ＩＳＳＮ　0386－5878
土木研究所資料第3958号

土 木 研 究 所 資 料

硬質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

平成17年３月

独立行政法人土木研究所
基礎道路技術研究グループ（トンネルチーム）

Copyright © (2005) 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 Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事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、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

土木研究所資料
第3958号　2005年3月

硬質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

独立行政法人土木研究所
基礎道路技術研究グループ　上席研究員（トンネル）　真下　英人
主任研究員（トンネル）　石村　利明
交流研究員（トンネル）　石村　勝伸[*1]
交流研究員（トンネル）　義永　茂司[*2]

要　旨

本報告書は、実際に施工された４本のシールドトンネルを対象としてシールドトンネルに作用する土圧および水圧、鉄筋応力の現場計測を行い、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施工時荷重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、セグメント、作用荷重、施工時荷重

※１　交流研究員在職期間（平成14年４月１日から平成16年３月31日）
※２　交流研究員在職期間（平成12年４月１日から平成14年３月31日）

まえがき

シールドトンネルにおけるセグメントには、セグメント組立に伴う施工時荷重や土圧および水圧などさまざまな荷重が作用するため、これらのシールドトンネルに作用する荷重を適切に評価していく必要がある。

本報告書は、実際に施工された4本のシールドトンネルを対象としてシールドトンネルに作用する土圧および水圧、鉄筋応力等の現場計測を行い、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施工時荷重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になることを願うものである。

平成１７年３月

トンネルチーム
上席研究員　真下 英人
主任研究員　石村 利明
交流研究員　石村 勝伸
交流研究員　義永 茂司

目　次

1　はじめに ……1

2　天白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配置要領 ……15
2.1.6 測定方法 ……19
2.1.7 測定頻度および計測期間 ……19
2.2　施工管理の状況 ……20
2.2.1 総推力 ……20
2.2.2 裏込め注入材および注入量・圧力 ……20
2.3　計測結果……23
2.3.1 土圧計 ……24
2.3.2 水圧計 ……25
2.3.3 円周方向鉄筋計 ……25
2.3.4 軸方向鉄筋計 ……26
2.3.5 覆工体に発生する断面力 ……66

3　首都圏外郭放水路第２工区・第３工区における現場計測 ……94
3.1　計測方法……94
3.1.1 計測目的 ……94
3.1.2 トンネルの概要と計測位置 ……94
3.1.3 地質状況 ……105
3.1.4 計測項目 ……107
3.1.5 計測機器の配置および配置要領 ……110
3.1.6 測定方法 ……117
3.1.7 測定頻度および計測期間 ……117
3.2　施工管理の状況 ……118
3.2.1 総推力 ……118
3.2.2 裏込め注入材および注入量・圧力 ……118
3.3　計測結果……125

3.3.1 土圧計 ……127
3.3.2 水圧計 ……129
3.3.3 円周方向鉄筋計 ……130
3.3.4 覆工体に発生する断面力 ……171

4 首都圏外郭放水路第４工区における現場計測 ……199
4.1 計測方法 ……199
4.1.1 計測目的 ……199
4.1.2 トンネルの概要と計測位置 ……199
4.1.3 土質状況 ……204
4.1.4 計測項目 ……206
4.1.5 計測機器の配置および配置要領 ……215
4.1.6 測定方法 ……221
4.1.7 測定頻度および計測期間 ……221
4.2 施工管理の状況 ……222
4.2.1 組立状況 ……222
4.2.2 組立ジャッキ圧 ……225
4.2.3 掘進時総推力 ……225
4.2.4 裏込め注入材および注入量・圧力 ……228
4.3 計測結果 ……231
4.3.1 土圧計 ……232
4.3.2 水圧計 ……234
4.3.3 円周方向鉄筋計 ……235
4.3.4 軸方向鉄筋計 ……236
4.4 覆工体に発生する断面力 ……276
4.4.1 曲げモーメント ……276
4.4.2 軸力 ……276
4.4.3 セグメント組立時の断面力 ……277

5 セグメント組立時の自重の取り扱い方法 ……316
5.1 計測トンネルの概要 ……316
5.2 現場計測結果の分析 ……317
5.2.1 セグメント組立時の挙動分析 ……317
5.2.2 セグメント組立完了時の覆工断面力算出結果 ……320
5.2.3 現場計測に基づく施工時荷重 ……322
5.2.4 マシンデータによるジャッキ荷重 ……324

5.3　骨組解析モデルによる覆工断面力の検討 ……324
5.3.1 解析モデル ……324
5.3.2 解析条件 ……328
5.3.3 解析結果 ……331
5.3.4 まとめ ……337

6　硬質地盤中のシールドトンネルの作用土圧 ……338
6.1　土圧計および水圧計による作用土圧 ……338
6.2　覆工断面力から推定される作用土圧 ……340
6.2.1 解析方法 ……340
6.2.2 解析モデル ……340
6.2.3 解析結果 ……348
6.3　まとめ ……352

7　結論 ……353

謝辞 ……356

巻末資料 ……357
1．コンクリートの乾燥収縮による影響の検討 ……359
2．ピース間継手の土水圧作用時の回転ばね定数 ……360
3．ピース間継手の自重作用時の回転ばね定数 ……361
4．リング間継手のせん断ばね定数 ……362
5．鉄筋応力等、現場計測結果一覧表 ……363
6．互層地盤および地下水位を考慮したゆるみ土圧の計算 ……382

第１章　はじめに

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た場合、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ならびに切羽保護による施工時の安全面などにおいて有利な工法である。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、そのコストダウンが大きな課題となっている。その方法として合理的なセグメント構造や継手構造の開発などが考えられるが、最も重要なの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を十分な精度で把握することが挙げられる。さらには、従来は外荷重（土圧、水圧）が大きかったので施工時荷重を厳密に評価しなくても問題にならなかったが、近年施工が多くなっている地盤条件が良いところに建設されるトンネルでは土圧が小さくなり、施工時荷重の影響が大きくなる可能性がある。

したがって、シールドトンネルの現場計測を数多く実施し、これらの結果を分析し、トンネルに作用する外荷重（土圧、水圧）とともに施工時荷重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、シールドトンネルの現場計測結果の取りまとめを行い、シールドトンネルに作用する施工時荷重について検討を加えたものである。

第2章 天白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に大きく影響を受けるため、適切にシールドトンネルへの作用荷重を評価する必要がある。このため、実際に施工されるシールドトンネルを対象として施工時荷重や土圧、水圧ならびにセグメントの鉄筋応力等の現場計測を行い、トンネルに作用する荷重について評価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に示す天白共同溝のシールドトンネルで実施した。天白共同溝は、愛知県名古屋市天白区梅が丘１丁目の発進立坑から天白区中平３丁目の到達立坑までの国道３０２号の直下を施工する延長約1,966m、トンネル外径5.75m、土被り約10～30mの単設の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３０２号は幅員58.5mの道路と18.75mの高架道路との立体構造となっている。計測は、発進立坑から約720mの土被り約21mの位置で実施した。

セグメントの構造・形式は、桁高 250 ㎜、幅 120 ㎝の６分割のＲＣ平板型セグメント（ほぞ付き）である。シールド掘削方式は密閉型の泥水加圧式シールドであり、施工に使用したシールド機の構造概要を図-2.2 に示す。なお、計測地点付近の工事の進捗は、平均的な掘進速度は約 6.0～7.2m／日であった。

共同溝のトンネル諸元を表-2.1 に、平面線形、縦断線形（土質条件）および一次覆工（セグメント）の概要を図-2.3～図-2.7 に示す。

表-2.1　天白共同溝シールドの諸元

トンネル延長	1,966m
シールド外径	5,750 ㎜
セグメント外径	5,600 ㎜
セグメント内径	5,100 ㎜
最小曲線半径	R=200m

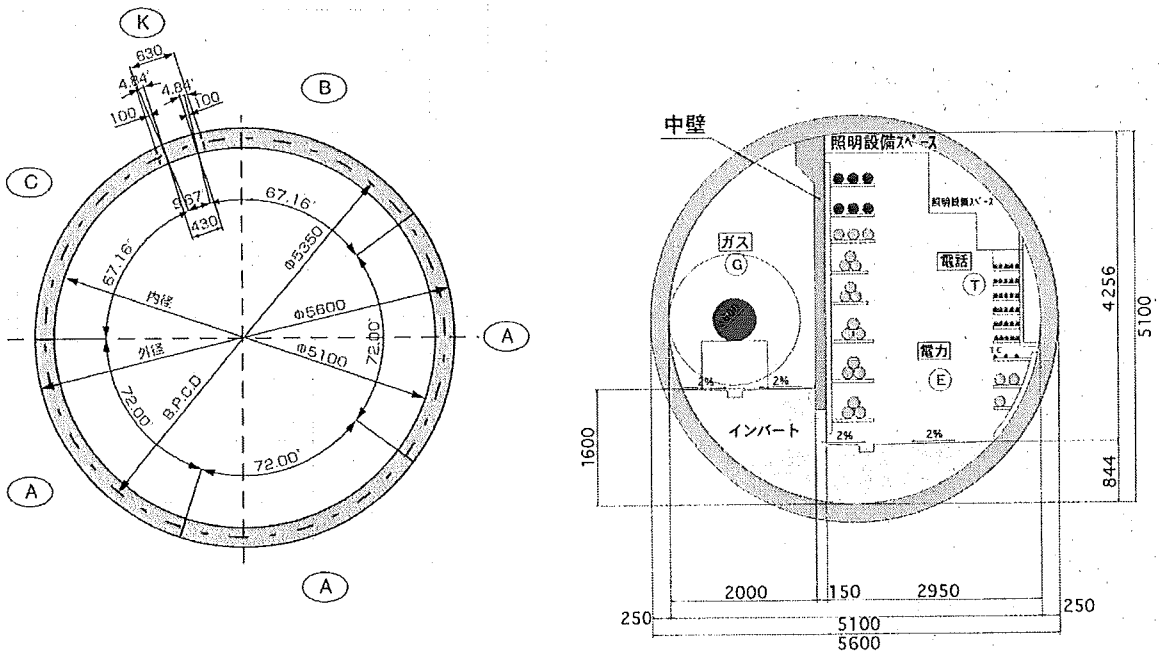


図-2.1　天白共同溝シールドの標準断面図 1)

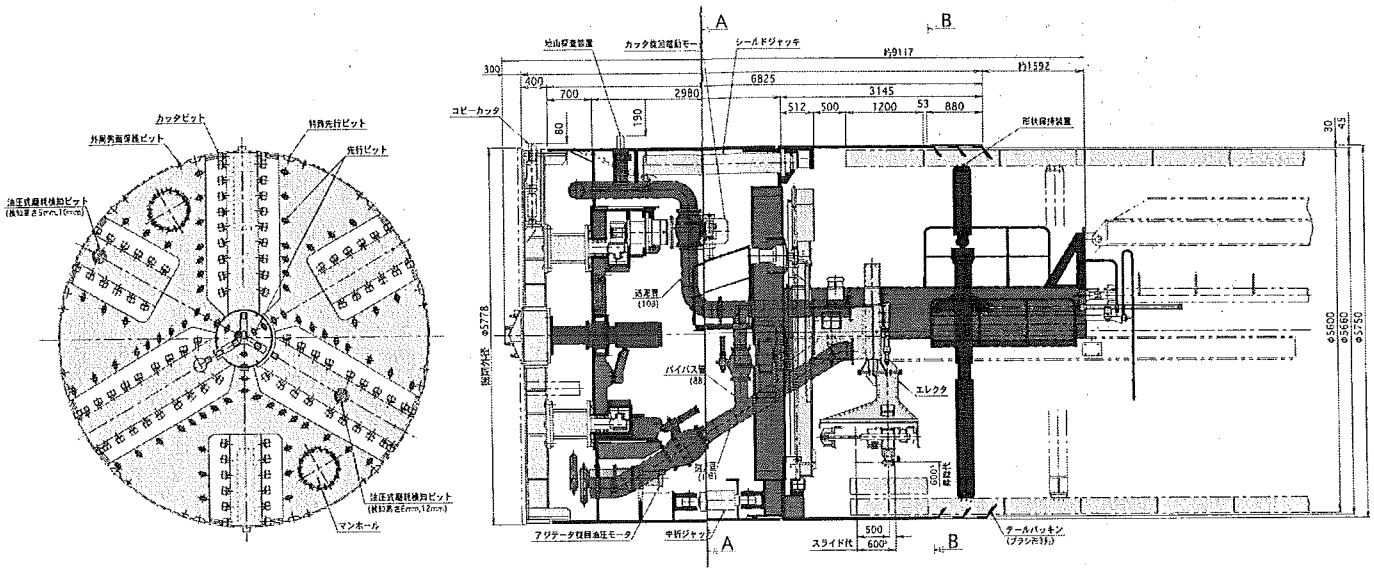


図-2.2　シールド機の概要図 1)



図-2.3　トンネルの平面線形 1)

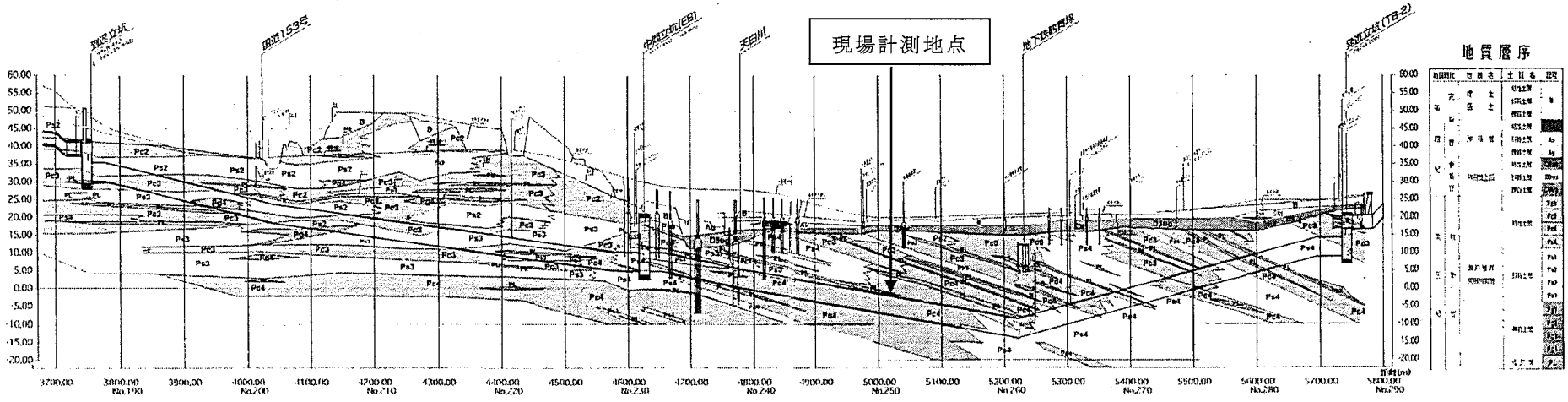


図-2.4　トンネルの縦断線形 1)

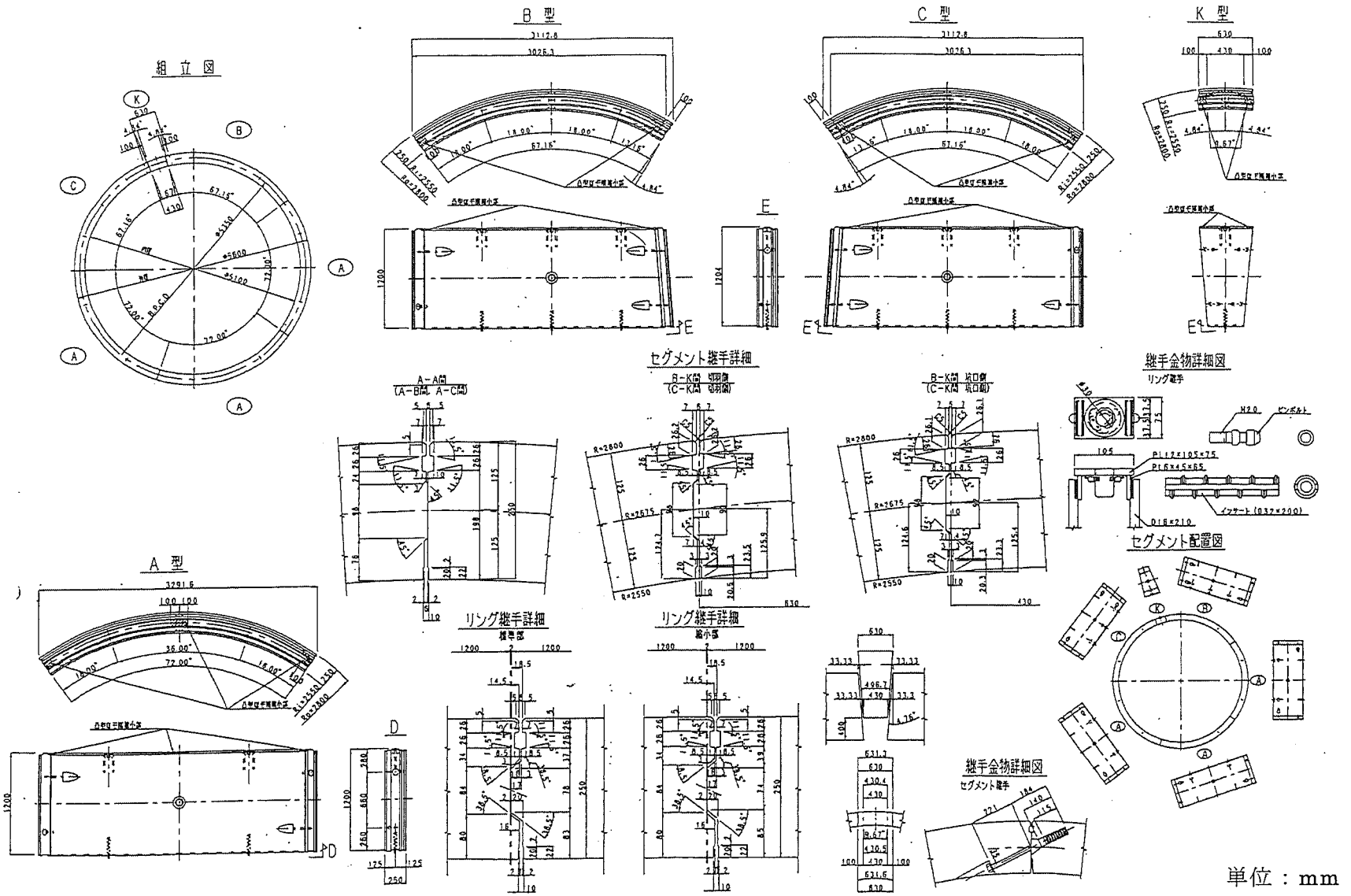


図-2.5　一次覆工の概要 1)

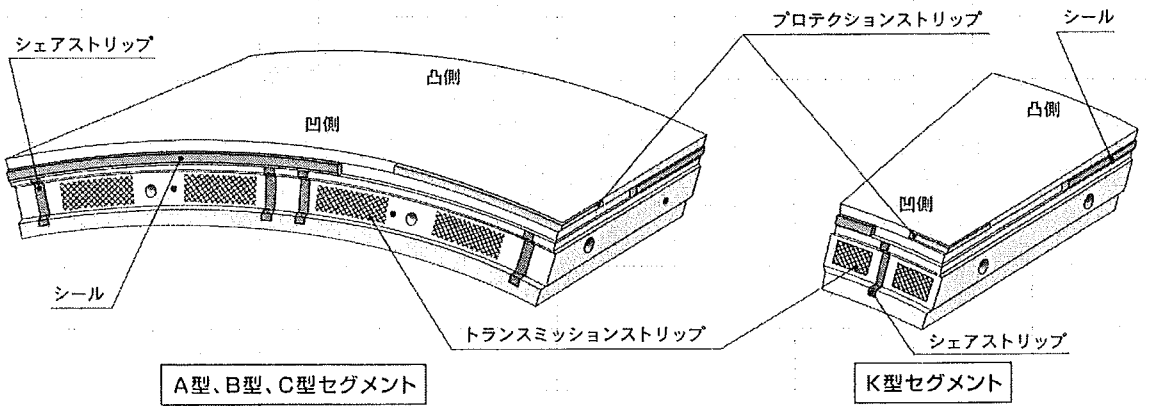


図-2.6　ほぞ付きセグメント概要図 1)

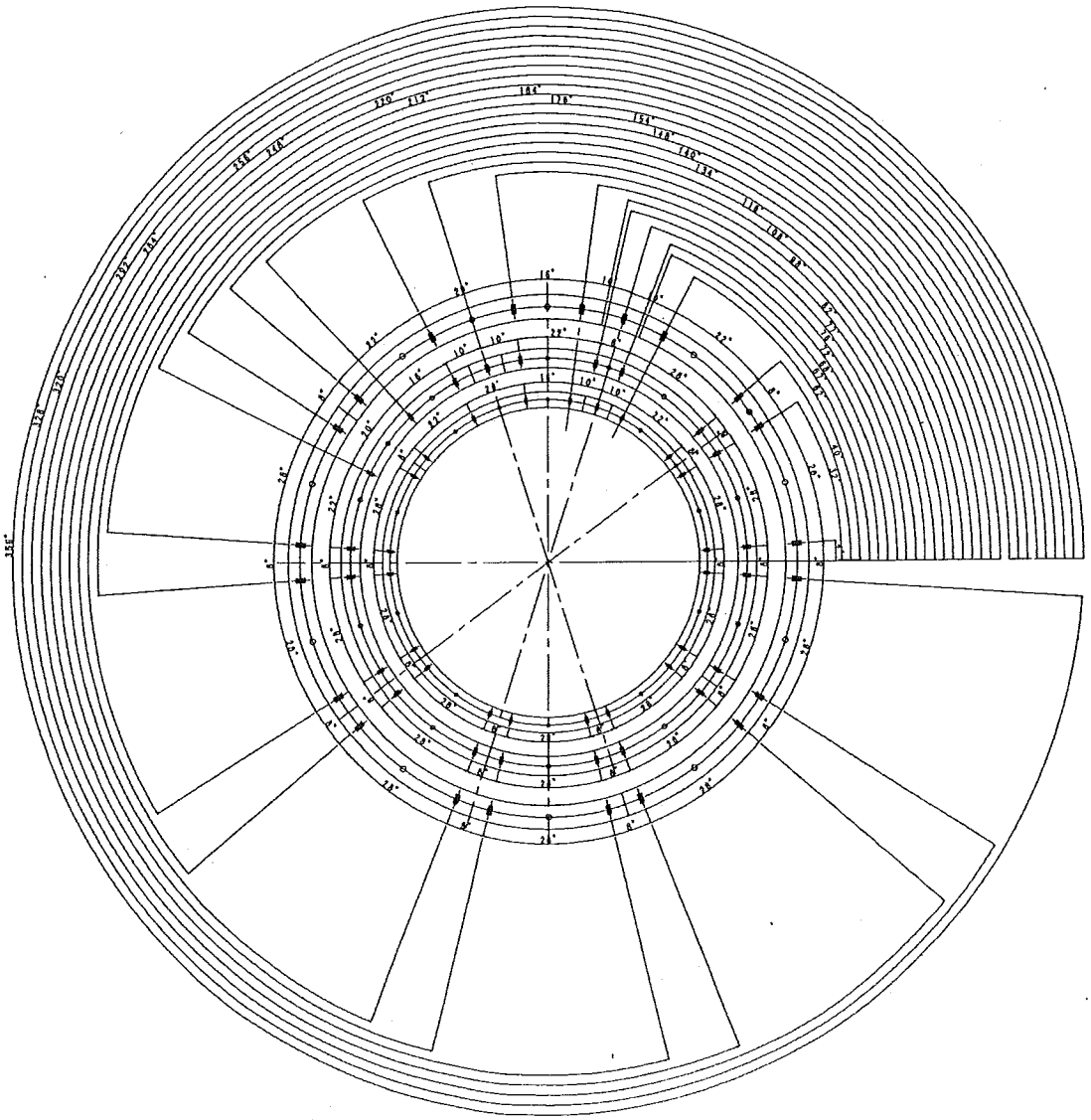
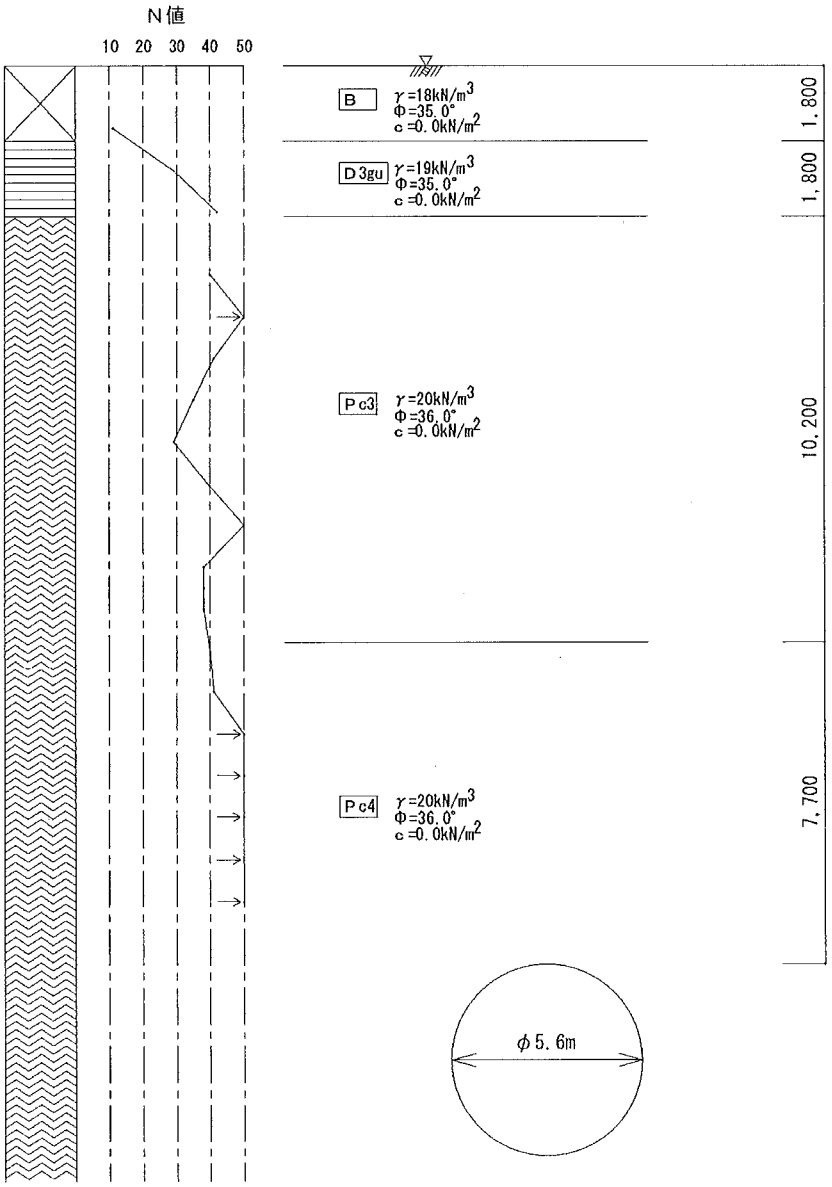


図-2.7　シェアストリップ貼付位置図 1)

2.1.3 地質状況

シールドトンネルが施工される付近の土質は、第三紀瀬戸群矢田川累層となっており、砂質土層および粘性土層の互層より構成されている。N値は 30～50 以上、最大粒径はφ20mm となっている。また、砂質土層における透水係数は 10^{-3}～10^{-4}cm/sec を示している。

計測位置付近は土被りが約 21m 程度となっており、土質はN値 40 以上の矢田川累層粘性土層(土丹層)である。シールド上部には亜炭層や砂質土層がうすく挟在している良質地山である。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-2.8 に示す。



※土質定数はセグメント設計時の値とした。

図-2.8　トンネル位置と地質柱状図の関係

2.1.4 計測項目

本計測現場における主たる計測項目は土圧、水圧、鉄筋応力である。測定機器・数量を表-2.2 に示す。現場計測箇所の選定にあたっては、

①不確実な施工条件が影響することを避けるため初期掘進区間およびカーブ施工区間を避けた位置を選定

②計画断面は良質地山でのセグメントに作用する土圧の実態を把握できる第三紀粘土層(土丹層)中を選定

の２条件を満足する地点として、発進立坑から約 720m 付近の土被り約 21m 地点（NO.590 および NO.591）を計測地点に選定した。図-2.9 に土圧計、水圧計、図-2.10 に鉄筋計の計測位置の概要図を示す。土圧計は NO.591 リング（甲組リング）、水圧計は NO.590 リング（乙組リング）の各１断面、鉄筋計は NO.590、NO.591 リングの乙組、甲組リングの２断面とした。また、各計測器の設置位置の展開図を図-2.11～図-2.14 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)ならびに施工時荷重(裏込め注入圧力等)を土圧計により測定する。

②水圧計測

セグメントに作用する水圧を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。

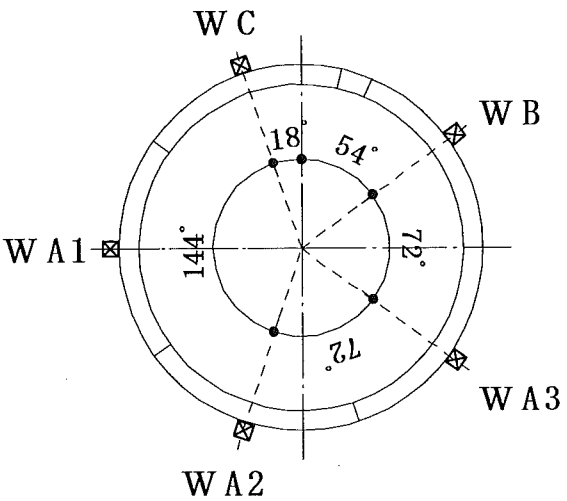
④軸方向鉄筋応力計測

セグメントの配力鉄筋（トンネル軸方向）に鉄筋計を設置することにより、セグメントリングに作用するジャッキ推力の影響を測定する。

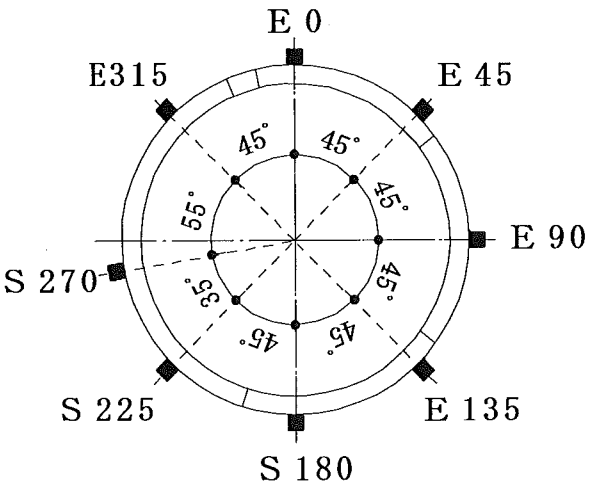
表-2.2　計測機器・数量

（1断面当り）

項目	測定計器名および形式	数量	備　考
①	ﾊﾟｯﾄ式土圧計（計測範囲 1MN/㎡ GTI-E210-1MP)	8台	8点×1リング (設置ﾘﾝｸﾞNO.:591ﾘﾝｸﾞ)
②	間隙水圧計（小型圧力変換器 PGM)	5点	5点×1リング (設置ﾘﾝｸﾞNO.: 590ﾘﾝｸﾞ)
③	ｽﾄﾚｲﾝｹﾞｰｼﾞ（KCW　溶接型防水箔ひずみゲージ)	64点	円周 16 箇所×内側と外側×2リング (設置ﾘﾝｸﾞNO.:590,591ﾘﾝｸﾞ)
④	ｽﾄﾚｲﾝｹﾞｰｼﾞ（KCW　溶接型防水箔ひずみゲージ)	8点	軸方向4箇所×2リング (設置ﾘﾝｸﾞNO.:590,591ﾘﾝｸﾞ)

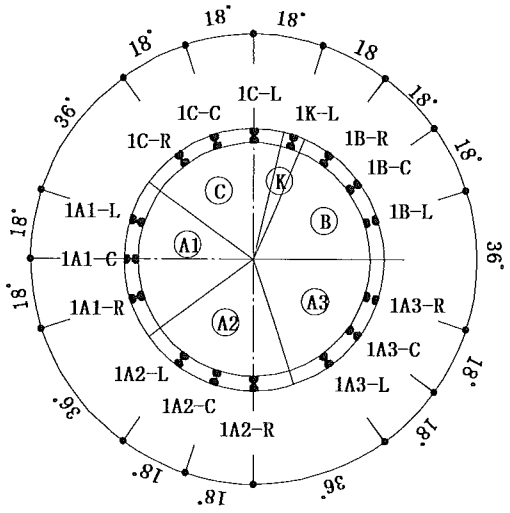


NO.590 乙組リング（水圧計）

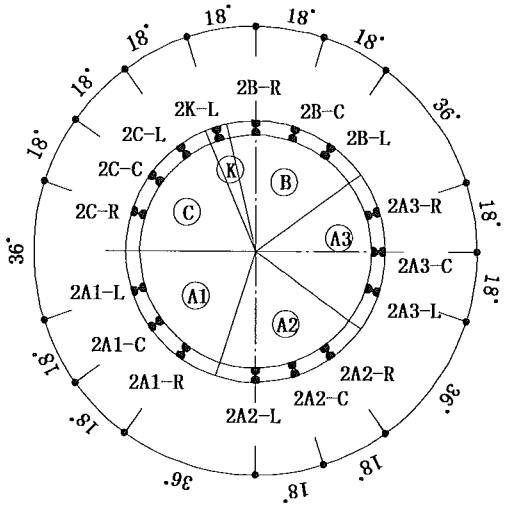


NO.591 甲組リング（土圧計）

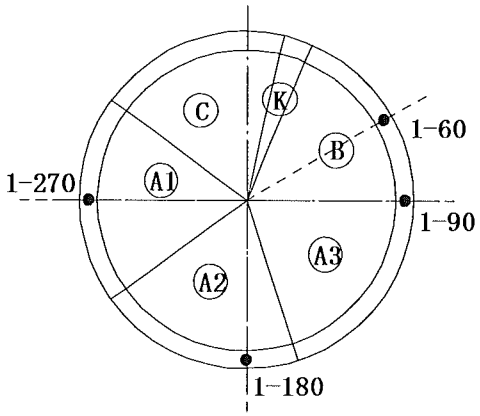
図-2.9　土圧計・水圧計の設置位置の概要



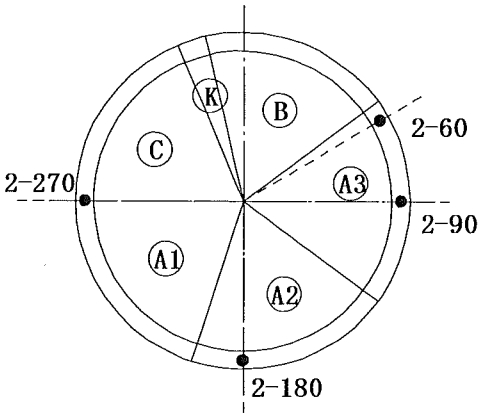
NO.590 乙組リング（円周方向鉄筋計）



NO.591 甲組リング（円周方向鉄筋計）

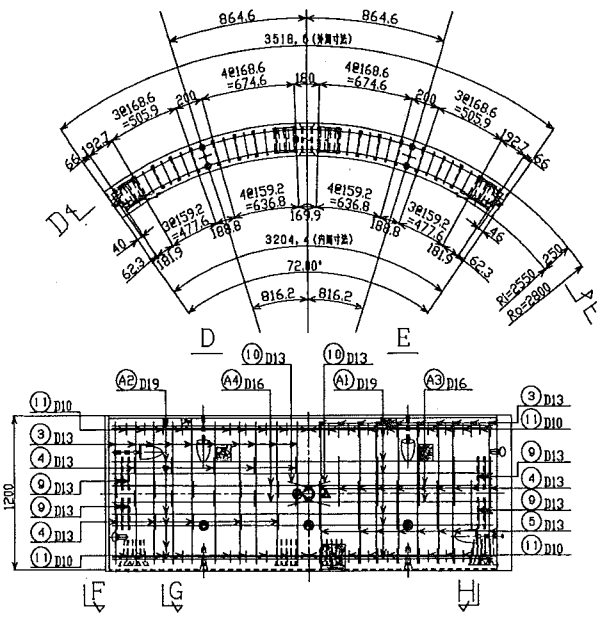


NO.590 乙組リング（軸方向鉄筋計）

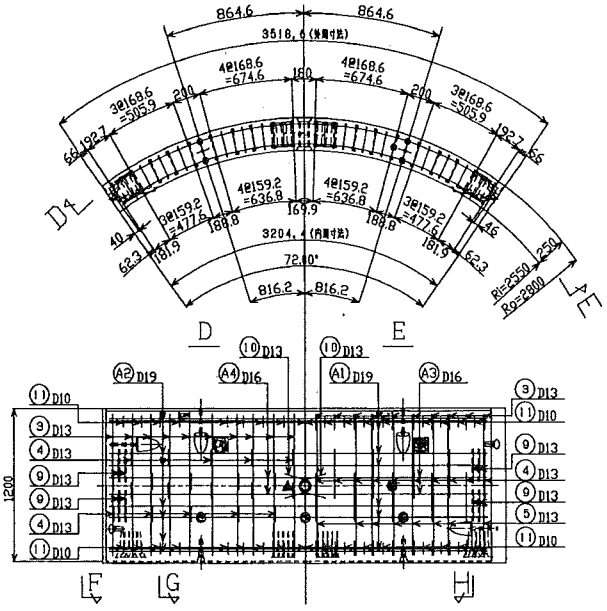


NO.591 甲組リング（軸方向鉄筋計）

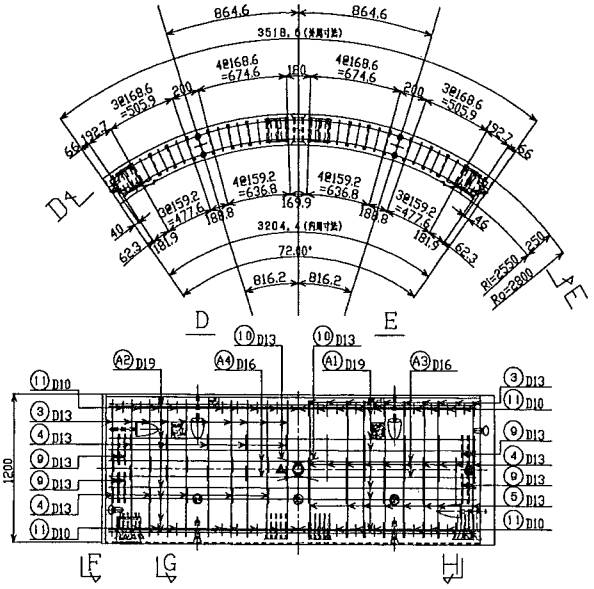
図-2.10　鉄筋計の設置位置の概要



Ａ１ピース



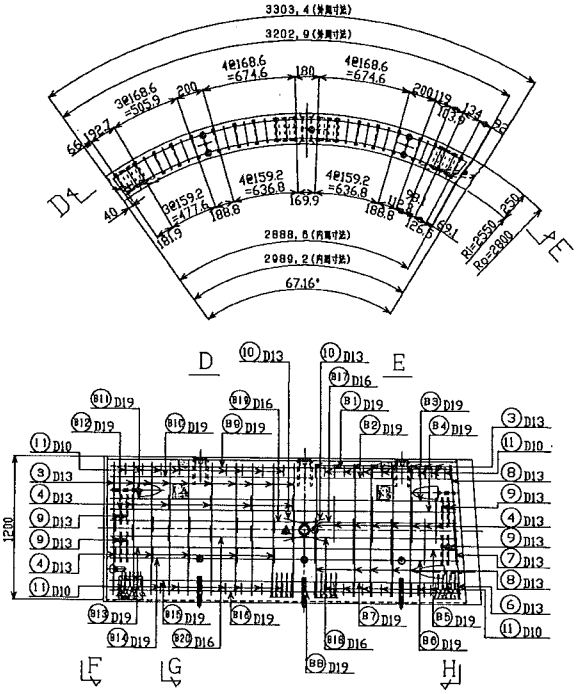
Ａ２ピース



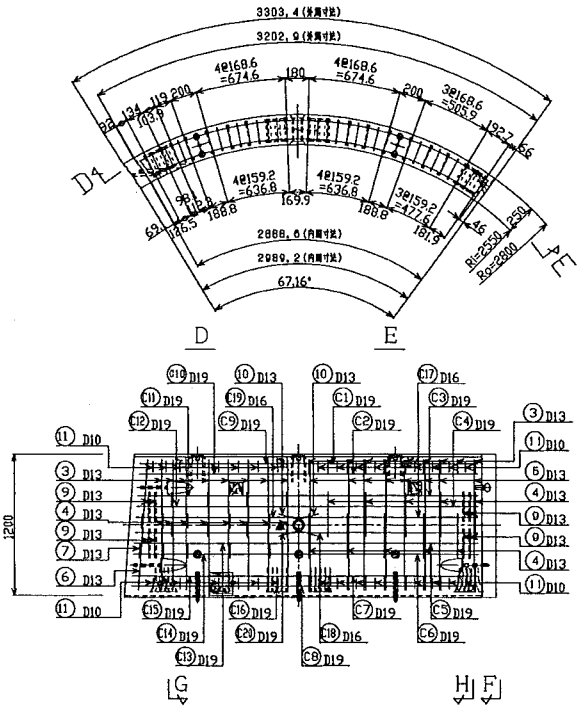
Ａ３ピース

単位：mm

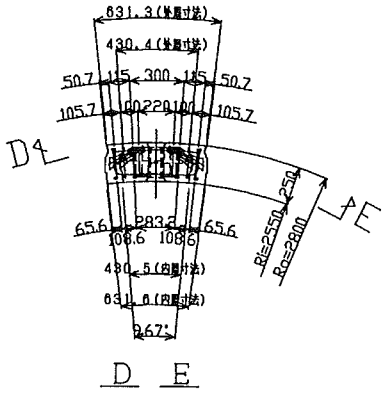
図-2.11　NO.590 乙組計測リング計測器の設置位置の展開図(A1、A2、A3)

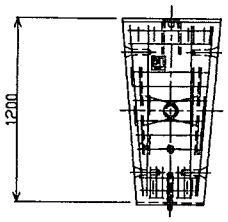


Bピース



Cピース

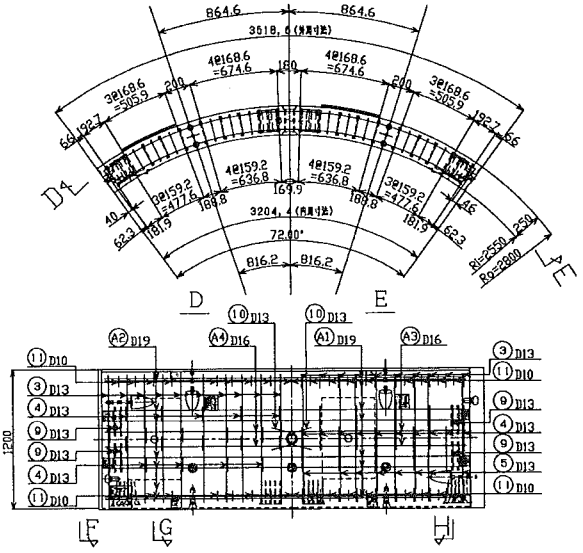




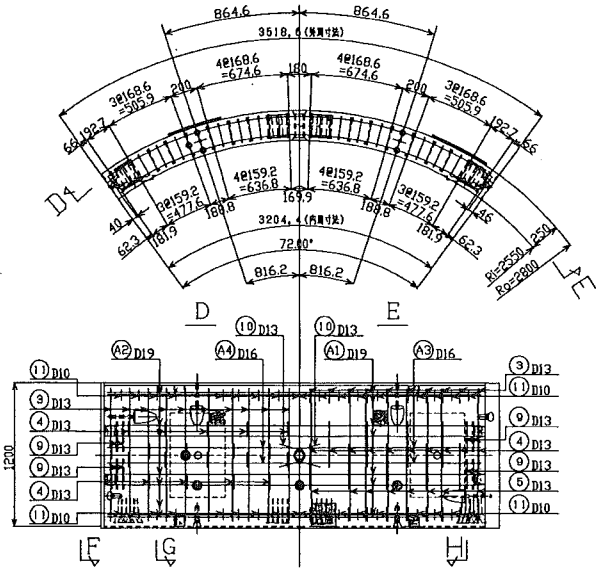
Kピース

単位：mm

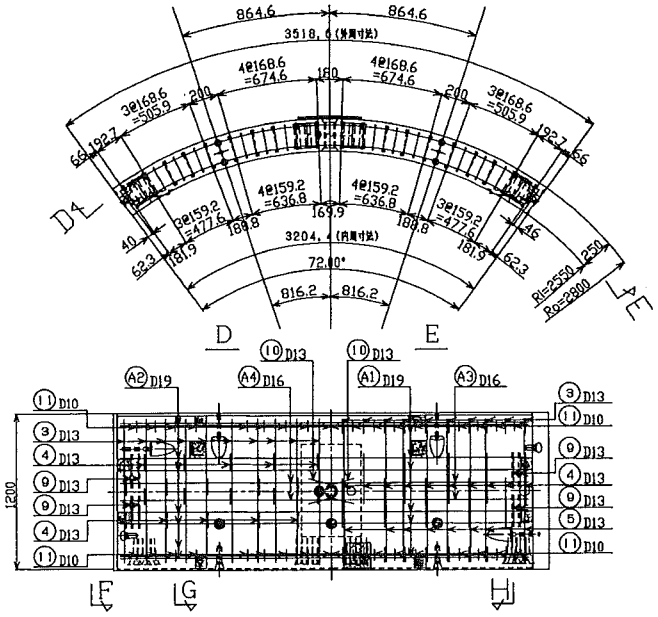
図-2.12　NO.590 乙組計測リング計測器の設置位置の展開図(B、C、K)



Ａ１ピース



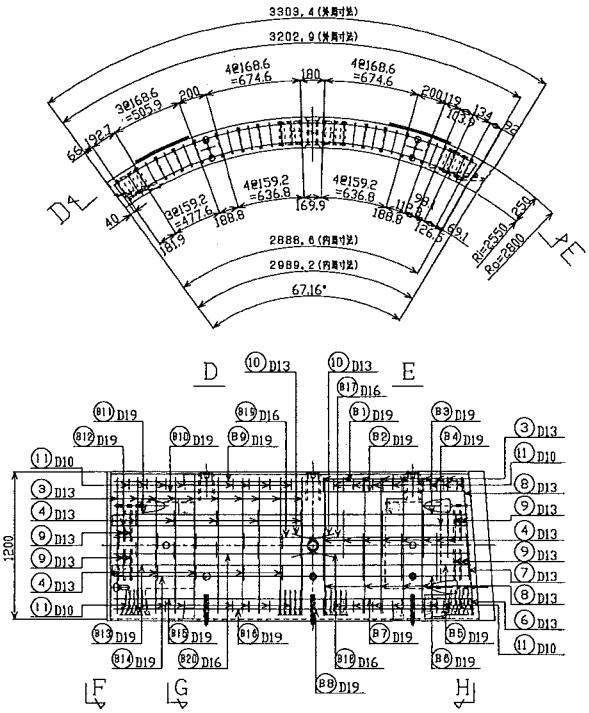
Ａ２ピース



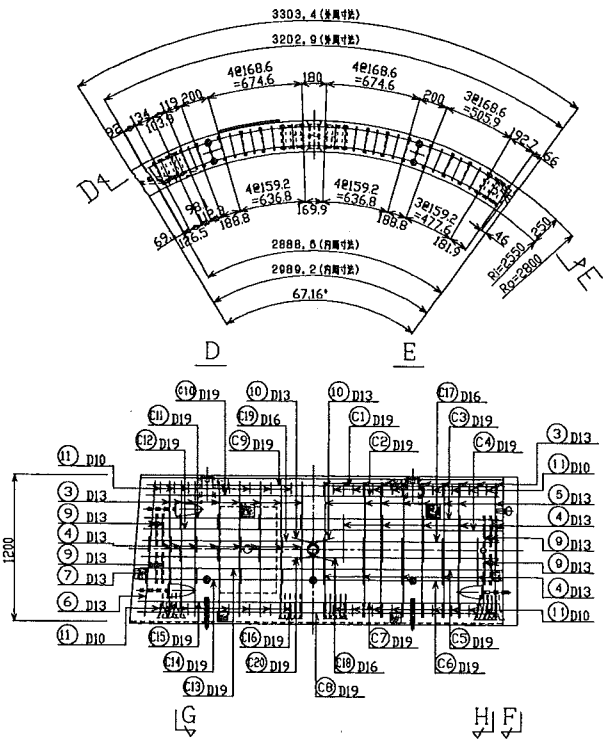
Ａ３ピース

単位：mm

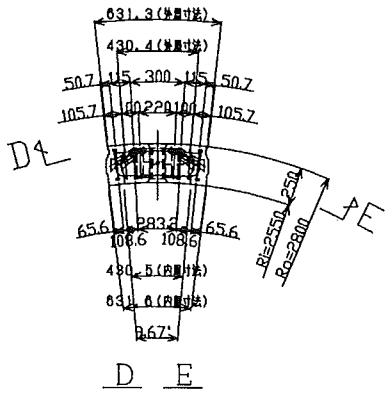
図-2.13　NO.591 甲組計測リング計測器の設置位置の展開図(A1、A2、A3)

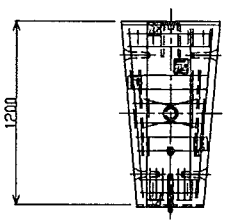


Bピース



Cピース





Kピース

単位：mm

図-2.14　NO.591 甲組計測リング計測器の設置位置の展開図(B、C、K)

2.1.5 計測機器の配置および設置要領

各計測器の設置要領を以下に示す。

(1)土圧計

土圧計については、パット式土圧計をＲＣセグメントの外周面に設置した。土圧計取付概要図を図-2.15 に示す。土圧計の配置については、裏込め注入圧やテールシールの接触圧の分布を詳細に把握するために、連続的に設置した土圧計でその圧力を測定することが望ましいが、土圧計の設置や計測ケーブル取り出しによる断面欠損に配慮し、４５°ピッチとした。土圧計設置箇所を図-2.9 に示す。土圧計詳細図を図-2.16 に示す。また、土圧計の設置要領を以下に示す。

①現場搬入セグメントを計器設置用作業ヤードに並べ、土圧計接着面が水平になるように据える。

②セグメントと土圧計の接着力を高めるため、セグメントの表面をグラインダーで研磨する。

③土圧計設置治具用のアンカーを施工する。

④土圧計を設置するセグメント表面に、接着剤を塗り、土圧計を貼り付け、端部を設置治具によってアンカー固定する。接着剤が固化するまで約１日養生する。

⑤土圧計の絶縁抵抗値と出力ひずみを測定し、初期不均衡値と比較する。また、土圧計に荷重をかけ、正常に作動するかを確認後記録する。

⑥セグメントの組立時には、延長ケーブルとセグメント内の計器ケーブルを結線する。また、同時に延長ケーブルをスイッチボックスにつなぎ込む。

(2)水圧計

水圧計はセグメントのグラウトホールを利用して設置する。このことからグラウトホールが設置位置となる。水圧計設置は図-2.9 に示す５点とした。水圧計詳細図を図-2.17 に示す。また、水圧計の設置要領を以下に示す。

①裏込め注入硬化後、後方台車を抜けてから、所定のグラウトホールのキャップ逆止弁を外し、グラウト孔を利用して間隙水圧計の治具を取り付ける。

②治具に間隙水圧計を取り付ける。

③治具のバルブを開け、バールまたはドリルを用いて裏込め注入材を突き破り、間隙水を吹き出させバルブを閉める。

④延長ケーブルと結線し、計器の出力を確認後記録し、計測を開始する。

(3)円周方向鉄筋計

円周方向鉄筋計については、セグメントリングの断面分布を詳細に把握するために、極力その間隔を狭めて配置することが望ましいが、土圧計と同様に計測ケーブルの取り出しに伴う断面欠損に配慮し、１ピース当り３箇所、１リング当り 16 箇所の内外主鉄筋に設置し、１リング当り計 32 箇所に鉄筋計を取り付ける。鉄筋計詳細図を

図-2.18に示す。また、鉄筋計の設置要領を以下に示す。

①ひずみゲージ位置をスケールで正確に計り、マジックで印をつける。

②鉄筋の節と黒皮をベルトサンダーで削り落とし、サンドペーパーで仕上げる。

③ゲージ位置にケガキ針でケガキ線を入れる。

④アセトンを含ませた脱脂綿で、研磨部の油脂等の汚れを除去する。これを 2～3回繰り返す。

⑤ひずみゲージをケガキ位置に合わせて、専用の小型点溶接機にて点溶接を行う。

⑥研磨部の錆を防止するため、リード線の取り出し口にブチルゴムを敷き、研磨部を全て覆うようにＶＭテープを巻きつける。

⑦ＶＭテープの上にビニールテープを巻きつける。

⑧ひずみゲージの絶縁抵抗値と出力ひずみ初期不平衡値、極性を確認する。目安として、不平衡値±3000×10^{-6}以内、絶縁抵抗値 500MΩ以上の目標とする。

⑨ゲージのケーブルを鉄筋の内側(打設時保護のため)に沿って収納箱まで配線し、固定する。

（４）軸方向鉄筋計

軸方向鉄筋計はトンネル上半部、下半部、両側部でのジャッキ推力の伝達状況が把握できるように、１リング当り４箇所を設置する。

鉄筋計設置要領は円周方向鉄筋計と同様となる。

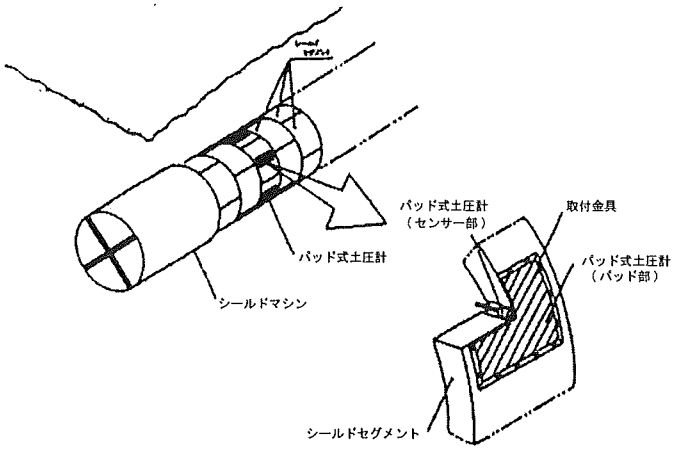


図-2.15　土圧計取り付け概要図

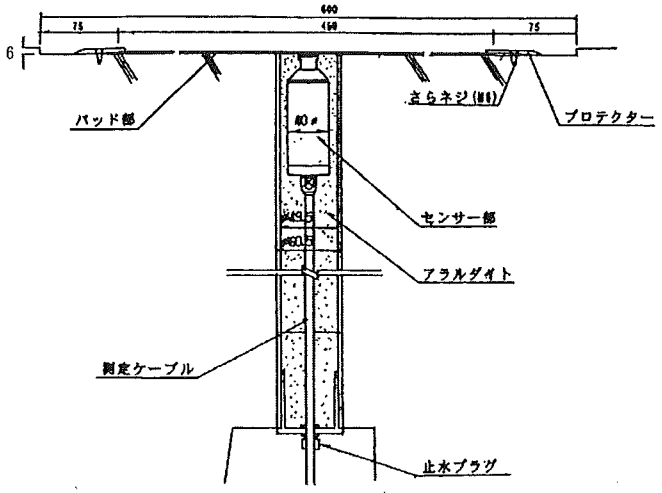
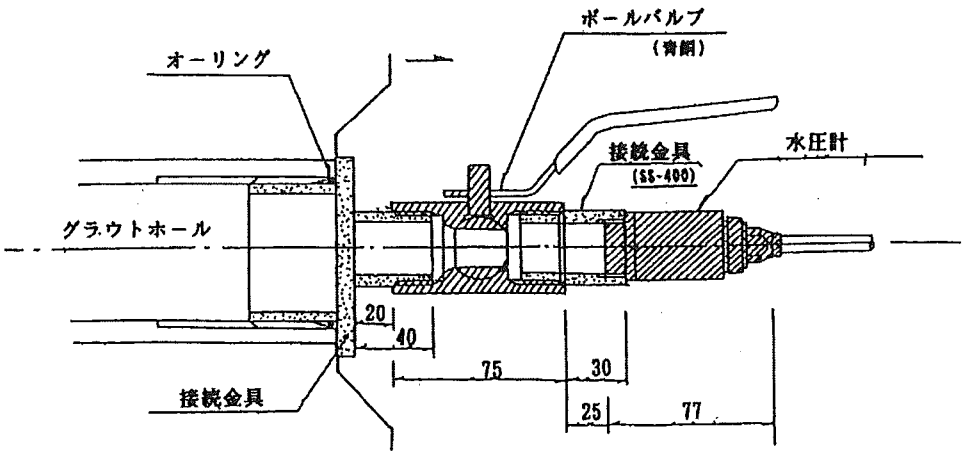
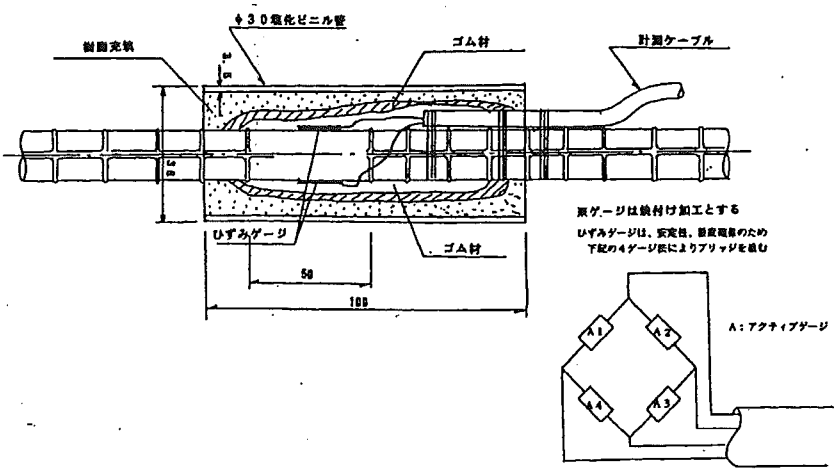


図-2.16　土圧計詳細図



単位：mm

図-2.17　水圧計詳細図



単位：mm

図-2.18　鉄筋計詳細図

2.1.6 測定方法

現場計測は、スキャナーおよびデジタル測定器を設置して自動計測方式で行った。計測システム図を図-2.19 に示す。

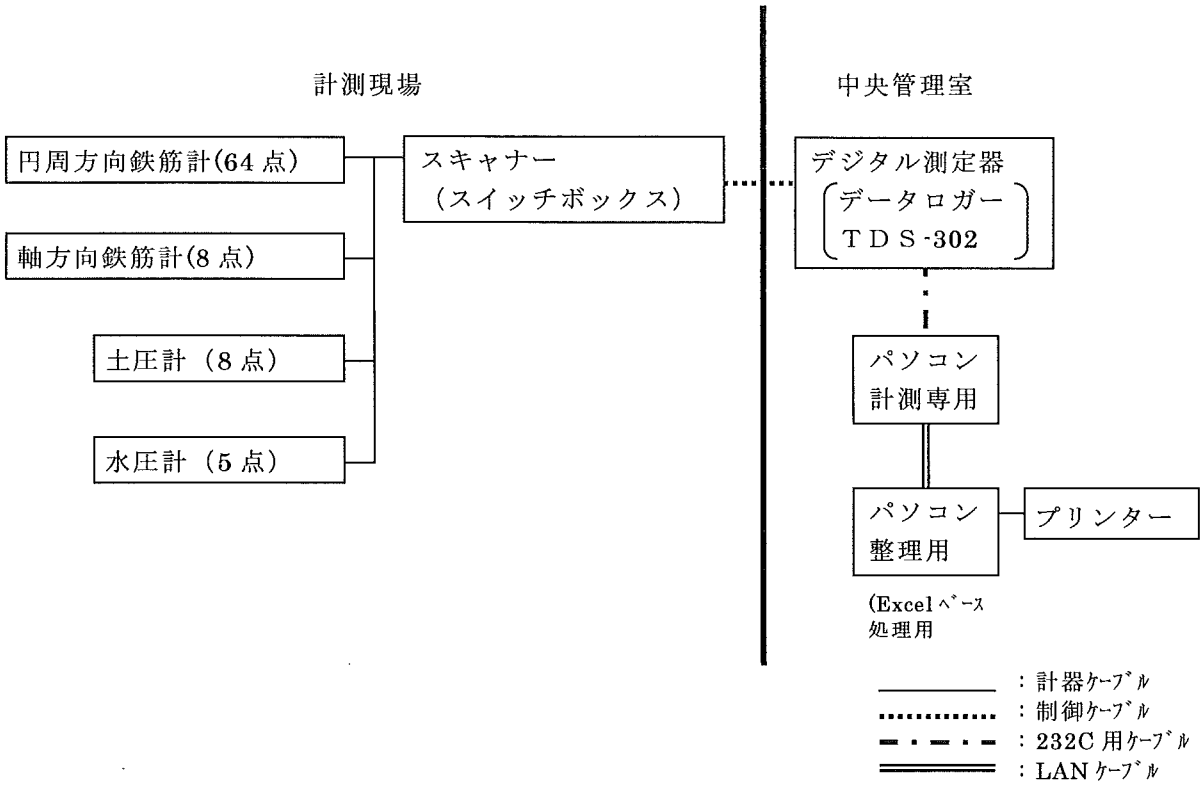


図-2.19 計測システム

2.1.7 測定頻度および計測期間

(1)測定頻度

測定の頻度については、掘進、裏込め注入の影響、地山の荷重の変化等を把握するため、表-2.3 に示す３つの期間に区分し測定頻度を設定した。

表-2.3 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	計測器が安定に向かう期間
2 分間隔 (計測開始～1 週間後まで)	30 分間隔 (1 週間後～2 週間後まで)	2 時間間隔

(2)計測期間

測定期間　　2001 年 10 月 9 日～2002 年 2 月 20 日　(約 4.5 ヶ月)

2.2 施工管理の状況

土圧計、水圧計等の計測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、セグメント組立時や掘進時の施工状況を把握しておく必要がある。このことから、シールドトンネル構築時に作用する荷重を想定し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。収集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トンネル直径程度およびトンネル直径の2倍程度を目安に、計測用リングのNO.590の手前約5ﾘﾝｸﾞ（NO.585ﾘﾝｸﾞ）から約10ﾘﾝｸﾞ後方のNO.602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-2.4および図-2.20に示す。総推力のデータは、各リングの平均値で示した。

総推力は各リングで約11000kN～13000kN程度で変動しているが、急激な変動はなく、平均的には約12000kN程度となっている。本現場のシールド機の直径が5.778mであるので、シールド前面の面積が約26.22 ㎡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は約457kN/㎡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-2.4および図-2.20に示す。また裏込め注入材は表-2.5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-2.6に示すように、設計基準値で1時間強度で約0.15N/mm²、7日強度で1.960N/ mm²に対して、それぞれ1時間強度で約0.21～0.22 N/ mm²、7日強度で約2.62～2.74 N/ mm²である。

(2)裏込め注入量・圧力

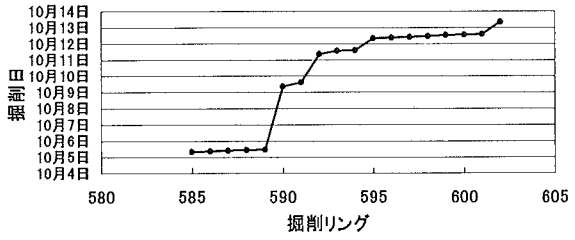
裏込め注入は、シールド機の後方から掘進時にセグメントの裏込め注入孔から注入する即時裏込め注入方式で施工している。裏込め注入圧は約360～500 kN /㎡の範囲でばらついており、計測用セグメント付近の圧力は約450～500 kN /㎡となっている。また、裏込め注入量は約1600 ﾘｯﾄﾙ～2300 ﾘｯﾄﾙの範囲で注入されており、注入率は約90%～120%となっている。

2.2.3 泥水圧

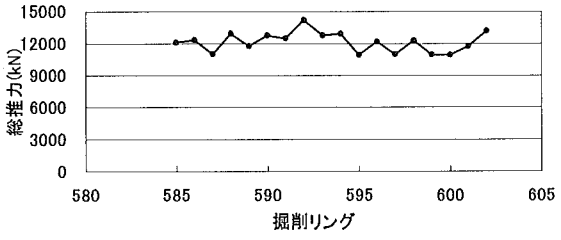
泥水圧の施工管理データを表-2.4および図-2.20に示す。泥水圧は約240～260 kN /㎡で安定しており、平均的には約250 kN /㎡で管理されている。

表-2.4　施工管理データ一覧表

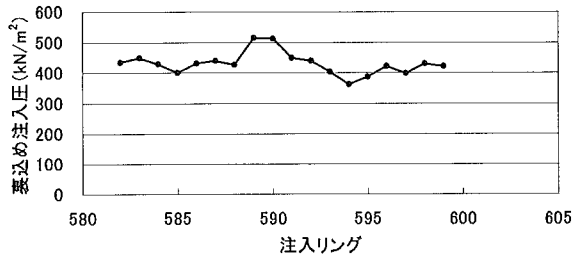
掘削リング	掘削日時	総推進力 (kN)	裏込め注入リング	裏込め注入圧 (kN/m^2)	裏込め注入量 (l)	注入率 (%)	泥水圧 (kN/m^2)
585	10月5日	12098	582	434	2169	114	261
586	10月5日	12327	583	449	2027	106	238
587	10月5日	11027	584	429	2304	121	256
588	10月5日	12932	585	400	2153	113	240
589	10月5日	11795	586	431	2113	111	252
590	10月9日	12790	587	439	1971	103	253
591	10月9日	12501	588	426	2131	112	232
592	10月11日	14218	589	516	1675	88	246
593	10月11日	12788	590	513	1994	104	245
594	10月11日	12920	591	450	2087	109	239
595	10月12日	10934	592	440	1645	86	245
596	10月12日	12173	593	404	2094	110	236
597	10月12日	11021	594	362	2148	113	249
598	10月12日	12281	595	386	2243	118	248
599	10月12日	10959	596	422	2155	113	243
600	10月12日	10943	597	398	2200	115	252
601	10月12日	11737	598	430	2015	106	235
602	10月13日	13188	599	421	1868	98	237



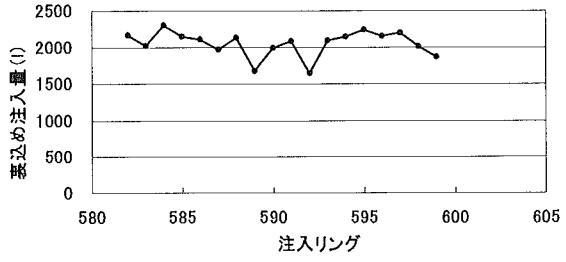
(a)リング組立状況



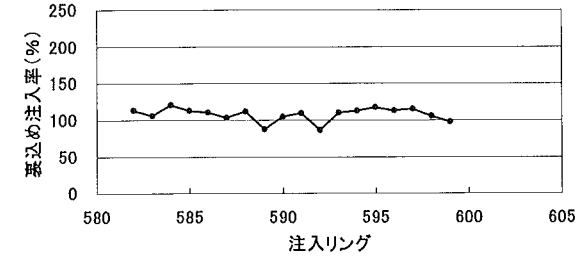
(b)総推力



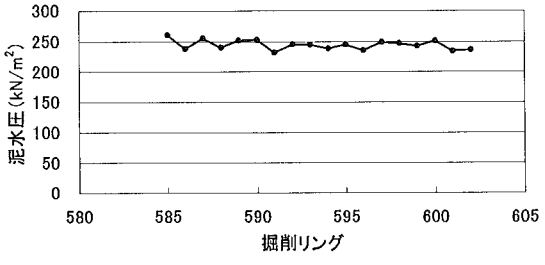
(c)裏込め注入圧



(d)裏込め注入量



(e)裏込め注入率



(f)泥水圧

図-2.20　施工管理の実績

表-2.5　裏込め注入の配合表（1 m³ 当り）

A液				B液
硬化材	助材	安定剤	水	凝結材
261 kg	108 kg	1.0 kg	733 リットル	130 リットル

表-2.6　裏込め注入材の基準値および試験結果

項目	試験結果	基準値
A液比重	1.27	1.27±0.02
フロー値(秒)	48×48	30 以上
ゲルタイム(秒)	8.69	15 以内
一軸圧縮強度試験 1 時間後 (N/mm^2)	0.21～0.22	0.15 以上
一軸圧縮強度試験 1 日後 (N/mm^2)	1.82～2.07	1.47 以上
一軸圧縮強度試験 7 日後 (N/mm^2)	2.62～2.74	1.96 以上
一軸圧縮強度試験 28 日後 (N/mm^2)	5.16～5.80	3.43 以上

2.3 計測結果

本現場計測で得られた計測結果を次項以降に示す。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-2.7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、計測リングを組み立て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、計測リングを組立前の平積み時の値を初期値とした。

表-2.7 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	01/10/ 9	9:08	590ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立直後
2	01/10/ 9	15:14	591ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立直後
3	01/10/10	9:08	590ﾘﾝｸﾞ１日後
4	01/10/10	15:14	591ﾘﾝｸﾞ１日後
5	01/10/11	8:36	590ﾘﾝｸﾞ(水圧計・鉄筋計計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出完了
6	01/10/11	13:52	591ﾘﾝｸﾞ(土圧計・鉄筋計計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出完了
7	01/10/11	13:46	590ﾘﾝｸﾞ裏込め注入直後
8	01/10/11	14:42	591ﾘﾝｸﾞ裏込め注入直後
9	01/10/12	9:08	590ﾘﾝｸﾞ３日後
10	01/10/12	15:14	591ﾘﾝｸﾞ３日後
11	01/10/16	9:08	590ﾘﾝｸﾞ１週間後
12	01/10/16	15:14	591ﾘﾝｸﾞ１週間後
13	01/10/29	0:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約 20 日後
14	01/11/18	0:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約 40 日後
15	01/12/ 8	0:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約 60 日後
16	02/ 1/ 7	0:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約 90 日後
17	02/ 2/ 6	0:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約 120 日後
18	02/ 2/20	0:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約 134 日後

2.3.1 土圧計

図-2.21～図-2.25 に 591 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。抽出した主要時期の土圧計の値の断面分布図を図-2.26～図-2.27 に示す。図-2.21～図-2.25 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①～③までの状態へと変化しているものと考えられる。

①テールブラシとの接触ならびにグリス充填圧による荷重の変動

②裏込め注入による荷重の変動

③長期荷重（土圧）の作用

テール部との接触による変化は、土圧計により異なるが、部分的に 2000～2400kN/㎡程度の高い値を示すことがある。また、計測リングがシールド機脱出に伴って土圧計測値は減少し、脱出完了後は 50kN/㎡程度まで低下する。その後、裏込め注入により土圧計の値は約 350kN/㎡程度まで上昇し、裏込め注入終了後、天端部で 175 kN/㎡程度まで下がり、その後の掘進ならびに裏込め注入に伴う影響を受けて 270～280 kN/㎡まで再び上昇する。その後、ゆるい低下傾向を示し、591 リング組立完了から約 11 日目で 240 kN/㎡程度まで低下して安定している。その後、ゆるやかな上昇下降を繰り返しており、天端付近の土圧計測値は組立後約 120 日経過後時点で約 255 kN/㎡まで上昇し、120 日以降は 230 kN/㎡まで低下傾向を示している。

裏込め注入の施工管理データによれば、計測リングの裏込め注入の圧力は、450kN/㎡程度で実施されており、裏込め注入時の土圧計の値は 350 kN/㎡程度まで上昇していることから、裏込め注入の影響が現れているものと考えられる。これは、過去に実施された現場計測結果でも、粘性土地盤中ではほぼ裏込め注入程度の圧力が記録されており、本シールドにおいても同様の現象が確認された。

テール脱出直後の土圧計は、約 50 kN/㎡まで計測値が低下しており、テール脱出直後は外荷重があまり作用していないことがわかった。これは、本現場の土質が硬質粘土地盤で自立していること、裏込め注入はセグメントのテール脱出が完了した次のリング（592R）の掘進時に行われるため、テールボイド部には回り込んできた泥水が存在する程度であることなどが考えられる。テール脱出後１リング掘進時点では、裏込め注入による計測値の上昇が見られることから、裏込め注入後の計測値は地山からの土圧のみによるものではなく、裏込め注入の影響を含んでいるものと考えられる。また、裏込め注入後の掘進が行われるごとに土圧計測値が上昇していることから、隣接する裏込め注入による影響が蓄積されているものと考えられる。

約 4.5 ヶ月後の天端に作用する土圧計測値は約 230 kN/㎡で、そのときの水圧計測値は約 180kN/㎡となっていることから、水圧以外の荷重として、約 50 kN/㎡程度が作用している。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 18mと仮定すると、天端に作用する鉛直荷重は水圧で約 180kN/㎡、土圧で約 260kN/㎡程度となる。この値と土圧結果を比較するとセグメントに作用している荷重は全土被り土圧の約2割程度が作用していることになり、トンネル外径に換算すると約 0.7D 程度に相当する。

つぎに、約 4.5 ヶ月後の土圧計測値と水圧計測値の断面分布を比較すると、側部(90°、270°)から下部(180°)は水圧値とほぼ同じ値となっており、水圧以外は作用していないことが分かる。しかし、上半部では天端部(90°)と 45°付近で約 30～40kN/㎡程度土圧計測値が水圧計測値を上回り、315°付近で水圧値とほぼ同じ値となっており、上部および右斜めの方向からの偏土圧が作用していることが分かる。

2.3.2 水圧計

図-2.28 に水圧の経時変化を示す。また、セグメント組立後（約 4 ヶ月後）の断面分布図を図-2.29 に示す。図-2.28 より計測開始直後の計測値に若干の変動が見られるが、それ以降は大きな変化は見られない。図-2.30 に示す回帰直線から判断するとトンネル天端位置の水圧値は約 180 kN/㎡程度となり、本現場計測付近の地下水位は、トンネル天端から上部約 18m付近にあるものと考えることができる。また、図-2.29 の水圧の断面分布図より、水圧計測値から推定される水位は地質調査結果等により柱状図に表記されている自然水位よりも低いことから、間隙水圧と考えられる。

2.3.3 円周方向鉄筋計

図-2.32～図-2.36 および図-2.37～図-2.41 に 590 リング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し、図-2.42～図-2.46 および図-2.47～図-2.50 に 591 リング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、590 リングの断面分布図を図-2.51～図-2.53 に、591 リングの断面分布図を図-2.54～図-2.56 に示す。また、主要時期における鉄筋応力計測結果を巻末資料5の表-2.1～表-2.4 に示す。

鉄筋計はセグメント組立時において、設置ピースおよび設置ピースに隣接するピースでの変化が見られ、特に最終組立ピースであるKセグメント設置時での隣接ピースの計測値の変化が大きくなっている。また、590 リングセグメントを組立完了後、次リング(591R)掘進時の影響が大きく現れており、次リング(591R)の組立の影響は比較的小さいことが分かった。セグメント組立時の計測値は 590 リングの内側で引張 10～30N/㎟、圧縮 5N/㎟程度、外側で圧縮 10～15N/㎟、591 リングの内側で引張 30～40N/㎟、圧縮 5N/㎟程度、外側で引張 10N/㎟程度、圧縮 10～20N/㎟となっている。

また、各計測リングの次リング(591R、592R)の掘進および組立により変動した後の最大応力値は、590 リングの内側で引張 30N/㎟、圧縮 25N/㎟程度、外側で引

張 15N/㎟、圧縮 20N/㎟、591 リングの内側で引張 15N/㎟、圧縮 40N/㎟程度、外側で引張 0N/㎟程度、圧縮 50N/㎟程度の計測値まで大きくなっている。

計測リングテール脱出時の変動後の最大応力値は、590 リングの内側で引張 70N/㎟、圧縮 10N/㎟程度、外側で引張 15N/㎟、圧縮 18N/㎟程度、591 リングの内側で引張 40N/㎟、圧縮 10N/㎟程度、外側で引張 10N/㎟程度、圧縮 15N/㎟程度の計測値まで変動している。

さらに、計測リングの裏込め注入の影響を受けた後は、590 リングの内側で引張 50N/㎟、圧縮 20N/㎟程度、外側で引張 15N/㎟、圧縮 20N/㎟程度、591 リングの内側で引張 30N/㎟、圧縮 20N/㎟程度、外側で引張 20N/㎟程度、圧縮 20 N/㎟程度の計測値まで変動している。

その後は、シールド掘進に伴う若干の変動を繰り返しながら安定する傾向を示し、各計測値とも長期的な経時変化は圧縮応力側へ増加する傾向が見られる。これらの経時変化は先に示した土圧計の変化とも傾向が一致している。

シールド掘進、テール脱出、裏込め注入などの施工時荷重の作用状態によって、計測値は 601R リング掘進時にも変動しており、掘進リングから 11 リング後方(約 13m)までシールド掘進の影響によって変動することが分かった。また、図-2.51～図-2.53、図-2.54～図-2.56 の断面分布図より、最大応力が発生している計測位置等の断面分布は組立時の影響や掘進による影響が残る傾向が見られ、セグメントのリング継手の構造によっては、掘進時にセグメントリングにひずみが発生しやすくなる可能性があると考えられる。

2.3.4 軸方向鉄筋計

図-2.57～図-2.58 に 590 リングのセグメントの軸方向鉄筋計の応力測定結果を示す。また、図-2.59～図-2.60 に 591 リングのセグメントの軸方向鉄筋計の応力測定結果を示す。図より、軸方向鉄筋計の値は 590 リング、591 リングとも計測セグメント組立直後で 5～15 N/㎟となっている。軸方向力が作用するシールド推進時に計測データの変動が見られ、590 リング、591 リングともに最大 30 N/㎟程度の圧縮力が作用している。その後のシールド掘進に伴って軸力は大きくなり、推進時以外の時に若干小さくなるものの、計測セグメント組立後約 4.5 ヶ月経過後も、あまり低下せず、ほぼ値が収束した時点においても当初の応力が残っていることが分かった。

過去に計測を行った現場計測結果では、軟弱な粘性土地盤ではシールドと計測リングとの距離が大きくなれば 10N/㎟以下の圧縮力のみが作用し、礫質地盤ではシールドと計測リングとの距離が大きくなっても当初に作用した軸方向力がそそままセグメントに作用していたが、本トンネルの地盤のような硬質な粘性土地盤においても、礫質地盤と同様に当初に作用した軸方向力がそのままセグメントに作用していることが分かった。

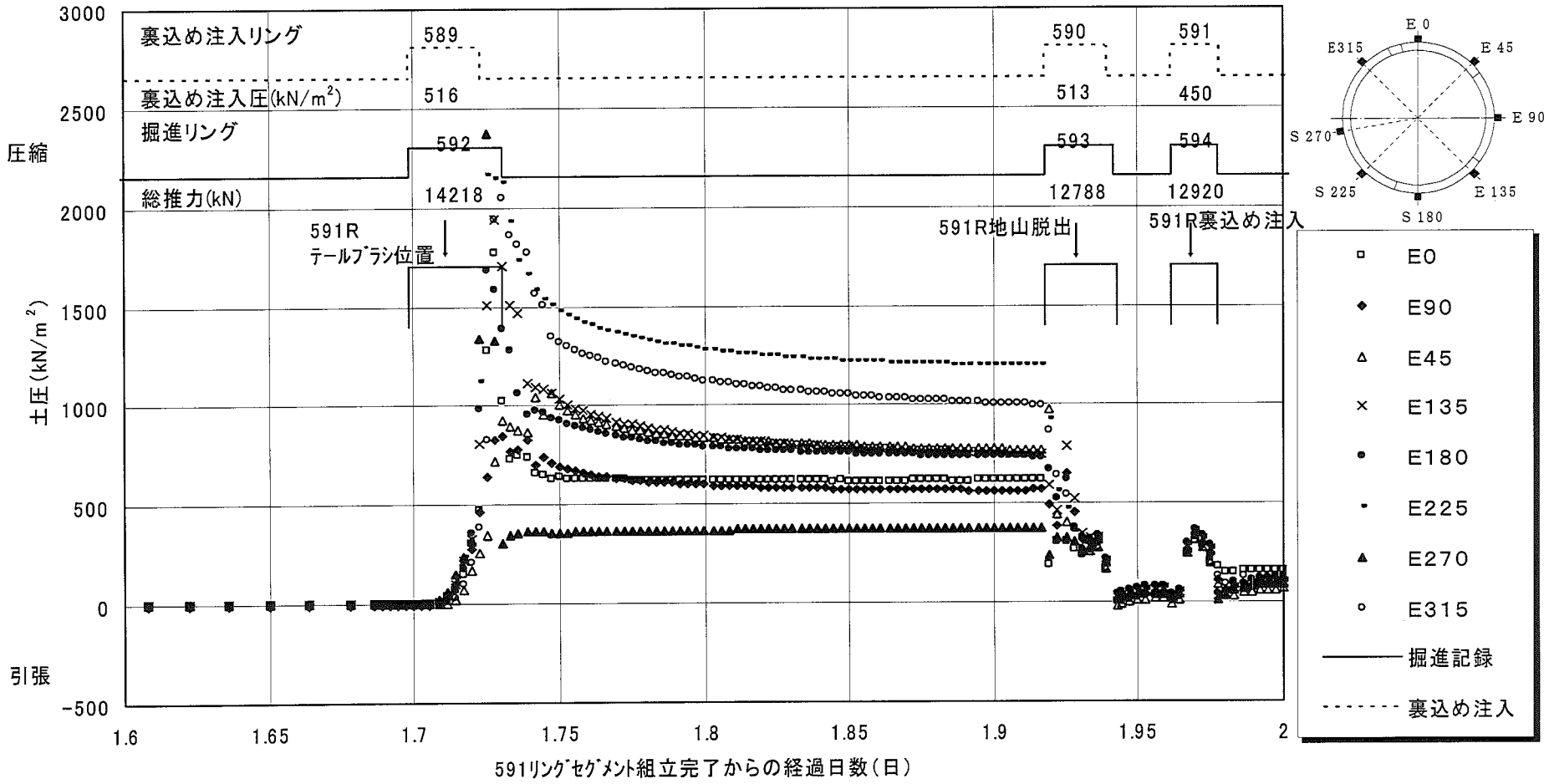


図-2.21　土圧計の経時変化①(591R)

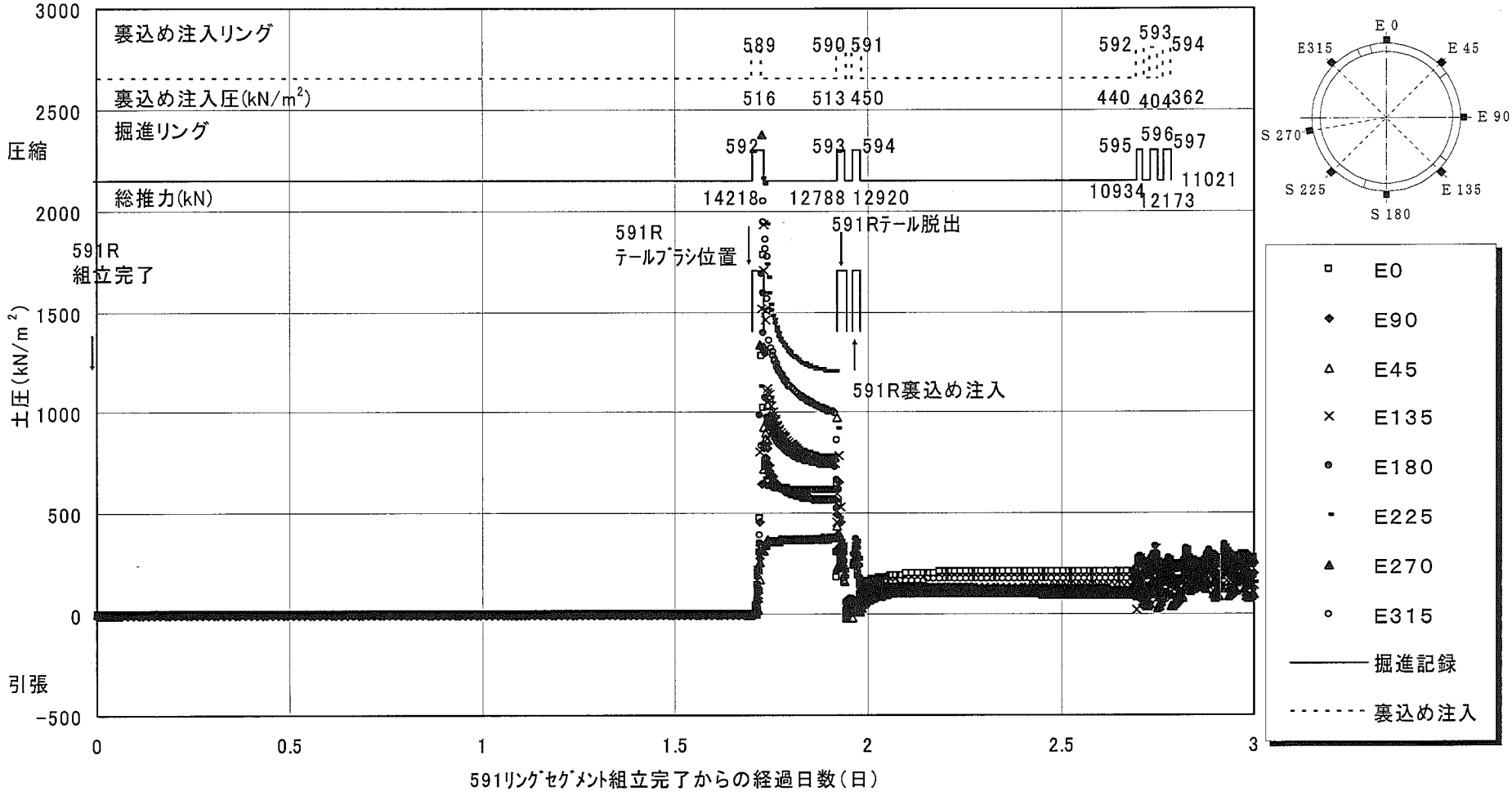


図-2.22　土圧計の経時変化②(591R)

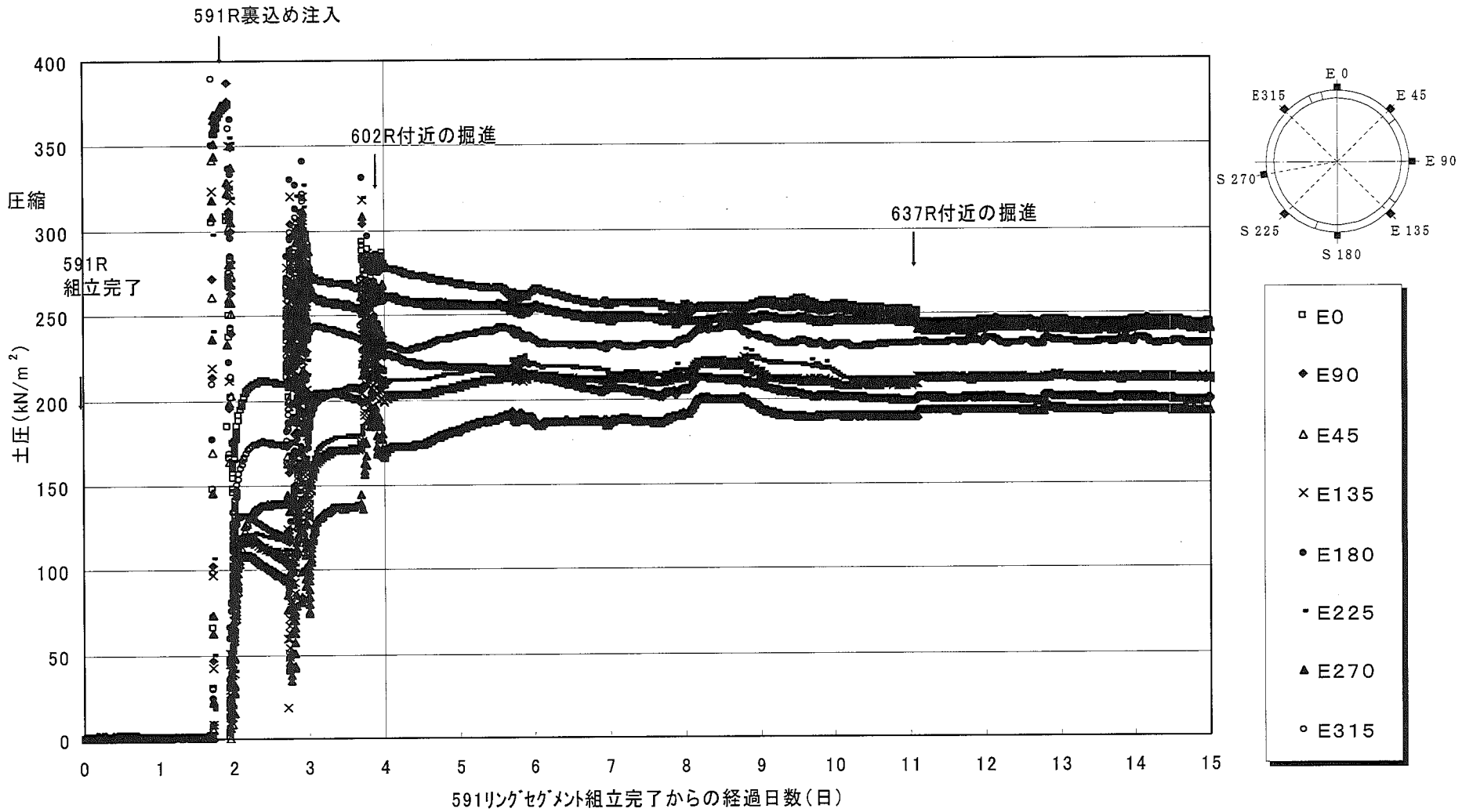


図-2.23　土圧計の経時変化③(591R)

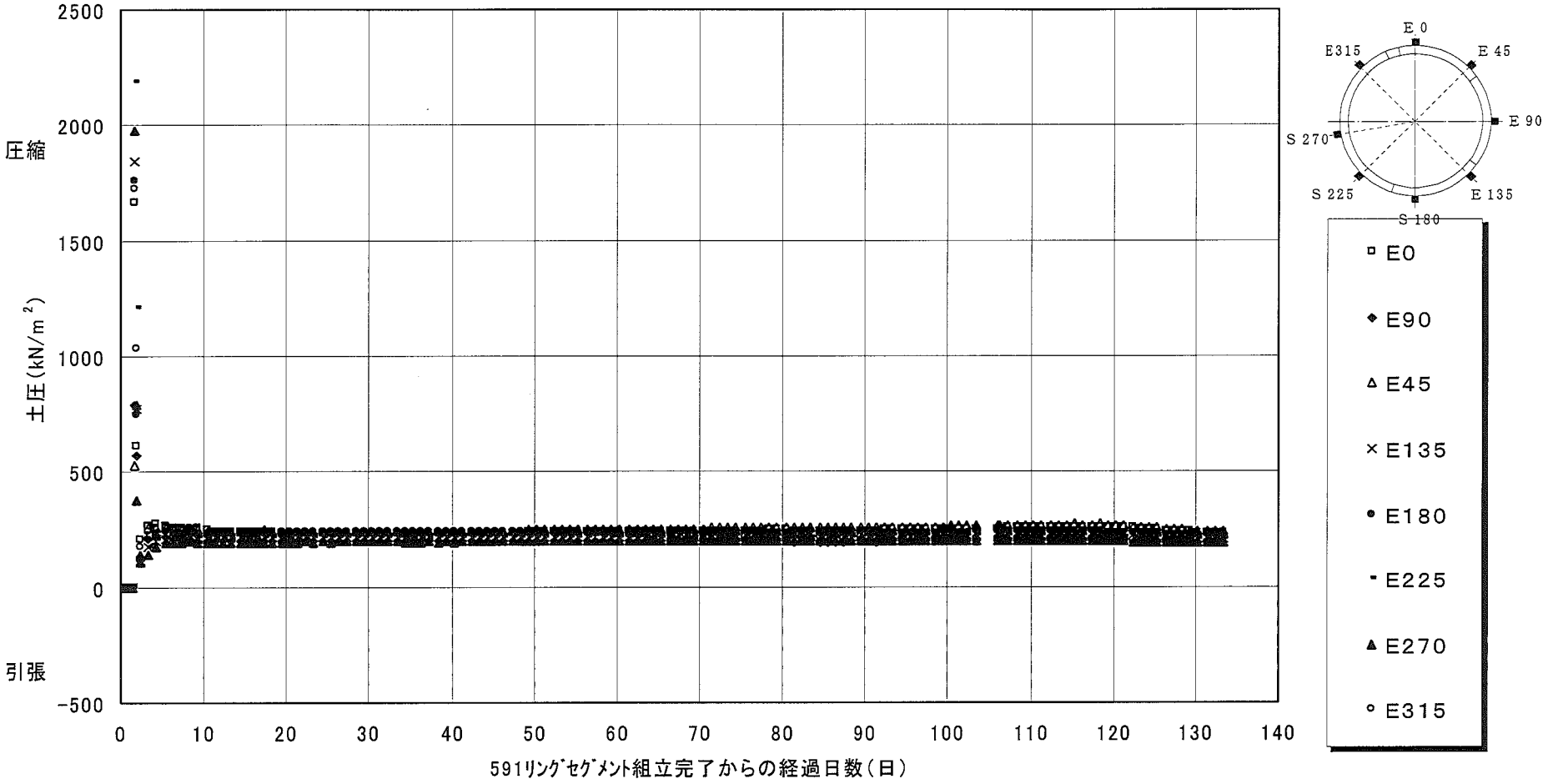


図-2.24　土圧計の経時変化④(591R)

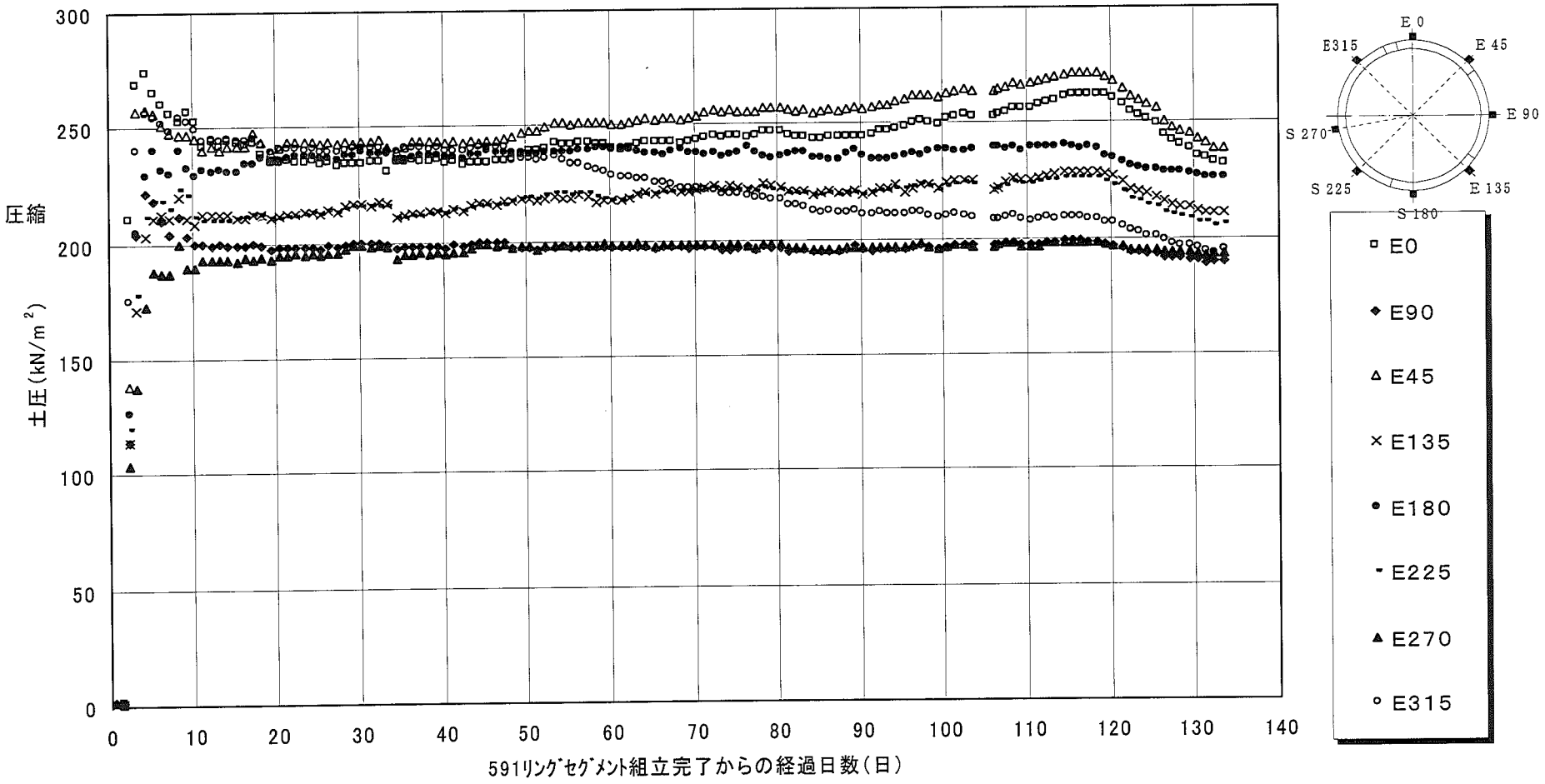


図-2.25　土圧計（300kN/m²までのデータ）の経時変化⑤(591R)

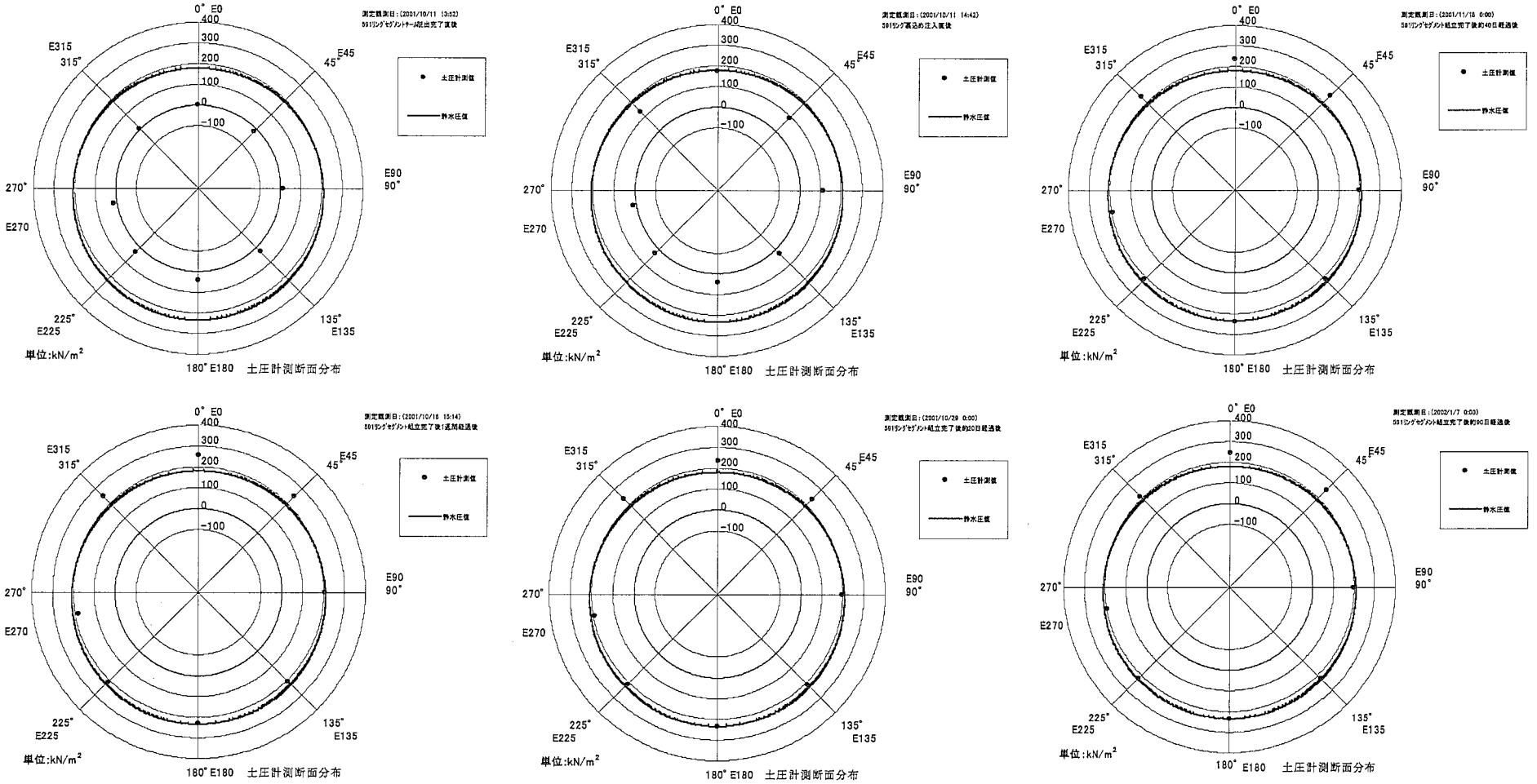


図-2.26　土圧計の断面力分布①

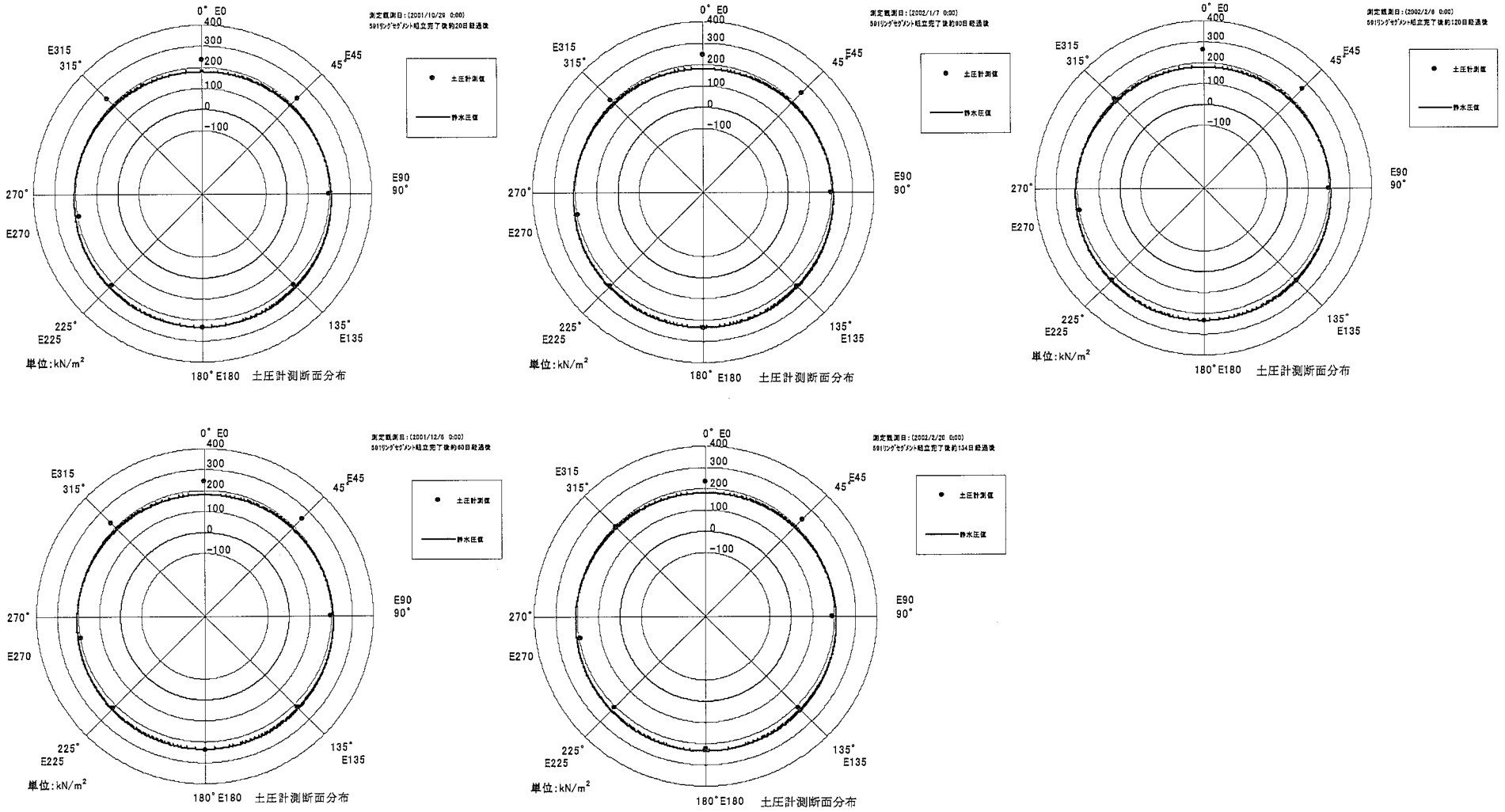


図-2.27　土圧計の断面力分布②

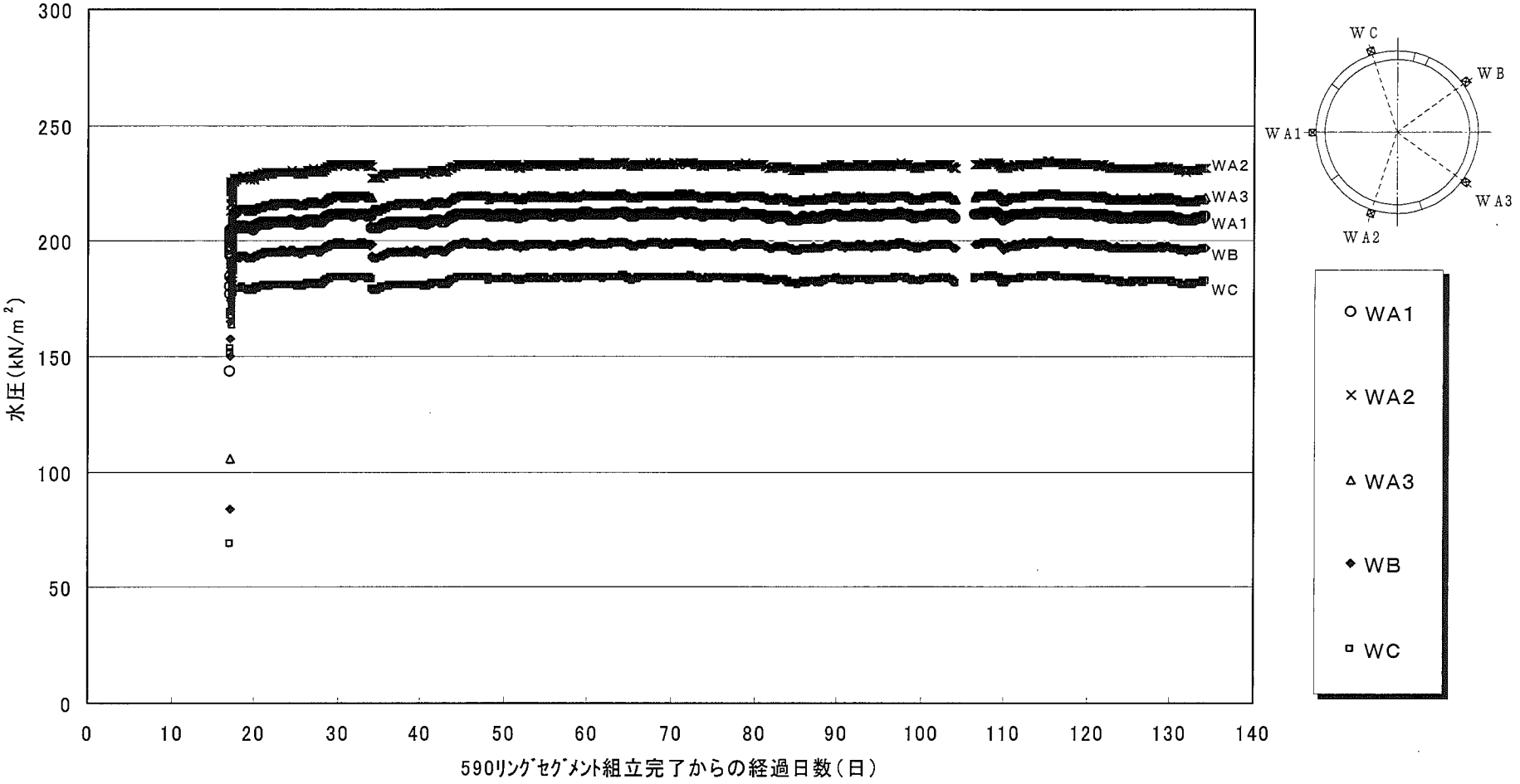


図-2.28　水圧計の経時変化(590R)

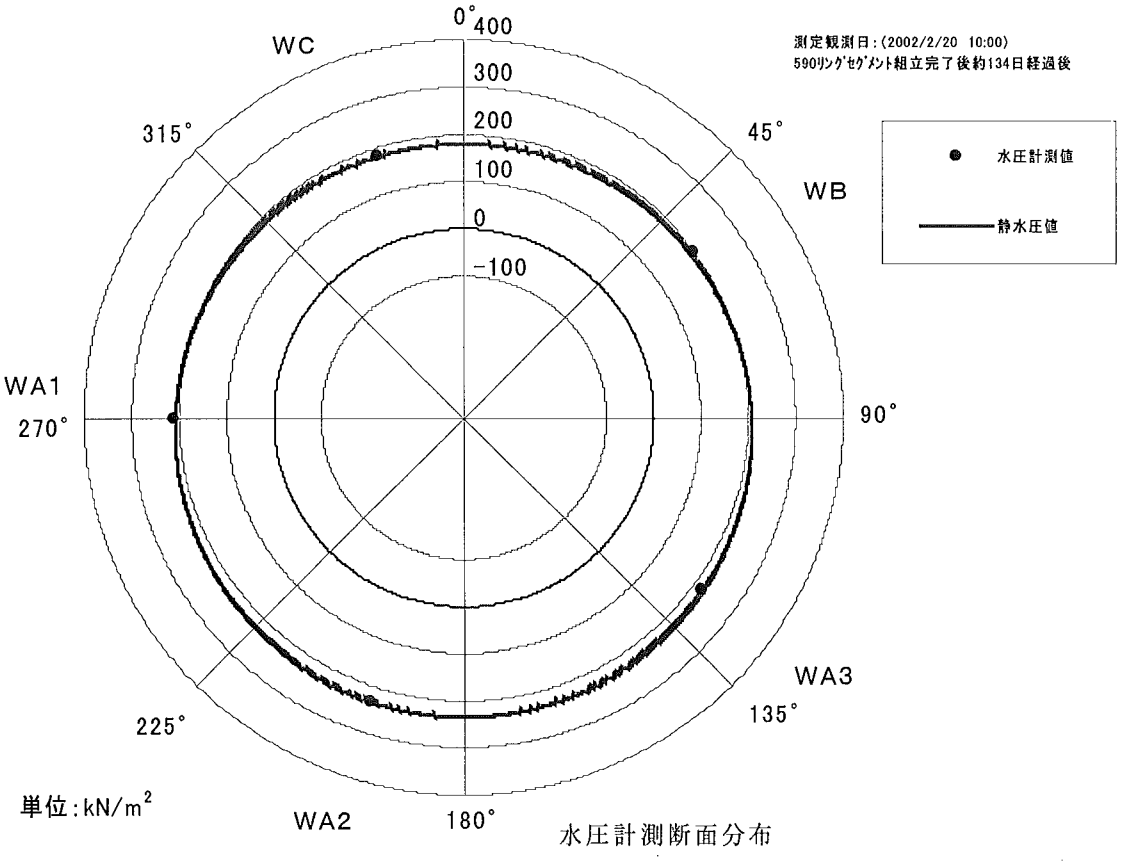


図-2.29　水圧計の断面分布図（約１３４日後）

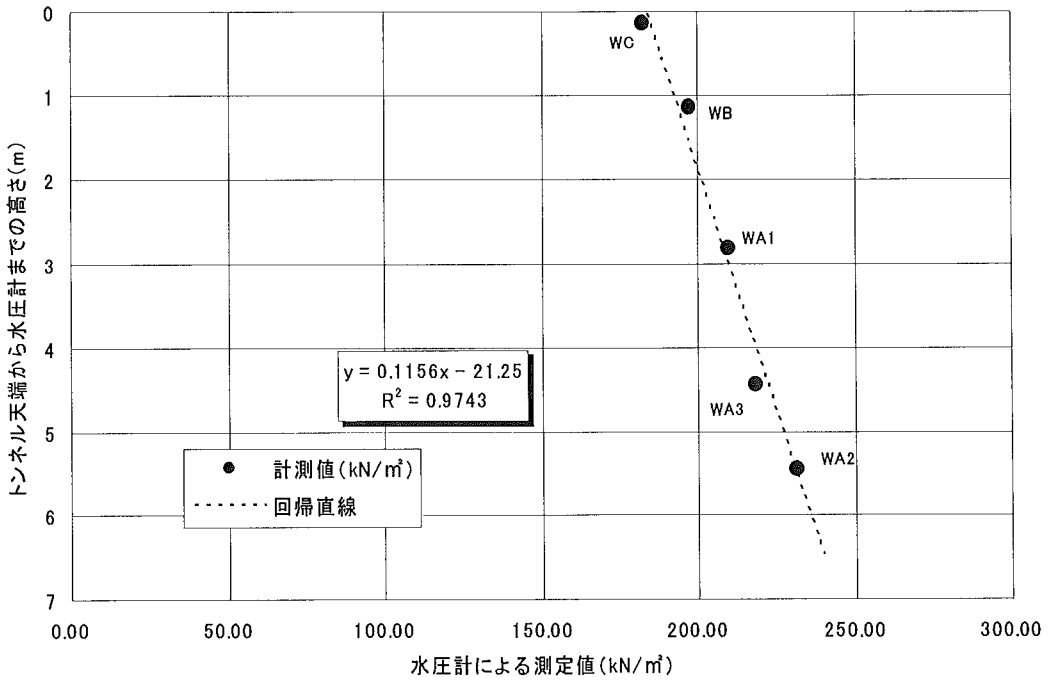


図-2.30　計測された水圧値とトンネル天端からの高さの関係

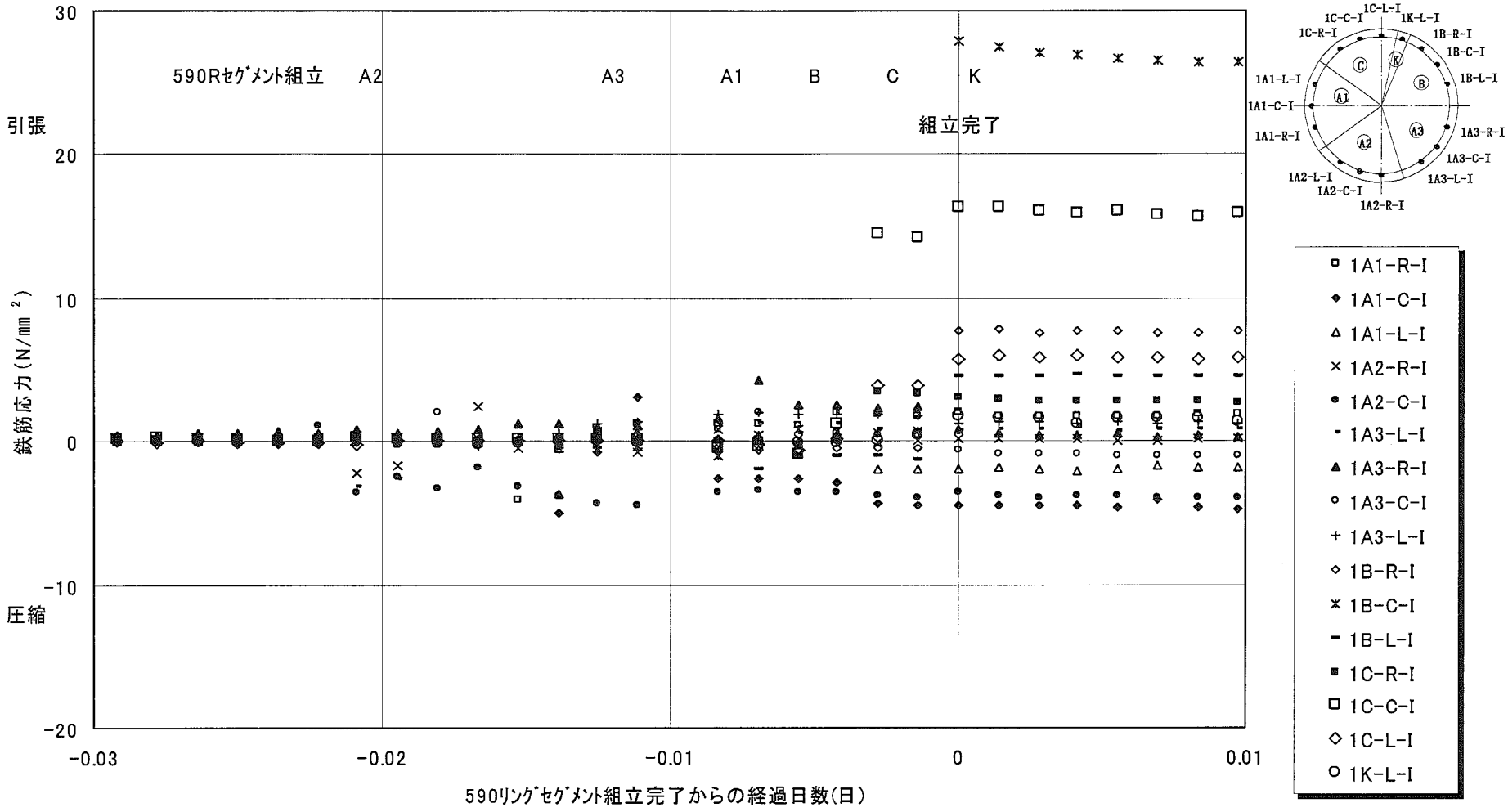


図-2.31　590R 円周方向鉄筋応力(内側)の経時変化図①

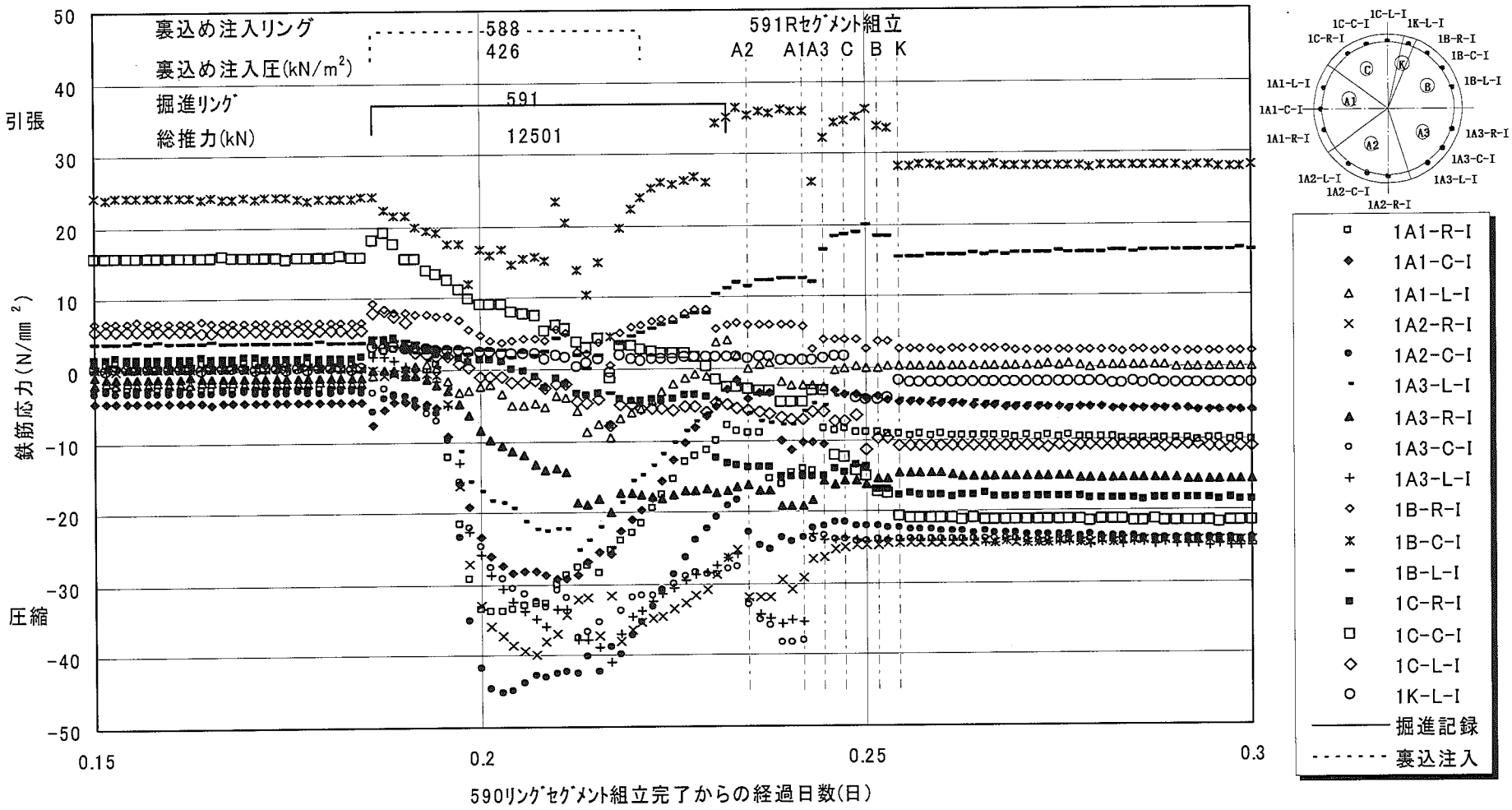


図-2.32　590R 円周方向鉄筋応力(内側)の経時変化図②

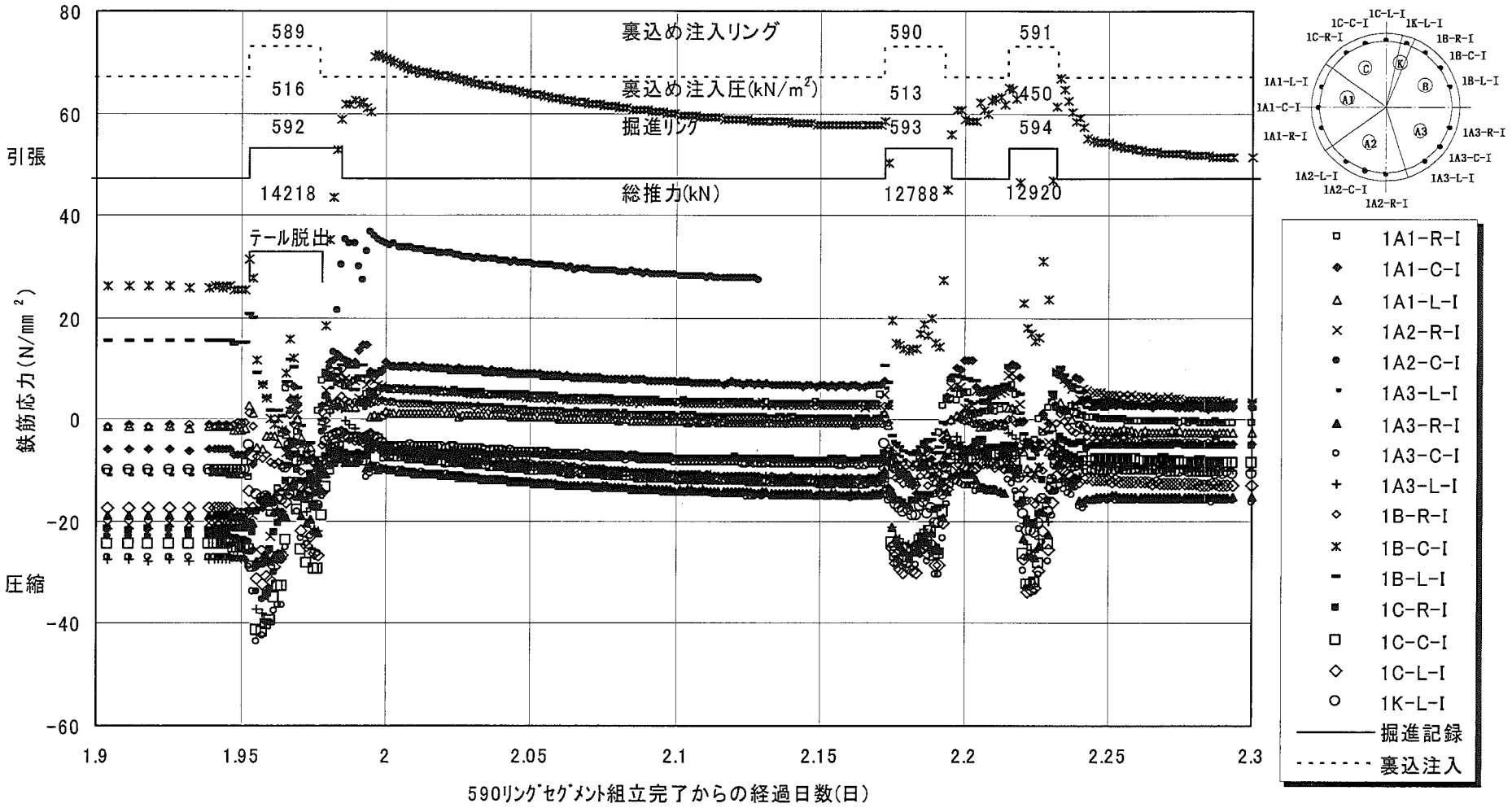


図-2.33　590R 円周方向鉄筋応力(内側)の経時変化図③

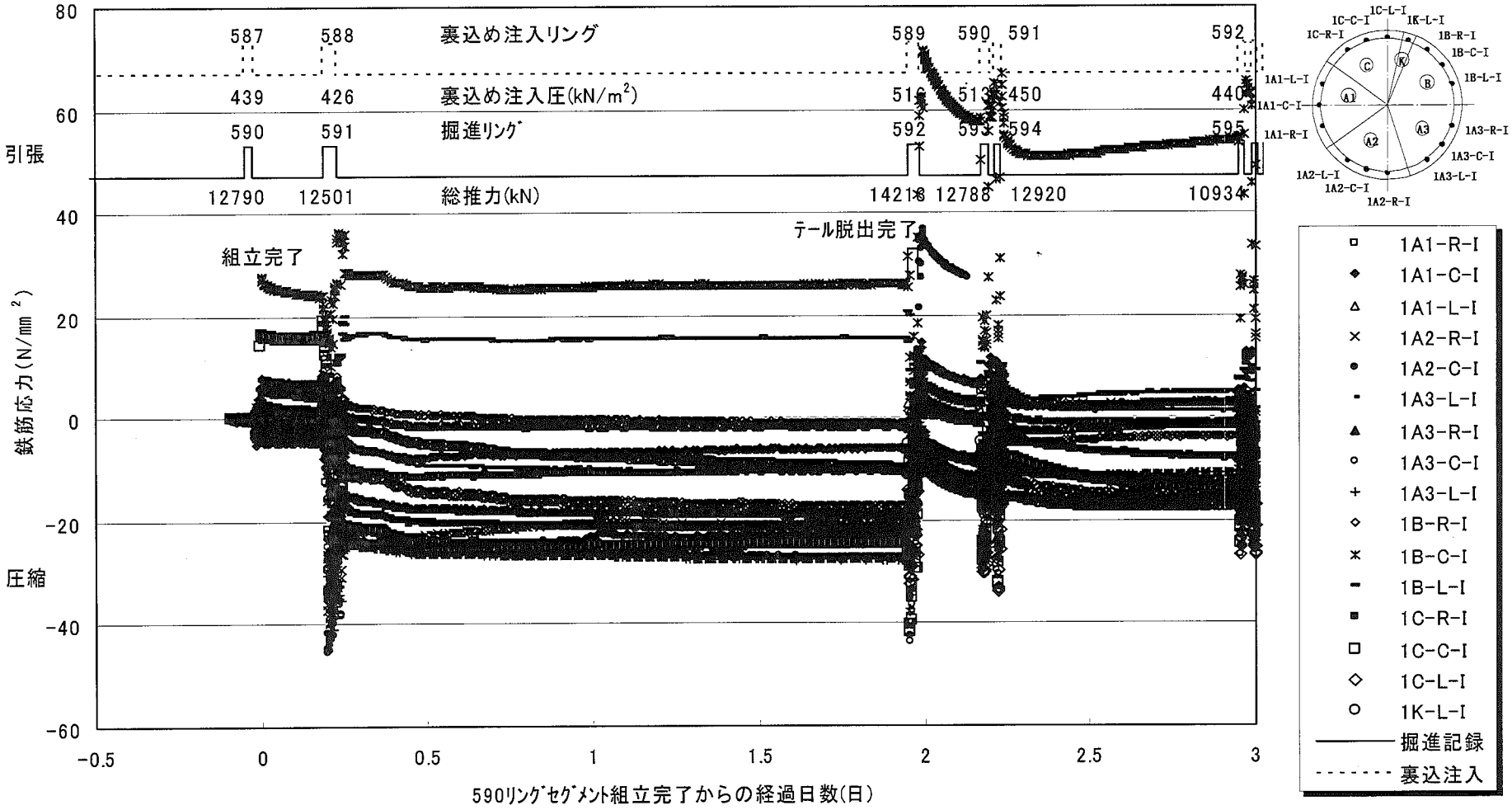


図-2.34　590R 円周方向鉄筋応力(内側)の経時変化図④

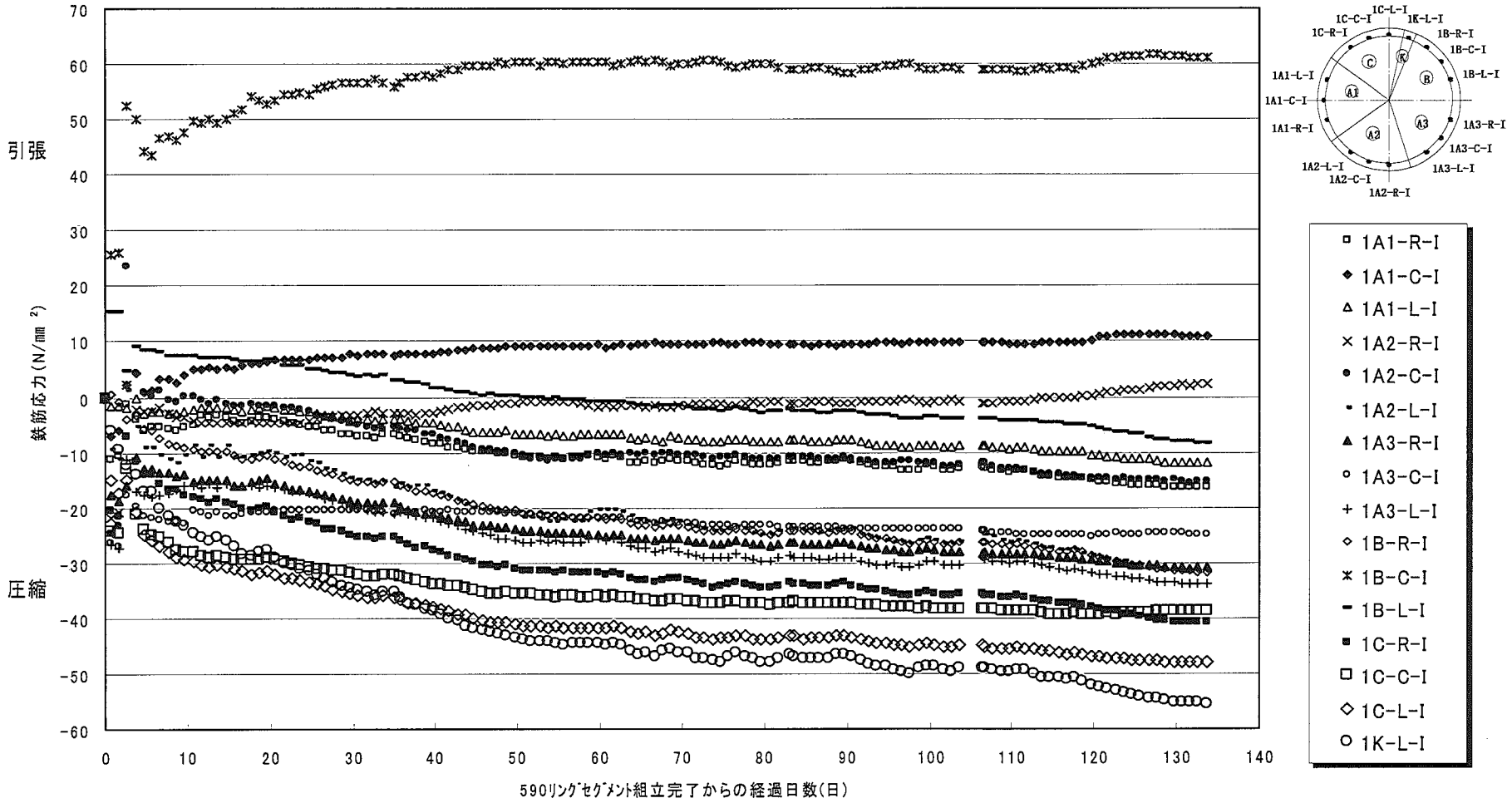


図-2.35　590R 円周方向鉄筋応力(内側)の経時変化図⑤

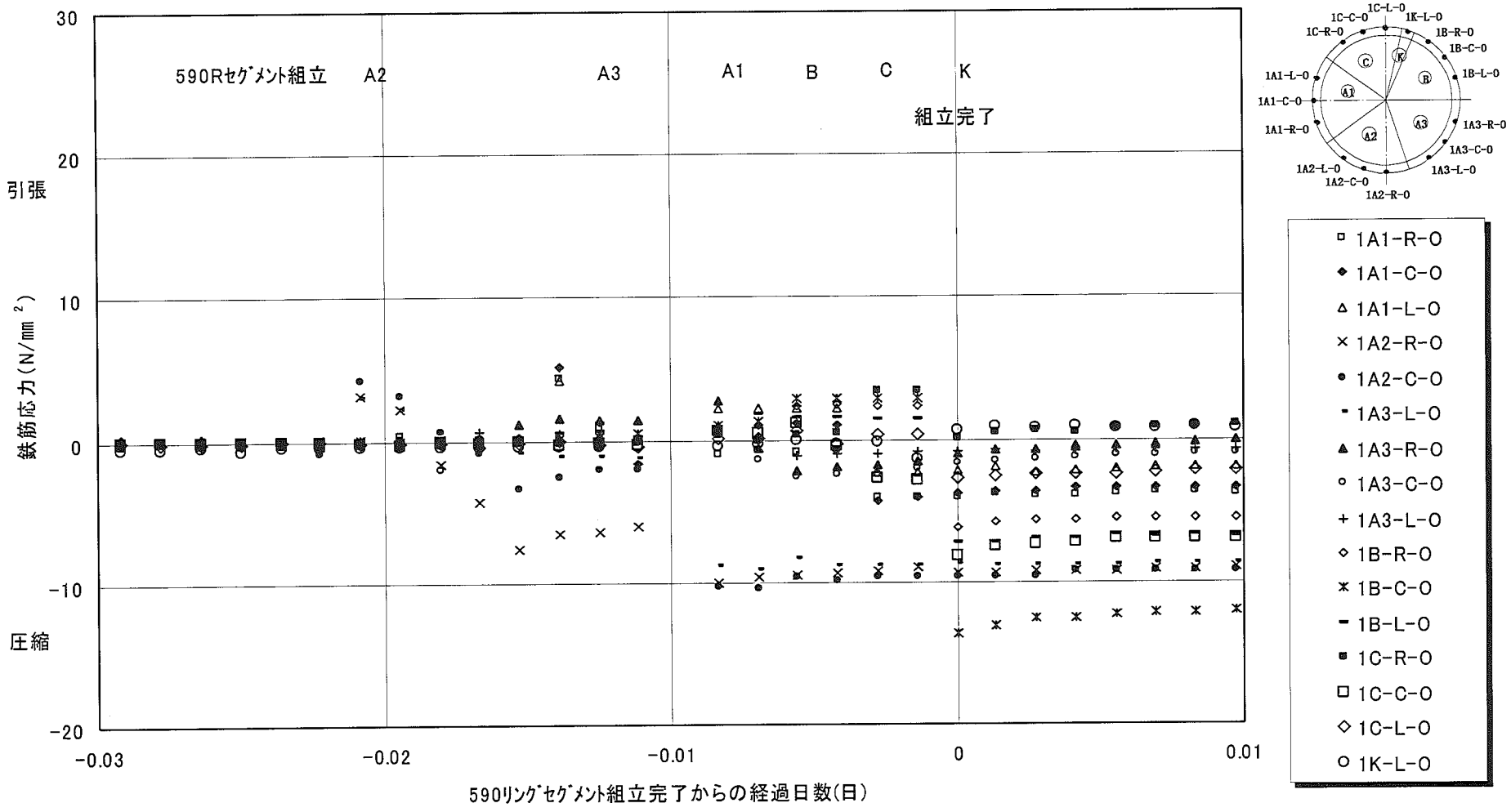


図-2.36　590R 円周方向鉄筋応力(外側)の経時変化図①

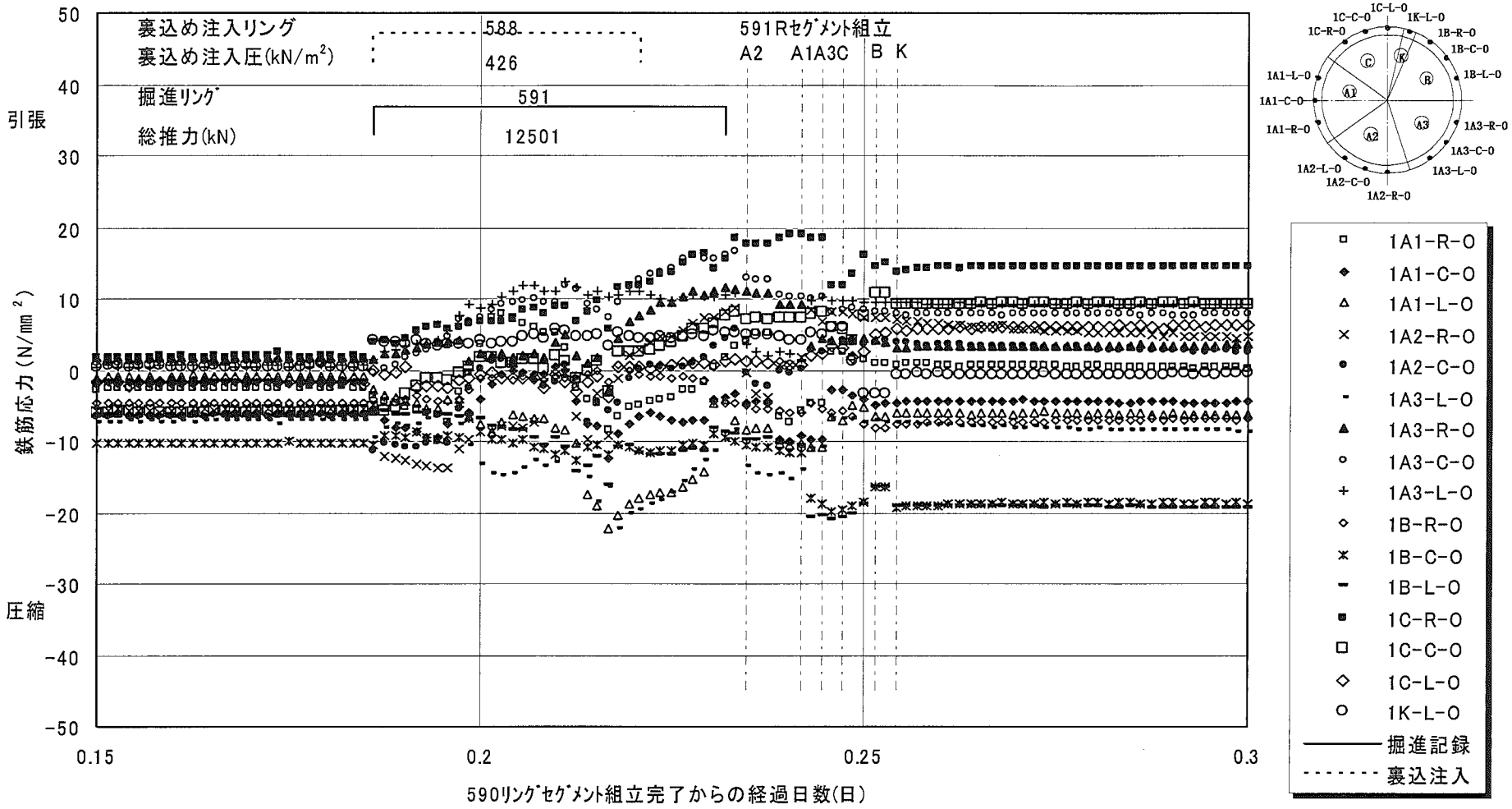


図-2.37　590R 円周方向鉄筋応力(外側)の経時変化図②

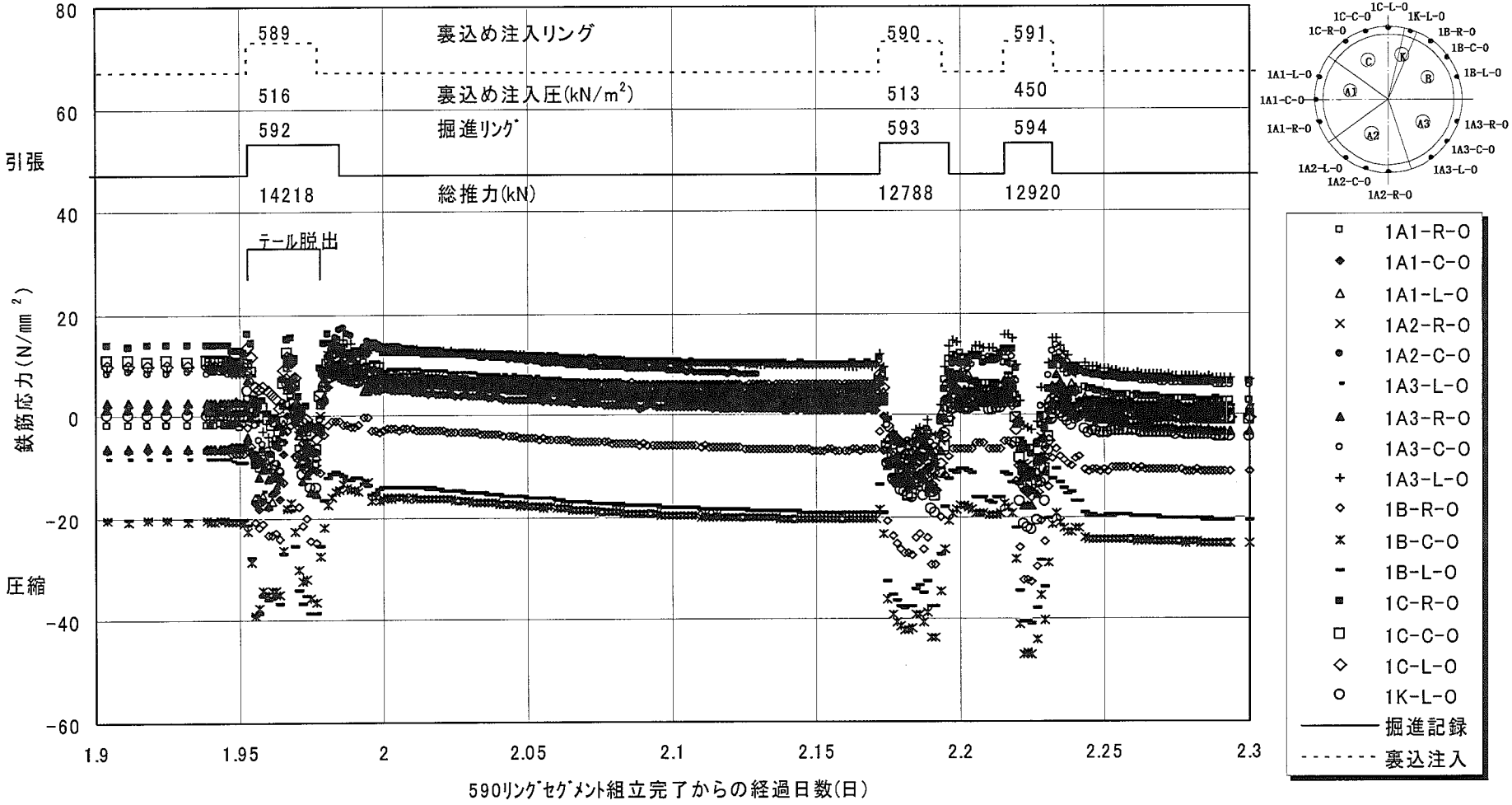


図-2.38　590R 円周方向鉄筋応力(外側)の経時変化図③

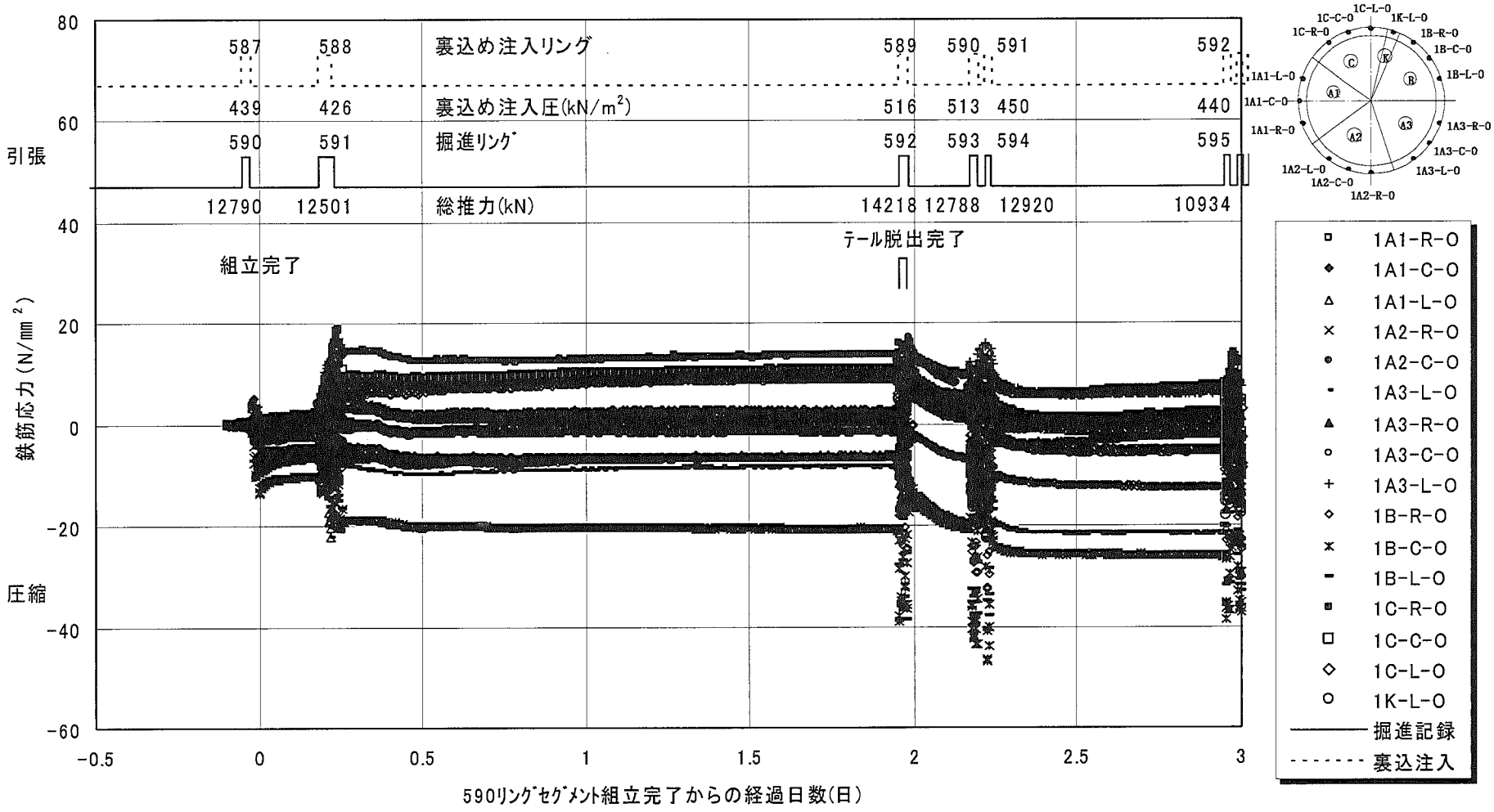


図-2.39　590R 円周方向鉄筋応力(外側)の経時変化図④

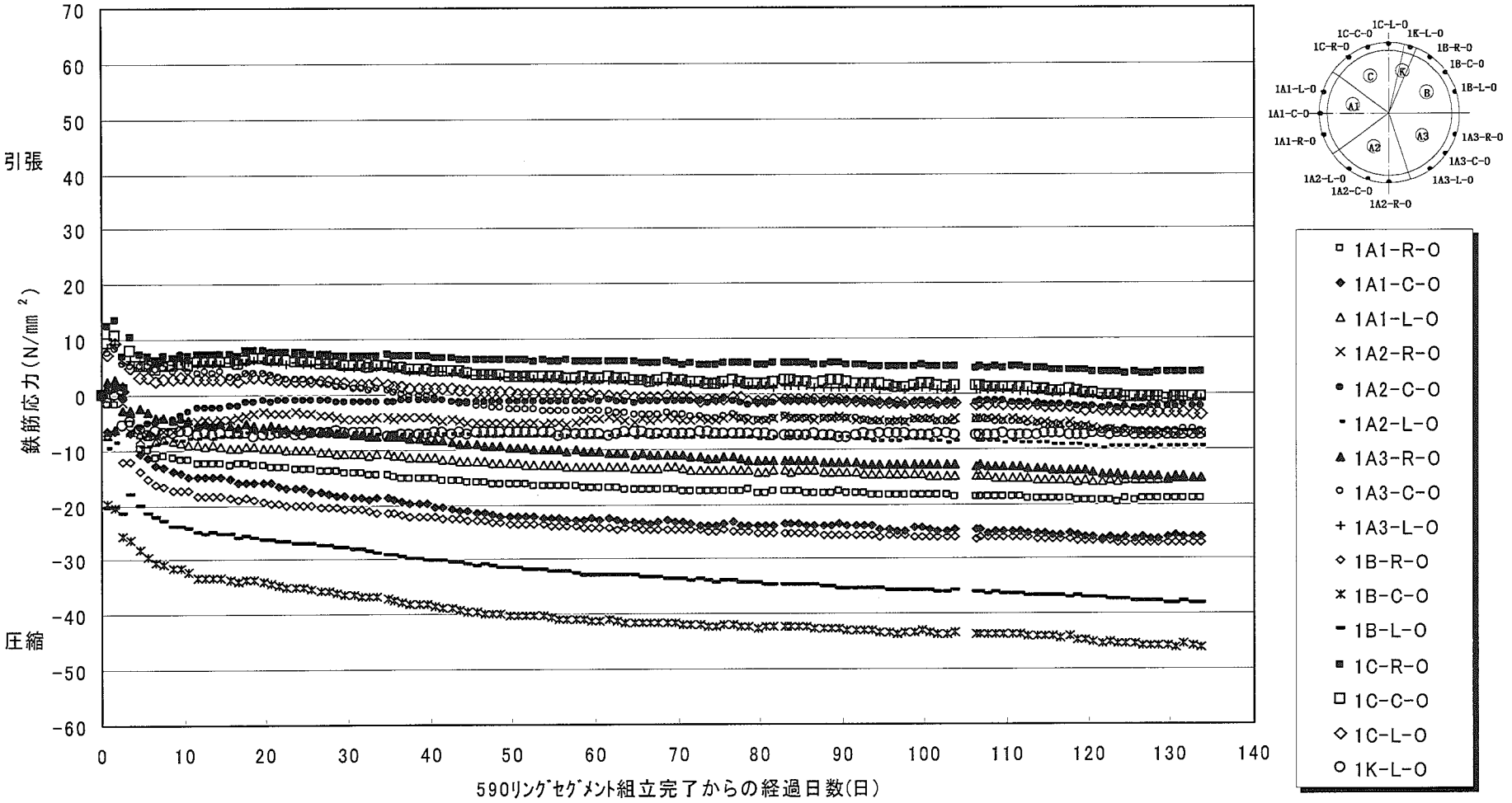


図-2.40　590R 円周方向鉄筋応力(外側)の経時変化図⑤

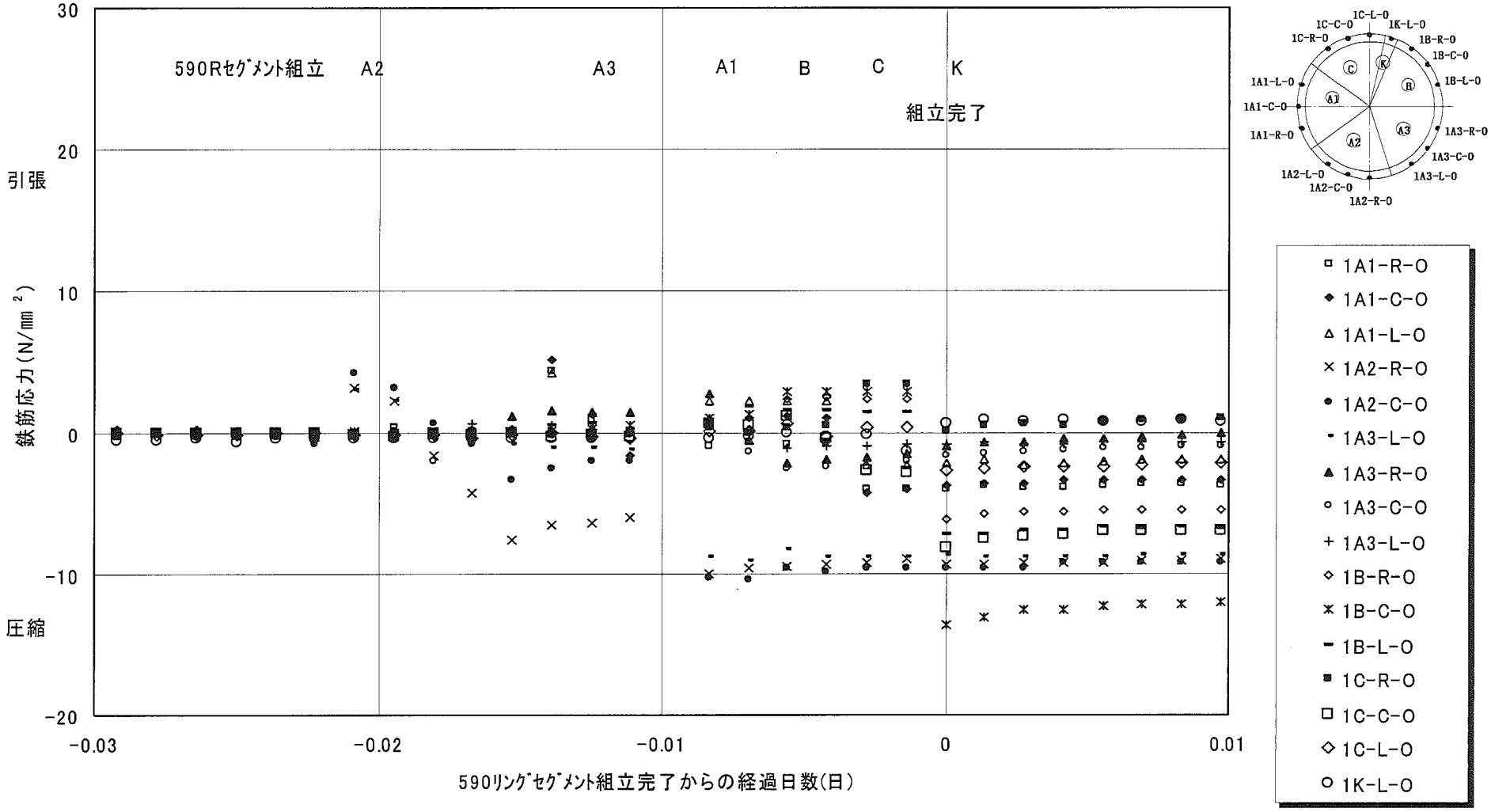


図-2.41　591R 円周方向鉄筋応力(内側)の経時変化図①

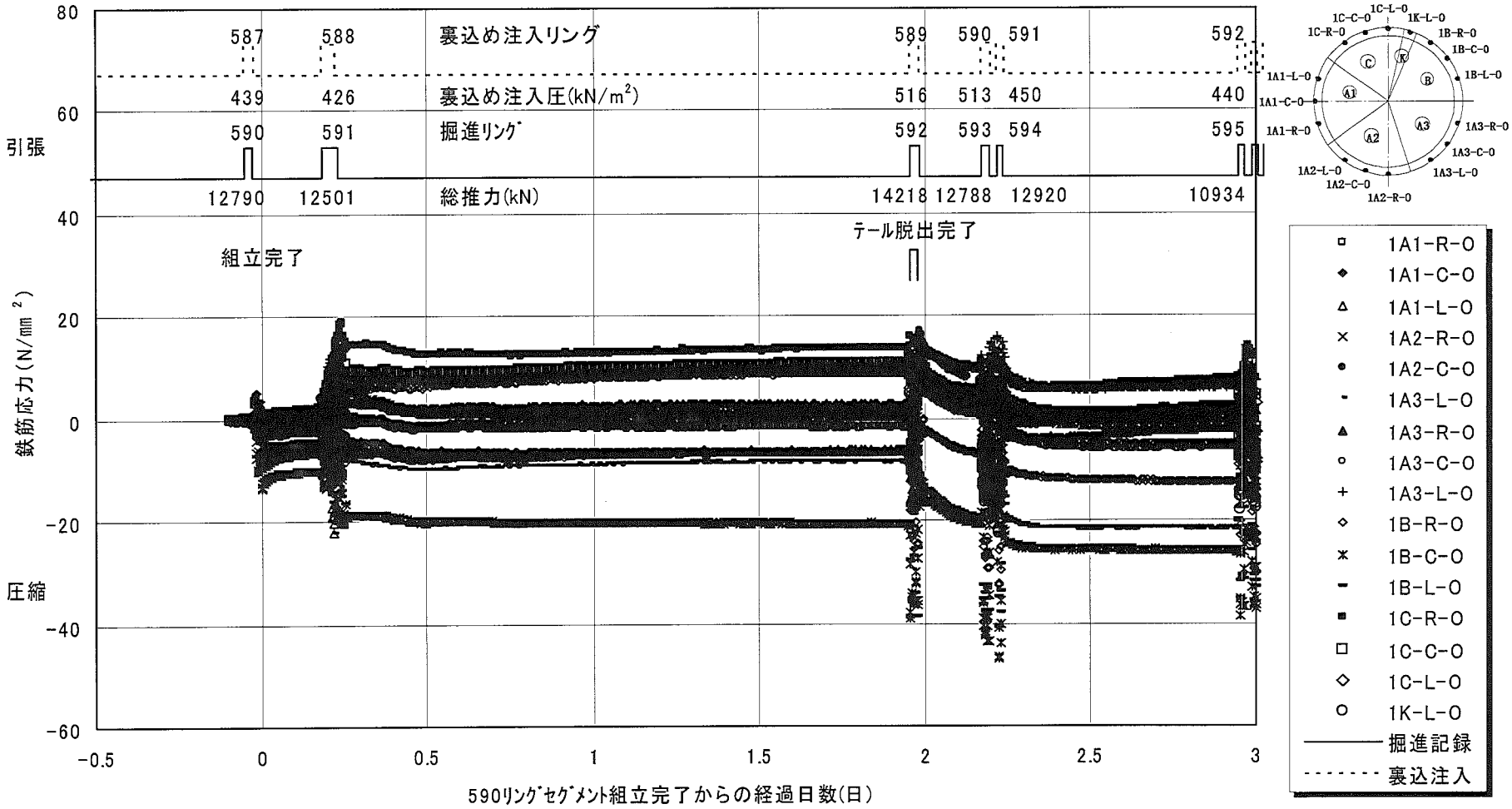


図-2.42　591R 円周方向鉄筋応力(内側)の経時変化図②

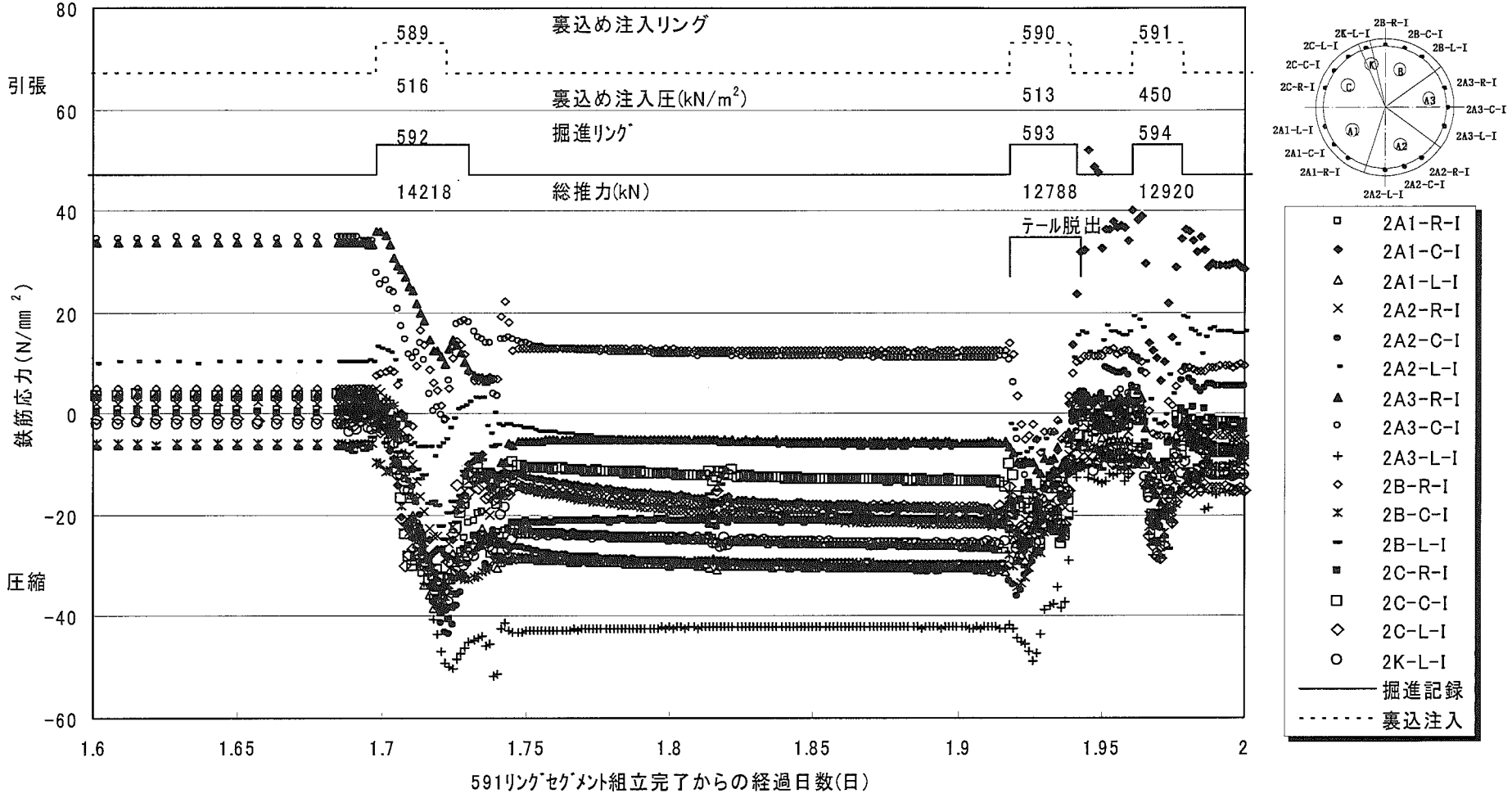


図-2.43　591R 円周方向鉄筋応力(内側)の経時変化図③

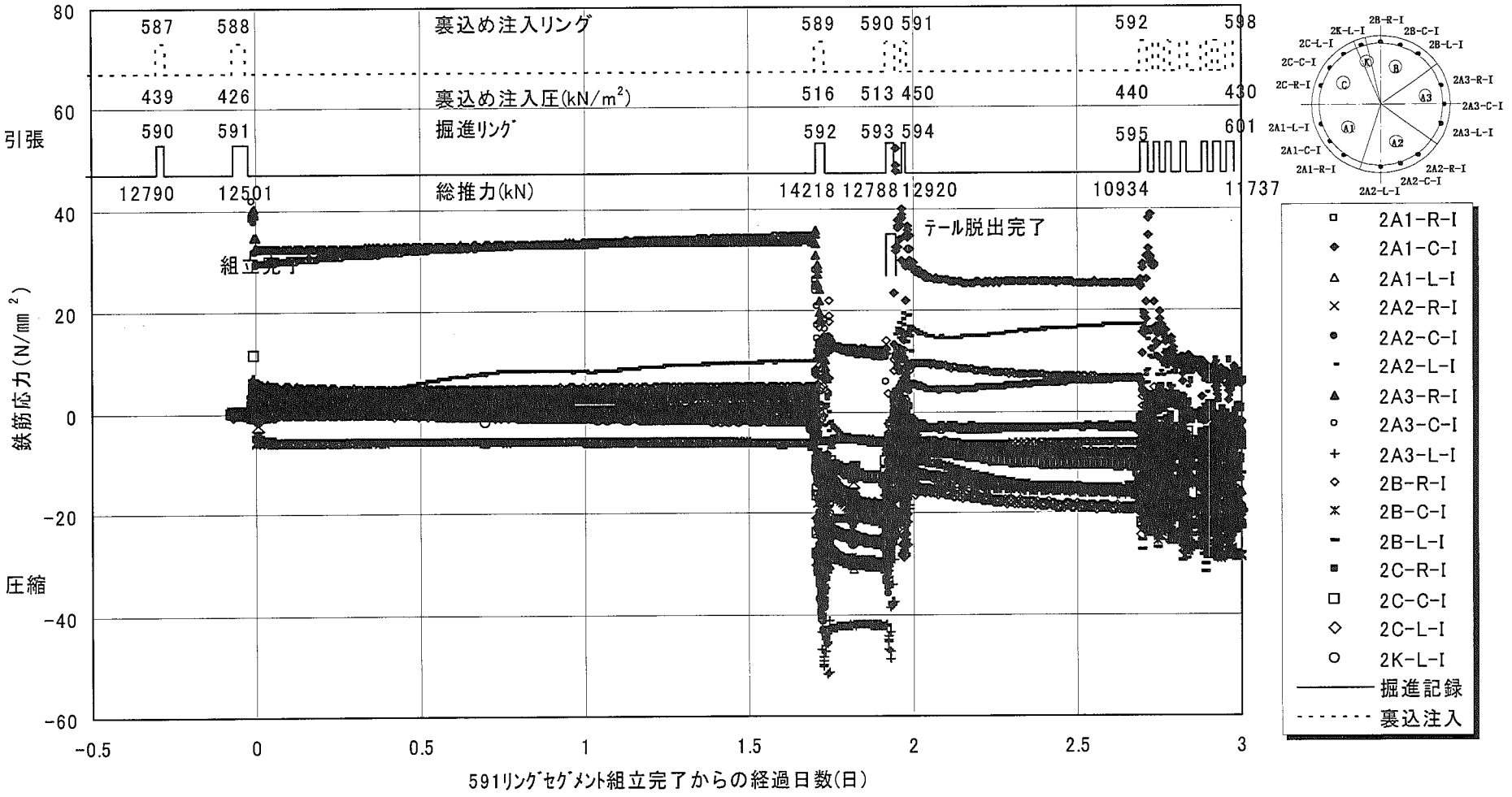


図-2.44　591R 円周方向鉄筋応力(内側)の経時変化図④

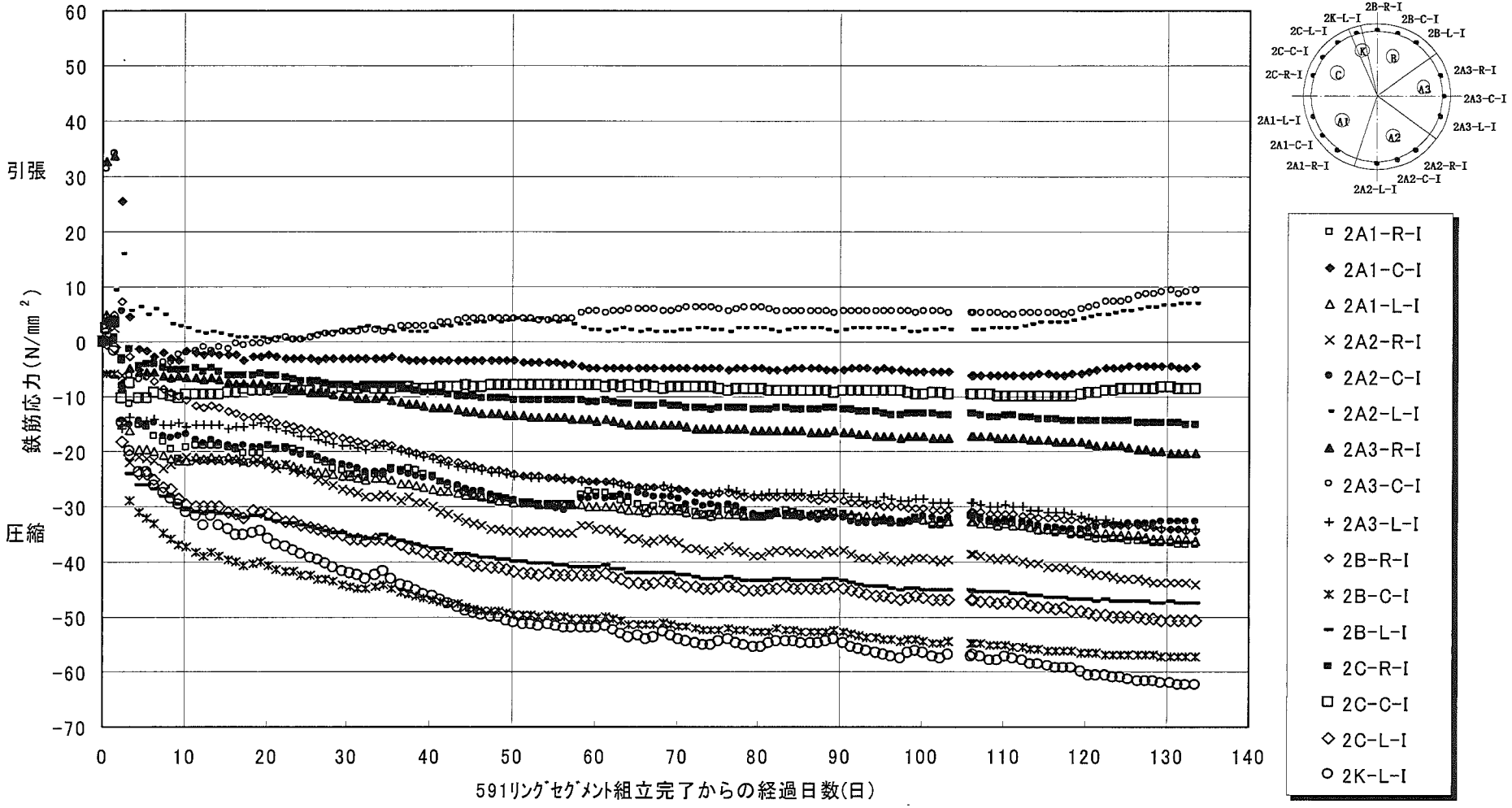


図-2.45　591R 円周方向鉄筋応力(内側)の経時変化図⑤

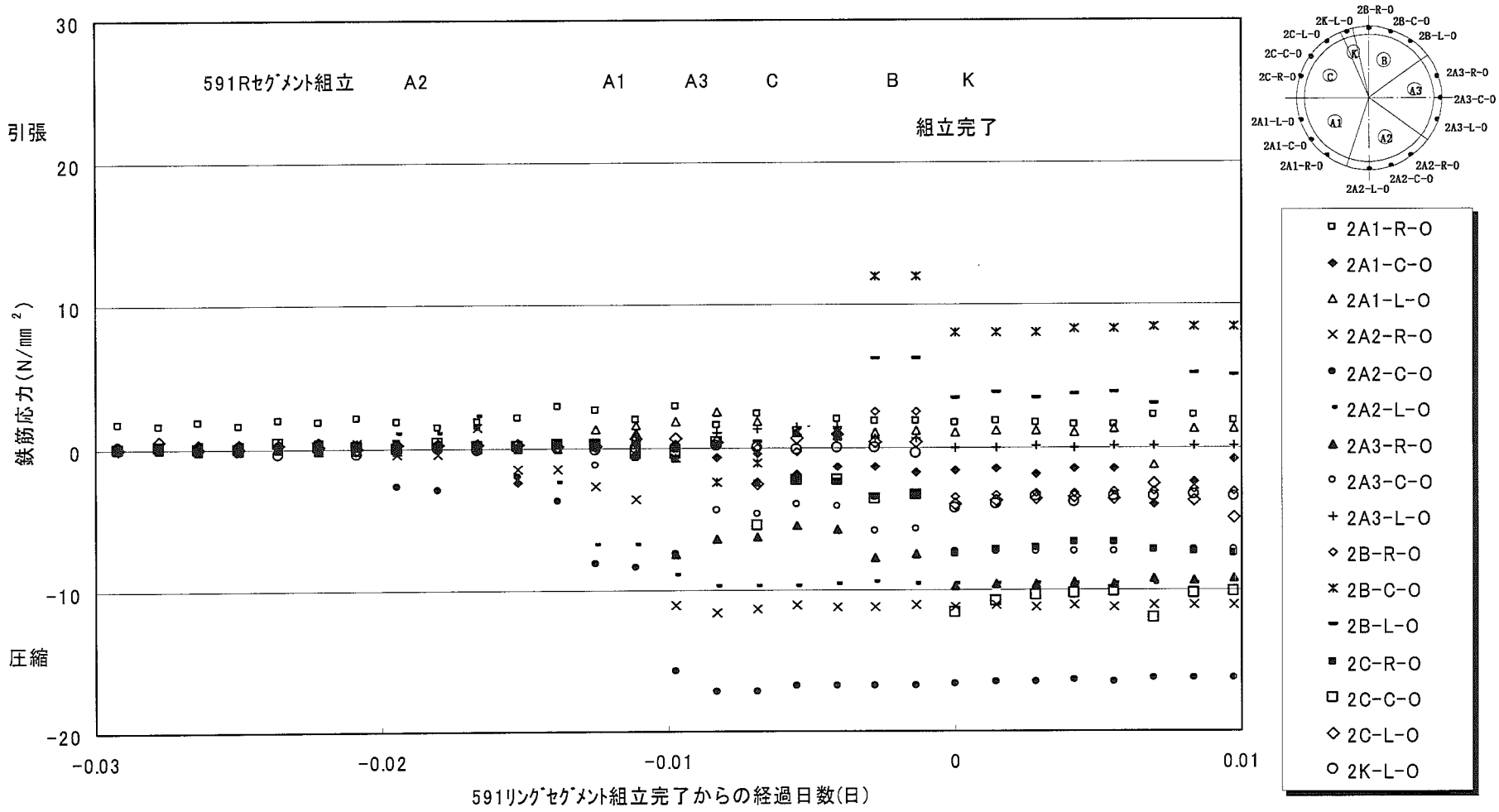


図-2.46　591R 円周方向鉄筋応力(外側)の経時変化図①

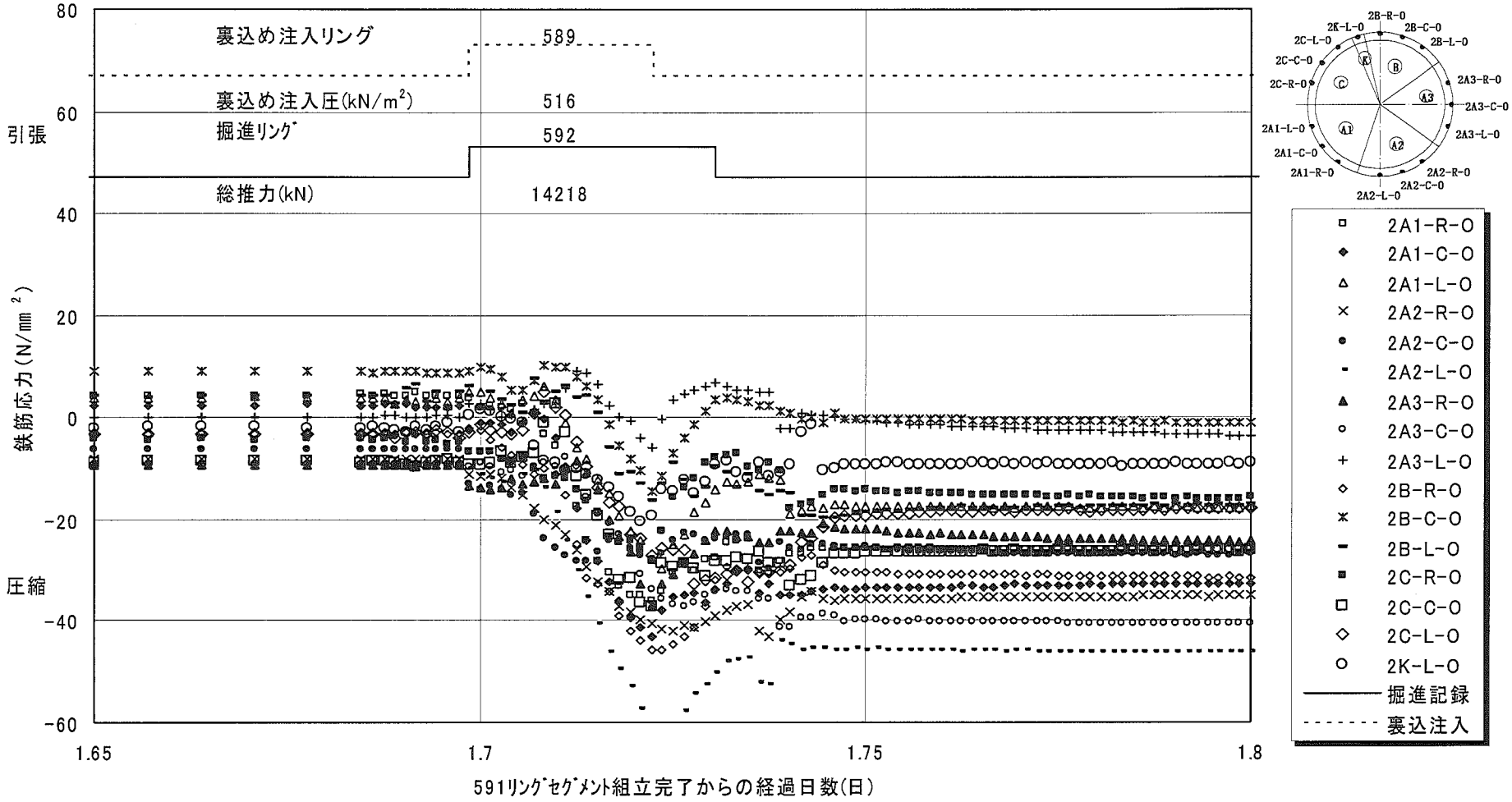


図-2.47　591R 円周方向鉄筋応力(外側)の経時変化図②

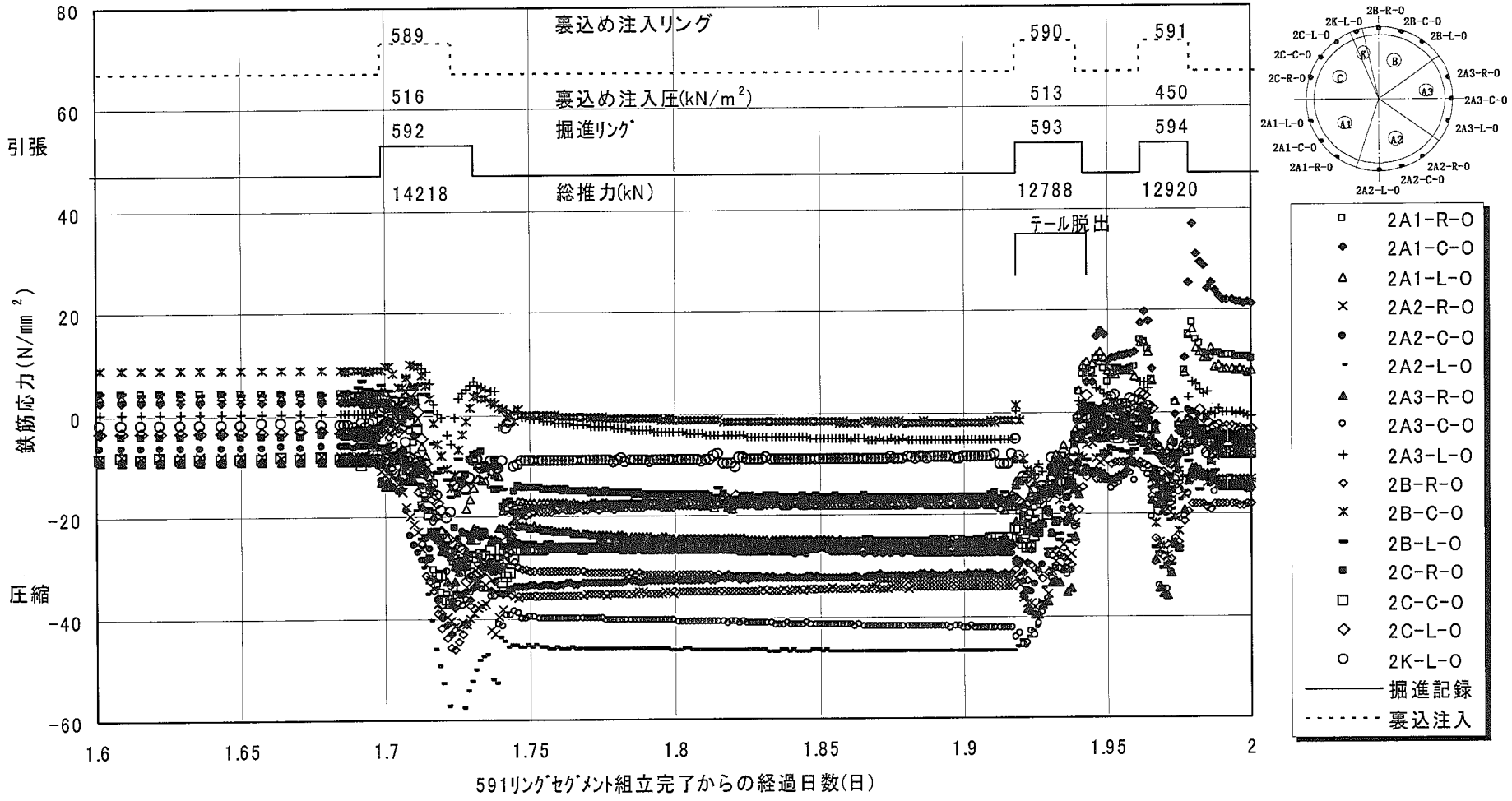


図-2.48　591R 円周方向鉄筋応力(外側)の経時変化図③

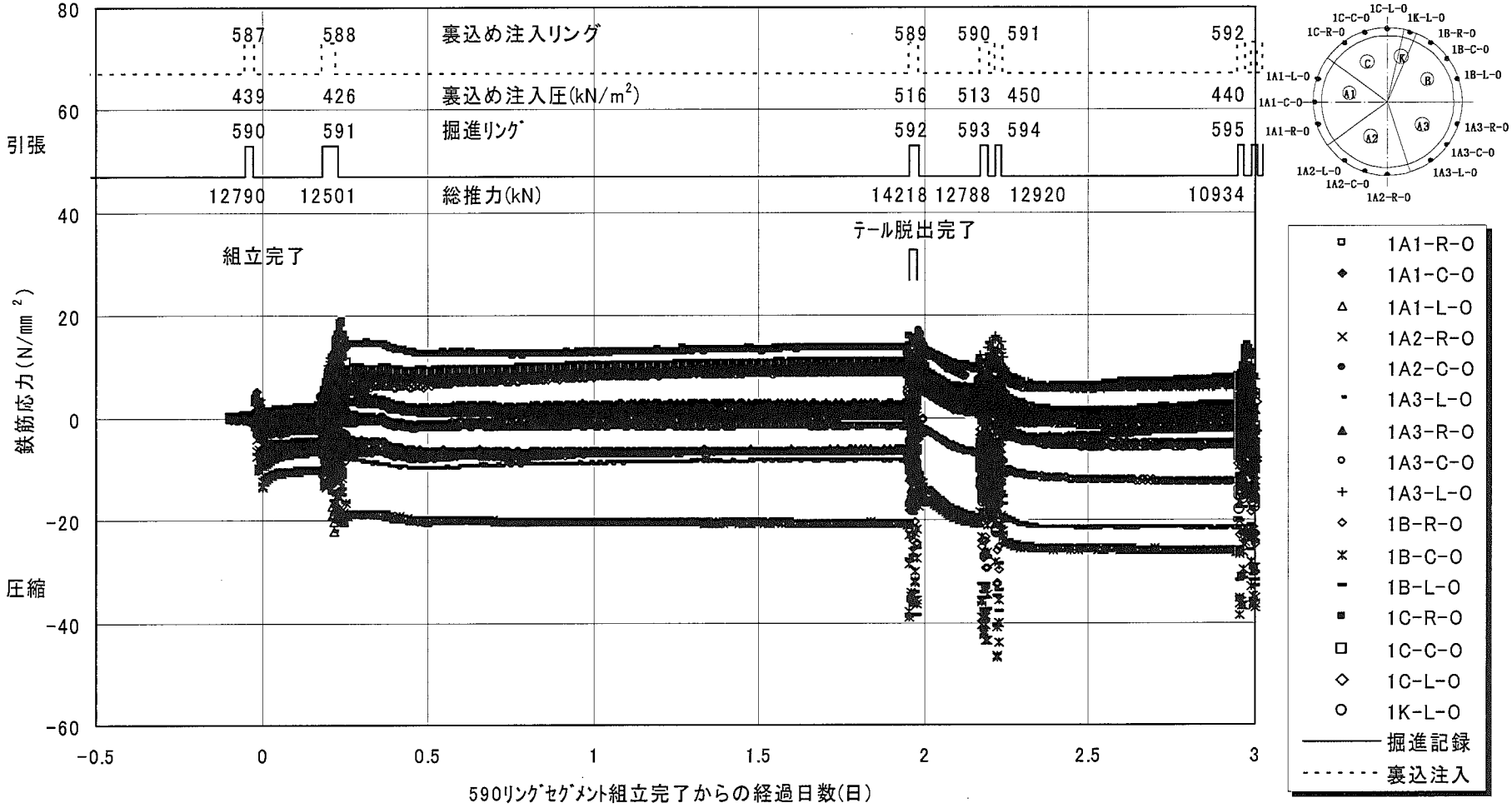


図-2.49　591R 円周方向鉄筋応力(外側)の経時変化図④

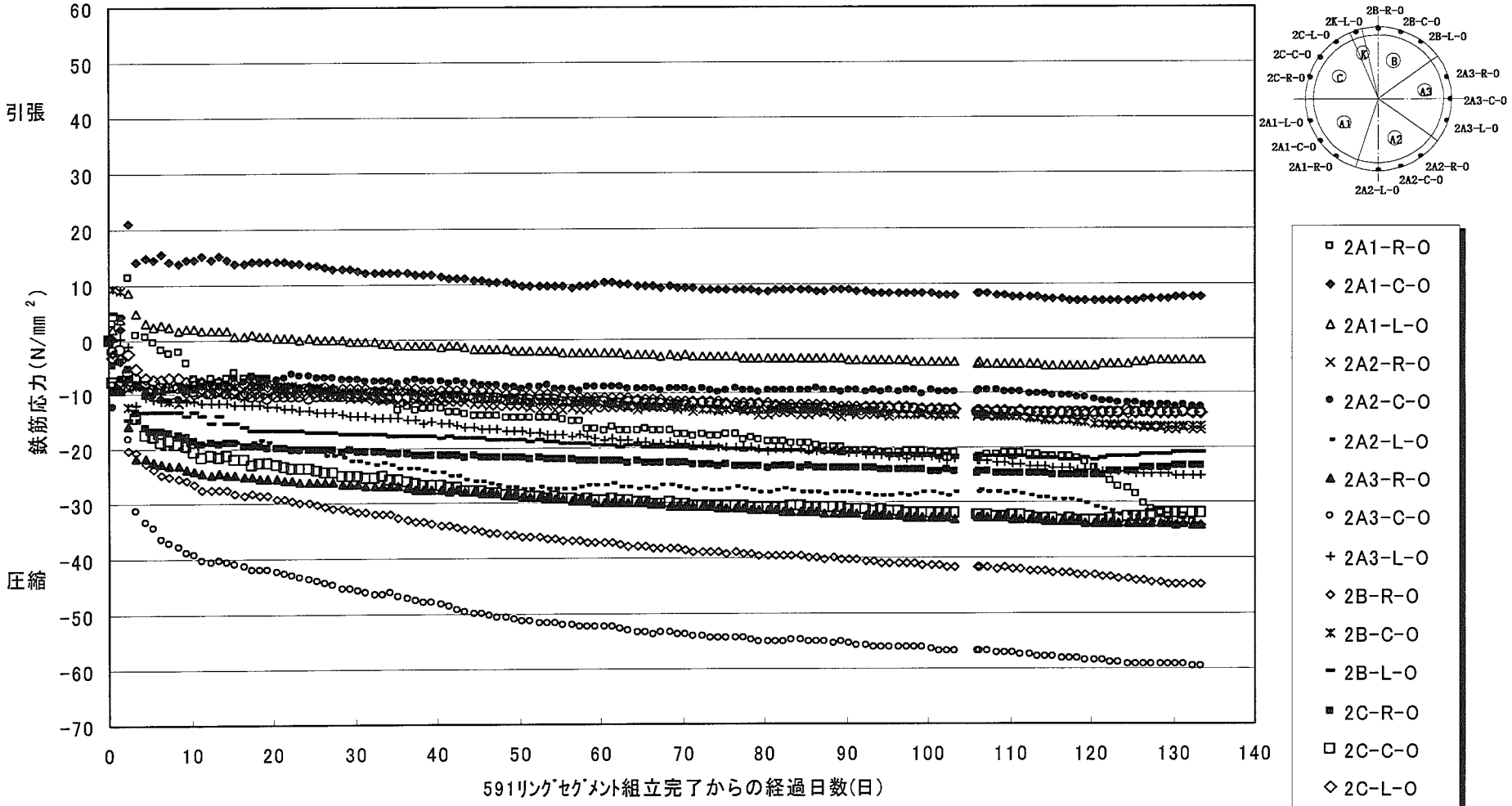


図-2.50　591R 円周方向鉄筋応力(外側)の経時変化図⑤

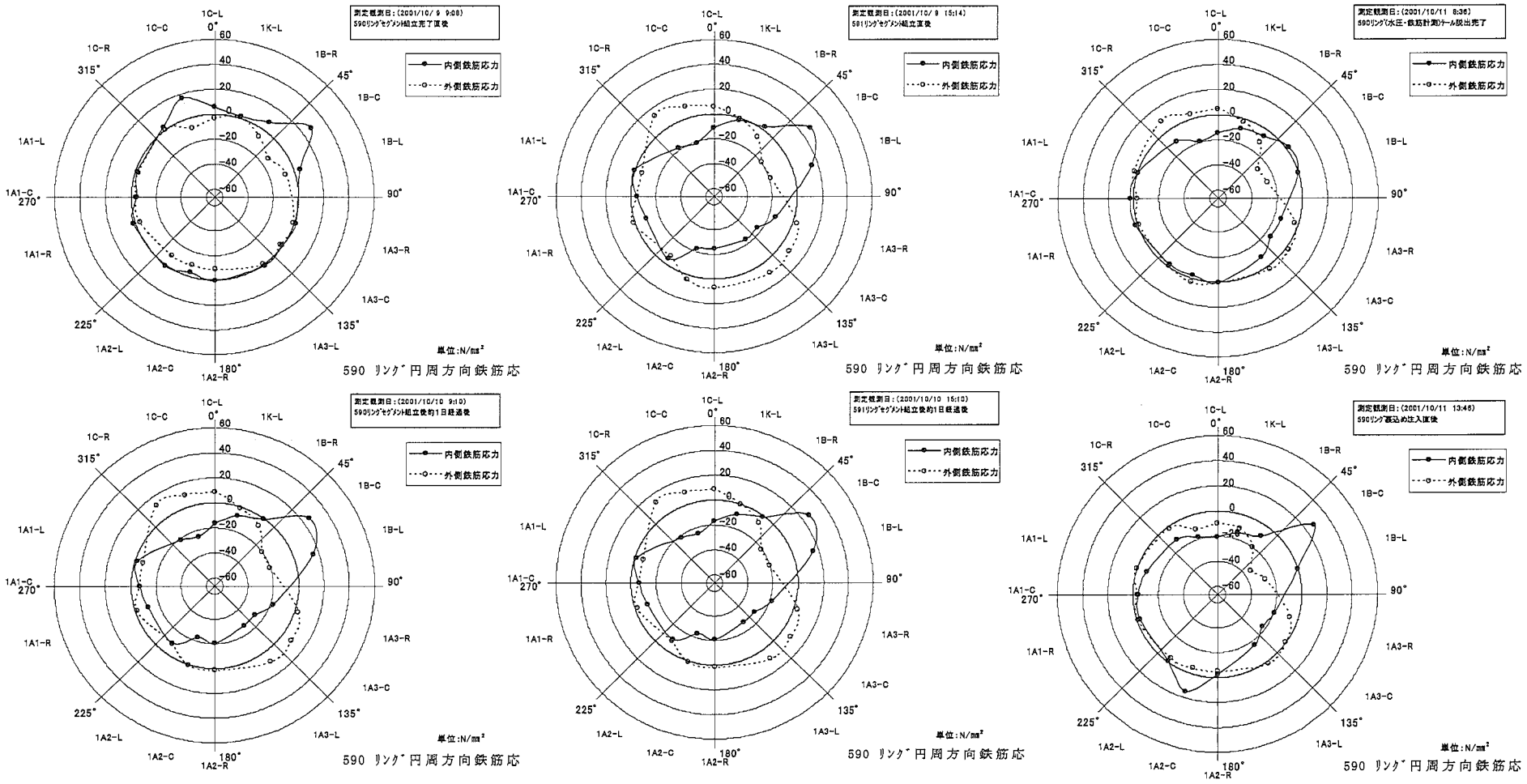


図-2.51　円周方向鉄筋応力分布①(590R)

