06
ISSN 0386－5878
土木研究所資料第3428号

土木研究所資料

シールドトンネルの作用土圧に関する現場計測報告書

平成8年3月

建設省土木研究所
道路部トンネル研究室

Copyright © (1996) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は，土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって，本報告書の全部又は一部の転載，複製は，土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

土木研究所資料
第3428号　1996年3月

シールドトンネルの作用土圧に関する現場計測報告書

道路部トンネル研究室　室　　長　真下英人
研究員　石村利明
部外研究員*　酒寄建之
〃　**奥村　学

要旨

本報告書は，土被りの深い単設シールドトンネルと複円形シールドトンネルの現場で実施した作用土圧の現場計測結果等を取りまとめるとともに，過去に実施された同様の現場計測結果等を文献調査から整理・取りまとめを行い，シールドトンネルに作用する土圧・水圧について分析を行ったものである。

キーワード：シールドトンネル，作用荷重，現場計測

* 部外研究員在職期間（平成7年4月から8年3月まで）
** 部外研究員在職期間（平成3年10月から4年3月まで）

まえがき

本報告書は、土木研究所で実施した３件のシールドトンネルの現場計測結果について取りまとめたものである。対象としたトンネルは、軟弱地盤中に施工される土被りの深い単設シールドトンネル、複円形シールドトンネルであり、主にトンネルに作用する土圧及び水圧、鉄筋計の応力の測定を行い、これらの測定結果を取りまとめた。また、過去に行われた同様の現場計測事例を文献調査により収集し、シールドトンネルの作用土圧及び水圧について整理・分析を加えたものである。

これらの現場計測の目的は、周知のとおりセグメント設計はシールドトンネルの作用荷重の設定の大小により大きく影響するが、特に粘性土地山中における作用土圧については十分把握しきれていない点もあることからトンネルに作用する土圧を評価するための資料を得ることにある。

本資料がより合理的なシールドトンネルの設計のための参考となることを願うものである。

平成８年３月

トンネル研究室

室　　長　真下 英人

研 究 員　石村 利明

部外研究員　酒寄 建之

〃　　奥村　学

目次

第１章　はじめに …… 1

第２章　粘性土地盤中の単設シールドトンネルの作用土圧に関する現場計測 …… 3
２．１　計測方法 …… 3
２．１．１計測目的 …… 3
２．１．２トンネルの概要と計測位置 …… 3
２．１．３地質状況 …… 5
２．１．４計測項目 …… 6
２．１．５計測機器の配置 …… 9
２．１．６測定方法 …… 13
２．１．７測定頻度及び初期値 …… 13
２．２　施工管理の状況 …… 14
２．２．１リングの組立状況 …… 14
２．２．２切羽圧力 …… 14
２．２．３総推力 …… 14
２．２．４裏込め注入材料及び注入量・圧力 …… 14
２．３　計測結果 …… 19
２．３．１土圧計 …… 20
２．３．２水圧計 …… 21
２．３．３円周方向鉄筋計 …… 22
２．３．４覆工体に発生する断面力 …… 22
２．４粘性土地盤中の単設シールドトンネルの作用土圧 …… 45

第３章　複円形シールドトンネルの作用土圧に関する現場計測 …… 62
３．１　計測方法 …… 62
３．１．１計測目的 …… 62
３．１．２トンネルの概要と計測位置 …… 62
３．１．３地質状況 …… 66
３．１．４計測項目 …… 67
３．１．５計測機器の配置 …… 67
３．１．６測定方法 …… 74
３．１．７測定頻度及び初期値 …… 74

3．2 施工管理の状況 …… 76
3．2．1リングの組立状況 …… 76
3．2．2切羽圧力 …… 76
3．2．3総推力 …… 76
3．2．4裏込め注入材料及び注入量・圧力 …… 76
3．3 計測結果 …… 86
3．3．1土圧計 …… 86
3．3．2水圧計 …… 92
3、3．3円周方向鉄筋計 …… 92
3．3．4覆工体に発生する断面力 …… 107
3．4複円形シールドトンネルの作用土圧 …… 115

第4章 シールドトンネルの作用水圧に関する現場計測 …… 118
4．1 計測方法 …… 118
4．1．1計測目的 …… 118
4．1．2トンネルの概要と計測位置 …… 118
4．1．3地質状況 …… 119
4．1．4計測項目 …… 120
4．1．5計測機器の配置 …… 122
4．1．6測定方法 …… 122
4．1．7測定頻度及び初期値 …… 122
4．2 施工管理の状況 …… 122
4．2．1リングの組立状況 …… 123
4．2．2切羽圧力 …… 123
4．2．3総推力 …… 123
4．2．4裏込め注入材料及び注入量・圧力 …… 123
4．2．5ジャッキ速度 …… 125
4．3 計測結果および考察 …… 128

第5章 シールドトンネルの作用土圧に関する実績調査 …… 132
5．1 調査方法 …… 132
5．1．1調査目的 …… 132
5．1．2調査文献 …… 132
5．1．3調査を行ったシールドトンネルの概要 …… 134
5．2 調査結果および考察 …… 134

5．2．1調査結果の集計 …… 134
5．2．2鉛直荷重（土水圧）の実測値と全土被り土水圧計算値との関係 …… 146
5．2．3鉛直土圧（有効土圧）の実測値と全土被り土圧計算値との関係 …… 146
5．2．4土被り比と鉛直荷重（土水圧）緩み高さとの関係 …… 146
5．2．5土被り比と鉛直土圧（有効土圧）緩み高さとの関係 …… 148
5．2．6鉛直荷重（土水圧）の実測値と緩み土圧（土水分離）計算値との関係 …… 149
5．2．7土被りと水圧との関係 …… 150
5．3 まとめ …… 151

第6章 まとめ …… 152

参考文献
謝辞
巻末資料（第2章・3章・4章の計測結果一覧、ピース間継手の回転バネ値算定方法（短ボルト式））

第１章　はじめに

近年、大都市部およびその周辺の土地利用状況は、地表部においては既に飽和状態にあるといっても過言ではなく、今後の社会資本整備にあたっては地下空間の利用が益々図られるものと考えられる。こうした情勢にあってシールド工法は、開削工法や山岳工法などの他の工法に比べて地表面沈下や周辺構造物および環境に与える影響などの環境保全面、シールドによる切羽保護などによる施工時の安全面などで有利な工法として都市部での地下空間建設工法の代表的な工法として適用される機会が増えることと予想される。しかし、シールド工法においてもセグメント製作費のトンネル工事費全体に占める割合が大きく、このコストダウンが大きな課題となっている。その方法として、合理的なセグメント構造や継手構造の開発などが考えられるが、最も重要なことは合理的な設計手法の確立、とりわけトンネルに作用させる設計荷重（作用土圧）を十分な精度で把握することが挙げられる。また、今後の地下空間の利用ニーズとして土被りの深いシールドトンネルや大断面シールドトンネルは、作用土圧の評価によって覆工構造体の構造が大きく異なり、覆工設計時の設計荷重の設定方法に関する調査が急がれている。

現在のシールドトンネルの覆工の一般的な設計法は、図－１．１に示すような設計荷重を設定し、構造計算を行ってセグメントの材質・断面寸法を決定する方法である。しかしながら、現状では設定荷重の基本となるシールドトンネルに作用する土圧に関して、特に粘性土中の作用土圧については、その挙動が複雑であることなどから不明確な点がある。すなわち、粘性土中の作用土圧に関して土水分離として考えるのか、土水一体として考えるのか、テルツァーギの式が適用できる範囲などについては明確にされていない。土木学会のトンネル標準示方書[1]においても「慎重な検討が必要である」と記述されているにとどまっている。

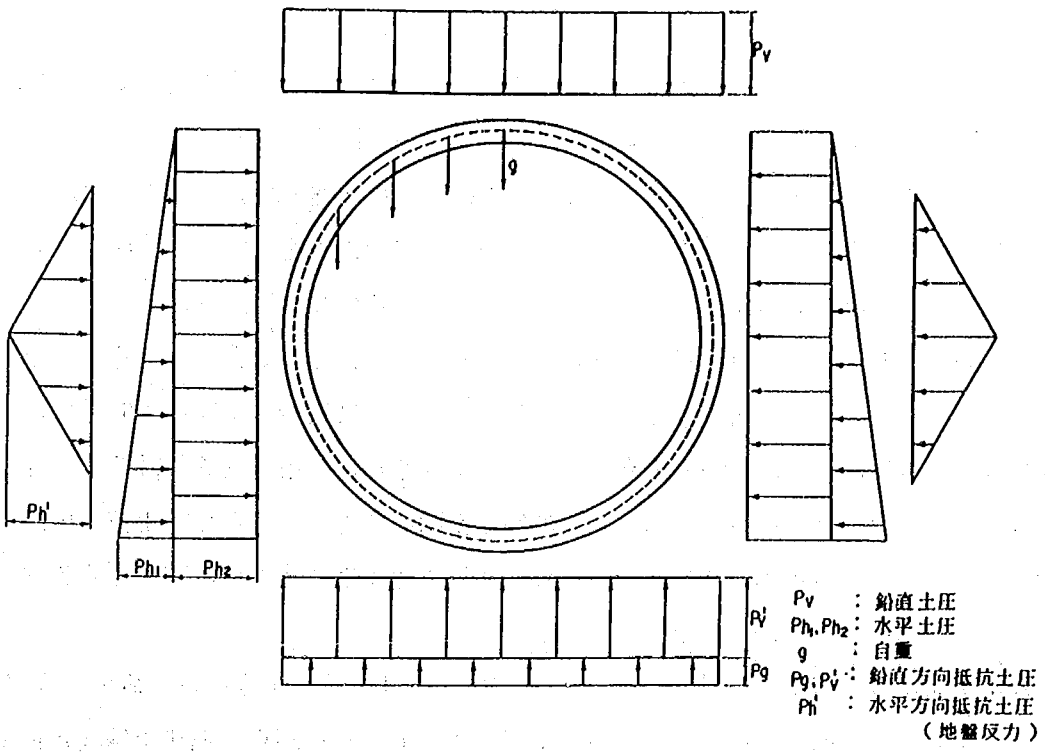
トンネルの荷重に関するこれまでの知見は、現場計測から得られているものが多く、理論的に把握することは困難であるとされている。一方、荷重を正しく設定できない場合には過小、あるいは過大なセグメント設計になる可能性がある。したがって、シールドトンネルの現場計測を数多く長期間に渡り実施し、これらの結果を分析し、トンネルに作用する土圧を正しく評価していく必要がある。

本報告書は、軟弱地盤中に施工される

（１）土被りの深い単設シールドトンネル

（２）複円形シールドトンネル

を対象として３件の現場計測を実施し、土圧及び水圧についてその結果を取りまとめるとともに、過去に行われた同様の現場計測事例を文献調査により収集し、シールドトンネルの作用土圧及び水圧について整理・分析を加えたものである。



図－1．1 シールドトンネルの覆工の設計の考え方

第２章　粘性土地盤中の単設シールドトンネルの作用土圧に関する現場計測

２．１ 計測方法

２．１．１計測目的

大都市周辺の道路網のトンネル計画等において、シールド工法は段階施工や環境問題等に対処できる適用性の高い工法であるが、今後のトンネルは大断面化となるばかりでなく、土被りが深くなる傾向にある。したがって、これらの条件下におけるシールドトンネルの覆工の合理的な設計を行うためにはトンネルに作用する土圧を十分な精度で設定することが必要である。特に土被りが深い粘性土地盤中のトンネルの作用土圧は把握が難しいため、このような条件下でのシールドトンネルに作用する土圧、水圧およびセグメントに発生する応力等を把握する必要がある。

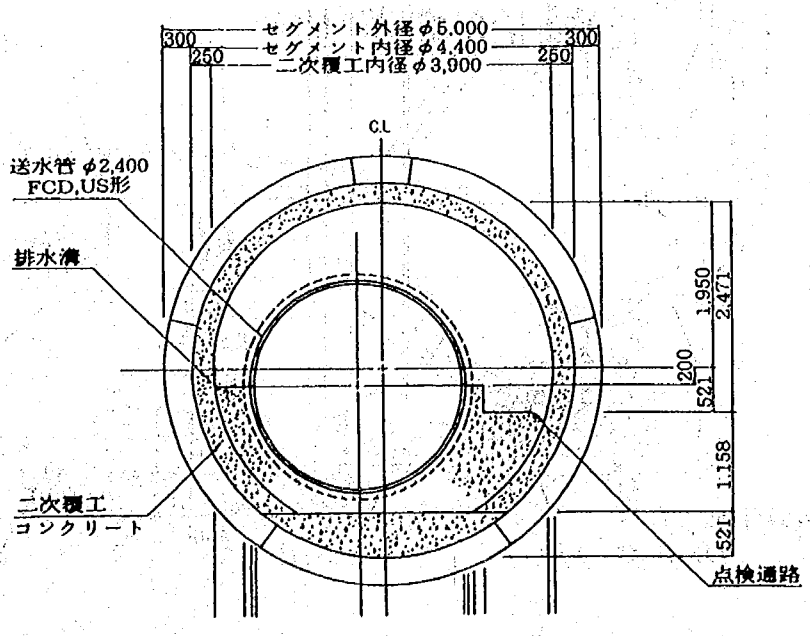
２．１．２トンネルの概要と計測位置

本現場計測は、図－２．１に示す東京都水道局によって施工される東南幹線シールドトンネルで実施した。東南幹線シールドは、東京都江戸川区清新町の発進立坑から中川・荒川の河底を横過して江東区新砂町に至る延長９２２．４ｍ、トンネル外径５．０ｍの送水管布設用の単設のシールドトンネルである。

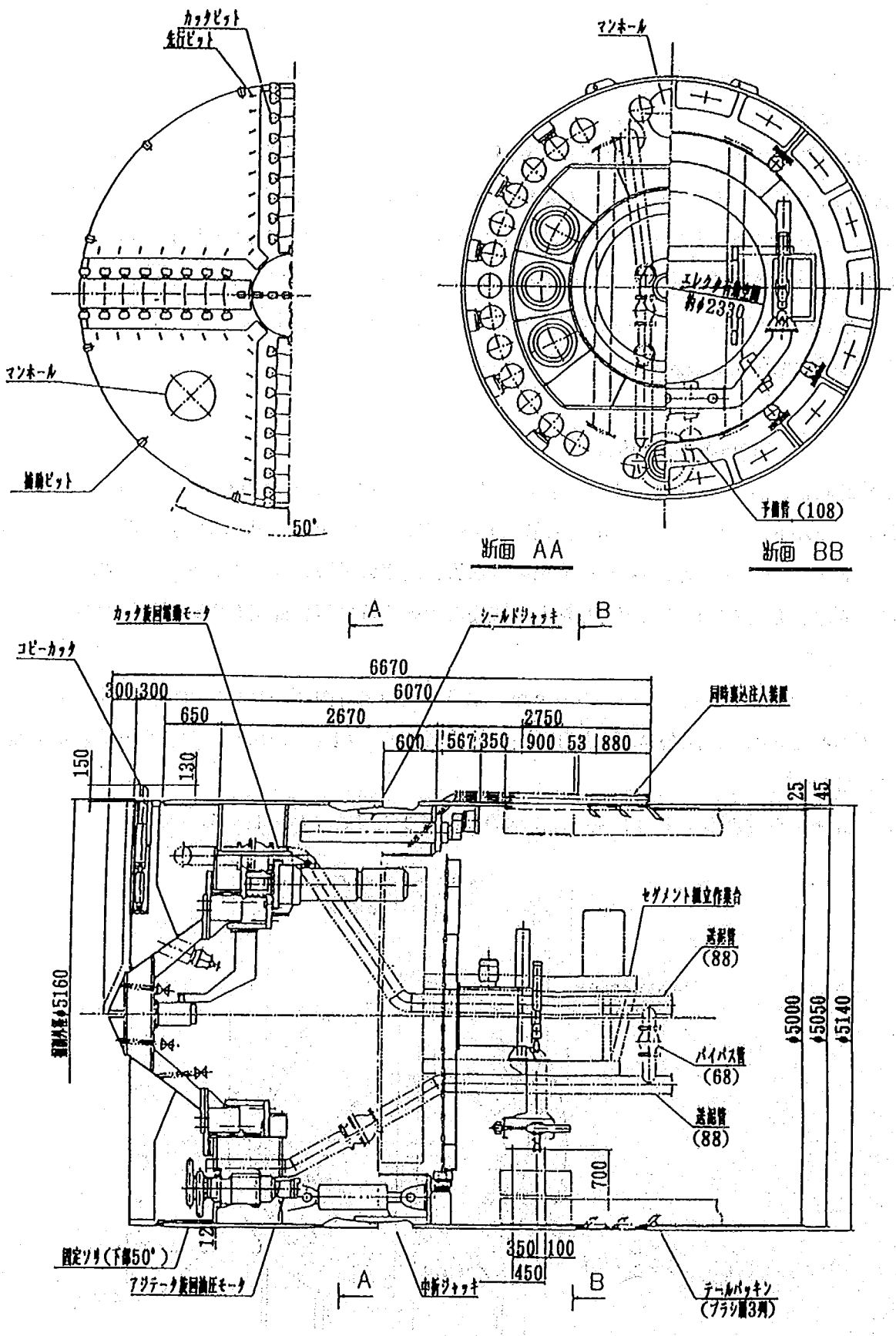
計測位置は、発進立坑から河川を横河した直後の到達立坑に近い荒川右岸直下付近であり、土被りは約２９．３ｍである。

セグメントの構造・形式は、桁高３０ｃｍ，幅９０ｃｍの６分割のＲＣ平板型セグメントである。また、シールド掘削方式は、密閉型の泥水加圧式シールドであり、施工に使用したシールド機の構造概要を図－２．２に示す。

なお、計測地点付近の工事の進捗は、平均的な掘進速度は約７ｍ／日であった。



図－２．１ 東南幹線シールドの標準断面図



図－2．2 シールド機の概要図

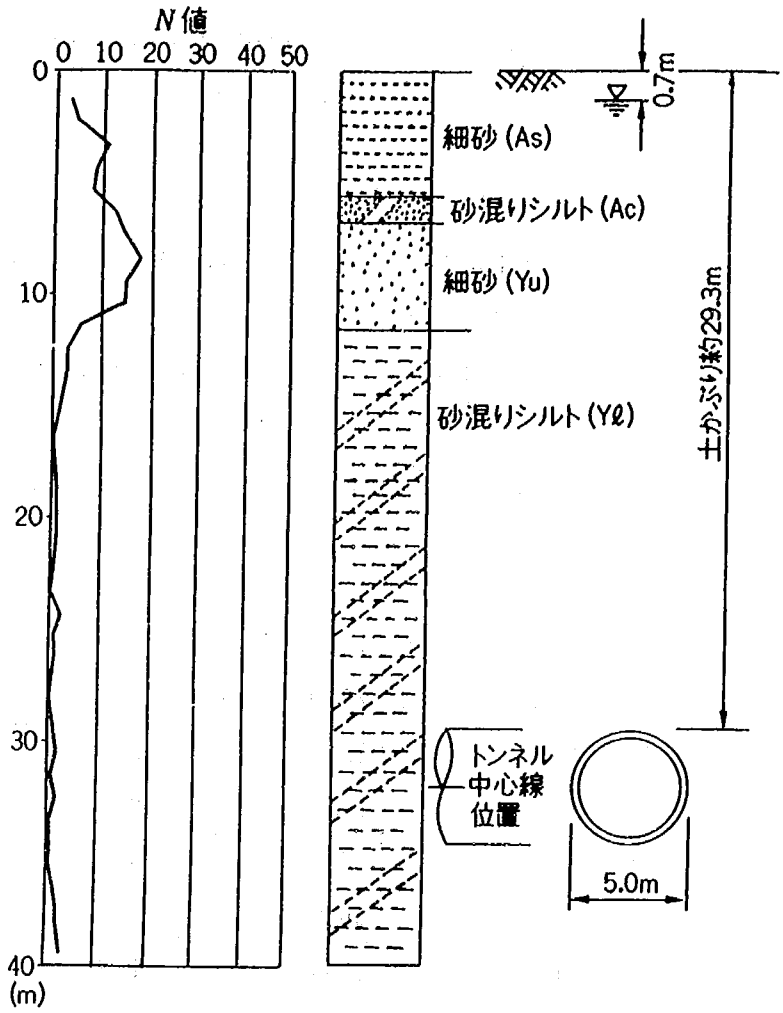
2．1．3地質状況

シールドトンネルが位置する地形・地質状況は、中川・荒川河口付近であり武蔵野台地と上総台地間の東京低地の南側にあたり、また、江戸川・荒川の三角洲地帯の埋立地帯に位置し、軟弱な粘性土が溺谷形状となって沖積層が厚く堆積している。

シールドトンネルが位置する付近の地質は、ＡＰ－３０ｍ付近の深さで、土質はすべて下部有楽町層（Ｙ１層）であり、Ｎ値で１～２の軟弱なシルト層となっている。下部有楽町層は、細粒分が大半であり透水性が非常に低く、室内透水試験による透水係数は10^{-7}オーダーの不透水層である。また、トンネル周辺の粒度分布は粘土分５５％、シルト分４５％、砂分０．３％で、自然含水比は約８０％、液性限界、塑性限界はそれぞれ約９０％、約４０％である。単位体積重量は、全体として均一であり約１．５ｇｆ／ｃｍ^{3}の値を示している。現場付近の土質試験結果一覧表を表－２．１に示す。計測付近のボーリングデータをもとにトンネル位置と地質の柱状図の関係を図－２．３に示す。

表－２．１　土質試験結果一覧表

試料採集深度（m）			10.15～10.45m	20.00～20.85m	30.00～30.85m	35.00～35.75m
粒度特性	礫分(2000μm以上)	%	0.6	0.0	0.0	0.0
	砂分(74～2000μm)	%	33.2	0.6	0.3	0.4
	シルト分(5～74μm)	%	48.5	39.2	44.7	37.2
	粘土分(5μm以下)	%	17.7	60.2	55.0	62.4
	最大粒径	mm	4.76	0.84	0.84	0.42
コンシステンシー特性	液性限界 W_L	%	39.9	88.5	87.0	96.4
	塑性限界 W_P	%	27.0	42.7	39.9	46.0
	塑性指数 I_P		12.9	45.8	47.1	50.4
土粒子の比重 G_s			2.690	2.666	2.701	2.700
自然状態	含水比 w_n	%	40.2	77.8	80.7	90.2
	湿潤密度 ρ_t	g/cm^3	—	1.515	1.498	1.489
	間隙比 e		—	2.129	2.258	2.448
	飽和度 S_r	%	—	97.39	96.57	99.51
一軸圧縮試験 q_u		kgf/cm^2	—	1.170	1.426	1.367
透水係数 K_{15}		cm/s	—	3.65×10^{-7}	4.31×10^{-7}	2.19×10^{-7}



図－２．３　トンネル位置と地質柱状図の関係

２．１．４計測項目

本現場計測における測定項目は以下に示すとおりである。また、測定機器・数量は表－２．２に示すとおりである。なお、測定リングの概略位置は荒川右岸付近であり、計測は土圧、水圧、鉄筋計の応力とした。各測定リングの計測位置の概要を図－２．４、図－２．５に示すように、土圧計の測定リングを９８１リング及び１００３リングの２断面を、鉄筋計及び水圧計の測定リングを９８２リングの１断面とした。

①作用土圧

セグメントに作用する土水圧（土圧、水圧）を土圧計にて測定する。

②作用水圧

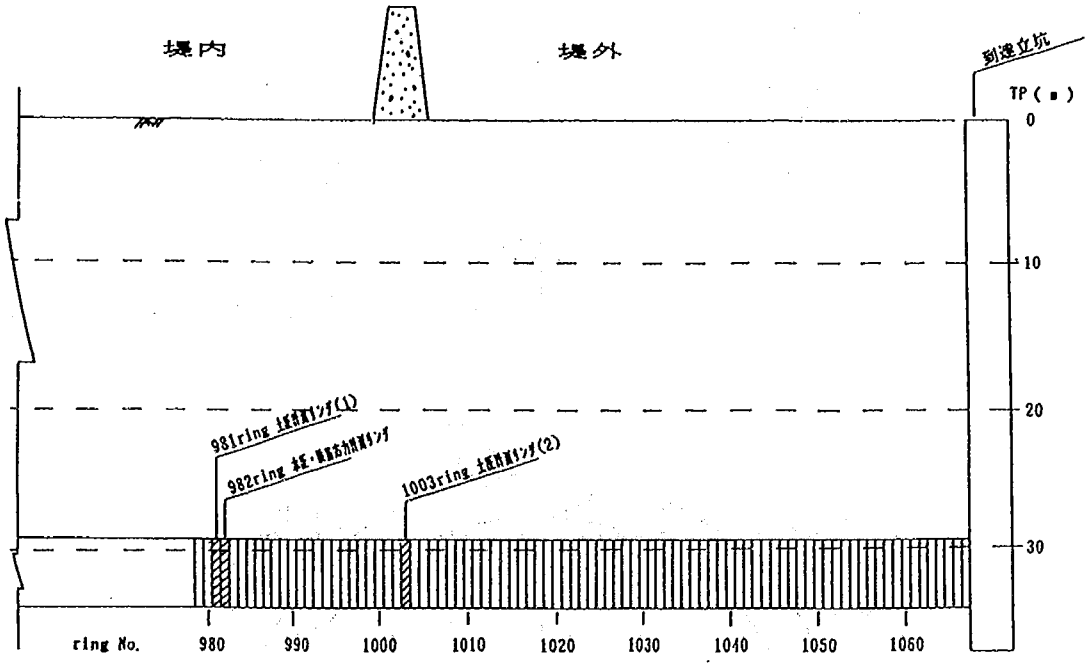
セグメントに発生する水圧を水圧計にて測定する。

③セグメントに発生する応力度（円周方向）

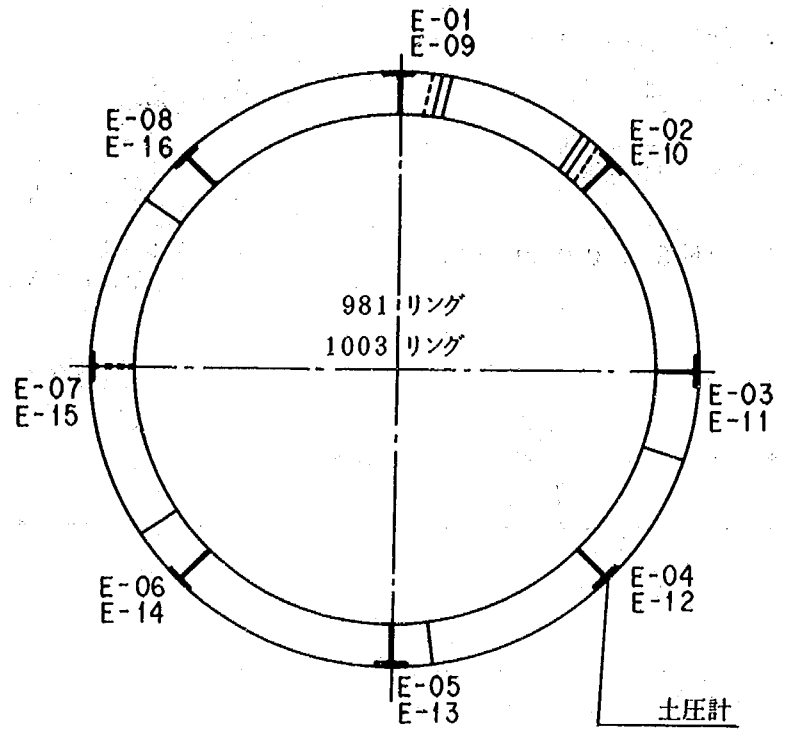
リング方向に鉄筋計を設置し、外荷重によって発生する応力を測定する。

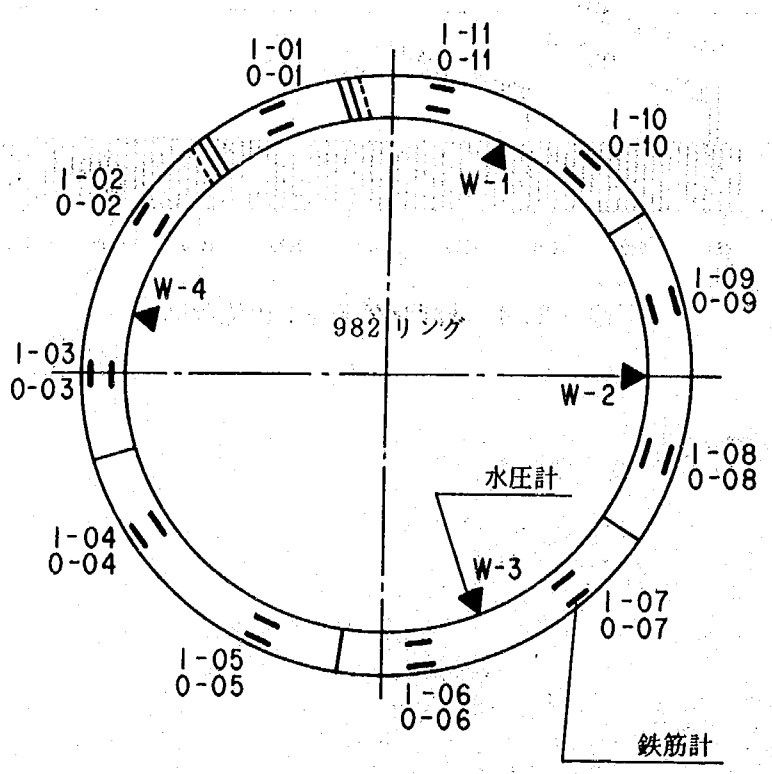
表－２．２ 測定計器・数量

項目	測定計器名および形式	数量	備　考
①	土圧計（容量5kgf/cm² BE-5KF）	１６点	８点×２リング （設置ﾘﾝｸﾞNo.:981ﾘﾝｸﾞ，1003ﾘﾝｸﾞ）
②	水圧計（容量5kgf/cm² BS-5KB）	４点	４点×１リング （設置ﾘﾝｸﾞNo.:982ﾘﾝｸﾞ）
③	円周方向鉄筋計（容量３，０００kgf/cm²）	２２点	１１箇所×内側と外側×１リング （設置ﾘﾝｸﾞNo.:982ﾘﾝｸﾞ）



図－２．４ 計測セグメントの位置図





図－２．５ 各計測セグメントリングの計測位置の概要図

2．1．5計測機器の配置

各計器を以下の要領で設置した。

①土圧計

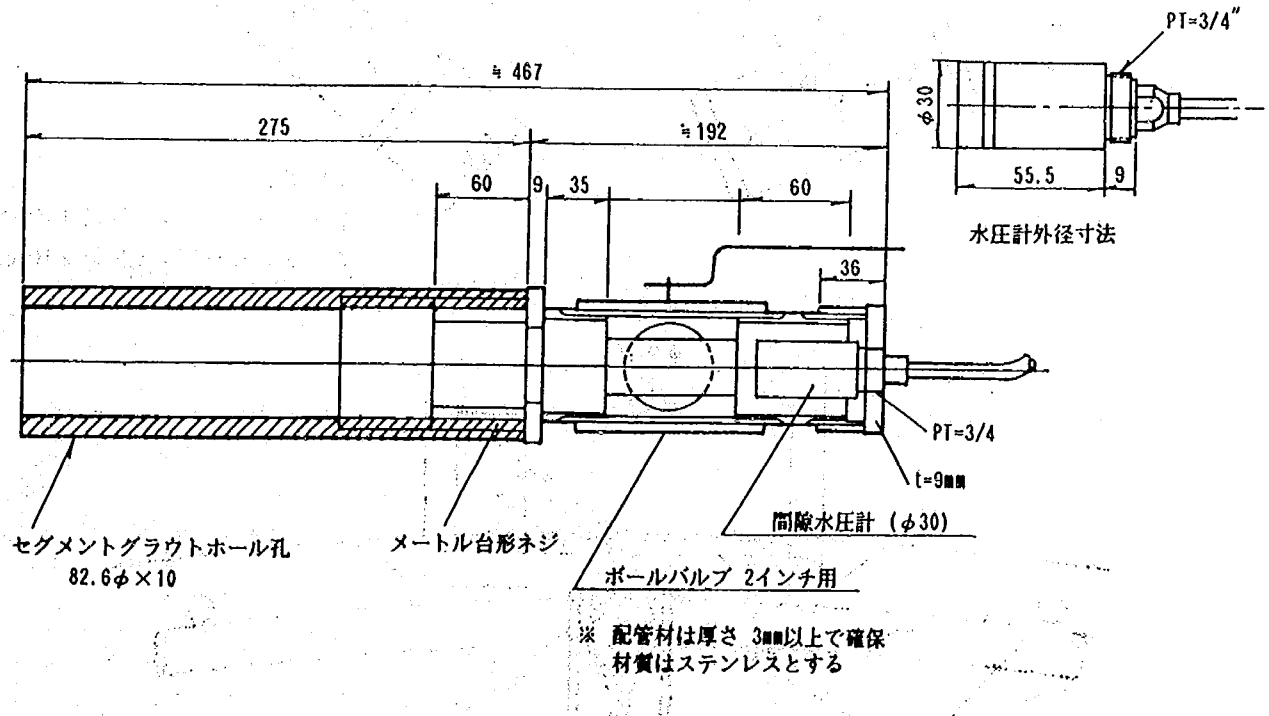
図－2．6に示すようにＲＣセグメントの背面（地山）側に土圧計を設置するため、あらかじめ型抜きを施して製作したセグメントに受圧有効直径２０ｃｍの土圧計をエポキシ系接着剤で設置した。設置位置はセグメントリングの上下左右および４５°の位置の８点とした。

②水圧計

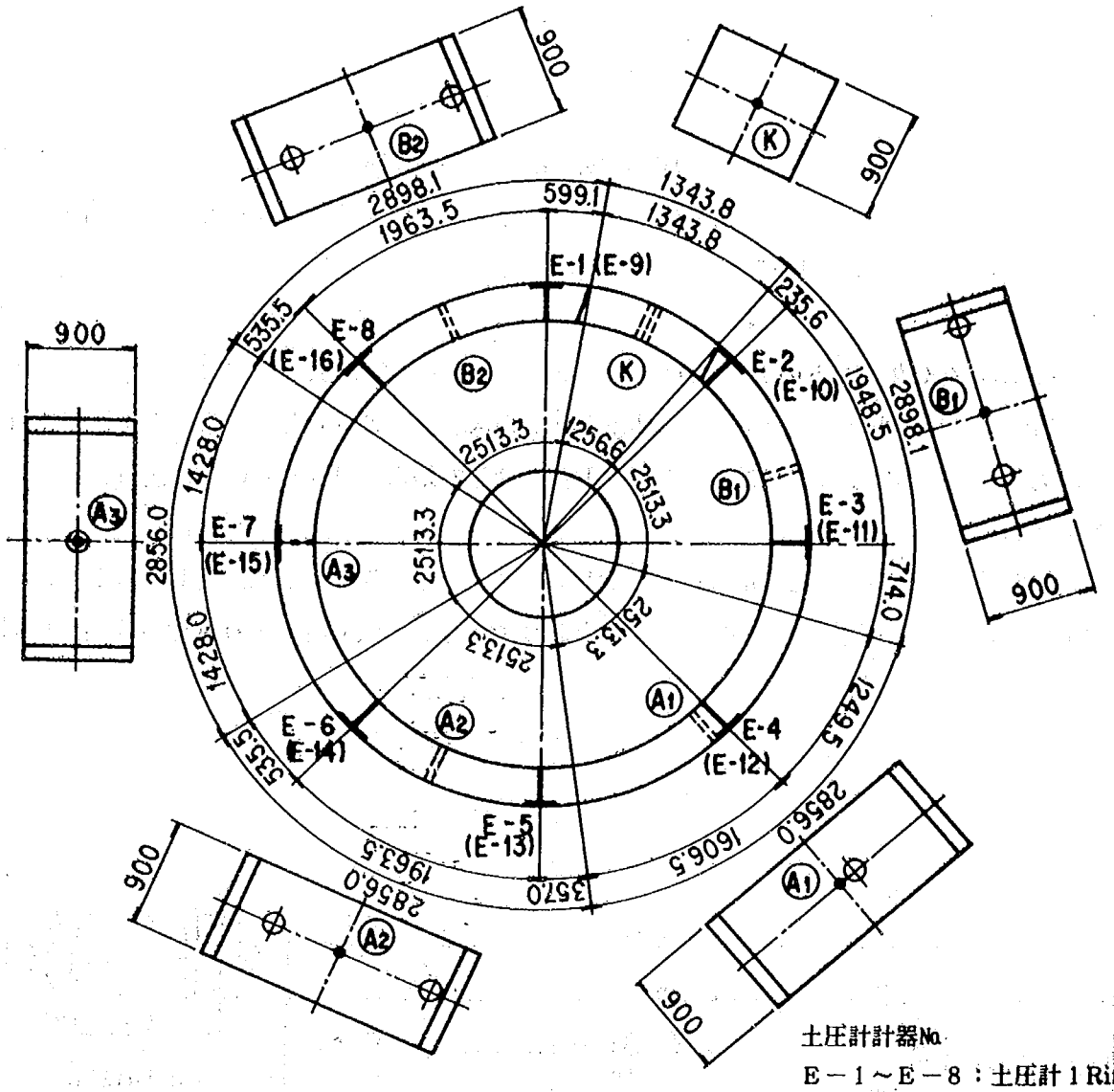
図－2．5に示したセグメントの裏込め注入孔に水圧計を設置するため、図－2．7に示した水圧計取り付け用の止水用のボールバルブ等を介在させて外径３ｃｍの水圧計を設置した。なお、水圧計の取付は、裏込め注入後に実施し、裏込め注入が硬化後にグラウト孔を通して地山を削孔したのちに設置した。

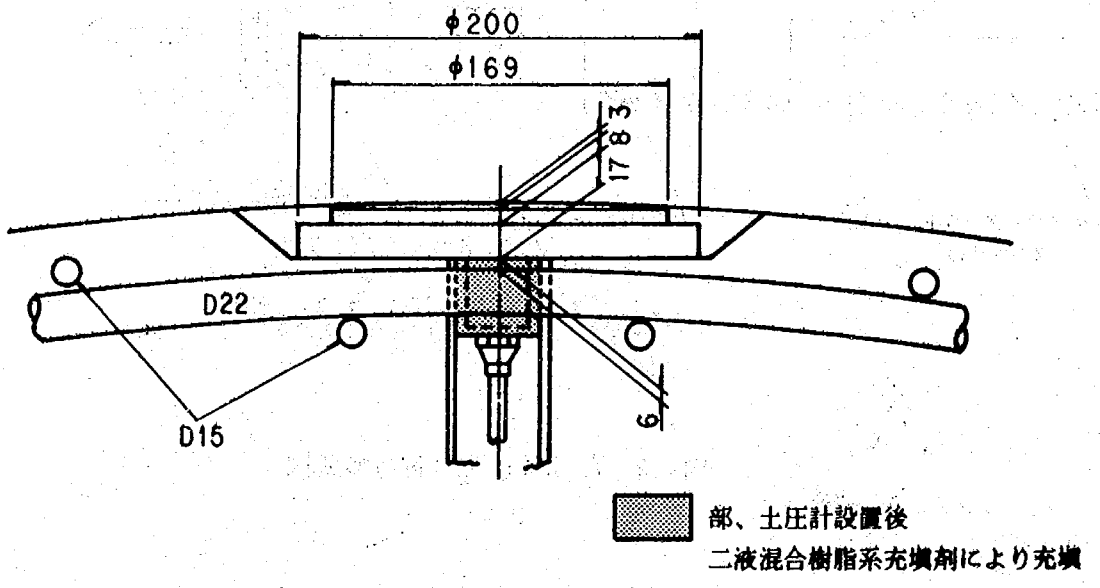
③円周方向鉄筋計

円周方向鉄筋計を主鉄筋の所定の位置にあらかじめセグメント製作時に鉄筋計として設置した。円周方向鉄筋計の概要は、表－2．2及び図－2．8に示すとおりであり、各鉄筋計の取り付けの詳細図を図－2．9に示す。

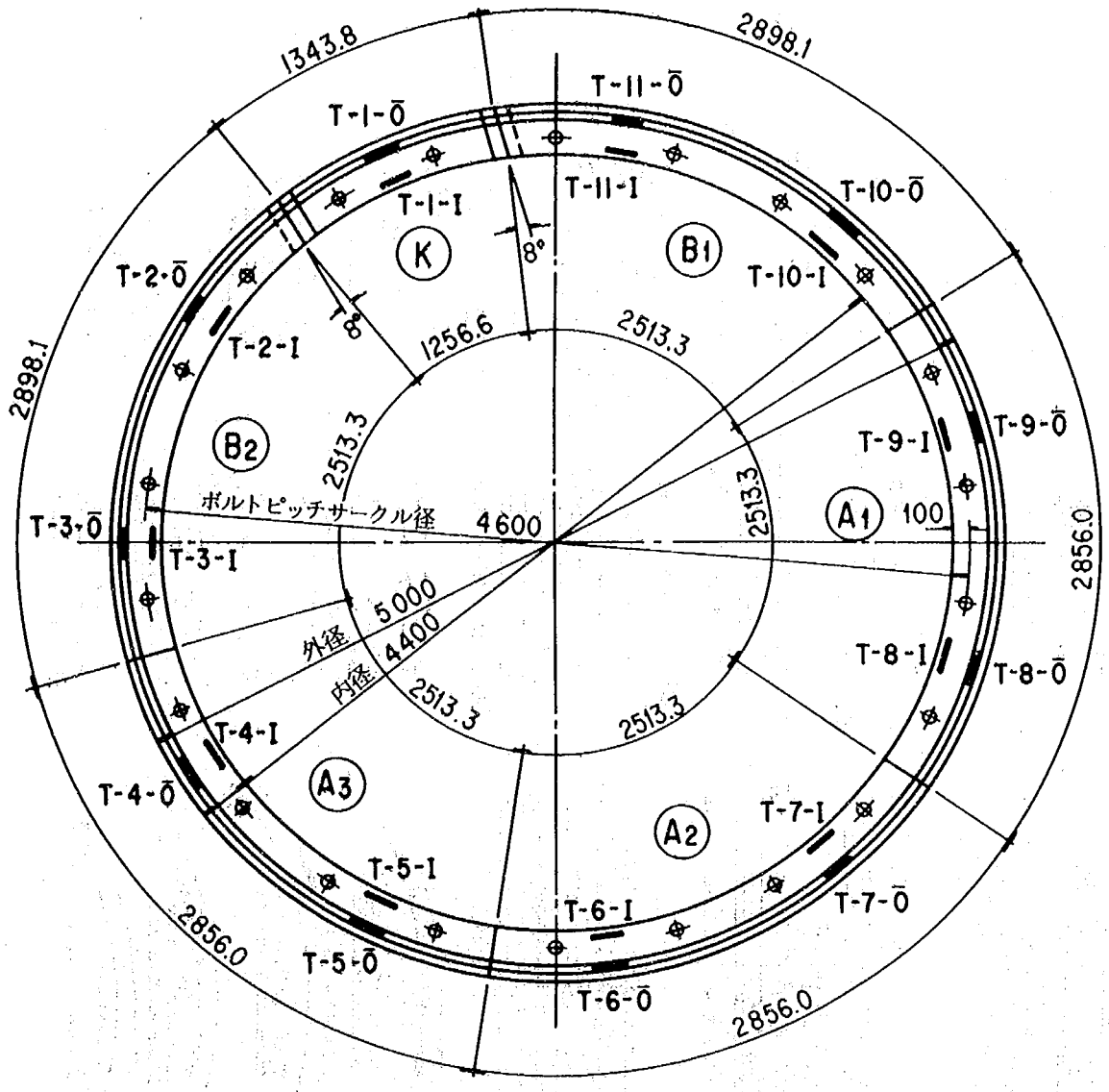


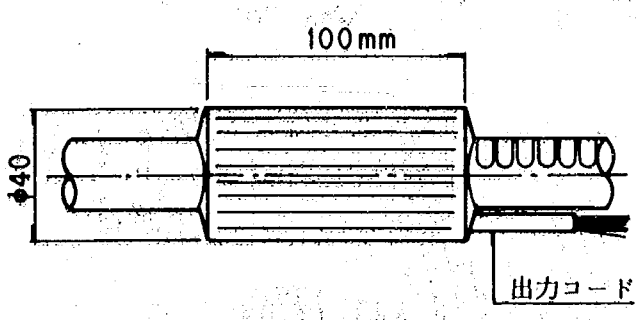
図－2．7 水圧計取り付け概要図



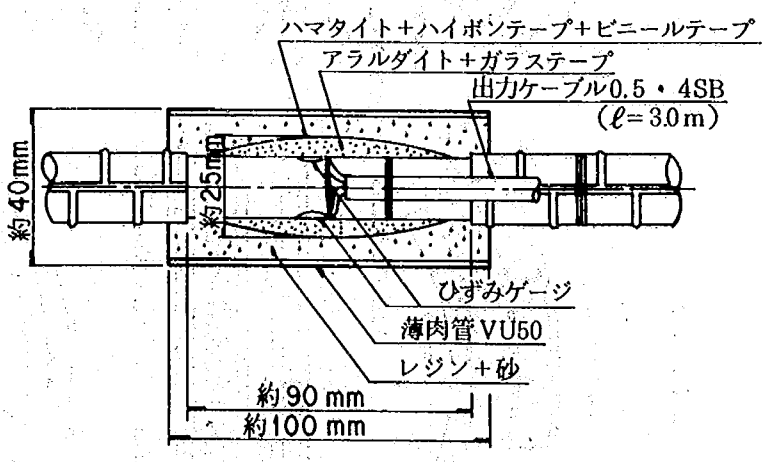


図－2．6 土圧計取り付け位置図



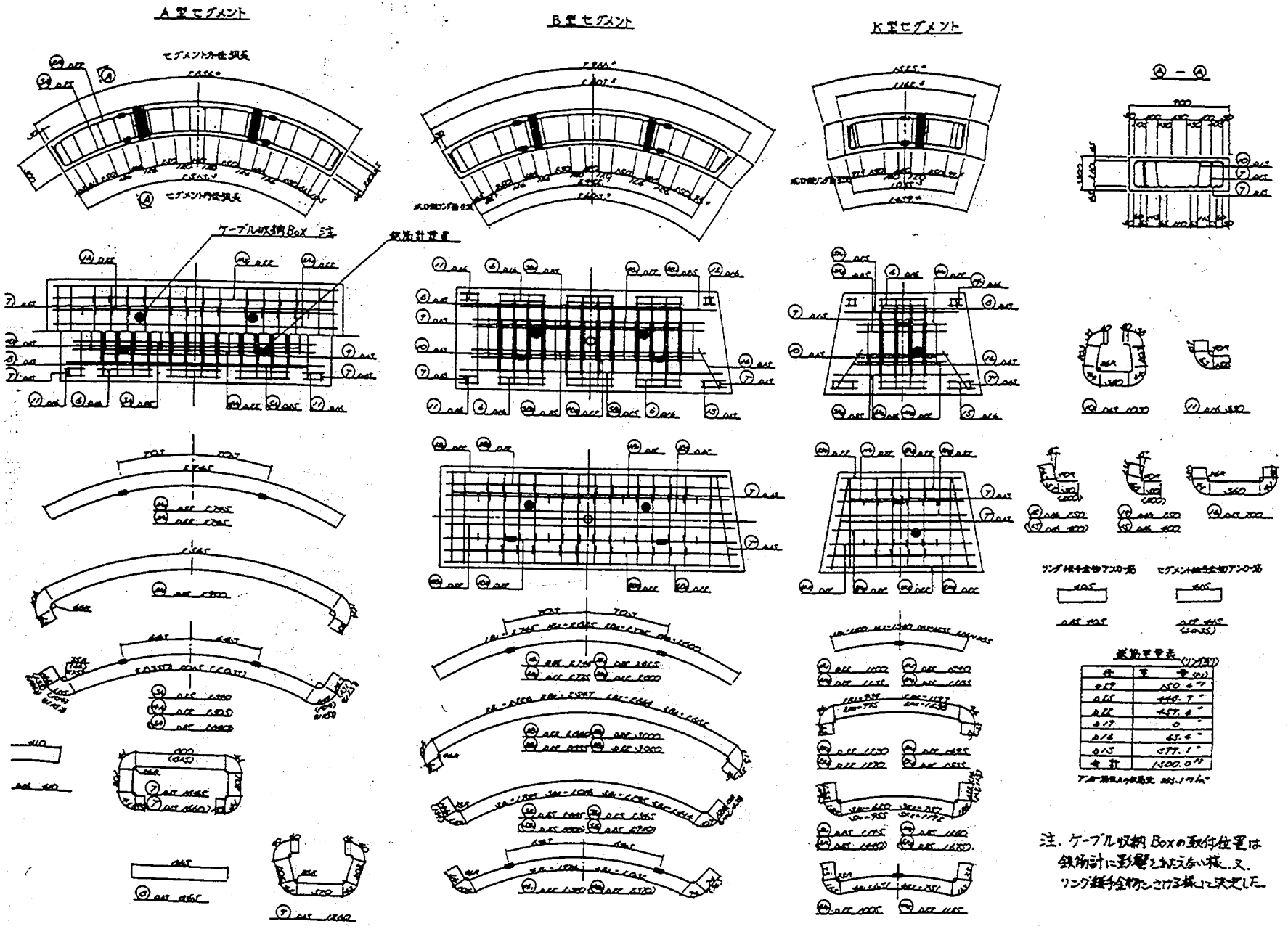


鉄筋計外観図



鉄筋計構造図

図－2．8 鉄筋計取り付け概要図

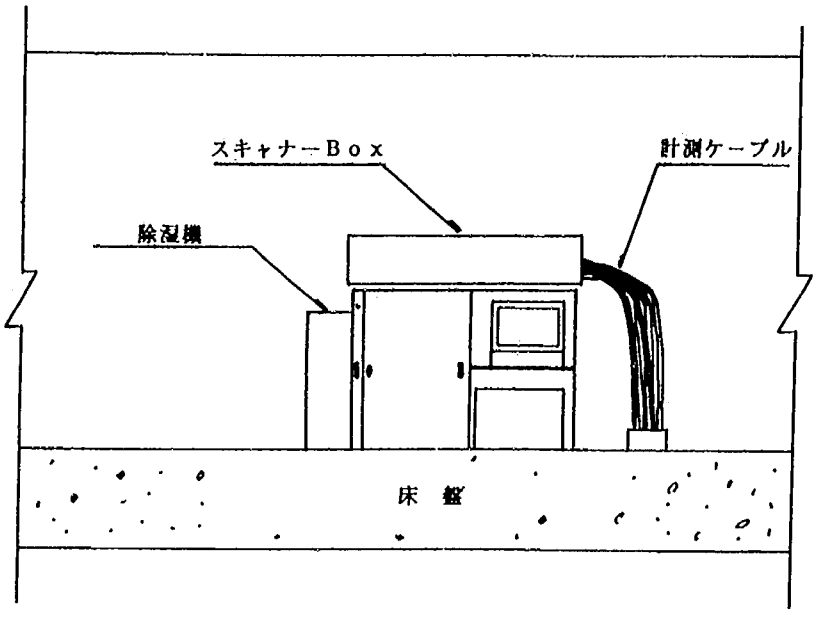


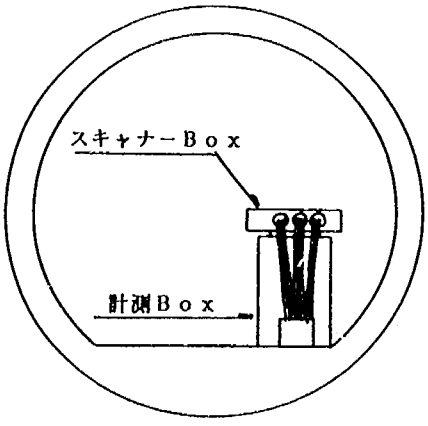
図－2.9 鉄筋計取り付け詳細図

2．1．6測定方法

測定は、トンネル坑内に計測用の箱を設けてその中にデジタル測定器（ＵＣＡＭ－５ＢＣ）とパーソナルコンピューター（ＰＣ－９８０１）による自動計測を行った。

測定システムは、図－２．１０に示すように各計器から計測ケーブルで測定リング近傍に設置したスキャナボックス（ＵＳＢ－５１Ａ）に接続し、スキャナケーブル（ＵＣＡＭ－５ＢＣ）を介してデジタル測定器に、デジタル測定器からＲＳ－２３２Ｃケーブルを介してＰＣ－９８０１にそれぞれ接続した。なお、測定データは全てパーソナルコンピューター内臓の５インチフロッピーディスクにランダムファイル形式で収録した。





各計器　～　スキャナー　～　デジタル測定機　～　パーソナルコンピューター
計測ケーブル　　スキャナーケーブル　　RS-232Cケーブル

図－２．１０ 計測システム図

2．1．7測定頻度および初期値

（１）測定頻度

測定の頻度は、以下に示すとおりとした。

・セグメント組立直後（92/04/10 21:48）　１回
・テール脱出後　１回
・裏込め注入後　１回
・１日後～92/04/20 15:44まで　１分間隔
・92/04/20 15:46～92/10/05 10:52まで　１０分間隔
・92/10/05 10:54～　３０分間隔
・94/9～　約１ヶ月間隔

（２）初期値

各測定値の初期値は、以下に示す時期とした。

・土圧計、水圧計は計測用リングを組み立てる前の大気中のフリーの状態を初期値とした。

・鉄筋計は計測用リングを組み立てた直後の値を初期値とした。

２．２ 施工管理の状況

計測されたデータから挙動を解析する場合、施工の状況を把握しておく必要がある。シールドトンネルに作用する土圧、あるいは周辺地盤の挙動等に影響すると考えられる施工時のデータを調査した。施工管理データの把握は、シールドトンネルの切羽圧力、掘削時の総推力、裏込め注入に関する材料および圧力とした。調査した施工管理の区間は、計測セグメントの位置からトンネル直径の３～５倍程度前後を目安に土圧計測用リング（１）のＮＯ．９８１リングの手前約２０リング（ＮＯ．９５０リング）から土圧計測用リング（２）の１００３リング後ろの約３０リング（ＮＯ．１０３５リング）とした。

２．２．１リングの組立状況

リングの組立状況の施工管理データを表－２．３、図－２．１１に示す。図に示すように日によって異なり、１日当たり１０リング進行する場合もある。平均的には１日当たり約７ｍ程度の進行である。なお、現場計測地点が到達立坑の約８０ｍ～６０ｍ手前であり、計測地点のリングを組み立てた後、約１０日前後でトンネル掘進が終了している。

２．２．２切羽圧力

切羽圧力（切羽水圧）の施工管理データを表－２．３、図－２．１２に示す。図表に示すデータは、シールド機前面に取り付けた切羽圧力の管理用の水圧計により計測された値である。

切羽水圧は、多少の上下はあるものの、概ね３．４～３．５kgf／cm²付近で安定していることがわかる。この値は、周辺地盤の静止土圧相当と考えられる３．６kgf／cm²を設定泥水圧として計画されていることから、ほぼ計画どおりの施工が実施されたものと判断できる。

２．２．３総推力

総推力に関する施工管理データを、表－２．３、図－２．１３に示す。総推力のデータは、掘削リングの平均値で示した。

総推力は、各掘削リングで１，０００ton～１，２７０tonで大きく変動している。本現場のシールド機の直径が５．１６ｍであるので、シールド前面の面積が約２１ｍ²となり、総推力から計算されるシールド前面の圧力は約４．８～６．１kgf／cm²となる。

２．２．４裏込め注入材料および注入量・圧力

裏込め注入材料および注入量・圧力の施工管理データを表－２．３及び図－２．１４に示す。

（１）裏込め注入材料

表－2.3 施工管理データ一覧表

(1／4)

Ring.	年 月 日	掘削開始	掘削終了	ストローク初期	ストローク最終	切羽水圧 (Kg/cm2)	総推力 (ton)	裏込注入圧力 (Kg/cm2)	裏込注入量 (リットル)
950	92年04月08日	13:59:59	14:23:08	324	1256	3.41	1104	3.44	1810
951	92年04月08日	14:59:57	15:25:53	314	1256	3.39	1026	3.39	1489
952	92年04月08日	16:11:45	16:43:51	312	1256	3.42	1122	3.27	1761
953	92年04月08日	17:24:57	17:51:43	309	1254	3.41	1119	3.97	1358
954	92年04月08日	21:05:27	21:31:25	324	1258	3.42	1177	3.01	1757
960	92年04月09日	09:02:19	09:26:40	324	1254	3.41	1177	2.68	1686
961	92年04月09日	10:10:20	10:34:38	319	1254	3.41	1085	4.20	1392
962	92年04月09日	11:11:55	11:35:24	308	1254	3.42	1078	2.70	1296
963	92年04月09日	12:18:40	12:42:55	290	1256	3.41	1086	3.37	1903
964	92年04月09日	13:34:01	13:58:01	308	1254	3.43	1093	3.59	1538
965	92年04月09日	14:33:29	14:57:11	307	1256	3.42	1099	3.91	1483
966	92年04月09日	15:37:39	16:00:44	315	1255	3.43	1141	3.86	1569
974	92年04月10日	09:22:00	09:45:41	329	1257	3.44	1221	3.23	1815
975	92年04月10日	10:31:47	10:59:10	319	1253	3.51	1170	3.97	1828
976	92年04月10日	11:39:52	12:06:20	309	1261	3.52	1102	3.49	1650
977	92年04月10日	12:47:14	13:12:49	307	1253	3.50	1138	3.84	1050
978	92年04月10日	14:00:46	14:28:34	311	1254	3.51	1140	3.94	1934

(2／4)

Ring.	年 月 日	掘削開始	掘削終了	ストローク初期	ストローク最終	切羽水圧 (Kg/cm2)	総推力 (ton)	裏込注入圧力 (Kg/cm2)	裏込注入量 (リットル)
979	92年04月10日	15:00:38	15:24:52	313	1265	3.48	1095	4.15	1572
980	92年04月10日	16:09:23	16:37:43	326	1257	3.42	1155	4.04	1654
981	92年04月10日	20:56:12	21:21:58	330	1267	3.46	1266	3.88	1979
982	92年04月10日	23:23:34	23:49:16	326	1270	3.45	1182	3.68	1947
983	92年04月11日	02:54:06	03:25:43	314	1280	3.43	1148	3.06	1648
984	92年04月11日	09:10:22	09:39:31	336	1265	3.42	1150	3.21	1866
985	92年04月11日	10:15:05	10:41:33	317	1264	3.40	1084	3.64	1960
986	92年04月11日	11:17:50	11:43:05	318	1264	3.40	1104	4.13	2040
987	92年04月11日	12:21:35	12:52:20	325	1263	3.45	1145	4.63	1391
988	92年04月11日	13:26:19	13:54:32	330	1255	3.39	1163	2.83	553
989	92年04月11日	14:40:51	15:05:28	317	1260	3.41	1097	4.75	1815
990	92年04月11日	15:40:10	16:08:25	316	1260	3.41	1090	4.11	1720
991	92年04月11日	20:56:11	21:19:12	327	1279	3.44	1186	2.92	1176
992	92年04月11日	22:06:08	23:30:39	325	1267	3.41	1148	3.59	3295
994	92年04月12日	00:00:35	00:33:59	333	1267	3.44	1059	3.52	1275
995	92年04月12日	01:10:23	01:33:12	328	1271	3.45	1070	4.26	1396
996	92年04月13日	09:51:22	10:14:26	339	1266	3.43	1190	2.54	1780

(3／4)

Ring.	年 月 日	掘削開始	掘削終了	ストローク初期	ストローク最終	切羽水圧 (Kg/cm2)	総推力 (ton)	裏込注入圧力 (Kg/cm2)	裏込注入量 (リットル)
997	92年04月13日	10:43:06	11:07:13	157	157	3.48	1159	3.19	1533
998	92年04月13日	11:38:42	12:01:42	321	1265	3.43	1108	3.61	1330
999	92年04月13日	12:34:52	12:57:35	307	1265	3.43	1089	4.14	1697
1000	92年04月13日	: :	: :	288	1271	3.41	1132	3.24	932
1001	92年04月13日	14:32:17	14:55:31	335	1265	3.39	1087	4.68	1830
1002	92年04月13日	15:30:51	16:41:27	504	1265	3.49	1155	4.01	1022
1009	92年04月14日	20:48:33	21:15:55	323	1270	3.47	1108	3.65	1854
1010	92年04月14日	21:49:19	22:13:51	324	1266	3.47	1178	4.66	1485
1011	92年04月14日	22:46:46	23:12:31	323	1264	3.43	1127	4.71	1480
1012	92年04月15日	23:47:11	00:12:29	323	1256	3.43	1087	4.79	1531
1013	92年04月15日	08:52:39	09:16:45	315	1260	3.42	1207	3.49	1829
1014	92年04月15日	09:51:18	10:14:35	331	1268	3.46	1159	4.20	1475
1015	92年04月15日	10:48:28	11:14:10	326	1270	3.40	1140	4.25	1474
1016	92年04月15日	11:45:38	12:14:46	324	1272	3.53	1109	4.30	1766
1017	92年04月15日	12:46:22	13:11:23	320	1262	3.42	1010	4.50	1872
1018	92年04月15日	14:10:18	14:41:12	319	1265	3.46	1152	4.10	1586
1019	92年04月15日	15:13:14	15:37:27	318	1266	3.53	1115	4.35	1502

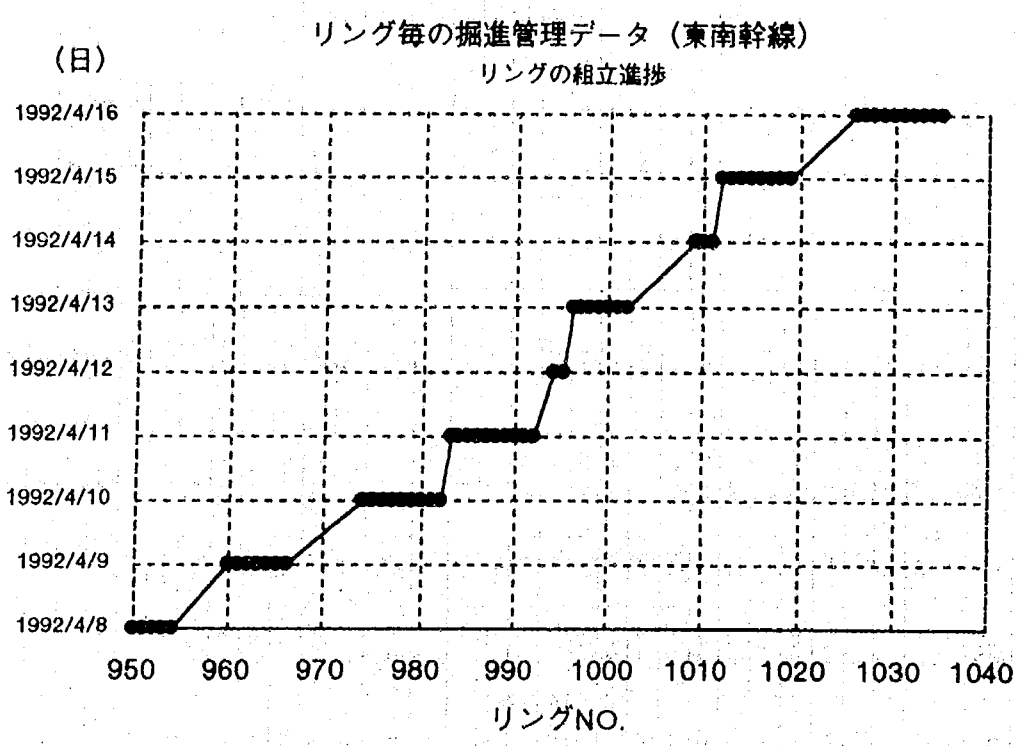
(4／4)

Ring.	年 月 日	掘削開始	掘削終了	ストローク初期	ストローク最終	切羽水圧 (Kg/cm2)	総推力 (ton)	裏込注入圧力 (Kg/cm2)	裏込注入量 (リットル)
1026	92年04月16日	08:45:26	09:11:36	320	1265	3.41	1086	3.22	1881
1027	92年04月16日	09:46:12	10:09:05	327	1258	3.44	1117	3.79	1623
1028	92年04月16日	10:48:30	11:10:58	323	1272	3.44	1105	4.16	1628
1029	92年04月16日	11:54:22	12:26:13	312	1666	3.49	1096	3.72	1283
1030	92年04月16日	12:51:26	13:15:47	316	1265	3.48	1128	4.34	1769
1031	92年04月16日	13:51:49	14:14:26	323	1260	3.47	1101	4.71	1475
1032	92年04月16日	14:47:14	15:10:05	323	1260	3.44	1058	4.07	1886
1033	92年04月16日	20:45:24	21:12:10	311	1260	3.44	1171	3.97	1906
1034	92年04月16日	21:44:25	22:17:25	316	1256	3.51	1132	4.78	1625
1035	92年04月16日	22:57:29	23:22:28	321	1256	3.43	1102	5.31	1502

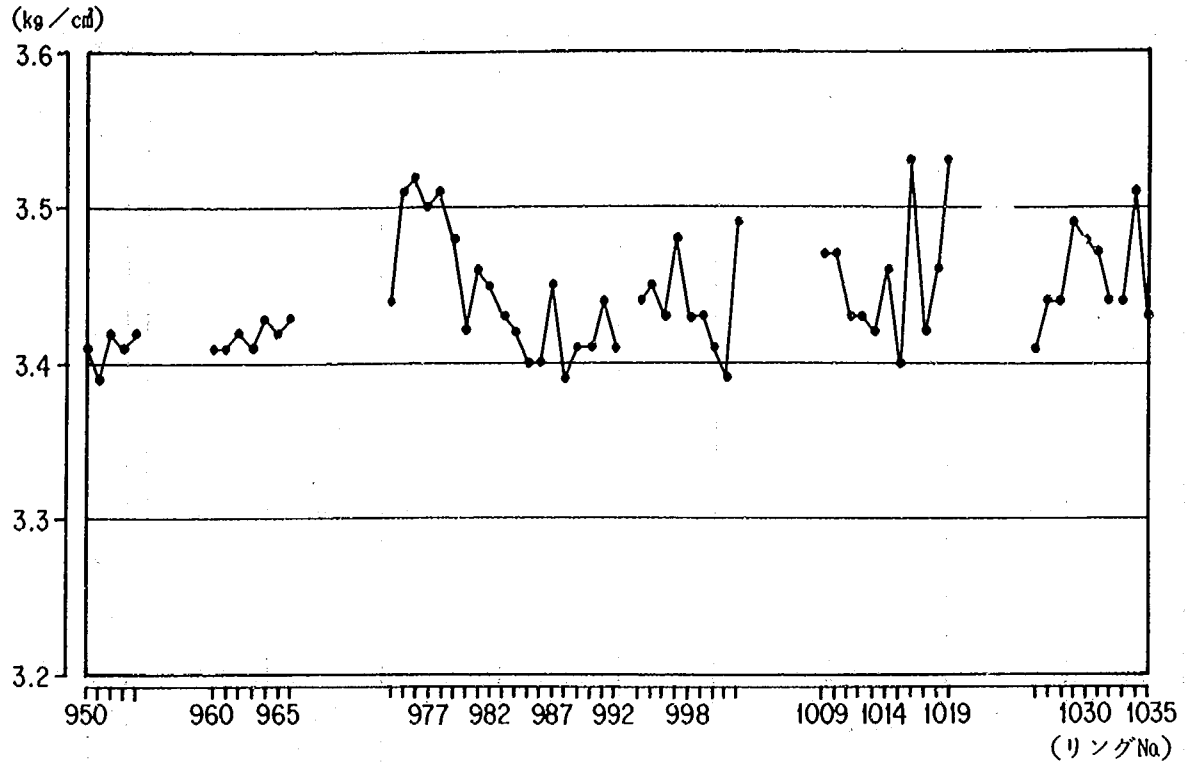
裏込め注入材料は、２液性の可塑性材料のＴＧＳを使用してＡ液としてカルメント、Ｂ液としてスーパークレイを使用している。なお、材料強度は、１時間強度で約０．８kgf／cm²、７時間強度で１５kgf／cm²である。

（２）裏込め注入量・圧力

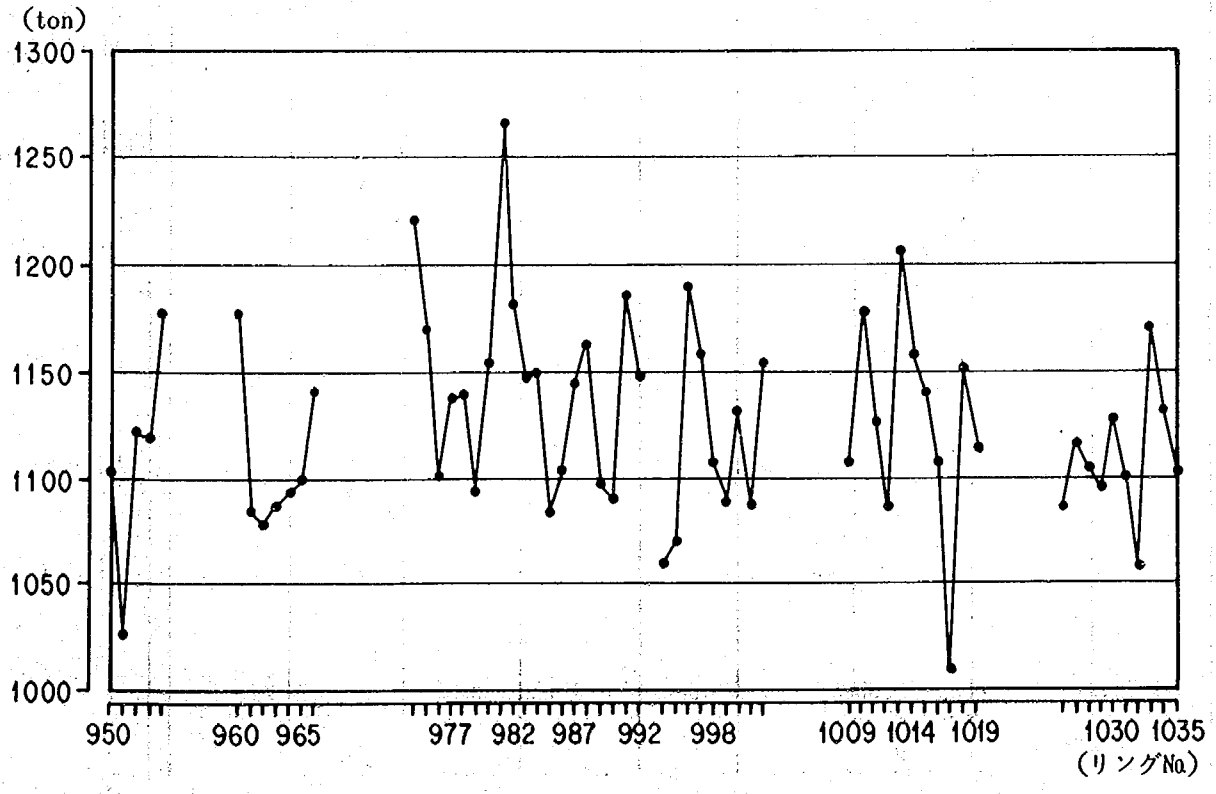
裏込め注入は、シールド機から掘進と同時に注入する同時裏込め注入方式で施工された。裏込め注入位置は、天端付近の裏込め注入孔から実施されている。裏込め注入圧は、約２．５～５kgf／cm²以上の範囲で大きくばらついており、計測用セグメント付近の圧力は約３～４kgf／cm²となっている。裏込め注入量は、突出値を除き、１，０００～２，０００ﾘｯﾄﾙの範囲で注入された。なお、理論ボイド量に対する注入率は、計算されるボイド量約１，１５０ﾘｯﾄﾙに対し今回の計測用セグメント付近での注入率１５０から１７０％前後の値となっている。



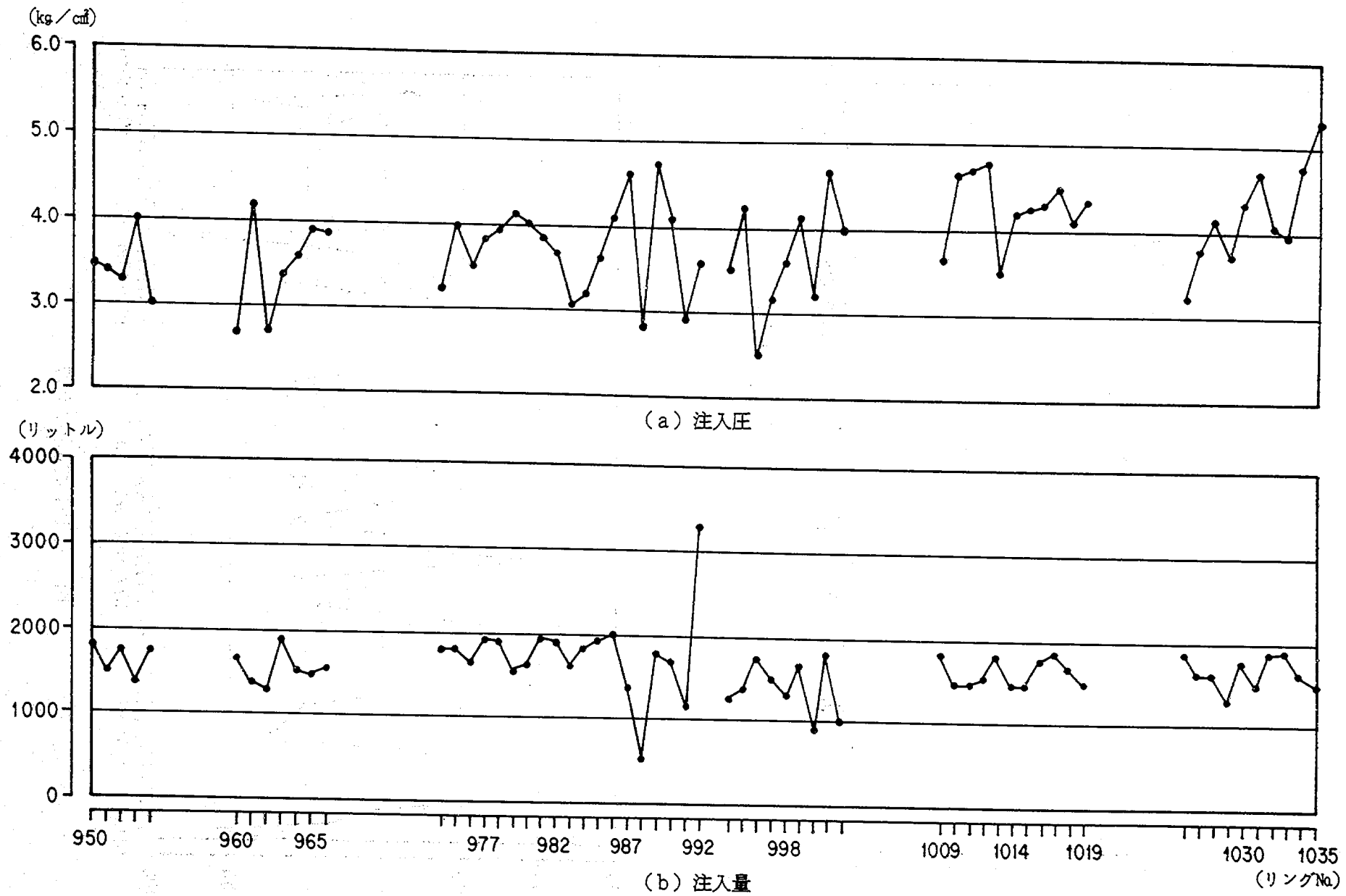
図－２．１１ リング組立状況



図－２．１２ 切羽圧力（切羽水圧）の状況



図－２．１３ 総推力の状況



図－2.14 裏込め注入圧及び注入量の状況

2.3 計測結果

本現場計測で得られた結果を次項以降に示す。本計測においては計測開始から約４３ヶ月以上の長期的な計測を実施している。これは、比較的軟弱な粘性土地盤中のシールドトンネルに作用する最終的な土圧を把握するために長期の計測を実施したものである。計測開始からこれまでの経時的な変化を見るために必要と思われる時期の主なデータを表－２．４のように抽出し、以下の測定値について結果を示すとともに、考察を加える。

表－２．４　主な計測データと主要な時期と経過時間

NO.	計測日時	時期及び経過日時	NO.	計測日時	時期及び経過日時
1	92/ 4/10 23:00	981ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立直後	31	93/ 2/10 22:00	
2	92/ 4/11 2:28	982ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立直後	32	93/ 3/24 10:00	約１２ヶ月後
3	92/ 4/11 22:00	981ﾘﾝｸﾞ１日後	33	93/ 7/31 12:00	
4	92/ 4/12 3:00	982ﾘﾝｸﾞ１日後	34	93/ 8/15 12:00	
5	92/ 4/12 22:00		35	93/ 8/31 12:00	
6	92/ 4/13 22:00	981ﾘﾝｸﾞ３日後	36	93/ 9/15 12:00	
7	92/ 4/14 3:00	982ﾘﾝｸﾞ３日後	37	93/ 9/30 17:00	
8	92/ 4/14 10:00	1003ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立直後	38	93/10/31 12:00	
9	92/ 4/14 22:00		39	93/11/30 12:00	
10	92/ 4/15 10:00	1003ﾘﾝｸﾞ１日後	40	93/12/30 12:00	約２１ヶ月後
11	92/ 4/15 22:00		41	94/ 1/31 12:00	
12	92/ 4/16 10:00		42	94/ 2/28 12:00	
13	92/ 4/16 22:00		43	94/ 3/23 12:00	約２４ヶ月後
14	92/ 4/17 10:00	1003ﾘﾝｸﾞ３日後	44	94/ 9/ 5 11:00	
15	92/ 4/17 22:00	981ﾘﾝｸﾞ１週間後	45	94/10/ 5 11:00	
16	92/ 4/18 3:00	982ﾘﾝｸﾞ１週間後	46	94/11/ 8 10:00	
17	92/ 4/21 9:56	1003ﾘﾝｸﾞ１週間後	47	94/12/ 5 10:00	
18	92/ 4/25 21:56		48	95/ 1/11 10:00	
19	92/ 4/30 22:00		49	95/ 2/ 8 10:30	
20	92/ 5/ 5 22:00		50	95/ 2/23 14:00	約３４ヶ月後
21	92/ 5/10 22:00	約１ヶ月後	51	95/ 7/25 12:00	
22	92/ 5/25 22:00		52	95/ 8/25 12:00	
23	92/ 6/10 22:00		53	95/ 9/25 12:00	
24	92/ 7/10 20:00	約３ヶ月後	54	95/10/31 12:00	
25	92/ 8/10 20:00		55	95/12/ 6 12:00	約４３ヶ月後
26	92/ 9/10 22:00		56	95/12/26 12:00	
27	92/10/ 9 11:00	約６ヶ月後			
28	92/11/10 22:00				
29	92/12/10 22:00				
30	93/ 1/10 22:00	約１０ヶ月後			

2．3．1土圧計

図－2．15(1)～(2)にそれぞれ９８１リング、１００３リングの土圧の経時変化を示す。なお、ここでいう土圧とは、特に断らない限り水圧を含めた値をいう。９８１リングの測定値のE-1、E-4の２点は絶縁不良のため途中で計測不能となった。そのため、これらの測定点については以下のような考えに基づいて参考値として使用することとした。

・E-1の場合：E-2とE-8の平均値をもとに土被り分（0.73m×1.6tf/m^3=1.2tf/m2=0.12kgf/cm^2)を補正する。

E-1=(E-2+E-8)/2-0.12　(kgf/cm^2)

・E-4の場合：E-3とE-5の平均値を用いる。

E-4=(E-3+E-5)/2　(kgf/cm^2)

また、計測開始１０ヶ月後～２４ヶ月後の間はスキャナーの性能劣化と思われる測定値のバラツキが見られたため、変動の激しいデータの１１ヶ月目（93/2/10)のE-1～E-16、２２ヶ月～２４ヶ月目（94/1/31,2/28,3/23)のE-8の測定結果は異常値として扱い、以降の考察等には用いないこととした。

図－2．15(1)～(2)から両計測リングともに、計測開始直後は約４．８～５．５kgf/cm^{2}程度まで急激な上昇があり、その後緩やかに減少する傾向にある。また、各計測リングのセグメント組立直後から、主要な時期の断面分布図をそれぞれ図－2．16(1)～(3)、図－2．17(1)～(3)に示す。計測直後の圧力の上昇は、裏込め注入圧による上昇と考えられ、その値としては施工管理の状況で示したように計測リング付近の裏込め注入の値の約4kgf/cm^{2}と同程度もしくは若干高い値であるが比較的よく一致している。測定値の変化は、一部の測定値を除き概ね６～１２ヶ月程度で収束の傾向を示している。

また、天端に作用する土圧結果は、表－2．5に示すように全土被り土圧に対して約１０４％～５５％の値となっていることが分かる。

表－2．5 トンネル天端に作用する土水圧

計測日時	経過時間	９８１リング	比率	１００３リング	比率	備考
92/ 4/11or15	約1日	5.00 kgf/cm^2	104%	4.55 kgf/cm^2	93%	981ﾘﾝｸﾞの全土被り荷重は4.79kgf/cm^2 1003ﾘﾝｸﾞの全土被り荷重は4.90kgf/cm^2
92/ 5/10	約1ヶ月	4.30	90	2.81	57	
92/10/ 9	約6ヶ月	3.77	79	2.80	57	
93/ 3/24	約１２ヶ月	3.49	73	2.88	59	
93/12/30	約２１ヶ月	2.95[1)]	62	2.85	58	
95/ 1/11	約３３ヶ月	3.04[1)]	63	2.76	56	
95/12/ 6	約４３ヶ月	3.14[1)]	66	2.71	55	

凡例：1)絶縁不良による欠測のため周辺土圧値（E-2,E-8)から推定した値である。

次に計測位置による作用土水圧の相違について検討する。９８１リングと１００３リングの違いは、１００３リングが堤体直下であり、設計時の鉛直荷重は現地盤位置でそれぞれ４．７９、４．９０kgf/cm²と両計測リングの差は約０．１kgf/cm²が見込まれている。いま、各計測リングの上下２点の平均値を用いて整理すると表－２．６のようになり、傾向としては堤体直下が若干高くなる。

表－２．６　計測位置の相違による土圧計測値の比較

計測日時		９８１リング	１００３リング
93/ 3/24 (12ヶ月後)	天端位置	3.49 kgf/cm²	2.88 kgf/cm²
	下端位置	3.78	4.69
	平均値	3.64	3.78
	荷重差	0.14	
93/12/30 (21ヶ月後)	天端位置	2.95 kgf/cm²	2.85 kgf/cm²
	下端位置	3.93	4.99
	平均値	3.44	3.92
	荷重差	0.48	
95/ 1/11 (32ヶ月後)	天端位置	3.04 kgf/cm²	2.76 kgf/cm²
	下端位置	4.33	5.11
	平均値	3.69	3.93
	荷重差	0.24	
95/12/ 6 (43ヶ月後)	天端位置	3.14 kgf/cm²	2.71 kgf/cm²
	下端位置	4.51	5.05
	平均値	3.83	3.88
	荷重差	0.05	

２．３．２水圧計

図－２．１８に水圧の経時変化を、主要な時期の断面分布図を図－２．１９(1)～(2)示す。なお、１０ヶ月から１９ヶ月の間はスキャナーの性能劣化によると思われる測定値のバラツキが見られる部分があったため、この期間中の１１ヶ月～１２ヶ月目（93/2/10,3/24)の水圧計NO.1の測定結果は異常値として扱い以降の考察等には用いないこととした。

図－２．１８から、測定値の経時的な変化は、土圧計とほぼ同様な傾向を示していることが分かる。すなわち、計測開始当初に裏込め注入の圧力により高い値から次第に減少している。土圧の測定結果に比べて急激に減少しており、安定するまで時間が短期間であることが分かった。

水圧の断面分布形状は、図－２．１９(1)～(2)に示すように、値がほぼ安定するまでの計測初期の圧力上昇時を除き地盤調査結果等に基づき想定される地下水位面からの理論値での静水圧分布とよく一致していることが分かる。したがって、本地盤条件と同程度であれば、地下水位から求められる静水圧がトンネルに作用することが分かった。

2．3．3円周方向鉄筋計

図－2．20(1)～(3)にセグメント内の主鉄筋に配置した鉄筋計の応力測定結果を示す。また、主要な時期の鉄筋応力の断面分布図を図－2．21(1)～(3)に示す。

シールド施工後約43ヶ月時点の鉄筋に発生している応力度の最大値は、引張りで300kgf/cm²、圧縮で1，700kgf/cm²程度となっている。全体的な傾向として圧縮成分の割合が大きくなっている。特に内縁側の鉄筋は、セグメント組立直後に約500kgf/cm²の圧縮を受けて、これを起点として応力度の増加が生じている。このため、全体的に圧縮成分が大きい状態となっている。鉄筋計の経時的な変化は、緩やかであるが、約24ヶ月程度まで徐々に増加の傾向にあったが、その後ほぼ一定値に収束している傾向にある。

鉄筋計は全22点の内I-1および0-1の2点が92/11/10の時点で絶縁不良により計測不可となっている。このため、両点のデータの取り扱いは絶縁不良前のほぼ安定している下記の値（92/11/6　16:00)を用いた。

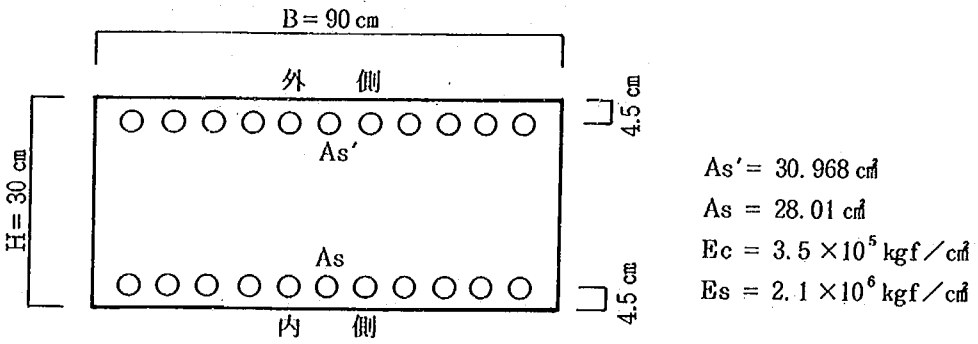
・I-1：絶縁不良となった以降は-93kgf/cm²として取り扱う

・0-1：絶縁不良となった以降は-93kgf/cm²として取り扱う

2．3．4覆工体に発生する断面力

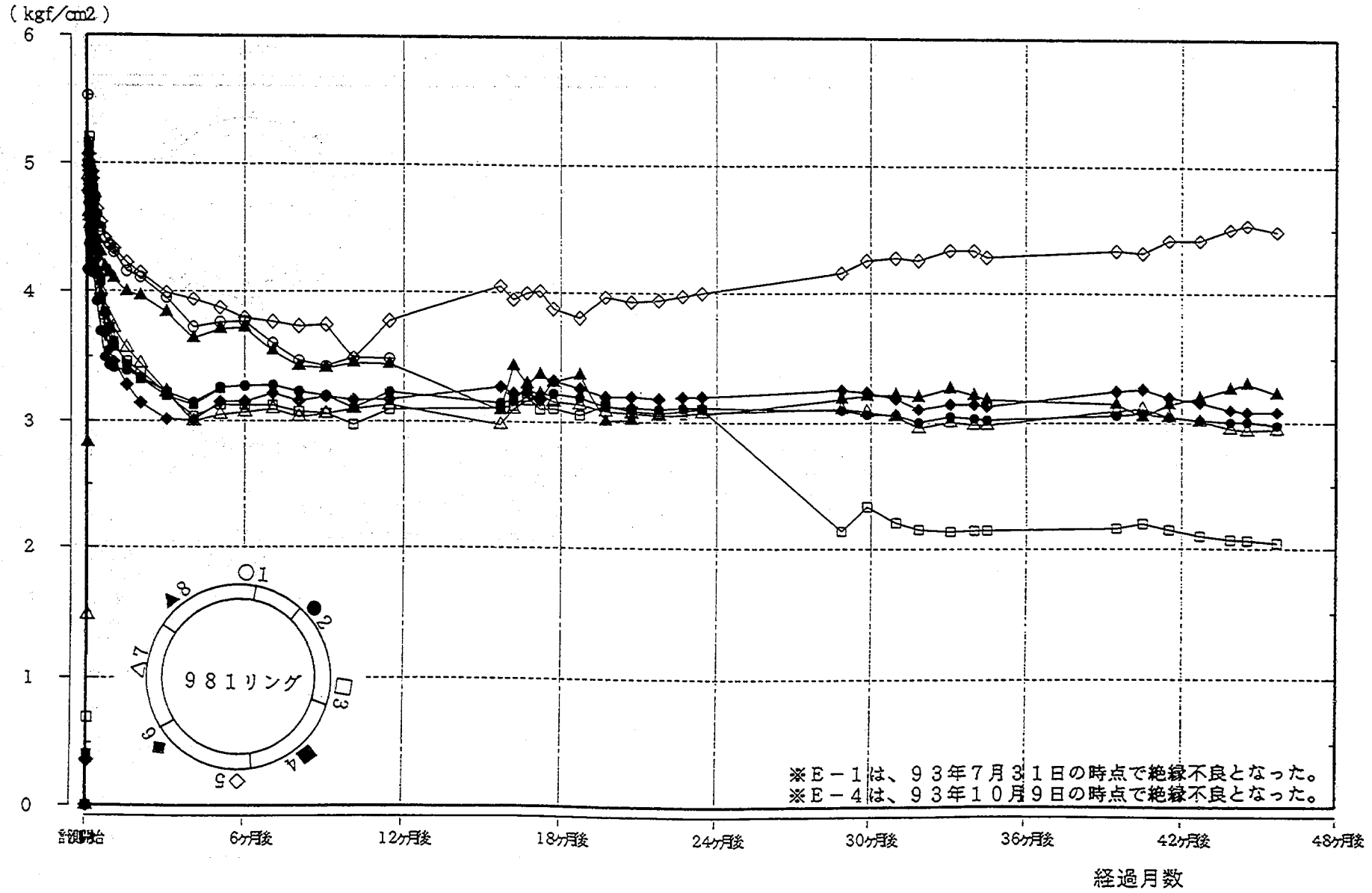
鉄筋計の測定値より算出した各点の曲げモーメントの経時変化を図－2．22に示す。また、主要な時期の曲げモーメントの断面分布図を図2．23(1)～(3)に示す。

曲げモーメントはセグメントの断面形状が図－2．24に示すとおりであり、この断面を用いてコンクリートの引張り応力を無視し、コンクリートの弾性係数を3．5×10⁵kgf/cm²として計算した。

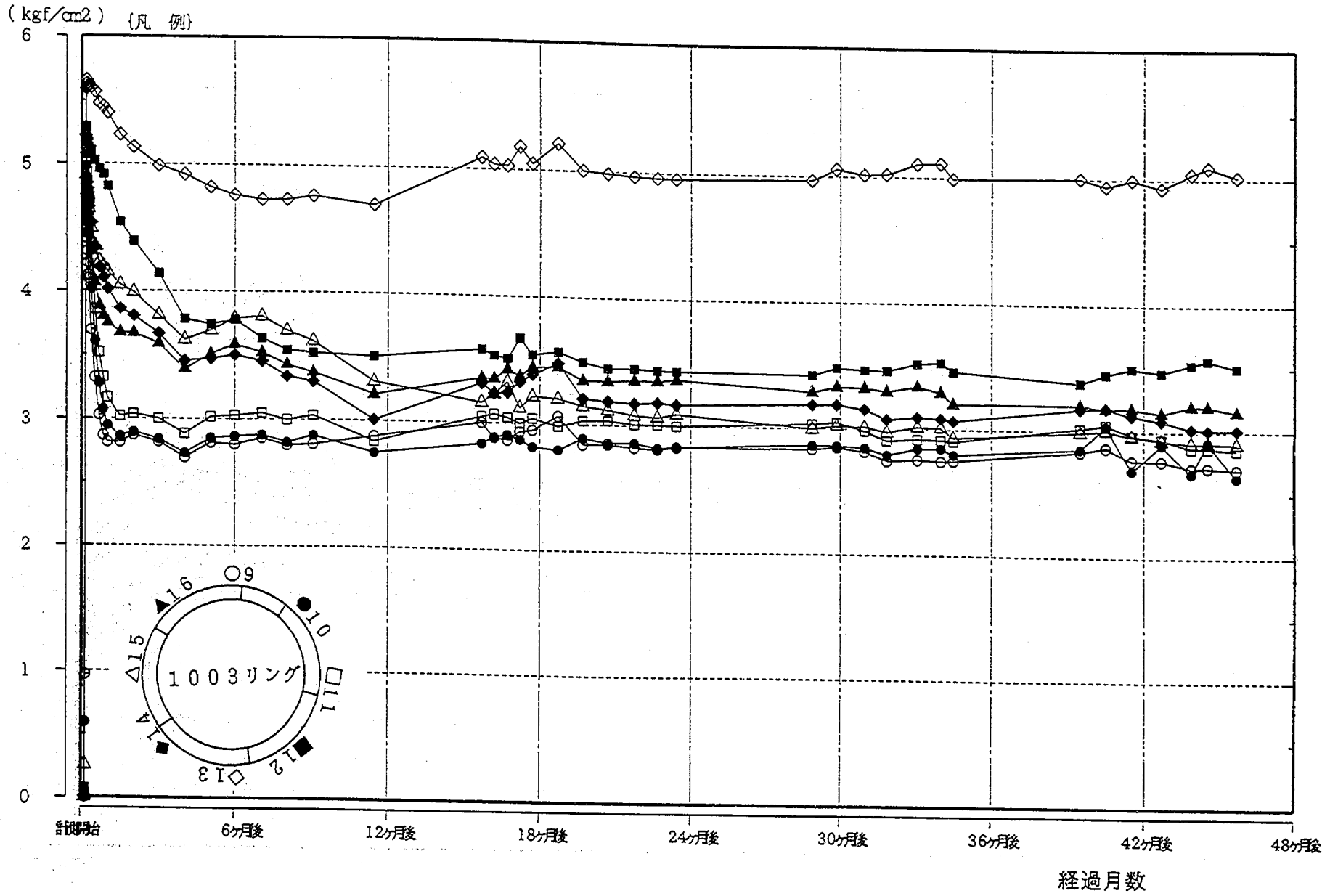


図－2．24 セグメントの断面形状

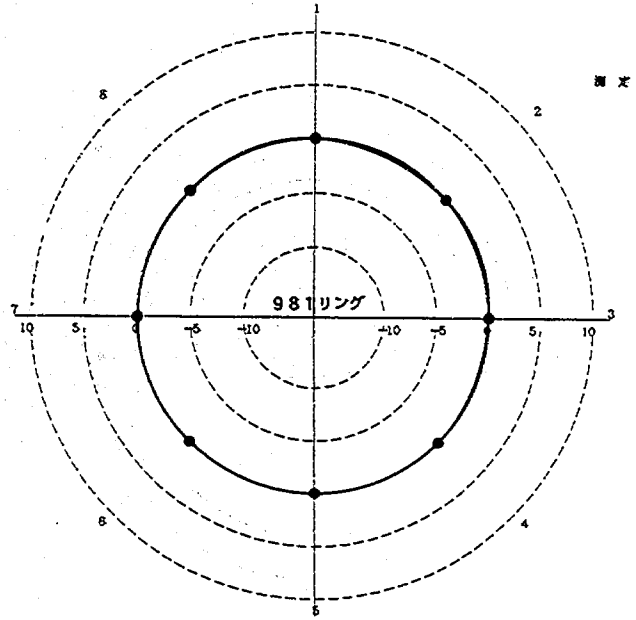
鉄筋計が安定しているシールド施工後、約43ヶ月時点での最大の曲げモーメントが発生する点は、正曲げがトンネル下端位置（鉄筋計NO.6）で約32tf•m、負曲げが右側壁位置（鉄筋計NO.8）で約18tf•mである。曲げモーメントは計測リング組立後約1ヶ月まで大きく増加する傾向にあり、その後緩やかに増加して約2年程度でほぼ安定していることが分かる。経時的な最大値は30ヶ月経過時の正曲げが32．5tf•m、負曲げが18．2tf•mである。曲げモーメントの発生状況は全体的に正曲げの状態が多く全11点中の7点（比率として64％）が正曲げとなっている。最大値で比較すると正曲げの値が負曲げの約1．8倍となっている。この曲げモーメントの発生は計測リングがシールドマシンテール部を脱出した直後に全周正曲げの状態となり、その後、徐々に通常のトンネルの正負の曲げモーメント分布へと移行している状況である。



