幅 (m)	掘削深さ (m)	埋めもどし
A	Φ 2500	4.4	7.4	現地の粘土, 締固める
B	Φ 2000	3.85	7.0	山 砂, 締固める
B'	Φ 2000	3.85	7.0	現地の粘土, 締固める
C	Φ 1800	3.85	7.0	現地の粘土, 締固めない

3.2 測定項目および測定計器

測定項目と用いた計器は次のとおりで、計器については諸元を表-3.1にまとめた。

1. 土圧, 半円管アーチ下端に荷重計を設置
2. 半円管の水平反力 半円管は両端ヒンジのアーチと考えられるので鉄筋計2本を管下側の鉄片に溶接してタイロッドとした。
3. 管周の応力分布 測定管中央部で半円をほぼ8等分する点にワイヤーストレインゲージとカールソン型ひずみ計 (B区間Φ2000のみ) をつけた。
4. 地下水位 溝内の水位を有孔パイプで測定した。
5. 管基礎の沈下 管と周辺地盤の不等沈下は管に働く土圧に影響するので鉄筋をコンクリート基礎に埋め込んで沈下を測定した。
6. 周辺地盤の変位 木杭を打ってレベルとトランシットで水平変位と鉛直変位を測定した。

計器の位置と記号は図-3.2に示すがこれ以外の計器の記号は次のようにつけられている。

計 器	Φ 2500	Φ 2000		Φ 1800
	A	B	B'	C
荷 重 計	L-1~L-10	L-11~L-20	L-21~L-30	L-31~L-40
タイロッド	H-1,2	H-3,4	H-5,6	H-7,8
ストレインゲージ	M-1~M-9	M-11~M-19	M-21~M-29	M-31~M-39
カールソンひずみ計		M-11~M-19		

(荷重計およびタイロッドは図-3.2の左から右へ番号順になっている)

(ストレインゲージは図-3.2の下から上に向かって番号順になっている)

3.3 工 程

実験の工程は表-3.2に示すようになっていた。

4 原地盤および埋めもどし土の性質

4.1 原地盤の性質

図-3.2 に示した位置でボーリング、オランダ式円錐貫入試験、スウェーデン式サウンディングを行なった。試験地の土層断面をN値 q_c 値とともに図-4.1に、スウェーデン式サウンディングの結果を図-4.2に示す。ボーリングとオランダ式貫入試験は堀削前(10月初旬)に実施したが、スウェーデン式サウンディングは矢板引抜き後約50日たった2月中旬に行った。サンプリングした乱さない試料についての土質試験結果を表-4.1に、堀削深さ1mごとと3点づつ6mの深さまで砂置換法およびコアカッター法で測定した現場密度と含水比の関係を図-4.3に示す。

これらの試験結果から実験地の土層構成はほゞ次のようになっていると考えられる。

深さ(m)	土質名	r_t (g/cm ³)	w (%)	N 値	q_c (kg/cm ²)	スウェーデン式サウンディング	q_u (kg/cm ²)
0-4	粘土	1.4~1.8	30~75	2~3	2~15	$W_{sw}=50\sim100$	0.29~0.58
4-7	砂	1.8~1.9	30~40	8~18	30~80	$N_{sw}=40\sim120$	—
7-	粘土	1.51~1.59	68~86	0~2	4~5	—	0.44~0.61

深さ2.00~2.85mの粘土について行なった非圧密非排水三軸圧縮試験の結果は $\phi_u=1.3^\circ$ 、 $c_u=0.3\text{ kg/cm}^2$ ($r_t=1.77\text{ g/cm}^3$, $w=40\%$)であった。

4.2 埋めもどし土の性質

埋めもどしには現地で堀削した粘土(正確にはこの工事で堀削したものではなく現地で以前に堀削してあったもの)と山砂を用い、ダンプでまきだした後層厚1mごとに木だこで突固めた。B区間(Φ2000)には山砂を用い、C区間(Φ1800)ではまきだただけで突固めをしなかった。埋めもどし1mごとに砂置換法で測定した密度と含水比は図-4.4のようになっている。また埋めもどし土のサウンディング結果を図-4.5に示す。スウェーデン式サウンディングは埋めもどし後約50日たった2月中旬に実施したもので、その間にブルドーザーによる転圧や矢板引抜き時の振動による締固めなどのあったことに留意しておく必要がある。

JIS A 1210 改訂案の試験方法1.1による突固め試験結果は次のとおりであった。

	最適含水比 w	最大乾燥密度 r_{dmax}
粘土	29.3 (%)	1.42 (g/cm ³)
山砂	19.2	1.66

締固めた粘土 ($r_t = 1.81 \text{ g/cm}^3$, $w = 38.5\%$) の非圧密非排水三軸試験の結果は $\phi_u = 0.39 \text{ kg/cm}^2$ であった。

図-4.4 より密度と含水比の平均値は次のようになり、山砂が意外に締固まっていなかったこと、締固めた粘土と締固めなかった粘土の差がわかるが図-4.5 ではいずれの区間も同じような貫入抵抗を示し埋めもどし土の性質の差異は認められない。

区 間	湿潤密度 r_t	含水比 w	乾燥密度 r_d
A (締固めた粘土)	1.75 (g/cm ³)	28.8 (%)	1.36 (g/cm ³)
B (締固めた山砂)	1.65	16.8	1.41
B' (締固めた粘土)	1.74	28.8	1.35
C (締固めない粘土)	1.65	28.8	1.28

5. 測定結果

5.1 管きよにかゝる土圧

長さ2.43mの各管に設置された10個づゝ計40個の荷重計の記録は表-5.1のとおりで片側5個づゝの合計、および各管の全荷重は表-5.2のようになっていた。土圧の時間的変化を示したのが図-5.1で太い実線が各管に設置した10個の荷重計で測定した全荷重、太い点線は荷重計1個の記録のうち最小値と最大値を示す。細い点線は管の片側5個づゝの荷重計の測定値の和をそれぞれプロットした。(太い点線はグラフの右側の目盛りで読み、その他の線は左側の目盛りで読む) C区間を除いて個々の荷重計の読みは約2.5~4倍の差異があるが、片側5個づゝの総計では両側の差異はほとんどないことから荷重計10個で測定した全荷重は十分信頼出来るものと考えられる。なお図-5.1は管の重量を差しひいた土圧のみをとっている。

管きよを設置したときにはすべての荷重計が管きよをできるだけ均等に支持するよう調整を行ない10個の荷重計による測定荷重は次のようになっていた。

管 種	φ2500	φ2000		φ1800
	A	B	B'	C
測定された荷重	5.6 (t)	1.9 (t)	2.2 (t)	2.9 (t)
管 の 重 量	6.0	3.7	3.7	3.2

5.2 地下水位

地下水位の変化を降雨量とともに図-5.2に示す。水位計W-2、W-7、W-8はやゝ異常な値を示しているので、そのほかの水位計の平均値が地下水位を示すものと考えられる。掘削前の地下水位は-3.5mで埋めもどし開始とともに徐々に回復、矢板引き直前に掘削前の-3.5mより高い-3.0m程度になったのはこの間にかなりの降雨があったためと思われる。

5.3 管きよ基礎の沈下

管きよ基礎コンクリートの沈下量を図-5.3に示す。埋めもどし、転圧その他の作業で沈下計が損傷したこともあって同一管についてもかなりちがった沈下量が観測されている。

B' 区間では不等沈下が生じていることも予想され、2つの沈下計による測定値の比較的一致しているB区間の沈下量（矢板引抜き後で約130mm）が平均的な値と考えられる。なお矢板引抜き時に特に沈下が大きくなっている傾向はよく認められる。

5.4 周辺地盤の変位

地盤変位を観測するための変位杭は矢板から1mごとの距離に11m離れた点まで図-3.2に示すように打設しているが、矢板から一定距離の点の地盤変位をみるために杭の各行ごとに変位量の最大なものと最小のものをとりだして図-5.4のようにまとめた。

5.5 管きょに生ずる応力

図-3.1に示すように管の中央断面の9点にストレインゲージをはってひずみを測定した。B区間のφ2000についてはカールソン型のひずみ計をあわせて設置した。しかしストレインゲージによるひずみ測定ではあまりよい結果が得られずカールソン型ひずみ計による測定値と大きくちがった値を得た。図-5.5はストレインゲージによるひずみの測定結果の1例、図-5.6はカールソン型ひずみ計によるひずみの測定結果である。

半円管を支持している荷重計の受圧部分は球座になっているので、半円管は両端ヒンジのアーチと考えられるがその水平反力を知るためタイロッドをつけてその張力を測定した。その結果が図-5.7で、鉛直方向の反力（管にかかる全土圧）とよく似た傾向を示しているがφ2500のみ矢板引抜き時に急激に増大している。いま矢板引抜き後かなり経過した時点で半円管の水平方向支点反力の実測値を半円アーチ（両端ヒンジ）に等分布土圧が作用したと考えたときの計算値と比較すると、

水平方向支点反力 (t/m)	φ2500	φ2000		φ1800
	A	B	B'	C
実 測 値	4.36	1.28	1.34	1.03
計 算 値	5.06	3.29	3.85	3.67

となって水平反力は予想よりかなり低いことがわかる。

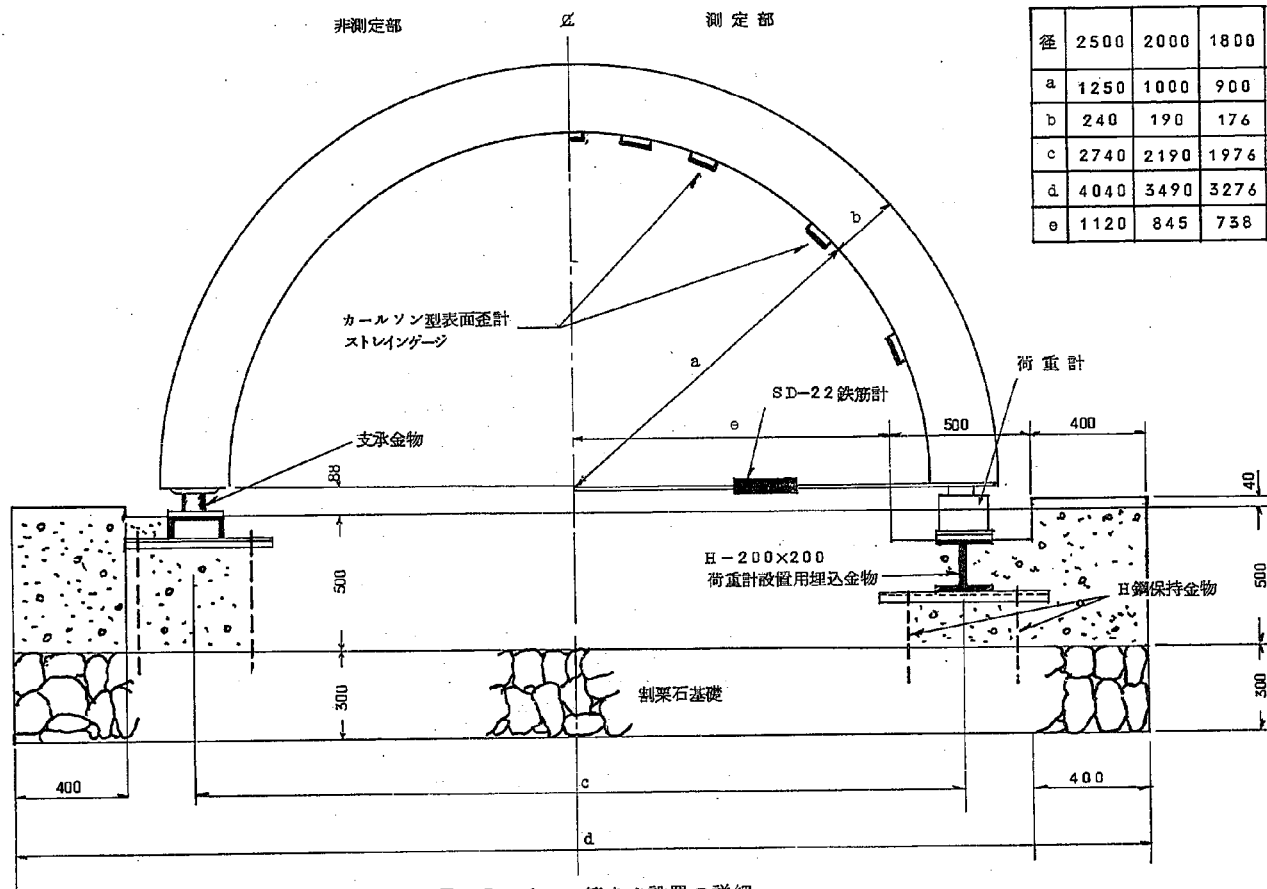
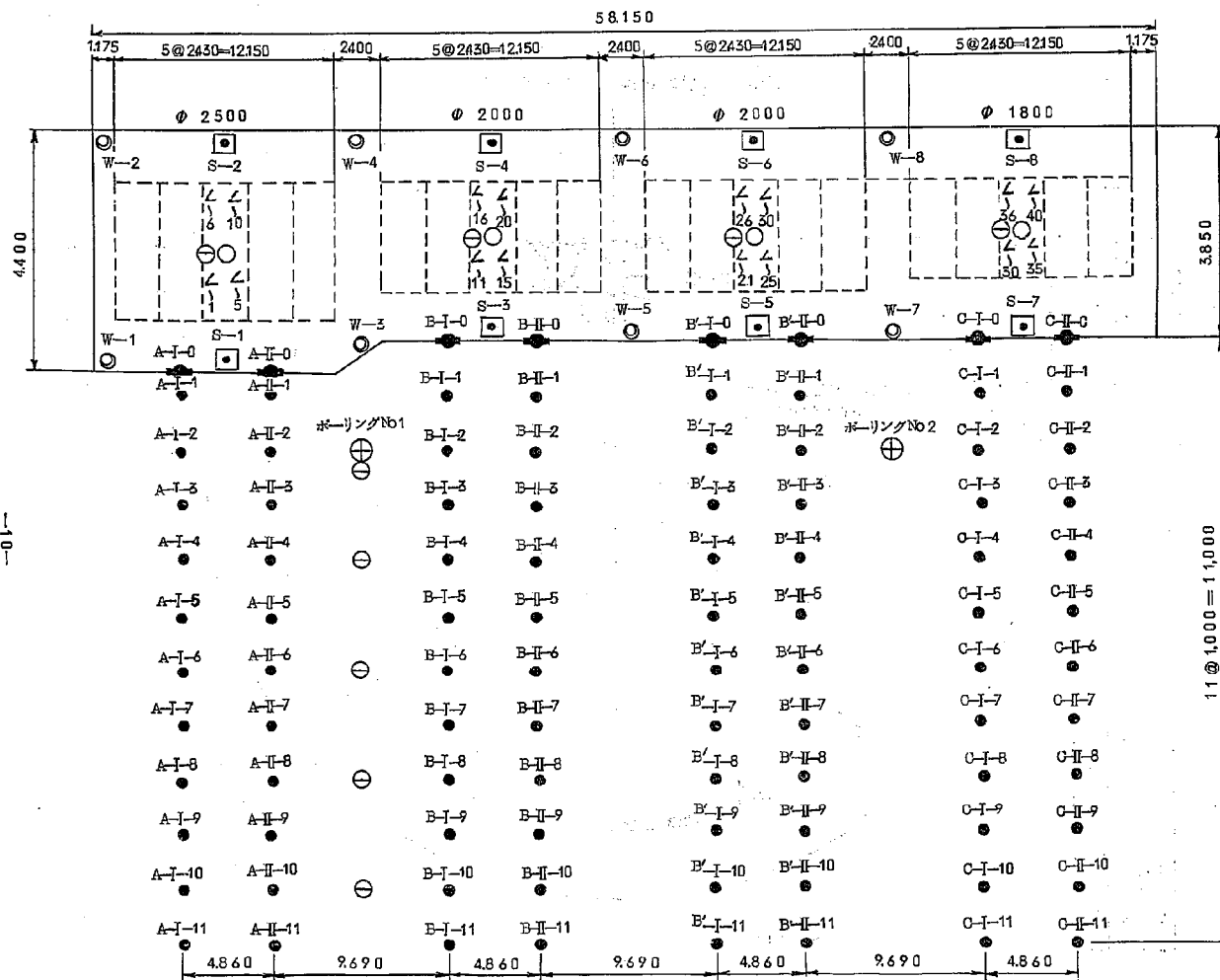


図-3・1 管きよ設置の詳細



縮 尺

横 1/300

縦 1/100

凡 例		
図 式	本 数	名 称
○	88	変 位 杭
●	8	変位測定点
■	8	沈 下 板
○	4	ボアリング
⊕	2	ボアリング
⊙	8	地下水位管
⊖	9	スウェーデン式 サウンディング

表-3.1 測定計器一覧表

名 称	設 置 個 数	測 定 個 数	計 器			測 定 器	設 置 時 期
			形 式	容 量	精 度		
荷 重 計	40	40	差動トランス式 盤 圧 計 (PD-200SZ, 160S)	15t(35個) 12t(35個)	$\pm 0.5\%$	MD-1D (スイッチボックス使用)	11月15日 (設 置) 11月16~17日 (管敷設)
タイロッド	8	8	差動トランス式 鉄 筋 計 (SD-22)	$\pm 5t$	$\epsilon = 10 \times 10^{-6}$	MD-1D (スイッチボックス使用)	11月12~13日 (取 付) 11月16~17日 (管敷設)
ワイヤストレン ゲージ	36	36	ポリエステルゲージ (ゲージ長 60mm)		$\epsilon = 5 \times 10^{-6}$	ストレンメーター SM-6K (スイッチボックス使用)	11月12~13日 (取 付) 11月16~17日 (管敷設)
カールソン ひずみ計	9	9	表面ひずみ計 (FL-10B)	$\epsilon = -1,000$ $\sim +500 \times 10^{-6}$	$\epsilon = 6 \times 10^{-6}$	カールソン用 インジケーター	11月12~13日 (取 付) 11月16~17日 (管敷設)
水 位 計	8	8	$\Phi 78$ mm ビニール管 (スリットつき)		(5mm)	間縄および 検 流 計	11月23~24日
沈 下 計	8	7	$\Phi 22$ mm 鉄筋		(5mm)	レベ ル	11月12~13日
変 位 杭	96	95	木 杭 3×6×80cm		(5mm)	レベルおよび トランシット	10月9~10日 (掘削直前)

精度のうち()内は読みノ最小目盛

表 - 3.2

工 程 表

工事期間		月	10										11										12									
日			10			20			30			9			19			29			9			19			29					
山	掘	工																														
掘	削	工																														
A	区	間																														
B																																
B'																																
C																																
支	保	工																														
上	下	段																														
基	礎	工																														
床	敷	栗																														
コン	グ	リ																														
ート	打	設																														
支	承	板																														
荷	重	計																														
設	置																															
管	敷	設																														
A	区	間																														
B																																
B'																																
C																																
埋	戻																															
支	保	工																														
下	上	撤																														
上		去																														
下		段																														
矢	板	引																														
A	区	間																														
B																																
B'																																
C																																

縮尺 縦 1/100
横 1/200

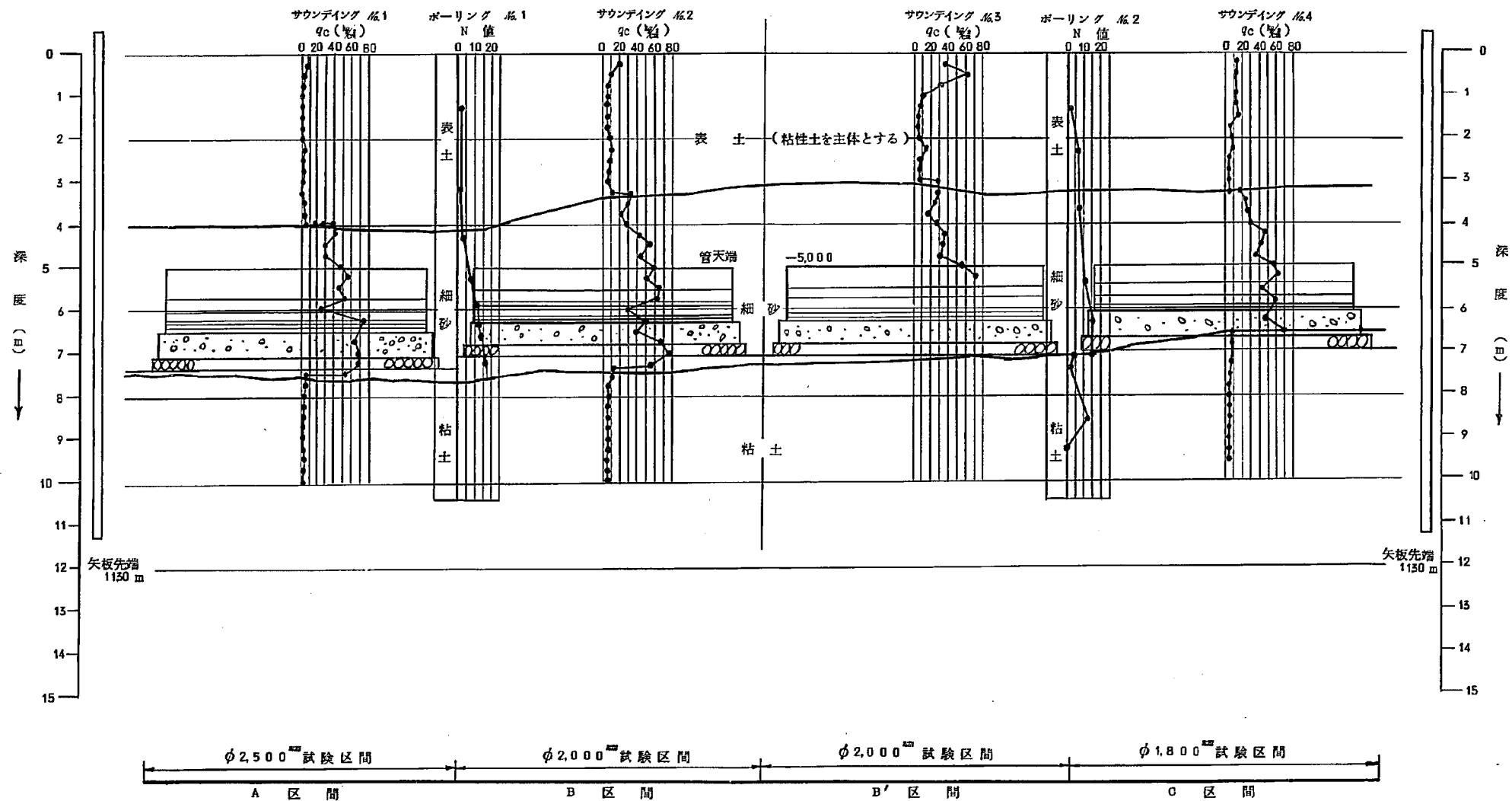


図-4.1 原地盤の土層断面

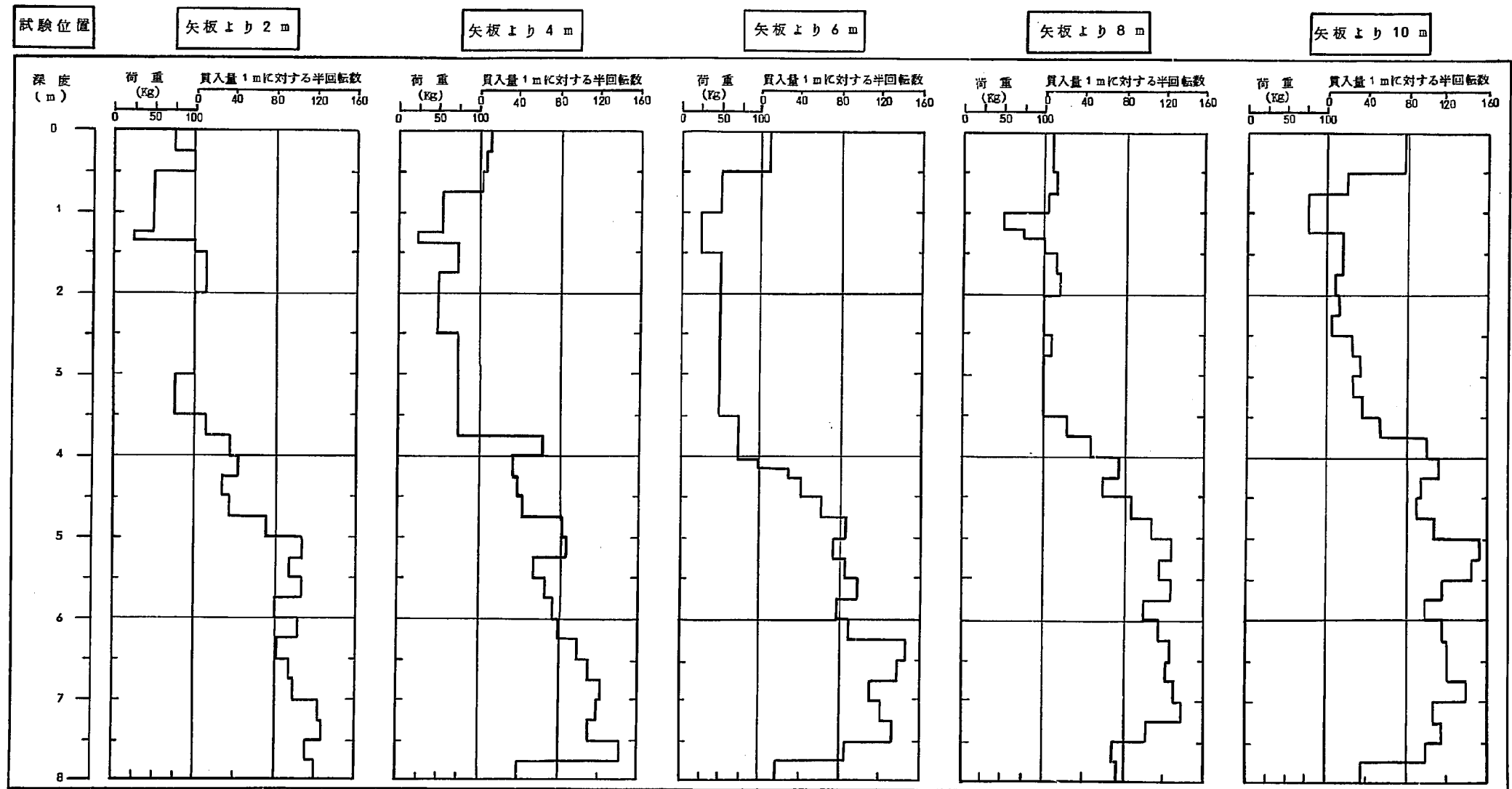


図-4・2 原地盤のスウェーデン式サウンディング結果

表-4.1 土質試験結果一覧表

試験期日 昭和43年10月14日~43年10月28日

ボーリング孔番号			No. 1						No. 2					
試料番号			TW-1(上)	TW-1(下)	TW-2(上)	TW-2(下)	TW-3(上)	TW-3(下)	TW-1(上)	TW-1(下)	TW-2(上)	TW-2(下)	TW-3(上)	TW-3(下)
採取標高(m)			2.00~2.85		8.00~8.85		9.60~10.45		2.50~3.35		8.00~8.85		9.70~10.40	
含水比・密度	自然含水比	ω %	47.0	54.8	74.7	68.1	72.3	83.8	62.9	52.9	75.9	71.7	86.0	86.3
	土粒子の比重	G_s	26.7	26.0	26.8	26.7	26.3	26.7	26.2	26.0	26.6	26.5	26.7	26.8
	湿潤密度	γ_t g/cm^3	1.752	1.679	1.557	1.543	1.551	1.513	1.617	1.679	1.692	1.545	1.505	1.587
	乾燥密度	γ_d g/cm^3	1.190	1.084	0.890	0.918	0.898	0.824	0.983	1.100	0.962	0.900	0.808	0.852
	間ゲキ比	e	1.24	1.40	2.01	1.91	1.93	2.24	1.66	1.36	1.77	1.95	2.30	2.15
	飽和度	S_r %	100	100	100	95.2	98.6	100	99.5	100	100	97.4	100	100
粒度試験	レキ	<2.00 mm %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	砂	2.00 mm ~ 0.074 mm %	13	22	9	6	8	6	15	26	8	14	14	9
	シルト	0.074 mm ~ 0.005 mm %	46	38	55	62	57	57	43	40	56	48	49	56
	粘土	<0.005 mm %	41	40	36	32	35	37	42	34	36	38	37	35
	三角座標分類名称		粘土	粘土	シルト質粘土	シルト質粘土	シルト質粘土	シルト質粘土	粘土	粘土	シルト質粘土	粘土	粘土	シルト質粘土
	均等係数	U_c	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
コテ ン ン ス	液性限界	ω_L %	78.0	93.5	66.5	65.0	78.0	88.1	104.6	68.5	73.0	72.7	83.3	88.1
	塑性限界	ω_P %	32.9	38.3	32.9	34.5	28.6	40.0	35.8	28.6	33.9	32.5	37.5	40.1
	塑性指数	I_P %	45.1	55.2	33.6	30.5	49.4	48.1	68.8	39.9	39.1	40.2	45.8	48.0
	コンシステンシー指数	I_c	0.688	0.702	-0.119	-0.102	0.006	0.023	0.539	0.391	-0.110	0.104	-0.050	0.040
一軸圧縮試験	一軸圧縮強さ	Q_u kg/cm^2	1.243 1.024	0.536 0.580	0.544 0.611	0.536 0.584	0.606 0.574	0.240 0.587	0.362 0.347	0.324 0.290	0.579 0.617		0.483 0.444	
	破壊ヒズミ	ϵ_f %	5.0 4.0	5.0 7.5	5.5 6.0	7.0 8.5	7.5 8.5	5.5 9.0	7.5 7.0	8.5 5.0	7.0 7.0		3.0 2.5	
	変形係数	E_s kg/cm^2	36.8 32.0	16.7 16.1	11.6 12.7	9.9 10.4	10.4 9.1	7.3 8.9	8.8 8.4	7.4 8.8	10.5 12.5		26.8 25.0	
	鋭敏比	S_t	3.4 2.8	5.1 5.5	—	—	—	—	3.6 3.5	4.0 3.6	—	—	—	—
圧密試験	圧縮指数	C_c	0.42	0.50	0.72	0.70	0.71	0.86	0.58	0.59	0.60	0.77	0.74	0.87
	圧密先行荷重	P_c kg/cm^2	1.77	1.80	1.32	1.30	1.40	1.43	1.09	1.30	1.30	1.09	1.24	1.16
	圧密係数	C_v cm^2/sec	247×10^{-3} $\sim 1.16 \times 10^{-3}$	2.86×10^{-3} $\sim 7.21 \times 10^{-3}$	2.24×10^{-3} $\sim 9.45 \times 10^{-3}$	2.62×10^{-3} $\sim 7.34 \times 10^{-3}$	1.73×10^{-3} $\sim 5.27 \times 10^{-3}$	1.7×10^{-3} $\sim 6.62 \times 10^{-3}$	1.01×10^{-3} $\sim 3.36 \times 10^{-3}$	5.80×10^{-4} $\sim 2.17 \times 10^{-3}$	1.10×10^{-3} $\sim 9.47 \times 10^{-3}$	8.44×10^{-4} $\sim 3.80 \times 10^{-3}$	5.66×10^{-4} $\sim 1.73 \times 10^{-3}$	1.26×10^{-3} $\sim 7.21 \times 10^{-3}$
	透水係数	k cm/sec	267×10^{-8} $\sim 835 \times 10^{-8}$	3.43×10^{-8} $\sim 3.43 \times 10^{-7}$	4.06×10^{-8} $\sim 6.97 \times 10^{-7}$	4.20×10^{-8} $\sim 6.77 \times 10^{-7}$	2.68×10^{-8} $\sim 2.91 \times 10^{-7}$	4.33×10^{-8} $\sim 8.60 \times 10^{-7}$	1.37×10^{-8} $\sim 5.78 \times 10^{-7}$	2.35×10^{-8} $\sim 1.69 \times 10^{-7}$	1.25×10^{-7} $\sim 1.25 \times 10^{-7}$	3.38×10^{-7} $\sim 3.38 \times 10^{-7}$	1.26×10^{-7} $\sim 1.41 \times 10^{-7}$	2.46×10^{-7} $\sim 5.68 \times 10^{-7}$