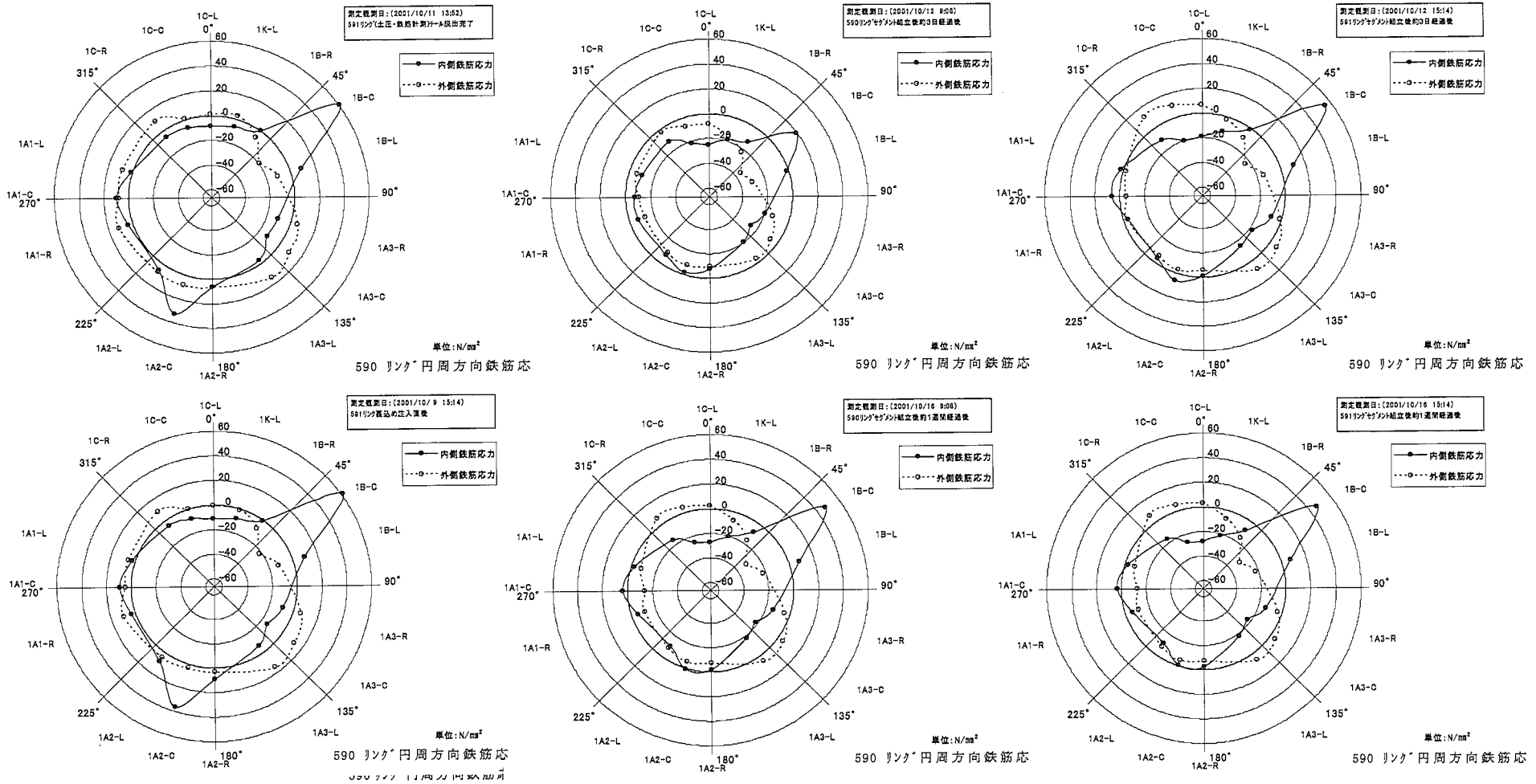


図-2.52　円周方向鉄筋応力分布②(590R)

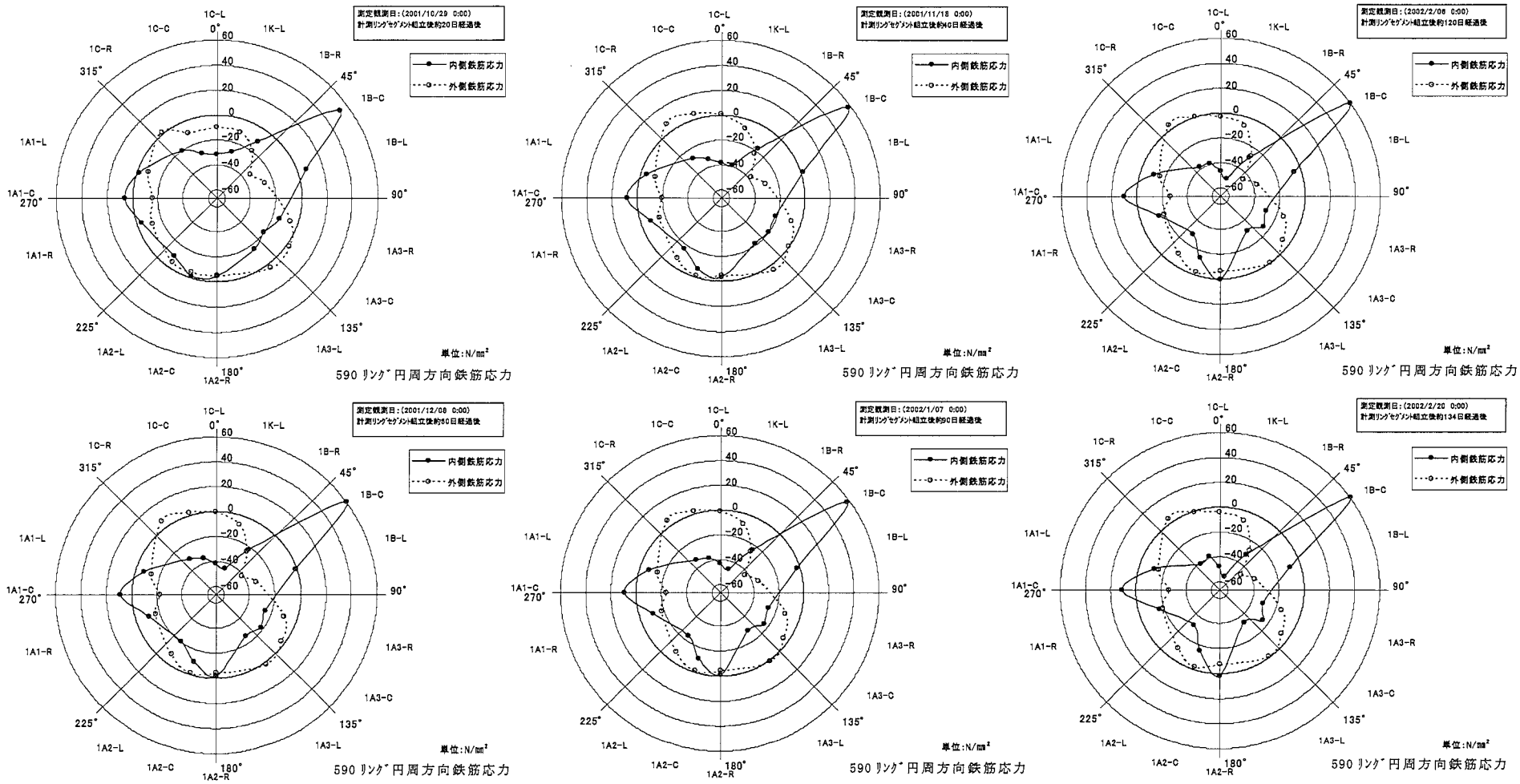


図-2.53　円周方向鉄筋応力分布③(590R)

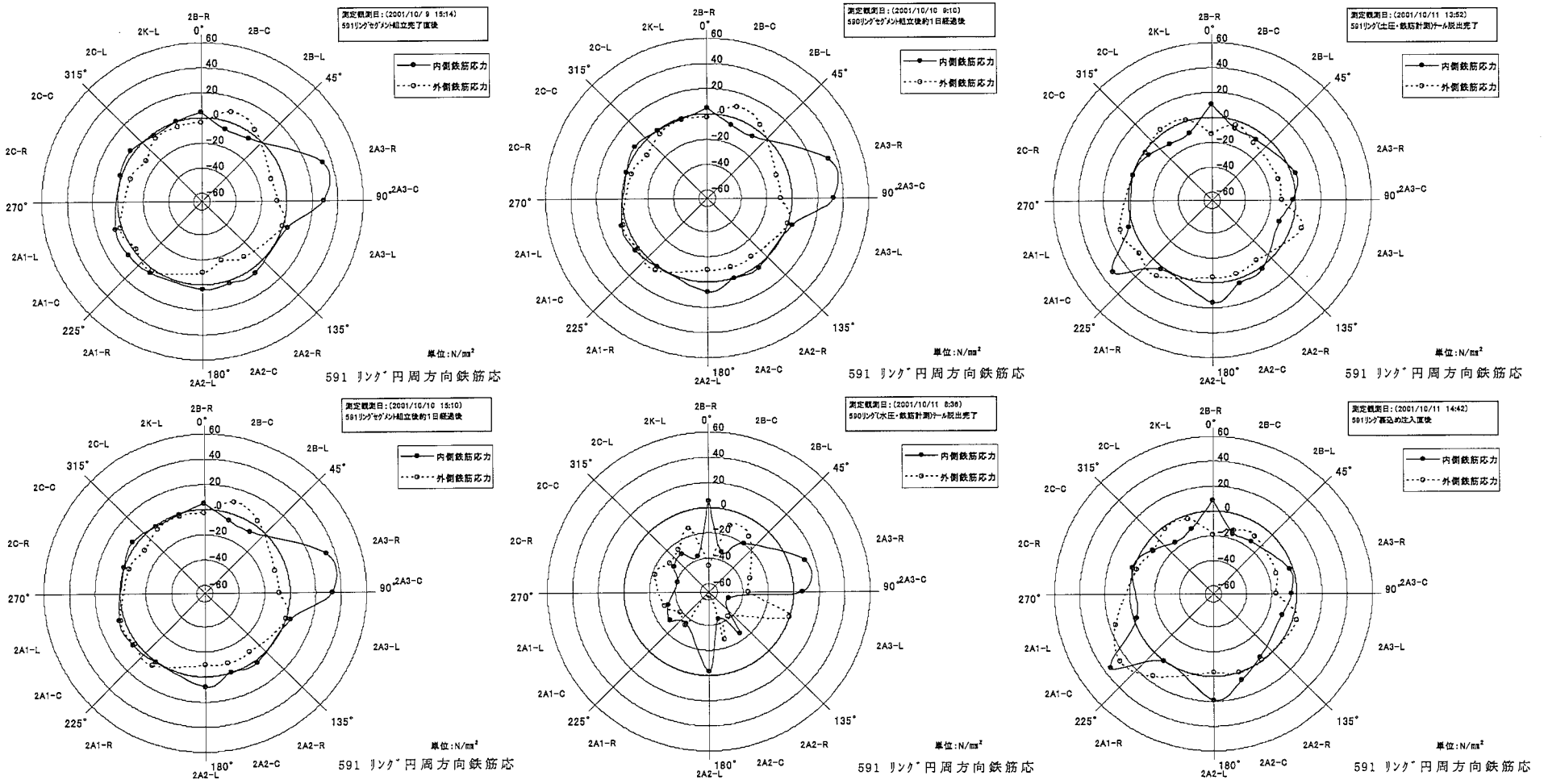


図-2.54　円周方向鉄筋応力分布①(591R)

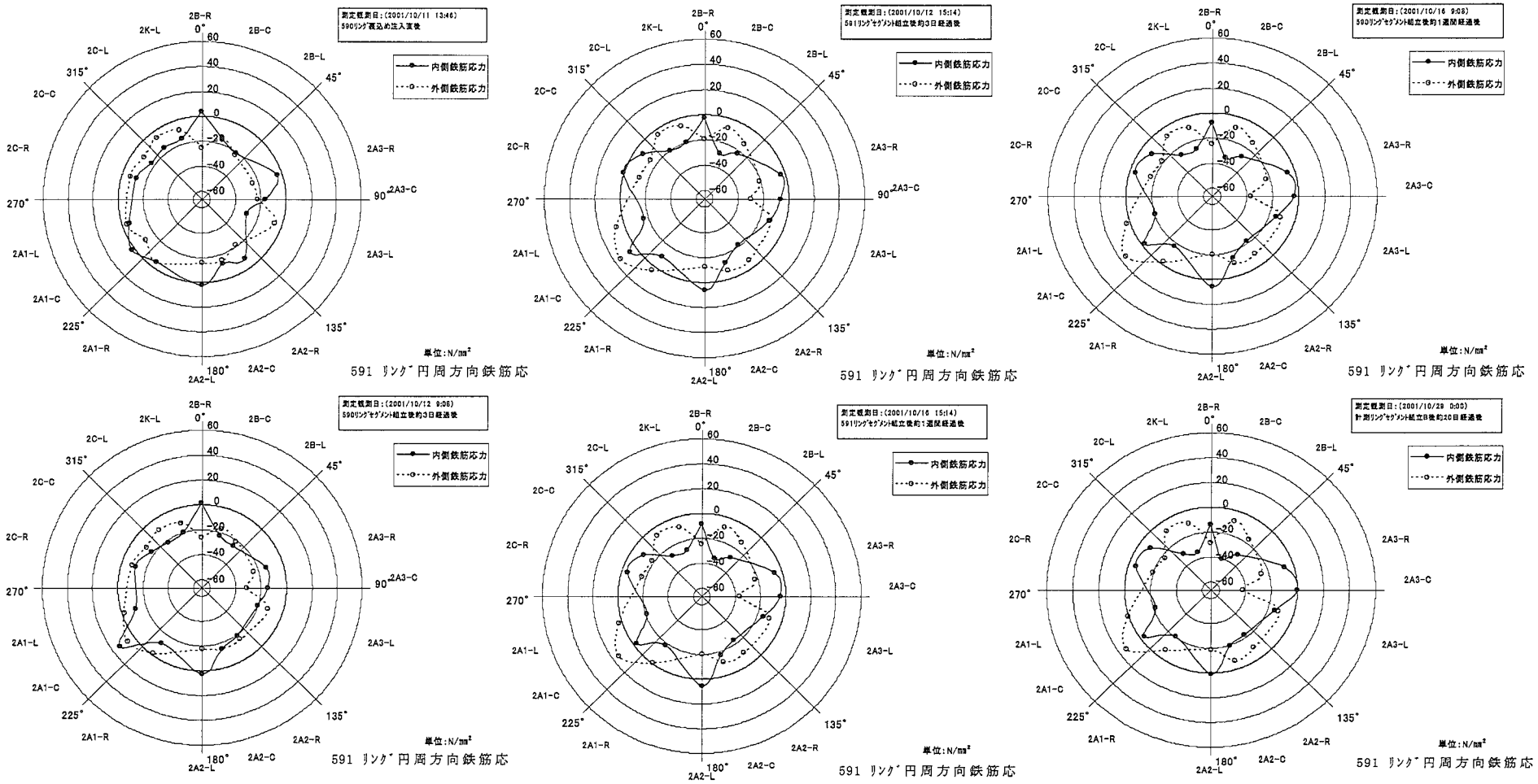


図-2.55　円周方向鉄筋応力分布②(591R)

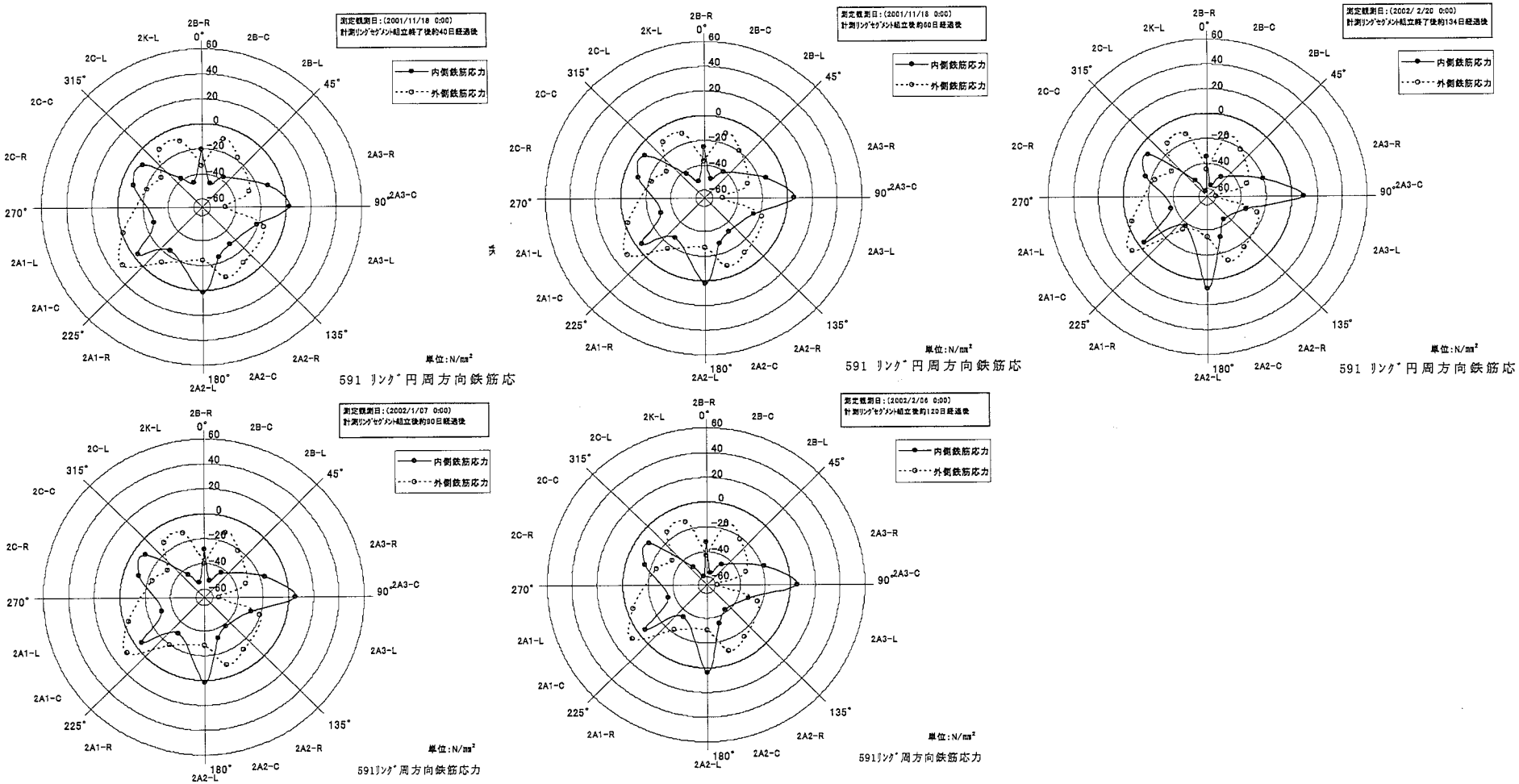


図-2.56　円周方向鉄筋応力分布③(591R)

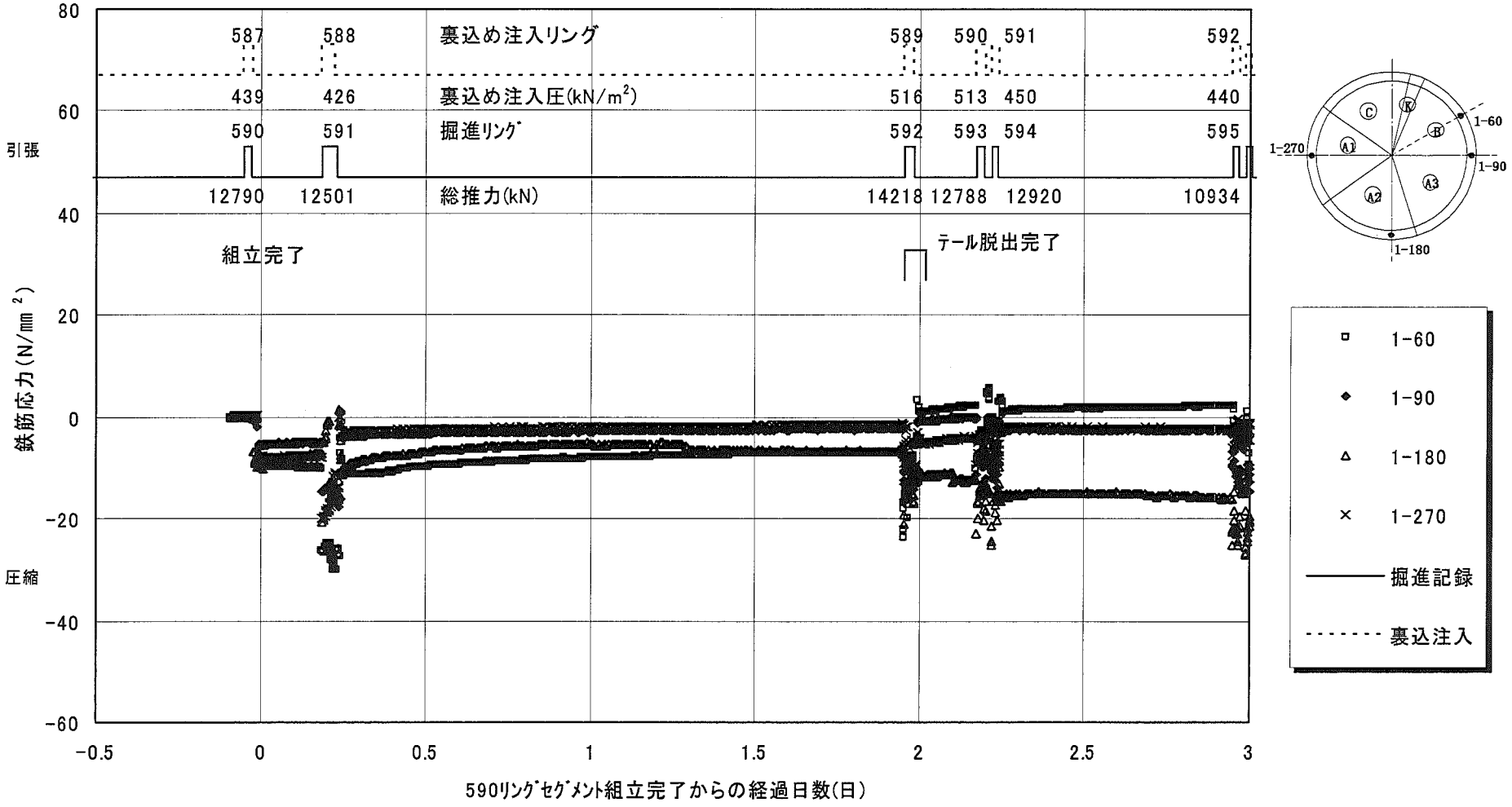


図-2.57　590R 軸方向鉄筋応力の経時変化図①

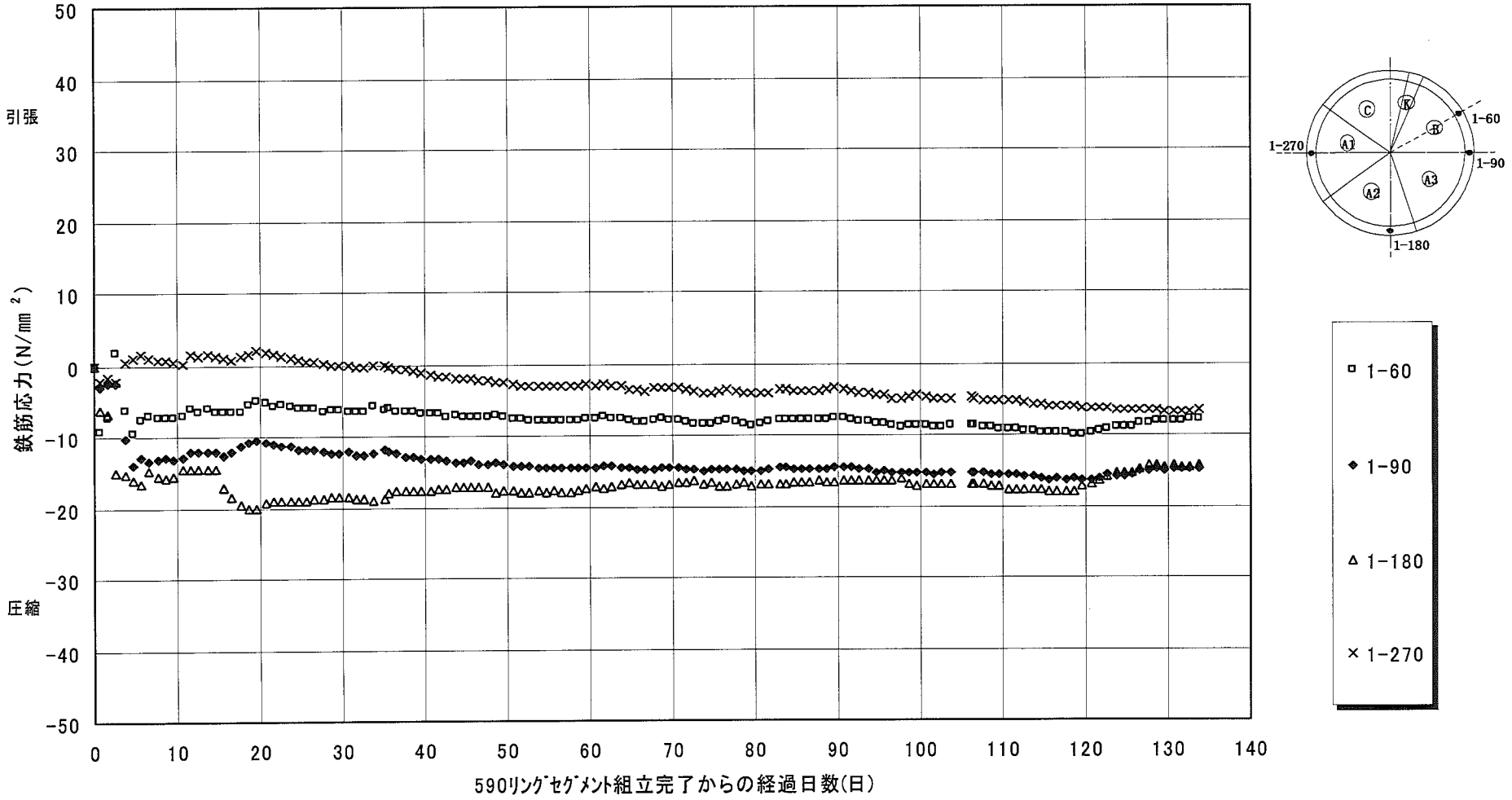


図-2.58　590R 軸方向鉄筋応力の経時変化図②

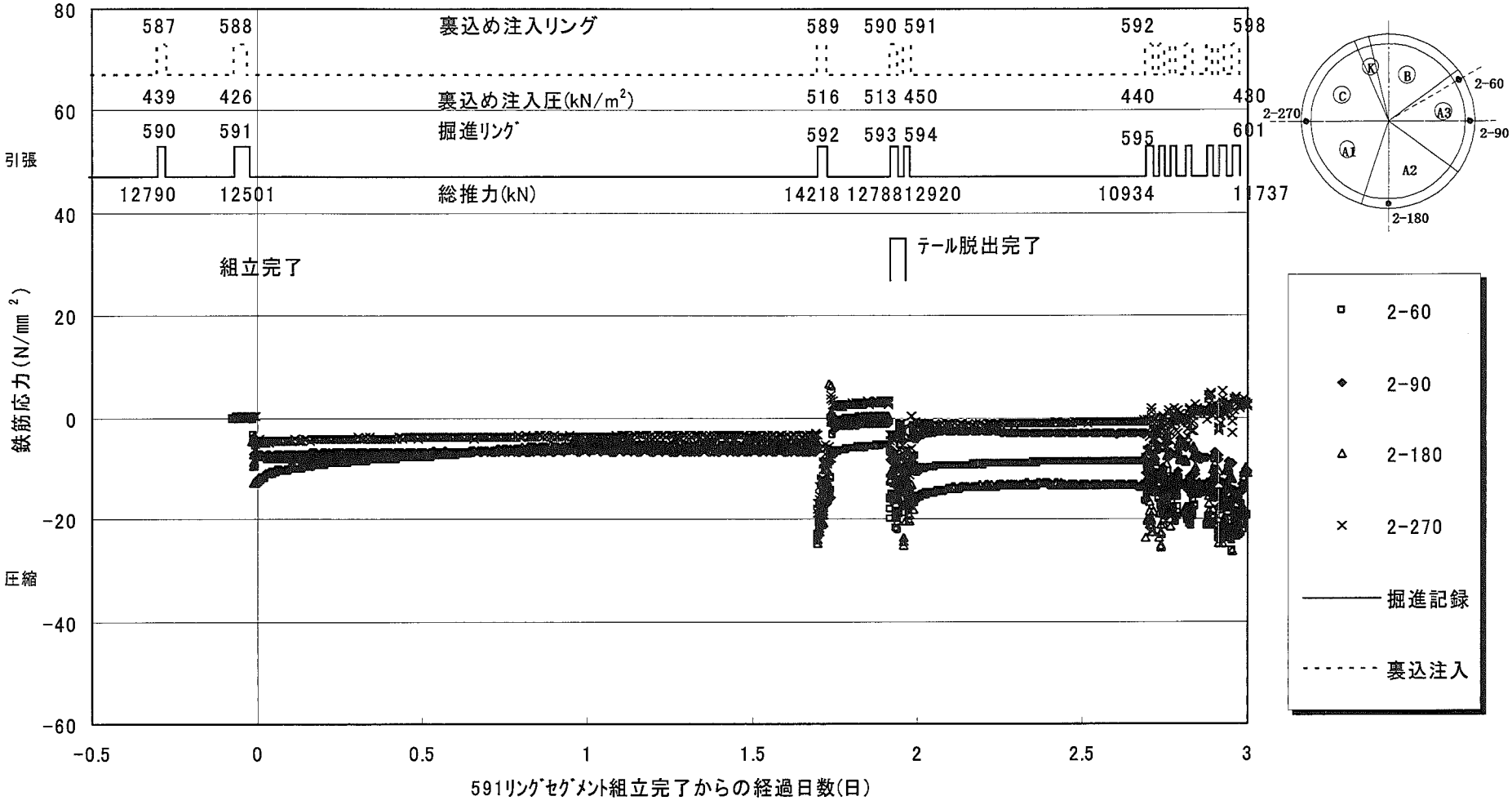


図-2.59　591R 軸方向鉄筋応力の経時変化図①

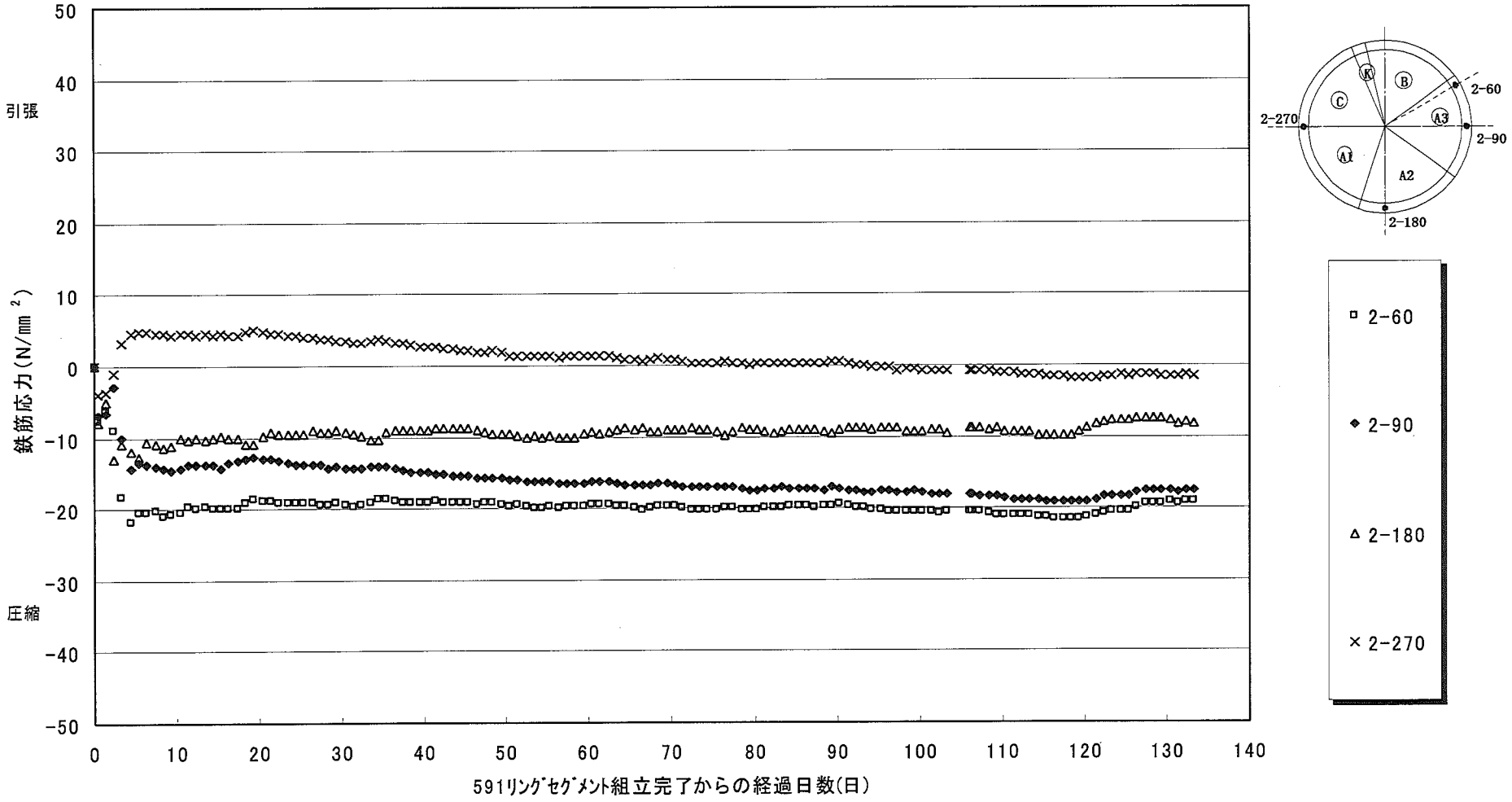


図-2.60　591R 軸方向鉄筋応力の経時変化図②

2.3.5 覆工体に発生する断面力

(1)曲げモーメント

曲げモーメントはセグメントの断面形状が図-2.61 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、コンクリートの弾性係数を 33kN/㎟ ²として計算した。

なお、本トンネルに用いたセグメントの設計は、はり－ばねモデルにより実施しており、設計計算用土圧としてゆるみ土圧を考えて、側圧係数λ＝0.35、地盤反力係数 k ＝50MN/m³と設定された。

セグメント厚さ	h=0.25m
セグメント幅	B=1.2m
断面二次モーメント	I ＝0.00156m⁴
断面積	A＝0.3 m²

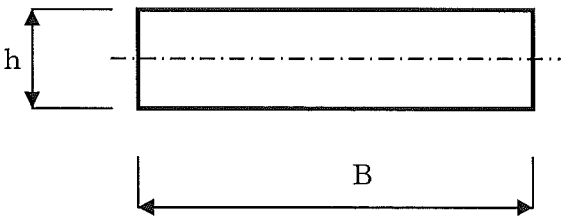


図-2.61　セグメントの断面形状

590 リングおよび 591 リングの鉄筋計の測定値より算出した経時変化を図-2.62～図-2.65 に示す。また、主要な時期の 590 リングの曲げモーメントの断面分布図を図-2.66～図-2.68、591 リングの曲げモーメントの断面分布図を図-2.69～図-2.71 に示す。ここで、組立後約 134 日後の安定した時期においては、コンクリートの乾燥収縮量を考慮した（巻末資料 1 参照）曲げモーメント（図-2.68、図-2.71 参照）も算出した。

また、590 リング計測セグメントの各ピース組立毎の曲げモーメントの断面分布図を図-2.72～図-2.73 に示し、次リング 591 リング掘進直前および掘進中の曲げモーメントの断面分布図を図-2.74 に、591 リング各ピース組立時の曲げモーメントの断面分布図を図-2.75～図-2.76 に示す。さらに主要な時期の曲げモーメント算出値を巻末資料 5 の表-2.3 に示す。

セグメント組立後約 134 日時点での最大の曲げモーメントが発生する点は、図-2.68 および図-2.71 より、590 リングでは正曲げがトンネル右肩部（1B-C）で約 96kN･m、負曲げがほぼトンネル頂部（1K-L、1C-L）で約 75～85kN･m であり、591 リングでは正曲げがトンネル右側部で約 103kN･m（2A3-C）、負曲げが右肩および左肩部（2K-L、2B-C）で約 75～88kN･m である。590 リング、591 リングとも側部に左右の側部に正曲げが発生しており、トンネル上部および、トンネル斜め下方の 135°、225°に負曲げが発生している。これらは、設計上での最大曲げモーメント約 60kN･m に比べて大きなものとなっており、曲げモーメントの断面分布は両リ

ングとも設計とは異なった縦長のモードを示している。

また、図-2.73～図-2.74 より、590 リング計測セグメント組立時から次リング(591 リング)の掘進・組立完了までの 590 リングに発生する曲げモーメントの断面変化を見ると、最初の下部２ピース組立時点で約 18 kN･m の負曲げが発生し、その後あまり変化はないが、Ｋピース組立時にＫピース両側に約 30 kN･m の負曲げが発生している。つぎに、次リングである 591 リング掘進中には、右下方向に大きな曲げモーメントが発生し、590 リング組立時のＫセグメント付近の負曲げがさらに大きくなっている。591 リング各ピース組立時にはあまり変化は見られなかった。

一方、主要な時期の各点の経時的な変化については、図-2.62、図-2.63 より 590 リングではセグメント組立完了直後に正曲げがトンネル右肩部（1B-C）45° で約 30kN･m、負曲げはほとんど発生していない。次のリング(591R)の掘進・組立直後(590 リングテール接触時)には正曲げで組立時に発生した右肩部 45° の曲げモーメントが約 50kN･m まで大きくなっており、右下方 135° と左上方 315° に約 50kN･m の負曲げが発生している。その後、テール脱出、裏込め注入により若干の変化が見られるが、上述した右肩部の正曲げと右下方、左上方の負曲げの分布状態は変わらず、曲げモーメントの値はゆるい増加傾向を示している。

また、図-2.64、図-2.65 より 591 リングではセグメント組立完了直後に正曲げがトンネル側部（2A3-C、2A3-R）90° 付近とトンネル下部に約 20～30kN･m、負曲げは右肩部に約 10kN･m 発生している。次のリング(592R)を掘進・組立直後(590 リングテール脱出時＝591 リングテール接触時)には、トンネル右側部（2A3-C、2A3-R）90° 付近の正曲げが約 60kN･m まで大きくなり、トンネル天端 0° では約７kN･m から約 80kN･m まで、トンネル下端では約 100kN･m まで局所的に増加している。負曲げはトンネル右下方(2A3-L)に約 80kN･m と両肩部(2B-C、2K-L)に約 40kN･m が発生している。

また、テール脱出、裏込め注入後にトンネル天端 0° の両側 20° 、340° 付近に約 10～20kN･m の負曲げが発生し、トンネル下部 180° の位置で約 16kN･m の正曲げが局所的に発生している。その後、上述した右側部 90° 、付近および 0° 、180° の局所的な正曲げとトンネル右下方、左下方およびトンネル天端 0° の両側 20° 、340° 付近の負曲げの分布状態は変わらず、曲げモーメントの値はゆるい増加傾向を示している。

590 リング、591 リングともに、天端部付近の曲げモーメントは経時変化として、負曲げが増加しており、通常の鉛直土圧の増加による断面力の変化とは反対の傾向を示している。これは、①土圧が経時的に増加傾向にあるものの、安定してからの土圧計測最大値までの増加量は全土圧の約 8%と小さい②約 4.5 ヶ月後の土圧の断面分布が偏土圧となっている③本トンネルのような硬質粘性土地盤では、土圧増加による影

響は少なく、それよりも裏込め注入などによる偏荷重やシールド掘進時の推力等が後方まで影響する、等により局所的に発生したセグメントのひずみが増幅されるためと考えられる。また、本トンネルのほぞ付セグメントではシェアストリップによりリング間が通常以上に密着し、一度かかった応力が開放されることが少なく、セグメントのひずみが蓄積されていった可能性も考えられる。

(2)軸力

590 リングおよび 591 リングの鉄筋計の測定値より算出した軸力の経時変化を図-2.77～図-2.80 に、590 リングの軸力の断面分布図を図-2.81～図-2.83、591 リングの軸力の断面分布図を図-2.84～図-2.86 に示す。ここで、組立後約 134 日後の安定した時期においては、ダミー供試体の鉄筋応力測定値を用いて、コンクリートの乾燥収縮量を考慮した（巻末資料 1 参照）軸力（図-2.83、図-2.86 参照）も算出した。また、主要な時期の各点の軸力値を巻末資料 5 の表-2.4 に示す。

鉄筋計が安定している組立後約 134 日時点での軸力は、590 リングでは、トンネル右側部や左下部で局所的に 2400～3000kN 程度発生しており、それ以外は 700～1500kN 程度の圧縮力となっている。

591 リングでは、トンネル上部で 4000～5000kN、下部で 2000～4000kN と大きな軸力が発生しており、側部は 1500～2500kN 程度の圧縮力となっている。

また、経時的な変化については、両リングともテール脱出直後に急激な軸力(圧縮力)の変化が見られ、裏込め注入後から一部の異常な値を除いて増加傾向となっている。

参考文献

1) 平成１１年度　３０２号天白共同溝シールド工事　パンフレット

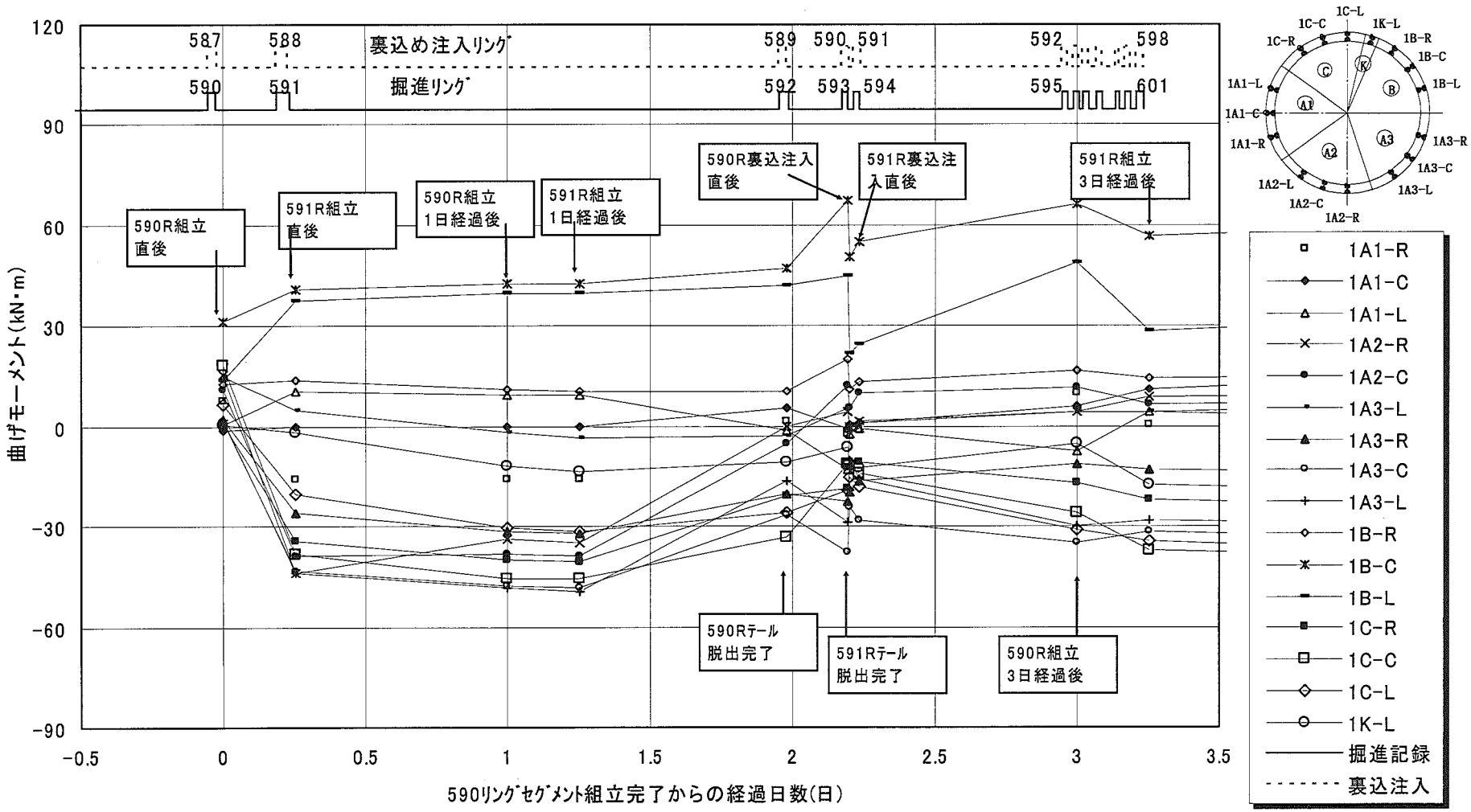


図-2.62　590R 曲げモーメントの経時変化図①

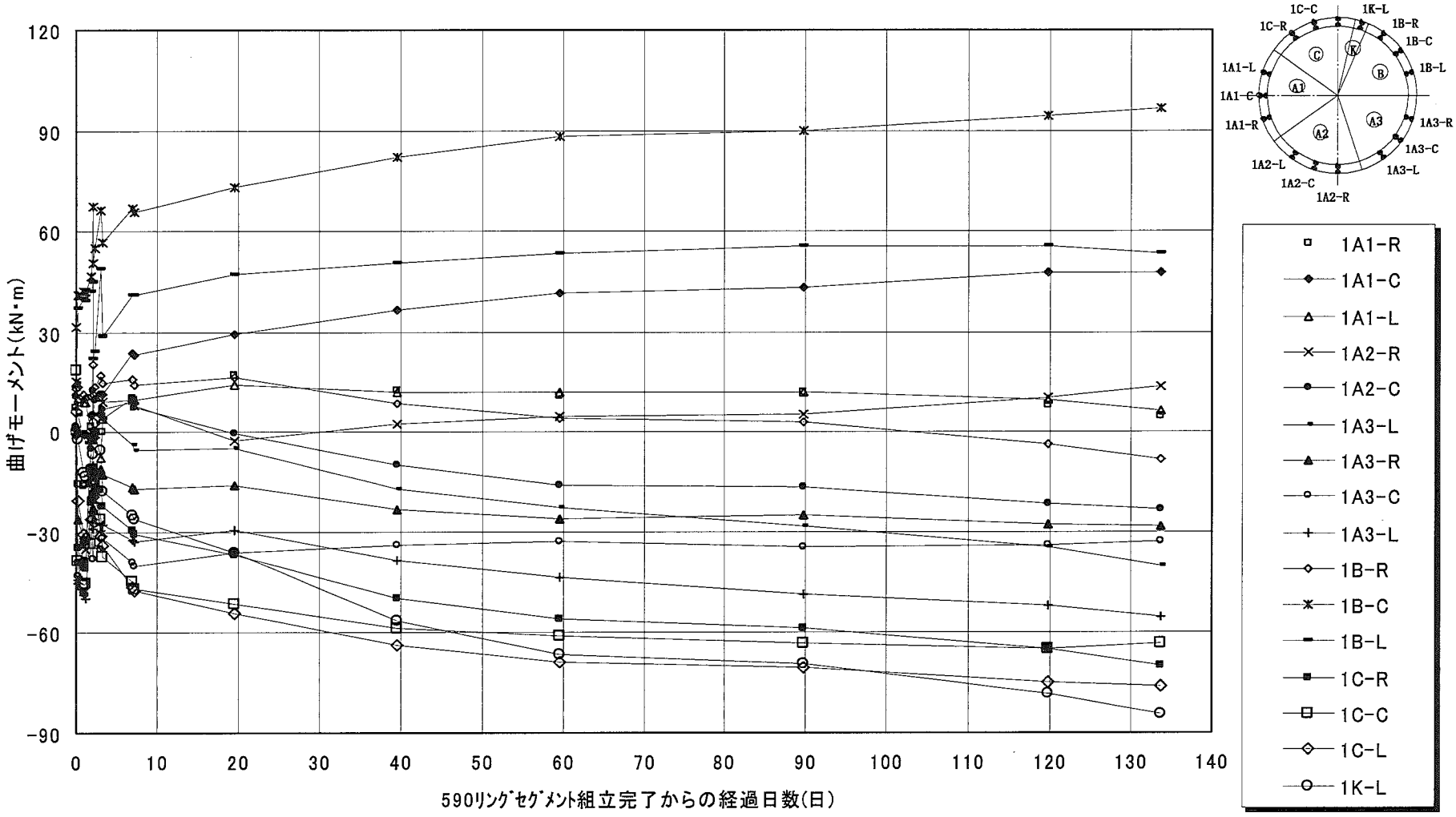


図-2.63　590R 曲げモーメントの経時変化図②

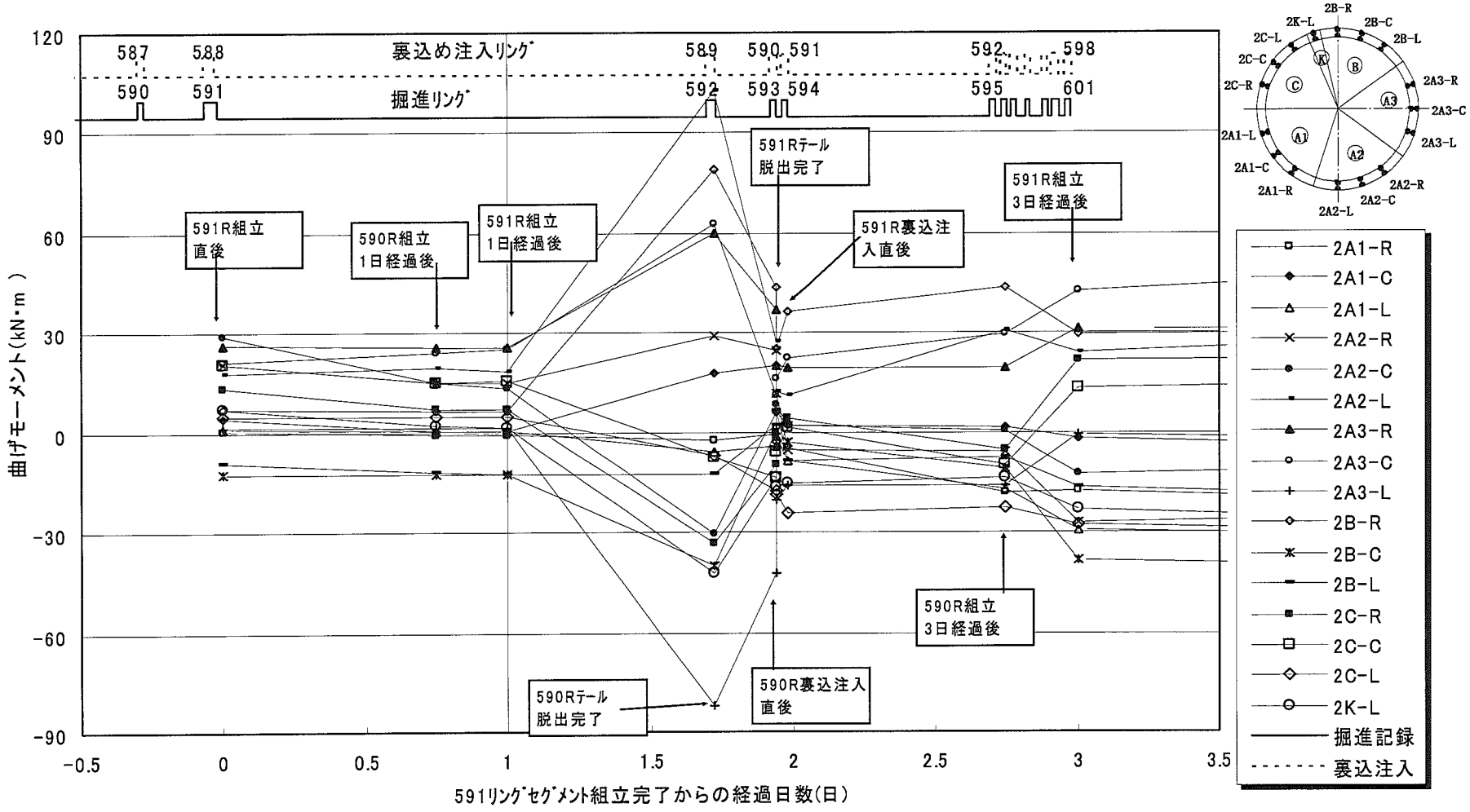


図-2.64　591R 曲げモーメントの経時変化図①

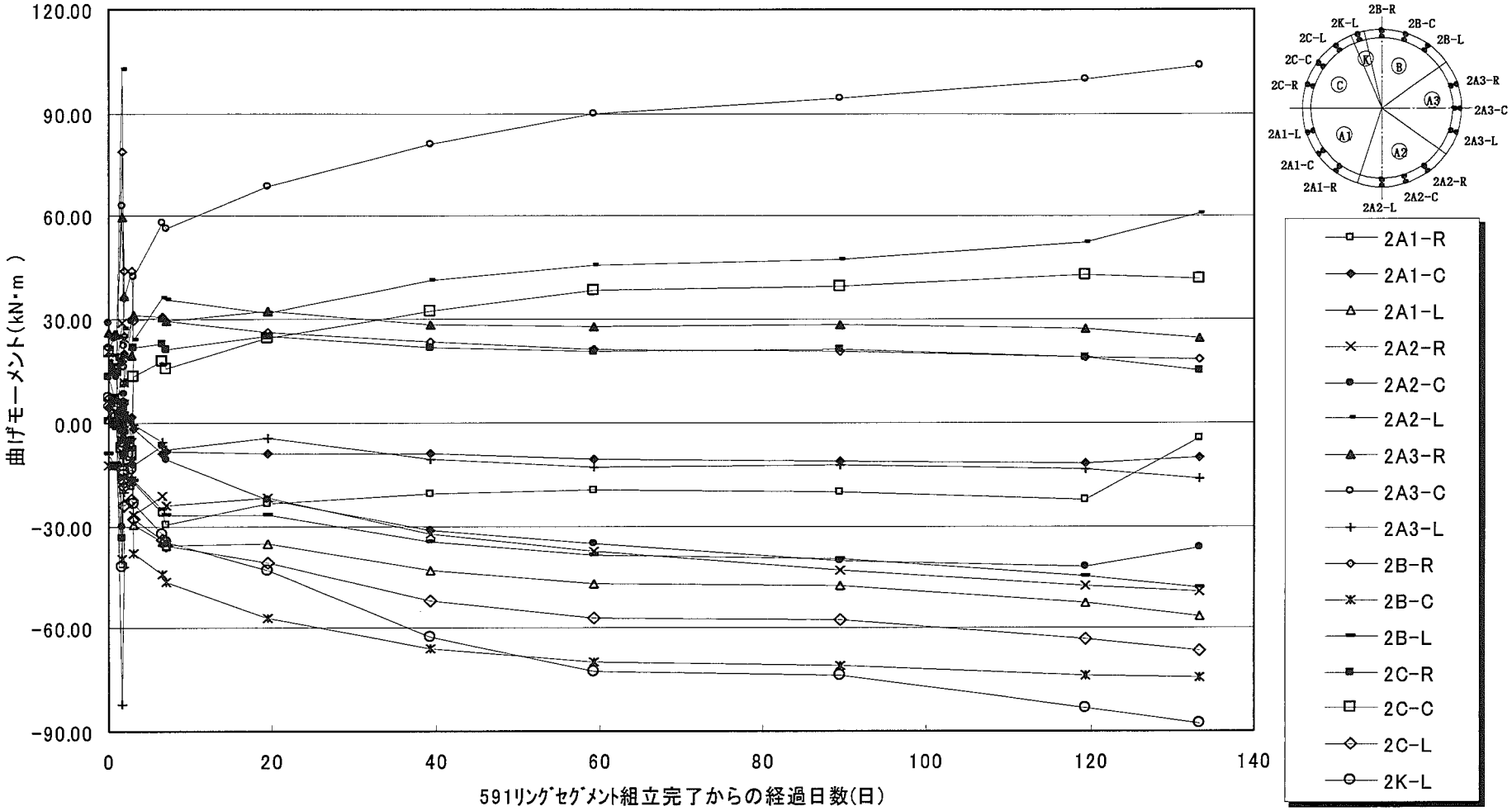


図-2.65　591R 曲げモーメントの経時変化図②

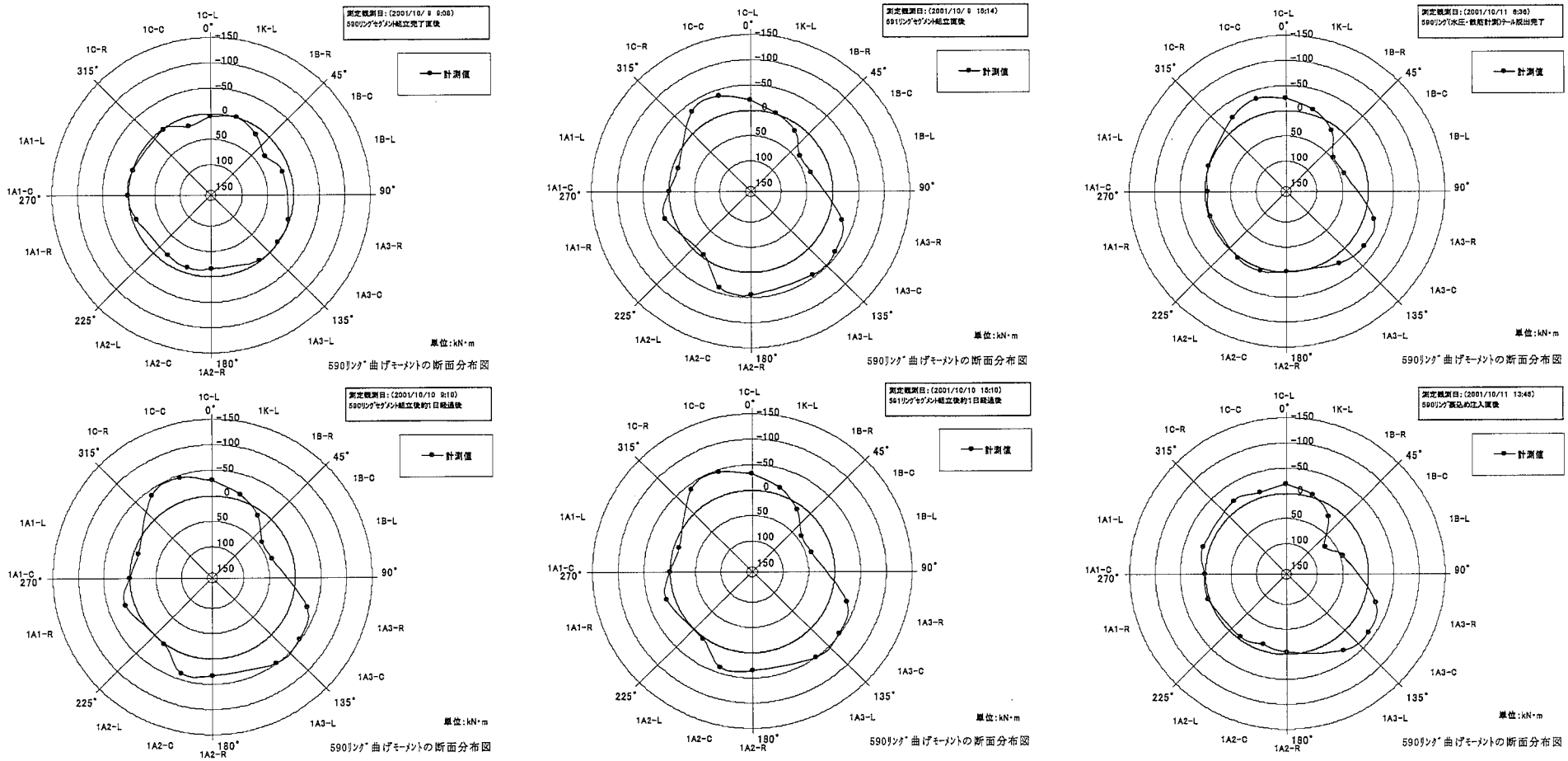


図-2.66　曲げモーメントの断面力図①(590R)

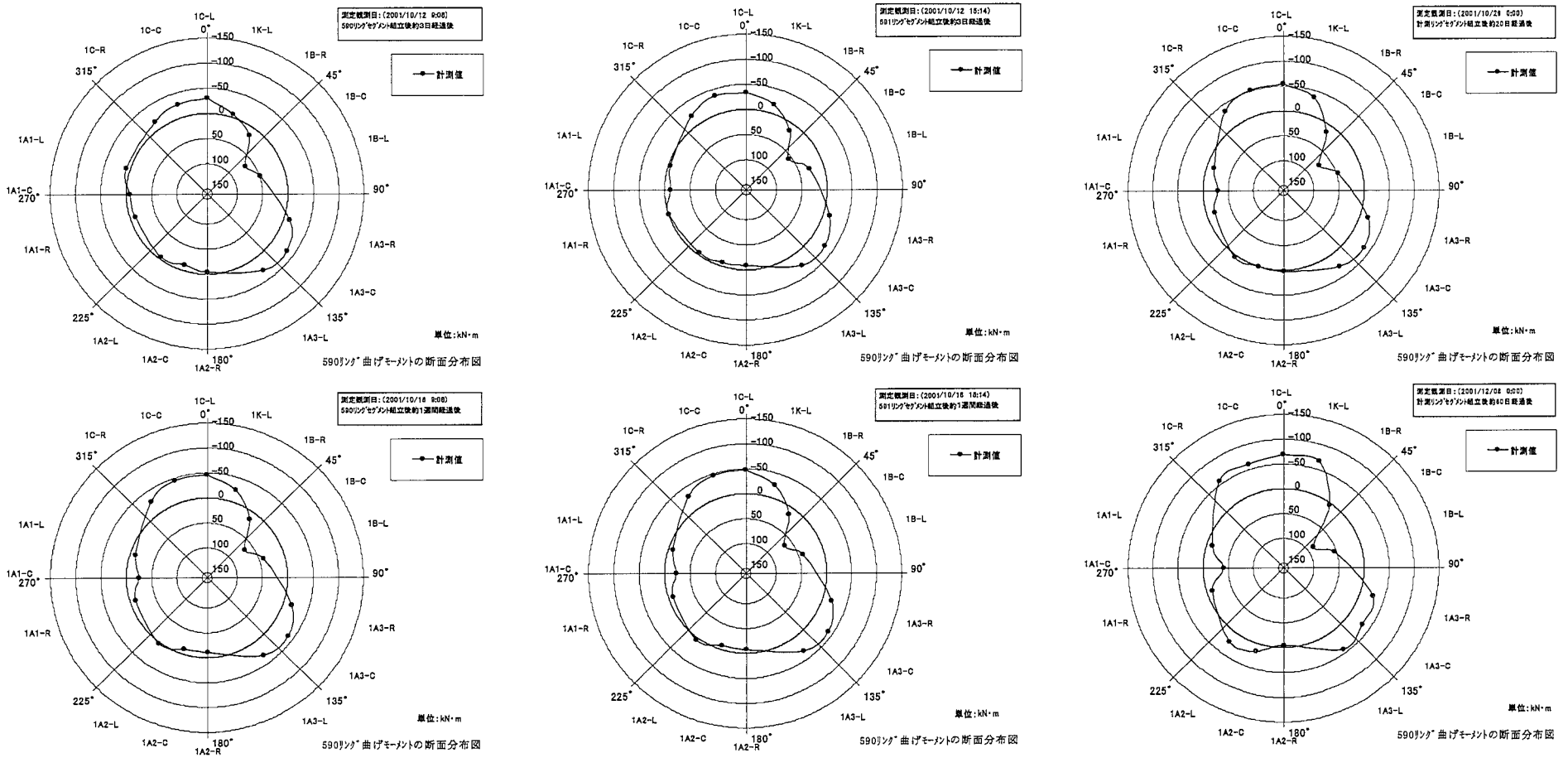
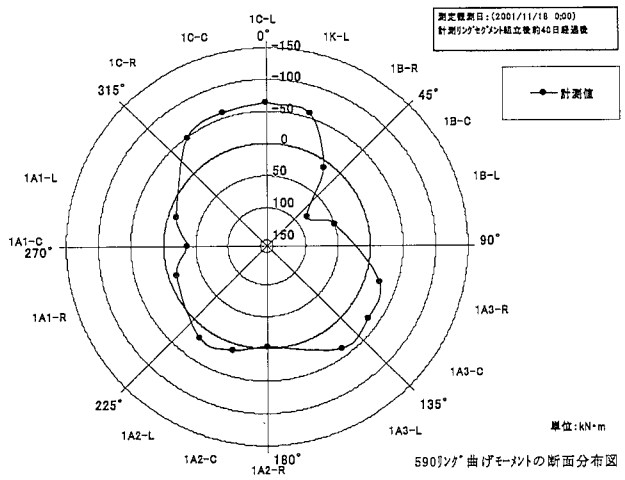
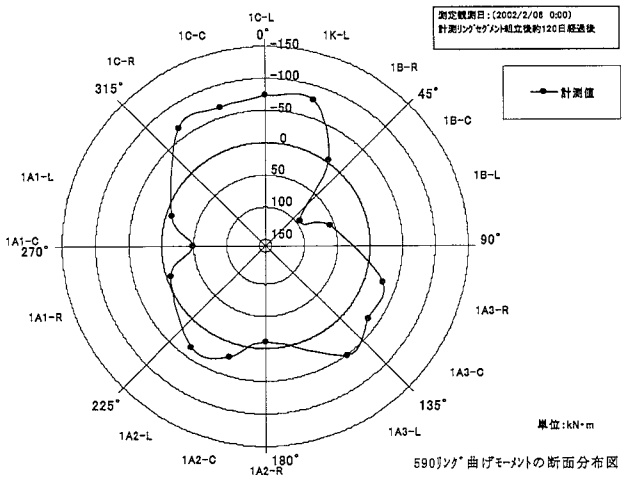


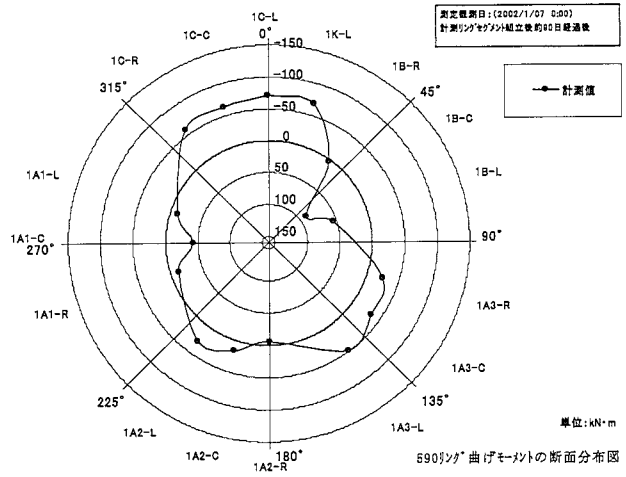
図-2.67　曲げモーメントの断面力図②(590R)



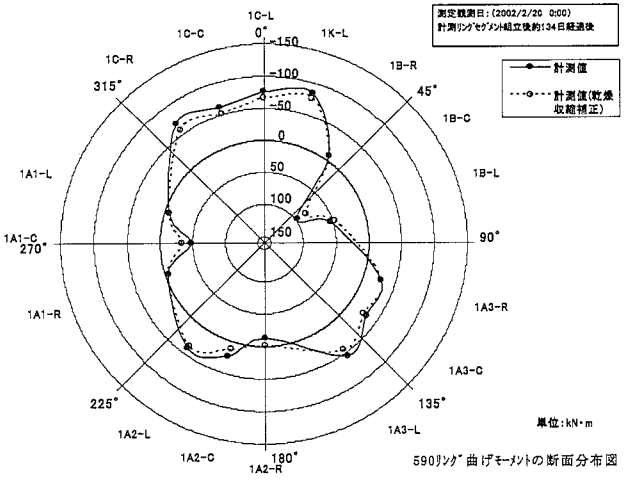
590リング 曲げモーメントの断面分布図



590リング 曲げモーメントの断面分布図



590リング 曲げモーメントの断面分布図



590リング 曲げモーメントの断面分布図

図-2.68　曲げモーメントの断面力図③(590R)

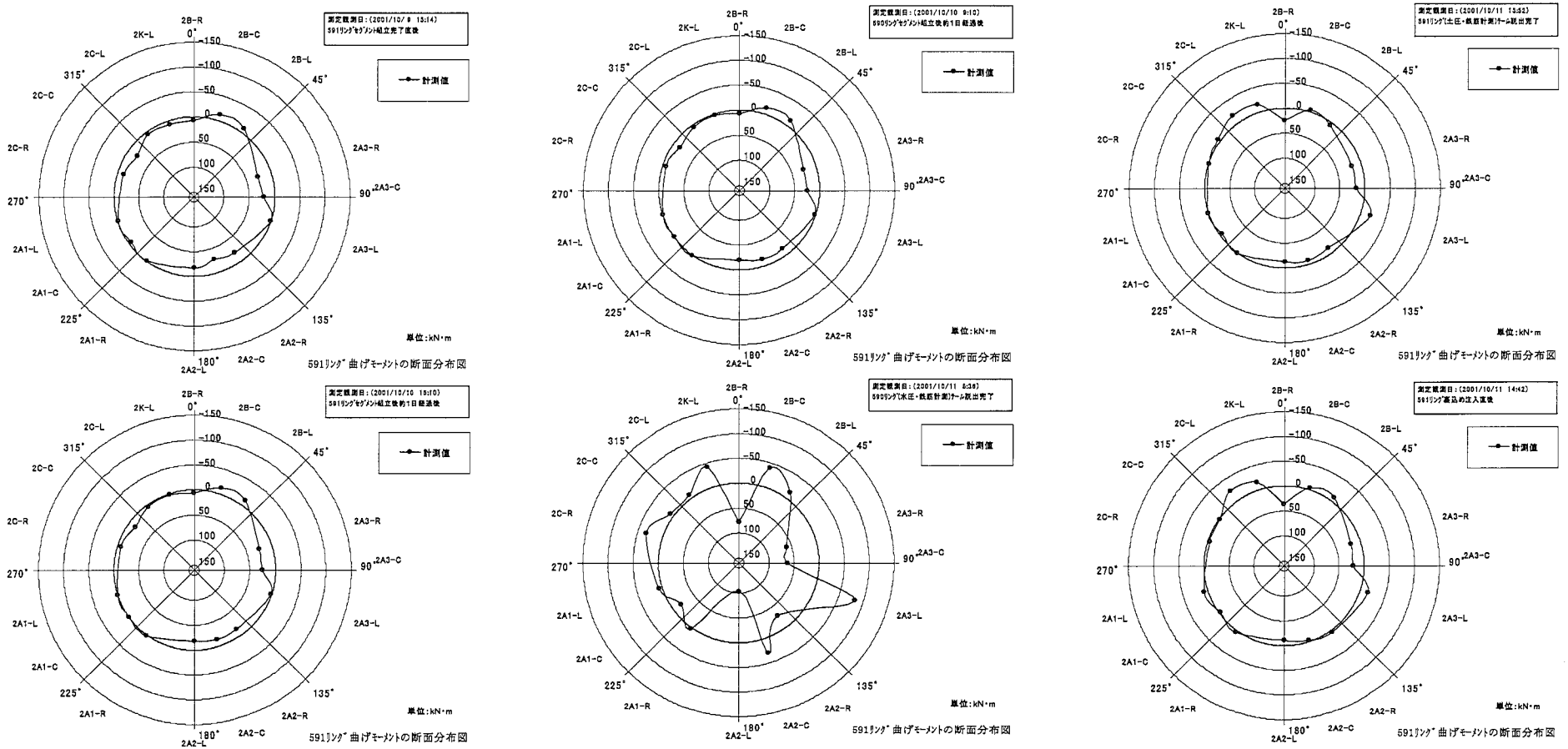
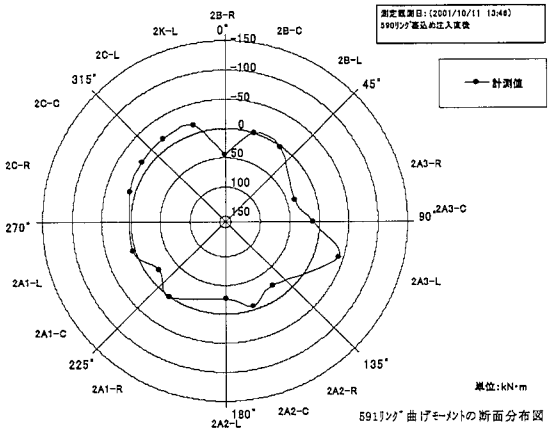
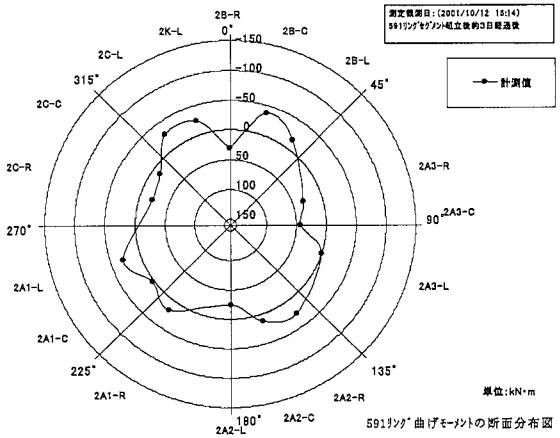
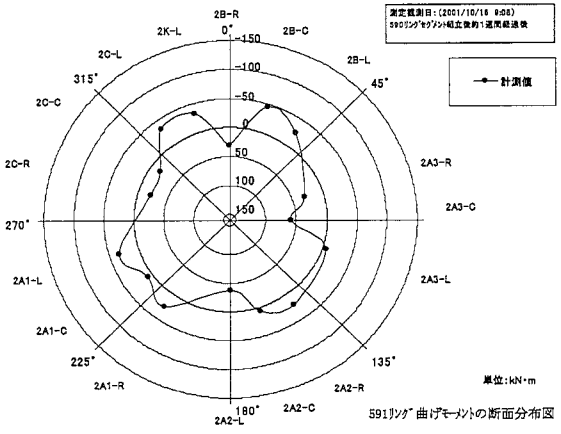
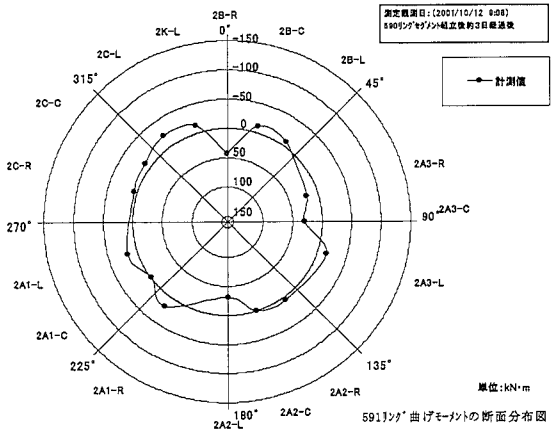


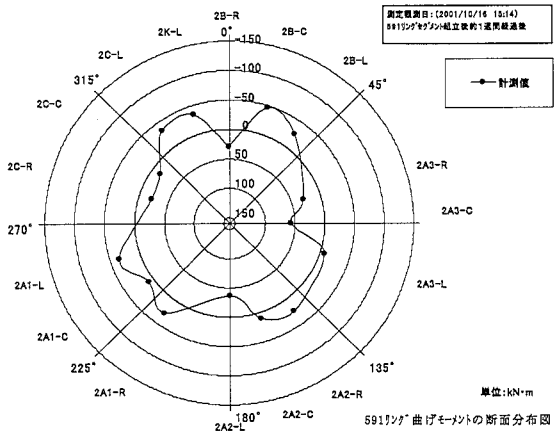
図-2.69　曲げモーメントの断面力図①(591R)











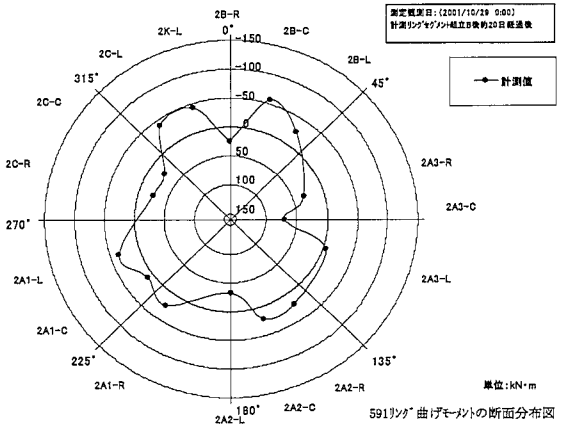
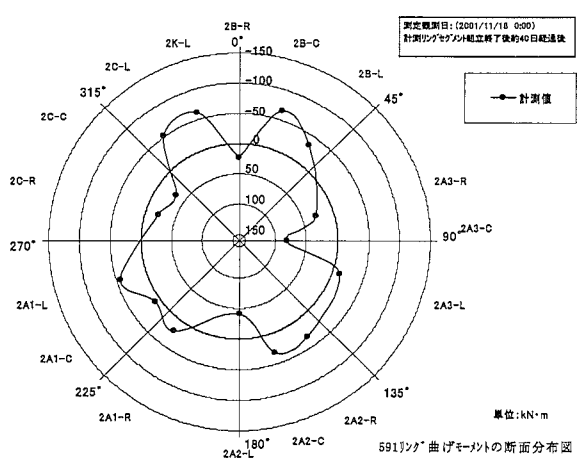
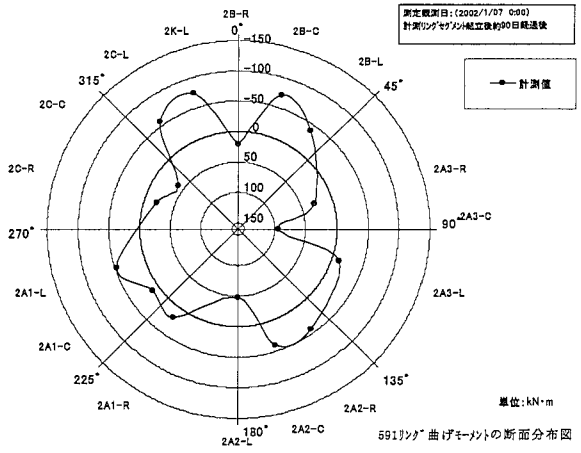
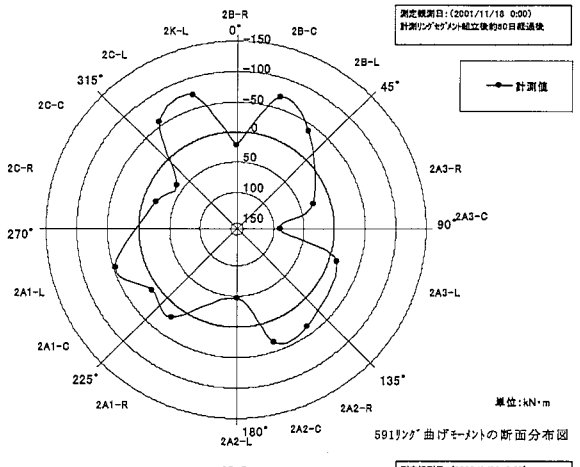
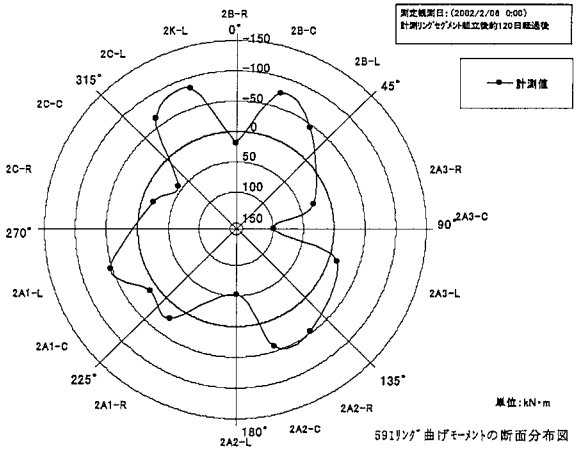


図-2.70　曲げモーメントの断面力図②(591R)









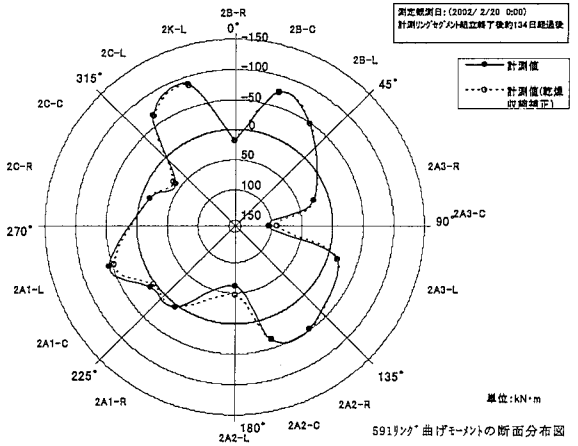


図-2.71　曲げモーメントの断面力図③(591R)

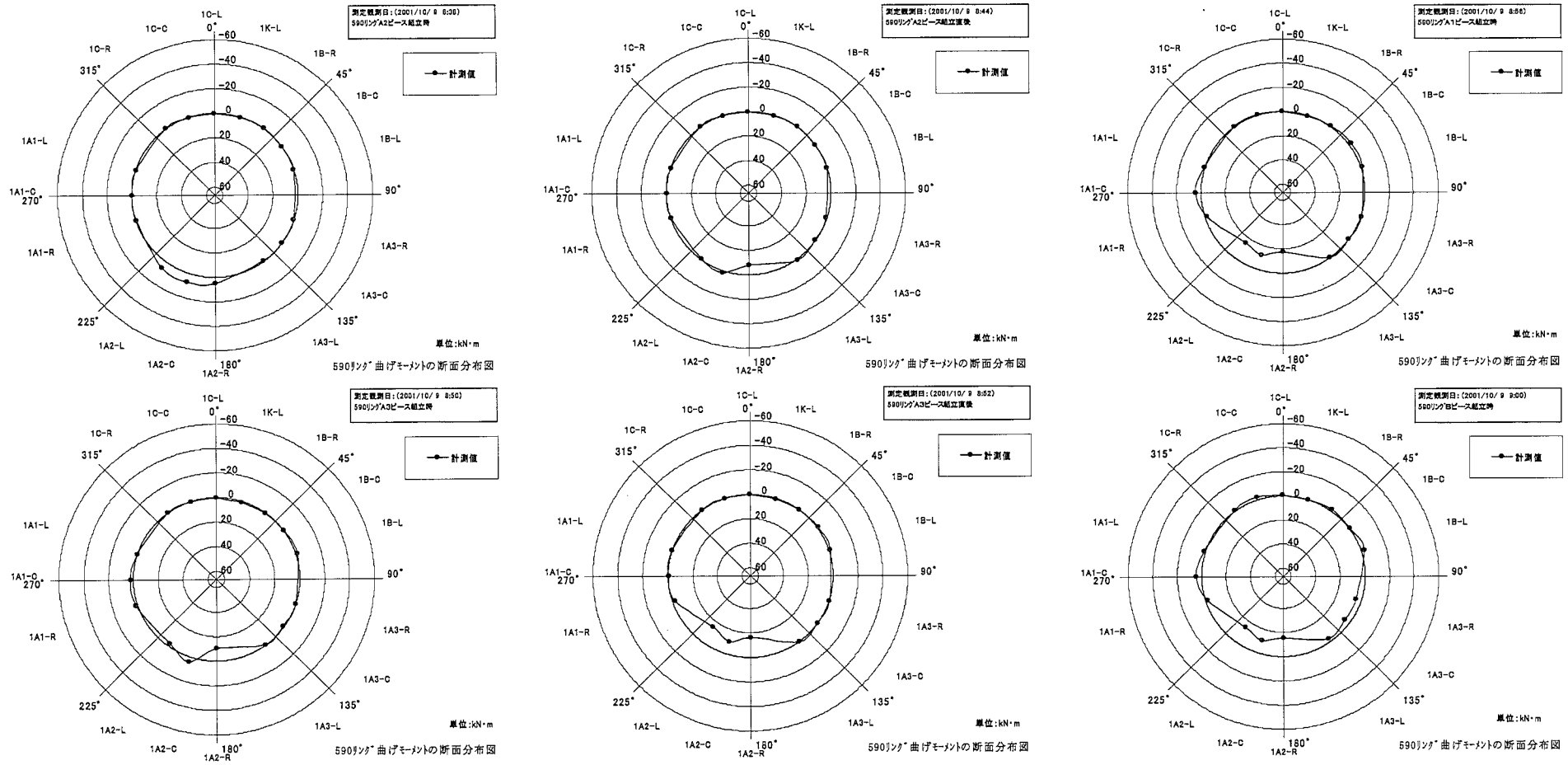
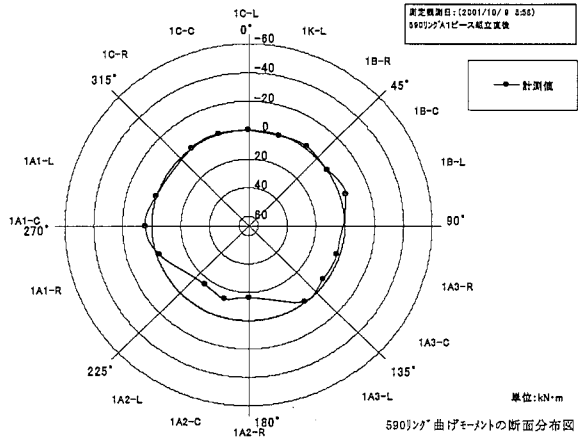
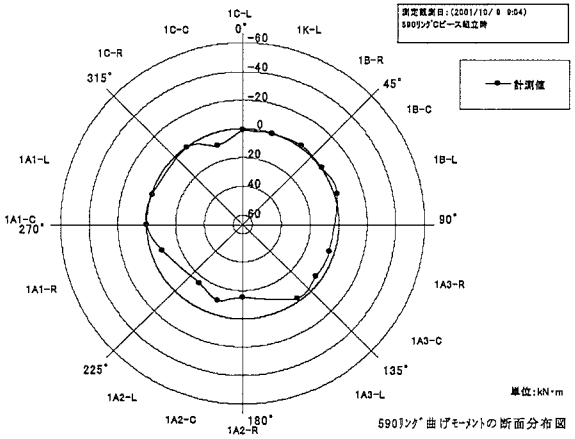
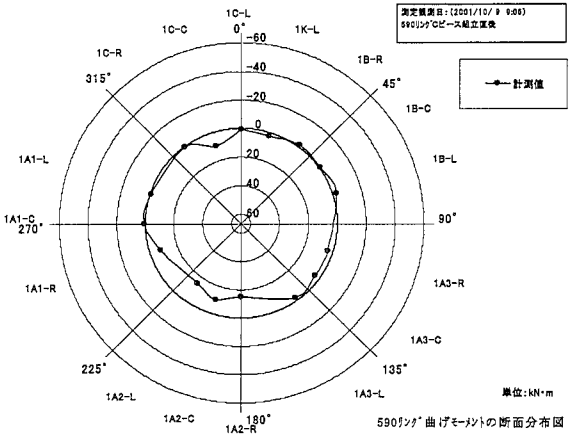
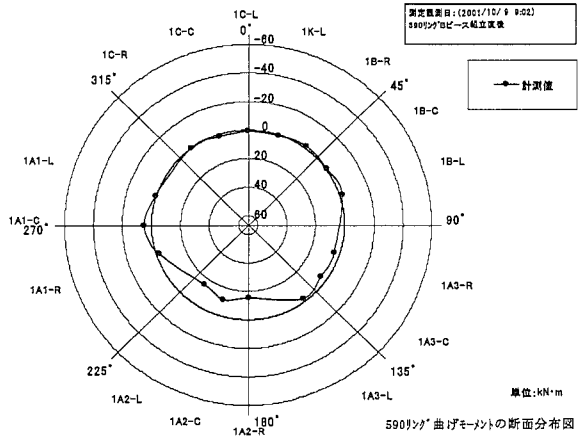


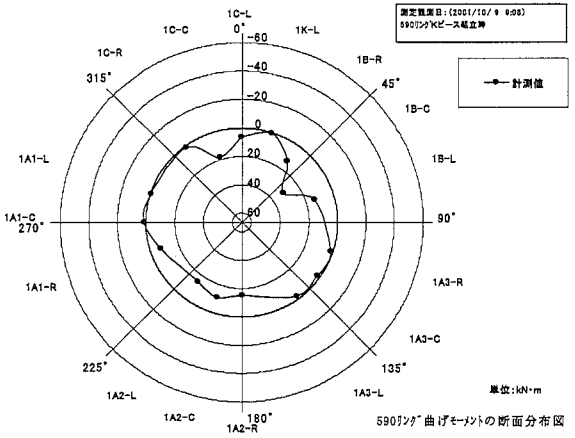
図-2.72　590R の曲げモーメントの断面力分布図①(590R ピース組立時)











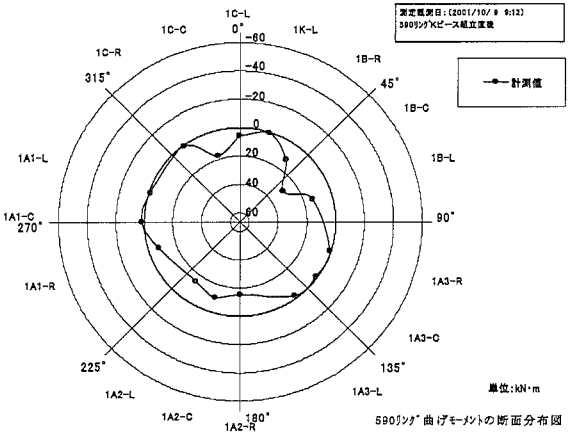


図-2.73　590R の曲げモーメントの断面力分布図②(590R ピース組立時)

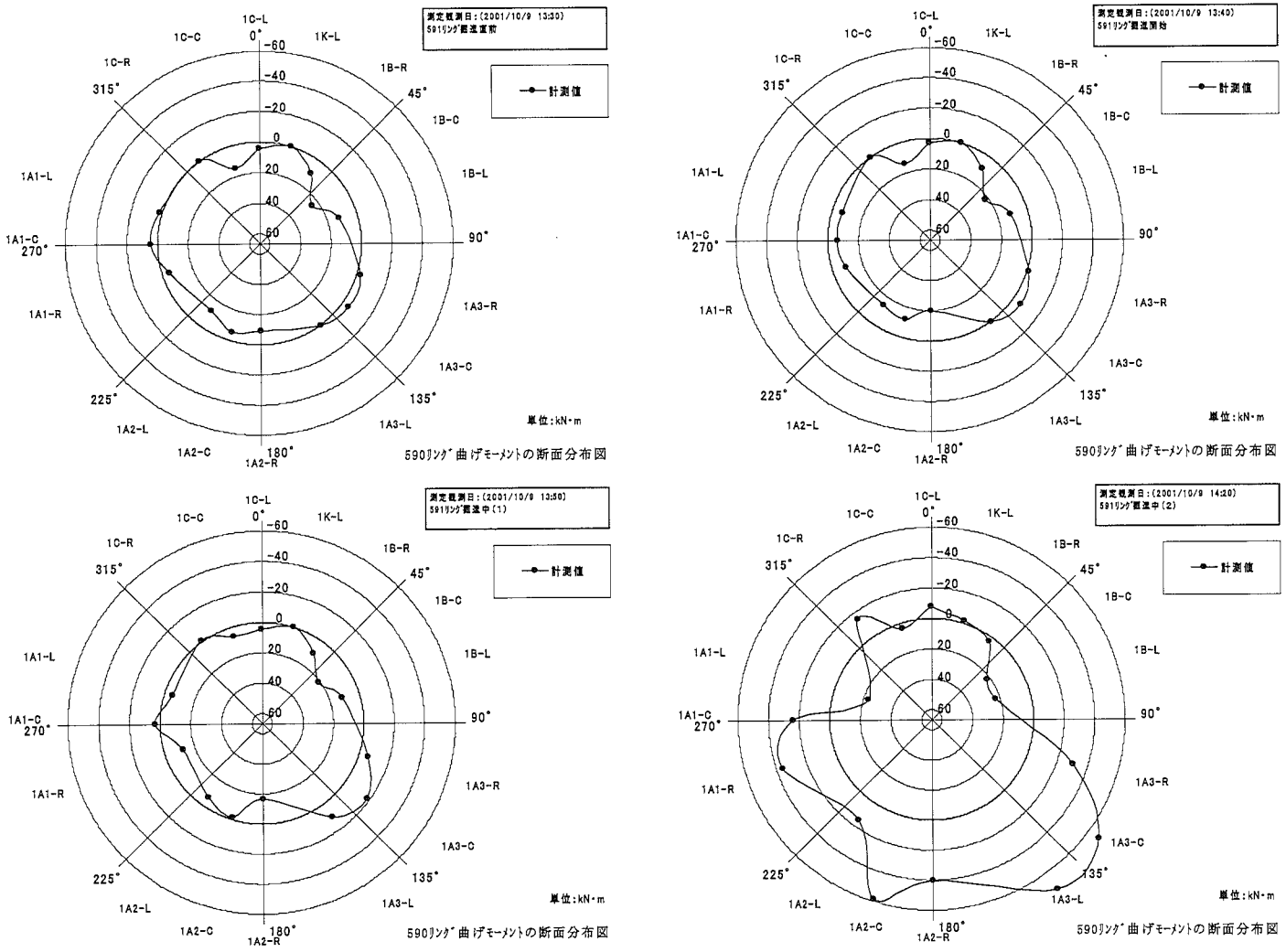


図-2.74　590R の曲げモーメントの断面力分布図（591R 掘進前および掘進中）

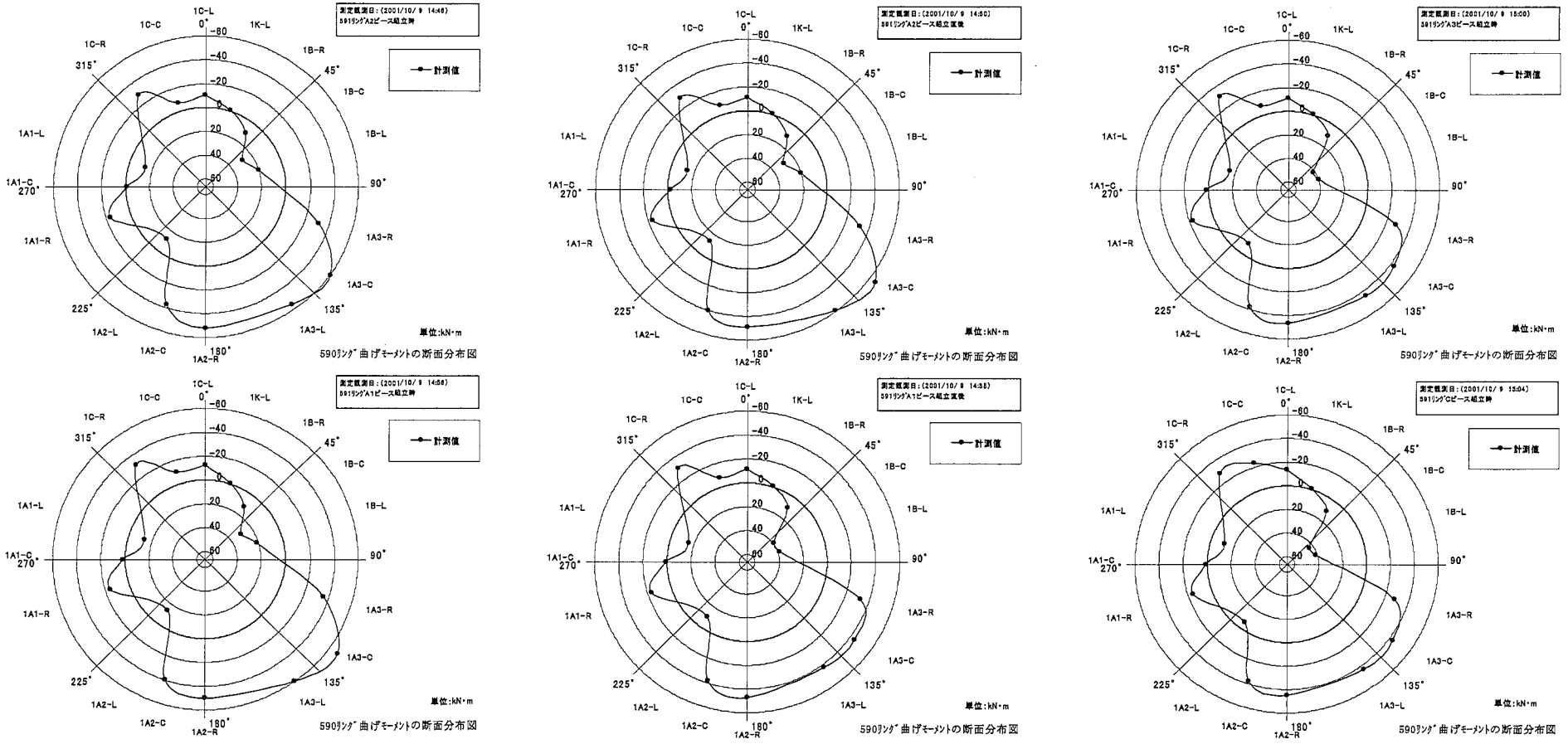


図-2.75　590R の曲げモーメントの断面力分布図①(591R ピース組立時)

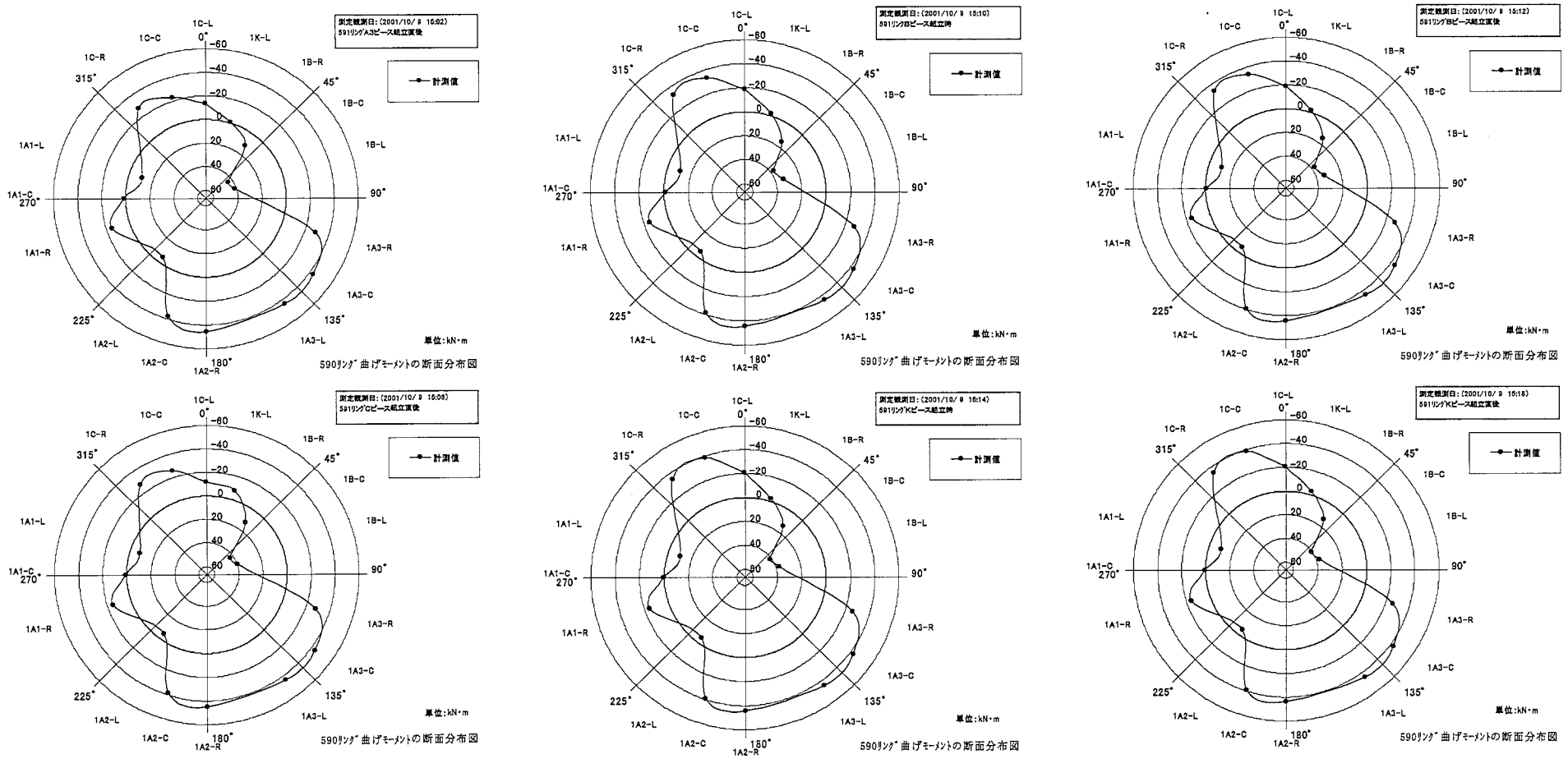


図-2.76　590R の曲げモーメントの断面力分布図②(591R ピース組立時)

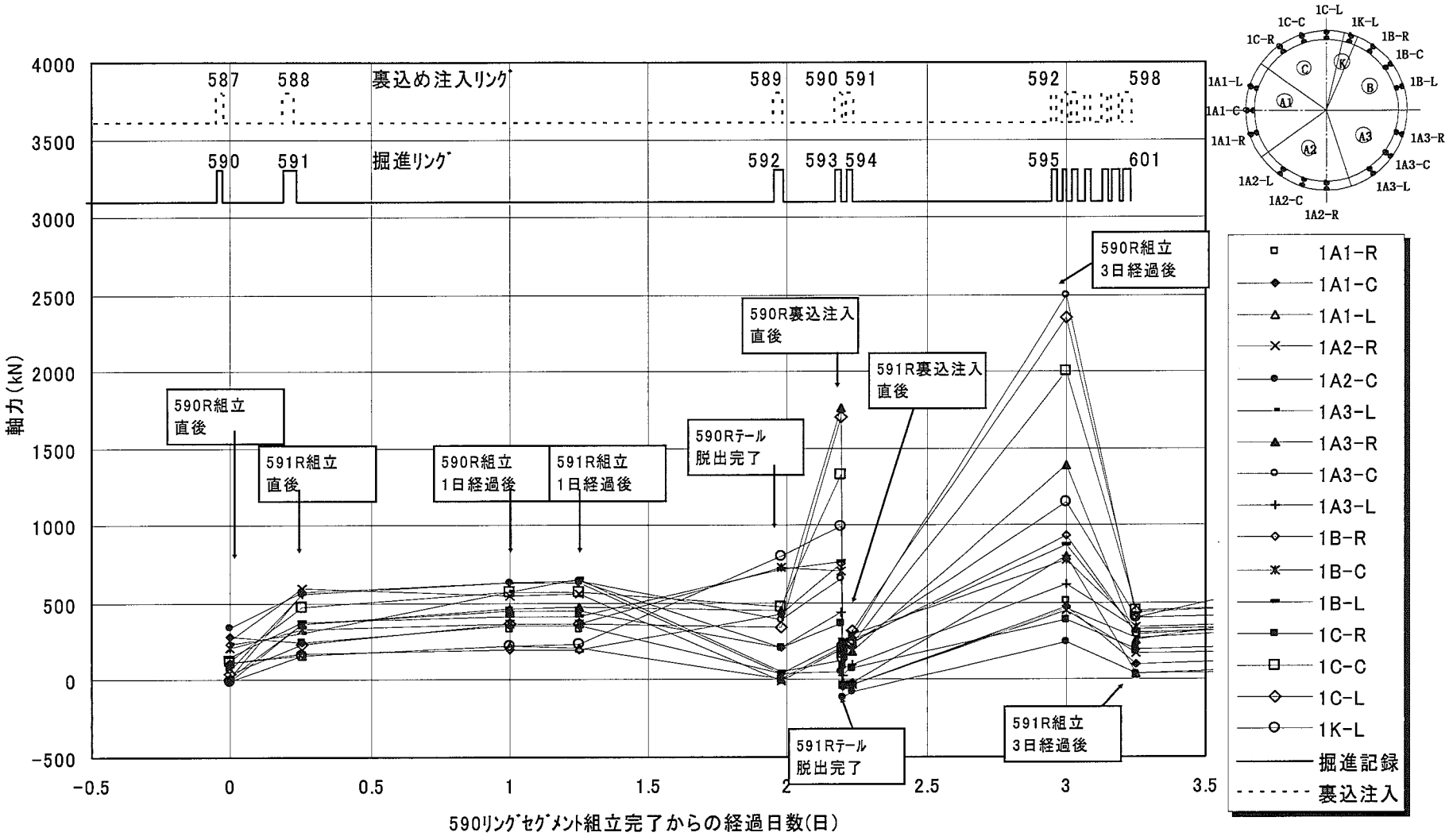


図-2.77　590R 軸力の経時変化図①

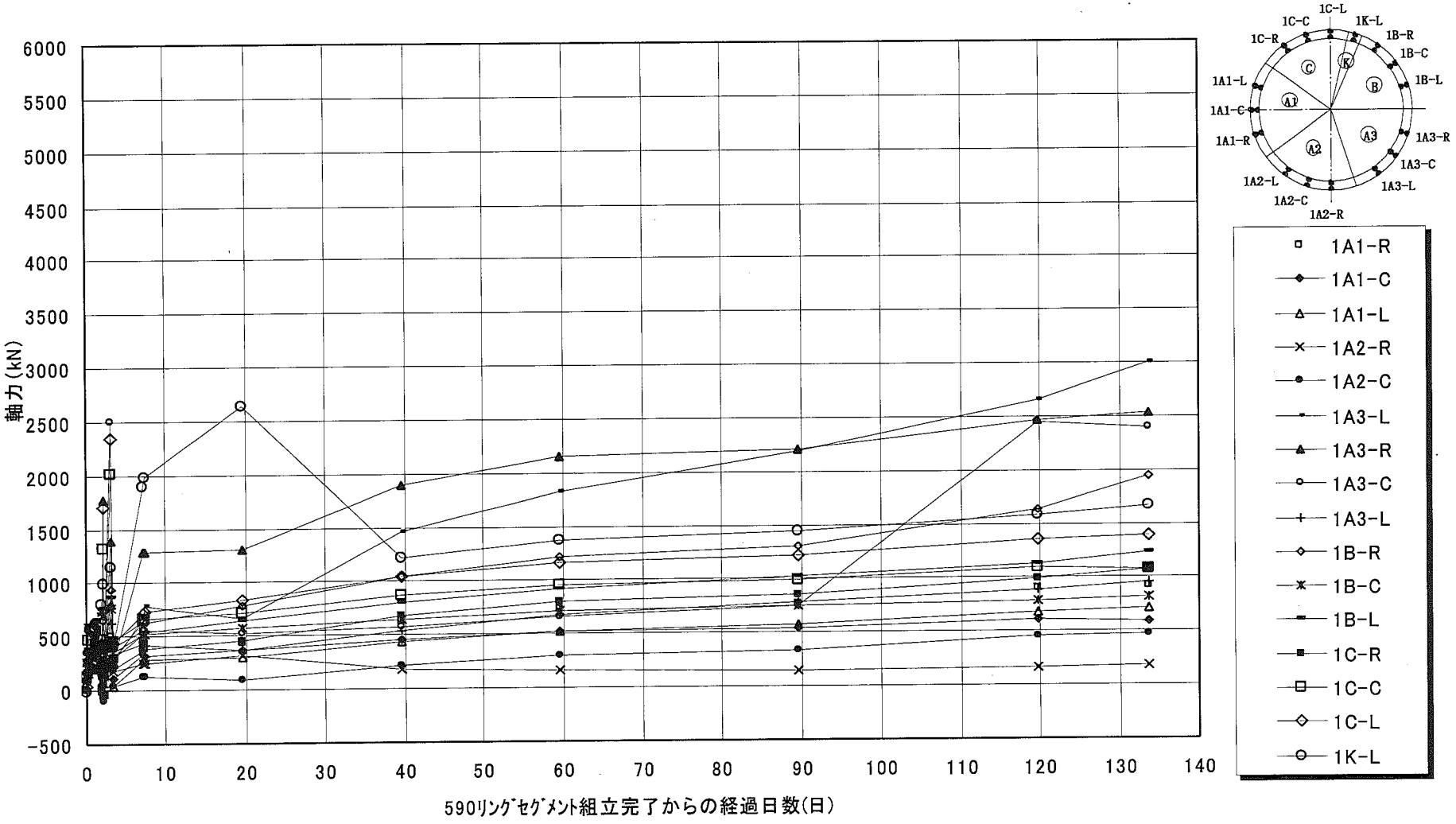


図-2.78　590R 軸力の経時変化図②

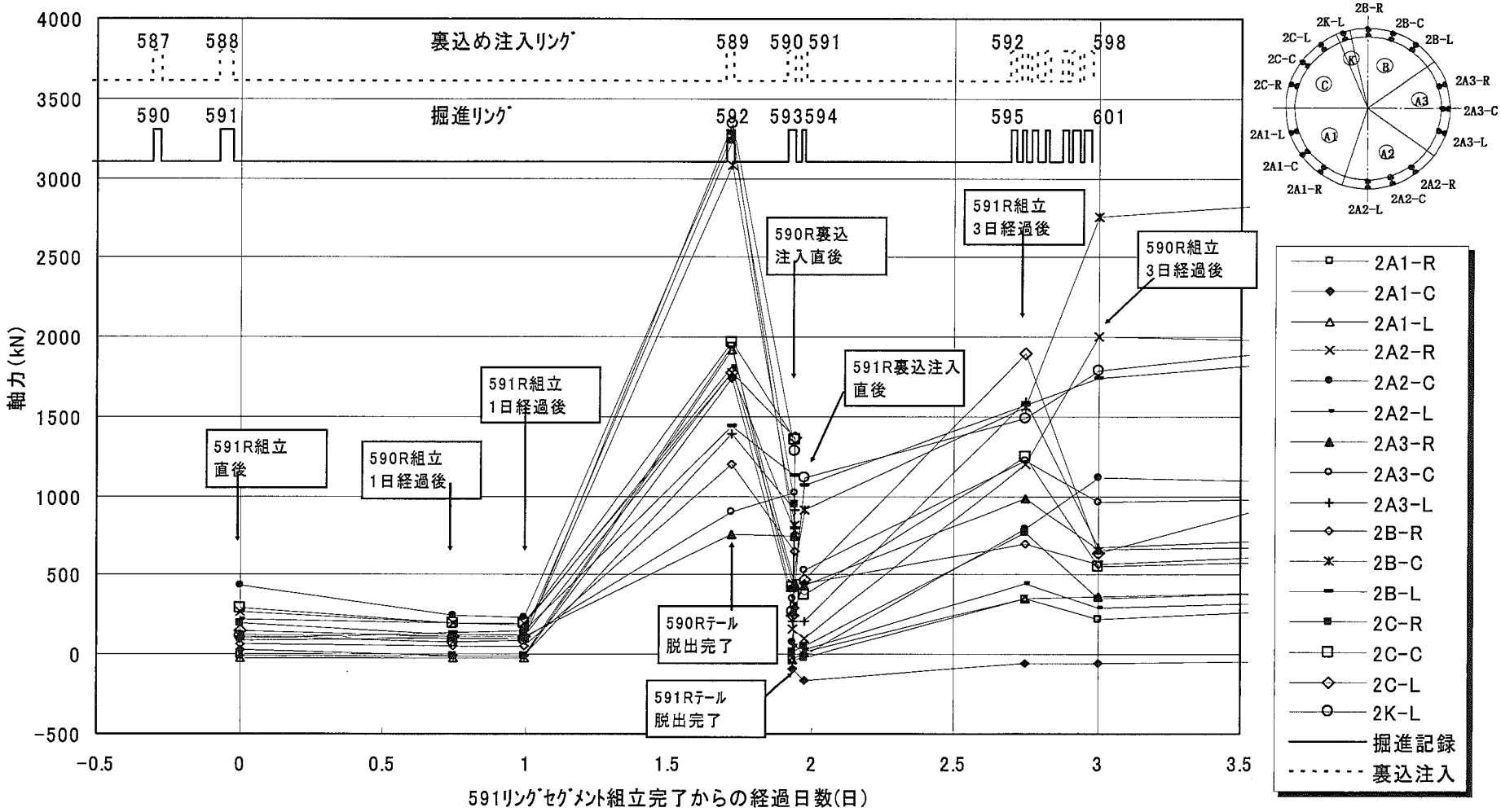


図-2.79　591R 軸力の経時変化図①

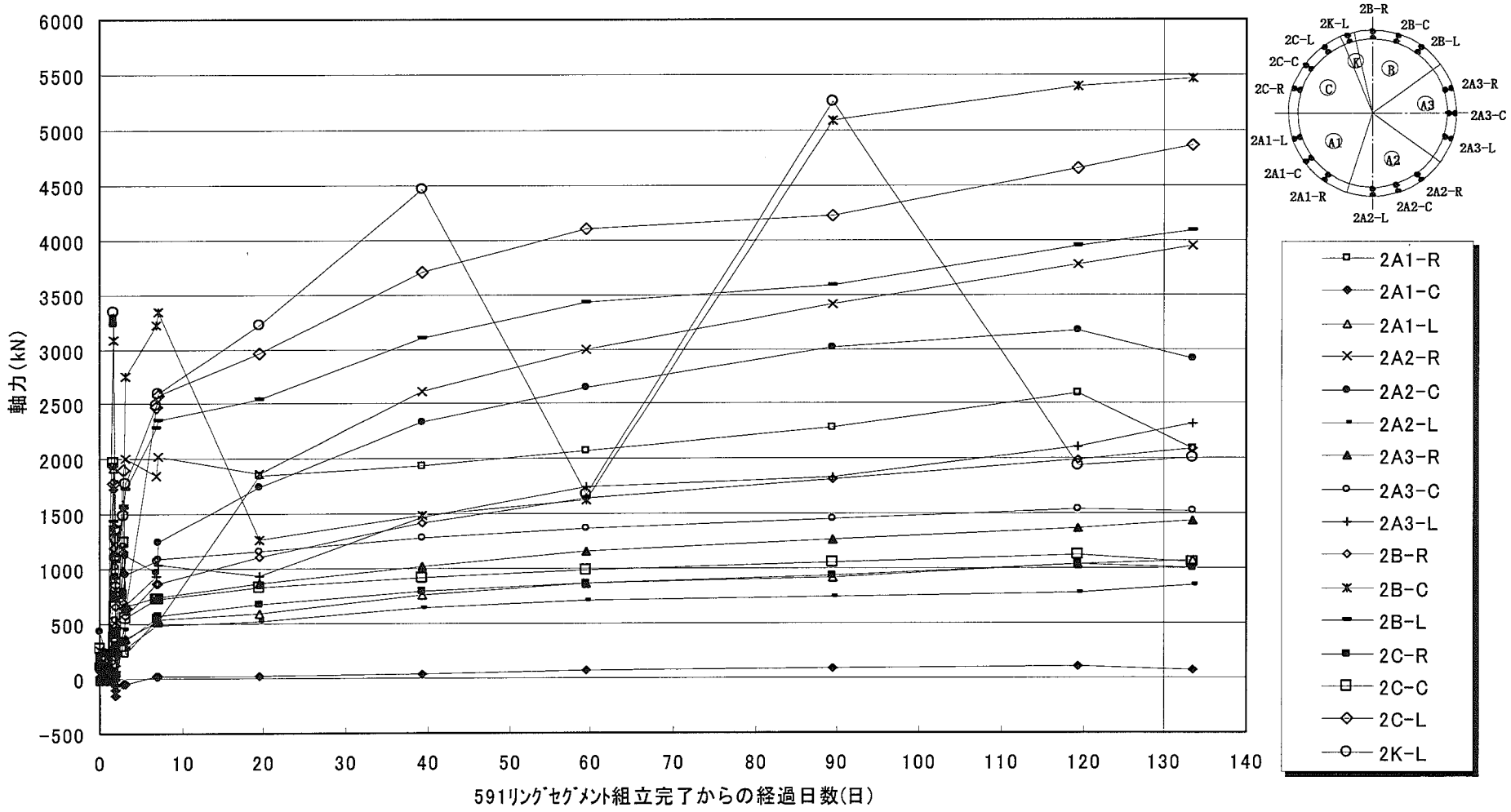


図-2.80　591R 軸力の経時変化図②

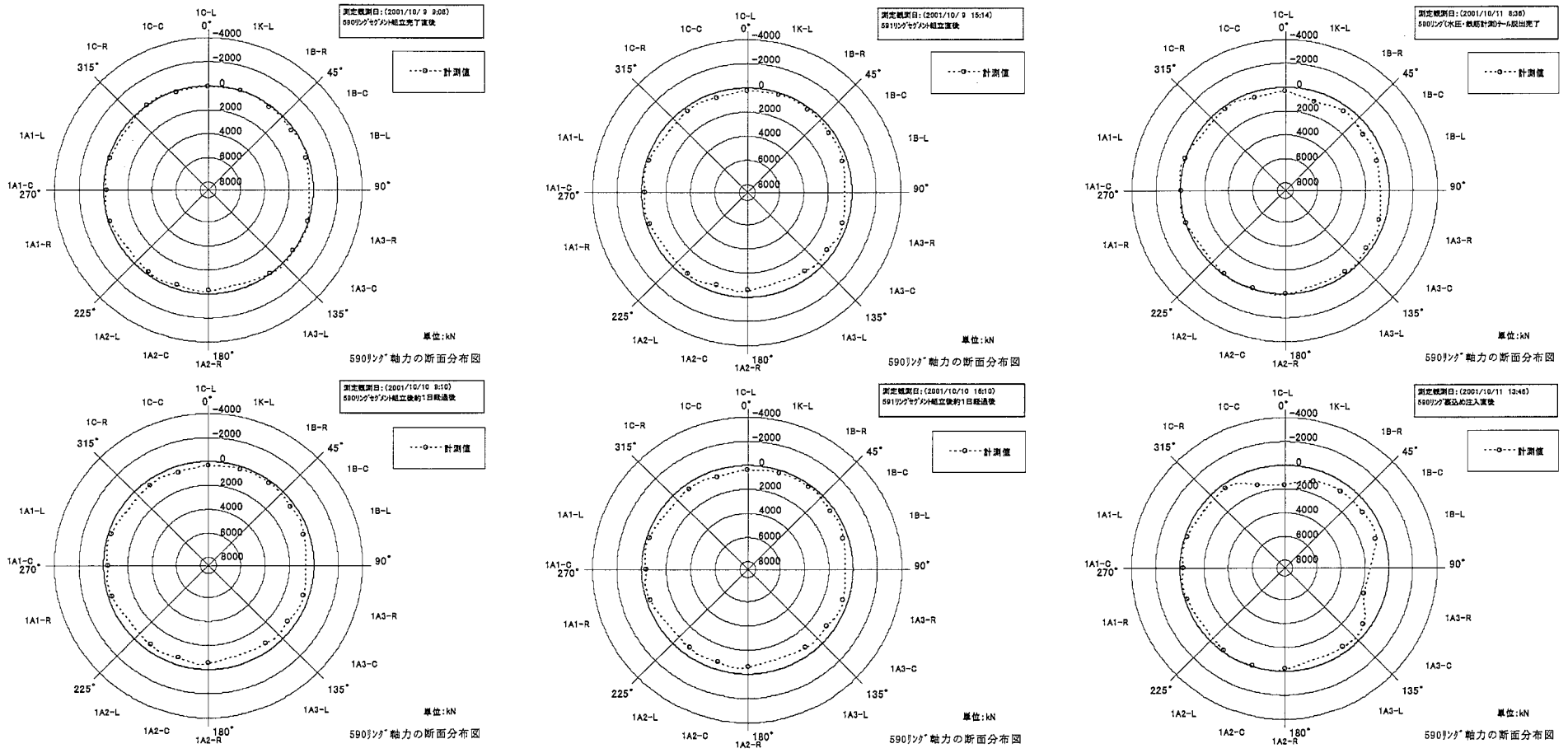
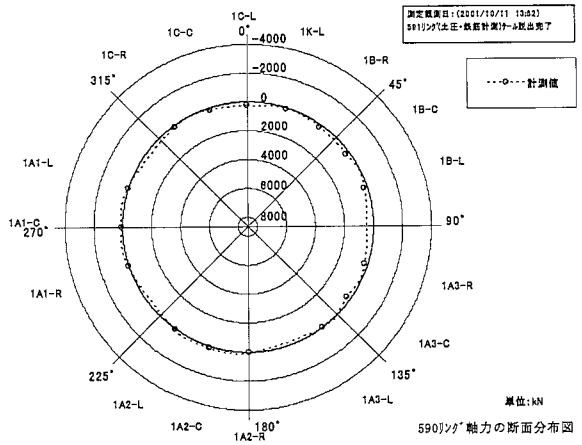
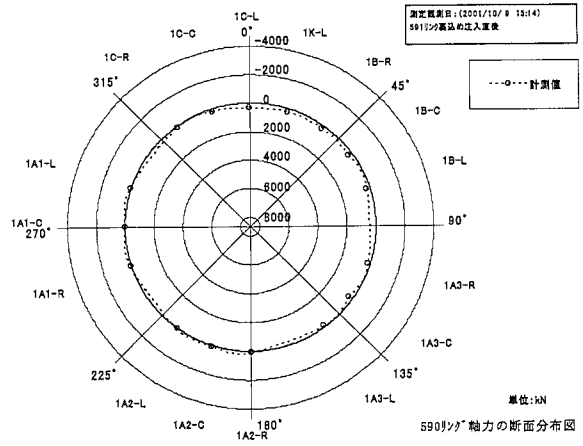


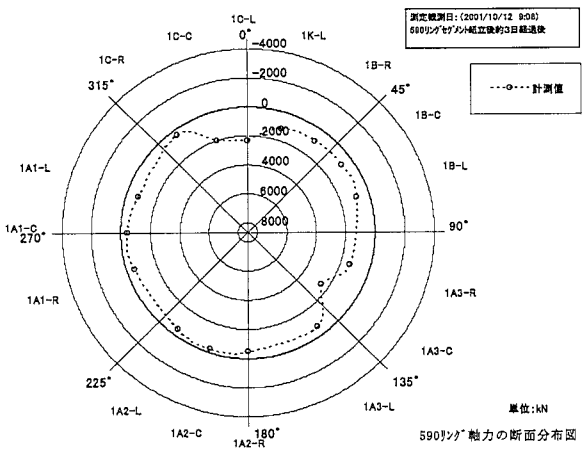
図-2.81　軸力の断面力分布図①(590R)



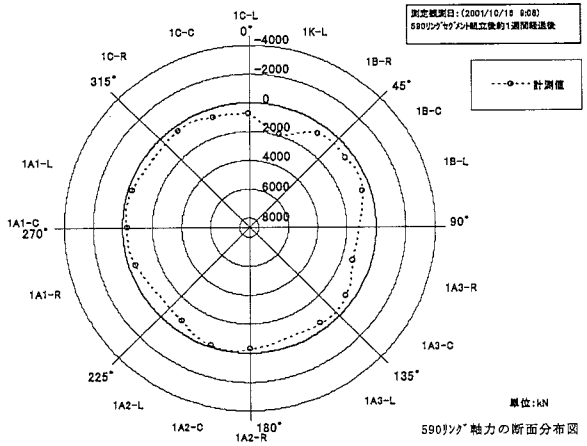
590リング軸力の断面分布図



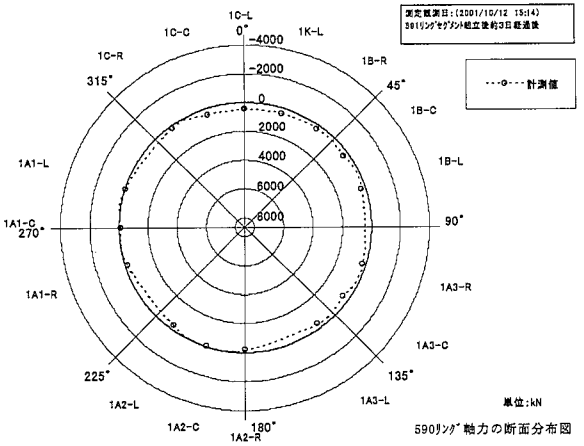
590リング軸力の断面分布図



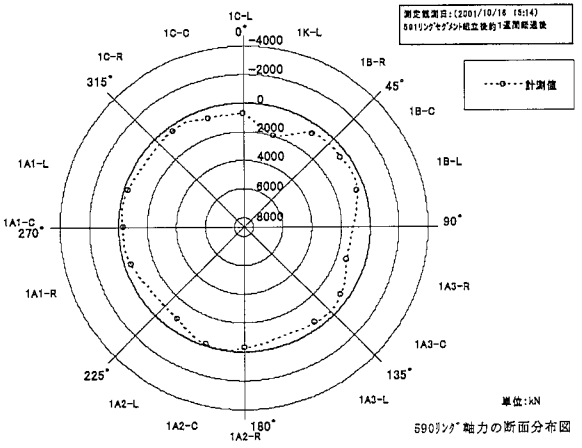
590リング軸力の断面分布図



590リング軸力の断面分布図

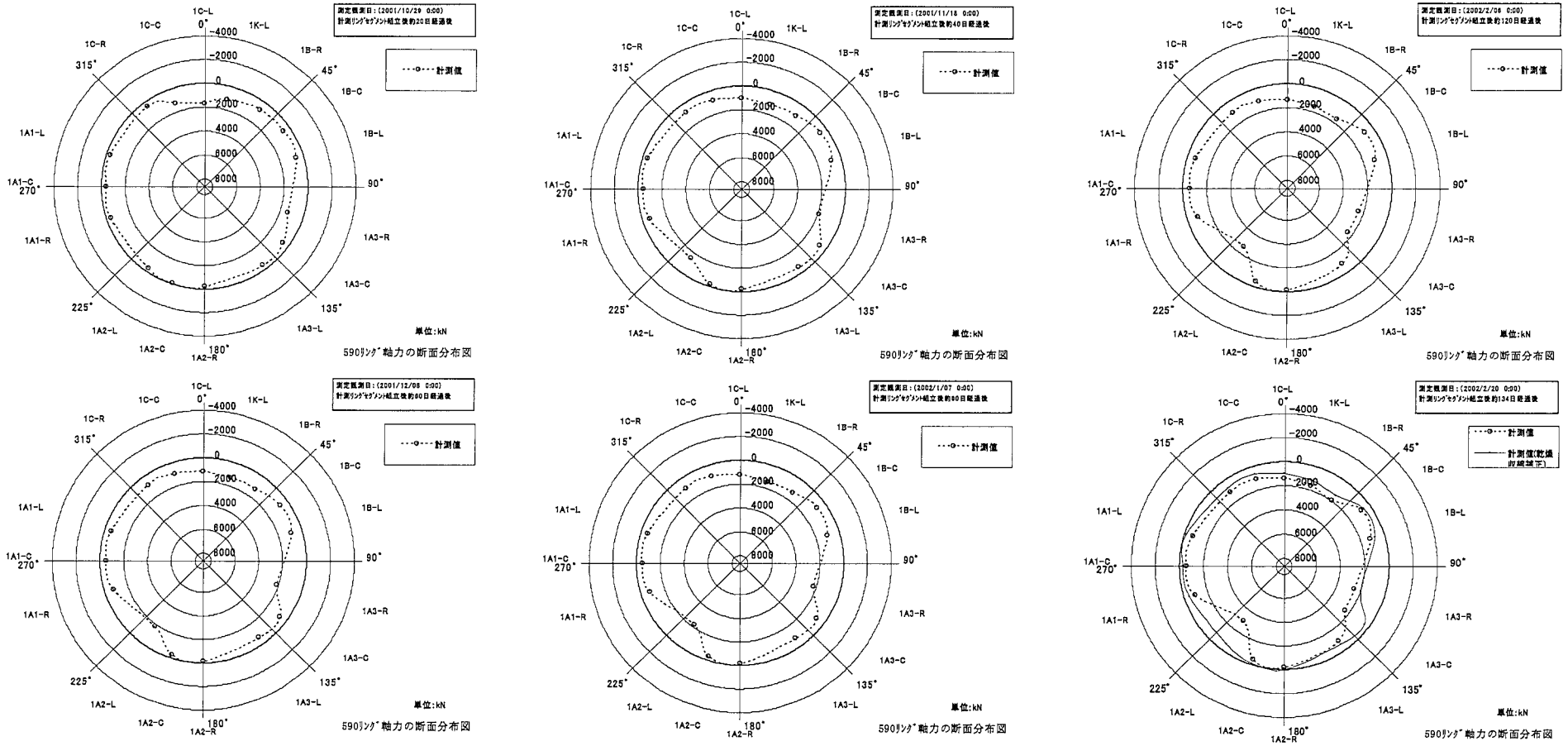


590リング軸力の断面分布図



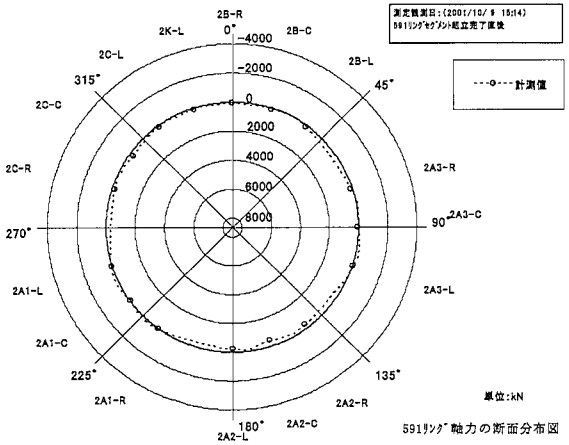
590リング軸力の断面分布図

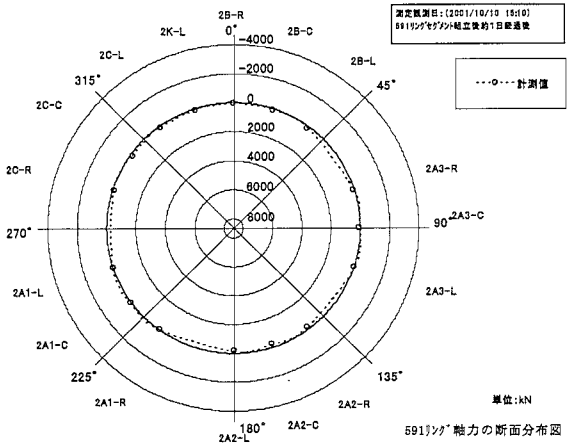
図-2.82　軸力の断面力分布図②(590R)

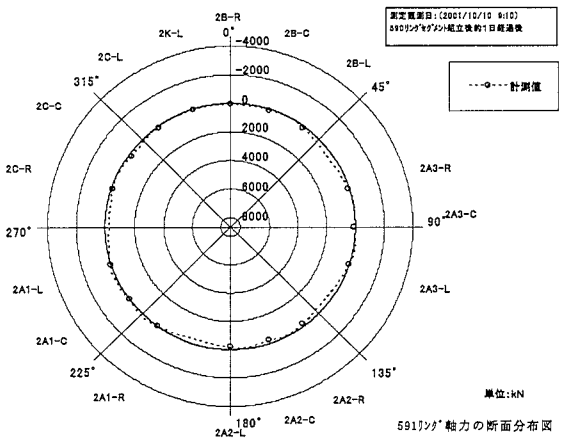


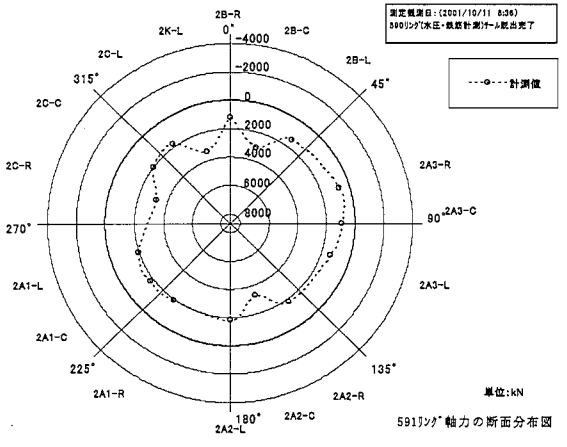
590リング"軸力の断面分布図

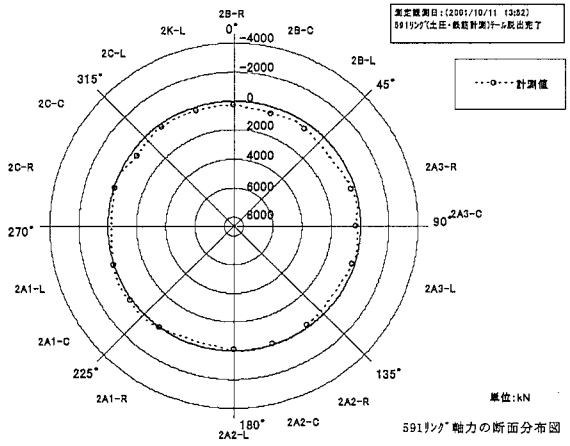
図-2.83　軸力の断面力分布図③(590R)











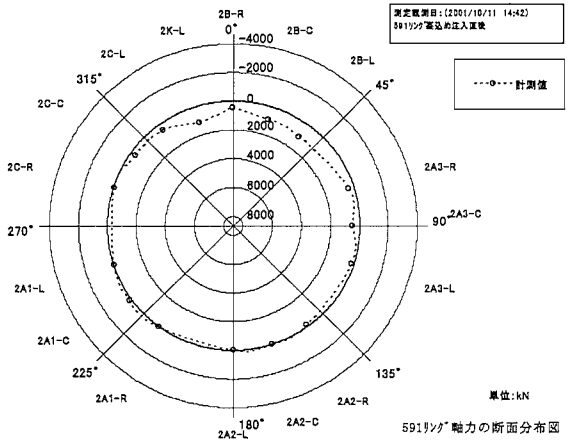
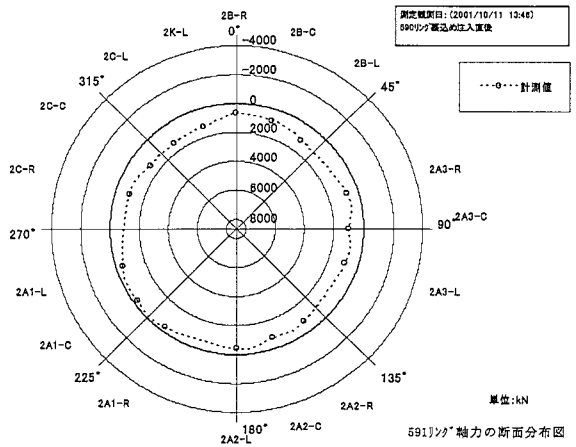
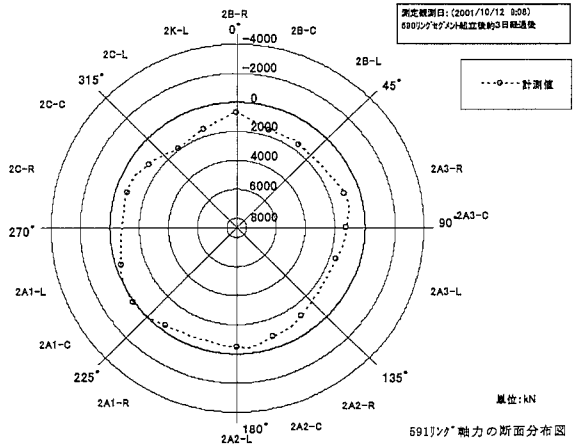


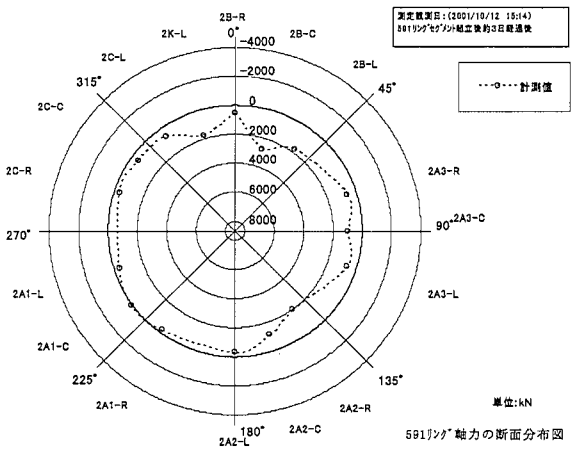
図-2.84　軸力の断面力分布図①(591R)



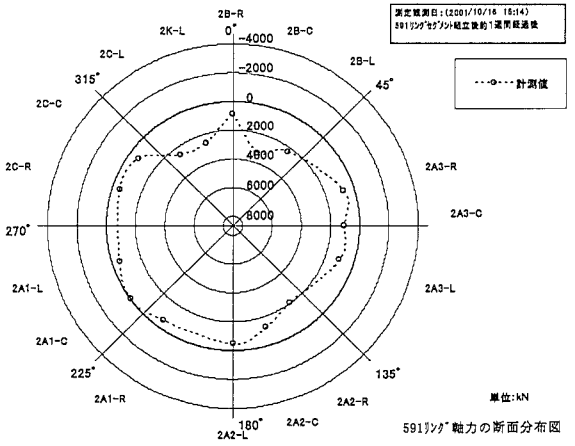
591リング軸力の断面分布図



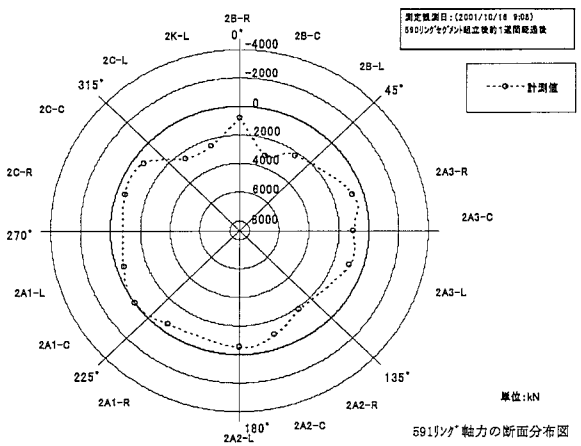
591リング軸力の断面分布図



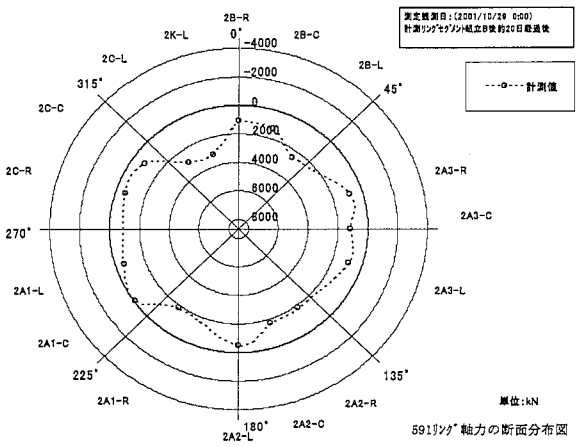
591リング軸力の断面分布図



591リング軸力の断面分布図

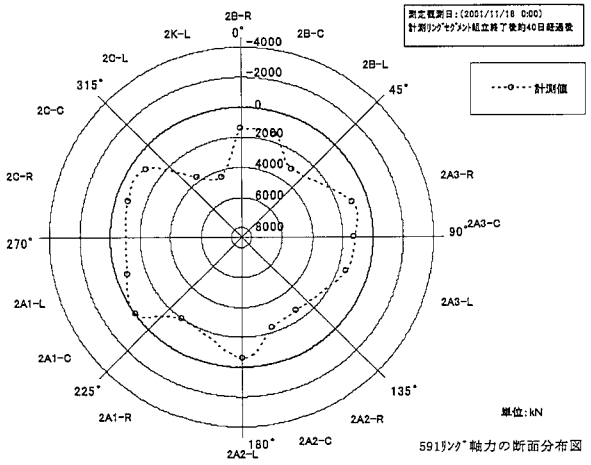


591リング軸力の断面分布図

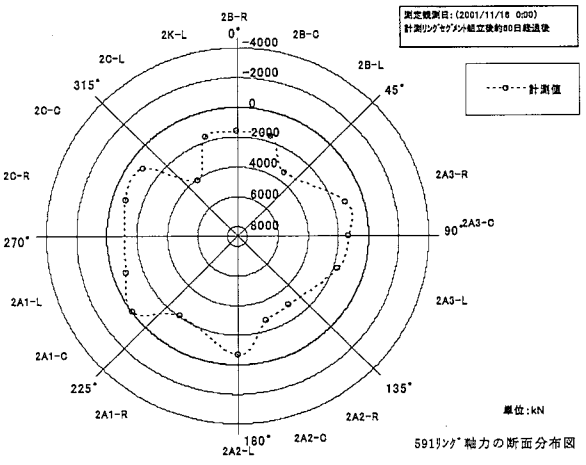


591リング軸力の断面分布図

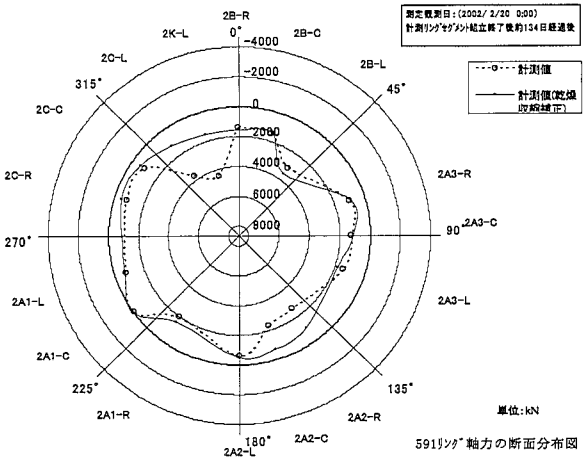
図-2.85　軸力の断面力分布図②(591R)



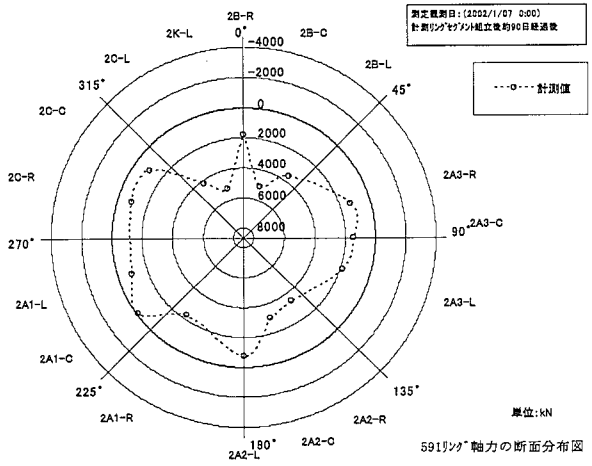
591リング軸力の断面分布図



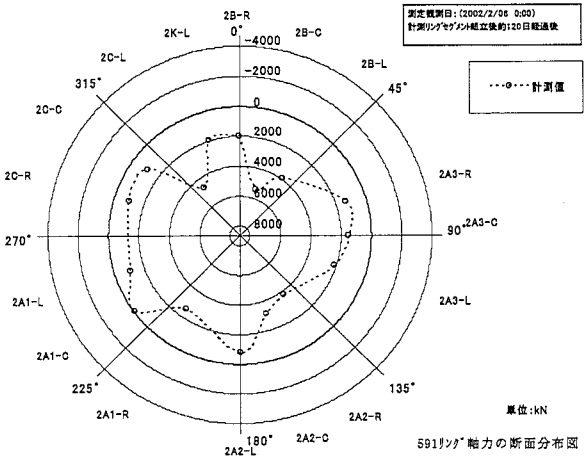
591リング軸力の断面分布図



591リング軸力の断面分布図



591リング軸力の断面分布図



591リング軸力の断面分布図

図-2.86　軸力の断面力分布図③(591R)軸力の断面力分布図⑤(591R)

第3章 首都圏外郭放水路第２工区・第３工区における現場計測

3.1 計測方法

3.1.1 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に大きく影響を受けるため、適切にシールドトンネルへの作用荷重を評価する必要がある。このため、実際に施工されるシールドトンネルを対象として施工時荷重や土圧、水圧ならびにセグメントの鉄筋応力等の現場計測を行い、トンネルに作用する荷重について評価検討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

現場計測は図-3.1～図-3.2 に示す首都圏外郭放水路の第２工区～第３工区のシールドトンネルで実施した。第２工区は埼玉県北葛飾郡庄和町金崎地先の１８号水路横より、埼玉県春日部市樋籠地先の倉松川横までの国道 16 号（片側 2 車線往復 4 車線）の直下を施工する延長約 1.92 ㎞、トンネル外径 11.9m、土被り約 50ｍの単設のシールドトンネルである。計測は、発進立坑から約 300m の位置（計測断面 A）と到達立坑の手前約 300m の位置（計測断面 B）で実施した。また、第３工区は埼玉県春日部市樋籠地先の倉松川横より埼玉県春日部市不動院野地先の倉松落横までの国道 16 号の直下を施工する総延長は約 1.4 ㎞、トンネル外径 11.8m、土被り約 50ｍの単設のシールドトンネルである。計測は、発進立坑から約 480m の位置で実施した。

セグメントの構造・形式は、桁高 600 ㎜～650 ㎜、幅 120 ㎝の 9 等分割のＲＣ平板型セグメントである。シールド掘削方式は密閉型の泥水加圧式シールドであり、施工に使用したシールド機の構造概要を図-3.3～図-3.4 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第２工区で約 7.0～9.0m／日、第３工区で約 5.0～7.0m／日であった。

なお、放水路のトンネル諸元を表-3.1 に、平面線形、縦断線形（土質条件）を図-3.5～図-3.8、一次覆工（セグメント）の概要について図-3.9～図-3.13 に示す。

表-3.1 首都圏外郭放水路第２工区～第３工区シールドの諸元

	第２工区	第３工区
トンネル延長	1,920m	1,384m
シールド外径	12,140 ㎜	12,040 ㎜
セグメント外径	11,900 ㎜	11,800 ㎜
セグメント内径	10,600 ㎜	10,600 ㎜
最小曲線半径	R=250m	R=250m

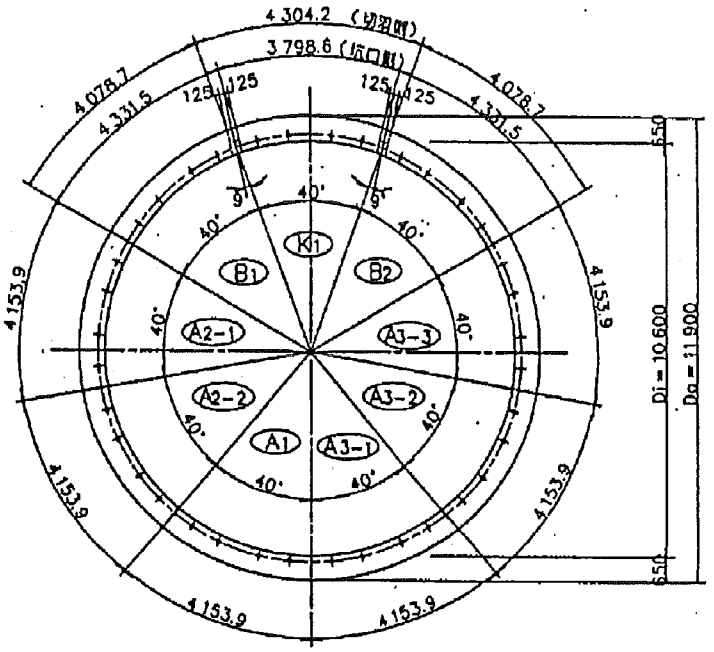


図-3.1　首都圏外郭放水路シールド第２工区の標準断面図

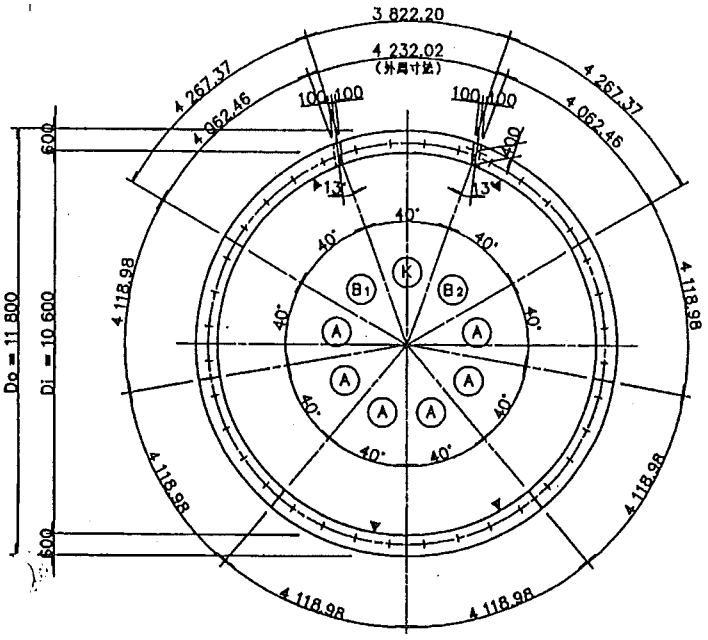


図-3.2　首都圏外郭放水路シールド第３工区の標準断面図

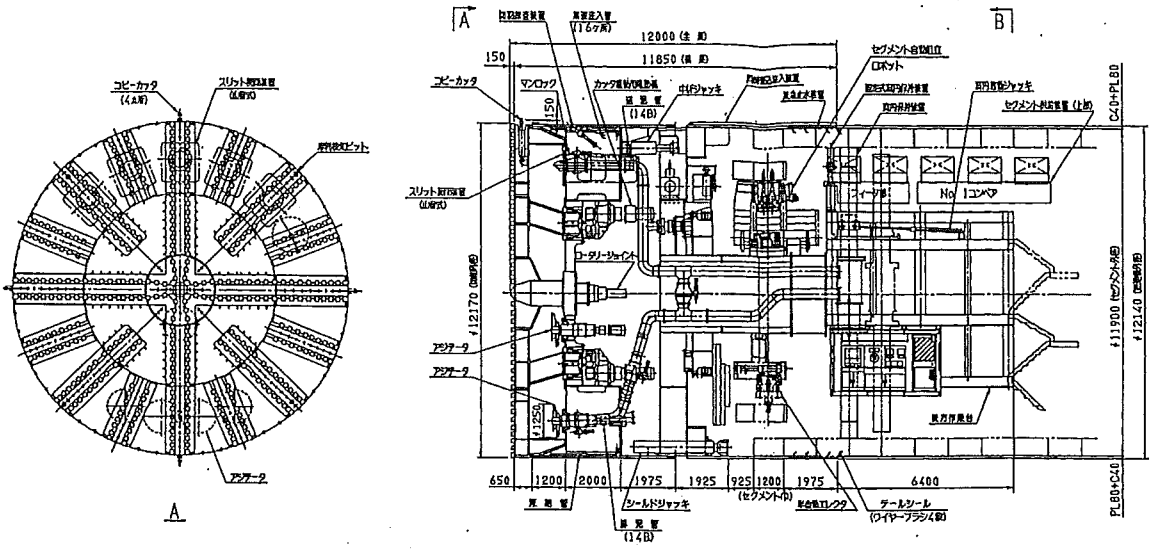


図-3.3　第２工区シールド機の概要図

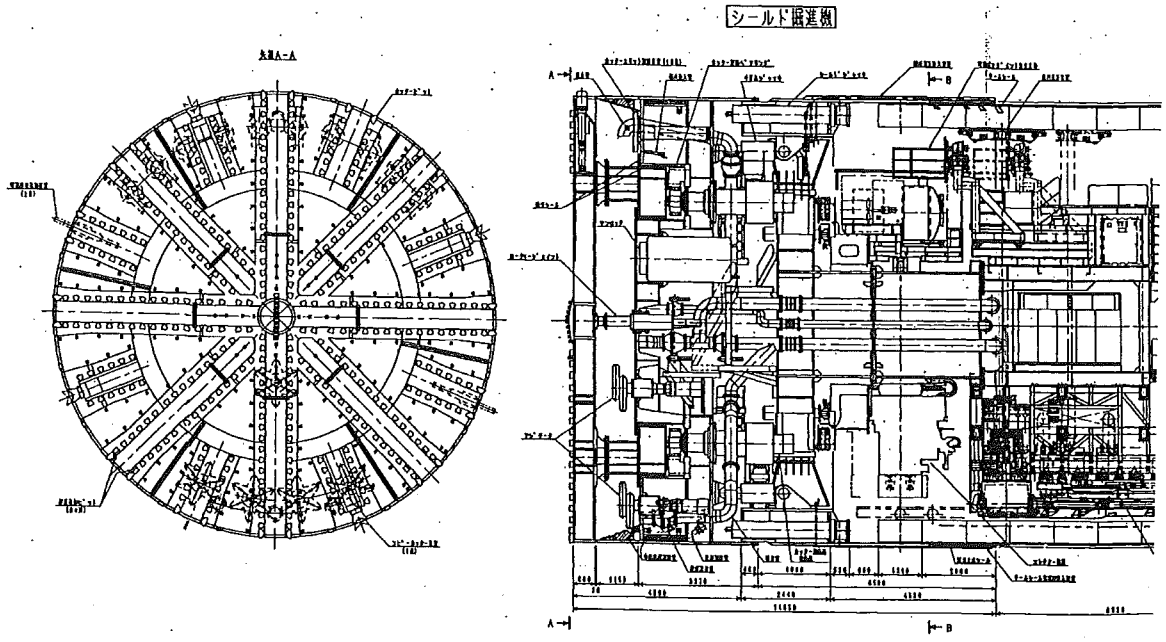


図-3.4　第３工区シールド機の概要図

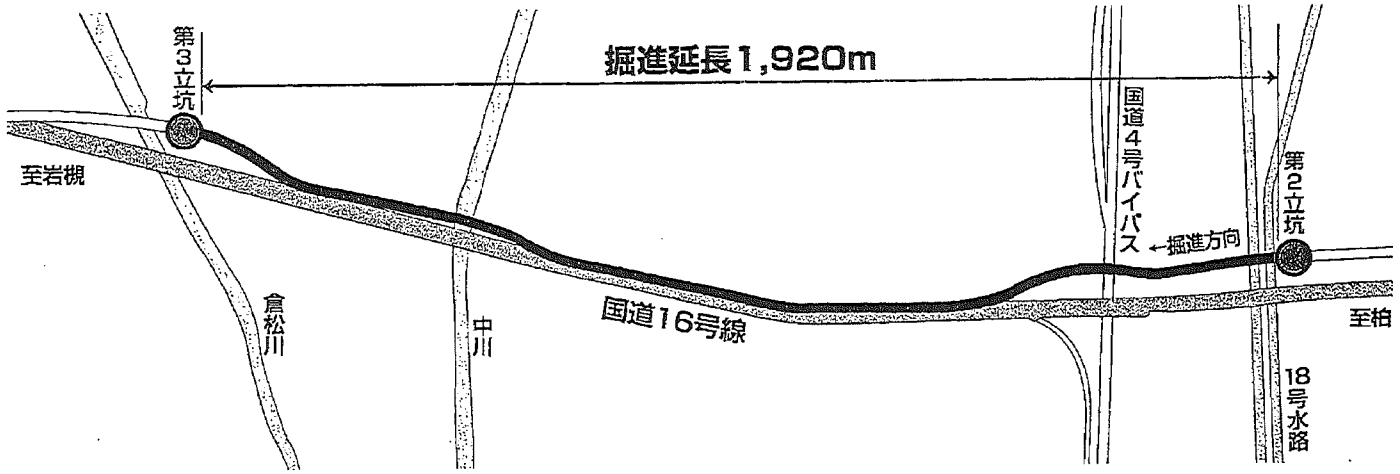


図-3.5　第２工区トンネルの平面線形 [1)]

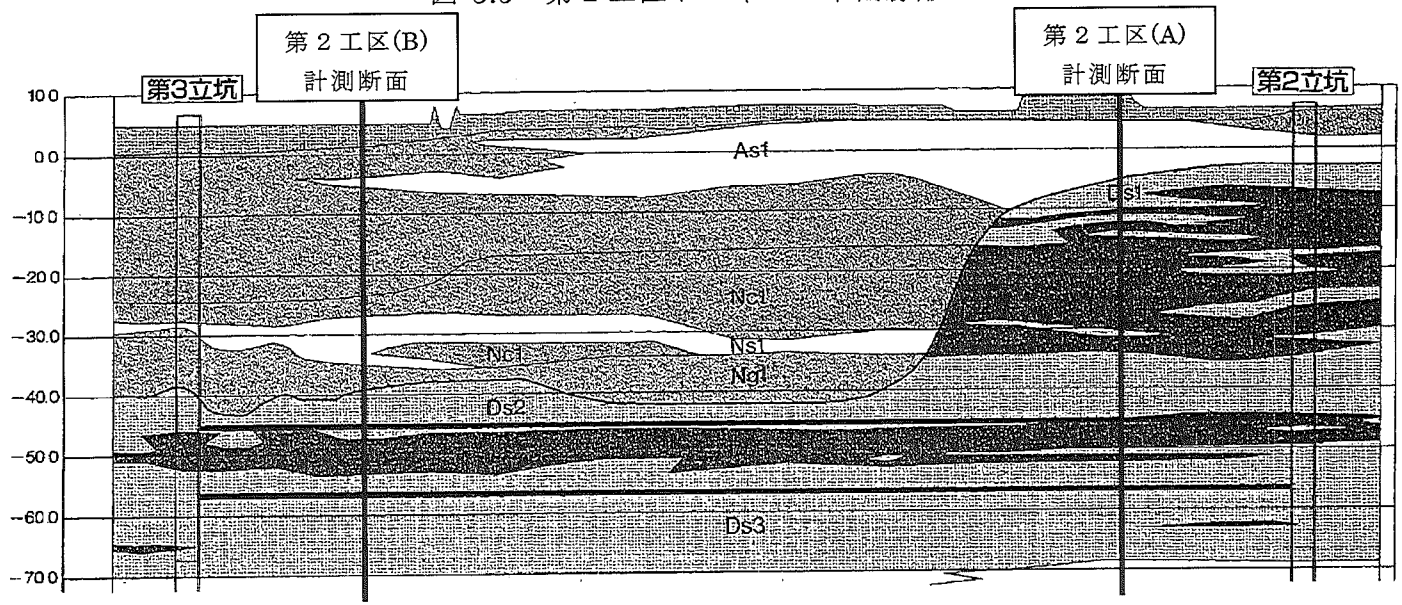


図-3.6　第２工区トンネルの縦断線形 [1)]

