ＩＳＳＮ　0386－5878
土木研究所資料第3825号

土 木 研 究 所 資 料

特殊施工条件下のシールドトンネルの現場計測報告書

平成13年３月

国土交通省土木研究所
道路部トンネル研究室

Copyright©(2001) 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。

建設省は、平成13年１月６日付けで国土交通省に再編

土木研究所資料
第3825号　2001年3月

特殊施工条件下のシールドトンネルの現場計測報告書

トンネル研究室　室　　長　真下英人
主任研究員　石村利明
交流研究員　義永茂司*

要　旨

本報告書は，特殊施工条件下（異形断面および場所打ちライニング）のもとで施工されたシールドトンネルを対象として土圧，水圧，鉄筋応力および周辺地盤挙動の現場計測を行い，計測結果について取りまとめるとともに，シールドトンネルの作用土圧および掘進に伴う地盤挙動について検討を加えたものである。

キーワード：シールドトンネル，作用荷重，現場計測，地盤変状

＊交流研究員在職期間（平成12年４月１日から平成13年３月31日）

まえがき

本報告書は２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異形断面太鼓型シールド（小田井山田共同溝）、場所打ちライニングシールド（岡南共同溝）である。小田井山田共同溝では主に土圧および水圧、鉄筋応力について現場計測を行い、岡南共同溝では場所打ちコンクリートの表面ひずみの計測を行い、それらの測定結果を取りまとめるとともに、セグメントの設計に大きく影響するシールドトンネルの作用荷重について検討を加えたものである。

また、両シールドトンネルでの周辺地盤の挙動計測結果について取りまとめ、シールドトンネルの掘削によって生じる周辺地盤の変状を有限要素法を用いて予測する場合について検討を加えたものである。

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１３年３月

トンネル研究室

室　　長　真下 英人

主任研究員　石村 利明

交流研究員　義永 茂司

目　　次

第１章　はじめに ---- 1

第２章　小田井山田共同溝における現場計測 ---- 2
２．１　計測方法 ---- 2
２．１．１　計測目的 ---- 2
２．１．２　トンネルの概要と計測位置 ---- 2
２．１．３　地質状況 ---- 7
２．１．４　計測項目 ---- 8
２．１．５　計測機器の配置および設置要領 ---- 16
２．１．６　測定方法 ---- 17
２．１．７　測定頻度および計測期間 ---- 17
２．２　施工管理の状況 ---- 19
２．２．１　総推力 ---- 19
２．２．２　裏込め注入材および注入量・圧力 ---- 19
２．３　計測結果 ---- 23
２．３．１　坑内計測 ---- 23
２．３．２　坑外計測 ---- 83
２．４　まとめ ---- 92
２．４．１　坑内計測 ---- 92
２．４．２　坑外計測 ---- 92

第３章　岡南共同溝における現場計測 ---- 93
３．１　計測方法 ---- 93
３．１．１　計測目的 ---- 93
３．１．２　トンネルの概要と計測位置 ---- 93
３．１．３　地質状況 ---- 98
３．１．４　計測項目 ---- 100
３．１．５　計測機器の配置および設置要領 ---- 107
３．１．６　測定方法 ---- 109
３．１．７　測定頻度および計測期間 ---- 110
３．２　施工管理の状況 ---- 111
３．２．１　総推力 ---- 111
３．２．２　コンクリート打設材料および打設圧 ---- 111
３．３　計測結果 ---- 115
３．３．１　坑内計測 ---- 115
３．３．２　坑外計測 ---- 121
３．４　まとめ ---- 159
３．４．１　坑内計測 ---- 159
３．４．２　坑外計測 ---- 159

第４章　シールドトンネルの作用土圧 …… 160
４．１　太鼓型シールドトンネルの作用土圧 …… 160
４．１．１　土圧計および水圧計による作用土圧 …… 160
４．１．２　覆工断面から推定される作用土圧 …… 161
４．２　場所打ちライニングシールドトンネルの作用土圧 …… 172
４．２．１　解析方法 …… 172
４．２．２　解析モデル …… 172
４．２．３　解析条件 …… 173
４．２．４　解析結果 …… 176
４．３　まとめ …… 179

第５章　数値解析によるシールドトンネル掘削時の周辺地盤の挙動の検討 …… 180
５．１　概説 …… 180
５．２　トンネル掘削時の地盤変状予測方法 …… 180
５．２．１　解析の手順 …… 180
５．２．２　解析モデルの選定 …… 181
５．２．３　解析領域設定 …… 181
５．２．４　地盤のモデル化 …… 181
５．２．５　初期応力解析 …… 183
５．２．６　トンネル掘削解析 …… 183
５．３　太鼓型シールドトンネル掘削時の周辺地盤の挙動 …… 185
５．３．１　解析条件設定 …… 185
５．３．２　解析結果 …… 186
５．４　場所打ちライニングシールドトンネル掘削時の周辺地盤の挙動 …… 193
５．４．１　解析条件設定 …… 193
５．４．２　解析結果 …… 194
５．５　まとめ …… 203

第６章　結論 …… 204

謝辞 …… 205

巻末資料 …… 207

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ものと予想される。しかし、シールド工法においては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。その一つの方法として、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）を十分な精度で設定することが挙げられる。実態に即した設計荷重が採用されていない場合には過小、あるいは過大なセグメント設計になる可能性がある。また、今後の地下空間の利用ニーズとして増加するものと考えられる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の構造が大きく異なるため、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、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は、主に施工対象とする地盤を粘性土地盤か砂質土地盤に分類を行い、地盤強度とトンネル諸条件によって全土被り土圧か緩み土圧かのいずれかを設定しているのが現状である。トンネルに作用する荷重は、理論的に把握することは困難であるが、これまでの知見および現場計測から得るものは多く、特に、現場計測結果は作用土圧の評価を行う上で非常に重要となる。

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、トンネルに作用する土圧を評価する資料の一つとして異形断面太鼓型シールドトンネル、場所打ちライニングシールドトンネルを対象として行った現場計測結果の取りまとめを行い、それらの特殊な施工条件下におけるシールドトンネルに作用する荷重および周辺地盤の挙動について検討を加えたものである。

第２章　小田井山田共同溝における現場計測

２．１　計測方法

２．１．１　計測目的

セグメントの覆工構造は、シールドトンネルへの作用荷重の設定の大小により大きく影響するため、適切なシールドセグメントの作用荷重を評価する必要がある。ここでは、実際に施工される異形断面（太鼓型）シールドトンネルを対象として、土圧、水圧、セグメントの鉄筋応力の現場計測を行い、楕円形状を有するトンネルに作用する土圧の評価について検討することを目的とした。

２．１．２　トンネルの概要と計測位置

本現場計測は図－２．１に示す小田井山田共同溝のシールドトンネルで実施した。小田井山田共同溝は中部地方建設局の名古屋国道工事事務所で施工を行ったシールドトンネルであり、愛知県名古屋市西区二方町の市立山田中学校横（発進立坑）より、名古屋市西区二方町ジャスコワンダーシティまでの国道 302 号の側道直下を施工する路線延長 530m、トンネル外径縦 7.65×横 5.10m（縦横比＝1.50:1）、土被り 9.3m～12.0m の異形断面（太鼓型）シールドトンネルである。国道 302 号は片側３車線（車線幅員 3.5m）の上下線計６車線で、その両側に幅員 3.0m の側道を有する道路である。

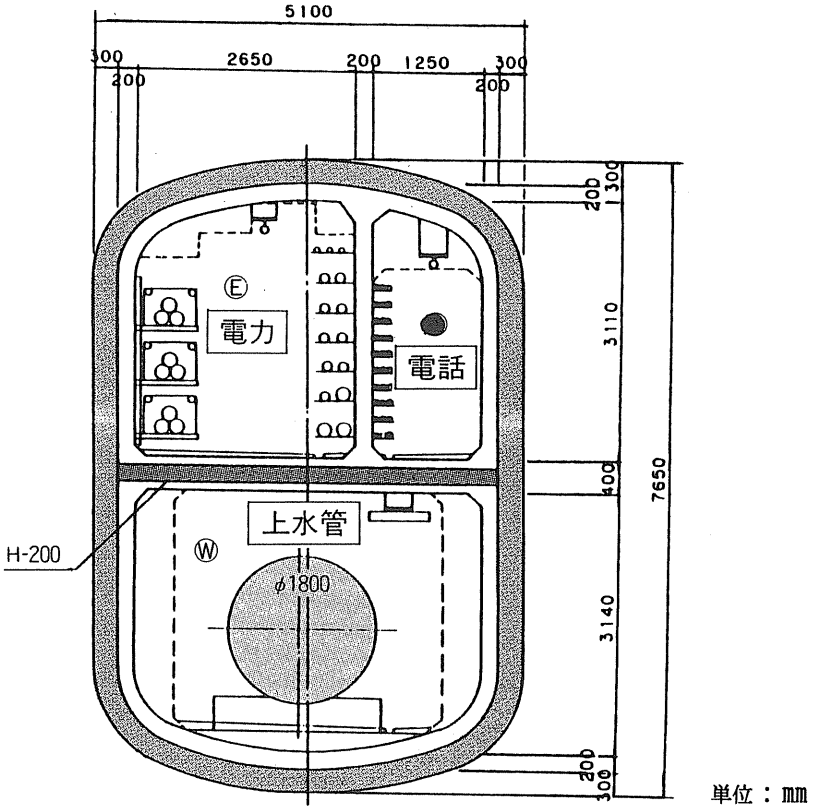
セグメントの構造・形式は、桁高 300 ㎜、幅 1000 ㎜の８分割のＲＣ平板型セグメントである。異形断面であることから、8 ピースすべての形状が異なり、Ｋセグメントは軸方向挿入型を使用している。また、掘進と平行して中床（H-200）を組み立てている。

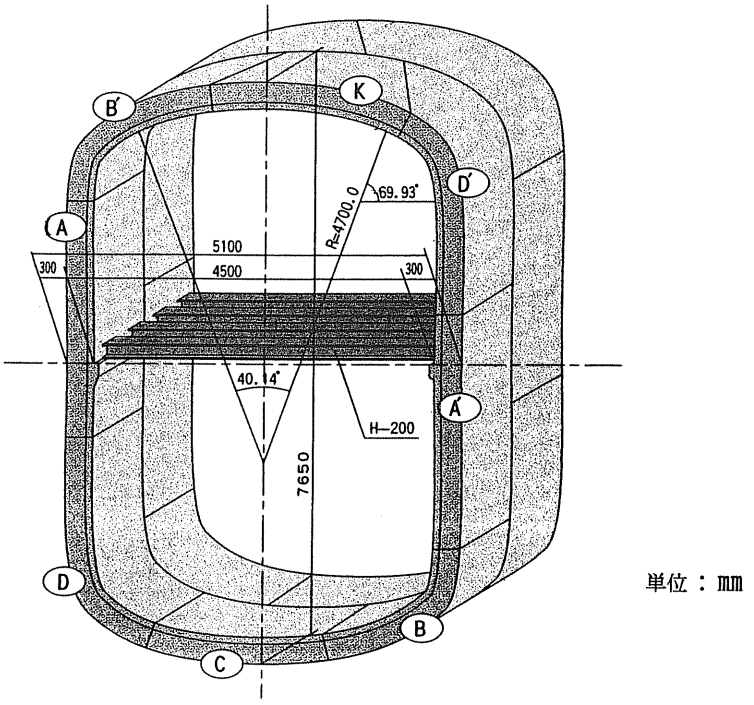
シールド掘削方式は密閉型の泥土加圧シールドで添加材に気泡を用いて地山の流動化を促進させる方法を採用した。施工に使用したシールド機の構造概要を図－２．２に示す。なお、計測地点付近の工事の進捗は、平均的な掘進速度が計測断面Ａで約 3.0～4.0m／日、計測断面Ｂで約 4.0～5.0m／日であった。

なお、共同溝のトンネル諸元を表－２．１に示し、図－２．３に平面線形、図－２．４に縦断線形（土質条件）を示す。また、一次覆工（セグメント）の概要について図－２．５に示す。

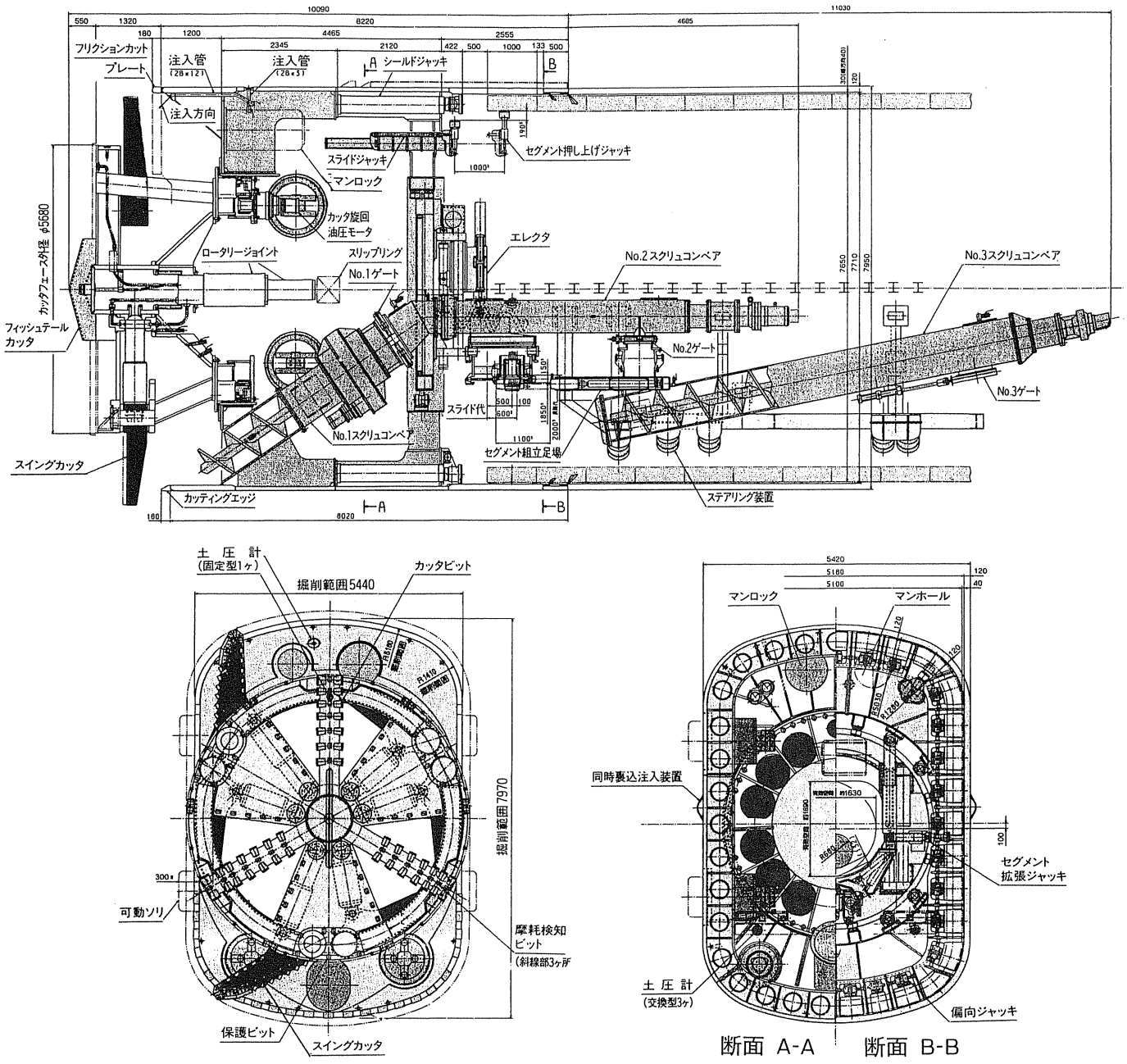
表－２．１　小田井山田共同溝シールドの諸元

トンネル延長	524m
シールド外径	縦 7,950 ㎜×横 5,420 ㎜（縦横比＝1.47:1）
セグメント外径	縦 7,650 ㎜×横 5,100 ㎜（縦横比＝1.50:1）
セグメント内径	縦 7,050 ㎜×横 5,500 ㎜（縦横比＝1.28:1）
最小曲線半径	R=200m



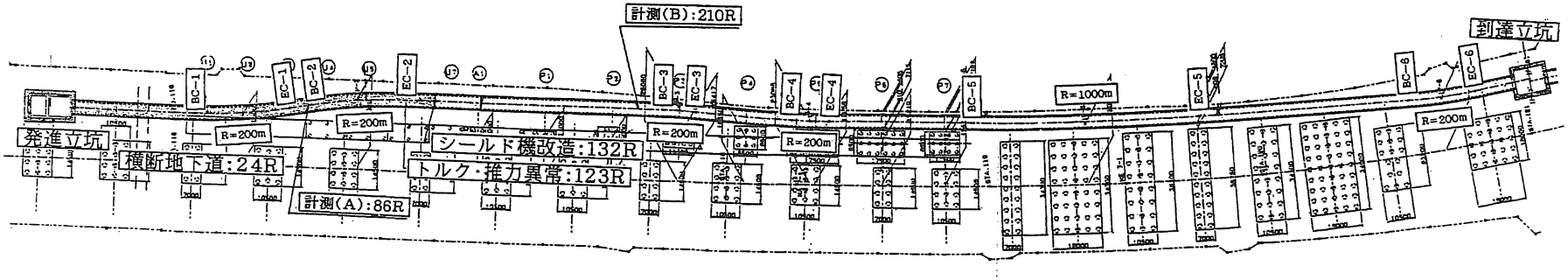


図－２．１　小田井山田共同溝シールドの標準断面図[1)]

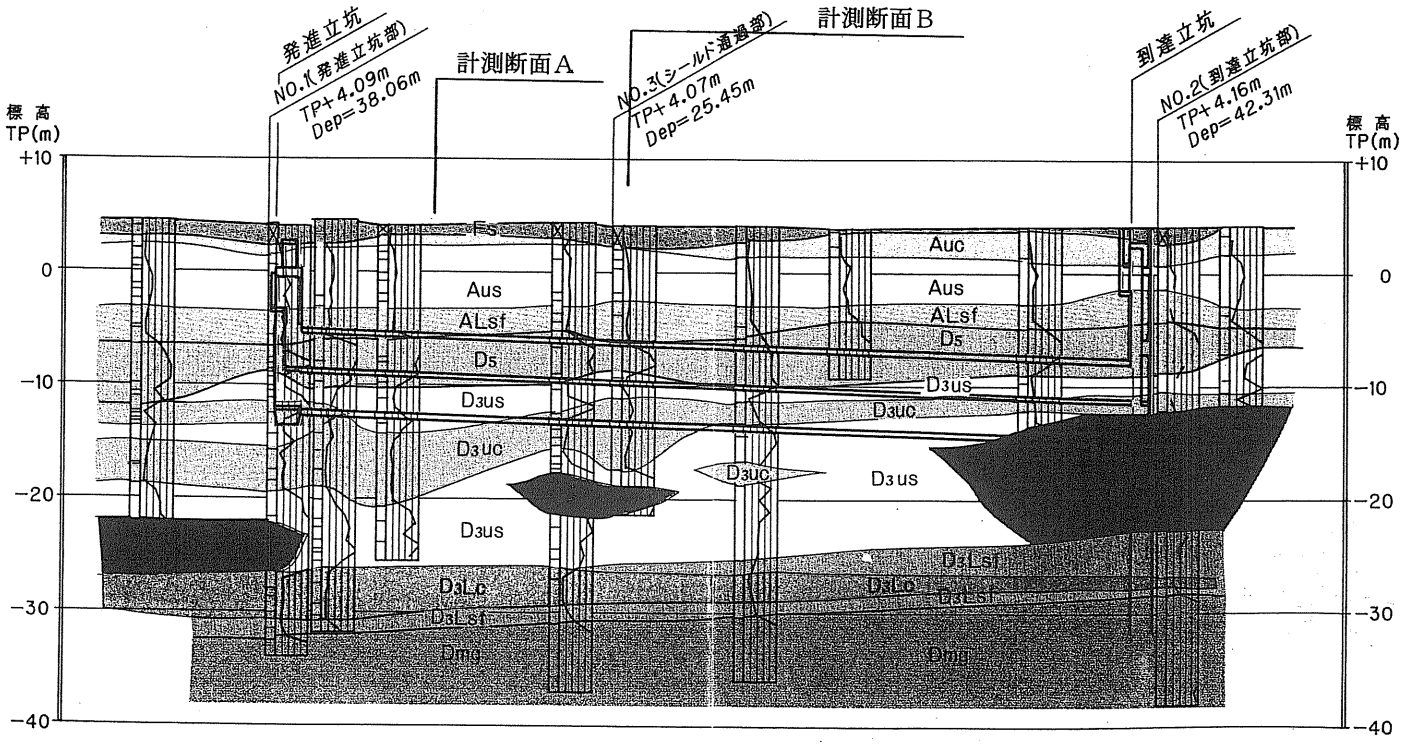


単位：mm

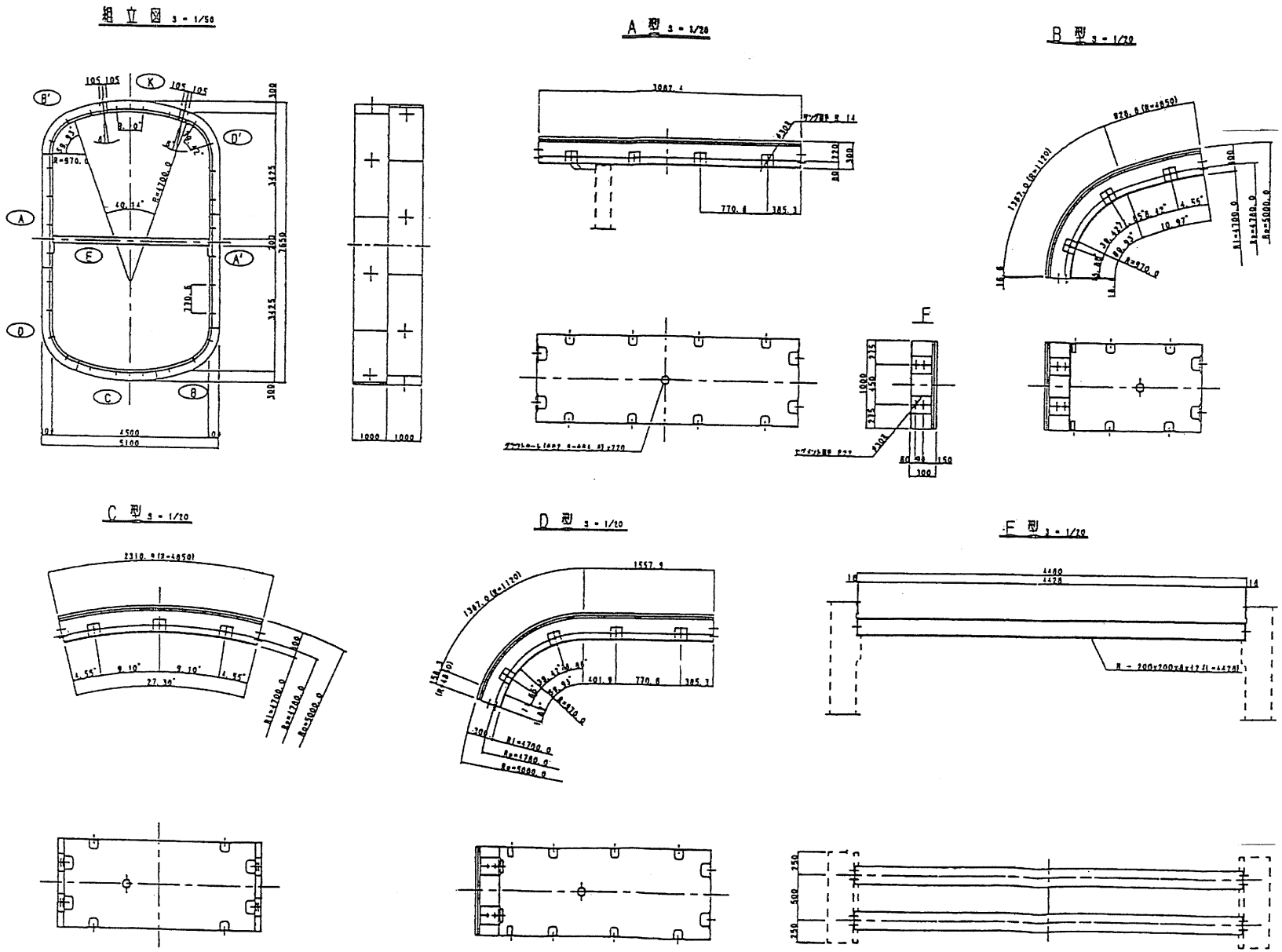
図－２．２　シールド機の概要図[1)]



図－２．３　トンネルの平面線形



図－２．４　トンネルの縦断線形

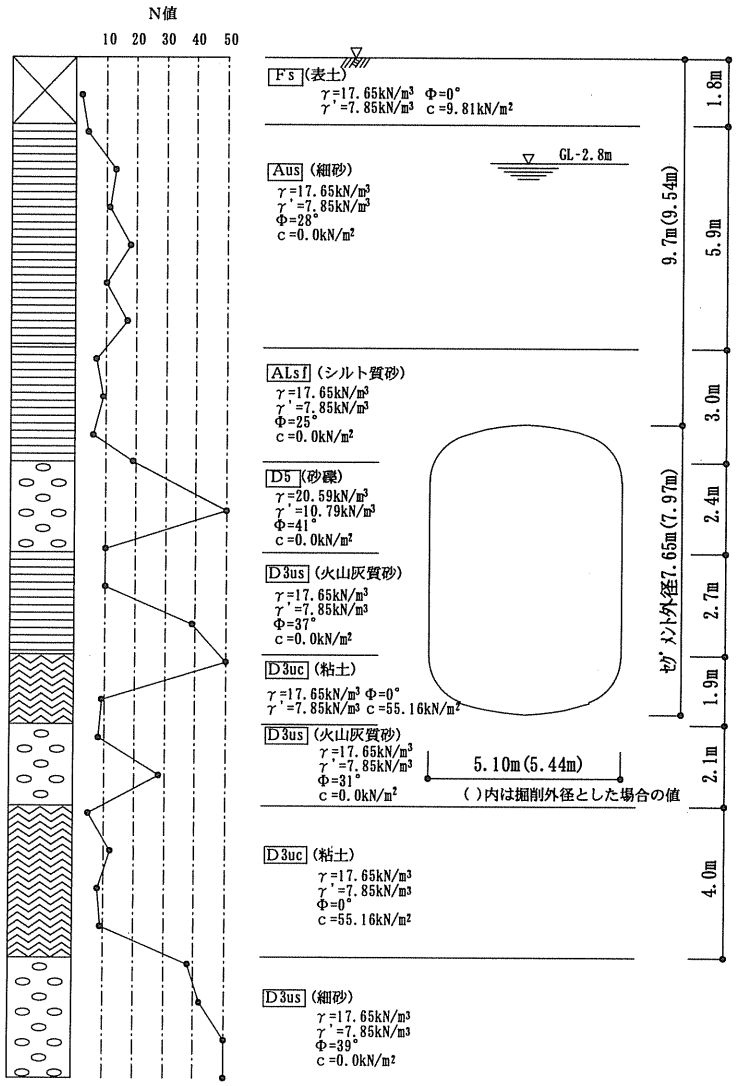


図－２．５　一次覆工の概要

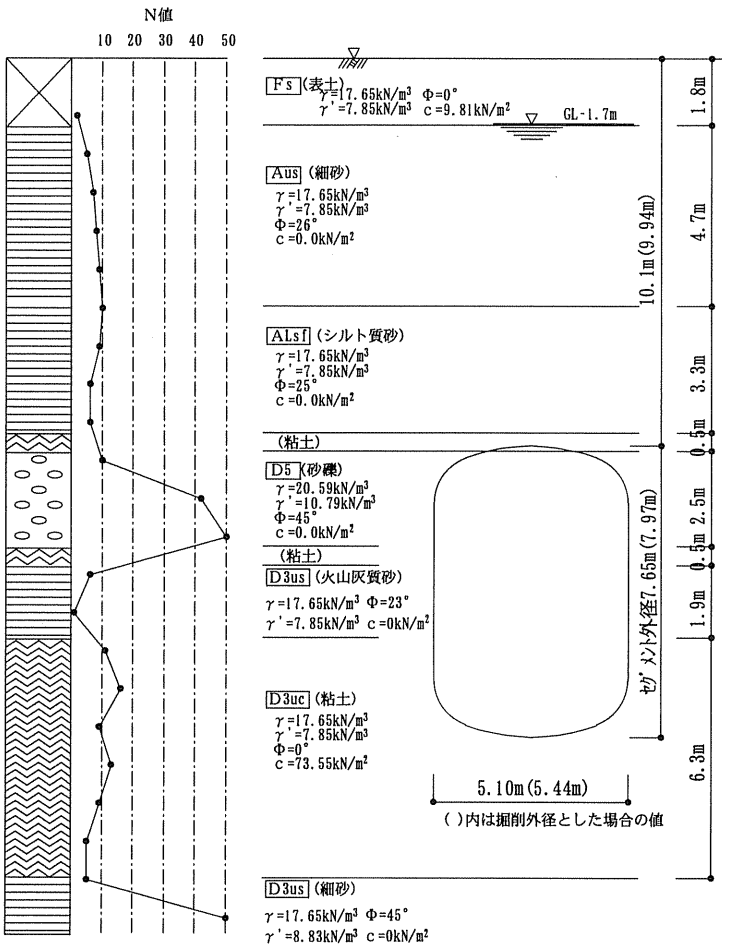
２．１．３　地質状況

シールドトンネルが施工される付近は濃尾平野中央部の東縁にあたり、庄内川、矢田川などの河川氾濫によって形成された沖積低地に分類される。その地質は、地表上部から埋土・表土、南陽層上部粘性土、上部砂質土、下部砂質土、鳥居松砂礫層、熱田層上部砂質土層、上部粘性土層、上部砂礫土層で構成されており、周辺のボーリング調査によれば、南陽層のＮ値はそれぞれ、3～4、5～18、4～9となっている。また、鳥居松砂礫層は15～50、熱田層は8～50、5～16、43～50となっている。

シールドトンネルは、主に鳥居松砂礫層、熱田層上部砂質土層、熱田層上部粘性土層を通過するため、シールドの掘削対象となる土質は平均Ｎ値48の硬質砂礫層、平均Ｎ値26の比較的締まった砂質土層と平均Ｎ値9の硬質粘性土の互層となる。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－２．６(1)～(2)に示す。



図－２．６(1)　計測断面Ａ　トンネル位置と地質柱状図の関係



図－２．６(2)　計測断面Ｂ　トンネル位置と地質柱状図の関係

２．１．４　計測項目

本現場計測は坑内計測と坑外計測を近い位置で行うものとした。現場計測を実施した位置は、地上部で供用中の国道 302 号およびその側道・歩道に対して支障にならない場所にて行うものとし、発進立坑から約 90m 付近で土被り 9.7m のリングナンバーの NO.86 および NO.87 の２リングをＡ断面、発進立坑から約 210m 付近で土被り 10.1m のリングナンバーの NO.210 および NO.211 の２リングをＢ断面とした２箇所である。

（１）坑内計測

本計測現場における坑内測定項目のうち、土圧、水圧、鉄筋応力、についてとりまとめた。

図－２．７は各測定リングの計測位置の概要を示したが、土圧計、間隙水圧計の測定リングは NO.87、NO.211 の甲組リング、鉄筋応力の測定リングは NO.86、NO.210 の乙組リングとした。また、土圧計、間隙水圧計、鉄筋計の設置位置の展開図を図－２．８(1)～(2)、図－２．９(1)～(2)に示す。

各計測項目の計測の概要および目的は以下に示すとおりである。

① 土圧計測

セグメントに作用する土水圧(土圧、水圧)を土圧計により測定する。

セグメントに作用する施工時荷重(裏込め注入圧力等)を測定する。

② 水圧計測

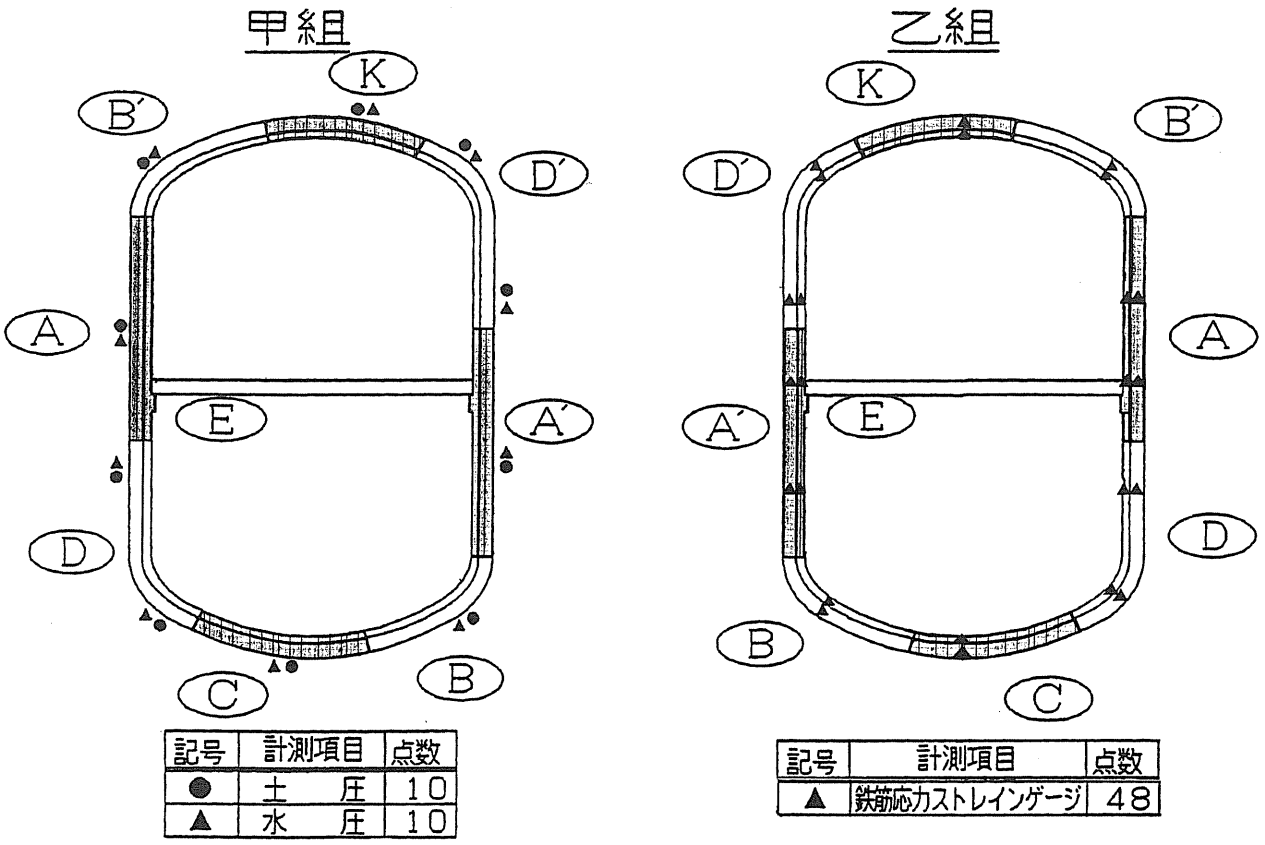
セグメントに作用する水圧を間隙水圧計により測定する。

③ 円周方向鉄筋応力計測

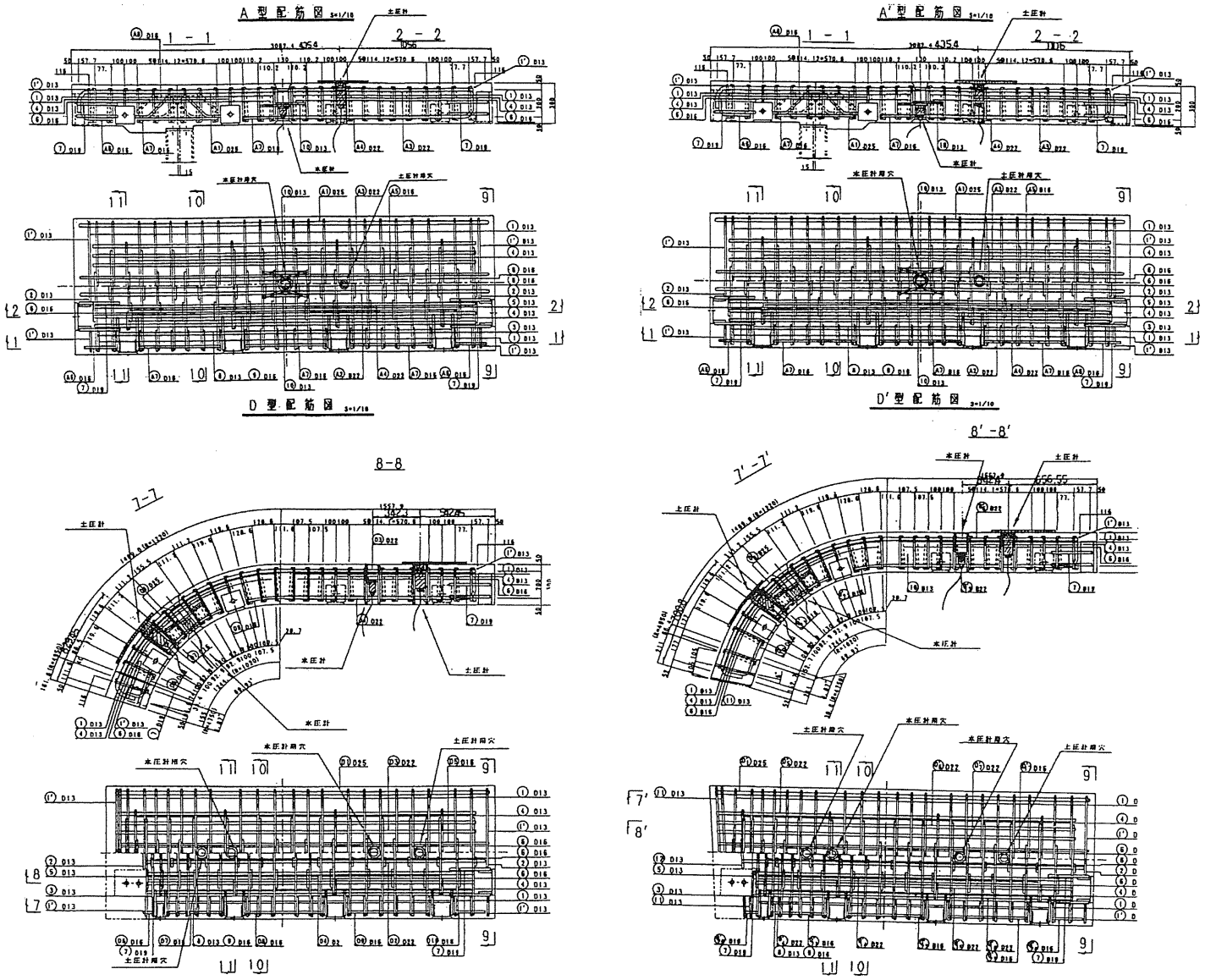
セグメントのリング方向に鉄筋計を設置し、外荷重によってセグメントに発生する応力度(円周方向)を測定する。

表－２．２　計測機器・数量

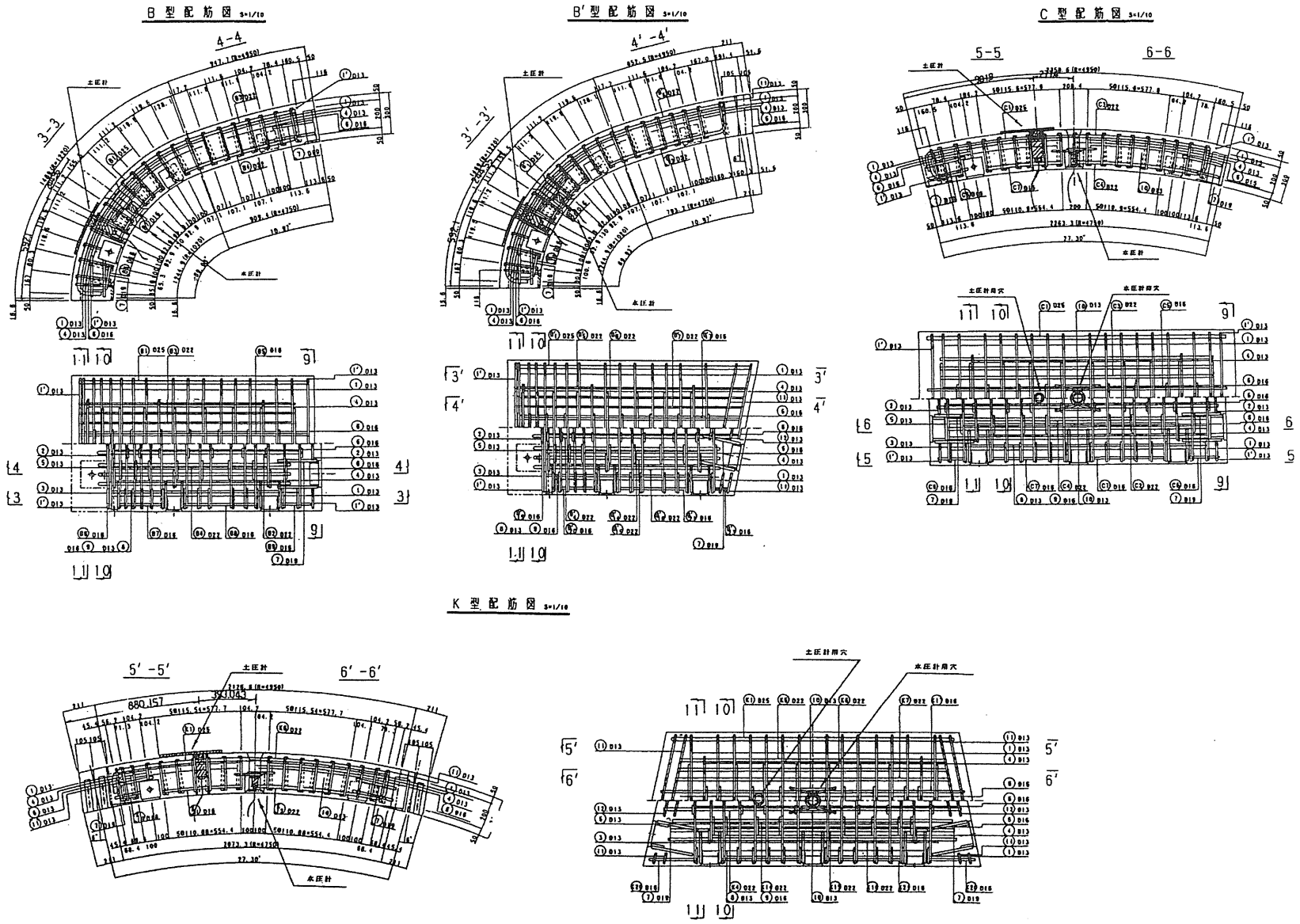
項目	測定計器名および形式	数量	備　考
①	パッド式土圧計 （計測範囲 490ｋN/㎡　GTI-E210-5K）	10 点	10 点×1 リング （設置ﾘﾝｸﾞ NO.:87、211 ﾘﾝｸﾞ）
②	間隙水圧計 （計測範囲 490ｋN/㎡　GP-5I）	10 点	10 点×1 リング （設置ﾘﾝｸﾞ NO.:87、211 ﾘﾝｸﾞ）
③	ストレインゲージ （計測範囲 20000×10^{-4}st　VFLA-3-5LT）	48 点	円周 12 箇所×内側と外側 ×奥行き 2 箇所 （設置ﾘﾝｸﾞ NO.:86、210 ﾘﾝｸﾞ）



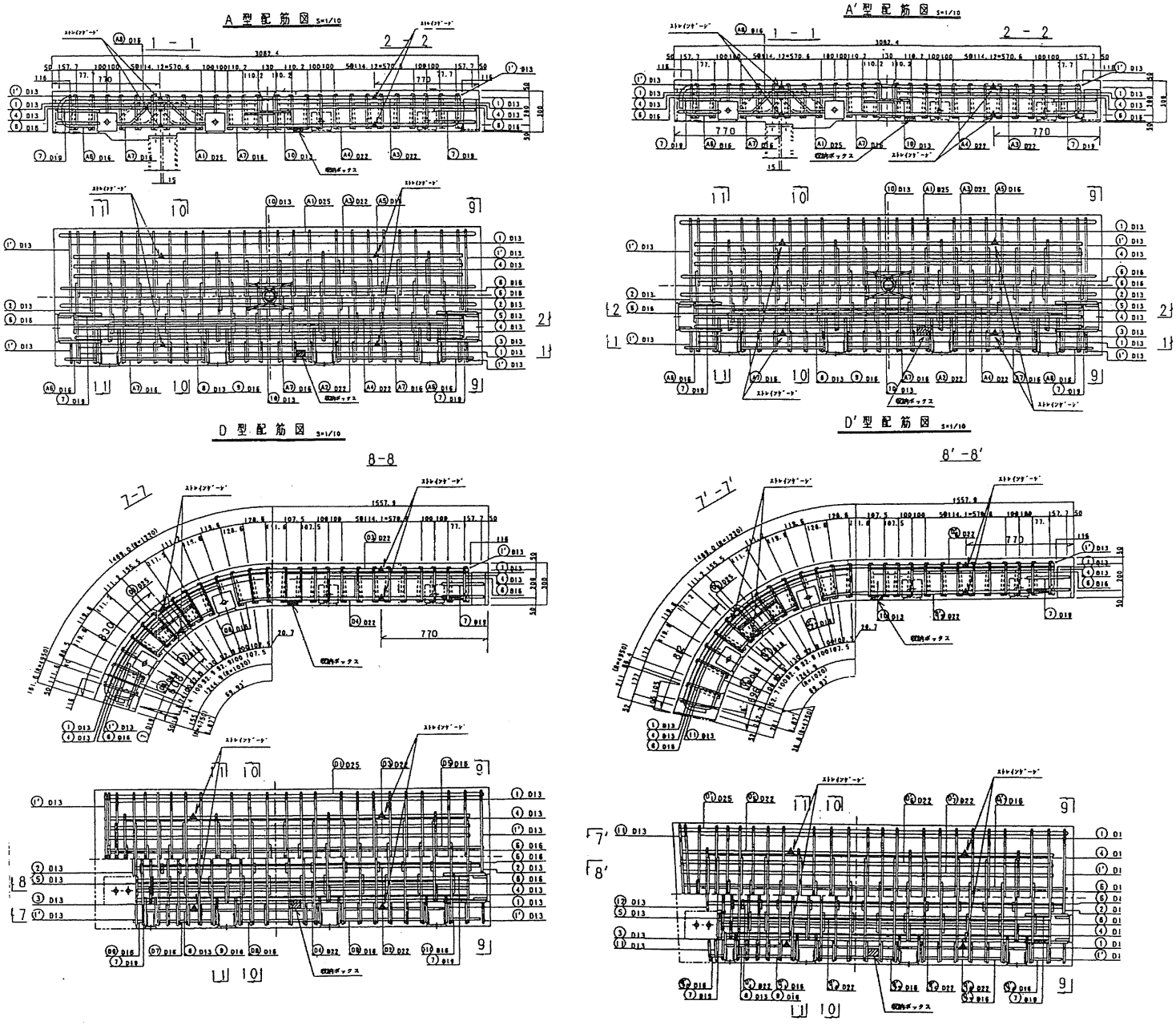
図－２．７　NO.87、NO.211 甲組リング、NO.86、NO.210 乙組リング計測器の設置位置の概要



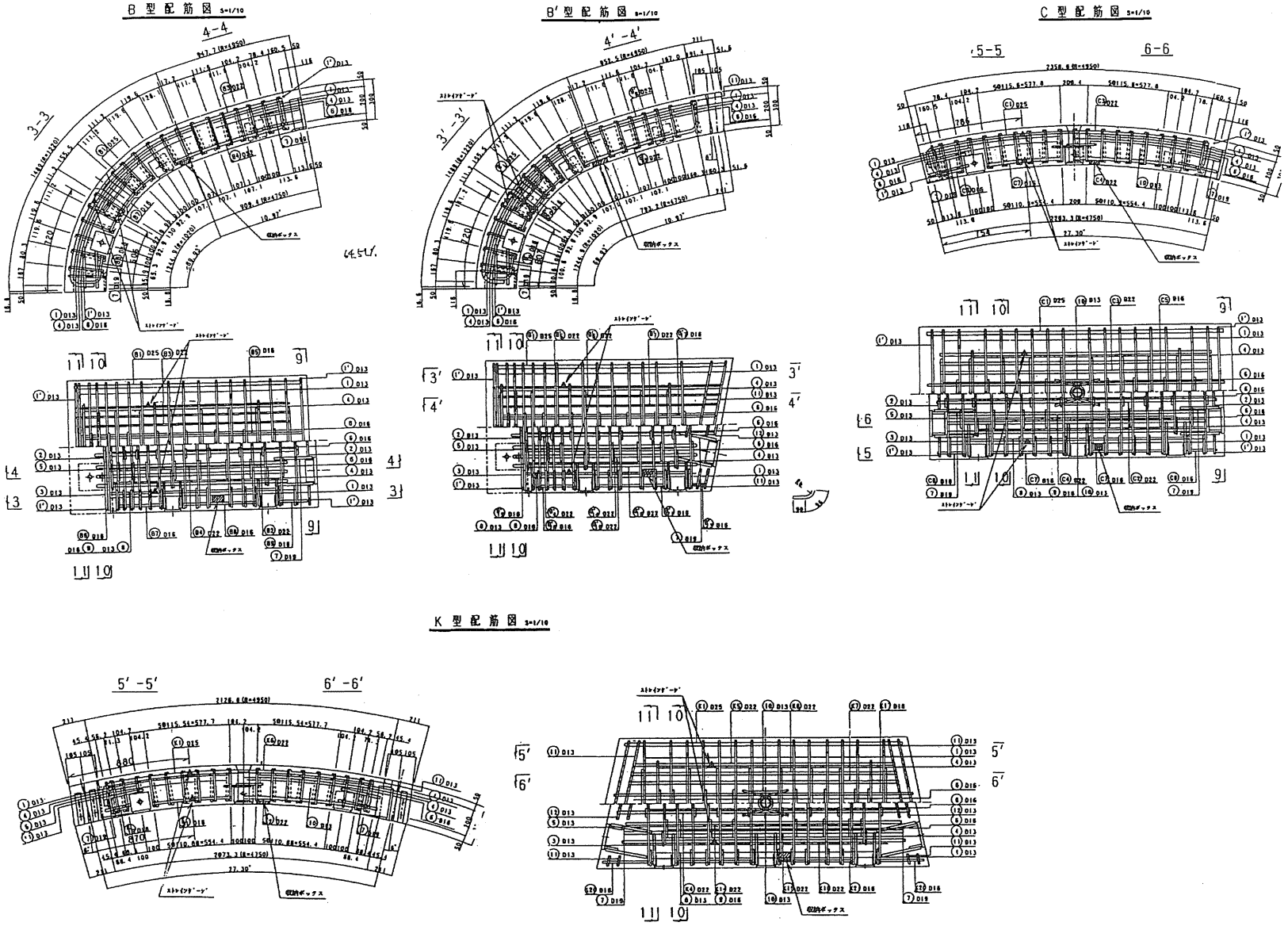
図－２．８(1)　土圧計、水圧計の設置位置展開図



図－２．８(2)　土圧計、水圧計の設置位置展開図



図－２．９(1)　鉄筋計の設置位置展開図



図－２．９(2)　鉄筋計の設置位置展開図

（2）坑外計測

現場計測の位置の選定にあたっては、地上部で供用中の国道302号およびその側道・歩道に対して支障にならない場所とした。計測位置は図－２．１１(1)～(2)に示すような土被り約10mの地点の２つの計測断面で、いずれの断面においても鉛直方向の沈下量について実施した。図－２．１０に計測位置平面図を示す。

① 地表面沈下計測

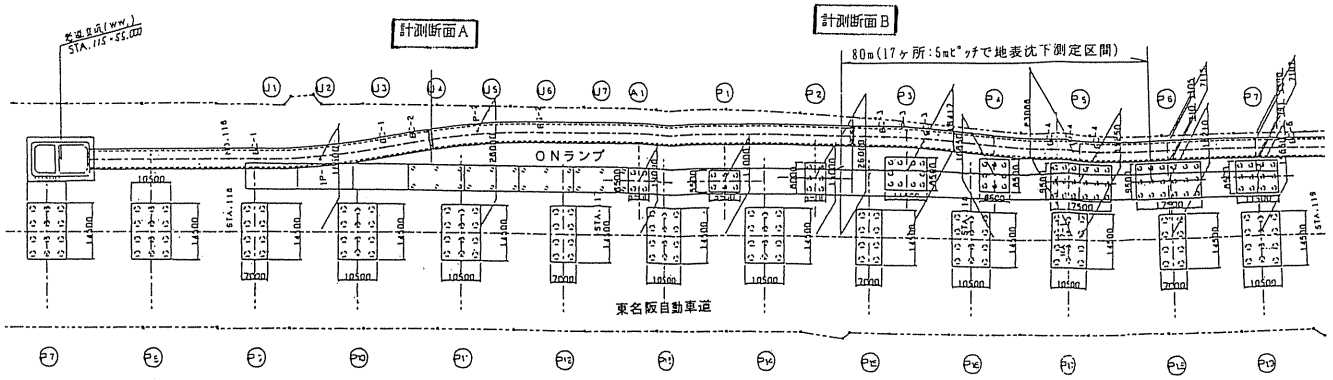
地表面の沈下量を圧力式沈下計により測定する。

② 層別沈下計測

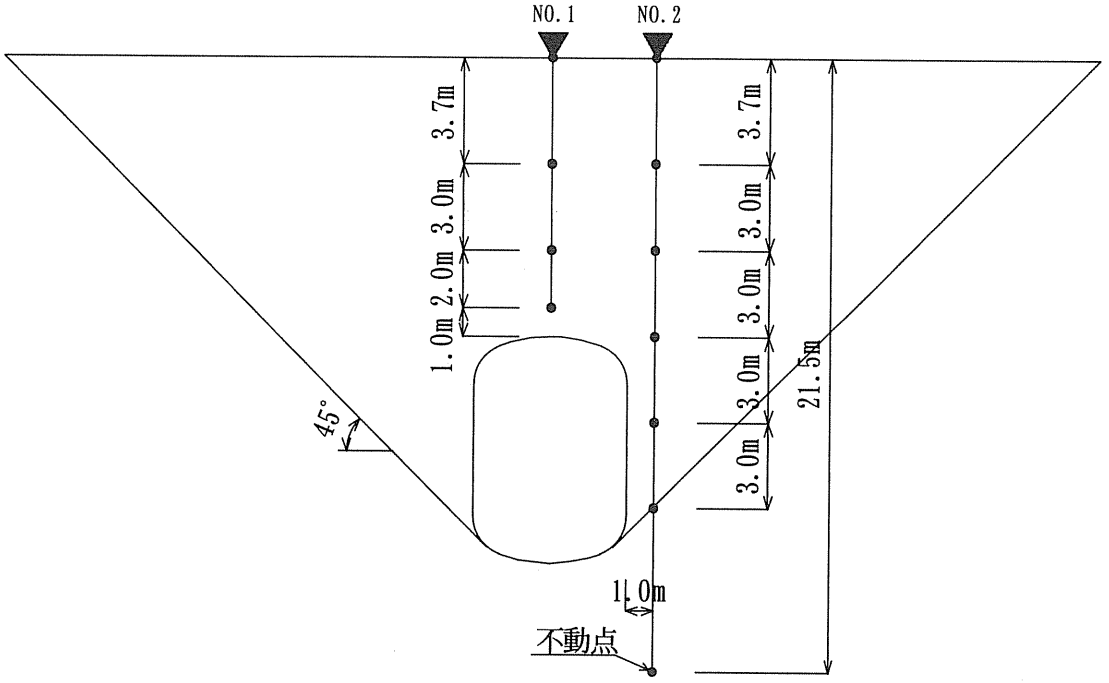
地中内の沈下量をワイヤ式変位計により測定する。

表－２．３　計測機器・数量

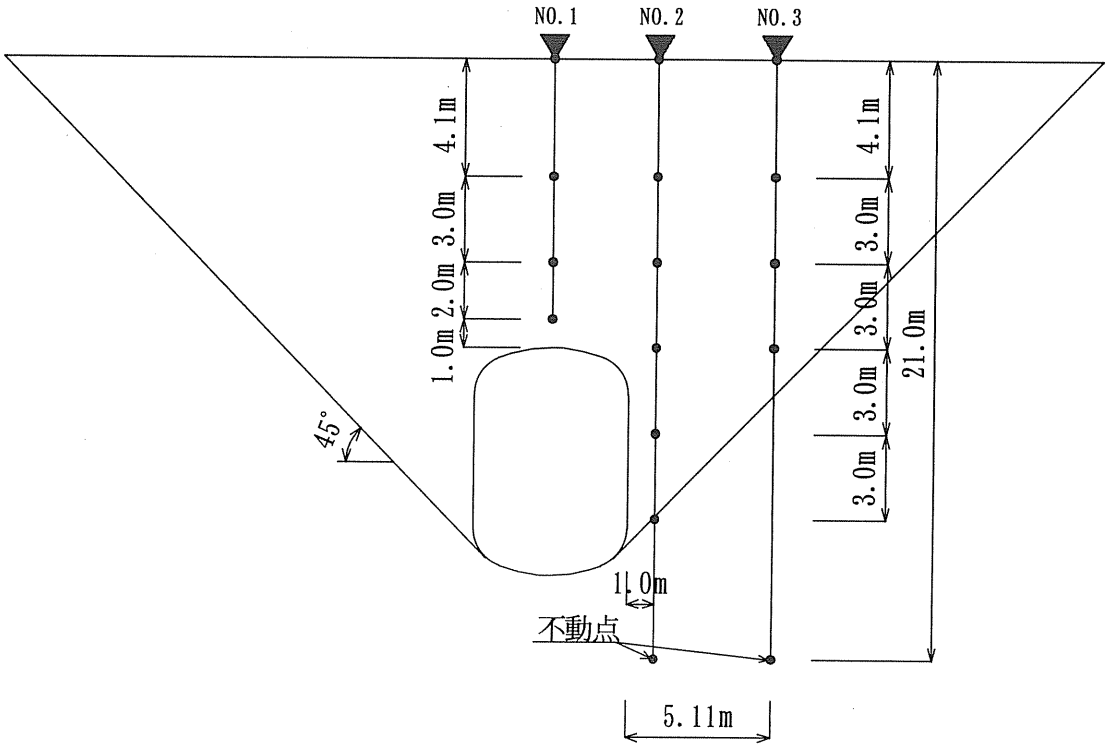
項目	測定計器名および形式	数量	備　考
①	圧力式沈下計（計測範囲±50㎜　DVD-100L）	5点	A断面2点、B断面3点
②	ワイヤ式変位計（計測範囲±50㎜　PV-100-□SG）	22点	A断面9点、B断面13点



図－２．１０　計測位置平面図



図－２．１１(1)　坑外計測断面の概要（計測断面Ａ）



図－２．１１(2)　坑外計測断面の概要（計測断面Ｂ）

２．１．５　計測機器の配置および設置要領

各計器を以下の要領で設置した。

（１）坑内計測

①　土圧計

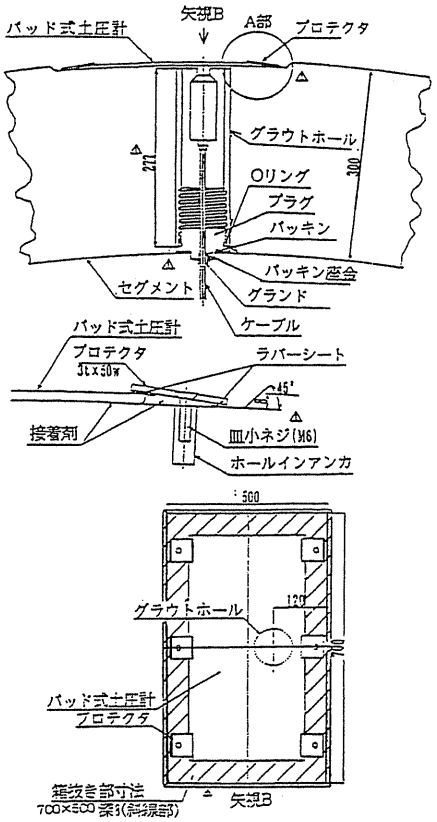
土圧計の設置は、図－２．１２に示すパット式土圧計をＲＣセグメントの外周面に設置した。パット式土圧計はセグメント組立後の設置は困難となるので、セグメント組立前に取り付けた。セグメント組立後は、同測定ケーブルをリング方向に配線し、フィールドロガーへ接続した。取り付け箇所はセグメントのグラウトホールを利用し、セグメント製作過程時にセグメント１パネルに対し２つ以上のグラウトホールを設けるものとした。設置位置は図－２．７に示す位置 10 点とした。

②　間隙水圧計

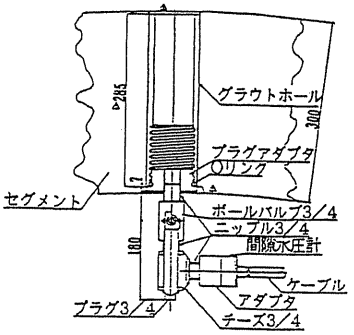
図－２．５に示したセグメントのグラウトホールに間隙水圧計を設置するため、図－２．１３に示した水圧計取り付け用のボールバルブを介在させて間隙水圧計を設置した。

③　円周方向鉄筋計

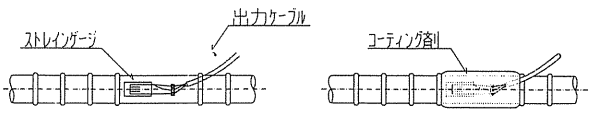
セグメント製作時の鉄筋篭組立後に円周方向鉄筋計として主鉄筋の所定の位置にひずみゲージを貼付した。同測定ケーブルは、セグメントに予め取り付けた収納ボックスに収めておき、セグメント組立後にケーブルを取り出して配線する。円周方向鉄筋計の取付けの詳細図は図－２．１４に示すとおりである。



図－２．１２　土圧計詳細図



図－２．１３　間隙水圧計詳細図



図－２．１４　円周方向鉄筋計詳細図

（2）坑外計測

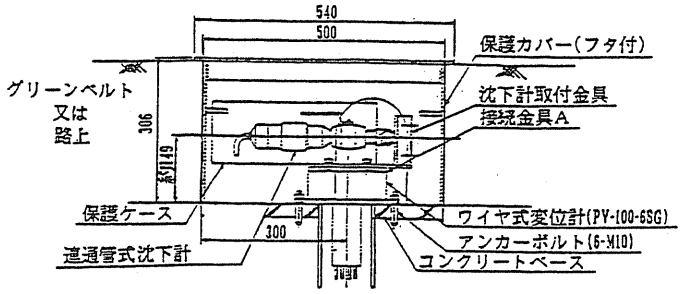
① 地表面沈下計測

地表面に深さ 300 ㎜程度の四角形のつぼ掘りを行い、防護カバーの中に連通管式沈下計を設置する。図－２．１５に圧力式沈下計の詳細図を示す。

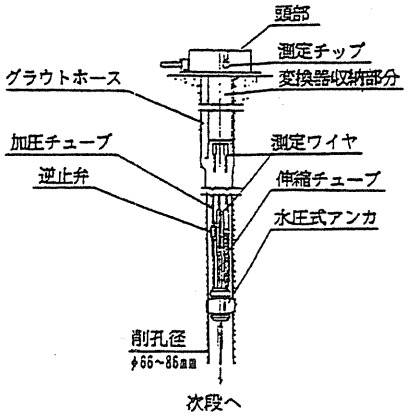
② 層別沈下計測

地表面よりφ86 ㎜のボーリング孔を削孔し、孔内にワイヤ式変位計を設置する。設置詳細図を図－２．１６に示す。

図－２．１５　圧力式沈下計詳細図



図－２．１６　層別沈下計詳細図



２．１．６　測定方法

測定は、データロガーを設置して自動計測方式で行った。図－２．１７に計測システム図を示す。

２．１．７　測定頻度および計測期間

（1）測定頻度

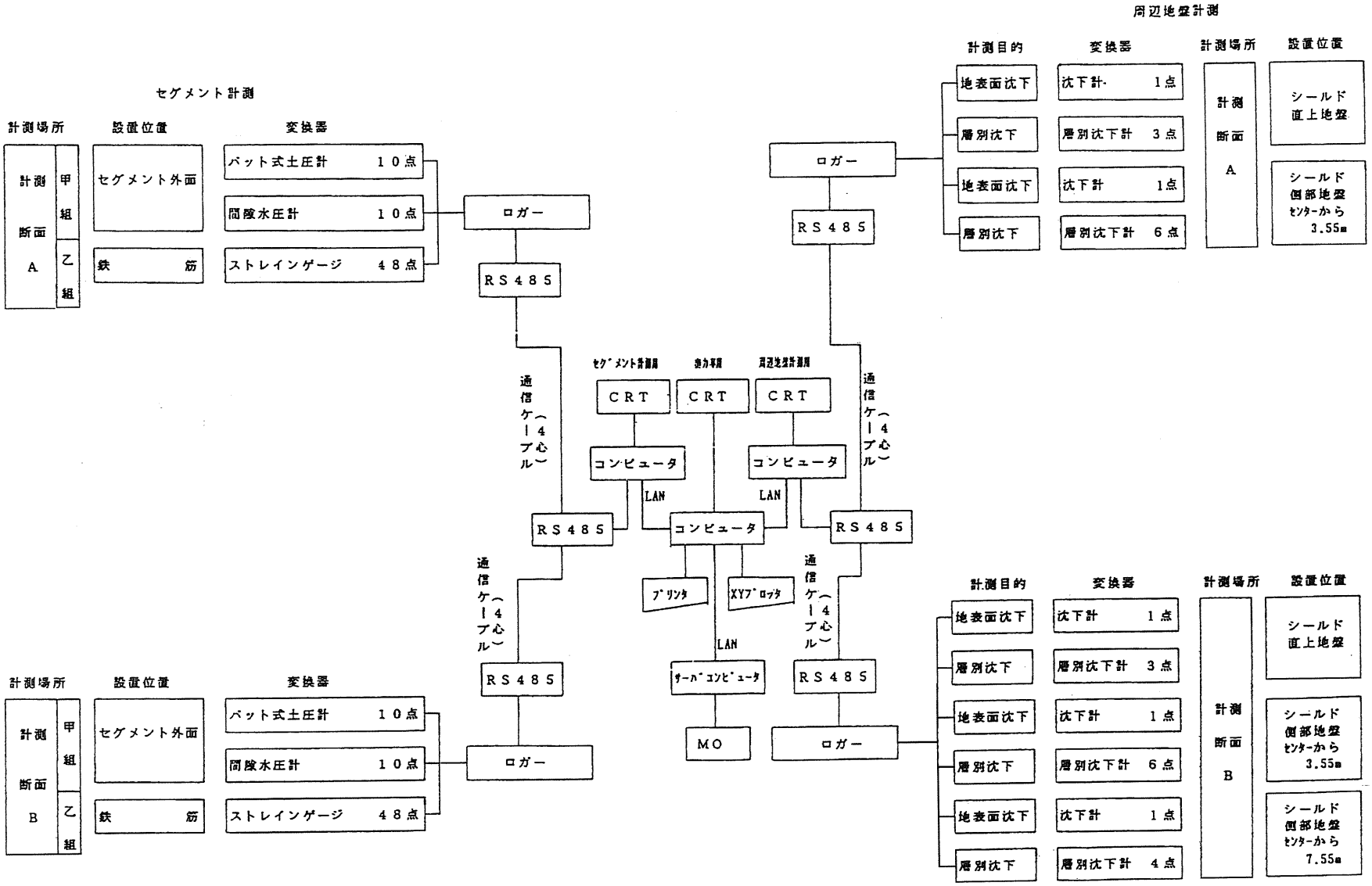
測定の頻度は、掘進、裏込め注入の影響、地山の荷重の変化等が分かるように、それらの影響を受けていると考えられる区間の頻度を短く設定することとし、表－２．４に示す３つの期間に区分し頻度を設定した。

表－２．４　計測頻度

掘進、裏込め注入の影響、地山の荷重変化が著しい期間	施工の影響により計測値に変動が生じている期間	計測器が安定した期間
２分～５分間隔 ｼｰﾙﾄﾞ通過中（-10m～+10m）	10 分間隔（ｼｰﾙﾄﾞ通過前後） ｼｰﾙﾄﾞ通過前（-30m～-10m） ｼｰﾙﾄﾞ通過後(+10m～+30m)	１時間間隔（約１年間）

（2）計測期間

計測断面Ａの測定期間はシールドが計測断面Ｂに到達するまで、計測断面Ｂの測定期間はシールド通過後約１年とした。



図－２．１７　計測システム図

２．２　施工管理の状況

計測されたデータからシールドトンネルに作用する荷重を検討する場合、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などに影響すると考えられる施工管理データを調査した。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前後にそれぞれ太鼓型トンネルの長径程度および２倍程度を目安に計測用リングの NO.87、NO.211 リングの手前約８ﾘﾝｸﾞ（NO.78 ﾘﾝｸﾞ、NO.203 ﾘﾝｸﾞ）から 16 ﾘﾝｸﾞ後方の NO.102 ﾘﾝｸﾞ、NO.227 ﾘﾝｸﾞとした。

２．２．１　総推力

総推力に関する施工管理データを、表－２．５(1)～(2)および図－２．１８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、計測断面Ａでは各掘削リングで約 14000ｋN～18000ｋN で変動しているものの、平均的には約 15000ｋN でほぼ安定した掘削となっている。また、計測断面Ｂでは各掘削リングで NO.200 リングまでは約 8000ｋN～10000ｋN で変動しており、NO.220 リング以降は 12000kN 前後であり、それぞれは大きな変動幅もなく、ほぼ安定した掘削となっている。本現場のシールド機前面の面積が約 40 ㎡となり、総推力から計算される掘進時のシールド前面の圧力約 200～450kN/㎡となる。

２．２．２　裏込め注入材および注入量・圧力

（１）　裏込め注入材料

裏込め注入材料および材料注入量・圧力の施工管理データを表－２．５(1)～(2)および図－２．１８に示す。また裏込め注入材は表－２．６に示す配合表に示す２液性の可塑性材料を使用した。裏込め注入材料の基準値および試験結果は、表－２．７に示すように、設計基準値で１時間強度で約 147kN/㎡、７日強度で 1960kN/㎡に対して、それぞれ１時間強度で約 210kN/㎡、７日強度で 2400～2660kN/㎡である。

（２）裏込め注入量・圧力

裏込め注入は、シールド機のスキンプレートに設置された裏込め注入管から注入する同時裏込め注入方式とシールド機の後方から掘進時にセグメントの裏込め注入孔から注入する即時裏込め注入方式を併用して施工された。同時裏込め注入の注入位置はシールド機の左右側面の中央部である。即時裏込め注入の注入位置は図－２．１９に示すように計測断面Ａでは切羽に向かって右肩部と左側部、計測断面Ｂでは切羽にむかって左右の側部から実施されている。裏込め注入圧は約 250～450kN/㎡の範囲でばらついており、計測用セグメント付近の圧力はＡ断面で約 289～317kN/㎡、Ｂ断面で約 277～299kN/㎡となっている。裏込め注入量は突出値を除き 5000～7000 ﾘｯﾄﾙの範囲で注入されており、理論ボイド量に対する注入率は計算されるボイド量約 4190 ﾘｯﾄﾙに対し、計測断面Ａで 120～160％前後、計測断面Ｂで 140～180％前後の値となっている。

表－２．５(1)　計測断面Ａ　施工管理データ一覧表

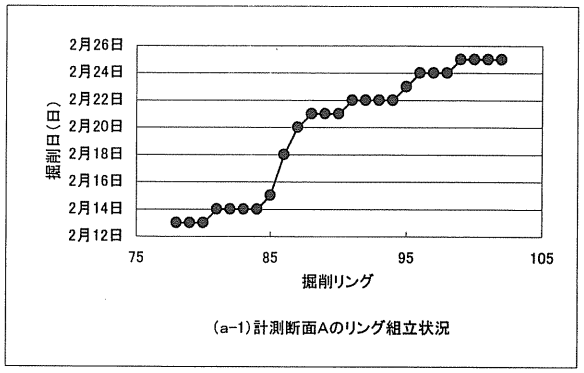
掘削ﾘﾝｸﾞ	掘削日	総推力 (kN)	裏込め注入リング	裏込め注入圧 (kN/㎡)	裏込め注入量 (㎥)	注入率 (%)
78	2月13日	16628	75	346	6228	149
79	2月13日	15429	76	333	5780	138
80	2月13日	14924	77	428	6064	145
81	2月14日	14522	78	352	5344	128
82	2月14日	14296	79	339	5622	134
83	2月14日	13329	80	454	5349	128
84	2月14日	14115	81	418	5442	130
85	2月15日	17779	82	391	6163	147
86	2月18日	14266	83	318	6337	151
87	2月20日	15955	84	277	4249	101
88	2月21日	15725	85	322	6346	151
89	2月21日	16697	86	317	7021	168
90	2月21日	15969	87	289	5591	133
91	2月22日	15269	88	341	4401	105
92	2月22日	14621	89	333	6857	164
93	2月22日	14054	90	236	6749	161
94	2月22日	14425	91	336	6388	152
95	2月23日	14010	92	334	5267	126
96	2月24日	14490	93	330	6413	153
97	2月24日	14340	94	305	4868	116
98	2月24日	14292	95	341	5158	123
99	2月25日	14472	96	340	5590	133
100	2月25日	15166	97	280	6509	155
101	2月25日	16426	98	279	6771	162
102	2月25日	16035	99	251	6364	152

※裏込め注入量はテールボイド量を4.19㎥/Rとして算出した。
※裏込め注入リングは掘削リングの３リング後方とした。

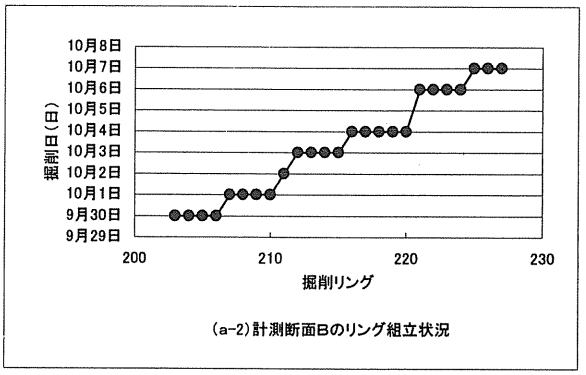
表－２．５(2)　計測断面Ｂ　施工管理データ一覧表

掘削ﾘﾝｸﾞ	掘削日	総推力 (kN)	裏込め注入リング	裏込め注入圧 (kN/㎡)	裏込め注入量 (㎥)	注入率 (%)
203	9月30日	9266	200	322	5988	143
204	9月30日	9025	201	312	5762	138
205	9月30日	8524	202	310	5441	130
206	9月30日	8187	203	290	5947	142
207	10月1日	8695	204	276	5931	142
208	10月1日	9320	205	307	5190	124
209	10月1日	8964	206	309	7173	171
210	10月1日	9013	207	316	7483	179
211	10月2日	9635	208	275	6869	164
212	10月3日	9496	209	255	6895	165
213	10月3日	8381	210	277	6911	165
214	10月3日	9088	211	299	7082	169
215	10月3日	8842	212	295	6703	160
216	10月4日	9557	213	287	6559	157
217	10月4日	9517	214	310	5511	132
218	10月4日	10001	215	264	6273	150
219	10月4日	10428	216	293	6666	159
220	10月4日	12055	217	321	6621	158
221	10月6日	13045	218	460	6646	159
222	10月6日	12563	219	426	7100	169
223	10月6日	11883	220	453	7077	169
224	10月6日	12328	221	447	5985	143
225	10月7日	11777	222	482	6361	152
226	10月7日	10900	223	426	6533	156
227	10月7日	11948	224	454	5974	143

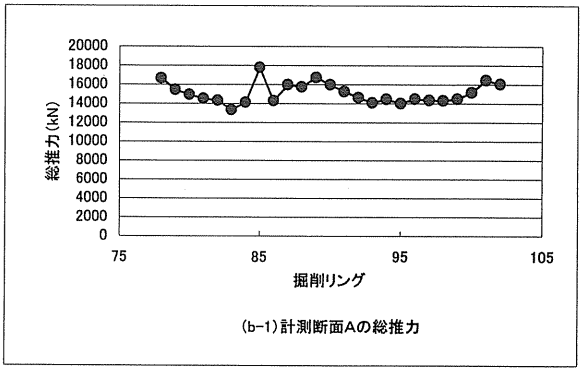
※裏込め注入量はテールボイド量を4.19㎥/Rとして算出した。
※裏込め注入リングは掘削リングの３リング後方とした。



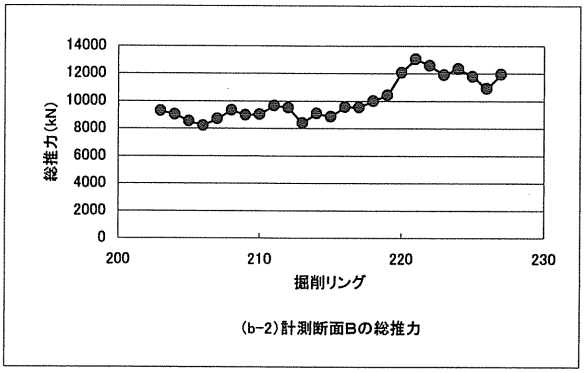
(a-1)計測断面Aのリング組立状況



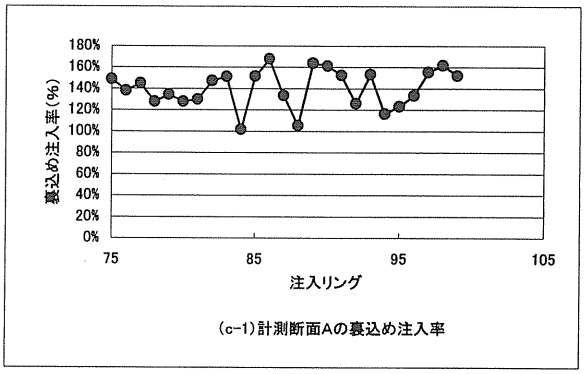
(a-2)計測断面Bのリング組立状況



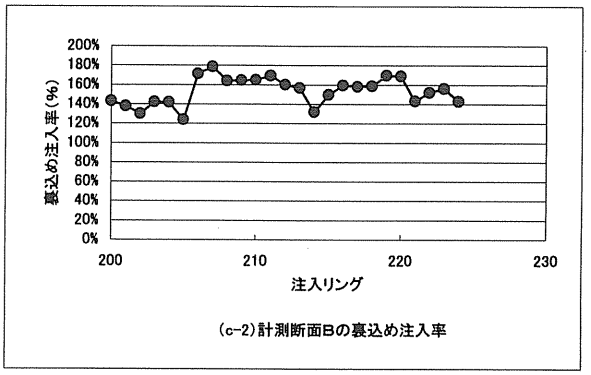
(b-1)計測断面Aの総推力



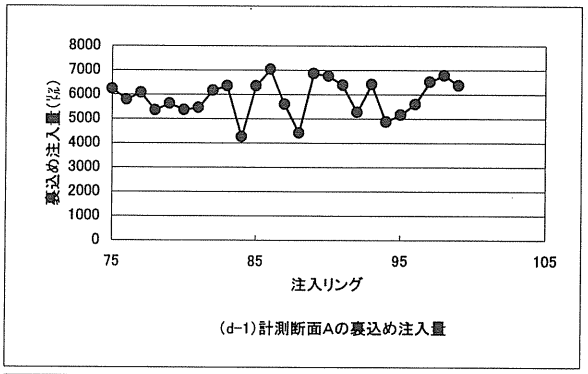
(b-2)計測断面Bの総推力



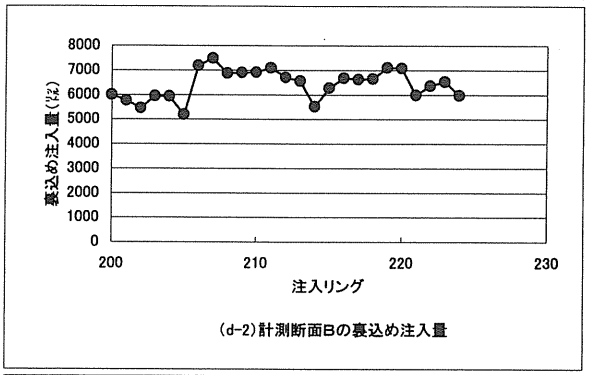
(c-1)計測断面Aの裏込め注入率



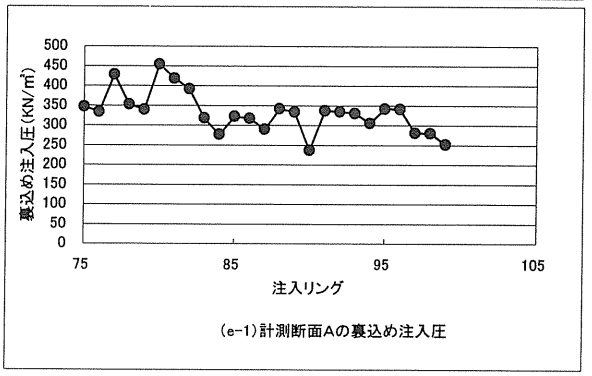
(c-2)計測断面Bの裏込め注入率



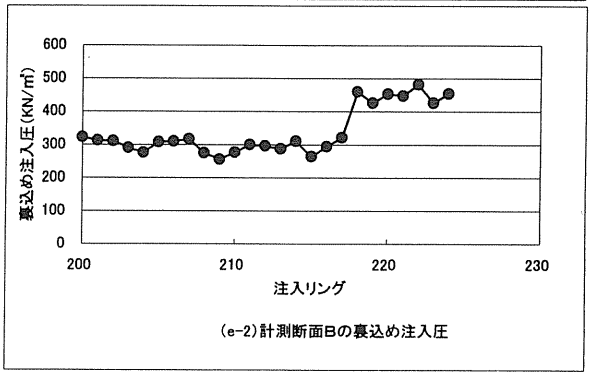
(d-1)計測断面Aの裏込め注入量



(d-2)計測断面Bの裏込め注入量



(e-1)計測断面Aの裏込め注入圧



(e-2)計測断面Bの裏込め注入圧

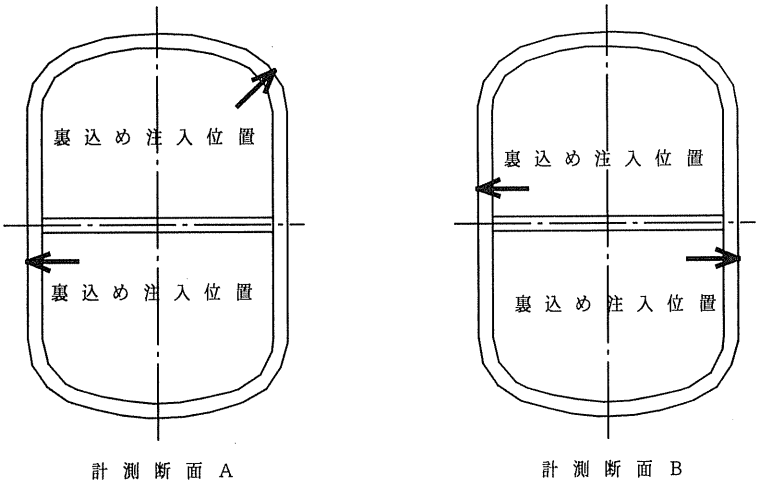
図－２．１８　施工管理の実績

表－２．６　裏込め注入の配合表（１㎥当り）

硬化材	助材	安定剤	水	凝結剤
261 kg	108 kg	1.0 kg	733 ﾘｯﾄﾙ	130 ﾘｯﾄﾙ

表－２．７　裏込め注入材の基準値および試験結果

項目	着手前試験結果	183Ｒ試験結果	基準値
生比重	1.26	1.26	1.27±0.02
フロー値(cm)	54	43	30 以上
ゲルタイム(秒)	8.0	10.4	15 以内
一軸圧縮強度試験 1 時間後 (kN/㎡)	210	210	147 以上
一軸圧縮強度試験 7 日後(kN/㎡)	2660	2400	1960 以上



図－２．１９　即時裏込め注入位置図

２．３　計測結果

２．３．１　坑内計測

本現場計測で得られた結果を以降に示す。計測開始からほぼ安定するまでの経時的な変化を見るために、計測開始時点から計測終了時点までの主なデータを表－２．８(1)～(2)のように抽出した。以下の検討にあたっては表中に示す各時期および経過時間の結果を適宜用いて考察を加える。

なお、各測定値の初期値は以下に示す時期とした。

- 土圧計は、計測リングに計測器を設置する直前の大気中のフリーの状態を初期値とした。
- 水圧計は、計測リングに計測器を設置する直前の大気中のフリーの状態を初期値とした。
- 鉄筋計は、土圧計リングの組立後の値を初期値とした。

表－２．８(1)　計測断面Ａの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
1	97/2/20　0:00 (計測開始)	86 ﾘﾝｸﾞ ｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(97/2/18　20:50)約１日経過後
2	97/2/21　5:48	87 ﾘﾝｸﾞ ｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(97/2/21　0:00)約５時間経過後
3	97/2/21　5:10	86 ﾘﾝｸﾞ (ｾｸﾞﾒﾝﾄ計測ﾘﾝｸﾞ)鉄筋計ﾃｰﾙ脱出
4	97/2/21　13:30	87 ﾘﾝｸﾞ (土水圧計測ﾘﾝｸﾞ)土水圧計ﾃｰﾙ脱出
5	97/2/21　18:14	86 ﾘﾝｸﾞ 裏込め注入直後(89R 掘進完了時)(97/2/21 16:30)
6	97/2/21　21:58	87 ﾘﾝｸﾞ 裏込め注入直後(90R 掘進完了時)
7	97/2/22　0:00	87 ﾘﾝｸﾞ １日後
8	97/2/21　20:50	86 ﾘﾝｸﾞ ３日後
9	97/2/24　0:00	87 ﾘﾝｸﾞ ３日後
10	97/2/25　20:50	86 ﾘﾝｸﾞ １週間後
11	97/2/28　0:00	87 ﾘﾝｸﾞ １週間後
12	97/3/11　0:00	86 ﾘﾝｸﾞ 組立後約 20 日後
13	97/3/13　0:00	87 ﾘﾝｸﾞ 組立後約 20 日後
14	97/3/31　0:00	86 ﾘﾝｸﾞ 組立後約 40 日後
15	97/4/ 2　0:00	87 ﾘﾝｸﾞ 組立後約 40 日後
16	97/4/20　0:00	86 ﾘﾝｸﾞ 組立後約 60 日後
17	97/4/22　0:00	87 ﾘﾝｸﾞ 組立後約 60 日後

表－２．８(2)　計測断面Ｂの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
1	97/10/ 2　8:04 (計測開始)	210 ﾘﾝｸﾞ ｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(97/10/1　21:40)約 10 時間経過後
2	97/10/ 3　9:18	211 ﾘﾝｸﾞ ｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(97/10/2　21:55)約 11 時間経過後
3	97/10/ 3　9:28	210 ﾘﾝｸﾞ (ｾｸﾞﾒﾝﾄ計測ﾘﾝｸﾞ)鉄筋計ﾃｰﾙ脱出
4	97/10/ 3　12:00	211 ﾘﾝｸﾞ (土水圧計測ﾘﾝｸﾞ)土水圧計ﾃｰﾙ脱出
5	97/10/ 3　12:36	210 ﾘﾝｸﾞ 裏込め注入直後(213Ｒ掘進完了時)(97/10/3 12:35)
6	97/10/ 3　21:02	211 リング裏込め注入直後(214R 掘進完了時)
7	97/10/ 2　21:40	210 リング１日後
8	97/10/ 3　21:56	211 リング１日後(97/10/ 3　21:55)
9	97/10/ 4　21:40	210 リング３日後
10	97/10/ 5　21:56	211 リング３日後
11	97/10/ 9　2:20	210 リング約１週間後
12	97/10/ 9　22:00	211 リング約１週間後
13	97/10/22　22:00	211 リング組立後約 20 日後
14	97/10/27　16:00	210 リング組立後約 20 日後
15	97/11/11　22:00	リング組立後約 40 日後
16	97/12/ 1　0:00	リング組立後約 60 日後
17	97/12/ 31　0:00	リング組立後約 90 日後
18	98/ 3/ 31　0:00	リング組立後約６ヶ月後
19	98/ 9/ 30　0:00	リング組立後約 12 ヶ月後

（1）土圧計

1）計測断面A

図－2．20(1)～(3)に（87 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。表－2．8(1)により抽出した土圧計の値の断面分布図を図－2．22(1)～(2)に示す。

図－2．20(1)～(3)から、土圧の経時変化は、計測リングをシールド機内で組立終了時の荷重が作用していない状態から、次の①～④までの状態へと変化しているものと考えられる。

① シールド推進によりシールド機との接触等による荷重の増加

② テールブラシとの接触による荷重の増加

③ 土圧計の計測リングがシールド機外へ出ることによる土圧の作用

④ 裏込め注入による作用土圧の変動

図より、①によるシールド機との接触により 50～400 kN/㎡と計測値にばらつきが見られる。②のテールシールとの接触による変化は土圧計により異なるが、部分的に 250～300kN/㎡程度の高い値を示した後、80～150 kN/㎡程度に下がっている。また、③の土圧計の計測リングがシールド機外へ出たテール脱出直後の土圧計の値は、再び部分的に 250kN/㎡程度まで高くなる。その後は、90～200 kN/㎡に下がった後、④の裏込め注入によりもう一度最大 250kN/㎡程度まで高くなる。裏込め注入後、計測値は徐々に収束しており、約2ヶ月後の土圧計測値は 100～200kN/㎡程度となっている。

裏込め注入の施工管理データよれば、計測リングの裏込め注入の圧力は、300kN/㎡程度で実施されているが、裏込め注入時の土圧計の値はその値まで上昇していないことがわかる。過去に実施された粘性土地盤中における同様の現場計測結果では、ほぼ裏込め注入圧程度の圧力が記録されていたが、本現場のような砂礫、砂質地盤では裏込め注入時の圧力が地盤中に散逸し、圧力が上昇しなかったものと考えられる。

計測値から算出されるセグメント組立後約2ヶ月経過後の天端付近の有効土圧は、

①シールド中心天端部(土-A-1)　土圧計測値 118kN/㎡－水圧計測値 88kN/㎡＝30kN/㎡

②シールド右肩部(土-A-2)　土圧計測値 210kN/㎡－水圧計測値 96kN/㎡＝114kN/㎡

③シールド左肩部(土-A-10)　土圧計測値 179kN/㎡－水圧計測値 84kN/㎡＝95kN/㎡

となっている。セグメント設計の荷重の考え方を土水分離の全土被り荷重を想定し、後述する水圧計測結果から地下水位面をトンネル天端より上 7～8ｍと仮定すると、天端に作用する鉛直荷重は、水圧で約 68～78kN/㎡、有効土圧で約 93～103kN/㎡程度となり、この値と比較すると、セグメントに作用する土圧は天端では全土被り土圧の約3割程度の値となっているものの、両肩部では全土被りにほぼ等しい値となっている。

2）計測断面B

図－2．21(1)～(3)に 211 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。表－2．8(2)により抽出した最終的な土圧計の値の断面分布図を図－2．23(1)～(3)に示す。図－2．21(1)～(3)から土圧の経時変化は、上述した①～④の状態へ

と変化しているものと考えられる。

図より、①によるシールド機との接触により80～300 kN/㎡と計測値にばらつきが見られる。②のテールシールとの接触による変化は土圧計により異なるが、部分的に250～300kN/㎡程度の高い値を示した後、③の土圧計の計測リングがシールド機外へ出たテール脱出直後の土圧計の値は、170～250kN/㎡程度まで下がっている。その後は、90～150 kN/㎡に下がった後、④の裏込め注入によりもう一度最大250kN/㎡程度まで高くなっている。長期的には全体的にやや増加傾向がみられ、セグメント組立後約100日経過後時点では、150～200 kN/㎡となっている。なお、100日経過後以降に急激な減少がみられる土－Ｂ－１（天端）、土－Ｂ－７（左下）、土－Ｂ－10（左上）の計測値は異常値と思われる。

裏込め注入の施工管理データよれば、計測リングの裏込め注入の圧力は、300kN/㎡程度で実施されているが、計測断面Ａ同様、裏込め注入時の土圧計の値はその値まで上昇していないことがわかる。また、211Ｒから５m離れた216Ｒを裏込め注入するまで影響が見られる。

天端などの計測値に異常がみられる直前(計測セグメント組立後約100日経過時点)の有効土圧は、

①シールド中心天端部(土-B-1)　土圧計測値 197kN/㎡－水圧計測値 91kN/㎡＝106kN/㎡

②シールド右肩部(土-B-2)　土圧計測値 214kN/㎡－水圧計測値 90kN/㎡＝124kN/㎡

③シールド左肩部(土-B-10)　土圧計測値 189kN/㎡－水圧計測値 99kN/㎡＝90kN/㎡

となる。セグメント設計の荷重の考え方を土水分離の全土被り荷重を想定し、後述する水圧計測結果から地下水位面をトンネル天端より上８～９mと仮定すると、天端に作用する鉛直荷重は、水圧で約78～88kN/㎡、有効土圧で約 90～100kN/㎡程度となり、この値と比較すると、セグメントに作用する土圧はセグメント組立後約100日前後には、ほぼ全土被り土圧が作用していると考えられる。

（２）水圧計

１）計測断面Ａ

図－２．２４(1)～(3)に計測断面Ａの水圧の経時変化を示す。図より測定値の経時的な変化はセグメント組立完了後約３日間の間に計測値の変動が見られる。その後、特に大きな変動は見られない。計測値に多少の変動が見られるのは、地下水位の変化の影響も考えられる。

図－２．２６にセグメント組立後（約２ヶ月後）の水圧の断面分布形状を示す。また、トンネル天端から水圧計までの高さと水圧計測値との関係図を図－２．２７に示す。図に示す水圧の断面分布形状から、地質調査結果等に基づいて想定される地下水位面からの理論値での静水圧分布と計測値とは、トンネル側部が若干ばらついているものの、ほぼ一致していると考えられる。したがって、本地盤条件と同程度であれば、トンネルに作用する水圧は地質調査結果等による地下水位から求められる静水圧（シールド天端で約70 kN/㎡）が作用するものと考えられる。

２）計測断面Ｂ

図－２．２５(1)～(3)に計測断面Ｂの水圧の経時変化を示す。図より測定値の経時的な変化はセグメント組立完了後約３日間の間に計測値の変動が見られる。その後は計測期間中に若干変動しながら、ほぼ横ばい状態にある。計測値に多少の変動が見られるのは、地下水位の変化の影響も考えられる。

図－２．２８にセグメント組立後（約１年後）の水圧の断面分布形状を示す。また、トンネル天端から水圧計までの高さと水圧計測値との関係図を図－２．２９に示す。図に示す水圧の断面分布形状から、地質調査結果等に基づいて想定される地下水位面からの理論値での静水圧分布と計測値とが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、トンネルに作用する水圧は地質調査結果等による地下水位から求められる静水圧（シールド天端で約 90kN/m²）が作用するものと考えられる。

（３）周方向鉄筋計

１）計測断面Ａ

図－２．３０(1)～(6)にセグメントの主鉄筋(内側および外側)に配置した鉄筋計の応力測定結果を示す。また、主要な時期における鉄筋応力計測結果を表－２．９に、断面分布図を図－２．３２(1)～(2)に示す。

セグメントの鉄筋応力は最大値でテール脱出時に、セグメント内側で圧縮 30N/㎟程度、引張 50N/㎟程度、外側で圧縮 40N/㎟程度、引張 30N/㎟程度となり、裏込め注入後にはセグメント内側で圧縮 30N/㎟程度、引張 90N/㎟程度、外側で圧縮 30N/㎟程度、引張 70N/㎟程度となる。その後、セグメント組立３日後には内側で圧縮 30N/㎟程度、引張 120N/㎟程度、外側で圧縮 80N/㎟程度、引張 80N/㎟程度で安定し、断面形状もほとんど変化していない。計測セグメント組立後約２ヶ月経過後の鉄筋応力の最大値は、セグメント内側で圧縮 30N/㎟程度、引張 120N/㎟程度となっており、外側で圧縮 20N/㎟程度、引張 90N/㎟程度である。

２）計測断面Ｂ

図－２．３１(1)～(6)にセグメントの主鉄筋(内側および外側)に配置した鉄筋計の応力測定結果を示す。また、主要な時期における鉄筋応力計測結果を表－２．１０に、断面分布図を図－２．３３(1)～(3)に示す。

セグメントの鉄筋応力は最大値でテール脱出時に、セグメント内側で圧縮 30N/㎟程度、引張 30N/㎟程度、外側で圧縮 30N/㎟程度、引張 70N/㎟程度となり、裏込め注入後にはセグメント内側で圧縮 20N/㎟程度、引張 60N/㎟程度、外側で圧縮 20N/㎟程度、引張 60N/㎟程度となる。その後、セグメント組立３日後には内側で圧縮 20N/㎟程度、引張 35N/㎟程度、外側で圧縮 20N/㎟程度、引張 70N/㎟程度で若干の増加傾向を示しながら安定している。計測セグメント組立後約１年経過後の鉄筋応力の最大値は、セグメント内側で圧縮 10N/㎟程度、引張 50N/㎟程度となっており、外側で圧縮 10N/㎟程度、引張 80N/㎟程度である。

なお、計測位置の鉄-B-7ｏ(外側)の計測値は異常値と考えられる。

（4）覆工体に発生する断面力

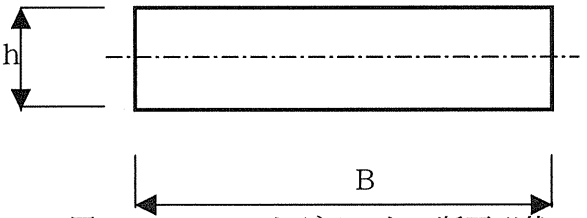
1）曲げモーメント

①計測断面A

鉄筋計の測定値より算出した主要な時期の各点の曲げモーメントの値を表－2．11(1)、経時変化を図－2．35(1)～(2)に示す。また、曲げモーメントの断面分布図を図－2．37(1)～(2)に示す。

曲げモーメントはセグメントの断面形状が図－2．34に示すとおりであり、この断面を用いてコンクリート引張応力を無視し計算した。なお、セグメントの設計は平均一様剛性モデル、はり－ばねモデルの2方法で実施しており、設計計算用土圧としては全土被り土圧と設定された。また、側圧係数λと地盤反力係数kはD_5でλ＝0.42、k＝36.3MN/m³、D_{3US}でλ＝0.5、k＝17.7MN/m³、D_{3UG}でλ＝0.35、k＝49MN/m³と設定された。

セグメント厚さ	h=0.3m
セグメント幅	B=1.0m
断面二次モーメント	I＝0.00225m⁴
断面積	A＝0.3 ㎡



図－2．34　セグメントの断面形状

鉄筋計より算出される曲げモーメントはテール脱出時の 40kN·m から裏込め注入の影響により最大 70 kN·m まで大きくなり、その後は数日のうちに安定し、断面形状も大きな変化は見られない。

②計測断面B

鉄筋計の測定値より算出した主要な時期の各点の曲げモーメントの値を表－2．11(2)、経時変化を図－2．36(1)～(2)に示す。また、曲げモーメントの断面分布図を図－2．38(1)～(3)に示す。セグメントの設計条件は計測断面Aと同じである。

鉄筋計より算出される曲げモーメントはリング組立完了後約1日経過でいったん収束した後、テール脱出時に最大 60 kN·m まで大きくなり、裏込め注入の影響は比較的小さく、数日のうちに安定し断面形状も大きな変化は見られない。なお、鉄-B-7 の値は鉄筋応力計測値が異常と考えられ、異常に大きな曲げモーメント値となっている。

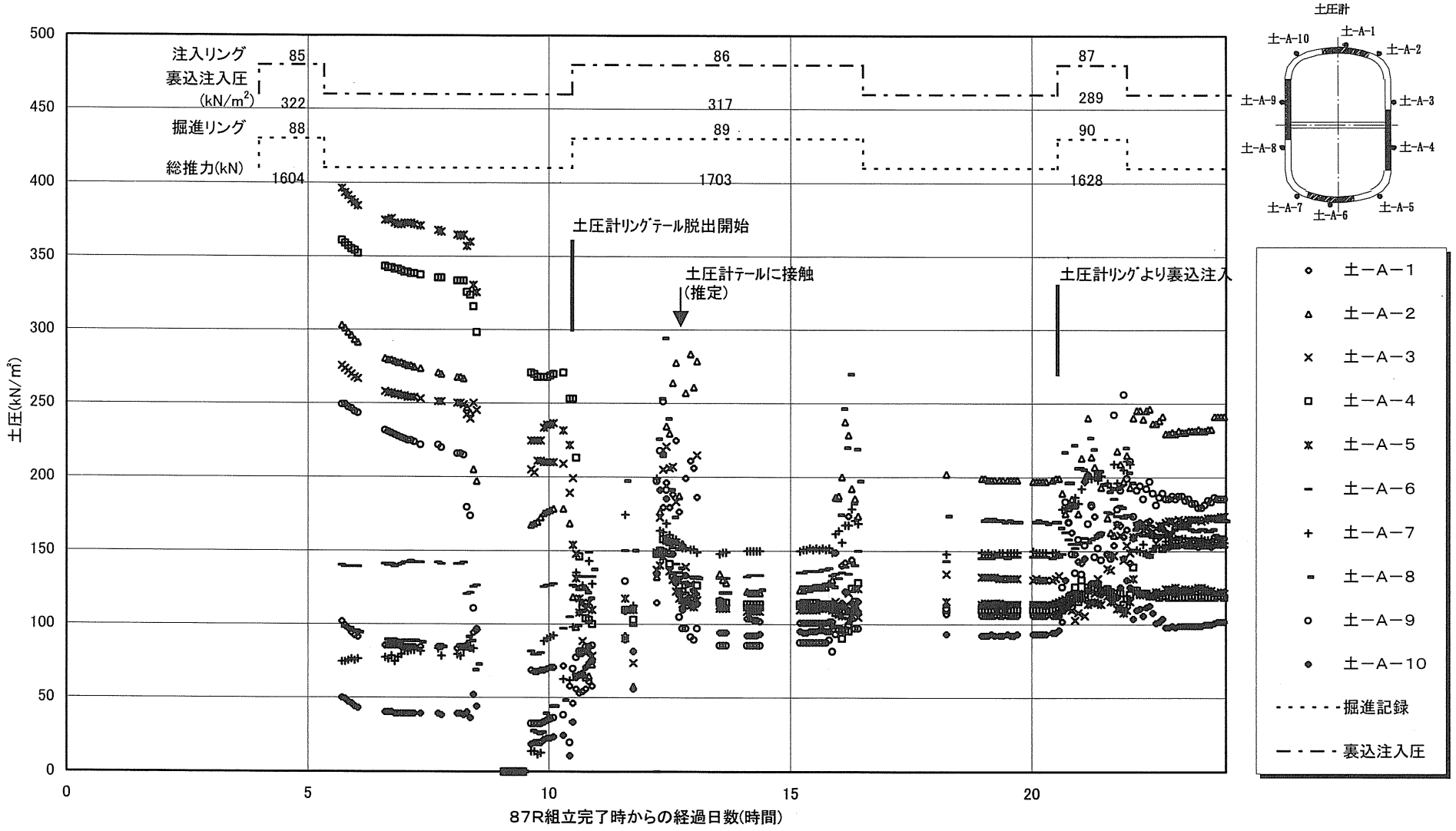
2）軸力

①計測断面A

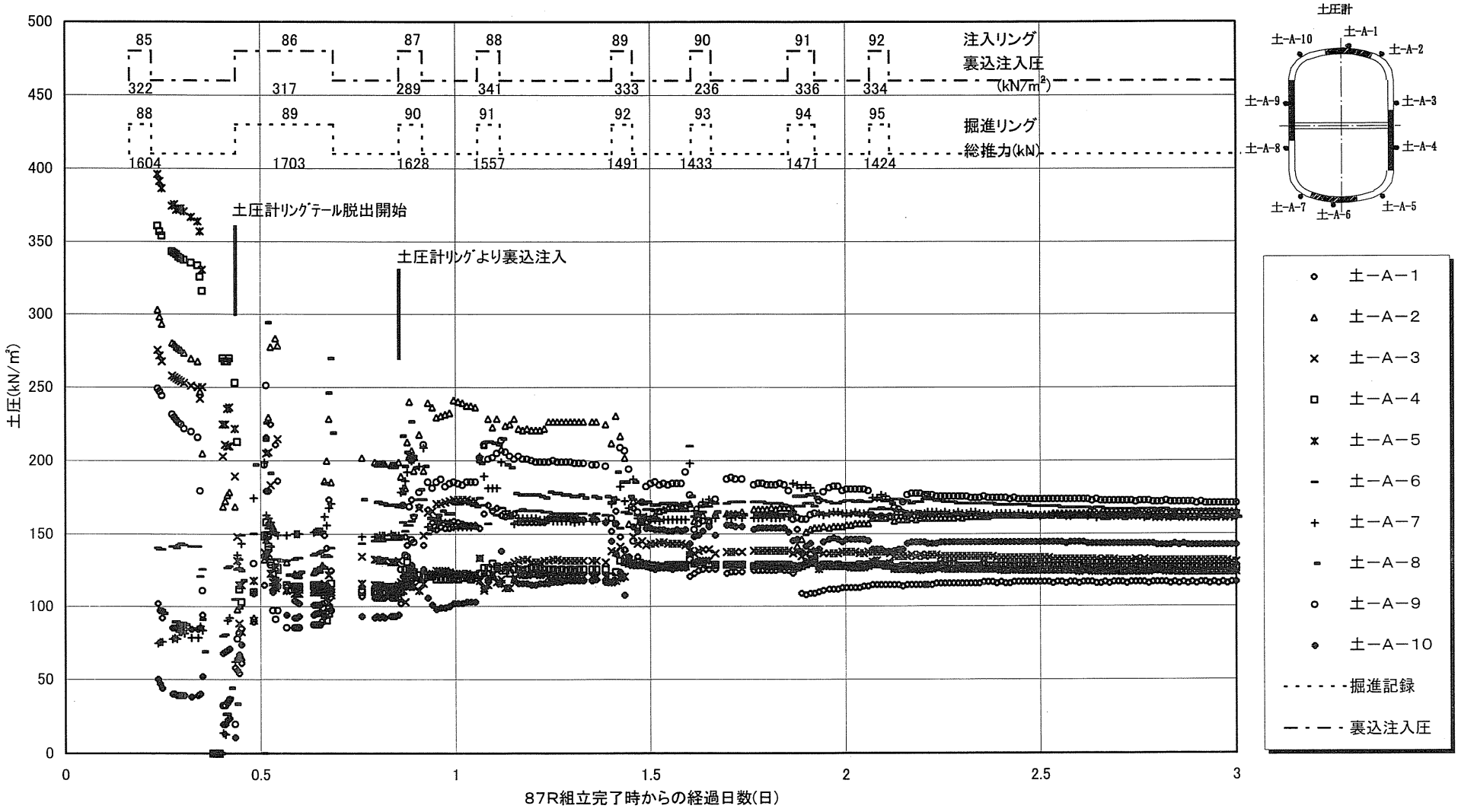
計測断面Aの鉄筋計の測定値より算出した主要な時期の各点の軸力の値を表－2．12(1)、経時変化を図－2．39(1)～(2)に示す。また、軸力の断面分布図を図－2．41(1)～(2)に示す。図より軸力の経時変化は組立後数日で安定した後、大きな変化はなく推移している。

②計測断面B

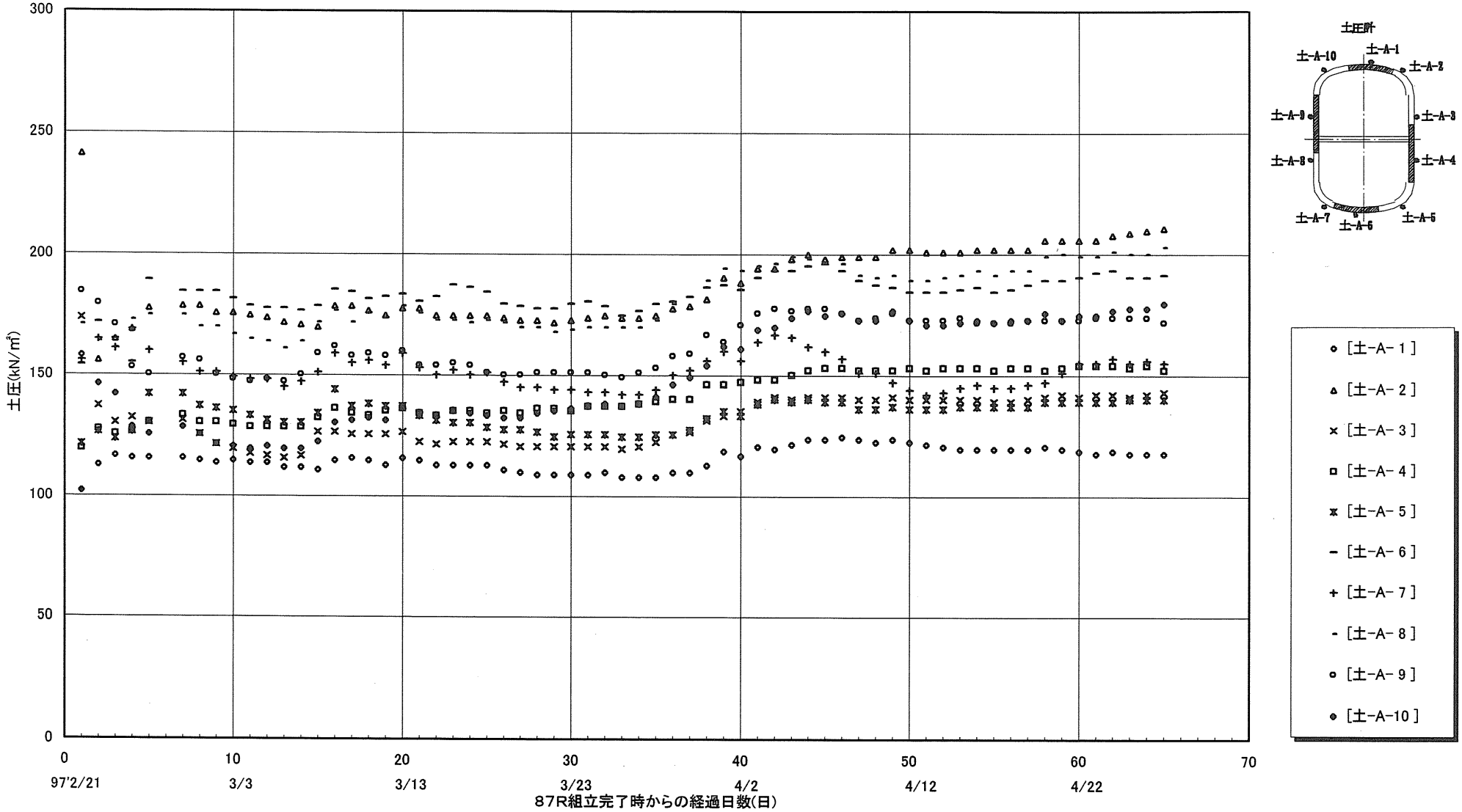
鉄筋計の測定値より算出した主要な時期の各点の軸力の値を表－2．12(2)、経時変化を図－2．40(1)～(2)に示す。また、曲げモーメントの断面分布図を図－2．42(1)～(3)に示す。図より軸力の経時変化は計測断面Aと同様、組立後数日で安定した後、大きな変化はなく推移している。