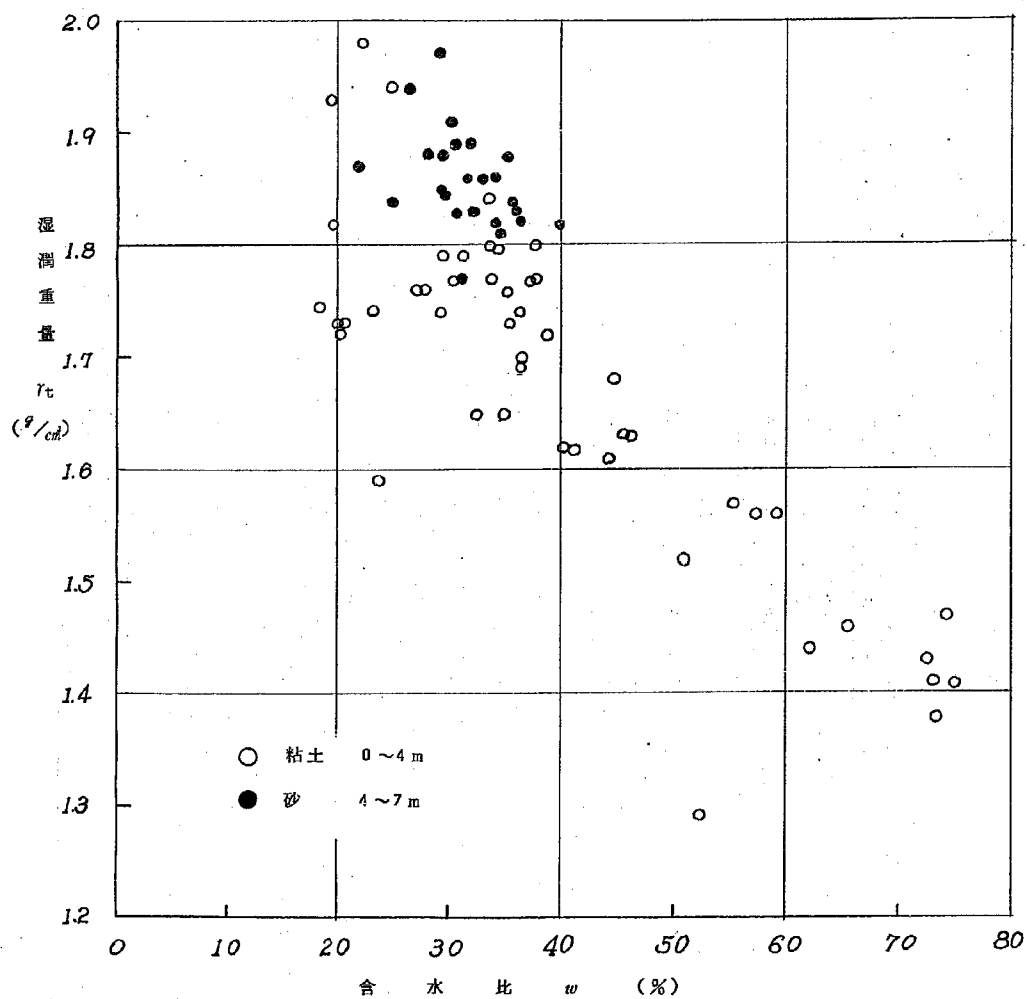


図-4・3 原地盤の密度と含水比

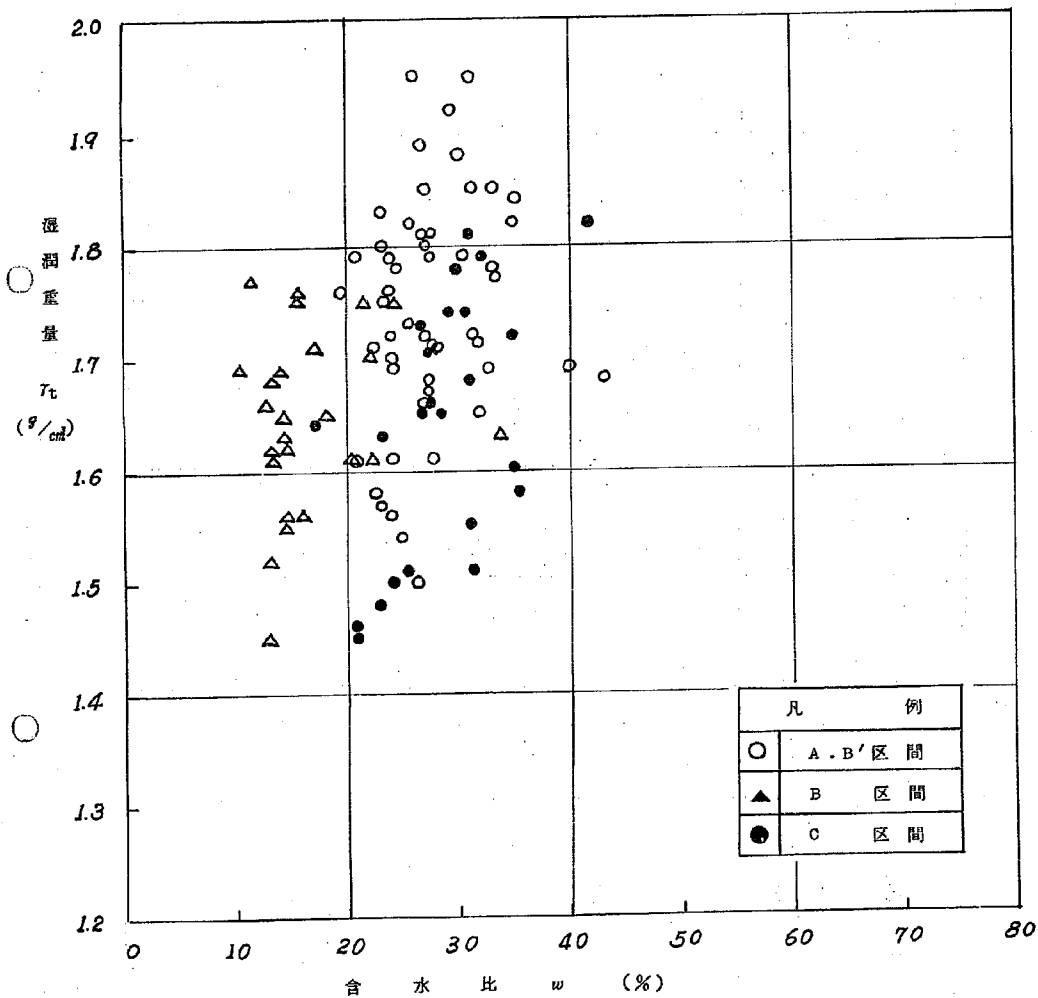
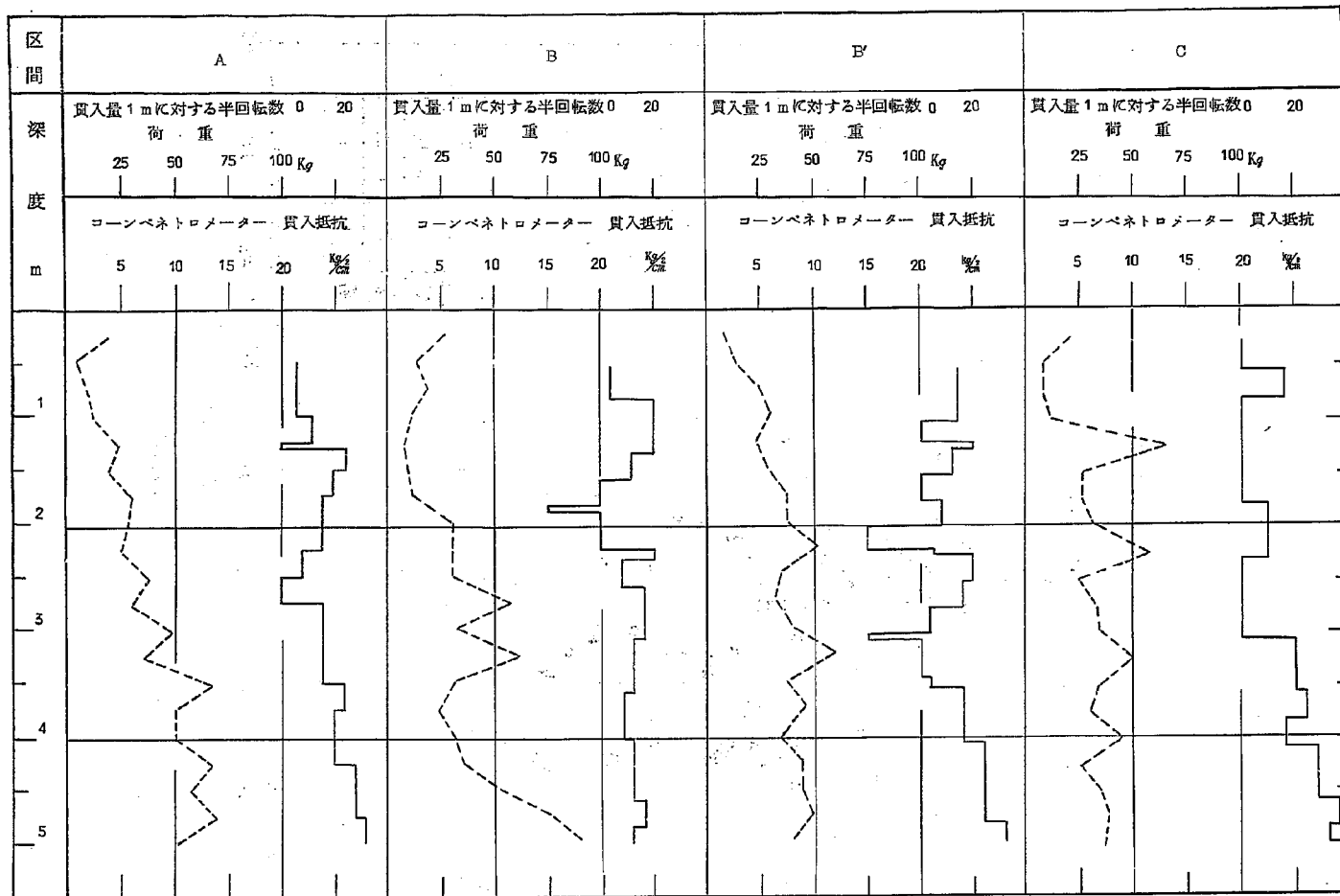


図-4・4 埋めもどし土の密度と含水比



凡 例

- オランダ式コーンペネトロメーター貫入抵抗
- スウェーデン式サウンディング貫入抵抗

図-4・5 埋めもどし土のサウンディング結果

表-5.1(1) 荷重計の記録

荷重計 番 号	11月 22日	23日 10:00	23日 17:30	24日 11:00	24日 18:30	25日	28日 9:00	28日 16:30	29日 9:00	29日 15:30	30日 11:00	30日 17:00	12月1日 11:40	1日 16:00
L-1	0	003	005	005	-005	-002	096	154		432	448		416	480
L-2	0	002	002	003	003	005	170	239		188	209		185	226
L-3	0	005	005	011	016	022	208	269		533	576		560	610
L-4	0	005	005	010	014	016	107	147		353	367		359	391
L-5	0	024	019	030	038	030	146	200		563	571		555	581
L-6	0	-008	-007	-010	-003	-007	125	207		433	402		394	436
L-7	0	-002	0	002	006	009	119	170		333	323		316	353
L-8	0	005	003	008	012	020	185	249		488	482		465	520
L-9	0	003	003	007	006	008	075	107		272	262		230	292
L-10	0	020	016	026	005	0	130	177		592	543		502	541
L-11	0	111	116	121	124	122	116		285	277	342	408	489	482
L-12	0	061	067	069	083	085	102		222	235	325	357	421	427
L-13	0	029	032	034	044	047	057		126	141	203	211	251	259
L-14	0	050	052	055	054	057	069		175	192	291	307	366	376
L-15	0	171	163	164	143	143	101		250	245	382	364	444	438
L-16	0	101	087	092	095	101	085		219	203	242	306	403	388
L-17	0	076	068	071	079	087	107		236	246	305	355	446	450
L-18	0	094	087	091	078	100	134		243	264	319	360	433	443
L-19	0	048	043	043	039	039	056		126	153	185	209	274	277
L-20	0	168	141	141	090	086	073		201	208	232	266	349	345
L-21	0	005	006	002	-009	-013	126	317	297	451	471		455	528
L-22	0	0	002	0	003	008	091	269	266	383	392		400	465
L-23	0	-002	0	002	015	018	084	230	238	311	318		326	387
L-24	0	-003	-003	-002	005	005	075	210	227	284	297		313	370
L-25	0	-003	005	-003	-013	-016	052	143	158	204	222		230	285
L-26	0	-003	0	-006	-014	-023	097	199	282	446	483		443	525
L-27	0	-003	0	-003	005	006	092	282	287	394	414		398	475
L-28	0	-003	-002	0	010	011	061	174	187	240	243		243	309
L-29	0	-003	-003	-002	003	006	074	208	227	278	275		283	354
L-30	0	-007	-008	-007	-015	-018	059	146	159	200	192		208	269
L-31	0	-003	-001	041	046	049	031	194	-	303	319		397	387
L-32	0	001	001	063	070	073	075	208		343	352		414	423
L-33	0	001	0	145	158	159	170	422		582	600		675	692
L-34	0	-001	-001	135	135	005	004	013		026	026		033	041
L-35	0	-004	-005	090	090	091	063	204		319	336		391	397
L-36	0	019	012	019	021	028	012	310		236	375		292	292
L-37	0	013	008	173	194	202	216	507		630	629		718	734
L-38	0	0	-001	006	008	009	010	019		032	045		045	008
L-39	0	002	0	065	074	076	075	240		299	303		383	370
L-40	0	006	006	118	117	123	107	312		399	377		466	479
備 考	計 測 第 1 日	B 区 間 70cm 埋 戻	B 区 間 70cm 埋 戻	B 区 間 70cm 埋 戻	B 区 間 70cm 埋 戻	B 区 間 70cm 埋 戻	A B 区 間 2m 埋 戻	2m 埋 戻	A B 区 間 2m 埋 戻	B 区 間 3m 埋 戻	上 段 ラ ック ハ リ は ず す	3m 埋 戻	A B C 区 間 3m 埋 戻	A B C 区 間 4m 埋 戻

表-5.1(2) 荷重計の記録

荷重計 番号	12月 2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日 9:00	9日 15:00	10日	11日	12日	13日	14日
L-1	619	619	605	605	749	597	549	531	540	484	490	456	448	433
L-2	306	297	287	289	299	276	237	226	229	188	178	168	162	154
L-3	758	954	744	749	838	736	680	662	660	605	591	576	568	505
L-4	525	520	505	510	541	502	476	425	427	381	511	356	352	343
L-5	486	496	784	789	819	788	725	707	700	650	642	620	615	610
L-6	623	621	619	626	655	639	590	571	578	540	565	784	469	457
L-7	498	490	484	489	515	487	452	433	436	405	374	356	347	336
L-8	708	704	698	705	708	412	660	632	635	593	553	531	517	507
L-9	410	403	397	403	437	405	352	328	308	296	262	247	240	233
L-10	786	795	790	779	862	842	758	723	713	840	625	593	414	414
L-11	518	579	510	513	533	510	481	462	460	424	418	410	407	400
L-12	466	462	455	454	459	432	382	366	365	332	328	322	317	311
L-13	287	285	278	275	276	250	214	198	200	178	173	170	167	160
L-14	413	410	403	400	397	369	333	309	312	284	284	274	272	260
L-15	445	475	466	465	458	430	403	385	386	357	358	349	345	335
L-16	425	421	415	418	418	401	412	401	402	375	354	347	343	331
L-17	477	494	492	497	507	492	462	450	454	429	410	401	399	386
L-18	489	488	482	483	496	479	442	424	430	402	392	380	377	371
L-19	317	314	304	306	316	265	264	243	248	219	216	208	203	194
L-20	388	384	378	379	386	363	330	314	315	274	271	265	257	251
L-21	593	601	602	610	580	600	619	620	617	530	518	484	482	457
L-22	528	532	533	540	509	521	536	536	530	442	426	390	392	363
L-23	436	442	435	441	426	428	439	434	431	361	351	302	326	303
L-24	417	418	414	421	413	411	419	412	410	345	331	305	312	287
L-25	320	325	322	327	334	335	341	341	340	290	274	257	267	247
L-26	110	613	607	603	612	608	613	617	620	580	539	511	508	485
L-27	546	551	541	547	563	555	562	557	560	510	479	451	452	430
L-28	357	353	350	355	374	368	371	871	472	310	285	257	258	235
L-29	400	399	398	404	427	420	426	432	434	364	339	311	317	292
L-30	298	301	298	307	326	381	323	336	336	275	256	233	242	217
L-31	437	444	435	439	464	444	471	446	450	380	372	340	342	316
L-32	467	466	463	465	471	470	490	477	478	420	412	380	383	359
L-33	753	751	750	750	722	761	786	765	768	659	689	650	659	625
L-34	045	046	046	046	049	047	055	055	051	032	029	021	026	018
L-35	458	457	454	457	468	474	495	522	476	408	405	342	398	348
L-36	342	344	333	337	369	366	374	353	348	307	298	271	261	254
L-37	817	822	816	820	859	848	862	845	842	781	763	723	728	695
L-38	058	069	059	063	065	063	072	069	065	044	037	028	033	024
L-39	465	476	475	482	496	494	515	511	506	440	418	379	386	353
L-40	469	430	415	415	415	526	404	377	475	339	311	283	292	265
備 考	埋戻完了	放置第1日		降雨 73mm				A B C区間ブルで転圧中	取付管の土のせて計測 各区分ともブルを計器	降雨 36mm		降雨 34mm		

表 - 5.1 (3) 荷重計の記録

荷重計 番 号	12月 15日 9:00	15日 18:30	16日 8:00	16日 11:30	16日 16:00	16日 18:00	17日 8:00	17日 11:00	17日 15:00	17日 18:30	17日 21:00	18日 8:15	18日 18:00	19日 8:30
L-1	432	539	568	609	105	875	1007	649	31	76	83	78	669	660
L-2	154	192	215	242	56	483	475	358	16	42	40	39	280	284
L-3	558	578	595	630	89	857	265	788	66	76	76	76	678	688
L-4	346	318	335	360	30	322	327	372	60	39	40	43	434	437
L-5	620	531	568	572	20	134	129	286	88	37	40	45	699	691
L-6	457	510	529	544	34	234	269	205	58	473	48	47	638	629
L-7	336	322	332	355	32	292	261	269	44	395	39	39	451	450
L-8	503	482	490	519	60	620	605	590	69	77	72	72	719	730
L-9	237	217	237	252	40	364	370	358	24	31	31	32	229	250
L-10	579	680	719	718	114	1002	1055	103	64	95	94	94	570	610
L-11	465	178	194	090	275	013	080	671		20	83	028	104	096
L-12	312	267	273	260	51	242	254	365		24	40	25	262	269
L-13	162	177	191	188	84	178	186	840		19	76	20	180	189
L-14	266	329	342	384	04	374	381	415		39	40	40	358	372
L-15	336	384	398	490	01	488	492	334		51	39	51	461	471
L-16	380	382	413	470	0	438	443	282	66	48	48	47	515	370
L-17	388	376	417	445	15	422	429	314	46	42	39	42	376	392
L-18	373	345	351	359	53	343	345	639	70	33	72	33	335	335
L-19	197	139	136	135	39	124	127	347	24	11	32	12	134	132
L-20	252	134	144	140	119	188	143	108	66	14	94	14	164	160
L-21	447	437	455		845	433	433		76	43	81	44	410	427
L-22	354	349	340		48	342	343		41	35	40	35	354	342
L-23	300	295	284		82	293	290		74	29	76	30	301	291
L-24	285	280	271		24	281	277			30	41	29	298	279
L-25	245	240	235		01	231	240			24	41	25	264	240
L-26	481	470	462		01	467	468		51	47	48	47	470	462
L-27	334	421	407		17	447	415		25	42	39	42	422	415
L-28	183	229	220		53	228	228		73	24	72	24	241	232
L-29	285	282	215		37	283	283		30	29	32	29	297	288
L-30	213	208	203		115	208	211		90	23	94	22	221	215
L-31	314	310	296		875	304	288			31		31	312	297
L-32	351	338	336		49	340	339			34		35	346	335
L-33	620	613	600		81	609	605			61		61	601	596
L-34	017	017	017		23	0157	018			02		018	018	0157
L-35	340	335	328		02	330	361			33		34	335	324
L-36	250	245	238		144	302	262			25		25	250	242
L-37	690	680	670		25	680	735			68		69	690	679
L-38	023	022	023		56	023	025			03		027	027	0243
L-39	347	386	334		53	334	368			34		35	354	335
L-40	262	256	245		104	251	272			26		26	263	250
備 考		矢板引抜開始	矢板引抜	矢板引抜	A4区 間計を測	矢板引抜	矢板引抜	矢板引抜	A3区 間計を測	矢板引抜	A3区 間計を測 21:00 22:00 23:00 の	矢板引抜	矢板引抜	

表-5.1(4) 荷重計の記録

荷重計 番 号	12月 19日 17:30	20日 7:30	20日 9:00	20日 11:00	20日 14:00	20日 16:00	20日 18:00	21日 8:00	21日 9:00	21日 13:30	21日 16:00	21日 17:30	22日	23日 8:00
L-1	650	643	565	594	601	576	576	581	567	580	583	582	583	50
L-2	279	278	217	250	261	250	253	257	248	257	261	259	264	274
L-3	680	682	612	668	688	682	685	691	579	592	695	693	703	71
L-4	432	432	375	431	454	455	457	457	454	467	470	469	472	55
L-5	680	689	787	677	692	709	712	712	701	717	700	717	723	74
L-6	598	600	512	557	563	551	550	568	555	562	569	563	578	590
L-7	430	435	369	411	422	438	416	424	415	424	427	425	433	445
L-8	712	720	643	700	731	721	721	728	721	730	720	732	740	750
L-9	240	248	198	239	254	258	254	259	252	261	264	262	269	28
L-10	595	620	560	592	609	610	612	618	609	622	627	624	633	651
L-11	090	070	362	381	446	745	527	553	576	508	511	511	525	530
L-12	269	272	316	274	237	510	449	460	469	438	443	442	451	46
L-13	195	195	078	062	049	124	128	131	134	134	136	138	138	152
L-14	383	382	123	123	089	141	210	210	213	244	247	247	248	261
L-15	484	483	178	113	079	140	250	251	246	288	293	293	185	34
L-16	370	380	480	396	369	680	668	646	662	626	627	625	636	55
L-17	393	400	371	298	347	525	631	620	630	612	620	618	626	635
L-18	340	340	288	252	295	260	338	342	345	359	363	363	367	377
L-19	135	130	023	135	174	643	113	119	116	139	145	145	146	190
L-20	161	160	091	249	292	465	129	151	138	168	174	174	184	194
L-21	427	435	416	413	414	392	458	444		494	516	519	519	511
L-22	343	349	344	344	346	344	365	350		376	405	418	409	404
L-23	293	295	300	301	309	317	318	295		301	319	323	317	317
L-24	280	280	289	292	277	306	313	288		264	271	261	211	269
L-25	240	245	245	245	246	251	267	248		200	187	168	176	20
L-26	460	464	442	420	411	375	317	306		327	356	363	374	43
L-27	415	416	416	412	406	402	416	396		411	434	445	438	49
L-28	234	237	245	246	243	257	292	273		283	306	314	299	30
L-29	288	293	279	304	306	323	359	342		350	370	371	355	35
L-30	217	221	228	224	229	236	254	246		259	266	261	249	250
L-31	300	304	305	308	305	433	298	288		146	437	338	364	379
L-32	336	342	342	343	342	340	339	332		262	364	340	351	370
L-33	600	603	606	607	606	604	603	592		642	568	629	627	628
L-34	016	0196	018	016	017	170	018	017		037	016	021	025	025
L-35	326	334	334	330	328	330	328	324		550	363	440	429	422
L-36	242	249	246	246	247	249	245	238		316	427	367	345	345
L-37	679	943	685	938	682	685	583	676		722	735	737	717	719
L-38	026	295	027	026	026	027	281	027		033	217	026	024	0205
L-39	339	349	345	342	339	343	343	342		401	352	393	385	384
L-40	252	259	259	259	259	257	257	249		347	343	344	335	334
備 考	降雨 12mm	矢 板 引 抜	矢 板 引 抜	矢 板 引 抜	矢 板 引 抜	矢 板 引 抜	矢 板 引 抜	矢 板 引 抜	矢 板 引 抜	矢 板 引 抜	矢 板 引 抜	矢 板 引 抜	降雨 7mm	矢 板 引 抜

表-5.1(5) 荷重計の記録

荷重計 番 号	12月 23日 9:30	23日 14:30	23日 20:00	24日 8:00	24日 10:00	24日 15:00	24日 17:00	25日 8:00	25日 10:00	25日 14:00	26日 13:00	26日 15:15	27日	28日
L-1	59	59	584	589	575	589	589	588	589	590	586	584	725	721
L-2	265	270	267	272	265	270	271	273	273	276	271	272	435	435
L-3	71	71	709	718	710	700	705	723	721	725	725	726	730	730
L-4	55	55	488	488	488	335	501	501	501	503	506	508	511	510
L-5	74	75	748	751	749	758	763	769	769	771	771	774	785	785
L-6	582	584	581	585	582	588	583	588	590	581	586	583	600	593
L-7	437	440	591	437	435	440	440	442	443	440	443	442	445	445
L-8	750	752	750	752	749	760	760	762	761	760	600	769	771	770
L-9	28	28	279	281	279	286	287	291	291	295	294	295	296	295
L-10	656	660	659	667	664	675	676	681	682	689	690	691	705	700
L-11	534	536	532	538	506	490	478	470	490	466	440	411	591	599
L-12	47	47	470	478	461	460	459	469	469	459	452	445	620	615
L-13	162	162	160	162	165	170	176	178	178	176	186	186	183	185
L-14	277	280	274	274	289	289	302	299	306	310	332	335	337	335
L-15	35	37	315	315	333	315	332	340	340	354	380	389	384	387
L-16	57	57	506	514	439	402	392	415	419	560	396	390	404	396
L-17	570	567	569	578	531	350	502	521	522	509	512	507	510	511
L-18	400	392	391	392	392	413	394	397	400	395	397	397	397	398
L-19	24	24	209	206	233	245	250	240	243	246	246	250	247	248
L-20	286	284	274	282	324	340	340	332	332	340	332	332	249	332
L-21	469	476	463	458	425	516	669	647	619	736	654	720	721	721
L-22	385	398	385	379	358	396	521	503	495	581	453	534	533	533
L-23	330	342	329	321	326	294	359	342	354	391	301	329	332	326
L-24	303	318	303	297	337	254	283	271	295	290	246	283	457	461
L-25	36	27	225	222	299	233	220	214	235	207	240	296	309	312
L-26	51	52	414	405	480	779	554	590	595	551	759	860	803	791
L-27	55	55	459	438	480	418	489	487	501	540	534	615	583	580
L-28	32	32	307	459	307	248	230	227	266	301	206	211	200	203
L-29	37	37	355	341	354	235	283	284	309	365	243	269	283	293
L-30	240	257	241	232	250	142	200	200	215	257	194	208	231	240
L-31	382	245	261	273	273	270	273	267	300	286	340	353	463	465
L-32	310	373	353	353	354	364	366	360	392	414	451	476	458	450
L-33	539	861	717	720	710	726	784	712	775	802	845	876	850	849
L-34	013	012	020	025	021	025	0235	025	0314	025	026	0327	029	028
L-35	415	620	513	511	495	496	496	510	570	500	509	570	503	510
L-36	444	370	319	311	306	505	301	300	266	255	184	186	195	217
L-37	731	870	820	812	812	820	820	812	820	842	819	841	840	850
L-38	022	033	042	045	044	046	045	046	0575	050	058	065	071	071
L-39	353	453	506	511	501	503	506	508	546	556	620	650	629	625
L-40	340	282	295	295	288	282	286	281	339	301	390	411	389	389
備 考	矢 板 引 抜	矢 板 引 抜	矢 板 引 抜	矢 板 引 抜	矢 板 引 抜	中央 にの せて クレー ン車 をC区 間測	矢 板 引 抜	矢 板 引 抜	矢 板 引 抜	矢 板 引 抜	矢 板 引 抜	矢 板 引 抜 完了	放 置 第1日	

表- 5.1 (6) 荷重計の記録

荷重計 番 号	12月 29日	30日	44年 1月4日	6 日	13日	20日	27日	2 月 4 日	12日	17日				
L- 1	598	602	606	610	626	626	648	627	650	637				
L- 2	280	281	284	286	298	297	312	298	314	309				
L- 3	731	732	740	740	755	755	773	758	778	776				
L- 4	511	519	526	578	539	541	554	543	560	633				
L- 5	789	795	809	810	834	840	854	853	869	874				
L- 6	599	601	612	619	636	636	656	641	659	658				
L- 7	447	451	451	451	461	458	473	458	471	468				
L- 8	770	771	780	780	627	629	815	810	835	833				
L- 9	296	300	304	306	238	238	533	325	342	342				
L-10	709	711	729	730	764	759	779	781	802	805				
L-11	437	445	455	410	474	478	494	496	505	500				
L-12	458	460	469	490	483	483	498	494	504	501				
L-13	188	184	201	201	211	212	224	219	230	225				
L-14	340	345	551	550	360	363	373	568	381	375				
L-15	390	395	399	400	409	406	422	414	428	422				
L-16	398	402	410	415	426	427	441	440	451	446				
L-17	513	518	521	524	536	538	551	545	558	556				
L-18	400	407	410	413	421	423	434	431	441	415				
L-19	259	256	278	263	272	275	287	283	298	290				
L-20	339	509	349	350	364	365	377	375	390	388				
L-21	720	721	726	750	780	791	809	799	824	821				
L-22	529	531	545	551	573	579	593	581	599	594				
L-23	331	332	343	345	358	365	371	361	376	369				
L-24	295	459	303	307	316	319	326	319	326	319				
L-25	309	310	315	316	325	328	338	333	346	345				
L-26	781	780	785	791	811	826	834	847	866	869				
L-27	576	373	576	581	592	596	605	604	620	620				
L-28	201	201	205	210	219	222	229	216	229	227				
L-29	294	296	305	310	323	326	336	331	288	341				
L-30	241	244	272	260	276	282	294	292	307	315				
L-31	335	339	355	360	389	398	407	405	416	408				
L-32	449	446	450	451	462	460	471	469	482	478				
L-33	839	839	836	835	840	838	838	832	853	849				
L-34	026	025	025	025	029	026	031	029	037	034				
L-35	507	508	509	510	528	525	538	520	539	539				
L-36	214	218	233	239	257	262	141	263	268	266				
L-37	843	846	851	853	869	869	875	872	889	892				
L-38	068	068	069	069	078	076	083	083	092	092				
L-39	620	618	620	620	630	626	640	638	653	654				
L-40	385	390	402	408	431	436	446	442	462	457				
備 考	放 置	"	"	"	"	"	"	"	"	"				