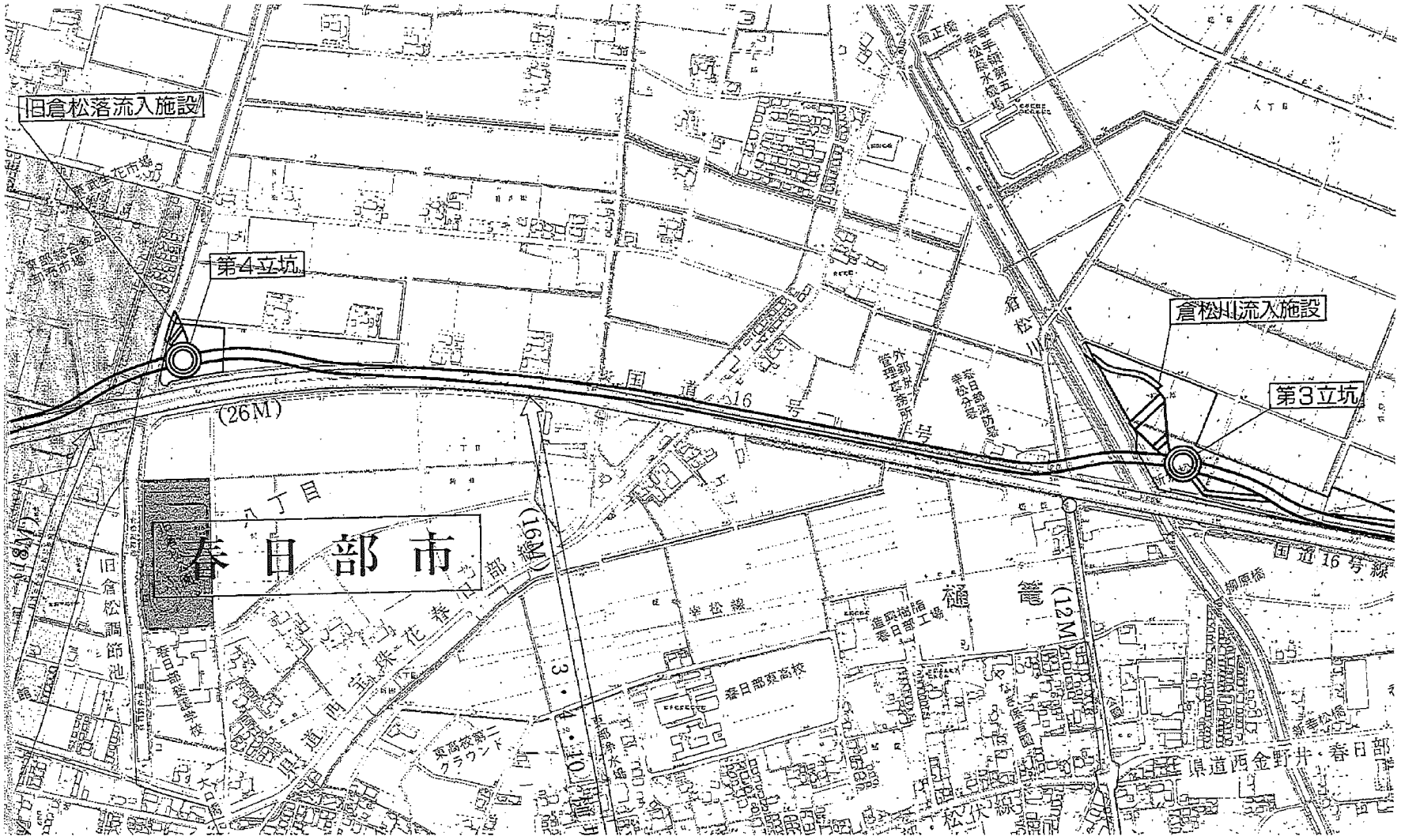


図-3.7　第３工区トンネルの平面線形

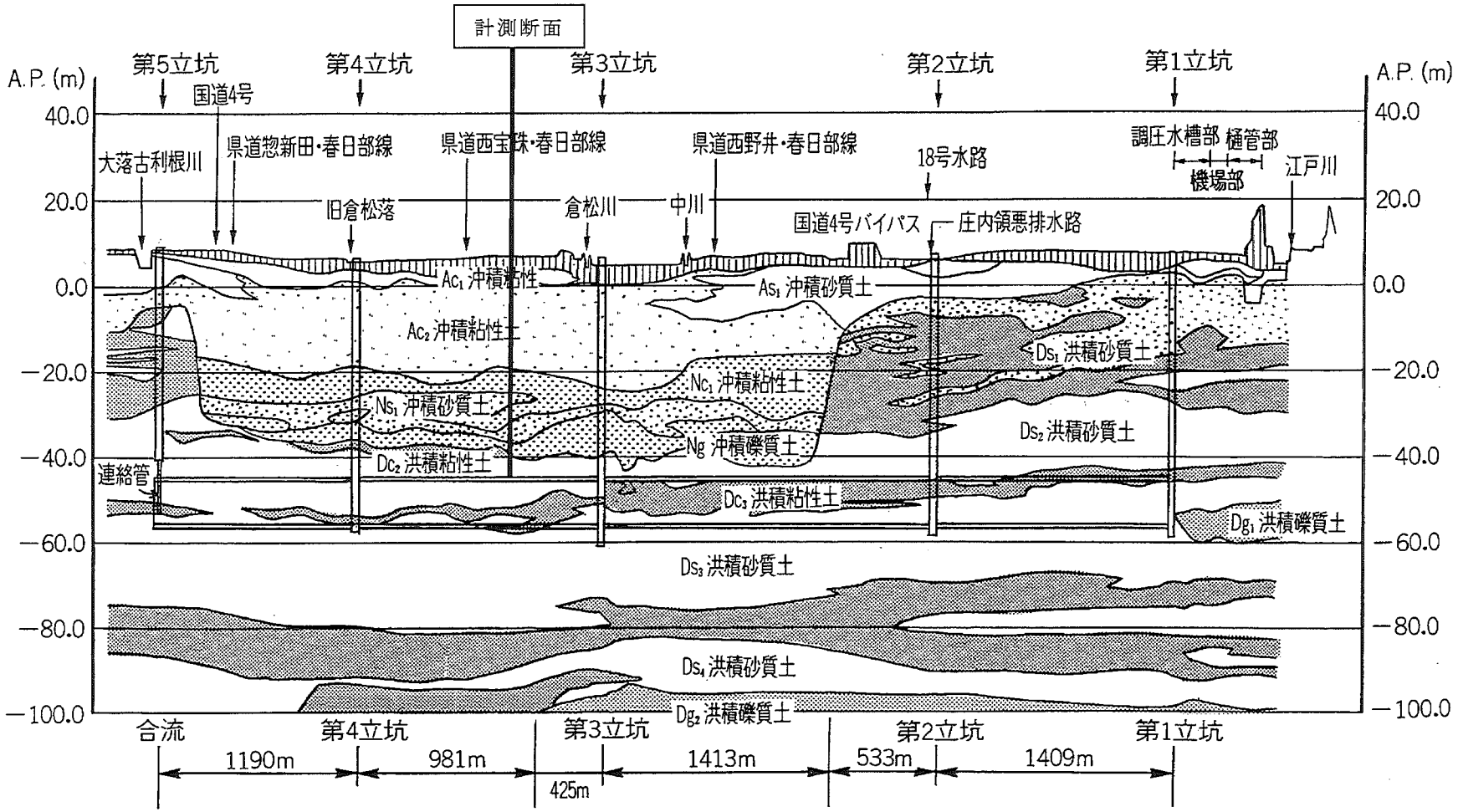


図-3.8　第３工区トンネルの縦断線形 [2)]

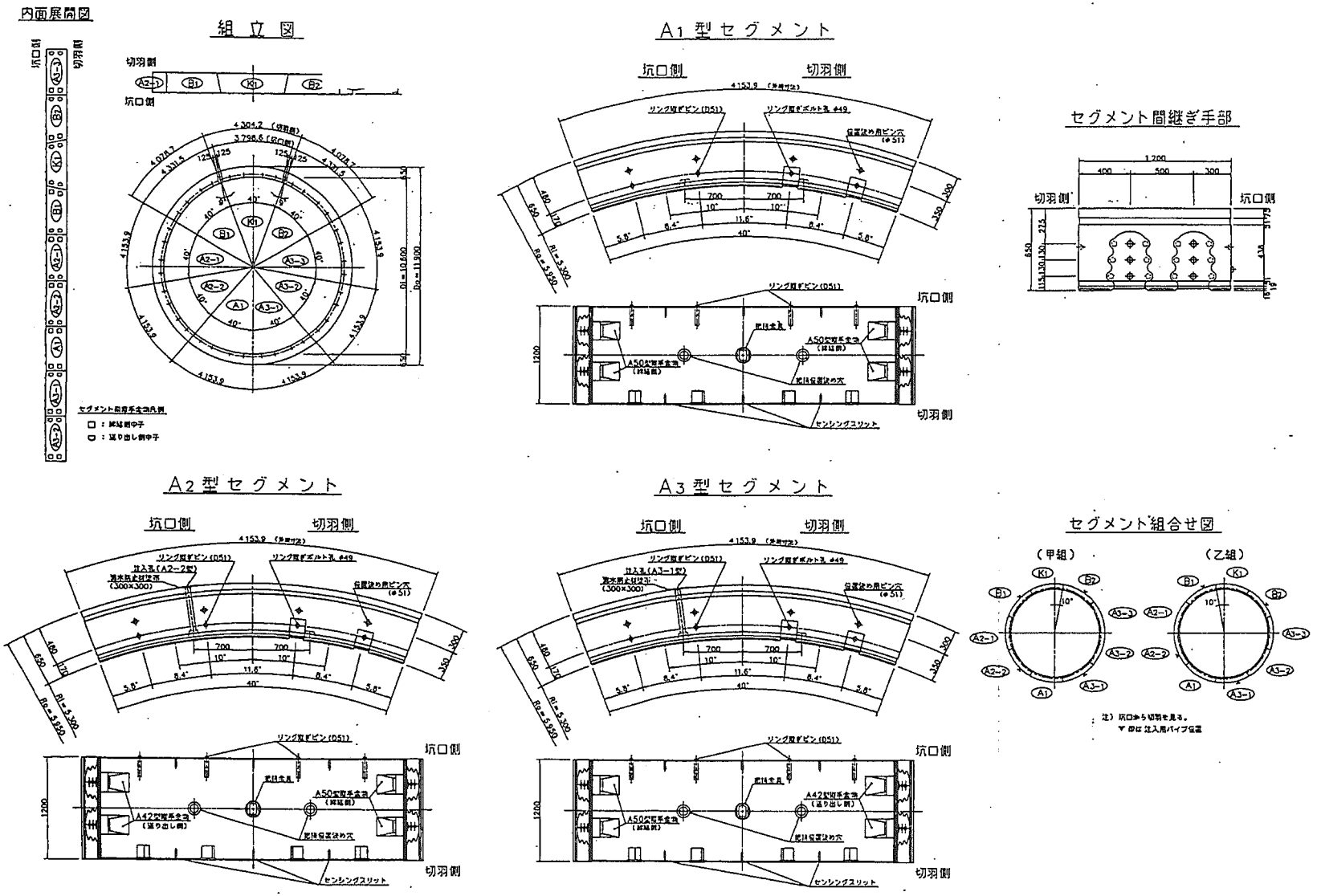


図-3.9　第２工区一次覆工の概要(その 1)

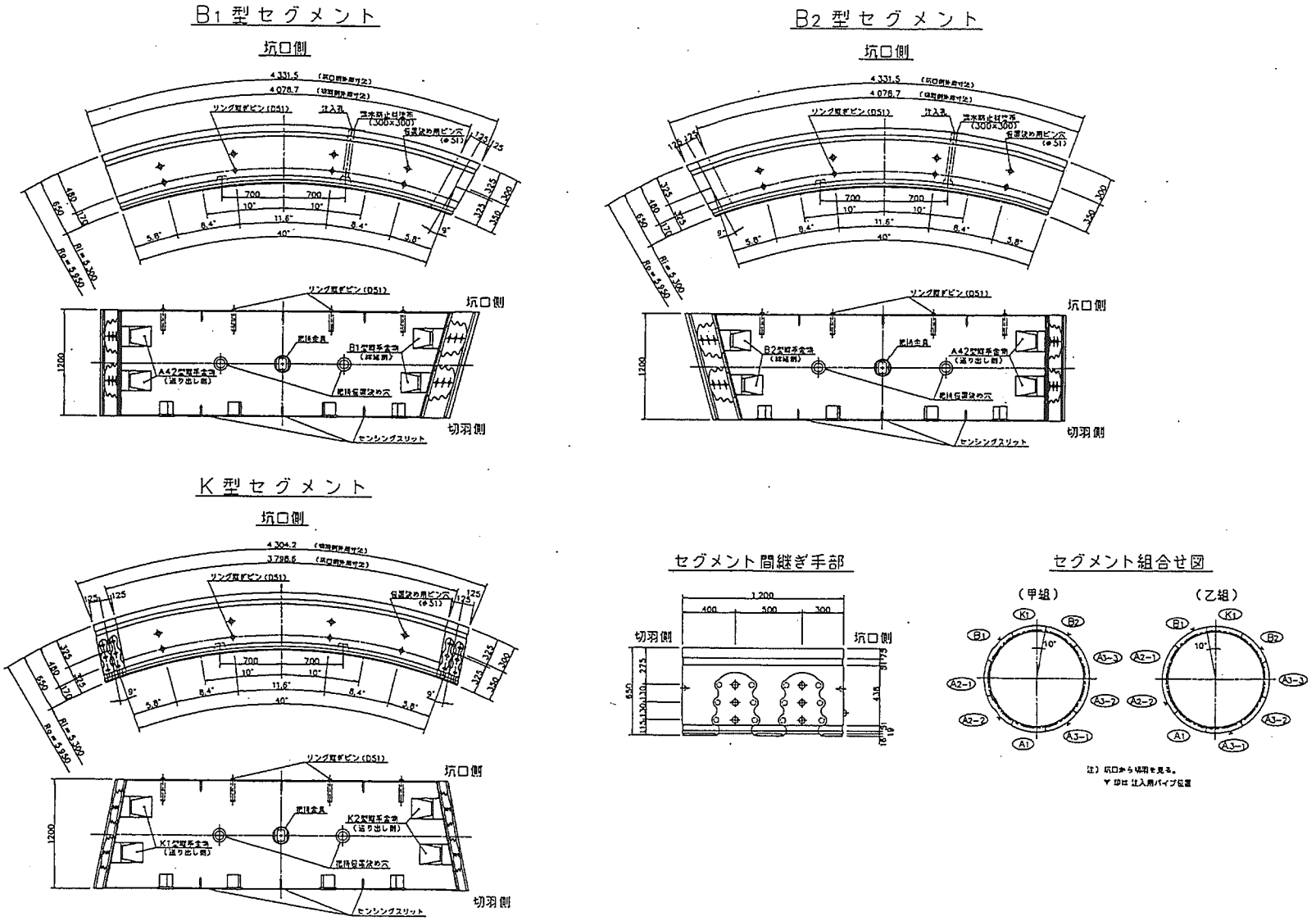


図-3.10　第２工区一次覆工の概要(その 2)

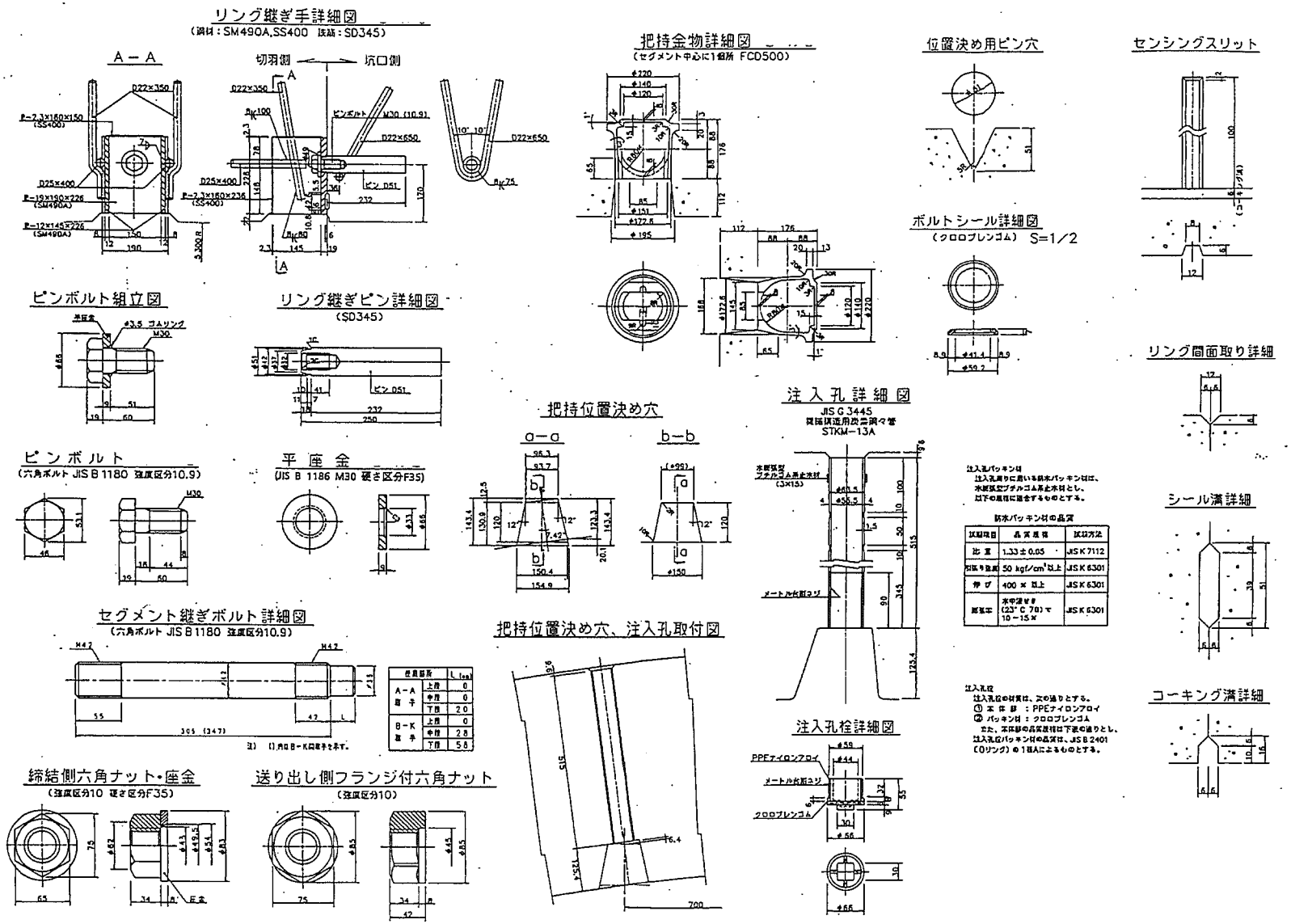


図-3.11　第２工区一次覆工の概要(その 3)

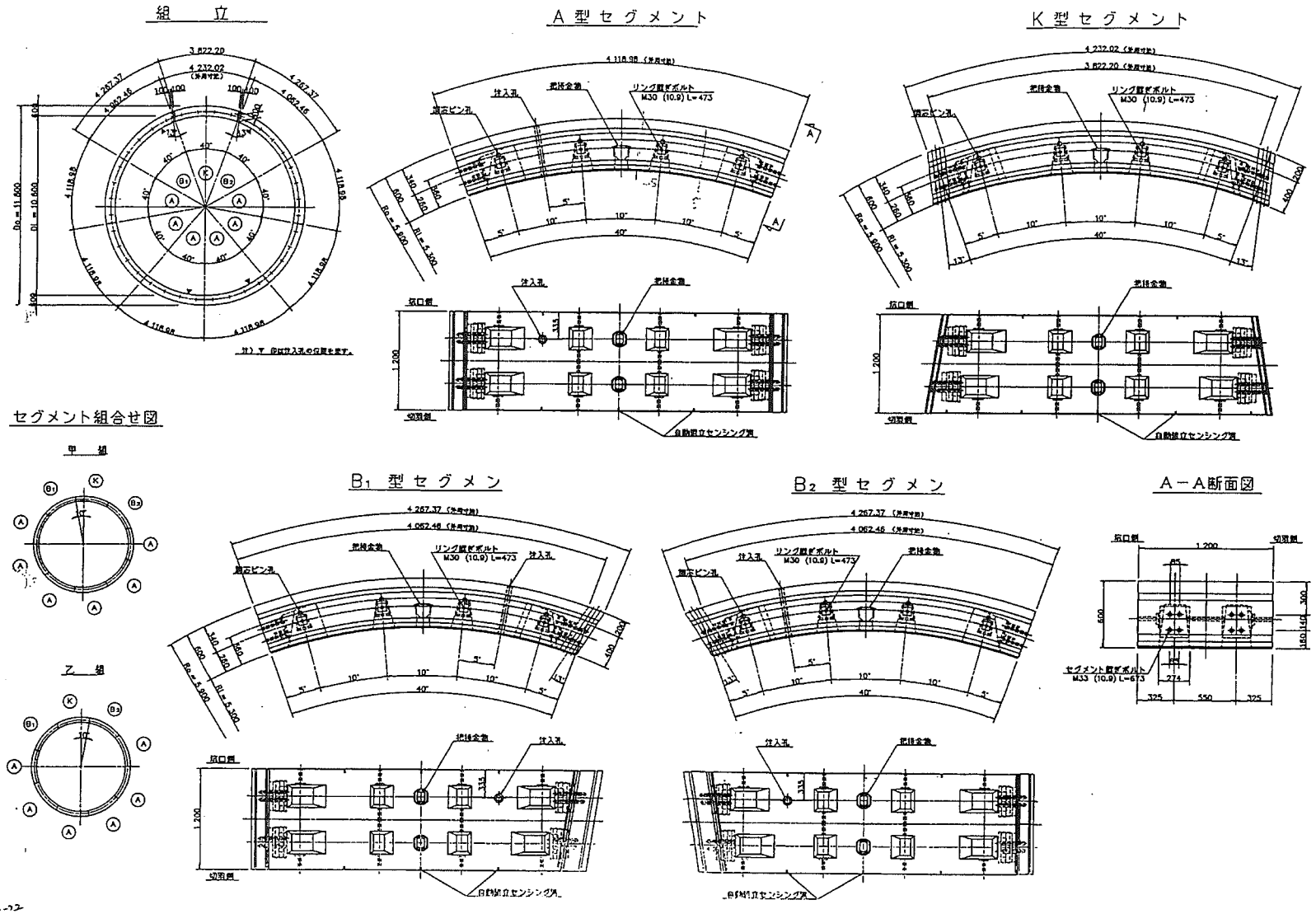


図-3.12　第３工区一次覆工の概要(その 1)

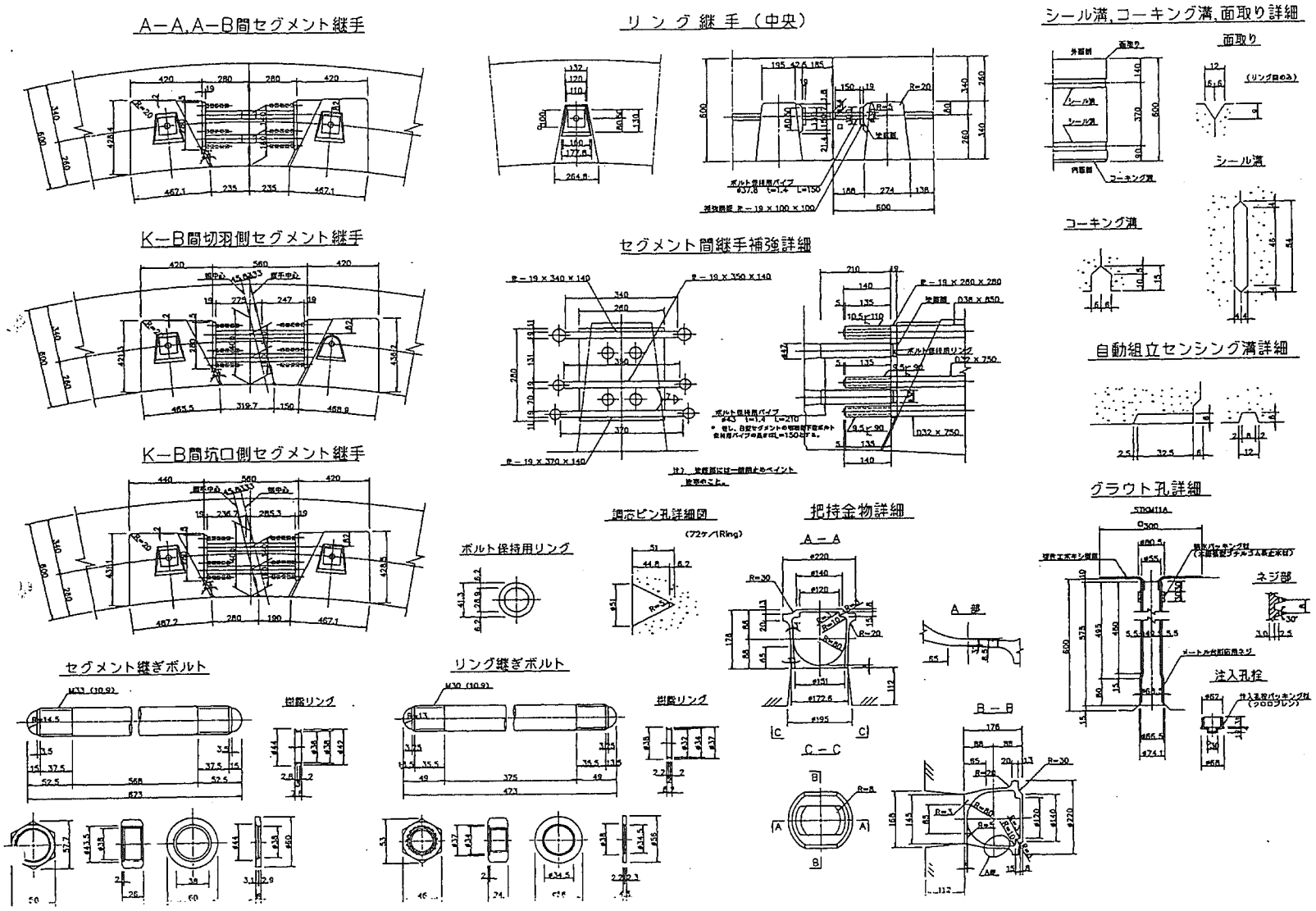


図-3.13　第３工区一次覆工の概要(その 2)

3.1.3 地質状況

シールドトンネルが施工される付近は中川低地とよばれる標高の低い地域で、上部25～30mは有楽町層と呼ばれる軟弱沖積層である。これより下位は7号地層、成田層群、上総層群と呼ばれる洪積層である。

(1)第2工区の地質状況

第2工区シールドトンネルは成田層と呼ばれる洪積層を通過する。シールドの掘削対象となる土質は、計測断面Aでは上部にN値 28～37 の洪積粘性土層、下部にN値50以上の洪積砂質土層となり、計測断面Bでは、上段にN値50以上の洪積砂質土層、中段にN値 10～20 の洪積粘性土層、下段にN値50以上の洪積砂質土層となる。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-3.14、図-3.15に示す。

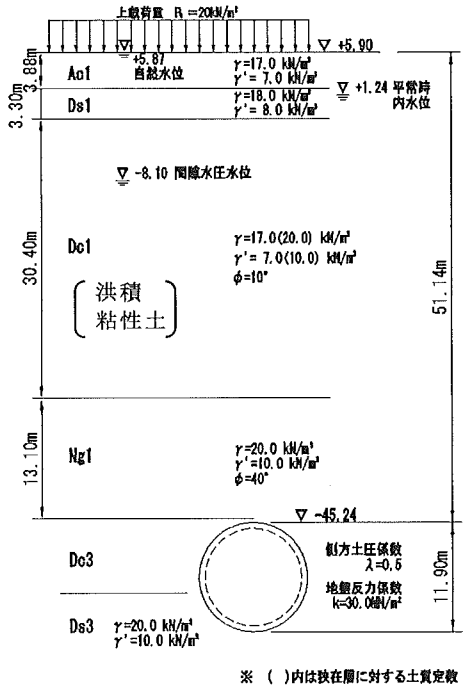


図-3.14　第2工区　計測断面A　トンネル位置と地質柱状図の関係

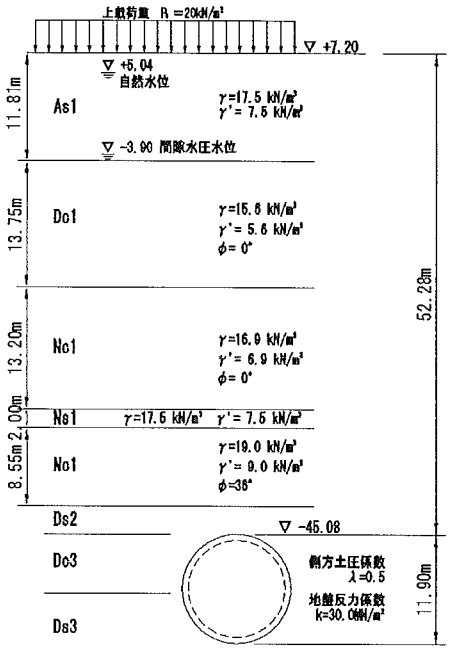


図-3.15　第２工区　計測断面Ｂ　トンネル位置と地質柱状図の関係

(2)第３工区の地質状況

第３工区シールドトンネルは第２工区と同じく成田層を通過する。シールドの掘削対象となる土質は、ほぼ全線にわたり、上段にＮ値 50 以上の洪積砂質土層、中段にＮ値 20～40 の洪積粘性土層、下段にＮ値 50 以上の洪積砂質土層となる。最大礫径は 25 ㎜程度が予想され、シールド通過部分の砂質土層の地下水圧は約 49.0N/㎡である。

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-3.16 に示す。

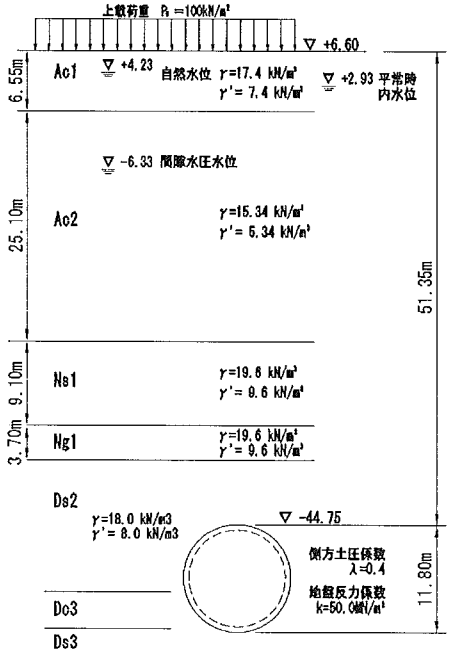


図-3.16　第３工区　トンネル位置と地質柱状図の関係

3.1.4 計測項目

本計測現場における測定項目は以下に示す土圧、水圧、鉄筋応力である。

現場計測を実施した位置は、第２工区内で第２立坑から約 300m 付近で土被り 51.1mのリングナンバーのNO.260およびNO.261の２リングを２工区計測断面(A)、同じく第２工区内で第３立坑から約 300m 付近で土被り 52.3m のリングナンバーのNO.1344 およびNO.1345 の２リングを２工区計測断面（B)、第３工区内で第３立坑から約 480m付近で土被り 51.4m のリングナンバーの NO.401 およびNO.402 の２リングを３工区計測断面とした３箇所である。

図-3.17 に計測断面位置概要図を示す。図-3.18、図-3.19 に各測定リングの計測器位置の概要を示したが、第２工区では土圧計、水圧計の測定リングは NO.260、NO.1344の甲組リング、鉄筋応力の測定リングは NO.261、NO.1345 の乙組リングとし、第３工区では土圧計、水圧計の測定リングは NO.401 の甲組リング、鉄筋応力の測定リングは NO.402 の乙組リングとした。

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。

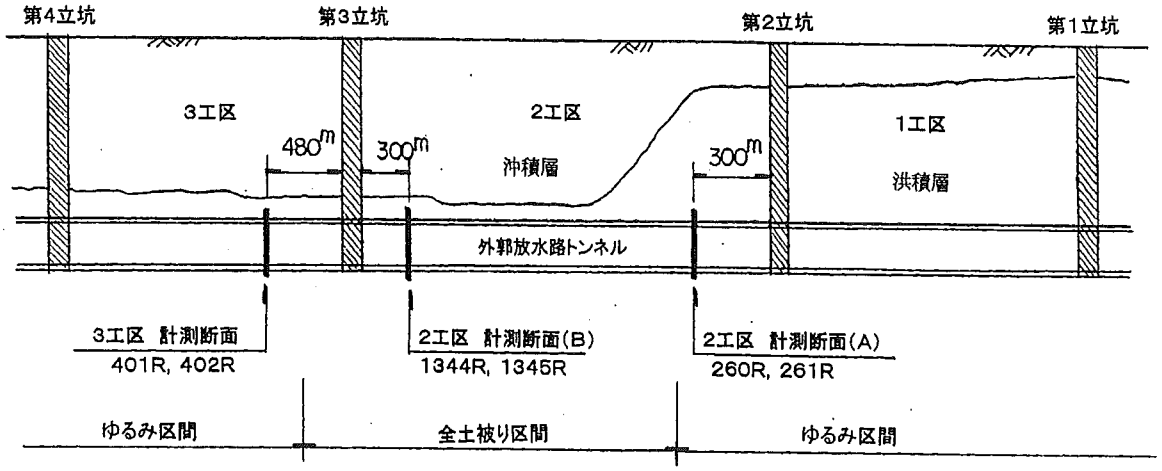
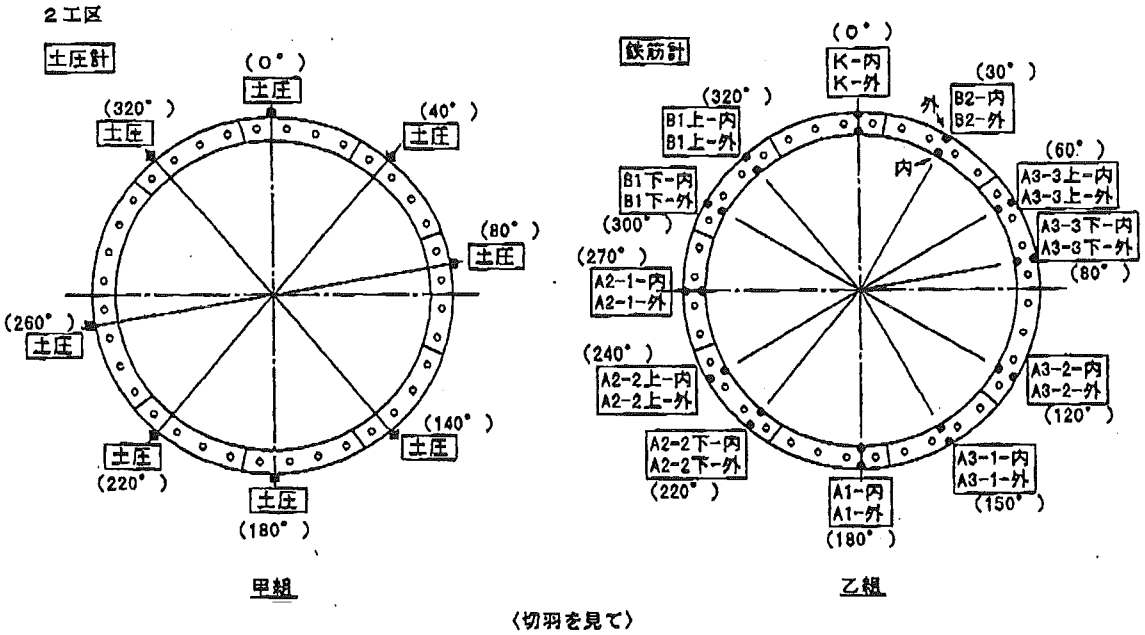
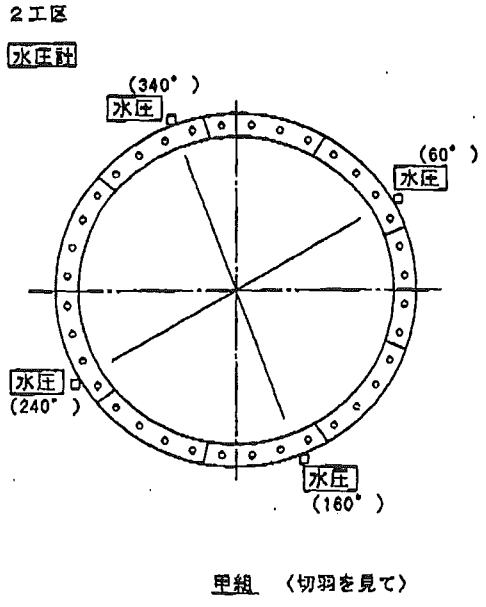


図-3.17　計測断面位置概要図

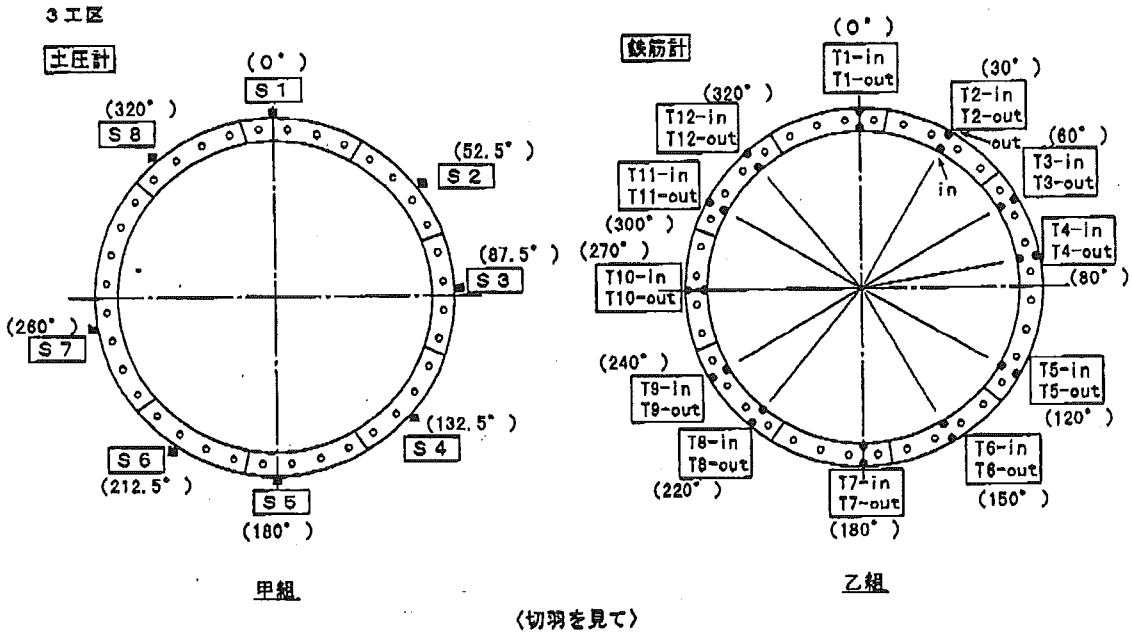


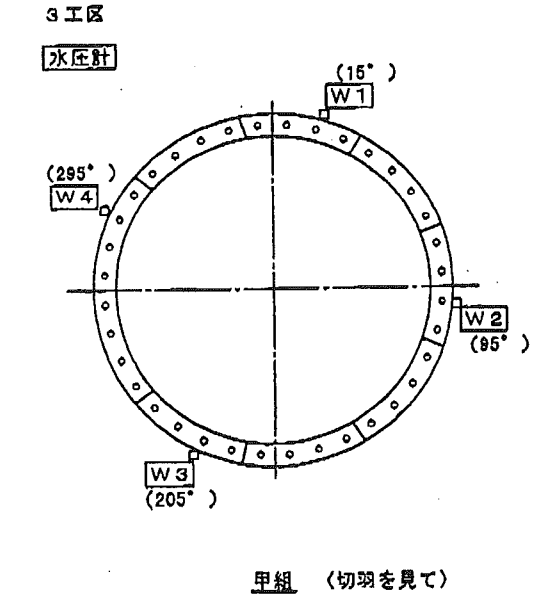
NO.260、NO.1344 甲組リング（土圧計）　　NO.261,1345 乙組（鉄筋計）



NO.260、NO.1344 甲組リング（水圧計）

図-3.18　第２工区　計測器の設置位置の概要





NO.401 甲組リング(水圧計)

図-3.19　第３工区　計測器の設置位置の概要

3.1.5 計測機器の配置および設置要領

各計測器を以下の要領で設置した。各計測断面で用いた計測機器および数量を表-3.2、表-3.3 に示す。

(1)土圧計

土圧計の設置は、第２工区、第３工区ともに図-3.20 の土圧計取り付け概要図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、セグメント作成時に予め取り付け治具を設置し、その後コンクリート打設後、コンクリート強度が確保された後に土圧計を設置する。なお、土圧計の設置に際して、十分な漏水防止処置を施すものとした。図-3.21 に土圧計詳細図を示す。

(2)水圧計

第２工区での水圧計の設置は、セグメント製作時に水圧測定位置に鞘管をセットしておき、反力板を溶接後、間隙水圧計を取り付けたジャッキを挿入し、ボルトで固定するものとした。その後シールドマシン通過後、裏込め注入前に油圧ジャッキを加圧して、間隙水圧計を約 50 ㎜地山に押し込み貫入させるものとした。押し込み終了後の油圧ホースはセグメント表面から出た部分を切断した。第２工区の水圧計詳細図を図-3.22 に示す。

第３工区での水圧計の設置は、セグメント表面から水圧計が突出しないようセグメントの継手部の溝を利用して水圧計を設置するものとした。セグメント製作時に継手溝内に水圧計設置用グラウト孔を設けるものとし、セグメント間のボルト増し締め終了と同時期に並行して水圧計の設置を行うものとした。計器設置時期は裏込め注入材が固化した後に裏込め材を削孔し設置するものとした。第３工区の水圧計設置図と水圧計詳細図を図-3.23、図-3.24 に示す。

(3)円周方向鉄筋計

鉄筋計の設置は、第２工区、第３工区ともに図-3.25 に示すひずみゲージを取り付けた。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組み込み、ケーブルを固定するものとする。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。図-3.26 に第３工区鉄筋計設置図、図-3.27 に第２工区鉄筋計設置図を示す。

表-3.2　第２工区計測断面Ａおよび計測断面Ｂの計測機器・数量

（１断面当り）

項目	測定計器名および形式	数量	備　考
①	ﾊﾟｯﾄ式土圧計（計測範囲 1960ｋN/㎡ GTI-E210-20K)	８台	８点×１リング (設置ﾘﾝｸﾞNO.:260,1344 ﾘﾝｸﾞ)
②	間隙水圧計（計測範囲 980ｋN/㎡ BP-10KC)	４点	４点×１リング (設置ﾘﾝｸﾞNO.: 260,1344 ﾘﾝｸﾞ)
③	ｽﾄﾚｲﾝｹﾞｰｼﾞ（計測範囲 2000×10⁻⁶st KFG-5-350-D16)	24 点	円周 12 箇所×内側と外側 (設置ﾘﾝｸﾞNO.:261,1345 ﾘﾝｸﾞ)

表-3.3　第３工区の計測機器・数量

（１断面当り）

項目	測定計器名および形式	数量	備　考
①	ﾊﾟｯﾄ式土圧計（計測範囲 980ｋN/㎡ GTI-E210-10K)	８台	８点×１リング (設置ﾘﾝｸﾞNO.:401 ﾘﾝｸﾞ)
②	間隙水圧計（計測範囲 980ｋN/㎡ BP-10KC)	４点	４点×１リング (設置ﾘﾝｸﾞNO :401 ﾘﾝｸﾞ)
③	ｽﾄﾚｲﾝｹﾞｰｼﾞ（計測範囲 2000×10⁻⁶st KFG-5-350-D16)	24 点	円周 12 箇所×内側と外側 (設置ﾘﾝｸﾞNO.:402 ﾘﾝｸﾞ)

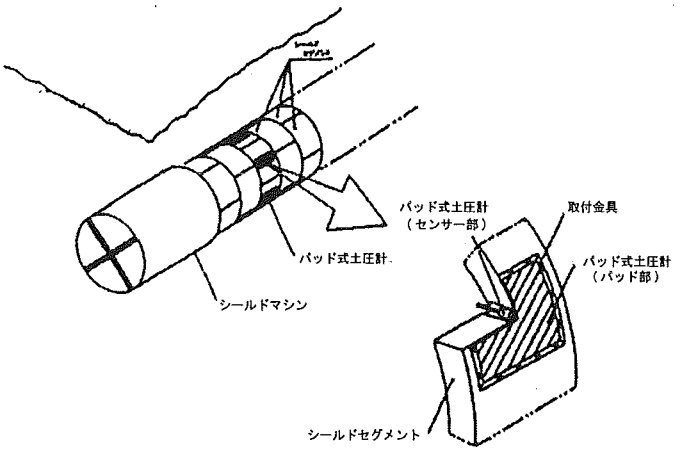


図-3.20　土圧計取り付け概要図

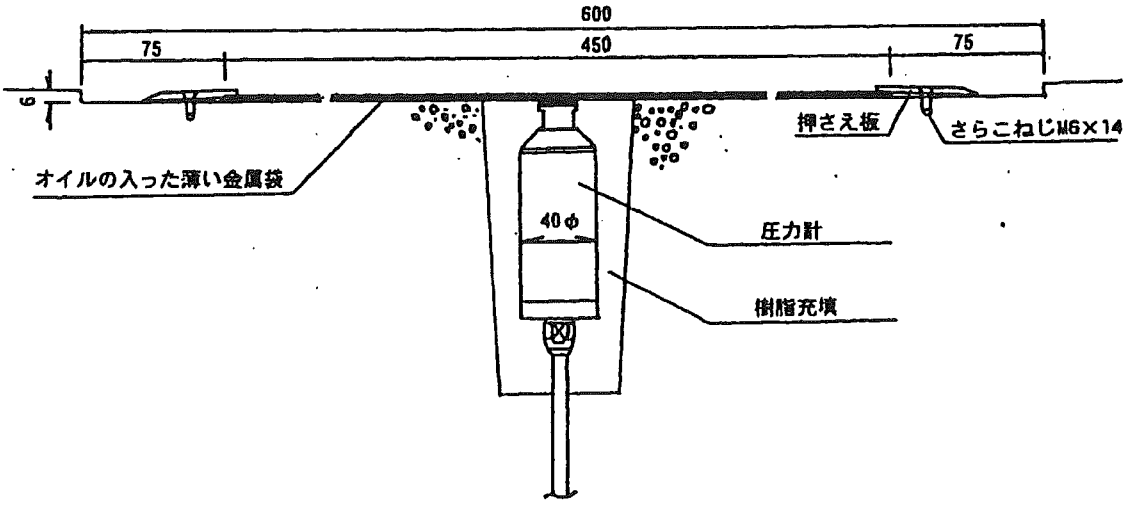
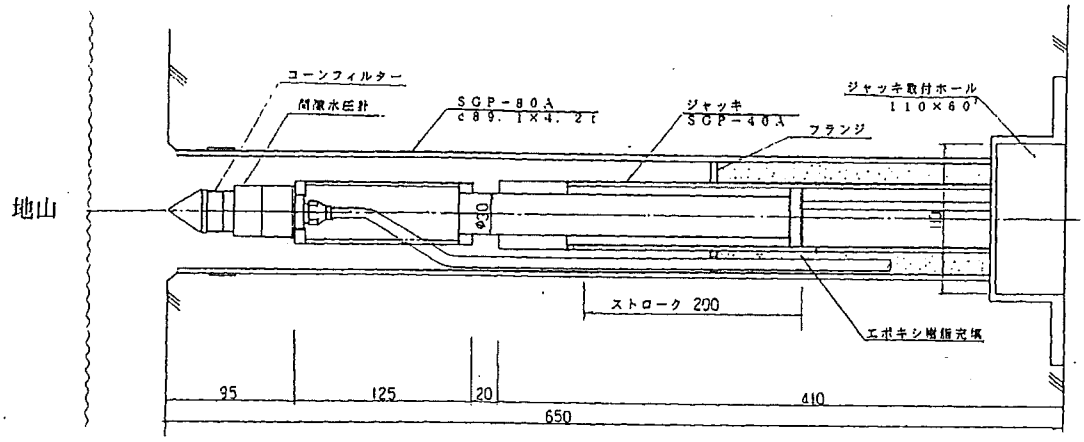


図-3.21　土圧計詳細図

①間隙水圧計組込



②間隙水圧計押込

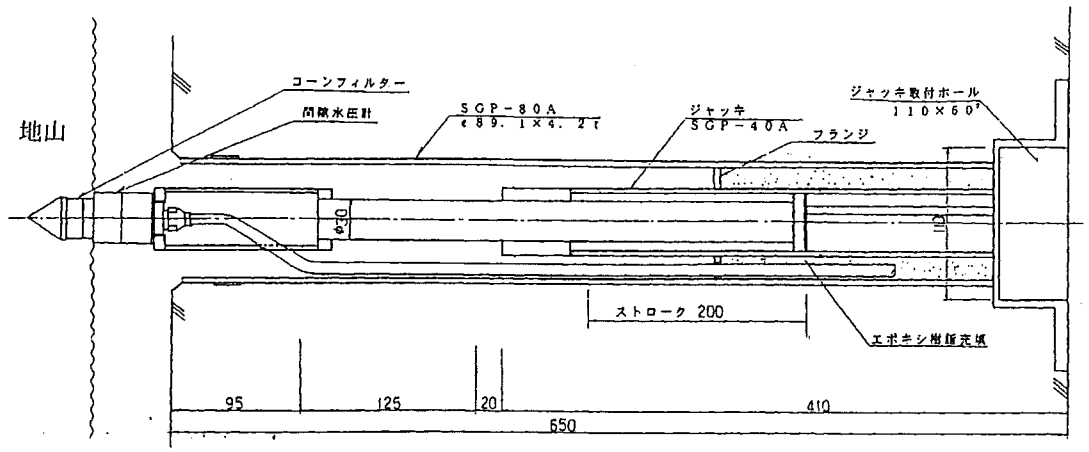


図-3.22　第２工区水圧計詳細図

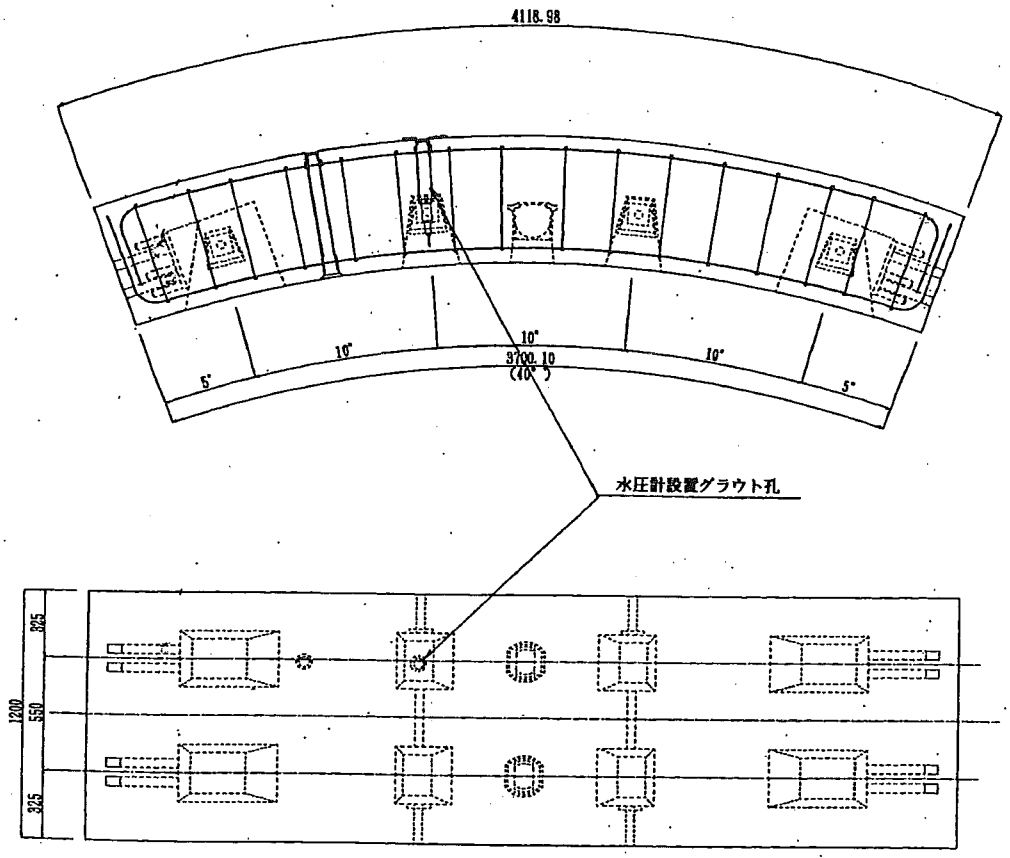


図-3.23　第３工区水圧計設置図

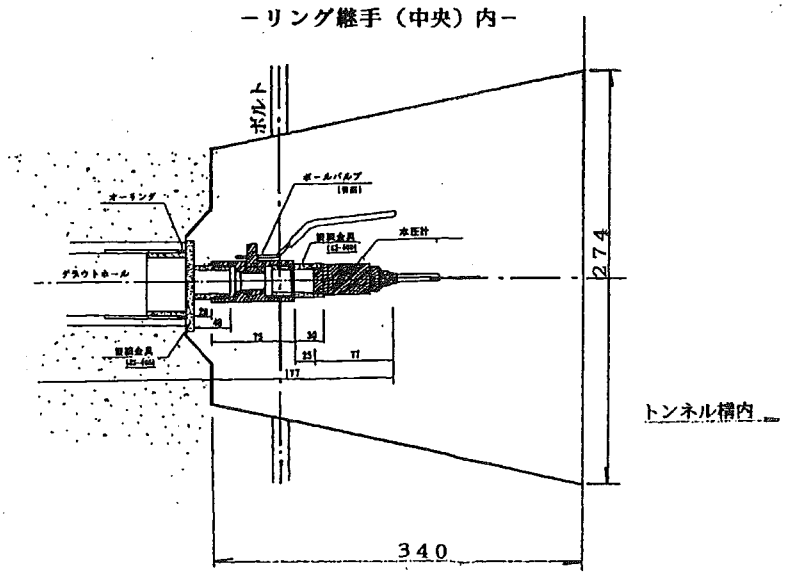


図-3.24　第３工区水圧計詳細図

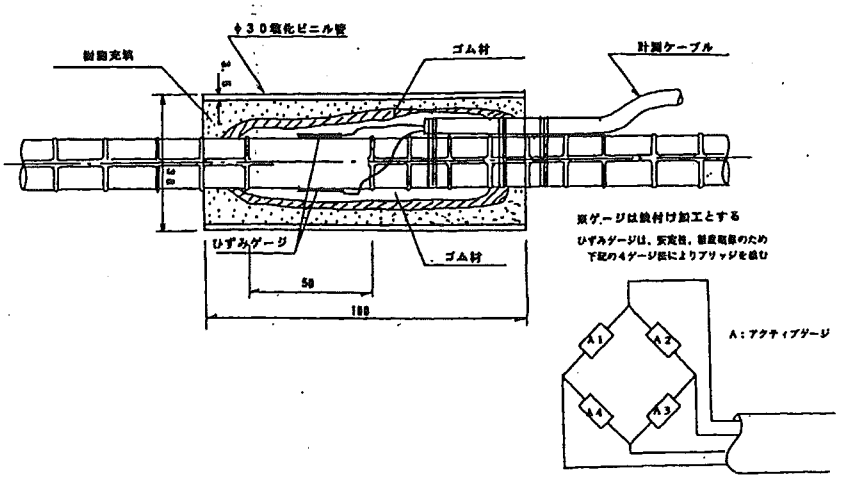


図-3.25　鉄筋計詳細図

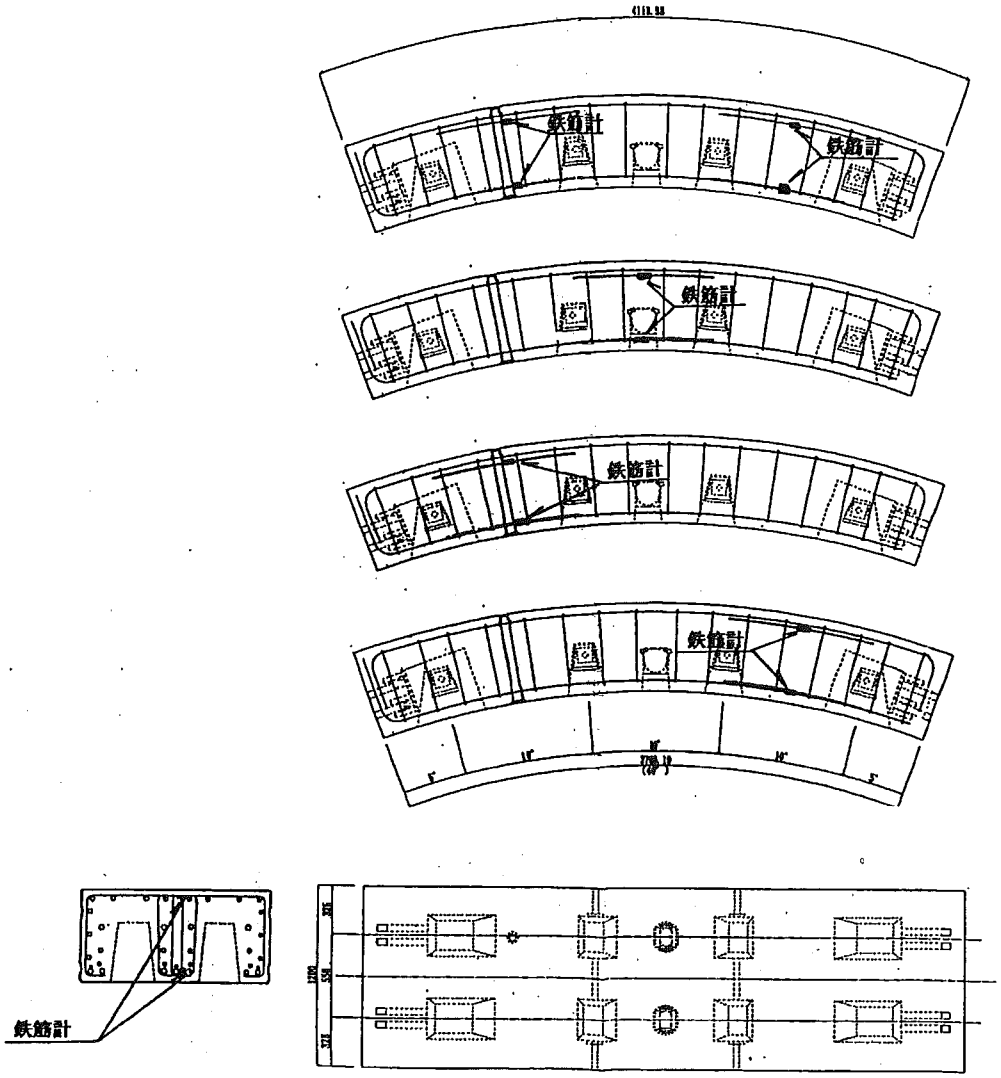


図-3.26　第３工区　鉄筋計設置図

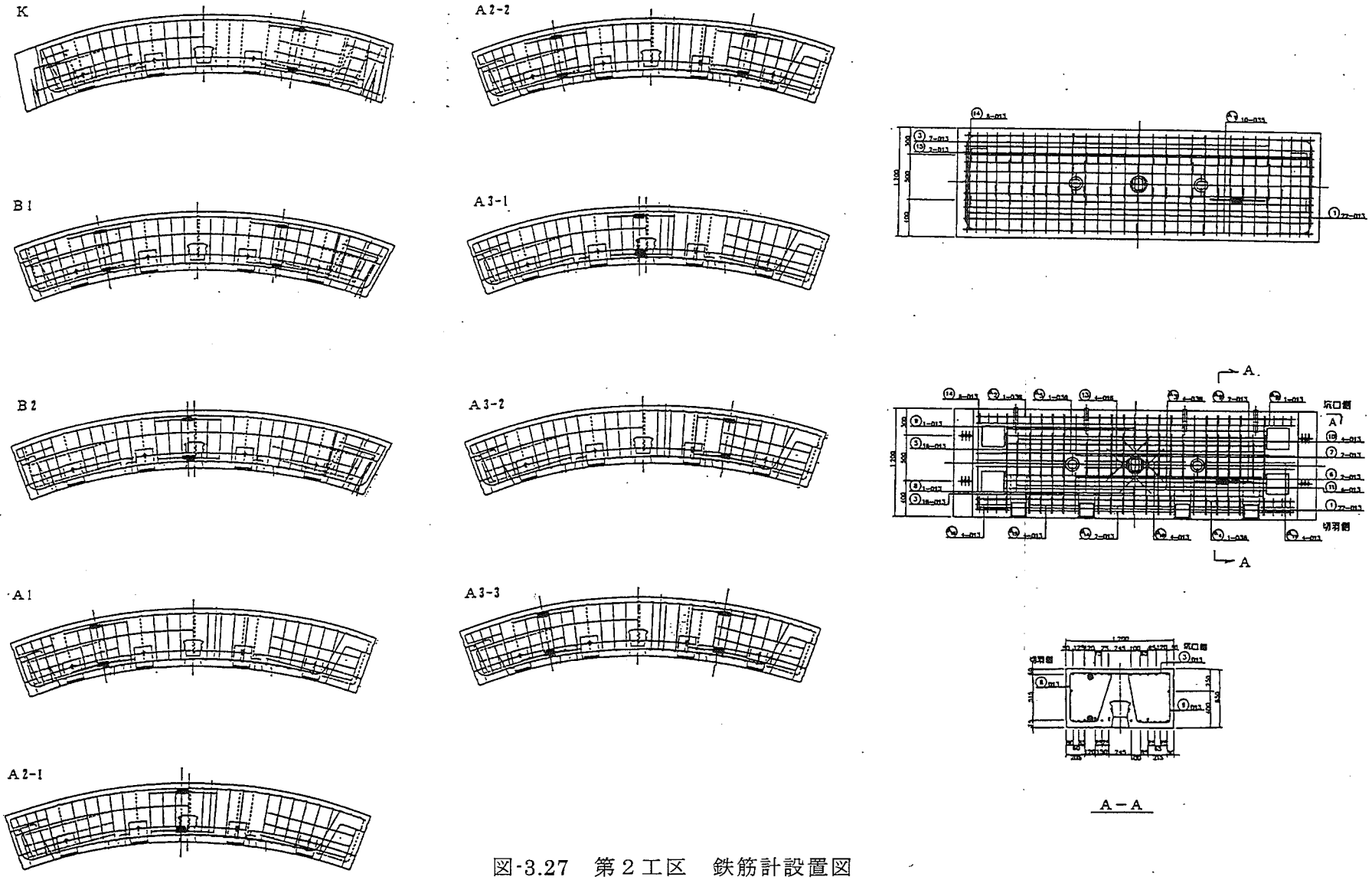


図-3.27　第２工区　鉄筋計設置図

3.1.6 測定方法

測定は、第２工区、第３工区ともにスキャナーおよびデジタル測定器を設置して自動計測方式で行った。図-3.28 に計測システム図を示す。

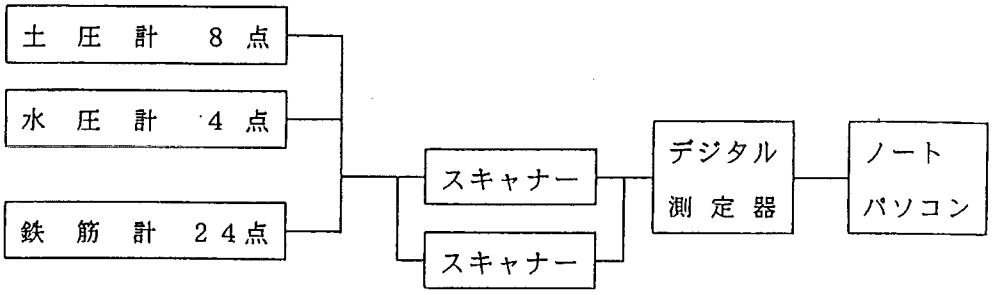


図-3.28 計測システム

3.1.7 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-3.4 に示す３つの期間に区分し頻度を設定した。

表-3.4 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	計測器が安定に向かう期間	長期計測
２分間隔 （計測リング組立直後～ １０R組立完了まで）	１時間間隔 （１０R組立完了～ １週間後まで）	８時間間隔 （１週間後～ １ヶ月後まで）	２４時間間隔 （計測終了まで）

(2)計測期間

第２工区 計測断面Ａの測定期間　1999 年 2 月 16 日～2000 年 5 月 24 日(約 15 ヶ月)

第２工区 計測断面Ｂの測定期間　1999 年 12 月 1 日～2000 年 5 月 24 日(約 6 ヶ月)

第３工区の測定期間　1999 年 3 月 31 日～2000 年 5 月 25 日(約 14 ヶ月)

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トンネル直径程度および2倍程度を目安に、第2工区では計測用リングのNO.260、NO.1344リング、第3工区では計測用リングのNO.401ﾘﾝｸﾞの手前約10ﾘﾝｸﾞ（第2工区：NO.250ﾘﾝｸﾞ、NO.1333ﾘﾝｸﾞ、3工区NO.390ﾘﾝｸﾞ）から約20ﾘﾝｸﾞ後方のﾘﾝｸﾞ（第2工区：NO.281ﾘﾝｸﾞ、NO.1365ﾘﾝｸﾞ、第3工区：NO.422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～表-3.7および図-3.29～図-3.31に示す。総推力のデータは、掘削リングの平均値で示した。

第2工区計測断面Aでの総推力は各掘削リングで約 80000ｋN～90000ｋN で変動しているが、急激な変化はなく、平均的には約 85000kN 程度となっている。第2工区のシールド機前面の面積が約 116 ㎡であり、総推力から計算される掘進時のシールド前面の圧力は約 730kN/㎡となる。また、計測断面Bでは総推力が各掘削リングで約 90000ｋN～100000ｋN で変動しており、計測断面Aよりも大きな値を示しているものの、変動幅は小さくほぼ安定した掘削となっている。平均的には約 95000kN 程度で、総推力から計算される掘進時のシールド前面の圧力は約 820kN/㎡となる。

つぎに、第3工区では各掘削リングで約 75000ｋN～85000ｋN で変動しているものの、平均的には約 80000kN 程度でほぼ安定した掘削となっている。、第3工区のシールド機前面の面積が約 114 ㎡であり、総推力から計算される掘進時のシールド前面の圧力は約 700kN/㎡となる。

3.2.2 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-3.5～表-3.7 および図-3.29～図-3.31 に示す。また裏込め注入材は表-3.8 に示す配合表に示す2液性の可塑性材料を使用した。第2工区の裏込め注入材料の基準値および試験結果は、表-3.9 に示すように、設計基準値で1時間強度で約 29.4kN/㎡、7日強度で 1960kN/㎡に対して、それぞれ1時間強度で約 29.4～127.5kN/㎡、7日強度で約 3491.2～7168.7kN/㎡である。また、第3工区の裏込め注入材料の基準値および試験結果は、表-3.10 に示すように、設計基準値で1時間強度で約 19.6kN/㎡、7日強度で 1960kN/㎡に対して、

それぞれ１時間強度で約 63.7kN/㎡、７日強度で約 4177.6kN/㎡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で施工された。同時裏込め注入の注入位置は第２工区、第３工区ともにシールド機の上部の左右２箇所づつ計４箇所である。第２工区計測断面Ａでの裏込め注入圧は約 600～800kN/㎡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約 750kN/㎡となっている。計測断面Ｂでの裏込め注入圧は約 700～800kN/㎡の範囲で、計測断面Ａよりもばらつきが少なくなっている。計測用セグメント付近の圧力は約 700kN/㎡である。また、第３工区での裏込め注入圧は約 800kN/㎡でほぼ一定の値となっている。

つぎに、裏込め注入量は第２工区計測断面Ａで約 7500 ﾘｯﾄﾙ～8000 ﾘｯﾄﾙの範囲で注入されており、注入率は約 130%～150%となっている。計測断面Ｂの裏込め注入量は約 7000 ﾘｯﾄﾙ～7500 ﾘｯﾄﾙの範囲で注入されており、注入率は約 130%～140%と計測断面Ａよりも若干小さくなっている。第３工区の裏込め注入量は約 6500 ﾘｯﾄﾙ～7500 ﾘｯﾄﾙの範囲でばらついており、注入率は約 120%～140%となっている。

表-3.5　第２工区計測断面Ａ　施工管理データ一覧表

掘削リング	掘削日時	総推力 (kN)	泥水圧 (kN/m^2)	裏込め注入リング	裏込め注入圧 (kN/m^2)	裏込め注入量 (l)	注入率 (%)
250	2月12日	79505	518	247	745	8026	148
251	2月12日	82528	529	248	775	7441	137
252	2月12日	82641	530	249	745	7979	147
253	2月13日	84072	529	250	804	7674	141
254	2月13日	81813	530	251	814	7941	146
255	2月15日	84646	530	252	755	7520	138
256	2月15日	85519	529	253	785	7842	144
257	2月15日	82122	530	254	726	7933	146
258	2月15日	85955	528	255	765	7932	146
259	2月15日	85862	526	256	755	8037	148
260	2月15日	87195	527	257	755	7811	144
261	2月16日	87616	527	258	755	7915	146
262	2月20日	89367	522	259	745	7599	140
263	2月20日	90342	523	260	745	7783	143
264	2月20日	88589	523	261	745	7654	141
265	2月21日	85983	524	262	745	7654	141
266	2月22日	88426	524	263	686	7402	136
267	2月22日	88056	522	264	647	7258	133
268	2月22日	86885	524	265	677	7291	134
269	2月22日	83636	523	266	608	7049	130
270	2月22日	84034	523	267	667	8102	149
271	2月22日	81898	523	268	686	8084	149
272	2月23日	83462	524	269	686	8087	149
273	2月23日	81198	524	270	667	8206	151
274	2月23日	83550	524	271	598	8085	149
275	2月23日	85286	523	272	667	7909	145
276	2月23日	84746	524	273	608	8071	148
277	2月23日	83910	524	274	588	8046	148
278	2月23日	83130	523	275	628	7778	143
279	2月23日	84443	526	276	588	7875	145
280	2月24日	84127	525	277	637	8959	165
281	2月24日	83325	523	278	677	8771	161

表-3.6　第２工区計測断面Ｂ　施工管理データ一覧表

掘削リング	掘削日時	総推力 (kN)	泥水圧 (kN/m^2)	裏込め注入リング	裏込め注入圧 (kN/m^2)	裏込め注入量 (l)	注入率 (%)
1333	11月29日	97804	558	1330	765	7351	135
1334	11月30日	100348	560	1331	785	7560	139
1335	11月30日	94743	559	1332	765	7353	135
1336	11月30日	100917	559	1333	696	7099	131
1337	11月30日	98511	559	1334	706	7351	135
1338	11月30日	98794	561	1335	785	7149	131
1339	11月30日	96436	559	1336	785	7164	132
1340	11月30日	95096	559	1337	785	7315	135
1341	11月30日	96850	561	1338	765	7477	138
1342	12月1日	93693	559	1339	785	7163	132
1343	12月1日	97301	563	1340	765	7351	135
1344	12月1日	98690	559	1341	696	7341	135
1345	12月1日	98044	560	1342	706	7241	133
1346	12月2日	98943	561	1343	755	7354	135
1347	12月2日	99627	561	1344	706	6294	116
1348	12月2日	96935	563	1345	706	6294	116
1349	12月2日	96295	562	1346	765	8076	149
1350	12月3日	95832	562	1347	785	7088	130
1351	12月3日	98275	560	1348	785	7353	135
1352	12月3日	97818	558	1349	785	7351	135
1353	12月3日	99144	560	1350	735	7453	137
1354	12月3日	94957	561	1351	735	7357	135
1355	12月3日	95657	558	1352	755	7359	135
1356	12月3日	93519	560	1353	765	7357	135
1357	12月3日	92771	559	1354	765	7489	138
1358	12月4日	93216	554	1355	745	7459	137
1359	12月4日	93424	559	1356	726	7467	137
1360	12月6日	95351	558	1357	755	7459	137
1361	12月6日	96537	558	1358	726	7076	130
1362	12月6日	95010	559	1359	706	7083	130
1363	12月6日	94188	558	1360	726	7081	130
1364	12月6日	96312	561	1361	765	7345	135
1365	12月6日	96223	559	1362	755	7352	135

表-3.7　第３工区　施工管理データ一覧表

掘削リング	掘削日時	総推力 (kN)	泥水圧 (kN/m^2)	裏込め注入リング	裏込め注入圧 (kN/m^2)	裏込め注入量 (l)	注入率 (%)
390	3月29日	83827	550	387	785	6600	122
391	3月29日	81150	550	388	785	7260	135
392	3月29日	84121	550	389	785	6450	120
393	3月29日	82866	550	390	785	7120	132
394	3月30日	81552	550	391	785	7060	131
395	3月30日	80679	550	392	785	6730	125
396	3月30日	79159	550	393	785	6440	119
397	3月30日	77571	549	394	785	7210	134
398	3月30日	80267	550	395	785	6540	121
399	3月30日	79159	550	396	785	6720	125
400	3月31日	78551	550	397	785	6550	122
401	3月31日	79297	550	398	785	7090	132
402	3月31日	80620	549	399	785	6550	122
403	4月1日	83857	550	400	785	6700	124
404	4月1日	80924	550	401	785	7330	136
405	4月1日	80061	550	402	785	7070	131
406	4月1日	80356	550	403	785	6760	125
407	4月1日	79895	550	404	785	7330	136
408	4月2日	80699	550	405	785	7010	130
409	4月2日	79532	550	406	785	6880	128
410	4月5日	82484	550	407	785	7180	133
411	4月5日	83062	550	408	785	7080	131
412	4月5日	81709	550	409	785	6920	128
413	4月5日	82680	550	410	785	6290	117
414	4月5日	81219	549	411	785	6590	122
415	4月5日	80719	550	412	785	6920	128
416	4月6日	84200	550	413	785	6930	129
417	4月6日	81797	549	414	785	6800	126
418	4月6日	81503	550	415	785	7390	137
419	4月6日	80719	550	416	785	6680	124
420	4月6日	80042	549	417	785	7290	135
421	4月7日	81395	550	418	785	6580	122
422	4月7日	79650	550	419	785	7110	132

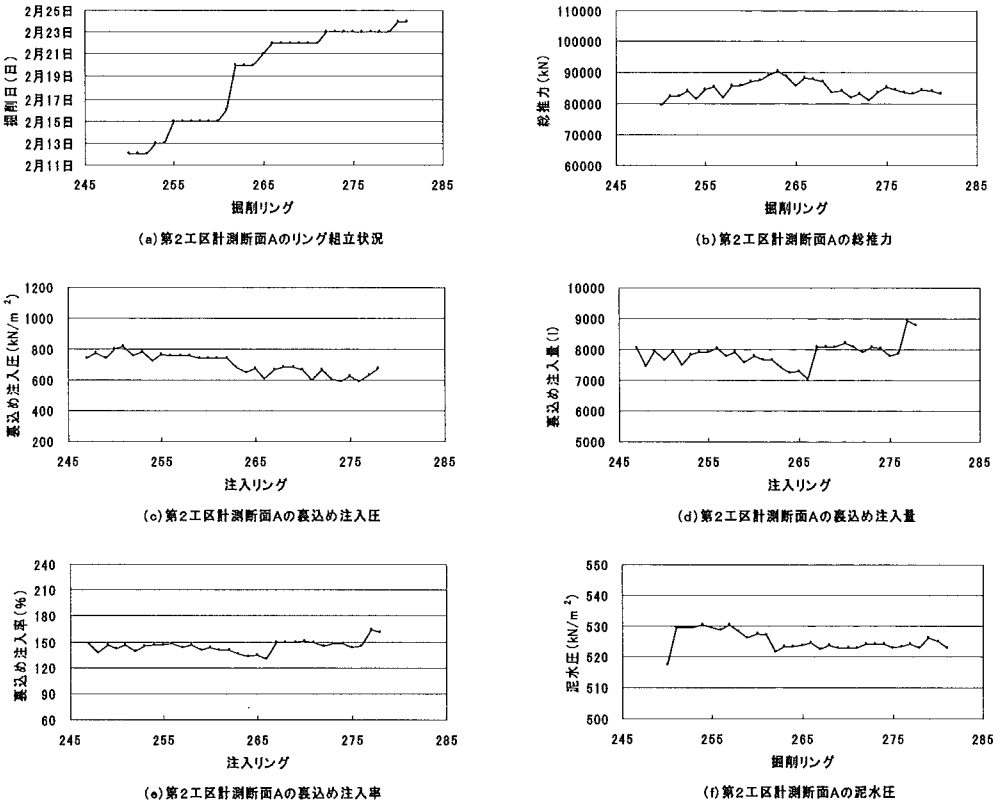


図-3.29　第２工区計測断面Ａの施工管理の実績

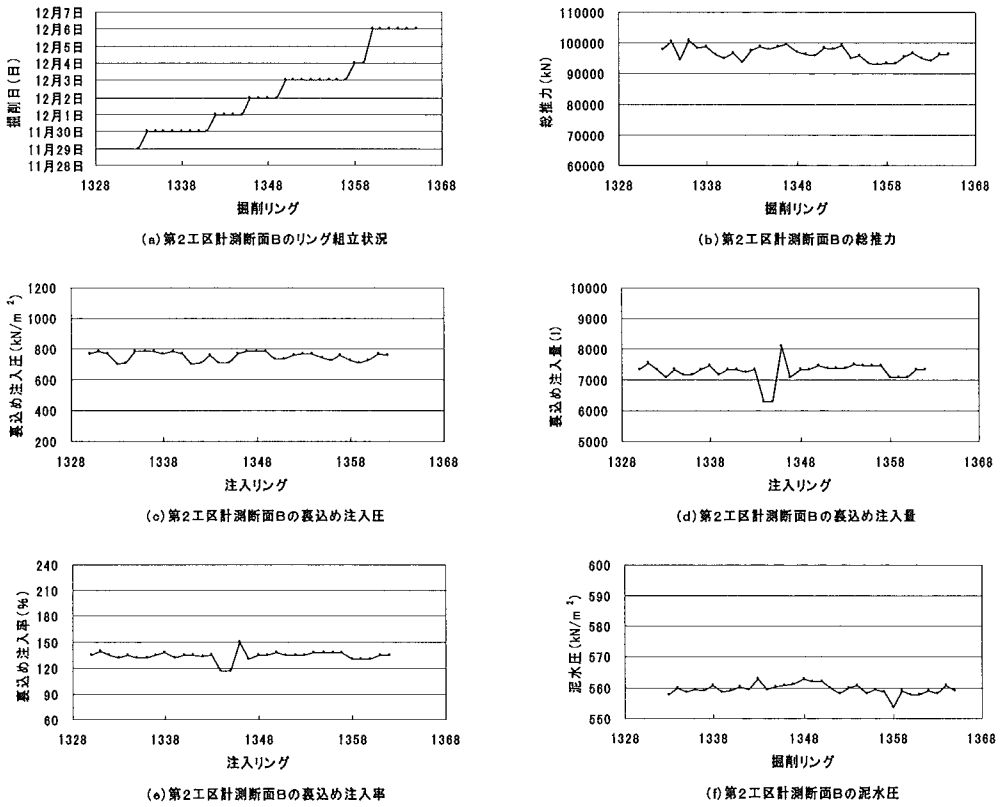


図-3.30　第２工区計測断面Ｂの施工管理の実績

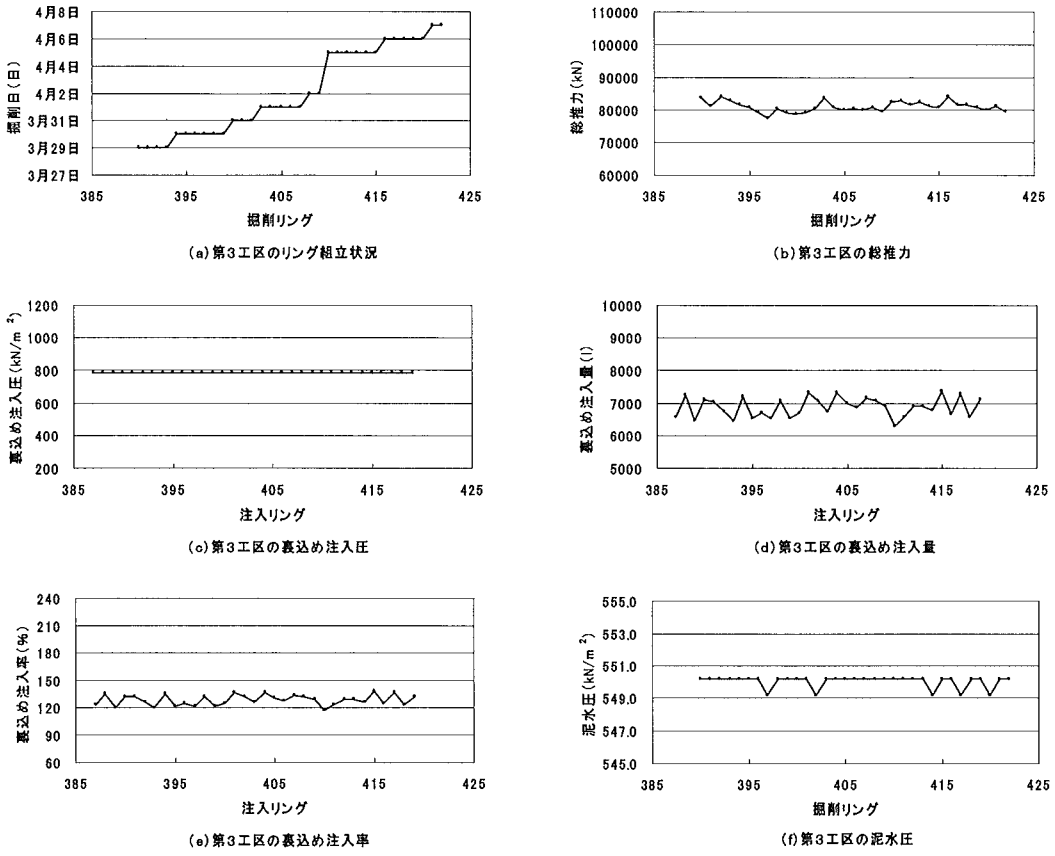


図-3.31　第３工区の施工管理の実績

表-3.8　第２工区および第３工区　裏込め注入の配合表（１㎥当り）

A液				B液
硬化材	助材	安定剤	水	急硬材
230 kg	60 kg	2.34 kg	823 ﾘｯﾄﾙ	96kg

表-3.9　第２工区の裏込め注入材の基準値および試験結果

項目	第２工区	基準値
A液比重	1.19～1.22	1.21±0.02
フロー値(秒)	8.6～10.2	8.5～11
ゲルタイム(秒)	6.8～17.9	5～18
ブリージング量(%)	1.0～3.0	3.0 以下/h
一軸圧縮強度試験 1時間後 (kN/㎡)	29.4～127.5	29.4 以上
一軸圧縮強度試験 28 日後(kN/㎡)	3491.2～7168.7	1960 以上

表-3.10　第３工区の裏込め注入材の基準値および試験結果

項目	第３工区	基準値
A液比重	-	-
フロー値(秒)	-	-
ゲルタイム(秒)	7.5	3～20
ブリージング量(%)	1.0～3.0	5.0 以下/h
一軸圧縮強度試験 1時間後 (kN/㎡)	63.7	19.6 以上
一軸圧縮強度試験 28 日後(kN/㎡)	4177.6	1960 以上

3.3 計測結果

本現場計測で得られた結果を次項以降に示す。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-3.11～表-3.13 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、計測リングを組み立て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、計測リングを組立前の平積み時の値を初期値とした。

表-3.11　第２工区　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	99/2/19　18:00(計測開始)	260 ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/2/16 8:00)3.4 日経過後
2		261 ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/2/16 10:50)3.3 日経過後
3	99/2/20　15:30	260 ﾘﾝｸﾞ(土圧計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注入)
4	99/2/20　21:00	261 ﾘﾝｸﾞ(ｾｸﾞﾒﾝﾄ計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注入)
5	99/2/23　8:00	260 ﾘﾝｸﾞ 1 週間後
6	99/2/23　10:50	261 ﾘﾝｸﾞ 1 週間後
7	99/3/ 8　0:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約 20 日後
8	99/3/28　0:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約 40 日後
9	99/4/17　0:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約 60 日後
10	99/5/17　0:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約 90 日後
11	99/8/15　0:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約半年後
12	00/2/16　0:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約 1 年後
	00/5/24　0:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約 463 日後

表-3.12　第２工区　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	99/12/2　8:10(計測開始)	1344ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/12/1 11:04)約１日経過後
2		1345ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/12/1 12:49)約１日経過後
3	99/12/2　12:00	
4	99/12/2　21:40	1344ﾘﾝｸﾞ(土圧計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注入)
5	99/12/4　11:04	
6	99/12/4　12:50	1345ﾘﾝｸﾞ(ｾｸﾞﾒﾝﾄ計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注入)
7	99/12/8　16:00	
8	99/12/21　0:00	1344ﾘﾝｸﾞ約３日後
9	00/1/10　0:00	1345ﾘﾝｸﾞ約３日後
10	00/1/30　0:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約１週間後
11	00/2/29　0:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約 20 日後
	00/5/24　0:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約 40 日後
		ﾘﾝｸﾞ組立後約 60 日後
		ﾘﾝｸﾞ組立後約 90 日後
		ﾘﾝｸﾞ組立後約半年後

表-3.13　第３工区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	99/4/1　21:20(401R 計測開始)	401ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/3/31 16:27)約５時間経過後
2		
3	99/4/1　7:14(402R 計測開始)	402 ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/4/1　0:05)約 7 時間経過後
4		
5	99/4/1　15:10	401 ﾘﾝｸﾞ(土圧計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注入)
6	99/4/1　21:00	
7	99/4/3　16:28	402 ﾘﾝｸﾞ(ｾｸﾞﾒﾝﾄ計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注入)
8	99/4/4　0:06	
9	99/4/7　16:00	401ﾘﾝｸﾞ約３日後
10	99/4/8　0:00	402ﾘﾝｸﾞ約３日後
11	99/4/20　0:00	401ﾘﾝｸﾞ約１週間後
12	99/5/10　0:00	402ﾘﾝｸﾞ約１週間後
13	99/5/30　0:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約 20 日後
14	99/6/29　0:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約 40 日後
15	99/9/27　0:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約 60 日後
	00/3/25　0:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約 90 日後
	00/5/25　0:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約半年後
		ﾘﾝｸﾞ組立後約１年後
		ﾘﾝｸﾞ組立後約 420 日後

3.3.1 土圧計

(1)第２工区　計測断面Ａ

図-3.32、図-3.33 に 260 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。約１年３ヶ月後の最終的な土圧計の値の断面分布図を図-3.34、図-3.35 に示す。

図-3.32、図-3.33 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による若干の荷重の増加

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および②によるシールド機および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 1300～1400kN/㎡程度の高い値を示すことがある。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、600～800kN/㎡程度となり、各計器ともに 400kN/㎡程度増加している。その後は、脱出前の値とほぼ同じ値まで下がった後、大きな変動はなく、安定したと考えられる最終的な土圧は、450～550kN/㎡程度となっている。

裏込め注入の施工管理データによれば、計測リングの裏込め注入の圧力は、750kN/㎡程度で実施されているが、同時裏込め注入方式で掘進と同時に注入されていることから、掘進時の変動に裏込め注入による影響が含まれているものと考えられる。

約 1 年３ヶ月後の安定したと考えられる天端に作用する最終的な土圧結果は 450kN/㎡程度で、そのときの水圧計測値は約 430kN/㎡となっていることから、水圧以外の荷重として約 20kN/㎡程度が作用している。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４３ｍと仮定すると、天端に作用する鉛直荷重は、水圧で約 430kN/㎡、土圧で約 470kN/㎡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全土被り土圧の約 4%が作用していることになり、トンネル外径に換算すると約 0.2D 程度のゆるみ土圧に相当すると考えられる。

(2)第２工区　計測断面Ｂ

図-3.36、図-3.37 に 1344 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。約半年後の最終的な土圧計の値の断面分布図を図-3.38～図-3.39 に示す。

図-3.36、図-3.37 から、土圧の経時変化は、上述した①～④までの状態へと変化し

ているものと考えられる。図より、①および②によるシールド機および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 700～1300kN/㎡程度の高い値を示すことがある。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、500～600kN/㎡程度となり、各計器ともに 100kN/㎡程度増加している。その後は、脱出前の値とほぼ同じ値まで下がった後、大きな変動はなく、安定したと考えられる最終的な土圧は、450～550kN/㎡程度となっている。

裏込め注入の施工管理データによれば、計測リングの裏込め注入の圧力は、700kN/㎡程度で実施されているが、同時裏込め注入方式で掘進と同時に注入されていることから、掘進時の変動に裏込め注入による影響が含まれているものと考えられる。

約半年後の安定したと考えられる天端に作用する最終的な土圧結果は 450kN/㎡程度で、そのときの水圧計測値は約 420kN/㎡となっていることから、水圧以外の荷重として約 30kN/㎡程度が作用している。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４２ｍと仮定すると、天端に作用する鉛直荷重は、水圧で約 420kN/㎡、土圧で約470kN/㎡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全土被り土圧の約 6.4%が作用していることになり、トンネル外径に換算すると約 0.3D程度のゆるみ土圧に相当すると考えられる。

(3)第３工区

図-3.40、図-3.41 に 1344 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。約１年２ヶ月後の最終的な土圧計の値の断面分布図を図-3.42～図-3.43 に示す。

図-3.40、図-3.41 から、土圧の経時変化は、上述した①～④までの状態へと変化しているものと考えられる。図より、①および②によるシールド機および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 1500～2200kN/㎡程度の高い値を示すことがある。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、700kN/㎡程度となり、各計器ともに 200kN/㎡程度増加している。その後は、脱出前の値とほぼ同じ値まで下がった後、大きな変動はなく、安定したと考えられる最終的な土圧は、410～510kN/㎡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、800kN/㎡程度で実施されているが、同時裏込め注入方式で掘進と同時に注入されていることから、掘進時の変動に裏込め注入による影響が含まれているものと考えられる。

約１年２ヶ月後の安定したと考えられる天端に作用する最終的な土圧結果は410kN/㎡程度で、そのときの水圧計測値は約 400kN/㎡となっていることから、水圧以外の荷重として約 10kN/㎡程度が作用している。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４０ｍと仮定すると、天端に作用する鉛直荷重は、水圧で約 400kN/㎡、土圧で約 460kN/㎡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全土被り土圧の約 2.2%が作用していることになり、トンネル外径に換算すると約 0.1D程度のゆるみ土圧に相当すると考えられる。

3.3.2 水圧計

(1)第２工区　計測断面Ａ

図-3.44、図-3.45 に第２工区計測断面Ａの水圧の経時変化を示す。また、セグメント組立後（約１年３ヶ月後）の断面分布図を図-3.46 に示す。図-3.44、図-3.45 よりセグメントテール脱出時に計測値に変動が見られるが、それ以降は大きな変化は見られない。また、図-3.46 の水圧の断面分布図より、水圧計測値から推定される水位は地質調査結果等に基づく間隙水圧水位と自然水位との間に位置すると考えられ、想定される地下水位面からの理論値での静水圧分布とよく一致していることがわかる。また、図-3.47 に示す回帰直線から判断するとトンネル天端位置の水圧値で約 430kN/m² 程度となり、本現場計測付近の地下水位は、トンネル天端から上約 43m付近にあるものと考えることができる。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トンネル天端から上約 43mの地下水位から求められる静水圧が作用するものと考えられる。

(2)第２工区　計測断面Ｂ

図-3.48、図-3.49 に第２工区計測断面Ｂの水圧の経時変化を示す。また、セグメント組立後（約半年後）の断面分布図を図-3.50 に示す。図-3.48、図-3.49 よりセグメントテール脱出時に計測値に変動が見られるが、それ以降は大きな変化は見られない。また、図-3.50 の水圧の断面分布図より、水圧計測値から推定される水位は地質調査結果等に基づく間隙水圧水位付近に位置すると考えられ、想定される地下水位面からの理論値での静水圧分布とよく一致していることがわかる。また、図-3.51 に示す回帰直線から判断するとトンネル天端位置の水圧値で約 420kN/m² 程度となり、本現場計測付近の地下水位は、トンネル天端から上約 42m付近にあるものと考えることができる。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トンネル天端から上約 42mの地下水位から求められる静水圧が作用するものと考えられる。

(3)第３工区

図-3.52、図-3.53 に第３工区の水圧の経時変化を示す。また、セグメント組立後（約１年２ヶ月後）の断面分布図を図-3.54 に示す。図-3.52、図-3.53 よりセグメントテー

ル脱出後の計測値であるが、大きな変化は見られない。また、図-3.54 の水圧の断面分布図より、水圧計測値から推定される水位は地質調査結果等に基づく間隙水圧水位付近に位置すると考えられ、想定される地下水位面からの理論値での静水圧分布とよく一致していることがわかる。また、図-3.55 に示す回帰直線から判断するとトンネル天端位置の水圧値で約 400kN/m²程度となり、本現場計測付近の地下水位は、トンネル天端から上約 40m付近にあるものと考えることができる。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トンネル天端から上約 40mの地下水位から求められる静水圧が作用するものと考えられる。

3.3.3 円周方向鉄筋計

(1)第２工区　計測断面Ａ

図-3.56～図-3.59 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、断面分布図を図-3.60～図-3.61 に示す。また、主要時期における鉄筋応力計測結果を巻末資料 5 の表-3.1 に示す。

鉄筋計はセグメント組立時のシールドジャッキ力のバランスの影響を受け、組立完了後数日間は変動している。その後は各計器とも圧縮応力の増加傾向を示し、最終的には内側で圧縮 20～100 N/㎟、外側で圧縮 30～80N/㎟程度となっている。

(2)第２工区計測断面Ｂ

図-3.62～図-3.65 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、断面分布図を図-3.66～図-3.67 に示す。また、主要時期における鉄筋応力計測結果を巻末資料 5 の表-3.2 に示す。

計測断面Ａと同様、セグメント組立時のシールドジャッキ力のバランスの影響を受け、組立完了後数日間は変動している。その後は各計器とも計測断面Ａに比べて緩やかな圧縮応力の増加傾向を示し、最終的には内側で圧縮 20～60 N/㎟、外側で圧縮 30～60N/㎟程度となっている。

(3)第３工区

図-3.68～図-3.71 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、断面分布図を図-3.72～図-3.74 に示す。また、主要時期における鉄筋応力計測結果を巻末資料 5 の表-3.3 に示す。

第３工区についても、傾向は第２工区と同じく組立完了後数日間は変動した後、各計器とも圧縮応力の増加傾向を示し、最終的には内側で圧縮 0～50 N/㎟、外側で圧縮 40～70N/㎟程度となっている。

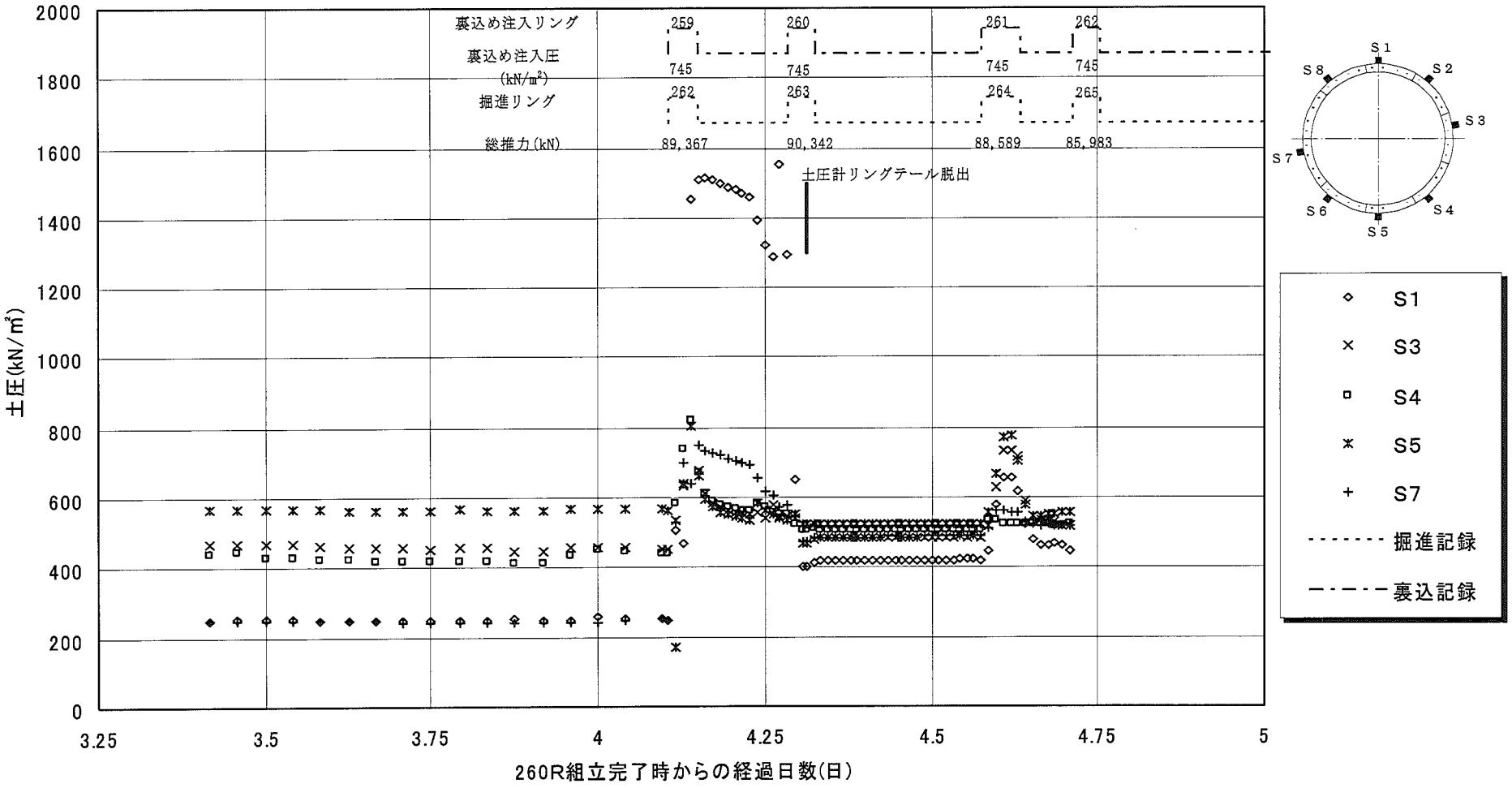


図-3.32　第２工区計測断面Ａ　土圧計の経時変化図①

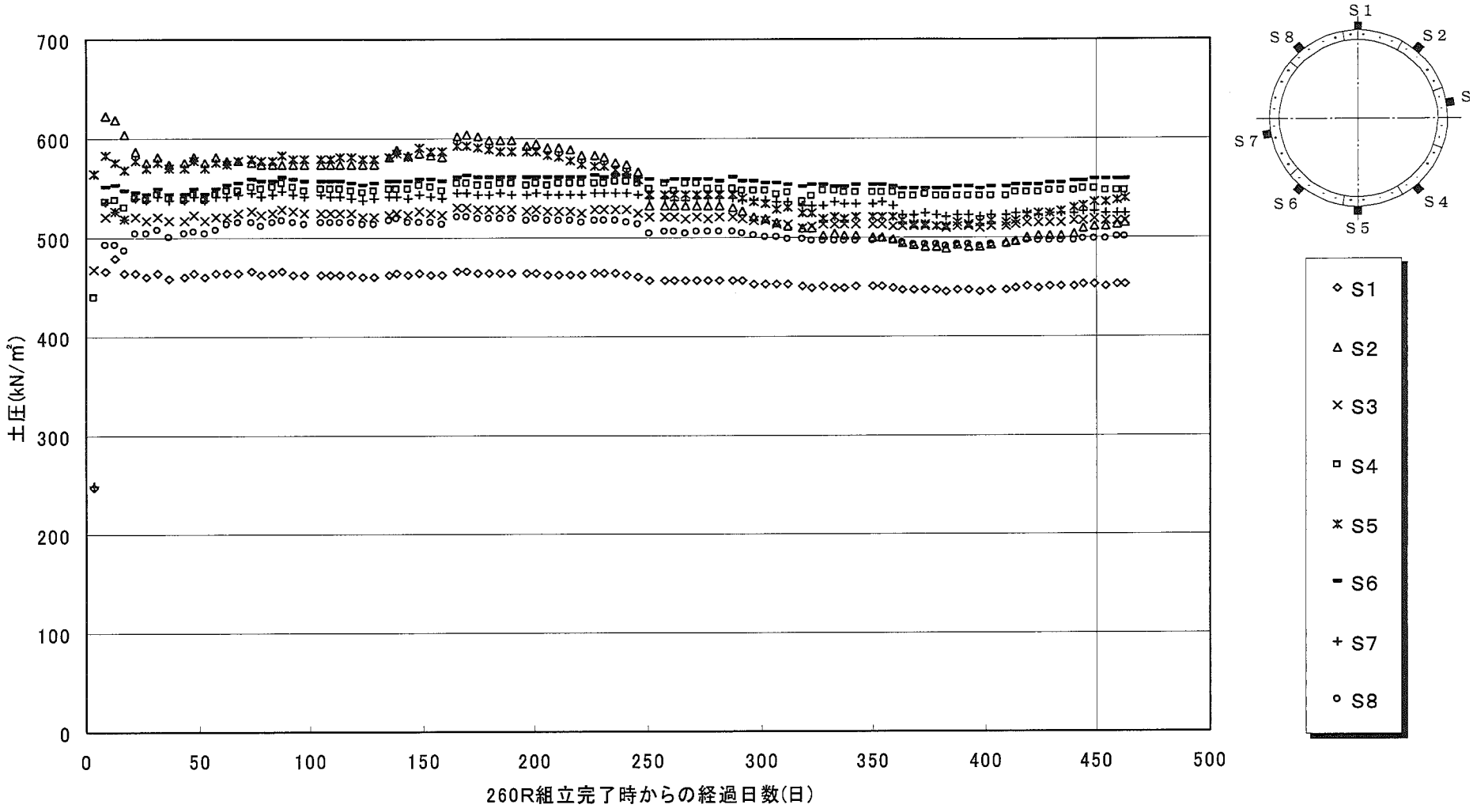
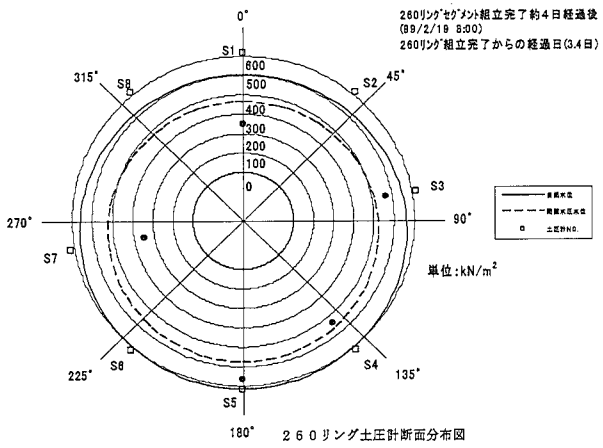
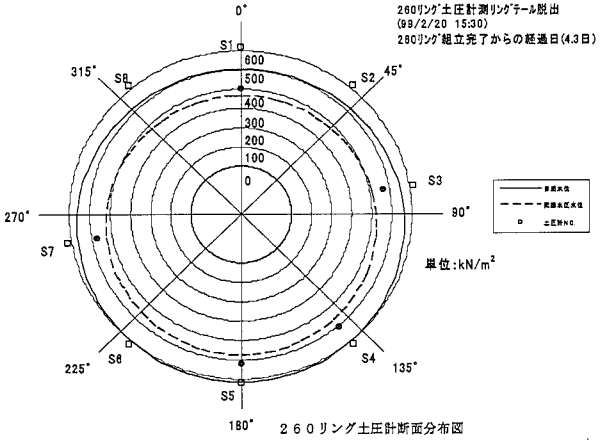


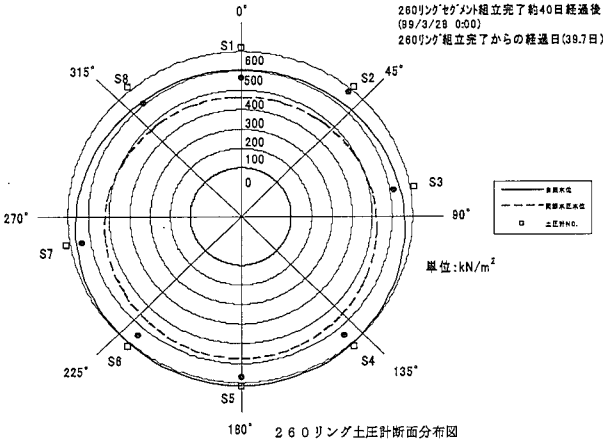
図-3.33　第２工区計測断面Ａ　土圧計の経時変化図②



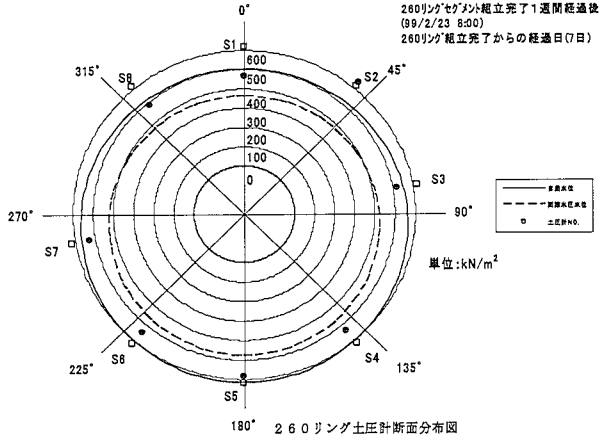
260リング土圧計断面分布図



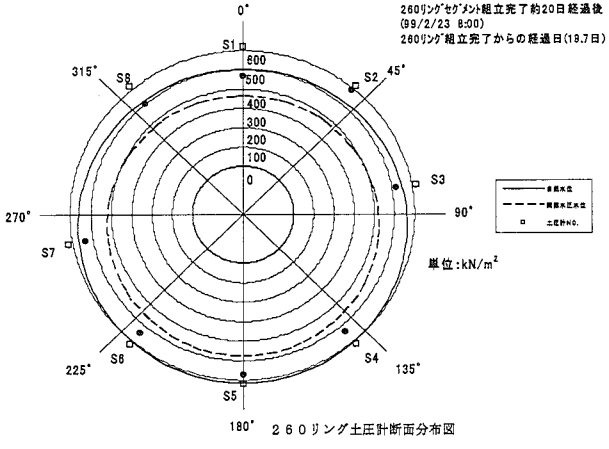
260リング土圧計断面分布図



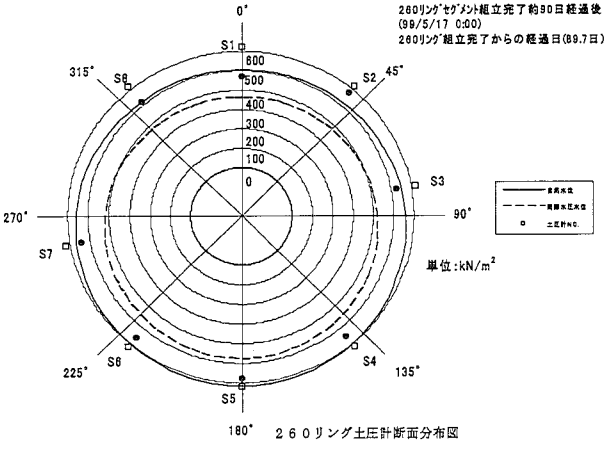
260リング土圧計断面分布図



260リング土圧計断面分布図

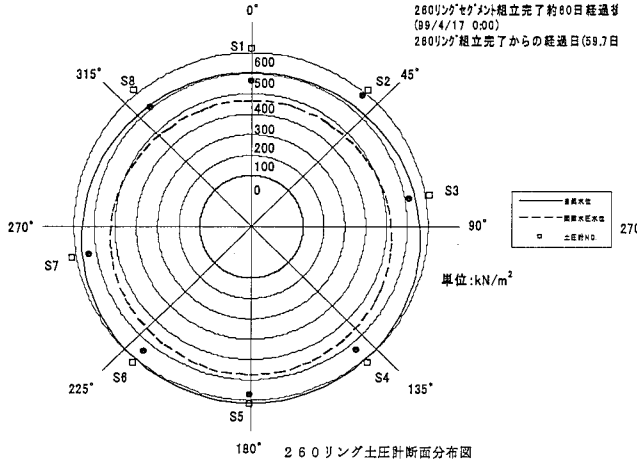


260リング土圧計断面分布図

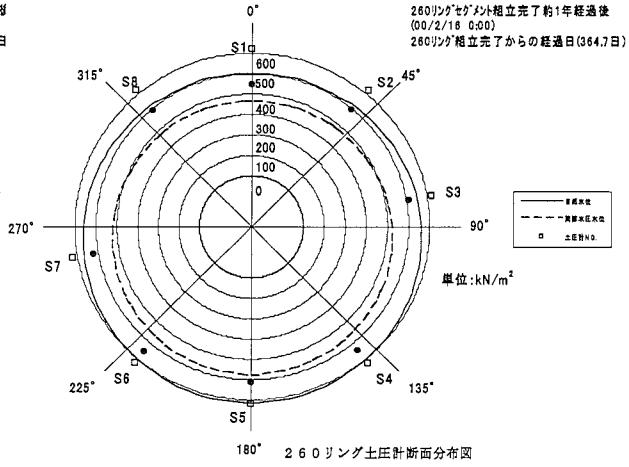


260リング土圧計断面分布図

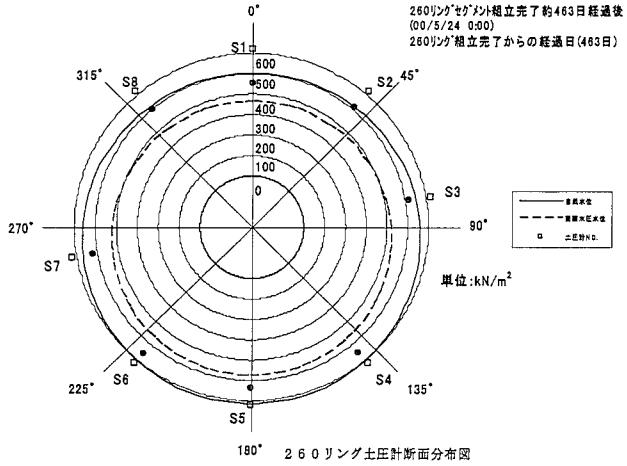
図-3.34　第２工区計測断面Ａ　土圧計の断面分布図①



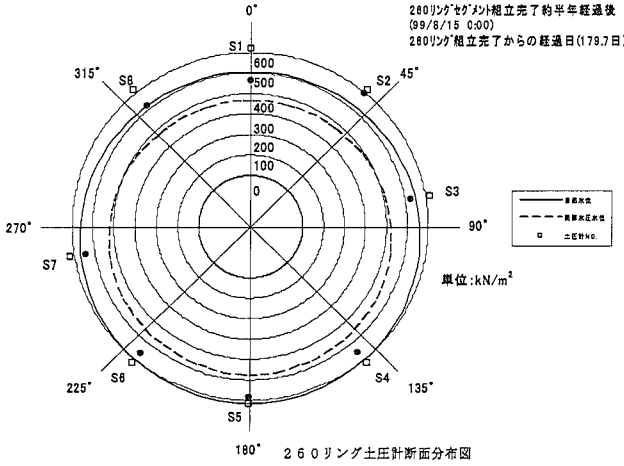
260リング土圧計断面分布図



260リング土圧計断面分布図



260リング土圧計断面分布図



260リング土圧計断面分布図

図-3.35　第２工区計測断面Ａ　土圧計の断面分布図②

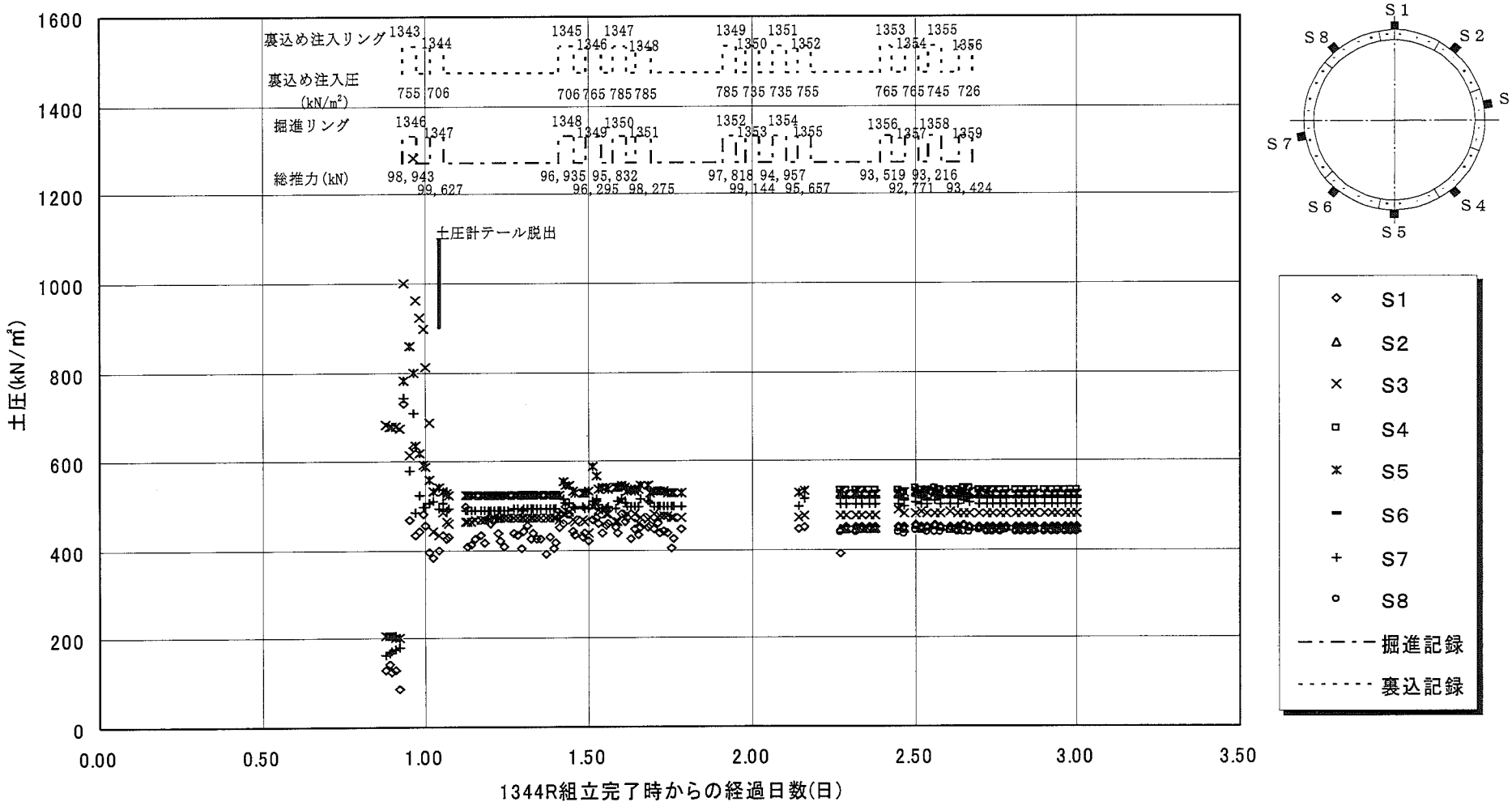


図-3.36　第２工区計測断面Ｂ　土圧計の経時変化図①

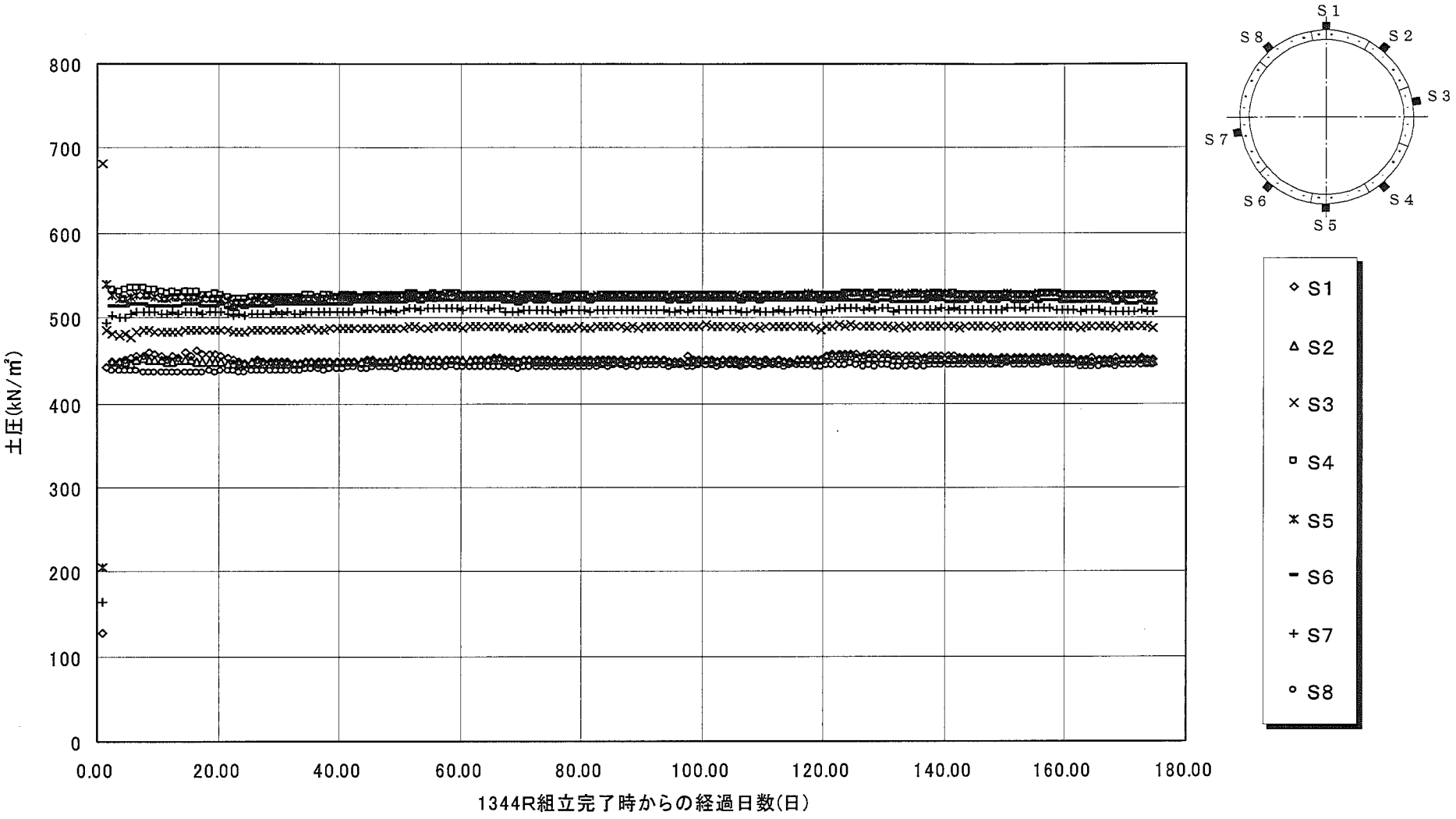
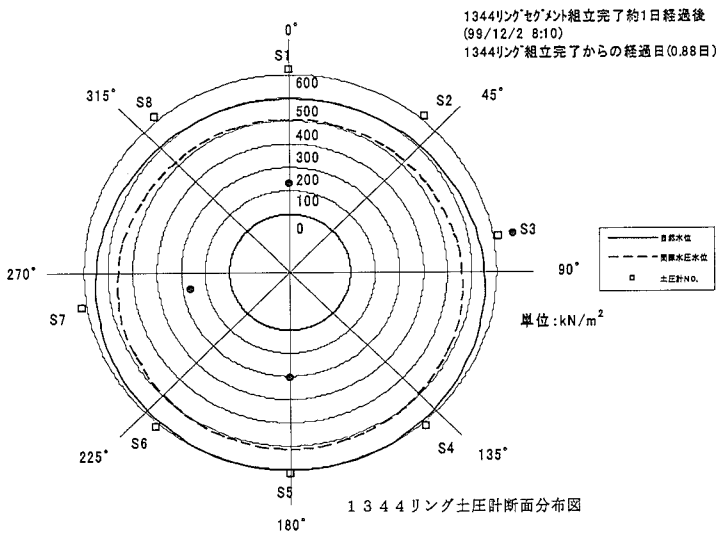
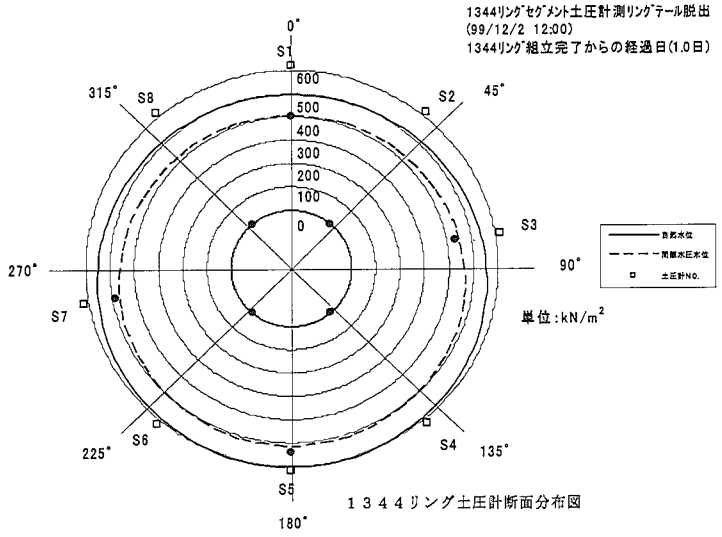
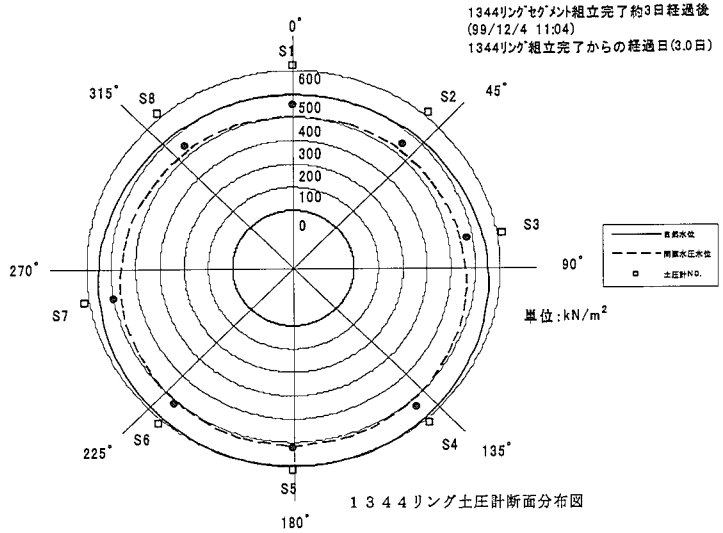


図-3.37　第２工区計測断面Ｂ　土圧計の経時変化図②







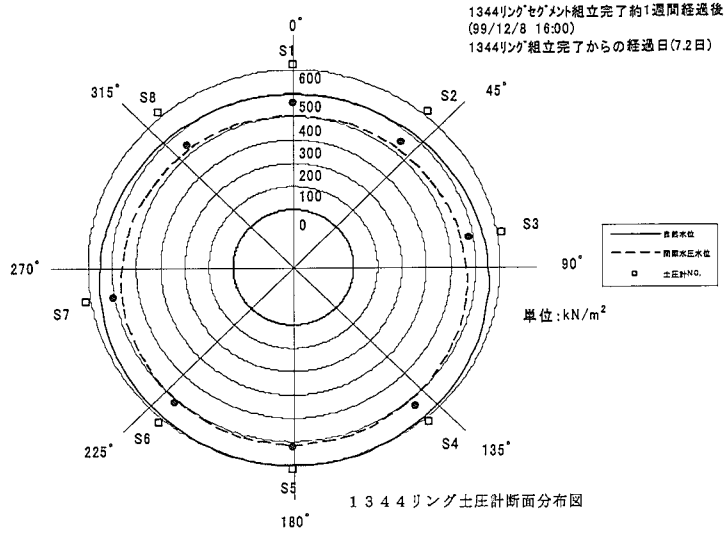


図-3.38　第２工区計測断面Ｂ　土圧計の断面分布図①

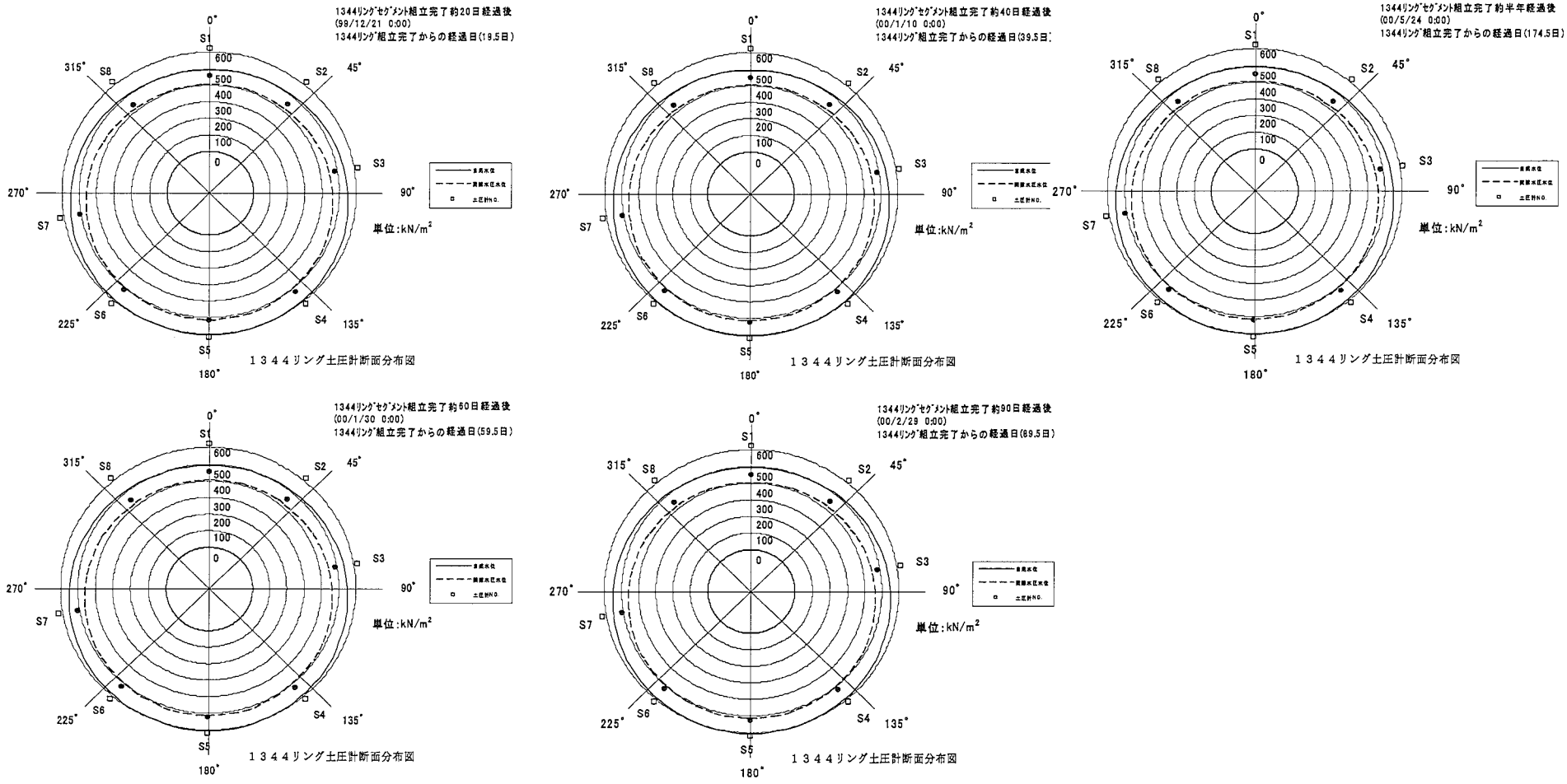


図-3.39　第２工区計測断面Ｂ　土圧計の断面分布図②

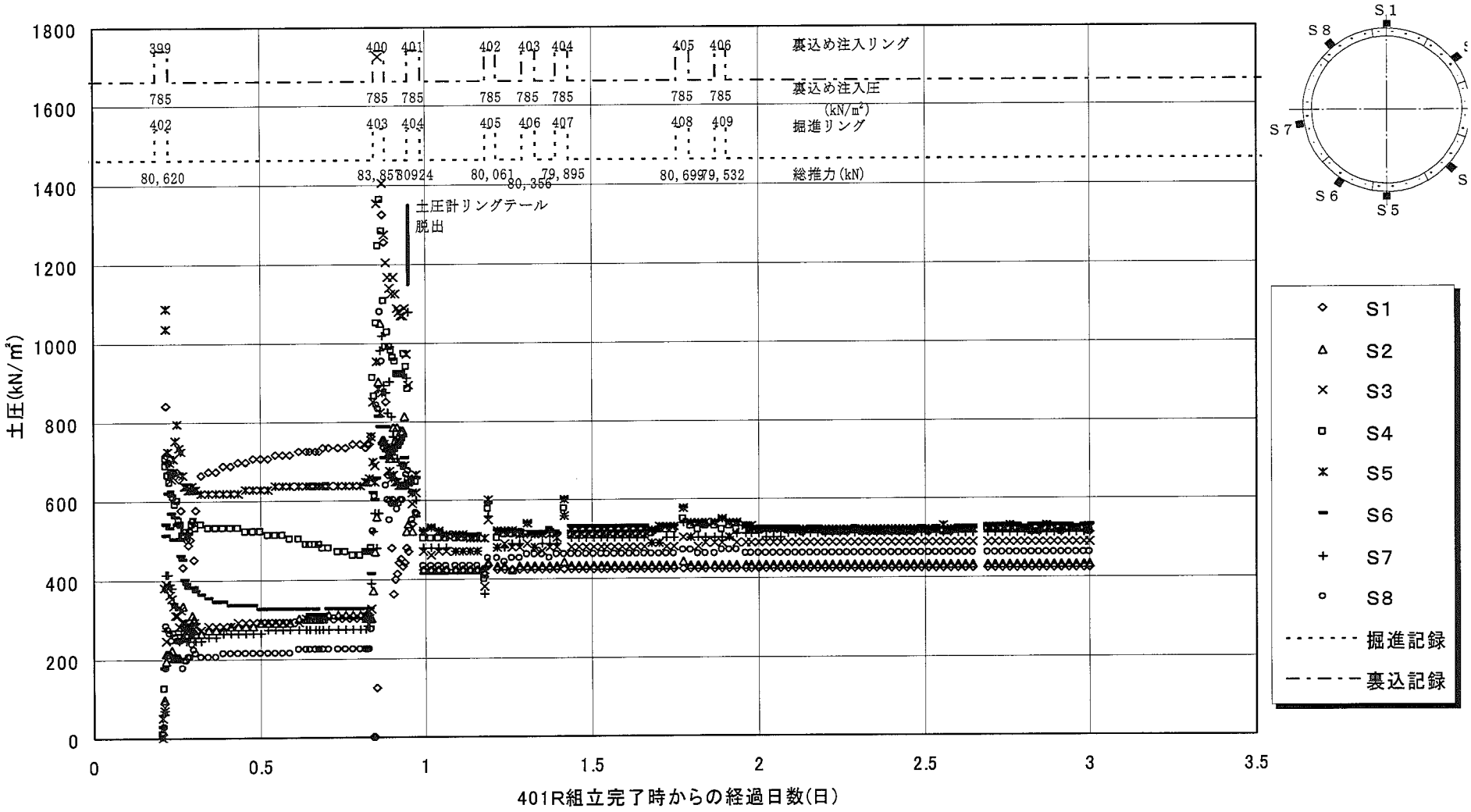


図-3.40　第３工区計測断面　土圧計の経時変化図①

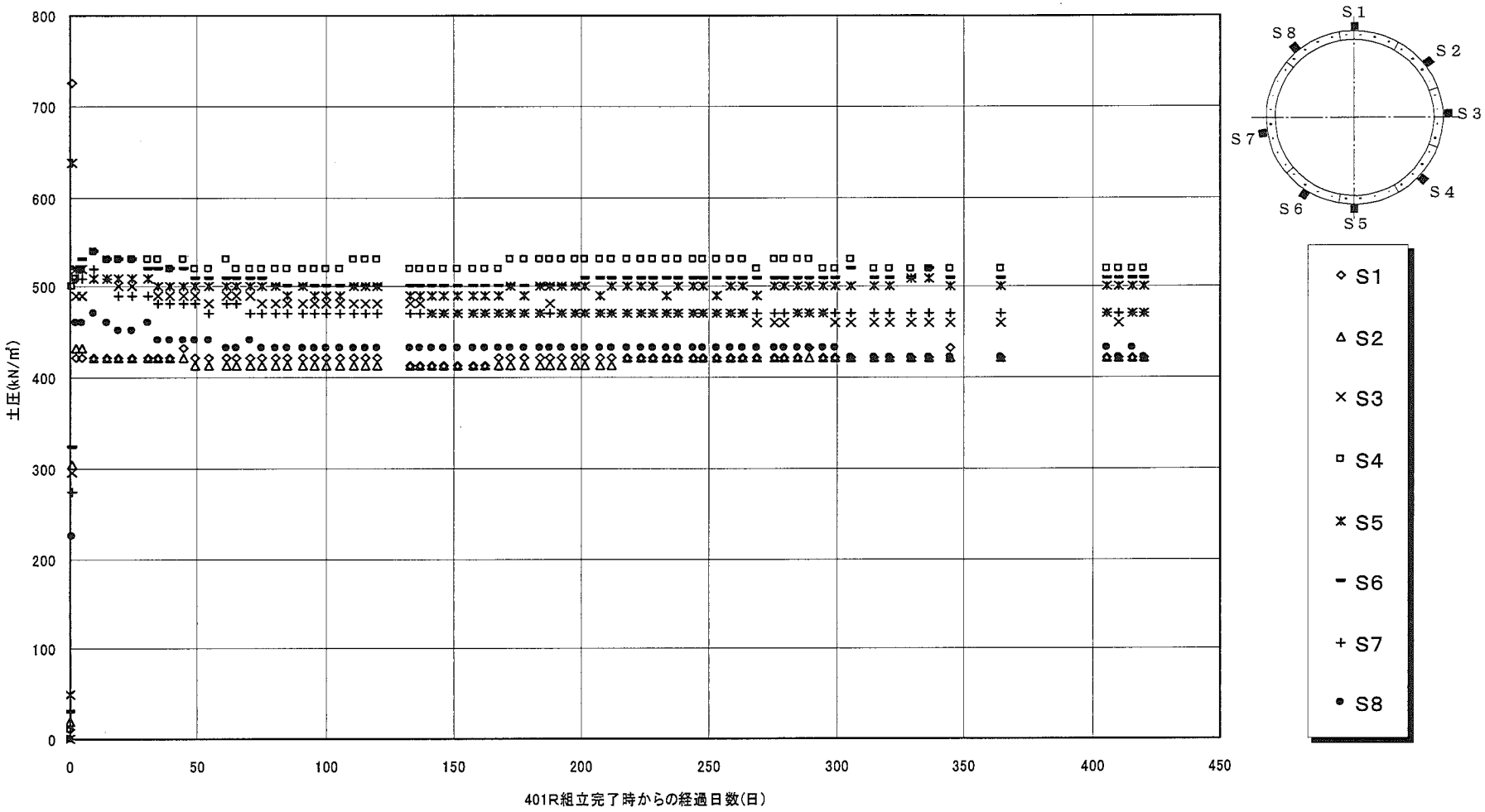


図-3.41　第３工区　土圧計の経時変化図②

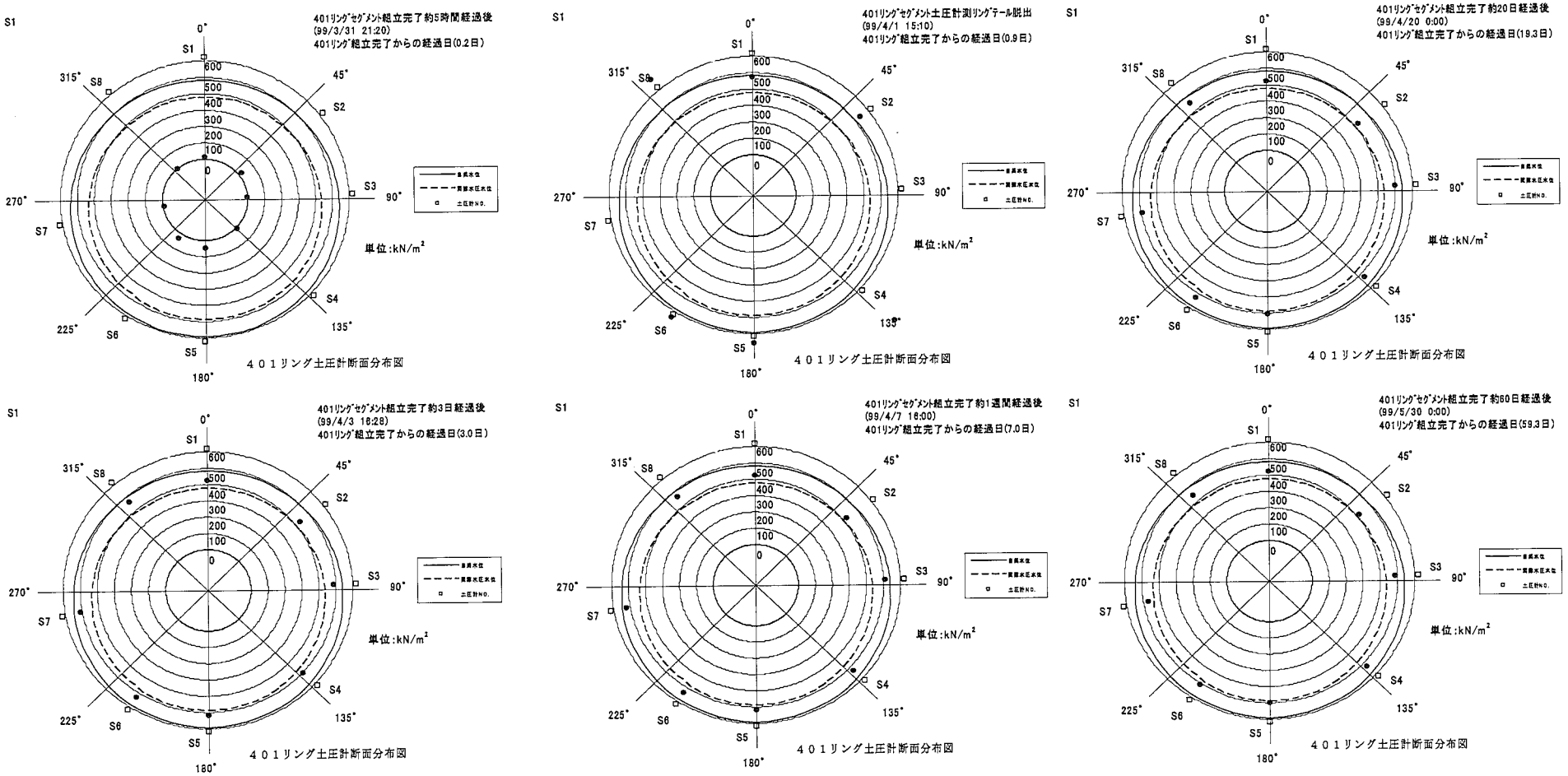
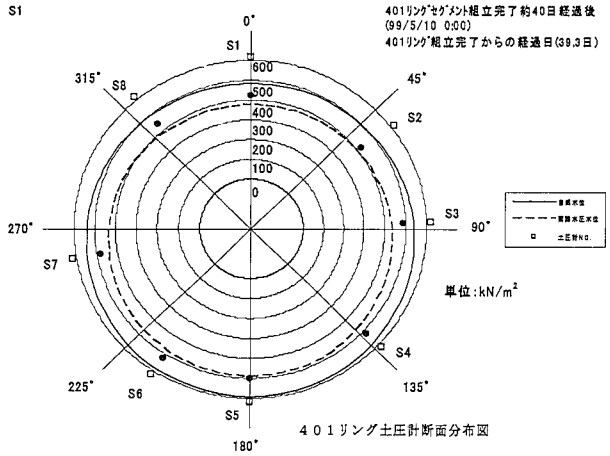
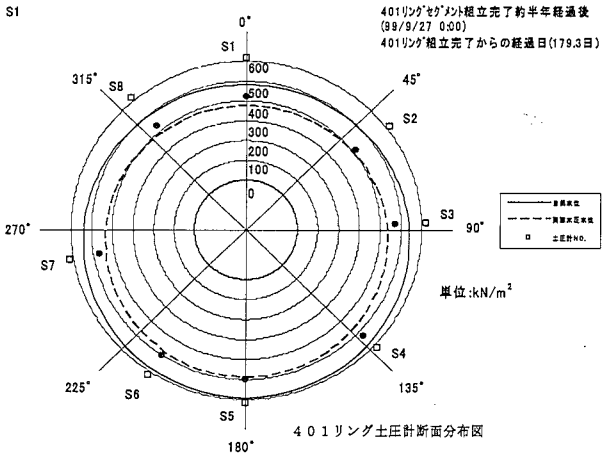
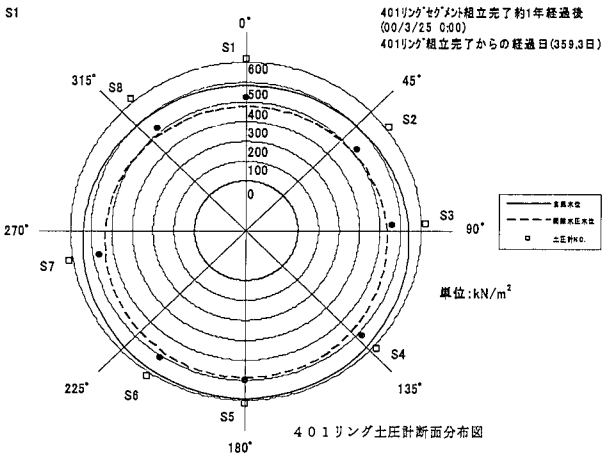
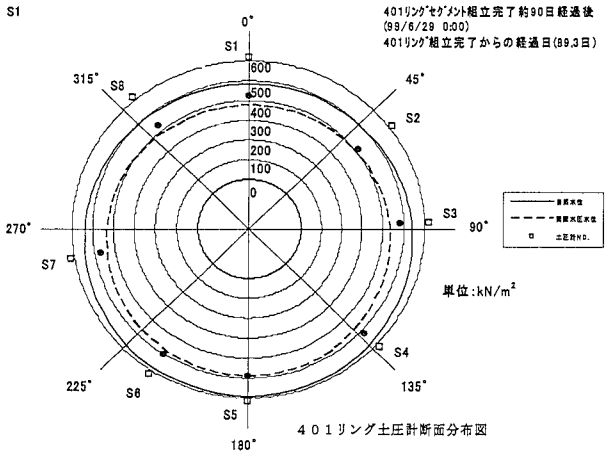


図-3.42　第３工区　土圧計の断面分布図①









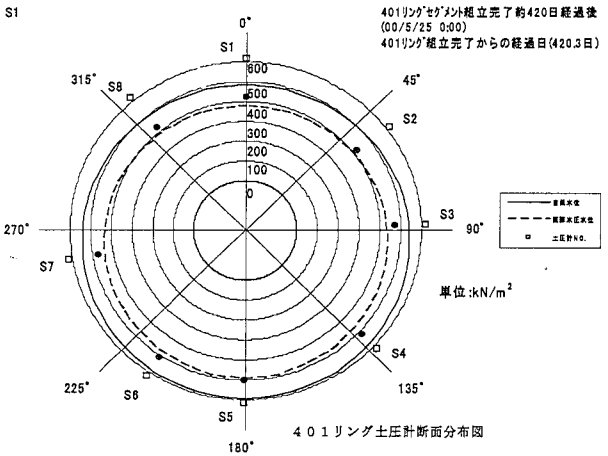


図-3.43　第３工区　土圧計の断面分布図②

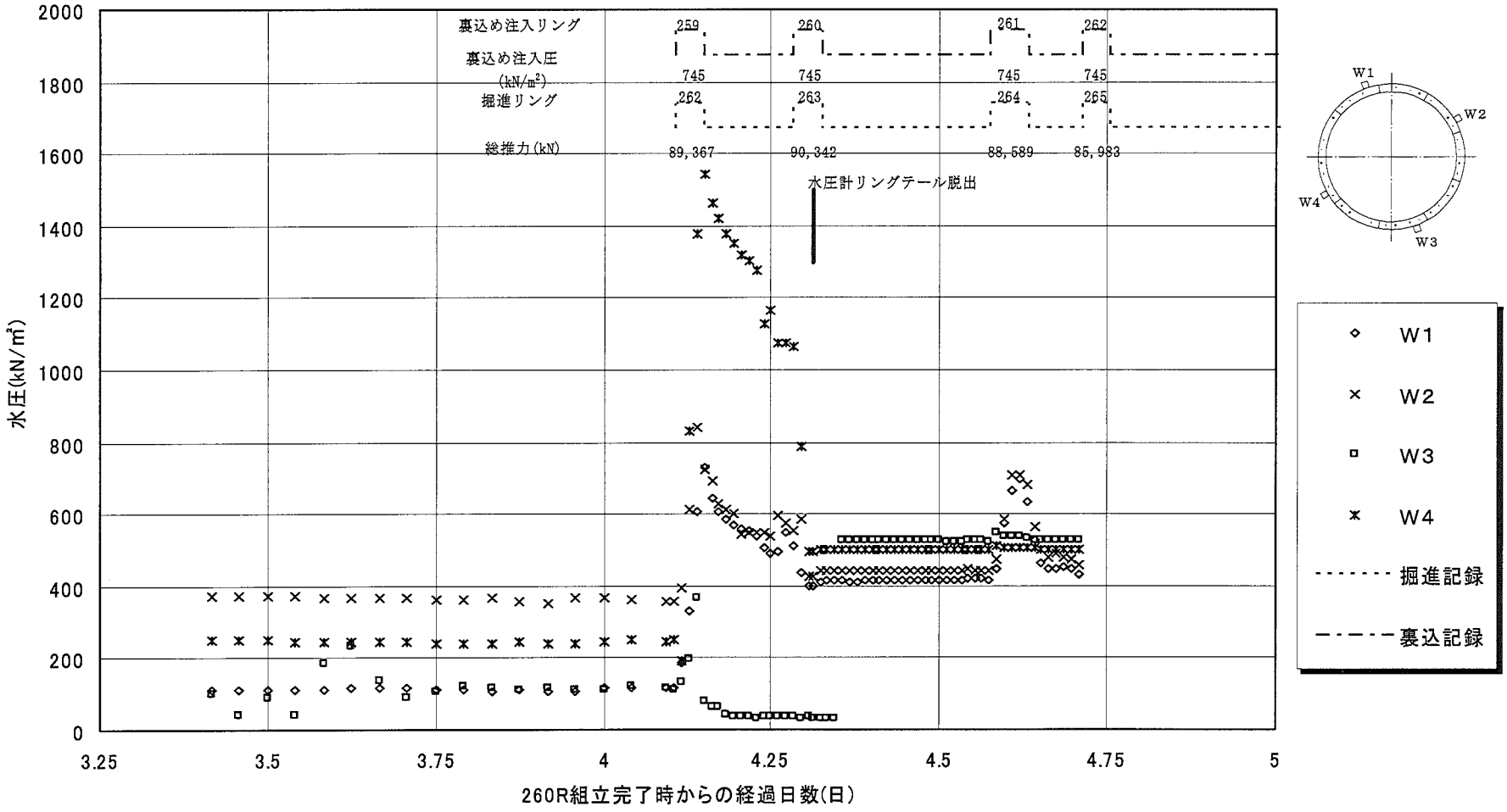


図-3.44　第２工区計測断面Ａ　水圧計の経時変化図①

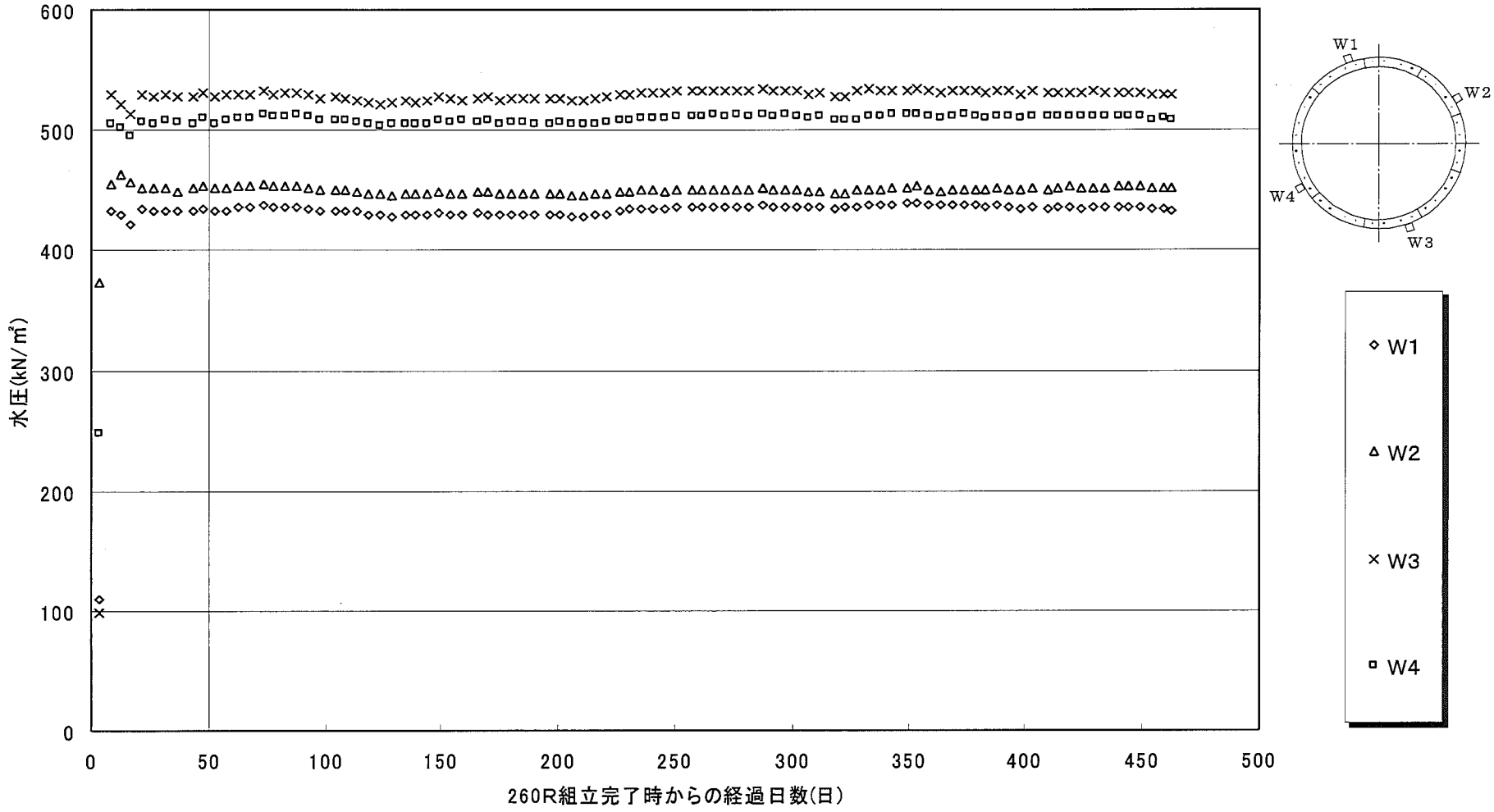


図-3.45　第２工区計測断面Ａ　水圧計の経時変化図②

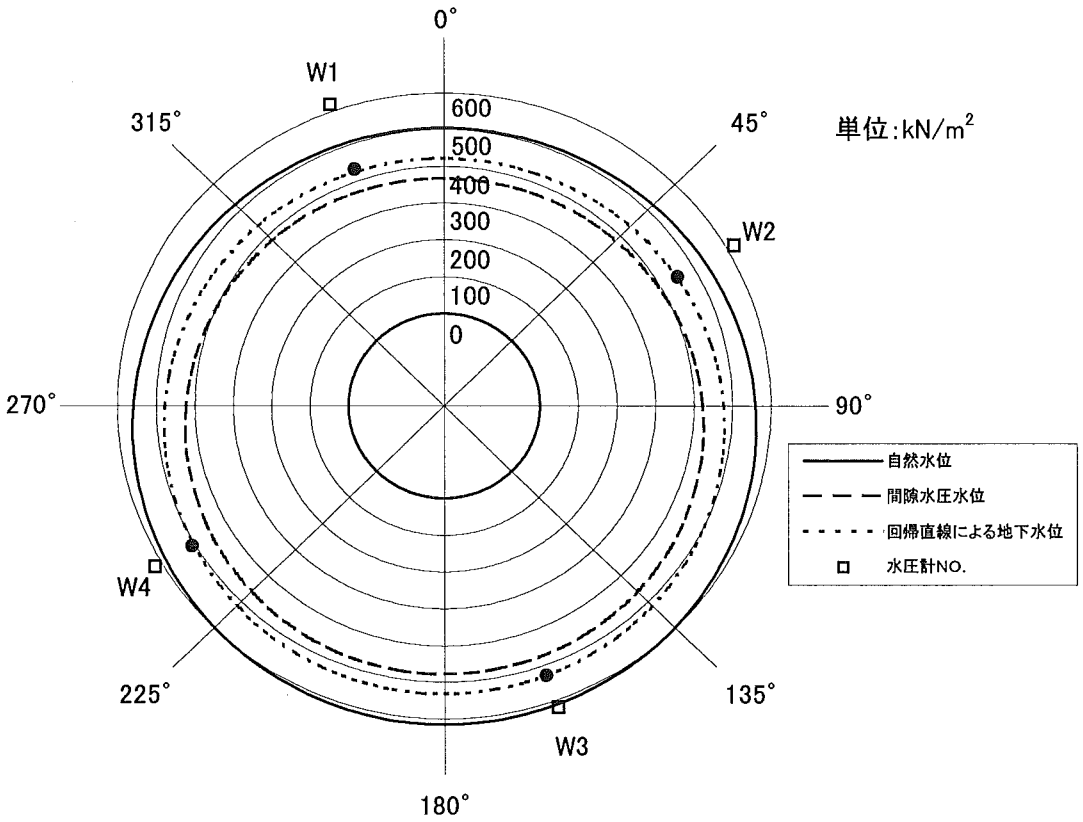


図-3.46　第２工区計測断面Ａ　水圧計の断面分布図(約４６３日後)

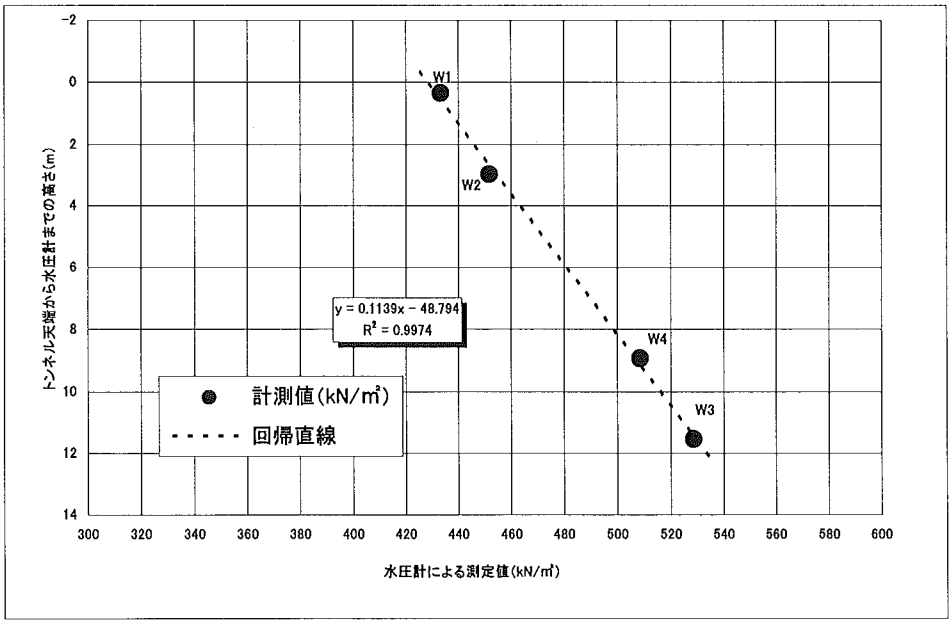


図-3.47　２工区計測断面Ａ　計測された水圧値とトンネル天端からの高さの関係

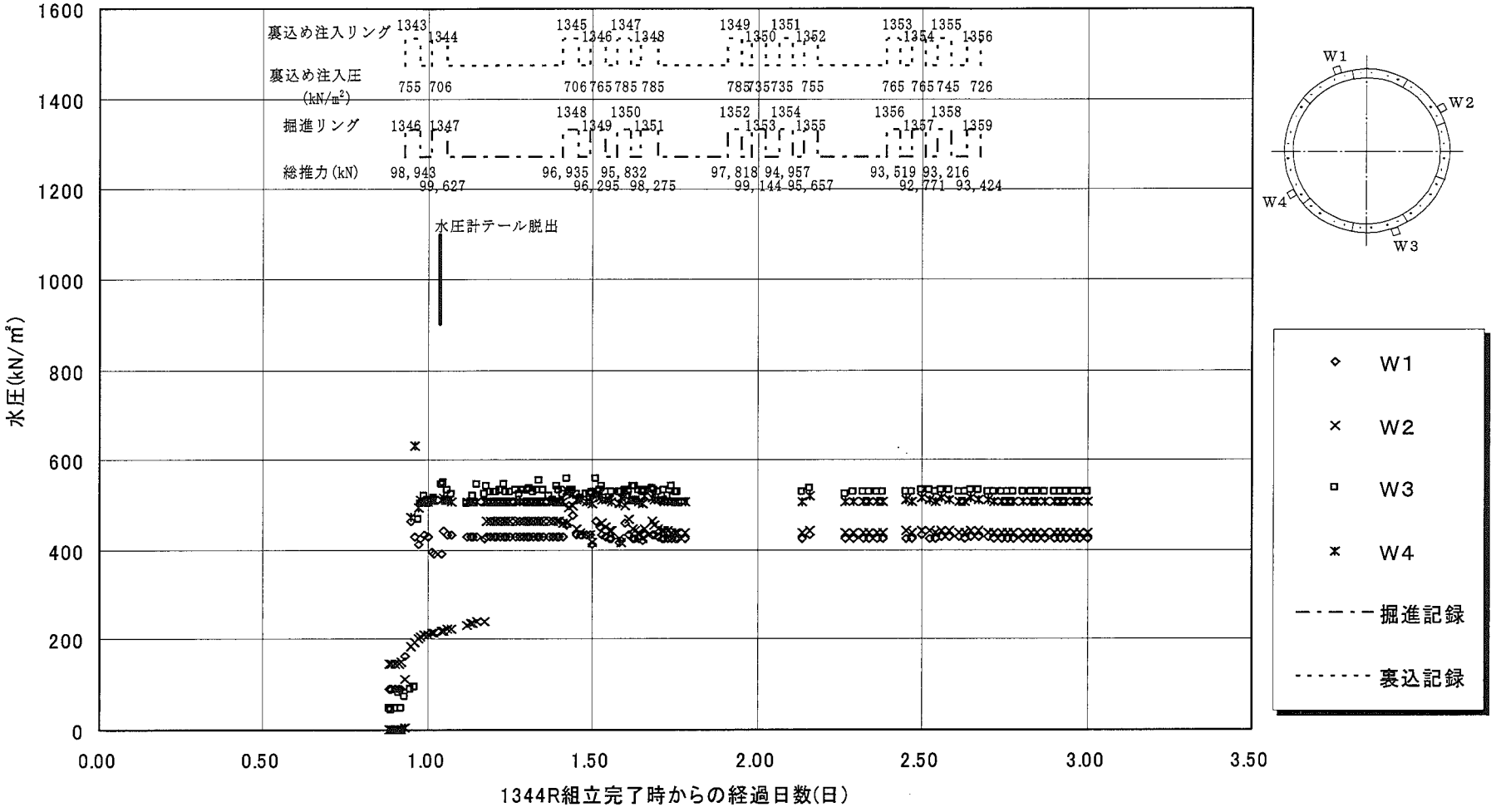


図-3.48　第２工区計測断面Ｂ　水圧計の経時変化図①

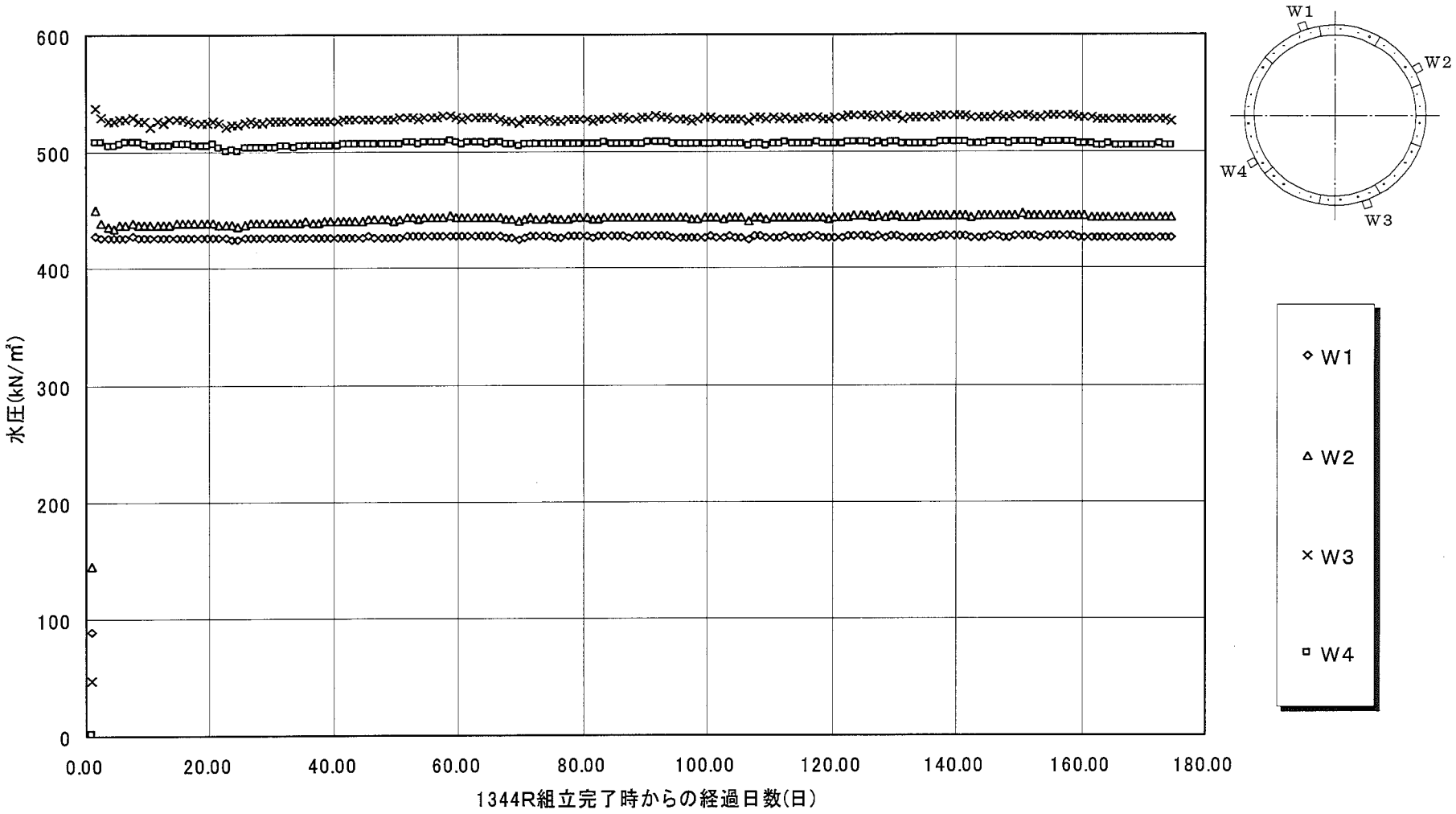


図-3.49　第２工区計測断面Ｂ　水圧計の経時変化図②

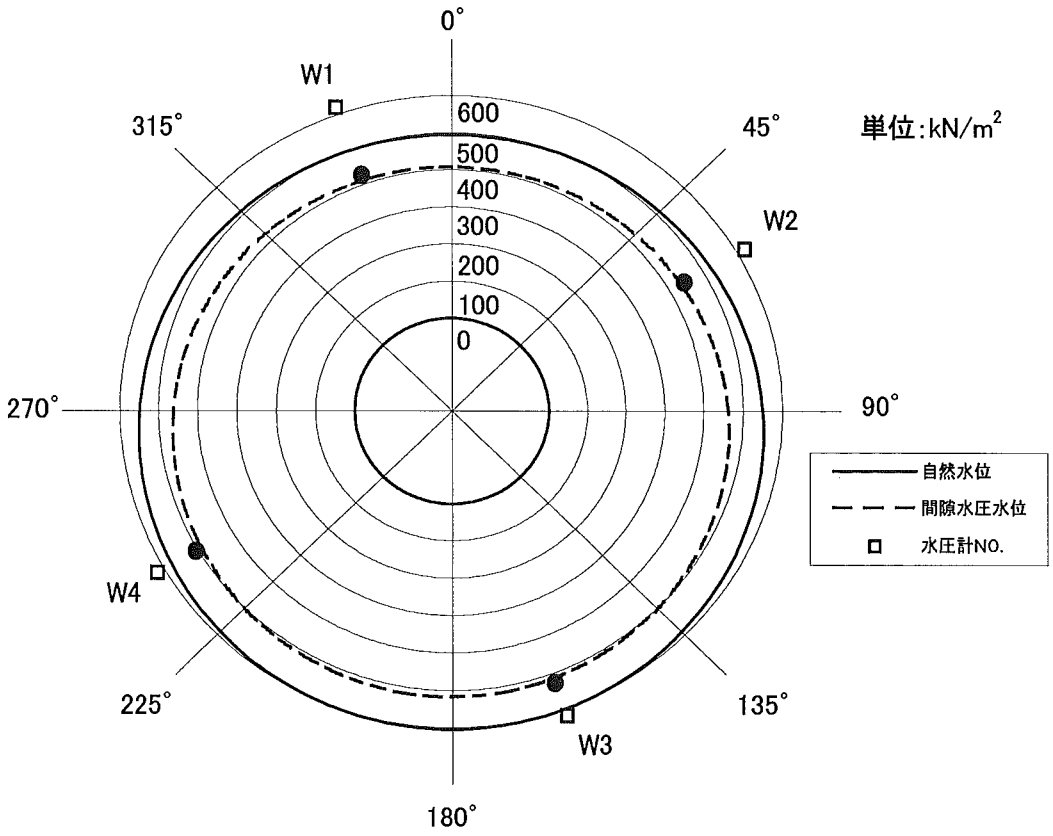


図-3.50　第２工区計測断面Ｂ　水圧計の断面分布図(約１７５日後)