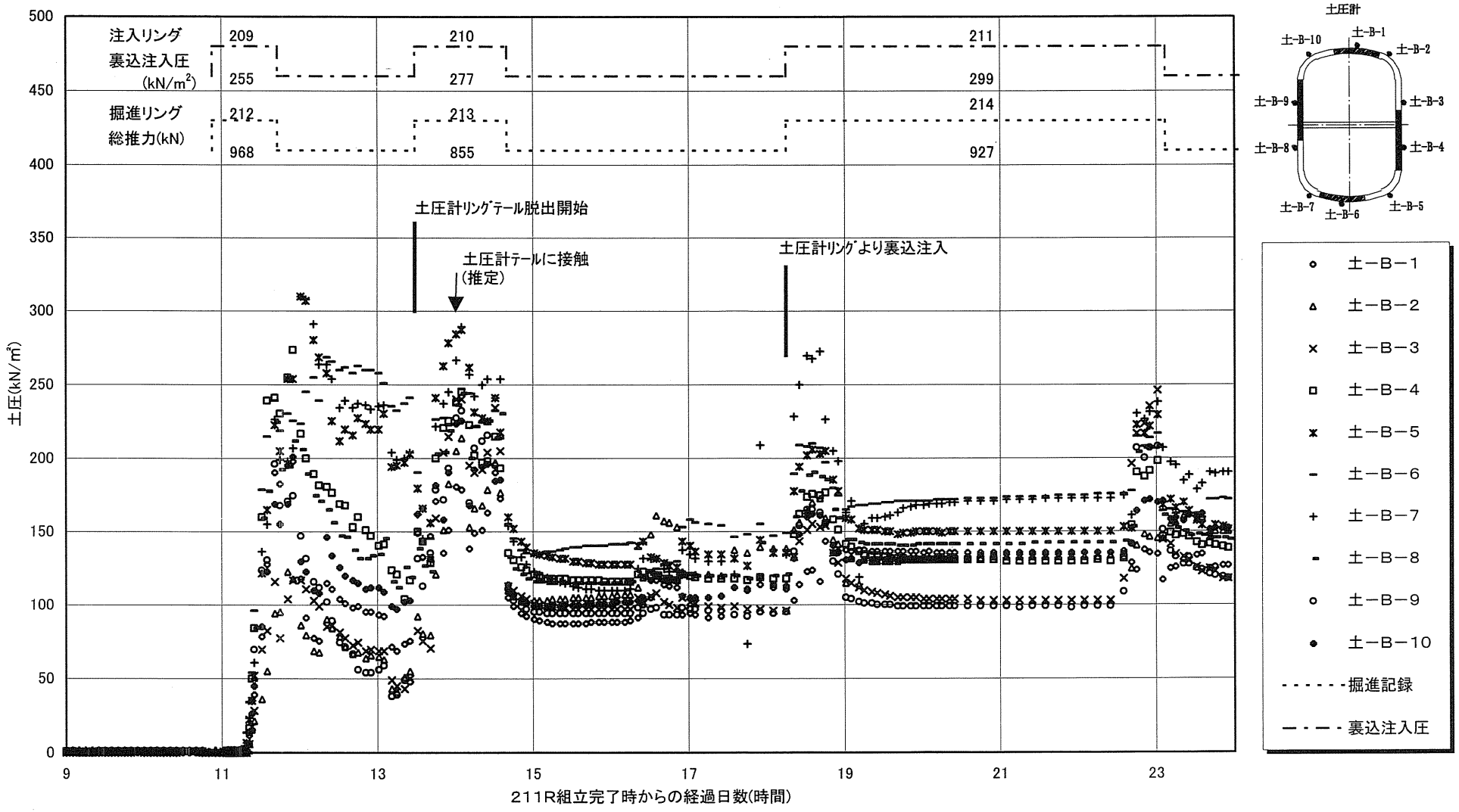
図－２．２０(1)　計測断面Ａ　土圧計の経時変化図(８７Ｒ)



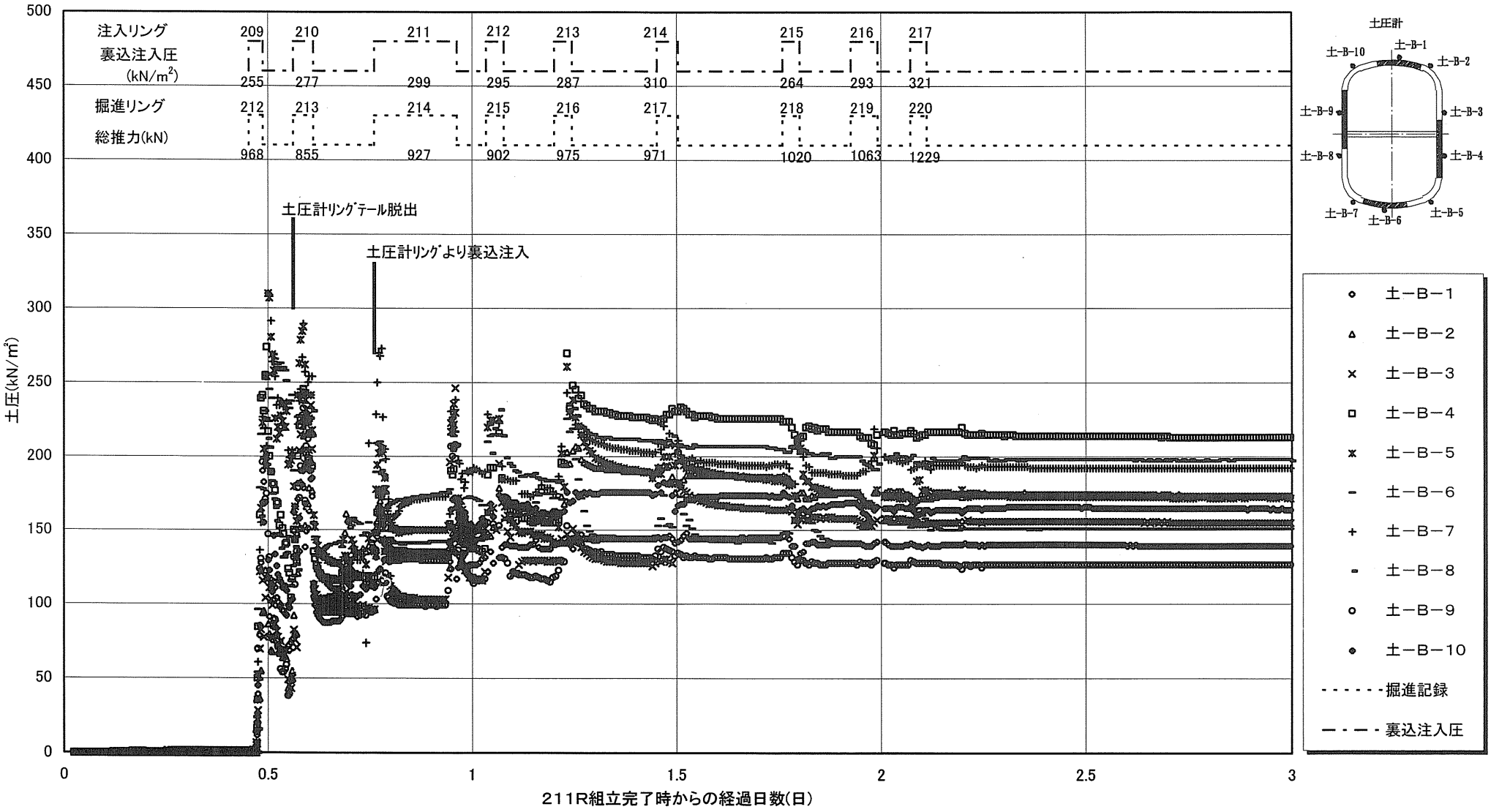
図－２．２０(2)　計測断面Ａ　土圧計の経時変化図（８７Ｒ）



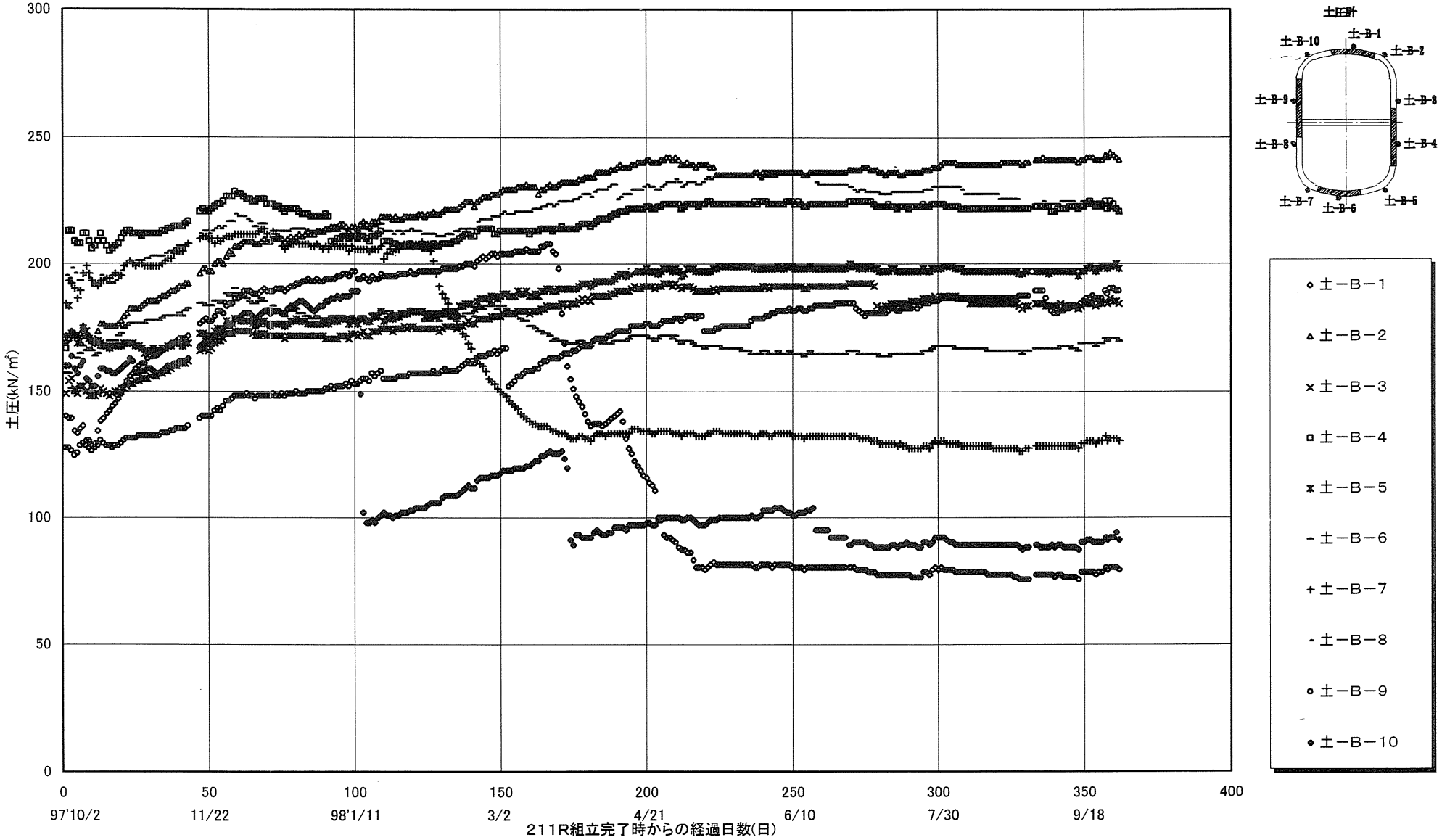
図－２．２０(3)　計測断面Ａ　土圧計の経時変化図(８７Ｒ)



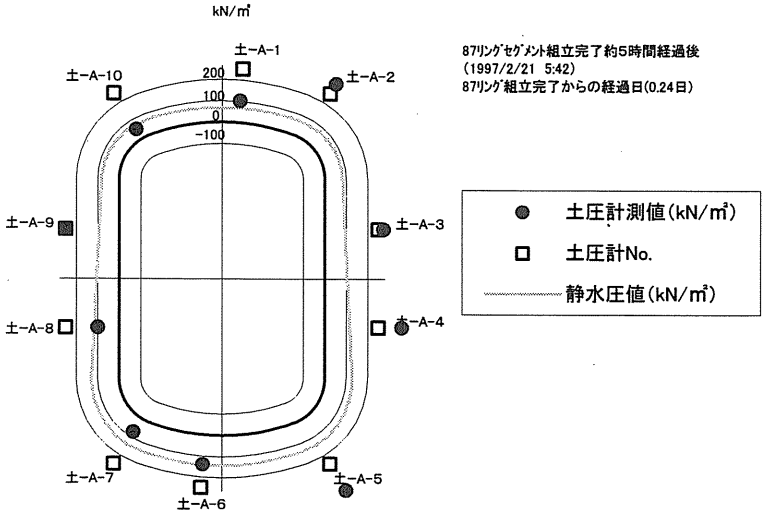
図－２．２１(1)　計測断面Ｂ　土圧計の経時変化図（２１１Ｒ）



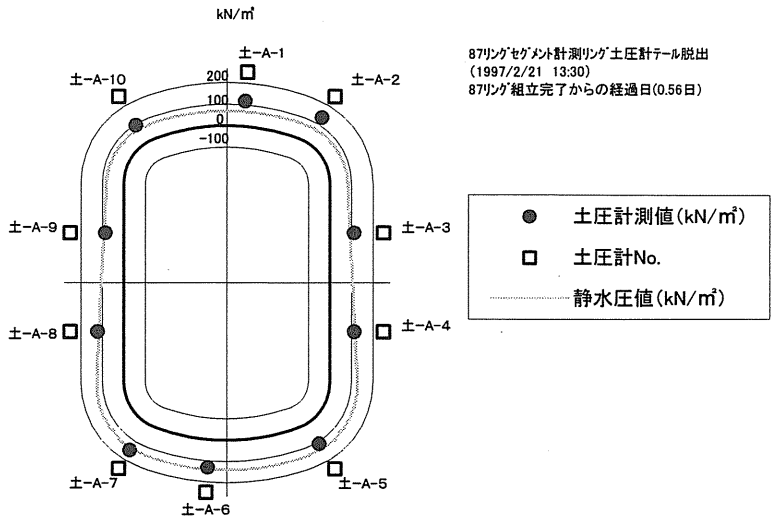
図－２．２１(2)　計測断面Ｂ　土圧計の経時変化図（２１１Ｒ）



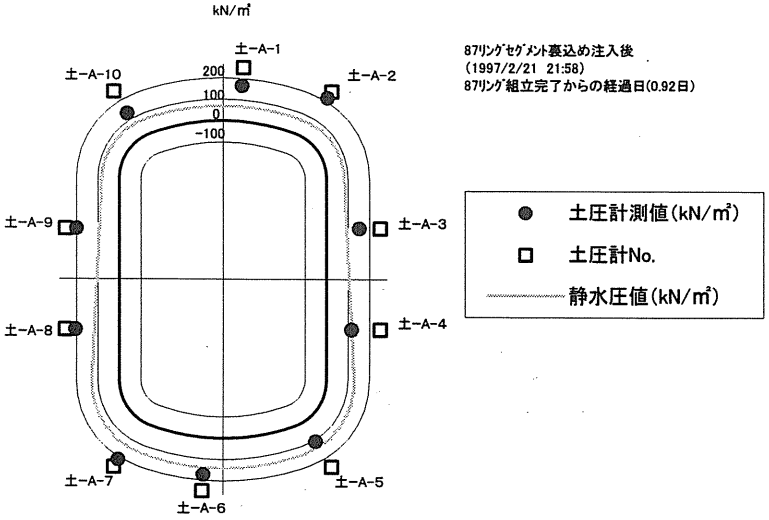
図－２．２１(3)　計測断面Ｂ　土圧計の経時変化図（２１１Ｒ）



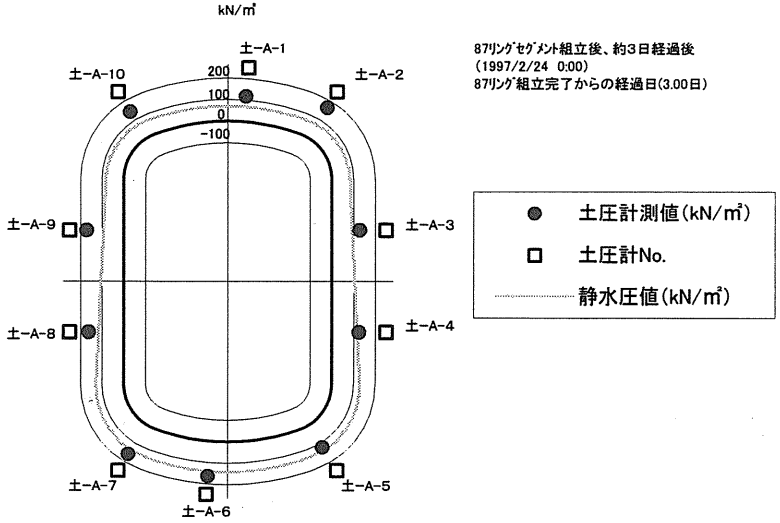
87リング土圧計断面分布図



87リング土圧計断面分布図

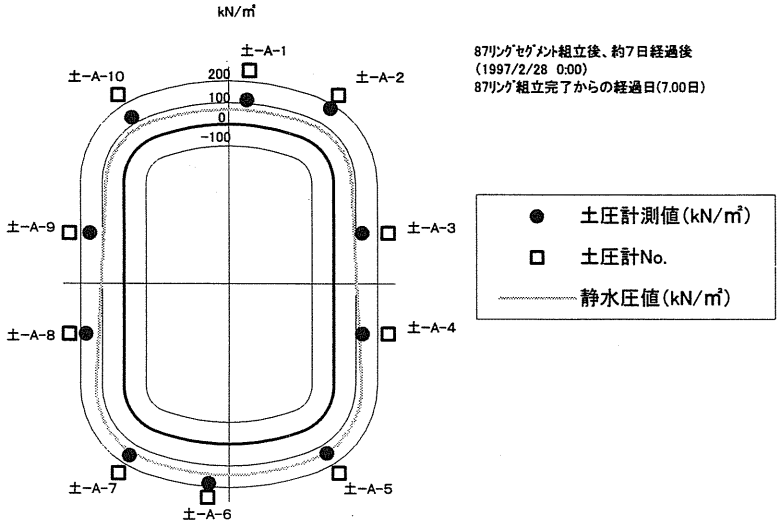


87リング土圧計断面分布図

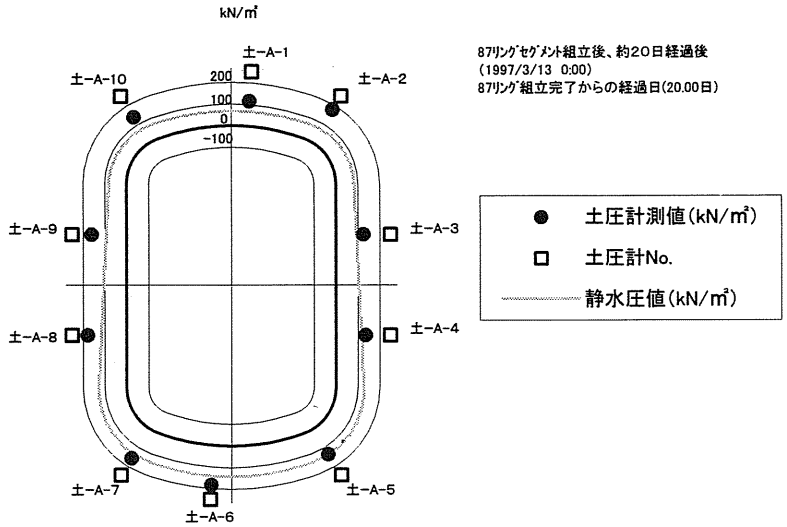


87リング土圧計断面分布図

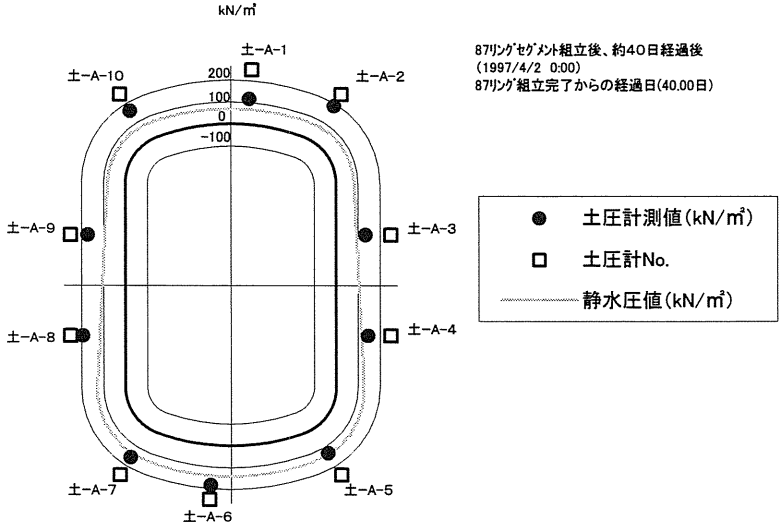
図－２．２２(1)　計測断面Ａ　土圧計の断面分布図



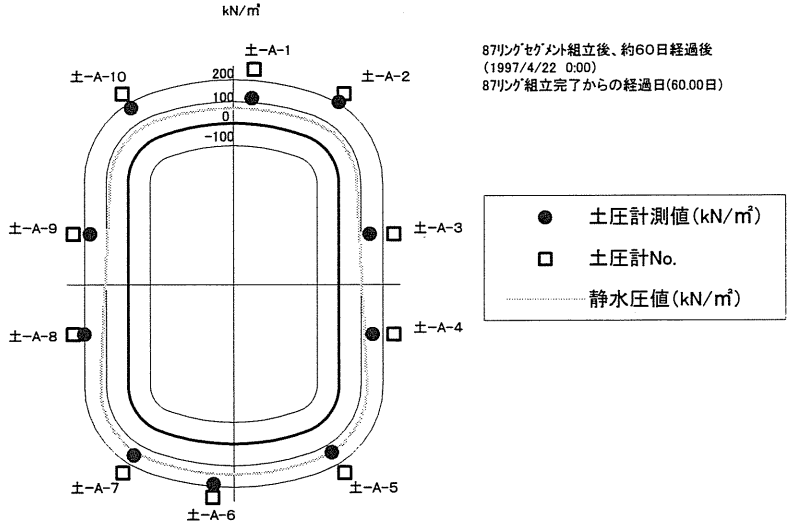
87リング土圧計断面分布図



87リング土圧計断面分布図

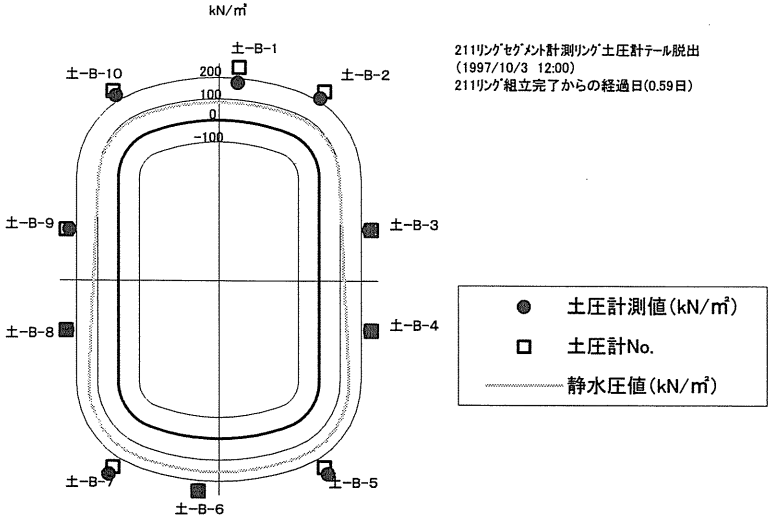


87リング土圧計断面分布図

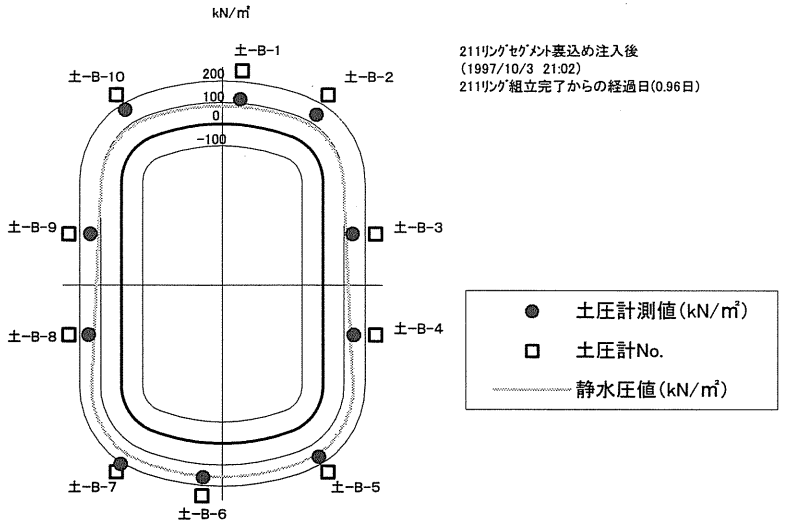


87リング土圧計断面分布図

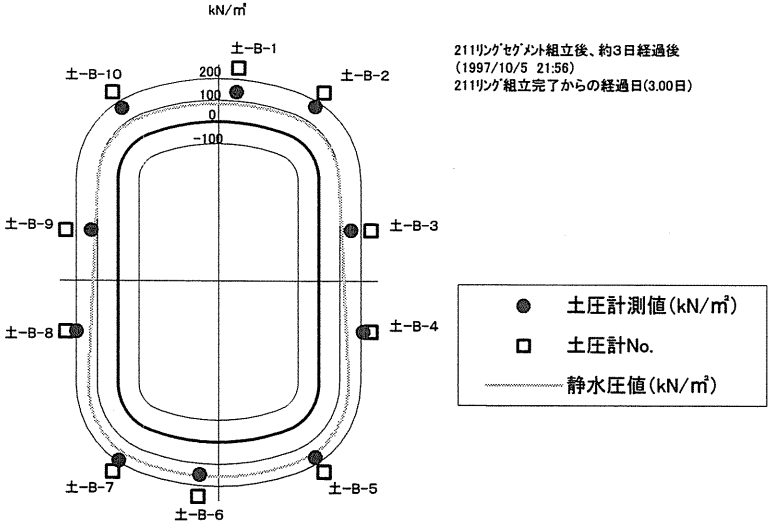
図－２．２２(2)　計測断面Ａ　土圧計の断面分布図



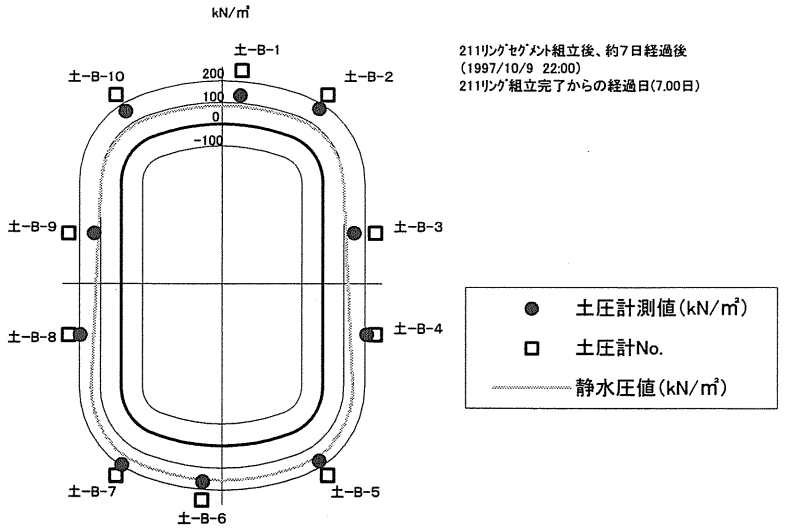
211リング土圧計断面分布図



211リング土圧計断面分布図

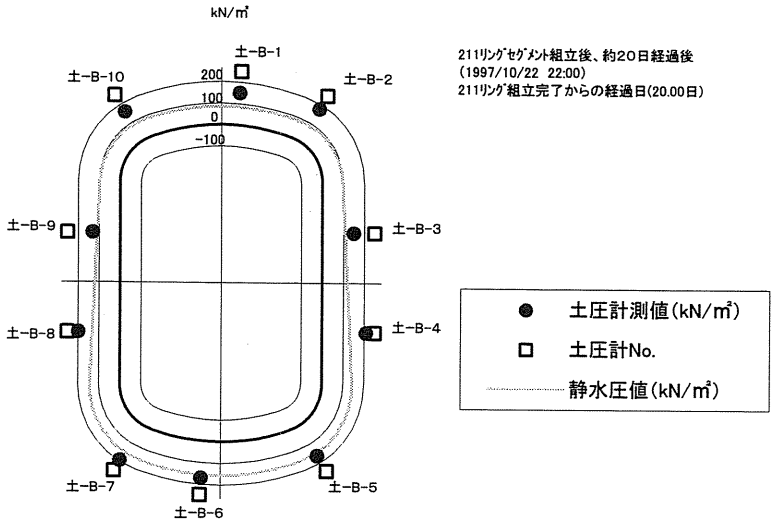


211リング土圧計断面分布図

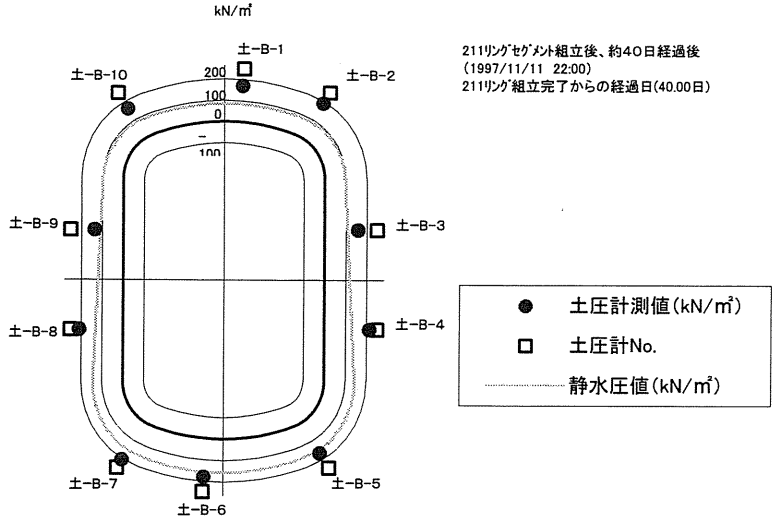


211リング土圧計断面分布図

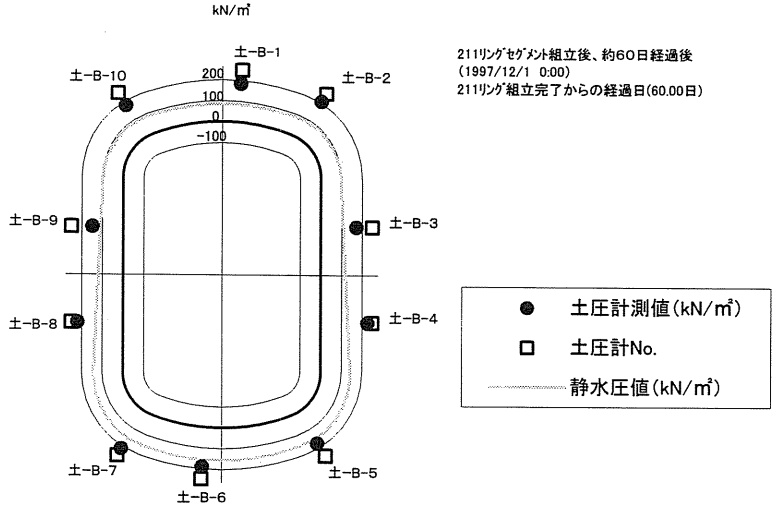
図－２．２３(1)　計測断面Ｂ　土圧計の断面分布図



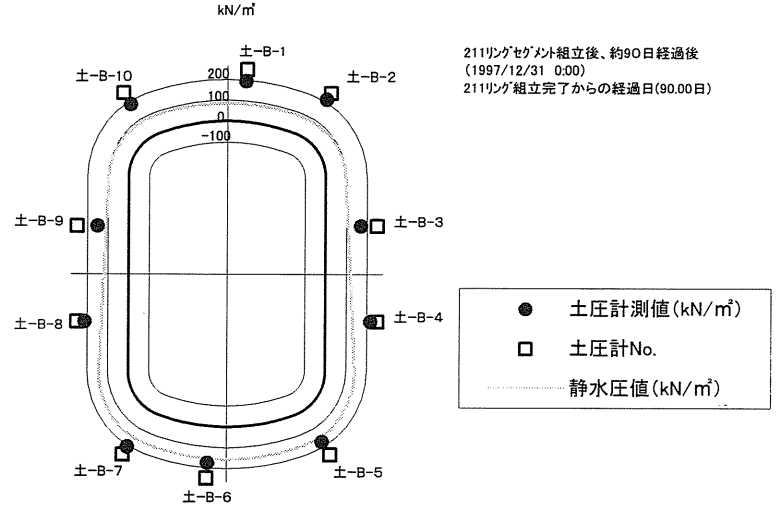
211リング土圧計断面分布図



211リング土圧計断面分布図

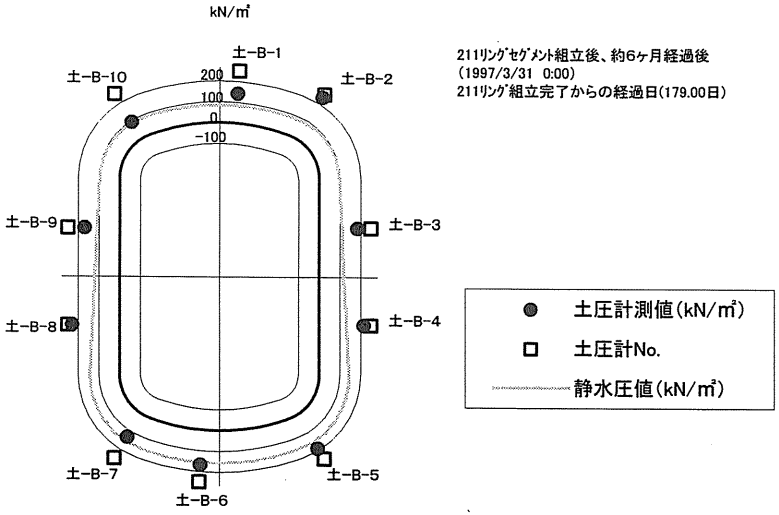


211リング土圧計断面分布図

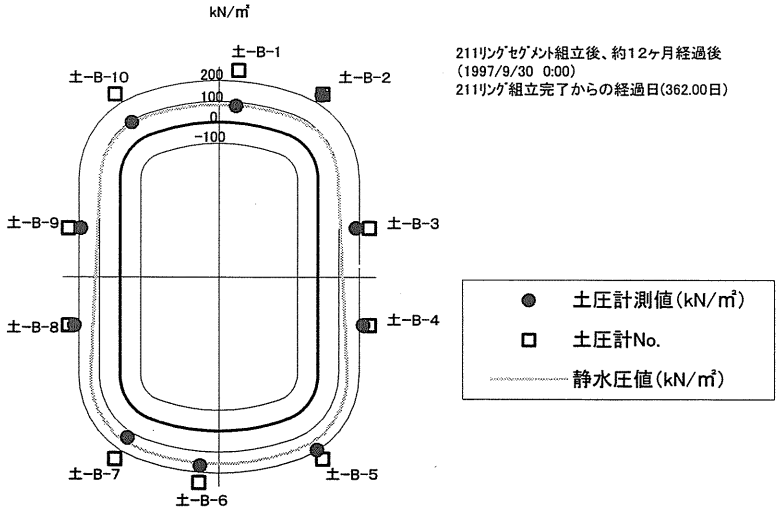


211リング土圧計断面分布図

図－２．２３(2)　計測断面Ｂ　土圧計の断面分布図

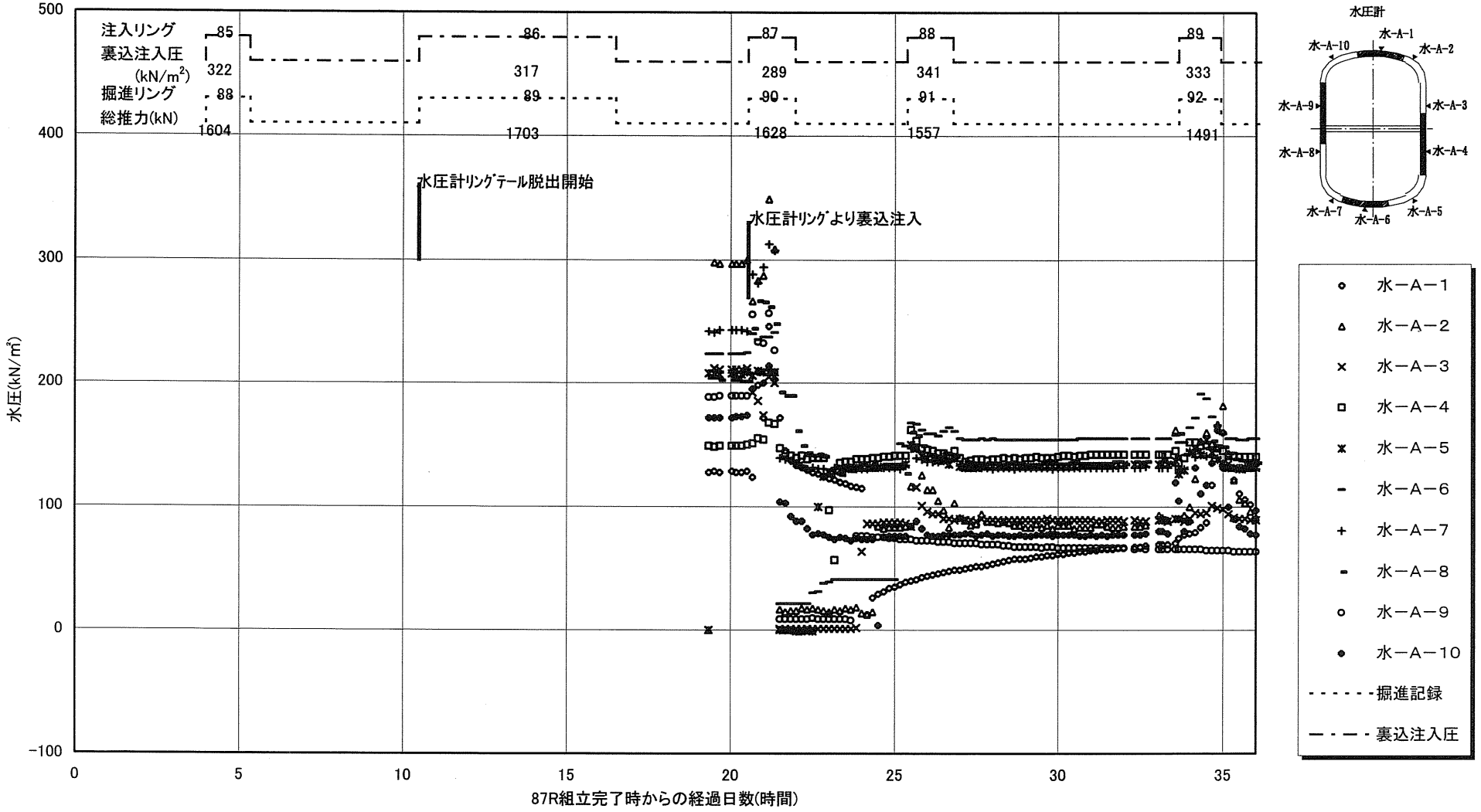


211リング土圧計断面分布図

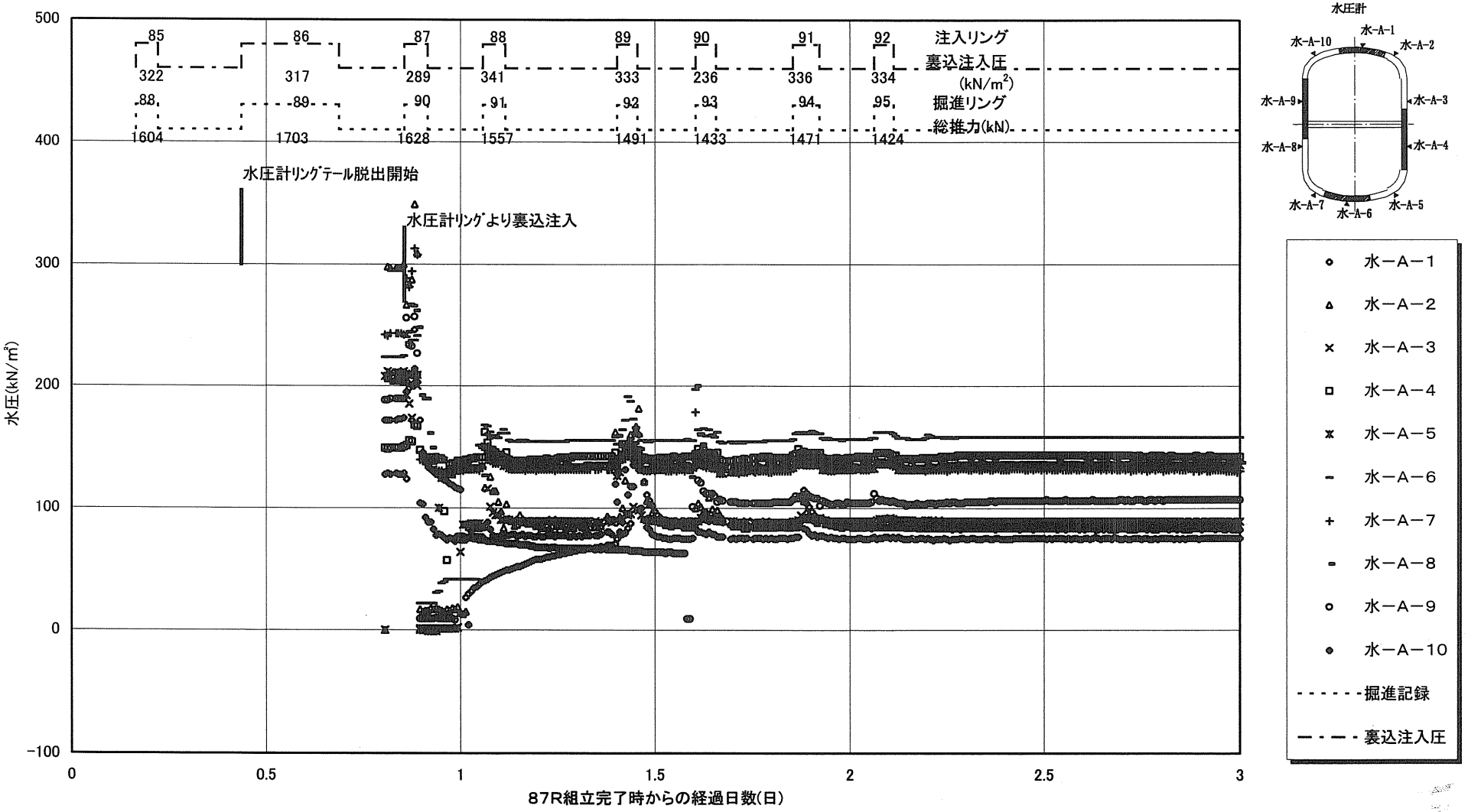


211リング土圧計断面分布図

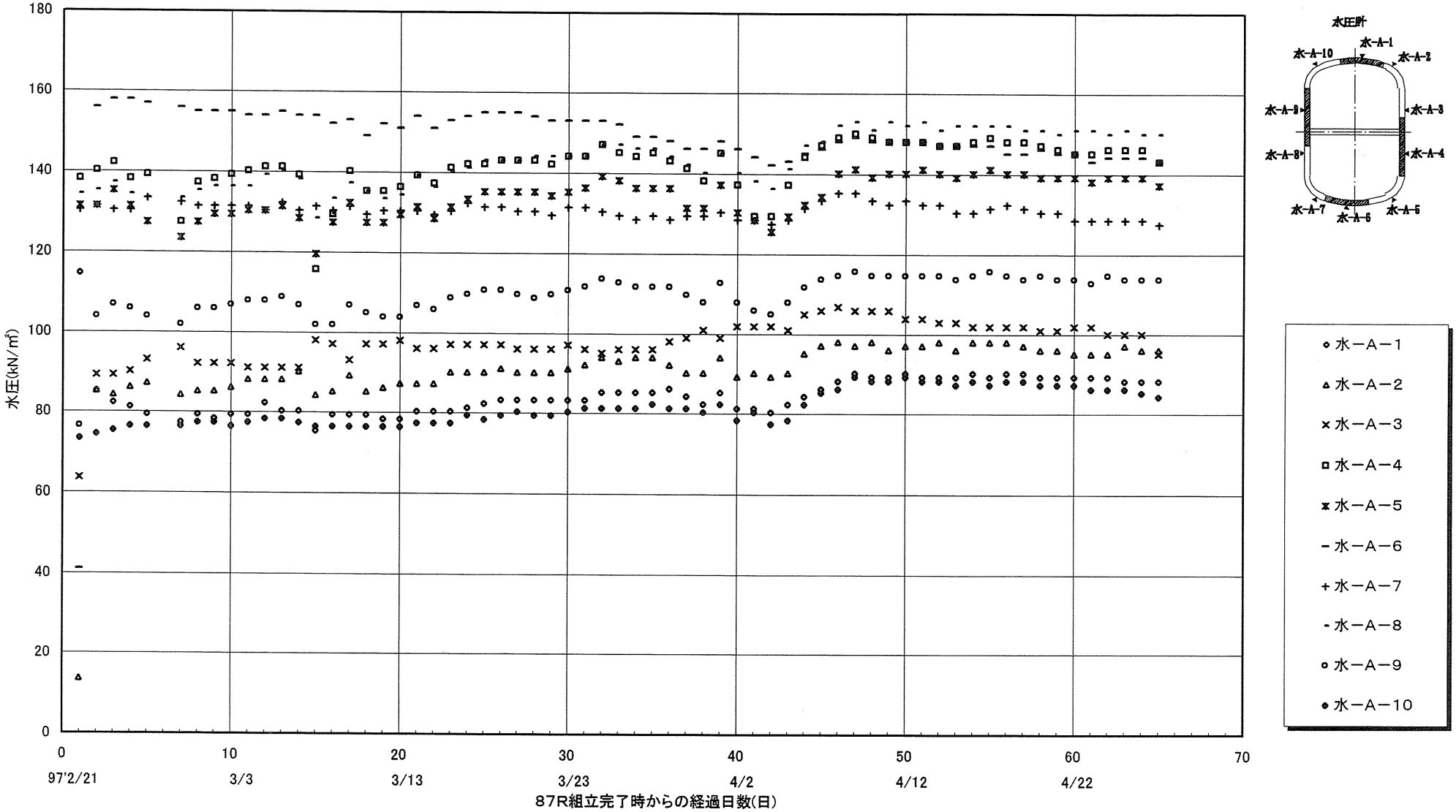
図－２．２３(3)　計測断面Ｂ　土圧計の断面分布図



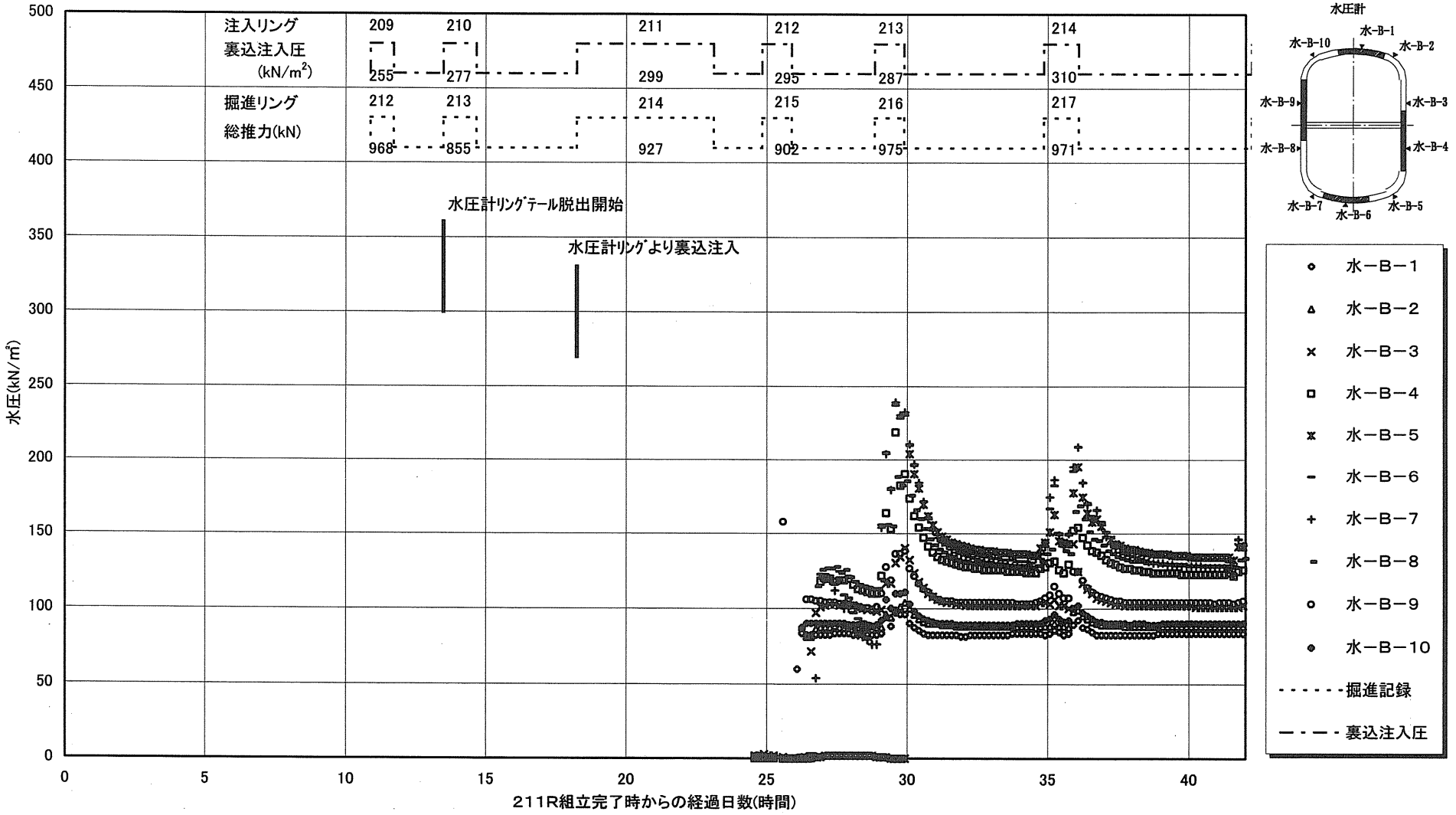
図－２．２４(1)　計測断面Ａ　水圧計の経時変化図(８７Ｒ)



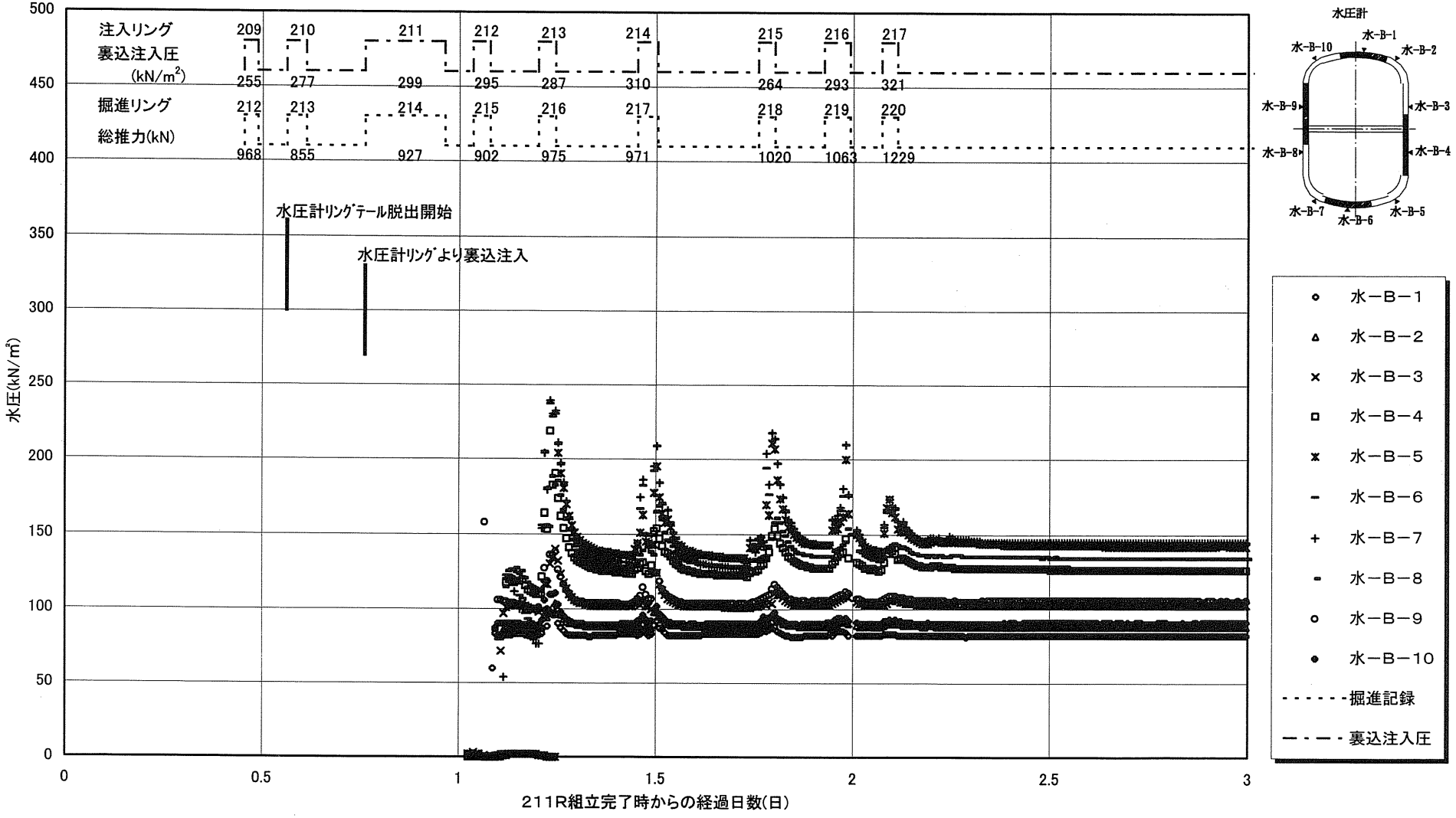
図－２．２４(2)　計測断面Ａ　水圧計の経時変化図（８７Ｒ）



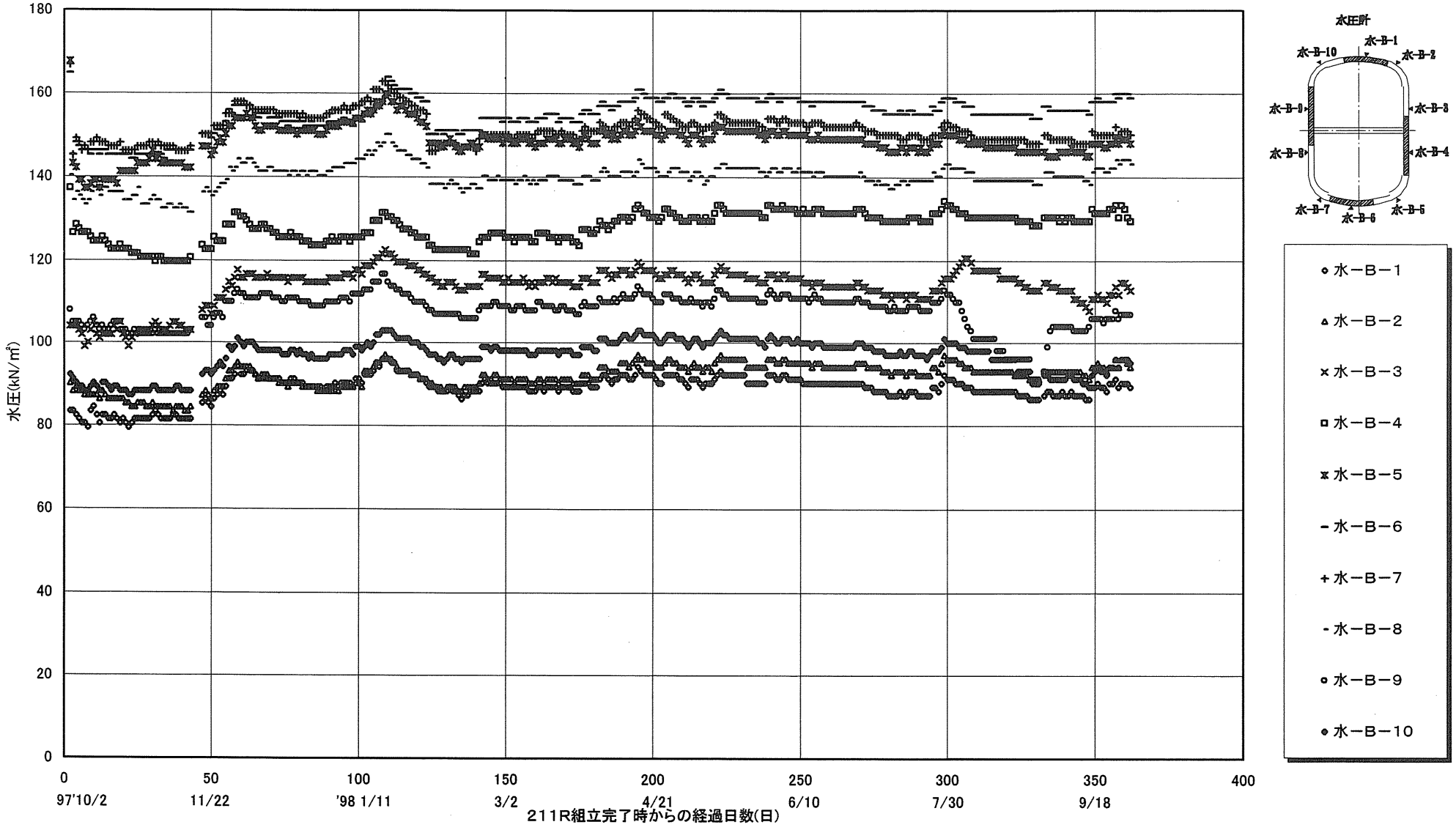
図－２．２４(3)　計測断面Ａ　水圧計の経時変化図(８７Ｒ)



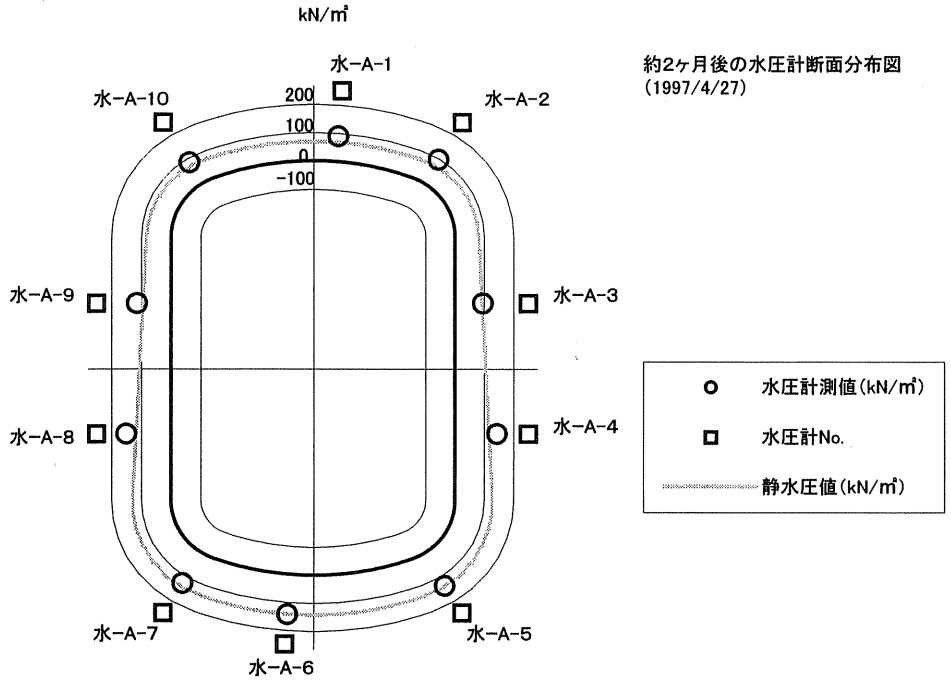
図－２．２５(1)　計測断面Ｂ　水圧計の経時変化図(２１１Ｒ)



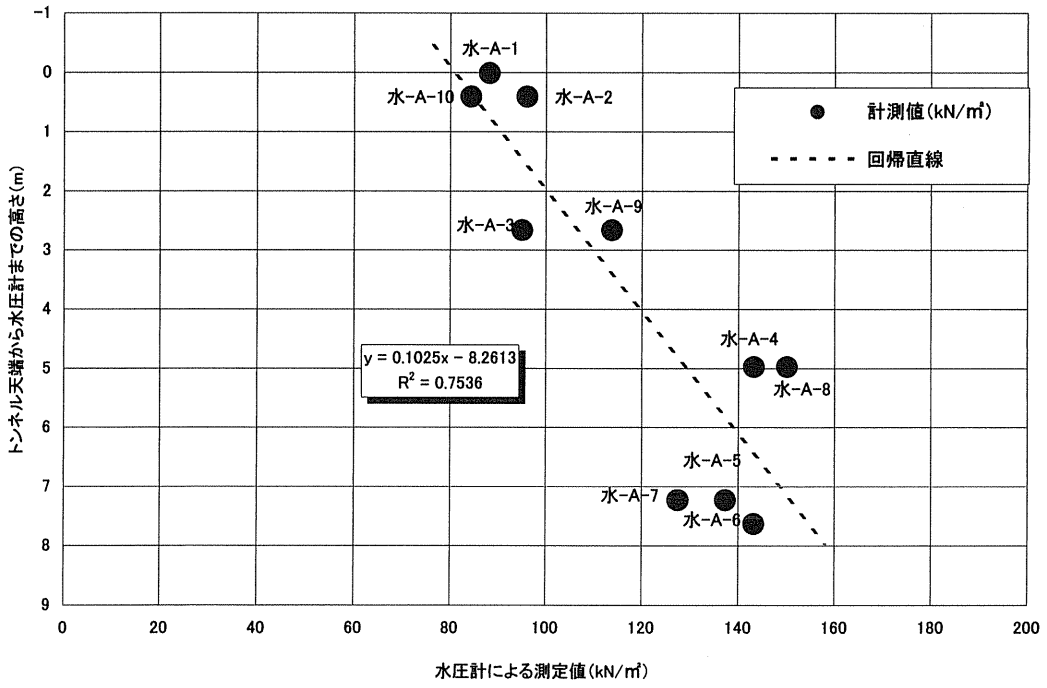
図－２．２５(2)　計測断面Ｂ　水圧計の経時変化図(２１１Ｒ)



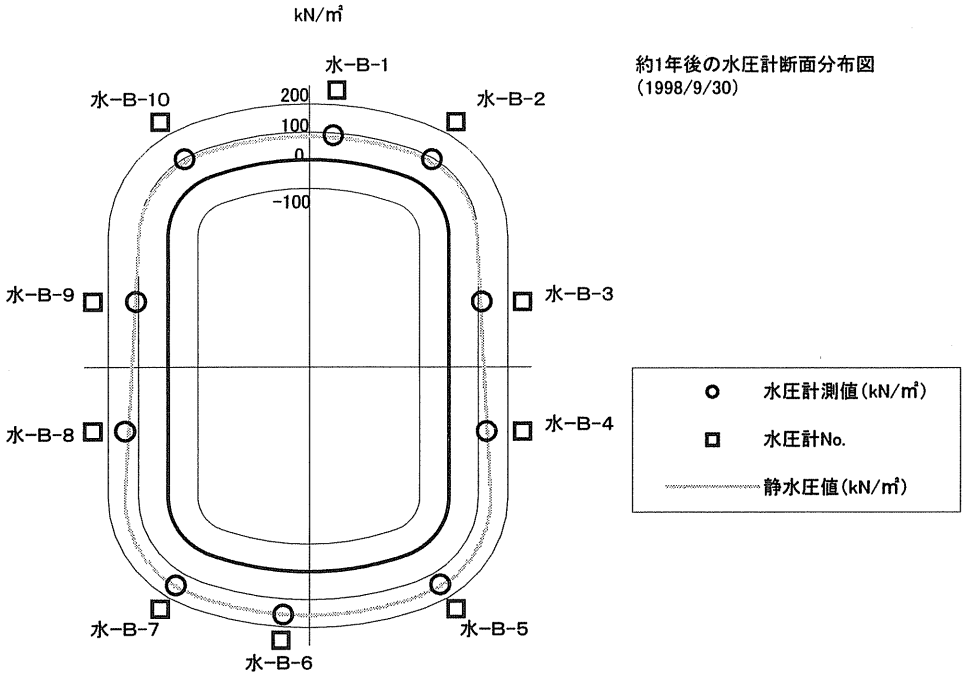
図－２．２５(3)　計測断面Ｂ　水圧計の経時変化図(２１１Ｒ)



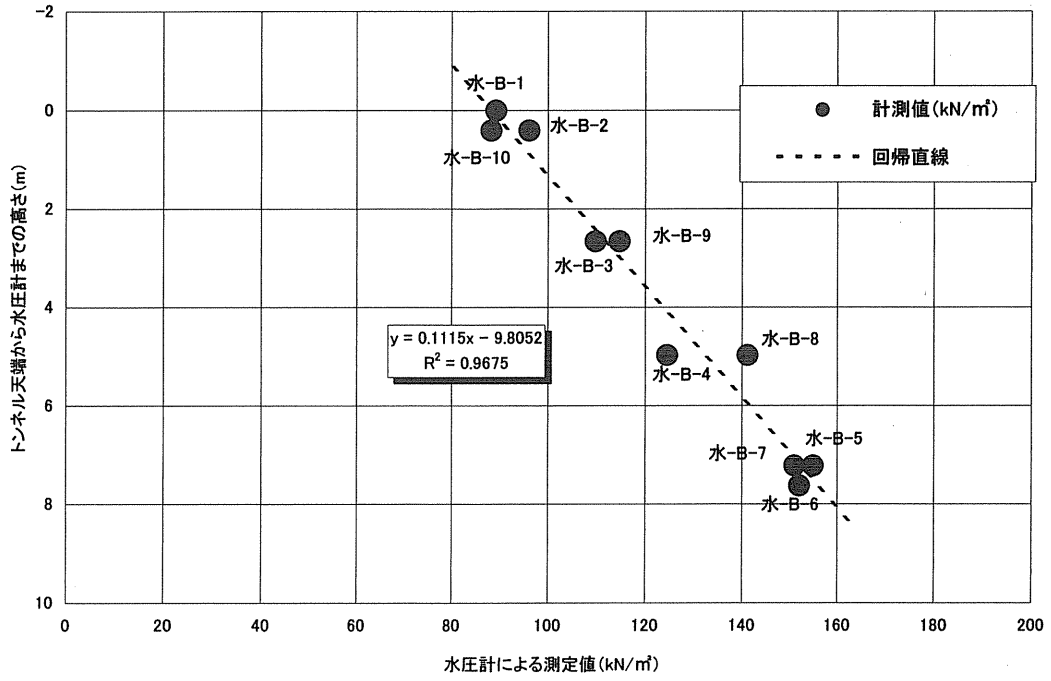
図－２．２６　水圧計の断面分布図(約２ヶ月後)



図－２．２７　計測された水圧値とトンネル天端からの高さの関係



図－２．２８　計測断面Ｂ　水圧計の断面分布図(約1年後)



図－２．２９　計測された水圧値とトンネル天端からの高さの関係

表－2．9 円周方向鉄筋応力計測結果

小田井山田共同溝　計測断面A　周方向鉄筋計(内側in、切羽側背面側平均)応力　(N/mm²)

日付	時間	状態	86リング	86リング内側鉄筋(平均)											
			経過時間	[鉄-A 1i]	[鉄-A 2i]	[鉄-A 3i]	[鉄-A 4i]	[鉄-A 5i]	[鉄-A 6 i]	[鉄-A 7i]	[鉄-A 8i]	[鉄-A 9i]	[鉄-A 10i]	[鉄-A 11i]	[鉄-A 12i]
1997/2/20	0:00 (計測開始)	86ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(97/2/18 20:50)1日経過後	1.13	—	6.06	15.80	5.08	−153.99	—	−17.62	51.33	1.13	13.96	9.59	—
1997/2/21	5:10:00	86ﾘﾝｸﾞ(ｾｸﾞﾒﾝﾄ計測ﾘﾝｸﾞ鉄筋計)テール脱出	2.35	−0.84	−6.21	−22.00	16.78	10.30	−10.43	−4.23	−7.47	11.00	−13.82	−15.37	45.69
1997/2/21	18:14:00	86ﾘﾝｸﾞ裏込め注入(89R掘進完了時)(16:30)	2.89	2.96	−4.93	−10.57	17.91	7.89	−15.23	−3.80	−11.56	−1.97	−19.46	−13.82	108.86
1997/2/21	20:50:00	86ﾘﾝｸﾞ3日後	3.00	2.96	−3.38	−10.86	15.09	7.61	−10.72	−1.97	−12.13	0.71	−24.11	−10.43	115.36
1997/2/25	20:50:00	86ﾘﾝｸﾞ1週間後	7.00	3.95	−1.27	−8.32	15.94	1.27	−25.38	1.70	−20.73	−1.55	−22.42	−10.15	105.34
1997/3/11	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後、約20日後	20.00	3.81	−1.69	1.13	16.78	−0.56	−23.69	4.93	−18.89	−2.68	−24.40	−11.56	109.71
1997/3/31	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後、約40日後	40.00	3.38	−1.55	−1.27	18.05	−0.28	−22.84	9.73	−21.15	−4.23	−23.69	−14.10	114.37
1997/4/20	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後、約60日後	60.00	4.23	−0.56	−4.66	20.30	0.85	−21.29	13.54	−16.07	−3.95	−22.57	−14.95	118.31

小田井山田共同溝　計測断面A　周方向鉄筋計(外側out、切羽側背面側平均)応力　(N/mm²)

日付	時間	状態	86リング	86リング外側鉄筋(平均)											
			経過時間	[鉄-A 1o]	[鉄-A 2o]	[鉄-A 3o]	[鉄-A 4o]	[鉄-A 5o]	[鉄-A 6o]	[鉄-A 7o]	[鉄-A 8o]	[鉄-A 9o]	[鉄-A 10o]	[鉄-A 11o]	[鉄-A 12o]
1997/2/20	0:00 (計測開始)	86ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(97/2/18 20:50)1日経過後	1.13	—	4.80	—	3.10	—	11.71	—	−32.43	4.09	−8.46	−5.08	—
1997/2/21	5:10:00	86ﾘﾝｸﾞ(ｾｸﾞﾒﾝﾄ計測ﾘﾝｸﾞ鉄筋計)テール脱出	2.35	−1.13	−6.77	—	−14.81	−21.15	2.68	—	3.52	−10.30	24.96	22.14	−17.20
1997/2/21	18:14:00	86ﾘﾝｸﾞ裏込め注入(89R掘進完了時)(16:30)	2.89	−43.15	−5.92	—	−18.19	−14.66	10.30	—	17.35	−2.68	68.53	9.73	−23.98
1997/2/21	20:50:00	86ﾘﾝｸﾞ3日後	3.00	−1.13	−1.70	—	−14.10	−13.26	8.32	—	23.83	0.28	80.10	11.42	−21.86
1997/2/25	20:50:00	86ﾘﾝｸﾞ1週間後	7.00	−12.55	−7.89	—	−9.44	−7.34	23.12	—	27.92	2.12	85.74	11.71	−16.07
1997/3/11	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後、約20日後	20.00	−7.47	—	61.90	−14.53	—	30.04	−20.30	35.25	1.69	89.12	12.97	−15.37
1997/3/31	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後、約40日後	40.00	−8.74	—	66.56	−16.36	—	33.56	−21.43	39.49	1.41	91.24	15.23	−15.09
1997/4/20	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後、約60日後	60.00	−5.78	—	65.71	−16.50	—	35.53	−20.30	39.91	0.70	91.94	13.40	−17.21

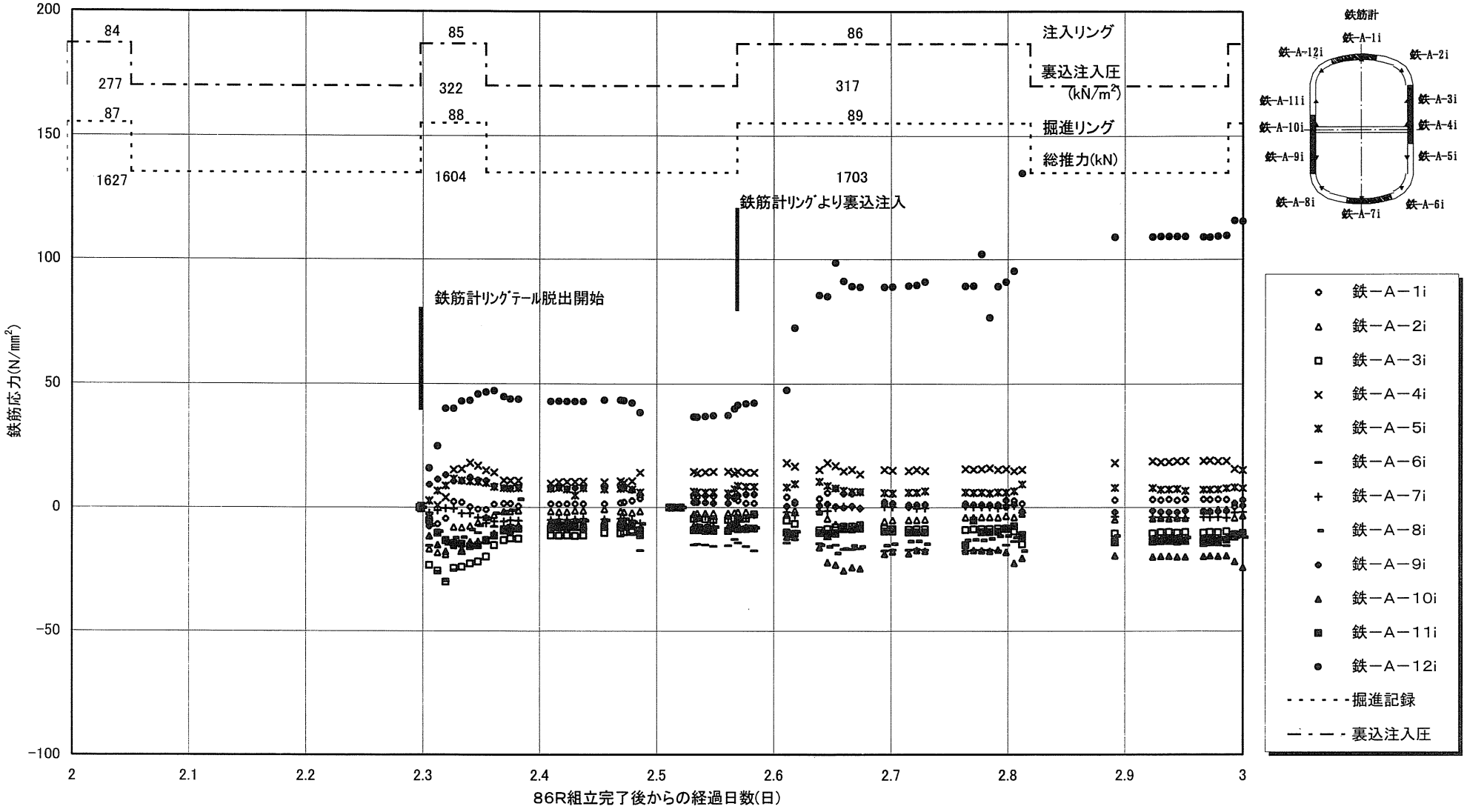
表－2．10 円周方向鉄筋応力計測結果

小田井山田共同溝　計測断面B　周方向鉄筋計(内側in、切羽側背面側平均)応力　(N/mm²)

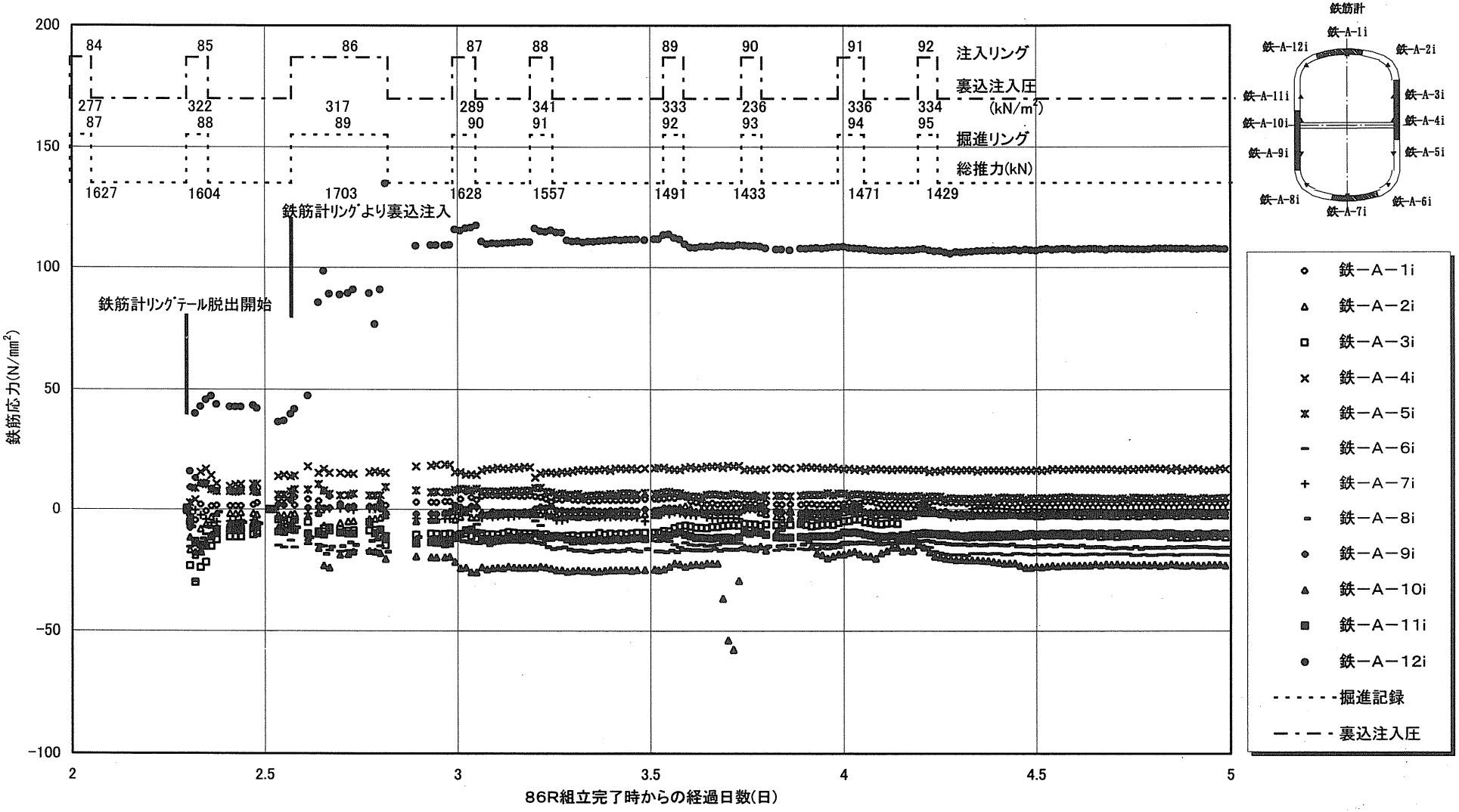
日付	時間	状態	210リング	210リング内側鉄筋(平均)											
			経過時間	[鉄-B 1i]	[鉄-B 2i]	[鉄-B 3i]	[鉄-B 4i]	[鉄-B 5i]	[鉄-B 6 i]	[鉄-B 7i]	[鉄-B 8i]	[鉄-B 9i]	[鉄-B 10i]	[鉄-B 11i]	[鉄-B 12i]
1997/10/2	8:04 (計測開始)	210ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(97/10/1 21:40)約10時間経過後	0.43	−0.97	7.21	−1.11	3.43	2.56	0.38	−2.66	5.61	5.27	7.16	1.30	16.82
1997/10/2	21:40:00	210リング1日後	1.00	0.10	−0.92	1.30	−3.38	−0.48	1.21	0.38	1.50	−0.29	1.60	1.35	−0.48
1997/10/3	9:28:00	210ﾘﾝｸﾞ(ｾｸﾞﾒﾝﾄ計測ﾘﾝｸﾞ鉄筋計)ﾃｰﾙ脱出	1.49	9.72	−16.63	7.30	−0.43	17.99	3.24	13.05	−20.06	26.15	−9.52	−1.65	−21.65
1997/10/3	12:36:00	210リング裏込め注入	1.62	11.94	−19.77	50.86	−7.01	25.09	6.43	26.25	−15.51	34.32	−14.02	3.05	−15.18
1997/10/4	21:40:00	210リング3日後	3.00	10.44	−19.77	35.34	−5.66	31.19	5.46	23.83	−16.92	34.75	−10.59	1.78	−15.13
1997/10/9	2:20:00	210リング約1週間後	7.19	10.59	−19.92	34.37	−4.74	36.65	3.29	24.65	−16.10	35.38	−10.00	0.25	−13.48
1997/10/27	16:00:00	リング組立後、約20日後	25.76	10.15	−18.71	38.63	−0.63	40.27	3.19	28.38	−16.14	38.48	−6.86	−0.15	−9.52
1997/11/11	22:00:00	リング組立後、約40日後	41.01	10.40	−17.94	40.17	1.55	42.84	2.51	29.97	−14.46	39.35	−5.36	−0.48	−7.88
1997/12/1	0:00:00	リング組立後、約60日後	60.00	10.59	−16.63	42.74	1.64	43.94	4.31	32.00	−13.59	40.95	−4.79	0.87	−6.09
1997/12/31	0:00:00	リング組立後、約90日後	90.00	10.92	−16.87	45.68	3.04	45.44	3.19	33.98	−15.28	42.49	−4.83	−0.58	−5.41
1998/3/31	0:00:00	リング組立後、約6ヶ月後	120.00	11.90	−17.50	50.66	2.66	46.02	3.82	40.27	−12.09	47.57	−1.59	−1.30	−3.77
1998/9/30	0:00:00	リング組立後、約12ヶ月後	364.00	20.58	−8.92	49.42	4.51	45.88	12.35	37.13	−1.63	49.11	1.78	8.67	−0.72

小田井山田共同溝　計測断面B　周方向鉄筋計(外側out、切羽側背面側平均)応力　(N/mm²)

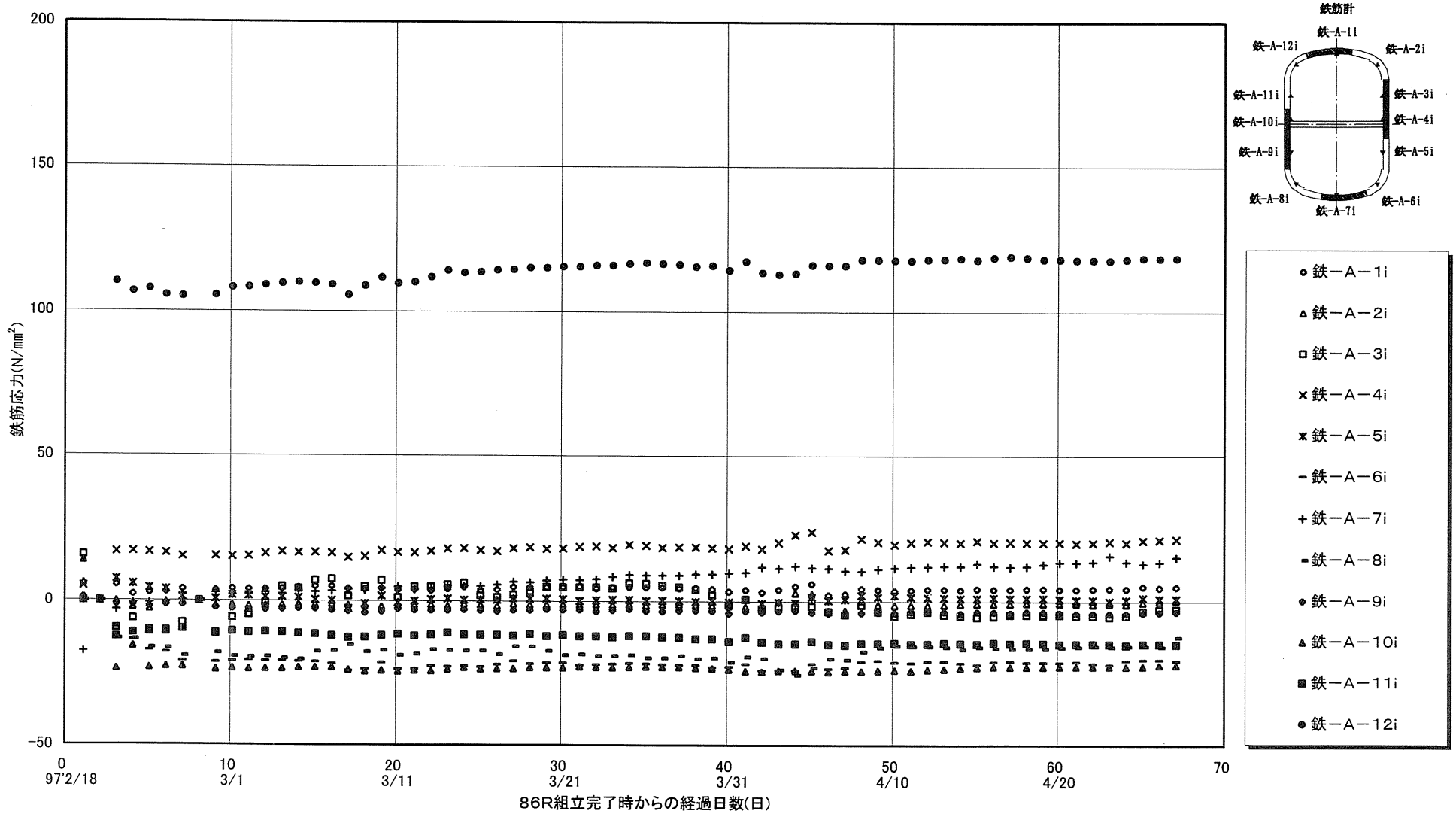
日付	時間	状態	210リング	210リング外側鉄筋(平均)											
			経過時間	[鉄-B 1o]	[鉄-B 2o]	[鉄-B 3o]	[鉄-B 4o]	[鉄-B 5o]	[鉄-B 6o]	[鉄-B 7o]	[鉄-B 8o]	[鉄-B 9o]	[鉄-B 10o]	[鉄-B 11o]	[鉄-B 12o]
1997/10/2	8:04 (計測開始)	210ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(97/10/1 21:40)約10時間経過後	0.43	2.46	−1.93	6.96	−31.27	2.28	7.06	5.36	−3.58	0.20	−14.21	2.85	−26.88
1997/10/2	21:40:00	210リング1日後	1.00	−1.70	0.73	−1.35	−13.93	−0.43	−1.16	−0.43	−0.87	−0.20	−3.53	−1.26	−0.15
1997/10/3	9:28:00	210ﾘﾝｸﾞ(ｾｸﾞﾒﾝﾄ計測ﾘﾝｸﾞ鉄筋計)ﾃｰﾙ脱出	1.49	−8.80	10.83	−12.43	41.09	21.03	−8.22	−19.00	10.54	5.51	14.94	−5.99	55.98
1997/10/3	12:36:00	210リング裏込め注入	1.62	−13.58	13.00	−17.69	34.37	26.68	−7.11	−18.56	10.97	14.50	33.30	−8.80	59.85
1997/10/4	21:40:00	210リング3日後	3.00	−9.09	16.53	−10.54	22.67	33.07	−4.16	−15.86	14.94	16.34	31.52	−1.60	67.24
1997/10/9	2:20:00	210リング約1週間後	7.19	−8.12	18.47	−8.94	25.00	38.43	−0.53	−14.75	16.34	17.21	34.32	0.43	71.88
1997/10/27	16:00:00	リング組立後、約20日後	25.76	−7.97	19.57	−8.17	24.22	43.60	2.03	−180.71	18.95	20.45	34.03	2.03	74.79
1997/11/11	22:00:00	リング組立後、約40日後	41.01	−8.75	20.21	−8.02	22.62	46.12	3.43	−134.39	19.82	22.57	33.98	2.51	76.04
1997/12/1	0:00:00	リング組立後、約60日後	60.00	−9.18	20.88	−8.08	26.44	47.18	4.26	−97.75	21.07	23.64	35.87	2.66	77.06
1997/12/31	0:00:00	リング組立後、約90日後	90.00	−9.86	22.00	−7.35	27.70	48.40	5.32	−58.35	22.24	30.02	36.26	3.00	77.68
1998/3/31	0:00:00	リング組立後、約6ヶ月後	120.00	−10.35	23.93	−6.82	29.63	48.64	7.25	−18.61	25.62	−3.87	20.40	−0.05	40.46
1998/9/30	0:00:00	リング組立後、約12ヶ月後	364.00	−9.66	23.93	−8.08	28.39	47.32	5.17	−5.89	28.33	35.17	40.04	5.92	80.30



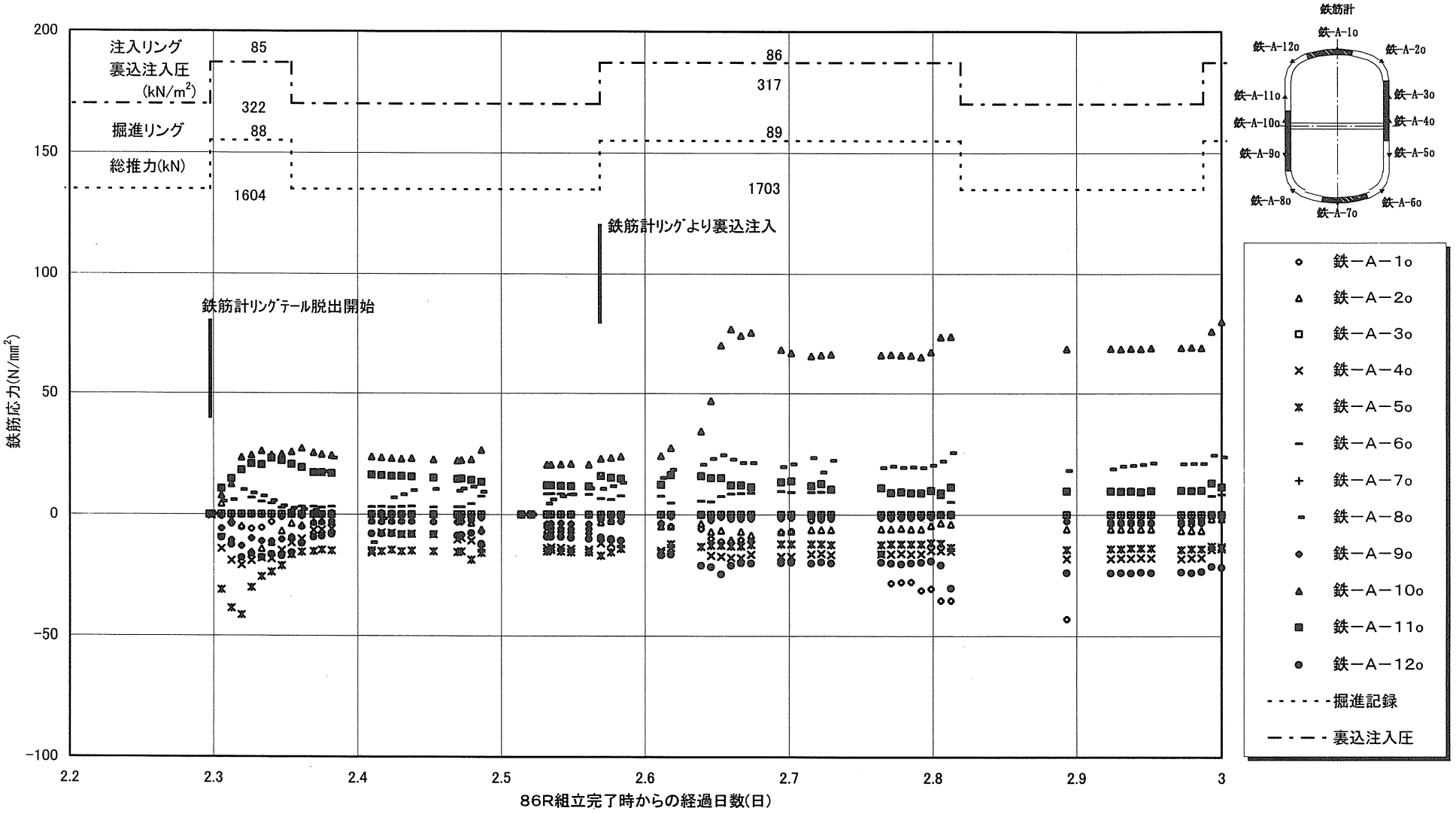
図－２．３０(1)　計測断面Ａ　周方向鉄筋計の経時変化図(８６Ｒ内側)



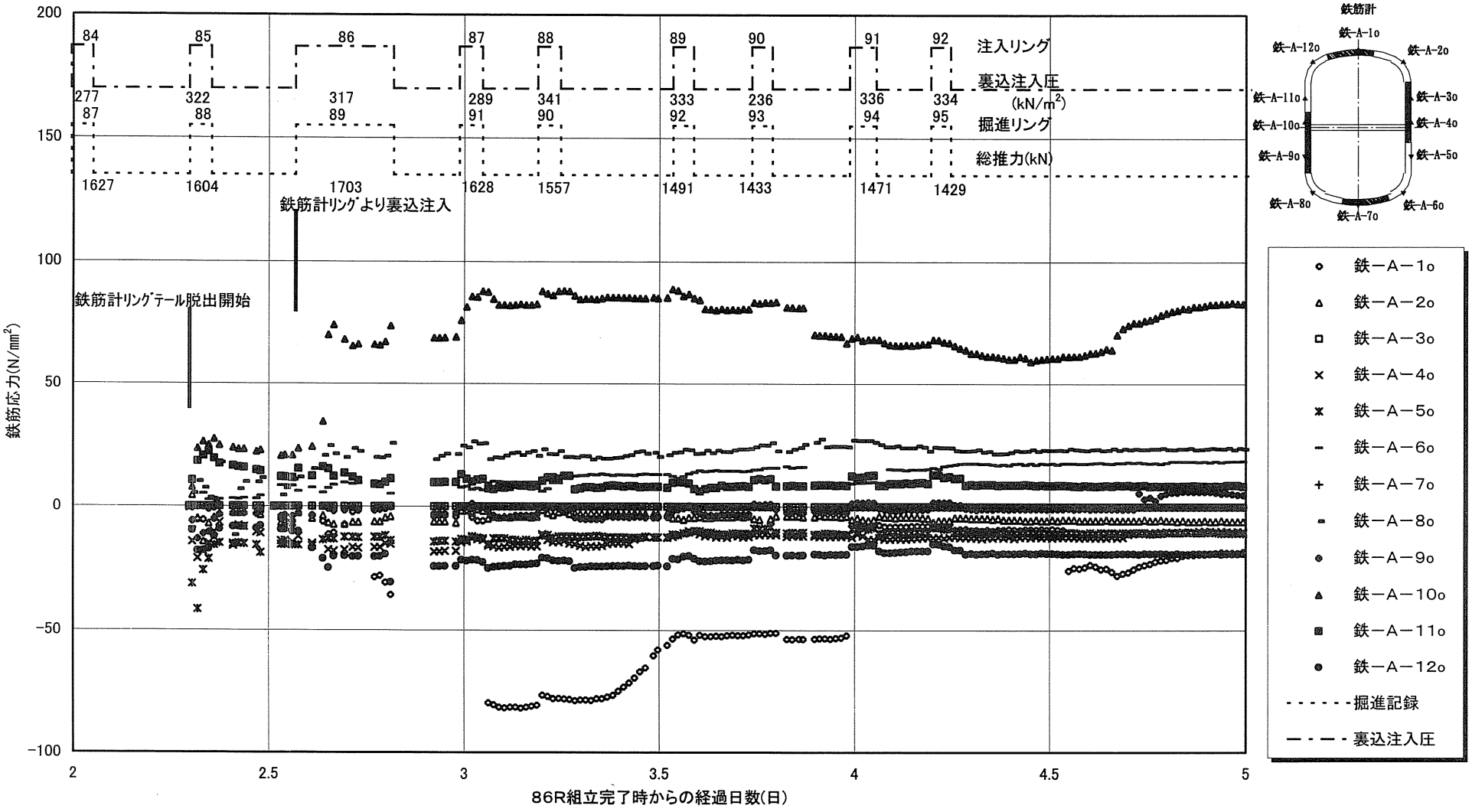
図－２．３０(2)　計測断面Ａ　周方向鉄筋計の経時変化図(８６Ｒ内側)



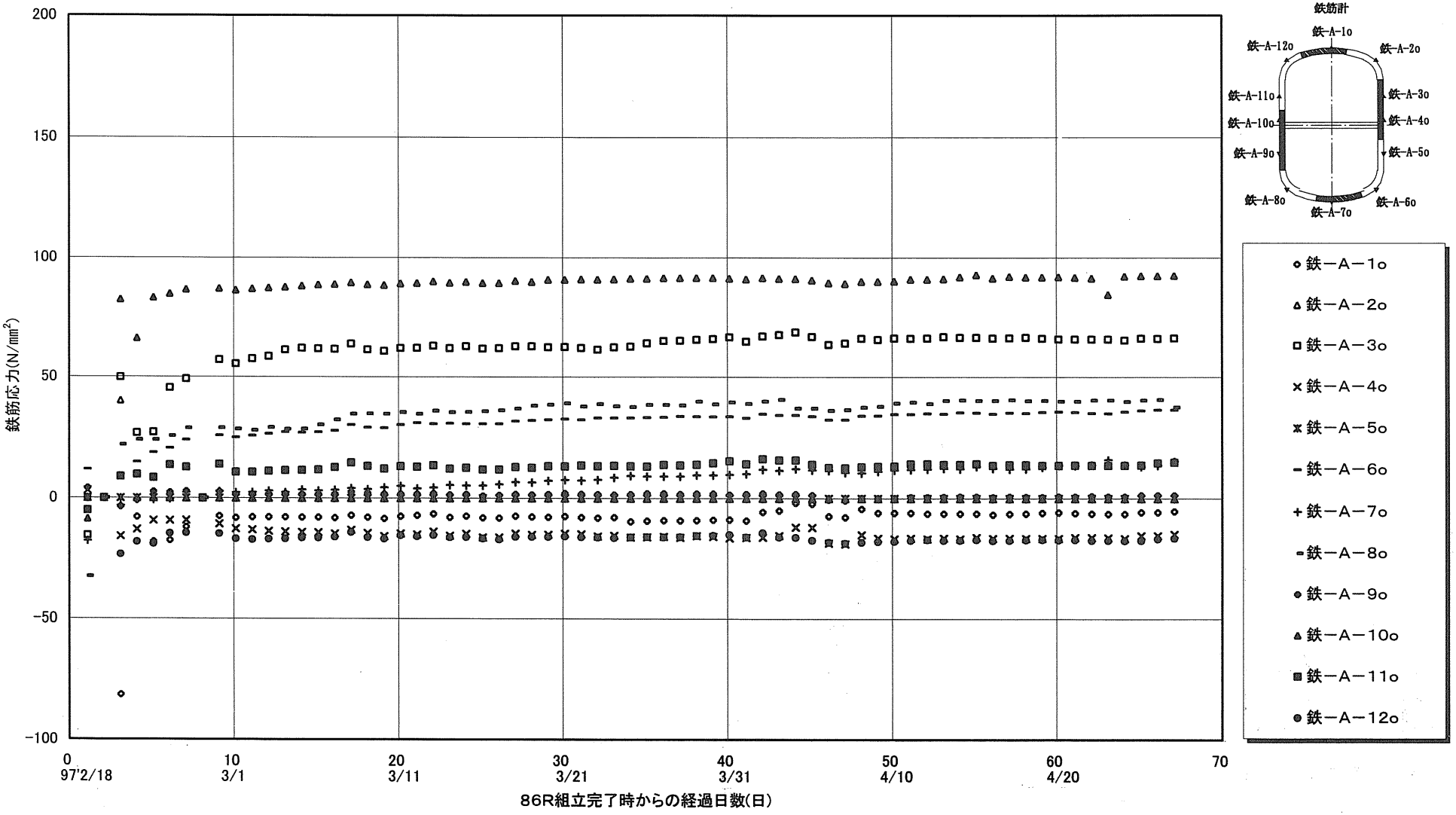
図－２．３０(3)　計測断面Ａ　周方向鉄筋計の経時変化図(８６Ｒ内側)



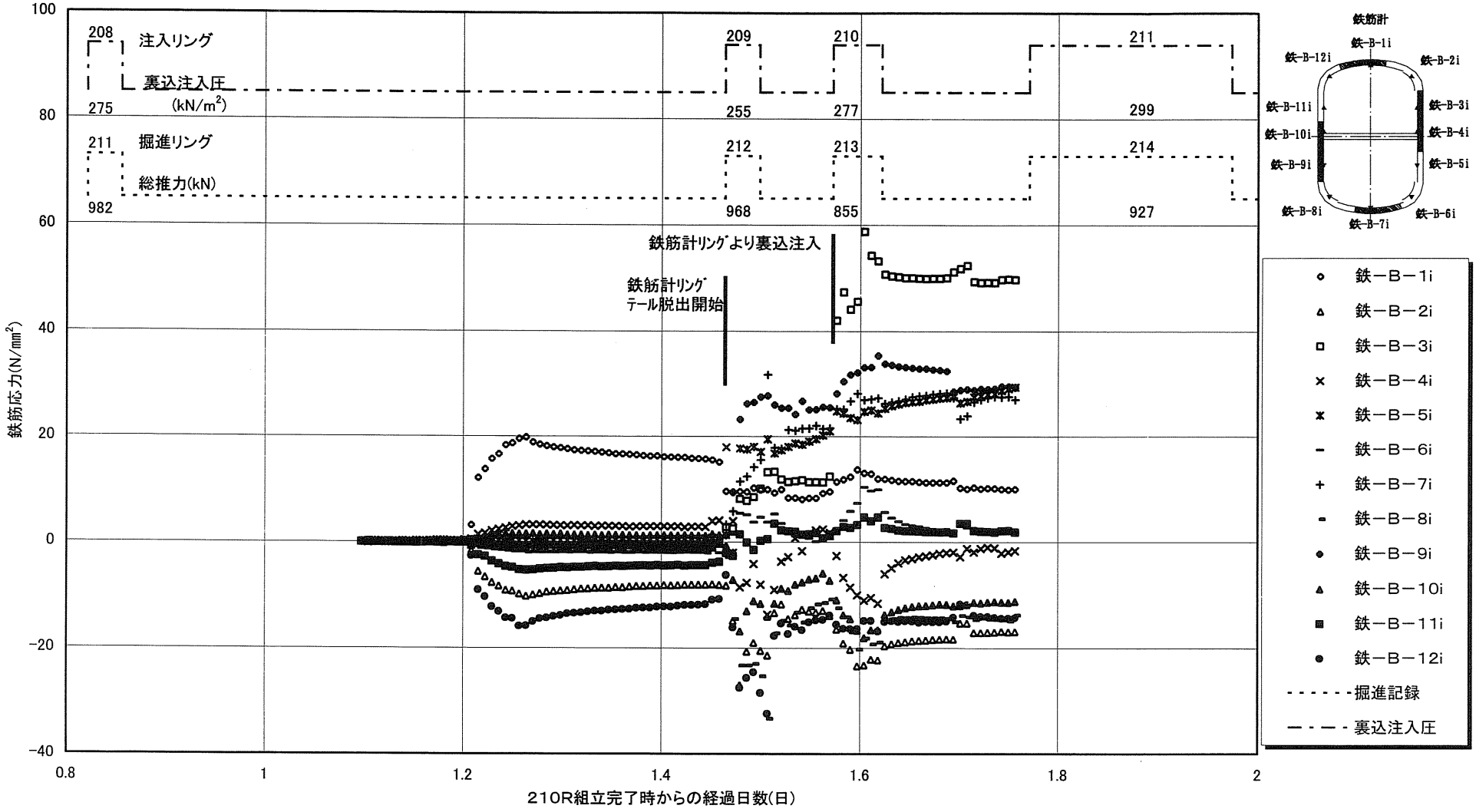
図－２．３０(4)　計測断面Ａ　周方向鉄筋計の経時変化図(８６Ｒ外側)



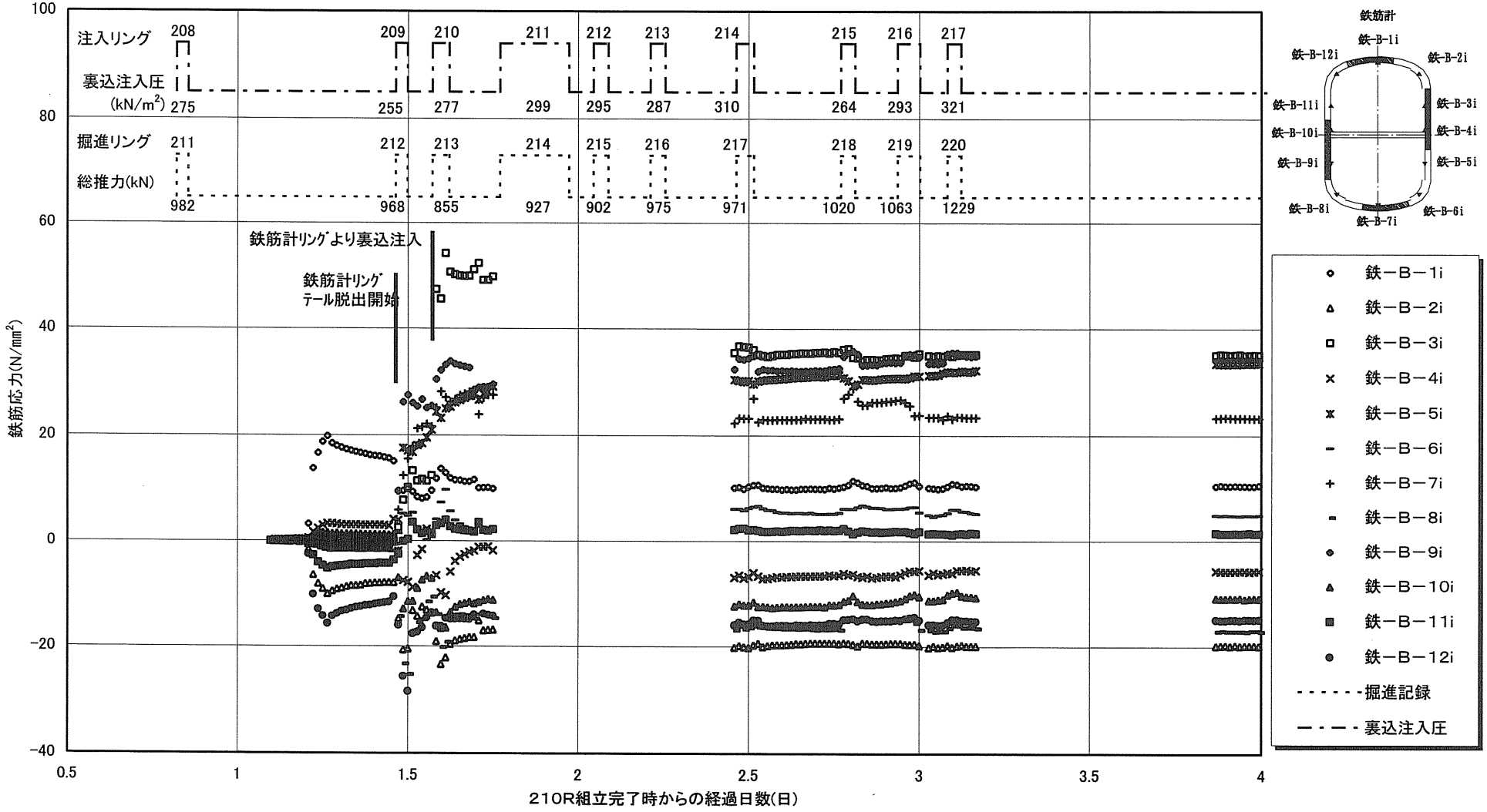
図－２．３０(5)　計測断面Ａ　周方向鉄筋計の経時変化図(８６Ｒ外側)