表-5.2 (1) 管きょに使用する土圧の実測値 (T)

		1 1 月												1 2 月				
		22日	23日		24日		25日	28日		29日		30日		1 日	2日	3日	4日	5日
			10:00	17:30	11:00	18:30		9:00	16:30	9:00	15:30	11:00	17:00	11:40	16:00			
A	L-1~5	0	0.39	0.36	0.32	0.66	0.71	7.27	10.09		20.69	21.71		20.75	22.88	26.94	28.86	29.25
	L-6~10	0	0.18	0.15	0.33	0.26	0.30	6.34	9.10		21.18	20.12		19.07	21.42	30.25	30.13	29.88
	計	0	0.57	0.51	0.65	0.92	1.01	13.57	19.19		41.87	41.83		39.82	44.30	57.19	58.99	59.13
B	L-11~15	0	4.22	4.30	4.43	4.48	4.54	4.45		10.58	10.90	15.43	16.47	19.71	19.82	21.29	22.11	21.12
	L-15~20	0	4.87	4.26	4.38	3.81	4.13	4.55		10.25	10.74	12.83	14.96	19.05	19.03	20.96	21.01	20.71
	計	0	9.09	8.56	8.81	8.29	8.67	9.00		20.83	21.64	28.26	31.43	38.76	38.85	42.25	43.12	41.83
B'	L-21~25	0	-0.03	0.10	-0.01	0.01	0.02	4.28	11.69	11.86	16.33	17.00		17.24	20.35	22.94	23.18	28.06
	L-26~30	0	-0.19	-0.13	-0.18	-0.11	-0.18	3.83	10.09	11.42	15.58	16.07		15.75	19.32	17.11	22.17	21.94
	計	0	-0.22	-0.03	-0.19	-0.10	-0.16	8.11	21.78	23.28	31.91	33.07		32.99	39.67	40.05	45.35	50.00
C	L-31~35	0	-0.06	-0.06	4.74	4.99	3.77	3.43	10.41		15.73	16.33		19.10	19.40	21.60	21.64	21.48
	L-36~40	0	0.40	0.25	3.81	4.14	4.38	4.20	13.88		15.96	17.29		19.04	19.03	21.51	21.41	20.98
	計	0	0.34	0.19	8.55	9.13	8.15	7.63	24.29		31.69	33.62		38.14	38.43	43.11	43.05	42.46
備	計測第1日		B区間 70cm 埋戻	"	B区間 70cm 埋戻	"	"	A・B・C区間 2m埋戻	2m埋戻	A・B区間 2m埋戻	B'区間 3m埋戻	上クランク発生 はりはずす	3m埋戻	A・B・C区間 3m埋戻	A・B・C区間 4m埋戻中	埋戻完了	放置第1日	放置
考																		降雨 73mm

表-5.2(2) 管きよに作用する土圧の実測値 (t)

		1 2 月																	
		6 日	7 日	8 日	9 日		10日	11日	12日	13日	14日	1 5 日		1 6 日				1 7 日	
					9:00	15:00							9:00	18:30	8:00	11: 30	16:00	18:00	8:00
A	L - 1 ~ 5	3246	2899	2667	2551	2556	2308	2412	2176	2145	2045	2110	2158	2281	2413	3000	2671	2203	2433
	L - 6 ~ 10	3177	2785	2812	2687	2670	2674	2379	2511	1987	1947	2112	2211	2307	2388	2800	2512	2560	2452
	計	6423	5684	5479	5238	5226	4982	4791	4687	4132	3992	4222	4369	4588	4801	5800	5183	4763	4885
B	L-11~15	2123	1991	1813	1720	1723	1584	1561	1525	1508	1466	1541	1335	1398	1412	1675	1295	1393	2625
	L-16~20	2123	2000	1910	1832	1849	1690	1643	1601	1579	1533	1590	1376	1461	1549	2260	1515	1487	1690
	計	4246	3991	3723	3552	3572	3274	3204	3126	3087	2999	3131	2711	2859	2961	3935	2810	2880	4315
B'	L-21~25	2262	2295	2354	2343	2328	1968	1900	1738	1779	1657	1631	1601	1585		2395	1580	1583	
	L-26~30	2302	2332	2295	2813	2422	2039	1898	1763	1777	1659	1496	1610	1567		2230	1633	1605	
	計	4564	4627	4649	5156	4750	4007	3798	3501	3556	3316	3127	3211	3152		4625	3213	3188	
C	L-31~35	2174	2196	2297	2265	2223	1899	1907	1733	1808	1666	1642	1613	1577		2425	1599	1611	
	L-36~40	2204	2297	2227	2155	2236	1811	1828	1684	1700	1591	1572	1589	1510		3820	1590	1662	
	計	4378	4493	4524	4420	4459	3810	3735	3417	3508	3257	3214	3202	3087		6245	3189	3273	
備	考	放 置	"	"	A B ・ B C 区 区 間 間 ブ ル 転 圧 中	各取 付管 とも 上 に の せ て 計 測	降 雨 36mm	放 置	降 雨 34mm	放 置	"	"	矢 板 引 抜 開 始	矢 板 引 抜	"	A 4 区 回 間 計 を 測	矢 板 引 抜	矢 板 引 抜	"
														クレーン車をA区間 中央にのせて計測					

表-5.2(3) 管きょに作用する土圧の実測値 (t)

		1 2 月																	
		1 7 日			1 8 日		1 9 日		2 0 日						2 1 日				
		15:00	18:30	21:00	8:15	18:00	8:30	17:30	7:30	9:00	11:00	14:00	16:00	18:00	8:00	9:00	13:30	16:00	17:30
A	L-1~5	2610	2700	2790	2810	2760	2760	2721	2724	2556	2620	2696	2672	2683	2698	2549	2613	2709	2720
	L-6~10	2590	2898	2840	2840	2606	2669	2575	2623	2282	2499	2579	2578	2553	2597	2552	2599	2607	2606
	計	5200	5598	5630	5650	5367	5429	5296	5347	4838	5119	5275	5250	5236	5295	5101	5212	5316	5326
B	L-10~15		1530	2780	1388	1365	1397	1421	1402	1057	953	900	1660	1564	1605	1638	1612	1630	1631
	L-15~20	2720	1480	2850	1480	1524	1389	1399	1410	1253	1330	1477	2573	1879	1878	1891	1904	1929	1925
	計		3010	5630	2868	2889	2786	2820	2812	2310	2283	2377	4233	3443	3483	3529	3516	3559	3556
B'	L-21~25		1610	2790	1630	1627	1579	1583	1604	1594	1595	1592	1610	1721	1625		1635	1698	1689
	L-26~30	2690	1650	2850	1640	1651	1612	1614	1631	1605	1606	1595	1593	1638	1563		1630	1732	1754
	計		3260	5640	3270	3278	3191	3197	3235	3199	3201	3187	3203	3359	3188		3265	3430	3443
C	L-31~35		1610		1628	1612	1568	1578	1603	1605	1604	1598	1877	1586	1553		1637	1748	1768
	L-36~40		1560		1262	1584	1530	1538	2096	1662	1811	1553	1561	1709	1532		1819	2074	1867
	計		3170		2890	3196	3098	3116	3699	3267	3415	3151	3438	3295	3085		3456	3822	3635
備考		A 区間を3回計測	矢板引抜	A 3 区間計を測 21:00 22:00 23:00 の	矢板引抜	"		降雨 12 mm	矢板引抜	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"

表-5.2(4) 管きょに作用する土圧の実測値 (㊦)

		1 2 月																	
		22日	23 日				24 日				25 日			26 日		27日	28日	29日	30 日
			8:00	9:30	14:30	20:00	8:00	10:00	15:00	17:00	8:00	10:00	14:00	13:00	15:15				
A	L-1~5	2745	2774	2855	2870	2796	2818	2787	2652	2829	2854	2853	2865	2859	2864	3186	3181	2909	2929
	L-6~10	2653	2716	2705	2716	2860	2722	2709	2749	2546	2764	2767	2766	2613	2780	2817	2803	2821	2834
	計	5398	5490	5560	5586	5656	5540	5496	5401	5375	5618	5620	5631	5472	5644	6003	5984	5730	5763
B	L-11~15	1547	1743	1793	1818	1751	1767	1754	1724	1746	1756	1783	1765	1790	1766	2115	2121	1813	1829
	L-16~20	1959	1946	2066	2053	1949	1972	1919	1750	1878	1905	1916	2050	1883	1876	1807	1885	1909	2092
	計	3506	3689	3859	3871	3700	3639	3673	3474	3624	3661	3699	3815	3673	3642	3922	4006	3722	3921
B'	L-21~25	1632	1701	1747	1804	1705	1677	1745	1693	2052	1977	1998	2205	1894	2162	2352	2353	2184	2353
	L-26~30	1715	1820	1990	2017	1776	1875	1871	1822	1756	1788	1686	2014	1936	2163	2000	2007	2093	1894
	計	3321	3521	3737	3821	3481	3552	3616	3515	3808	3765	3684	4219	3830	4325	4352	4360	4277	4247
C	L-31~35	1824	1824	1659	2111	1864	1882	1853	1881	1943	1874	2068	2027	2171	2308	2303	2302	2156	2157
	L-36~40	1803	1803	1890	2008	1982	1974	1951	1956	1958	1947	2029	2004	2071	2153	2124	2152	2130	2140
	計	3627	3627	3549	4119	3846	3856	3804	3837	3901	3821	4097	4031	4242	4461	4427	4454	4286	4297
備 考		降 雨 7mm	矢 板 引 抜	"	"	"	"	"	中 央 1 の 車 を C 計 区 測 間	矢 板 引 抜	"	"	"	"	矢 板 引 抜 完 了	放 置 第 1 日	放 置	"	"

表-5.2(5) 管きょに作用する土圧の実測値 (c)

		(44年) 1 月					2 月											
		4日	6日	13日	20日	27日	4日	12日	17日									
A	L-1~5	29.65	30.24	30.52	30.59	31.41	30.79	31.71	32.29									
	L-6~10	28.76	28.86	27.26	27.20	30.56	30.15	31.09	31.06									
	計	58.41	59.10	57.78	57.79	61.97	60.94	62.80	63.35									
B	L-11~15	20.75	18.51	18.37	19.42	20.11	19.91	20.48	20.23									
	L-16~20	19.68	19.65	20.19	20.28	20.90	20.74	21.38	20.95									
	計	40.43	38.16	38.56	39.70	41.01	40.65	41.86	41.18									
B'	L-21~25	22.52	22.69	23.52	23.82	24.35	23.93	25.71	24.48									
	L-26~30	21.43	21.52	22.21	22.52	22.98	22.90	23.10	23.72									
	計	43.75	44.21	45.73	46.34	47.33	46.83	48.81	48.20									
C	L-31~35	21.75	21.81	22.48	22.47	22.85	22.55	23.27	23.08									
	L-36~40	21.75	21.89	22.65	22.69	21.85	22.98	23.64	23.61									
	計	43.50	43.70	45.13	45.16	44.70	45.53	46.91	46.69									
備		放	"	"	"	"	"	"	"									
置																		
考																		

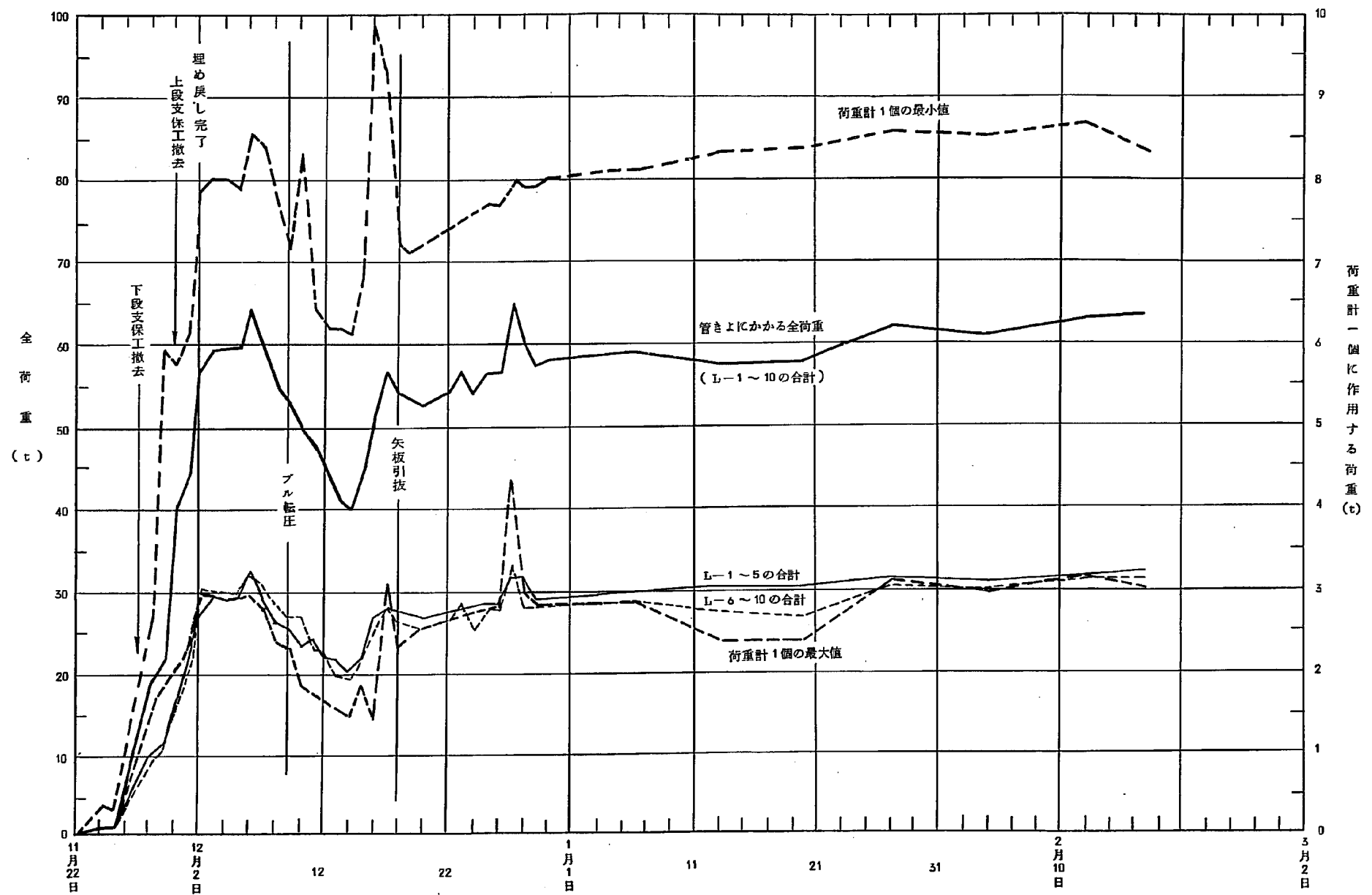


図-5・1・(1) 管きよにかかる土圧の実測値 (A区間 $\phi 2500 \times 2430$)

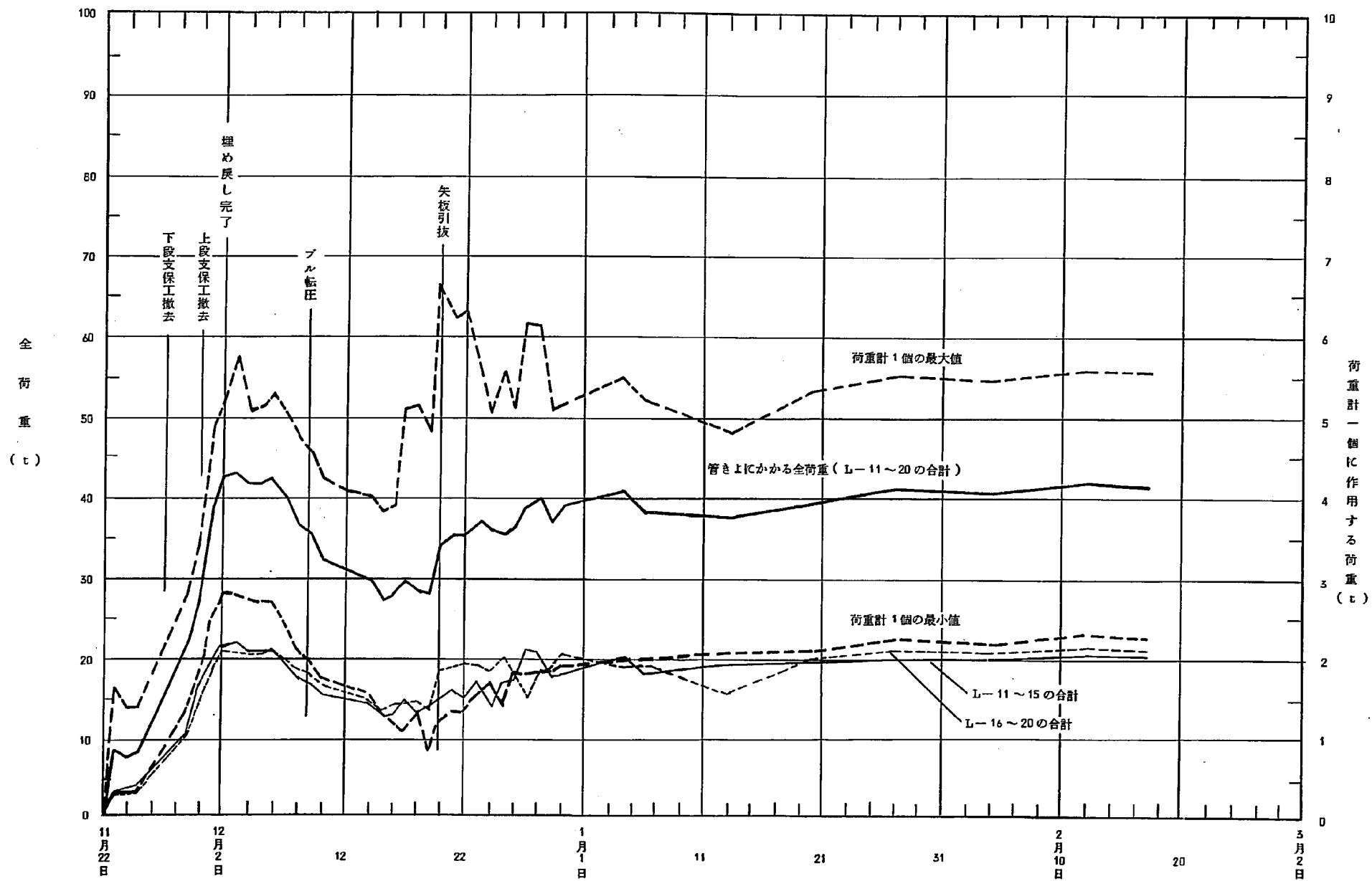


図-5・1(2) 管きよにかかる土圧の実測値 (B区間φ2000×2430)

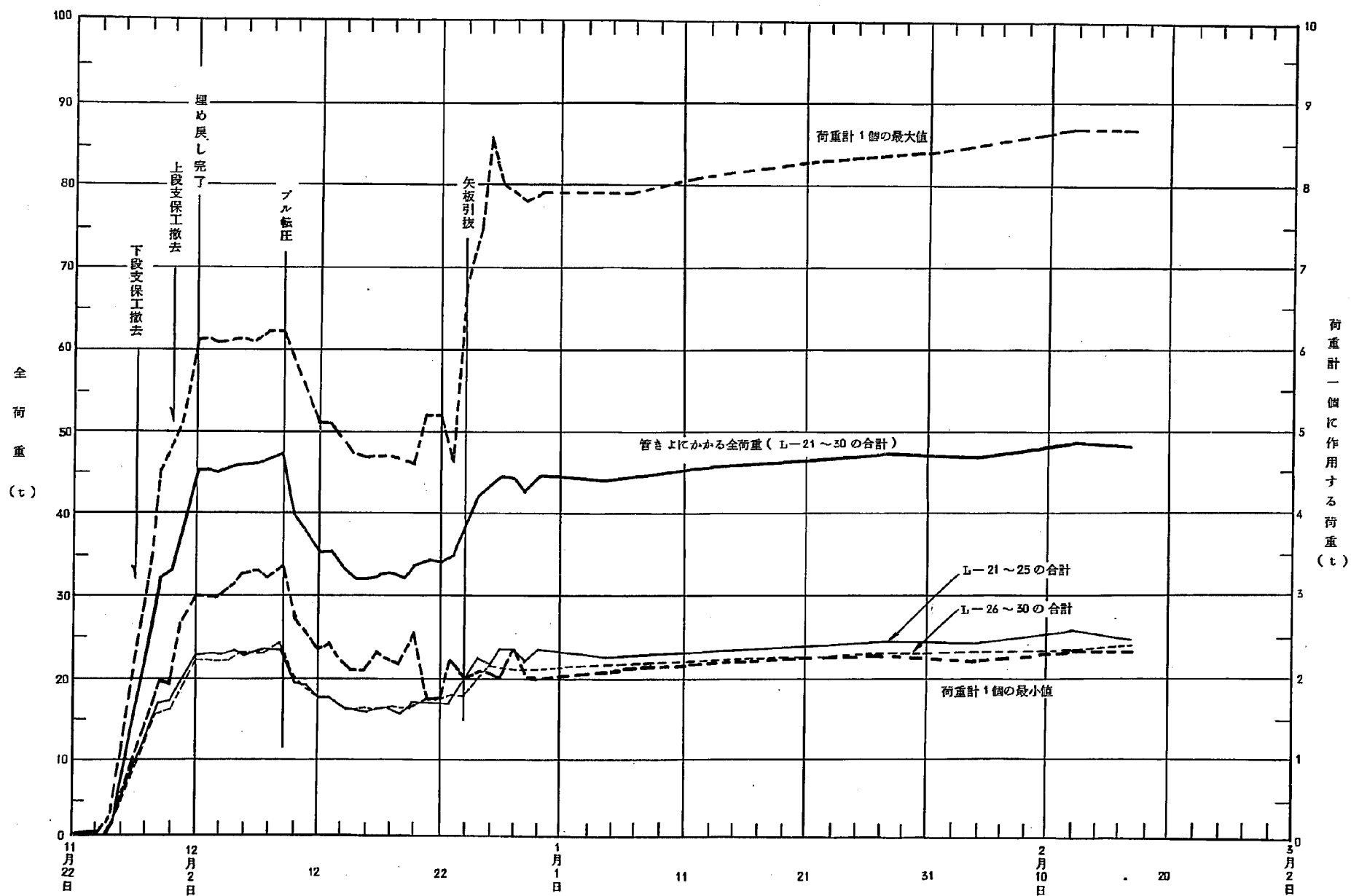


図-5・1・(3) 管きよにかかる土圧の実測値 (B' 区間φ2000×2430)

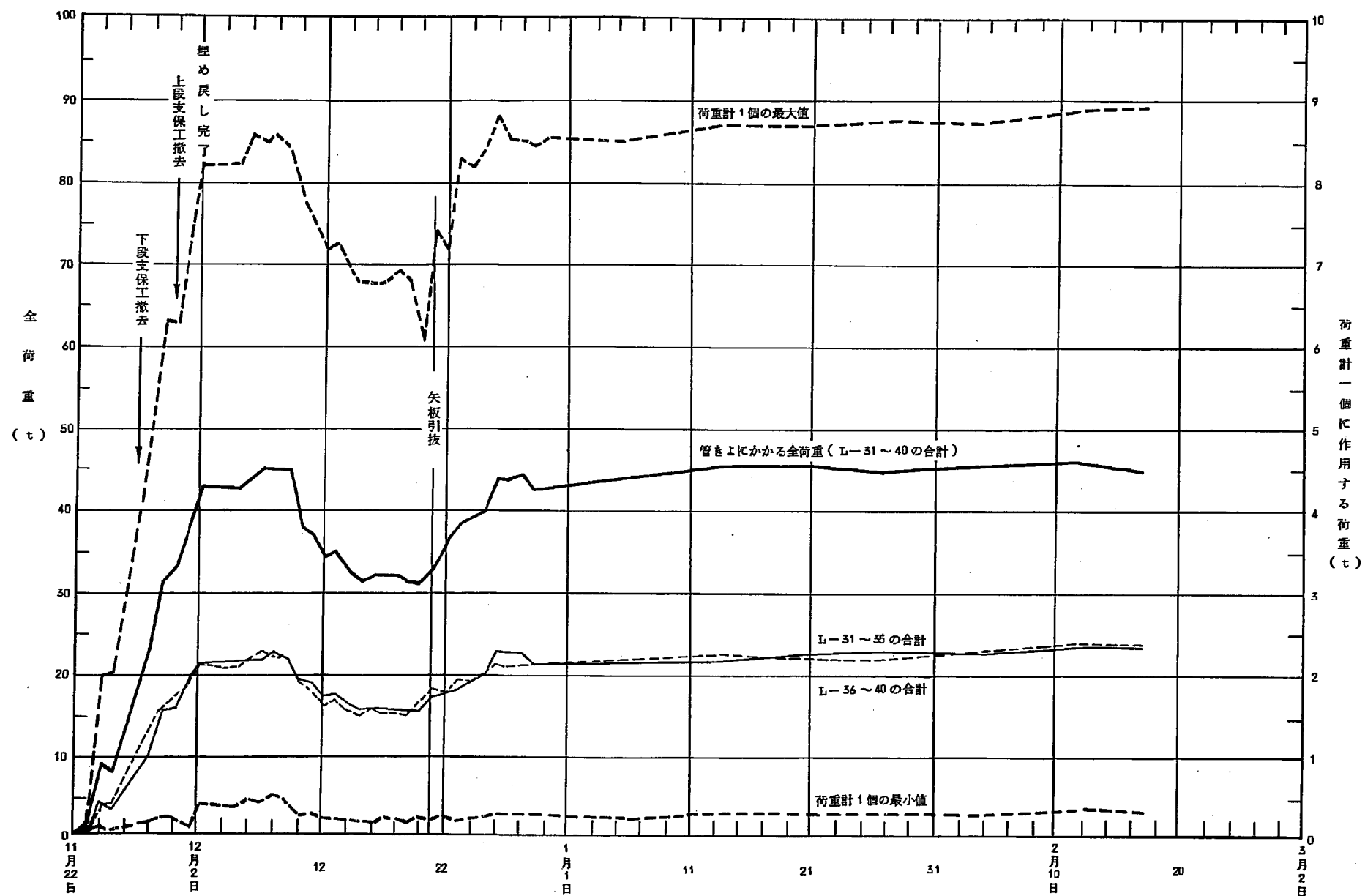


図-5・1(4) 管きよにかかる土圧の実測値 (C区間 $\phi 1800 \times 2430$)