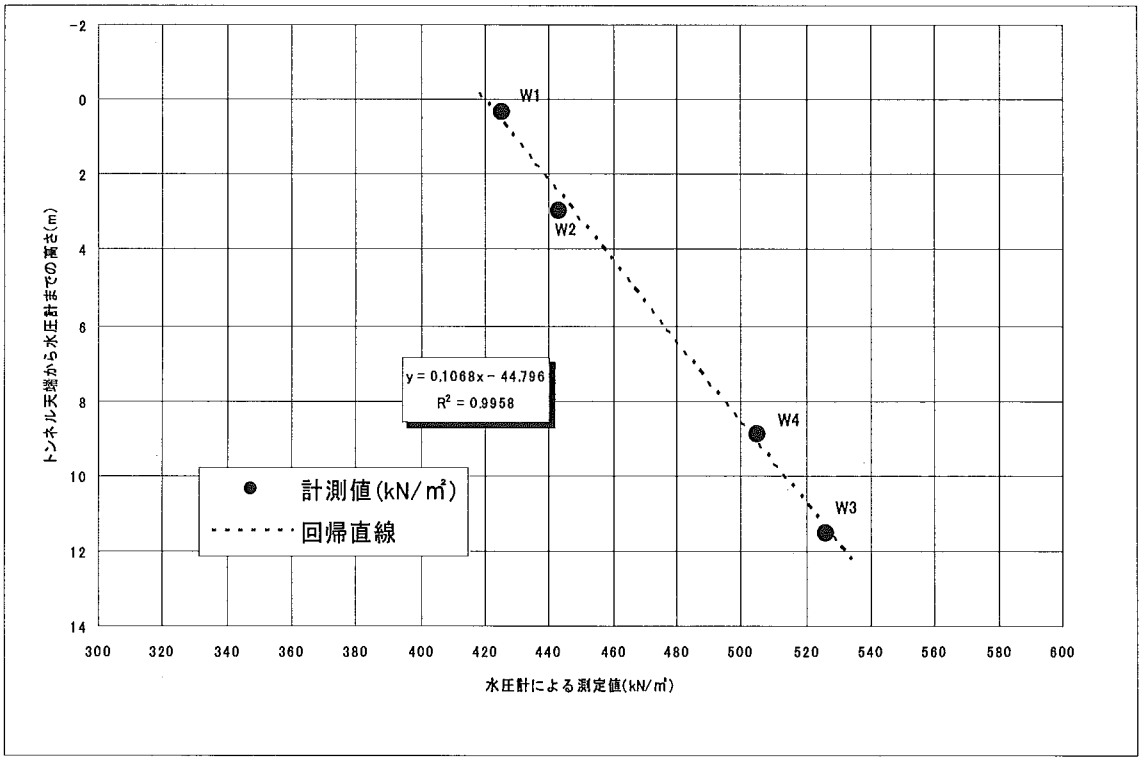


図-3.51　２工区計測断面Ｂ　計測された水圧値とトンネル天端からの高さの関係

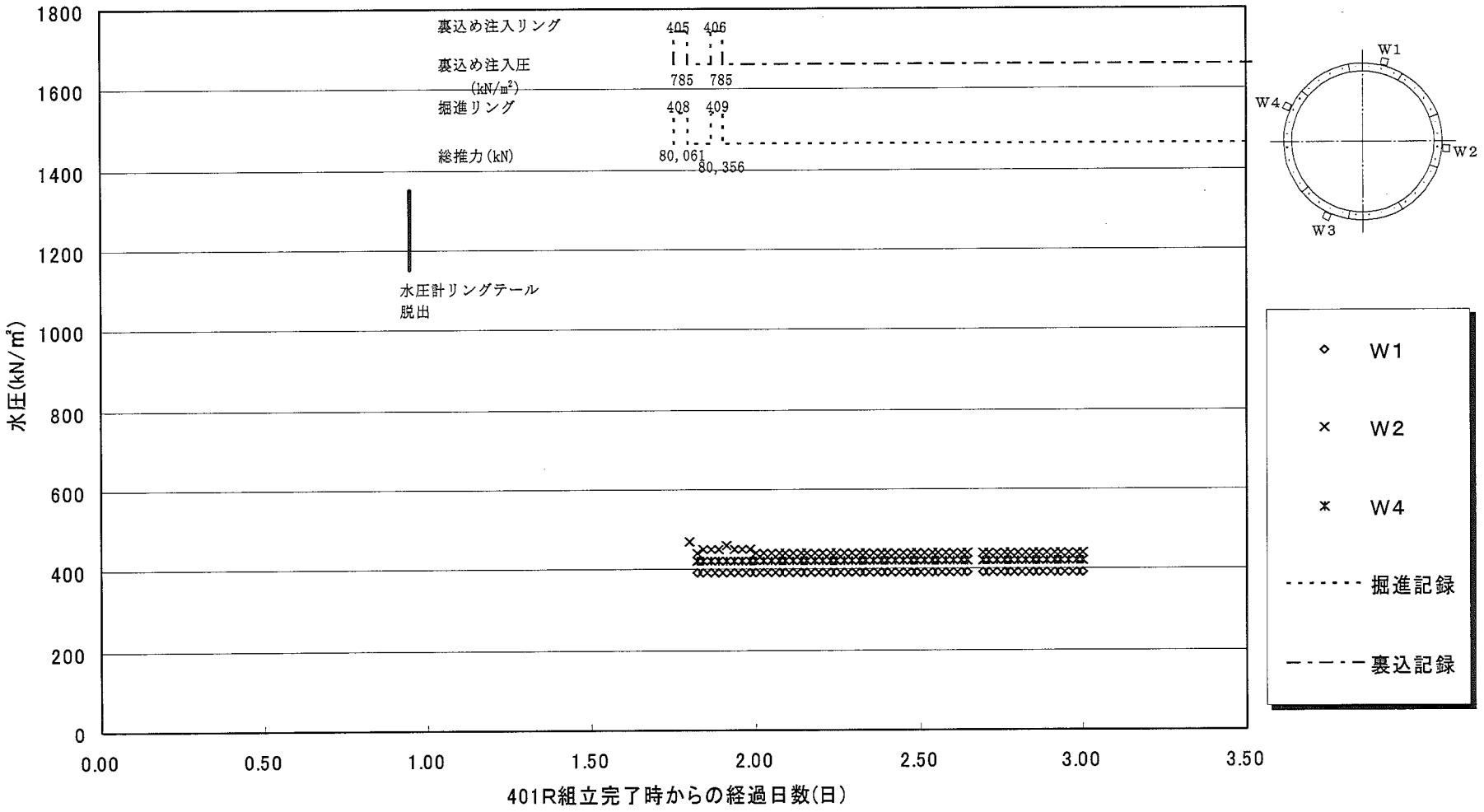


図-3.52　第３工区　水圧計の経時変化図①

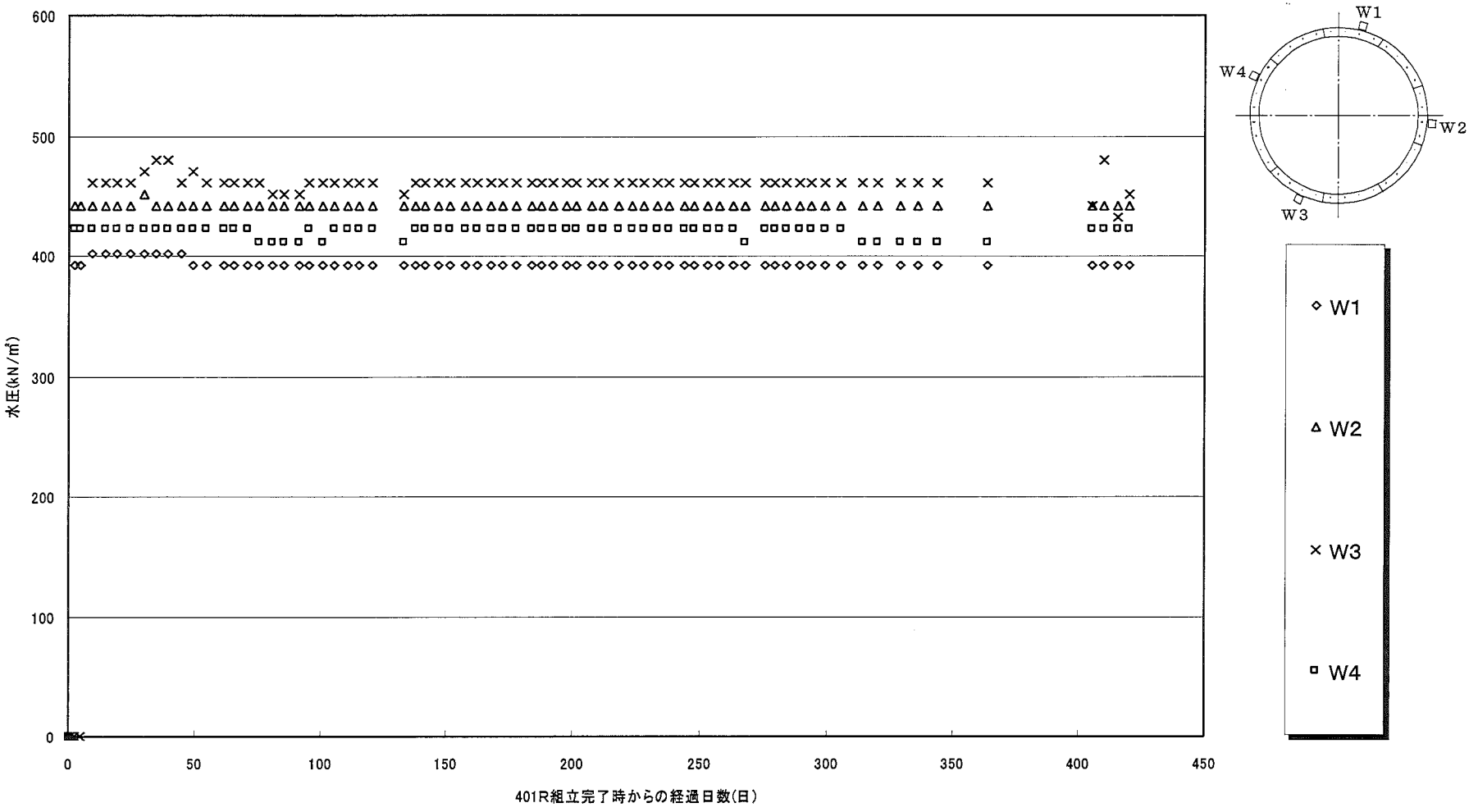


図-3.53　第３工区　水圧計の経時変化図②

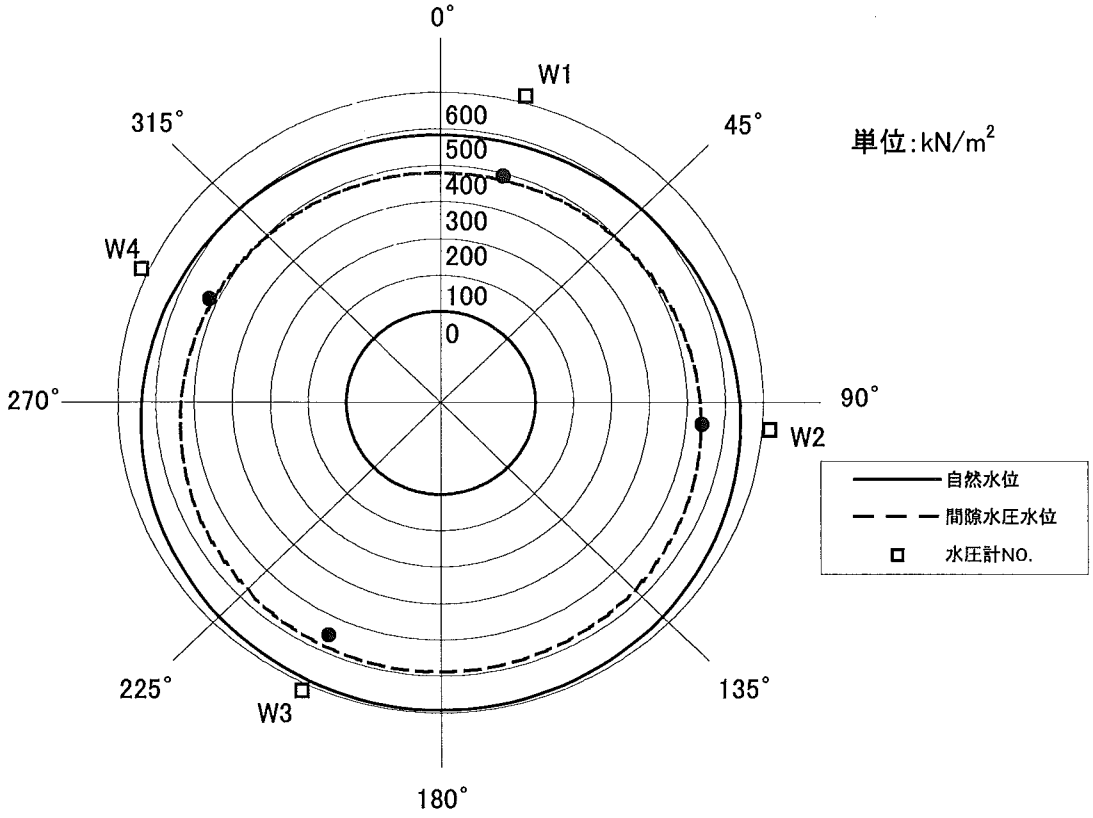


図-3.54　第３工区　水圧計の経時変化図

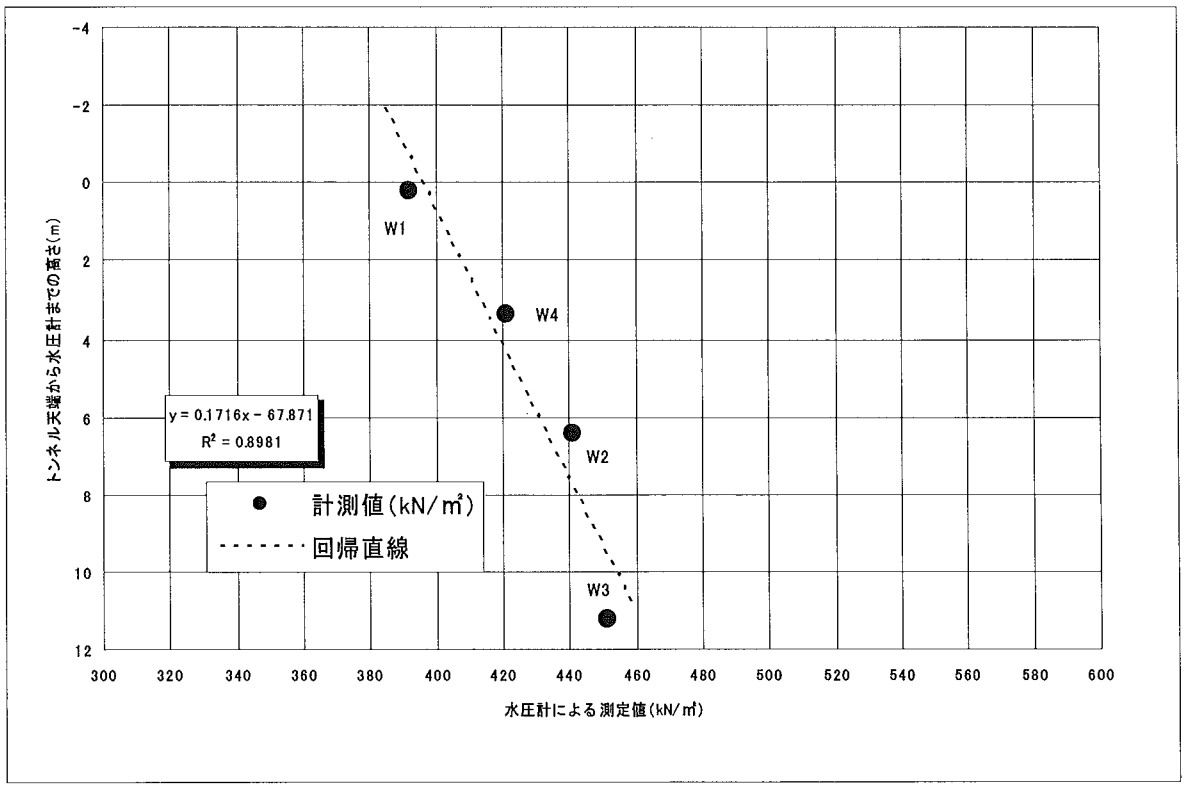


図-3.55　第３工区　計測された水圧値とトンネル天端からの高さの関係

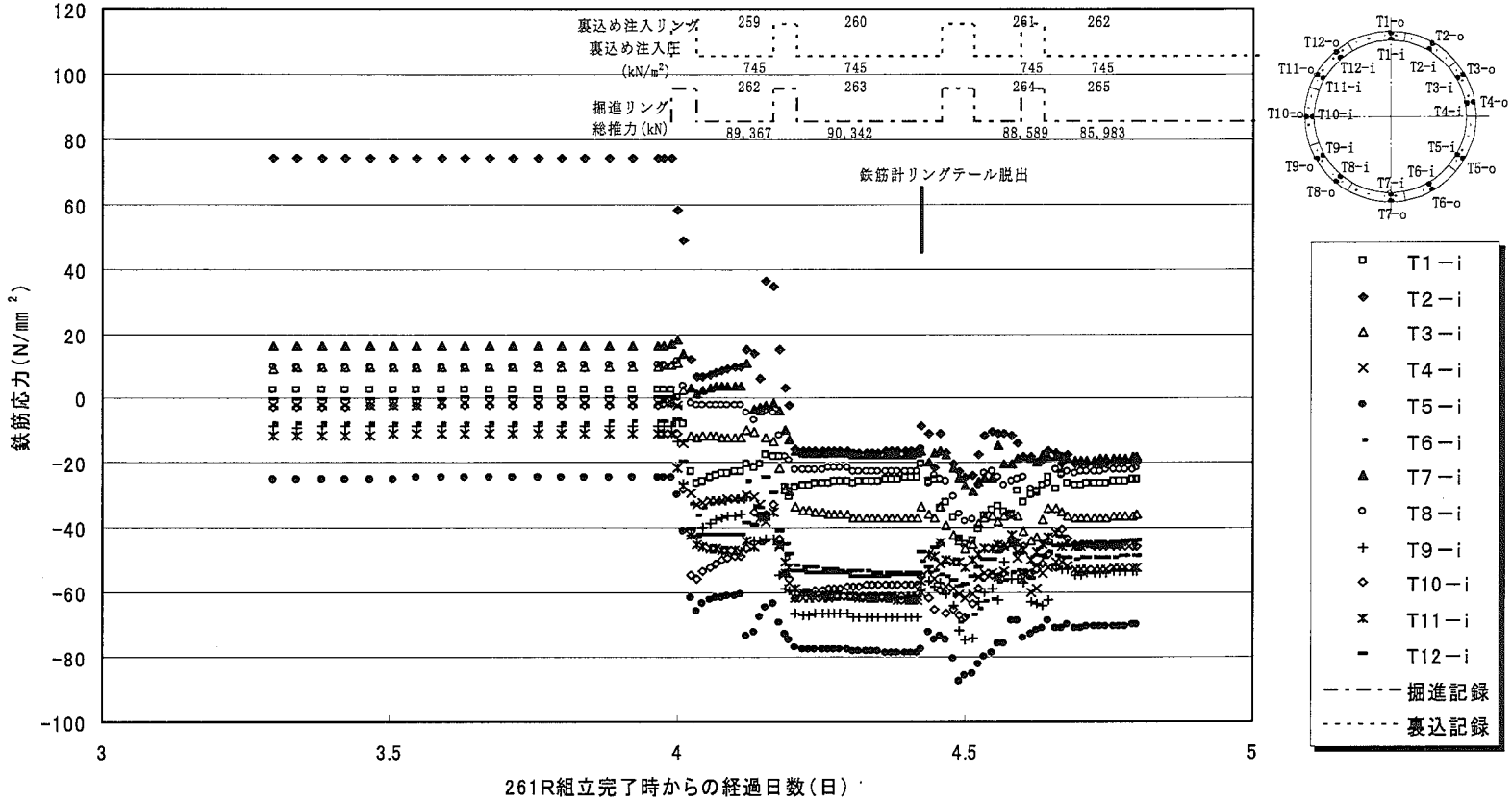


図-3.56　第２工区計測断面Ａ　周方向鉄筋応力（内側）の経時変化図①

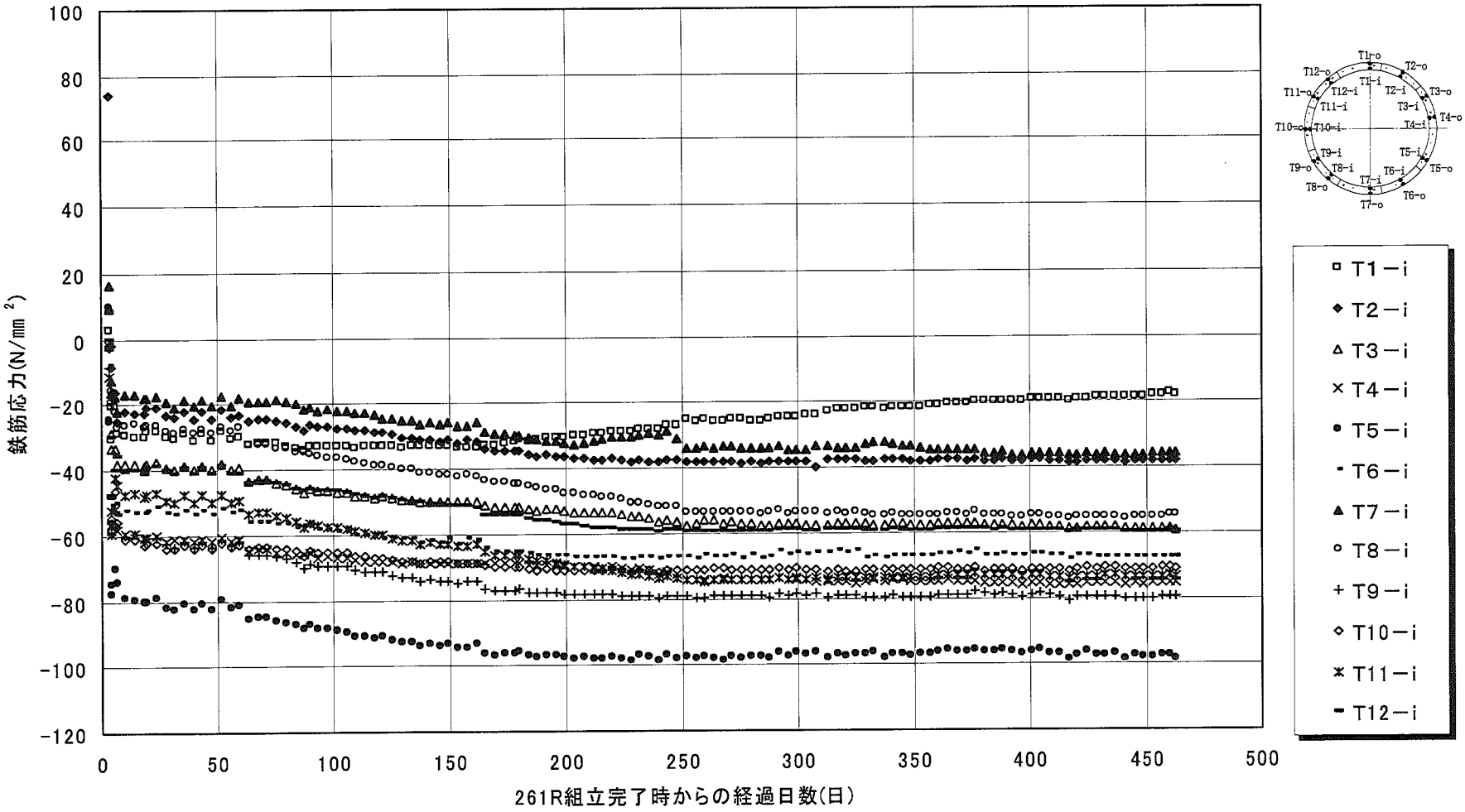


図-3.57　第２工区計測断面Ａ　周方向鉄筋応力（内側）の経時変化図②

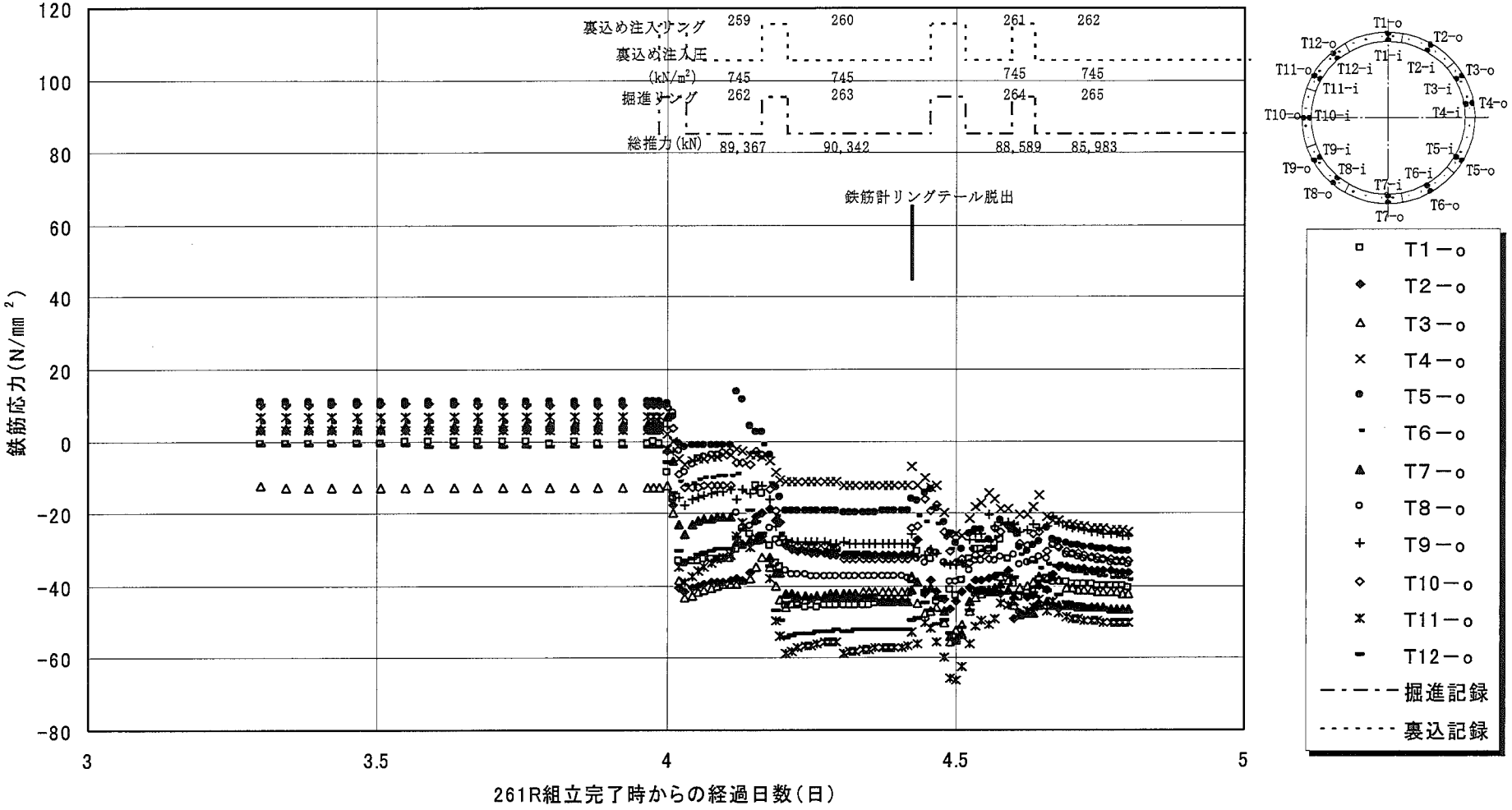


図-3.58　第２工区計測断面Ａ　周方向鉄筋応力（外側）の経時変化図①

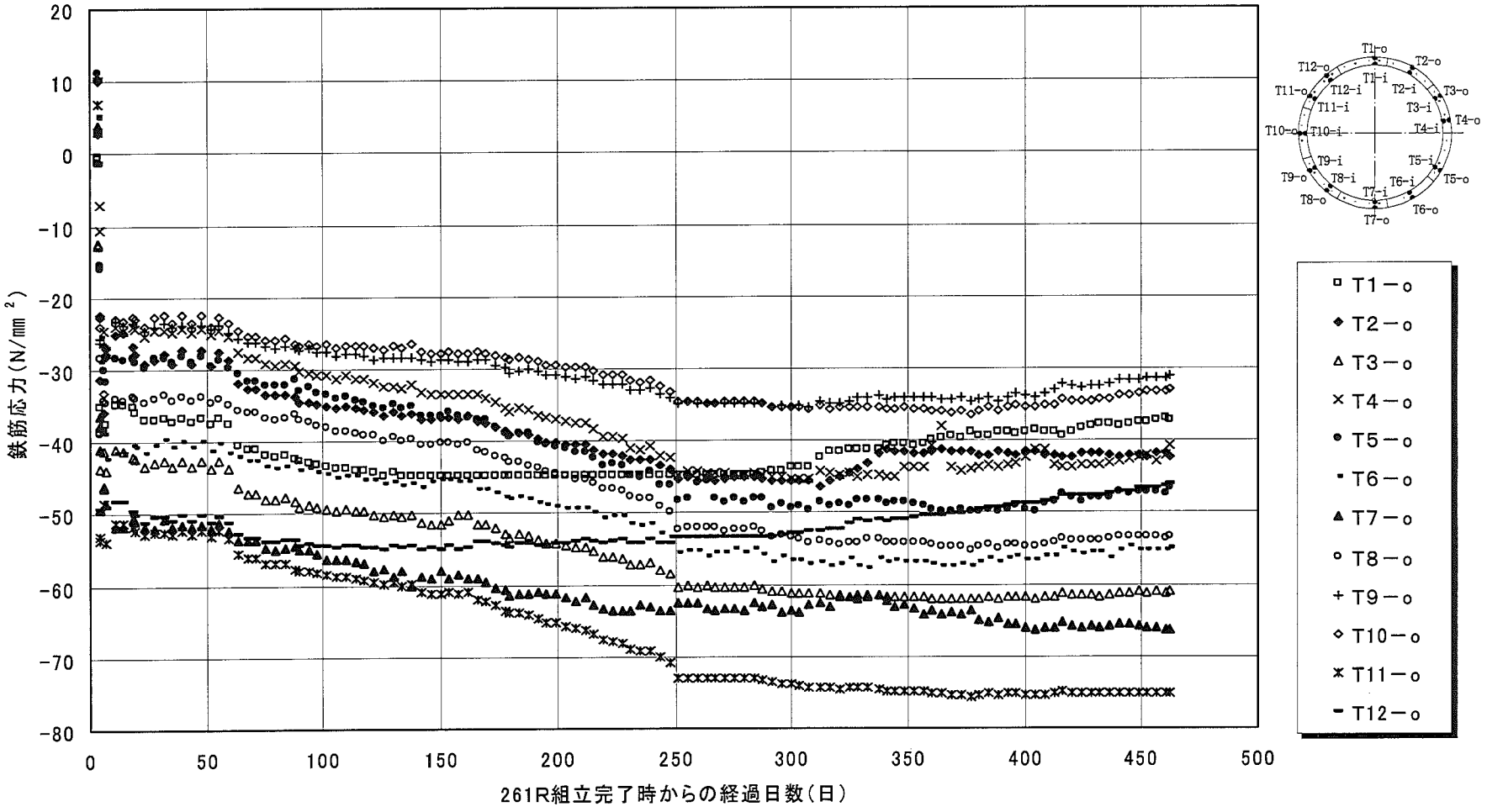


図-3.59　第２工区計測断面Ａ　周方向鉄筋応力（外側）の経時変化図②

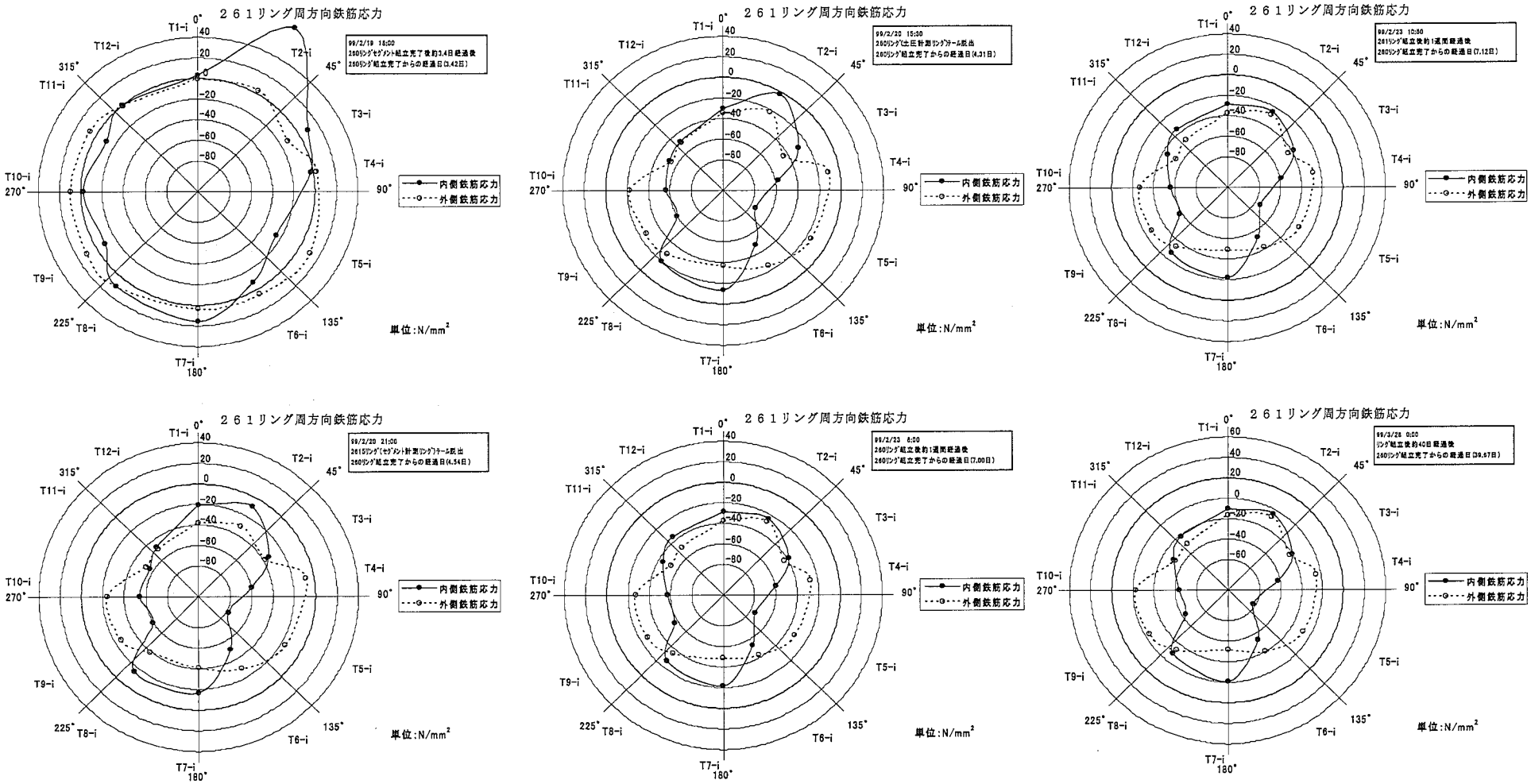


図-3.60　第２工区　計測断面Ａ　円周方向鉄筋応力分布①

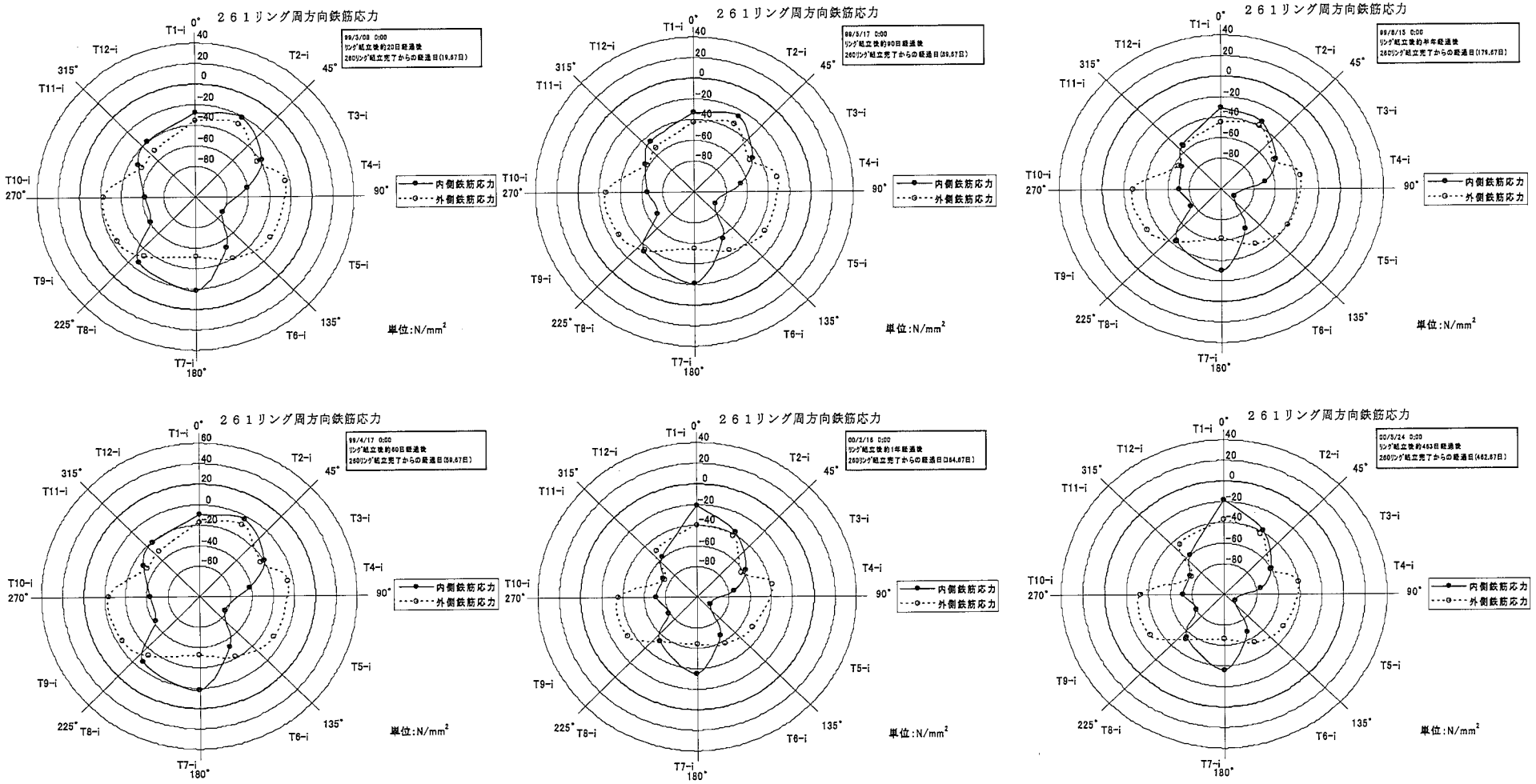


図-3.61　第２工区　計測断面Ａ　円周方向鉄筋応力分布②

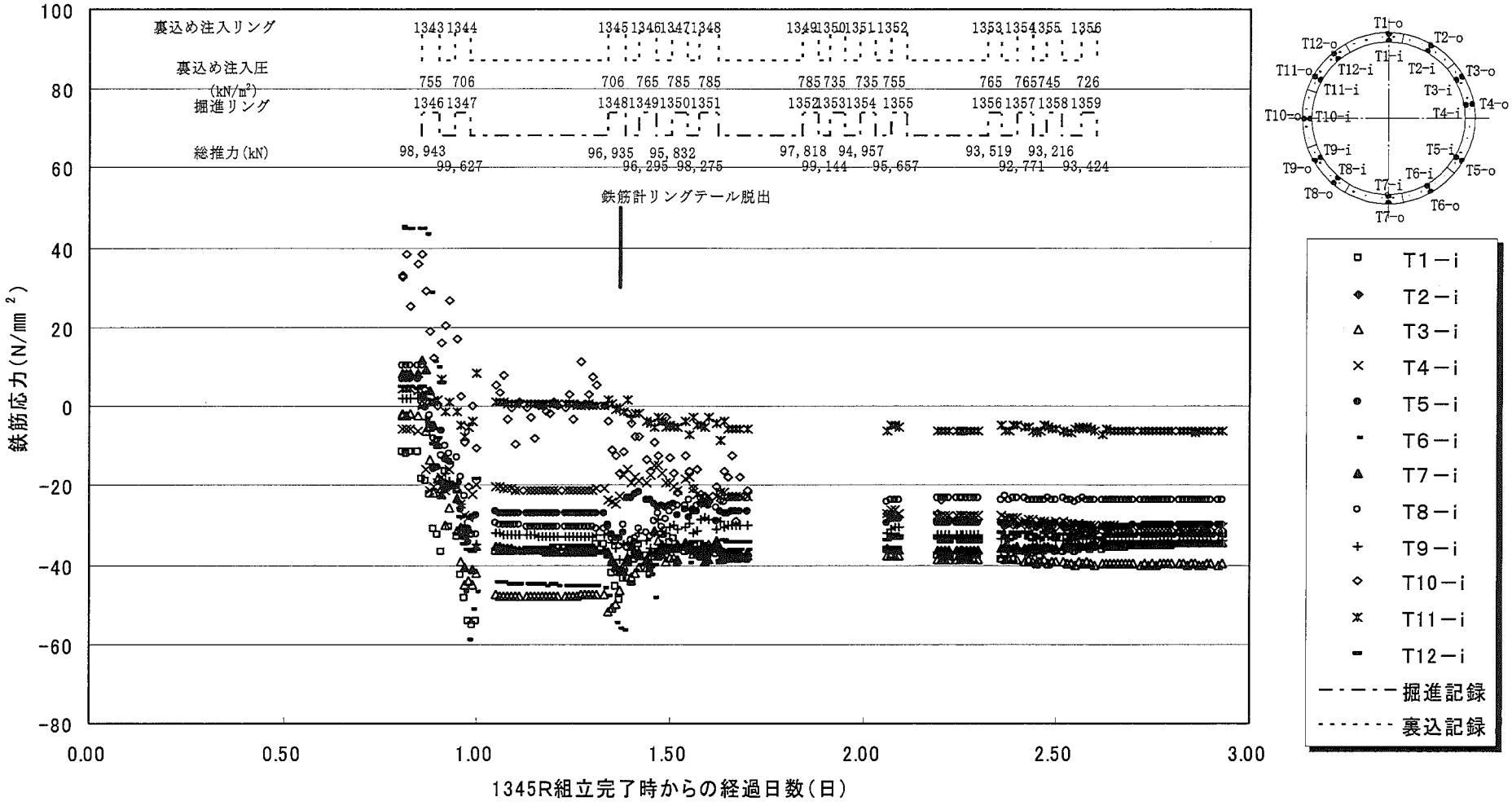


図-3.62　第２工区計測断面Ｂ　周方向鉄筋応力（内側）の経時変化図①

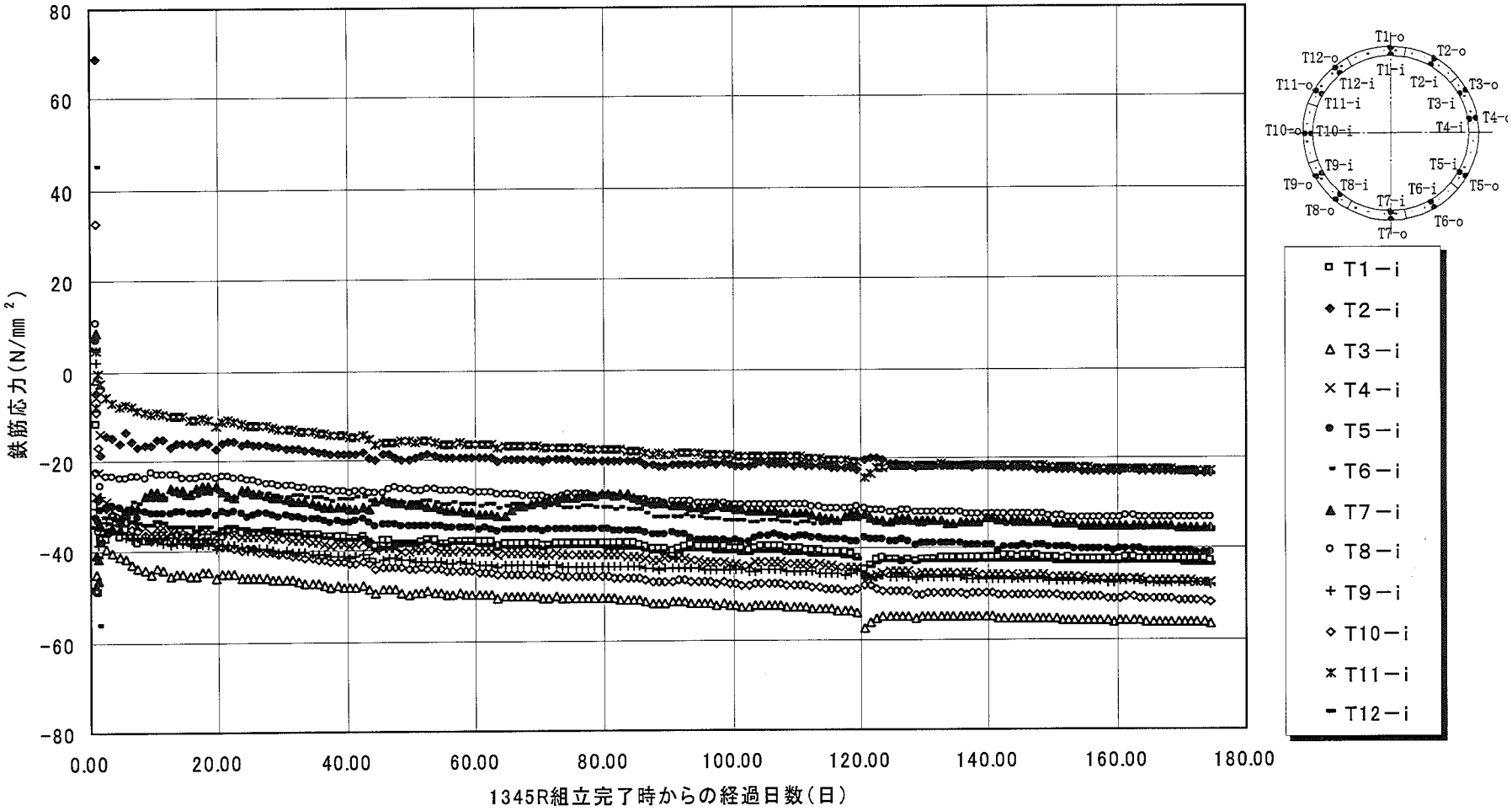


図-3.63　第２工区計測断面Ｂ　周方向鉄筋応力（内側）の経時変化図②

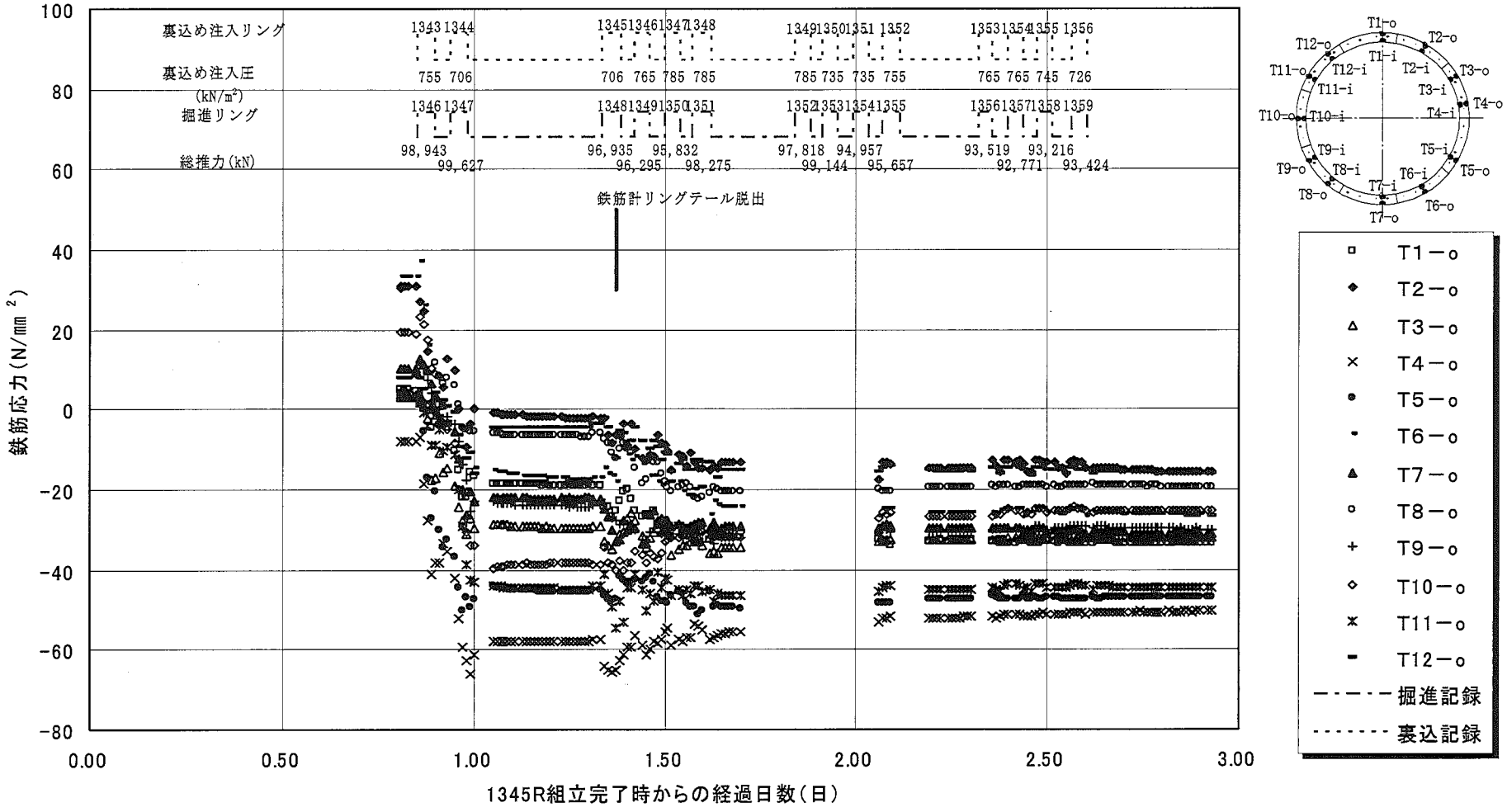


図-3.64　第２工区計測断面Ｂ　周方向鉄筋応力（外側）の経時変化図①

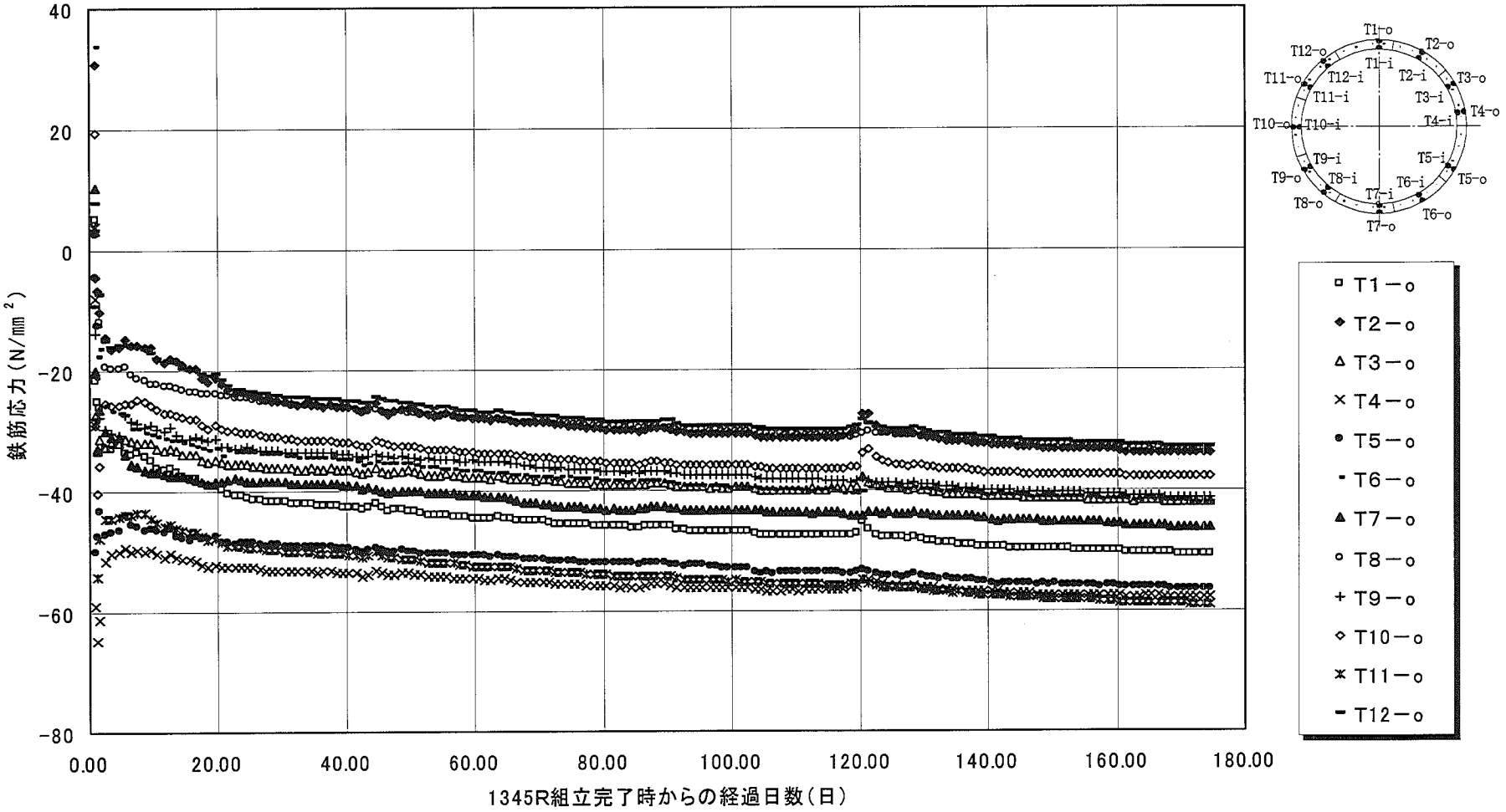


図-3.65　第２工区計測断面Ｂ　周方向鉄筋応力（外側）の経時変化図②

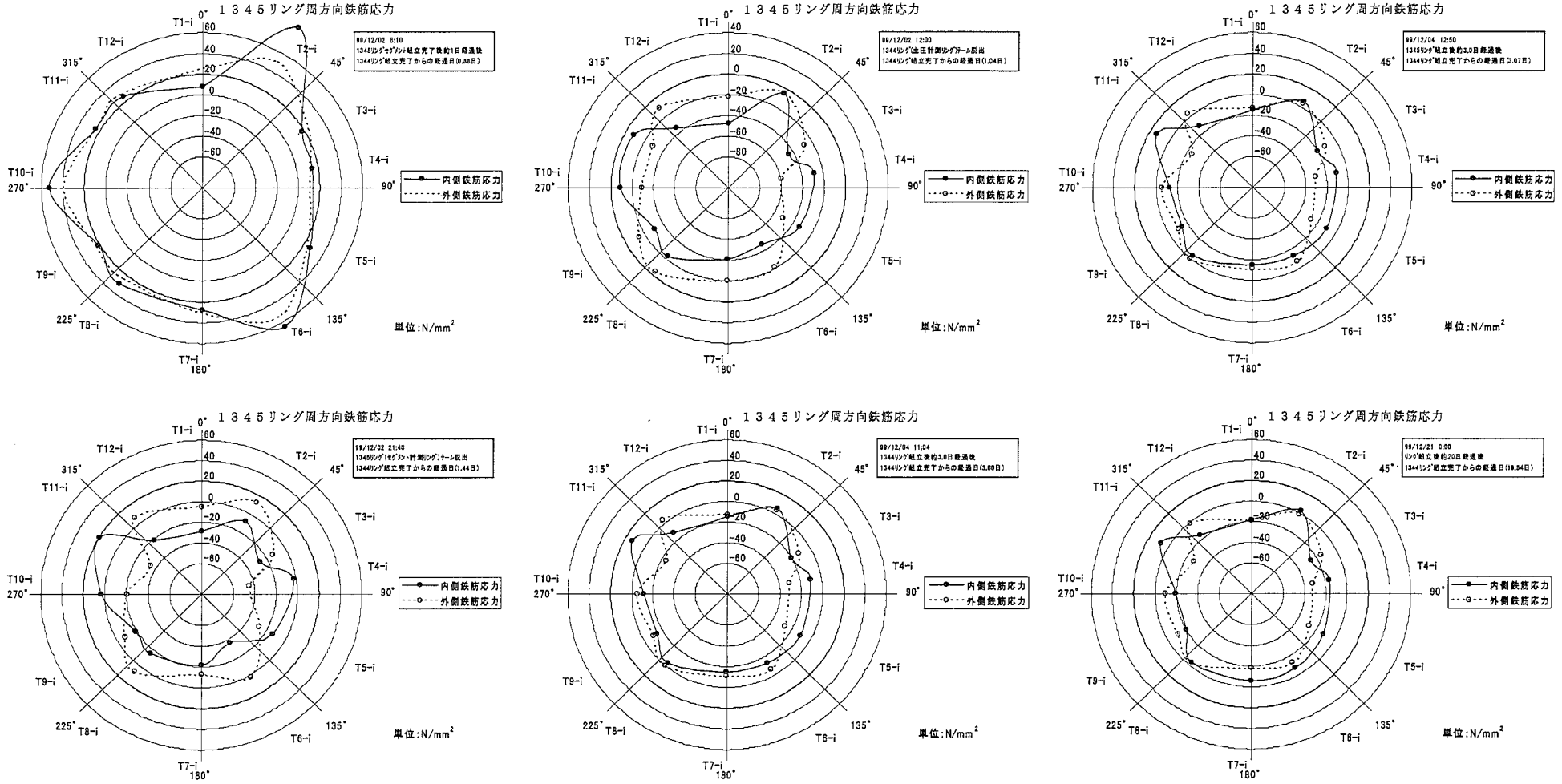


図-3.66　第２工区　計測断面Ｂ　円周方向鉄筋応力分布①

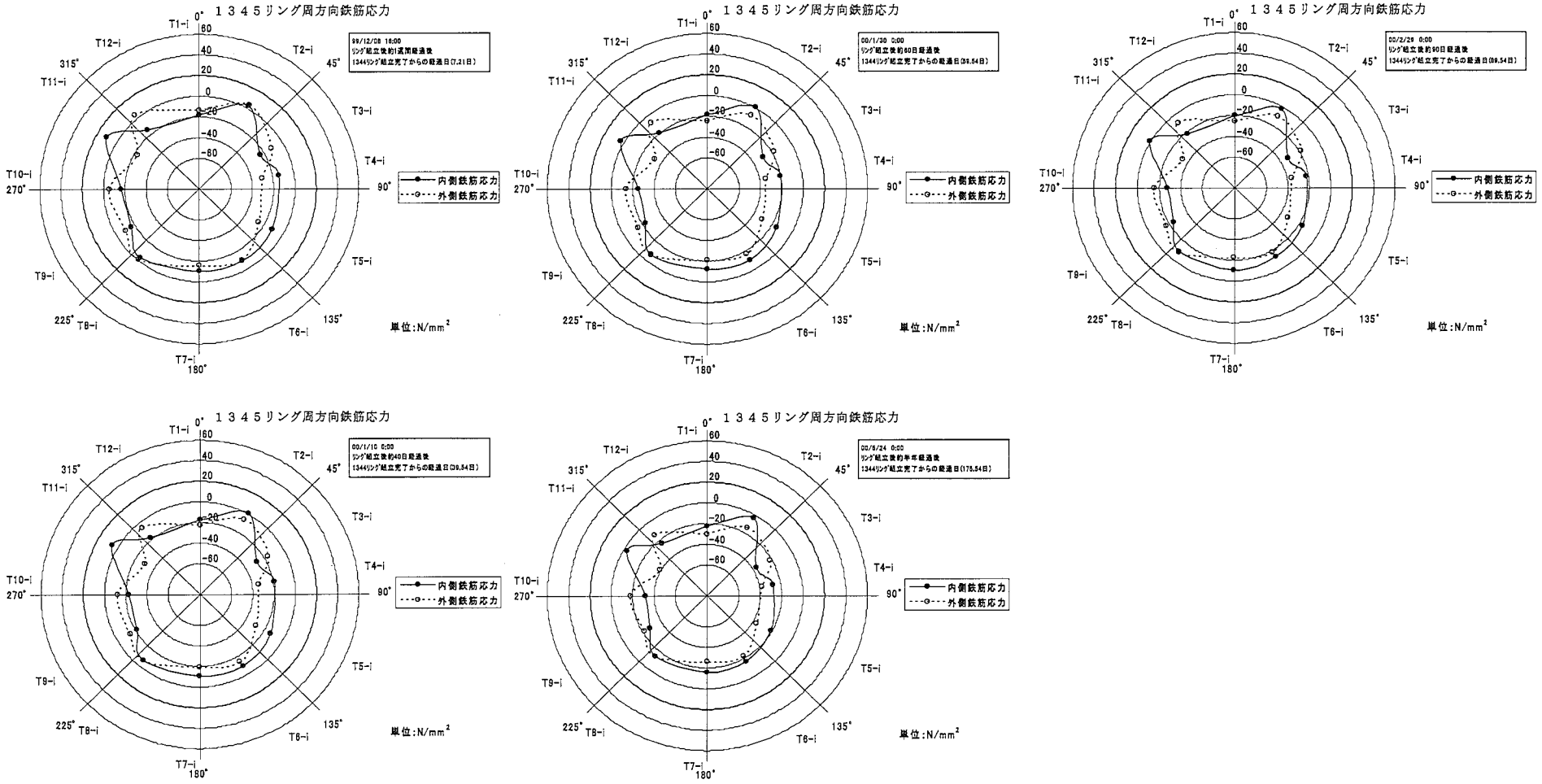


図-3.67　第２工区　計測断面Ｂ　円周方向鉄筋応力分布②

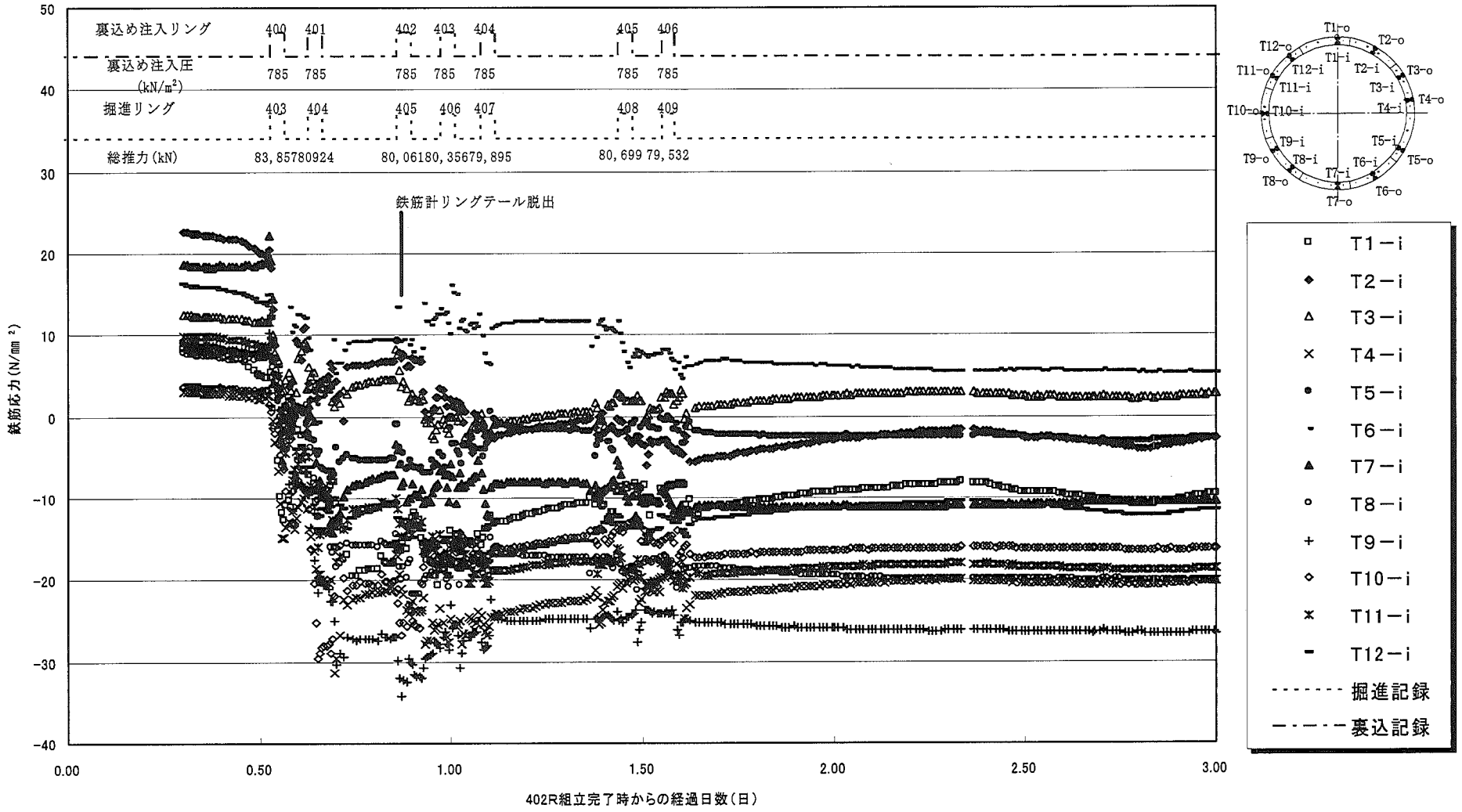


図-3.68　第３工区　周方向鉄筋応力（内側）の経時変化図①

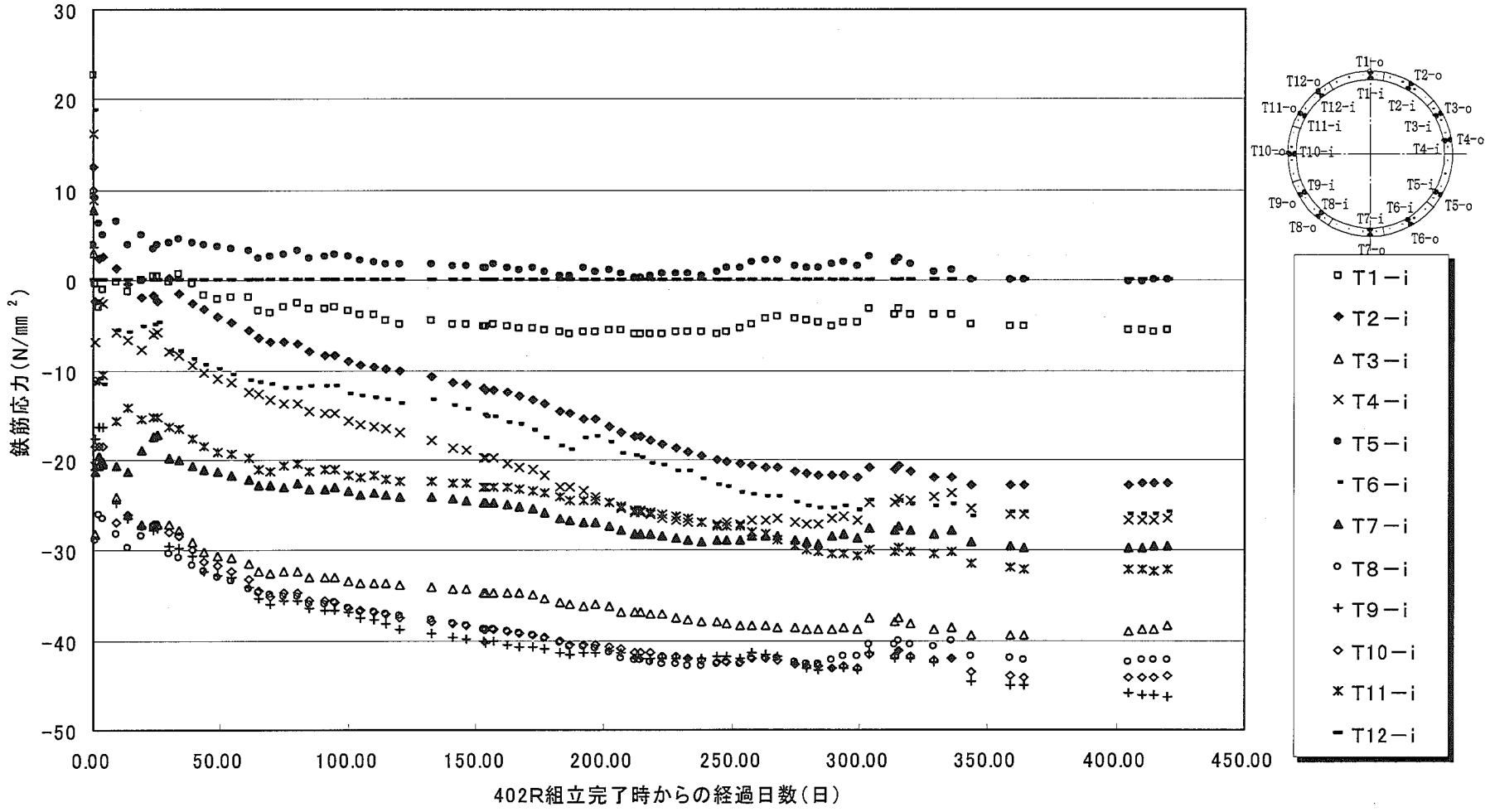


図-3.69　第３工区　周方向鉄筋応力（内側）の経時変化図②

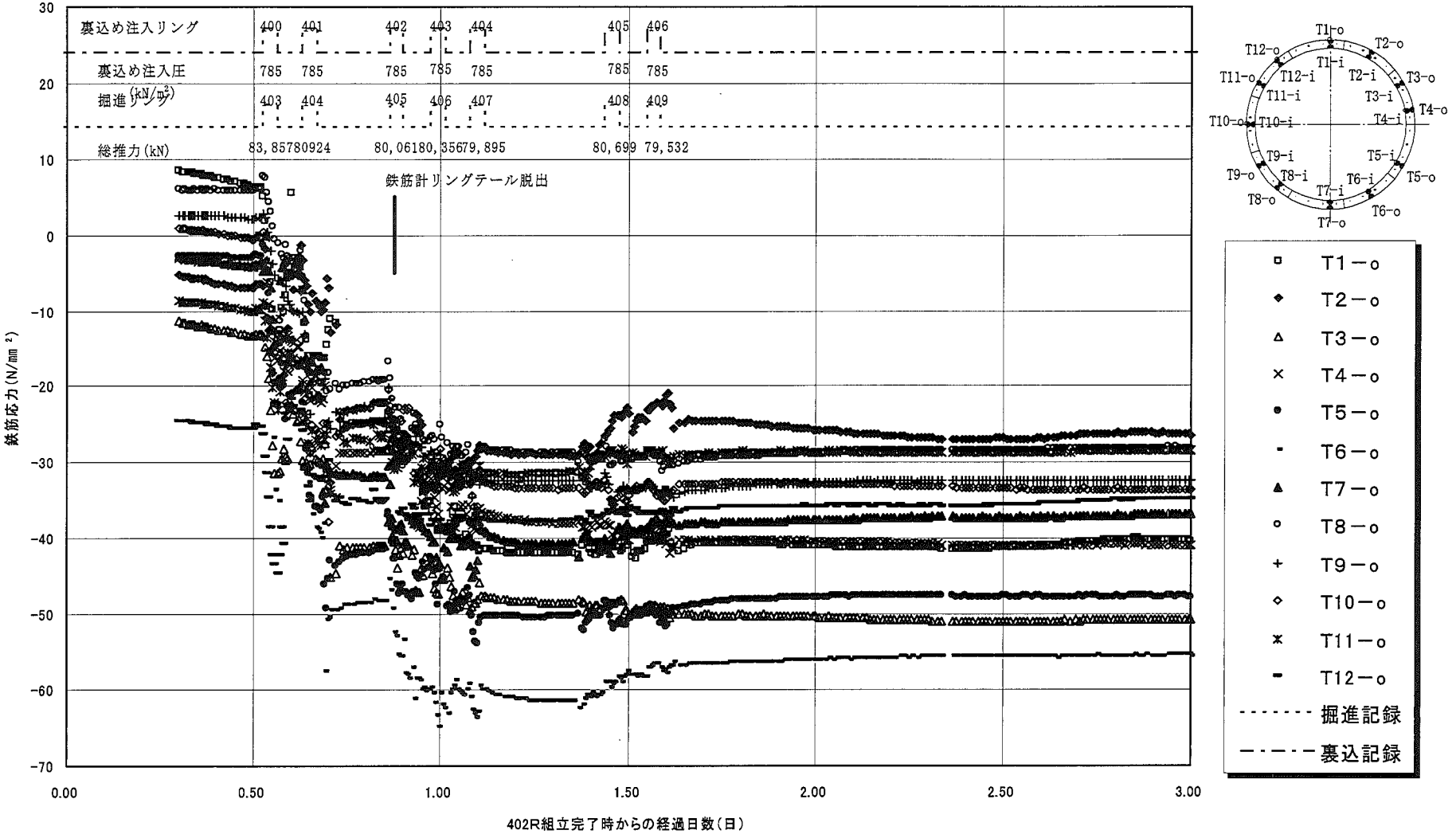


図-3.70　第３工区　周方向鉄筋応力（外側）の経時変化図①

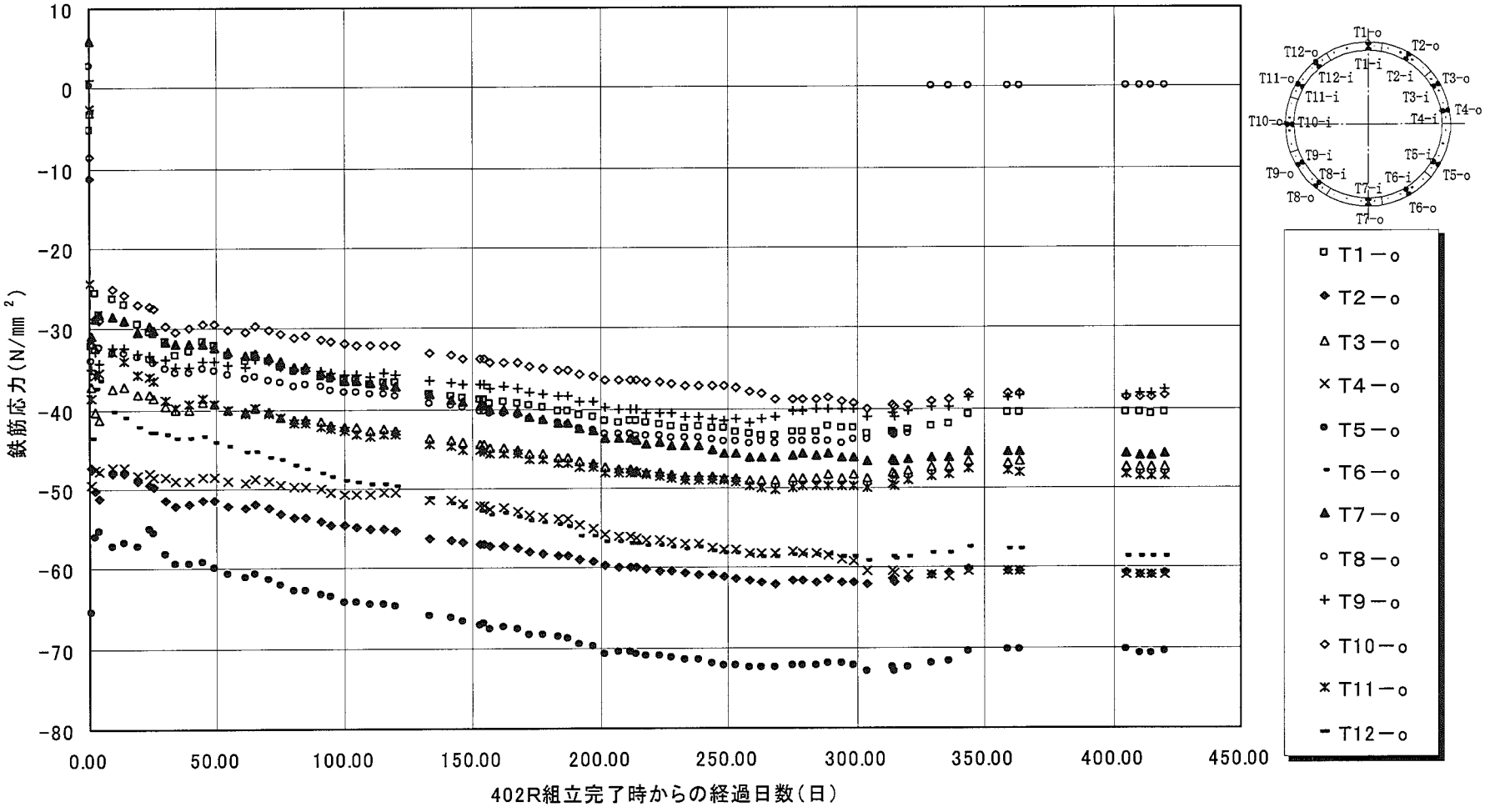


図-3.71　第３工区　周方向鉄筋応力（外側）の経時変化図②

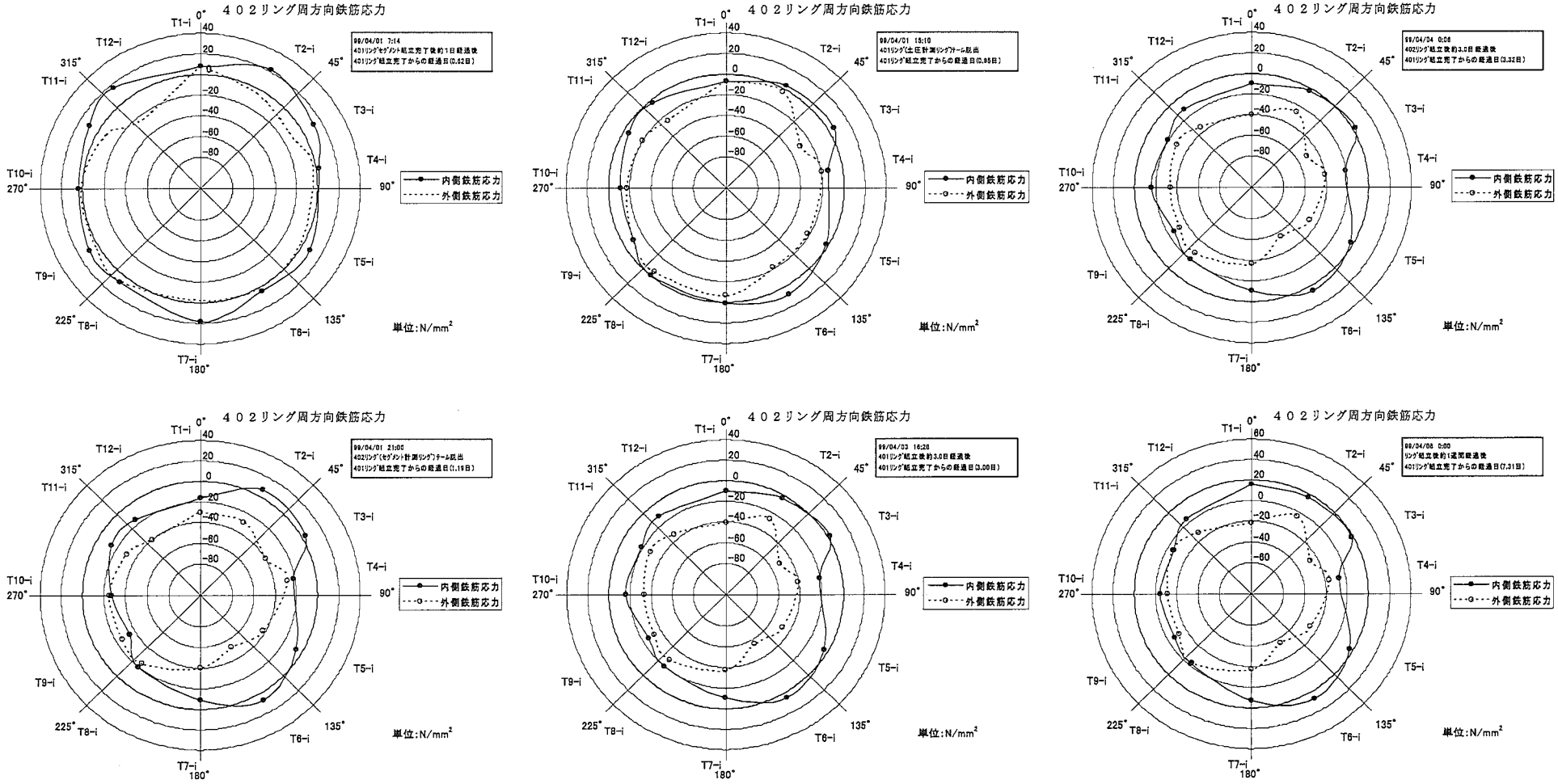


図-3.72　第３工区　円周方向鉄筋応力分布①

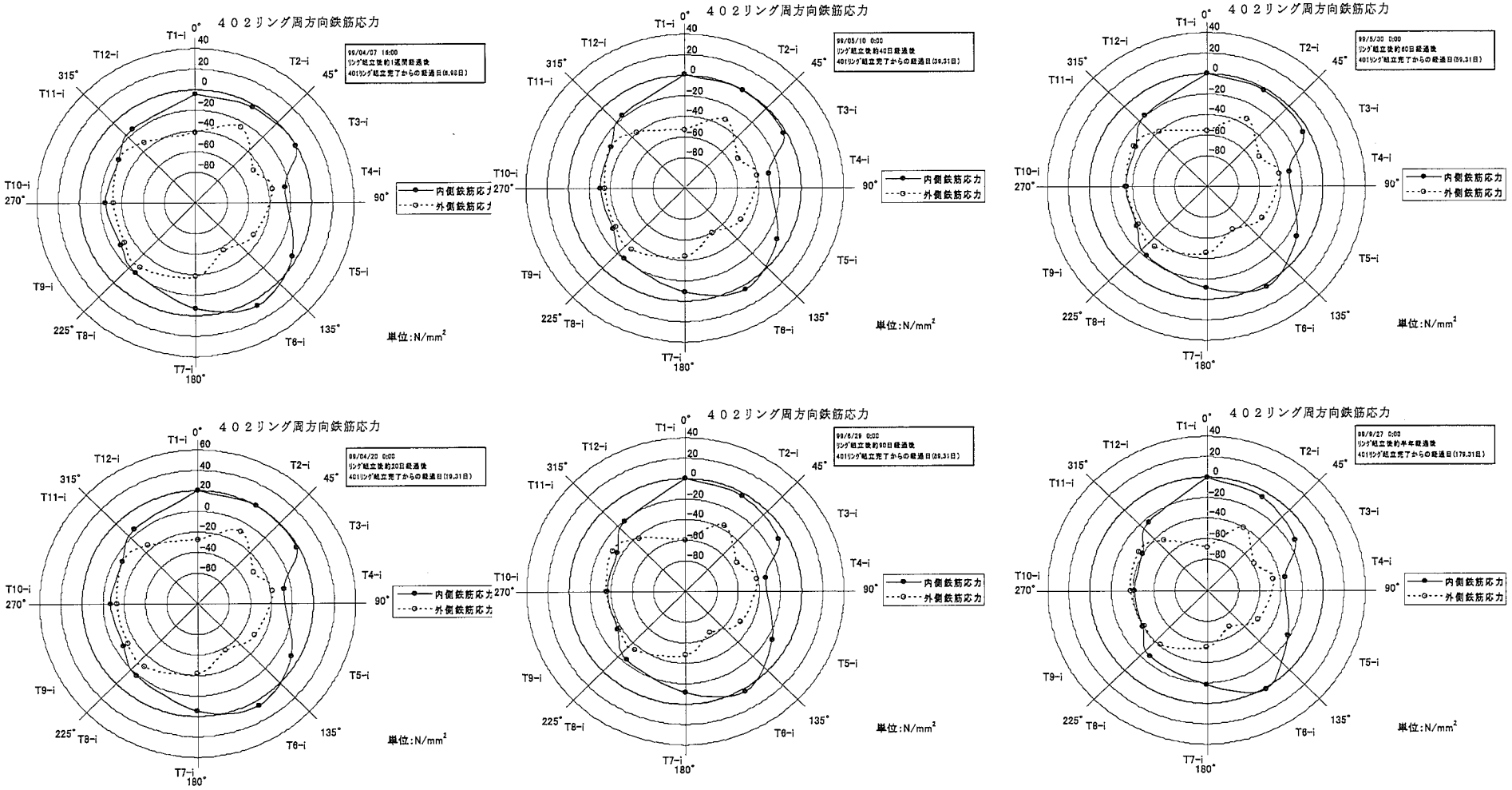


図-3.73　第３工区　円周方向鉄筋応力分布②

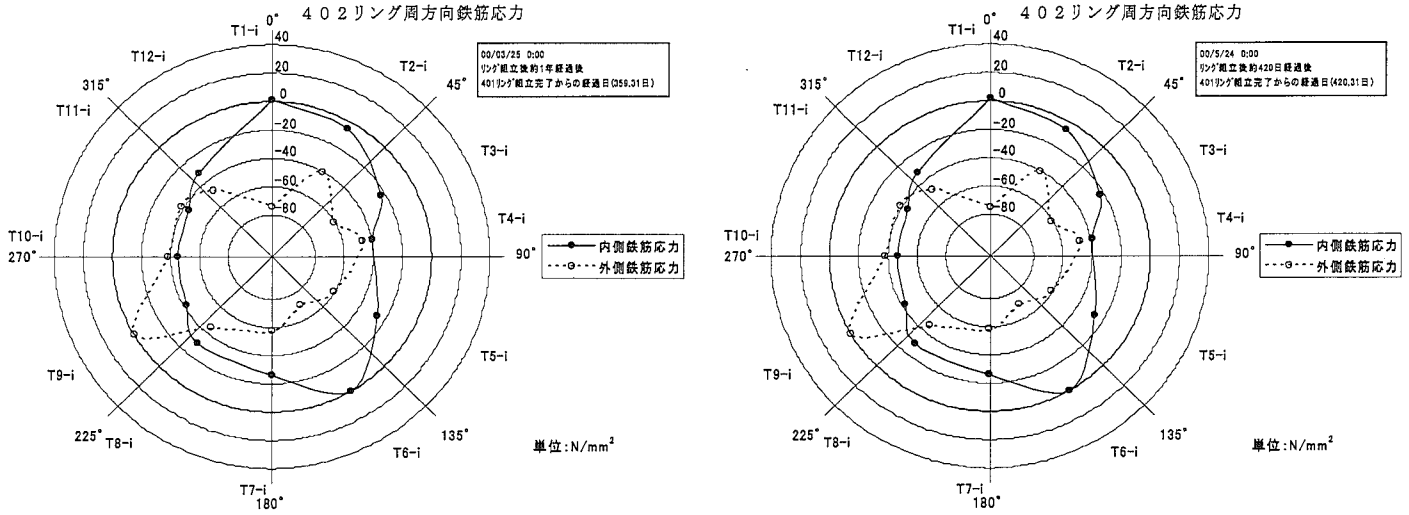


図-3.74　第３工区　円周方向鉄筋応力分布③

3.3.4 覆工体に発生する断面力

(1)曲げモーメント

曲げモーメントはセグメントの断面形状が図-3.75、図-3.76 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第２工区、第３工区ともに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第２工区計測断面Ａでゆるみ土圧、計測断面Ｂで全土被り土圧、第３工区でゆるみ土圧と設定された。また、側圧係数λと地盤反力係数ｋは第２工区で計測断面ＡＢともλ＝0.5、ｋ＝30MN/m³、第３工区でλ＝0.4、ｋ＝50MN/ m³と設定された。

セグメント厚さ	h=0.60m
セグメント幅	B=1.2m
断面二次モーメント	I＝0.0275m⁴
断面積	A＝0.78 m²
弾性係数(計測断面Ａ)	E＝44000MN/ m²
弾性係数(計測断面 B)	E＝38000MN/ m²

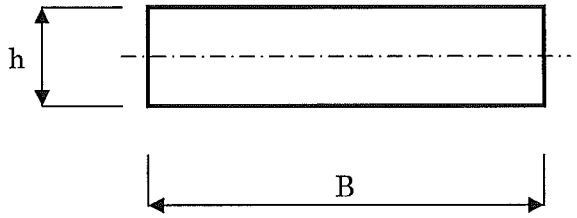


図-3.75　第２工区セグメントの断面形状

セグメント厚さ	h=0.60m
セグメント幅	B=1.2m
断面二次モーメント	I＝0.0216m⁴
断面積	A＝0.72 m²
弾性係数	E＝38000MN/ m²

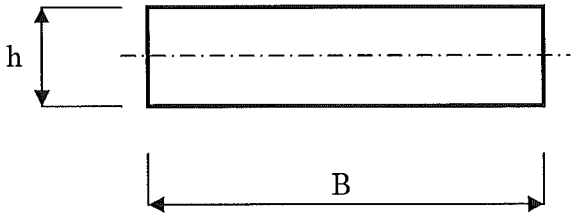


図-3.76　第３工区セグメントの断面形状

鉄筋計の測定値より算出した各計測断面の主要な時期の各点の曲げモーメントの経時変化を第２工区計測断面Ａは図-3.77、図-3.78 に、計測断面Ｂは図-3.79、図-3.80 に、第３工区は図-3.81、図-3.82 に示す。また、曲げモーメントの断面分布図を第２工区計測断面Ａ、計測断面Ｂ、第３工区、それぞれ図-3.83～図-3.84、図-3.85～図-3.86、図-3.87～図-3.89 に示す。さらに、主要な時期の各点の曲げモーメントの値を巻末資料５の表-3.4～表-3.6 に示す。

曲げモーメントの経時変化は第２工区Ａ，Ｂ、第３工区とも数日間で安定した後は大きな変動は見られない。断面分布形状は各工区とも異なっており、また慣用計算法で示される一般的な断面力図とも異なっている。

これは、３つの工区ともセグメントの継手構造が異なっていること、大口径であるためシールドジャッキなどの施工時荷重の影響が大きいことなどが考えられる。

(2)軸力

鉄筋計の測定値より算出した各計測断面の主要な時期の各点の軸力の経時変化を第2工区計測断面Aは図-3.90、図-3.91 に、計測断面Bは図-3.92、図-3.93 に第3工区図-3.94、図-3.95 に示す。また、軸力の断面分布図を第2工区計測断面A、計測断面B、第3工区、それぞれ図-3.96～図-3.97、図-3.98～図-3.99、図-3.100～図-3.102 に示す。さらに、主要な時期の各点の曲げモーメントの値を巻末資料5の表-3.4～表-3.6 に示す。

図より大深度での施工であることから、各工区とも非常に大きな圧縮力を受けていることがわかる。第2工区計測断面Bと第3工区は緩やかな圧縮力の増加傾向が見られる。

参考文献

1) 外郭放水路第2工区トンネル新設工事パンフレット

2) 宮尾博一、鴨下由男、白井孝典、福本勝司:「首都圏外郭放水路のシールド工事」トンネルと地下、第30巻4号、1999年4月

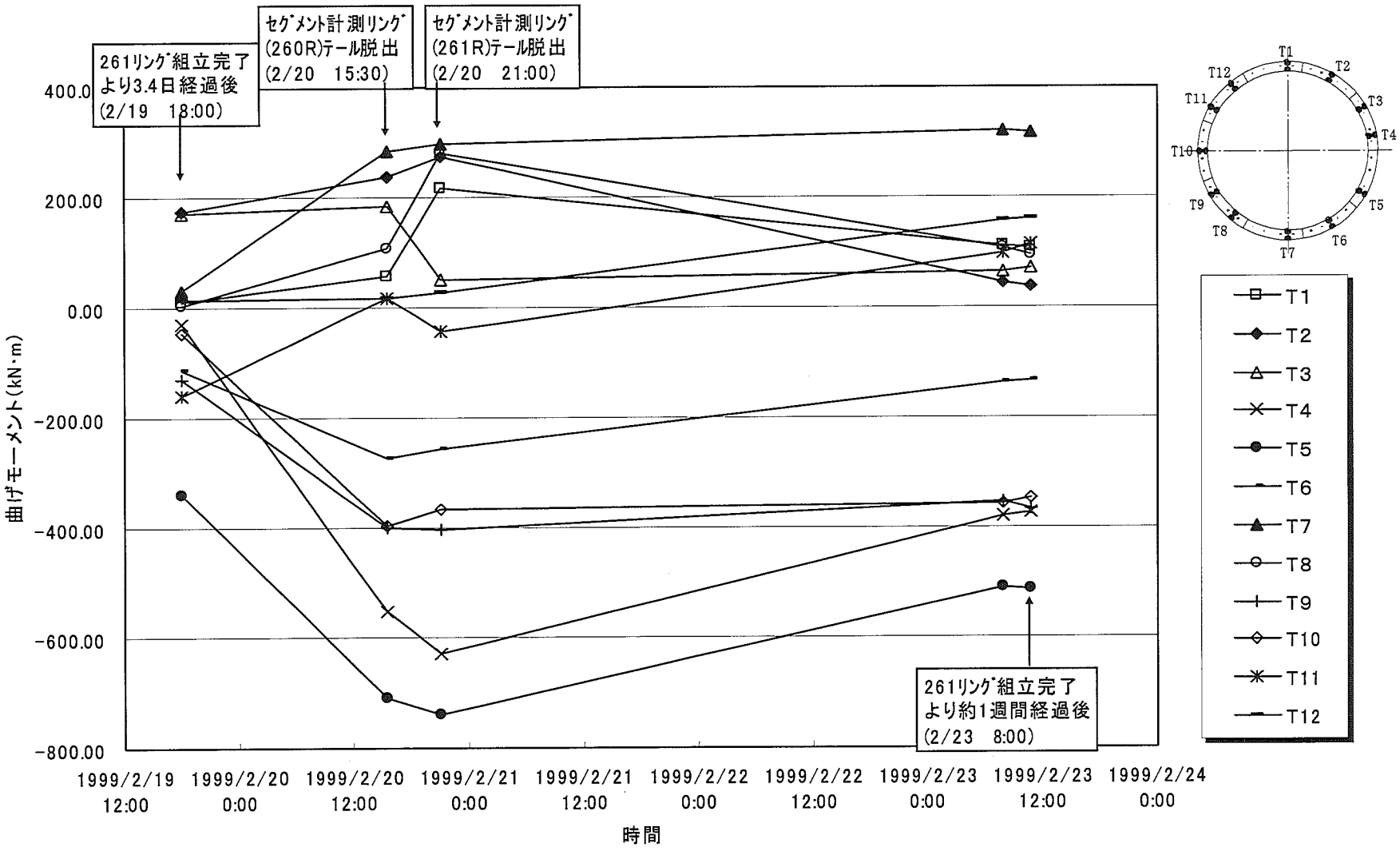


図-3.77　第２工区計測断面Ａ 曲げモーメントの経時変化図①

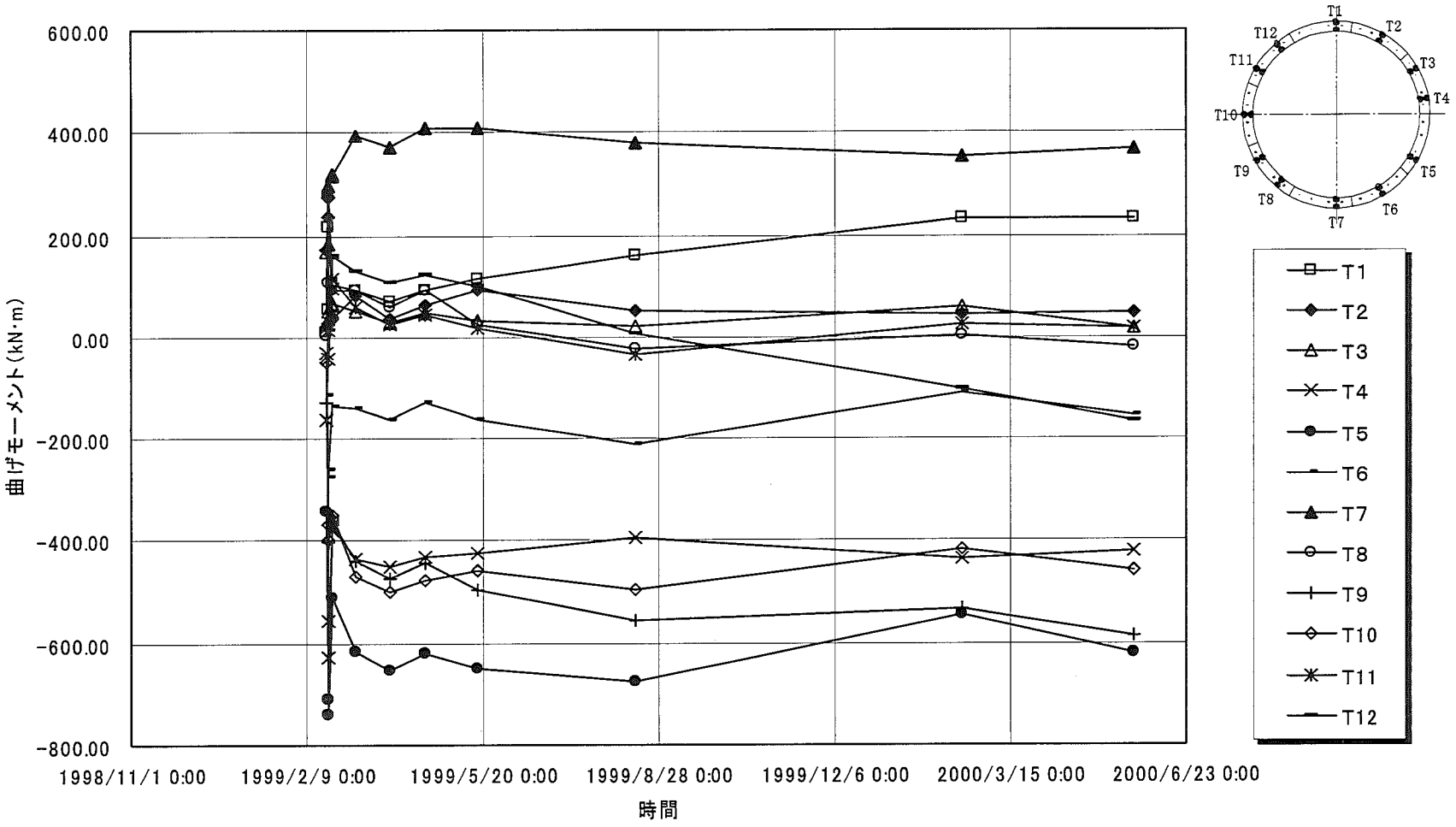


図-3.78　第２工区計測断面Ａ 曲げモーメントの経時変化図②

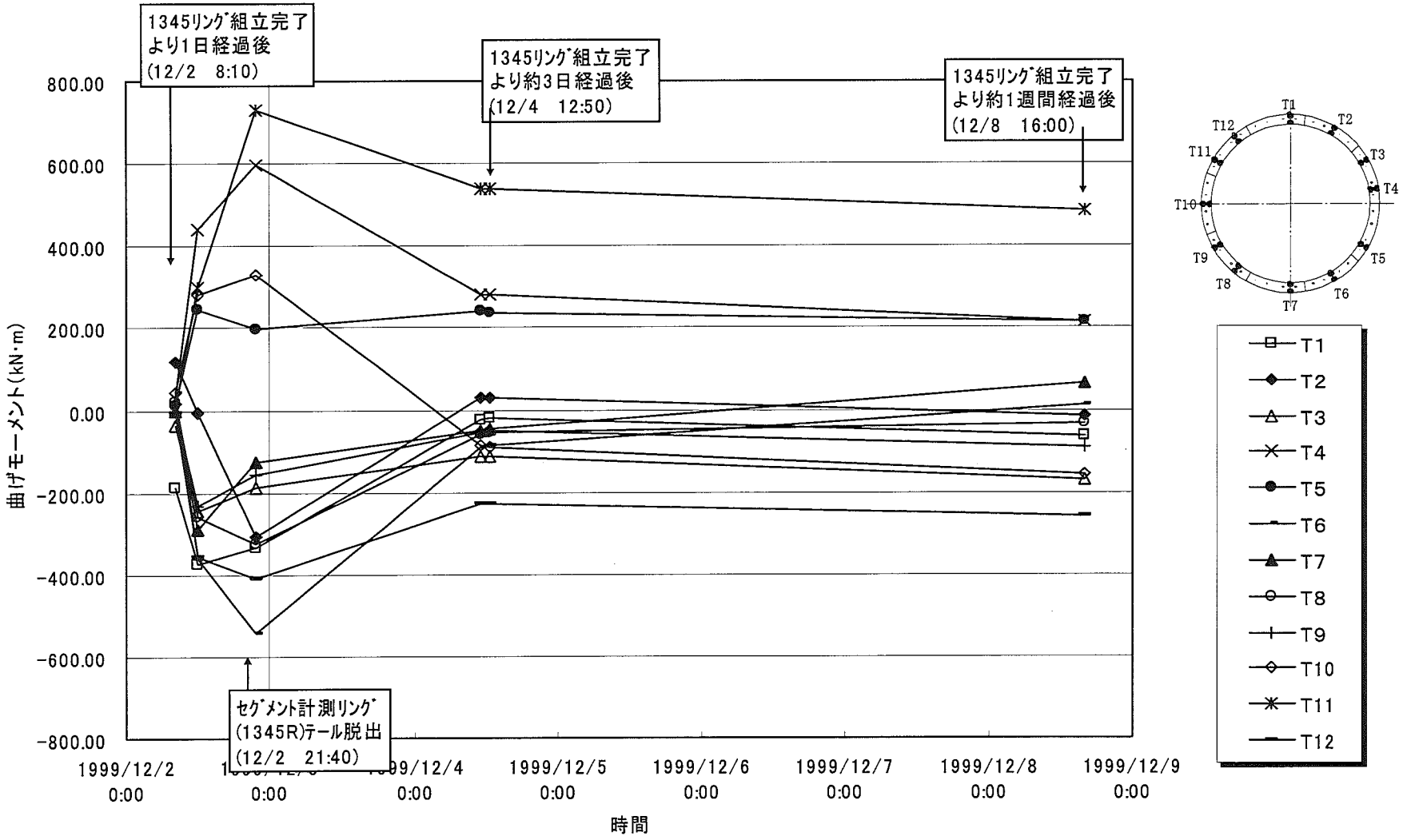


図-3.79　第２工区計測断面Ｂ　曲げモーメントの経時変化図①

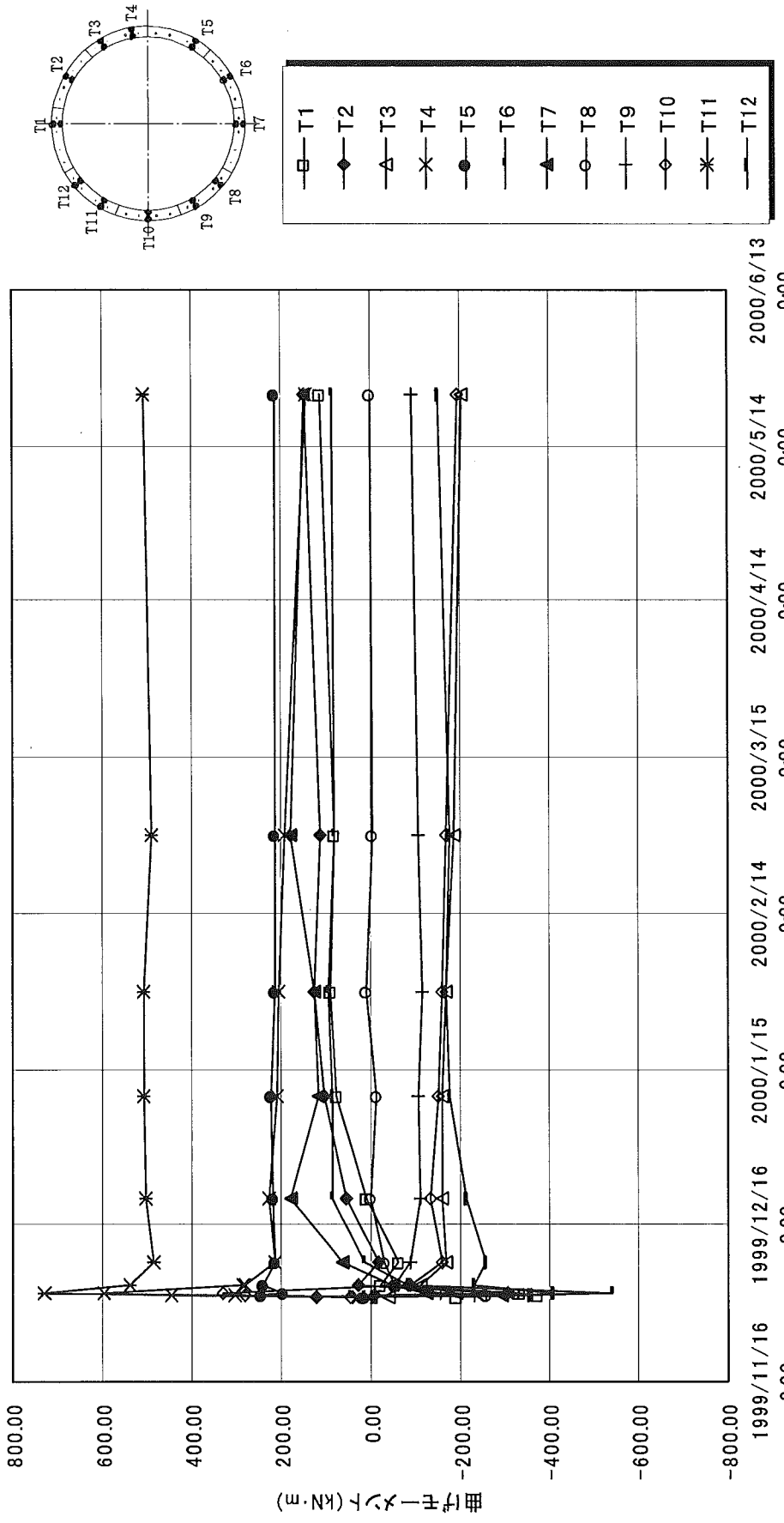


図-3.80　第２工区計測断面Ｂ　曲げモーメントの経時変化図②

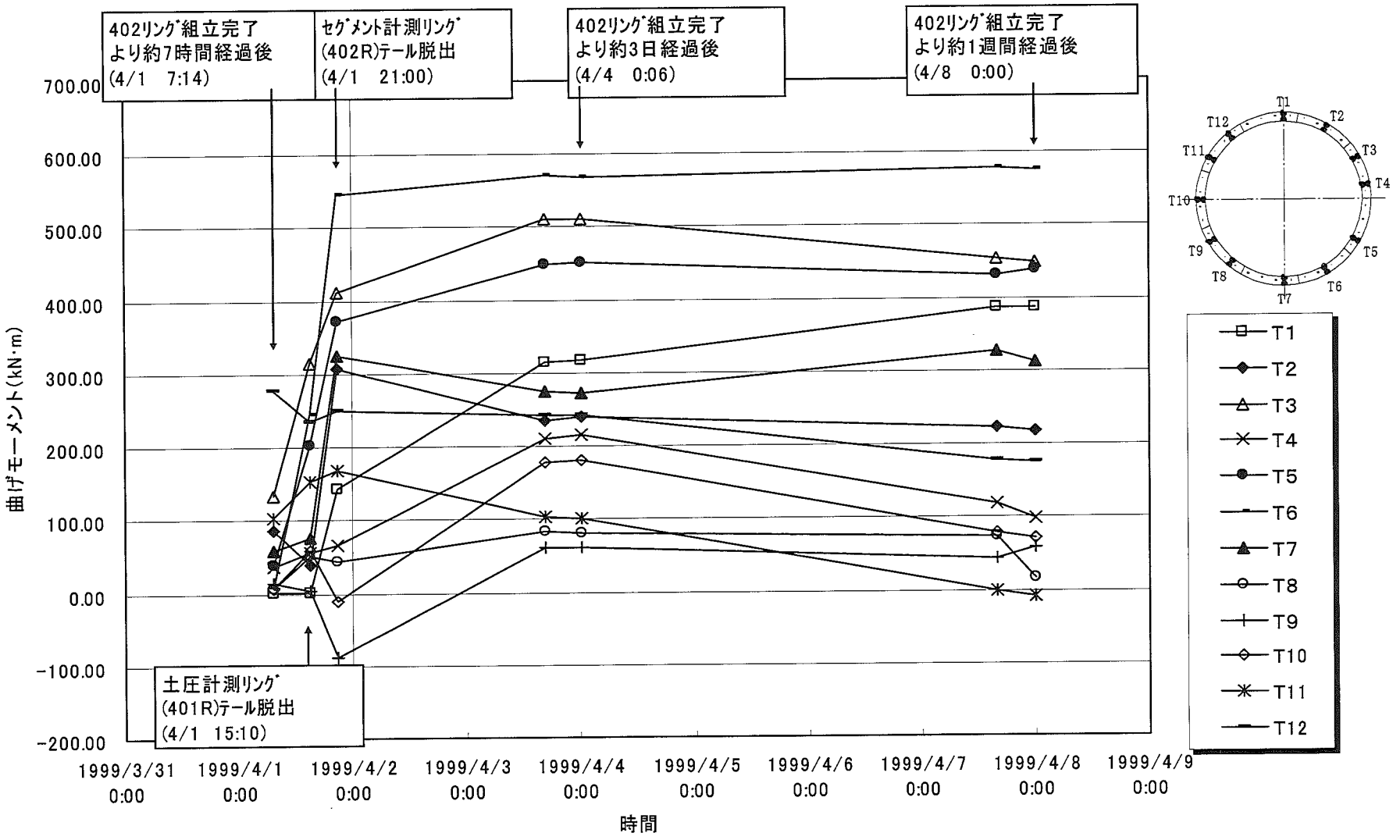


図-3.81　第３工区 曲げモーメントの経時変化図①

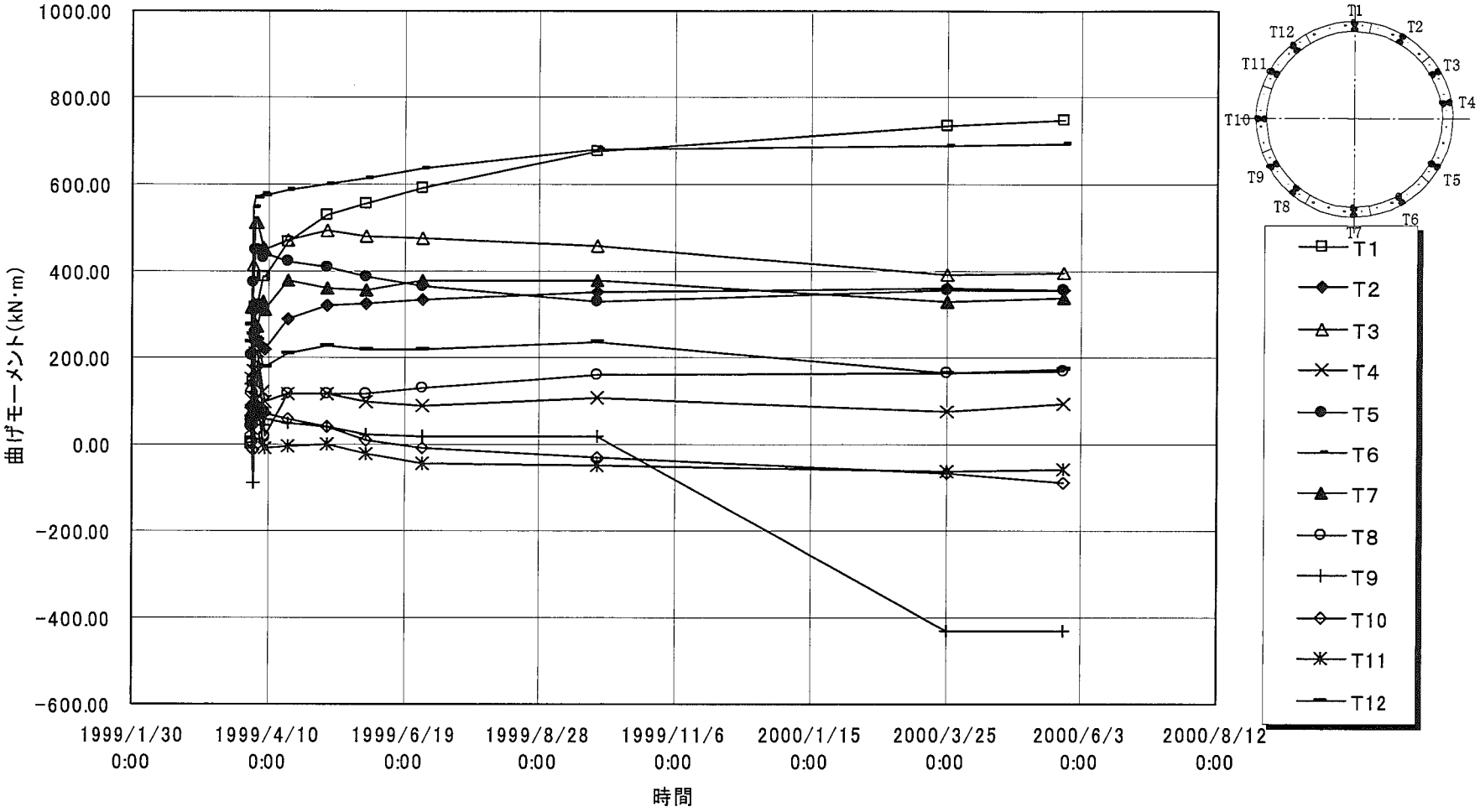


図-3.82　第３工区 曲げモーメントの経時変化図②

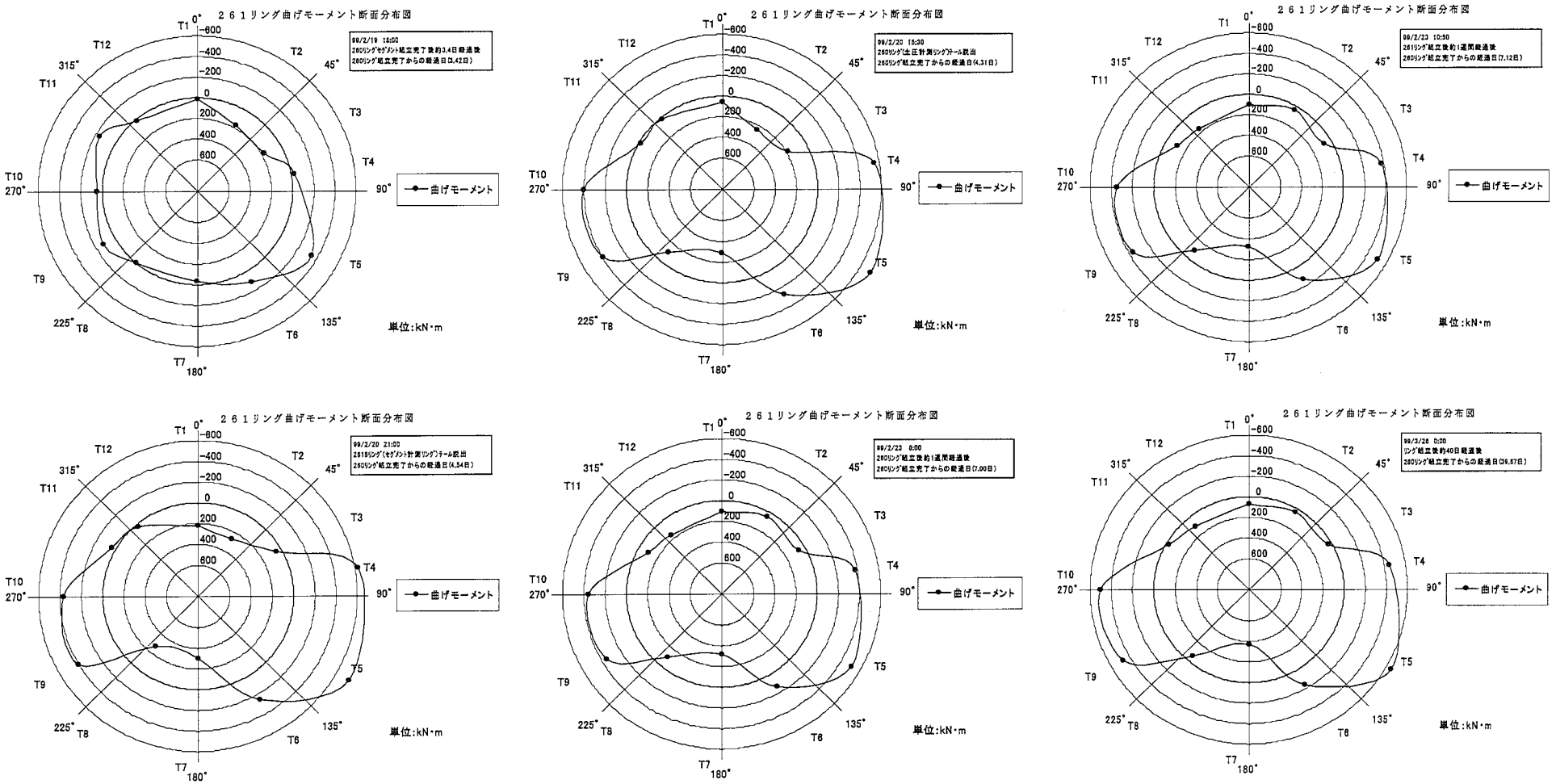


図-3.83　第２工区　計測断面Ａ　曲げモーメントの断面分布図①

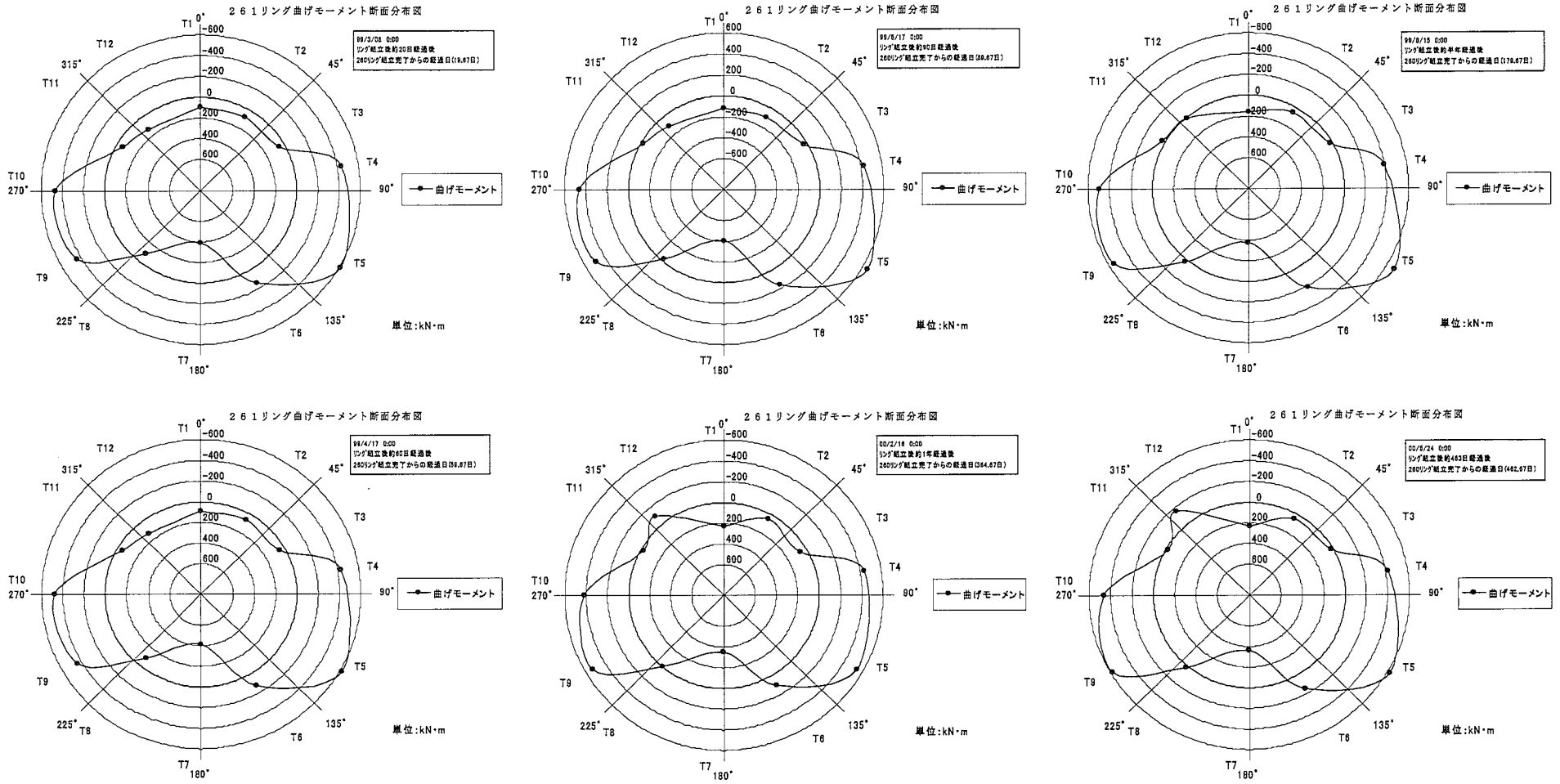


図-3.84　第２工区　計測断面Ａ　曲げモーメントの断面分布図②

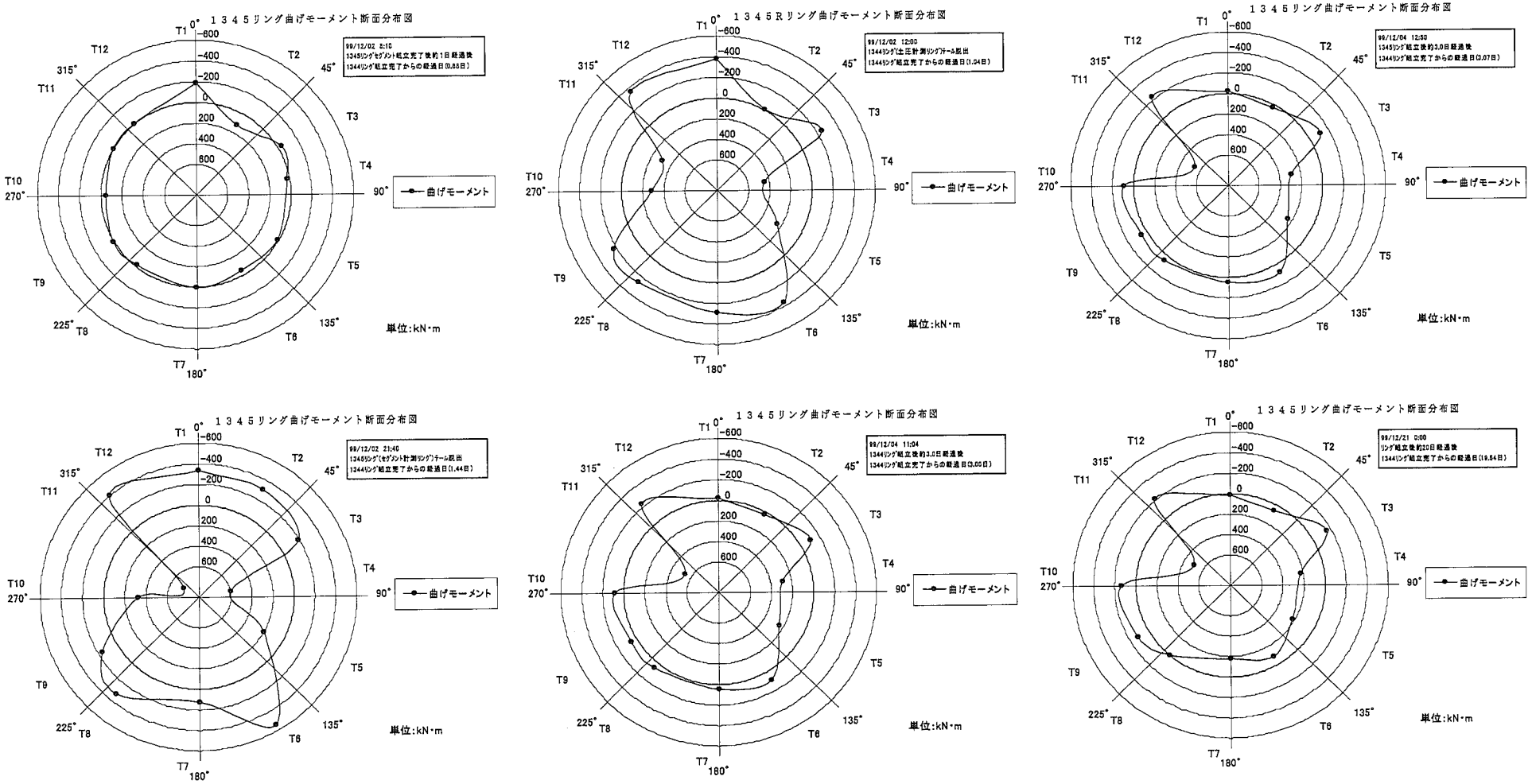


図-3.85　第２工区　計測断面Ｂ　曲げモーメントの断面分布図①

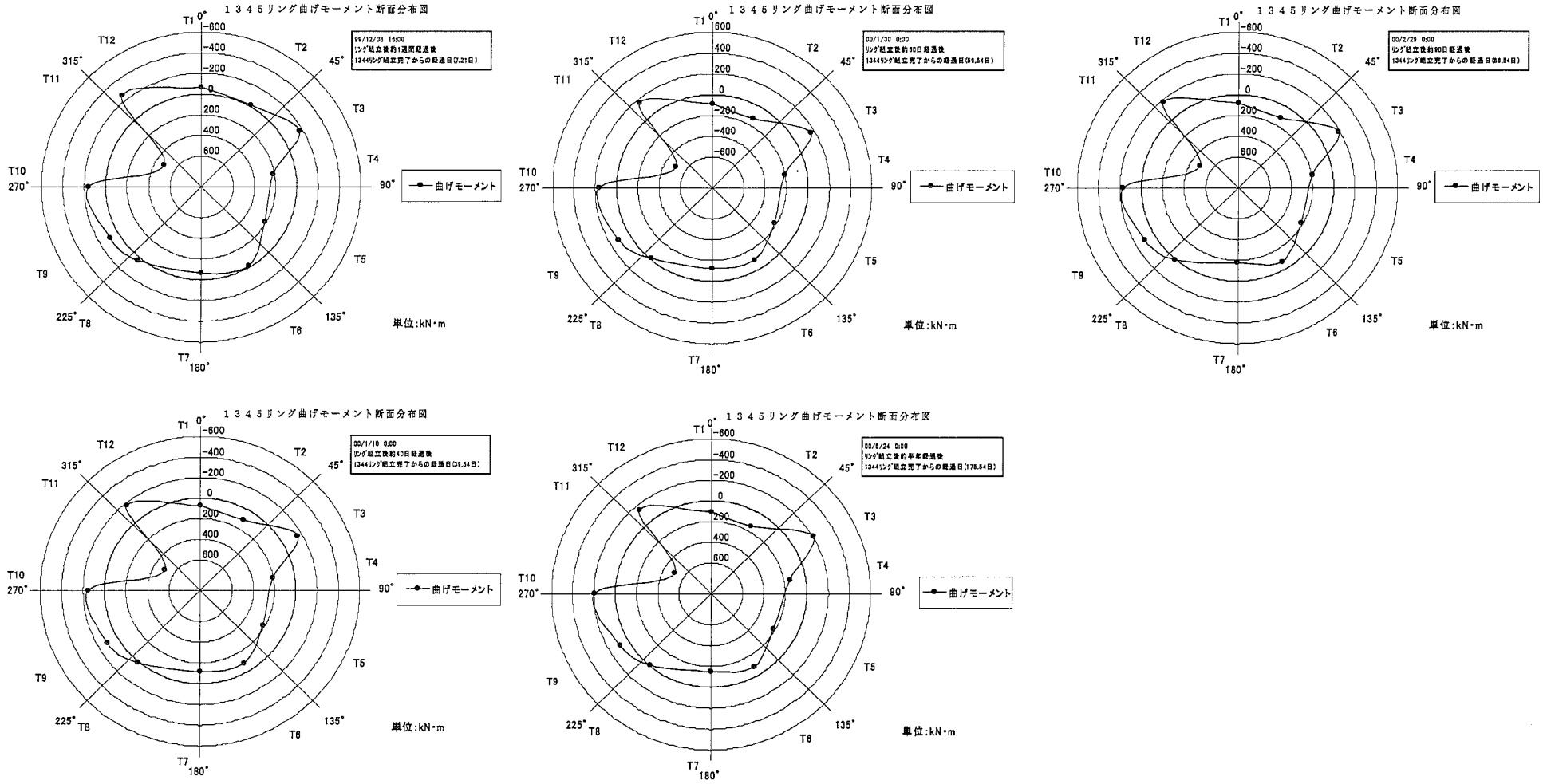


図-3.86　第２工区　計測断面Ｂ　曲げモーメントの断面分布図②

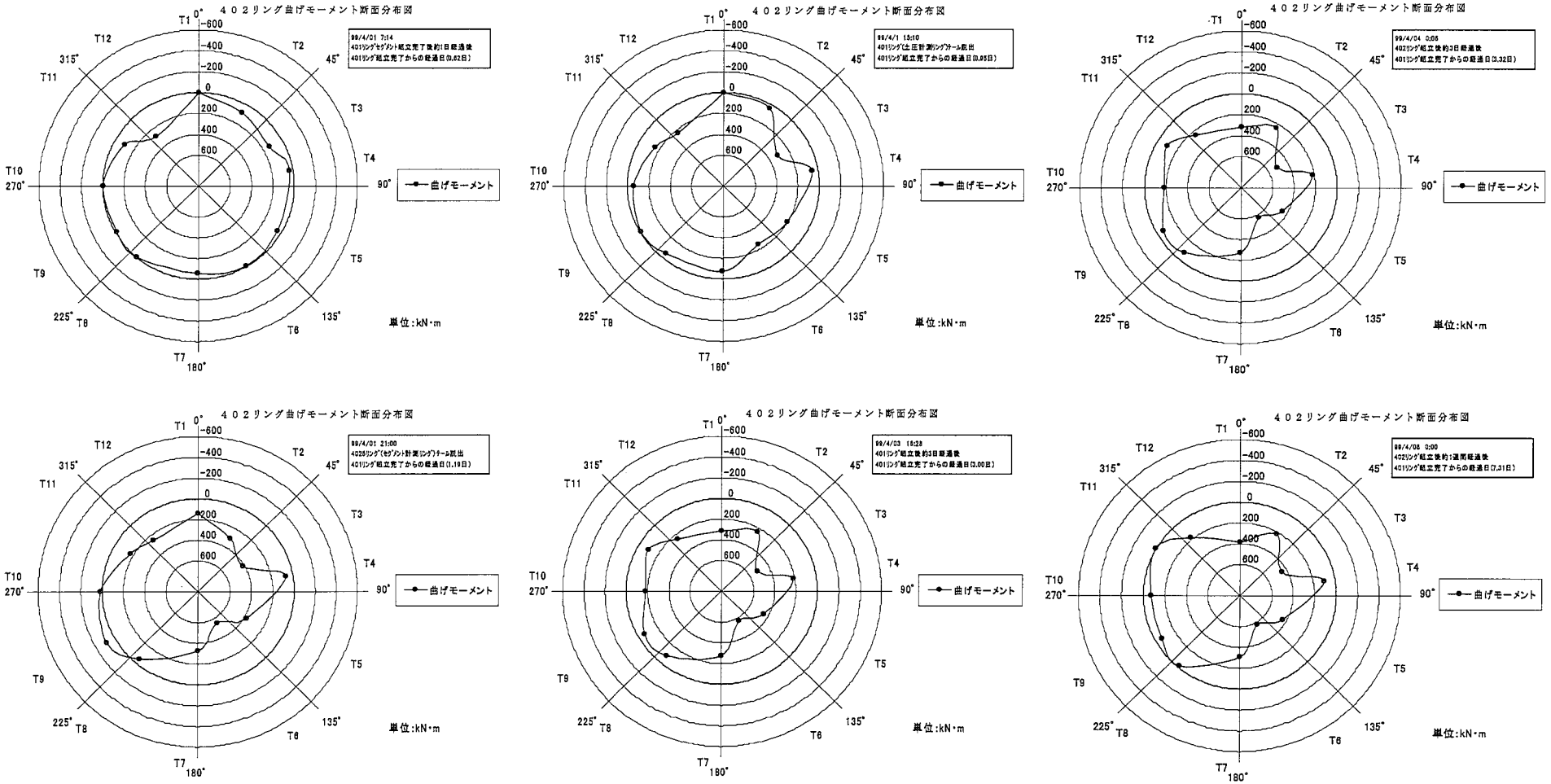


図-3.87　第３工区　曲げモーメントの断面分布図①

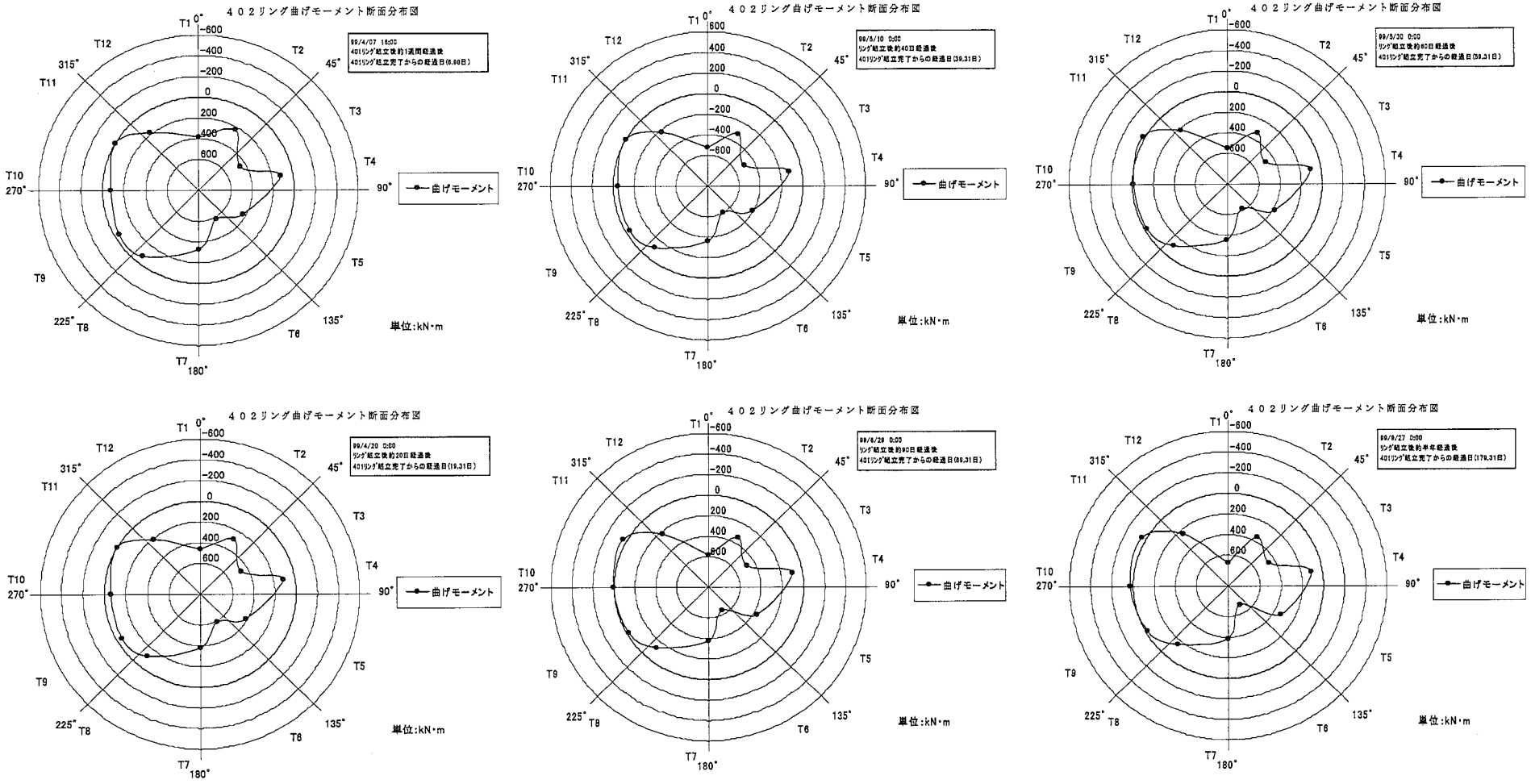


図-3.88　第３工区　曲げモーメントの断面分布図②

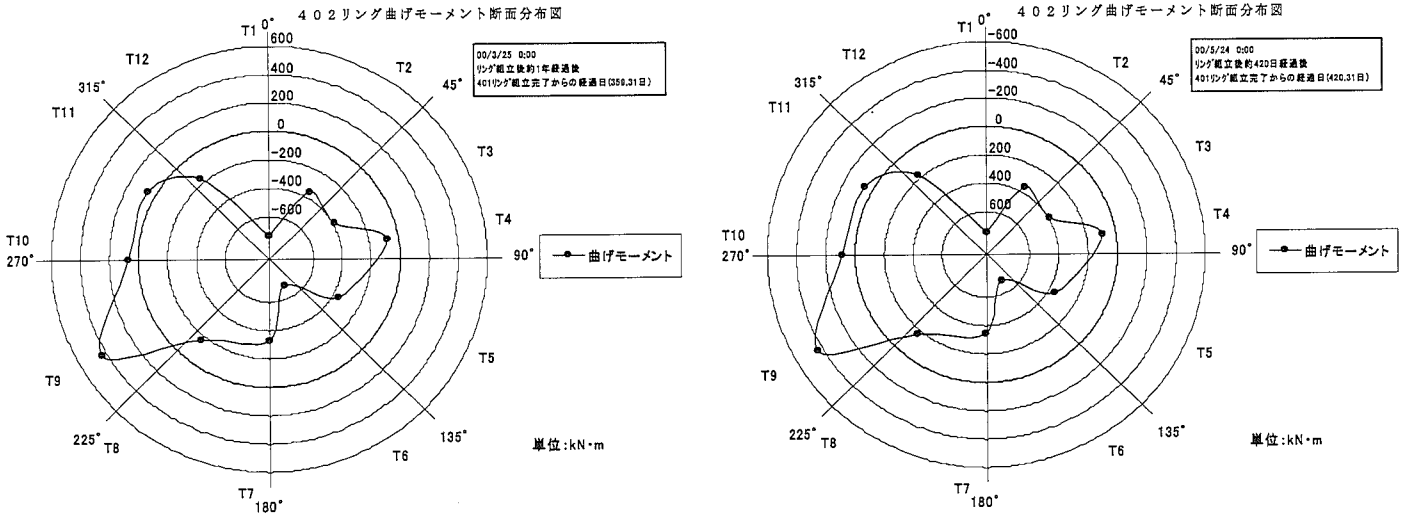


図-3.89　第３工区　曲げモーメントの断面分布図③

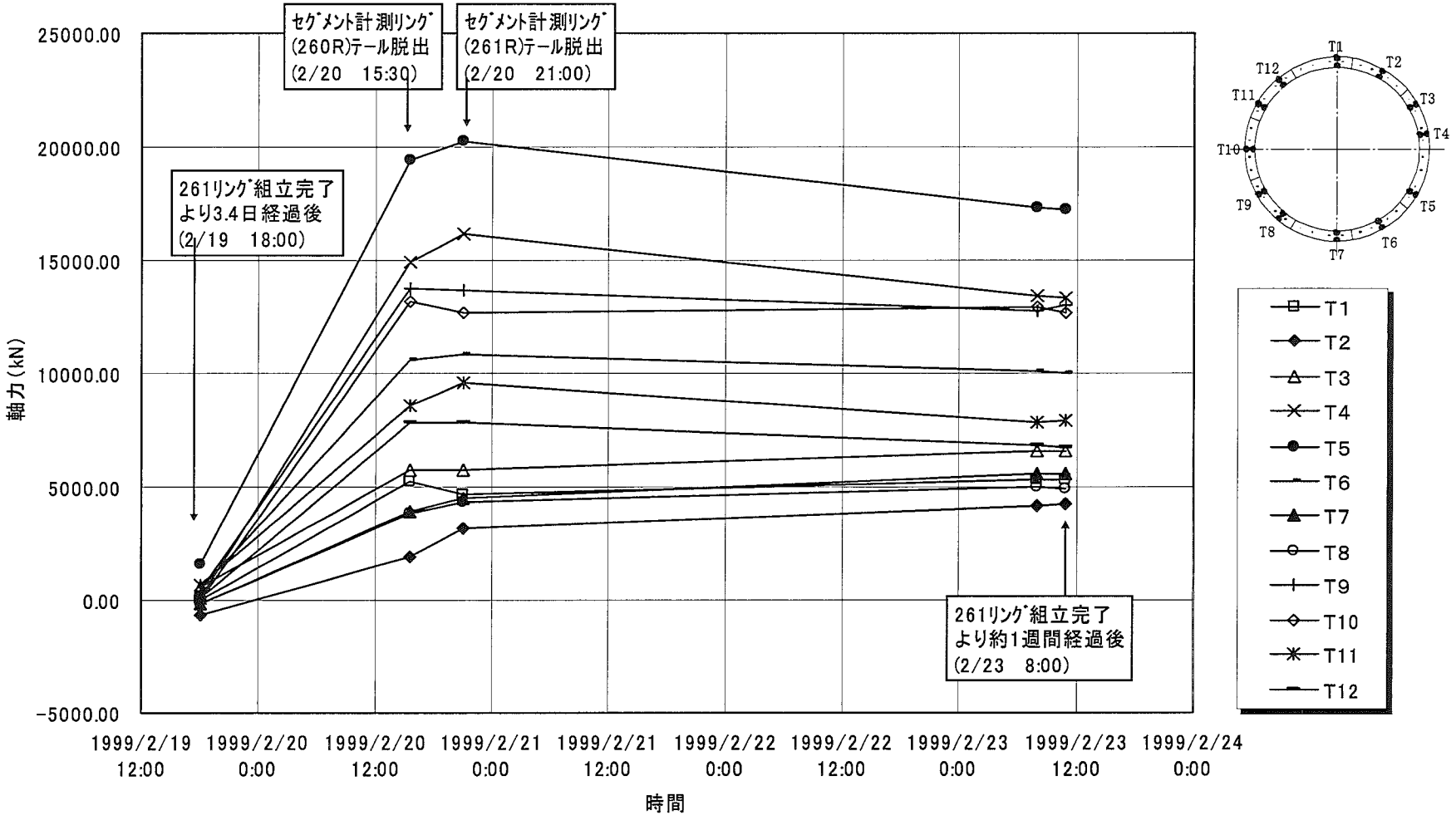


図-3.90　第２工区計測断面Ａ　軸力の経時変化図①

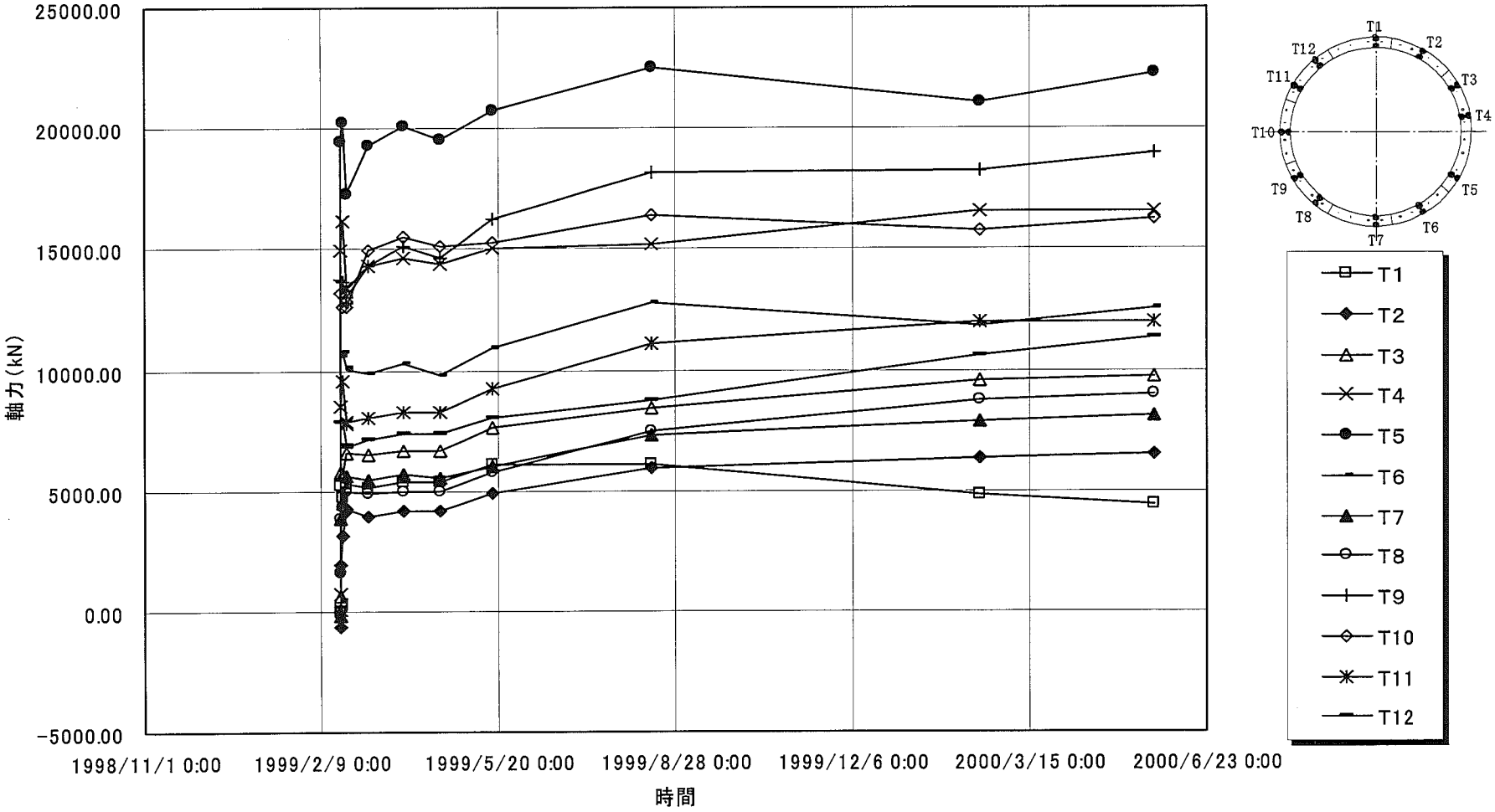


図-3.91　第２工区計測断面Ａ　軸力の経時変化図②

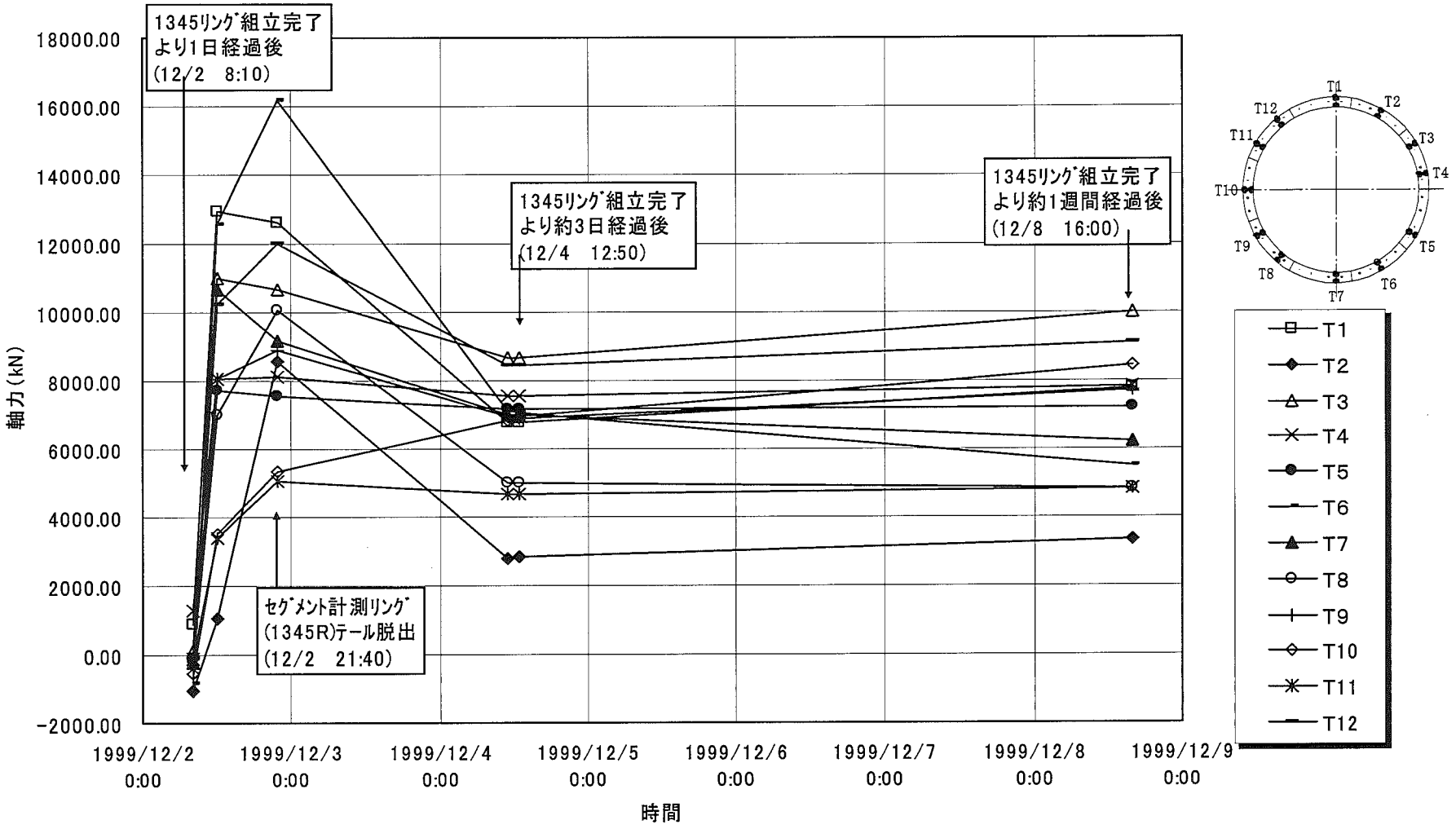


図-3.92　第２工区計測断面Ｂ　軸力の経時変化図①

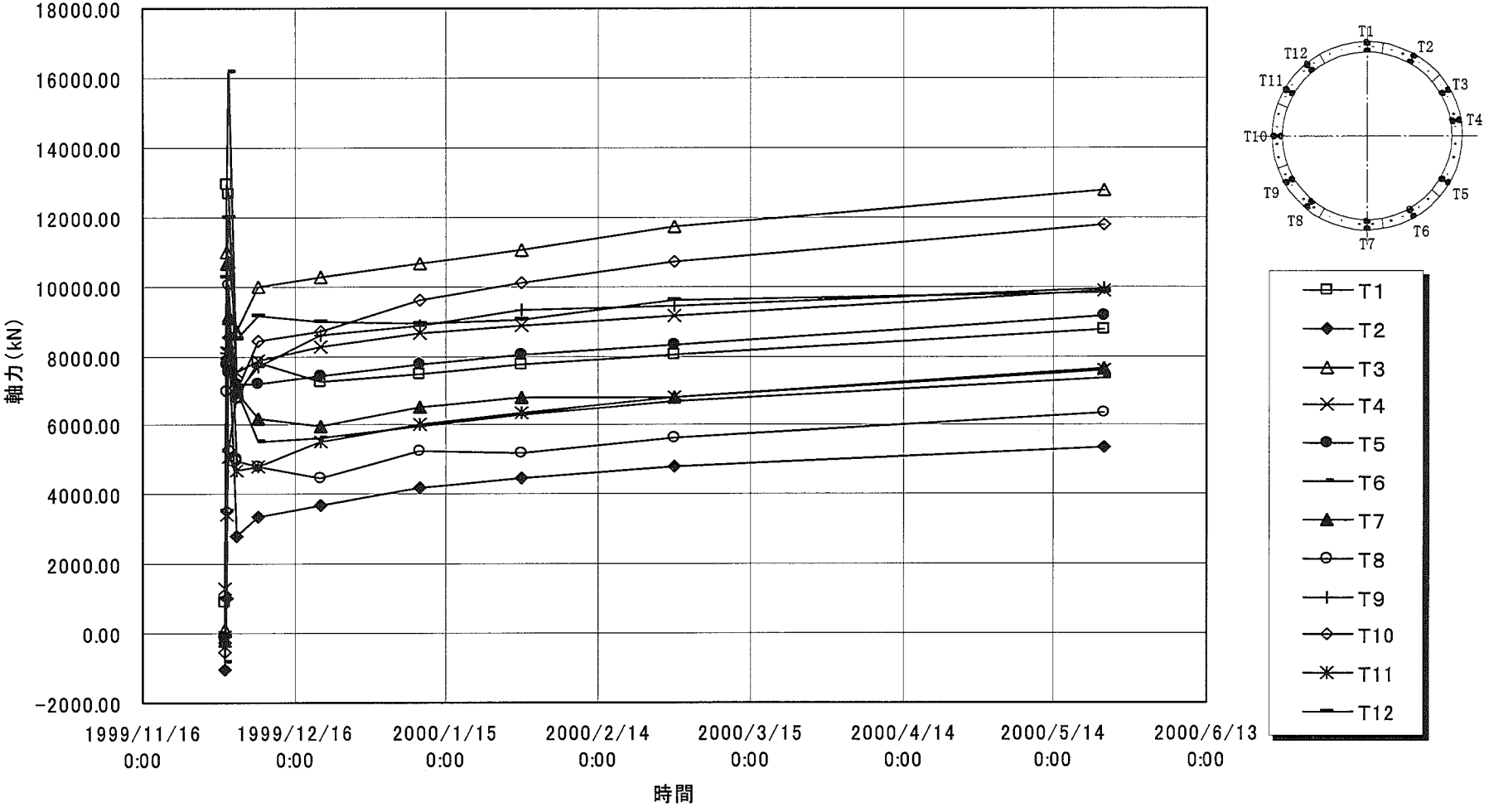


図-3.93　第２工区計測断面Ｂ　軸力の経時変化図②

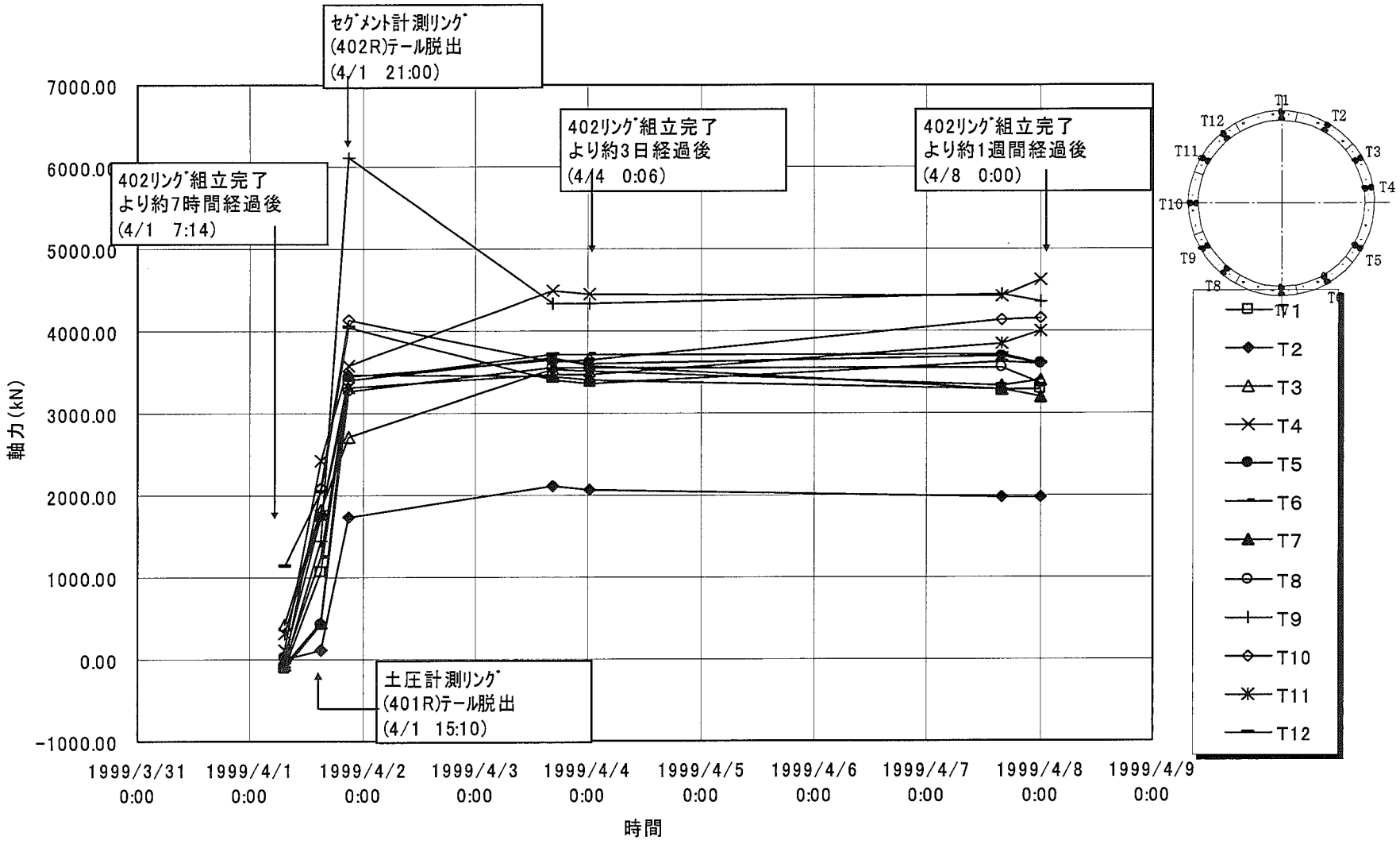


図-3.94　第３工区　軸力の経時変化図①

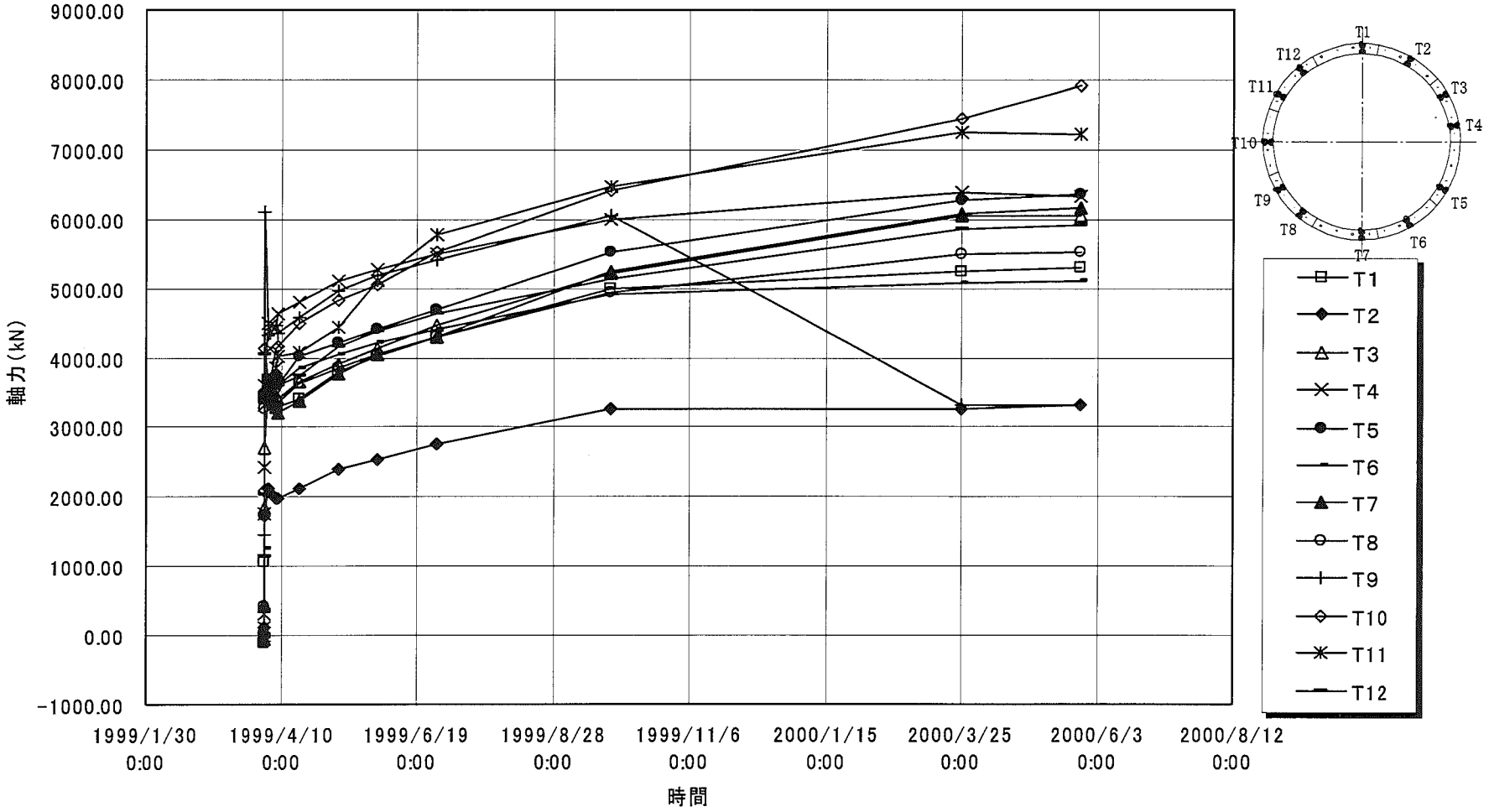


図-3.95　第３工区　軸力の経時変化図②

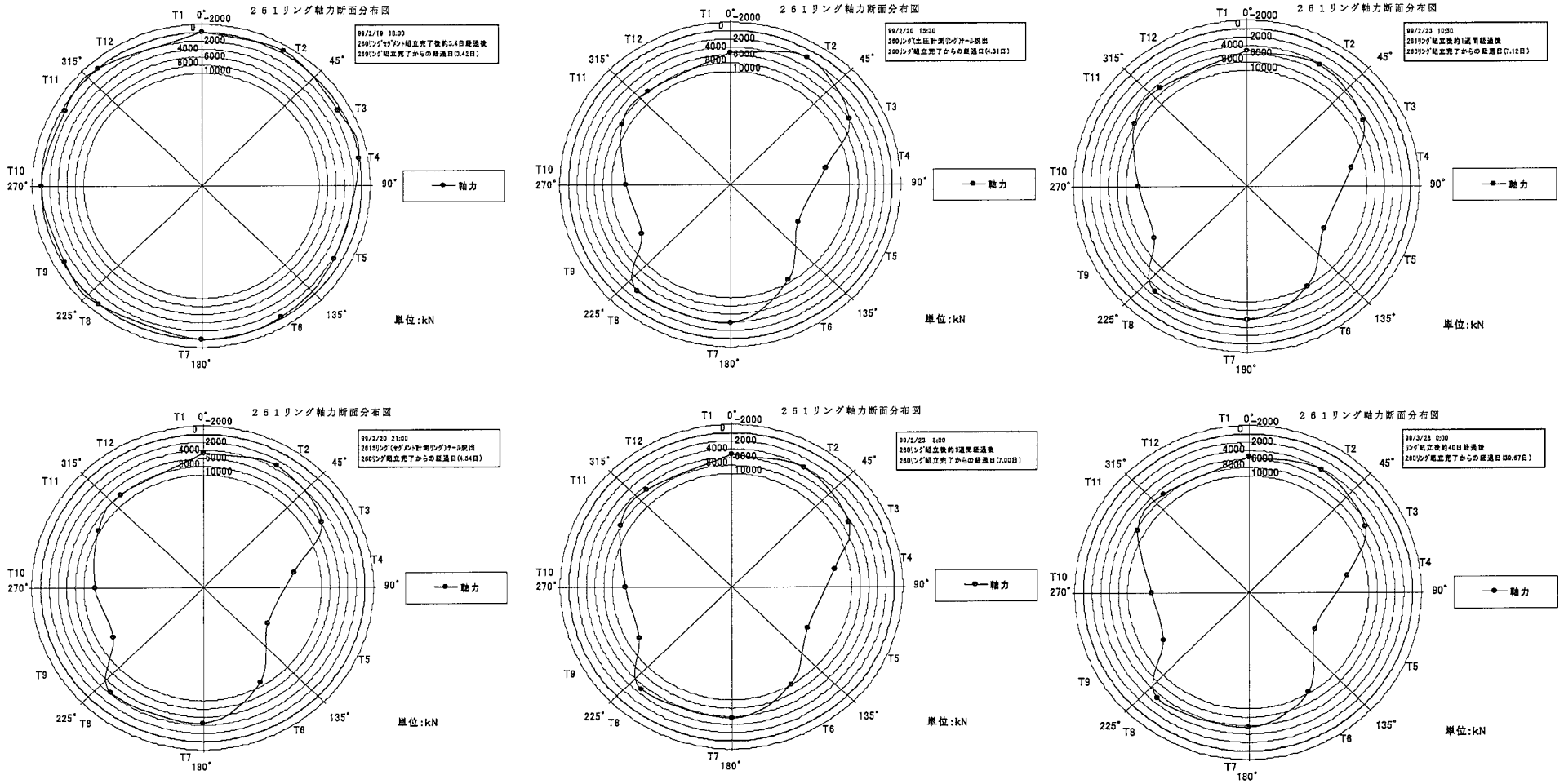


図-3.96　第２工区　計測断面Ａ　軸力の断面分布図①

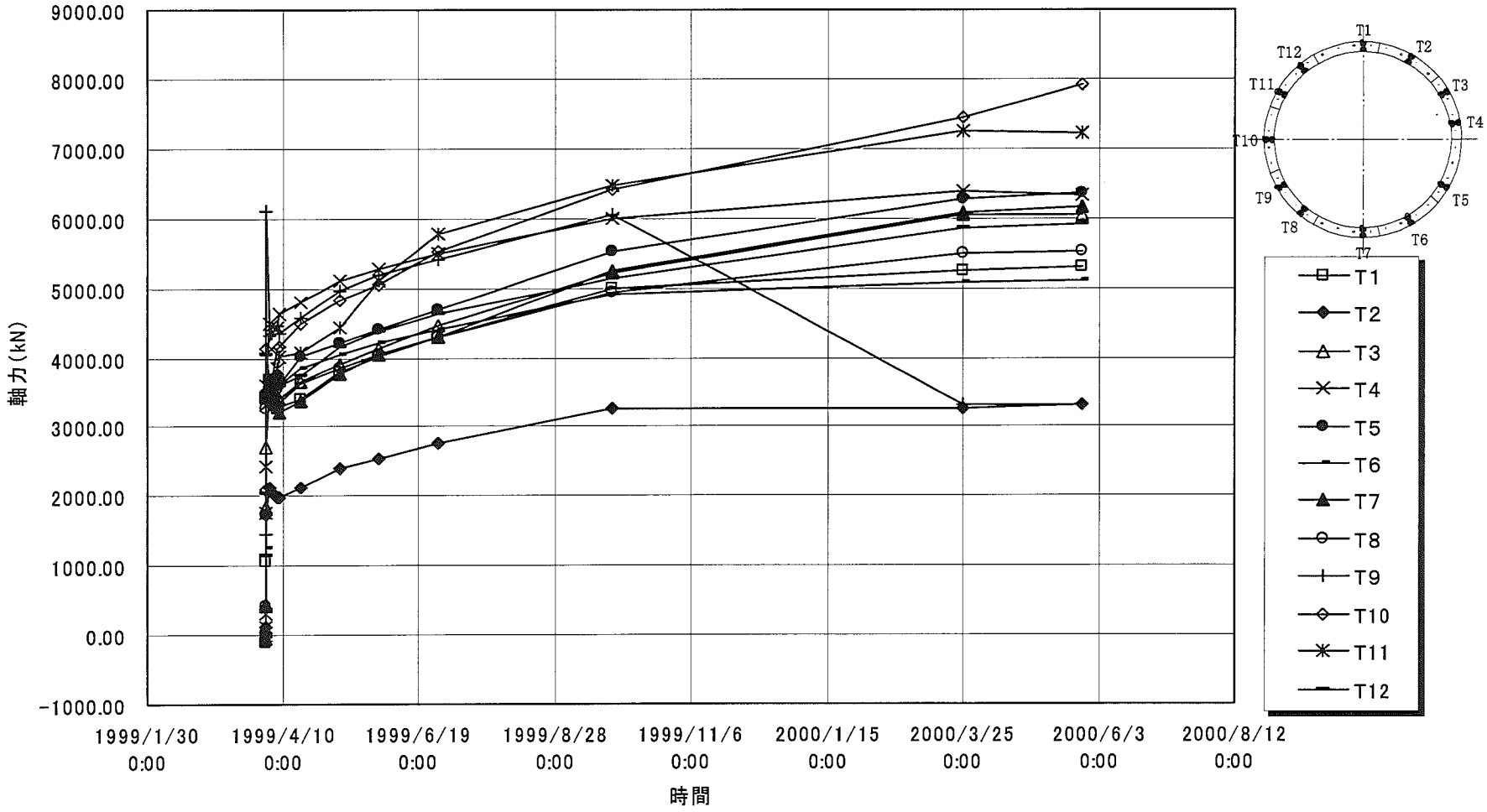


図-3.95　第３工区　軸力の経時変化図②

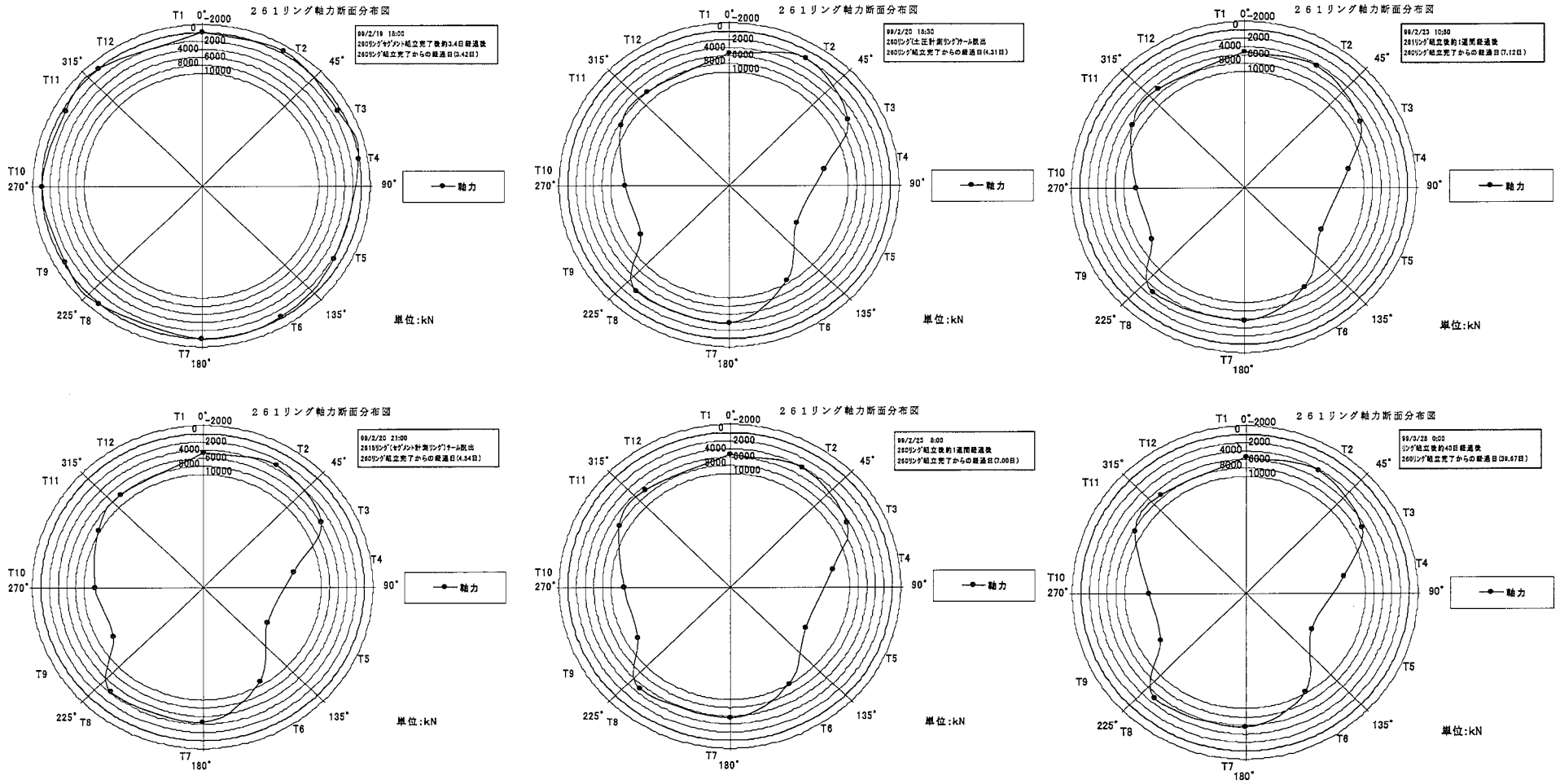


図-3.96　第２工区　計測断面Ａ　軸力の断面分布図①

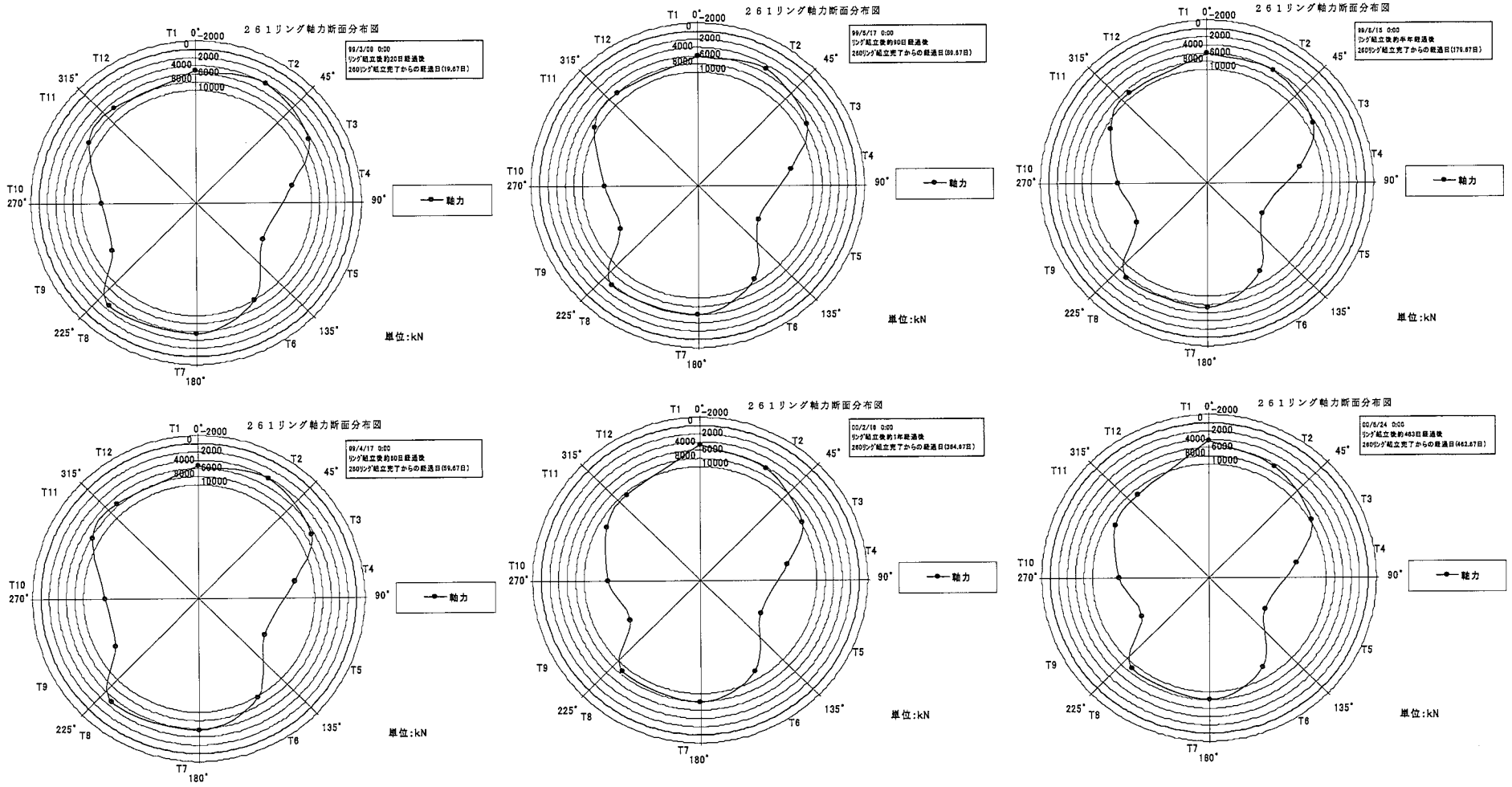


図-3.97　第２工区　計測断面Ａ　軸力の断面分布図②

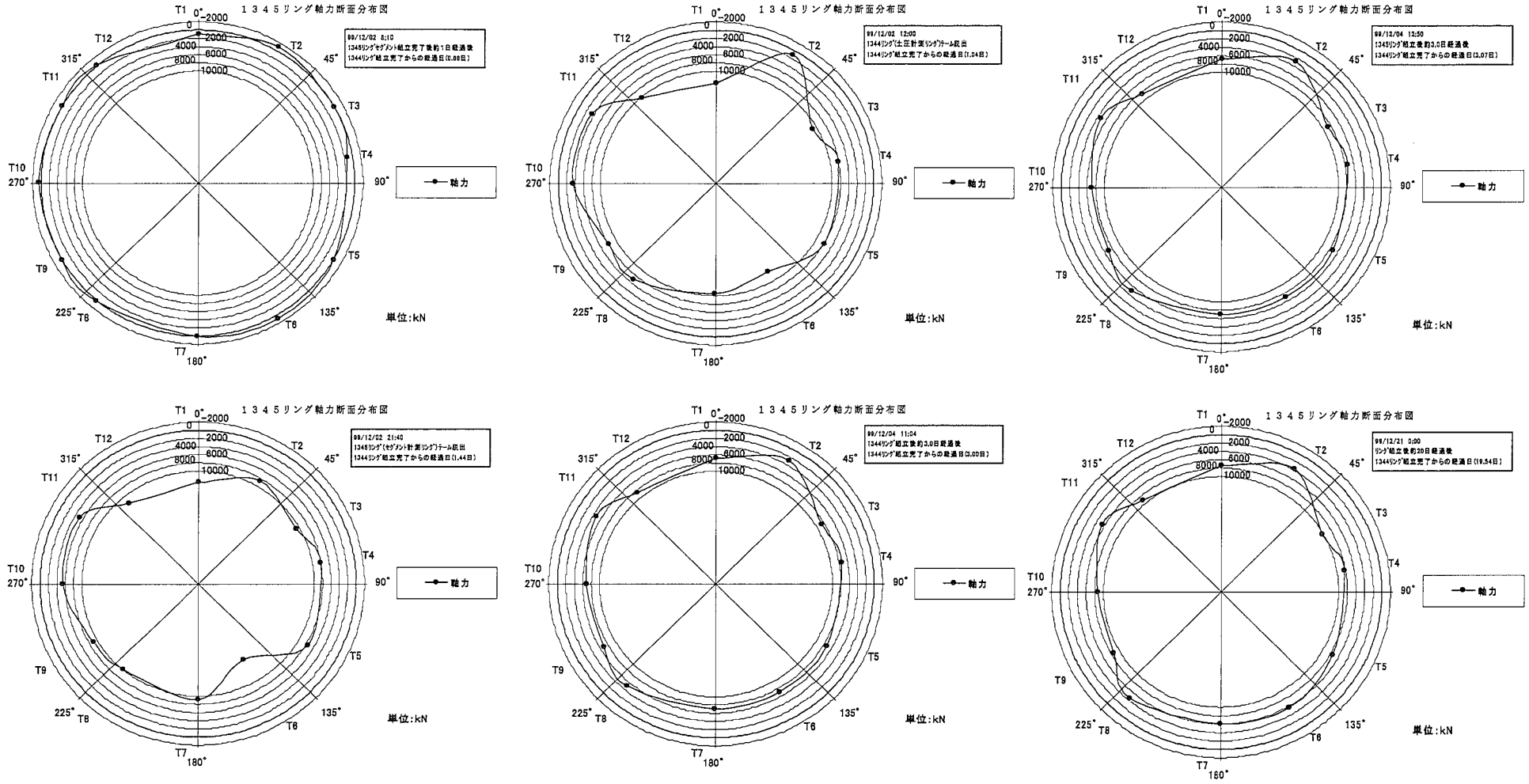


図-3.98　第２工区　計測断面Ｂ　軸力の断面分布図①

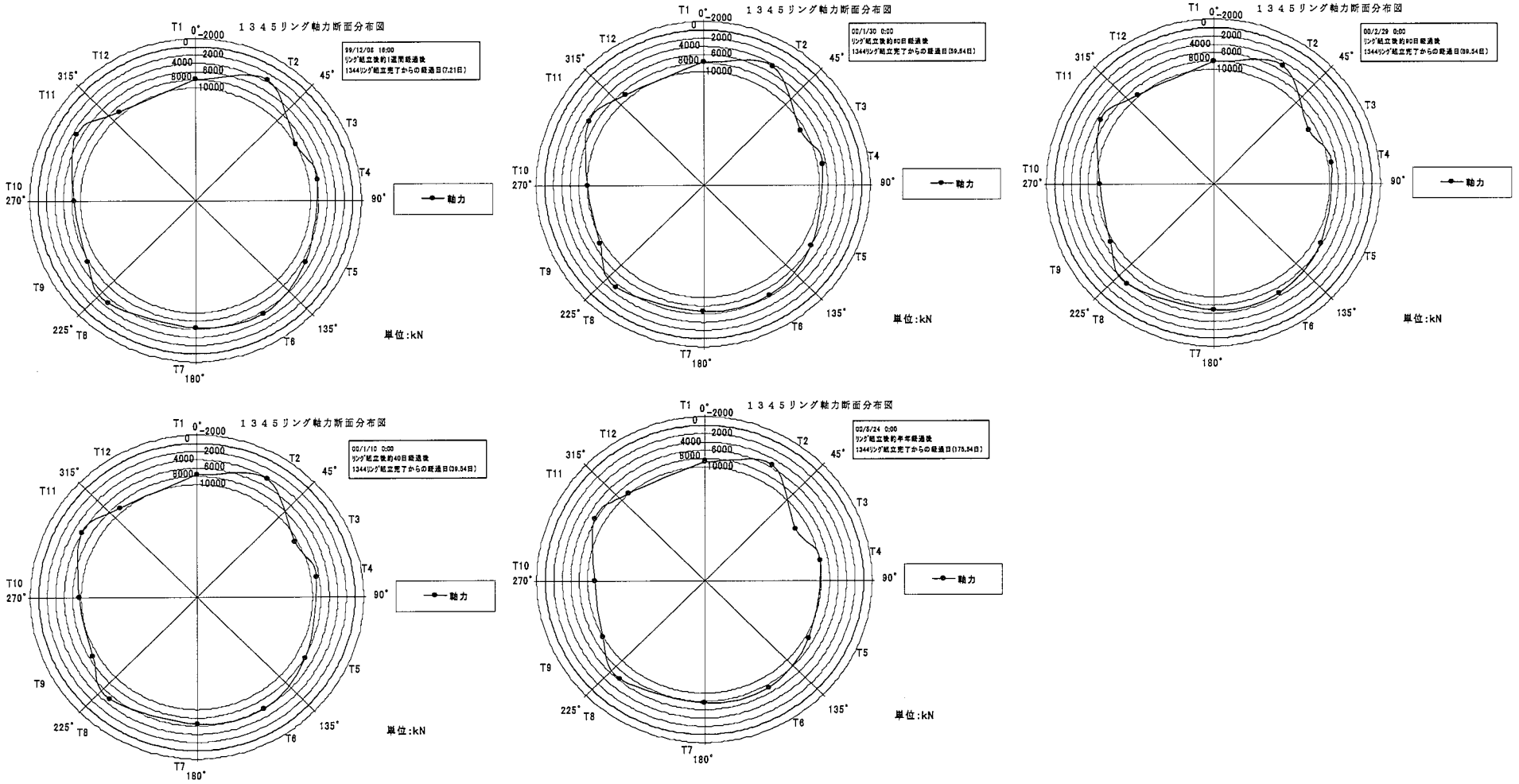


図-3.99　第２工区　計測断面Ｂ　軸力の断面分布図②

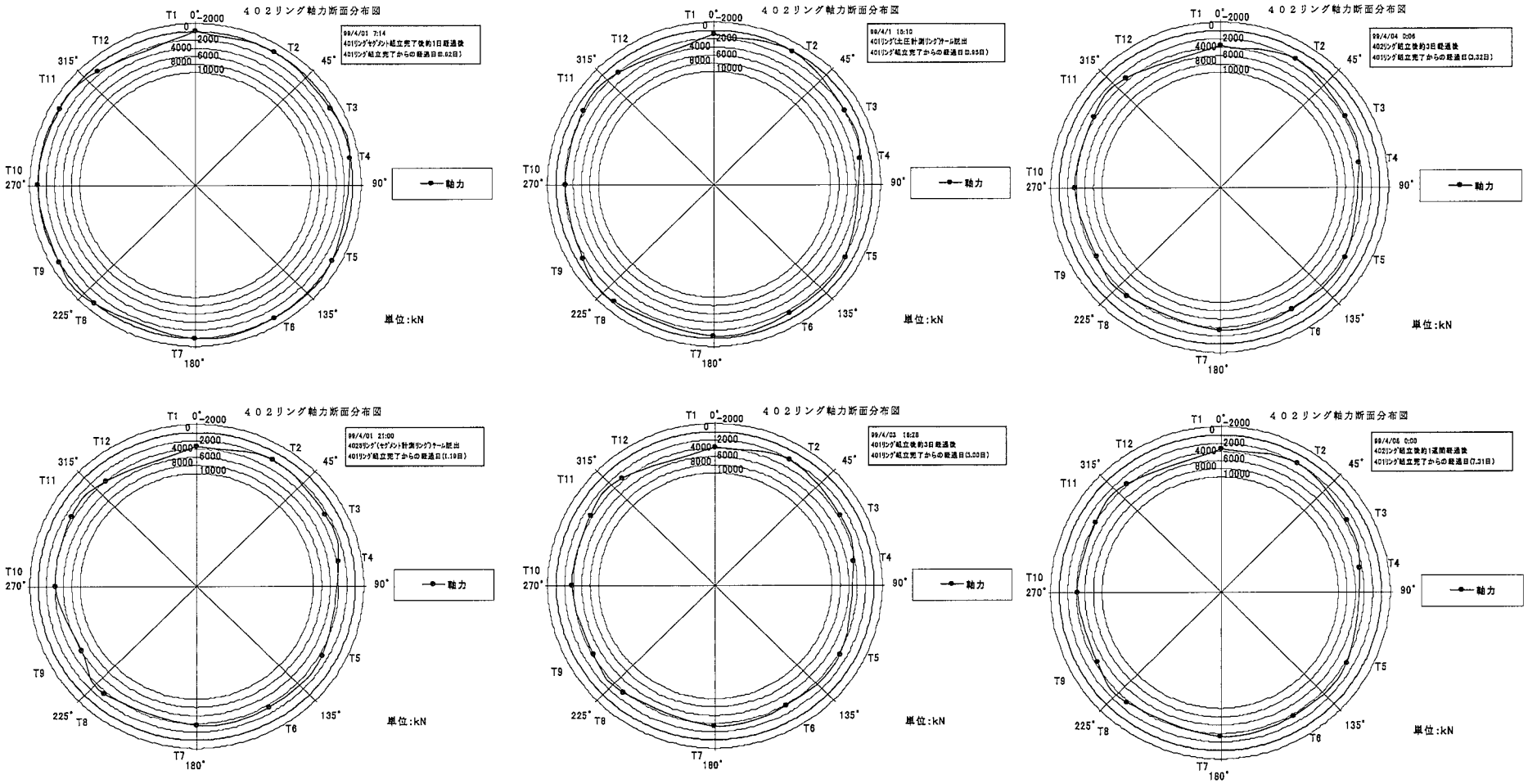


図-3.100　第３工区　軸力の断面分布図①

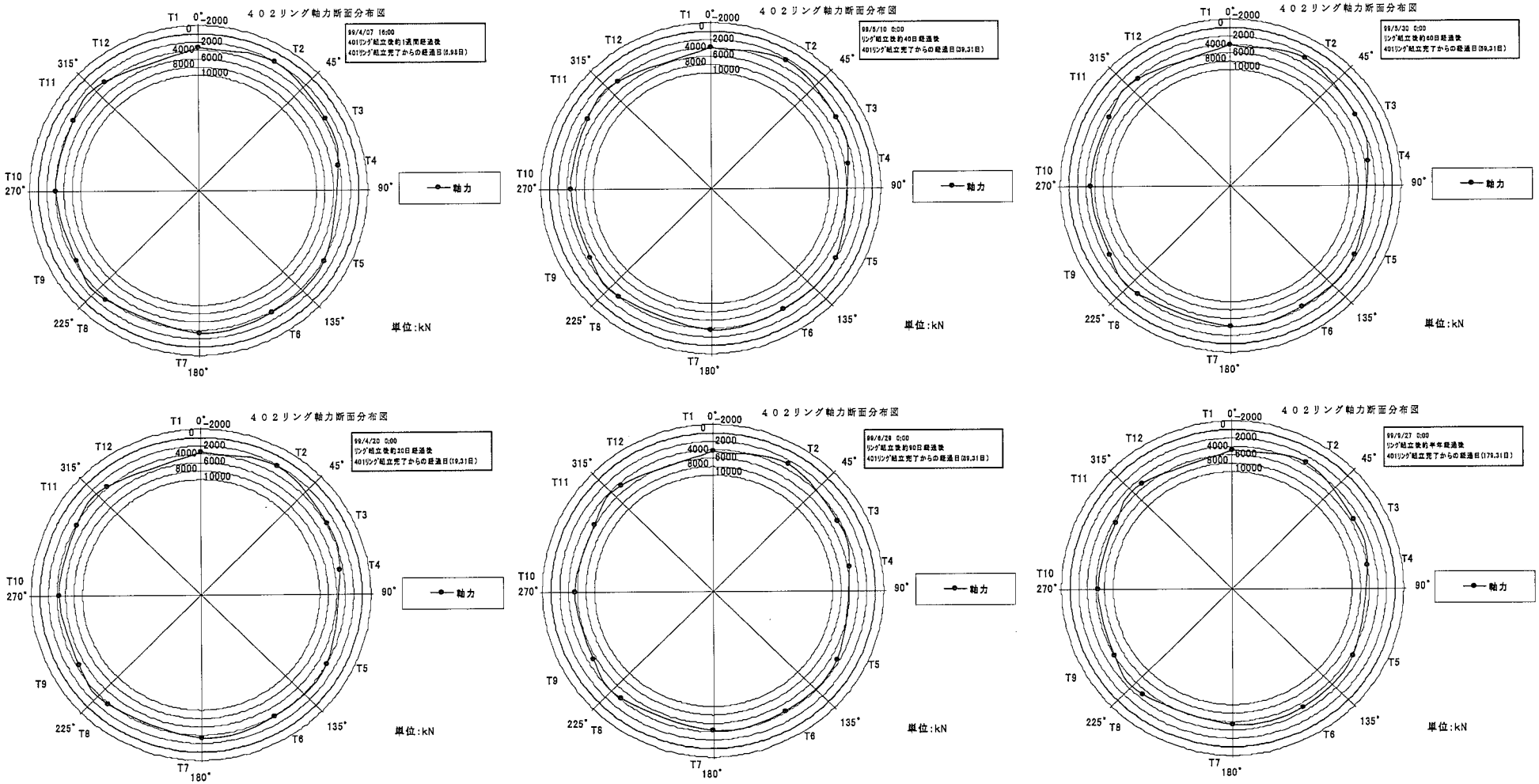
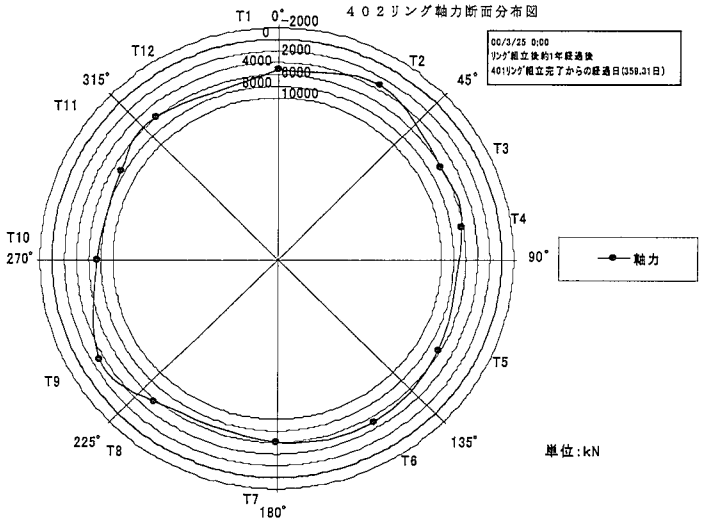