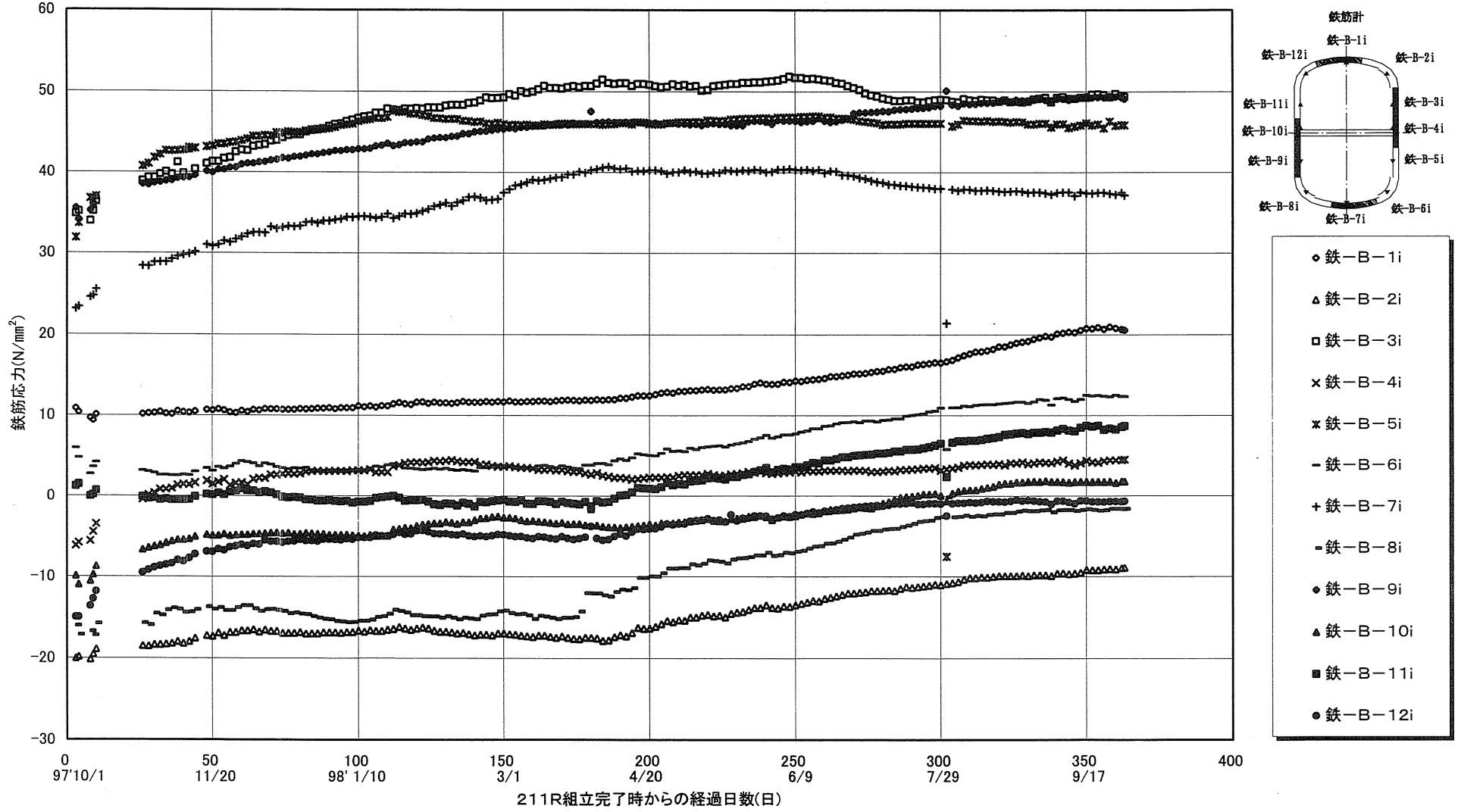
図－２．３０(6)　計測断面Ａ　周方向鉄筋計の経時変化図(８６Ｒ外側)



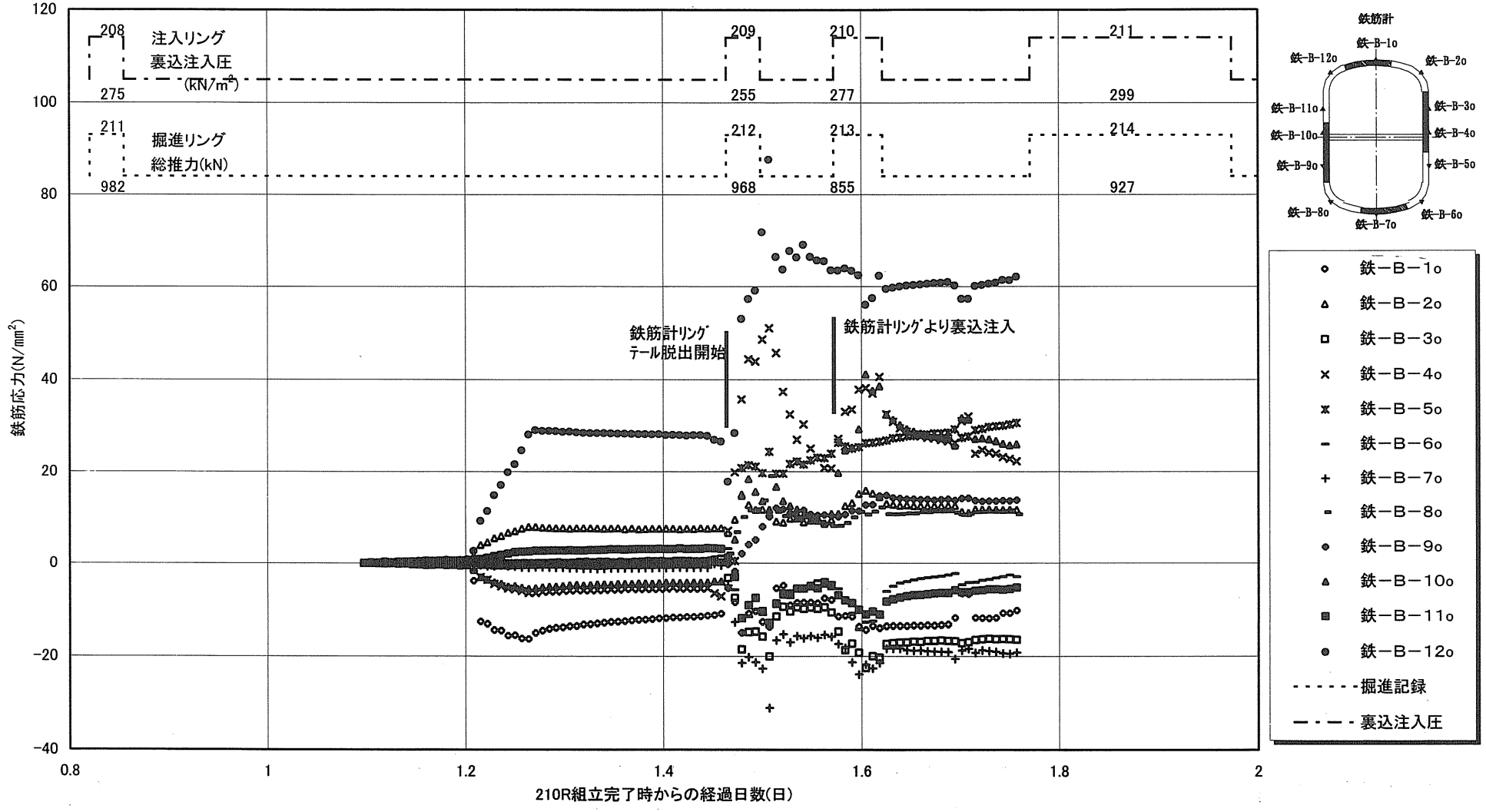
図－２．３１(1)　計測断面Ｂ　周方向鉄筋計の経時変化図（２１０Ｒ内側）



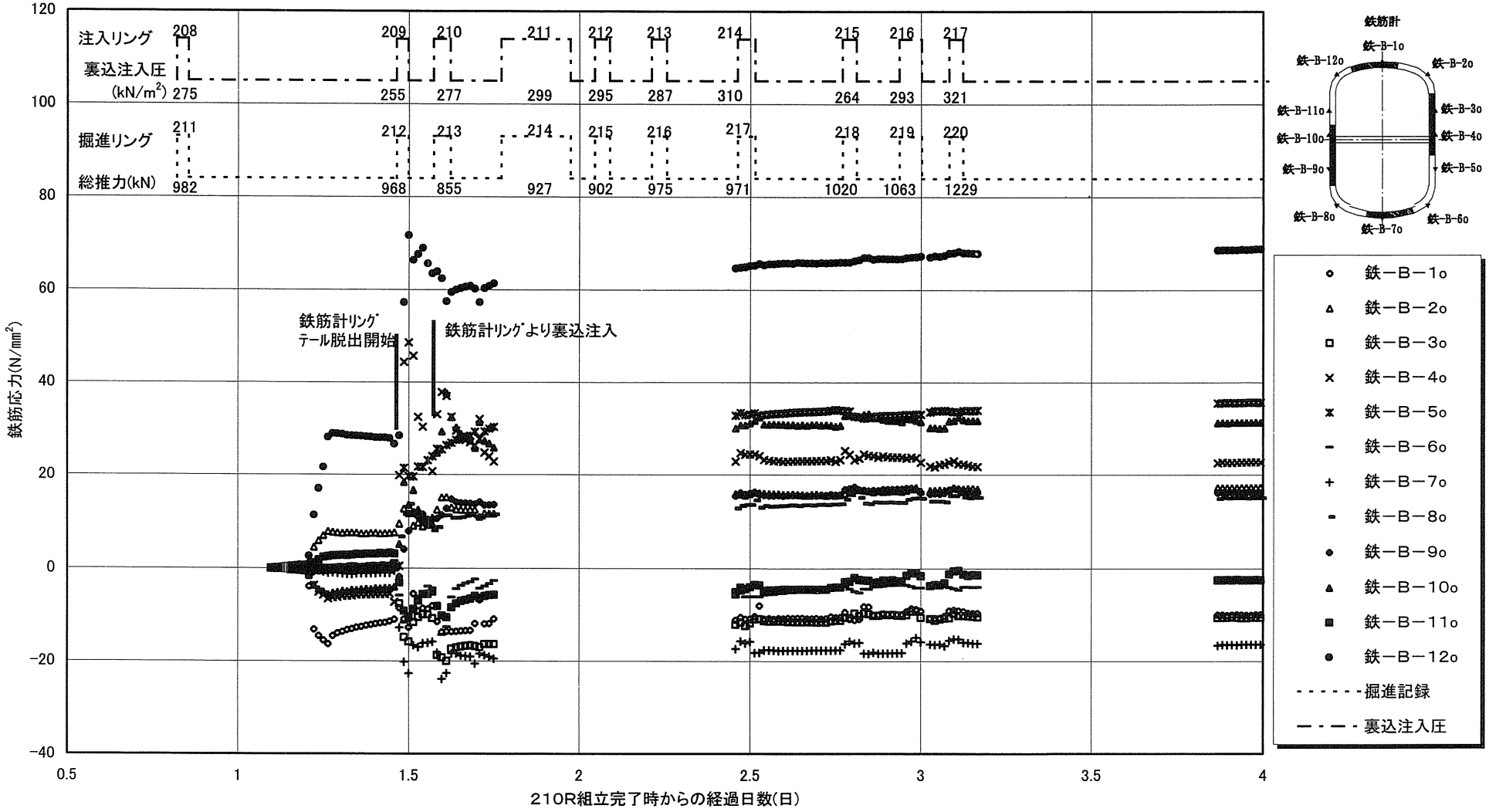
図－２．３１(2)　計測断面Ｂ　周方向鉄筋計の経時変化図（２１０Ｒ内側）



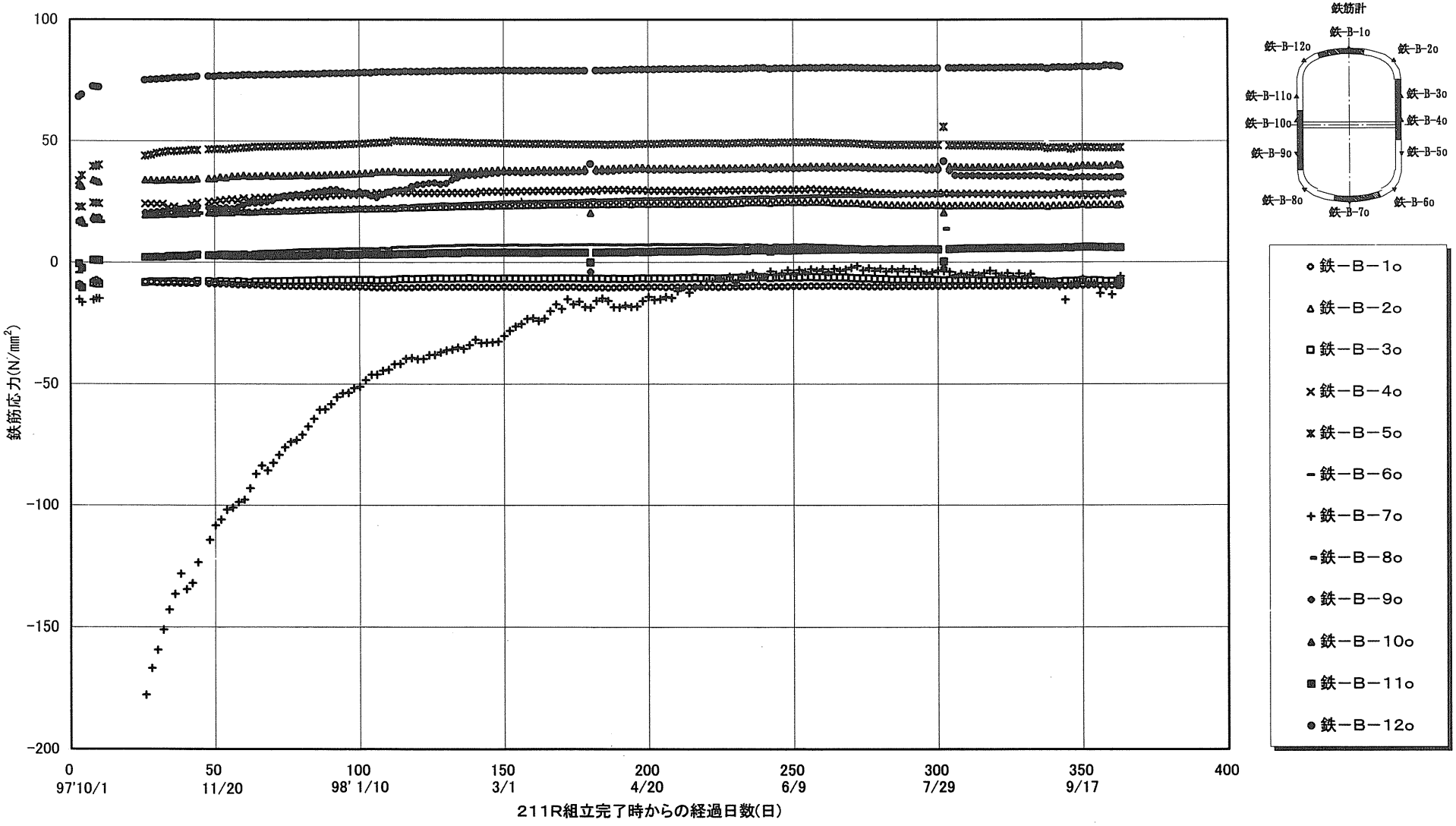
図－２．３１(3)　計測断面Ｂ　周方向鉄筋計の経時変化図（２１１Ｒ内側）



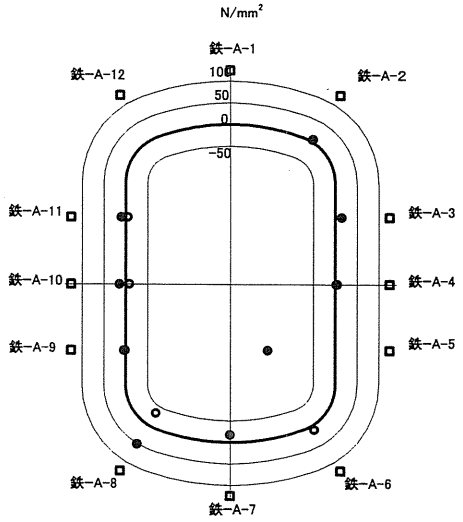
図－２．３１(4)　計測断面Ｂ　周方向鉄筋計の経時変化図(２１０Ｒ外側)



図－２．３１(5)　計測断面Ｂ　周方向鉄筋計の経時変化図（２１０Ｒ外側）



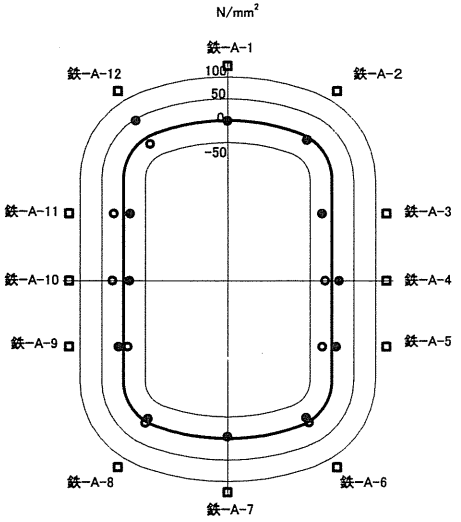
図－２．３１(6)　計測断面Ｂ　周方向鉄筋計の経時変化図(２１１Ｒ外側)



86リングセグメント組立完了約1日経過後
(1997/2/20 0:00)
86ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(1.33日)

● 内側鉄筋応力
○ 外側鉄筋応力
□ 鉄筋計NO.

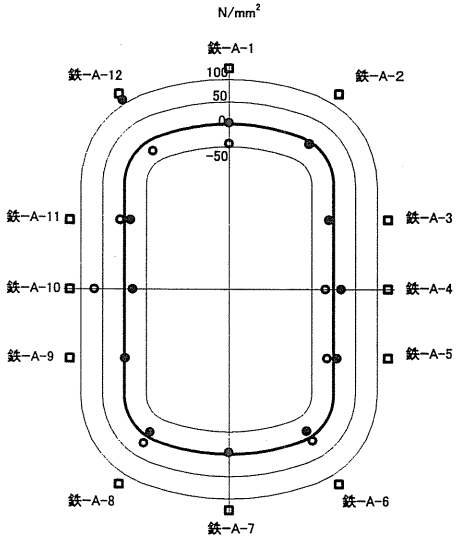
86リング周方向鉄筋応力(引張＋圧縮−)



86リングセグメント計測リング鉄筋計テール脱出
(1997/2/20 5:10)
86ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(2.35日)

● 内側鉄筋応力
○ 外側鉄筋応力
□ 鉄筋計NO.

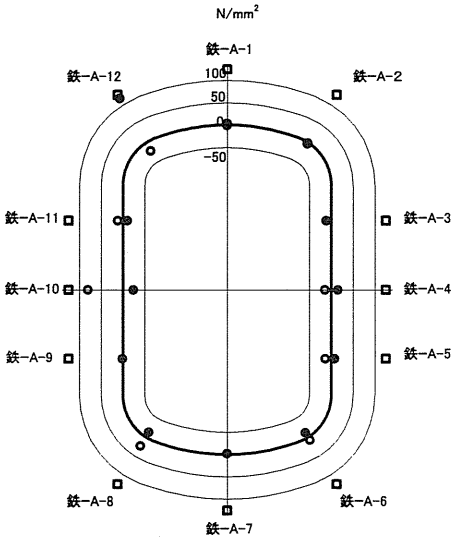
86リング周方向鉄筋応力(引張＋圧縮−)



86リング裏込め注入時(89リング掘進完了時)
(1997/2/21 18:14)
86ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(2.89日)

● 内側鉄筋応力
○ 外側鉄筋応力
□ 鉄筋計NO.

86リング周方向鉄筋応力(引張＋圧縮−)

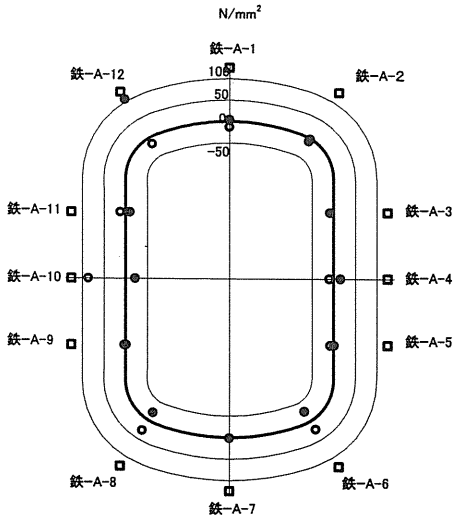


86リング3日後
(1997/2/21 20:50)
86ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(3.00日)

● 内側鉄筋応力
○ 外側鉄筋応力
□ 鉄筋計NO.

86リング周方向鉄筋応力(引張＋圧縮−)

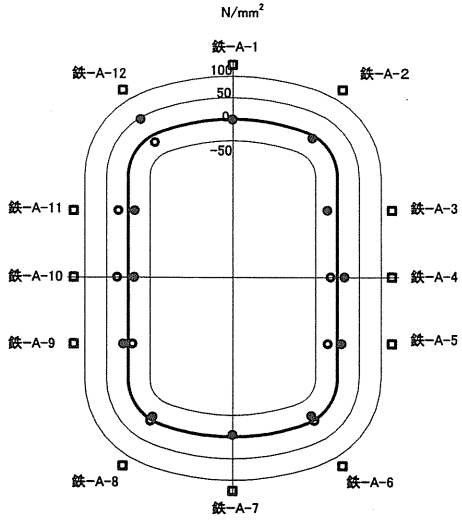
図－２．３２(1)　計測断面Ａ　円周方向鉄筋応力分布図



86リング組立後、約1週間後
(1997/2/25 20:50)
86ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(7.00日)

● 内側鉄筋応力
○ 外側鉄筋応力
□ 鉄筋計NO.

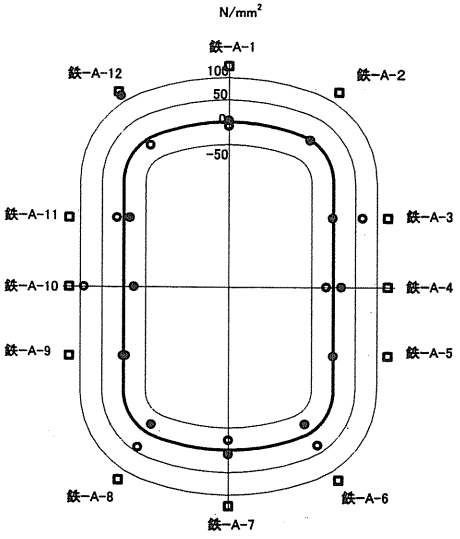
86リング周方向鉄筋応力(引張＋圧縮－)



86リング組立後、約20日後
(1997/3/11 0:00)
86ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(20.00日)

● 内側鉄筋応力
○ 外側鉄筋応力
□ 鉄筋計NO.

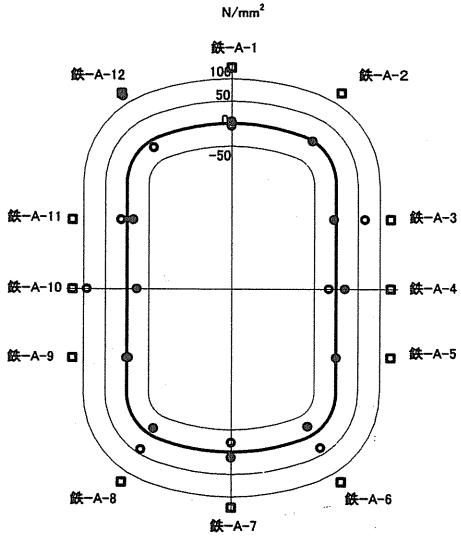
86リング周方向鉄筋応力(引張＋圧縮－)



86リング組立後、約40日後
(1997/3/31 0:00)
86ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(40.00日)

● 内側鉄筋応力
○ 外側鉄筋応力
□ 鉄筋計NO.

86リング周方向鉄筋応力(引張＋圧縮－)

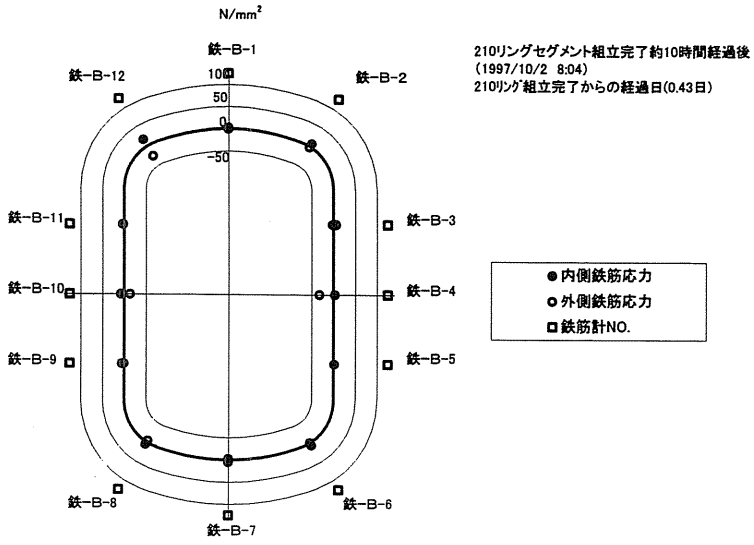


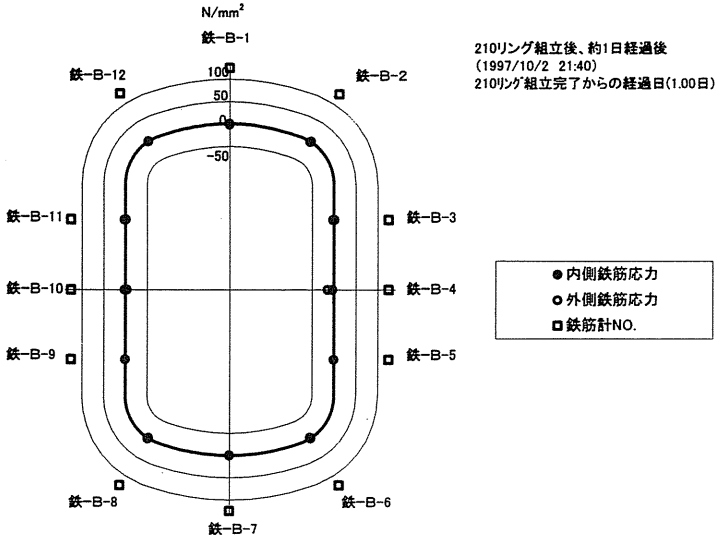
86リング組立後、約60日後
(1997/4/20 0:00)
86ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(60.00日)

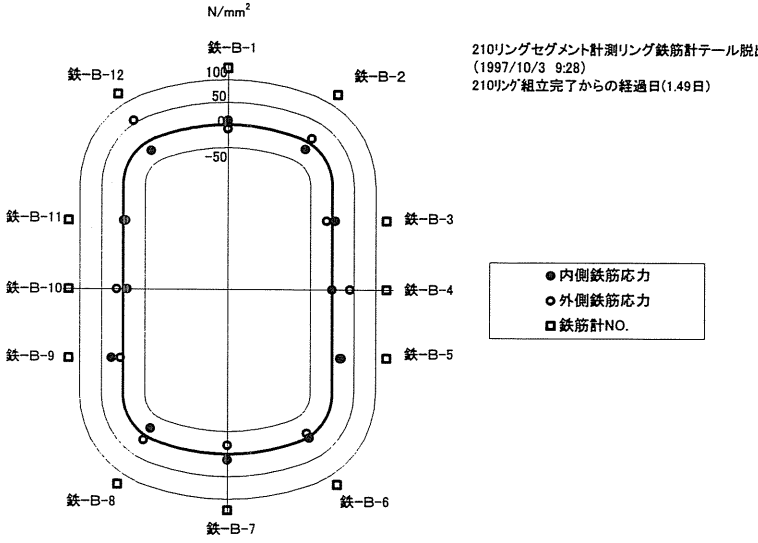
● 内側鉄筋応力
○ 外側鉄筋応力
□ 鉄筋計NO.

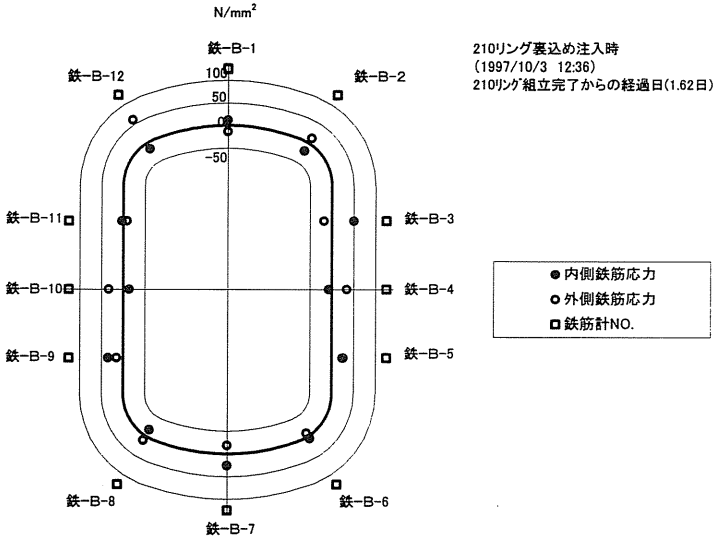
86リング周方向鉄筋応力(引張＋圧縮－)

図－２．３２(2)　計測断面Ａ　円周方向鉄筋応力分布図

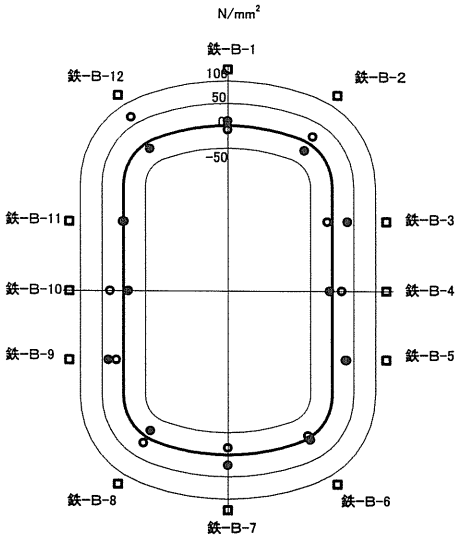








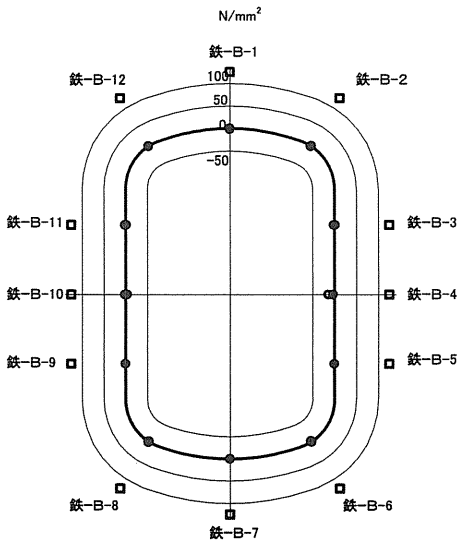
図－２．３３(1)　計測断面Ｂ　円周方向鉄筋応力分布図



210リング組立後、約3日後
(1997/10/4 21:40)
210ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(3.00日)

● 内側鉄筋応力
○ 外側鉄筋応力
□ 鉄筋計NO.

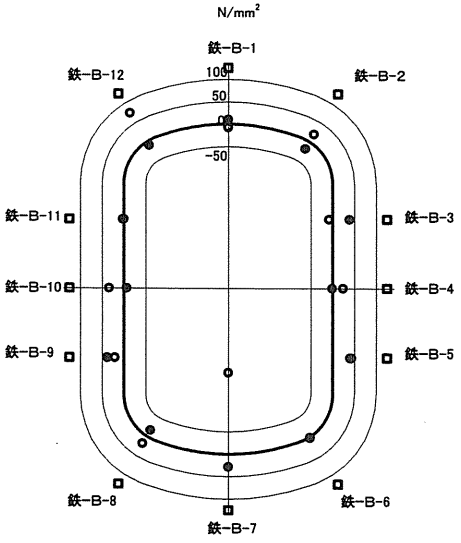
210リング周方向鉄筋応力(引張＋圧縮－)



210リング組立後、約1週間後
(1997/10/9 2:20)
210ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(7.19日)

● 内側鉄筋応力
○ 外側鉄筋応力
□ 鉄筋計NO.

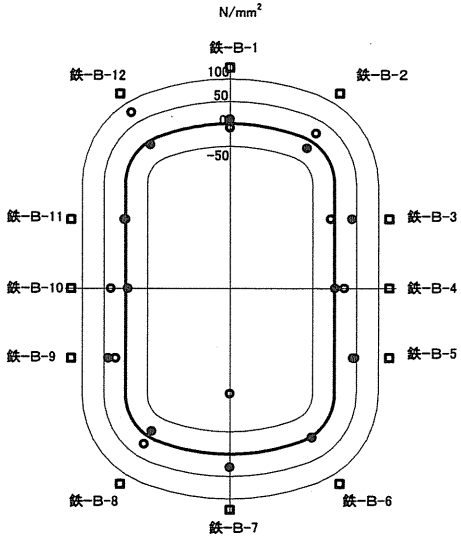
210リング周方向鉄筋応力(引張＋圧縮－)



210リング組立後、約20日後
(1997/10/27 16:00)
210ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(25.76日)

● 内側鉄筋応力
○ 外側鉄筋応力
□ 鉄筋計NO.

210リング周方向鉄筋応力(引張＋圧縮－)

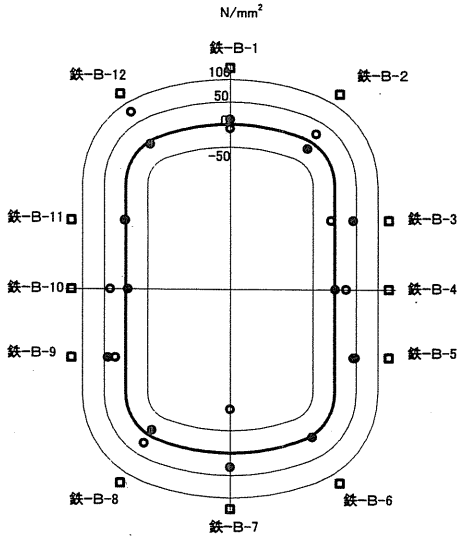


210リング組立後、約40日後
(1997/11/11 22:00)
210ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(41.01日)

● 内側鉄筋応力
○ 外側鉄筋応力
□ 鉄筋計NO.

210リング周方向鉄筋応力(引張＋圧縮－)

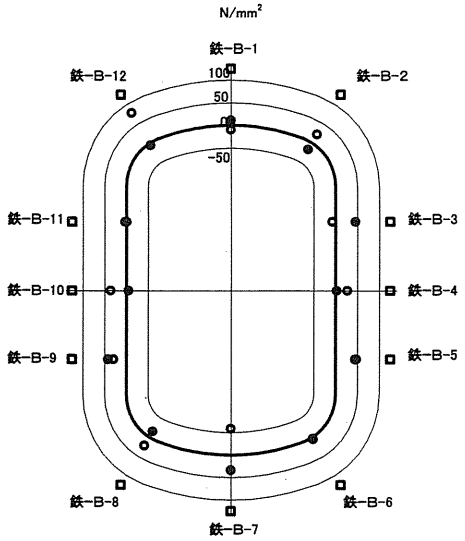
図－２．３３(2)　計測断面Ｂ　円周方向鉄筋応力分布図



210リング組立後、約60日後
(1997/12/1 0:00)
210ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(60.00日)

● 内側鉄筋応力
○ 外側鉄筋応力
□ 鉄筋計NO.

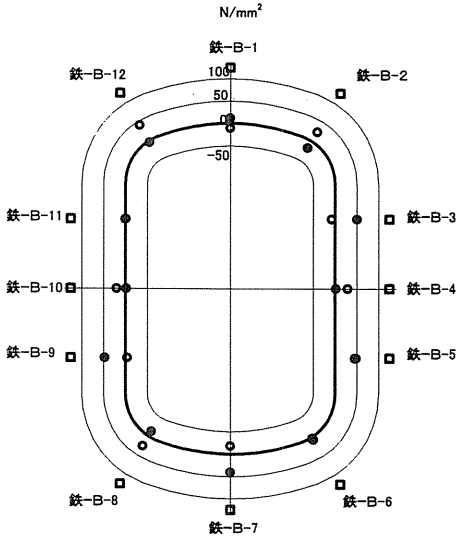
210リング周方向鉄筋応力(引張＋圧縮−)



210リング組立後、約90日後
(1997/12/31 0:00)
210ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(90.00日)

● 内側鉄筋応力
○ 外側鉄筋応力
□ 鉄筋計NO.

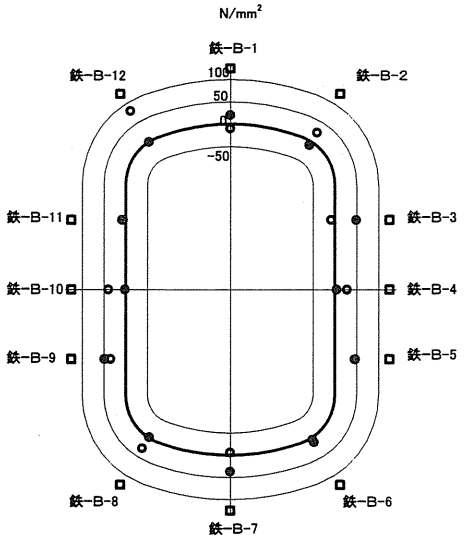
210リング周方向鉄筋応力(引張＋圧縮−)



210リング組立後、約6ヶ月後
(1998/3/31 0:00)
210ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(120.00日)

● 内側鉄筋応力
○ 外側鉄筋応力
□ 鉄筋計NO.

210リング周方向鉄筋応力(引張＋圧縮−)



210リング組立後、約12ヶ月後
(1998/9/30 0:00)
210ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(364.00日)

● 内側鉄筋応力
○ 外側鉄筋応力
□ 鉄筋計NO.

210リング周方向鉄筋応力(引張＋圧縮−)

図−２．３３(3)　計測断面Ｂ　円周方向鉄筋応力分布図

表－２．１１(1)　計測断面Ａ　周方向の鉄筋応力より算出した各点の曲げモーメント

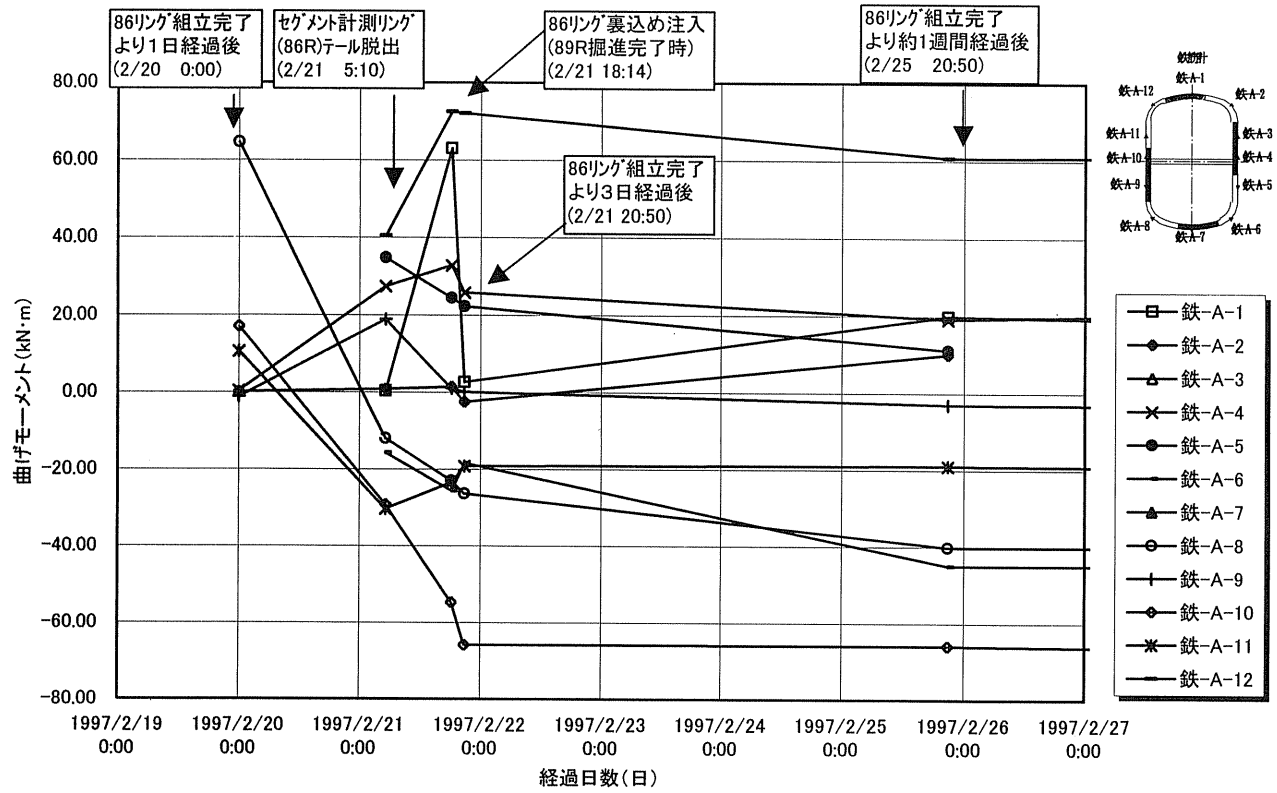
小田井山田共同溝　計測断面A　周方向鉄筋応力より算出した各点の曲げモーメント(kN･m)

日付	時間	状態	86リング	86リング曲げモーメント											
			経過時間	[鉄-A 1]	[鉄-A 2]	[鉄-A 3]	[鉄-A 4]	[鉄-A 5]	[鉄-A 6]	[鉄-A 7]	[鉄-A 8]	[鉄-A 9]	[鉄-A 10]	[鉄-A 11]	[鉄-A 12]
1997/2/20	0:00 (計測開始)	86ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(97/2/18 20:50)1日経過後	1.13	-	0.09	-	0.42	-	-	-	64.57	-1.18	17.03	10.62	-
1997/2/21	5:10:00	86ﾘﾝｸﾞ(ｾｸﾞﾒﾝﾄ計測ﾘﾝｸﾞ鉄筋計)ﾃｰﾙ脱出	2.35	0.42	0.82	-	27.38	34.78	-15.74	-	-11.99	18.84	-29.22	-30.33	40.41
1997/2/21	18:14:00	86ﾘﾝｸﾞ裏込め注入(89R掘進完了時)(16:30)	2.89	63.03	1.45	-	32.80	24.36	-25.68	-	-23.08	1.04	-54.77	-23.44	72.52
1997/2/21	20:50:00	86ﾘﾝｸﾞ3日後	3.00	2.64	-2.47	-	25.80	22.19	-18.48	-	-26.40	0.11	-65.85	-19.24	72.09
1997/2/25	20:50:00	86ﾘﾝｸﾞ1週間後	7.00	19.84	9.98	-	19.12	11.13	-45.04	-	-40.18	-3.01	-65.98	-18.93	60.72
1997/3/11	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後、約20日後	20.00	12.34	-	-27.15	26.97	-	-45.21	31.48	-40.39	-4.47	-70.03	-21.43	61.47
1997/3/31	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後、約40日後	40.00	14.06	-	-31.72	30.11	-	-45.34	34.99	-45.22	-6.54	-69.99	-25.92	62.88
1997/4/20	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後、約60日後	60.00	9.97	-	-35.05	31.01	-	-43.89	34.59	-38.32	-5.79	-68.83	-26.44	67.10

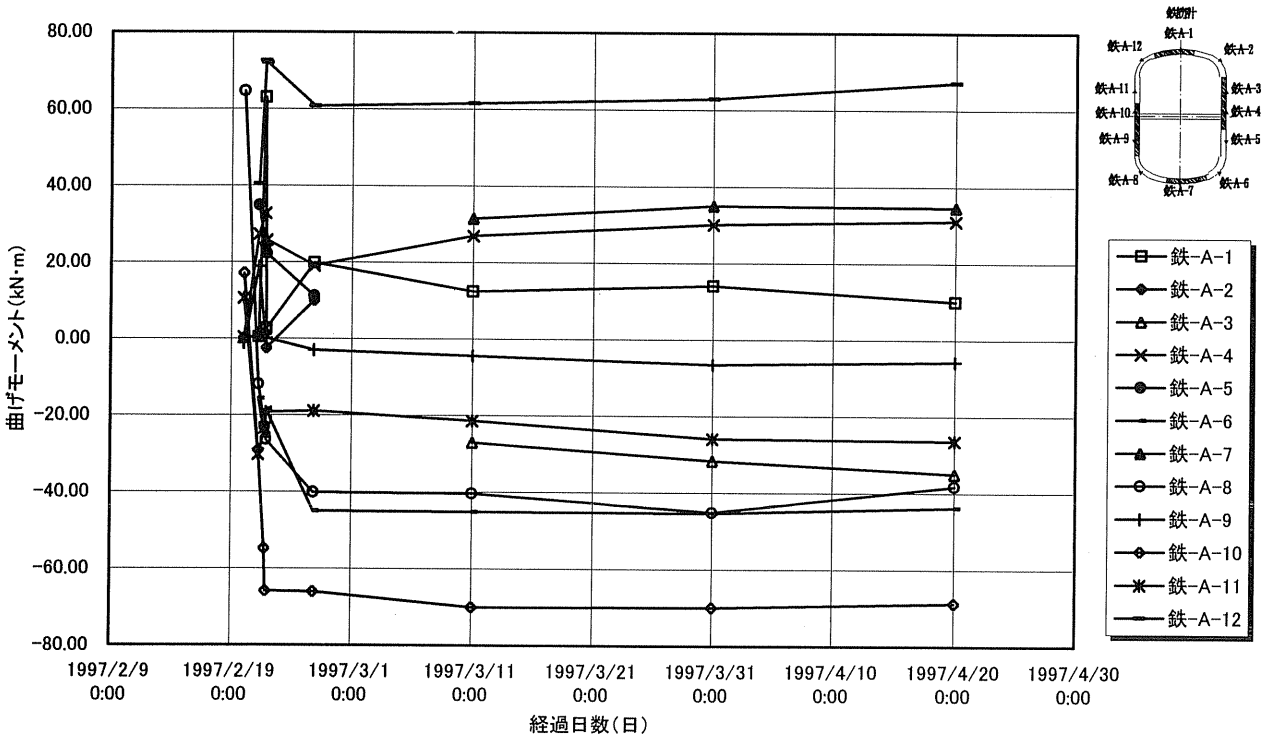
表－２．１１(2)　計測断面Ｂ　周方向の鉄筋応力より算出した各点の曲げモーメント

小田井山田共同溝　計測断面B　周方向鉄筋応力より算出した各点の曲げモーメント(kN･m)

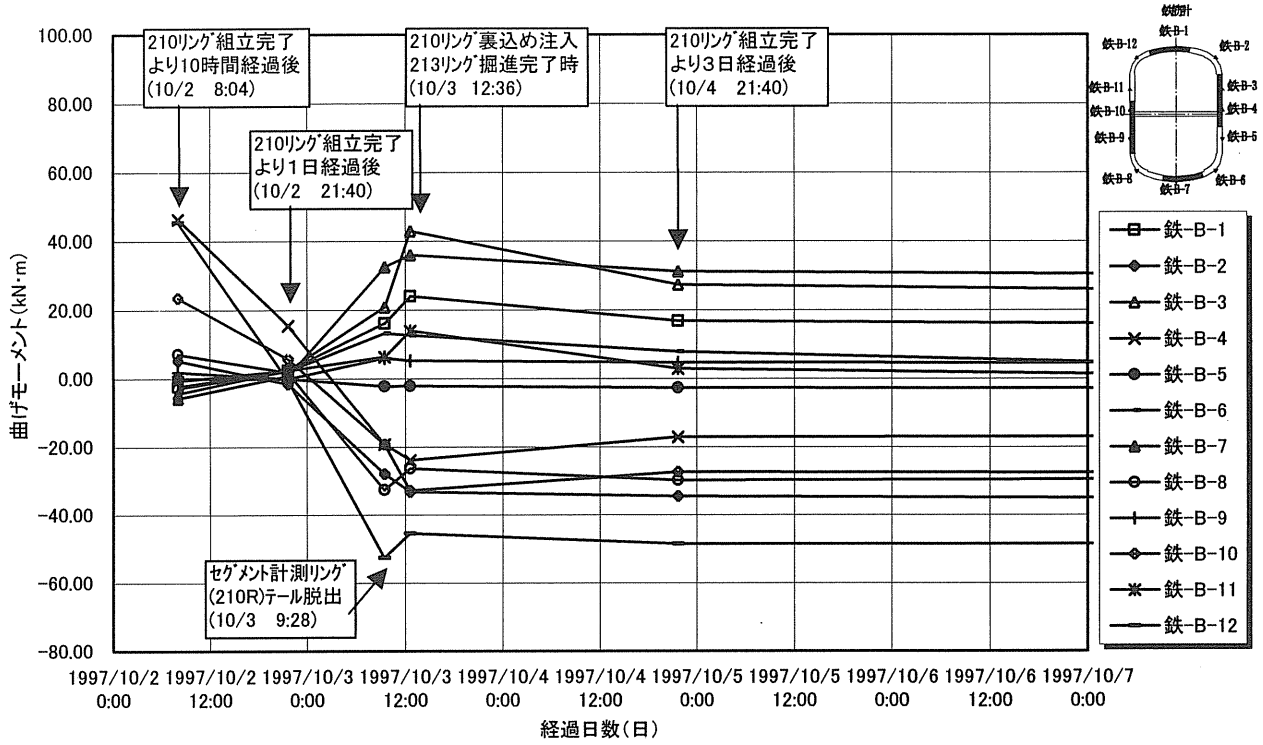
日付	時間	状態	210リング	210リング曲げモーメント											
			経過時間	[鉄-B 1]	[鉄-B 2]	[鉄-B 3]	[鉄-B 4]	[鉄-B 5]	[鉄-B 6]	[鉄-B 7]	[鉄-B 8]	[鉄-B 9]	[鉄-B 10]	[鉄-B 11]	[鉄-B 12]
1997/10/2	8:04 (計測開始)	210ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(97/10/1 21:40)約10時間経過後	0.43	-2.34	5.27	-4.45	46.43	-0.06	-2.86	-5.84	7.11	1.86	23.44	-0.66	45.44
1997/10/2	21:40:00	210リング1日後	1.00	2.47	-1.59	2.43	15.45	-0.07	2.11	0.76	1.78	-0.14	5.76	2.30	-0.49
1997/10/3	9:28:00	210ﾘﾝｸﾞ(ｾｸﾞﾒﾝﾄ計測ﾘﾝｸﾞ鉄筋計)ﾃｰﾙ脱出	1.49	16.19	-27.88	20.85	-19.21	-2.28	13.24	32.49	-32.64	6.04	-19.26	6.37	-52.52
1997/10/3	12:36:00	210リング裏込め注入	1.62	24.05	-33.19	42.90	-23.89	-2.20	12.64	35.96	-26.34	5.21	-32.82	14.01	-45.45
1997/10/4	21:40:00	210リング3日後	3.00	16.86	-34.53	27.34	-17.10	-2.69	7.92	31.17	-29.84	4.66	-27.39	2.95	-48.55
1997/10/9	2:20:00	210リング約1週間後	7.19	15.45	-35.47	24.77	-16.91	-3.00	1.93	29.79	-29.20	4.53	-27.78	-0.09	-48.46
1997/10/27	16:00:00	リング組立後、約20日後	25.76	15.09	-34.15	25.28	-11.72	-3.81	0.23	272.82	-30.23	4.28	-23.55	-1.09	-44.84
1997/11/11	22:00:00	リング組立後、約40日後	41.01	16.33	-33.28	25.65	-8.88	-3.96	-0.50	207.14	-28.15	3.75	-21.65	-1.70	-43.45
1997/12/1	0:00:00	リング組立後、約60日後	60.00	17.04	-31.66	26.68	-10.52	-4.01	-0.26	154.97	-27.39	3.85	-21.77	-0.72	-41.82
1997/12/31	0:00:00	リング組立後、約90日後	90.00	18.16	-32.42	26.82	-9.96	-4.00	-1.00	97.81	-30.24	1.95	-22.00	-2.04	-41.33
1998/3/31	0:00:00	リング組立後、約6ヶ月後	120.00	19.19	-34.05	28.03	-11.11	-3.91	-1.52	40.60	-27.05	23.15	-11.05	-1.72	-22.62
1998/9/30	0:00:00	リング組立後、約12ヶ月後	364.00	20.97	-22.00	29.18	-9.34	-3.47	1.89	21.70	-14.69	2.07	-16.56	0.47	-37.41



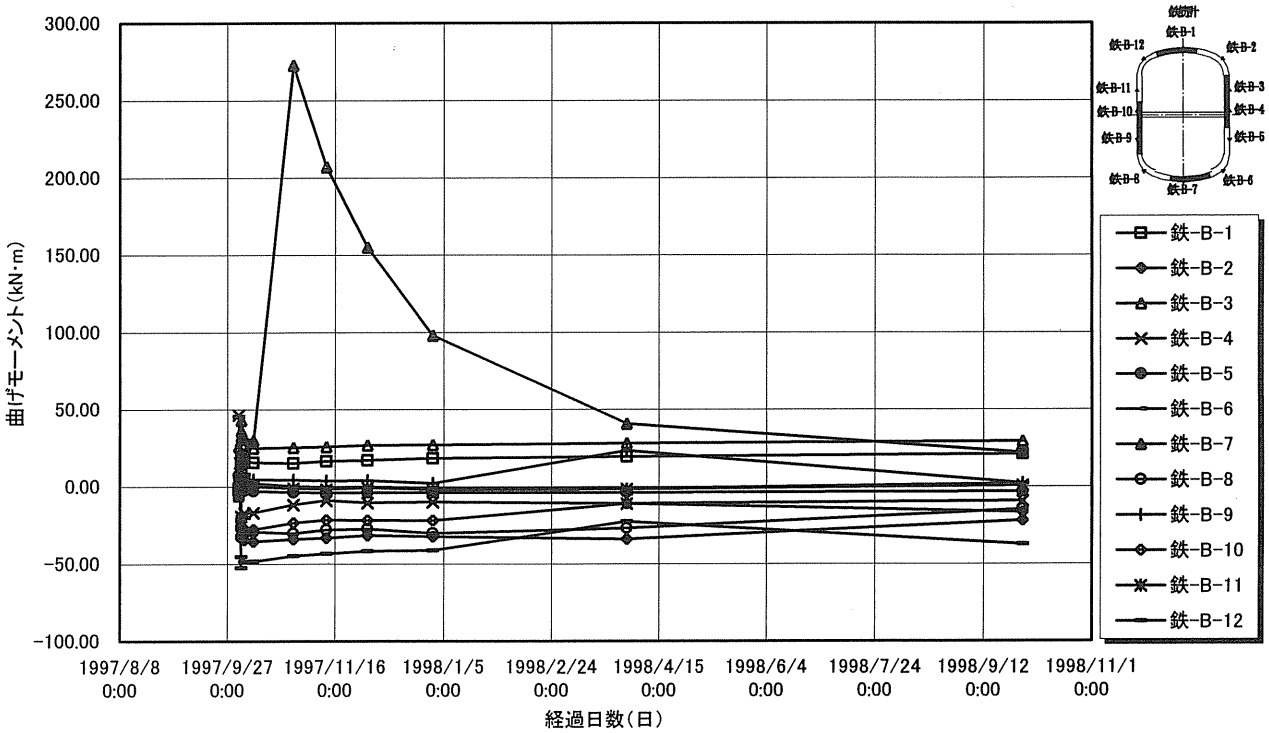
図－２．３５(1)　計測断面Ａ 曲げモーメントの経時変化図



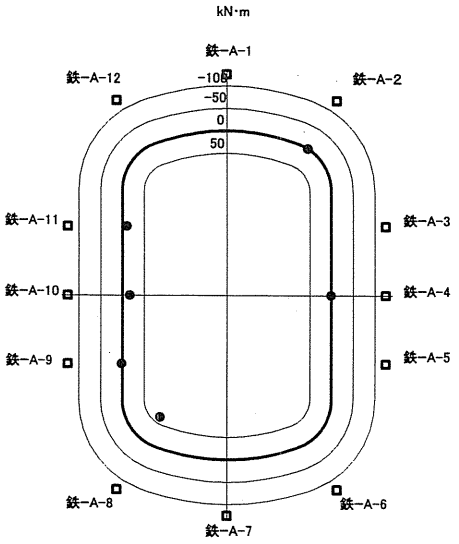
図－２．３５(2)　計測断面Ａ 曲げモーメントの経時変化図



図－２．３６(1)　計測断面Ｂ 曲げモーメントの経時変化図



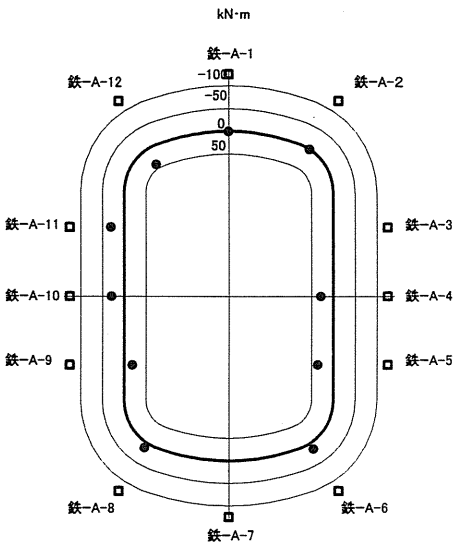
図－２．３６(2)　計測断面Ｂ 曲げモーメントの経時変化図



86リングセグメント組立完了約1日経過後
(1997/2/20 0:00)
86ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(1.33日)

● 計測値(kN·m) □ 鉄筋計NO.

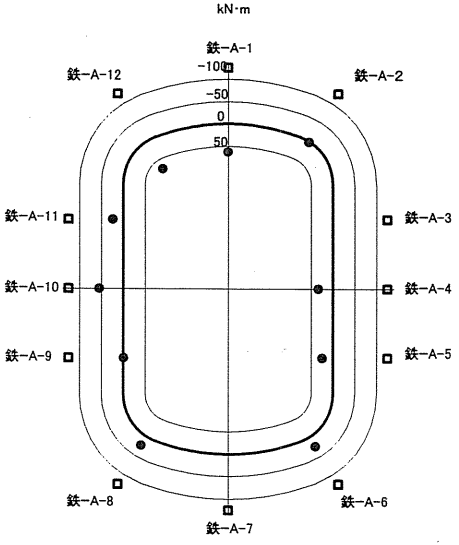
86リング曲げモーメント図



86リングセグメント計測リング鉄筋計テール脱出
(1997/2/20 5:10)
86ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(2.35日)

● 計測値(kN·m) □ 鉄筋計NO.

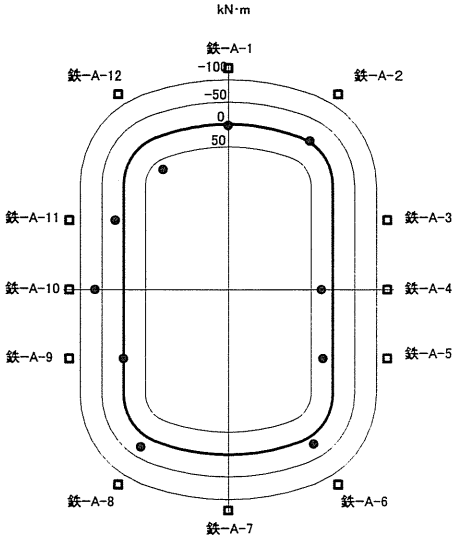
86リング曲げモーメント図



86リング裏込め注入時(89リング掘進完了時)
(1997/2/21 18:14)
86ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(2.89日)

● 計測値(kN·m) □ 鉄筋計NO.

86リング曲げモーメント図

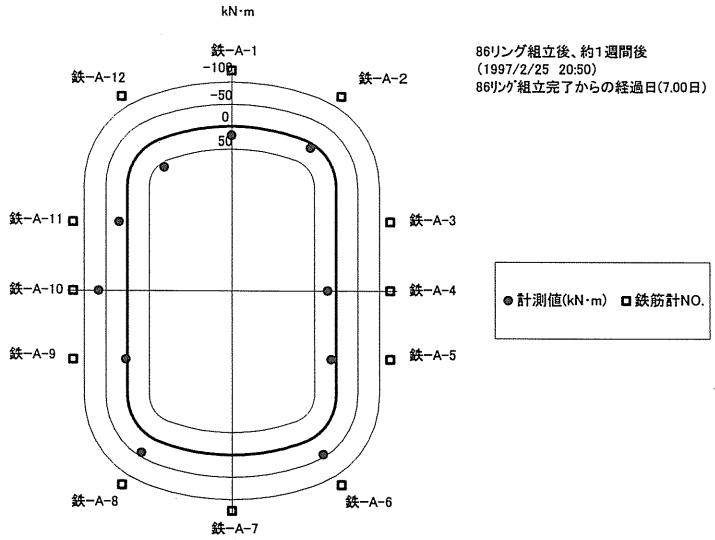


86リング3日後
(1997/2/21 20:50)
86ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(3.00日)

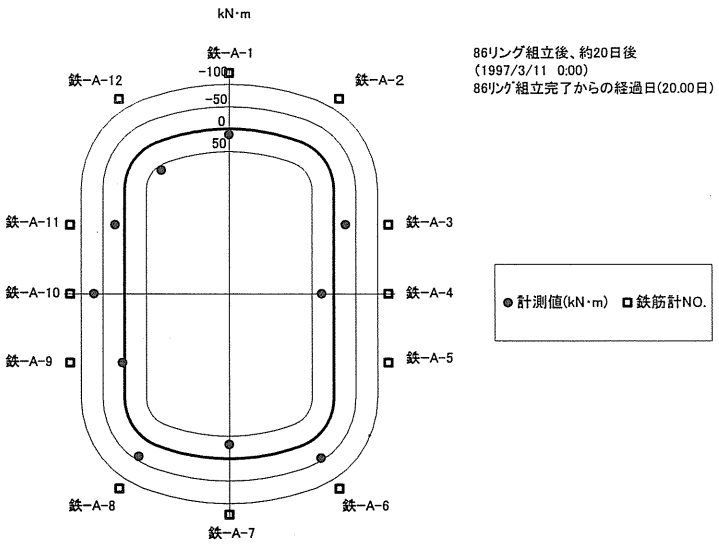
● 計測値(kN·m) □ 鉄筋計NO.

86リング曲げモーメント図

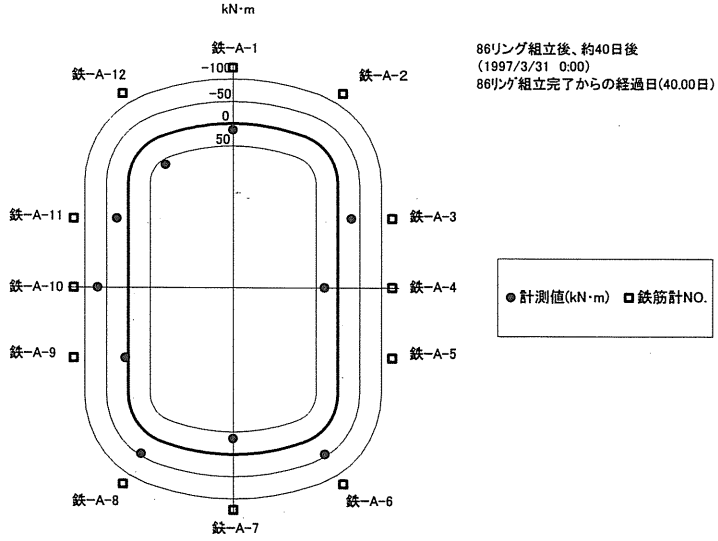
図－２．３７(1)　計測断面Ａ　曲げモーメントの断面分布図



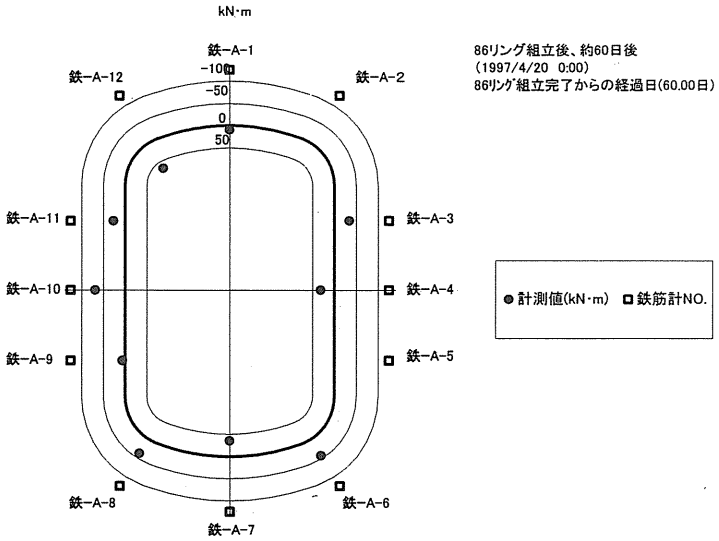
86リング曲げモーメント図



86リング曲げモーメント図

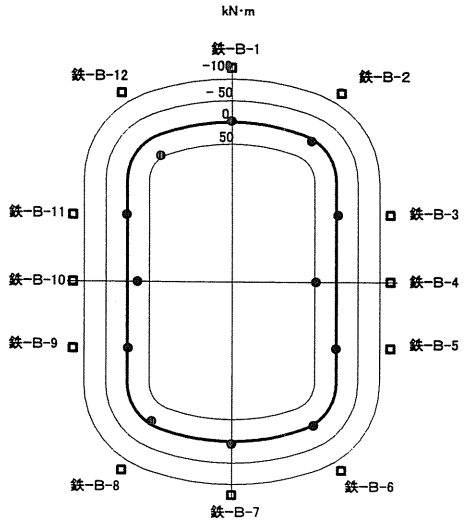


86リング曲げモーメント図



86リング曲げモーメント図

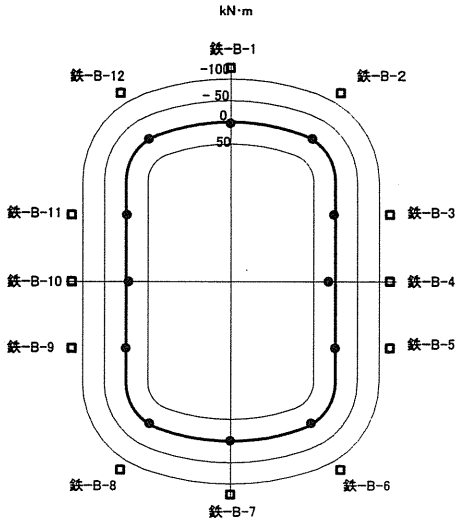
図－２．３７(2)　計測断面Ａ　曲げモーメントの断面分布図



210リング組立後、約10時間後
(1997/10/2 8:04)
210ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(0.43日)

● 計測値(kN·m) □ 鉄筋計NO.

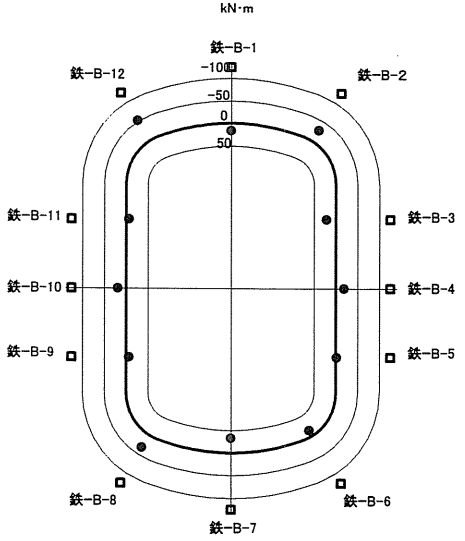
210リング曲げモーメント図



210リング組立後、約1日後
(1997/10/2 21:40)
210ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(1.00日)

● 計測値(kN·m) □ 鉄筋計NO.

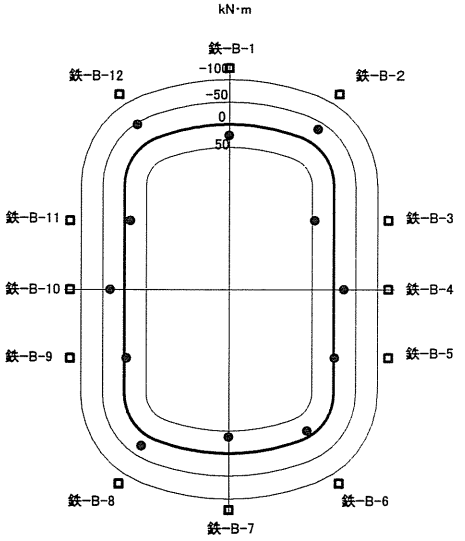
210リング曲げモーメント



210リングセグメント計測リング鉄筋計テール脱出
(1997/10/3 9:28)
210ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(1.49日)

● 計測値(kN·m) □ 鉄筋計NO.

210リング曲げモーメント

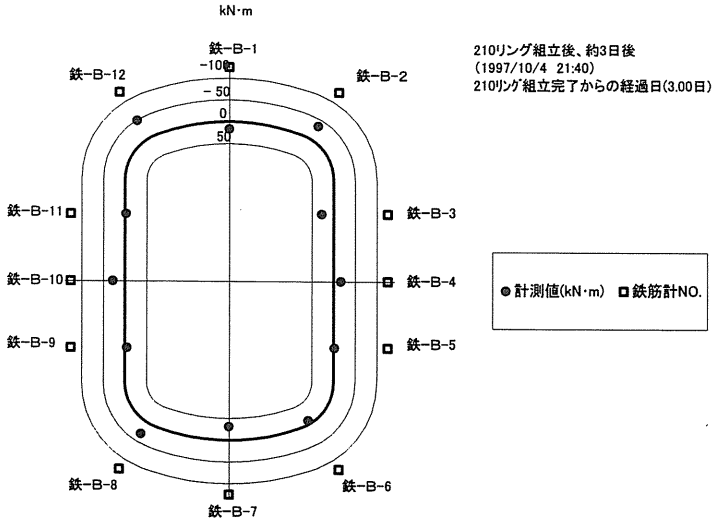


210リング組立後、裏込め注入時(213リング掘進完了時)
(1997/10/3 12:36)
210ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(1.62日)

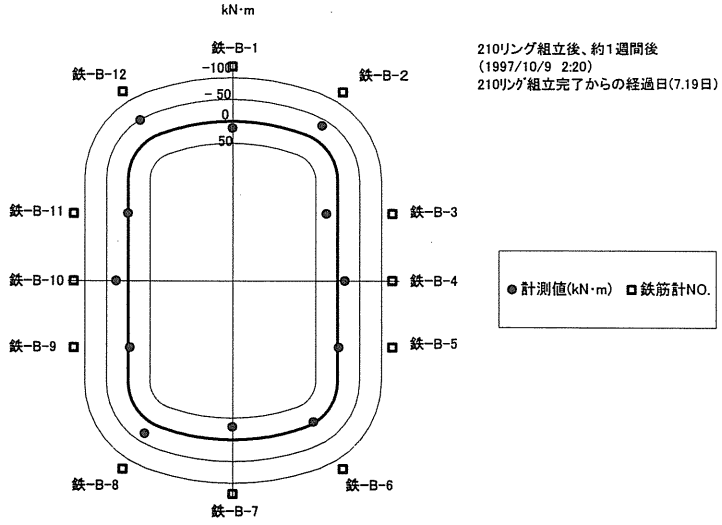
● 計測値(kN·m) □ 鉄筋計NO.

210リング曲げモーメント

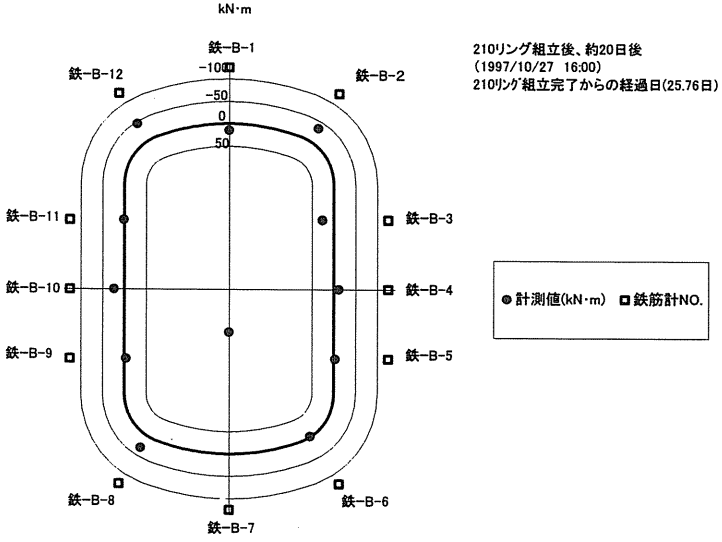
図－２．３８(1)　計測断面Ｂ　曲げモーメントの断面分布図



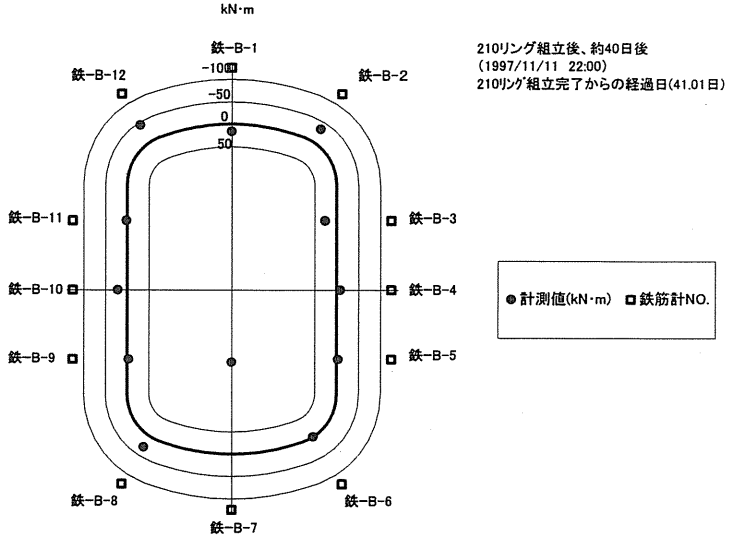
210リング曲げモーメント図



210リング曲げモーメント図

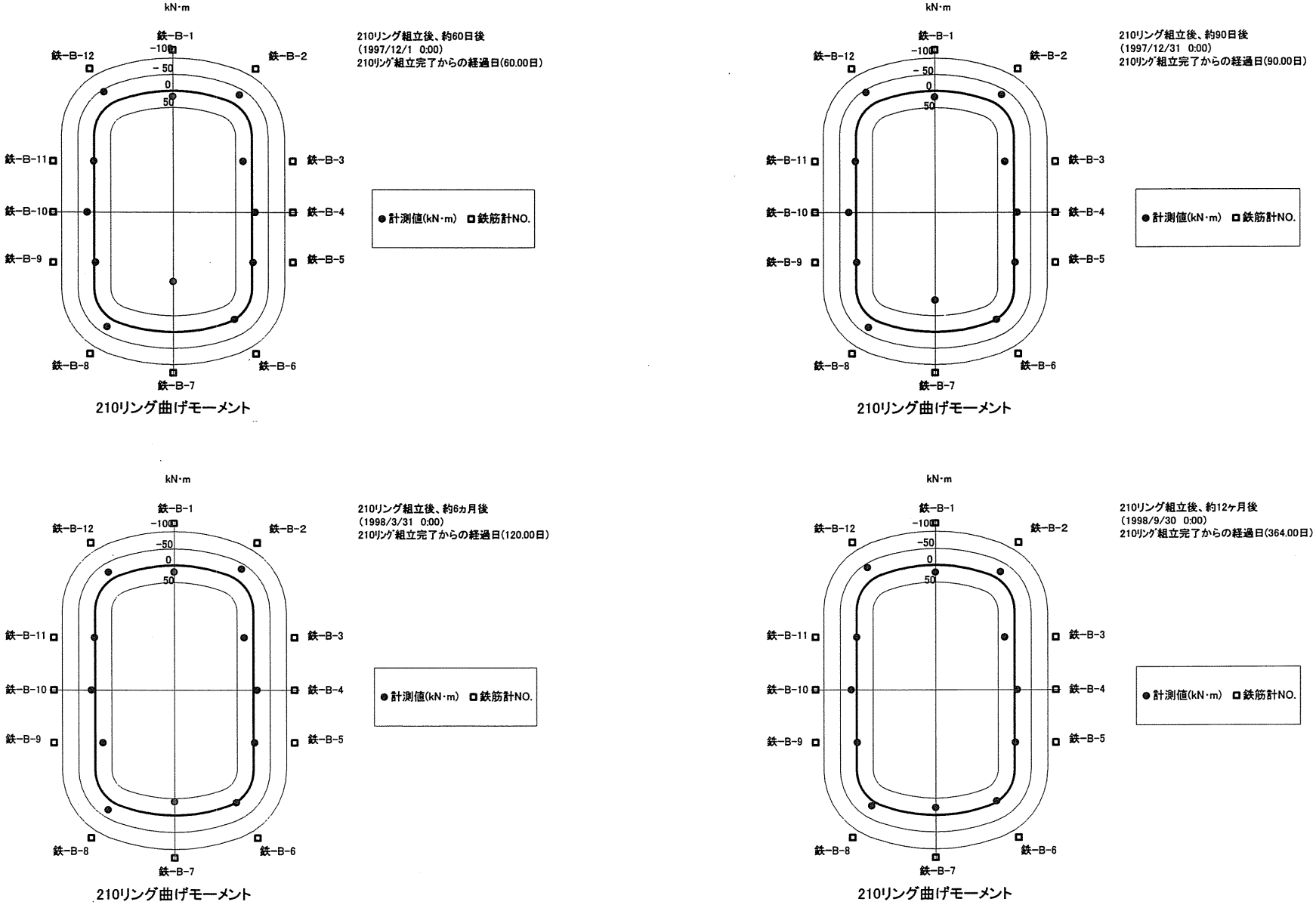


210リング曲げモーメント図



210リング曲げモーメント図

図－２．３８(2)　計測断面Ｂ　曲げモーメントの断面分布図



図－２．３８(3)　計測断面Ｂ　曲げモーメントの断面分布図

表－２．１２(1)　計測断面Ａ　周方向の鉄筋応力より算出した各点の軸力

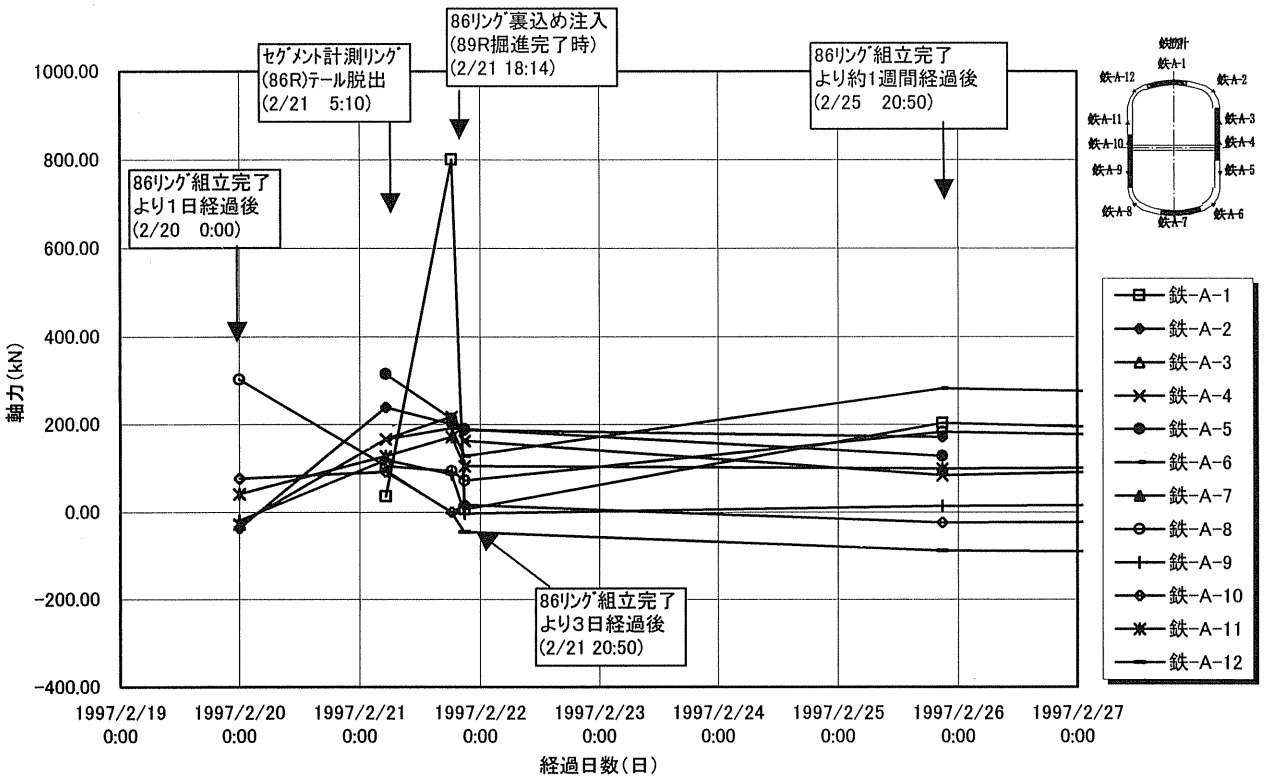
小田井山田共同溝　計測断面A　周方向鉄筋応力より算出した各点の軸力(kN)　　(圧縮＋，引張－)

日付	時間	状態	86リング	86リング軸力										
			経過時間	[鉄-A 1]	[鉄-A 2]	[鉄-A 3]	[鉄-A 4]	[鉄-A 5]	[鉄-A 6]	[鉄-A 7]	[鉄-A 8]	[鉄-A 9]	[鉄-A 10]	[鉄-A 11]	[鉄-A 12]
1997/2/20	0:00 (計測開始)	86ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(97/2/18　20:50)1日経過後	1.13	-	-36.67	-	-27.30	-	-	-	302.25	-18.76	76.64	41.43	-
1997/2/21	5:10:00	86ﾘﾝｸﾞ(ｾｸﾞﾒﾝﾄ計測ﾘﾝｸﾞ鉄筋計)ﾃｰﾙ脱出	2.35	36.39	239.10	-	166.55	314.80	165.71	-	105.02	118.96	92.15	128.13	95.13
1997/2/21	18:14:00	86ﾘﾝｸﾞ裏込め注入(89R掘進完了時)(16:30)	2.89	800.29	200.23	-	217.68	213.00	191.67	-	93.14	85.82	-0.35	171.34	-1.32
1997/2/21	20:50:00	86ﾘﾝｸﾞ3日後	3.00	6.35	187.27	-	162.80	189.52	127.98	-	72.63	-3.25	17.07	105.29	-45.64
1997/2/25	20:50:00	86ﾘﾝｸﾞ1週間後	7.00	203.18	171.02	-	84.15	128.09	282.24	-	182.34	13.47	-24.59	99.24	-88.60
1997/3/11	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後、約20日後	20.00	110.02	-	-202.09	161.93	-	217.71	341.20	121.09	34.49	-11.86	114.98	-108.40
1997/3/31	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後、約40日後	40.00	136.50	-	-195.63	186.31	-	187.40	323.96	135.43	64.24	-28.25	143.43	-123.81
1997/4/20	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後、約60日後	60.00	77.03	-	-160.58	178.22	-	154.96	278.40	62.25	65.76	-44.59	167.50	-109.48

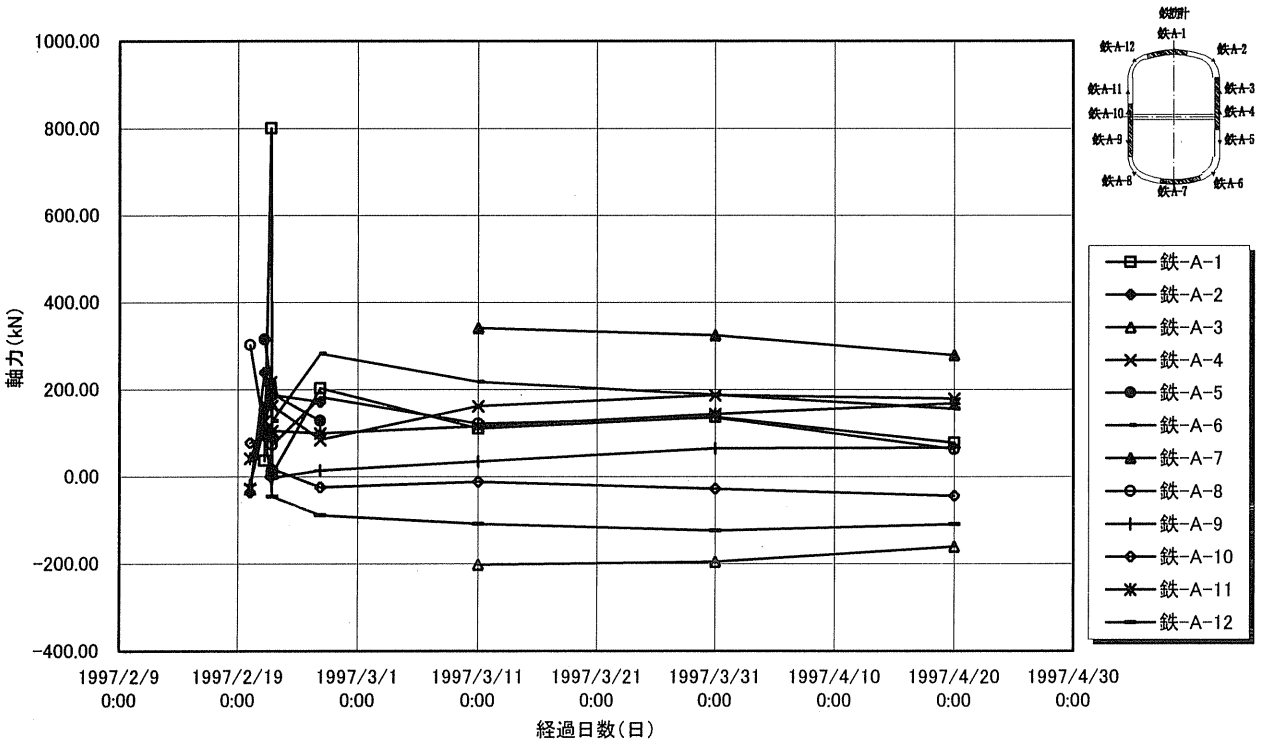
表－２．１２(2)　計測断面Ｂ　周方向の鉄筋応力より算出した各点の軸力

小田井山田共同溝　計測断面B　周方向鉄筋応力より算出した各点の軸力(kN)　　(圧縮＋，引張－)

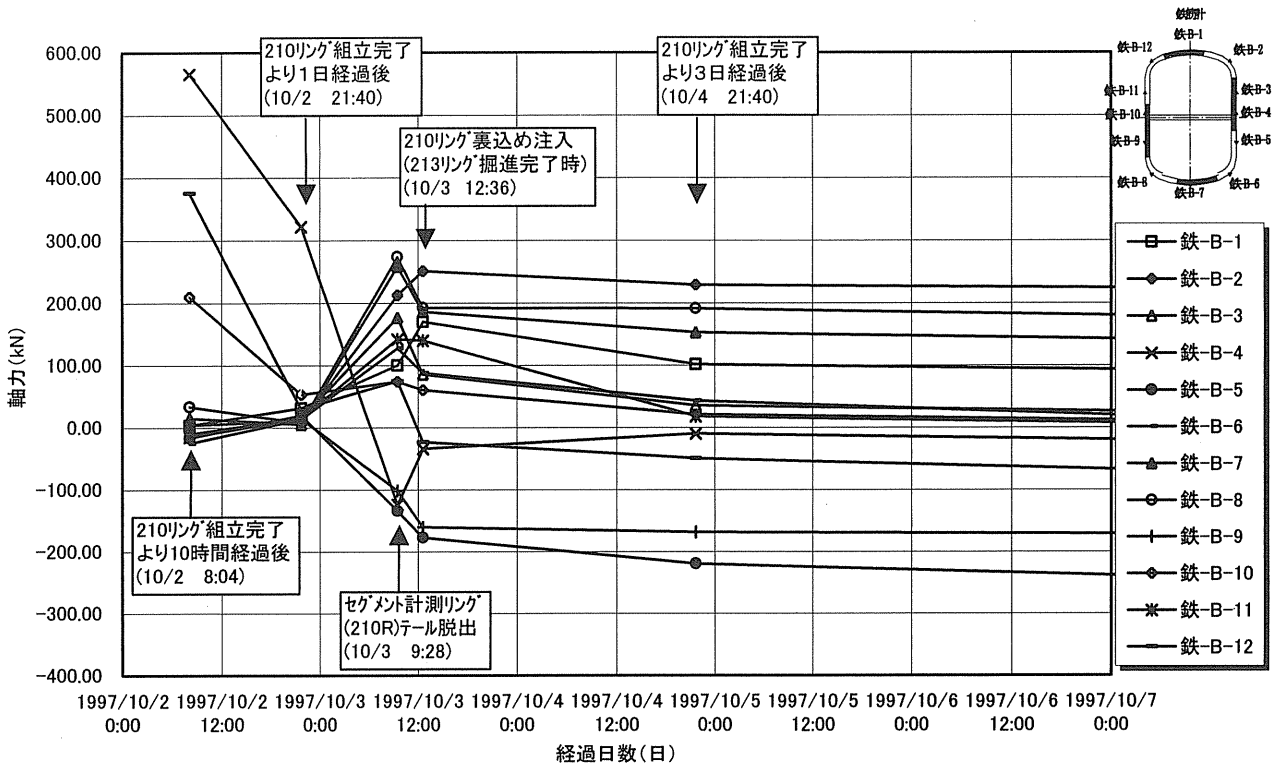
日付	時間	状態	210リング	210リング軸力										
			経過時間	[鉄-B 1]	[鉄-B 2]	[鉄-B 3]	[鉄-B 4]	[鉄-B 5]	[鉄-B 6]	[鉄-B 7]	[鉄-B 8]	[鉄-B 9]	[鉄-B 10]	[鉄-B 11]	[鉄-B 12]
1997/10/2	8:04 (計測開始)	210ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(97/10/1　21:40)約10時間経過後	0.43	3.56	4.35	-10.46	566.01	-16.42	-25.07	15.30	33.58	-14.77	209.79	-14.69	375.36
1997/10/2	21:40:00	210リング1日後	1.00	31.67	10.94	16.33	322.10	19.52	13.52	5.38	7.67	14.48	53.39	14.44	30.08
1997/10/3	9:28:00	210ﾘﾝｸﾞ(ｾｸﾞﾒﾝﾄ計測ﾘﾝｸﾞ鉄筋計)ﾃｰﾙ脱出	1.49	100.11	212.13	176.54	-123.94	-134.19	127.88	258.12	273.74	-101.55	73.68	142.07	75.20
1997/10/3	12:36:00	210リング裏込め注入	1.62	169.87	251.25	85.56	-33.83	-177.30	87.97	185.77	192.05	-160.42	60.31	140.11	-22.97
1997/10/4	21:40:00	210リング3日後	3.00	101.58	228.67	35.55	-9.84	-220.03	43.39	152.88	190.94	-168.61	21.01	18.10	-49.30
1997/10/9	2:20:00	210リング約1週間後	7.19	85.06	219.64	17.24	-28.86	-256.97	-2.43	132.33	169.56	-173.81	3.10	-2.37	-84.59
1997/10/27	16:00:00	リング組立後、約20日後	25.76	84.61	193.77	-4.74	-69.68	-287.47	-17.45	3182.90	156.13	-195.49	-34.41	-4.93	-138.71
1997/11/11	22:00:00	リング組立後、約40日後	41.01	96.16	177.92	-10.83	-82.71	-304.83	-20.59	2282.56	125.41	-206.13	-51.55	-2.84	-160.24
1997/12/1	0:00:00	リング組立後、約60日後	60.00	102.46	153.78	-17.19	-95.45	-312.22	-29.22	1572.12	106.23	-215.06	-64.16	-12.63	-181.95
1997/12/31	0:00:00	リング組立後、約90日後	90.00	112.07	151.92	-33.97	-108.93	-321.40	-29.71	830.85	126.34	-243.64	-64.92	-3.33	-190.78
1998/3/31	0:00:00	リング組立後、約6ヶ月後	120.00	115.56	152.15	-53.26	-112.68	-324.09	-38.89	133.52	64.50	-78.42	-48.38	25.08	-89.70
1998/9/30	0:00:00	リング組立後、約12ヶ月後	364.00	70.48	27.66	-35.18	-119.06	-318.71	-57.54	-28.52	-72.95	-283.38	-139.18	-48.97	-243.35



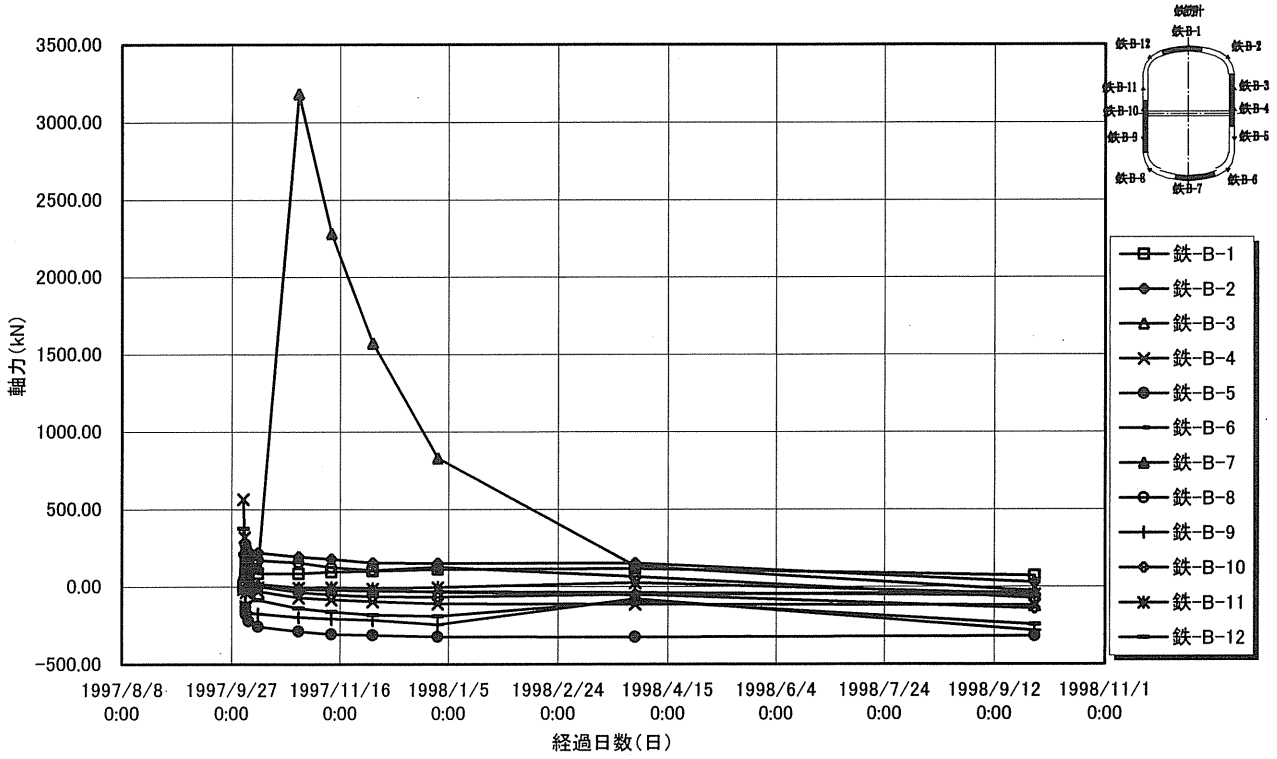
図－２．３９(1)　計測断面Ａ 軸力の経時変化図



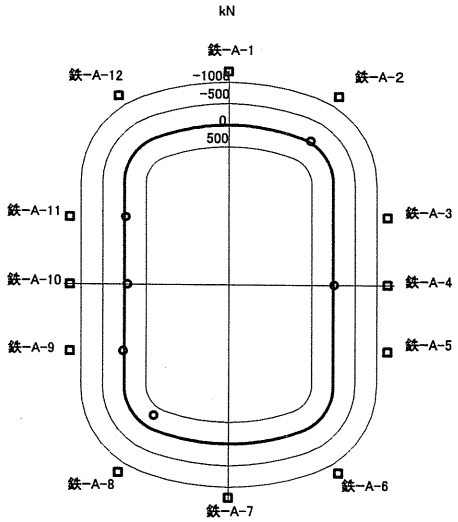
図－２．３９(2)　計測断面Ａ 軸力の経時変化図



図－２．４０(1)　計測断面Ｂ 軸力の経時変化図



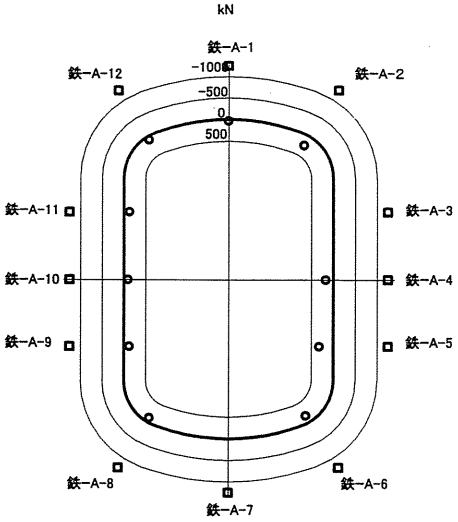
図－２．４０(2)　計測断面Ｂ 軸力の経時変化図



86リング軸力図

86リングセグメント組立完了約1日経過後
(1997/2/20 0:00)
86ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(1.33日)

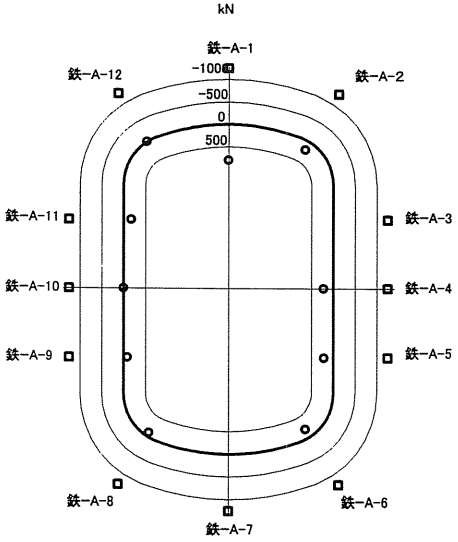
○計測値(kN) □鉄筋計NO.



86リング軸力図

86リングセグメント計測リング鉄筋計テール脱出
(1997/2/20 5:10)
86ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(2.35日)

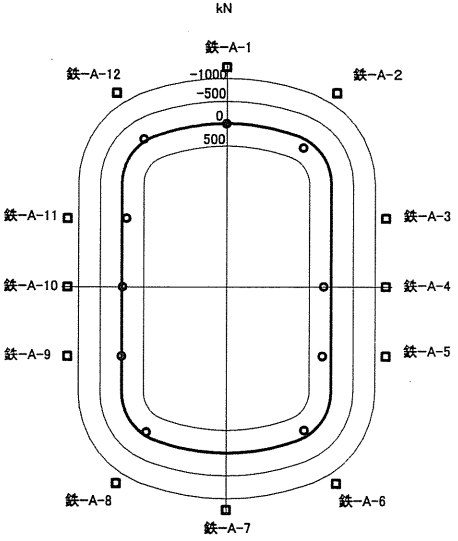
○計測値(kN) □鉄筋計NO.



86リング軸力図

86リング裏込め注入時(89リング掘進完了時)
(1997/2/21 18:14)
86ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(2.89日)

○計測値(kN) □鉄筋計NO.

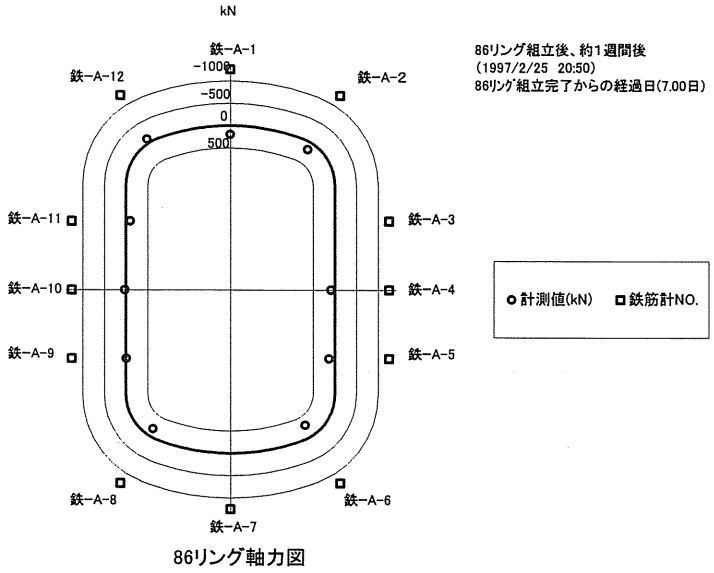


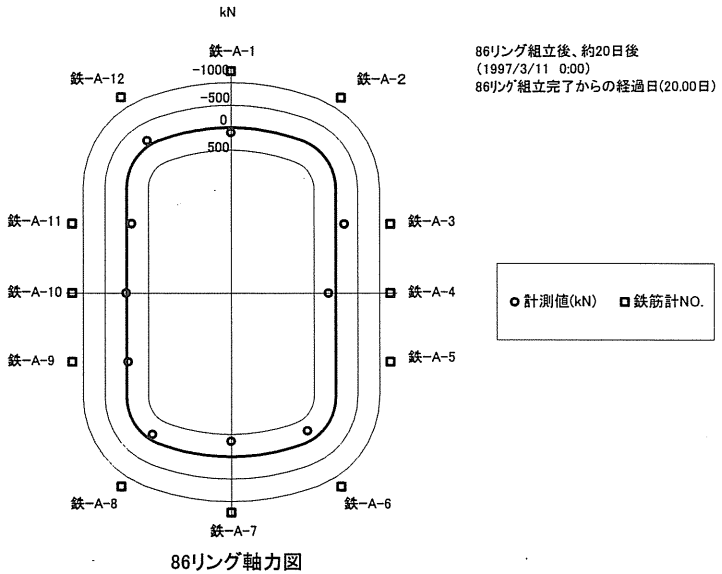
86リング軸力図

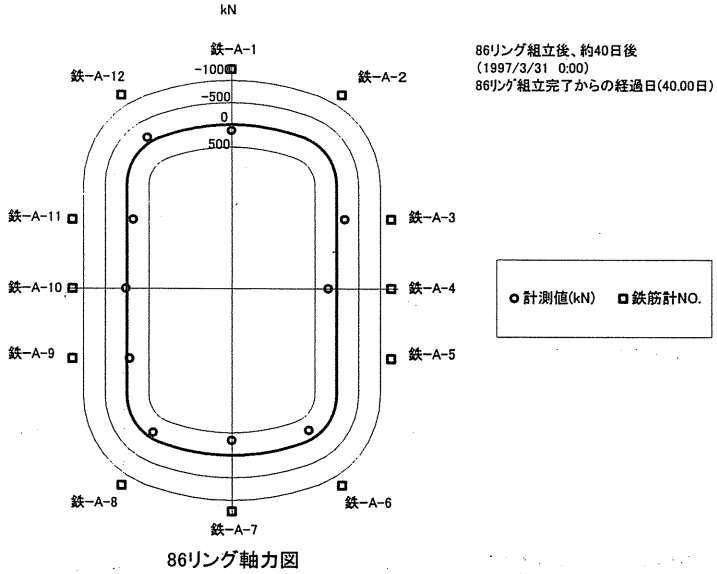
86リング3日後
(1997/2/21 20:50)
86ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(3.00日)

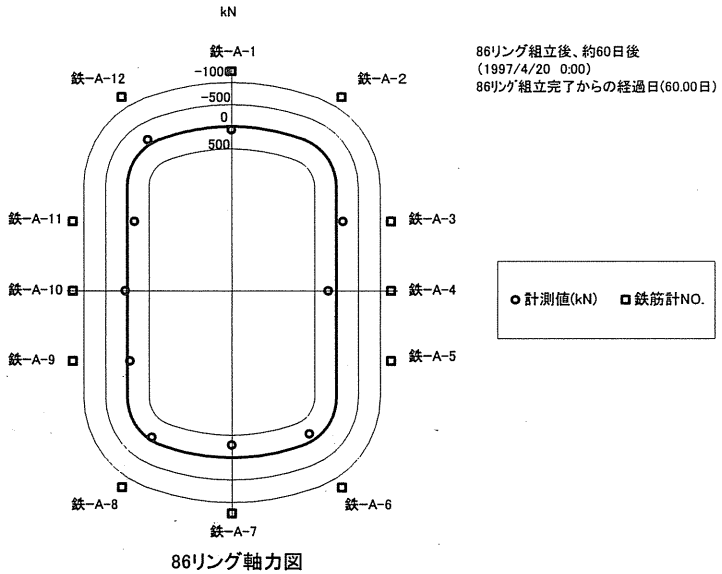
○計測値(kN) □鉄筋計NO.

図－２．４１(1)　計測断面Ａ　軸力の断面分布図

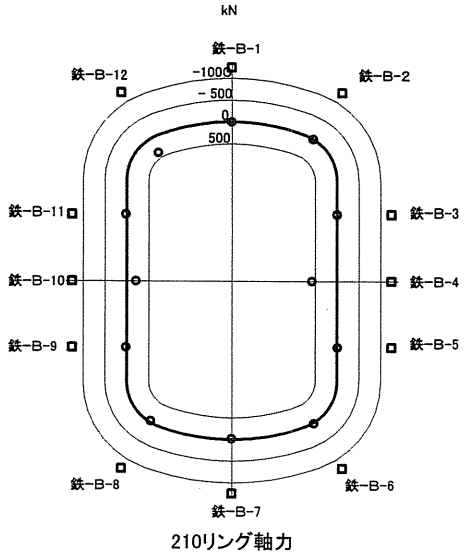






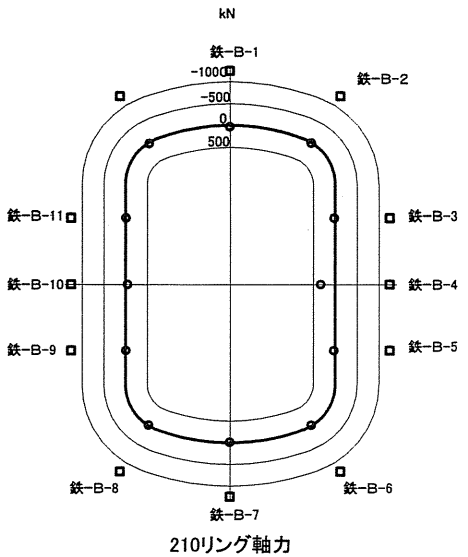


図－２．４１(2)　計測断面Ａ　軸力の断面分布図



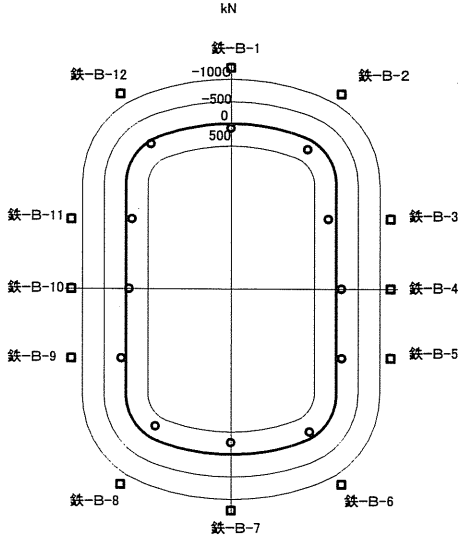
210ﾘﾝｸﾞ組立後、約10時間後
(1997/10/2 8:04)
210ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(0.43日)

○計測値(kN) □鉄筋計NO.



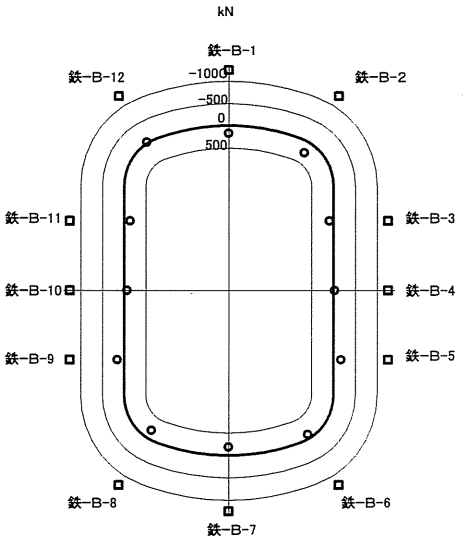
210ﾘﾝｸﾞ組立後、約1日後
(1997/10/2 21:40)
210ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(1.00日)

○計測値(kN) □鉄筋計NO.



210ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ計測ﾘﾝｸﾞ鉄筋計ﾃｰﾙ脱出
(1997/10/3 9:28)
210ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(1.49日)

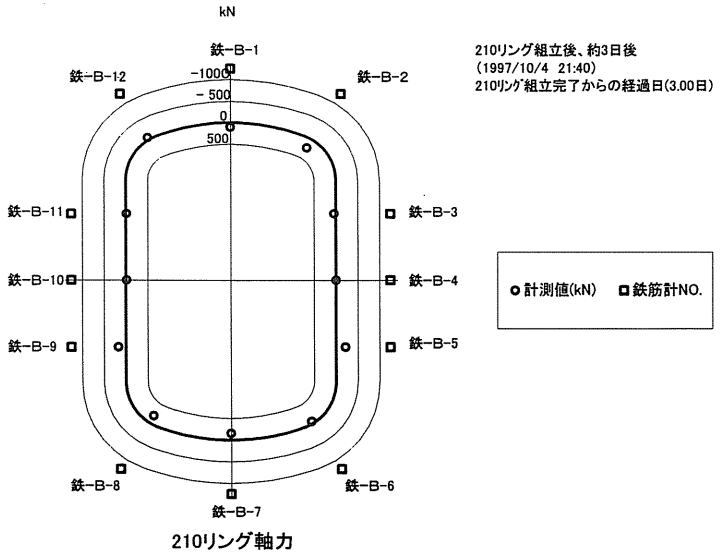
○計測値(kN) □鉄筋計NO.



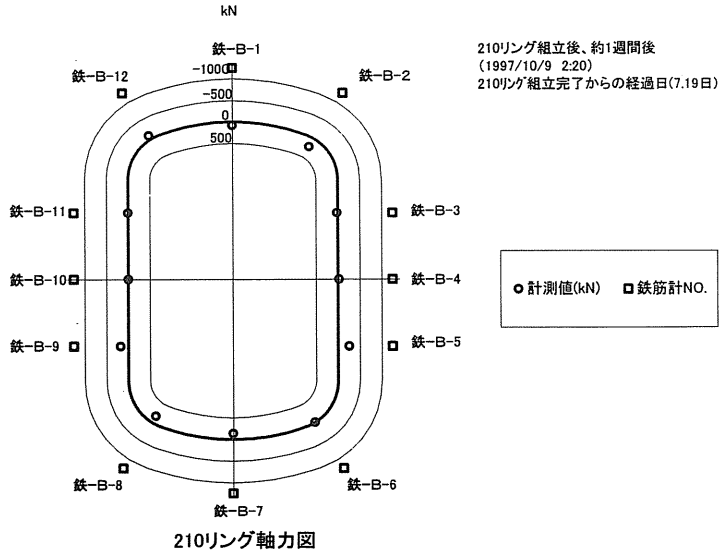
210ﾘﾝｸﾞ裏込め注入時(213ﾘﾝｸﾞ掘進完了時)
(1997/10/3 12:36)
210ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(1.62日)

○計測値(kN) □鉄筋計NO.

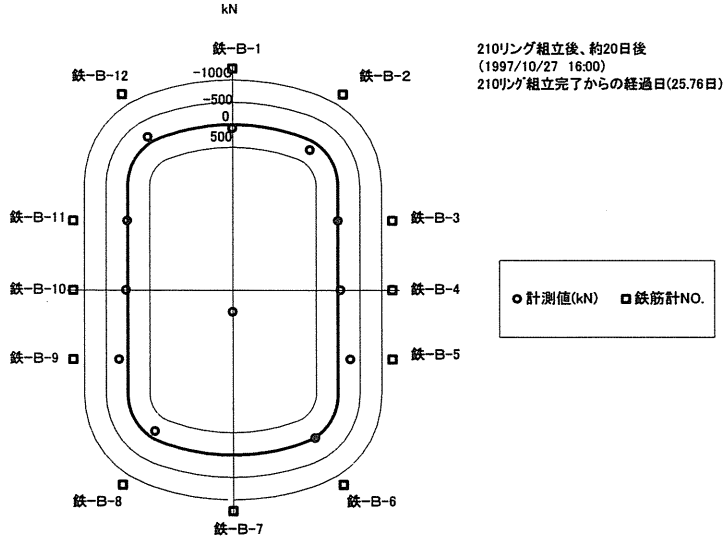
図－２．４２(1) 計測断面Ｂ 軸力の断面分布図



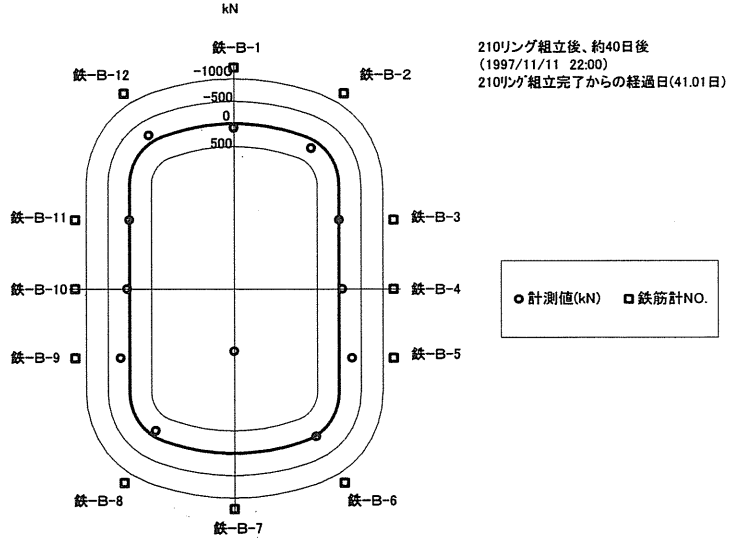
210リング軸力



210リング軸力図

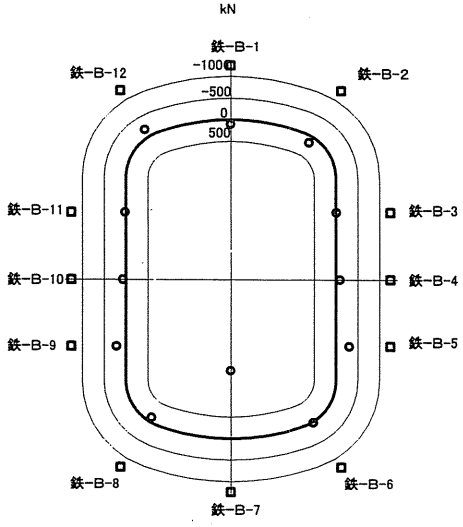


210リング軸力図



210リング軸力図

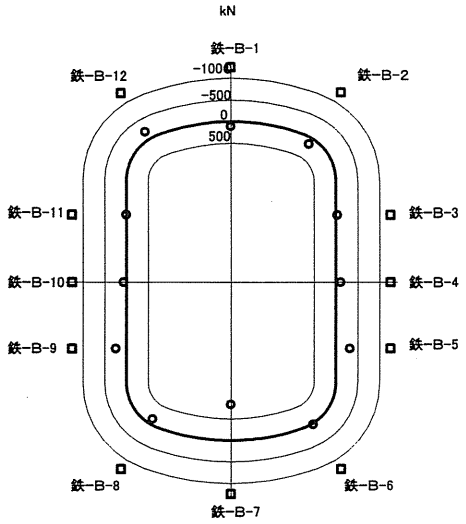
図－２．４２(2)　計測断面Ｂ　軸力の断面分布図



210リング組立後、約60日後
(1997/12/1 0:00)
210ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(60.00日)

○計測値(kN) □鉄筋計NO.

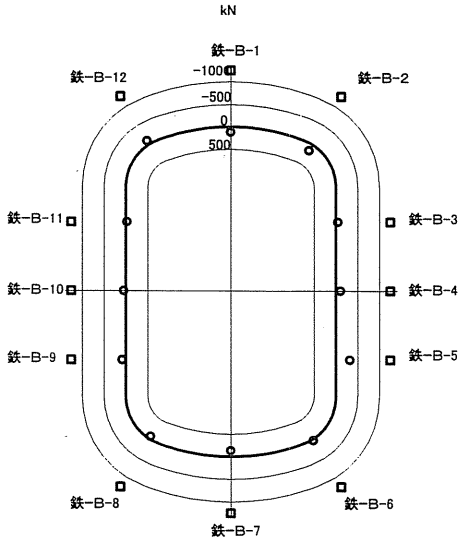
210リング軸力図



210リング組立後、約90日後
(1997/12/31 0:00)
210ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(90.00日)

○計測値(kN) □鉄筋計NO.

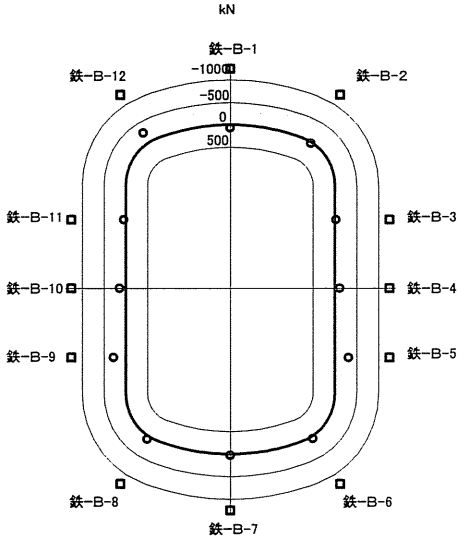
210リング軸力図



210リング組立後、約6ヶ月後
(1998/3/31 0:00)
210ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(120.00日)

○計測値(kN) □鉄筋計NO.

210リング軸力図



210リング組立後、約12ヶ月後
(1998/9/30 0:00)
210ﾘﾝｸﾞ組立完了からの経過日(364.00日)

○計測値(kN) □鉄筋計NO.

210リング軸力図

図－２．４２(3) 計測断面Ｂ 軸力の断面分布図

２．３．２　坑外計測

（１）切羽進行に伴う地表面・地中沈下量の変化

図－２．９(1)～(2)で示した層別沈下計の計測データについてトンネル直径Ｄで無次元化した切羽の進行との関係で整理したものを図－２．４３(1)～(5)に示す。なお、変位の方向はプラス(+)が隆起、マイナス(-)が沈下を表している。以下に示すグラフの変位の方向はすべて同様に整理した。

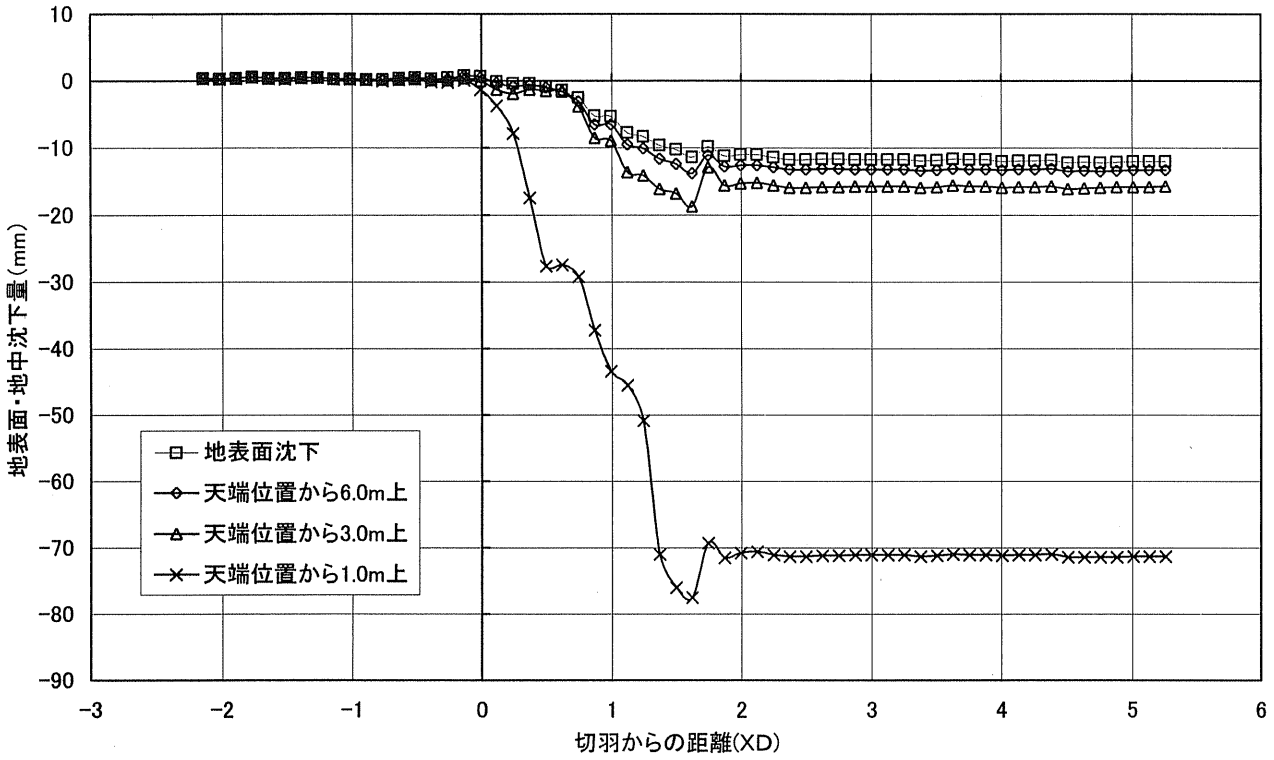
図より、切羽の進行に伴う地盤変状の変化は、切羽前方 0.5D 程度から沈下し始め、切羽後方約２D 程度まで急激な沈下が生じ、その後切羽の進行とともに沈下が収束する傾向にある。他のこれまで計測された地盤挙動[2)]では沈下の始まりが 1～2D 程度となっており、今回計測では沈下の始まりが遅い傾向にある。切羽後方の挙動は他のこれまで計測された地盤挙動と同様な傾向を示したものとなっている。切羽前方の沈下は、シールド掘削による切羽圧力の解放による地山の緩み、掘削に伴う周辺地山の乱れなどによる挙動が考えられ、また、切羽後方の主な沈下は、シールド機とセグメントの外径の違いから生じるテールボイドによる周辺地盤への緩みによるものが大きく影響しているものと考えられる。

（２）トンネル周辺の地表面・地中沈下量の分布

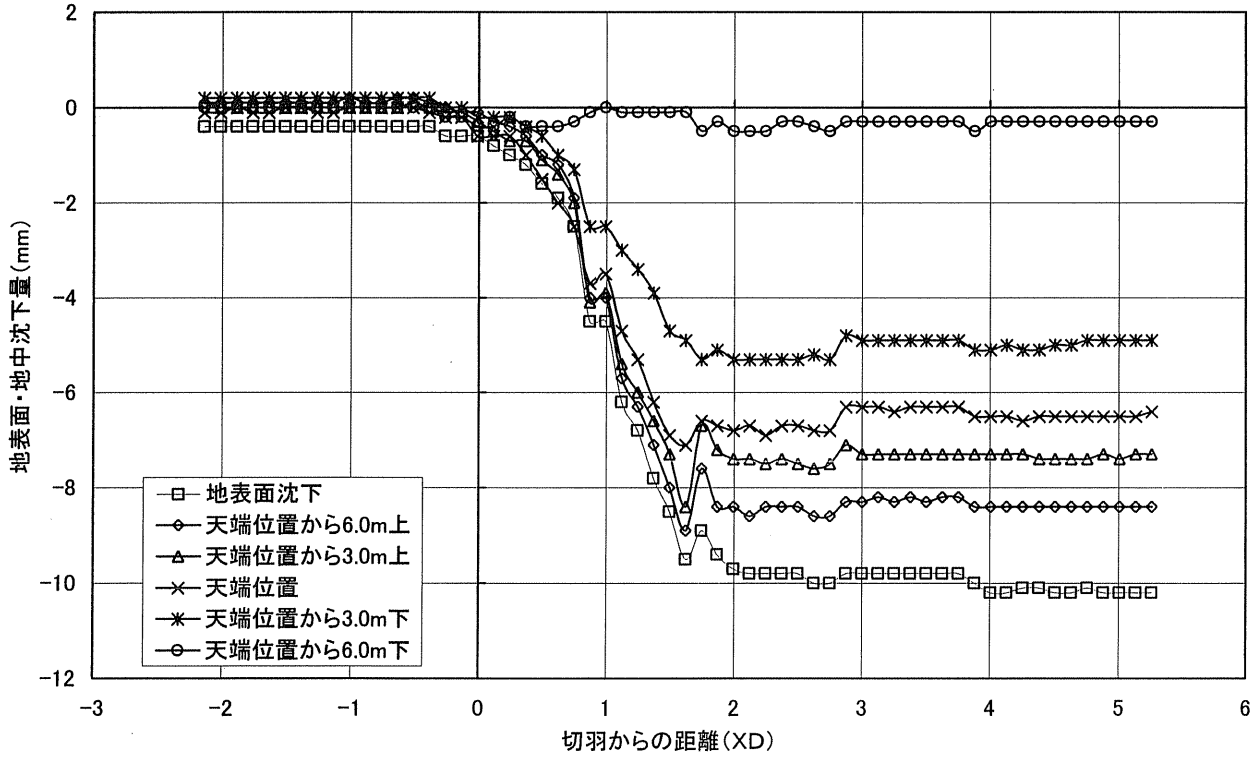
単設シールドトンネルの施工が周辺地盤の挙動にどの程度影響を及ぼすかを検討するため、計測データの最終沈下量の横断面での沈下分布を図－２．４４(1)～(2)に示す。図より、シールド中央部（天端直上）での沈下量が計測断面Ａで 71.3 ㎜、計測断面Ｂで 89.6 ㎜と非常に大きくなっている。これは、異形断面を掘削するためのスイングカッターがシールドマシンのスキンプレートの先端よりも前方にあり、スイングカッターでの掘削部分が無支保状態になったためと考えられる。シールド直上のの鉛直方向沈下量は天端上約３ｍまでの間で急激に減少し、その後地上に向かって徐々に沈下量が減少する傾向になっている。側部はシールド天端高さ付近から地表面に向かって層別沈下が増加する傾向がみられるが、これは他の円形シールドトンネルの計測結果[2)]においても、シールド上部が軟弱層の場合には同じ傾向がみられる。

（３）切羽進行に伴う地表面・地中沈下量の最終沈下量に対する比

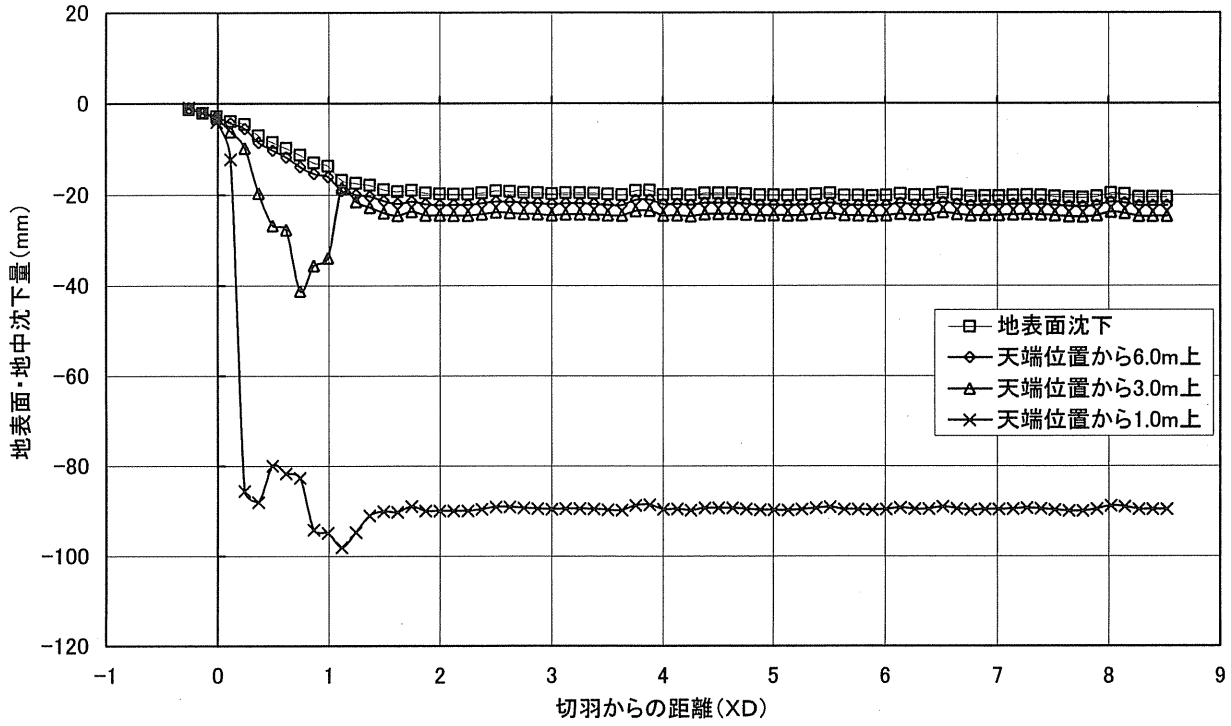
地表面・地中沈下が切羽進行に伴って最終沈下量に対してどの程度変化するかについて、図－２．４４(1)～(2)に示した切羽から 5D（Ｄ：縦径）後方の位置での沈下量を基準として表したグラフを図－２.４５(1)～(5)に示す。また、最終沈下量、切羽位置での沈下量および最終沈下量との比の一覧表を表－２.１３に示す。この図および表によれば、最終沈下量を切羽後方約 5D と考えると、トンネル周辺の沈下計測データから、トンネル周辺において、切羽が到達する以前の沈下量が最終沈下量の約１割までとなっている計測地点が多く見られる。他のこれまで計測された地盤挙動[2)]では切羽が到達する以前の沈下量が最終沈下量の約２割となっており、今回計測では切羽到達時点での最終沈下量に対する比が小さい傾向にある。



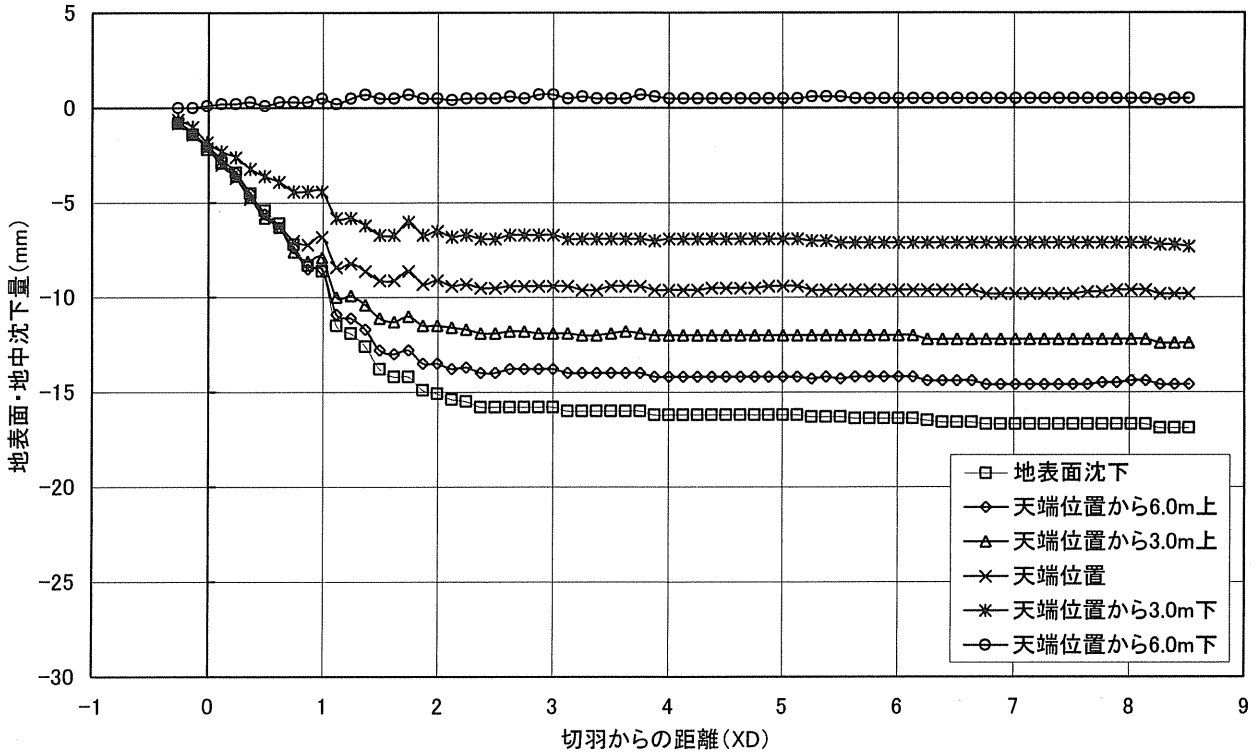
図－２．４３(1)　切羽進行に伴う地表面・地中沈下量（計測断面Ａ　トンネル中央）



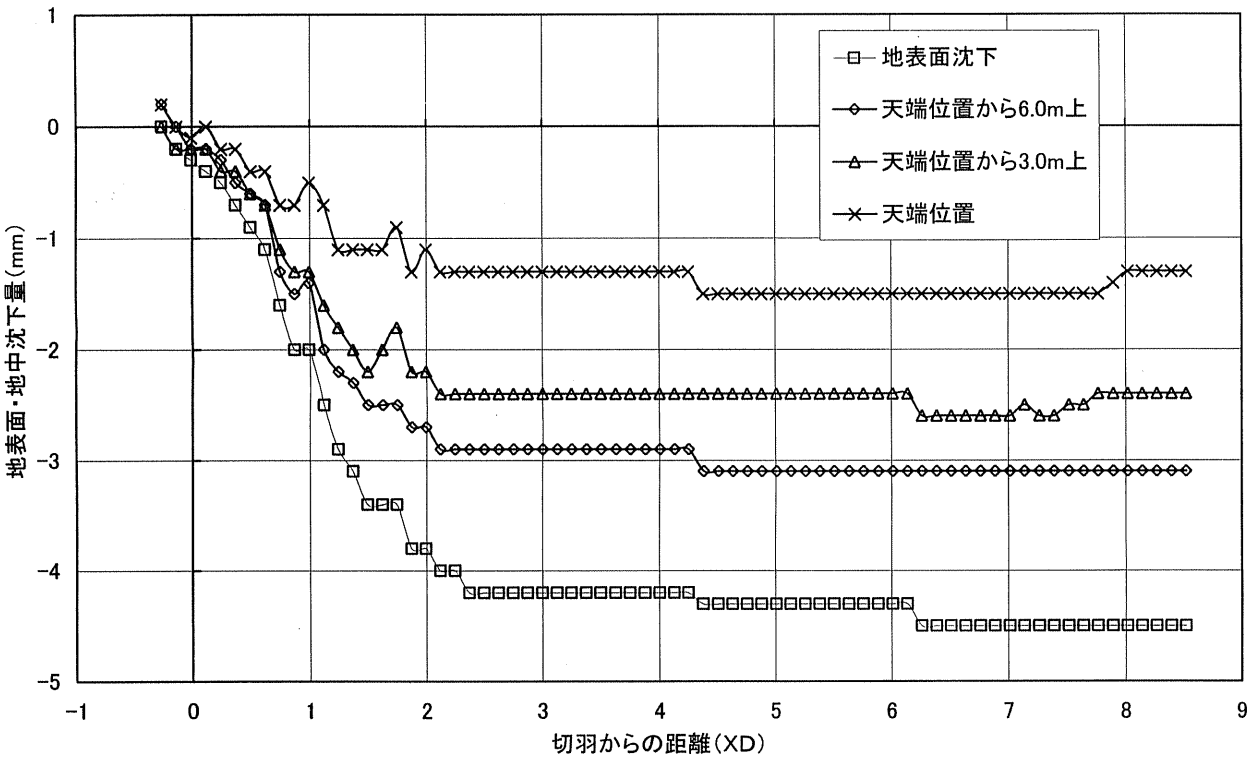
図－２．４３(2)　切羽進行に伴う地表面・地中沈下量（計測断面Ａ　トンネル側壁から１ｍ）



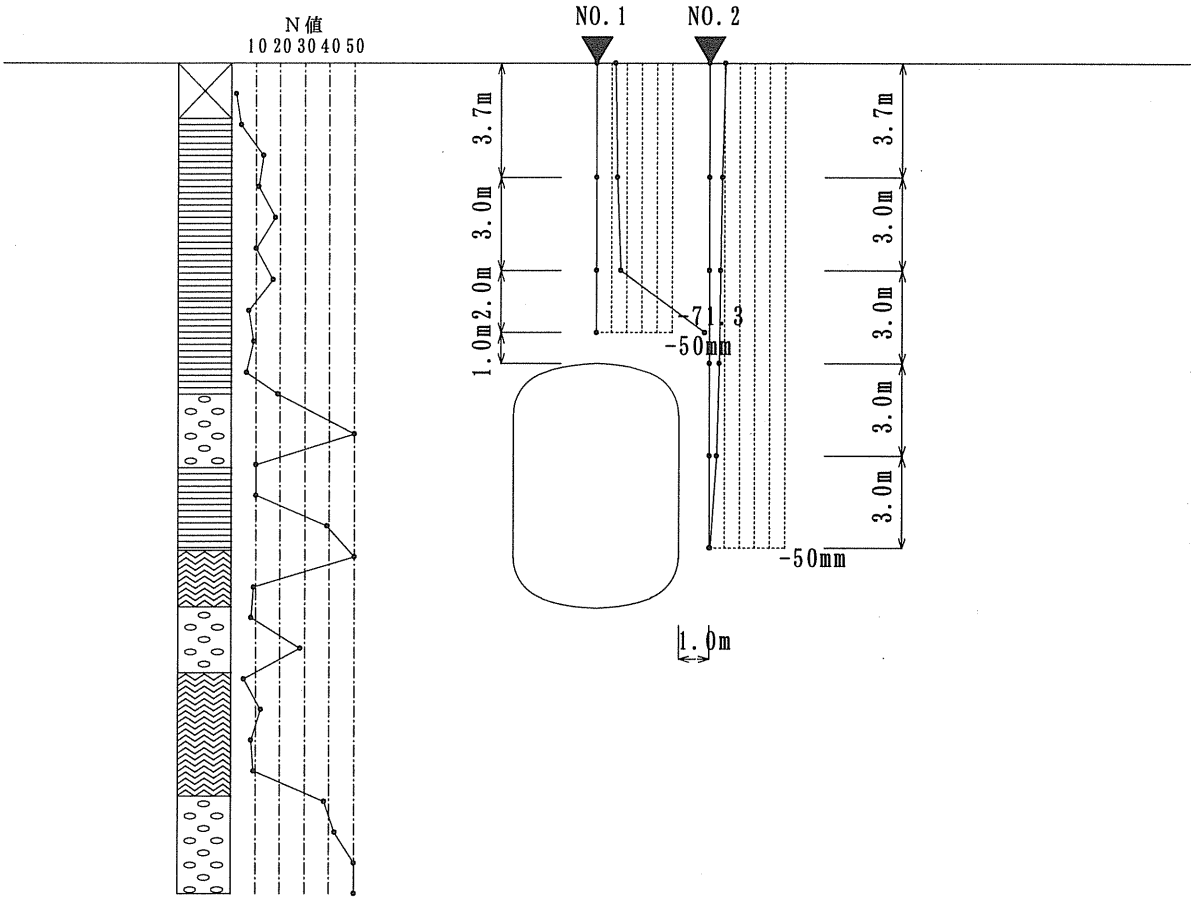
図－２．４３(3)　切羽進行に伴う地表面・地中沈下量（計測断面Ｂ　トンネル中央）



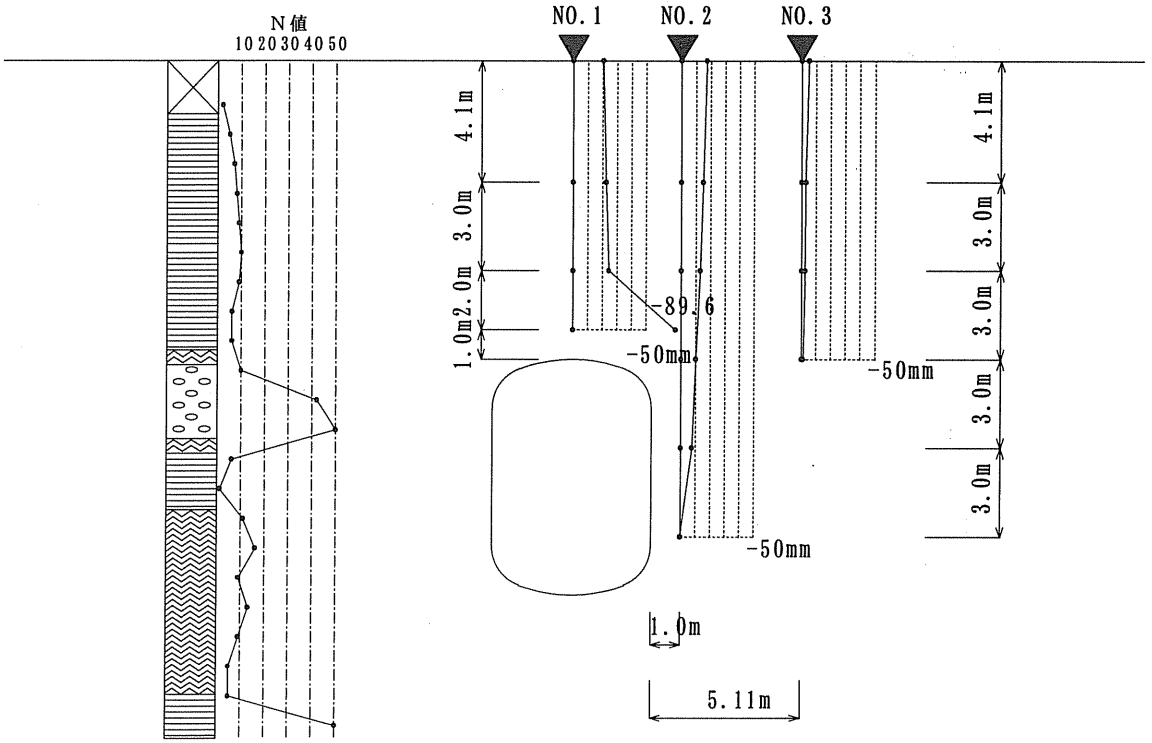
図－２．４３(4)　切羽進行に伴う地表面・地中沈下量（計測断面Ｂ　トンネル側壁から１ｍ）



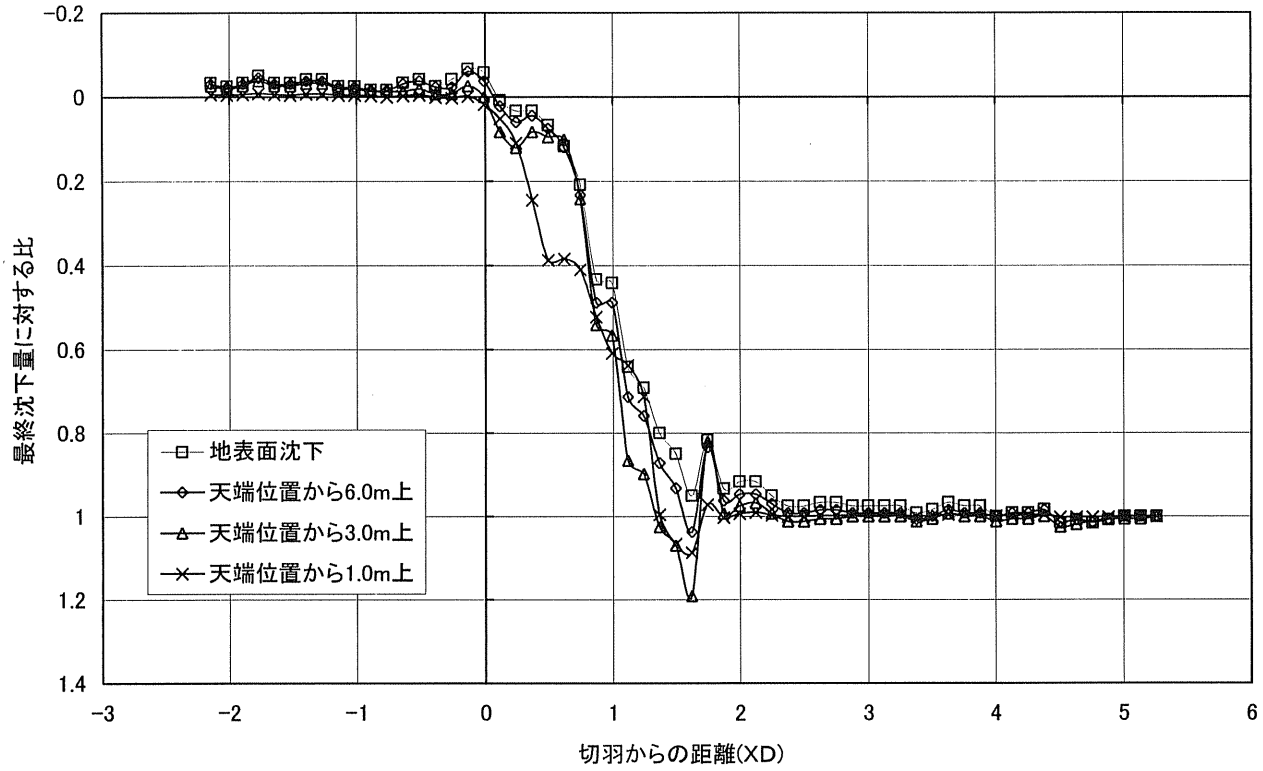
図－２．４３(5)　切羽進行に伴う地表面・地中沈下量（計測断面Ｂ　トンネル側壁から5.11m）



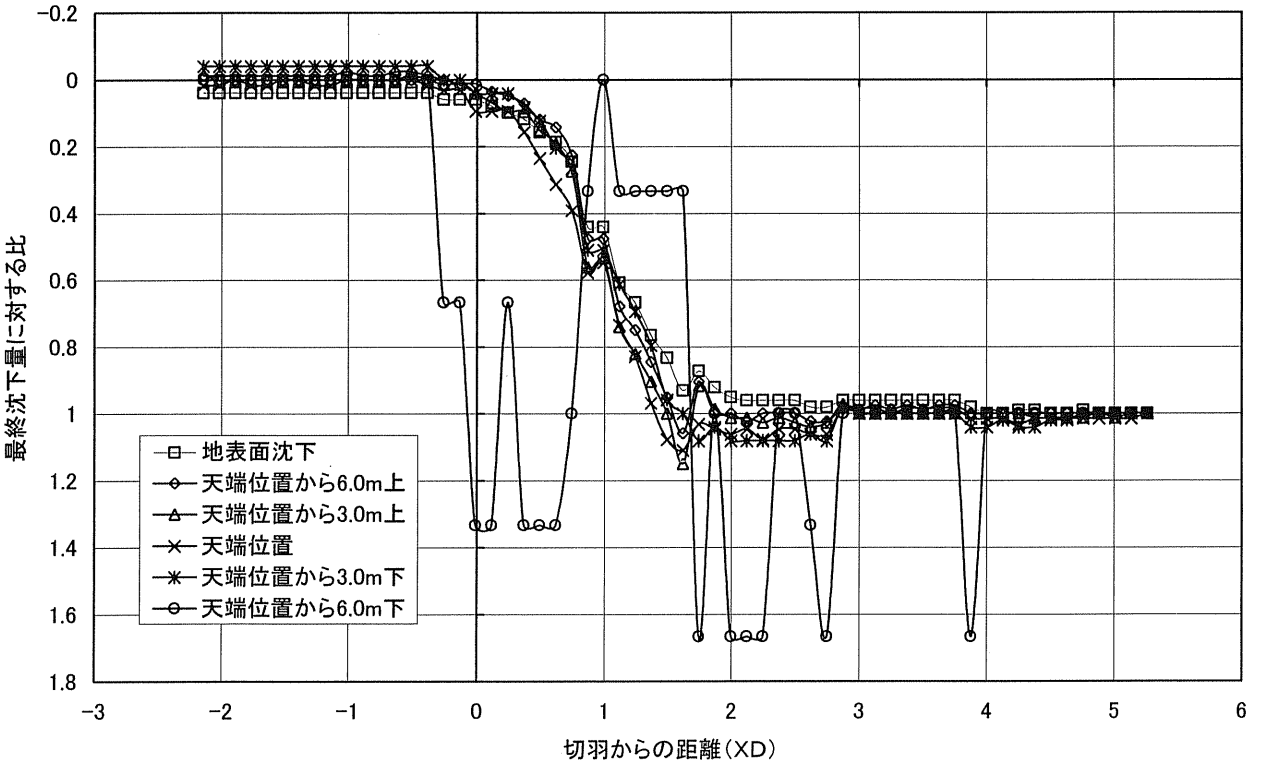
図－２．４４(1)　地表面・地中沈下量の最終沈下量(計測断面Ａ)



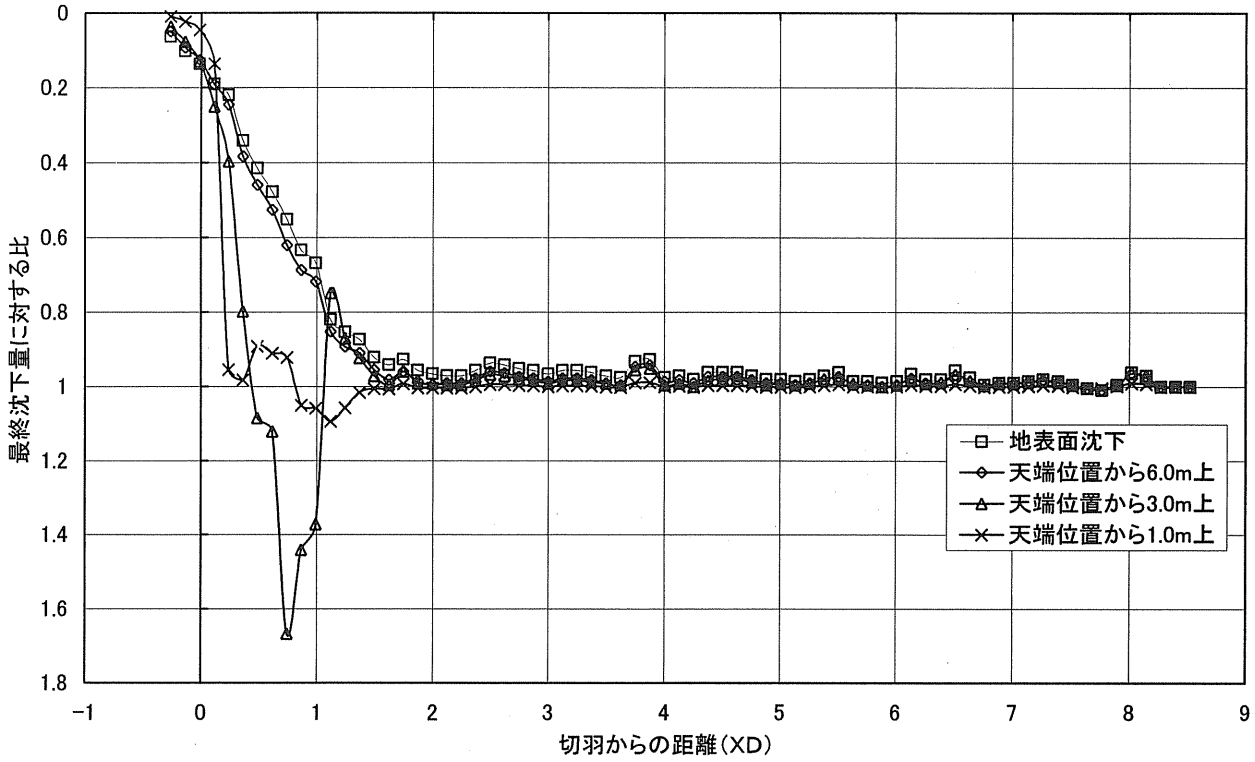
図－２．４４(2)　地表面・地中沈下量の最終沈下量(計測断面Ｂ)



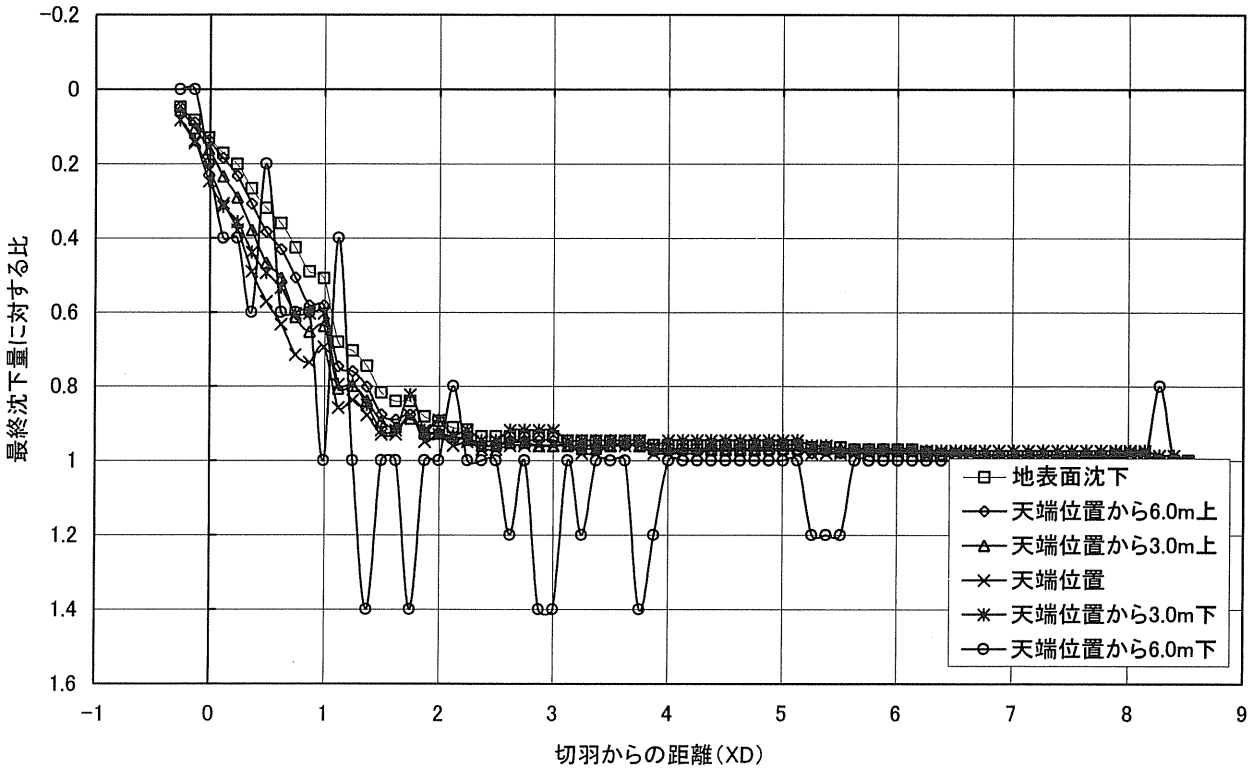
図－２．４５(1)　地表面・地中沈下量の最終沈下量との比（計測断面Ａ　トンネル中央）



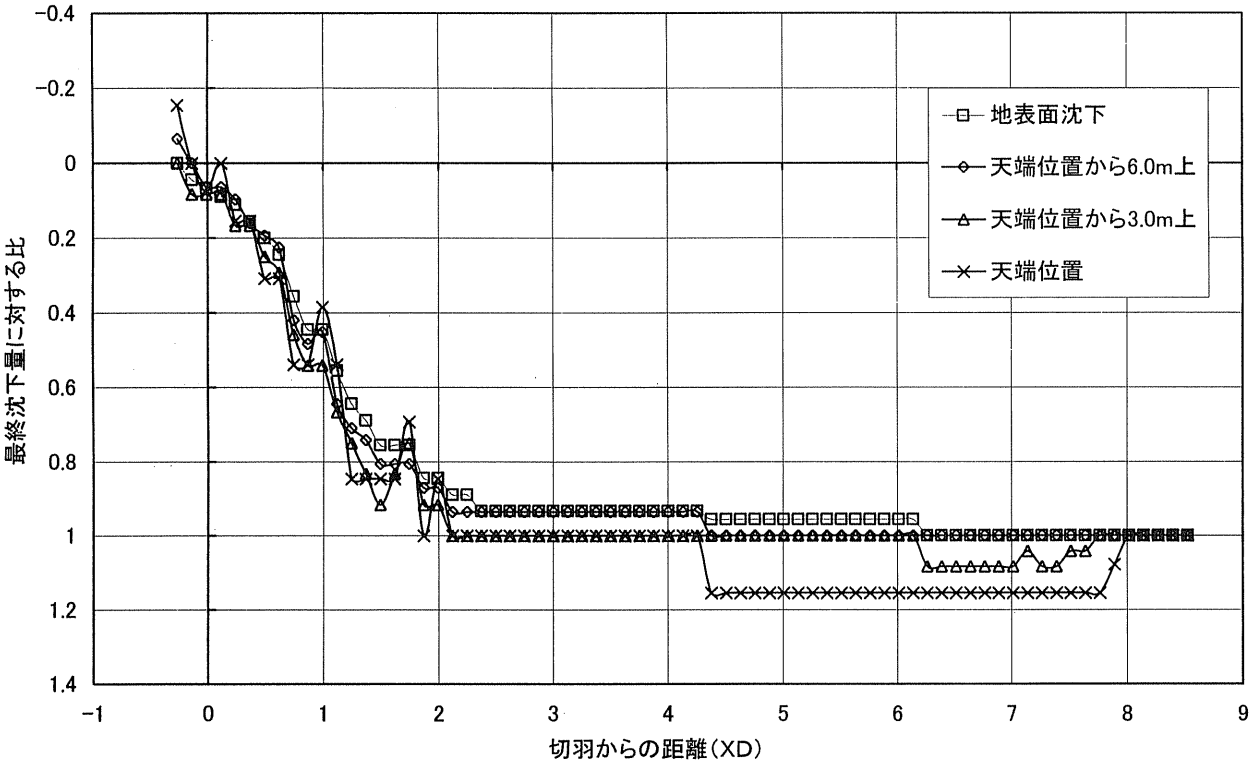
図－２．４５(2)　地表面･地中沈下量の最終沈下量との比（計測断面Ａ　トンネル側壁から1m）



図－２．４５(3)　地表面・地中沈下量の最終沈下量との比（計測断面Ｂ　トンネル中央）



図－２．４５(4)　地表面･地中沈下量の最終沈下量との比（計測断面Ｂ　トンネル側壁から1m）



図－２．４５(5)　地表面･地中沈下量の最終沈下量との比（計測断面B　ﾄﾝﾈﾙ側壁から5.11m）

表－２．１３　小田井山田共同溝シールドの変位計測データの最終沈下量･切羽位置での沈下量一覧表

小田井山田共同溝シールド　鉛直変位計測データ(最終沈下量)（㎜）

計測断面A	NO. 1	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	地表面沈下	天端位置から6.0m上	天端位置から3.0m上	天端位置から1.0m上		
	(トンネル中央)	41.905	5.26	−12.0	−13.3	−15.7	−71.3		
	NO. 2	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	地表面沈下	天端位置から6.0m上	天端位置から3.0m上	天端位置	天端位置から3.0m下	天端位置から6.0m下
	(トンネル側壁から1m)	41.905	5.26	−10.2	−8.4	−7.3	−6.4	−4.9	−0.3
計測断面B	NO. 1	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	地表面沈下	天端位置から6.0m上	天端位置から3.0m上	天端位置から1.0m上		
	(トンネル中央)	67.905	8.52	−20.50	−22.4	−24.7	−89.6		
	NO. 2	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	地表面沈下	天端位置から6.0m上	天端位置から3.0m上	天端位置	天端位置から3.0m下	天端位置から6.0m下
	(トンネル側壁から1m)	67.905	8.52	−16.9	−14.6	−12.4	−9.8	−7.3	0.5
	NO. 3	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	地表面沈下	天端位置から6.0m上	天端位置から3.0m上	天端位置		
	(トンネル側壁から5.11m)	67.905	8.52	−4.5	−3.1	−2.4	−1.3		

小田井山田共同溝シールド　鉛直変位計測データ(切羽位置沈下量）（㎜）

計測断面A	NO. 1	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	地表面沈下	天端位置から6.0m上	天端位置から3.0m上	天端位置から1.0m上		
	(トンネル中央)	−0.095	−0.01	0.7	0.5	0.0	−1.3		
	NO. 2	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	地表面沈下	天端位置から6.0m上	天端位置から3.0m上	天端位置	天端位置から3.0m下	天端位置から6.0m下
	(トンネル側壁から1m)	−0.095	−0.01	−0.6	−0.1	−0.3	−0.6	−0.2	−0.4
計測断面B	NO. 1	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	地表面沈下	天端位置から6.0m上	天端位置から3.0m上	天端位置から1.0m上		
	(トンネル中央)	−0.095	−0.01	−2.8	−2.8	−3.2	−4.0		
	NO. 2	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	地表面沈下	天端位置から6.0m上	天端位置から3.0m上	天端位置	天端位置から3.0m下	天端位置から6.0m下
	(トンネル側壁から1m)	−0.095	−0.01	−2.2	−2.0	−2.0	−2.1	−1.8	0.1
	NO. 3	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	地表面沈下	天端位置から6.0m上	天端位置から3.0m上	天端位置		
	(トンネル側壁から5.11m)	−0.095	−0.01	−0.3	−0.2	−0.2	−0.1		

小田井山田共同溝シールド　鉛直変位計測データ(切羽通過時最終沈下量との比)

計測断面A	NO. 1	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	地表面沈下	天端位置から6.0m上	天端位置から3.0m上	天端位置から1.0m上		
	(トンネル中央)	−0.095	−0.01	−0.058	−0.038	0.000	0.018		
	NO. 2	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	地表面沈下	天端位置から6.0m上	天端位置から3.0m上	天端位置	天端位置から3.0m下	天端位置から6.0m下
	(トンネル側壁から1m)	−0.095	−0.01	0.059	0.012	0.041	0.094	0.041	1.333
計測断面B	NO. 1	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	地表面沈下	天端位置から6.0m上	天端位置から3.0m上	天端位置から1.0m上		
	(トンネル中央)	−0.095	−0.01	0.137	0.125	0.130	0.045		
	NO. 2	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	地表面沈下	天端位置から6.0m上	天端位置から3.0m上	天端位置	天端位置から3.0m下	天端位置から6.0m下
	(トンネル側壁から1m)	−0.095	−0.01	0.130	0.137	0.161	0.214	0.247	0.200
	NO. 3	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	地表面沈下	天端位置から6.0m上	天端位置から3.0m上	天端位置		
	(トンネル側壁から5.11m)	−0.095	−0.01	0.067	0.065	0.083	0.077		

２．４　まとめ

砂礫土、砂質土の互層地盤で施工された、異形断面太鼓型シールドトンネル（セグメント外径縦 7.65m×横 5.1m、土被り約 10m）の現場計測を行った。現場計測結果のまとめを以下に示す。

２．４．１　坑内計測

（１）土圧計

初期の計測値は計測断面Ａ、Ｂともシールド機およびテールシールとの接触時、裏込め注入時での一時的な変動が見られる。計測断面Ａでの計測セグメント組立後約２ヶ月経過後の計測値ではシールド天端に作用する有効土圧は全土被り土圧の約３割程度となっているものの、両肩部では全土被り土圧にほぼ等しい値となっている。計測断面Ｂでの計測セグメント組立後約 100 日経過後では、シールド天端、両肩とも全土被り土圧に近い計測値となっている。

（２）間隙水圧計

計測断面Ａ、Ｂともに、地質調査結果等に基づいて想定される地下水位面からの理論値での静水圧分布と計測値とは、ほぼ一致していると考えられる。したがって、本地盤条件と同程度であれば、トンネルに作用する水圧は地質調査結果等による地下水位から求められる静水圧（シールド天端で計測断面Ａ約 70 kN/㎡、計測断面Ｂ約 90kN/㎡）が作用するものと考えられる。

（３）鉄筋計

計測断面Ａ、Ｂとも、計測器のテール脱出時、裏込め注入時に変動が見られるが、約３日後以降には計測断面Ａで圧縮 30～80N/mm^{2}程度、引張 80～120N/mm^{2}程度、計測断面Ｂでは圧縮 20N/mm^{2}程度、引張 35～70N/mm^{2}程度で安定しており、それ以降は分布形状もほとんど変化が見られない。

（４）覆工体に発生する断面力

鉄筋計より算出される断面力は、テール脱出時、裏込め注入時に変動が見られ、その後は数日のうちに安定し、分布形状も大きな変化は見られない。最大曲げモーメントは計測断面Ａではテール脱出時約 40kN･m、裏込め注入時約 70kN･m であり、計測断面Ｂではテール脱出時約 60kN･m、裏込め注入時約 45kN･m である。

２．４．２　坑外計測

切羽の進行に伴う地盤変状の変化は、切羽前方 0.5D 程度から沈下し始め、切羽後方約２D 程度まで急激な沈下が生じ、その後切羽の進行とともに沈下が収束する傾向にある。また、シールド中央部（天端直上）の沈下量は 70 mm～90 mm と非常に大きくなった。これは、スイングカッターでの掘削部分にスキンプレートがなく、無支保状態になったためと考えられる。鉛直方向沈下量は天端上約３ｍまでの間で急激に沈下量が減少し、その後地上に向かって徐々に沈下量が減少する傾向になっている。側部はシールド天端高さ付近から地表面に向かって層別沈下が増加する傾向がみられる。最終沈下量を切羽後方約 5D と考えると、トンネル周辺においては切羽が到達する以前の沈下量が最終沈下量の約１割までとなっている計測地点が多くみられる。他のこれまで計測されたデータ地盤挙動 [2]と比較すると、沈下の始まりは比較的遅く、切羽到達時点での最終沈下量に対する比が小さい傾向にある。

参考文献

１）平成６年度 302 号小田井山田共同溝工事パンフレット

２）真下英人、石村利明、藤井邦男、真弓英大「シールドトンネル掘削時の地盤変状に関する現場計測報告書」、土木研究所資料第 3645 号、1999 年３月

第３章　岡南共同溝における現場計測

３．１　計測方法

３．１．１　計測目的

シールドトンネルの覆工構造は、シールドトンネルへの作用荷重の設定の大小により大きく影響するため、適切な作用荷重を評価する必要がある。ここでは、土圧計などの計測機器が設置できない連続場所打ちライニング工法（ＥＣＬ工法）によって実際に施工されたシールドトンネルの一次覆工の応力状態の現場計測を行い、トンネルに作用する土圧の評価について検討をすることを目的とした。

３．１．２　トンネルの概要と計測位置

本現場計測は図－３．１に示す岡南共同溝のシールドトンネルで実施した。岡南共同溝は中国地方建設局の岡山国道工事事務所で施工を行ったシールドトンネルであり、岡山県岡山市十日市西町の十日市交差点内（発進立坑）より、岡山市東中央町大雲寺交差点内（到達立坑）までの国道２号の直下を施工する路線延長1,869m、トンネル外径φ6600㎜、土被り 11.4m～17.0m の単設の連続場所打ちライニングシールドトンネルである。途中１つの中間立坑を有している。国道２号は片側２車線（車線幅員 3.5m）の上下線の計４車線で、その両側に幅員 3.0～6.0m の歩道を有する道路である。大雲時交差点から清輝橋交差点間(L=550m)は路面電車が走行している。

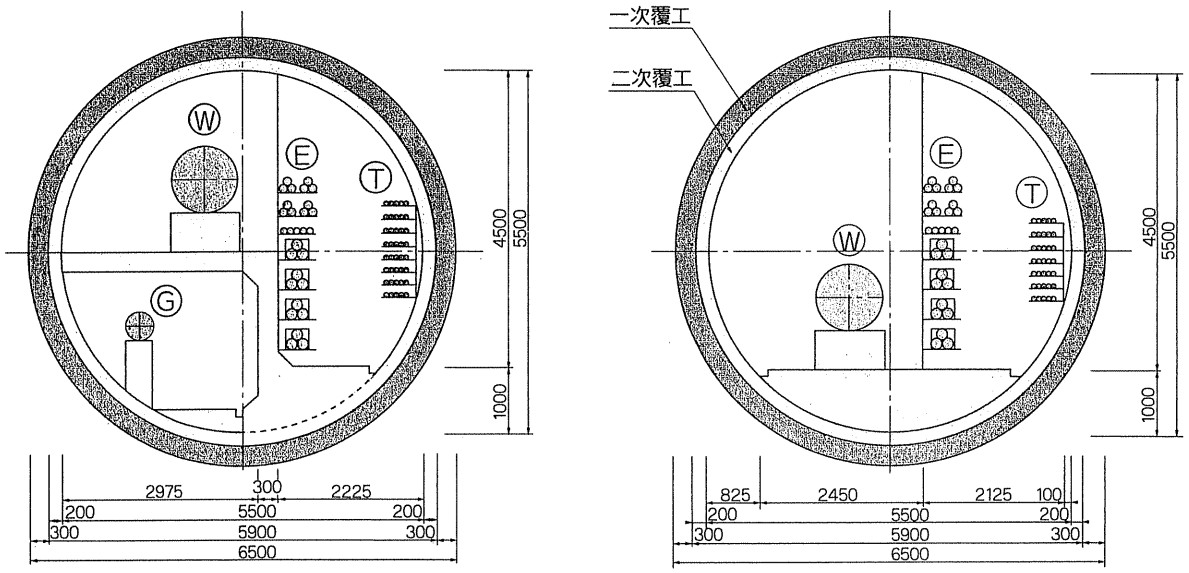
一次覆工の構造・形式は、桁高 300 ㎜の鋼繊維補強コンクリートを用いた場所打ちコンクリートである。

シールド掘削方式は密閉型の礫対応型泥水加圧シールドでチャンバー内の泥水圧により切羽の安定を確保する方法を採用し、礫対策としては一次破砕をローラーカッターで行い、後続設備のクラッシャーで二次破砕する方式とした。施工に使用したシールド機の構造概要を図－３．２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３～６m／日であった。

なお、共同溝のトンネル諸元を表－３．１に示し、図－３．３に平面線形、図－３．４に縦断線形（土質条件）を示す。また、一次覆工の施工手順について図－３．５に示す。

表－３．１　岡南共同溝シールドの諸元

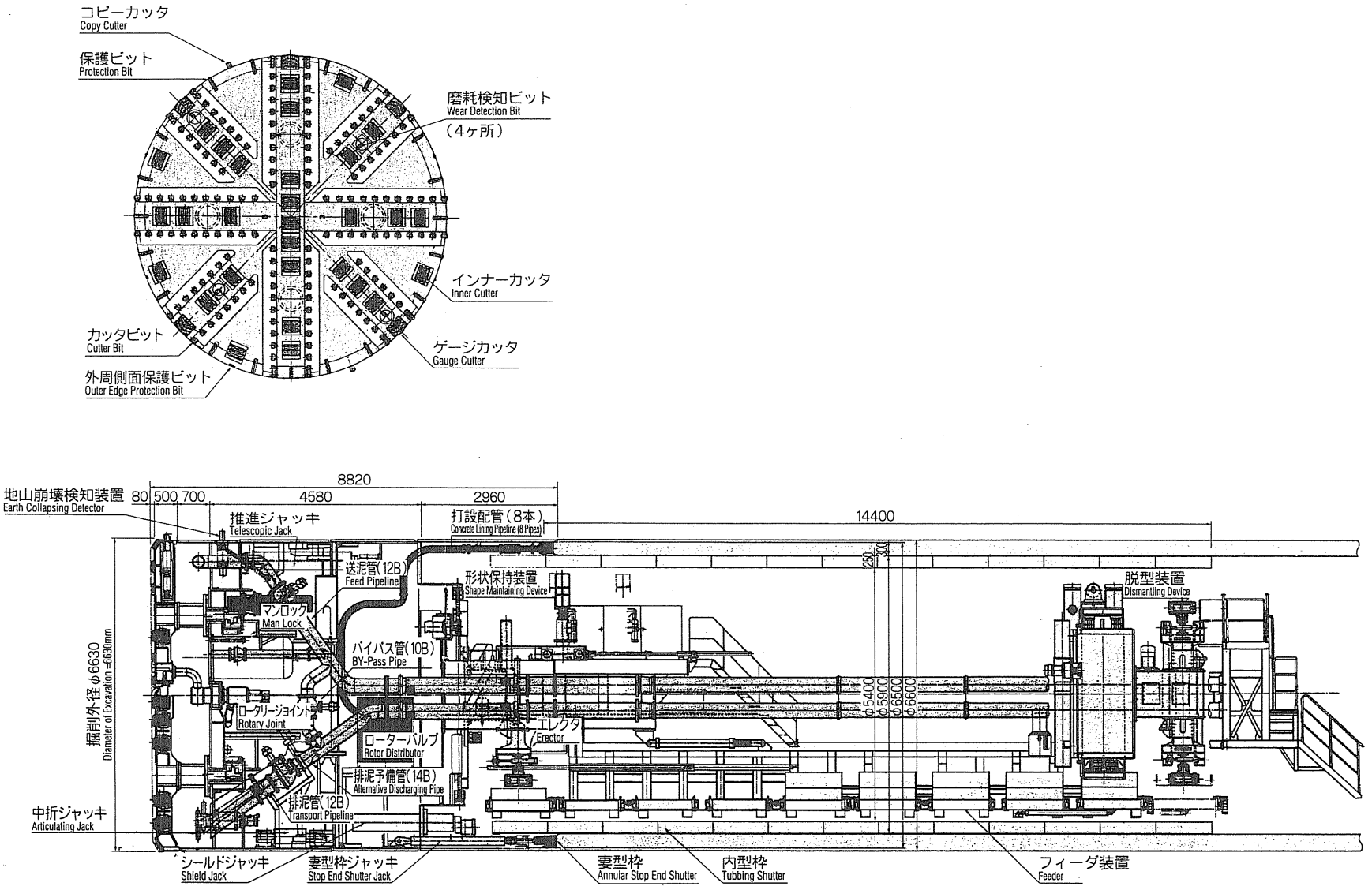
トンネル延長	1,863m
シールド外径	φ6600 ㎜
一次覆工外径	φ6500 ㎜
一次覆工内径	φ5900 ㎜
最小曲線半径	R=200m



（大雲寺～岡南町）　　（岡南町～十日市）

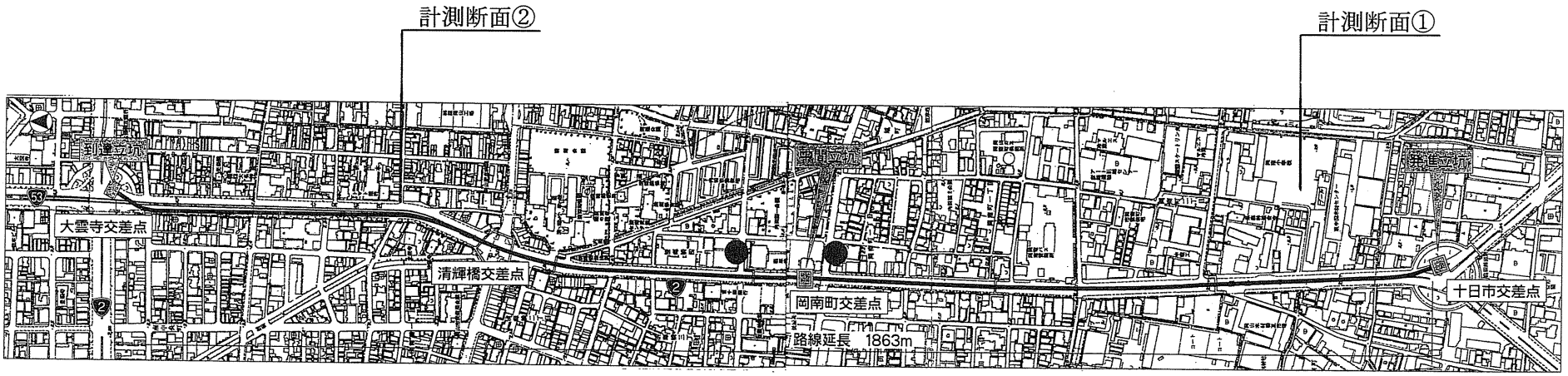
Ⓦ上　　水　　管	Water Supply Pipe
Ⓖガ　　ス　　管	Gas Pipe
Ⓔ電 力 ケ ー ブ ル	Electric Power Cable
Ⓣ通 信 ケ ー ブ ル	Telecommunication Cable

図－３．１　岡南共同溝シールドの標準断面図 1)

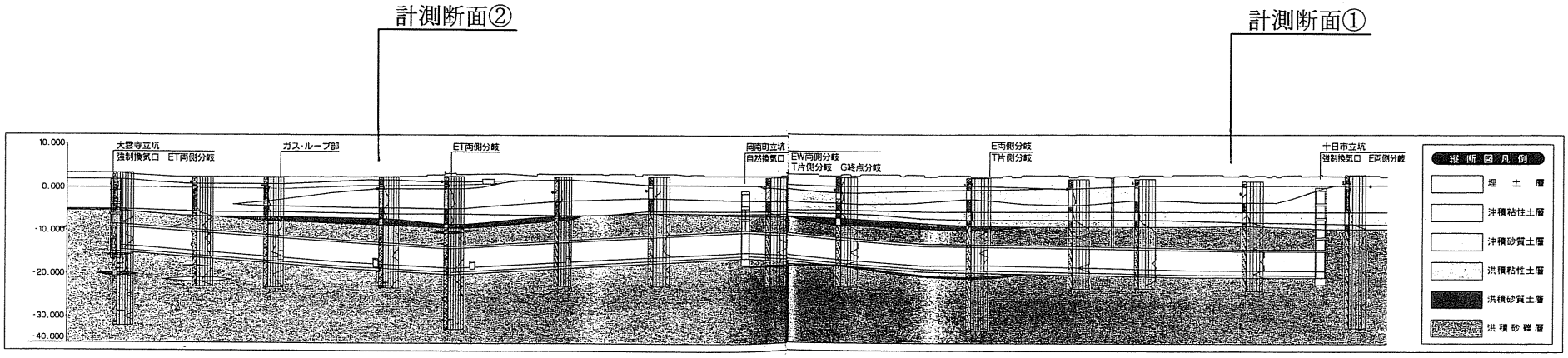


単位:mm

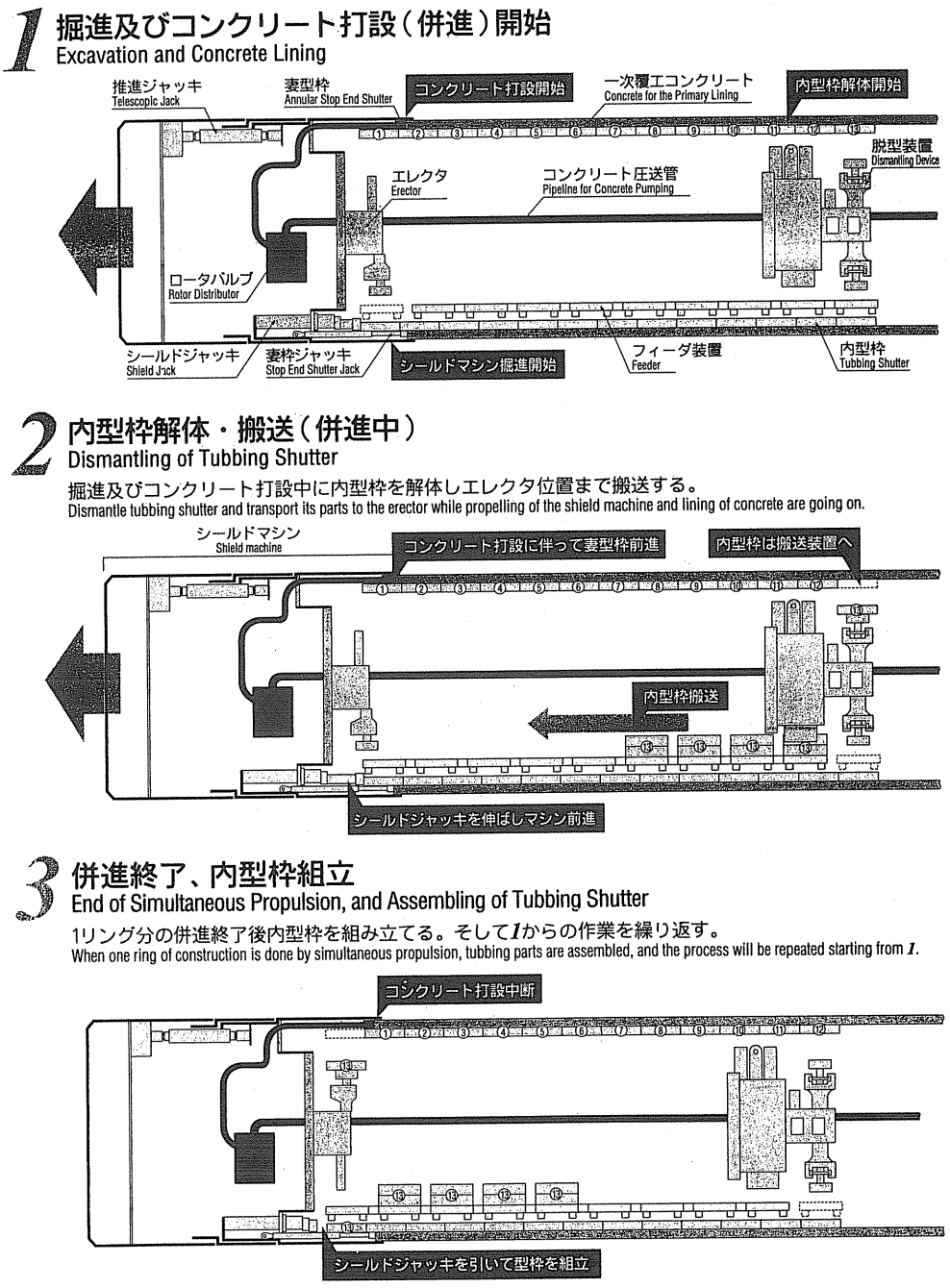
図－３．２　シールド機の概要図 1)



図－３．３　トンネルの平面線形 1)



図－３．４　トンネルの縦断線形 1)

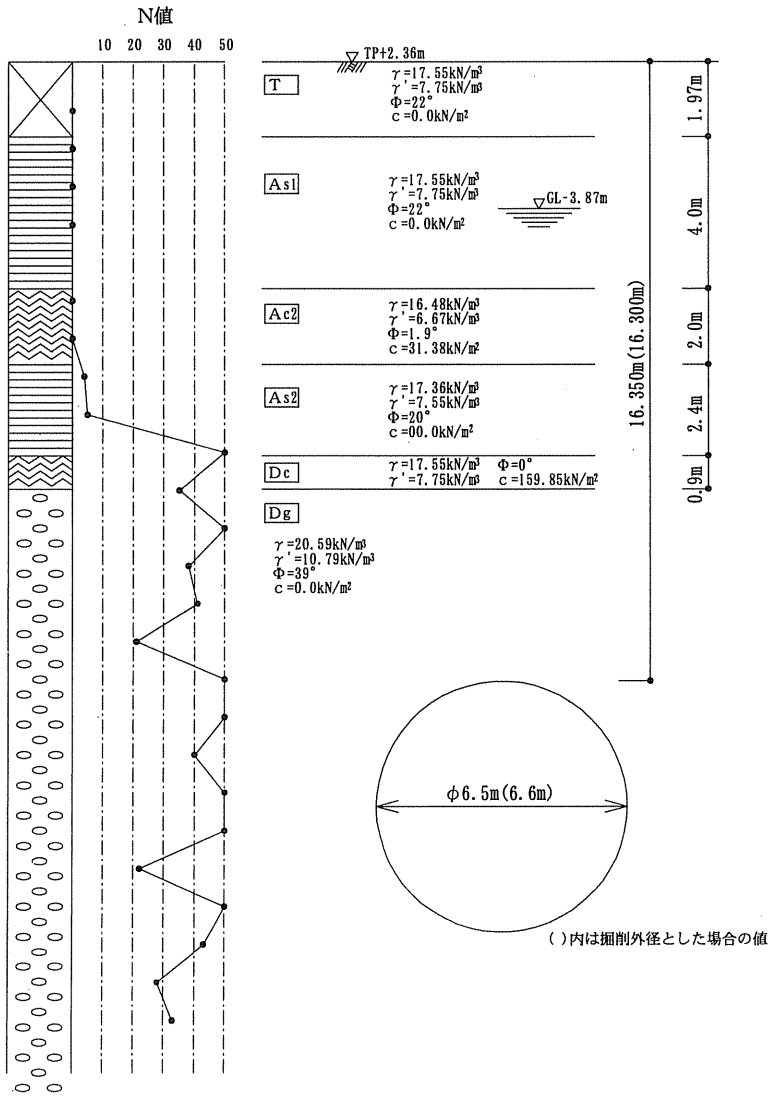


図－３．５　一次覆工の施工手順 1)

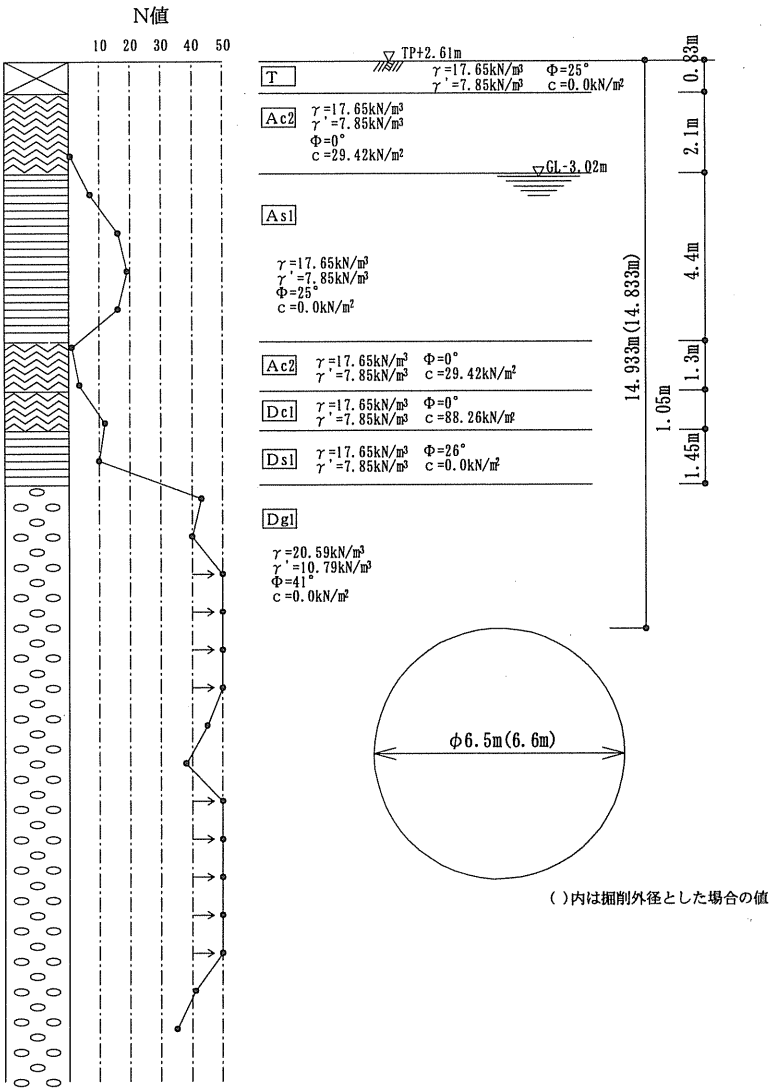
３．１．３　地質状況

シールドトンネルが施工される付近は旭川の河川堆積物によって形成されている。その地質は、地表上部から埋土層、沖積粘性土層、沖積砂質土層、洪積粘性土層、洪積砂質土層、洪積砂礫土層で構成されており、周辺のボーリング調査によれば、沖積層は粘性土層でN値がほとんど 0、砂質土層も 0～20と緩い状態にある。洪積砂質土層と洪積粘性土層の N 値はともに 10 程度で、洪積砂礫土層のN値は 20～50 となっている。

シールドトンネルは、洪積砂礫層を通過するため、シールドの掘削対象となる土質はN 値 20～50 の硬質砂礫層となり、砂礫層に混入している礫の大きさはφ=50～150 ㎜が主体で、ベノト掘削による調査では、φ300 ㎜の玉石が確認されている。玉石の圧縮強度は、137～256N/㎜ ²程度と硬質で、岩質は花崗岩質、ヒン岩質など雑多である。洪積砂礫土層の被圧地下水は GL-1.9m～GL-4.71m であり、透水係数はK＝1.1～6.0×10⁻³ ㎝/sec 程度となっている。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－３．６(1)～(2)に示す。



図－３．６(1)　計測断面①付近のトンネル位置と地質柱状図の関係（BorNO.8）



図－３．６(2)　計測断面②付近のトンネル位置と地質柱状図の関係（BorNO.4）

３．１．４　計測項目

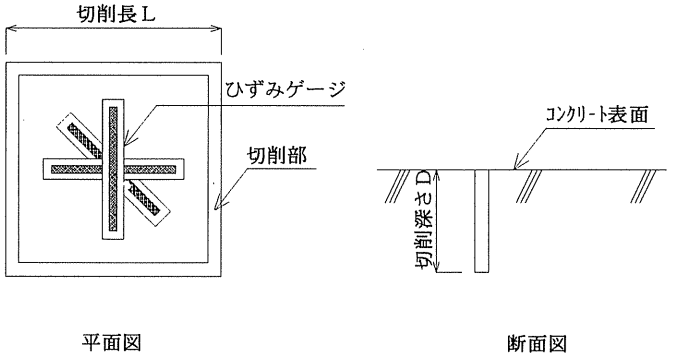
本現場計測は坑内計測と坑外計測をできるだけ近い位置で行うものとした。現場計測を実施した位置は、本掘進期間早期にシールド掘進と地盤挙動との因果関係を明確にし、その挙動を把握するため、本掘進開始直後（計測断面①）と計測断面①に比べて沖積粘性土層が増え、ＥＣＬ掘進による地盤変状が変化する可能性がある位置（計測断面②）とした。

（１）坑内計測

本現場計測における坑内測定項目はコンクリート表面のひずみと熱電対温度である。本工事で採用されるＥＣＬ工法は覆工体のコンクリートが連続直打ちされるため、直接覆工応力を計測することができない。したがって、以下の示す応力解放法によって一次覆工応力を推定するものとする。

応力解放法は、応力を測定しようとする覆工コンクリートの表面にひずみゲージを貼り、その周辺部をコンクリートカッター等を用いて切り欠くことで応力を解放し、その時のひずみの変化量から、覆工に発生している応力を推定する方法である。原位置にて覆工応力を簡便に推定できる手法であるが、コンクリートの切削熱による温度上昇から内部拘束ひずみが発生すると考えられる。

また、鉄筋を損傷しないように切り欠き深さは鉄筋かぶりよりも小さくするとともに、計測精度も確保する必要がある。文献によると切り欠き深さＤと切削長Ｌの比が 0.3 のときに、覆工応力がほぼ解放されるとされている。[2] 図－３．７に切削部概要図を示す。



図－３．７　切削部概要図

図－３．８(1)～(2)に坑内計測位置概要図を示す。

また、測量機器・数量は表－３．２に示すとおりである。

現場計測を実施した位置は発進立坑から約 270m の NO.228 ﾘﾝｸﾞ（１断面）と NO.229 ﾘﾝｸﾞ（２断面）および発進立坑から約 1500m の NO.1211、NO.1212、NO.1213（各１断面）の２箇所で計測した。

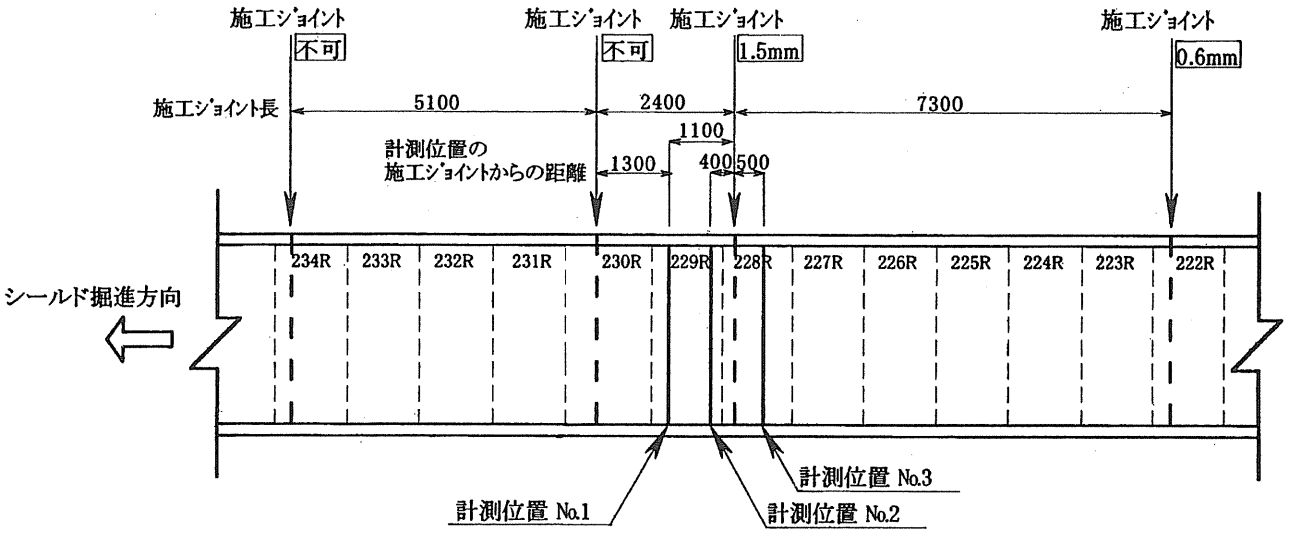
各計測項目の計測の概要および目的は以下に示すとおりである。

① コンクリートの表面ひずみ計測

コンクリート表面にひずみケージを貼り付け、スリット切削によって解放されるひずみ量を計測する。脱型後約６ヶ月経過後に実施することによって、時間遅れで作用した土圧を含めた全作用土圧による弾性ひずみを推定する。図－３．９にコンクリート表面ひずみゲージの設置位置の概要を示す。

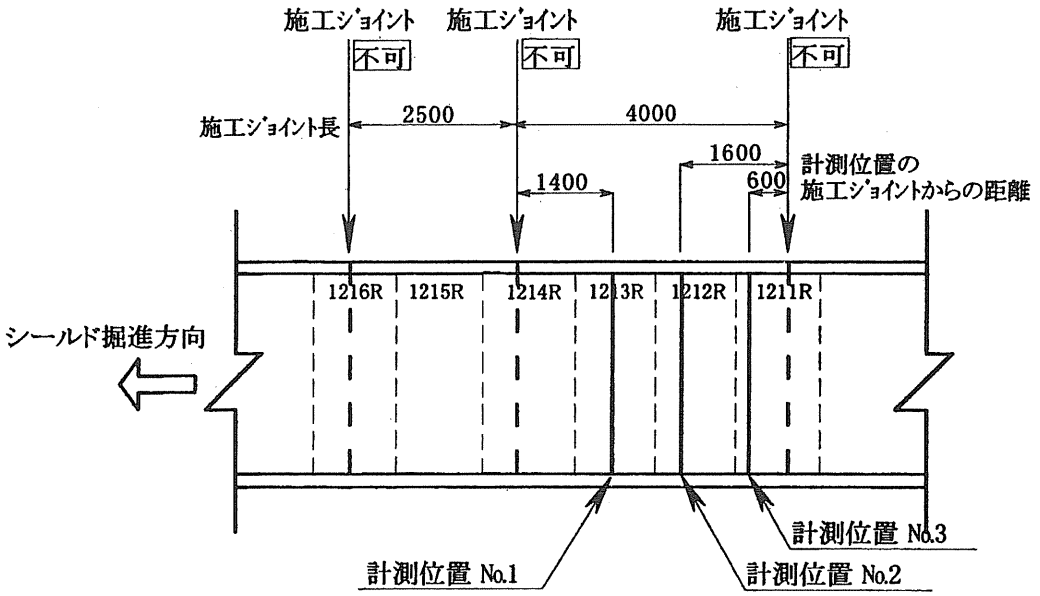
② コンクリート表面温度計測

コンクリート表面の温度を熱電対により計測し、計測箇所の温度によるひずみを補正する。



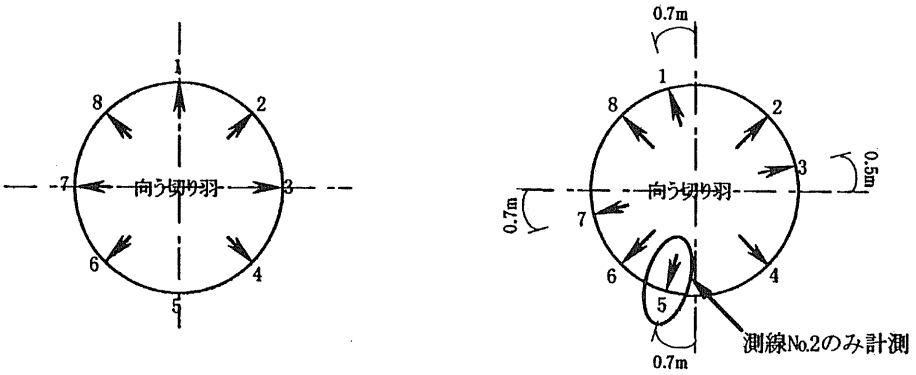
＊□は目開き量を示す。ただし、「不可」と表示したものはエフロレッセンスが析出しているが、目開き量が小さく、計測ができなかった箇所である。

図－３．８(1)　計測断面①　坑内計測位置概要図



＊□は目開き量を示す。ただし、「不可」と表示したものはエフロレッセンスが析出しているが、目開き量が小さく、計測ができなかった箇所である。

図－３．８(2)　計測断面②　坑内計測位置概要図



計測断面①　　計測断面②

図－３．９　コンクリート表面ひずみゲージの設置位置の概要

表－３．２　計測機器・数量

項目	測定計器名および形式	数量	備　考
①	ひずみゲージ(３軸) （計測範囲　20000×10^{-6}　PLR-60-11）	43 点	7 点×3 断面(計測断面①) (設置ﾘﾝｸﾞ NO.:228、229 ﾘﾝｸﾞ) 7 点×2 断面(計測断面②) (設置ﾘﾝｸﾞ NO.:1211、1213 ﾘﾝｸﾞ) ８点×1 断面(計測断面②) (設置ﾘﾝｸﾞ NO.:1212 ﾘﾝｸﾞ)
②	熱電対(同上位置)　(JIS-T)	1 点	ひずみゲージに接続する信号線に接着剤、粘着テープで固定。

（２）坑外計測

本計測現場における坑外計測項目は地表面沈下、層別沈下、水平変位、間隙水圧である。このうち、シールドトンネル周辺地盤の沈下傾向に着目し、沈下計測について取りまとめるものとする。

図－３．１０(1)～(2)に坑外計測位置概要図を示す。

計測断面①の計測点はシールドの左右全断面とし、敷地制限の関係からシールドセンター、シールドセンターから左右５m、シールドセンターから切羽に向かって右（東）に 8.8m、左（西）に 7.5m の位置とした。計測断面②の計測点は電車軌道位置に計測器の配置ができないためシールド半断面とし、同じく敷地制限の関係からシールドセンター、シールドセンターから切羽に向かって左（西）に５m 位置、シールドセンターから左（西）に８m 位置とした。

図－３．１１(1)～(6)に坑外計測断面の概要図を示す。

① 地表面沈下計測

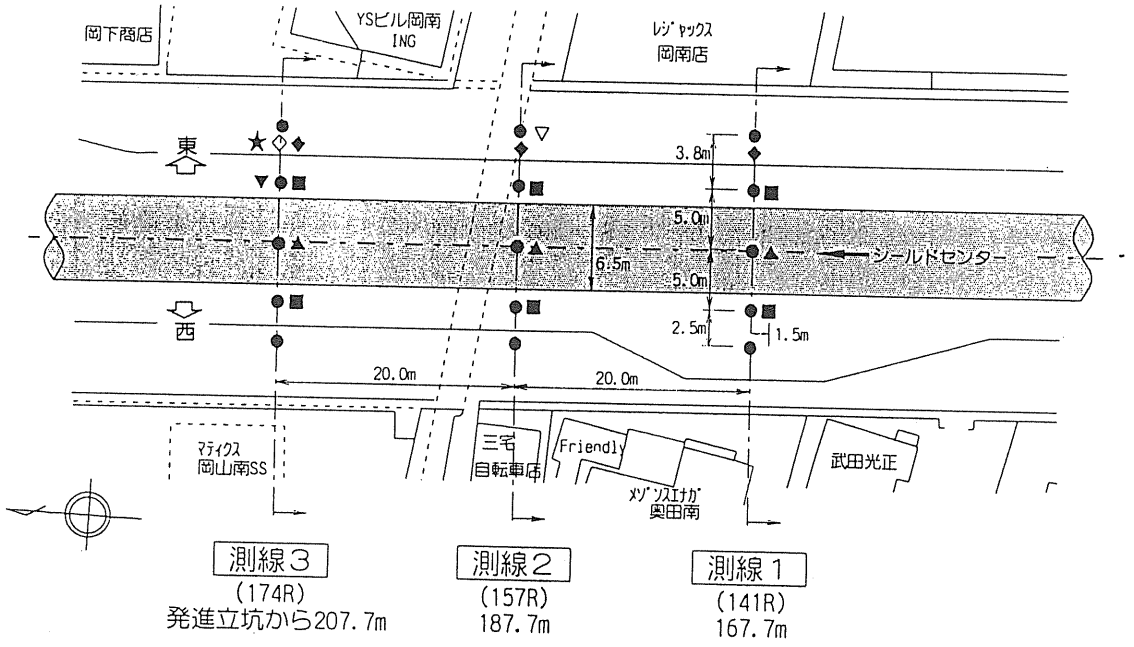
保護枠に差動トランス式水盛式沈下計、同様に設置した基準タンクとの水位差を測定し、沈下量を算出する。

② 層別沈下計測

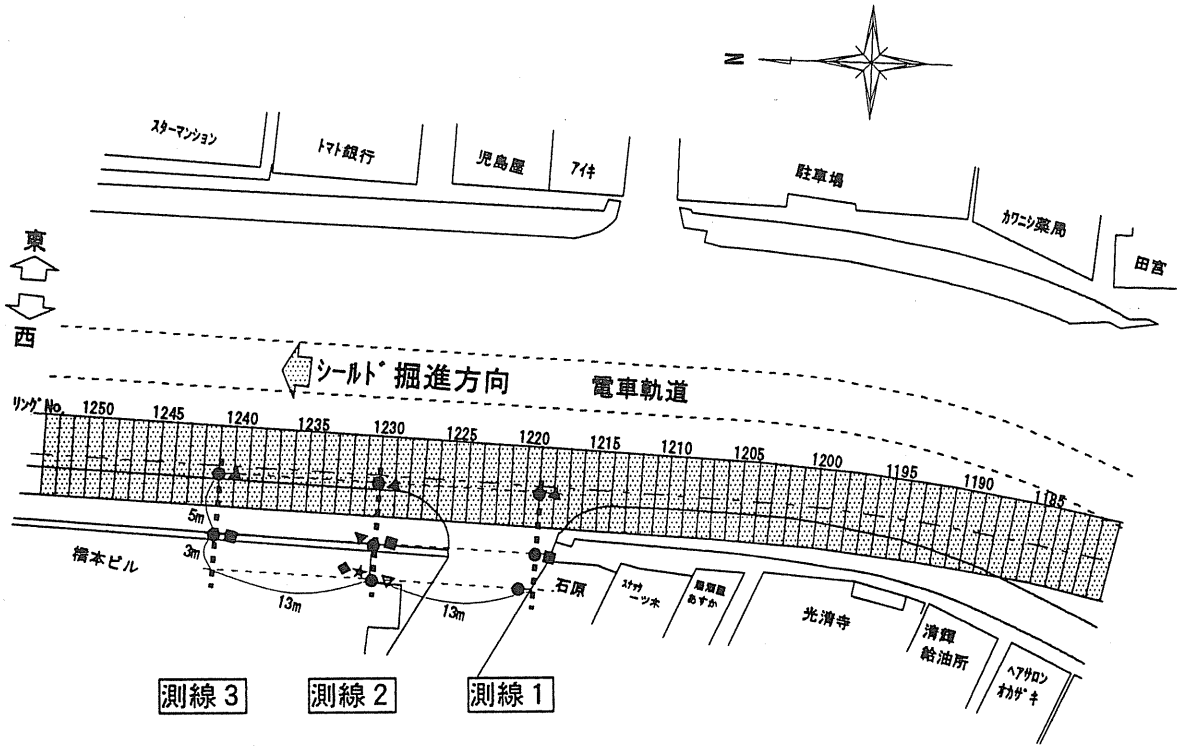
基準点にアンカーを固定し、地中内の沈下量（基準点との相対変位）を層別に設置した直列多段式層別沈下計により測定する。

表－３．３　計測機器・数量

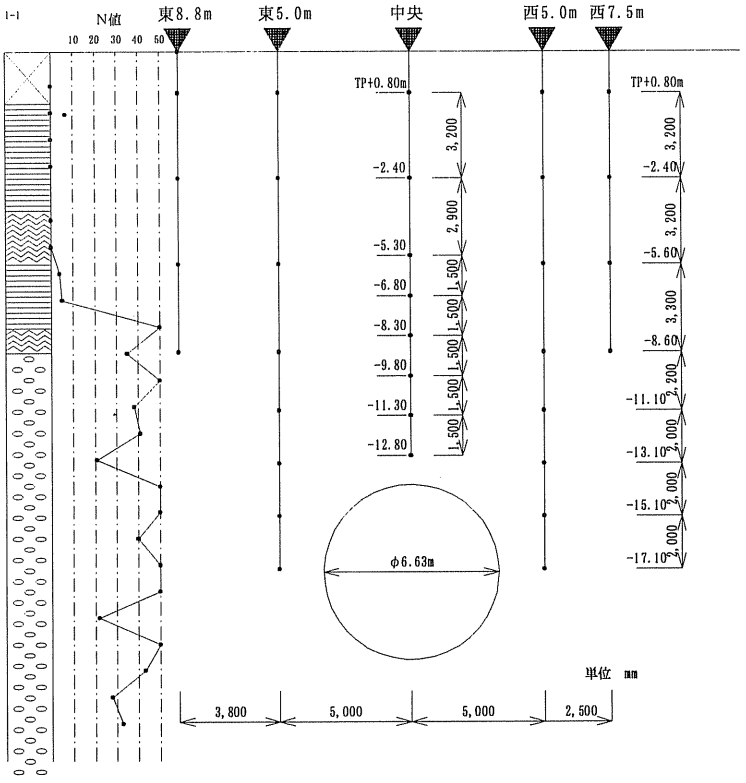
項目	測定計器名および形式	数量	備　考
①	水盛式沈下計（計測範囲±50 ㎜　JS-50）	6 点	①断面 3 点、　②断面 3 点
②	直列多段式層別沈下計（計測範囲±50 ㎜　BBD-50-□）	140 点	①断面 93 点、②断面 47 点



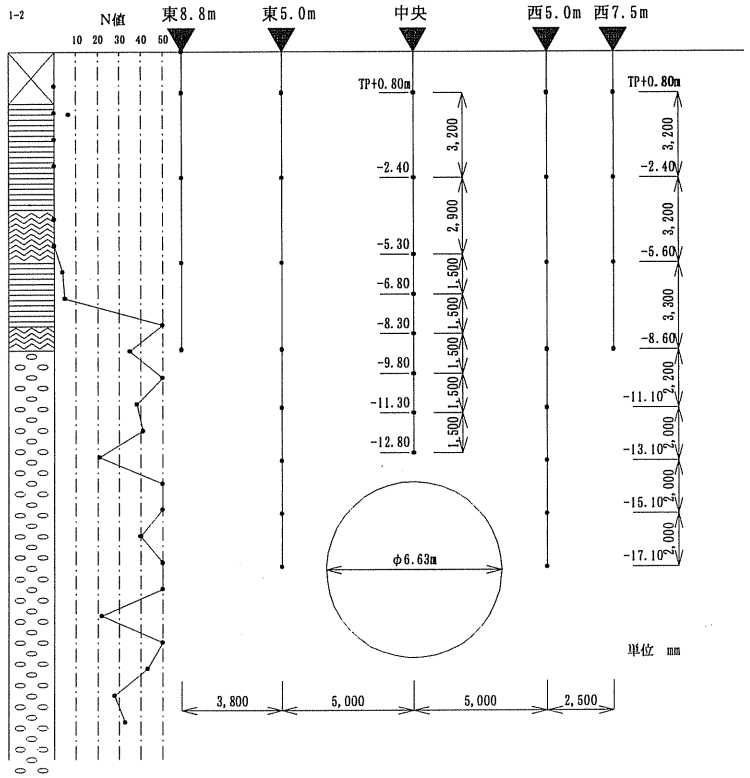
図－３．１０(1)　計測断面①　坑外計測位置概要図



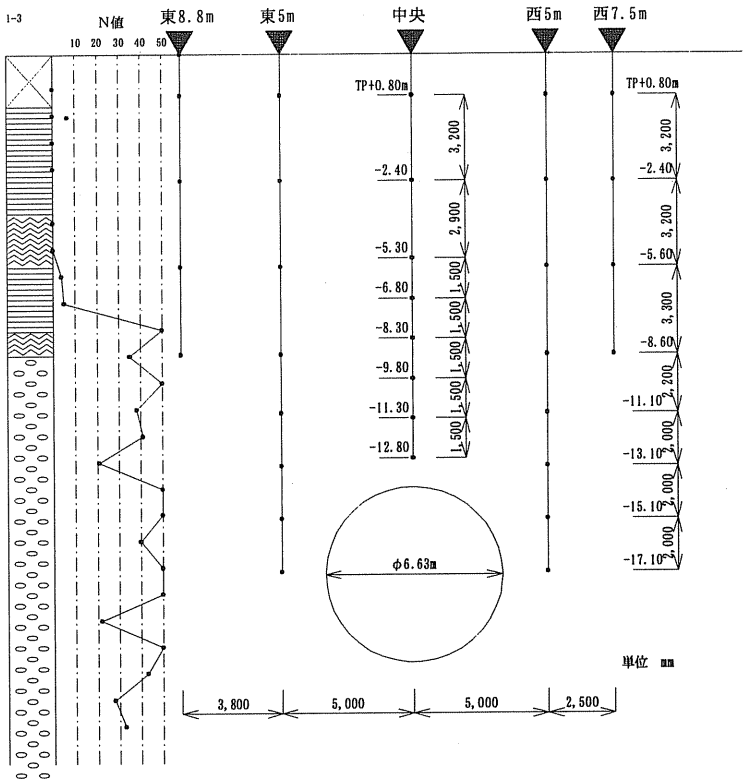
図－３．１０(2)　計測断面②　坑外計測位置概要図



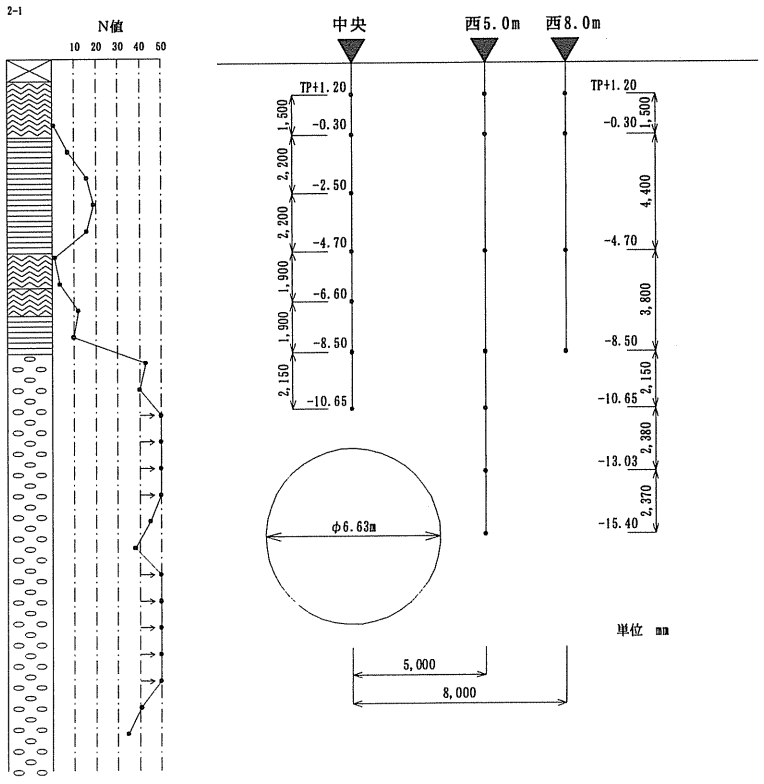
図－３．１１(1)　計測断面①　側線１　坑外計測断面の概要



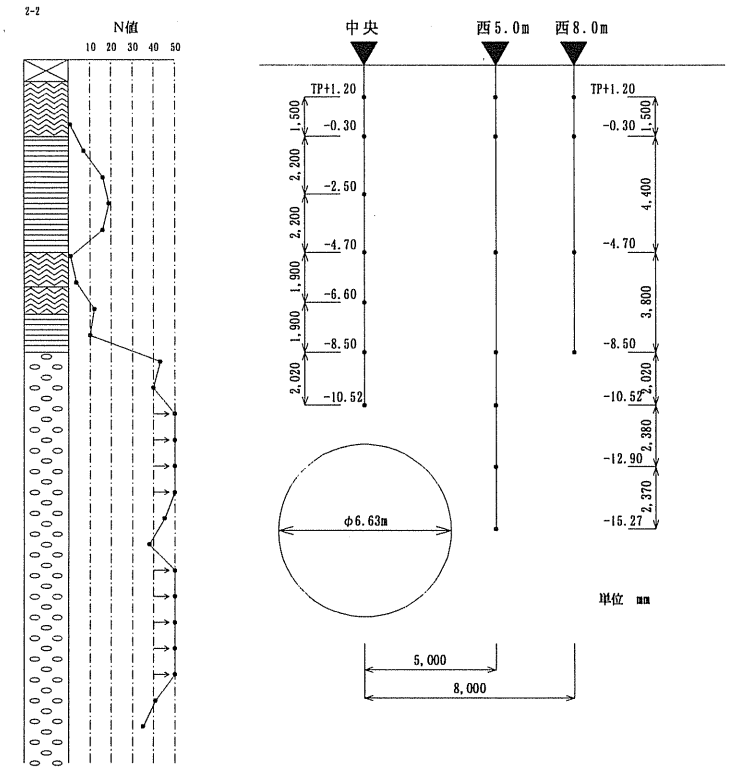
図－３．１１(2)　計測断面①　側線２　坑外計測断面の概要



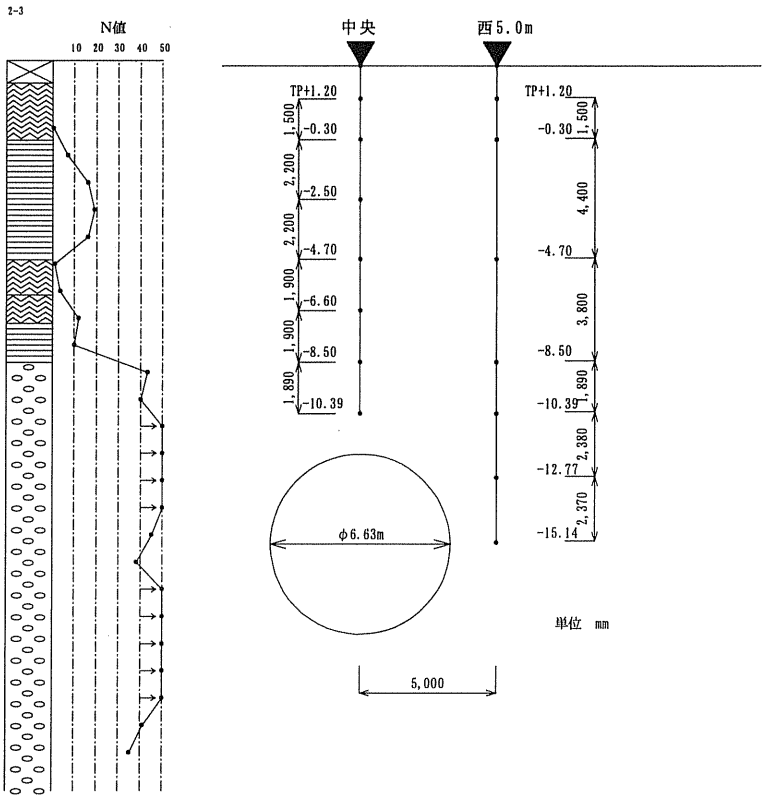
図－３．１１(3)　計測断面①　側線３　坑外計測断面の概要



図－３．１１(4)　計測断面②　側線１　坑外計測断面の概要



図－３．１１(5)　計測断面②　側線２　坑外計測断面の概要



図－３．１１(6)　計測断面②　側線３　坑外計測断面の概要

３．１．５　計測機器の配置および設置要領

各計器を以下の要領で設置した。

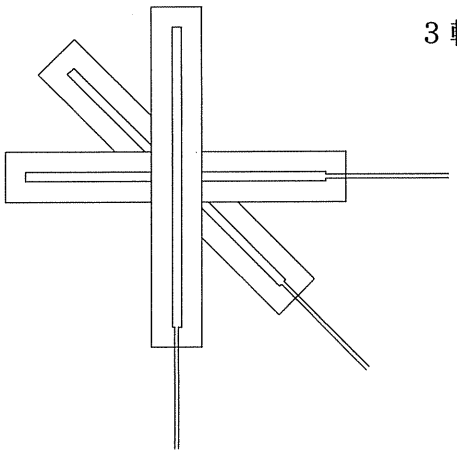
（１）坑内計測

① コンクリート表面ひずみ計測（応力解放計測）

覆工コンクリート上部にゲージを貼れるよう、計測断面に足場を設置し、ゲージを貼る位置の位置出しを行う。コンクリート表面を磨いた後、３軸ひずみゲージを貼り付け、測定器までの延長ケーブルを取り付けた。ゲージ貼り付け要領図を図－３．１２に示す。