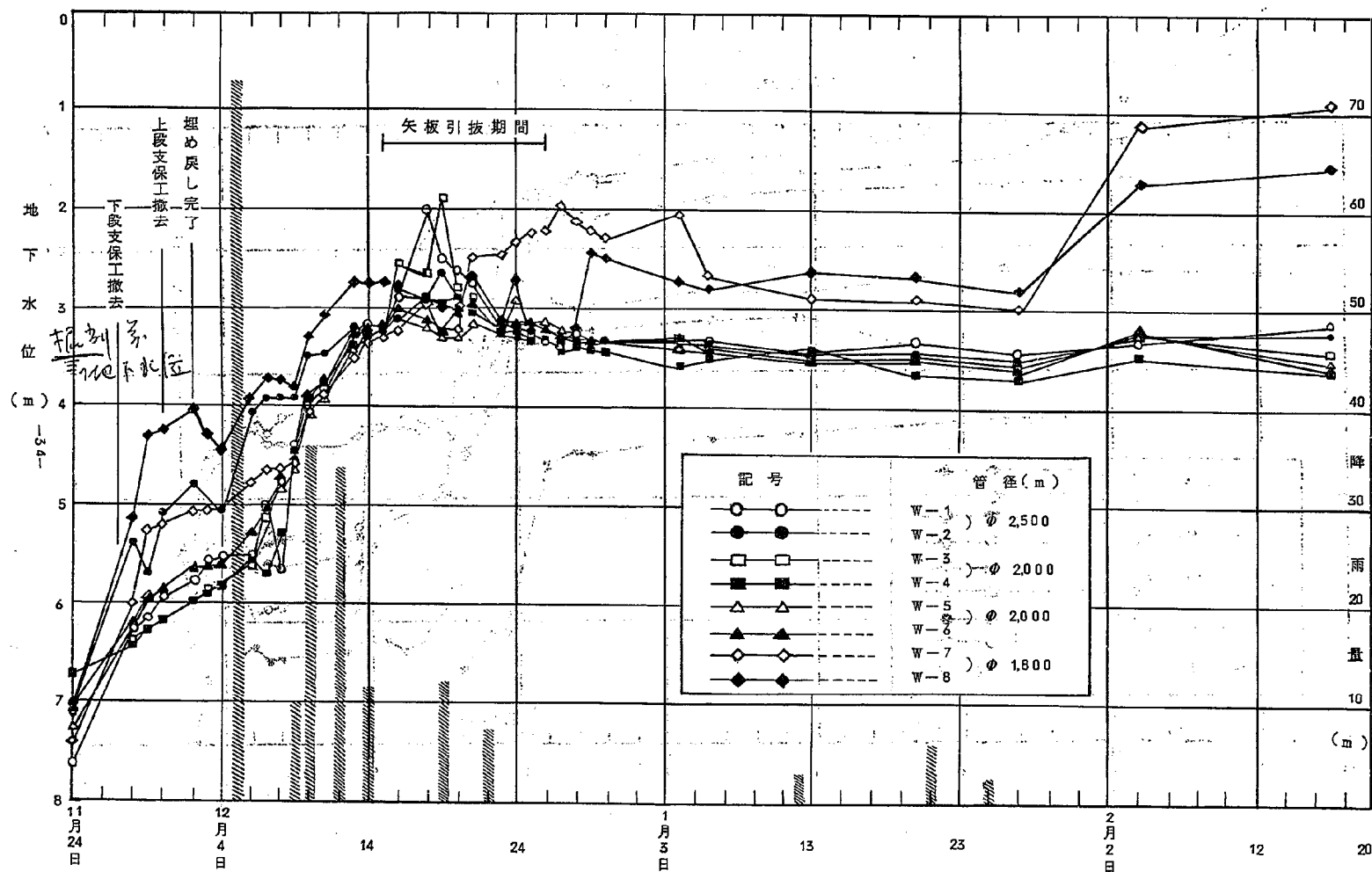


図-5・2 地下水位と降雨量

$\frac{0.8}{1.5} = 0.53 \text{ kg/cm}^2$

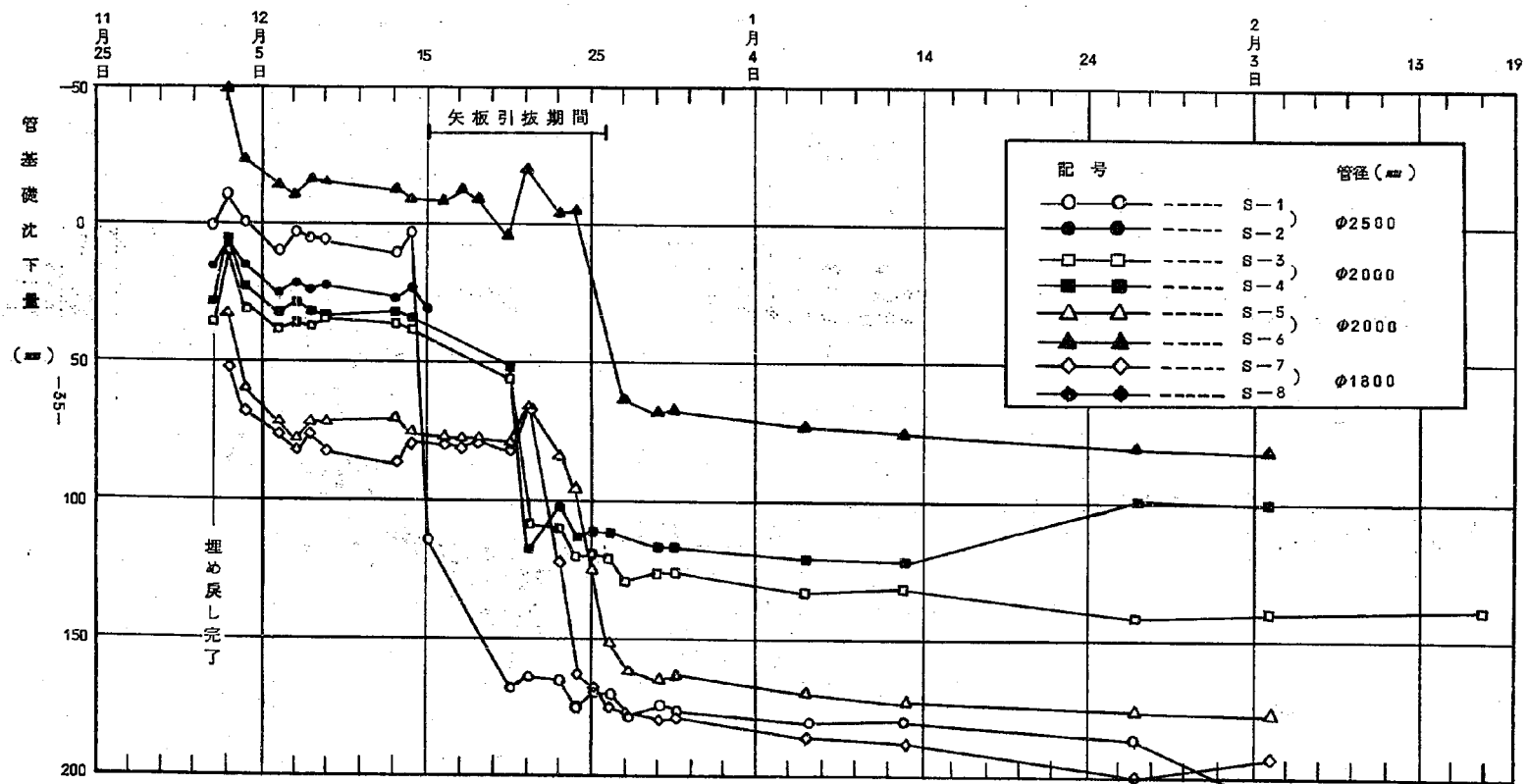


図-5.3 管のコンクリート基礎の沈下

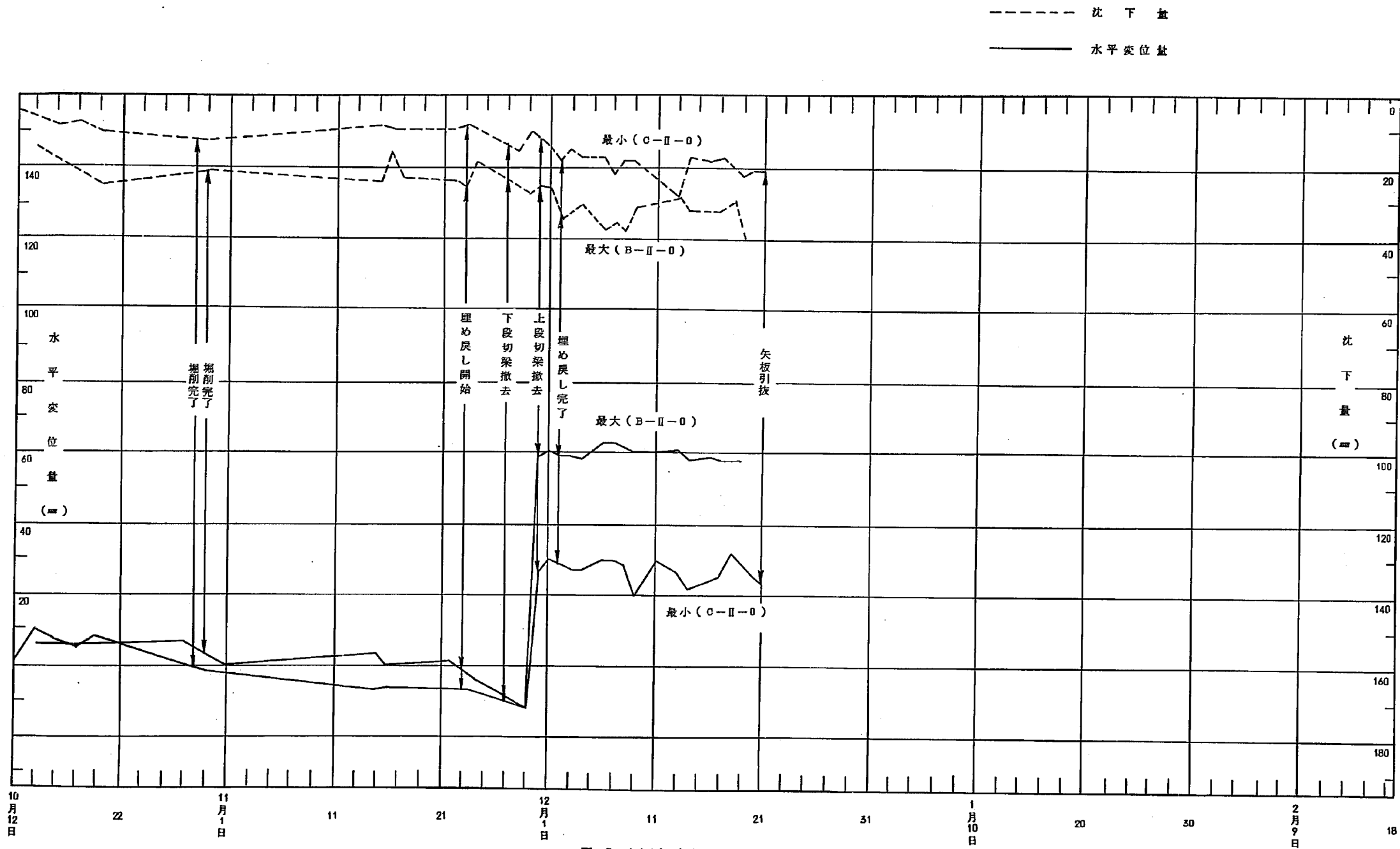


図-5・4(1) 矢板から0mの点の地表変位(矢板頂)

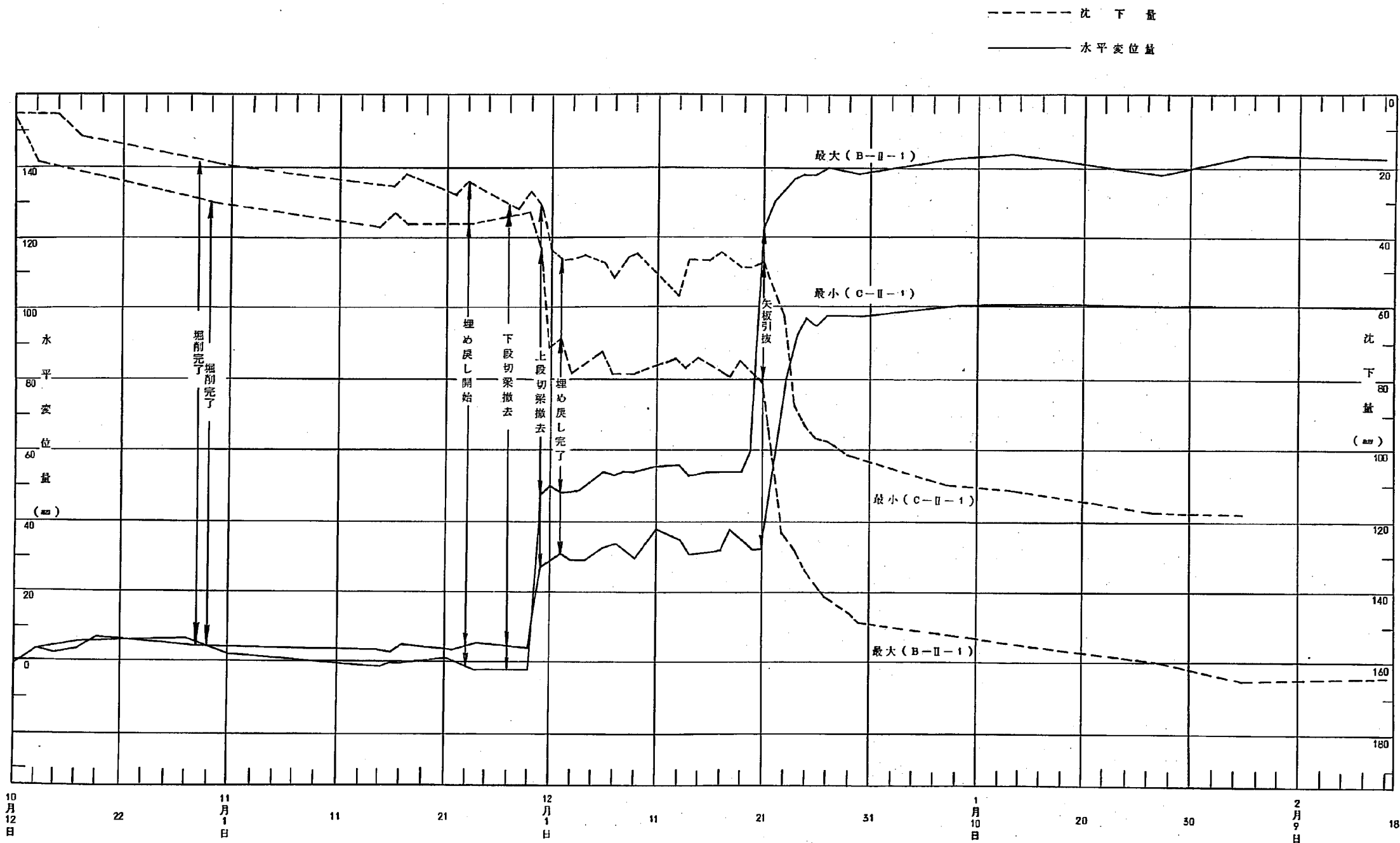


図-5・4・(2) 矢板から1mの点の地表変位 (杭1)

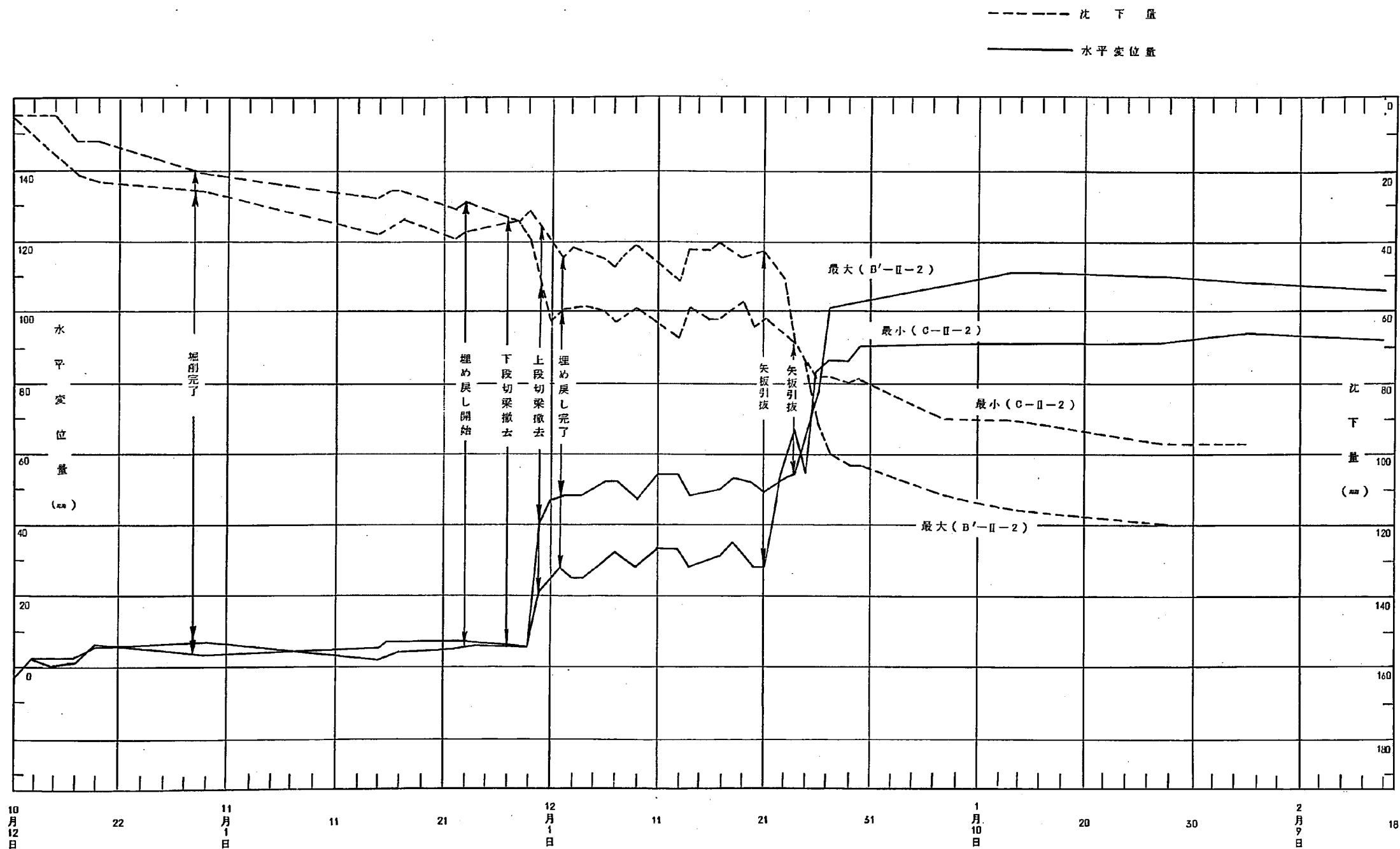


図-5・4・(3) 矢板から2mの点の地表変位 (杭2)

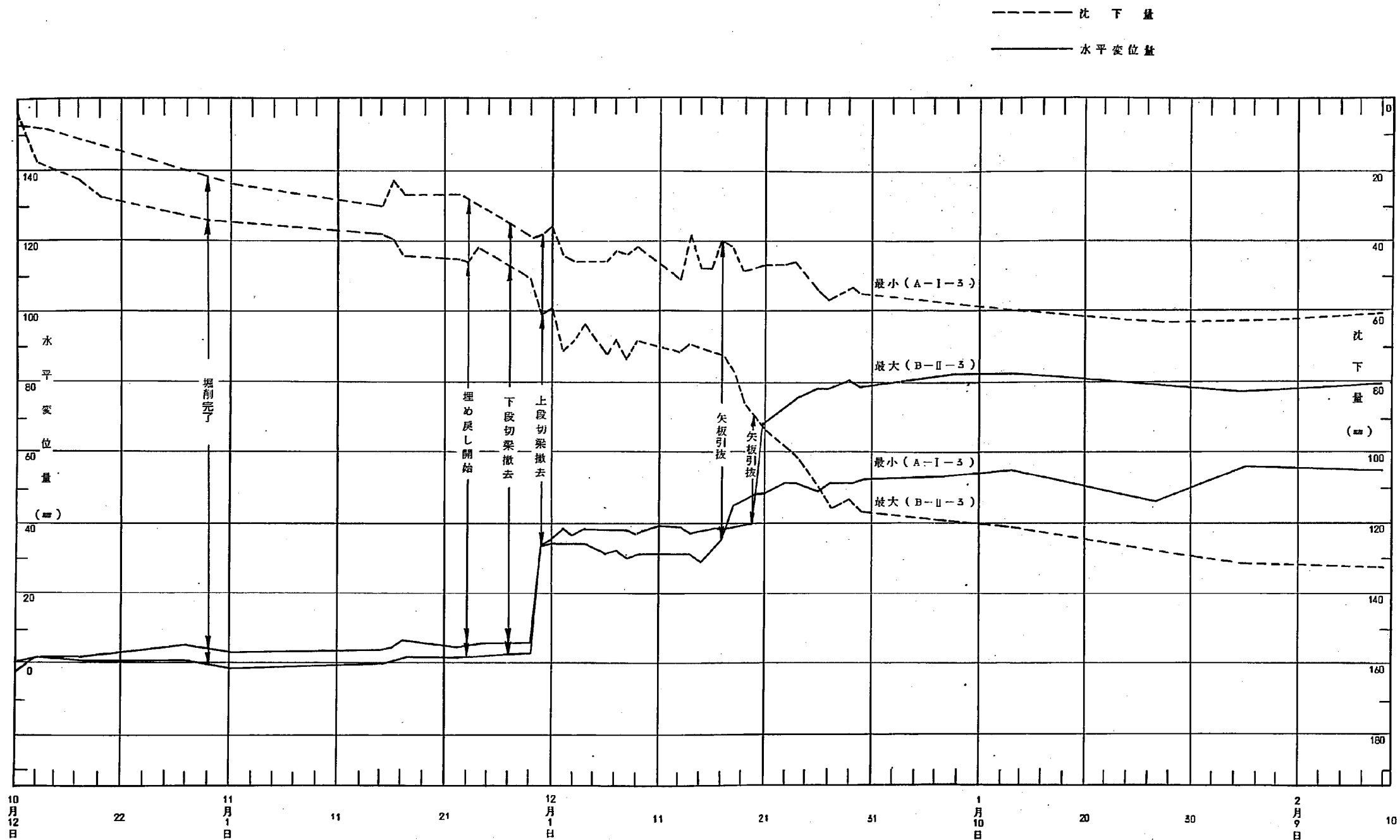


図-5・4・(4) 矢板から3 mの点の地変変位 (杭3)

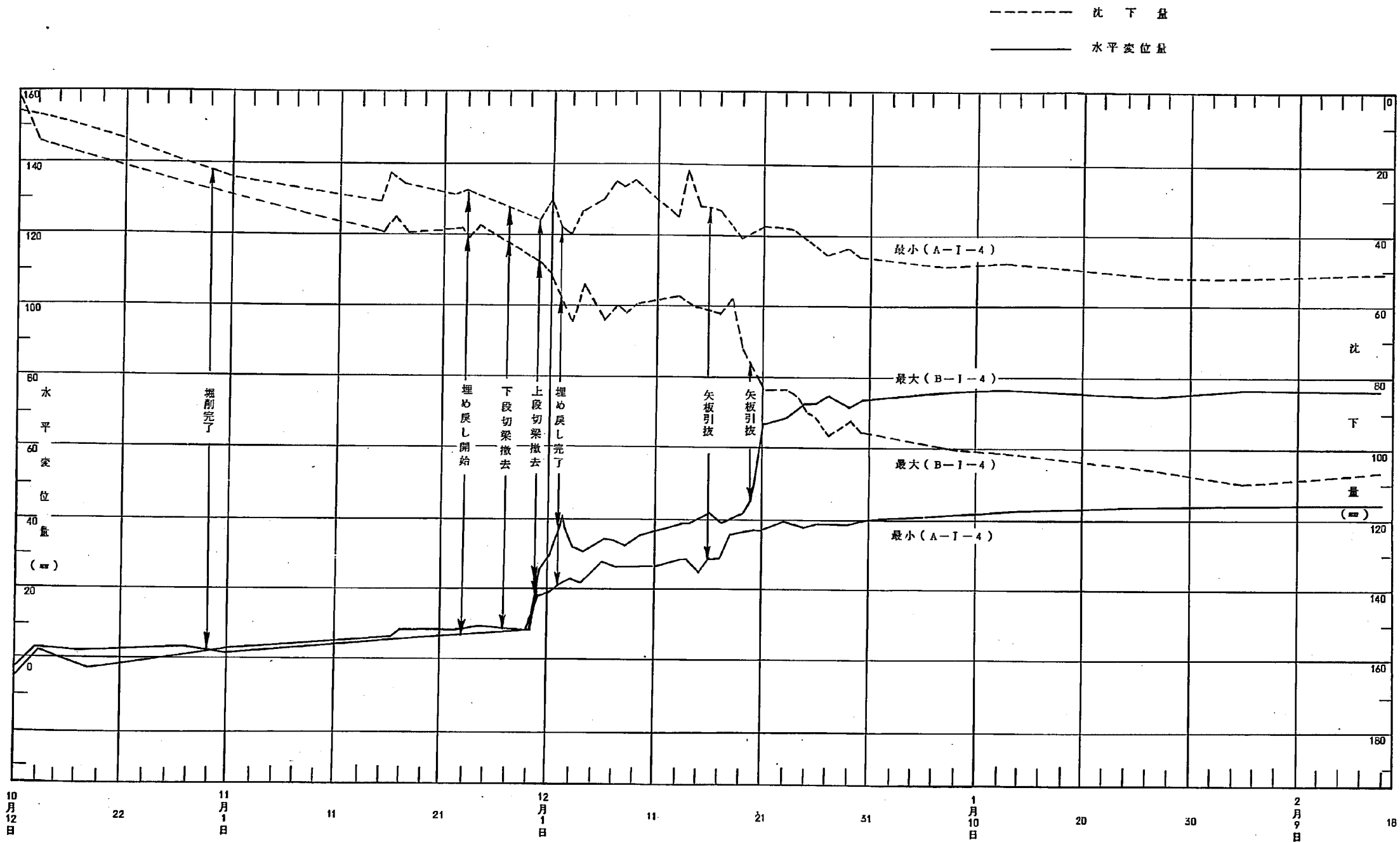


図-5・4・(5) 矢板から4mの点の地表変位(杭4)

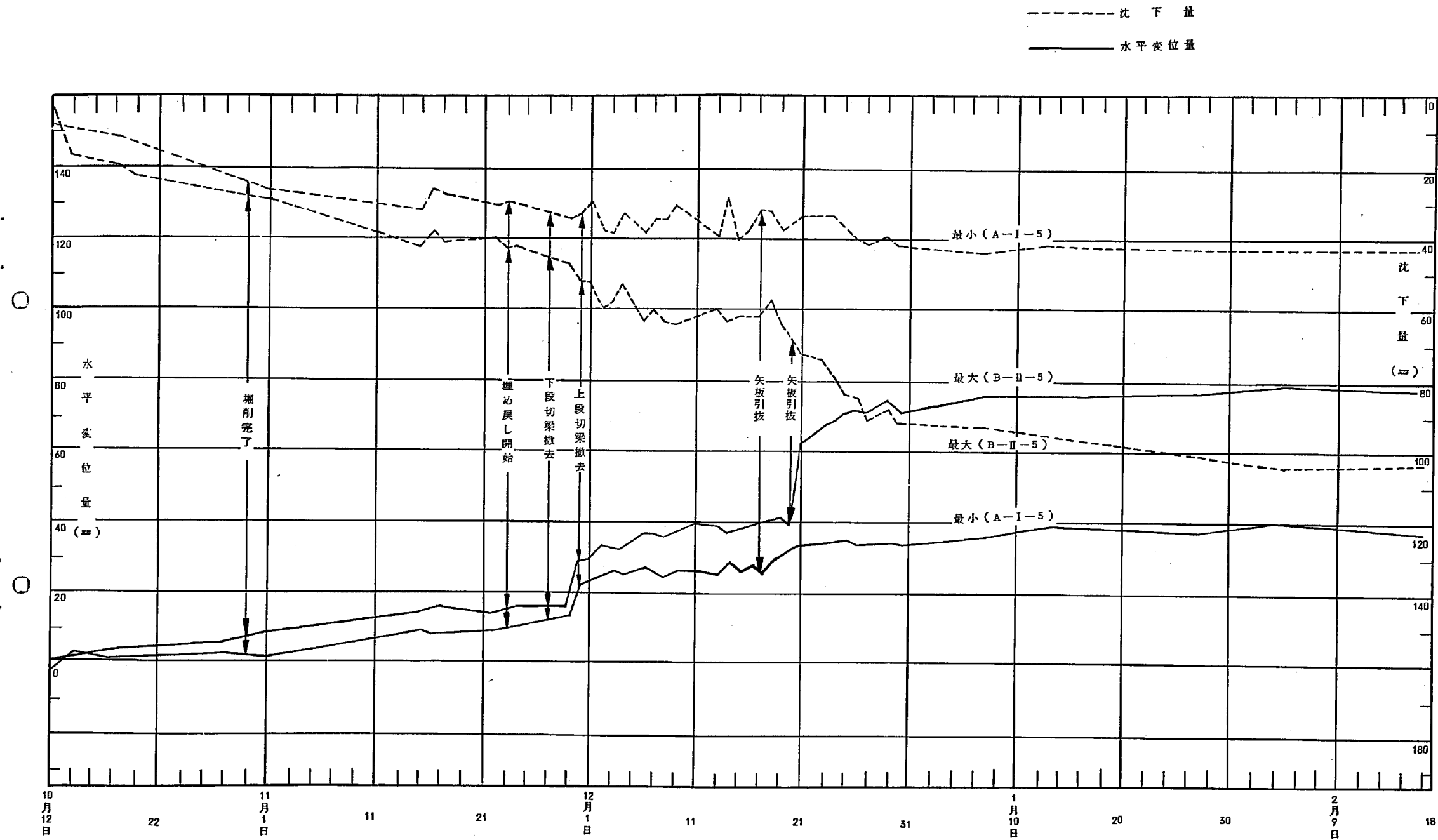


図-5・4・(6) 矢板から5mの点の地表変位(杭5)

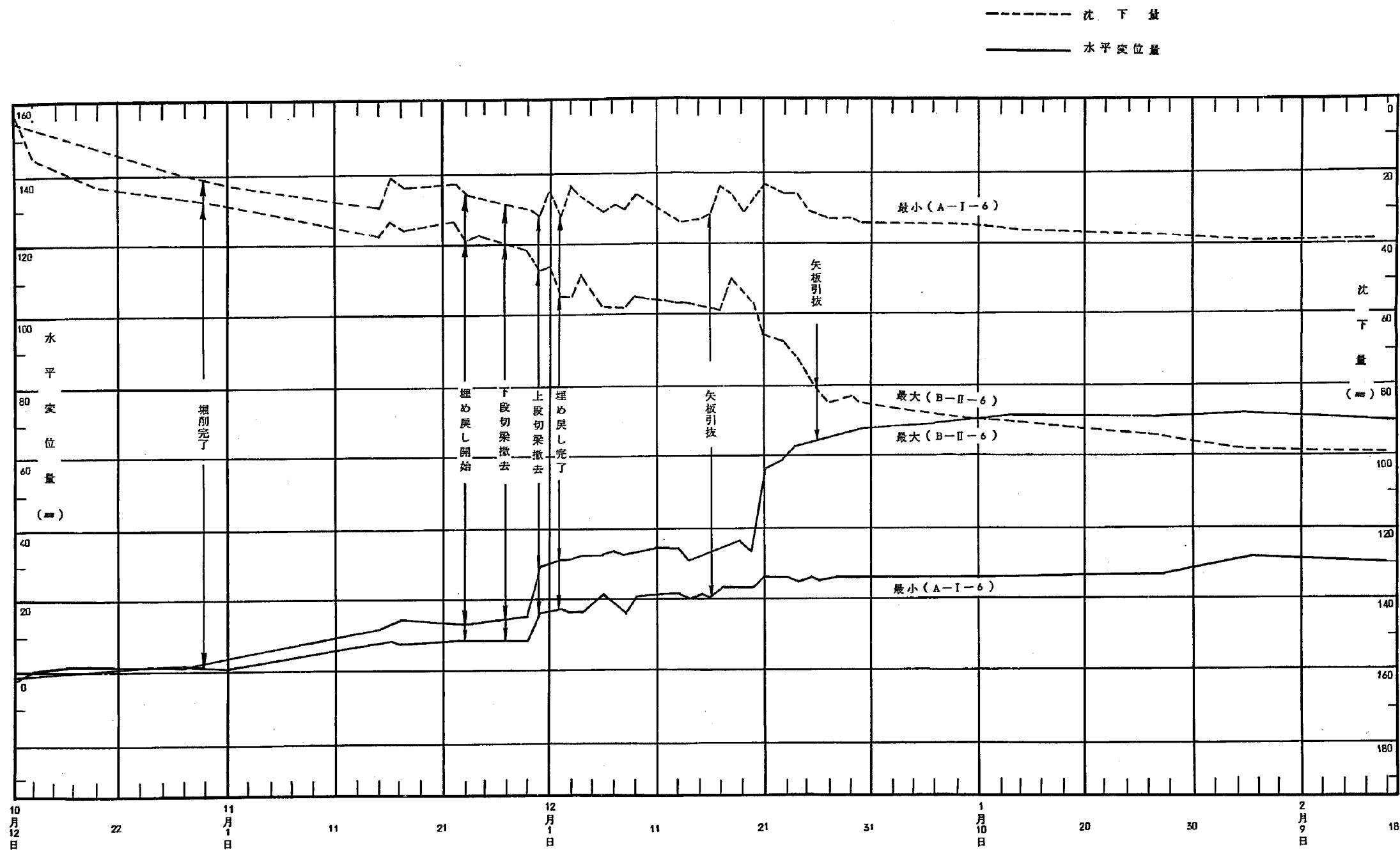


図-5・4・(7) 矢板から6mの点の地表変位(杭6)