図-3.101　第３工区　軸力の断面分布図②



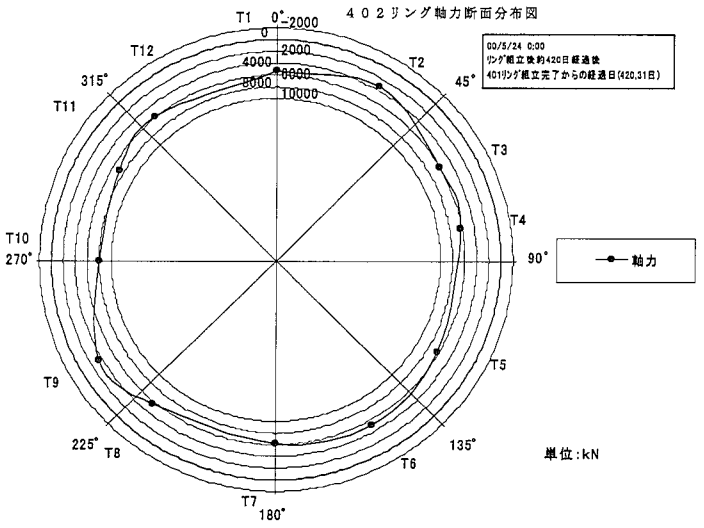


図-3.102　第３工区　軸力の断面分布図③

第4章 首都圏外郭放水路第４工区における現場計測

4.1 計測方法

4.1.1 計測目的

大深度、大口径セグメントの覆工構造は、セグメント組立時のセグメント自重の占める割合は大きくなるが、このセグメント自重を評価できるデータがほとんど無いのが現状である。また、セグメント組立時の応力状態には、自重による要素以外に施工時荷重の影響が考えられ、セグメント組立過程におけるセグメント挙動および作用荷重を明確に把握する必要がある。ここでは、セグメント組立過程における挙動把握を目的とした計測ならびにトンネルに作用する施工時荷重の評価検討を実施した。

4.1.2 トンネルの概要と計測位置

現場計測は首都圏外郭放水路の第４工区のシールドトンネルにて実施した。第４工区は最上流工区となり、トンネル外径φ11.8m(内径 10.87m)、土被り 51m～54m の円形シールドトンネルである。計測は、発進立坑から約 280m の土被り約 51m の位置で実施した。

セグメントの構造・形式は、桁高 465mm、幅 1200mm の 9 分割（等分割）の軸方向挿入型ＤＲＣセグメント(ダクタイルと鉄筋コンクリートの合成型)を採用している。シールド掘削方式は密閉型の泥水加圧式シールドを採用している。シールドトンネルの諸元を表-4.1 に、トンネル平面図を図-4.1、トンネル縦断図を図-4.2、DRC セグメント概要図を図-4.3、に示す。また、シールドマシンの構造概要図を図-4.4 に示す。

表-4.1 外郭放水路第４工区シールドトンネルの諸元

トンネル延長	1,235m
シールド外径	φ12.040m
セグメント外径	φ11.800m
セグメント内径	φ10.870m(セグメント厚 465mm・セグメント幅 1,200mm)
使用セグメント	一般部：DRC セグメント(ﾀﾞｸﾀｲﾙと鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄとの合成型) 接合部(連絡ﾄﾝﾈﾙ)：鋼製セグメント(20 ﾘﾝｸﾞ)
最小曲線半径	250m(曲線部総延長 484m)

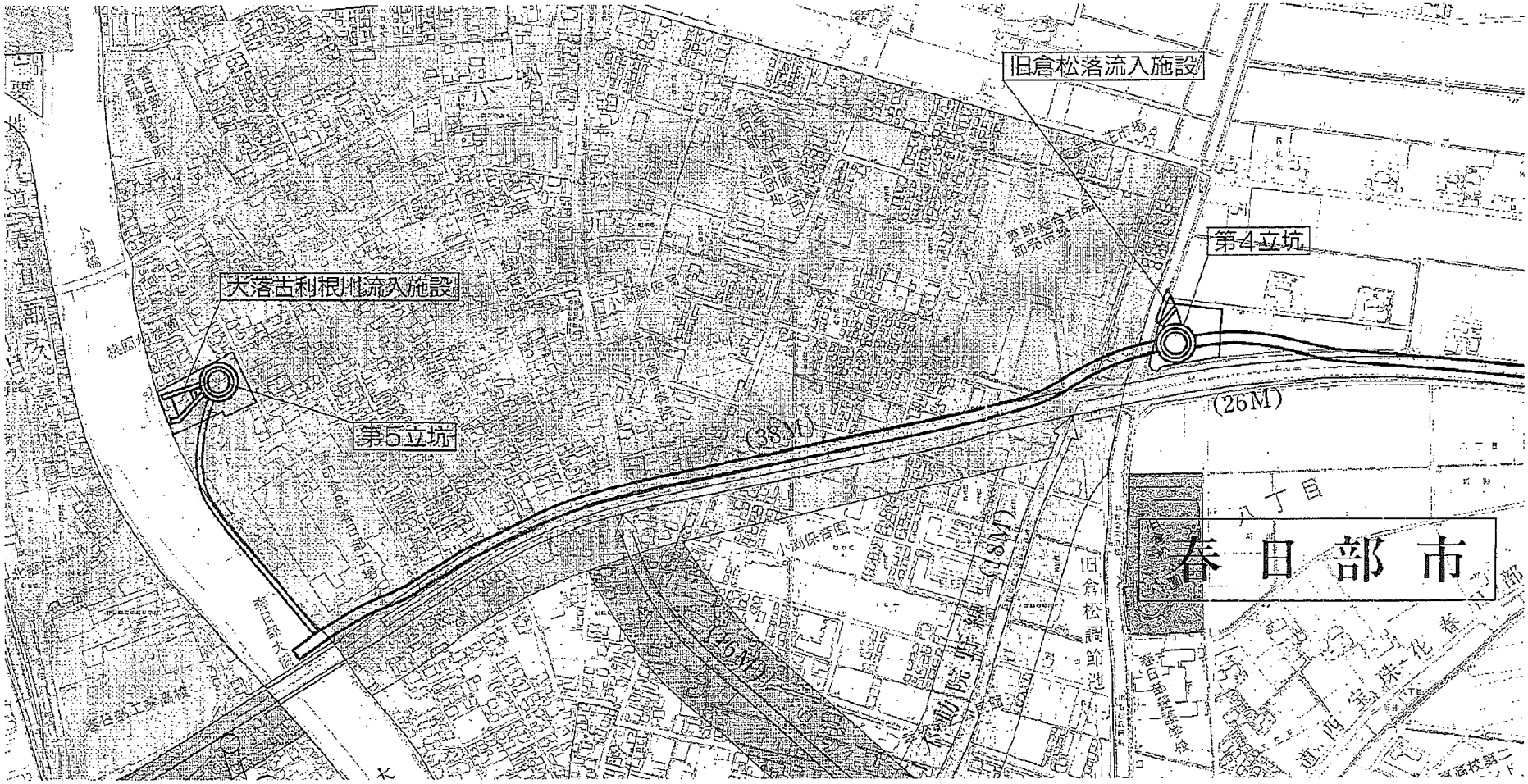


図-4.1 平 面 図

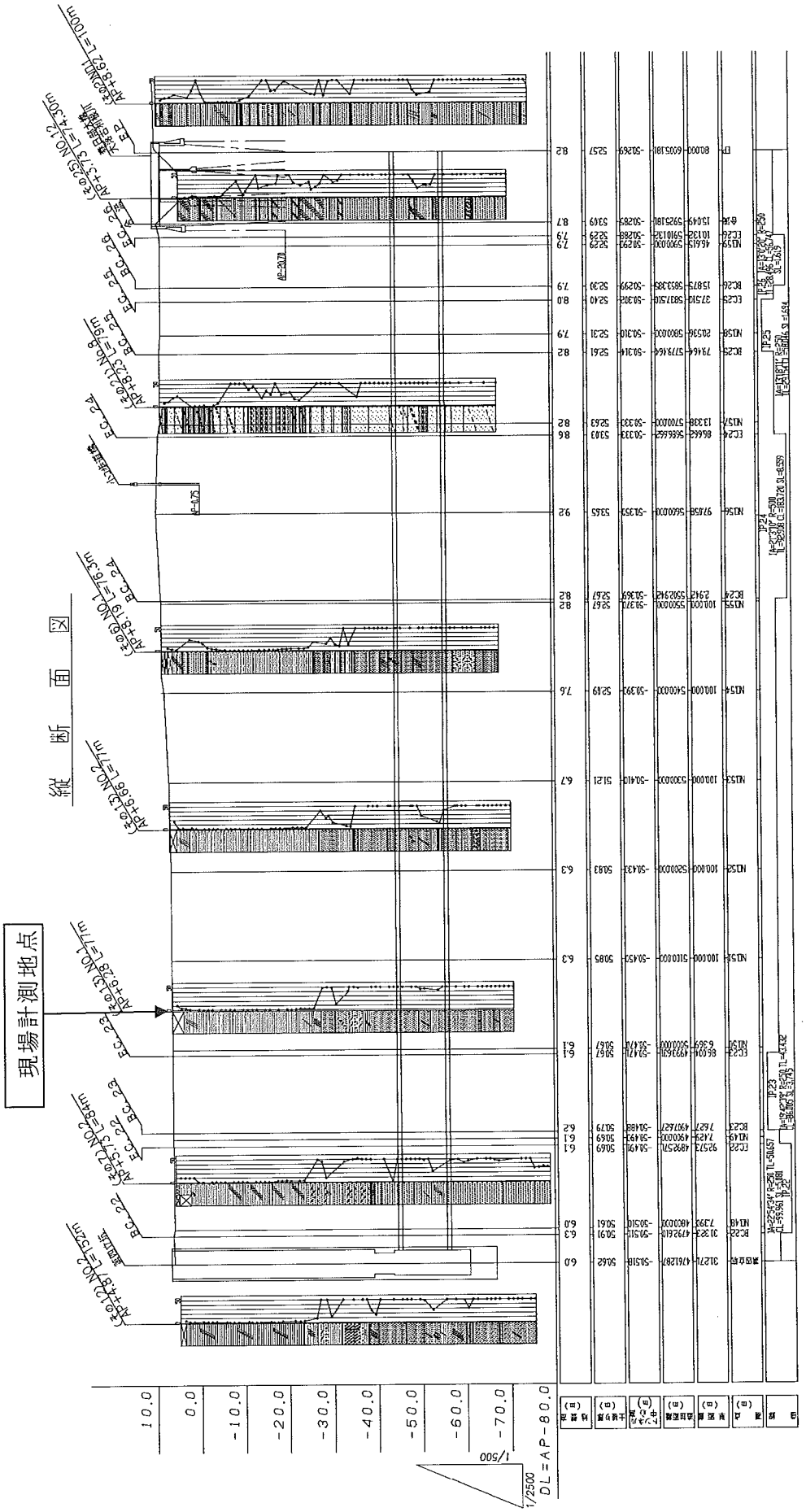

縦断面図
現場計測地点
1/500
1/2500
DL=AP-80.0
10.0
0.0
-10.0
-20.0
-30.0
-40.0
-50.0
-60.0
-70.0

図-4.2 トンネル縦断図

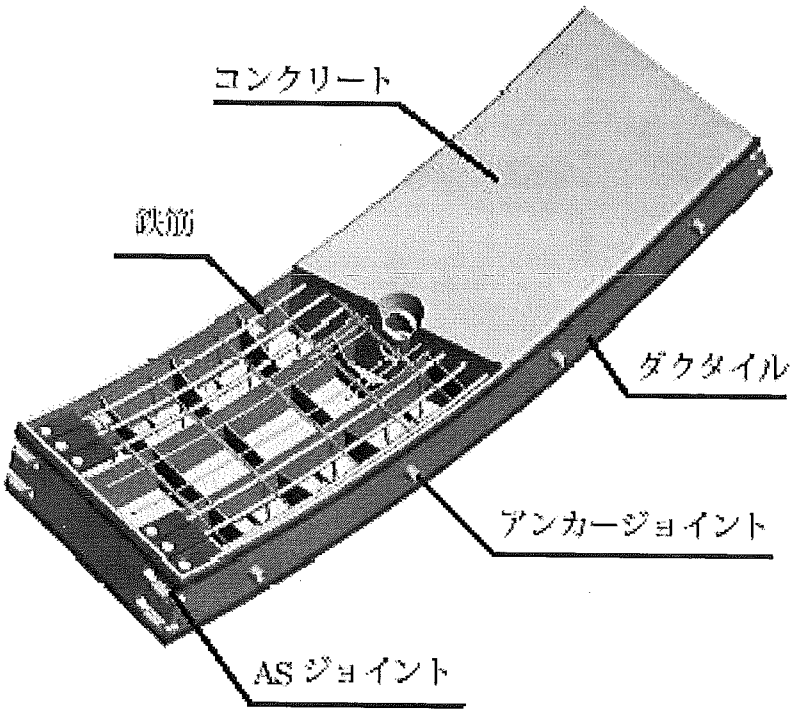


図-4.3　DRC セグメント概要図

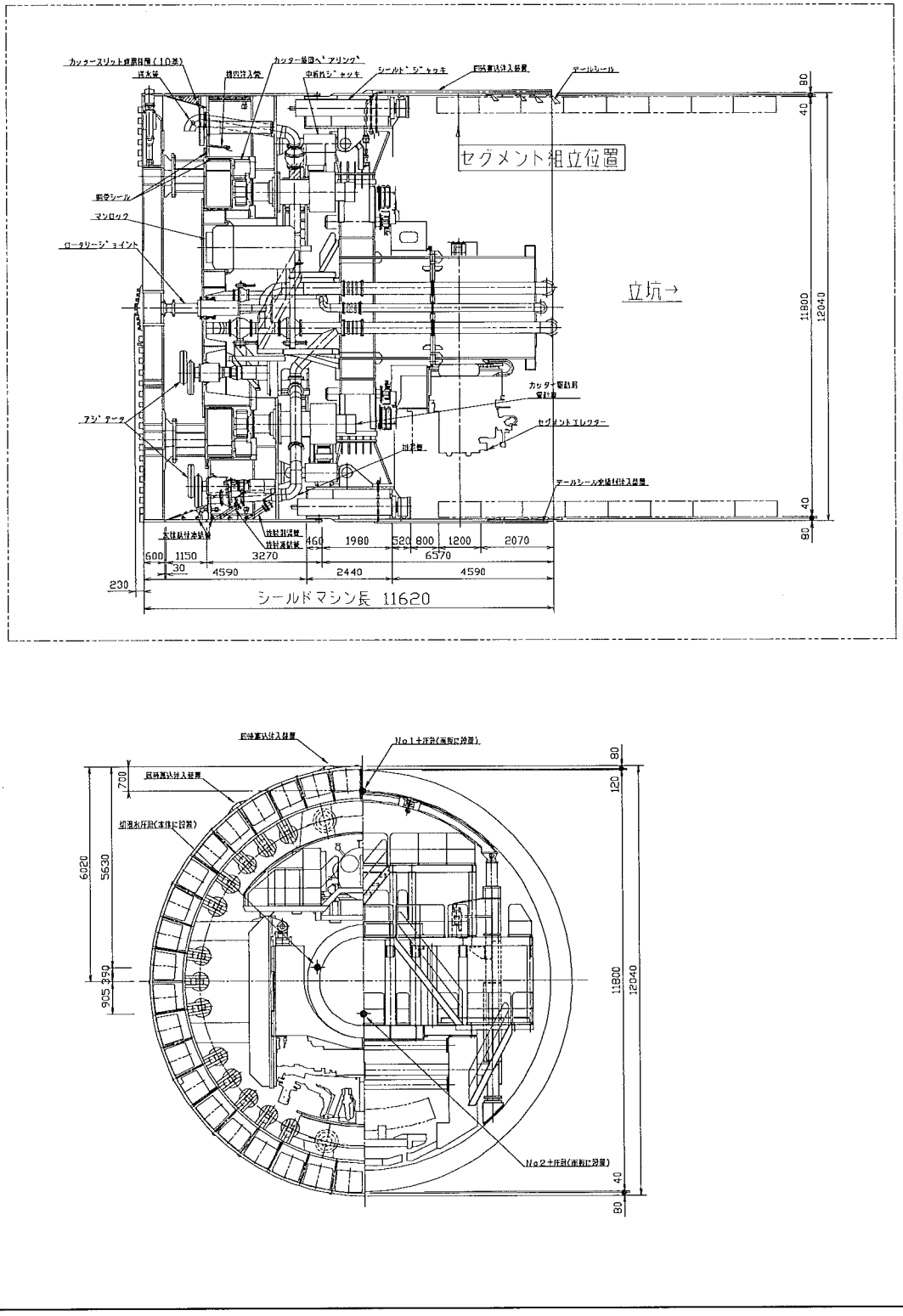


図-4.4　シールドマシンの構造概要図

4.1.3 土質状況

シールドトンネルの通過する地層は、成田層群(洪積世)の砂質土層と粘性土層から成り立っている。粘土組成は砂質土 77%、粘性土 23%である。計測付近の土質横断図を図-4.5 に、トンネル全長に渡る土質縦断図を図-4.6 に示す。

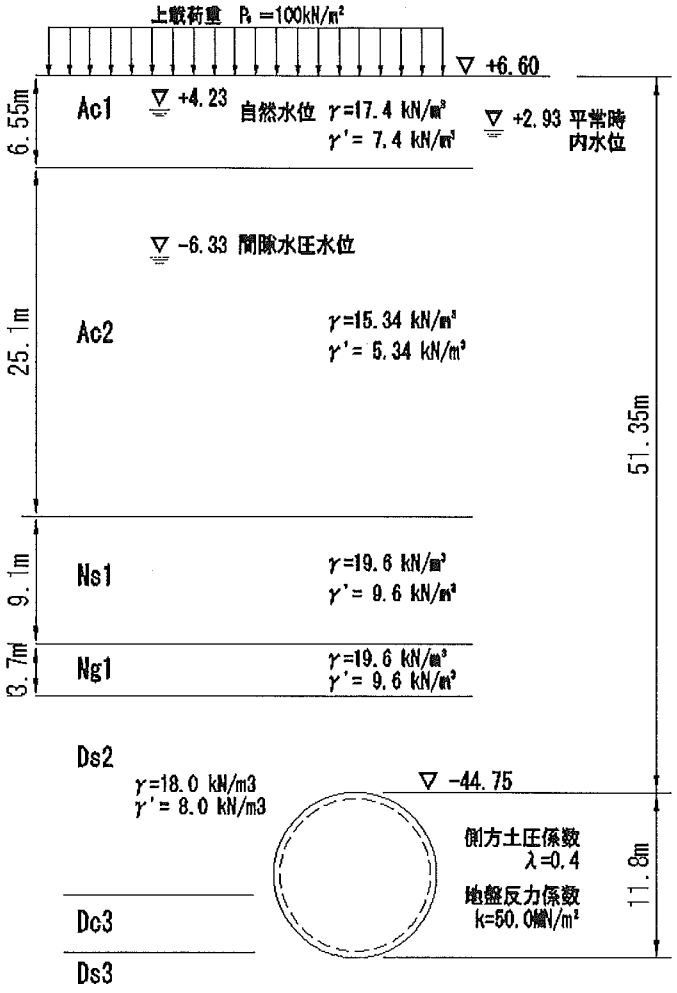


図-4.5　計測地点における土質横断図

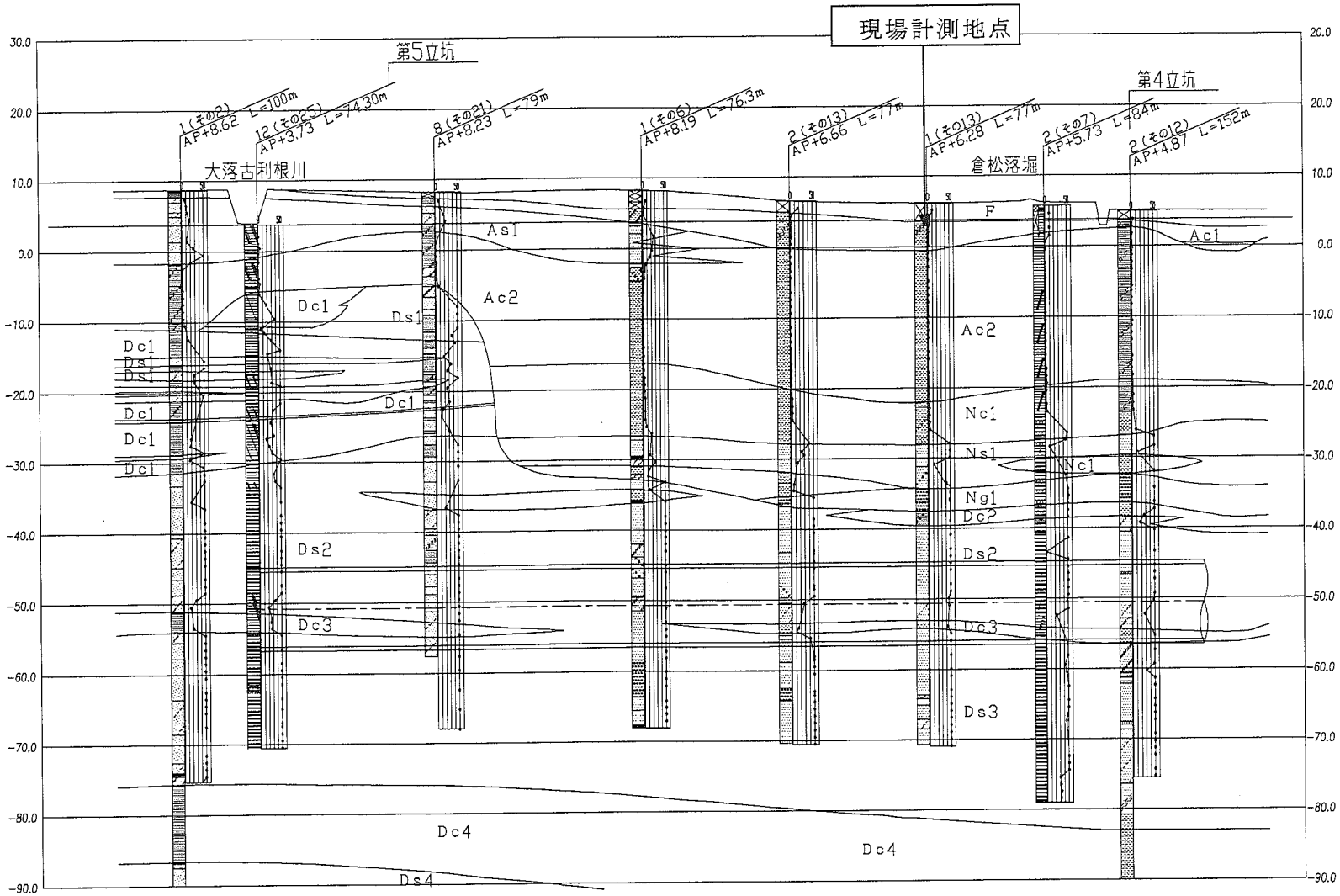

現場計測地点
第5立坑
第4立坑
大落古利根川
倉松落堀
1(その2) AP+8.62 L=100m
12(その25) AP+3.73 L=74.30m
8(その21) AP+8.23 L=79m
1(その5) AP+8.19 L=76.3m
2(その13) AP+6.66 L=77m
1(その13) AP+6.28 L=77m
2(その7) AP+5.73 L=84m
2(その12) AP+4.87 L=152m
30.0
20.0
10.0
0.0
-10.0
-20.0
-30.0
-40.0
-50.0
-60.0
-70.0
-80.0
-90.0
Dc1
Ds1
As1
Ac2
Ds2
Dc3
Dc4
Ds4
F
Ac1
Nc1
Ns1
Ng1
Dc2
Ds3

図-4.6　土質縦断図

4.1.4 計測項目

計測リングは、データ収集の有効性や経済性を考慮して、発進立坑(第 4 立坑)から 280m 地点(234 リング)とした。選定理由を以下に示す。

① 初期掘進が終了している → 120 リング以降
② 直線区間とする → 初期掘進以降では 188 リング～610 リング
③ 発進立坑から 500m 以内 → 416 リングまで
④ データ収集の有効性 → 土質調査地点(第 4 立坑から 280m 地点)
⑤ 経済性 → 立坑から近い地点

上記条件を満たす地点として 234 リングおよび 235 リングを採用した。

本計測現場における主たる計測項目は、土圧、水圧、鉄筋・鋼材応力とし、施工管理データとしてシールドジャッキ推力、裏込め注入圧などについてとりまとめた。各計測機器の設置は、土圧計・間隙水圧計は 234Ring に、鉄筋・ひずみ計は 235Ring に設置した。測定機器および形式を表-4.2 に、測定機器設置位置図を図-4.7～図-4.14 に示す。

各計測項目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。
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鉄筋計およびひずみ計：セグメントの軸方向および周方向の鉄筋に鉄筋計を、主桁および縦リブにひずみ計を設置し、施工時荷重ならびに外荷重によってセグメントに発生する応力度を測定する。
④施工状況データ：セグメント組立時のジャッキ状況や施工時間を記録し、施工時荷重による影響を分析する。

表-4.2 測定機器一覧表

項目	測定計器および形式	数量	備考
①	パッド式土圧計(計測範囲 2000kN/m²)	4 箇所	234R
②	間隙水圧計(計測範囲 1000kN/m²)	4 箇所	234R
③	ひずみゲージ(計測範囲 ±2000×10⁻⁶)	162 箇所	(234R－32 箇所) (235R－130 箇所)
④	施工状況データ (計測項目 施工時間・ｼﾞｬｯｷ状況・裏込注入)	－	

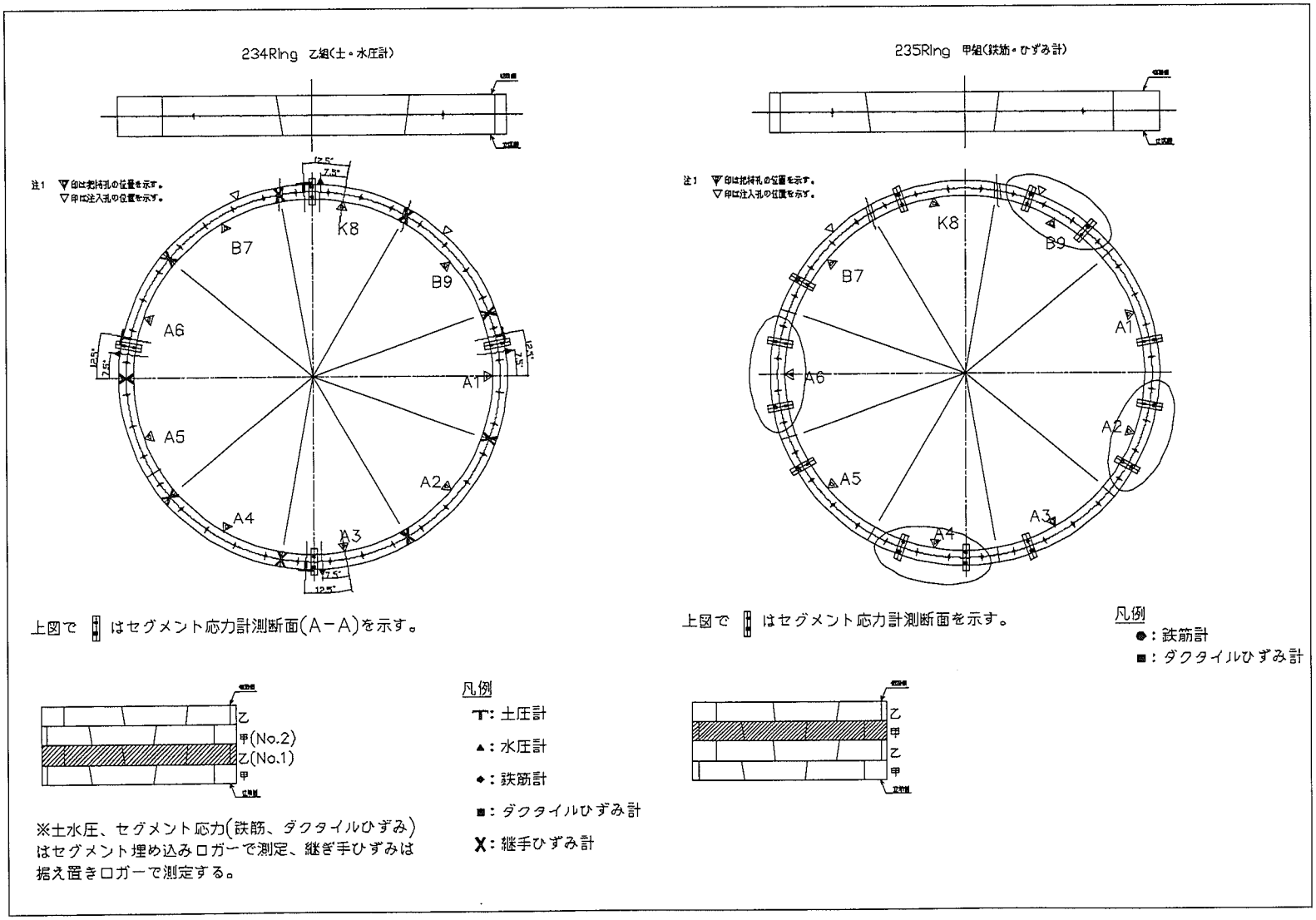
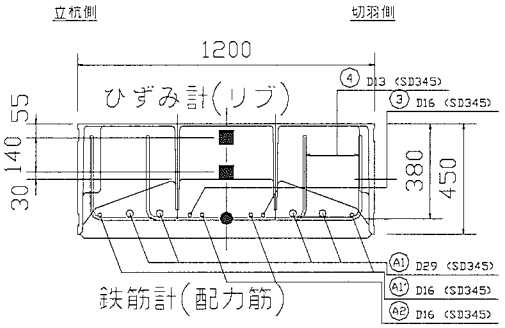


図-4.7　計測機器設置概要図

応力計位置図 (234R,235R共通)

軸方向応力計配置図



円周方向応力計配置図

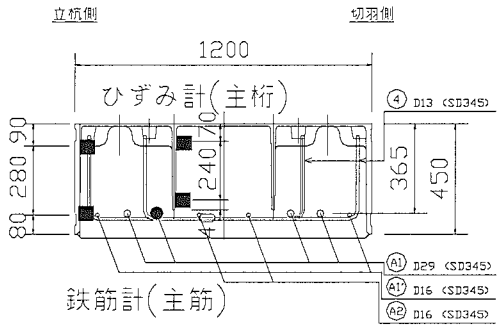


図-4.8 応力計位置図

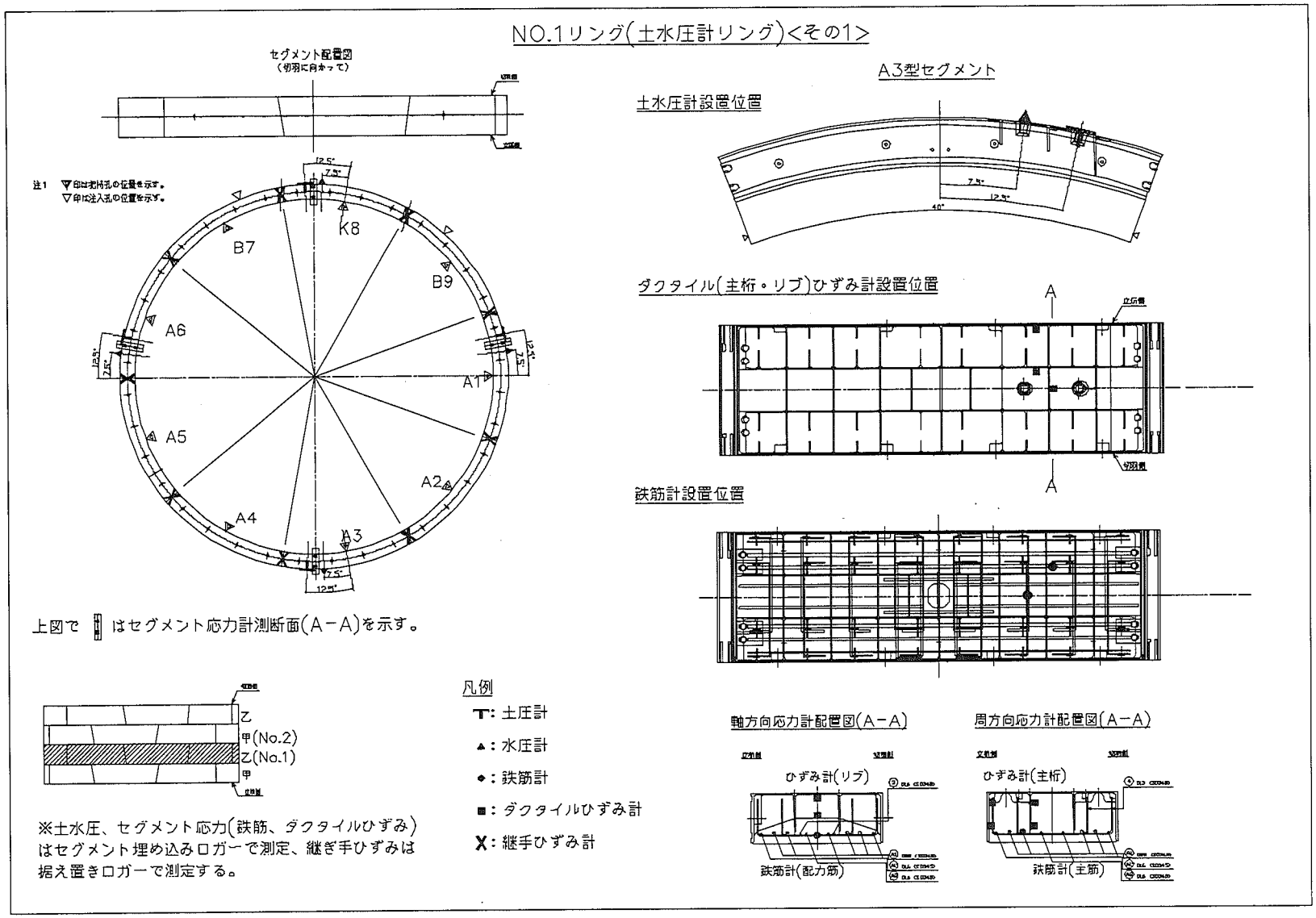


図-4.9　セグメント計測機器設置詳細図(234R その 1)

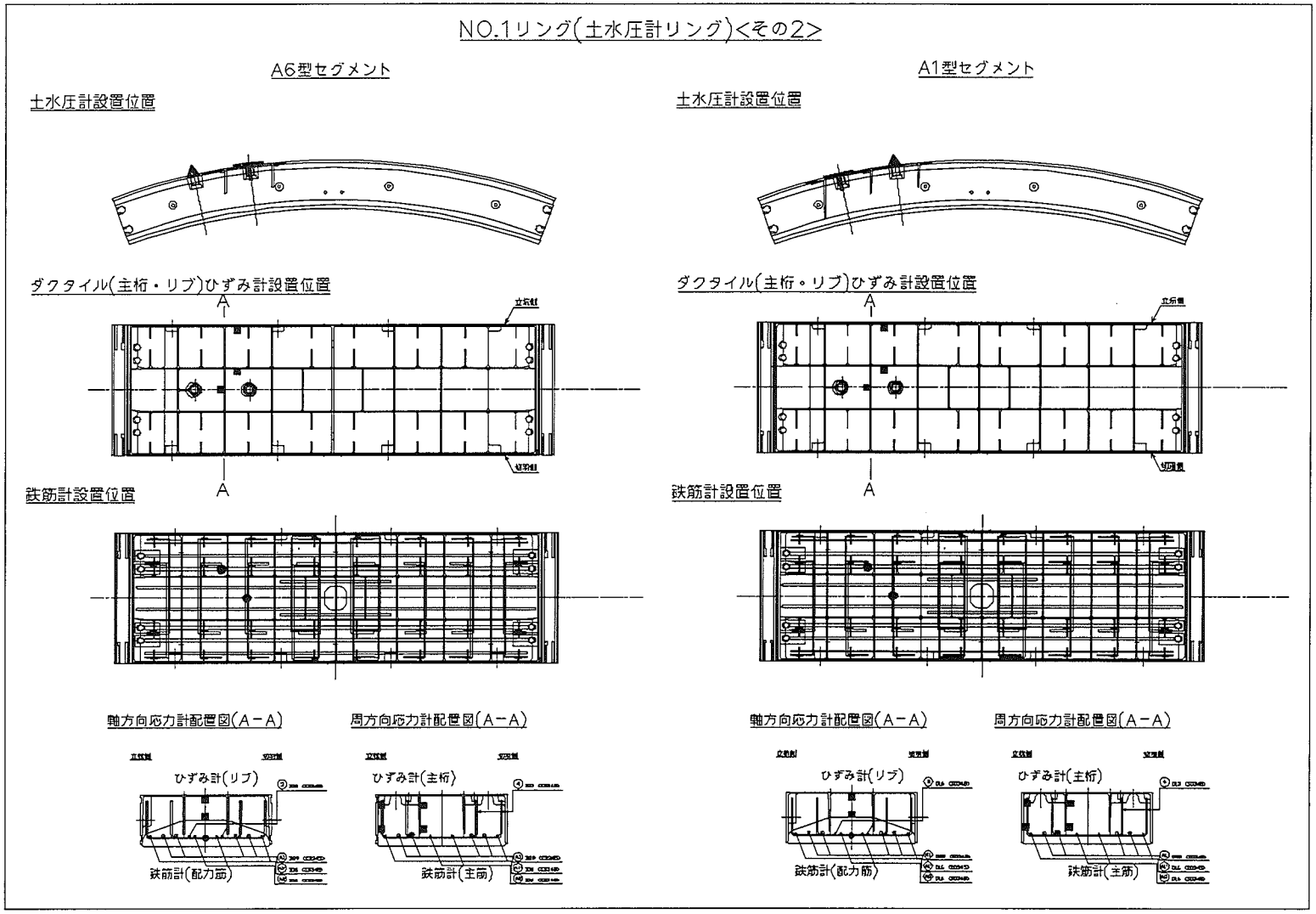


図-4.10　セグメント計測機器設置詳細図(234R その 2)

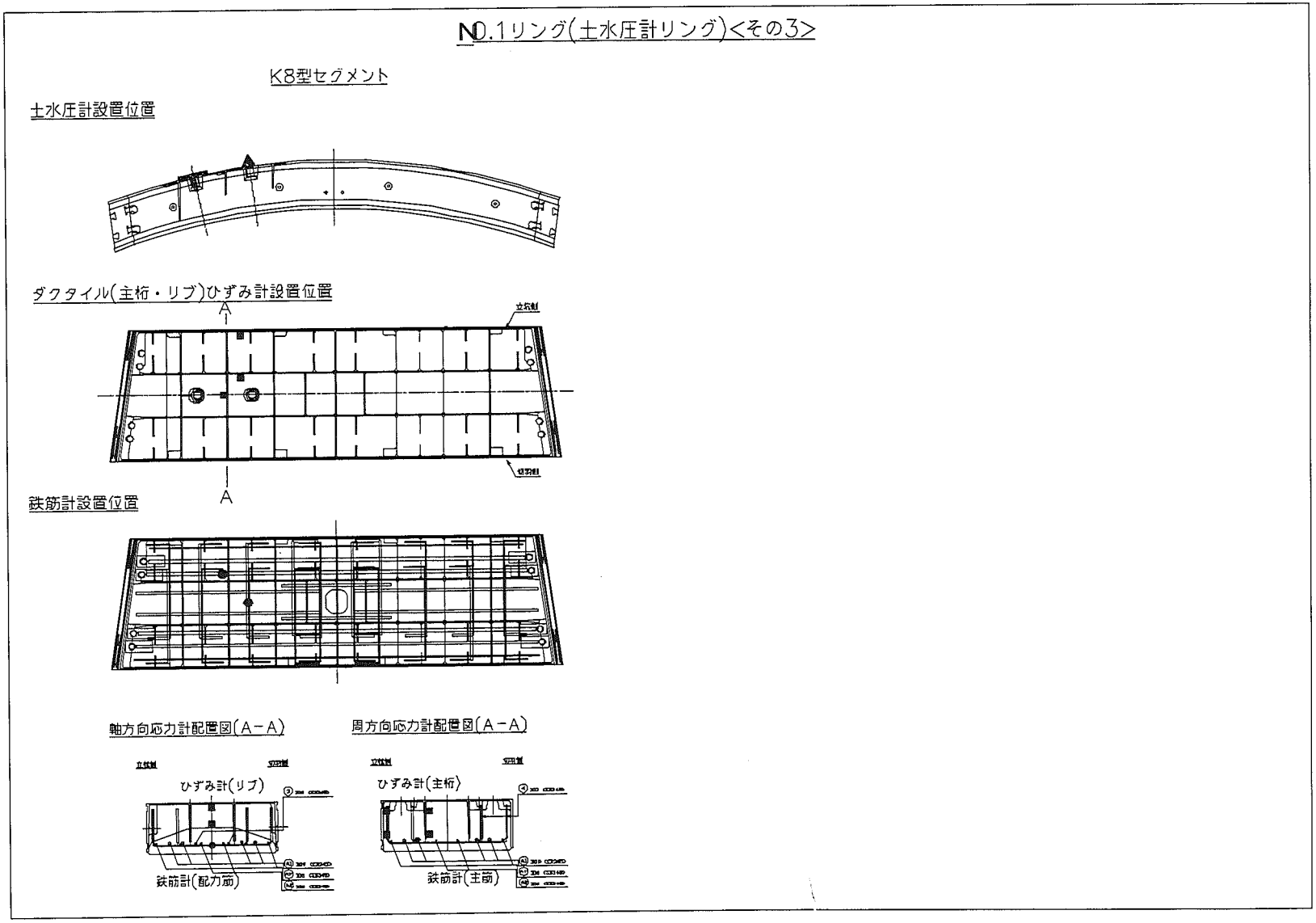


図-4.11　セグメント計測機器設置詳細図(234R その 3)

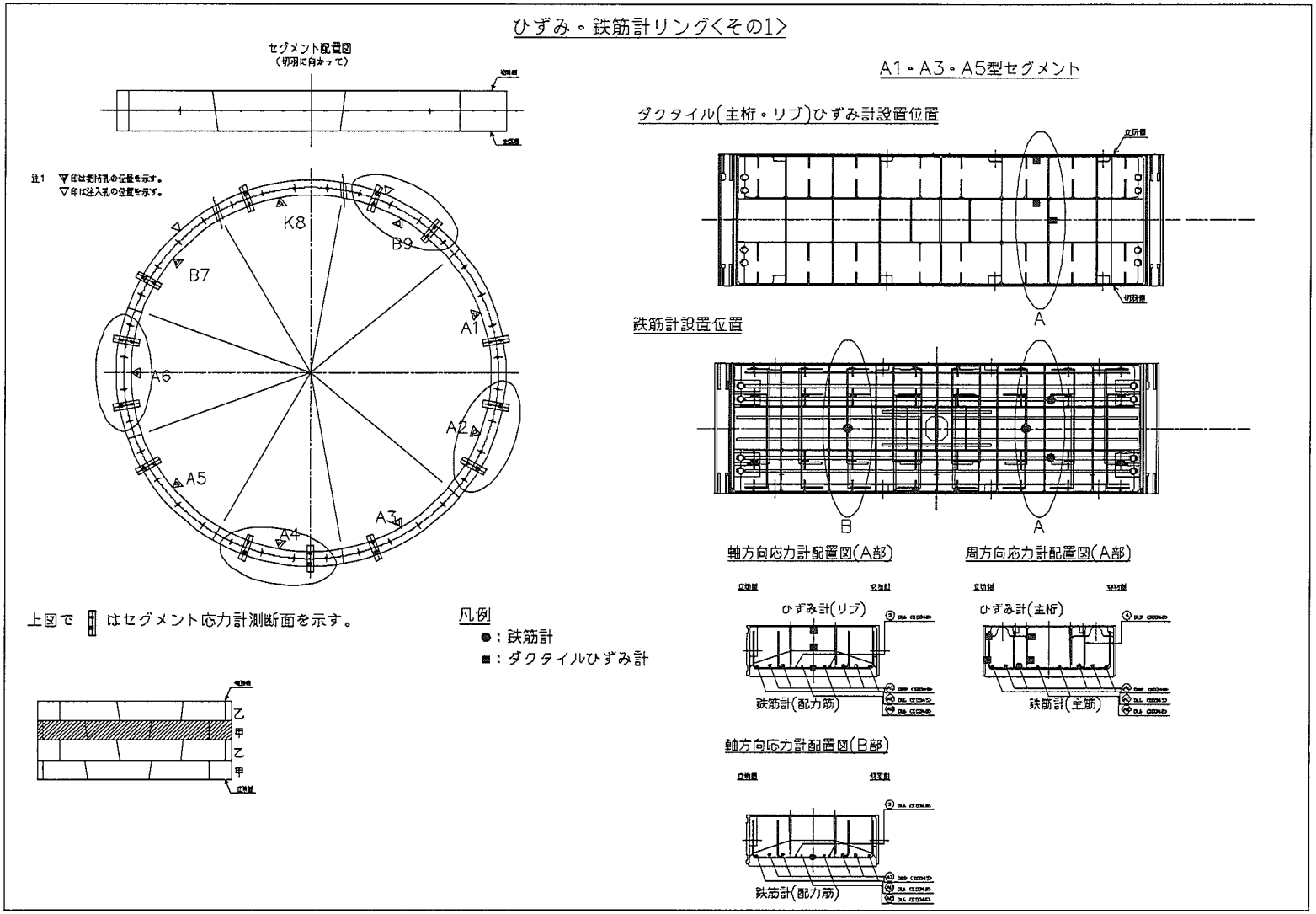


図-4.12　セグメント計測機器設置詳細図(235R その１)

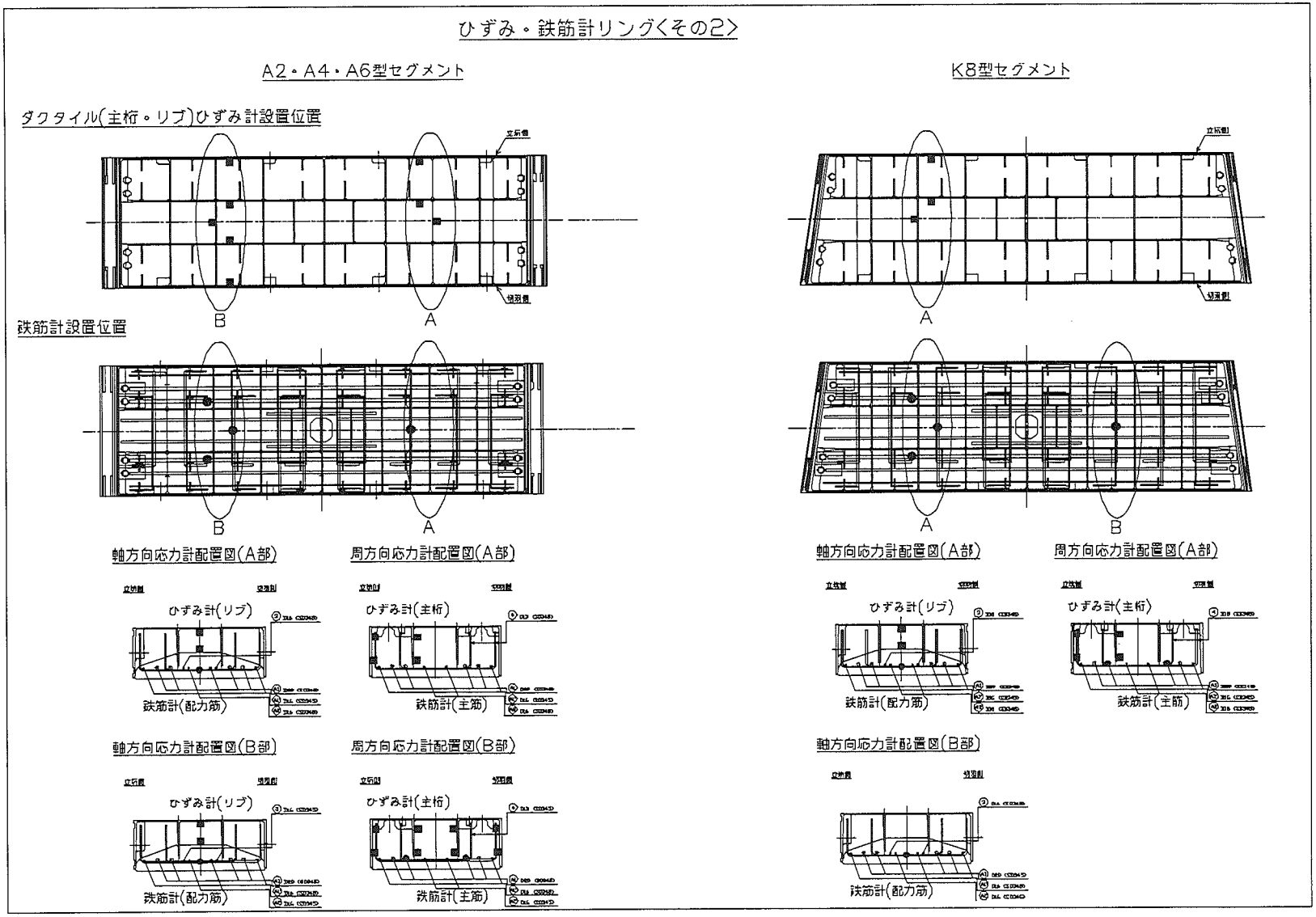


図-4.13　セグメント計測機器設置詳細図(235R その 2)

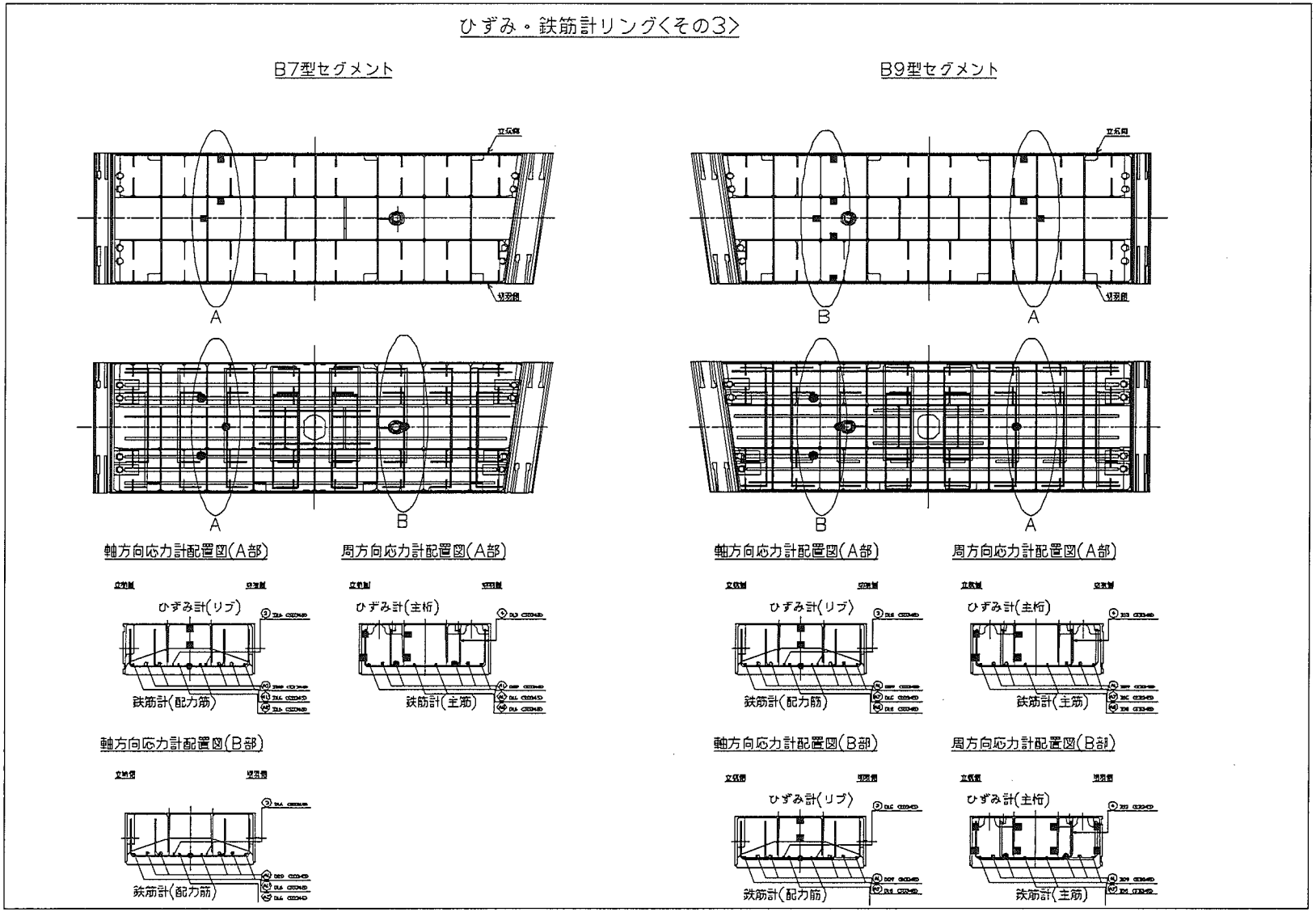


図-4.14　セグメント計測機器設置詳細図(235R その 3)

4.1.5 計測機器の設置および設置要領

各計測器を以下の要領で設置した。

(1) 土圧計

土圧計はパット式土圧計を採用し、ＤＲＣセグメントの外周面(ｽｷﾝﾌﾟﾚｰﾄ)に設置した。設置手順を図-4.15 に示す。また、パット式土圧計設置詳細図を図-4.16、図-4.17 に示す。

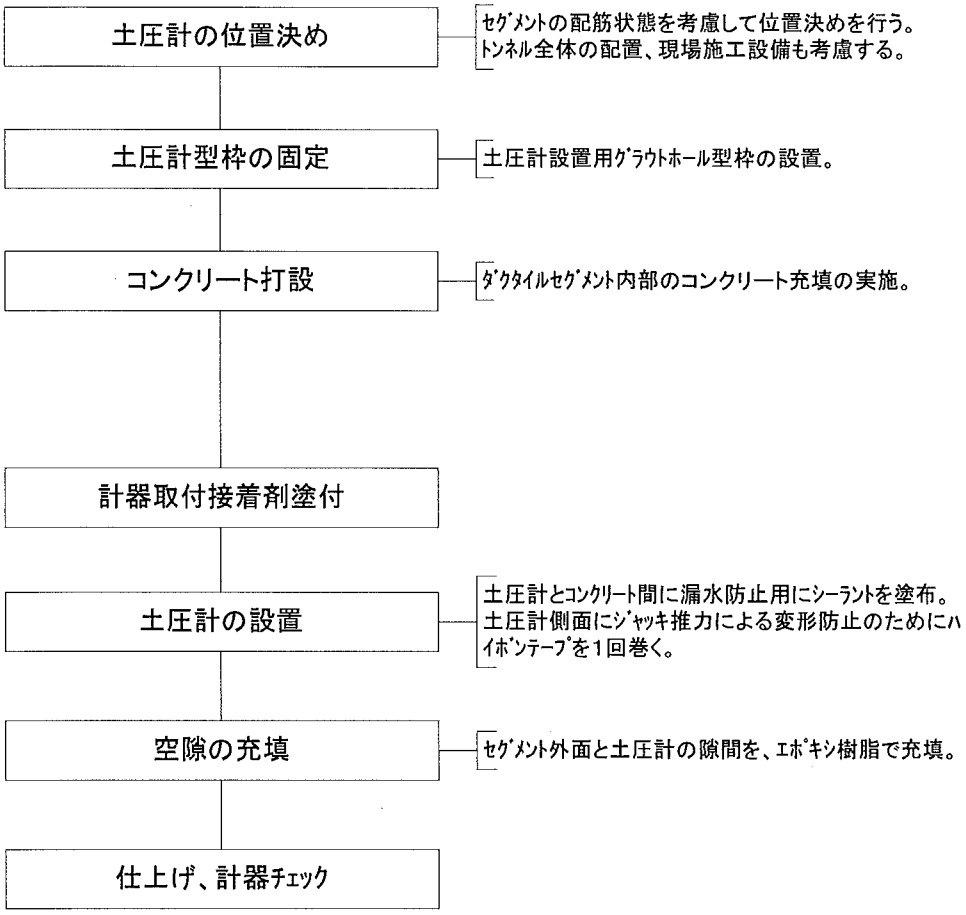


図-4.15　土圧計設置手順フロー図

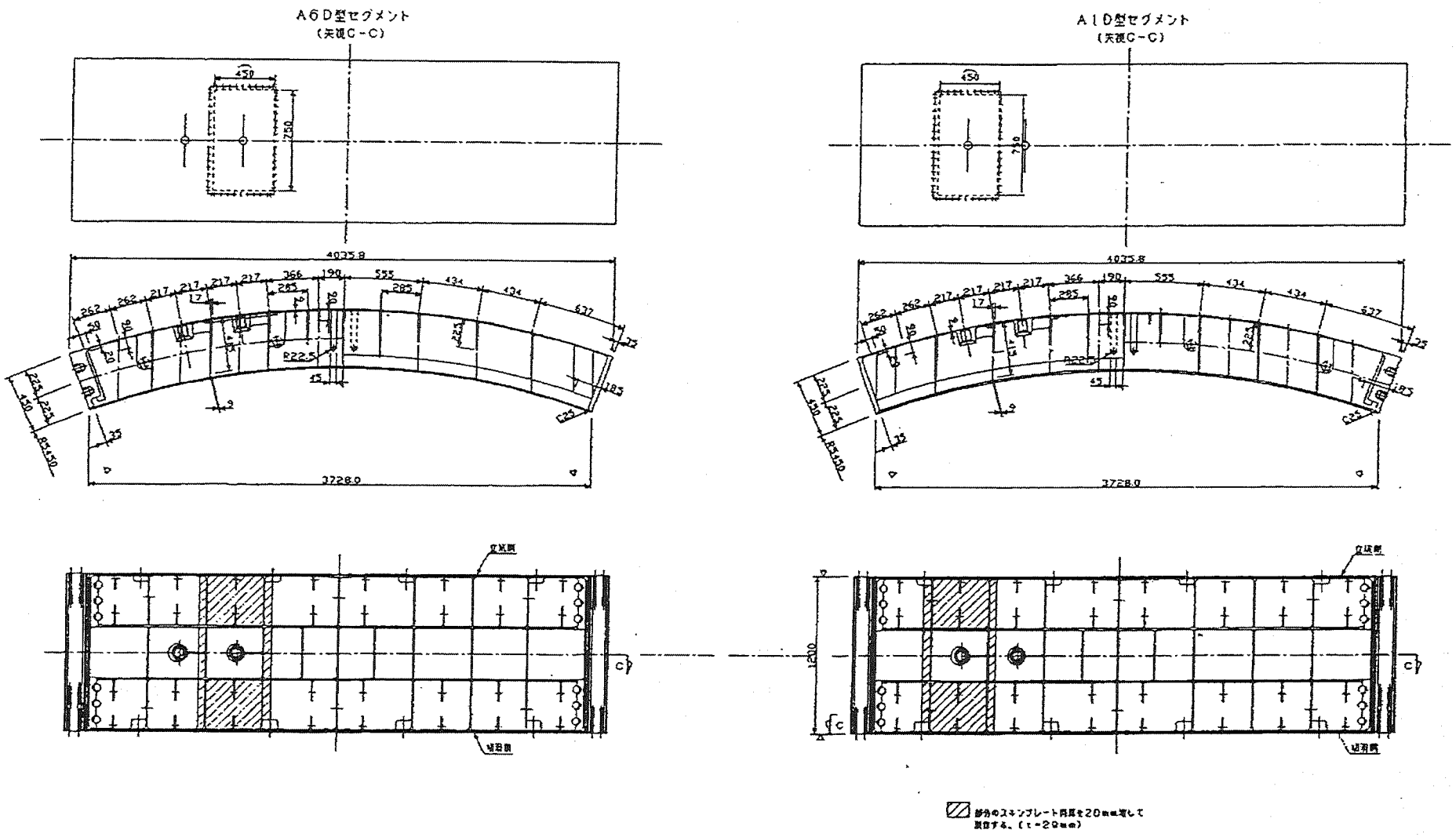


図-4.16　土圧計詳細図（その１）

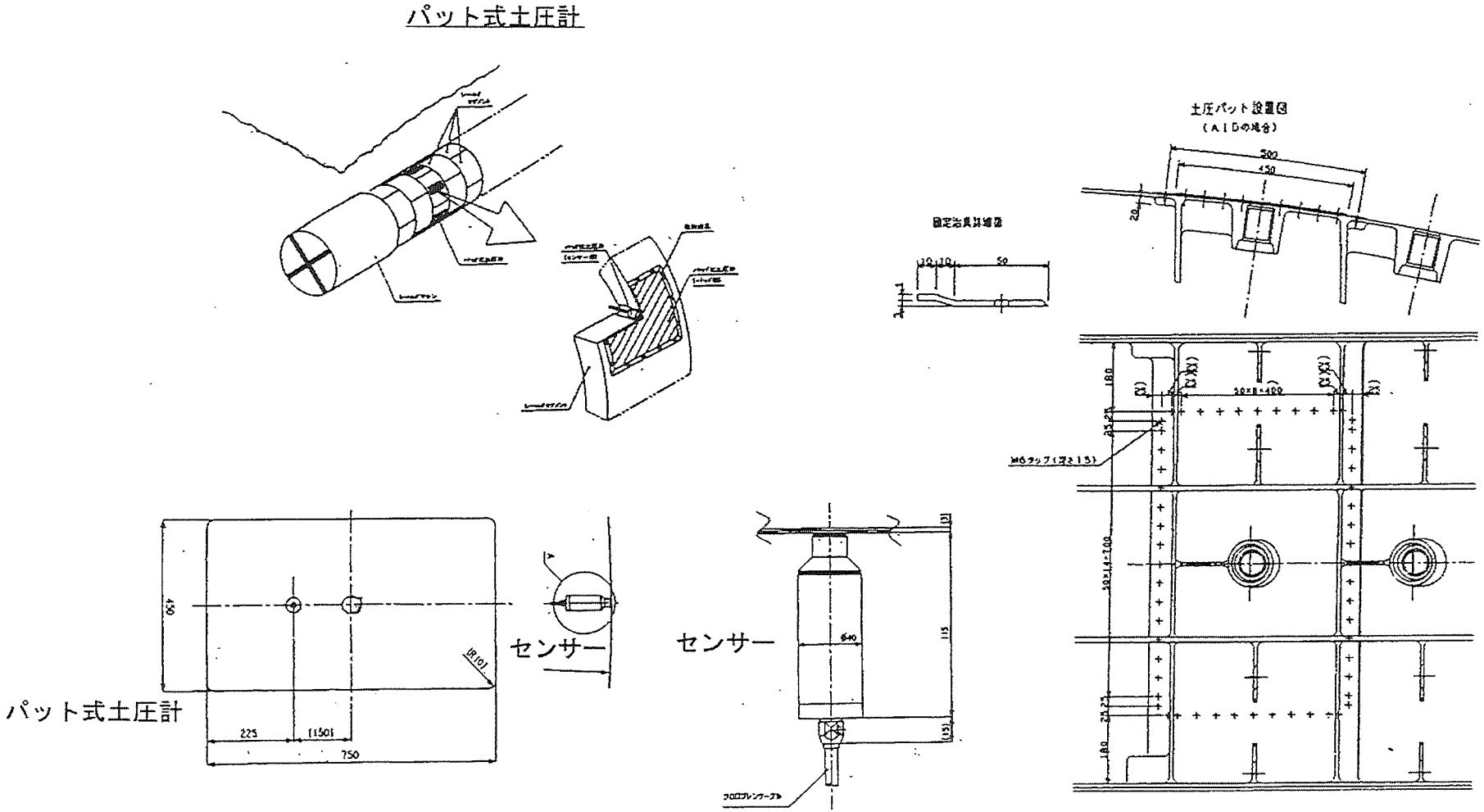


図-4.17　土圧計詳細図（その２）

(2)水圧計

ｸﾞﾗｳﾄ注入孔を利用して水圧計を設置した。設置手順を図-4.18 に示す。また、水圧計設置詳細図を図-4.19 に示す。

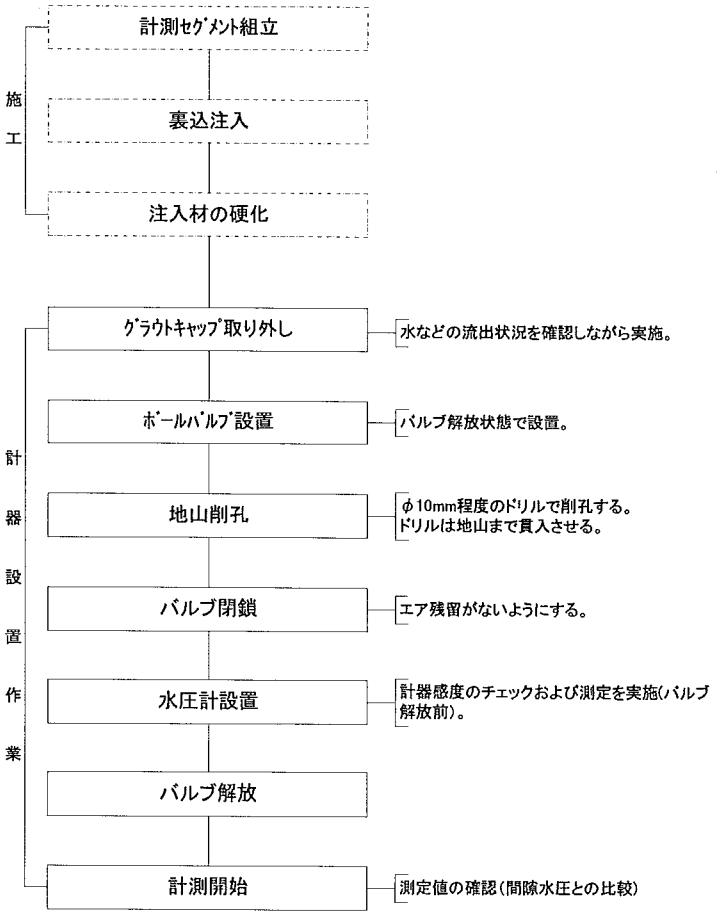


図-4.18　水圧計設置手順フロー図

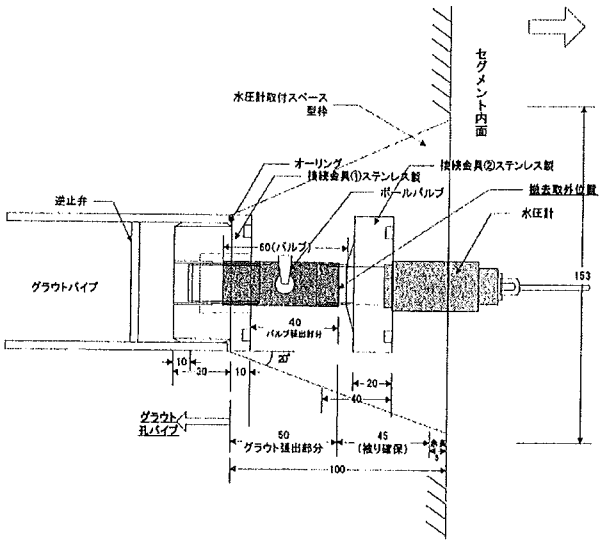


図-4.19　水圧計設置詳細図

(3)鉄筋計およびひずみ計

DRCセグメントは、ダクタイルと鉄筋コンクリートとの合成セグメントである。このため、ダクタイルの主桁ならびに縦リブ、鉄筋コンクリートの主鉄筋ならびに配力筋についてひずみ計測を実施した。設置手順を図-4.20 に示す。また、ゲージ詳細図を図-4.21 に示す。

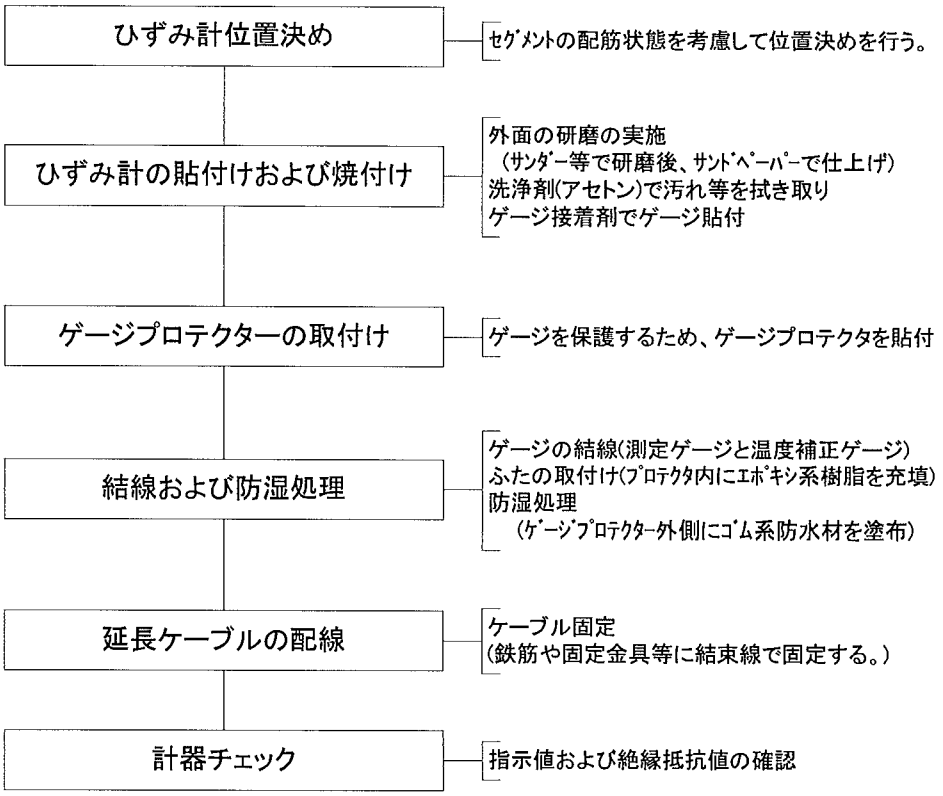
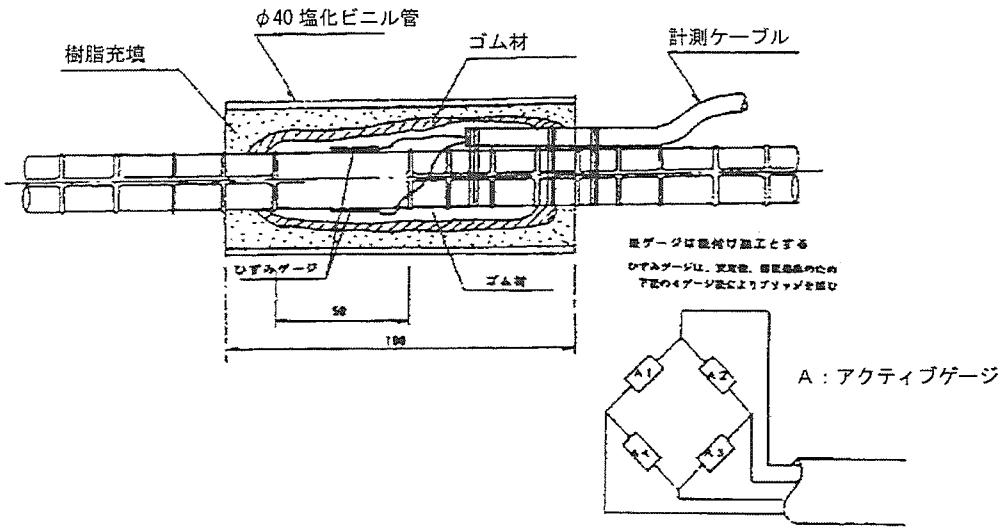


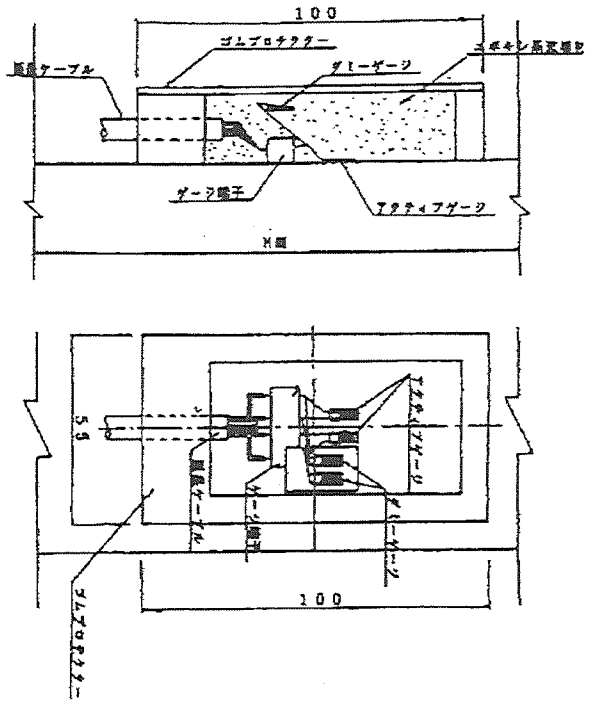
図-4.20　ひずみ計設置手順フロー図

鉄筋計詳細



鉄筋計は、曲げ加工した主鉄筋にて鉄筋計を製作する.

ひずみ計詳細



ひずみ計は、測定の安定性の確保と温度影響の除去を理由にひずみゲージを４枚利用したアクティブブリッジの構成とする。
防水、耐水性に備えてプロテクト防護および充填を行なう。

図-4.21　鉄筋計およびひずみ計詳細図

4.1.6 測定方法

計測はデータロガーを設置して自動計測方式で行った。計測システム図を図-4.22に示す。

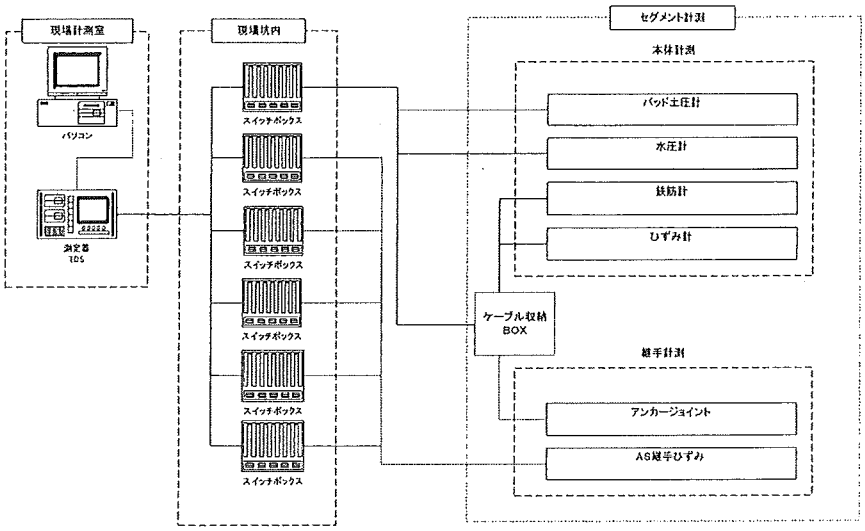


図-4.22　計測システム図

4.1.7 計測頻度および測定期間

測定頻度は、組立時、掘進時などの施工時荷重の影響を受ける期間は計測頻度を短く設定し、土圧、水圧などの地山荷重の変化を計測する場合は通常計測として計測頻度を長く設定した。計測期間と計測頻度を表-4.3に示す。

表-4.3　計測期間と計測頻度一覧表

計測調査の種別	計測期間	計測頻度	備考
施工時荷重の影響計測	計測セグメント組立前～約10リング後	1～2分/回	セグメントが組立中から安定するまでの期間は分単位の頻度で測定を実施する
	約10ﾘﾝｸﾞ～約1週間後	5分/回	
通常計測	約1週間～約1ヶ月後	8時間/回	中長期のセグメントに作用する地山荷重、応力の変動等を把握する。
	約1ヶ月～	1日/回	

4.2 施工管理の状況

4.2.1 組立状況

施工管理データは、計測セグメント(234R、235R)を含めた約 60 リング分のデータを取りまとめた。施工時期は 2002 年 1 月 10 日から 2002 年 1 月 22 日までの 13 日間(80R 組立後)である。組立時刻ならびにセグメントピース組立手順を表-4.4～表-4.6 にセグメントピース分割図を図-4.23、組立状況図を図-4.24、図-4.25 に示す。なお、計測セグメント(234R、235R)および後続の約 10 リング(245R)までは、セグメント組立時刻についても整理した。また、参考として図-4.26 に 230R～275R のシールド姿勢制御データを示す。

表-4.4 セグメント組立時刻一覧表

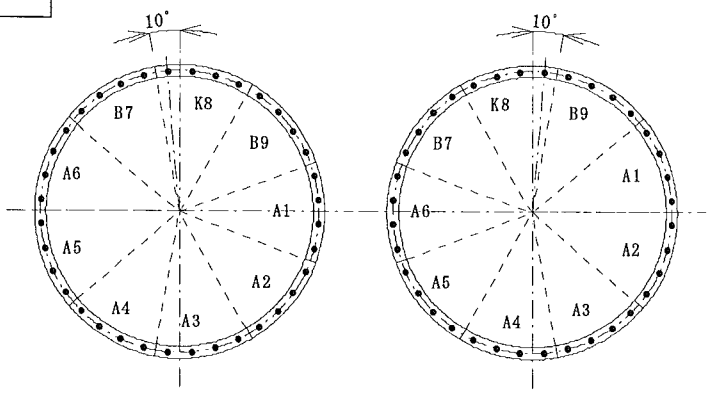
No.	施工リングNo.	掘進時刻			組立時刻			備考
		開始	終了	(掘進時間)	開始	終了	(組立時間)	
—	234	2002/1/10 14:34	2002/1/10 15:11	0:37	2002/1/10 21:56	2002/1/11 3:09	5:13	土・水圧計リング
—	235	2002/1/11 8:43	2002/1/11 9:26	0:43	2002/1/11 9:37	2002/1/11 11:15	1:38	鉄筋/歪み計リング
1R	236	2002/1/11 20:25	2002/1/11 21:01	0:36	2002/1/11 20:53	2002/1/11 21:28	0:35	
2R	237	2002/1/11 21:40	2002/1/11 22:15	0:35	2002/1/11 22:18	2002/1/11 22:53	0:35	
3R	238	2002/1/11 23:04	2002/1/11 23:39	0:35	2002/1/11 23:33	2002/1/12 0:21	0:48	
4R	239	2002/1/12 1:04	2002/1/12 1:41	0:37	2002/1/12 1:34	2002/1/12 2:09	0:35	
5R	240	2002/1/12 2:20	2002/1/12 2:58	0:38	2002/1/12 3:14	2002/1/12 3:51	0:37	
6R	241	2002/1/15 8:32	2002/1/15 9:11	0:39	2002/1/15 9:04	2002/1/15 9:40	0:36	
7R	242	2002/1/15 9:51	2002/1/15 10:27	0:36	2002/1/15 10:20	2002/1/15 10:58	0:38	
8R	243	2002/1/15 11:09	2002/1/15 11:44	0:35	2002/1/15 11:37	2002/1/15 12:14	0:37	
9R	244	2002/1/15 12:25	2002/1/15 12:59	0:34	2002/1/15 12:52	2002/1/15 13:31	0:39	
10R	245	2002/1/15 13:42	2002/1/15 14:17	0:35	2002/1/15 14:10	2002/1/15 14:46	0:36	12.0m離れ
11R	246	2002/1/15 14:58	2002/1/15 15:33	0:35				
12R	247	2002/1/15 20:23	2002/1/15 21:00	0:37				
13R	248	2002/1/15 21:41	2002/1/15 22:17	0:36				
14R	249	2002/1/15 22:59	2002/1/15 23:35	0:36				
15R	250	2002/1/16 0:17	2002/1/16 0:53	0:36				
16R	251	2002/1/16 1:49	2002/1/16 2:25	0:36				
17R	252	2002/1/16 3:12	2002/1/16 3:48	0:36				
18R	253	2002/1/16 8:24	2002/1/16 8:59	0:35				21.6m離れ
:	:	:	:	:	:	:	:	
60R	295	2002/1/22 0:47	2002/1/22 1:27	0:40				72.0m離れ

表-4.5 組形表

組立手順	施 工 リ ン グ
乙組	234R 236R 238R 240R ・・・
甲組	235R 237R 239R 241R ・・・

表-4.6 組立手順表

組立手順	組立ピース
①	A3
②	A4
③	A2
④	A5
⑤	A1
⑥	A6
⑦	B9
⑧	B7
⑨	K8



２３４リング(乙組)　２３５リング(甲組)

図-4.23 甲乙リング組立図

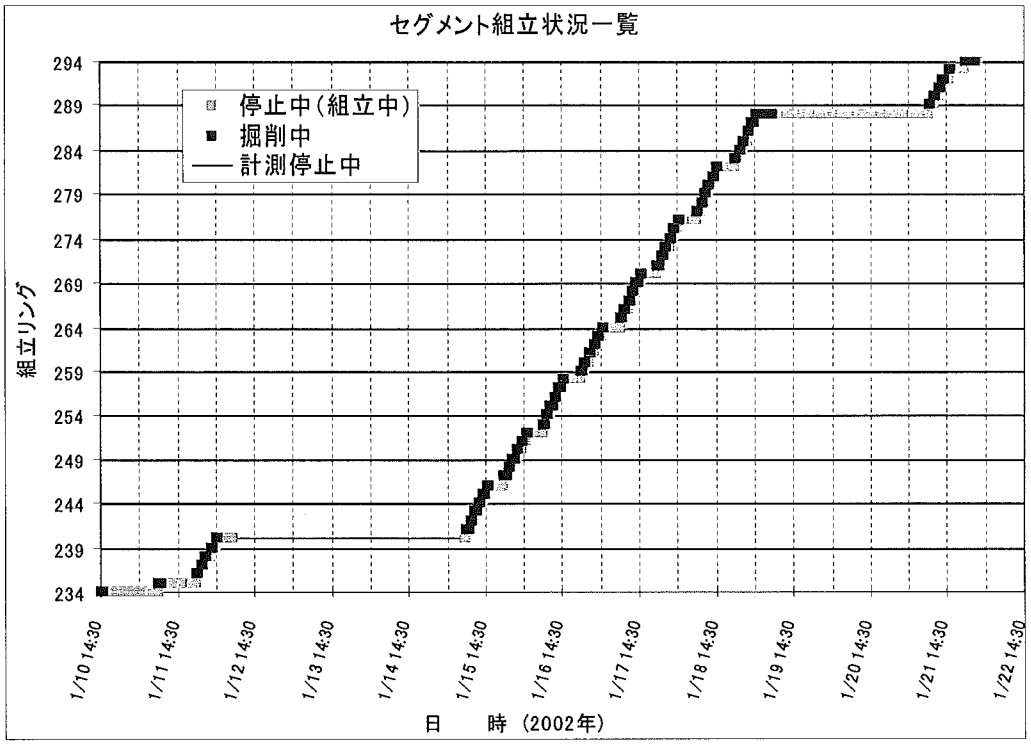


図-4.24　セグメント組立状況一覧図

【No. 234R 組立データ】

組立時刻　開始　2002/1/10 22:03　終了　2002/1/11 3:16

組立ピース (No.)	セグメント種類	押付コード	各軸位置 (度)	ピース組立時刻 開始 (時分)	ピース組立時刻 終了 (時分)	工程時間 総時間 (秒)	供給移動 (秒)	把持 (秒)	組立移動 (秒)	微調整 (秒)	締結 (秒)	把持開放 (秒)	HOME (秒)
第1ピース	1	0	9.81	2203	2210	445	29	12	61	51	19	14	120
第2ピース	1	2	-30.39	2230	2245	930	30	13	53	63	23	19	22
第3ピース	1	1	49.98	2255	2300	283	26	13	67	59	20	14	24
第4ピース	1	2	-70.45	2308	2312	250	28	13	68	61	20	14	28
第5ピース	1	1	90.06	2326	2331	298	30	13	63	64	19	19	32
第6ピース	1	2	-110.48	154	159	317	31	13	67	68	19	18	36
第7ピース	1	4	129.97	210	214	258	30	13	71	59	19	14	41
第8ピース	1	3	-150.41	234	239	268	29	12	75	59	18	18	45
第9ピース	1	5	169.78	243	316	1980	28	12	87	35	25	19	137

【No. 235R 組立データ】

組立時刻　開始　2002/1/11 9:44　終了　2002/1/11 11:22

組立ピース (No.)	セグメント種類	押付コード	各軸位置 (度)	ピース組立時刻 開始 (時分)	ピース組立時刻 終了 (時分)	工程時間 総時間 (秒)	供給移動 (秒)	把持 (秒)	組立移動 (秒)	微調整 (秒)	締結 (秒)	把持開放 (秒)	HOME (秒)
第1ピース	1	0	29.88	944	950	337	29	13	102	53	16	13	61
第2ピース	1	2	-10.34	952	956	278	29	13	75	60	20	14	22
第3ピース	1	1	69.99	959	1007	448	28	12	195	60	19	14	27
第4ピース	1	2	-50.46	1007	1013	359	28	12	155	64	19	14	24
第5ピース	1	1	109.99	1013	1022	508	30	12	275	63	19	14	36
第6ピース	1	2	-90.47	1022	1030	473	28	12	236	61	19	13	57
第7ピース	1	4	149.85	1032	1051	1140	30	12	355	320	19	19	45
第8ピース	1	3	-130.45	1051	1108	1034	30	12	316	66	19	18	41
第9ピース	1	5	-170.30	1109	1122	816	29	12	403	33	19	13	138

<セグメント種類>
1:直線
2:左テーパ
3:RC右テーパ

<押付コード>
0:1ピース
1:右回り(左押し)
2:左回り(右押し)
3:B1右回り(左押し)
4:B2左回り(右押し)
5:K

<各軸位置>

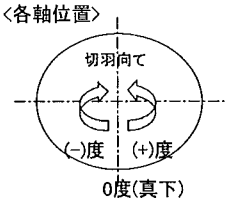
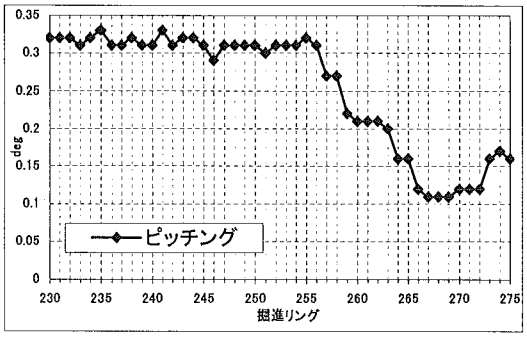
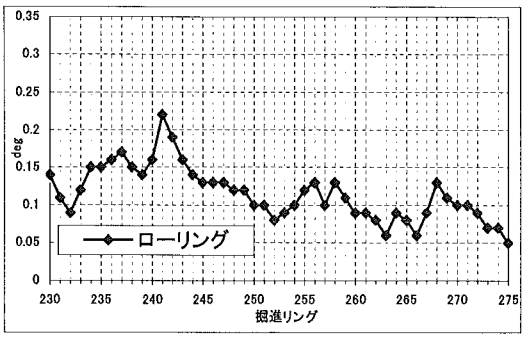
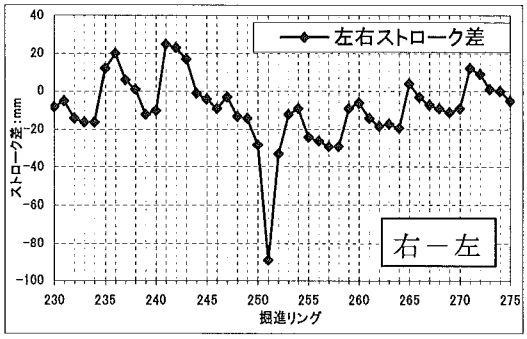
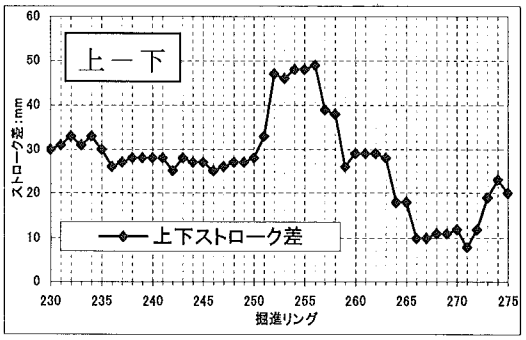


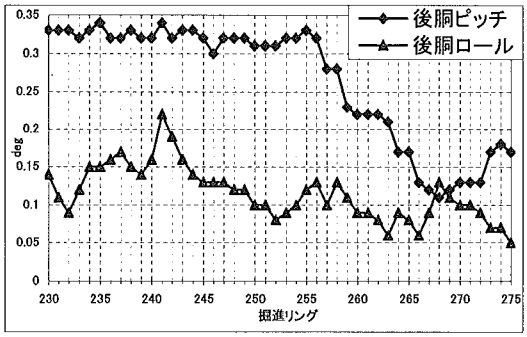
図-4.25　計測リング組立時間一覧

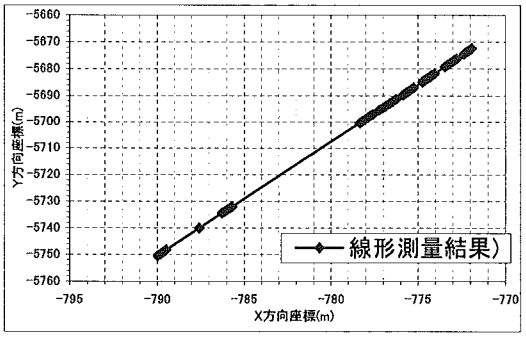


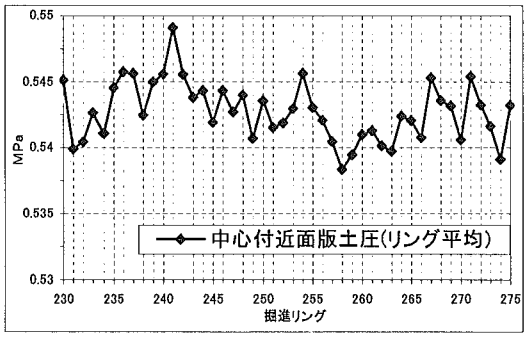


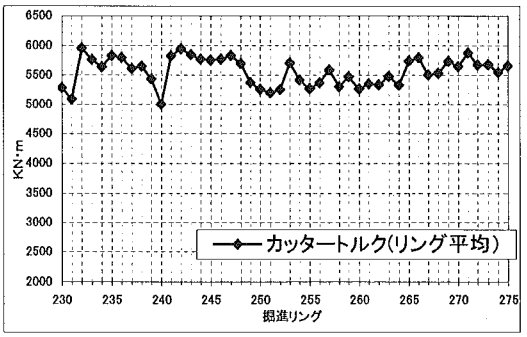












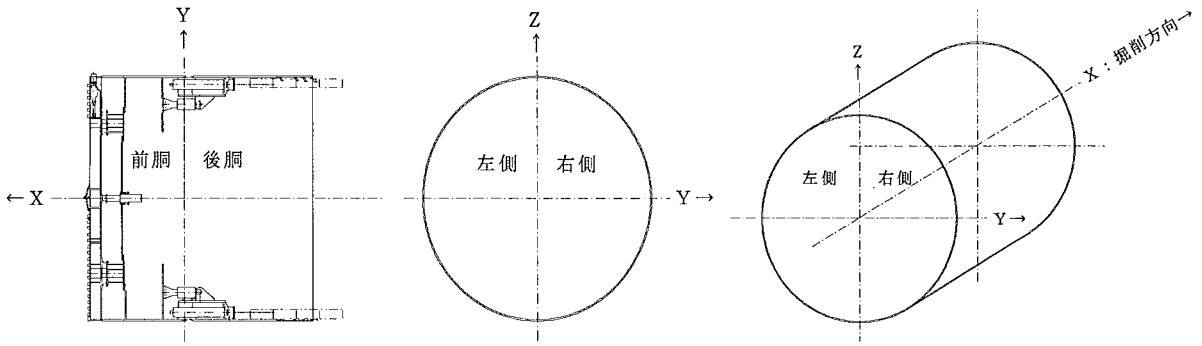


図-4.26　シールド姿勢制御データ

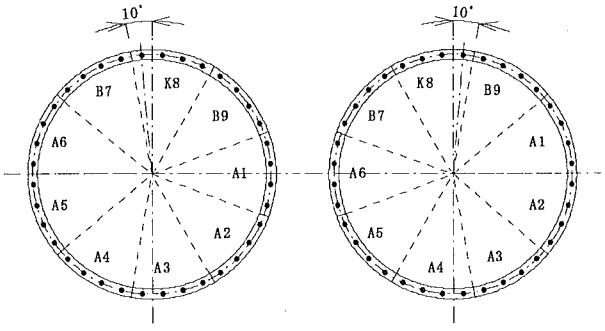
4.2.2 組立ジャッキ圧

組立ジャッキ圧とは、セグメントを保持するためにジャッキにより圧力を作用させている状態の力をいう。セグメント組立時にセグメントに作用する組立ジャッキ圧を表-4.7 に示す。表より、セグメント組立時の各ピースに作用する組立ジャッキ圧は200kN～7000kN と差が生じている。計測リング組立時に作用するジャッキ１本あたりの組立ジャッキ圧は、組立後掘進時に作用するジャッキ１本あたりの推力に比較して最大で約 1/10、最小で約 1/50 と小さいことが分かる。

表-4.7　組立ジャッキ圧

	A3組立	A4組立	A2組立	A5組立	A1組立	A6組立	B9組立	B7組立	K8組立	組立時最大ジャッキ力（1本当り）	組立時最小ジャッキ力（1本当り）	組立後掘進総ジャッキ推力	組立後掘進ジャッキ推力（1本当り）
234R	662.9	274.3	788.6	857.1	468.6	720.0	514.3	548.6	1200.0				
ｼﾞｬｯｷ本数	4.0	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0	3.0	8.0	300.0	68.6	94938.3	2373.5
235R	182.9	708.6	445.7	285.7	811.4	742.9	445.7	720.0	1131.4				
ｼﾞｬｯｷ本数	3.0	5.0	3.0	3.0	5.0	5.0	3.0	5.0	8.0	282.9	45.7	96300.9	2407.5
236R	834.3	640.0	2125.7	5040.0	5062.9	422.9	365.7	6217.1	3348.6				
ｼﾞｬｯｷ本数	4.0	4.0	3.0	3.0	3.0	5.0	3.0	5.0	4.0	1554.3	91.4	92170.5	2304.3
237R	422.9	742.9	491.4	194.3	731.4	342.9	365.7	445.7	3600.0				
ｼﾞｬｯｷ本数	3.0	5.0	6.0	1.0	5.0	3.0	3.0	3.0	8.0	900.0	48.6	89894.2	2247.4
238R	6320.0	731.4	754.3	480.0	628.6	137.1	491.4	708.6	1142.9				
ｼﾞｬｯｷ本数	4.0	4.0	3.0	3.0	5.0	1.0	3.0	5.0	8.0	1580.0	34.3	88753.9	2218.8
239R	4342.9	8205.7	640.0	605.7	868.6	2388.6	3211.4	6422.9	1714.3				
ｼﾞｬｯｷ本数	3.0	5.0	1.0	3.0	3.0	5.0	5.0	5.0	8.0	2051.4	151.4	86972.2	2174.3
240R	480.0	880.0	4788.6	2377.1	2297.1	434.3	6080.0	674.3	1348.6				
ｼﾞｬｯｷ本数	4.0	1.0	3.0	5.0	5.0	3.0	5.0	3.0	8.0	1520.0	108.6	101000.9	2525.0
241R	937.1	582.9	274.3	285.7	822.9	6297.1	8400.0	114.3	3874.3				
ｼﾞｬｯｷ本数	1.0	3.0	3.0	3.0	5.0	5.0	5.0	1.0	8.0	2100.0	28.6	99495.6	2487.4
242R	5954.3	1005.7	1005.7	537.1	1211.4	285.7	4948.6	297.1	3840.0				
ｼﾞｬｯｷ本数	4.0	4.0	5.0	5.0	1.0	3.0	3.0	1.0	8.0	1488.6	71.4	96827.4	2420.7
243R	205.7	331.4	342.9	834.3	4868.6	4868.6	4377.1	697.1	4205.7				
ｼﾞｬｯｷ本数	3.0	3.0	1.0	3.0	3.0	3.0	5.0	3.0	4.0	1217.1	51.4	93298.2	2332.5
244R	6080.0	6445.7	228.6	1028.6	777.1	160.0	6400.0	3165.7	3805.7				
ｼﾞｬｯｷ本数	4.0	4.0	3.0	3.0	3.0	1.0	5.0	3.0	8.0	1611.4	40.0	90606.3	2265.2
245R	182.9	3931.4	651.4	285.7	2457.1	2491.4	3097.1	8034.3	2937.1				
ｼﾞｬｯｷ本数	3.0	3.0	3.0	3.0	5.0	5.0	5.0	5.0	8.0	2008.6	45.7	89410.8	2235.3
246R	2697.1	6285.7	1257.1	1908.6	4891.4	4777.1	6000.0	4811.4	7142.9				
ｼﾞｬｯｷ本数	4.0	4.0	5.0	5.0	3.0	5.0	5.0	3.0	8.0	1785.7	314.3	91998.1	2300.0

単位：kN



２３４リング(乙組)　　２３５リング(甲組)

4.2.3 掘進時総推力

総推力は、各掘削リングで約 70,000kN～110,000kN と変動している。計測した各リングの推力の平均値は約 88,000kN となっている。総推力の変動に対し、切羽面に作用している土圧は約 0.55MPa で安定している。切羽面に作用している土圧からジャッキに作用する荷重を求めると 62,619kN(=550×12.042×π/4：シールド機外径はφ12.04m)となる。総推力に関する施工管理データを図-4.27、図-4.28 ならびに表-4.8 に示す。

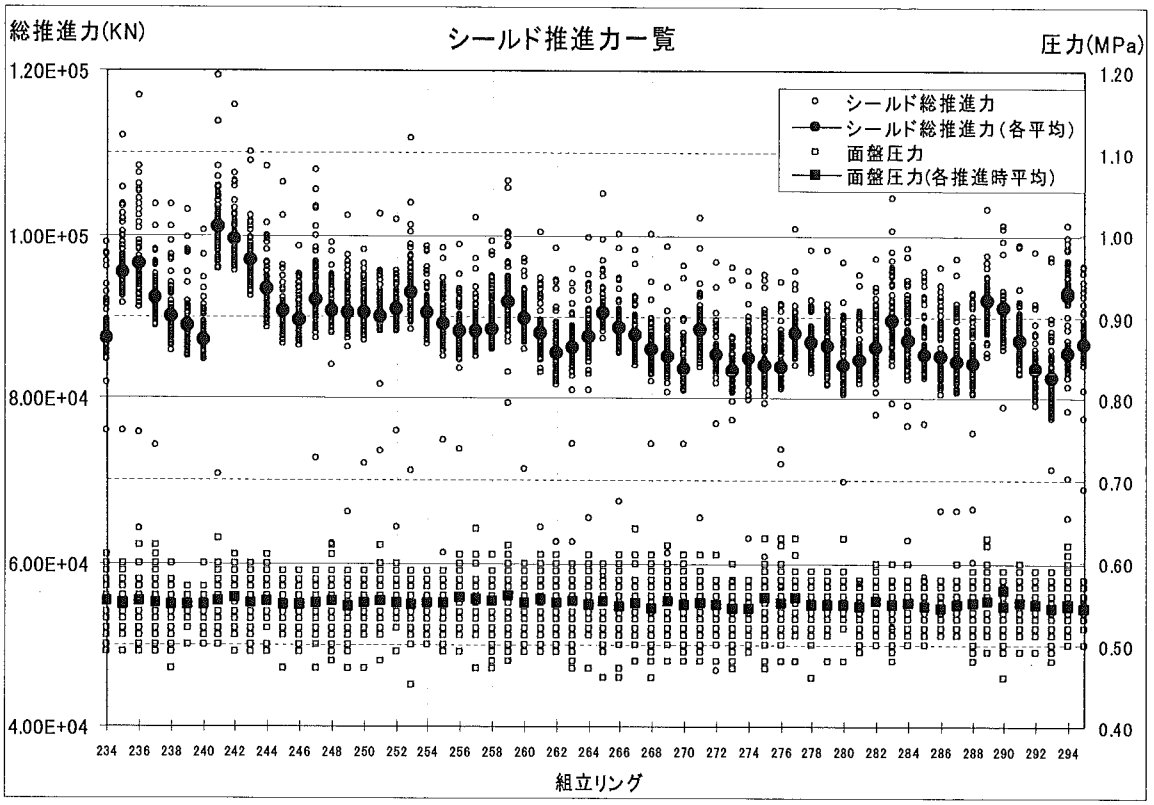


図-4.27　掘削時総推進力一覧図（リング別）

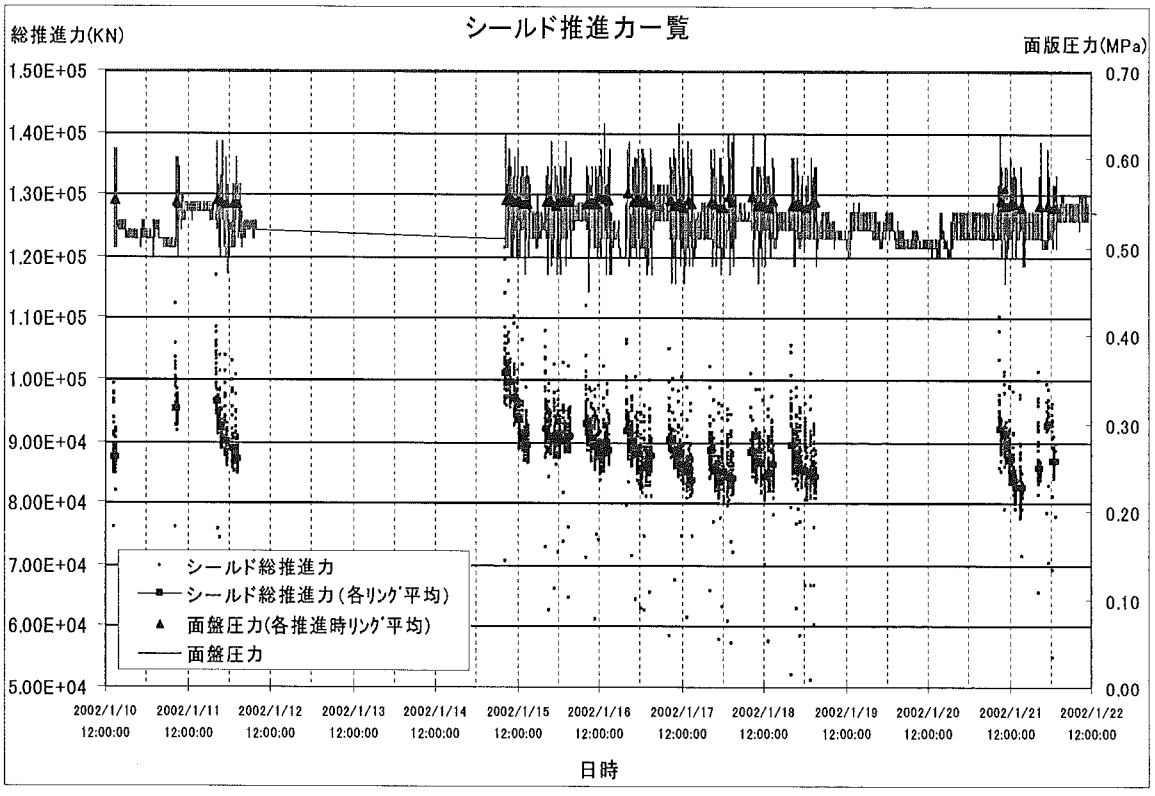


図-4.28　掘進別総推力一覧図(日付別)

表-4.8　掘削時総推進力一覧

掘削リング（リング）	日　時	総推進力（平均値） kN	最大推力値 kN	最小推力値 kN	面板土圧(水圧含む):No2 圧力 MPa	荷重 kN
234	2002/1/10	87,234	99,011	76,102	0.552	62,804
235	2002/1/11	94,938	99,757	91,558	0.549	62,510
236	2002/1/11	96,301	116,899	91,087	0.552	62,795
237	2002/1/11	92,170	103,719	88,734	0.551	62,751
238	2002/1/11	89,894	103,680	85,831	0.549	62,503
239	2002/1/12	88,754	103,013	85,007	0.548	62,445
240	2002/1/12	86,972	100,659	84,615	0.549	62,482
241	2002/1/15	101,001	121,411	95,795	0.553	62,974
242	2002/1/15	99,496	115,840	95,402	0.556	63,302
243	2002/1/15	96,827	109,995	92,382	0.550	62,669
244	2002/1/15	93,298	108,348	88,616	0.552	62,840
245	2002/1/15	90,606	106,229	86,655	0.548	62,418
246	2002/1/15	89,411	98,619	86,302	0.548	62,338
247	2002/1/15	91,998	107,877	87,282	0.550	62,588
248	2002/1/15	90,635	99,090	83,987	0.553	62,928
249	2002/1/15	90,296	102,267	86,223	0.546	62,122
250	2002/1/16	90,464	98,031	87,165	0.550	62,619
251	2002/1/16	89,922	102,503	81,633	0.552	62,809
252	2002/1/16	90,783	101,914	88,185	0.551	62,749
253	2002/1/16	92,794	111,761	88,381	0.548	62,398
254	2002/1/16	90,327	98,619	86,655	0.551	62,734
255	2002/1/16	89,052	98,305	85,164	0.549	62,536
256	2002/1/16	88,259	98,737	83,477	0.557	63,435
257	2002/1/16	88,206	102,071	85,086	0.555	63,163
258	2002/1/16	88,378	99,129	85,988	0.552	62,891
259	2002/1/16	91,761	106,426	79,358	0.559	63,695
260	2002/1/16	89,762	97,011	85,949	0.551	62,763
261	2002/1/16	87,918	100,384	83,085	0.555	63,156
262	2002/1/17	85,509	98,384	82,026	0.550	62,635
263	2002/1/17	86,240	95,677	80,849	0.552	62,798
264	2002/1/17	87,505	99,600	80,849	0.549	62,507
265	2002/1/17	90,288	104,896	87,282	0.551	62,786
266	2002/1/17	88,521	100,031	85,556	0.546	62,205
267	2002/1/17	87,808	98,070	83,987	0.551	62,757
268	2002/1/17	86,003	100,149	81,947	0.545	62,007
269	2002/1/17	85,027	98,658	80,574	0.552	62,895
270	2002/1/17	83,595	96,030	80,810	0.548	62,334
271	2002/1/17	88,314	101,993	83,791	0.551	62,682
272	2002/1/17	85,345	96,579	76,926	0.549	62,518
273	2002/1/17	83,381	95,991	79,633	0.544	61,882
274	2002/1/18	84,904	95,559	79,790	0.544	61,990
275	2002/1/18	83,996	95,010	79,437	0.557	63,407
276	2002/1/18	83,800	94,226	72,101	0.550	62,670
277	2002/1/18	88,048	100,816	84,066	0.556	63,295
278	2002/1/18	86,771	98,188	83,163	0.547	62,304
279	2002/1/18	86,431	98,227	81,594	0.548	62,444
280	2002/1/18	84,024	96,658	80,339	0.547	62,274
281	2002/1/18	84,722	95,010	81,790	0.545	62,033
282	2002/1/18	86,096	97,011	78,064	0.552	62,799
283	2002/1/18	89,415	105,563	83,948	0.547	62,291
284	2002/1/18	86,977	98,423	82,104	0.550	62,619
285	2002/1/18	85,202	95,442	82,418	0.546	62,212
286	2002/1/19	85,038	95,834	80,417	0.544	61,971
287	2002/1/19	84,384	97,050	80,574	0.548	62,447
288	2002/1/19	84,238	92,735	80,496	0.550	62,586
289	2002/1/21	91,985	110,231	85,007	0.552	62,892
290	2002/1/21	89,891	101,208	85,909	0.546	62,150
291	2002/1/21	87,046	98,815	82,928	0.549	62,540
292	2002/1/21	83,622	97,992	79,044	0.548	62,371
293	2002/1/21	82,356	97,285	77,475	0.543	61,854
294	2002/1/21	88,954	101,169	70,375	0.546	62,192
295	2002/1/22	86,679	96,069	77,632	0.544	61,942

4.2.4 裏込め注入材および注入量・圧力

(1)裏込注入材料

裏込め注入材は表-4.9 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、設計基準値では一時間強度で 0.02N/mm² 以上、４週強度で 2.00N/mm² 以上に対して、試験結果では一時間強度で 0.03N/mm² 以上、４週強度で 2.30N/mm² 以上となっている。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-4.10 に示す。

表-4.9　裏込め注入の配合表(1m3 当り)

固化材(ｾﾒﾝﾄ)	助材(ﾍﾞﾝﾄﾅｲﾄ)	安定材	水	急硬剤(珪酸)
2.3KN	600N	2 ﾘｯﾄﾙ	823 ﾘｯﾄﾙ	75 ﾘｯﾄﾙ

表-4.10　裏込め注入材の基準値および試験結果

項　　目	基　準　値	試　験　値
一軸圧縮強度試験(1 時間)	0.02N/mm² 以上	0.03～0.07N/mm²
一軸圧縮強度試験(28 日)	2.00N/mm² 以上	2.3～3.5N/mm²

(2)裏込注入量・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を採用した。同時裏込め注入装置は、シールド機上方４カ所に設置している。裏込め注入圧は約 0.62MPa～0.82MPa の範囲でばらつきがある。これに対し裏込め注入時の切羽泥水圧は約 0.47Mpa となっており、裏込注入圧と切羽泥水圧との相関は低いと考えられる。注入圧測定結果を表-4.11、図-4.29 に、注入装置設置位置図を図-4.30 に示す。

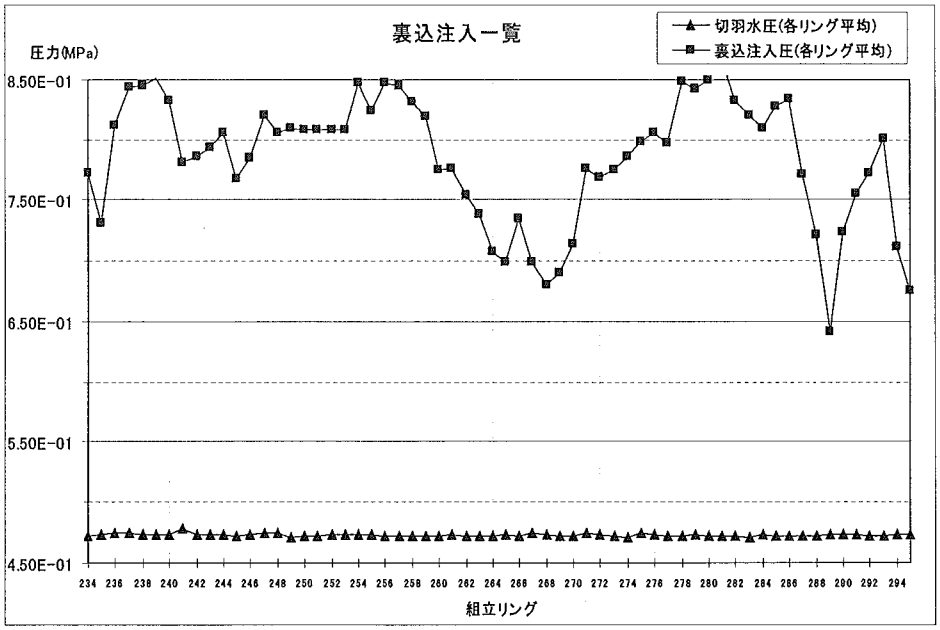


図-4.29　裏込め注入圧一覧図

表-4.11　裏込め注入圧一覧表

掘削リング（リング）	日　時	裏込注入圧 MPa	裏込注入率（予定） %	裏込注入量（実績） ﾘｯﾄﾙ	充填率（想定） %	切羽泥水圧（天端想定） MPa
234	2002/1/10	0.773	121	8,040	149.1%	0.472
235	2002/1/11	0.731	123	8,690	161.2%	0.474
236	2002/1/11	0.812	123	7,920	146.9%	0.475
237	2002/1/11	0.843	123	7,830	145.2%	0.475
238	2002/1/11	0.845	123	7,920	146.9%	0.473
239	2002/1/12	0.851	123	7,920	146.9%	0.473
240	2002/1/12	0.833	124	8,060	149.5%	0.473
241	2002/1/15	0.782	120	7,750	143.7%	0.479
242	2002/1/15	0.786	120	7,810	144.8%	0.473
243	2002/1/15	0.793	120	7,850	145.6%	0.473
244	2002/1/15	0.806	120	7,850	145.6%	0.473
245	2002/1/15	0.768	120	7,820	145.0%	0.472
246	2002/1/15	0.785	120	7,850	145.6%	0.473
247	2002/1/15	0.821	120	7,850	145.6%	0.475
248	2002/1/15	0.805	120	7,850	145.6%	0.474
249	2002/1/15	0.810	120	7,850	145.6%	0.471
250	2002/1/16	0.809	120	7,670	142.2%	0.473
251	2002/1/16	0.808	120	7,670	142.2%	0.473
252	2002/1/16	0.808	120	7,740	143.5%	0.473
253	2002/1/16	0.808	120	7,840	145.4%	0.474
254	2002/1/16	0.847	120	7,850	145.6%	0.473
255	2002/1/16	0.824	120	7,850	145.6%	0.473
256	2002/1/16	0.847	120	7,850	145.6%	0.472
257	2002/1/16	0.846	120	7,850	145.6%	0.472
258	2002/1/16	0.832	120	7,850	145.6%	0.472
259	2002/1/16	0.820	120	7,840	145.4%	0.472
260	2002/1/16	0.775	120	7,850	145.6%	0.473
261	2002/1/16	0.776	120	7,840	145.4%	0.473
262	2002/1/17	0.754	120	7,840	145.4%	0.472
263	2002/1/17	0.739	120	7,850	145.6%	0.473
264	2002/1/17	0.708	120	7,850	145.6%	0.472
265	2002/1/17	0.699	120	7,820	145.0%	0.474
266	2002/1/17	0.735	120	7,850	145.6%	0.472
267	2002/1/17	0.699	120	7,850	145.6%	0.475
268	2002/1/17	0.681	120	7,850	145.6%	0.473
269	2002/1/17	0.691	120	7,810	144.8%	0.472
270	2002/1/17	0.714	120	7,840	145.4%	0.472
271	2002/1/17	0.777	120	7,810	144.8%	0.474
272	2002/1/17	0.769	120	7,860	145.8%	0.473
273	2002/1/17	0.776	120	7,860	145.8%	0.472
274	2002/1/18	0.786	120	7,860	145.8%	0.470
275	2002/1/18	0.799	120	7,850	145.6%	0.475
276	2002/1/18	0.806	120	7,840	145.4%	0.473
277	2002/1/18	0.797	120	7,800	144.7%	0.472
278	2002/1/18	0.848	120	7,790	144.5%	0.473
279	2002/1/18	0.843	120	7,780	144.3%	0.473
280	2002/1/18	0.850	120	7,850	145.6%	0.472
281	2002/1/18	0.869	120	－	－	0.472
282	2002/1/18	0.833	120	－	－	0.472
283	2002/1/18	0.820	120	－	－	0.471
284	2002/1/18	0.810	120	－	－	0.473
285	2002/1/18	0.828	120	－	－	0.472
286	2002/1/19	0.834	120	－	－	0.472
287	2002/1/19	0.772	120	－	－	0.472
288	2002/1/19	0.722	120	－	－	0.472
289	2002/1/21	0.641	120	－	－	0.473
290	2002/1/21	0.724	120	－	－	0.473
291	2002/1/21	0.756	120	－	－	0.473
292	2002/1/21	0.773	120	－	－	0.472
293	2002/1/21	0.801	120	－	－	0.473
294	2002/1/21	0.712	120	－	－	0.473
295	2002/1/22	0.676	120	－	－	0.474

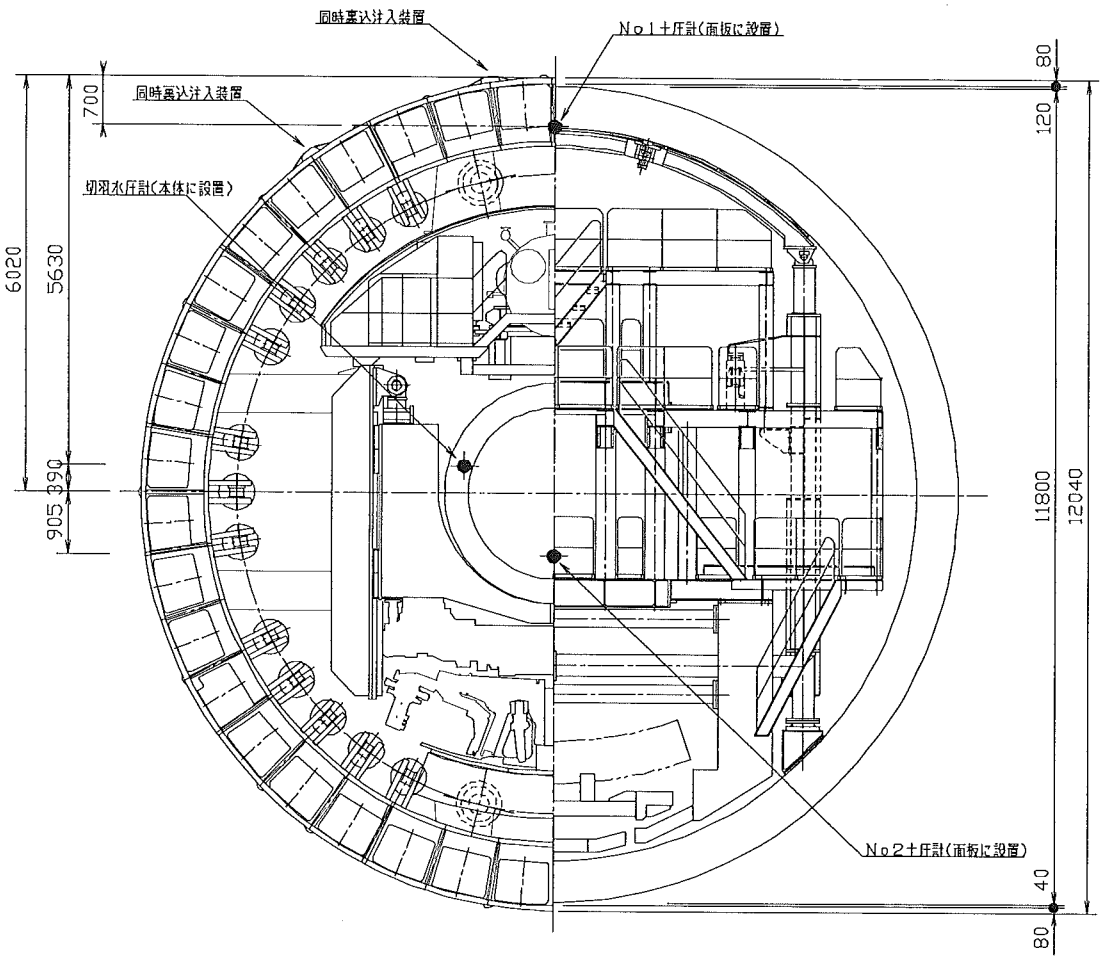


図-4.30　裏込注入装置設置位置図

4.3 計測結果

施工時荷重の影響を把握するために、計測開始時点から 13 日間(62 リング)の施工管理データの計測を実施した。計測開始時点から計測終了時点までの計測時期を表-4.4 に示す。また、検討にあたっては表-4.12 に示す主な計測データと主要な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、水圧計は計測用リングを組み立て開始直前の大気中の状態を初期値とした。

・鉄筋計も同様に計測用リングを組み立て開始直前の大気中の状態を初期値とした。

表-4.12 主な計測データと主要な時期と経過時間

No.	施工リングNo.	計測日時	時期及び経過日時
1	234	2002/1/11 3:22	234R組立直後
2	235	2002/1/11 11:03	235R組立完成前(K8ピース設置前)
3	235	2002/1/11 11:24	235R組立直後
4	236	2002/1/11 21:39	236R組立直後
5	237	2002/1/11 23:03	237R組立直後(土圧・水圧計計測234Rテール脱出完了・裏込注入後)
6	238	2002/1/12 0:52	238R組立直後(235Rテール脱出完了・裏込注入後)
7	239	2002/1/12 2:19	235R組立完了時から4R経過
8	240	2002/1/15 8:31	235R組立完了時から5R経過
9	241	2002/1/15 9:51	235R組立完了時から6R経過
10	242	2002/1/15 11:09	235R組立完了時から7R経過
11	243	2002/1/15 12:24	235R組立完了時から8R経過
12	244	2002/1/15 13:42	235R組立完了時から9R経過
13	245	2002/1/15 14:57	235R組立完了時から10R経過
14		2002/1/16 11:04	235R組立完了から5日後
15		2002/1/21 11:04	235R組立完了から10日後
16		2002/1/31 12:00	235R組立完了から20日後
17		2002/3/12 13:00	235R組立完了から60日後
18		2002/4/11 13:00	235R組立完了から90日後
19		2002/5/11 12:00	235R組立完了から120日後
20		2002/9/8 13:00	235R組立完了から240日後

4.3.1 土圧計

第 4 工区の土圧計の経時変化図を図-4.30～図-4.31、表-4.13 に示す。計測の結果、土圧計の経時変化は計測リングを組み立てた状態（土圧計に荷重が作用していない状態）から、次の①～③までの状態へと変化していると想定できる（ここでいう土圧とは、特に断りがない限り水圧を含めた値をいう）。

①テールブラシとの接触ならびにグリス充填圧による荷重の変動

②裏込め注入による荷重の変動

③長期荷重（土圧）の作用

図-4.30 より、①テールシールとセグメントが接触するのは、組立後の 2 リング推進間と考えられ、テールシールとの接触による荷重の変化は、掘進時に変動を示し、掘進完了付近に最大値を示し、マシン停止後荷重が減少し安定する。シールド掘進時のテールシール接触による土圧計の変化は、最大で 1.3MPa の荷重が作用する結果となった。しかしながら、最大荷重作用前後の主桁の応力変化と比較した場合、前後では大きな変化はなかった。このため、ポイント的な荷重増と考えられる。また、235R 掘進終了後から 236R 掘削開始までの間は、一定した荷重が作用している。この時期のテールシール内停止時のグリス圧を表-4.14 に示す。このグリス圧と土圧計の値はほぼ同じであることから、土圧計にはグリス圧が作用していると考えられる。

表-4.13　第 4 工区計測断面　土圧計測結果一覧表

日付	経過日数	状態	土圧(MPa)			
			A1	A3	A6	K8
2002/1/11 3:22	0.00	234R組立直後	-0.005	0.000	-0.003	0.018
2002/1/11 11:03	0.54	235R組立完成前(K8ピース設置前)	-0.872	-0.456	-0.358	-0.263
2002/1/11 11:24	0.55	235R組立直後	-0.835	-0.457	-0.339	-0.503
2002/1/11 21:39	0.98	236R組立直後	-0.970	-0.639	-0.551	-1.032
2002/1/11 23:03	1.04	土圧・水圧計計測234Rテール脱出	-0.493	-0.590	-0.460	-0.445
2002/1/12 0:52	1.11	235Rテール脱出完了・裏込注入後	-0.512	-0.599	-0.474	-0.492
2002/1/12 2:19	1.17	235R組立完了時から4R経過	-0.525	-0.630	-0.500	-0.529
2002/1/15 8:31	4.43	235R組立完了時から5R経過	-0.573	-0.655	-0.479	-0.575
2002/1/15 9:51	4.49	235R組立完了時から6R経過	-0.582	-0.666	-0.482	-0.543
2002/1/15 11:09	4.54	235R組立完了時から7R経過	-0.590	-0.671	-0.476	-0.544
2002/1/15 12:24	4.59	235R組立完了時から8R経過	-0.591	-0.667	-0.478	-0.545
2002/1/15 13:44	4.65	235R組立完了時から9R経過	-0.596	-0.666	-0.471	-0.548
2002/1/15 14:58	4.70	235R組立完了時から10R経過	-0.590	-0.660	-0.474	-0.545
2002/1/16 11:04	5.54	235R組立完了から5日後	-0.599	-0.652	-0.460	-0.555
2002/1/21 11:04	10.54	235R組立完了から10日後	-0.586	-0.640	-0.461	-0.533
2002/1/31 12:00	20.58	235R組立完了から20日後	-0.571	-0.642	-0.464	-0.502
2002/3/12 13:00	60.62	235R組立完了から60日後	-0.566	-0.643	-0.465	-0.479
2002/4/11 13:00	90.62	235R組立完了から90日後	-0.580	-0.661	-0.469	-0.491
2002/5/11 12:00	120.58	235R組立完了から120日後	-0.583	-0.662	-0.465	-0.495
2002/7/15 19:00	185.65	235R組立完了から185日後	-0.576	-0.662	-0.460	-0.492
2002/9/8 13:00	240.62	235R組立完了から240日後	-0.582	-0.667	-0.459	-0.507

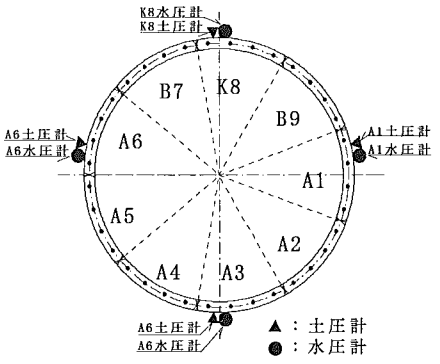


表-4.14　グリス圧計測結果(セグメント土圧計)

土圧計計測箇所(234R)	計測値（MPa）
シールド天端部(K8)	0.424
シールド側圧右部(A1)	0.797
シールド側圧左部(A6)	0.367
シールド下端部(A3)	0.492

その後、236R 掘削開始とともに急激な変化を示している。この変化は、テールブラシが土圧計と接触しているこのによるものと考えられる。

②マシン脱出直後から裏込め注入による影響が発生すると考えられる。裏込め注入時に土圧計は裏込め注入圧程度まで上昇し、注入完了に伴って土圧計も下降する。これは、裏込め注入材が地盤へ散逸していると想定される。裏込め注入の影響を受けるのは計測リングのマシン脱出直後（237R 掘削）が最も大きく、それ以降その影響は小さくなっていく。計測リングのマシン脱出直後の土圧計測結果を表-4.15 に示す。

表-4.15　裏込め注入圧計測結果(土圧計による計測結果)

土圧計計測箇所 (234R)	237R　掘削 A3 最大地点 (掘進停止時)	238R　掘削 A3 最大地点 (掘進停止時)	239R　掘削 A1 最大地点 (掘進停止時)	240R　掘削 A3 最大地点 (掘進停止時)
計　測　日　時	1/11 22:09 (1/11 22:43)	1/11 23:15 (1/12 0:04)	1/12 1:21 (1/12 1:59)	1/12 2:42 (1/12 3:40)
シールド天端部(K8)	0.809 (0.449)	0.681 (0.491)	0.563 (0.538)	0.544 (0.567)
シールド側圧右部(A1)	0.899 (0.498)	0.867 (0.499)	0.855 (0.533)	0.633 (0.562)
シールド側圧左部(A6)	0.759 (0.447)	0.813 (0.494)	0.572 (0.506)	0.562 (0.498)
シールド下端部(A3)	0.978 (0.601)	0.939 (0.605)	0.710 (0.638)	0.667 (0.651)

③裏込め注入後土圧計測値は収束に向かい、１ヶ月後に安定している。その後、0.04MPa の範囲で増減を繰り返している。

計測値から算出されるセグメント組立後６ヶ月の有効土圧は、

・シールド天端部(K8)　：0.492MPa (土圧)－0.414 MPa (水圧)＝0.078 MPa

・シールド側圧右部(A1)：0.576 MPa (土圧)－0.468 MPa (水圧)＝0.108 MPa

・シールド側圧左部(A6)：0.460 MPa (土圧)－0.481 MPa (水圧)＝-0.021 MPa

・シールド下端部(A3)　：0.662 MPa (土圧)－0.526 MPa (水圧)＝0.136 MPa

※水圧にはセグメント厚さを考慮

となっている。ここで、シールド側圧左部がマイナスとなっている。この原因を想定すると、239R 掘進時に作用土圧の低下ならびにセグメント主桁応力が低下していること、A6 地点の土圧計は他の土圧計と比較して水圧変動に対する変化が一致していることから、裏込め注入材とセグメントの間に地下水が回り込み水圧のみ作用した状況が発生した可能性がある。

また、天端部に作用する有効土圧は、0.078MPa 程度であり、トンネル外径に換算すると約 0.8D のゆるみ土圧程度が作用する結果となった。

4.3.2 水圧計

第４工区計測断面 234R の水圧計の経時変化を図-4.33、表-4.16 に示す。また、測定水位最大および測定水位最小の計測結果を表-4.17 に示す。図-4.33 より、計測初期には若干の変動が見られるが、それ以降は大きな変動は見られない。また、図-4.34 に示す回帰直線から判断すると、トンネル天端とトンネル下端の水圧差はほぼ水深通りの水圧差となっており、静水圧が作用しているものと考えられる。

表-4.16　第４工区計測断面　水圧計測結果一覧表

日付	経過日数	状態	水圧(MPa)			
			A1	A3	A6	K8
2002/1/11 3:22	0.00	234R組立直後				
2002/1/11 11:03	0.54	235R組立完成前(K8ピース設置前)				
2002/1/11 11:24	0.55	235R組立直後				
2002/1/11 21:39	0.98	236R組立直後				
2002/1/11 23:03	1.04	土圧・水圧計計測234Rテール脱出				
2002/1/12 0:52	1.11	235Rテール脱出完了・裏込注入後				
2002/1/12 2:19	1.17	235R組立完了時から4R経過				
2002/1/15 8:31	4.43	235R組立完了時から5R経過				
2002/1/15 9:51	4.49	235R組立完了時から6R経過				
2002/1/15 11:09	4.54	235R組立完了時から7R経過				
2002/1/15 12:24	4.59	235R組立完了時から8R経過				
2002/1/15 13:44	4.65	235R組立完了時から9R経過				
2002/1/15 14:58	4.70	235R組立完了時から10R経過				
2002/1/16 11:04	5.54	235R組立完了から5日後	*-0.474*		*-0.478*	*-0.435*
2002/1/21 11:04	10.54	235R組立完了から10日後	*-0.476*		*-0.485*	*-0.434*
2002/1/31 12:00	20.58	235R組立完了から20日後	*-0.475*	*-0.543*	*-0.491*	*-0.434*
2002/3/12 13:00	60.62	235R組立完了から60日後	*-0.475*	*-0.511*	*-0.489*	*-0.430*
2002/4/11 13:00	90.62	235R組立完了から90日後	*-0.474*	*-0.539*	*-0.489*	*-0.430*
2002/5/11 12:00	120.58	235R組立完了から120日後	*-0.470*	*-0.527*	*-0.485*	*-0.424*
2002/7/15 19:00	185.65	235R組立完了から185日後	*-0.468*	*-0.526*	*-0.481*	*-0.414*
2002/9/8 13:00	240.62	235R組立完了から240日後	*-0.473*		*-0.482*	*-0.412*

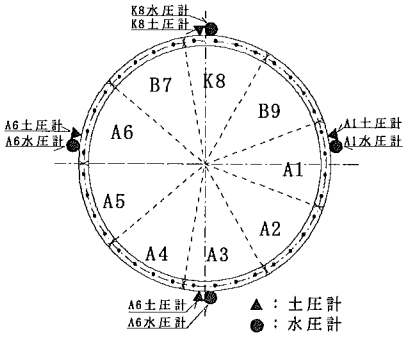


表-4.17　水圧計測結果

	深度	測定水位最大 2002/4/18	測定水位最小 2002/9/8
シールド天端部 (K8)	0.000m	0.433 (天端部との差)	0.412 (天端部との差)
シールド側圧右 部(A1)	5.189m	0.473 (0.040)	0.466 (0.054)
シールド側圧左 部(A6)	5.189m	0.488 (0.055)	0.480 (0.068)
シールド下端部 (A3)	11.800m	0.546 (0.113)	0.526 (0.114)

単位：ＭＰａ

4.3.3 円周方向鉄筋計

(1) ２３４Ｒ計測結果

セグメントに配置した主桁ひずみ計ならびに主鉄筋計の計測結果を図-4.35～図-4.40、巻末資料５の表-4.1に示す。

鉄筋の最大引張応力は組立時ならびに 235R 掘進開始時に発生する。その後テールシール内に進むにつれて圧縮状態に移行し、235R 組立完了後に全圧縮状態となる。圧縮応力は 237R 組立時(テール脱出、裏込め注入時)に最大となり、組立・掘削が進むにつれて増減を繰り返しながら収束に向かって行く。

８ヶ月経過後の鉄筋応力値は圧縮状態で 41～51N/mm² となっている。

セグメント主桁の最大引張応力は 236R 組立時に発生する。その後、後続リングの掘進・組立に伴う増減を繰り返しながら収束に向かう向かい、最終的に全ひずみ計が圧縮状態に移行する。

８ヶ月経過後の主桁応力は外縁側が圧縮状態で 46～70 N/mm2、内縁側が圧縮状態で 43～56N/mm² となっている。

(2) ２３５Ｒ計測結果

セグメントに配置した主桁ひずみ計ならびに主鉄筋計の計測結果を図-4.41～図-4.56、巻末資料５の表-4.2～表-4.3に示す。

鉄筋の最大引張応力は組立時ならびに 236R 掘進開始時に発生する。その後テールシール内に進むにつれて圧縮状態に移行し、236R 組立完了後に全圧縮状態となる。圧縮応力は 238R 組立時(テール脱出、裏込め注入時)に最大となり、組立・掘削が進むにつれて増減を繰り返しながら収束に向かって行く。

８ヶ月経過後の鉄筋応力値は圧縮状態で 10～701N/mm² となっている。

セグメント主桁の最大引張応力は 236R 組立時に発生する。その後、後続リングの掘進・組立に伴う増減を繰り返しながら収束に向かい、最終的に全ひずみ計が圧縮状

態に移行する。

８ヶ月経過後の主桁応力は外縁側が圧縮状態で 42～87 N/mm²、内縁側が圧縮状態で 11～80N/mm² となっている。

4.3.4 軸方向鉄筋計

(1) ２３４R 計測結果

セグメントに配置した縦リブひずみ計ならびに配力鉄筋計の計測結果を図-4.57～図-4.60、巻末資料 5 の表-4.5 に示す。

軸方向鉄筋は終始圧縮状態となっている。組立時に 50N/mm² 程度の圧縮応力が作用し、最大応力度は 235R 掘削時に発生し 80N/mm² が作用する。その後、増減を繰り返しながら増加し、収束に向かっていく。６ヶ月後の発生応力は、最大で 41N/mm² 最小で 21N/mm² となっている。

本体リブは掘進するにつれて増減を繰り返しながら増加し、掘進６ヶ月後で収束に向っていく。6 ヶ月後の発生応力は最大で 46N/mm²、最小で 35N/mm² となっている。

(2) ２３５R 計測結果

セグメントに配置した縦リブひずみ計ならびに配力鉄筋計の計測結果を図-4.61～図-4.68、巻末資料 5 の表-4.6～表-4.7 に示す。

軸方向鉄筋は一部の鉄筋(A6 ピース)を除き終始圧縮状態となっている。組立時に 60N/mm² 程度の圧縮応力が作用し、最大応力度は 236R 掘削時に発生し、90N/mm² が作用する。その後、増減を繰り返しながら収束に向かっていく。６ヶ月後の発生応力は、最大で 47N/mm²、最小で-5.6N/mm²（引張）となっている。

本体リブは掘進するにつれて増減を繰り返しながら増加し、掘進６ヶ月後で収束に向っていく。6 ヶ月後の発生応力は最大で 57N/mm²、最小で-23N/mm² となっている。

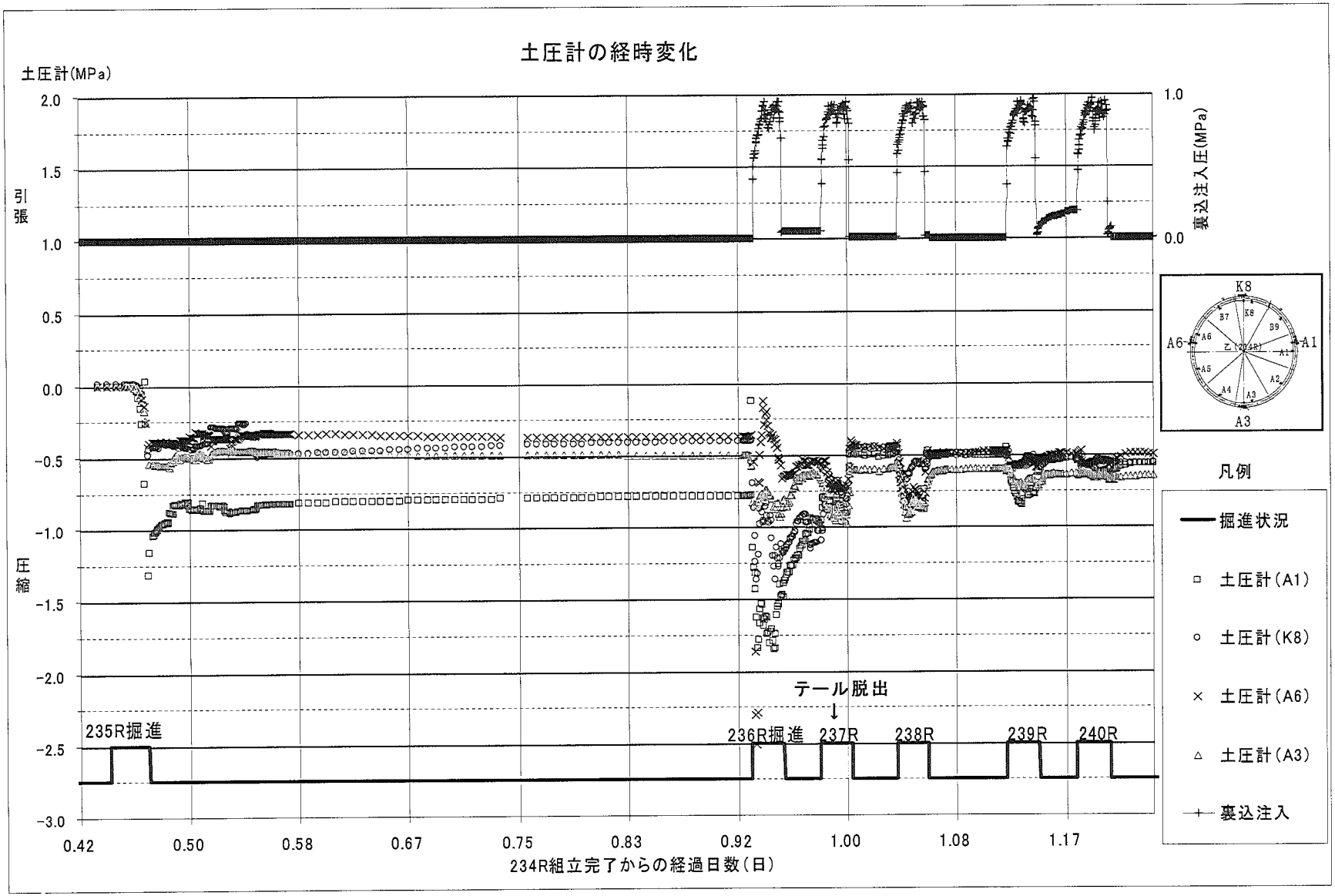


図-4.30　第４工区計測断面　土圧計の経時変化図①

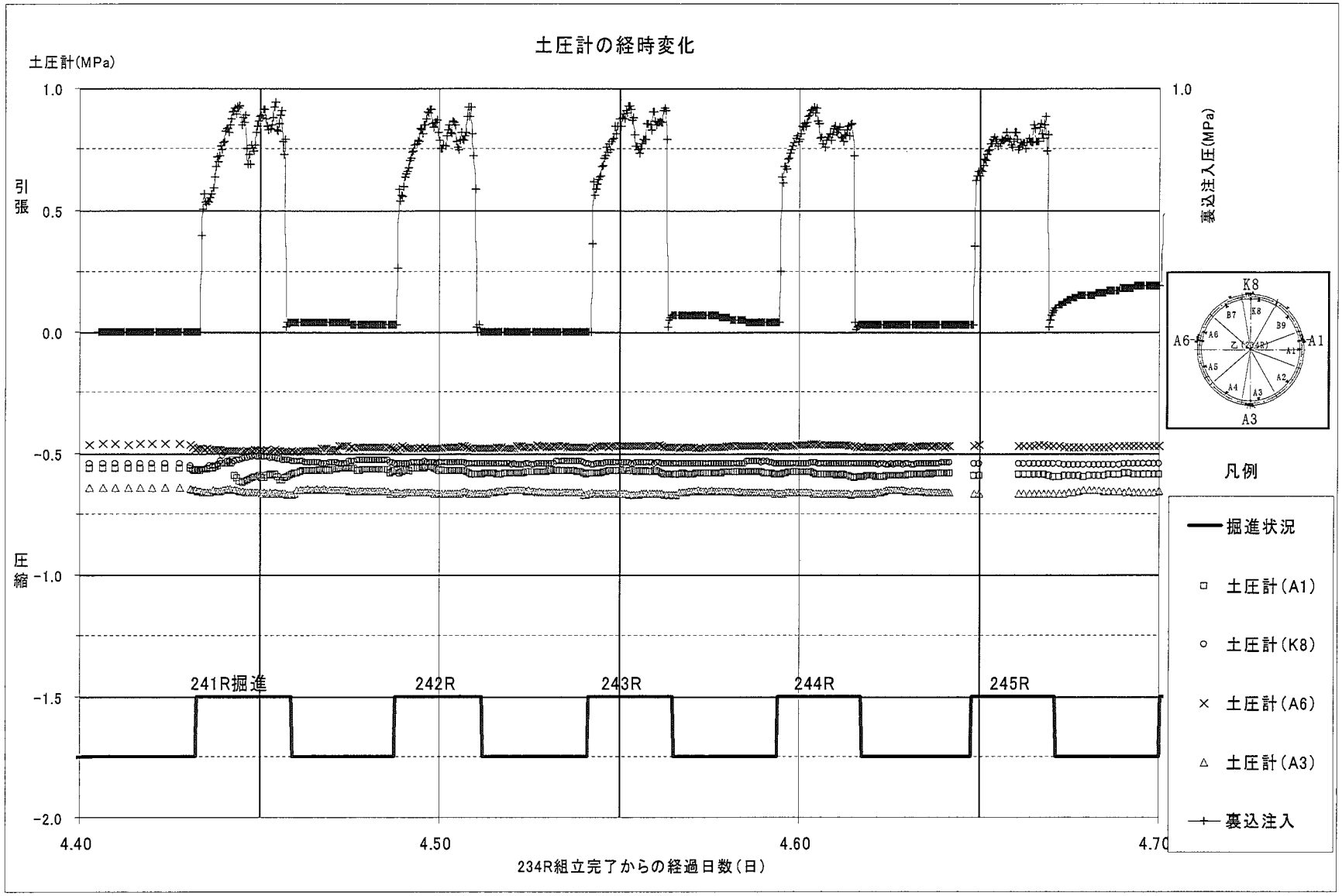


図-4.31　第４工区計測断面　土圧計の経時変化図②

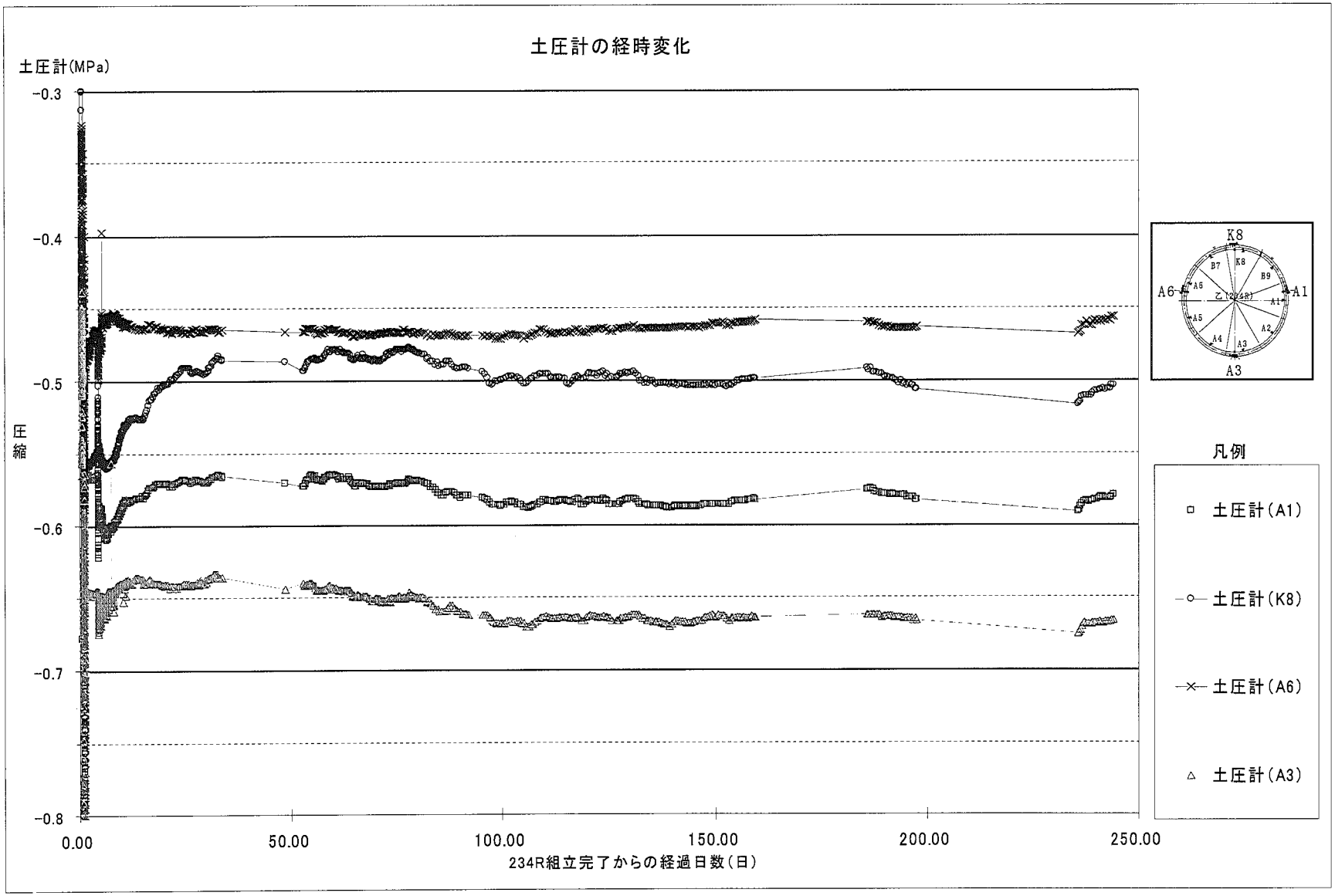


図-4.32　第４工区計測断面　土圧計の経時変化図③

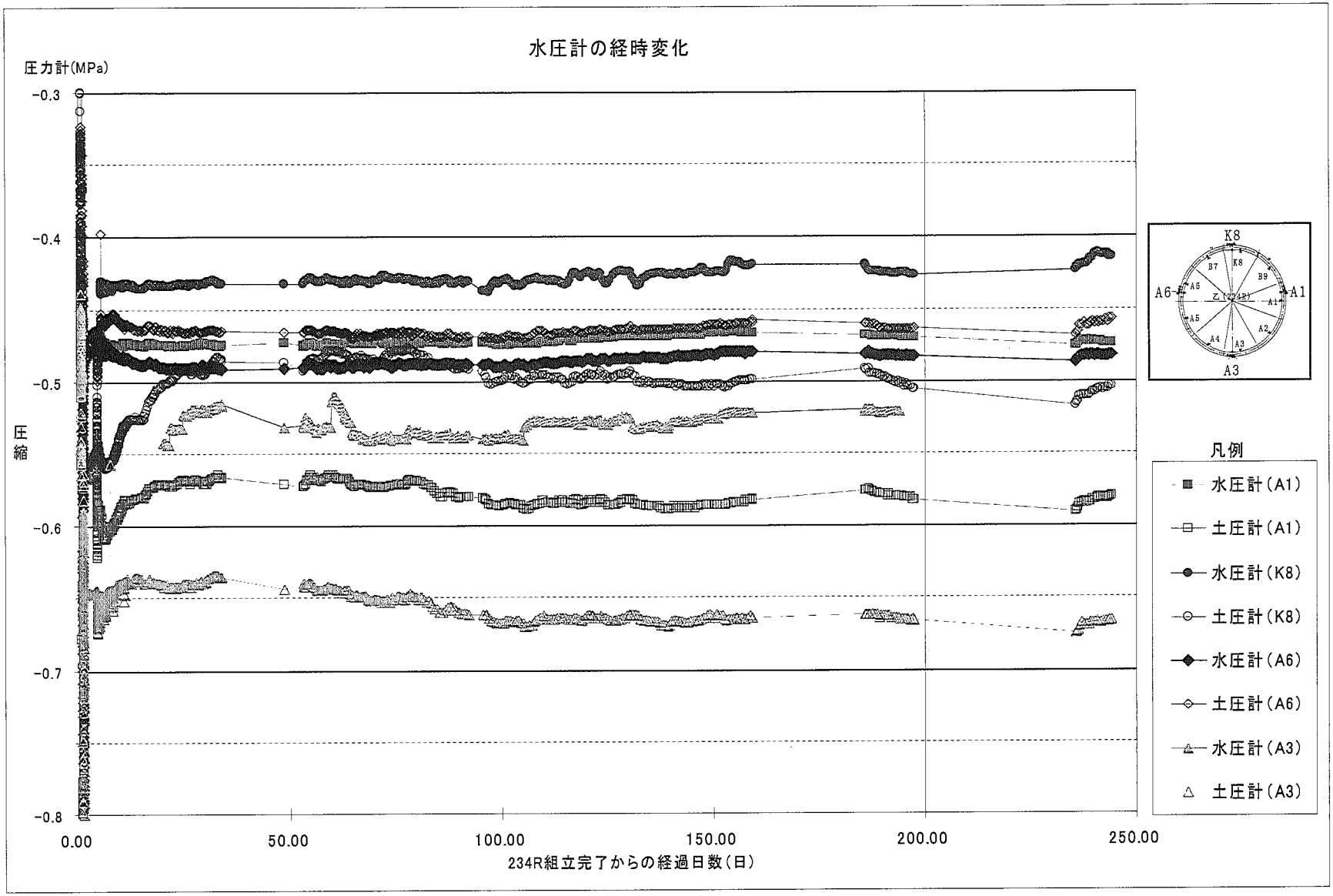


図-4.33　第４工区計測断面　水圧計の経時変化図

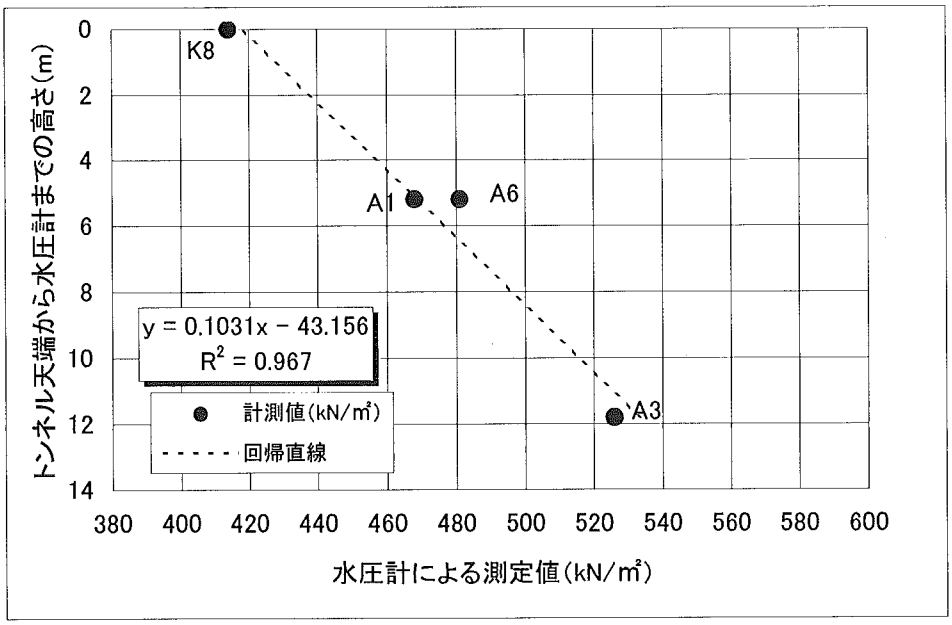
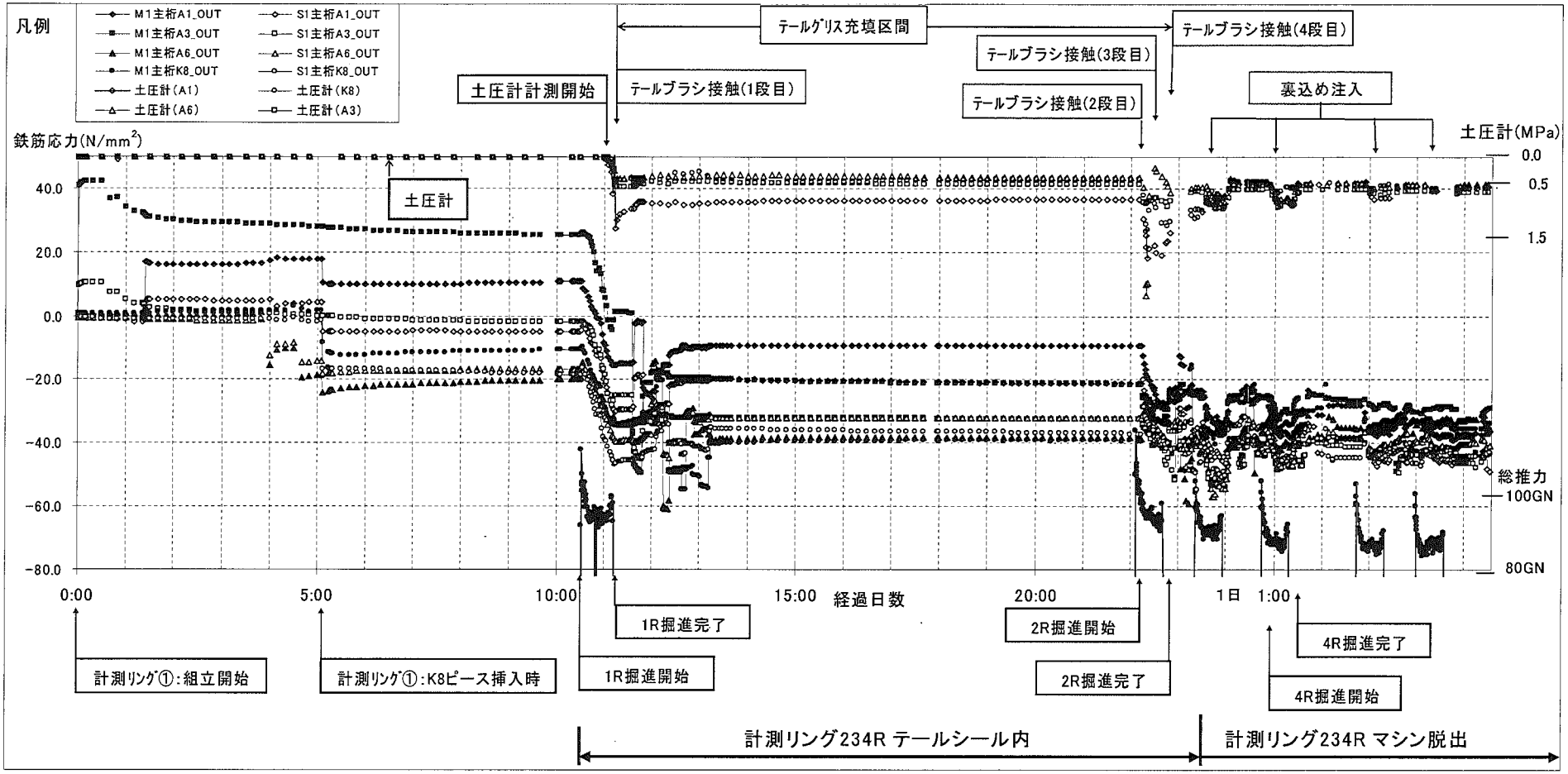
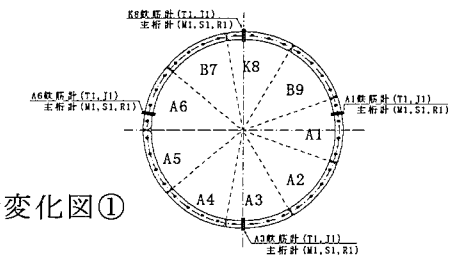


図-4.34　第４工区計測断面　計測された水圧値とトンネル天端からの高さの関係





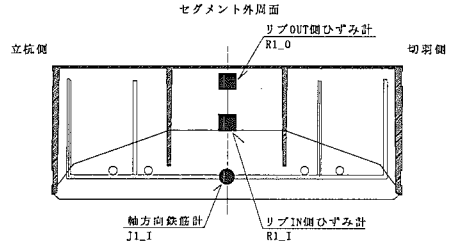
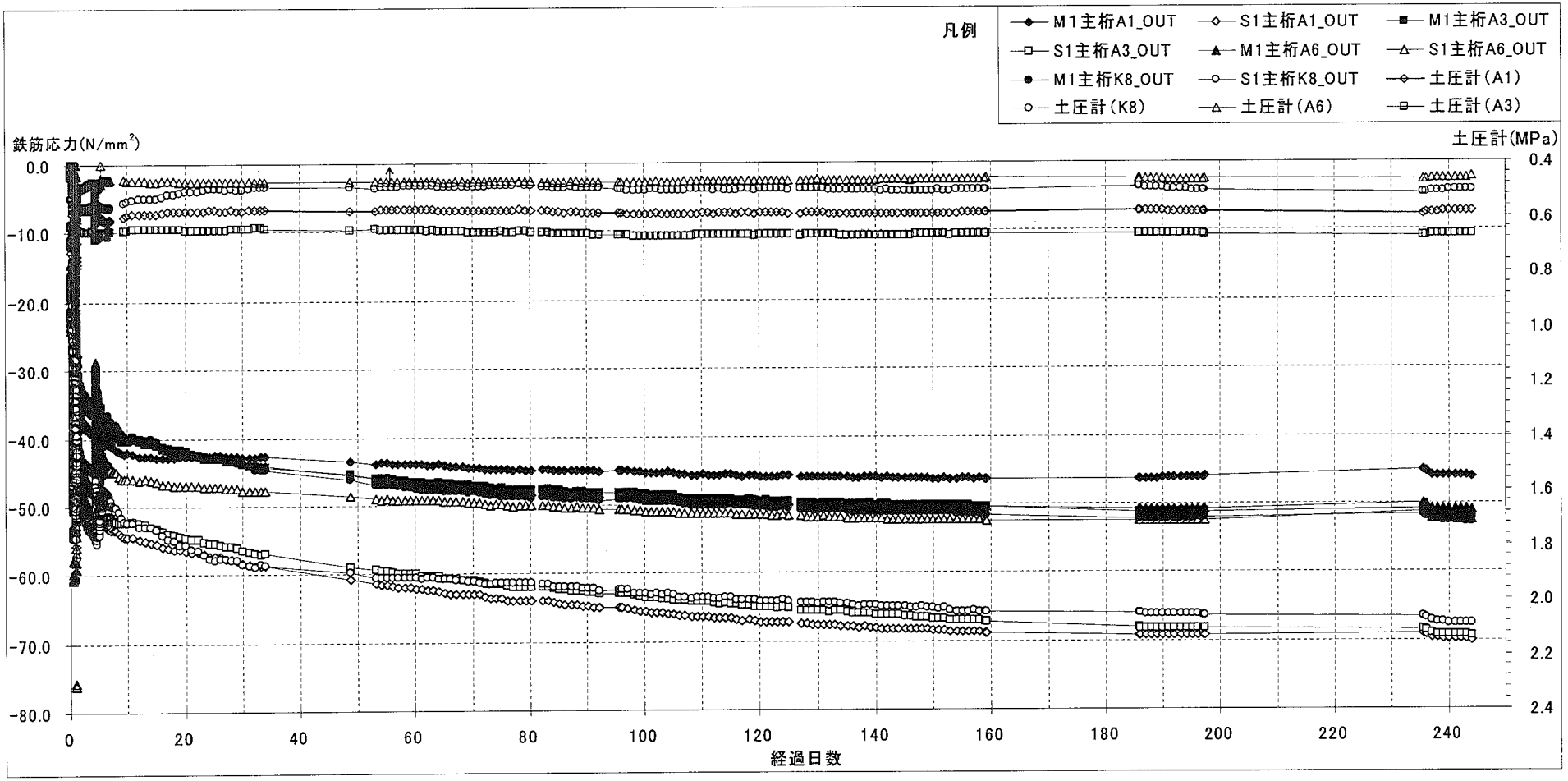
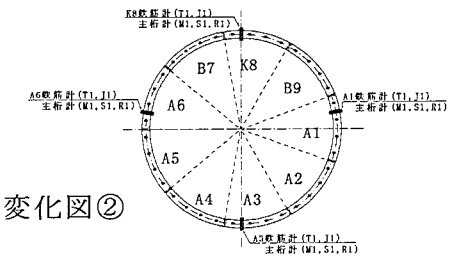


図-4.35　第４工区計測断面(234R)　主桁応力(OUT 側)の経時変化図①





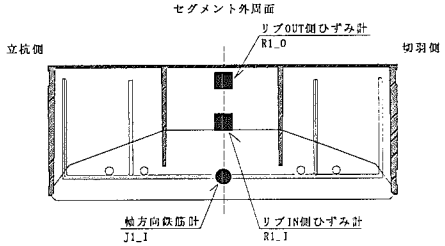
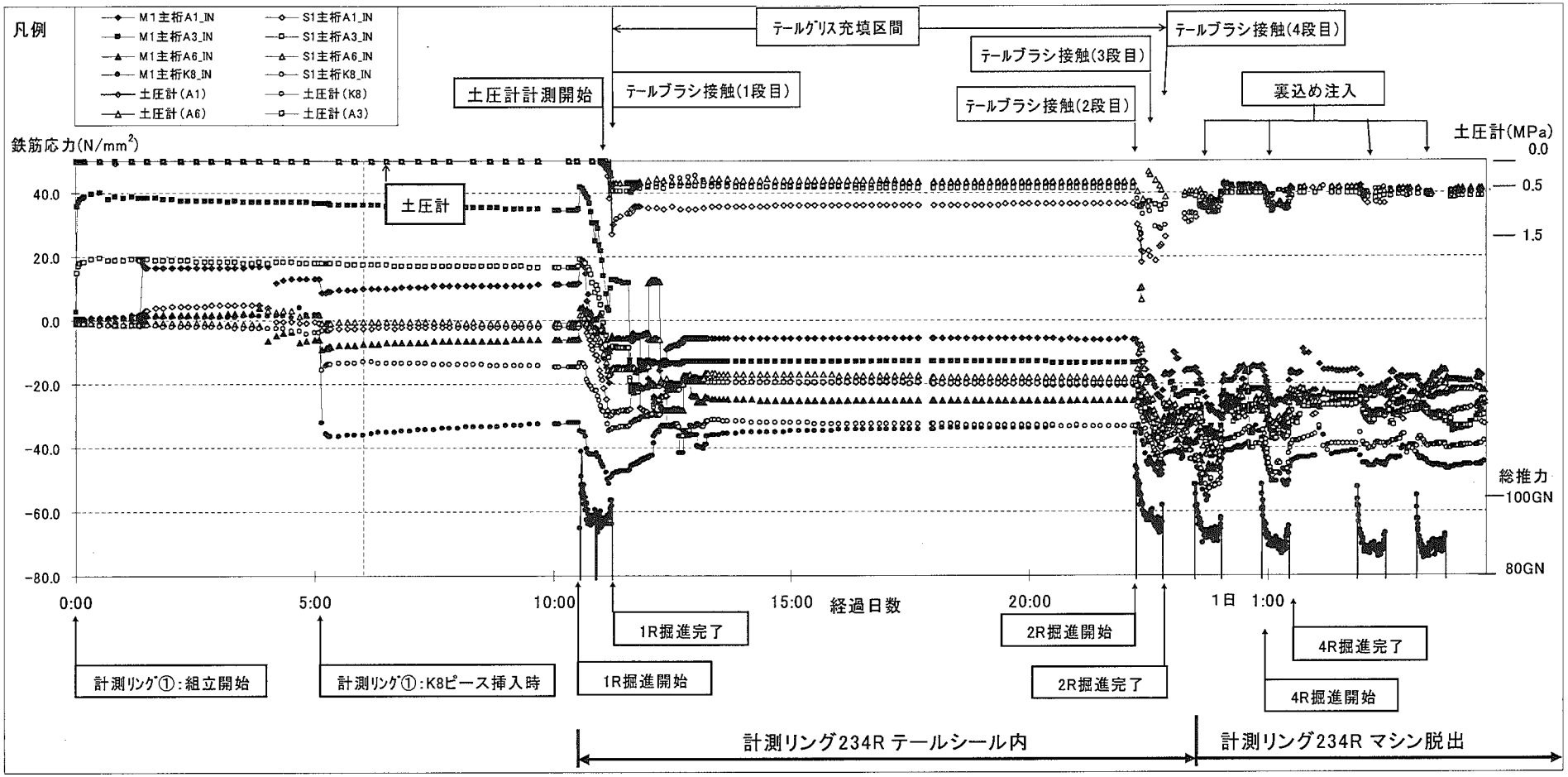
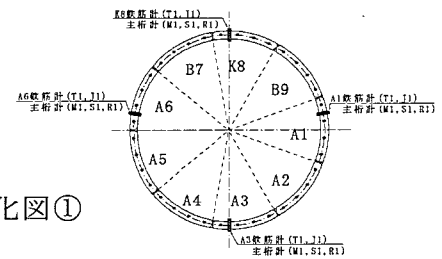


図-4.36　第４工区計測断面(234R)　主桁応力(OUT 側)の経時変化図②





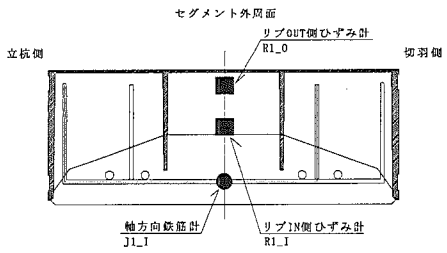
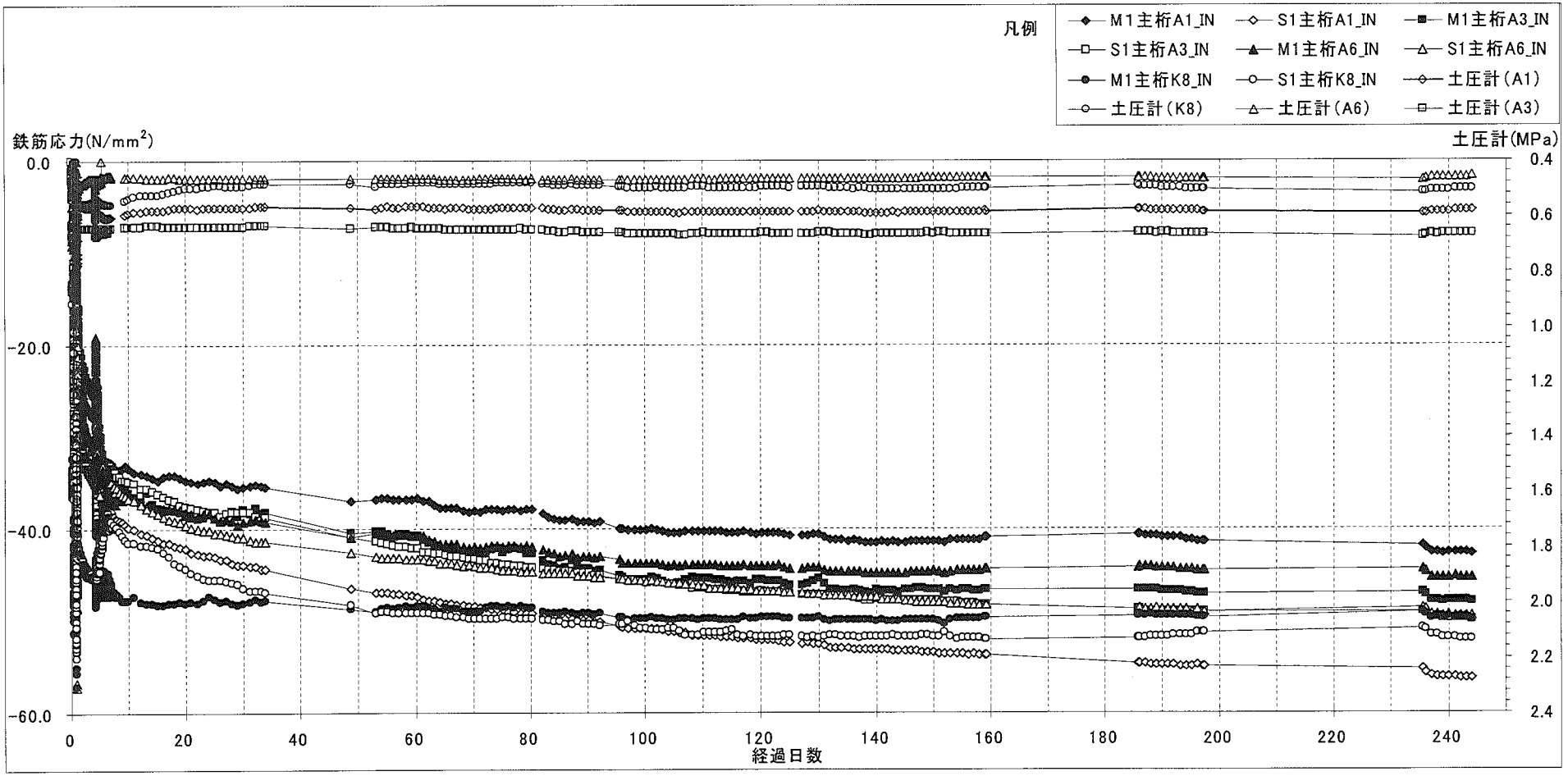
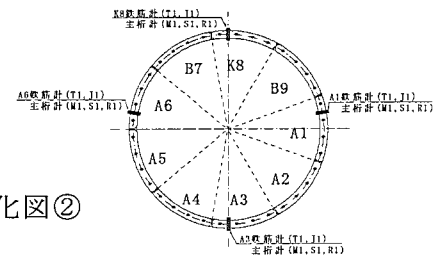