② コンクリート表面温度計測

３軸ひずみゲージに接続する信号線に接着剤、粘着テープにて熱電対を固定した。



３軸ゲージ（ゲージ率約2.1）
- ポリエステルゲージ
- PLR-60-11
- ゲージ長さ　60mm
- ベース長さ　74mm
- ベース幅　8mm

図－３．１２　ゲージ貼り付け要領図

（２）坑外計測

各計器を以下の要領で設置した。

①　地表面沈下計測

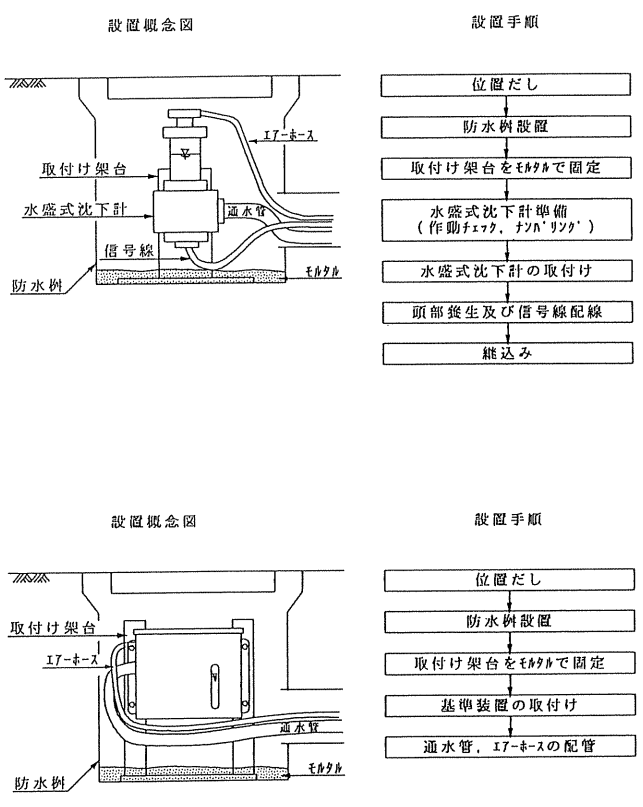
地表面を掘削後、防水桝を設け、その中に水盛式沈下計を設置する。図－３．１３に水盛式沈下計の概念図を示す。

②　層別沈下計測

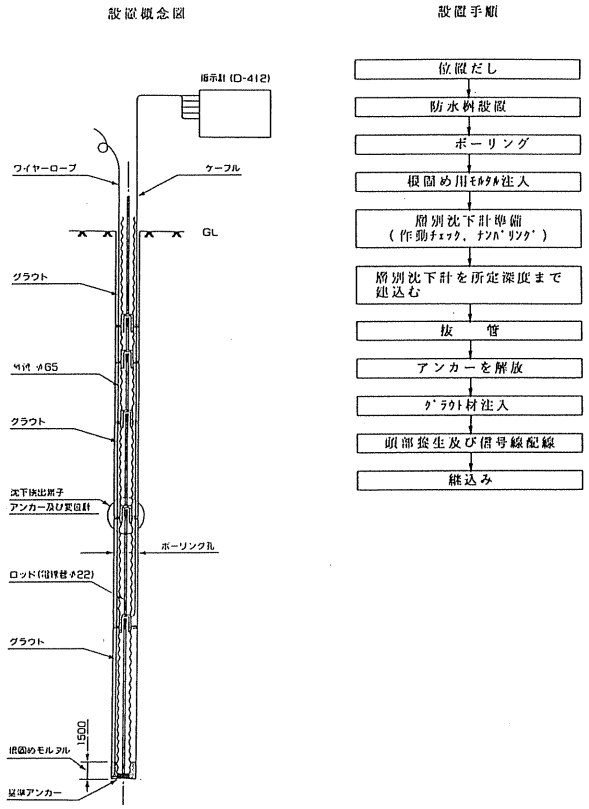
層別沈下計の測点は以下のことを基本として設けた。

- 影響範囲を考えられる領域で密な配置
- 主働崩壊線位置
- 各層境界点（ＦＥＭ解析で節点を設ける箇所）
- 各測線で同一深度
- 計器の設置条件から、測点間の距離は最低 1.5m

設置要領は地表面よりφ135 ㎜のボーリング孔を削孔し、孔内に直列多段式層別沈下計を設置する。設置概念図を図－３．１４に示す。



図－３．１３　水盛式沈下計概念図

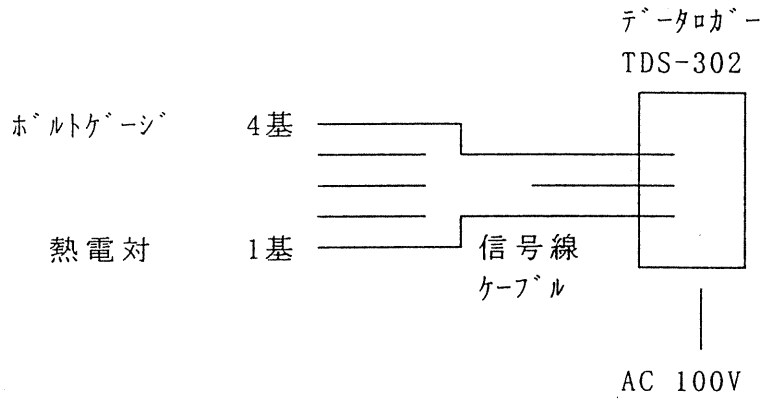


図－３．１４　直列多段式層別沈下計概念図

３．１．６　測定方法

（１）　坑内計測

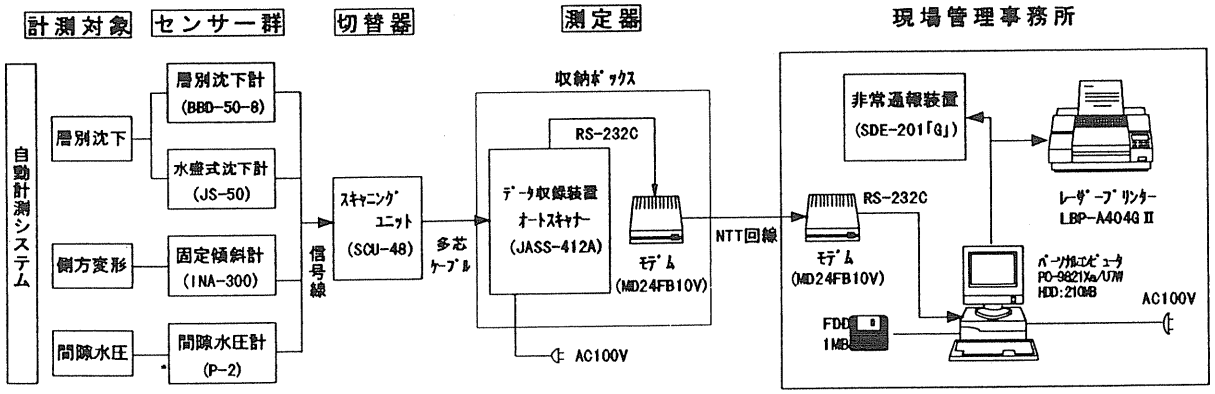
コンクリート表面ひずみ計測はトンネル坑内に静ひずみ測定器を持ち込み、これにひずみゲージを継ぎ込んで手動にて測定した。図－３．１５に坑内計測システム図を示す。



図－３．１５　坑内計測システム図

（２）　坑外計測

坑外計測は自動計測方式とし、各計測器からの信号線ケーブルをスキャンニングユニットに接続し、スキャンニングユニットから多芯ケーブルにてデータ収録装置オートスキャナーに接続する。データ収録装置オートスキャナーからはモデムを通して、ＮＴＴ回線により現場管理事務所のコンピュータに接続した。図－３．１６に坑外計測システム図を示す。



図－３．１６　坑外計測システム図

３．１．７　測定頻度および計測期間

（１）　測定頻度

①　坑内計測

コンクリート表面ひずみ計測（応力解放計測）は、コンクリート表面を切削するため、型枠脱型後に切削時のみ計測を行う。計測時期は長期放置後として約６ヶ月後とし、計測断面①、計測断面②ともに各３断面づつ計測を実施した。

②　坑外計測

表－３．４　計測頻度

シールド通過前後	シールド通過時期以外
１回／１時間 （２４回／日）	１回／６時間 （４回／日）

（２）　計測期間

①　坑内計測

コンクリート表面ひずみ計測（応力解放計測）は約２日間で計測を終了した。

②　坑外計測

シールド通過前、安定した計測値となる時期に初期値を設定し、初期値設定後からシールド通過後、安定した計測値となる時期までを計測期間とした。

３．２　施工管理の状況

計測されたデータからシールドトンネルに作用する荷重を検討する場合、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などに影響すると考えられる施工管理データを調査した。施工管理データの把握はＥＣＬ工法によるシールドトンネルの掘削時の総推力、泥水圧、場所打ちコンクリート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位置から前後にそれぞれトンネルの直径程度および２倍程度を目安とした。計測断面①は周辺地盤計測側線(1)の位置(NO.141 ﾘﾝｸﾞ) の手前約 5 ﾘﾝｸﾞ の NO.136 ﾘﾝｸﾞ から計測用リング(NO.228)の 9 ﾘﾝｸﾞ 後方の NO.237 ﾘﾝｸﾞ とした。また、計測断面②は計測用リング(NO. 1211 ﾘﾝｸﾞ)の手前約 5 ﾘﾝｸﾞ の NO.1206 ﾘﾝｸﾞ から周辺地盤計測側線(3)の位置(NO.1242 ﾘﾝｸﾞ) の 9 ﾘﾝｸﾞ 後方の NO. 1251 ﾘﾝｸﾞ とした。

３．２．１　総推力

総推力に関する施工管理データを、表－３．５(1)～(2)および図－３．１７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、各掘削リングで計測断面①では約 10000ｋN～18000ｋN、計測断面②では約 8000ｋN～14000ｋN で変動しているものの、平均的には計測断面①では約 10000ｋN～12000ｋN 程度、計測断面②では約 8000ｋN～10000ｋN 程度の間でほぼ安定した掘削となっている。本現場のシールド機前面の面積が約 34.2 ㎡となり、総推力から計算される掘進時のシールド前面の圧力約 234kN/㎡～350 kN/㎡となる。

３．２．２　コンクリート打設材料および打設圧

（１）コンクリート材料

本現場の覆工コンクリートは鋼繊維補強コンクリート（ＳＦＲＣ）を採用しており、コンクリートの製造管理には以下の点に留意した。

- 練り混ぜ時にミキサの負荷電力を測定し、コンクリートを安定して製造する目安とした。
- 使用するコンクリートは単位細骨材量が多いので、細骨材の表面水率の変化が、フレッシュコンクリートの性状に及ぼす影響が大きいことが予想された。そのため、計量時にマイクロウェーブ方式の水分計で自動測定した表面水率を各バッチの表面水率を設定する際に反映させた。
- 練り上がり時のコンクリート温度に応じて、高性能ＡＥ減水剤および増粘剤の添加量を調整した。

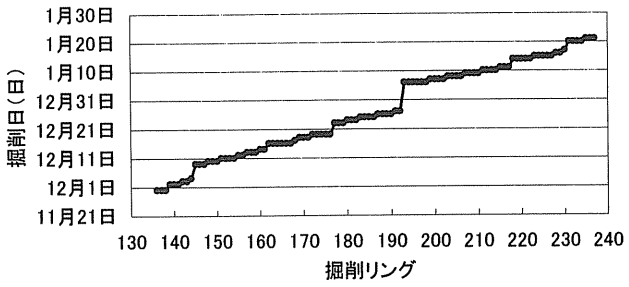
コンクリート練り混ぜ方法フローを図－３．１８に示し、コンクリートの配合を表－３．６に、混和剤の組み合せを表－３．７に示す。また、コンクリート材料および打設圧の施工管理データを表－３．５(1)～(2)および図－３．１７に示す。

表－３．５(1)　計測断面①　施工管理データ一覧表

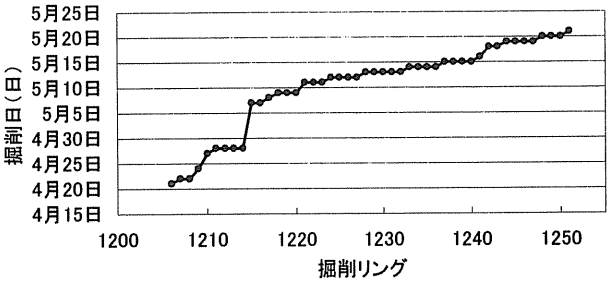
年月日	ﾘﾝｸﾞNo.	泥水圧 (kN/m²)	ｺﾝｸﾘｰﾄ圧 (kN/m²)	ｺﾝｸﾘｰﾄ充填率(%)	推力 (kN)	年月日	ﾘﾝｸﾞNo.	泥水圧 (kN/m²)	ｺﾝｸﾘｰﾄ圧 (kN/m²)	ｺﾝｸﾘｰﾄ充填率(%)	推力 (kN)	年月日	ﾘﾝｸﾞNo.	泥水圧 (kN/m²)	ｺﾝｸﾘｰﾄ圧 (kN/m²)	ｺﾝｸﾘｰﾄ充填率(%)	推力 (kN)
H8.11.30	136	206	308	111	11119	H8.12.18	170	198	307	117	9639	H9.1.8	204	195	305	109	9286
H8.11.30	137	206	308	112	10628	H8.12.18	171	200	307	119	10129	H9.1.8	205	200	302	107	10298
H8.11.30	138	206	308	110	10138	H8.12.19	172	198	310	100	16031	H9.1.8	206	196	305	109	12179
H8.12.2	139	206	308	103	12590	H8.12.19	173	199	308	101	12099	H9.1.9	207	195	302	110	10788
H8.12.2	140	206	308	105	13570	H8.12.19	174	199	310	101	11128	H9.1.9	208	197	305	109	12081
H8.12.2	141	206	308	103	11119	H8.12.19	175	198	310	100	10637	H9.1.9	209	195	305	112	10806
H8.12.3	142	206	308	106	11854	H8.12.19	176	199	310	100	10147	H9.1.9	210	197	305	112	9973
H8.12.3	143	206	308	106	10628	H8.12.23	177	196	302	104	11328	H9.1.10	211	200	304	112	10454
H8.12.4	144	206	308	114	11609	H8.12.23	178	196	302	106	10837	H9.1.10	212	195	301	111	10681
H8.12.9	145	201	308	108	17493	H8.12.23	179	203	302	186	12063	H9.1.10	213	200	301	109	9799
H8.12.9	146	201	308	111	14551	H8.12.24	180	201	304	106	13053	H9.1.10	214	196	301	110	10583
H8.12.9	147	201	308	155	15532	H8.12.24	181	200	305	104	11591	H9.1.11	215	198	299	110	11064
H8.12.10	148	201	308	105	15532	H8.12.24	182	201	305	135	11591	H9.1.11	216	200	301	156	10338
H8.12.10	149	201	308	106	14061	H8.12.25	183	201	301	122	13035	H9.1.11	217	198	302	106	10102
H8.12.10	150	201	308	104	13570	H8.12.25	184	199	302	103	14025	H9.1.14	218	198	301	127	11564
H8.12.11	151	201	308	103	13080	H8.12.25	185	200	305	104	12081	H9.1.14	219	203	301	117	11319
H8.12.11	152	201	308	102	13080	H8.12.25	186	199	305	102	12081	H9.1.14	220	199	304	117	10846
H8.12.11	153	201	308	102	12590	H8.12.26	187	197	305	110	11101	H9.1.14	221	201	308	114	11119
H8.12.11	154	201	308	106	12590	H8.12.26	188	198	305	108	11101	H9.1.14	222	200	307	110	10129
H8.12.12	155	201	308	213	14061	H8.12.26	189	200	305	111	11836	H9.1.15	223	196	302	109	11573
H8.12.12	156	201	308	103	15041	H8.12.26	190	198	305	110	11346	H9.1.15	224	202	302	111	12308
H8.12.13	157	201	308	105	13570	H8.12.27	191	199	305	105	10365	H9.1.15	225	202	302	109	10347
H8.12.13	158	201	308	105	11609	H8.12.27	192	200	305	117	9630	H9.1.15	226	201	305	110	10120
H8.12.13	159	200	308	104	10628	H9.1.6	193	196	298	108	10320	H9.1.15	227	201	305	109	10610
H8.12.14	160	201	308	102	12590	H9.1.6	194	197	302	109	9857	H9.1.16	228	201	302	110	11573
H8.12.14	161	201	308	101	12590	H9.1.6	195	202	302	110	9612	H9.1.16	229	197	304	108	12808
H8.12.16	162	199	308	113	9354	H9.1.6	196	198	304	108	9621	H9.1.17	230	199	304	155	12317
H8.12.16	163	199	308	111	9255	H9.1.6	197	196	302	108	9710	H9.1.20	231	200	301	118	13770
H8.12.16	164	199	308	115	9550	H9.1.6	198	198	304	106	9670	H9.1.20	232	201	302	119	10592
H8.12.16	165	201	308	111	10138	H9.1.7	199	198	305	109	9924	H9.1.20	233	201	304	117	11337
H8.12.16	166	201	308	108	10138	H9.1.7	200	198	305	110	9679	H9.1.20	234	196	305	118	11591
H8.12.16	167	201	308	114	9648	H9.1.7	201	198	305	110	9630	H9.1.21	235	204	304	121	13298
H8.12.17	168	199	308	157	9648	H9.1.7	202	197	302	120	9612	H9.1.21	236	203	302	107	10102
H8.12.18	169	199	307	119	10129	H9.1.8	203	196	305	110	10120	H9.1.21	237	203	302	108	10102

表－３．５(2)　計測断面②　施工管理データ一覧表

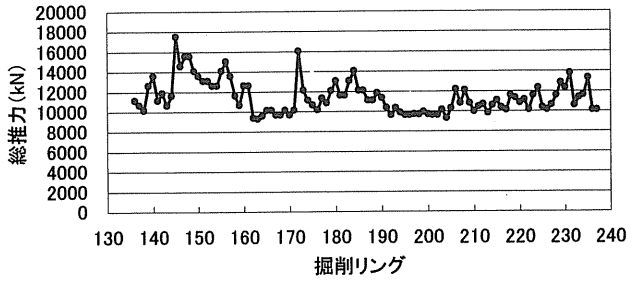
年月日	ﾘﾝｸﾞNo.	泥水圧 (kN/m²)	ｺﾝｸﾘｰﾄ圧 (kN/m²)	ｺﾝｸﾘｰﾄ充填率(%)	推力 (kN)	年月日	ﾘﾝｸﾞNo.	泥水圧 (kN/m²)	ｺﾝｸﾘｰﾄ圧 (kN/m²)	ｺﾝｸﾘｰﾄ充填率(%)	推力 (kN)
H10.4.21	1206	186	282	125	10818	H10.5.13	1229	186	282	123	7925
H10.4.22	1207	186	282	121	12191	H10.5.13	1230	186	282	117	7483
H10.4.22	1208	186	282	109	12926	H10.5.13	1231	186	282	127	7729
H10.4.24	1209	186	282	155	13613	H10.5.13	1232	186	282	132	8611
H10.4.27	1210	186	282	104	13367	H10.5.14	1233	186	282	104	9200
H10.4.28	1211	186	282	134	12828	H10.5.14	1234	186	282	104	9200
H10.4.28	1212	186	282	110	11455	H10.5.14	1235	186	282	111	8317
H10.4.28	1213	186	282	131	10425	H10.5.14	1236	186	282	112	9052
H10.4.28	1214	186	282	110	9052	H10.5.15	1237	184	282	149	11504
H10.5.7	1215	188	282	131	11161	H10.5.15	1238	184	282	104	11406
H10.5.7	1216	188	282	113	9200	H10.5.15	1239	184	282	102	11014
H10.5.8	1217	186	285	108	9169	H10.5.15	1240	184	282	109	9543
H10.5.9	1218	186	285	107	8482	H10.5.16	1241	184	282	109	9003
H10.5.9	1219	186	282	125	8072	H10.5.18	1242	184	282	132	9935
H10.5.9	1220	186	279	143	8250	H10.5.18	1243	184	282	158	10818
H10.5.11	1221	186	282	112	9298	H10.5.19	1244	184	282	110	9494
H10.5.11	1222	186	282	103	8415	H10.5.19	1245	184	282	103	8366
H10.5.11	1223	186	282	106	8513	H10.5.19	1246	184	282	135	8072
H10.5.12	1224	186	282	149	8464	H10.5.19	1247	184	282	109	9102
H10.5.12	1225	186	282	108	8464	H10.5.20	1248	184	282	107	8709
H10.5.12	1226	186	282	106	8121	H10.5.20	1249	184	282	106	8513
H10.5.12	1227	186	282	106	7925	H10.5.20	1250	184	282	104	8170
H10.5.13	1228	186	282	143	8023	H10.5.21	1251	184	282	128	7827



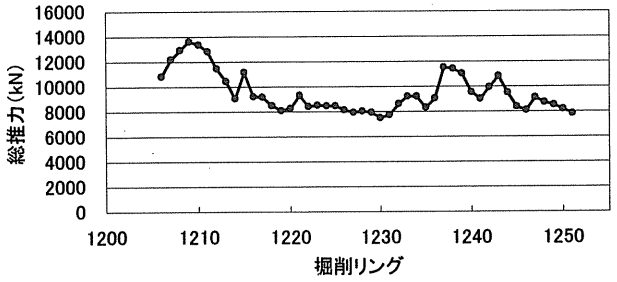
(a-1)計測断面①のリング組立状況



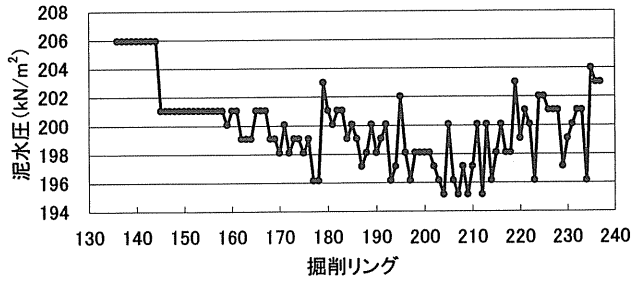
(a-1)計測断面②のリング組立状況



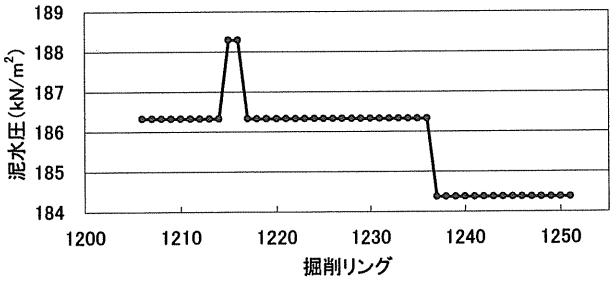
(b-1)計測断面①の総推力



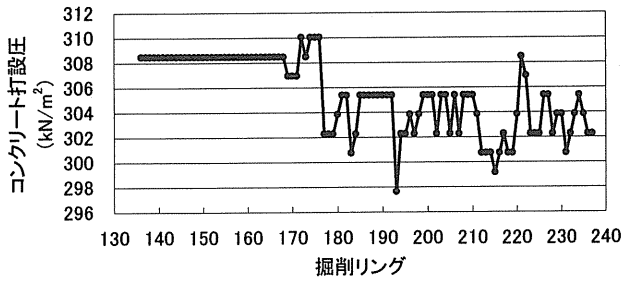
(b-1)計測断面②の総推力



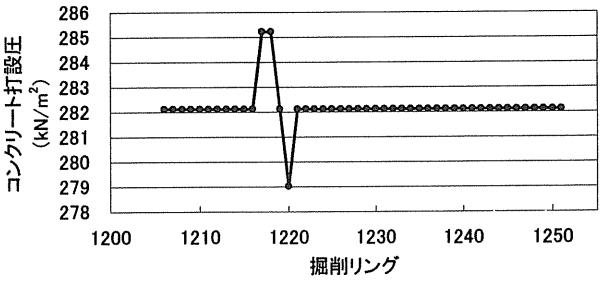
(c-1)計測断面①の泥水圧



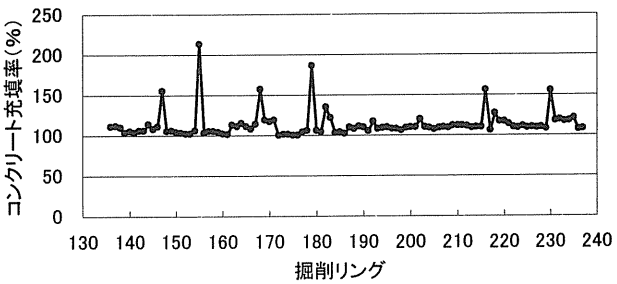
(c-1)計測断面②の泥水圧



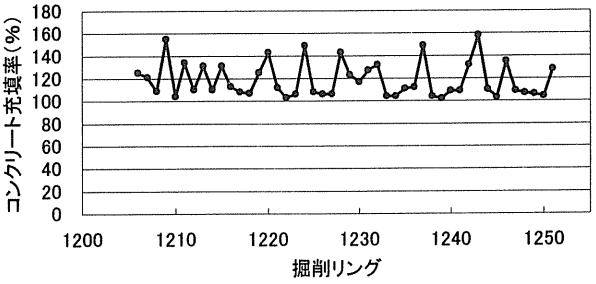
(d-1)計測断面①のコンクリート打設圧



(d-1)計測断面②のコンクリート打設圧



(e-1)計測断面①のコンクリート充填率

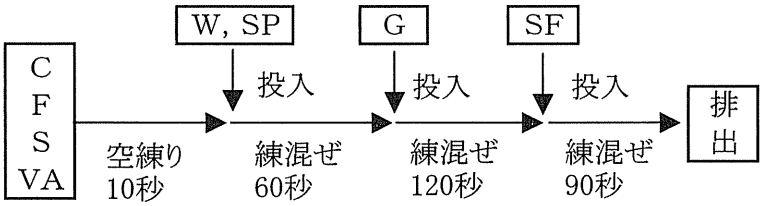


(e-1)計測断面②のコンクリート充填率

図－３．１７　施工管理の実績

（2）コンクリート打設量・圧力

計測断面①のコンクリート打設圧は 302 kN/㎡～308kN/㎡の間で多少ばらついており、計測断面②は 282kN/㎡でほぼ一定に管理されている。コンクリート充填率は計測断面①では所々突出しているものの、ほぼ 110％程度と安定している。計測断面②では 100％～160％の間でばらついており、コンクリート打設量のばらつきが見られた。



図－３．１８　コンクリート練り混ぜフロー図

表－３．６　コンクリートの配合表

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	水結合材比 (%)	フライアッシュ置換率 (%)	細骨材率 (%)
15	55～70	2±1.5	38	20	68

単位量(kg/m^3)						
鋼繊維 SF	水 W	セメント C	フライアッシュ F	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
78.5	190	400	100	1159	532	表-3.7参照

表－３．７　混和剤の組み合せ

混和剤の組み合せ	コンクリート温度(°C) 10 15 20 25 30 35
EC100 (C＋F)x%	EC100(1) 182.30% ～ EC100(7) 242.50%
KNT712	900～1200(g/m^3)

EC100・・・ポリカルボン酸系の高性能AE減水剤
KNT712・・水溶性セルロースエーテルを主成分とする増粘剤

3．3　計測結果

3．3．1　坑内計測

（1）コンクリート表面ひずみ計

図－3．19(1)～(2)に計測断面①、計測断面②のコンクリート表面ひずみ計のひずみ計測結果を示す。なお、コンクリート表面ひずみ計は、コンクリート切削直前の状態を初期値とした。

1）計測断面①

図－3．8(1)に示した、覆工の施工ジョイントと計測断面①で実施した計測位置NO.1～NO.3との位置関係は以下のとおりである。

○計測位置NO.1・・・目開きの生じている施工ジョイントとの距離は1.1mでNO.2、NO.3に比べて大きい。

○計測位置NO.2・・・目開きの生じている施工ジョイントとの距離は0.4mと小さい。

○計測位置NO.3・・・目開きの生じている施工ジョイントとの距離は0.5mと小さい。

表－3．8(1)に計測ひずみ値を示す。各計測位置での最大主ひずみの最大値とその位置での最小主ひずみは次のようになっている。

○計測位置NO.1・・・$\varepsilon max=64\mu$、（$\varepsilon min=-3\mu$）

○計測位置NO.2・・・$\varepsilon max=100\mu$、（$\varepsilon min=14\mu$）

○計測位置NO.3・・・$\varepsilon max=103\mu$、（$\varepsilon min=24\mu$）

また、計測断面①での主ひずみの差（$\varepsilon max-\varepsilon min$）の最大値は計測位置NO.2の$86\mu$（$\varepsilon max=100\mu$、$\varepsilon min=14\mu$）となっている。NO.1の最小主ひずみがほぼ0に近い値になっているのは、施工ジョイントによる影響が少ないためと考えられ、NO.2、NO.3において20～40μの最小主ひずみが発生しているのは、NO.1に比べて施工ジョイントの影響が大きいと考えられる。

2）計測断面②

図－3．8(2)に示した、覆工の施工ジョイントと計測断面②で実施した計測位置NO.1～NO.3との位置関係は以下のとおりである。

○計測位置NO.1・・・施工ジョイントとの距離は1.4mと大きい。目開きは小さく測定不可。

○計測位置NO.2・・・施工ジョイントとの距離は1.6mと大きい。目開きは小さく測定不可。

○計測位置NO.3・・・施工ジョイントとの距離は0.6mと小さい。目開きは小さく測定不可。

表－3．8(2)に計測ひずみ値を示す。各計測位置での最大主ひずみの最大値とその位置での最小主ひずみは次のようになっている。

○計測位置NO.1・・・$\varepsilon max=56\mu$、（$\varepsilon min=18\mu$）

○計測位置NO.2・・・$\varepsilon max=64\mu$、（$\varepsilon min=40\mu$）

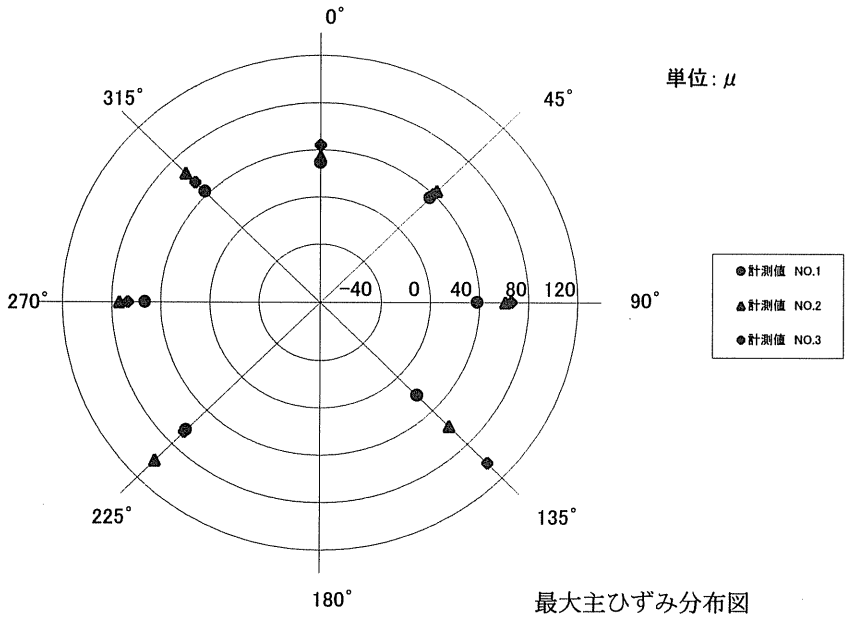
○計測位置NO.3・・・$\varepsilon max=62\mu$、（$\varepsilon min=28\mu$）

また、計測断面②での主ひずみの差（$\varepsilon max-\varepsilon min$）の最大値は計測位置NO.1の$38\mu$（$\varepsilon max=56\mu$、$\varepsilon min=18\mu$）となっている。最大ひずみ、最小ひずみともにばらつきが少なく、施工ジョイントに近い計測位置NO.3においてもその影響が少ない考えられる。

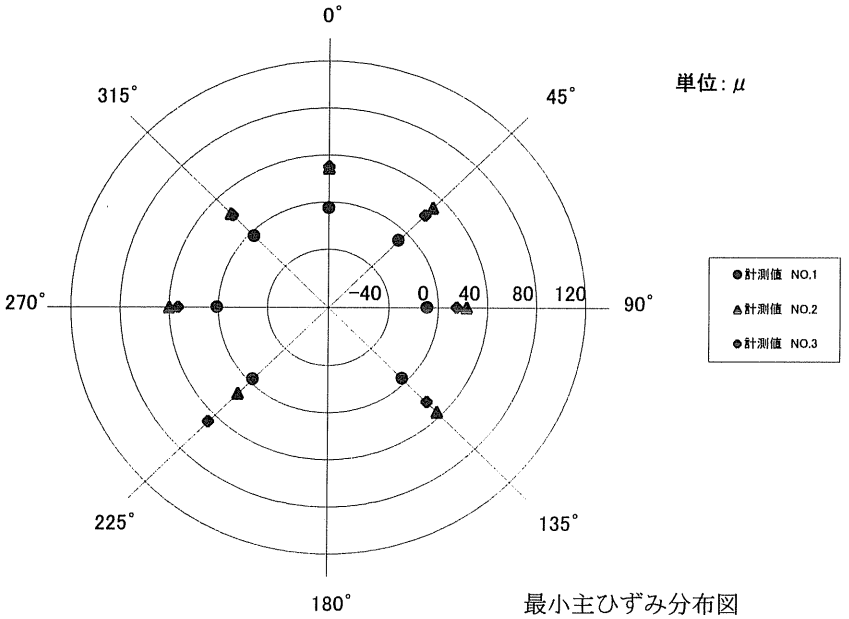
表－３．８(1)　計測断面①　最大・最小計測ひずみ値

測定位置		最大主ひずみ εmax(μ)			最小主ひずみ εmin(μ)		
		計測値NO.1	計測値NO.2	計測値NO.3	計測値NO.1	計測値NO.2	計測値NO.3
1	0°	29	34	44	-5	29	30
2	45°	36	44	40	-9	30	21
3	90°	38	61	66	-9	23	15
4	135°	22	59	103	-4	36	24
6	225°	64	100	66	-3	14	48
7	270°	53	74	67	1	40	33
8	315°	43	65	54	-4	23	21

符号：圧縮(+)，引張(-)



最大主ひずみ分布図



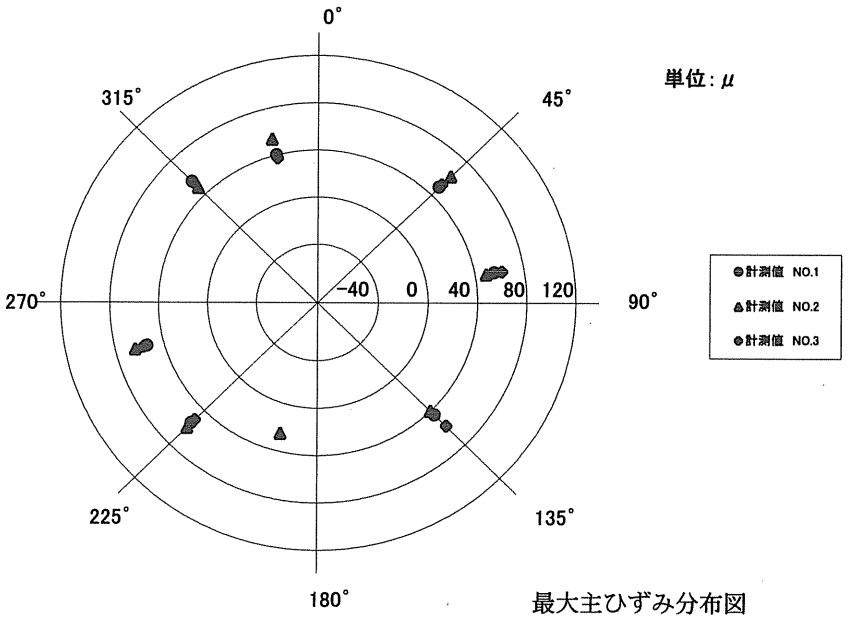
最小主ひずみ分布図

図－３．１９(1)　計測断面①　最大・最小主ひずみ分布図

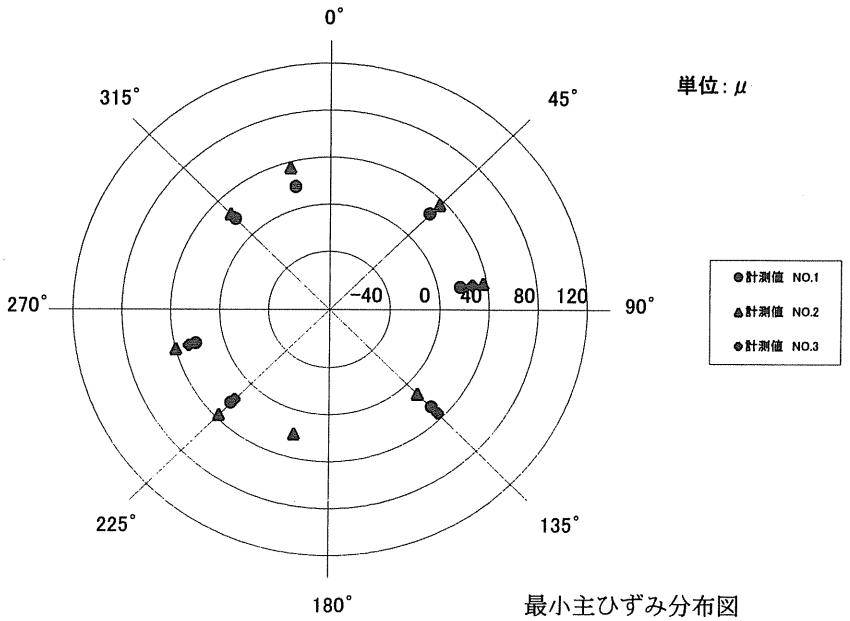
表－３．８(2)　計測断面②　最大・最小計測ひずみ値

測定位置		最大主ひずみ εmax(μ)			最小主ひずみ εmin(μ)		
		計測値NO.1	計測値NO.2	計測値NO.3	計測値NO.1	計測値NO.2	計測値NO.3
1	346°	40	54	37	18	35	19
2	45°	49	62	52	25	36	25
3	80°	56	49	62	18	37	28
4	135°	45	40	58	28	12	35
6	195°	－	25	－	－	20	－
7	225°	55	60	51	23	37	19
8	256°	54	64	57	23	40	29
9	315°	55	48	54	19	25	21

符号：圧縮(+)，引張(-)



最大主ひずみ分布図



最小主ひずみ分布図

図－３．１９(2)　計測断面②　最大・最小主ひずみ分布図

（2）覆工体に発生する応力

1）計測ひずみの分析方法

本計測現場で計測されたコンクリート表面ひずみの分析は過去に報告されている「応力解放法を用いた場所打ちライニングの応力計測結果とその考察」[3]において行われている。その概要を以下に示す。

計測されたひずみは覆工の内面側に発生しているもので、外荷重(土圧・水圧)によるひずみ以外に以下に示すようなひずみが含まれていると考えられる。

① 計測されたひずみ（ε）

＝拘束ひずみ（温度＋乾燥＋自己収縮）＋外荷重によるひずみ＋切削熱によるひずみ＋etc.

② 最大主ひずみ（εmax）

＝拘束ひずみ（温度＋乾燥＋自己収縮）＋外荷重によるひずみ＋切削熱によるひずみ＋etc.

③ 最小主ひずみ（εmin）

＝拘束ひずみ（温度＋乾燥＋自己収縮）＋　　切削熱によるひずみ＋etc.

計測されたひずみ①は、外荷重によるひずみ以外に多くのひずみを含んでいるものと考えられる。

図－３．２０の主ひずみの概念図に示すとおり、覆工の周方向には最大主ひずみ、覆工の軸方向には最小主ひずみが発生し、最大主ひずみ(εmax)と最小主ひずみ(εmin)との差から、覆工周方向の外荷重によるひずみの近似値を算出する。ただし、以下の仮定を設定するものとする。

応力算出時の仮定

①覆工に作用する外荷重はトンネル縦断方向で変化せず、外荷重による覆工軸方向のひずみは発生しないものと仮定する。

②覆工の周方向と軸方向の拘束度の違いはないものと仮定する。

③施工ジョイントから計測位置までの距離の違いはないものと仮定する。

外荷重による応力(σ)の算出式

○最大主応力　：$\sigma max = \{E/(1-\nu^2)\} \cdot (\varepsilon max + \nu\, \varepsilon min)$

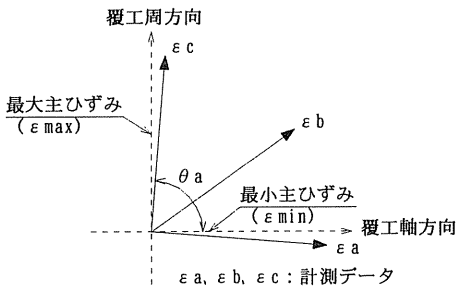
○最小主応力　：$\sigma min = \{E/(1-\nu^2)\} \cdot (\varepsilon min + \nu\, \varepsilon max)$

○外荷重による応力　：$\sigma = \sigma max - \sigma min$

$= \{E/(1+\nu)\} \cdot (\varepsilon max - \varepsilon min)$ ……(3.1)

ここに、E：コンクリートのヤング係数(圧縮強度より 41kN/㎟)[2][3]

ν：ポアソン比(試験結果より 0.235)[3]



図－３．２０　主ひずみの概念図

2）発生応力

①　計測断面①

外荷重により覆工に発生する応力を表－３．９に示す。また、図－３．２１(1)に発生応力度断面分布図を示す。最大応力は計測値 NO.2、225° の 2.9N/㎜ ² であり、発生応力はすべて圧縮応力となっている。また、計測値 NO.2、NO.3 は NO.1 に比べてばらつきが見られる。

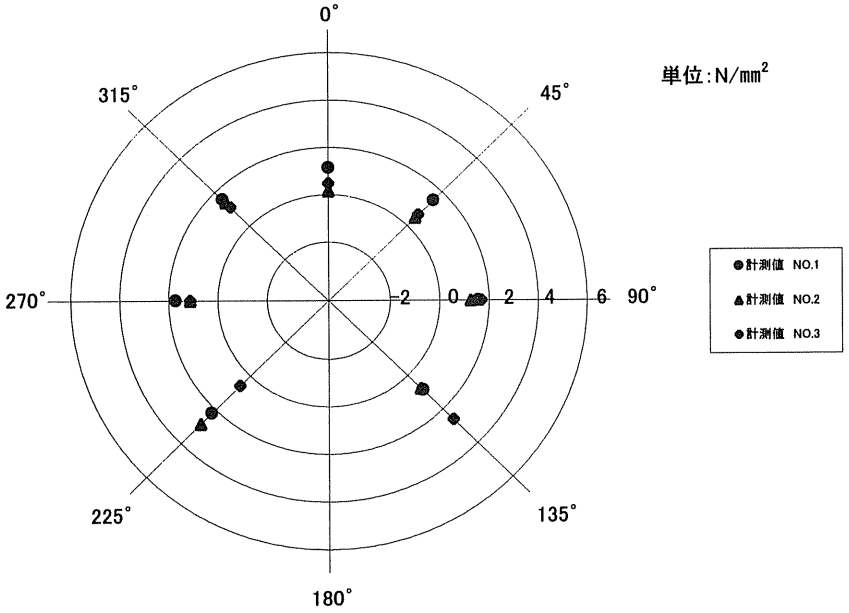
②　計測断面②

外荷重により覆工に発生する応力を表－３．９に示す。また、図－３．２１(2)に発生応力度断面分布図を示す。最大応力は計測値 NO.1、90° の 1.3N/㎜ ² であり、発生応力はすべて圧縮応力となっている。また、計測断面①に比べてばらつきが小さい。

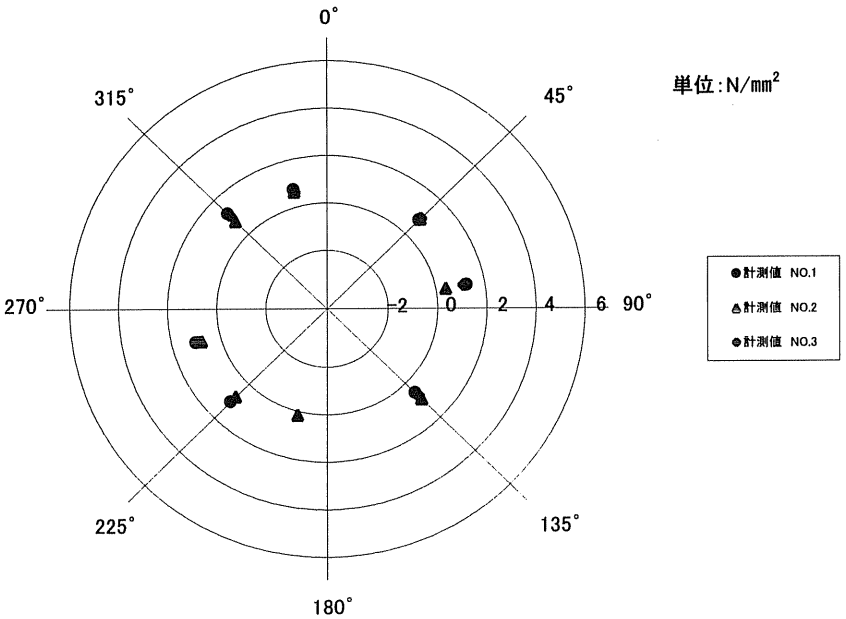
表－３．９　　発生応力(主ひずみの差)

測定位置		計測断面　① 発生応力度(N/mm²)			計測断面　② 発生応力度(N/mm²)		
		計測値NO. 1	計測値NO. 2	計測値NO. 3	計測値NO. 1	計測値NO. 2	計測値NO. 3
1	0°	1.1	0.2	0.5	0.7	0.6	0.6
2	45°	1.5	0.5	0.6	0.8	0.9	0.9
3	90°	1.6	1.3	1.7	1.3	0.4	1.1
4	135°	0.9	0.8	2.6	0.6	0.9	0.8
6	225°	2.2	2.9	0.6	1.1	0.8	1.1
7	270°	1.7	1.1	1.1	1	0.8	0.9
8	315°	1.6	1.4	1.1	1.2	0.8	1.1

符号：圧縮(+)，引張(-)



図－３．２１(1)　計測断面①　断面応力度分布図



図－３．２１(2)　計測断面①　断面応力度分布図

３．３．２　坑外計測

（１）切羽進行に伴う地表面・地中沈下量の変化

図－３．１１で示した層別沈下計の計測データについてトンネル直径Ｄで無次元化した切羽の進行との関係で整理したものを計測断面①について図－３．２２(1)～(15)に、計測断面②について図－３．２３(1)～(8)に示す。なお、変位の方向はプラス(+)が隆起、マイナス(-)が沈下を表している。以下に示すグラフの変位の方向はすべて同様に整理した。

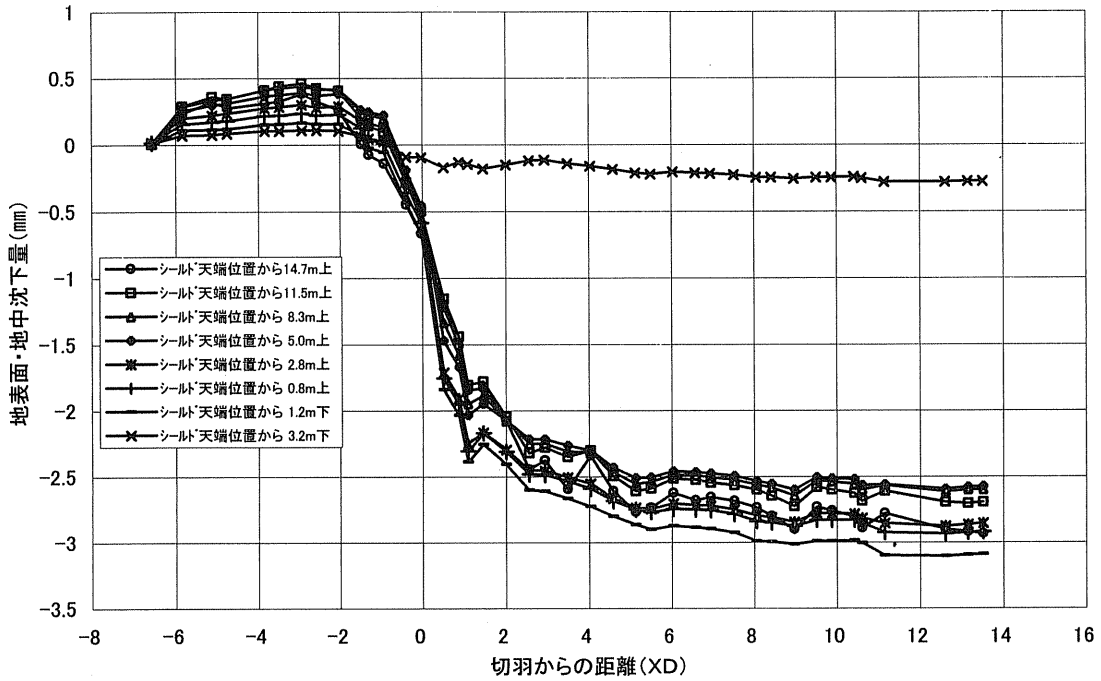
図より切羽の進行に伴う地盤変状の変化は、一部の側線で切羽前方６～10Ｄ程度から約 0.2 ㎜～0.5 ㎜の隆起が見られた後、切羽前方１～２Ｄ程度から沈下が始まっている。切羽後方は約２Ｄ程度まで急激な沈下が生じ、その後切羽の進行とともに沈下が収束する傾向にある。切羽前方の沈下はシールド掘削による切羽圧力の解放による地山の緩み、掘削に伴う周辺地山の乱れなどによる挙動が考えられ、また、切羽後方の主な沈下は周辺地盤の緩みによるものが大きく影響しているものと考えられる。

（２）トンネル周辺の地表面・地中沈下量の分布

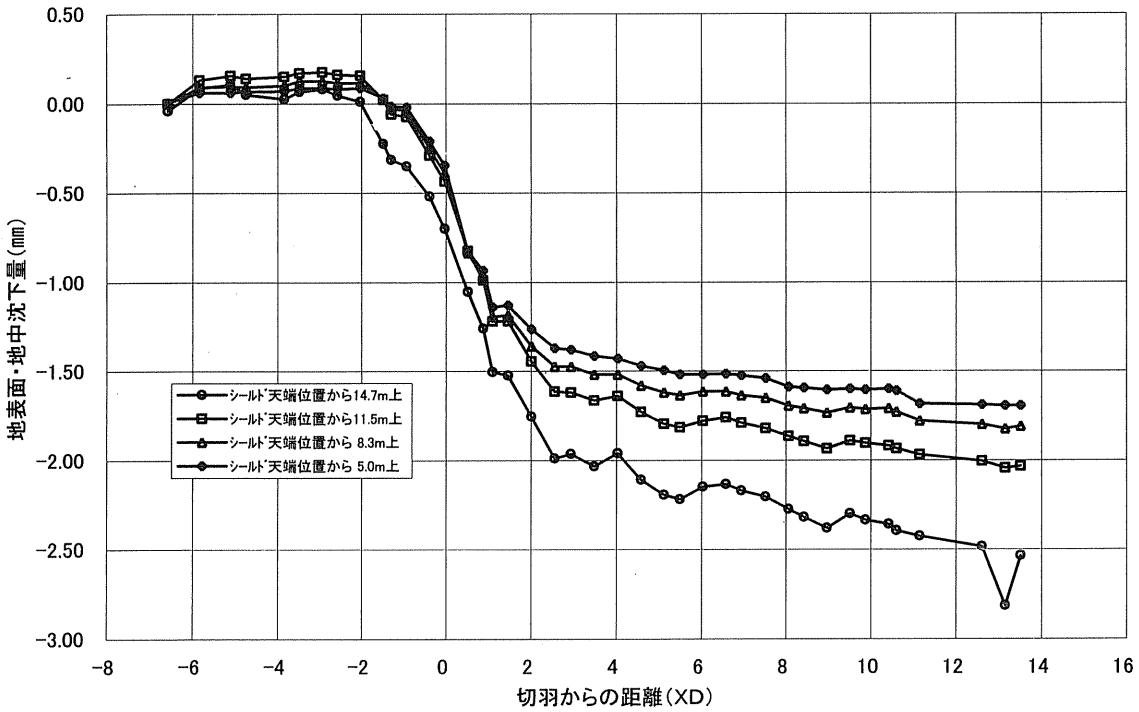
単設シールドトンネルの施工が周辺地盤の挙動にどの程度影響を及ぼすかを検討するため、計測データの最終沈下量の横断面での沈下分布を計測断面①について図－３．２４(1)～(3)に、計測断面②について図－３．２５(1)～(3)に示す。図より、シールド中央部（天端直上）の約３ｍまでの間で急激に鉛直方向沈下量が減少し、その後地上に向かっての減少傾向は少なくなっている。側部はシールド天端高さ付近から地表面までほぼ同程度の層別沈下がみられる。これは、シールド上部がＮ＝０の軟弱粘性土であるため、沈下量がそのまま伝播しているものと考えられる。

（３）切羽進行に伴う地表面・地中沈下量の最終沈下量に対する比

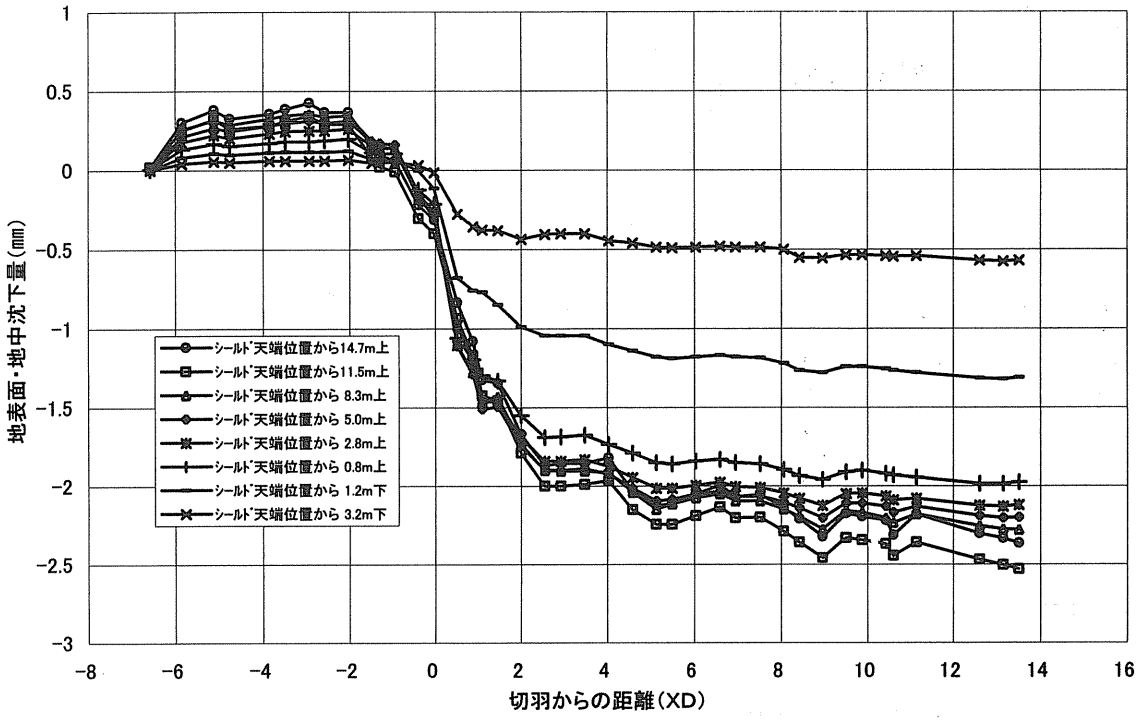
地表面･地中沈下が切羽進行に伴って最終沈下量に対してどの程度変化するか整理するため、図－３．２４、図－３．２５に示した切羽から 7D～14D 後方の位置での沈下量を基準として表したグラフを計測断面①について図－３．２６(1)～(15)に、計測断面②について図－３．２７(1)～(8)に示す。また、最終沈下量、切羽位置での沈下量および最終沈下量との比の一覧表を表－３．１０(1)～(6)に示す。この図および表によれば、最終沈下量を切羽後方約 7D～14D と考えると、トンネル周辺の沈下計測データから、トンネル周辺においては切羽が到達する以前に最終沈下量の約２割が沈下していることが分かる。



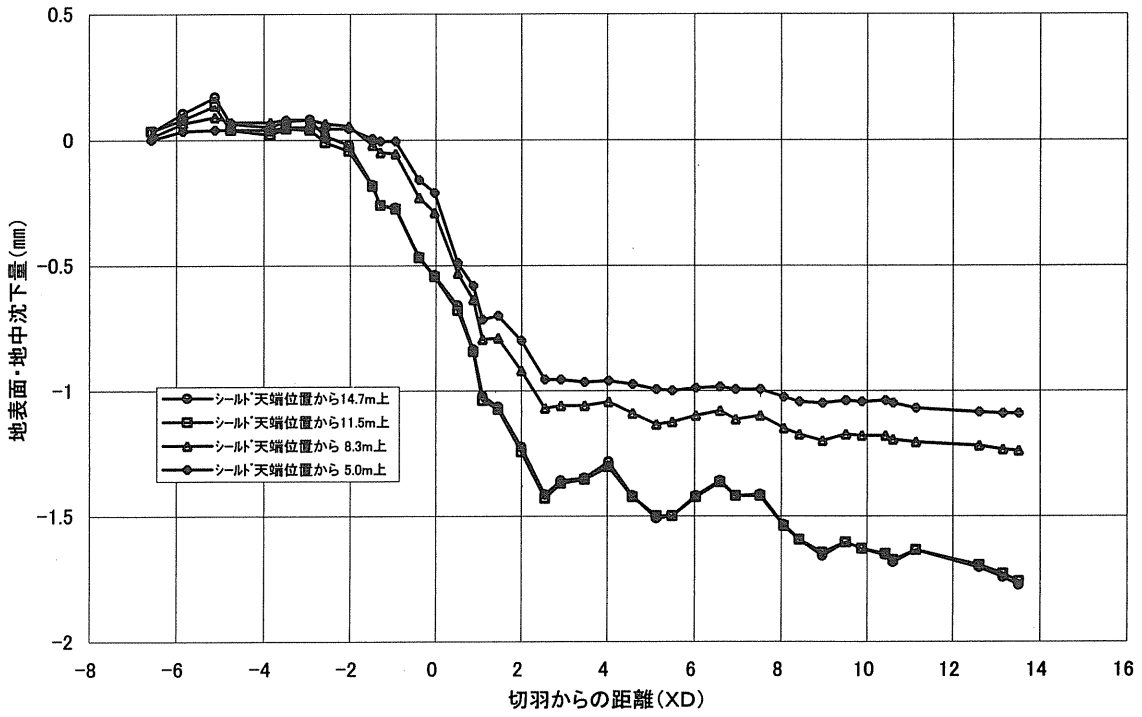
図－３．２２(1)　切羽進行に伴う地表面・地中沈下量（計測断面①　側線１西５m）



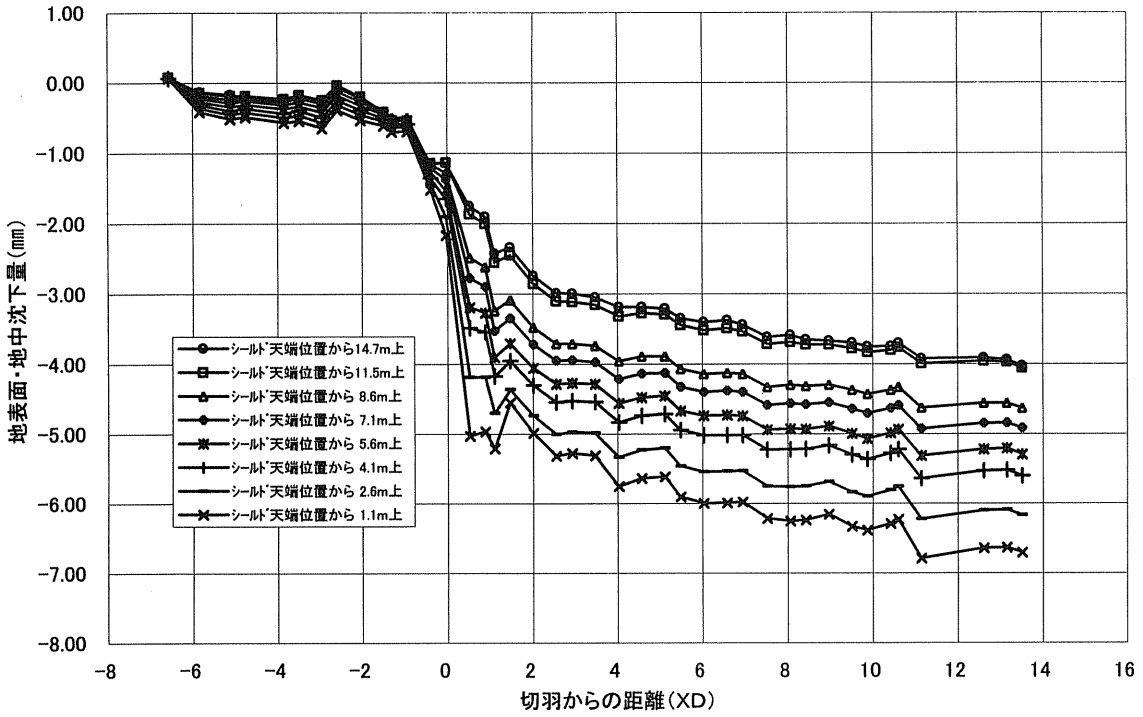
図－３．２２(2)　切羽進行に伴う地表面･地中沈下量（計測断面①　側線１西7.5m）



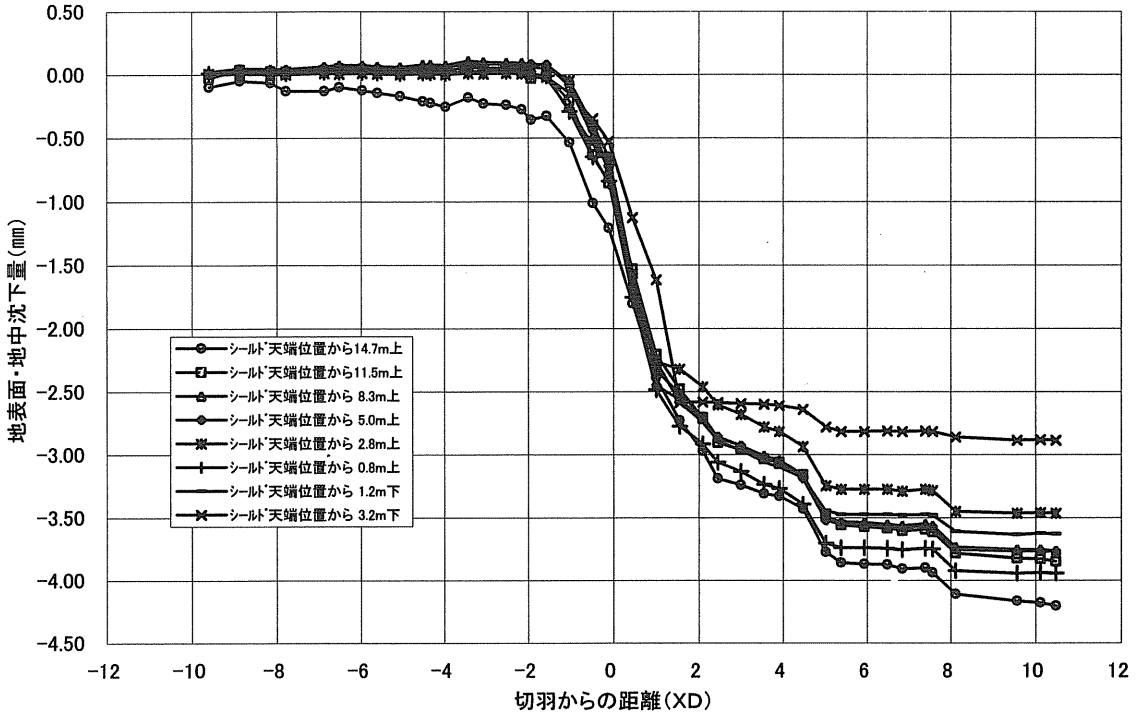
図－３．２２(3)　切羽進行に伴う地表面・地中沈下量（計測断面①　側線１東５m）



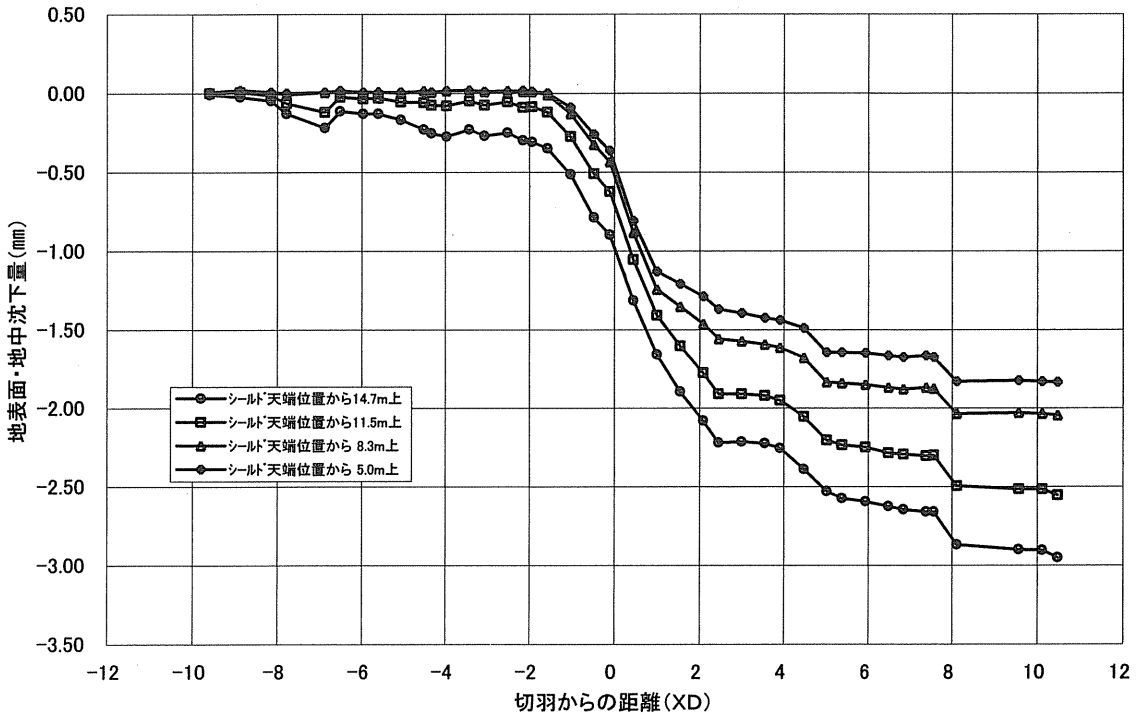
図－３．２２(4)　切羽進行に伴う地表面･地中沈下量（計測断面①　側線１東8.8m）



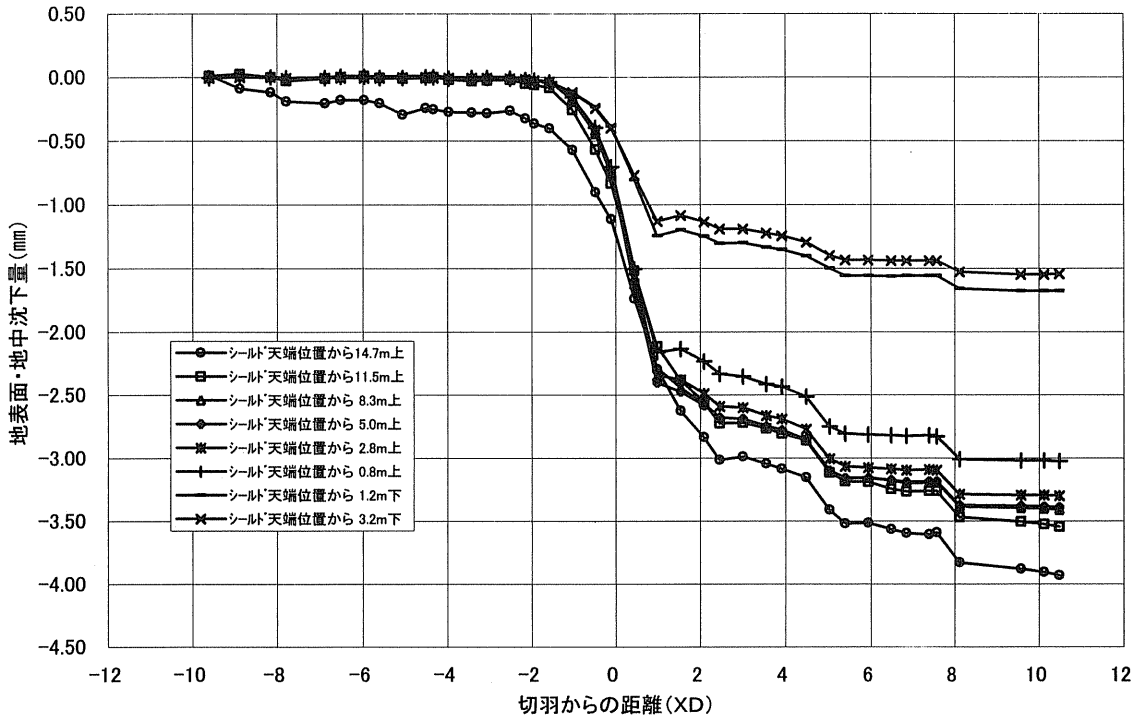
図－３．２２(5)　切羽進行に伴う地表面・地中沈下量（計測断面①　側線１中央）



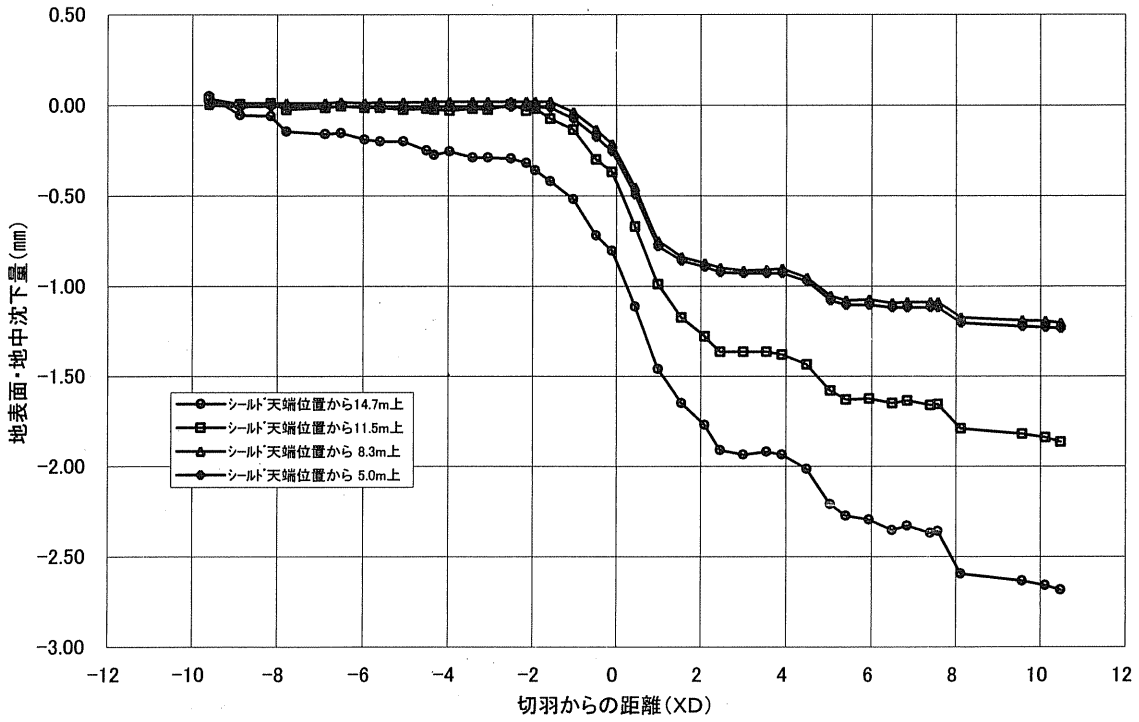
図－３．２２(6)　切羽進行に伴う地表面・地中沈下量（計測断面①　側線２西５m）



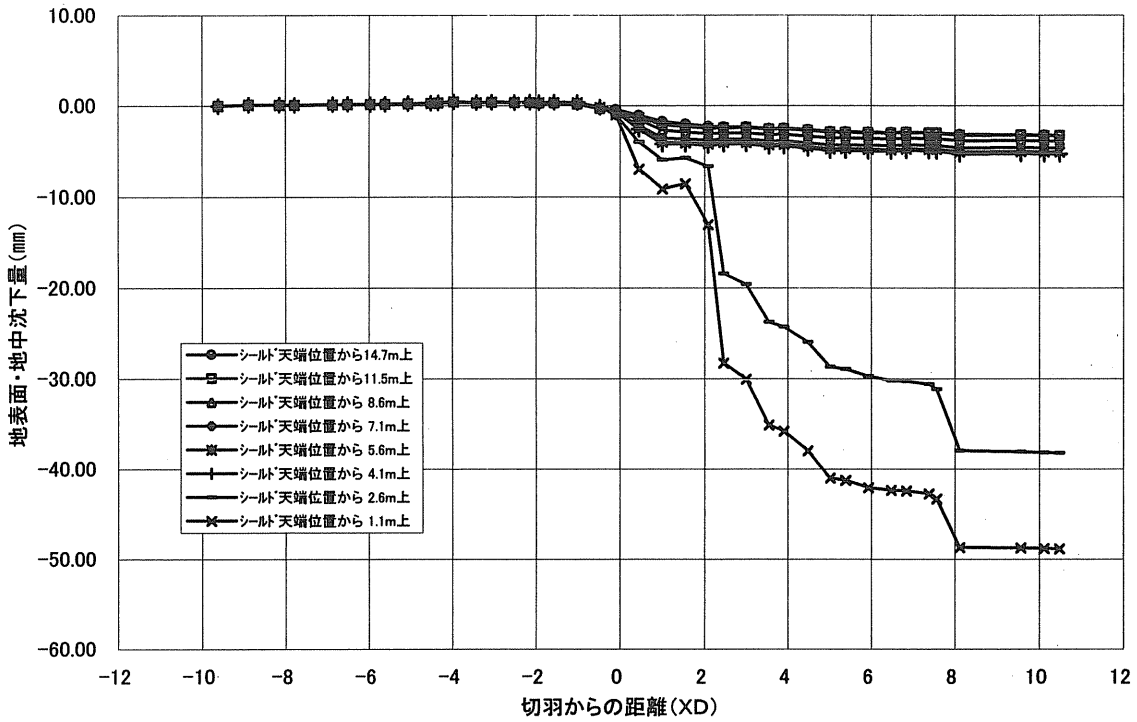
図－３．２２(7)　切羽進行に伴う地表面･地中沈下量（計測断面①　側線２西7.5m）



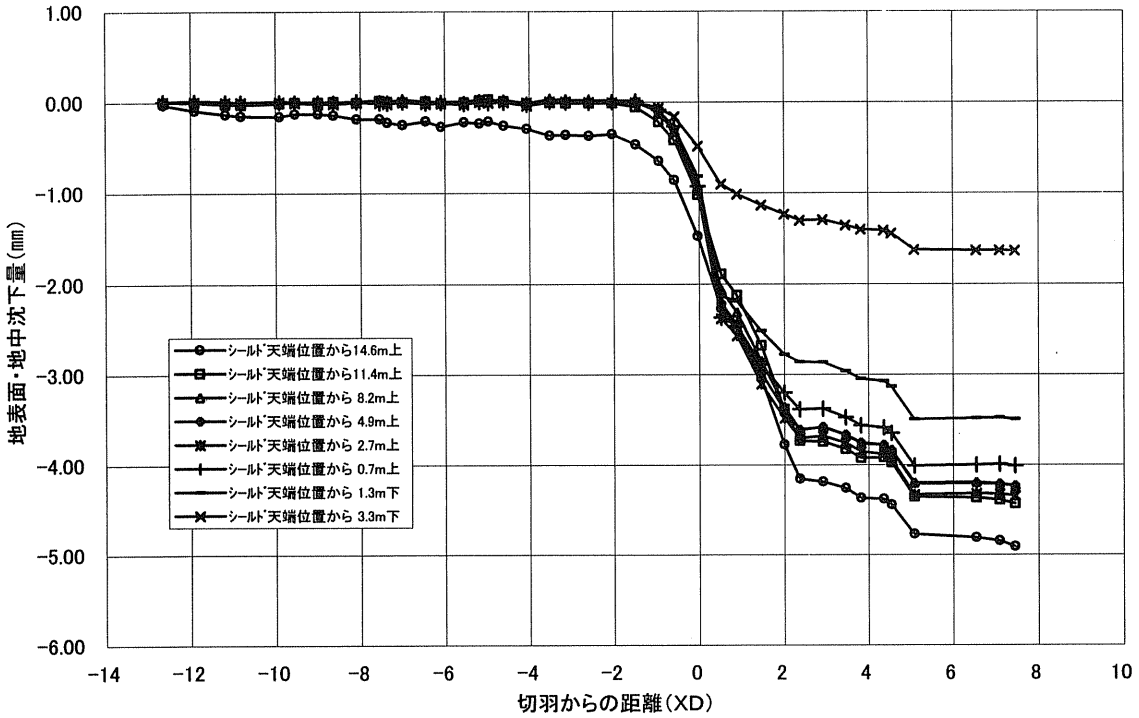
図－３．２２(8)　切羽進行に伴う地表面・地中沈下量（計測断面①　側線２東５m）



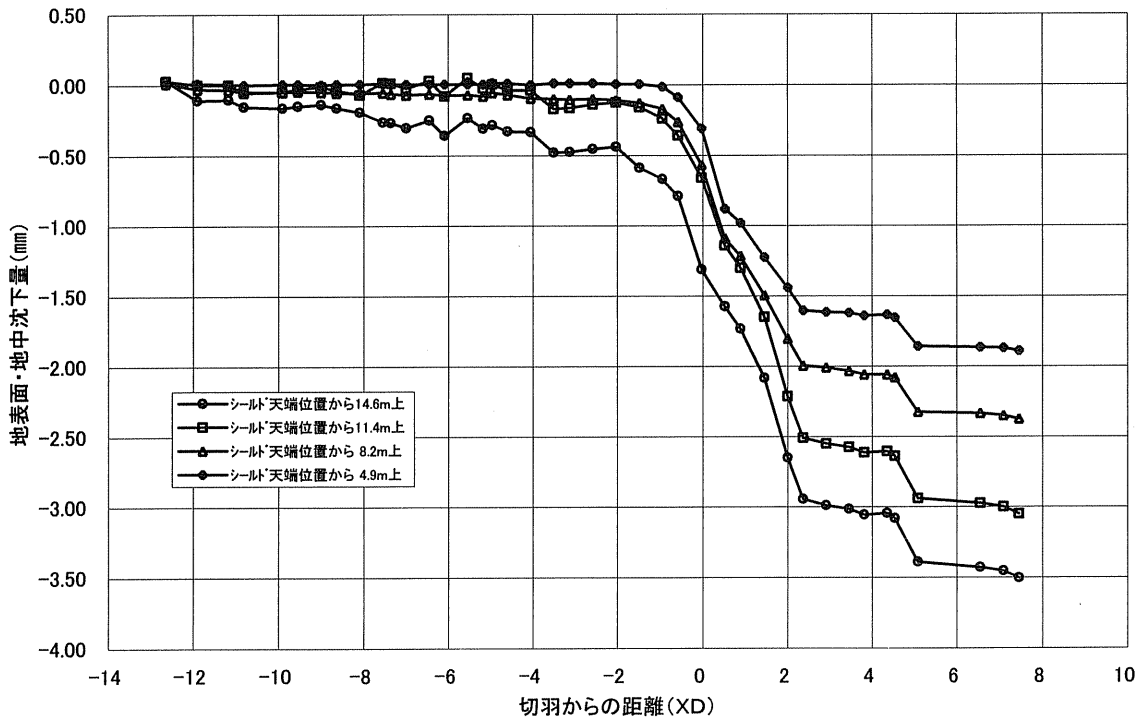
図－３．２２(9)　切羽進行に伴う地表面･地中沈下量（計測断面①　側線２東8.8m）



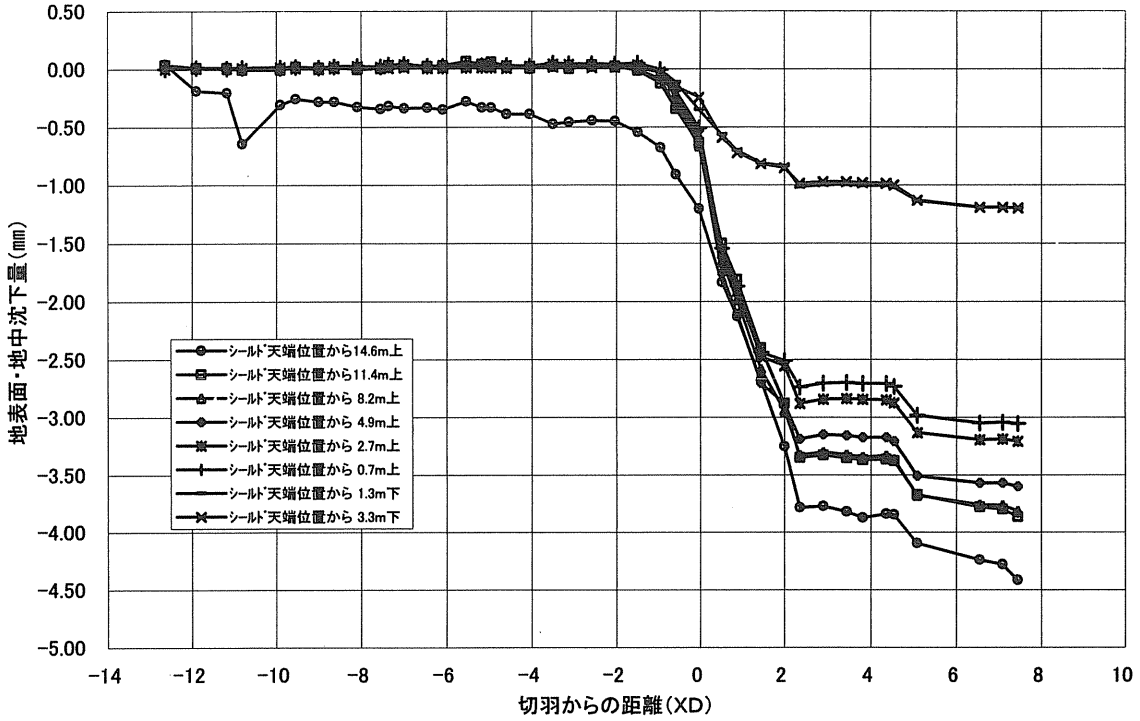
図－３．２２(10)　切羽進行に伴う地表面・地中沈下量（計測断面①　側線２中央）



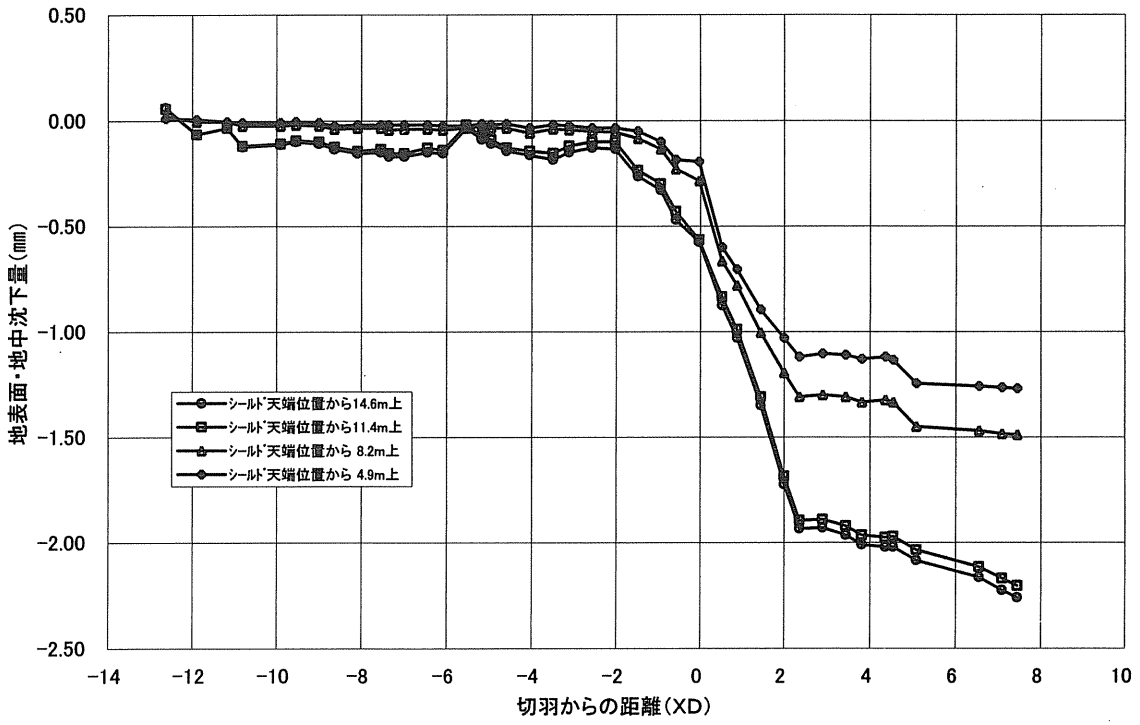
図－３．２２(11)　切羽進行に伴う地表面・地中沈下量（計測断面①　側線３西５m）



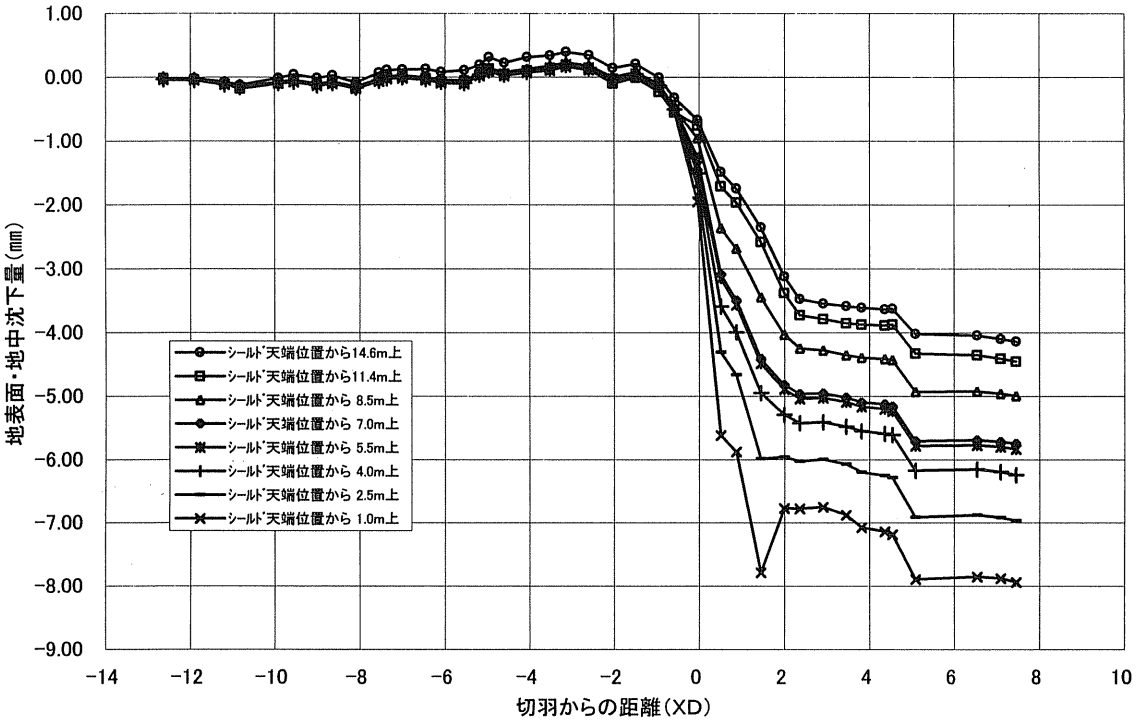
図－３．２２(12)　切羽進行に伴う地表面･地中沈下量（計測断面①　側線３西7.5m）



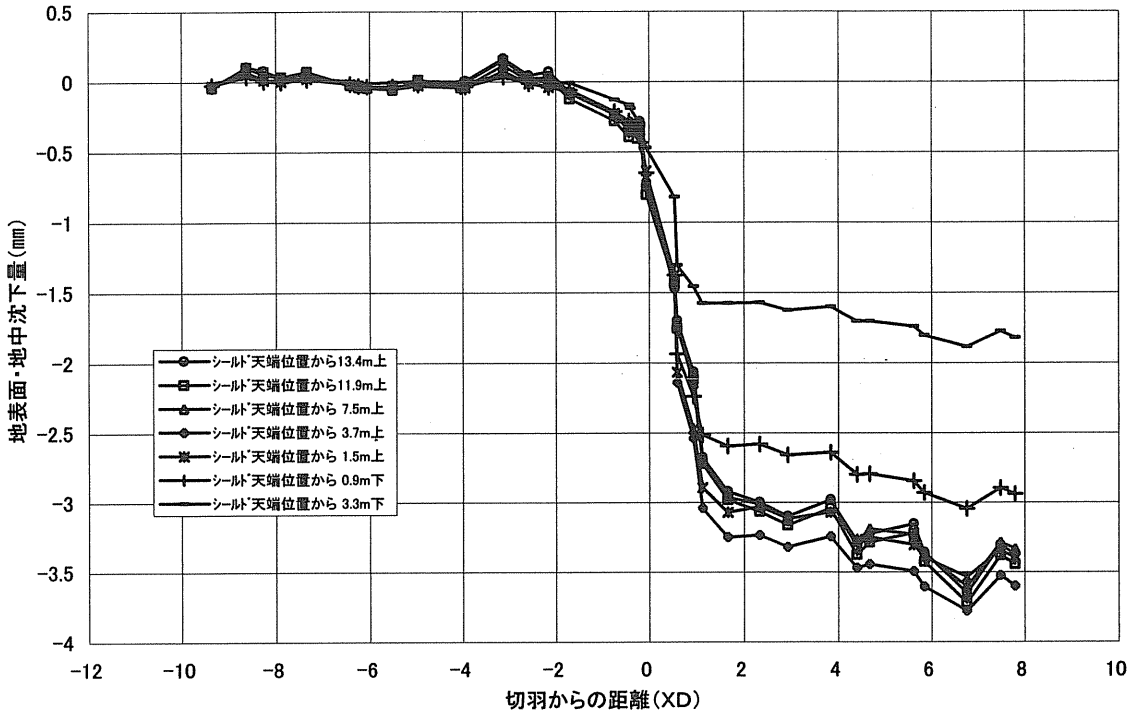
図－３．２２(13)　切羽進行に伴う地表面・地中沈下量（計測断面①　側線３東５m）



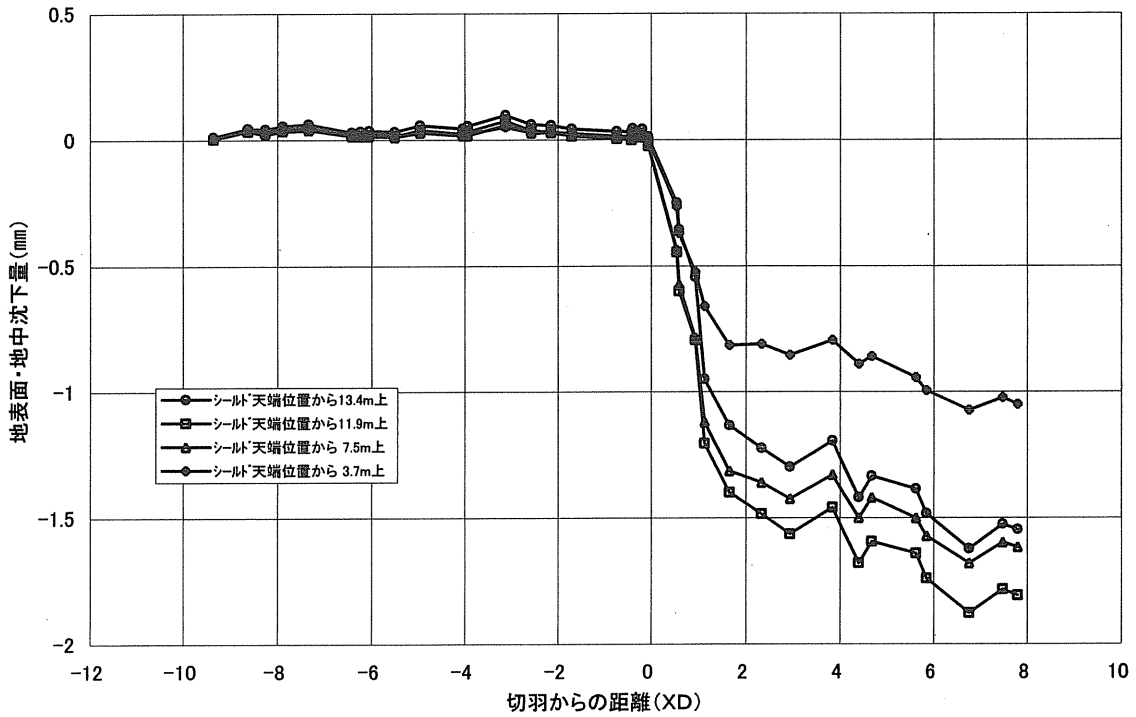
図－３．２２(14)　切羽進行に伴う地表面･地中沈下量（計測断面①　側線３東8.8m）



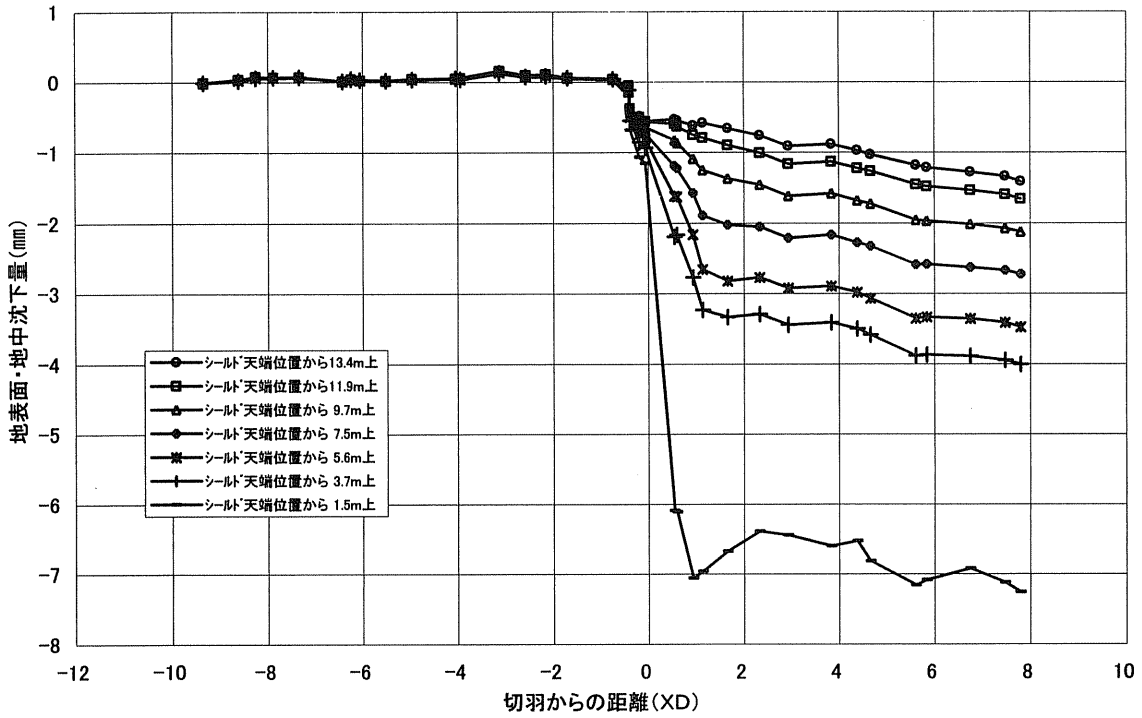
図－３．２２(15)　切羽進行に伴う地表面・地中沈下量（計測断面①　側線３中央）



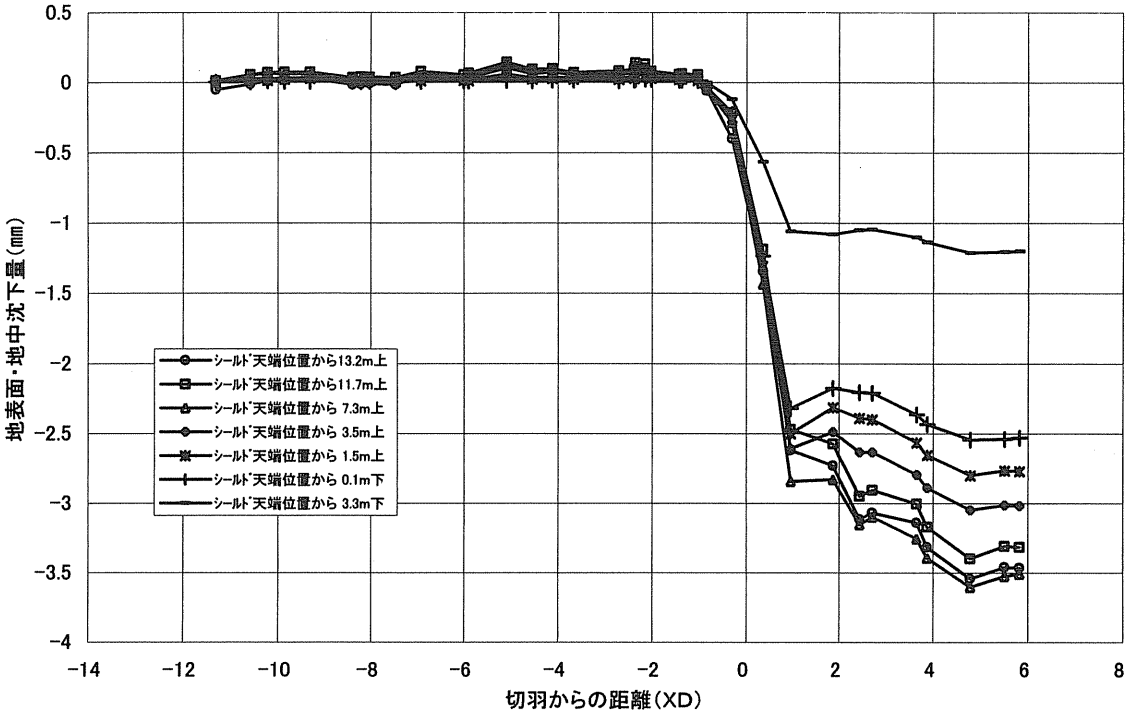
図－３．２３(1)　切羽進行に伴う地表面・地中沈下量（計測断面②　側線１西５m）



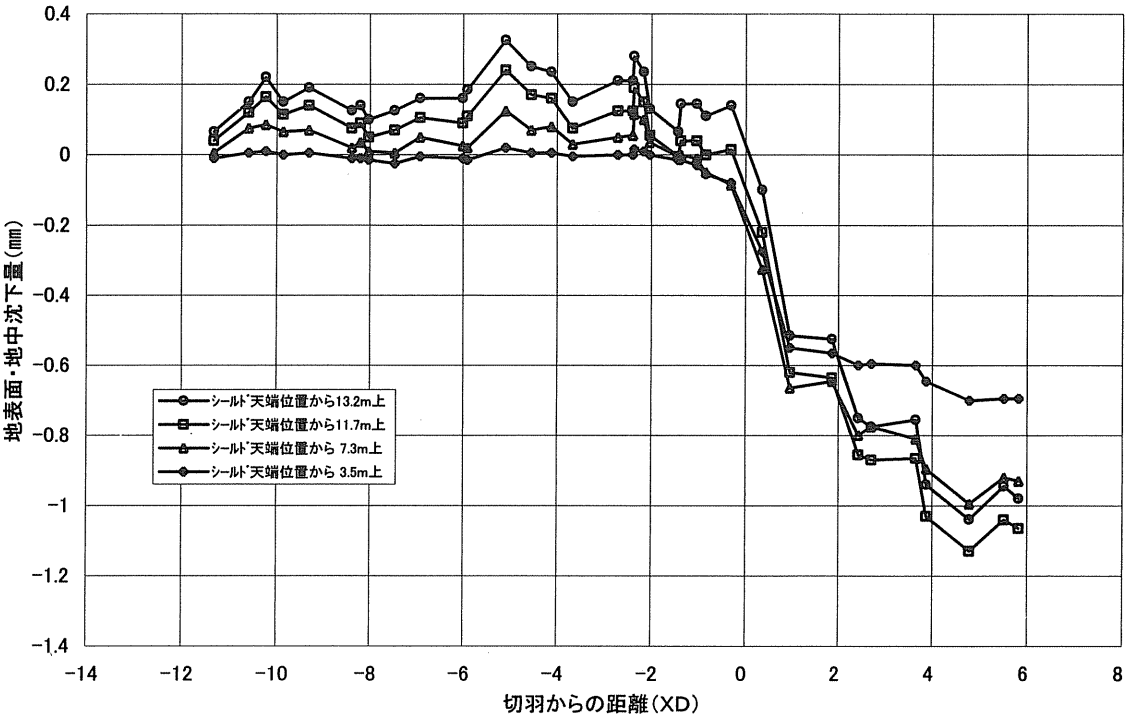
図－３．２３(2)　切羽進行に伴う地表面・地中沈下量（計測断面②　側線１西８m）



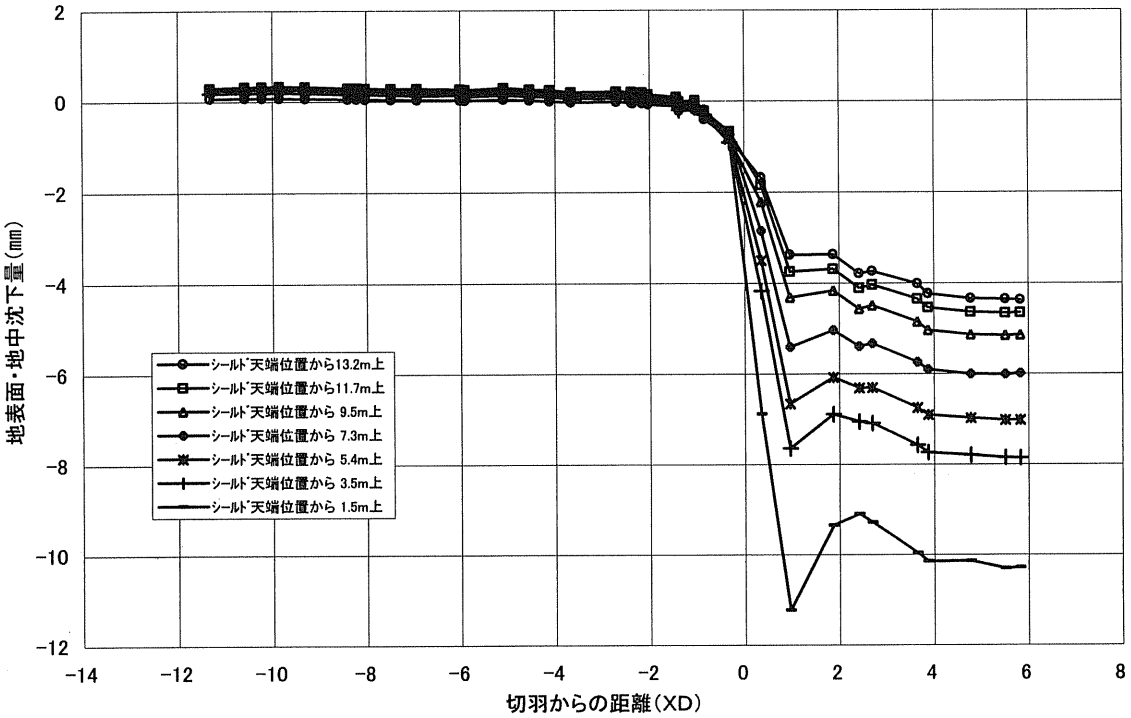
図－３．２３(3)　切羽進行に伴う地表面・地中沈下量（計測断面②　側線１中央）



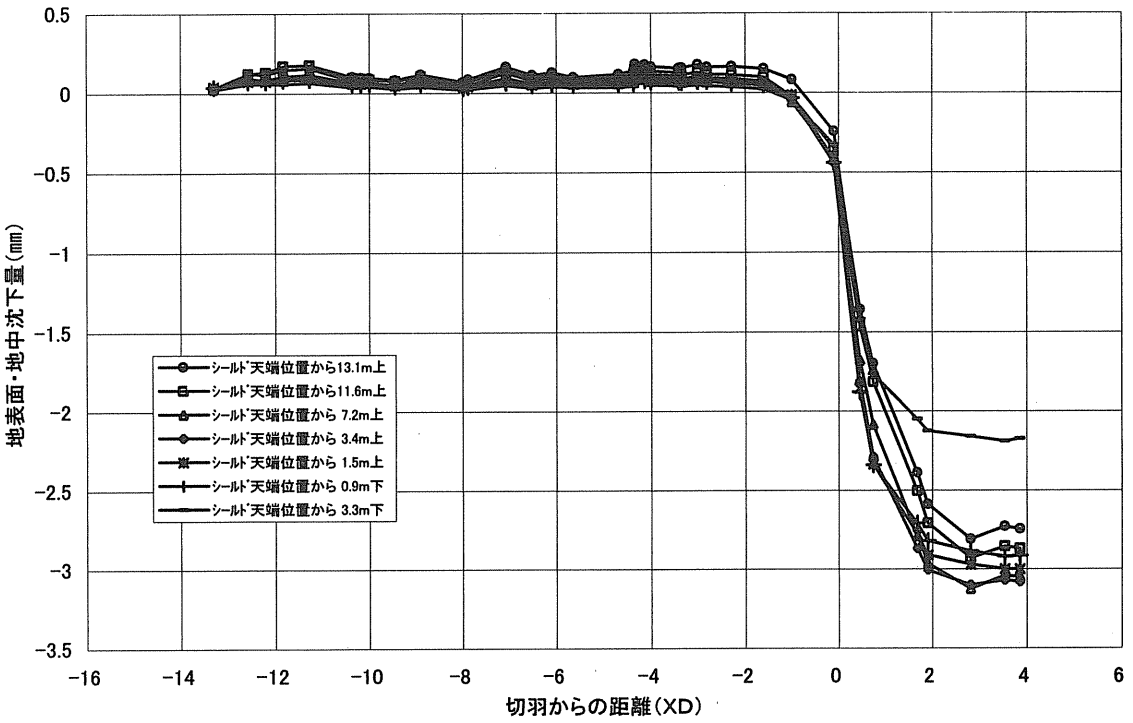
図－３．２３(4)　切羽進行に伴う地表面・地中沈下量（計測断面②　側線２西５m）



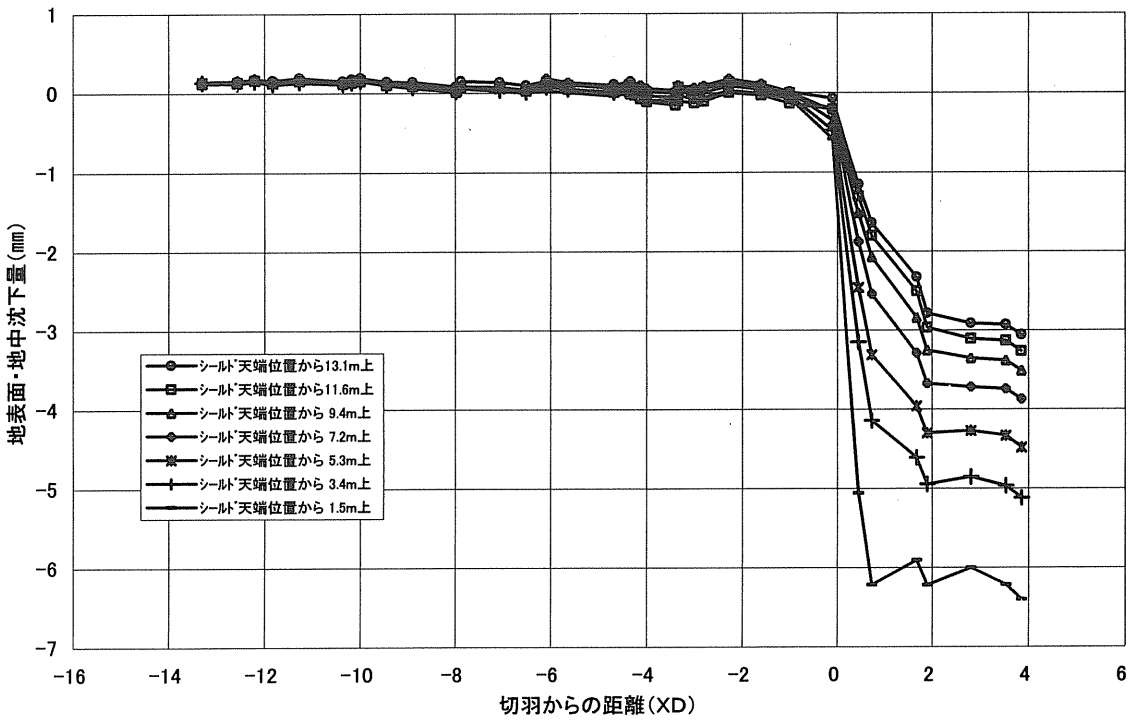
図－３．２３(5)　切羽進行に伴う地表面・地中沈下量（計測断面②　側線２西８m）