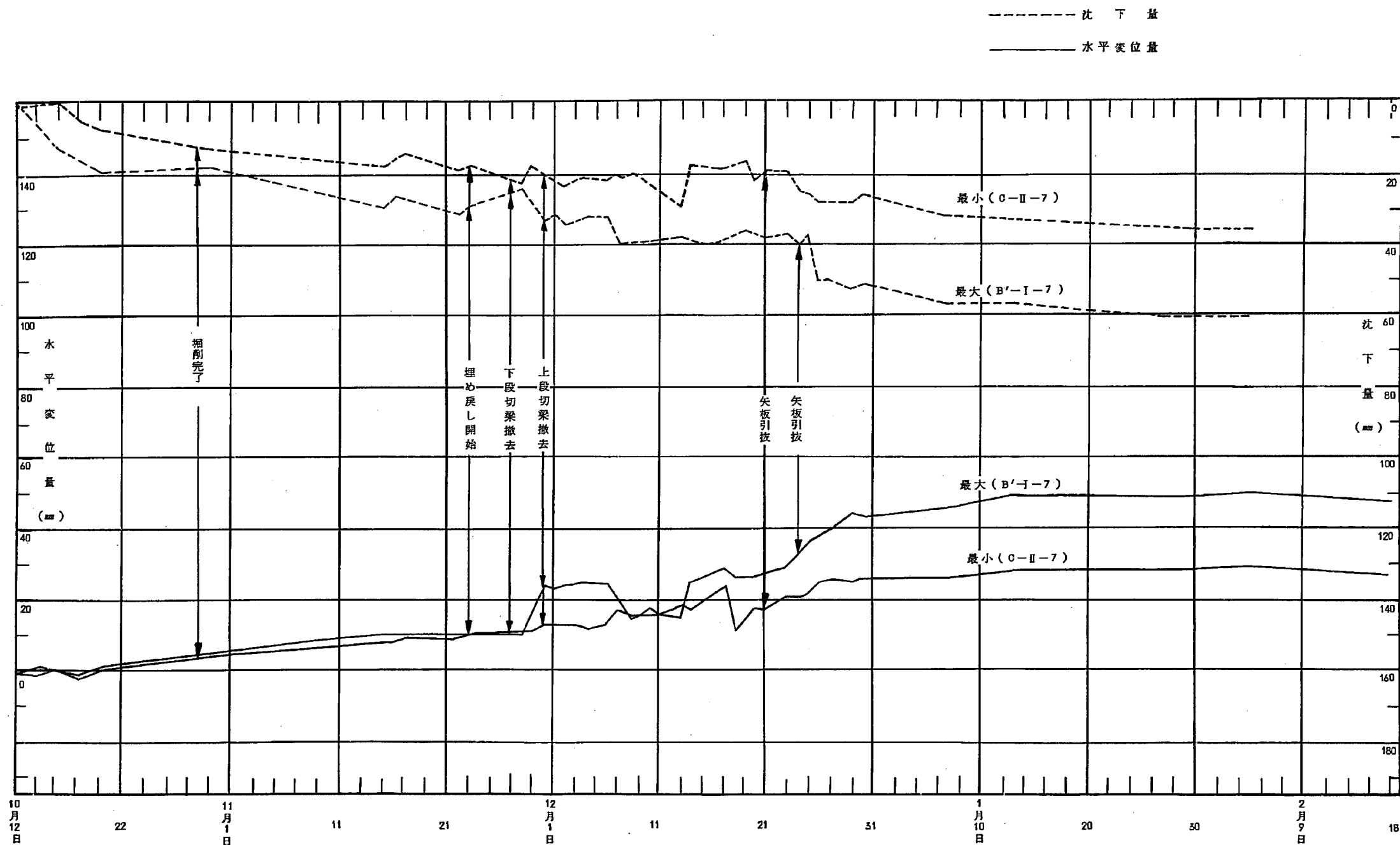


図-5・4・(8) 矢板から7mの点の地表変位 (杭7)

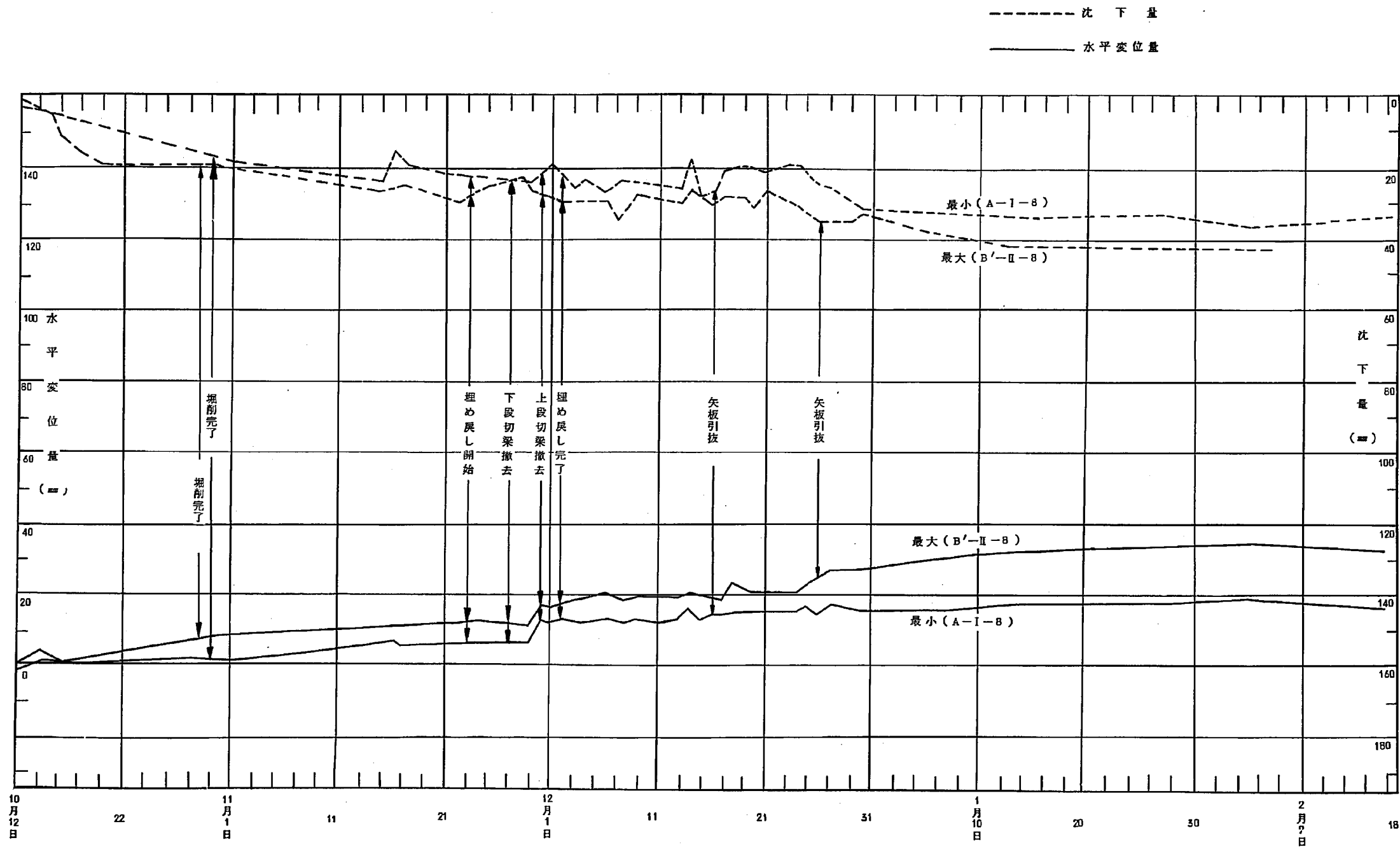


図-5・4・(7) 矢板から8mの点の地表変位(杭8)

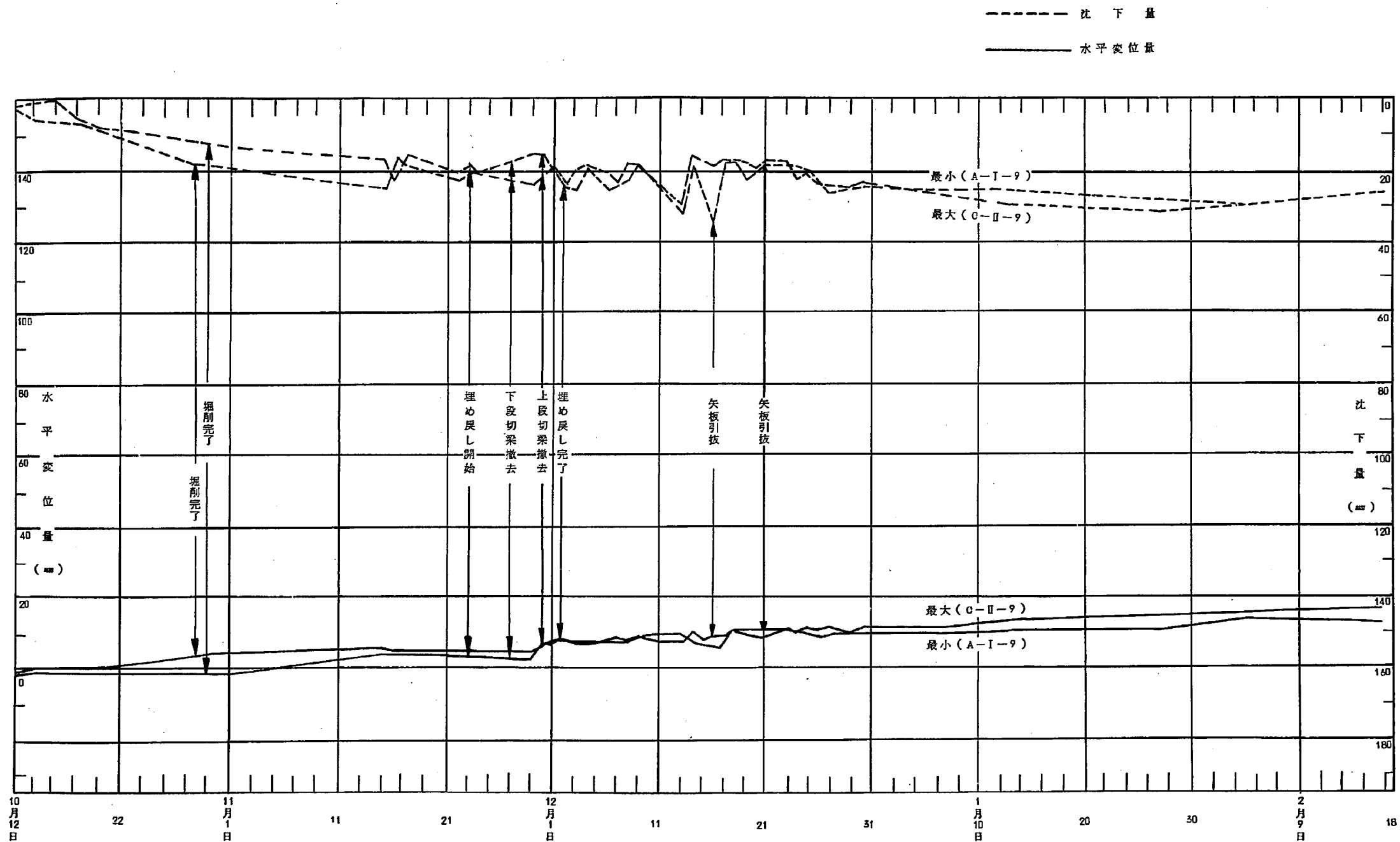


図-5・4・(10) 矢板から9mの点の地表変位 (坑9)

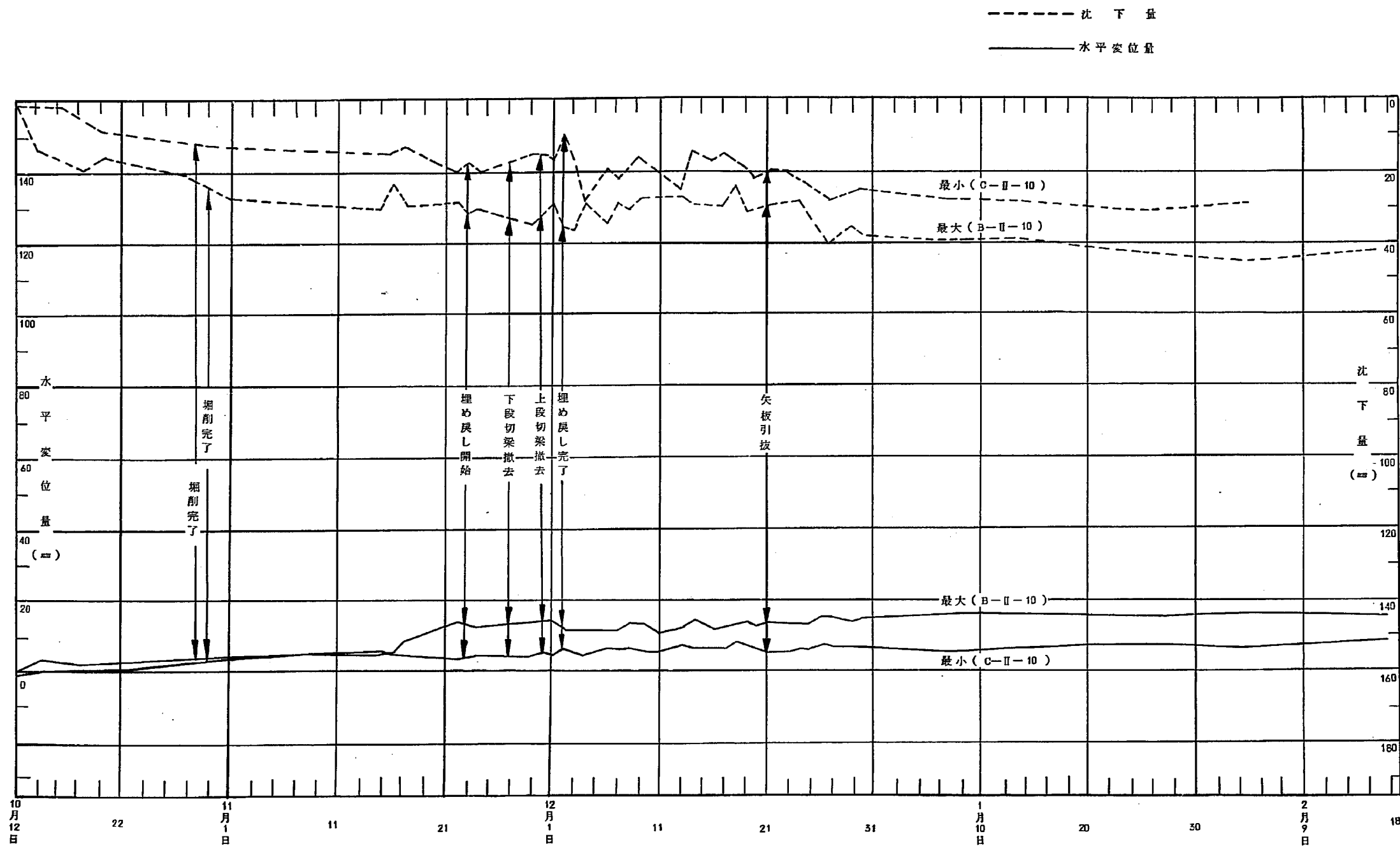


図-5.4.(11) 矢板から10mの点の地表変位(杭10)

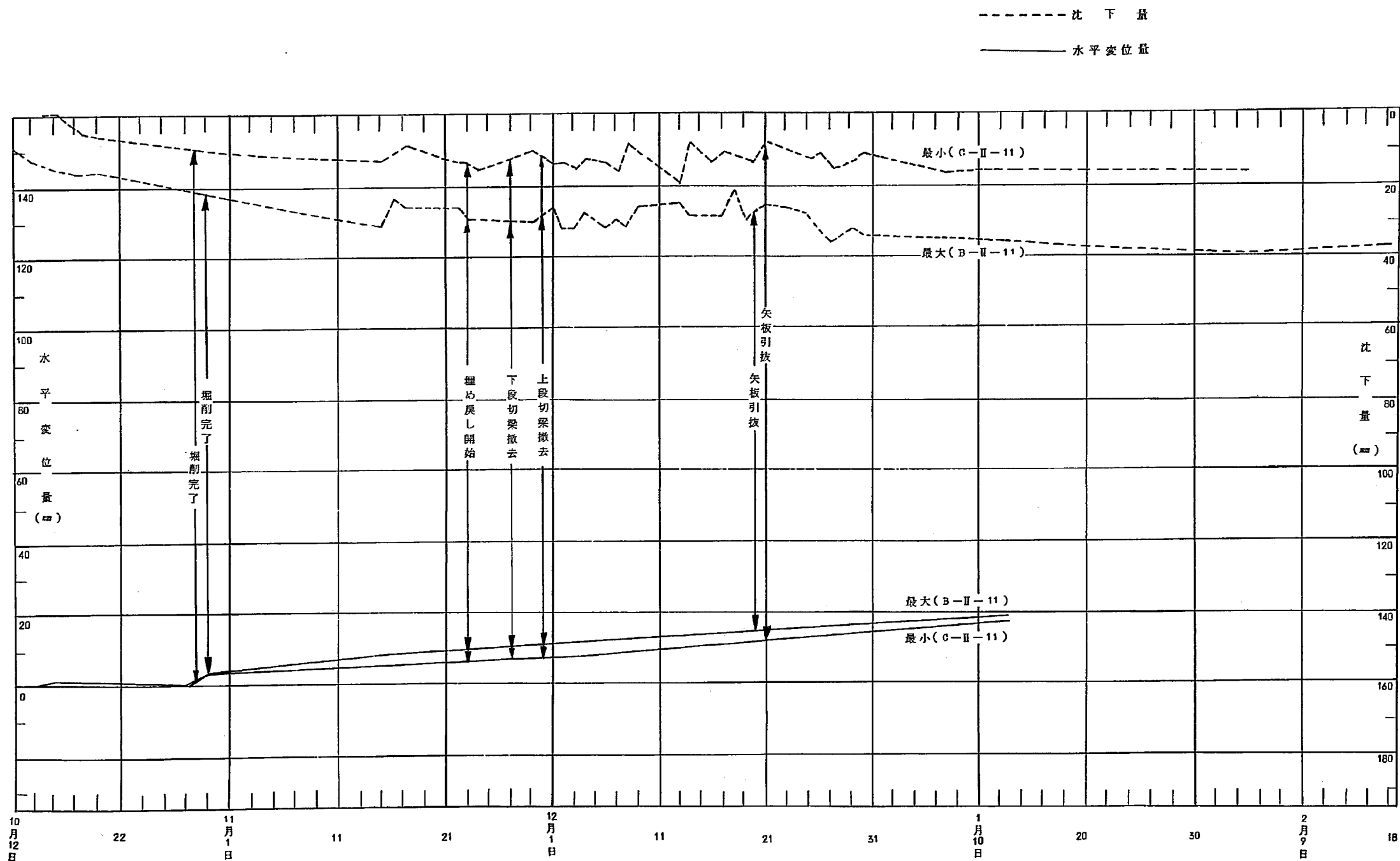
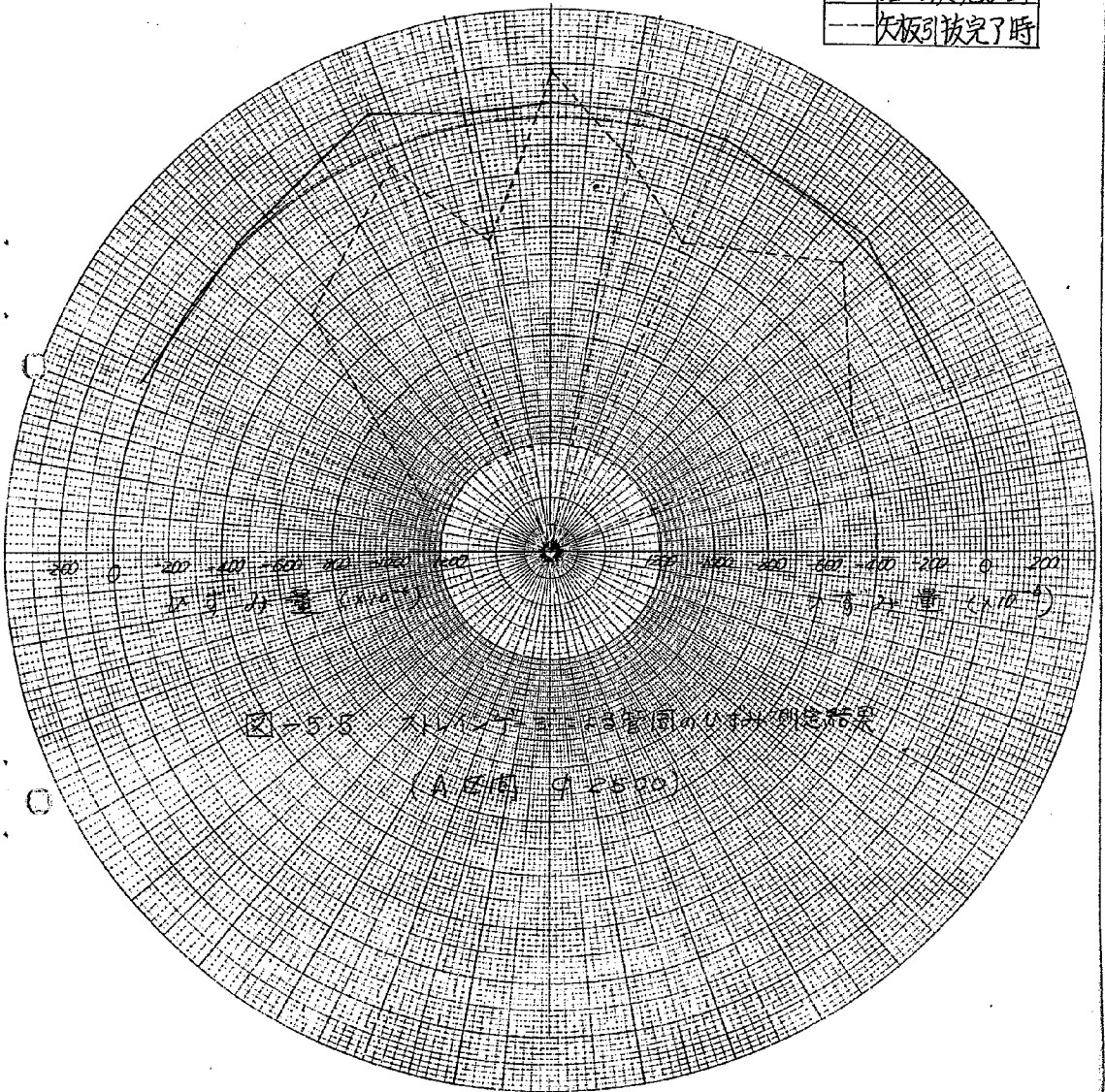


図-5・4・(12) 矢板から11mの点の地表変位(杭11)

凡	例
—	埋め戻完了時
---	矢板引抜完了時



凡	例
—	埋り戻完了時
---	矢張り抜完了時

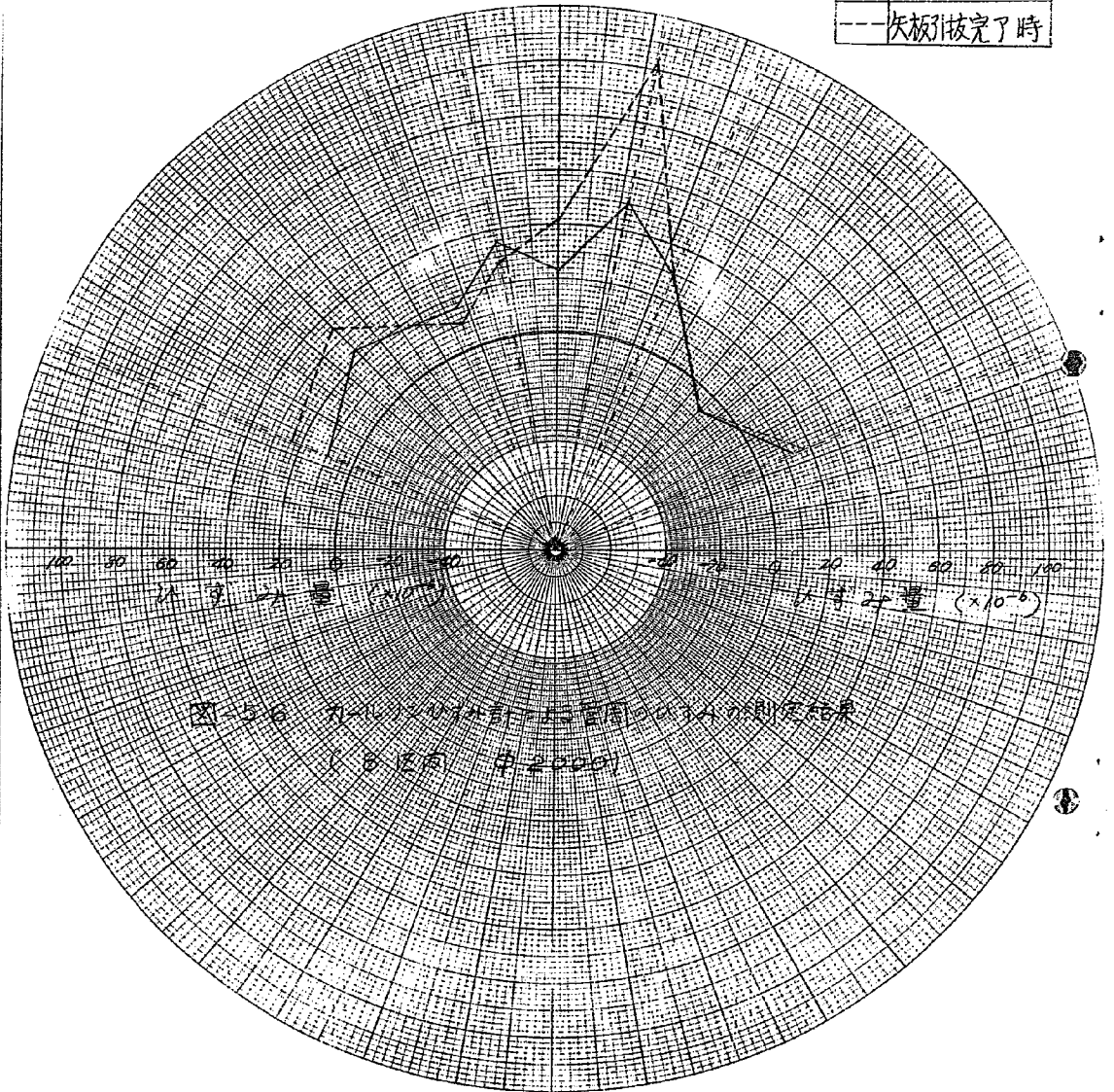


図-56 カールマンの計測結果の例
(右は内 中 2000)

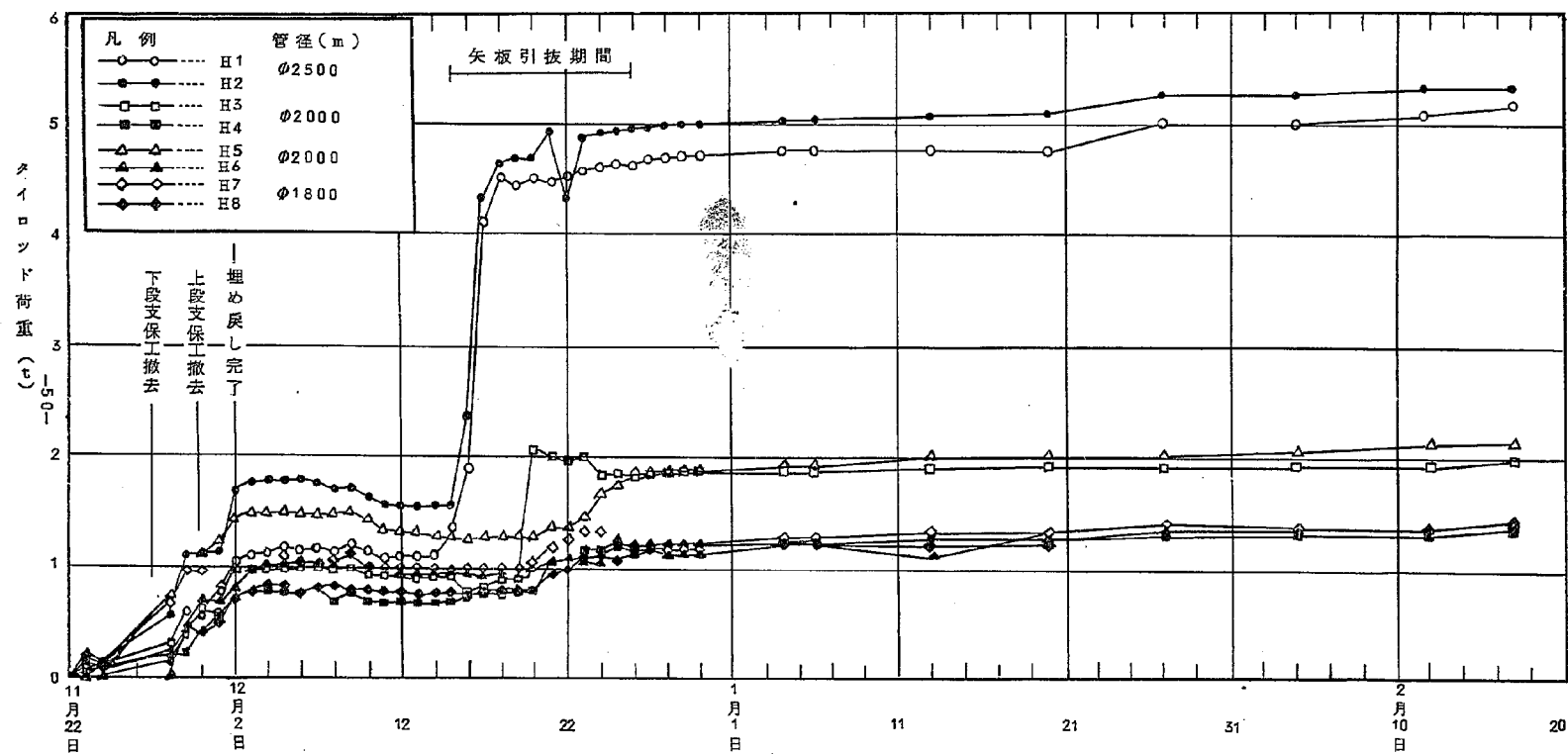


図-5・7 タイロッドの張力の測定結果

6. 考 察

6.1 解析に用いた数値

以下の考察において計算に用いる主な数値を明らかにしておく。特に土質定数のとりかたは結果に大きな影響を与えるが、4で述べたように測定結果にかなり変動があるので計算を簡略にするためある一定値を仮定せざるを得なかった。

まず管きょおよび溝の寸法については

	Φ 2500	Φ 2000	Φ 1800
管きょの外径 $B_c(m)$	2.98 $\pm$ 3.0	2.38 $\pm$ 2.4	2.152 $\pm$ 2.2
溝 幅 $B_d(m)$	4.4	3.85	3.85
基礎底面までの掘削深さ $H_0(m)$	7.378 $\pm$ 7.4	7.08 $\pm$ 7.0	6.966 $\pm$ 7.0

最大土かぶり H はすべての管について $H=5m$, 地下水位は埋めもどし中は $H.L.-5.5m$, 掘削前および矢板引抜き後は $G.L.-3.5m$ である。

土質定数は次のように仮定した。

	原 地 盤		埋めもどし土		
	粘 土 0 $\sim$ 4 m	砂 4 $\sim$ 8 m	締固めた 粘 土	締固めない 粘 土	山 砂
湿潤密度 $r_t(t/m^3)$	1.67	1.87	1.74	1.65	1.64
まさつ角 $\Phi(^{\circ})$	13	30	13	13	13

ただし、6.2.3.で原地盤の主働土圧を計算するときには Φ と r_t の異なる2層問題を考えると複雑になるので加重平均値を用いた。

強硬定数に関しては乱さない粘土 ($r_t=1.77t/m^3$, $w=40\%$) で $\Phi_u=13^{\circ}$, $c_u=0.3kg/cm^2$ が得られておりこれから推定した $q_u=0.73kg/cm^2$ は実測の q_u (0.29 $\sim$ 0.58 kg/cm^2) よりやや大きい、計算には c を無視するので $\Phi=13^{\circ}$ を用いる。締固めた粘土 ($r_t=1.81t/m^3$, $w=38.5\%$) の試験から $\Phi_u=23^{\circ}$, $c_u=0.39kg/cm^2$ が得られており、コーンペネトロメーターとスエーデン式サウンディングの結果も原地盤よりいくらか大きくでているが実際の締固め密度があまり大きくないので計算を簡単にするため $\Phi=13^{\circ}$ とした。山砂についてもサウンディング結果が他の土とあまりちがわないので同じ Φ をとった。