図－2.15(1) 土圧計の経時変化図（981リング）



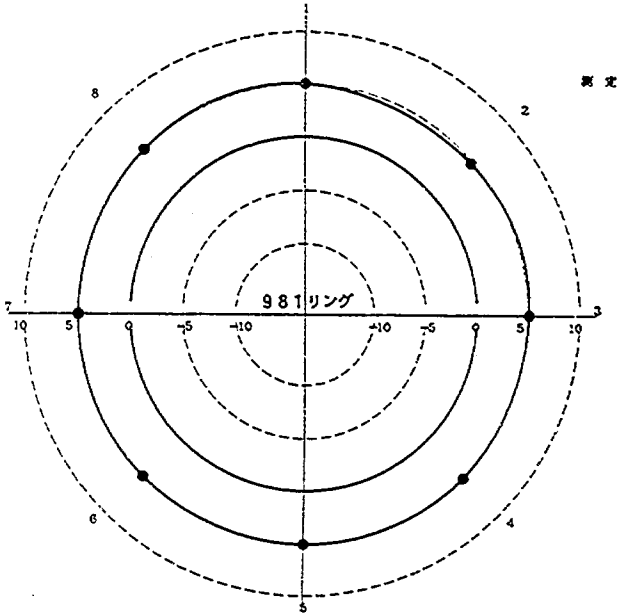
図－2.15(2) 土圧計の経時変化図（1003リング）



測定観測日：[1992年 4月10日23時 0分]
(組立直後)

● 土圧 0Kgf/cm2

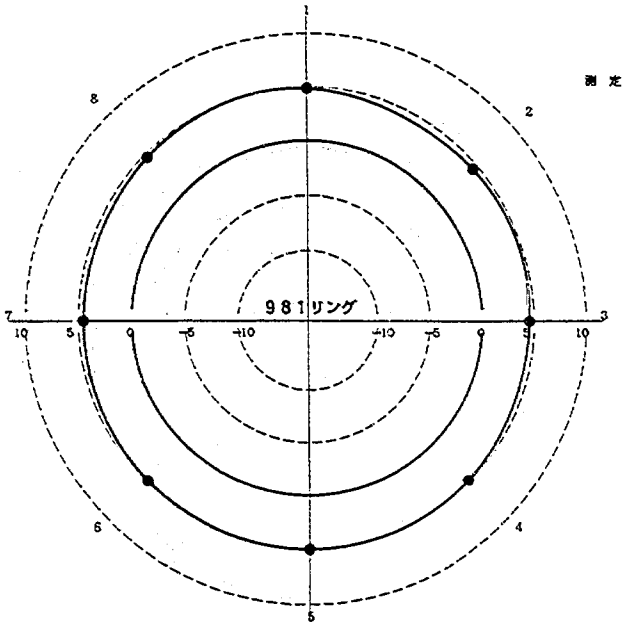
E－1 : -.00189
E－2 : 0
E－3 : 0
E－4 : 0
E－5 : 0
E－6 : 0
E－7 : 0
E－8 : 0



測定観測日：[1992年 4月11日22時 0分]
(1日後)

● 土圧 0Kgf/cm2

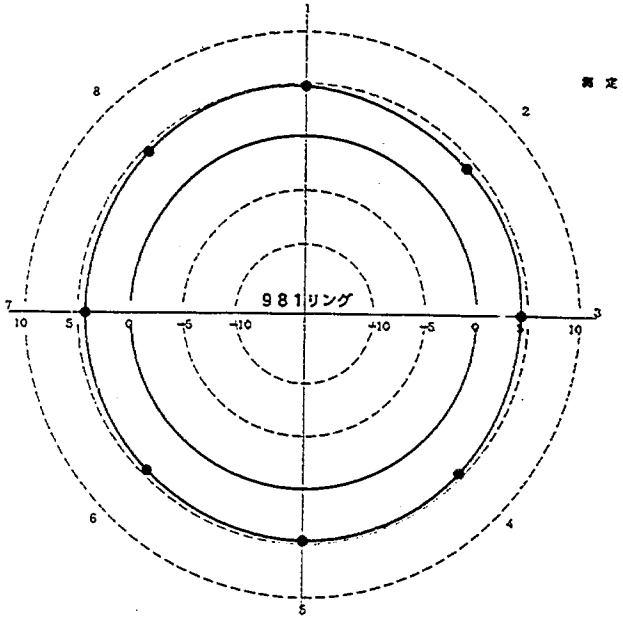
E－1 : 5.00471
E－2 : 4.77944
E－3 : 5.06454
E－4 : 5.0616
E－5 : 5.0072
E－6 : 5.01533
E－7 : 4.90587
E－8 : 5.03684



測定観測日：[1992年 4月14日22時 0分]
(3日後)

● 土圧 0Kgf/cm2

E－1 : 4.81571
E－2 : 4.4694
E－3 : 4.53521
E－4 : 4.8564
E－5 : 4.92449
E－6 : 4.84109
E－7 : 4.53348
E－8 : 4.67414

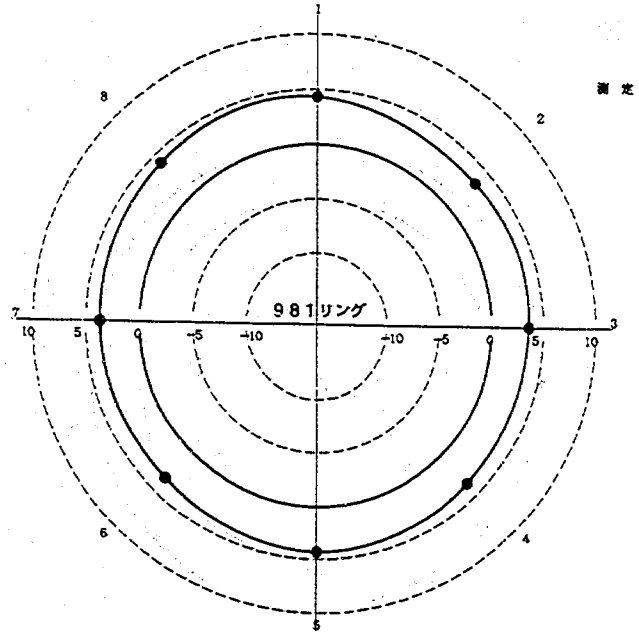


測定観測日：[1992年 4月17日22時 0分]
(1週間後)

● 土圧 0Kgf/cm2

E－1 : 4.72121
E－2 : 4.13985
E－3 : 4.32029
E－4 : 4.6322
E－5 : 4.73756
E－6 : 4.50054
E－7 : 4.28632
E－8 : 4.5123

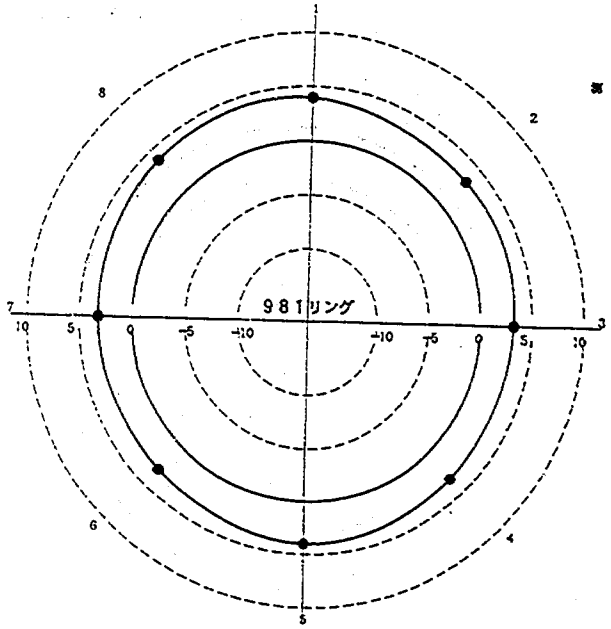
図－2.16(1) 土圧計の断面分布図（981リング）



測定観測日：[1992年 5月10日22時 0分]
(1ヶ月後)

● 土圧 0Kgf/cm2

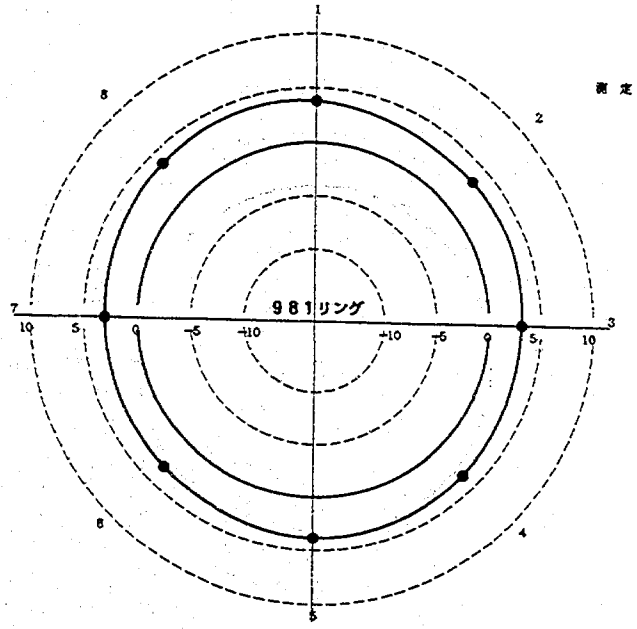
E－1：4.29786
E－2：3.4086
E－3：3.582
E－4：3.6176
E－5：4.32753
E－6：3.45906
E－7：3.724
E－8：4.09695



測定観測日：[1992年 7月10日20時 0分]
(3ヶ月後)

● 土圧 0Kgf/cm2

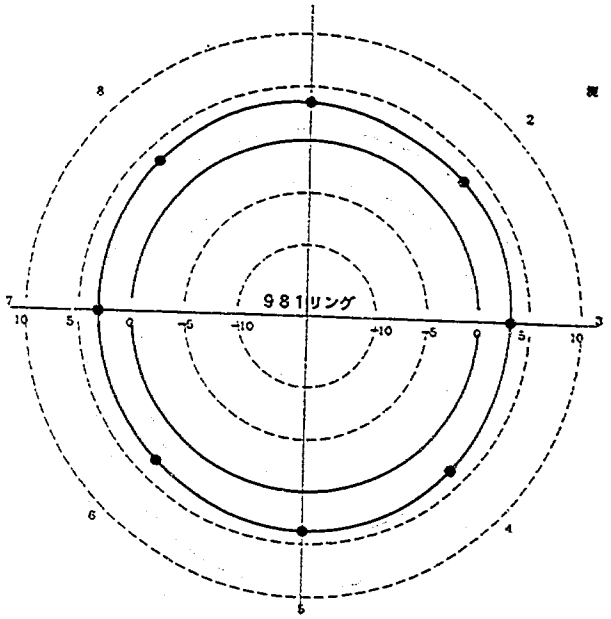
E－1：3.9501
E－2：3.22725
E－3：3.21584
E－4：3.1996
E－5：3.98985
E－6：3.01554
E－7：3.22616
E－8：3.6376



測定観測日：[1992年10月 9日11時 0分]
(6ヶ月後)

● 土圧 0Kgf/cm2

E－1：3.77244
E－2：3.27405
E－3：3.12828
E－4：3.46258（予備値）
E－5：3.79689
E－6：3.15612
E－7：3.07132
E－8：3.72545

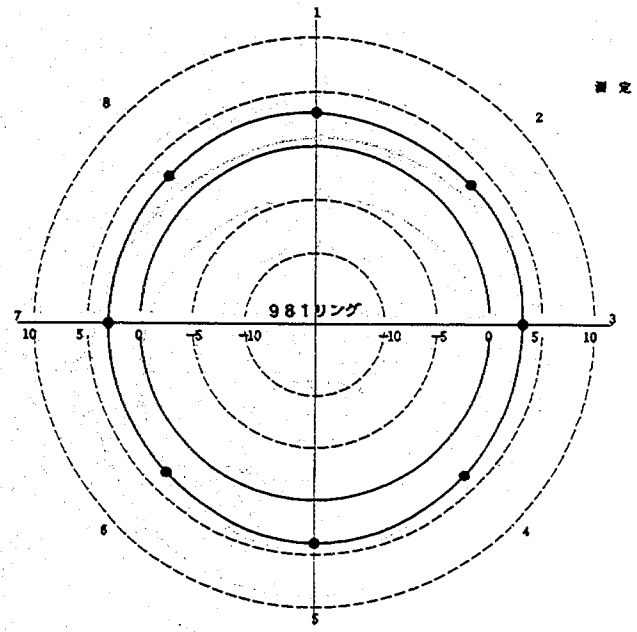


測定観測日：[1993年 3月24日10時 0分]
(12ヶ月後)

● 土圧 0Kgf/cm2

E－1：3.45705
E－2：3.2292
E－3：3.09644
E－4：3.43661（予備値）
E－5：3.77679
E－6：3.17394
E－7：3.13208
E－8：3.44175

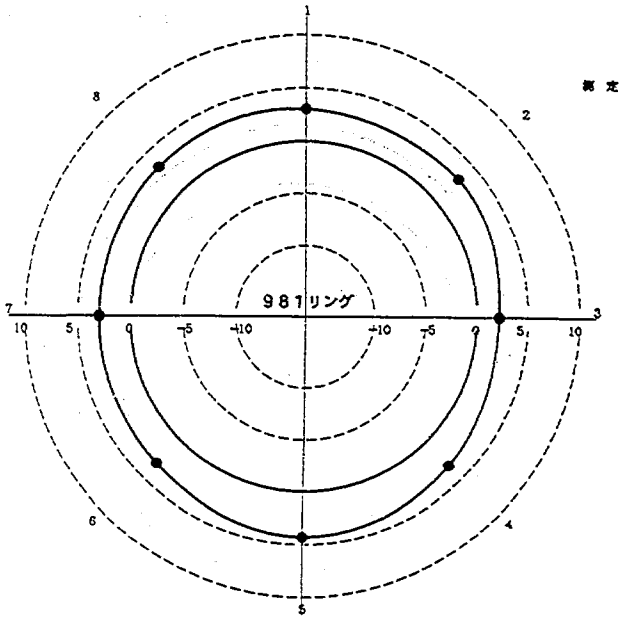
図－2.16(2) 土圧計の断面分布図（981リング）



測定観測日：[1993年12月30日12時 0分]
(21ヶ月後)

● 土圧 (Kgf/cm2)

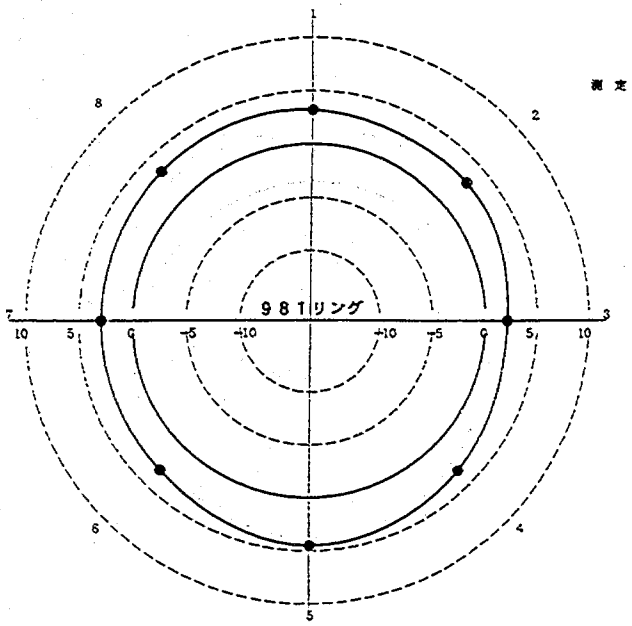
E－1：3.06832(予想値)
E－2：3.11805
E－3：3.09047
E－4：3.51001(予想値)
E－5：3.92955
E－6：3.20364
E－7：3.07328
E－8：3.0186



測定観測日：[1995年 2月23日14時 0分]
(34ヶ月後)

● 土圧 (Kgf/cm2)

E－1：2.9883 (予想値)
E－2：3.02835
E－3：2.15119
E－4：3.21524(予想値)
E－5：4.27529
E－6：3.13632
E－7：2.98508
E－8：3.18825

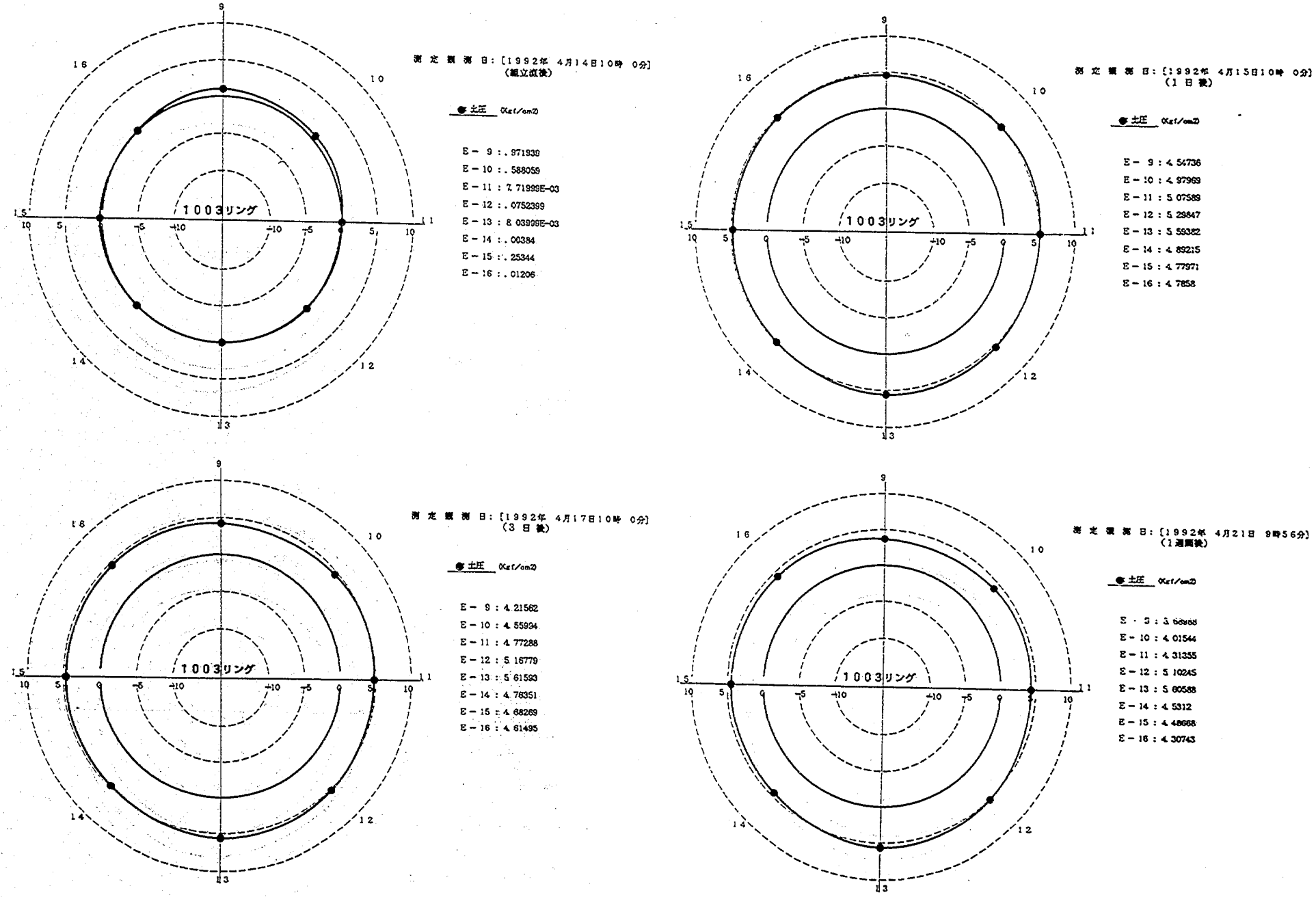


測定観測日：[1995年12月 6日10時30分]
(43ヶ月後)

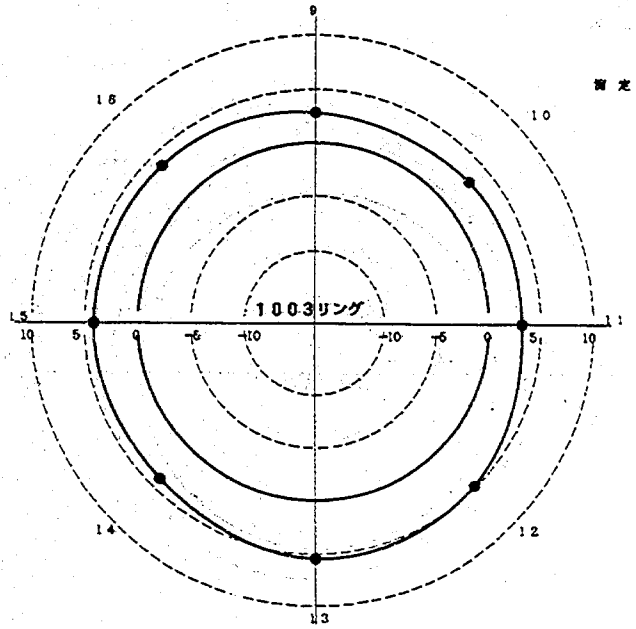
● 土圧 (Kgf/cm2)

E－1：3.13657(予想値)
E－2：3.00495
E－3：2.0696
E－4：3.23801(予想値)
E－5：4.50642
E－6：3.10266
E－7：2.95176
E－8：3.2682

図－2.16(3) 土圧計の断面分布図（981リング）



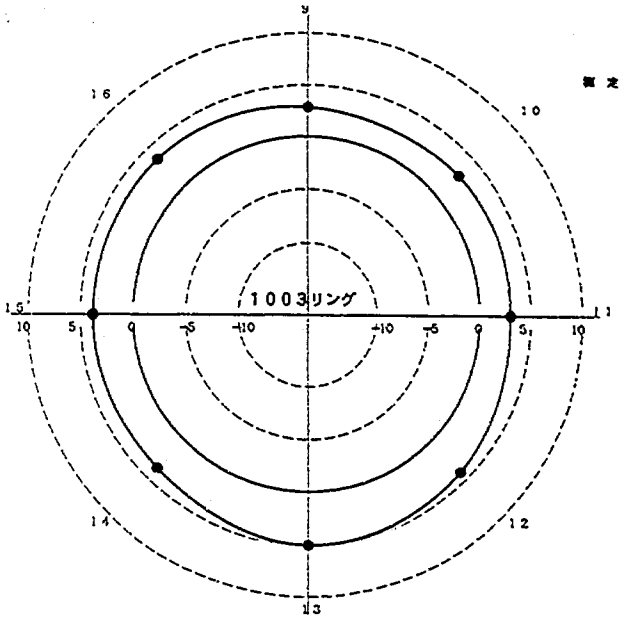
図－2.17(1) 土圧計の断面分布図（１００３リング）



測定観測日：[1992年 5月10日22時 0分]
(1ヶ月後)

土圧 (Kgf/cm2)

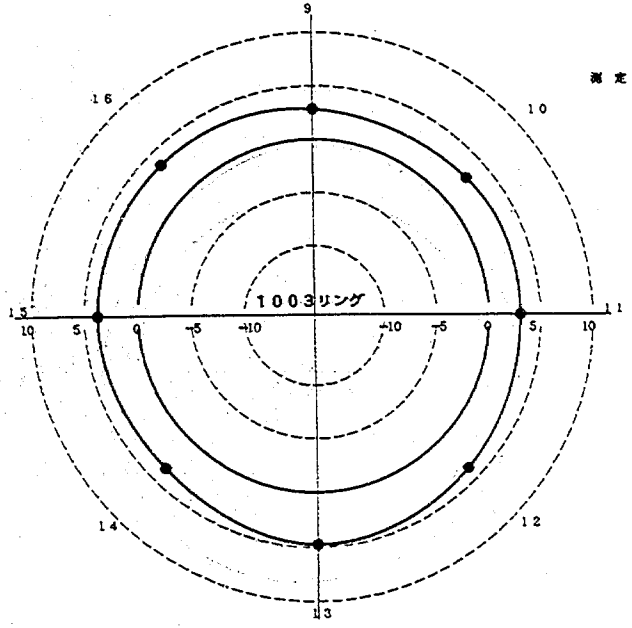
E－ 9：2.81494
E－10：2.94822
E－11：3.18134
E－12：4.82327
E－13：5.40689
E－14：4.01472
E－15：4.1431
E－16：3.74664



測定観測日：[1992年 7月10日20時 0分]
(3ヶ月後)

土圧 (Kgf/cm2)

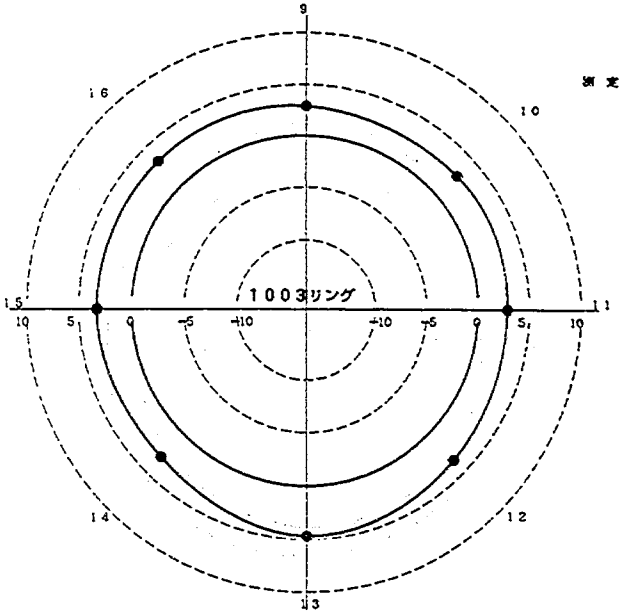
E－ 9：2.81882
E－10：2.83932
E－11：3.00115
E－12：4.1382
E－13：4.98881
E－14：3.66336
E－15：3.80952
E－16：3.58584



測定観測日：[1992年10月 9日11時 0分]
(6ヶ月後)

土圧 (Kgf/cm2)

E－ 9：2.79942
E－10：2.86308
E－11：3.02817
E－12：3.77586
E－13：4.75766
E－14：3.50016
E－15：3.78576
E－16：3.58383

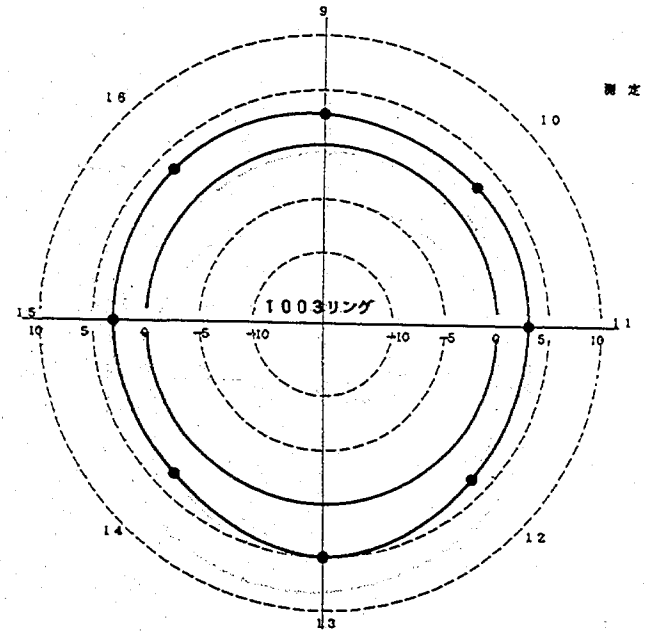


測定観測日：[1993年 3月24日0時 0分]
(12ヶ月後)

土圧 (Kgf/cm2)

E－ 9：2.87702
E－10：2.74824
E－11：2.8371
E－12：3.5046
E－13：4.69335
E－14：3.00864
E－15：3.30264
E－16：3.20394

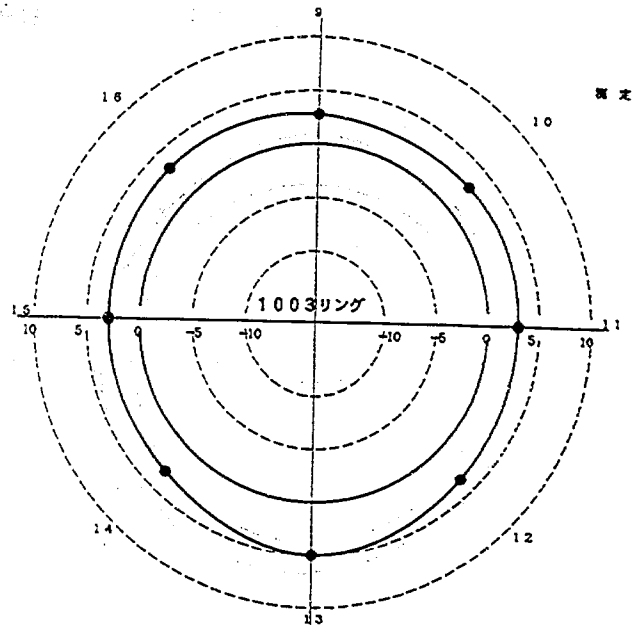
図－2.17(2) 土圧計の断面分布図（1003リング）



測定年月日：[1994年 3月23日12時 0分]
(24ヶ月後)

● 土圧 (Kgf/cm2)

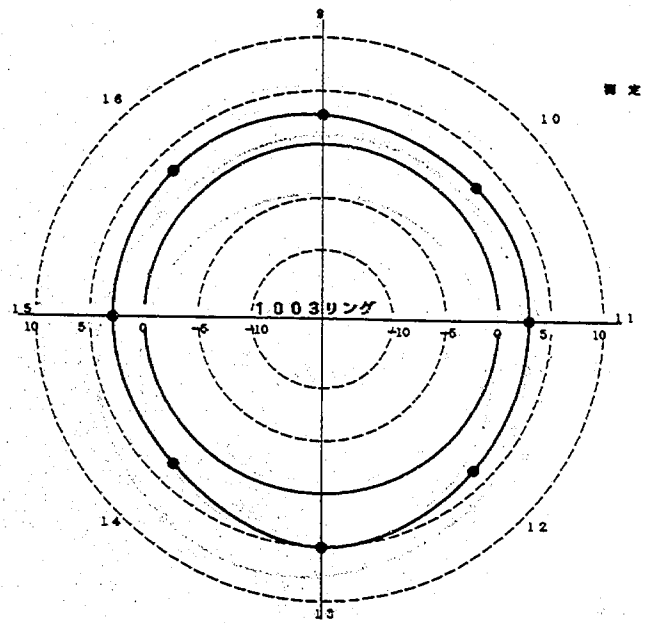
E－ 9 : 2.8324
E－10 : 2.83932
E－11 : 3.00308
E－12 : 3.43134
E－13 : 4.95685
E－14 : 3.17376
E－15 : 3.0987
E－16 : 3.38273



測定年月日：[1995年 2月23日14時 0分]
(34ヶ月後)

● 土圧 (Kgf/cm2)

E－ 9 : 2.75092
E－10 : 2.8017
E－11 : 2.90658
E－12 : 3.45906
E－13 : 4.98283
E－14 : 3.072
E－15 : 2.93436
E－16 : 3.20796

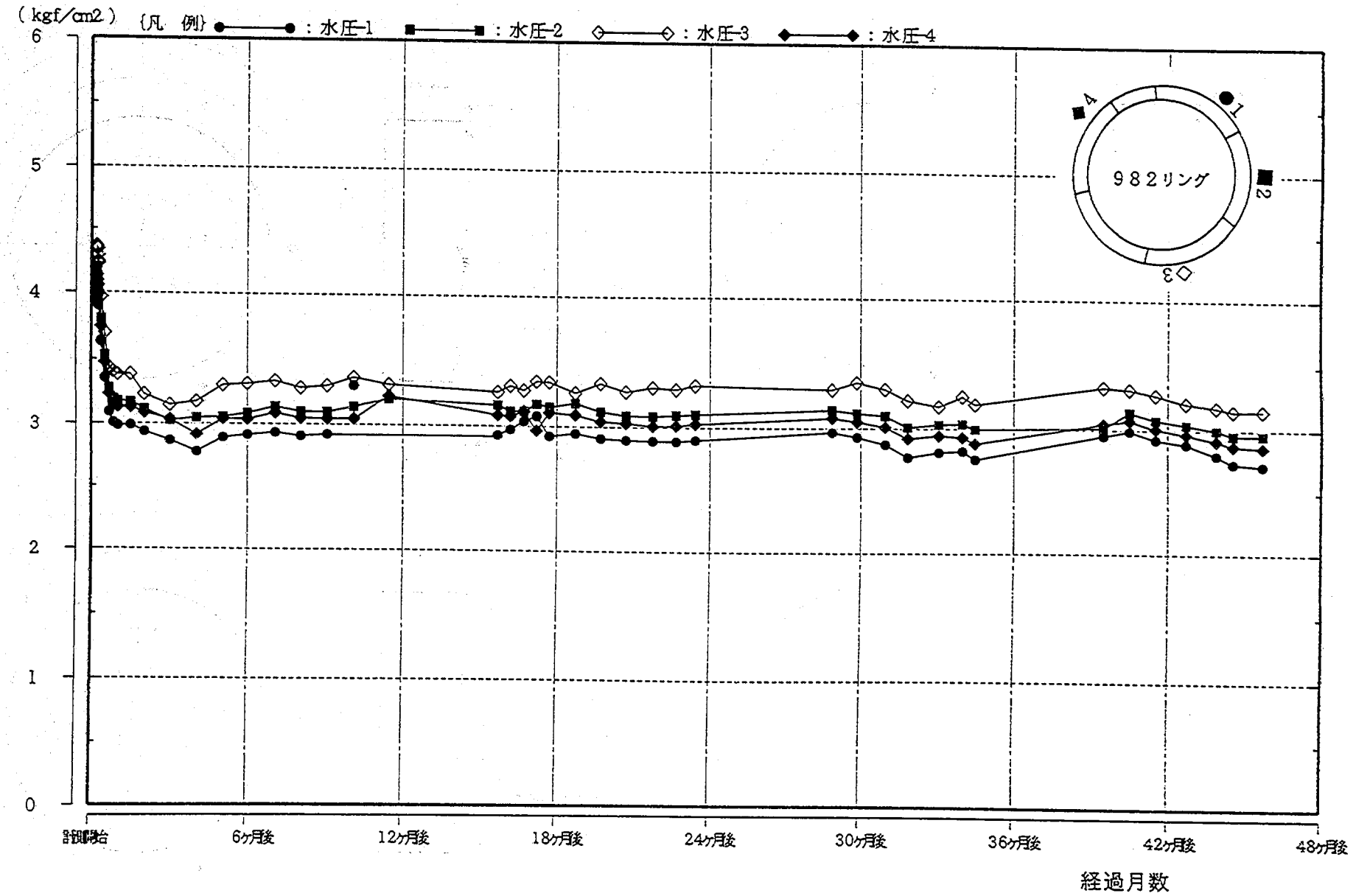


測定年月日：[1995年12月 6日10時30分]
(43ヶ月後)

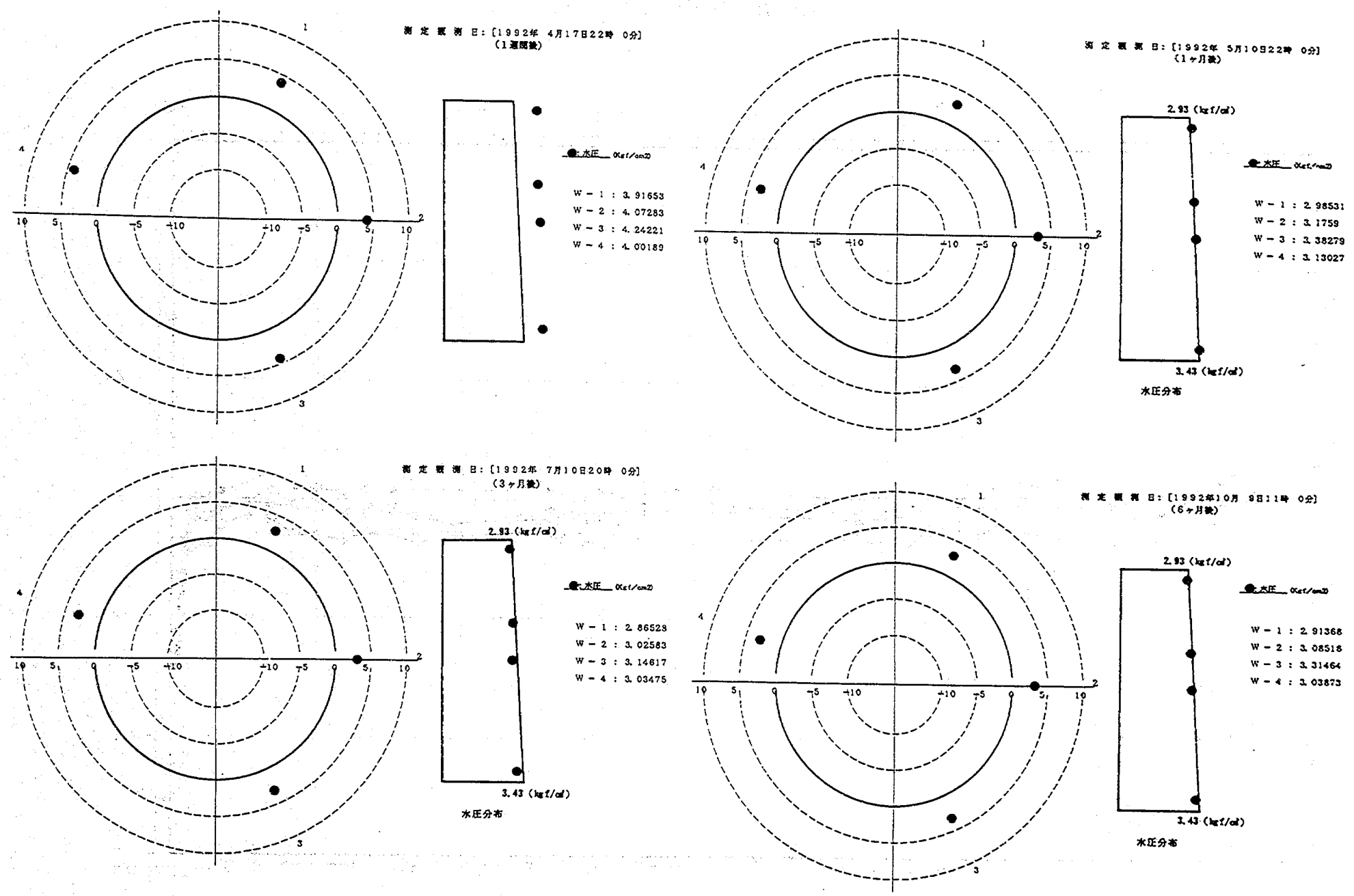
● 土圧 (Kgf/cm2)

E－ 9 : 2.71406
E－10 : 2.66904
E－11 : 2.87377
E－12 : 3.5343
E－13 : 5.04711
E－14 : 3.02784
E－15 : 2.9106
E－16 : 3.20796

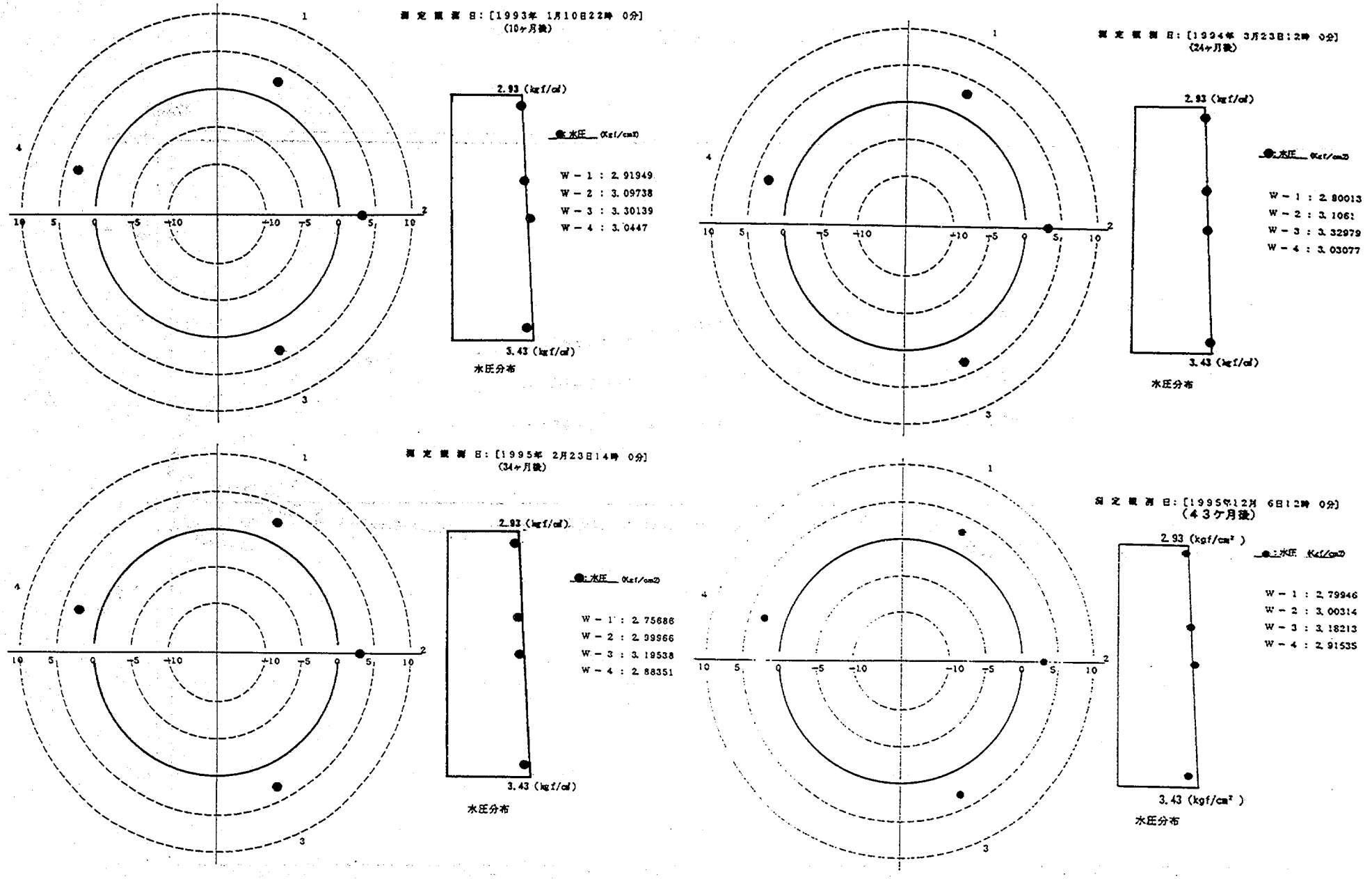
図－2.17(3) 土圧計の断面分布図（1003リング）



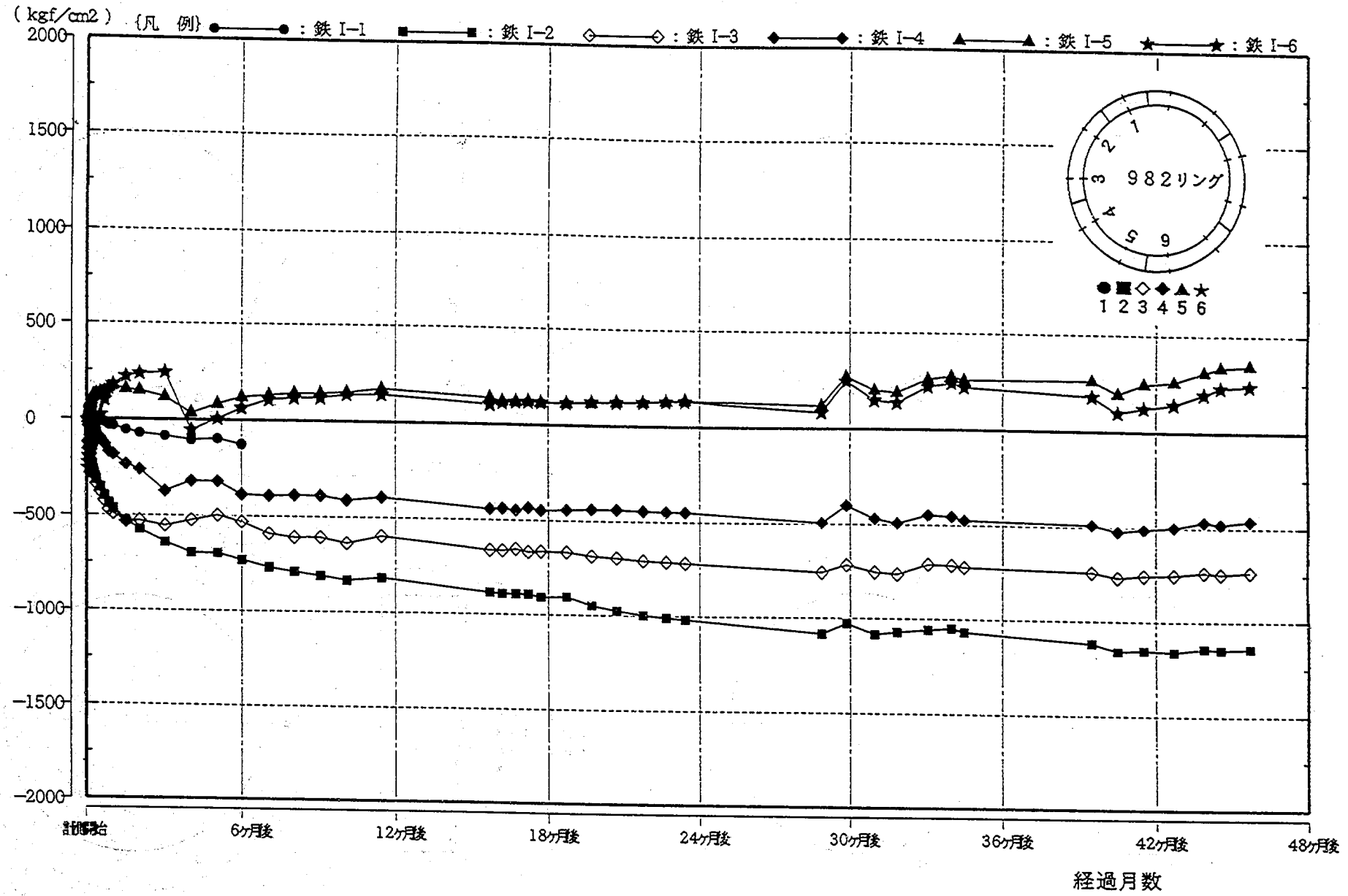
図－2.18 水圧計の経時変化図



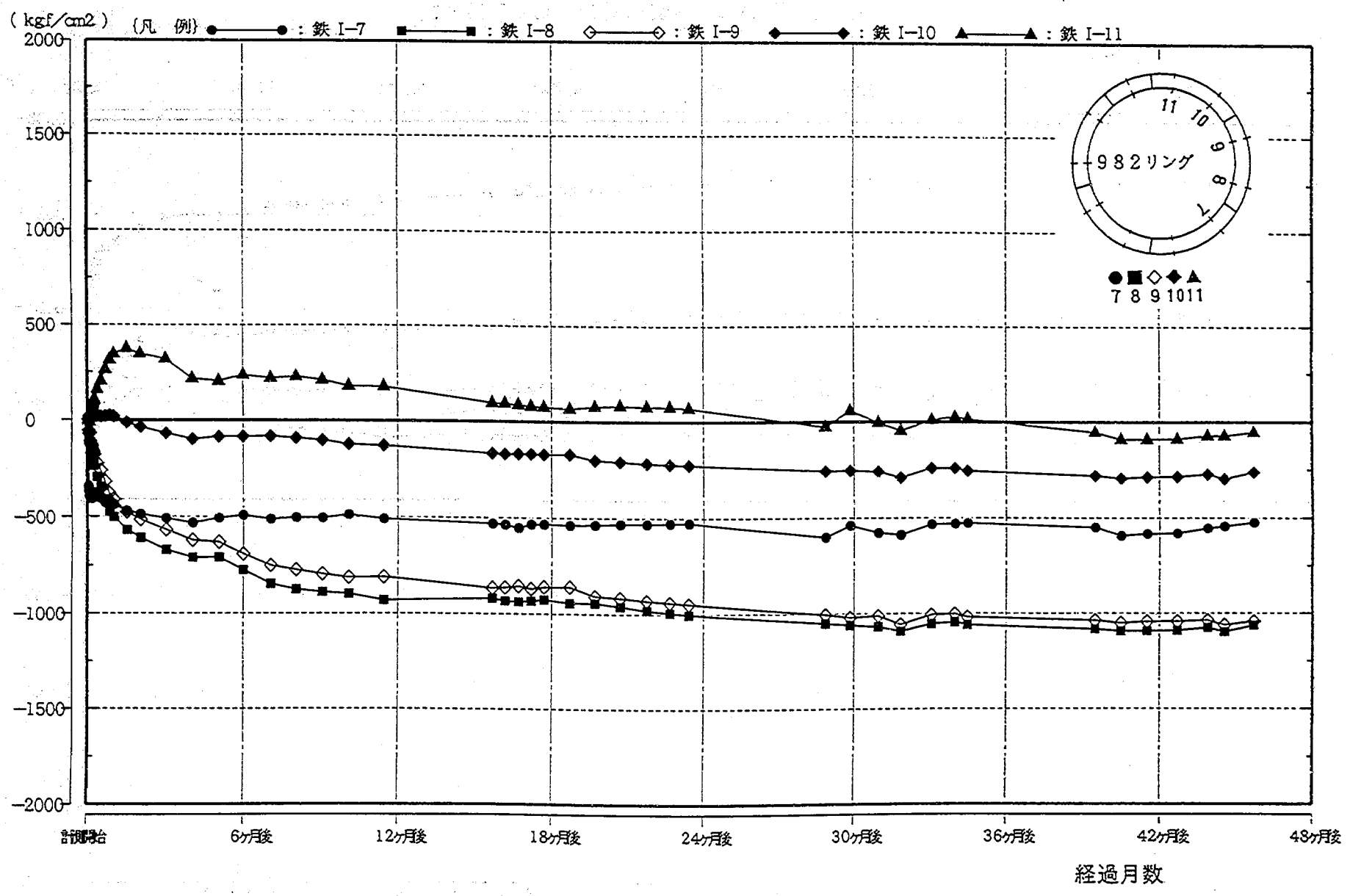
図－2.19(1) 水圧計の断面分布図



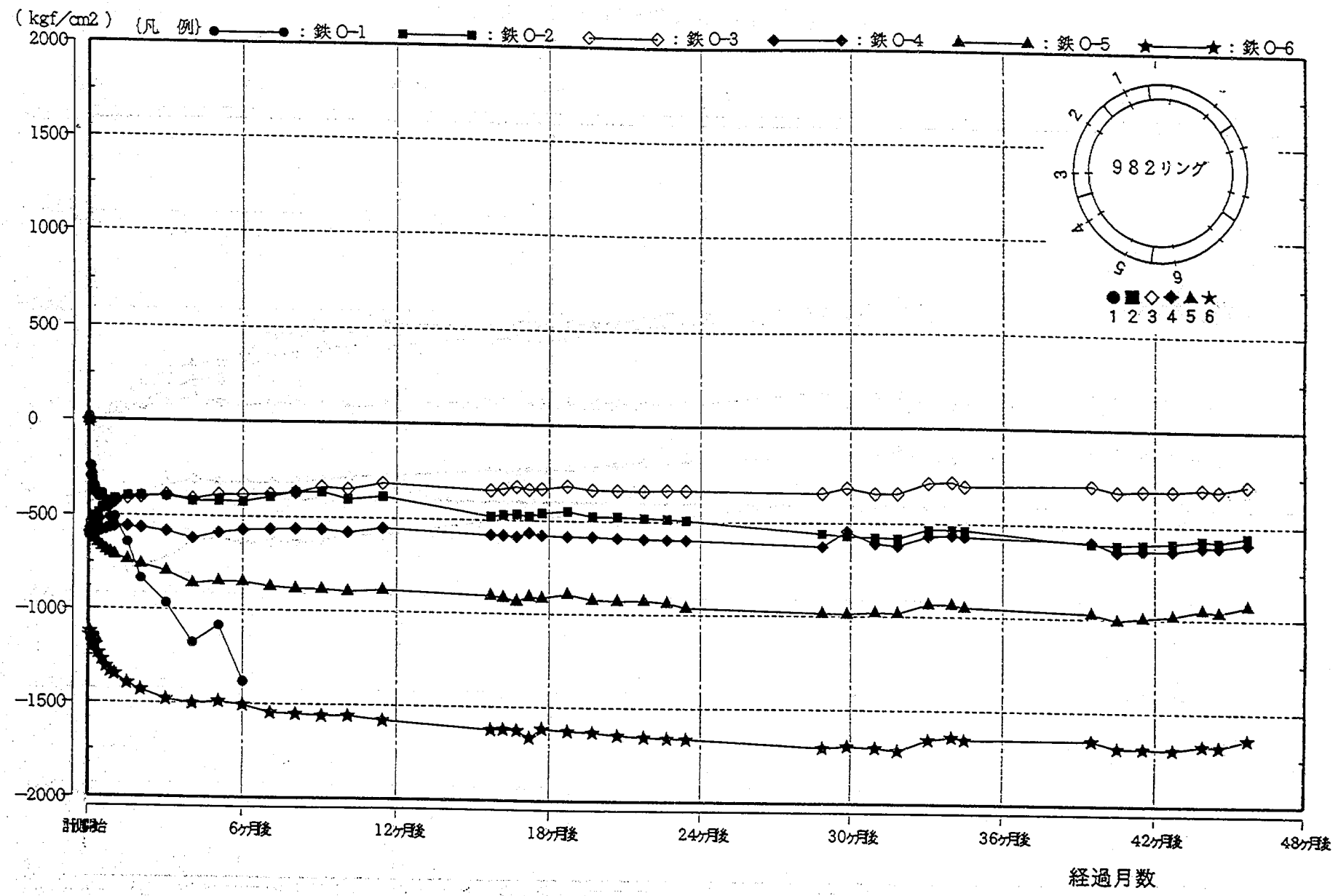
図－2.19(2) 水圧計の断面分布図



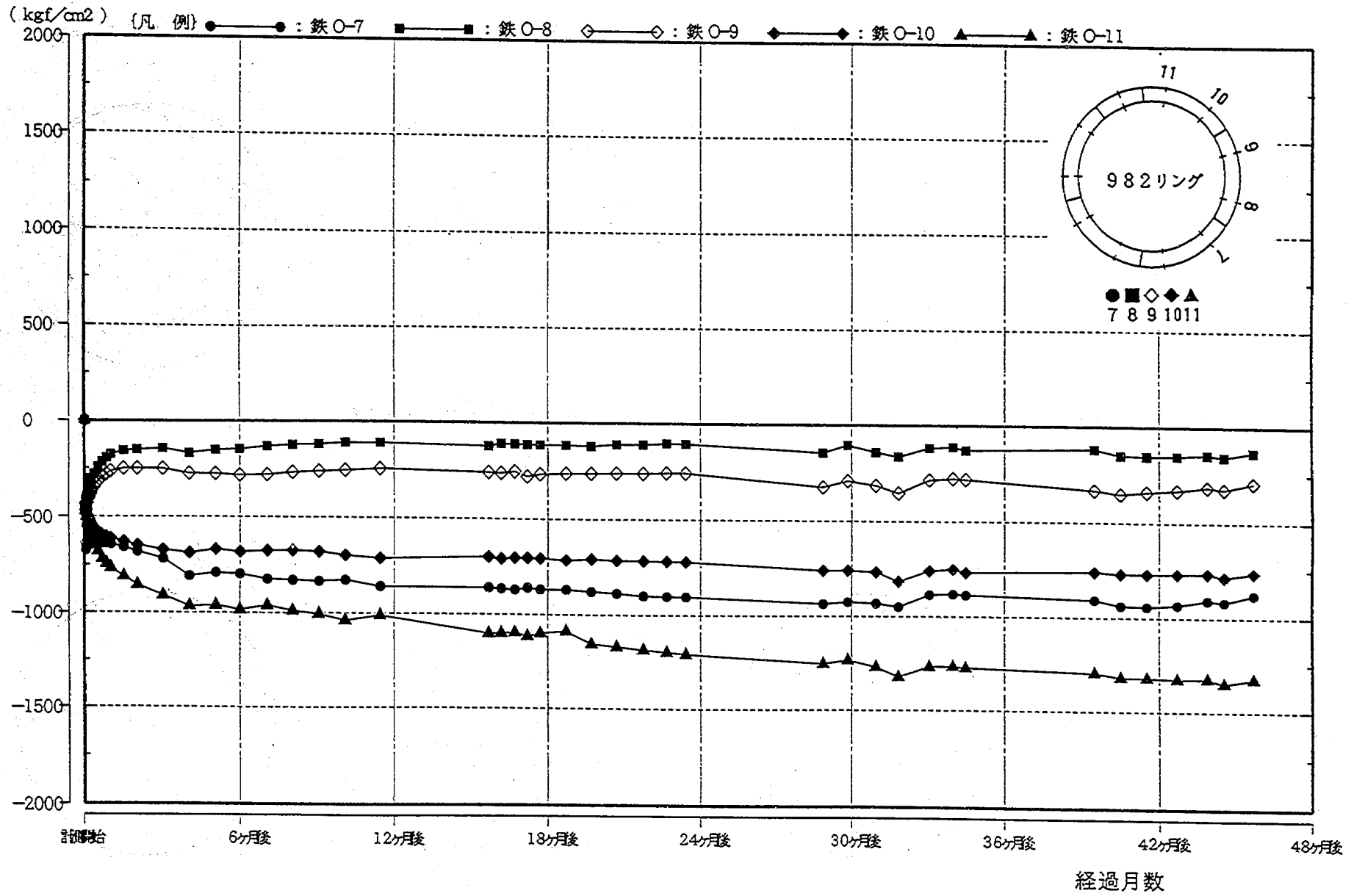
図－2.20(1) 円周方向鉄筋計の経時変化図（内側）



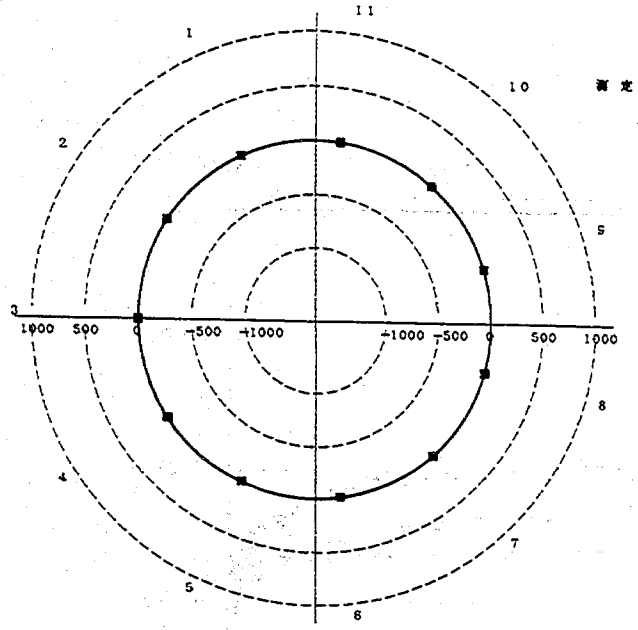
図－2.20(2) 円周方向鉄筋計の経時変化図（内側）



図－2.20(3) 円周方向鉄筋計の経時変化図（外側）

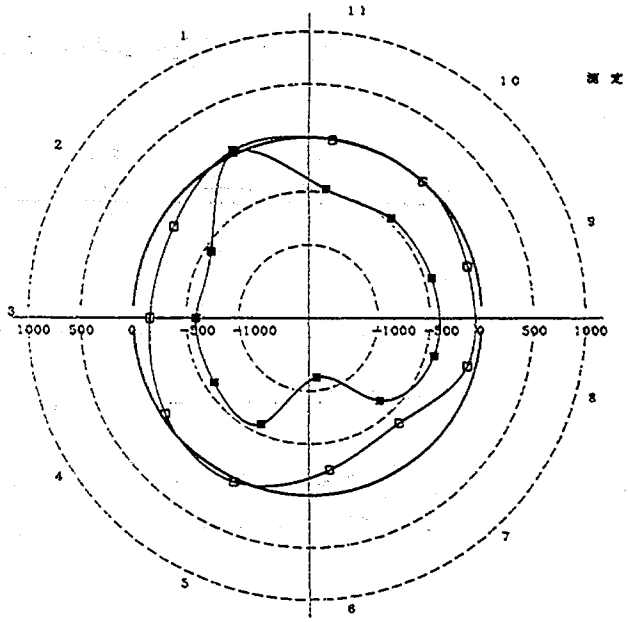


図－2.20(4) 円周方向鉄筋計の経時変化図（外側）



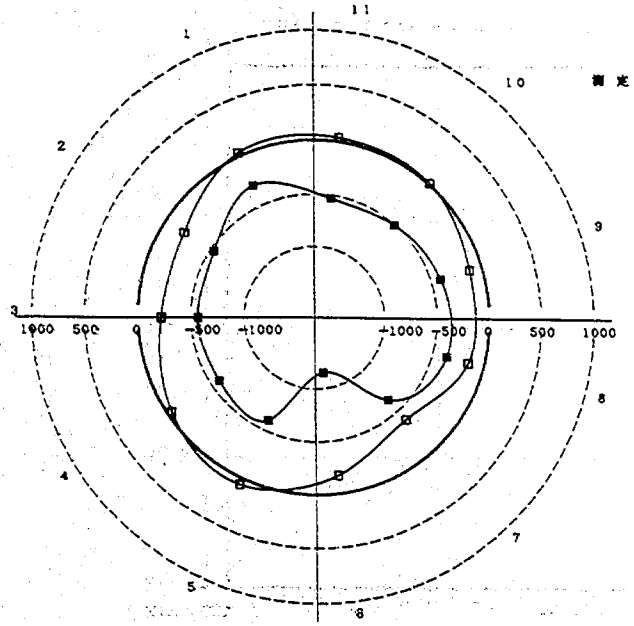
測定観測日:[1992年 4月11日 2時28分]
(組立直後)

□内側 (Kgf/cm2)	■外側 (Kgf/cm2)
I − 1 : 1.34	O − 1 : 16.8
I − 2 : 2.68	O − 2 : 0
I − 3 :−.67	O − 3 : 2.68
I − 4 :−2.68	O − 4 :−4.02
I − 5 :−4.02	O − 5 :−4.02
I − 6 :−4.02	O − 6 :−8.71
I − 7 :−2.01	O − 7 : .67
I − 8 : 1.34	O − 8 : 0
I − 9 : 1.34	O − 9 : 0
I − 10:−.67	O − 10: 3.35
I − 11:−.67	O − 11: 2.68



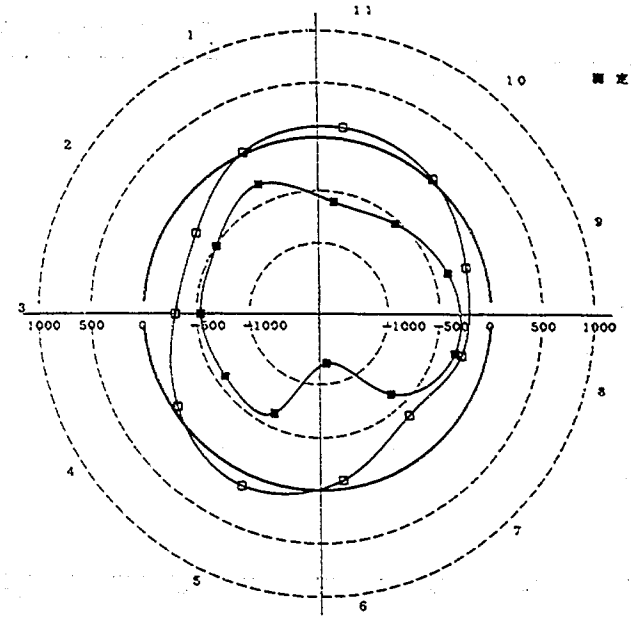
測定観測日:[1992年 4月12日 3時 0分]
(1日後)

□内側 (Kgf/cm2)	■外側 (Kgf/cm2)
I − 1 : 36.85	O − 1 :−300.3
I − 2 :−139.36	O − 2 :−558.78
I − 3 :−158.12	O − 3 :−592.95
I − 4 :−39.53	O − 4 :−588.26
I − 5 : 32.16	O − 5 :−586.25
I − 6 :−227.8	O − 6 :−1123.59
I − 7 :−386.49	O − 7 :−648.56
I − 8 :−72.73	O − 8 :−414.06
I − 9 :−71.69	O − 9 :−434.16
I − 10: 0	O − 10:−464.31
I − 11:−9.38	O − 11:−470.34



測定観測日:[1992年 4月14日 3時 0分]
(3日後)

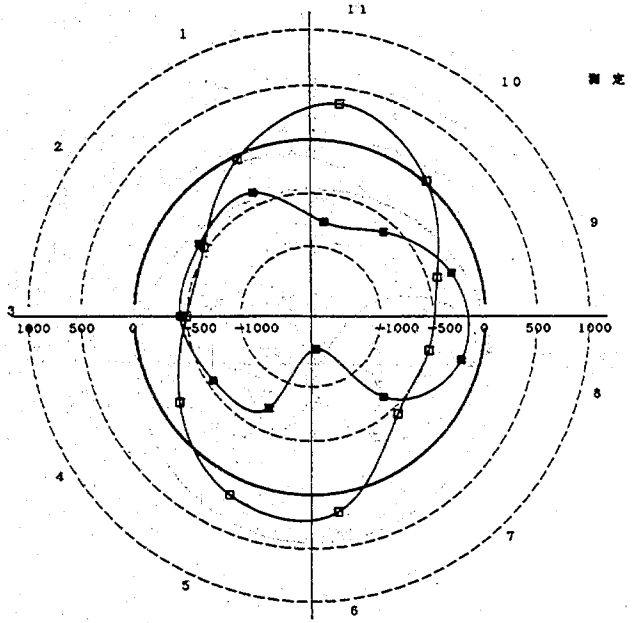
□内側 (Kgf/cm2)	■外側 (Kgf/cm2)
I − 1 : 32.16	O − 1 :−319.2
I − 2 :−205.69	O − 2 :−537.34
I − 3 :−218.42	O − 3 :−562.13
I − 4 :−44.22	O − 4 :−580.89
I − 5 : 82.31	O − 5 :−598.31
I − 6 :−174.2	O − 6 :−1146.37
I − 7 :−387.26	O − 7 :−635.16
I − 8 :−152.09	O − 8 :−365.15
I − 9 :−121.27	O − 9 :−411.38
I − 10: 10.05	O − 10:−508.52
I − 11: 34.84	O − 11:−532.22



測定観測日:[1992年 4月18日 3時 0分]
(1週間後)

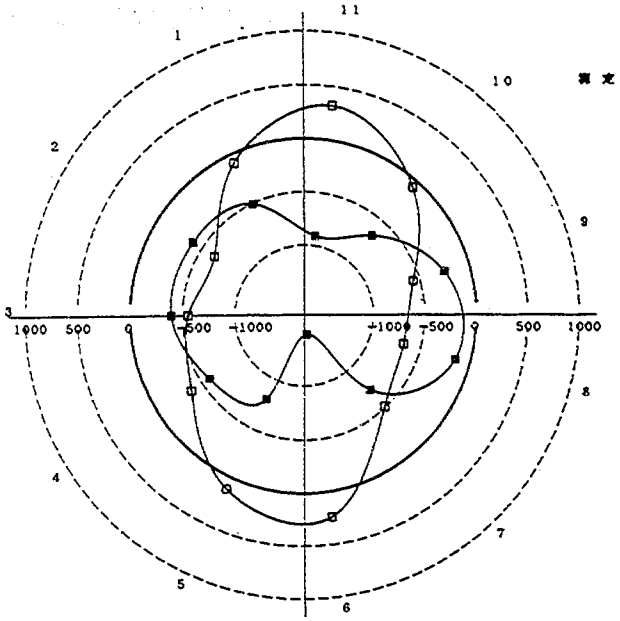
□内側 (Kgf/cm2)	■外側 (Kgf/cm2)
I − 1 : 14.07	O − 1 :−375.9
I − 2 :−279.39	O − 2 :−506.52
I − 3 :−297.48	O − 3 :−539.35
I − 4 :−50.92	O − 4 :−588.26
I − 5 : 119.93	O − 5 :−626.45
I − 6 :−82.41	O − 6 :−1195.95
I − 7 :−377.21	O − 7 :−641.19
I − 8 :−236.51	O − 8 :−303.51
I − 9 :−178.89	O − 9 :−363.81
I − 10: 20.1	O − 10:−542.7
I − 11: 107.87	O − 11:−598.98

図－2.21(1) 円周方向鉄筋計の断面分布図



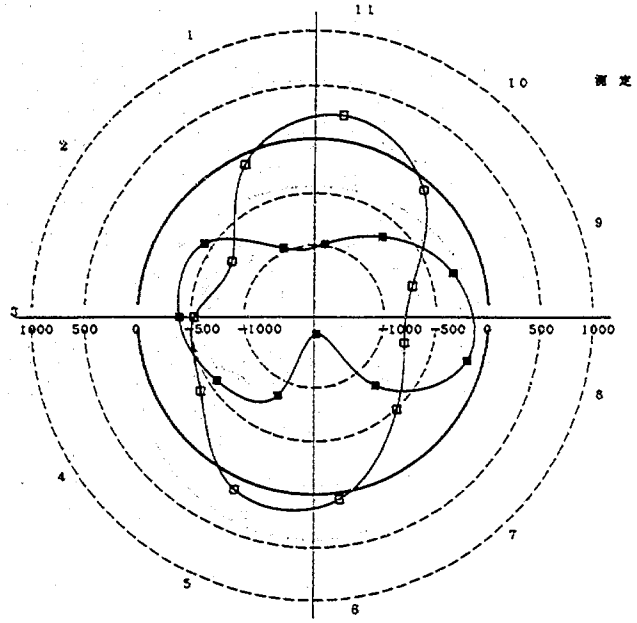
測定観測日:[1992年 5月10日22時 0分]
(1ヶ月後)

□:内側 (Kgf/cm2)	■:外側 (Kgf/cm2)
I − 1 :−34. 17	O − 1 :−508. 2
I − 2 :−464. 31	O − 2 :−416. 07
I − 3 :−490. 44	O − 3 :−430. 81
I − 4 :−182. 91	O − 4 :−556. 77
I − 5 : 170. 18	O − 5 :−712. 21
I − 6 : 175. 54	O − 6 :−1351. 39
I − 7 :−436. 17	O − 7 :−643. 2
I − 8 :−501. 16	O − 8 :−178. 89
I − 9 :−409. 37	O − 9 :−265. 32
I − 10: 19. 43	O − 10:−612. 38
I − 11: 347. 73	O − 11:−766. 48



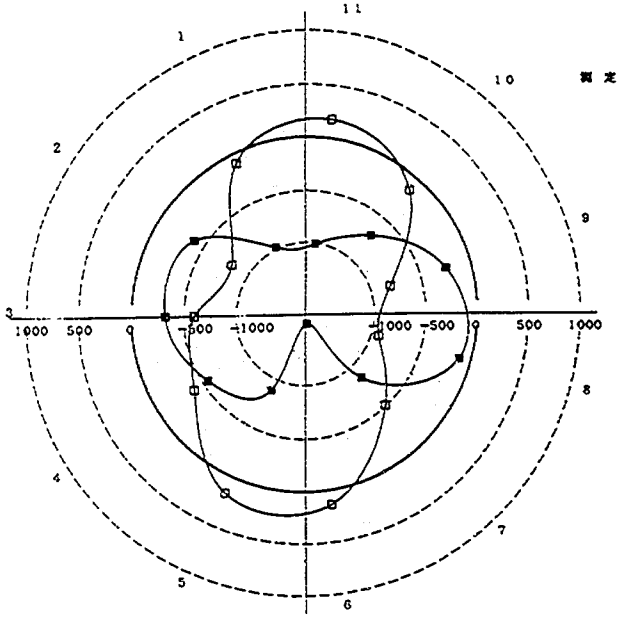
測定観測日:[1992年 7月10日20時 0分]
(3ヶ月後)

□:内側 (Kgf/cm2)	■:外側 (Kgf/cm2)
I − 1 :−36. 43	O − 1 :−866
I − 2 :−641. 86	O − 2 :−398. 65
I − 3 :−553. 42	O − 3 :−393. 96
I − 4 :−374. 53	O − 4 :−579. 55
I − 5 : 114. 57	O − 5 :−795. 96
I − 6 : 241. 87	O − 6 :−1480. 7
I − 7 :−507. 86	O − 7 :−716. 9
I − 8 :−669. 33	O − 8 :−147. 4
I − 9 :−567. 49	O − 9 :−251. 25
I − 10:−68. 34	O − 10:−671. 34
I − 11: 321. 6	O − 11:−902. 86



測定観測日:[1992年10月 9日11時 0分]
(6ヶ月後)

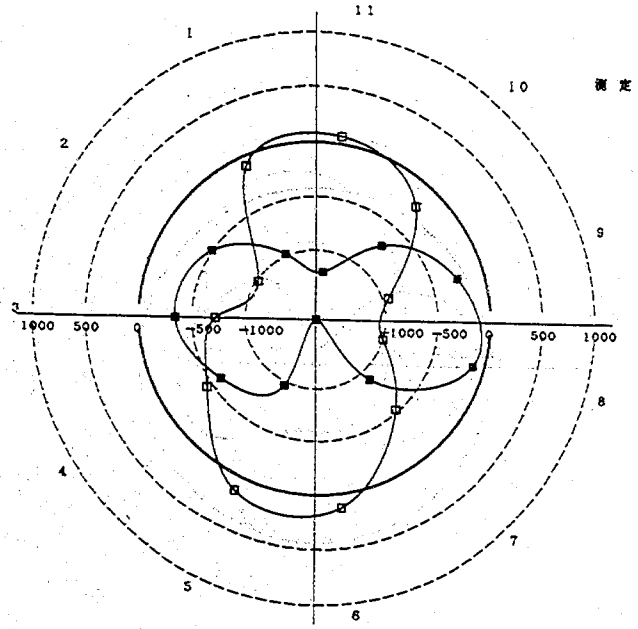
□:内側 (Kgf/cm2)	■:外側 (Kgf/cm2)
I − 1 :−93	O − 1 :−981(予定値)
I − 2 :−732. 31	O − 2 :−424. 11
I − 3 :−530. 64	O − 3 :−389. 27
I − 4 :−389. 27	O − 4 :−568. 83
I − 5 : 115. 91	O − 5 :−851. 57
I − 6 : 61. 64	O − 6 :−1506. 16
I − 7 :−490. 44	O − 7 :−796. 63
I − 8 :−774. 52	O − 8 :−150. 75
I − 9 :−690. 77	O − 9 :−284. 08
I − 10:−85. 09	O − 10:−681. 39
I − 11: 234. 5	O − 11:−984. 23



測定観測日:[1993年 3月24日10時 0分]
(12ヶ月後)

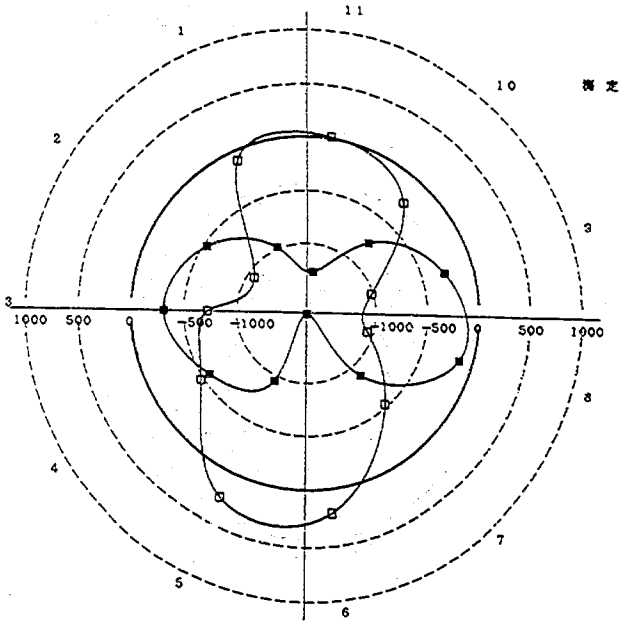
□:内側 (Kgf/cm2)	■:外側 (Kgf/cm2)
I − 1 :−93(予定値)	O − 1 :−981(予定値)
I − 2 :−816. 73	O − 2 :−369. 34
I − 3 :−598. 98	O − 3 :−320. 93
I − 4 :−394. 63	O − 4 :−552. 08
I − 5 : 167. 5	O − 5 :−887. 75
I − 6 : 137. 35	O − 6 :−1581. 87
I − 7 :−508. 53	O − 7 :−856. 27
I − 8 :−929. 96	O − 8 :−114. 57
I − 9 :−810. 03	O − 9 :−247. 23
I − 10:−129. 31	O − 10:−710. 2
I − 11: 176. 21	O − 11:−1011. 03

図－２．２１(2) 円周方向鉄筋計の断面分布図



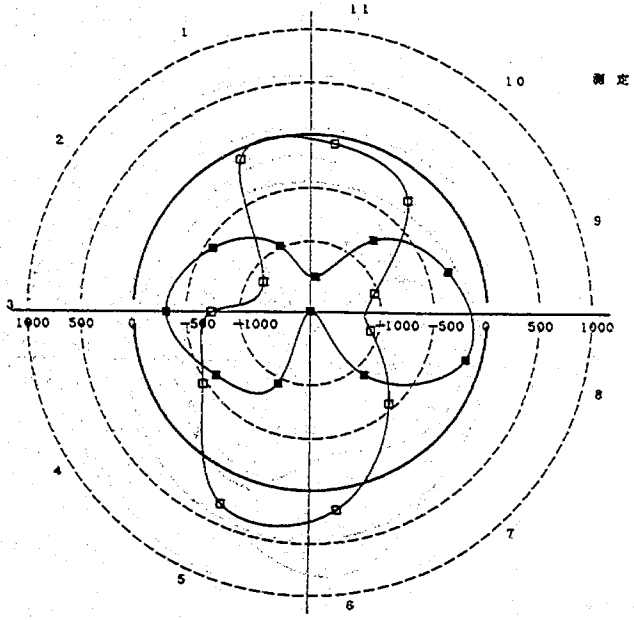
測定観測日:[1994年 3月23日12時 0分]
(24ヶ月後)

□内側 (Kgf/cm2)	■外側 (Kgf/cm2)
I − 1 :−93(予想値)	O − 1 :−981(予想値)
I − 2 :−1016.39	O − 2 :−491.78
I − 3 :−716.9	O − 3 :−340.36
I − 4 :−445.55	O − 4 :−597.64
I − 5 : 136.01	O − 5 :−961.45
I − 6 : 131.99	O − 6 :−1665.62
I − 7 :−525.28	O − 7 :−902.49
I − 8 :−1002.32	O − 8 :−109.21
I − 9 :−946.04	O − 9 :−257.95
I − 10:−225.12	O − 10:−718.24
I − 11: 69.68	O − 11:−1206



測定観測日:[1995年 2月23日14時 0分]
(34ヶ月後)

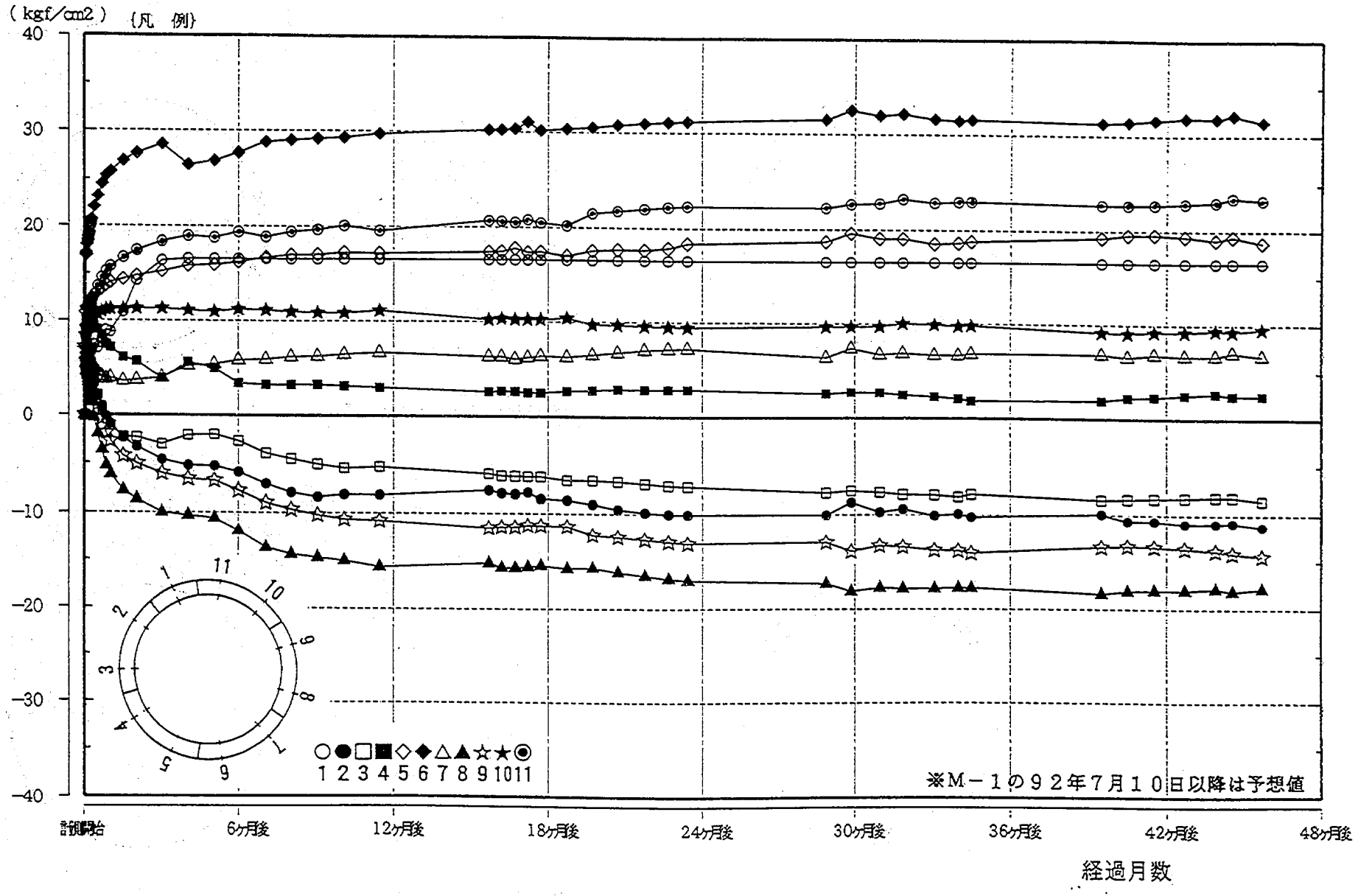
□内側 (Kgf/cm2)	■外側 (Kgf/cm2)
I − 1 :−93(予想値)	O − 1 :−981(予想値)
I − 2 :−1066.64	O − 2 :−532.65
I − 3 :−722.26	O − 3 :−308.87
I − 4 :−471.68	O − 4 :−568.33
I − 5 : 256.61	O − 5 :−948.72
I − 6 : 217.75	O − 6 :−1655.57
I − 7 :−526.62	O − 7 :−885.07
I − 8 :−1059.27	O − 8 :−132.66
I − 9 :−1018.4	O − 9 :−280.73
I − 10:−254.6	O − 10:−766.48
I − 11: 15.41	O − 11:−1271.65



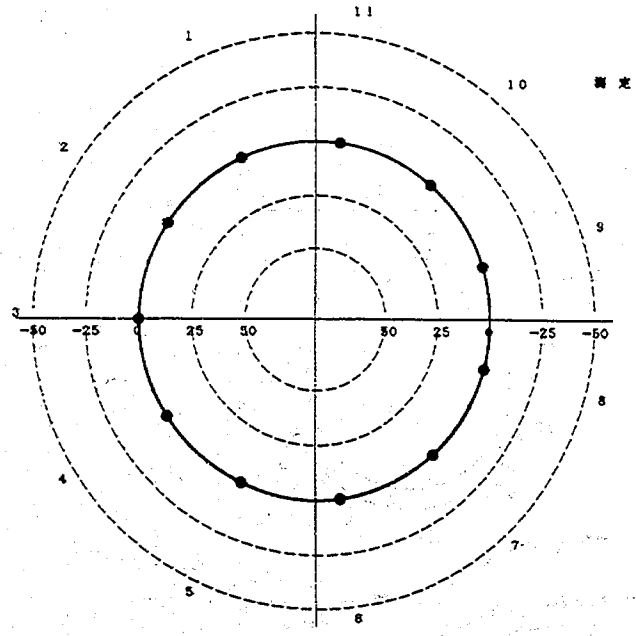
測定観測日:[1995年12月 6日12時 0分]
(43ヶ月後)

□内側 (Kgf/cm2)	■外側 (Kgf/cm2)
I − 1 :−93(予想値)	O − 1 :−981(予想値)
I − 2 :−1139.67	O − 2 :−570.17
I − 3 :−733.65	O − 3 :−308.87
I − 4 :−465.65	O − 4 :−609.7
I − 5 : 310.88	O − 5 :−948.72
I − 6 : 197.65	O − 6 :−1675.67
I − 7 :−553.42	O − 7 :−905.84
I − 8 :−1075.35	O − 8 :−146.73
I − 9 :−1037.16	O − 9 :−312.89
I − 10:−272.69	O − 10:−765.14
I − 11:−72.36	O − 11:−1324.59

図－２．２１(3) 円周方向鉄筋計の断面分布図



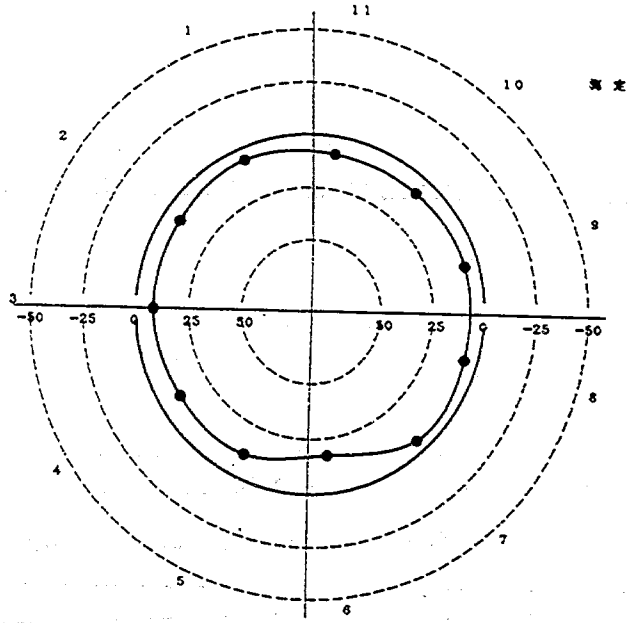
図－2.22 曲げモーメントの経時変化図



測定領域日:[1992年 4月11日 2時28分]
(組立直後)

モーメント(t.m)

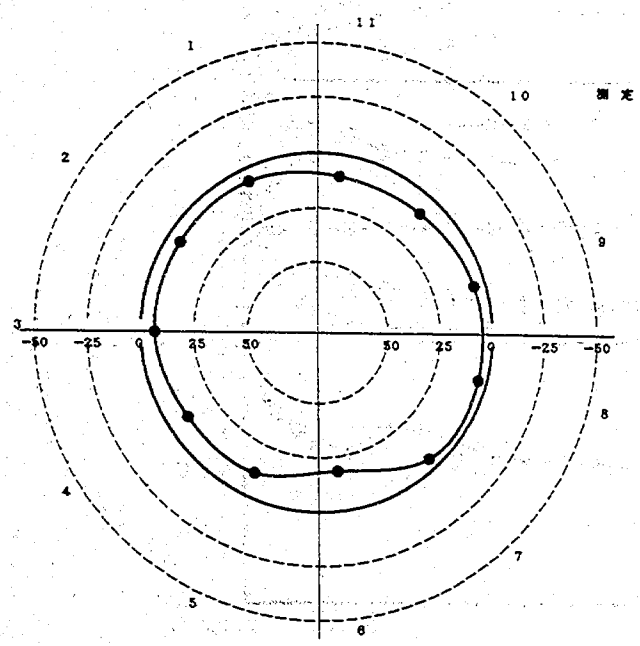
M－1 :－.050646
M－2 : .011331
M－3 :－.0210181
M－4 : .0256836
M－5 : 0
M－6 : .0898926
M－7 :－.0408866
M－8 : 5.68549E-03
M－9 : 5.66549E-03
M－10:－.0233637
M－11:－.0210181



測定領域日:[1992年 4月12日 3時 0分]
(1日後)

モーメント(t.m)

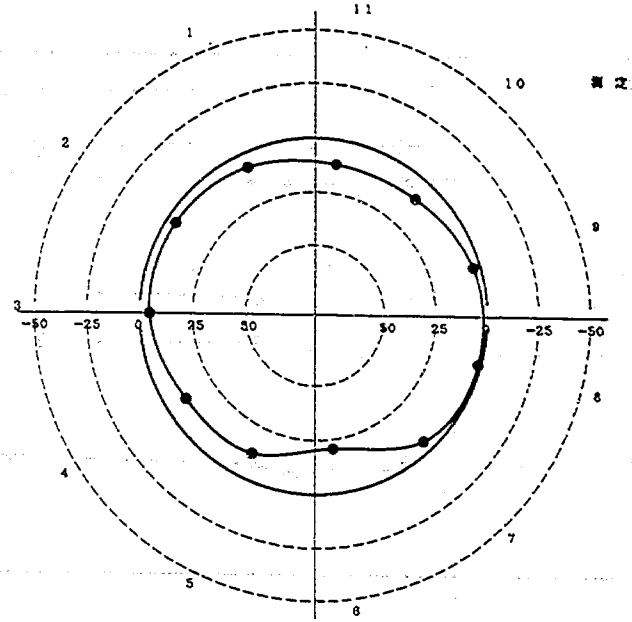
M－1 : 5.71344
M－2 : 8.03897
M－3 : 8.33433
M－4 : 10.1755
M－5 : 10.8602
M－6 : 17.1695
M－7 : 5.4064
M－8 : 6.40806
M－9 : 6.86688
M－10: 8.37436
M－11: 8.38855



測定領域日:[1992年 4月14日 3時 0分]
(3日後)

モーメント(t.m)

M－1 : 6.02463
M－2 : 6.35869
M－3 : 6.58785
M－4 : 9.98273
M－5 : 11.3071
M－6 : 18.4014
M－7 : 4.75147
M－8 : 4.08369
M－9 : 5.5605
M－10: 9.23037
M－11: 9.92451

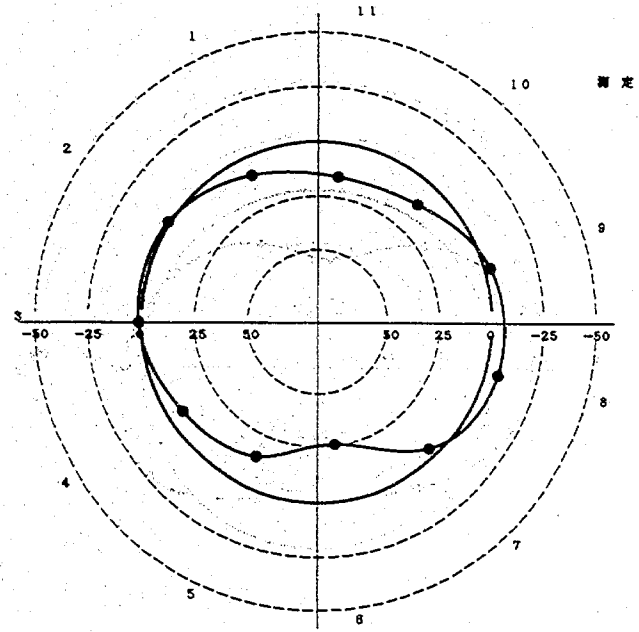


測定領域日:[1992年 4月18日 3時 0分]
(1週間後)

モーメント(t.m)

M－1 : 6.90864
M－2 : 4.35337
M－3 : 4.63582
M－4 : 10.0291
M－5 : 12.1824
M－6 : 20.6618
M－7 : 5.05967
M－8 : 1.28418
M－9 : 3.54434
M－10: 9.97241
M－11: 11.6095

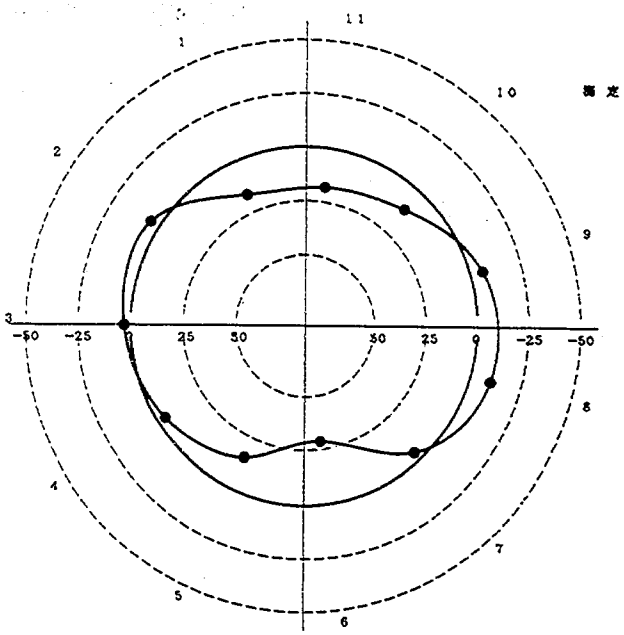
図－2.23(1) 曲げモーメントの断面分布図



測定観測日：[1992年 5月10日22時 0分]
(1ヶ月後)

● モーメント(t.m)

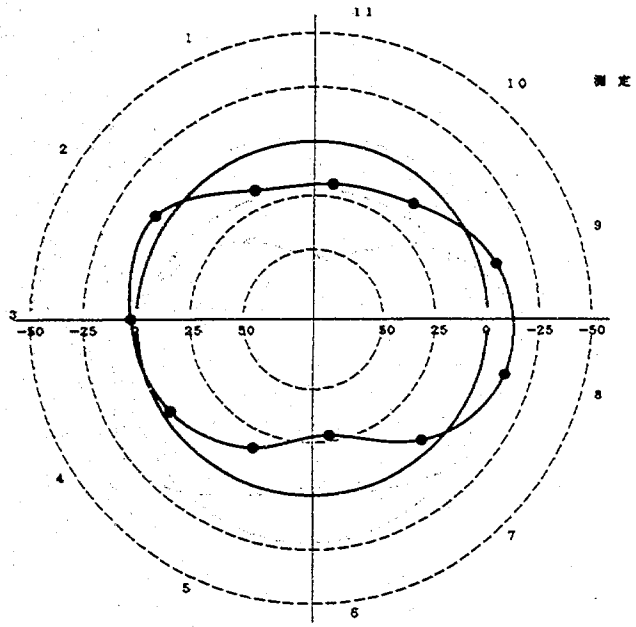
M－1 : 8.79044
M－2 :-.92461
M－3 :-1.14292
M－4 : 7.16573
M－5 : 14.0302
M－6 : 25.7758
M－7 : 3.98812
M－8 :-6.17691
M－9 :-2.76099
M－10: 11.2246
M－11: 15.7901



測定観測日：[1992年 7月10日20時 0分]
(3ヶ月後)

● モーメント(t.m)

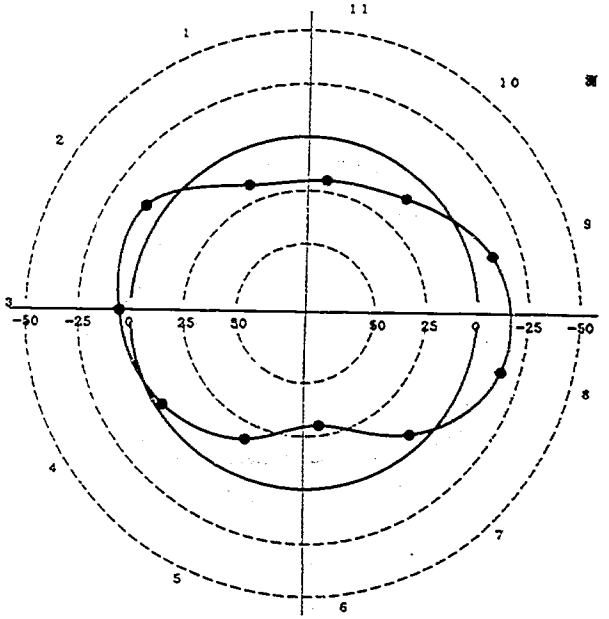
M－1 : 16.4314
M－2 :-4.66158
M－3 :-3.05635
M－4 : 3.92959
M－5 : 15.2536
M－6 : 23.553
M－7 : 4.00664
M－8 :-10.0038
M－9 :-6.06133
M－10: 11.305
M－11: 18.3958



測定観測日：[1992年10月 9日11時 0分]
(6ヶ月後)

● モーメント(t.m)

M－1 : 16.6153 (予測値)
M－2 :-5.90723
M－3 :-2.70962
M－4 : 3.4416
M－5 : 16.2767
M－6 : 27.7267
M－7 : 5.86871
M－8 :-11.9557
M－9 :-7.79498
M－10: 11.2409
M－11: 19.3854