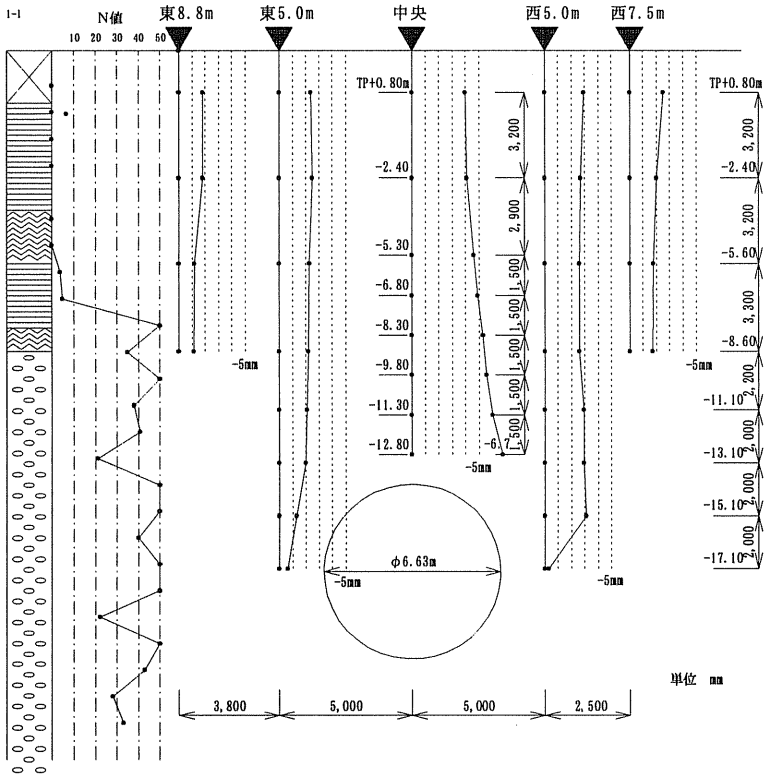
図－３．２３(6)　切羽進行に伴う地表面・地中沈下量（計測断面②　側線２中央）



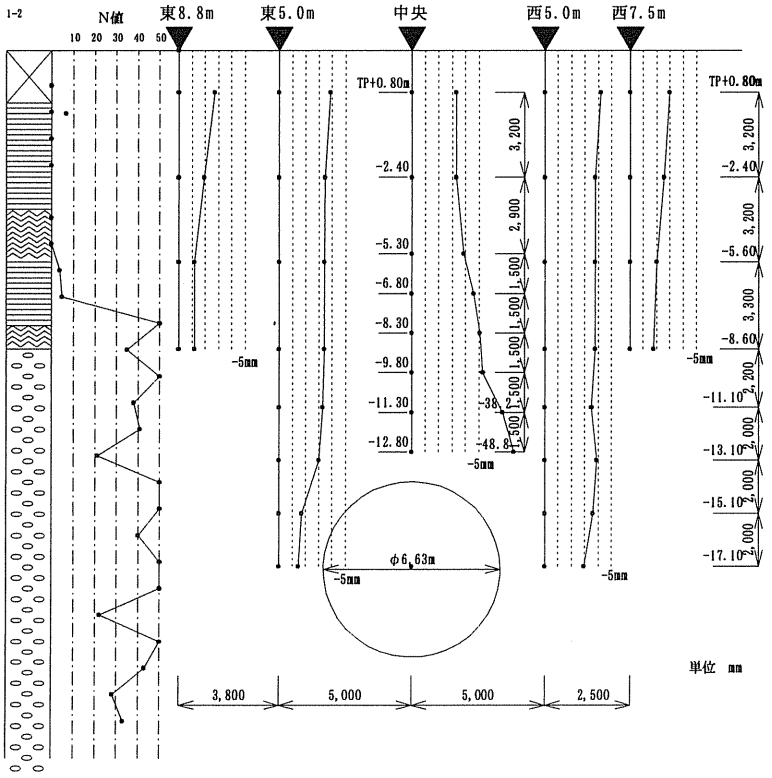
図－３．２３(7)　切羽進行に伴う地表面・地中沈下量（計測断面②　側線３西５m）



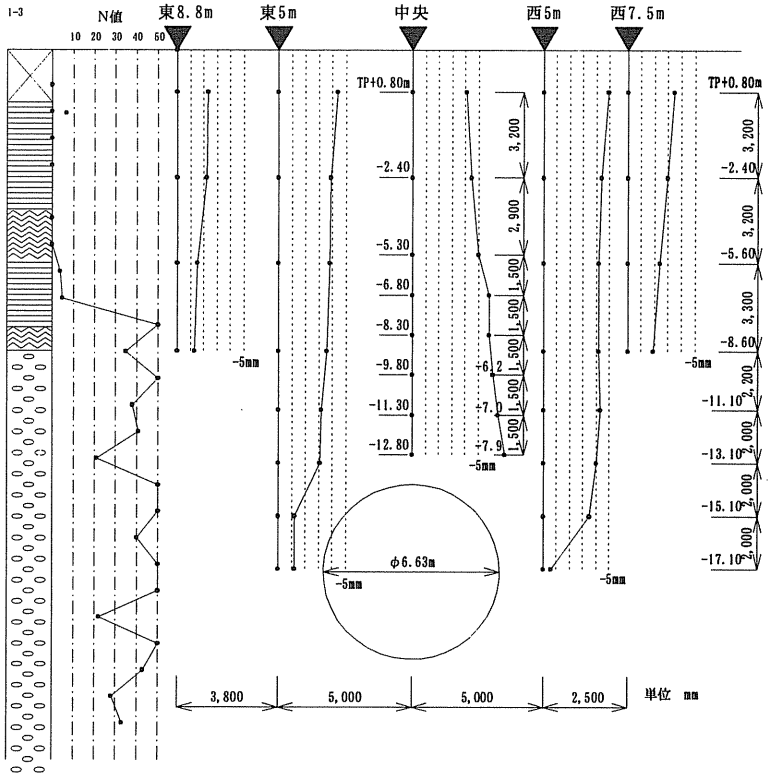
図－３．２３(8)　切羽進行に伴う地表面・地中沈下量（計測断面②　側線３中央）



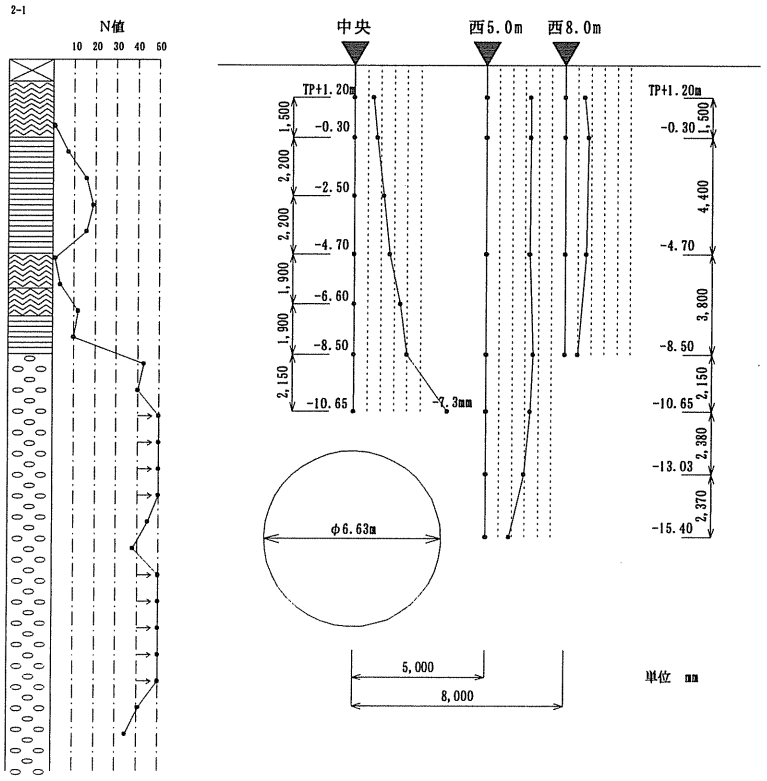
図－３．２４(1)　地表面・地中沈下量の最終沈下量（計測断面①　側線１）



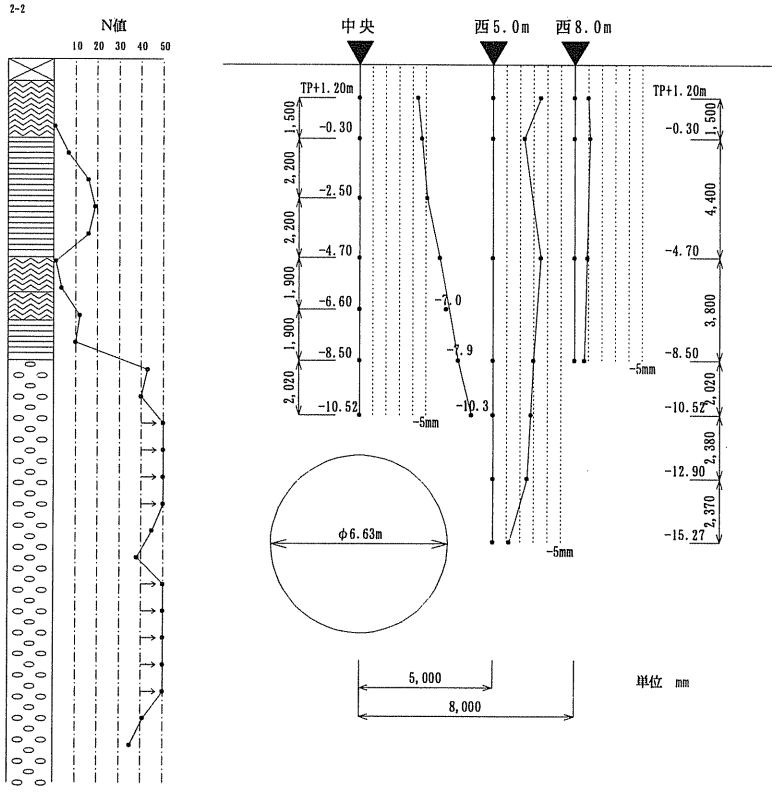
図－３．２４(2)　地表面・地中沈下量の最終沈下量（計測断面①　側線２）



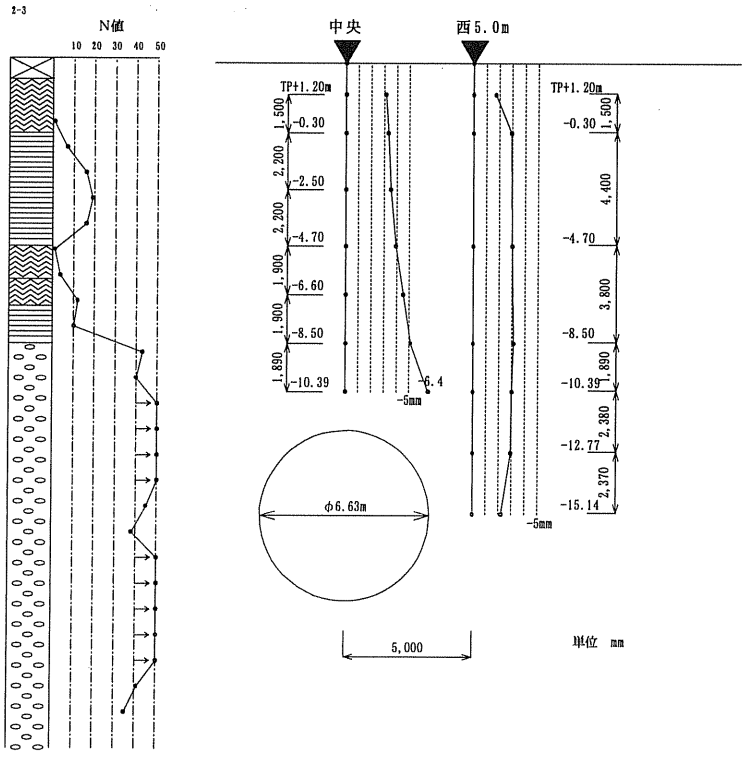
図－３．２４(3)　地表面・地中沈下量の最終沈下量（計測断面①　側線３）



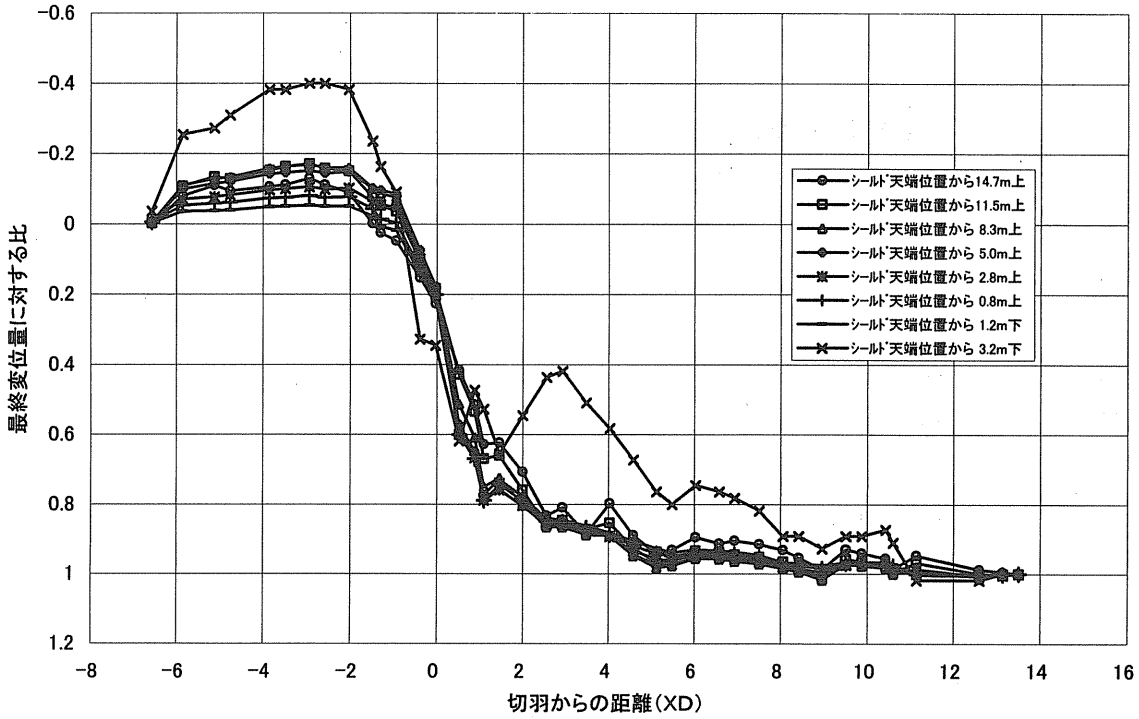
図－３．２５(1)　地表面・地中沈下量の最終沈下量（計測断面②　側線１）



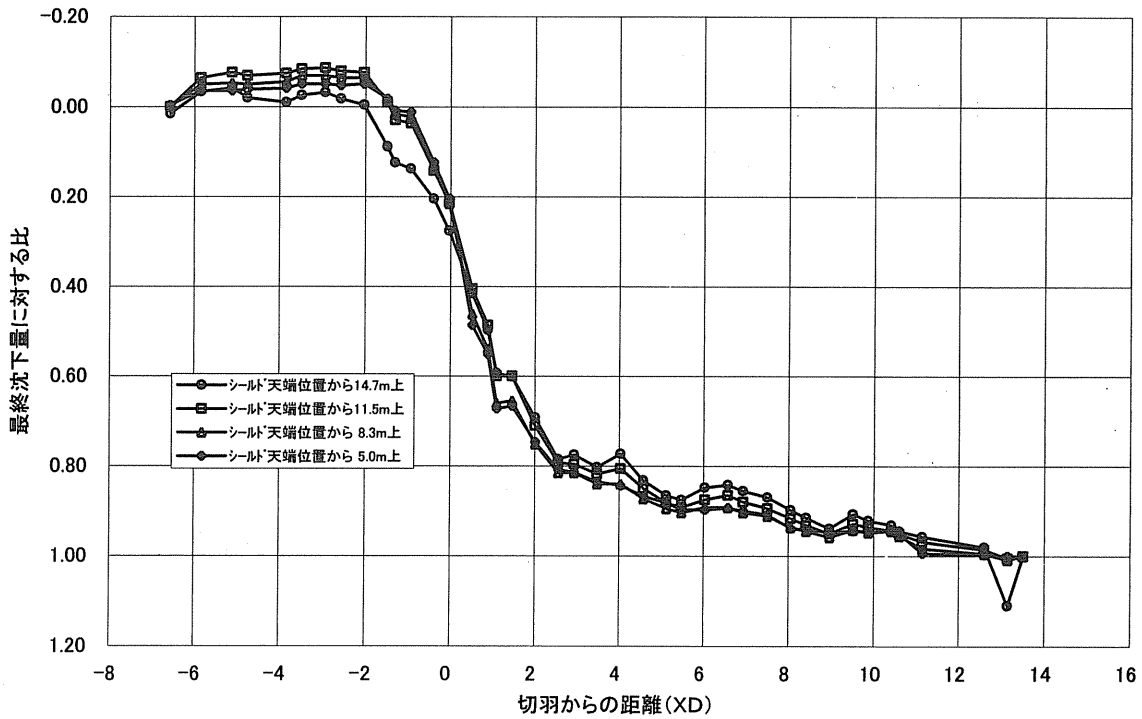
図－３．２５(2)　地表面・地中沈下量の最終沈下量（計測断面②　側線２）



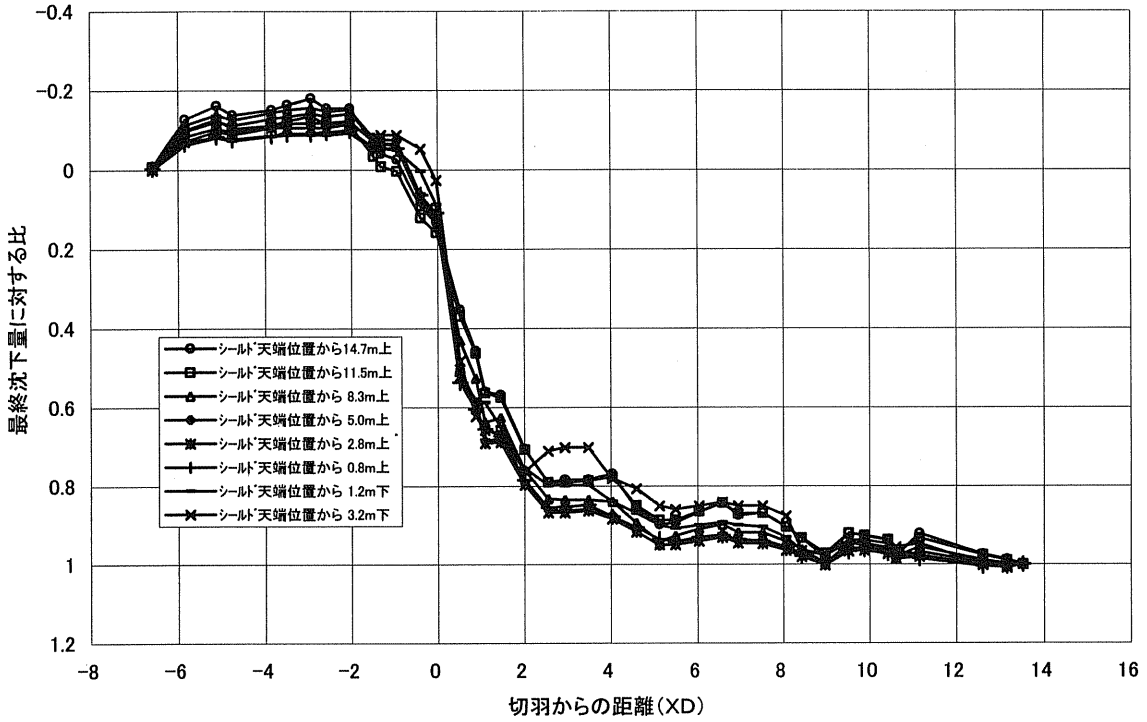
図－３．２５(3)　地表面・地中沈下量の最終沈下量（計測断面②　側線３）



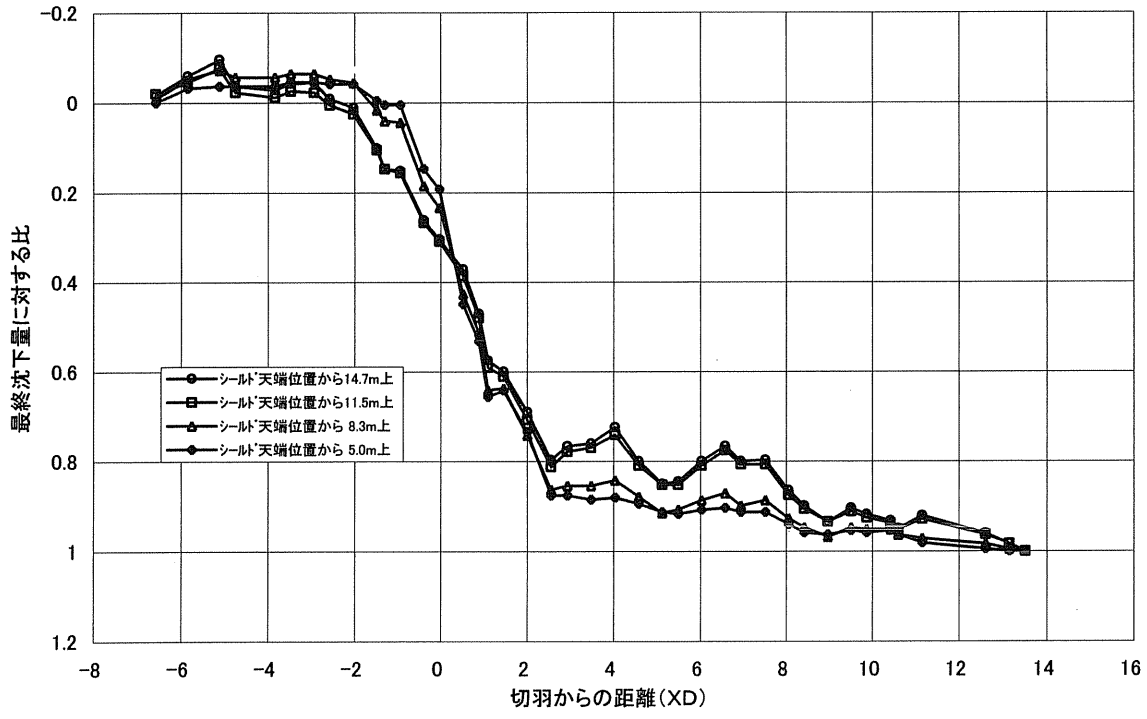
図－３．２６(1)　地表面・地中沈下量の最終沈下量との比（計測断面①　側線１西５m）



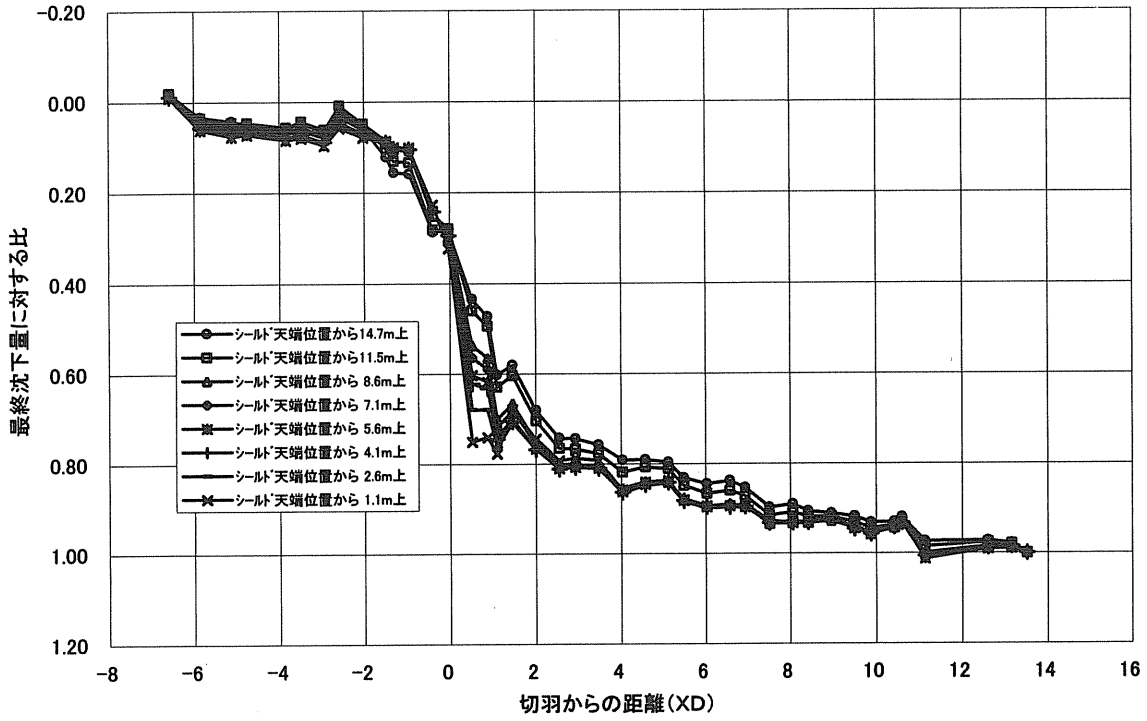
図－３．２６(2)　地表面･地中沈下量の最終沈下量との比（計測断面①　側線１西7.5m）



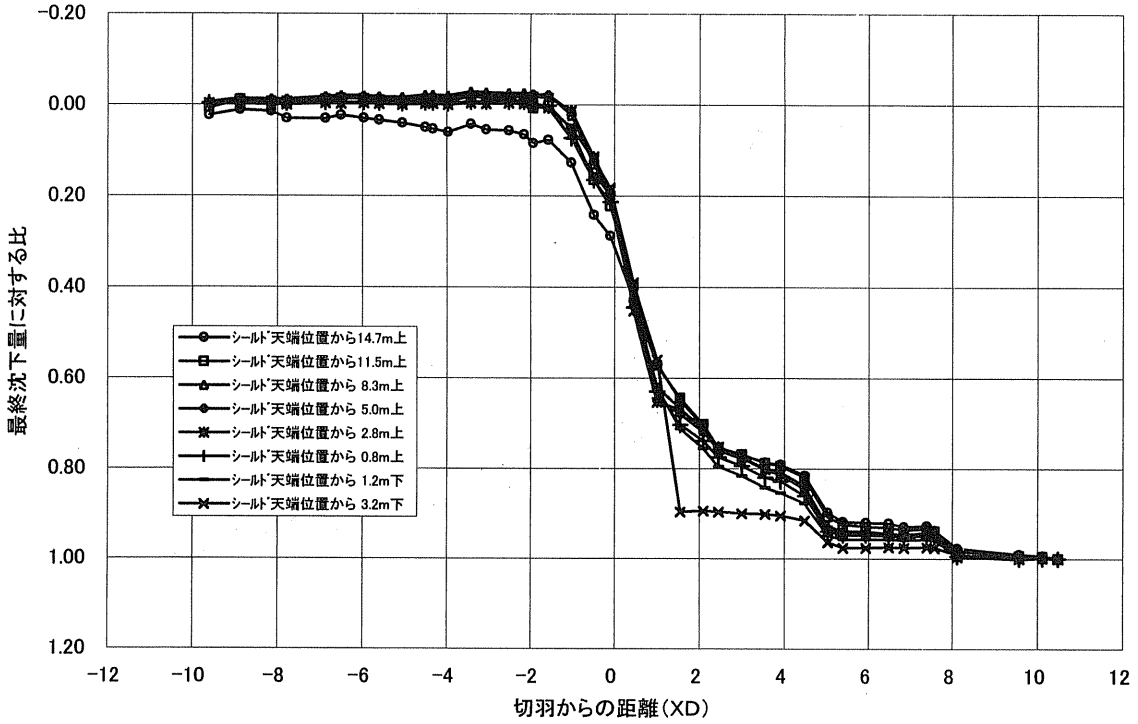
図－３．２６(3)　地表面・地中沈下量の最終沈下量との比（計測断面①　側線１東５m）



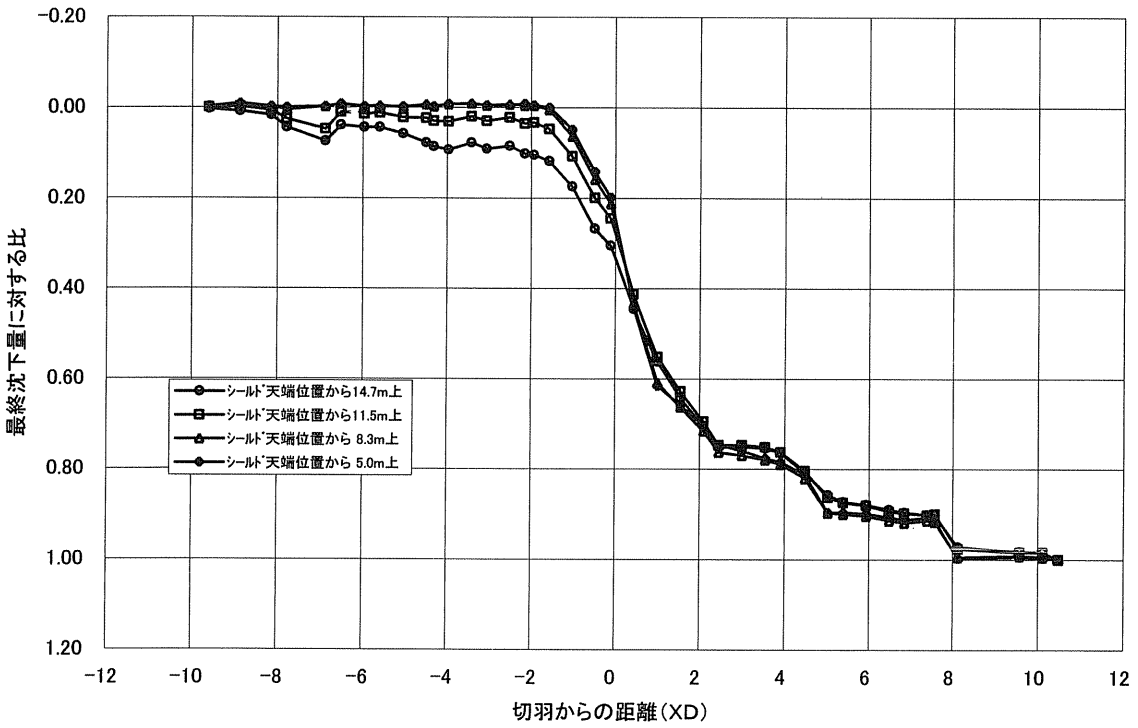
図－３．２６(4)　地表面・地中沈下量の最終沈下量との比（計測断面①　側線１東8.8m）



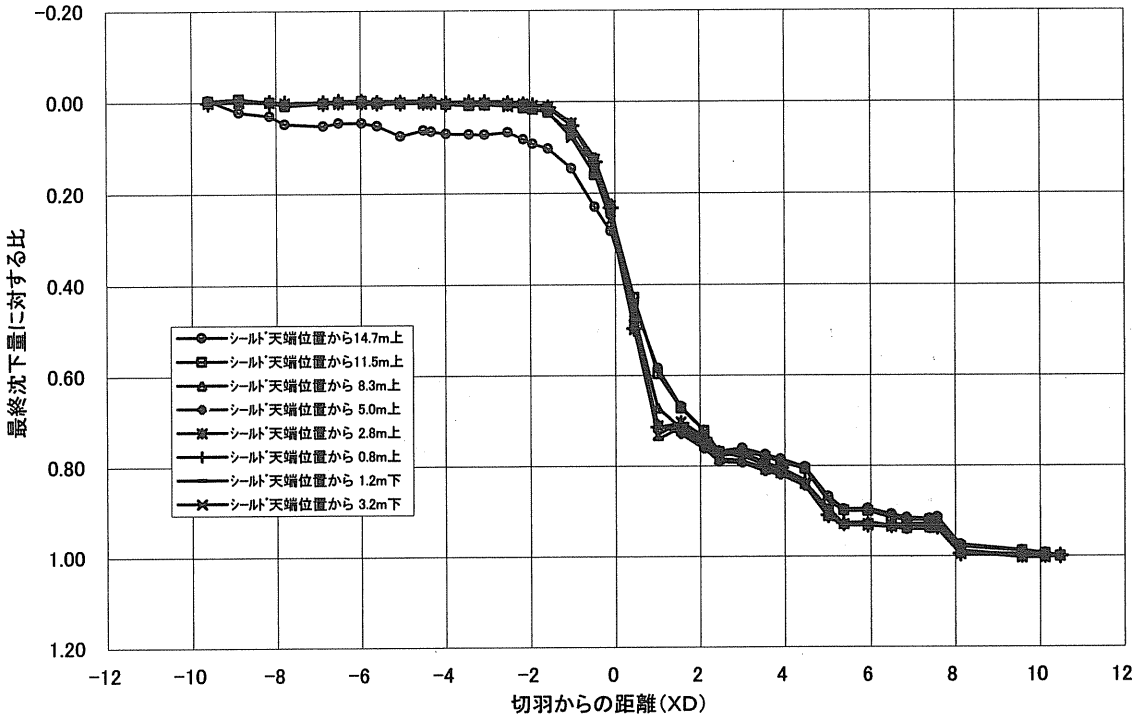
図－３．２６(5)　地表面・地中沈下量の最終沈下量との比（計測断面①　側線１中央）



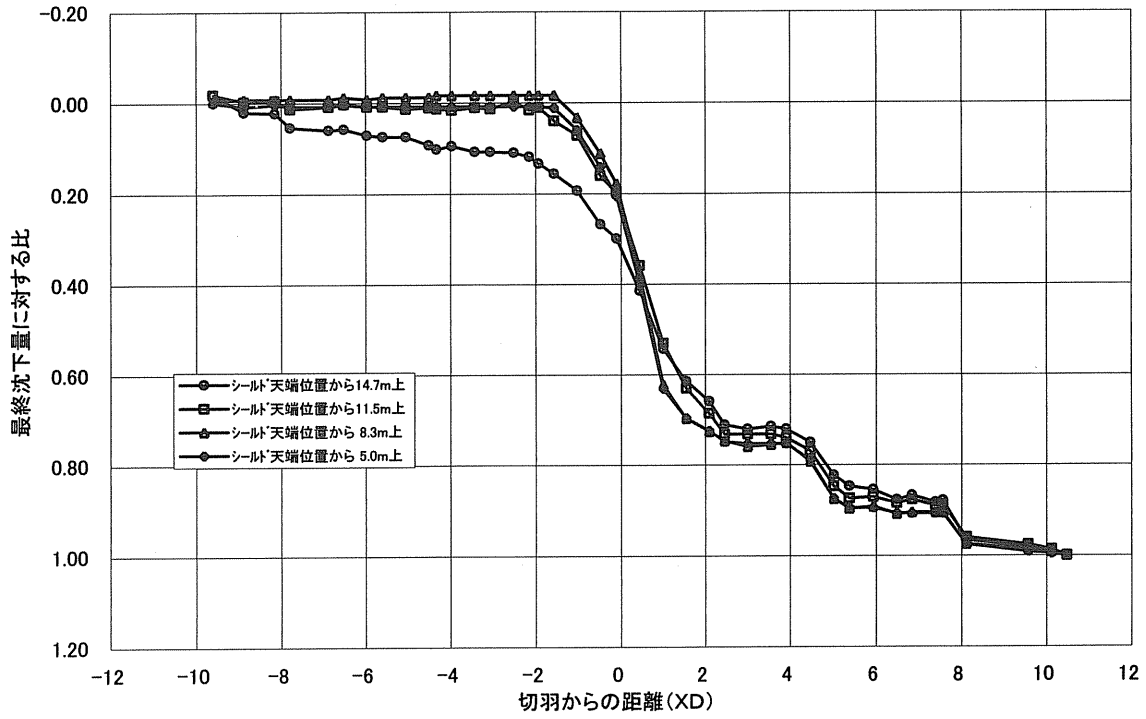
図－３．２６(6)　地表面・地中沈下量の最終沈下量との比（計測断面①　側線２西５m）



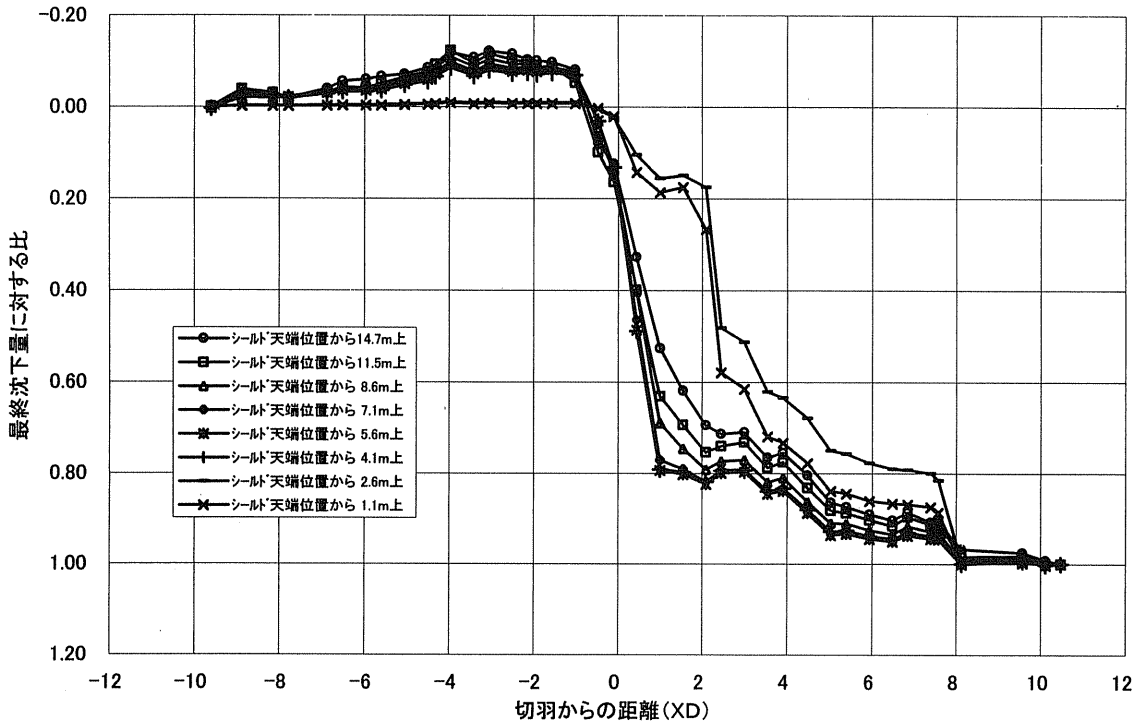
図－３．２６(7)　地表面・地中沈下量の最終沈下量との比（計測断面①　側線２西7.5m）



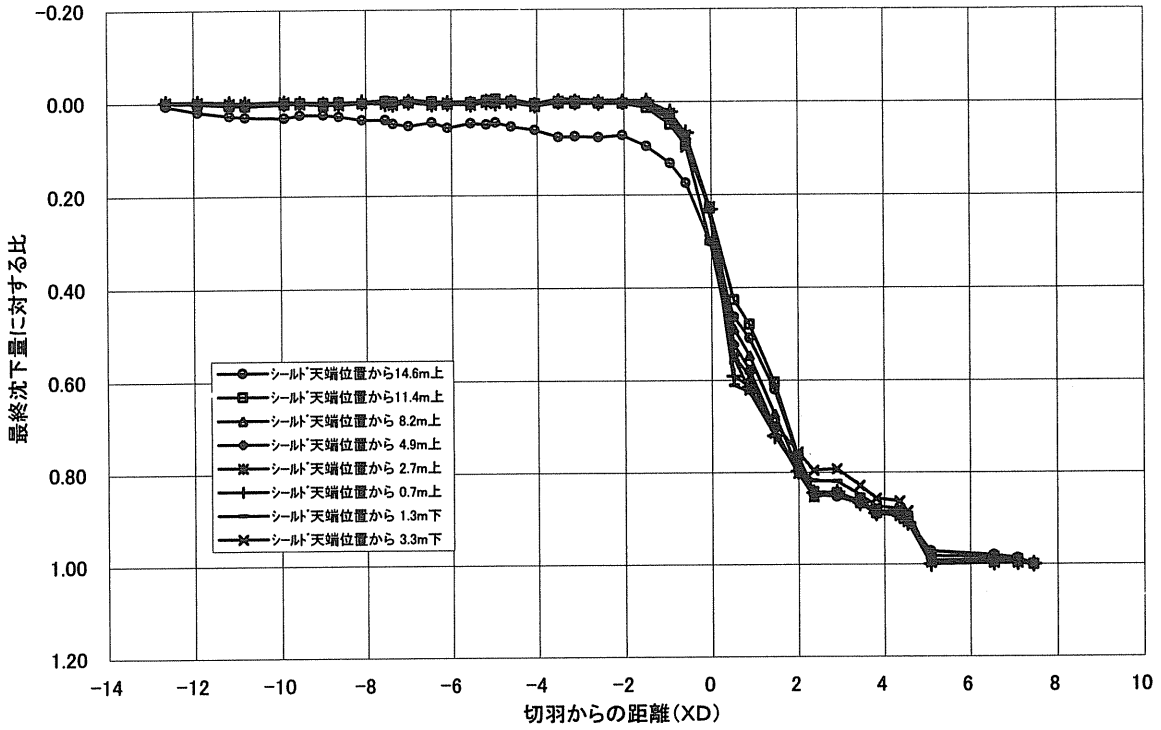
図－３．２６(8)　地表面・地中沈下量の最終沈下量との比（計測断面①　側線２東５m）



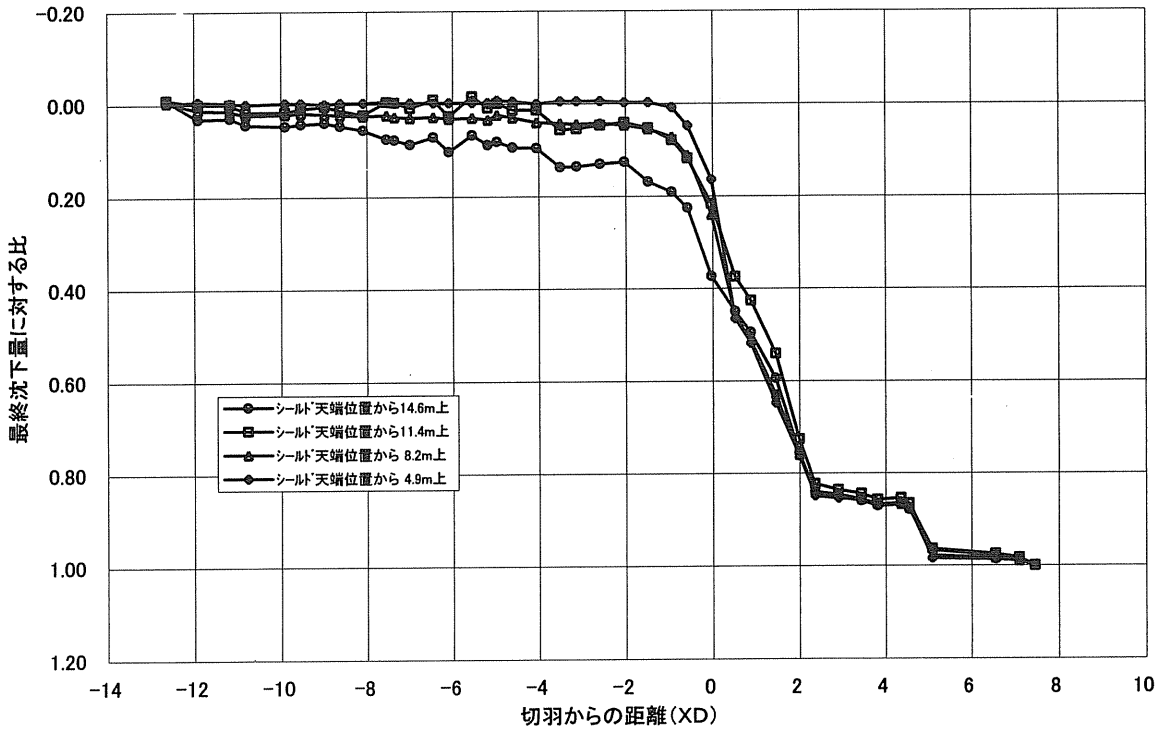
図－３．２６(9)　地表面・地中沈下量の最終沈下量との比（計測断面①　側線２東8.8m）



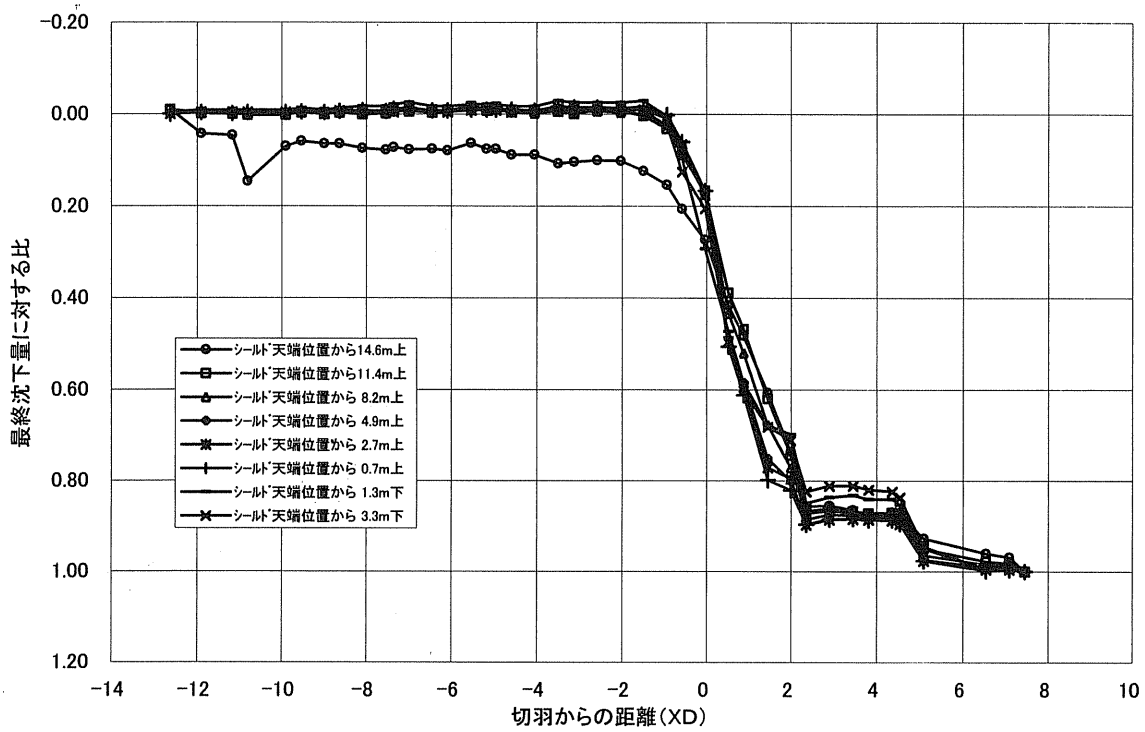
図－３．２６(10)　地表面・地中沈下量の最終沈下量との比（計測断面①　側線２中央）



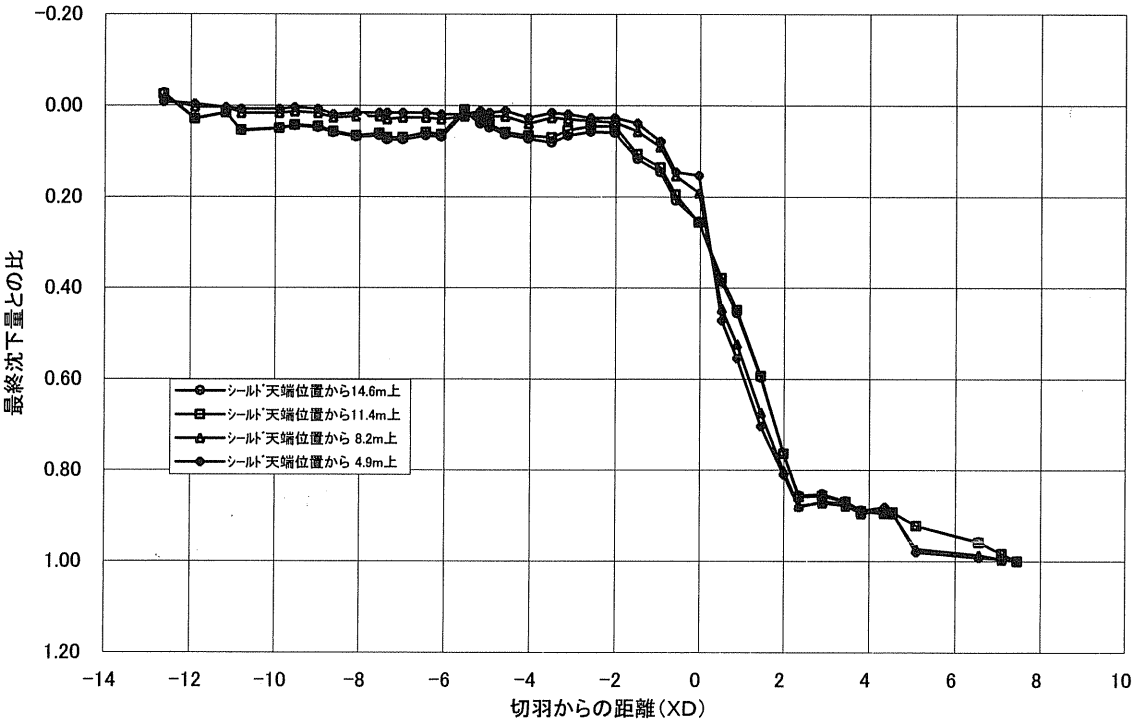
図－３．２６(11)　地表面・地中沈下量の最終沈下量との比（計測断面①　側線３西５m）



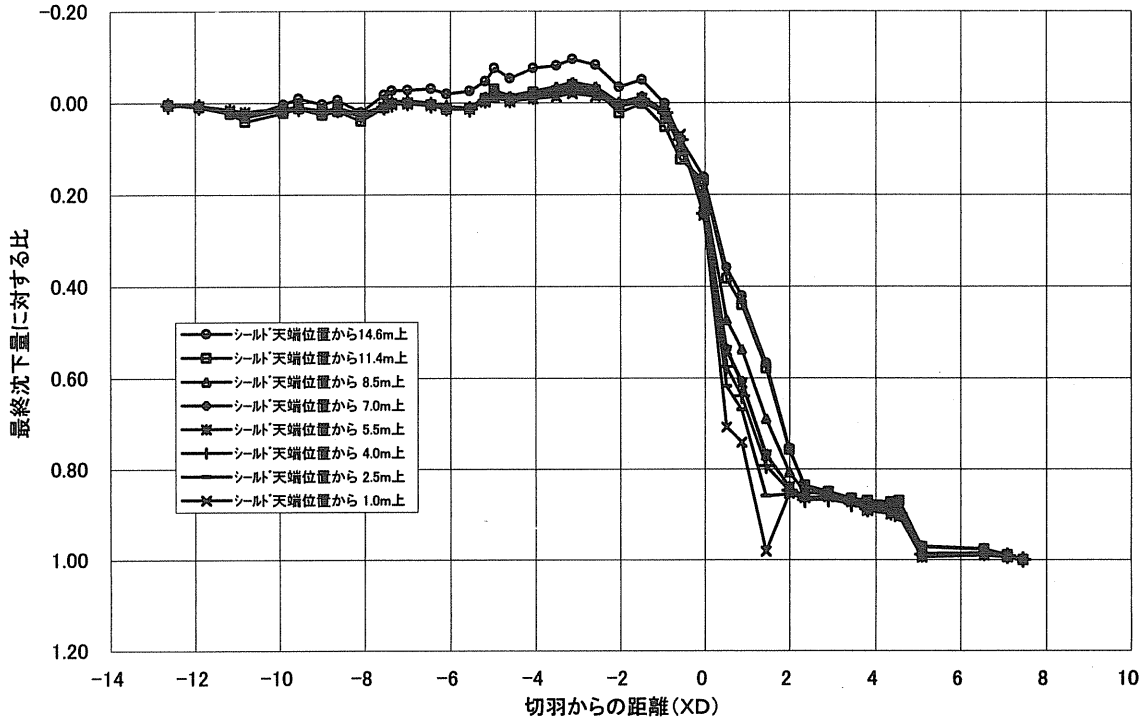
図－３．２６(12)　地表面・地中沈下量の最終沈下量との比（計測断面①　側線３西7.5m）



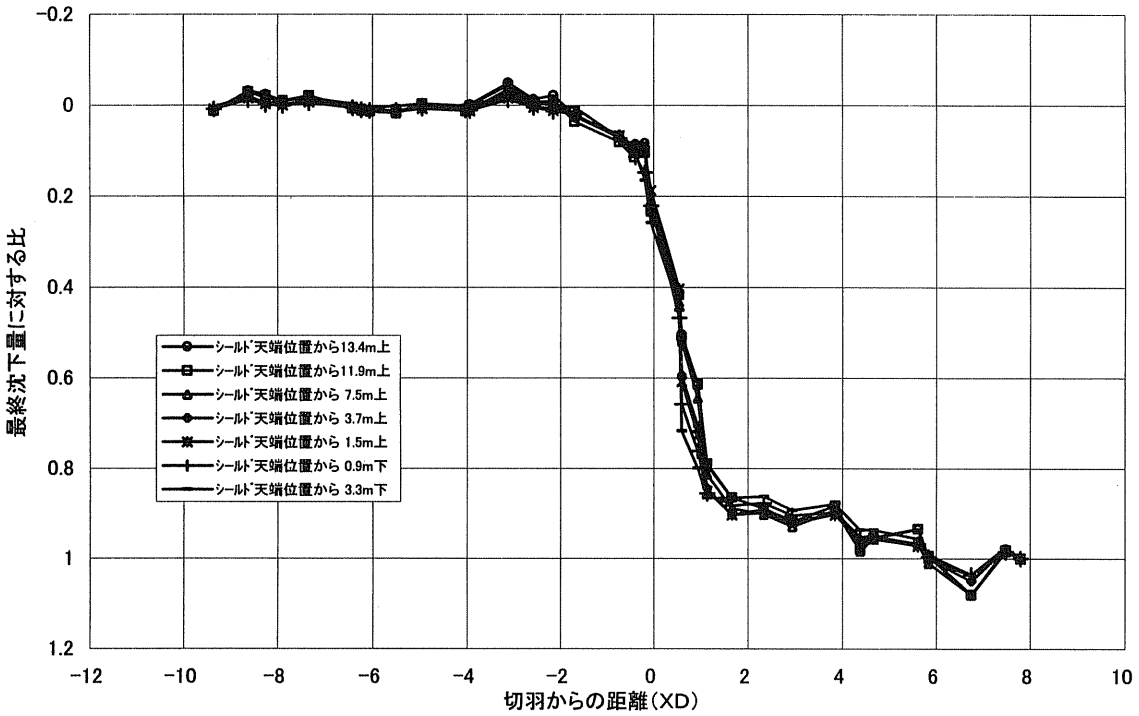
図－３．２６(13)　地表面・地中沈下量の最終沈下量との比（計測断面①　側線３東５m）



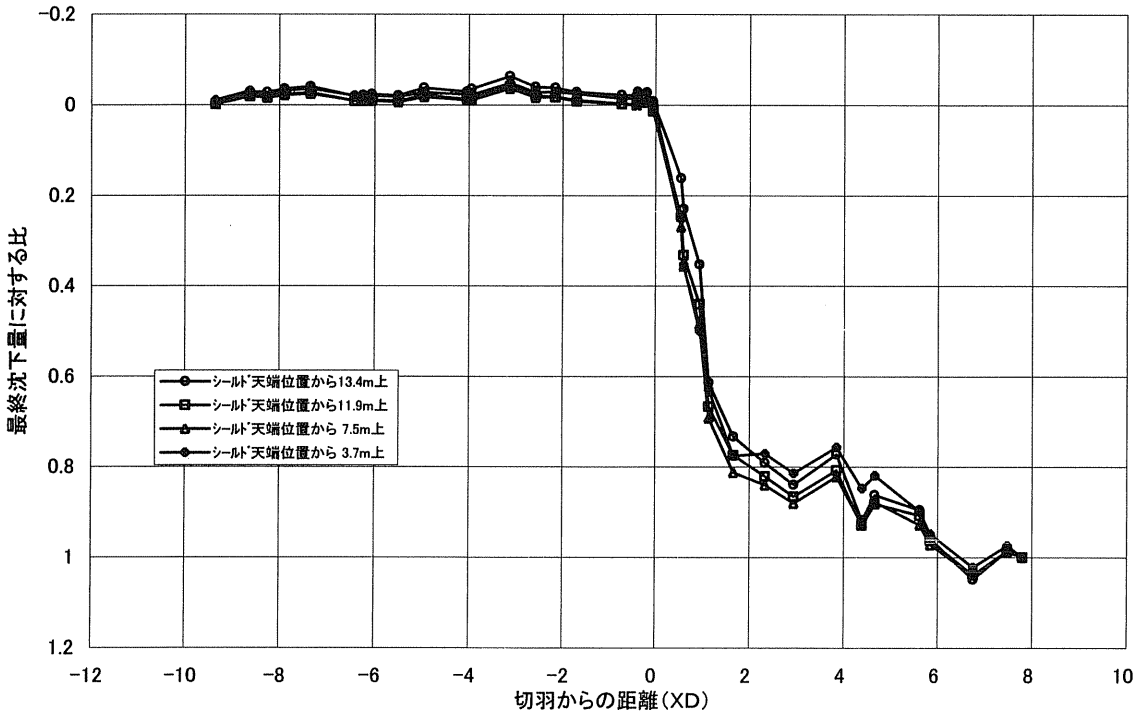
図－３．２６(14)　地表面・地中沈下量の最終沈下量との比（計測断面①　側線３東8.8m）



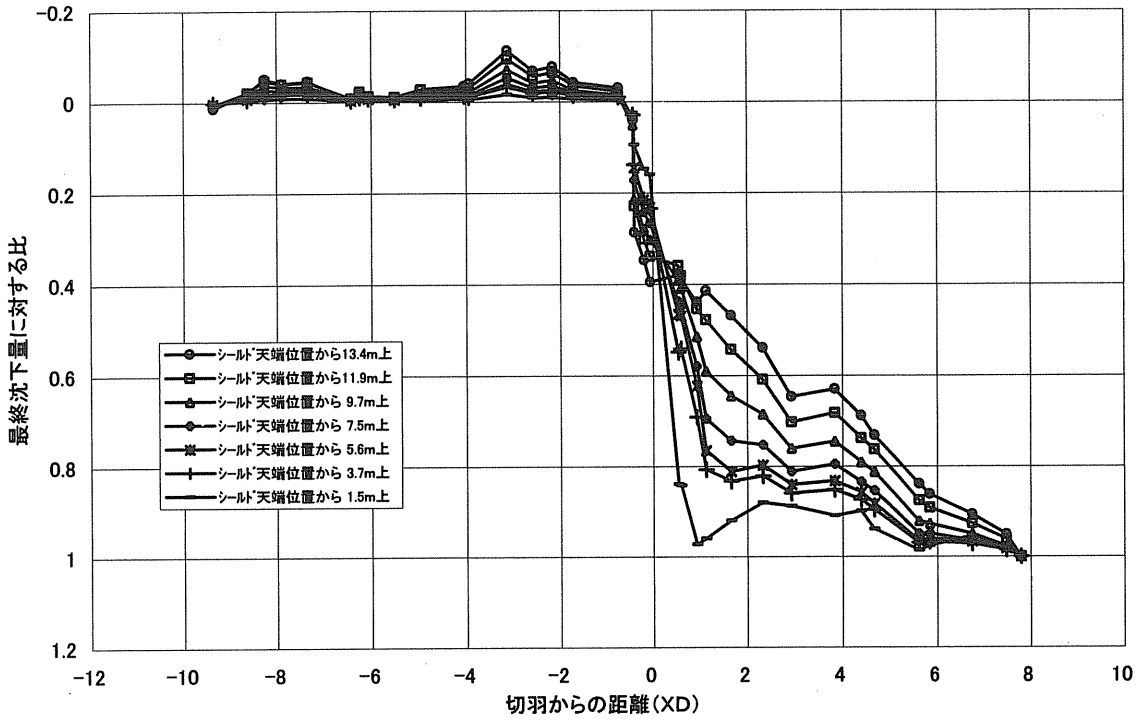
図－３．２６(15)　地表面・地中沈下量の最終沈下量との比（計測断面①　側線３中央）



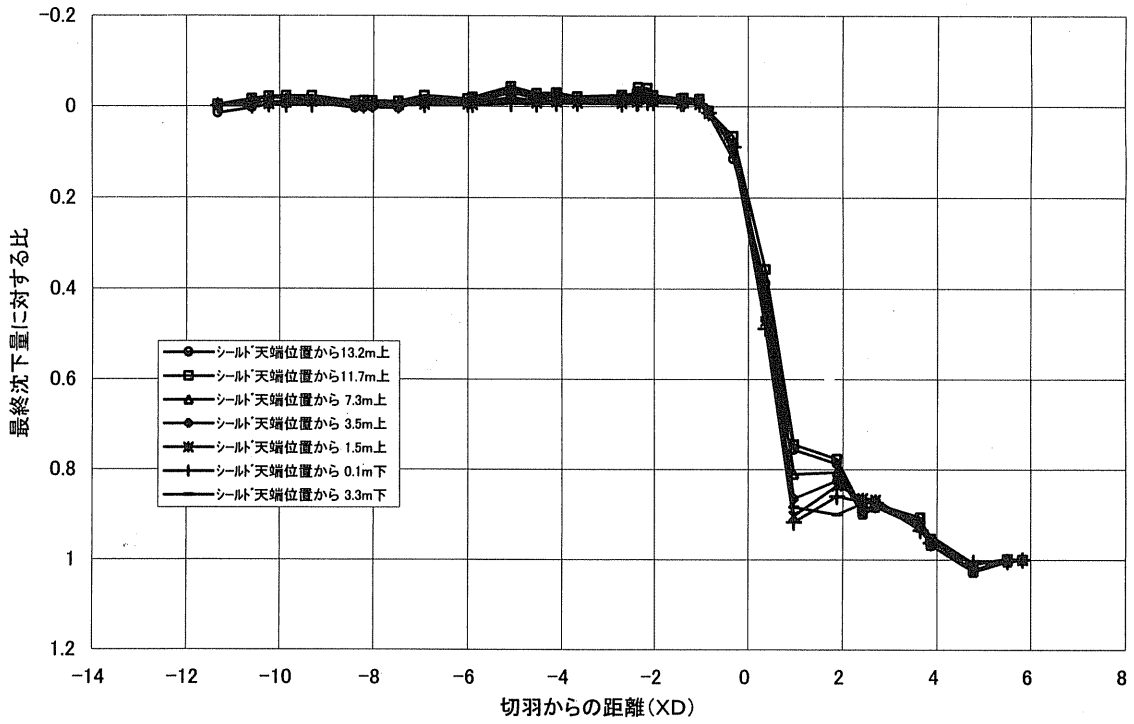
図－３．２７(1)　地表面・地中沈下量の最終沈下量との比（計測断面②　側線１西５m）



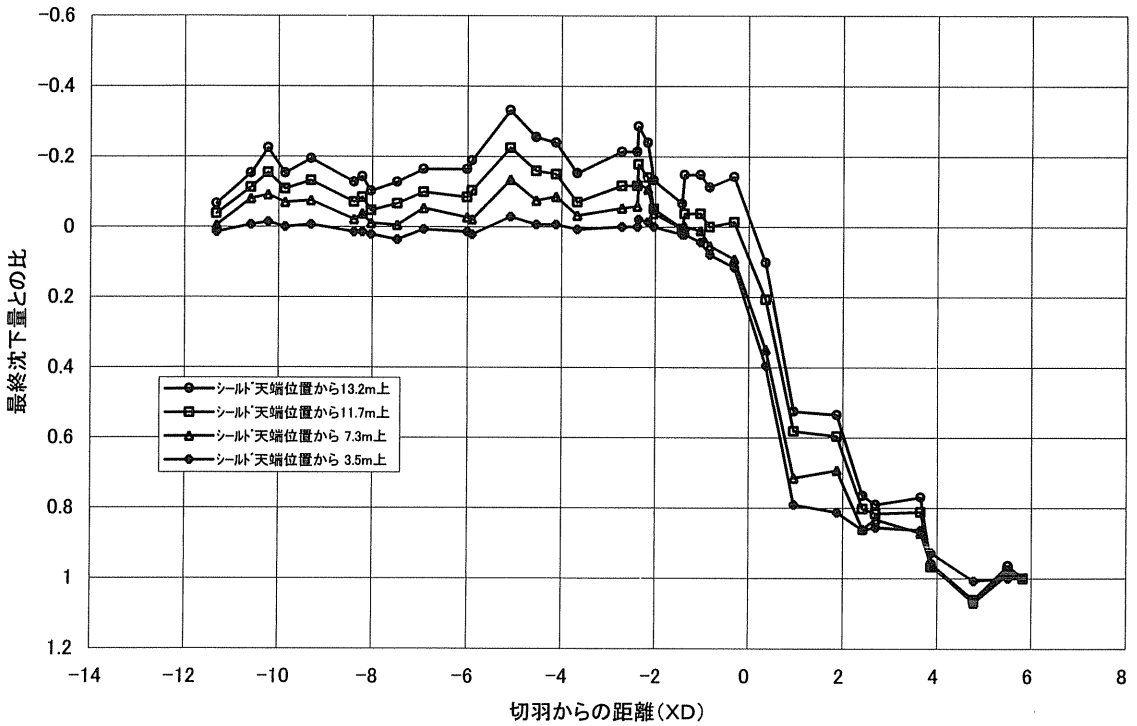
図－３．２７(2)　地表面・地中沈下量の最終沈下量との比（計測断面②　側線１西８m）



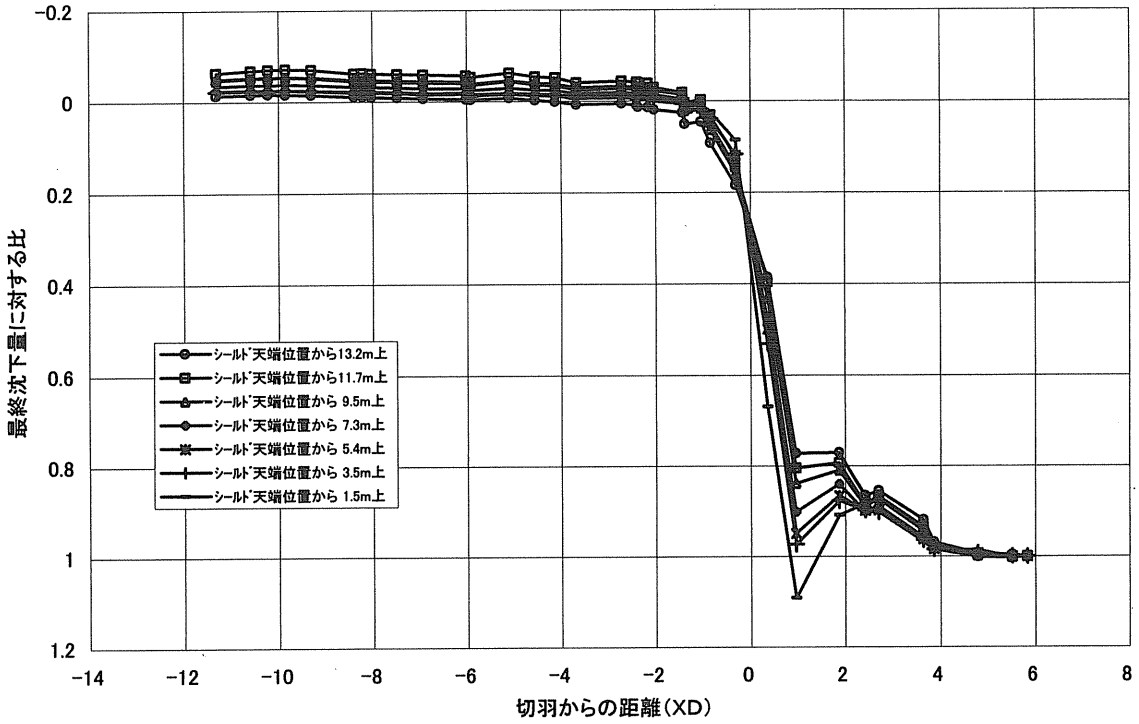
図－３．２７(3)　地表面・地中沈下量の最終沈下量との比（計測断面②　側線１中央）



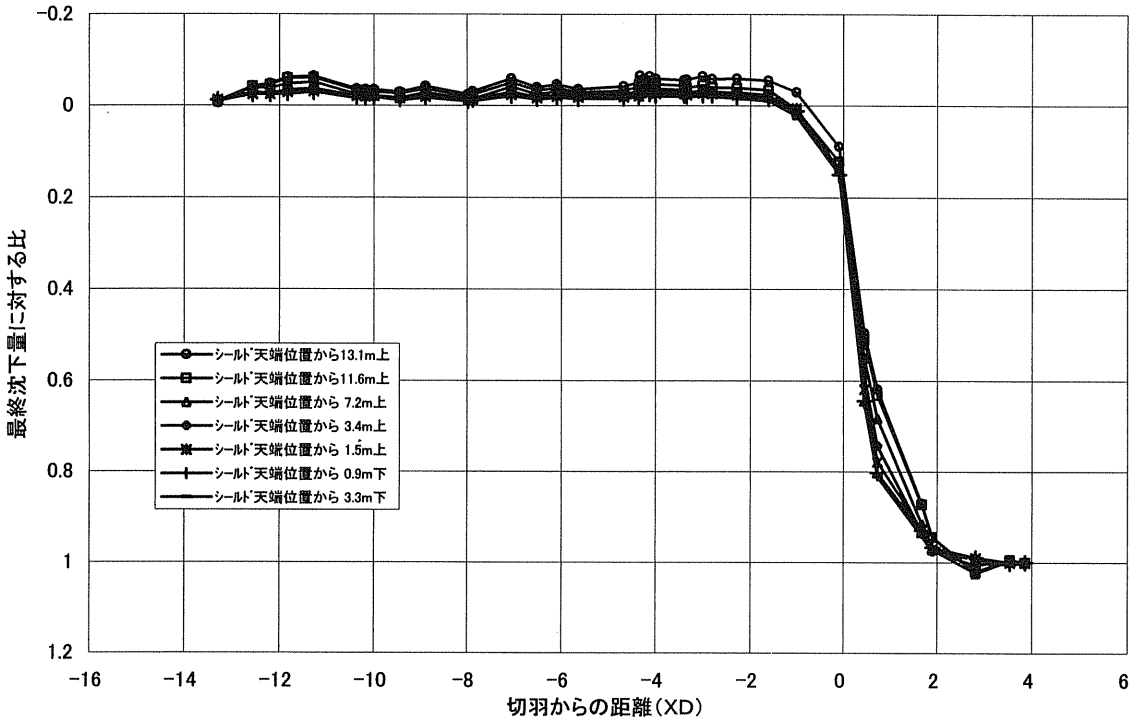
図－３．２７(4)　地表面・地中沈下量の最終沈下量との比（計測断面②　側線２西５m）



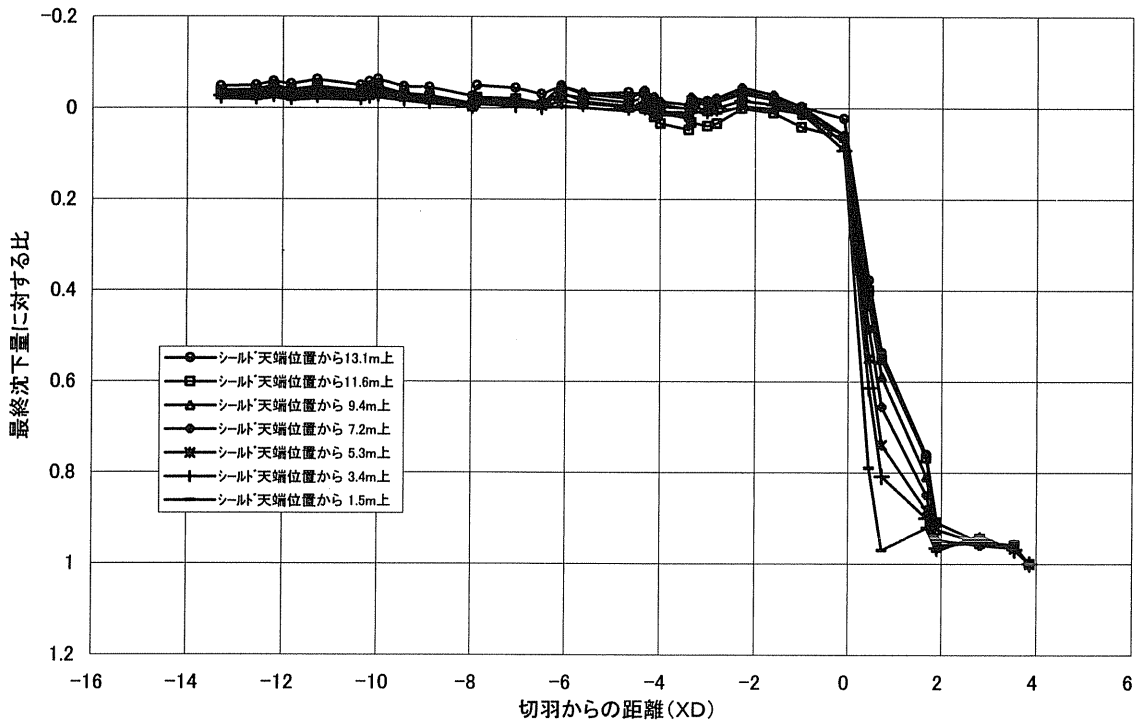
図－３．２７(5)　地表面・地中沈下量の最終沈下量との比（計測断面②　側線２西８m）



図－３．２７(6)　地表面・地中沈下量の最終沈下量との比（計測断面②　側線２中央）



図－３．２７(7)　地表面・地中沈下量の最終沈下量との比（計測断面②　側線３西５ｍ）



図－３．２７(8)　地表面・地中沈下量の最終沈下量に対する比（計測断面②　側線３中央）

表－３．１０(1)　岡南共同溝シールドの変位計測データの最終沈下量･切羽位置での沈下量一覧表(計測断面１　側線１)

岡南共同溝シールド　計測断面1　側線1　鉛直変位計測データ(最終沈下量)（㎜）

計測断面1 側線1	NO. 1	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.3m上	天端位置から5.0m上	天端位置から2.8m上	天端位置から0.8m上	天端位置から1.2m下	天端位置から3.2m下
	(トンネルより西へ5m)	-89.164	13.51	-2.9	-2.7	-2.6	-2.6	-2.9	-2.9	-3.1	-0.3
	NO. 2	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.3m上	天端位置から5.0m上				
	(トンネルより西へ7.5m)	-89.164	13.51	-2.5	-2.0	-1.8	-1.7				
	NO. 3	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.6m上	天端位置から7.1m上	天端位置から5.6m上	天端位置から4.1m上	天端位置から2.6m上	天端位置から1.1m上
	(トンネル中央)	-89.164	13.51	-4.0	-4.1	-4.6	-4.9	-5.3	-5.6	-6.2	-6.7
	NO. 4	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.3m上	天端位置から5.0m上	天端位置から2.8m上	天端位置から0.8m上	天端位置から1.2m下	天端位置から3.2m下
	(トンネルより東へ5m)	-89.164	13.51	-2.4	-2.5	-2.3	-2.2	-2.1	-2.0	-1.3	-0.6
	NO. 5	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.3m上	天端位置から5.0m上				
	(トンネルより東へ8.8m)	-89.164	13.51	-1.8	-1.8	-1.2	-1.1				

岡南共同溝シールド　計測断面1　側線1　鉛直変位計測データ(切羽位置沈下量)（㎜）

計測断面1 側線1	NO. 1	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.3m上	天端位置から5.0m上	天端位置から2.8m上	天端位置から0.8m上	天端位置から1.2m下	天端位置から3.2m下
	(トンネルより西へ5m)	0.193	-0.03	-0.7	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.1
	NO. 2	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.3m上	天端位置から5.0m上				
	(トンネルより西へ7.5m)	0.193	-0.03	-0.7	-0.4	-0.4	-0.3				
	NO. 3	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.6m上	天端位置から7.1m上	天端位置から5.6m上	天端位置から4.1m上	天端位置から2.6m上	天端位置から1.1m上
	(トンネル中央)	0.193	-0.03	-1.1	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6	-1.9	-2.2
	NO. 4	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.3m上	天端位置から5.0m上	天端位置から2.8m上	天端位置から0.8m上	天端位置から1.2m下	天端位置から3.2m下
	(トンネルより東へ5m)	0.193	-0.03	-0.3	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	-0.02
	NO. 5	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.3m上	天端位置から5.0m上				
	(トンネルより東へ8.8m)	0.193	-0.03	-0.5	-0.5	-0.3	-0.2				

岡南共同溝シールド　計測断面1　側線1　鉛直変位計測データ(切羽通過時最終沈下量との比)

計測断面1 側線1	NO. 1	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.3m上	天端位置から5.0m上	天端位置から2.8m上	天端位置から0.8m上	天端位置から1.2m下	天端位置から3.2m下
	(トンネルより西へ5m)	0.193	-0.03	0.227	0.184	0.183	0.177	0.191	0.200	0.214	0.345
	NO. 2	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.3m上	天端位置から5.0m上				
	(トンネルより西へ7.5m)	0.193	-0.03	0.276	0.214	0.215	0.204				
	NO. 3	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.6m上	天端位置から7.1m上	天端位置から5.6m上	天端位置から4.1m上	天端位置から2.6m上	天端位置から1.1m上
	(トンネル中央)	0.193	-0.03	0.282	0.279	0.277	0.280	0.288	0.294	0.308	0.323
	NO. 4	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.3m上	天端位置から5.0m上	天端位置から2.8m上	天端位置から0.8m上	天端位置から1.2m下	天端位置から3.2m下
	(トンネルより東へ5m)	0.193	-0.03	0.133	0.158	0.127	0.125	0.123	0.109	0.088	0.026
	NO. 5	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.3m上	天端位置から5.0m上				
	(トンネルより東へ8.8m)	0.193	-0.03	0.304	0.310	0.234	0.193				

表－３．１０(2)　岡南共同溝シールドの変位計測データの最終沈下量･切羽位置での沈下量一覧表(計測断面１　側線２)

岡南共同溝シールド　計測断面１　側線２　鉛直変位計測データ(最終沈下量)（㎜）

計測断面１側線２	NO. 1	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.3m上	天端位置から5.0m上	天端位置から2.8m上	天端位置から0.8m上	天端位置から1.2m下	天端位置から3.2m下
	(トンネルより西へ5m)	−69.164	10.48	−4.2	−3.8	−3.8	−3.8	−3.5	−3.9	−3.6	−2.9
	NO. 2	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.3m上	天端位置から5.0m上				
	(トンネルより西へ7.5m)	−69.164	10.48	−3.0	−2.6	−2.0	−1.8				
	NO. 3	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.6m上	天端位置から7.1m上	天端位置から5.6m上	天端位置から4.1m上	天端位置から2.6m上	天端位置から1.1m上
	(トンネル中央)	−69.164	10.48	−3.3	−3.3	−3.9	−4.6	−5.1	−5.3	−38.2	−48.8
	NO. 4	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.3m上	天端位置から5.0m上	天端位置から2.8m上	天端位置から0.8m上	天端位置から1.2m下	天端位置から3.2m下
	(トンネルより東へ5m)	−69.164	10.48	−3.9	−3.5	−3.4	−3.4	−3.3	−3.0	−1.7	−1.5
	NO. 5	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.3m上	天端位置から5.0m上				
	(トンネルより東へ8.8m)	−69.164	10.48	−2.7	−1.9	−1.2	−1.2				

岡南共同溝シールド　計測断面１　側線２　鉛直変位計測データ(切羽位置沈下量)（㎜）

計測断面１側線２	NO. 1	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.3m上	天端位置から5.0m上	天端位置から2.8m上	天端位置から0.8m上	天端位置から1.2m下	天端位置から3.2m下
	(トンネルより西へ5m)	0.679	−0.10	−1.2	−0.9	−0.8	−0.7	−0.6	−0.8	−0.7	−0.5
	NO. 2	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.3m上	天端位置から5.0m上				
	(トンネルより西へ7.5m)	0.679	−0.10	−0.9	−0.6	−0.4	−0.4				
	NO. 3	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.6m上	天端位置から7.1m上	天端位置から5.6m上	天端位置から4.1m上	天端位置から2.6m上	天端位置から1.1m上
	(トンネル中央)	0.679	−0.10	−0.4	−0.5	−0.5	−0.6	−0.7	−0.7	−0.9	−1.0
	NO. 4	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.3m上	天端位置から5.0m上	天端位置から2.8m上	天端位置から0.8m上	天端位置から1.2m下	天端位置から3.2m下
	(トンネルより東へ5m)	0.679	−0.10	−1.1	−0.8	−0.8	−0.8	−0.8	−0.7	−0.4	−0.40
	NO. 5	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.3m上	天端位置から5.0m上				
	(トンネルより東へ8.8m)	0.679	−0.10	−0.8	−0.4	−0.2	−0.3				

岡南共同溝シールド　計測断面１　側線２　鉛直変位計測データ(切羽通過時最終沈下量との比)

計測断面１側線２	NO. 1	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.3m上	天端位置から5.0m上	天端位置から2.8m上	天端位置から0.8m上	天端位置から1.2m下	天端位置から3.2m下
	(トンネルより西へ5m)	0.679	−0.10	0.288	0.222	0.199	0.192	0.188	0.213	0.198	0.182
	NO. 2	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.3m上	天端位置から5.0m上				
	(トンネルより西へ7.5m)	0.679	−0.10	0.305	0.245	0.213	0.199				
	NO. 3	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.6m上	天端位置から7.1m上	天端位置から5.6m上	天端位置から4.1m上	天端位置から2.6m上	天端位置から1.1m上
	(トンネル中央)	0.679	−0.10	0.124	0.164	0.140	0.133	0.133	0.132	0.024	0.020
	NO. 4	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.3m上	天端位置から5.0m上	天端位置から2.8m上	天端位置から0.8m上	天端位置から1.2m下	天端位置から3.2m下
	(トンネルより東へ5m)	0.679	−0.10	0.284	0.236	0.223	0.223	0.227	0.233	0.229	0.259
	NO. 5	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.7m上	天端位置から11.5m上	天端位置から8.3m上	天端位置から5.0m上				
	(トンネルより東へ8.8m)	0.679	−0.10	0.300	0.198	0.178	0.206				

表－３．１０(3)　岡南共同溝シールドの変位計測データの最終沈下量･切羽位置での沈下量一覧表(計測断面１　側線３)

岡南共同溝シールド　計測断面1　側線3　鉛直変位計測データ(最終沈下量)（㎜）

計測断面1 側線3	NO. 1	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.6m上	天端位置から11.4m上	天端位置から8.2m上	天端位置から4.9m上	天端位置から2.7m上	天端位置から0.7m上	天端位置から1.3m下	天端位置から3.3m下
	(トンネルより西へ5m)	-49.164	7.45	-4.9	-4.4	-4.2	-4.2	-4.3	-4.0	-3.5	-1.6
	NO. 2	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.6m上	天端位置から11.4m上	天端位置から8.2m上	天端位置から4.9m上				
	(トンネルより西へ7.5m)	-49.164	7.45	-3.5	-3.0	-2.4	-1.9				
	NO. 3	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.6m上	天端位置から11.4m上	天端位置から8.5m上	天端位置から7.0m上	天端位置から5.5m上	天端位置から4.0m上	天端位置から2.5m上	天端位置から1.0m上
	(トンネル中央)	-49.164	7.45	-4.1	-4.5	-5.0	-5.8	-5.8	-6.2	-7.0	-7.9
	NO. 4	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.6m上	天端位置から11.4m上	天端位置から8.2m上	天端位置から4.9m上	天端位置から2.7m上	天端位置から0.7m上	天端位置から1.3m下	天端位置から3.3m下
	(トンネルより東へ5m)	-49.164	7.45	-4.4	-3.9	-3.8	-3.6	-3.2	-3.1	-1.2	-1.2
	NO. 5	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.6m上	天端位置から11.4m上	天端位置から8.2m上	天端位置から4.9m上				
	(トンネルより東へ8.8m)	-49.164	7.45	-2.3	-2.2	-1.5	-1.3				

岡南共同溝シールド　計測断面1　側線3　鉛直変位計測データ(切羽位置沈下量)（㎜）

計測断面1 側線3	NO. 1	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.6m上	天端位置から11.4m上	天端位置から8.2m上	天端位置から4.9m上	天端位置から2.7m上	天端位置から0.7m上	天端位置から1.3m下	天端位置から3.3m下
	(トンネルより西へ5m)	0.215	-0.03	-1.5	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-0.9	-0.8	-0.5
	NO. 2	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.6m上	天端位置から11.4m上	天端位置から8.2m上	天端位置から4.9m上				
	(トンネルより西へ7.5m)	0.215	-0.03	-1.3	-0.7	-0.6	-0.3				
	NO. 3	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.6m上	天端位置から11.4m上	天端位置から8.5m上	天端位置から7.0m上	天端位置から5.5m上	天端位置から4.0m上	天端位置から2.5m上	天端位置から1.0m上
	(トンネル中央)	0.215	-0.03	-0.7	-0.8	-1.0	-1.3	-1.4	-1.5	-1.7	-1.9
	NO. 4	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.6m上	天端位置から11.4m上	天端位置から8.2m上	天端位置から4.9m上	天端位置から2.7m上	天端位置から0.7m上	天端位置から1.3m下	天端位置から3.3m下
	(トンネルより東へ5m)	0.215	-0.03	-1.2	-0.6	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2
	NO. 5	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.6m上	天端位置から11.4m上	天端位置から8.2m上	天端位置から4.9m上				
	(トンネルより東へ8.8m)	0.215	-0.03	-0.6	-0.6	-0.3	-0.2				

岡南共同溝シールド　計測断面1　側線3　鉛直変位計測データ(切羽通過時最終沈下量との比)

計測断面1 側線3	NO. 1	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.6m上	天端位置から11.4m上	天端位置から8.2m上	天端位置から4.9m上	天端位置から2.7m上	天端位置から0.7m上	天端位置から1.3m下	天端位置から3.3m下
	(トンネルより西へ5m)	0.215	-0.03	0.300	0.230	0.229	0.226	0.226	0.232	0.235	0.297
	NO. 2	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.6m上	天端位置から11.4m上	天端位置から8.2m上	天端位置から4.9m上				
	(トンネルより西へ7.5m)	0.215	-0.03	0.374	0.216	0.240	0.164				
	NO. 3	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.6m上	天端位置から11.4m上	天端位置から8.5m上	天端位置から7.0m上	天端位置から5.5m上	天端位置から4.0m上	天端位置から2.5m上	天端位置から1.0m上
	(トンネル中央)	0.215	-0.03	0.163	0.170	0.192	0.218	0.238	0.241	0.246	0.245
	NO. 4	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.6m上	天端位置から11.4m上	天端位置から8.2m上	天端位置から4.9m上	天端位置から2.7m上	天端位置から0.7m上	天端位置から1.3m下	天端位置から3.3m下
	(トンネルより東へ5m)	0.215	-0.03	0.273	0.167	0.174	0.172	0.176	0.167	0.293	0.205
	NO. 5	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から14.6m上	天端位置から11.4m上	天端位置から8.2m上	天端位置から4.9m上				
	(トンネルより東へ8.8m)	0.215	-0.03	0.254	0.256	0.191	0.154				

表－３．１０(4)　岡南共同溝シールドの変位計測データの最終沈下量･切羽位置での沈下量一覧表(計測断面２　側線１)

岡南共同溝シールド　計測断面2　側線1　鉛直変位計測データ(最終沈下量)（㎜）

計測断面2 側線1	NO. 1	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から13.4m上	天端位置から11.9m上	天端位置から7.5m上	天端位置から3.7m上	天端位置から1.5m上	天端位置から0.9m上	天端位置から3.3m下
	(トンネルより西へ5m)	−51.442	7.79	−3.4	−3.4	−3.3	−3.6	−3.4	−2.9	−1.8
	NO. 2	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から13.4m上	天端位置から11.9m上	天端位置から7.5m上	天端位置から3.7m上			
	(トンネルより西へ8m)	−51.442	7.79	−1.5	−1.8	−1.6	−1.0			
	NO. 3	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から13.4m上	天端位置から11.9m上	天端位置から9.7m上	天端位置から7.5m上	天端位置から5.6m上	天端位置から3.7m上	天端位置から1.5m上
	(トンネル中央)	−51.442	7.79	−1.4	−1.7	−2.1	−2.7	−3.5	−4.0	−7.3

岡南共同溝シールド　計測断面2　側線1　鉛直変位計測データ(切羽位置沈下量)（㎜）

計測断面2 側線1	NO. 1	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から13.4m上	天端位置から11.9m上	天端位置から7.5m上	天端位置から3.7m上	天端位置から1.5m上	天端位置から0.9m上	天端位置から3.3m下
	(トンネルより西へ5m)	0.4	−0.06	−0.7	−0.8	−0.7	−0.7	−0.6	−0.7	−0.5
	NO. 2	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から13.4m上	天端位置から11.9m上	天端位置から7.5m上	天端位置から3.7m上			
	(トンネルより西へ8m)	0.4	−0.06	0.01	−0.03	−0.02	0.000			
	NO. 3	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から13.4m上	天端位置から11.9m上	天端位置から9.7m上	天端位置から7.5m上	天端位置から5.6m上	天端位置から3.7m上	天端位置から1.5m上
	(トンネル中央)	0.4	−0.06	−0.6	−0.6	−0.6	−0.7	−0.8	−0.9	−1.2

岡南共同溝シールド　計測断面2　側線1　鉛直変位計測データ(切羽通過時最終沈下量との比)

計測断面2 側線1	NO. 1	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から13.4m上	天端位置から11.9m上	天端位置から7.5m上	天端位置から3.7m上	天端位置から1.5m上	天端位置から0.9m上	天端位置から3.3m下
	(トンネルより西へ5m)	0.4	−0.06	0.221	0.234	0.219	0.197	0.187	0.221	0.258
	NO. 2	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から13.4m上	天端位置から11.9m上	天端位置から7.5m上	天端位置から3.7m上			
	(トンネルより西へ7m)	0.4	−0.06	−0.008	0.014	0.012	0.000			
	NO. 3	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から13.4m上	天端位置から11.9m上	天端位置から9.7m上	天端位置から7.5m上	天端位置から5.6m上	天端位置から3.7m上	天端位置から1.5m上
	(トンネル中央)	0.4	−0.06	0.395	0.338	0.302	0.267	0.231	0.234	0.159

表－３．１０(5)　岡南共同溝シールドの変位計測データの最終沈下量･切羽位置での沈下量一覧表(計測断面２　側線２)

岡南共同溝シールド　計測断面2　側線2　鉛直変位計測データ(最終沈下量)（㎜）

計測断面2 側線2	NO. 1	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から13.2m上	天端位置から11.7m上	天端位置から7.3m上	天端位置から3.5m上	天端位置から1.5m上	天端位置から0.1m上	天端位置から3.3m下
	(トンネルより西へ5m)	-38.442	5.82	-3.5	-3.3	-3.5	-3.0	-2.8	-2.5	-1.2
	NO. 2	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から13.2m上	天端位置から11.7m上	天端位置から7.3m上	天端位置から3.5m上			
	(トンネルより西へ8m)	-38.442	5.82	-1.0	-1.1	-0.9	-0.7			
	NO. 3	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から13.2m上	天端位置から11.7m上	天端位置から9.5m上	天端位置から7.3m上	天端位置から5.4m上	天端位置から3.5m上	天端位置から1.5m上
	(トンネル中央)	-38.442	5.82	-4.4	-4.7	-5.1	-6.0	-7.0	-7.9	-10.3

岡南共同溝シールド　計測断面2　側線2　鉛直変位計測データ(切羽位置沈下量)（㎜）

計測断面2 側線2	NO. 1	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から13.2m上	天端位置から11.7m上	天端位置から7.3m上	天端位置から3.5m上	天端位置から1.5m上	天端位置から0.1m上	天端位置から3.3m下
	(トンネルより西へ5m)	2.061	-0.31	-0.4	-0.2	-0.3	-0.2	-0.3	-0.2	-0.1
	NO. 2	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から13.2m上	天端位置から11.7m上	天端位置から7.3m上	天端位置から3.5m上			
	(トンネルより西へ8m)	2.061	-0.31	0.1	0.0	-0.1	-0.1			
	NO. 3	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から13.2m上	天端位置から11.7m上	天端位置から9.5m上	天端位置から7.3m上	天端位置から5.4m上	天端位置から3.5m上	天端位置から1.5m上
	(トンネル中央)	2.061	-0.31	-0.8	-0.7	-0.8	-0.7	-0.8	-0.9	-0.9

岡南共同溝シールド　計測断面2　側線2　鉛直変位計測データ(切羽通過時最終沈下量との比)

計測断面2 側線2	NO. 1	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から13.2m上	天端位置から11.7m上	天端位置から7.3m上	天端位置から3.5m上	天端位置から1.5m上	天端位置から0.1m上	天端位置から3.3m下
	(トンネルより西へ5m)	2.061	-0.31	0.115	0.065	0.081	0.079	0.090	0.089	0.100
	NO. 2	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から13.2m上	天端位置から11.7m上	天端位置から7.3m上	天端位置から3.5m上			
	(トンネルより西へ7m)	2.061	-0.31	-0.143	-0.014	0.091	0.115			
	NO. 3	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から13.2m上	天端位置から11.7m上	天端位置から9.5m上	天端位置から7.3m上	天端位置から5.4m上	天端位置から3.5m上	天端位置から1.5m上
	(トンネル中央)	2.061	-0.31	0.185	0.145	0.159	0.122	0.119	0.117	0.085

表－３．１０(6)　岡南共同溝シールドの変位計測データの最終沈下量･切羽位置での沈下量一覧表(計測断面２　側線３)

岡南共同溝シールド　計測断面2　側線3　鉛直変位計測データ(最終沈下量)（㎜）

計測断面2 側線3	NO. 1 (トンネルより西へ5m)	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から13.1m上	天端位置から11.6m上	天端位置から7.2m上	天端位置から3.4m上	天端位置から1.5m上	天端位置から0.9m上	天端位置から3.3m下
		-25.442	3.85	-2.7	-2.9	-3.0	-3.1	-3.0	-2.9	-2.2
	NO. 2 (トンネル中央)	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から13.1m上	天端位置から11.6m上	天端位置から9.4m上	天端位置から7.2m上	天端位置から5.3m上	天端位置から3.4m上	天端位置から1.5m上
		-25.442	3.85	-3.1	-3.3	-3.5	-3.9	-4.5	-5.1	-6.4

岡南共同溝シールド　計測断面2　側線3　鉛直変位計測データ(切羽位置沈下量)（㎜）

計測断面2 側線3	NO. 1 (トンネルより西へ5m)	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から13.1m上	天端位置から11.6m上	天端位置から7.2m上	天端位置から3.4m上	天端位置から1.5m上	天端位置から0.9m上	天端位置から3.3m下
		0.66	-0.10	-0.2	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3
	NO. 2 (トンネル中央)	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から13.1m上	天端位置から11.6m上	天端位置から9.4m上	天端位置から7.2m上	天端位置から5.3m上	天端位置から3.4m上	天端位置から1.5m上
		0.66	-0.10	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.5	-0.6

岡南共同溝シールド　計測断面2　側線3　鉛直変位計測データ(切羽通過時最終沈下量との比)

計測断面2 側線3	NO. 1 (トンネルより西へ5m)	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から13.1m上	天端位置から11.6m上	天端位置から7.2m上	天端位置から3.4m上	天端位置から1.5m上	天端位置から0.9m上	天端位置から3.3m下
		0.66	-0.10	0.089	0.122	0.134	0.143	0.138	0.151	0.149
	NO. 2 (トンネル中央)	切羽からの距離(m)	切羽からの距離(XD)	天端位置から13.1m上	天端位置から11.6m上	天端位置から9.4m上	天端位置から7.2m上	天端位置から5.3m上	天端位置から3.4m上	天端位置から1.5m上
		0.66	-0.10	0.023	0.064	0.060	0.059	0.078	0.093	0.091

３．４　まとめ

３．４．１　坑内計測

（１）コンクリート表面ひずみ計測

１）計測断面①

計測断面①での主ひずみの差（εmax－εmin）の最大値は計測位置 NO.2 の 86μ（εmax＝100μ、εmin＝14μ）となっている。また、計測位置 NO.1 の最小主ひずみはほぼ０に近い値になっており、これは施工ジョイントによる影響が少ないためと考えられる。計測位置 NO.2、NO.3 では NO.1 に比べて施工ジョイントの影響が大きいと考えられ、20～40μの最小主ひずみが発生している。

２）計測断面②

計測断面②での主ひずみの差（εmax－εmin）の最大値は計測位置 NO.1 の 38μ（εmax＝56μ、εmin＝18μ）となっている。最大ひずみ、最小ひずみともにばらつきが少なく、施工ジョイントに近い計測位置 NO.3 においてもその影響が少ないと考えられる。

（２）覆工に発生する応力

本計測現場で計測されたコンクリート表面ひずみの分析は「応力解放法を用いた場所打ちライニングの応力計測結果とその考察」[3]において過去に報告されている。

計測断面①では、最大応力は計測値 NO.2、225° の 2.9N/mm^2 であり、発生応力はすべて圧縮応力となっており、計測値 NO.2、NO.3 は NO.1 に比べてばらつきが見られる。

計測断面②では、最大応力は計測値 NO.1、90° の 1.3N/mm^2 であり、発生応力はすべて圧縮応力となっており、計測断面①に比べてばらつきが小さい。

３．４．２　坑外計測

切羽の進行に伴う地盤変状の変化は、一部の側線で切羽前方６～10D程度から約 0.2 mm～0.5 mmの隆起が見られた後、切羽前方１～２D程度から沈下が始まっている。切羽後方は約２D 程度まで急激な沈下が生じ、その後切羽の進行とともに沈下が収束する傾向にある。トンネル周辺の鉛直方向沈下量分布は、シールド中央部（天端直上）の約３mまでの間で急激に沈下量が減少し、その後地上に向かっての減少傾向は少なくなっている。側部はシールド天端高さ付近から地表面までほぼ同程度の層別沈下がみられる。

また、最終沈下量を切羽後方約 7D～14D と考えると、トンネル周辺においては切羽が到達する以前に最終沈下量の約２割が沈下している。

参考文献

１）岡南シールド工事パンフレット

２）三木千壽・神田亨・樋口嘉剛：「ｺﾝｸﾘｰﾄ部材中の応力推定法」、土木学会論文集 No.585/V-38 1998.2

３）大寺伸幸・真下英人・関伸司：「応力解放法を用いた場所打ちライニングの応力計測結果とその考察」トンネル工学研究論文・報告集第９巻 1999 年 11 月

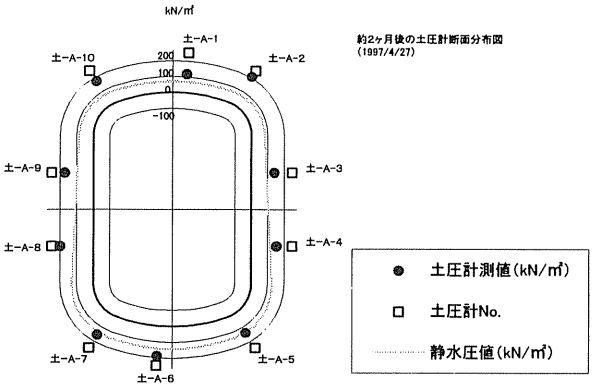
第４章　シールドトンネルの作用土圧

４．１　太鼓型シールドトンネルの作用土圧

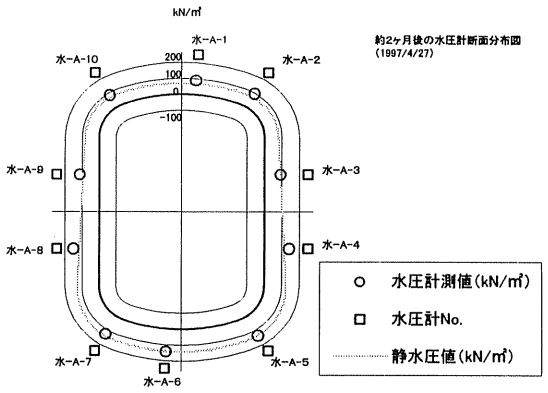
４．１．１　土圧計および間隙水圧計による作用土圧

小田井山田共同溝の土圧計および間隙水圧計による計測断面Ａの計測値を図－４．１(1)～(2)、計測断面Ｂの計測値を 図－４．２(1)～(4)に示す。天端に作用する土圧結果は、計測断面Ａ、Ｂともにシールド上部で 190～210kN/㎡程度であり、水圧計測値は計測断面Ａ、Ｂとも、ほぼ静水圧分布に近い状態にある。

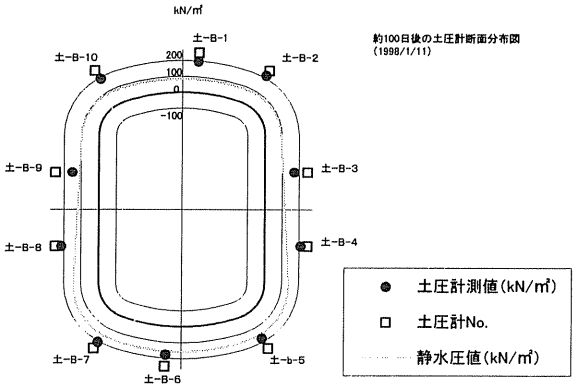
セグメント設計の考え方を土水分離の全土被り土圧と想定し、地下水面を地質調査等による地下水位(計測断面Ａ：シールド天端上 6.9m、計測断面Ｂ：シールド天端上 8.4m)とすると天端に作用する鉛直荷重は、計測断面Ａで水圧 68 kN/㎡、有効土圧 104 kN/㎡(土圧＋水圧 172 kN/㎡)、計測断面Ｂで水圧 82 kN/㎡、有効土圧 97 kN/㎡(土圧＋水圧 179 kN/㎡)となる。この値と計測値を比較すると計測断面Ａ、Ｂともシールド天端に作用している土圧は、ほぼ全土被り土圧に等しい値となる。



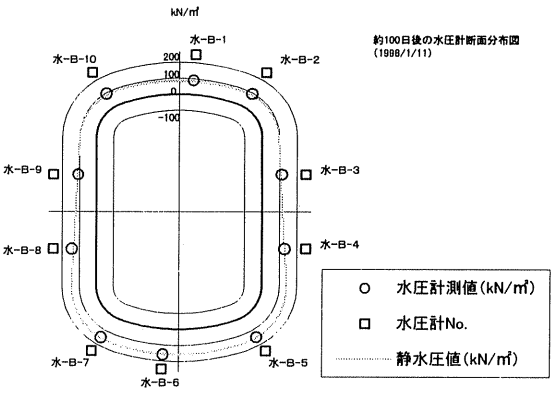
図－４．１(1) 計測断面Ａ土圧計測結果(２ヶ月後)



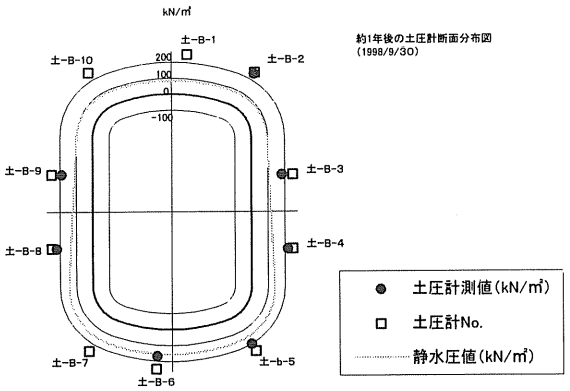
図－４．１(2) 計測断面Ａ水圧計測結果(２ヶ月後)



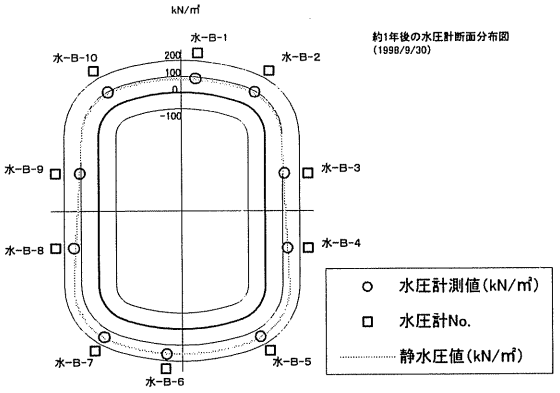
図－４．２(1) 計測断面Ｂ土圧計測結果(100 日後)



図－４．２(2) 計測断面Ｂ水圧計測結果(100 日後)



図－４．２(3) 計測断面Ｂ土圧計測結果(1 年後)



図－４．２(4) 計測断面Ｂ水圧計測結果(1 年後)

４．１．２　覆工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、鉄筋計から求めた断面力（曲げモーメントおよび軸力）と以下に示す解析方法により算定した断面力との比較を行った。断面力については、計測データの最終値（計測断面Ａは約２ヶ月後、計測断面Ｂは約１年後のデータ）に着目して検討を行った。

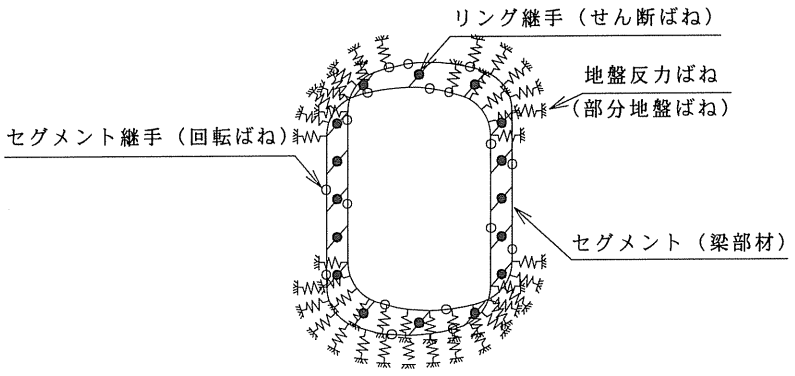
（１）解析方法

本解析では、計測断面Ａと計測断面Ｂについて、トンネルに作用する荷重(土圧、水圧、自重)の載荷パターンを変えた解析を行った。

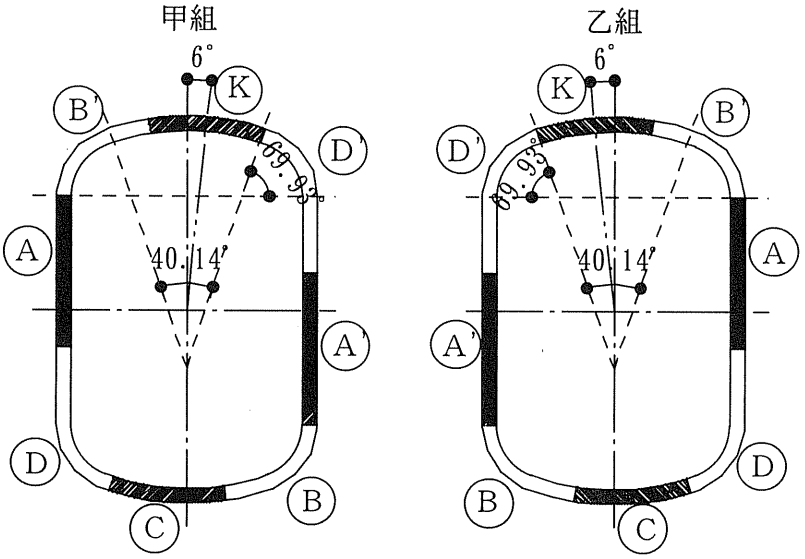
（２）解析モデル

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構造であることを考慮し、本解析に用いた解析モデルは、図－４．３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ぎ手を回転ばね定数ｋθの回転ばね、リング間継ぎ手をせん断ばね定数ｋｓの接線方向と半径方向のばね、地盤反力を表現する地盤ばねにモデル化した梁ばねモデルを使用した。

解析に用いた各セグメントの諸定数を表－４．１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を用いた。セグメントの組立状況を図－４．４に示す。小田井山田共同溝のセグメントの組立状況は、トンネル天端から左右に約６度の位置にＫセグメントの中心がくるような２リング千鳥組みで組み立てられている。



図－４．３　解析モデル図



図－４．４　セグメント組立状況

表－４．１　解析に用いたセグメントの諸定数

セグメント部位	小田井山田共同溝
外径　Ｄａ（m）	縦 7.650×横 5.100
内径　Ｄｉ（m）	縦 7.050×横 4.500
中心径　Ｄｃ（m）	縦 7.350×横 4.800
厚さ　ｈ（m）	0.300
幅　Ｂ（m）	1.000
断面二次モーメント　Ｉ（m^4）	0.00225
弾性係数　Ｅｃ（ｋＮ／mm^2）	35.30

※Ｉは全断面有効・鉄筋無視で計算

（３）解析条件

１）荷重条件

解析に用いた地盤条件図を図－４．６(1)～(2)に示す。

鉛直土圧・水圧は以下に示す条件をパラメータする。

荷重ｹｰｽａ:全土被り土圧＋水圧(静水圧分布)

荷重ｹｰｽｂ:Terzaghiの崩壊角によるゆるみ土圧＋水圧(静水圧分布)

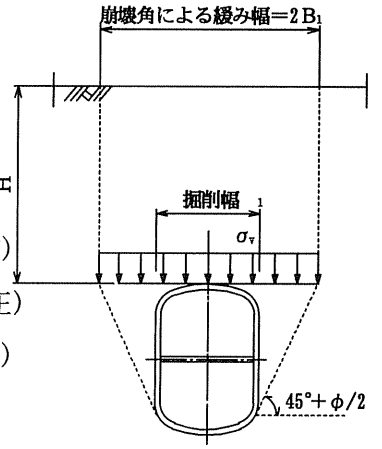
(崩壊角から計算したゆるみ幅より算出したゆるみ土圧)