原地盤の砂は $q_c=30\sim80kg/cm^2$, $N=3\sim18$, $N_{sw}=40\sim120$ というデータから $\Phi=30^{\circ}$ と推定した。

また、Marston の突出形管きょの式 (10) には周辺の土は埋めもどし土と同じ土質定数を持つものとした。

6.2 管きょにかかる土圧

6.2.1 一般的傾向

管きょにかかる土圧の挙動を簡単に図示すると図-a になる。すなわち埋めもどし中は直線的に増大し (①) 埋めもどし完了後数日で最大値 (②) に達しその後は地下水位の上昇とともに減少するが (③) 矢板引抜き時に急激に増大し (⑤) さらに数日間にわたって増加して最大値 (⑥) に達した後やや減少するがまた徐々に増加する。

これらの代表的な時点での土圧および土圧の変化は単位長さあたり表-6.1 のようになっている。

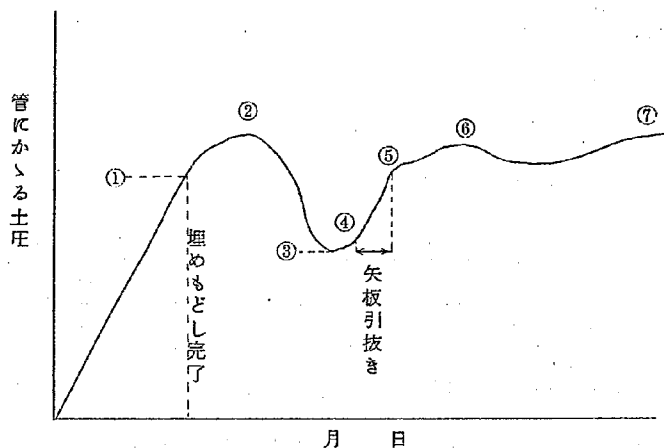


図-a 土圧の変化

なお矢板引抜き後の最大値 (⑥) は埋めもどし完了後の最大値 (②) より小さい。

6.2.2 理論値との比較

現在、管きょにかかる土圧を計算するための式として発表されているものによる計算値と実測値を比較してみる。以下の式にでてくる記号は次のとおりである。

- W : 管きょ単位長さあたりの全土圧
- C : 荷重係数、理論式ごとに添字をつけて区別する
- r : 土の湿潤単位体積重量
- H : 管頂における土かぶり

H_2 : 管頂から地下水面までの高さ (したがって地下水位は地面から $H - H_2$)

B_d : 溝の幅

B_c : 管きよの外径

ϕ : 埋めもどし土の内部まさつ角, 埋めもどし土と溝壁の間のまさつ角

$\mu = \tan \phi$: 埋めもどし土の内部まさつ係数, 埋めもどし土と溝壁の間のまさつ係数

$K = \tan^2 (45^\circ - \frac{\phi}{2})$: 主動土圧係数

土圧の計算式としては次のようなものが考えられている。

a. Marston の溝形管きよの式⁽³⁾

剛性管きよで管の周囲の土が圧縮性のとき

$$W = C_d r B_d^2$$

$$C_d = \frac{1 - \exp(-2K\mu \frac{H}{B_d})}{2K\mu}$$

管がたわみ性で管の周囲の土が十分締固められ管きよと同程度の剛性を持つとき

$$W = C_d r B_c B_d$$

溝内に地下水位のあるときは(2)の C_d のかわりに

$$C_d' = \frac{1}{2K\mu} \left[1 - \frac{1}{r} + \frac{1}{r} \exp(-2K\mu \frac{H_2}{B_d}) - \exp(-2K\mu \frac{H}{B_d}) \right] \quad (4)$$

を用いる。(付録 A 参照)

b. Marston の突出形管きよの式⁽³⁾

この式は本来管きよが盛土内に設置されたような場合に適用されるものであるが、管径に比

較して土かぶりが大きくなり、Marston の定義する等沈下面が存在しないときは

$$W = C_c r B_c^2$$

$$C_c = \frac{\exp(2K\mu \frac{H}{B_c}) - 1}{2K\mu}$$

地下水位のあるときは(6)のかわりに

$$C_c' = \frac{1}{2K\mu} \left[-1 + \frac{1}{r} - \frac{1}{r} \exp(2K\mu \frac{H_2}{B_c}) + \exp(2K\mu \frac{H}{B_c}) \right] \text{とし地下水位}$$

を用いる。(付録 B 参照)

c. 溝内土塊の全重量が管きよにかかると考えた計算式

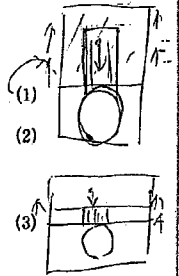
図-1bの土塊 ABCD が全部管きよにかかるけるとすると

$$W = r H B_d = C_r r B_d^2$$

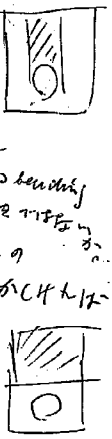
$$C_r = \frac{H}{B_d}$$

d. 管きよ直上の土塊の重量が管きよにかかると考えた計算式

図-1bの土塊 EFGI が管きよにかかるけるとすると



この使用例は? 地下水位以下
 この場合は bending moment of the pipe は 0 になり、管径に比
 較して土かぶりが大きくなり、Marston の定義する等沈下面が存在しないときは
 本式を適用する (5) →
 この式は地下水位以下に
 water pressure による bending moment を加える (7) →
 地下水位の
 pressure による
 土塊の重量が管きよにかかる (8) →



$$W = rHB_c = C_o' rB_c^2 \quad (10)$$

$$C_o' = \frac{H}{B_c} \quad (11)$$

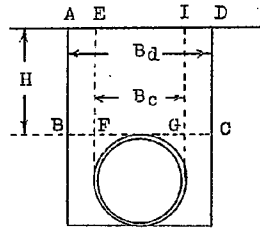
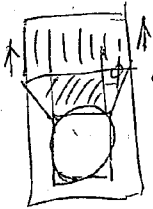


図-6 (8), (10)の説明図

e. Voellmy の薄形管きよの式^[4] (詳細は付録C参照)

$$B_o = \frac{\pi}{4} B_c \quad (12)$$

$$H' = H + \frac{1}{2} (B_c - B_o) - \frac{1}{2} (B_d - B_o) \cot \phi \quad (13)$$



としてMarstonの式と類似の形であらわすと

$H' > 0$ のとき

$$W = C_{dv} r B_d^2 \quad (14)$$

$$C_{dv} = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{\pi^2}{16} \frac{B_c^2}{B_d^2} \right) \cot \phi + \frac{1 - \exp(-2K_\mu \frac{H'}{B_d})}{2K_\mu} \quad (15)$$

$H' < 0$ のとき

$$W = C_{dv}' r B_c^2 \quad (16)$$

$$C_{dv}' = \left(\frac{H}{B_c} + \frac{1}{2} - \frac{\pi}{8} \right) \left[\frac{\pi}{4} + \left(\frac{H}{B_c} + \frac{1}{2} - \frac{\pi}{8} \right) \tan \phi \right] \quad (17)$$



f. Voellmy の均質地盤内の管きよの式^[4] (詳細は付録D参照)

Marston と同形の式に書くと

$$W = C_v r B_c^2 \quad (18)$$

$$C_v = \frac{1}{1 + \sin \phi} \left[\left(1 - \frac{\pi}{4} - \frac{1}{3} \sin \phi \right) + \left(2 - \frac{2}{3} \sin \phi \right) \frac{H}{B_c} \right] \quad (19)$$

これらの計算式で求めた理論値と実測値の比較を次のように示す。

(1)との比較…………… 図-6.1 (3)との比較…………… 図-6.2

(10)との比較…………… 図-6.3 (8)との比較…………… 図-6.4

(5)との比較…………… 図-6.5 (14), (16)との比較…………… 図-6.6

(19)との比較…………… 図-6.7

土かぶり5mに達するまでの土圧の増加とその後地下水位が上昇して減少し、矢板を引抜いたことによって再び増加するまでの実測値をとって比較したが埋めもどし直後の土圧をみると

実測値が計算値より小さくなっているもの (1), (5), (8), (14), (19)を用いた場合
 実測値と計算値がほぼ一致するもの (19)を用いた場合
 実測値が計算値より大きくなっているもの (3), (18)を用いた場合
 となっており、矢板引抜き後の土圧では

実測値が計算値より小さくなっているもの (1), (5), (8), (14), (19)を用いた場合
 実測値が計算値より大きくなっているもの (3), (10), (18)を用いた場合
 である。

Marston の突出形管きよの式(5)による計算値が実測値よりもかなり大きくなるのは当然としても溝形管きよの式(1)が実測値より大きい値を与えたことはやや予想外の結果であった。半円管を用いてしかもコンクリート基礎が溝幅全体に広がっているため管の周囲の土が完全に圧縮性であるという(1)式を適用するための条件が完全に満足されていない点も考えられ、むしろ溝形管きよの式としては(3)を用いるべきであるとも言える。そして(3)との比較では(図-6.2)測定値の方が大きい。

溝内の土塊全体を荷重と考えた(8)と比較すると(図-6.4), 実測値がかなり小さいがこれはこの実験では管きよの外径に比較して溝幅が大きく(ある調査によれば $\Phi 2000$ で $B_d = 3.0 \sim 3.4m$, $\Phi 1800$ で $B_d = 2.6 \sim 3.2m$ 程度である⁽¹⁾) したがって計算値が普通の管きよに対するものより大きくなる可能性があることのほかにやはりすでに述べた管きよの周囲の土の圧縮性が小さいことが影響していると考えられる。

一方管きよ上部の土塊のみを荷重と考えた(19)は矢板引抜き前までは比較的実測値に一致している。

Voellmy の溝形管きよの式(14)または(19)は実測値より大きい値を与え、均質地盤中の式(18)は過小な理論値を与えている。これらは現在一般に用いられている式ではないが(14)または(19)はその考えかたに Marston とはちがった点があり検討にあたいするものであると思われるが、こゝでは参考としてあげるにとどめておく。

管の周囲に広がっているコンクリート基礎の影響と管が沈下していることのために測定値は通常に設置される管きよの場合より小さくなっていると考えられ、このことについては6.5で検討するが、矢板引抜き前の土圧は、これらの理論値との比較で(3), (19)では過小の値を与えるので、上記の測定値が過小に出ている状況を考慮しても Marston の(1)で計算してさしつかえないと思われる。ただし矢板引抜きによって土圧が増加した場合はこの限りではない。

現在の J I S 規格の基礎になっていると推定される都市下水道標準荷重およびヒューム管協会で提案している標準荷重⁽⁵⁾ と実測最大値を比較すると

	$\Phi 1800$	$\Phi 2000$	$\Phi 2500$	単位 t/m^2
都市下水道標準荷重	5.50	—	—	
ヒューム管協会標準荷重案	6.85	6.78	—	
実 測 最 大 値	8.74	8.85	8.80	

となつてかなり大きい実測値が観測されている。

6.2.3 切りばりおよび矢板撤去の影響

図一5.1 からわかるように切りばりの撤去は土圧にほとんど影響しないが矢板を抜いたときにはかなり土圧が増加している。この土圧増加は矢板引抜き後ただちにあらわれるものと、4～5日後に最高値に達する場合がある。6.2.1で述べたように矢板引抜きによる土圧増加量は $\Phi 2500$ で7.3 t/m (やゝ特異と思われる結果をとれば10 t/m)、 $\Phi 2000$ と $\Phi 1800$ では約3 t/m (2.7～3.3 t/m)で管径による差異よりも溝幅による差異の方が大きい傾向が見える。しかし $\Phi 2500$ については矢板引抜き時にクレーン車が溝内に入っている所以その影響があると考えると矢板引抜きによる純粋な土圧増加は7.3 t/mより小さいものであろう。

矢板を抜いたことにより現地盤の主働土圧が溝内の土に作用するものとすれば、その鉛直成分 E_v は⁽⁶⁾

$$E_v = 2 \cdot \frac{1}{2} r H_0^2 K_a \sin \Phi_1 \quad (20)$$

$$K_a = \frac{\cos^2 \Phi}{\cos \Phi_1 \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\Phi + \Phi_1) \sin \Phi}{\cos \Phi_1}} \right]^2} \quad (21)$$

で、この鉛直成分が管きよの外径に比例して管きよ土圧の増加分となると考えると、その増加土圧 ΔW は

$$\Delta W = \frac{B_c}{B_d} E_v = \frac{B_c}{B_d} r H_0^2 K_a \sin \Phi_1 \quad (22)$$

で計算できる。ここに

E_v : 原地盤の主働土圧の鉛直成分

ΔW : 原地盤の主働土圧による管きよの土圧増加

H_0 : 溝の掘削深さ

K_a : 主働土圧係数

Φ_1 : 原地盤と埋めもどし土の間のまさつ角

原地盤は r, Φ の異なる粘土と砂からなっているがそのまゝでは計算が複雑になるのでそれぞれの層の r, Φ およびこれらの層厚を考慮して加重平均をとった r, Φ を用いて(20)を計算してみると図一6.8のようになる。加重平均値は $r = 1.26 \text{ t/m}^2$ 、 $\Phi = 20^\circ$ でこのときには $\Phi_1 = 13^\circ$ とする。

この加重平均値を用いて $E_v, \Delta W$ を計算すると、

	A $\Phi 2500$	B $\Phi 2000$	B' $\Phi 2000$	C $\Phi 1800$
E_v (t/m)	6.8	6.1	6.1	6.1
ΔW (t/m)	4.6	3.8	3.8	3.5

となつて $\Phi 2500$ については実測値の方が大きいがその他については大体一致するので、こ

の考えかたで矢板引抜きによる土圧増加を概算することが可能である。

6.2.4 降雨と地下水位の影響

実際の管きよのひびわれは埋めもどし完了後降雨が原因となって起こることが多いといわれているが、この実験では埋めもどし完了後3日ほどたって73mmという比較的大きい降雨があり、さらに1週間ぐらいの間に30mm程度の降雨が2度あったにもかかわらず特に目立って土圧の増加はなくむしろ地下水位が上昇したため浮力を受けてかえって管きよの土圧は減少してきている。

したがってこの実験に関するかぎり降雨の影響は認められなかったが、管きよが地下水位以下にあるときは有効土圧のほかに水圧を考慮して応力計算をしなければならないことはもちろんである。



6.2.5 転圧および溝内に入った機械の影響

埋めもどし完了後の降雨のあとの12月9日に溝内を小形ブルドーザー（D-30S，重量4.8t）で転圧した。埋めもどし土はかなり締固まり表面は沈下したが管きよの土圧には変化はなく、表-5.2の12月9日の9時と15時の測定値を比較すれば明らかなように、それぞれの管の上にブルドーザーをおいて測定した土圧はブルドーザーの重量によって全く影響を受けていない。

次にA区間の矢板引抜き時にクレーン車（P&H 325，自重28.8t，接地圧 $0.47\text{Kg}/\text{cm}^2$ ）を溝内に入れているがφ2500の測定管の上にクレーン車をおいて測定した土圧は次のようになっている。

	全荷重 (t)	単位長さあたり (t/m)
クレーンのないとき	45.9	18.9
クレーンのあるとき	580 , 625	23.9 , 25.7

すなわちクレーン車による土圧増加はφ2500については5～6 t/m であるが、これはクレーンを静置したときのもので矢板引抜き時にはこれをやゝ越える土圧増加があるものと考えられる。

6.3 地表変位

地盤変位の定性的な傾向としては次のようなことがいえる。

1. 掘削、埋めもどしから下段切りはり（—4.3m）の除去までは大きな変位はない。

2. 上段切りばり (- 1.3 m) の除去でかなり急激な変位が生じ、矢板を抜くときに最も急激な変位がみられる。
3. 矢板から 11 m 離れた点においても地盤変位 (水平, 鉛直両方向) は認められる。
4. 矢板から 6 ~ 7 m 以上離れた点では上段切りばりの除去および矢板引抜きの影響は小さい。
5. 上段切りばりを除去したとき、矢板から 5 m 程度離れた地点まで幅約 20 mm, 最大長さ約 10 m 程度のクラックが発生した。

図一 5.4 から地盤変位の概略値をまとめると表一 6.2 のようになる。埋めもどし完了前までの沈下量がかかなり大きいのは埋削排水による地下水位低下のためと考えられるが地下水位が回復した時点では沈下量と水平変位量はほぼ等しい値となっている。

切りばり撤去と矢板引抜きのときの変位量の変化をみるといずれの場合にも水平変位の変化の方が大きい。表一 6.2 の変位量の変化の平均値から地盤の合成変位の方向 $\tan \alpha$ (α は合成変位の方向と地表面のなす角度) を

$$\tan \alpha = \frac{\text{沈下量の変化}}{\text{水平変位量の変化}} \quad (23)$$

で概算してみると、切りばり撤去の場合には測定値の変動が大きく求めにくいですが、矢板引抜きのときは $\tan \alpha \approx 0.8$ すなわち $\alpha \approx 38.5^\circ$ となる。

図一 6.9 は杭の行の中で変位が最大と思われるもの (B-II) と最小と思われるもの (C-II) について 3 時点での変位量を示したものであるが矢板から 6 m 程度までの変位が大きいことがわかる。

地表変位の挙動は以上のとおりで、この変位量と管きよにかゝる土圧の間にはある関係があると考えられるが定量的に両者を関連づけることは現状では困難である。

6.4 管きよ基礎の沈下

沈下の概況は図一 5.3 に示すとおりで測定値にかなり変動があるが平均的には B 区間のように矢板引抜き後で約 130 mm 程度沈下しているものと思われる。掘削前後の管きよ基礎面の荷重を概算すると

	地下水位 (m)	Aφ 2500	Bφ 2000	B'φ 2000	Cφ 1800
掘 削 前	-3.5	9.12	8.86	8.86	8.76
埋めもどし完了後	-3.5	7.65	8.21	8.78	8.14

単位 (t/m²)

となり、測定された土圧に管きよと基礎の重量を加えたものが地盤に作用する荷重になるとして

その値を計算すると次のようになる。

	地下水位 (m)	Aφ 2500	Bφ 2000	B'φ 2000	Cφ 1800
埋めもどし直後	-5.5	7.33	5.75	6.74	6.04
矢板引抜き前 (最小値)	-3.0	5.05	4.14	4.82	5.13
矢板引抜き後 (最大値)	-3.5	6.72	5.54	5.98	5.98

単位 (t/m^2)

したがって管を埋設したことにより地盤内の応力が掘削前より増加することはない。しかし、基礎底面が下部粘土層の表面と一致するので掘削時に下部粘土層が膨脹し管を埋設したため再圧縮されて平均約 130 mm の沈下を生じたものと推定される。

これに対して原地盤の下部粘土層の沈下はほとんどないと考えられるので（地表面の沈下は平均 130 mm 程度のところはあるがこれは矢板を抜いて地盤が主働状態となったときの変形量である）管きよは原地盤との間に相対的な沈下を生じ、その大部分が矢板引抜き時に起きていることから、埋めもどし土はアーチ作用の生ずる状態となり管きよの土圧が軽減される傾向にあると考えられる。これについては 6.5 で検討する。

6.5 管きよに作用する土圧の計算法

6.2.2 は測定結果をそのまゝ用いたうえでの比較であったが、この測定値は次のような理由から補正する必要がある。それは、

1. 半円管を用い基礎コンクリートが大きくなって溝内に広がっているため管きよのまわりの土の高さが通常の円管にくらべて半分しかなくそれだけこの部分の土の圧縮量が小さいので土圧のうちのある部分はコンクリート基礎に支持されて管きよにかかる土圧が軽減される。
2. 矢板引抜き時に埋めもどし土と溝壁の間のまさは完全に消失するにもかかわらず、このときに管きよの沈下があるので埋めもどし土は一種のアーチ作用の状態になり管きよにかかる土圧は軽減される。

の 2 点であるがそれぞれに対する補正量を次のように計算してみる。

まず 1. については管きよのまわりの土が完全に圧縮性の場合とすべて管きよと同程度の剛性を持つ場合の土圧の差は(5)と(9)の差と考える。Marston の理論ではこの差を(1)と(3)の差であるとしているが矢板引抜き時のように埋めもどし土と溝壁の間のまさが期待できないと思われる状況では溝内の埋めもどし土については突出形管きよの条件を仮定するのが適当で、そのときに管側の土が管と同程度の剛性を持てば静止鉛直土圧(9)が成り立ち管の周囲の土が圧縮性なら突出形の式(5)が成り立つので求める土圧の差は(5)と(9)の差である。ただしこの実験では管側の土の

半分の高さが管きょと同じ剛性を持っているわけで管側に圧縮性の部分が残っているので土圧の差は(5)と(10)の差全体をとるべきではない。しかし(5)と(10)と差のうちどの程度の割合を正しい土圧増加とすればよいかはつきりしないので、結果が安全側にであることを考慮して(5)と(10)の差全体を土圧増加とみなす。そのとき測定値に対して補正すべき量 ΔW_1 は

$$\Delta W_1 = (C_0 - C_d') r B_d^2 \quad (24)$$

と書くことができる。

次に2.について溝内の土がアーチ作用の状態にあるとき溝底に作用する鉛直土圧は(1)と同じ式であらわされるから^[7]、アーチ作用による土圧の軽減量は(8)と(1)の差であらわれ補正すべき量 ΔW_2 は

$$\Delta W_2 = (C_0 - C_d) r B_d^2 \quad (25)$$

で全体で補正すべき量 $\Delta W'$ は

$$\Delta W' = \Delta W_1 + \Delta W_2 \quad (26)$$

である。土かぶり $H = 5 \text{ m}$ 地下水位 -3.5 m ($H_z = 1.5 \text{ m}$) のとき $\Delta W'$ を計算すると次のようになる。

単位 (t/m)

	AΦ 2500	BΦ 2000	B'Φ 2000	CΦ 1800
1. の補正值 ΔW_1	7.1	7.4	7.5	7.2
2. の補正值 ΔW_2	2.5	5.0	5.1	5.0
全体の補正值 $\Delta W'$	9.6	12.4	12.6	12.2

矢板引抜き前の測定値 W_0 にここで述べた補正值 $\Delta W' = \Delta W_1 + \Delta W_2$ を加え、本来管きょに作用すべき土圧 $W_0 + \Delta W'$ を推定し各種の理論式による計算値と比較してみる。これが図-6.10でこの図には矢板引抜き後の測定値 $\bar{W}_0$ に同様の補正をした $\bar{W}_0 + \Delta W'$ 、および $W_0 + \Delta W'$ に6.2.3で計算した原地盤の主働土圧による W の増加分 ΔW を加えた $W_0 + \Delta W' + \Delta W$ も記入されている。この補正ではΦ2500の全土圧が他の管のそれよりも小さくなるという不合理なところがあるが、 $W_0 + \Delta W'$ に最も近い計算値を与えるのはやはり(8)とみるべきである。そして $W_0 + \Delta W' + \Delta W$ と $\bar{W}_0 + \Delta W'$ を比較すると後者がやや大きいがほぼ一致するとしてもよい。

したがって理論的な検討は十分ではないがこの実験結果から判断して土圧計算の方法として(8)により計算した土圧と(22)による矢板引抜き時の付加的土圧の和をもって管きょの設計土圧とすることを提案する。

6.6 管きよの応力計算

6.6.1 楔形実験

管きよの強度不足を補うために下部をコンクリートでまきためて固定する方法がとられることがある。このときの計算は固定アーチとして行なっているが等分布荷重を受ける固定アーチではアーチの固定部に最大モーメントが生ずるはずにもかかわらず、実際の管のひびわれは例外なく管頂に生じていることから現在の計算法は適切ではない。

そこで管きよの応力におよぼすコンクリート基礎の影響を明らかにするため、基礎支承角と基礎の形状を変えた管きよの頂部にアムスラー試験機で集中荷重を加えストレインゲージで応力測定を行なう楔形実験で管のモーメント分布を調らべた。

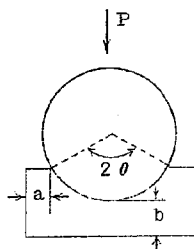
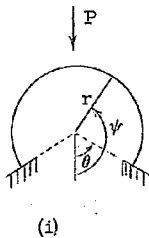
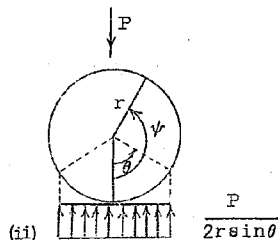


図 - c 楔形実験



(i)



(ii)

図 - d 楔形実験に対する理論計算

実験に用いた管は上水道用 JIS 一種石綿セメント管のよび径 250 mm のもので内径 250 mm, 厚さ 26 mm, 長さ 300 mm である。基礎の文承角は 90°, 120°, 180°, 基礎の寸法は 3 種類で実験番号を右のようにつけた。I → III, 1 → 3 の順に基礎の剛性は小さくなっていて、実際に施工されるコンクリート基礎は管径に対する比率では実験 3 に最も近いと考えられる。

集中荷重を受ける管の任意の点のモーメントは一般に,

$$M = kPr \quad (27)$$

等分布荷重の場合には

$$M = kqr^2 \quad (28)$$

の形であらわされることに

M: 管のモーメント

r: 管の半径

実験番号	支承角 2θ(°)	寸法 a	寸法 b (cm)
I - 1	180	6	10
I - 2	"	4	6
I - 3	"	4	4
II - 1	120	6	10
II - 2	"	4	6
II - 3	"	4	4
III - 1	90	6	10
III - 2	"	4	6
III - 3	"	4	4

P : 集中荷重

q : 等分布荷重

k : 管の断面の位置、基礎の形態によって決まる定数

である。こゝで

t : 管の厚さ

E : 管の材料の弾性係数

σ : 管に生ずる応力

ϵ : 管に生ずるひずみ

とすると管の部分について

$$\sigma = E \epsilon = \frac{M}{t/6} \quad (29)$$

であるから (27) と (28) より

$$k = \frac{M}{P r} = \frac{t^2}{6} \cdot \frac{E}{r} \cdot \frac{\epsilon}{P} \quad (30)$$

となって既知の荷重 P に対してひずみ ϵ を測定すれば (27) の k が求められる。この k の測定結果と理論値を図示したものが図-6.1.1 で、これはモーメント図と考えてもよい。ただし、管きょと基礎が一体となっていると考えると基礎に接した部分については (29), (30) は適用されないが一応この部分についても (30) による計算値を示した。計算値は実線が固定アーチと考えた図-d (i), 点線が等分布反力を考えた図-d (ii), の場合である。

6.6.2 管きょの応力計算法

図-6.1.1 をみると実験結果は固定アーチと考えたときの理論値とはかなり異なっており、むしろ等分布反力と考えたときに近い。しかし反力が等分布であるとして実際の管きょの応力を計算するのも適当ではない。それは荷重が管全体に等分布する場合に反力が基礎の支承角の範囲内に等分布すればモーメントの最大点はかならず管底になるはずで、これでは現実の管のひびわれが管頂に生ずることの説明がつかないからである。

したがって、基礎部分と管きょ上方部分で剛性の異なるパイプとしての応力計算式を考えるのが合理的であるが、^[9] この検討はまだ完了していないので以下には主として模形実験の結果を用いて検討を行ない暫定的な応力計算法を提案しておく。

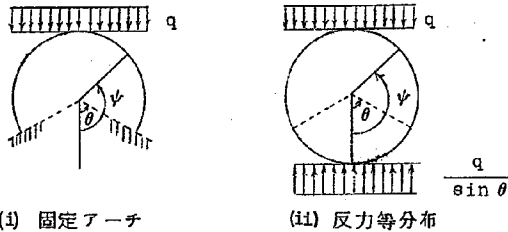


図-9 管の応力計算における従来の仮定

図-6.1 および図-6.2 のような条件の管のモーメントはそれぞれ (27) と (28) であらわされるが代表的な断面についてその k の値を示すと表-6.3 と表-6.4 のようになる。そして k が最大となる断面 (すなわちモーメントが最大となる位置) は

	(i) 固定アーチ	(ii) 反力等分布
集中荷重 (図-6.1) の場合	管 頂 ($\psi=180^\circ$)	管 頂 ($\psi=180^\circ$)
等分布荷重 (図-6.2) の場合	基礎との境界 ($\psi=0$)	管 底 ($\psi=0^\circ$)

である。実験で得られた k の測定値は代表的な断面について表-6.5 のようになっている。

基礎の角度 2θ が一定のときのモーメント最大点の係数 k をとって k と θ の関係を見ると、図-6.12 のようになる。(a) は集中荷重 P の作用したときのもので実験結果も記入されている。(b) は等分布荷重 q を受ける場合である。図-6.12 は基礎の角度と最大モーメントの関係と考えてよい。図-6.12 (b) の (i) の曲線が現在コンクリート基礎を持つ管きよの応力計算に用いられている値で、基礎の支承角 θ が増加すると k (すなわちモーメント M) が大きく減少することになっている。ところが渠中荷重のときの k の測定値の変化を理論値と比較した図-6.12 (a) では実験結果は固定アーチとした (i) に一致せず大体点線で示したような傾向にあることがわかる。この実験値をあらわす曲線は $2\theta \approx 110^\circ$ で (i) と交わりかつ (ii) の曲線にほぼ相似の曲線とみなすことができる。これと同様の傾向が等分布荷重を受ける場合にも成り立つものと仮定し、図-6.12 (b) の中に (i) の曲線と $2\theta \approx 110^\circ$ で交わり $2\theta < 110^\circ$ では (i) の曲線に一致し $2\theta > 110^\circ$ では (ii) の曲線に相似な曲線を入れてみると点線のようになる。そしてコンクリート基礎で支持された管が等分布荷重を受けるときの θ と k の関係は実験的に図-6.12 (b) の点線のようになることがわかったとして暫定的に設計にはこの値を用いることを提案する。提案する k のくわしい値はいくつかの θ に対して 7. 結論のところ示す。

表-6.1 管きよに作用する土圧の実測値 (単位長さあたり) (t/m)

	Aφ 2500	Bφ 2000	B'φ 2000	Cφ 1800
埋めもどし完了直後 ①	23.5	17.4	16.5	17.7
埋めもどし完了後の最大値②	26.4	17.4	21.2	18.6
埋めもどし完了後の最小値③	16.4	11.2	13.8	15.1
矢板引抜き直前④	16.4	11.2	15.6	15.1
矢板引抜き直後⑤	22.1	14.2	18.3	18.4
矢板引抜き後の最大値⑥	25.7 (26.4)*	16.6	18.3	18.4
矢板引抜き後2ヵ月経過時⑦	26.1	16.9	19.8	19.2
① 矢板引抜きによる増加⑥-④	7.3 (10.4)*	3.0	2.7	3.3

*の値はやゝ異常なものと思われる。

表-6.2 地盤変位の概略値 (mm)