図-4.37　第４工区計測断面(234R)　主桁応力(IN 側)の経時変化図①





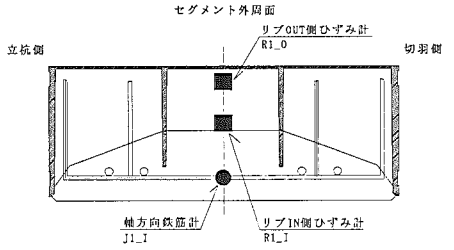
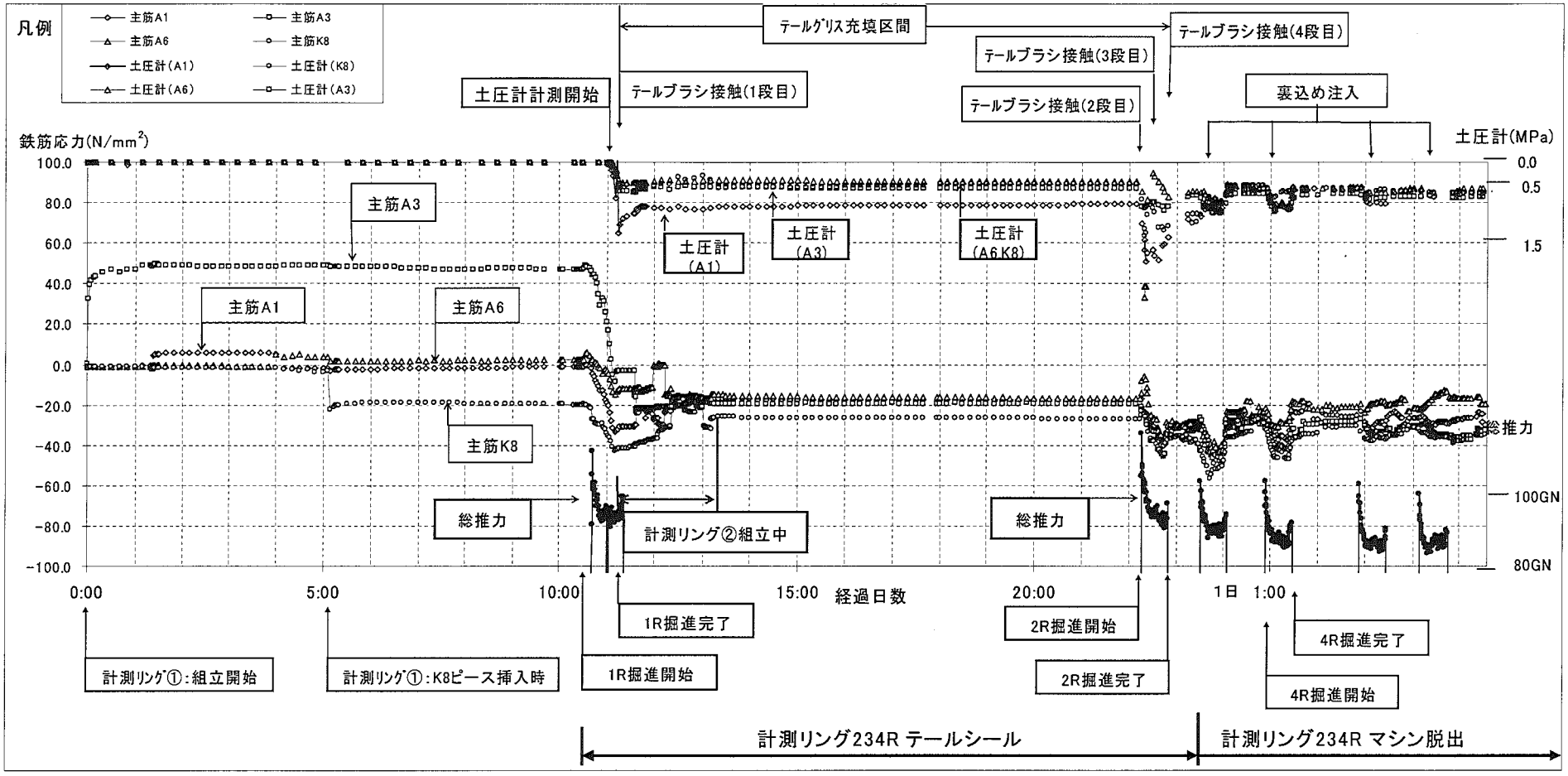
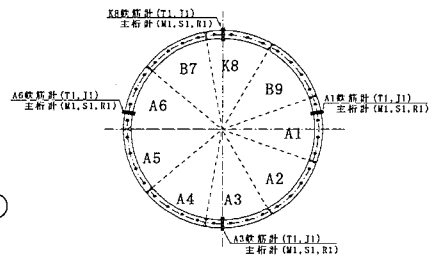


図-4.38　第４工区計測断面(234R)　主桁応力(IN 側)の経時変化図②





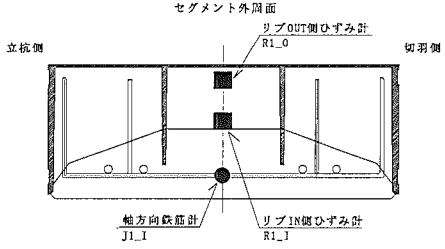
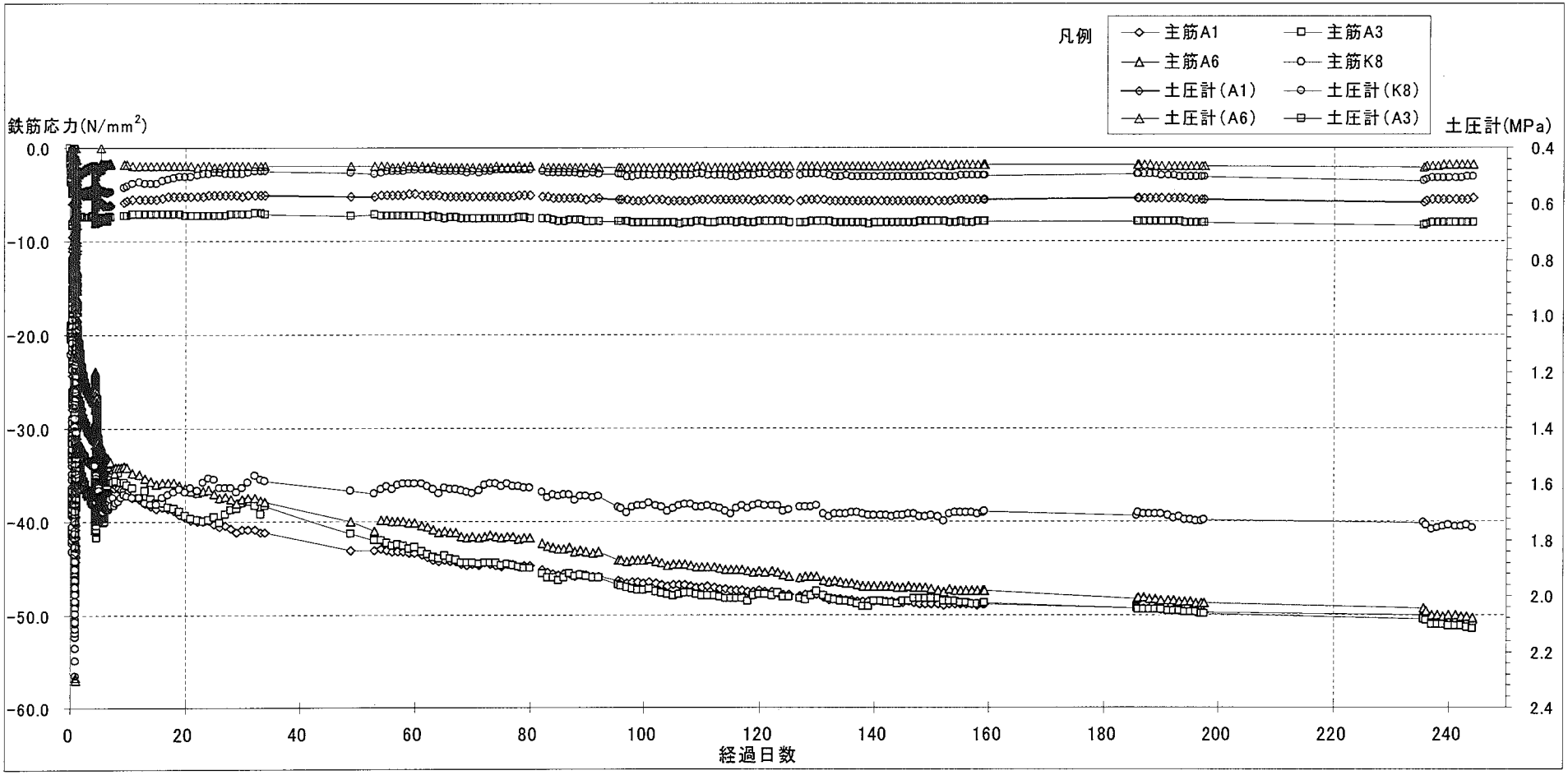
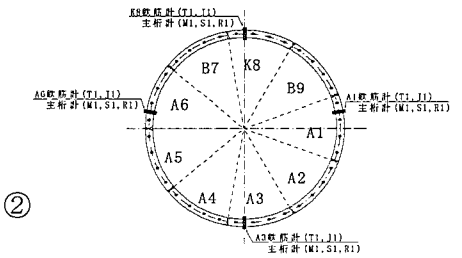


図-4.39　第４工区計測断面(234R)　主鉄筋応力の経時変化図①





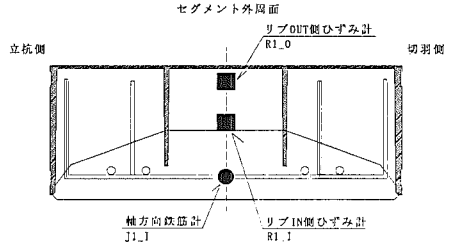


図-4.40　第４工区計測断面(234R)　主鉄筋応力の経時変化図②

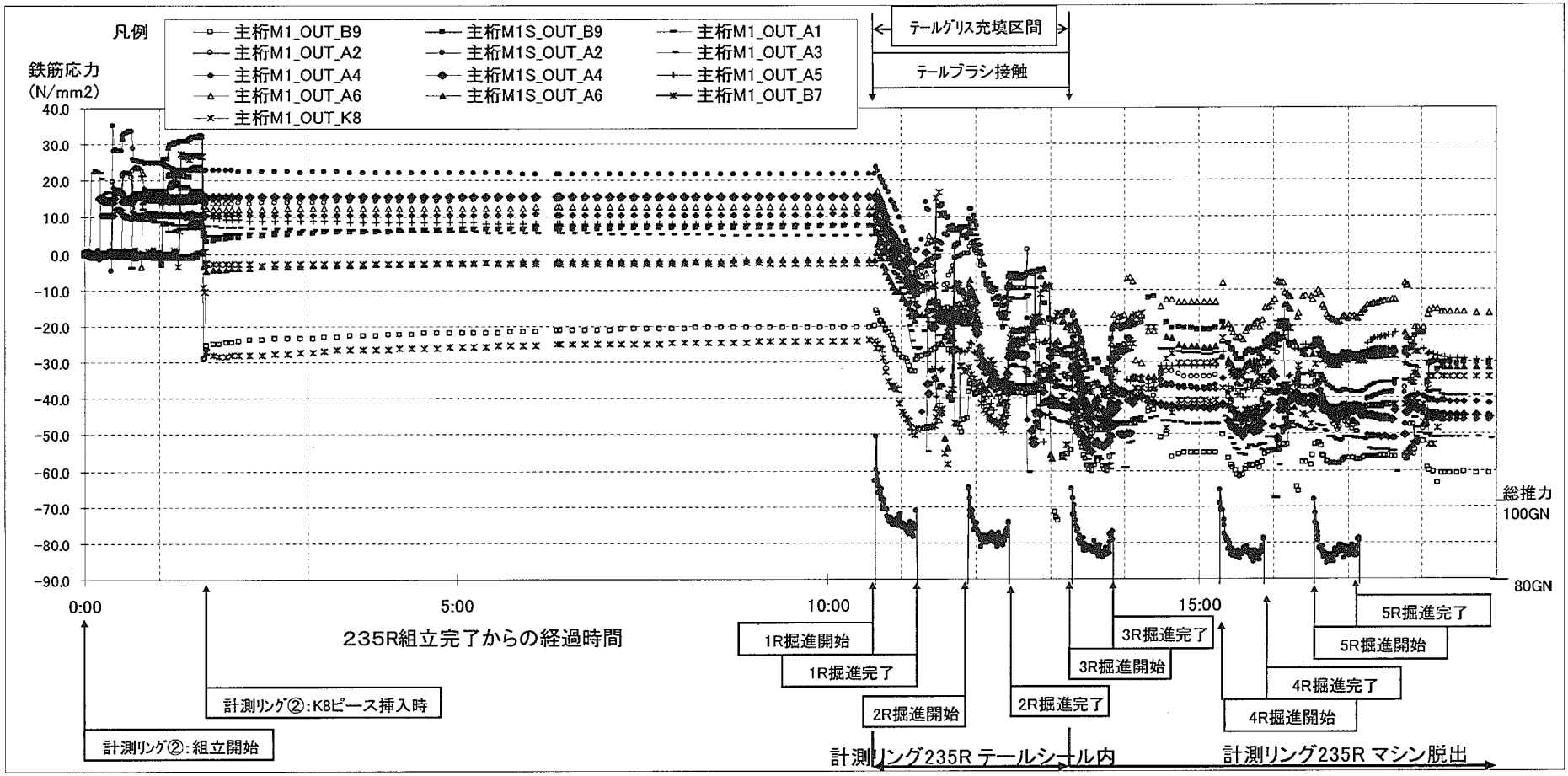
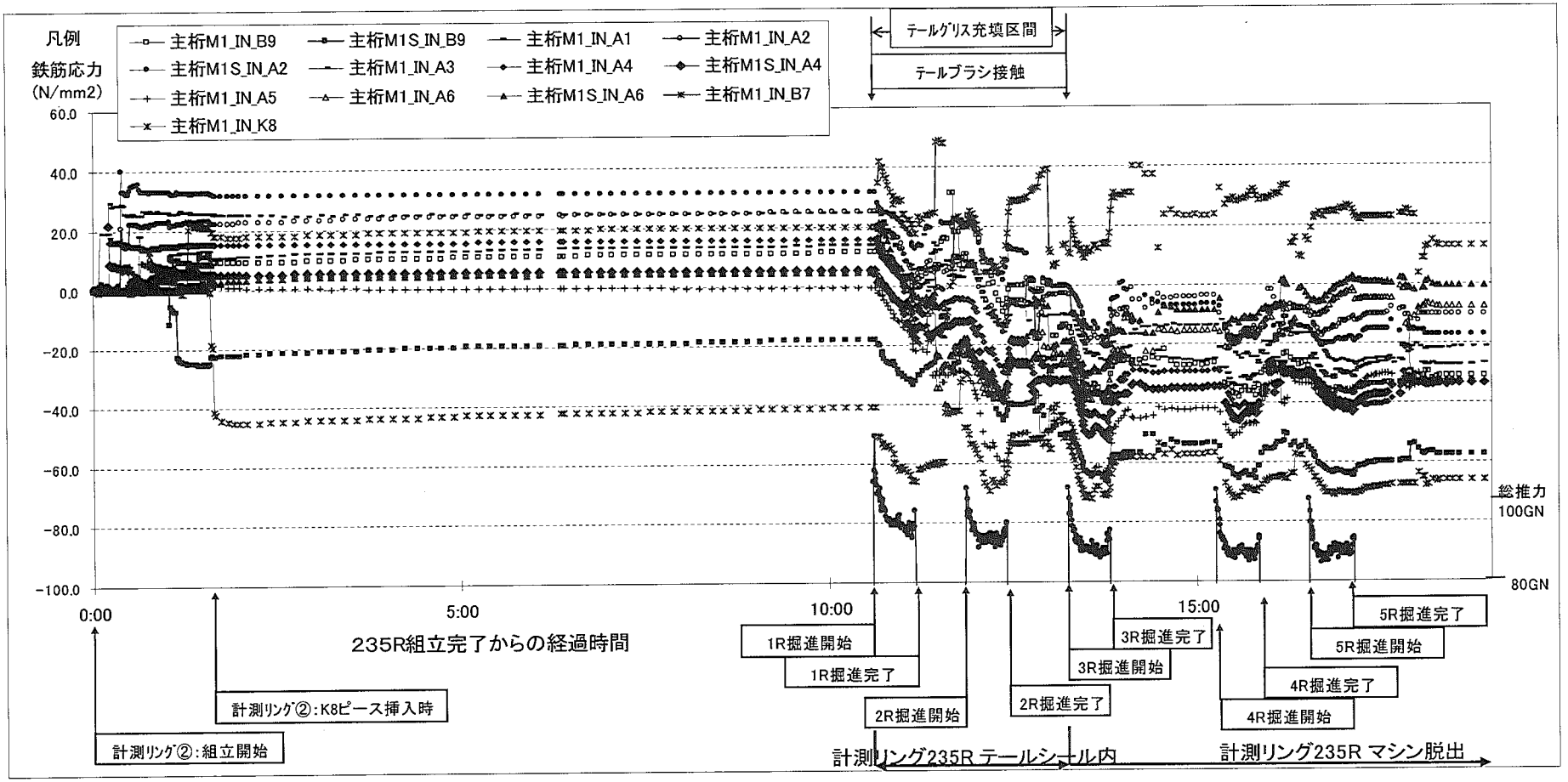
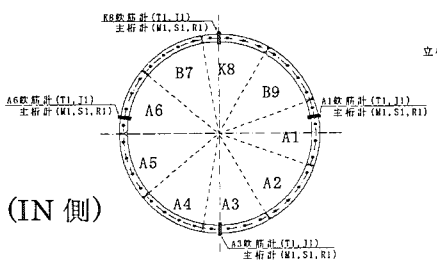


図-4.41　第４工区計測断面(235R)　外側主桁応力の短期経時変化図①：(OUT 側)





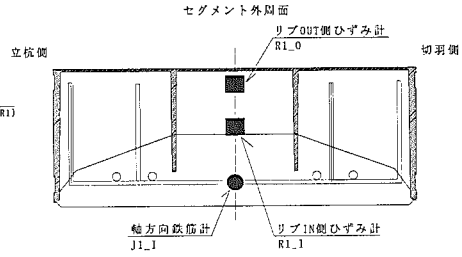
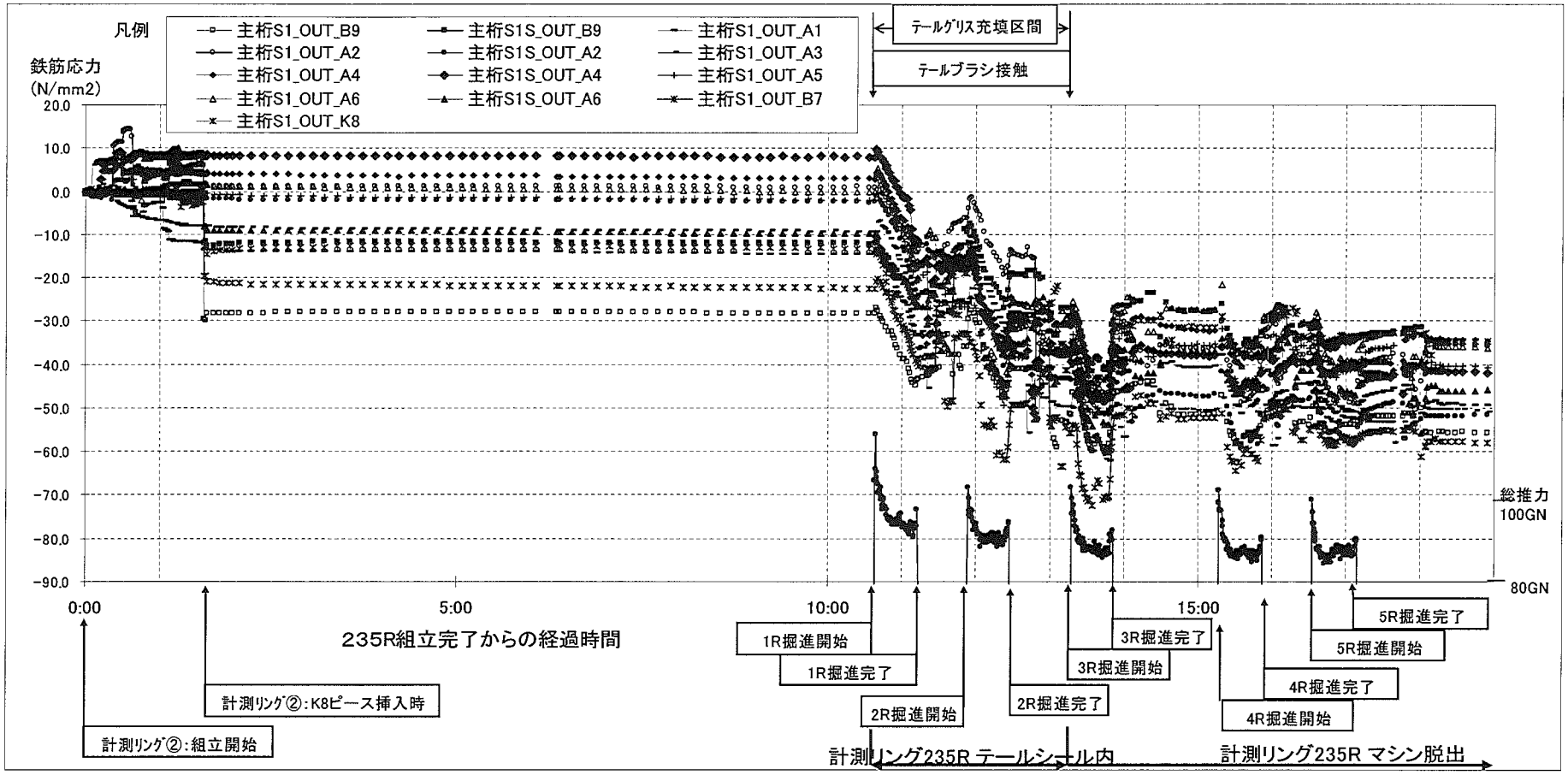
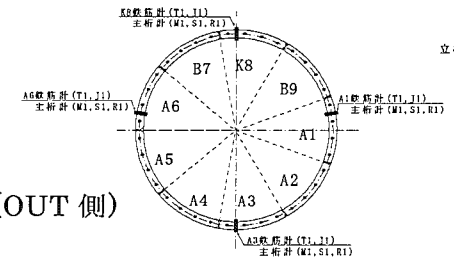


図-4.42　第４工区計測断面(235R)　外側主桁応力の短期経時変化図②：(IN 側)





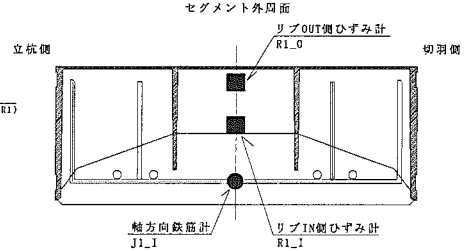
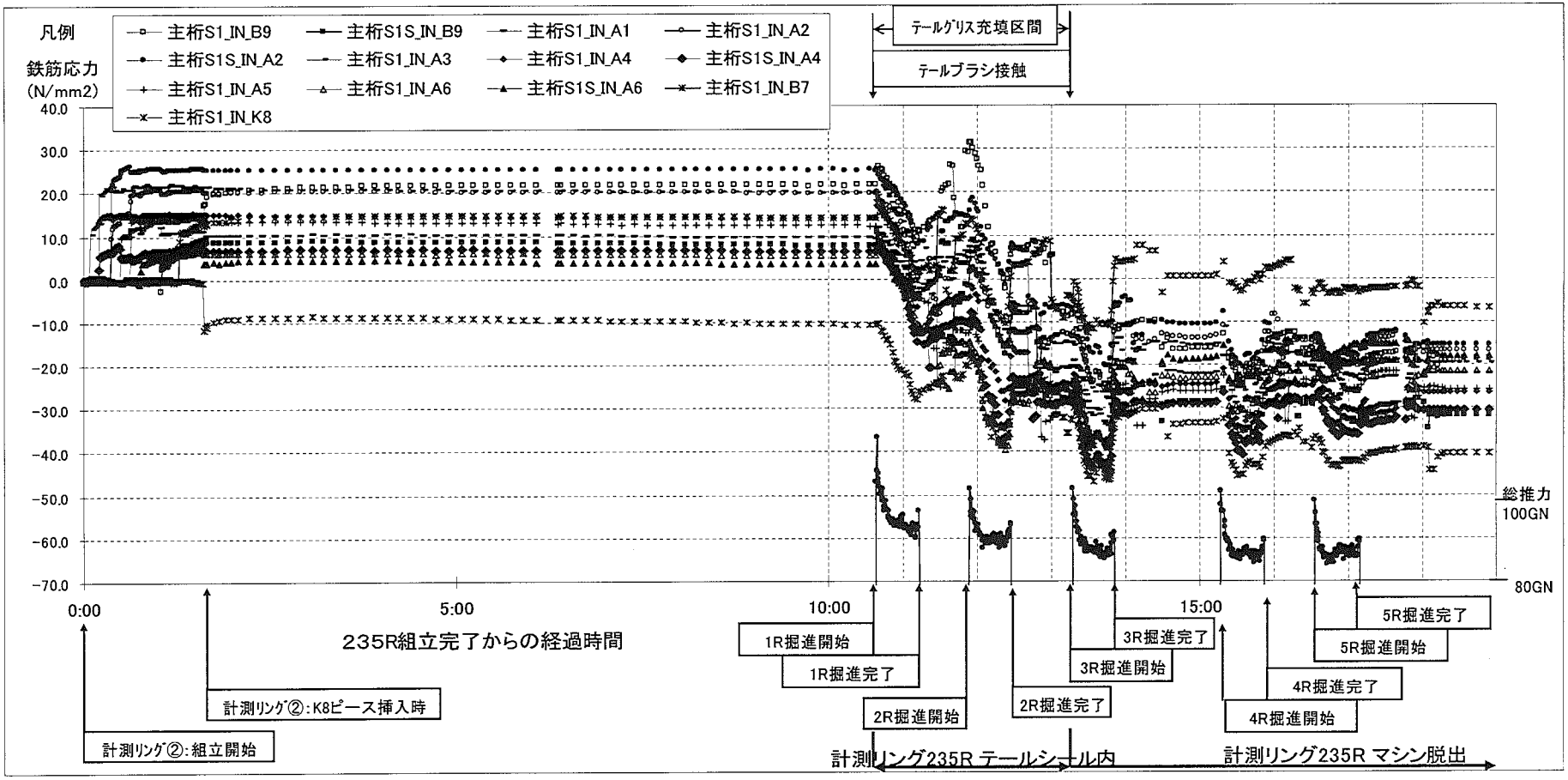
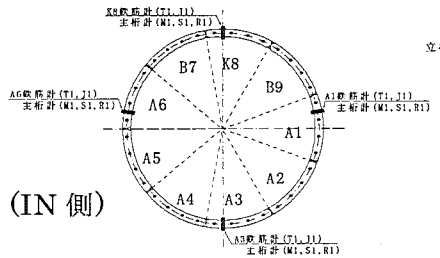


図-4.43　第４工区計測断面(235R)　内側主桁応力の短期経時変化図①：(OUT 側)





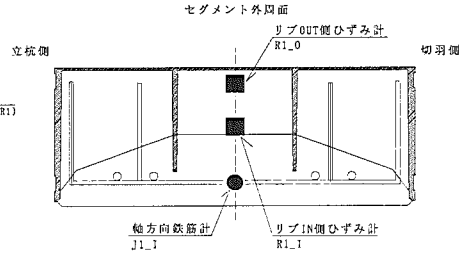
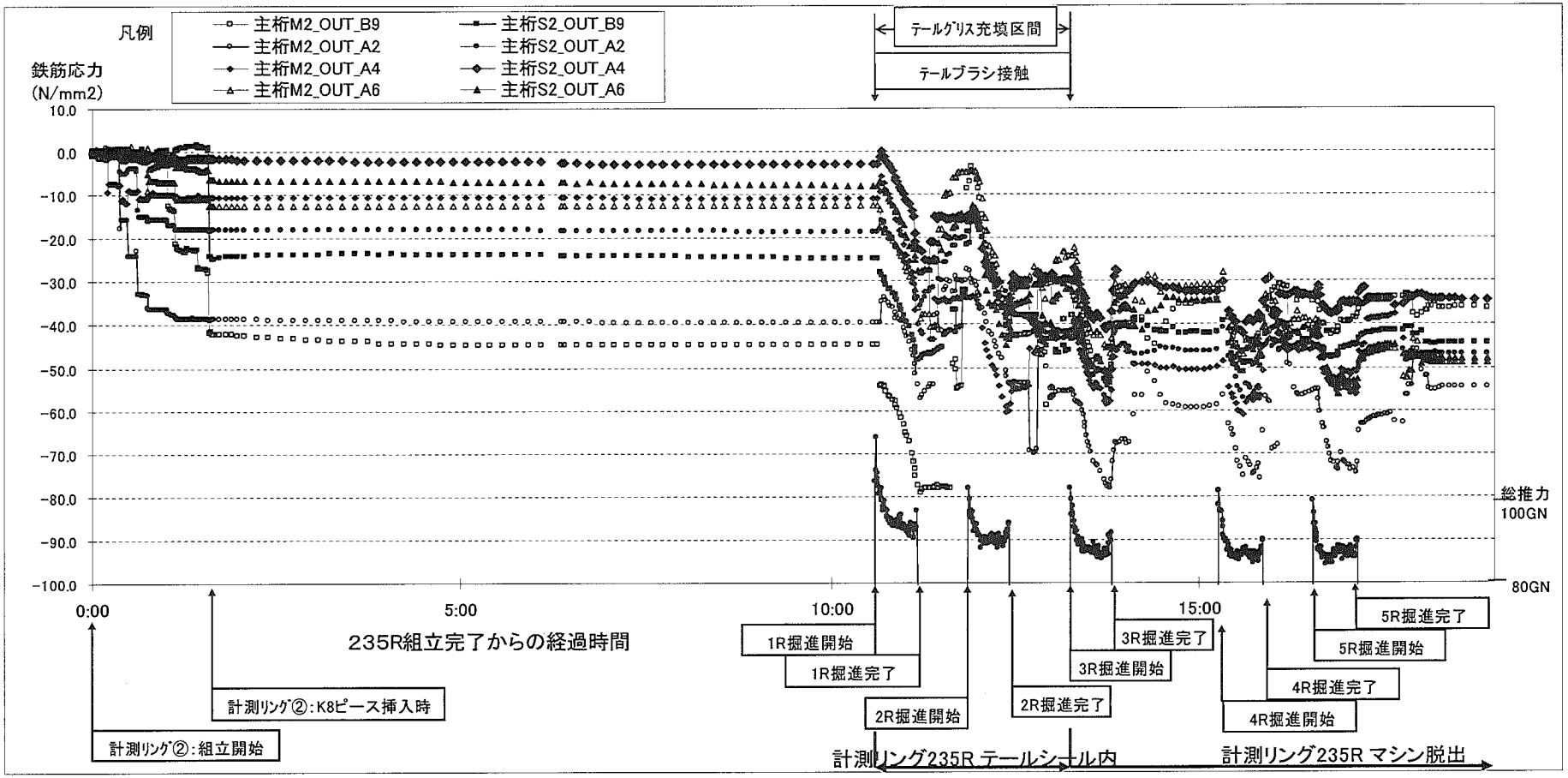
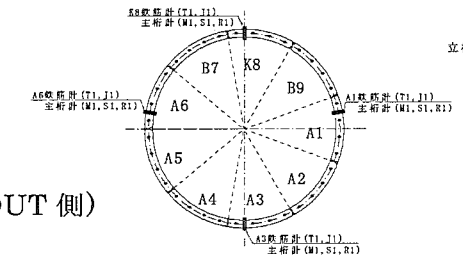


図-4.44　第４工区計測断面(235R)　内側主桁応力の短期経時変化図②：(IN 側)





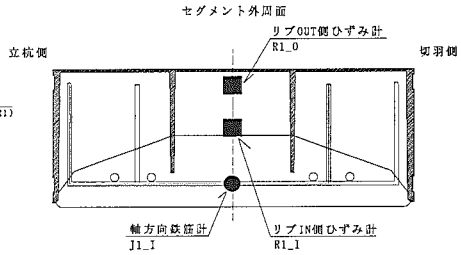


図-4.45　第４工区計測断面(235R)　主桁応力の短期経時変化図①：(OUT 側)

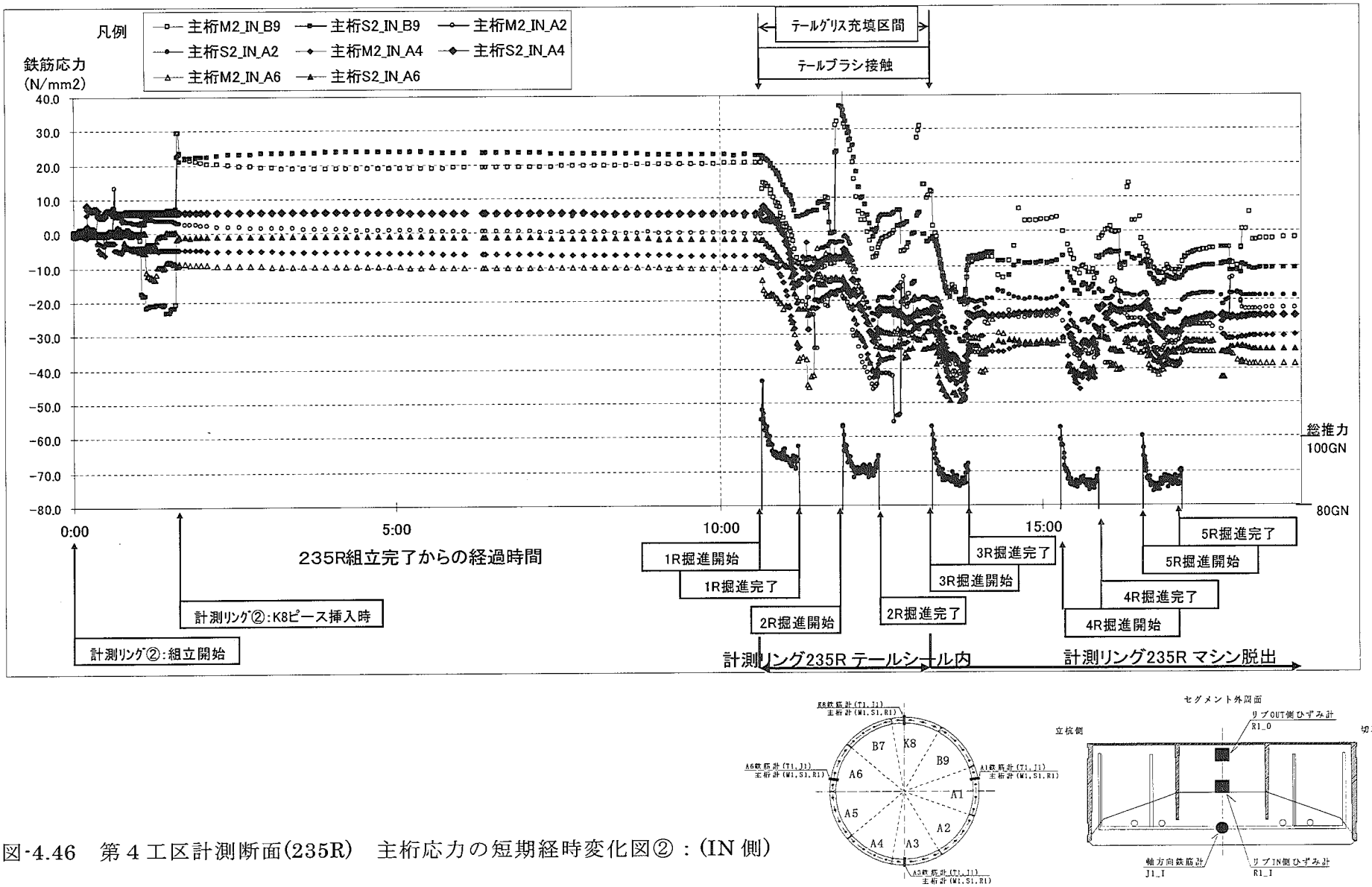
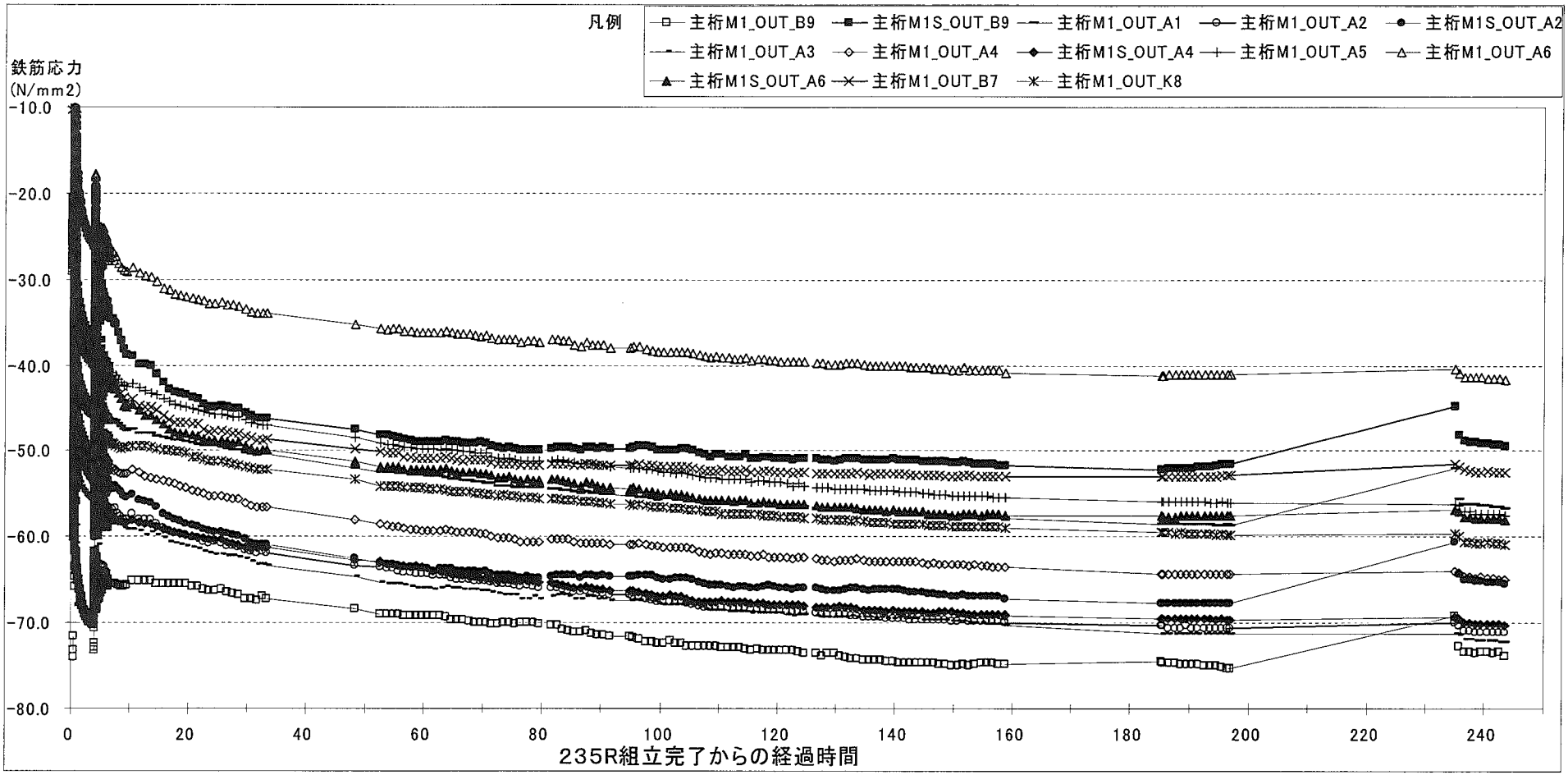
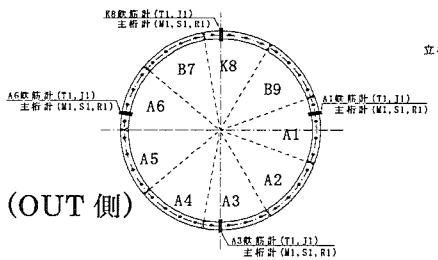


図-4.46　第４工区計測断面(235R)　主桁応力の短期経時変化図②：(IN 側)





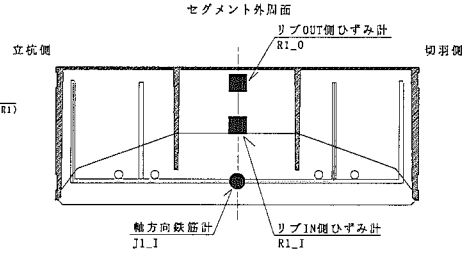
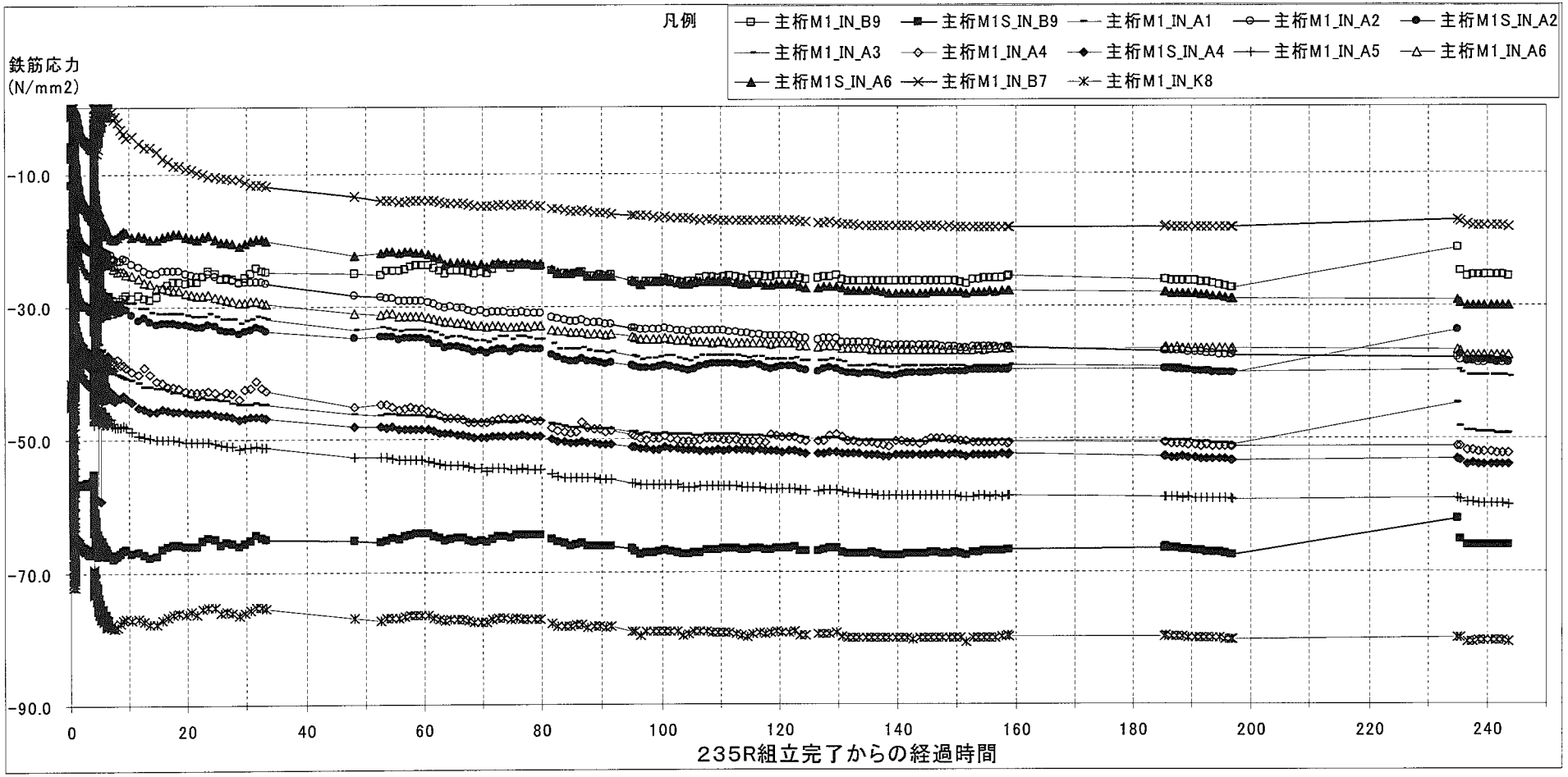
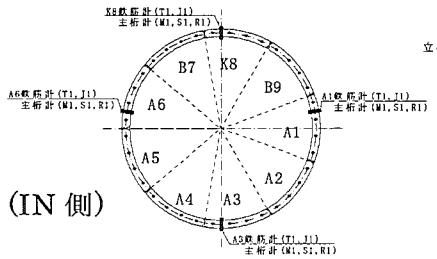


図-4.47　第４工区計測断面(235R)　外側主桁応力の長期経時変化図①：(OUT 側)





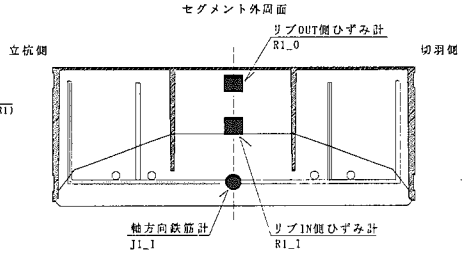
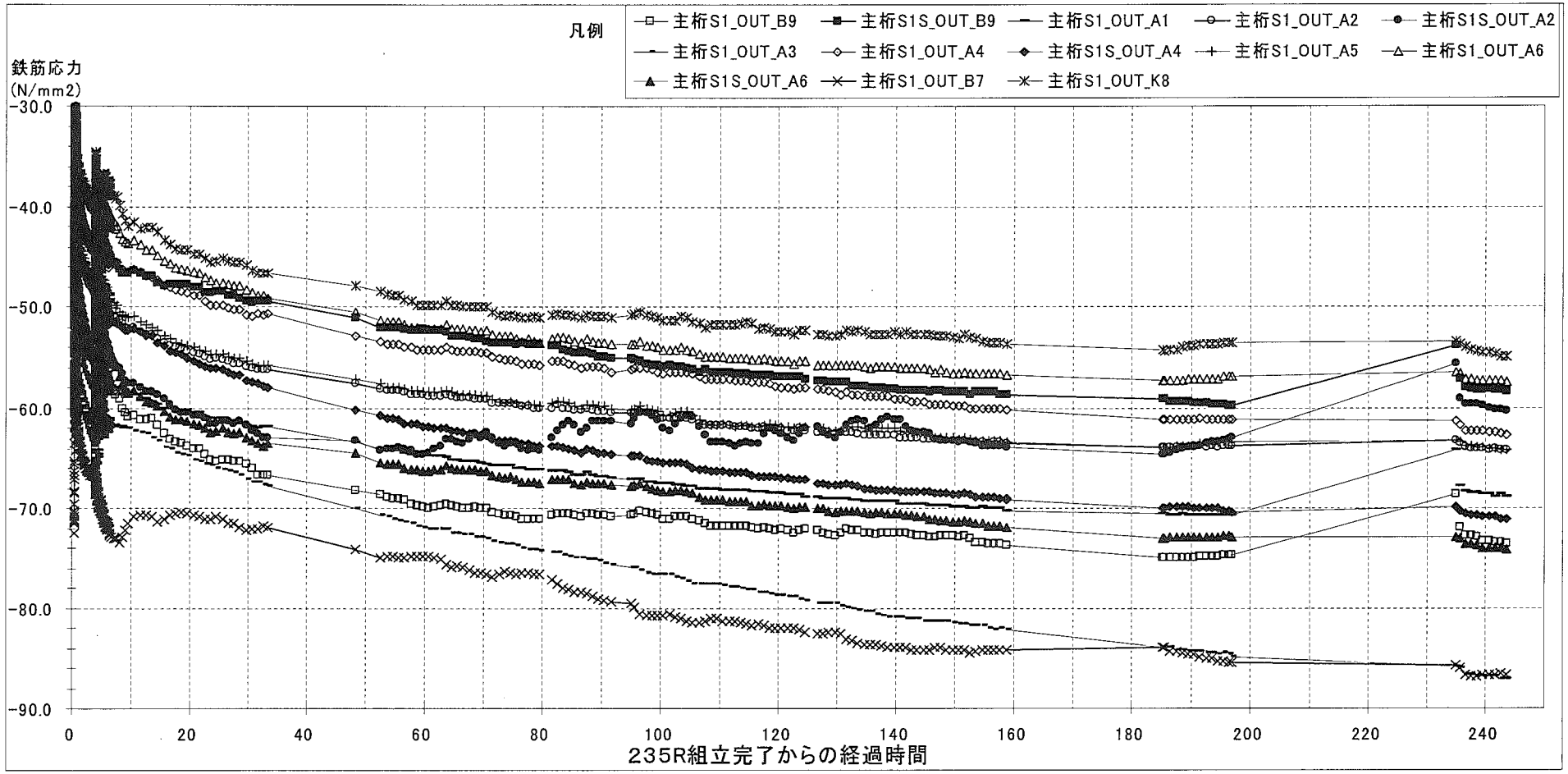
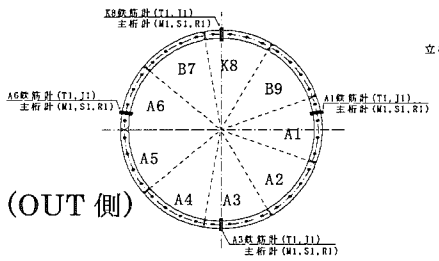


図-4.48　第４工区計測断面(235R)　外側主桁応力の長期経時変化図②：(IN 側)





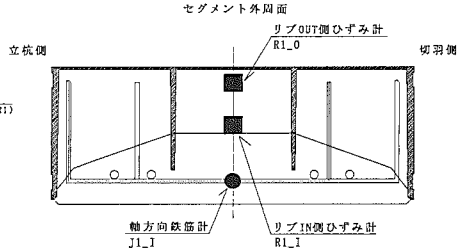
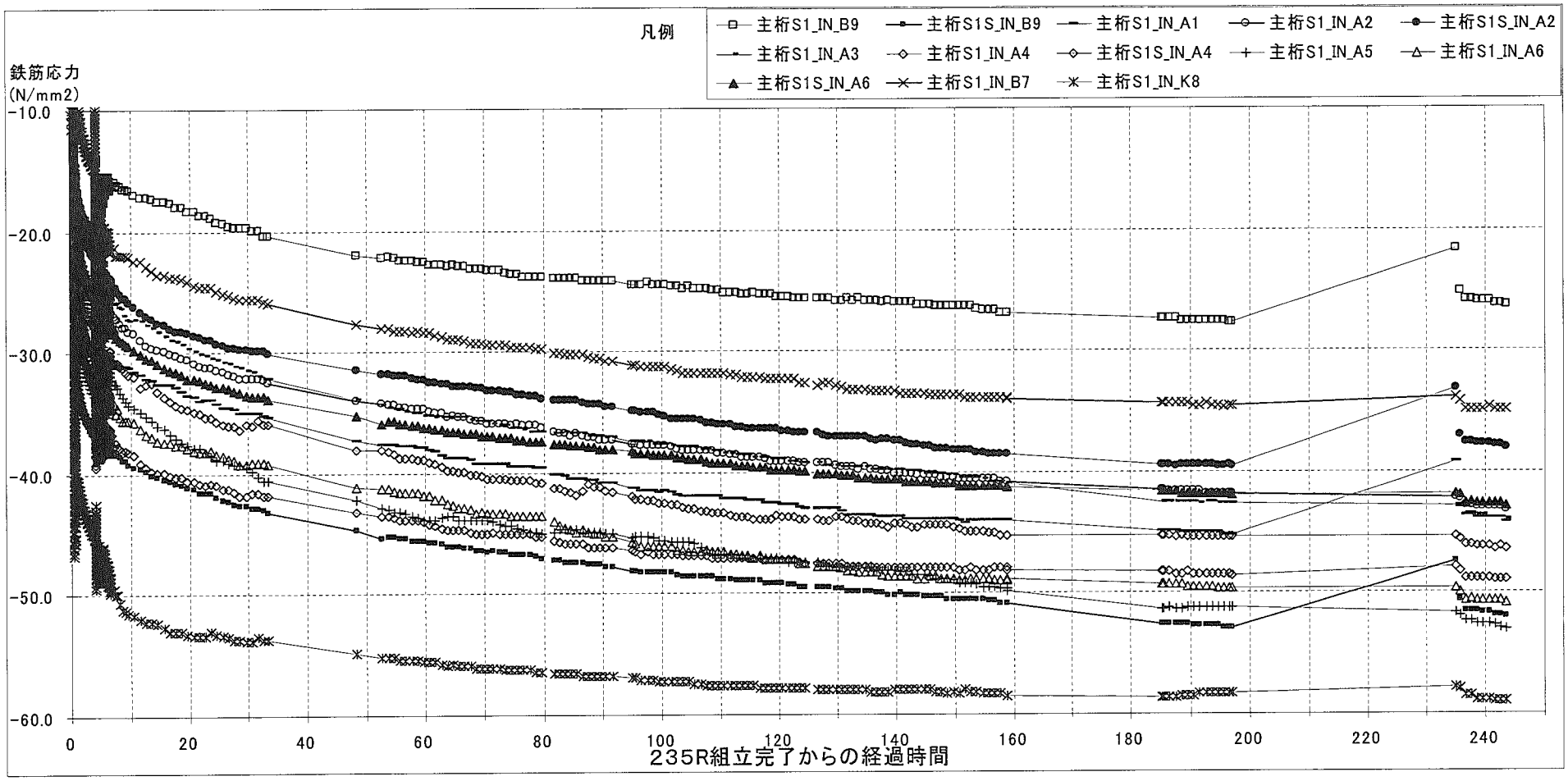
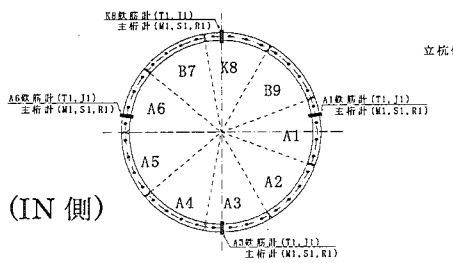


図-4.49　第４工区計測断面(235R)　内側主桁応力の長期経時変化図①：(OUT 側)





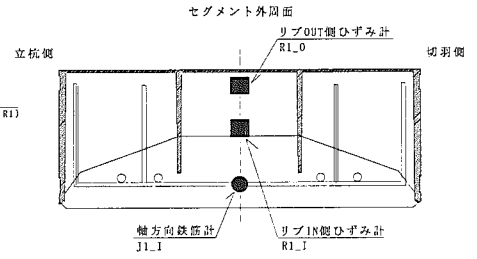
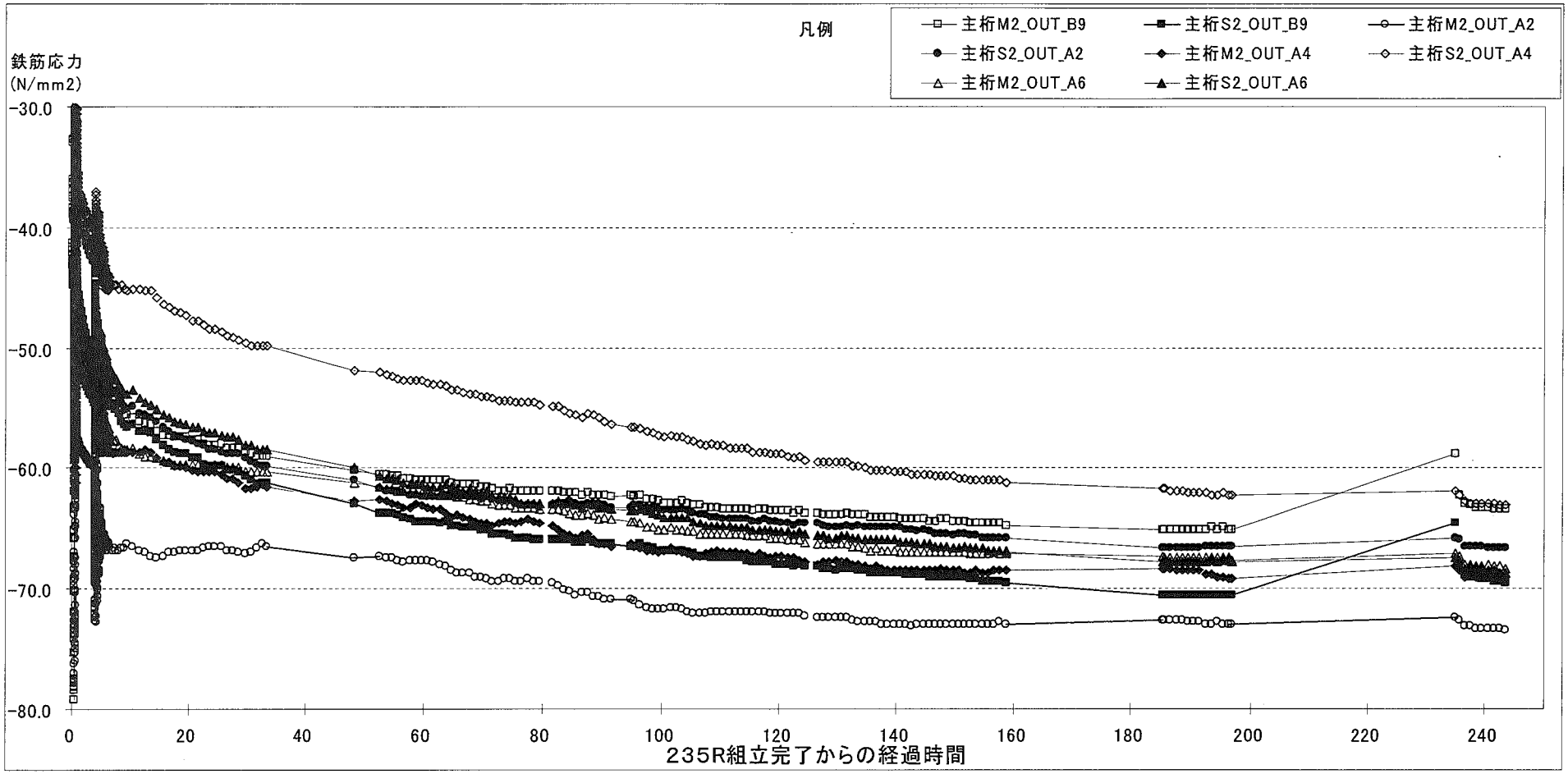
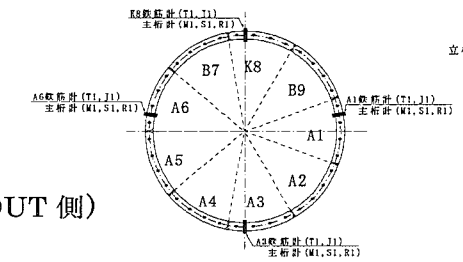


図-4.50　第４工区計測断面(235R)　内側主桁応力の長期経時変化図②：(IN 側)





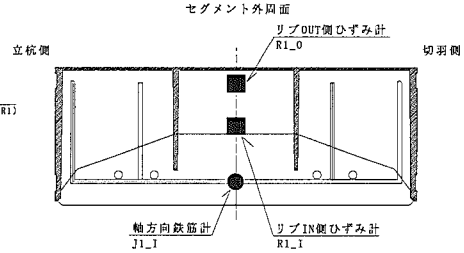
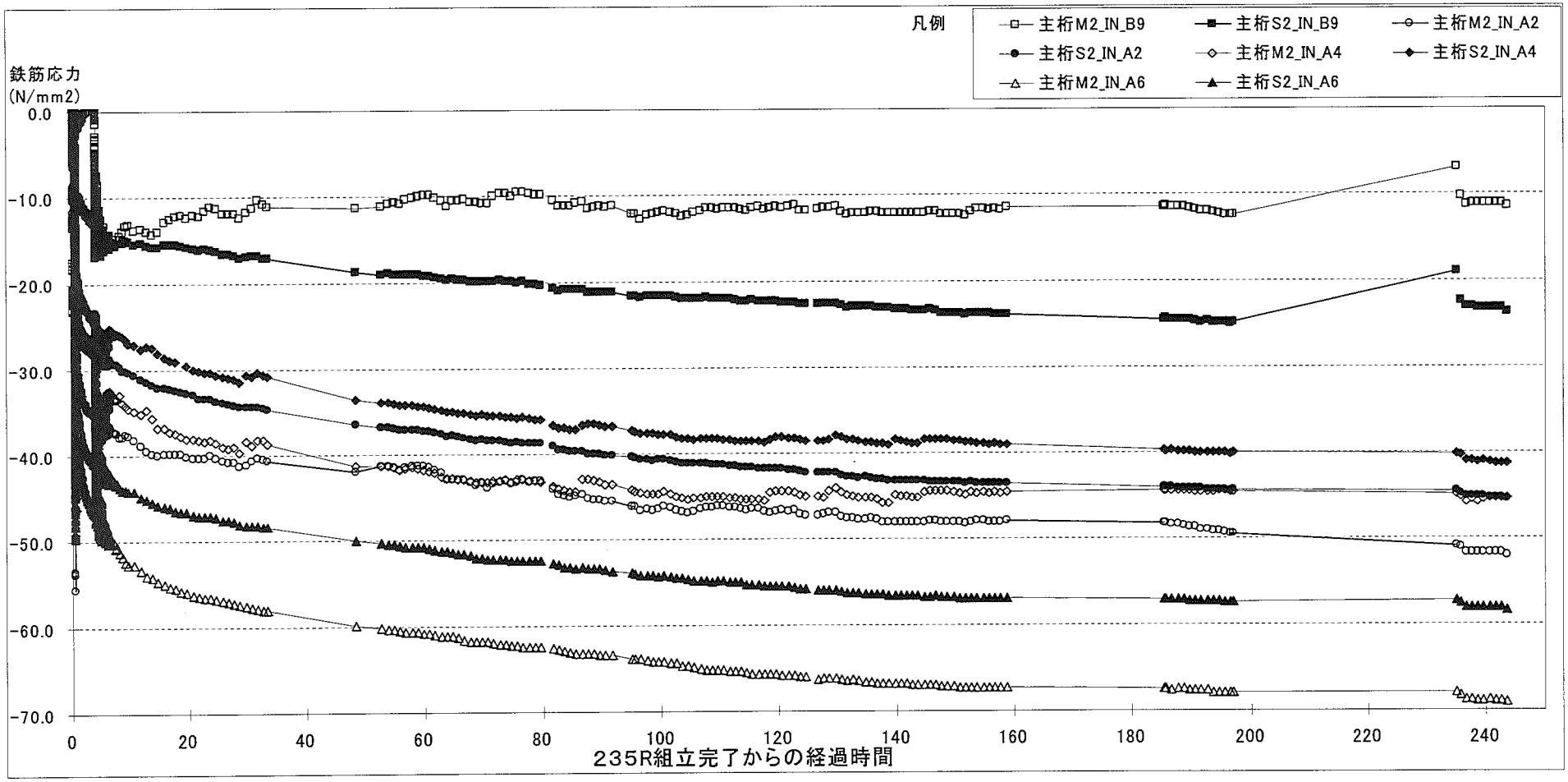
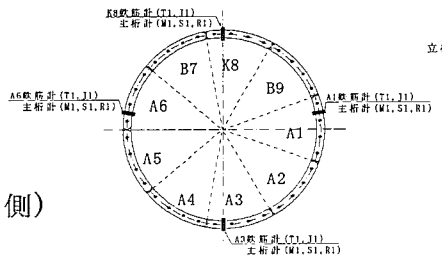


図-4.51　第４工区計測断面(235R)　主桁応力の長期経時変化図①：(OUT 側)





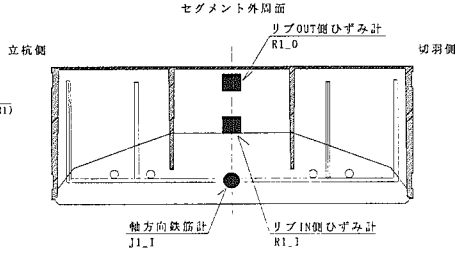
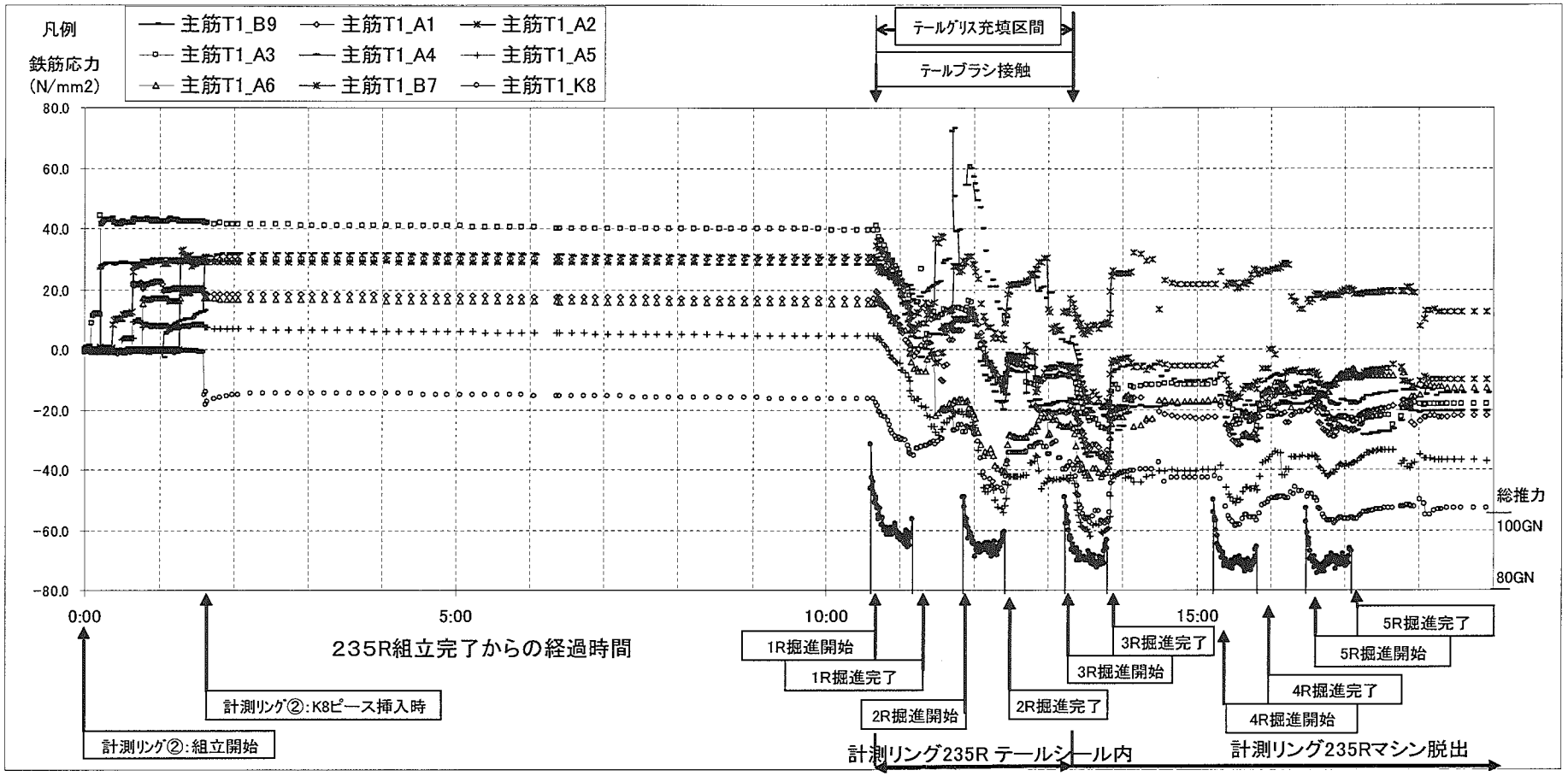
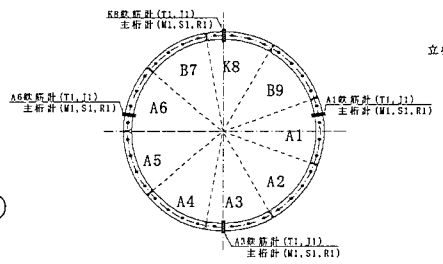


図-4.52　第４工区計測断面(235R)　主桁応力の長期経時変化図②：(IN 側)





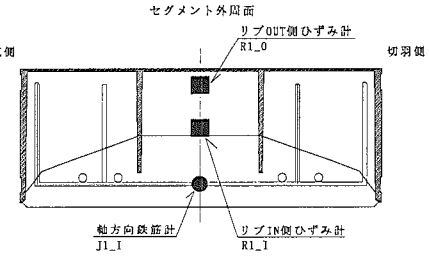
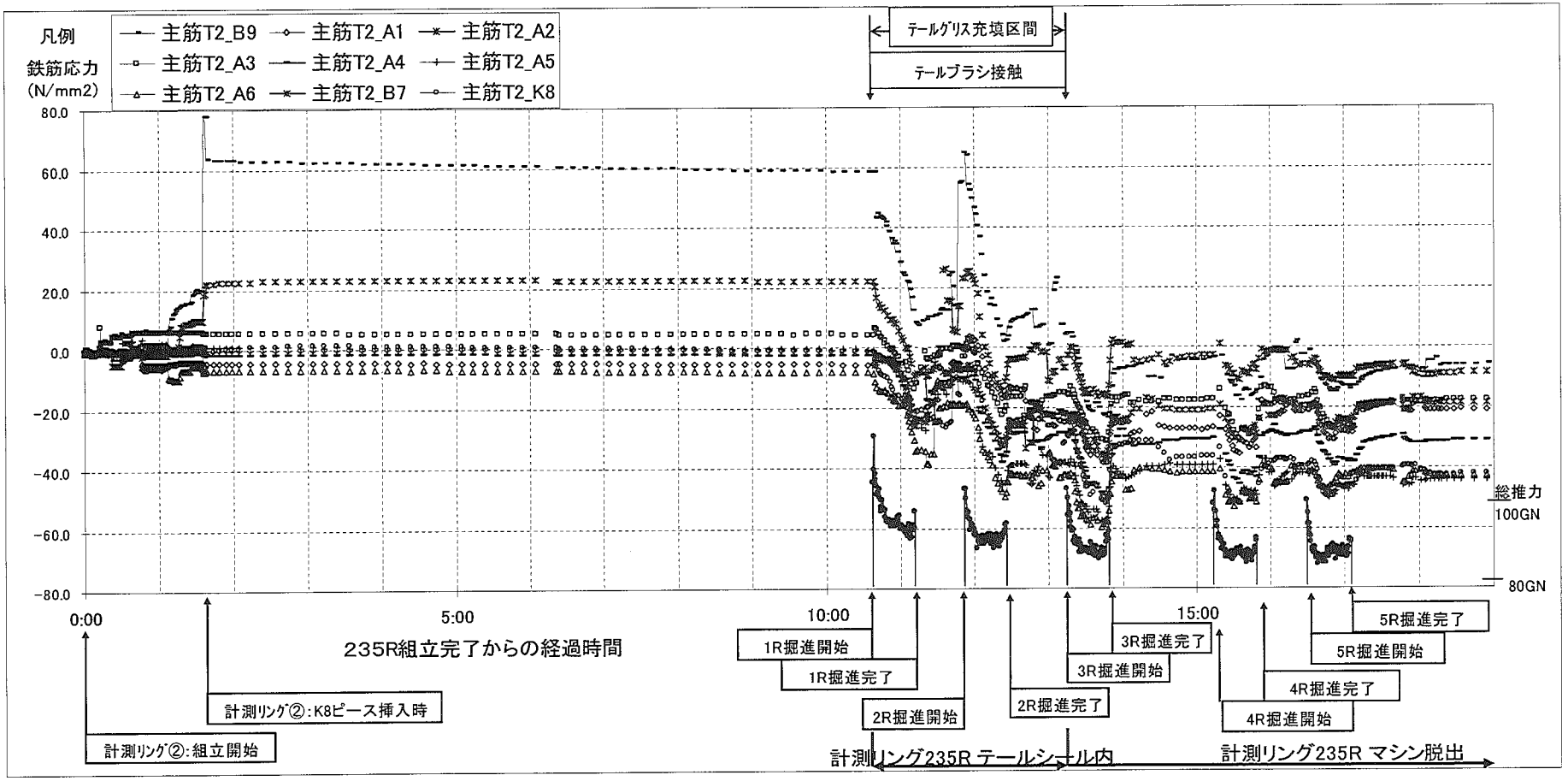
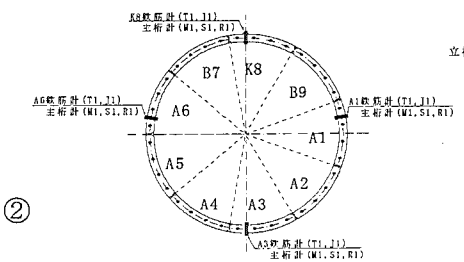


図-4.53　第４工区計測断面(235R)　主鉄筋応力の短期経時変化図①





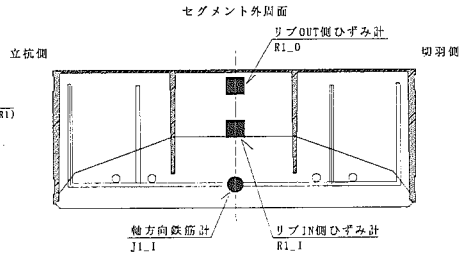
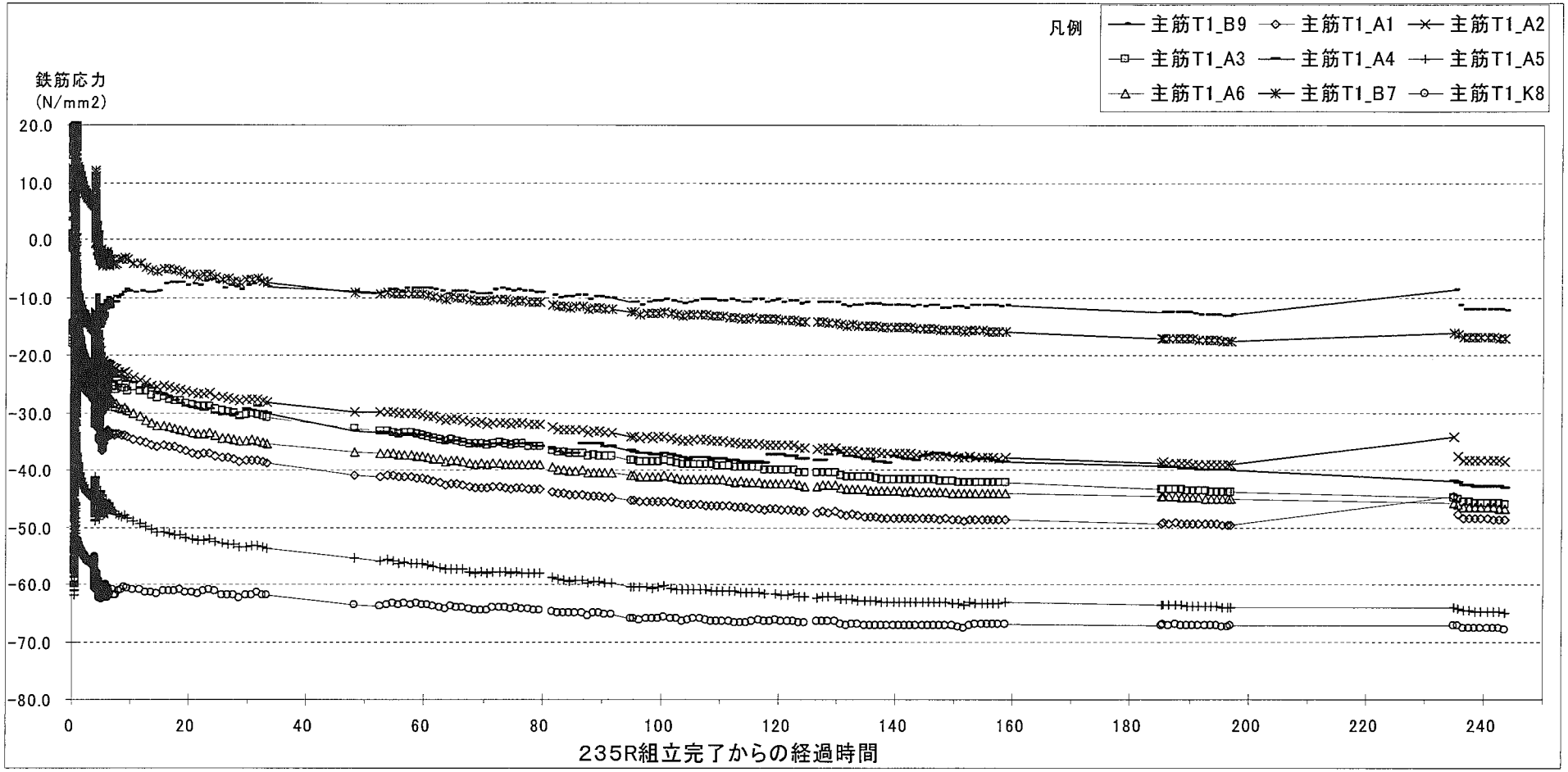
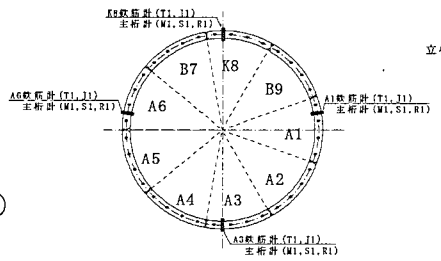


図-4.54　第４工区計測断面(235R)　主鉄筋応力の短期経時変化図②





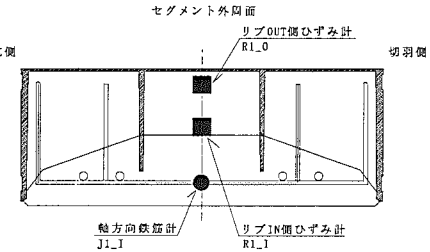
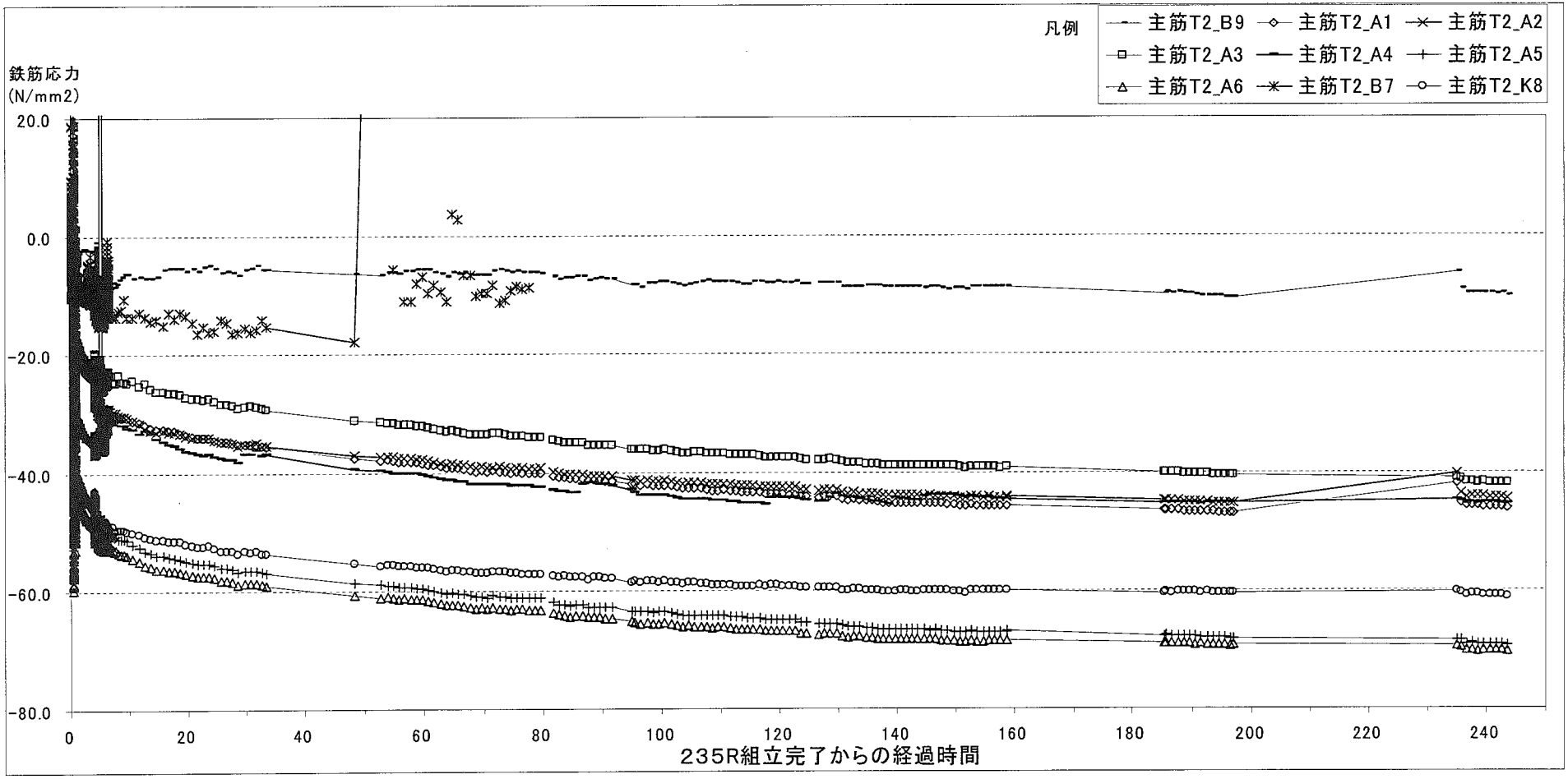
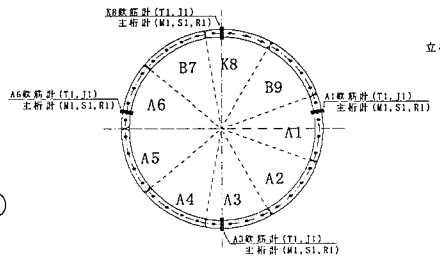


図-4.55　第４工区計測断面(235R)　主鉄筋応力の長期経時変化図①





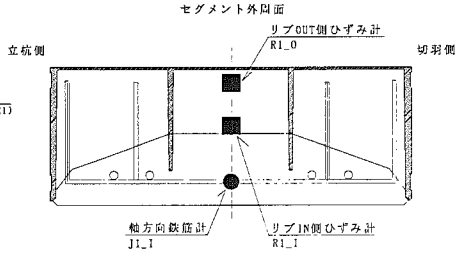
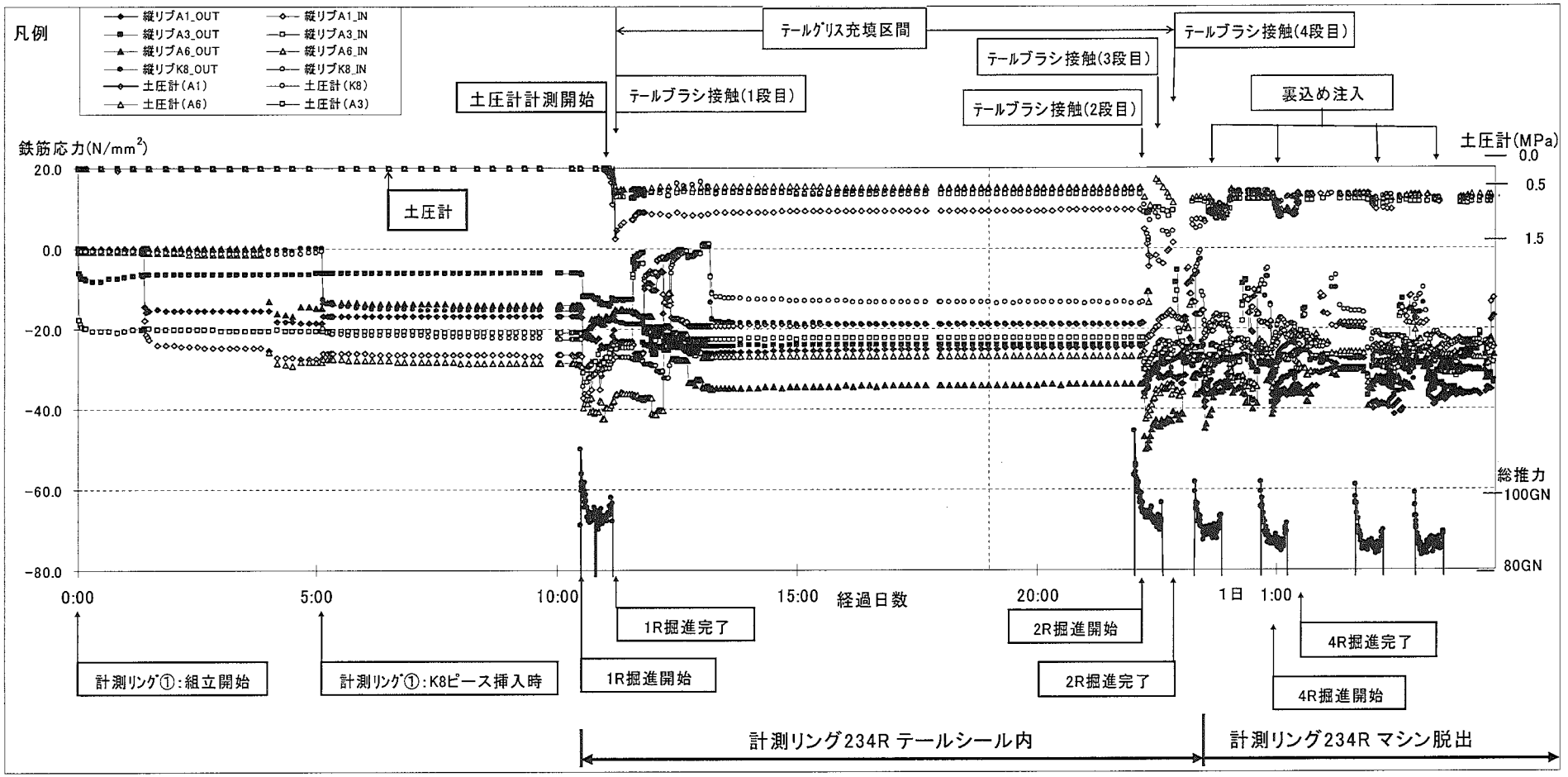
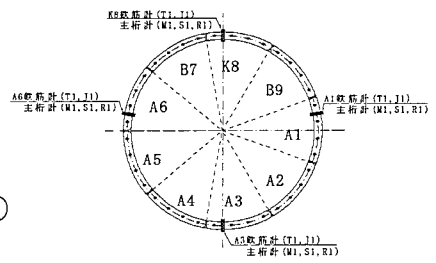


図-4.56　第４工区計測断面(235R)　主鉄筋応力の長期経時変化図②





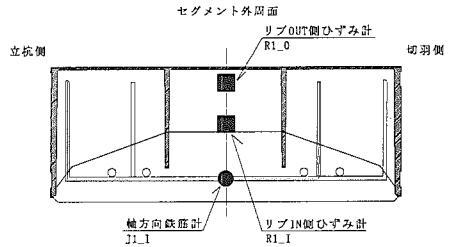
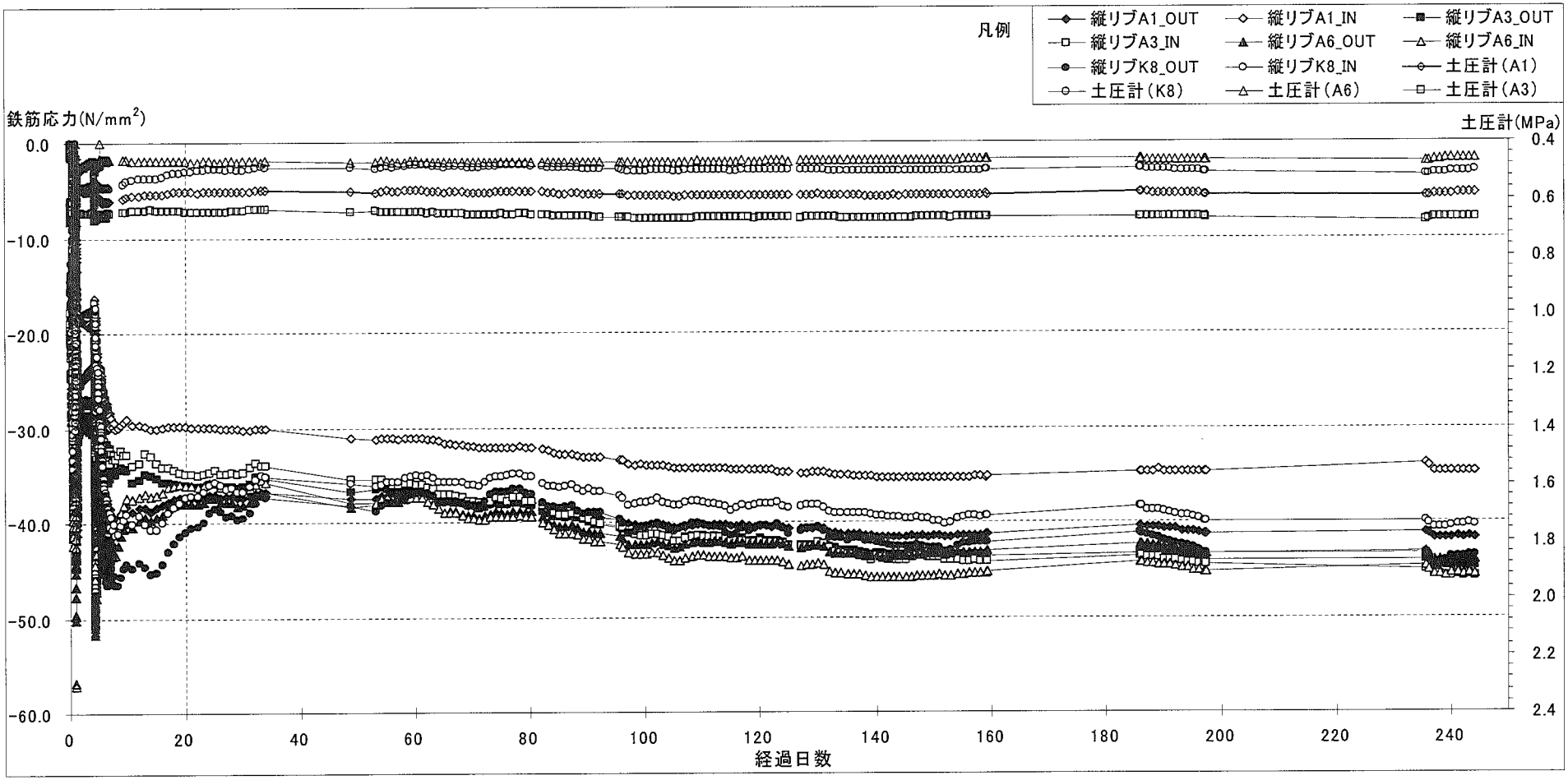
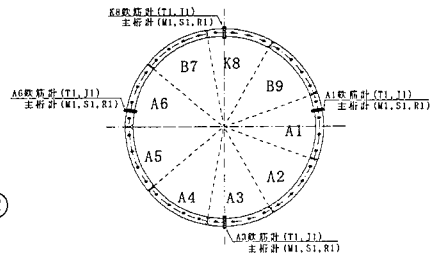


図-4.57　第４工区計測断面(234R)　縦リブ応力の経時変化図①





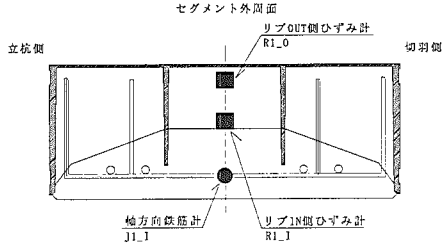
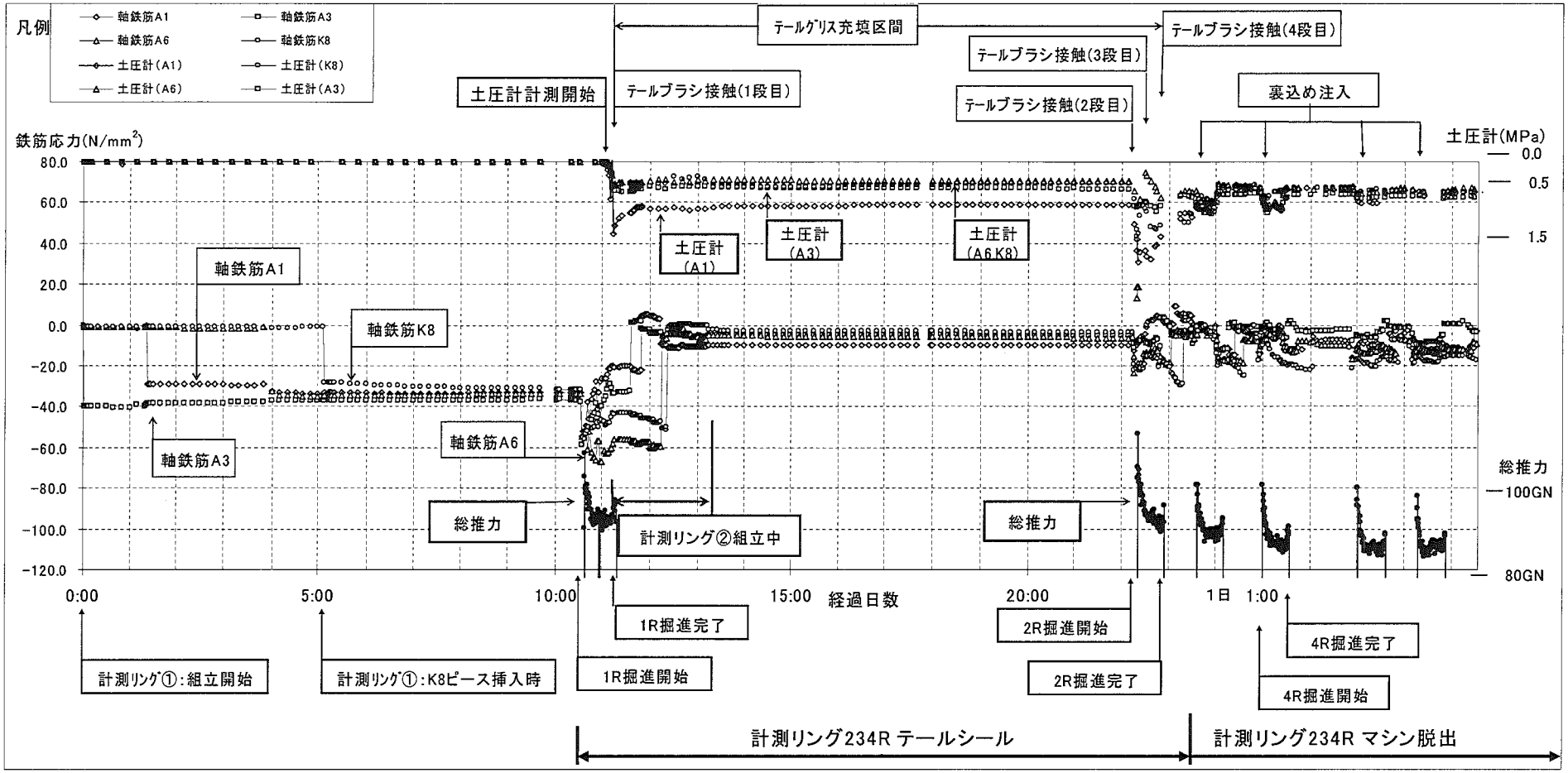
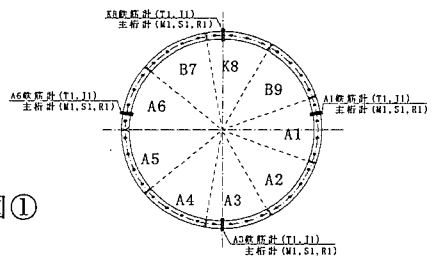


図-4.58　第４工区計測断面(234R)　縦リブ応力の経時変化図②





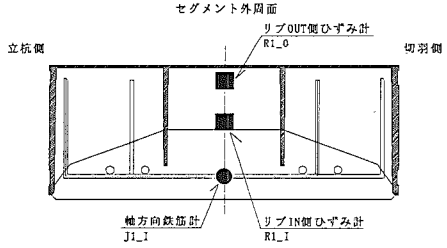
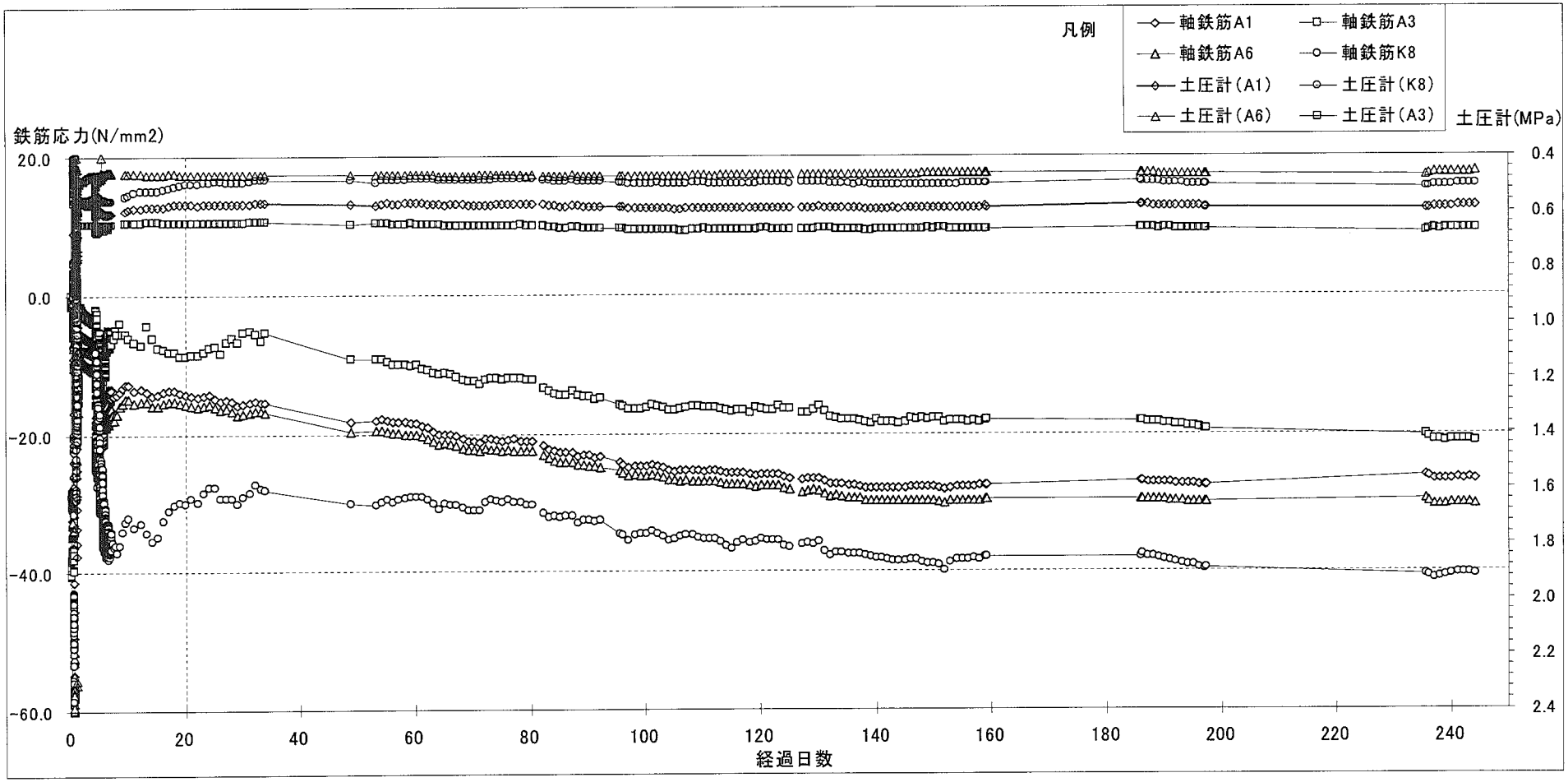
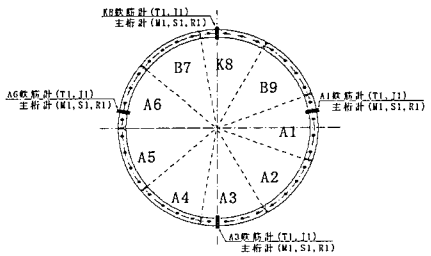


図-4.59　第４工区計測断面(234R)　配力鉄筋応力の経時変化図①





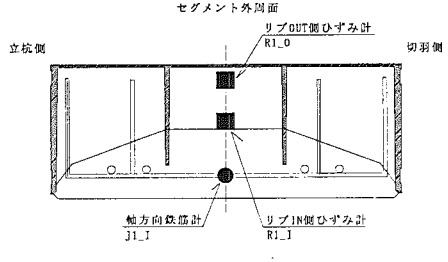
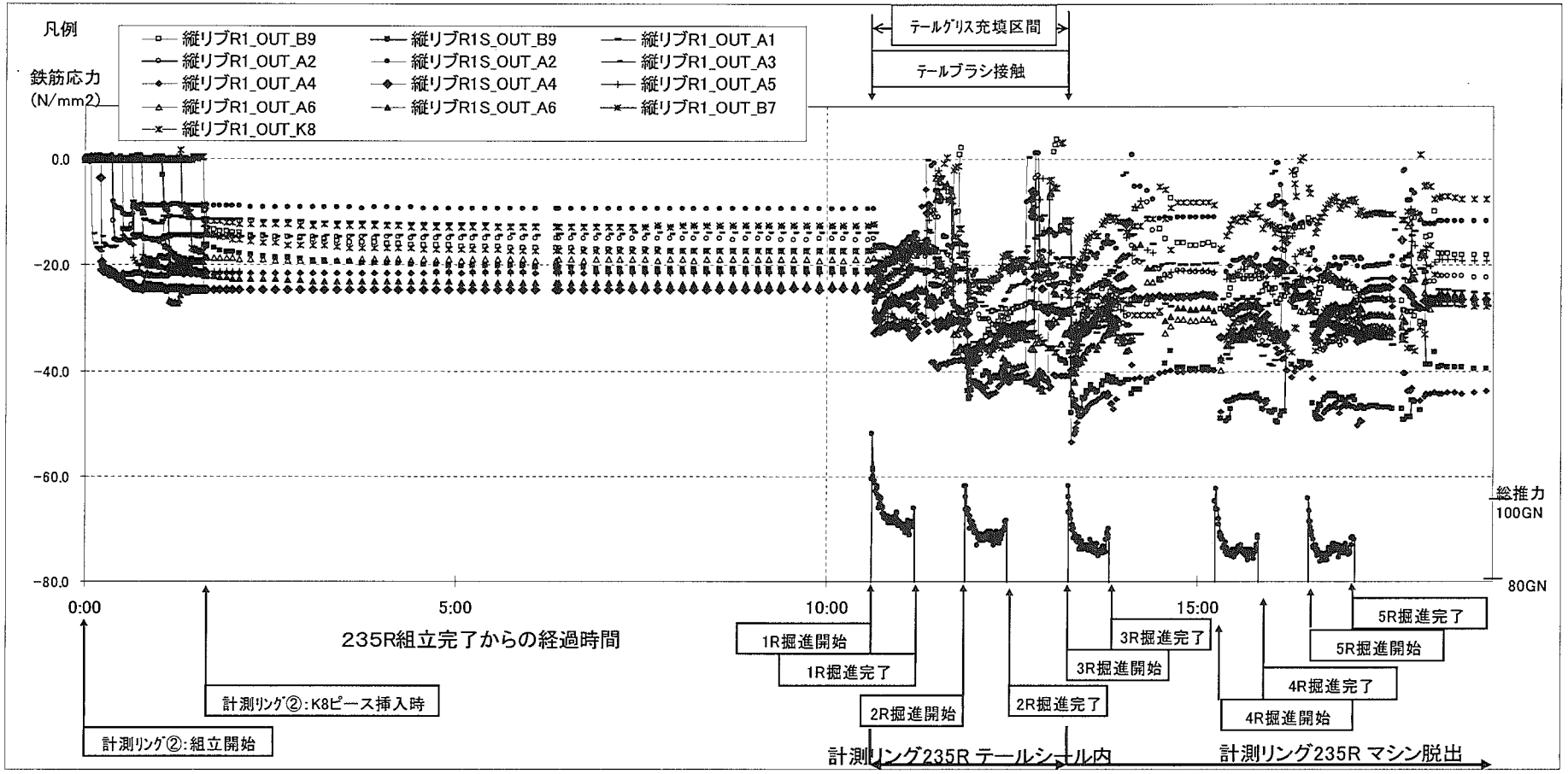
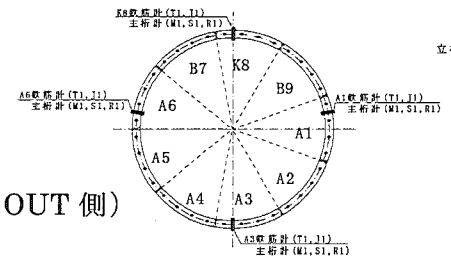


図-4.60　第４工区計測断面(234R)　配力鉄筋応力の経時変化図②





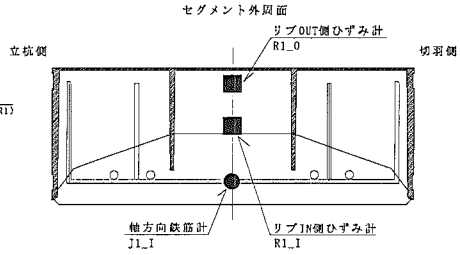
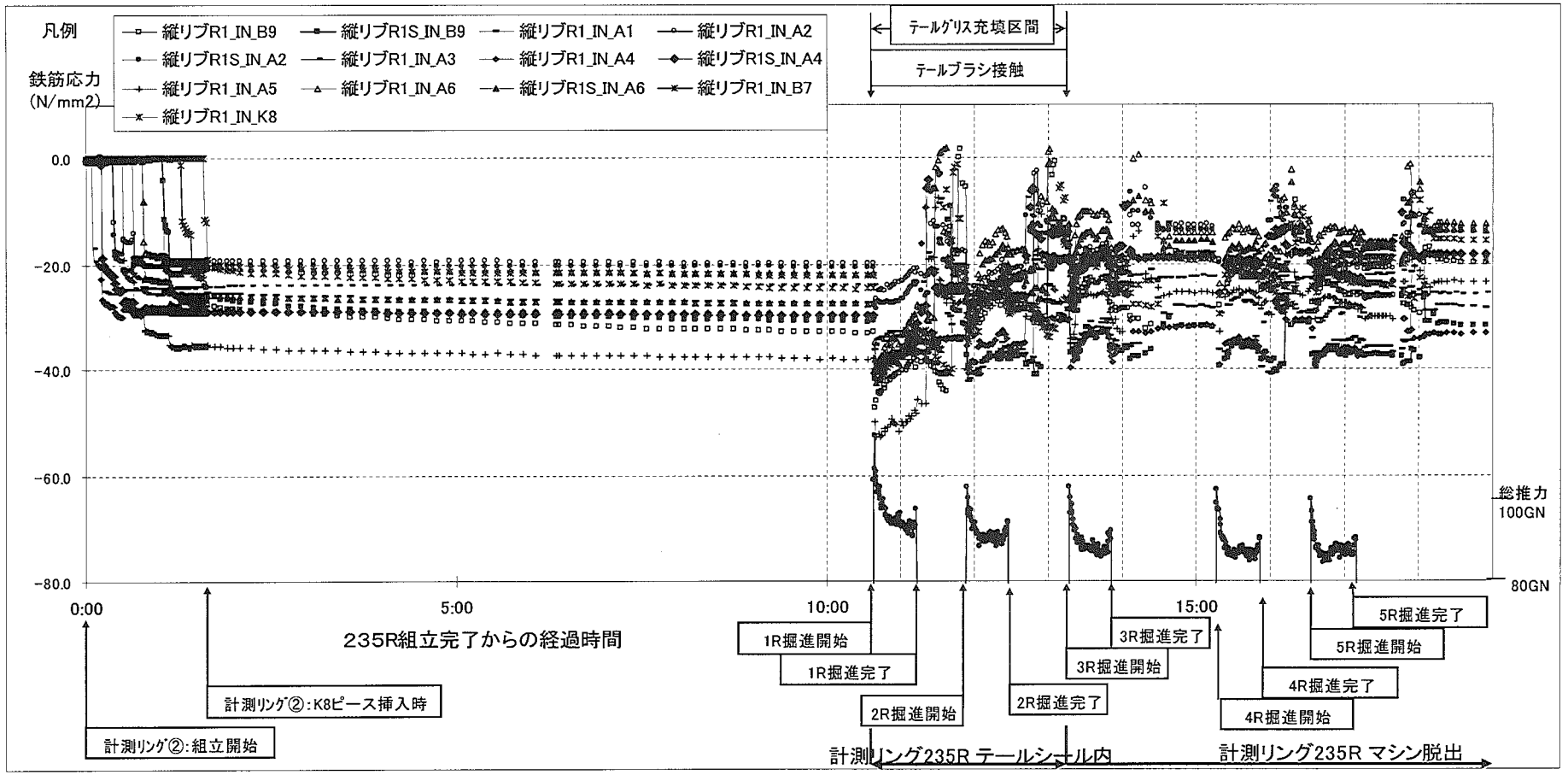
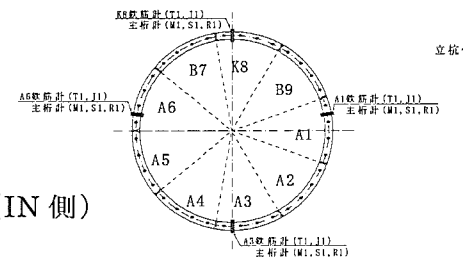


図-4.61　第４工区計測断面(235R)　縦リブ応力の短期経時変化図①：(OUT 側)





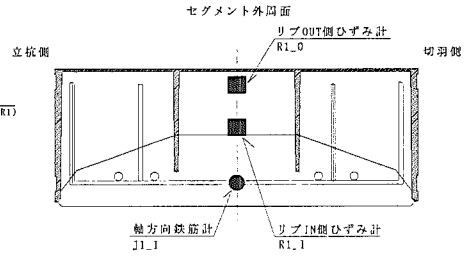
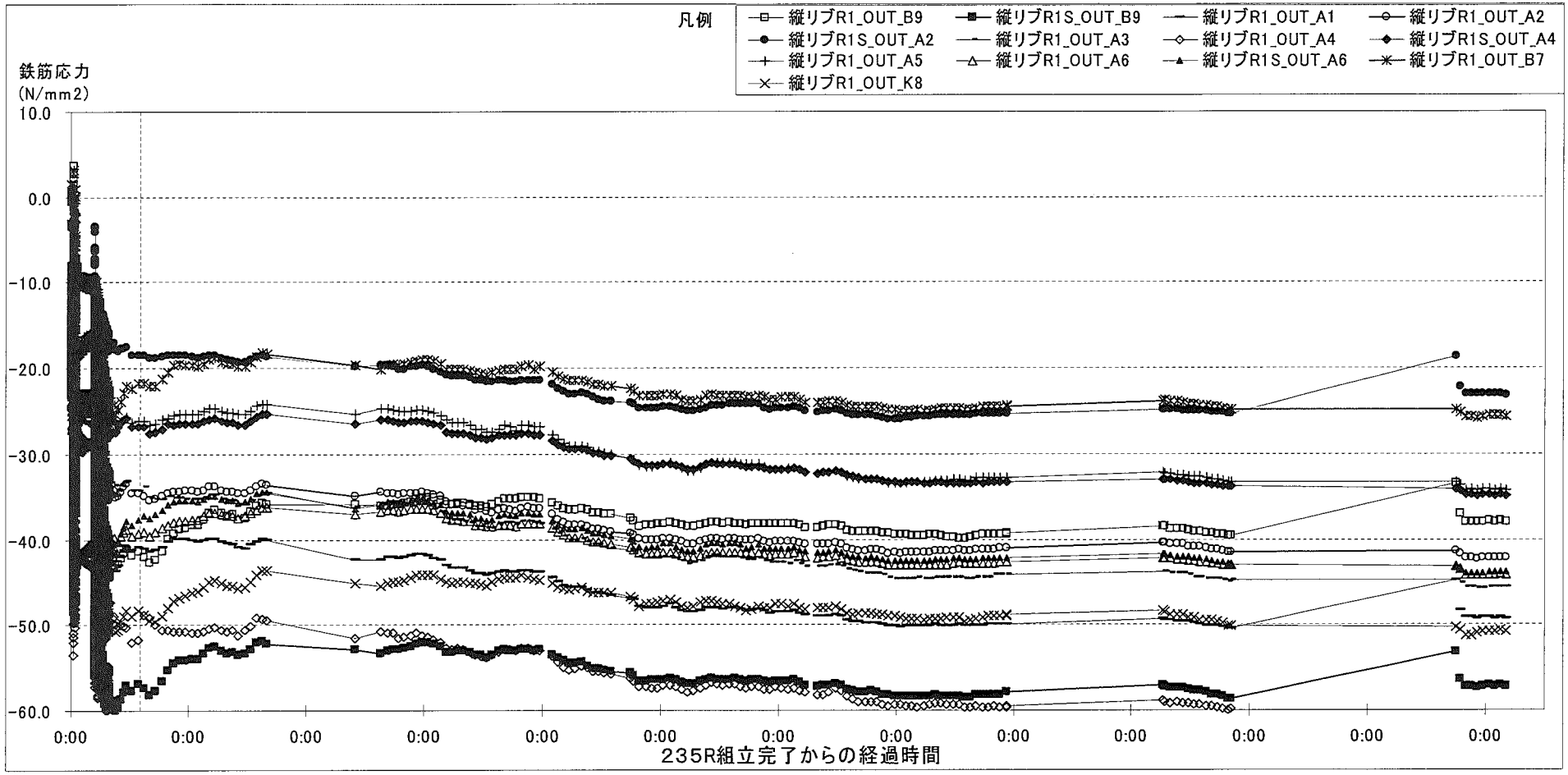
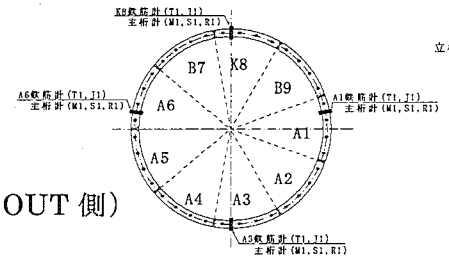


図-4.62　第４工区計測断面(235R)　縦リブ応力の短期経時変化図②：(IN 側)





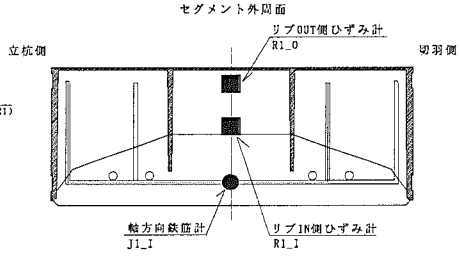
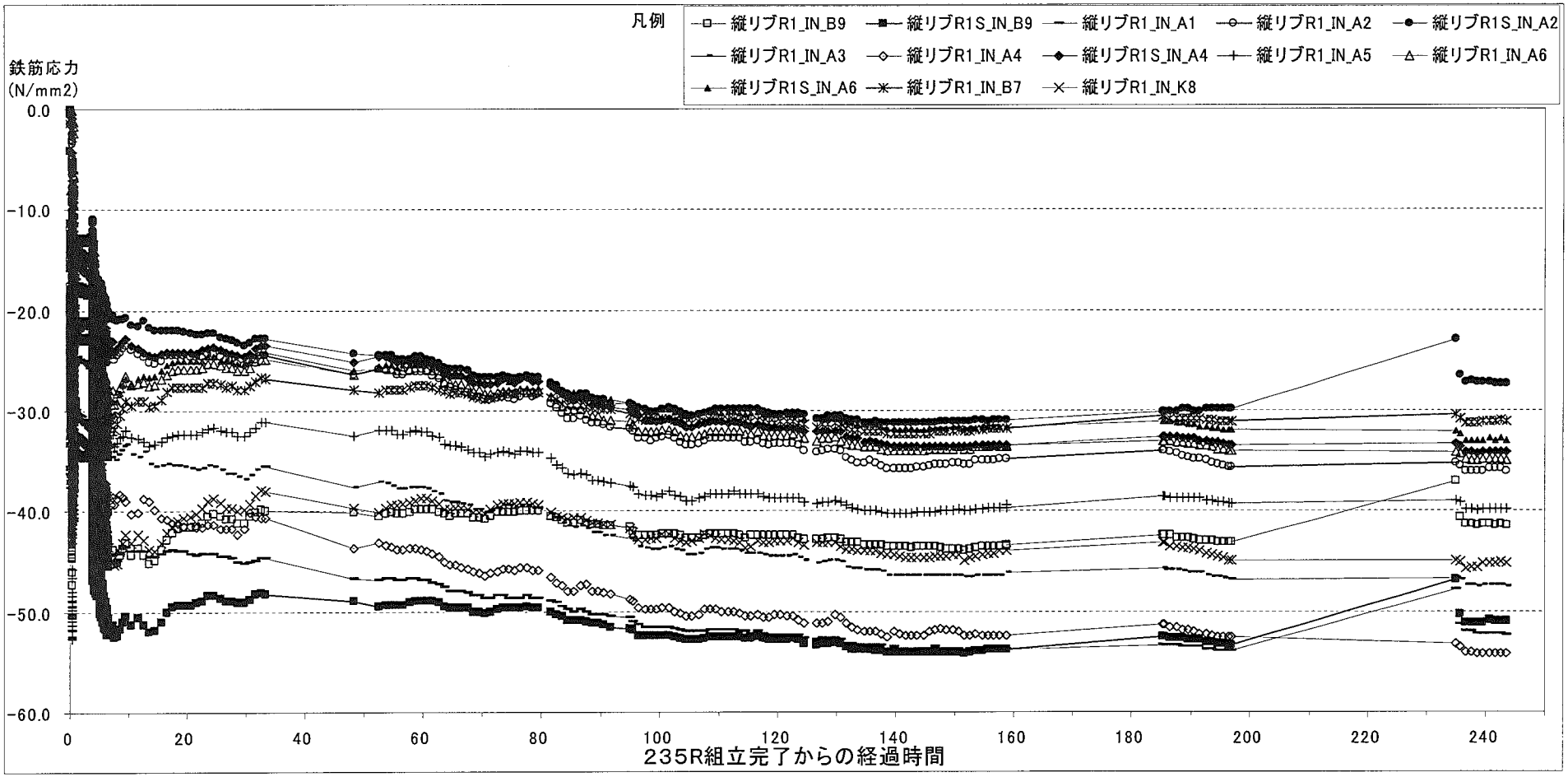
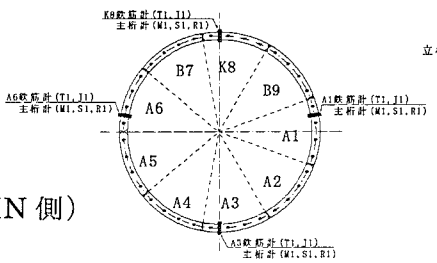


図-4.63　第４工区計測断面(235R)　縦リブ応力の長期経時変化図①：(OUT 側)





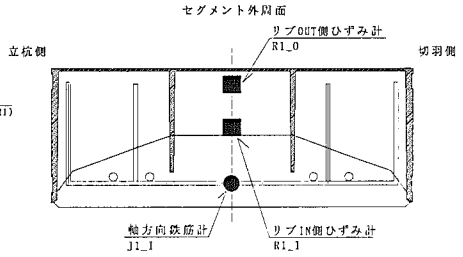
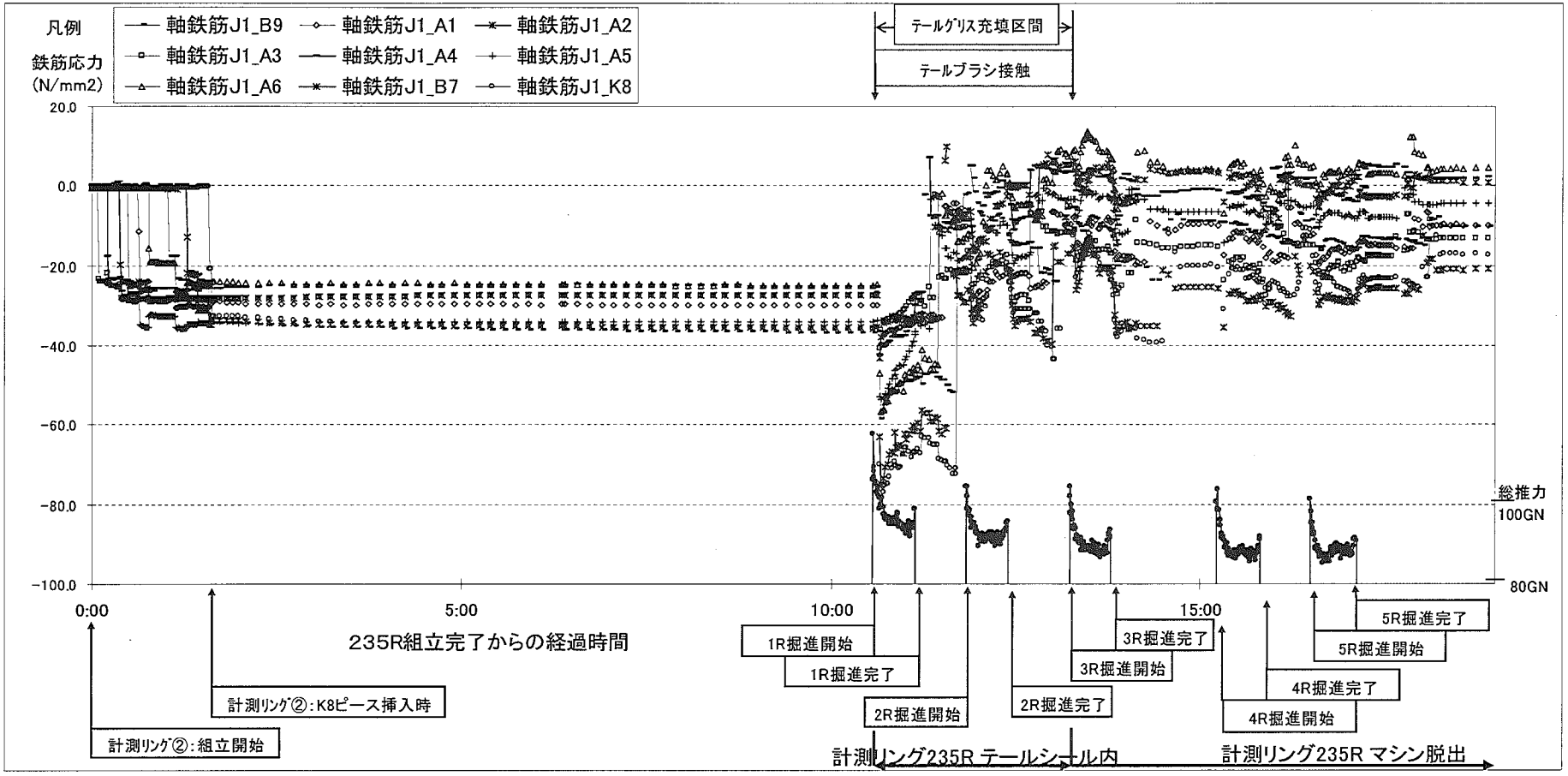
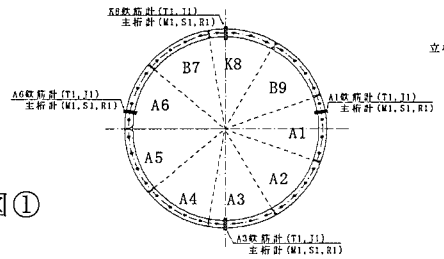


図-4.64　第４工区計測断面(235R)　縦リブ応力の長期経時変化図②：(IN 側)





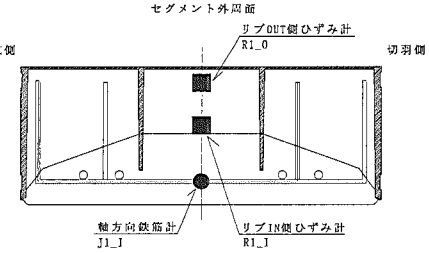


図-4.65　第４工区計測断面(235R)　配力鉄筋応力の短期経時変化図①

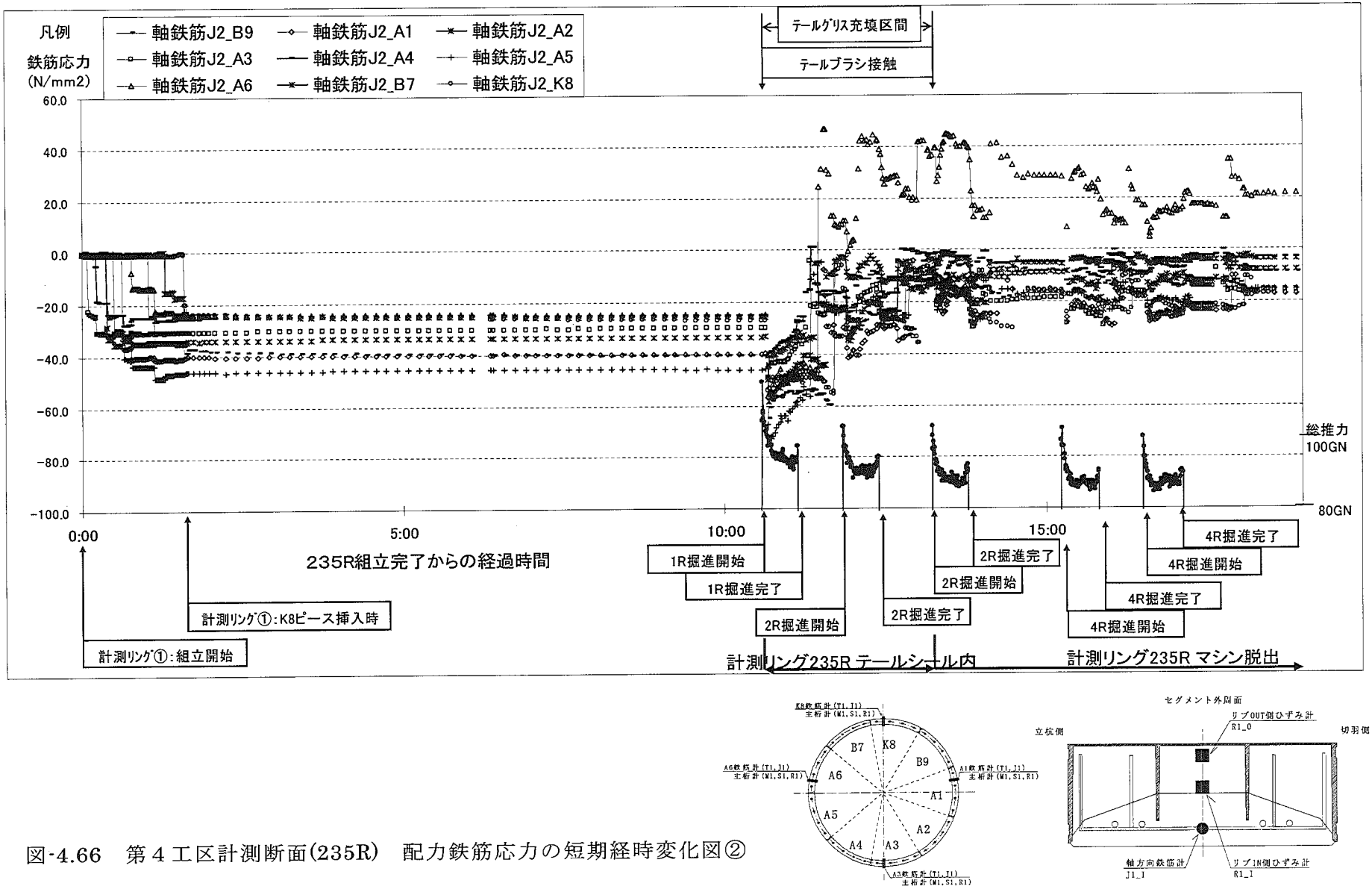
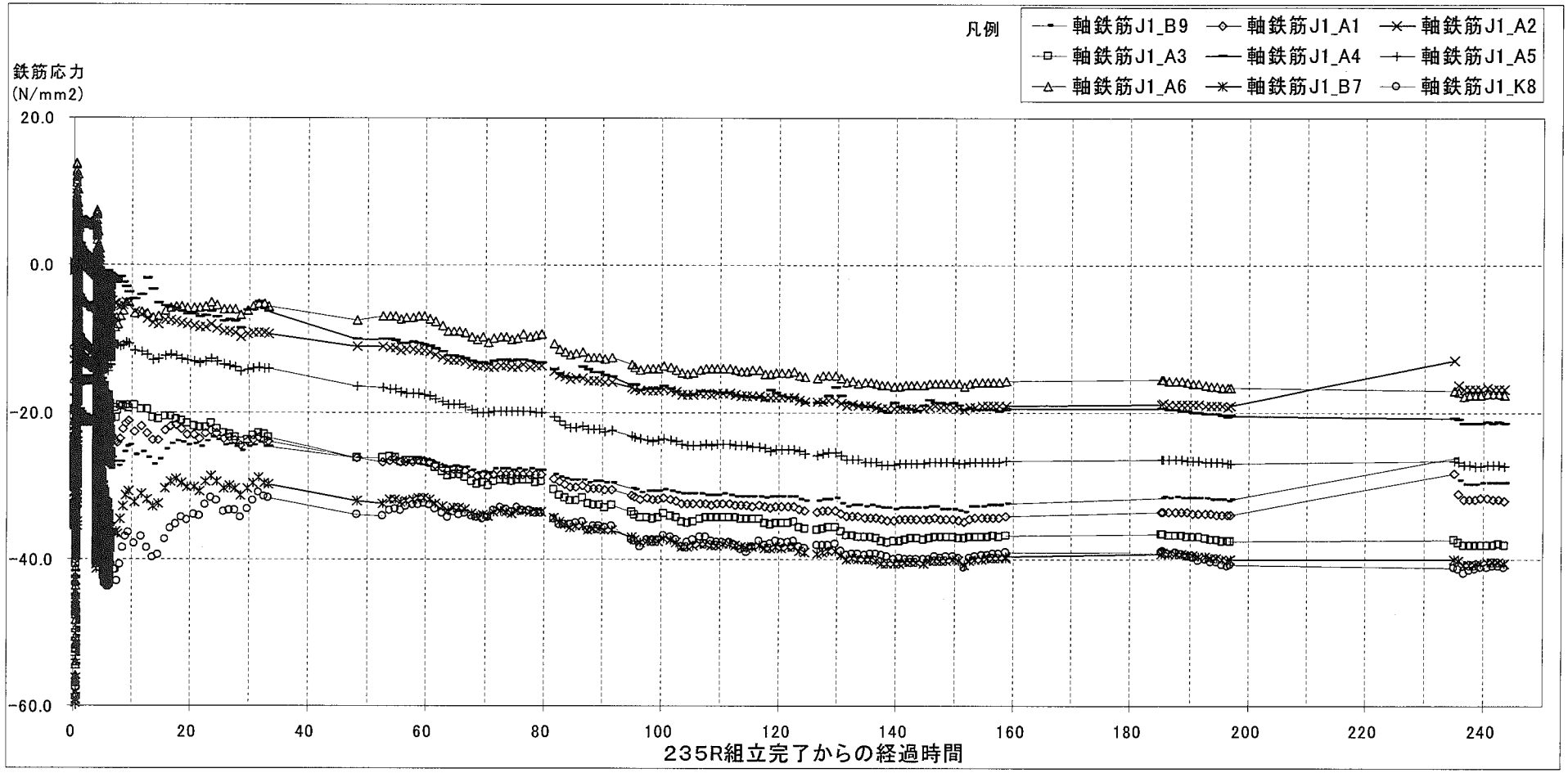
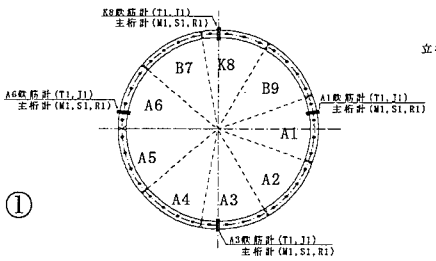


図-4.66　第４工区計測断面(235R)　配力鉄筋応力の短期経時変化図②





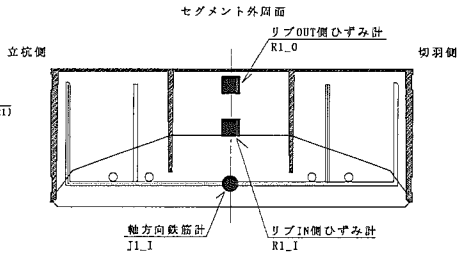
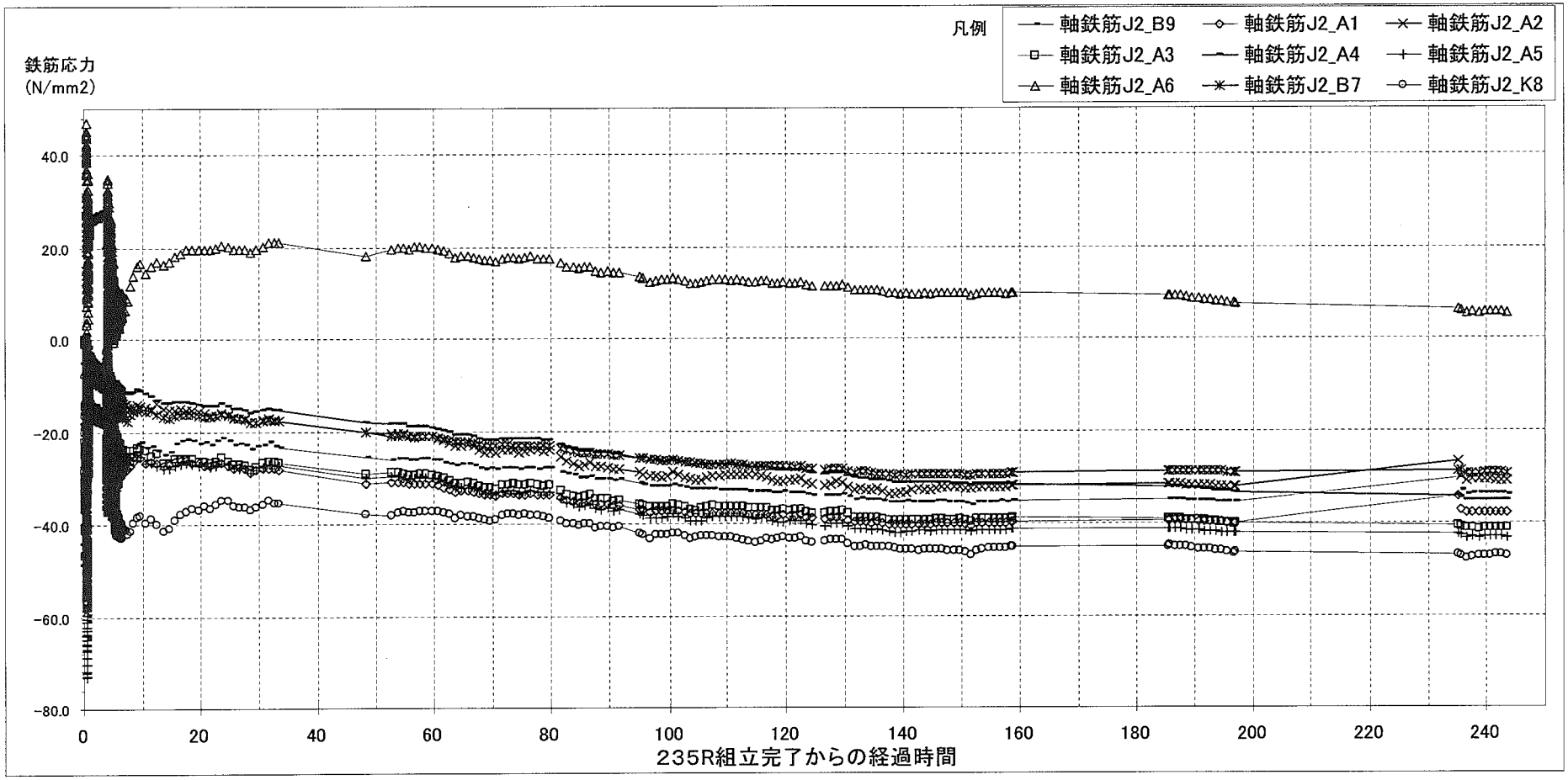
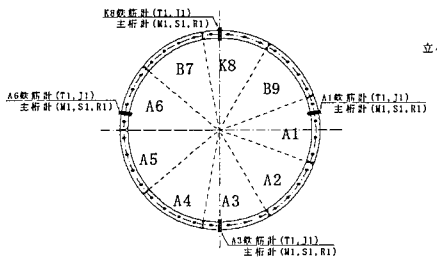


図-4.67　第４工区計測断面(235R)　配力鉄筋応力の長期経時変化図①





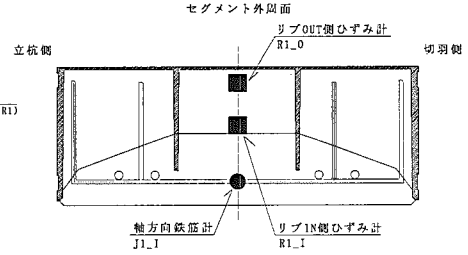


図-4.68　第４工区計測断面(235R)　配力鉄筋応力の長期経時変化図②

4.4 覆工体に発生する断面力

図-4.69 にセグメントの断面形状図を示す。覆工本体に発生する断面力は、覆工本体に発生する主桁応力度と主鉄筋応力度から逆算して算出した。断面力算出にあたり、圧縮域はダクタイル鋳鉄と鉄筋とコンクリートで分担し、引張域はコンクリートの引張強度を無視してダクタイル鋳鉄と鉄筋で分担する断面で応力度算定を実施した。ただし、以下の点で RC 理論に修正を加えた。①ダクタイル主桁は中立軸を境に圧縮から引張へ変化する構造であるため、中立軸の位置によって、圧縮域および引張域の部材の断面積を変化させる計算を行った。②コンクリート断面に対する鋼材量が多く、内側と外側では断面性能が異なるため、核内作用の限界を「桁高の 1/6 以内」と設定せずに理論による核内・核外作用の判定を採用した。③コンクリート断面は鋼材比が大きいため、鋼材による欠損を考慮した。

セグメント厚さ	h=0.465m
セグメント幅	B=1.2m
断面二次モーメント	$I=0.0091125m^4$
断面積	$A=0.54\ m^2$

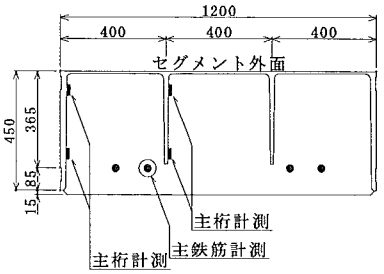


図-4.69 セグメントの断面形状

4.4.1 曲げモーメント

主桁と主鉄筋の測定値より算出した主要時期の曲げモーメント一覧表を表-4.18、巻末資料 5 の表-4.8 に、組立時から測定終了までの経時変化図を図-4.70～図-4.73 に、主要時期の断面力分布図を図-4.74～図-4.85 に示す。曲げモーメントの経時変化は組立完了前後の変動が最も大きく、その数リング後には安定し、大きな変動は見られない。また、組立時に発生した断面力形状は計測完了時まで保持されている。

4.4.2 軸力

主桁と主鉄筋の測定値より算出した主要時期の軸力一覧表を表-4.19、巻末資料 5 の表-4.9 に、組立時から測定完了までの経時変化図を図-4.86～図-4.89 に、主要時期の断面力分布図を図-4.90～図-4.101 に示す。

鉄筋計が安定している組立後約 240 日時点での軸力は 5.6MN～8.1MN 程度である。K 8 セグメントに隣接するセグメント部において最大値と最小値が記録されており、その他のセグメントにおいては 6.2N～7.5MN 程度となっており、比較的安定した軸力となっており、異常値は見られない。

4.4.3 セグメント組立時の断面力

主桁と主鉄筋の測定値より算出した２３５Ｒの組立時曲げモーメントを図-4.102～図-4.111に示す。２３５Ｒの各セグメントピース組立時において、覆工部材には断面力が発生しており、組立完了まで断面力の変動が続いている。

表-4.18　第４工区計測断面（234R）　円周方向の曲げモーメント算出結果一覧表

外郭方水路第4工区　234R曲げモーメント計測結果

日付 (2002年)	経過日数	状態	NO.1リング(234R)			
			K8	A1	A3	A6
			0度	80度	180度	280度
1/11 3:22	0.00	234R組立直後	-125.1	5.8	153.3	161.9
1/11 11:03	0.54	235R組立完成前	127.1	31.0	104.8	130.9
1/11 11:24	0.55	235R組立直後	39.8	26.2	106.7	169.7
1/11 21:39	0.98	236R組立直後	33.0	67.9	94.1	66.9
1/11 23:03	1.04	234Rテール脱出	7.8	105.7	102.8	108.6
1/12 0:52	1.11	235Rテール脱出	14.5	135.8	101.8	140.6
1/12 2:19	1.17	235R組立完了時から4R経過	14.5	169.7	113.5	141.6
1/15 8:31	4.43	235R組立完了時から5R経過	-7.8	161.0	78.6	124.2
1/15 9:51	4.49	235R組立完了時から6R経過	19.4	157.1	63.0	111.5
1/15 11:09	4.54	235R組立完了時から7R経過	23.3	151.3	67.9	100.9
1/15 12:24	4.59	235R組立完了時から8R経過	24.2	143.6	61.1	96.0
1/15 13:44	4.65	235R組立完了時から9R経過	17.5	146.5	67.9	101.8
1/15 14:58	4.70	235R組立完了時から10R経過	36.9	146.5	70.8	103.8
1/16 11:04	5.54	235R組立完了から5日後	9.7	118.3	98.9	76.6
1/21 11:04	10.54	235R組立完了から10日後	19.4	135.8	123.2	72.7
1/31 12:00	20.58	235R組立完了から20日後	34.9	128.0	117.4	65.0
3/12 13:00	60.62	235R組立完了から60日後	59.2	125.1	133.9	67.9
4/11 13:00	90.62	235R組立完了から90日後	67.9	116.4	122.2	60.1
5/11 12:00	120.58	235R組立完了から120日後	76.6	117.4	127.1	59.2
9/8 13:00	240.62	235R組立完了から240日後	105.7	98.9	132.9	47.5

単位：kN・m

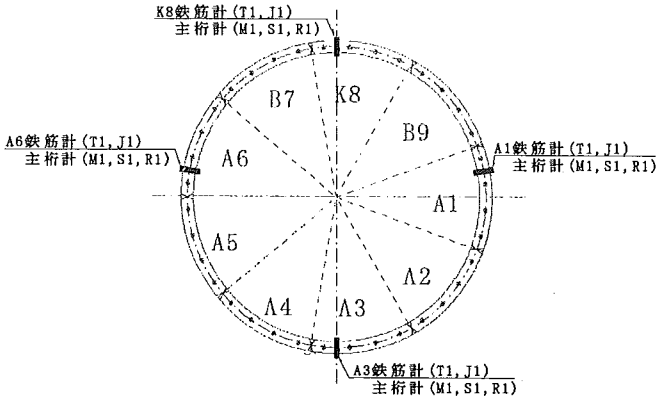
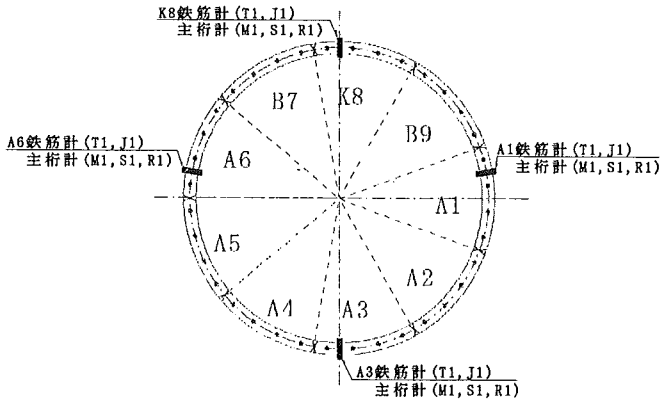


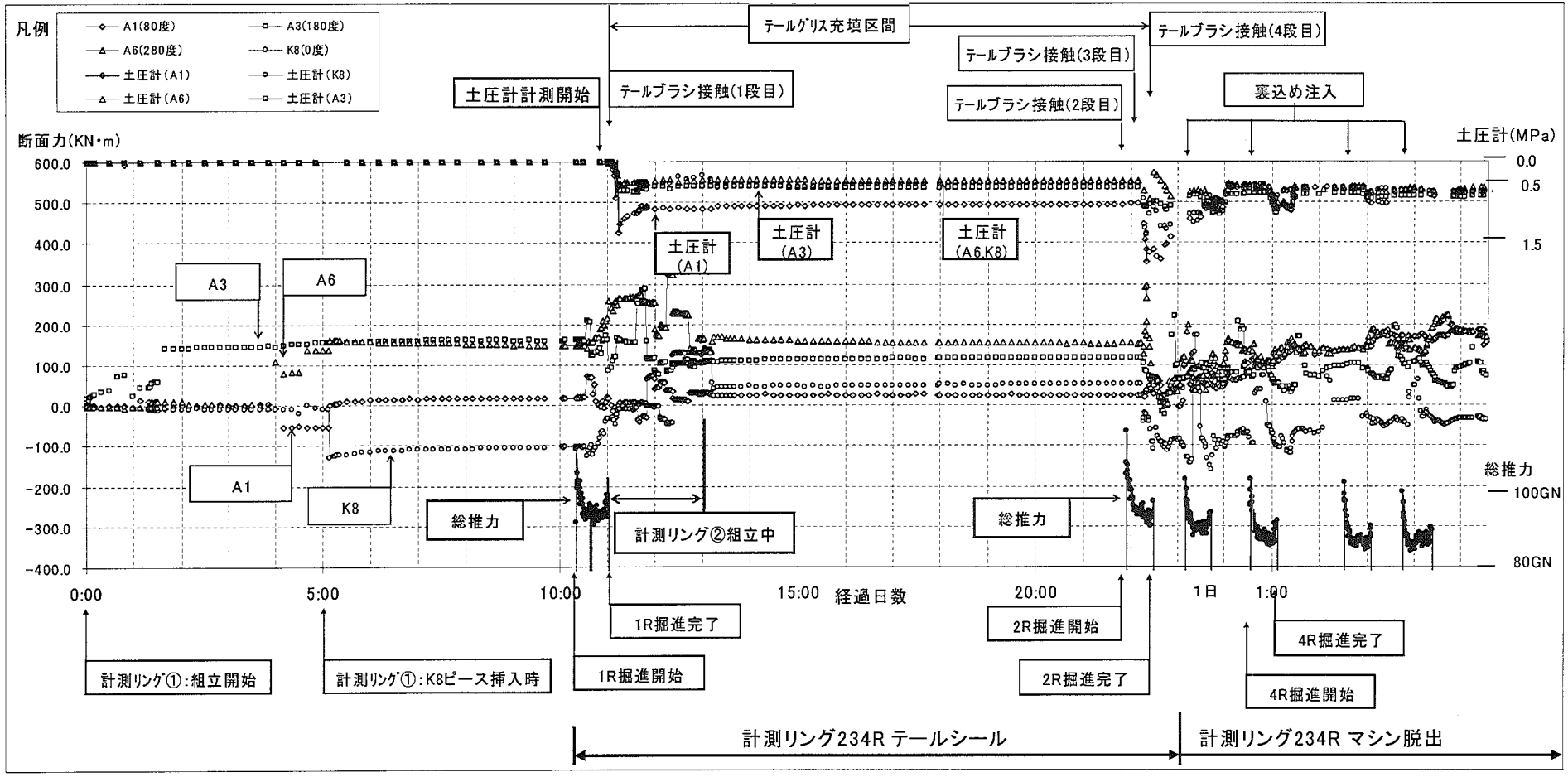
表-4.19　第４工区計測断面（234R）　円周方向の軸力算出結果一覧表

外郭方水路第4工区　234R軸力計測結果

日付 (2002年)	経過日数	状態	NO.1リング(234R)			
			K8	A1	A3	A6
			0 度	80 度	180 度	280 度
1/11 3:22	0.00	234R組立直後	2513.4	51.2	-1276.2	1641.8
1/11 11:03	0.54	235R組立完成前	4952.2	1712.5	2574.1	2941.0
1/11 11:24	0.55	235R組立直後	4527.8	1677.6	2605.3	3403.0
1/11 21:39	0.98	236R組立直後	5407.1	3346.6	3649.0	4684.7
1/11 23:03	1.04	234Rテール脱出	4841.0	3148.4	3563.6	3968.6
1/12 0:52	1.11	235Rテール脱出	5175.6	3395.0	3677.0	3784.4
1/12 2:19	1.17	235R組立完了時から4R経過	5272.3	3746.8	4035.8	3864.4
1/15 8:31	4.43	235R組立完了時から5R経過	5483.4	4648.7	4560.0	3788.2
1/15 9:51	4.49	235R組立完了時から6R経過	5522.1	4597.1	4719.0	4069.1
1/15 11:09	4.54	235R組立完了時から7R経過	5627.4	4621.9	4668.0	4241.5
1/15 12:24	4.59	235R組立完了時から8R経過	5600.0	4658.4	4859.8	4292.5
1/15 13:44	4.65	235R組立完了時から9R経過	5576.9	4672.9	4796.9	4493.4
1/15 14:58	4.70	235R組立完了時から10R経過	5802.5	4737.3	4951.1	4685.8
1/16 11:04	5.54	235R組立完了から5日後	5473.7	5037.6	4940.9	4711.5
1/21 11:04	10.54	235R組立完了から10日後	5694.0	5296.5	5094.0	4982.3
1/31 12:00	20.58	235R組立完了から20日後	6018.4	5494.2	5408.8	5244.4
3/12 13:00	60.62	235R組立完了から60日後	6472.4	5952.4	5931.5	5656.4
4/11 13:00	90.62	235R組立完了から90日後	6634.0	6231.2	6260.2	5875.6
5/11 12:00	120.58	235R組立完了から120日後	6785.0	6429.4	6477.8	6031.9
9/8 13:00	240.62	235R組立完了から240日後	6951.5	6724.3	6829.1	6221.0

単位：kN・m





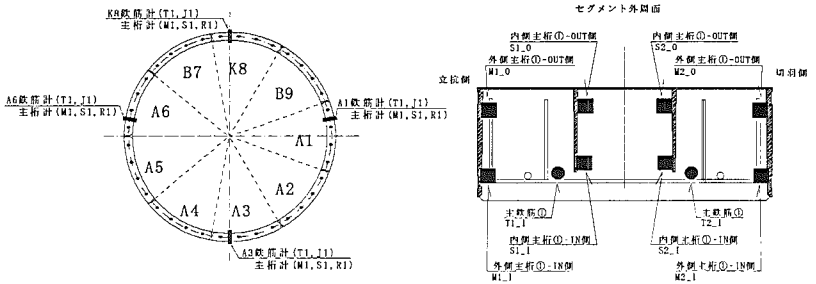
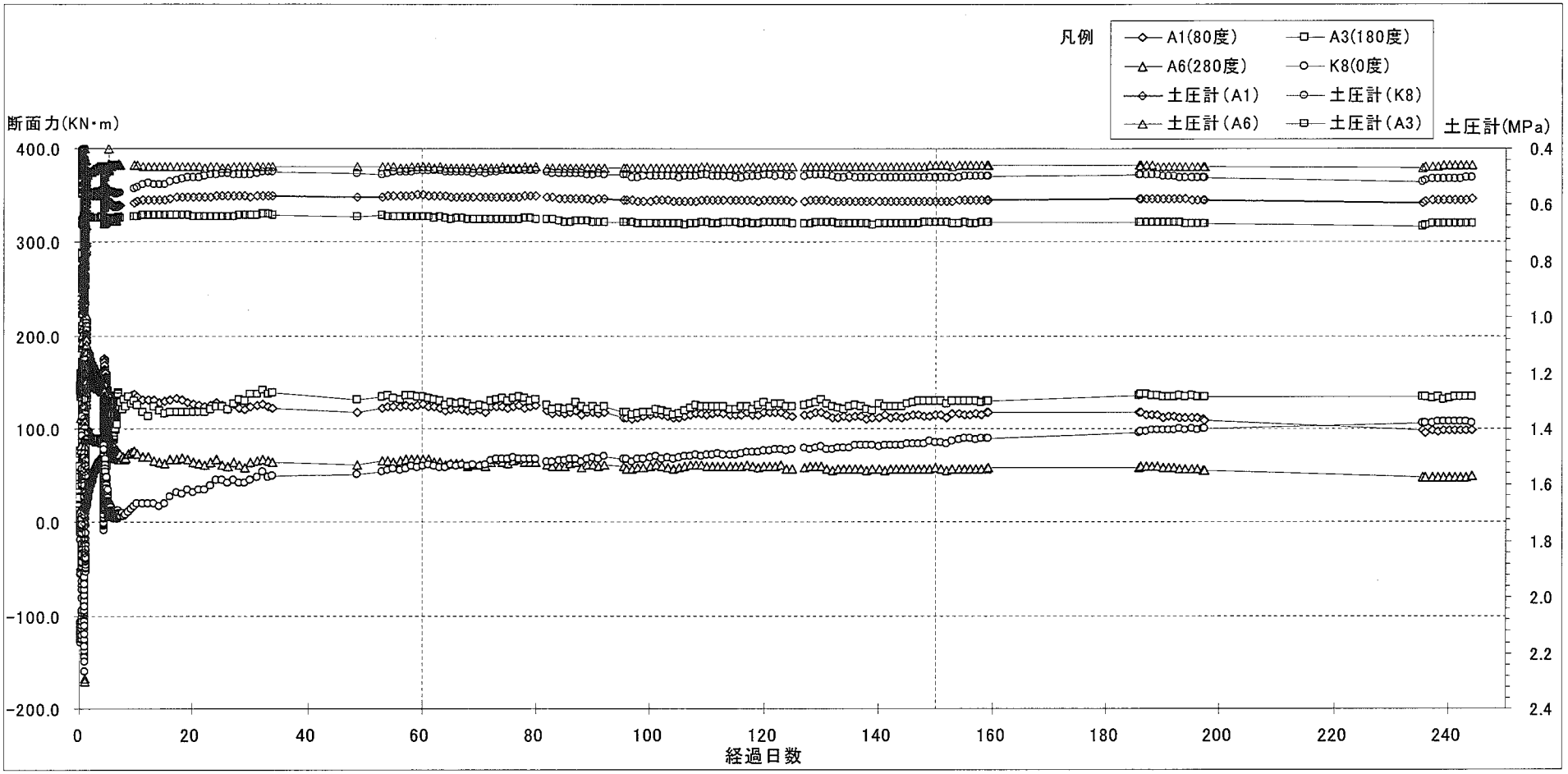
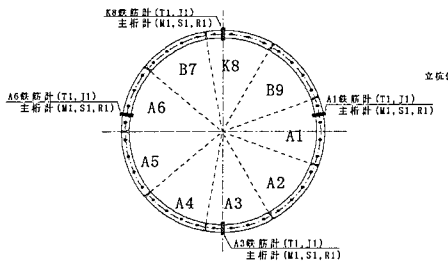


図-4.70　第４工区計測断面（234R）　曲げモーメントの短期経時変化図





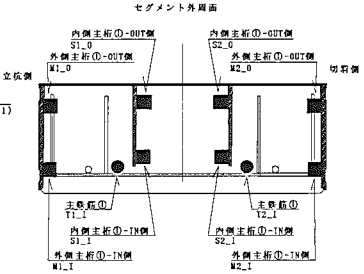
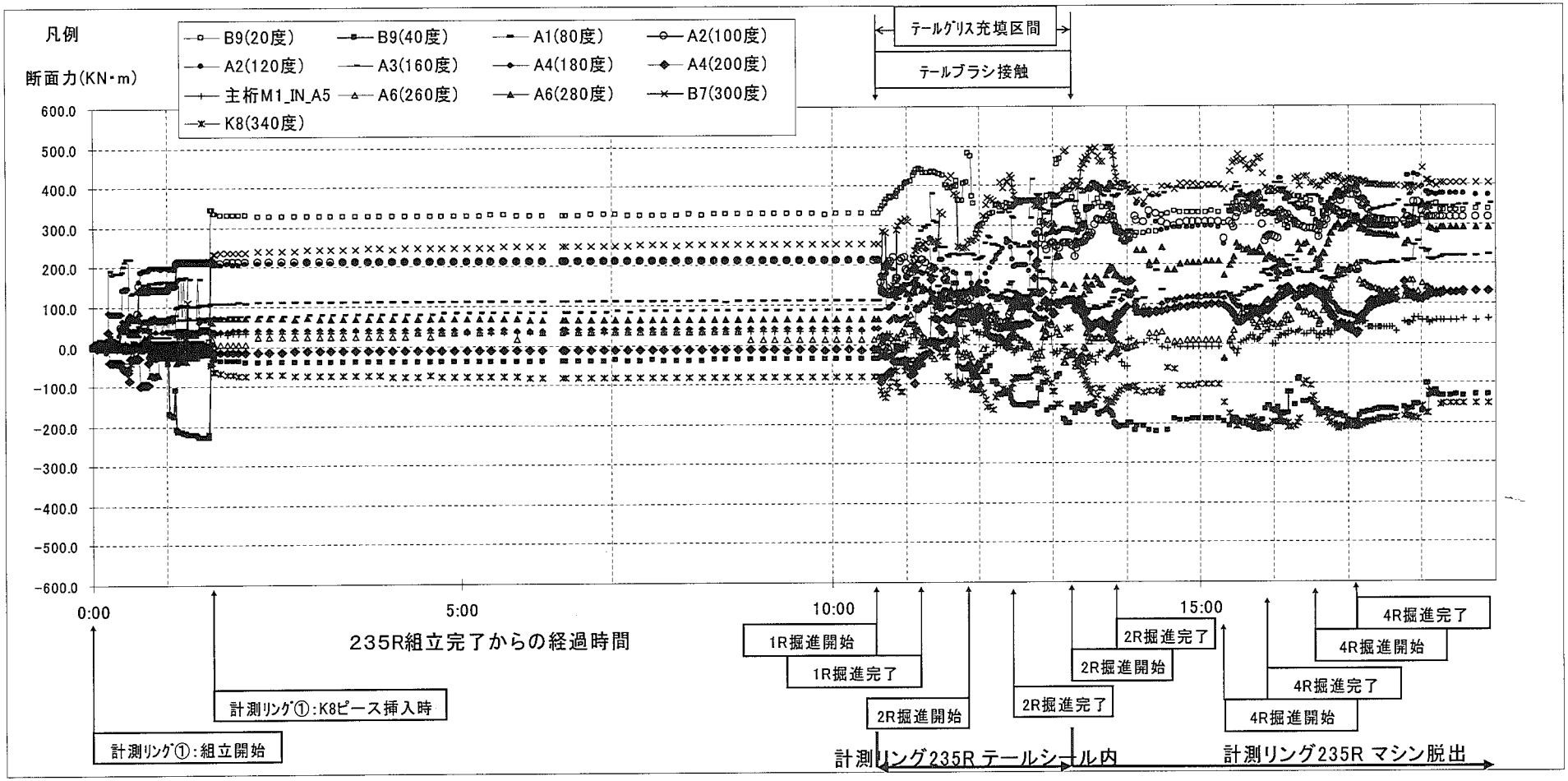
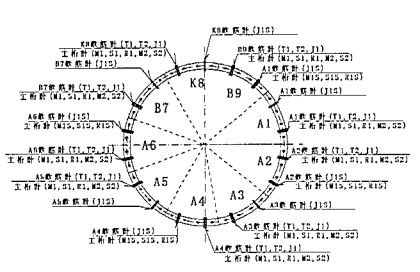


図-4.71　第４工区計測断面（234R）　曲げモーメントの長期経時変化図





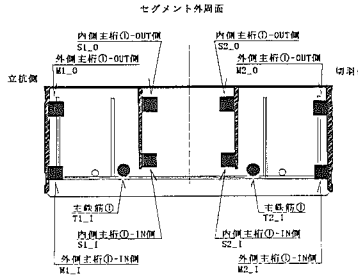
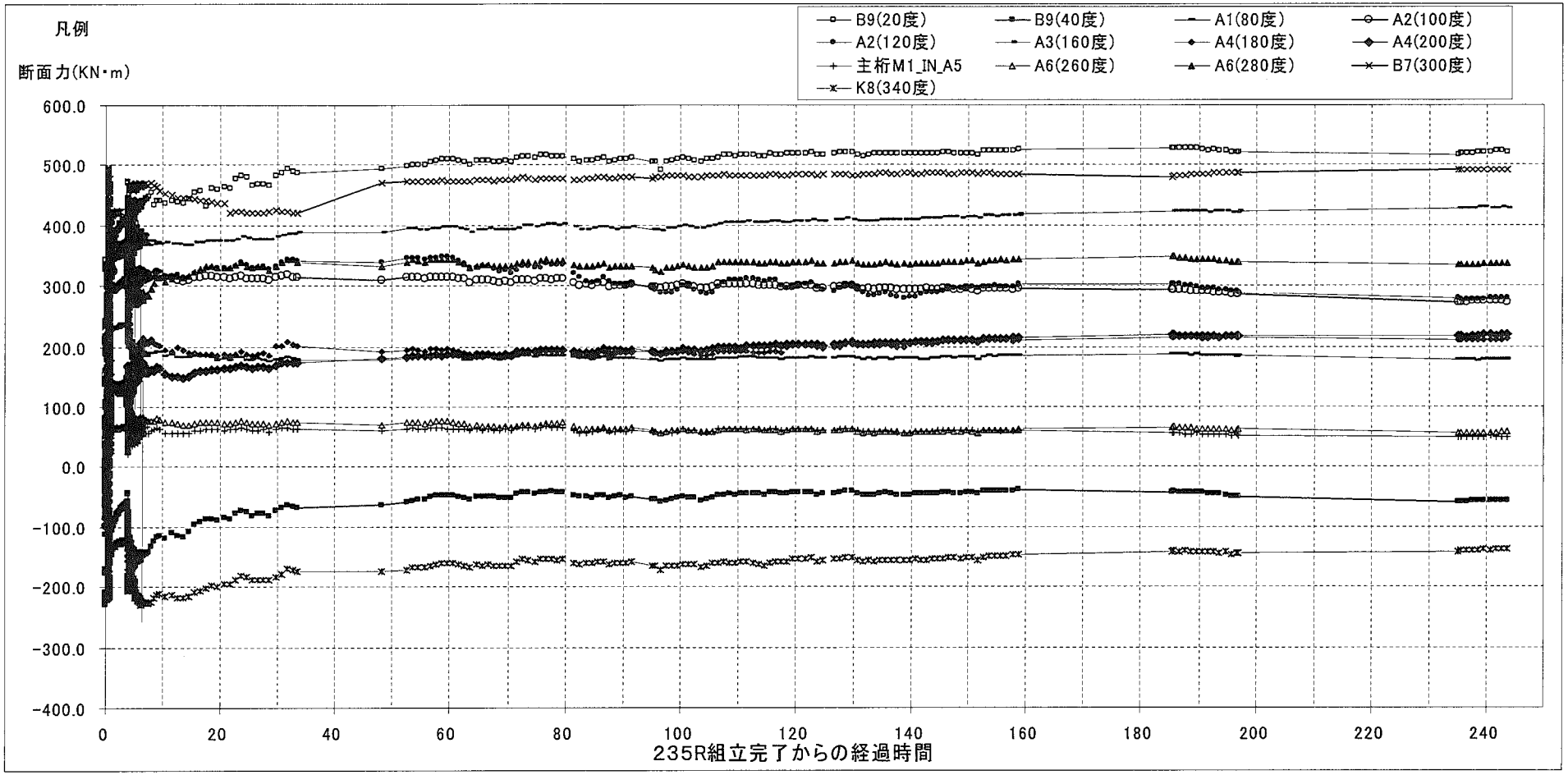
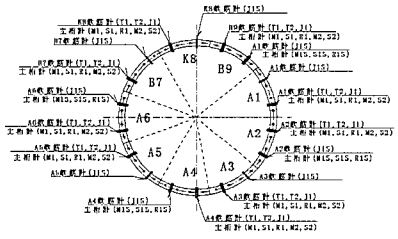