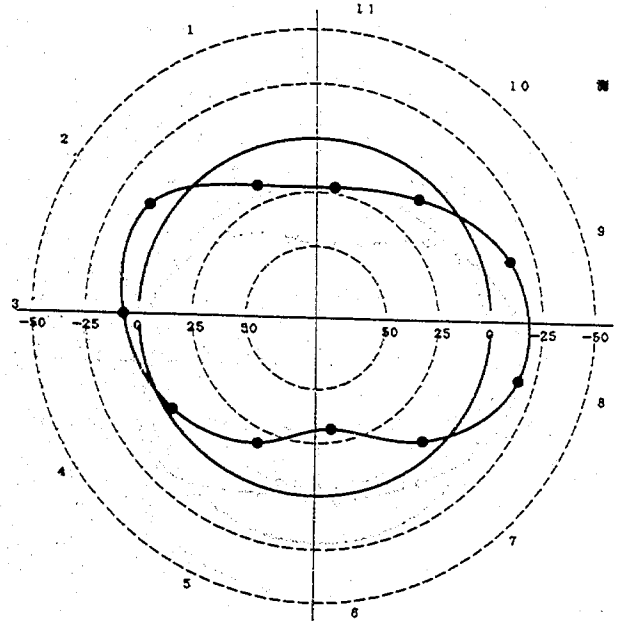


測定観測日：[1993年 3月24日10時 0分]
(12ヶ月後)

● モーメント(t.m)

M－1 : 16.6153 (予測値)
M－2 :-8.18023
M－3 :-5.32935
M－4 : 3.01782
M－5 : 17.25
M－6 : 29.6969
M－7 : 6.70342
M－8 :-15.6902
M－9 :-10.7871
M－10: 11.1338
M－11: 19.5617

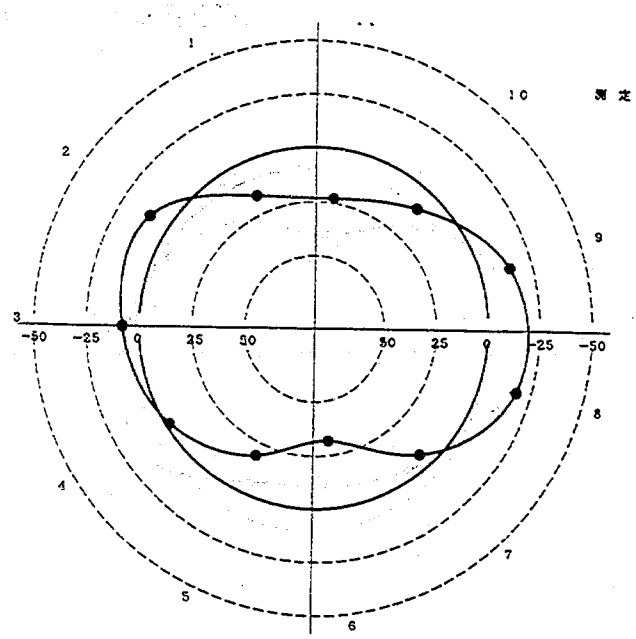
図－2.23(2) 曲げモーメントの断面分布図



測定観測日：[1994年 3月23日12時 0分]
(24ヶ月後)

● モーメント(t.m)

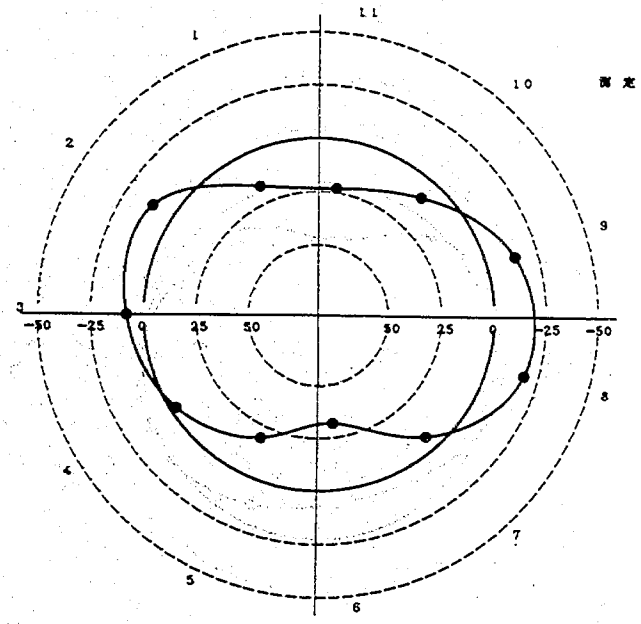
M－1 : 16.6153(予想値)
M－2 :－10.0551
M－3 :－7.2171
M－4 : 2.91509
M－5 : 18.4099
M－6 : 31.1746
M－7 : 7.22994
M－8 :－17.1206
M－9 :－13.1885
M－10: 9.45157
M－11: 22.3697



測定観測日：[1995年 2月23日14時 0分]
(34ヶ月後)

● モーメント(t.m)

M－1 : 16.6153(予想値)
M－2 :－10.2349
M－3 :－7.9234
M－4 : 1.86206
M－5 : 18.8355
M－6 : 31.5942
M－7 : 6.87037
M－8 :－17.8391
M－9 :－14.1388
M－10: 9.81114
M－11: 23.0828



測定観測日：[1995年12月 6日12時 0分]
(43ヶ月後)

● モーメント(t.m)

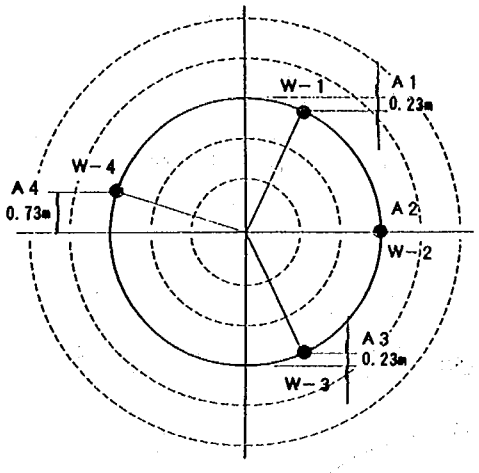
M－1 : 16.6153(予想値)
M－2 :－10.9155
M－3 :－8.14171
M－4 : 2.76099
M－5 : 19.0793
M－6 : 31.8272
M－7 : 6.75479
M－8 :－17.9217
M－9 :－13.882
M－10: 9.43873
M－11: 23.1139

図－2.23(3) 曲げモーメントの断面分布図

2．4 粘性土地盤中の単設シールドトンネルの作用土圧

（1）土圧計および水圧計による作用土圧と作用水圧

土圧計の測定値からは、粘性土地盤中の土被りの深いシールドトンネルの天端に作用する土水圧は、全土被り土圧（約4．7kgf/cm²）の約6割が作用している結果となった。また、土圧計の測定値から図－2．25に示すように水圧計の取付位置による補正を加えて計算して求めた外力を差し引くことにより得られた有効土圧の値を図－2．26(1)～(2)に示すが、有効土圧はほぼゼロに近い値を示しており、結局、土圧計の計測結果からはシールドトンネルには水圧のみが作用していることになる。しかし、シールドトンネルに静水圧のみが作用した場合の曲げモーメントは、図－2．27に示すようにほとんど発生せず、鉄筋計の計測結果から得られる曲げモーメント分布図とは整合しないこと、また、一般に土圧計はその構造上、測定面にわずかな変位が発生するが、この変位により土圧計周辺の応力分布が変化し、実際に作用している土圧の値が正確に計測できない場合が多いことを考えると土圧計は実際に作用している土圧よりも低い値を示していることが考えられる。なお、図－2．27に示す曲げモーメント分布の計算結果は、後述する図－2．29の梁バネモデルを用い、表－2．7、2．8に示す条件で地下水位から求まる静水圧を作用させて求めた。



W-1: A1= R－R・cos(25) = 0.23 m → 補正値 －0.02 kgf/cm2
W-2: A2= 0.00 m → 補正値 ±0.00 kgf/cm2
W-3: A3= R－R・cos(24.5)= 0.23 m → 補正値 ＋0.02 kgf/cm2
W-4: A4= R・sin(17) = 0.73 m → 補正値 ＋0.07 kgf/cm2

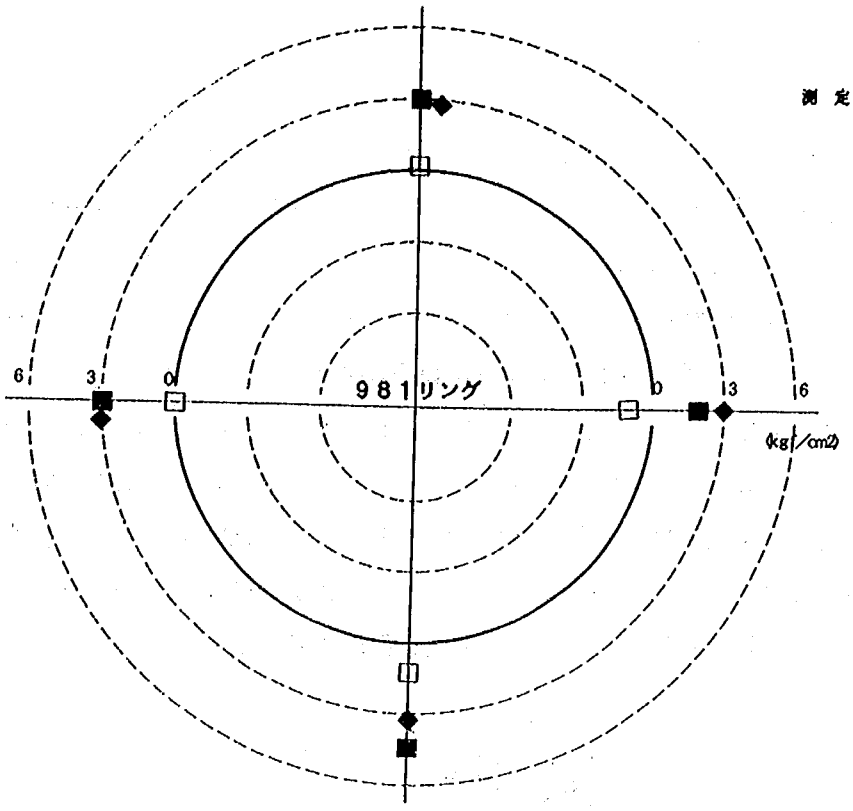
図－2．25 水圧補正の計算

（2）覆工の断面力から推定される作用土圧

シールドトンネルに作用する土水圧を検討するため、鉄筋計の計測値から求めた断面力（曲げモーメント）を用いて以下に示す方法によりシールドトンネルに作用する土水圧の算定を行った。計算は、本トンネルの現場計測結果のほか、本トンネルと同様な軟弱な粘性土地盤で実施した隅田川シールドの現場計測結果[2)]もあわせて実施した。土水圧の算定には、計測データが収束したと考えられる最終時の断面力（本トンネルは43ヶ月後、隅田川シールドは3ヶ月後のデータ）を用いた。なお、隅田川シールドは、併設シールドの影響を含んだ断面力となっている。

1）算定方法

図－2．28に示すような慣用設計法で用いられる荷重モデルを考えると、覆工に発生する曲げモーメントMcは次のように求められる。ただし、側部の抵抗土圧についてはトンネルの中心から上下45°の方向の範



測定観測日：[1995年12月 6日12時 0分]
（43ケ月後）

■：土圧 (kgf/cm2)

No.	測定値
①	3.02
②	2.07
③	4.51
④	2.95

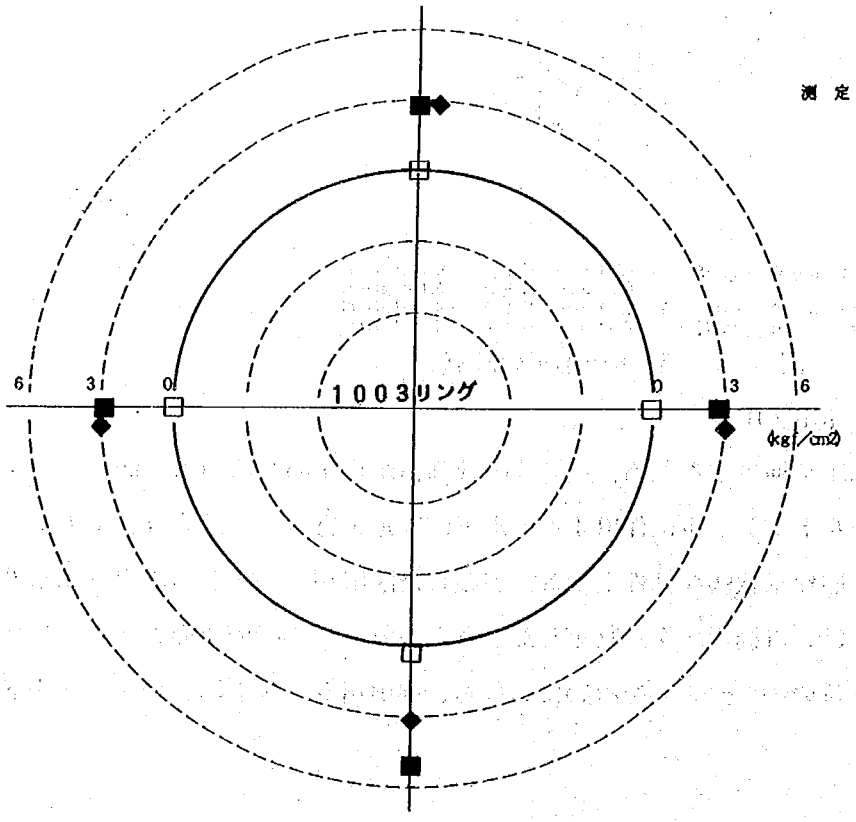
◆：水圧 (kgf/cm2)

No.	測定値
①	2.77
②	3.00
③	3.20
④	2.99

□：有効土圧(kg/cm2)

No.	測定値
①	0.24
②	-0.93
③	1.30
④	-0.03

（a）981リング



測定観測日：[1995年12月 6日12時 0分]
（43ケ月後）

■：土圧 (kgf/cm2)

No.	測定値
①	2.71
②	2.87
③	5.05
④	2.91

◆：水圧 (kgf/cm2)

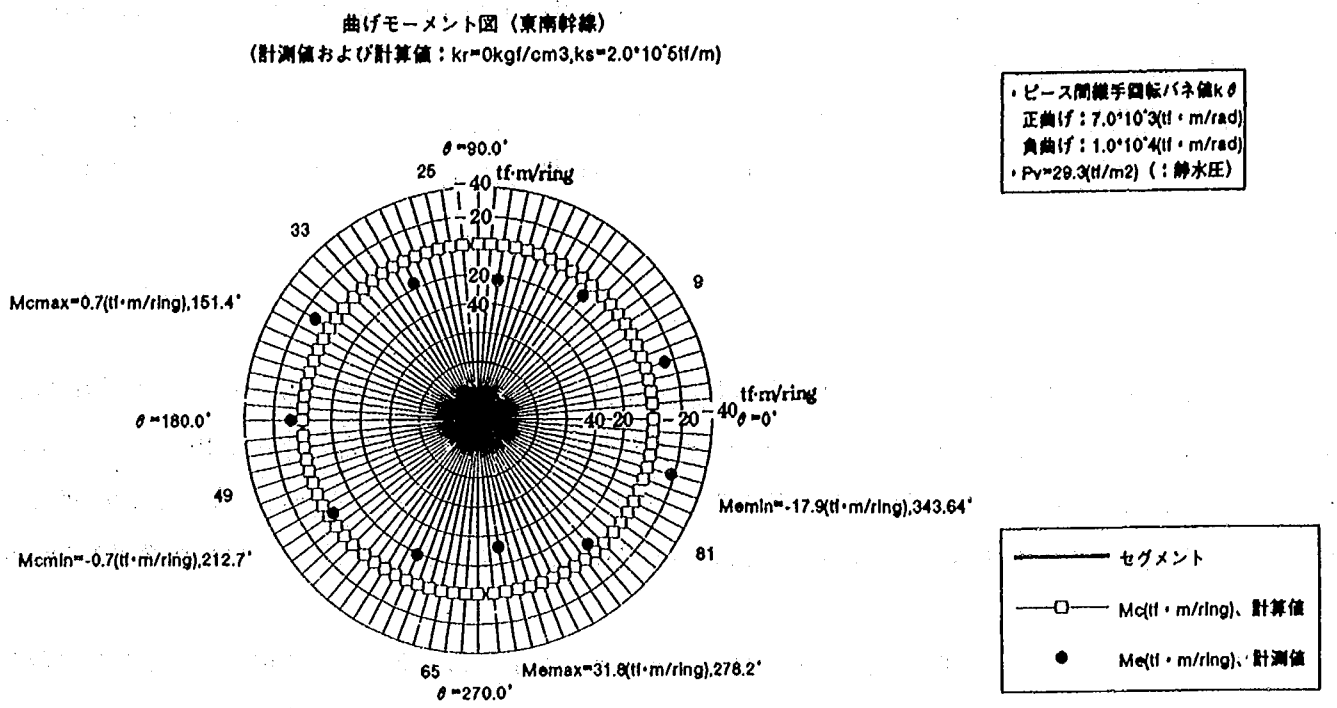
No.	測定値
①	2.77
②	3.00
③	3.20
④	2.99

□：有効土圧(kg/cm2)

No.	測定値
①	-.07
②	-0.13
③	1.84
④	-0.07

（b）1003リング

図－2.26 有効土圧の断面分布図



図－２．２７ 静水圧が作用したときの曲げモーメント計算結果の分布図

囲にリングの法線方向に地盤反力係数ｋを有する地盤バネにより与えるものとし、地盤バネ定数ｋは予め一定の値を与える。また、セグメント自重については計測結果から求められている曲げモーメントはセグメント組立直後を初期としており、セグメント自重の影響が含まれていないことから考慮しない。

$$M_c = P_v \cdot M_P + \lambda \cdot (P_v + h/2 \cdot \gamma_t) \cdot M_r + \lambda \cdot 2R_c \cdot \gamma_t \cdot M_t \quad \cdots\cdots (2.1)$$

ここに　P_v　：鉛直土圧

λ　：側方土圧係数

γ_t　：土の単位体積重量

h　：セグメント厚さ

R_c　：セグメントの中心半径

M_P　：図－２．２８(ｂ)で$P_v=1$の鉛直荷重が覆工に作用したときに発生する曲げモーメント

M_r　：図－２．２８(ｃ)で$P_h=1$の水平荷重が覆工に作用したときに発生する曲げモーメント

M_t　：図－２．２８(ｄ)で$P_{h2}-P_{h1}=1$の三角形分布荷重が覆工に作用したときに発生する曲げモーメント

式（２．１）で求められるM_cは、鉛直荷重P_v、側方土圧係数λの関数となるため、P_v、λは次に示す誤差関数を最小にする最適解として求めることができる。

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^{m} (M_c{}^*i - M_c i(P_v, \lambda))^2 \rightarrow \min \quad \cdots\cdots (2.2)$$

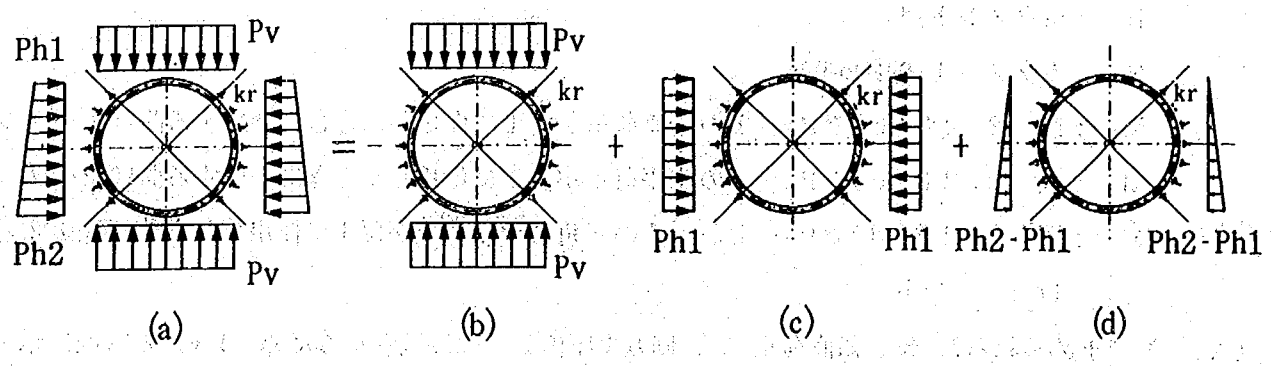
ここで、$M_c{}^*i$、M_{ci}は、断面に発生する曲げモーメントの計測値及び式（２．１）から求まる計算値を表し、ｍは計測断面数を表わす。

式（２．２）の解法としては数理計画法における直線探索法が利用できるため、ここでは土木研究所所有のプログラムライブラリー「ＭＳＬⅡ」に納められている最適化問題プログラム（Powell法）を使用することとする。

２）覆工モデル

セグメント覆工は、セグメントをボルトにより組み立てたプレハブ構造であるため、式（２．１）のM_P、M_r、M_tを求めるに際しては、セグメント覆工のモデル化が必要となる。本報告の計算に用いた覆工モデルは、図－２．２９に示すようにセグメントを直線梁、セグメントのピース間継手を回転バネ定数ｋθの回転バネに、リング間継手をせん断バネ定数ｋｓの接線方向と半径方向のせん断バネにモデル化した梁バネモデルを使用した。

本計算に用いたばね定数は、隅田川シールドは同シールドトンネルのセグメントを用いて実施した載荷実験結果[3]を参考にせん断ばね定数、回転ばね定数を定め、東南幹線シールドは、せん断ばね定数に隅田川トンネルの実験値を、回転ばね定数は、村上•小泉によるばね算定モデル[4)6)]を参考に表－２．７に示す値を用いた。東南幹線シールドのリング間継手のせん断ばね定数を隅田川シールドと同値を採用した理由は、せん断ばね定数を決定する要因であるボルト径、継手板の仕様、ボルトの初期締め付け力がほぼ同様であることによる。なお、回転ばね定数の詳細の算定は巻末資料に示した。各セグメントの仕様を表－２．８に示す。セグメントの断面二次モーメントは、通例、セグメントの断面力を計算する際に用いられる鉄筋を無視した全断面有効の場合の値を用いた。セグメントの組立状況を図－２．３０に示す。隅田川シールド、東南幹線シールドのセグメントの組立状況は、それぞれトンネル天端から左右に４３．２度、２４．５度の位置にＫセグメントの中心がくるような２リングの千鳥組みで組み立てられている。

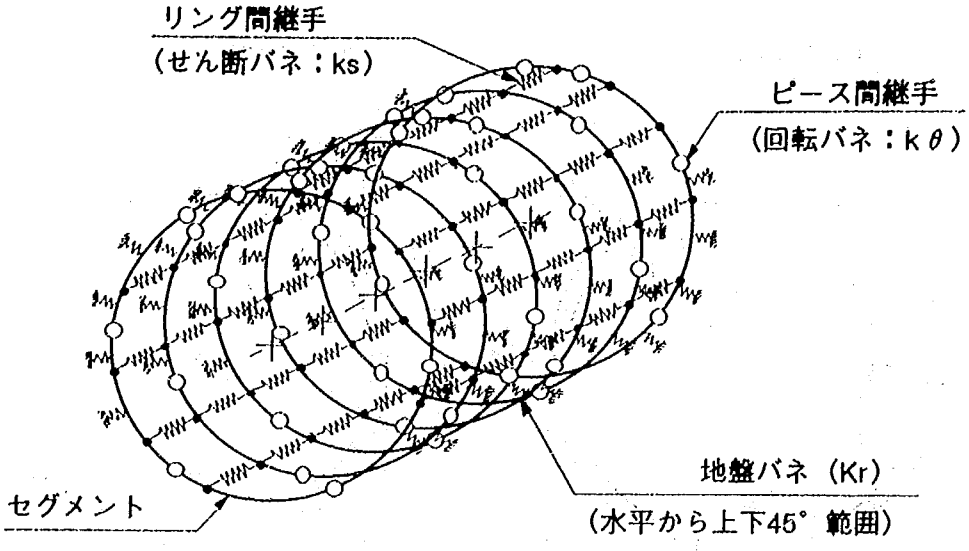


ここに　P_v　：鉛直土圧

P_{h1}：上部水平土圧（$=(P_v+h/2\cdot\gamma_t)\lambda$）

P_{h2}：下部水平土圧（$=P_{h1}+2R_c\cdot\gamma_t\cdot\lambda$）

図－２．２８　荷重モデル



図－２．２９ 覆工モデル図

表－２．７ 計算に用いた継手ばねの値

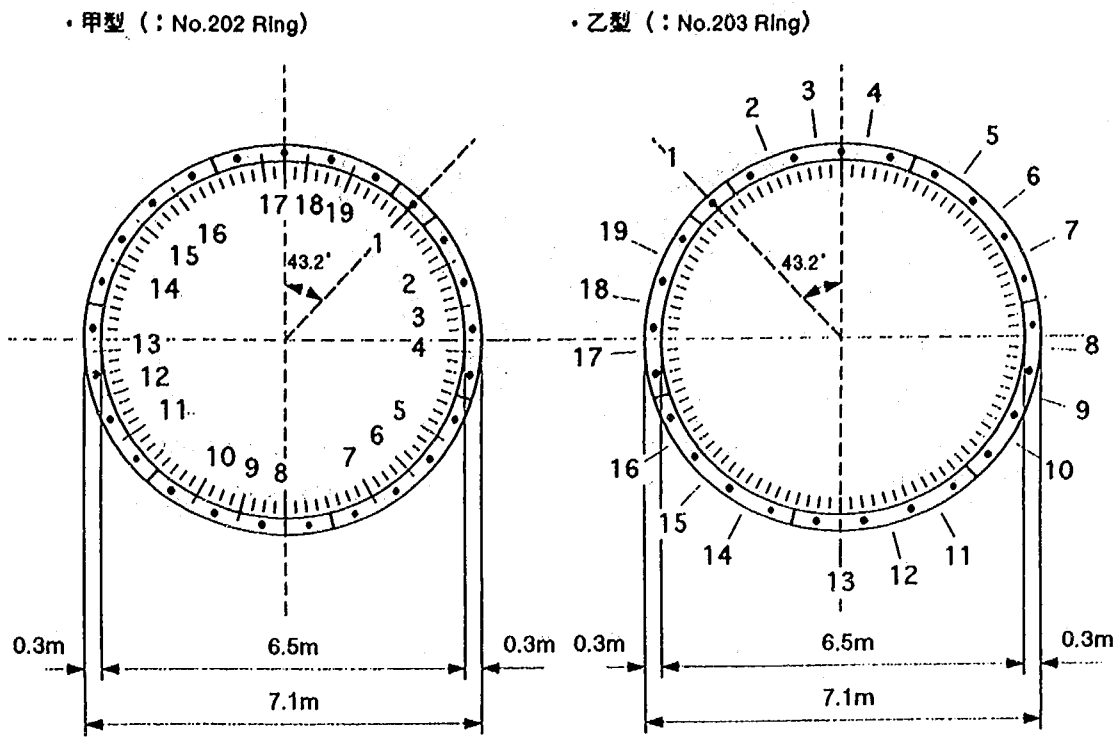
継手の位置とばね定数		隅田川シールド	東南幹線シールド
ピース間継手[1)]（回転ばね定数ｋθ）tf•m/rad	正曲げ	1.5×10^4	7.0×10^3
	負曲げ	1.0×10^4	1.0×10^4
リング間継手[2)]（せん断ばね定数ｋｓ） tf/m		2.0×10^6	

※１）隅田川シールドは実験値、東南幹線シールドは計算値。２）実験値。

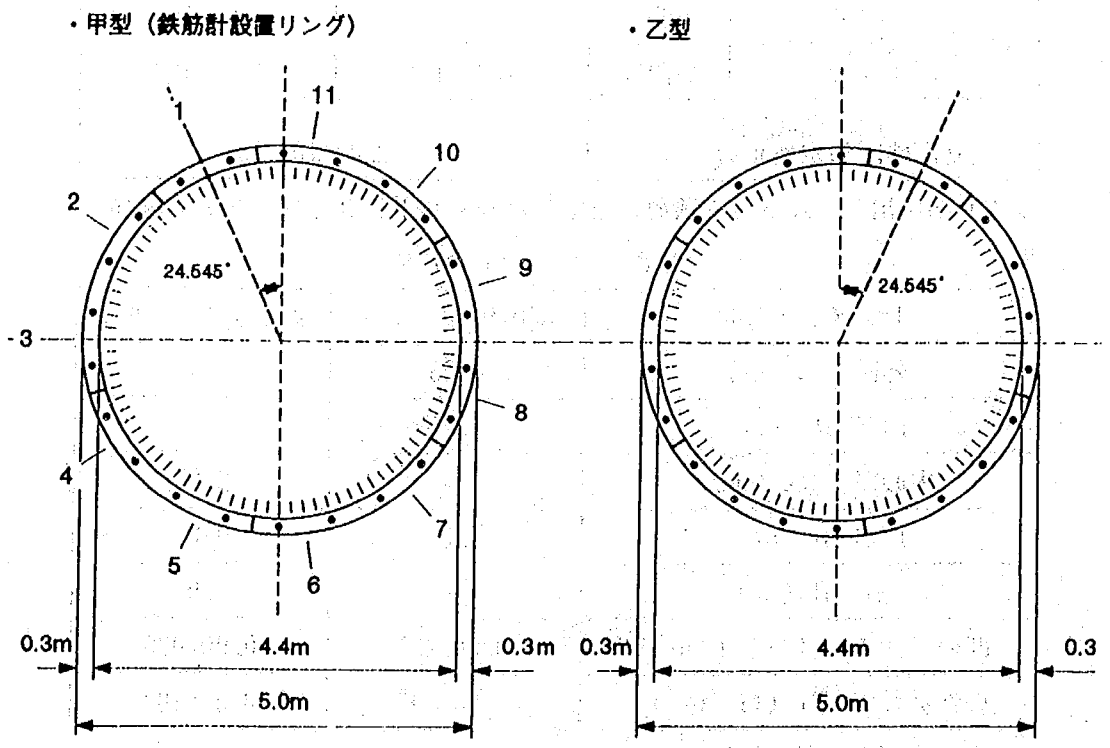
表－２．８ セグメントの仕様

セグメント部位	隅田川シールド	東南幹線シールド
外径 Ra（m）	3.55	2.5
内径 Ri（m）	3.25	2.2
中心径 Rc（m）	3.4	2.35
厚さ h（m）	0.3	0.3
幅 B（m）	1.0	0.9
断面二次モーメント I（m^4）	0.00225	0.002025
弾性係数 Ec（tf／m^2）	3.9×10^6	3.5×10^6

※Ｉは全断面有効・鉄筋無視で計算、Ｅcは実験値。



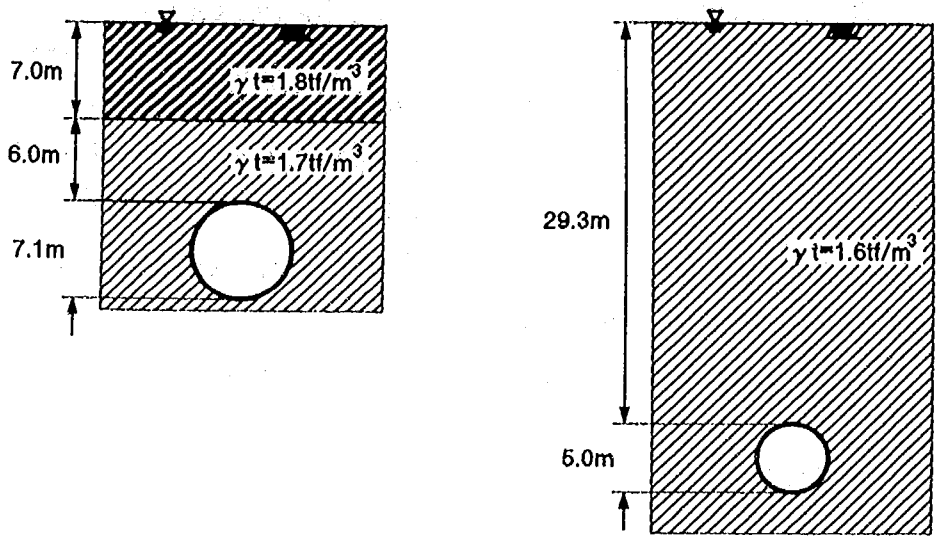
(a)隅田川シールド



(b)東南幹線シールド

※図中の番号は（断面力）計測断面の位置を示す

図－２．３０ セグメントの組立状況



(a)隅田川シールド　　(b)東南幹線シールド

図－２．３１　地盤条件図

３）計算条件

計算に用いた地盤条件図を図－２．３１に示す。計算に必要となる地盤反力係数の値については、現在、シールドトンネルの設計に用いられているトンネル標準示方書（シールド編）・同解説などを参考として、本トンネルの周辺地盤が軟らかい粘性土、非常に軟らかい粘性土に相当する地盤であることなどを考慮し、地盤反力係数として0及び0.5kgf/cm³を与えることとし、具体的には地盤ばねが分担するセグメント（梁）の長さＢｒに地盤反力係数ｋｒを乗じて地盤ばね定数Ｋｒとして与えた（実際は解析手法上、計算結果にほとんど影響のない値として上記以外の部分の円周方向に法線方向の地盤ばね定数0.001kgf/cm³を与えて計算した）。また、式（２．１）によればＰｖ、λは唯一解として求まることとなるが、唯一解に近い誤差関数の値を与えるＰｖ、λの組み合わせがあることを考慮してλを0.50～0.70までの範囲を示すパラメータとして、各λに対するＰｖを式（２．１）から求めた。

４）計算結果

①隅田川シールドの場合

図－２．３２に計測された値に最も近い断面力を与える地盤反力・側方土圧係数と鉛直土圧との関係を示す。また、本トンネルの設計に用いた全土被り土圧が作用した場合に、計測された値に最も近い断面力を与える断面力分布を地盤反力係数、甲・乙のリング組み毎に図－２．３３(1)～(2)、図－２．３４(1)～(2)に示す。

これより、地盤反力係数が0、0.5kgf/cm³では同一の側方土圧係数でも鉛直土圧が異なることが分かる。すなわち、地盤反力が少なからず期待できる場合は計測値の断面力に近い断面力を与える時の鉛直土圧が大きくなり、側方土圧係数が0.65の時には地盤反力係数の違いにより約４．５tf/m²程度の差が生じている。側方土圧係数についても大きいほど計測値の断面力に近い断面力を示す鉛直土圧が大きくなる傾向にある。この結果から、地盤の特性値の両係数をどのように評価するかによって計測断面力に近い断面力を与える鉛直土

圧は大きく変化することが分かる。

図中の「中位の粘性土」、「軟らかい粘性土」、「非常に軟らかい粘性土」は、土木学会のトンネル標準示方書で示されている側方土圧係数の取り方を示す。いま、地盤反力が期待できない地盤（k=0kgf/cm³）と仮定すると、土圧計で測定された値では側方土圧係数が0.55程度を示しており、中位の粘性土と軟らかい粘性土の境界付近となり一般的に考えられている側方土圧係数（0.65～0.70）よりかなり低い値となる。また、全土被り土圧がシールドトンネルに作用している場合を考えると側方土圧係数が0.66程度の時に計測値の断面力に近く、一般的に考えられている側方土圧係数の値とも比較的一致する結果となる。

したがって、鉄筋計によって測定された値からはトンネルにはほぼ全土被りが作用しているものと判断される。

②東南幹線シールドの場合

図－２．３５に計測された値に最も近い断面力を与える地盤反力・側方土圧係数と鉛直土圧との関係を示す。また、本トンネルの設計に用いた全土被り土圧が作用した場合に、計測された値に最も近い断面力を与える断面力分布を地盤反力係数毎に図－２．３６、図－２．３７に示す。

図－２．３５では隅田川シールドの先の結果と同様に地盤反力係数、側方土圧係数により鉛直土圧が大きく異なる結果となっており、側方土圧係数が0.70の時に地盤反力係数の違いにより約６．８tf/m²程度の差が生じている。したがって、隅田川シールドと同様に地盤の特性値の両係数をどのように評価するかで推定される鉛直土圧が異なる。

いま、東南幹線シールドが隅田川シールドと同様な沖積層の軟弱な粘性土地盤であることを考え、地盤反力が期待できない地盤（k=0kgf/cm³）と仮定すると、側方土圧係数が0.70の場合は鉛直土圧が６３．２tf/m²となり、全土被り荷重４６．９tf/m²以上の荷重が作用する結果となることが分かる。しかし、全土被り土圧以上の荷重が作用するとは一般に考えられない。全土被り荷重が作用するときの側方土圧係数は約0.6となり隅田川シールドの場合の値より若干低くなるものの、一般に考えられる範囲に収まる結果となる。一方、土圧計で測定された値では側方土圧係数が「中位の粘性土」以上の硬質粘土の0.45以下となり、一般的に考えられている側方土圧係数の考え方とは大きく乖離してくる結果となる。

以上を考えると、鉄筋計によって測定された値からは、現在の一般的な設計の考え方による土水一体による荷重設定で考えると側方土圧係数が若干低めの値となるもののトンネルにはほぼ全土被り土圧に近い荷重が作用しているものと考えられる。

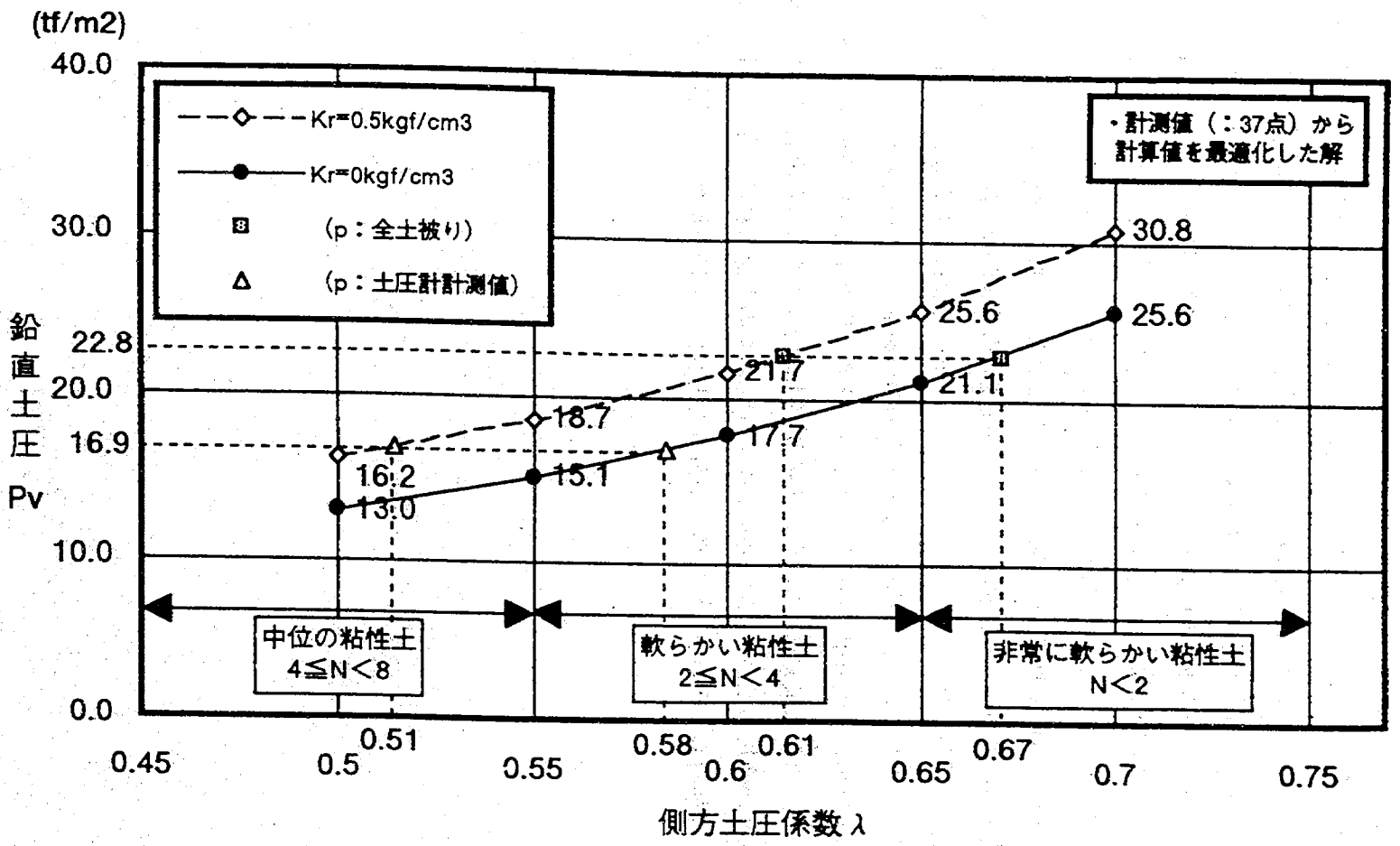
（３）まとめ

粘性土地盤中の単設シールドトンネル（土被り約２９m、トンネル直径５．０m）に作用する荷重について、実際のシールドトンネルでセグメントに土圧計、水圧計、円周方向の鉄筋計を設置して現場計測を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

土圧計は施工時の荷重として裏込め注入による圧力によって当初急激に増加し、その後徐々に低下してある一定した値を示す傾向が分かった。土圧計により計測された天端の土圧は全土被り土圧の約６割であった。

この一定値となるまでの時間は、６～１２ヶ月程度かかることが分かった。また、水圧計は、ほぼ土圧計と同様な傾向を示すが、安定するまでには短時間であることが分かった。また、水圧はほぼ周辺の地盤調査に基づく地下水位から求められる静水圧に近いことが分かった。鉄筋計は、経時的な変化は土圧計に比べて緩やかではあるが徐々に変動し、ほぼ一定値と考えられる値を示すまでに土被りが深い場合で約２４ヶ月程度時間を要すことが分かった。土圧計、鉄筋計の経時的な変動は一定値に収束するまでの時間は異なるが、長時間を要する傾向は一致した結果となった。ただし、現在の一般的な設計の考え方による土水一体による荷重設定で考えた場合、鉄筋計から求まる断面力はトンネルにはほぼ全土被り土圧に近い荷重が作用した場合に発生する断面力とほぼ等しい結果となり、土圧計の測定値とは異なる結果となった。また、このことは、以前計測を行った隅田川シールドにおいても同様の結果が得られた。この原因としては、実際の地盤と地盤定数の相違、土圧計・鉄筋計のそれぞれの測定上の誤差などが考えられる。特に、土圧計はその受圧面にテールボイド部の比較的強度の高い（一般的には一軸圧縮強度で約20kgf/cm^{2}程度）裏込め注入材があるうえ、その構造上、測定面にわずかな変位が発生することにより、土圧計周辺の応力分布が変化して周辺の裏込め材で支持されて実際に作用している土圧の値よりも小さめの値を示すことが考えられる。

以上より、現段階では粘性土地盤中の単設シールドトンネルに作用する土圧を現在の一般的な設計の考え方による土水一体による荷重設定で考えた場合、土被りが比較的大きくなった場合でもトンネルにはほぼ全土被り土圧に近い荷重が作用していると考えるのが妥当であるものと思われる。今後、土圧計と鉄筋計の測定値の差異については検討し、明らかにする必要があるとともに、実際の地盤の特性値を確認することが重要である。

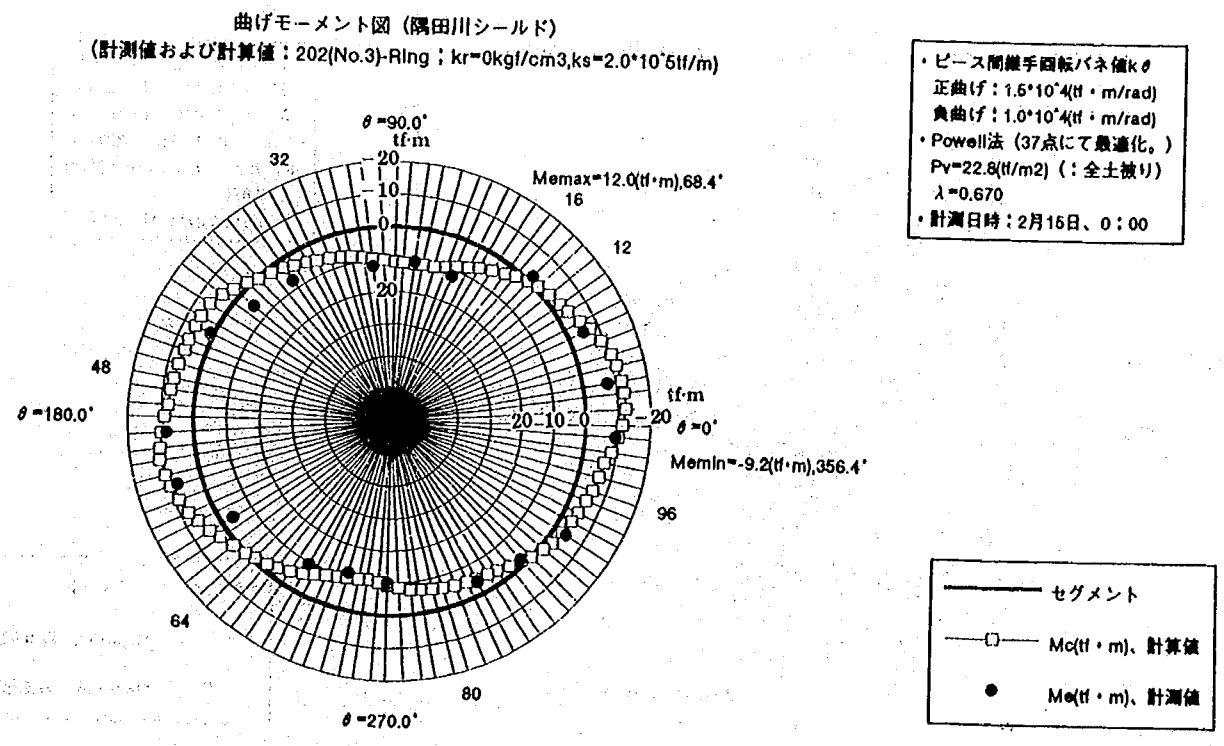


図－2．32 隅田川シールドの地盤定数と鉛直土圧の関係

断面力一覧表（計測および計算断面力）　（隅田川シールド）
備考：　計測時刻、2/15、0:00
（kr=0kgf/cm3）
No.202

測定点	節点 θ(度)	計測値 Me (tf m)	計測値 Ne (tf)	計測値 Memax	計算値 Mc (tf m)	計算値 Nc (tf)	計算値 Memax
3	10.8	-7.5	-65.9		-11.9	-80.0	負曲げ
2	25.2	-5.1	-95.5		-7.5	-75.8	
1	46.8	-2.1	-12.4		0.0	-71.3	
19	68.4	8.7	-70.6		8.7	-64.2	
18	82.8	10.4	63.3		11.1	63.3	正曲げ
17	97.2	12.0	-84.5	正曲げ	9.7	-63.9	
16	126.0	7.5	-72.0		2.7	-68.7	
15	140.4	5.3	-88.9		-2.8	-73.2	
14	154.8	-1.2	-134.6		-6.3	-75.1	
13	183.6	-8.1	-125.6		-9.6	-77.3	
12	198.0	-7.5	-100.7		-9.5	-78.5	
11	212.4	3.7	-11.7		-4.4	-74.5	
10	241.2	9.4	-77.8		6.0	-69.4	
9	255.6	11.5	-65.3		9.9	-66.7	
8	270.0	10.1	-65.0		9.4	-68.1	
7	298.8	4.0	55.3		5.0	-69.8	
6	313.2	1.9	-11.4		1.3	-71.4	
5	327.6	-4.2	-87.3		-2.8	-73.7	
4	356.4	-9.2	-99.8	負曲げ	-10.0	-77.6	

記号；　Me、Mc：計測および計算曲げモーメント
　　Ne、Nc：計測および計算軸力



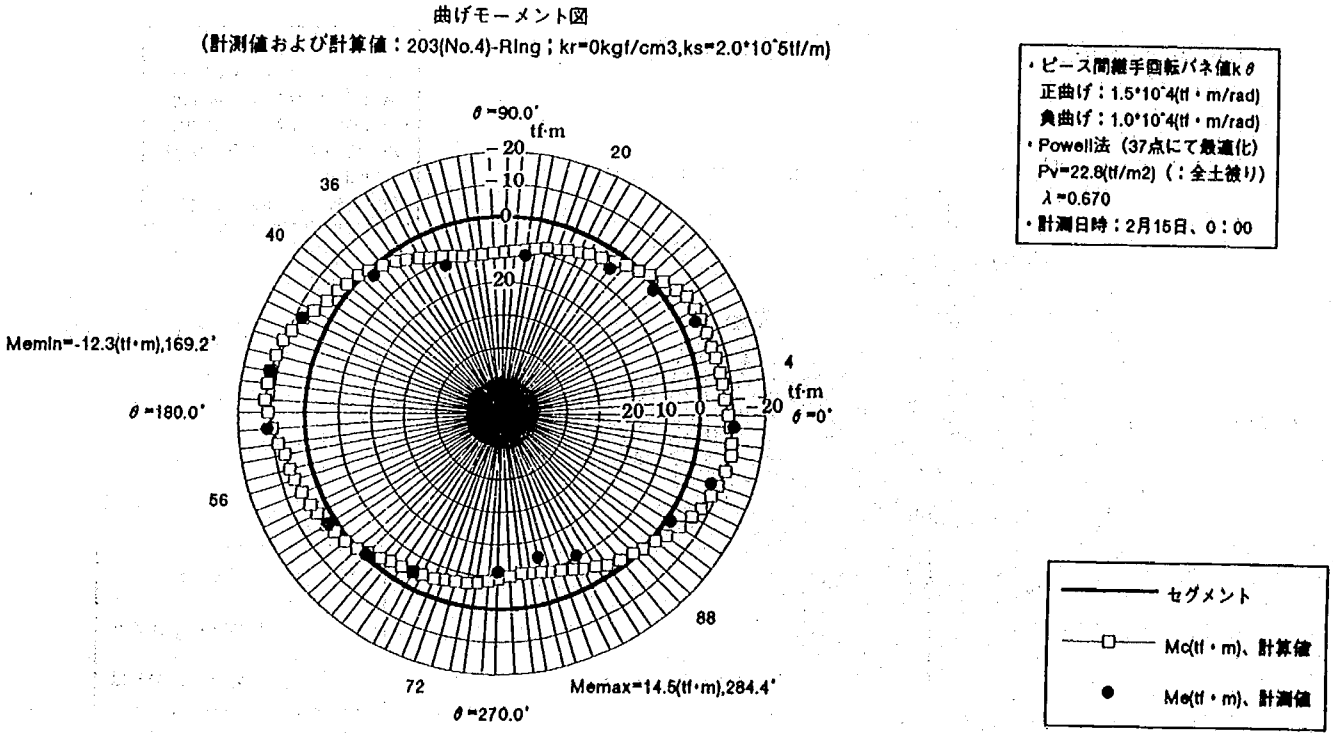
（甲型２０２リング）

図－２．３３(1) 隅田川シールドの計測断面力と計算断面力の断面分布図（地盤反力係数k=0kgf/cm³の場合）

断面力一覧表（計測および計算断面力）　（隅田川シールド）
備考：　計測時刻、2/15、0:00
（kr=0kgf/cm3)
No.203

測定点	節点 θ(度)	計測値 Me (tf m)	計測値 Ne (tf)	計測値 Memax	計算値 Mc (tf m)	計算値 Nc (tf)	計算値 Mcmax
7	25.2	-4.5	-103.6		-6.3	-75.1	
6	39.6	1.1	-71.0		-2.8	-73.2	
5	54.0	5.3	-97.1		2.7	-68.7	
4	82.8	11.5	-75.7		9.7	-63.9	
3	97.2	(25.6)	(184.8)		11.1	63.3	正曲げ
2	111.6	11.7	-84.8	正曲げ	8.7	-64.2	
1	133.2	2.2	-18.1		0.0	-70.4	
19	154.8	-8.0	-98.4		-7.5	-75.8	
18	169.2	-12.3	-143.2	負曲げ	-11.9	-80.0	負曲げ
17	183.6	-11.6	-141.9		-10.0	-77.5	
16	212.4	-2.3	-122.6		-2.8	-73.7	
15	226.8	0.6	-98.2		1.3	-71.4	
14	241.2	4.6	-75.3		5.0	-69.8	
13	270.0	11.4	-80.4		9.4	-68.1	
12	284.4	14.5	-71.2		9.9	-66.7	
11	298.8	10.6	-77.2		6.0	-69.4	
10	327.6	-1.2	-99.6		-4.4	-74.5	
9	342.0	-7.2	-113.8		-9.5	-78.5	
8	356.4	-10.6	-135.0		-9.6	-77.3	

記号；　Me、Mc：計測および計算曲げモーメント
　　Ne、Nc：計測および計算軸力
注意：括弧内に示した計測断面力は最適化において考慮していない。



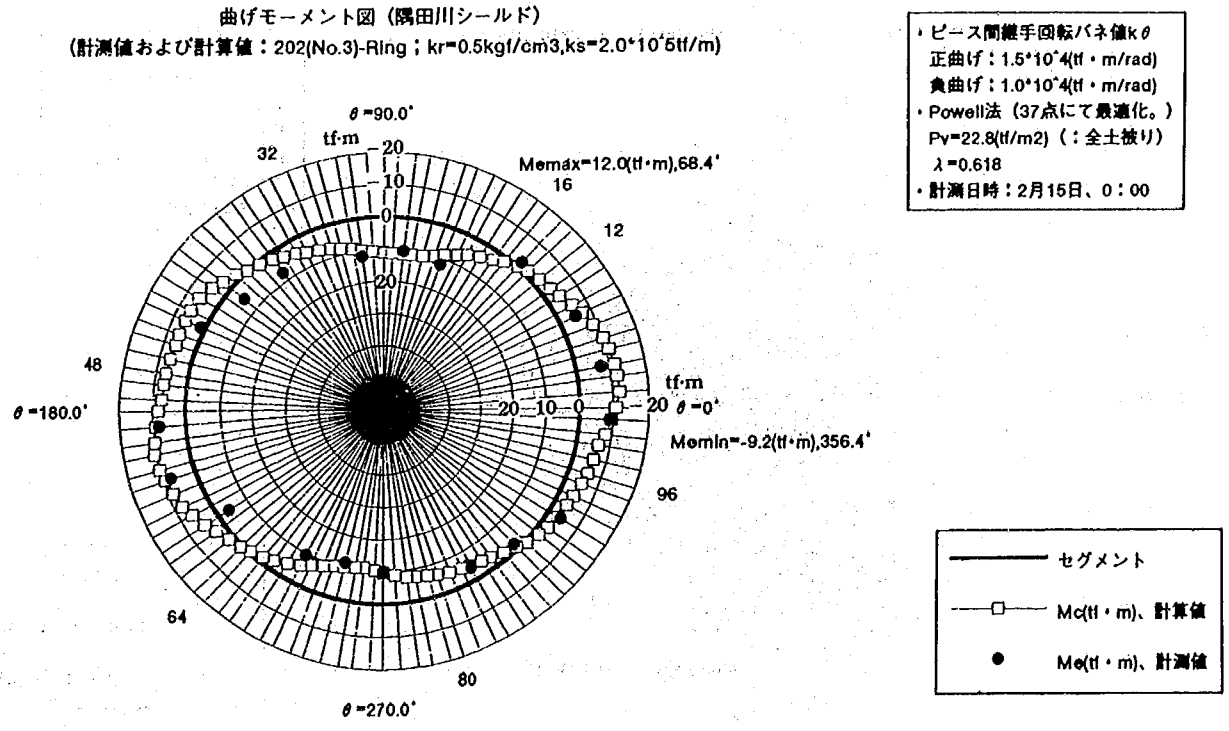
（乙型２０３リング）

図－２．３３(2) 隅田川シールドの計測断面力と計算断面力の断面分布図（地盤反力係数k=0kgf/cm³の場合）

断面力一覧表（計測および計算断面力）　（隅田川シールド）
備考：　計測時刻、2/15、0:00
（kr=0.5kgf/cm3）
No.202

測定点	節点 θ(度)	計測値 Me (tf m)	計測値 Ne (tf)	計測値 Memax	計算値 Mc (tf m)	計算値 Nc (tf)	計算値 Mcmax
3	10.8	-7.5	-65.9		-11.4	-80.9	負曲げ
2	25.2	-5.1	-95.5		-7.4	-76.5	
1	46.8	-2.1	-12.4		-0.3	-71.2	
19	68.4	8.7	-70.6		8.7	-63.2	
18	82.8	10.4	63.3		11.4	61.9	正曲げ
17	97.2	12.0	-84.5	正曲げ	10.0	-62.6	
16	126.0	7.5	-72.0		2.3	-68.4	
15	140.4	5.3	-88.9		-3.2	-73.6	
14	154.8	-1.2	-134.6		-6.3	-75.9	
13	183.6	-8.1	-125.6		-9.2	-78.4	
12	198.0	-7.5	-100.7		-9.4	-79.4	
11	212.4	3.7	-11.7		-4.7	-75.0	
10	241.2	9.4	-77.8		5.8	-68.4	
9	255.6	11.5	-65.3		10.1	-65.1	
8	270.0	10.1	-65.0		9.8	-66.3	
7	298.8	4.0	-55.3		4.7	-69.0	
6	313.2	1.9	-11.4		0.8	-71.3	
5	327.6	-4.2	-87.3		-3.1	-74.2	
4	356.4	-9.2	-99.8	負曲げ	-9.6	-78.6	

記号；　Me、Mc：計測および計算曲げモーメント
　　Ne、Nc：計測および計算軸力



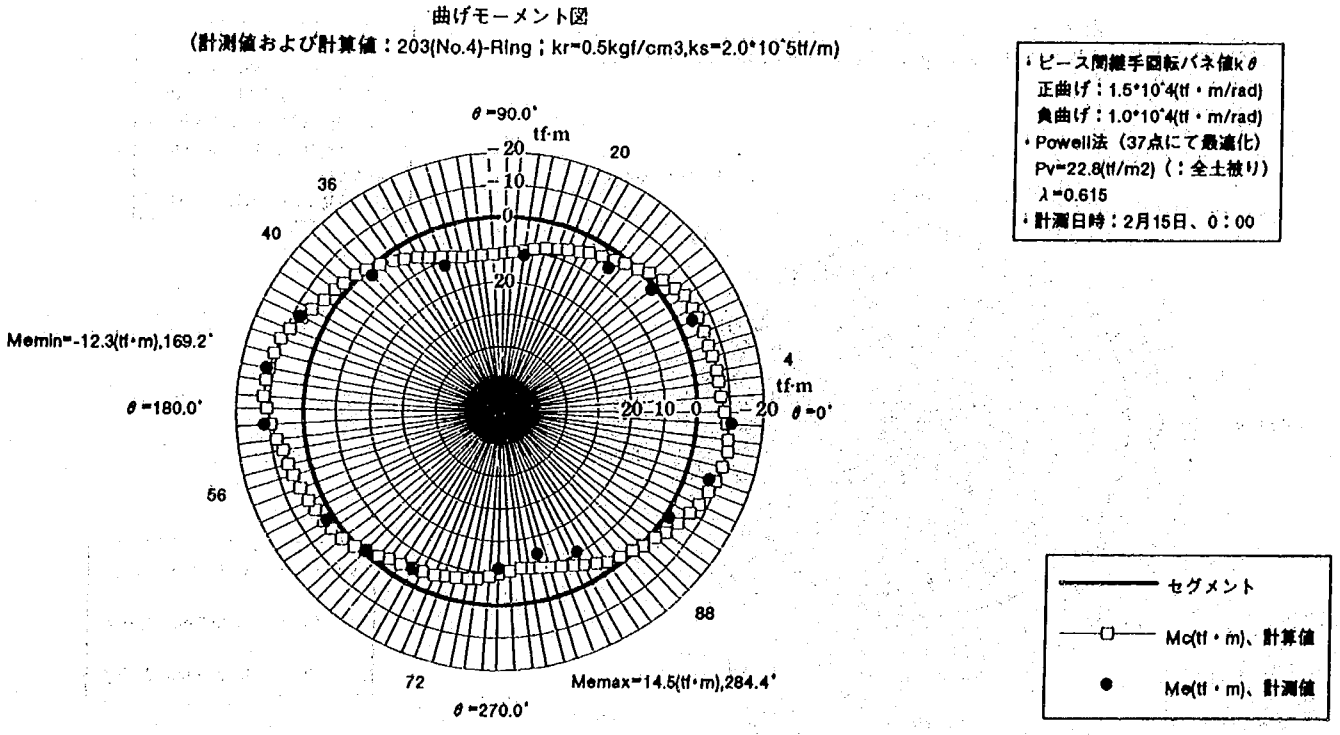
（甲型２０２リング）

図－２．３４(1) 隅田川シールドの計測断面力と計算断面力の断面分布図（地盤反力係数k=0.5kgf/cm³の場合）

断面力一覧表（計測および計算断面力）　（隅田川シールド）
備考：　計測時刻、2/15、0:00
（kr=0.5kgf/cm3)
No.203

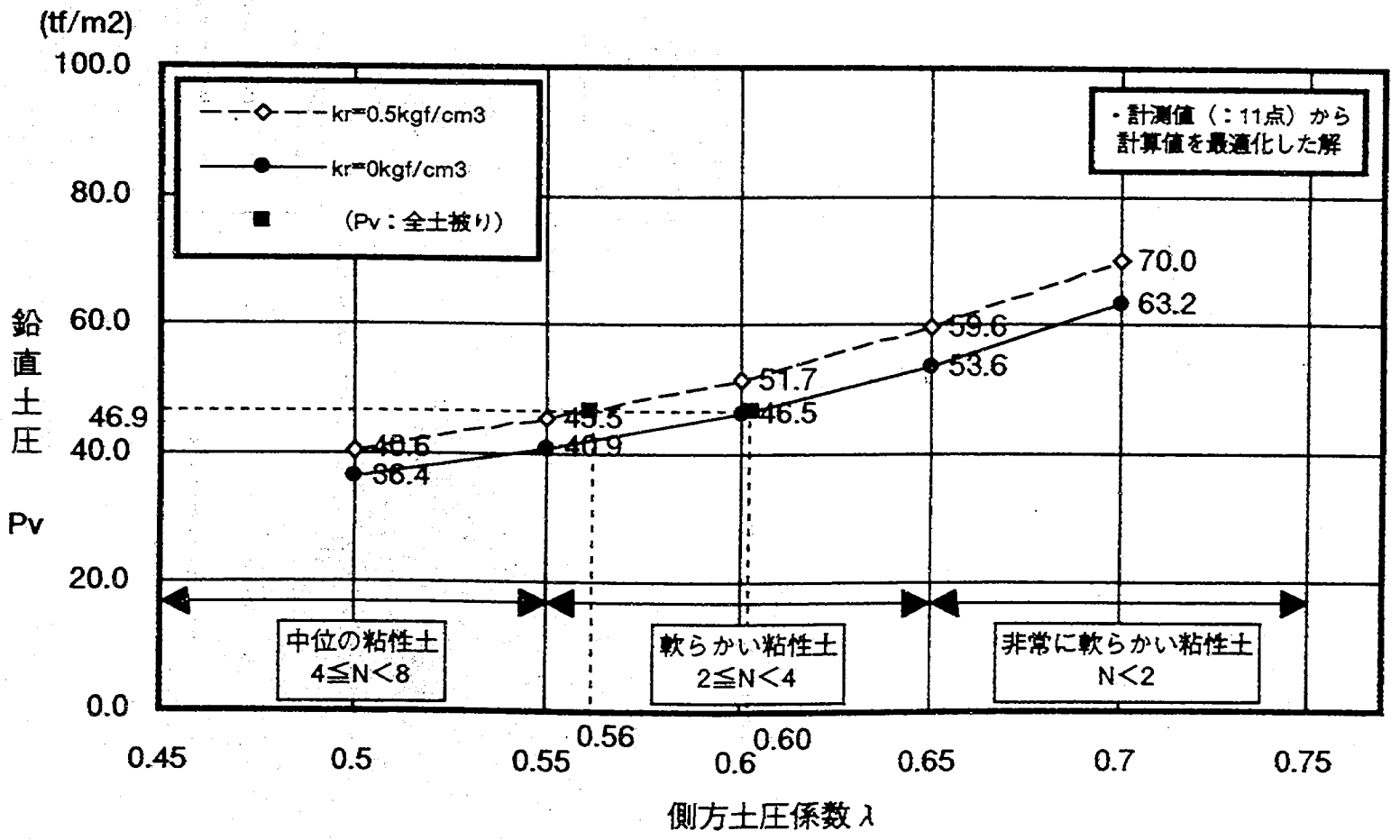
測定点	節点 θ(度)	計測値 Me (tf m)	計測値 Ne (tf)	計測値 Memax	計算値 Mc (tf m)	計算値 Nc (tf)	計算値 Mcmax
7	25.2	-4.5	-103.6		-6.3	-75.9	
6	39.6	1.1	-71.0		-3.2	-73.6	
5	54.0	5.3	-97.1		2.3	-68.4	
4	82.8	11.5	-75.7		10.0	-62.6	
3	97.2	(25.6)	(184.8)		11.4	61.9	正曲げ
2	111.6	11.7	84.8	正曲げ	8.7	-63.2	
1	133.2	2.2	-18.1		-0.2	-70.2	
19	154.8	-8.0	-98.4		-7.4	-76.5	
18	169.2	-12.3	-143.2	負曲げ	-11.4	-80.9	負曲げ
17	183.6	-11.6	-141.9		-9.6	-78.6	
16	212.4	-2.3	-122.6		-3.2	-74.2	
15	226.8	0.6	-98.2		0.8	-71.3	
14	241.2	4.6	-75.3		4.7	-69.0	
13	270.0	11.4	-80.4		9.8	-66.3	
12	284.4	14.5	-71.2		10.1	-65.1	
11	298.8	10.6	-77.2		5.8	-68.4	
10	327.6	-1.2	-99.6		-4.7	-75.0	
9	342.0	-7.2	-113.8		-9.4	-79.4	
8	356.4	-10.6	-135.0		-9.2	-78.4	

記号；　Me、Mc：計測および計算曲げモーメント
　　Ne、Nc：計測および計算軸力
注意：括弧内に示した計測断面力は最適化において考慮していない。



（乙型２０３リング）

図－２．３４(2) 隅田川シールドの計測断面力と計算断面力の断面分布図（地盤反力係数k=0.5kgf/cm³の場合）

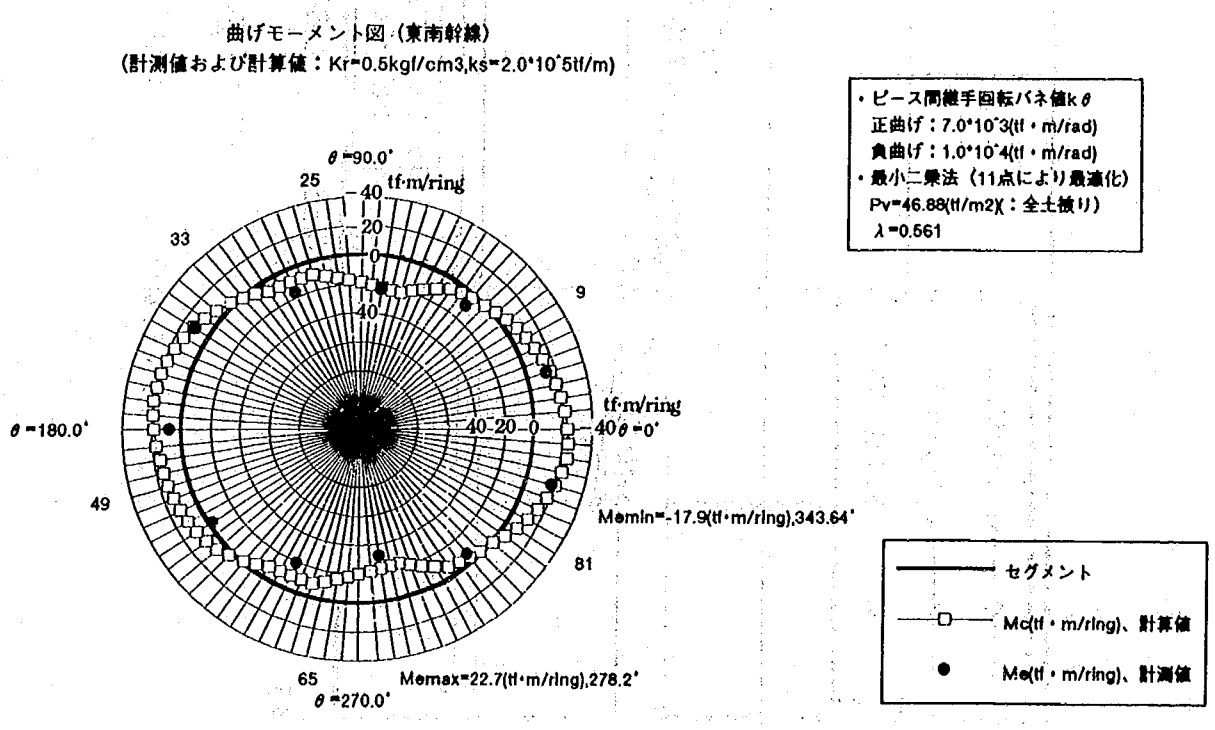


図－2．35 東南幹線シールドの地盤定数と鉛直土圧の関係

断面力一覧表（計測および計算断面力）　（東南幹線）
備考： 計測時刻、12/6、12:00
(kr=0.5kgf/cm3)

測定点	節点 θ(度)	計測値		計算値		
		Me (tf m/ring)	Memax	Mc (tf m/ring)	Nc (tf/ring)	Mcmax
9	16.4	-13.9		-16.6	-96.5	
10	49.1	9.4		2.3	-78.9	
11	81.8	23.1		22.0	-57.0	
1	114.6	16.6		8.8	-71.6	
2	147.3	-10.9		-12.0	-92.8	
3	180.0	-8.1		-18.5	-98.7	
4	212.7	2.8		-9.5	-91.8	
5	245.5	19.1		9.5	-72.3	
6	278.2	31.8	正曲げ	22.7	-58.0	正曲げ
7	310.9	6.8		3.3	-78.9	
8	343.6	-17.9	負曲げ	-20.6	-102.3	負曲げ

記号； Me、Mc：計測および計算曲げモーメント
Nc：計算軸力

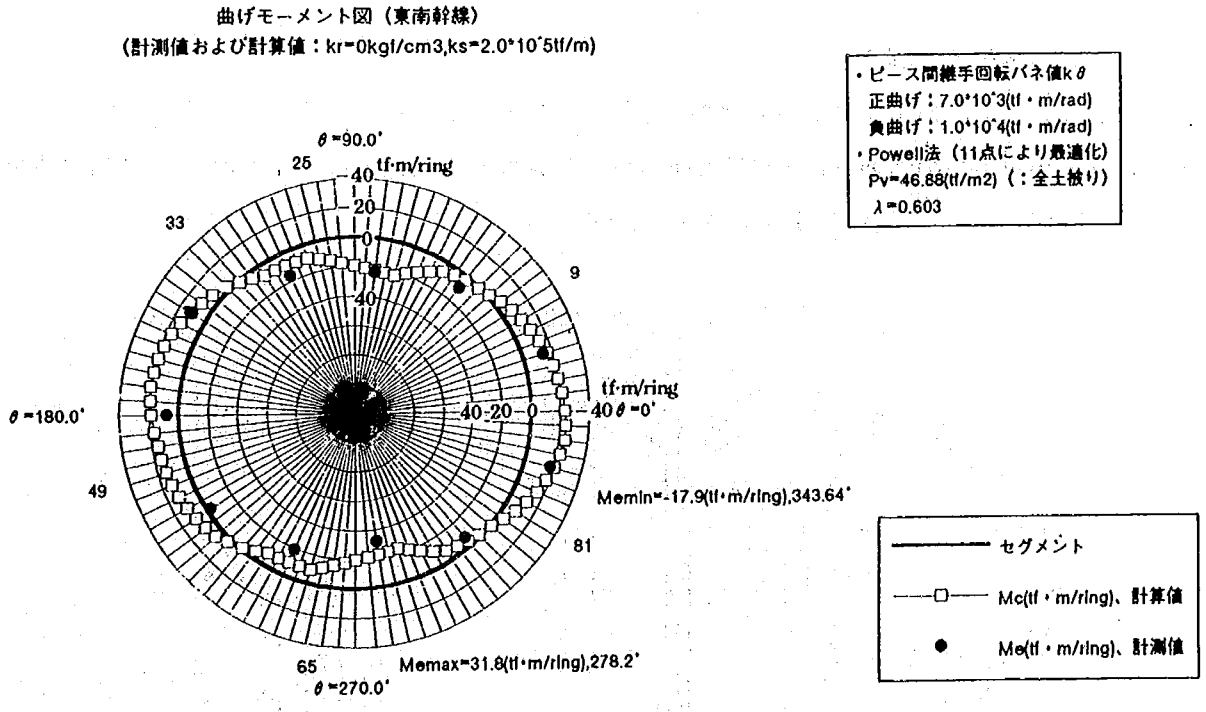


図－２．３６ 東南幹線シールドの計測断面力と計算断面力の断面分布図（地盤反力係数k=0.5kgf/cm³の場合）

断面力一覧表（計測および計算断面力）　（東南幹線）
備考：　計測時刻、12/6、12:00
（kr=0kgf/cm3）

測定点	節点 θ(度)	計測値 Me (tf m/ring)	計測値 Memax	計算値 Mc (tf m/ring)	計算値 Nc (tf/ring)	計算値 Memax
9	16.4	-13.9		-16.8	-95.7	
10	49.1	9.4		2.6	-79.0	
11	81.8	23.1		21.8	-58.2	
1	114.6	16.6		8.8	-72.4	
2	147.3	-10.9		-11.8	-92.4	
3	180.0	-8.1		-18.7	-97.7	
4	212.7	2.8		-9.3	-91.3	
5	245.5	19.1		9.6	-73.1	
6	278.2	31.8	正曲げ	22.5	-59.3	正曲げ
7	310.9	6.8		3.6	-79.0	
8	343.6	-17.9	負曲げ	-20.7	-101.5	負曲げ

記号；　Me、Mc：計測および計算曲げモーメント
　　Nc：計算軸力



図－２．３７　東南幹線シールドの計測断面力と計算断面力の断面分布図（地盤反力係数k=0kgf/cm³の場合）

第３章　複円形シールドトンネルの作用土圧に関する現場計測

３．１ 計測方法

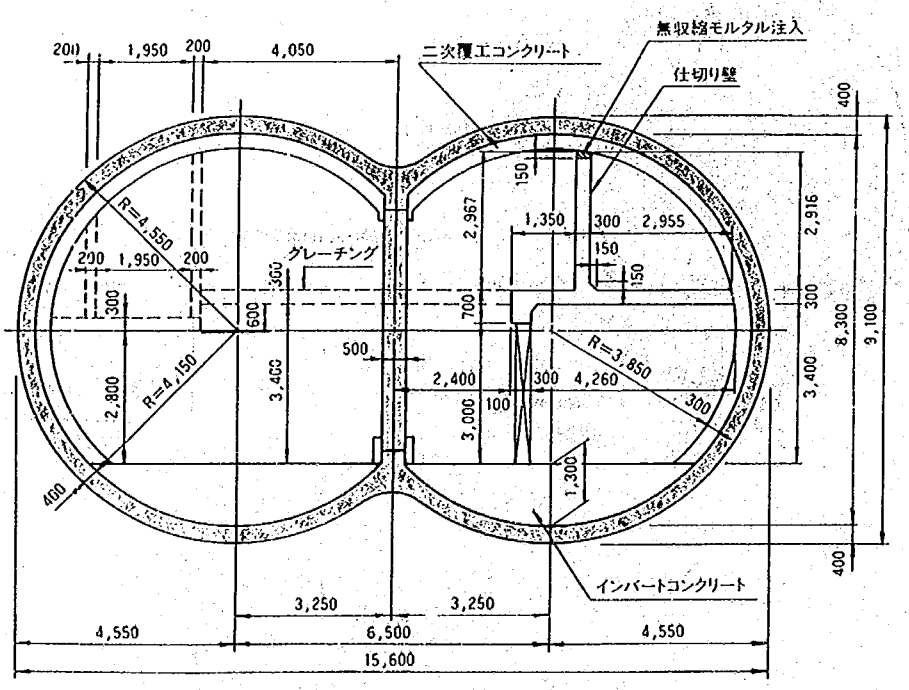
３．１．１計測目的

シールド工法は段階施工や環境問題等に対処できる適用性の高い工法であるが、今後のトンネルは大断面化となるばかりでなく、土被りが深くなる傾向にある。さらに、今後は地下空間の利用のニーズからトンネルの断面形状もこれまでの円形断面ばかりでなく、複円形や楕円形、矩形などの種々の断面形状に応じたシールドの技術開発がなされ、このような断面のシールドトンネルの建設が増加するものと予想される。実際にこれまでに複円形シールドは既に実績があり、矩形断面、楕円形断面などの実績も増えつつある。これらの種々の断面形状に応じた適切な覆工セグメントの設計を行うためには、最も基本となるトンネルに作用する土圧あるいは水圧などを把握する必要がある。

本現場計測は、これを念頭に円形以外の断面形状を有するシールドトンネルに作用する土圧を把握し、設計時の作用荷重の検討資料を得ることを目的として複円形の形状のシールドトンネルに作用する土圧、水圧およびセグメントに発生する応力等をこれまで円形断面のシールドトンネルの測定と同様な方法により計測するものである。

３．１．２トンネルの概要と計測位置

本現場計測は、図－３．１に示す東京臨海副都心建設（株）で施工される直径９．１ｍの円形断面を重合させた横幅１５．６ｍの複円形の断面形状の有明北地区供給管共同溝で実施した。有明北地区供給管共同溝は、東京都江東区有明に位置する延長約２５０ｍのトンネルである。



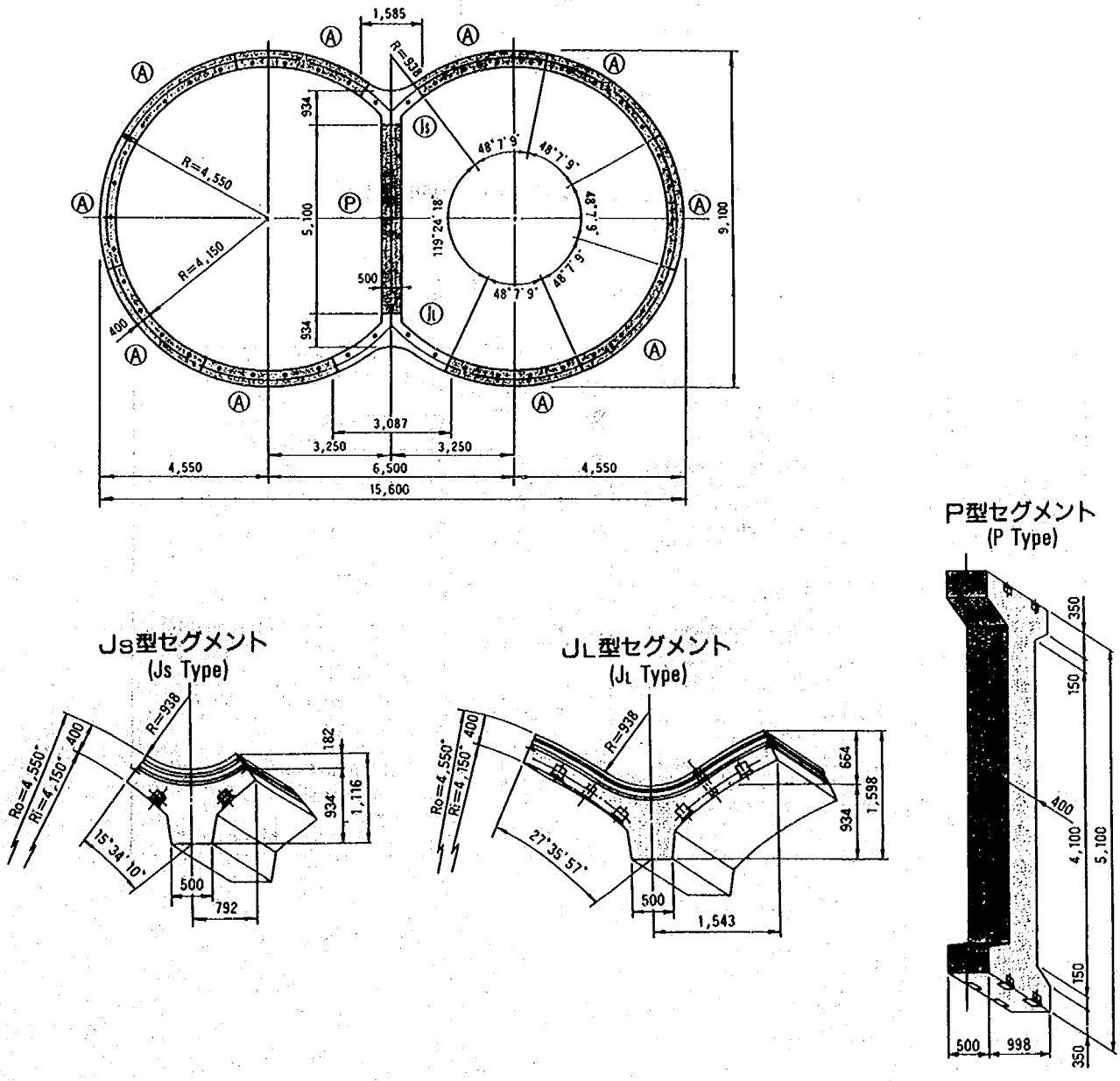
図－３．１ 有明北地区供給管共同溝の断面図

セグメントの構造・形式は、図－３．２に示すように桁高４０ｃｍ，幅１００ｃｍのＲＣ平板型セグメントであり、Ａ型のセグメントが１０ピースと中央上部及び下部に使用される大小の等Ｖ形をしたＪ$_L$型・Ｊ$_s$型が各１ピース、柱となるＰ型１ピースの４種類の合計１３ピースから構成されている。

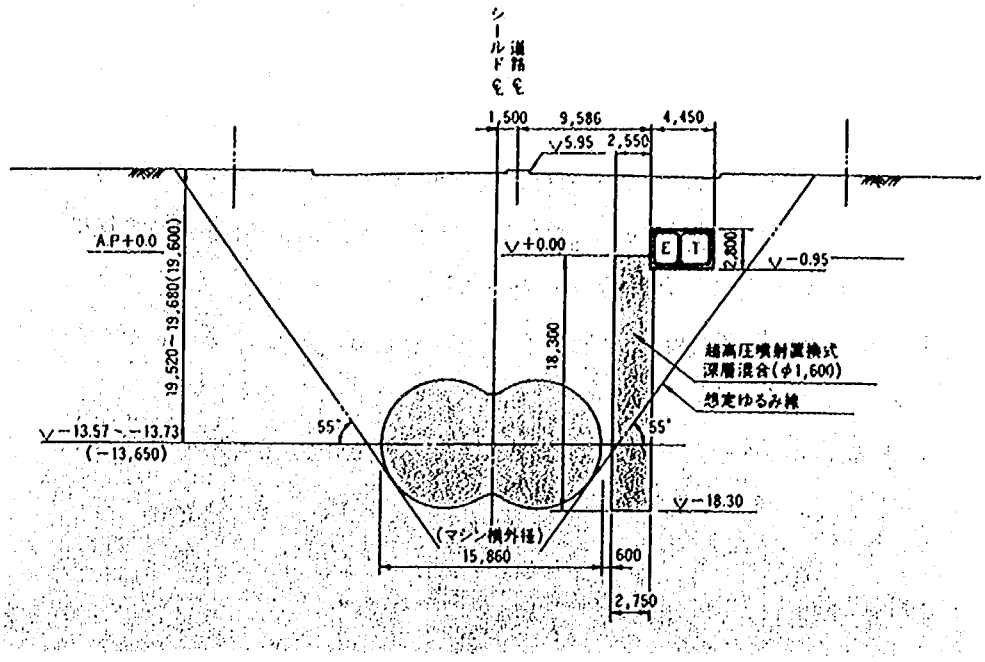
計測位置は発進立坑から約８０ｍの付近であり、土被りは約１６ｍである。本シールドトンネルの計測現場周辺には、図－３．３に示すようにシールド進行方向に向かって右手上部に洞道（幅４．４５ｍ、高さ２．８ｍ）が上部の離れ約１０ｍ、側部の離れ約３ｍの位置にあるため、この構造物の変状抑制・防止のための地盤改良を実施している。地盤改良は超高圧噴射工法である。

また、シールド掘削方式は、密閉型の泥土圧式シールドであり、施工に使用したシールド機の構造概要・仕様を図－３．４、表－３．１に示す。

なお、計測地点付近の工事の進捗は、平均的な掘進速度は約６ｍ／日であった。



図－３．２ セグメント組立図

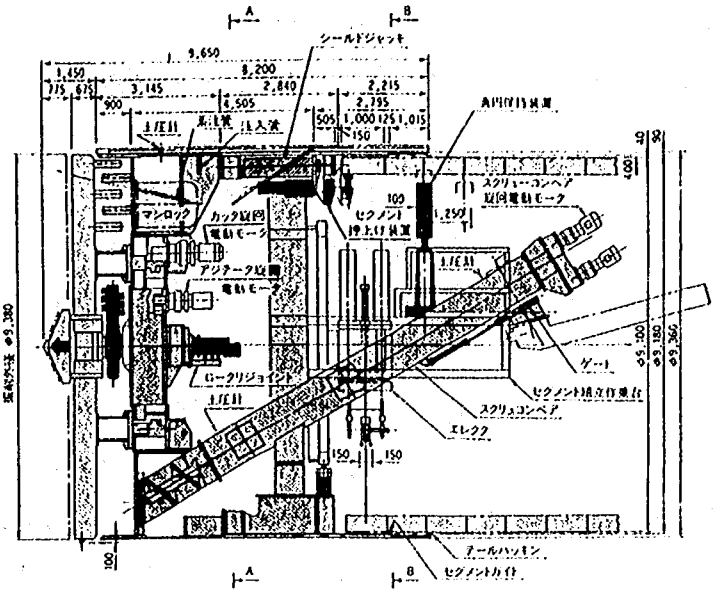


図－3．3 近接構造物に対する周辺への防護工

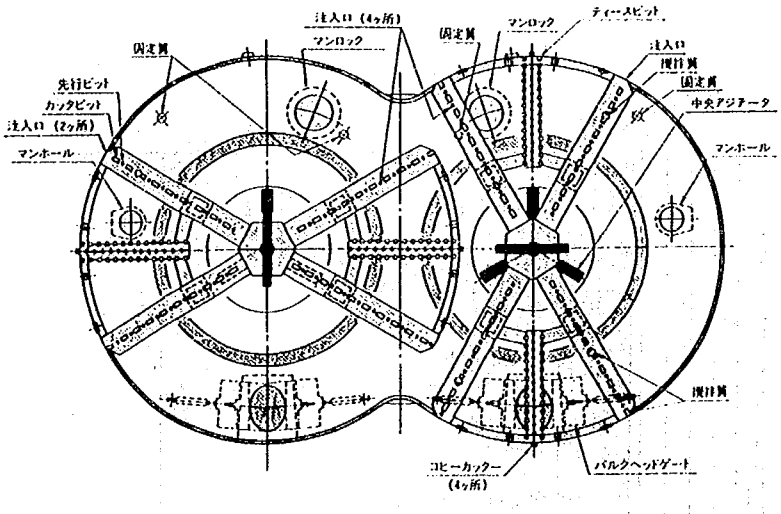
表－3．1 シールド機の主な仕様

シールド Shield		スクリューコンベア Screw conveyor	
シールド外径 External diameter	φ9,360mm×15,860mm	スクリューコンベア径 Diameter	φ900mm
シールド本体長 Length	8,200mm	型式 Type	軸付スクリューコンベア Shaft type
シールドジャッキ(上部) Shield jack (uppor)	300tf×1,200s×350kgf/cm²×24nos	回転数 Rotation frequency	1～11rpm
シールドジャッキ(下部) Shield jack (lower)	350tf×1,200s×350kgf/cm²×22nos	回転トルク Rotation torque	9tf-m(100%. at 9.2rmp)
シールドジャッキ伸長速度 Shield jack velocity when extended	5.0cm/min(全数作動時) 5.0cm/min(all jacks in operation)	排土量 Earth removal	210m³/h(η=80%)
エレクタ Erector		アジテータ Agitator	
型式 Type	リングギヤ片腕式 Ring gear cantilever type	回転数 Rotation frequency	1.9rpm
回転数 Rotation frequency	常速 0.6rpm 微速 0.3rpm normal 0.6rpm slow 0.3rpm	撹拌トルク Agitation torque	常用44.8tf-m(100%).瞬時最大67.2tf-m(150%) normal 44.8tf-m(100%).max.instantaneous 67.2tf-m(150%)
回転取扱重量 Capacity	4.6tr(セグメント1ピース最大) 4.6tr(max.per piece)	ローリング修正装置 Rolling control device	
カッタ Cutter		偏向ジャッキ Control jack	13tf×100s230/350kgf/cm²×26nos
回転数 Rotation frequency	0.71rmp	真円保持装置 Shaping correction unit	
掘削トルク Excavation torque	1,046tf-m(常用)1,570tf-m(瞬時最大) 1,046tf-m(normal)1,570tf-m(max.instantaneous)	押付ジャッキ Thrust jack	30tf×300s×350kgf/cm²×2nos×2ST
コピーカッタジャッキ Copy cutter Jack	20tf×130s×210dgf/cm²×2nos×2ST	セグメント押上げ装置 Segment jack-up device	
		押上げジャッキ Jack	20tf×120s×35kgf/cm²×1nos×2ST

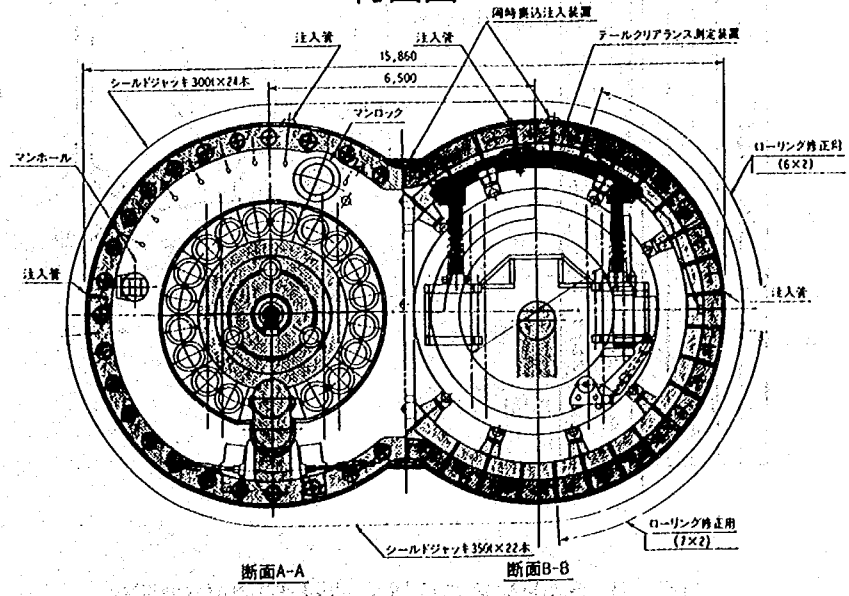
側部断面図



正面図



背面図



図－3．4　シールド機の概略図

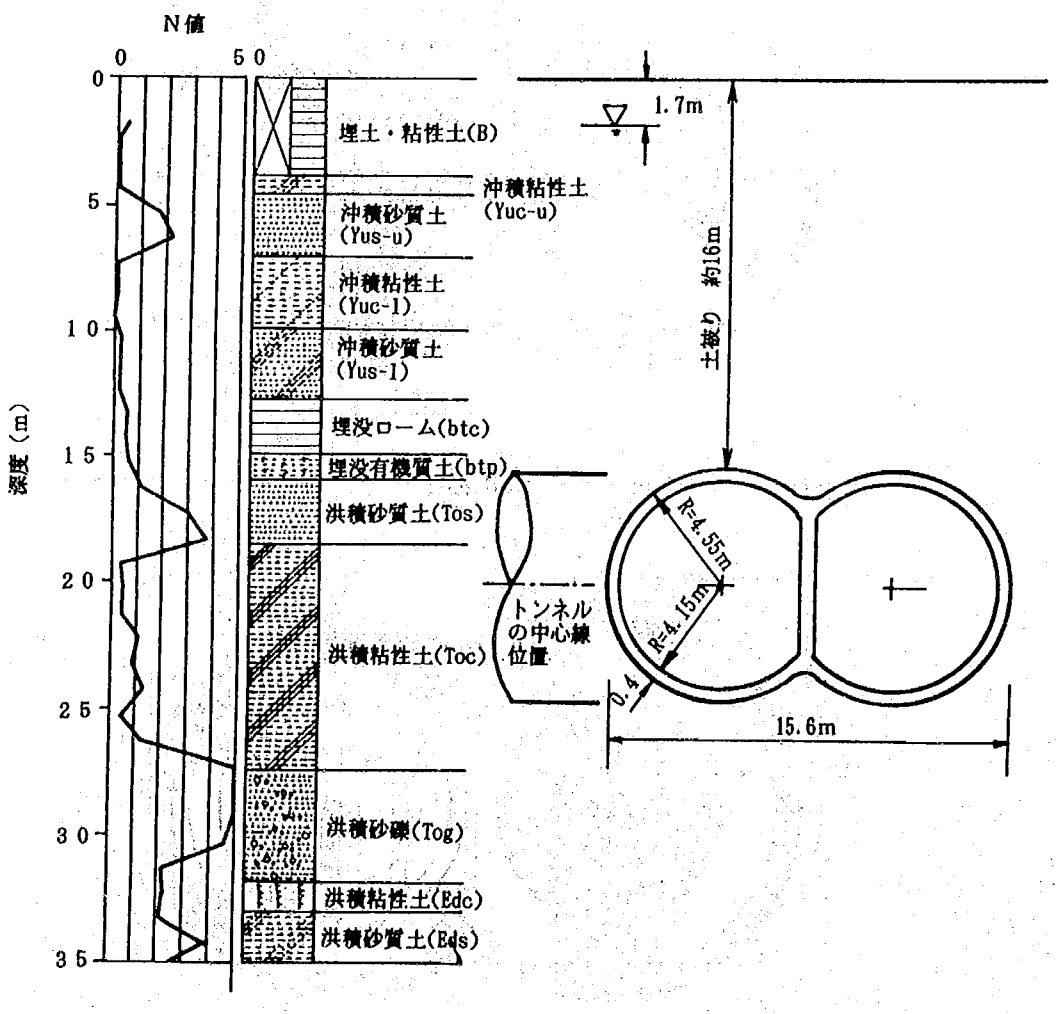
３．１．３地質状況

シールドトンネルの施工場所は、１９６１年～１９７０年にかけて東京湾内の有楽町層上部の砂質土を浚渫して埋立土材とし、造成された埋め立て地であり、地形的には沖積低地面に分類される。

地層構成は、上部より埋立土、沖積層（有楽町層）、洪積層の埋没段丘層、東京層、江戸川層であり、自然地下水位はＧＬ－２．０ｍ程度と高く、埋め立て土内に存在する。また、埋没段丘層の埋没有機質土層からは、メタンガスの地中残留が微量ではあるが不均一に検出されている。

トンネルの土被りは、約１３．５ｍ～１７．５ｍであり、シールドの縦径（Ｄ）に対して概ね１．４Ｄ～１．８Ｄとなっている。シールドトンネルは埋没段丘層の埋没有機質土（btp層、Ｎ＝１～１３）、埋没段丘礫層（btg層、Ｎ＝４～５０）、東京層の中位部の砂質土層（Tos層、Ｎ＝１２～５０、礫径φ５～２０ｍｍ，ｋ＝１０$^{-2}$cm/secオーダー、砂の粒子は比較的均一で少量のシルトを混入する）、粘性土層（Toc層、Ｎ＝３～２０、比較的均質で少量の砂を混入する）を通過する。事前のボーリング調査によれば被圧地下水を有し、トンネル上部のTos層では平衡水位がGL-12m、トンネルの下層のTog層では平衡水位がGL-17mとなっている。

計測付近のボーリングデータをもとにトンネル位置と地質の柱状図の関係を図－３．５に示す。



図－３．５　トンネル位置と地質の柱状図の関係

3．1．4計測項目

本現場計測における計測項目は以下に示すとおりであり、主として土圧、水圧、鉄筋計によるセグメントの応力および中柱の応力を計測した。また、測定機器・数量は表－3．2に示すとおりである。

測定リングの概略位置は発進立坑から約８０ｍの位置の８０、８１リングの２断面で実施しており、土圧計の測定は８１リングで、鉄筋計及び水圧計の測定を８０リングでそれぞれ実施した。各測定リングの断面内の計測位置の概要を図－３．６、図－３．７に示す。