杭番号	距離 (m)	上段切りばり 撤去前 ①	上段折りばり 撤去後 ②	矢板引抜き後 ③	切りばり撤去に よる変化②-①	矢板引抜きによ る変化③-②
水平 変 位 量	1	5	25 ~ 50	100 ~ 140	20 ~ 45 (33)	65 ~ 85 (75)
	2	5	25 ~ 35	90 ~ 110	20 ~ 30 (25)	60
	3	5	35	50 ~ 70	30	20 ~ 40 (30)
	5	15	25 ~ 30	55 ~ 75	10 ~ 15 (13)	10 ~ 35 (23)
	7	10	10 ~ 25	25 ~ 45	0 ~ 15 (8)	10 ~ 20 (15)
	10	5 ~ 10	5 ~ 10	5 ~ 10	—	—
沈 下 量	1	30	45 ~ 75	100 ~ 150	15 ~ 45 (30)	50 ~ 70 (60)
	2	35	40 ~ 60	80 ~ 105	5 ~ 25 (15)	35 ~ 40 (38)
	3	40 ~ 50	45 ~ 70	55 ~ 115	5 ~ 20 (13)	10 ~ 50 (30)
	5	35 ~ 45	45 ~ 60	40 ~ 70	10 ~ 15 (13)	0 ~ 35 (18)
	7	20 ~ 30	20 ~ 30	30 ~ 50	—	10 ~ 15 (13)
	10	15 ~ 35	15 ~ 35	30 ~ 40	—	5 ~ 10 (8)

河床に埋め込まれた地下水下の管

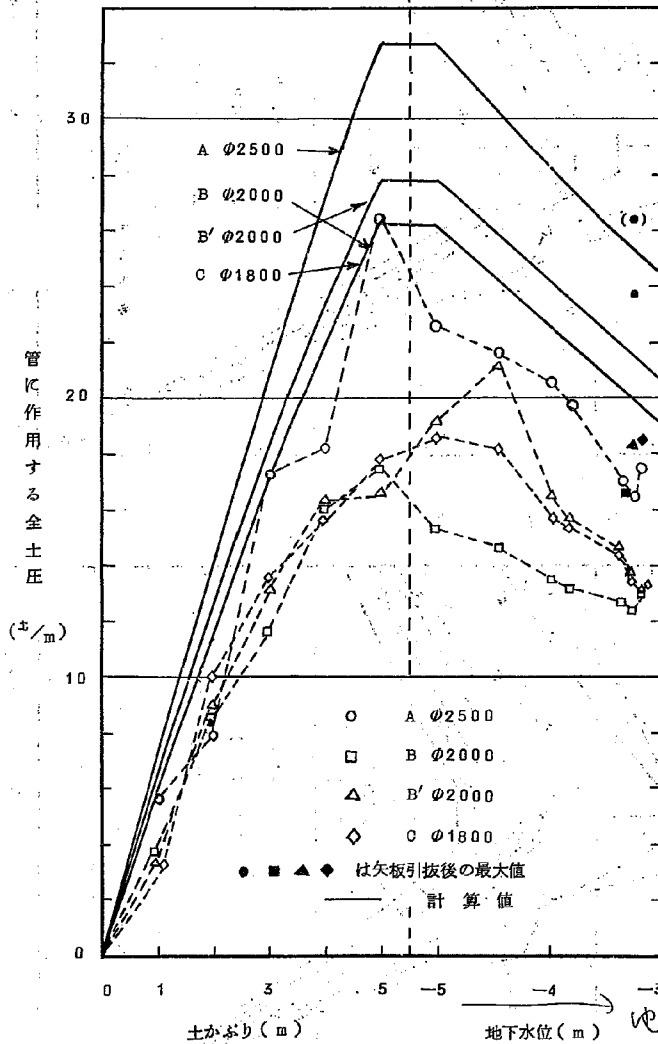


図-6.1 Marston の溝形管きよの理論式との比較
(式 (1) との比較)

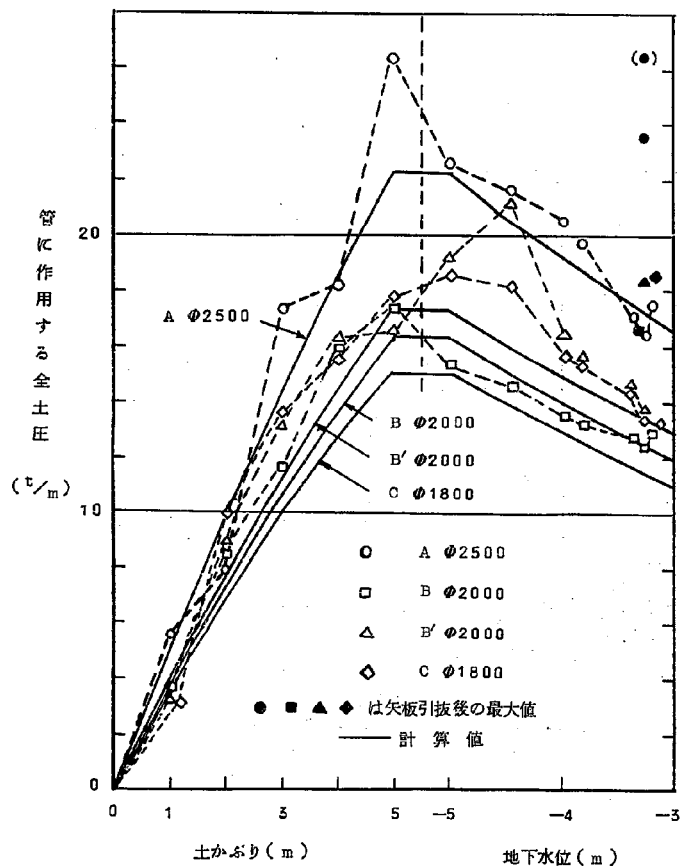


図-6.2 Marston の溝形管きよの理論式との比較
(式 (3) との比較)

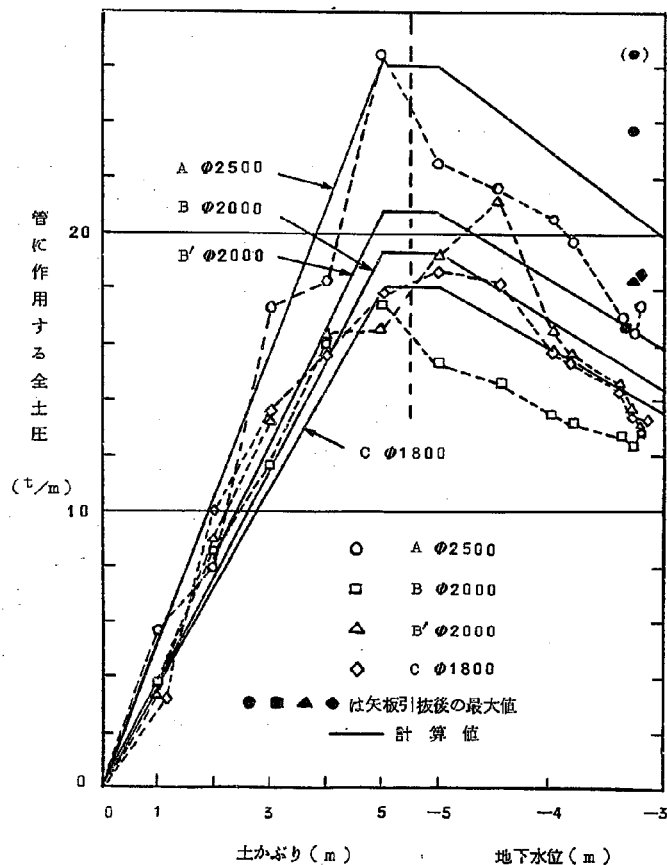


図-6.3 管きよ上部の土塊を荷重と考えた式との比較
(式 (10) との比較)

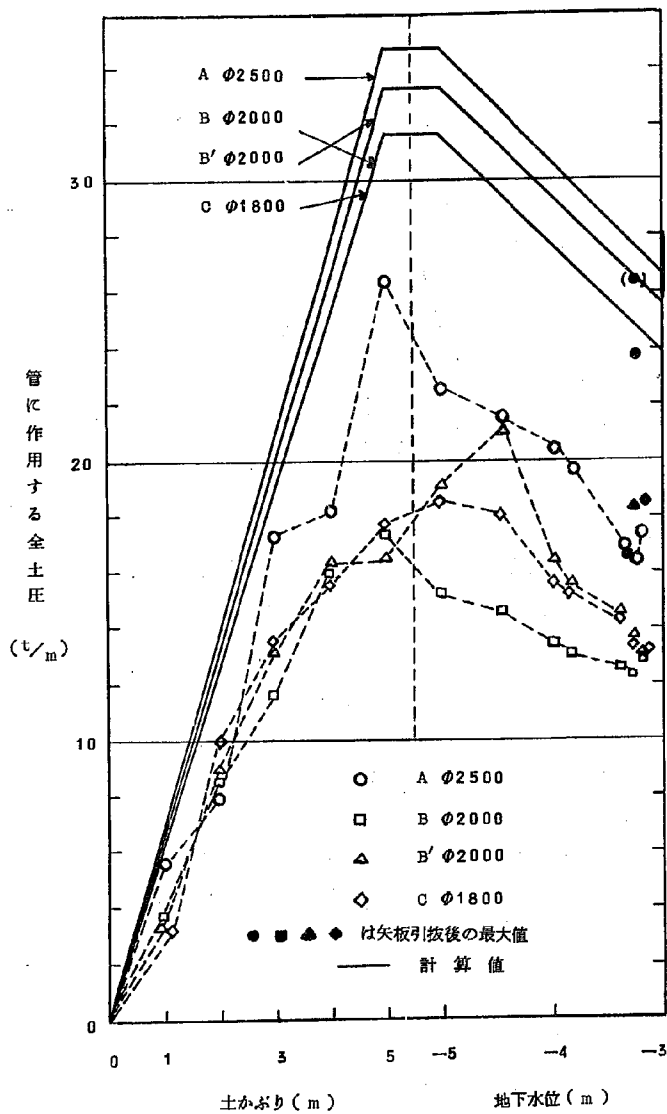


図-6・4 溝内の土塊を荷重と考えた式との比較
(式 (8) との比較)

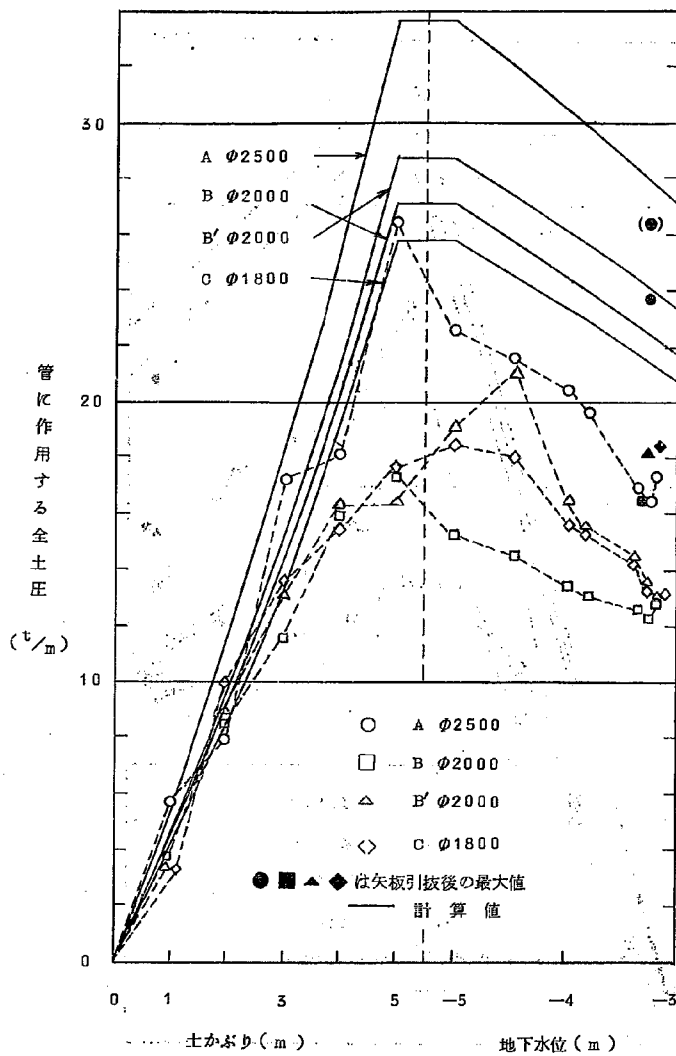


図-6・5 Marston の突出形管きよの理論式との比較
(式 (5) との比較)

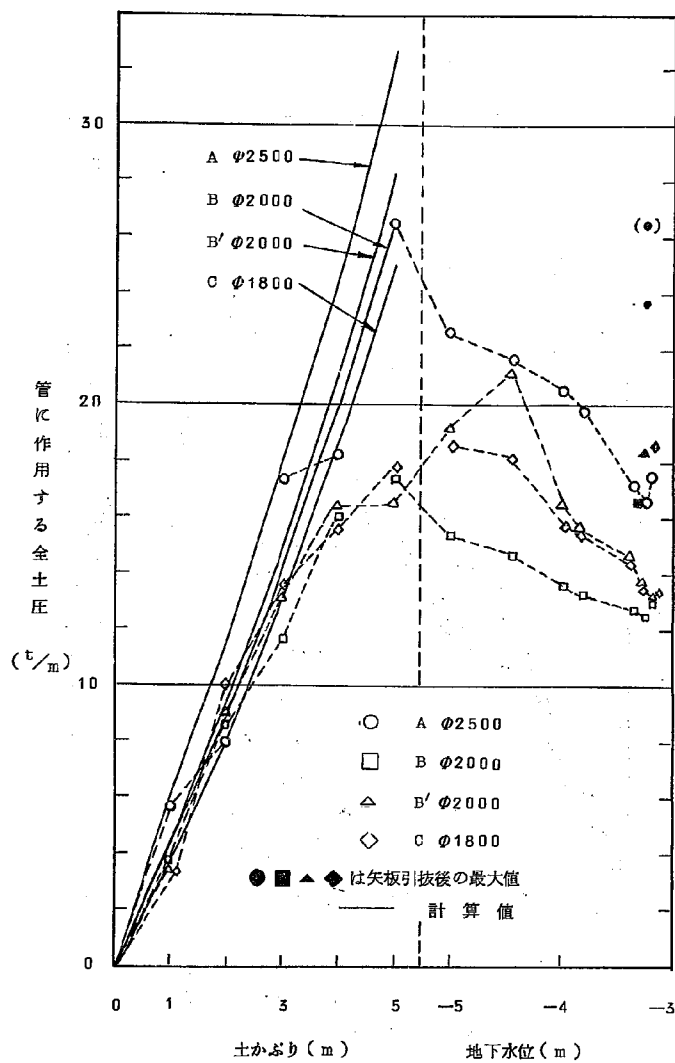


図-6.6 Voellmy の溝形管きよの理論式との比較
 (式 (14)(16) との比較)

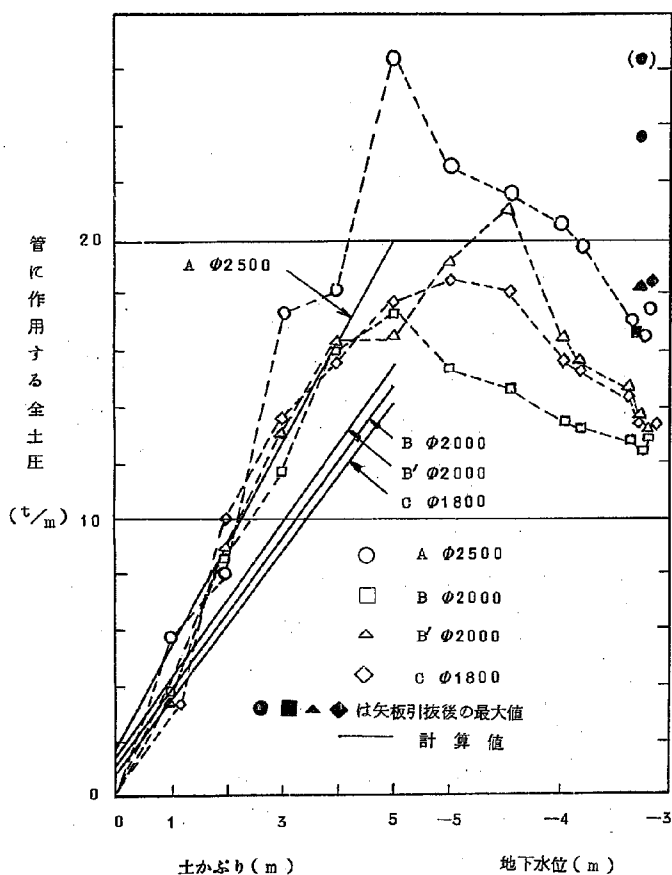


図-6.7 Voellmy による均質地盤中の管きよの理論式との比較
(式 (18) との比較)

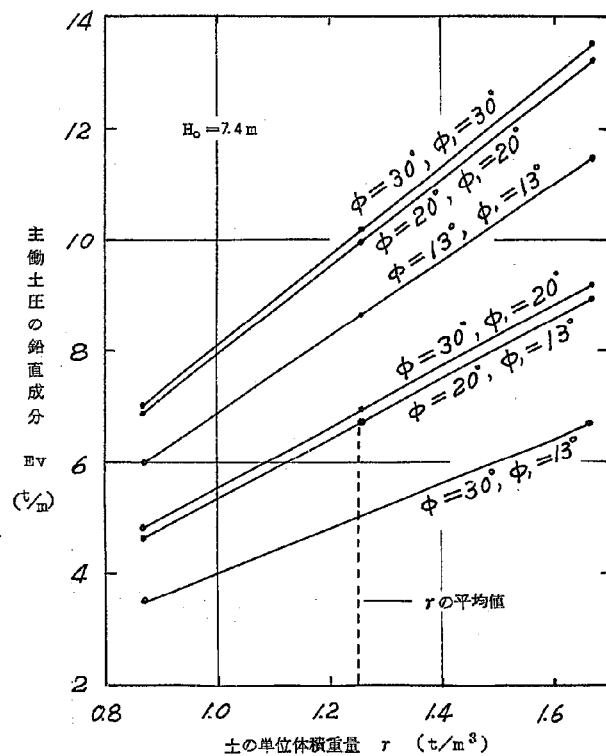
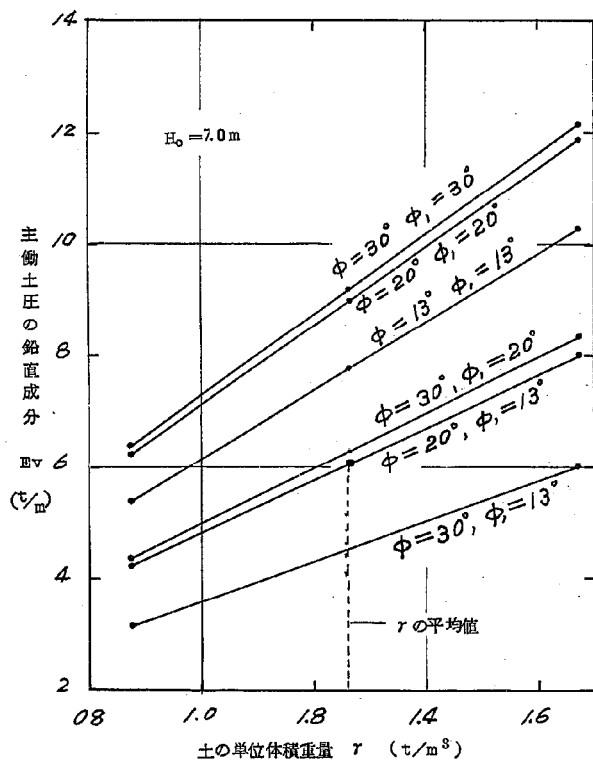


図-6-8 主働土圧の鉛直成分 E_a の計算値

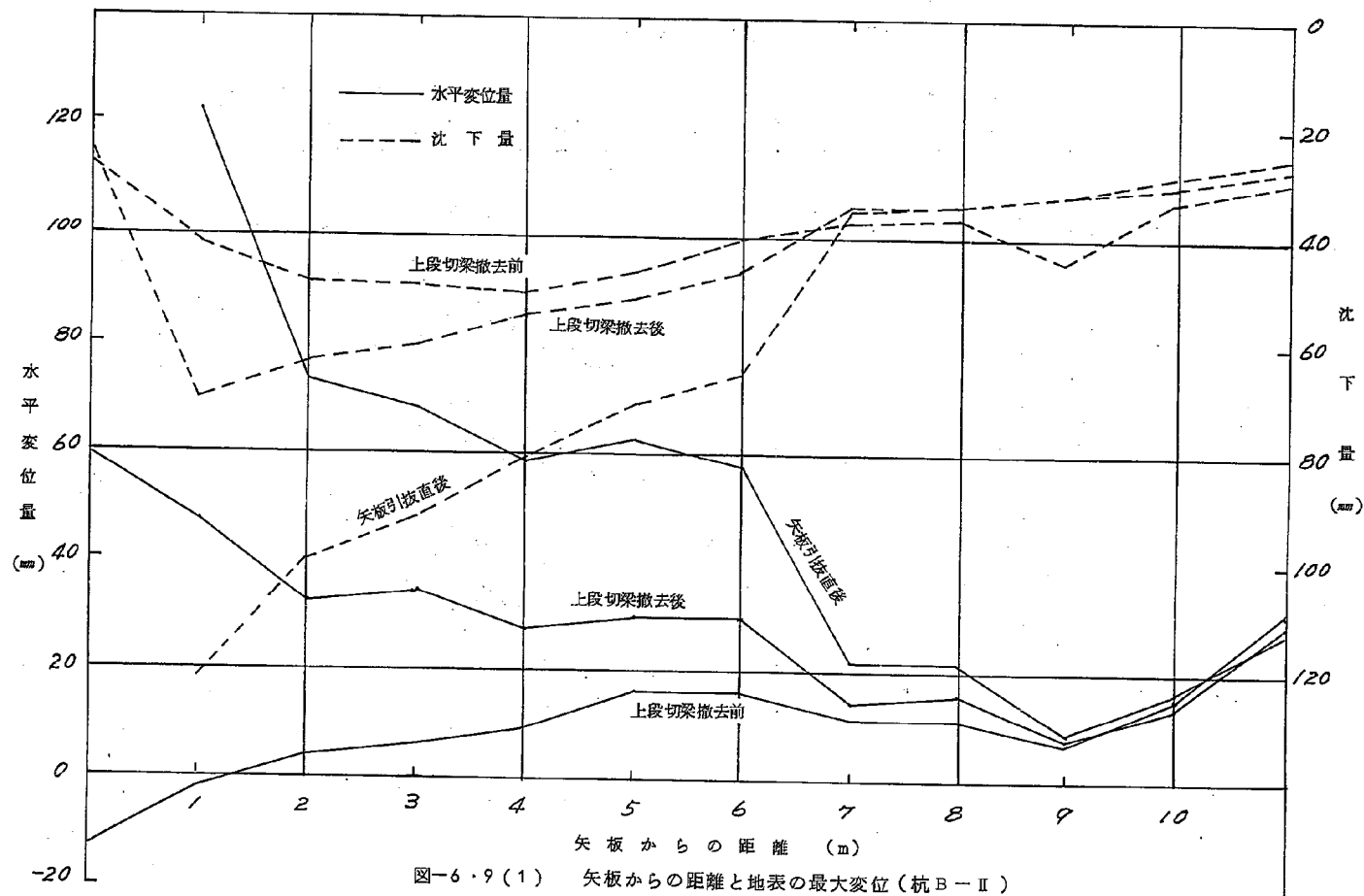


図-6・9(1) 矢板からの距離と地表の最大変位 (杭B-II)

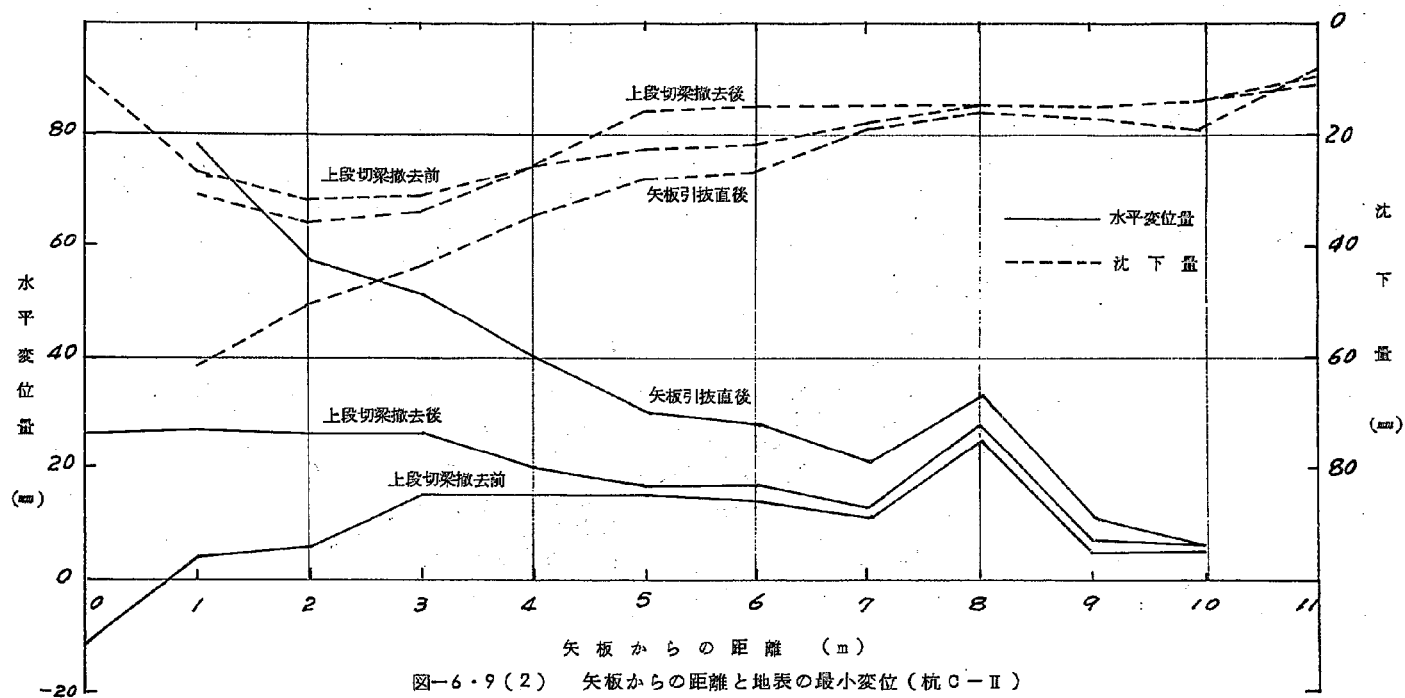
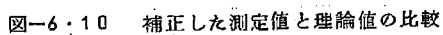
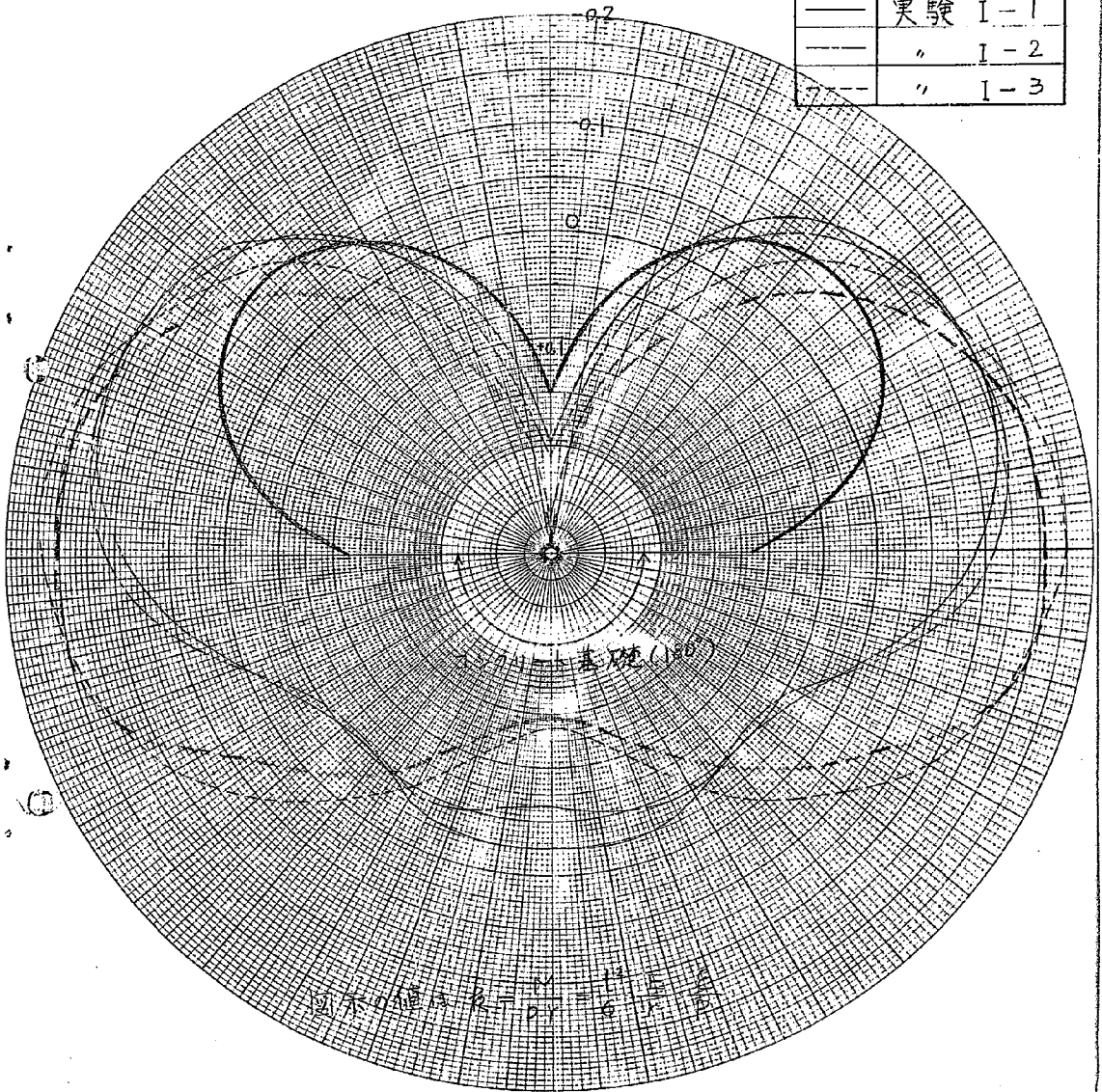


図-6.9(2) 矢板からの距離と地表の最小変位 (杭C-II)



凡	例
——	計算値 (固定反力)
---	" (等分布反力)
——	実験 1-1
---	" 1-2
---	" 1-3



図一 6・1 1 (1) 基礎形状が管のモーメントにおよぼす影響 (支承角 180°)