図-4.72　第４工区計測断面（235R）　曲げモーメントの短期経時変化図





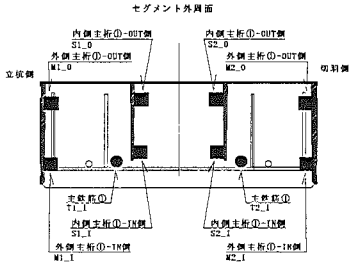


図-4.73　第４工区計測断面（235R）　曲げモーメントの長期経時変化図

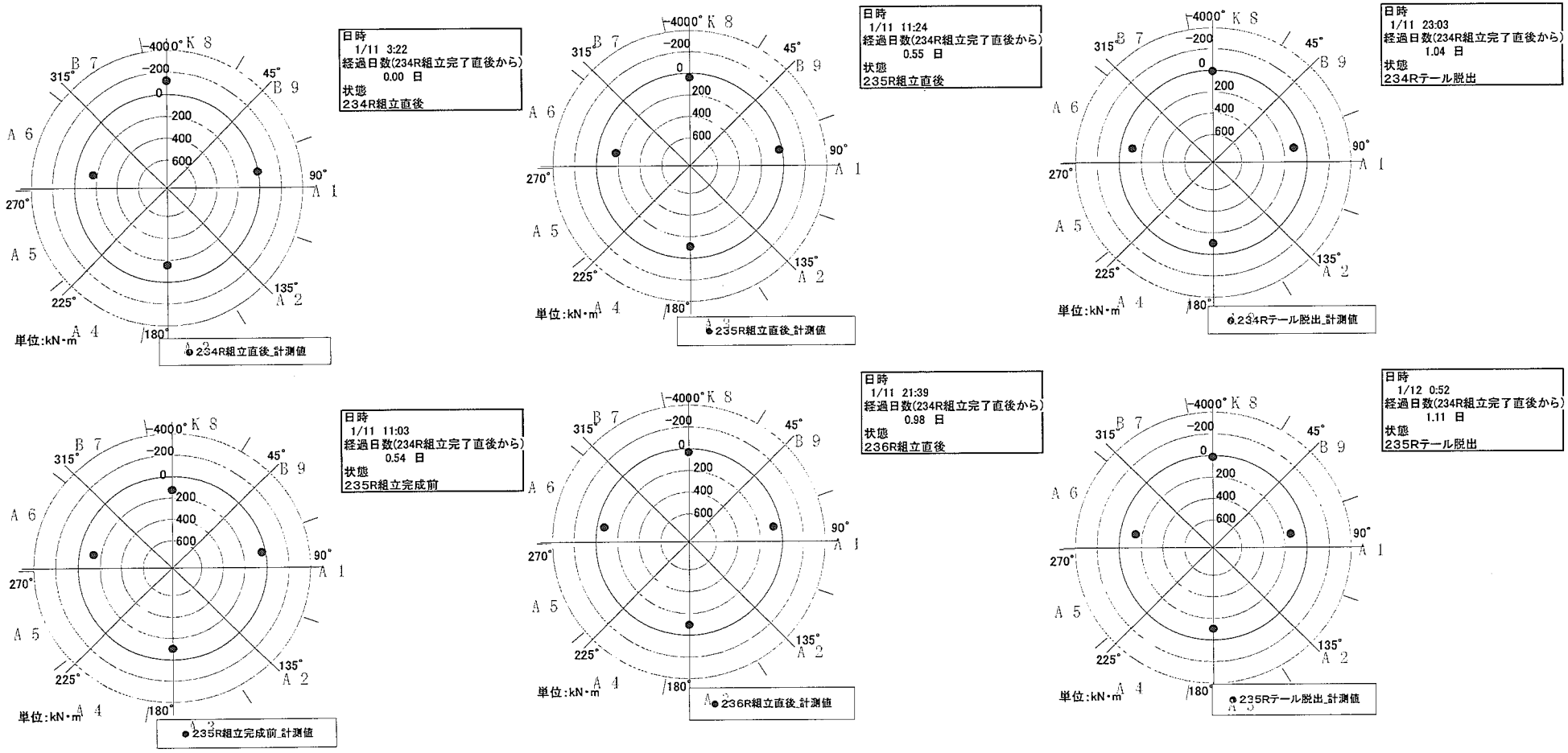


図-4.74　第４工区計測断面（234R）　円周方向曲げモーメントの断面分布図①

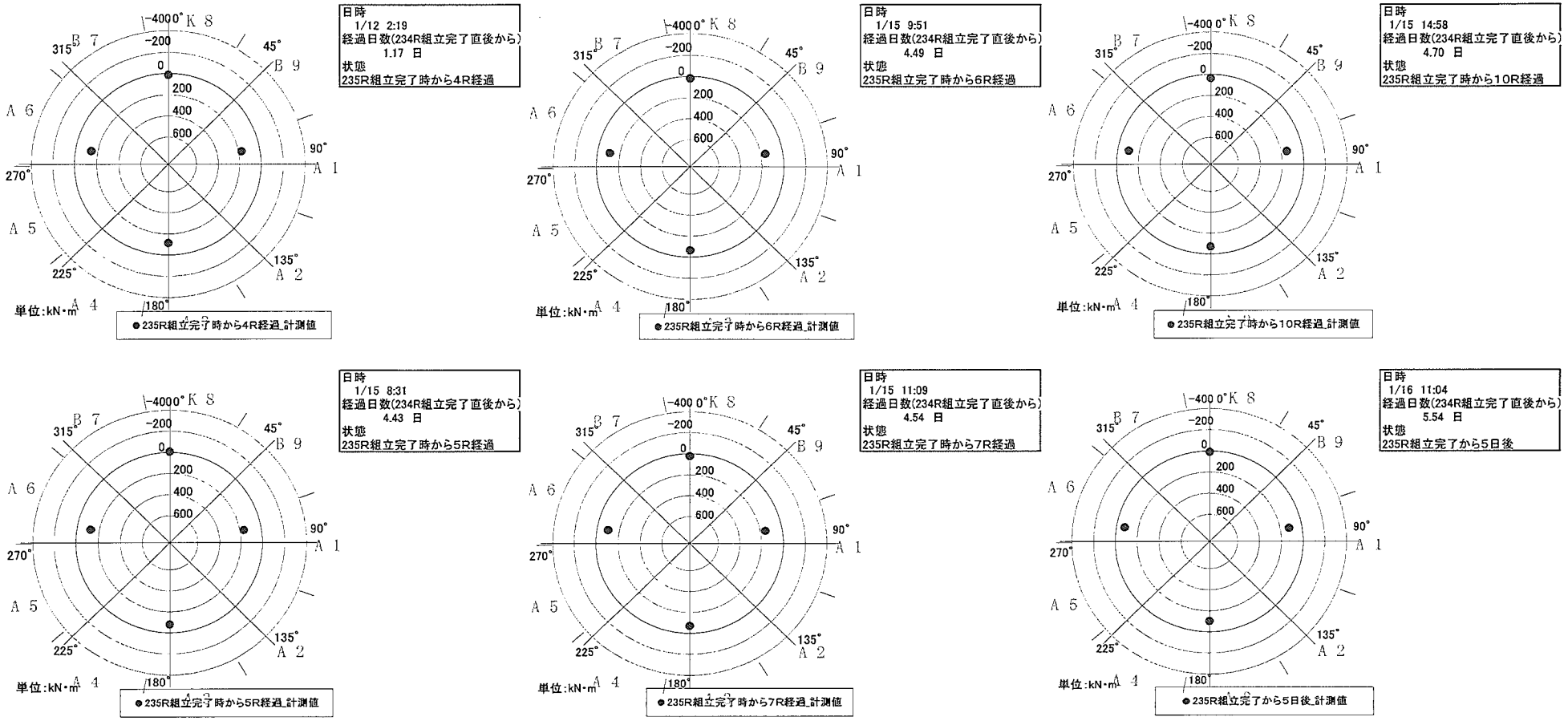


図-4.75　第４工区計測断面（234R）　円周方向曲げモーメントの断面分布図②

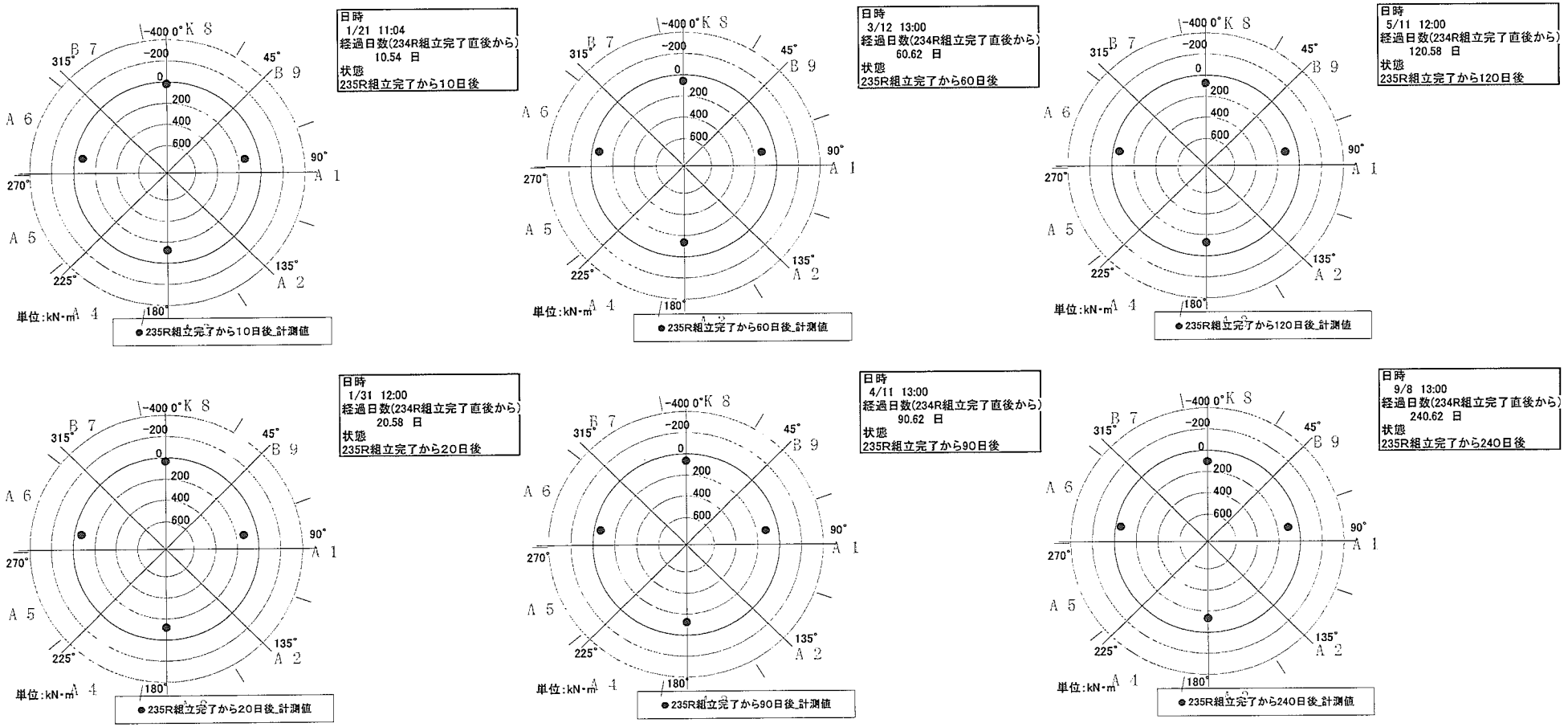


図-4.76　第４工区計測断面（234R）　円周方向曲げモーメントの断面分布図③

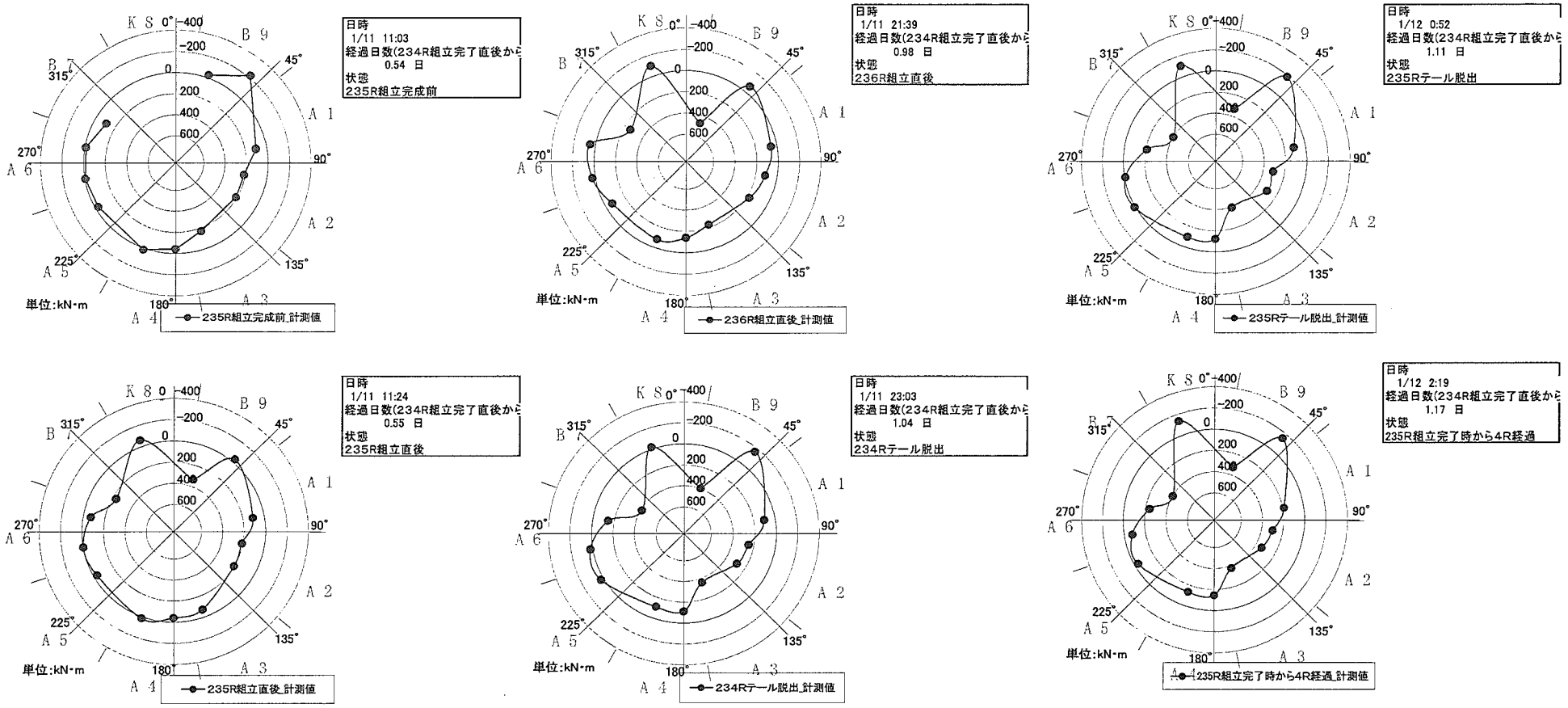


図-4.77　第４工区計測断面（235R）　円周方向曲げモーメントの断面分布図①

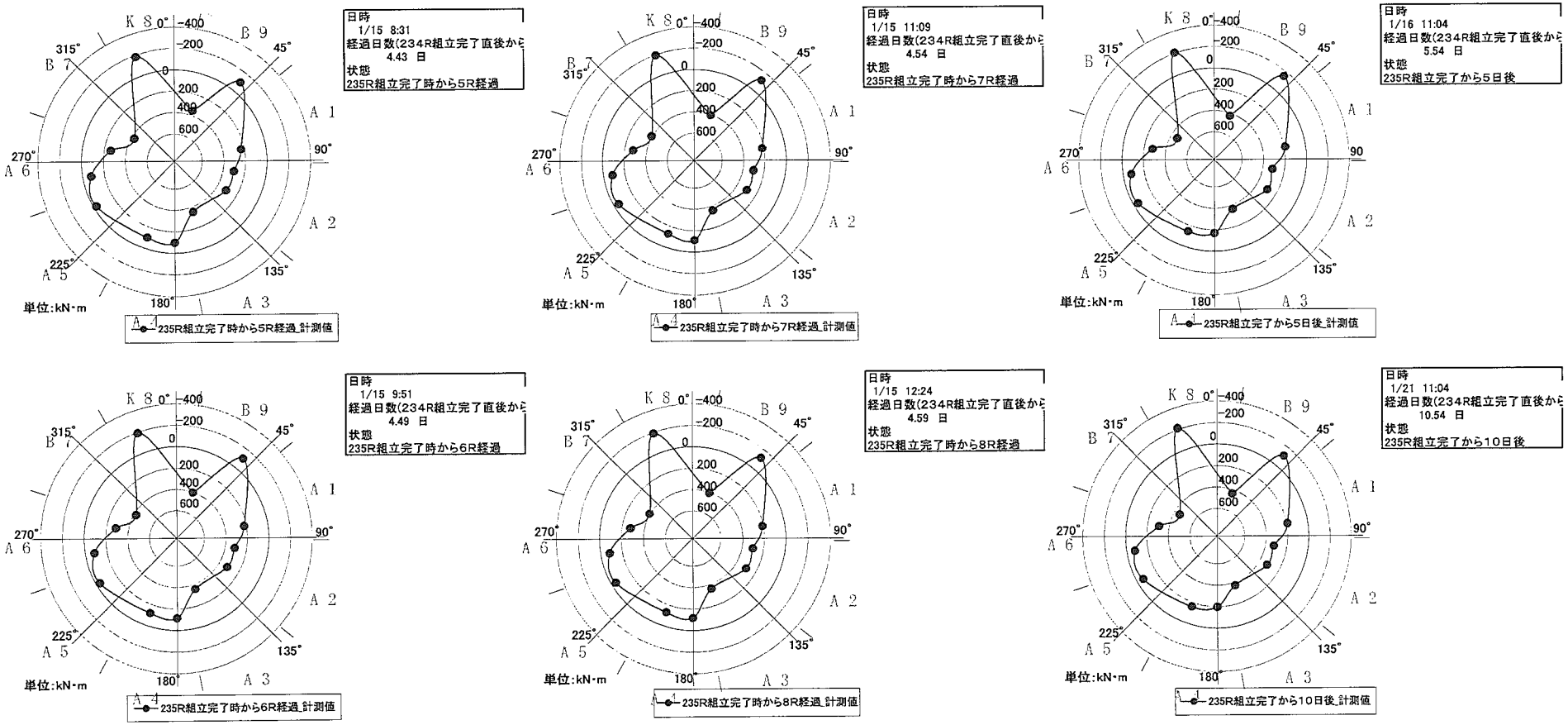


図-4.78　第４工区計測断面（235R）　円周方向曲げモーメントの断面分布図②

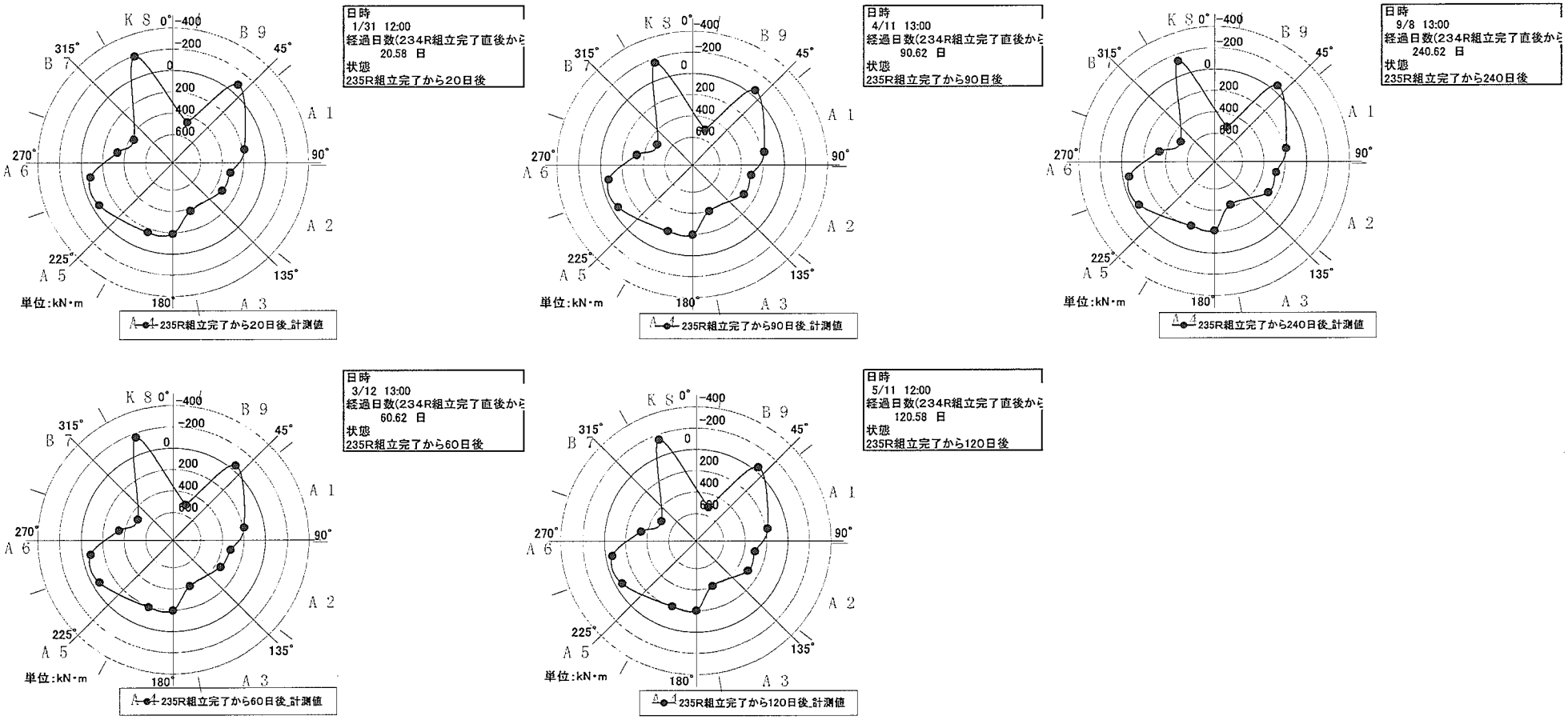


図-4.79　第４工区計測断面（235R）　円周方向曲げモーメントの断面分布図③

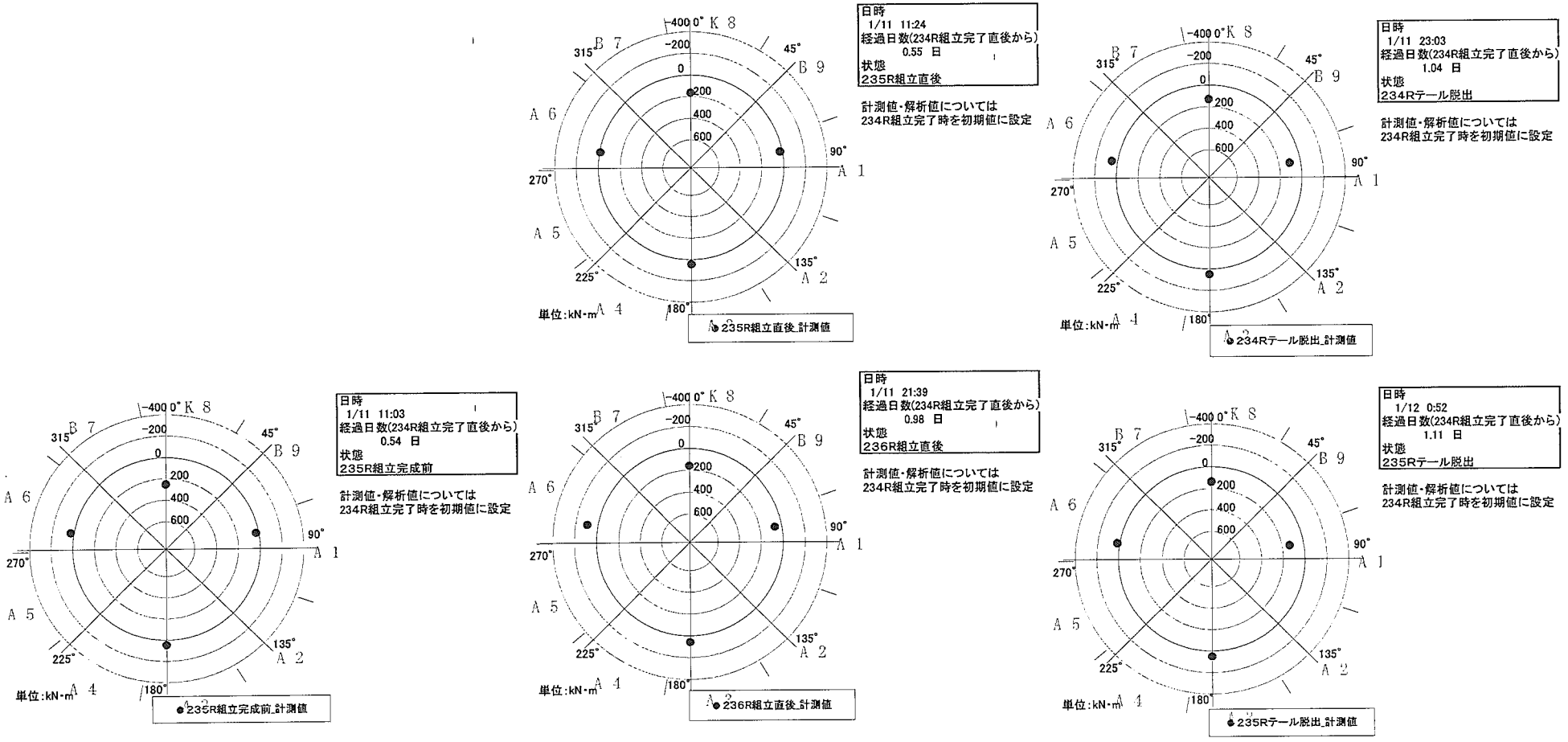


図-4.80　第４工区計測断面（234R）　円周方向曲げモーメントの断面分布図①：(234R 組立完了時を初期値として設定)

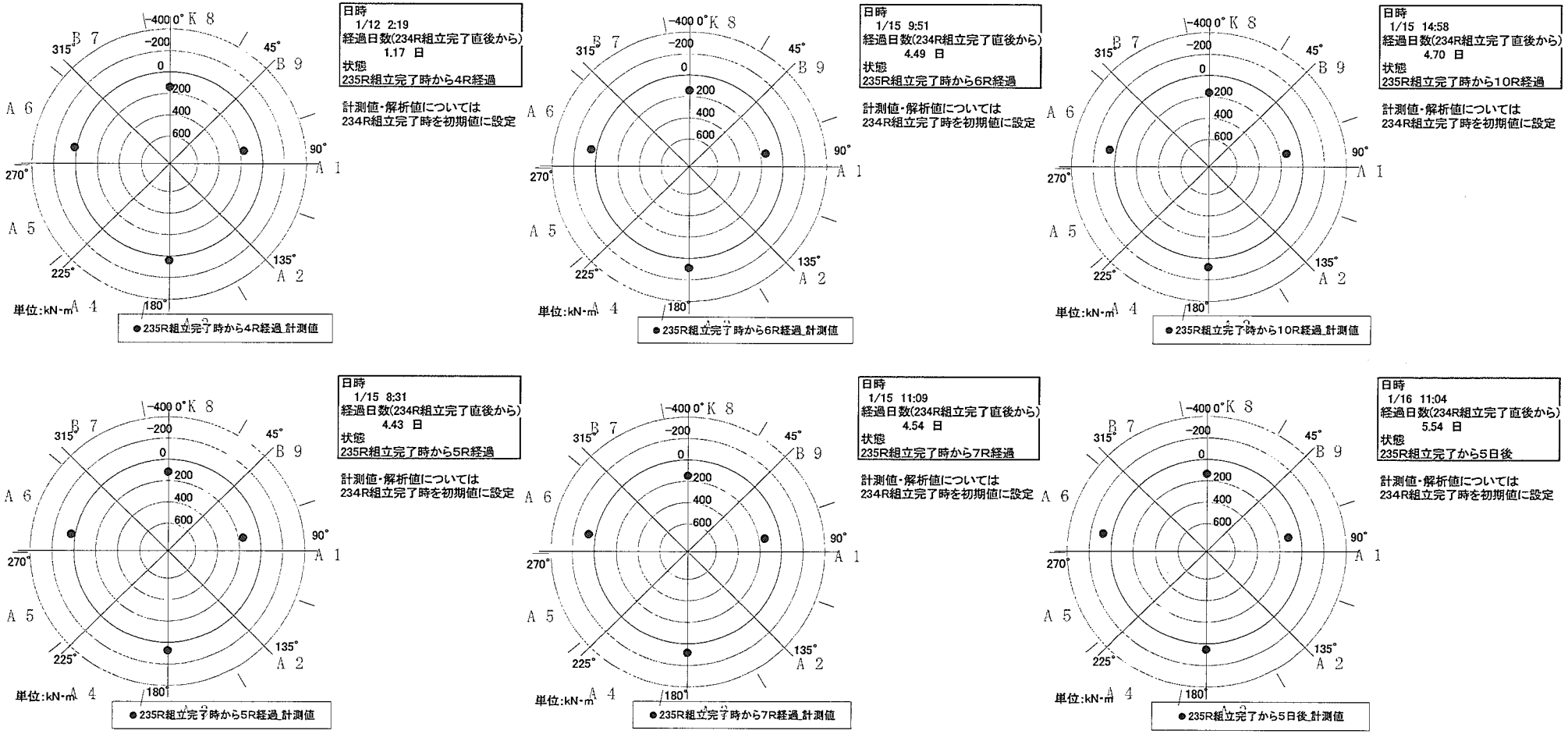


図-4.81　第４工区計測断面（234R）　円周方向曲げモーメントの断面分布図②：(234R 組立完了時を初期値として設定)

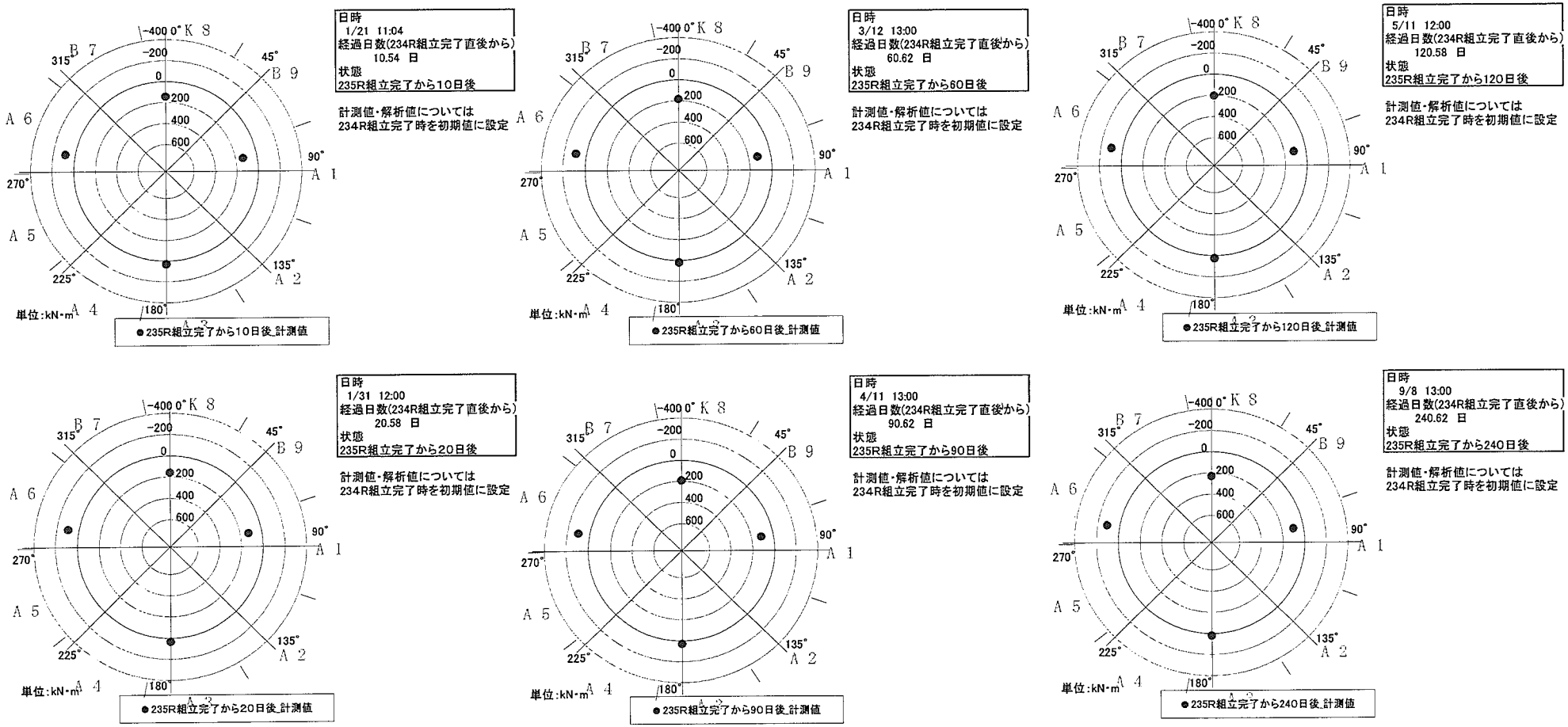


図-4.82　第４工区計測断面（234R）　円周方向曲げモーメントの断面分布図③：(234R 組立完了時を初期値として設定)

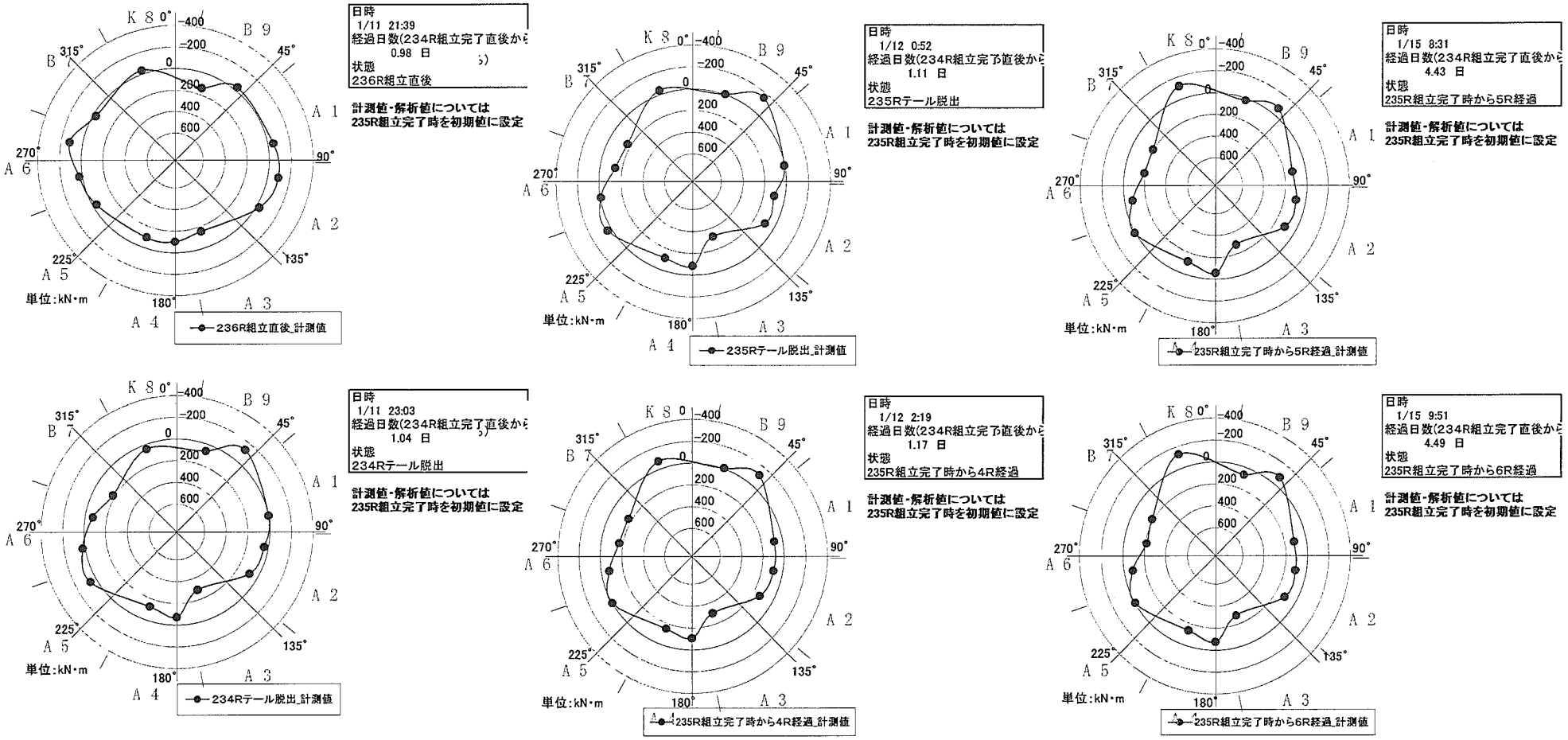


図-4.83　第４工区計測断面（235R）　円周方向曲げモーメントの断面分布図①：(235R 組立完了時を初期値として設定)

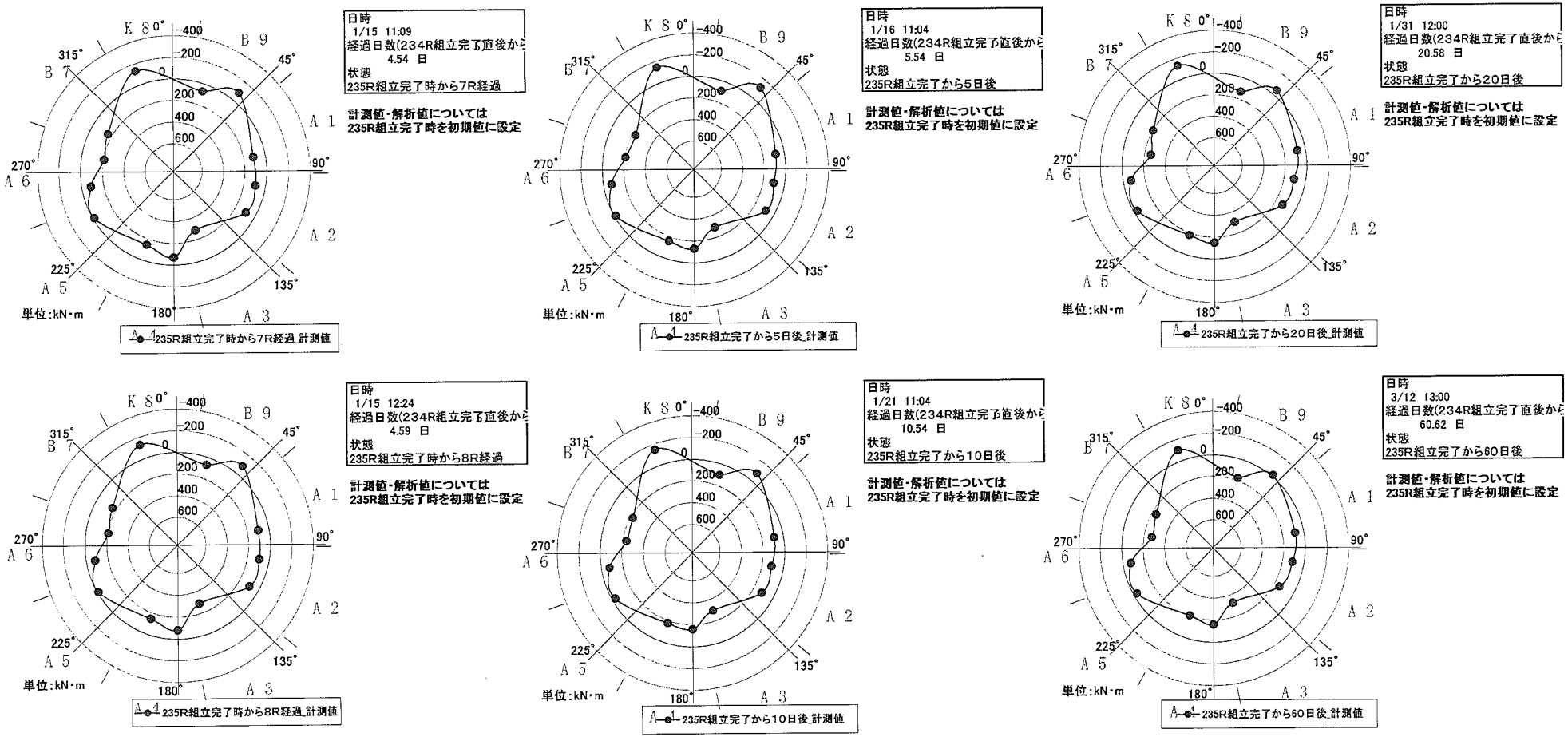
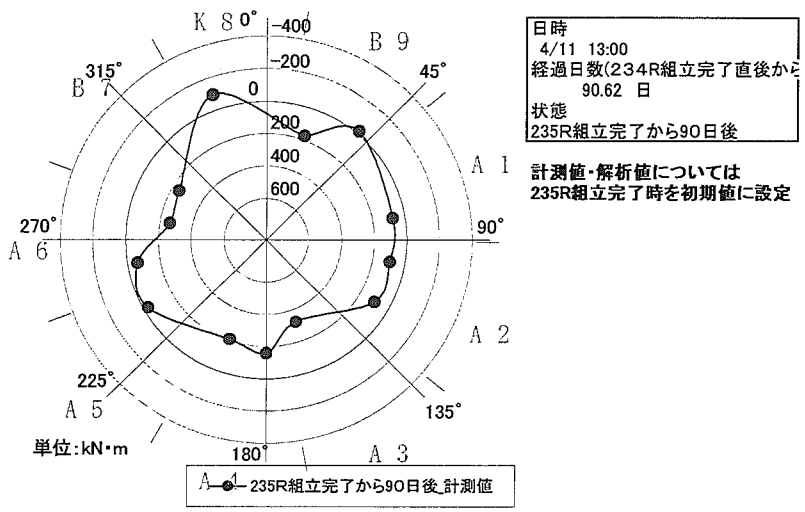
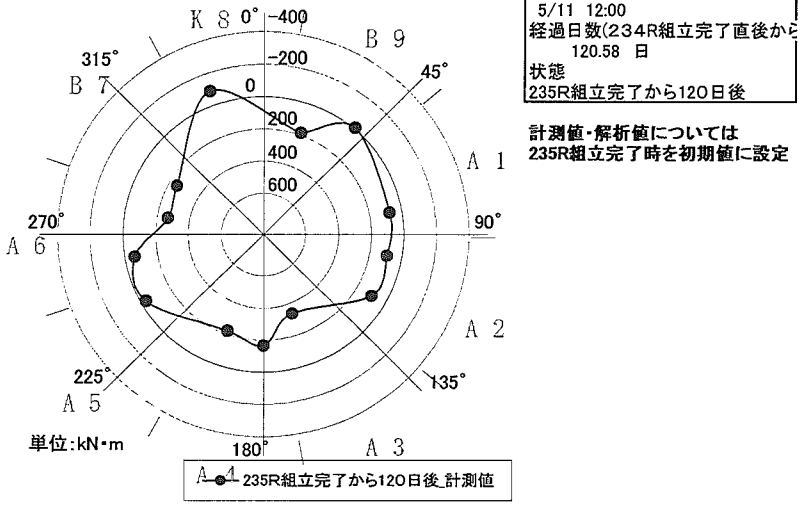


図-4.84　第４工区計測断面（235R）　円周方向曲げモーメントの断面分布図②：(235R 組立完了時を初期値として設定)



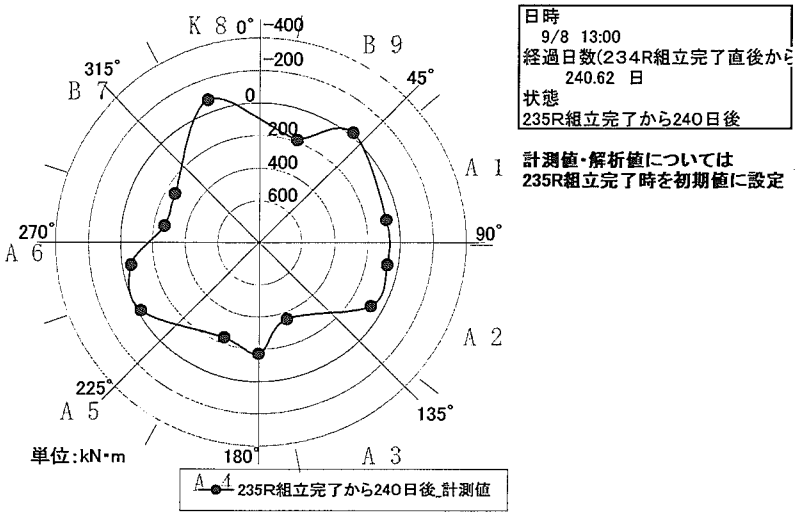
日時
4/11 13:00
経過日数(234R組立完了直後から
90.62 日
状態
235R組立完了から90日後

計測値・解析値については
235R組立完了時を初期値に設定



日時
5/11 12:00
経過日数(234R組立完了直後から
120.58 日
状態
235R組立完了から120日後

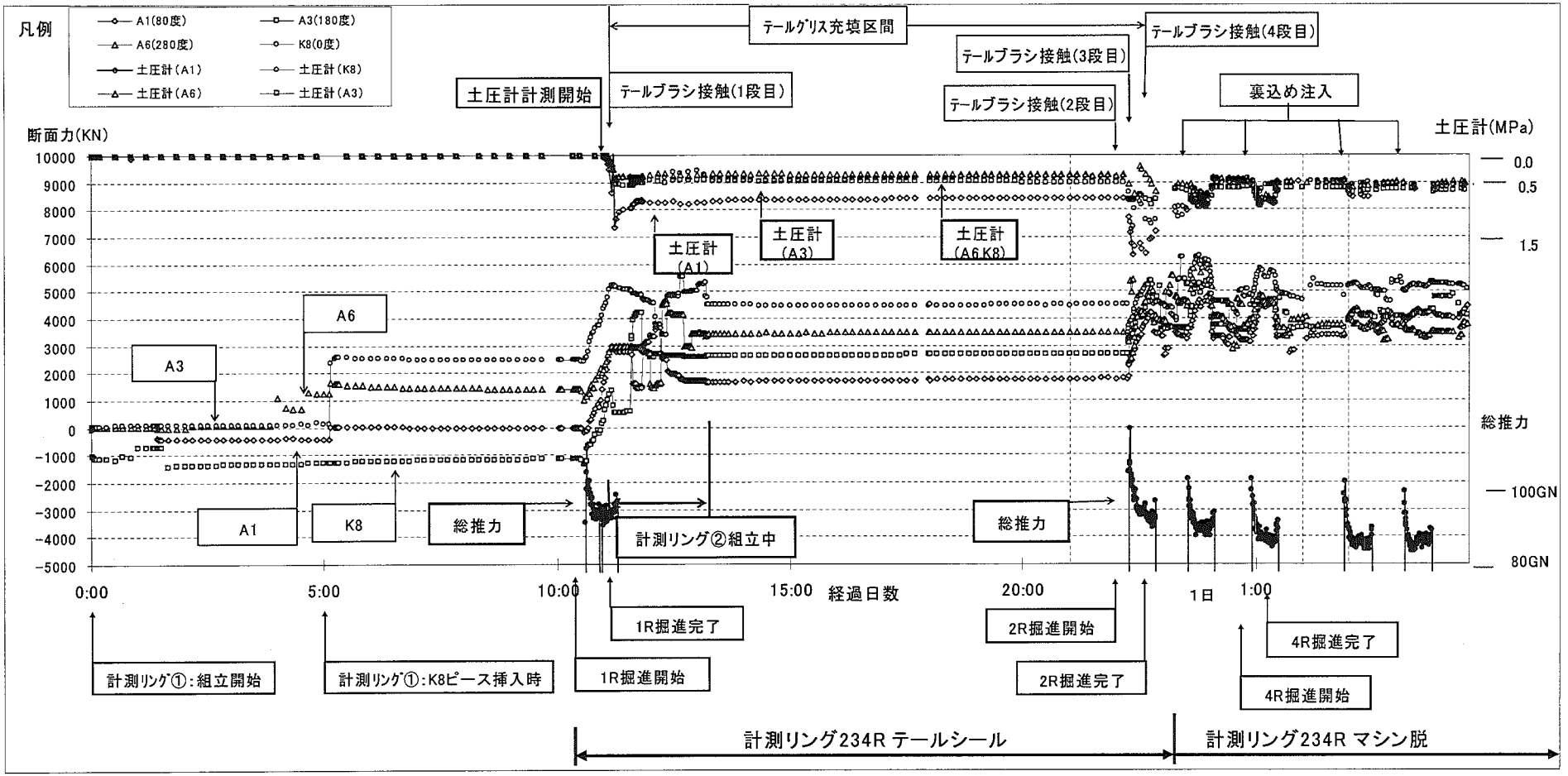
計測値・解析値については
235R組立完了時を初期値に設定

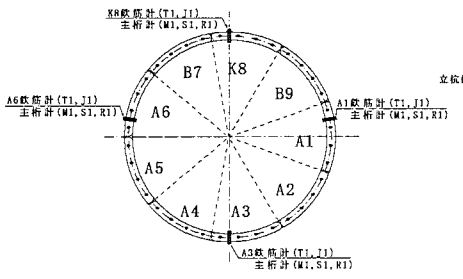


日時
9/8 13:00
経過日数(234R組立完了直後から
240.62 日
状態
235R組立完了から240日後

計測値・解析値については
235R組立完了時を初期値に設定

図-4.85　第４工区計測断面（235R）　円周方向曲げモーメントの断面分布図③：(235R 組立完了時を初期値として設定)





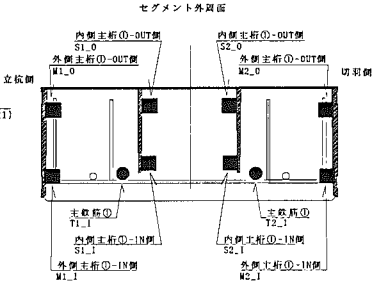
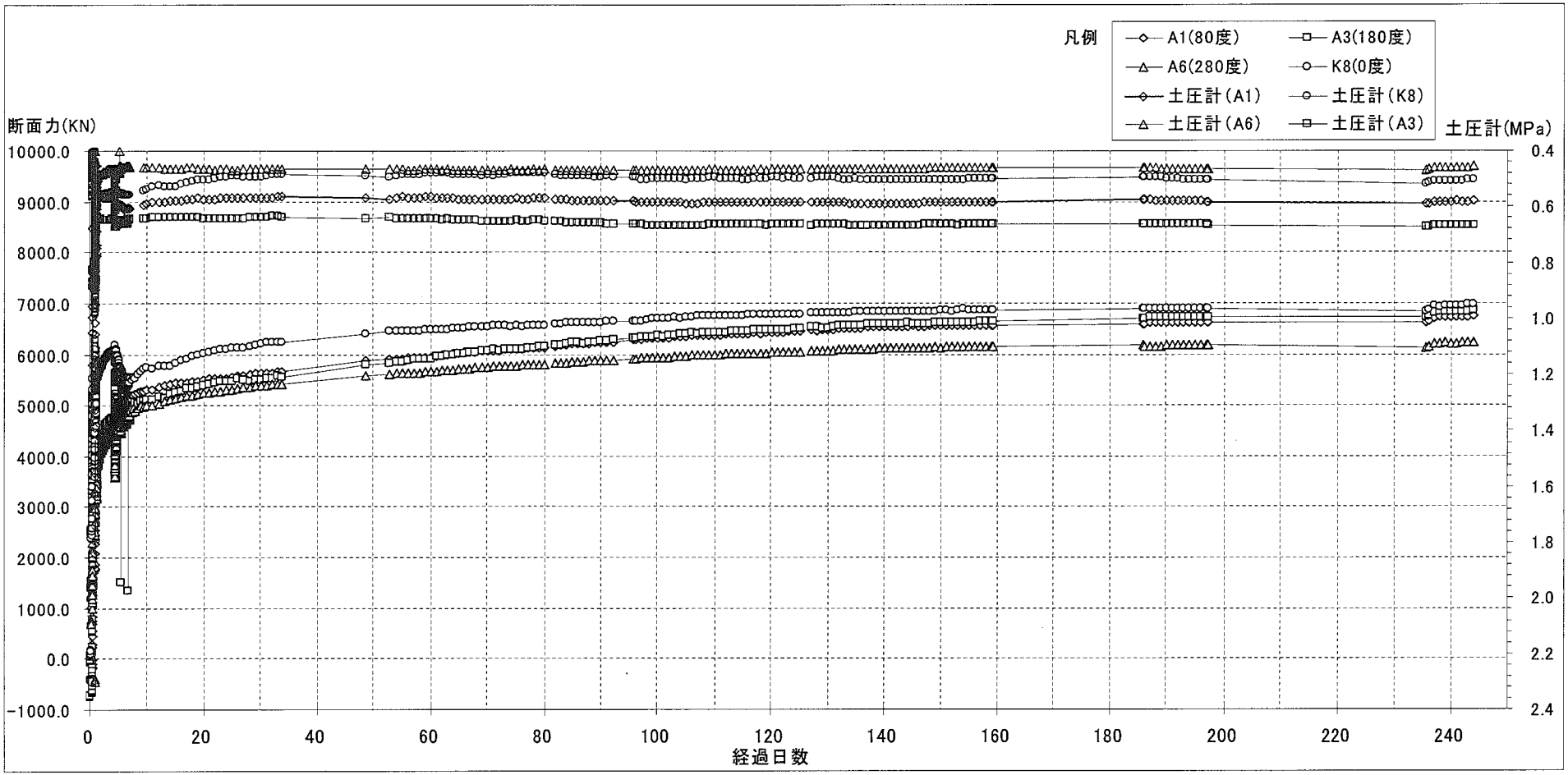
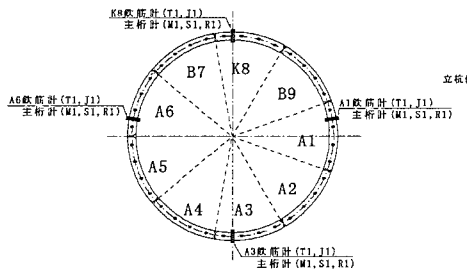


図-4.86　第４工区計測断面（234R）　軸力の短期経時変化図





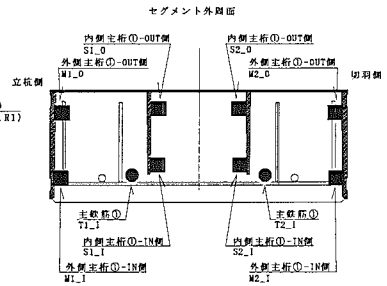
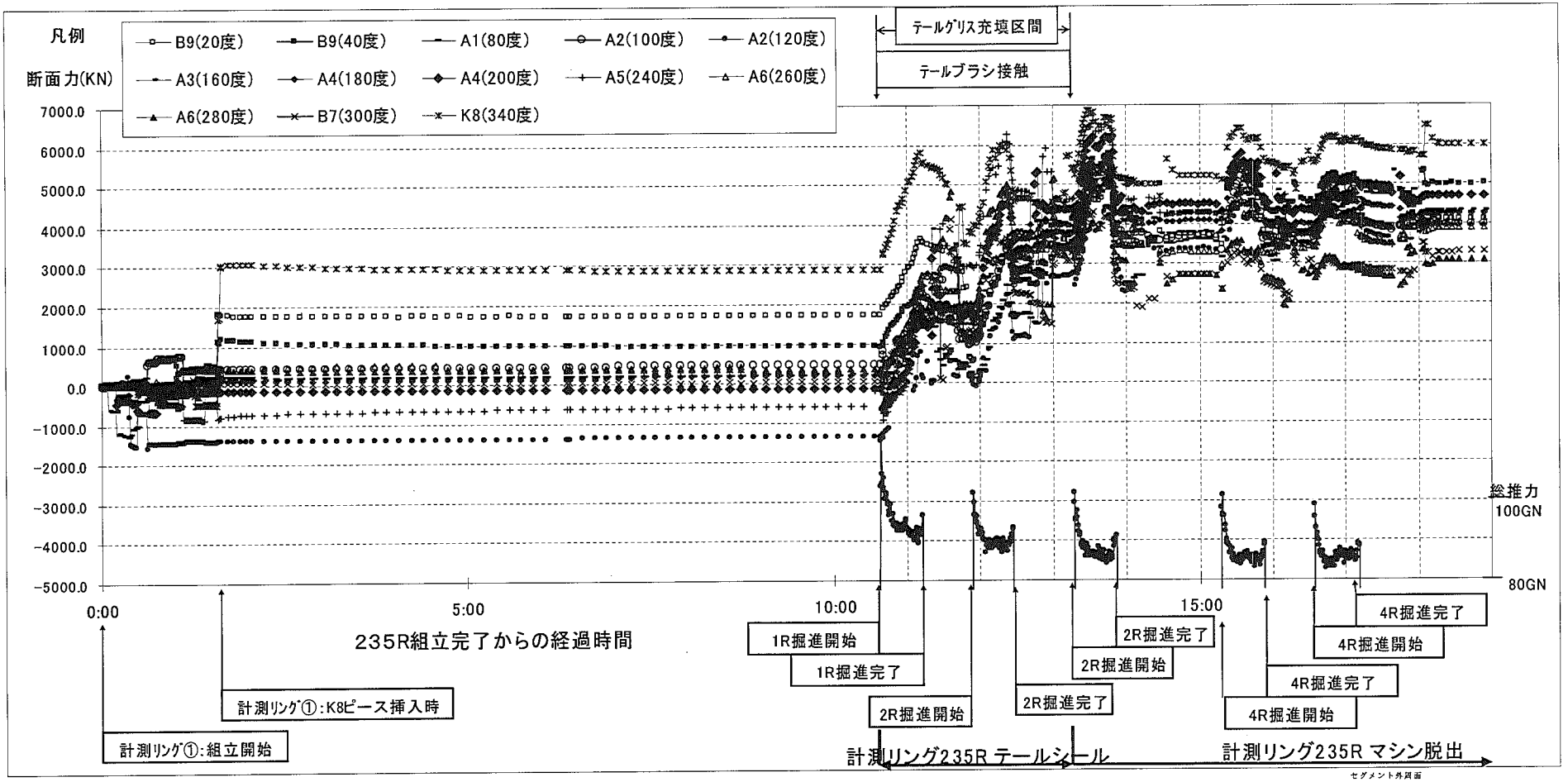
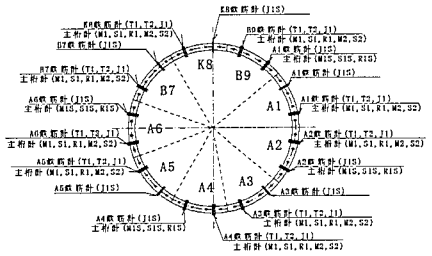


図-4.87　第４工区計測断面（234R）　軸力の長期経時変化図





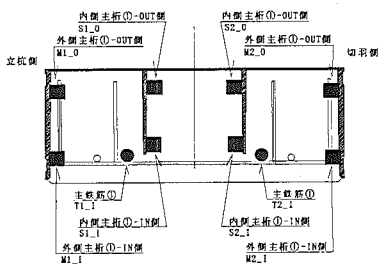
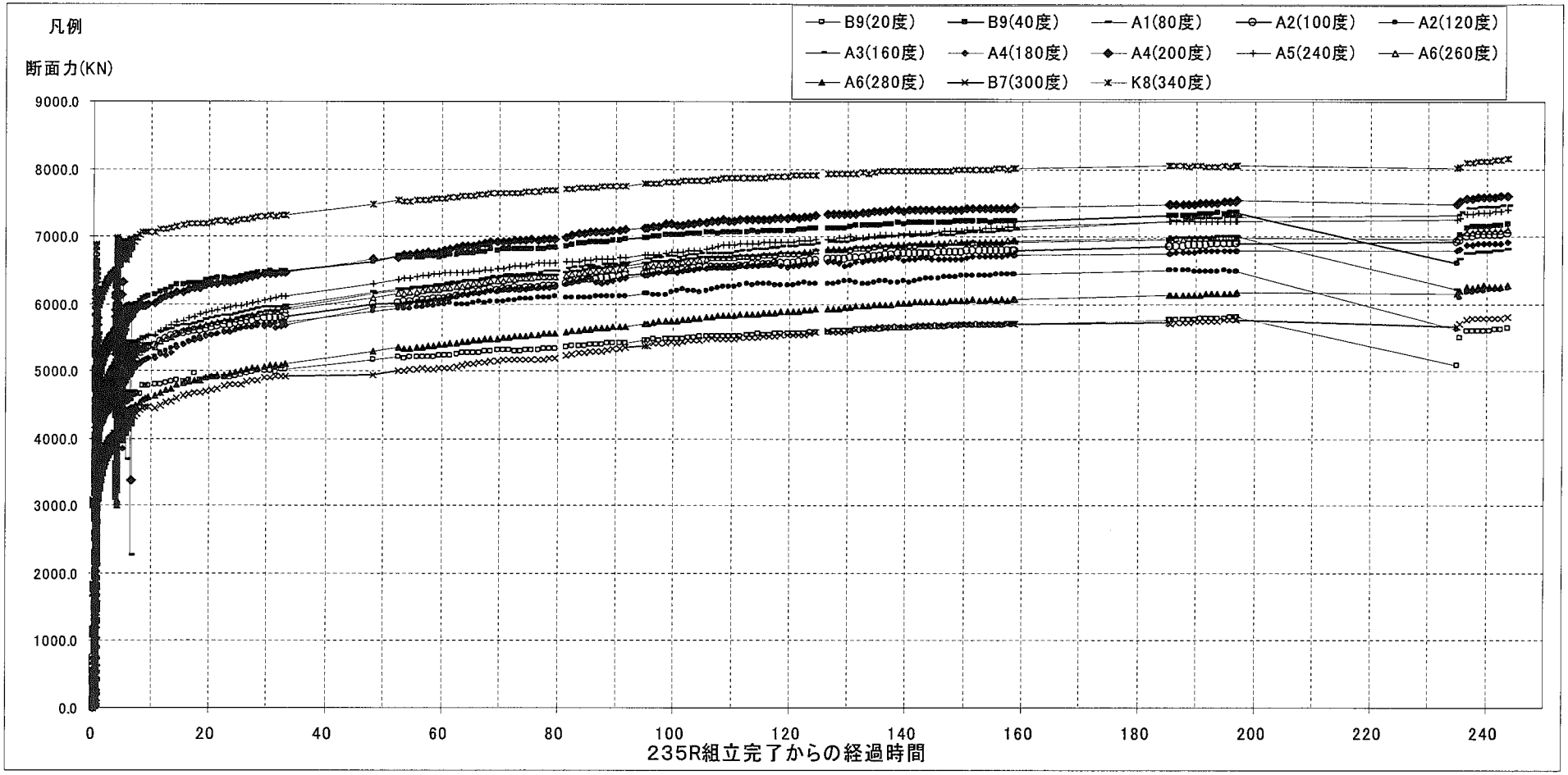
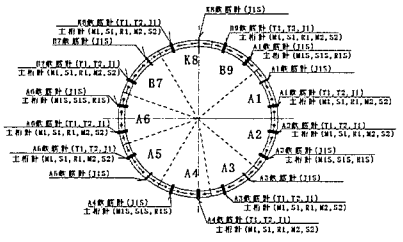


図-4.88　第４工区計測断面（235R）　軸力の短期経時変化図





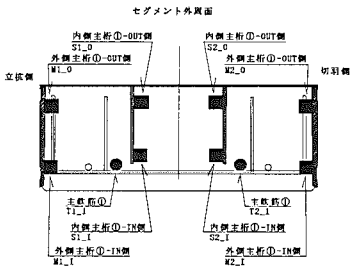


図-4.89　第４工区計測断面（235R）　軸力の長期経時変化図

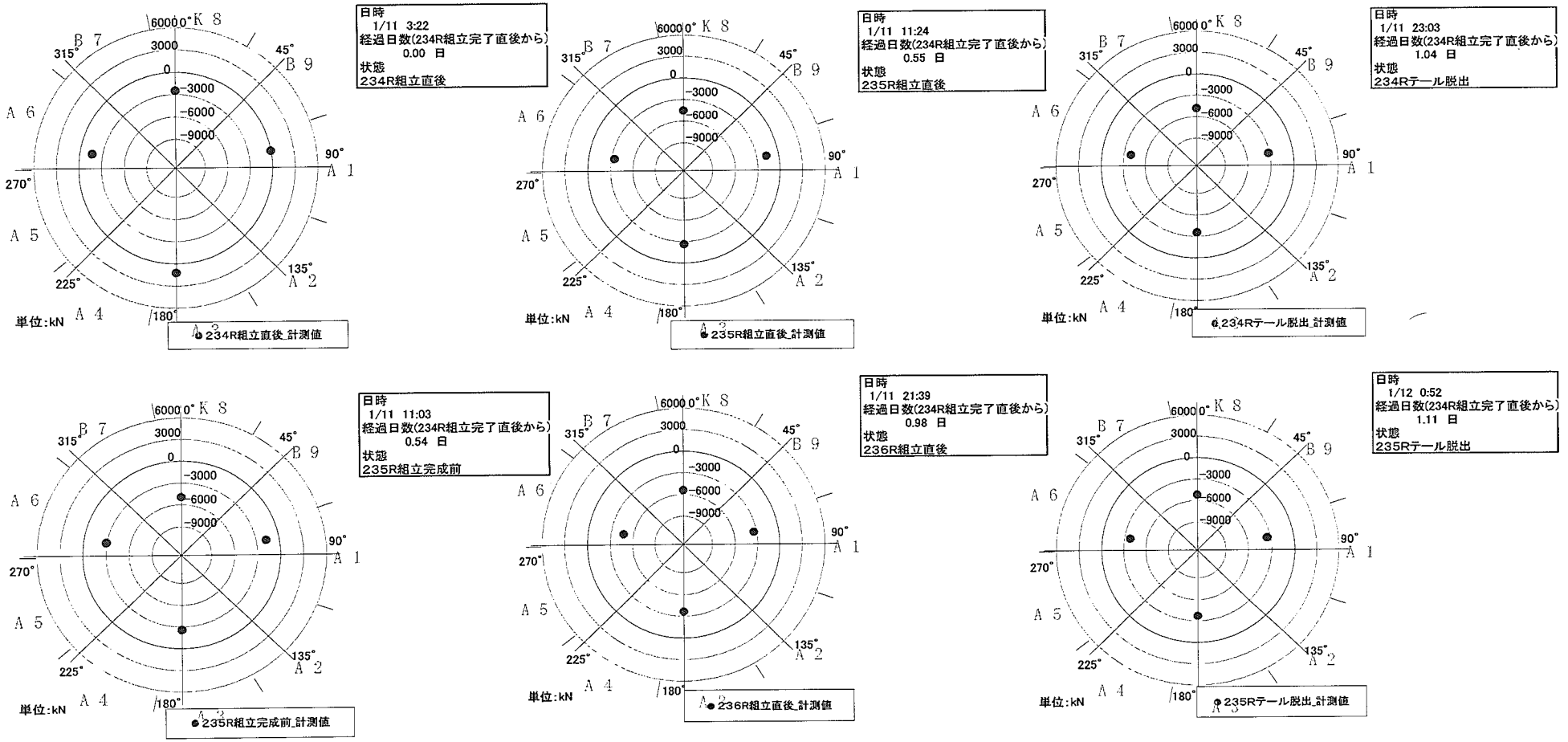


図-4.90　第４工区計測断面（234R）　軸力の断面分布図①

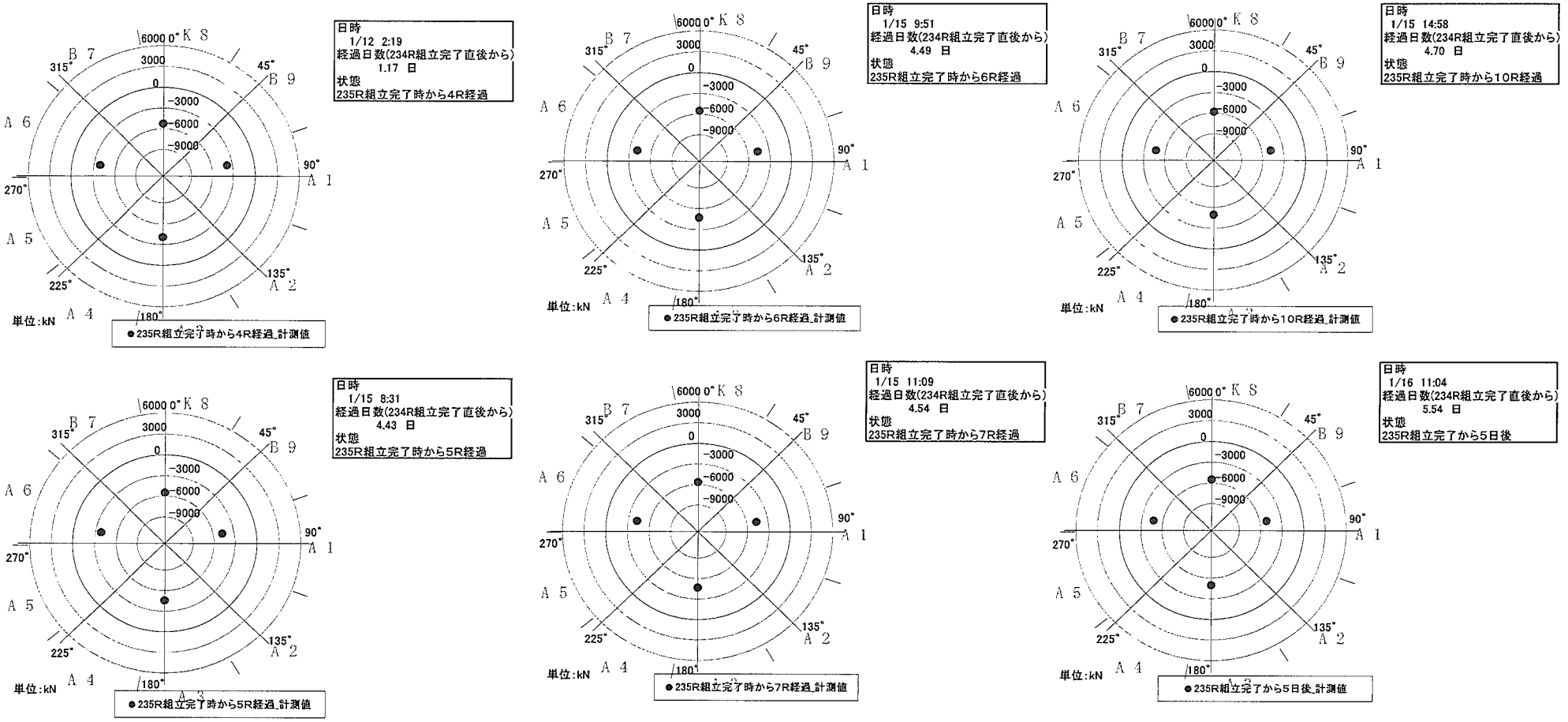


図-4.91　第４工区計測断面（234R）　軸力の断面分布図②

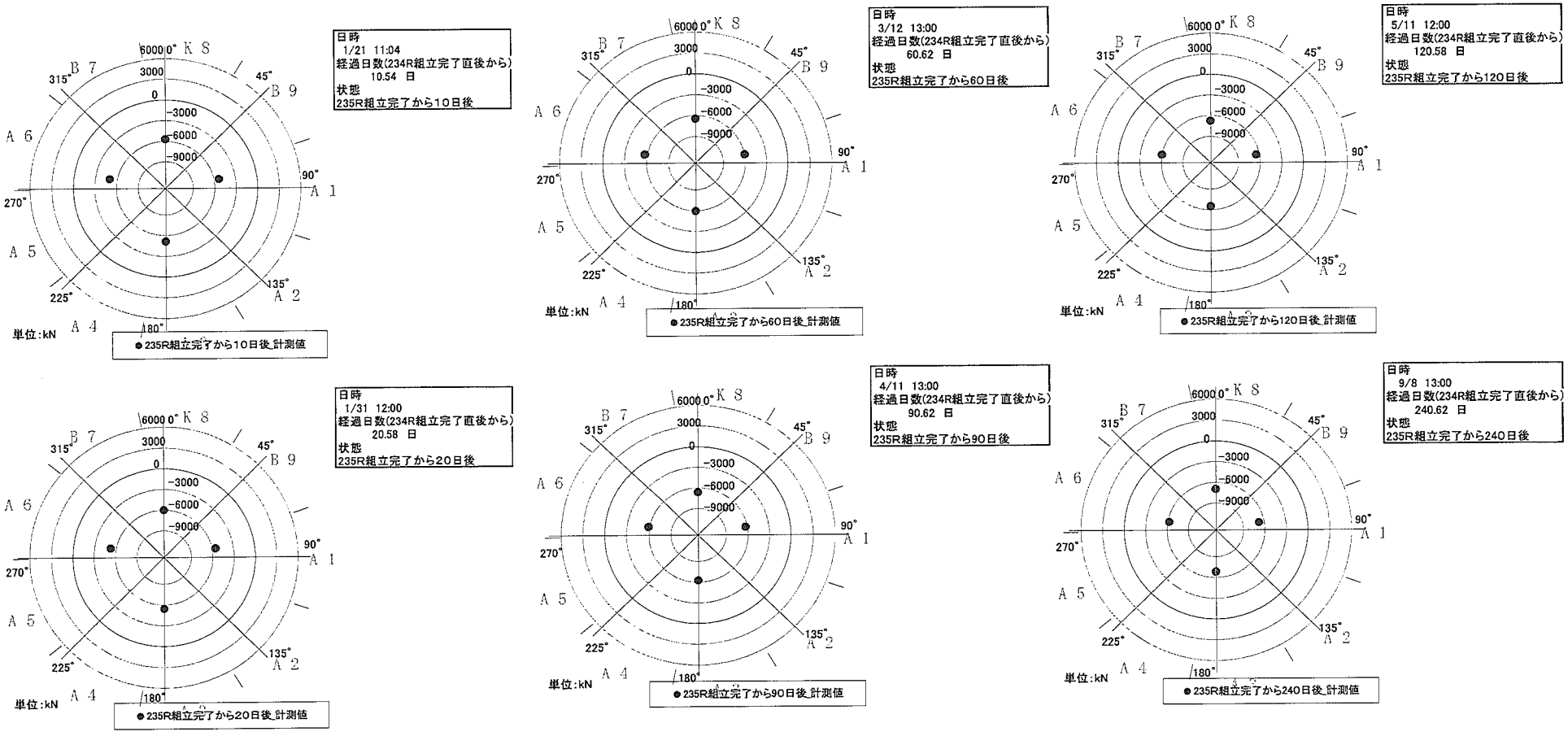


図-4.92　第４工区計測断面（234R）　軸力の断面分布図③

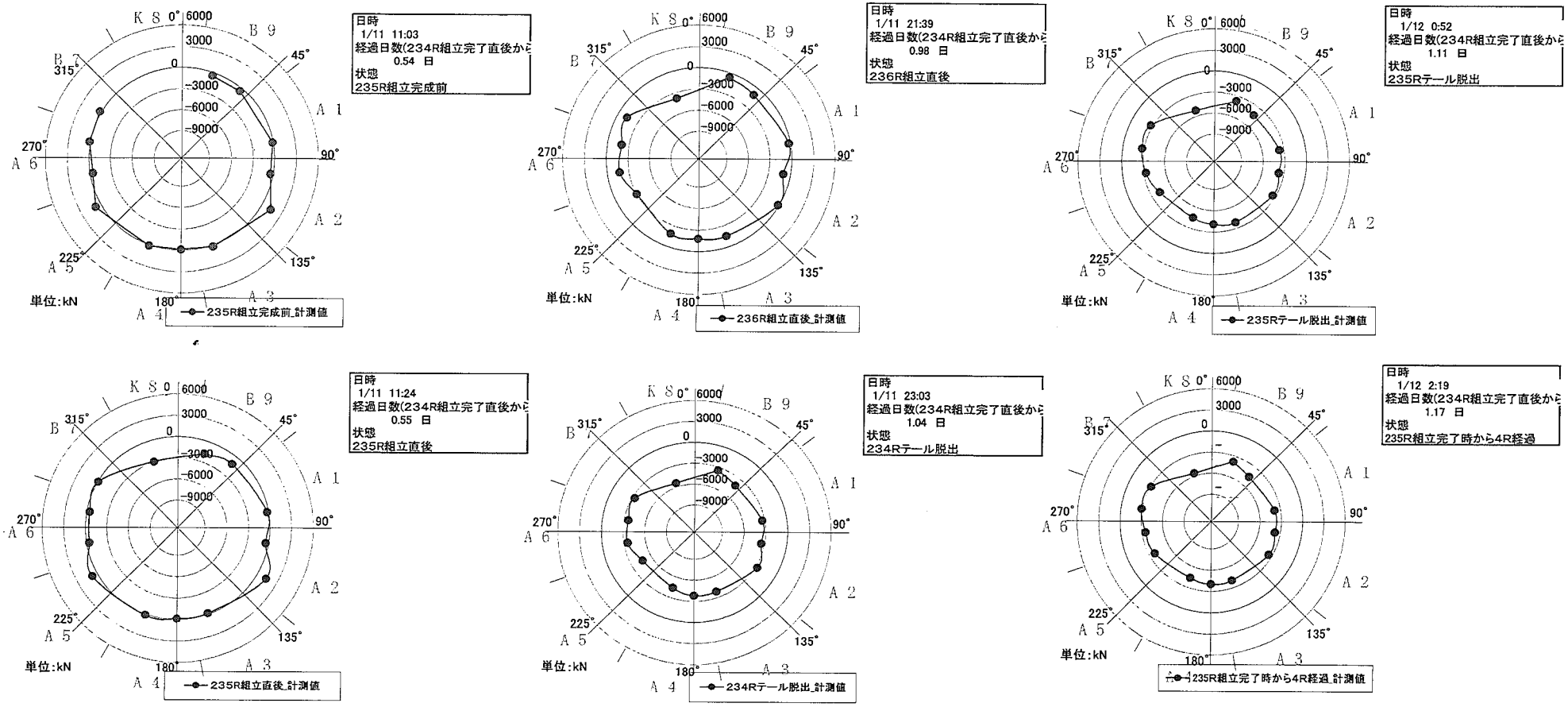


図-4.93　第４工区計測断面（235R）　軸力の断面分布図①

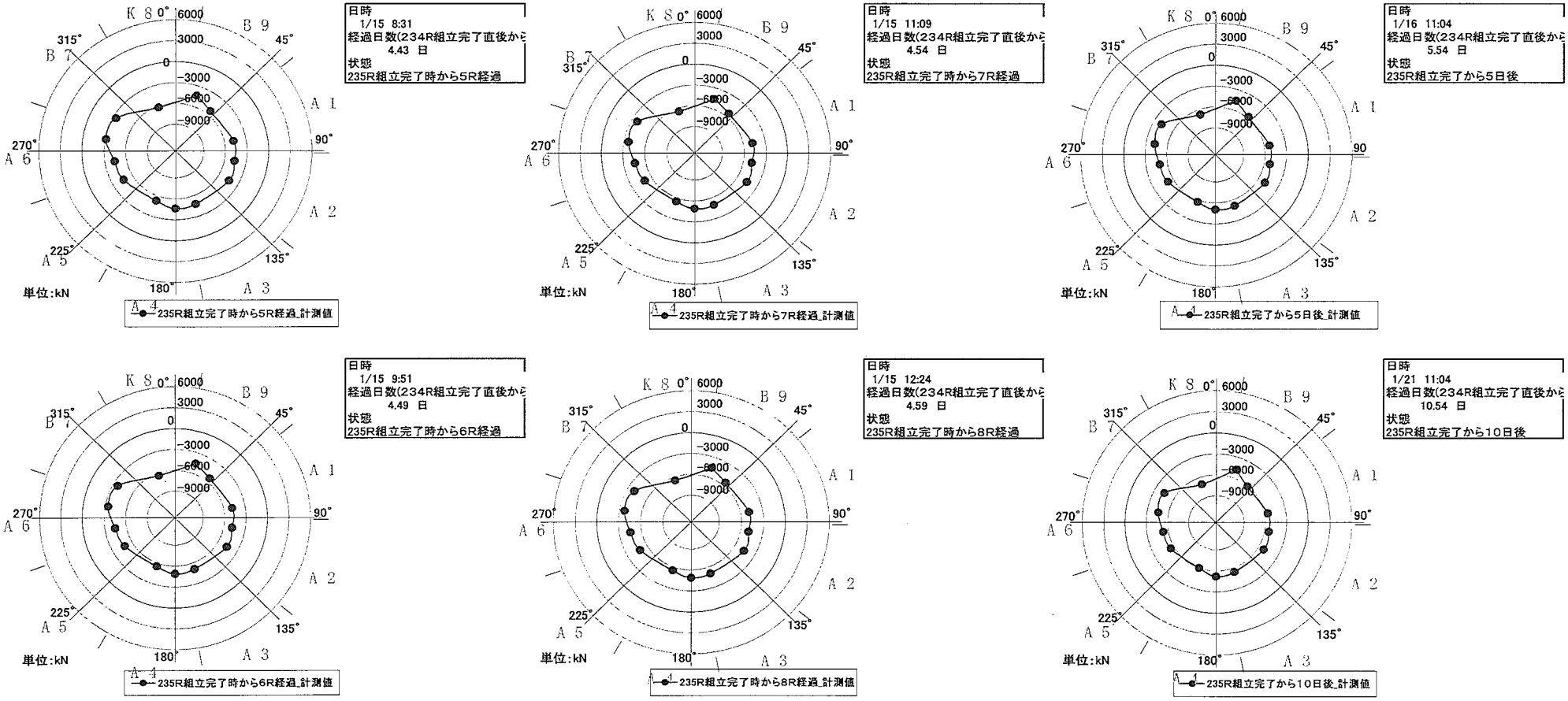


図-4.94　第４工区計測断面（235R）　軸力の断面分布図②

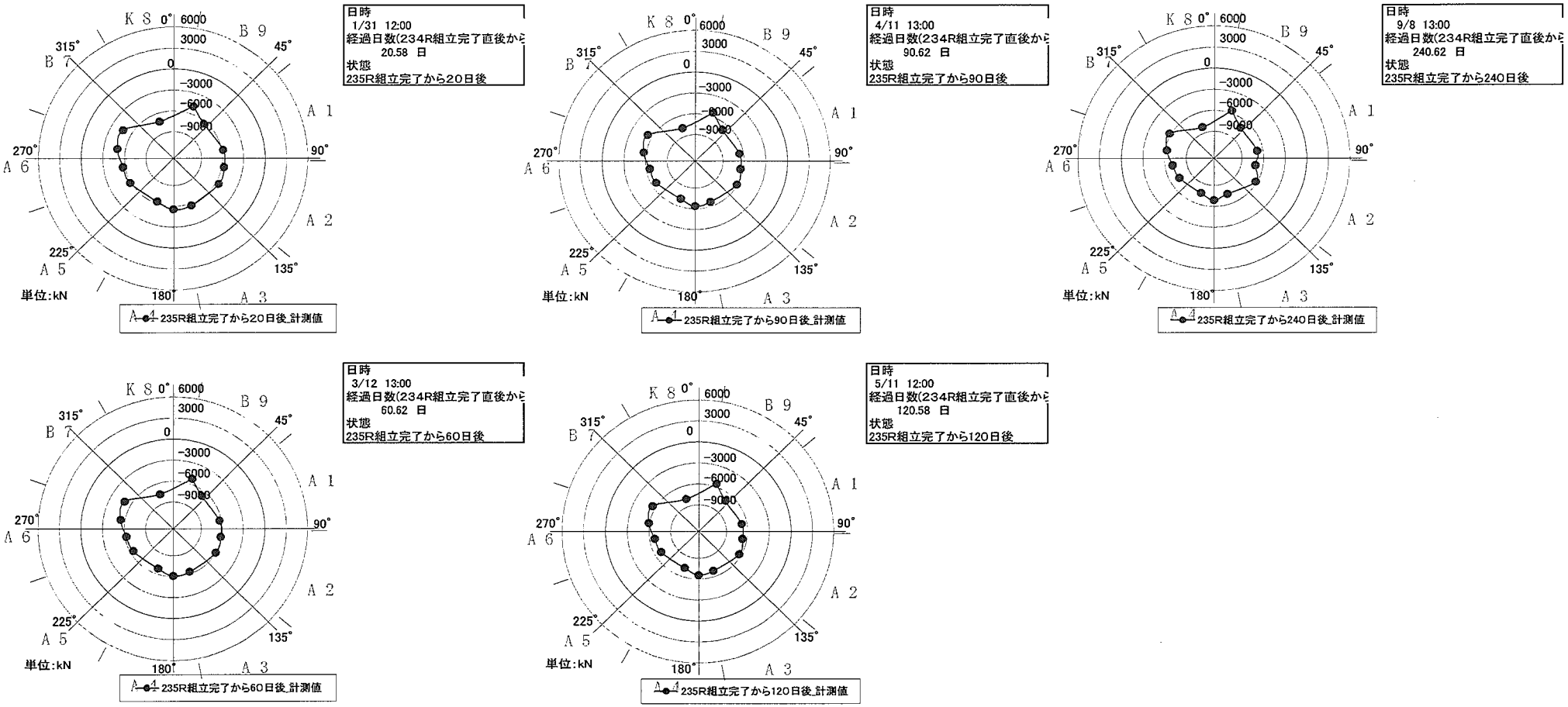


図-4.95　第４工区計測断面（235R）　軸力の断面分布図③

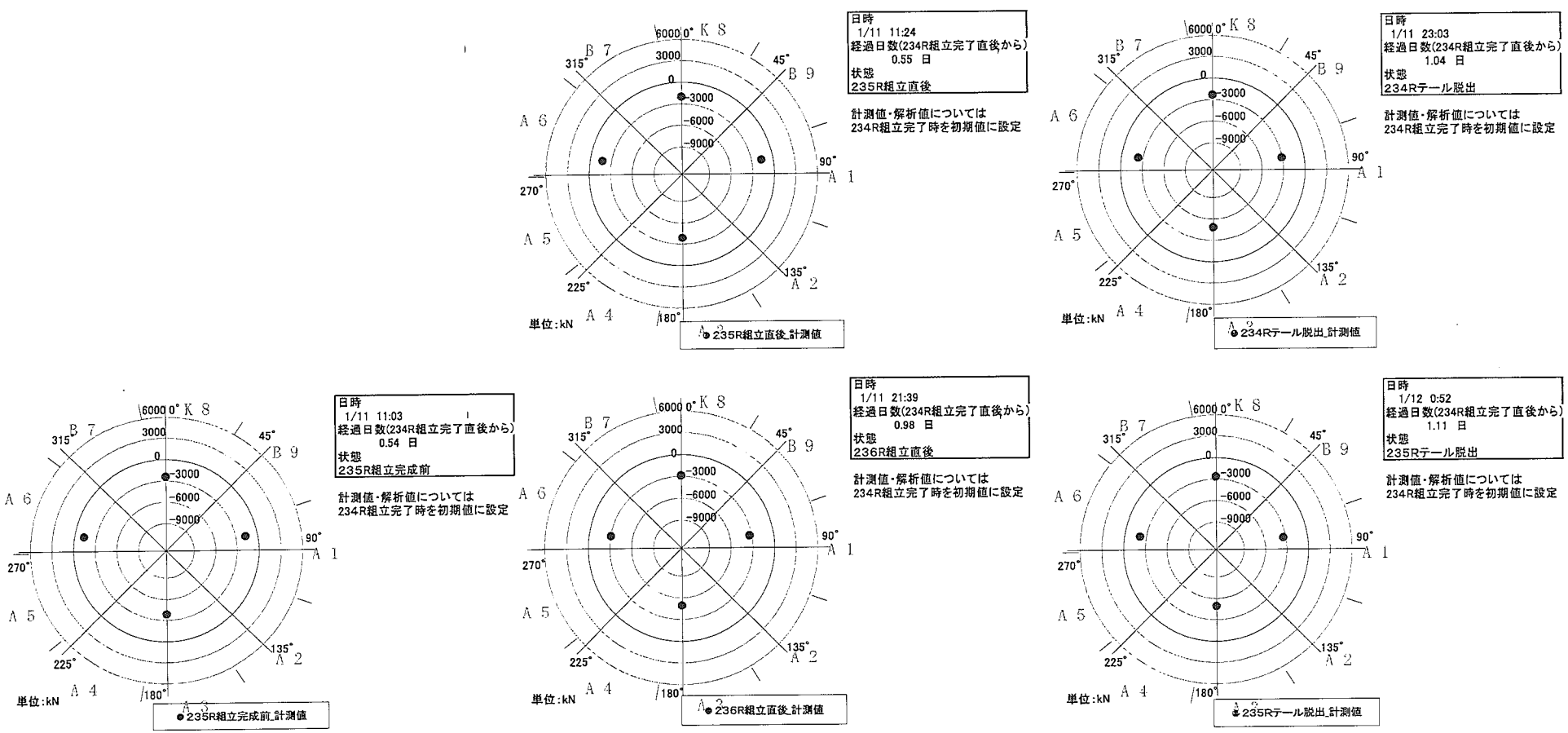


図-4.96　第４工区計測断面（234R）　軸力の断面分布図①：(234R 組立完了時を初期値として設定)

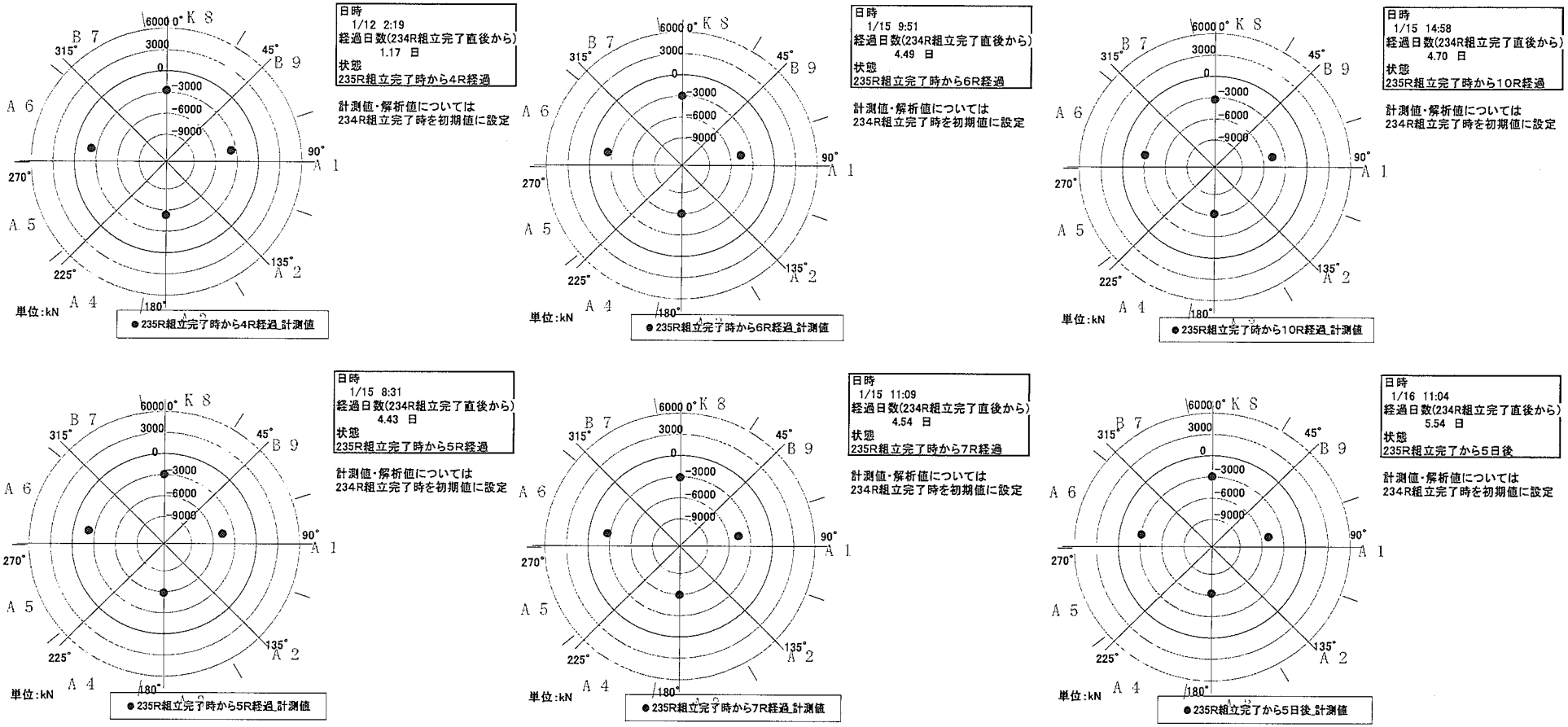


図-4.97　第４工区計測断面（234R）　軸力の断面分布図②：(234R 組立完了時を初期値として設定)

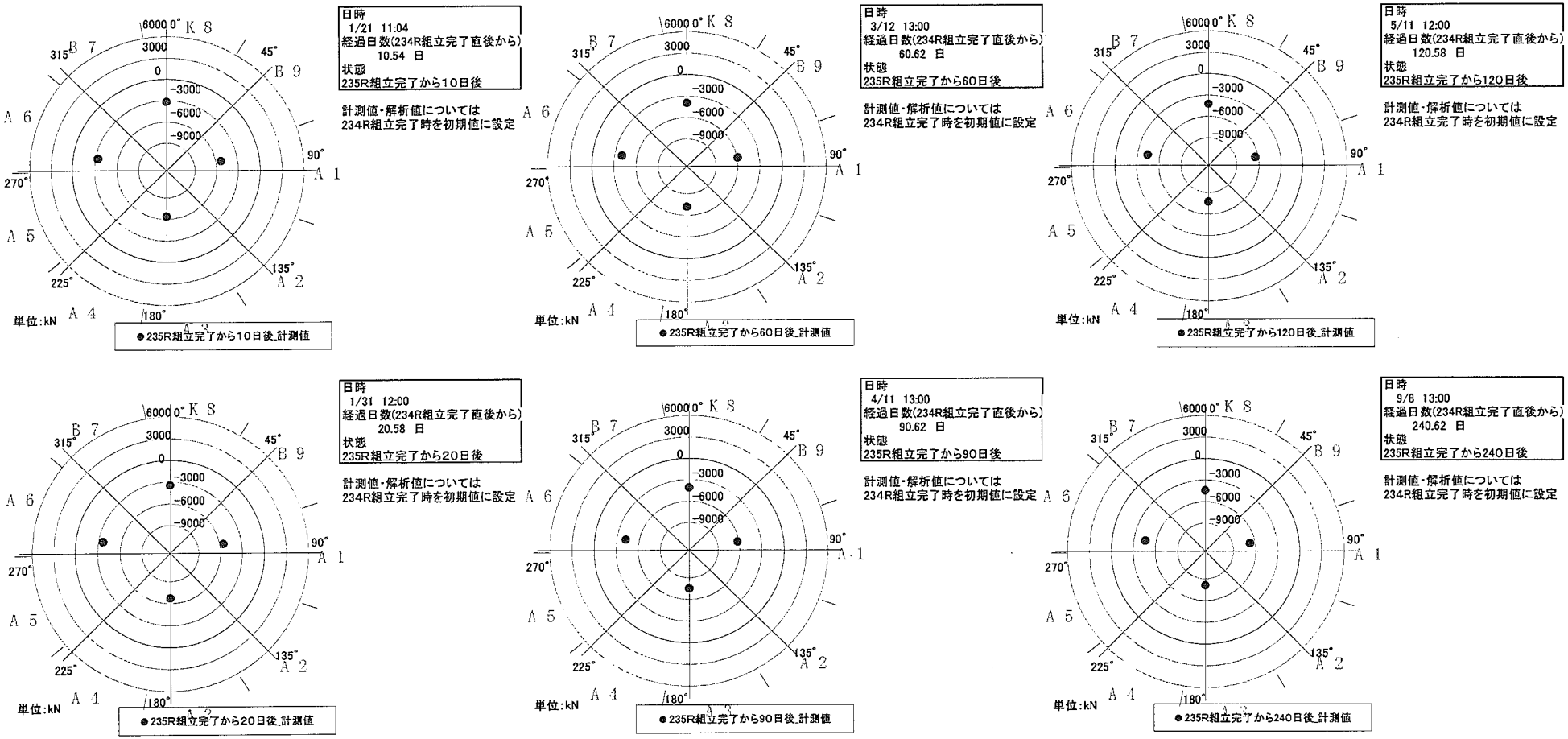


図-4.98　第４工区計測断面（234R）　軸力の断面分布図③：(234R 組立完了時を初期値として設定)

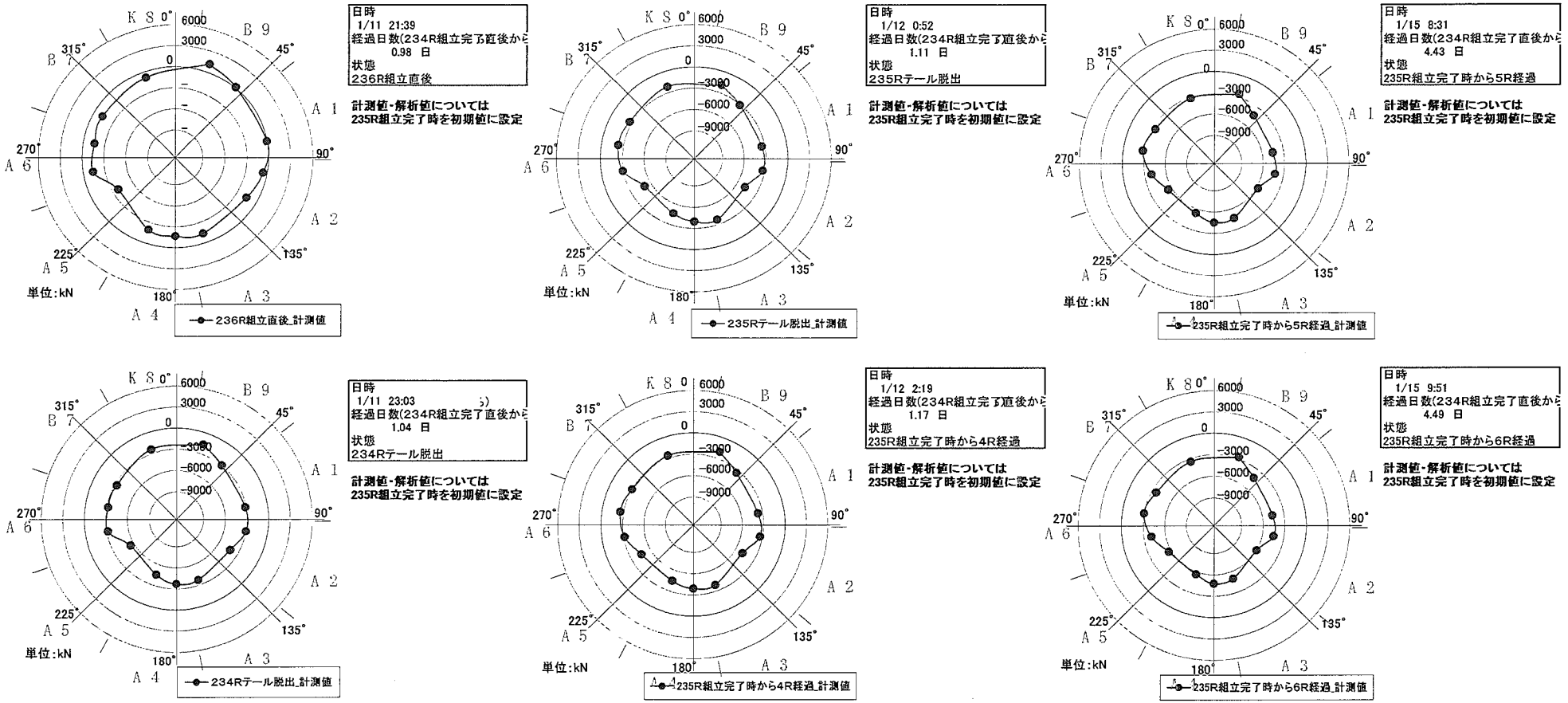


図-4.99　第４工区計測断面（235R）　軸力の断面分布図①：(235R 組立完了時を初期値として設定)

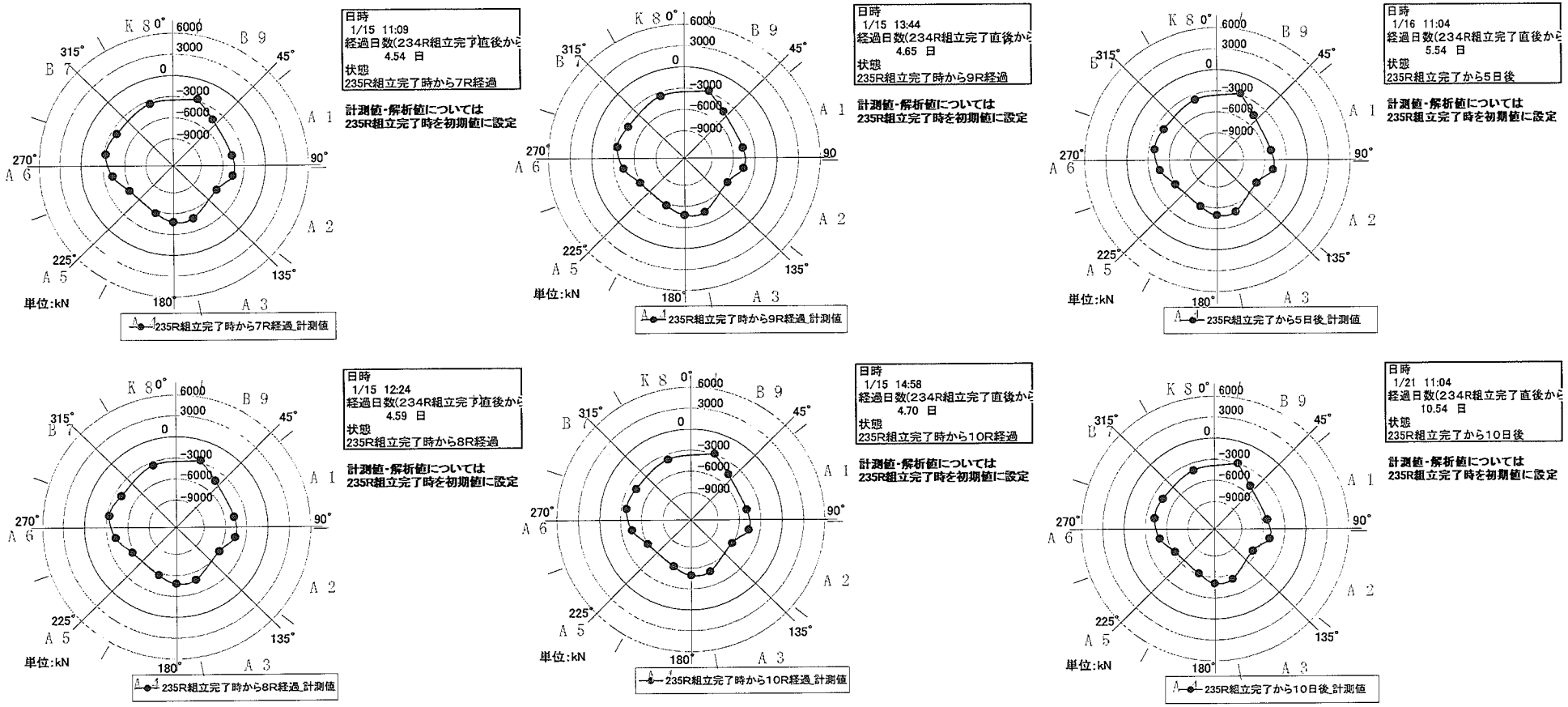


図-4.100　第４工区計測断面（235R）　軸力の断面分布図②：(235R 組立完了時を初期値として設定)

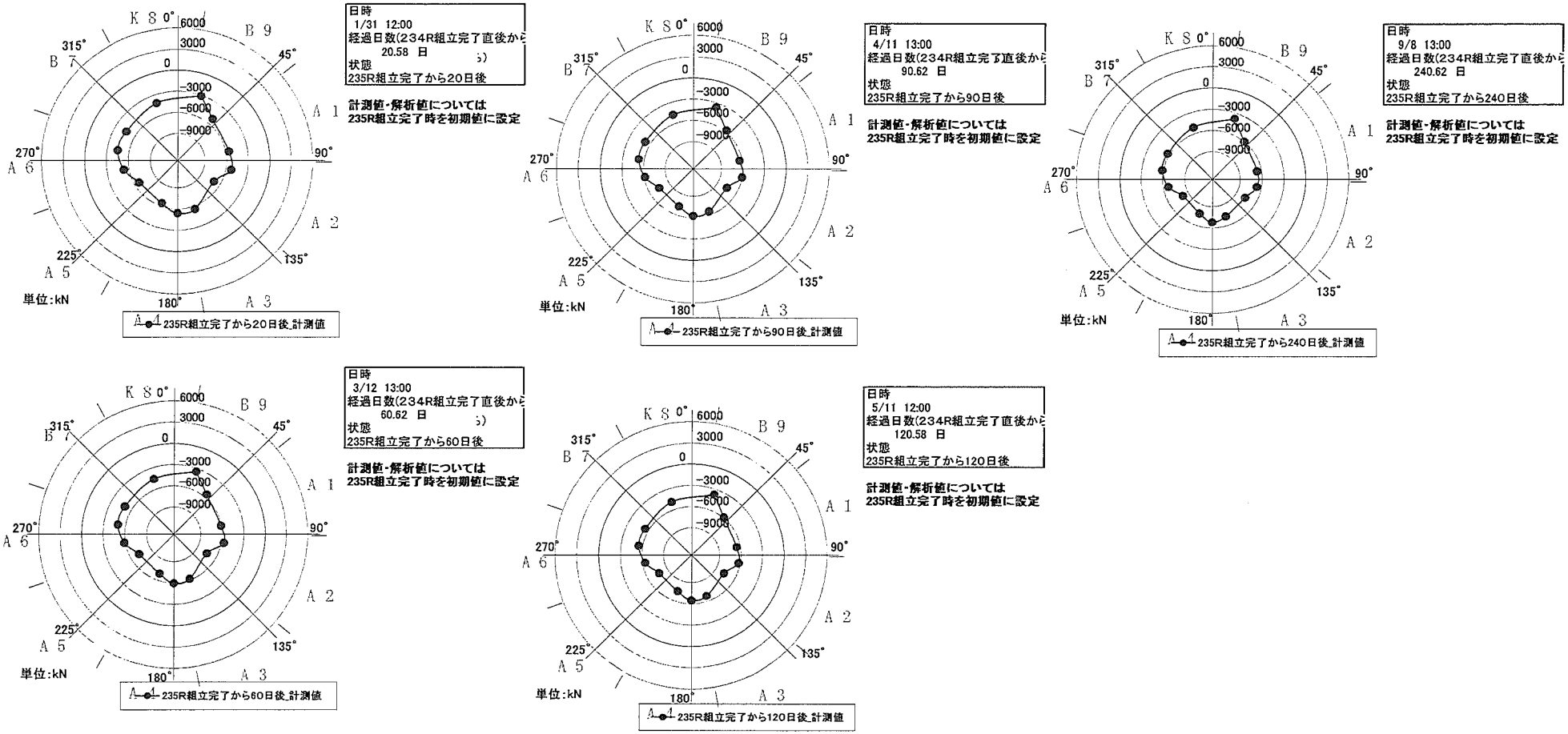
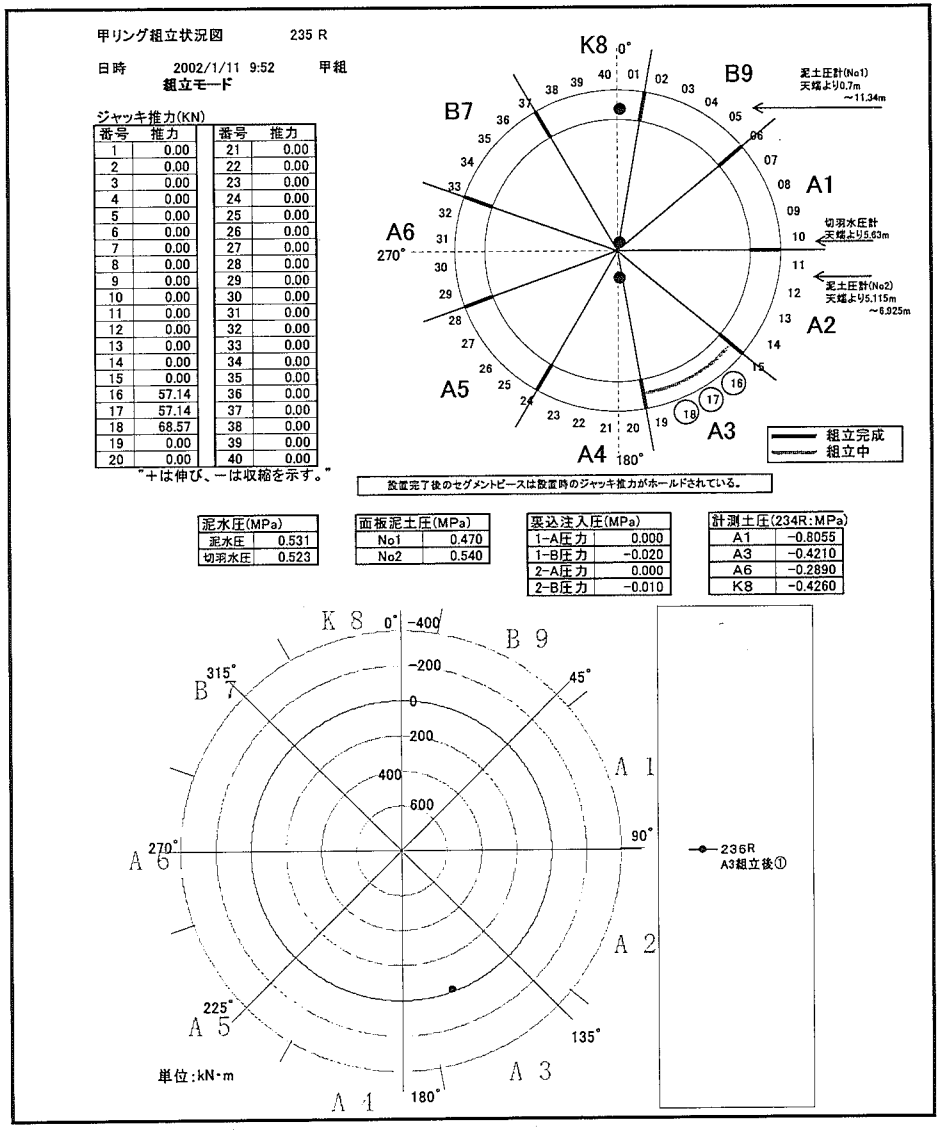
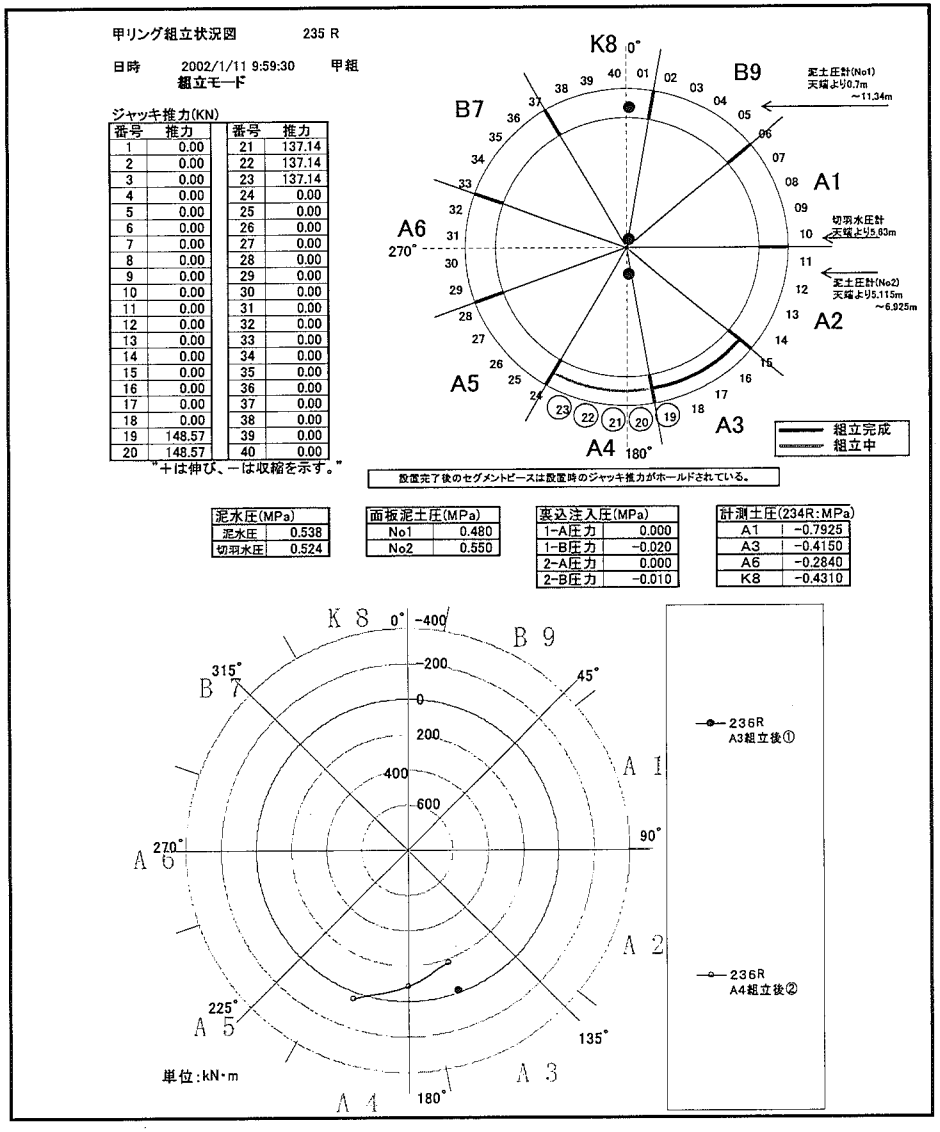


図-4.101　第４工区計測断面（235R）　軸力の断面分布図③：(235R 組立完了時を初期値として設定)



番号	推力	番号	推力
1	0.00	21	0.00
2	0.00	22	0.00
3	0.00	23	0.00
4	0.00	24	0.00
5	0.00	25	0.00
6	0.00	26	0.00
7	0.00	27	0.00
8	0.00	28	0.00
9	0.00	29	0.00
10	0.00	30	0.00
11	0.00	31	0.00
12	0.00	32	0.00
13	0.00	33	0.00
14	0.00	34	0.00
15	0.00	35	0.00
16	57.14	36	0.00
17	57.14	37	0.00
18	68.57	38	0.00
19	0.00	39	0.00
20	0.00	40	0.00

図-4.102　235R 組立時の断面力分布図①



番号	推力	番号	推力
1	0.00	21	137.14
2	0.00	22	137.14
3	0.00	23	137.14
4	0.00	24	0.00
5	0.00	25	0.00
6	0.00	26	0.00
7	0.00	27	0.00
8	0.00	28	0.00
9	0.00	29	0.00
10	0.00	30	0.00
11	0.00	31	0.00
12	0.00	32	0.00
13	0.00	33	0.00
14	0.00	34	0.00
15	0.00	35	0.00
16	0.00	36	0.00
17	0.00	37	0.00
18	0.00	38	0.00
19	148.57	39	0.00
20	148.57	40	0.00

図-4.103　235R 組立時の断面力分布図②

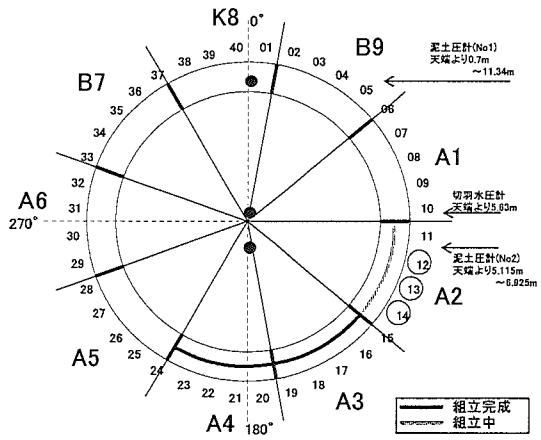
甲リング組立状況図　235 R

日時　2002/1/11 10:08:30　甲組
組立モード

ジャッキ推力(KN)

番号	推力	番号	推力
1	0.00	21	0.00
2	0.00	22	0.00
3	0.00	23	0.00
4	0.00	24	0.00
5	0.00	25	0.00
6	0.00	26	0.00
7	0.00	27	0.00
8	0.00	28	0.00
9	0.00	29	0.00
10	0.00	30	0.00
11	0.00	31	0.00
12	148.57	32	0.00
13	148.57	33	0.00
14	148.57	34	0.00
15	0.00	35	0.00
16	0.00	36	0.00
17	0.00	37	0.00
18	0.00	38	0.00
19	0.00	39	0.00
20	0.00	40	0.00

"＋は伸び、－は収縮を示す。"



設置完了後のセグメントピースは設置時のジャッキ推力がホールドされている。

泥水圧(MPa)	
泥水圧	0.534
切羽水圧	0.522

面板泥土圧(MPa)	
No1	0.470
No2	0.540

裏込注入圧(MPa)	
1-A圧力	0.000
1-B圧力	−0.020
2-A圧力	0.000
2-B圧力	−0.010

計測土圧(234R:MPa)	
A1	−0.7825
A3	−0.3990
A6	−0.2710
K8	−0.4410

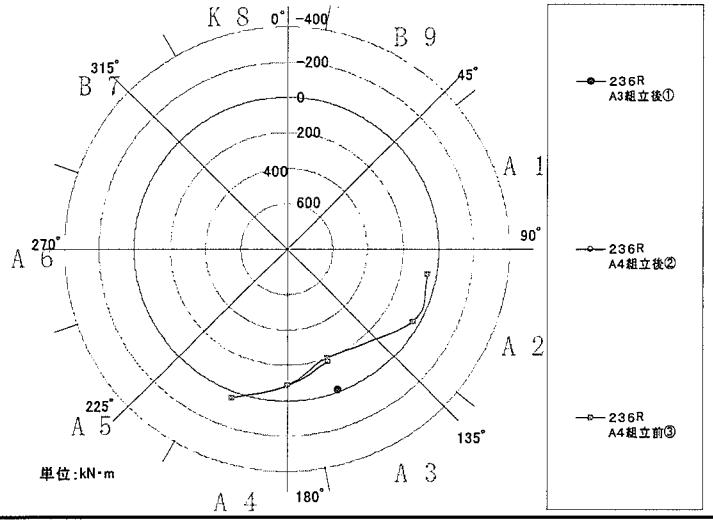


図-4.104　235R 組立時の断面力分布図③

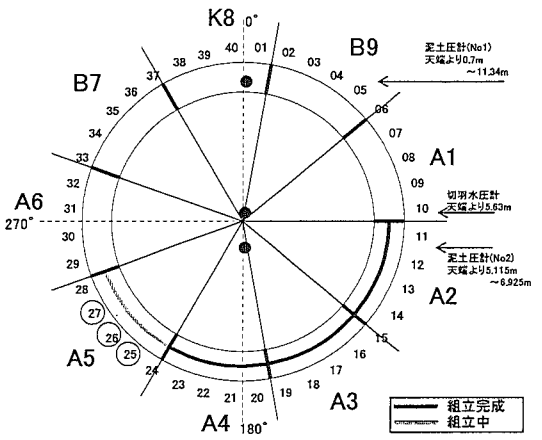
甲リング組立状況図　235 R

日時　2002/1/11 10:16:00　甲組
組立モード

ジャッキ推力(KN)

番号	推力	番号	推力
1	0.00	21	0.00
2	0.00	22	0.00
3	0.00	23	0.00
4	0.00	24	0.00
5	0.00	25	91.43
6	0.00	26	91.43
7	0.00	27	102.86
8	0.00	28	0.00
9	0.00	29	0.00
10	0.00	30	0.00
11	0.00	31	0.00
12	0.00	32	0.00
13	0.00	33	0.00
14	0.00	34	0.00
15	0.00	35	0.00
16	0.00	36	0.00
17	0.00	37	0.00
18	0.00	38	0.00
19	0.00	39	0.00
20	0.00	40	0.00

"＋は伸び、－は収縮を示す。"



設置完了後のセグメントピースは設置時のジャッキ推力がホールドされている。

泥水圧(MPa)	
泥水圧	0.528
切羽水圧	0.519

面板泥土圧(MPa)	
No1	0.460
No2	0.530

裏込注入圧(MPa)	
1-A圧力	−0.040
1-B圧力	−0.020
2-A圧力	0.000
2-B圧力	0.000

計測土圧(234R:MPa)	
A1	−0.8455
A3	−0.4240
A6	−0.2180
K8	−0.4280

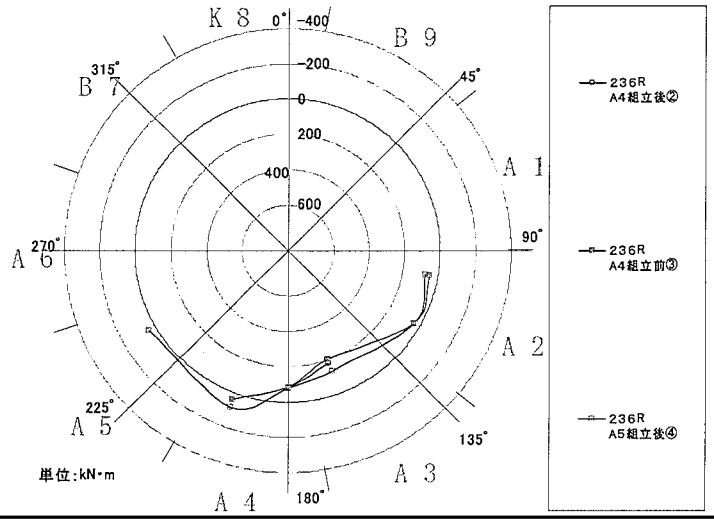


図-4.105　235R 組立時の断面力分布図④

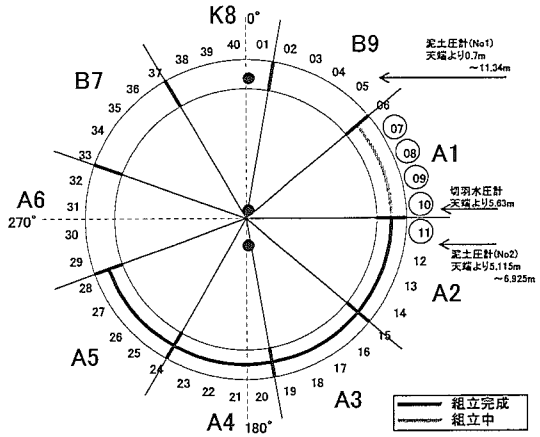
甲リング組立状況図　235 R

日時　2002/1/11 10:24:30　甲組
組立モード

ジャッキ推力(KN)

番号	推力	番号	推力
1	0.00	21	0.00
2	0.00	22	0.00
3	0.00	23	0.00
4	0.00	24	0.00
5	0.00	25	0.00
6	0.00	26	0.00
7	171.43	27	0.00
8	171.43	28	0.00
9	171.43	29	0.00
10	148.57	30	0.00
11	148.57	31	0.00
12	0.00	32	0.00
13	0.00	33	0.00
14	0.00	34	0.00
15	0.00	35	0.00
16	0.00	36	0.00
17	0.00	37	0.00
18	0.00	38	0.00
19	0.00	39	0.00
20	0.00	40	0.00

"＋は伸び、－は収縮を示す。"



設置完了後のセグメントピースは設置時のジャッキ推力がホールドされている。

泥水圧(MPa)	
泥水圧	0.533
切羽水圧	0.521

面板泥土圧(MPa)	
No1	0.470
No2	0.540

裏込注入圧(MPa)	
1-A圧力	-0.060
1-B圧力	-0.020
2-A圧力	0.000
2-B圧力	0.000

計測土圧(234R:MPa)	
A1	-0.7935
A3	-0.3810
A6	-0.2260
K8	-0.4180

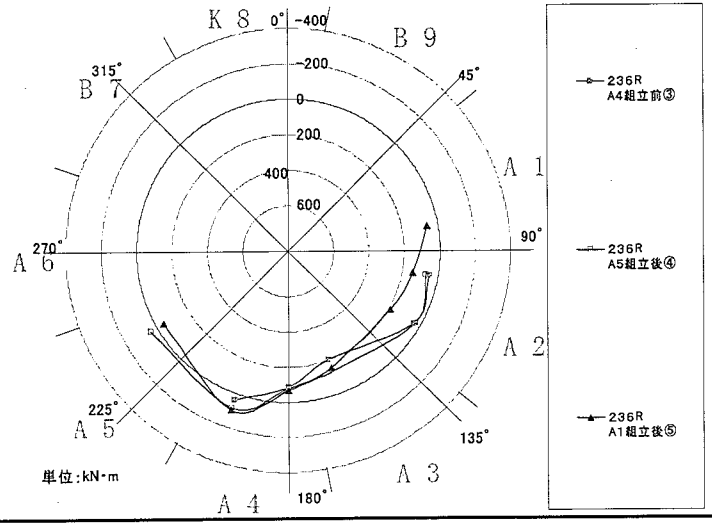


図-4.106　235R 組立時の断面力分布図⑤

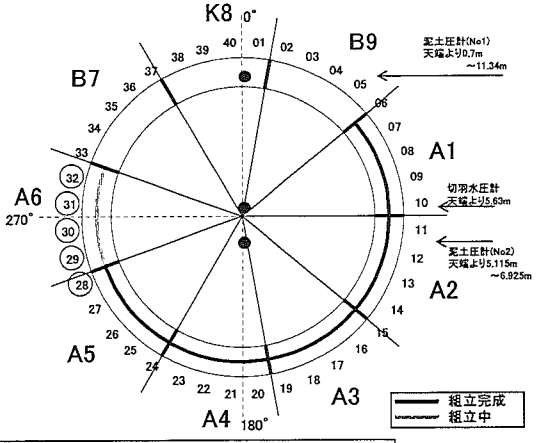
甲リング組立状況図　235 R

日時　2002/1/11 10:32:30　甲組
組立モード

ジャッキ推力(KN)

番号	推力	番号	推力
1	0.00	21	0.00
2	0.00	22	0.00
3	0.00	23	0.00
4	0.00	24	0.00
5	0.00	25	0.00
6	0.00	26	0.00
7	0.00	27	0.00
8	0.00	28	160.00
9	0.00	29	160.00
10	0.00	30	137.14
11	0.00	31	137.14
12	0.00	32	148.57
13	0.00	33	0.00
14	0.00	34	0.00
15	0.00	35	0.00
16	0.00	36	0.00
17	0.00	37	0.00
18	0.00	38	0.00
19	0.00	39	0.00
20	0.00	40	0.00

"＋は伸び、－は収縮を示す。"



設置完了後のセグメントピースは設置時のジャッキ推力がホールドされている。

泥水圧(MPa)	
泥水圧	0.531
切羽水圧	0.521

面板泥土圧(MPa)	
No1	0.470
No2	0.540

裏込注入圧(MPa)	
1-A圧力	-0.090
1-B圧力	-0.020
2-A圧力	0.000
2-B圧力	0.000

計測土圧(234R:MPa)	
A1	-0.8525
A3	-0.4090
A6	-0.2410
K8	-0.3530

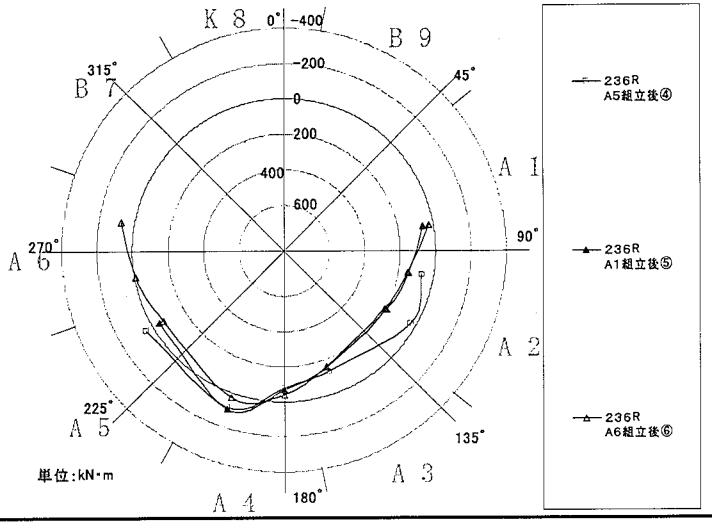


図-4.107　235R 組立時の断面力分布図⑥

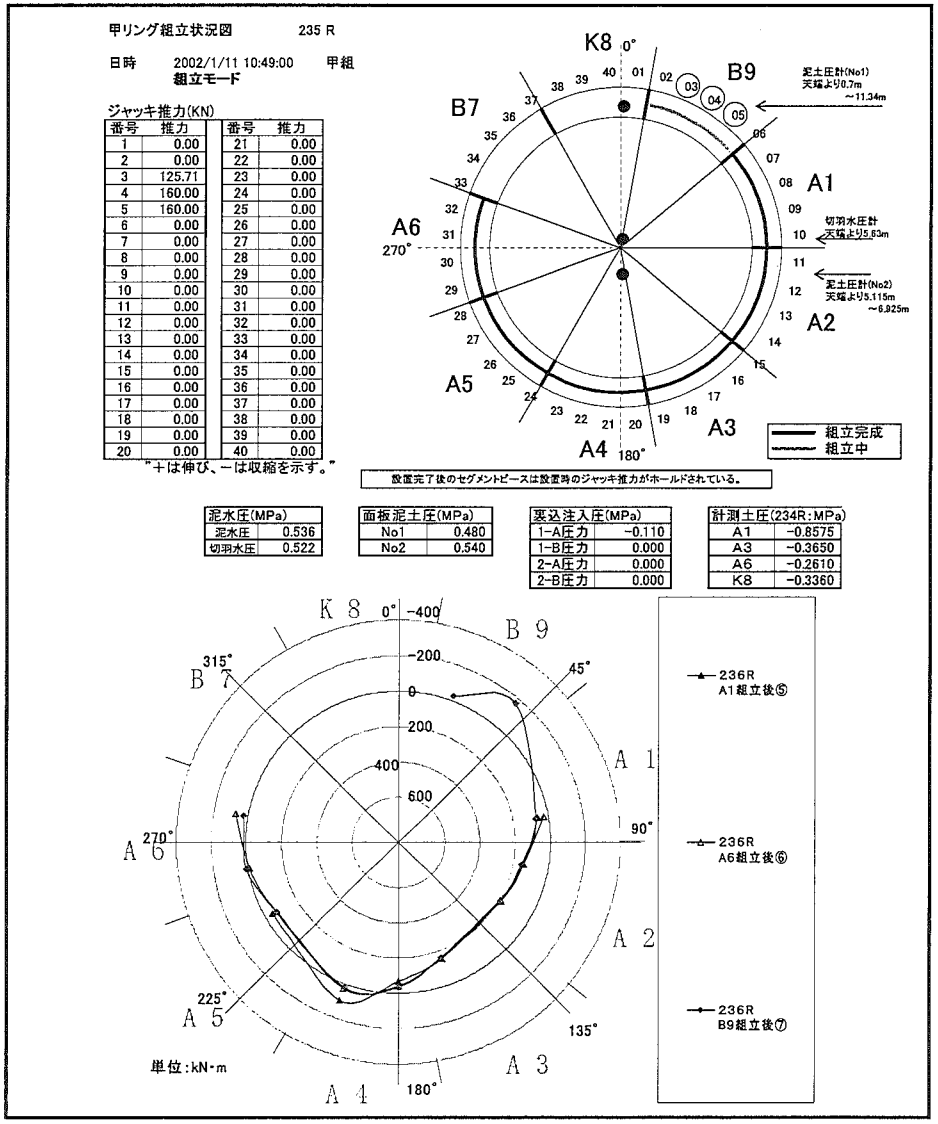


図-4.108　235R 組立時の断面力分布図⑦

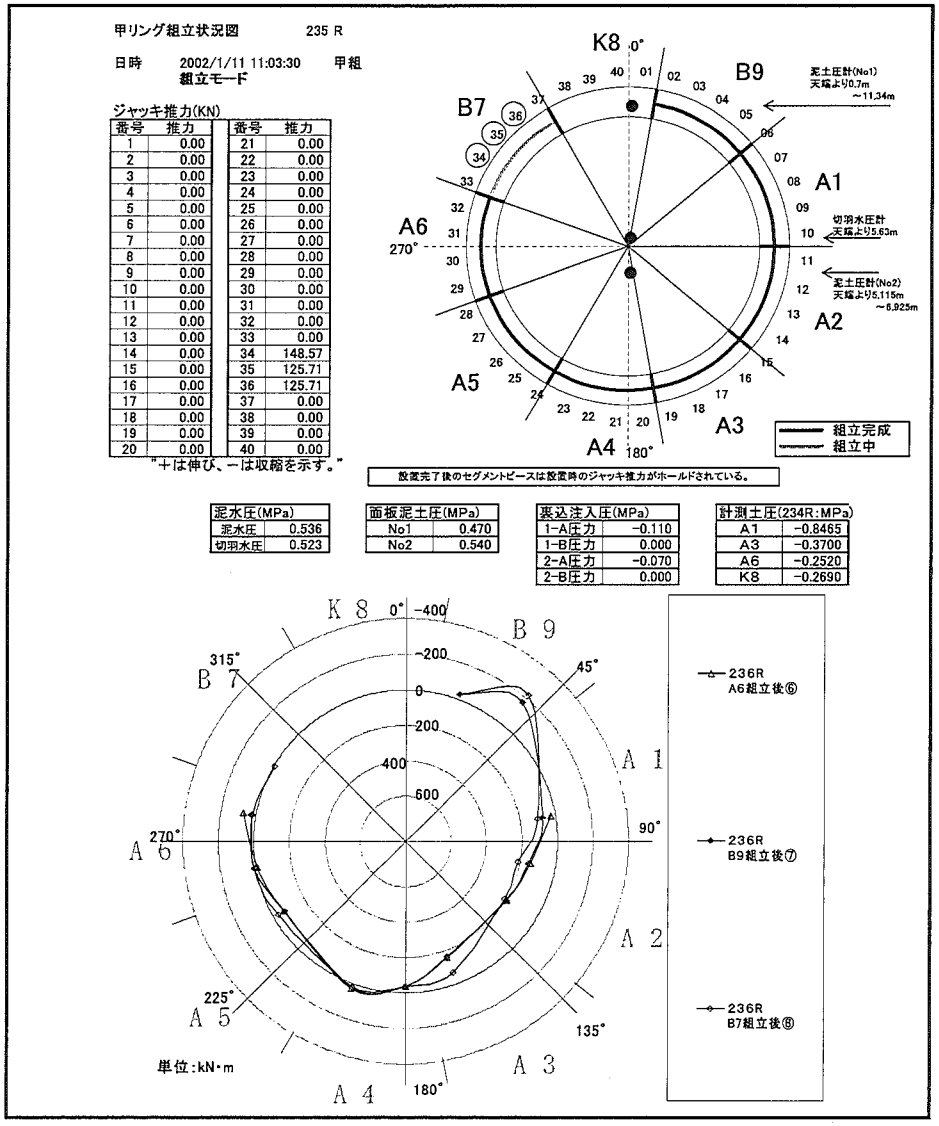


図-4.109　235R 組立時の断面力分布図⑧

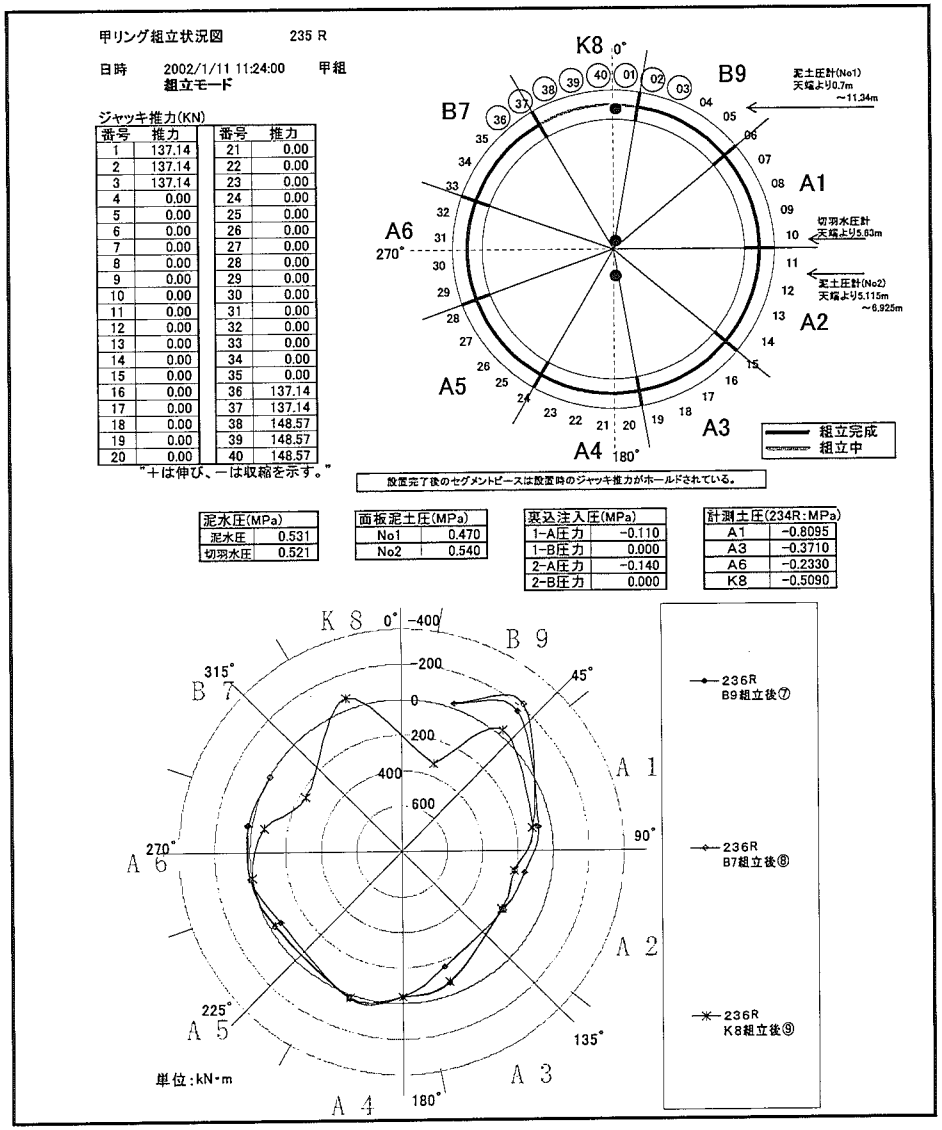


図-4.110　235R 組立時の断面力分布図⑨

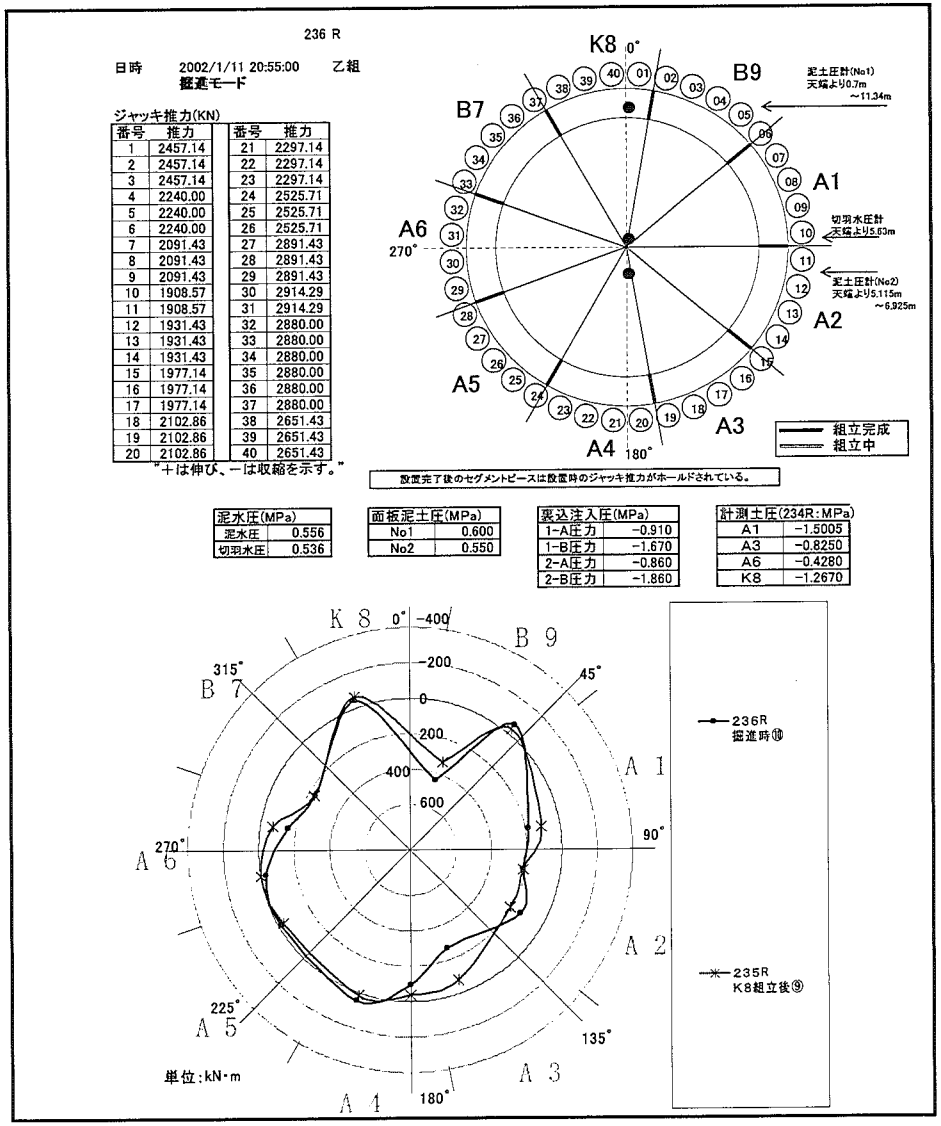


図-4.111　235R 組立時の断面力分布図⑩

第5章 セグメント組立時の自重の取り扱い方法

現在、セグメント設計で一般に用いられている慣用設計法では、土圧、水圧などの外荷重による断面力と、トンネル周辺に地盤ばねを考慮しないセグメント自重による断面力とを重ね合わせて設計断面力を算出している。しかし、近年の真円保持装置やジャッキ推力を用いた施工技術の向上等により、セグメント自重による断面力の低減が期待できる可能性がある。ここでは、セグメント自重の影響に着目し、実際に施工されたシールドトンネルにおいて外荷重や周辺地山の影響を受けないシールドマシン内で測定された鉄筋応力から発生断面力を求め、骨組解析から得られた発生断面力との比較を行い、セグメント自重の取り扱い方法について検討した。

5.1 計測トンネルの概要

現場計測を実施したシールドトンネルは5トンネル（6箇所計測）あり、計測を実施したトンネル諸元を表-5.1に示す。現場計測を実施したトンネルは、第2～4章に示した外径5,750mm(天白共同溝)の中口径トンネルと外径11,800mm～11,900mmの大口径トンネル(外郭放水路トンネル)、および外径4,750mm(楠味美共同溝)[1]のトンネルである。

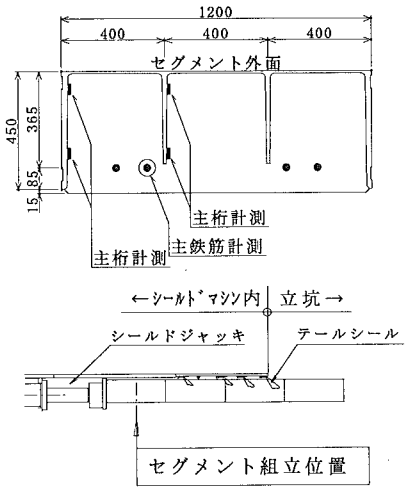
表-5.1 計測トンネル

トンネル名	楠味美共同溝	天白共同溝	外郭放水路第２工区Ａ	外郭放水路第３工区	外郭放水路第４工区
シールド外径 (m)	4.89	5.75	12.14	12.04	12.040
シールド形式	泥土加圧式シールド	泥土加圧式シールド	泥水加圧式シールド	泥水加圧式シールド	泥水加圧式シールド
土被り H(m)	12.1	21.5	51.1	51.4	51.4
土被り比 H/D	2.5	3.7	4.3	4.4	4.3
地下水位(管頂より) (m)	7.3	18.0	37.1	38.4	36.6
トンネル上部の主な地質	洪積砂礫土層	洪積粘性土層	洪積砂質土層	洪積砂質土層	洪積砂質土層
掘削部の主な地質	洪積砂礫土層	洪積砂質土層 洪積粘性土層	洪積砂質土層 洪積粘性土層	洪積砂質土層 洪積粘性土層	洪積砂質土層 洪積粘性土層
セグメントの種類	平板型RCセグメント	平板型RCセグメント	平板型RCセグメント	平板型RCセグメント	鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄとﾀﾞｸﾀｲﾙ鋳鉄との合成ｾｸﾞﾒﾝﾄ
セグメント外径 D(mm)	4.750	5.600	11.900	11.800	11.800
セグメント内径 (mm)	4.300	5.100	10.600	10.600	10.870
セグメント厚さ (mm)	225	250	650	600	465
セグメント幅 (mm)	1200	1200	1200	1200	1200
リング重量 (KN/ﾘﾝｸﾞ)	98	262	716	658	602
セグメント分割数	6	6	9	9	9
セグメントの組み方	2ﾘﾝｸﾞ千鳥	2ﾘﾝｸﾞ千鳥	2ﾘﾝｸﾞ千鳥	2ﾘﾝｸﾞ千鳥	2ﾘﾝｸﾞ千鳥
継手形式(ｾｸﾞﾒﾝﾄ継手)	ボルト結合	ボルト・ほぞ継手	ボルト結合	長ボルト結合	水平楔方式
継手形式(ﾘﾝｸﾞ継手)	楔式ピン継手	ピン・ほぞ継手	ピン・ボルト結合	長ボルト結合	ｱﾝｶｰｼﾞｮｲﾝﾄ方式
ｾｸﾞﾒﾝﾄ継手ばね(MN・m/rad) (上段：正曲,下段：負曲)	8.3 2.2	0.0943 0.0943	372.7 372.7	304 304	177 167
ｾｸﾞﾒﾝﾄ継手ばね値算出方法	計算値	計算値	実験値	実験値	実験値
ﾘﾝｸﾞ継手ばね(MN/m)	1960	33.8	98.1	147.1	160
ﾘﾝｸﾞ継手ばね値算出方法	計算値	実験値	計算値	計算値	実験値
計測断面	連続した２リング	連続した２リング	連続した２リング	連続した２リング	連続した２リング
計測リング①断面目の計測項目	土圧計・水圧計	土圧計・水圧計	土圧計・水圧計	土圧計・水圧計	土圧計・水圧計 鉄筋応力計・主桁応力計
計測リング②断面目の計測項目	鉄筋応力計	鉄筋応力計	鉄筋応力計	鉄筋応力計	鉄筋応力計・主桁応力計
計測開始時期	ｾｸﾞﾒﾝﾄ組立開始から	ｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了から	ｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了から	ｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了から	ｾｸﾞﾒﾝﾄ組立開始から
計測初期値	ｾｸﾞﾒﾝﾄ組立前	ｾｸﾞﾒﾝﾄ組立前	ｾｸﾞﾒﾝﾄ組立前	ｾｸﾞﾒﾝﾄ組立前	ｾｸﾞﾒﾝﾄ組立前

5.2 現場計測結果の分析

5.2.1 セグメント組立時の挙動分析

セグメント組立時の挙動分析は、セグメント組立過程の挙動把握を主点においた計測を実施している外郭放水路第４工区シールドトンネルを採用した。なお、計測は連続する２リングで実施しており、1リング目の計測リング①（２３４R）は鉄筋応力、主桁応力、土圧、水圧を、2 リング目の計測リング②（２３５R）は鉄筋応力、主桁応力を計測した。また、施工時荷重のデータとしてシールドジャッキ推力、裏込め注入圧等を収集した。セグメント計器配置図を図-5.1、セグメント組立位置図を図-5.2に、計測リング①（２３４R）の組立時と後続リング組立時の円周方向鉄筋応力と土圧計の計測結果を図-5.3（その 1)、計測リング②（２３５R）の組立時と後続リング組立時の円周方向鉄筋応力と推力の計測結果を図 5-3（その 2）に示す。



組立手順	組立ピース
1	A3
2	A4
3	A2
4	A5
5	A1
6	A6
7	B9
8	B7
9	K8

図-5.1　セグメント計器配置図

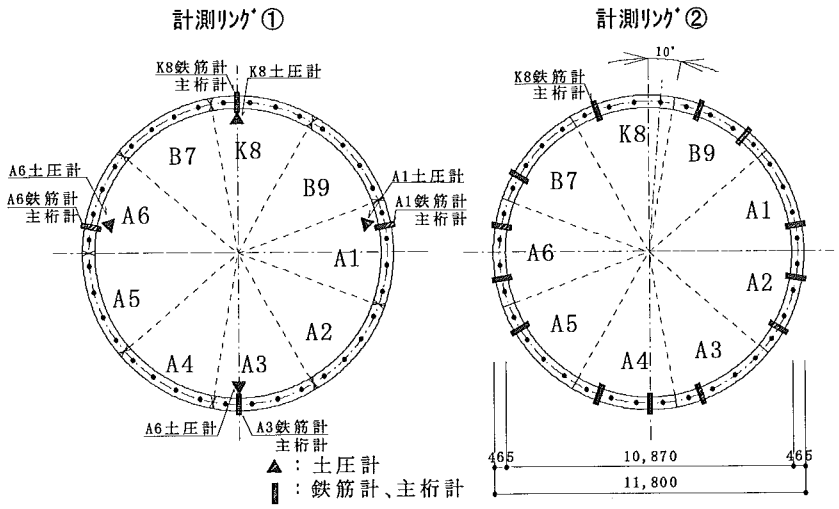


図-5.2　セグメント組立位置図

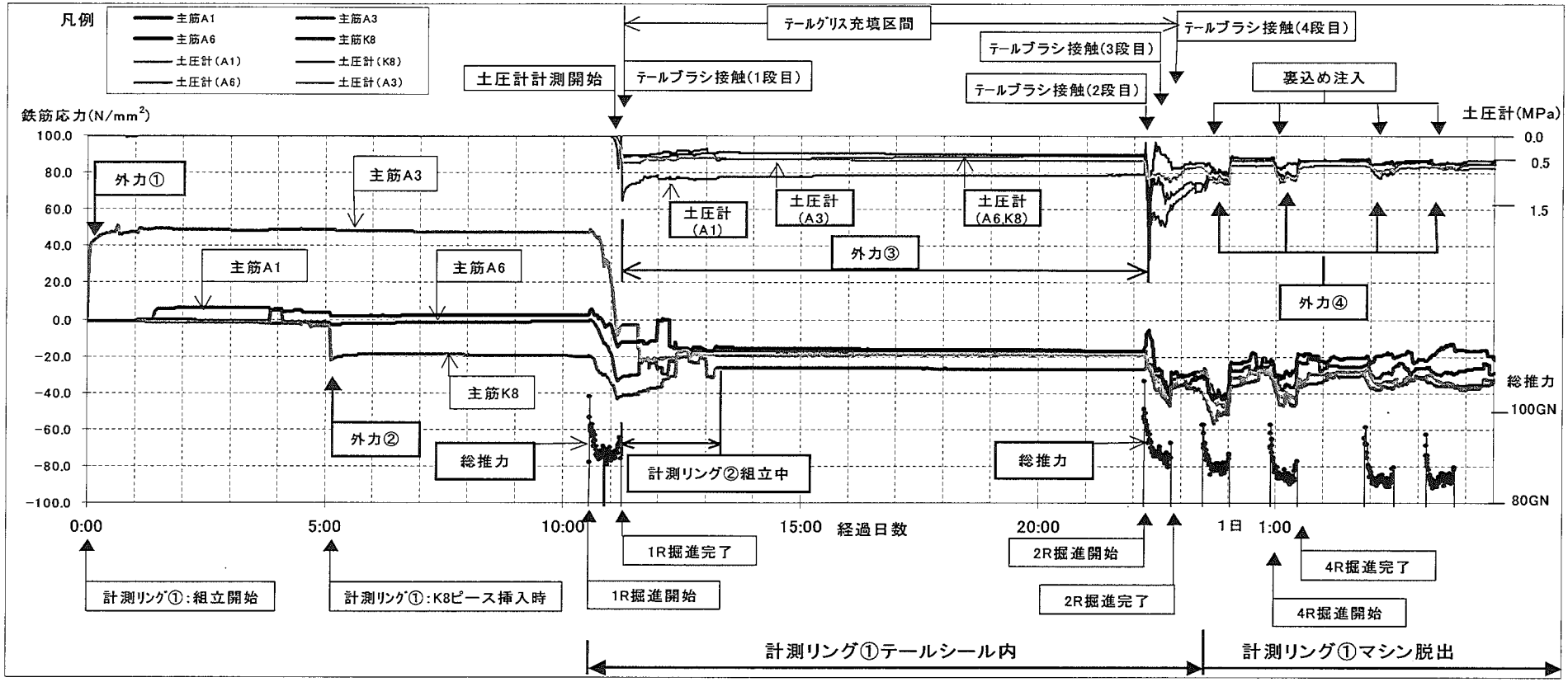
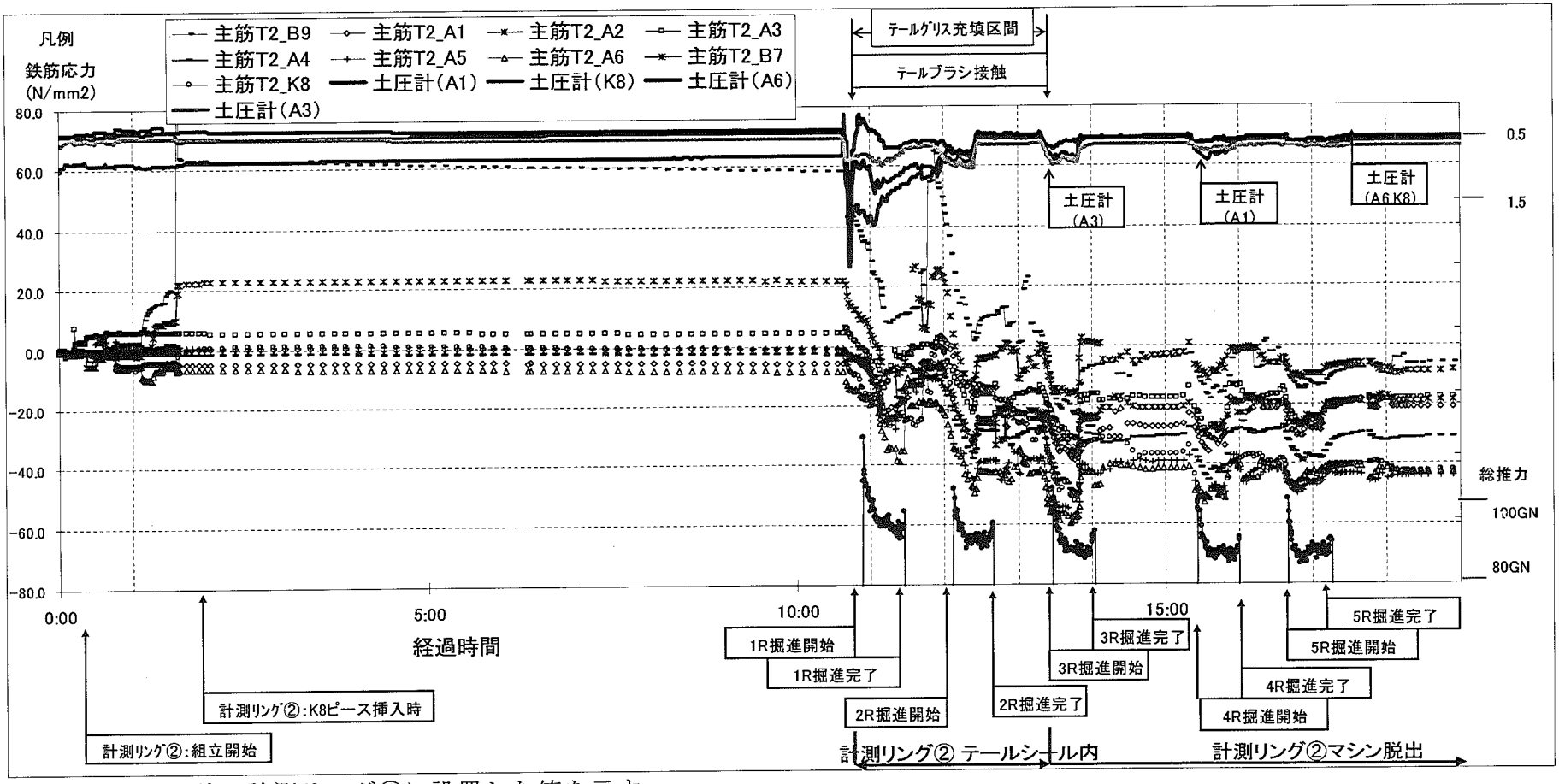


図-5.3　土圧および円周方向鉄筋応力の計測結果(その 1)



※図中の土圧計は計測リング①に設置した値を示す。

図-5.3　土圧および円周方向鉄筋応力の計測結果(その 2)

計測リング①（２３４R）の組立直後から後続の４リング組立完了までの間が鉄筋応力の変動が大きくなっている。特に推進時のジャッキ総推力の変化とともに変動していることが分かる。このジャッキ総推力以外のセグメントに作用する主な外力は図中に示すとおり、A3 ピース設置時にジャッキ挿入等の施工時荷重による円周方向引張応力が作用(外力①)、軸方向挿入型 K8 ピース組立時にジャッキ挿入に伴う円周方向圧縮力等が作用(外力②)、１リング掘進開始直後からテールブラシ接触圧ならびにテールグリス充填圧の圧力を受ける(外力③)、シールドマシン脱出時に裏込め注入圧が作用(外力④)が挙げられる。また、計測リング②においても、施工時荷重を受けて変動していることが分かる。

次に、計測リング②（２３５R）における各セグメントピース組立時の現場計測値から算出した断面力を図-5.4 に示す。現場計測値から算出した覆工断面力は、各セグメントピース組立に伴って変動し、特に軸方向挿入型Kセグメント（組立リング②の最終設置ピース）を挿入することで、Kセグメントの両隣に位置するセグメントピースの覆工断面力に大きな変動（20° 地点において-約 30kN･m から約 330kN･m）を与えている。このことから、リング閉合時においてはKセグメント組立挿入に伴うジャッキ推力等の施工時荷重が作用していることが分かる。また、リング閉合前の組立段階において覆工断面力は左右対称(100° 地点において約 200kN･m に対し 260° 地点において約 0kN･m)となっていないため、セグメント自重以外にテール圧(ここでは、テールグリス圧やテールブラシ圧を総称してテール圧という)等の施工時荷重が作用していると推察される。

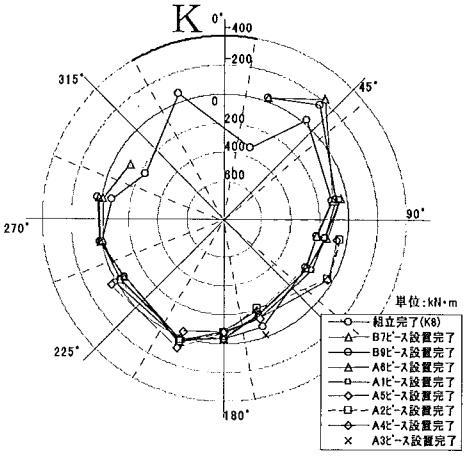


図-5.4　円周方向鉄筋断面力図（235R）

5.2.2　セグメント組立完了時の覆工断面力算出結果

各計測トンネルの鉄筋応力に基づき求めたセグメント組立完了時の覆工に発生する断面力を図-5.5～図-5.10 に示す。また、表-5.2 に最大発生断面力を示す。

楠味美共同溝では、セグメント組立完了時に発生する断面力は正曲げ最大が 10.9kN･m、負曲げ最大が-2.70kN･m となっている。

天白共同溝では、セグメント組立完了時に発生する断面力は正曲げ最大が 28.9kN･m、負曲げ最大が-12.5kN･m となっている。

外郭放水路第２工区（A）では、セグメント組立完了時に発生する断面力は正曲げ最大が 172.5kN･m、負曲げ最大が-340.8kN･m となっている。

外郭放水路第２工区（B）では、セグメント組立完了時に発生する断面力は正曲げ最大が 118.8kN･m、負曲げ最大が-189.8kN･m となっている。

外郭放水路第３工区では、セグメント組立完了時に発生する断面力は正曲げ最大が 276.2kN･m、負曲げ最大が 2.4kN･m(全断面正曲げ)となっている。

外郭放水路第４工区では、セグメント組立完了時に発生する断面力は正曲げ最大が 334.4kN･m、負曲げ最大が-63.1kN･m となっている。

表-5.2　最大発生断面力一覧表

トンネル名		楠味美 共同溝	天白 共同溝	外郭放水路 ２工区(A)	外郭放水路 ２工区(B)	外郭放水路 ３工区	外郭放水路 ４工区
ｾｸﾞﾒﾝﾄ外径		4.75m	5.60m	11.90m	11.90m	11.80m	11.80m
部材厚		0.225m	0.25m	0.65m	0.65m	0.60m	0.465 m
正	計測	10.9kN･m	28.9kN･m	172.5 kN･m	118.8 kN･m	276.2 kN･m	334.4 kN･m
負	計測	-2.7 kN･m	-12.5 kN･m	-340.8 kN･m	-189.8 kN･m	2.4 kN･m	-63.1 kN･m

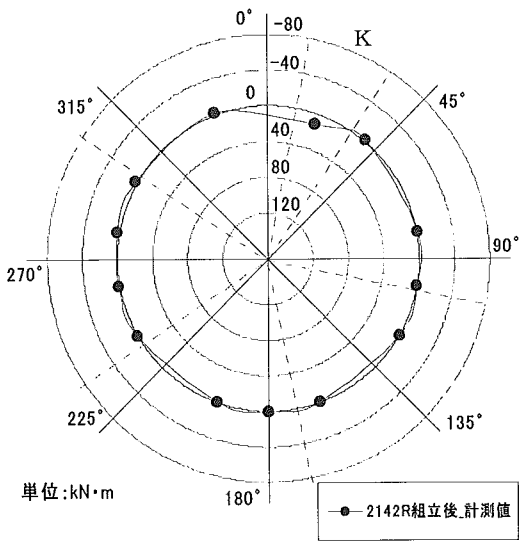


図-5.5　楠味美共同溝

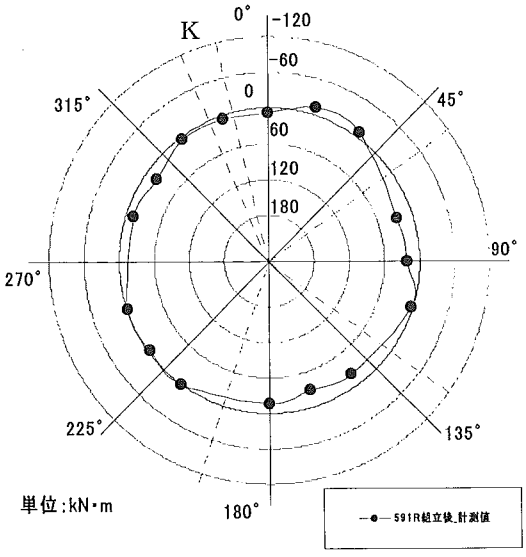


図-5.6　天白共同溝

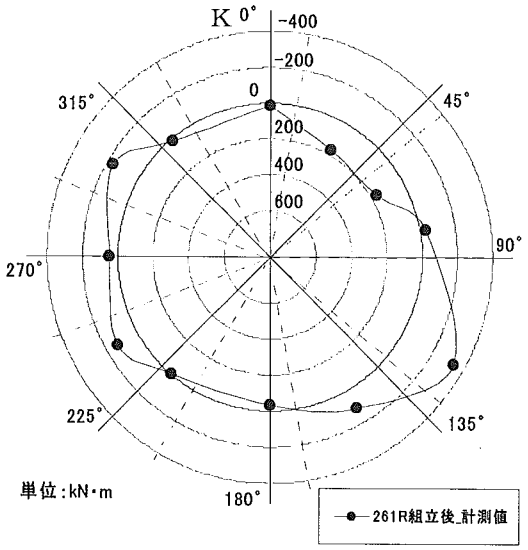


図-5.7　外郭放水路第２工区(A)

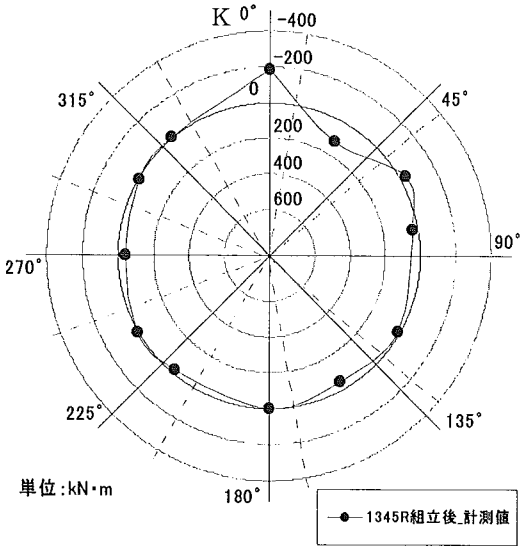


図-5.8　外郭放水路第２工区(B)

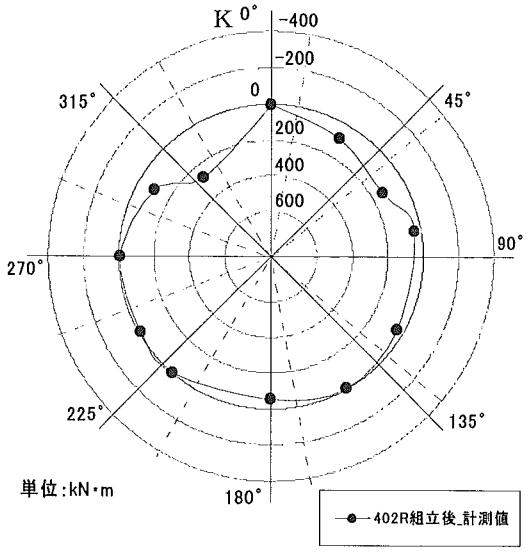


図-5.9　外郭放水路第３工区

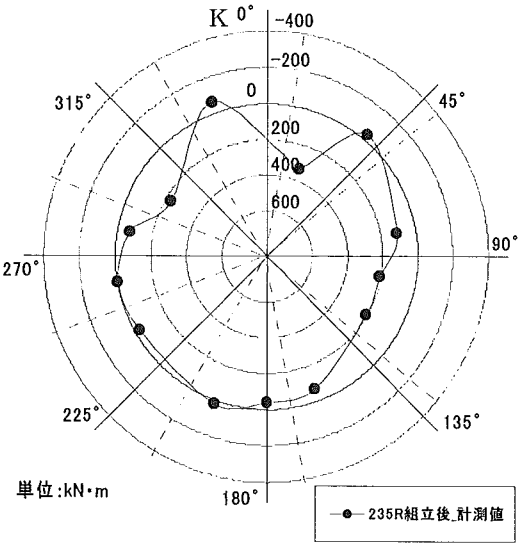


図-5.10　外郭放水路第４工区

5.2.3　現場計測に基づく施工時荷重

検討対象としたトンネルにおいては、組立完了後の１リング掘進した時点で土圧計に荷重が作用している。このことから、セグメントはシールドマシン内においてもテールブラシなどによる荷重が作用している可能性がある。検討対象のトンネルにおける掘進に伴う土圧計の変動を図-5.11～図-5.16 に示す。

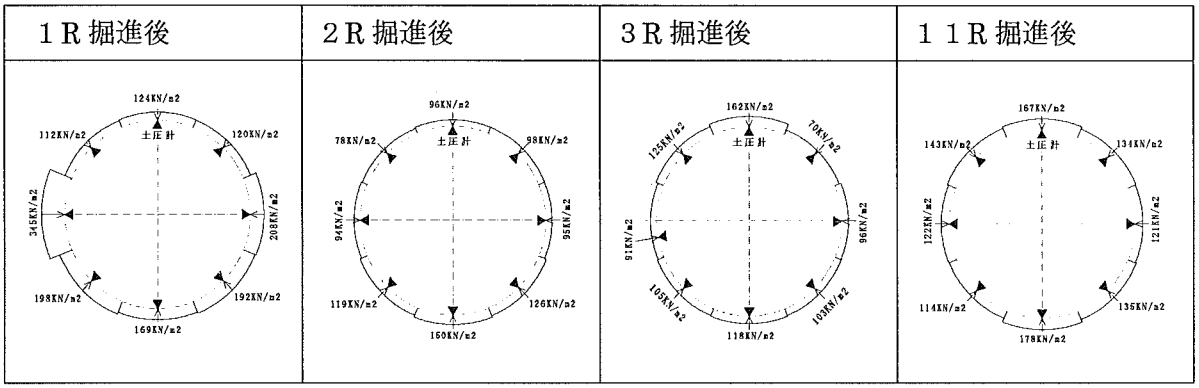


図-5.11　楠味美共同溝　土圧計測結果

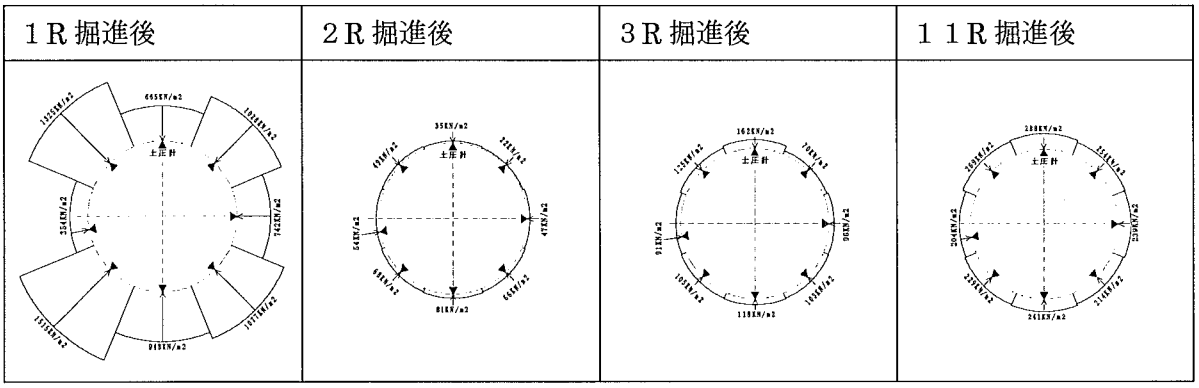


図-5.12　天白共同溝　土圧計測結果

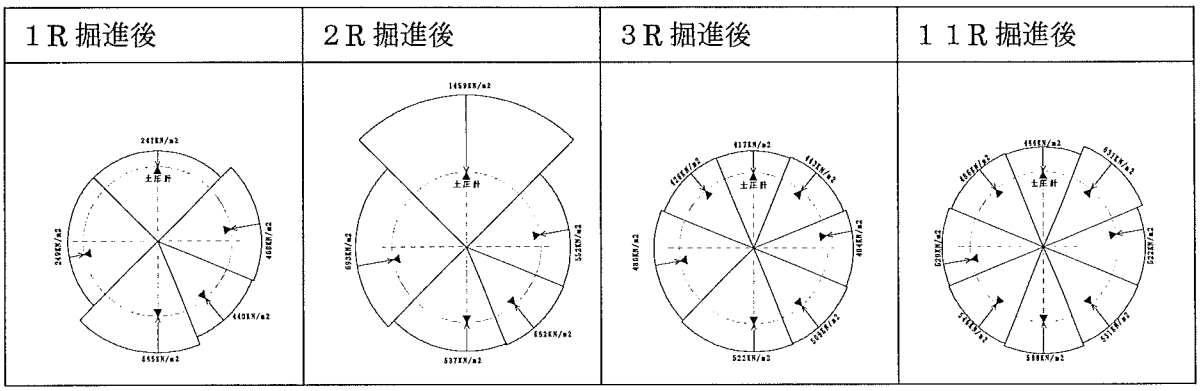


図-5.13　外郭放水路第2工区(A)　土圧計測結果

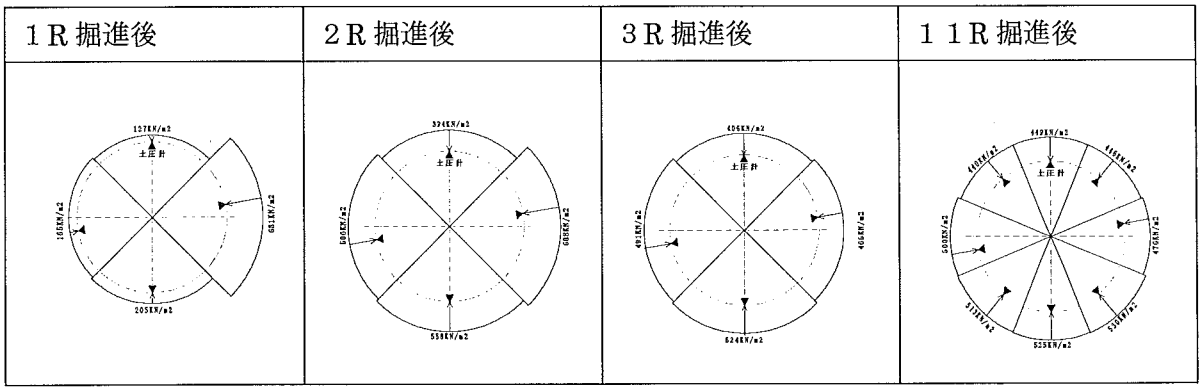


図-5.14　外郭放水路第2工区(B)　土圧計測結果

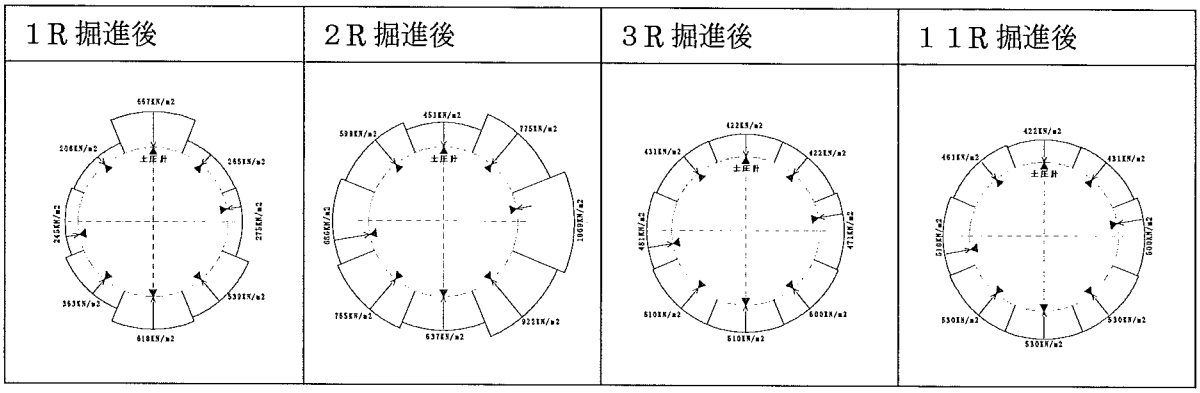


図-5.15　外郭放水路第３工区　土圧計測結果

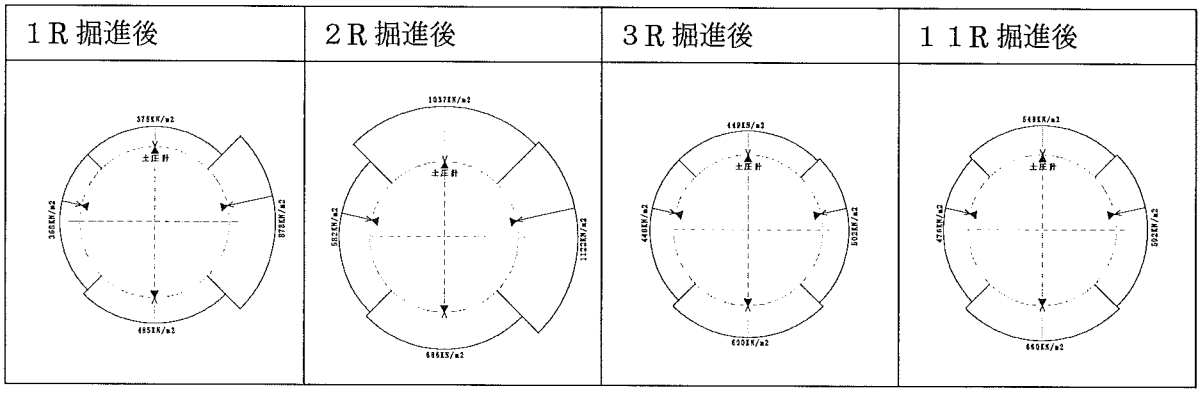


図-5.16　外郭放水路第４工区　土圧計測結果

5.2.4　マシンデータによるジャッキ荷重

計測リングのセグメント組立時のシールドジャッキ荷重は外郭放水路第４工区のみ計測を実施している。組立時のジャッキ荷重は掘進時のジャッキ推力と比較して約 1/10～約 1/50 と小さい（表-4.7)。計測リング組立前のジャッキ偏心は左右で 20mm(ジャッキの伸びが左と比較して右が 20mm 長い、上下で 30mm(下と比較して上が 30mm 長い)となっており、掘進時の偏心荷重は sin(0.145°)×2370kN =6.0kN, 掘進時の偏心荷重は sin(0.145°)×2370kN =4.1kN 程度となりジャッキ推力による偏心荷重は小さいことが考えられる。

組立時のジャッキ荷重は、掘進時と比較して約 1/10～約 1/50 と小さいため、当該検討リングにおいては、ジャッキ荷重の影響は少ないものと考えられる。

5.3　骨組解析モデルによる覆工断面力の検討

5.3.1　解析モデル

解析モデルは、セグメントを直線梁、セグメントのピース間継手を回転ばね、リング間継手をせん断ばねでモデル化した２リングはりばねモデルを使用した。解析モデルの概要図を図-5.17 に、各計測トンネルのセグメント分割図を図-5.18～5.22 に示す。なお、セグメント組立完了前の解析については、セグメント組立時の解析を実施している外郭放水路第４工区のみ実施した。