①作用土圧

セグメントに作用する土水圧（土圧、水圧）を土圧計にて測定する。

②作用水圧

セグメントに発生する水圧を水圧計にて測定する。

③セグメントに発生する応力度（円周方向）

リング方向に鉄筋計を設置し、外荷重によって発生する応力を測定する。また、中柱に作用する軸力を測定する。

表－３．２ 測定計器・数量

項目	測定計器名および形式	数量	備　考
①	土圧計（容量5kgf/cm² BE-5KF）	１２点	１２点×１リング （設置ﾘﾝｸﾞNo.:81ﾘﾝｸﾞ）
②	水圧計（容量2kgf/cm² BS-2KB）	６点	６点×１リング （設置ﾘﾝｸﾞNo.:80ﾘﾝｸﾞ）
③	円周方向鉄筋計（容量３，０００kgf/cm²）	３６点	１８箇所×内側と外側×１リング （設置ﾘﾝｸﾞNo.:80ﾘﾝｸﾞ）

3．1．5計測機器の配置

各計器を以下の要領で設置した。

①土圧計

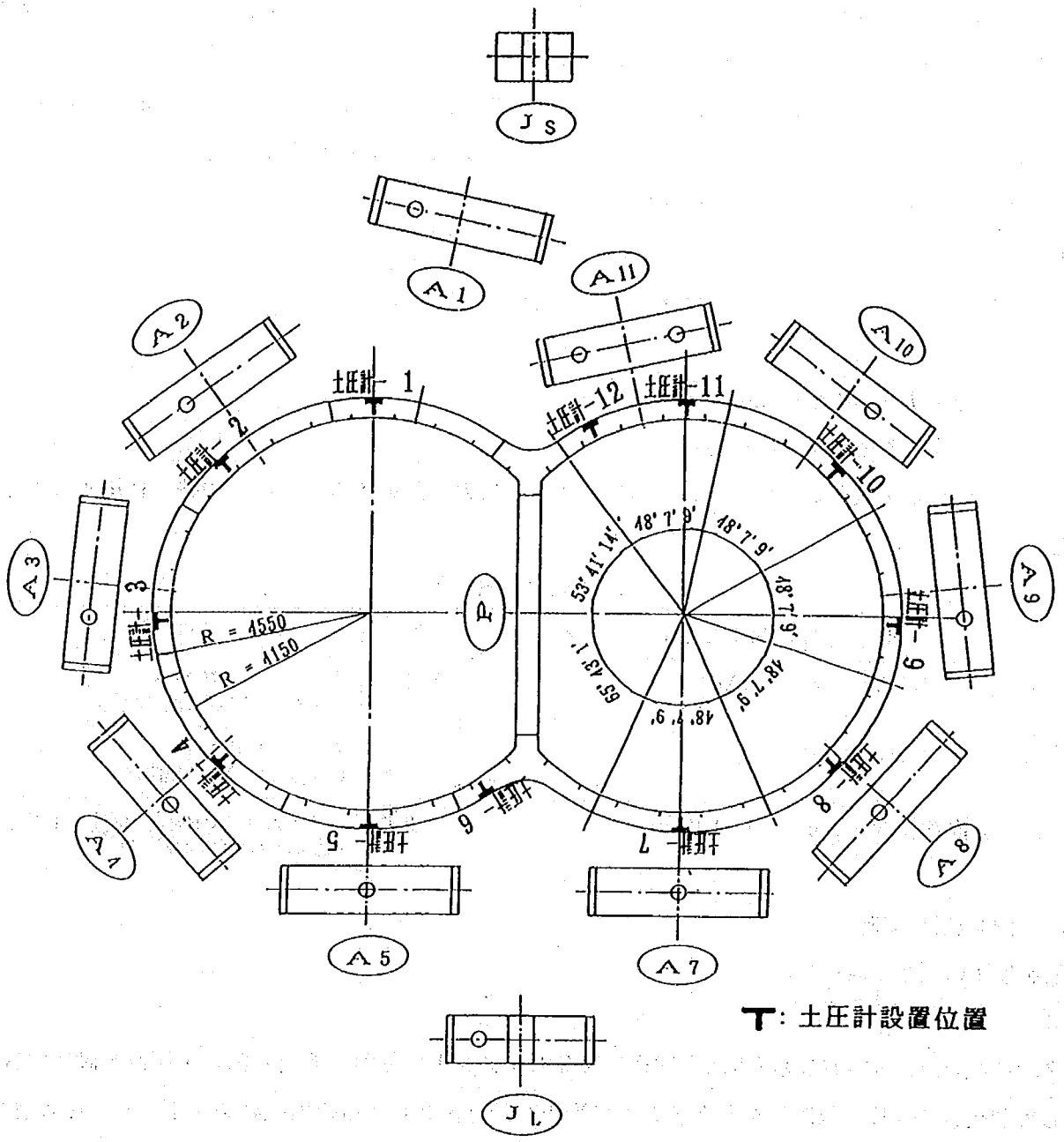
図－２．８で示した土圧計の設置方法と同様にＲＣセグメントの背面（地山）側に土圧計を設置するため、あらかじめ型抜きを施して製作したセグメントに受圧有効直径２０ｃｍの土圧計をエポキシ系接着剤で設置した。設置位置は複円形の各リング内の上下左右および４５°の位置周辺の１２点を設置するため、図－３．９(1)～(2)に示す位置の１２点とした。

②水圧計

図－３．７に示したセグメントの裏込め注入孔に水圧計を設置するため、図－３．８に示した水圧計取り付け用の止水用のボールバルブ等を介在させて外径３ｃｍの水圧計を設置した。なお、水圧計の取付は、裏込め注入後に実施し、裏込め注入が硬化後にグラウト孔を通して地山を削孔したのちに設置した。

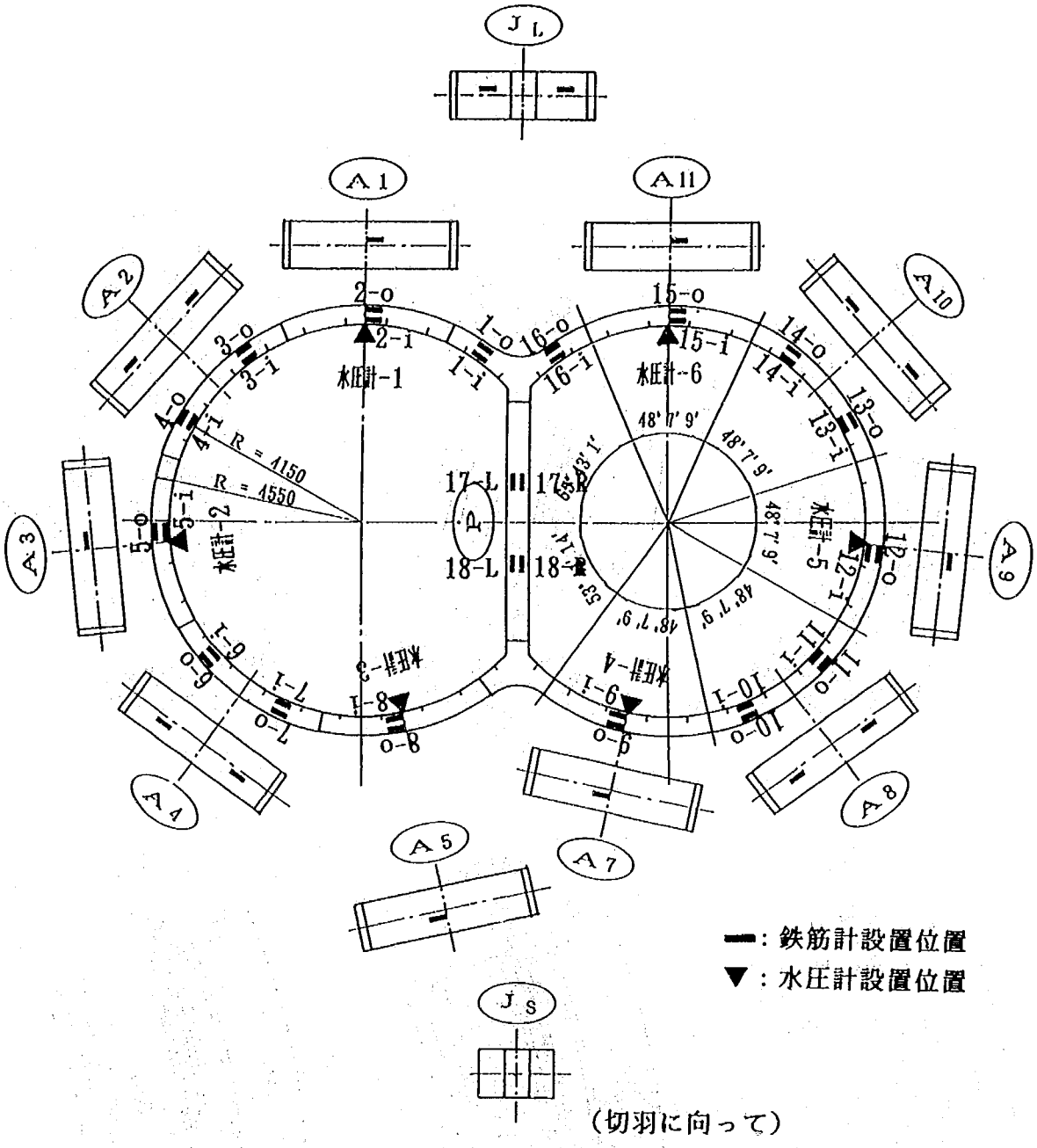
③円周方向鉄筋計

円周方向鉄筋計を主鉄筋の所定の位置にあらかじめセグメント製作時に鉄筋計として設置した。円周方向鉄筋計の概要は、表－３．２及び図－２．８の鉄筋計外観図、鉄筋計構造図に示すとおりであり、各鉄筋計の取り付けの詳細図を図－３．１０(1)～(2)に示す。

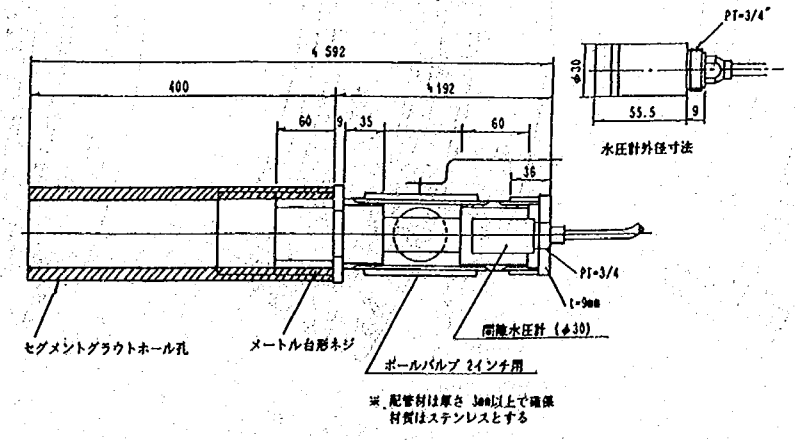


（切羽に向って）

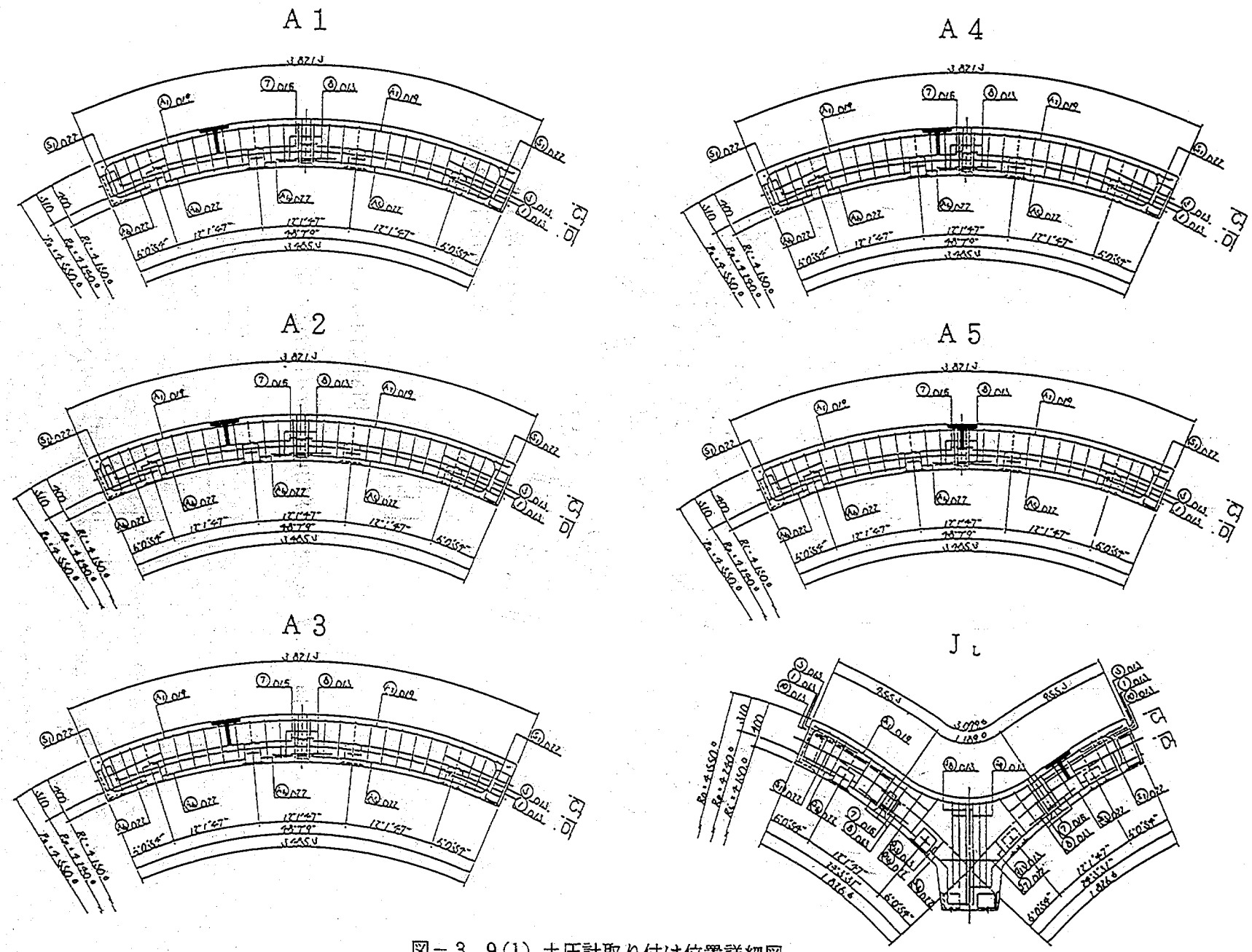
図－3．6 土圧計取り付け位置図



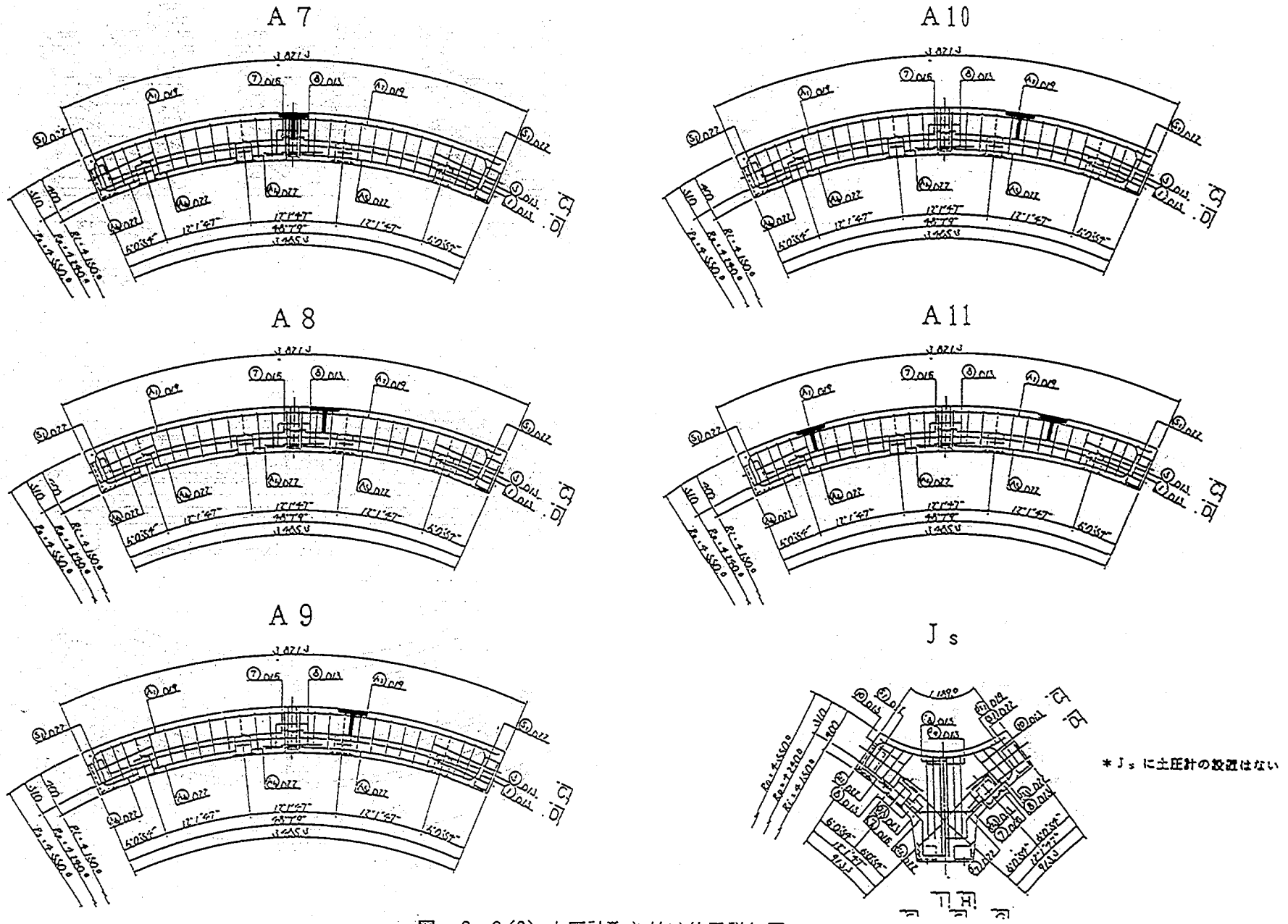
図－３．７　鉄筋計及び水圧計の取り付け位置図



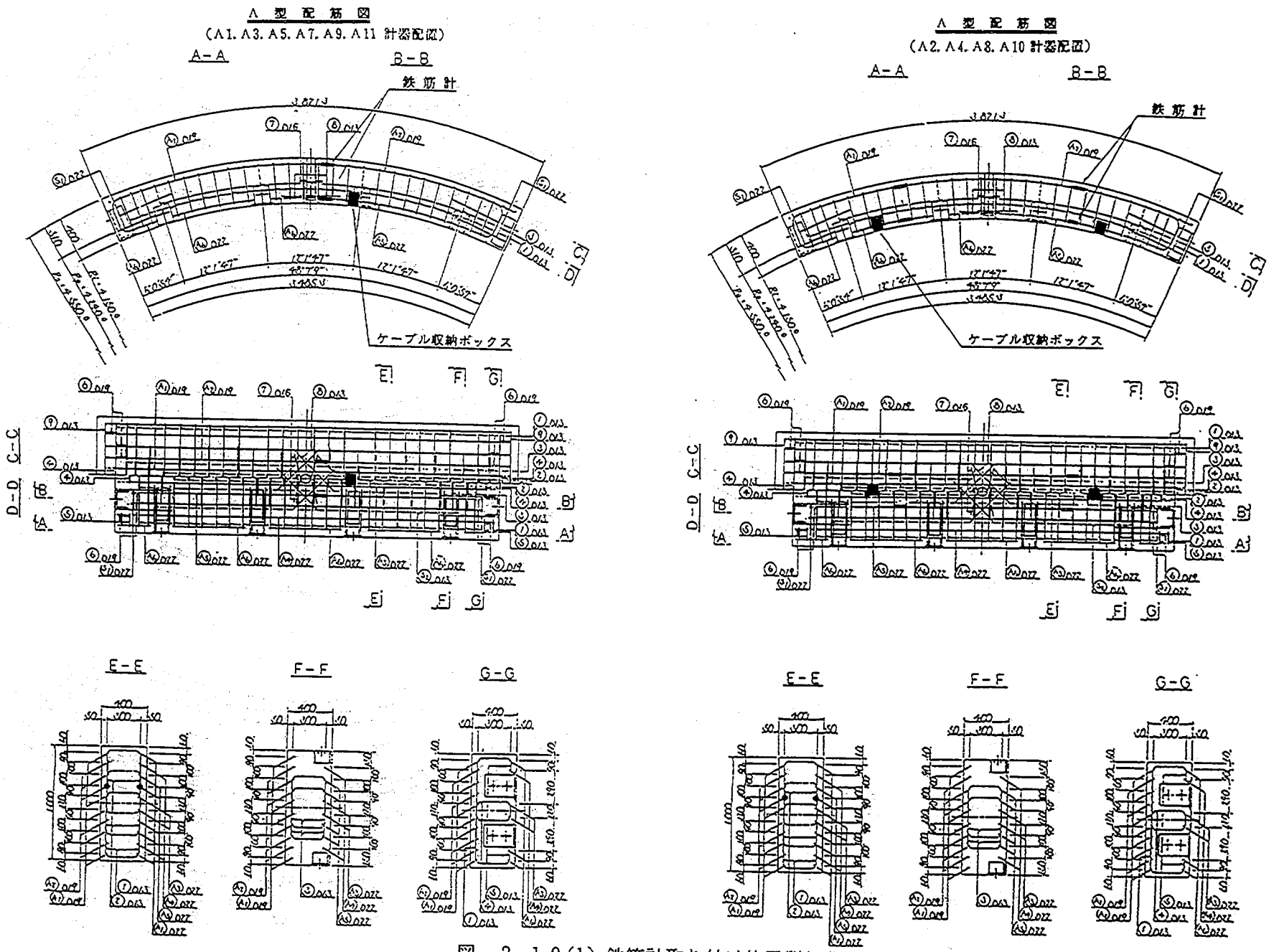
図－３．８　水圧計取り付け概要図



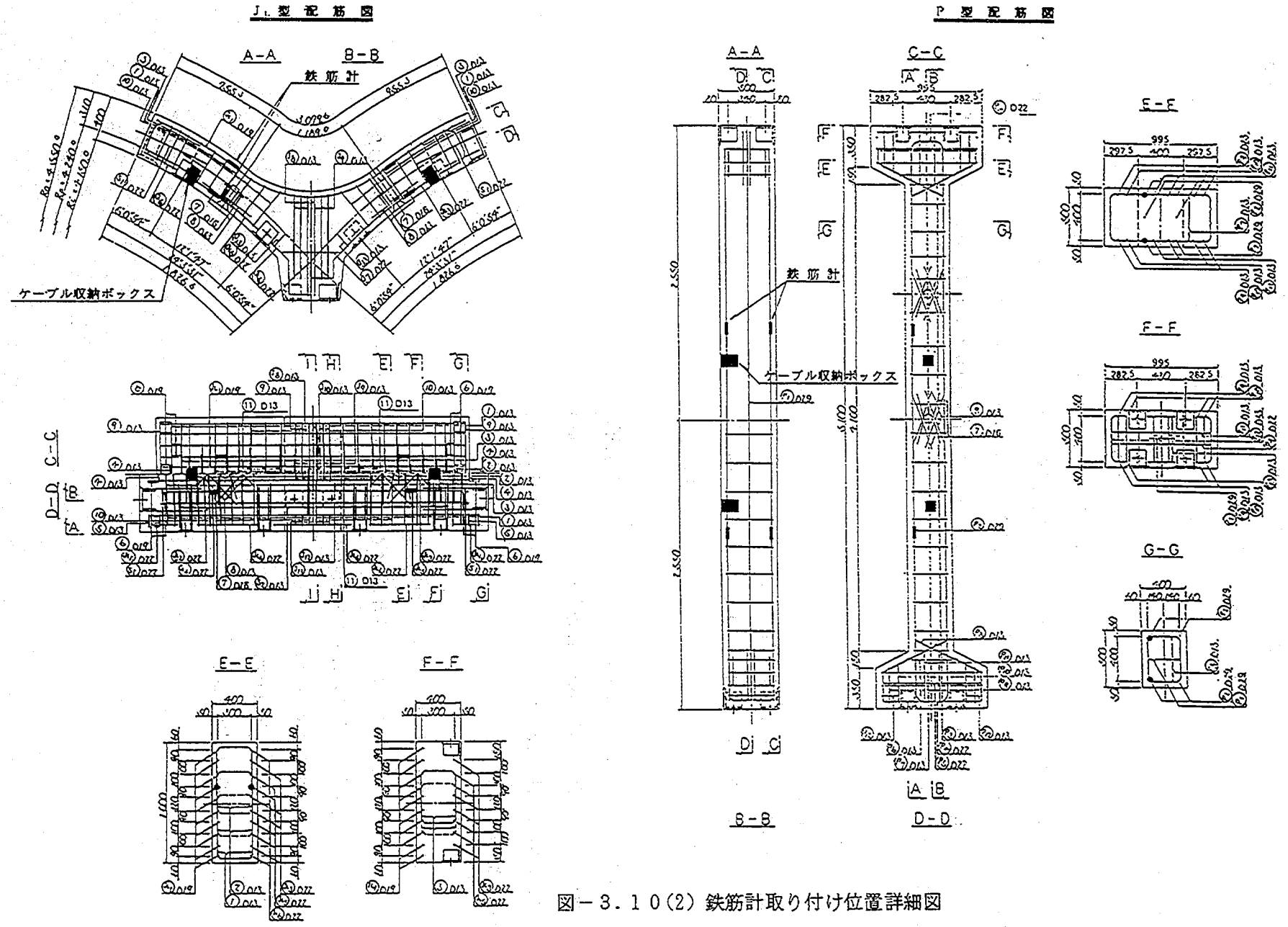
図－３．９(1) 土圧計取り付け位置詳細図



図－３．９(2) 土圧計取り付け位置詳細図



図－3．10(1) 鉄筋計取り付け位置詳細図



図－3．10(2) 鉄筋計取り付け位置詳細図

３．１．６測定方法

測定は、トンネル内に計測用のＢＯＸを設けその中にデジタル測定器とスキャナボックス（ＵＣＡＭ－５ＢＣ、ＵＳＢ－５１Ａ）と通信用モデム（ＤＡＴＡＸ－Ｓ１９．２miniＡ）を設置し、モデム通信を用いて地上の現場事務所内に設置したパーソナルコンピューター（ＰＣ－９８０１）による自動計測およびデータの収集を行った。

測定システムは、図－３．１１に示すように各計器から計測ケーブルで測定リング近傍に設置したスキャナボックスに接続し、スキャナケーブル（ＵＣＡＭ－５ＢＣ）を介してデジタル測定器に、デジタル測定器からＲＳ－２３２Ｃケーブルにてモデムへそれぞれ配線を行った。また、洞道内のモデムと地上の現場事務所内のモデムを通信ケーブルで結び、事務所内のモデムとＰＣ－９８０１をＲＳ－２３２Ｃケーブルで接続した。なお、測定データは全てパーソナルコンピューター内臓の５インチフロッピーディスクにランダムファイル形式で収録した。

３．１．７測定頻度及び初期値

（１）測定頻度

測定の頻度は、以下の示すとおりとした。

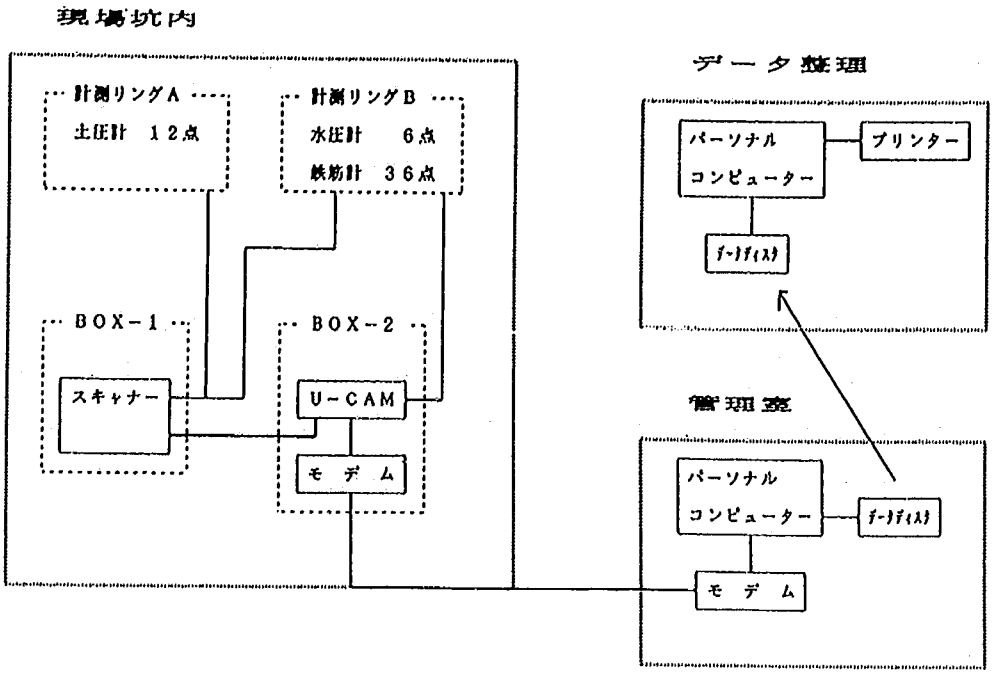
・セグメント組立直後（93/11/19 15:16）　１回
・テール脱出後　１回
・裏込め注入後　１回
・１日後～93/11/20 15:50まで　２分間隔
・93/11/20 15:50～93/12/01 18:00まで　５分間隔
・93/12/01 18:00～95/ 2/23　３０分間隔
・95/ 8/ 3 12:00　約１ヶ月間隔

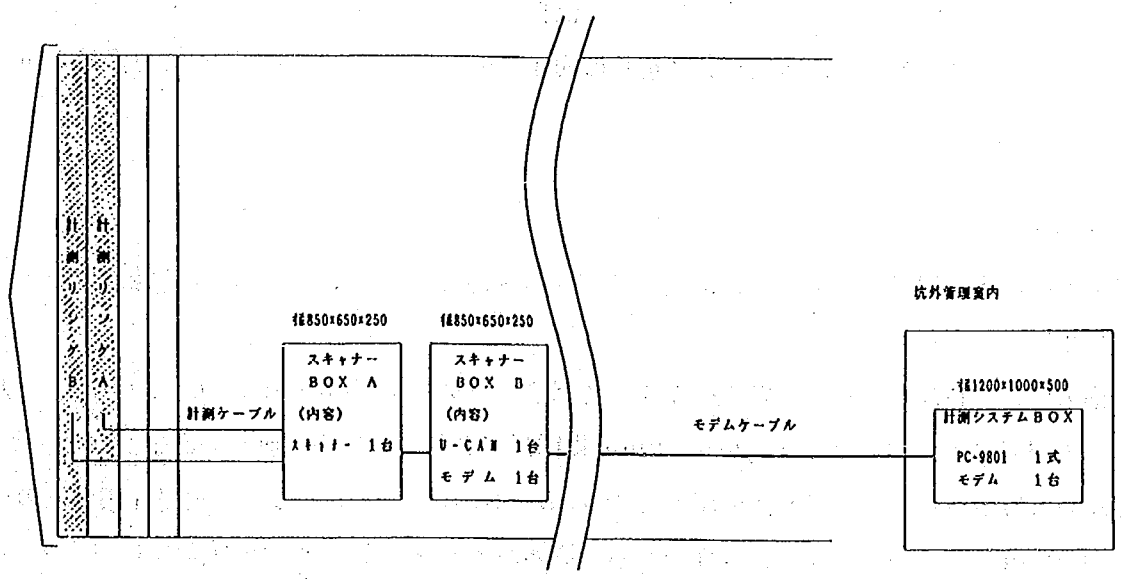
（２）初期値

各測定値の初期値は、以下に示す時期とした。

・土圧計、水圧計は計測用リングを組み立てる前の大気中のフリーの状態を初期値とした。
・鉄筋計は計測用リングを組み立てた直後の値を初期値とした。

土圧計　93/11/19 09:46
水圧計　93/11/25 19:28
鉄筋計　93/11/19 09:46





ただし、各計測ケーブルのスキャナーへのつなぎ込みは、下記を予定するものとする。

鉄筋計 36台 ⟶ スキャナーボックス A 中のスキャナー

土圧計 12台 ⟶ 同 上

水圧計 6台 ⟶ スキャナーボックス B 中のU-CAMへ直接

図－3．11 計測システム図

3.2 施工管理の状況

計測されたデータから挙動を解析する場合、施工の状況を把握しておく必要がある。シールドトンネルに作用する土圧、あるいは周辺地盤の挙動等に影響すると考えられる施工時のデータを調査した。施工管理データの把握は、シールドトンネルの切羽圧力、掘削時の総推力、裏込め注入に関する材料、圧力とした。調査した施工管理の区間は、本シールドトンネルの延長が比較的短いことから、ほぼ全延長に相当するデータを収集した。

3.2.1リングの組立状況

リングの組立状況の施工管理データを、表－3.3(1)～(6)、図－3.12に示す。図より、初期掘進時に約60リング組み立てた後に、約1ヶ月間の段取り換えを行い本掘進を行っている。全行程の平均的な進捗は1日当たり4リング程度であるが、計測リング付近では1日当たり6リング程度あった。なお、計測開始時点から約1ヶ月後に掘進を終了した。

3.2.2切羽圧力

切羽圧力（切羽水圧）の施工管理データを、表－3.3(1)～(6)、図－3.13に示す。図表に示すデータは、シールド機前面に設置した数個の土圧計により得られた個々のデータを示してある。

土圧計のデータは、各リングで1～2kgf／cm²程度の変動はあるが、全体の傾向としてはシールド機に設置した土圧計の位置により変動しており、傾向は概ね一致していることが分かる。現場計測付近の切羽水圧は、多少の上下はあるものの計測リング前後の約10m間のシールド中央の位置で概ね3kgf／cm²付近となっていたことが分かる。

3.2.3総推力

総推力に関する施工管理データを、表－3.3(1)～(6)、図－3.14に示す。総推力のデータは、掘削リングの平均値で示した。

総推力は、発進部及び到達部周辺を除き、各掘削リングで4,500ton～6,500tonで大きく変動している。本現場のシールド機の直径が9.1mの複円形であり、シールド前面の面積が約117m²となり、総推力から計算されるシールド前面の圧力は約3.8～5.6kgf／cm²となる。現場計測付近の総推力は、5,200ton～5,400tonで、総推力から計算されるシールド前面の圧力は約4.4～4.6kgf／cm²となる。総推力から計算される切羽前面の圧力と土圧計から得られた切羽圧力との関係が一致していないのは、シールド機のシールド機外周と土との摩擦などによるものと考えられる。なお、総推力と切羽圧力との関係は、総推力が上昇すると切羽圧力も増加する傾向が見られる。

3.2.4裏込め注入材料および注入量・圧力

裏込め注入材料および注入量・圧力の施工管理データを表－3.3(1)～(6)及び図－3.15(1)～(2)に示す。

（1）裏込め注入材料

裏込め注入材料は、２液性の可塑性材料のＴＧ－２グラウトを使用した。表－３．４に１ｍ³当たりの標準配合，表－３．５に試験練りの結果を示す。

表－３．４　裏込め注入材料の１ｍ³当たりの標準配合表

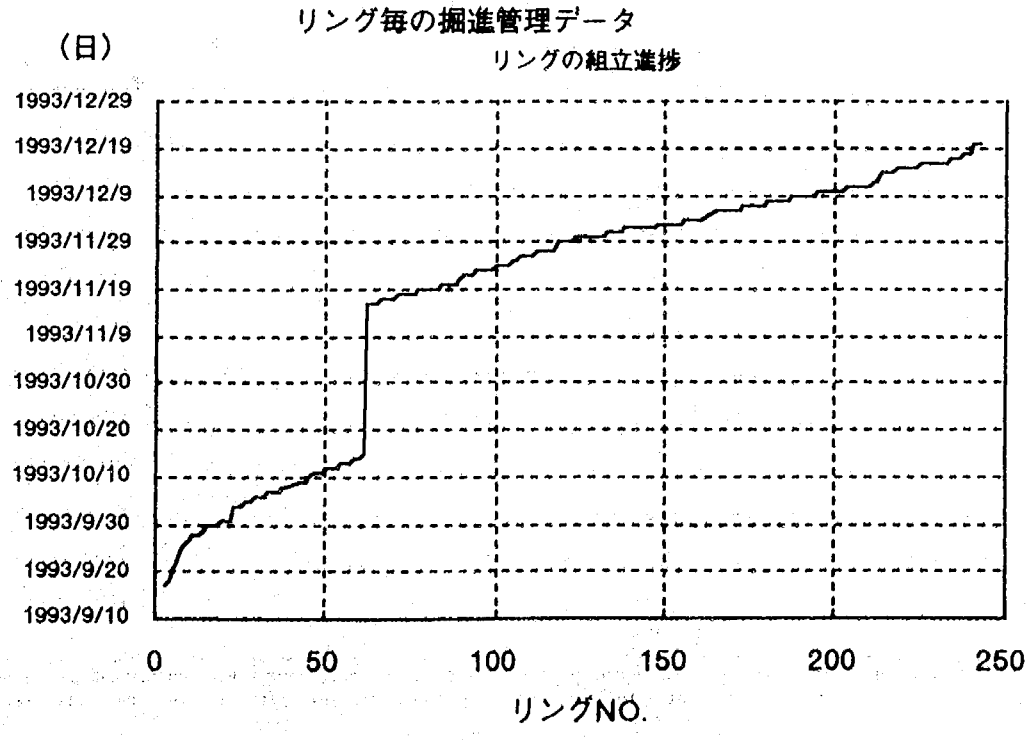
	A液（1,000リットル）				B液	備考
材料名	硬化材	助材	安定材	水	急結硬材	A液1000ﾘｯﾄﾙ
標準配合	250 kg	90 kg	1kg	872 ﾘｯﾄﾙ	80 ﾘｯﾄﾙ	A液　7ﾘｯﾄﾙ
試験配合	1.75 kg	0.63kg	7g	6.1 ﾘｯﾄﾙ	0.56 ﾘｯﾄﾙ	A液　7ﾘｯﾄﾙ

表－３．５　裏込め注入材料の１ｍ³当たりの標準配合表

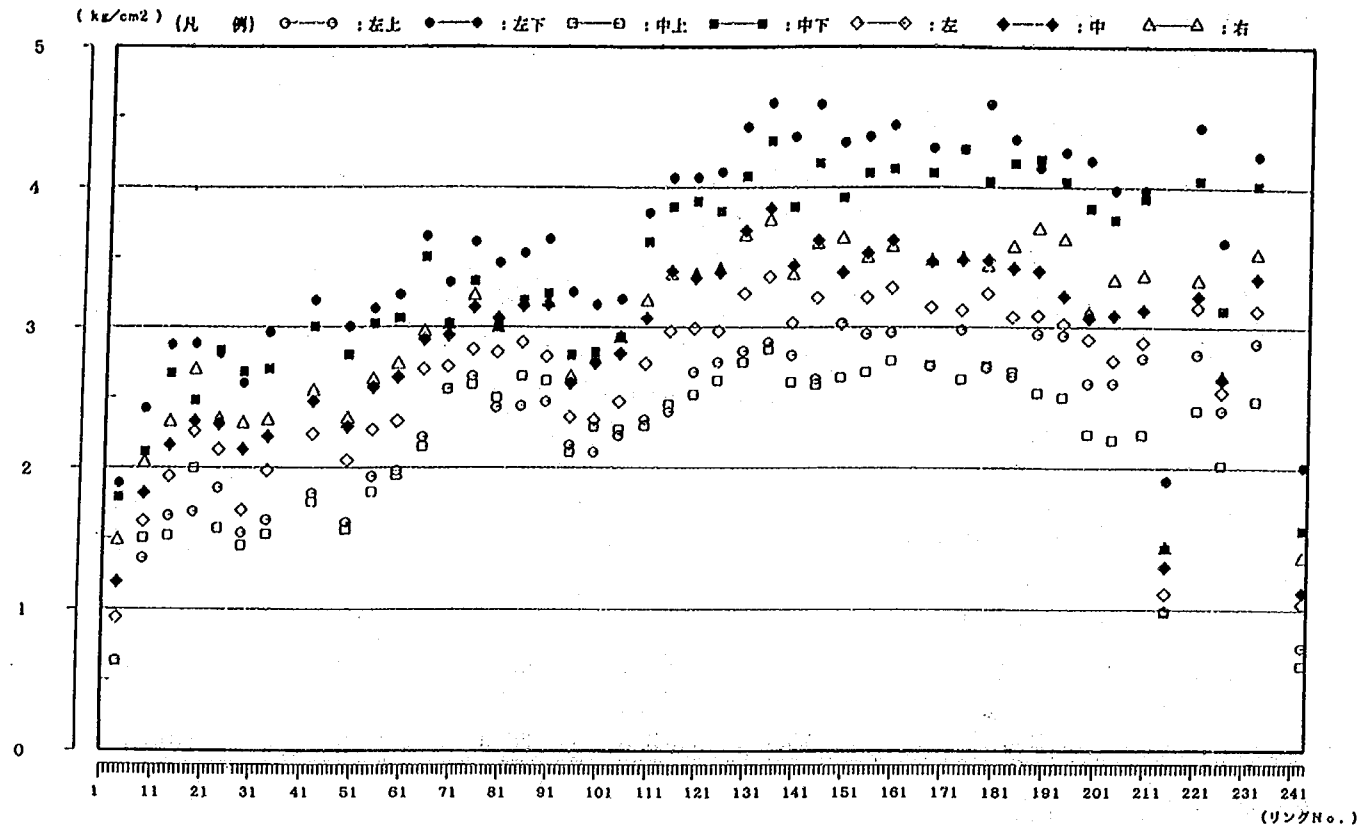
	試験項目	試験結果				想定値
A液	比重	1.22				1.213±0.03
	フロー値	10.99秒				10±1秒
	ブリージング率１時間	1.0%				2%以下
A＋B液	ゲルタイム	5.6秒				2～8秒
	一軸圧縮強度 kgf/cm²	①	②	③	平均	——
	１時間	0.21	0.17	0.27	0.22	0.2～0.4
	１日	4.74	4.63	4.52	4.63	3～5
	２８日	25.6	23.8	26.4	25.3	20以上

（2）裏込め注入量・圧力

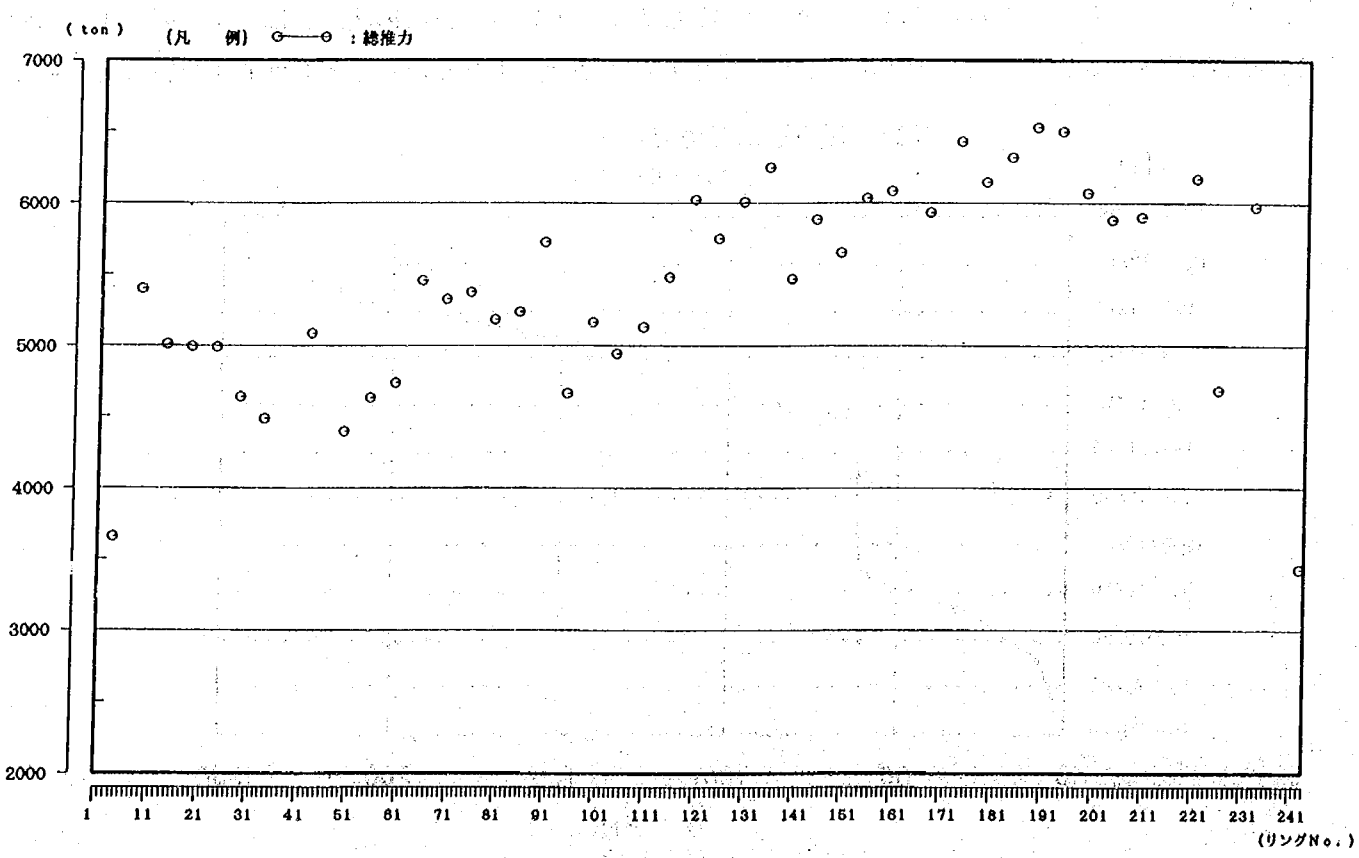
裏込め注入は、シールド機から掘進と同時に注入する同時裏込め注入方式で施工された。裏込め注入位置は、天端付近３箇所の裏込め注入孔から実施されている。裏込め注入圧は、裏込め注入位置やリング毎で大きく変動している。現場計測付近では約３kgf／cm²程度となっている。裏込め注入量は、１分間に１００ﾘｯﾄﾙ以下程度で注入された。なお、理論ボイド量に対する注入率は、１２５から１５０%前後で管理を行った。



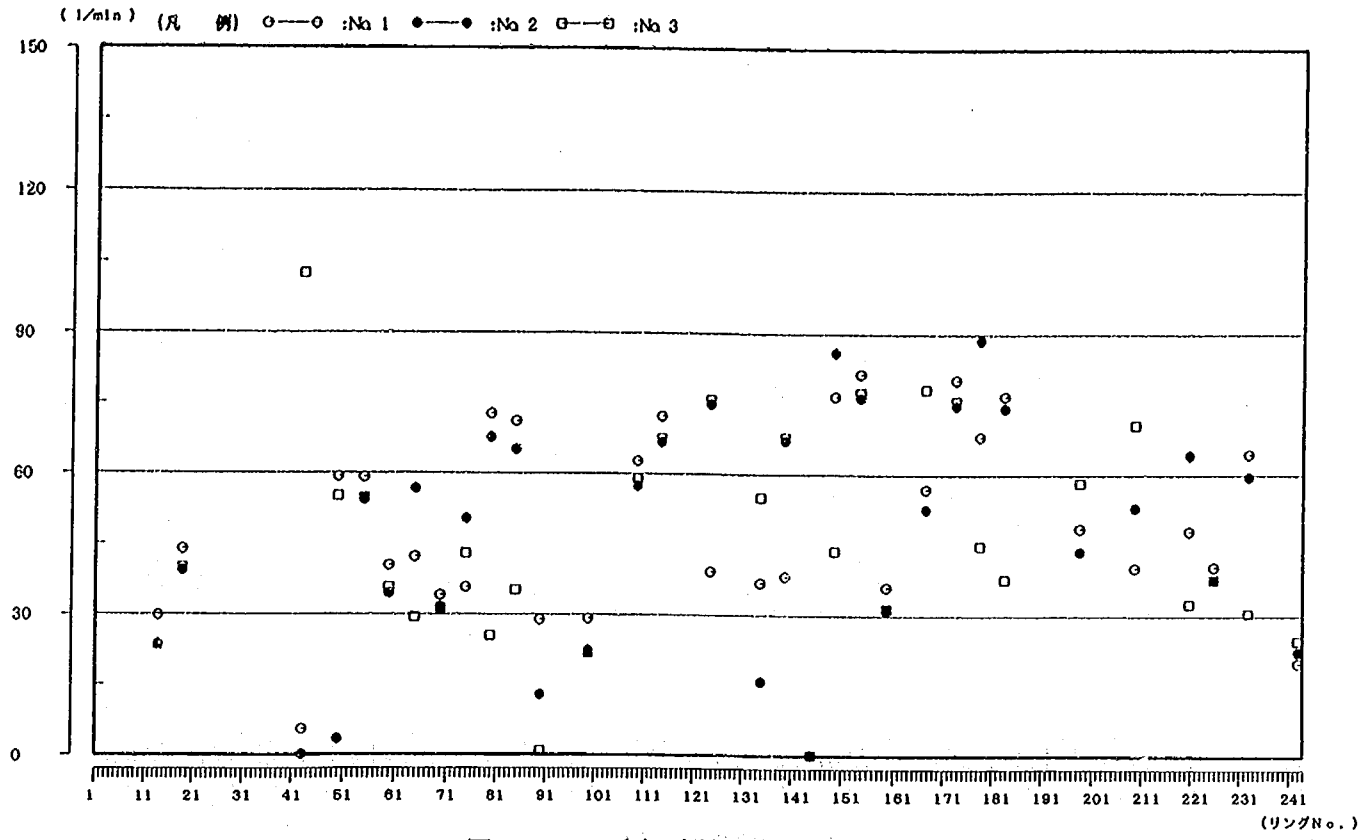
図－３．１２ リング組立状況



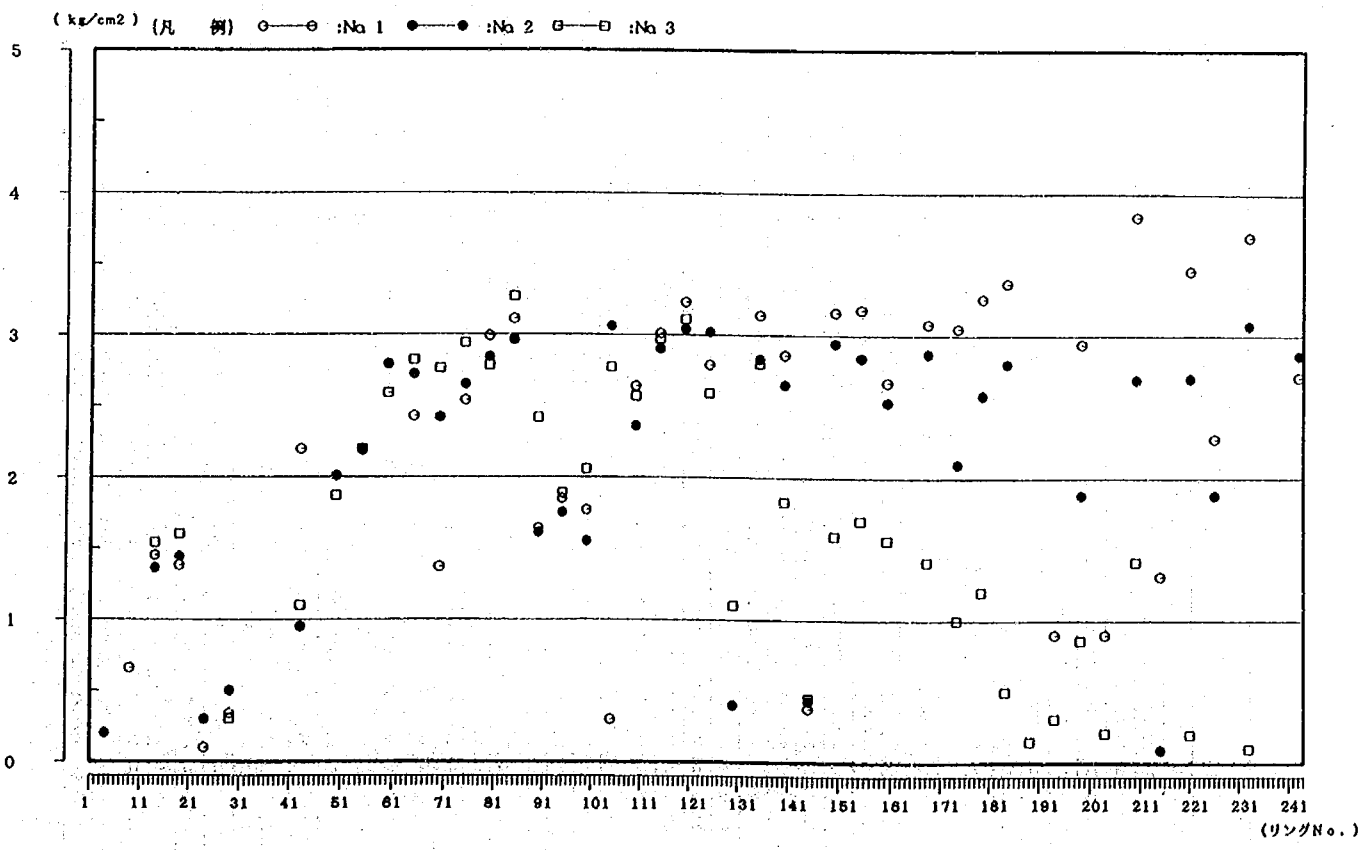
図－３．１３ 切羽土圧の状況



図－３．１４ 総推力の状況



図－3.15(1) 裏込注入量の状況



図－3.15(2) 裏込注入圧の状況

表－3.3(1) 施工管理データ一覧表

RING	開始日時	終了日時	Jストローク上(mm)		Jストローク右(mm)		Jストローク下(mm)		Jストローク左(mm)		切羽土圧(kg/cm2)							総推力	裏込圧力(kg/cm2)			裏込注入量(l/min)		
			開始	終了	開始	終了	開始	終了	開始	終了	左上	左下	中上	中下	左	中	右		No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3
3	93/09/17 13:56:22	93/09/17 21:48:12	158.00	1172.00	152.00	1159.00	143.00	1149.00	153.00	1155.00	0.64	1.89	0.63	1.79	0.94	1.19	1.48	3658.06	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
4	93/09/18 00:24:52	93/09/18 03:17:32	131.00	1152.00	155.00	1152.00	157.00	1156.00	160.00	1154.00	0.73	2.10	0.74	2.05	1.26	1.40	1.48	3942.18	0.20	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
5	93/09/18 20:29:22	93/09/20 12:38:02	139.00	1100.00	157.00	1073.00	160.00	1062.00	165.00	1079.00	0.55	1.80	0.51	1.50	0.88	1.03	1.26	4212.33	0.20	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
6	93/09/21 05:03:22	93/09/21 12:00:12	112.00	1121.00	119.00	1111.00	116.00	1103.00	117.00	1111.00	0.75	1.48	0.17	1.41	0.60	0.81	0.91	3379.48	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
7	93/09/23 14:09:22	93/09/24 14:13:02	120.00	1144.00	116.00	1120.00	104.00	1108.00	117.00	1120.00	1.37	2.60	1.66	2.28	1.90	2.01	2.17	5610.06	1.24	1.27	1.21	31.62	23.03	24.35
8	93/09/25 01:07:52	93/09/25 21:40:12	192.00	1168.00	206.00	1155.00	144.00	1148.00	191.00	1163.00	1.36	2.42	1.50	2.11	1.62	1.82	2.03	5398.16	0.66	0.75	1.34	32.52	17.66	18.43
9	93/09/25 23:45:22	93/09/26 03:48:02	149.00	1192.00	156.00	1168.00	153.00	1150.00	168.00	1172.00	1.53	2.38	1.38	2.01	1.61	1.77	1.88	5559.96	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	93/09/27 13:40:32	93/09/27 16:27:22	152.00	1168.00	164.00	1160.00	160.00	1149.00	173.00	1160.00	1.14	1.94	1.32	1.81	1.43	1.60	1.81	4624.73	0.20	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00
11	93/09/28 01:34:42	93/09/28 04:06:52	151.00	1186.00	167.00	1171.00	156.00	1152.00	167.00	1168.00	1.12	2.40	1.07	2.17	1.49	1.68	1.86	4613.16	1.32	1.09	1.29	29.90	25.28	24.42
12	93/09/28 10:00:02	93/09/28 14:02:02	148.00	1168.00	162.00	1160.00	155.00	1149.00	162.00	1160.00	0.93	2.22	0.90	1.99	1.31	1.49	1.64	4052.93	0.30	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00
13	93/09/28 20:17:12	93/09/28 22:09:32	159.00	1170.00	172.00	1152.00	160.00	1135.00	172.00	1154.00	1.66	2.87	1.52	2.67	1.94	2.16	2.32	5009.70	1.45	1.36	1.54	29.82	23.65	23.43
14	93/09/29 20:49:12	93/09/29 22:12:42	133.00	1151.00	144.00	1144.00	139.00	1137.00	148.00	1142.00	1.84	3.05	1.69	2.95	2.14	2.41	2.55	5325.18	1.08	1.05	1.30	31.68	25.61	26.65
15	93/09/30 01:54:22	93/09/30 03:20:02	142.00	1174.00	158.00	1156.00	149.00	1137.00	155.00	1159.00	1.52	2.90	1.60	3.01	2.03	2.28	2.53	5244.15	1.25	1.21	1.41	35.15	29.80	30.65
16	93/09/30 08:27:12	93/09/30 12:35:12	136.00	1168.00	150.00	1159.00	140.00	1149.00	152.00	1160.00	1.22	2.65	1.16	2.55	1.65	1.87	2.10	4478.87	1.46	1.42	1.53	38.89	33.60	34.05
17	93/09/30 14:16:22	93/09/30 15:47:12	157.00	1190.00	168.00	1170.00	156.00	1149.00	168.00	1168.00	1.42	2.77	1.43	2.59	1.88	2.07	2.24	4719.60	0.30	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00
18	93/09/30 20:17:12	93/09/30 21:28:22	150.00	1175.00	167.00	1161.00	154.00	1152.00	161.00	1163.00	1.69	2.88	2.00	2.48	2.26	2.33	2.69	4994.35	1.38	1.44	1.60	43.88	39.30	39.80
19	93/09/30 23:02:02	93/10/01 02:51:32	158.00	1180.00	164.00	1156.00	157.00	1138.00	169.00	1157.00	2.00	3.04	1.71	3.01	2.17	2.38	2.57	5138.07	1.67	1.68	1.85	37.74	33.91	33.95
20	93/10/01 08:15:22	93/10/01 10:17:52	143.00	1171.00	152.00	1158.00	148.00	1150.00	157.00	1156.00	1.52	2.72	1.40	2.58	1.82	2.09	2.25	4368.48	1.63	1.60	1.68	38.88	33.55	34.22
21	93/10/01 13:33:32	93/10/01 15:16:02	156.00	1191.00	164.00	1168.00	156.00	1150.00	165.00	1166.00	1.51	2.86	1.47	2.69	1.91	2.18	2.25	4709.49	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	93/10/01 20:44:52	93/10/01 22:35:42	151.00	1176.00	162.00	1162.00	153.00	1152.00	158.00	1163.00	2.07	2.92	1.84	2.49	2.11	2.29	2.45	5025.97	1.00	0.41	0.80	5.50	0.10	0.62
23	93/10/02 09:23:32	93/10/04 10:53:32	164.00	1094.00	171.00	1072.00	160.00	1056.00	172.00	1071.00	1.86	2.81	1.57	2.83	2.13	2.31	2.34	4990.05	0.10	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00
24	93/10/04 13:49:22	93/10/04 16:33:02	157.00	1164.00	148.00	1152.00	141.00	1148.00	144.00	1153.00	1.67	2.90	1.52	2.83	1.95	2.25	2.54	4627.35	0.99	1.36	1.35	0.00	0.00	0.00
25	93/10/04 20:35:02	93/10/04 23:44:52	161.00	1171.00	170.00	1158.00	160.00	1149.00	171.00	1158.00	1.12	2.51	1.10	2.39	1.52	1.87	2.03	3906.40	1.40	1.70	2.00	39.28	34.04	0.70
26	93/10/05 08:17:52	93/10/05 10:38:52	164.00	1158.00	174.00	1151.00	163.00	1150.00	172.00	1152.00	1.61	2.98	1.57	2.73	2.03	2.24	2.45	4772.69	1.01	1.00	1.10	0.00	0.00	0.00
27	93/10/05 13:17:22	93/10/05 15:00:12	152.00	1152.00	169.00	1149.00	168.00	1153.00	170.00	1151.00	1.62	2.97	1.60	2.87	2.07	2.24	2.48	5080.57	0.20	0.91	0.00	0.00	0.00	0.00
28	93/10/05 16:06:22	93/10/05 21:56:12	142.00	1150.00	155.00	1149.00	151.00	1151.00	154.00	1148.00	1.54	2.60	1.45	2.68	1.70	2.13	2.31	4639.31	0.34	0.50	0.30	0.00	0.00	0.00
29	93/10/05 23:11:22	93/10/06 00:32:22	147.00	1150.00	163.00	1151.00	157.00	1150.00	161.00	1148.00	1.44	2.43	1.12	2.43	1.50	1.87	1.99	4178.02	0.80	0.90	1.32	43.81	38.05	38.76
30	93/10/06 08:26:52	93/10/06 10:54:42	144.00	1149.00	162.00	1148.00	163.00	1149.00	162.00	1148.00	1.51	2.94	1.51	2.76	2.02	2.28	2.37	4659.31	1.19	1.35	1.90	47.22	41.50	26.22
31	93/10/06 13:17:52	93/10/06 14:28:52	138.00	1153.00	158.00	1152.00	162.00	1156.00	160.00	1153.00	1.60	2.95	1.57	2.80	1.99	2.29	2.40	4795.02	1.07	0.95	0.97	0.45	0.43	0.23
32	93/10/06 20:20:32	93/10/06 23:04:22	148.00	1149.00	168.00	1148.00	169.00	1150.00	168.00	1148.00	1.31	2.60	1.13	2.45	1.69	1.87	2.07	4323.91	0.70	0.70	1.10	0.00	0.00	0.00
33	93/10/07 13:46:22	93/10/07 15:25:52	142.00	1150.00	140.00	1148.00	139.00	1152.00	139.00	1148.00	1.63	2.96	1.53	2.70	1.98	2.22	2.33	4487.46	0.00	1.58	0.02	0.00	0.00	0.00
35	93/10/07 16:25:42	93/10/07 18:39:02	142.00	149.00	145.00	145.00	148.00	147.00	146.00	145.00	1.42	2.67	1.47	2.65	1.93	2.17	2.25	3611.42	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36	93/10/07 22:40:32	93/10/07 23:48:52	148.00	1150.00	169.00	1150.00	170.00	1152.00	167.00	1148.00	1.53	2.72	1.30	2.63	1.78	1.96	2.25	4713.29	1.00	0.80	1.18	42.52	38.51	38.75
37	93/10/08 01:04:12	93/10/08 02:55:52	142.00	1150.00	164.00	1149.00	164.00	1150.00	160.00	1148.00	1.14	2.54	1.24	2.29	1.63	1.92	2.00	4304.09	0.30	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00
38	93/10/08 08:15:42	93/10/08 09:17:52	139.00	1151.00	162.00	1151.00	166.00	1156.00	158.00	1152.00	1.52	3.03	1.56	2.82	2.00	2.34	2.39	4987.23	1.30	1.40	1.50	53.45	48.17	22.46
42	93/10/09 08:18:52	93/10/09 10:50:22	123.00	1098.00	132.00	1109.00	136.00	1115.00	130.00	1106.00	1.82	3.19	1.76	3.00	2.24	2.47	2.54	5084.43	2.20	0.95	1.10	5.50	0.07	102.51
43	93/10/09 11:50:02	93/10/09 14:23:52	95.00	1151.00	103.00	1160.00	107.00	1168.00	99.00	1158.00	1.72	2.92	1.57	2.81	2.03	2.30	2.39	4425.13	1.64	2.01	2.13	72.94	38.85	1.66
44	93/10/09 20:34:52	93/10/09 21:51:32	144.00	1146.00	150.00	1148.00	159.00	1150.00	152.00	1148.00	1.61	2.82	1.49	2.64	1.89	2.15	2.36	4285.82	0.91	0.80	0.91	0.00	0.00	0.00
45	93/10/09 23:01:32	93/10/10 00:16:12	135.00	1144.00	139.00	1146.00	144.00	1150.00	137.00	1145.00	1.37	2.62	1.23	2.35	1.63	1.91	1.92	3857.67	2.18	2.04	2.54	34.17	59.99	50.34
46	93/10/11 11:42:23	93/10/11 21:44:27	552.00	1153.00	546.00	1156.00	553.00	1157.00	556.00	1151.00	1.51	2.93	1.58	2.72	1.95	2.28	2.39	4638.11	0.55	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00

表－３．３(2) 施工管理データ一覧表

RING	開始日時		終了日時		Jストローク上(mm)		Jストローク右(mm)		Jストローク下(mm)		Jストローク左(mm)		切羽土圧(kg/cm2)							総推力	裏込圧力(kg/cm2)			裏込注入量(l/min)		
					開始	終了	開始	終了	開始	終了	開始	終了	左上	左下	中上	中下	左	中	右		No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3
49	93/10/11	22:39:52	93/10/11	23:47:42	143.00	1124.00	148.00	1124.00	146.00	1126.00	142.00	1122.00	1.61	3.00	1.58	2.80	2.05	2.29	2.34	4397.26	2.01	2.01	1.87	59.30	3.35	55.08
50	93/10/12	08:20:12	93/10/12	09:18:42	143.00	1159.00	145.00	1155.00	146.00	1150.00	140.00	1153.00	1.96	3.18	1.87	3.11	2.33	2.58	2.62	4803.40	2.39	2.30	2.68	59.27	53.86	54.48
51	93/10/12	10:30:02	93/10/12	11:30:52	147.00	1160.00	147.00	1155.00	140.00	1149.00	139.00	1155.00	1.94	3.21	1.71	2.97	2.24	2.46	2.51	4352.49	2.53	2.45	2.88	59.54	18.18	15.45
52	93/10/12	20:16:32	93/10/12	21:18:02	151.00	1150.00	147.00	1152.00	139.00	1150.00	140.00	1148.00	1.88	3.03	1.88	2.69	2.24	2.46	2.58	4539.53	1.72	1.85	1.93	2.06	1.92	1.29
53	93/10/12	22:28:42	93/10/12	23:28:42	141.00	1149.00	142.00	1151.00	138.00	1153.00	138.00	1152.00	1.88	3.21	1.74	2.96	2.25	2.50	2.56	4403.36	2.42	2.29	2.87	0.00	0.00	0.00
54	93/10/13	08:22:12	93/10/13	10:07:12	138.00	1157.00	138.00	1155.00	135.00	1148.00	139.00	1156.00	1.94	3.13	1.83	3.02	2.27	2.57	2.62	4632.71	2.19	2.20	2.20	59.13	54.24	54.82
55	93/10/13	13:15:02	93/10/13	15:00:02	142.00	1160.00	143.00	1158.00	136.00	1152.00	140.00	1157.00	1.73	3.00	1.74	2.71	2.02	2.33	2.39	3966.94	2.32	2.70	3.19	58.75	53.09	5.42
56	93/10/13	20:14:22	93/10/13	21:37:12	150.00	1149.00	141.00	1155.00	140.00	1151.00	147.00	1152.00	1.97	3.38	1.92	3.07	2.35	2.67	2.70	4807.05	1.47	1.63	1.72	0.10	0.10	0.04
57	93/10/13	22:33:42	93/10/13	23:57:12	142.00	1149.00	139.00	1154.00	136.00	1153.00	140.00	1150.00	2.14	3.37	2.01	3.16	2.44	2.75	2.84	4964.32	0.00	0.41	0.13	0.00	0.00	0.00
58	93/10/14	08:19:22	93/10/14	09:55:32	133.00	1066.00	137.00	1064.00	132.00	1058.00	133.00	1063.00	1.87	3.14	1.86	2.97	2.24	2.58	2.62	3475.22	2.50	2.80	2.51	40.37	35.35	37.27
59	93/10/14	11:14:42	93/10/14	13:01:42	144.00	1159.00	146.00	1159.00	139.00	1150.00	142.00	1157.00	1.98	3.23	1.95	3.06	2.33	2.64	2.73	4736.96	2.59	2.79	2.59	40.42	34.42	35.70
60	93/10/14	20:11:12	93/10/14	21:34:02	149.00	1149.00	150.00	1154.00	141.00	1152.00	146.00	1153.00	2.05	3.32	1.98	3.17	2.38	2.70	2.71	5094.97	1.14	1.38	1.25	0.53	0.22	0.01
61	93/10/14	22:25:02	93/10/15	00:24:42	141.00	1154.00	144.00	1160.00	138.00	1156.00	143.00	1157.00	2.13	2.75	1.60	2.42	1.88	2.16	2.23	4198.17	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
62	93/11/16	07:35:32	93/11/16	10:16:32	155.00	1148.00	161.00	1152.00	154.00	1149.00	152.00	1150.00	2.33	3.34	2.36	3.14	2.69	2.93	2.98	5998.88	1.84	1.72	2.61	40.01	34.74	35.21
63	93/11/16	14:11:22	93/11/16	15:39:22	138.00	1171.00	142.00	1166.00	137.00	1150.00	136.00	1162.00	2.40	3.52	2.13	3.64	2.60	2.94	3.04	5835.02	2.07	2.03	2.86	66.44	60.73	61.28
64	93/11/16	20:19:42	93/11/16	21:53:12	131.00	1155.00	140.00	1156.00	140.00	1157.00	133.00	1152.00	2.22	3.65	2.15	3.50	2.70	2.91	2.96	5457.39	2.43	2.72	2.82	42.22	56.64	29.32
65	93/11/16	22:51:12	93/11/16	23:59:52	136.00	1150.00	143.00	1152.00	143.00	1152.00	139.00	1153.00	2.33	3.47	2.15	3.50	2.61	2.93	2.98	5373.05	2.53	2.44	2.65	52.29	46.70	47.01
66	93/11/17	00:57:02	93/11/17	02:05:32	136.00	1151.00	139.00	1152.00	141.00	1152.00	139.00	1149.00	2.32	3.57	2.17	3.47	2.62	2.93	2.97	5010.38	2.67	2.76	2.73	51.49	51.52	24.50
67	93/11/17	08:14:22	93/11/17	09:23:42	144.00	1151.00	145.00	1152.00	143.00	1152.00	143.00	1154.00	2.03	3.71	2.01	3.63	2.63	2.94	2.97	5554.71	2.32	2.39	2.70	63.42	57.20	56.81
68	93/11/17	10:40:32	93/11/17	11:44:32	136.00	1152.00	139.00	1152.00	140.00	1151.00	136.00	1153.00	2.29	3.55	1.99	3.78	2.61	2.98	2.96	5407.18	2.58	2.47	2.30	66.55	61.01	29.79
69	93/11/17	13:58:12	93/11/17	15:38:32	136.00	1152.00	134.00	1155.00	140.00	1152.00	140.00	1151.00	2.56	3.32	2.56	3.02	2.72	2.94	3.01	5325.88	1.37	2.42	2.76	34.08	31.59	31.31
70	93/11/17	21:10:12	93/11/17	22:50:02	136.00	1151.00	138.00	1151.00	137.00	1152.00	119.00	1152.00	2.34	3.45	2.49	3.10	2.68	2.93	3.05	5345.92	2.78	2.71	2.97	62.75	45.85	55.31
71	93/11/17	23:33:32	93/11/18	00:36:02	139.00	1155.00	139.00	1160.00	139.00	1167.00	137.00	1163.00	2.57	3.53	2.66	3.27	2.82	3.09	3.26	5422.86	2.84	2.69	2.95	60.53	55.35	26.38
72	93/11/18	01:22:12	93/11/18	02:18:22	144.00	1152.00	144.00	1160.00	148.00	1171.00	145.00	1161.00	2.72	3.53	2.65	3.18	2.83	3.09	3.14	5152.03	2.97	2.36	2.61	45.09	39.82	30.30
73	93/11/18	08:17:12	93/11/18	09:13:42	139.00	1149.00	140.00	1158.00	146.00	1171.00	143.00	1159.00	2.39	3.32	2.42	3.06	2.54	2.87	3.00	5247.00	2.37	2.07	3.00	56.02	50.31	50.72
74	93/11/18	10:34:02	93/11/18	13:17:22	139.00	1151.00	144.00	1166.00	0.00	1180.00	142.00	1164.00	2.65	3.61	2.59	3.33	2.84	3.14	3.22	5374.65	2.54	2.65	2.94	35.77	50.29	42.95
75	93/11/18	14:34:22	93/11/18	15:27:12	137.00	1149.00	136.00	1154.00	142.00	1166.00	136.00	1156.00	2.52	3.34	2.79	3.03	2.75	3.10	3.20	5323.83	2.80	2.65	3.19	65.67	60.40	57.52
76	93/11/18	20:27:42	93/11/18	21:48:22	136.00	1149.00	142.00	1160.00	147.00	1170.00	135.00	1152.00	2.68	3.57	2.87	3.27	2.88	3.15	3.17	5197.18	3.07	2.97	3.36	32.29	33.50	34.43
77	93/11/18	22:36:02	93/11/19	00:03:12	134.00	1150.00	144.00	1159.00	148.00	1172.00	136.00	1156.00	2.42	3.39	2.40	3.07	2.65	2.93	2.98	4859.62	3.11	2.88	3.23	44.33	38.57	47.53
78	93/11/19	00:47:02	93/11/19	02:26:02	134.00	1152.00	144.00	1165.00	151.00	1179.00	139.00	1161.00	2.69	3.53	2.61	3.24	2.78	3.18	3.23	5374.98	2.28	2.13	2.66	44.42	38.08	39.34
79	93/11/19	08:20:32	93/11/19	09:50:02	136.00	1148.00	136.00	1156.00	140.00	1165.00	133.00	1156.00	2.43	3.46	2.50	3.00	2.82	3.06	2.99	5181.67	2.99	2.84	2.78	72.73	67.66	-25.47
80	93/11/19	10:45:12	93/11/19	11:48:12	143.00	1152.00	144.00	1149.00	154.00	1149.00	147.00	1149.00	2.79	3.64	2.66	3.10	2.88	3.11	3.06	5181.40	2.72	2.92	2.92	17.67	81.02	23.76
81	93/11/19	15:27:02	93/11/19	16:13:12	137.00	1125.00	136.00	1120.00	139.00	1123.00	131.00	1123.00	2.60	3.42	2.82	3.12	2.80	3.09	3.16	5355.33	2.92	2.62	2.88	71.02	58.96	33.83
82	93/11/19	20:14:02	93/11/19	21:12:02	114.00	1150.00	111.00	1152.00	113.00	1156.00	110.00	1150.00	2.69	3.53	2.70	3.16	2.84	3.16	3.14	5464.86	2.89	2.75	2.79	68.74	63.88	64.18
83	93/11/19	21:54:02	93/11/19	22:47:02	137.00	1152.00	139.00	1152.00	141.00	1153.00	135.00	1152.00	2.47	3.52	2.54	3.08	2.84	3.04	3.15	5354.64	2.91	2.94	2.84	68.39	63.80	56.48
84	93/11/19	23:28:22	93/11/20	00:17:42	137.00	1158.00	138.00	1155.00	144.00	1157.00	135.00	1156.00	2.44	3.53	2.65	3.19	2.89	3.15	3.17	5235.01	3.11	2.96	3.27	71.17	65.11	35.17
85	93/11/20	08:20:52	93/11/20	10:42:12	171.00	1158.00	172.00	1151.00	172.00	1149.00	169.00	1152.00	2.51	3.65	2.49	3.26	2.80	3.09	3.08	5254.90	2.89	2.83	2.98	42.54	62.53	5.33
86	93/11/20	11:55:52	93/11/20	13:44:32	138.00	1152.00	137.00	1151.00	136.00	1149.00	133.00	1148.00	2.54	3.71	2.58	3.29	2.76	3.12	3.21	5382.54	2.74	2.84	2.95	8.83	67.66	3.50
87	93/11/20	15:06:32	93/11/20	17:07:32	143.00	1148.00	136.00	1150.00	135.00	1162.00	135.00	1152.00	2.71	3.49	2.47	3.12	2.69	2.99	3.03	5226.24	3.10	3.15	3.38	41.91	57.41	41.64
88	93/11/20	20:14:32	93/11/20	22:30:22	141.00	1140.00	136.00	1148.00	143.00	1160.00	140.00	1145.00	2.68	3.60	2.62	3.21	2.78	3.16	3.10	5262.80	3.13	3.05	3.29	47.96	42.39	35.21

表－3.3(3) 施工管理データ一覧表

RING	開始日時		終了日時		Jストローク上(mm)		Jストローク右(mm)		Jストローク下(mm)		Jストローク左(mm)		切羽土圧(kg/cm2)							総推力	裏込圧力(kg/cm2)			裏込注入量(l/min)		
					開始	終了	開始	終了	開始	終了	開始	終了	左上	左下	中上	中下	左	中	右		No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3
89	93/11/21	01:59:42	93/11/21	03:50:42	124.00	1150.00	120.00	1150.00	116.00	1150.00	115.00	1150.00	2.47	3.63	2.62	3.24	2.79	3.16	3.17	5727.75	1.64	1.61	2.42	28.88	12.79	0.80
90	93/11/22	08:17:52	93/11/22	09:57:22	133.00	1150.00	133.00	1150.00	133.00	1152.00	132.00	1151.00	2.45	3.35	2.32	2.97	2.64	2.82	2.89	5495.98	3.09	2.98	3.28	42.11	36.38	23.74
91	93/11/22	10:46:22	93/11/22	12:23:42	136.00	1156.00	138.00	1159.00	139.00	1156.00	136.00	1157.00	2.36	3.10	2.23	2.78	2.23	2.71	2.79	5103.15	2.50	2.39	2.84	43.42	37.60	37.87
92	93/11/22	13:24:02	93/11/22	15:10:32	138.00	1133.00	143.00	1137.00	143.00	1132.00	142.00	1137.00	2.36	3.25	2.32	2.93	2.48	2.77	2.80	5030.43	2.93	2.31	2.67	45.20	47.99	31.86
93	93/11/22	20:18:32	93/11/22	21:45:42	117.00	1153.00	125.00	1151.00	120.00	1151.00	122.00	1159.00	2.23	2.99	2.19	2.71	2.33	2.67	2.76	4644.47	2.66	2.57	2.95	47.41	41.96	40.47
94	93/11/22	22:36:22	93/11/23	00:44:52	141.00	1092.00	139.00	1094.00	140.00	1090.00	144.00	1097.00	2.16	3.25	2.11	2.80	2.36	2.60	2.64	4664.09	1.85	1.75	1.89	33.15	27.22	27.83
95	93/11/23	01:45:12	93/11/23	03:39:52	138.00	1153.00	138.00	1151.00	140.00	1149.00	144.00	1159.00	2.15	3.06	2.11	2.77	2.33	2.59	2.67	4641.41	2.50	2.30	2.70	0.00	0.00	0.00
96	93/11/23	08:11:12	93/11/23	10:02:02	141.00	1152.00	138.00	1153.00	140.00	1150.00	148.00	1152.00	2.33	2.89	2.22	2.72	2.34	2.68	2.79	4745.01	2.92	2.71	3.04	45.04	46.53	25.40
97	93/11/23	10:41:42	93/11/23	12:20:22	137.00	1108.00	138.00	1112.00	134.00	1116.00	138.00	1114.00	2.01	3.06	2.18	2.67	2.31	2.67	2.69	4761.14	3.03	2.85	3.14	38.19	41.75	37.38
98	93/11/23	13:01:42	93/11/23	15:31:02	136.00	1149.00	139.00	1160.00	140.00	1163.00	140.00	1157.00	2.11	2.99	2.18	2.73	2.34	2.58	2.76	4894.34	2.67	1.60	2.63	51.55	0.15	26.47
99	93/11/23	20:13:52	93/11/23	22:53:52	136.00	1109.00	133.00	1115.00	126.00	1112.00	132.00	1115.00	2.11	3.16	2.29	2.82	2.34	2.74	2.77	5161.36	1.77	1.55	2.06	29.16	22.28	21.81
100	93/11/23	23:01:02	93/11/24	08:35:25	141.00	313.00	141.00	320.00	141.00	316.00	142.00	319.00	2.43	3.09	2.33	2.77	2.39	2.69	2.78	5071.90	0.77	0.69	0.80	49.39	44.20	44.76
101	93/11/24	08:43:12	93/11/24	10:57:11	440.00	388.00	444.00	394.00	444.00	401.00	446.00	396.00	2.08	2.95	2.14	2.56	2.37	2.59	2.56	4576.23	3.02	2.71	3.24	59.02	53.66	53.70
102	93/11/24	11:04:21	93/11/24	11:44:49	508.00	1144.00	517.00	1155.00	522.00	1164.00	516.00	1156.00	2.07	2.93	2.35	2.72	2.28	2.69	2.89	4963.09	3.13	3.19	3.16	55.14	50.44	27.57
103	93/11/24	12:23:02	93/11/24	14:04:12	128.00	1148.00	129.00	1151.00	124.00	1150.00	127.00	1150.00	2.14	3.15	2.33	2.81	2.38	2.76	2.81	4824.06	2.73	2.62	3.08	34.30	29.26	29.84
104	93/11/24	20:22:12	93/11/24	23:45:22	136.00	1087.00	136.00	1091.00	132.00	1095.00	136.00	1093.00	2.23	3.20	2.27	2.93	2.47	2.81	2.92	4942.35	0.30	3.06	2.77	0.00	0.00	0.00
105	93/11/25	02:19:42	93/11/25	10:38:32	141.00	1139.00	143.00	1145.00	143.00	1150.00	143.00	1145.00	2.01	3.31	1.98	3.11	2.35	2.62	2.72	4962.81	2.96	3.01	3.29	29.06	37.47	46.23
106	64896/22	89/64896	93/11/25	22:19:02	572.00	1148.00	572.00	1159.00	576.00	1165.00	573.00	1161.00	2.01	3.42	1.98	3.21	2.43	2.71	2.78	4921.45	1.05	1.09	1.26	0.01	0.00	0.00
107	93/11/25	23:31:12	93/11/26	09:18:52	138.00	1152.00	132.00	1155.00	131.00	1153.00	136.00	1152.00	2.17	3.60	1.87	3.25	2.51	2.83	2.62	4950.28	2.81	2.61	2.93	55.69	32.09	27.88
108	93/11/26	09:59:52	93/11/26	11:04:42	140.00	1148.00	141.00	1150.00	140.00	1151.00	140.00	1151.00	2.41	3.78	2.20	3.50	2.69	2.96	3.22	5247.07	2.92	2.70	3.38	59.79	52.76	53.36
109	93/11/26	11:44:52	93/11/26	12:40:52	134.00	1151.00	134.00	1152.00	133.00	1154.00	134.00	1154.00	2.34	3.82	2.30	3.61	2.74	3.06	3.18	5128.58	2.64	2.36	2.57	62.76	57.34	53.93
110	93/11/26	20:19:32	93/11/26	21:23:02	132.00	1150.00	138.00	1160.00	138.00	1170.00	137.00	1162.00	2.32	3.97	2.25	3.82	2.98	3.05	3.19	5450.71	3.25	3.04	2.94	63.03	58.01	30.99
111	93/11/26	22:08:32	93/11/26	23:47:52	137.00	1150.00	133.00	1161.00	131.00	1172.00	135.00	1156.00	2.92	4.16	2.38	3.95	3.13	3.38	3.31	5946.54	3.05	3.25	3.24	23.64	94.06	46.03
112	93/11/27	00:31:02	93/11/27	01:52:02	139.00	1148.00	144.00	1160.00	148.00	1167.00	141.00	1162.00	2.72	4.18	2.37	3.98	3.14	3.27	3.29	5663.81	2.97	2.95	3.56	41.52	84.16	55.04
113	93/11/27	08:12:02	93/11/27	09:42:43	130.00	1151.00	128.00	1164.00	125.00	1172.00	125.00	1160.00	2.64	4.05	2.42	3.84	2.91	3.23	3.34	5673.03	2.68	2.52	2.71	41.05	36.01	36.23
114	93/11/27	10:21:22	93/11/27	11:42:12	133.00	1149.00	138.00	1162.00	139.00	1171.00	138.00	1163.00	2.40	4.07	2.45	3.86	2.97	3.40	3.37	5481.41	3.01	2.90	2.97	72.34	66.83	67.53
115	93/11/27	12:26:52	93/11/27	13:35:42	132.00	1150.00	136.00	1163.00	143.00	1172.00	140.00	1162.00	2.80	4.28	2.50	4.05	3.01	3.45	3.44	5499.37	2.43	2.25	2.13	74.46	69.38	69.90
116	93/11/27	20:15:12	93/11/27	21:04:52	132.00	1152.00	144.00	1176.00	152.00	1188.00	144.00	1168.00	2.44	3.96	2.48	3.89	2.99	3.28	3.33	5411.51	2.94	3.13	3.35	48.10	91.11	95.17
117	93/11/27	21:59:22	93/11/27	22:57:42	132.00	1148.00	142.00	1163.00	147.00	1168.00	140.00	1161.00	2.69	4.19	2.59	3.99	3.02	3.48	3.40	5579.43	3.16	3.12	3.06	70.62	80.93	28.66
118	93/11/27	23:42:32	93/11/28	00:32:22	129.00	1148.00	137.00	1173.00	148.00	1185.00	141.00	1165.00	2.55	3.94	2.52	3.93	2.97	3.48	3.34	5654.72	1.62	1.64	1.75	0.10	0.02	0.05
119	93/11/29	08:18:12	93/11/29	09:51:32	128.00	1148.00	133.00	1161.00	138.00	1164.00	135.00	1160.00	2.68	4.07	2.52	3.90	2.99	3.35	3.37	6023.27	3.23	3.04	3.11	99.08	94.25	62.19
120	93/11/29	10:43:32	93/11/29	11:35:32	138.00	1147.00	143.00	1165.00	152.00	1177.00	145.00	1163.00	2.75	4.43	2.51	4.21	3.12	3.50	3.60	6215.52	0.50	0.30	1.56	0.00	0.00	0.00
121	93/11/29	13:19:12	93/11/29	14:09:32	124.00	1150.00	129.00	1161.00	132.00	1164.00	128.00	1160.00	2.95	4.14	2.58	4.33	3.16	3.67	3.56	6021.58	2.91	2.88	3.09	36.84	53.32	81.45
122	93/11/29	15:05:02	93/11/29	16:03:52	132.00	1151.00	134.00	1165.00	147.00	1172.00	144.00	1162.00	2.95	4.15	2.55	4.20	3.17	3.48	3.59	5935.03	2.88	2.70	3.32	38.91	48.53	81.33
123	93/11/29	20:16:52	93/11/29	21:55:02	132.00	1151.00	130.00	1158.00	136.00	1166.00	136.00	1156.00	2.95	4.43	2.80	4.10	3.23	3.70	3.56	5886.42	2.82	2.58	3.60	35.29	26.35	45.44
124	93/11/29	22:31:32	93/11/30	00:06:22	132.00	1151.00	136.00	1161.00	148.00	1178.00	135.00	1163.00	2.75	4.11	2.62	3.83	2.97	3.39	3.41	5752.09	2.79	3.02	2.59	39.23	74.93	75.93
125	93/11/30	00:49:22	93/11/30	01:31:02	132.00	1152.00	128.00	1154.00	134.00	1162.00	128.00	1152.00	2.84	4.23	2.60	4.13	3.10	3.56	3.59	5760.95	2.93	2.98	2.63	30.29	81.19	81.61
126	93/11/30	02:06:12	93/11/30	02:48:02	131.00	1151.00	130.00	1158.00	137.00	1171.00	131.00	1154.00	2.99	4.52	2.59	4.24	3.10	3.58	3.58	5754.29	3.20	2.77	2.06	69.83	75.45	77.19
127	93/11/30	08:16:12	93/11/30	09:04:52	129.00	1152.00	131.00	1164.00	138.00	1174.00	124.00	1157.00	2.78	4.54	2.54	4.20	3.15	3.52	3.60	5736.73	2.90	2.87	2.34	19.88	69.24	69.94
128	93/11/30	09:50:52	93/11/30	10:36:12	143.00	1093.00	144.00	1108.00	155.00	1125.00	142.00	1102.00	3.23	4.66	2.78	4.48	3.40	3.92	3.81	5999.80	2.94	2.76	2.05	38.87	37.39	67.61

表－３．３(4) 施工管理データ一覧表

RING	開始日時	終了日時	Jストローク上(mm)		Jストローク右(mm)		Jストローク下(mm)		Jストローク左(mm)		切羽土圧 (kg/cm2)							総推力	裏込圧力(kg/cm2)			裏込注入量(l/min)		
			開始	終了	開始	終了	開始	終了	開始	終了	左上	左下	中上	中下	左	中	右		No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3
129	93/11/30 11:39:02	93/11/30 13:56:02	133.00	1149.00	132.00	1160.00	136.00	1171.00	128.00	1155.00	2.83	4.43	2.75	4.08	3.24	3.69	3.65	6009.04	0.40	0.40	1.10	0.00	0.00	0.00
130	93/11/30 14:40:42	93/11/30 17:02:42	136.00	1150.00	138.00	1159.00	148.00	1168.00	136.00	1158.00	3.01	4.34	2.66	3.94	3.17	3.53	3.58	5765.21	2.78	2.60	2.40	31.49	23.27	60.88
131	93/11/30 19:46:32	93/11/30 20:34:12	132.00	1152.00	136.00	1169.00	152.00	1176.00	140.00	1151.00	2.60	4.17	2.55	4.08	2.99	3.41	3.46	5882.93	2.90	2.78	2.09	24.31	94.19	95.85
132	93/11/30 21:11:22	93/11/30 21:51:32	128.00	1148.00	144.00	1164.00	155.00	1180.00	132.00	1156.00	2.67	4.54	2.63	4.22	3.20	3.58	3.57	5818.74	2.94	2.71	2.20	46.90	33.68	99.84
133	93/11/30 22:26:12	93/12/01 00:00:42	130.00	1150.00	134.00	1154.00	140.00	1166.00	121.00	1150.00	3.13	4.61	2.82	4.24	3.29	3.82	3.83	6016.36	2.74	2.96	3.08	10.85	37.11	37.86
134	93/12/01 00:37:42	93/12/01 02:56:52	124.00	1156.00	133.00	1165.00	144.00	1171.00	126.00	1147.00	2.89	4.60	2.84	4.33	3.36	3.85	3.76	6248.15	3.14	2.83	2.80	36.84	15.68	54.95
135	93/12/01 08:23:32	93/12/01 09:56:12	118.00	1149.00	120.00	1156.00	133.00	1168.00	118.00	1155.00	3.09	4.21	2.63	3.98	3.08	3.47	3.53	5863.17	2.64	2.52	1.83	37.63	34.65	41.20
136	93/12/01 10:46:02	93/12/01 12:03:12	136.00	1099.00	137.00	1107.00	154.00	1120.00	140.00	1106.00	2.88	4.22	2.72	3.96	3.10	3.57	3.57	3629.65	2.08	4.20	1.19	39.27	0.05	45.29
137	93/12/01 13:58:22	93/12/01 21:46:42	105.00	1148.00	110.00	1171.00	626.00	1175.00	113.00	1176.00	2.80	4.63	2.84	4.17	3.22	3.76	3.66	6199.00	2.75	2.54	2.05	31.60	45.24	45.60
138	93/12/01 22:57:42	93/12/02 00:11:22	134.00	1145.00	153.00	1158.00	179.00	1169.00	164.00	1154.00	3.06	4.47	2.83	4.09	3.19	3.62	3.62	5993.31	2.95	2.79	2.36	33.82	39.57	40.28
139	93/12/02 00:48:42	93/12/02 01:39:32	115.00	1152.00	133.00	1164.00	152.00	1175.00	138.00	1160.00	2.80	4.36	2.61	3.86	3.03	3.44	3.37	5468.34	2.86	2.65	1.83	38.25	67.20	67.92
140	93/12/02 02:41:32	93/12/02 03:42:52	126.00	1142.00	144.00	1147.00	156.00	1152.00	148.00	1145.00	3.07	4.48	2.81	4.10	3.23	3.68	3.73	5859.00	2.89	2.91	1.87	44.04	41.33	42.31
141	93/12/02 08:20:22	93/12/02 09:53:12	0.00	1151.00	0.00	1156.00	0.00	1150.00	0.00	1157.00	2.93	4.31	2.64	4.00	3.13	3.51	3.54	5845.42	2.84	2.69	1.98	29.13	30.96	31.60
142	93/12/02 10:45:12	93/12/02 12:32:42	134.00	1150.00	136.00	1156.00	138.00	1152.00	142.00	1157.00	2.85	4.30	2.60	4.06	3.05	3.46	3.49	5887.90	2.65	2.65	2.30	32.21	39.27	39.36
143	93/12/02 13:22:22	93/12/02 14:56:02	134.00	1150.00	136.00	1162.00	140.00	1152.00	140.00	1155.00	2.78	4.46	2.46	4.02	3.10	3.38	3.43	5821.41	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00
144	93/12/02 15:40:12	93/12/02 16:49:22	133.00	1149.00	136.00	1157.00	139.00	1150.00	144.00	1152.00	2.63	4.59	2.59	4.17	3.21	3.62	3.59	5886.16	0.38	0.43	0.45	0.05	0.05	0.04
145	93/12/02 19:50:22	93/12/02 20:40:32	4.00	1153.00	18.00	1155.00	0.00	888.00	18.00	1156.00	2.74	4.40	2.76	4.15	3.15	3.54	3.60	5931.27	4.39	2.26	1.04	5.56	75.09	37.76
146	93/12/02 21:16:22	93/12/02 22:17:32	131.00	1156.00	131.00	1161.00	120.00	1154.00	135.00	1163.00	2.90	4.44	2.81	4.15	3.23	3.66	3.57	5803.48	4.61	2.62	1.23	5.59	83.46	84.34
147	93/12/02 22:53:12	93/12/02 23:35:52	144.00	1162.00	143.00	1168.00	130.00	1163.00	144.00	1169.00	2.86	4.40	2.75	3.98	3.21	3.49	3.54	5707.25	2.61	2.64	1.34	45.70	89.70	45.03
148	93/12/03 00:45:32	93/12/03 01:27:12	152.00	1152.00	154.00	1169.00	147.00	1176.00	156.00	1170.00	2.89	4.33	2.65	4.07	3.03	3.52	3.70	5797.65	2.86	2.60	1.40	76.00	77.46	40.09
149	95/12/03 08:19:12	93/12/03 09:02:52	136.00	1151.00	136.00	1149.00	154.00	1152.00	135.00	1142.00	3.03	4.32	2.64	3.93	3.02	3.39	3.63	5654.24	3.16	2.94	1.59	76.73	86.07	43.66
150	93/12/03 09:47:12	93/12/03 10:29:52	136.00	1151.00	135.00	1161.00	124.00	1152.00	130.00	1152.00	3.04	4.46	2.66	4.02	3.14	3.53	3.65	5656.29	2.95	3.16	1.79	40.75	74.49	75.37
151	93/12/03 11:17::2	93/12/03 12:00:02	144.00	1149.00	137.00	1148.00	136.00	1150.00	136.00	1147.00	3.00	4.36	2.64	4.04	3.02	3.43	3.60	5682.69	1.58	1.36	0.52	19.16	17.79	17.99
152	93/12/03 13:27:02	93/12/03 14:11:52	140.00	1149.00	141.00	1168.00	136.00	1172.00	140.00	1160.00	2.90	4.37	2.68	4.03	3.24	3.46	3.59	5844.75	3.09	2.80	1.70	80.61	75.21	75.78
153	93/12/03 20:03:42	93/12/03 20:46:42	136.00	1153.00	135.00	1164.00	229.00	1162.00	131.00	1164.00	3.05	4.44	2.69	4.22	3.23	3.59	3.62	6058.31	3.03	3.10	1.80	61.66	72.72	73.47
154	93/12/03 21:20:32	93/12/03 22:03:02	144.00	1149.00	145.00	1166.00	144.00	1171.00	150.00	1164.00	2.95	4.36	2.68	4.10	3.21	3.53	3.49	6035.20	3.18	2.84	1.70	81.53	76.40	77.49
155	93/12/03 22:42:12	93/12/03 23:25:12	6.00	1152.00	8.00	1161.00	0.00	1120.00	31.00	1160.00	2.84	4.61	2.68	4.10	3.18	3.53	3.51	5929.86	3.10	2.86	1.78	56.22	79.55	80.35
156	93/12/04 00:38:42	93/12/04 01:27:12	144.00	1152.00	145.00	1162.00	101.00	1122.00	147.00	1159.00	2.72	4.08	2.38	3.67	2.85	3.24	3.24	5498.64	3.15	3.16	1.92	36.84	40.27	40.42
157	93/12/04 08:20:22	93/12/04 09:08:32	125.00	1147.00	132.00	1158.00	145.00	1164.00	132.00	1157.00	2.83	4.58	2.53	4.06	3.24	3.37	3.40	5972.34	2.20	1.80	1.00	85.97	80.79	81.18
158	93/12/04 09:49:22	93/12/04 10:34:32	144.00	1151.00	150.00	1174.00	153.00	1188.00	147.00	1167.00	2.90	4.33	2.68	4.05	3.03	3.42	3.71	6124.10	4.50	2.56	1.42	5.50	69.23	70.18
159	93/12/04 11:23:12	93/12/04 12:20:32	135.00	1149.00	137.00	1165.00	142.00	1168.00	141.00	1159.00	2.96	4.44	2.76	4.13	3.28	3.62	3.57	6084.05	2.67	2.53	1.56	36.02	30.99	31.34
160	93/12/04 13:03:02	93/12/04 13:47:42	139.00	1150.00	144.00	1166.00	148.00	1179.00	141.00	1166.00	2.94	4.25	2.58	3.94	3.04	3.32	3.59	5782.64	1.78	1.42	0.86	69.31	61.86	60.21
161	64896/22 89/64896	93/12/04 20:47:04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
165	93/12/06 08:13:32	93/12/06 08:54:02	145.00	1151.00	159.00	1172.00	162.00	1179.00	147.00	1162.00	3.01	4.50	2.58	3.98	3.09	3.48	3.67	6178.81	2.49	2.17	1.20	57.69	81.61	82.24
166	93/12/06 09:25:02	93/12/06 10:02:32	140.00	1152.00	156.00	1174.00	162.00	1184.00	151.00	1165.00	2.83	4.54	2.76	4.19	3.28	3.66	3.62	6194.96	3.14	2.34	1.20	80.34	75.84	76.69
167	93/12/06 10:45:52	93/12/06 11:43:02	136.00	1151.00	149.00	1165.00	146.00	1169.00	135.00	1154.00	2.72	4.28	2.73	4.10	3.14	3.47	3.47	5934.91	3.08	2.87	1.41	56.93	52.56	78.23
168	93/12/06 12:14:32	93/12/06 12:54:22	134.00	1150.00	148.00	1169.00	148.00	1180.00	135.00	1162.00	2.59	4.43	2.65	4.14	3.21	3.59	3.52	6122.72	2.88	3.00	1.30	43.27	78.92	79.44
169	93/12/06 15:35:52	93/12/06 16:38:52	132.00	1150.00	139.00	1167.00	136.00	1173.00	128.00	1157.00	2.72	4.17	2.65	3.95	3.05	3.36	3.51	6080.31	3.03	2.75	1.06	62.45	67.59	50.56
170	93/12/06 17:26:52	93/12/06 19:01:42	140.00	1134.00	146.00	1149.00	151.00	1175.00	139.00	1151.00	2.86	4.23	2.83	3.80	3.10	3.40	3.39	5912.44	3.44	3.16	1.27	24.54	45.42	46.03
172	93/12/06 21:17:42	93/12/06 22:01:02	141.00	1153.00	144.00	1168.00	152.00	1176.00	144.00	1164.00	2.89	4.17	2.60	3.93	3.00	3.27	3.45	6001.57	2.19	1.71	0.37	55.44	50.71	62.95