荷重ｹｰｽｃ:Terzaghiの掘削幅によるゆるみ土圧＋水圧(静水圧分布)

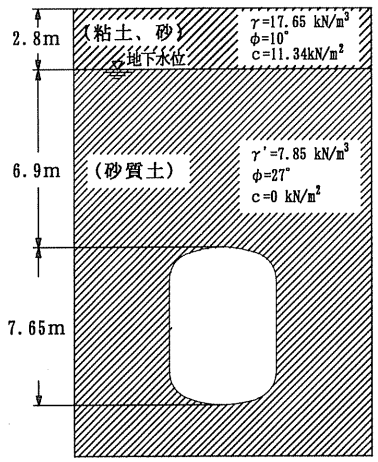
(掘削幅をゆるみ幅として算出したゆるみ土圧)

荷重ｹｰｽｄ:水圧のみ(慣用モデルによる水圧)

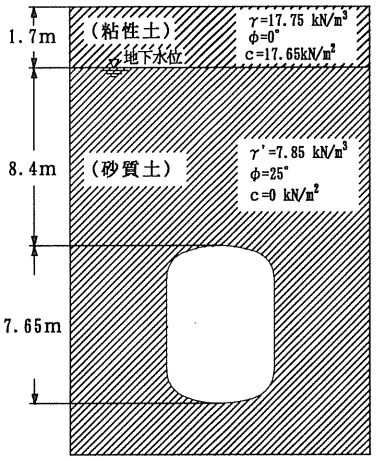
荷重ｹｰｽｅ:水圧のみ(静水圧分布による水圧)



図－４．５　ゆるみ幅摸式図



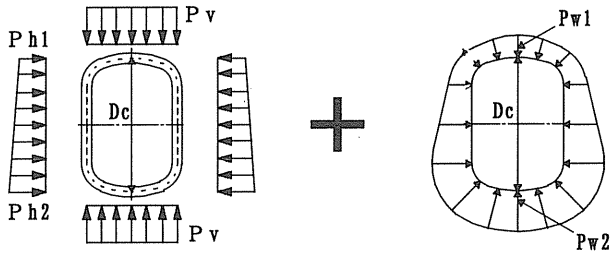
図－４．６(1)　計測断面Ａ地盤条件図



図－４．６(2)　計測断面Ｂ地盤条件図

なお、土圧の算定にあたっては今回対象とする小田井山田共同溝は底部に粘性土があるものの、上部、側部は砂礫層および砂質土層中での施工であることから、土と水を分離して取扱う（土水分離）ものとした。ここで、①のゆるみ土圧は互層地盤および地下水位を考慮した計算により算出した。(次頁参照)

土圧＋静水圧荷重図、水圧慣用モデルおよび静水圧分布図を図－４．７(1)～(3)に示す。



ここに

Ｐｖ　：鉛直土圧

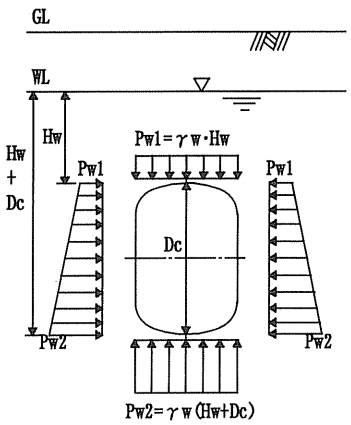
Ｐｈ1：上部水平土圧（＝(Ｐｖ+ｈ/2･γｔ)･λ）

Ｐｈ2：下部水平土圧（＝Ｐｈ1+Ｄｃ･γｔ･λ）

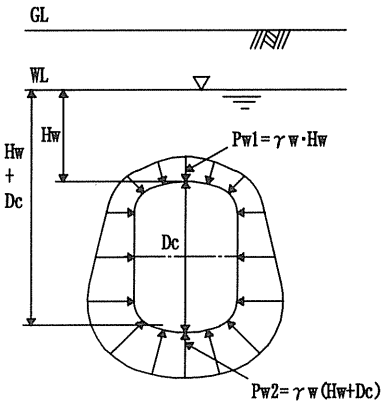
Ｐｗ1：頂部水圧（＝γｗ･Ｈｗ）

Ｐｗ2：底部水圧（＝Ｐｗ1+Ｄｃ･γｗ）

図－４．７(1)　土圧＋水圧荷重図



図－４．７(2)　慣用モデルの水圧



図－４．７(3)　静水圧分布

（a）Terzaghiのゆるみ土圧基本式[1)]

$$\sigma_v=\frac{B_1(\gamma-c/B_1)}{K_0\tan\phi}\cdot(1-e^{-K_0\tan\phi\cdot H/B_1})+p_0e^{-K_0\tan\phi\cdot H/B_1}$$

$$B_1=b+\{h_1\cot(\pi/4+\phi'_1/2)+h_2\cot(\pi/4+\phi'_2/2)+\cdots+h_n\cot(\pi/4+\phi'_n/2)\}$$

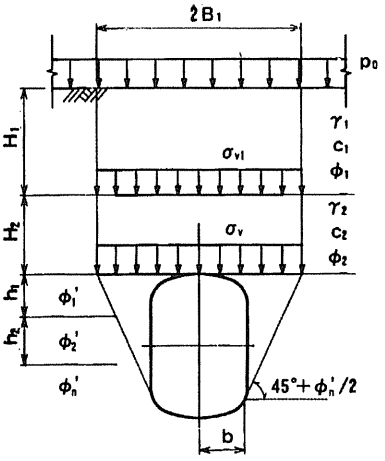
ここに、σ_v：Terzaghiのゆるみ土圧
K_0：水平土圧と鉛直土圧の比（通常$K_0=1$）
ϕ：土の内部摩擦角
p_0：上載荷重の影響（$p_0=0$）
γ：土の単位体積重量
c：土の粘着力
b：シールド中心より崩壊点までの幅
h_1：シールド断面内の第１層厚
h_2：シールド断面内の第２層厚
h_n：シールド断面内の第ｎ層厚
ϕ'_1：シールド断面内の第１層の内部摩擦角
ϕ'_2：シールド断面内の第２層の内部摩擦角
ϕ'_n：シールド断面内の第ｎ層の内部摩擦角

（b）２層地盤の場合のゆるみ土圧

$$\sigma_{v1}=\frac{B_1(\gamma_1-c_1/B_1)}{K_0\tan\phi_1}\cdot(1-e^{-K_0\tan\phi_1\cdot H_1/B_1})+p_0e^{-K_0\tan\phi_1\cdot H_1/B_1}$$

$$\sigma_v=\frac{B_1(\gamma_2-c_2/B_1)}{K_0\tan\phi_2}\cdot(1-e^{-K_0\tan\phi_2\cdot H_2/B_1})+\sigma_{v1}e^{-K_0\tan\phi_2\cdot H_2/B_1}$$

$$=\frac{B_1(\gamma_2-c_2/B_1)}{K_0\tan\phi_2}\cdot(1-e^{-K_0\tan\phi_2\cdot H_2/B_1})+\frac{B_1(\gamma_1-c_1/B_1)}{K_0\tan\phi_1}\cdot(1-e^{-K_0\tan\phi_1\cdot H_1/B_1})\cdot e^{-K_0\tan\phi_2\cdot H_2/B_1}+p_0e^{-K_0(\tan\phi_1\cdot H_1+\tan\phi_2\cdot H_2)/B_1}$$



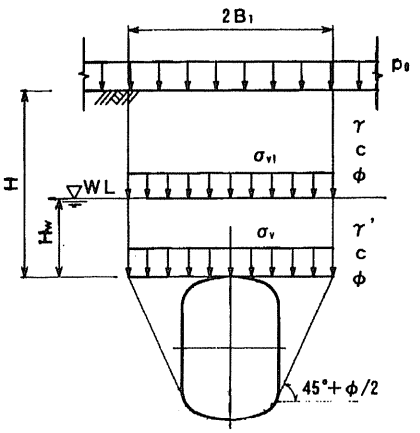
（c）地下水位がある場合のゆるみ土圧

$$\sigma_{v1}=\frac{B_1(\gamma-c/B_1)}{K_0\tan\phi}\cdot(1-e^{-K_0\tan\phi\cdot(H-H_w)/B_1})+p_0e^{-K_0\tan\phi\cdot(H-H_w)/B_1}$$

$$\sigma_v=\frac{B_1(\gamma'-c/B_1)}{K_0\tan\phi}\cdot(1-e^{-K_0\tan\phi\cdot H_w/B_1})+\sigma_{v1}e^{-K_0\tan\phi\cdot H_w/B}$$

$$=\frac{B_1(\gamma'-c/B_1)}{K_0\tan\phi}\cdot(1-e^{-K_0\tan\phi\cdot H_w/B_1})+\left\{\frac{B_1(\gamma-c/B_1)}{K_0\tan\phi}\cdot(1-e^{-K_0\tan\phi\cdot(H-H_w)/B_1})+p_0e^{-K_0\tan\phi\cdot(H-H_w)/B_1}\right\}e^{-K_0\tan\phi\cdot H_w/B_1}$$

$$=\frac{B_1(\gamma'-c/B_1)}{K_0\tan\phi}\cdot(1-e^{-K_0\tan\phi\cdot H_w/B_1})+\frac{B_1(\gamma-c/B_1)}{K_0\tan\phi}\cdot(1-e^{-K_0\tan\phi\cdot(H-H_w)/B_1})e^{-K_0\tan\phi\cdot H_w/B_1}+p_0e^{-K_0\tan\phi\cdot H/B_1}$$



図－４．８　ゆるみ土圧模式図

2）側方土圧係数および地盤反力係数

側方土圧係数および地盤反力係数の設定は、「トンネル標準示方書（シールド編）・同解説」[2)]に示された表－４．２を参考に設定した。表－４．３に設定した側方土圧係数と地盤反力係数を示す。

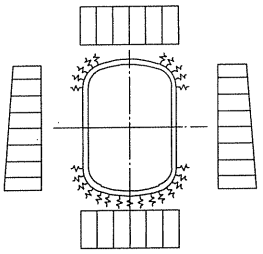
表－４．２　側方土圧係数（λ）および地盤反力係数（k）[2)]

土水の扱い	土　の　種　類	λ	k (MN/m^3)	N値による目安
土水分離	非常によく締まった砂質土	0.35～0.45	30～50	30≦N
	締まった砂質土	0.45～0.55	10～30	15≦N＜30
	緩い砂質土	0.50～0.60	0～10	N＜15
	固結した粘性土	0.35～0.45	30～50	25≦N
	硬い粘性土	0.45～0.55	10～30	8≦N＜25
	中位の粘性土	0.45～0.55	5～10	4≦N＜ 8
土水一体	中位の粘性土	0.55～0.65	5～10	4≦N＜ 8
	軟らかい粘性土	0.65～0.75	0～ 5	2≦N＜ 4
	非常に	0.75～0.85	0	N＜ 2

表－４．３　各計測断面の側方土圧係数および地盤反力係数

計測断面	記号	土質	地盤反力係数	側方土圧係数
計測断面Ａ	ＡＬｓｆ	細砂	5MN/m^3	λ=0.55
	Ｄ５	砂礫	50MN/m^3	λ=0.35
	Ｄ３ｕｓ	細砂	30MN/m^3	λ=0.45
	Ｄ３ｕｃ	粘性土	10MN/m^3	λ=0.55
計測断面Ｂ	Ｄ５	砂礫	50MN/m^3	λ=0.35
	Ｄ３ｕｓ	細砂	10MN/m^3	λ=0.5
	Ｄ３ｕｃ	粘性土	10MN/m^3	λ=0.55

また、地盤反力はトンネル半径方向の変位に応じて生じる地盤ばねの反力として評価し、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として与えるが、地盤ばねの配置としては図－４．９に示すように、地盤反力はセグメントリングが地盤方向へ変位（圧縮側）する場合のみ生じるものとし、セグメント内方への変位（引張側）によっては生じないものとする部分地盤ばねモデルとした。なお、トンネル接線方向の地盤ばねは考慮していない。



図－４．９　部分地盤ばねモデル

本解析に用いる土圧および水圧の計算値を表－４．４に示す。

表－４．４　土圧および水圧の計算値

（単位：kN/㎡）

			全土被り土圧	ゆるみ土圧のみ		水圧のみ	
				崩壊角から計算した緩み幅により算出	掘削幅を緩み幅として算出	慣用ﾓﾃﾞﾙ	静水圧分布
計測断面A	頂部鉛直荷重		103.56	70.40	44.01	67.67	69.14
	ALsf (λ=0.55)	上部水平荷重	57.60	39.36	24.85	69.14	69.14
		下部水平荷重	61.10	42.86	28.34	77.06	77.06
	D5 (λ=0.35)	上部水平荷重	38.87	27.27	18.03	77.06	77.06
		下部水平荷重	48.25	36.64	27.40	101.40	101.40
	D3us (λ=0.45)	上部水平荷重	62.03	47.11	35.24	101.40	101.40
		下部水平荷重	71.61	56.69	44.82	128.02	128.02
	D3uc (λ=0.55)	上部水平荷重	87.52	69.28	54.77	128.02	128.02
		下部水平荷重	93.33	75.10	60.59	141.22	141.22
	底部鉛直荷重		103.56	70.40	44.01	142.69	141.22

（単位：kN/㎡）

			全土被り土圧	ゆるみ土圧のみ		水圧のみ	
				崩壊角から計算した緩み幅により算出	掘削幅を緩み幅として算出	慣用ﾓﾃﾞﾙ	静水圧分布
計測断面B	頂部鉛直荷重		96.79	67.55	41.92	82.38	83.85
	D5 (λ=0.35)	上部水平荷重	34.14	24.21	15.24	83.85	83.85
		下部水平荷重	43.65	33.72	24.75	108.55	108.55
	D3us (λ=0.5)	上部水平荷重	62.35	48.17	35.35	108.55	108.55
		下部水平荷重	71.42	57.24	44.42	131.22	131.22
	D3uc (λ=0.55)	上部水平荷重	78.56	62.96	48.87	131.22	131.22
		下部水平荷重	89.43	73.83	59.74	155.93	155.93
	底部鉛直荷重		96.79	67.55	41.92	157.40	155.93

３）自重

本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後の計測データを初期値としており、自重の影響が含まれていないことから、考慮しないものとした。

４）ばね定数

本解析に用いたばね定数は、回転ばね定数については、継手の実セグメントによる載荷実験の値[3)]を参考にして、正曲げ$k\theta = 32.4\times10^3$ kNm/rad(離間前)、負曲げ$k\theta = 12.0\times10^3$ kNm/rad(離間前)を用いるものとした。せん断ばね定数については、過去に行ったほぼ同規模のシールドトンネルでの検討時に用いた値$k_s = 1.96\times10^3$ MN/m を採用した。なお、回転ばねの特性は線形として取り扱った。

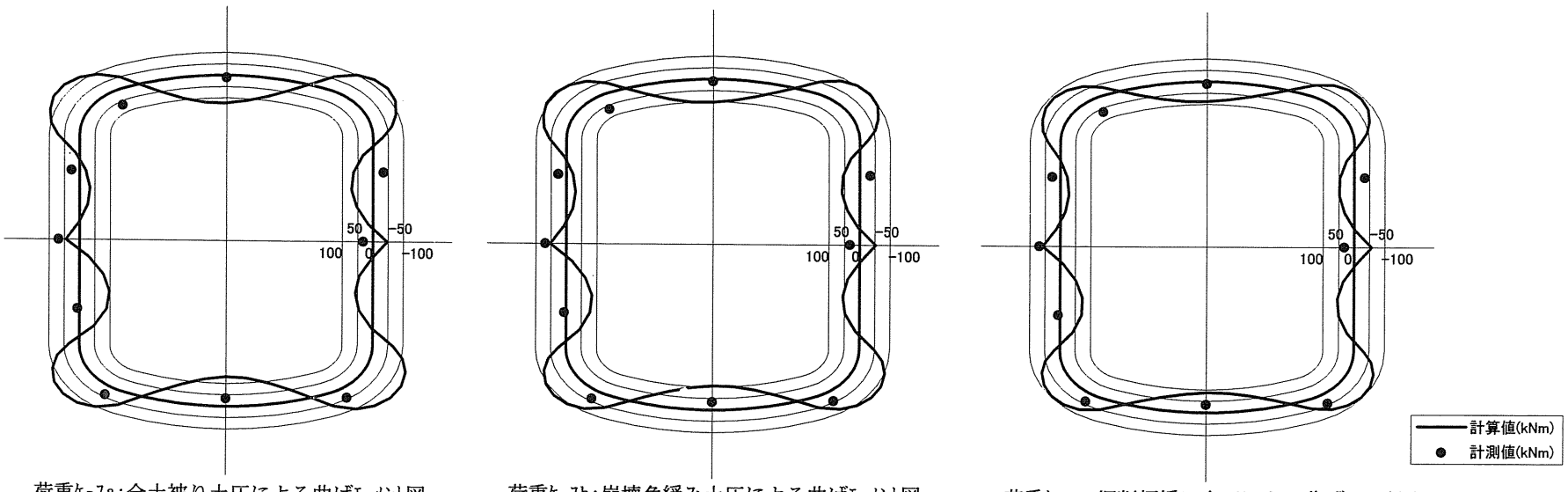
（4）解析結果

全土被り土圧＋水圧、崩壊角から計算したゆるみ幅により算出したゆるみ土圧＋水圧、および掘削幅をゆるみ幅として算出したゆるみ土圧＋水圧による曲げモーメント図を図－４．１０(1)［計測断面Ａ］、図－４．１１(1)［計測断面Ｂ］に示す。また、慣用モデルによる水圧、および静水圧分布による水圧のみを作用させた曲げモーメント図を図－４．１０(2)［計測断面Ａ］、図－４．１１(2)［計測断面Ｂ］に示す。

また、全土被り土圧＋水圧、崩壊角から計算したゆるみ幅により算出したゆるみ土圧＋水圧、および掘削幅をゆるみ幅として算出したゆるみ土圧＋水圧による軸力図を図－４．１２(1)［計測断面Ａ］、図－４．１３(1)［計測断面Ｂ］に示す。また、慣用モデルによる水圧、および静水圧分布による水圧のみを作用させた軸力図を図－４．１２(2)［計測断面Ａ］、図－４．１３(2)［計測断面Ｂ］に示す。

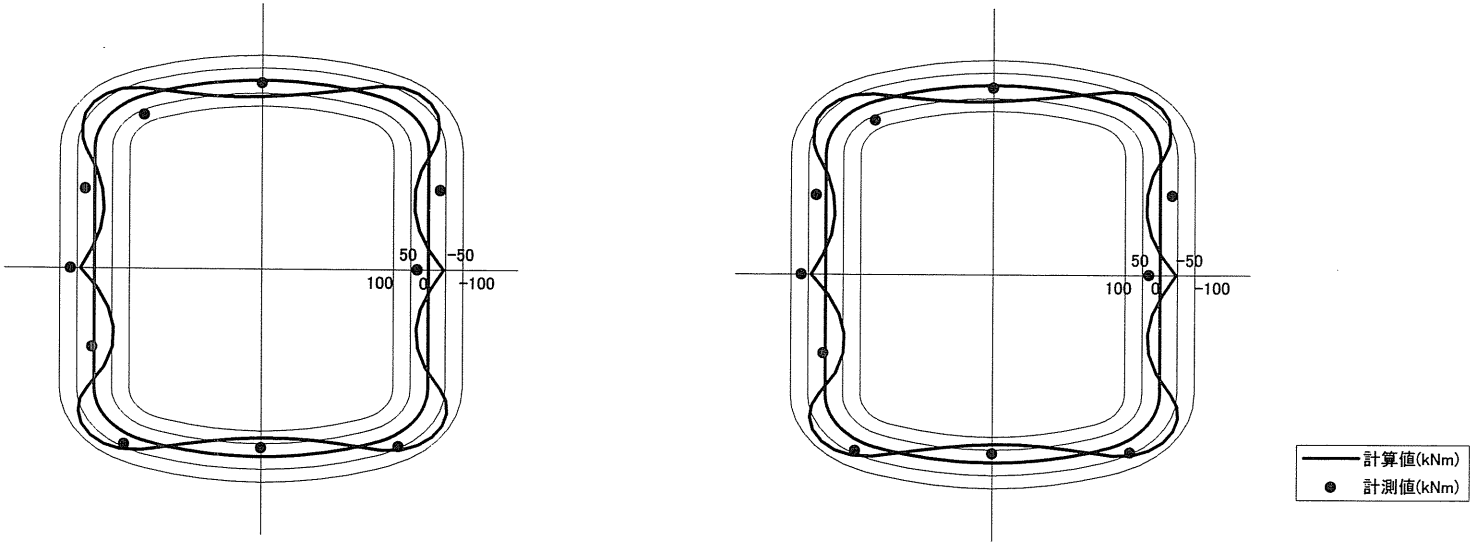
曲げモーメントは計測断面Ａ、Ｂとも全体的に計算値に比べて計測値は小さく、特に計測断面Ｂは小さい値となっている。また、軸力も計算値に比べて計測値が小さく、水圧のみの荷重により算出された軸力は計測値に近い値となっている。

以上より、外荷重をゆるみ土圧として解析した計算値よりも計測値の方が小さくなっており、覆工断面力より推定される荷重としては静水圧程度の荷重が作用しているものと考えられる。また、矩形の場合は、水圧のみの荷重を与えた場合の曲げモーメントおよび軸力の断面形状で慣用モデルと静水圧分布があまり変わらないことがわかる。



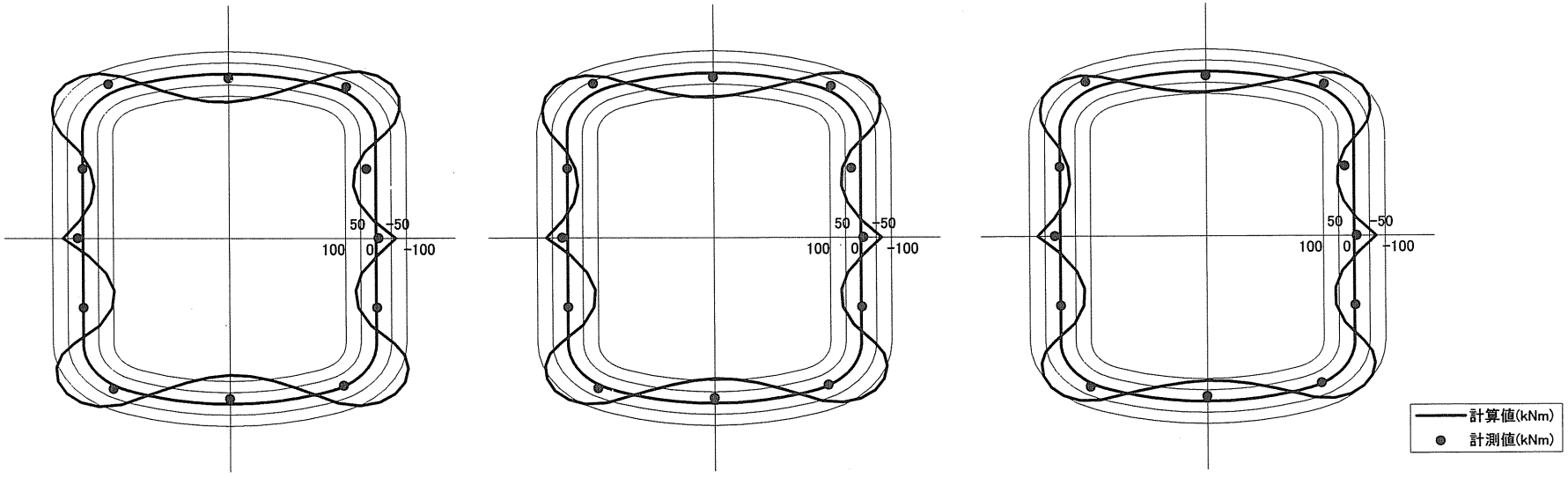
荷重ｹｰｽa:全土被り土圧による曲げﾓｰﾒﾝﾄ図　荷重ｹｰｽb:崩壊角緩み土圧による曲げﾓｰﾒﾝﾄ図　荷重ｹｰｽc:掘削幅緩み土圧による曲げﾓｰﾒﾝﾄ図

図－４．１０(1)　計測断面Ａ　土圧・水圧による曲げモーメント断面分布図



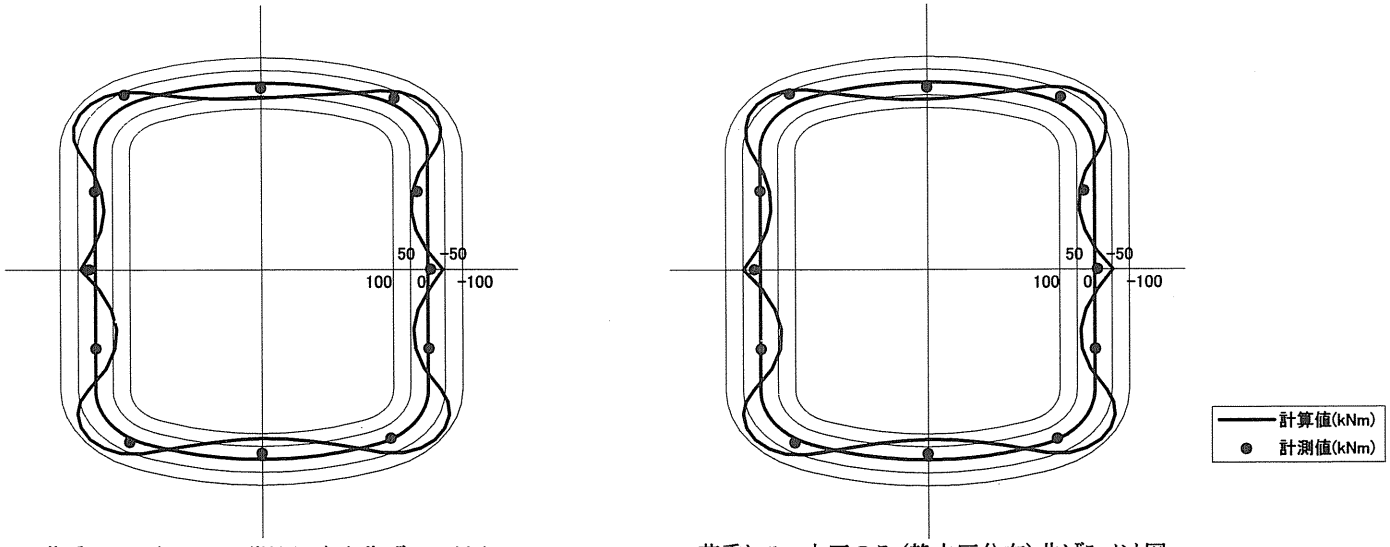
荷重ｹｰｽe:水圧のみ(慣用ﾓﾃﾞﾙ)曲げﾓｰﾒﾝﾄ図　荷重ﾓﾃﾞﾙd:水圧のみ(静水圧分布)曲げﾓｰﾒﾝﾄ図

図－４．１０(2)　計測断面Ａ　水圧のみによる曲げモーメント断面分布図



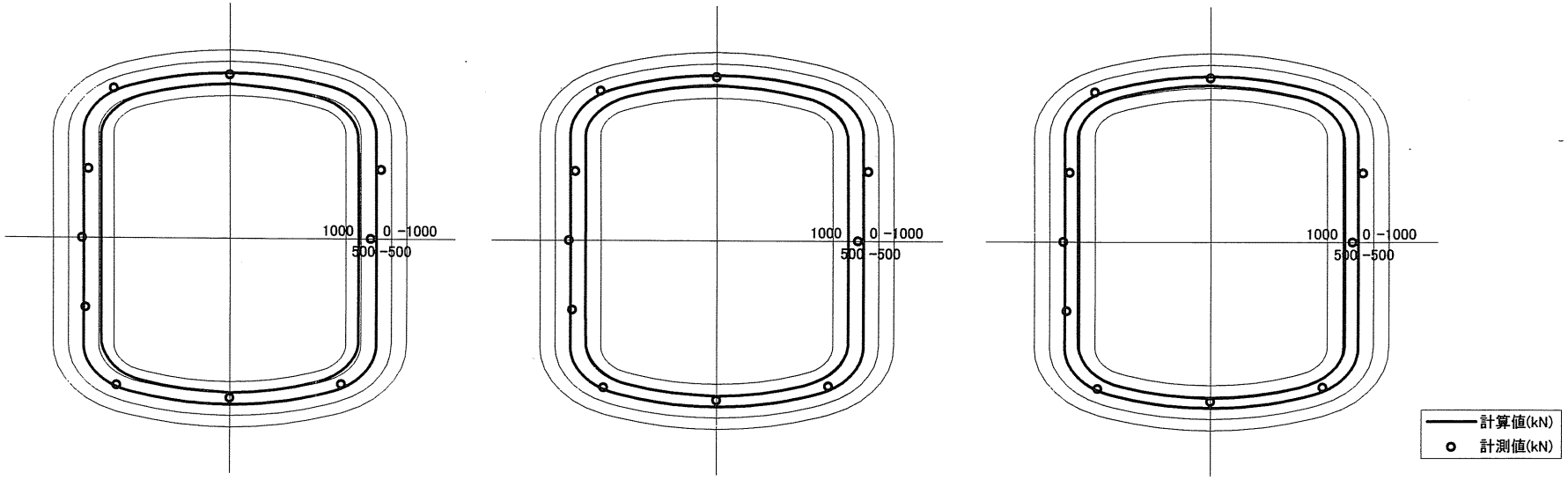
荷重ｹｰｽa:全土被り土圧による曲げﾓｰﾒﾝﾄ図　荷重ｹｰｽb:崩壊角緩み土圧による曲げﾓｰﾒﾝﾄ図　荷重ｹｰｽc:掘削幅緩み土圧による曲げﾓｰﾒﾝﾄ図

図－４．１１(1)　計測断面Ｂ　土圧・水圧による曲げモーメント断面分布図



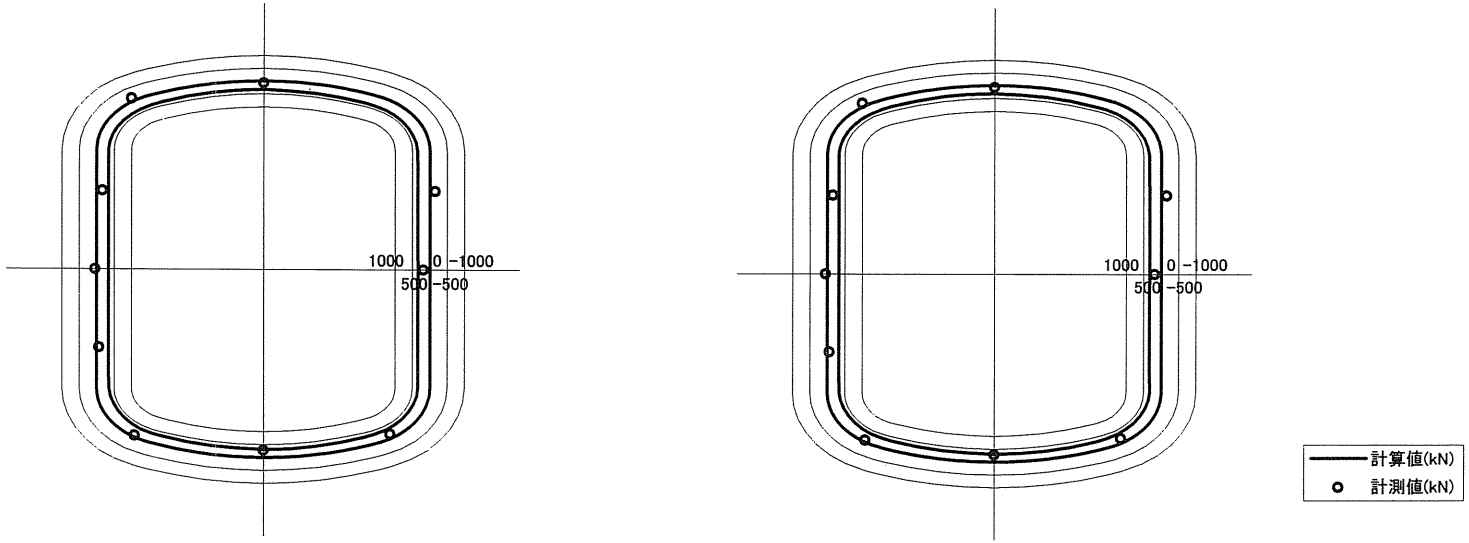
荷重ｹｰｽd:水圧のみ(慣用ﾓﾃﾞﾙ)曲げﾓｰﾒﾝﾄ図　荷重ｹｰｽe:水圧のみ(静水圧分布)曲げﾓｰﾒﾝﾄ図

図－４．１１(2)　計測断面Ｂ　水圧のみによる曲げモーメント断面分布図



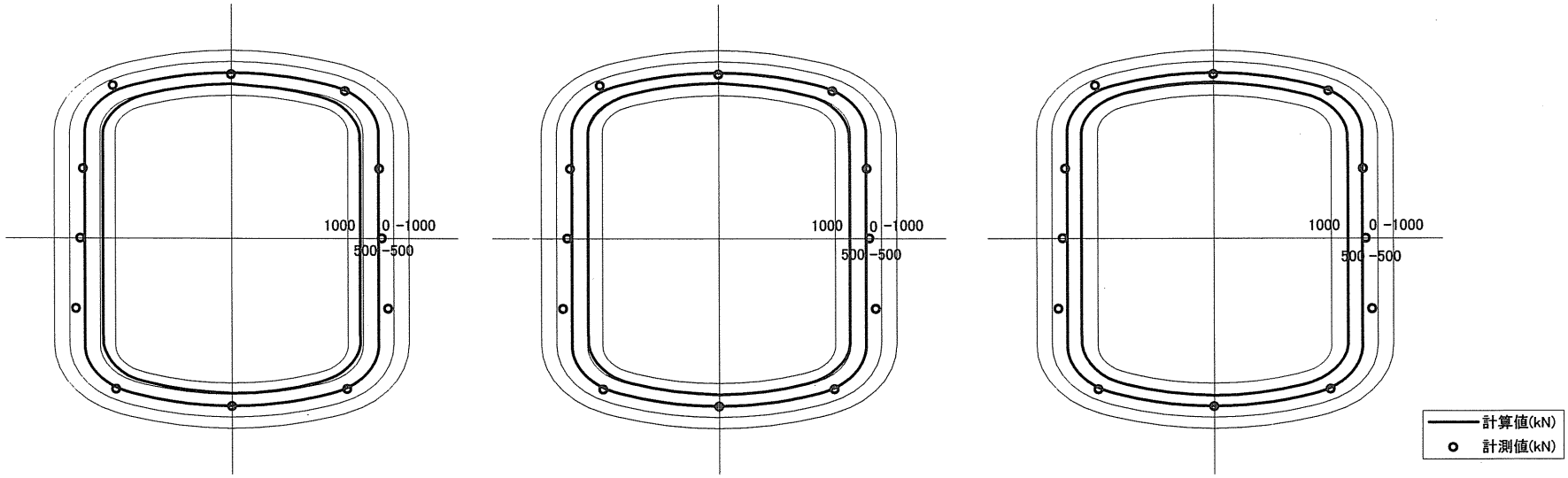
荷重ｹｰｽa:全土被り土圧による軸力図　荷重ｹｰｽb:崩壊角緩み土圧による軸力図　荷重ｹｰｽc:掘削幅緩み土圧による軸力図

図－４．１２(1)　計測断面Ａ　土圧・水圧による軸力断面分布図



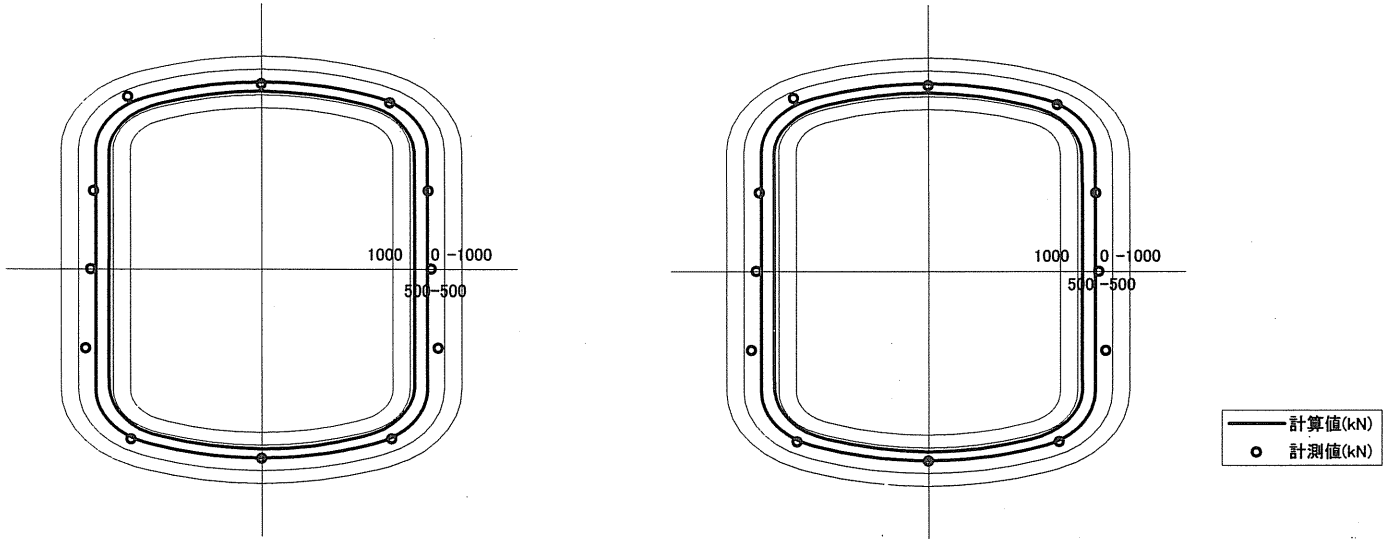
荷重ｹｰｽe:水圧のみ(慣用ﾓﾃﾞﾙ)軸力図　荷重ﾓﾃﾞﾙd:水圧のみ(静水圧分布)軸力図

図－４．１２(2)　計測断面Ａ　水圧のみによる軸力断面分布図



荷重ｹｰｽa:全土被り土圧による軸力図　荷重ｹｰｽb:崩壊角緩み土圧による軸力図　荷重ｹｰｽc:掘削幅緩み土圧による軸力図

図－４．１３(1)　計測断面Ｂ　土圧・水圧による軸力断面分布図



荷重ｹｰｽd:水圧のみ(慣用ﾓﾃﾞﾙ)軸力図　荷重ｹｰｽe:水圧のみ(静水圧分布)軸力図

図－４．１３(2)　計測断面Ｂ　水圧のみによる軸力断面分布図

４．２　場所打ちライニングシールドトンネルの作用土圧

場所打ちライニングシールドトンネルに作用する土水圧を検討するため、坑内計測から求めた応力と以下に示す解析方法により算定した断面力との比較を行った。

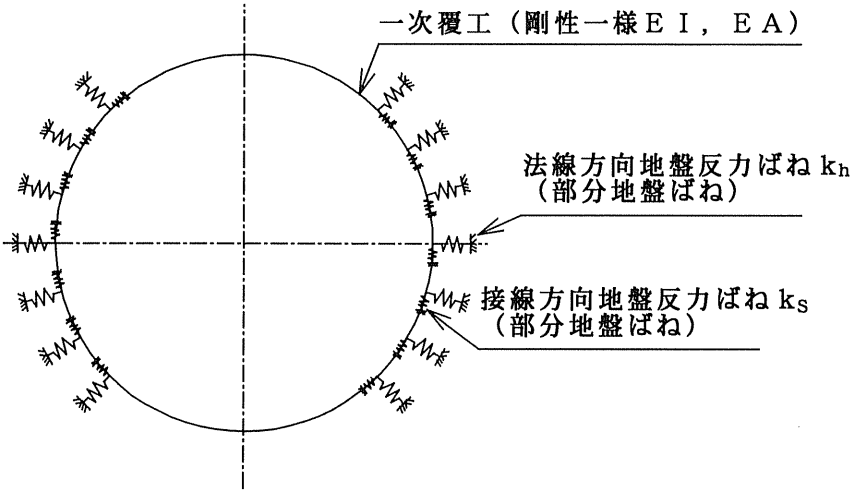
４．２．１　解析方法

本解析では、計測断面①と計測断面②について、トンネルに作用する荷重(土圧、水圧、自重)の載荷パターンを変えて解析を行った。

４．２．２　解析モデル

本解析に用いたモデルは、場所打ちライニングシールドトンネルの一次覆工では、ボルトによる継ぎ手が存在しないため「完全剛性一様リング」とし、周辺地盤の反力を表現する地盤ばねを全周に考慮し、地盤ばねが引張の場合は０とする部分地盤ばねモデルとした。図－４．１４に解析モデル図を示す。解析に用いた覆工の諸定数を表－４．５に示す。覆工厚さについては、設計覆工厚さ 300 ㎜に対して、超音波計測で測定された平均値の結果から 350 ㎜とした。なお、この値は、設計覆工厚にシールドマシンのスキンプレート厚 50 ㎜を加えた値(実打設厚)と同じである。

また、解析は単位長さ(1.0m)について行った。



図－４．１４　解析モデル図

表－４．５　解析に用いた覆工の諸定数

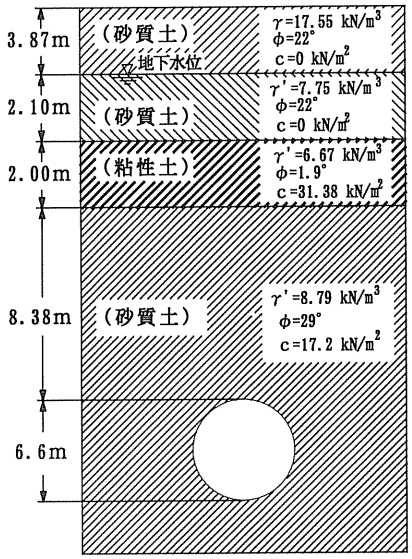
覆工部位	岡南共同溝
外径　Da(m)	6.6
内径　Di(m)	5.9
中心径　Dc(m)	6.25
厚さ　h(m)	0.35
幅　B(m)	1
断面二次モーメント　I(m^4)	0.003573
弾性係数　E(kN/mm^2)	40.2

※Iは全断面有効で計算

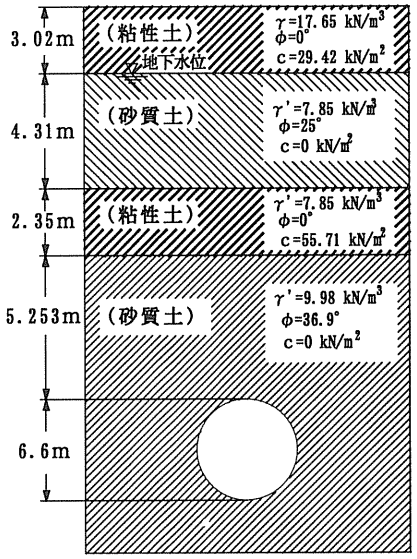
４．２．３　解析条件

（1）　荷重条件

解析に用いた地盤条件図を図－４．１５(1)～(2)に示す。



図－４．１５(1)　計測断面①地盤条件図



図－４．１５(2)　計測断面②地盤条件図

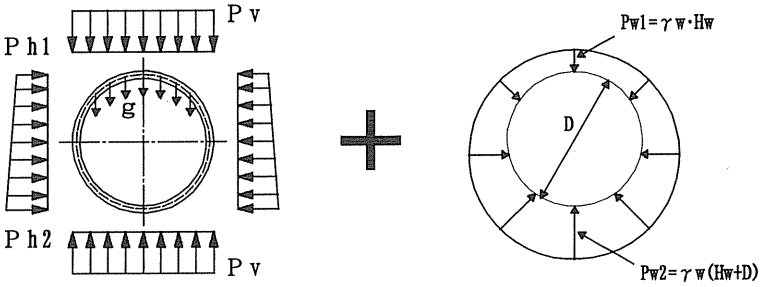
計測断面①、計測断面②についてそれぞれ、以下に示す荷重ケースの解析を行った。なお、土圧・水圧の考え方は土水分離とし、水圧は静水圧分布として、法線方向に作用させるものとした。

ここで、①のゆるみ土圧は互層地盤および地下水位を考慮した計算により算出した。(次頁参照)

荷重ケースａ：「Terzaghi のゆるみ土圧＋静水圧＋自重」

荷重ケースｂ：「静水圧＋自重」

荷重モデル図を図－４．１６に示す。



ここに

Ｐｖ　：鉛直土圧　　Ｐｗ1：頂部水圧

Ｐｈ1：上部水平土圧（＝(Ｐｖ+ｈ/2･γｔ)･λ）　　Ｐｗ2：底部水圧

Ｐｈ1：下部水平土圧（＝Ｐｈ1+2Ｒｃ･γｔ･λ）　　ｇ　：自重

図－４．１６　荷重モデル図

（a）Terzaghiのゆるみ土圧基本式[1)]

$$\sigma_v=\frac{B_1(\gamma-c/B_1)}{K_0\tan\phi}\cdot(1-e^{-K_0\tan\phi\cdot H/B_1})+p_0e^{-K_0\tan\phi\cdot H/B_1}$$

$$B_1=R_0\cot\left(\frac{\pi/4+\phi/2}{2}\right)$$

ここに、σ_v：Terzaghiのゆるみ土圧

K_0：水平土圧と鉛直土圧の比（通常$K_0=1$）

ϕ：土の内部摩擦角

p_0：上載荷重の影響（$p_0=0$）

γ：土の単位体積重量

c：土の粘着力

（b）２層地盤の場合のゆるみ土圧

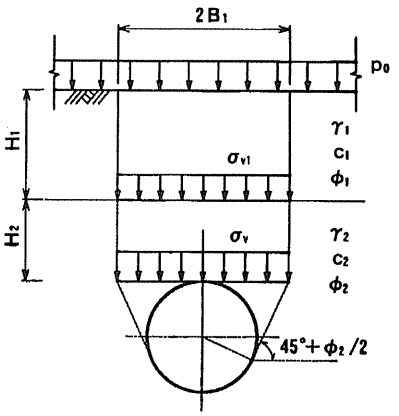
$$\sigma_{v1}=\frac{B_1(\gamma_1-c_1/B_1)}{K_0\tan\phi_1}\cdot(1-e^{-K_0\tan\phi_1\cdot H_1/B_1})+p_0e^{-K_0\tan\phi_1\cdot H_1/B_1}$$

$$\sigma_v=\frac{B_1(\gamma_2-c_2/B_1)}{K_0\tan\phi_2}\cdot(1-e^{-K_0\tan\phi_2\cdot H_2/B_1})+\sigma_{v1}e^{-K_0\tan\phi_2\cdot H_2/B_1}$$

$$=\frac{B_1(\gamma_2-c_2/B_1)}{K_0\tan\phi_2}\cdot(1-e^{-K_0\tan\phi_2\cdot H_2/B_1})$$

$$+\frac{B_1(\gamma_1-c_1/B_1)}{K_0\tan\phi_1}\cdot(1-e^{-K_0\tan\phi_1\cdot H_1/B_1})\cdot e^{-K_0\tan\phi_2\cdot H_2/B_1}$$

$$+p_0e^{-K_0(\tan\phi_1\cdot H_1+\tan\phi_2\cdot H_2)/B_1}$$



（c）地下水位がある場合のゆるみ土圧

$$\sigma_{v1}=\frac{B_1(\gamma-c/B_1)}{K_0\tan\phi}\cdot(1-e^{-K_0\tan\phi\cdot(H-H_w)/B_1})$$

$$+p_0e^{-K_0\tan\phi\cdot(H-H_w)/B_1}$$

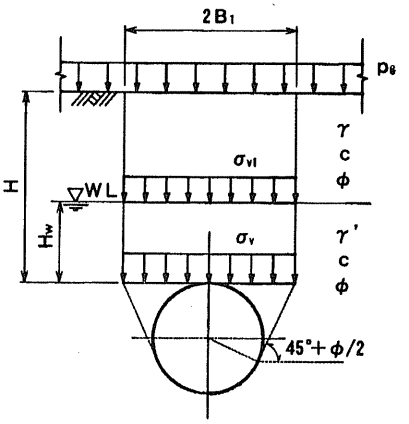
$$\sigma_v=\frac{B_1(\gamma'-c/B_1)}{K_0\tan\phi}\cdot(1-e^{-K_0\tan\phi\cdot H_w/B_1})+\sigma_{v1}e^{-K_0\tan\phi\cdot H_w/B_1}$$

$$=\frac{B_1(\gamma'-c/B_1)}{K_0\tan\phi}\cdot(1-e^{-K_0\tan\phi\cdot H_w/B_1})$$

$$+\left\{\frac{B_1(\gamma-c/B_1)}{K_0\tan\phi}\cdot(1-e^{-K_0\tan\phi\cdot(H-H_w)/B_1})+p_0e^{-K_0\tan\phi\cdot(H-H_w)/B_1}\right\}e^{-K_0\tan\phi\cdot H_w/B_1}$$

$$=\frac{B_1(\gamma'-c/B_1)}{K_0\tan\phi}\cdot(1-e^{-K_0\tan\phi\cdot H_w/B_1})$$

$$+\frac{B_1(\gamma-c/B_1)}{K_0\tan\phi}\cdot(1-e^{-K_0\tan\phi\cdot(H-H_w)/B_1})\,e^{-K_0\tan\phi\cdot H_w/B_1}+p_0e^{-K_0\tan\phi\cdot H/B_1}$$



図－４．１７　ゆるみ土圧模式図

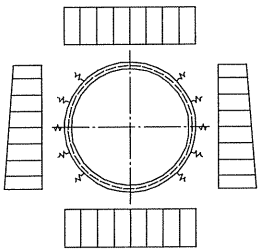
(2)側方土圧係数および地盤反力係数

側方土圧係数および地盤反力係数の設定は、「トンネル標準示方書（シールド編）・同解説」[2)]に示された表－４．６を参考にλ＝0.4、ｋ＝40 MN/m³と設定した。

また、地盤反力はトンネル半径方向の変位に応じて生じる地盤ばねの反力として評価し、具体的には地盤ばねが分担する一次覆工（梁）の長さＢｒに地盤反力係数ｋｒを乗じて地盤ばね定数Ｋｒとして与えるが、地盤ばねの配置としては図－４．１８に示すように、地盤反力は一次覆工リングが地盤方向へ変位（圧縮側）する場合のみ生じるものとし、一次覆工内方への変位（引張側）によっては生じないものとする部分地盤ばねモデルとした。ただし、ＥＣＬ工法では地山に直接覆工コンクリートを打設することから、通常のシールドトンネルよりも接線方向の地山との抵抗が大きいと考えられるため、接線方向の地盤ばねとして法線方向地盤ばねが圧縮時のみ、法線方向地盤ばねの１／３の値を考慮するものとした。本解析に用いる土圧および水圧の計算値を表－４．７に示す。

表－４．６　側方土圧係数（λ）および地盤反力係数（ｋ）[2)]

土水の扱い	土　の　種　類	λ	k (MN/m³)	N値による目安
土水分離	非常によく締まった砂質土	0.35～0.45	30～50	30≦N
	締まった砂質土	0.45～0.55	10～30	15≦N＜30
	緩い砂質土	0.50～0.60	0～10	N＜15
	固結した粘性土	0.35～0.45	30～50	25≦N
	硬い粘性土	0.45～0.55	10～30	8≦N＜25
	中位の粘性土	0.45～0.55	5～10	4≦N＜ 8
土水一体	中位の粘性土	0.55～0.65	5～10	4≦N＜ 8
	軟らかい粘性土	0.65～0.75	0～ 5	2≦N＜ 4
	非常に軟らかい粘性土	0.75～0.85	0	N＜ 2



図－４．１８　部分地盤ばねモデル

表－４．７　土圧および水圧の計算値

(単位:kN/m²)

		ゆるみ土圧のみ	静水圧のみ
計測断面①	頂部鉛直土圧	61.64	124.10
	頂部水平土圧	25.41	124.10
	底部水平土圧	52.38	185.39
	底部鉛直土圧	61.64	185.39
計測断面②	頂部鉛直土圧	56.09	118.54
	頂部水平土圧	23.19	118.54
	底部水平土圧	50.16	179.83
	底部鉛直土圧	56.09	179.83

荷重ケースa:ゆるみ土圧(慣用モデル)＋水圧(静水圧分布)＋自重(次項参照)
荷重ケースb:水圧(静水圧分布)＋自重(次項参照)

（3）自重

覆工の自重は次式で計算する。

$$g = W \ / \ (2\pi \cdot Rc)$$

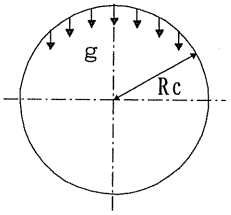
ここに、g　：一次覆工の図心線に沿った単位周長当りの一次覆工の自重

（トンネル縦断方向に単位長さ）

W　：一次覆工のトンネル縦断方向に単位長さ当り（1m分）の重量

Rc：一次覆工の図心半径

一次覆工の単位体積重量はγc=23.536kN／m^3、Rc=3.125mであるから上式からg=8.238kN／mとなる。



図－4.19　自重の考え方

なお、自重の反力については表－4．7に示した荷重に自重を加え同一の地盤ばねで支持されるものとした。

4．2．4　解析結果

（1）計測断面①

計測断面①の解析結果を表－4．8、図－4．20に示す。図より「土圧＋水圧＋自重」解析の最大値は90°と270°で3.1N/㎟、シールド天端部では0.4 N/㎟となっている。「水圧＋自重」解析の最大値は90°と270°で1.9N/㎟、シールド天端部では0.9 N/㎟となっており、応力度の断面分布としては外荷重を「水圧＋自重」と想定した場合が、計測による応力度の分布に比較的近い状態にある。

また、覆工内面の応力はすべて圧縮となっており、最も解析値に近いのは計測位置NO.1で、計測位置NO.2と計測位置NO.3は多少のばらつきが見られる。

（2）計測断面②

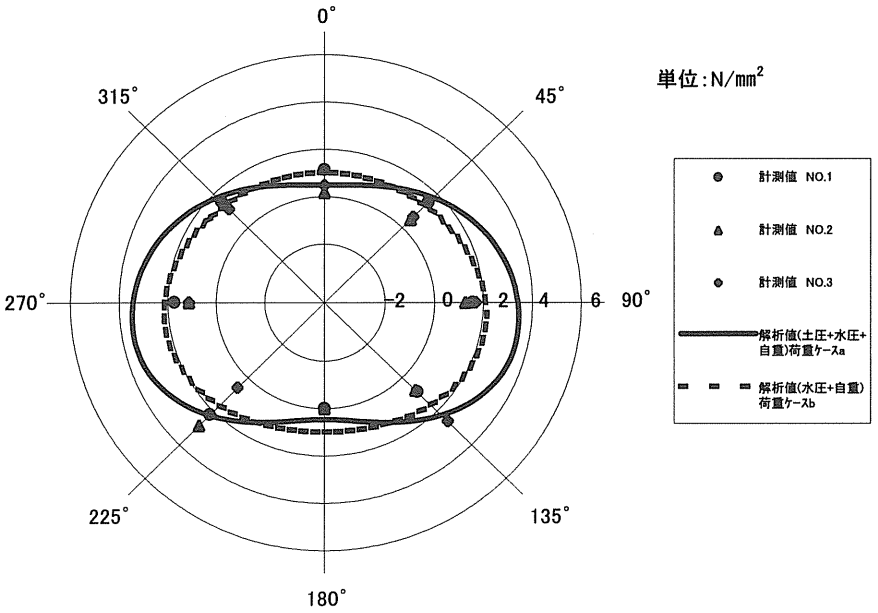
計測断面②の解析結果を表－4．9、図－4．21に示す。図より「土圧＋水圧＋自重」解析の最大値は255°で3.1N/㎟、シールド天端部では0.6 N/㎟となっている。「水圧＋自重」解析の最大値は255°で1.9N/㎟、シールド天端部では0.9 N/㎟となっており、応力度の断面分布としては外荷重を「水圧＋自重」と想定した場合が、計測による応力度の分布に比較的近い状態にある。

また、覆工内面の応力はすべて圧縮となっており、計測断面①に比べてばらつきが少なく、すべての計測値が「水圧＋自重」解析値よりも小さくなっている。

表－４．８　計測断面①　発生応力(主ひずみの差)と解析値比較表

測定位置		計測断面①				
		解析値(N/mm^2)		発生応力度(N/mm^2)		
		土圧＋水圧＋自重(荷重ｹｰｽa)	水圧＋自重(荷重ｹｰｽb)	断面NO．１	断面NO．２	断面NO．３
1	0°	0.4	0.9	1.1	0.2	0.5
2	45°	1.6	1.2	1.5	0.5	0.6
3	90°	3.1	1.9	1.6	1.3	1.7
4	135°	2.1	1.5	0.9	0.8	2.6
6	225°	2.0	1.5	2.2	2.9	0.6
7	270°	3.1	1.9	1.7	1.1	1.1
8	315°	1.6	1.2	1.6	1.4	1.1

応力度の符号：圧縮(+)，引張(-)

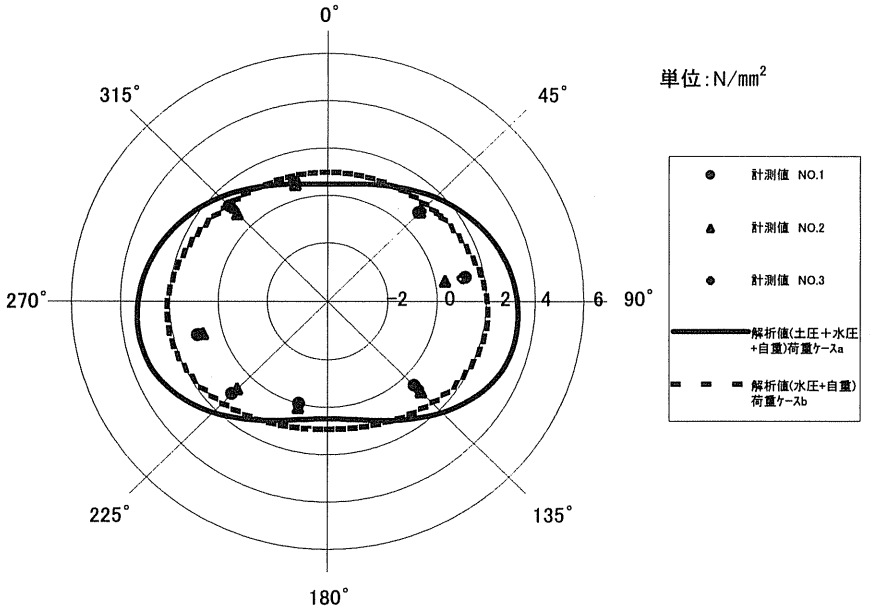


図－４．２０　計測断面①　断面応力度分布図

表－４．９　計測断面②　発生応力(主ひずみの差)と解析値比較表

測定位置		計測断面②				
		解析値(N/mm^2)		発生応力度(N/mm^2)		
		土圧＋水圧＋自重(荷重ｹｰｽa)	水圧＋自重(荷重ｹｰｽb)	断面NO．１	断面NO．２	断面NO．３
1	345°	0.6	0.9	0.7	0.6	0.6
2	45°	1.6	1.1	0.8	0.9	0.9
3	80°	2.8	1.7	1.3	0.4	1.1
4	135°	2.0	1.5	0.6	0.9	0.8
6	225°	2.0	1.5	1.1	0.8	1.1
7	255°	3.1	1.9	1	0.8	0.9
8	315°	1.6	1.2	1.2	0.8	1.1

応力度の符号：圧縮(+)，引張(-)



図－４．２１　計測断面②　断面応力度分布図

４．３　まとめ

砂礫土と砂質土の互層地盤における異形断面太鼓型シールドトンネル(セグメント外径縦 7.65m×横5.1m、土被り約10m)、砂礫地盤における場所打ちライニングシールドトンネル(覆工外径φ6.5m、土被り約 15m)といった特殊な施工条件下のもとで施工されたトンネルに作用する荷重について、シールドトンネルのセグメントに土圧計、間隙水圧計、鉄筋計を設置し、場所打ちライニングにはコンクリート表面にひずみゲージを設置して覆工の内面側に発生している応力を直接計測する方法で現場計測を行った。

①　異形断面太鼓型シールドトンネル

覆工体に発生する断面力は、テールの影響などにより数日変動するが、その後は断面的には変化しない状態となる。計測断面Ａ、Ｂともゆるみ土圧による解析値よりも鉄筋計による計測値は小さくなっており、覆工断面力より推定される荷重としては静水圧程度の荷重が作用しているものと考えられる。また、矩形の場合には水圧のみを与えた荷重での曲げモーメントの断面形状は、慣用モデルと静水圧分布とはほぼ同じ形状となる。

②　場所打ちライニングシールドトンネル

計測断面①、②ともに「土圧＋水圧＋自重」、「水圧＋自重」の外荷重が覆工に作用するものとして解析した結果、どちらの断面も「水圧＋自重」による解析値にほぼ近い値を示した。これは覆工にはほぼ水圧のみが作用した状態にあると考えられる。

参考文献

1）真下英人、石村利明、藤井邦男 「砂礫地盤中のシールドトンネルに作用する荷重に関する研究報告書」、土木研究所資料第3725号、2000年3月

2）(社)土木学会：「トンネル標準示方書(シールド工法編)・同解説」、1996年

3）猪熊　明、大山耕三、伊野敏美、藤井義文：「異形断面シールドトンネルの覆工設計と地盤計測解析」土木学会論文集NO.631/Ⅲ-48. 469-479、1999年9月

第５章　数値解析によるシールドトンネル掘削時の周辺地盤の挙動の検討

５．１ 概　説

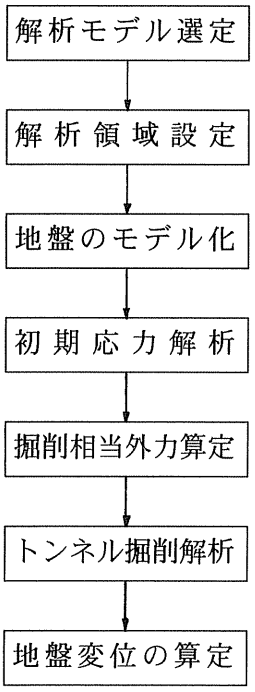
近年、都市におけるシールドトンネルは、地中構造物の輻輳化とともに既設構造物に近接して施工しなければならないなど、これまで以上に厳しい現場条件下での施工を余儀なくされるケースが多くなった。このため、シールド工事を行ううえで地盤変状防止は今後とも避けて通ることのできない重要課題といえる。よって、地盤変状現象を把握し、その程度を予測することは工事を進めるうえできわめて重要なことである。地盤変状を予測する手法としては、有限要素法などの数値解析的な解析手法によるものが現在主力となっており、有限要素法によって地盤変状を解析するには、解析モデル、入力物性値、応力解放率などの解析条件を適切に設定する必要がある。しかし、これらの解析条件は、それぞれの現場状況に応じて独自の判断により設定されており、統一された考え方により決められていないのが現状である。本章では、前章で報告された現場計測結果を対象とした有限要素法による数値解析を行い、より実務的な地盤変状予測手法の確立を目的とした解析条件の合理的な設定方法を検討する。

５．２ トンネル掘削時の地盤変状予測方法

５．２．１ 解析の手順

地盤変状解析は、以下の手順によって解析されるものとする。

有限要素法による地盤変状解析では、解析領域、地盤条件の考え方のちがいが、大きく結果に影響すると考えられるため、解析条件の考え方は「シールドトンネル掘削時の地盤変状に関する現場計測報告書」（建設省土木研究所資料第 3645 号）[1]に基づいて検討を進めるものとした。地盤変状解析の手順を図－５．１に示す。



図－５．１　地盤変状解析の手順

5.2.2 解析モデル選定

シールド掘進に伴う地盤変状の予測解析は古くから行われており、各種の方法が提案されてきたが、現在ではさまざまな施工条件を加味することができる有限要素法による解析が主流となっている。

実際のシールド掘進による地盤変状は三次元的な現象であるから、三次元モデルで取り扱われることが望ましく数値解析技術が高度化するに従い徐々に研究成果が見られるようになってきてはいるが、本検討においては実務的な適用を考慮し、二次元平面ひずみモデルを用いるものとする。

5.2.3 解析領域設定

解析領域の設定は「トンネル掘削時地盤変状の予測・対策マニュアル(案)」[2](建設省土木研究所資料3232号)および「シールドトンネル掘削時の地盤変状に関する現場計測報告書」[1](建設省土木研究所資料3645号)での実測値と有限要素法解析による検討等により、トンネル側壁面から側方境界までの距離は2H、トンネル底から下方境界までの距離は1Dとして解析領域の設定を行った。

5.2.4 地盤のモデル化

（1）応力～ひずみモデル

解析に用いる地山の応力～ひずみモデルは、地山の特性を的確に評価できるものが望ましいが、入力に用いる地山物性値等については不確定要素もあるため、本検討においてはパラメーターの少ない線形弾性モデルを用いるものとした。

（2）要素分割

解析に用いる地山の有限要素としては、要素内のひずみを一定とした三角形要素、複雑な形状に適応性の高いアイソパラメトリック四辺形要素などがある。本検討ではアイソパラメトリック四辺形8節点要素を用いた。

要素分割する際には、一般的に応力勾配が大きいトンネル周辺部を密に分割するとともに、地層の区分を分割された要素の物性値の違いにより表せるように分割する。

なお、厚い軟弱層などのように同一地層が深度方向に厚く分布する場合には、変形係数の拘束圧依存性を考慮するため、深度方向に適度に分割することもある。

（3）地山物性値

地山物性値の設定は、①試験による、②類似工事の逆解析によるなどの方法があるが、現状では必ずしも統一された考え方により決められていない。統一的に定められない最も大きな理由は、シールドやセグメントとの境界での地盤の挙動、裏込め注入による地盤変状の抑制効果などが十分に解明されていないためである。しかし、シールドの施工により発生する地盤変位をすべての要因を一括した応力解放率と表現して解析を行う上では地盤物性値と応力解放率は対で考える必要があり、応力解放率の定量的な評価を行うためにも地山物性値の統一的な設定方法が必要である。

1）変形係数

有限要素法に用いる地山の変形係数は、ボーリング孔内水平載荷試験、サンプルコアの一軸・三軸圧縮試験、または、標準貫入試験のN値などから設定することが多い。本検討では以下のように変形係数を設定するものとした。

（砂質土）Ｅ＝７Ｎ（kgf/cm²）（0.68N MN/m²）（Ｎ：標準貫入試験値）……(5.1)

（粘性土）Ｅ＝２１０Ｃ（N/m²）　（Ｃ：粘着力）……(5.2)

粘性土地盤における粘着力Ｃの設定については、基本的に土質試験で得られた一軸圧縮強度ｑｕから

Ｃ＝ｑｕ／2（N/m²）……(5.3)

の関係を用いて算定するものとするが、ｑｕが得られていない場合においてはＮ値を用いて、

ｑｕ≒Ｎ／8（kgf/cm²）（12.25 kN/m²）……(5.4)

の関係から算定する。ただし砂質粘土においては砂質粒子によってｑｕが小さくでるため(5.4)式の適用はできないことがある。

また、非常に軟らかいところでは

ｑｕ＝(1～2.5)Ｎ／8（kgf/cm²）（12.25～30.64 kN/m²）　（ただしＮ＜５）……(5.5)

非常に硬いところでは

ｑｕ＝(0.5～1)Ｎ／8（kgf/cm²）（6.12～12.25 kN/m²）　（ただしＮ＞１５）……(5.6)

となる傾向にあるとの報告[3]もあることから取り扱いについては注意が必要である。

また、軟弱な粘性土地盤ではＮ値がほぼ一定でも変形係数（一軸圧縮強度）の深度依存性が認められることがある。

粘性土の変形係数は上記以外に、応力～ひずみ曲線において、圧縮強さの２分の１の点での割線変形係数Ｅ５０や原位置でのボーリング孔内水平載荷試験による変形係数Ｅｐがあるが、各測定法によって異なった値を示す。

ここでは統一的な解析条件を定めるという意味からも粘性土の変形係数は(5.2)式により設定するものとした。

2）単位体積重量

解析に用いる地盤の単位体積重量は、土質試験結果によるものとする。ただし、試験結果が得られていないものについては、下表を参考に設定する。

表－５．１　土の単位体積重量[4]　単位:kN/m³

	密なもの	ゆるいもの
礫　質　土	19.61(2.0)	17.65(1.8)
砂　質　土	18.63(1.9)	16.67(1.7)
粘　性　土	17.65(1.8)	13.73(1.4)

()内の単位はtf/m³

3）ポアソン比

ポアソン比を求める方法は、弾性波速度、超音波速度によるものがあるが、これらはすべて動的なものであり、本検討のような静的解析に必要なポアソン比νを求める一般的な手法はない。そこで、本解析では各種地盤に対する一般的な値として以下の値を用いるものとする。

（砂質土）　$\nu = 0.3 \sim 0.4$

（粘性土）　$\nu = 0.35 \sim 0.4$

（礫質土）　$\nu = 0.3$

5.2.5 初期応力解析

トンネル掘削による各種影響を予測するためには、掘削前の応力（初期地山応力）状態の適切な設定が重要である。特に、解析手法のうち応力解放率を用いた手法では、掘削相当外力の設定においてトンネルの初期応力から得られた等価節点力が重要な構成要因となっている。

本解析では、一般に採用されている方式と同様に、土被り圧と側方土圧係数を用いた応力計算により初期応力状態を設定する。

ここで、側方土圧係数KはK＝ν／（1－ν）でポアソン比のみから決定されるものとする。

5.2.6 トンネル掘削解析

トンネル掘削解析においてトンネルの掘削の模擬は、トンネル掘削予定面に掘削相当外力を作用させることにより行っている。掘削相当外力は初期応力解析で得られた地盤応力に対し、地盤変位におよぼす要因すべてを一括した応力解放率αを用いて以下のように算定する。

$$P = \alpha \cdot P_0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.7)$$

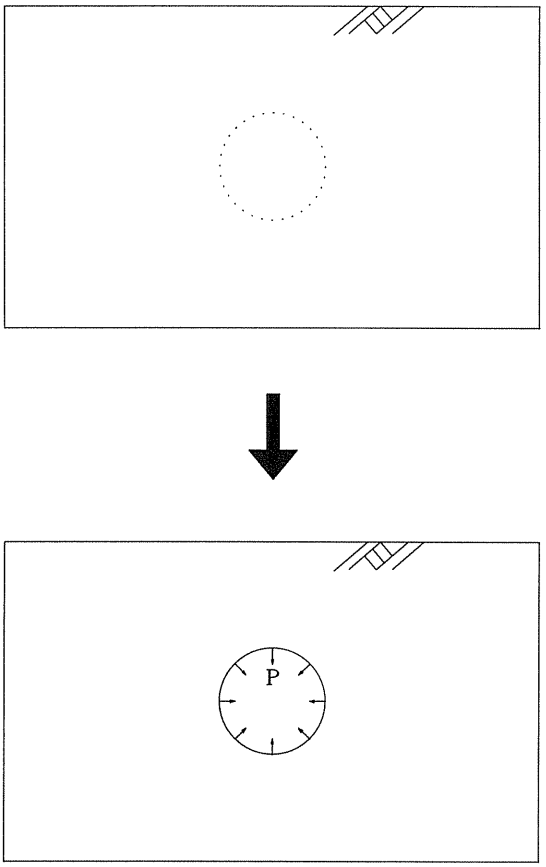
ここに、

P　：地盤変位に寄与する掘削相当外力

P_0：掘削前の地盤応力（初期応力解析で算出）

α　：応力解放率（%）

以下5．3～5．4において各シールドでの解析結果を報告するが、本検討は地質状況、シールド径、土被り等の相違により現場計測で得られた実測値に対する応力解放率αが、どのように変化するのかを比較検討するため、近接構造物はモデル化の対象とはせず地盤のみのモデルによって検討した。



（ＳＴＥＰ１）初期応力解析

P_0：地山の初期応力

※ここで算出される変位は初期化する

（ＳＴＥＰ２）応力解放α％

$P = \alpha \cdot P_0$

ここに、

Ｐ　：地盤変位に寄与する掘削相当外力

P_0：掘削前の地盤応力

α　：応力解放率（％）

$\delta 1$：変位

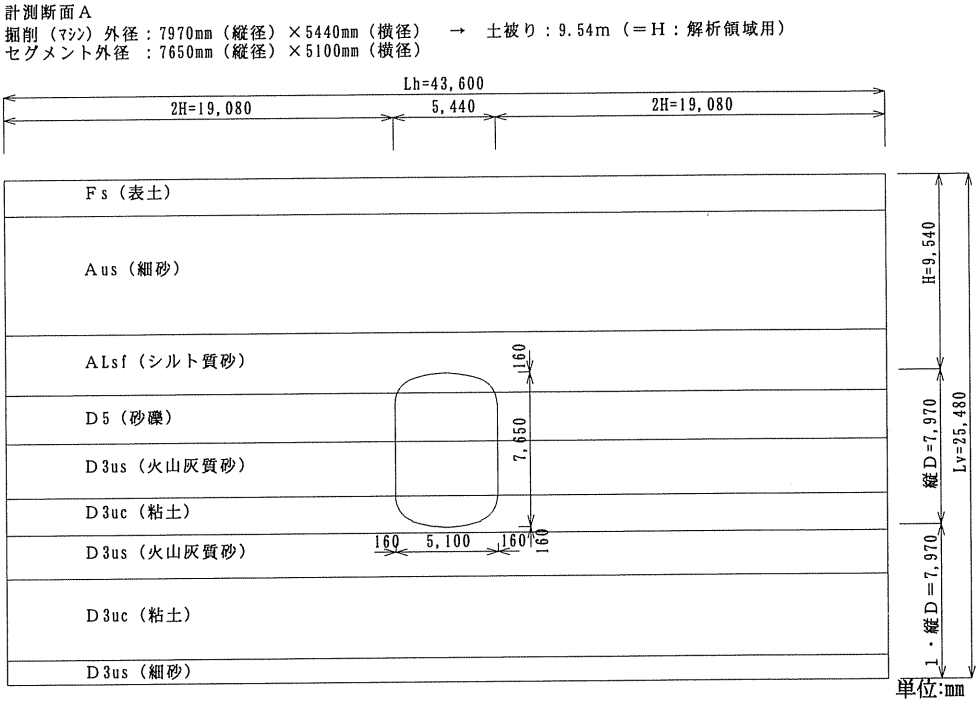
図－５．２　ステップ解析の手順（応力解放率解析法）

5．3 太鼓型シールドトンネル掘削時の周辺地盤の挙動

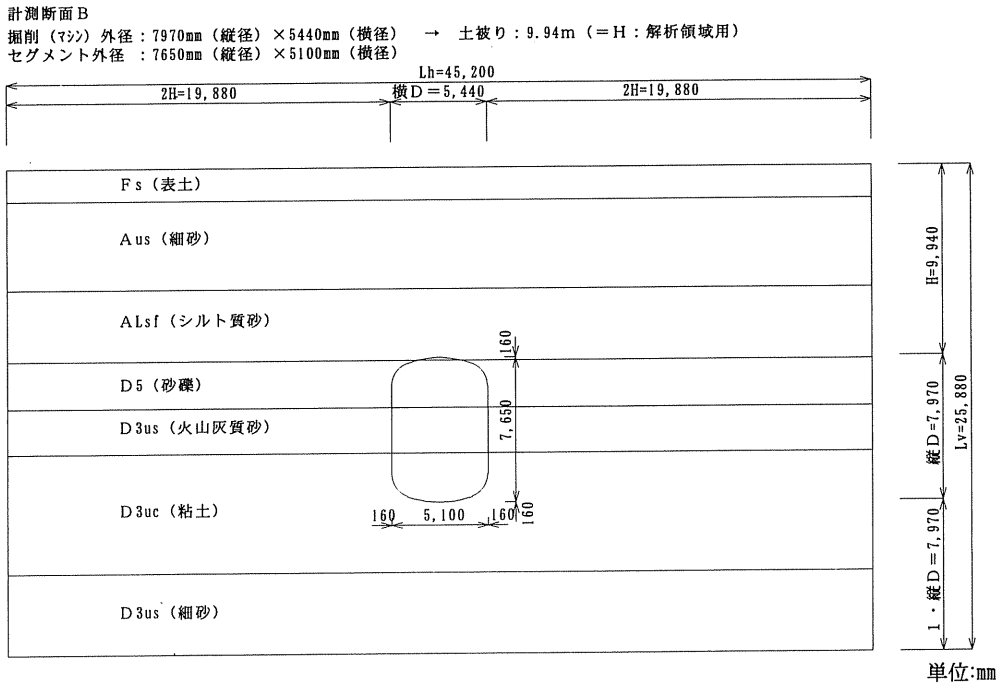
5．3．1 解析条件設定

（1）解析領域

図－5．3(1)～(2)に解析領域図を示す。



図－5．3(1) 計測断面A 解析領域図



図－5．3(2) 計測断面B 解析領域図

（2）地盤定数

表－５．２に地盤物性値の入力諸定数を示す。

表－５．２　地盤物性値の入力諸定数

	計測断面Ａ			計測断面Ｂ		
	γ (kN/m^3)	E (MN/m^2)	ν	γ (kN/m^3)	E (MN/ m^2)	ν
Ｆｓ(表土)	17.65	2.06	0.40	17.65	2.06	0.40
Aus(細砂)	17.65	8.24	0.35	17.65	5.49	0.35
ALsf(シルト質砂)	17.65	4.81	0.35	17.65	4.81	0.35
D5(砂礫)	20.59	31.58	0.30	20.59	44.62	0.30
D3us(火山灰質砂)	17.65	22.65	0.30	17.65	2.75	0.30
D3uc(粘土)	17.65	12.36	0.40	17.65	15.45	0.40
D3us(火山灰質砂)	17.65	11.58	0.30	—	—	—
D3us(細砂)	17.65	27.46	0.30	17.65	34.32	0.30

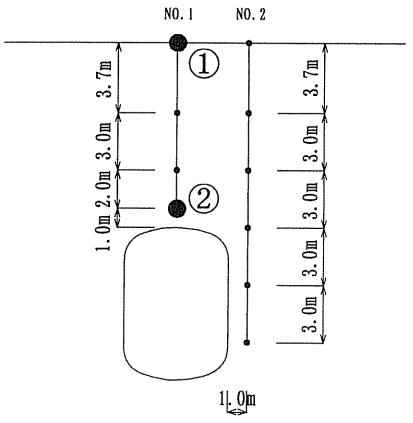
５．３．２ 解析結果

（1）着目点での応力解放率

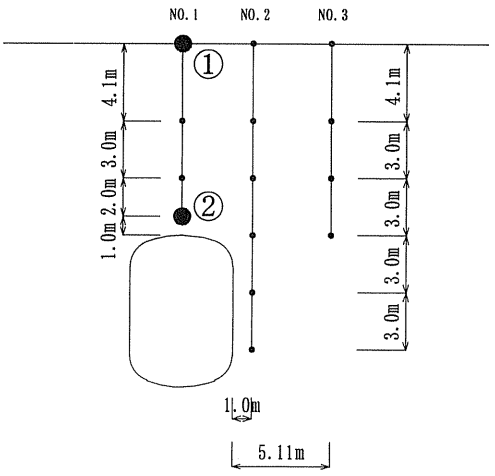
図－５．４(1)～(2)に示す２点を着目点とし、解放率と沈下量の関係を図－５．５(1)～(4)に示す。

応力解放率解析法において得られた沈下量の実測値に対応する応力解放率αを表－５．３に示す。

着目点①（シールド直上地表面）の方が着目点②（シールド天端１ｍ上）より実測値に対する応力解放率αが小さくなっており、着目点①では計測断面Ａ，Ｂとも２０％程度、着目点②では計測断面Ａ、Ｂとも55％程度となっている。



図－５．４(1)　計測断面Ａ　着目点位置



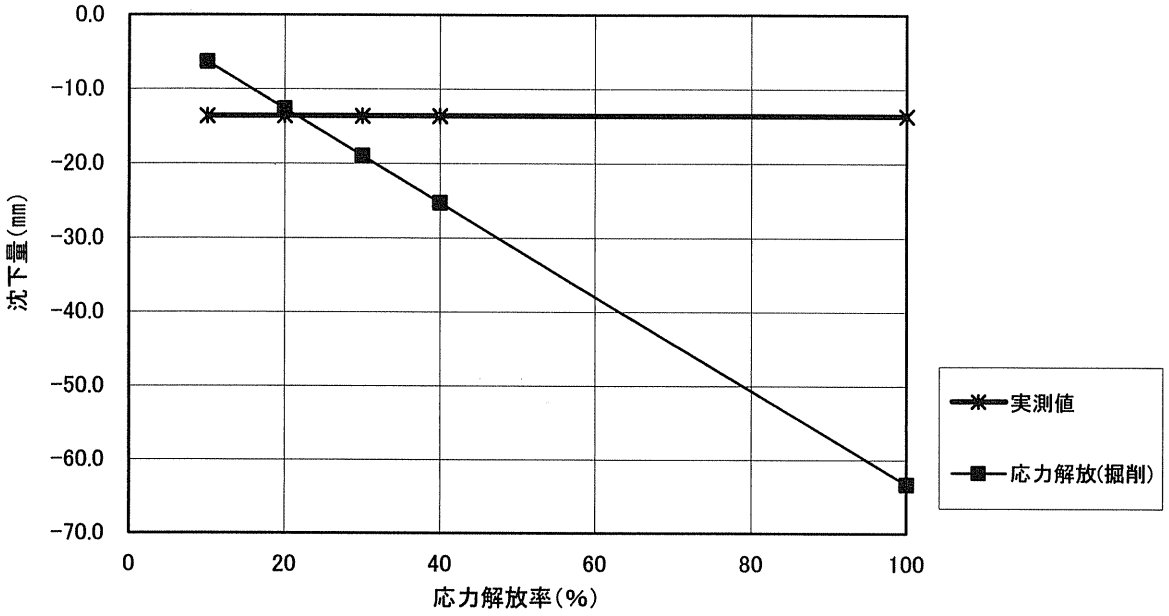
図－５．４(2)　計測断面Ｂ　着目点位置

表－５．３　実測値に対する応力解放率α

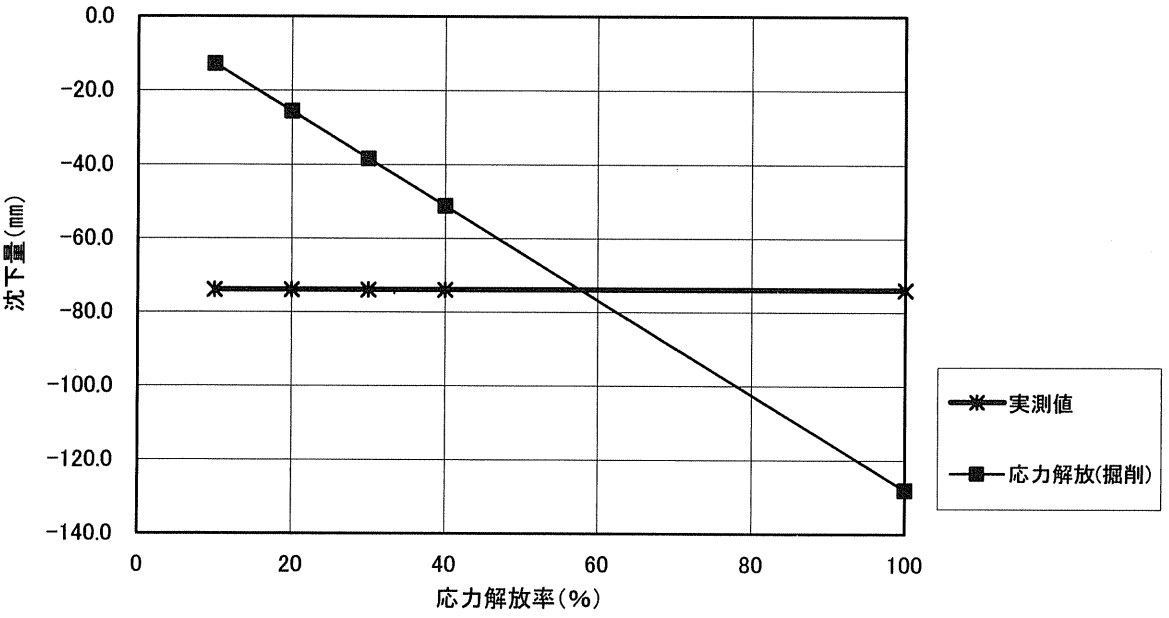
着目点 解析方式	① (ｼｰﾙﾄﾞ直上地表面)	② (ｼｰﾙﾄﾞ天端1m上)
計測断面Ａ	22.2%	52.4%
計測断面Ｂ	21.4%	57.7%

（２）層別沈下量

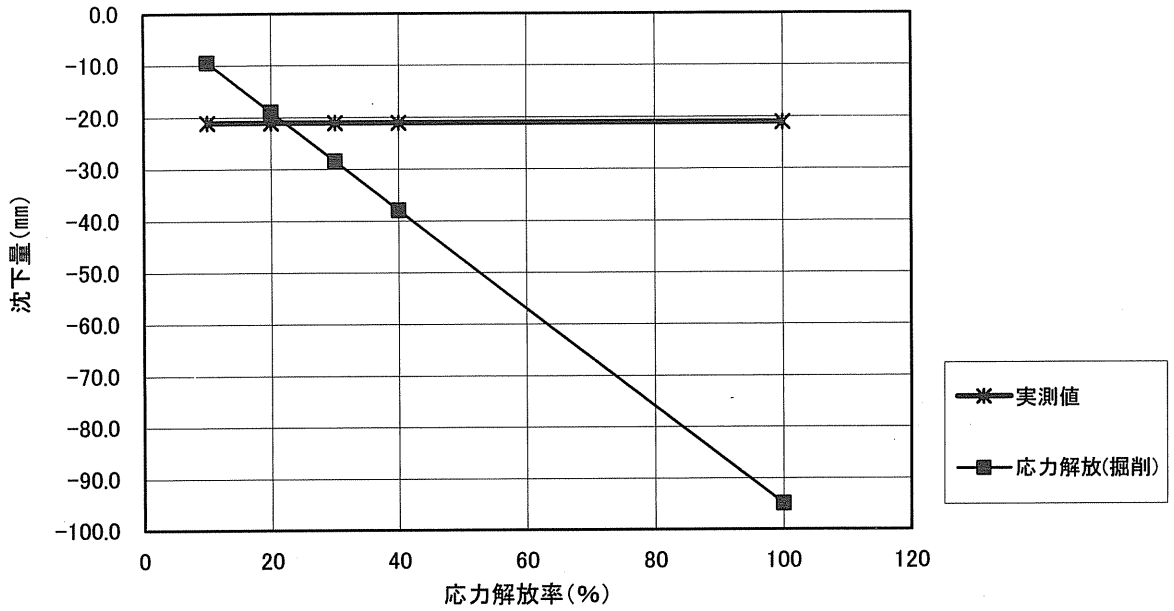
計測断面Ａおよび計測断面Ｂにおける層別沈下量の計測および解析結果を図－５．６(1)～(5)に示す。計測値からはシールド天端から直上１ｍまでは沈下量が急激に減少しており、線形弾性モデルとしてのシミュレートが困難であった。



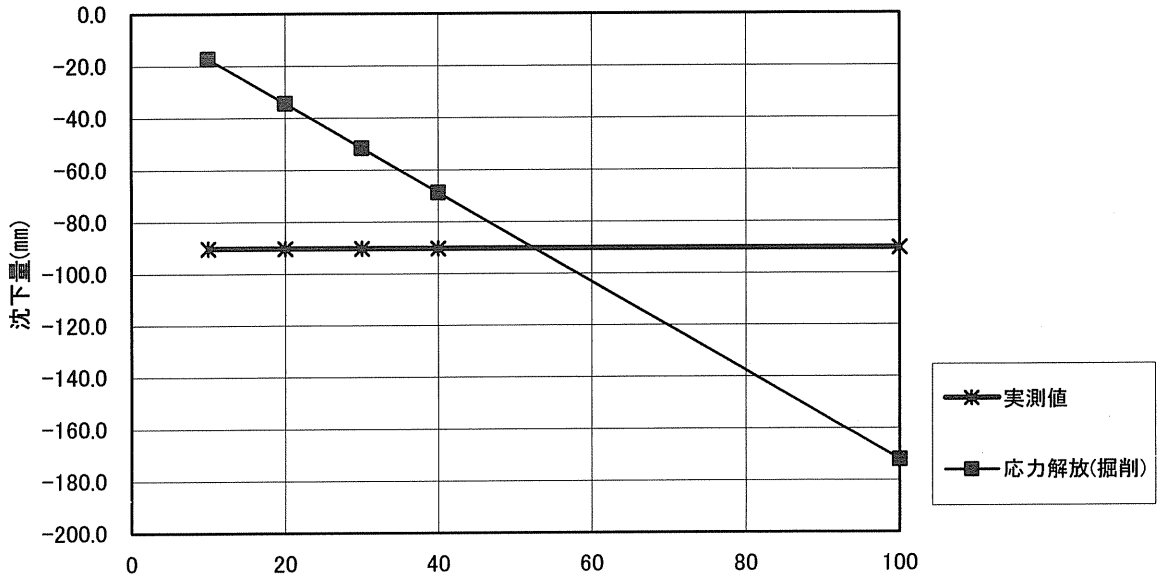
図－５．５(1)　計測断面Ａ　解放率と沈下量の関係(着目点①)



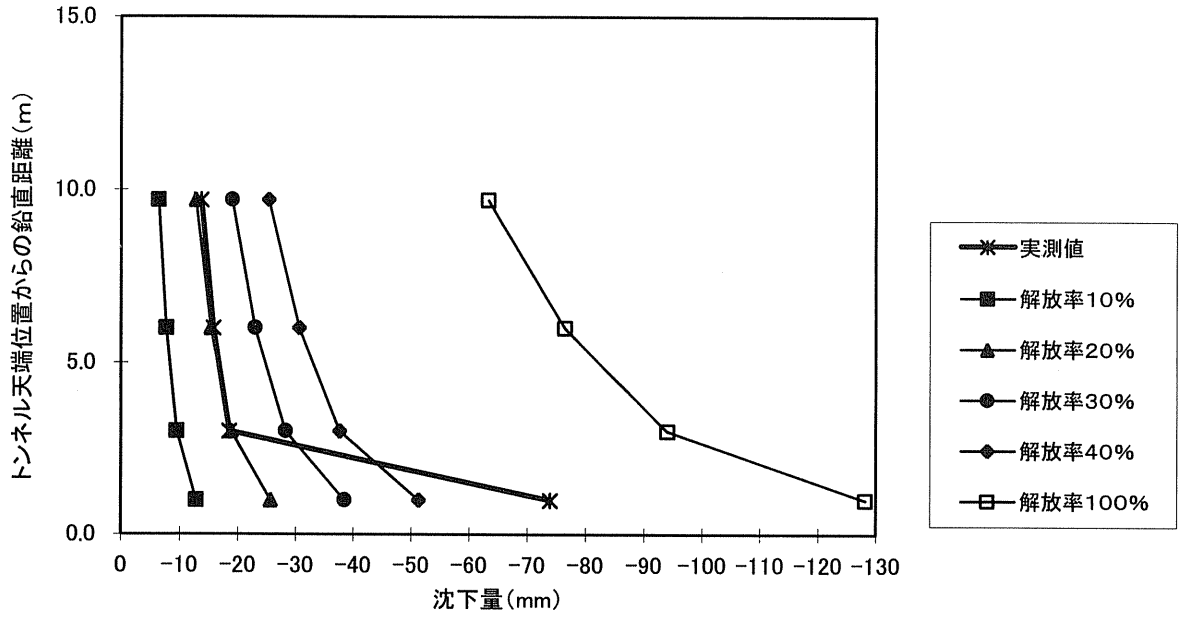
図－５．５(2)　計測断面Ａ　解放率と沈下量の関係(着目点②)



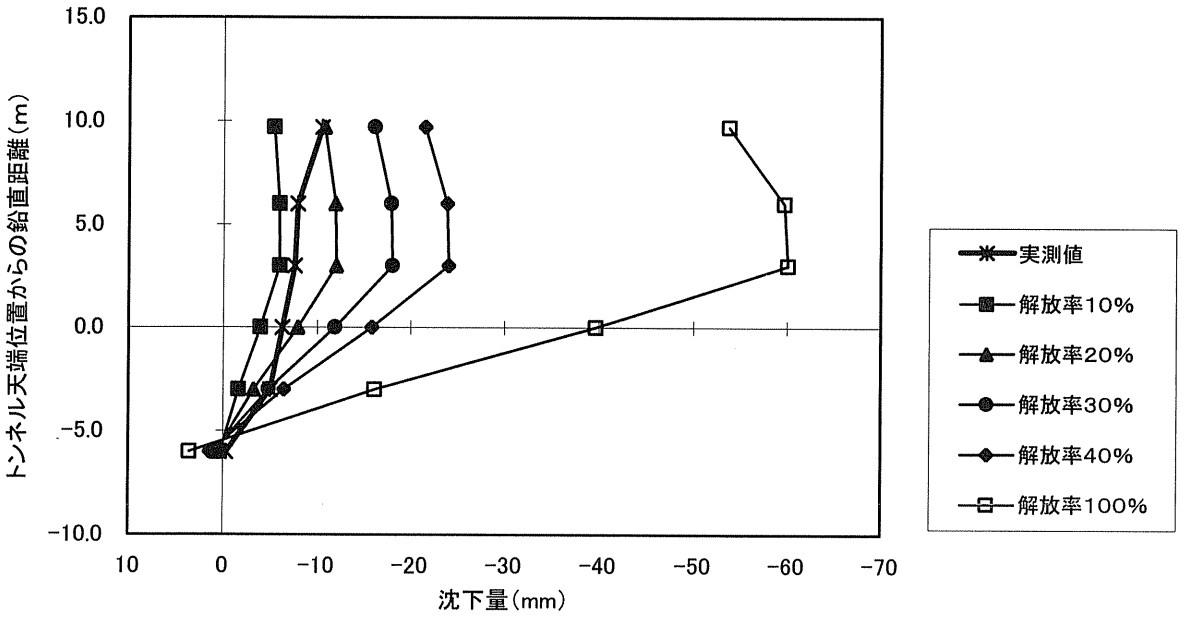
図－５．５(3)　計測断面Ｂ　解放率と沈下量の関係(着目点①)



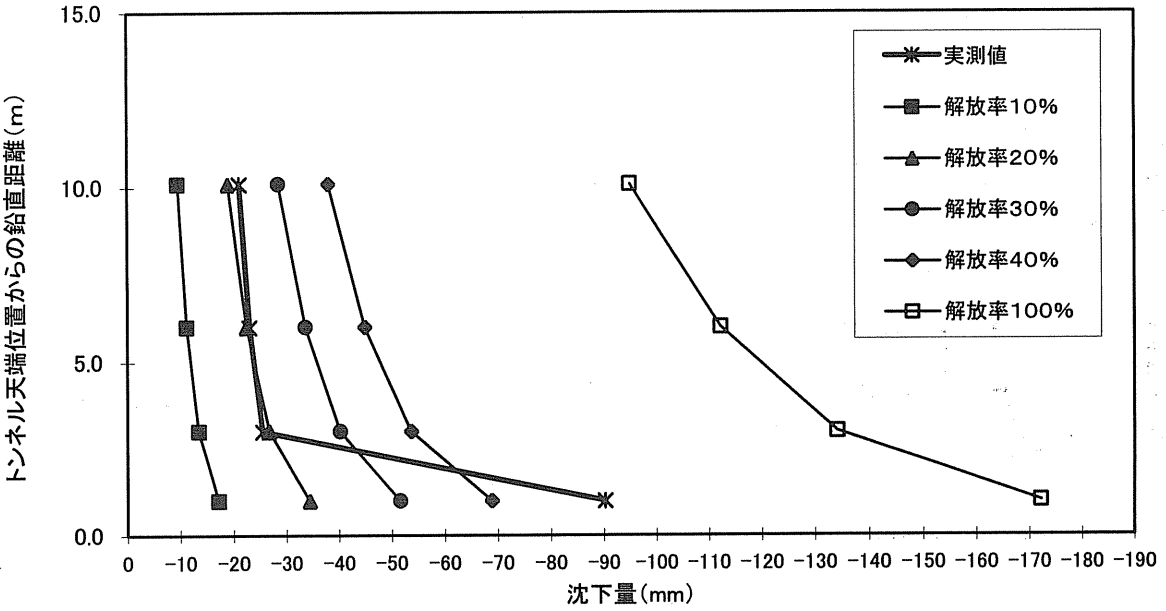
図－５．５(4)　計測断面Ｂ　解放率と沈下量の関係(着目点②)



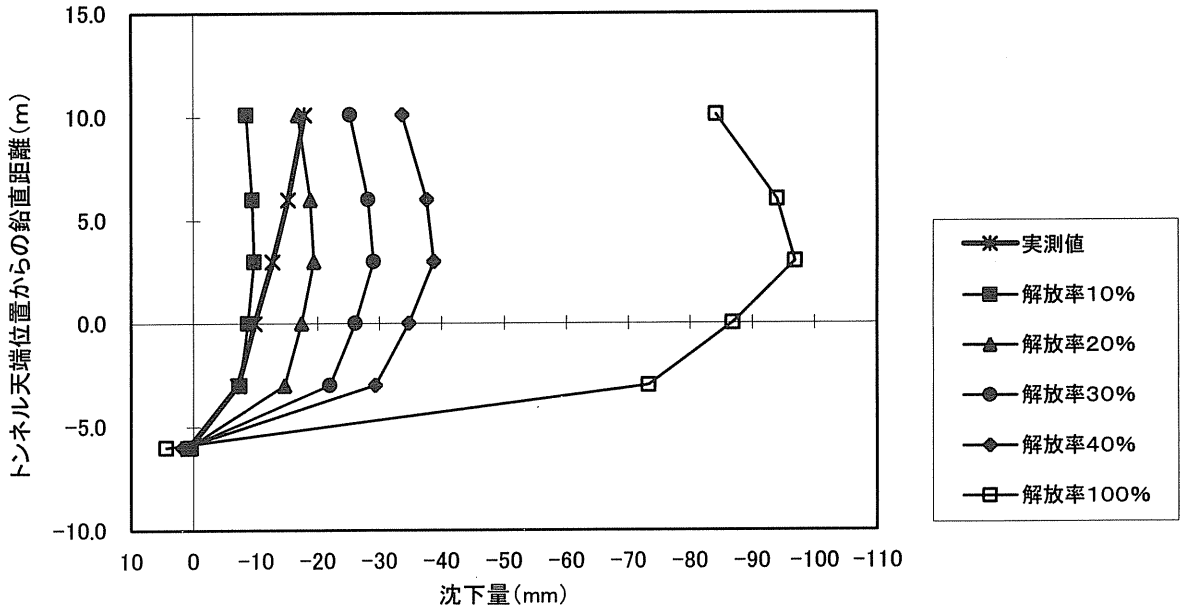
図－５．６(1)　層別沈下計の計測データおよび解析結果(計測断面A　NO.1)



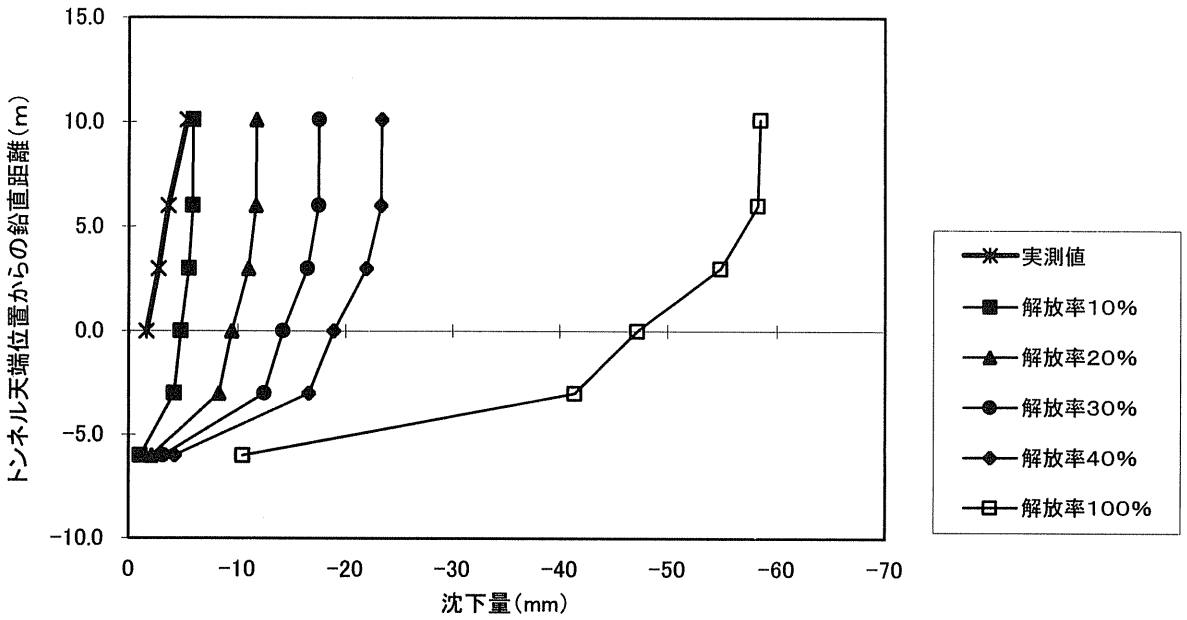
図－５．６(2)　層別沈下計の計測データおよび解析結果(計測断面A　NO.2)



図－５．６(3)　層別沈下計の計測データおよび解析結果(計測断面B　NO.1)



図－５．６(4)　層別沈下計の計測データおよび解析結果(計測断面B　NO.2)



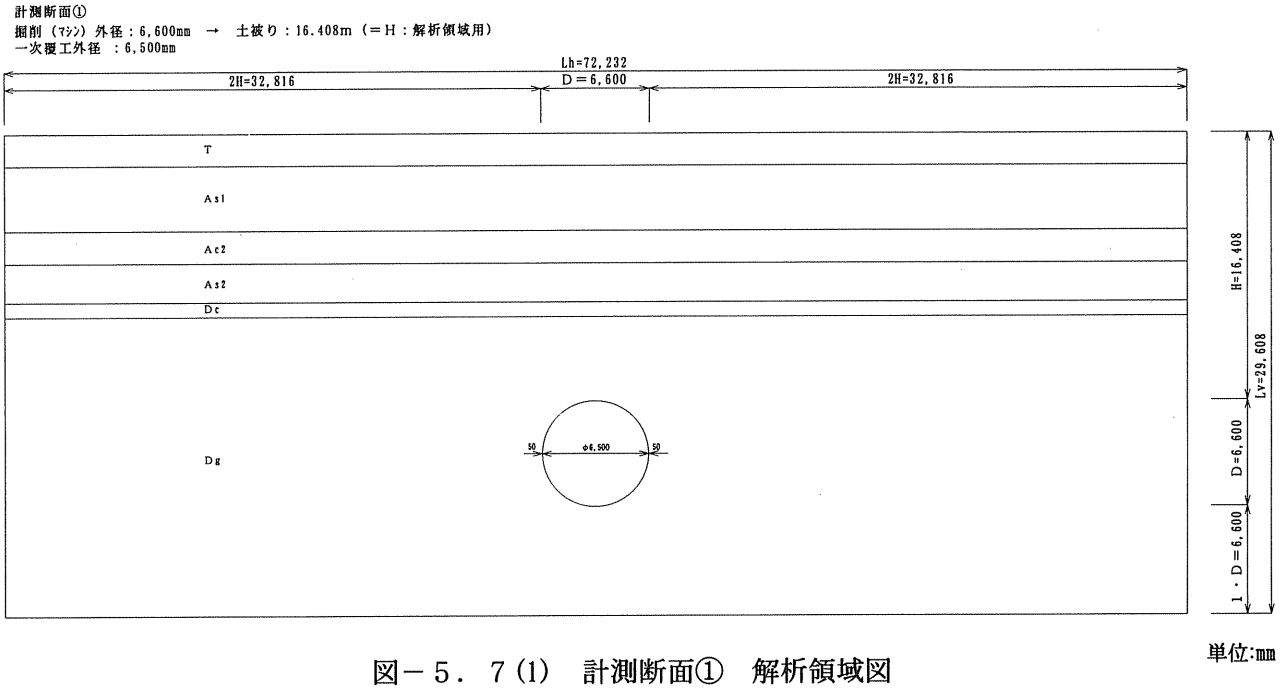
図－５．６(5)　層別沈下計の計測データおよび解析結果(計測断面B　NO.3)

5．4 場所打ちライニングシールドトンネル掘削時の周辺地盤の挙動

5．4．1 解析条件設定

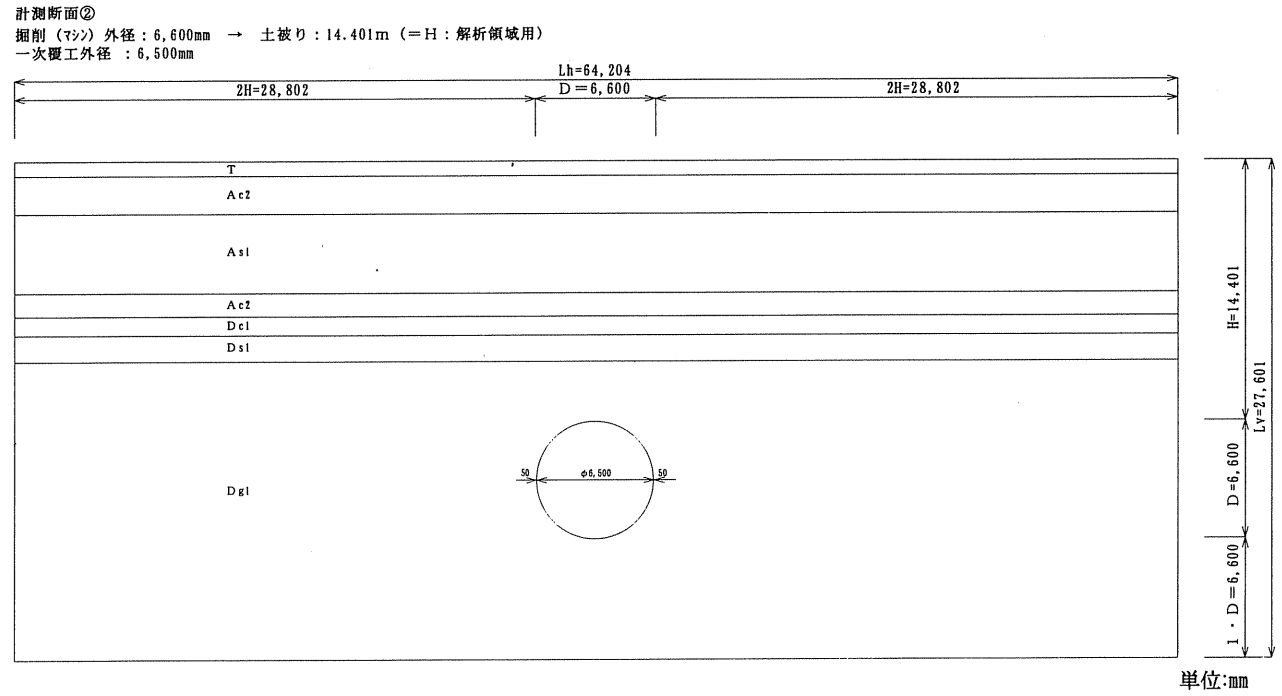
（1）解析領域

岡南共同溝では各計測断面ごとに３測線の計測を行っているが、各側線は土質、土被りなどの条件がほぼ同一であるため、ここでは計測断面①、②とも側線２の条件を用いて解析を行うものとした。図－5．7(1)～(2)に解析領域図を示す。



単位:mm

図－５．７(1)　計測断面①　解析領域図



単位:mm

図－５．７(2)　計測断面②　解析領域図

（2）地盤定数

表－５．４に地盤物性値の入力諸定数を示す。

表－５．４　地盤物性値の入力諸定数

	計測断面①		
	γ (kN/m^3)	E (MN/m^2)	ν
As1(砂質土)	17.55	0.39	0.35
Ac2(粘性土)	16.48	6.59	0.40
As2(砂質土)	17.36	2.75	0.35
Dc(粘性土)	17.55	33.57	0.35
Dg(砂礫土)	20.59	28.15	0.30

	計測断面②		
	γ (kN/m^3)	E (MN/m^2)	ν
Ac2(粘性土)	17.65	6.18	0.40
As1(砂質土)	17.65	9.61	0.35
Dc1(粘性土)	17.65	18.53	0.35
Ds1(砂質土)	17.65	5.49	0.35
Dg(砂礫土)	20.59	31.58	0.30

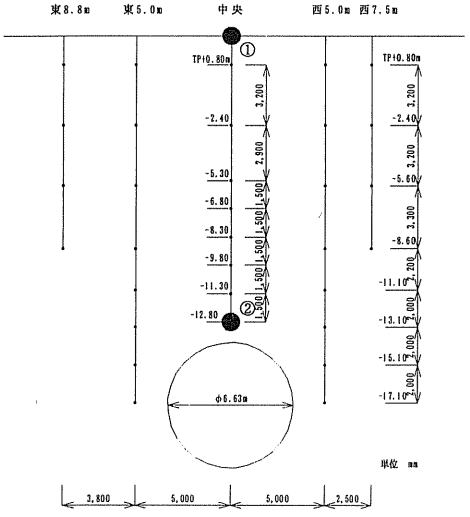
５．４．２ 解析結果

（１）着目点での応力解放率

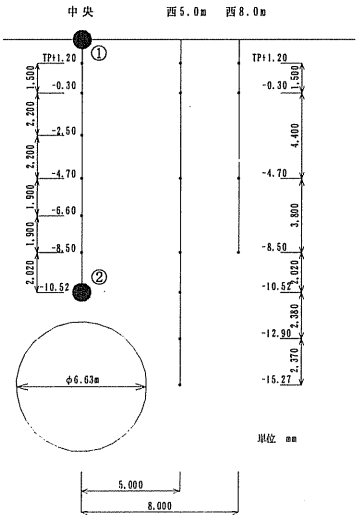
図－５．８(1)～(2)に示す２点を着目点とし、解放率と沈下量の関係を図－５．９(1)～(4)に示す。