凡	例
——	計算値(固定支持)
----	“ (等分布力)
——	実験 II-1
----	“ II-2
----	“ II-3

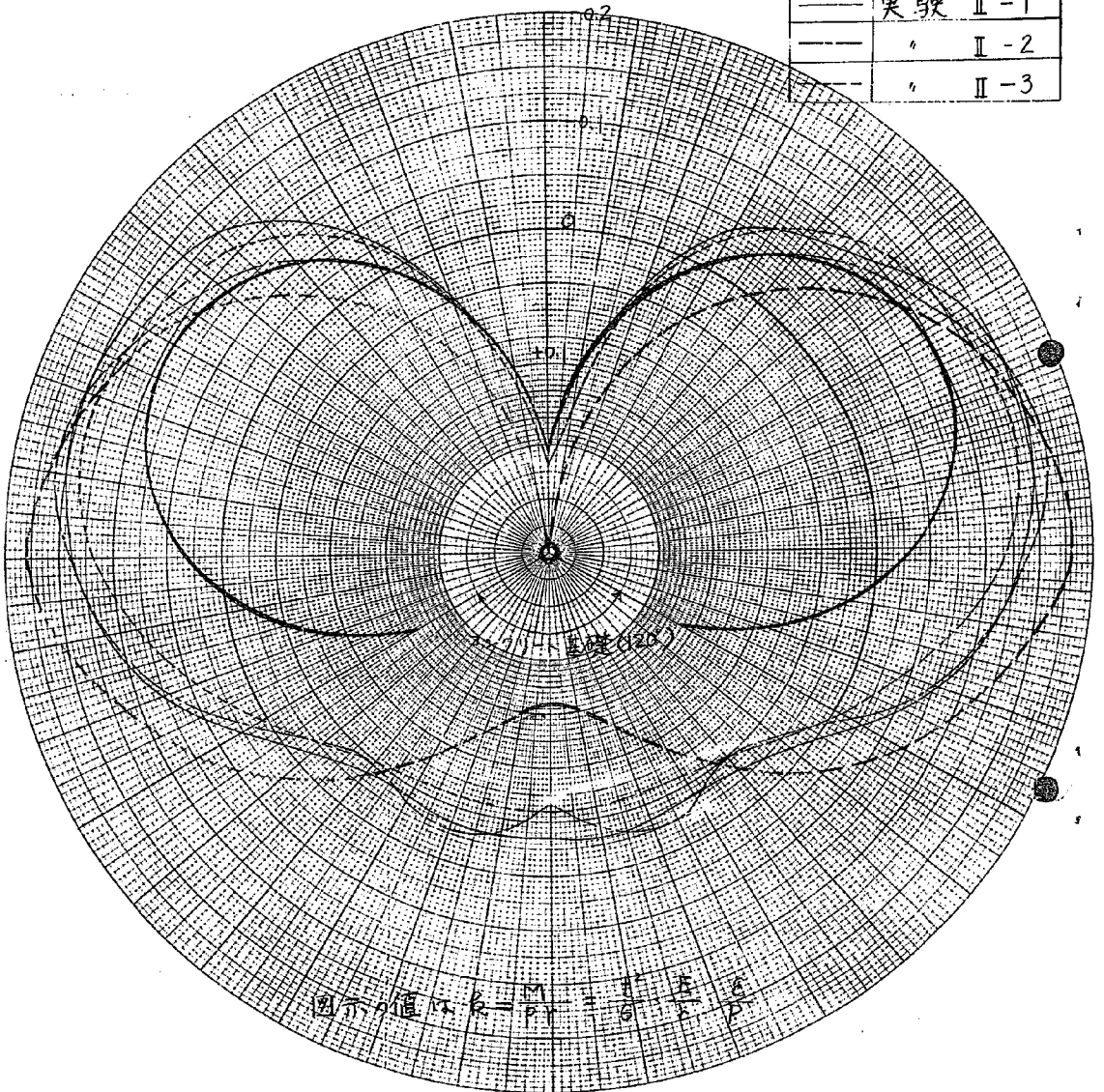


図-6・11(2) 基礎形状が管のモーメントにおよぼす影響(支承角 120°)

凡	例
——	計算値 (固定力)
---	" (等分布力)
——	実験 III-1
---	" III-2
---	" III-3

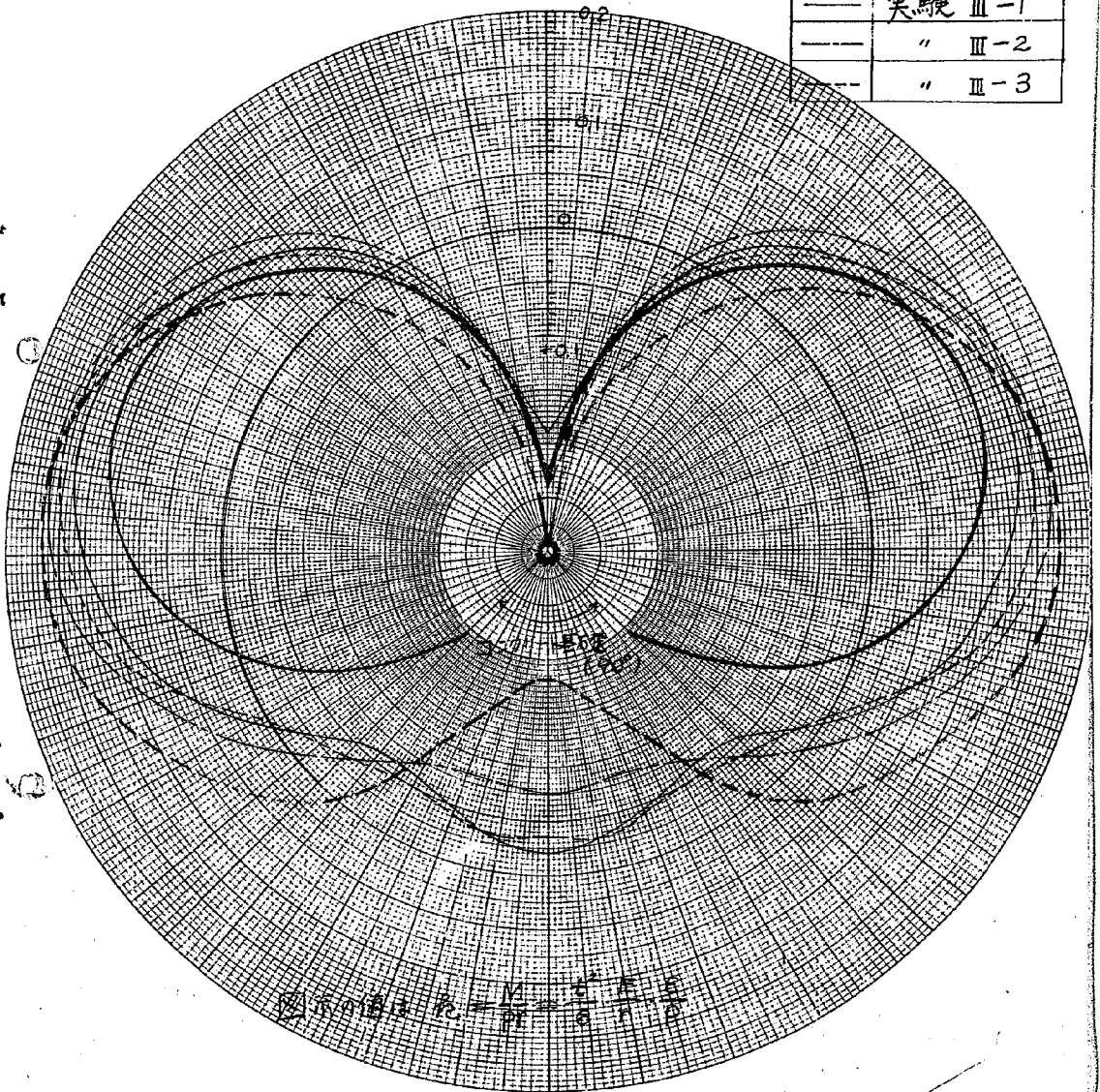


図-6・11(3) 基礎形状が管のモーメントにおよぼす影響 (支承角 90°)

表-6.3 図-dの条件で (27) における $k = \frac{M}{Pr}$

基礎の角度 (2θ)	(i) 固定アーチ			(ii) 反力等分布		
	180°	120°	90°	180°	120°	90°
管底 ($\psi = 0$)	—	—	—	0.150	0.163	0.182
基礎との境界 ($\psi = \theta$)	0.113	0.163	0.194	-0.153	-0.074	-0.003
管頂 ($\psi = 180^\circ$)	0.151	0.206	0.234	0.294	0.300	0.305

表-6.4 図-eの条件で (28) における $k = \frac{M}{qr^2}$

基礎の角度 (2θ)	(i) 固定アーチ			(ii) 反力等分布		
	180°	120°	90°	180°	120°	90°
管底 ($\psi = 0$)	—	—	—	0.250	0.276	0.315
基礎との境界 ($\psi = \theta$)	0.109	0.230	0.303	-0.250	-0.144	-0.024
管頂 ($\psi = 180^\circ$)	0.045	0.112	0.154	0.250	0.262	0.274

表-6.5 模形実験で求めた $k = \frac{M}{Pr}$

基礎の角度 (2θ)	180°			120°			90°		
基礎の形状	1	2	3	1	2	3	1	2	3
管底 ($\psi = 0$)	0.027	0.065	0.140	0.036	0.068	0.059	0.022	0.074	0.039
基礎との境界 ($\psi = \theta$)	-0.092	-0.092	-0.175	-0.029	-0.015	-0.006	0.052	0.030	0.034
管頂 ($\psi = 180^\circ$)	0.197	0.208	0.268	0.199	0.202	0.217	0.191	0.241	0.225

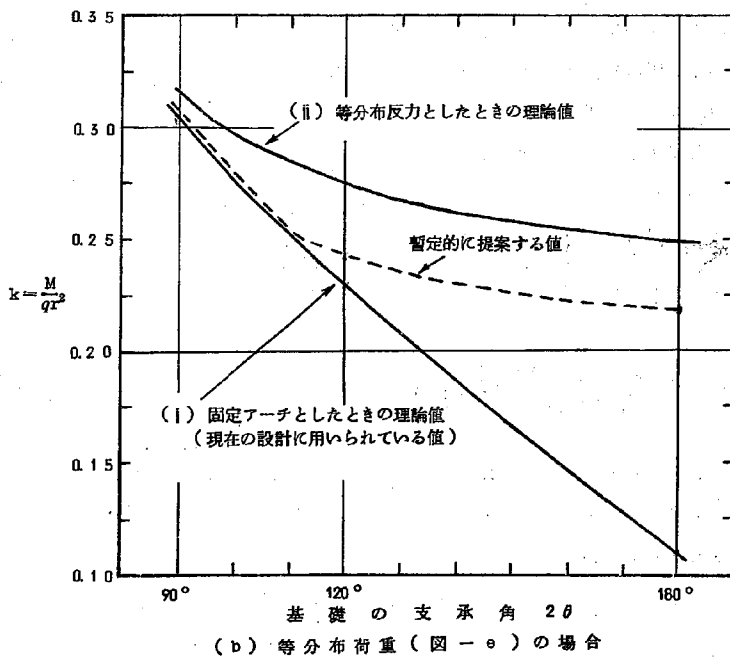
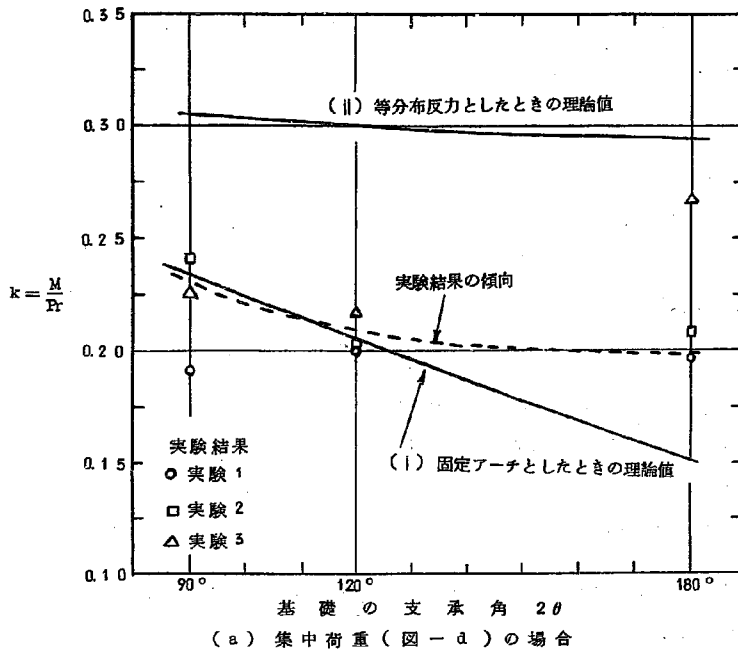


図-6・12 基礎の角度 θ と k の最大値 (最大モーメント) の関係

7. 結 論

6. 考察で一応の結論は述べておいたが、こゝでもう一度管きよにかかる土圧とその応力計算の方法についてこの実験で明らかになったことをまとめておく。

1. 実測最大荷重

矢板引抜き後約2ヵ月後(44年2月下旬)までの間で測定された土圧の最大値は次のとおりであった。

	Aφ2500	Bφ2000	Bφ2000	Cφ1800
管 1本 あたり (t)	64.2	42.5	51.6	46.9
管長 1m あたり (t/m)	26.4	17.4	21.2	19.2
単位面積あたり (t/m ²)	8.80	7.26	8.85	8.74

ただし実際の管きよではこれより大きい土圧の作用する可能性がある。(6.5参照)

2. クレーン車による土圧

矢板引抜き時に溝内に入ったクレーン車(自重28.8t, 接地圧0.47kg/cm²)によりφ2500について単位長さあたり5~6t/m (単位面積あたり1.3~2.0t/m²)の土圧増加があった。そして矢板引抜き作業中にはこれを越える土圧が短時間ではあるが作用することが予想される。

3. 管きよにかかる土圧の計算式 (記号については6.参照)

暫定的に次の式により土圧を計算することを提案する。

まず埋めもどし土によって生ずる全土圧は

$$W = r H B_d \quad (8)$$

次に矢板引抜き時に付加的にかかる全土圧は

$$\Delta W = \frac{B_c}{B_d} r H_s K_a \sin \phi_1 \quad (22)$$

ただし

$$K_a = \frac{\cos^2 \phi_1}{\cos \phi_1 \left[1 + \frac{\sin(\phi + \phi_1) \sin \phi}{\cos \phi_1} \right]^2} \quad (21)$$

で計算し、 $W + \Delta W$ をもって設計土圧とする。ただし原地盤から埋めもどし部分への土圧の作用することがないと思われるときは ΔW を考慮に入れる必要はない。

4. コンクリート基礎の場合の応力計算式

コンクリートで下部をまきたてた管きよの最大モーメント M_{max}

$$M_{max} = k q r^2 \quad (28)$$

の係数 k は基礎の支承角 2θ に応じて次の値をとることを暫定的に提案する。

基礎の支承角 $2\theta(^{\circ})$	90	100	110	120	130
係数 $k = \frac{M}{qr^2}$	0.303	0.277	0.252	0.243	0.236

基礎の支承角 $2\theta(^{\circ})$	140	150	160	170	180
係数 $k = \frac{M}{qr^2}$	0.230	0.227	0.223	0.221	0.220

付録 A Marston の溝形条件の式の 2 層問題
(性質の異なる 2 層の土で埋めもどしをした場合)

図のように埋めもどし土が 2 層になっていてその密度 r とまさつ角 ϕ の異なる場合を考える。記号はそれぞれ添字 1, 2 をつけて 2 層の区別をするものとする。なお単一材料の埋めもどしの場合でも地下水位のあるときはこの問題の特殊例とみなすことができる。

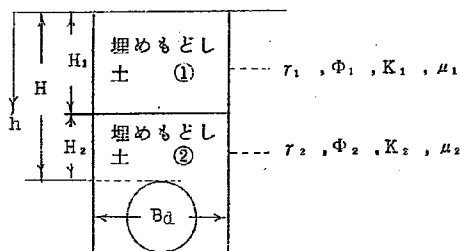


図-A

基本の微分方式は^[3]

$$W + dW + 2K\mu \frac{W}{B_d} dh = W + rB_d dh \quad (A-1)$$

で①については境界条件

$$h=0 \text{ で } W=0 \quad (A-2)$$

のもとで積分すると $h=H_1$ においては

$$W_1 = \frac{1 - \exp(-2K_1\mu_1 \frac{H_1}{B_d})}{2K_1\mu_1} r_1 B_d^2 \quad (A-3)$$

となる。次に②については境界条件 (A-3) ($h=H_1$ で $W=W_1$) のもとで積分すると

$$-\frac{B_d}{2K_2\mu_2} \ln(r_2 B_d - \frac{2K_2\mu_2 W}{B_d}) = h - H_1 - \frac{B_d}{2K_2\mu_2} \ln\left\{\left(r_2 - \frac{K_2\mu_2}{K_1\mu_1} r_1\right) B_d + \frac{K_2\mu_2}{K_1\mu_1} r_1 B_d \exp(-2K_1\mu_1 \frac{H_1}{B_d})\right\}$$

ここで $h=H$ のときの $W=W_2$ を求めると

$$\begin{aligned} \ln\left(r_2 B_d - \frac{2K_2\mu_2 W_2}{B_d}\right) &= -2K_2\mu_2 \frac{H-H_1}{B_d} + \ln\left\{\left(r_2 - \frac{K_2\mu_2}{K_1\mu_1} r_1\right) B_d + \frac{K_2\mu_2}{K_1\mu_1} r_1 B_d \exp(-2K_1\mu_1 \frac{H_1}{B_d})\right\} \\ &= \ln\left\{\left(r_2 - \frac{K_2\mu_2}{K_1\mu_1} r_1\right) B_d \exp(-2K_2\mu_2 \frac{H-H_1}{B_d}) + \frac{K_2\mu_2}{K_1\mu_1} r_1 B_d \exp(-2K_1\mu_1 \frac{H_1}{B_d}) \exp(-2K_2\mu_2 \frac{H-H_1}{B_d})\right\} \end{aligned}$$

そして $H-H_1=H_2$ であるから W_2 は

$$W_2 = \frac{B_d}{2K_2\mu_2} \left[r_2 - \left(r_2 - \frac{K_2\mu_2}{K_1\mu_1} r_1\right) \exp(-2K_2\mu_2 \frac{H_2}{B_d}) - \frac{K_2\mu_2}{K_1\mu_1} r_1 \exp(-2K_1\mu_1 \frac{H_1}{B_d}) \exp(-2K_2\mu_2 \frac{H_2}{B_d}) \right] \quad (A-4)$$

(A-4) を

$$W_2 = C_{d1} r_1 B_d^2 \quad (A-5)$$

の形に書くと

$$C_{d1} = \frac{1}{2 K_1 \mu_1} \left[\frac{K_1 \mu_1}{K_2 \mu_2} \cdot \frac{r_2}{r_1} - \left(\frac{K_1 \mu_1}{K_2 \mu_2} \cdot \frac{r_2}{r_1} - 1 \right) \exp(-2K_2 \mu_2 \frac{H_2}{B_d}) - \exp(-2K_1 \mu_1 \frac{H_1}{B_d}) \exp(-2K_2 \mu_2 \frac{H_2}{B_d}) \right] \quad (A-6)$$

また

$$W_2 = C_{d1} r_2 B_d^2 \quad (A-7)$$

の形に書くと

$$C_{d2} = \frac{1}{2 K_2 \mu_2} \left[1 - \left(1 - \frac{K_2 \mu_2}{K_1 \mu_1} \cdot \frac{r_1}{r_2} \right) \exp(-2K_2 \mu_2 \frac{H_2}{B_d}) - \frac{K_2 \mu_2}{K_1 \mu_1} \cdot \frac{r_1}{r_2} \exp(-2K_1 \mu_1 \frac{H_1}{B_d}) \exp(-2K_2 \mu_2 \frac{H_2}{B_d}) \right] \quad (A-8)$$

である。

均質材料の埋めもととして地下水位が $h = H_1 = H - H_2$ にあるときは (A-5), (A-6) にあ
いて $r_1 = r$, $r_2 = r - 1$, $K_1 \mu_1 = K_2 \mu_2 = K\mu$ において

$$W_2 = C'_c r B_d^2 \quad (A-9)$$

$$C'_c = \frac{1}{2 K \mu} \left[1 - \frac{1}{r} + \frac{1}{r} \exp(-2K\mu \frac{H_2}{B_d}) - \exp(-2K\mu \frac{H}{B_d}) \right] \quad (A-10)$$

となる。

付録 B Marston の完全突出条件の式の 2 層問題
(性質の異なる 2 層の土で盛土をした場合)

基礎の微分方程式は⁽³⁾

$$W + dW - 2K\mu \frac{W}{B_c} dh = W + r B_c dh \quad (B-1)$$

でこれは (A-1) において $2K\mu \rightarrow -2K\mu$, $B_d \rightarrow B_c$ と変えたものにすぎない。したがって、
A と同様にして次の結果を得る。

$$W_z = C_{c1} r_1 B_c^2 \quad (B-2)$$

と書くと

$$C_{c1} = \frac{1}{2K_1\mu_1} \left[-\frac{K_1\mu_1}{K_2\mu_2} \cdot \frac{r_2}{r_1} + \left(\frac{K_1\mu_1}{K_2\mu_2} \cdot \frac{r_2}{r_1} - 1 \right) \exp(2K_2\mu_2 \frac{H_2}{B_c}) + \exp(2K_1\mu_1 \frac{H_1}{B_c}) \exp(2K_2\mu_2 \frac{H_2}{B_c}) \right] \quad (B-3)$$

また

$$W_z = C_{c2} r_2 B_c^2 \quad (B-4)$$

の形に書くと

$$C_{c2} = \frac{1}{2K_2\mu_2} \left[-1 + \left(1 - \frac{K_2\mu_2}{K_1\mu_1} \cdot \frac{r_1}{r_2} \right) \exp(2K_2\mu_2 \frac{H_2}{B_c}) + \frac{K_2\mu_2}{K_1\mu_1} \cdot \frac{r_1}{r_2} \exp(2K_1\mu_1 \frac{H_1}{B_c}) \exp(2K_2\mu_2 \frac{H_2}{B_c}) \right] \quad (B-5)$$

地下水位が $h = H_1 = H - H_2$ にあるときは

$$W_z = C'_c r B_c^2 \quad (B-6)$$

$$C'_c = \frac{1}{2K\mu} \left[-1 + \frac{1}{r} - \frac{1}{r} \exp(2K\mu \frac{H}{B_c}) + \exp(2K\mu \frac{H}{B_c}) \right] \quad (B-7)$$

付録 C Voellmy の溝形条件の式⁽⁴⁾

Voellmy は溝内に設置された管きょについて溝幅が管径に対して比較的大きく、かつ管きょが埋めもどし土にくらべて大きな剛性を持っている場合には近似的に次式であらわされる土圧が作用するとしている。(Marston 式に類似した表記法にするため記号を一部変更した。)

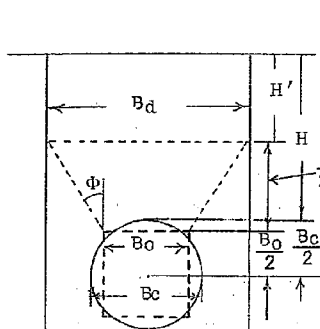


図-C.1 ($H' > 0$)

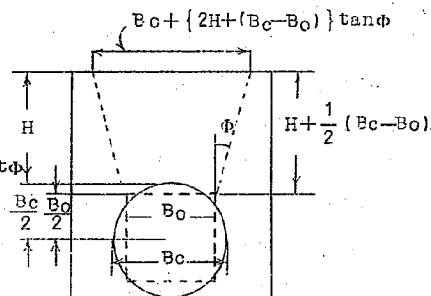


図-C.2 ($H' < 0$)

$$B_0 = \frac{\pi}{4} B_c \quad (C-1)$$

$$H' = H + \frac{1}{2} (B_c - B_0) - \frac{1}{2} (B_d - B_0) \cot \phi \quad (C-2)$$

とわいて

$H' > 0$ のとき

$$\sigma = \gamma \frac{B_d^2 - B_0^2}{4 B_c} \cot \phi + \gamma \frac{B_d^2}{B_c} \frac{1 - \exp(-2K\mu \frac{H'}{B_d})}{2K\mu} \quad (C-3)$$

$H' < 0$ のとき

$$\sigma = \gamma \frac{H + \frac{1}{2} (B_c - B_0)}{B_c} [B_0 + \{H + \frac{1}{2} (B_c - B_0)\} \tan \phi] \quad (C-4)$$

なる等分布荷重が管きょの幅 B_c に分布する。したがって管きょに作用する鉛直全荷重 W は

$H' > 0$ のとき

$$W = \sigma B_c = \frac{\gamma}{4} (B_d^2 - B_0^2) \cot \phi + \gamma B_d^2 \frac{1 - \exp(-2K\mu \frac{H'}{B_d})}{2K\mu} \quad (C-5)$$

$$\therefore W = C_{dv} \gamma B_d^2 \quad (C-6)$$

$$C_{dv} = \frac{1}{4} (1 - \frac{\pi^2}{16} \frac{B_c^2}{B_d^2}) \cot \phi + \frac{1 - \exp(-2K\mu \frac{H'}{B_d})}{2K\mu} \quad (C-7)$$

$H' < 0$ のとき

$$W = \sigma B_c = r \left\{ H + \frac{1}{2} (B_c - B_0) \right\} \left[B_0 + \left\{ H + \frac{1}{2} (B_c - B_0) \right\} \tan \phi \right] \quad (C-8)$$

$$\therefore W = C_{dv} r B_c^2 \quad (C-9)$$

$$C_{dv} = \left(\frac{H}{B_c} + \frac{1}{2} \frac{\pi}{8} \right) \left[\frac{\pi}{4} + \left(\frac{H}{B_c} + \frac{1}{2} \frac{\pi}{8} \right) \tan \phi \right] \quad (C-10)$$

各記号は従来通りのものであるが、 B_0 と H' が新しく導入された量でそれぞれ (C-1)、(C-2) で定義される。

この Voellmy の近似計算式の考え方は次のように説明できる。

まず円形管きょをこれと等しい周長を有する正方形管きょにおきかえる。そのおきかえられた正方形管きょの辺長を B_0 とすると $4B_0 = \pi B_c$ より (C-1) が導かれる。円形管きょとおきかえられた正方形管きょの中心は同一点にあるものと仮定する。

次にこの仮想管きょ上端部を通して鉛直線と ϕ の角をなす線でかこまれた角錐台の形の土塊 (図-C.1 の点線でかこまれた部分) を考えるとこの角錐台の高さは図-C.1 よりわかるように、 $\frac{1}{2} (B_d - B_0) \cot \phi$ であるから角錐台より上の部分の土柱の高さ H' が (C-2) より求められる。

そして深さ H' の点の荷重は Marston の溝形条件と同様にして求められ、この荷重と角錐台の重量の和が管きょに作用する全荷重である。(C-5) 右辺第一項は角錐台の重量を第二項は深さ H' における Marston の溝形管きょの式で求めた荷重をあらわす。

$H' < 0$ 、すなわち管きょ上の角錐台の高さが土かぶりより大きくなる場合は管きょに作用する荷重はこの角錐台の重量のみでこれが (C-8) である。

Kézdi の Erddrucktheorien^[4] に引用されている Voellmy の式は (C-3)、(C-4) の形をしているがこれはまず (C-5)、(C-8) を出して等分布荷重になおした形としたものと推定される。なおこの引用中に (C-4) の [] 内は $B_0 - \left\{ H + \frac{1}{2} (B_c - B_0) \right\} \tan \phi$ となっているがこれは誤りでここに示した形が正しいものであろう。

付録 D Voellmy の均質地盤内の管きよの式^[4]

Voellmy によれば、地表面が水平な盛土内部に埋設された管きよにかかる土圧は、埋めもどし土が主働ランキン状態にあると仮定すると次式で計算できる。(Marston の式と比較するため記号および式の形を一部変更した)

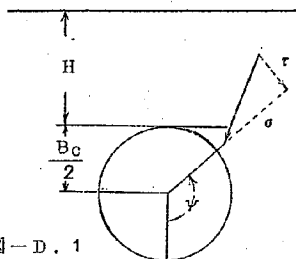


図-D.1

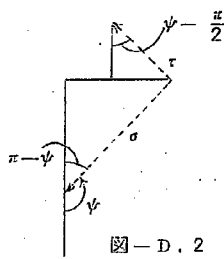


図-D.2

管きよ上半分の各部にかかる半径方向の垂直応力 σ および切線方向のせん断力 τ はそれぞれ

$$\sigma = \frac{r}{1+\sin\phi} \left(H + \frac{B_c}{2} + \frac{B_c}{2} \cos\psi \right) (1+\sin\phi \cos 2\psi) \quad (D-1)$$

$$\tau = \frac{r}{1+\sin\phi} \left(H + \frac{B_c}{2} + \frac{B_c}{2} \cos\psi \right) \sin\phi \sin 2\psi \quad (D-2)$$

であらわされる。ここに

σ = 管きよ上半分にかかる半径方向の垂直応力

τ = " 切線方向のせん断応力

ψ = 管きよ下端からはかった角度

したがって管きよ上半分にかかる鉛直方向の全土圧は σ , τ の鉛直成分を管きよ上半分 ($\frac{\pi}{2} < \psi < \frac{3}{2}\pi$) にわたって積分して求められる。^[9] すなわち,

$$W = \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{3}{2}\pi} \sigma \cos(\pi - \psi) \frac{B_c}{2} d\psi + \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{3}{2}\pi} \tau \cos(\psi - \frac{\pi}{2}) \frac{B_c}{2} d\psi \quad (D-3)$$

$$\begin{aligned} &= -B_c \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \sigma \cos\psi d\psi + B_c \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \tau \sin\psi d\psi \\ &= \frac{B_c r}{1+\sin\phi} \left\{ \left(1 - \frac{\pi}{4} + \frac{1}{3} \sin\phi - \frac{\pi}{8} \sin\phi \right) B_c + \left(2 + \frac{2}{3} \sin\phi \right) H \right\} \\ &\quad + \frac{B_c r}{1+\sin\phi} \left\{ \left(\frac{\pi}{8} - \frac{2}{3} \right) B_c - \frac{4}{3} H \right\} \sin\phi \end{aligned} \quad (D-4)$$

となるがこれを Marston の式と同じ形に書くと

$$W = C_v r B_c^2 \quad (D-5)$$

$$C_v = \frac{1}{1+\sin\phi} \left\{ \left(1 - \frac{\pi}{4} - \frac{1}{3} \sin\phi \right) + \left(2 - \frac{2}{3} \sin\phi \right) \frac{H}{B_c} \right\} \quad (D-6)$$

参考文献^[4]にのっている (D-2) の形の式では右辺最後の項が $\cos 2\psi$ となっているがこれは誤りで、さらに^[9]では管きよに作用する土圧として半径方向の垂直応力 σ のみを考慮して τ を考えていないので (D-3) の積分の第一項のみをもって全荷重としている。これでは W をこの (D-3) より大きく与えることになるが理論的にはおかしいと思われる。

参 考 文 献

- ① 福岡正巳, 矢部正宏: 埋設鉄筋コンクリート管のひびわれの実態, 下水道協会誌, 5巻44号, 1968
- ② Pettibone, H. C. and Howard, A. K.: Distribution of Soil Pressures on Concrete Pipe, Proc. ASCE, Vol. 93, No. PL2, 1967
- ③ たとえば Spangler, M. G.: Soil Engineering, Chapter 25 Underground Conduit, International Textbook Co. 1951
- ④ Kézdi, Á.: Erddrucktheorien, Springer, 1962, S. 282-286
- ⑤ ヒューム管協会: 遠心力鉄筋コンクリート管の外圧強さ規格に関する検討, 1966, p. 26
- ⑥ たとえば Jumikis, A. R.: Mechanics of Soils, D. Van Nostrand, 1964, p. 229
- ⑦ Terzaghi, K.: Theoretical Soil Mechanics, John Wiley & Sons, 1943, p. 66-76
- ⑧ たとえば Olander, H. C. and Robertson, G. G.: Study of Pipe with Concrete Bedding, Proc. ASCE, Vol. 94, No. PL1, 1968
- ⑨ Voellmy, A.: Erddruck auf elastisch eingebettete Rohre, International Association for Bridge and Structural Engineering, Publications, 4, 1936