表－3.3(5) 施工管理データ一覧表

RING	開始日時		終了日時		Jストローク上(mm)		Jストローク右(mm)		Jストローク下(mm)		Jストローク左(mm)		切羽土圧(kg/cm2)							総推力	裏込圧力(kg/cm2)			裏込注入量(l/min)		
					開始	終了	開始	終了	開始	終了	開始	終了	左上	左下	中上	中下	左	中	右		No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3
173	93/12/07	08:15:12	93/12/07	08:59:32	142.00	1155.00	149.00	1170.00	157.00	1182.00	151.00	1169.00	2.98	4.27	2.63	4.27	3.12	3.48	3.49	6431.78	3.05	2.10	1.00	80.31	74.79	75.71
174	93/12/07	09:42:22	93/12/07	10:24:52	139.00	1151.00	152.00	1170.00	164.00	1184.00	152.00	1168.00	2.87	4.31	2.60	4.01	3.04	3.34	3.55	6197.42	3.10	2.52	1.10	44.83	77.57	77.61
175	93/12/07	13:03:22	93/12/07	13:38:22	139.00	1152.00	144.00	1167.00	152.00	1176.00	144.00	1165.00	3.45	4.62	2.83	4.39	3.33	3.78	3.84	6766.13	3.15	2.61	1.10	94.76	89.54	90.28
176	93/12/07	14:21:42	93/12/07	15:03:52	137.00	1140.00	149.00	1152.00	159.00	1167.00	150.00	1160.00	3.24	4.61	2.93	4.22	3.39	3.71	3.87	6562.89	2.55	2.12	0.70	35.49	30.69	31.03
177	93/12/07	20:15:02	93/12/07	21:02:52	124.00	1149.00	128.00	1156.00	148.00	1170.00	132.00	1155.00	2.99	4.32	2.59	4.09	3.11	3.35	3.58	6234.92	3.25	2.62	1.24	78.80	97.16	49.24
178	93/12/07	21:52:32	93/12/07	22:32:32	143.00	1150.00	145.00	1162.00	164.00	1188.00	146.00	1162.00	2.71	4.59	2.72	4.04	3.24	3.48	3.43	6147.55	3.26	2.58	1.20	66.21	88.73	44.87
179	93/12/07	23:10:22	93/12/07	23:49:52	136.00	1149.00	136.00	1156.00	150.00	1168.00	147.00	1159.00	2.84	4.26	2.55	3.83	2.88	3.25	3.58	6031.54	2.65	2.21	0.79	85.76	80.06	80.85
180	93/12/08	00:28:02	93/12/08	01:12:12	140.00	1148.00	144.00	1172.00	132.00	1164.00	150.00	1166.00	2.62	4.49	2.69	3.99	3.24	3.44	3.38	6723.80	2.19	1.88	0.65	73.73	69.14	69.84
181	93/12/08	08:17:02	93/12/08	08:51:42	132.00	1153.00	143.00	1163.00	152.00	1177.00	137.00	1167.00	2.85	4.23	2.58	3.95	3.00	3.36	3.55	6143.73	3.19	2.41	1.00	49.64	95.37	72.10
182	93/12/08	09:30:02	93/12/08	10:30:32	136.00	1150.00	146.00	1160.00	162.00	1174.00	150.00	1164.00	2.83	4.18	2.42	3.97	3.01	3.31	3.37	6152.68	3.33	2.76	0.60	67.40	87.62	44.55
183	93/12/08	11:04:02	93/12/08	11:49:52	136.00	1150.00	146.00	1159.00	160.00	1176.00	148.00	1168.00	2.65	4.34	2.68	4.17	3.07	3.42	3.57	6321.66	3.37	2.80	0.50	76.79	74.23	37.74
184	93/12/08	12:22:32	93/12/08	13:05:52	133.00	1149.00	145.00	1177.00	134.00	1164.00	148.00	1170.00	2.74	4.43	2.42	3.94	3.11	3.37	3.50	6498.04	3.26	2.90	1.30	81.99	83.34	84.22
185	93/12/08	20:18:22	93/12/08	21:28:22	127.00	1151.00	144.00	1131.00	148.00	1161.00	137.00	1162.00	3.10	4.24	2.51	4.04	3.13	3.21	3.61	6297.29	3.19	2.33	0.94	75.54	69.26	71.17
186	93/12/08	22:15:52	93/12/08	23:01:52	136.00	1148.00	144.00	1158.00	156.00	1158.00	150.00	1156.00	3.08	4.56	2.60	4.13	3.30	3.42	3.54	6460.77	2.30	2.37	0.80	71.67	66.83	67.48
187	93/12/08	23:48:02	93/12/09	00:33:12	135.00	1151.00	144.00	1154.00	154.00	1152.00	146.00	1157.00	2.76	4.04	2.47	4.04	3.00	3.22	3.63	6290.95	2.84	1.84	0.90	56.91	51.19	103.19
188	93/12/09	01:16:12	93/12/09	02:02:02	129.00	1151.00	137.00	1165.00	145.00	1172.00	144.00	1166.00	2.95	4.14	2.53	4.20	3.08	3.40	3.70	6531.90	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00
189	93/12/09	08:13:02	93/12/09	09:05:42	131.00	1147.00	132.00	1155.00	130.00	1156.00	136.00	1157.00	3.01	4.47	2.60	4.07	3.20	3.37	3.57	6408.69	3.23	3.29	1.53	34.90	60.45	60.62
190	93/12/09	09:45:12	93/12/09	10:25:32	132.00	1154.00	140.00	1164.00	253.00	1163.00	144.00	1165.00	3.06	4.16	2.42	4.06	2.99	3.40	3.57	6166.78	3.19	3.16	1.10	44.30	74.39	77.16
191	64896/22	89/64896	93/12/09	12:10:02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
192	93/12/09	12:41:42	93/12/09	13:22:52	140.00	1150.00	144.00	1164.00	148.00	1170.00	149.00	1166.00	3.11	4.62	2.45	4.24	3.31	3.34	3.45	6169.10	3.14	3.00	1.01	31.13	134.35	89.26
193	93/12/09	20:16:12	93/12/09	21:05:32	131.00	1149.00	133.00	1160.00	131.00	1152.00	135.00	1157.00	2.94	4.25	2.50	4.04	3.02	3.22	3.62	6502.53	0.90	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00
194	93/12/09	21:47:52	93/12/09	22:32:32	138.00	1151.00	139.00	1163.00	136.00	1164.00	143.00	1164.00	3.02	4.29	2.65	4.01	3.25	3.42	3.61	6405.66	3.16	2.30	0.35	52.27	116.50	47.32
195	93/12/09	23:20:02	93/12/10	00:08:32	142.00	1149.00	145.00	1163.00	140.00	1171.00	144.00	1166.00	2.73	4.44	2.62	4.11	3.22	3.33	3.52	6544.01	0.50	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00
196	93/12/10	00:49:42	93/12/10	01:53:12	139.00	1155.00	144.00	1168.00	148.00	1173.00	151.00	1170.00	2.36	3.82	2.12	3.53	2.62	2.81	3.24	5798.14	1.93	1.33	0.37	7.57	6.87	8.17
197	93/12/10	08:21:29	93/12/10	09:19:02	181.00	1152.00	186.00	1163.00	180.00	1158.00	186.00	1161.00	2.47	3.75	2.29	3.51	2.72	2.94	3.10	5955.73	3.27	2.19	1.10	57.39	52.62	70.65
198	93/12/10	09:52:42	93/12/10	10:57:22	138.00	1156.00	148.00	1168.00	152.00	1172.00	145.00	1175.00	2.60	4.19	2.24	3.85	2.91	3.06	3.09	6071.13	2.94	1.88	0.86	48.58	43.61	58.29
199	93/12/10	11:31:12	93/12/10	12:37:32	142.00	1152.00	148.00	1171.00	152.00	1173.00	156.00	1172.00	2.61	3.95	2.20	3.79	2.85	3.03	3.14	5976.44	3.22	2.38	1.05	57.31	51.31	52.27
200	93/12/10	13:30:42	93/12/10	14:44:12	140.00	1156.00	153.00	1174.00	420.00	1179.00	154.00	1175.00	2.37	3.99	2.08	3.73	2.74	2.88	3.09	5815.25	2.56	2.24	0.91	45.77	40.03	41.01
201	93/12/10	20:08:22	93/12/10	21:13:02	133.00	1150.00	143.00	1155.00	140.00	1152.00	140.00	1160.00	2.35	3.96	2.12	3.81	2.80	3.02	3.19	5732.11	3.82	2.76	1.21	44.36	46.44	57.22
202	93/12/10	21:52:42	93/12/10	22:50:22	136.00	1148.00	137.00	1146.00	138.00	1145.00	141.00	1155.00	2.81	4.05	2.13	3.78	2.60	2.90	3.24	5523.94	3.37	3.19	1.30	35.62	55.29	63.75
203	93/12/10	23:28:32	93/12/11	00:30:22	137.00	1150.00	135.00	1154.00	132.00	1150.00	141.00	1152.00	2.60	3.98	2.20	3.77	2.76	3.08	3.33	5882.64	0.90	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00
204	93/12/11	01:09:32	93/12/11	02:13:52	134.00	1149.00	135.00	1153.00	132.00	1149.00	138.00	1157.00	2.30	4.13	2.16	3.82	2.73	2.98	3.25	5812.60	2.09	1.90	1.16	54.62	59.25	33.40
205	93/12/11	08:13:12	93/12/11	09:21:22	133.00	1154.00	133.00	1160.00	131.00	1158.00	140.00	1164.00	2.46	4.18	2.15	3.89	2.80	3.01	3.07	5666.60	3.33	3.31	1.81	41.08	51.55	68.88
207	93/12/11	11:38:52	93/12/11	12:40:12	134.00	1151.00	142.00	1162.00	143.00	1162.00	144.00	1162.00	2.73	4.04	2.57	3.92	2.98	3.27	3.48	5849.04	3.26	2.82	1.20	53.98	48.76	65.41
208	93/12/11	13:36:42	93/12/11	14:38:32	134.00	1156.00	144.00	1171.00	118.00	1141.00	145.00	1169.00	2.89	4.25	2.43	3.98	2.95	3.17	3.36	5800.31	2.89	2.33	0.89	55.31	49.92	67.31
209	93/12/11	20:12:32	93/12/11	21:12:32	134.00	1178.00	148.00	1172.00	120.00	1140.00	146.00	1184.00	2.78	3.98	2.24	3.92	2.89	3.12	3.36	5903.09	3.84	2.69	1.41	49.20	52.92	70.66
210	93/12/11	21:52:52	93/12/11	22:57:42	156.00	1187.00	155.00	1164.00	128.00	1130.00	162.00	1168.00	2.61	4.11	2.44	4.07	2.92	3.25	3.46	5894.59	3.12	2.88	1.35	46.04	40.63	82.14
211	93/12/11	23:05:52	93/12/12	00:42:12	152.00	1154.00	150.00	1154.00	120.00	1122.00	156.00	1157.00	2.51	4.40	2.39	4.06	3.12	3.21	3.33	5765.21	2.99	2.63	0.95	45.36	40.06	80.56
212	64896/22	89/64896	93/12/12	02:50:10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
213	93/12/14	08:23:13	93/12/14	09:58:02	96.00	1148.00	94.00	1148.00	51.00	1042.00	92.00	1164.00	2.54	4.40	2.55	4.05	3.10	3.35	3.81	6023.10	3.41	2.45	0.00	59.60	54.71	55.26

表－3.3(6) 施工管理データ一覧表

RING	開始日時		終了日時		Jストローク上(mm)		Jストローク右(mm)		Jストローク下(mm)		Jストローク左(mm)		ビット圧(kg/cm2)							総推力	裏込圧力(kg/cm2)			裏込注入量(l/min)		
					開始	終了	開始	終了	開始	終了	開始	終了	左上	左下	中上	中下	左	中	右		No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3
214	64896/22	89/64896	93/12/14	13:47:20	0.00	0.00	121.00	121.00	0.00	0.00	137.00	137.00	0.99	1.91	0.98	1.43	1.11	1.30	1.43	0.00	1.31	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
215	93/12/14	13:58:02	93/12/14	15:05:12	137.00	1149.00	124.00	1140.00	35.00	1052.00	141.00	1160.00	2.72	4.46	2.61	4.13	3.08	3.32	3.48	5846.74	1.82	1.68	0.00	48.06	52.44	52.04
216	64896/22	89/64896	93/12/14	22:27:25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
218	93/12/14	23:56:02	93/12/15	01:00:52	117.00	1163.00	120.00	1168.00	168.00	1086.00	123.00	1174.00	2.87	4.23	2.69	3.84	3.12	3.42	3.60	5812.10	3.01	3.05	0.10	32.61	56.94	62.32
219	93/12/15	01:54:22	93/12/15	02:54:52	148.00	1160.00	141.00	1158.00	168.00	1088.00	145.00	1162.00	2.77	4.18	2.54	3.91	3.02	3.31	3.46	6083.57	3.57	3.25	0.10	35.48	25.21	61.99
220	93/12/15	08:14:02	93/12/15	09:30:42	124.00	1149.00	125.00	1151.00	199.00	1068.00	129.00	1162.00	2.81	4.43	2.41	4.05	3.14	3.22	3.33	6172.28	3.46	2.70	0.20	48.02	64.27	32.56
221	93/12/15	10:13:42	93/12/15	11:20:32	138.00	1150.00	128.00	1140.00	33.00	1050.00	135.00	1154.00	2.54	4.38	2.56	4.08	3.14	3.37	3.60	6027.84	3.21	3.09	0.20	57.76	56.54	29.68
222	93/12/15	12:00:22	93/12/15	13:06:42	116.00	1148.00	111.00	1150.00	32.00	1067.00	126.00	1160.00	2.99	4.47	2.52	4.11	3.12	3.33	3.55	6067.82	2.48	2.34	0.10	41.66	36.37	73.30
223	93/12/15	13:47:42	93/12/15	14:54:52	129.00	1150.00	121.00	1142.00	89.00	1112.00	130.00	1150.00	2.91	4.39	2.68	4.18	3.13	3.47	3.75	6109.24	2.77	2.61	0.10	54.22	49.77	50.04
224	64896/22	89/64896	93/12/15	21:51:59	188.00	188.00	183.00	183.00	181.00	181.00	189.00	189.00	1.33	1.87	1.20	1.97	1.44	1.59	1.79	2817.00	0.65	0.55	0.05	28.80	25.40	25.90
225	64896/22	89/64896	93/12/16	02:33:28	973.00	975.00	976.00	979.00	968.00	970.00	972.00	974.00	2.41	3.61	2.02	3.12	2.54	2.63	2.64	4685.75	2.28	1.88	0.08	40.43	37.68	37.68
226	64896/22	89/64896	93/12/16	08:30:08	363.00	363.00	357.00	357.00	351.00	351.00	360.00	360.00	1.46	2.02	1.36	2.03	1.61	1.67	1.79	3212.00	0.55	0.45	0.00	28.75	26.00	26.40
229	93/12/16	10:01:52	93/12/16	11:10:12	136.00	1149.00	129.00	1135.00	129.00	1149.00	132.00	1160.00	2.96	4.50	2.57	4.11	3.17	3.37	3.68	6240.79	3.47	2.95	0.10	66.98	38.78	24.02
230	93/12/16	11:48:12	93/12/16	12:57:32	137.00	1100.00	122.00	1096.00	130.00	1097.00	140.00	1096.00	2.96	4.39	2.54	4.05	3.18	3.27	3.47	6077.63	3.56	2.59	0.10	58.69	34.28	32.79
231	93/12/16	13:33:52	93/12/16	14:37:02	88.00	1149.00	80.00	1143.00	83.00	1144.00	85.00	920.00	3.00	4.08	2.53	4.03	3.04	3.22	3.56	6062.83	1.34	1.03	0.00	92.17	84.07	41.24
232	93/12/16	20:11:12	93/12/16	21:15:42	136.00	1156.00	125.00	1150.00	131.00	1151.00	139.00	1159.00	2.89	4.23	2.48	4.02	3.12	3.35	3.52	5976.93	3.70	3.07	0.10	64.49	59.57	30.50
233	93/12/16	21:49:12	93/12/16	22:59:22	144.00	1160.00	137.00	1157.00	136.00	1158.00	144.00	1163.00	2.47	3.72	2.12	3.65	2.72	2.95	3.19	5653.25	3.38	3.17	0.10	63.45	57.94	29.11
234	64896/22	89/64896	93/12/17	02:44:42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
235	93/12/17	08:20:02	93/12/17	11:19:12	75.00	1149.00	70.00	1152.00	68.00	1116.00	69.00	1144.00	0.67	1.75	0.50	1.44	0.82	1.01	1.16	3549.51	3.62	2.81	0.10	30.86	11.48	22.32
236	93/12/17	12:01:32	93/12/17	14:26:12	128.00	1136.00	132.00	1154.00	114.00	1121.00	131.00	1133.00	0.49	1.67	0.40	1.36	0.78	0.88	1.09	3429.36	2.93	2.44	0.00	33.42	28.27	20.59
237	64896/22	89/64896	93/12/17	20:35:18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
238	93/12/17	22:36:42	93/12/18	00:18:22	160.00	1154.00	157.00	1156.00	132.00	1121.00	148.00	1143.00	0.59	1.85	0.45	1.50	0.86	0.98	1.26	3610.81	3.17	3.03	0.00	39.82	34.51	22.47
239	93/12/18	08:22:12	93/12/18	08:40:52	136.00	268.00	152.00	282.00	11.00	140.00	108.00	241.00	0.43	1.70	0.25	1.35	0.70	0.78	1.06	3585.22	1.48	0.98	0.00	31.07	25.84	25.49
240	93/12/18	12:28:03	93/12/18	13:21:43	708.00	1136.00	718.00	1149.00	585.00	1020.00	677.00	1109.00	0.37	1.51	0.20	1.18	0.64	0.73	0.91	2797.65	2.95	2.61	0.00	33.80	28.51	20.22
241	93/12/20	15:47:02	93/12/20	16:58:04	958.00	1013.00	978.00	1029.00	864.00	916.00	938.00	990.00	0.27	1.26	0.03	0.97	0.32	0.53	0.67	2765.55	0.51	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00
242	93/12/20	13:15:52	64896/22	89/64896	149.00	784.00	164.00	804.00	58.00	690.00	136.00	763.00	0.73	2.01	0.60	1.56	1.04	1.12	1.36	3427.41	2.71	2.80	0.00	19.92	22.30	24.76
243	64896/22	89/64896	93/12/20	15:37:48	901.00	902.00	920.00	921.00	807.00	808.00	881.00	883.00	0.61	1.72	0.46	1.32	0.81	0.92	1.08	3132.50	2.03	2.03	0.00	27.75	24.20	22.00

3.3 計測結果

本現場計測で得られた結果を次頁以降に示す。本計測では計測開始から約２４ヶ月以上の長期にわたって実施した。ここでは、全計測データより経時的な変化をみるのに必要と考えられる主要な時期のデータを抽出して整理することとした。表－３．６に使用した計測データを示す。

表－３．６ 主な計測データと主要な時期の経過時期

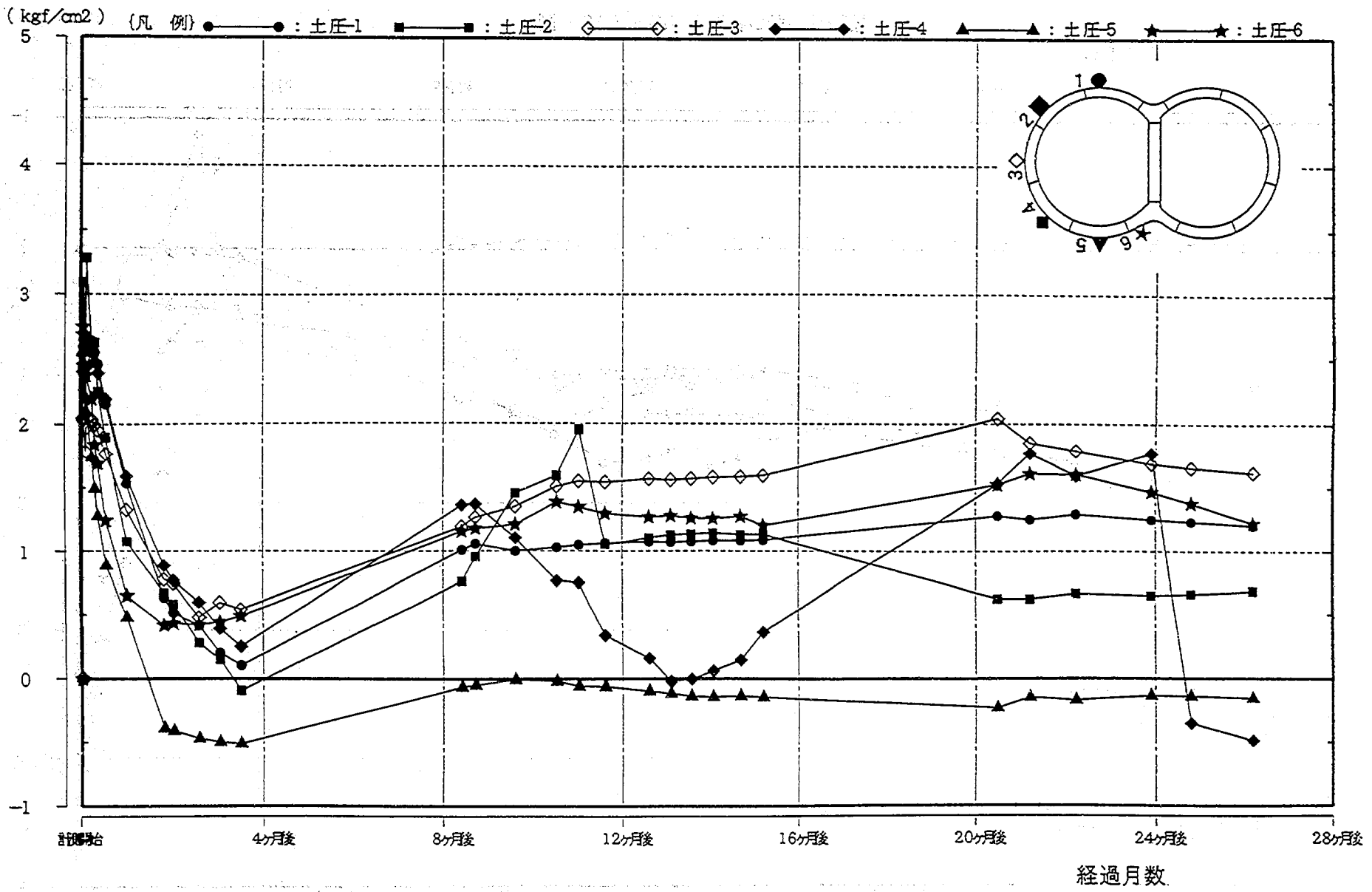
NO.	計測日時	経過日時	
1	93/11/19 15:16	80ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立直後	
2	93/11/19 18:16		81ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立直後
3	93/11/20 15:15	80ﾘﾝｸﾞ１日後	
4	93/11/20 18:15		81ﾘﾝｸﾞ１日後
5	93/11/22 15:15	80ﾘﾝｸﾞ３日後	
6	93/11/22 18:15		81ﾘﾝｸﾞ３日後
7	93/11/26 12:00	約１週間後	
8	93/11/28 12:00		
9	93/11/30 12:00		
10	93/12/ 5 19:00	約３週間後	
11	93/12/19 15:00	約１ヶ月後	
12	94/ 1/13 9:00		
13	94/ 1/19 15:00	約２ヶ月後	
14	94/ 2/ 5 15:00		
15	94/ 2/19 15:00	約３ヶ月後	
16	94/ 3/ 5 15:00		
17	94/ 8/ 1 18:00		
18	94/ 8/11 00:00	約９ヶ月後	
19	94/ 9/ 7 00:00		
20	94/10/ 5 00:00		
21	94/10/20 00:00	約１１ヶ月後	
22	94/11/ 7 00:00		
23	94/12/ 7 00:00		
24	94/12/22 00:00		
25	95/ 1/ 5 00:00		
26	95/ 1/20 00:00		
27	95/ 2/ 8 00:00		
28	95/ 2/23 16:34	約１５ヶ月後	
29	95/ 8/03 12:00		
30	95/ 8/25 12:00		
31	95/ 9/25 12:00		
32	95/11/15 12:00		
33	95/12/12 12:00	約２４ヶ月後	
34	96/ 1/23 16:00		

3.3.1土圧計

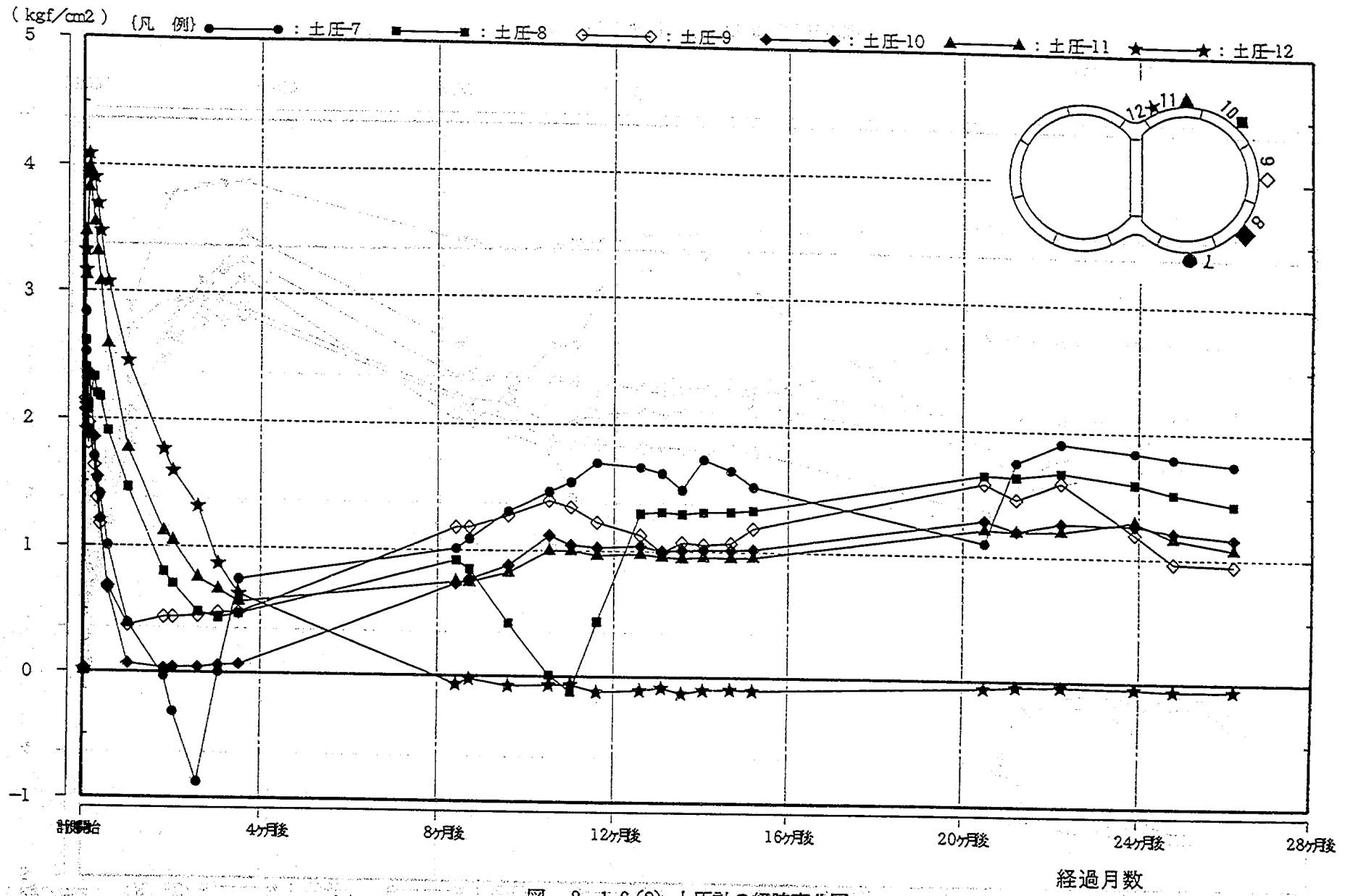
図－３．１６(1)～(2)に土圧の経時変化を示す。また、主要な時期の土圧の断面分布図を図－３．１７(1)～(3)に示す。

土圧の実測結果から約４ヶ月間で徐々に減少する傾向が見られる。施工直後の計測値は、裏込め注入圧力によって約２～４kgf/cm²であったが、徐々に減少して約４ヶ月後の94/ 3/ 5には０～１kgf/cm²程度までに減少した。その後、全体的に上昇しほぼ１２ヶ月後程度で一定値を示す傾向にある。これは、トンネル周辺の地盤がクリープを起こし裏込め注入圧が徐々に解放されて生じるものと、後述する間隙水圧の変動によって生じるものとが考えられる。

シールドトンネルに作用する計測値の土圧が実際の地山荷重と考えると、非常に小さい値となっている。約４ヶ月後の94/ 3/ 5のデータで、トンネル天端の土圧は設計上の全土被り荷重Ｐvの約１３％しか作用して

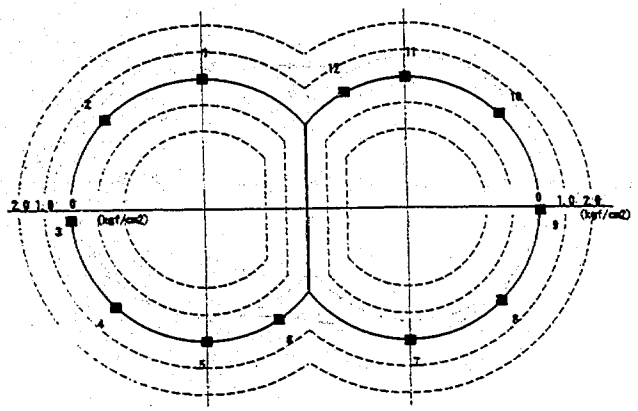


図－3．16(1) 土圧計の経時変化図



図－3.16(2) 土圧計の経時変化図

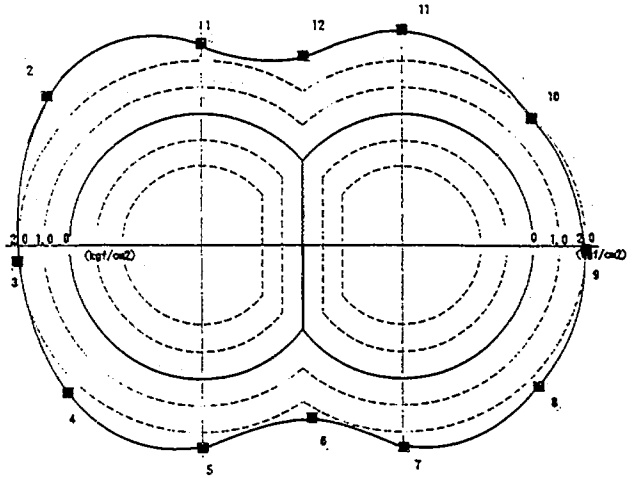
測定値測日：［1993年11月19日18時16分］
（セグメント組立直後）



■：土圧（kgf/cm²）

No.	測定値
1	0.01
2	-0.01
3	0.01
4	0.01
5	0.01
6	-0.00
7	0.02
8	0.01
9	0.03
10	0.01
11	0.01
12	0.01

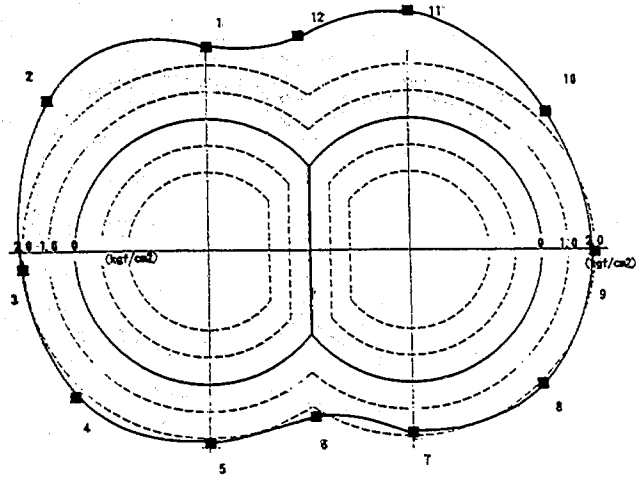
測定値測日：［1993年11月20日18時15分］
（1日後）



■：土圧（kgf/cm²）

No.	測定値
1	2.60
2	3.09
3	2.03
4	2.46
5	2.55
6	2.69
7	2.53
8	2.40
9	2.07
10	1.93
11	3.12
12	3.16

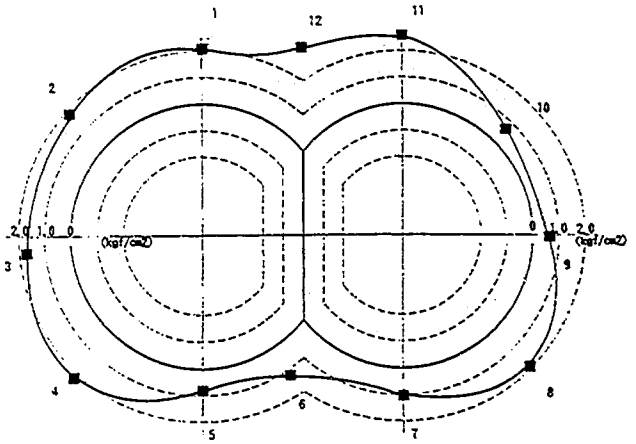
測定値測日：［1993年11月22日18時15分］
（3日後）



■：土圧（kgf/cm²）

No.	測定値
1	2.68
2	3.28
3	1.97
4	2.43
5	2.20
6	2.38
7	1.91
8	2.11
9	1.97
10	2.36
11	3.98
12	4.09

測定値測日：［1993年12月 5日19時 0分］
（2週後）



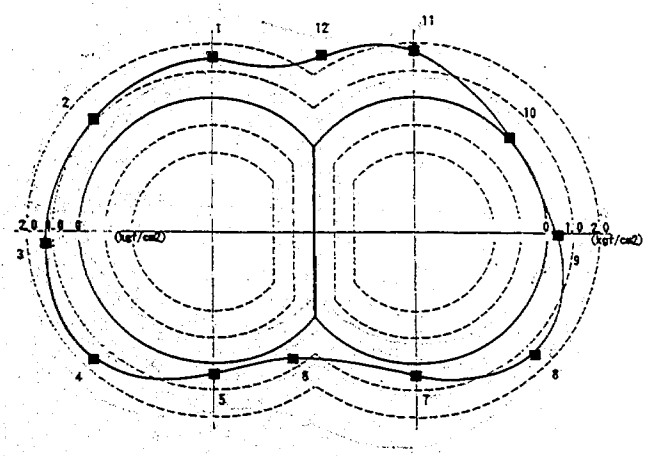
■：土圧（kgf/cm²）

No.	測定値
1	2.16
2	1.90
3	1.77
4	2.19
5	0.89
6	1.24
7	1.01
8	1.91
9	0.69
10	0.67
11	2.60
12	3.07

図－3．17(1) 土圧計の断面分布図

測定値測日：［1993年12月19日15時 0分］

（1ヶ月後）

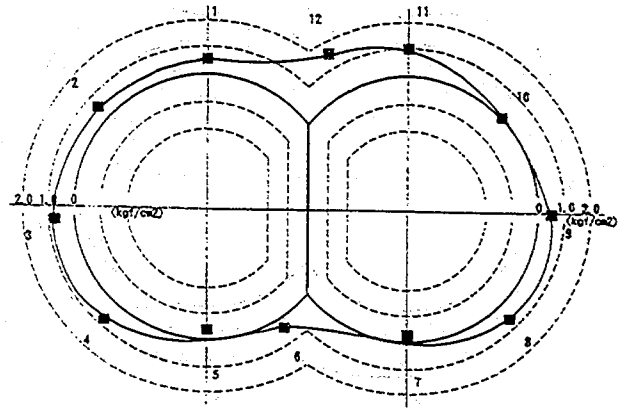


■：土圧（kgf/cm²）

No.	測定値
1	1.53
2	1.07
3	1.33
4	1.59
5	0.48
6	0.65
7	0.40
8	1.46
9	0.38
10	0.07
11	1.77
12	2.46

測定値測日：［1994年 1月19日15時 0分］

（2ヶ月後）

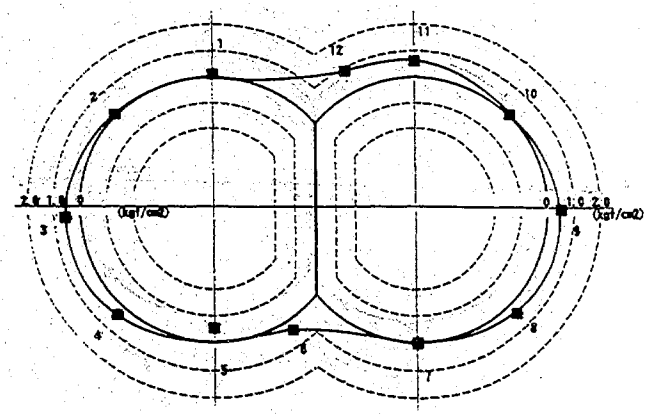


■：土圧（kgf/cm²）

No.	測定値
1	0.51
2	0.58
3	0.74
4	0.77
5	-0.41
6	0.43
7	-0.31
8	0.71
9	0.45
10	0.04
11	1.04
12	1.59

測定値測日：［1994年 2月19日15時 0分］

（3ヶ月後）

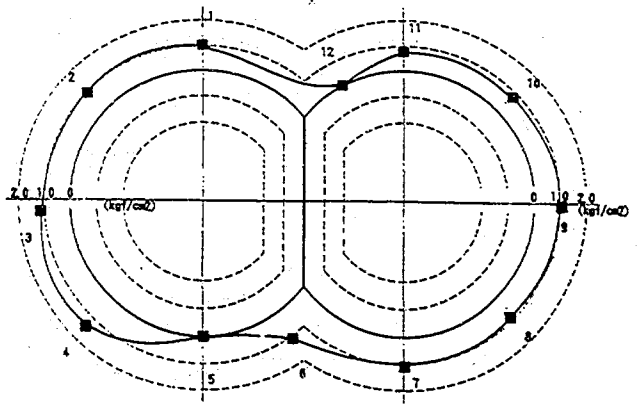


■：土圧（kgf/cm²）

No.	測定値
1	0.21
2	0.14
3	0.60
4	0.40
5	-0.50
6	0.44
7	0.02
8	0.44
9	0.49
10	0.07
11	0.67
12	0.87

測定値測日：［1994年 8月11日 0時 0分］

（9ヶ月後）



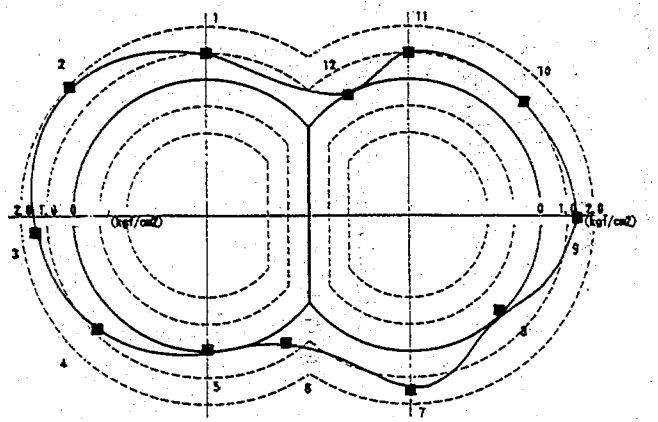
■：土圧（kgf/cm²）

No.	測定値
1	1.66
2	0.95
3	1.27
4	1.37
5	-0.05
6	1.18
7	1.09
8	0.85
9	1.18
10	0.77
11	0.75
12	-0.02

図－３．１７(2) 土圧計の断面分布図

測定値測日：［1994年10月20日 0時 0分］

（１１ヶ月後）

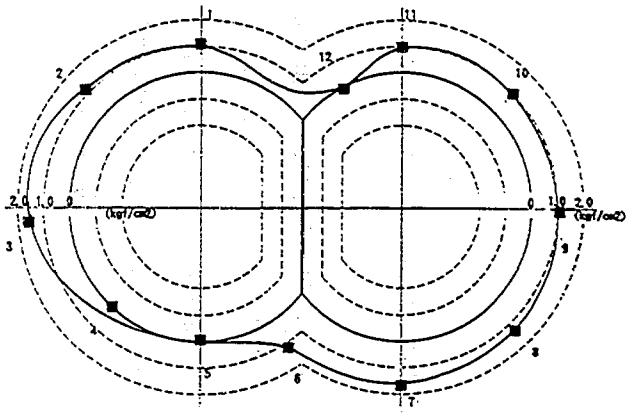


■：土圧（kgf/cm2）

No.	測定値
1	1.05
2	1.95
3	1.55
4	0.75
5	-0.06
6	1.35
7	1.54
8	-0.12
9	1.34
10	1.05
11	1.00
12	-0.07

測定値測日：［1995年 2月23日16時34分］

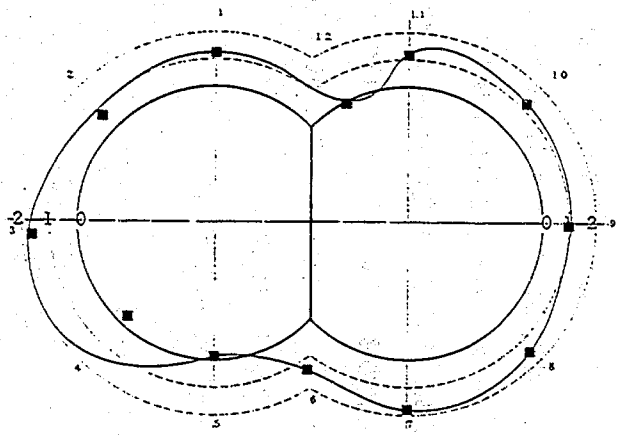
（１５ヶ月後）



■：土圧（kgf/cm2）

No.	測定値
1	1.09
2	1.13
3	1.59
4	0.36
5	-0.14
6	1.20
7	1.51
8	1.33
9	1.18
10	1.02
11	0.95
12	-0.10

測定値測日：［1995年12月12日12時 0分］
（24ヶ月後）



■：土圧（kgf/cm2）

No.	測定値
1.	1.24
2.	0.66
3.	1.65
4.	-0.35
5.	-0.14
6.	1.38
7.	1.80
8.	1.51
9.	0.97
10.	1.21
11.	1.16
12.	-0.06

図－３．１７(3) 土圧計の断面分布図

いない。４ヶ月以降に若干増加しているが、ほぼ安定した時期の約２４ヶ月後の95/12/12においても全土被り荷重Ｐvの約４５％しか作用していない（表－３．７）

表－３．７ 土圧計測値と理論値の関係

計測日時	①土圧の計測値	②全土被り荷重	①と②の比率
94/ 3/ 5(約４ヶ月後)	0.34 kgf/cm²	2.66 kgf/cm²	13%
95/ 2/23(約１５ヶ月後)	1.03 kgf/cm²	2.66 kgf/cm²	39%
95/12/12(約２４ヶ月後)	1.20 kgf/cm²	2.66 kgf/cm²	45%

①の土圧の計測値はトンネルの天端の土圧計E-1, E-11の平均値

３．３．２水圧計

図－３．１８に水圧の経時変化を示す。また、主要な時期の水圧の断面分布図を図－３．１９(1)～(3)に示す。

水圧計の初期値は計測初期（水圧が増加する以前）にはトンネル天端位置において約0.45kgf/cm²であり、地下水位＝AP＋3m(GL-2m)から考えた値の1.4kgf/cm²に比較して非常に小さい値であった。その後、水圧は除々に変動し、約２４ヶ月経過後の水圧計の値は、約１．１～１．３kgf/cm²と上昇している。これは、トンネル周辺の近傍でシールド工事と同時に実施された開削工事によるものと考えられる。すなわち、開削工事によって地下水位が一時的に低下したが、徐々に回復し水圧が上昇したものと推察される。

３．３．３円周方向鉄筋計

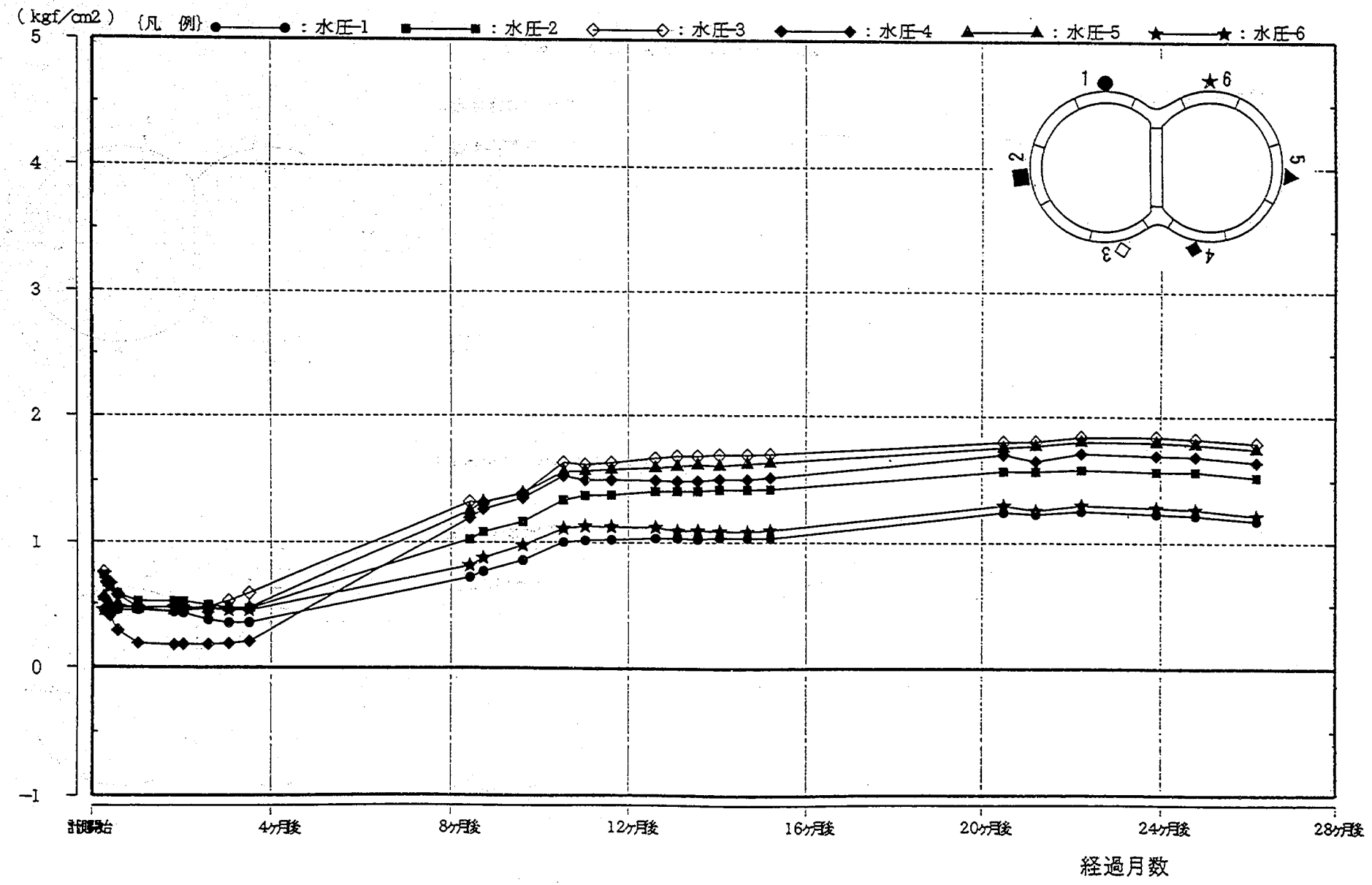
図－３．２０(1)～(7) に円周方向鉄筋計の経時変化を示す。また、主要な時期の鉄筋計の断面分布図を図－３．２１(1)～(3)に示す。

鉄筋計の経時的な変化は、概ね１２ヶ月程度までは比較的大きな変動が見られ、その後は各測定点毎に異なるが緩やかな変動となっている。これは、先の土圧計の計測値の変動が約１２ヶ月程度まで変動していることと傾向が一致している。ほぼ安定していると考えられる約２４ヶ月後の鉄筋に発生する応力度の最大値は、引張りで約２００kgf/cm²、圧縮で６００kgf/cm²程度と応力的には比較的小さいものである。また、断面の左右で考えると左断面で発生応力度が高い傾向を示していることが分かる。これは、トンネル断面の右側に実施された地盤改良の影響であると考えられる。地盤改良は、図－３．３に示したように側壁から０．６ｍの離隔で実施されており、これによりトンネル右側地盤がトンネルの変形の拘束力が大きくなり（いわゆる地盤反力係数が高くなる）右側の発生応力度が小さくなったと考えられる。

なお、鉄筋計の３２点のうちI-8、I-12の２点が計測当初から、0-13が計測後16ヶ月程度で絶縁不良となり測定不能であった。これらのデータについては下記に示す方法で取り扱った。

・I- 8:I- 7及びI- 9の平均値

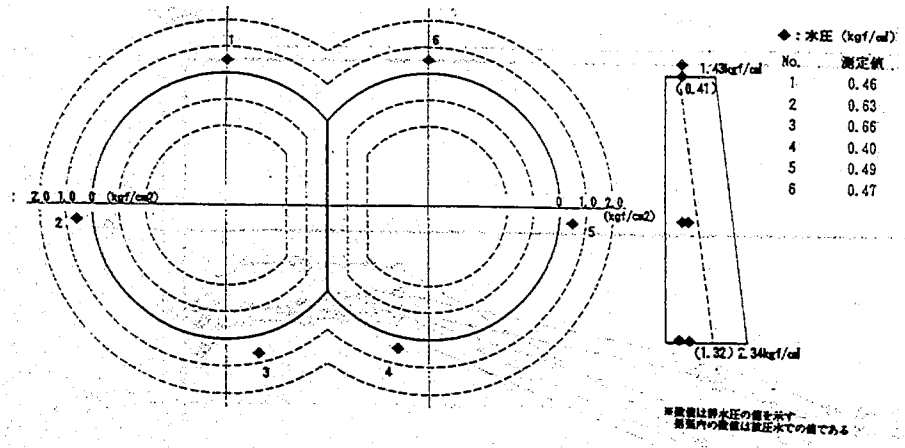
・I-12:I-11及びI-13の平均値



図－3.18 水圧計の経時変化図

測定値測日：［1993年11月26日12時 0分］

（７日後）



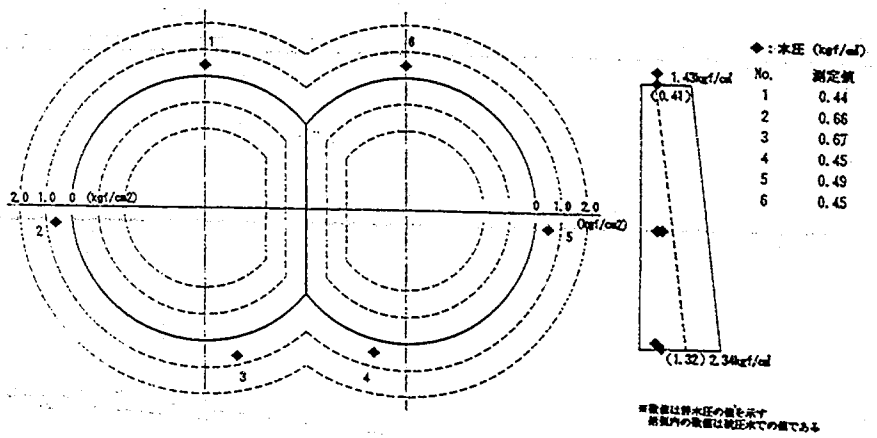
◆：水圧（kgf/cm）

No.	測定値
1	0.46
2	0.63
3	0.66
4	0.40
5	0.49
6	0.47

※数値は排水圧の値を示す
括弧内の数値は静圧水での値である

測定値測日：［1993年11月28日12時 0分］

（９日後）



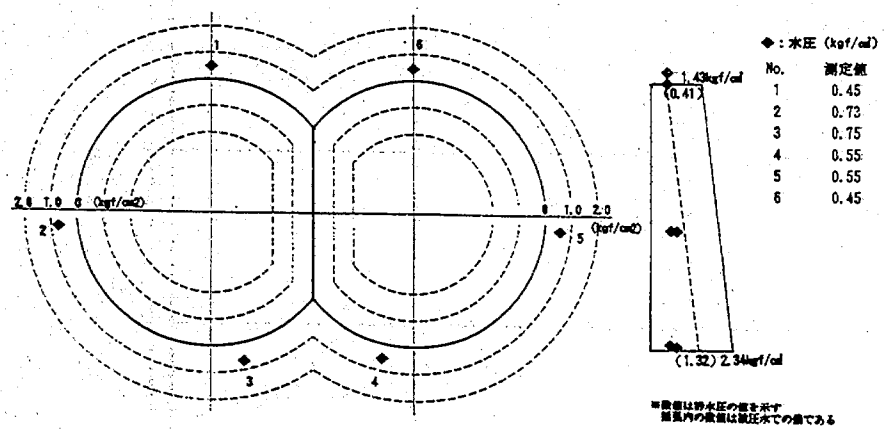
◆：水圧（kgf/cm）

No.	測定値
1	0.44
2	0.66
3	0.67
4	0.45
5	0.49
6	0.45

※数値は排水圧の値を示す
括弧内の数値は静圧水での値である

測定値測日：［1993年11月30日12時 0分］

（１１日後）



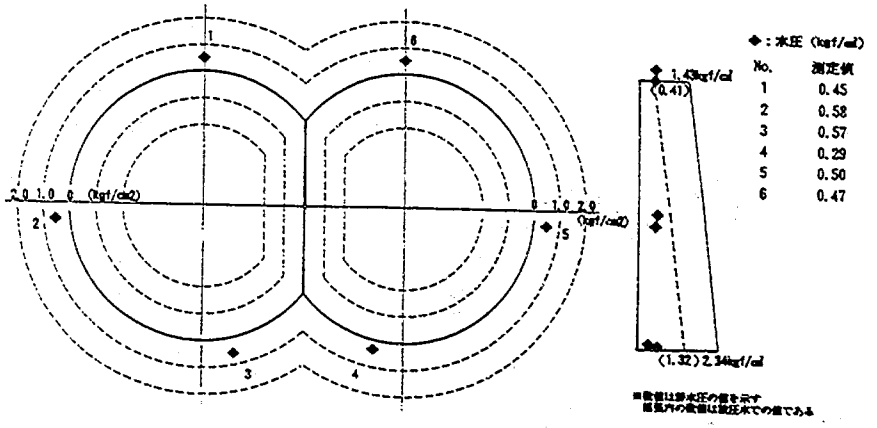
◆：水圧（kgf/cm）

No.	測定値
1	0.45
2	0.73
3	0.75
4	0.55
5	0.55
6	0.45

※数値は排水圧の値を示す
括弧内の数値は静圧水での値である

測定値測日：［1993年12月 5日19時 0分］

（２週後）



◆：水圧（kgf/cm）

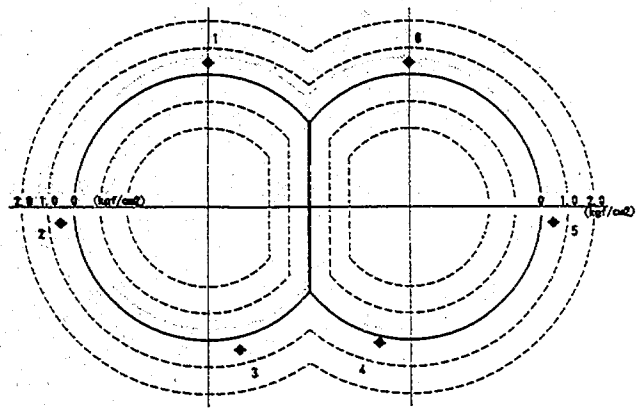
No.	測定値
1	0.45
2	0.58
3	0.57
4	0.29
5	0.50
6	0.47

※数値は排水圧の値を示す
括弧内の数値は静圧水での値である

図－３．１９(1) 水圧計の断面分布図

測定観測日：［1993年12月19日15時 0分］

（1ヶ月後）



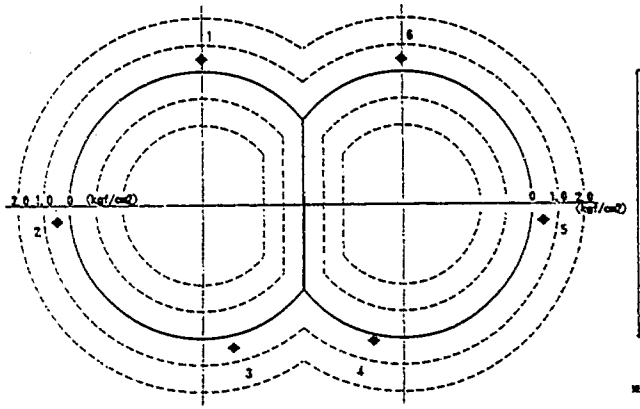
◆：水圧（kgf/cm²）

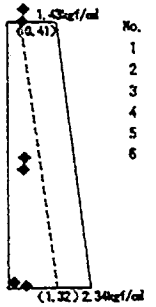
No.	測定値
1	0.45
2	0.52
3	0.47
4	0.19
5	0.46
6	0.47

※数値は静水圧の値を示す
括弧内の数値は波圧水での値である

測定観測日：［1994年 1月19日15時 0分］

（2ヶ月後）





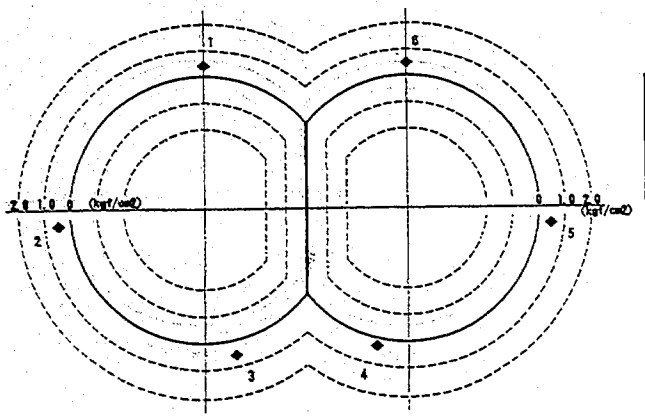
◆：水圧（kgf/cm²）

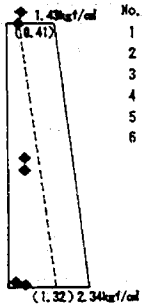
No.	測定値
1	0.43
2	0.52
3	0.47
4	0.18
5	0.45
6	0.47

※数値は静水圧の値を示す
括弧内の数値は波圧水での値である

測定観測日：［1994年 2月19日15時 0分］

（3ヶ月後）





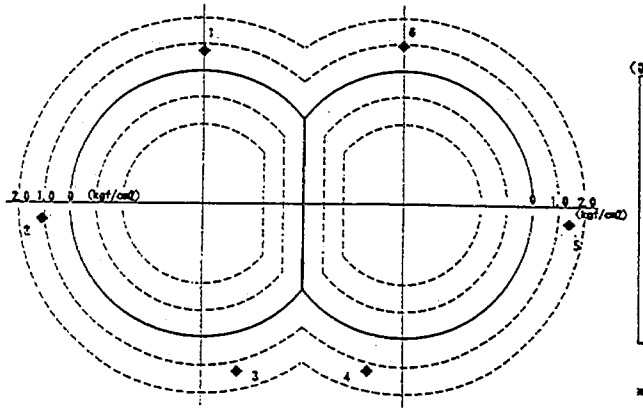
◆：水圧（kgf/cm²）

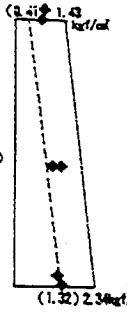
No.	測定値
1	0.35
2	0.47
3	0.53
4	0.19
5	0.47
6	0.45

※数値は静水圧の値を示す
括弧内の数値は波圧水での値である

測定観測日：［1994年 8月11日 0時 0分］

（9ヶ月後）





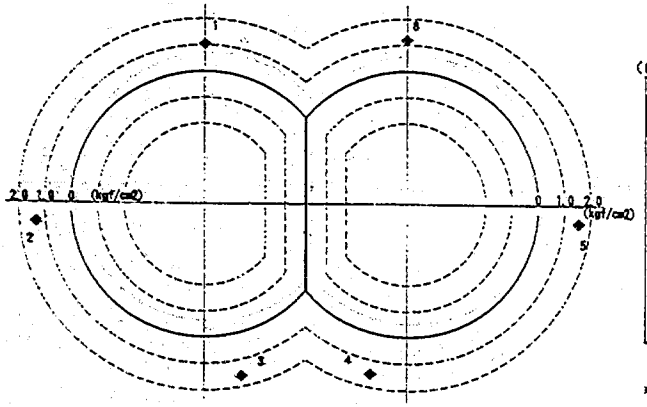
◆：水圧（kgf/cm²）

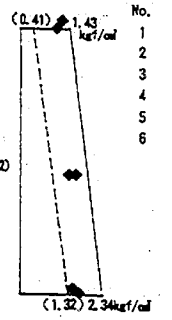
No.	測定値
1	0.76
2	1.09
3	1.32
4	1.27
5	1.32
6	0.87

※数値は静水圧の値を示す
括弧内の数値は波圧水での値である

図－３．１９(2) 水圧計の断面分布図

測定観測日：［1994年10月20日 0時 0分］
（１１ヶ月後）



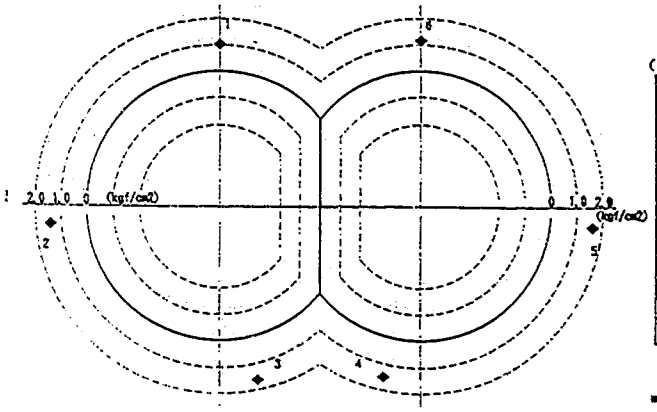


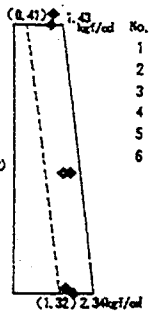
◆：水圧（kgf/cm）

No.	測定値
1	1.02
2	1.38
3	1.62
4	1.50
5	1.57
6	1.13

※数値は静水圧の値を示す
括弧内の数値は被圧水での値である

測定観測日：［1995年 2月23日16時34分］
（１５ヶ月後）



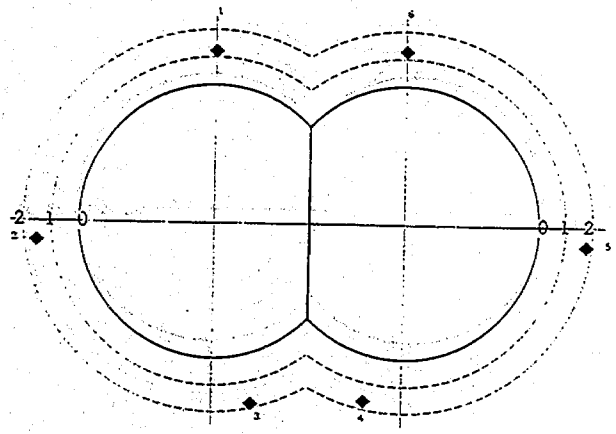


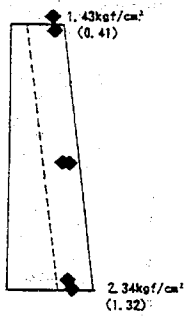
◆：水圧（kgf/cm）

No.	測定値
1	1.03
2	1.43
3	1.71
4	1.52
5	1.54
6	1.10

※数値は静水圧の値を示す
括弧内の数値は被圧水での値である

測定観測日：［1995年12月12日12時 0分］
（24ヶ月後）



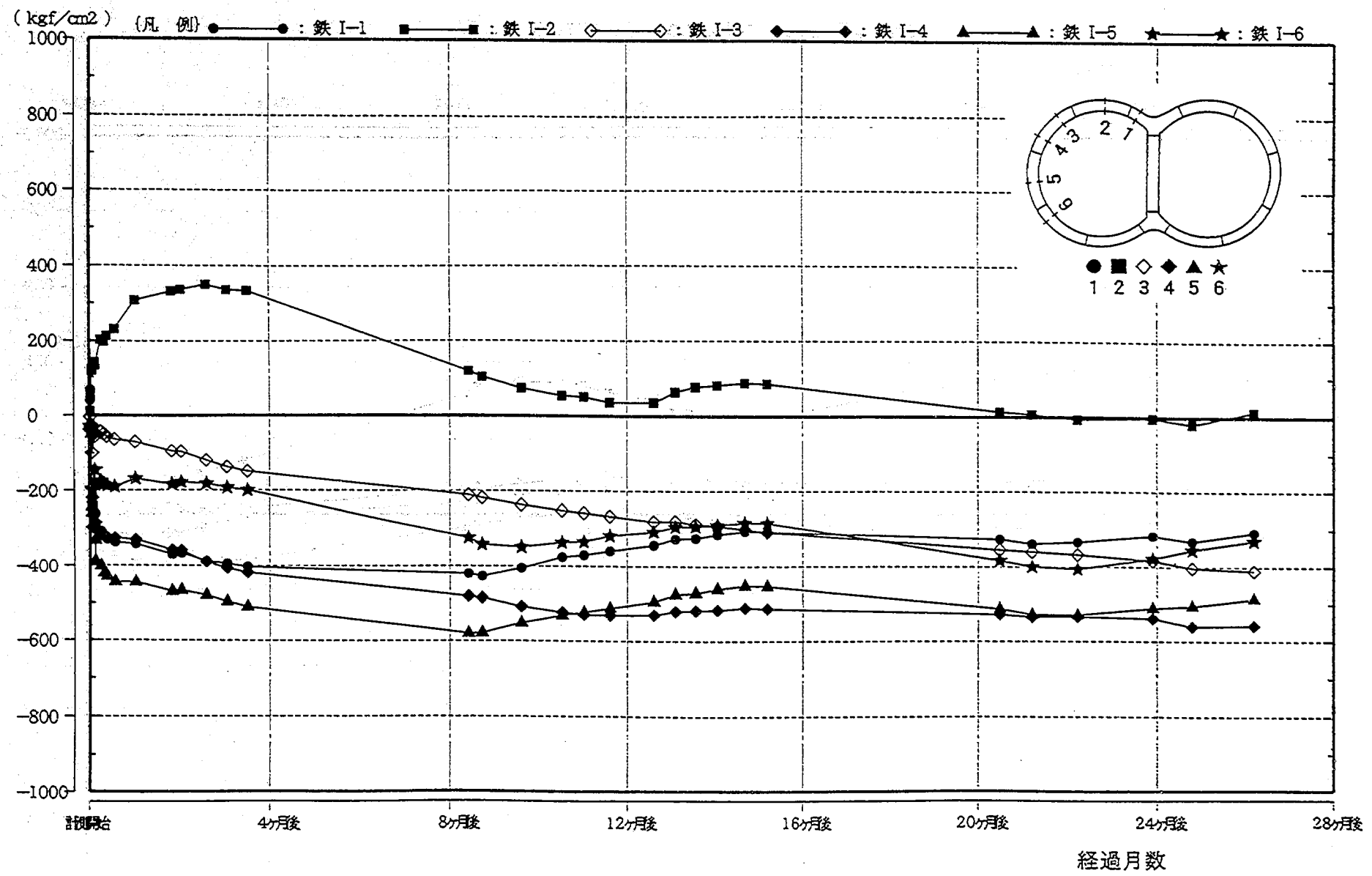


◆：水圧（kgf/cm2）

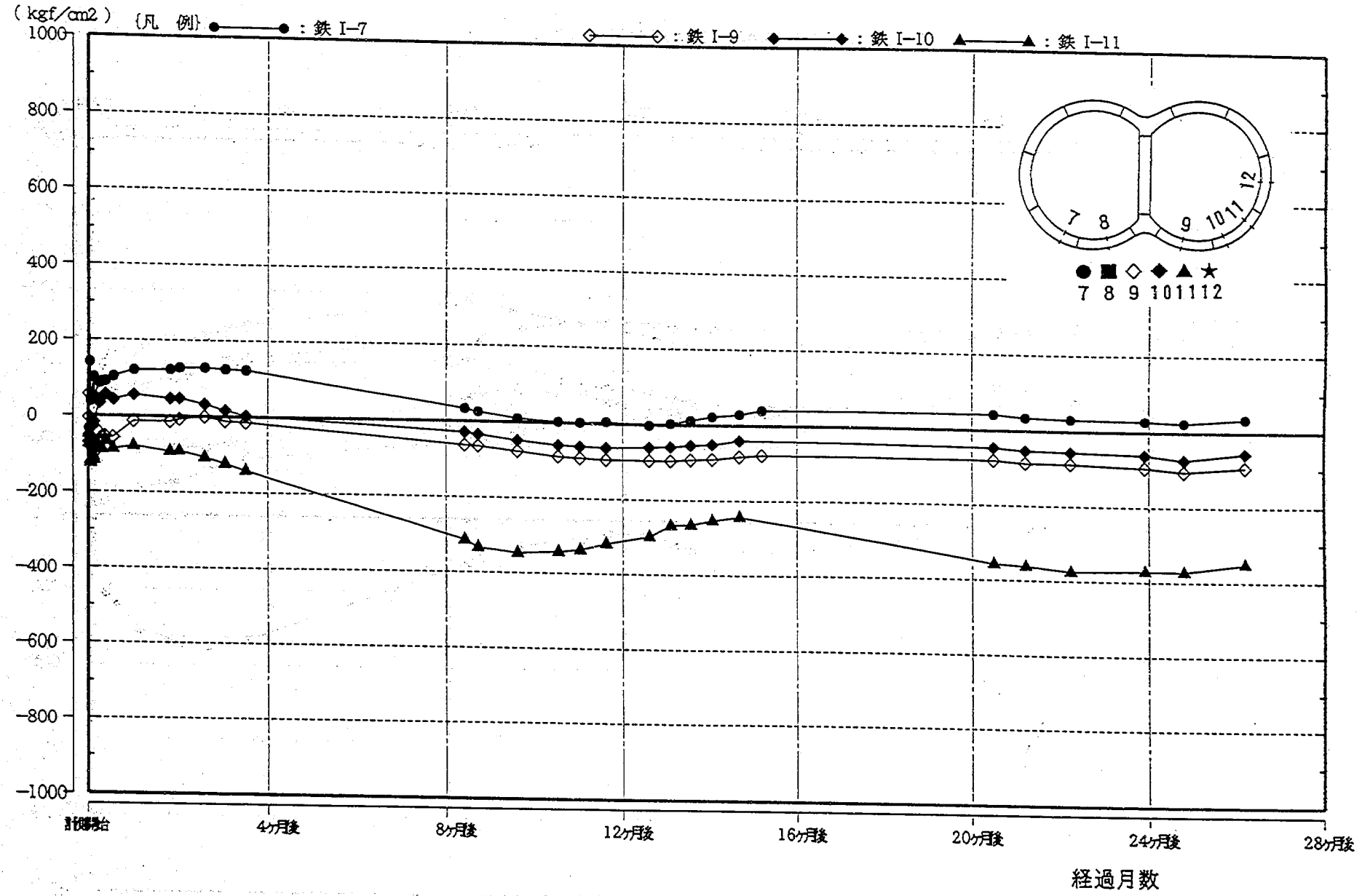
No.	測定値
1.	1.22
2.	1.52
3.	1.84
4.	1.70
5.	1.74
6.	1.27

※数値は静水圧の値を示す
（ ）内の数値は被圧水での値である

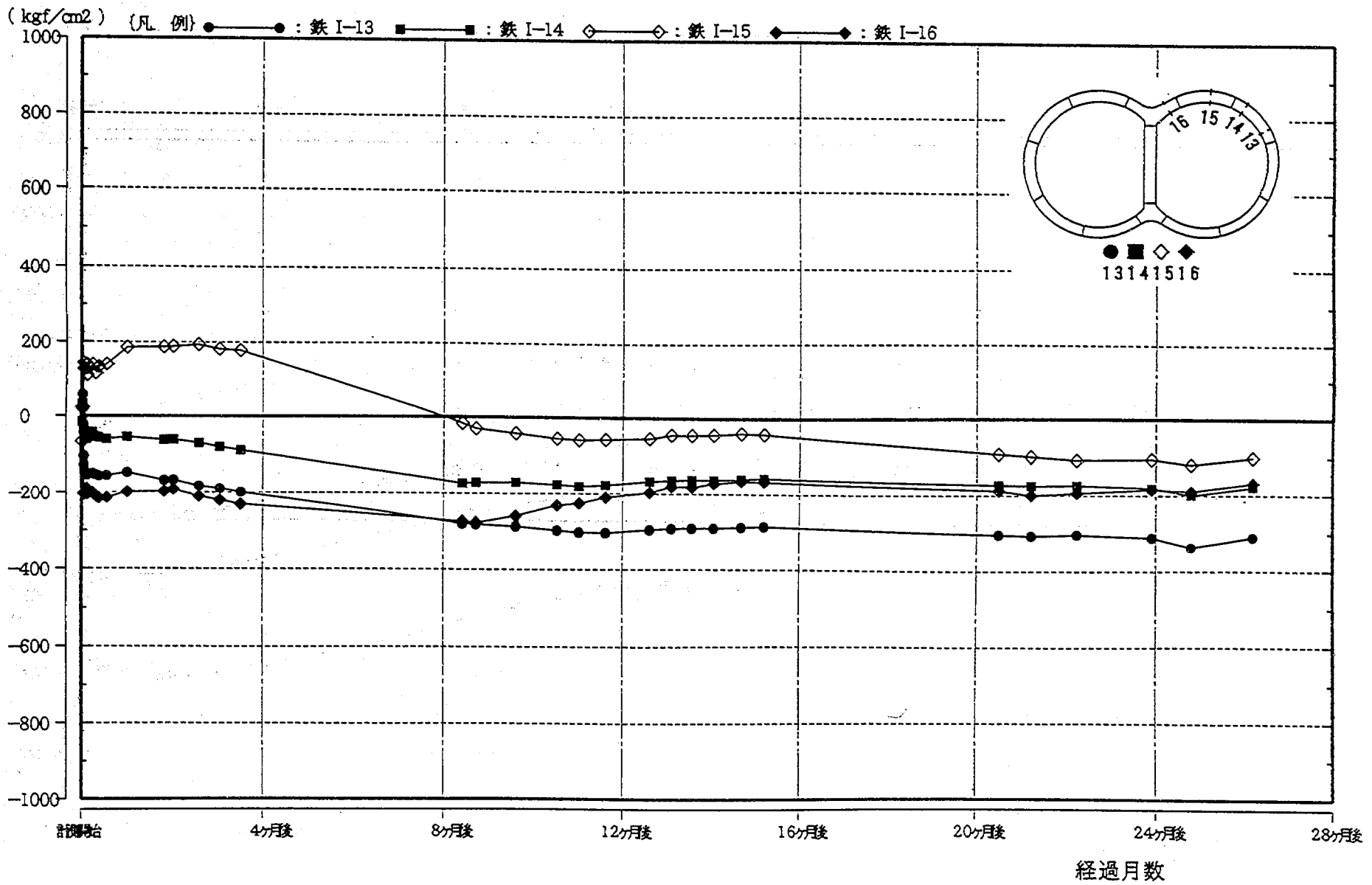
図－３．１９(3) 水圧計の断面分布図



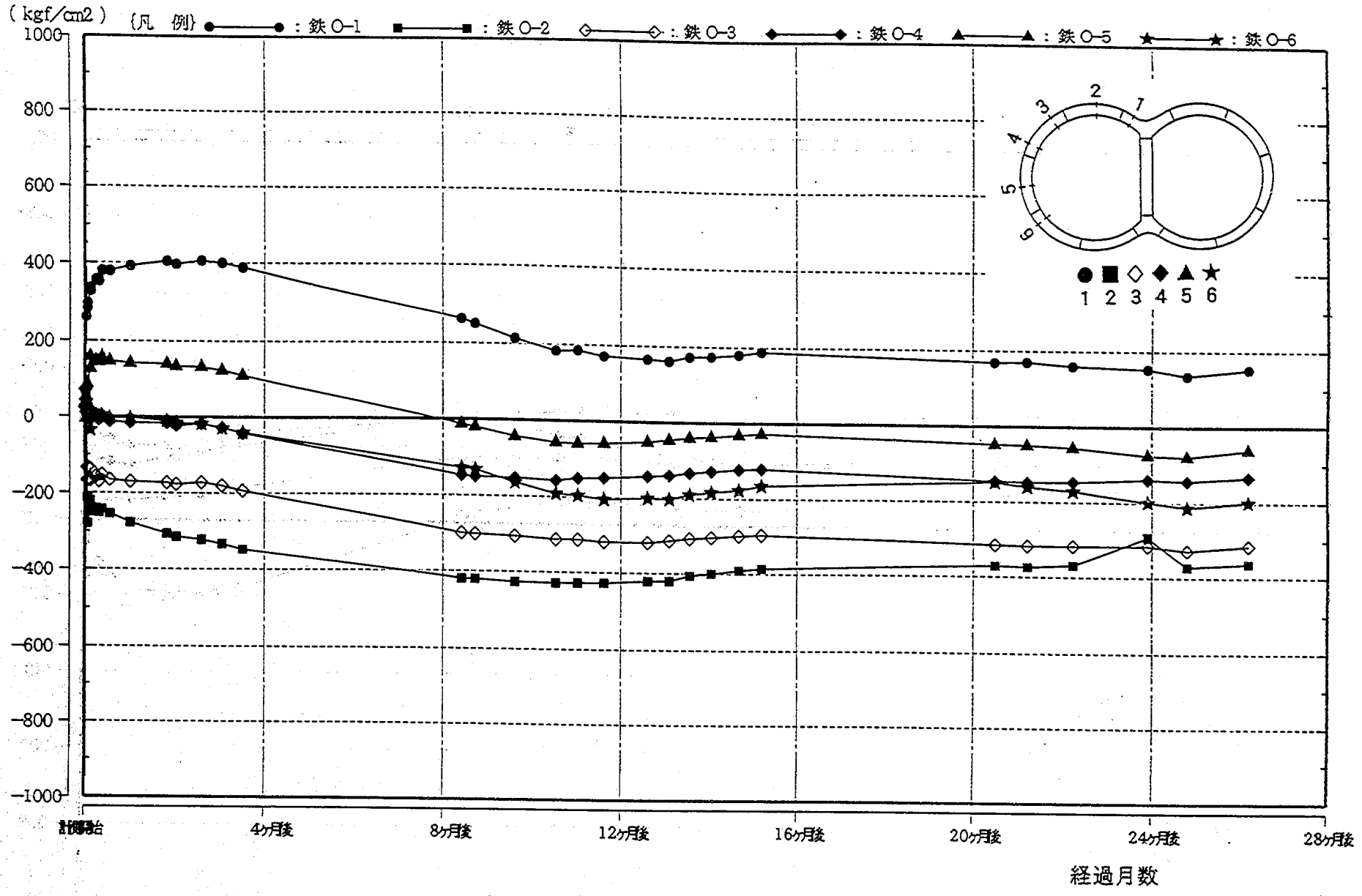
図－３．２０(1) 円周方向鉄筋計の経時変化図（内側）



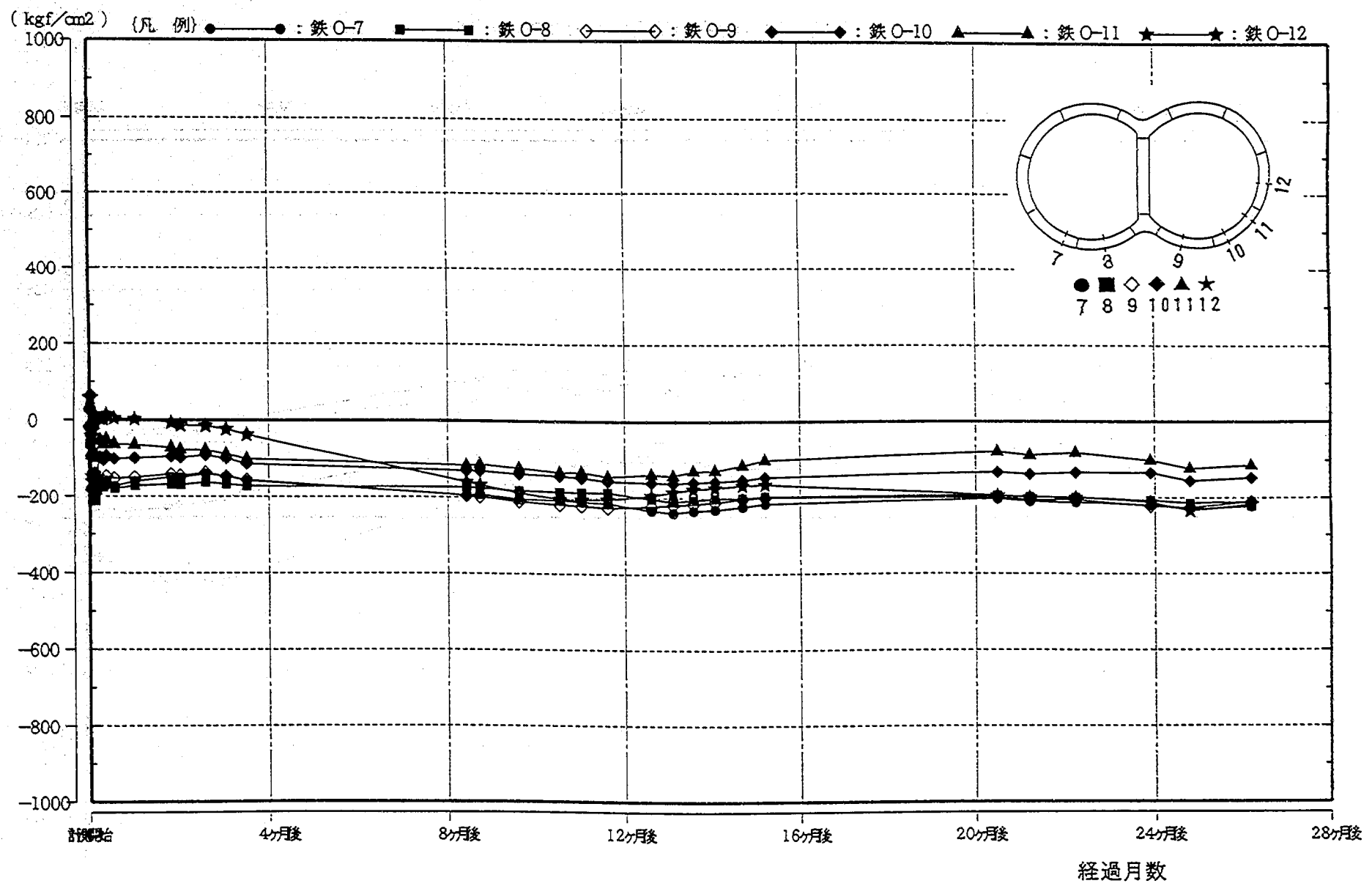
図－3.20(2) 円周方向鉄筋計の経時変化図（内側）



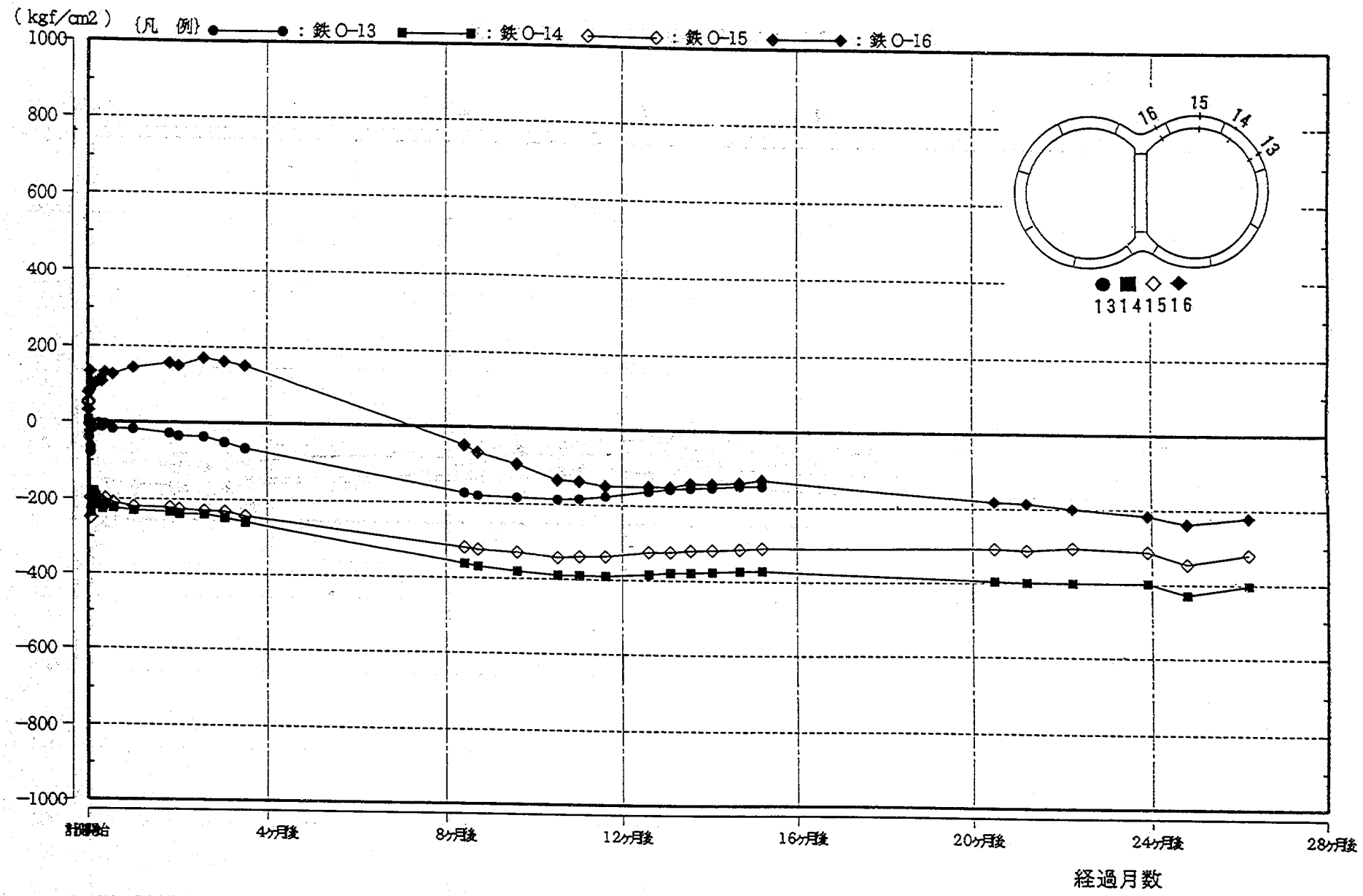
図－3.20(3) 円周方向鉄筋計の経時変化図（内側）



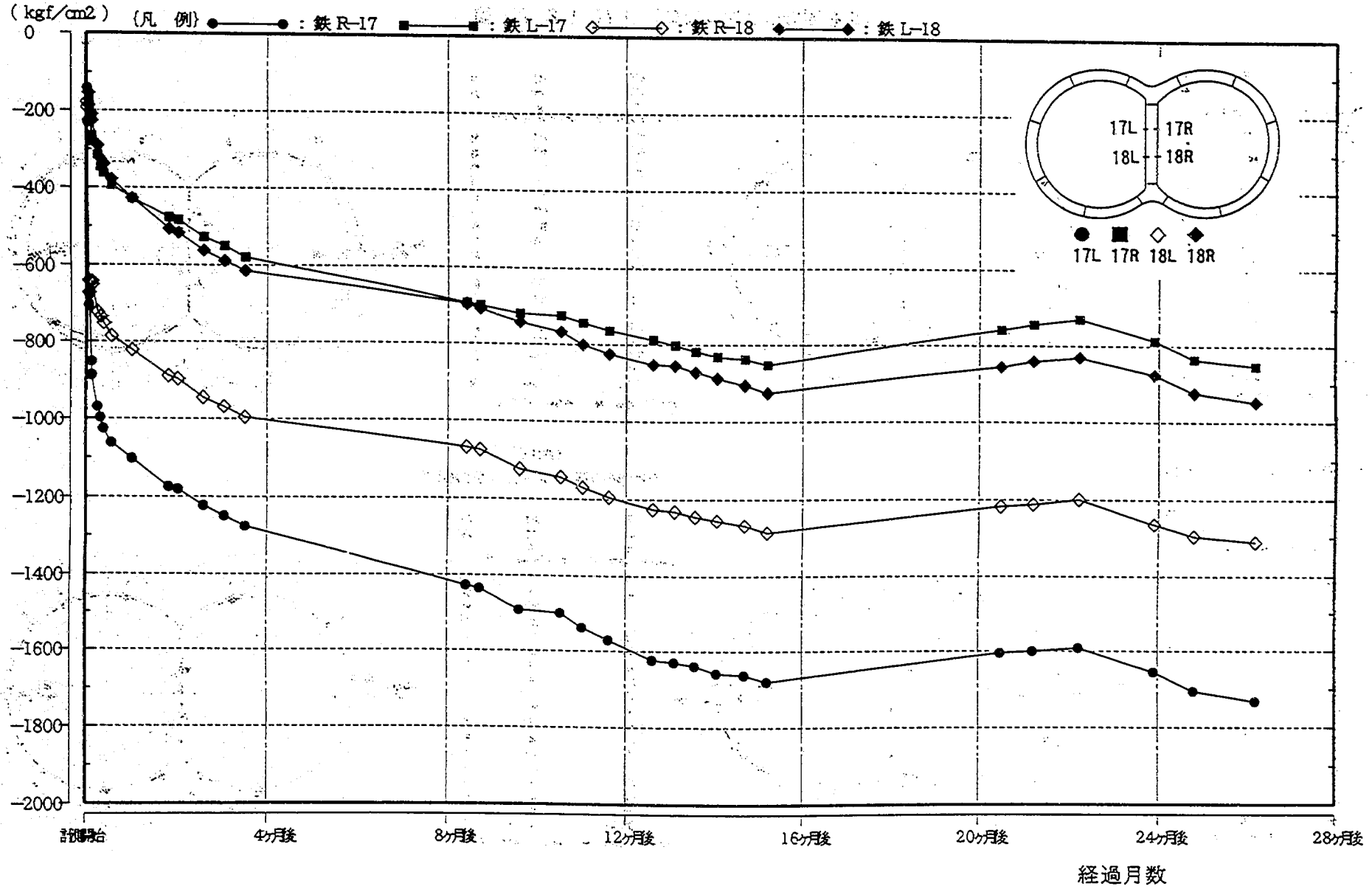
図－3.20(4) 円周方向鉄筋計の経時変化図（外側）



図－３．２０(5) 円周方向鉄筋計の経時変化図（外側）

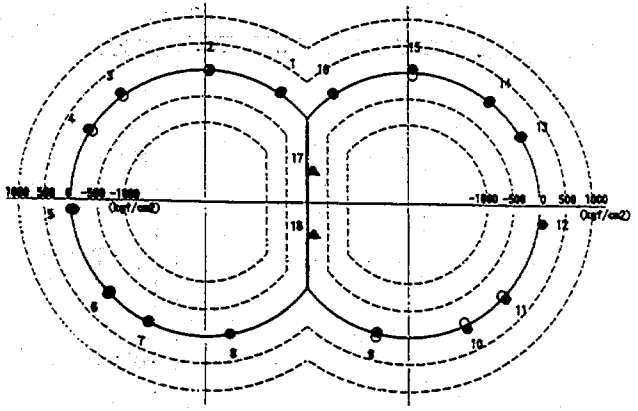


図－3.20(6) 円周方向鉄筋計の経時変化図



図－3.20(7) 円周方向鉄筋計の経時変化図（中柱）

測定値測日：［1993年11月19日15時16分］
（セグメント組立直後）



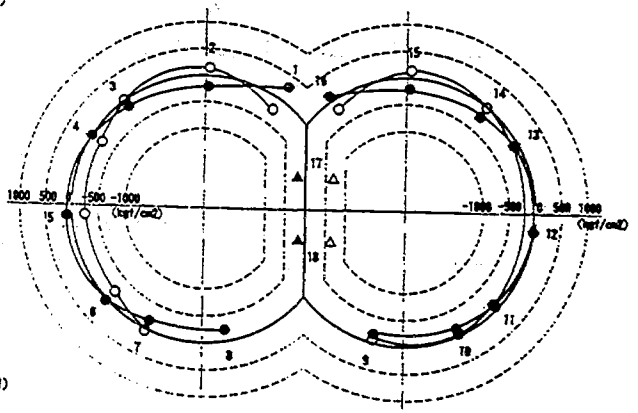
○：内側（kgf/cm²）　●：外側（kgf/cm²）

No.	測定値 in	測定値 out
1	40	66
2	11	23
3	-3	73
4	-37	31
5	-22	-6
6	-42	17
7	-34	-22
8	—	-17
9	57	-17
10	-71	66
11	-49	40
12	—	57
13	23	-6
14	-14	5
15	-66	49
16	21	31