応力解放率解析法において得られた沈下量の実測値に対応する応力解放率αを表－５．５に示す。

計測断面①、側線２の着目点②（シールド天端1.5m上）を除いて、着目点①（シールド直上地表面）、着目点②（シールド天端 1.5m上）ともに、計測断面①、計測断面②のどちらも実測値に対する応力解放率αが約１０％前後となっている。



図－５．８(1)　計測断面①　着目点位置



図－５．８(2)　計測断面②　着目点位置

表－５．５　　実測値に対する応力解放率α

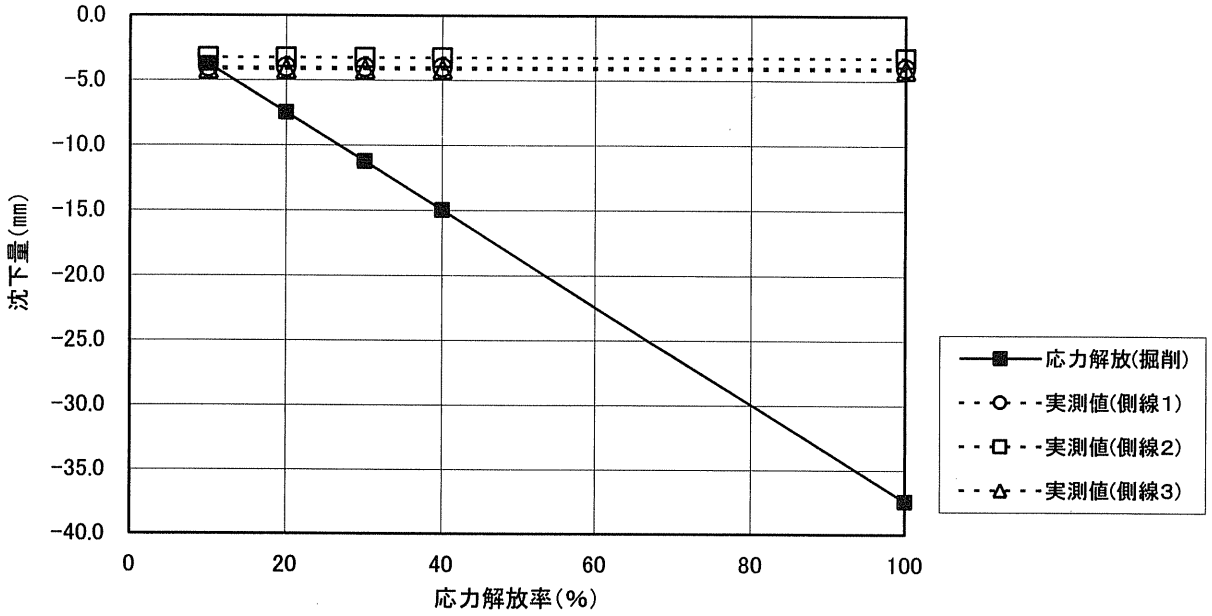
計測断面①		
着目点	① (ｼｰﾙﾄﾞ直上地表面)	② (ｼｰﾙﾄﾞ天端1m上)
側線１	10.8%	8.5%
側線２	8.7%	61.2%
側線３	11.1%	10.0%

計測断面②		
着目点	① (ｼｰﾙﾄﾞ直上地表面)	② (ｼｰﾙﾄﾞ天端1.5m上)
側線１	4.3%	10.3%
側線２	13.2%	15.4%
側線３	9.3%	9.6%

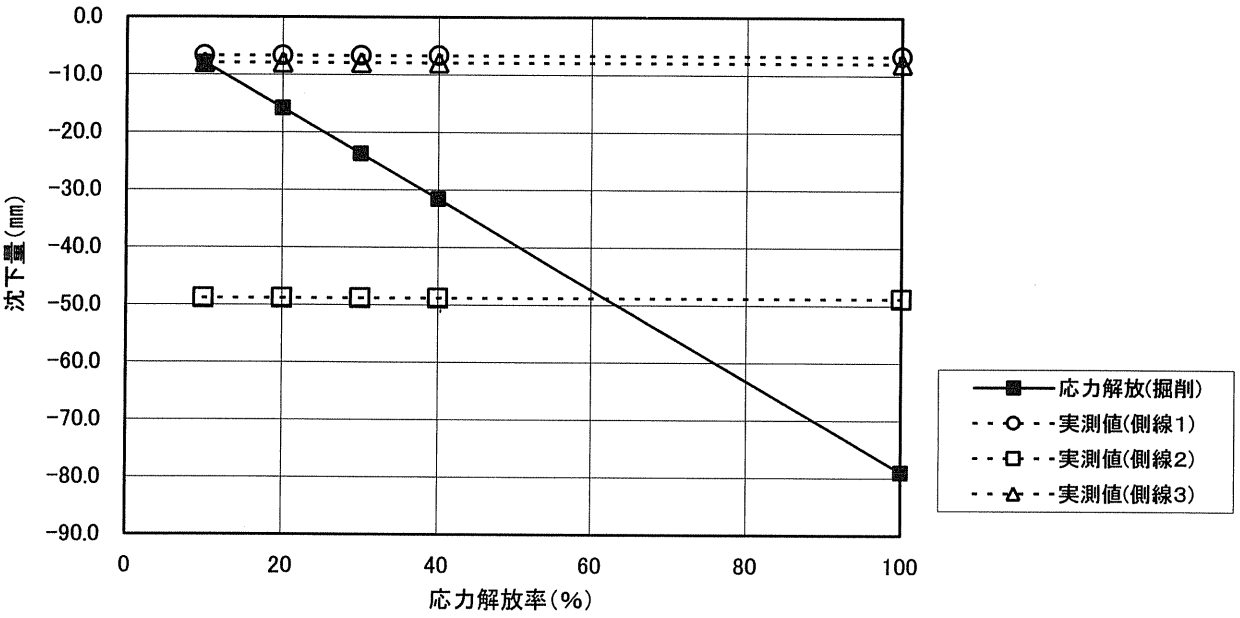
（２）層別沈下量

計測断面①および計測断面②における層別沈下量の計測および解析結果を図－５．１０(1)～(8)に示す。

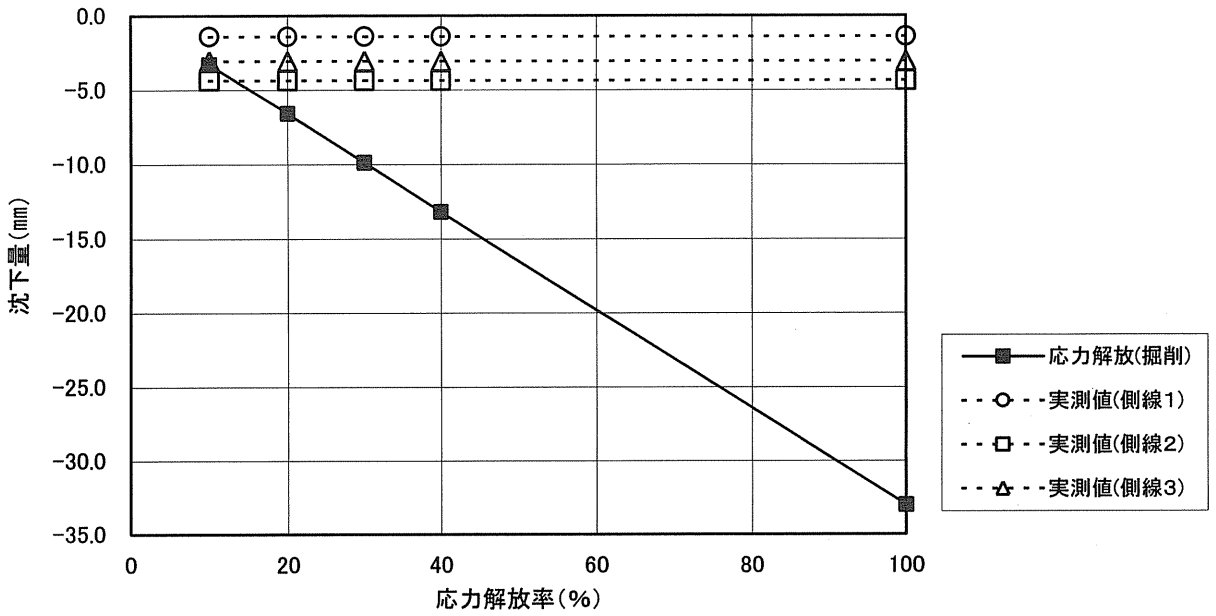
計測断面①の側線２において、計測値からはシールド天端から直上約 4.0mまでに急激な沈下量の減少がみられるが、他の側線では計測断面①、②のどちらも解析結果と近似しており、ほぼ線形弾性モデルとしてシミュレートできた。



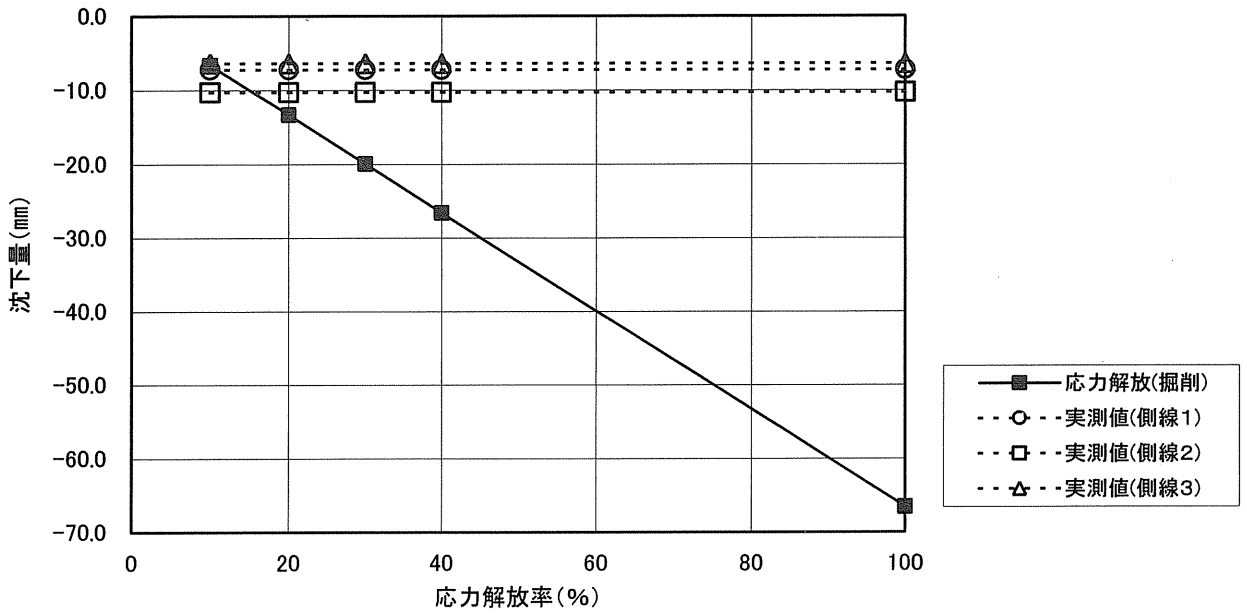
図－５．９(1)　計測断面①　解放率と沈下量の関係(着目点①)



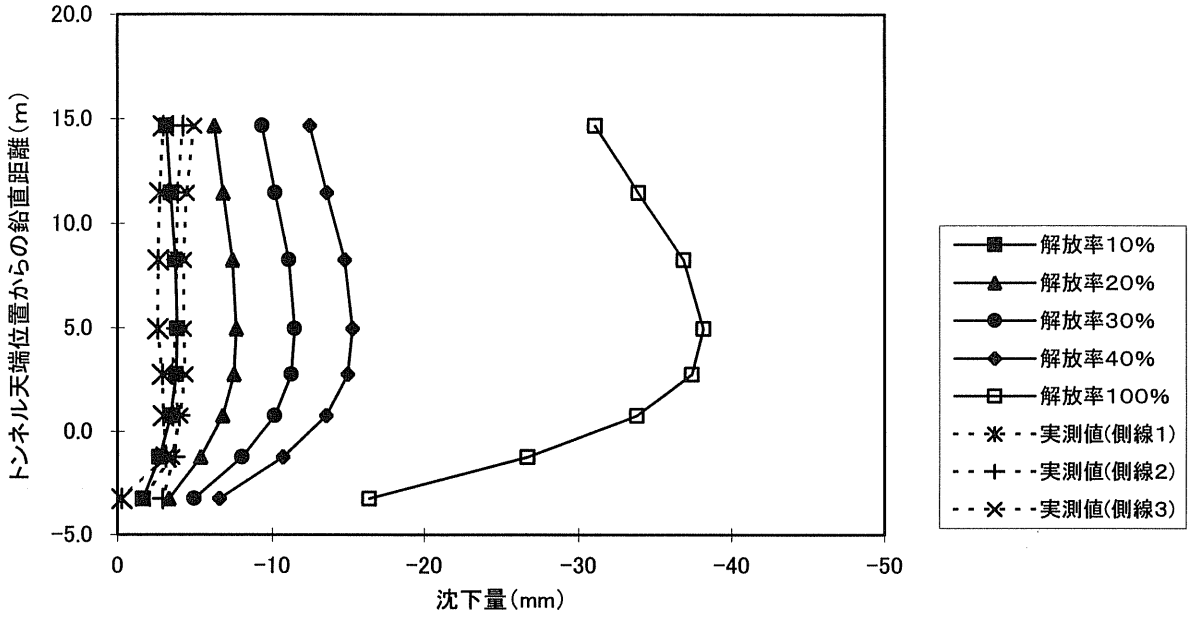
図－５．９(2)　計測断面①　解放率と沈下量の関係(着目点②)



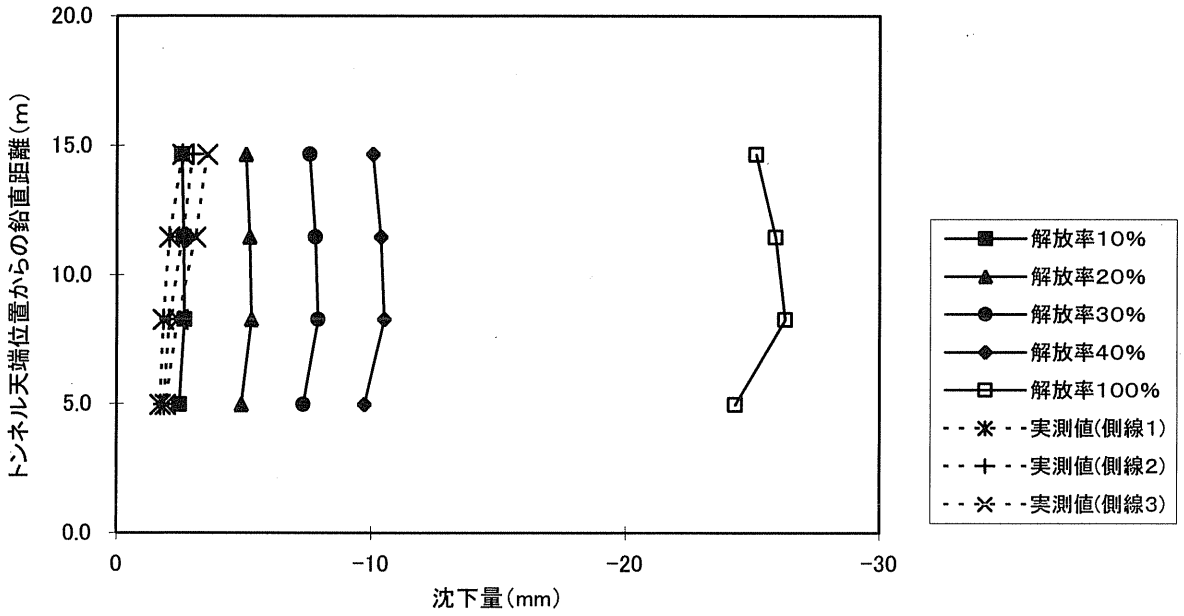
図－５．９(3)　計測断面②　解放率と沈下量の関係(着目点①)



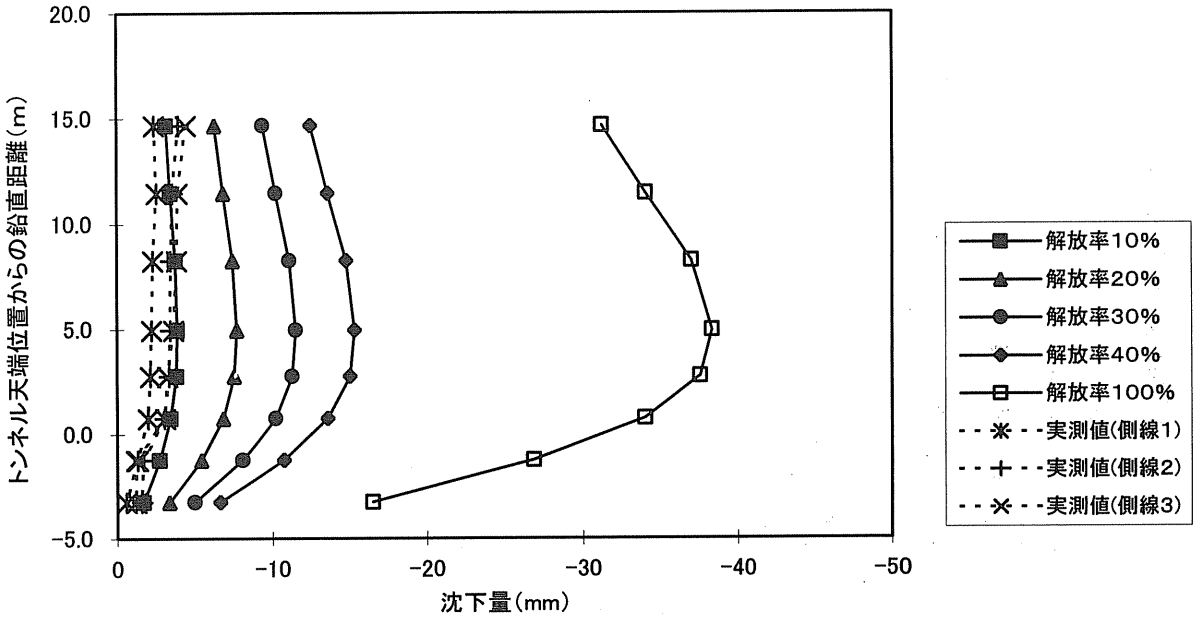
図－５．９(4)　計測断面②　解放率と沈下量の関係(着目点②)



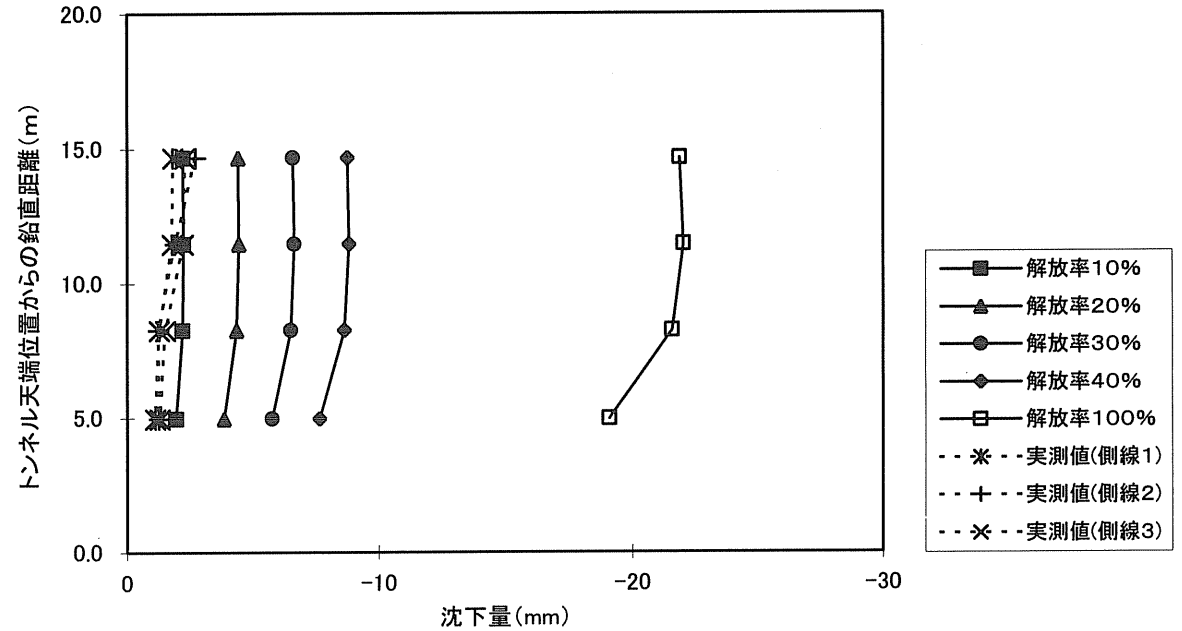
図－５．１０(1)　層別沈下計の計測ﾃﾞｰﾀおよび解析結果(計測断面①　西5m)



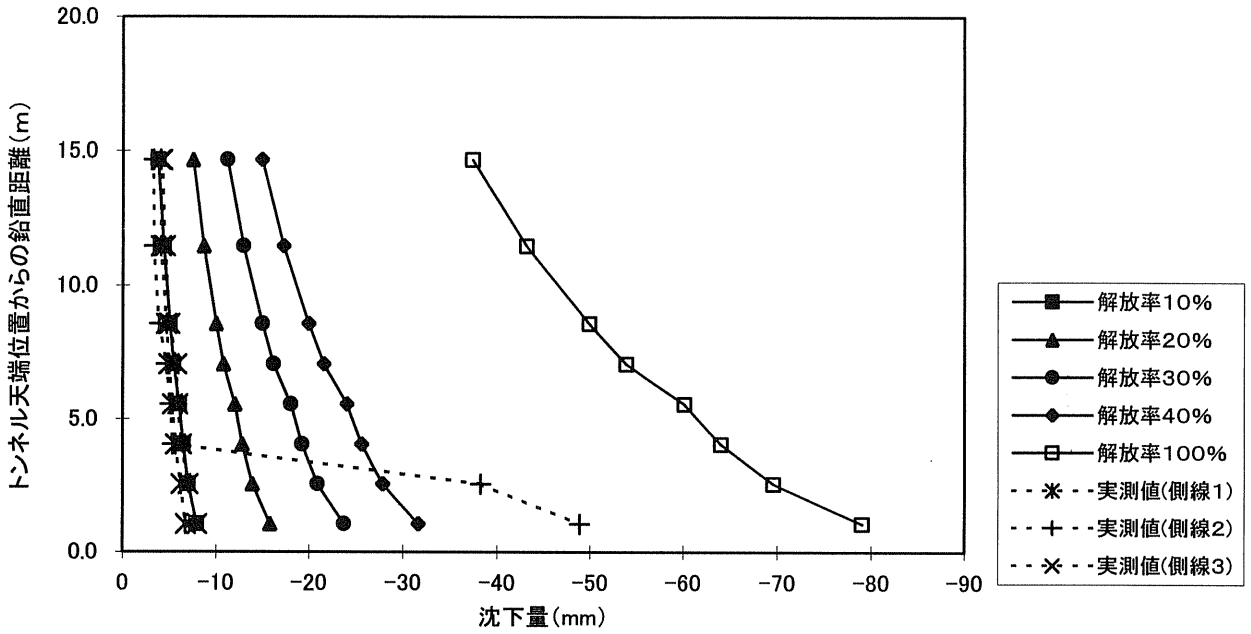
図－５．１０(2)　層別沈下計の計測ﾃﾞｰﾀおよび解析結果(計測断面①　西7.5m)



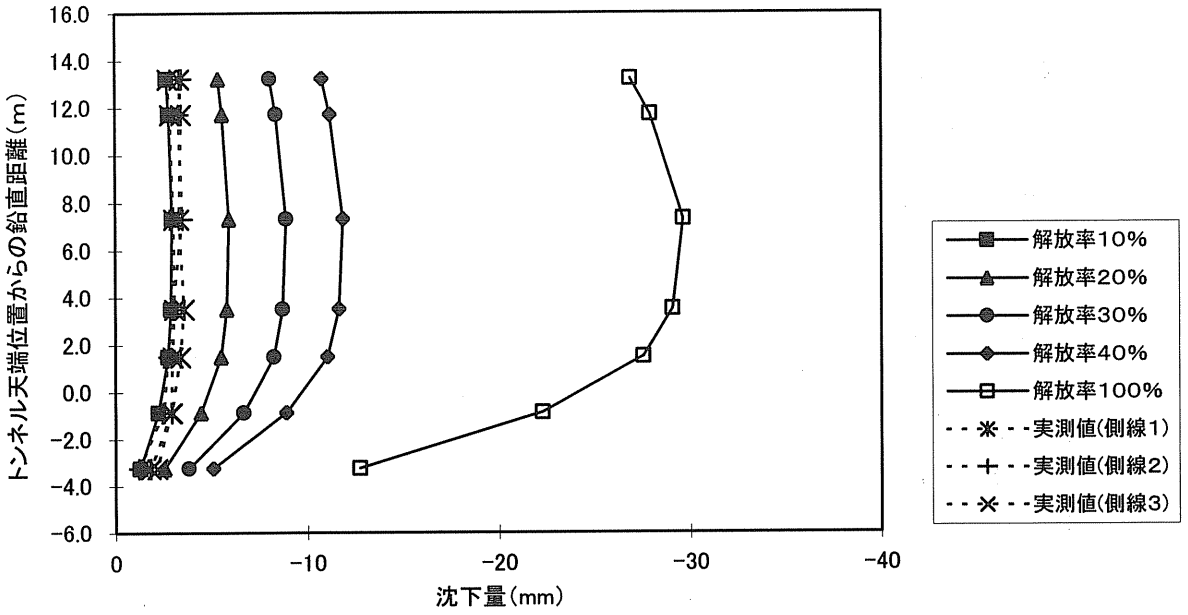
図－５．１０(3)　層別沈下計の計測ﾃﾞｰﾀおよび解析結果(計測断面①　東5m)



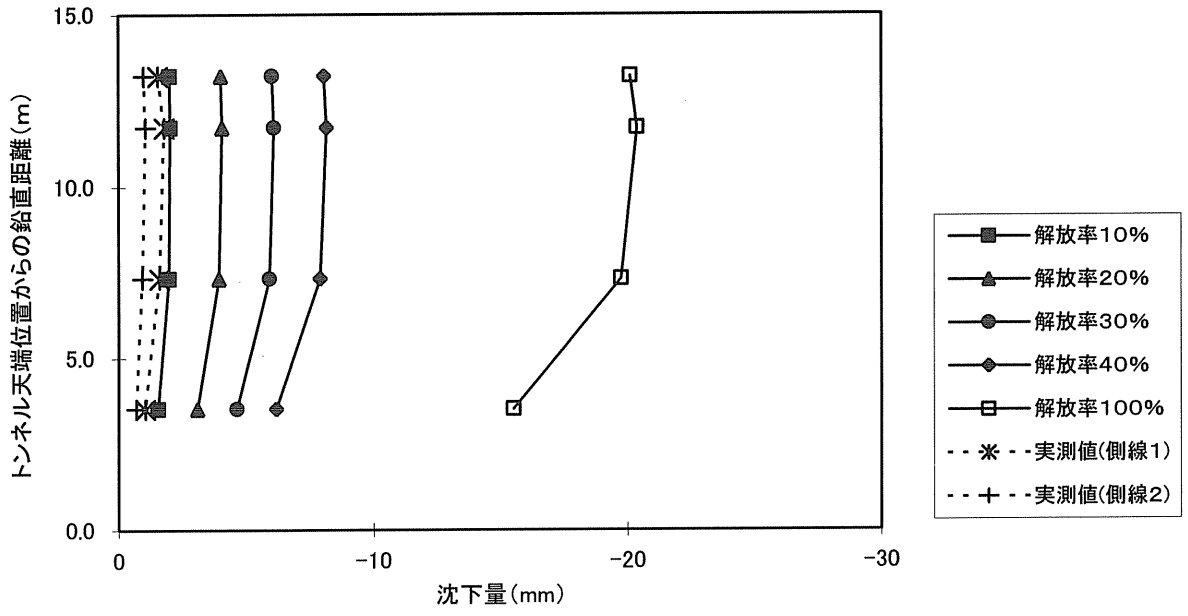
図－５．１０(4)　層別沈下計の計測ﾃﾞｰﾀおよび解析結果(計測断面①　東8.8m)



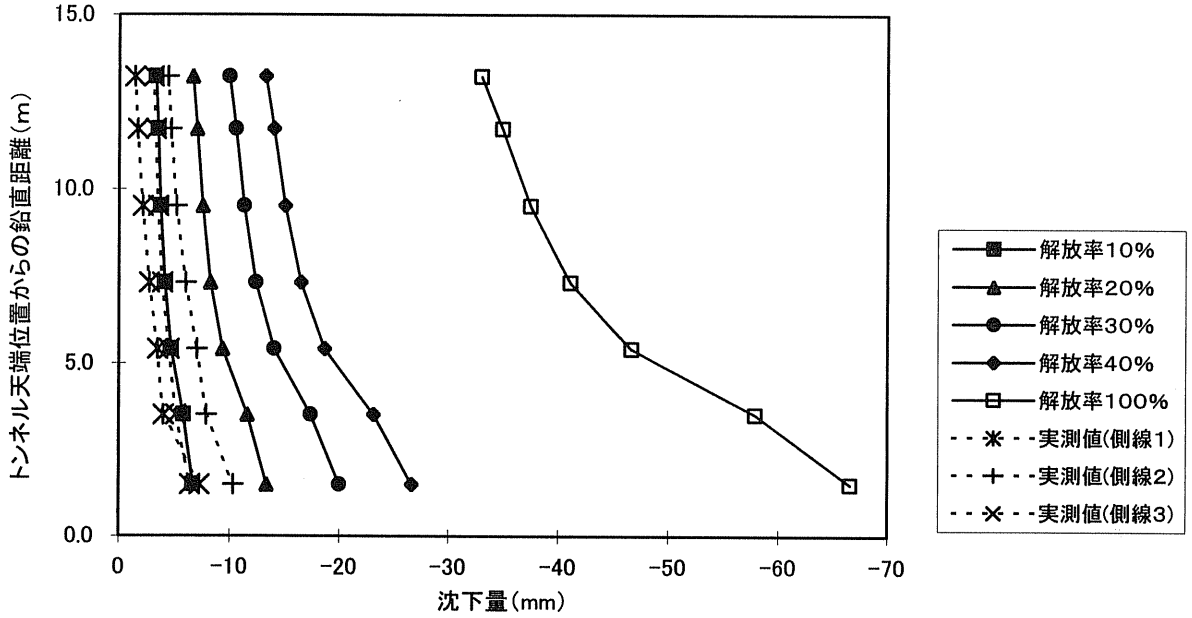
図－５．１０(5)　層別沈下計の計測ﾃﾞｰﾀおよび解析結果(計測断面①　中央)



図－５．１０(6)　層別沈下計の計測ﾃﾞｰﾀおよび解析結果(計測断面②　西5m)



図－５．１０(7)　層別沈下計の計測ﾃﾞｰﾀおよび解析結果(計測断面②　西8m)



図－５．１０(8)　層別沈下計の計測ﾃﾞｰﾀおよび解析結果(計測断面②　中央)

5．5 まとめ

砂礫土と砂質土の互層地盤における異形断面太鼓型シールドトンネル(セグメント外径縦 7.65m×横5.1m、土被り約 10m)、砂礫地盤における場所打ちライニングシールドトンネル(覆工外径φ6.5m、土被り約 15m)の施工時に得られた周辺地盤の変形挙動を対象に、線形弾性有限要素法による数値解析を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

① 異形断面太鼓型シールドトンネル

小田井山田共同溝の異形断面シールドトンネルでは、現場計測により得られた地表面など周辺地盤の変位と比較的整合性のある解析結果を与えるときの応力解放率は、「シールドトンネル掘削時の地盤変状に関する現場計測報告書」(土木研究所資料第 3645 号)[1]に示されるような一般的なシールドの応力解放率（掘削部、シールド上部が砂質地盤で 5～10％程度）に比べると、約 20％と若干大きめの応力解放率になると考えられる。

② 場所打ちライニングシールドトンネル

岡南共同溝の場所打ちライニングシールドトンネルでは、現場計測により得られた変位と整合性のある解析結果を与えるときの応力解放率は、部分的にトンネル天端直上で約 60％と大きくなるところもあるが、周辺地盤の地中内および地表面とも約 10％前後となった。

参考文献

1）真下英人、石村利明、藤井邦男、真弓英大「シールドトンネル掘削時の地盤変状に関する現場計測報告書」、土木研究所資料第 3645 号、1999 年 3 月

2）猪熊　明、角湯克典「トンネル掘削時地盤変状の予測・対策マニュアル（案)」、土木研究所資料第 3232 号、1994 年 2 月

3）地盤工学会「土質基礎工学ライブラリー４　土質調査試験結果の解釈と適用例」、1979 年

4）日本道路協会「道路土工　擁壁・カルバート・仮設構造物工指針」、1987 年

第６章　結論

本報告書では、砂礫土、砂質土の互層地盤における異形断面太鼓型シールドトンネル、砂礫地盤における場所打ちライニングシールドトンネルといった特殊な施工条件のもとで施工されたトンネルを対象に、現場計測結果を取りまとめるとともに、２リングはり－ばねモデル等を用いた解析を行い、セグメントに発生する断面力について検討した。また、有限要素法を用いた解析により、シールドトンネル掘削時の周辺地盤の挙動についても検討を加えた。これらの結果、以下のことが明らかになった。

（１）異形断面太鼓型シールドトンネル(小田井山田共同溝)

１）作用土圧

①トンネルにはほぼ静水圧が作用する。

②土圧計ではシールド天端付近で全土被り土圧に近い値が計測されているが、鉄筋計から求められる発生断面力は、全土被り土圧、ゆるみ土圧での解析による断面力に比べて小さく、水圧のみの荷重状態による断面力分布に近くなる。

③トンネル断面形状が矩形で外荷重を水圧のみとした場合には、慣用モデルと静水圧モデルとは、ほぼ同じ断面力の分布形状を示す。

２）周辺地盤挙動

異形断面シールドのトンネル天端より上1.0m程度では70～90㎜と非常に大きな沈下量となり、天端より上3.0m程度になると10～20㎜程度まで急激に沈下量は減少するものの、地表面近くに発生する変位量を有限要素法により予測する場合に必要となる応力解放率は、砂質地盤での一般的なシールドトンネルの地盤変状の応力解放率（約10%）と比べると、大きめの応力解放率（約20%）になる。

（２）場所打ちライニングシールドトンネル(岡南共同溝)

１）作用土圧

現場計測により得られた覆工に発生する応力は、「水圧＋自重」を外荷重として計算した解析値に近い値となり、ほぼ水圧のみが作用する状態にあると考えられる。

２）周辺地盤挙動

場所打ちライニングシールドで計測されたトンネル周辺地盤の変位量を有限要素法により予測する場合に必要となる応力解放率は、周辺地盤の地中内および地表面とも約10%前後となった。

以上のような知見が得られたが、いずれも特殊な施工条件下でのシールドトンネルであり、シールドジャッキなどの施工時荷重の影響が大きく反映していると考えられるため、今後も現場計測を実施し、より多くのデータの集積が望まれる。

謝　辞

本報告書をとりまとめるにあたり、貴重な現場計測データを提供していただいた、中部地方整備局名古屋国道工事事務所、および中国地方整備局岡山国道工事事務所および施工企業者の関係各位に深甚の謝意を表します。

巻末資料

岡南共同溝覆工コンクリート表面ひずみ計測データ

計測断面①（長期） 断面1 測点No.1

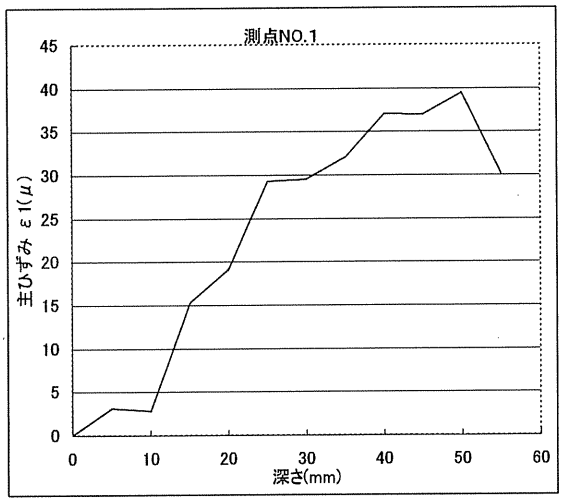
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

周方向のみ解放、最後のデータは全周解放

補正無し

	深度	計測ひずみ			主ひずみ		MAX		
	(mm)	εa	εb	εc	ε1	ε2	θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	0	-3	0	3	-3	134.5	1.0	-1.0
2	10	-2	-2	2	3	-3	112.5	0.9	-0.9
3	15	-1	2	14	15	-2	105.5	6.4	0.6
4	20	-3	7	19	19	-3	92.6	8.0	0.6
5	25	-3	16	29	29	-3	84.7	12.4	1.6
6	30	-5	16	29	29	-5	83.4	12.2	0.6
7	35	-5	19	31	32	-6	80.8	13.3	0.7
8	40	-5	22	36	37	-6	81.2	15.4	1.2
9	45	-7	21	36	37	-8	81.6	15.2	0.3
10	50	-8	20	39	39	-8	84.6	16.3	0.4
11	55	-7	14	30	30	-7	86.2	12.4	0.0
12	全周	17	19	29	30	16	106.8	14.7	9.9

圧縮(-) 引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面①（長期） 断面1 測点No.2

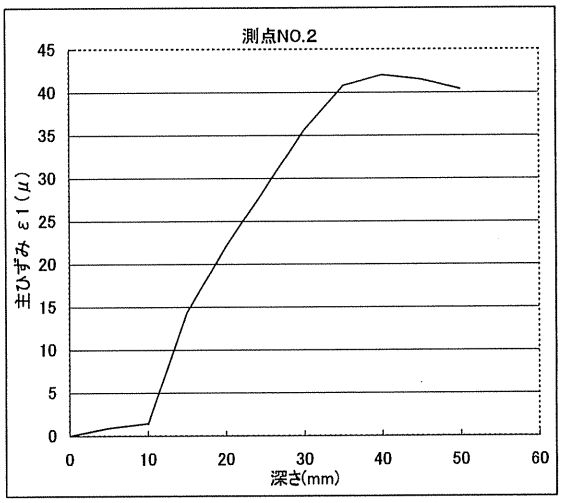
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

周方向のみ解放、最後のデータは全周解放

補正無し

	深度	計測ひずみ			主ひずみ		MAX		
	(mm)	εa	εb	εc	ε1	ε2	θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	-1	-3	-1	1	-3	134.3	0.1	-1.2
2	10	-4	-3	1	1	-4	105.5	0.2	-1.8
3	15	-3	0	13	14	-4	106.0	5.8	-0.5
4	20	-5	0	20	22	-7	105.5	8.9	-0.8
5	25	-6	0	26	29	-9	106.0	11.6	-0.9
6	30	-6	3	33	36	-9	104.2	14.6	-0.1
7	35	-7	4	38	41	-10	103.5	16.7	-0.1
8	40	-10	2	39	42	-13	103.5	16.9	-1.4
9	45	-11	0	38	41	-14	104.4	16.5	-2.1
10	50	-15	0	38	40	-17	101.7	15.8	-3.4
11	全周	25	30	38	38	25	96.5	19.1	14.7

圧縮(-) 引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面①（長期） 断面1 測点No.3

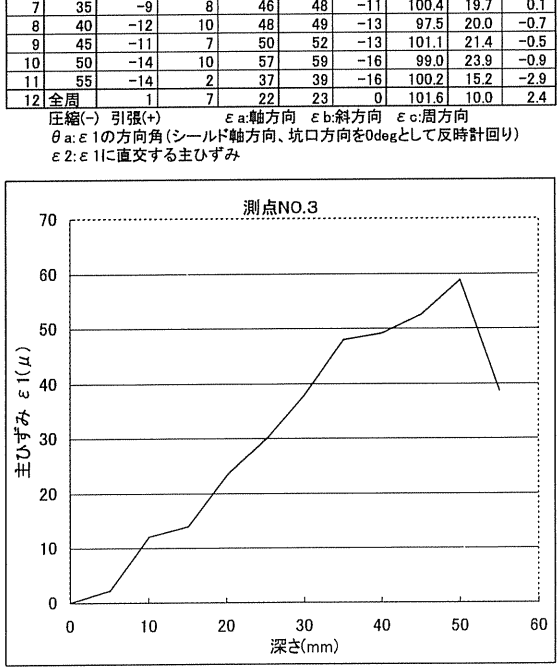
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

周方向のみ解放、最後のデータは全周解放

補正無し

	深度		計測ひずみ		主ひずみ		MAX		
	(mm)	εa	εb	εc	ε1	ε2	θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	-2	-1	2	2	-2	103.3	0.7	-0.7
2	10	-3	0	11	12	-4	104.9	4.8	-0.5
3	15	-5	0	13	14	-6	102.0	5.4	-1.1
4	20	-5	0	21	23	-7	105.8	9.4	-0.8
5	25	-6	3	28	30	-8	102.6	12.1	-0.3
6	30	-7	5	36	38	-9	101.9	15.6	0.0
7	35	-9	8	46	48	-11	100.4	19.7	0.1
8	40	-12	10	48	49	-13	97.5	20.0	-0.7
9	45	-11	7	50	52	-13	101.1	21.4	-0.5
10	50	-14	10	57	59	-16	99.0	23.9	-0.9
11	55	-14	2	37	39	-16	100.2	15.2	-2.9
12	全周	1	7	22	23	0	101.6	10.0	2.4

圧縮(-) 引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面①（長期） 断面1 測点No.4

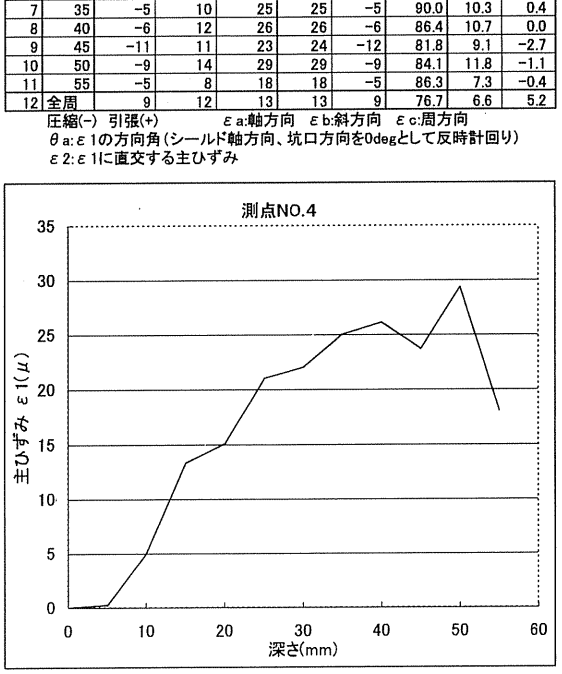
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

周方向のみ解放、最後のデータは全周解放

補正無し

	深度		計測ひずみ		主ひずみ		MAX		
	(mm)	εa	εb	εc	ε1	ε2	θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	-3	0	-1	0	-4	58.3	-0.3	-1.8
2	10	-1	2	5	5	-1	90.0	2.1	0.1
3	15	-3	3	13	13	-3	97.0	5.4	-0.1
4	20	-2	7	15	15	-2	88.3	6.3	0.7
5	25	-2	9	21	21	-2	91.2	8.9	1.3
6	30	-4	9	22	22	-4	90.0	9.1	0.5
7	35	-5	10	25	25	-5	90.0	10.3	0.4
8	40	-6	12	26	26	-6	86.4	10.7	0.0
9	45	-11	11	23	24	-12	81.8	9.1	-2.7
10	50	-9	14	29	29	-9	84.1	11.8	-1.1
11	55	-5	8	18	18	-5	86.3	7.3	-0.4
12	全周	9	12	13	13	9	76.7	6.6	5.2

圧縮(-) 引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面①（長期） 断面1 測点No.6

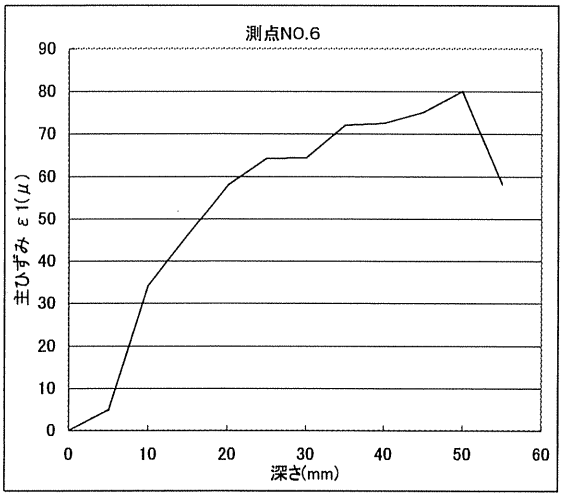
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

周方向のみ解放、最後のデータは全周解放

補正無し

	深度 (mm)	εa	計測ひずみ εb	εc	主ひずみ ε1	ε2	MAX θa(DEG)	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	0	0	4	5	−1	112.5	2.0	0.1
2	10	0	3	30	34	−4	109.3	14.4	1.7
3	15	0	9	43	46	−3	105.1	19.8	3.3
4	20	0	12	54	58	−4	104.5	24.7	4.2
5	25	0	19	62	64	−2	100.6	27.7	5.6
6	30	−1	18	62	64	−3	100.8	27.6	5.1
7	35	−1	19	69	72	−4	101.6	30.9	5.6
8	40	−3	20	70	72	−5	100.1	30.9	5.0
9	45	−4	22	73	75	−6	99.0	31.9	5.1
10	50	−4	24	78	80	−6	98.8	34.1	5.6
11	55	−4	14	56	58	−6	100.9	24.7	3.2
12	全周	40	37	60	66	34	116.2	32.2	21.4

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面①（長期） 断面1 測点No.7

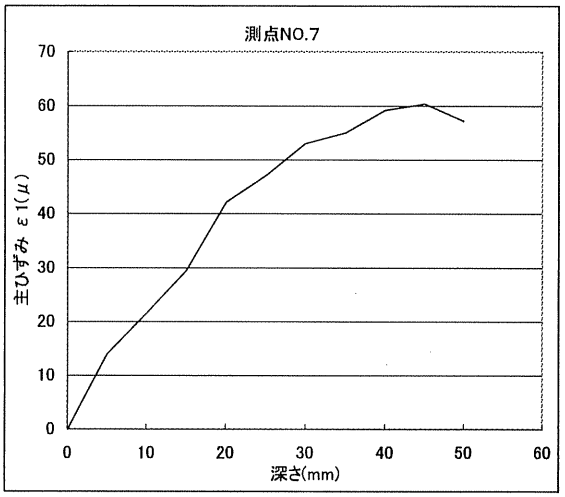
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

周方向のみ解放、最後のデータは全周解放

補正無し

	深度 (mm)	εa	計測ひずみ εb	εc	主ひずみ ε1	ε2	MAX θa(DEG)	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	0	7	14	14	0	90.0	6.1	1.4
2	10	0	7	21	22	−1	99.2	9.3	2.0
3	15	0	11	29	29	0	96.8	12.7	2.8
4	20	0	19	42	42	0	92.7	18.3	4.3
5	25	1	22	47	47	1	92.5	20.5	5.2
6	30	1	28	53	53	1	88.9	23.1	5.8
7	35	0	29	55	55	0	88.4	23.9	5.6
8	40	0	33	59	59	0	86.6	25.7	5.9
9	45	0	35	60	60	0	85.3	26.2	6.0
10	50	0	31	57	57	0	87.5	24.8	5.8
11	全周	24	53	57	61	20	71.4	28.6	14.8

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面①（長期） 断面1 測点No.8

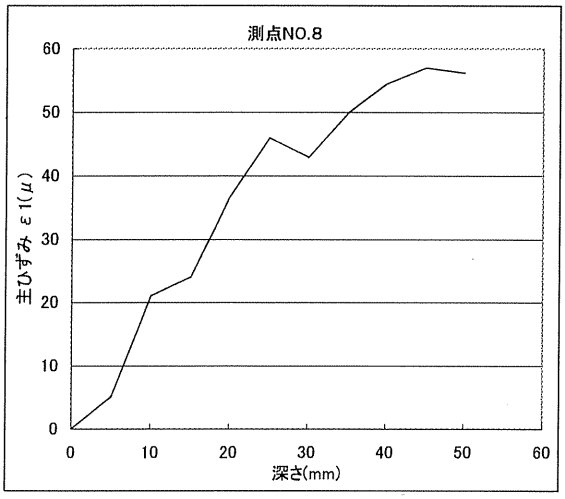
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

周方向のみ解放、最後のデータは全周解放

補正無し

	深度 (mm)	εa	計測ひずみ εb	εc	主ひずみ ε1	ε2	MAX θa(DEG)	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	2	−1	2	5	−1	134.5	2.1	0.1
2	10	1	0	17	21	−3	114.2	8.8	0.8
3	15	0	2	21	24	−3	109.5	10.1	1.1
4	20	0	7	34	37	−3	105.2	15.7	2.6
5	25	−1	12	44	46	−3	101.4	19.6	3.4
6	30	−3	13	42	43	−4	98.1	18.2	2.7
7	35	−4	16	49	50	−5	96.9	21.1	3.0
8	40	−6	19	54	54	−6	94.7	23.0	2.8
9	45	−6	25	57	57	−6	90.5	24.1	3.2
10	50	−13	25	56	56	−13	87.1	23.0	0.0
11	全周	26	40	44	45	25	75.5	22.2	15.3

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面①（長期）断面2　測点No.1

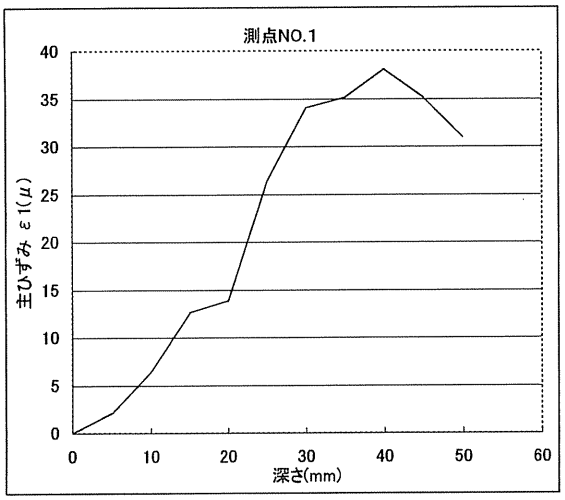
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)		計測ひずみ		主ひずみ		MAX		
		εa	εb	εc	ε1	ε2	θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	0	-2	0	2	-2	-44.3	0.7	-0.7
2	10	5	1	2	6	1	-29.5	2.8	0.9
3	15	7	6	11	13	5	118.2	6.0	3.6
4	20	9	9	13	14	8	112.5	6.8	5.0
5	25	16	19	26	26	16	100.9	13.0	9.5
6	30	29	31	34	34	29	95.7	17.7	16.0
7	35	32	33	35	35	32	99.2	18.5	17.4
8	40	26	31	38	38	26	94.7	19.2	15.1
9	45	27	32	35	35	27	83.0	18.0	15.2
10	50	29	30	31	31	29	90.0	16.4	15.7

圧縮(−)　引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面①（長期）断面2　測点No.2

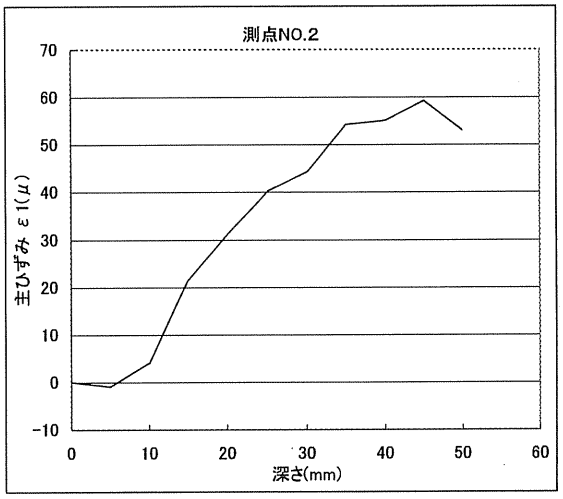
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)		計測ひずみ		主ひずみ		MAX		
		εa	εb	εc	ε1	ε2	θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	-5	-3	-1	-1	-5	90.0	-0.9	-2.3
2	10	0	4	1	4	-3	49.1	1.4	-0.9
3	15	11	18	21	21	11	79.1	10.4	6.8
4	20	18	26	31	31	18	83.5	15.3	10.9
5	25	29	36	40	40	29	82.4	20.4	16.6
6	30	30	39	44	44	30	82.0	22.2	17.4
7	35	31	40	54	54	31	96.1	26.7	18.9
8	40	32	44	55	55	32	88.8	27.1	19.5
9	45	30	42	59	59	30	94.9	28.7	19.0
10	50	25	38	53	53	25	92.0	25.6	16.2

圧縮(−)　引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面①（長期）断面2　測点No.3

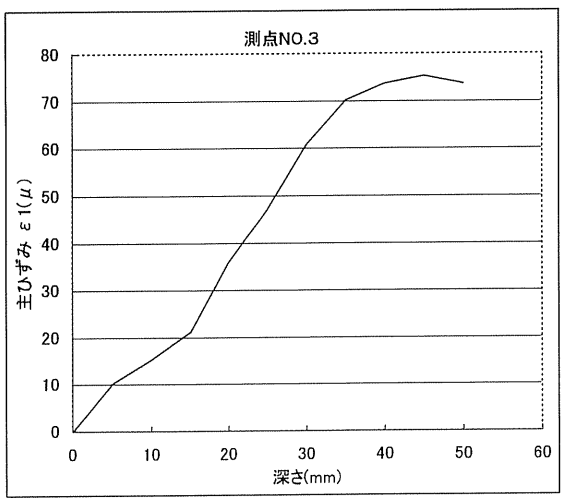
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)		計測ひずみ		主ひずみ		MAX		
		εa	εb	εc	ε1	ε2	θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	-1	10	-3	10	-14	42.6	2.9	-5.1
2	10	9	13	15	15	9	80.8	7.5	5.4
3	15	7	14	21	21	7	90.0	9.8	5.2
4	20	19	27	36	36	19	91.7	17.6	11.9
5	25	21	32	47	47	21	94.4	22.6	13.9
6	30	25	34	59	61	23	102.6	28.7	16.3
7	35	28	34	66	70	24	107.2	32.8	17.5
8	40	31	36	69	74	26	108.2	34.6	19.0
9	45	32	36	70	75	27	109.1	35.4	19.3
10	50	31	36	69	74	26	108.2	34.6	19.0

圧縮(−)　引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面①（長期）断面2　測点No.4

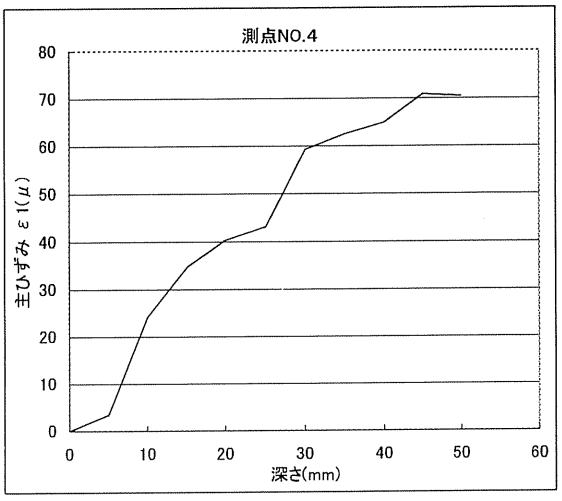
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)		計測ひずみ		主ひずみ		MAX		
		εa	εb	εc	ε1	ε2	θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	1	1	3	3	1	112.5	1.5	0.6
2	10	11	13	23	24	10	106.8	11.5	6.7
3	15	19	21	33	35	17	107.8	16.8	11.1
4	20	22	29	40	40	22	96.3	19.7	13.6
5	25	28	36	43	43	28	88.1	21.5	16.5
6	30	36	45	59	59	36	96.1	29.4	21.6
7	35	39	47	62	63	38	98.5	31.1	23.1
8	40	36	45	64	65	35	99.8	31.7	21.9
9	45	40	50	70	71	39	99.2	34.7	24.2
10	50	40	48	69	70	39	102.1	34.5	23.9

圧縮(−)　引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面①（長期） 断面2 測点No.6

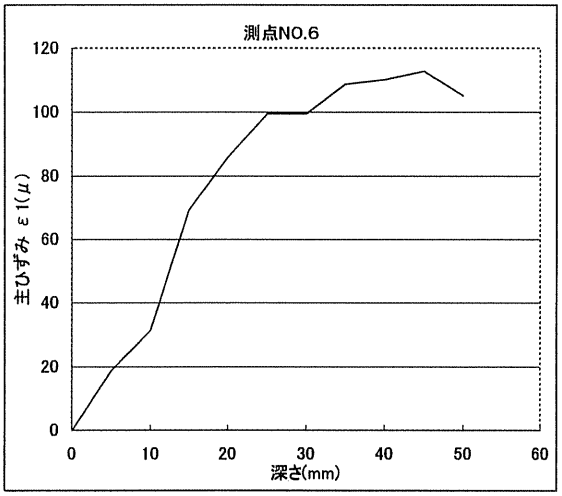
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)		計測ひずみ		主ひずみ		MAX		
		εa	εb	εc	ε1	ε2	θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	2	-14	3	19	-14	134.1	6.8	-4.1
2	10	4	-7	19	31	-8	124.0	12.8	-0.5
3	15	6	7	59	69	-4	111.9	29.6	5.2
4	20	8	14	76	86	-2	109.7	37.1	7.9
5	25	14	16	86	100	0	111.7	43.2	10.4
6	30	20	36	94	100	14	104.8	44.7	16.4
7	35	37	52	104	109	32	104.5	50.5	25.1
8	40	44	68	109	110	43	97.3	52.2	29.8
9	45	65	76	110	113	62	103.5	55.3	38.5
10	50	62	81	105	105	62	93.3	51.9	37.6

圧縮(-) 引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面①（長期） 断面2 測点No.7

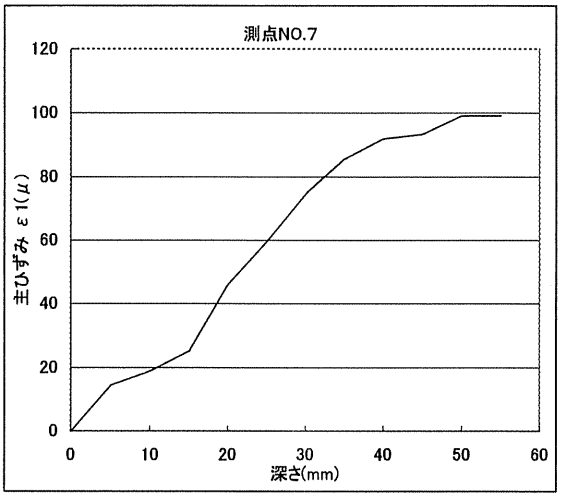
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)		計測ひずみ		主ひずみ		MAX		
		εa	εb	εc	ε1	ε2	θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	9	0	5	14	0	-37.0	6.2	1.3
2	10	9	11	18	19	8	104.5	8.9	5.5
3	15	11	18	25	25	11	90.0	12.0	7.3
4	20	23	33	46	46	23	93.7	22.3	14.6
5	25	15	42	59	60	14	83.6	27.3	12.3
6	30	40	53	74	74	40	96.6	36.3	24.8
7	35	44	49	81	85	40	108.1	41.1	25.9
8	40	54	61	89	92	51	105.5	45.1	31.5
9	45	56	67	92	93	55	100.6	46.1	33.2
10	50	57	76	99	99	57	92.7	48.8	34.8
11	55	55	76	99	99	55	91.3	48.6	34.0

圧縮(-) 引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面①（長期） 断面2 測点No.8

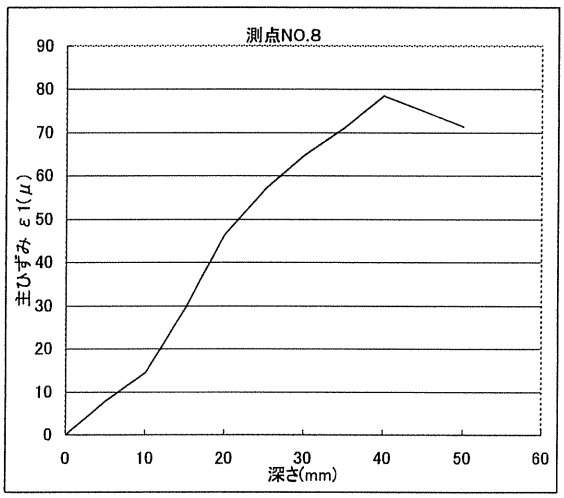
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)		計測ひずみ		主ひずみ		MAX		
		εa	εb	εc	ε1	ε2	θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	4	6	-7	8	-11	26.9	2.3	-3.9
2	10	9	10	14	14	9	105.5	7.1	5.2
3	15	14	19	29	29	14	99.2	14.1	8.9
4	20	18	25	45	46	17	102.9	21.9	11.9
5	25	22	31	55	57	20	102.2	26.7	14.6
6	30	25	36	63	65	23	101.4	30.4	16.7
7	35	26	41	70	71	25	98.8	33.4	18.1
8	40	26	43	77	78	25	99.2	36.5	18.7
9	45	28	41	73	75	26	101.4	35.2	19.0
10	50	22	30	67	71	18	106.4	32.7	15.0

圧縮(-) 引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面①（長期）断面3　測点No.1

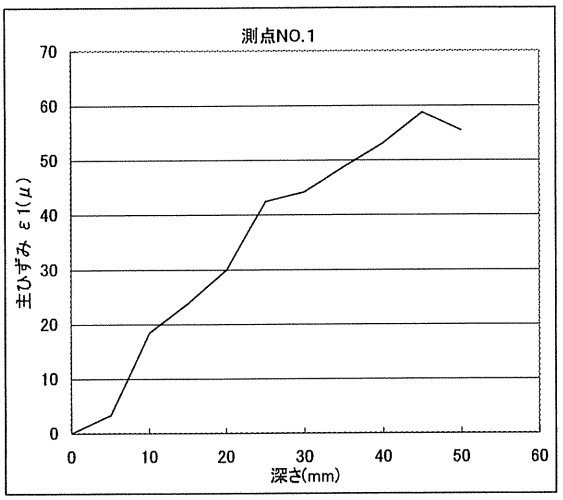
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)	εa	計測ひずみ εb	εc	主ひずみ ε1	ε2	MAX θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	0	−1	2	3	−1	121.7	1.3	−0.2
2	10	9	4	13	18	4	127.0	8.3	3.5
3	15	11	6	18	24	5	123.8	10.8	4.7
4	20	19	16	26	30	15	120.8	14.5	9.6
5	25	26	25	39	42	23	114.5	20.7	14.1
6	30	31	33	43	44	30	106.8	22.2	17.4
7	35	33	37	48	49	32	102.5	24.5	19.0
8	40	38	41	52	53	37	104.9	26.8	21.4
9	45	41	46	58	59	40	101.2	29.6	23.5
10	50	40	45	55	55	40	99.2	28.1	22.8

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面①（長期）断面3　測点No.2

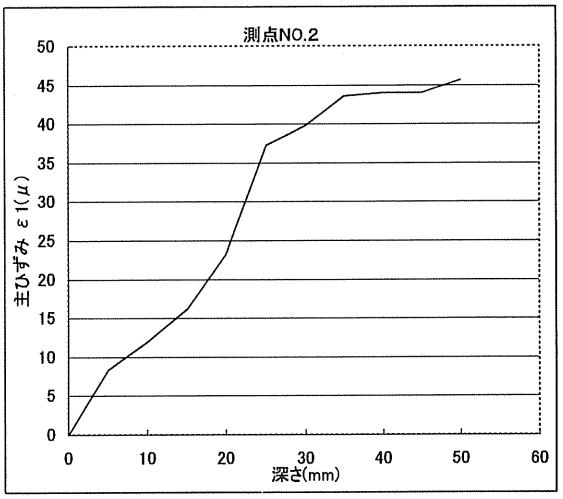
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)	εa	計測ひずみ εb	εc	主ひずみ ε1	ε2	MAX θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	1	7	7	8	0	67.5	3.6	0.7
2	10	1	11	8	12	−3	59.1	4.9	0.0
3	15	13	15	16	16	13	80.8	8.3	7.2
4	20	19	20	23	23	19	103.3	12.0	10.5
5	25	24	29	37	37	24	96.5	18.6	14.1
6	30	23	25	38	40	21	108.1	19.4	13.3
7	35	28	30	42	44	26	107.8	21.6	15.9
8	40	28	36	44	44	28	90.0	21.9	16.6
9	45	32	38	44	44	32	90.0	22.4	18.4
10	50	18	20	42	46	14	109.9	21.3	10.9

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面①（長期）断面3　測点No.3

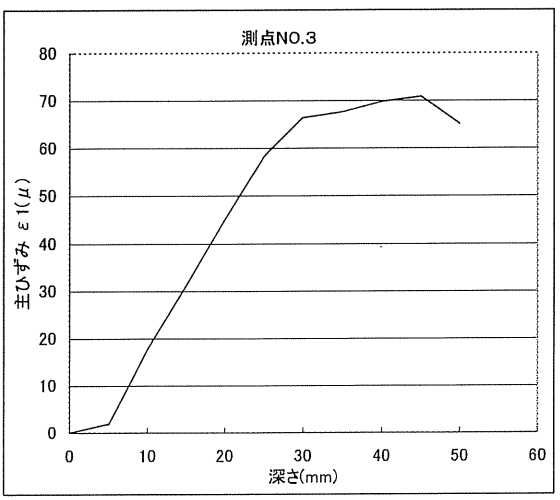
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)	εa	計測ひずみ εb	εc	主ひずみ ε1	ε2	MAX θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	−3	1	1	2	−4	67.5	0.4	−1.5
2	10	7	9	17	18	6	105.5	8.4	4.5
3	15	9	14	30	31	8	103.8	14.4	6.5
4	20	12	17	42	45	9	106.8	20.5	8.5
5	25	18	25	55	58	15	105.9	26.8	12.3
6	30	19	26	62	66	15	107.0	30.3	13.1
7	35	17	27	64	68	13	104.9	30.7	12.7
8	40	21	30	66	70	17	105.5	32.0	14.6
9	45	24	32	67	71	20	106.1	32.8	16.0
10	50	18	28	62	65	15	104.3	29.8	13.1

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面①（長期）断面3　測点No.4

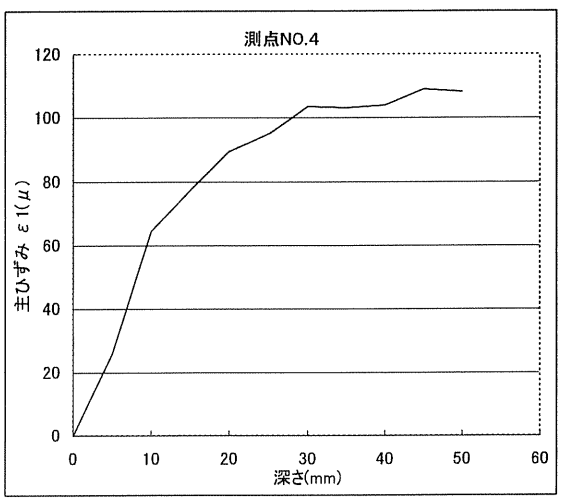
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)	εa	計測ひずみ εb	εc	主ひずみ ε1	ε2	MAX θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	2	4	23	26	−1	109.5	11.2	2.2
2	10	10	15	58	65	3	109.2	28.4	8.1
3	15	18	29	73	78	13	105.5	35.0	13.7
4	20	21	41	87	89	19	100.8	40.7	17.2
5	25	23	46	93	95	21	99.5	43.4	18.8
6	30	25	53	102	103	24	97.6	47.3	20.8
7	35	23	53	102	103	22	96.8	47.0	20.0
8	40	24	55	103	104	23	96.1	47.4	20.6
9	45	21	55	108	109	20	96.2	49.4	19.8
10	50	26	63	108	108	26	92.8	49.6	22.2

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面①（長期） 断面3 測点No.6

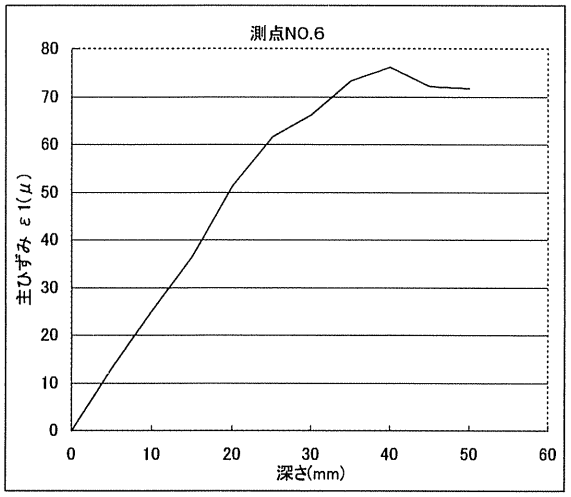
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)	εa	計測ひずみ εb	εc	主ひずみ ε1	ε2	MAX θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	11	7	9	13	7	−35.8	6.4	4.3
2	10	21	15	19	25	15	−39.3	12.4	9.0
3	15	30	28	34	36	28	121.7	18.6	15.7
4	20	41	44	51	51	41	100.9	26.4	22.9
5	25	48	52	61	61	48	100.5	31.5	26.9
6	30	48	59	66	66	48	83.7	33.6	27.5
7	35	50	64	73	73	50	83.9	36.9	29.1
8	40	53	66	76	76	53	86.3	38.4	30.7
9	45	48	66	70	72	46	73.8	35.9	27.3
10	50	47	65	70	72	45	75.3	35.7	27.0

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向 εb:斜方向 εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面①（長期） 断面3 測点No.7

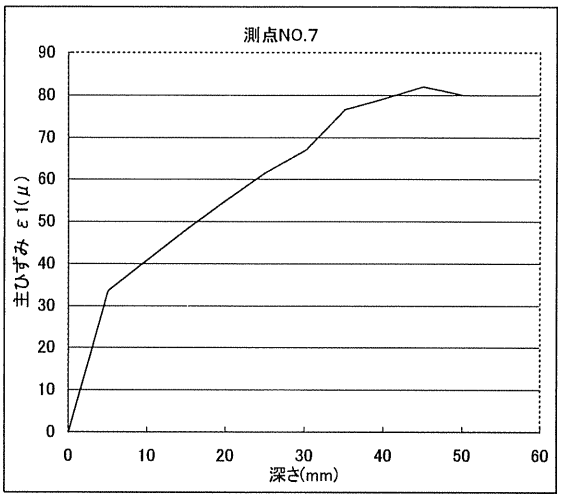
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)	εa	計測ひずみ εb	εc	主ひずみ ε1	ε2	MAX θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	13	33	4	33	−16	39.8	12.8	−3.7
2	10	27	40	16	41	2	36.7	17.9	5.1
3	15	29	48	32	48	13	47.4	22.2	10.5
4	20	28	52	47	55	20	61.6	25.9	14.3
5	25	32	54	59	61	30	73.9	29.7	19.1
6	30	34	55	66	67	33	81.3	32.4	21.2
7	35	36	60	76	76	36	84.3	36.8	23.2
8	40	39	61	79	79	39	87.1	38.3	24.9
9	45	41	62	82	82	41	89.3	39.8	26.2
10	50	44	62	80	80	44	90.0	39.2	27.3

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向 εb:斜方向 εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面①（長期） 断面3 測点No.8

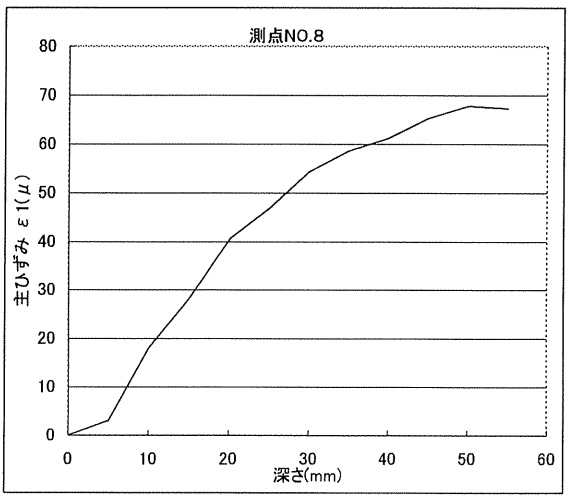
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)	εa	計測ひずみ εb	εc	主ひずみ ε1	ε2	MAX θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	−4	−1	3	3	−4	94.1	0.9	−1.4
2	10	2	3	16	18	0	110.3	7.9	1.8
3	15	6	14	28	28	6	97.6	12.9	5.3
4	20	10	21	40	41	9	97.5	18.6	8.2
5	25	19	28	46	47	18	99.2	22.1	12.7
6	30	22	31	53	54	21	101.4	25.7	14.5
7	35	30	37	57	58	29	102.9	28.3	18.3
8	40	30	39	60	61	29	100.9	29.5	18.8
9	45	31	36	62	65	28	107.1	31.1	18.7
10	50	33	37	64	68	29	108.3	32.4	19.6
11	55	30	32	62	67	25	110.6	31.7	17.6

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向 εb:斜方向 εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面②(長期) 断面1 測点No.1

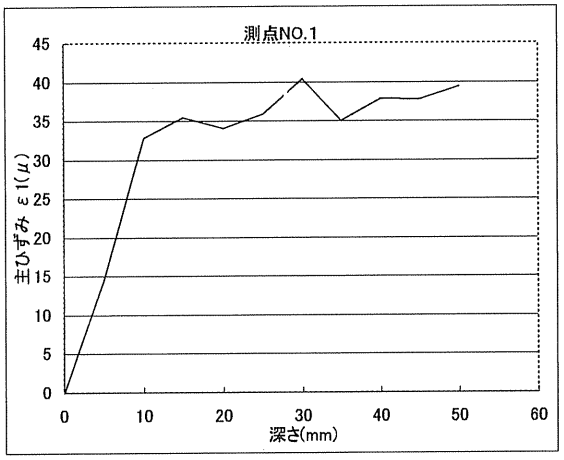
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)	計測ひずみ εa	εb	εc	主ひずみ ε1	ε2	MAX θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0	0			
1	5	9	13	14	14	9	74.5	7.1	5.2
2	10	20	19	30	33	17	115.1	16.0	10.8
3	15	21	18	31	35	17	119.0	17.1	10.8
4	20	22	24	33	34	21	106.2	16.9	12.6
5	25	29	28	34	36	27	117.2	18.3	15.5
6	30	20	22	38	40	18	108.9	19.3	11.8
7	35	15	20	34	35	14	102.7	16.6	9.6
8	40	15	19	36	38	13	105.9	17.8	9.6
9	45	13	18	36	38	11	104.7	17.5	8.7
10	50	13	17	37	39	11	106.8	18.2	8.6
11									

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角(シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り)
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面②(長期) 断面1 測点No.2

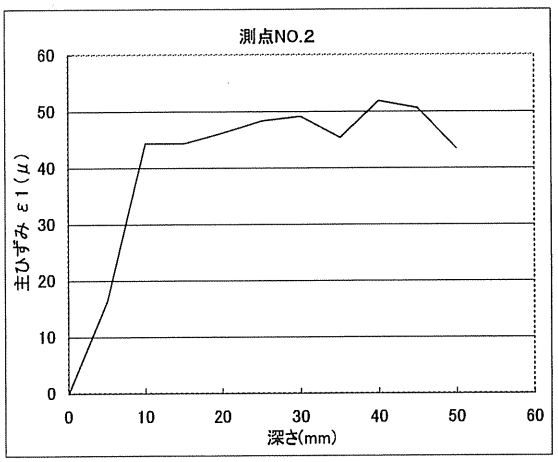
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)	計測ひずみ εa	εb	εc	主ひずみ ε1	ε2	MAX θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0	0			
1	5	8	14	16	16	8	76.7	7.9	4.9
2	10	16	33	44	44	16	84.0	20.8	11.3
3	15	18	34	44	44	18	83.5	21.0	12.2
4	20	24	37	46	46	24	84.8	22.5	15.0
5	25	23	38	48	48	23	84.3	23.3	14.8
6	30	26	32	48	49	25	102.2	23.8	15.8
7	35	23	28	44	45	22	103.8	21.9	14.0
8	40	26	29	49	52	23	108.2	24.8	15.4
9	45	20	23	47	51	16	108.9	23.6	12.3
10	50	20	25	42	44	18	104.3	20.8	12.5

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角(シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り)
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面②(長期) 断面1 測点No.3

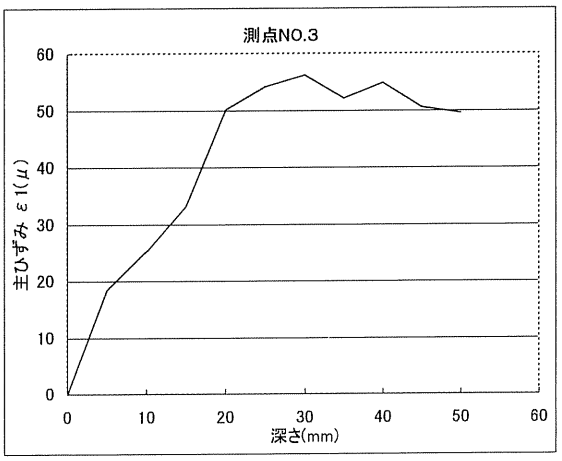
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)	計測ひずみ εa	εb	εc	主ひずみ ε1	ε2	MAX θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0	0			
1	5	3	8	18	18	3	99.2	8.3	3.0
2	10	12	17	25	25	12	96.5	12.1	7.7
3	15	15	26	33	33	15	83.7	15.9	9.8
4	20	23	24	46	50	19	111.2	23.7	13.3
5	25	24	24	49	54	19	112.5	25.4	13.7
6	30	25	22	49	56	18	115.7	26.2	13.5
7	35	20	19	46	52	14	113.6	24.0	11.3
8	40	20	14	45	55	10	118.0	24.8	10.0
9	45	16	15	44	51	9	113.5	22.9	9.3
10	50	13	11	42	49	6	114.3	22.0	7.4

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角(シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り)
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面②(長期) 断面1 測点No.4

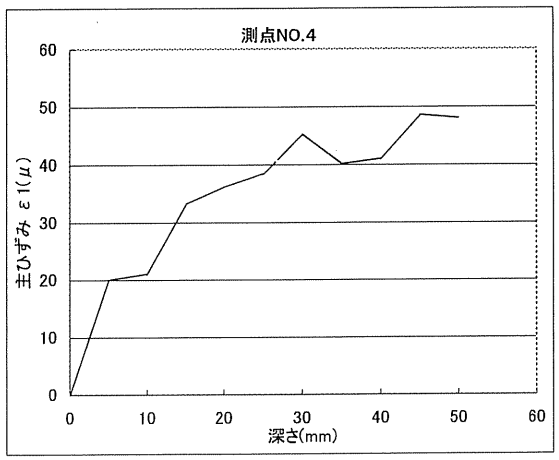
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)	計測ひずみ εa	εb	εc	主ひずみ ε1	ε2	MAX θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0	0			
1	5	13	16	20	20	13	94.1	10.0	7.7
2	10	14	18	21	21	14	85.9	10.6	8.2
3	15	22	20	30	33	19	118.2	16.3	11.5
4	20	24	29	36	36	24	94.7	18.1	14.1
5	25	30	30	37	38	29	112.5	19.6	16.3
6	30	32	29	41	45	28	119.5	22.5	16.7
7	35	25	28	39	40	24	104.9	19.8	14.5
8	40	24	28	40	41	23	103.3	20.1	14.2
9	45	22	22	44	49	17	112.5	22.9	12.5
10	50	20	18	42	48	14	114.9	22.3	11.0
11									

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角(シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り)
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面②（長期） 断面1　測点No.6

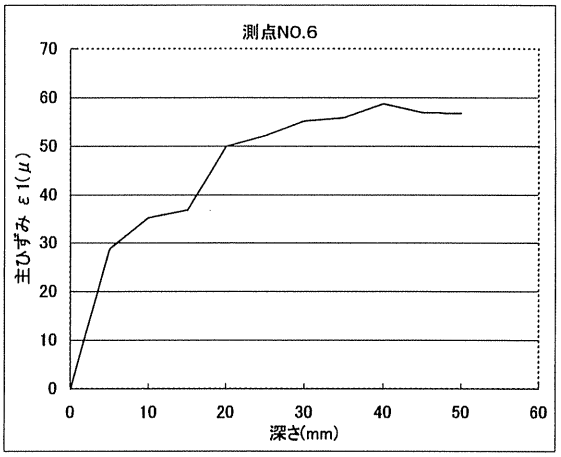
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)	εa	計測ひずみ εb	εc	主ひずみ ε1	ε2	MAX θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0	0			
1	5	21	22	28	29	20	107.8	14.6	11.7
2	10	22	24	34	35	21	106.8	17.4	12.6
3	15	24	23	34	37	21	115.1	18.1	12.9
4	20	25	24	45	50	20	113.9	23.7	13.8
5	25	25	26	48	52	21	111.2	24.7	14.4
6	30	24	33	54	55	23	100.9	26.3	15.5
7	35	23	31	54	56	21	102.9	26.4	14.9
8	40	22	29	56	59	19	105.2	27.4	14.4
9	45	22	26	53	57	18	108.3	26.5	13.7
10	50	21	20	50	57	14	113.5	26.1	12.0
11									

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面②（長期） 断面1　測点No.7

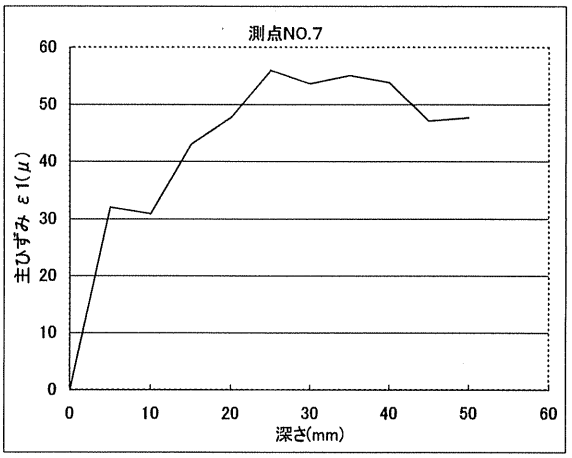
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)	εa	計測ひずみ εb	εc	主ひずみ ε1	ε2	MAX θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0	0			
1	5	14	16	30	32	12	108.4	15.1	8.5
2	10	17	18	29	31	15	109.9	14.9	9.7
3	15	18	25	42	43	17	101.3	20.4	11.8
4	20	20	22	44	48	16	109.9	22.3	12.0
5	25	24	31	54	56	22	104.0	26.5	15.3
6	30	26	30	51	54	23	107.1	25.7	15.6
7	35	28	29	51	55	24	111.2	26.3	16.0
8	40	25	27	50	54	21	110.0	25.5	14.7
9	45	20	21	43	47	16	111.2	22.1	11.7
10	50	18	17	42	48	12	113.6	22.0	10.2

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面②（長期） 断面1　測点No.8

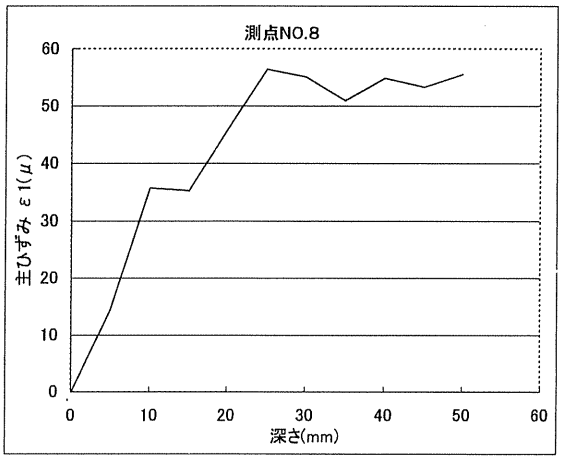
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)	εa	計測ひずみ εb	εc	主ひずみ ε1	ε2	MAX θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0	0			
1	5	12	12	14	14	12	112.5	7.4	6.5
2	10	13	20	35	36	12	100.0	16.7	9.0
3	15	15	27	35	35	15	84.3	16.8	10.0
4	20	22	29	45	46	21	100.7	22.1	13.9
5	25	21	31	55	56	20	101.2	26.5	14.3
6	30	20	31	54	55	19	99.7	25.8	13.8
7	35	22	28	49	51	20	104.5	24.2	13.9
8	40	23	26	51	55	19	109.1	25.7	13.9
9	45	22	24	49	53	18	110.2	24.9	13.1
10	50	21	20	49	56	14	113.5	25.6	11.9

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面②(長期) 断面2 測点No.1

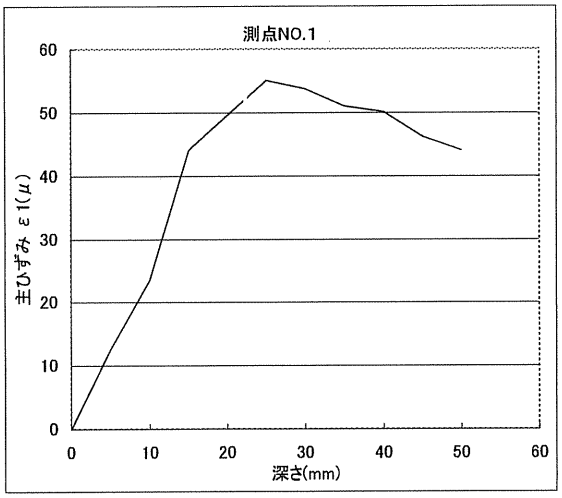
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)		計測ひずみ		主ひずみ		MAX		
		εa	εb	εc	ε1	ε2	θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	7	12	11	13	5	61.8	6.0	3.6
2	10	12	20	23	24	11	77.8	11.4	7.4
3	15	19	26	43	44	18	101.3	20.9	12.3
4	20	24	40	49	49	24	82.2	23.9	15.3
5	25	30	44	55	55	30	86.6	27.0	18.6
6	30	36	48	53	54	35	78.8	26.9	20.8
7	35	38	44	51	51	38	92.2	26.0	21.7
8	40	32	40	50	50	32	93.2	25.0	19.0
9	45	27	38	46	46	27	85.5	22.8	16.4
10	50	24	34	44	44	24	90.0	21.5	14.9

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角(シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り)
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面②(長期) 断面2 測点No.2

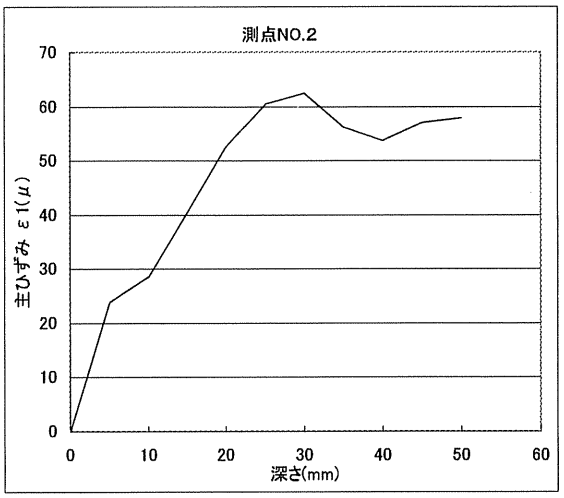
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)		計測ひずみ		主ひずみ		MAX		
		εa	εb	εc	ε1	ε2	θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	14	23	20	24	10	58.3	11.3	6.9
2	10	15	24	28	28	15	79.5	13.8	9.2
3	15	26	30	40	41	25	101.6	20.2	15.2
4	20	28	36	52	53	27	99.2	25.6	17.2
5	25	30	38	59	60	29	102.1	29.1	18.6
6	30	37	43	61	62	36	103.3	30.7	21.8
7	35	38	42	55	56	37	103.9	28.1	21.7
8	40	34	40	53	54	33	100.1	26.7	20.0
9	45	37	33	51	57	31	118.8	27.9	19.3
10	50	36	30	50	58	28	120.8	27.9	18.1

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角(シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り)
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面②(長期) 断面2 測点No.3

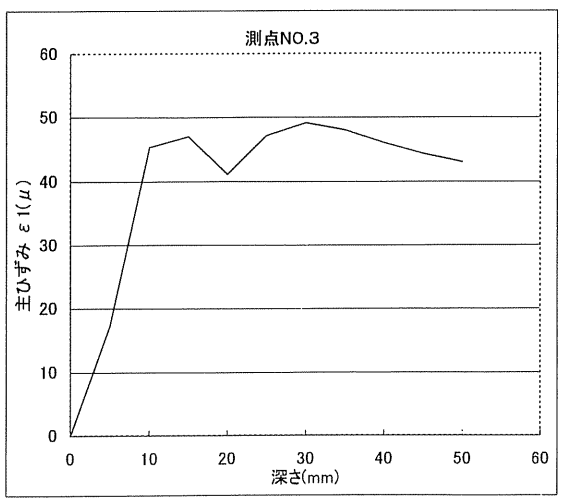
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)		計測ひずみ		主ひずみ		MAX		
		εa	εb	εc	ε1	ε2	θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	3	8	17	17	3	98.0	7.8	2.9
2	10	26	33	45	45	26	97.4	22.3	15.8
3	15	29	38	47	47	29	90.0	23.4	17.4
4	20	36	39	41	41	36	84.3	21.5	19.8
5	25	37	43	47	47	37	84.3	24.2	20.8
6	30	37	44	49	49	37	85.3	25.1	21.0
7	35	39	43	48	48	39	93.2	24.8	21.8
8	40	38	42	46	46	38	90.0	23.8	21.2
9	45	32	40	44	44	32	80.8	22.5	18.3
10	50	26	30	42	43	25	103.3	21.2	15.3

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角(シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り)
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面②(長期) 断面2 測点No.4

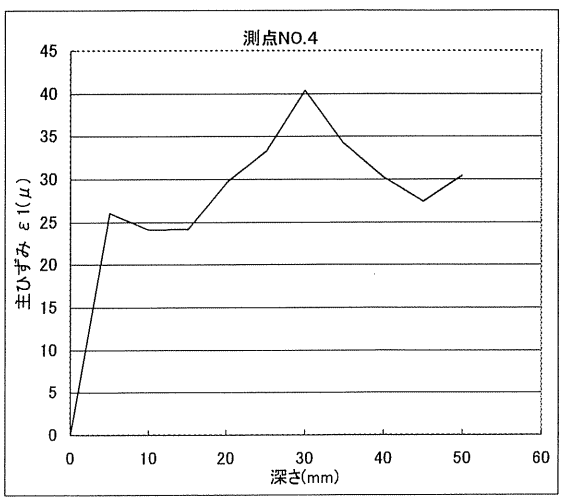
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)		計測ひずみ		主ひずみ		MAX		
		εa	εb	εc	ε1	ε2	θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	16	8	18	26	8	131.8	12.1	6.1
2	10	18	14	20	24	14	129.3	11.9	8.5
3	15	19	16	21	24	16	128.0	12.1	9.4
4	20	21	18	26	30	17	122.8	14.6	10.6
5	25	20	22	32	33	19	106.8	16.3	11.5
6	30	18	14	34	40	12	118.2	18.7	9.1
7	35	16	16	31	34	13	112.5	16.1	9.1
8	40	11	13	28	30	9	108.7	14.0	6.9
9	45	10	16	27	27	10	98.2	12.9	7.0
10	50	10	7	25	30	5	117.2	13.7	5.1

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向　εb:斜方向　εc:周方向
θa:ε1の方向角(シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り)
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面②（長期） 断面2 測点No.5

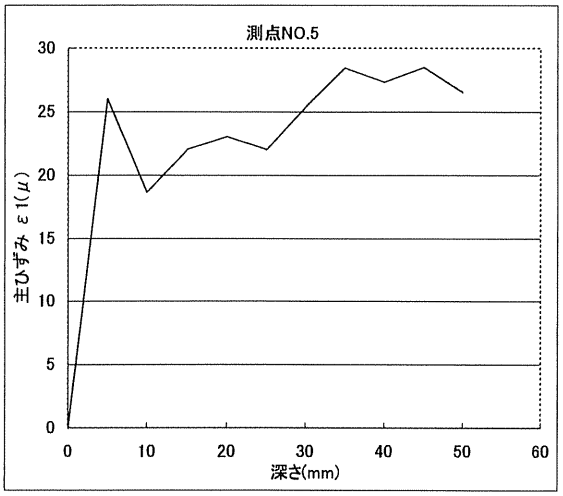
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)	εa	計測ひずみ εb	εc	主ひずみ ε1	ε2	MAX θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	12	0	14	26	0	132.8	11.3	2.6
2	10	11	9	16	19	8	120.5	8.9	5.5
3	15	11	16	22	22	11	92.6	10.7	7.0
4	20	12	17	23	23	12	92.6	11.2	7.5
5	25	12	17	22	22	12	90.0	10.8	7.5
6	30	20	21	25	25	20	105.5	13.0	11.1
7	35	20	20	27	28	19	112.5	14.2	11.0
8	40	18	17	25	27	16	116.0	13.5	9.6
9	45	14	14	26	28	12	112.5	13.5	7.9
10	50	12	12	24	26	10	112.5	12.5	6.8

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向 εb:斜方向 εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面②（長期） 断面2 測点No.6

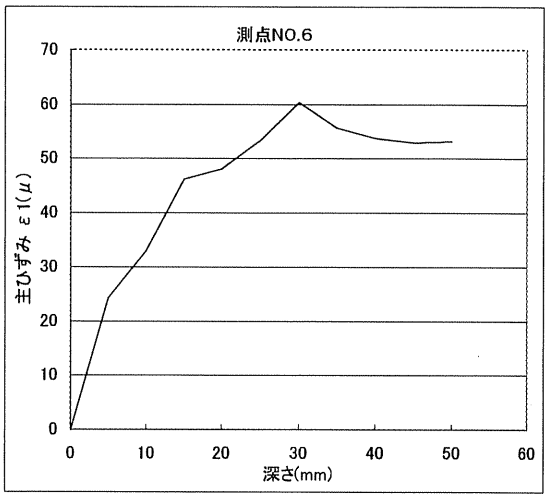
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)	εa	計測ひずみ εb	εc	主ひずみ ε1	ε2	MAX θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	19	17	22	24	17	123.4	12.3	9.7
2	10	27	32	32	33	26	67.5	17.0	14.6
3	15	36	42	46	46	36	84.3	23.7	20.3
4	20	33	41	48	48	33	88.1	24.2	19.2
5	25	39	44	53	53	39	98.0	27.1	22.2
6	30	38	43	59	60	37	103.8	29.9	22.1
7	35	37	40	54	56	35	106.5	27.7	21.0
8	40	38	38	51	54	35	112.5	26.9	20.8
9	45	33	34	50	53	30	110.7	26.0	18.5
10	50	26	27	49	53	22	111.2	25.3	14.9

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向 εb:斜方向 εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面②（長期） 断面2 測点No.7

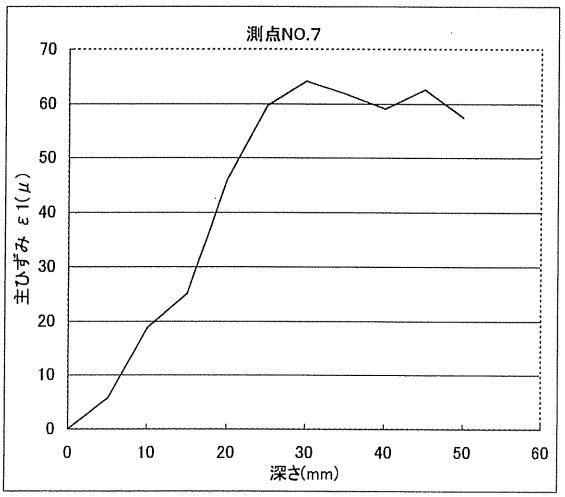
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)	εa	計測ひずみ εb	εc	主ひずみ ε1	ε2	MAX θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	2	5	5	6	1	67.5	2.6	1.2
2	10	9	11	18	19	8	104.5	8.9	5.5
3	15	11	18	25	25	11	90.0	12.0	7.3
4	20	23	33	46	46	23	93.7	22.3	14.6
5	25	15	42	59	60	14	83.6	27.3	12.3
6	30	40	53	64	64	40	87.6	31.9	23.9
7	35	44	49	61	62	43	101.2	31.2	25.1
8	40	43	51	59	59	43	90.0	30.0	24.7
9	45	56	57	62	63	55	106.8	32.8	30.4
10	50	47	46	55	57	45	115.7	29.5	25.2

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向 εb:斜方向 εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面②（長期） 断面2 測点No.8

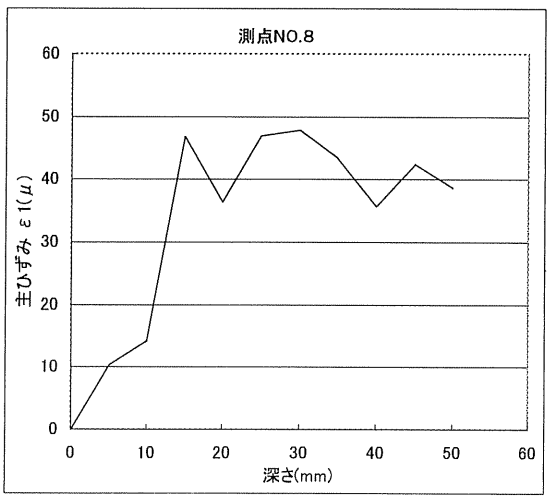
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)	εa	計測ひずみ εb	εc	主ひずみ ε1	ε2	MAX θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	4	10	7	10	1	54.2	4.5	1.4
2	10	10	12	14	14	10	90.7	7.1	5.8
3	15	12	18	44	47	9	106.0	21.3	8.7
4	20	22	22	34	36	20	112.5	17.8	12.2
5	25	12	18	44	47	9	106.0	21.3	8.7
6	30	28	29	45	48	25	110.7	23.3	15.8
7	35	24	28	42	43	23	104.5	21.1	14.3
8	40	23	26	35	36	22	103.3	17.8	13.3
9	45	22	24	40	42	20	108.9	20.4	12.8
10	50	23	25	37	39	21	107.8	18.9	13.2

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向 εb:斜方向 εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面②（長期） 断面3 測点No.1

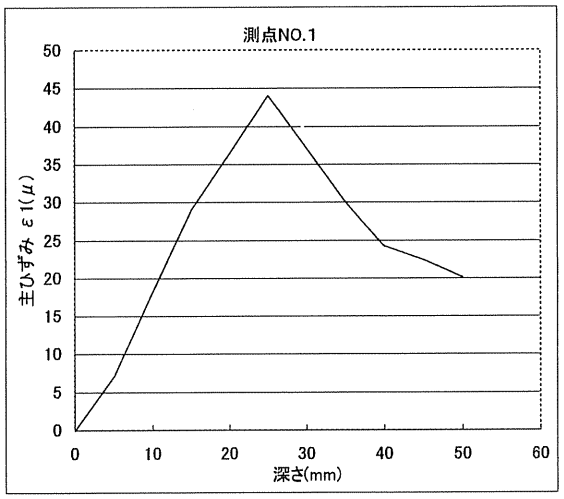
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)	εa	計測ひずみ εb	εc	主ひずみ ε1	ε2	MAX θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	1	5	7	7	1	80.8	3.2	1.1
2	10	9	15	18	18	9	80.8	8.8	5.7
3	15	11	15	28	29	10	103.9	13.6	7.3
4	20	21	31	36	36	21	80.8	17.9	12.6
5	25	17	32	44	44	17	86.8	20.9	11.8
6	30	19	30	37	37	19	83.7	18.1	11.9
7	35	18	24	30	30	18	90.0	14.9	10.9
8	40	13	20	24	24	13	82.4	11.8	8.0
9	45	10	18	22	22	10	80.8	10.7	6.5
10	50	11	16	20	20	11	86.8	9.8	6.8

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向 εb:斜方向 εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面②（長期） 断面3 測点No.2

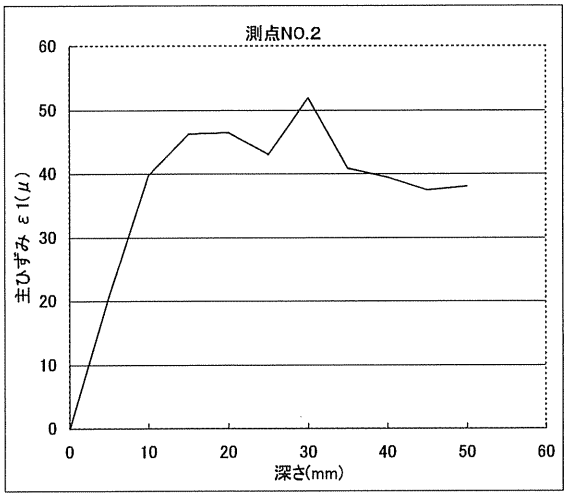
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)	εa	計測ひずみ εb	εc	主ひずみ ε1	ε2	MAX θa(DEG)	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	15	15	20	21	14	112.5	10.6	8.2
2	10	27	26	37	40	24	115.1	19.7	14.6
3	15	37	36	44	46	35	116.1	23.6	19.8
4	20	36	35	44	46	34	115.7	23.6	19.3
5	25	33	31	40	43	30	118.8	21.7	17.4
6	30	30	28	47	52	25	115.5	25.1	16.1
7	35	22	21	37	41	18	114.3	19.6	12.0
8	40	19	21	37	39	17	108.9	18.8	11.2
9	45	18	12	30	37	11	121.7	17.3	8.4
10	50	16	14	33	38	11	115.5	17.6	8.6

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向 εb:斜方向 εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面②（長期） 断面3 測点No.3

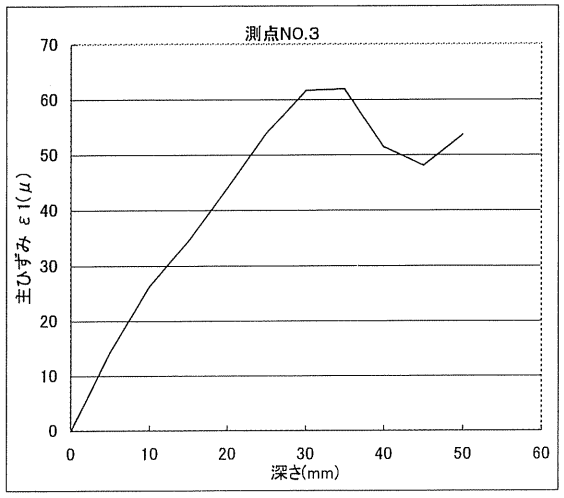
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)	εa	計測ひずみ εb	εc	主ひずみ ε1	ε2	MAX θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	5	14	10	14	1	55.5	6.3	1.7
2	10	14	18	26	26	14	99.2	12.8	8.6
3	15	20	24	34	35	19	101.6	17.0	11.9
4	20	28	37	44	44	28	86.4	22.0	16.6
5	25	32	38	53	54	31	101.6	26.6	19.0
6	30	36	31	54	62	28	118.6	29.6	18.6
7	35	35	30	54	62	27	118.4	29.6	18.1
8	40	25	22	45	51	19	116.2	24.2	13.3
9	45	20	18	42	48	14	114.9	22.3	11.0
10	50	16	14	46	54	8	114.3	24.1	9.1

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向 εb:斜方向 εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面②（長期） 断面3 測点No.4

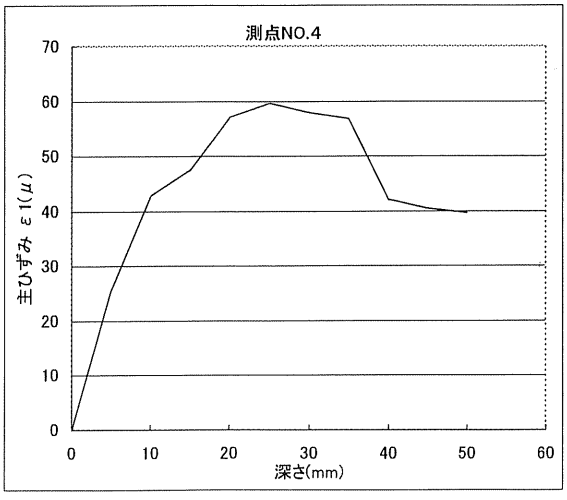
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)	εa	計測ひずみ εb	εc	主ひずみ ε1	ε2	MAX θa(DEG)	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	17	17	24	25	16	112.5	12.6	9.3
2	10	18	40	36	43	11	62.3	19.7	9.2
3	15	27	43	45	47	25	71.1	23.1	15.5
4	20	30	43	57	57	30	91.1	27.8	18.8
5	25	41	42	57	60	38	110.6	29.8	22.7
6	30	39	38	54	58	35	114.3	28.7	21.2
7	35	36	34	52	57	31	115.7	27.8	19.3
8	40	32	30	39	42	29	118.8	21.2	16.9
9	45	26	26	38	40	24	112.5	20.0	14.3
10	50	24	26	38	40	22	107.8	19.5	13.8

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向 εb:斜方向 εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面②（長期） 断面3 測点No.6

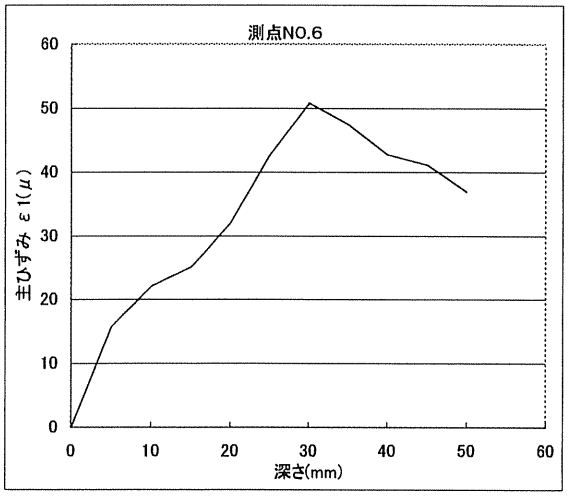
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)	εa	計測ひずみ εb	εc	主ひずみ ε1	ε2	MAX θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	9	15	14	16	7	62.8	7.6	4.7
2	10	21	22	21	22	20	46.5	11.6	11.0
3	15	22	25	23	25	20	50.7	12.9	11.2
4	20	25	29	32	32	25	85.9	16.4	14.1
5	25	26	28	41	43	24	108.1	21.0	14.9
6	30	22	26	48	51	19	107.3	24.0	13.5
7	35	10	18	45	47	8	104.2	21.3	8.1
8	40	9	15	40	43	6	105.8	19.2	7.1
9	45	8	13	38	41	5	106.8	18.3	6.3
10	50	8	12	34	37	5	107.3	16.5	6.0

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向 εb:斜方向 εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面②（長期） 断面3 測点No.7

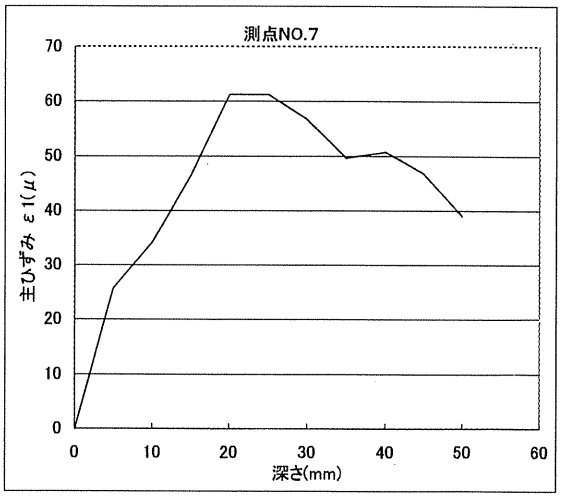
ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)	εa	計測ひずみ εb	εc	主ひずみ ε1	ε2	MAX θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	18	19	25	26	17	107.8	13.0	10.1
2	10	30	31	34	34	30	103.3	17.9	16.4
3	15	32	34	45	46	31	107.3	23.3	18.0
4	20	34	30	54	61	27	117.2	29.3	17.9
5	25	34	30	54	61	27	117.2	29.3	17.9
6	30	35	32	51	57	29	117.0	27.6	18.5
7	35	34	36	48	50	32	107.8	24.8	19.1
8	40	33	29	45	51	27	119.5	24.8	17.0
9	45	29	25	41	47	23	119.5	22.6	14.9
10	50	19	24	38	39	18	102.7	18.8	11.8

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向 εb:斜方向 εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ



計測断面②（長期） 断面3 測点No.8

ヤング率E(kg/cm²)	4.1E+05
ポアソン比 ν	0.235

全周解放

補正無し

	深度 (mm)	εa	計測ひずみ εb	εc	主ひずみ ε1	ε2	MAX θa(DEG	σ1	σ2
0	0				0				
1	5	−4	−1	3	3	−4	94.1	0.9	−1.4
2	10	2	3	16	18	0	110.3	7.9	1.8
3	15	6	14	28	28	6	97.6	12.9	5.3
4	20	10	21	40	41	9	97.5	18.6	8.2
5	25	19	28	46	47	18	99.2	22.1	12.7
6	30	22	31	53	54	21	101.4	25.7	14.5
7	35	30	37	57	58	29	102.9	28.3	18.3
8	40	30	39	60	61	29	100.9	29.5	18.8
9	45	31	36	62	65	28	107.1	31.1	18.7
10	50	33	37	60	63	30	107.6	30.4	19.4

圧縮(−) 引張(+)　　εa:軸方向 εb:斜方向 εc:周方向
θa:ε1の方向角（シールド軸方向、坑口方向を0degとして反時計回り）
ε2:ε1に直交する主ひずみ