△：右側（kgf/cm²）　▲：左側（kgf/cm²）

	R	L
17	-142	193
18	-179	199

測定値測日：［1993年11月20日15時16分］
（1日後）



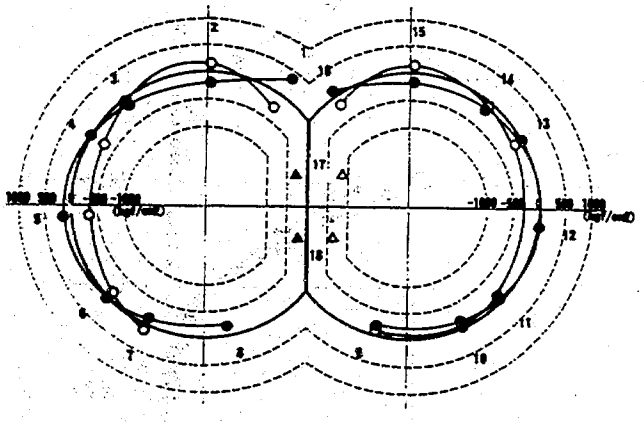
○：内側（kgf/cm²）　●：外側（kgf/cm²）

No.	測定値 in	測定値 out
1	-233	286
2	124	-213
3	-27	-134
4	-220	-6
5	-243	88
6	-201	19
7	39	-139
8	—	-207
9	-83	-184
10	-86	-157
11	-120	-84
12	—	-30
13	-104	-78
14	-26	-225
15	143	-196
16	-202	83

△：右側（kgf/cm²）　▲：左側（kgf/cm²）

	R	L
17	-703	-168
18	-642	-155

測定値測日：［1993年11月22日15時15分］
（3日後）



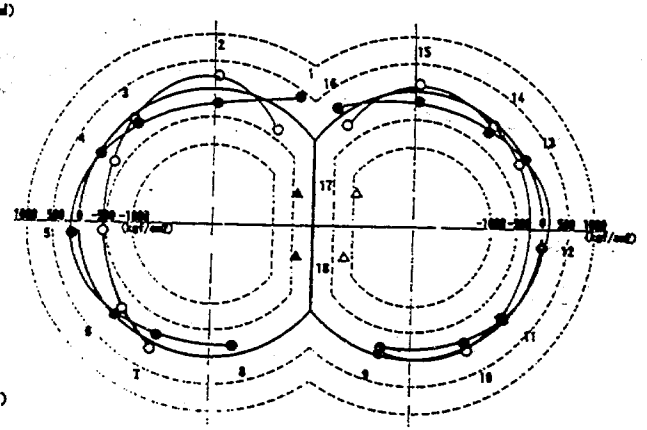
○：内側（kgf/cm²）　●：外側（kgf/cm²）

No.	測定値 in	測定値 out
1	-281	339
2	142	-221
3	-46	-137
4	-284	2
5	-333	150
6	-145	16
7	101	-150
8	—	-178
9	-104	-188
10	-26	-137
11	-100	-86
12	—	14
13	-140	-5
14	-50	-179
15	120	-184
16	-180	96

△：右側（kgf/cm²）　▲：左側（kgf/cm²）

	R	L
17	-652	-206
18	-643	-210

測定値測日：［1993年12月 5日19時 8分］
（2週後）



○：内側（kgf/cm²）　●：外側（kgf/cm²）

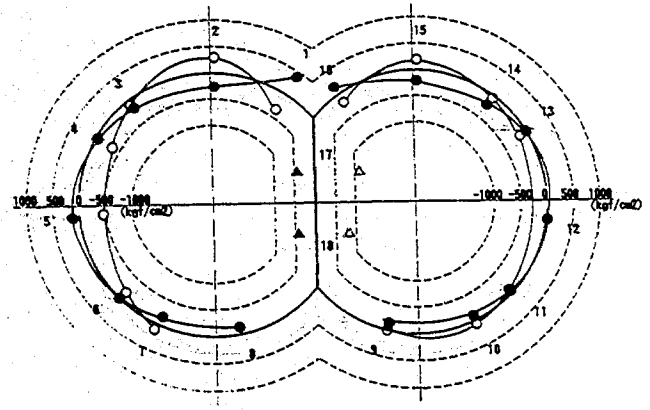
No.	測定値 in	測定値 out
1	-336	380
2	231	-254
3	-61	-186
4	-326	-12
5	-445	148
6	-196	-3
7	164	-173
8	—	-179
9	-57	-152
10	43	-98
11	-88	-61
12	—	5
13	-155	-18
14	-50	-225
15	140	-210
16	-214	136

△：右側（kgf/cm²）　▲：左側（kgf/cm²）

	R	L
17	-1063	-383
18	-786	-378

図－3.21(1) 円周方向鉄筋計の断面分布図

測定観測日：［1993年12月19日15時 0分］
（1ヶ月後）



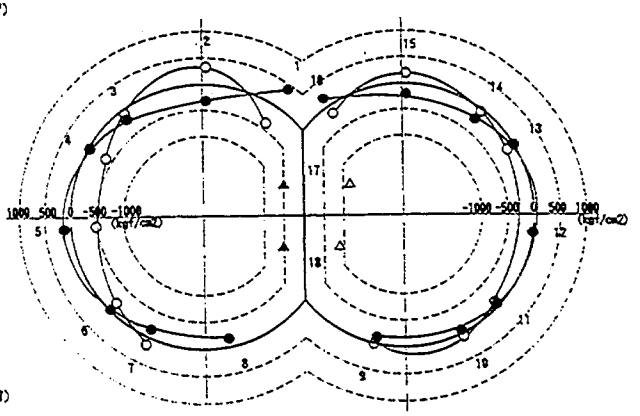
○：内側（kgf/cm2）　●：外側（kgf/cm2）

No.	測定値 in	測定値 out
1	-343	393
2	308	-277
3	-68	-170
4	-331	-15
5	-446	143
6	-168	-3
7	120	-160
8	——	-172
9	-13	-150
10	57	-97
11	-79	-63
12	——	3
13	-146	-18
14	-53	-231
15	186	-220
16	-198	144

△：右側 R（kgf/cm2）　▲：左側 L（kgf/cm2）

17	-1103	-428
18	-822	-428

測定観測日：［1994年 1月19日15時 0分］
（2ヶ月後）



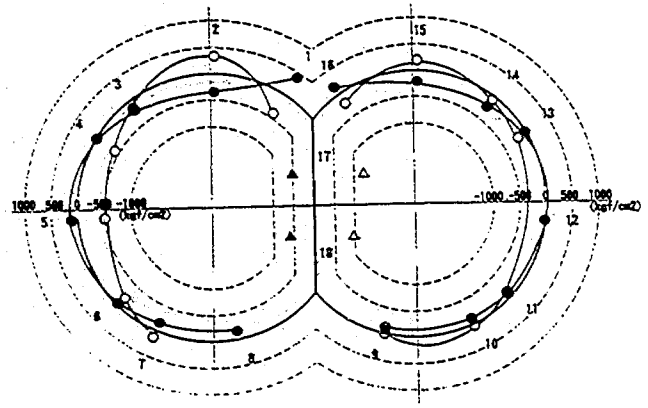
○：内側（kgf/cm2）　●：外側（kgf/cm2）

No.	測定値 in	測定値 out
1	-367	397
2	337	-313
3	-95	-177
4	-360	-23
5	-466	135
6	-179	-15
7	126	-150
8	——	-169
9	-8	-145
10	48	-96
11	-92	-75
12	——	-13
13	-166	-35
14	-60	-240
15	189	-227
16	-191	150

△：右側 R（kgf/cm2）　▲：左側 L（kgf/cm2）

17	-1180	-484
18	-898	-517

測定観測日：［1994年 2月19日15時 0分］
（3ヶ月後）



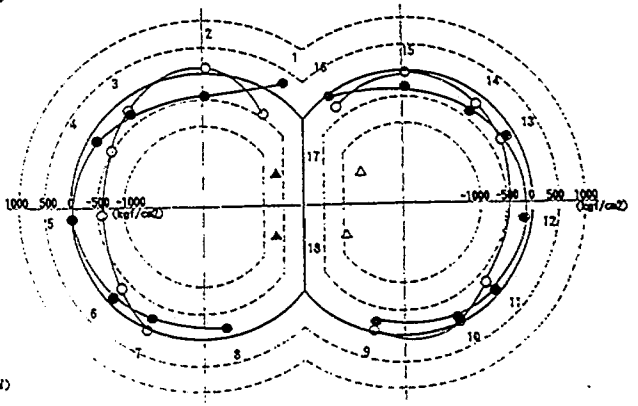
○：内側（kgf/cm2）　●：外側（kgf/cm2）

No.	測定値 in	測定値 out
1	-395	400
2	337	-331
3	-137	-180
4	-407	-28
5	-495	125
6	-193	-29
7	124	-146
8	——	-167
9	-12	-146
10	17	-98
11	-125	-86
12	——	-23
13	-189	-50
14	-79	-250
15	182	-233
16	-221	152

△：右側 R（kgf/cm2）　▲：左側 L（kgf/cm2）

17	-1248	-550
18	-967	-589

測定観測日：［1994年 8月11日 0時 0分］
（9ヶ月後）



○：内側（kgf/cm2）　●：外側（kgf/cm2）

No.	測定値 in	測定値 out
1	-428	250
2	101	-421
3	-219	-300
4	-484	-150
5	-579	-20
6	-343	-132
7	26	-193
8	——	-175
9	-66	-199
10	-35	-130
11	-334	-112
12	——	-167
13	-282	-179
14	-170	-369
15	-30	-323
16	-279	-66

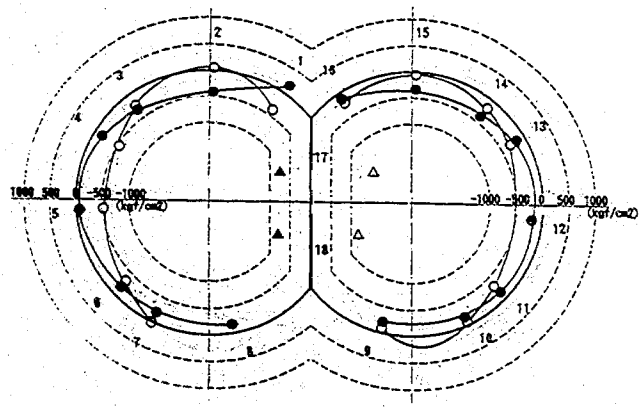
△：右側 R（kgf/cm2）　▲：左側 L（kgf/cm2）

17	-1435	-698
18	-1076	-707

図－３．２１(2) 円周方向鉄筋計の断面分布図

測定観測日：［1994年10月20日 0時 0分］

（１１ヶ月後）



○：内側（kgf/cm2）　●：外側（kgf/cm2）

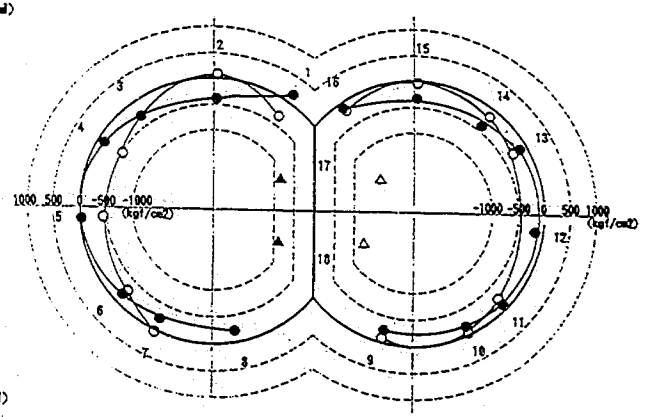
No.	測定値 in	測定値 out
1	-371	186
2	50	-428
3	-257	-311
4	-530	-151
5	-523	-59
6	-335	-196
7	1	-211
8	——	-186
9	-95	-221
10	-63	-148
11	-337	-132
12	——	-205
13	-302	-184
14	-180	-390
15	-58	-339
16	-227	-137

△：右側（kgf/cm2）　▲：左側（kgf/cm2）

	R	L
17	-1539	-742
18	-1170	-800

測定観測日：［1995年 2月23日16時34分］

（１５ヶ月後）



○：内側（kgf/cm2）　●：外側（kgf/cm2）

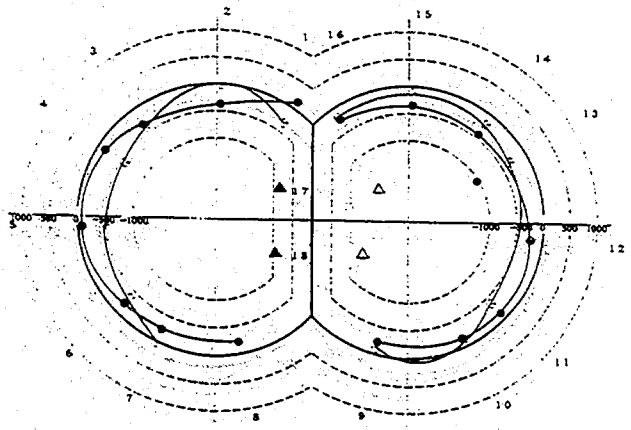
No.	測定値 in	測定値 out
1	-308	189
2	83	-385
3	-308	-294
4	-513	-121
5	-453	-28
6	-283	-165
7	41	-216
8	——	-196
9	-80	-199
10	-43	-146
11	-248	-99
12	——	-165
13	-286	-142
14	-156	-371
15	-40	-308
16	-165	-126

△：右側（kgf/cm2）　▲：左側（kgf/cm2）

	R	L
17	-1680	-853
18	-1287	-925

測定観測日：［1995年12月12日12時 0分］

（24ヶ月後）



No.	○：内側 (kgf/cm2) 測定値	●：外側 (kgf/cm2) 測定値
1.	-332	138
2.	-18	-371
3.	-403	-326
4.	-561	-142
5.	-505	-78
6.	-354	-212
7.	25	-230
8.	-40	-214
9.	-106	-226
10.	-75	-155
11.	-372	-122
12.	-354	-234
13.	-335	-1030
14.	-199	-428
15.	-117	-345
16.	-189	-237

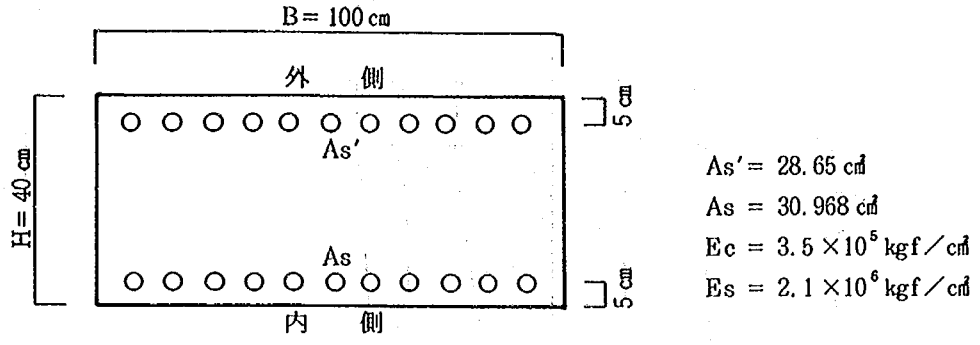
	△：右側 R	▲：左側 L
17.	-1706	-836
18.	-1296	-923

図－３．２１(3) 円周方向鉄筋計の断面分布図

3．3．4 覆工体に発生する断面力

鉄筋計の測定応力度から算出した曲げモーメントの経時変化を図－3．22(1)～(2)に示す。また、主要な時期の鉄筋計の断面分布図を図－3．23(1)～(3)に示す。

曲げモーメントはセグメントの断面形状が図－3．24に示すものとして、測定された鉄筋応力度より算出した。なお、コンクリートの引張り応力は無視し弾性係数比を6として計算した。

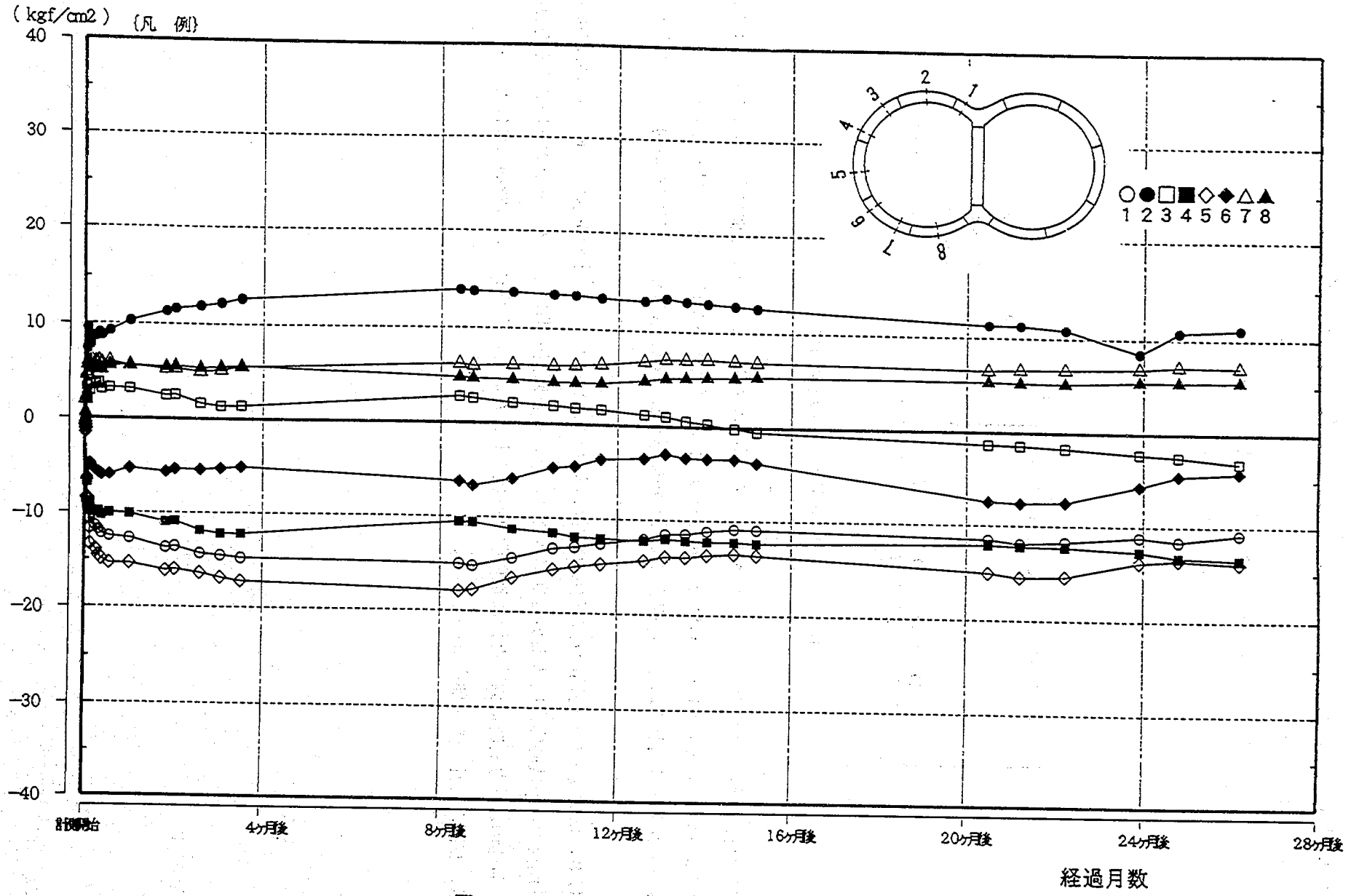


図－3．24 セグメントの断面形状

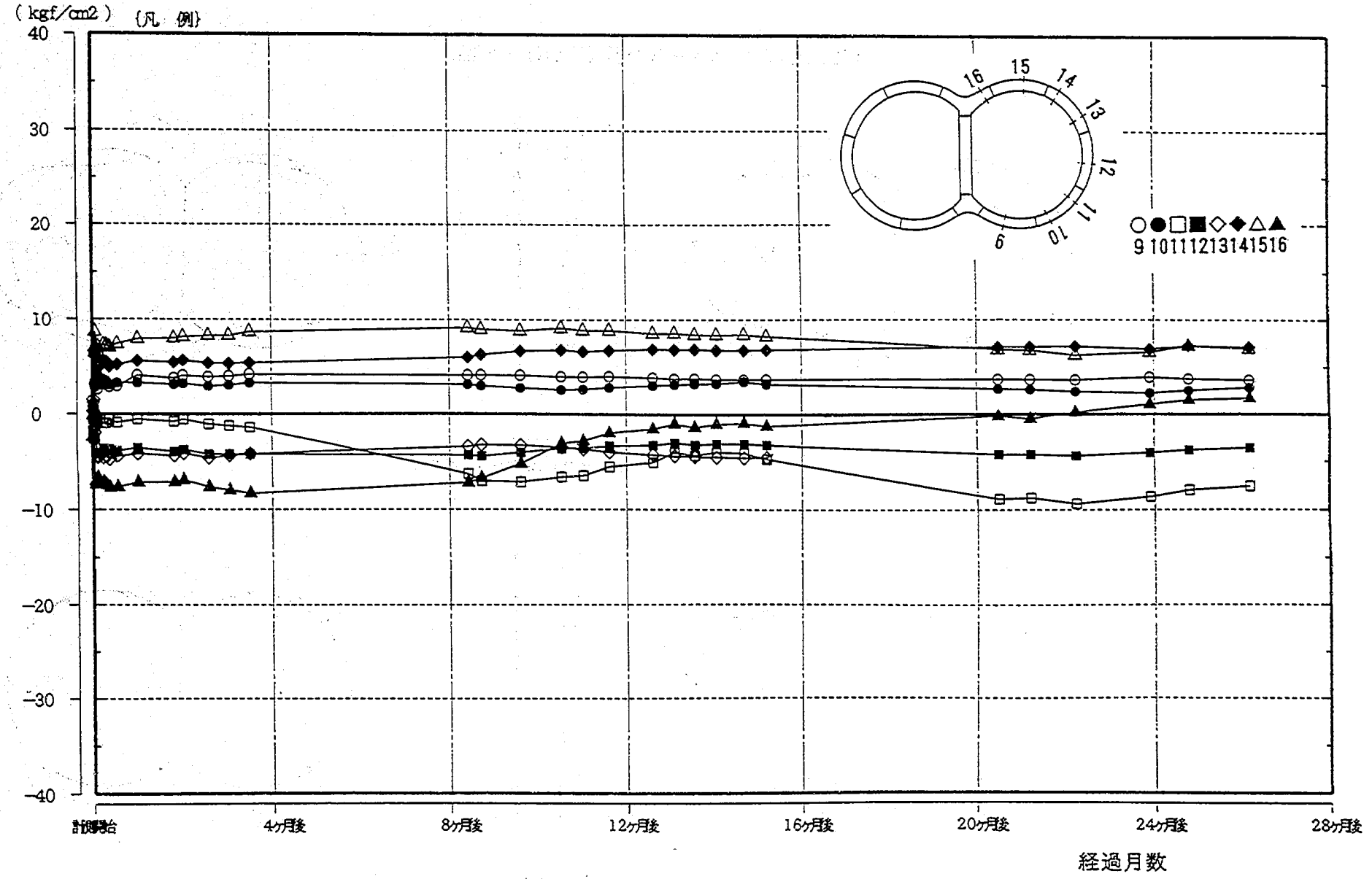
経時変化図及び断面分布図から、最大の曲げモーメントが発生しているのは正曲げがトンネル左断面天端位置（鉄筋計NO.2）で約13tf•m、負曲げが同断面側壁位置（鉄筋計NO.5）で約17tf•mである。

曲げモーメントは計測から約4ヶ月程度まで緩やかに増加し、安定もしくは減少する傾向にあることが分かる。

表－3．8にほぼ安定した時期の左右対称の位置の発生曲げモーメントの比較を示す。トンネルの左断面と右断面を比較すると鉄筋応力度結果から推察されたように、左断面の曲げモーメントが大きいことが分かる。これは、前述のとおり右断面側壁近傍に地盤改良を施工したためと考えられる。右断面の曲げモーメントの大きさは、左断面に比べて一部を除いて小さい。

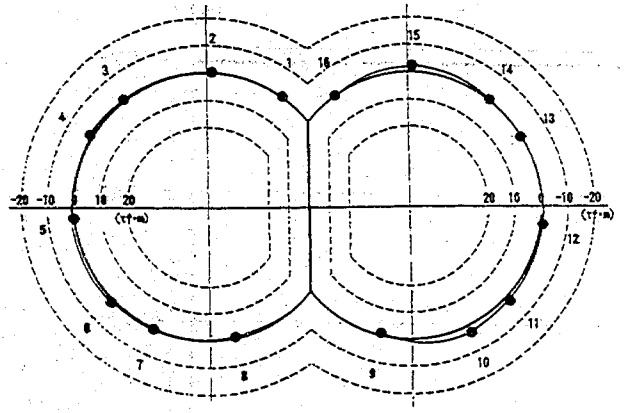


図－3.22(1) 曲げモーメントの経時変化図



図－３．２２(2) 曲げモーメントの経時変化図

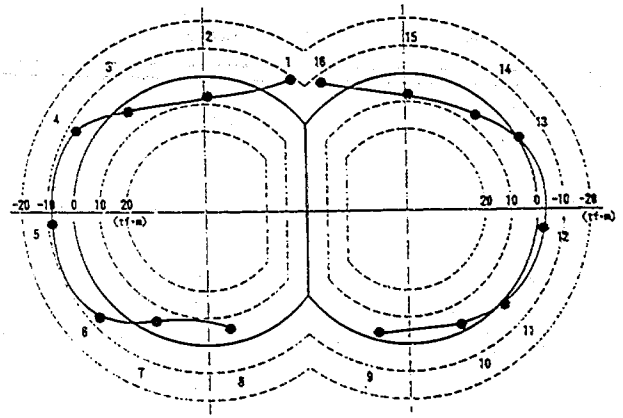
測定観測日：［1993年11月19日15時16分］
（セグメント組立直後）



●：曲げモーメント（tf·m）

No.	測定値
1	-0.05
2	-0.04
3	-0.47
4	-1.35
5	-0.50
6	-1.47
7	-0.37
8	0.59
9	0.81
10	-2.60
11	-1.78
12	-0.65
13	0.29
14	-0.50
15	-2.37
16	-0.01

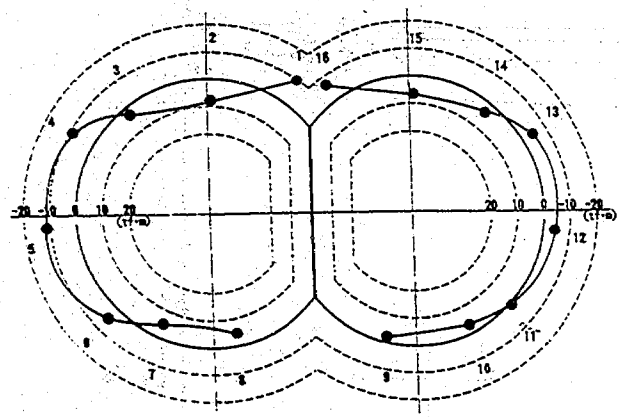
測定観測日：［1993年11月20日15時16分］
（1日後）



●：曲げモーメント（tf·m）

No.	測定値
1	-8.69
2	7.43
3	3.39
4	-6.80
5	-8.43
6	-6.55
7	4.60
8	5.67
9	3.17
10	2.89
11	-1.14
12	-2.60
13	-0.81
14	6.10
15	7.05
16	-7.06

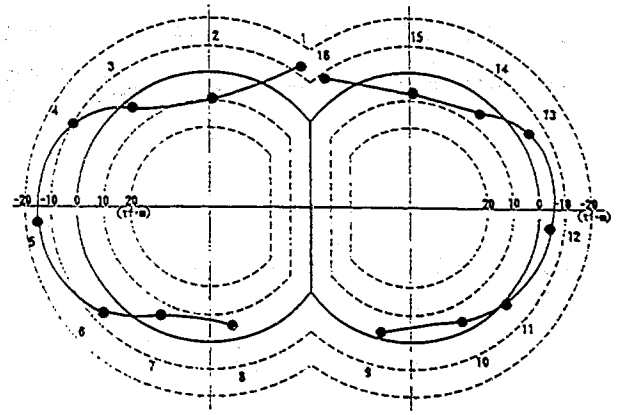
測定観測日：［1993年11月22日15時15分］
（3日後）



●：曲げモーメント（tf·m）

No.	測定値
1	-9.80
2	7.78
3	2.91
4	-8.92
5	-11.73
6	-4.75
7	5.30
8	5.28
9	2.67
10	3.52
11	-0.74
12	-4.24
13	-4.58
14	3.81
15	6.59
16	-6.69

測定観測日：［1993年12月 5日19時 0分］
（2週後）

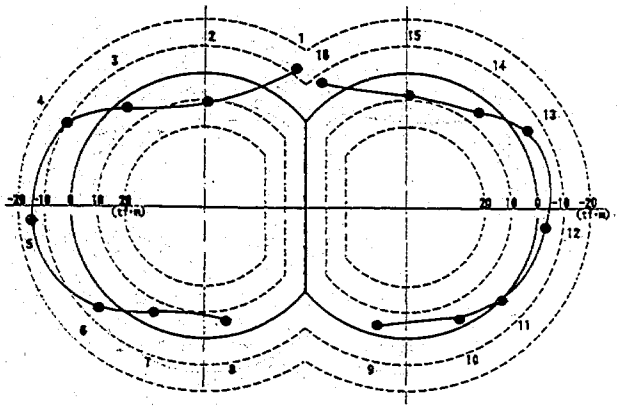


●：曲げモーメント（tf·m）

No.	測定値
1	-12.54
2	9.24
3	3.30
4	-10.00
5	-15.37
6	-5.91
7	6.07
8	5.69
9	3.04
10	3.40
11	-0.88
12	-3.88
13	-4.46
14	5.27
15	7.42
16	-7.62

図－３．２３(1) 曲げモーメントの断面分布図

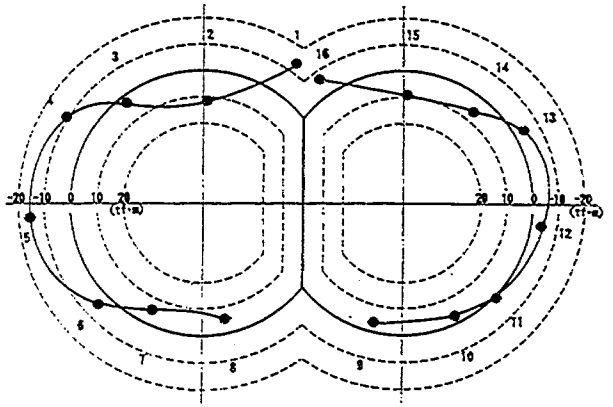
測定観測日：［1993年12月19日15時 0分］
（1ヶ月後）



●：曲げモーメント（tf·m）

No.	測定値
1	-12.74
2	10.30
3	3.22
4	-10.10
5	-15.37
6	-5.23
7	5.72
8	5.74
9	4.18
10	3.40
11	-0.53
12	-3.58
13	-4.19
14	5.64
15	7.95
16	-7.14

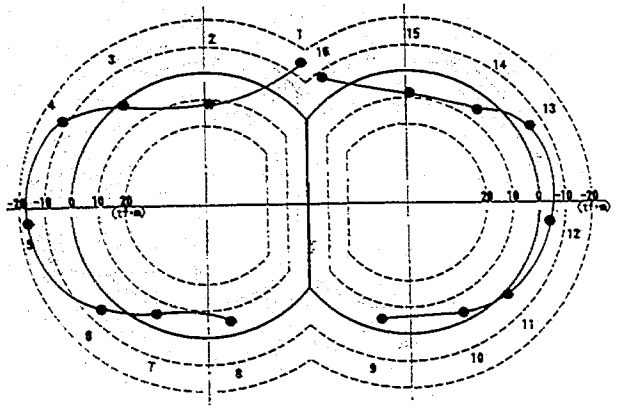
測定観測日：［1994年 1月19日15時 0分］
（2ヶ月後）



●：曲げモーメント（tf·m）

No.	測定値
1	-13.58
2	11.62
3	2.58
4	-10.85
5	-16.00
6	-5.29
7	5.43
8	5.69
9	4.17
10	3.31
11	-0.55
12	-3.78
13	-4.16
14	5.71
15	8.19
16	-6.92

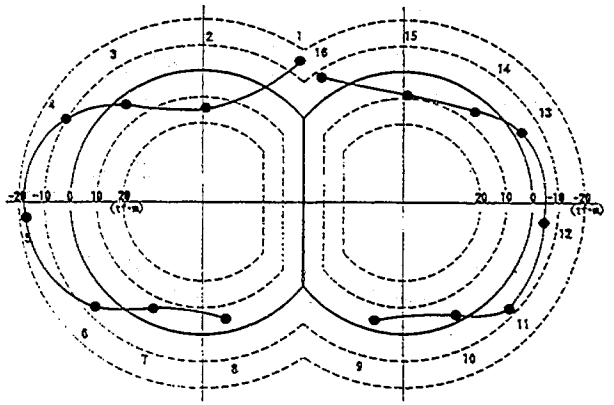
測定観測日：［1994年 2月19日15時 0分］
（3ヶ月後）



●：曲げモーメント（tf·m）

No.	測定値
1	-14.53
2	12.20
3	1.36
4	-12.22
5	-16.87
6	-5.21
7	5.28
8	5.60
9	4.11
10	3.16
11	-1.23
12	-4.26
13	-4.40
14	5.40
15	8.34
16	-7.96

測定観測日：［1994年 8月11日 0時 0分］
（9ヶ月後）

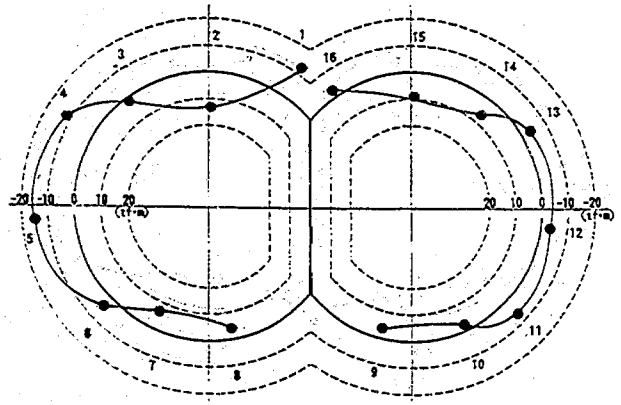


●：曲げモーメント（tf·m）

No	測定値
1	-15.23
2	13.81
3	2.58
4	-10.59
5	-17.78
6	-6.69
7	6.11
8	4.76
9	4.20
10	3.04
11	-7.02
12	-4.47
13	-3.28
14	6.30
15	8.98
16	-6.74

図－３．２３(2) 曲げモーメントの断面分布図

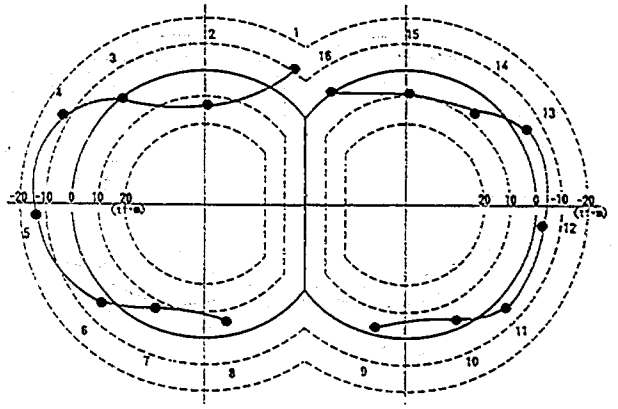
測定観測日：［1994年10月20日 0時 0分］
（１１ヶ月後）



●：曲げモーメント（tf·m）

No.	測定値
1	-13.08
2	13.50
3	1.71
4	-12.01
5	-15.12
6	-4.42
7	6.32
8	4.43
9	4.03
10	2.69
11	-6.48
12	-3.62
13	-3.74
14	6.65
15	8.90
16	-2.87

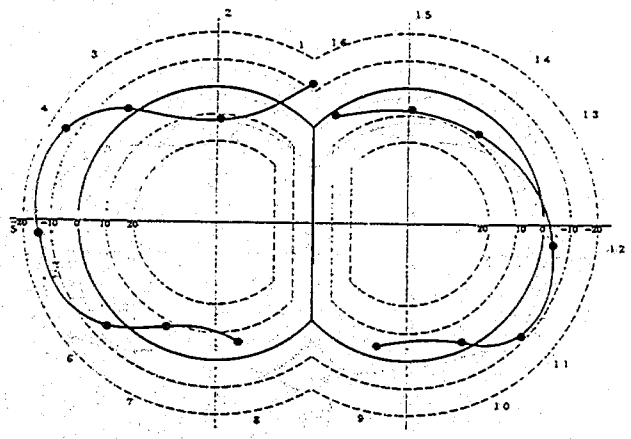
測定観測日：［1995年 2月23日16時34分］
（１５ヶ月後）



●：曲げモーメント（tf·m）

No.	測定値
1	-10.98
2	12.56
3	-0.46
4	-12.43
5	-13.68
6	-3.74
7	6.99
8	5.41
9	3.78
10	3.26
11	-4.73
12	-3.24
13	-4.55
14	6.83
15	8.25
16	-1.23

測定観測日：［1995年12月12日12時 0分］
（24ヶ月後）



●：曲げモーメント（tf·m）

No.	測定値
1	-12.13
2	11.88
3	-2.62
4	-14.27
5	-14.54
6	-4.84
7	7.95
8	—
9	4.09
10	2.72
11	-8.51
12	—
13	—
14	7.80
15	7.76
16	1.63

図－３．２３(3) 曲げモーメントの断面分布図

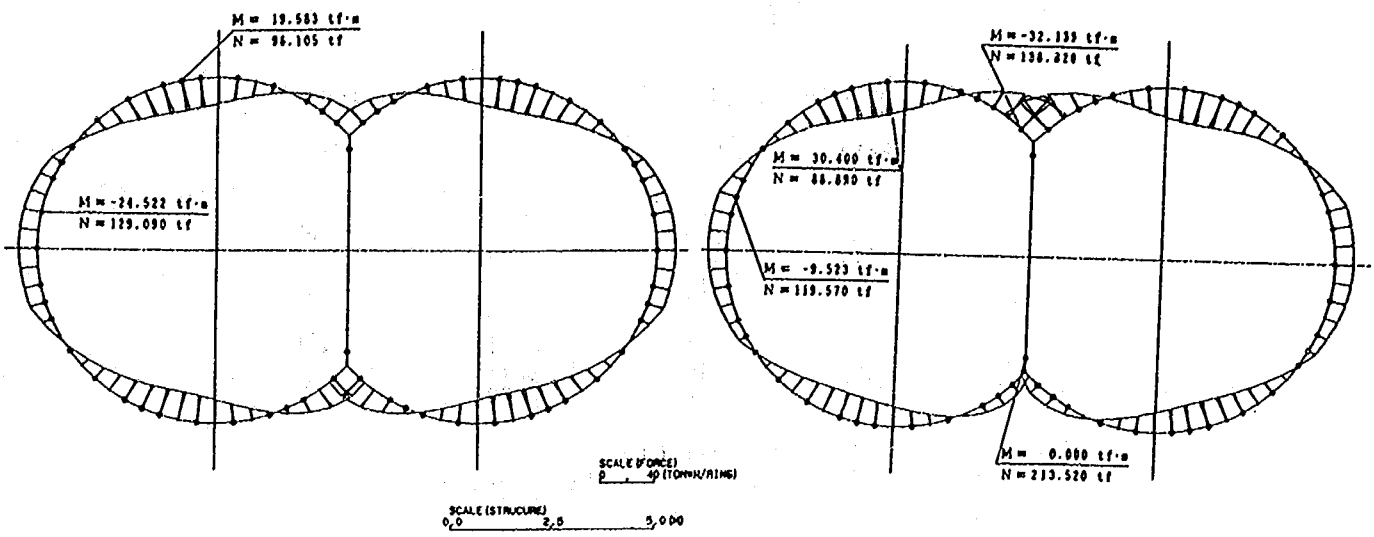
表－３．８ 左右断面の曲げモーメントの比較

曲げモーメント（tf•m）				比率 %
NO.	左断面	NO.	右断面	（右／左）
1	-12.13	16	1.63	－
2	11.88	15	7.76	65
3	- 2.62	14	7.80	－
4	-14.27	13	－	－
5	-14.54	12	－	－
6	-4.84	11	-8.51	176
7	7.95	10	2.72	34
8	－	9	4.09	－

・計測値は、約24ヶ月後の95/12/12のデータを用いた。
・－は一部測定点に欠測があったため算出していない。

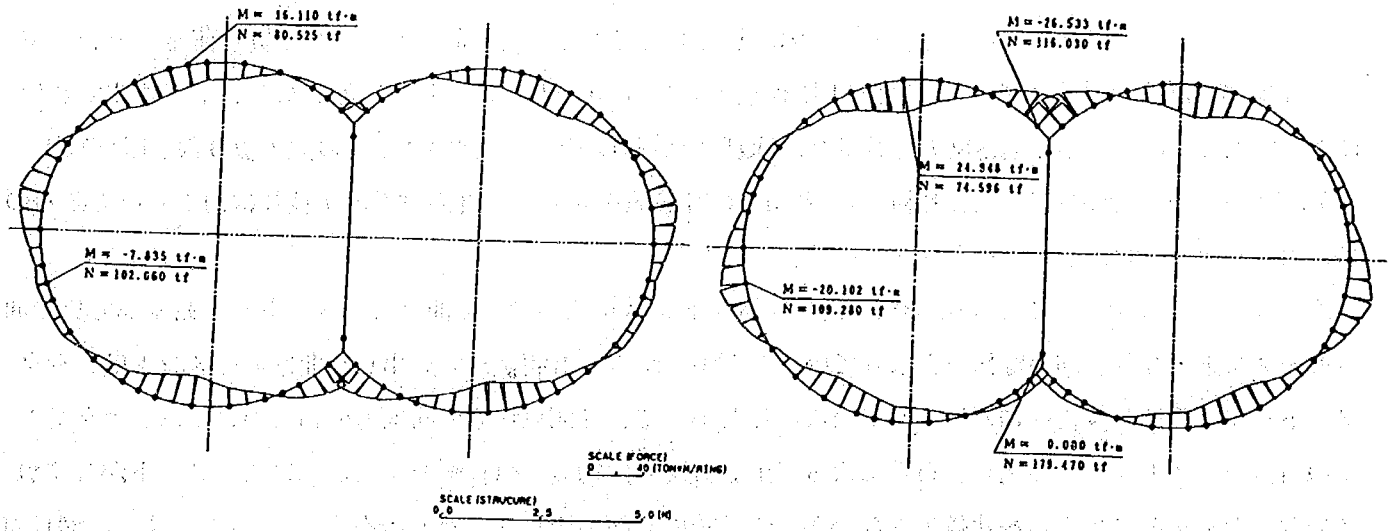
図－３．２５に設計時の断面力と計測値の曲げモーメント分布図の比較を示す。設計時の荷重の構造モデルは、セグメント継手を回転ばね、リング継手をせん断ばねとして考える２リング千鳥組みモデルによって計算している。また、荷重の考え方は、土水一体として考えており、鉛直荷重として全土被り荷重（上載荷重を１tf/m²を考慮）、水平荷重として側方土圧係数λを０．６５として設定している。なお、トンネルの変形によって生じる荷重として地盤反力係数は０．５kgf／cm³としている。図中には、最大土被り部(土被り約１７．１ｍ）と最小土被り部(土被り約１３．８ｍ）の計算値を示す。本計測付近の土被りは約１６ｍであるので、両設計値の中間的な土被りとなっている。

図－３．２５の結果からは、分布形状は両値ともにトンネル天端で正の曲げモーメントを、側壁部で負の曲げモーメントとなり、同様な傾向となっていることが分かる。計測値から算出した曲げモーメントは、セグメントを組み立てた直後を初期値としている。したがって、計測値からの断面力の値については、セグメントの自重分（本トンネルの場合、自重によって生じる反力は約３．２tf/m²）による曲げモーメントが含まれていないためそのまま両値を比較できないが、設計時の断面力と比較したものを表－３．９に示す。計測地点付近の土被りが約１６ｍ、平均的な土の単位体積重量を１．７gf/cm³とすると、全土被り荷重は約２７．２tf/m²となる。最小土被り部の設計時の鉛直方向の土圧は、自重分、上載荷重分を含めて約２６．０tf/m²であり、ほぼ計測地点の鉛直土圧と同程度である。水平方向の土圧は、自重分を除いた値に側圧係数を乗じて求めていることより、計測地点の水平土圧より概ね3.2X0.65=約2tf/m²小さい荷重の設定となっており、曲げモーメントは計測地点に比べて若干大きめに算出されていることとなる。以上を考え、最も条件的に近いと考えられる最小土被り時の設計時の断面力を参考までに比較すると、左側断面で正の最大曲げモーメントで約５割弱、負の最大曲げモーメントで約７割の結果となっている。右側断面で正負の最大曲げモーメントがそれぞれ約３割、４割となっていることが分かった。ただし、計測値の断面力がどの程度の荷重によって発生しているかの詳細については、今後、詳細な解析などによって検討する必要があると考えられる。



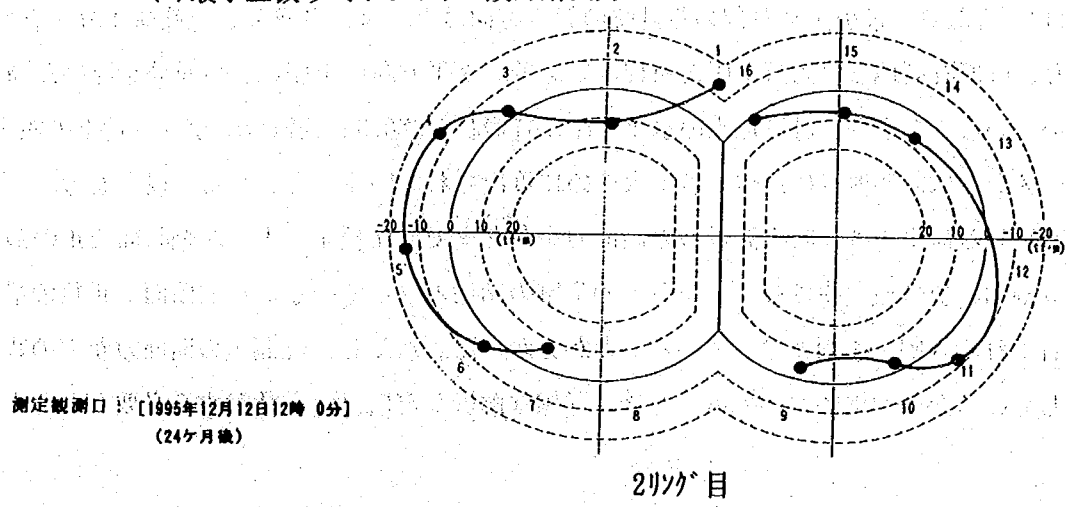
1ﾘﾝｸﾞ目　　2ﾘﾝｸﾞ目

(a)最大土被り時(17.1m)の設計断面力



1ﾘﾝｸﾞ目　　2ﾘﾝｸﾞ目

(b)最小土被り時(13.8m)の設計断面力



2ﾘﾝｸﾞ目

(c)計測値による断面力

図－３．２５ 設計断面力と計測断面力の比較

表－３．９ 設計値と計測値の曲げモーメントの比較

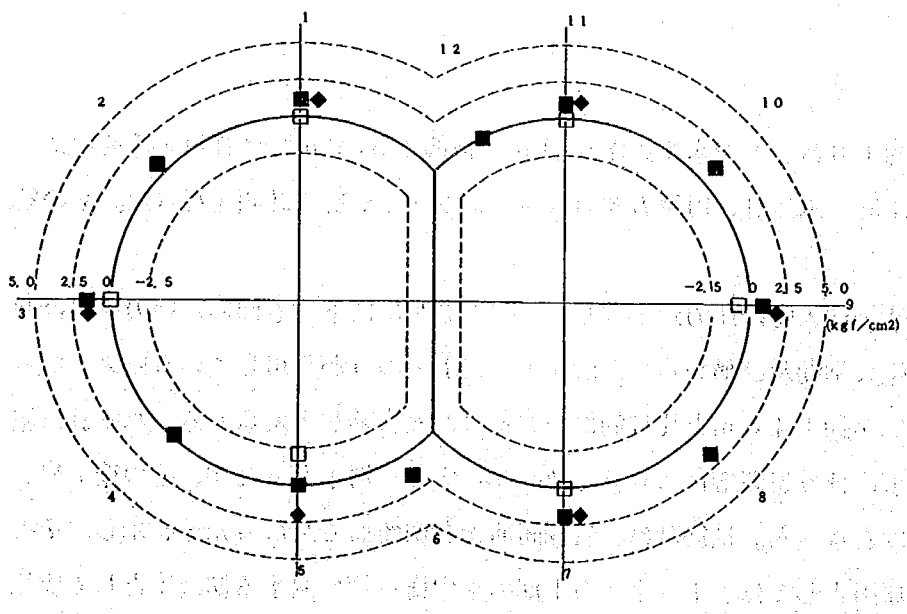
		計測値(左断面、右断面)	設計値(最大土被り)	設計値(最小土被り)
A型	Mmax	11.88 tf•m、 7.80 tf•m	30.40 tf•m (39%, 26%)	24.95 tf•m (48%, 31%)
	−Mmax	-14.54 、-8.51	-24.52 (59%, 35%)	-20.10 (72%, 42%)
J型	Mmax	――――	――――	――――
	−Mmax	-12.13 、 1.63	-32.14 (38%, -%)	-26.53 (46%, -%)

・計測値は、約24ヶ月後の95/12/12のデータを用いた。
・（　）内の%の数字は、設計値に対する左断面、右断面の計測値の割合を示す。

３．４ 複円形シールドトンネルの作用土圧

１）土圧計および水圧計による作用土圧と作用水圧

土圧計および水圧計の測定値からは、本現場のような沖積層の粘性土および砂質土の互層下の複円形シールドに作用する土圧は、約４～５割が作用している結果となった。また、水圧を含めた土水圧を測定しているものと考えられる土圧計の測定値から水圧計の測定値を差し引いた有効土圧値は、図－３．２６に示すようにほぼゼロに近い値かもしくは負の値となっていることが分かる。値が負となることは考えられないことから何らかの影響により土圧計の値が正しく測定されていないことが推察される。なお有効土圧の算出にあたり水圧は、各測定点に最も近い水圧計の値を用いて図－３．２７に示すように補正をした値を用いた。



測定観測日：［1995年12月12日12時 0分］
（24ヶ月後）

■：土圧 (kgf/cm2)

No.	測定値
1.	1.24
2.	0.66
3.	1.65
4.	-0.35
5.	-0.14
6.	1.38
7.	1.80
8.	1.51
9.	0.97
10.	1.21
11.	1.16
12.	-0.06

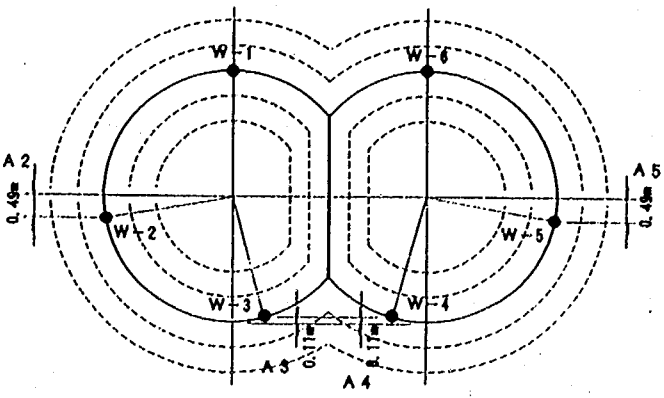
◆：水圧 (kgf/cm2)

No.	測定値
1.	1.22
3.	1.52
5.	1.84
7.	1.70
9.	1.74
11.	1.27

□：有効土圧 (kgf/cm2)

No.	測定値
1.	0.01
3.	0.13
5.	-1.98
7.	0.09
9.	-0.78
11.	-0.11

図－３．２６ 有効土圧の断面分布図



W-1: A1= 0.00 m → 補正値＝±0 kgf/cm2
W-2: A2= R・sin(6°14′18″)= 0.49 m → 補正値＝−0.05 kgf/cm2
W-3: A3＝R−R・sin(12°28′36″)= 0.11 m → 補正値＝+0.01 kgf/cm2
W-4: A4＝R−R・sin(12°28′36″)= 0.11 m → 補正値＝+0.01 kgf/cm2
W-5: A5= R・sin(6°14′18″)= 0.49 m → 補正値＝−0.05 kgf/cm2
W-6: A6= 0.00 m → 補正値＝±0 kgf/cm2

図－３．２７ 水圧補正の計算

２）覆工の断面力から推定される作用土圧

今回計測した曲げモーメントは、セグメントを組み立てた直後からの増分の曲げモーメントであるため計測断面力と直接比較することはできないが、条件的に近いと考えられる最小土被り部での設計時の断面力で比較した。計測値の断面力がどの程度の荷重によって発生しているかの詳細については、今後、解析などによって検討する必要があると考えられるが、上記の比較では左側断面で正の最大曲げモーメントで約５割弱、負の最大曲げモーメントで約７割、右側断面で正負の最大曲げモーメントがそれぞれ約３割、４割となっていることが分かり、地盤改良による差異が明確に現れた。以上のことから、防護工などによって地盤改良を実施した場合は、地盤条件が異なることから設計時にはこれらの改良後の地盤条件を十分に考慮することが必要であることが分かった。

３）まとめ

複円形シールドトンネル（土被り約１６m、トンネル高さ９．１m・横幅１５．６m）に作用する荷重について、実際のシールドトンネルに土圧計、水圧計、円周方向の鉄筋計を設置して現場計測を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

土圧計はセグメント組立直後の裏込め注入時に圧力が上昇し、その後徐々に低下する傾向は他の現場計測と同様であったが、水圧計とほぼ同様な挙動及び値を示す箇所が多く、水圧のみが作用している結果となった。これは本トンネルの裏込め注入厚が約１４ｃmと比較的厚いことなどの影響が考えられる。水圧計は施工後４ヶ月程度までは周辺の開削工事に伴う影響等により０．４kgf/cm^{2}まで一端下がったが、その後上昇し最終的には静水圧と考えられる値程度となった。鉄筋計は、右側断面と左側断面で異なった値を示し、その大きさは右側で比較的小さい。この原因としては、トンネル右上部の地中構造物に対する防護工として実施された地盤改良が考えられた。また、鉄筋計から求めた断面力は、計測付近の土被り（約１６m）ではないが設計時の資料（土被り１３．８m）との比較によれば、左側断面で約５～７程度、右断面で３～４割程度となり、今後、詳細な解析などによって検討する必要があると考えられた。このように、地盤改良によって右

断面、左断面の断面力が異なっていることから、トンネルに作用する荷重、側方土圧係数や地盤反力係数などの係数も変わっていることが明らかなった。今後、さらに合理的な覆工の設計を実施するためには地盤改良など防護工を実施する場合の地盤条件を適切に評価することが重要である。

第４章　シールドトンネルの作用水圧に関する現場計測

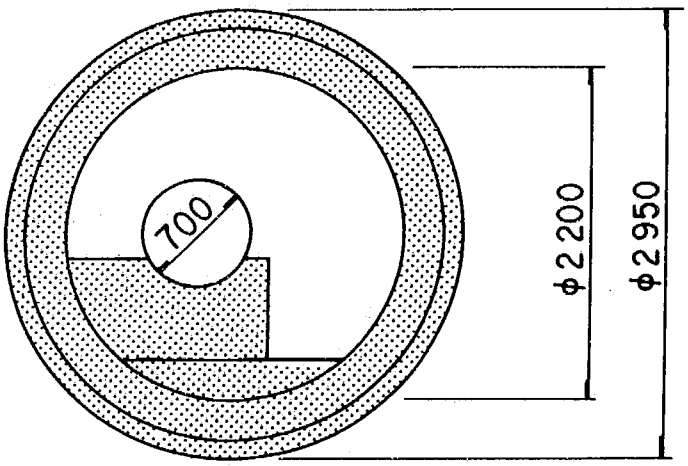
４．１ 計測方法

４．１．１計測目的

シールドトンネルに作用する土圧は非常に複雑であり、特に粘性土中の土圧を正確に把握することは困難である。合理的な覆工セグメントの設計を行うためには、最も基本となるトンネルに作用する土圧あるいは水圧などを把握する必要がある。本章では粘性土中のシールドトンネルに作用する水圧を把握し、設計時の水圧を設定する際の基礎資料とすることを目的として実施した。

４．１．２トンネルの概要と計測位置

本現場計測は、図－４．１に示す埼玉県企業局柿木浄水場で施工される外径2.95ｍの八潮シールドトンネル（幹線３号配水管布設替（西袋工区）工事）で実施した。八潮シールドは、埼玉県八潮市に位置する延長約７７４．５ｍのトンネルである。

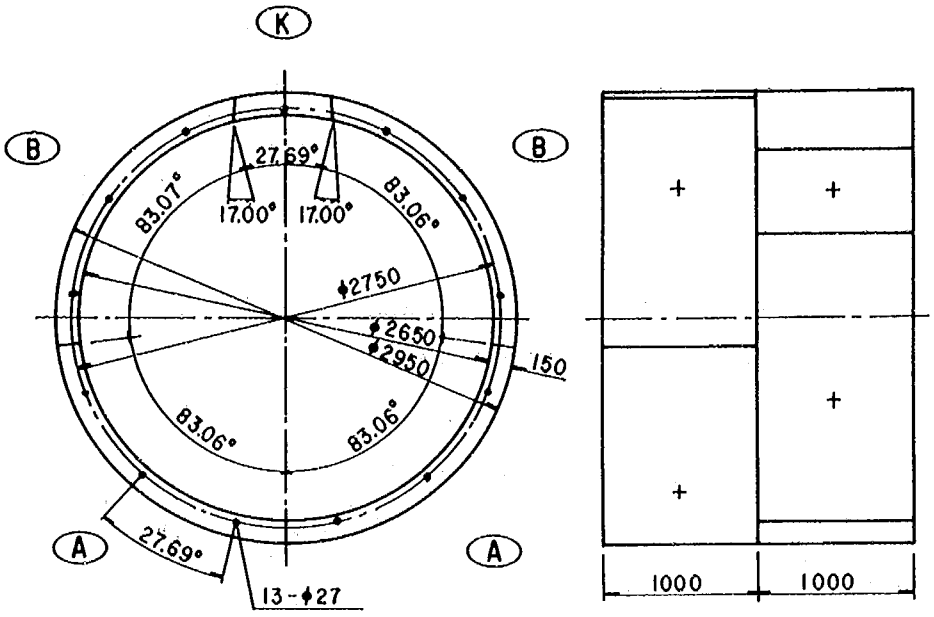


図－４．１ 八潮シールドの断面図

セグメントの構造・形式は、図－４．２に示すように桁高１５ｃｍ，幅１００ｃｍのＲＣ平板型セグメントであり、Ａ型のセグメントが２ピースとＢセグメント、Ｋセグメントの３種類の合計５ピースから構成されている。

計測位置は、延長約７７４．５ｍのうち発進立坑から約６７４ｍの付近であり、土被りは約２７ｍの地点で実施した。また、シールド掘削方式は、密閉型の泥水式シールドであり、計測地点付近の工事の進捗は、平均的な掘進速度は約１２ｍ／日であった。

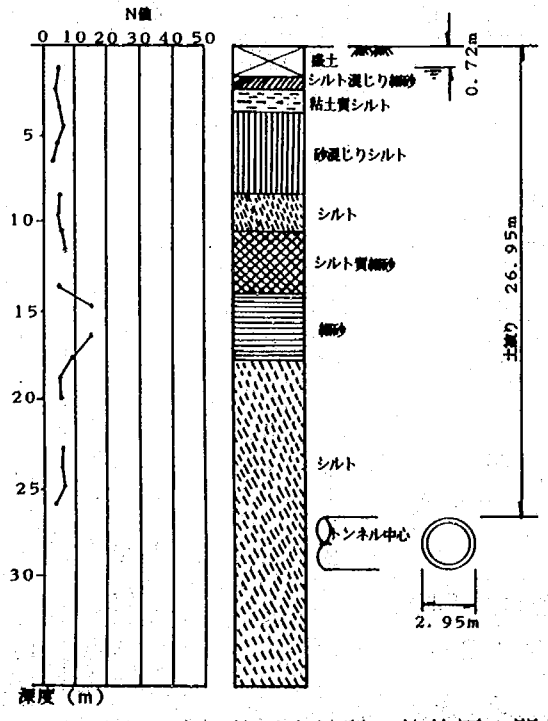
組立図 S＝1／20



図－４．２ セグメント組立図

４．１．３地質状況

シールドトンネルの施工場所周辺は、海抜標高１０ｍ以下の中川低地の沖積低地に位置する。本地域には沖積層に覆われた埋没谷を主体とする。本シールド工事に伴い周辺の地盤構成および各土層の調査が実施された。その結果より、今回の水圧調査付近の土層は上位より有楽町層、七号地層、埋没ローム層、埋没段丘礫層および下総層群となっており、深度毎に実施した事前の調査結果を表－４．１に示す。各層の土粒子の比重は、Ｇｓ２．６１～２．８３の範囲にまとまっており、粘性土層についてはＧｓ≦２.7、砂質土についてはＧｓ≧２.7が大半である。また、自然含水比は砂質土層でＷｎ≦４０％、粘性土層でＷｎ≧４０％の場合が多い。地下水位は、無水水掘りによって地表部でＧ．Ｌ．－０．２７ｍと確認されている。



図－４．３ トンネル位置と地質の柱状図の関係

透水係数は、概略値で有楽町層の砂質土層で１０$^{-5}$オーダー（現場透水試験結果）、粘性土層で１０$^{-6}$～１０$^{-8}$オーダー（土の圧密試験結果）となっており、シールドトンネル周辺の地盤の粘性土では一般的にはほぼ不透水層であることが考えられる。計測付近のボーリングデータをもとにトンネル位置と地質の柱状図の関係を図－４．３に示す。

４．１．４計測項目

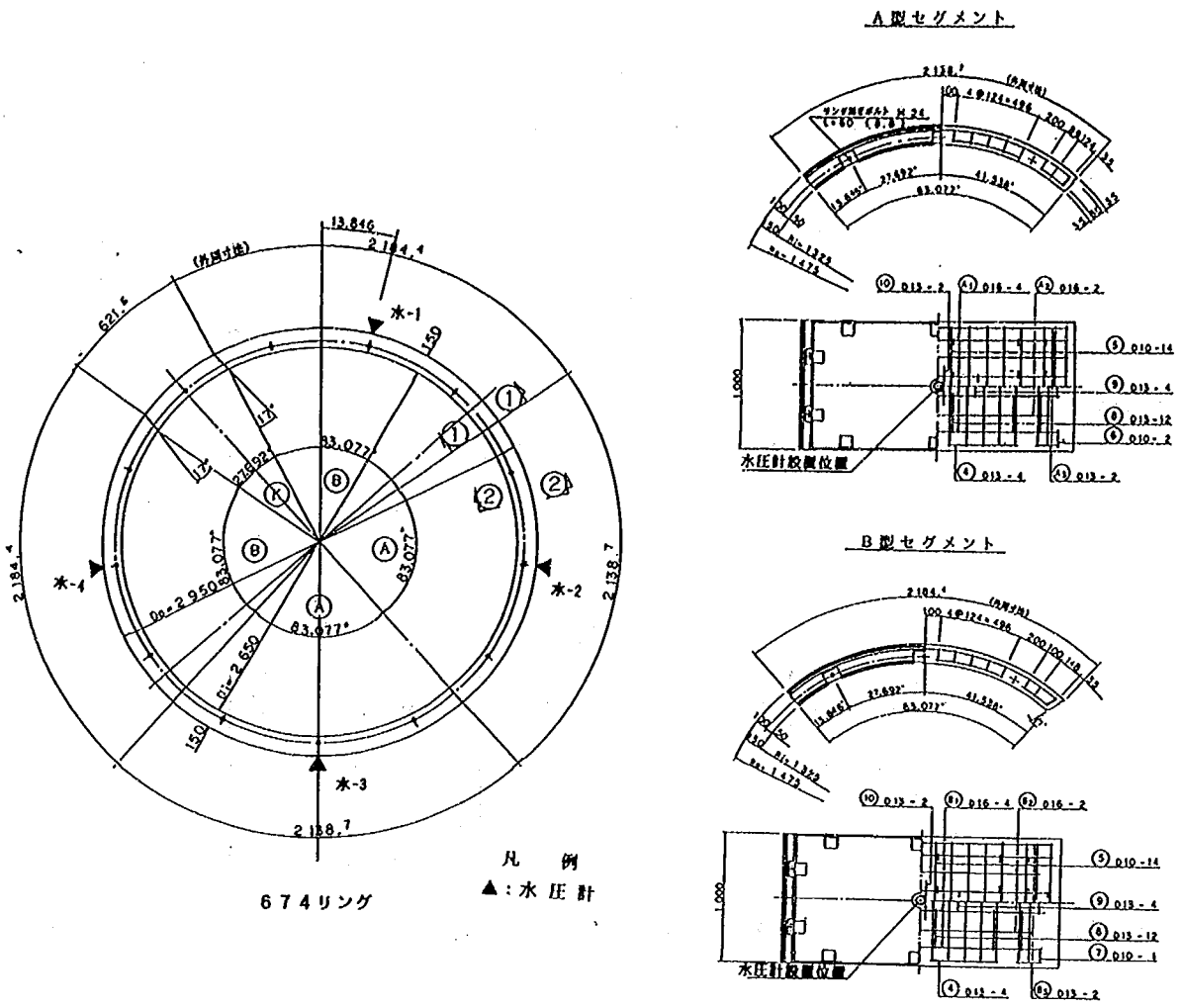
本現場計測における測定項目は水圧とした。また、測定機器・数量は表－４．２に示すとおりである。なお、測定リングの概略位置は、発進立坑から６７４リングの１断面で実施した。測定リングの断面内の計測位置の概要、水圧計取り付け概要図をそれぞれ図－４．４、図－４．５に示す。

表－４．１ 土質試験結果一覧表

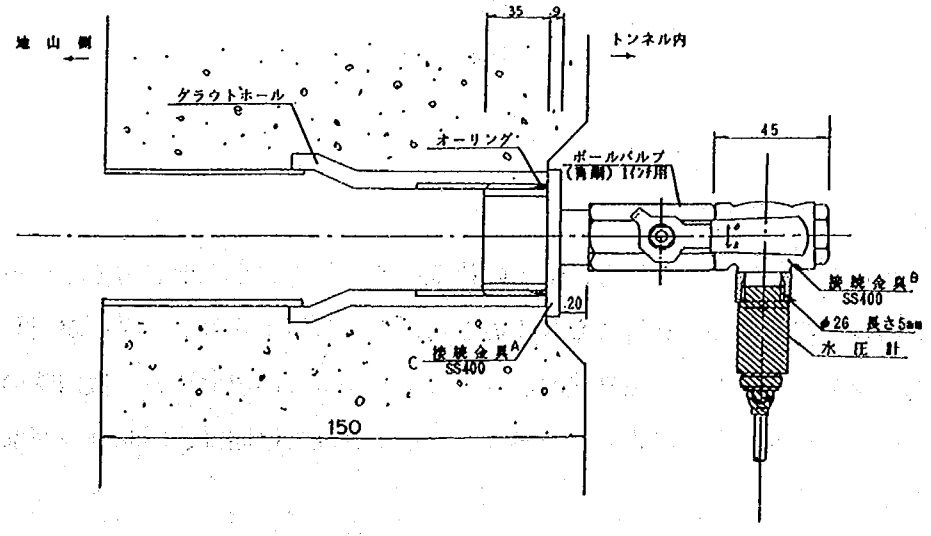
試料採取深度(m)		2.15～2.45m	7.00～7.85m	11.15～11.50m	19.70～20.40m	26.70～27.50m	33.70～34.50m
粒土特性	礫分(2000μm以上) %	6	1	0	0	0	0
	砂分(75～2000μm以上)%	64	58	74	10	1	2
	シルト分(5～75μm以上) %	16	25	12	55	51	63
	粘土分(5μm以下) %	14	16	14	35	48	35
	均等係数 Uc	146.0	－	168.9	－	－	－
	曲率係数 Uc′	18.6	－	40.6	－	－	－
コンシステンシー特性	液性限界 W_L %	－	40.1	－	39.4	58.2	48.5
	塑性限界 W_P %	－	22.6	－	26.1	32.2	25.9
	塑性指数 I_P %	－	17.5	－	13.3	26.0	22.6
自然状態	湿潤密度 ρt(g/cm³)	－	1.764	－	1.659	1.575	1.737
	乾燥密度 ρd(g/cm³)	－	1.226	－	1.065	0.932	1.191
	土粒子の密度 ρs(g/cm³)	2.700	2.669	2.740	2.659	2.621	2.621
	自然含水比 w_n %	32.1	43.9	35.7	55.8	69.1	45.9
	間隙比 e	－	1.179	－	1.497	1.814	1.201
	飽和度 Sr	－	99.4	－	99.1	99.8	100.1
一軸圧縮	一軸圧縮強さ kgf/cm²	－	0.703	－	1.087	1.180	1.638
	破壊ひずみ εf %	－	2.20	－	2.10	1.98	3.40
	変形係数 E_{50} kgf/cm²	－	50.2	－	69.0	63.3	82.0
三軸圧縮	試験条件	－	UU	－	UU	UU	UU
	粘着力 c kgf/cm²	－	0.33	－	0.54	0.60	0.73
	せん断抵抗角 φ度	－	0	－	0.73	1.79	0
圧密	圧縮指数 Cc	－	0.35	－	0.60	0.77	0.43
	圧密降伏応力 pc kgf/cm²	－	1.70	－	1.80	2.20	3.20

表－４．２ 測定計器・数量

項目	測定計器名および形式	数量	備　考
①	水圧計（容量5kgf/cm² BS-5KB）	４点	４点×１リング （設置ﾘﾝｸﾞNo.:674ﾘﾝｸﾞ）



図－4．4　水圧計取り付け位置図



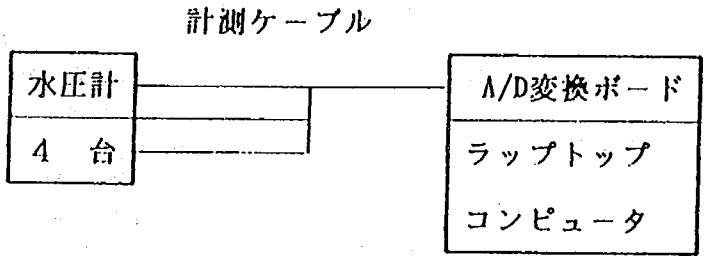
図－4．5　水圧計取り付け概要図

4．1．5計測機器の配置

各計器を以下の要領で設置した。図－4．4に示したセグメントの裏込め注入孔に水圧計を設置するため、図－4．5に示した水圧計取り付け用の止水用のボールバルブ等を介在させて外径３ｃｍの水圧計を設置した。水圧計の取付は、裏込め注入後に実施し、裏込め注入が硬化後にグラウト孔を通して地山を削孔したのちに設置した。水圧計の設置時期は、設置にあたり支障となるシールドトンネルの後続台車などが通過した後の７６９リングのセグメント組立時の計測セグメント組立時から約２週間後に行った。

4．1．6測定方法

水圧測定は、図－4．6に示すように水圧計４箇所から各計測ケーブルにてＡ／Ｄ変換ボードを装備したラップトップ型のパーソナルコンピュータへ配線し、自動計測で実施した。データの収録は上記に示した方法により水圧計の設置した後から行った。



図－4．6　計測システム図

4．1．7測定頻度及び初期値

測定の頻度は、以下の示すとおりとした。なお、初期値は水圧計を取り付ける前の大気中のフリーの状態とした。

・水圧計設置後（94/ 9/30 ～ 94/12/09）　　２時間間隔
・95/03/03　　1回
・95/07/　～　　1回／１月

4．2 施工管理の状況

計測されたデータから挙動を解析する場合、施工の状況を把握しておく必要がある。シールドトンネルに作用する土圧、あるいは周辺地盤の挙動等に影響すると考えられる施工時のデータを調査した。施工管理データの把握は、計測リング周辺のリング組立状況、シールドトンネルの切羽圧力、掘削時の総推力、裏込め注入に関する材料、圧力、ジャッキ速度とした。調査した施工管理の区間は、計測リング前後約２５リングのデータを収集した。

4．2．1リング組立状況

計測リング周辺のリング組立状況は、図－4．7に示すように日によって異なるが、平均的には1日当たり約10リング以上の組立を実施している状況が多くなっている。

4．2．2切羽圧力

切羽圧力（切羽水圧）の施工管理データを、表－4．3、図－4．8に示す。データは、各リングで2．55～3kgf／cm²程度の変動はあるが、全体の傾向としてはほぼ一定している。

4．2．3総推力

総推力に関する施工管理データを、表－4．3、図－4．9に示す。総推力は、各掘削リングで400ton～450tonで変動している。本現場のシールド機の直径が3．1mの円形であり、シールド前面の面積が約7．5m²となり、総推力から計算されるシールド前面の圧力は約5．3～6．6kgf／cm²となる。現場計測付近の総推力は、約400tonであった。

4．2．4裏込め注入材料および注入量・圧力

裏込め注入材料および注入量・圧力の施工管理データを表－4．3及び図－4．10(1)～(2)に示す。

（1）裏込め注入材料

裏込め注入材料は、2液性の可塑性裏込め注入材料を使用した。表－4．4に1m³当たりの標準配合、表－4．5に試験練りの結果を示す。

表－4．4　裏込め注入材料の1m³当たりの標準配合表

	A液（1,000リットル）				B液	備考
材料名	硬化材	助材	安定材	水	急結硬材	B液　70%
標準配合	250 kg	25 kg	1kg	908 %	91 kg	

表－4．5　裏込め注入材料の1m³当たりの標準配合表

	試験項目	試験結果				想定値
A液	比重	1.20				1.184±3%
	フロー値	10.3秒				9～11秒
	ブリージング率1時間	0.5%				2%以下
A＋B液	ゲルタイム	8.01秒				5～15秒
	一軸圧縮強度 kgf/cm²	①	②	③	平均	——
	1時間	1.63	1.72	1.65	1.67	0.4以上
	1日	7.92	8.01	7.88	7.64	5以上
	7日	14.8	15.3	15.1	15.1	10以上
	28日	15.7	19.9	25.0	20.2	18以上

表－4.3 施工管理データ一覧表

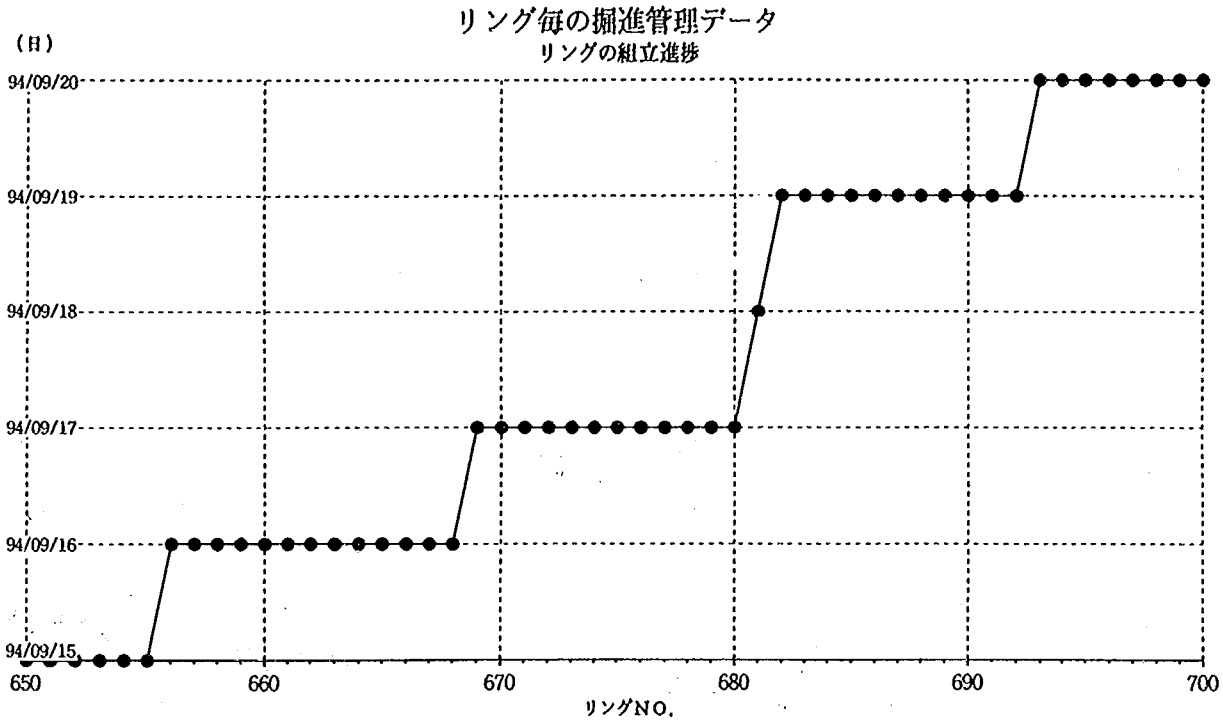
リング番号	掘削開始日時	掘削終了日時	ジャッキストローク上(mm)		ジャッキストローク左(mm)		ジャッキストローク右(mm)		ジャッキ速度	切羽水圧	総推力	裏込注入圧力	裏込流量(l/min)		裏込[A-B]積算(ℓ)		裏込注入率
			開始	終了	開始	終了	開始	終了	(mm/min)	(kgf/cm²)	(tonf)	(kgf/cm²)	A液	B液	A液積算	B液積算	(%)
650	94/09/15 13:52:01	94/09/15 14:19:02	121	1119	151	1148	129	1130	51	2.89	497	0.65	41.02	2.98	1088	82	185
651	94/09/15 15:34:46	94/09/15 15:52:55	131	1125	152	1146	133	1130	59	2.89	490	0.06	48.76	3.35	884	60	150
652	94/09/15 19:59:40	94/09/15 20:19:16	135	1123	150	1147	122	1127	59	2.87	468	0.48	39.86	3.15	753	57	128
653	94/09/15 20:53:15	94/09/15 21:21:32	143	1111	168	1139	148	1127	35	2.86	448	0.17	32.90	2.71	1024	83	179
654	94/09/15 22:14:00	94/09/15 22:34:07	137	1128	161	0	136	1128	59	2.86	457	0.17	37.17	2.92	738	56	127
655	94/09/15 23:12:31	94/09/15 23:31:57	148	1136	159	1146	138	1127	59	2.86	437	0.10	38.71	2.87	755	51	129
656	94/09/16 01:34:30	94/09/16 01:57:19	155	1134	161	1148	130	1129	50	2.85	407	0.21	37.07	2.72	878	63	150
657	94/09/16 02:38:27	94/09/16 02:58:43	146	1128	162	1146	138	1131	58	2.86	428	0.12	33.14	2.64	705	55	122
658	94/09/16 08:09:43	94/09/16 08:27:01	148	1136	164	1149	137	1113	63	2.91	496	0.23	39.47	2.10	671	36	114
659	94/09/16 09:04:42	94/09/16 09:22:48	145	1146	148	1139	123	1120	62	2.88	465	0.17	45.59	2.79	832	50	140
660	94/09/16 10:05:01	94/09/16 10:27:38	155	348	148	1130	115	145	57	2.86	447	0.22	32.93	2.24	762	53	131
661	94/09/16 10:59:47	94/09/16 11:16:21	141	1135	139	1140	107	1108	66	2.88	396	0.16	39.12	2.51	662	43	111
662	94/09/16 13:22:34	94/09/16 13:38:33	142	1136	150	1147	116	1117	67	2.89	443	0.14	45.52	3.04	743	50	125
663	94/09/16 14:17:21	94/09/16 14:35:42	119	1132	145	1139	116	1120	57	2.90	457	0.19	35.21	2.43	686	46	115
664	94/09/16 20:08:14	94/09/16 20:26:49	145	1128	152	1142	129	1120	56	2.90	480	0.17	36.32	2.48	720	47	123
665	94/09/16 20:59:28	94/09/16 21:17:34	145	1125	154	1136	131	1114	58	2.89	431	0.11	32.12	2.52	612	46	106
666	94/09/16 21:51:20	94/09/16 22:21:21	138	1132	148	1142	126	1118	42	2.86	399	0.11	27.08	2.29	926	73	159
667	94/09/16 22:55:17	94/09/16 23:16:50	147	1137	157	1146	134	1122	48	2.95	430	0.11	33.01	2.45	772	57	133
668	94/09/16 23:52:16	94/09/17 00:10:20	150	1131	159	1136	136	1111	60	2.94	421	0.12	34.62	2.72	662	51	116
669	94/09/17 01:49:12	94/09/17 02:14:10	139	1130	145	1135	122	1108	45	2.75	412	0.13	33.07	2.62	897	71	155
670	94/09/17 08:15:50	94/09/17 08:32:35	144	1120	152	1141	125	1087	62	2.89	447	0.22	39.38	2.67	693	47	118
671	94/09/17 09:08:47	94/09/17 09:24:43	139	832	144	1136	119	528	67	2.89	412	0.20	38.47	2.59	614	41	104
672	94/09/17 09:56:14	94/09/17 10:21:07	132	1132	137	1139	112	1112	56	2.89	390	0.18	31.53	2.05	740	51	124
673	94/09/17 10:56:07	94/09/17 11:13:36	140	898	148	1139	123	792	61	2.90	397	0.14	34.54	2.67	610	47	105
674	94/09/17 13:24:58	94/09/17 14:06:44	138	1090	147	1139	121	1050	58	2.93	417	2.19	27.09	2.08	491	37	84
675	94/09/17 14:36:42	94/09/17 14:55:47	135	1138	142	1143	117	1117	68	2.90	398	3.04	52.15	3.47	828	55	139
676	94/09/17 19:50:58	94/09/17 20:10:03	146	1125	150	1137	125	1111	55	2.91	446	2.58	39.42	2.71	798	53	136
677	94/09/17 20:43:33	94/09/17 21:01:23	143	1128	149	1136	125	1112	59	2.92	426	3.03	46.31	3.20	858	59	147
678	94/09/17 21:33:43	94/09/17 21:54:30	142	1133	150	1136	127	1112	54	2.91	399	2.94	40.88	2.80	890	62	153
679	94/09/17 22:29:14	94/09/17 22:46:56	143	1123	149	1140	127	1116	61	2.91	415	3.40	37.83	2.74	712	53	122
680	94/09/17 23:55:01	94/09/18 00:13:51	141	1123	152	1141	129	1114	59	2.92	427	3.01	40.85	2.83	804	56	138
681	94/09/18 01:43:45	94/09/18 02:00:51	138	1125	151	1139	128	1113	63	2.99	410	3.63	37.81	3.03	700	56	121
682	94/09/19 08:08:26	94/09/19 08:24:58	133	1137	148	1139	123	1114	62	2.90	500	3.00	38.49	2.80	687	50	118
683	94/09/19 08:59:51	94/09/19 09:15:12	137	1144	143	1144	118	1117	70	2.89	471	3.14	43.35	3.29	696	53	118
684	94/09/19 09:44:45	94/09/19 09:59:33	146	1144	150	1147	124	1120	71	2.89	445	1.88	46.06	3.50	702	53	120
685	94/09/19 10:28:53	94/09/19 10:44:28	143	1138	146	1147	121	1120	67	2.89	440	2.93	49.16	3.61	802	59	136
686	94/09/19 11:13:44	94/09/19 11:29:56	142	840	150	1146	124	712	65	2.88	444	2.66	41.42	3.14	685	52	117
687	94/09/19 13:38:03	94/09/19 14:12:12	145	1144	152	1148	127	1125	63	2.88	439	2.97	30.47	2.22	684	46	116
688	94/09/19 19:58:27	94/09/19 20:14:48	153	1128	155	1137	129	1112	63	2.91	491	1.50	37.20	2.75	635	47	110
689	94/09/19 20:44:48	94/09/19 21:01:09	148	1129	150	1144	125	1120	63	2.92	460	3.08	43.22	2.95	755	51	128
690	94/09/19 21:32:55	94/09/19 21:48:50	147	1124	158	1141	133	1118	65	2.92	449	2.44	43.14	3.10	725	52	125
691	94/09/19 22:19:19	94/09/19 22:35:29	148	1120	155	1139	131	1116	65	2.92	440	3.48	42.26	2.83	714	48	122
692	94/09/19 23:07:52	94/09/19 23:24:19	152	1133	151	1143	117	1109	64	2.92	427	2.61	46.37	2.97	816	53	139
693	94/09/20 01:08:59	94/09/20 01:32:22	150	1127	152	1136	121	1103	57	2.98	441	2.71	30.40	1.94	646	37	110
694	94/09/20 08:03:14	94/09/20 08:19:14	133	1135	148	1147	116	1114	66	2.90	495	2.18	52.63	3.85	862	63	146
695	94/09/20 08:49:15	94/09/20 09:04:32	145	1132	151	1148	119	1115	66	2.91	504	3.94	55.12	4.02	890	65	152
696	94/09/20 09:36:37	94/09/20 09:51:17	133	1141	148	1148	119	1116	74	2.90	466	4.02	56.15	3.88	827	57	140
697	94/09/20 10:22:41	94/09/20 10:39:08	146	1127	154	1147	121	1105	61	2.90	481	2.58	49.96	3.57	878	62	150
698	94/09/20 11:10:28	94/09/20 11:25:57	145	1146	152	1146	122	1121	67	2.91	485	2.90	44.37	3.52	702	55	120
699	94/09/20 12:53:29	94/09/20 13:09:31	143	1138	146	1145	119	1116	66	2.90	475	4.09	48.56	3.52	798	58	136
700	94/09/20 20:03:35	94/09/20 20:20:27	143	1138	145	1142	115	1109	61	2.90	489	4.18	39.25	2.68	692	47	117

（２）裏込め注入量・圧力

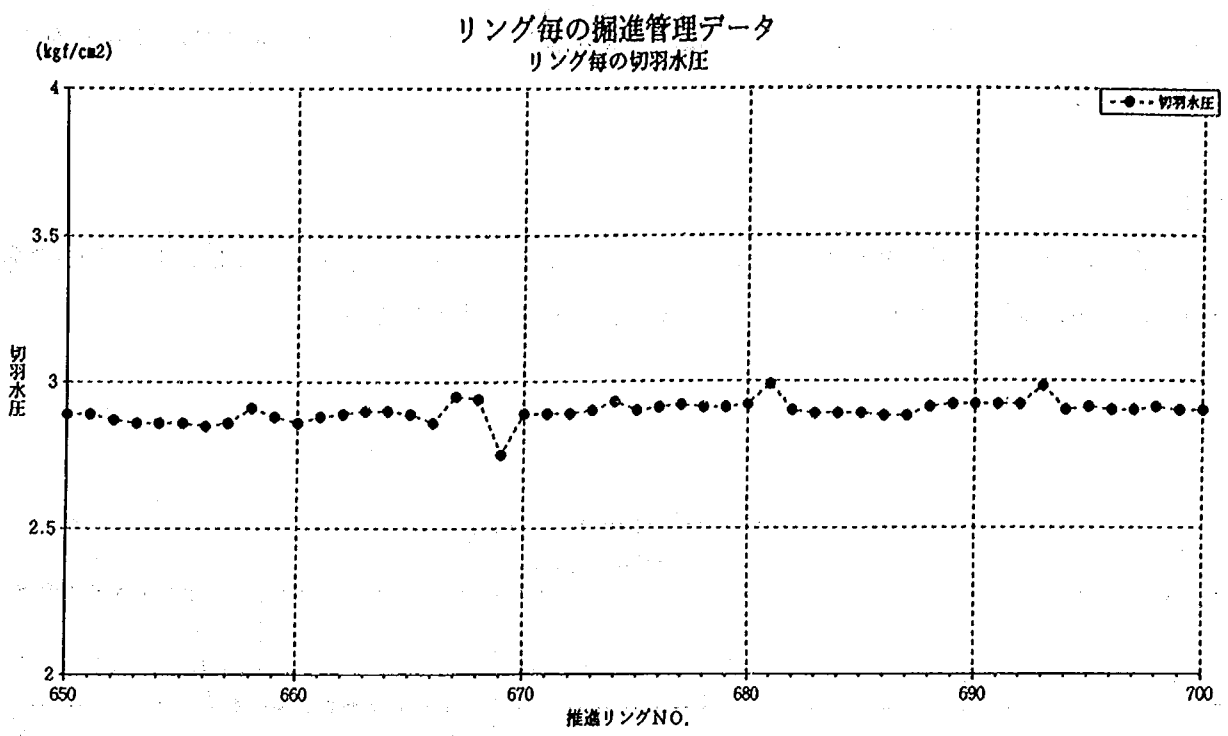
裏込め注入量から計算できる注入率は、84%～185%の範囲で大きくばらついている。現場計測付近で最も低い84%となっている。注入圧力は、約１．５～４kgf/cm²の範囲でばらついており、現場計測付近で約２．２kgf/cm²であった。

４．２．５ ジャッキ速度

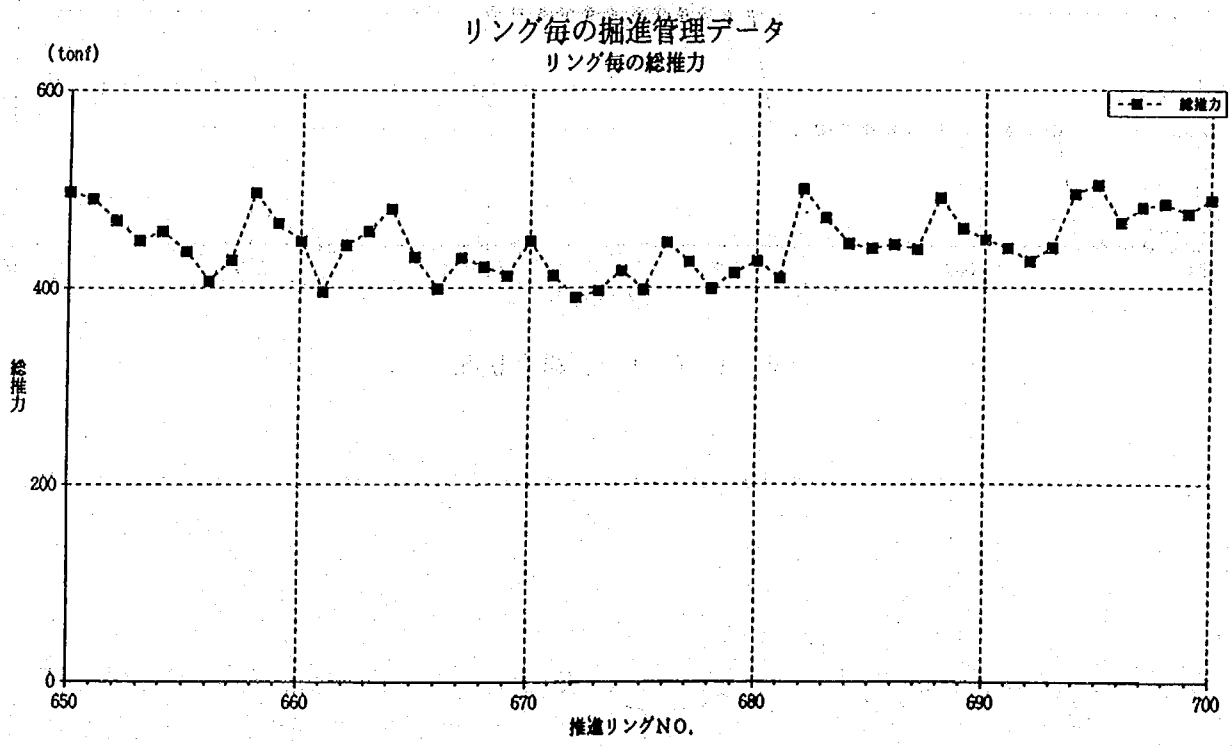
ジャッキ速度の施工管理データを表－４．３及び図－４．１１に示す。ジャッキ速度は、42～74mmの範囲でばらついているが、現場計測付近でのジャッキ速度は約６０ｍｍ程度であった。



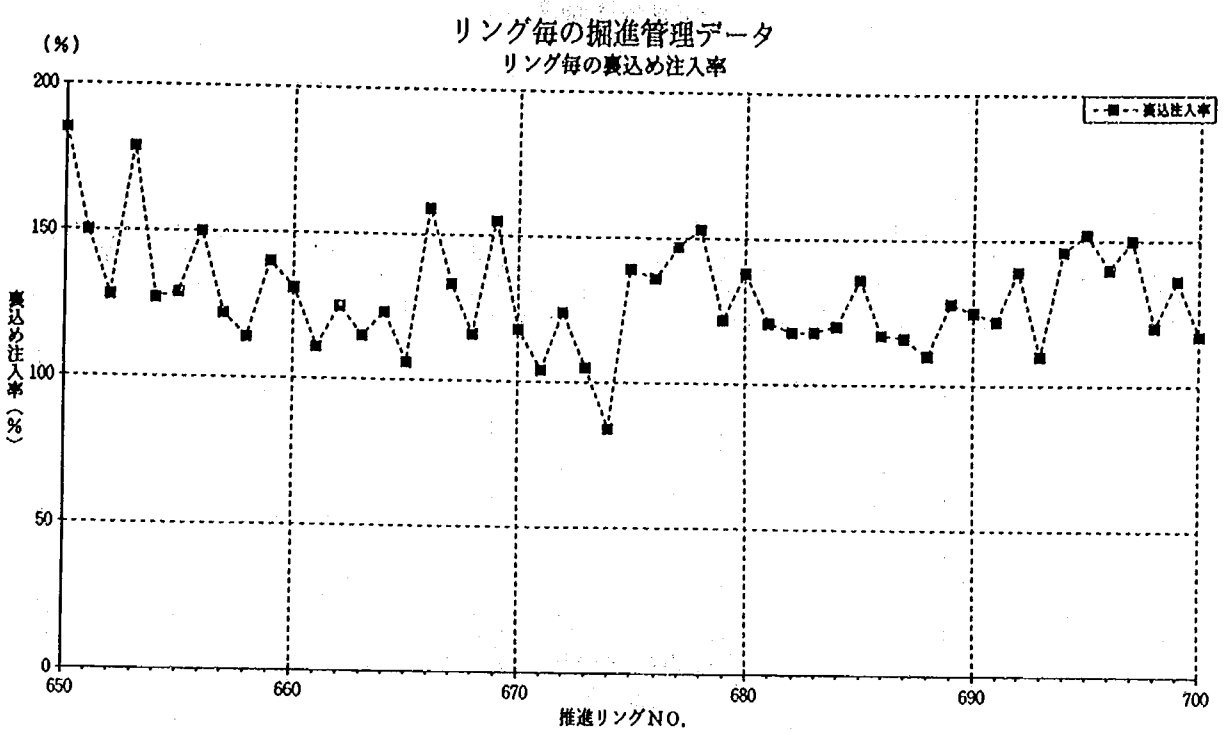
図－４．７ リング組立状況



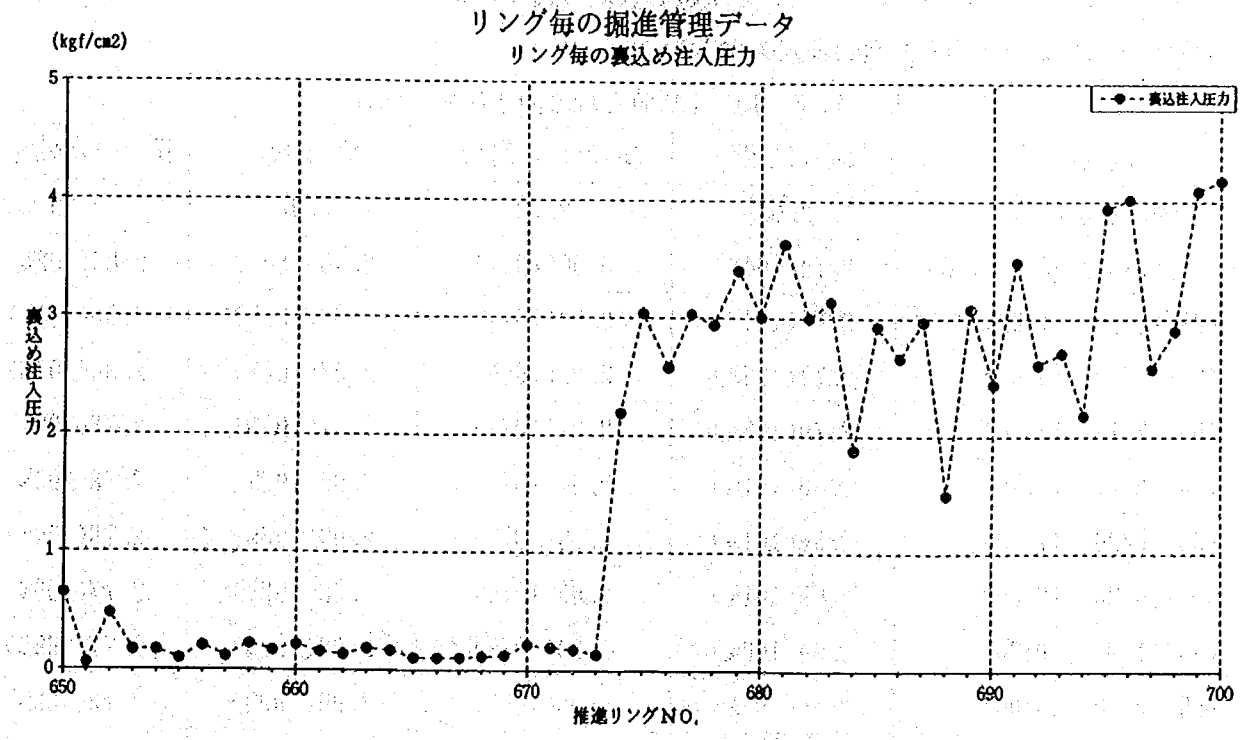
図－４．８　掘進時の切羽圧力データ



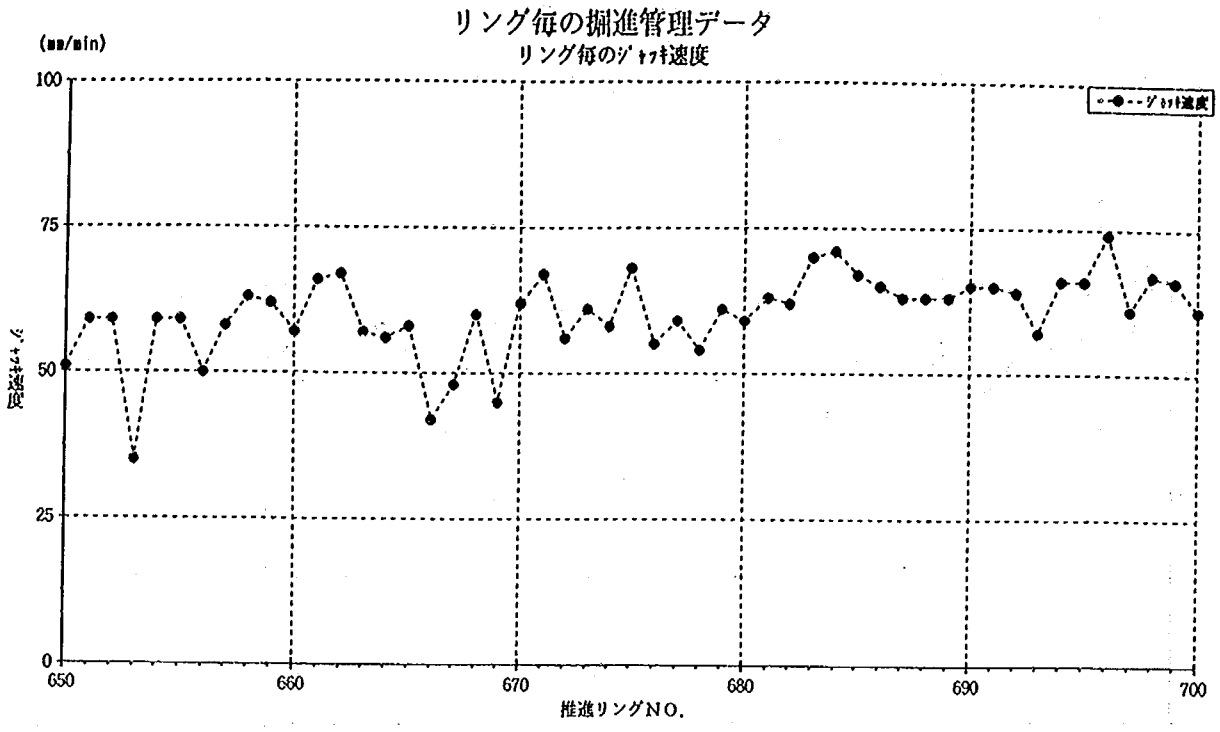
図－４．９　掘進時の総推力



図－４．１０(1) 掘進時の裏込め注入量データ



図－４．１０(2) 掘進時の裏込め注入圧データ



図－４．１１　掘進時のジャッキ速度データ

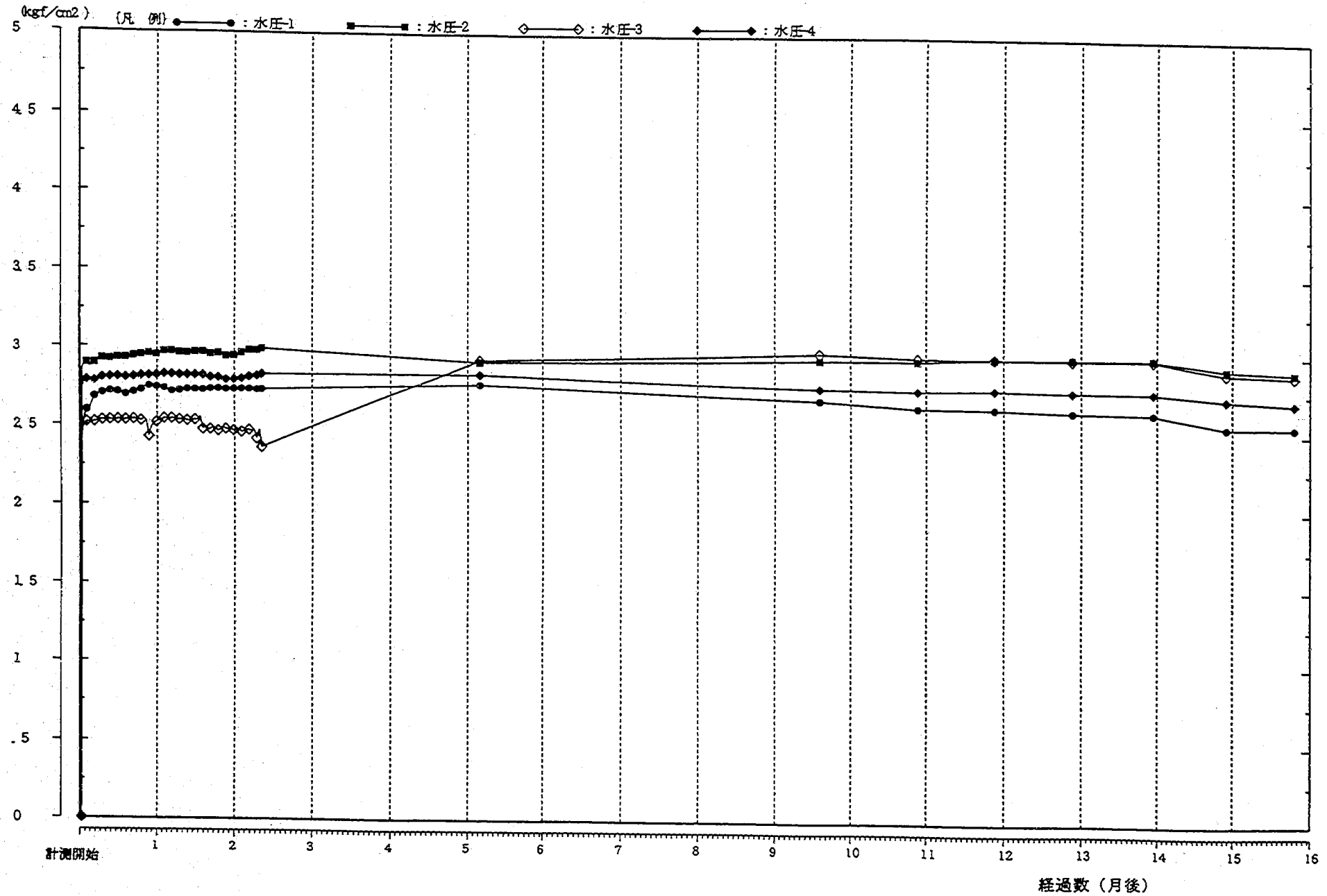
４．３　計測結果および考察

本現場計測で得られた水圧測定結果の経時変化を図－４．１２に示す。また、主要な時期の水圧の断面分布図を図－４．１３に示す。本計測ではセグメント組立後から約２週間後からの測定であるが、測定当初からほぼ一定の値を示しており大きな変動は認められない。

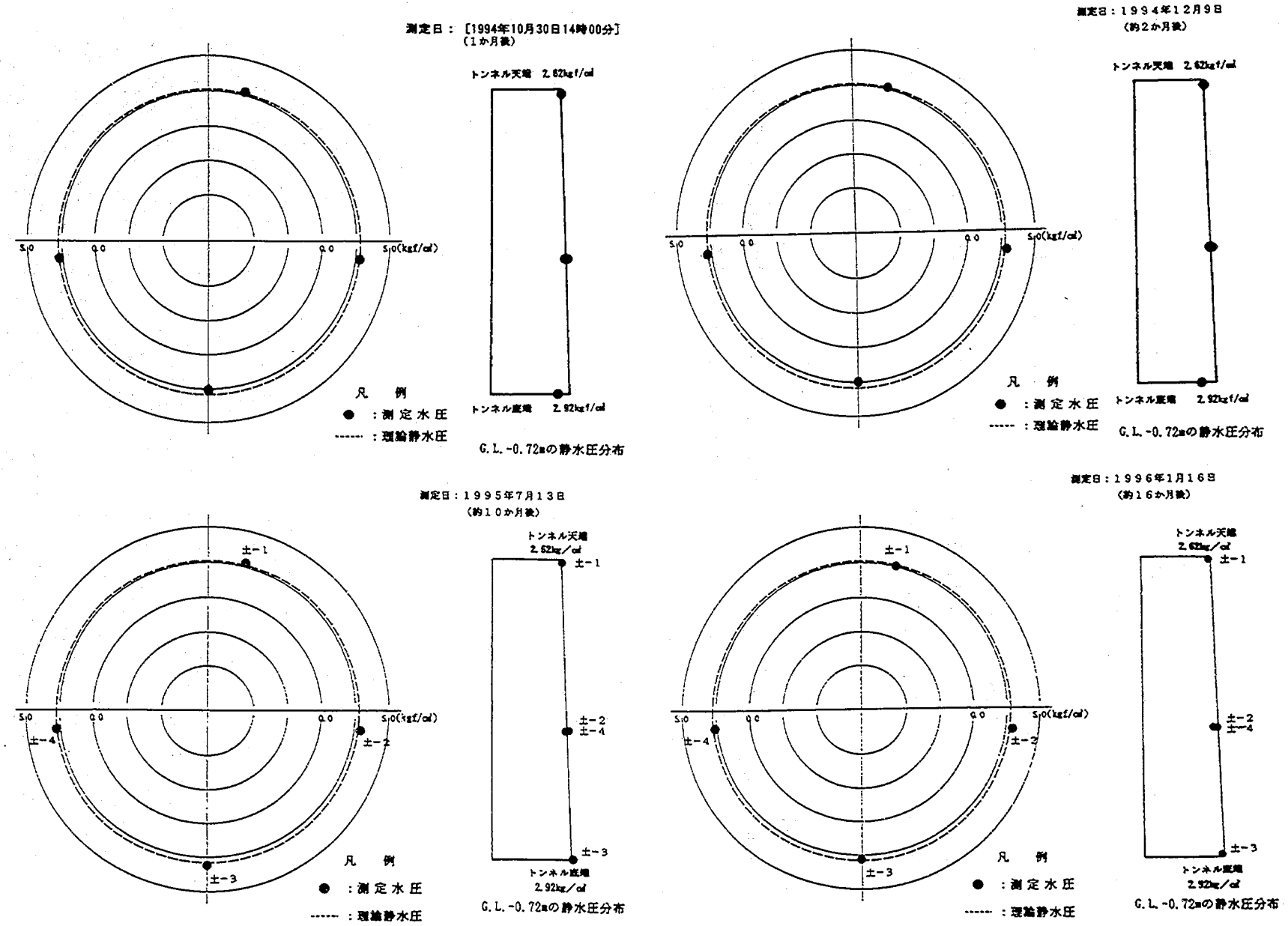
表－４．６　水圧計測値と理論静水圧値の関係

測定点	柱-1(天端近)	柱-2(ﾄﾝﾈﾙ壁左)	柱-3(底部)	柱-4(ﾄﾝﾈﾙ壁右)
理論静水圧値	2.63	2.79	2.92	2.79
測定水圧(94/10/30　14:00)	2.74(104%)	3.00(108%)	2.46(84%)	2.84(102%)
(95/12/09　11:00)	2.73(104%)	2.99(107%)	2.38(82%)	2.83(101%)
(95/ 3/ 3　15:00)	2.77(105%)	2.92(105%)	2.93(100%)	2.84(102%)
(95/ 7/13　12:30)	2.70(103%)	2.97(107%)	3.01(103%)	2.78(100%)
(95/ 8/21　10:40)	2.66(101%)	2.97(107%)	2.99(103%)	2.78(100%)
(95/ 9/20　11:10)	2.66(101%)	2.99(107%)	2.99(103%)	2.78(100%)
(95/10/20　12:00)	2.65(101%)	2.99(107%)	2.98(102%)	2.77(99%)
(95/11/21　9:20)	2.64(100%)	2.99(107%)	2.98(102%)	2.77(99%)
(95/12/20　10:00)	2.55(97%)	2.93(105%)	2.90(99%)	2.73(98%)
(96/ 1/16　15:00)	2.55(97%)	2.91(104%)	2.88(99%)	2.70(97%)

周辺地盤の土質試験結果による地下水位（G．L．－0．72m）から求められる理論静水圧と比較すると表－4．6のようになり、計測値の最終で理論静水圧値の約100％から107％の範囲となっている。本現場周辺で実施した現場透水試験からはシールドトンネルの上部土層での平衡水位はほぼ地下水位と一致している結果を示しており、本トンネル付近の透水係数10^{-6}オーダーのシルト層下でのシールドトンネルの水圧は、施工後2週間後でも概ね静水圧に近い水圧が作用していることが分かった。



図－４．１２ 水圧の経時変化図



図－4．13 水圧の断面分布図

第５章　シールドトンネルの作用土圧に関する実績調査

５．１ 調査方法

５．１．１調査目的

シールド工法においてセグメント製作費のトンネル工事費全体に占める割合は、非常に大きく、このコストダウンが大きな問題となっている。その方法として、セグメントの大型化（幅、分割数など）、合理的なセグメント構造や継手構造の開発などがあげられるが最も重要なことは、合理的な設計手法の確立であると考えられる。また、今後の地下空間の利用のニーズとして考えられる大深度・大断面シールドトンネルは、作用荷重の評価によって覆工構造体の構造が大きく異なってくるものと予想され、覆工設計において設計荷重の設定方法に関する調査が急がれている。

本章は、大断面・大深度シールドトンネルに作用する設計荷重の合理的な設定方法の確立を目的として、シールドトンネルのセグメントに作用する荷重（土圧・水圧）に関する現場計測結果を文献調査し解析したものである。

５．１．２調査文献

円形シールドトンネルに作用する土水圧について、２章、４章に示した２件の現場計測結果及び過去に発表されたシールドトンネルに作用する荷重の現場計測結果について言及している文献を１２編収集した。表－５．１にこれらの文献のリストを示す。

表－5．1 文献リスト一覧表

NO.	論文名	著者	所属誌名	巻	号	発行年
1	大口径ｶﾞｽ管下でのｼｰﾙﾄﾞ工事 横浜市市場末広町幹線下水道	中村和宏、阿部　進 野村宣彦	ﾄﾝﾈﾙと地下	14	11	1983
2	近接並列ｼｰﾙﾄﾞで土被りの浅い軟弱地盤を掘進　京葉都心線東越中島ﾄﾝﾈﾙ	前田誠、竹内雄三 ほか	ﾄﾝﾈﾙと地下	20	2	1989
3	ｼｰﾙﾄﾞ現場で行った計測例	桑原　力、小林建朗	ﾄﾝﾈﾙと地下	13	1	1982
4	土圧式ｼｰﾙﾄﾞの掘進に伴う軟弱地盤の挙動	草深守人、吉村和宏 野村宣彦	間組技術年報	－	－	1983
5	上・下ｼｰﾙﾄﾞｼｰﾙﾄﾞ工事における地盤挙動と弾塑性解析	伊藤雅夫、平野富佐夫、勝又正治	土質工学研究発表会講演集	18	515	1983
6	軟弱地盤中のｼｰﾙﾄﾞﾄﾝﾈﾙの現場計測	水谷敏則、真下英人 猪熊　明ほか	土木研究所資料 第2839号	13	1	1989
7, 8	掘進直後のｼｰﾙﾄﾞｾｸﾞﾒﾝﾄに作用する土圧・水圧	後藤茂　、西村晋一 本田章浩	土木学会年次学術講演会概要集第3部	43	484	1988
9, 10	ｼｰﾙﾄﾞﾄﾝﾈﾙに作用する土圧の計測結果とその考察	伊藤宏美、斉藤正幸	土木学会年次学術講演会概要集第3部	46	69	1991
11, 12	鉄道ｼｰﾙﾄﾞﾄﾝﾈﾙにおけるｺﾝｸﾘｰﾄｾｸﾞﾒﾝﾄの設計施工に関する研究	横山浩雄	鉄道技術研究報告	－	934	1974
13	深部におけるｽﾁｰﾙｾｸﾞﾒﾝﾄの挙動	菅野薫、中野雅弘	ﾄﾝﾈﾙと地下	22	5	1991
14, 16	ｼｰﾙﾄﾞﾄﾝﾈﾙに作用する土圧の計測について	西野健三、滝　英治 斉藤正幸ほか	土木学会年次学術講演会概要集第3部	43	481	1988
15	第２上野ﾄﾝﾈﾙにおける土圧および鉄筋応力度の測定結果	飯田廣臣、清水　満 石井恒夫	土木学会年次学術講演会概要集第3部	40	179	1985
17	本資料の第2章の現場計測結果	－	－	－	－	－
18	本資料の第4章の現場計測結果	－	－	－	－	－

NO.欄の番号は、表－５．３(1)～(16)の（　）内の番号に対応している。なお、NO.17、NO.18についてはそれぞれ本資料の第２章、第４章で記載した現場計測結果を用いた。

5．1．3 調査を行ったシールドトンネルの概要

調査文献の中で記載されている現場計測が行われた各シールドトンネルをトンネルの種類、シールド工法の種類、地質、トンネルの外径について分類し表－5．2にまとめた。各シールドトンネルの概要については、表－5．3(1)～(16)に示す。これらの表の土質柱状図は現場計測地点のボーリング試験結果より求めたものと付近のボーリング試験結果より推測したものがある。湿潤単位体積重量、粘着力、内部摩擦角については、土質が同じであると判断された土質（同じ現場内の土質）の試験結果を採用した。なお、表－5．1のNO.17、NO.18についてはそれぞれ第2章、第4章を参照されたい。

表－5．2 計測シールドトンネル及びマシーンの概要

トンネルの種別		シールドタイプ	
鉄道	6 件	手堀り式	1 件
上・下水道	6 件	ブライインド式	1 件
とう道	3 件	機械堀り式	2 件
導水路	2 件	土圧式	2 件
その他	1 件	泥水式	12 件

土質条件		土被りH(m)	セグメント外径D(m)	H／D	件数（件）
粘性土	沖積層	5.3～29.3 (27.0)	3.55～7.20 (2.95)	0.98～5.86 (9.15)	9 (1)
	第三紀層	14.0	4.50	3.11	1
砂質土	沖積層	16.0～17.0	5.10	3.14～3.33	2
	洪積層	12.5～37.8	4.50～12.66	1.50～8.40	5

（　）内は、水圧測定のみ実施した事例

5．2 調査結果および考察

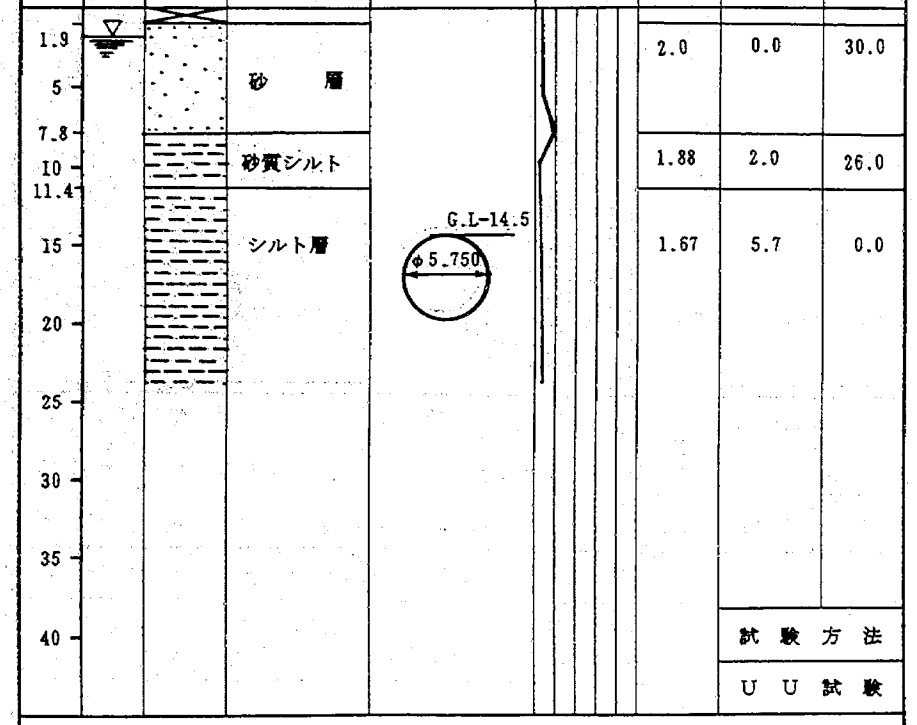
文献調査により得た各トンネルのデータを4種類（沖積粘性土、沖積砂質土、洪積砂質土、第三紀粘性土）に分類し、シールドトンネルの天端に作用する鉛直荷重について考察をおこなった。

5．2．1調査結果の集計

表－5．4から表－5．7にシールドトンネル鉛直荷重一覧表示す。これらの表の見方について表－5．8に示す。なお、本章では、シールドトンネルに作用する鉛直荷重を表わす用語として全土圧と有効土圧を区別するために、土圧・水圧を含めた全土圧として「鉛直荷重（土水圧）」、土水圧から水圧を差し引いた有効土圧として「鉛直土圧（有効土圧）」と表示して整理した。

表－5.3(1) 計測地質断面の概要

整理番号	1	地質名、NO	沖積粘性土、NO、①
表題	大口径ガス管下でのシールド工事 横浜市市場末広町幹線下水道		
著者名	中村 和宏、阿部 進、野村 宜彦　（横浜市下水道局）		
所属誌名	トンネルと地下　（第14巻11号）		

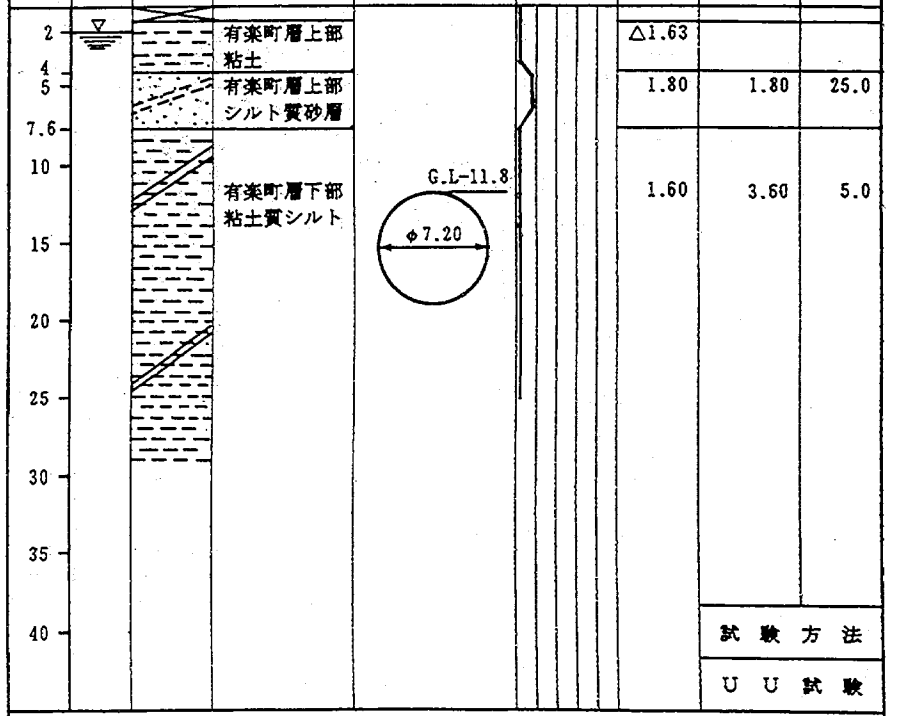


備考　下水道、泥水加圧式シールド

○東京都総合地盤図付近ボーリング試験値　△東京都総合地盤図の平均値あるいは設計値

表－5.3(2) 計測地質断面の概要

整理番号	2	地質名、NO	沖積粘性土、NO、②
表題	近接並列シールドで土被りの浅い軟弱地盤を掘進 京葉都市線東越中島トンネル		
著者名	前田 誠、竹内 雄三、興梠 敏明　（日本鉄道建設公団）		
所属誌名	トンネルと地下　（第20巻2号）		

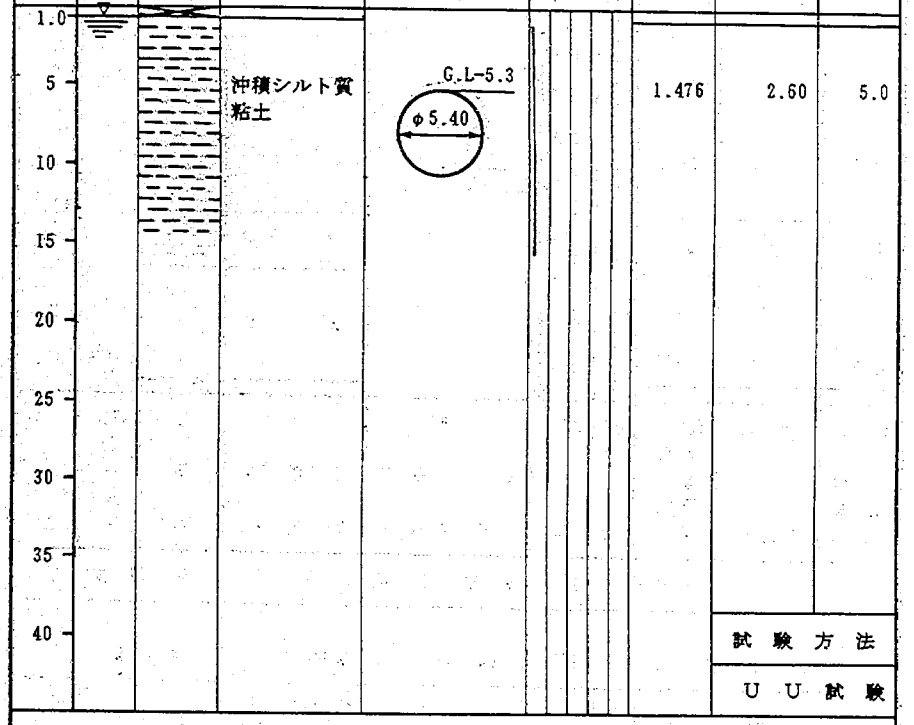


備考　鉄道、土圧式シールド。倉庫（6.0t/m²）が、地表面のトンネル鉛直点より約3m離れた場所にある。

○東京都総合地盤図付近ボーリング試験値　△東京都総合地盤図の平均値あるいは設計値

表－5.3(3) 計測地質断面の概要

整理番号	3	地質名、NO	沖積粘性土、NO、③
表題	シールド現場で行った計測例		
著者名	桑原 力、小林 健朗 (前田建設工業) 青山 菊男 (フジ工研)		
所属誌名	トンネルと地下 (第13巻1号)		

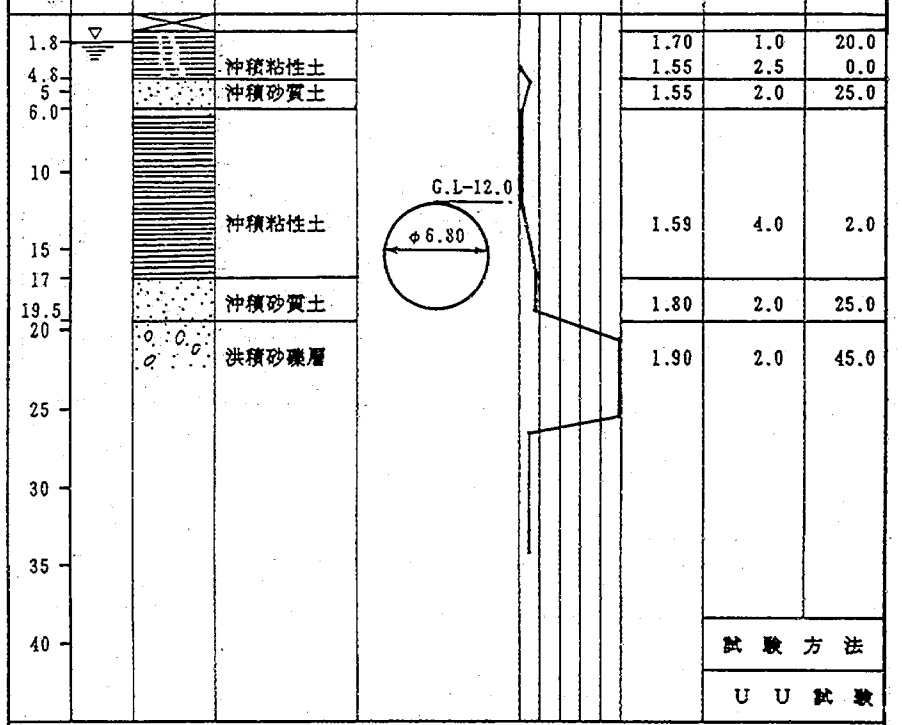


備考 下水道、ブラインド式シールド、横浜市

○東京都総合地盤図付近ボーリング試験値　△東京都総合地盤図の平均値あるいは設計値

表－5.3(4) 計測地質断面の概要

整理番号	4	地質名、NO	沖積粘性土、NO、④
表題	土圧式シールドの掘進に伴う軟弱地盤の挙動		
著者名	草深 守人、吉村 和彦 (間組)		
所属誌名	間組研究年報 (1983)		

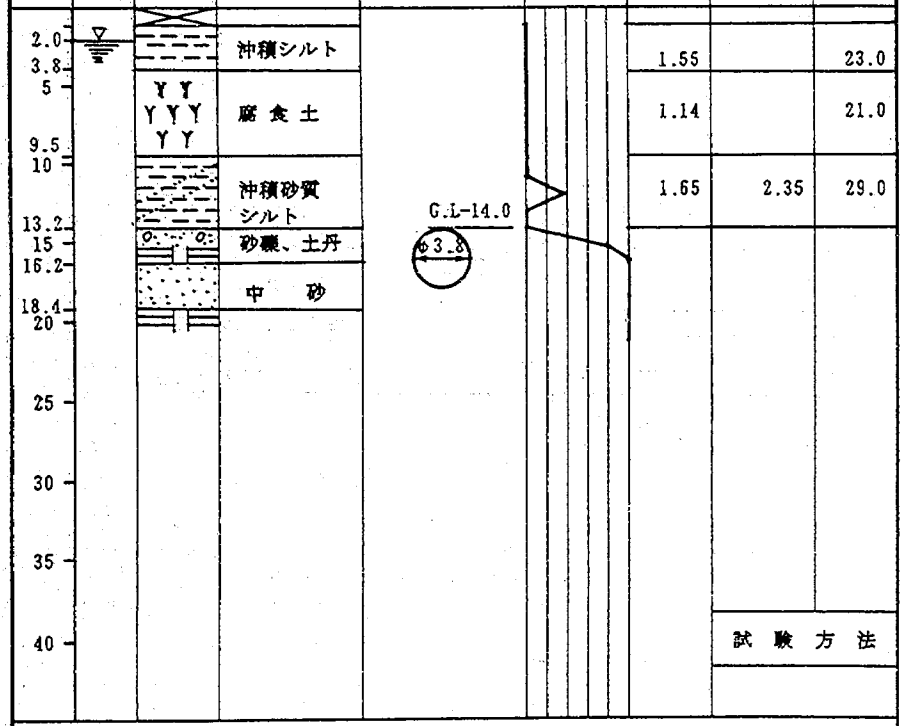


備考 地下鉄、土圧式シールド、大阪市

○東京都総合地盤図付近ボーリング試験値　△東京都総合地盤図の平均値あるいは設計値

表－5.3(5) 計測地質断面の概要

整理番号	5	地質名、NO	沖積粘性土、NO、⑤
表題	上・下シールド工事における地盤挙動と弾塑性解析		
著者名	伊藤 雅夫、平野 富佐夫、勝又 正治 （前田建設工業）		
所属誌名	第18回土質工学研究発表会 515		

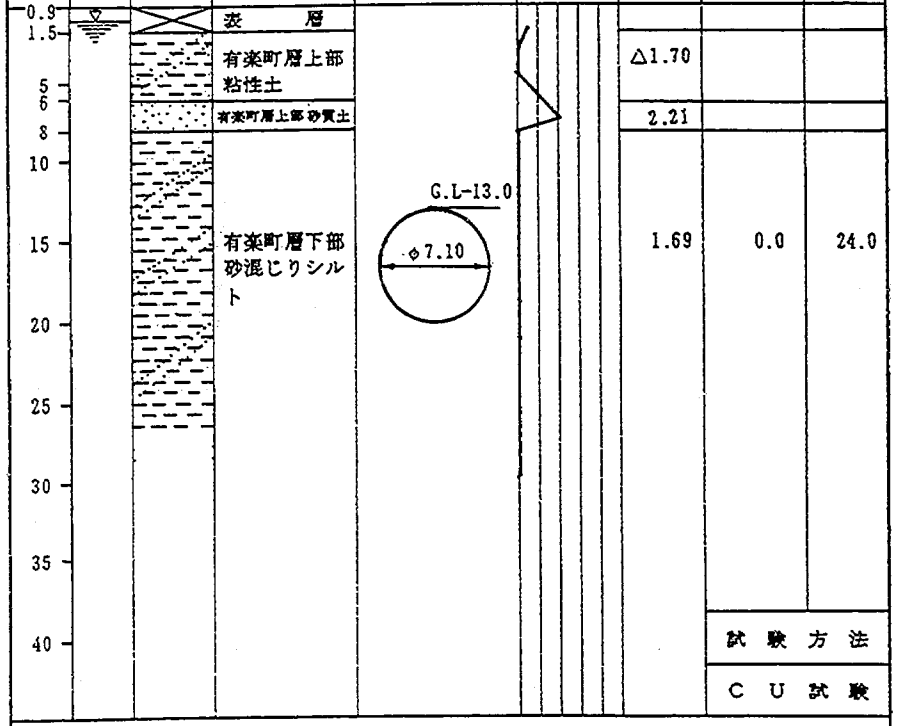


備考　泥水加圧式シールド、横浜市

○東京都総合地盤図付近ボーリング試験値　△東京都総合地盤図の平均値あるいは設計値

表－5.3(6) 計測地質断面の概要

整理番号	6	地質名、NO	沖積粘性土、NO、⑥
表題	軟弱地盤中のシールドトンネルの現場計測		
著者名	水谷 俊則、真下 英人、猪熊 明、石村 利明 （建設省）		
所属誌名	土木研究所資料 第2839号		

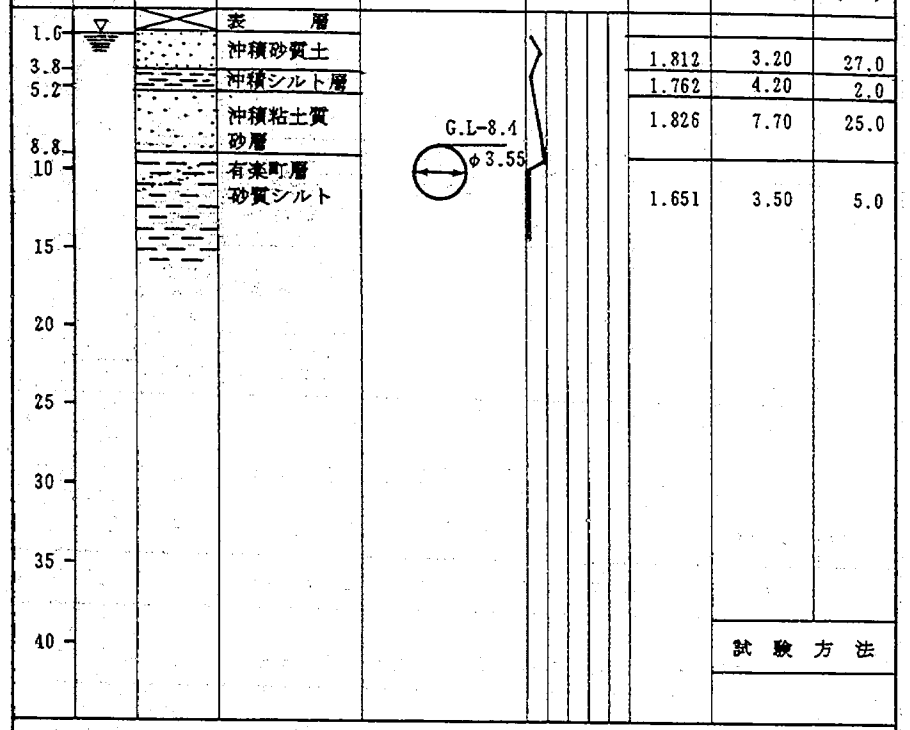


備考　鉄道（京葉都市線）、泥水加圧式シールド

○東京都総合地盤図付近ボーリング試験値　△東京都総合地盤図の平均値あるいは設計値

表－5.3(7) 計測地質断面の概要

整理番号	7	地質名、NO	沖積粘性土、NO、⑦
表題	掘進直後のシールドセグメントに作用する土圧・水圧 断面（1）		
著者名	後藤　茂、西村　晋一、本田　章浩　（清水建設）		
所属誌名	土木学会第43回年次学術講演会　Ⅲ－484		

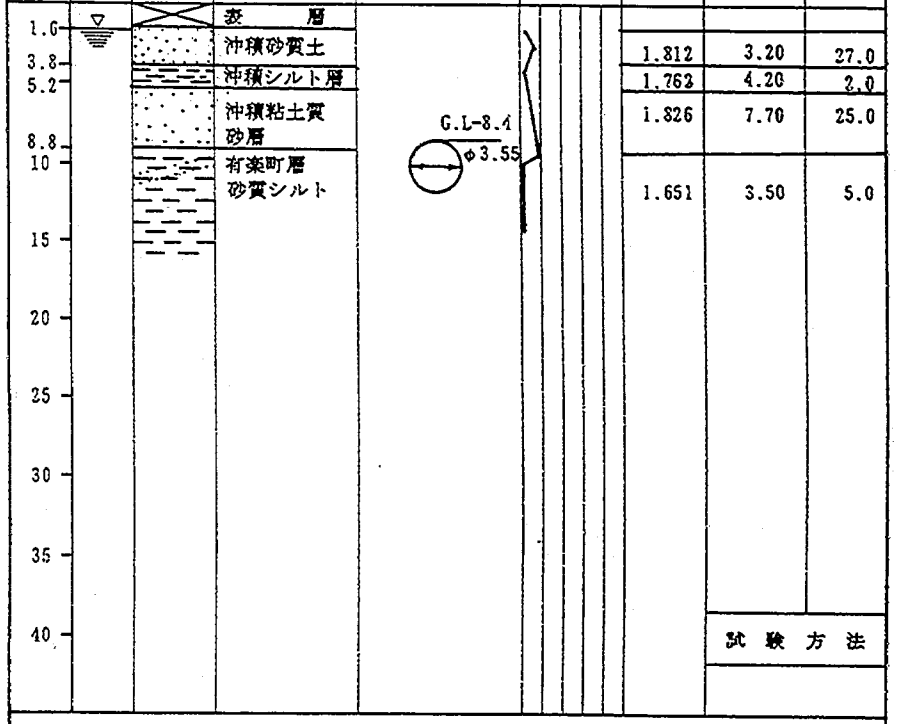


備考　下水道、泥水加圧式シールド、江東区大島

○東京都総合地盤図付近ボーリング試験値　△東京都総合地盤図の平均値あるいは設計値

表－5.3(8) 計測地質断面の概要

整理番号	8	地質名、NO	沖積粘性土、NO、⑧
表題	掘進直後のシールドセグメントに作用する土圧・水圧 断面（2）		
著者名	後藤　茂、西村　晋一、本田　章浩　（清水建設）		
所属誌名	土木学会第43回年次学術講演会　Ⅲ－484		

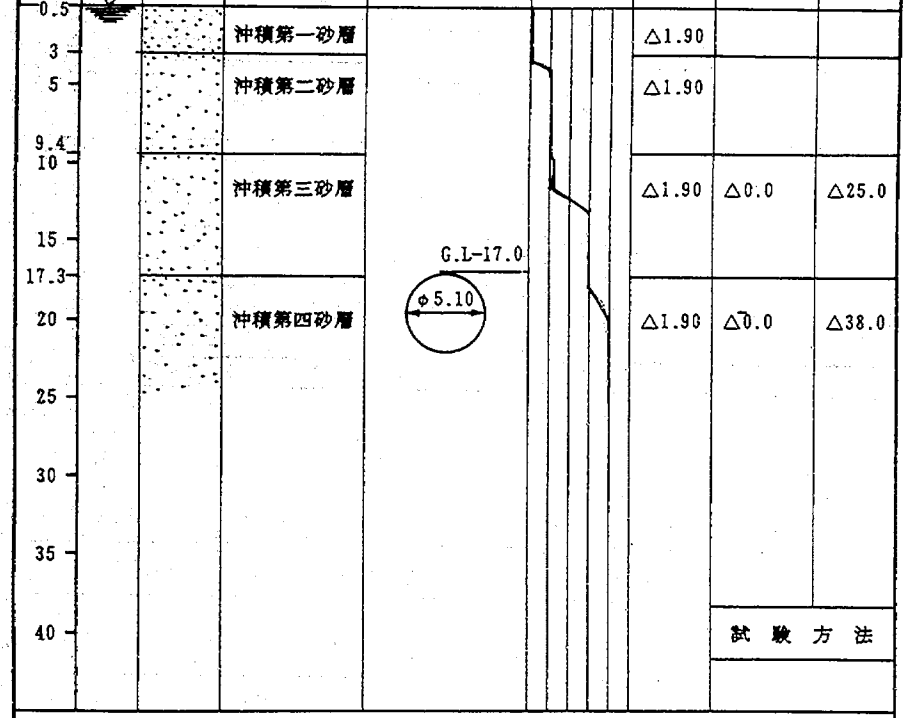


備考　下水道、泥水加圧式シールド、江東区大島

○東京都総合地盤図付近ボーリング試験値　△東京都総合地盤図の平均値あるいは設計値

表－5.3(9) 計測地質断面の概要

整理番号	9	地質名、NO	沖積砂質土、NO、①
表題	シールドトンネルに作用する土圧の計測結果とその考察 A 断面		
著者名	伊藤 宏美 (水資源開発公団) 斉藤 正幸 (日本シールドエンジニアリング)		
所属誌名	土木学会第46回年次学術講演会 Ⅲ－69		

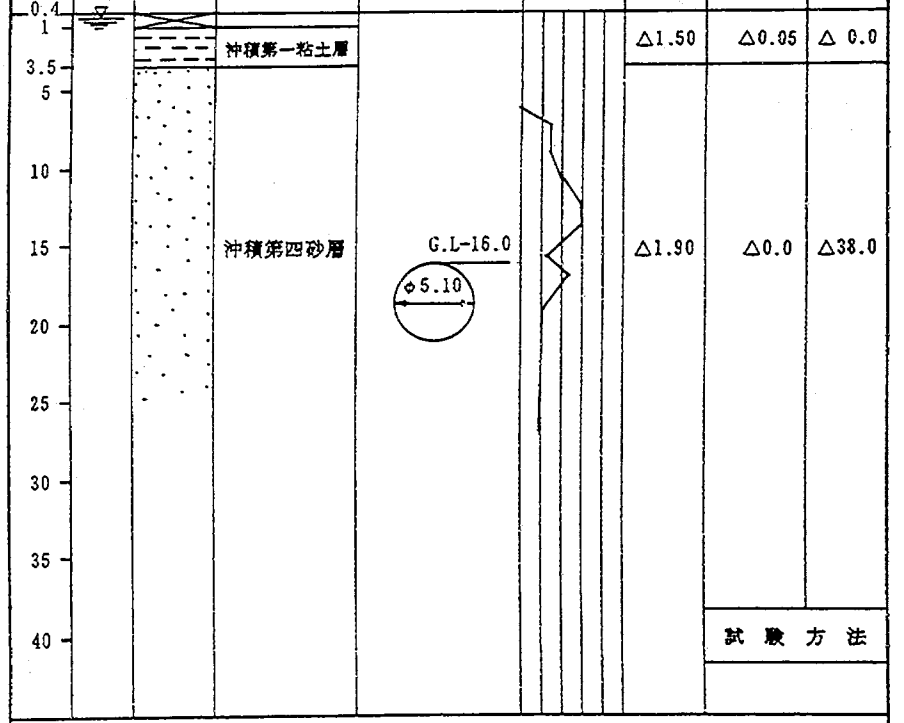


備考　導水路、泥水加圧式シールド、霞ヶ浦

○東京都総合地盤図付近ボーリング試験値　△東京都総合地盤図の平均値あるいは設計値

表－5.3(10) 計測地質断面の概要

整理番号	10	地質名、NO	沖積砂質土、NO、②
表題	シールドトンネルに作用する土圧の計測結果とその考察 B 断面		
著者名	伊藤 宏美 (水資源開発公団) 斉藤 正幸 (日本シールドエンジニアリング)		
所属誌名	土木学会第46回年次学術講演会 Ⅲ－69		

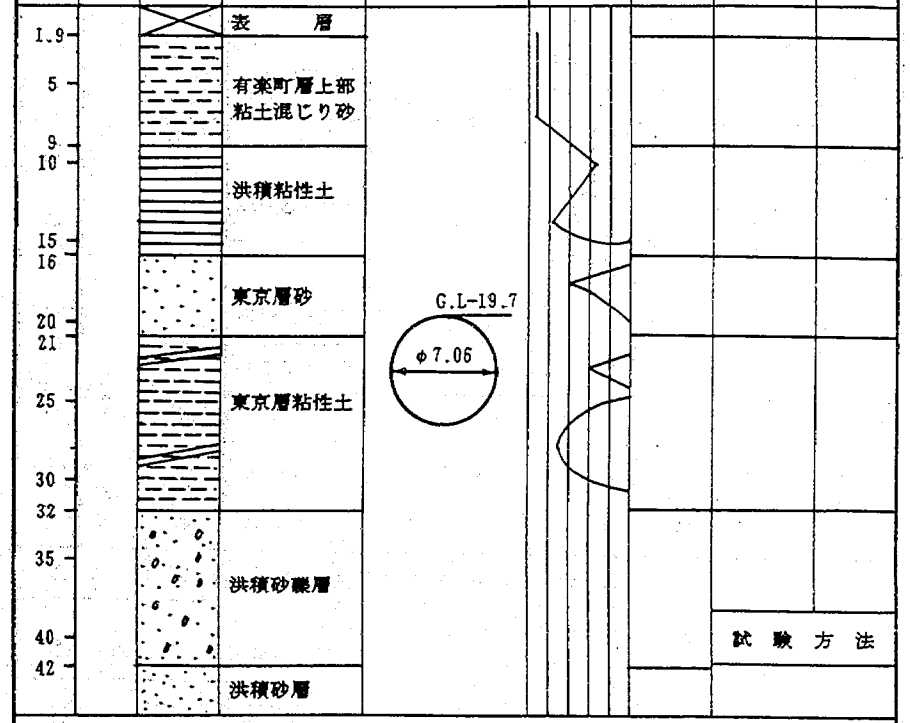


備考　導水路、泥水加圧式シールド、霞ヶ浦

○東京都総合地盤図付近ボーリング試験値　△東京都総合地盤図の平均値あるいは設計値

表－5.3(11) 計測地質断面の概要

整理番号	11	地質名、NO	洪積砂質土、NO、①
表題	鉄道シールドトンネルにおけるコンクリートセグメントの設計施工に関する研究　柳橋トンネル		
著者名	横山　浩雄　（日本国有鉄道）		
所属誌名	鉄道技術研究報告（第934号）		

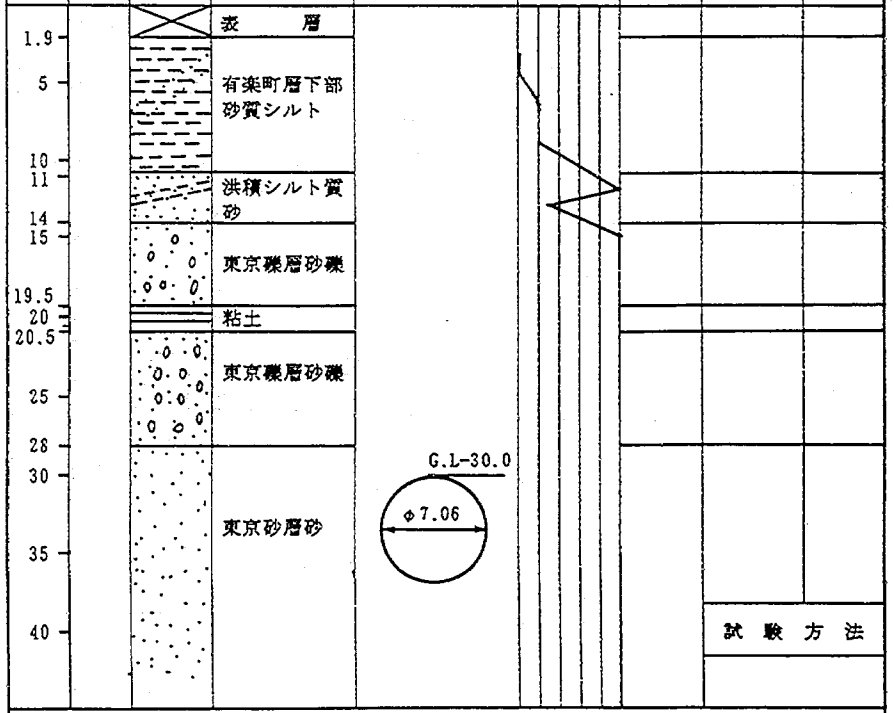


備考　鉄道、機械堀りシールド、圧気工法

○東京都総合地盤図付近ボーリング試験値　△東京都総合地盤図の平均値あるいは設計値

表－5.3(12) 計測地質断面の概要

整理番号	12	地質名、NO	洪積砂質土、NO、②
表題	鉄道シールドトンネルにおけるコンクリートセグメントの設計施工に関する研究　有楽町トンネル		
著者名	横山　浩雄　（日本国有鉄道）		
所属誌名	鉄道技術研究報告（第934号）		

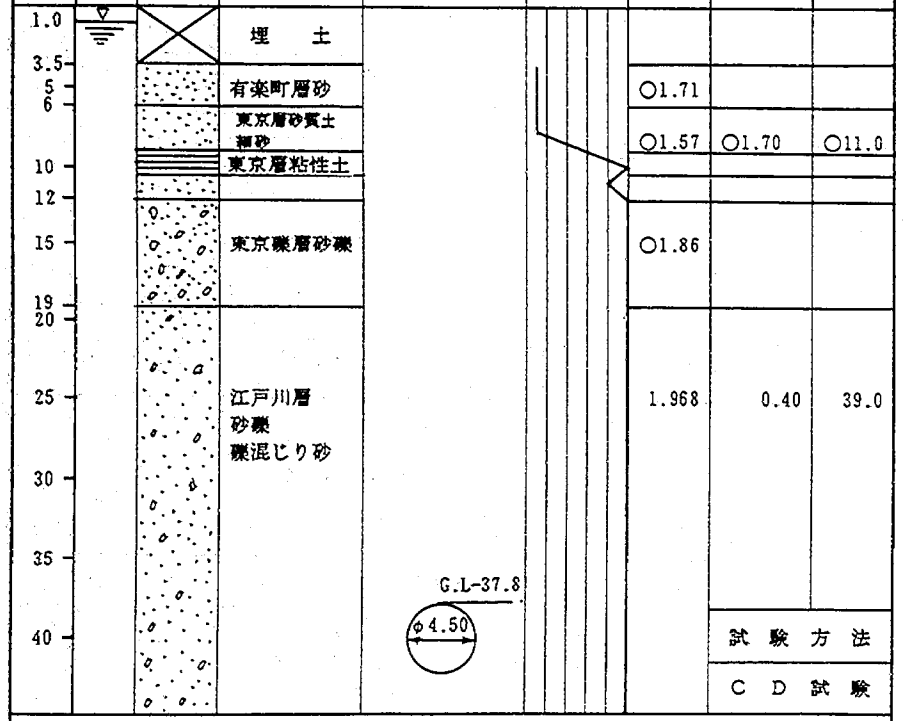


備考　鉄道、機械堀りシールド、圧気工法

○東京都総合地盤図付近ボーリング試験値　△東京都総合地盤図の平均値あるいは設計値

表－5.3(13) 計測地質断面の概要

整理番号	13	地質名、NO	洪積砂質土、NO、③
表題	深部におけるスチールセグメントの挙動		
著者名	菅野 薫、中野 雅弘 (日本電信電話株式会社)		
所属誌名	トンネルと地下 (第22巻5号)		

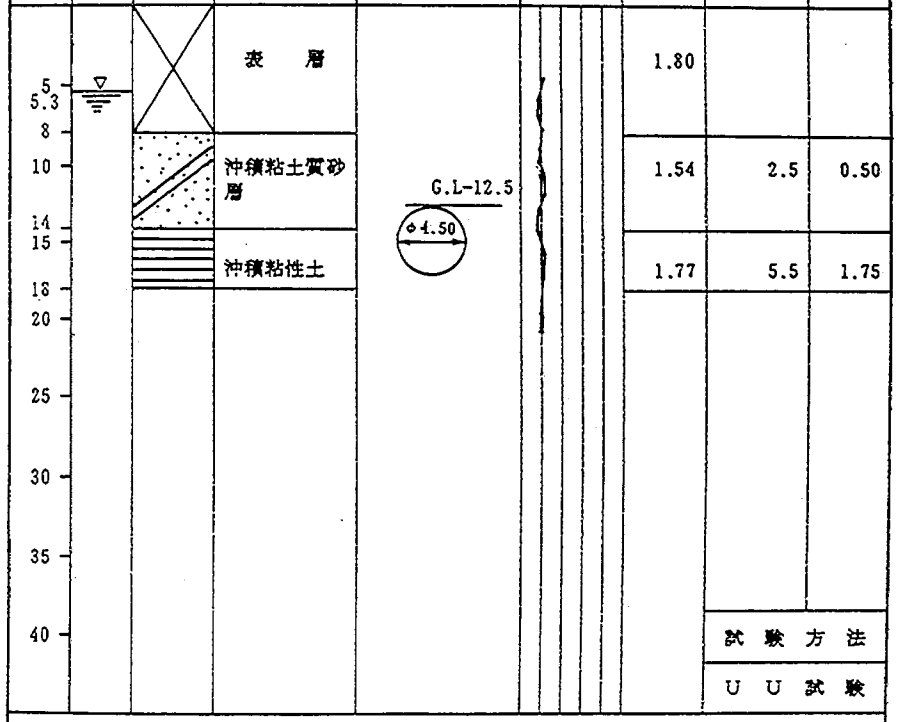


備考　とう道、泥水加圧式シールド、中央区銀座

○東京都総合地盤図付近ボーリング試験値　△東京都総合地盤図の平均値あるいは設計値

表－5.3(14) 計測地質断面の概要

整理番号	14	地質名、NO	洪積砂質土、NO、④
表題	シールドトンネルに作用する土圧の計測について B工区		
著者名	西野 健三、滝 英治 (中部電力) 斉藤 正幸、加藤 敏吉 (日本シールドエンジニアリング)		
所属誌名	土木学会第43回年次学術講演会概要集 Ⅲ－481		

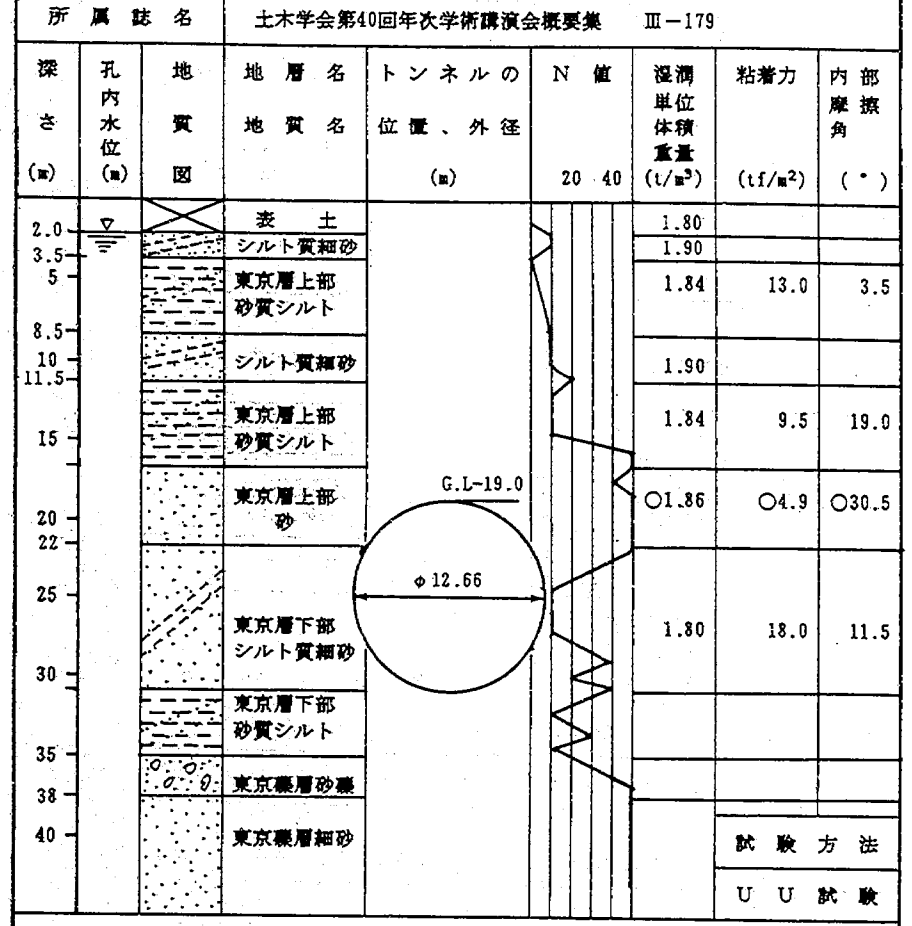


備考　洞道、泥水加圧式シールド、愛知県知多市

○東京都総合地盤図付近ボーリング試験値　△東京都総合地盤図の平均値あるいは設計値

表－5.3(15) 計測地質断面の概要

整理番号	15	地質名、NO	洪積砂質土、NO、⑤
表題	第2上野トンネルにおける土圧および鉄筋応力度の測定結果		
著者名	飯田 廣臣、清水 満 (日本国有鉄道) 石井 恒生 (日本シールドエンジニアリング)		
所属誌名	土木学会第40回年次学術講演会概要集 Ⅲ－179		

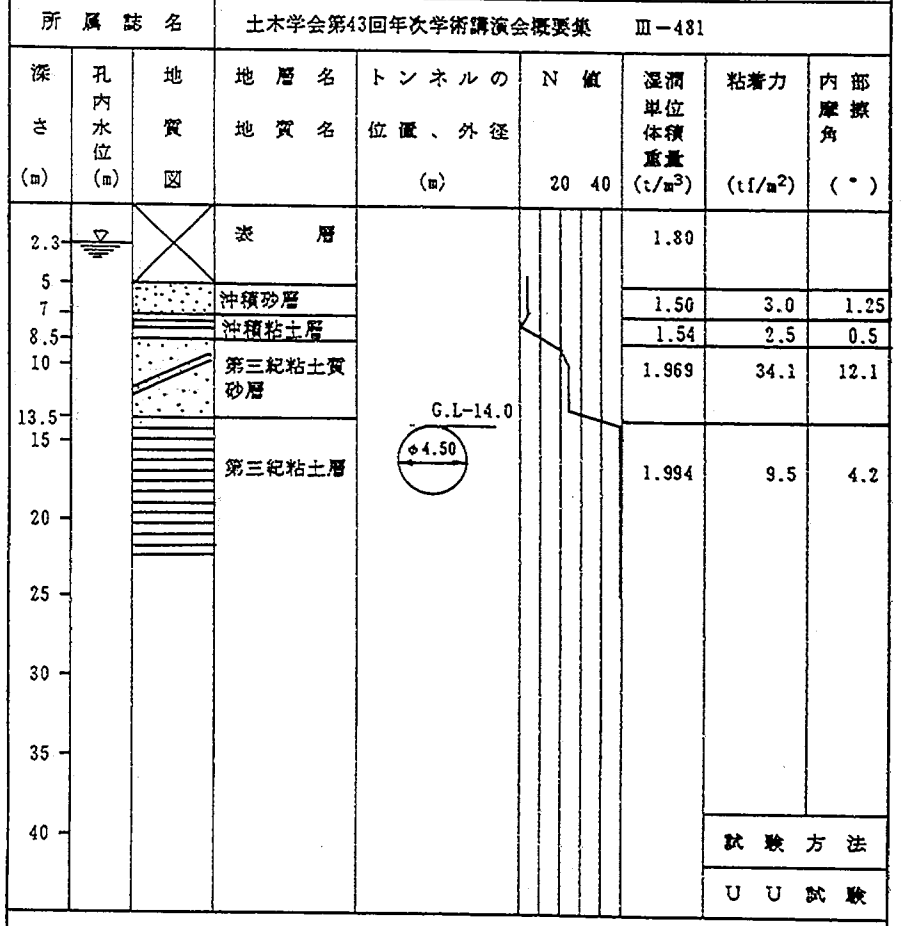


備考 鉄道（東北新幹線）、手堀り式シールド、圧気工法、パイロットトンネル（φ3.55m）を作業坑とした薬液注入工法を使用

○東京都総合地盤図付近ボーリング試験値 △東京都総合地盤図の平均値あるいは設計値

表－5.3(16) 計測地質断面の概要

整理番号	16	地質名、NO	第三紀粘性土、NO、①
表題	シールドトンネルに作用する土圧の計測について A 工 区		
著者名	西野 健三、滝 英治 (中部電力) 斉藤 正幸、加藤 敏吉 (日本シールドエンジニアリング)		
所属誌名	土木学会第43回年次学術講演会概要集 Ⅲ－481		



備考 洞道、泥水加圧式シールド、愛知県知多市

○東京都総合地盤図付近ボーリング試験値 △東京都総合地盤図の平均値あるいは設計値

表－5.4 シールドトンネル鉛直荷重一覧表（沖積層粘性土）

○東京都総合地盤図の付近ボーリング試験値　△設計値

No.	文献	セグメントの外径 D(m)	土被り H(m)	土被り比 H／D	地質	土の性質 N値	土の性質 湿潤単位重量 (t/m³)	土の性質 内部摩擦角 (°)	土の性質 粘着力 (t/m²)	① 地下水位地表より(m)	② ①より求めた水圧 (tf/m²)	鉛直荷重実測値 (tf/m²) ③ 鉛直土圧	鉛直荷重実測値 (tf/m²) ④ 間隙水圧	鉛直荷重実測値 (tf/m²) ⑤ 鉛直荷重	鉛直荷重計算値 全土被り土圧計算値 (tf/m²) ⑥ 鉛直土圧	鉛直荷重計算値 全土被り土圧計算値 (tf/m²) ④ 間隙水圧	鉛直荷重計算値 全土被り土圧計算値 (tf/m²) ⑦ 鉛直荷重	鉛直荷重計算値 緩み土圧計算値 (tf/m²) 土水分離 ⑧ 鉛直土圧	鉛直荷重計算値 緩み土圧計算値 (tf/m²) 土水分離 ④ 間隙水圧	鉛直荷重計算値 緩み土圧計算値 (tf/m²) 土水分離 ⑨ 鉛直荷重	⑧ 鉛直土圧比 ③／⑥	⑨ 鉛直荷重比 ⑤／⑦	緩み高さ h(m) ⑧の h_1	緩み高さ h(m) ⑨の h_2	⑩ 鉛直土圧緩み高さ比 h_1／D	⑪ 鉛直荷重緩み高さ比 h_2／D	備考
①	大口径ガス管下でのシールド工事 横浜市市場末広町幹線下水道	5.70	14.5	2.54	沖積層粘性土	3	1.67	0.0	5.70	-1.9	12.6	10.2	14.3	24.5	13.25	14.30	27.55	0.00	14.30	14.30	0.77	0.89	11.7	13.0	2.04	2.28	下水道、泥水式、トンネルと地下（第14巻11号）
②	近接並列シールドで土被りの浅い軟弱地盤を掘進 京葉都市線東越中島トンネル	7.20	11.8	1.64	沖積層粘土	0	1.60	5.0	3.60	-2.0	9.8	8.8	10.2	19.0	9.52	10.20	19.72	1.77	10.20	11.97	0.93	0.96	11.4	11.8	1.58	1.65	鉄道、土圧式、トンネルと地下（第20巻2号）
③	シールド現場で行った計測例	5.40	5.3	0.98	沖積層シルト質粘土	2	1.48	5.0	2.60	-1.0	4.3	2.0	5.3	7.3	2.52	5.30	7.82	0.29	5.30	5.59	0.79	0.93	4.20	4.95	0.78	0.92	下水道、ブラインドトンネルと地下（第13巻1号）
④	土圧式シールドの掘進に伴う軟弱地盤の挙動	6.80	12.0	1.76	沖積層粘性土	1	1.59	2.0	4.00	-1.8	10.2	5.5	10.2	15.7	8.80	10.20	19.00	1.06	10.20	11.26	0.63	0.83	9.56	9.97	1.41	1.47	地下鉄、土圧式、大阪市、調査研究年報－1983
⑤	上・下シールド工事における地盤挙動と弾塑性解析	3.80	14.0	3.68	沖積層粘性土	1	1.65	29.0	△2.35	-2.0	12.0	8.0	13.0	21.0	7.00	13.00	20.00	0.00	13.00	13.00	1.14	1.05	14.0	13.6	3.68	3.57	泥水式、横浜市、第18回土質工学研究発表会、S15
⑥	軟弱地盤中のシールドトンネルの現場計測	7.10	13.0	1.83	沖積層粘性土	3	1.69	24.0	0.00	-0.9	12.1	7.8	10.2	18.0	12.60	10.20	22.80	5.95	10.20	16.15	0.62	0.79	9.76	10.0	1.37	1.41	鉄道（京葉都市線）、泥水式、土木研究所資料、第2839号
⑦	掘進直後のシールドセグメントに作用する土圧・水圧 断面（1）	3.55	8.4	2.37	沖積層粘性土	5	1.81	25.0	7.70	-1.6	6.8	3.1	6.0	9.1	9.13	6.00	15.13	0.00	6.00	6.00	0.34	0.60	3.80	5.00	1.07	1.41	下水道、泥水式、江戸川区大島、土木学会43回年次学術講演会概要集、Ⅲ-484
⑧	断面（2）	3.55	8.4	2.37	沖積層粘性土	5	1.81	25.0	7.70	-1.6	6.8	5.7	6.3	12.0	8.83	6.30	15.13	0.00	6.30	6.30	0.65	0.79	6.80	6.60	1.92	1.86	
⑨	東南幹線シールド	5.00	29.3	5.86	沖積層シルト	1	1.60	0.0	6.90	-0.7	28.6	1.5	27.8	29.3	19.08	27.80	46.88	0.00	27.80	27.80	0.08	0.63	2.50	18.3	0.50	3.66	本資料の2章参照
⑩	八潮シールド	2.95	27.0	9.15	沖積層シルト	－	1.58	1.8	6.00	-0.7	26.3	－	25.3	－	－	25.3	－	－	25.3	－	－	－	－	－	－	－	本資料の4章参照

表－5.5 シールドトンネル鉛直荷重一覧表（沖積層砂質土）

○東京都総合地盤図の付近ボーリング試験値　△設計値

No.	文献	セグメントの外径 D(m)	土被り H(m)	土被り比 H／D	地質	土の性質 N値	土の性質 湿潤単位重量 (t/m³)	土の性質 内部摩擦角 (°)	土の性質 粘着力 (t/m²)	① 地下水位地表より(m)	② ①より求めた水圧 (tf/m²)	鉛直荷重実測値 (tf/m²) ③ 鉛直土圧	鉛直荷重実測値 (tf/m²) ④ 間隙水圧	鉛直荷重実測値 (tf/m²) ⑤ 鉛直荷重	鉛直荷重計算値 全土被り土圧計算値 (tf/m²) ⑥ 鉛直土圧	鉛直荷重計算値 全土被り土圧計算値 (tf/m²) ④ 間隙水圧	鉛直荷重計算値 全土被り土圧計算値 (tf/m²) ⑦ 鉛直荷重	鉛直荷重計算値 緩み土圧計算値 (tf/m²) 土水分離 ⑧ 鉛直土圧	鉛直荷重計算値 緩み土圧計算値 (tf/m²) 土水分離 ④ 間隙水圧	鉛直荷重計算値 緩み土圧計算値 (tf/m²) 土水分離 ⑨ 鉛直荷重	⑧ 鉛直土圧比 ③／⑥	⑨ 鉛直荷重比 ⑤／⑦	緩み高さ h(m) ⑧の h_1	緩み高さ h(m) ⑨の h_2	⑩ 鉛直土圧緩み高さ比 h_1／D	⑪ 鉛直荷重緩み高さ比 h_2／D	備考
	シールドトンネルに作用する土圧の計測結果とその考察																										港水路、泥水式、霞ヶ浦、土木学会第46会年次学術講演会、Ⅲ－69
⑫	A断面	5.10	17.0	3.33	沖積層砂層	30	△1.90	△25.0	△0.00	-0.5	16.5	4.0	16.5	20.5	15.80	16.50	32.30	7.34	16.50	23.84	0.25	0.63	4.4	10.8	1.60	2.12	
⑬	B断面	5.10	16.0	3.14	沖積層砂層	30	△1.90	△38.0	△0.00	-0.4	15.6	3.1	15.5	18.6	13.50	15.50	29.00	4.48	15.50	19.98	0.23	0.64	3.4	9.8	0.97	1.92	

表－5.6 シールドトンネル鉛直荷重一覧表（洪積層砂質土）

○東京都総合地盤図の付近ボーリング試験値　△設計値

No.	文献	セグメント外径 D(m)	土被り H(m)	土被り比 H／D	地質	土の性質 N値	土の性質 湿潤単位重量 (t/m³)	土の性質 内部摩擦角 (°)	土の性質 粘着力 (t/m²)	① 地下水位地表より(m)	② ①より求めた水圧 (tf/m²)	鉛直荷重実測値 (tf/m²) ③ 鉛直土圧	鉛直荷重実測値 ④ 間隙水圧	鉛直荷重実測値 ⑤ 鉛直荷重	鉛直荷重計算値 全土被り土圧計算値 (tf/m²) ⑥ 鉛直土圧	鉛直荷重計算値 全土被り土圧計算値 ④ 間隙水圧	鉛直荷重計算値 全土被り土圧計算値 ⑦ 鉛直荷重	鉛直荷重計算値 緩み土圧計算値 (tf/m²) 土水分離 ⑧ 鉛直土圧	鉛直荷重計算値 緩み土圧計算値 土水分離 ④ 間隙水圧	鉛直荷重計算値 緩み土圧計算値 土水分離 ⑨ 鉛直荷重	⑩ 鉛直土圧比 ③／⑥	⑪ 鉛直荷重比 ⑤／⑦	緩み高さ h(m) ③の h_1	緩み高さ h(m) ⑤の h_2	⑫ 鉛直土圧緩み高さ比 h_1／D	⑬ 鉛直荷重緩み高さ比 h_2／D	備考
⑪	鉄道シールドトンネルにおけるコンクリートセグメントの設計施工に関する研究 柳橋トンネル	7.06	19.7	2.79	洪積層砂質土	40	○1.97	○34.3	○17.1	－	－	8.6	5.4	14.0	42.60	5.40	48.00	※15.80	5.40	21.20	0.20	0.29	－	－	－	－	鉄道技術研究報告（第934号）鉄道、機械堀、圧気工法、上載荷重有り
⑫	有楽町トンネル	7.06	30.0	4.25	洪積層砂質土	50	○1.87	○38.3	○22.5	－	－	－	－	14.0	－	－	※65.00	－	－	20.00	－	0.22	－	－	－	－	鉄道、機械堀、圧気工法
⑬	渋谷におけるスチールセグメントの挙動	4.50	37.8	8.40	洪積層砂層	50	1.97	39.0	0.40	-1.0	36.8	0.0	22.0	22.0	47.64	22.00	69.64	※3.13	22.00	25.13	0.00	0.32	0.0	11.2	0.00	2.48	とう道、泥水式、中央区銀座、トンネルと地下（第22巻5号）
⑭	シールドトンネルに作用する土圧の計測について B工区	4.50	12.5	2.78	第四紀砂質土	10	1.54	0.5	2.50	-5.3	7.2	1.2	8.4	9.6	12.93	8.40	21.33	0.95	8.40	9.35	0.09	0.45	2.22	5.98	0.49	1.33	とう道、泥水式、名古屋、土木学会第43回年次学術講演会概要集、Ⅲ－481
⑮	第2上野トンネルにおける土圧および鉄筋応力度の測定結果	12.66	19.0	1.50	洪積層砂質土	50	1.84	19.0	9.50	-2.0	17.0	4.2	11.0	15.2	24.20	11.00	35.20	※4.85	11.00	15.90	0.17	0.43	4.90	8.21	0.39	0.65	鉄道（東北新幹線）、手掘り式、圧気工法式、土木学会第40回年次学術講演会概要集、Ⅲ-179

※は文献から引用

表－5.7 シールドトンネル鉛直荷重一覧表（第三紀粘性土）

○東京都総合地盤図の付近ボーリング試験値　△設計値

No.	文献	セグメント外径 D(m)	土被り H(m)	土被り比 H／D	地質	土の性質 N値	土の性質 湿潤単位重量 (t/m³)	土の性質 内部摩擦角 (°)	土の性質 粘着力 (t/m²)	① 地下水位地表より(m)	② ①より求めた水圧 (tf/m²)	鉛直荷重実測値 (tf/m²) ③ 鉛直土圧	鉛直荷重実測値 ④ 間隙水圧	鉛直荷重実測値 ⑤ 鉛直荷重	鉛直荷重計算値 全土被り土圧計算値 (tf/m²) ⑥ 鉛直土圧	鉛直荷重計算値 全土被り土圧計算値 ④ 間隙水圧	鉛直荷重計算値 全土被り土圧計算値 ⑦ 鉛直荷重	鉛直荷重計算値 緩み土圧計算値 (tf/m²) 土水分離 ⑧ 鉛直土圧	鉛直荷重計算値 緩み土圧計算値 土水分離 ④ 間隙水圧	鉛直荷重計算値 緩み土圧計算値 土水分離 ⑨ 鉛直荷重	⑩ 鉛直土圧比 ③／⑥	⑪ 鉛直荷重比 ⑤／⑦	緩み高さ h(m) ③の h_1	緩み高さ h(m) ⑤の h_2	⑫ 鉛直土圧緩み高さ比 h_1／D	⑬ 鉛直荷重緩み高さ比 h_2／D	備考
⑯	シールドトンネルに作用する土圧の計測について A工区	4.50	14.0	3.11	第三紀粘性土	25	1.97	12.1	34.10	-2.3	11.7	0.0	8.0	8.0	16.60	8.00	24.62	0.00	8.00	8.00	0.00	0.32	0.0	4.1	0.00	0.91	とう道、泥水式、名古屋、土木学会第43回年次学術講演会概要集、Ⅲ－481

表－５．８ 表の説明一覧

項目	内容
NO.	表－５．１のNO.欄の番号に対応。
文献	文献の論文名
地質名	表－５．３(1)～(16)の土質柱状図から判断して土被り部分の平均的な地質
土の性質	Ｎ値は表－５．３に示した鉛直荷重（土水圧）計測地点の土質柱状図より土被り部分の平均的な値。湿潤単位重量、内部摩擦角、粘着力は計測地点であるトンネル天端付近の土質と同じ性質であると思われる土（同じ現場で採取された土）の土質試験結果を示す。
地下水位	表－５．３(1)～(16)に示した土質柱状図より求めた。
鉛直荷重（土水圧）実測値	現場で計測された土圧計の値が表の⑤鉛直荷重（土水圧）（Pe_1+Pw_1）に対応し、水圧計の値が表の④間隙水圧（Pw_1）に対応する。そして、その鉛直荷重（土水圧）から水圧計の値を差し引いた値が表の③ 鉛直土圧（有効土圧）（Pe_1）である。
全土被り土圧計算値	表の⑦鉛直荷重（土水圧）（Pe_1+Pw_1）の値は表－５．３に示した各地層の湿潤単位体積重量にその地層厚を乗じた値を土被りの範囲で合計した値である。間隙水圧の値は④の実測値の値を採用した。これは、土質柱状図の地下水位からトンネルに作用する間隙水圧を求めることは土被り部分に不透水層存在したりあるいは地下水位に変化があった場合を懸念したからである。表の⑦鉛直荷重（土水圧）（Pe_1+Pw_1）から④間隙水圧の値を差し引いた値が⑥鉛直土圧（有効土圧）（Pe_1）の値である。
緩み土圧計算値(土水分離)	表の⑧鉛直土圧（有効土圧）（Pe_1）は、テルツァーギ の緩み土圧式に表－５．４～表－５．７の土の性質の値を代入して求た。ただし、トンネルの位置が地下水位以下である場合には、土の単位体積重量＝湿潤単位重量－１．０ の値を採用した。 ⑨鉛直荷重（土水圧）（Pe_1+Pw_1）は、⑧鉛直土圧（有効土圧）（Pe_1）に④間隙水圧（Pw_1 ）を加えた値である。
鉛直土圧比	表の⑩鉛直土圧比は③鉛直土圧（有効土圧）（Pe_1）の実測値を⑥全土被り土圧計算値の鉛直土圧（有効土圧）で除した値である。
鉛直荷重比	表の⑪鉛直荷重比は⑤鉛直荷重（土水圧）（Pe_1+Pw_1）の実測値を⑦全土被り土水圧計算値の鉛直荷重（土水圧）で除した値である。
緩み高さ	h_1（ 鉛直土圧緩み高さ）は以下のようにして求めた。ある地層の単位面積当たりの重量ｐは $p=\rho \times h$ ・・・(5.1) と表せる。そして以下の式のように③鉛直土圧（Pe_1）の実測値Ｐがトンネルの天端から地表面に向かってｐを合計した値に等しくなるようにした場合のΣｈを鉛直土圧緩み高さh_1とした。 $P=\Sigma p$ ・・・(5.2) $h_1=\Sigma h$ ・・・(5.3) （但し、ρ ： 土の水中単位体積重量、ｈ：地層の厚さ） h_3 は鉛直荷重鉛直緩み高さであり求め方はh_1 の場合と同じであるが、対象となる地層が地下水位以上であれば、ρ が土の水中単位体積重量、地下水位以下であれば、土の湿潤単位体積重量を採用する。
鉛直土圧緩み高さ比	表の⑫鉛直土圧緩み高さ比 h_1は鉛直土圧（有効土圧）緩み高さをトンネルのセグメント外径で除した値。
鉛直荷重緩み高さ比	表の⑬鉛直荷重緩み高さ比 h_3は鉛直荷重（土水圧）緩み高さをトンネルのセグメント外径で除した値。

5．2．2鉛直荷重（土水圧）の実測値と全土被り土水圧計算値との関係

シールドトンネルに作用する鉛直荷重（土水圧）（Pe_1+Pw_1）の実測値と全土被り土水圧計算値の関係を図－5．1に示す。それぞれの値は、表－5．4から表－5．7の⑤と⑦の欄に示す値を用いた。

まず、沖積粘性土においては、本調査対象の地盤のN値が0から5の軟弱な粘性土であり、実測値と計算値がほぼ同程度の値であることが分かる。また、原点を通る一次回帰式で近似した場合、相関係数は0.85と良い相関を得た。沖積砂質土は、N値が30の中位の土であり実測値は計算値の約6割であった。

洪積砂質土においては、N値が10から50以上であり、計算値に対し実測値が小さいことがわかる。

5．2．3鉛直土圧（有効土圧）の実測値と全土被り土圧計算値との関係

鉛直荷重（土水圧）（Pe_1+Pw_1）から間隙水圧（Pw_1）を差し引いた鉛直土圧（有効土圧）（Pe_1）について、実測値と全土被り土圧（有効土圧）の計算値との関係を示したのが、図－5．2である。それぞれの値は、表－5．4から表－5．7の③と⑥の欄に示す値を用いた。

沖積粘性土については、鉛直荷重（土水圧）の実測値が全土被り土水圧計算値よりも低い事例では、計算値より実測値のほうがさらに小さい値になっていることが分かる。砂質土についても同様に、計算値よりも実測値が小さくなっているのが顕著に現れている。

5．2．4土被り比と鉛直荷重（土水圧）緩み高さとの関係

トンネルに作用している鉛直荷重（土水圧）（Pe_1+Pw_1）の実測値を各計測点断面における地層毎の土の湿潤単位体積重量で除した値を鉛直荷重（土水圧）の緩み高さh_3とし、土被り比（H／D）と鉛直荷重（土水圧）の緩み高さ比（h_3／D）の関係を図－5．3に示す。ただし、土被りをH、セグメント外径をDとする。それぞれの値は、表－5．4から表－5．7の土被り比と⑬の欄に示す値を用いた。

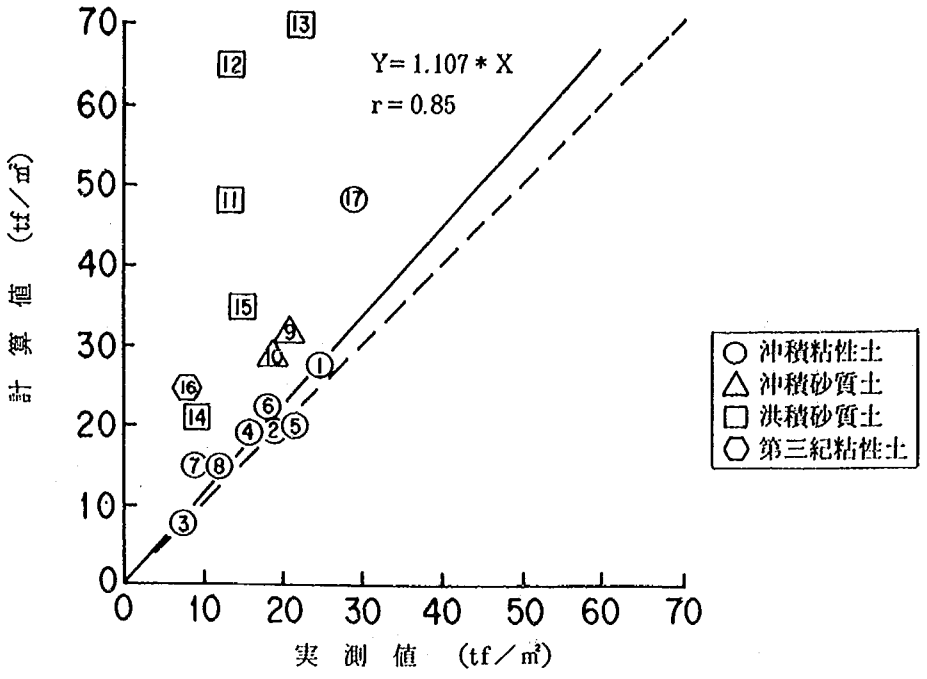
沖積粘性土については、土被り比と鉛直荷重（土水圧）の緩み高さ比がほぼ等しい事例、すなわち、全土被りが緩んでいる事例は全体のほぼ半数であり、残りの半数の事例は土被り比に比べて鉛直荷重緩み高さ比が小さく、全土被りが緩んでいない結果となっている。

砂質土については、土被り比が増加するに伴い、土被り比に対する鉛直荷重の緩み高さの比の割合が小さくなる傾向が見られる。このことは、一般に言われている以下のことが原因であると考えられる。

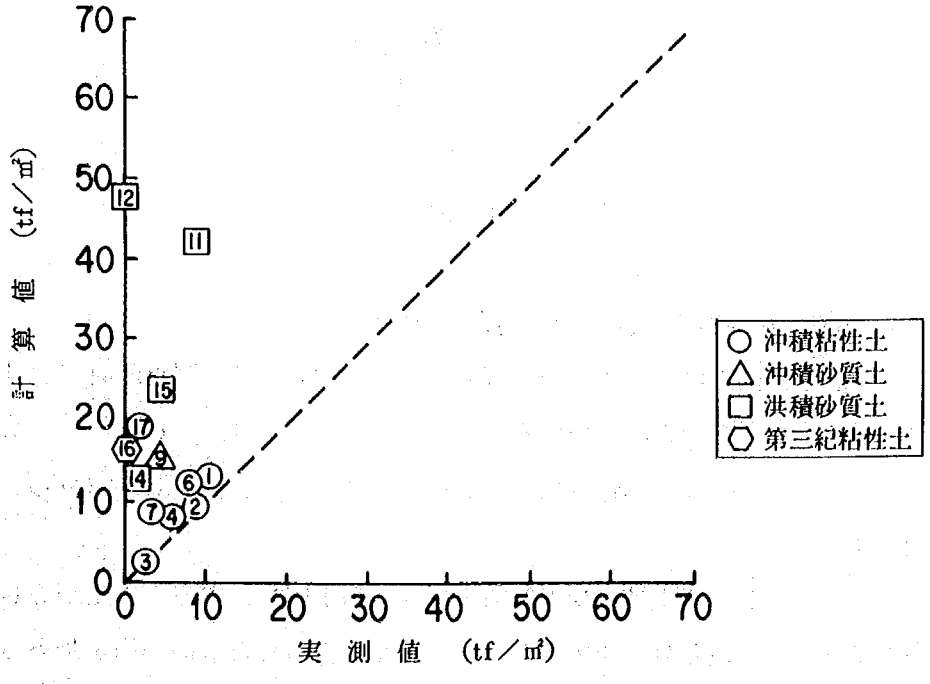
1）土被り比が十分に大きいと、図－5．4(b)のように滑り面の崩落線が、トンネルの上部で閉合した一つの領域を形成する。このために、緩み領域より上部の地山重量は、緩み領域に沿った外側の地山で支持される事になる（地山のアーチ作用）。したがって、土被りが十分にあれば緩み領域より上部の鉛直土圧はトンネルに作用しなくなる。

2）土被りが、ある一定以上深くなると、それ以上深くなっても緩み高さ比は、ほとんど変化しなくなる。

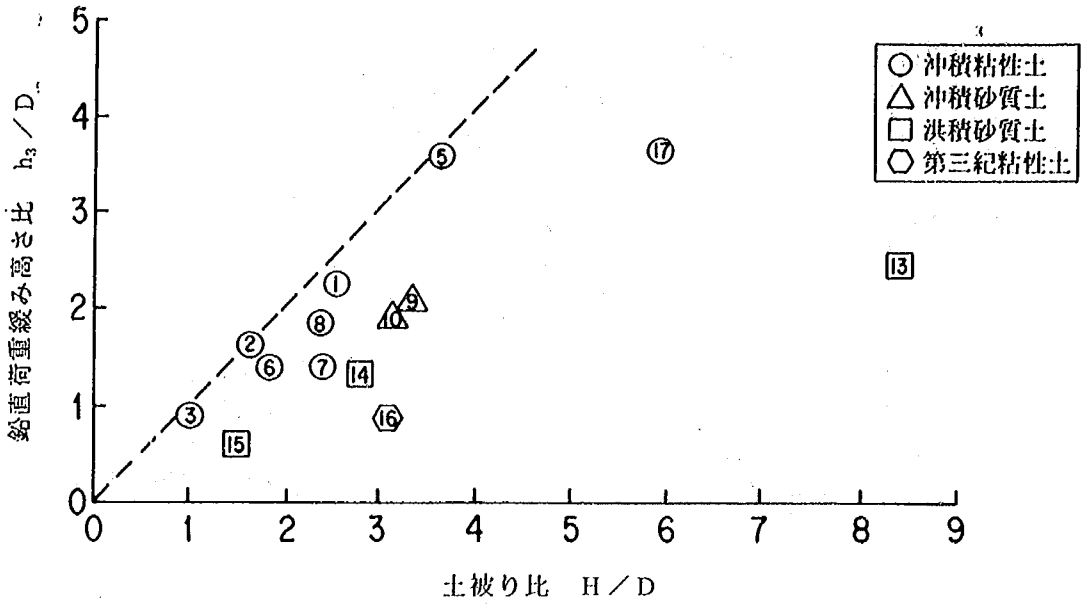
また、一般にシールドトンネルの鉛直荷重の設定の考え方は、砂質土地山の場合、土被り比が1～2以上で図－5．4（b）のように緩み領域が形成されて地山のアーチング効果が期待できることから緩み荷重を採用している。図－5．3の土被り比が 1.5の場合の結果でも土のアーチング効果が発生して同様な傾向を示していることが分かる。



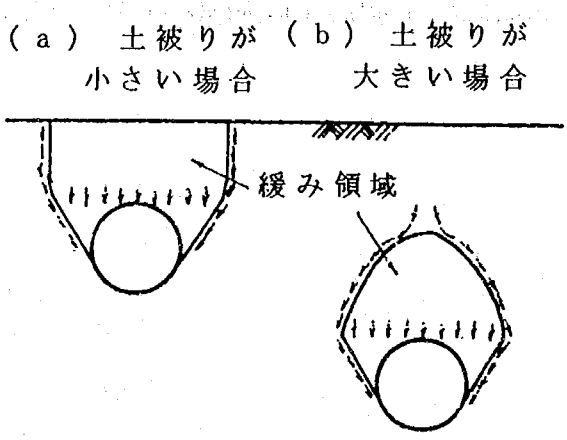
図－5．1 鉛直荷重（土水圧）の実測値と計算値との関係



図－5．2 鉛直土圧（有効土圧）の実測値と計算値との関係



図－5．3 土被り比と鉛直荷重緩み高さ比との関係

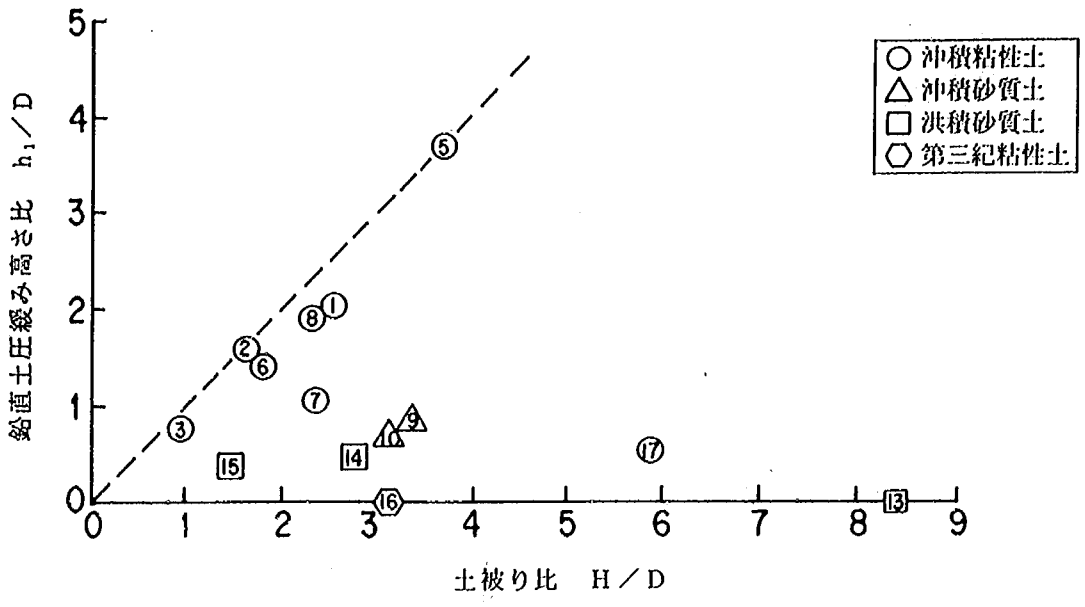


図－5．4 緩み領域図

5．2．5土被り比と鉛直土圧（有効土圧）緩み高さとの関係

トンネルに作用している鉛直土圧（有効土圧）（Pe_1）の実測値を各計測点断面における地層毎の土の水中重量で除した値を鉛直土圧（有効土圧）の緩み高さh_1とし、土被り比（H／D）と鉛直土圧（有効土圧）の緩み高さ比（h_1／D）の関係を図－5．5に示す。それぞれの値は、表－5．4から表－5．7の土被り比と⑫の欄に示す値を用いた。

沖積粘性土について見てみると、土被り比と鉛直土圧（有効土圧）の緩み高さ比が等しい事例、つまりトンネルの土被りが全て緩み、土被り分の土圧が全てトンネルに作用した事例が約4割見られた。他の残りの



図－５．５ 土被り比と鉛直土圧緩み高さ比との関係

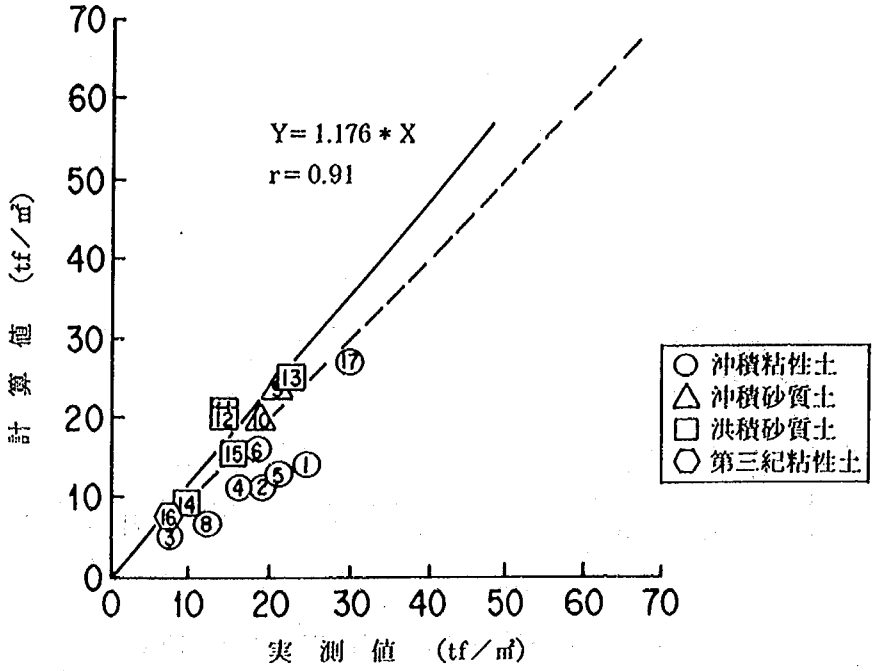
トンネルには、土被りが全て緩んでおらず全土被り土圧が全てトンネルに作用していないことが分かる。

砂質土、第三紀粘性土においては、土被り比に関係なく鉛直土圧（有効土圧）の緩み高さ比は、1.0以下であり土圧がほとんど作用していないことを示している。特に h_1／Dが、ゼロの場合は、地山の緩みがなく、鉛直荷重としては水圧のみ作用していることを表している。また、鉛直土圧の緩み高さ比が、1.0以下である事に注目してみると、有効土圧で考えると鉛直土圧の緩み高さは、土被り比に関係なくトンネルの外径以下になることを表している。

５．２．６鉛直荷重（土水圧）の実測値と緩み土圧（土水分離）計算値との関係

図－５．６は、鉛直荷重（土水圧）（Pe_1+Pw_1）の実測値とテルツァーギの緩み土圧（土水分離）式によって求めた計算値との関係を示す。それぞれの値は、表－５．４から表－５．７の⑤と⑨の欄に示す値を用いた。

沖積粘性土においては、計算値が実測値より小さな値であるが、砂質土及び第三紀粘性土については、実測値と計算値が、ほぼ等しい値であった。また、原点を通る一次回帰式で近似した場合、相関係数が0.91であり、線形の関係があることがいえる。これらのことより、砂質土、第三紀粘性土の場合鉛直荷重の計算法は、テルツァーギの緩み土圧（土水分離）式を採用することが適当であることが確認できた。



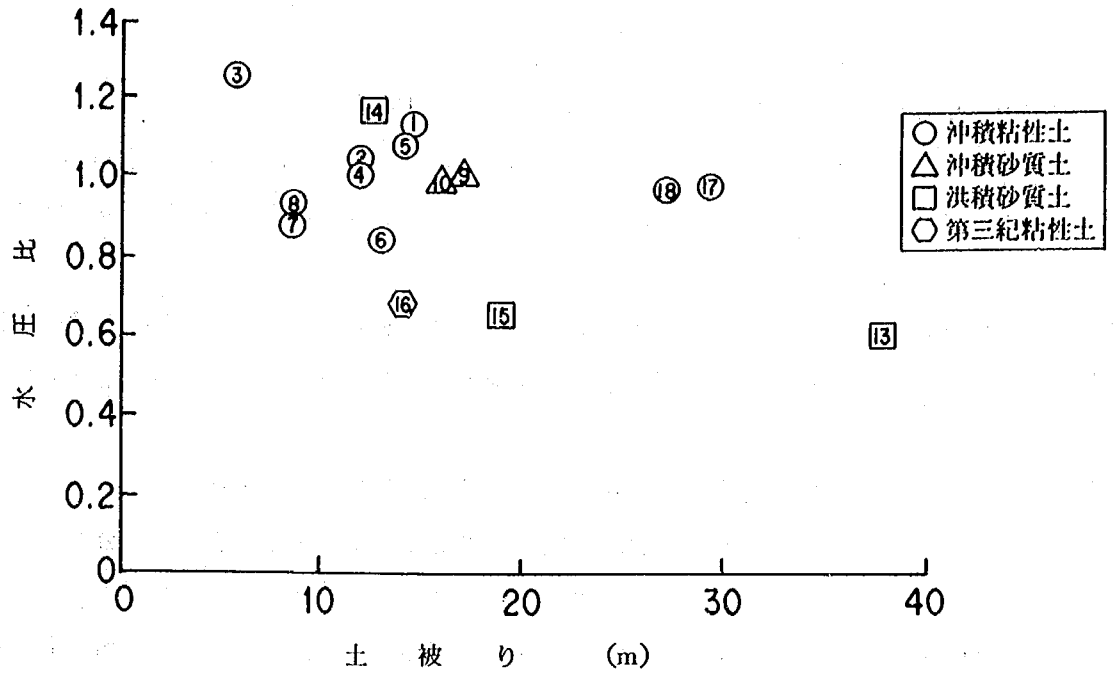
図－５．６ 鉛直荷重（土水圧）の実測値と緩み土圧（土水分離）計算値との関係

５．２．７土被りと水圧との関係

図－５．７は、土被りと水圧比との関係図である。水圧比とは、トンネルの頂部に作用する水圧（P_{w_1}）の実測値と表－５．３(1)～(16)の土質柱状図の地下水位から求めた水圧で除した値である。それぞれの値は、表－５．４から表－５．７に示す。尚、水圧比は、②と④欄の値の比を用いた。

軟弱な沖積粘性土の水圧比の値は、土被りに関係なく0.8から1.25の範囲であった。これは、表－５．３(1)～(16)の土質柱状図を見てもわかるように、土被りの地層が沖積粘性土のみで層を成している場合が多く、トンネルに作用する水圧が静水圧の状態で作用しているからと考えられる。

砂質土、第三期粘性土においては、水圧比は、0.6から1.2の範囲であった。水圧比が約1.0 以上の整理番号⑨、⑩、⑭の土質柱状図（表－５．３(9)、(10)、(14)）を見てみると、土被りの中間に粘土層がなく砂質土層だけであることがわかる。また、水圧比が0.7 以下の整理番号⑬、⑮、⑯ の土質柱状図（表－５．３(13)、(15)、(16)）には、土被りが沖積粘性土と砂質土の互層になっているのが見られる。この沖積粘性土が不透水層となりトンネルへの水圧を減少させていると考えられる。水圧比が1.0 を越える整理番号⑭においては被圧地下水の影響によることがトンネルの掘削前のボーリング調査により確認されている。



図－５．７ 土被りと水圧比との関係

５．３ まとめ

本調査は、シールドトンネルの作用荷重の評価を目的として、現場計測、文献調査によりシールドトンネルに作用する鉛直土圧・水圧の研究を行った。今回の調査では、土木研究所で実施した２件の現場計測結果及び過去１８年間に発表されたシールドトンネルに作用する荷重の現場計測結果について言及している１２編の文献を基に、土被り 5.3mから37.8m、トンネル外径 2.95mから 12.66mの１８件の作用荷重の実測値を整理し検討を行った結果以下のことが分かった。

本調査により得られた主な結論と課題は以下の通りである。

①軟弱な沖積粘性土（N値５以下）のシールドトンネルの天端に作用する鉛直荷重（土水圧）の大きさは、全土被り土水圧の８割以上が作用したデータが大半を占めたが、土被りが全て緩まない事例もあった。

②砂質土のトンネルにおける鉛直土圧（有効土圧）緩み高さは、土被り比に依存せずトンネルの外径以下になる。

③砂質土と第三紀粘性土は、鉛直荷重（土水圧）の実測値とテルツァーギの緩み土圧式（土水分離）によって求めた計算値がほぼ等しいことが確認できた。

④トンネルに作用する水圧は、土被りの地質が一様である場合、静水圧にほぼ等しく、砂質土と粘性土の互層の場合、不透水層の影響により、被圧地下水が作用する場合がある。

第６章　まとめ

１）粘性土地盤中の単設シールドトンネルの作用土圧に関する現場計測

粘性土地盤中の単設シールドトンネル（土被り約２９ｍ、トンネル直径５．０ｍ）に作用する荷重について、実際のシールドトンネルでセグメントに土圧計、水圧計、円周方向の鉄筋計を設置して現場計測を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

①土圧計は施工時の荷重として裏込め注入による圧力によって当初急激に増加し、その後徐々に低下してある一定した値を示す傾向が分かった。土圧計により計測された天端の土圧は全土被り土圧の約６割であった。

②土圧計がほぼ一定値となるまでの時間は、約６～１２ヶ月程度かかることが分かった。

③水圧計は、ほぼ土圧計と同様な傾向を示すが、安定するまでには短時間であることが分かった。また、水圧はほぼ周辺の地盤調査に基づく地下水位から求められる静水圧に近いことが分かった。

④鉄筋計は、経時的な変化は土圧計に比べて緩やかではあるが徐々に変動し、ほぼ一定値と考えられる値を示すまでに土被りが深い場合で約２４ヶ月程度時間を要すことが分かった。土圧計、鉄筋計の経時的な変動は一定値と考えられるまでの時間は異なるが、長時間を要する傾向は一致した結果となった。

⑤現在の一般的な設計の考え方による土水一体による荷重設定で考えた場合、鉄筋計から推定される断面力はトンネルにはほぼ全土被り土圧に近い荷重が作用しているものと考えられる結果となった。

⑥現段階では粘性土地盤中の単設シールドトンネルに作用する土圧を現在の一般的な設計の考え方による土水一体による荷重設定で考えた場合、土被りが比較的大きくなった場合でもトンネルにはほぼ全土被り土圧に近い荷重が作用していると考えるのが妥当である。

２）複円形シールドトンネルの作用土圧に関する現場計測

複円形シールドトンネル（土被り約１６ｍ、トンネル高さ９．１ｍ・横幅１５．６ｍ）に作用する荷重について、実際のシールドトンネルに土圧計、水圧計、円周方向の鉄筋計を設置して現場計測を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

①土圧計はセグメント組立直後の裏込め注入時に圧力が上昇し、その後徐々に低下する傾向は他の現場計測結果と同様であったが、水圧計とほぼ同様な挙動及び値を示す箇所が多く、水圧のみが作用している結果となった。これは計測トンネルの裏込め注入厚が約１４ｃｍと比較的厚いことなどの影響が考えられた。

②水圧計は施工後４ヶ月程度までは周辺の開削工事に伴う影響等により０．４kgf/cm²まで一端下がったが、その後水位が上昇し、最終的には静水圧と考えられる値程度となった。

③鉄筋計は、右側断面と左側断面で異なった値を示し、その大きさは右側で比較的小さい。この原因としては、トンネル右上部の地中構造物に対する防護工として実施された地盤改良が考えられた。

④鉄筋計から求めた断面力は、計測付近の土被り（約１６ｍ）ではないが設計時の資料（土被り１３．８ｍ）との比較によれば、左側断面で約５～７程度、右断面で３～４割程度となったが、今後、詳細な解析など

によって検討する必要があると考えられた。

⑤地盤改良によって右断面、左断面の断面力が異なっていることから、トンネルに作用する荷重、側方土圧係数や地盤反力係数などの係数も変わっていることが明らかなった。地盤改良など防護工を実施する場合の地盤条件を適切に評価することが重要であることが分かった。

3）シールドトンネルの作用水圧に関する現場計測

シールドトンネル（土被り２７m、トンネル直径約３m）に作用する水圧に関する現場計測より以下のことが分かった。

①水圧は、周辺地盤の土質試験結果による地下水位から求められる理論静水圧とほぼ同値であり地盤の透水係数10^{-6}オーダーのシルト層下でのシールドトンネルの水圧は、施工後２週間後でも概ね静水圧に近い値であることが分かった。

4）シールドトンネルの作用土圧に関する実績調査

土木研究所で実施した２件の現場計測結果及び過去１８年間に発表されたシールドトンネルに作用する荷重の現場計測結果について言及している１２編の文献を基に、土被り 5.3mから37.8m、トンネル外径 2.95mから 12.66mの１８件の作用荷重の実測値を整理し検討を行った結果、以下のことが分かった。

①軟弱な沖積粘性土（N値５以下）のシールドトンネルの天端に作用する鉛直荷重（土水圧）の大きさは、全土被り土水圧の８割以上が作用したデータが大半を占めたが、土被りが全て緩まない事例もあった。

②砂質土のトンネルにおける鉛直土圧（有効土圧）緩み高さは、土被り比に依存せずトンネルの外径以下になる。

③砂質土と第３紀粘性土は、鉛直荷重（土水圧）の実測値とテルツァーギの緩み土圧式（土水分離）によって求めた計算値がほぼ等しいことが確認できた。

④トンネルに作用する水圧は、土被りの地質が一様である場合、静水圧にほぼ等しく、砂質土と粘性土の互層の場合、不透水層の影響により、被圧地下水が作用する場合がある。

5）今後の課題

今回の２件のシールドトンネルの現場計測では、天端に作用する土圧計の結果と鉄筋計により推定される土圧が異なった結果となった。今後は、土圧計と鉄筋計の測定値の差異について検討し、明らかにする必要があるとともに、実際の地盤の特性値を確認することが重要である。また、数多くの現場測定を実施しシールドトンネルに作用する土圧を正しく評価していく必要がある。

【参考文献】

1）土木学会：トンネル標準示方書（シールド編）・同解説, 1988.

2）水谷敏則、真下英人、猪熊　明ほか「軟弱地盤中のシールドトンネルの現場計測」、土木研究所資料第２８３９号、１９８９年１２月

3）「東京湾横断道路の構造・施設設計に関する調査研究」、土木研究所報告第１８４号、１９９１年３月

4）村上博智、小泉淳「シールド工事用セグメントのセグメント継手の挙動について」、土木学会論文報告集第２９６号、１９８０年4月

5）小泉淳、村上博智、西野健三「シールドトンネルの軸方向特性のモデル化について」、土木学会論文報告集第３９４号／Ⅲ-９、１９８８年6月

6）中村和宏、阿部　進、野村宣彦「大口径ガス管下でのシールド工事」、トンネルと地下、１９８３年１１月

7）前田誠、竹内雄三ほか「近接並列シールドで土被りの浅い軟弱地盤を掘進」、トンネルと地下、１９８９年2月

8）桑原　力、小林建朗、「シールド現場で行った計測例」、トンネルと地下、１９８２年1月

9）草深守人、吉村和宏、野村宣彦「土圧式シールドの掘進に伴う軟弱地盤の挙動」間組技術年報、１９８３年

10）伊藤雅夫、平野富佐夫、勝又正治「上・下シールドシールド工事における地盤挙動と弾塑性解析」、土質工学研究発表会講演集、１９８３年

11）後藤茂　、西村晋一、本田章浩「掘進直後のシールドセグメントに作用する土圧・水圧」、土木学会年次学術講演集、１９８８年

12）伊藤宏美、斉藤正幸、「シールドトンネルに作用する土圧の計測結果とその考察」、土木学会年次学術講演集、１９９１年

13）横山浩雄「鉄道シールドトンネルにおけるコンクリートセグメントの設計施工に関する研究」、鉄道技術研究報告第９３４号、１９７４年

14）菅野薫、中野雅弘「深部におけるスチールセグメントの挙動」、トンネルと地下、１９９１年5月

15）西野健三、滝　英治、斉藤正幸ほか「シールドトンネルに作用する土圧の計測について」、土木学会年次学術講演集、１９８８年

16）飯田廣臣、清水　満、石井恒夫「第２上野トンネルにおける土圧および鉄筋応力」、土木学会年次学術講演集、１９８５年

謝辞

現場計測にあたり東京都水道局、東京臨海副都心建設（株）、東京都港湾局、埼玉県企業局の各機関に協力頂くとともに、文献調査にあたり水資源開発公団、ＪＲ東海（株）、鉄建公団、ＮＴＴ（株）、中部電力（株）、清水建設（株）の各位から貴重な資料を提供して頂いた。ここに関係各位に深甚の謝意を表します。

巻末資料

１.第２章の計測結果一覧（付表－２.１～２.６）
２.第３章の計測結果一覧（付表－３.１～３.６）
３.第４章の計測結果一覧（付表－４.１）
４.ピース間継手の回転バネ値算定方法（短ボルト式）

付表－２．１ 東南幹線シールドの土圧計測値一覧表（９８１リング）

単位：Kgf/cm2

rec	計測日時	E－1	E－2	E－3	E－4	E－5	E－6	E－7	E－8
1	92/04/10 23:00:00	-0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	92/04/11 02:28:00	5.53	4.16	0.70	0.41	0.36	0.35	1.48	2.82
3	92/04/11 22:00:00	5.00	4.78	5.06	5.06	5.07	5.02	4.91	5.04
4	92/04/12 03:00:00	4.99	4.69	5.16	5.13	4.98	4.97	4.81	4.96
5	92/04/12 22:00:00	4.96	4.36	5.21	4.98	4.77	4.84	4.62	4.88
6	92/04/13 22:00:00	4.87	4.46	4.49	4.89	4.92	4.83	4.58	4.76
7	92/04/14 03:00:00	4.86	4.51	4.57	4.87	4.92	4.83	4.59	4.73
8	92/04/14 10:00:00	4.87	4.38	4.41	4.82	4.86	4.76	4.52	4.74
9	92/04/14 22:00:00	4.82	4.47	4.54	4.86	4.92	4.84	4.53	4.67
10	92/04/15 10:00:00	4.81	4.44	4.47	4.86	4.93	4.81	4.49	4.60
11	92/04/15 22:00:00	4.79	4.34	4.33	4.78	4.88	4.74	4.41	4.58
12	92/04/16 10:00:00	4.82	4.25	4.42	4.72	4.76	4.60	4.34	4.57
13	92/04/16 22:00:00	4.76	4.22	4.38	4.69	4.76	4.57	4.32	4.55
14	92/04/17 10:00:00	4.74	4.18	4.35	4.66	4.75	4.54	4.31	4.53
15	92/04/17 22:00:00	4.72	4.14	4.32	4.63	4.74	4.50	4.29	4.51
16	92/04/18 03:00:00	4.70	4.13	4.31	4.62	4.73	4.49	4.29	4.51
17	92/04/21 09:56:00	4.60	3.92	4.14	4.36	4.64	4.25	4.16	4.40
18	92/04/25 21:56:00	4.50	3.70	3.93	4.07	4.54	3.96	4.00	4.30
19	92/04/30 22:00:00	4.40	3.49	3.75	3.84	4.41	3.68	3.85	4.18
20	92/05/05 22:00:00	4.35	3.43	3.66	3.72	4.36	3.56	3.78	4.14
21	92/05/10 22:00:00	4.30	3.41	3.58	3.62	4.33	3.46	3.72	4.10
22	92/05/25 22:00:00	4.16	3.39	3.46	3.44	4.22	3.28	3.57	3.99
23	92/06/10 22:00:00	4.11	3.33	3.38	3.32	4.14	3.14	3.44	3.96
24	92/07/10 20:00:00	3.95	3.23	3.22	3.20	3.99	3.02	3.23	3.84
25	92/08/10 22:00:00	3.73	3.15	3.04	3.13	3.94	3.01	3.00	3.65
26	92/09/10 22:00:00	3.76	3.26	3.13	3.25	3.87	3.15	3.05	3.72
27	92/10/09 11:00:00	3.77	3.27	3.13	絶縁不良	3.80	3.16	3.07	3.73
28	92/11/10 22:00:00	3.61	3.28	3.13		3.77	3.22	3.10	3.55
29	92/12/10 22:00:00	3.47	3.23	3.08		3.74	3.16	3.03	3.43
30	93/01/10 22:00:00	3.43	3.20	3.06		3.75	3.20	3.06	3.41
31	93/02/10 22:00:00	3.50	3.11	2.97		3.49	3.17	3.10	3.45
32	93/03/24 10:00:00	3.49	3.23	3.10		3.78	3.17	3.13	3.44
33	93/07/31 12:00:00	絶縁不良	3.15	3.11		4.05	3.27	2.98	3.09
34	93/08/15 12:00:00		3.17	3.13		3.94	3.23	3.10	3.43
35	93/08/31 12:00:00		3.26	3.20		4.00	3.24	3.17	3.30
36	93/09/15 12:00:00		3.21	3.10		4.01	3.18	3.22	3.37
37	93/09/30 17:00:00		3.23	3.11		3.88	3.32	3.16	3.31
38	93/10/31 12:00:00		3.20	3.06		3.81	3.27	3.14	3.37
39	93/11/30 12:00:00		3.13	3.14		3.97	3.20	3.09	3.01
40	93/12/30 12:00:00		3.12	3.09		3.93	3.20	3.07	3.02
41	94/01/31 12:00:00		3.11	3.07		3.94	3.19	3.06	3.54
42	94/02/28 12:00:00		3.12	3.09		3.98	3.20	3.07	2.60
43	94/03/23 12:00:00		3.12	3.11		4.00	3.21	3.08	3.88
44	94/09/05 11:00		3.10	2.14		4.16	3.26	3.11	3.19
45	94/10/05 11:00		3.07	2.34		4.25	3.24	3.09	3.22
46	94/11/08 10:30		3.07	2.21		4.27	3.19	3.06	3.22
47	94/12/05 10:30		3.01	2.16		4.25	3.11	2.96	3.21
48	95/01/11 10:00		3.05	2.14		4.33	3.15	3.01	3.27
49	95/02/08 10:30		3.04	2.15		4.33	3.15	2.99	3.22
50	95/02/23 14:00		3.03	2.15		4.28	3.14	2.99	3.19
51	95/07/25 12:00		3.06	2.17		4.33	3.25	3.10	3.15
52	95/08/25 12:00		3.08	2.20		4.31	3.27	3.12	3.05
53	95/09/25 12:00		3.05	2.15		4.41	3.20	3.05	3.15
54	95/10/31 12:00		3.02	2.10		4.41	3.16	3.01	3.20
55	95/12/06 12:00		3.00	2.07		4.51	3.10	2.95	3.27
56	95/12/26 12:00		3.01	2.06		4.54	3.08	2.94	3.31
57	96/01/30 12:00		2.98	2.05		4.49	3.09	2.95	3.23

※E－1は９３年7月３１日の時点で絶縁不良となった。

※E－4は９２年１０月９日の時点で絶縁不良となった。

付表－２．２ 東南幹線シールドの土圧計測値一覧表（１００３リング）

単位：Kgf/cm2

rec	計測日時	E-9	E-10	E-11	E-12	E-13	E-14	E-15	E-16
1	92/04/10 23:00:00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00
2	92/04/11 02:28:00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00
3	92/04/11 22:00:00	9999.00	9999.00	9999.00	計器未設置		9999.00	9999.00	9999.00
4	92/04/12 03:00:00	9999.00	9999.00	9999.00			9999.00	9999.00	9999.00
5	92/04/12 22:00:00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00
6	92/04/13 22:00:00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00
7	92/04/14 03:00:00	0.00	-0.00	-0.00	0.00	-0.00	0.00	0.00	0.00
8	92/04/14 10:00:00	0.97	0.59	0.01	0.08	0.01	0.00	0.25	0.01
9	92/04/14 22:00:00	5.04	5.18	5.03	5.25	5.22	5.08	4.91	4.86
10	92/04/15 10:00:00	4.55	4.98	5.08	5.30	5.59	4.89	4.78	4.79
11	92/04/15 22:00:00	4.44	4.87	5.04	5.28	5.66	4.85	4.76	4.76
12	92/04/16 10:00:00	4.41	4.75	4.93	5.19	5.63	4.85	4.75	4.70
13	92/04/16 22:00:00	4.31	4.66	4.86	5.17	5.60	4.80	4.71	4.66
14	92/04/17 10:00:00	4.22	4.56	4.77	5.17	5.62	4.76	4.68	4.61
15	92/04/17 22:00:00	4.12	4.46	4.72	5.13	5.61	4.73	4.65	4.57
16	92/04/18 03:00:00	4.09	4.45	4.69	5.17	5.62	4.71	4.64	4.53
17	92/04/21 09:56:00	3.69	4.02	4.31	5.10	5.61	4.53	4.49	4.31
18	92/04/25 21:56:00	3.32	3.60	3.85	5.03	5.57	4.34	4.35	4.06
19	92/04/30 22:00:00	3.03	3.27	3.52	4.96	5.48	4.18	4.23	3.88
20	92/05/05 22:00:00	2.87	3.07	3.32	4.92	5.45	4.10	4.19	3.80
21	92/05/10 22:00:00	2.81	2.95	3.16	4.82	5.41	4.01	4.15	3.75
22	92/05/25 22:00:00	2.81	2.86	3.02	4.54	5.23	3.86	4.05	3.67
23	92/06/10 22:00:00	2.87	2.89	3.04	4.39	5.13	3.80	3.99	3.67
24	92/07/10 20:00:00	2.82	2.84	3.00	4.14	4.99	3.66	3.81	3.59
25	92/08/10 22:00:00	2.70	2.73	2.88	3.78	4.92	3.45	3.62	3.39
26	92/09/10 22:00:00	2.81	2.85	3.02	3.74	4.82	3.47	3.69	3.51
27	92/10/09 11:00:00	2.80	2.86	3.03	3.78	4.76	3.50	3.79	3.58
28	92/11/10 22:00:00	2.85	2.87	3.05	3.63	4.72	3.45	3.81	3.52
29	92/12/10 22:00:00	2.80	2.82	3.00	3.54	4.73	3.34	3.69	3.43
30	93/01/10 22:00:00	2.81	2.88	3.04	3.52	4.76	3.30	3.62	3.37
31	93/02/10 22:00:00	2.86	3.17	3.24	3.94	5.24	3.66	3.95	3.70
32	93/03/24 10:00:00	2.88	2.75	2.84	3.50	4.69	3.01	3.30	3.20
33	93/07/31 12:00:00	3.00	2.84	3.05	3.58	5.09	3.31	3.16	3.35
34	93/08/15 12:00:00	2.88	2.89	3.07	3.53	5.04	3.23	3.23	3.34
35	93/08/31 12:00:00	2.87	2.91	3.05	3.51	5.03	3.24	3.32	3.42
36	93/09/15 12:00:00	2.94	2.87	3.00	3.67	5.18	3.32	3.12	3.37
37	93/09/30 17:00:00	2.95	2.82	3.04	3.54	5.05	3.38	3.21	3.44
38	93/10/31 12:00:00	3.07	2.80	2.98	3.57	5.21	3.48	3.20	3.45
39	93/11/30 12:00:00	2.84	2.89	3.03	3.49	5.01	3.21	3.15	3.34
40	93/12/30 12:00:00	2.85	2.86	3.04	3.45	4.99	3.19	3.12	3.34
41	94/01/31 12:00:00	2.83	2.86	3.01	3.45	4.97	3.18	3.08	3.35
42	94/02/28 12:00:00	2.81	2.83	3.01	3.44	4.96	3.19	3.07	3.35
43	94/03/23 12:00:00	2.83	2.84	3.00	3.43	4.96	3.17	3.10	3.36
44	94/09/05 11:00	2.84	2.87	3.04	3.42	4.97	3.19	3.00	3.29
45	94/10/05 11:00	2.85	2.86	3.05	3.48	5.06	3.19	3.02	3.33
46	94/11/08 10:30	2.82	2.85	2.98	3.46	5.02	3.16	3.02	3.32
47	94/12/05 10:30	2.75	2.80	2.91	3.46	5.02	3.08	2.98	3.30
48	95/01/11 10:00	2.76	2.85	2.92	3.52	5.11	3.10	3.02	3.34
49	95/02/08 10:30	2.75	2.85	2.92	3.53	5.11	3.09	3.01	3.29
50	95/02/23 14:00	2.75	2.80	2.91	3.46	4.99	3.07	2.93	3.21
51	95/07/25 12:00	2.84	2.86	3.02	3.38	5.00	3.18	2.99	3.21
52	95/08/25 12:00	2.87	3.04	3.06	3.45	4.94	3.19	3.01	3.18
53	95/09/25 12:00	2.77	2.69	2.97	3.50	5.00	3.13	2.96	3.19
54	95/10/31 12:00	2.77	2.90	2.94	3.47	4.93	3.09	2.93	3.15
55	95/12/06 12:00	2.71	2.67	2.87	3.53	5.05	3.03	2.91	3.21
56	95/12/26 12:00	2.72	2.92	2.87	3.57	5.10	3.02	2.91	3.21
57	96/01/30 12:00	2.70	2.64	2.86	3.51	5.02	3.02	2.91	3.16

付表－2．3 東南幹線シールドの水圧計測値一覧表

単位：Kgf/cm2

rec	計測日時	W－1	W－2	W－3	W－4
1	92/04/10 23:00:00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00
2	92/04/11 02:28:00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00
3	92/04/11 22:00:00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00
4	92/04/12 03:00:00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00
5	92/04/12 22:00:00	9999.00	計器未設置		9999.00
6	92/04/13 22:00:00	9999.00			9999.00
7	92/04/14 03:00:00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00
8	92/04/14 10:00:00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00
9	92/04/14 22:00:00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00
10	92/04/15 10:00:00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00
11	92/04/15 22:00:00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00
12	92/04/16 10:00:00	4.05	4.20	4.36	4.13
13	92/04/16 22:00:00	4.01	4.17	4.34	4.09
14	92/04/17 10:00:00	3.96	4.12	4.29	4.05
15	92/04/17 22:00:00	3.92	4.07	4.24	4.00
16	92/04/18 03:00:00	3.90	4.06	4.23	3.99
17	92/04/21 09:56:00	3.63	3.80	3.97	3.74
18	92/04/25 21:56:00	3.35	3.53	3.69	3.47
19	92/04/30 22:00:00	3.09	3.28	3.44	3.23
20	92/05/05 22:00:00	3.01	3.19	3.40	3.16
21	92/05/10 22:00:00	2.99	3.18	3.38	3.13
22	92/05/25 22:00:00	2.99	3.17	3.38	3.13
23	92/06/10 22:00:00	2.94	3.11	3.23	3.09
24	92/07/10 20:00:00	2.87	3.03	3.15	3.03
25	92/08/10 22:00:00	2.78	3.05	3.17	2.92
26	92/09/10 22:00:00	2.89	3.06	3.30	3.04
27	92/10/09 11:00:00	2.91	3.09	3.31	3.04
28	92/11/10 22:00:00	2.93	3.14	3.34	3.09
29	92/12/10 22:00:00	2.91	3.10	3.28	3.05
30	93/01/10 22:00:00	2.92	3.10	3.30	3.04
31	93/02/10 22:00:00	3.30	3.14	3.37	3.05
32	93/03/24 10:00:00	2.69	3.20	3.31	3.23
33	93/07/31 12:00:00	2.93	3.16	3.27	3.09
34	93/08/15 12:00:00	2.97	3.12	3.31	3.08
35	93/08/31 12:00:00	3.04	3.12	3.28	3.12
36	93/09/15 12:00:00	3.08	3.18	3.35	2.97
37	93/09/30 17:00:00	2.92	3.15	3.35	3.11
38	93/10/31 12:00:00	2.95	3.18	3.27	3.09
39	93/11/30 12:00:00	2.91	3.12	3.34	3.04
40	93/12/30 12:00:00	2.90	3.09	3.28	3.03
41	94/01/31 12:00:00	2.89	3.09	3.31	3.01
42	94/02/28 12:00:00	2.89	3.10	3.30	3.01
43	94/03/23 12:00:00	2.90	3.11	3.33	3.03
44	94/09/05 11:00	2.97	3.14	3.30	3.08
45	94/10/05 11:00	2.93	3.12	3.36	3.05
46	94/11/08 10:30	2.87	3.10	3.31	3.01
47	94/12/05 10:30	2.77	3.01	3.22	2.92
48	95/01/11 10:00	2.81	3.04	3.18	2.95
49	95/02/08 10:30	2.82	3.04	3.26	2.93
50	95/02/23 14:00	2.76	3.00	3.20	2.88
51	95/07/25 12:00	2.95	3.02	3.33	3.05
52	95/08/25 12:00	2.99	3.14	3.32	3.08
53	95/09/25 12:00	2.92	3.08	3.28	3.01
54	95/10/31 12:00	2.89	3.05	3.21	2.97
55	95/12/06 12:00	2.80	3.00	3.18	2.92
56	95/12/26 12:00	2.73	2.96	3.15	2.88
57	96/01/30 12:00	2.71	2.96	3.16	2.86

付表－2．4 東南幹線シールドの円周方向鉄筋計測値一覧表（セグメントの内面側鉄筋）

単位：Kgf/cm2

rec	計測日時	TI-1	TI-2	TI-3	TI-4	TI-5	TI-6	TI-7	TI-8	TI-9	TI-10	TI-11
1	92/04/10 23:00:00	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999
2	92/04/11 02:28:00	1	3	-1	-3	-4	-4	-2	1	1	-1	-1
3	92/04/11 22:00:00	56	-76	-123	-36	12	-259	-344	-64	-56	17	9
4	92/04/12 03:00:00	37	-139	-158	-40	32	-228	-366	-80	-72	0	-9
5	92/04/12 22:00:00	50	-176	-192	-42	52	-196	-395	-120	-69	25	28
6	92/04/13 22:00:00	38	-199	-216	-48	63	-164	-392	-149	-111	15	38
7	92/04/14 03:00:00	32	-206	-218	-44	62	-174	-387	-152	-121	10	35
8	92/04/14 10:00:00	30	-216	-232	-49	72	-157	-402	-161	-127	11	41
9	92/04/14 22:00:00	23	-227	-245	-58	74	-149	-395	-168	-127	12	46
10	92/04/15 10:00:00	15	-243	-255	-63	78	-145	-396	-182	-136	6	42
11	92/04/15 22:00:00	18	-247	-265	-67	92	-124	-405	-206	-151	11	61
12	92/04/16 10:00:00	6	-267	-275	-43	107	-107	-388	-205	-156	18	69
13	92/04/16 22:00:00	18	-264	-279	-40	111	-101	-401	-216	-164	19	86
14	92/04/17 10:00:00	17	-271	-289	-50	111	-92	-382	-221	-166	21	98
15	92/04/17 22:00:00	14	-279	-297	-56	115	-86	-381	-235	-179	18	105
16	92/04/18 03:00:00	14	-279	-297	-51	120	-82	-377	-237	-179	20	108
17	92/04/21 09:56:00	3	-319	-341	-81	125	-30	-389	-296	-223	21	159
18	92/04/25 21:56:00	3	-358	-380	-102	133	21	-405	-348	-261	19	203
19	92/04/30 22:00:00	-17	-400	-425	-132	136	96	-427	-410	-319	21	263
20	92/05/05 22:00:00	-32	-438	-471	-170	157	153	-441	-474	-379	27	316
21	92/05/10 22:00:00	-34	-464	-490	-183	170	176	-436	-501	-409	19	348
22	92/05/25 22:00:00	-56	-527	-531	-235	152	218	-469	-568	-476	-12	377
23	92/06/10 22:00:00	-72	-574	-527	-263	145	235	-486	-608	-515	-36	349
24	92/07/10 20:00:00	-86	-642	-553	-375	115	242	-508	-669	-567	-68	322
25	92/08/10 22:00:00	-107	-695	-523	-322	36	-54	-532	-710	-620	-99	216
26	92/09/10 22:00:00	-100	-697	-496	-323	81	6	-506	-708	-630	-86	204
27	92/10/09 11:00:00	-127	-732	-531	-389	116	62	-490	-775	-691	-85	235
28	92/11/10 22:00:00	絶縁不良	-768	-592	-393	127	105	-511	-845	-750	-83	219
29	92/12/10 22:00:00		-789	-610	-390	138	115	-503	-873	-773	-92	227
30	93/01/10 22:00:00		-809	-610	-391	139	117	-504	-886	-795	-103	210
31	93/02/10 22:00:00		-831	-639	-411	147	136	-486	-896	-812	-123	179
32	93/03/24 10:00:00		-817	-599	-395	168	137	-509	-930	-810	-129	176
33	93/07/31 12:00:00		-881	-662	-442	134	102	-530	-917	-863	-165	96
34	93/08/15 12:00:00		-886	-663	-438	118	112	-535	-931	-860	-169	94
35	93/08/31 12:00:00		-887	-654	-446	119	117	-552	-935	-853	-168	87
36	93/09/15 12:00:00		-888	-669	-433	121	118	-533	-931	-867	-168	79
37	93/09/30 17:00:00		-904	-665	-446	114	116	-533	-924	-857	-171	75
38	93/10/31 12:00:00		-900	-667	-442	113	115	-537	-941	-857	-170	67
39	93/11/30 12:00:00		-947	-686	-437	117	122	-535	-941	-905	-200	78
40	93/12/30 12:00:00		-974	-694	-437	123	122	-531	-959	-913	-208	82
41	94/01/31 12:00:00		-996	-707	-442	124	124	-531	-980	-928	-216	77
42	94/02/28 12:00:00		-1008	-712	-445	130	129	-527	-992	-938	-222	76
43	94/03/23 12:00:00		-1016	-717	-446	136	132	-525	-1002	-946	-225	70
44	94/09/05 11:00		-1083	-756	-492	119	85	-600	-1051	-1004	-256	-27
45	94/10/05 11:00		-1027	-716	-400	268	244	-539	-1060	-1020	-253	58
46	94/11/08 10:30		-1083	-752	-468	198	149	-577	-1069	-1012	-259	-4
47	94/12/05 10:30		-1070	-762	-490	188	137	-588	-1092	-1057	-290	-47
48	95/01/11 10:00		-1057	-709	-446	260	219	-533	-1054	-1006	-241	10
49	95/02/08 10:30		-1047	-713	-452	275	239	-530	-1045	-1002	-241	25
50	95/02/23 14:00		-1067	-722	-472	257	218	-527	-1059	-1018	-255	15
51	95/07/25 12:00		-1116	-739	-487	261	180	-549	-1083	-1037	-280	-54
52	95/08/25 12:00		-1158	-764	-522	194	101	-592	-1093	-1051	-293	-92
53	95/09/25 12:00		-1152	-753	-509	246	125	-583	-1093	-1043	-287	-91
54	95/10/31 12:00		-1160	-749	-496	258	145	-580	-1090	-1043	-285	-89
55	95/12/06 12:00		-1140	-734	-466	311	198	-553	-1075	-1037	-273	-72
56	95/12/26 12:00		-1146	-742	-477	336	230	-543	-1097	-1061	-296	-73
57	96/01/30 12:00		-1140	-732	-460	346	241	-524	-1063	-1043	-262	-54

※ＴＩ－１は９２年１１月１０日の時点で絶縁不良となった。

付表－２．５ 東南幹線シールドの円周方向鉄筋計測値一覧表（セグメントの外面側鉄筋）

単位：Kgf/cm2

rec	計測日時	TO-1	TO-2	TO-3	TO-4	TO-5	TO-6	TO-7	TO-8	TO-9	TO-10	TO-11
1	92/04/10 23:00:00	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999
2	92/04/11 02:28:00	17	0	3	-4	-4	-9	1	0	0	3	3
3	92/04/11 22:00:00	-246	-553	-588	-587	-596	-1144	-674	-424	-436	-454	-454
4	92/04/12 03:00:00	-300	-559	-593	-588	-586	-1124	-649	-414	-434	-464	-470
5	92/04/12 22:00:00	-246	-541	-570	-591	-606	-1148	-637	-396	-429	-491	-503
6	92/04/13 22:00:00	-288	-533	-566	-576	-590	-1143	-626	-362	-408	-498	-523
7	92/04/14 03:00:00	-319	-537	-562	-581	-598	-1146	-635	-365	-411	-507	-533
8	92/04/14 10:00:00	-315	-529	-553	-579	-602	-1152	-624	-358	-407	-509	-539
9	92/04/14 22:00:00	-338	-529	-555	-574	-596	-1156	-632	-348	-401	-510	-542
10	92/04/15 10:00:00	-374	-526	-554	-582	-610	-1167	-640	-346	-399	-517	-551
11	92/04/15 22:00:00	-347	-528	-551	-582	-616	-1176	-637	-340	-396	-527	-567
12	92/04/16 10:00:00	-384	-509	-549	-592	-619	-1174	-634	-333	-386	-526	-572
13	92/04/16 22:00:00	-363	-515	-549	-591	-621	-1181	-632	-329	-384	-530	-582
14	92/04/17 10:00:00	-357	-512	-545	-590	-624	-1190	-641	-314	-371	-539	-590
15	92/04/17 22:00:00	-372	-509	-541	-590	-628	-1197	-643	-309	-367	-543	-598
16	92/04/18 03:00:00	-376	-507	-539	-588	-626	-1196	-641	-304	-364	-543	-599
17	92/04/21 09:56:00	-407	-490	-521	-586	-649	-1239	-645	-279	-346	-564	-643
18	92/04/25 21:56:00	-393	-463	-490	-578	-669	-1274	-641	-245	-319	-580	-681
19	92/04/30 22:00:00	-460	-444	-465	-572	-685	-1311	-639	-218	-297	-595	-718
20	92/05/05 22:00:00	-515	-429	-446	-561	-699	-1337	-639	-198	-280	-606	-745
21	92/05/10 22:00:00	-508	-416	-431	-557	-712	-1351	-643	-179	-265	-612	-766
22	92/05/25 22:00:00	-641	-400	-411	-555	-736	-1398	-659	-160	-251	-628	-811
23	92/06/10 22:00:00	-836	-399	-405	-562	-760	-1432	-681	-155	-251	-648	-855
24	92/07/10 20:00:00	-966	-399	-394	-580	-796	-1481	-717	-147	-251	-671	-910
25	92/08/10 22:00:00	-1176	-423	-413	-616	-862	-1501	-807	-172	-275	-687	-967
26	92/09/10 22:00:00	-1082	-421	-390	-585	-848	-1489	-790	-155	-277	-669	-961
27	92/10/09 11:00:00	-1382	-424	-389	-569	-852	-1506	-797	-151	-284	-681	-984
28	92/11/10 22:00:00	絶縁不良	-399	-385	-564	-875	-1546	-823	-136	-281	-675	-961
29	92/12/10 22:00:00		-374	-374	-561	-885	-1552	-827	-128	-269	-673	-989
30	93/01/10 22:00:00		-371	-345	-562	-888	-1560	-832	-123	-263	-678	-1005
31	93/02/10 22:00:00		-406	-354	-576	-897	-1560	-825	-115	-257	-696	-1039
32	93/03/24 10:00:00		-390	-321	-552	-888	-1582	-858	-115	-247	-710	-1011
33	93/07/31 12:00:00		-481	-349	-578	-908	-1623	-860	-127	-261	-697	-1101
34	93/08/15 12:00:00		-472	-340	-579	-917	-1621	-864	-113	-263	-707	-1099
35	93/08/31 12:00:00		-468	-328	-586	-935	-1625	-869	-115	-255	-701	-1095
36	93/09/15 12:00:00		-478	-342	-565	-911	-1664	-859	-118	-280	-701	-1115
37	93/09/30 17:00:00		-460	-338	-578	-917	-1617	-867	-119	-268	-704	-1099
38	93/10/31 12:00:00		-450	-322	-583	-896	-1627	-867	-119	-264	-713	-1087
39	93/11/30 12:00:00		-476	-340	-584	-925	-1633	-877	-124	-263	-706	-1155
40	93/12/30 12:00:00		-476	-342	-589	-929	-1648	-885	-114	-261	-712	-1169
41	94/01/31 12:00:00		-482	-344	-594	-927	-1657	-898	-115	-261	-714	-1185
42	94/02/28 12:00:00		-486	-340	-596	-937	-1662	-901	-108	-258	-716	-1197
43	94/03/23 12:00:00		-492	-340	-598	-961	-1666	-902	-109	-258	-718	-1206
44	94/09/05 11:00		-557	-349	-628	-985	-1705	-935	-149	-324	-759	-1252
45	94/10/05 11:00		-570	-320	-643	-988	-1696	-925	-109	-291	-758	-1233
46	94/11/08 10:30		-575	-349	-610	-979	-1703	-931	-145	-314	-765	-1268
47	94/12/05 10:30		-579	-348	-621	-982	-1717	-949	-167	-353	-814	-1321
48	95/01/11 10:00		-531	-292	-567	-934	-1658	-884	-122	-284	-758	-1266
49	95/02/08 10:30		-530	-286	-562	-935	-1642	-880	-116	-277	-750	-1265
50	95/02/23 14:00		-533	-309	-569	-949	-1656	-885	-133	-281	-766	-1272
51	95/07/25 12:00		-598	-297	-588	-972	-1654	-907	-123	-333	-759	-1295
52	95/08/25 12:00		-602	-327	-640	-1006	-1694	-937	-153	-352	-768	-1319
53	95/09/25 12:00		-596	-320	-632	-993	-1694	-941	-156	-340	-769	-1320
54	95/10/31 12:00		-590	-320	-631	-980	-1698	-931	-154	-330	-768	-1326
55	95/12/06 12:00		-570	-309	-610	-949	-1676	-906	-147	-313	-765	-1325
56	95/12/26 12:00		-581	-317	-609	-961	-1682	-915	-157	-324	-783	-1350
57	96/01/30 12:00		-553	-289	-592	-926	-1641	-877	-133	-291	-762	-1326

※TO－1は９２年１１月１０日の時点で絶縁不良となった。

付表－2．6 東南幹線シールドの曲げモーメント一覧表

REC	計測日時	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	M-11
1	92/04/10 23:00	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2	92/04/11 02:28	-0.05	0.01	-0.02	0.03	0.00	0.09	-0.04	0.01	0.01	-0.02	-0.02
3	92/04/11 22:00	4.82	9.00	8.91	10.19	10.86	16.95	6.32	6.81	7.17	8.33	8.27
4	92/04/12 03:00	5.71	8.04	8.33	10.18	10.86	17.17	5.41	6.41	6.87	8.37	8.39
5	92/04/12 22:00	4.80	7.00	7.24	10.20	11.38	18.04	4.64	5.29	6.81	9.09	9.33
6	92/04/13 22:00	5.49	6.41	6.72	9.85	11.17	18.51	4.49	4.08	5.70	9.12	9.75
7	92/04/14 03:00	6.02	6.36	6.59	9.98	11.31	18.40	4.75	4.08	5.56	9.23	9.92
8	92/04/14 10:00	5.93	6.01	6.14	9.89	11.44	18.80	4.25	3.78	5.37	9.28	10.07
9	92/04/14 22:00	6.30	5.79	5.95	9.68	11.34	19.00	4.55	3.47	5.25	9.31	10.17
10	92/04/15 10:00	6.88	5.43	5.73	9.74	11.62	19.27	4.67	3.16	5.05	9.37	10.30
11	92/04/15 22:00	6.41	5.39	5.50	9.68	11.82	19.74	4.43	2.57	4.69	9.61	10.73
12	92/04/16 10:00	6.99	4.62	5.24	10.19	11.97	19.94	4.73	2.45	4.40	9.65	10.87
13	92/04/16 22:00	6.71	4.80	5.16	10.22	12.03	20.15	4.43	2.16	4.21	9.74	11.17
14	92/04/17 10:00	6.59	4.61	4.92	10.08	12.10	20.42	4.97	1.79	3.92	9.91	11.39
15	92/04/17 22:00	6.83	4.40	4.69	9.98	12.18	20.62	5.02	1.43	3.61	9.97	11.58
16	92/04/18 03:00	6.91	4.35	4.64	10.03	12.18	20.66	5.06	1.28	3.54	9.97	11.61
17	92/04/21 09:56	7.38	3.27	3.44	9.55	12.63	22.04	4.92	-0.32	2.36	10.37	12.69
18	92/04/25 21:56	7.11	2.02	2.11	9.03	13.03	23.18	4.52	-1.98	1.12	10.63	13.60
19	92/04/30 22:00	8.11	0.83	0.76	8.42	13.36	24.48	4.07	-3.67	-0.41	10.93	14.56
20	92/05/05 22:00	8.93	-0.17	-0.48	7.50	13.73	25.37	3.80	-5.29	-1.90	11.17	15.27
21	92/05/10 22:00	8.79	-0.92	-1.14	7.17	14.03	25.78	3.97	-6.18	-2.76	11.22	15.79
22	92/05/25 22:00	10.91	-2.44	-2.30	6.15	14.38	26.89	3.63	-7.82	-4.30	11.21	16.73
23	92/06/10 22:00	14.25	-3.36	-2.35	5.74	14.77	27.63	3.74	-8.69	-5.07	11.30	17.47
24	92/07/10 20:00	16.43	-4.66	-3.06	3.93	15.25	28.55	4.01	-10.00	-6.06	11.31	18.40
25	92/08/10 22:00	16.62	-5.23	-2.11	5.64	15.88	26.51	5.28	-10.31	-6.61	11.11	18.97
26	92/09/10 22:00	16.62	-5.29	-2.03	5.02	15.98	26.91	5.44	-10.59	-6.77	10.99	18.80
27	92/10/09 11:00	16.62	-5.91	-2.71	3.44	16.28	27.73	5.87	-11.96	-7.79	11.24	19.39
28	92/11/10 22:00	16.62	-7.09	-3.97	3.27	16.78	28.81	5.97	-13.73	-8.99	11.15	18.89
29	92/12/10 22:00	16.62	-7.96	-4.53	3.27	17.03	29.00	6.23	-14.41	-9.66	10.97	19.43
30	93/01/10 22:00	16.62	-8.40	-5.07	3.29	17.08	29.16	6.29	-14.74	-10.20	10.88	19.64
31	93/02/10 22:00	16.62	-8.14	-5.46	3.16	17.30	29.29	6.50	-15.05	-10.65	10.87	20.08
32	93/03/24 10:00	16.62	-8.18	-5.33	3.02	17.25	29.70	6.70	-15.69	-10.79	11.13	19.56
33	93/07/31 12:00	16.62	-7.67	-6.00	2.62	17.42	30.18	6.32	-15.26	-11.54	10.20	20.68
34	93/08/15 12:00	16.62	-7.95	-6.19	2.70	17.47	30.21	6.31	-15.74	-11.44	10.31	20.63
35	93/08/31 12:00	16.62	-8.04	-6.24	2.67	17.81	30.33	6.07	-15.78	-11.45	10.22	20.51
36	93/09/15 12:00	16.62	-7.87	-6.27	2.53	17.40	31.04	6.24	-15.66	-11.25	10.22	20.80
37	93/09/30 17:00	16.62	-8.50	-6.28	2.53	17.46	30.17	6.41	-15.52	-11.29	10.22	20.47
38	93/10/31 12:00	16.62	-8.63	-6.63	2.71	17.07	30.35	6.32	-15.82	-11.37	10.40	20.19
39	93/11/30 12:00	16.62	-9.03	-6.63	2.81	17.62	30.52	6.55	-15.76	-12.30	9.71	21.52
40	93/12/30 12:00	16.62	-9.55	-6.74	2.92	17.74	30.78	6.79	-16.24	-12.51	9.67	21.80
41	94/01/31 12:00	16.62	-9.86	-6.95	2.90	17.71	30.96	7.05	-16.62	-12.78	9.55	22.04
42	94/02/28 12:00	16.62	-10.02	-7.14	2.90	17.93	31.09	7.17	-16.95	-13.03	9.48	22.25
43	94/03/23 12:00	16.62	-10.06	-7.22	2.92	18.41	31.17	7.23	-17.12	-13.19	9.45	22.37
44	94/09/05 11:00	16.62	-10.07	-7.81	2.59	18.73	31.52	6.43	-17.42	-13.03	9.64	22.31
45	94/10/05 11:00	16.62	-8.76	-7.59	2.75	19.62	32.50	7.40	-18.20	-13.97	9.67	22.75
46	94/11/08 10:30	16.62	-9.73	-7.73	2.72	19.10	31.98	6.78	-17.83	-13.37	9.71	22.84
47	94/12/05 10:30	16.62	-9.41	-7.94	2.50	19.10	32.15	6.92	-17.91	-13.50	10.04	23.34
48	95/01/11 10:00	16.62	-10.08	-7.99	2.32	18.58	31.64	6.73	-17.90	-13.84	9.91	22.94
49	95/02/08 10:30	16.62	-9.91	-8.18	2.11	18.67	31.48	6.72	-17.82	-13.89	9.76	23.05
50	95/02/23 14:00	16.62	-10.23	-7.92	1.86	18.84	31.59	6.87	-17.84	-14.14	9.81	23.08
51	95/07/25 12:00	16.62	-9.93	-8.48	1.94	19.28	31.32	6.86	-18.43	-13.50	9.18	22.79
52	95/08/25 12:00	16.62	-10.65	-8.39	2.26	19.58	31.44	6.60	-18.16	-13.41	9.10	22.77
53	95/09/25 12:00	16.62	-10.65	-8.31	2.36	19.61	31.65	6.86	-18.10	-13.48	9.25	22.80
54	95/10/31 12:00	16.62	-10.93	-8.23	2.58	19.43	31.87	6.73	-18.08	-13.65	9.26	22.94
55	95/12/06 12:00	16.62	-10.92	-8.14	2.76	19.08	31.83	6.75	-17.92	-13.88	9.44	23.11
56	95/12/26 12:00	16.62	-10.84	-8.14	2.53	19.42	32.15	7.12	-18.17	-14.14	9.34	23.57
57	96/01/30 12:00	16.62	-11.26	-8.49	2.53	18.80	31.47	6.77	-17.90	-14.41	9.58	23.35

付表－３．１ 有明北地区供給管共同溝の土圧計測値一覧表

単位：Kgf/cm2

rec	計測日時	土－1	土－2	土－3	土－4	土－5	土－6	
1	93/11/19 15:16:00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	計器未設置
2	93/11/19 18:16:00	0.01	-0.01	0.01	0.01	0.01	-0.00	
3	93/11/20 15:16:00	2.45	2.40	2.05	2.40	2.56	2.75	
4	93/11/20 18:15:00	2.60	3.09	2.03	2.46	2.55	2.69	
5	93/11/22 15:15:00	2.64	2.63	1.79	2.07	2.10	2.37	
6	93/11/22 18:15:00	2.68	3.28	1.97	2.43	2.20	2.38	
7	93/11/26 12:00:00	2.64	2.61	2.04	2.56	1.74	2.20	
8	93/11/28 12:00:00	2.55	2.63	2.00	2.48	1.49	1.84	
9	93/11/30 12:00:00	2.46	2.25	1.96	2.39	1.28	1.69	
10	93/12/05 19:00:00	2.16	1.90	1.77	2.19	0.89	1.24	
11	93/12/19 15:00:00	1.53	1.07	1.33	1.59	0.48	0.65	
12	94/01/13 09:00:00	0.64	0.67	0.77	0.88	-0.39	0.41	
13	94/01/19 15:00:00	0.51	0.58	0.74	0.77	-0.41	0.43	
14	94/02/05 15:00:00	0.41	0.28	0.48	0.60	-0.47	0.42	
15	94/02/19 15:00:00	0.20	0.15	0.60	0.39	-0.50	0.44	
16	94/03/05 15:00:00	0.10	-0.09	0.54	0.25	-0.51	0.49	
17	94/08/01 18:00:00	1.01	0.76	1.19	1.36	-0.06	1.16	
18	94/08/11 00:00:00	1.06	0.95	1.27	1.37	-0.05	1.18	
19	94/09/07 00:00:00	1.00	1.46	1.35	1.10	-0.01	1.21	
20	94/10/05 00:00:00	1.03	1.59	1.51	0.76	-0.02	1.39	
21	94/10/20 00:00:00	1.05	1.95	1.55	0.75	-0.06	1.35	
22	94/11/07 00:00:00	1.06	1.05	1.54	0.33	-0.06	1.30	
23	94/12/07 00:00:00	1.07	1.10	1.56	0.16	-0.09	1.27	
24	94/12/22 00:00:00	1.07	1.13	1.56	-0.02	-0.11	1.28	
25	95/01/05 00:00:00	1.07	1.14	1.57	-0.00	-0.14	1.26	
26	95/01/20 00:00:00	1.08	1.14	1.58	0.06	-0.14	1.26	
27	95/02/08 00:00:00	1.08	1.13	1.58	0.14	-0.13	1.28	
28	95/02/23 16:34:00	1.09	1.13	1.59	0.36	-0.14	1.20	
29	95/08/03 12:00	1.28	0.63	2.04	1.53	-0.23	1.52	
30	95/08/25 12:00	1.25	0.63	-0.26	1.77	-0.14	1.61	
31	95/09/25 12:00	1.30	0.67	1.79	1.59	-0.17	1.60	
32	95/11/15 12:00	1.25	0.65	1.69	1.77	-0.13	1.47	
33	95/12/12 12:00	1.24	0.66	1.65	-0.35	-0.14	1.38	
34	96/01/23 16:00	1.21	0.69	1.62	-0.49	-0.15	1.23	

単位：Kgf/cm2

rec	計測日時	土－7	土－8	土－9	土－10	土－11	土－12	
1	93/11/19 15:16:00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	計器未設置
2	93/11/19 18:16:00	0.03	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	
3	93/11/20 15:16:00	2.84	2.62	2.15	2.12	3.47	3.32	
4	93/11/20 18:15:00	2.53	2.40	2.07	1.93	3.12	3.16	
5	93/11/22 15:15:00	1.90	2.07	1.80	2.34	3.82	3.93	
6	93/11/22 18:15:00	1.91	2.11	1.97	2.36	3.98	4.09	
7	93/11/26 12:00:00	1.70	2.33	1.63	1.85	3.54	3.90	
8	93/11/28 12:00:00	1.52	2.20	1.37	1.54	3.31	3.69	
9	93/11/30 12:00:00	1.40	2.18	1.17	1.21	3.07	3.47	
10	93/12/05 19:00:00	1.01	1.91	0.69	0.67	2.60	3.07	
11	93/12/19 15:00:00	0.40	1.46	0.38	0.07	1.77	2.46	
12	94/01/13 09:00:00	-0.03	0.80	0.45	0.03	1.12	1.76	
13	94/01/19 15:00:00	-0.31	0.71	0.45	0.04	1.04	1.59	
14	94/02/05 15:00:00	-0.87	0.49	0.46	0.04	0.76	1.32	
15	94/02/19 15:00:00	0.01	0.45	0.49	0.06	0.67	0.87	
16	94/03/05 15:00:00	0.75	0.48	0.49	0.07	0.58	0.64	
17	94/08/01 18:00:00	1.01	0.92	1.18	0.74	0.75	-0.07	
18	94/08/11 00:00:00	1.09	0.85	1.18	0.77	0.75	-0.02	
19	94/09/07 00:00:00	1.31	0.43	1.27	0.88	0.83	-0.08	
20	94/10/05 00:00:00	1.46	0.01	1.39	1.12	1.00	-0.07	
21	94/10/20 00:00:00	1.54	-0.12	1.34	1.05	1.00	-0.07	
22	94/11/07 00:00:00	1.69	0.45	1.22	1.03	0.97	-0.12	
23	94/12/07 00:00:00	1.66	1.30	1.13	1.04	0.98	-0.11	
24	94/12/22 00:00:00	1.61	1.31	0.99	1.00	0.96	-0.09	
25	95/01/05 00:00:00	1.48	1.29	1.07	1.01	0.95	-0.13	
26	95/01/20 00:00:00	1.73	1.31	1.06	1.01	0.96	-0.10	
27	95/02/08 00:00:00	1.64	1.31	1.07	1.01	0.95	-0.10	
28	95/02/23 16:34:00	1.51	1.33	1.18	1.02	0.96	-0.10	
29	95/08/03 12:00	1.10	1.64	1.57	1.28	1.21	-0.06	
30	95/08/25 12:00	1.74	1.63	1.45	1.20	1.20	-0.04	
31	95/09/25 12:00	1.91	1.67	1.59	1.27	1.20	-0.04	
32	95/11/15 12:00	1.84	1.59	1.19	1.26	1.29	-0.05	
33	95/12/12 12:00	1.80	1.51	0.97	1.21	1.16	-0.06	
34	96/01/23 16:00	1.74	1.43	0.95	1.16	1.08	-0.06	

付表－３．２ 有明北地区供給管共同溝の水圧計測値一覧表

単位：Kgf/cm2

rec	計測日時	水－1	水－2	水－3	水－4	水－5	水－6	
1	93/11/19 15:16:00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	計器未設置
2	93/11/19 18:16:00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	
3	93/11/20 15:16:00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	
4	93/11/20 18:15:00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	
5	93/11/22 15:15:00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	
6	93/11/22 18:15:00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	
7	93/11/26 12:00:00	0.45	0.73	0.75	0.55	0.55	0.45	
8	93/11/28 12:00:00	0.44	0.66	0.67	0.45	0.49	0.45	
9	93/11/30 12:00:00	0.46	0.63	0.66	0.40	0.49	0.47	
10	93/12/05 19:00:00	0.45	0.58	0.57	0.29	0.50	0.47	
11	93/12/19 15:00:00	0.45	0.52	0.47	0.19	0.46	0.47	
12	94/01/13 09:00:00	0.44	0.52	0.48	0.18	0.44	0.47	
13	94/01/19 15:00:00	0.43	0.52	0.47	0.18	0.45	0.47	
14	94/02/05 15:00:00	0.38	0.49	0.48	0.18	0.46	0.46	
15	94/02/19 15:00:00	0.35	0.47	0.53	0.19	0.47	0.45	
16	94/03/05 15:00:00	0.36	0.47	0.59	0.21	0.47	0.45	
17	94/08/01 18:00:00	0.72	1.02	1.32	1.20	1.25	0.81	
18	94/08/11 00:00:00	0.76	1.09	1.32	1.27	1.32	0.87	
19	94/09/07 00:00:00	0.85	1.17	1.39	1.35	1.39	0.97	
20	94/10/05 00:00:00	1.00	1.34	1.64	1.53	1.56	1.11	
21	94/10/20 00:00:00	1.02	1.38	1.62	1.50	1.57	1.13	
22	94/11/07 00:00:00	1.02	1.38	1.64	1.50	1.58	1.13	
23	94/12/07 00:00:00	1.04	1.41	1.67	1.50	1.60	1.12	
24	94/12/22 00:00:00	1.03	1.41	1.69	1.49	1.61	1.10	
25	95/01/05 00:00:00	1.03	1.41	1.69	1.49	1.62	1.10	
26	95/01/20 00:00:00	1.04	1.42	1.70	1.51	1.61	1.09	
27	95/02/08 00:00:00	1.03	1.42	1.70	1.50	1.63	1.09	
28	95/02/23 16:34:00	1.03	1.43	1.71	1.52	1.64	1.10	
29	95/08/03 12:00	1.25	1.58	1.81	1.71	1.77	1.30	
30	95/08/25 12:00	1.23	1.57	1.81	1.66	1.78	1.26	
31	95/09/25 12:00	1.26	1.59	1.85	1.72	1.81	1.30	
32	95/11/15 12:00	1.24	1.57	1.85	1.70	1.81	1.29	
33	95/12/12 12:00	1.22	1.57	1.83	1.69	1.79	1.27	
34	96/01/23 16:00	1.18	1.53	1.80	1.65	1.75	1.22	

付表－3．3 有明北地区供給管共同溝の円周方向鉄筋計測値一覧表（セグメントの内面側鉄筋）

単位：Kgf/cm2

rec	計測日時	鉄I- 1	鉄I- 2	鉄I- 3	鉄I- 4	鉄I- 5	鉄I- 6	鉄I- 7	鉄I- 8
1	93/11/19 15:16:00	40	11	-3	-37	-22	-42	-34	絶縁不良
2	93/11/19 18:16:00	66	56	-28	-35	-31	-28	140	↓
3	93/11/20 15:16:00	-233	124	-27	-220	-243	-201	39	↓
4	93/11/20 18:15:00	-241	117	-99	-297	-258	-197	44	↓
5	93/11/22 15:15:00	-261	142	-46	-284	-333	-145	101	↓
6	93/11/22 18:15:00	-288	132	-54	-302	-388	-186	50	↓
7	93/11/26 12:00:00	-308	203	-43	-318	-402	-175	86	↓
8	93/11/28 12:00:00	-319	198	-48	-320	-422	-184	90	↓
9	93/11/30 12:00:00	-331	214	-54	-326	-431	-188	91	↓
10	93/12/05 19:00:00	-338	231	-61	-326	-445	-190	104	↓
11	93/12/19 15:00:00	-343	308	-68	-331	-446	-168	120	↓
12	94/01/13 09:00:00	-371	332	-94	-359	-469	-184	121	↓
13	94/01/19 15:00:00	-367	337	-95	-360	-466	-179	126	↓
14	94/02/05 15:00:00	-388	351	-119	-390	-479	-182	127	↓
15	94/02/19 15:00:00	-395	337	-137	-407	-495	-193	124	↓
16	94/03/05 15:00:00	-403	335	-149	-419	-509	-200	121	↓
17	94/08/01 18:00:00	-421	117	-211	-480	-580	-325	34	↓
18	94/08/11 00:00:00	-428	101	-219	-484	-579	-343	26	↓
19	94/09/07 00:00:00	-406	71	-237	-508	-553	-350	10	↓
20	94/10/05 00:00:00	-376	52	-251	-523	-532	-337	3	↓
21	94/10/20 00:00:00	-371	50	-257	-530	-523	-335	1	↓
22	94/11/07 00:00:00	-359	35	-266	-531	-512	-319	5	↓
23	94/12/07 00:00:00	-344	35	-279	-530	-494	-308	-2	↓
24	94/12/22 00:00:00	-327	62	-279	-520	-475	-294	3	↓
25	95/01/05 00:00:00	-325	75	-286	-518	-471	-293	12	↓
26	95/01/20 00:00:00	-315	79	-291	-516	-461	-288	23	↓
27	95/02/08 00:00:00	-306	86	-300	-511	-452	-282	30	↓
28	95/02/23 16:34:00	-308	83	-308	-513	-453	-283	41	↓
29	95/08/03 12:00	-326	13	-355	-528	-512	-383	43	↓
30	95/08/25 12:00	-339	7	-359	-534	-528	-400	35	↓
31	95/09/25 12:00	-334	-6	-367	-534	-529	-406	32	↓
32	95/11/15 12:00	-317	-3	-383	-539	-511	-377	29	↓
33	95/12/12 12:00	-332	-18	-403	-561	-505	-354	25	↓
34	96/01/23 16:00	-307	14	-411	-558	-485	-329	36	↓

単位：Kgf/cm2

rec	計測日時	鉄I- 9	鉄I-10	鉄I-11	鉄I-12	鉄I-13	鉄I-14	鉄I-15	鉄I-16
1	93/11/19 15:16:00	57	-71	-49	絶縁不良	23	-14	-66	21
2	93/11/19 18:16:00	-5	-52	-75	↓	58	33	23	19
3	93/11/20 15:16:00	-83	-66	-120	↓	-104	-26	143	-202
4	93/11/20 18:15:00	-70	-31	-126	↓	-126	-37	127	-205
5	93/11/22 15:15:00	-104	-26	-109	↓	-149	-59	139	-189
6	93/11/22 18:15:00	-80	-17	-118	↓	-153	-55	110	-204
7	93/11/26 12:00:00	-45	35	-83	↓	-149	-41	139	-201
8	93/11/28 12:00:00	-57	49	-90	↓	-152	-53	115	-210
9	93/11/30 12:00:00	-54	57	-68	↓	-155	-55	133	-215
10	93/12/05 19:00:00	-57	43	-88	↓	-155	-59	140	-214
11	93/12/19 15:00:00	-13	57	-79	↓	-146	-53	186	-198
12	94/01/13 09:00:00	-14	47	-94	↓	-167	-61	188	-197
13	94/01/19 15:00:00	-8	48	-92	↓	-166	-60	189	-191
14	94/02/05 15:00:00	-1	33	-109	↓	-182	-69	194	-210
15	94/02/19 15:00:00	-12	17	-125	↓	-189	-79	182	-221
16	94/03/05 15:00:00	-14	3	-143	↓	-199	-88	179	-232
17	94/08/01 18:00:00	-64	-29	-315	↓	-281	-173	-16	-275
18	94/08/11 00:00:00	-66	-35	-334	↓	-282	-170	-30	-279
19	94/09/07 00:00:00	-79	-49	-347	↓	-287	-170	-41	-261
20	94/10/05 00:00:00	-91	-60	-342	↓	-297	-175	-55	-233
21	94/10/20 00:00:00	-95	-63	-337	↓	-302	-180	-58	-227
22	94/11/07 00:00:00	-97	-65	-319	↓	-303	-177	-57	-210
23	94/12/07 00:00:00	-97	-61	-299	↓	-295	-166	-53	-197
24	94/12/22 00:00:00	-97	-59	-268	↓	-292	-163	-43	-180
25	95/01/05 00:00:00	-94	-55	-266	↓	-291	-161	-43	-181
26	95/01/20 00:00:00	-92	-52	-254	↓	-290	-161	-42	-170
27	95/02/08 00:00:00	-84	-41	-244	↓	-288	-159	-38	-164
28	95/02/23 16:34:00	-80	3320	1128	↓	-286	-156	-40	-165
29	95/08/03 12:00	-81	-47	-356	↓	-302	-171	-90	-187
30	95/08/25 12:00	-88	-54	-362	↓	-305	-173	-97	-199
31	95/09/25 12:00	-88	-57	-375	↓	-302	-172	-106	-193
32	95/11/15 12:00	-96	-62	-371	↓	-310	-179	-104	-183
33	95/12/12 12:00	-106	-75	-372	↓	-335	-199	-117	-189
34	96/01/23 16:00	-94	-57	-351	↓	-309	-177	-99	-166

付表－３．４ 有明北地区供給管共同溝の円周方向鉄筋計測値一覧表（セグメントの外面側鉄筋）

単位：Kgf/cm2

rec	計測日時	鉄0- 1	鉄0- 2	鉄0- 3	鉄0- 4	鉄0- 5	鉄0- 6	鉄0- 7	鉄0- 8
1	93/11/19 15:16:00	66	23	73	31	-6	17	-22	-17
2	93/11/19 18:16:00	262	46	45	26	19	22	-38	-60
3	93/11/20 15:16:00	286	-213	-134	-6	88	19	-139	-207
4	93/11/20 18:15:00	300	-279	-167	-6	38	11	-146	-211
5	93/11/22 15:15:00	339	-221	-137	2	159	16	-150	-178
6	93/11/22 18:15:00	331	-250	-167	6	128	-35	-195	-213
7	93/11/26 12:00:00	359	-240	-157	0	148	2	-173	-163
8	93/11/28 12:00:00	356	-251	-170	-9	145	1	-175	-175
9	93/11/30 12:00:00	381	-242	-152	4	158	4	-168	-164
10	93/12/05 19:00:00	380	-254	-166	-12	148	-3	-173	-179
11	93/12/19 15:00:00	393	-277	-170	-15	143	-3	-160	-172
12	94/01/13 09:00:00	404	-305	-173	-16	141	-10	-149	-168
13	94/01/19 15:00:00	397	-313	-177	-23	135	-15	-150	-169
14	94/02/05 15:00:00	406	-320	-172	-18	134	-17	-140	-162
15	94/02/19 15:00:00	400	-331	-180	-28	125	-29	-146	-167
16	94/03/05 15:00:00	389	-346	-193	-43	112	-41	-158	-172
17	94/08/01 18:00:00	263	-420	-298	-148	-13	-128	-195	-174
18	94/08/11 00:00:00	250	-421	-300	-150	-20	-132	-193	-175
19	94/09/07 00:00:00	214	-427	-304	-152	-43	-164	-205	-182
20	94/10/05 00:00:00	184	-428	-311	-157	-57	-192	-207	-185
21	94/10/20 00:00:00	186	-428	-311	-151	-59	-196	-211	-186
22	94/11/07 00:00:00	172	-427	-316	-149	-58	-205	-215	-186
23	94/12/07 00:00:00	166	-421	-317	-143	-52	-200	-233	-202
24	94/12/22 00:00:00	162	-420	-311	-140	-46	-202	-239	-210
25	95/01/05 00:00:00	174	-406	-305	-133	-40	-190	-234	-206
26	95/01/20 00:00:00	175	-400	-302	-128	-37	-183	-231	-201
27	95/02/08 00:00:00	181	-391	-297	-123	-32	-177	-224	-200
28	95/02/23 16:34:00	189	-385	-294	-121	-28	-165	-216	-196
29	95/08/03 12:00	170	-371	-313	-146	-48	-148	-204	-195
30	95/08/25 12:00	172	-373	-315	-148	-50	-160	-210	-198
31	95/09/25 12:00	162	-368	-315	-146	-55	-170	-213	-199
32	95/11/15 12:00	155	-290	-314	-139	-75	-198	-219	-207
33	95/12/12 12:00	138	-371	-326	-142	-78	-212	-230	-214
34	96/01/23 16:00	155	-362	-313	-132	-60	-197	-223	-210

単位：Kgf/cm2

rec	計測日時	鉄0- 9	鉄0-10	鉄0-11	鉄0-12	鉄0-13	鉄0-14	鉄0-15	鉄0-16
1	93/11/19 15:16:00	-17	66	40	57	-6	5	49	31
2	93/11/19 18:16:00	-19	23	37	59	-40	-34	55	77
3	93/11/20 15:16:00	-184	-157	-84	-30	-78	-225	-198	83
4	93/11/20 18:15:00	-177	-144	-91	-41	-65	-238	-251	132
5	93/11/22 15:15:00	-188	-137	-86	14	-5	-179	-184	98
6	93/11/22 18:15:00	-194	-151	-99	-6	-16	-208	-204	96
7	93/11/26 12:00:00	-161	-95	-52	3	-3	-217	-206	109
8	93/11/28 12:00:00	-160	-104	-61	3	-13	-228	-208	107
9	93/11/30 12:00:00	-147	-91	-49	15	-5	-214	-199	130
10	93/12/05 19:00:00	-152	-99	-61	5	-18	-225	-210	126
11	93/12/19 15:00:00	-150	-97	-63	3	-18	-231	-220	144
12	94/01/13 09:00:00	-141	-93	-70	-6	-28	-235	-222	157
13	94/01/19 15:00:00	-145	-96	-75	-13	-35	-240	-227	150
14	94/02/05 15:00:00	-136	-90	-76	-14	-37	-240	-230	171
15	94/02/19 15:00:00	-146	-98	-86	-23	-50	-250	-233	163
16	94/03/05 15:00:00	-155	-112	-99	-37	-66	-260	-245	152
17	94/08/01 18:00:00	-196	-130	-115	-160	-172	-362	-317	-48
18	94/08/11 00:00:00	-199	-130	-112	-167	-179	-369	-323	-66
19	94/09/07 00:00:00	-210	-138	-122	-188	-182	-381	-329	-95
20	94/10/05 00:00:00	-219	-143	-133	-204	-186	-390	-342	-134
21	94/10/20 00:00:00	-221	-148	-132	-205	-184	-390	-339	-137
22	94/11/07 00:00:00	-226	-156	-144	-204	-176	-391	-337	-148
23	94/12/07 00:00:00	-222	-159	-138	-193	-160	-384	-324	-148
24	94/12/22 00:00:00	-219	-161	-141	-184	-153	-380	-323	-148
25	95/01/05 00:00:00	-216	-159	-129	-177	-150	-379	-318	-138
26	95/01/20 00:00:00	-211	-157	-128	-173	-148	-376	-316	-138
27	95/02/08 00:00:00	-203	-152	-114	-167	-143	-373	-313	-135
28	95/02/23 16:34:00	-199	-146	-99	-165	-142	-371	-308	-126
29	95/08/03 12:00	-200	-132	-77	-195	-3274	-395	-306	-180
30	95/08/25 12:00	-206	-137	-86	-199	-2465	-398	-311	-184
31	95/09/25 12:00	-205	-133	-80	-199	-2151	-398	-303	-199
32	95/11/15 12:00	-222	-134	-100	-212	-1815	-397	-311	-216
33	95/12/12 12:00	-226	-155	-122	-234	-1030	-428	-345	-237
34	96/01/23 16:00	-210	-147	-113	-217	-1097	-402	-318	-220

付表－３．５ 有明北地区供給管共同溝の円周方向鉄筋計測値一覧表（中柱の鉄筋）

単位：Kgf/cm2

rec	計測日時	鉄R-17	鉄L-17	鉄R-18	鉄L-18	
1	93/11/19 15:16:00	-142	193	-179	199	
2	93/11/19 18:16:00	-230	299	-193	302	
3	93/11/20 15:16:00	-703	-168	-642	-155	
4	93/11/20 18:15:00	-677	-161	-672	-187	
5	93/11/22 15:15:00	-852	-266	-643	-210	
6	93/11/22 18:15:00	-888	-279	-652	-226	
7	93/11/26 12:00:00	-968	-315	-721	-290	
8	93/11/28 12:00:00	-997	-346	-733	-325	
9	93/11/30 12:00:00	-1026	-362	-751	-338	
10	93/12/05 19:00:00	-1063	-393	-786	-378	
11	93/12/19 15:00:00	-1103	-428	-822	-428	
12	94/01/13 09:00:00	-1174	-477	-890	-506	
13	94/01/19 15:00:00	-1180	-484	-898	-517	
14	94/02/05 15:00:00	-1222	-527	-944	-562	
15	94/02/19 15:00:00	-1248	-550	-967	-589	
16	94/03/05 15:00:00	-1276	-580	-996	-614	
17	94/08/01 18:00:00	-1427	-692	-1070	-695	
18	94/08/11 00:00:00	-1435	-698	-1076	-707	
19	94/09/07 00:00:00	-1491	-718	-1124	-742	
20	94/10/05 00:00:00	-1499	-723	-1143	-767	
21	94/10/20 00:00:00	-1539	-742	-1170	-800	
22	94/11/07 00:00:00	-1571	-763	-1194	-825	
23	94/12/07 00:00:00	-1623	-787	-1225	-852	
24	94/12/22 00:00:00	-1629	-801	-1230	-855	
25	95/01/05 00:00:00	-1639	-818	-1244	-872	
26	95/01/20 00:00:00	-1658	-831	-1254	-888	
27	95/02/08 00:00:00	-1663	-838	-1268	-905	
28	95/02/23 16:34:00	-1680	-853	-1287	-925	
29	95/08/03 12:00	-1605	-758	-1217	-856	
30	95/08/25 12:00	-1600	-743	-1212	-841	
31	95/09/25 12:00	-1592	-728	-1199	-831	
32	95/11/15 12:00	-1655	-787	-1264	-877	
33	95/12/12 12:00	-1706	-836	-1296	-923	
34	96/01/23 16:00	-1733	-854	-1311	-946	

付表－3．6 有明北地区供給管共同溝の曲げモーメント一覧表

（単位：tf・m）

REC	計測日時	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	M-11	M-12	M-13	M-14	M-15	M-16
1	93/11/19 15:16	-0.05	-0.04	-0.47	-1.35	-0.50	-1.47	-0.37	0.59	0.81	-2.60	-1.78	-0.65	0.29	-0.50	-2.37	-0.01
2	93/11/19 18:16	-0.74	0.13	-1.06	-1.24	-1.11	-1.02	1.91	2.24	0.46	-1.82	-2.63	-0.52	1.55	1.24	-0.10	-0.22
3	93/11/20 15:16	-8.69	7.43	3.39	-6.80	-8.43	-6.55	4.60	5.67	3.17	2.89	-1.14	-2.60	-0.81	6.10	7.05	-7.06
4	93/11/20 18:15	-9.01	9.53	2.17	-9.22	-8.57	-6.33	4.87	6.03	3.41	3.57	-1.12	-2.71	-1.95	6.39	8.68	-7.34
5	93/11/22 15:15	-9.80	7.78	2.91	-8.92	-11.73	-4.75	5.30	5.28	2.67	3.52	-0.74	-4.24	-4.58	3.81	6.59	-6.69
6	93/11/22 18:15	-10.70	8.66	3.59	-9.53	-13.41	-4.79	6.42	6.03	3.61	4.13	-0.61	-4.15	-4.47	4.88	7.09	-7.19
7	93/11/26 12:00	-11.45	8.67	3.61	-9.96	-13.95	-5.50	5.98	5.16	3.68	3.21	-0.98	-3.68	-4.61	5.58	7.30	-7.12
8	93/11/28 12:00	-11.84	9.01	3.85	-9.87	-14.59	-5.76	6.07	5.48	3.28	3.56	-0.92	-3.85	-4.51	5.54	7.25	-7.44
9	93/11/30 12:00	-12.29	8.77	3.11	-10.27	-14.95	-5.95	5.83	5.18	2.95	3.20	-0.59	-3.69	-4.78	5.05	7.05	-7.68
10	93/12/05 19:00	-12.54	9.24	3.30	-10.00	-15.37	-5.91	6.07	5.69	3.04	3.40	-0.88	-3.88	-4.46	5.27	7.42	-7.62
11	93/12/19 15:00	-12.74	10.30	3.22	-10.10	-15.37	-5.23	5.72	5.74	4.18	3.40	-0.53	-3.58	-4.19	5.64	7.95	-7.14
12	94/01/13 09:00	-13.71	11.33	2.49	-10.95	-16.13	-5.59	5.37	5.61	3.91	3.22	-0.77	-3.97	-4.40	5.51	8.03	-7.13
13	94/01/19 15:00	-13.58	11.62	2.58	-10.85	-16.00	-5.29	5.43	5.69	4.17	3.31	-0.55	-3.78	-4.16	5.71	8.19	-6.92
14	94/02/05 15:00	-14.33	11.90	1.66	-11.88	-16.39	-5.35	5.10	5.50	4.04	3.03	-1.05	-4.26	-4.62	5.43	8.32	-7.63
15	94/02/19 15:00	-14.53	12.20	1.36	-12.22	-16.87	-5.21	5.28	5.60	4.11	3.16	-1.23	-4.26	-4.40	5.40	8.34	-7.96
16	94/03/05 15:00	-14.78	12.67	1.40	-12.23	-17.22	-5.05	5.66	5.74	4.31	3.40	-1.40	-4.26	-4.22	5.45	8.73	-8.30
17	94/08/01 18:00	-15.04	13.92	2.76	-10.55	-17.95	-6.24	6.29	4.86	4.18	3.19	-6.32	-4.36	-3.46	6.02	9.15	-7.20
18	94/08/11 00:00	-15.23	13.81	2.58	-10.59	-17.78	-6.69	6.11	4.76	4.20	3.04	-7.02	-4.47	-3.28	6.30	8.98	-6.74
19	94/09/07 00:00	-14.36	13.72	2.14	-11.27	-16.46	-5.89	6.27	4.68	4.18	2.82	-7.13	-4.08	-3.33	6.69	8.84	-5.27
20	94/10/05 00:00	-13.26	13.55	1.90	-11.60	-15.46	-4.62	6.22	4.46	4.05	2.63	-6.63	-3.68	-3.52	6.80	9.12	-3.13
21	94/10/20 00:00	-13.08	13.50	1.71	-12.01	-15.12	-4.42	6.32	4.43	4.03	2.69	-6.48	-3.62	-3.74	6.65	8.90	-2.87
22	94/11/07 00:00	-12.66	13.29	1.60	-12.12	-14.80	-3.61	6.48	4.44	4.09	2.89	-5.56	-3.39	-4.03	6.78	8.90	-1.99
23	94/12/07 00:00	-12.11	13.10	1.18	-12.27	-14.37	-3.41	6.92	4.84	3.96	3.11	-5.10	-3.29	-4.29	6.91	8.58	-1.55
24	94/12/22 00:00	-11.54	13.41	1.03	-12.05	-13.92	-2.91	7.20	5.16	3.85	3.22	-4.03	-3.04	-4.40	6.87	8.59	-1.01
25	95/01/05 00:00	-11.51	13.11	0.59	-12.21	-13.96	-3.28	7.18	5.23	3.87	3.30	-4.35	-3.24	-4.49	6.89	8.44	-1.36
26	95/01/20 00:00	-11.17	12.96	0.33	-12.30	-13.70	-3.35	7.24	5.29	3.78	3.33	-4.00	-3.14	-4.53	6.80	8.42	-1.03
27	95/02/08 00:00	-10.91	12.75	-0.11	-12.30	-13.54	-3.35	7.10	5.31	3.76	3.54	-4.11	-3.13	-4.59	6.78	8.44	-0.92
28	95/02/23 16:34	-10.98	12.56	-0.46	-12.43	-13.68	-3.74	6.99	5.41	3.78	3.26	-4.73	-3.24	-4.55	6.83	8.25	-1.23
29	95/08/03 12:00	-12.16	12.32	-1.41	-13.04	-15.84	-8.00	7.19	5.91	4.05	2.92	-9.51	-4.59	100.11	7.65	7.36	-0.24
30	95/08/25 12:00	-12.60	12.31	-1.51	-13.18	-16.32	-8.16	7.33	5.82	4.02	2.85	-9.39	-4.59	73.12	7.67	7.29	-0.52
31	95/09/25 12:00	-12.40	11.89	-1.76	-13.22	-16.21	-8.05	7.38	5.77	3.98	2.61	-10.05	-4.74	62.61	7.72	6.73	0.19
32	95/11/15 12:00	-11.76	9.41	-2.35	-13.65	-14.87	-6.12	7.56	5.92	4.31	2.45	-9.25	-4.39	51.34	7.44	7.08	-1.13
33	95/12/12 12:00	-12.22	11.73	-2.64	-14.28	-14.56	-4.85	7.88	5.92	4.09	2.75	-8.52	-4.08	23.69	7.81	7.76	1.62
34	96/01/23 12:00	-11.42	12.04	-3.34	-14.52	-14.58	-4.49	7.77	6.12	3.98	3.08	-8.09	-3.86	26.87	7.67	7.46	1.84

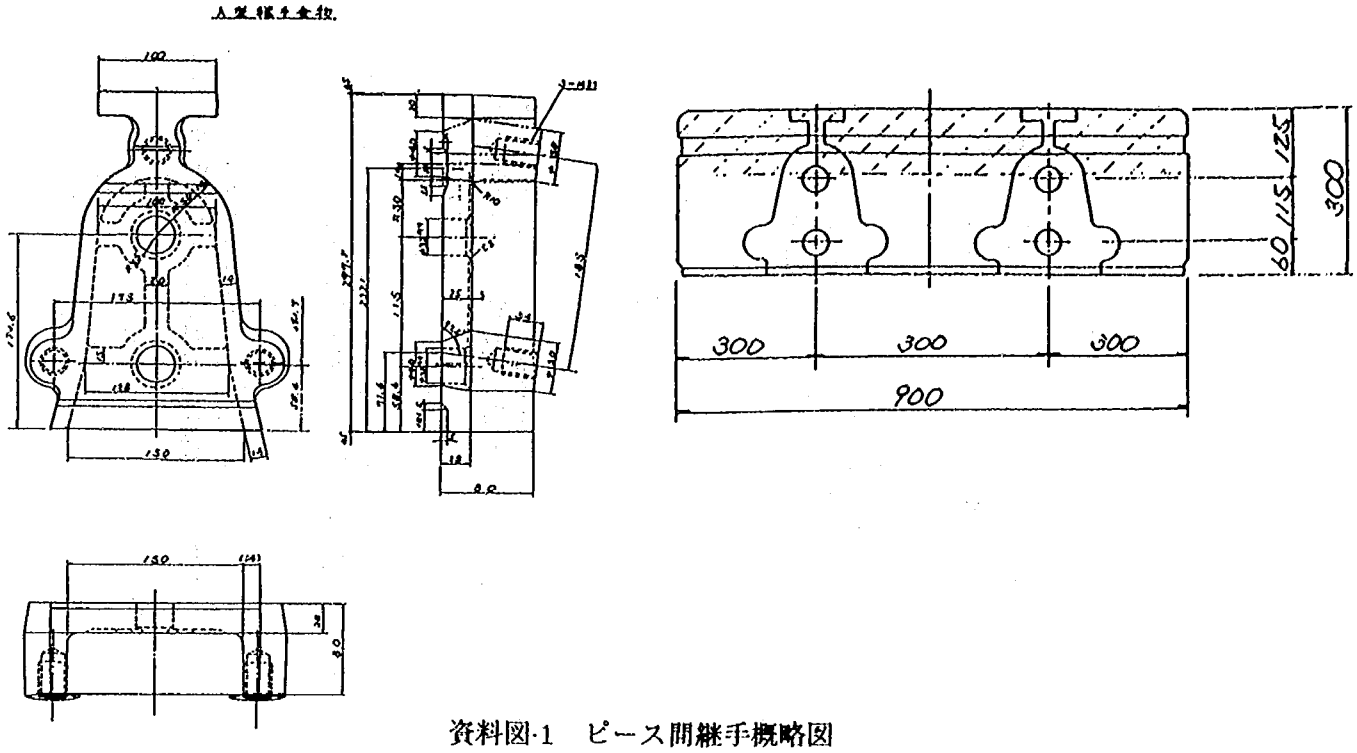
付表－4．1 八潮シールドの水圧計測結果一覧表

rec	計測日時		杭-1	杭-2	杭-3	杭-4
1	94/09/30	14:24:32	0.00	0.00	0.00	0.00
2	94/10/07	12:00:00	2.69	2.92	2.52	2.80
3	94/10/14	11:00:00	2.71	2.92	2.53	2.81
4	94/10/21	11:00:00	2.71	2.94	2.54	2.82
5	94/10/28	12:00:00	2.75	2.95	2.51	2.82
6	94/10/30	14:00:00	2.74	3.00	2.46	2.84
7	94/11/04	12:00:00	2.71	2.97	2.53	2.82
8	94/11/11	12:00:00	2.73	2.97	2.53	2.82
9	94/11/18	12:00:00	2.72	2.96	2.48	2.81
10	94/11/25	12:00:00	2.73	2.95	2.47	2.80
11	94/12/02	12:00:00	2.73	2.97	2.46	2.81
12	95/12/09	11:00:00	2.73	2.99	2.38	2.83
13	95/03/ 3	15:00:00	2.77	2.92	2.93	2.84
14	95/07/13	12:30:00	2.70	2.97	3.01	2.78
15	95/08/21	10:40:00	2.66	2.97	2.99	2.78
16	95/09/20	11:10:00	2.66	2.99	2.99	2.78
17	95/10/20	12:00:00	2.65	2.99	2.98	2.77
18	95/11/21	09:20:00	2.64	2.99	2.98	2.77
19	95/12/20	10:00:00	2.55	2.93	2.90	2.73
20	96/01/16	15:00:00	2.55	2.91	2.88	2.70

巻末資料

ピース間継手の回転バネ値算定方法（短ボルト式）

1．設定条件



資料図-1　ピース間継手概略図

資料表-1　ピース間継手回転バネ値設定条件

項目	記号	単位	数値	備考
セグメント高さ	h_1	cm	30.0	
セグメント幅	b		45.0	継手1箇所当たり
ボルトヤング率	E_b	kgf/cm²	2.1×10^6	
継手板ヤング率	E_p		1.7×10^6	ダクタイル
セグメントヤング率	E_{seg}		3.5×10^5	'報告書('1)' より
ボルト呼び径	d_b	mm	27	M27
ボルト純断面積	A_e	cm²	4.59	
ボルト山無部断面積	A_{b1}		5.726	
ナット高さ	l_H	cm	2.2	
ワッシャー半径	r_w		2.5	
ワッシャー厚さ	t_w		0.45	
ボルト孔半径	r_h		1.5	
継手板厚さ	$t_p(+)$		2.5	ダクタイル
	$t_p(-)$		2.5	
有効高さ	d(+)		24.14	ボルト孔位置
	d(-)		17.36	
継手板水平幅	$l_1(+)$		12.8	
	$l_1(-)$		10.0	

*1：報告書：「シールドトンネル現場測定業務」、平成6年3月、日本シールドエンジニアリング株式会社

2．セグメント継手回転バネ値の算定（組立時）

(1) ボルトのバネ定数（K_b）

$$k_b = \frac{E_b \cdot A_e}{l_1 \cdot A_e / A_{b1} + l_n + l_e} = 1.538 \times 10^6 (kgf / cm)$$

ただし、l_1=4.80cm、l_n=1.32cm、l_e=0.6×l_n=1.10cm

(2) 継手のバネ定数（圧縮増加側：k_{pu}　圧縮減少側：k_{pl}）

$$k_{pu} = \frac{E_p \cdot A_u}{(t_p / 2 + t_w)} = 1.598 \times 10^7 (kgf / cm)$$

ただし、$A_u = \pi (r_u^2 - r_i^2)$=15.975(cm²)、$r_u = r_w + t_p/12$=2.708(cm)

$$k_{pl} = \frac{E_p \cdot A_l}{t_p} = 1.893 \times 10^7 (kgf / cm)$$

ただし、$A_l = \pi (r_l^2 - r_i^2)$=27.838(cm²)、$r_l = r_w + t_p/3$=3.333(cm)

(3) ボルトと継手板の軸剛性バネの合成バネ定数

$$k = \frac{2k_b \cdot k_{pu}}{2k_b + k_{pu}} + 2k_{pl} = 4.044 \times 10^7 (kgf / cm)$$

(4) 中立軸の算定（単鉄筋長方形梁の中立軸）

$$x = \frac{nA_e}{b}\left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{nA_e}}\right]$$

x(+)=4.420cm（正曲げ）　x(-)=3.681cm（負曲げ）

$n = E_p / E_{mg}$=6.0

(5) 継手板の梁モデルのバネ値

正曲げ

$$k_1(+) = \frac{192D(+)}{l_1(+)^3} = 1.184 \times 10^6 (kgf / cm)$$

ここで、$D(+) = b_e(+) \cdot t_p(+)^3 / \{12(1 - \nu^2)\} \cdot E_p$=1.293×10⁷(kgf·cm²)

$b_e(+) = 2(r_w + t_p(+)/12)$=5.417cm

ν=0.27（ダクタイル）

負曲げ

$$k_1(-) = \frac{192D(-)}{l_2(-)^3} = 2.483 \times 10^6 (kgf / cm)$$

ここで、$D(-) = b_e(-) \cdot t_p(-)^3 / \{12(1 - \nu^2)\} \cdot E_p$=1.293×10⁷(kgf·cm²)

$b_e(-) = 2(r_w + t_p(-)/12)$=5.417cm

ν=0.27（ダクタイル）

(6) ボルトと継手板と梁モデルの合成バネ値（ボルト1本当たり）

正曲げ

（離間前）

$$K(+)=\frac{k(+)\cdot k_1(+)}{k(+)+k_1(+)}=1.150\times10^6(kgf/cm)$$

（離間後）

$$K'(+)=\frac{k'(+)\cdot k_1(+)}{k'(+)+k_1(+)}=8.115\times10^5(kgf/cm)$$

負曲げ

（離間前）

$$K(-)=\frac{k(-)\cdot k_1(-)}{k(-)+k_1(-)}=8.115\times10^5(kgf/cm)$$

（離間後）

$$K'(-)=\frac{k'(-)\cdot k_1(-)}{k'(-)+k_1(-)}=1.265\times10^6(kgf/cm)$$

(7) 回転バネ値

$$k_{r\theta}=\frac{(d-x/3)(d-x)}{2}K$$

正曲げ

（離間前）

$k_{r\theta}(+)=2.571\times10^8$(kgf・cm/rad)$=2.571\times10^3$(tf・m/rad)

（離間後）

$k_{r\theta}(+)=1.814\times10^8$(kgf・cm/rad)$=1.814\times10^3$(tf・m/rad)

負曲げ

（離間前）

$k_{r\theta}(-)=2.581\times10^8$(kgf・cm/rad)$=2.581\times10^3$(tf・m/rad)

（離間後）

$k_{r\theta}(-)=1.396\times10^8$(kgf・cm/rad)$=1.396\times10^3$(tf・m/rad)

(8) セグメント継手（ボルト2本当たり）のバネ値

正曲げ

（離間前）

$k_{r\theta}(+)=2\times2.571\times10^3=5.142\times10^3$(tf・m/rad)

（離間後）

$k_{r\theta}'(+)=2\times1.814\times10^3=1.814\times10^3$(tf・m/rad)

負曲げ

（離間前）

$k_{r\theta}(-)=2\times2.581\times10^3=5.163\times10^3$(tf・m/rad)

（離間後）

$k_{r\theta}'(-)=2\times1.396\times10^3=2.792\times10^3$(tf・m/rad)

3．セグメント継手回転バネ値の算定（完成時）

3．1　地盤反力係数：K_r=0(kgf/cm³)

(1) ピース間継手発生断面力

正曲げ

M=15.27(tf・m)、N=73.05(tf)

負曲げ

M= -14.28(tf・m)、N=91.17(tf)

(2) 中立軸の算定

x(+)=7.628cm（正曲げ）

x(-)=7.478cm（負曲げ）

(3) 回転角θの算定

$$\theta(+)=\frac{M-P\left(h/2-x/3\right)}{K(+)\left(d-x/3\right)\left(d-x\right)/2}=1.504\times10^{-3}\left(rad\right)$$

$$\theta(-)=\frac{M-P\left(h/2-x/3\right)}{K(-)\left(d-x/3\right)\left(d-x\right)/2}=8.371\times10^{-4}\left(rad\right)$$

(4) 回転バネ値の算定

$M=k_{r\theta}\cdot\theta$ より

$k_{r\theta}(+)=M/\theta=1.015\times10^4$(tf・m/rad)

$k_{r\theta}(-)=M/\theta=1.706\times10^4$(tf・m/rad)

ここで、離間している場合の回転バネ値の低減を、軸力が作用していない場合の‘ボルトと継手板と梁モデルの合成バネ値（上述2．(6)参照）’の比で考慮する。

正曲げ

$(3.627\times10^3)/(5.142\times10^3)=0.7054$

$k_{r\theta}'(+)=1.015\times10^4$(tf・m/rad)$\times0.7054=7.159\times10^3$(tf・m/rad) → 7.0×10^3(tf・m/rad)

負曲げ

$(2.792\times10^3)/(5.163\times10^3)=0.5408$

$k_{r\theta}'(-)=1.706\times10^4$(tf・m/rad)$\times0.5408=9.226\times10^3$(tf・m/rad) → 1.0×10^4(tf・m/rad)

3．2　地盤反力係数：K_r=0.5(kgf/cm³)

(1) ピース間継手発生断面力

正曲げ

M=15.39(tf・m)、N=71.85(tf)

負曲げ

M= -14.20(tf・m)N=92.02(tf)

(2) 中立軸の算定

x(+)=7.515cm（正曲げ）

x(-)=7.610cm（負曲げ）

(3) 回転角θの算定

$$\theta(+)=\frac{M-P\left(h/2-x/3\right)}{K(+)\left(d-x/3\right)\left(d-x\right)/2}=1.549\times10^{-3}\left(rad\right)$$

$$\theta(-)=\frac{M-P\left(h/2-x/3\right)}{K(-)\left(d-x/3\right)\left(d-x\right)/2}=8.078\times10^{-4}\left(rad\right)$$

(4) 回転バネ値の算定

$M=k_{r\theta}\cdot\theta$ より

$k_{r\theta}(+)=M/\theta=9.934\times10^{3}$(tf・m/rad)

$k_{r\theta}(-)=M/\theta=1.758\times10^{4}$(tf・m/rad)

ここで、離間している場合の回転バネ値の低減を、軸力が作用していない場合の‘ボルトと継手板と梁モデルの合成バネ値（上述2．(6)参照）’の比で考慮する。

正曲げ

$(3.627\times10^{3})/(5.142\times10^{3})=0.7054$

$k_{r\theta}'(+)=9.934\times10^{3}$(tf・m/rad)$\times0.7054=7.007\times10^{3}$(tf・m/rad) → 7.0×10^{3}(tf・m/rad)

負曲げ

$(2.792\times10^{3})/(5.163\times10^{3})=0.5408$

$k_{r\theta}'(-)=1.758\times10^{4}$(tf・m/rad)$\times0.5408=9.507\times10^{3}$(tf・m/rad) → 1.0×10^{4}(tf・m/rad)

シールドトンネルの作用土圧に関する
現場計測報告書

ＩＳＳＮ　0386－5878
土研資料　第3428号
平成８年３月　(1996)

真下　英人，石村　利明
酒寄　建之，奥村　　学

要旨　本報告書は，土被りの深い単設シールドトンネルと複円形シールドトンネルの現場で実施した作用土圧の現場計測結果等を取りまとめるとともに，過去に実施された同様の現場計測結果等を文献調査から整理・取りまとめを行い，シールドトンネルに作用する土圧・水圧について分析を行ったものである。

キーワード：シールドトンネル，作用荷重，現場計測

郵便はがき

3 0 5 - □□

郵便切手をはって下さい

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
道路部トンネル研究室　行

No. 06

No. 06

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第3428号　　部

上記のとおり受領しました。

所　属（住所）

氏　名　　印