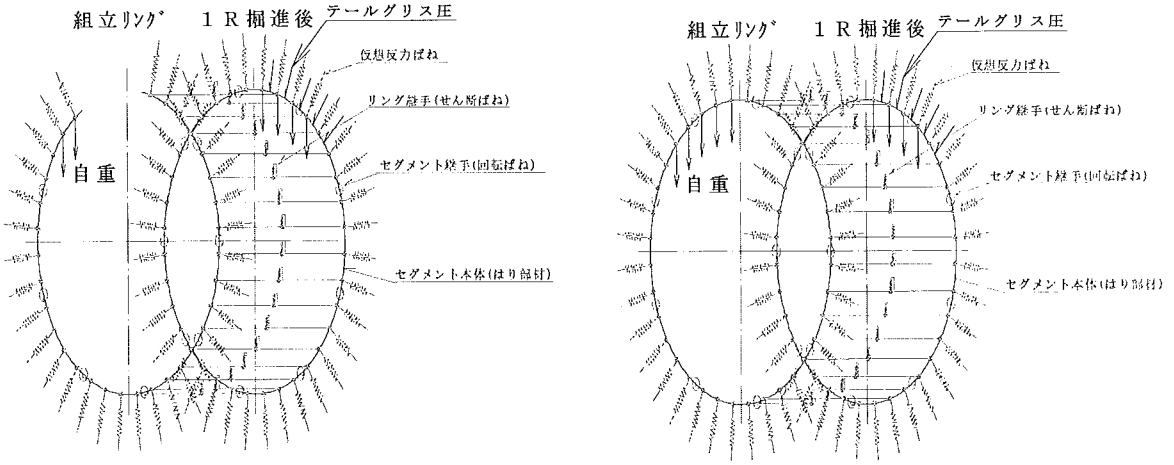


図-5.17　解析モデル図（左：組立完了前、右：組立完了後）

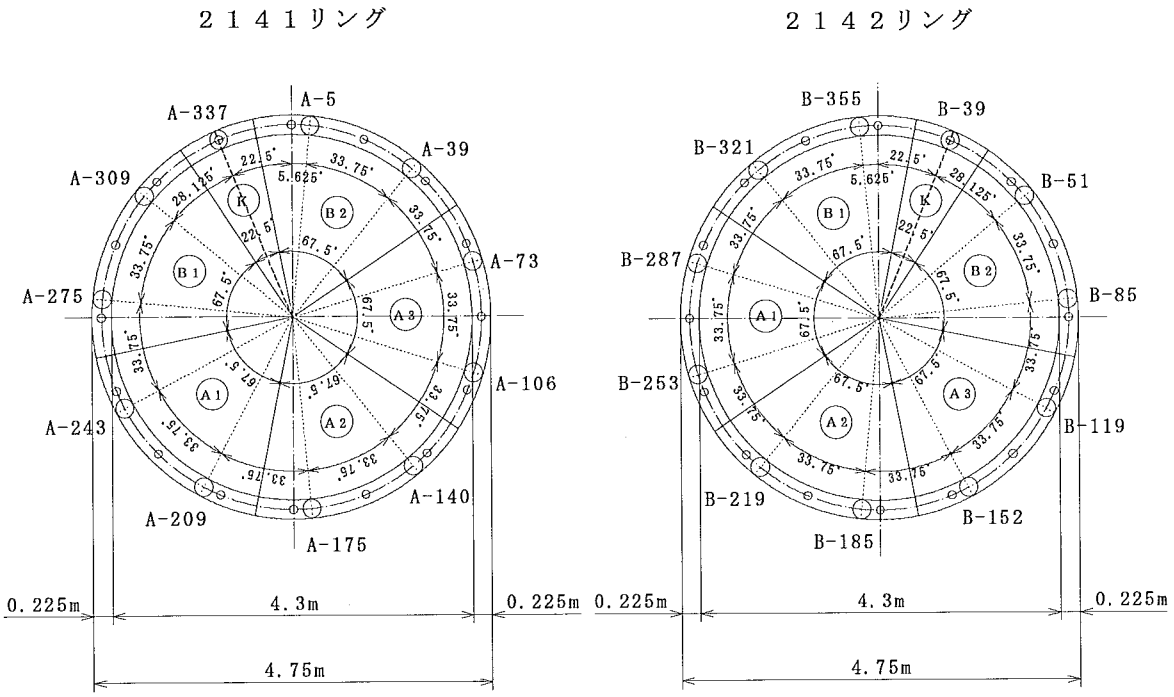


図-5.18　楠味美共同溝セグメント分割図

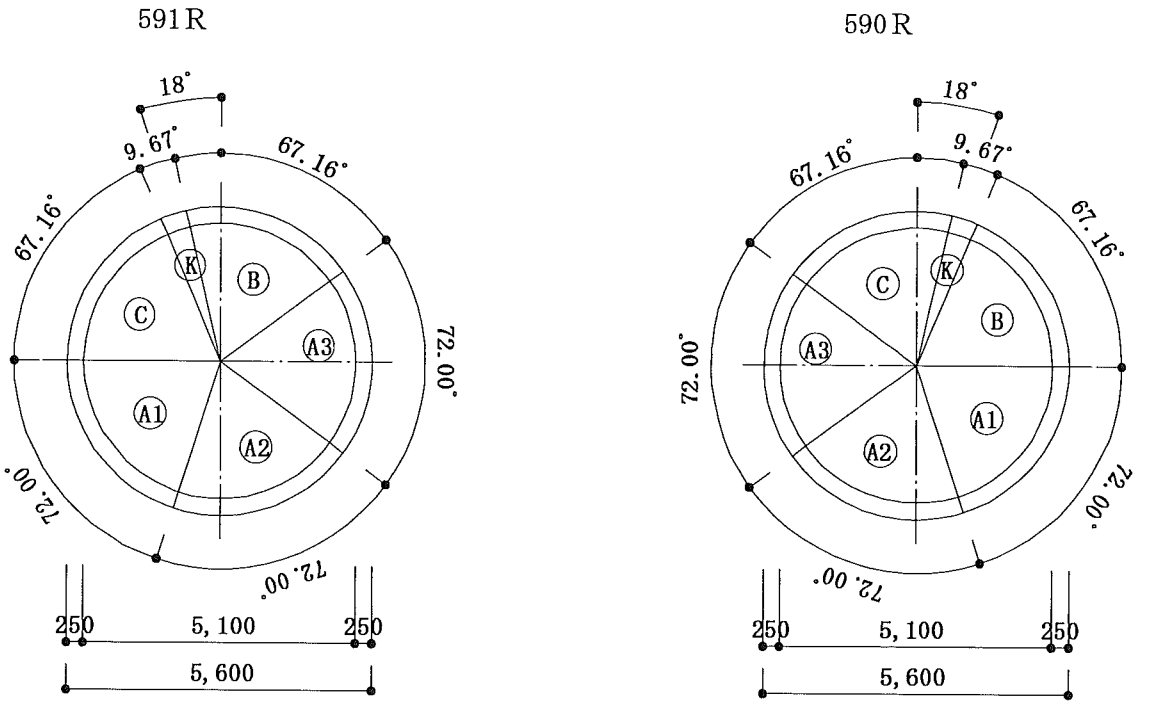


図-5.19　天白共同溝　セグメント分割図

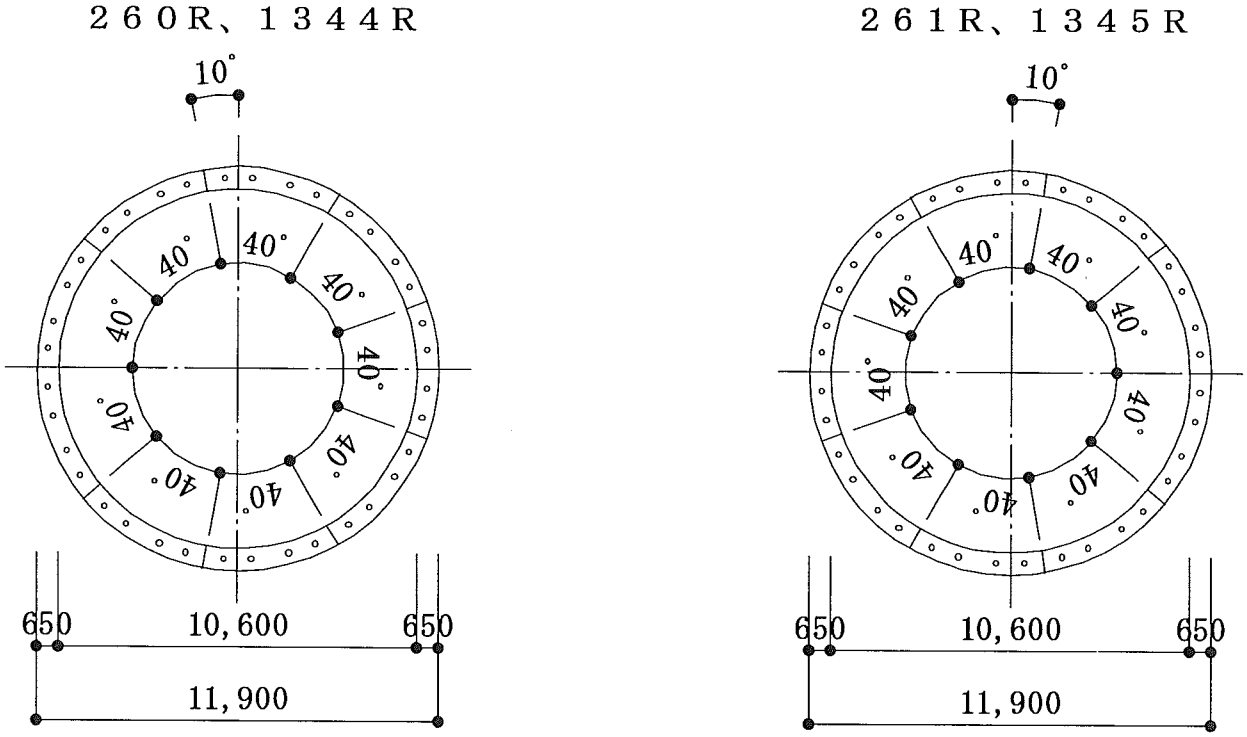


図-5.20　外郭放水路第２工区　セグメント分割図

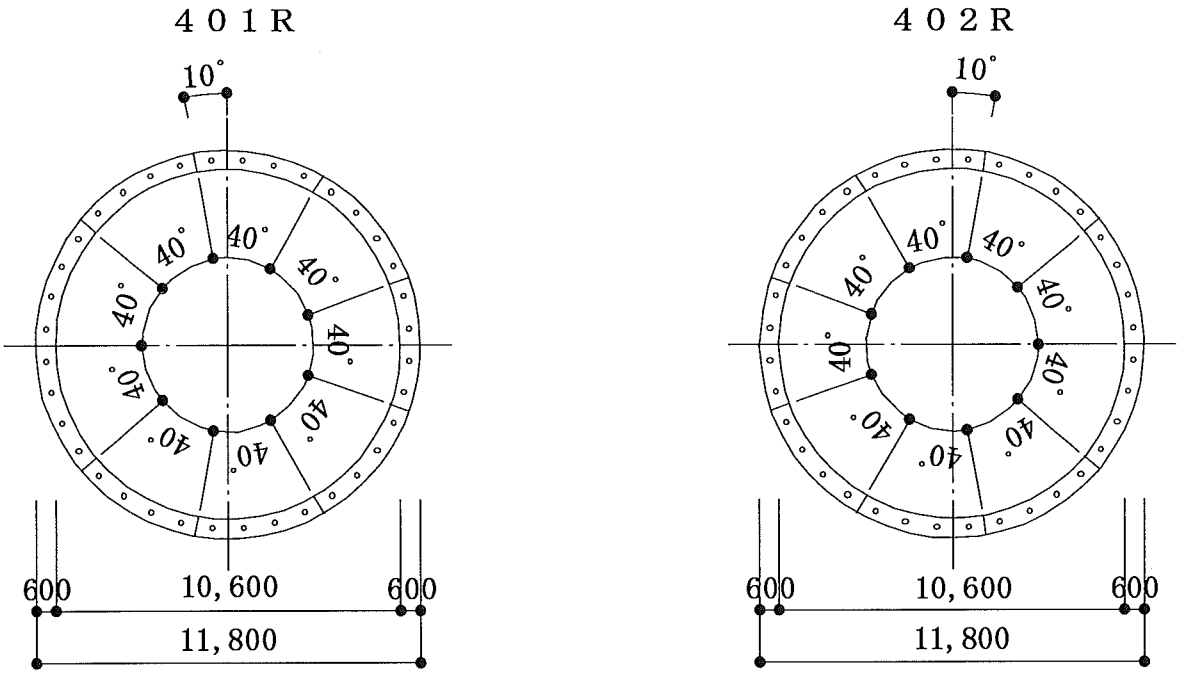


図-5.21　外郭放水路第３工区　セグメント分割図

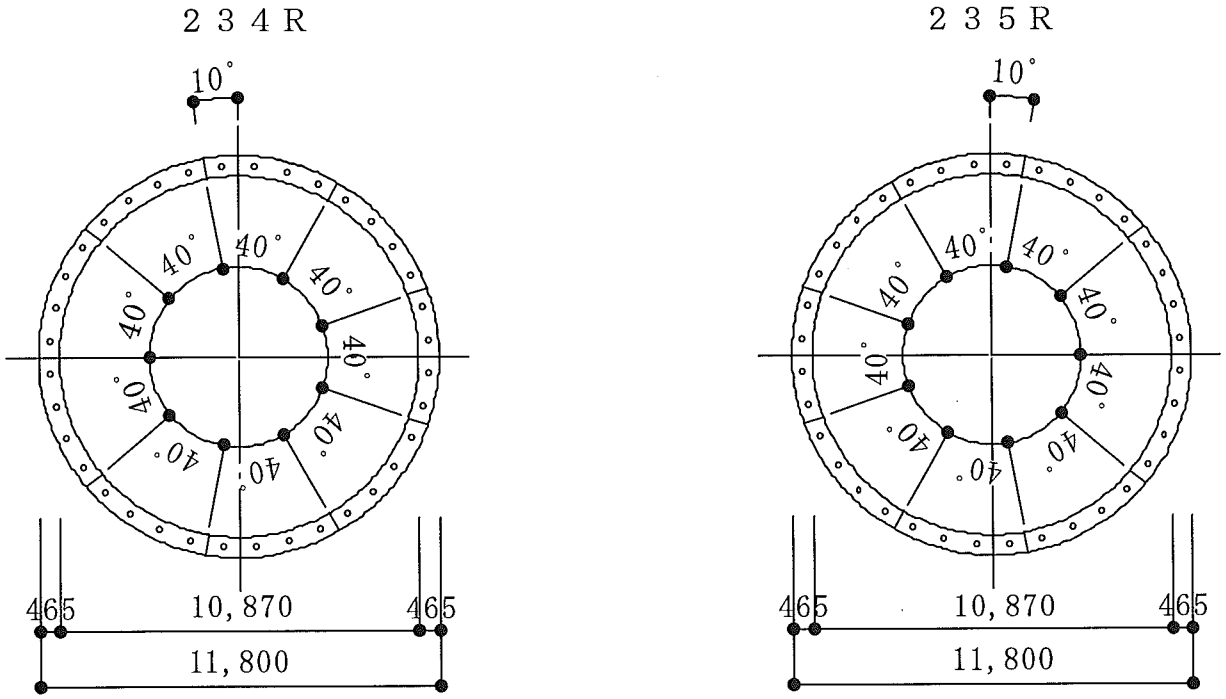


図-5.22　外郭放水路第４工区　セグメント分割図

5.3.2 解析条件

(1)部材剛性

部材剛性はセグメント設計時に設定した物性値もしくはセグメント強度確認試験により求めた物性値を参照した。検討対象トンネルの物性値一覧を表-5.3 に示す。

表-5.3 部材剛性一覧表

	楠味美 共同溝	天白 共同溝	外郭放水路 第２工区	外郭放水路 第３工区	外郭放水路 第４工区
部材幅(m)	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
部材厚(m)	0.225	0.25m	0.65	0.60	0.465
断面積(m^2)	0.27	0.30	0.78	0.72	0.54
断面二次 ﾓｰﾒﾝﾄ(m^4)	0.001139	0.001563	0.02746	0.02165	0.009113
弾性係数 (GN/m^2)	32.36	33.00	38.25 (計測断面 A) 44.13 (計測断面 B)	38.25	28.00

(2)自重

セグメント自重は、組立リング、組立完了１リング経過リングともに作用させる。

検討対象トンネルのセグメント自重を表-5.4 に示す。

表-5.4 セグメント自重一覧表

	楠味美 共同溝	天白 共同溝	外郭放水路 第２工区	外郭放水路 第３工区	外郭放水路 第４工区
単位体積重量 (kN/m^3)	25.5	26.0	26.0	26.0	30.3
総重量 (kN/Ring)	98	131	716	659	602

(3)施工時荷重

施工時荷重としては、組立完了後１リング掘進時に作用すると考えられるテール圧を考慮する。対象トンネルの土圧計測結果を図-5.24 に示す。

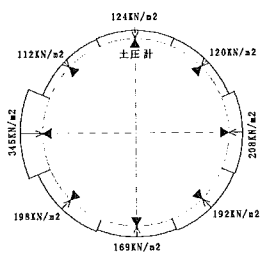
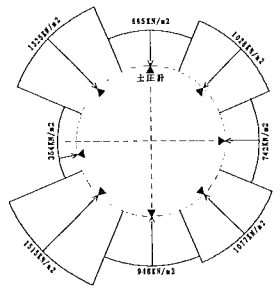
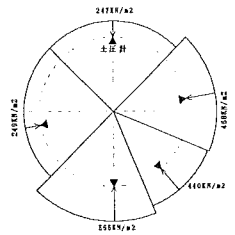
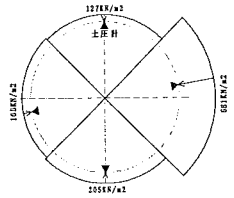
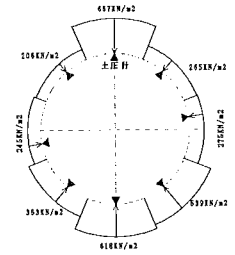
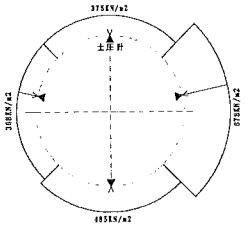
<table>
<tr><td rowspan="2">施工時荷重
計測結果
(テール圧)</td><td>楠味美共同溝</td><td>天白共同溝</td><td>外郭放水路
(第２工区A)</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>外郭放水路
(第２工区B)</td><td>外郭放水路
(第３工区)</td><td>外郭放水路
(第４工区)</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
</table>

図-5.24　施工時荷重一覧図

(4)ばね定数

セグメント継手とリング間継手の解析に用いるばね定数は、実験により求めた値ならびに計算により算出した。セグメントを支持する仮想反力ばねについては、セグメント設計時に用いた地盤ばねを参照にして設定した。

表-5.5　継手ばね定数一覧表

	楠味美 共同溝	天白 共同溝	外郭放水路 第２工区	外郭放水路 第３工区	外郭放水路 第４工区
ﾋﾟｰｽ間継手 (MN･m/rad)	8.3(正曲) 2.2(負曲)	0.943(正曲) 0.943(負曲)	372.7(正曲) 372.7(負曲)	304(正曲) 304(負曲)	177(正曲) 167(負曲)
ﾘﾝｸﾞ間継手 (MN/m)	1960	33.8	98.1	147.1	160
仮想反力ばね定数 (法線方向) (MN/m³)	・0.0 ・10.0 ・50.0 ・100.0	・0.0 ・10.0 ・50.0 ・100.0	・0.0 ・10.0 ・50.0 ・100.0	・0.0 ・10.0 ・50.0 ・100.0	・0.0 ・10.0 ・50.0 ・100.0
仮想反力ばね定数 (接線方向) (MN/m³)	・法線方向の 1/3	・法線方向の 1/3	・法線方向の 1/3	・法線方向の 1/3	・法線方向の 1/3

(5)計算モデル

計算モデルに作用させる荷重は、セグメント自重に施工時荷重を上記ばね定数の組み合わせと施工時荷重を考慮した場合を設定した。計算ケースを表-5.6 に示す。

表-5.6　計算モデル一覧表

解析 ケース	自重	施工時 荷重 (テール圧)	仮想反力ばね(法線) 単位:MN/m³			
			100	50	10	0
ケース①	○	－	○			
ケース②	○	－		○		
ケース③	○	－			○	
ケース④	○	－				○
ケース⑤	○	○	○			
ケース⑥	○	○		○		
ケース⑦	○	○			○	
ケース⑧	○	○				○

5.3.3　解析結果

(1)組立完成前

組立完成前の解析については、組立前の覆工計測を実施している外郭放水路第４工区について実施した。

トンネル現場計測値から求めた断面力と骨組解析から得られた断面力の分布図を図-5.24、図-5.25 に示す。図-5.24 より施工時荷重を考慮しない場合（解析ケース①～④）、計測ﾘﾝｸﾞ①においては仮想反力ばねを考慮しないモデルの解析断面力と現場計測結果の発生断面力は類似しない結果となったが、仮想反力ばねを考慮したはりばねモデルの解析断面力と現場計測結果の発生断面力は概ね類似する結果となった。ただし、計測ﾘﾝｸﾞ①については計測したデータ数が少なく、リング全体の類似傾向を確認するには至っていない。このことから、本研究においては参考程度に留めるものとした。一方、計測ﾘﾝｸﾞ②については仮想反力ばねを考慮したモデルの解析断面力および仮想反力ばねを考慮しないモデルの解析断面力ともに現場計測結果の発生断面力とは類似しない結果となった。これより、セグメントの組立完了前にはセグメント自重以外の荷重が作用していることが考えられる。一方、図-5.25 より施工時荷重を考慮した場合(解析ケース⑤～⑧)、計測ﾘﾝｸﾞ①においては仮想反力ばねを考慮しないモデルの解析断面力と現場計測結果の発生断面力は類似しない結果となったが、仮想反力ばねを考慮したモデルの解析断面力と現場計測結果の発生断面力は概ね類似する結果となった。しかし、前述したようにデータ数が少ないため、参考程度に留めるものとする。また、計測ﾘﾝｸﾞ②においては仮想反力ばねを考慮しないはりばねモデルの解析断面力と現場計測結果の発生断面力は類似しない結果となったが、仮想反力ばねを考慮したモデルの解析断面力と現場計測結果の発生断面力は概ね類似する結果となった。

このことから、セグメント組立完了前に作用する荷重には、セグメント自重の他にテール圧が作用していることが考えられる。

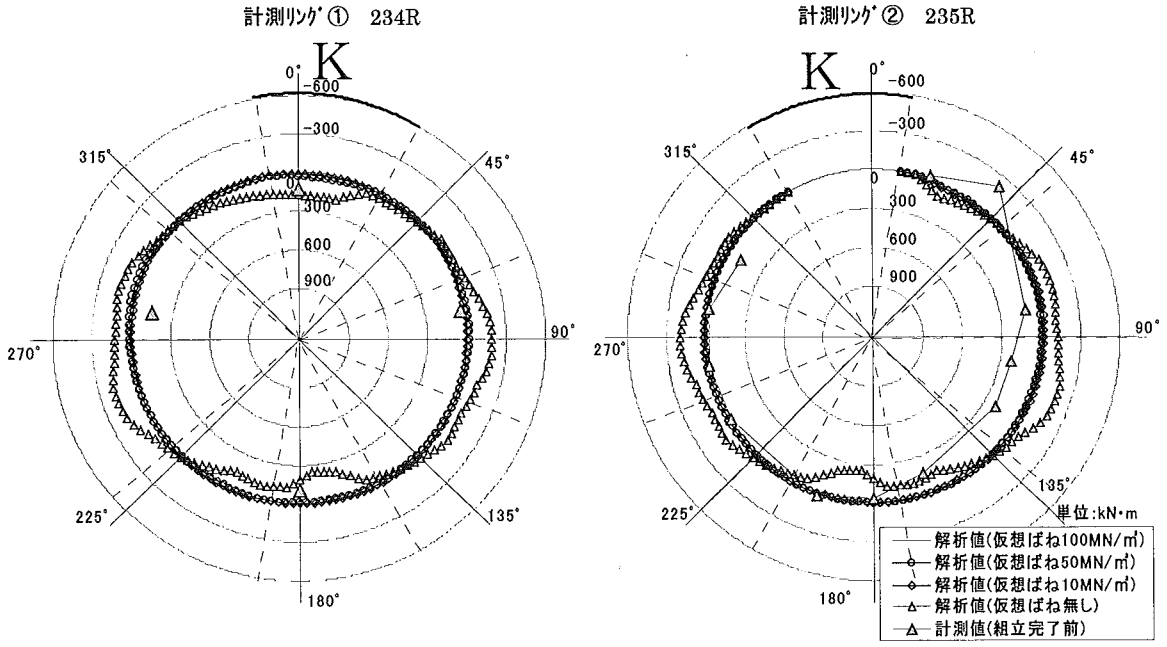


図-5.24　外郭放水路第４工区 施工時荷重を考慮しない場合の断面力分布(検討ケース①～④)

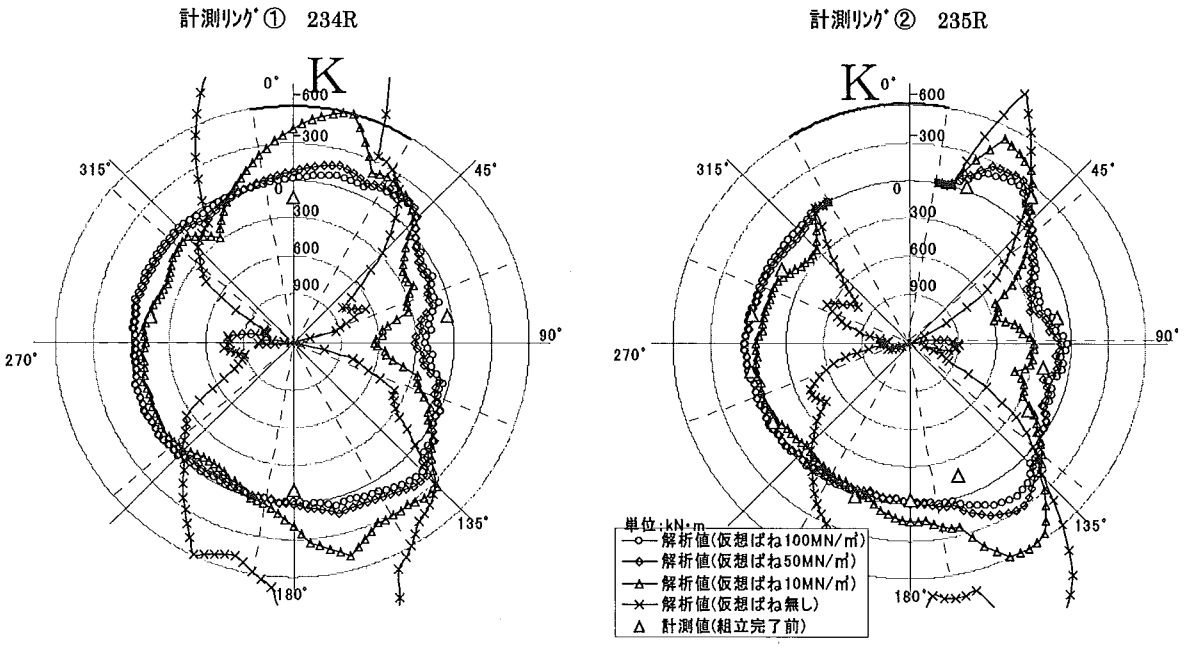


図-5.25　外郭放水路第４工区　施工時荷重を考慮した場合の断面力分布（検討ケース⑤～⑧）

(2)組立完成後(解析ケース①～④)

現場計測値から求めた断面力と施工時荷重を考慮しない骨組解析(解析ケース①～④)から得られた断面力分布図を図-5.26～図-5.30 に示す。図-5.26、図-5.27 より楠味美、天白トンネルについては仮想反力ばねを考慮しないはりばねモデルの解析断面力と現場計測結果の発生断面力は類似しないが、仮想反力ばねを考慮したはりばねモデルの解析断面力と現場計測結果の発生断面力は概ね類似する結果となった。図-5.28 より外郭放水路２工区(A)トンネルについては仮想反力ばねを考慮したモデルの解析断面力および仮想反力ばねを考慮しないモデルの解析断面力ともに現場計測結果の発生断面力とは類似しない結果となった。２工区(B)トンネルについては、仮想反力ばねを考慮しないはりばねモデルの解析断面力と現場計測結果の発生断面力は類似しないが、仮想反力ばねを考慮したはりばねモデルの解析断面力と現場計測結果の発生断面力は概ね類似する結果となった。また、図-5.29 より外郭放水路３工区トンネルについては仮想反力ばねを考慮しないはりばねモデルの解析断面力と現場計測結果の発生断面力は類似しないが、仮想反力ばねを考慮したはりばねモデルの解析結果と現場計測結果は、軸方向挿入型Ｋセグメントに隣接するセグメントピースを除いて概ね発生断面力が類似する結果となった。また、図-5.30 より外郭放水路４工区トンネルについては、計測ﾘﾝｸﾞ①においては仮想反力ばねを考慮しないモデルの解析断面力と現場計測結果の発生断面力は類似しない結果となったが、仮想反力ばねを考慮したはりばねモデルの解析断面力と現場計測結果の発生断面力は概ね類似する結果となった。一方、計測ﾘﾝｸﾞ②については仮想反力ばねを考慮したモデルの解析断面力および仮想反力ばねを考慮しないモデルの解析断面力ともに現場計測結果の発生断面力とは類似しない結果となった。

以上のことから、セグメントの組立時に作用する荷重においては、土被り、シールド径、継手形式等のさまざまな施工条件が組み合わさることにより、セグメント自重以外の荷重が作用する場合があることが考えられる。

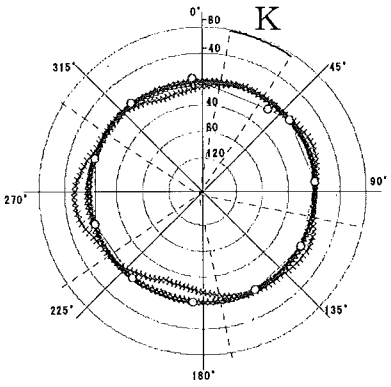


図-5.26　楠味美共同溝　断面力分布
（検討ケース①～④）

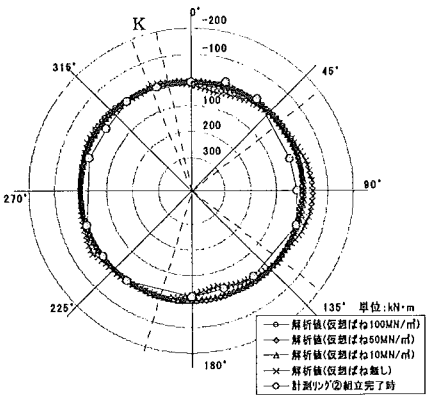
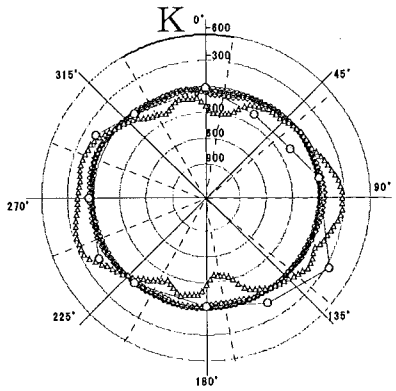


図-5.27　天白共同溝　断面力分布
（検討ケース①～④）



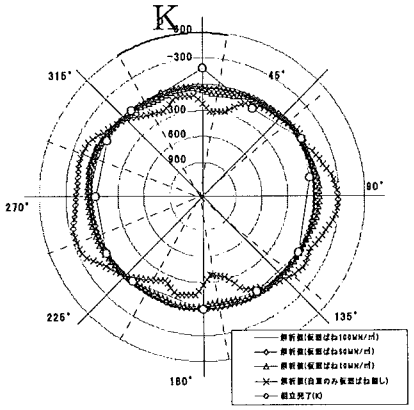


図-5.28　外郭放水路第２工区　断面力分布（左・(A)、右・(B)：検討ケース①～④）

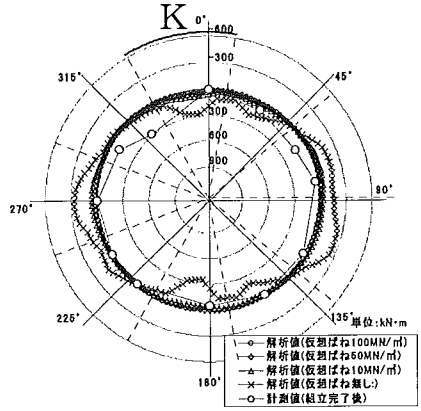


図-5.29　外郭放水路第３工区　断面力分布（検討ケース①～④）

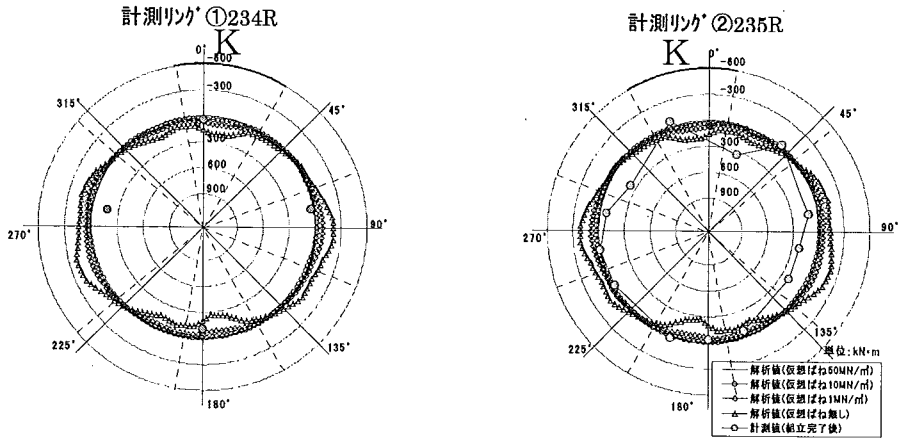


図-5.30　外郭放水路第４工区　断面力分布（検討ケース①～④）

(3)組立完成後(解析ケース⑤～⑧)

現場計測値から求めた断面力と施工時荷重を考慮した骨組解析(解析ケース⑤～⑧)から得られた断面力の分布図を図-5.31～図-5.35 に示す。図-5.31 より楠味美トンネルにおいては仮想反力ばねを考慮しないはりばねモデルの解析断面力と現場計測結果の発生断面力は類似しないが、仮想反力ばねを考慮したはりばねモデルの解析結果と現場計測結果は、一部区間を除いて発生断面力が類似する結果となった。図-5.32 より天白共同溝においては、仮想反力ばねを考慮しないはりばねモデルの解析断面力ならびに仮想反力ばねを考慮したはりばねモデルと現場計測結果とは類似しない結果となった。図-5.33、図-5.34 より２工区(A,B)、３工区トンネルにおいては仮想反力ばねを考慮しないはりばねモデルの解析断面力と現場計測結果の発生断面力は類似しないが、仮想反力ばねを考慮したはりばねモデルの解析結果と現場計測結果は、軸方向挿入型Kセグメントに隣接するセグメントピースを除いて概ね発生断面力が類似する結果となった。図-5.35 より計測ﾘﾝｸﾞ①においては仮想反力ばねを考慮しないモデルの解析断面力と現場計測結果の発生断面力は類似しない結果となったが、仮想反力ばねを考慮したはりばねモデルの解析断面力と現場計測結果の発生断面力は概ね類似する結果となった。また、計測ﾘﾝｸﾞ②においては仮想反力ばねを考慮しないはりばねモデルの解析断面力と現場計測結果の発生断面力は類似しない結果となったが、仮想反力ばねを考慮したはりばねモデルの解析断面力と現場計測結果の発生断面力は、軸方向挿入型Kセグメントに隣接するセグメントピースを除いて概ね類似する結果となった。

以上のことから、セグメント組立時に作用する荷重については、土被り、シールド径、継手形式等のさまざまな条件が組み合わさることにより、セグメント自重の他にテール圧が作用する場合があることが考えられる。また、軸方向挿入型Kセグメントの影響を評価するには、トンネル軸方向の施工時荷重を考慮できる解析モデルを用いる必要があると考えられる。

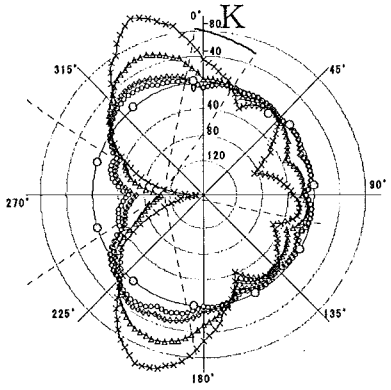


図-5.31　楠味美共同溝　断面力分布
（検討ケース⑤～⑧）

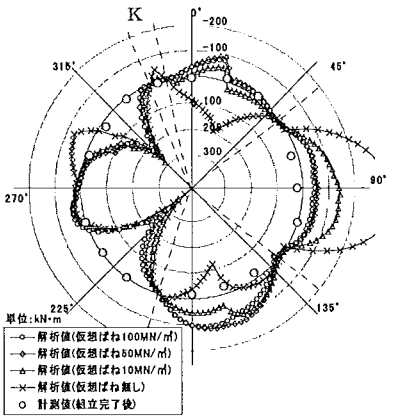
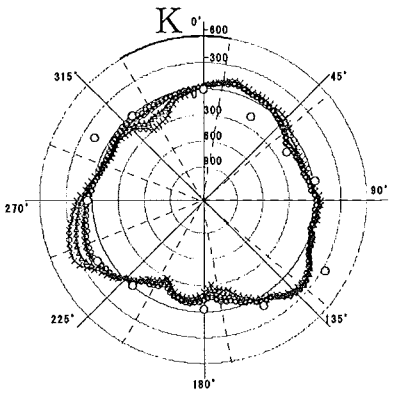


図-5.32　天白共同溝　断面力分布
（検討ケース⑤～⑧）



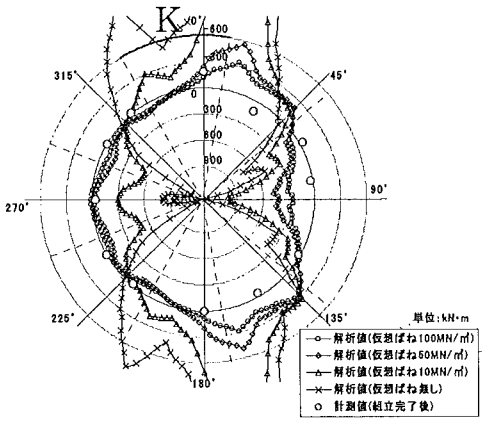


図-5.33　外郭放水路第２工区　断面力分布（左・(A)、右・(B)：検討ケース⑤～⑧）

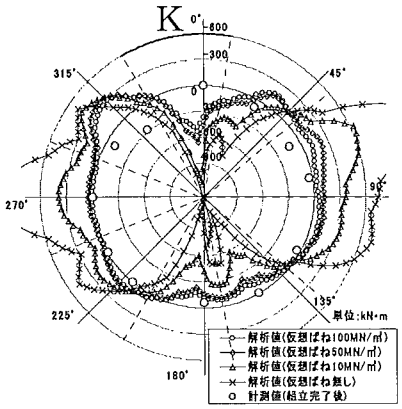


図-5.34　外郭放水路第３工区　断面力分布（検討ケース⑤～⑧）

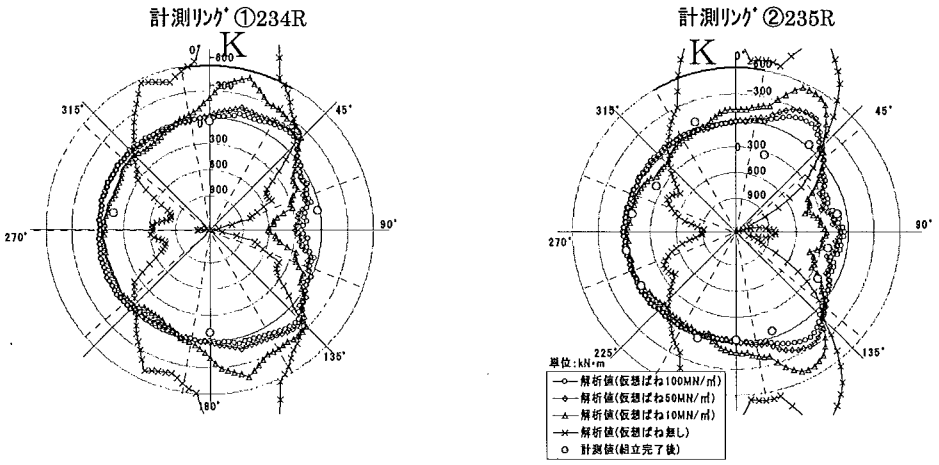


図-5.35　外郭放水路第４工区　断面力分布（検討ケース⑤～⑧）

5.3.4 まとめ

今回の検討により、組立時において覆工に発生する断面力を評価するための解析方法に関して以下の知見が得られた。

①現場計測結果から得られた実現象を評価できる組立時の断面力の評価方法については、本検討のようにはりばねモデルを使用し、仮想反力ばねにより支持させる解析モデルが一つの方法である。

②セグメント組立時に発生する断面力の評価には、セグメント自重の他にテール圧の影響を考慮する必要がある場合がある。

③軸方向挿入型Kセグメント（組立リングの最終設置ピース）の影響を評価するには、トンネル軸方向の施工時荷重を考慮できる解析モデルを用いる必要がある。

今後の課題として、より多くの現場計測を実施してデータの集積を行い、組立時に発生する断面力を検証するとともに、テール圧等の施工時荷重のセグメントに与える影響を把握し、より合理的なセグメントの設計を進めていくことが必要である。

第6章 硬質地盤中のシールドトンネルの作用土圧

6.1 土圧計および水圧計による作用土圧

第５章に示した現場計測を実施したシールドトンネルのほぼ安定したと考えられる時期の土圧計および水圧計による計測値を楠味美共同溝に対して図-6.1、天白共同溝に対して図-6.2、外郭放水路第２工区に対して図-6.3、外郭放水路第３工区に対して図-6.4、外郭放水路第４工区に対して図-6.5に示す。

楠味美共同溝では、３ヶ月後のほぼ安定したと考えられる最終的な土圧は、80～170kN/m^{2}程度となっている。この土圧の値は水圧計の値から判断すると地下水位がトンネル天端から上約９m に位置することから、この静水圧が作用していると考えられ、トンネルには水圧のみが作用し、土圧は作用していないものと判断できる。ただし、土圧計によって計測された値は、外力等の作用によりトンネルが変形した後の作用土圧であり、設計土圧とは異なるので注意を要する。以下、他のトンネルにより計測された土圧の値も同様である。

天白共同溝では、約 4.5ヶ月後の天端に作用する土圧計測値は 230 kN/㎡で、そのときの水圧計測値は約 180kN/㎡となっていることから、水圧以外の荷重として、約 50 kN/㎡程度が作用している。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、水圧の計測結果から地下水位面をトンネル天端より上 18mと仮定すると、天端に作用する鉛直荷重は水圧で約 180kN/㎡、土圧で約 260kN/㎡程度となる。この値と土圧を比較するとセグメントに作用する土圧は全土被り土圧の約 19.2%が作用していることになり、トンネル外径に換算すると約 0.7D 程度の緩み土圧に相当すると考えられる。

外郭放水路第２工区Ａでは、約１年３ヶ月後の安定したと考えられる天端に作用する最終的な土圧は 450kN/㎡程度で、そのときの水圧は約 430kN/㎡となっていることから、水圧以外の荷重として約 20kN/㎡程度が作用している。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、後述する水圧の計測結果から地下水位面をトンネル天端より上 43mと仮定すると、天端に作用する鉛直荷重は、水圧で約 430kN/㎡、土圧で約 470kN/㎡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全土被り土圧の約 4%が作用していることになり、トンネル外径に換算すると約 0.2D程度の緩み土圧に相当すると考えられる。

外郭放水路第２工区Ｂでは、約半年後の安定したと考えられる天端に作用する最終的な土圧結果は 450kN/㎡程度で、そのときの水圧は約 420kN/㎡となっていることから、水圧以外の荷重として約 30kN/㎡程度が作用している。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、後述する水圧の計測結果から地下水位面をトンネル天端より上 42mと仮定すると、天端に作用する鉛直荷重は、水圧で約

420kN/㎡、土圧で約 470kN/㎡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全土被り土圧の約 6.4%が作用していることになり、トンネル外径に換算すると約 0.3D程度の緩み土圧に相当すると考えられる。

外郭放水路第３工区では、約１年２ヶ月後の安定したと考えられる天端に作用する最終的な土圧は 410kN/㎡程度で、そのときの水圧は約 400kN/㎡となっていることから、水圧以外の荷重として約 10kN/㎡程度が作用している。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、後述する水圧の計測結果から地下水位面をトンネル天端より上 40mと仮定すると、天端に作用する鉛直荷重は、水圧で約 400kN/㎡、土圧で約 460kN/㎡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全土被り土圧の約 2.2%が作用していることになり、トンネル外径に換算すると約 0.1D程度の緩み土圧に相当すると考えられる。

外郭放水路第４工区では、約６ヶ月後の安定したと考えられる天端に作用する最終的な土圧は 492 kN/㎡程度で、そのときの水圧は約 414 kN/㎡となっていることから、水圧以外の荷重として約 78kN/㎡程度が作用している。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、水圧の計測結果から地下水位面をトンネル天端より上 40mと仮定すると、天端に作用する鉛直荷重は、水圧で約 414kN/㎡、土圧で約 460kN/㎡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全土被り土圧の約 17%が作用していることになり、トンネル外径に換算すると約 0.8D程

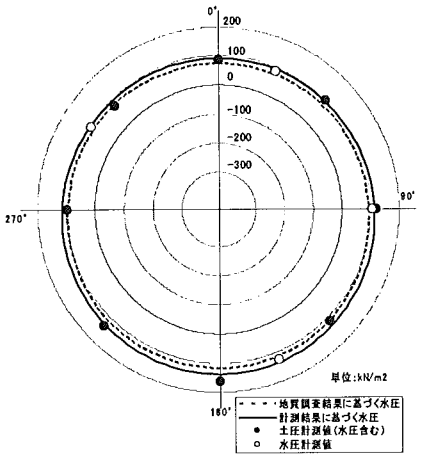


図-6.1　楠味美共同溝　土水圧分布

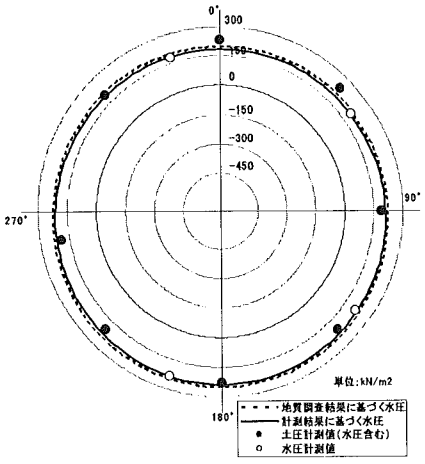
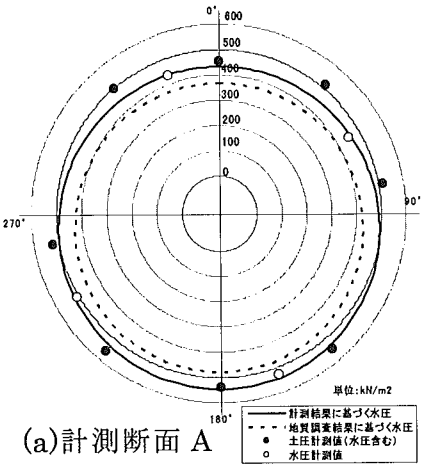
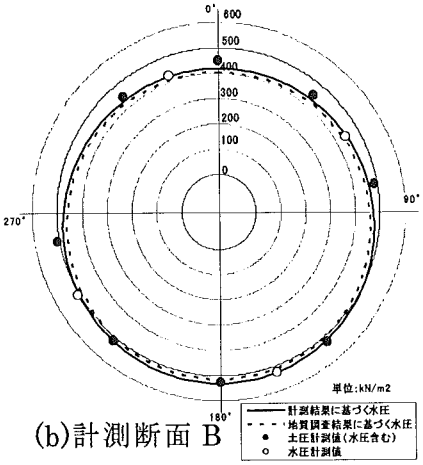


図-6.2　天白共同溝　土水圧分布



(a)計測断面 A



(b)計測断面 B

図-6.3　外郭放水路第２工区　土水圧分布

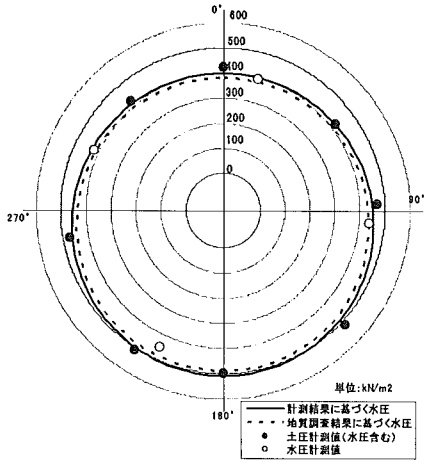


図-6.4 外郭放水路第３工区 土水圧分布

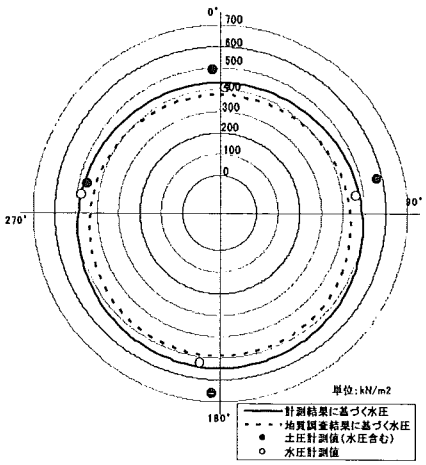


図-6.5 外郭放水路第４工区 土水圧分布

度の緩み土圧に相当すると考えられる。

6.2 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、鋼材（鉄筋、主桁等）のひずみ計から求めた断面力（曲げモーメント）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。比較した計測結果は、セグメント組立時における施工時荷重の影響が考えられるため、セグメントがテールを脱出する前で土圧、水圧が作用していないセグメント組立直後を初期値として、計測データが収束したと考えられる計測終了時点を採用して検討を行った。

6.2.1 解析方法

本解析では、トンネルに作用する荷重（土圧、水圧）の載荷パターンを変えた解析を行った。また、セグメント自重については、セグメント組立直後を初期値をとした断面力の増分と比較していることから考慮していない。

6.2.2 解析モデル

本検討に用いた解析モデルは、図-6.6 に示すようにセグメントを直線梁、セグメントのピース間継手を回転ばね定数 $k\theta$ の回転ばね、リング間継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 2 リングはりばねモデルを使用した。なお、解析に用いた各セグメントの諸定数は、継手のばね定数を除き、第５章のセグメントの諸定数と同じである。

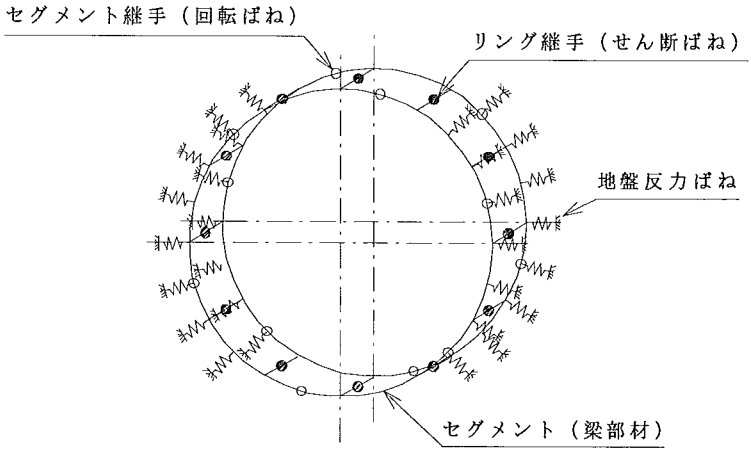


図-6.6 解析モデル図

(1)荷重条件

鉛直土圧・水圧は以下に示す条件をパラメータとする。

①全土被り土圧

②Terzaghi の緩み土圧

③水圧のみ

なお、土圧の算定にあたっては、今回対象とするトンネルは硬質地盤中での施工であることから、土と水を分離して取り扱う（土水分離）ものとした。図-6.7～図-6.11に各トンネルの土質条件図を示す。

ここで、②の緩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。（巻末資料 6 参照）

また、③の水圧のみの場合は図-6.12 に示すように従来の慣用モデルの水圧（慣用式）に加えて図-6.13 に示す静水圧モデルの水圧（静水圧式）についても解析を行った。

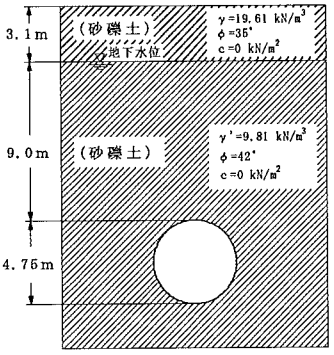


図-6.7　楠味美共同溝　土質条件図

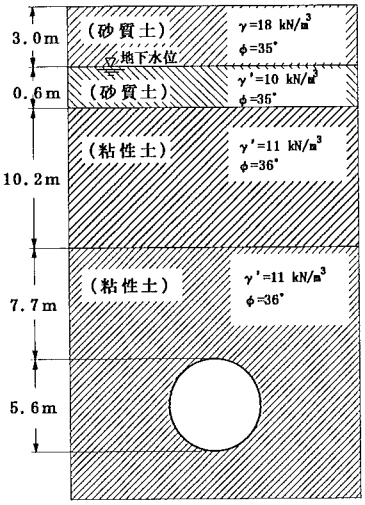
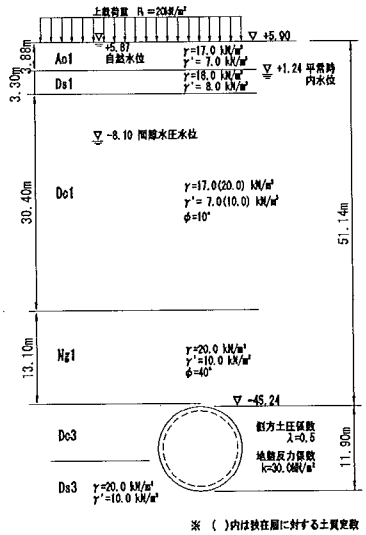
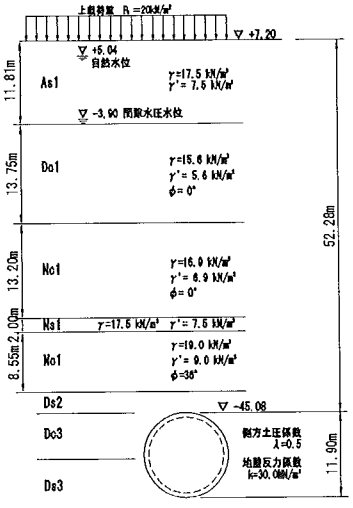


図-6.8　天白共同溝　土質条件図



(a)計測断面 A



(b)計測断面 B

図-6.9　外郭放水路第 2 工区　土質条件図

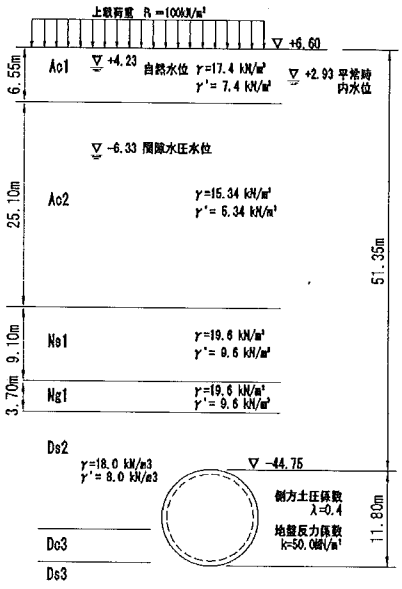


図-6.10　外郭放水路第３工区
土質条件図

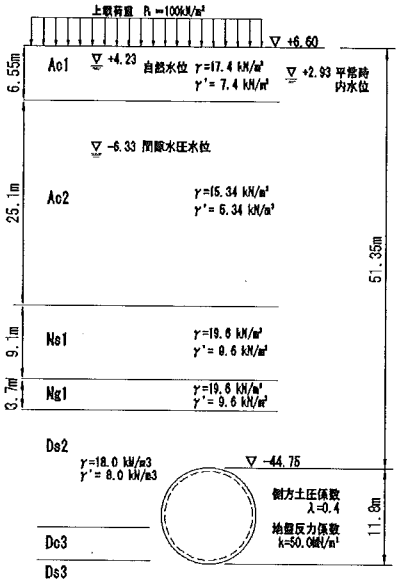


図-6.11　外郭放水路第４工区
土質条件図

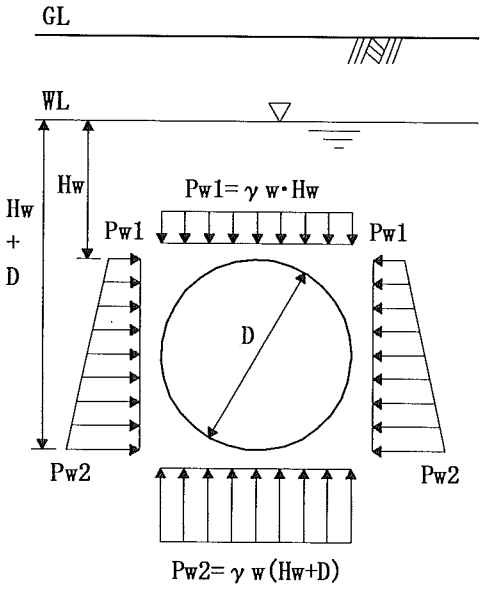


図-6.12　慣用モデルの水圧

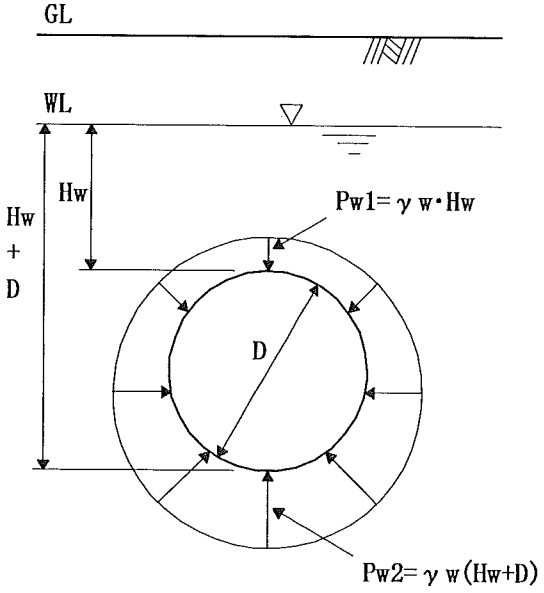


図-6.13　静水圧モデルの水圧

(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（シールド工法編）・同解説」[2)]に示された値（表-6.1）を参考に今回の地盤条件から表-6.2に示した組合せを参照して解析を行った。荷重算出結果を表-6.3～表-6.8に示す。

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-6.14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を基本とした。

表-6.1　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

表-6.2　解析に用いた側方土圧係数（λ）と地盤反力係数（ｋ）との組合せ

k (MN/m³) ＼ λ	0.35	0.45	0.55
10	—	—	—
30	—	外郭放水路第2工区	—
50	天白共同溝	楠味美共同溝 外郭放水路第3工区 外郭放水路第4工区	—

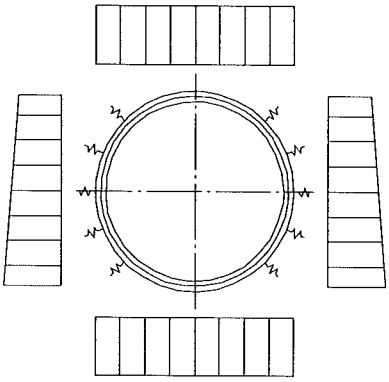


図-6.14　部分地盤ばねモデル

表-6.3　楠味美共同溝荷重（λ=0.45　k=50MN/m³）

（単位：kN/m）

	全土圧＋水圧	緩み土圧＋水圧	水圧のみ	
			慣用式	静水圧式
頂部鉛直荷重	284.8	154.5	105.9	107.2
頂部水平荷重	188.4	129.7	107.2	107.2
底部水平荷重	265.6	206.9	160.5	160.5
底部鉛直荷重	284.8	154.5	161.8	160.5

※セグメント幅1.2m当りの荷重

表-6.4　天白共同溝荷重（λ=0.35　k=50MN/m³）

（単位：kN/m）

	全土圧＋水圧	緩み土圧＋水圧	水圧のみ	
			慣用式	静水圧式
頂部鉛直荷重	528.1	289.7	216.0	217.5
頂部水平荷重	329.6	246.1	217.5	217.5
底部水平荷重	409.7	326.2	280.4	280.4
底部鉛直荷重	528.1	289.7	281.9	280.4

※セグメント幅1.2m当りの荷重

表-6.5　外郭放水路第２工区荷重Ａ（λ=0.45　k=30MN/m³）

（単位：kN/m）

	全土圧＋水圧	緩み土圧＋水圧	水圧のみ	
			慣用式	静水圧式
頂部鉛直荷重	895.7	584.1	421.7	424.9
頂部水平荷重	639.3	499.1	424.9	424.9
底部水平荷重	789.4	649.1	535.2	535.2
底部鉛直荷重	895.7	584.1	538.4	535.2

※セグメント幅1.2m当りの荷重

表-6.6　外郭放水路第２工区荷重Ｂ（λ=0.45　k=30MN/m³）

（単位：kN/m）

	全土圧＋水圧	緩み土圧＋水圧	水圧のみ	
			慣用式	静水圧式
頂部鉛直荷重	880.8	557.6	411.9	415.1
頂部水平荷重	627.2	481.8	415.1	415.1
底部水平荷重	777.3	631.8	525.4	525.4
底部鉛直荷重	880.8	557.6	528.6	525.4

※セグメント幅1.2m当りの荷重

表-6.7　外郭放水路第３工区荷重（λ=0.45　k=50MN/m³）

（単位：kN/m）

	全土圧＋水圧	緩み土圧＋水圧	水圧のみ	
			慣用式	静水圧式
頂部鉛直荷重	857.2	548.1	392.3	395.2
頂部水平荷重	605.5	466.4	395.2	395.2
底部水平荷重	754.9	615.8	505.0	505.0
底部鉛直荷重	857.2	548.1	508.0	505.0

※セグメント幅1.2m当りの荷重

表-6.8　外郭放水路第４工区荷重（λ=0.45　k=50MN/m³）

（単位：kN/m）

	全土圧＋水圧	緩み土圧＋水圧	水圧のみ	
			慣用式	静水圧式
頂部鉛直荷重	857.2	548.1	392.3	395.2
頂部水平荷重	605.5	466.4	395.2	395.2
底部水平荷重	754.9	615.8	505.0	505.0
底部鉛直荷重	857.2	548.1	508.0	505.0

※セグメント幅1.2m当りの荷重

(3)ばね定数

各計測トンネルに用いるばね定数は、実験によりばね定数が分かっているものについては実験値を、実験を実施していないものについては、設計時の考え方に基づいてセグメント継手の回転ばね定数およびリング継手のせん断ばね定数を算定した値を用いた。天白共同溝、楠味美共同溝においては、回転ばね定数算定のための実験は実施していないため、計算に基づいて算出した。両トンネルは、中小口径で桁高が小さく、継手部に軸力が作用していない時の回転ばね定数は小さく、外圧作用時に継手部に作用する軸力を考慮した回転ばね定数を採用するものとした。外郭放水路においては、回転ばね定数算定のための実験を実施しているため、実験値をそのまま用いるものとした。

1)楠味美共同溝

本解析に用いたばね定数は、回転ばね定数については、村上・小泉によるばね算定モデル[3)]を参考とした計算値を基本とし、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。表-6.9に解析に用いた回転ばね定数の値を示す（算定の詳細は巻末資料2～4を参照）。なお、回転ばねの特性は線形として取り扱った。

表-6.9　各解析ケースの回転ばね定数（単位：MN･m／rad）

地盤反力係数 MN/m³	曲げモーメントの正負	全土圧 側方土圧係数λ			緩み土圧 側方土圧係数λ			水圧のみ	
		0.35	0.45	0.55	0.35	0.45	0.55	慣用式 ケース1	静水圧 ケース2
10	正曲げ	13.7	17.7	30.4	117.7	98.1	117.7	117.7	
	負曲げ	6.7	16.7	67.7	127.5	97.1	127.5	107.9	
30	正曲げ	17.7	26.5	52.0	117.7	117.7	107.9	117.7	
	負曲げ	38.2	76.5	107.9	127.5	117.7	98.1	127.5	
50	正曲げ	23.5	36.3	69.6	107.9	127.5	117.7	107.9	
	負曲げ	82.4	107.9	117.7	323.6	127.5	117.7	98.1	

※リング間継ぎ手のせん断ばね定数ｋｓは全ケースｋｓ=1.96×10³MN/m

2)天白共同溝

(a)土水圧作用時の回転ばね定数

Leonhardtら[4]によるコンクリート継手に関する理論式による回転ばね定数は、荷重偏心率に応じて変化し非線形を示すが、ここでは表-6.10 に示す３段階にモデル化し、各段階で線形計算を行う。また、継手位置の荷重偏心率と回転ばね定数の関係が満足するまで、繰り返し計算を行う。（巻末資料２参照）

表-6.10　回転ばね定数

	荷重偏心率 m	ばね定数
回転ばね定数 kθ（kNm/rad）	m≦0.24	2700
	0.24＜m≦0.34	1400
	0.34＜m	0

(b)リング継手のせん断ばね定数

ほぞ付セグメントのリング継手のせん断ばね定数はリング継手に設置したシェアストリップの圧縮剛性の影響を受ける。ここでは、過去に実施された実物大セグメントによる性能確認実験時に確認された値を用いるものとし、ｋｓ＝33.8MN/m とした。(巻末資料４参照)

3)外郭放水路

本解析に用いたばね定数は、回転ばね定数については実物大継手実験による数値を用いるものとして、第２工区でｋθ=372.7×10³ kNm/rad 、第３工区でｋθ=304.0×10³ kNm/rad、第４工区でｋθ=177.0×10³ kNm/rad とした。せん断ばね定数については「内

水圧が作用するトンネル覆工構造設計の手引き」((財)先端建設技術センター 平成 11 年 3 月）[5]を参考に第 2 工区で k s=98.1×10³ kN/m (継手方式：高剛性継手方式)、第 3 工区で k s=147.1×10³ kN/m(継手方式：長ボルト継手方式)とした。4 工区については、継手実験に基づき k s=160×10³ kN/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。

6.2.3 解析結果

セグメント組立時における施工時荷重の影響が考えられるため、セグメントがテールを脱出する前で土圧、水圧が作用していないセグメント組立直後を初期値として、計測データが収束したと考えられる計測終了時点までの増分を用いた現場計測から求めた断面力と骨組解析から得られた断面力の分布図を図-6.15～図-6.20 に示す。

図-6.15 より中小口径トンネルの直径 5m の楠味美共同溝においては、現場計測結果から求めた発生断面力が比較的小さく、水圧（静水圧、慣用水圧）のみが作用した場合が概ね類似する結果となった。

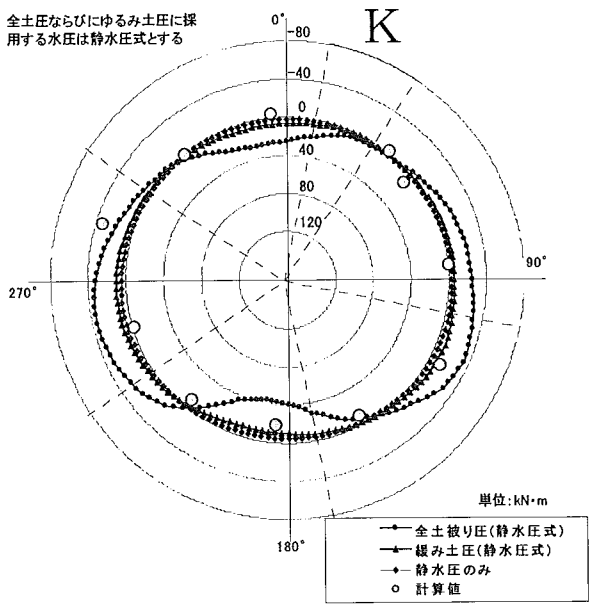
図-6.16 の天白共同溝については、計測完了時の鉄筋計測値から算出した曲げモーメントの断面がトンネル側部で負の曲げモーメントが発生しており、解析から求めたいずれの断面力にも類似しない結果となった。

図-6.17 から図-6.20 より、外郭放水路の第 2 工区（A）(B)、第 3 工区、第 4 工区の比較的トンネル断面が大きいトンネルの断面力は、ばらつきはあるものの緩み土圧が作用する場合が現場計測結果から求めた発生断面力分布に類似していることが分かる。

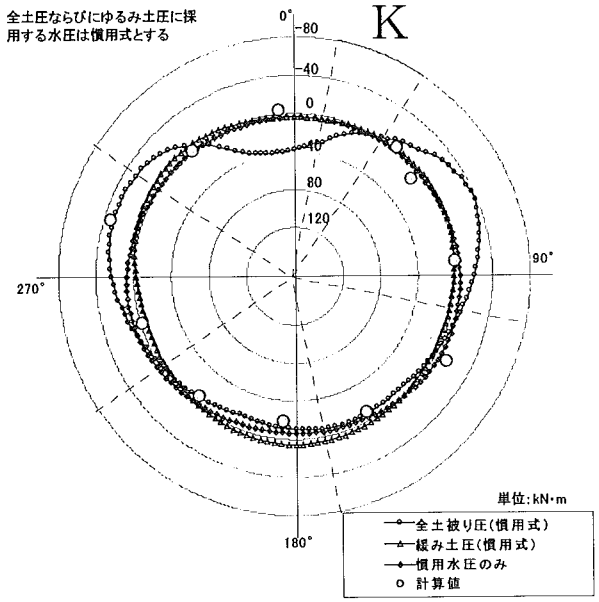
天白共同溝の結果が、他のトンネルの場合と異なりいずれの断面力と類似しない結果となった原因は、セグメント組立後、テール脱出時に過大な施工時荷重が作用したことが考えられる。今回、初期値の設定をセグメントが、テールを脱出する前で外力としての土圧、水圧が作用していないセグメント組立直後とした。天白共同溝は、計測された土圧計の値を見ると、テール脱出時においてテール圧と考えられる施工時荷重等が他のトンネルに比較して非常に大きく、その後においても鉄筋のひずみが一部残留したため、現場計測結果から求めた発生断面力と解析値が類似しない結果となったと考えられる。

以上のことから、硬質地盤中の直径 5m 程度の中小口径トンネルにおいては、設計荷重として土圧はほとんど考慮しないで良い場合があると考えられる。また、12m 程度の大口径トンネルにおいては、緩み土圧程度の荷重が作用した場合に近い値を示したため、設計上は安全側の値として最大で緩み土圧程度を見込んだ方が良い場合があると考えられる。

なお、セグメントがテール脱出時においてテール圧等による非常に大きな施工時荷重等を受けるトンネルでは、鉄筋のひずみがその後においても一部残留すること場合があることから、現場計測結果からセグメントに作用する荷重を評価する際には初期値の設定時期を十分考慮する必要がある。

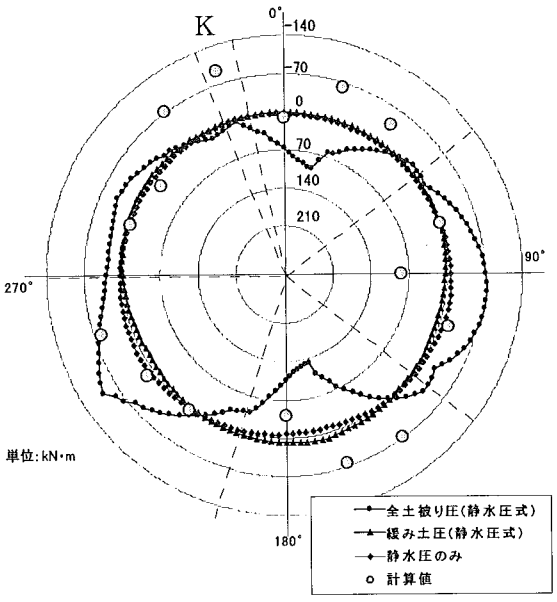


(a) 作用水圧が静水圧式の場合

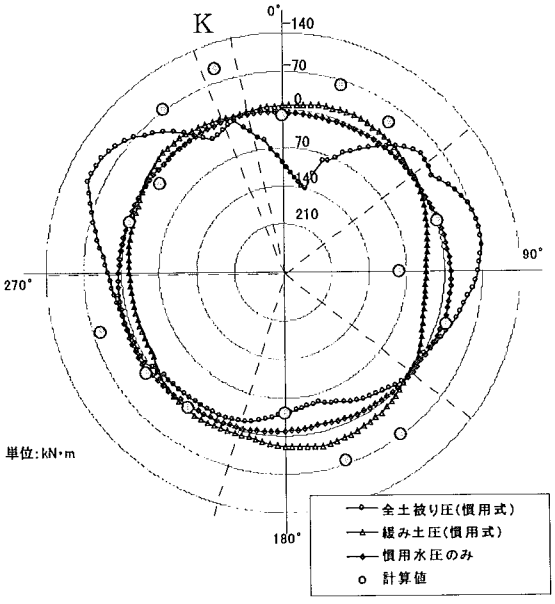


(b)作用水圧が慣用式の場合

図-6.15　楠味美共同溝　断面力分布図

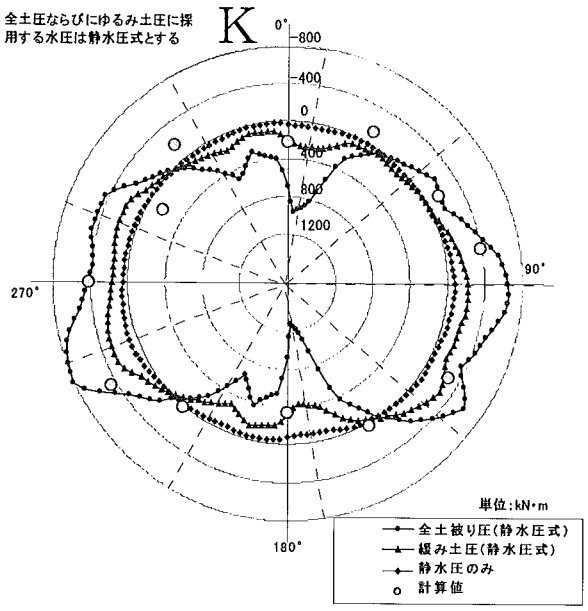


(a) 作用水圧が静水圧式の場合

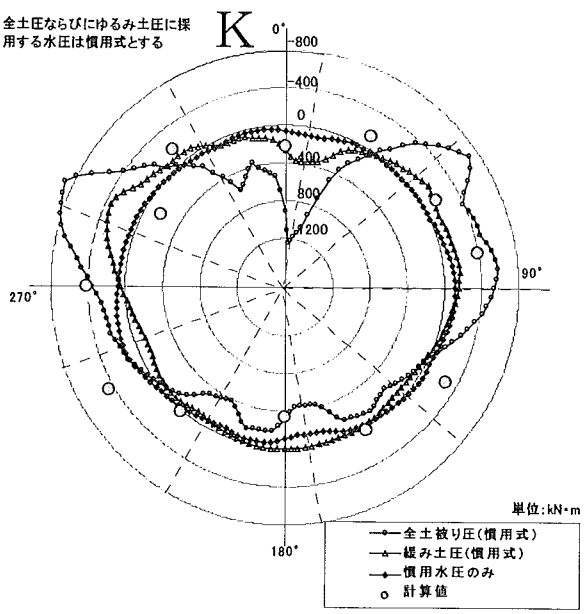


(b)作用水圧が慣用式の場合

図-6.16　天白共同溝　断面力分布図

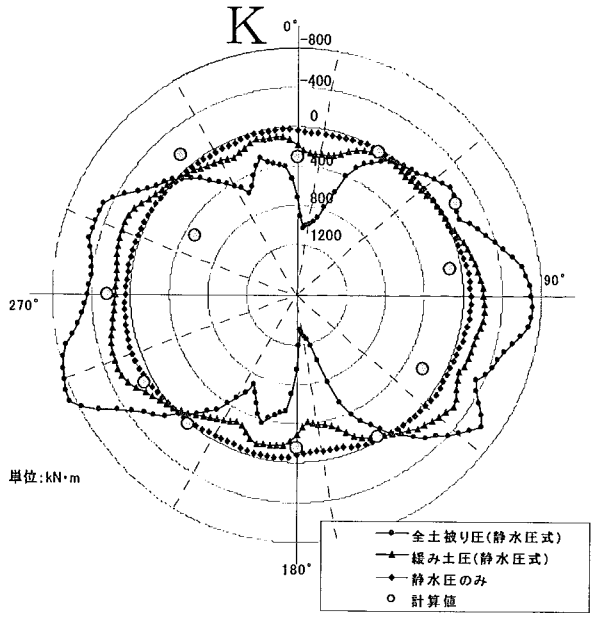


(a) 作用水圧が静水圧式の場合

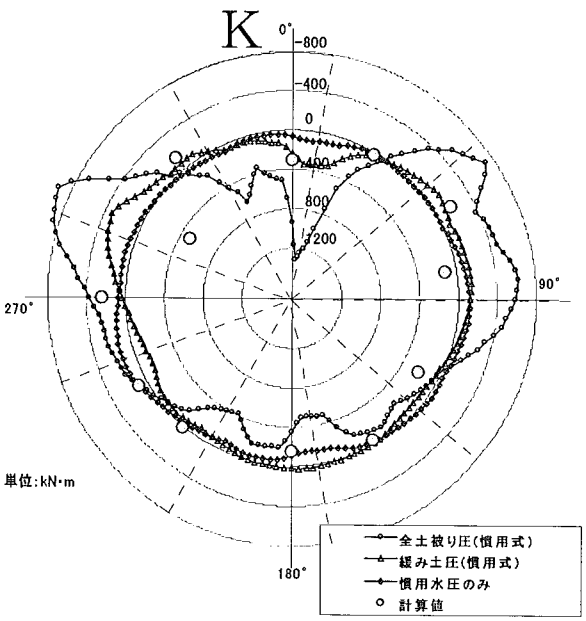


(b)作用水圧が慣用式の場合

図-6.17　外郭放水路第 2 工区(A)　断面力分布図

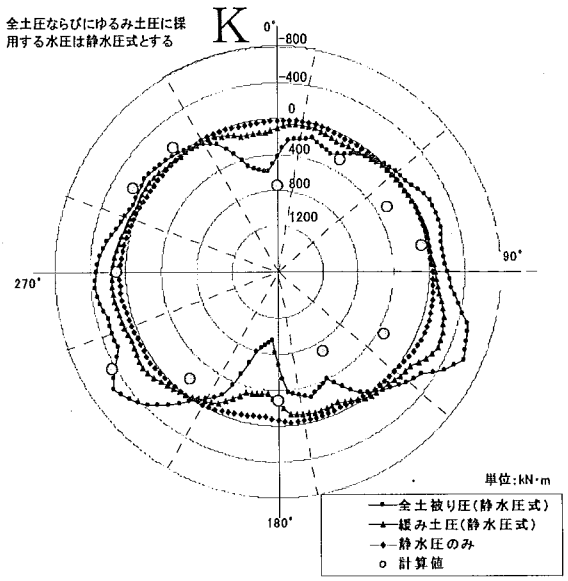


(a) 作用水圧が静水圧式の場合

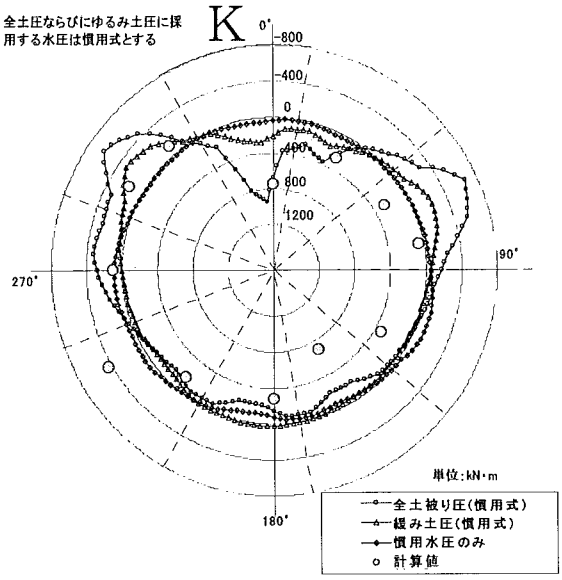


(b)作用水圧が慣用式の場合

図-6.18　外郭放水路第第 2 工区(B)　断面力分布図

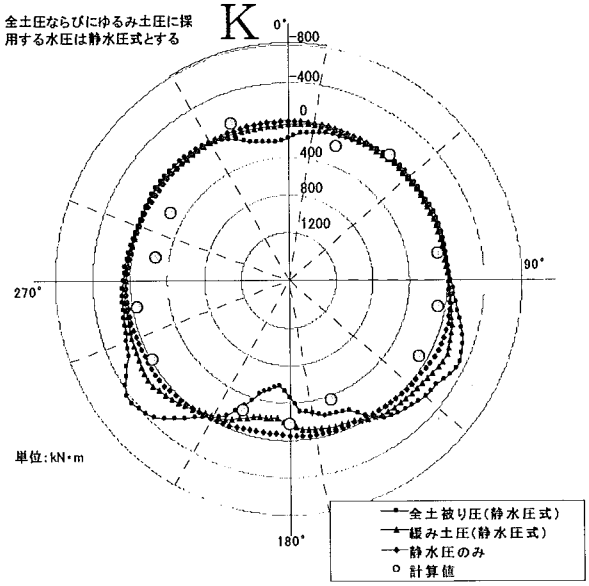


(a) 作用水圧が静水圧式の場合



(b)作用水圧が慣用式の場合

図-6.19　外郭放水路第３工区　　断面力分布図



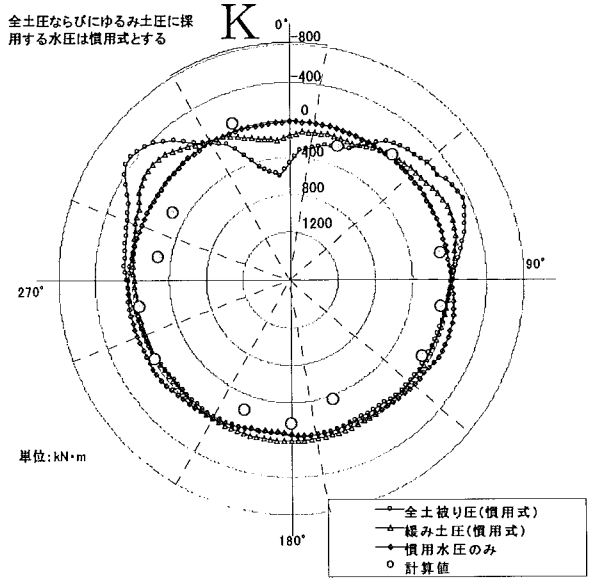


図-6.20　外郭放水路第４工区　　断面力分布図

6.3 まとめ

硬質な地盤中の単設シールドトンネルに作用する荷重について、実際のシールドトンネルでセグメントに土圧計、水圧計、鉄筋計を設置した現場計測結果と解析により検討を行った。

硬質地盤中の直径 5m 程度の中小口径トンネルにおいては、設計荷重として土圧はほとんど考慮しないで良い場合があると考えられる。また、12m 程度の大口径トンネルにおいては、土圧計の値は緩み土圧よりもはるかに小さな値を示したが、発生断面力は緩み土圧程度の荷重が作用した場合に近い値を示したため、設計上は安全側の値として最大で緩み土圧程度を見込んだ方が良い場合があると考えられる。なお、水圧は静水圧に近い値を採用すれば良いことが明らかとなった。

なお、トンネルによっては組立時の施工時荷重等が組立完了後にも作用する場合が考えられることから、現場計測結果からセグメントに作用する荷重を評価する際には初期値の設定時期を十分考慮する必要がある。

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

4）F.Leonhardt and H Reimann："Betongelenke",Der Bauingenieur,41,1966

5）(財)先端建設技術センター：「内水圧が作用するトンネル覆工構造設計の手引き」、1999 年 3 月

第7章 結論

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、適切なシールドトンネルの作用荷重を評価する必要がある。本報告書では洪積層の硬質地盤中に施工される単設のシールドトンネルを対象として実施された土圧、水圧およびセグメントの鉄筋応力等の測定結果をとりまとめるとともに、セグメントに発生する断面力をもとに2リングはりばねモデルを用いた解析を行った。その結果、以下の知見を得た。

(1)土圧計測からの知見

①全計測トンネルにおいて、全土被り荷重に対して小さな荷重しか作用しない。特に中小口径トンネルの楠味見共同溝はゼロ、その他のトンネルについては全土被り荷重の 0.1D～0.8D 程度である。

②全計測トンネルにおいて、シールドマシン脱出後数リングは、シールド掘進が行われる毎に、土圧計測値が変動していることから、裏込め注入材が硬化するまでは、掘進の影響が作用する可能性がある。

③全計測トンネルにおいて、裏込め注入時には注入圧力と同程度の荷重が土圧計に作用しているが、裏込め注入完了後は裏込め注入前の状態まで低下する。しかし、天白共同溝では、注入圧力の約 1/2 程度が後方まで残存している。

④外郭放水路第4工区において、計測された土圧計の値の変化から、セグメントにはシールドマシンのテール内においてはテールブラシの接触圧とテールグリス充填圧等の施工時荷重が、テール脱出直後からは裏込め注入圧が作用すると考えられる。

⑤天白共同溝においては、裏込め注入やシールド掘進の影響が少なくなってから、徐々に土圧が増加した。これは地山からの荷重が徐々に増加していることや裏込み注入材の硬化収縮等が考えられるが、その増加量は全土被り土圧の 10%程度以下であった。

(2)水圧計測からの知見

①全計測トンネルにおいて、計測された水圧は地下水位から求められる静水圧分布と近似することから、トンネルに作用する水圧は静水圧に近い値を採用すれば良いことが明らかとなった。

(3)鉄筋応力計測からの知見

①外郭放水路第4工区においては、セグメント組立完了直後の掘進の影響が大きく、

次リング組立による影響は比較的小さいことが分かった。

②全計測トンネルにおいて、鉄筋計測値は土圧計測結果と同様に、シールド掘進が行われる毎に変動していることから、裏込め注入材が硬化するまでは、掘進の影響が作用する可能性がある。

③全計測トンネルにおいて、計測完了時の軸方向鉄筋応力計測値は、セグメント組立完了直後の掘進時に計測した鉄筋応力値以上が残留しており、これは過去に実施された礫質地盤における計測においても同様の傾向を示していることから、硬質な地盤では当初作用したシールド推進力が残留しているものと考えられる。

(4)鉄筋計測値から算出した断面力と土水圧によるはりばねモデル解析からの知見

①中小口径トンネルの直径 5m の楠味美共同溝においては、現場計測結果から求めた発生断面力が比較的小さく、水圧（静水圧、慣用水圧）のみが作用した場合が概ね類似する結果となった。

②外郭放水路の第 2 工区（A）（B)、第 3 工区、第 4 工区の比較的トンネル断面が大きいトンネルの断面力は、ばらつきはあるものの緩み土圧が作用する場合が現場計測結果から求めた発生断面力分布に類似していることが分かった。

③天白共同溝のように、セグメントがテール脱出時においてテール圧等による非常に大きな施工時荷重等を受けるトンネルでは、鉄筋のひずみがその後においても一部残留すること場合があることから、現場計測結果からセグメントに作用する荷重を評価する際には初期値の設定時期を十分考慮する必要がある。

(5)セグメント組立時に関する知見

①天白共同溝や外郭放水路第 4 工区の鉄筋計測値より、セグメント組立時において、設置ピースに隣接するピースに曲げモーメントが発生しており、特にKセグメント（組立リングの最終設置ピース）を設置時に隣接するピースに比較的大きな曲げモーメントが発生し、その影響がその後も残ることが分かった。

②全計測トンネルにおいて、現場計測結果から得られた実現象を評価できる組立時の断面力の評価方法については、本検討のようにはりばねモデルを使用し、仮想反力ばねにより支持させる解析モデルが一つの方法である。

③全計測トンネルにおいて、セグメント組立時に発生する断面力の評価には、セグメント自重の他にテールブラシやテールグリス圧等によるテール圧の影響を考慮する必要がある場合がある。

④全計測トンネルにおいて、軸方向挿入型Kセグメントの影響を評価するには、トンネル軸方向の施工時荷重を考慮できる解析モデルを用いる必要がある。

(6)今後の課題

今後の課題として、より多くの現場計測を実施してデータの収集を行い、組立時に発生する断面力を検証するとともに、テール圧等の施工時荷重のセグメントに与える影響を把握し、より合理的なセグメントの設計を進めていくことが必要である。

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、国土交通省中部地方整備局愛知国道事務所および関東地方整備局江戸川河川事務所ならびに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

１．コンクリートの乾燥収縮による影響の検討

２．ピース間継手の土水圧作用時の回転ばね定数

３．ピース間継手の自重作用時の回転ばね定数

４．リング間継手のせん断ばね定数

５．鉄筋応力等、現場計測結果一覧表

６．互層地盤および地下水位を考慮したゆるみ土圧の計算

巻末資料１．コンクリートの乾燥収縮による影響の検討

「コンクリート標準示方書［設計編］（平８）土木学会」では、コンクリートの収縮ひずみとして、資料表－１．１の値を示している。

資料表－１．１　コンクリートの収縮ひずみ（$\times 10^{-6}$）

環境条件	コンクリートの材齢*				
	３日以内	４～７日	２８日	３ヶ月	１年
屋外	400	350	230	200	120
屋内	730	620	380	260	130

* 設計で収縮を考慮するときの乾燥開始材齢

ここではセグメントの組立後 4.5 ヶ月時点での検討を行うことから、セグメントの製作から現場へ搬入するまでの期間を考慮すると、表より 150～200（$\times 10^{-6}$）程度の収縮ひずみを想定できる。

ただし、他の同規模の共同溝シールドトンネルで測定した収縮ひずみは $\varepsilon_{sh}=48.4\times10^{-6}$ であったことから、天白共同溝の施工環境条件がそれらの共同溝と大きく異なることはないと判断し、$\varepsilon_{sh}=50\times10^{-6}$
と設定することにより、コンクリートの乾燥収縮による影響を検討した。

セグメント

鉄筋断面積	$As=198.6\times2+286.5\times8=2689.2(mm^2)$
コンクリート断面積	$Ac=1200\times250=3.0\times10^5(mm^2)$
鉄筋比	$p=As/Ac=8.964\times10^{-3}$
鉄筋のヤング率	$Es=2.1\times10^5=(N/mm^2)$
コンクリートのヤング率	$Ec=3.3\times10^4=(N/mm^2)$
ヤング係数比	$n=Es/Ec=6.363$

式④より、

$$\sigma s' = \frac{1}{1+np} Es\,\varepsilon sh$$

$$=1/(1+6.363\times8.964\times10^{-3})\times2.1\times10^5\times50\times10^{-6}$$

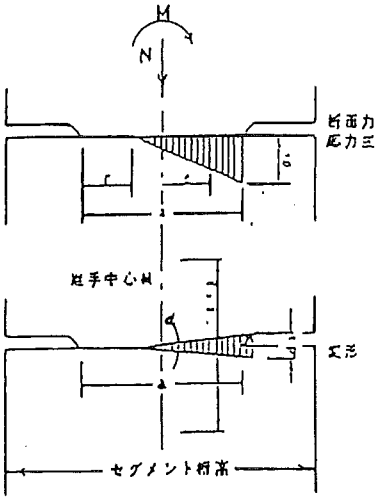
$$=9.933(N/mm^2)$$

よって、コンクリートの乾燥収縮の影響として、$\sigma s'=9.715$（N/mm^2）（圧縮）の鉄筋応力を考慮するものとする。

巻末資料２．ピース間継手の土水圧作用時の回転ばね定数

ほぞ付きセグメントのセグメント継手の回転ばね定数は、Leonhardt らによるコンクリート継手に関する理論式に準じ下式により計算する。

$$k\theta = M/\alpha = (9\,a^2\,b\,E_0/8) \times m\,(1-2m)^2$$



資料図－２．１　ほぞ部の応力と変形

ここに、

$k\theta$ ：継手の回転ばね定数(kN･m/rad)

α ：回転角(rad)

m ：荷重偏心率　m=e/a=M/(N･a)

M ：曲げモーメント(kN･m)

N ：軸力(kN)

a ：ほぞ幅　0.098m

b ：ほぞ長さ 1.2m

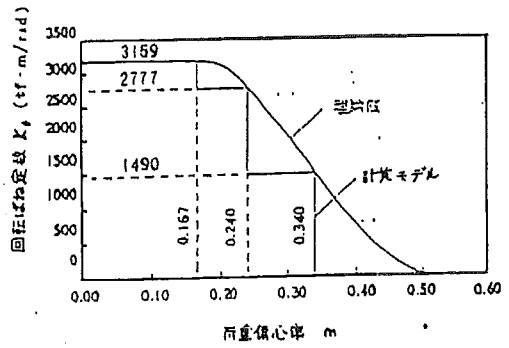
E_0 ：コンクリートのヤング係数 3.9×10^7kN/m^2

(F.Leonhardt and H.Reimann:" Betongelenke" ,Der Bauingenieur,41,1966)

上式で算定される回転ばね定数は、荷重偏心率mに応じて変化し非線形を示す。設計計算においては、計算を簡略化するためにこの回転ばね定数を資料表－２．１に示すように３段階にモデル化し、各段階では線形計算を行う。また、継手位置の荷重偏心率と回転ばね定数の関係が満足するまで、繰り返し計算を行う。

資料表-2.1　回転ばね定数

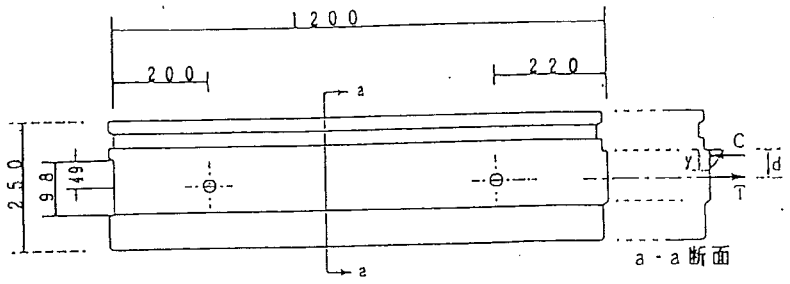
	荷重偏心率 m	ばね定数
回転ばね定数 $k\theta$ (kN･m/rad)	$m \leqq 0.24$	26500
	$0.24 < m \leqq 0.34$	13700
	$0.34 < m$	0



資料図-2.2　回転ばね定数のモデル化

巻末資料３．ピース間継手の自重作用時の回転ばね定数

自重作用時のセグメント継手の回転ばね定数は、組立ボルトを考慮し、軸力を無視した条件で算定する。



資料図－３．１　セグメント継手の断面

以下にその算定式を示す。

$$k\theta = As \times E \times (d - y) \times (d - y/3) / ls \quad *$$

$$y = n \times As / h \times \{-1 + \sqrt{1 \quad 2 \quad d \quad b/(n \quad As)}\}$$

As　：ボルト断面積　　7.742　cm^2

n　：ヤング係数比　　15

b　：セグメント幅　　120cm

d　：有効高さ　　4.9cm

y　：中立軸の位置　　(cm)

ls　：ボルトの自由長　　18.5 cm

E　：ボルトのヤング係数　$2.1 \times 10^7 N/cm^2$

*村上博智・小泉淳：「シールド工事用セグメントのセグメント継手の挙動について」　土木学会論文報告集　第 296 号　1980.4

$$y = 15 \times 7.742 / 120 \times \{-1 + \sqrt{1 \quad 2 \quad 120 \quad 4.9/(15 \quad 7.742)}\} = 2.260cm$$

$$k\theta = 7.742 \times 2.1 \times 10^6 \times (4.9 - 2.260) \times (4.9 - 2.260/3) / 18.5$$

$$= 96.21 tf \cdot m/rad = 943 kN \cdot m/rad$$

巻末資料４．リング間継手のせん断ばね定数

ほぞ付きセグメントのリング継手のせん断ばね定数は、リング継手に設置したシェアストリップの圧縮剛性により算出する。このせん断ばねはリング半径方向だけに抵抗し、円周方向には抵抗しないものとする。

リング継手にせん断力が作用した時のシェアストリップに対する作用力と変位の関係は資料図－４．１のようになる。

この図より、せん断ばね定数ｋｓは幾何学的に次のように算出される。

$$k_s = F / \delta = (F_n / \cos\theta) / (\delta_n / \cos\theta)$$

$$= F_n / \delta_n$$

ここに、

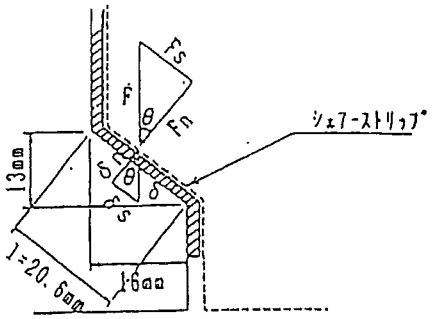
ｋｓ：継手せん断ばね定数(kNm)

Ｆリング継手発生せん断力(kN)

Ｆｎ：シェアストリップの垂直方向分力(kN)

δ：シェアストリップの全変位(m)

δｎ：シェアストリップの圧縮変位(m)



資料図－４．１　リング継手部の作用力と変

シェアストリップの荷重と変位の関係は、リング継手に作用する設計せん断力レベルにおけるシェアストリップの圧縮試験を実施して確認する。

本設計に用いるせん断ばね定数は、12号線環状部を対象として実施された実物大セグメントによる性能確認実験時に確認された以下の値を用いるものとする。

ｋｓ＝3450tf/m＝33800kN/m（シェアストリップ１箇所当り）

巻末資料５．鉄筋応力等、現場計測結果一覧表

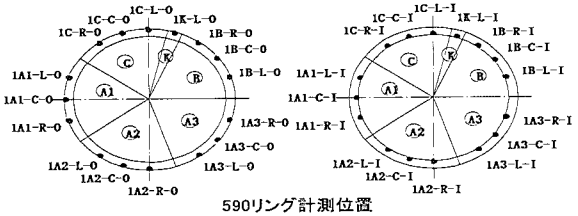
表-2.1　円周方向鉄筋応力計測結果(590R)

天白共同溝　590リング周方向鉄筋計(内側)応力 (N/mm²)　　(圧縮－、引張＋)

状態	日付	時間	590R 経過時間(日)	590リング内側鉄筋応力														
				1A1-R-I	1A1-C-I	1A1-L-I	1A2-R-I	1A2-C-I	1A2-L-I	1A3-R-I	1A3-C-I	1A3-L-I	1B-R-I	1B-C-I	1B-L-I	1C-R-I	1C-C-I	1C-L-I	1K-L-I
590Rセグメント組立終了	2001/10/9	9:08	0.00	1.76	−4.49	−1.95	0.10	−3.51	0.68	0.88	−0.68	1.27	7.71	27.92	4.59	3.12	16.40	5.76	1.76
591Rセグメント組立終了	2001/10/9	15:14	0.25	−9.27	−4.69	0.39	−24.60	−22.35	−4.49	−14.74	−23.82	−24.11	2.54	28.31	15.32	−17.76	−20.79	−10.93	−1.85
590R組立1日後	2001/10/10	9:10	1.00	−10.83	−6.64	−1.56	−20.30	−23.04	−9.86	−18.16	−26.55	−26.84	−0.39	25.67	15.32	−21.18	−24.79	−16.30	−7.61
591R組立1日後	2001/10/10	15:10	1.25	−10.64	−6.54	−1.56	−20.79	−23.13	−10.44	−18.45	−26.84	−27.33	−0.68	25.96	15.42	−21.38	−24.70	−16.79	−8.39
590Rマシンテール脱出完了	2001/10/11	8:36	1.98	1.76	2.83	−0.20	0.59	−2.44	−1.95	−14.25	−15.23	−8.98	−5.27	2.25	−0.29	−10.64	−18.84	−14.35	−8.49
591Rマシンテール脱出完了	2001/10/11	13:52	2.20	4.10	10.05	0.78	6.74	32.99	5.95	−10.64	−12.40	−3.22	0.49	60.42	8.78	−5.47	−6.93	−8.78	−5.95
590R裏込め注入直後	2001/10/11	13:46	2.19	−2.34	−3.90	−7.91	−2.64	14.84	−0.88	−19.42	−23.23	−16.79	−8.78	27.43	−0.49	−12.20	−18.06	−20.40	−14.84
591R裏込め注入直後	2001/10/11	14:42	2.23	3.51	8.98	2.64	9.37	36.21	8.30	−8.69	−14.15	−6.74	−0.49	61.20	9.57	−4.69	−8.49	−11.23	−8.00
590R組立3日後	2001/10/12	9:08	3.00	−6.93	−7.52	−10.44	−7.52	−1.56	−7.52	−19.52	−25.67	−20.11	−13.08	19.23	−1.56	−12.10	−21.86	−25.28	−18.64
591R組立3日後	2001/10/12	15:14	3.25	−3.51	6.44	1.95	−0.68	5.86	−3.90	−8.49	−17.37	−14.93	−1.46	55.34	10.54	−10.83	−20.01	−18.84	−12.49
590R組立1週間後	2001/10/16	9:08	7.00	−5.56	3.61	−2.54	−1.85	0.88	−10.83	−13.86	−22.25	−17.96	−7.71	47.24	8.00	−15.91	−25.67	−27.14	−20.50
591R組立1週間後	2001/10/16	15:14	7.25	−5.76	3.03	−2.73	−2.34	−0.20	−11.42	−13.76	−22.74	−18.16	−8.10	46.66	7.61	−16.59	−26.55	−27.82	−21.28
組立約20日後	2001/10/29	0:00	19.62	−3.51	6.44	−1.46	−4.59	−1.37	−9.66	−14.74	−20.69	−16.11	−10.44	52.81	6.83	−19.91	−28.99	−31.53	−27.53
組立約40日後	2001/11/18	0:00	39.62	−8.30	7.91	−4.78	−2.83	−6.83	−16.89	−21.28	−20.69	−21.86	−17.37	57.69	1.66	−27.72	−33.77	−38.07	−38.75
組立約60日後	2001/12/8	0:00	59.62	−10.74	9.37	−6.64	−1.85	−10.25	−20.50	−24.89	−21.86	−25.57	−21.96	60.22	−0.68	−31.92	−36.02	−41.78	−44.61
組立約90日後	2002/1/7	0:00	89.62	−11.13	9.37	−7.61	−1.27	−10.93	−23.82	−26.35	−23.72	−28.89	−24.11	58.17	−2.64	−33.68	−37.29	−43.14	−46.75
組立約120日後	2002/2/6	0:00	119.62	−15.03	10.25	−10.44	0.29	−14.54	−28.79	−29.48	−25.18	−31.72	−28.70	60.03	−5.47	−37.87	−39.34	−46.85	−51.93
組立約134日後	2002/2/20	0:00	133.62	−16.40	10.74	−11.81	2.25	−15.42	−31.92	−30.84	−25.09	−33.97	−31.82	61.01	−8.49	−40.90	−38.65	−48.02	−55.54

天白共同溝　590リング周方向鉄筋計(外側)応力 (N/mm²)　　(圧縮－、引張＋)

状態	日付	時間	590R 経過時間(日)	590リング外側鉄筋応力														
				1A1-R-O	1A1-C-O	1A1-L-O	1A2-R-O	1A2-C-O	1A2-L-O	1A3-R-O	1A3-C-O	1A3-L-O	1B-R-O	1B-C-O	1B-L-O	1C-R-O	1C-C-O	1C-L-O	1K-L-O
590Rセグメント組立終了	2001/10/9	9:08	0.00	−4.10	−3.81	−2.15	−9.37	−9.66	−8.69	−0.98	−1.66	−0.88	−6.15	−13.67	−7.22	0.10	−8.10	−2.73	0.59
591Rセグメント組立終了	2001/10/9	15:14	0.25	0.78	−4.59	−6.05	7.03	3.81	−7.32	3.12	7.81	9.37	−7.61	−19.23	−19.03	13.76	9.18	5.86	−0.68
590R組立1日後	2001/10/10	9:10	1.00	−1.76	−6.44	−6.74	0.88	0.49	−8.98	2.64	8.10	8.98	−6.93	−20.40	−20.50	12.79	9.86	8.30	−0.68
591R組立1日後	2001/10/10	15:10	1.25	−1.85	−6.44	−6.64	1.07	0.88	−8.59	2.73	8.30	9.18	−6.64	−20.30	−20.40	13.18	10.15	8.88	−0.39
590Rマシンテール脱出完了	2001/10/11	8:36	1.98	−0.68	−2.54	2.44	0.29	2.83	−0.20	−3.03	2.15	2.73	−11.13	−27.53	−25.57	9.47	3.90	4.59	−2.44
591Rマシンテール脱出完了	2001/10/11	13:52	2.20	11.62	7.71	8.39	6.64	7.71	7.71	5.17	9.96	14.84	−6.64	−19.13	−11.23	10.25	1.17	1.27	3.03
590R裏込め注入直後	2001/10/11	13:46	2.19	−0.98	−3.51	0.39	−5.08	−4.69	−3.81	−6.83	−0.59	1.95	−20.01	−34.55	−27.43	−1.56	−11.62	−9.76	−11.32
591R裏込め注入直後	2001/10/11	14:42	2.23	9.96	4.49	5.56	3.22	2.83	4.69	5.76	12.40	14.93	−8.39	−21.67	−12.59	9.37	0.29	−0.59	−0.88
590R組立3日後	2001/10/12	9:08	3.00	−12.59	−10.74	−6.25	−9.86	−8.00	−9.96	−13.27	−6.15	−3.42	−22.45	−35.24	−30.36	−2.54	−7.32	−8.00	−15.72
591R組立3日後	2001/10/12	15:14	3.25	−3.71	−5.47	−2.15	−5.76	−2.93	−6.25	−1.17	6.54	8.10	−9.66	−23.82	−14.74	12.20	9.86	6.54	−2.73
590R組立1週間後	2001/10/16	9:08	7.00	−11.23	−13.37	−8.30	−7.32	−5.17	−8.88	−4.49	4.59	5.56	−16.59	−31.04	−22.65	6.44	4.49	2.34	−6.64
591R組立1週間後	2001/10/16	15:14	7.25	−10.93	−13.08	−8.00	−6.83	−4.59	−8.39	−4.10	5.08	6.25	−16.01	−30.45	−22.65	7.03	5.17	2.73	−6.64
組立約20日後	2001/10/29	0:00	19.62	−12.88	−15.91	−9.57	−3.22	−1.17	−7.03	−5.76	3.90	6.05	−19.52	−33.87	−26.35	7.91	6.64	3.12	−7.42
組立約40日後	2001/11/18	0:00	39.62	−15.32	−19.81	−11.52	−4.20	−1.17	−7.22	−8.20	−0.49	4.20	−22.06	−38.17	−30.06	6.93	4.49	1.17	−7.42
組立約60日後	2001/12/8	0:00	59.62	−16.89	−22.65	−13.18	−4.49	−1.17	−7.91	−10.44	−3.12	2.25	−24.30	−41.19	−32.80	5.76	2.64	−0.20	−7.32
組立約90日後	2002/1/7	0:00	89.62	−17.86	−23.52	−14.15	−4.29	−1.46	−8.00	−12.40	−4.39	1.07	−25.67	−42.56	−35.24	5.37	2.44	−1.07	−8.00
組立約120日後	2002/2/6	0:00	119.62	−19.33	−26.06	−15.72	−5.95	−2.44	−9.57	−14.06	−6.25	−0.39	−26.65	−44.80	−36.99	4.10	0.10	−3.03	−7.52
組立約134日後	2002/2/20	0:00	133.62	−18.94	−26.06	−15.32	−7.42	−2.34	−9.57	−15.23	−6.83	−1.17	−27.14	−45.97	−38.26	3.81	−0.88	−3.81	−7.61



590リング計測位置

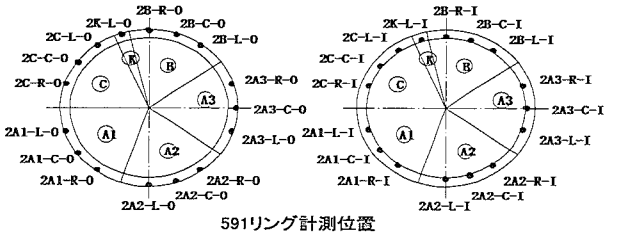
表-2.2　円周方向鉄筋応力計測結果(591R)

天白共同溝 591リング周方向鉄筋計(内側)応力 (N/mm²)　　(圧縮－、引張＋)

状態	日付	時間	591R 経過時間(日)	591リング内側鉄筋応力															
				2A1-R-I	2A1-C-I	2A1-L-I	2A2-R-I	2A2-C-I	2A2-L-I	2A3-R-I	2A3-C-I	2A3-L-I	2B-R-I	2B-C-I	2B-L-I	2C-R-I	2C-C-I	2C-L-I	2K-L-I
591Rセグメント組立終了	2001/10/9	15:14	0.00	3.81	5.37	5.56	4.20	2.25	3.71	32.89	29.19	3.81	4.10	−5.95	−4.59	1.46	2.73	−1.37	0.39
590R組立1日後	2001/10/10	9:10	0.75	0.88	3.61	4.39	2.54	0.59	8.10	33.09	32.41	3.71	4.69	−5.76	−6.34	0.00	2.93	−0.68	−0.88
591R組立1日後	2001/10/10	15:10	1.00	0.49	3.61	4.10	2.44	−0.20	8.00	33.38	33.38	3.71	4.98	−5.76	−6.64	0.20	3.12	−0.68	−1.17
590Rマシンテール脱出完了	2001/10/11	8:36	1.72	−35.43	−28.11	−32.80	−25.67	−43.53	−2.83	12.69	6.54	−50.07	4.98	−33.77	−19.81	−40.70	−32.80	−29.48	−37.38
591Rマシンテール脱出完了	2001/10/11	13:52	1.94	2.34	31.72	3.03	2.05	4.10	16.20	3.51	−2.05	−10.35	10.64	−5.95	−6.05	−0.29	−4.29	−10.25	−9.86
590R裏込め注入直後	2001/10/11	13:46	1.94	−5.17	1.95	−5.86	−8.20	−12.30	2.15	−3.71	−16.20	−29.19	3.42	−15.52	−20.89	−11.91	−17.08	−15.23	−15.72
591R裏込め注入直後	2001/10/11	14:42	1.98	0.49	34.55	−2.15	−3.22	6.64	19.13	−2.64	−4.00	−8.69	8.30	−15.32	−14.84	0.98	−6.64	−15.72	−11.71
590R組立3日後	2001/10/12	9:08	2.75	−11.91	13.47	−11.32	−19.33	−15.03	3.03	−13.37	−14.93	−20.40	1.46	−22.94	−25.18	−11.42	−17.67	−21.96	−19.91
591R組立3日後	2001/10/12	15:14	3.00	−9.57	5.95	−16.01	−21.28	−13.67	6.44	−3.71	−6.44	−12.30	−2.25	−28.60	−22.65	0.68	−6.74	−19.81	−19.42
590R組立1週間後	2001/10/16	9:08	6.75	−17.47	−2.34	−20.01	−21.96	−14.45	5.76	−5.66	−3.12	−14.35	−7.81	−33.58	−27.72	−4.29	−8.78	−25.96	−26.94
591R組立1週間後	2001/10/16	15:14	7.00	−18.16	−2.44	−20.69	−23.52	−17.18	5.66	−6.05	−4.20	−14.93	−8.30	−34.46	−28.01	−4.88	−9.76	−26.65	−27.72
組立約20日後	2001/10/29	0:00	19.37	−20.40	−2.83	−21.28	−22.16	−19.42	0.68	−7.42	−0.39	−14.74	−13.86	−40.02	−31.63	−5.76	−9.08	−30.94	−34.55
組立約40日後	2001/11/18	0:00	39.37	−24.01	−3.42	−26.65	−29.48	−24.89	1.76	−11.62	2.73	−21.18	−20.69	−46.66	−37.19	−9.27	−8.59	−38.17	−45.78
組立約60日後	2001/12/8	0:00	59.37	−27.23	−4.69	−29.87	−33.38	−28.50	2.05	−14.25	5.47	−25.38	−25.38	−50.37	−41.00	−10.93	−8.10	−42.56	−52.12
組立約90日後	2002/1/7	0:00	89.37	−31.04	−5.17	−30.94	−38.17	−32.21	1.76	−16.30	5.17	−27.43	−28.70	−52.51	−43.24	−12.01	−9.18	−44.41	−54.17
組立約120日後	2002/2/6	0:00	119.37	−35.24	−5.86	−34.55	−41.87	−34.16	4.00	−18.45	5.76	−31.63	−32.50	−56.52	−46.95	−14.45	−9.66	−49.10	−59.93
組立約134日後	2002/2/20	0:00	133.37	−36.99	−4.59	−36.21	−44.12	−32.80	7.03	−20.50	9.18	−34.07	−34.65	−57.39	−47.73	−15.13	−8.69	−50.76	−62.57

天白共同溝 591リング周方向鉄筋計(外側)応力 (N/mm²)　　(圧縮－、引張＋)

状態	日付	時間	591R 経過時間(日)	591リング外側鉄筋応力															
				2A1-R-O	2A1-C-O	2A1-L-O	2A2-R-O	2A2-C-O	2A2-L-O	2A3-R-O	2A3-C-O	2A3-L-O	2B-R-O	2B-C-O	2B-L-O	2C-R-O	2C-C-O	2C-L-O	2K-L-O
591Rセグメント組立終了	2001/10/9	15:14	0.00	1.66	−1.66	1.07	−11.23	−16.69	−9.57	−9.76	−7.42	0.00	−3.51	8.00	3.42	−7.52	−11.62	−4.00	−4.29
590R組立1日後	2001/10/10	9:10	0.75	3.51	1.17	2.83	−8.30	−8.88	−9.86	−9.37	−8.49	0.00	−2.93	8.78	4.29	−4.49	−8.20	−3.32	−1.95
591R組立1日後	2001/10/10	15:10	1.00	4.20	1.66	3.03	−8.20	−8.10	−9.27	−9.18	−8.78	0.00	−2.93	8.78	4.10	−4.39	−8.39	−3.42	−2.15
590Rマシンテール脱出完了	2001/10/11	8:36	1.72	−34.07	−37.97	−29.58	−41.78	−26.65	−63.54	−32.70	−35.82	−0.39	−45.97	−11.62	−12.98	−22.16	−28.60	−25.57	−13.96
591Rマシンテール脱出完了	2001/10/11	13:52	1.94	8.59	5.76	10.15	−6.44	−4.10	−4.39	−11.13	−11.03	8.00	−12.88	−3.61	−9.57	−0.29	−1.07	3.32	0.68
590R裏込め注入直後	2001/10/11	13:46	1.94	−4.69	−11.52	−3.51	−21.67	−15.62	−15.91	−24.50	−22.45	−5.66	−25.38	−15.62	−22.06	−6.54	−9.37	−5.56	−8.00
591R裏込め注入直後	2001/10/11	14:42	1.98	15.23	25.48	15.13	−0.39	0.10	−3.03	−13.67	−16.30	3.03	−19.62	−13.57	−9.96	−2.44	−7.61	−1.95	−3.22
590R組立3日後	2001/10/12	9:08	2.75	−1.46	6.25	−1.85	−16.20	−15.23	−17.67	−24.21	−31.43	−11.62	−25.96	−16.89	−21.08	−8.59	−12.20	−9.37	−12.49
591R組立3日後	2001/10/12	15:14	3.00	3.71	15.23	6.74	−6.25	−6.83	−12.88	−21.28	−30.06	−11.91	−19.13	−7.42	−13.37	−12.98	−14.15	−4.39	−6.44
590R組立1週間後	2001/10/16	9:08	6.75	−2.64	15.52	2.64	−10.15	−10.74	−20.21	−22.74	−36.80	−11.23	−24.89	−9.08	−13.67	−16.89	−18.74	−7.13	−8.78
591R組立1週間後	2001/10/16	15:14	7.00	−0.59	14.54	2.64	−10.25	−11.32	−19.91	−22.55	−36.51	−10.54	−24.60	−8.59	−13.18	−16.69	−18.25	−6.83	−8.49
組立約20日後	2001/10/29	0:00	19.37	−7.22	14.06	0.39	−10.15	−7.13	−18.94	−25.38	−41.97	−12.10	−28.50	−8.20	−16.79	−19.81	−22.74	−8.39	−10.74
組立約40日後	2001/11/18	0:00	39.37	−12.59	11.52	−1.17	−11.32	−7.61	−24.21	−27.43	−47.93	−15.13	−33.58	−9.96	−17.96	−21.18	−26.65	−9.37	−11.03
組立約60日後	2001/12/8	0:00	59.37	−16.40	9.96	−2.64	−12.49	−8.88	−26.84	−29.77	−52.42	−18.25	−37.19	−11.71	−19.42	−22.35	−29.48	−10.93	−11.71
組立約90日後	2002/1/7	0:00	89.37	−19.91	8.78	−3.71	−14.25	−9.86	−28.01	−32.11	−55.25	−20.69	−40.21	−12.98	−21.08	−23.72	−31.04	−12.49	−13.27
組立約120日後	2002/2/6	0:00	119.37	−22.65	6.74	−4.88	−15.32	−10.93	−30.36	−33.58	−58.47	−24.01	−43.05	−15.42	−22.06	−24.99	−33.38	−13.96	−13.67
組立約134日後	2002/2/20	0:00	133.37	−34.36	7.32	−3.81	−16.69	−12.69	−34.36	−33.97	−59.54	−25.09	−44.90	−16.01	−20.99	−23.33	−31.82	−13.67	−13.76



591リング計測位置

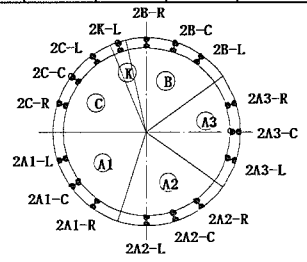
表-2.3　周方向の鉄筋応力より算出した各点の曲げモーメント

天白共同溝 590リング 曲げモーメント (kN・m)

状態	日付	時間	590R	計測点															
			経過時間(日)	1A1-R	1A1-C	1A1-L	1A2-R	1A2-C	1A2-L	1A3-R	1A3-C	1A3-L	1B-R	1B-C	1B-L	1C-R	1C-C	1C-L	1K-L
590Rセグメント組立終了	2001/10/9	9:08	0.00	7.57	−1.23	0.35	15.51	11.08	14.76	1.93	1.76	1.87	12.77	31.42	13.79	1.01	18.58	6.34	0.24
591Rセグメント組立終了	2001/10/9	15:14	0.25	−15.79	−0.18	10.23	−44.20	−39.06	5.10	−26.04	−43.17	−44.21	13.82	41.08	37.23	−34.60	−38.49	−20.56	−2.11
590R組立1日後	2001/10/10	9:10	1.00	−16.13	−0.35	9.32	−34.06	−38.30	−1.58	−31.51	−47.90	−48.72	11.11	42.39	39.78	−40.25	−45.54	−30.52	−11.96
591R組立1日後	2001/10/10	15:10	1.25	−15.67	−0.18	9.14	−34.99	−38.73	−3.34	−32.04	−48.47	−49.62	10.34	42.30	39.63	−40.70	−45.47	−31.53	−13.52
590Rマシンテール脱出完了	2001/10/11	8:36	1.98	1.68	5.18	−1.14	0.06	−5.01	−3.05	−20.19	−26.39	−16.20	10.55	46.82	41.92	−21.06	−33.24	−25.97	−10.90
591Rマシンテール脱出完了	2001/10/11	13:52	2.20	−1.56	0.49	−2.13	0.02	5.24	−0.36	−19.85	−24.24	−10.03	11.26	50.51	21.89	−12.30	−12.11	−15.24	−11.15
590R裏込め注入直後	2001/10/11	13:46	2.19	−2.46	−0.70	−13.29	4.40	12.38	5.27	−22.68	−37.83	−28.88	20.22	67.49	44.83	−18.68	−11.61	−19.17	−6.33
591R裏込め注入直後	2001/10/11	14:42	2.23	−1.33	0.93	−0.61	1.27	9.74	0.75	−16.65	−27.96	−15.83	13.44	54.94	24.48	−10.71	−14.20	−18.03	−12.41
590R組立3日後	2001/10/12	9:08	3.00	10.20	5.80	−7.56	4.22	11.55	4.40	−11.25	−35.17	−29.74	16.88	66.36	48.77	−17.20	−26.20	−31.12	−5.28
591R組立3日後	2001/10/12	15:14	3.25	0.35	11.24	4.26	8.88	6.70	4.22	−12.90	−31.79	−28.11	14.52	56.74	28.47	−22.13	−37.36	−34.28	−17.57
590R組立1週間後	2001/10/16	9:08	7.00	10.20	23.95	10.37	9.85	9.04	−3.52	−16.88	−39.26	−32.43	16.00	66.75	41.25	−29.26	−44.92	−46.23	−24.97
591R組立1週間後	2001/10/16	15:14	7.25	9.32	23.21	9.50	8.09	7.41	−5.45	−17.41	−40.29	−33.01	14.24	65.57	41.11	−30.62	−46.70	−47.58	−26.38
組立約20日後	2001/10/29	0:00	19.62	16.88	29.26	14.36	−2.46	−0.35	−4.75	−16.18	−36.34	−29.46	16.35	73.18	47.08	−36.57	−51.42	−53.94	−36.22
組立約40日後	2001/11/18	0:00	39.62	12.66	36.41	12.13	2.46	−10.09	−17.41	−23.56	−33.72	−38.43	8.44	81.96	50.66	−49.42	−58.40	−63.54	−56.13
組立約60日後	2001/12/8	0:00	59.62	11.08	41.72	11.78	4.75	−15.84	−22.68	−26.02	−33.09	−43.59	4.22	87.89	53.52	−55.93	−61.09	−68.69	−66.31
組立約90日後	2002/1/7	0:00	89.62	12.13	43.22	11.78	5.45	−16.66	−28.49	−25.14	−34.57	−48.35	2.81	89.69	55.88	−58.67	−63.07	−70.27	−69.06
組立約120日後	2002/2/6	0:00	119.62	7.74	47.83	9.50	10.01	−21.55	−34.64	−27.78	−34.11	−51.98	−3.69	94.09	55.76	−64.99	−64.89	−74.73	−78.47
組立約134日後	2002/2/20	0:00	133.62	4.57	48.00	6.33	13.38	−23.17	−40.27	−28.13	−32.88	−55.06	−8.44	96.39	53.59	−69.84	−63.02	−75.95	−84.43

天白共同溝 591リング 曲げモーメント (kN・m)

状態	日付	時間	591R	計測点															
			経過時間(日)	2A1-R	2A1-C	2A1-L	2A2-R	2A2-C	2A2-L	2A3-R	2A3-C	2A3-L	2B-R	2B-C	2B-L	2C-R	2C-C	2C-L	2K-L
591Rセグメント組立終了	2001/10/9	15:14	0.00	0.44	4.42	0.97	20.53	28.87	17.54	26.43	21.44	1.37	7.21	−12.51	−8.90	13.22	20.64	4.75	7.33
590R組立1日後	2001/10/10	9:10	0.75	−0.55	0.51	0.32	14.97	15.03	19.33	25.86	24.22	1.34	6.36	−12.39	−12.19	7.40	14.95	4.73	1.93
591R組立1日後	2001/10/10	15:10	1.00	−0.97	0.40	0.22	14.77	13.20	18.28	25.64	25.01	1.34	6.44	−12.39	−12.64	7.37	15.35	4.91	1.76
590Rマシンテール脱出完了	2001/10/11	8:36	1.72	−2.46	17.76	−5.80	29.01	−30.42	102.47	59.96	62.81	−82.22	78.89	−39.92	−12.31	−33.41	−7.56	−7.03	−42.20
591Rマシンテール脱出完了	2001/10/11	13:52	1.94	−1.29	5.74	−1.48	11.65	8.23	12.35	20.12	16.07	−20.15	25.28	−4.22	6.33	0.00	−5.80	−18.56	−16.70
590R裏込め注入直後	2001/10/11	13:46	1.94	−0.88	20.12	−4.22	24.27	5.98	27.53	36.82	11.25	−42.17	43.90	0.18	2.11	−9.67	−13.89	−17.41	−13.89
591R裏込め注入直後	2001/10/11	14:42	1.98	−4.89	1.88	−8.47	−4.96	2.27	11.18	19.77	22.16	−15.81	36.20	−3.17	−8.79	4.48	1.76	−24.12	−15.30
590R組立3日後	2001/10/12	9:08	2.75	−18.30	1.50	−16.84	−5.63	0.35	30.88	19.52	29.72	−15.83	43.77	−10.90	−7.39	−5.10	−9.85	−22.68	−13.36
591R組立3日後	2001/10/12	15:14	3.00	−17.54	−1.92	−29.53	−27.08	−12.31	24.09	31.34	42.49	−0.70	29.51	−38.16	−16.70	21.85	13.36	−27.76	−23.39
590R組立1週間後	2001/10/16	9:08	6.75	−26.27	−8.90	−34.59	−21.28	−6.68	36.30	30.77	58.00	−5.63	30.77	−44.14	−25.32	22.68	17.94	−33.94	−32.71
591R組立1週間後	2001/10/16	15:14	7.00	−29.46	−8.71	−35.72	−23.91	−10.55	35.77	29.72	56.41	−7.91	29.36	−46.60	−26.73	21.28	15.30	−35.70	−34.64
組立約20日後	2001/10/29	0:00	19.37	−23.74	−9.15	−35.34	−21.63	−22.16	31.68	32.35	68.87	−4.75	26.38	−57.16	−26.73	25.32	24.62	−40.62	−42.90
組立約40日後	2001/11/18	0:00	39.37	−20.57	−9.25	−42.99	−32.71	−31.12	41.05	28.49	80.81	−10.90	23.21	−66.01	−34.64	21.45	32.53	−51.87	−62.60
組立約60日後	2001/12/8	0:00	59.37	−19.52	−10.88	−46.98	−37.63	−35.34	45.58	27.96	89.83	−12.84	21.28	−69.63	−38.86	20.57	38.51	−56.97	−72.76
組立約90日後	2002/1/7	0:00	89.37	−20.05	−11.38	−47.65	−43.08	−40.27	47.34	28.49	94.36	−12.13	20.75	−71.21	−39.92	21.10	39.39	−57.50	−73.68
組立約120日後	2002/2/6	0:00	119.37	−22.68	−12.00	−52.36	−47.83	−41.85	52.47	27.25	100.02	−13.72	18.99	−74.03	−44.84	18.99	42.73	−63.30	−83.33
組立約134日後	2002/2/20	0:00	133.37	−4.75	−9.96	−56.34	−49.41	−36.22	60.58	24.27	103.59	−16.18	18.46	−74.56	−48.18	14.77	41.67	−66.82	−87.84



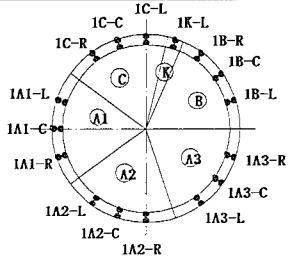


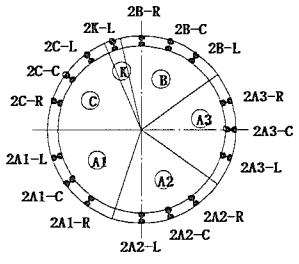
表-2.4　周方向の鉄筋応力より算出した各点の軸力

天白共同溝　590リング　軸力　(kN)　　(圧縮＋、引張－)

状態	日付	時間	590R	計測点															
			経過時間(日)	1A1-R	1A1-C	1A1-L	1A2-R	1A2-C	1A2-L	1A3-R	1A3-C	1A3-L	1B-R	1B-C	1B-L	1C-R	1C-C	1C-L	1K-L
590Rセグメント組立終了	2001/10/9	9:08	0.00	93.34	276.13	107.66	257.76	346.04	230.31	19.17	61.52	15.15	110.63	209.23	153.27	−5.23	124.48	41.35	−6.30
591Rセグメント組立終了	2001/10/9	15:14	0.25	245.14	251.83	161.63	592.29	566.42	310.16	366.43	563.66	557.18	179.79	329.64	383.83	361.38	471.14	239.65	166.51
590R組立1日後	2001/10/10	9:10	1.00	332.50	360.12	217.89	548.45	629.86	569.61	465.59	634.17	633.58	198.27	366.63	420.28	453.99	571.02	360.62	222.45
591R組立1日後	2001/10/10	15:10	1.25	329.39	349.24	215.32	559.11	626.72	657.96	472.42	640.13	644.80	195.60	363.17	417.26	456.29	565.91	368.86	238.73
590Rマシンテール脱出完了	2001/10/11	8:36	1.98	9.52	47.18	−0.34	−2.36	44.88	57.42	453.99	391.28	214.57	430.63	728.66	712.33	209.56	469.33	340.70	803.07
591Rマシンテール脱出完了	2001/10/11	13:52	2.20	−42.26	−47.77	−19.84	−35.96	−109.44	−36.75	237.25	250.12	31.73	176.44	241.15	227.82	86.39	175.72	225.36	131.76
590R裏込め注入直後	2001/10/11	13:46	2.19	203.66	228.10	212.88	202.50	58.97	123.04	1763.10	652.30	436.68	756.17	699.05	766.81	365.62	1328.51	1699.18	986.56
591R裏込め注入直後	2001/10/11	14:42	2.23	−36.22	−36.22	−22.05	−33.86	−80.04	−34.91	182.74	279.84	99.87	240.43	289.00	257.26	72.31	230.50	320.33	236.93
590R組立3日後	2001/10/12	9:08	3.00	512.65	479.33	796.18	456.26	251.65	458.83	1393.89	2500.09	620.52	933.03	769.83	865.90	384.79	2006.44	2347.12	1151.94
591R組立3日後	2001/10/12	15:14	3.25	189.68	100.08	42.08	171.49	45.20	266.58	256.21	403.42	326.63	294.32	346.50	305.13	200.88	445.19	442.44	400.01
590R組立1週間後	2001/10/16	9:08	7.00	440.88	324.13	284.52	240.95	131.12	684.23	1280.84	554.73	428.18	638.25	526.51	530.52	365.44	649.12	716.56	1894.36
591R組立1週間後	2001/10/16	15:14	7.25	438.32	322.38	281.96	240.95	130.16	778.34	1292.99	562.58	426.91	633.13	515.49	534.16	378.49	665.18	730.15	1981.44
組立約20日後	2001/10/29	0:00	19.62	430.63	365.44	291.67	321.57	83.29	663.02	1303.94	519.92	374.05	786.92	570.10	641.74	458.71	715.28	827.15	2632.05
組立約40日後	2001/11/18	0:00	39.62	620.31	456.13	428.07	184.56	211.09	1457.04	1889.30	580.49	548.52	1035.56	648.81	806.94	677.71	871.25	1035.38	1214.98
組立約60日後	2001/12/8	0:00	59.62	725.41	518.40	520.34	166.61	304.30	1819.49	2159.61	661.92	674.81	1214.99	707.63	918.53	805.01	957.63	1159.11	1370.86
組立約90日後	2002/1/7	0:00	89.62	761.29	541.65	571.61	146.11	328.93	2183.84	2207.71	740.22	783.08	1307.27	746.37	1019.78	857.73	995.39	1211.19	1444.22
組立約120日後	2002/2/6	0:00	119.62	902.27	601.24	686.96	160.33	448.14	2646.86	2458.14	2439.90	884.05	1628.14	790.48	1123.78	989.02	1086.95	1347.30	1574.12
組立約134日後	2002/2/20	0:00	133.62	927.90	597.02	712.59	177.38	469.85	2995.20	2541.43	2394.46	959.05	1947.69	813.48	1228.11	1076.27	1083.76	1393.77	1674.69

天白共同溝　591リング　軸力　(kN)　　(圧縮＋、引張－)

状態	日付	時間	591R	計測点															
			経過時間(日)	2A1-R	2A1-C	2A1-L	2A2-R	2A2-C	2A2-L	2A3-R	2A3-C	2A3-L	2B-R	2B-C	2B-L	2C-R	2C-C	2C-L	2K-L
591Rセグメント組立終了	2001/10/9	15:14	0.00	−14.70	20.65	−17.51	260.89	430.26	221.14	118.74	82.07	−4.87	64.52	104.95	94.15	188.31	285.79	140.98	113.15
590R組立1日後	2001/10/10	9:10	0.75	−11.81	−12.86	−19.42	198.12	237.06	197.87	110.95	95.85	−4.74	48.87	97.62	132.88	124.24	191.81	105.20	74.33
591R組立1日後	2001/10/10	15:10	1.00	−10.85	−14.17	−19.16	196.46	227.33	183.98	106.71	99.42	−4.74	47.89	97.62	141.63	118.58	195.24	107.81	87.15
590Rマシンテール脱出完了	2001/10/11	8:36	1.72	1941.56	1735.33	1912.57	1771.22	3282.75	1804.96	755.86	902.59	1391.81	1200.57	3081.09	1443.82	3231.99	1970.16	1778.58	3345.64
591Rマシンテール脱出完了	2001/10/11	13:52	1.94	−29.40	−97.75	−35.44	153.06	78.44	50.65	264.64	344.39	210.54	258.31	450.94	410.12	15.38	415.62	242.96	262.65
590R裏込め注入直後	2001/10/11	13:46	1.94	300.50	291.98	445.81	784.36	733.10	410.04	746.15	1015.06	916.81	654.16	817.68	1127.84	942.19	1352.11	1369.89	1280.34
591R裏込め注入直後	2001/10/11	14:42	1.98	−25.65	−161.43	12.77	96.08	−9.75	21.33	428.91	533.16	203.93	447.62	908.53	1067.19	56.15	374.24	469.72	1116.22
590R組立3日後	2001/10/12	9:08	2.75	355.63	−53.02	347.89	1199.35	794.61	447.49	986.86	1217.55	1589.76	696.46	1561.80	1564.53	766.82	1250.41	1896.39	1483.50
591R組立3日後	2001/10/12	15:14	3.00	221.14	−56.96	365.51	2004.48	1120.85	285.93	658.78	959.18	668.98	569.19	2751.79	1736.47	348.93	548.54	635.85	1786.13
590R組立1週間後	2001/10/16	9:08	6.75	531.91	15.43	516.51	1850.32	977.57	486.66	745.91	1071.82	937.89	858.70	3209.05	2285.24	556.23	722.84	2475.15	2486.11
591R組立1週間後	2001/10/16	15:14	7.00	511.91	18.59	535.29	2018.73	1247.81	479.75	751.04	1084.39	1043.52	863.82	3335.82	2346.69	566.48	735.66	2568.63	2590.47
組立約20日後	2001/10/29	0:00	19.37	1848.92	26.15	582.74	1872.09	1745.82	513.54	861.26	1167.63	929.60	1112.46	1267.60	2536.37	671.58	835.63	2955.45	3220.00
組立約40日後	2001/11/18	0:00	39.37	1934.94	41.55	756.65	2619.40	2326.62	643.81	1025.31	1285.13	1469.52	1425.18	1487.57	3087.74	799.74	925.34	3703.40	4454.57
組立約60日後	2001/12/8	0:00	59.37	2069.56	70.66	871.83	2985.71	2654.52	712.49	1156.04	1371.55	1753.31	1643.06	1630.28	3425.90	874.08	986.86	4101.10	1676.66
組立約90日後	2002/1/7	0:00	89.37	2286.77	84.64	922.14	3415.44	3010.58	748.92	1271.38	1453.44	1837.93	1809.67	5090.49	3578.36	938.16	1056.07	4215.78	5258.27
組立約120日後	2002/2/6	0:00	119.37	2593.60	107.96	1044.90	3765.75	3164.94	783.54	1366.22	1534.39	2110.20	1983.97	5392.82	3934.42	1035.56	1130.40	4651.91	1932.89
組立約134日後	2002/2/20	0:00	133.37	2098.45	76.63	1068.69	3935.49	2908.88	857.04	1430.31	1520.42	2318.99	2089.07	5456.24	4084.86	1009.93	1063.76	4854.24	2005.10



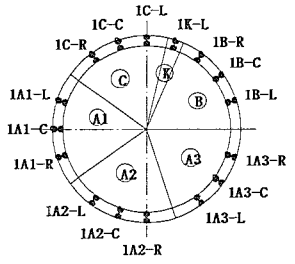


表-3.1　第２工区　計測断面Ａ　円周方向鉄筋応力計測結果

首都圏外郭放水路第2工区 計測断面A 周方向鉄筋計(内側in、)応力 (N/mm²)

			260リング	261リング内側鉄筋											
			経過時間	T1−i	T2−i	T3−i	T4−i	T5−i	T6−i	T7−i	T8−i	T9−i	T10−i	T11−i	T12−i
1999/2/19	18:00 (計測開始)	260ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/2/16 1:00)3.4日経過後 261ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/2/16 10:50)3.3日経過後	3.42	2.48	73.94	9.40	−2.11	−24.90	−8.12	16.25	9.70	−8.80	−2.56	−11.58	−0.15
1999/2/20	15:30:00	260ﾘﾝｸﾞ(土圧計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注入)	4.31	−30.31	−2.03	−28.51	−56.94	−74.84	−48.29	−12.71	−19.41	−59.50	−55.96	−52.43	−48.06
1999/2/20	21:00:00	261ﾘﾝｸﾞ(ｾｸﾞﾒﾝﾄ計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注入)	4.54	−20.38	−8.65	−33.47	−59.72	−77.85	−50.40	−16.17	−15.49	−59.12	−54.76	−56.64	−47.61
1999/2/23	8:00:00	260ﾘﾝｸﾞ１週間後	7.00	−28.58	−23.99	−38.21	−58.82	−74.62	−53.86	−22.04	−26.63	−56.64	−57.09	−44.60	−36.33
1999/2/23	10:50:00	261ﾘﾝｸﾞ１週間後	7.12	−28.73	−25.12	−38.14	−58.59	−74.31	−53.48	−22.11	−26.93	−57.24	−56.04	−44.45	−35.65
1999/3/8	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約20日後	19.67	−28.21	−21.21	−38.06	−60.62	−80.11	−52.28	−18.13	−26.40	−60.62	−62.43	−47.39	−39.26
1999/3/28	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約40日後	39.67	−30.76	−24.45	−40.24	−61.98	−82.81	−53.48	−20.46	−28.58	−63.41	−64.16	−50.24	−41.29
1999/4/17	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約60日後	59.67	−29.71	−23.32	−39.56	−61.53	−81.46	−52.28	−18.05	−27.15	−62.05	−63.33	−49.49	−40.84
1999/5/17	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約90日後	89.67	−33.02	−26.55	−46.11	−65.74	−87.18	−57.32	−21.06	−34.98	−68.90	−65.14	−56.56	−45.88
1999/8/15	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約半年後	179.67	−31.29	−34.75	−51.52	−68.90	−95.90	−65.59	−30.09	−44.75	−76.87	−70.03	−66.79	−54.23
2000/2/16	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約１年後	364.67	−20.38	−37.61	−57.01	−74.46	−95.53	−66.42	−34.68	−54.46	−78.83	−70.85	−73.11	−58.97
2000/5/24	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約463日後	462.67	−17.83	−38.44	−59.42	−75.82	−98.46	−68.00	−35.73	−54.91	−79.96	−71.16	−73.64	−59.95

首都圏外郭放水路第2工区 計測断面A 周方向鉄筋計(外側out、)応力 (N/mm²)

			260リング	261リング外側鉄筋											
			経過時間	T1−o	T2−o	T3−o	T4−o	T5−o	T6−o	T7−o	T8−o	T9−o	T10−o	T11−o	T12−o
1999/2/19	18:00 (計測開始)	260ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/2/16 1:00)3.4日経過後 261ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/2/16 10:50)3.3日経過後	3.42	−0.60	2.93	−12.64	3.08	11.13	5.19	3.61	9.93	10.53	10.08	6.84	−1.35
1999/2/20	15:30:00	260ﾘﾝｸﾞ(土圧計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注入)	4.31	−34.98	−22.34	−43.78	−10.68	−15.49	−25.50	−36.33	−28.43	−26.18	−22.72	−53.70	−49.42
1999/2/20	21:00:00	261ﾘﾝｸﾞ(ｾｸﾞﾒﾝﾄ計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注入)	4.54	−38.59	−31.37	−37.68	−7.22	−16.02	−28.88	−40.92	−38.74	−25.57	−24.07	−53.03	−49.87
1999/2/23	8:00:00	260ﾘﾝｸﾞ１週間後	7.00	−37.68	−27.53	−43.40	−27.08	−32.04	−42.42	−48.67	−35.50	−27.23	−27.38	−52.80	−49.49
1999/2/23	10:50:00	261ﾘﾝｸﾞ１週間後	7.12	−37.61	−28.21	−43.85	−27.38	−31.59	−42.27	−48.51	−34.68	−26.70	−27.00	−54.01	−49.12
1999/3/8	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約20日後	19.67	−36.03	−27.91	−42.42	−24.30	−28.81	−40.69	−51.00	−34.15	−23.92	−23.09	−52.20	−50.24
1999/3/28	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約40日後	39.67	−36.63	−27.38	−42.57	−24.45	−28.21	−39.94	−51.52	−33.70	−23.77	−22.41	−52.35	−50.24
1999/4/17	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約60日後	59.67	−37.53	−28.73	−43.63	−25.35	−29.64	−41.52	−52.28	−34.83	−24.90	−23.62	−53.33	−51.22
1999/5/17	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約90日後	89.67	−42.72	−34.45	−48.97	−30.16	−33.02	−43.93	−55.13	−37.01	−27.38	−26.78	−58.07	−54.38
1999/8/15	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約半年後	179.67	−44.68	−39.11	−53.25	−35.88	−39.41	−48.06	−61.53	−42.87	−30.46	−28.73	−63.93	−54.68
2000/2/16	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約１年後	364.67	−39.68	−41.37	−62.05	−38.06	−49.94	−57.32	−64.01	−54.61	−34.22	−35.95	−75.29	−50.32
2000/5/24	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約463日後	462.67	−37.20	−42.35	−60.85	−40.62	−46.71	−54.98	−66.27	−53.40	−30.99	−32.95	−75.29	−46.26

表-3.2　第２工区　計測断面Ｂ　円周方向鉄筋応力計測結果

首都圏外郭放水路第2工区　計測断面B　周方向鉄筋計(内側in)応力　(N/mm²)

			1344リング	1345リング内側鉄筋										
			経過時間	T1−i	T2−i	T3−i	T4−i	T5−i	T6−i	T7−i	T8−i	T9−i	T10−i	T11−i	T12−i
1999/12/2	8:10 (計測開始)	1344ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/12/1 11:04)約1日経過後 1345ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/12/1 12:49)約1日経過後	0.88	−11.78	68.93	−2.14	−5.97	6.70	44.93	8.47	10.46	1.91	32.70	4.35	4.71
1999/12/2	12:00	1344ﾘﾝｸﾞ(土圧計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注入)	1.04	−48.31	−5.01	−44.93	−27.77	−32.77	−46.84	−40.58	−22.83	−30.27	−9.06	−7.81	−34.84
1999/12/2	21:40:00	1345ﾘﾝｸﾞ(ｾｸﾞﾒﾝﾄ計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注入)	1.44	−48.90	−28.50	−46.47	−22.61	−33.36	−56.27	−41.83	−35.57	−38.81	−17.01	−0.59	−41.39
1999/12/4	11:04:00	1344ﾘﾝｸﾞ約３日後	3.00	−34.91	−13.92	−39.92	−30.42	−29.97	−32.85	−34.54	−23.49	−33.80	−31.52	−6.48	−32.33
1999/12/4	12:50:00	1345ﾘﾝｸﾞ約３日後	3.07	−34.91	−13.99	−39.99	−30.49	−30.05	−32.77	−34.47	−23.42	−33.80	−31.96	−6.55	−32.33
1999/12/8	16:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約１週間後	7.21	−37.93	−16.94	−43.75	−34.39	−31.01	−28.94	−30.86	−23.79	−36.01	−36.09	−9.06	−34.39
1999/12/21	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約20日後	19.54	−38.15	−17.60	−45.96	−36.23	−32.11	−27.10	−25.70	−23.79	−39.40	−38.74	−12.15	−36.01
2000/1/10	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約40日後	39.54	−37.04	−18.71	−47.87	−38.81	−33.66	−28.80	−30.56	−27.10	−41.24	−42.64	−14.66	−37.63
2000/1/30	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約60日後	59.54	−38.08	−19.44	−49.64	−40.29	−35.35	−30.12	−31.82	−27.25	−43.08	−44.85	−16.57	−38.81
2000/2/29	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約90日後	89.54	−39.99	−21.80	−52.00	−42.05	−36.90	−32.99	−30.12	−29.83	−44.34	−47.43	−19.30	−41.02
2000/5/24	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約半年後	174.54	−42.72	−23.49	−56.56	−47.65	−41.24	−36.16	−35.65	−33.58	−47.87	−51.77	−23.13	−43.82

首都圏外郭放水路第2工区　計測断面B　周方向鉄筋計(外側out)応力　(N/mm²)

			1344リング	1345リング外側鉄筋										
			経過時間	T1−o	T2−o	T3−o	T4−o	T5−o	T6−o	T7−o	T8−o	T9−o	T10−o	T11−o	T12−o
1999/12/2	8:10 (計測開始)	1344ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/12/1 11:04)約1日経過後 1345ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/12/1 12:49)約1日経過後	0.88	5.08	30.64	3.17	−7.95	2.58	33.44	10.24	4.20	3.39	19.37	3.76	7.88
1999/12/2	12:00	1344ﾘﾝｸﾞ(土圧計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注入)	1.04	−21.73	−4.42	−27.47	−59.14	−50.08	−21.28	−19.88	−4.42	−13.92	−28.94	−29.09	−9.50
1999/12/2	21:40:00	1345ﾘﾝｸﾞ(ｾｸﾞﾒﾝﾄ計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注入)	1.44	−25.26	−6.63	−33.07	−64.88	−47.36	−17.90	−32.99	−12.45	−27.77	−40.29	−54.35	−12.45
1999/12/4	11:04:00	1344ﾘﾝｸﾞ約３日後	3.00	−33.29	−15.83	−32.04	−50.45	−46.99	−26.51	−30.93	−19.37	−29.90	−25.48	−44.48	−16.06
1999/12/4	12:50:00	1345ﾘﾝｸﾞ約３日後	3.07	−33.36	−15.98	−32.04	−50.45	−46.91	−26.73	−31.08	−19.52	−30.05	−25.56	−44.56	−16.06
1999/12/8	16:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約１週間後	7.21	−33.51	−15.76	−31.67	−49.64	−46.10	−29.83	−35.35	−21.43	−29.61	−24.89	−43.30	−16.06
1999/12/21	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約20日後	19.54	−38.89	−21.43	−34.76	−52.14	−47.50	−32.99	−38.44	−23.79	−31.37	−29.16	−47.65	−20.77
2000/1/10	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約40日後	39.54	−42.42	−26.07	−36.46	−53.47	−49.42	−34.76	−38.89	−26.22	−33.73	−31.96	−50.45	−25.04
2000/1/30	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約60日後	59.54	−44.41	−28.13	−37.78	−54.65	−50.60	−36.82	−40.58	−27.99	−34.91	−33.66	−52.44	−26.88
2000/2/29	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約90日後	89.54	−45.66	−29.75	−38.81	−55.60	−52.07	−38.59	−42.72	−29.53	−36.90	−35.35	−54.06	−28.28
2000/5/24	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約半年後	174.54	−50.67	−34.03	−41.98	−57.67	−56.49	−42.13	−46.18	−33.73	−41.39	−37.78	−58.99	−32.99

表-3.3　第３工区　円周方向鉄筋応力計測結果

首都圏外郭放水路第3工区　周方向鉄筋計(内側in)応力 (N/mm²)

			401リング	402リング内側鉄筋											
			経過時間	T1−i	T2−i	T3−i	T4−i	T5−i	T6−i	T7−i	T8−i	T9−i	T10−i	T11−i	T12−i
1999/4/1	7:14 (計測開始)	401ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/3/31 16:27)約1日経過後 402ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/4/1 0:05)約7時間経過後	0.62	8.31	22.57	12.50	3.09	8.89	3.89	18.68	7.80	9.27	3.60	9.92	16.18
1999/4/1	15:10:00	401ﾘﾝｸﾞ(土圧計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注入)	0.95	−7.06	4.19	6.10	−13.76	−2.06	8.09	1.39	−0.37	−9.56	−11.41	−4.85	−2.73
1999/4/1	21:00:00	402ﾘﾝｸﾞ(ｾｸﾞﾒﾝﾄ計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注入)	1.19	−16.33	7.21	3.68	−21.11	−5.82	7.35	−8.53	−19.94	−34.21	−26.85	−14.56	−15.67
1999/4/3	16:28:00	401ﾘﾝｸﾞ約３日後	3.00	−10.23	−3.24	2.28	−20.59	−3.17	5.44	−10.52	−20.15	−26.41	−16.26	−18.68	−11.77
1999/4/4	0:06:00	402ﾘﾝｸﾞ約３日後	3.32	−9.56	−2.65	2.79	−20.15	−2.73	5.22	−10.38	−20.30	−26.48	−16.26	−18.68	−11.47
1999/4/7	16:00:00	401ﾘﾝｸﾞ約１週間後	6.98	−3.82	−2.79	0.07	−24.42	−4.64	6.25	−7.06	−20.59	−28.03	−24.20	−25.74	−16.18
1999/4/8	0:00:00	402ﾘﾝｸﾞ約１週間後	7.31	−3.90	−3.17	−1.11	−26.70	−3.38	7.42	−7.21	−21.85	−26.63	−24.79	−26.26	−16.11
1999/4/20	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約20日後	19.31	0.51	−0.08	−1.84	−27.14	−7.65	5.00	−5.15	−18.98	−28.54	−27.44	−27.29	−15.52
1999/5/10	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約40日後	39.31	0.80	−0.37	−2.50	−29.13	−9.56	4.12	−8.76	−20.67	−31.63	−30.68	−29.94	−17.73
1999/5/30	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約60日後	59.31	0.51	−1.47	−5.08	−31.04	−12.06	3.30	−10.89	−22.06	−33.91	−33.54	−32.59	−19.35
1999/6/29	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約90日後	89.31	0.44	−2.87	−8.09	−32.88	−14.71	2.86	−11.55	−23.03	−35.75	−36.33	−35.53	−21.11
1999/9/27	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約半年後	179.31	−0.15	−5.59	−14.05	−35.38	−22.00	1.18	−17.80	−25.89	−39.94	−41.04	−39.80	−23.83
2000/3/25	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約1年後	359.31	1.32	−5.15	−22.88	−39.42	−25.97	−0.08	−25.82	−29.57	−42.07	−44.94	−44.06	−31.92
2000/5/24	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約420日後	420.31	2.13	−5.67	−22.58	−38.39	−26.56	−0.08	−25.82	−29.42	−42.15	−46.34	−44.06	−32.00

首都圏外郭放水路第3工区　周方向鉄筋計(外側out)応力 (N/mm²)

			401リング	402リング外側鉄筋											
			経過時間	T1−o	T2−o	T3−o	T4−o	T5−o	T6−o	T7−o	T8−o	T9−o	T10−o	T11−o	T12−o
1999/4/1	7:14 (計測開始)	401ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/3/31 16:27)約1日経過後 402ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/4/1 0:05)約7時間経過後	0.62	8.38	−5.23	−11.41	−3.02	−2.65	0.29	−2.79	5.95	2.72	0.95	−8.68	−24.42
1999/4/1	15:10:00	401ﾘﾝｸﾞ(土圧計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注入)	0.95	−7.21	−3.31	−29.65	−19.12	−22.14	−22.44	−7.21	−5.52	−10.00	−17.14	−19.64	−25.82
1999/4/1	21:00:00	402ﾘﾝｸﾞ(ｾｸﾞﾒﾝﾄ計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注入)	1.19	−30.16	−28.76	−40.31	−27.51	−42.51	−52.45	−39.86	−24.27	−25.60	−25.67	−30.82	−39.94
1999/4/3	16:28:00	401ﾘﾝｸﾞ約３日後	3.00	−40.75	−26.48	−50.83	−40.89	−47.74	−55.68	−37.07	−28.17	−32.29	−33.47	−28.62	−35.24
1999/4/4	0:06:00	402ﾘﾝｸﾞ約３日後	3.32	−40.31	−26.41	−50.75	−40.83	−47.66	−55.46	−36.77	−28.10	−32.29	−33.62	−28.54	−34.86
1999/4/7	16:00:00	401ﾘﾝｸﾞ約１週間後	6.98	−42.15	−24.79	−46.34	−35.89	−47.15	−56.12	−38.69	−27.59	−32.21	−31.77	−25.60	−33.47
1999/4/8	0:00:00	402ﾘﾝｸﾞ約１週間後	7.31	−42.15	−24.57	−46.34	−36.19	−47.00	−55.39	−37.29	−23.47	−32.36	−31.63	−25.38	−33.18
1999/4/20	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約20日後	19.31	−47.51	−29.35	−49.06	−38.10	−48.25	−57.30	−42.15	−30.30	−33.47	−33.18	−27.00	−35.68
1999/5/10	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約40日後	39.31	−53.33	−32.88	−51.86	−40.16	−48.92	−59.36	−43.69	−31.85	−35.38	−34.65	−30.01	−39.42
1999/5/30	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約60日後	59.31	−56.19	−33.98	−52.51	−40.31	−49.21	−61.05	−45.16	−33.10	−36.04	−34.57	−30.45	−40.53
1999/6/29	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約90日後	89.31	−60.02	−35.89	−54.13	−41.63	−50.09	−63.33	−48.10	−35.38	−37.44	−35.30	−31.41	−42.22
1999/9/27	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約半年後	179.31	−68.92	−40.16	−58.33	−45.90	−53.84	−68.84	−54.51	−41.56	−41.71	−38.25	−35.16	−46.56
2000/3/25	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約1年後	359.31	−73.92	−40.45	−60.46	−46.86	−60.31	−70.25	−57.66	−45.31	0.00	−38.54	−38.25	−47.81
2000/5/24	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約420日後	420.31	−75.10	−40.68	−60.75	−47.30	−60.83	−70.61	−58.62	−45.75	0.00	−37.66	−38.47	−48.54

表-3.4　第２工区　計測断面Ａ　周方向鉄筋応力より算出した各点の断面力

首都圏外郭放水路第2工区 計測断面A 曲げモーメント （kN・m）

			260リング	計測点										
			経過時間(日)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
1999/2/19	8:00 (計測開始)	260ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/2/16 1:00)3.4日経過後 261ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/2/16 10:50)3.3日経過後	3.42	11.52	172.54	169.61	−31.47	−340.76	−113.65	30.81	3.92	−128.81	−47.98	−161.28	14.08
1999/2/20	15:30:00	260ﾘﾝｸﾞ(土圧計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注入)	4.31	55.87	237.28	182.94	−554.23	−711.03	−273.06	282.97	108.14	−399.22	−398.32	15.32	16.22
1999/2/20	21:00:00	261ﾘﾝｸﾞ(ｾｸﾞﾒﾝﾄ計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注入)	4.54	218.09	272.16	50.47	−629.03	−740.77	−257.74	296.49	278.47	−401.93	−367.68	−43.26	27.04
1999/2/23	8:00:00	260ﾘﾝｸﾞ１週間後	7.00	109.04	42.36	62.18	−380.30	−510.07	−136.98	319.02	106.34	−352.36	−355.97	98.23	157.71
1999/2/23	10:50:00	261ﾘﾝｸﾞ１週間後	7.12	106.34	36.95	68.49	−373.99	−511.87	−134.28	316.32	92.82	−365.88	−347.86	114.45	161.31
1999/3/8	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約20日後	19.67	93.72	80.21	52.27	−435.27	−614.61	−138.78	393.82	92.82	−439.78	−471.32	57.68	131.57
1999/3/28	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約40日後	39.67	70.29	35.15	27.94	−449.69	−654.26	−162.21	372.19	61.28	−474.92	−500.16	25.23	107.24
1999/4/17	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約60日後	59.67	93.72	64.89	48.66	−433.47	−620.92	−128.87	410.04	91.92	−445.19	−475.83	45.96	124.36
1999/5/17	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約90日後	89.67	116.25	94.62	34.25	−426.26	−648.85	−160.41	408.24	24.33	−497.45	−459.60	18.02	101.83
1999/8/15	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約半年後	179.67	160.41	52.27	20.73	−395.62	−676.79	−209.98	376.70	−22.53	−556.03	−494.75	−34.25	5.41
2000/2/16	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約１年後	364.67	231.16	45.06	60.38	−436.17	−546.12	−109.04	351.48	1.80	−534.40	−418.15	26.13	−103.64
2000/5/24	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約463日後	462.67	232.06	46.86	17.12	−421.73	−620.01	−155.90	365.90	−18.02	−586.67	−457.80	19.83	−164.02

首都圏外郭放水路第2工区 計測断面A 軸力 （kN）

			260リング	計測点										
			経過時間(日)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
1999/2/19	8:00 (計測開始)	260ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/2/16 1:00)3.4日経過後 261ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/2/16 10:50)3.3日経過後	3.42	−1.52	−680.87	603.88	88.34	1599.07	475.00	−175.53	−159.48	407.81	40.59	692.78	117.36
1999/2/20	15:30:00	260ﾘﾝｸﾞ(土圧計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注入)	4.31	5244.95	1900.53	5774.42	14923.65	19434.70	10613.30	3875.09	3825.04	13727.86	13148.88	8546.33	7849.20
1999/2/20	21:00:00	261ﾘﾝｸﾞ(ｾｸﾞﾒﾝﾄ計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注入)	4.54	4692.40	3150.81	5719.07	16147.97	20227.97	10793.73	4519.87	4294.43	13695.30	12637.13	9574.83	7846.30
1999/2/23	8:00:00	260ﾘﾝｸﾞ１週間後	7.00	5309.46	4139.63	6558.24	13422.47	17313.72	10098.60	5610.66	4976.90	12781.21	12891.32	7821.14	6871.97
1999/2/23	10:50:00	261ﾘﾝｸﾞ１週間後	7.12	5316.25	4286.51	6586.85	13320.67	17283.94	10009.95	5605.32	4938.11	13018.39	12637.51	7901.62	6786.16
1999/3/8	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約20日後	19.67	5149.96	3935.56	6470.01	14283.57	19282.83	9862.78	5463.33	4853.27	14330.31	14948.37	8007.75	7175.91
1999/3/28	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約40日後	39.67	5410.76	4165.80	6664.39	14651.30	20130.46	10299.74	5699.41	5001.11	15143.32	15526.26	8258.85	7346.05
1999/4/17	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約60日後	59.67	5392.35	4176.00	6689.13	14410.31	19566.43	9759.95	5555.94	4968.65	14616.68	15140.54	8271.47	7383.88
1999/5/17	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約90日後	89.67	6071.07	4889.14	7650.45	15014.23	20777.31	10899.15	6029.09	5792.74	16261.75	15263.15	9230.36	8050.45
1999/8/15	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約半年後	179.67	6077.40	5936.74	8435.80	15205.42	22472.98	12746.46	7279.82	7444.91	18154.06	16415.51	11117.50	8773.20
2000/2/16	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約１年後	364.67	4776.81	6350.74	9576.53	16522.94	21056.92	11832.79	7856.36	8786.29	18244.82	15754.24	11949.05	10576.86
2000/5/24	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約463日後	462.67	4370.56	6495.70	9685.09	16591.26	22296.13	12573.41	8119.12	9034.33	18968.81	16214.03	11993.17	11360.73

表-3.5　第２工区　計測断面Ｂ　周方向鉄筋応力より算出した各点の断面力

首都圏外郭放水路第2工区　計測断面B　曲げモーメント　(kN・m)

			1344ﾘﾝｸﾞ	計測点											
			経過時間(日)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
1999/12/2	8:10 (計測開始)	1344ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/12/1 11:04)約1日経過後 1345ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/12/1 12:49)約1日経過後	0.88	−189.81	118.76	−38.50	28.07	12.56	43.24	−1.82	19.16	−3.13	44.07	2.86	−6.55
1999/12/2	12:00	1344ﾘﾝｸﾞ(土圧計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注入	1.04	−375.25	−8.32	−246.36	442.82	244.28	−360.70	−292.10	−259.87	−230.77	280.66	300.41	−357.58
1999/12/2	21:40:00	1345ﾘﾝｸﾞ(ｾｸﾞﾒﾝﾄ計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注	1.44	−333.68	−308.73	−189.19	596.67	197.50	−541.57	−124.74	−326.40	−155.92	328.48	731.01	−408.52
1999/12/4	11:04:00	1344ﾘﾝｸﾞ約３日後	3.00	−22.87	27.03	−111.23	282.74	240.12	−89.40	−50.93	−58.21	−55.09	−85.24	536.38	−229.73
1999/12/4	12:50:00	1345ﾘﾝｸﾞ約３日後	3.07	−21.83	28.07	−112.26	281.70	238.04	−85.24	−47.82	−55.09	−53.01	−90.44	536.38	−229.73
1999/12/8	16:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約１週間後	7.21	−62.37	−16.63	−170.48	215.17	213.09	12.47	63.41	−33.26	−90.44	−158.00	483.36	−258.83
1999/12/21	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約20日後	19.54	10.39	54.05	−158.00	224.53	217.25	83.16	179.83	0.00	−113.30	−135.13	501.03	−215.17
2000/1/10	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約40日後	39.54	75.88	103.95	−161.12	206.86	222.45	84.20	117.46	−12.47	−106.03	−150.73	505.19	−177.75
2000/1/30	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約60日後	59.54	89.40	122.66	−167.36	202.70	215.17	94.59	123.70	10.39	−115.38	−158.00	506.23	−168.40
2000/2/29	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約90日後	89.54	80.04	112.26	−186.07	191.27	214.13	79.00	177.75	−4.16	−104.99	−170.48	490.64	−179.83
2000/5/24	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約半年後	174.54	112.26	148.65	−205.82	141.37	215.17	84.20	148.65	2.08	−91.47	−197.50	506.23	−152.80

首都圏外郭放水路第2工区　計測断面B　軸力　(kN)

			1344ﾘﾝｸﾞ	計測点											
			経過時間(日)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
1999/12/2	8:10 (計測開始)	1344ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/12/1 11:04)約1日経過後 1345ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/12/1 12:49)約1日経過後	0.88	881.79	−1079.05	99.64	1302.56	−101.07	−832.13	−194.52	−159.40	−54.25	−558.14	−85.48	−129.15
1999/12/2	12:00	1344ﾘﾝｸﾞ(土圧計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注入	1.04	12956.63	1027.81	10990.61	8068.86	7734.98	12529.53	10644.70	6973.68	8072.91	3507.77	3399.17	10239.16
1999/12/2	21:40:00	1345ﾘﾝｸﾞ(ｾｸﾞﾒﾝﾄ計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注	1.44	12638.84	8544.08	10692.19	8087.77	7545.20	16167.37	9155.01	10056.24	8908.46	5311.31	5052.09	11997.24
1999/12/4	11:04:00	1344ﾘﾝｸﾞ約３日後	3.00	6802.60	2792.12	8655.50	7538.82	7181.80	7100.48	7022.65	5019.54	6926.97	6808.24	4666.25	8450.11
1999/12/4	12:50:00	1345ﾘﾝｸﾞ約３日後	3.07	6791.88	2812.65	8680.07	7546.00	7182.30	7043.76	6976.65	4973.54	6905.54	6944.95	4680.11	8450.11
1999/12/8	16:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約１週間後	7.21	7777.81	3357.90	9986.71	7852.72	7202.07	5524.84	6212.38	4817.78	7706.92	8417.29	4810.45	9138.06
1999/12/21	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約20日後	19.54	7243.24	3658.52	10273.74	8259.20	7436.60	5632.75	5990.80	4474.88	8579.96	8680.30	5505.89	8992.79
2000/1/10	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約40日後	39.54	7456.29	4186.99	10666.10	8630.52	7760.94	5958.08	6504.35	5226.90	8851.30	9575.30	6003.65	8911.82
2000/1/30	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約60日後	59.54	7737.10	4445.78	11062.89	8880.89	8032.82	6274.25	6779.95	5192.83	9294.09	10065.93	6370.54	9037.05
2000/2/29	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約90日後	89.54	8037.18	4822.30	11699.10	9139.90	8317.08	6714.36	6808.69	5653.78	9422.46	10679.41	6782.93	9570.54
2000/5/24	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約半年後	174.54	8756.88	5374.76	12761.65	9872.15	9141.15	7343.49	7660.69	6330.84	9948.15	11775.41	7603.55	9818.40

表-3.6　第３工区　周方向鉄筋応力より算出した各点の断面力

首都圏外郭放水路第3工区　曲げモーメント　(kN･m)

			401ﾘﾝｸﾞ	計測点											
			経過時間(日)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
1999/4/1	7:14 (計測開始)	401ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/3/31 16:27)約1日経過後 402ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/4/1 0:05)約7時間経過後	0.62	2.37	85.45	133.83	35.23	39.03	6.78	57.77	5.14	12.76	5.11	102.24	276.20
1999/4/1	15:10:00	401ﾘﾝｸﾞ(土圧計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注入)	0.95	1.52	39.45	314.16	55.52	203.08	245.06	76.14	51.74	4.57	59.38	153.06	234.03
1999/4/1	21:00:00	402ﾘﾝｸﾞ(ｾｸﾞﾒﾝﾄ計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注入)	1.19	143.11	307.96	412.38	66.18	372.78	545.76	324.29	44.86	−89.12	−12.18	168.29	251.21
1999/4/3	16:28:00	401ﾘﾝｸﾞ約３日後	3.00	315.87	235.97	509.98	210.10	447.77	571.10	274.76	83.03	60.90	178.13	102.82	242.89
1999/4/4	0:06:00	402ﾘﾝｸﾞ約３日後	3.32	318.20	240.58	511.58	213.96	450.19	568.01	273.24	80.69	60.19	179.65	102.01	242.08
1999/4/7	16:00:00	401ﾘﾝｸﾞ約１週間後	6.98	387.34	223.11	454.73	118.75	430.29	578.45	327.34	72.37	43.34	78.36	−1.52	178.94
1999/4/8	0:00:00	402ﾘﾝｸﾞ約１週間後	7.31	386.69	217.33	447.87	98.15	438.89	575.24	311.40	16.75	59.38	70.75	−9.13	176.61
1999/4/20	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約20日後	19.31	468.67	287.37	469.98	113.37	420.21	585.37	375.65	117.23	51.05	59.38	−3.04	208.58
1999/5/10	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約40日後	39.31	527.26	320.30	493.07	114.19	407.32	602.07	361.54	115.71	38.87	41.11	0.71	224.52
1999/5/30	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約60日後	59.31	553.78	324.22	479.97	95.92	384.48	615.12	354.74	114.19	22.03	10.66	−22.13	219.24
1999/6/29	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約90日後	89.31	590.92	332.92	476.54	90.54	366.21	635.57	378.29	127.89	17.56	−10.66	−42.63	218.43
1999/9/27	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約半年後	179.31	674.99	351.16	458.27	108.81	329.57	681.37	379.91	162.20	18.27	−28.93	−48.01	235.28
2000/3/25	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約1年後	359.31	731.96	358.54	388.95	76.94	355.45	688.35	329.57	162.91	−431.80	−66.28	−60.19	164.43
2000/5/24	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約420日後	420.31	747.58	355.64	395.04	92.16	354.74	691.91	339.52	169.00	−432.60	−89.83	−57.85	171.23

首都圏外郭放水路第3工区　軸力　(kN)

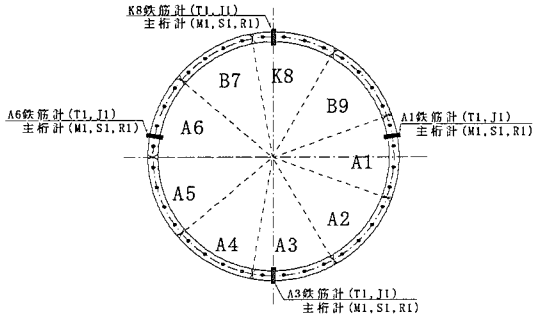
			401ﾘﾝｸﾞ	計測点											
			経過時間(日)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
1999/4/1	7:14 (計測開始)	401ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/3/31 16:27)約1日経過後 402ﾘﾝｸﾞｾｸﾞﾒﾝﾄ組立完了(99/4/1 0:05)約7時間経過後	0.62	−121.52	−7.65	423.08	116.38	20.44	−33.43	−60.99	−101.88	−93.40	−35.61	314.24	1140.02
1999/4/1	15:10:00	401ﾘﾝｸﾞ(土圧計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注入)	0.95	1057.39	112.88	1831.40	2418.95	1727.97	1251.59	449.18	421.24	1448.98	2096.26	1763.97	2037.95
1999/4/1	21:00:00	402ﾘﾝｸﾞ(ｾｸﾞﾒﾝﾄ計測ﾘﾝｸﾞ)ﾃｰﾙ脱出(同時裏込め注入)	1.19	3397.49	1723.37	2704.43	3582.28	3453.52	3393.84	3477.37	3262.37	6111.20	4123.53	3307.46	4037.47
1999/4/3	16:28:00	401ﾘﾝｸﾞ約３日後	3.00	3671.47	2121.93	3534.51	4487.04	3638.62	3717.96	3434.67	3554.71	4331.53	3626.19	3471.60	3401.94
1999/4/4	0:06:00	402ﾘﾝｸﾞ約３日後	3.32	3588.51	2074.36	3500.77	4447.92	3603.93	3713.12	3402.47	3560.60	4336.86	3636.58	3466.07	3352.77
1999/4/7	16:00:00	401ﾘﾝｸﾞ約１週間後	6.98	3282.46	1969.48	3335.59	4431.00	3697.21	3709.72	3280.02	3547.45	4451.68	4123.43	3834.95	3620.10
1999/4/8	0:00:00	402ﾘﾝｸﾞ約１週間後	7.31	3287.93	1981.01	3406.21	4629.27	3600.22	3600.44	3193.12	3354.14	4353.13	4158.75	4000.78	3593.99
1999/4/20	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約20日後	19.31	3394.71	2120.07	3648.27	4798.56	4000.82	3856.27	3377.57	3613.55	4579.92	4473.83	4082.46	3724.85
1999/5/10	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約40日後	39.31	3796.87	2392.03	3891.18	5097.85	4196.45	4049.70	3764.93	3854.74	4954.89	4829.07	4444.43	4160.75
1999/5/30	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約60日後	59.31	4020.19	2539.02	4111.74	5256.78	4411.47	4214.14	4034.09	4050.84	5178.78	5045.97	5090.20	4364.68
1999/6/29	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約90日後	89.31	4299.81	2768.79	4450.54	5493.46	4679.46	4402.42	4293.62	4286.83	5420.24	5511.96	5765.50	4620.89
1999/9/27	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約半年後	179.31	4976.04	3269.70	5210.05	5988.91	5509.95	4893.51	5231.00	4945.48	6047.47	6422.98	6460.79	5138.64
2000/3/25	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約1年後	359.31	5251.16	3257.07	6045.89	6370.61	6275.46	5067.41	6077.08	5495.64	3304.49	7437.24	7235.36	5855.03
2000/5/24	0:00:00	ﾘﾝｸﾞ組立後約420日後	420.31	5290.49	3312.49	6043.81	6321.79	6357.86	5093.56	6144.94	5515.37	3310.66	7918.29	7208.14	5913.05

表-4.1　第４工区計測断面(234R)　円周方向計測結果

外郭方水路第4工区　234R円周方向計測結果

日付 (2002年)	経過日数	状態	234R:主桁計測(外縁側)							
			A1		A3		A6		K8	
			M1_O	S1_O	M1_O	S1_O	M1_O	S1_O	M1_O	S1_O
1/11 3:22	0.00	234R組立直後	10.0	-5.1	27.5	-0.3	-23.8	-18.0	-11.0	-16.7
1/11 11:03	0.54	235R組立完成前	-9.9	-20.2	-19.2	-31.6	-28.9	-30.3	-49.8	-40.8
1/11 11:24	0.55	235R組立直後	-9.2	-19.9	-19.7	-31.8	-38.6	-31.6	-40.3	-35.2
1/11 21:39	0.98	236R組立直後	-23.5	-36.0	-25.5	-41.3	-40.8	-39.8	-42.8	-45.9
1/11 23:03	1.04	234Rテール脱出	-24.8	-35.2	-25.8	-40.5	-36.4	-36.9	-34.8	-42.5
1/12 0:52	1.11	235Rテール脱出	-28.1	-38.8	-26.9	-41.1	-35.2	-38.3	-38.6	-44.7
1/12 2:19	1.17	235R組立完了時から4R経過	-32.8	-42.8	-30.8	-44.0	-35.4	-39.4	-38.8	-46.1
1/15 8:31	4.43	235R組立完了時から5R経過	-39.4	-49.6	-33.8	-45.9	-31.8	-40.1	-39.8	-46.2
1/15 9:51	4.49	235R組立完了時から6R経過	-38.1	-49.8	-34.3	-46.4	-33.8	-41.3	-41.3	-47.9
1/15 11:09	4.54	235R組立完了時から7R経過	-38.4	-49.3	-34.2	-46.2	-35.2	-41.7	-42.3	-49.0
1/15 12:24	4.59	235R組立完了時から8R経過	-38.3	-49.3	-35.7	-47.1	-35.4	-41.8	-42.2	-48.8
1/15 13:44	4.65	235R組立完了時から9R経過	-38.9	-49.1	-35.4	-47.1	-37.9	-43.0	-41.3	-48.6
1/15 14:58	4.70	235R組立完了時から10R経過	-38.4	-50.7	-36.4	-48.8	-39.6	-44.5	-43.7	-51.7
1/16 11:04	5.54	235R組立完了から5日後	-40.1	-51.0	-37.6	-50.2	-38.3	-43.7	-38.8	-48.8
1/21 11:04	10.54	235R組立完了から10日後	-42.3	-54.6	-40.1	-52.4	-40.0	-45.9	-39.6	-52.4
1/31 12:00	20.58	235R組立完了から20日後	-42.7	-56.6	-42.2	-54.7	-42.3	-46.9	-42.5	-56.1
3/12 13:00	60.62	235R組立完了から60日後	-44.0	-62.2	-46.6	-60.2	-46.8	-49.3	-47.6	-60.5
4/11 13:00	90.62	235R組立完了から90日後	-45.1	-64.8	-48.1	-62.7	-48.3	-50.5	-49.1	-62.4
5/11 12:00	120.58	235R組立完了から120日後	-45.9	-67.2	-49.6	-65.1	-49.6	-51.5	-50.5	-64.3
9/8 13:00	240.62	235R組立完了から240日後	-46.1	-69.9	-51.7	-69.2	-50.8	-52.2	-52.7	-67.5

単位:N/mm2



初期値は２３４Ｒ組立前としている

外郭方水路第4工区　234R円周方向計測結果

日付 (2002年)	経過日数	状態	234R:主桁計測(内縁側)								234R:円周方向鉄筋計測			
			A1		A3		A6		K8		A1	A3	A6	K8
			M1_I	S1_I	M1_I	S1_I	M1_I	S1_I	M1_I	S1_I	T1_I	T1_I	T1_I	T1_I
1/11 3:22	0.00	234R組立直後	8.8	-2.9	36.4	17.7	-8.7	-0.7	-35.2	-14.5	-2.9	48.6	1.7	-21.0
1/11 11:03	0.54	235R組立完成前	-5.6	-19.0	-13.1	-19.4	-19.0	-17.2	-35.4	-33.0	-17.1	-19.1	-15.2	-20.7
1/11 11:24	0.55	235R組立直後	-5.6	-18.9	-13.3	-19.6	-24.1	-16.3	-36.7	-31.8	-16.8	-19.3	-14.5	-26.4
1/11 21:39	0.98	236R組立直後	-15.3	-32.3	-22.6	-27.7	-38.4	-30.4	-39.1	-43.9	-30.3	-28.6	-31.1	-39.7
1/11 23:03	1.04	234Rテール脱出	-14.3	-27.2	-21.8	-26.5	-28.7	-25.5	-37.6	-38.4	-25.3	-27.7	-23.3	-29.1
1/12 0:52	1.11	235Rテール脱出	-16.0	-27.0	-23.5	-26.7	-24.8	-24.0	-41.7	-39.1	-25.7	-28.2	-21.0	-30.7
1/12 2:19	1.17	235R組立完了時から4R経過	-18.0	-27.9	-26.2	-28.7	-24.3	-25.7	-42.2	-40.1	-26.2	-30.8	-22.4	-31.8
1/15 8:31	4.43	235R組立完了時から5R経過	-26.9	-34.0	-33.0	-33.0	-22.1	-28.1	-47.6	-39.8	-31.6	-38.0	-28.3	-36.2
1/15 9:51	4.49	235R組立完了時から6R経過	-26.0	-34.3	-35.9	-33.8	-26.2	-29.4	-46.8	-39.1	-30.6	-37.5	-26.8	-35.6
1/15 11:09	4.54	235R組立完了時から7R経過	-27.2	-34.0	-34.7	-33.8	-28.9	-30.3	-47.4	-39.8	-30.8	-37.6	-27.9	-36.2
1/15 12:24	4.59	235R組立完了時から8R経過	-27.9	-34.5	-37.7	-34.3	-29.6	-30.8	-46.9	-39.8	-31.6	-38.0	-28.3	-36.2
1/15 13:44	4.65	235R組立完了時から9R経過	-28.7	-33.7	-36.2	-34.3	-31.6	-31.5	-47.1	-39.8	-31.1	-38.0	-29.4	-36.5
1/15 14:58	4.70	235R組立完了時から10R経過	-27.9	-35.5	-37.6	-35.2	-32.5	-33.5	-46.4	-42.5	-33.0	-38.7	-30.8	-36.7
1/16 11:04	5.54	235R組立完了から5日後	-33.5	-36.9	-36.6	-33.8	-34.9	-33.7	-46.1	-39.8	-36.0	-36.7	-33.2	-37.6
1/21 11:04	10.54	235R組立完了から10日後	-33.5	-39.6	-36.2	-34.7	-36.6	-36.6	-47.4	-41.1	-36.8	-35.9	-34.0	-37.0
1/31 12:00	20.58	235R組立完了から20日後	-34.7	-42.2	-38.6	-37.7	-38.3	-39.6	-47.9	-44.5	-39.5	-39.3	-36.3	-36.4
3/12 13:00	60.62	235R組立完了から60日後	-36.9	-47.4	-41.0	-42.3	-40.8	-43.4	-48.6	-49.1	-43.4	-43.0	-40.1	-36.1
4/11 13:00	90.62	235R組立完了から90日後	-39.4	-50.0	-44.5	-44.9	-43.2	-45.1	-49.3	-50.3	-45.9	-46.0	-43.2	-37.4
5/11 12:00	120.58	235R組立完了から120日後	-40.5	-52.0	-45.6	-46.9	-44.0	-46.8	-49.6	-51.7	-47.4	-47.7	-45.4	-38.1
9/8 13:00	240.62	235R組立完了から240日後	-42.5	-56.1	-47.8	-49.8	-45.2	-49.5	-49.8	-51.9	-50.7	-51.2	-50.1	-40.5

単位:N/mm2

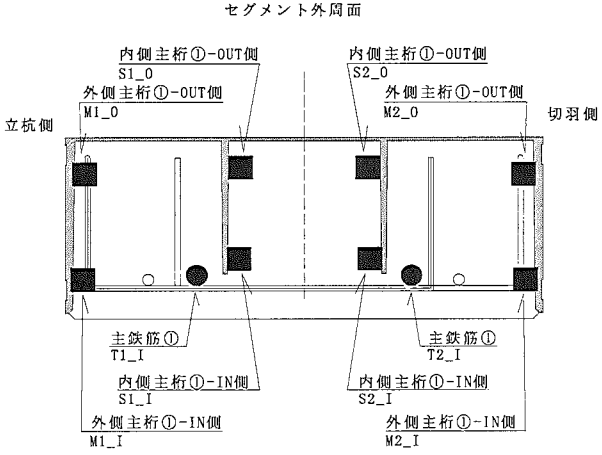


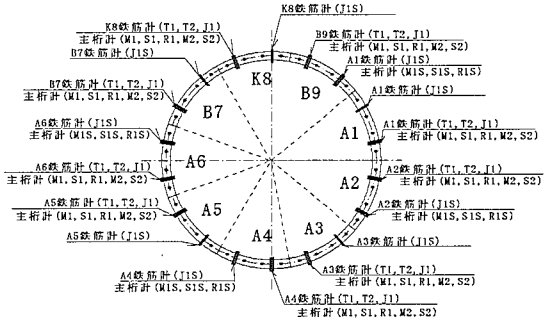
表-4.2　第４工区計測断面(235R)　円周方向計測結果①：主桁-OUT

外郭方水路第4工区　235R円周方向計測結果

日付 (2002年)	経過日数	状態	235R:主桁計測(外縁側)																	
			B9			A1	A2			A3	A4			A5	A6			B7	K8	
			M1_O	M2_O	M1S_O	M1_O	M1_O	M2_O	M1S_O	M1_O	M1_O	M2_O	M1S_O	M1_O	M1_O	M2_O	M1S_O	M1_O	M1_O	
1/11 3:22	0.00	234R組立直後	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9
1/11 11:03	0.54	235R組立完成前	21.6	-22.3	30.8	6.6	13.9	-38.4	23.0	8.0	10.5	-10.9	15.3	10.7	18.9	-11.1	15.5	6.5	-1.0	
1/11 11:24	0.55	235R組立直後	-25.7	-42.2	3.4	4.9	13.8	-38.4	23.0	7.5	10.7	-10.5	15.5	10.2	12.6	-12.4	-4.6	-2.6	-26.9	
1/11 21:39	0.98	236R組立直後	-45.6	-7.0	4.3	6.8	-0.2	-27.5	7.0	-20.1	-17.2	-33.8	-18.4	-27.0	-15.0	-4.6	-11.2	-13.1	-32.3	
1/11 23:03	1.04	234Rテール脱出	-54.6	-38.1	-20.2	-26.0	-28.2	-55.6	-28.7	-47.4	-37.4	-43.0	-42.7	-34.7	-21.3	-24.1	-31.6	-37.6	-46.9	
1/12 0:52	1.11	235Rテール脱出	-55.4	-35.0	-21.1	-27.9	-34.3	-59.3	-37.2	-47.3	-37.7	-50.3	-42.7	-31.1	-13.4	-30.9	-26.0	-30.3	-41.0	
1/12 2:19	1.17	235R組立完了時から4R経過	-56.4	-34.7	-26.4	-34.2	-37.4	-55.8	-39.6	-49.0	-41.0	-45.9	-42.0	-26.5	-13.1	-39.8	-28.4	-33.8	-43.4	
1/15 8:31	4.43	235R組立完了時から5R経過	-64.8	-40.6	-32.6	-43.7	-49.6	-60.4	-48.5	-53.0	-40.5	-50.2	-48.6	-33.7	-17.7	-50.8	-28.9	-29.6	-45.7	
1/15 9:51	4.49	235R組立完了時から6R経過	-63.6	-48.5	-31.8	-43.4	-49.6	-65.1	-50.3	-55.9	-44.5	-53.7	-52.2	-36.4	-21.8	-51.2	-33.0	-33.0	-46.8	
1/15 11:09	4.54	235R組立完了時から7R経過	-64.6	-48.8	-31.5	-42.7	-50.7	-64.3	-48.8	-54.6	-43.2	-54.7	-52.5	-37.4	-24.3	-51.3	-35.0	-34.3	-46.8	
1/15 12:24	4.59	235R組立完了時から8R経過	-64.3	-49.3	-31.8	-42.8	-51.5	-64.6	-49.0	-55.6	-45.1	-54.2	-53.0	-36.6	-23.1	-52.2	-35.4	-37.1	-47.1	
1/15 13:44	4.65	235R組立完了時から9R経過	-64.1	-48.8	-30.4	-42.7	-52.7	-63.4	-47.9	-53.4	-44.2	-54.4	-53.9	-39.4	-26.0	-53.0	-38.8	-38.6	-47.8	
1/15 14:58	4.70	235R組立完了時から10R経過	-66.3	-49.8	-33.5	-44.2	-55.1	-63.2	-51.5	-57.0	-49.0	-55.4	-55.3	-40.1	-27.0	-53.6	-42.3	-43.0	-50.8	
1/16 11:04	5.54	235R組立完了から5日後	-64.9	-51.5	-32.5	-45.7	-56.4	-65.3	-52.5	-56.1	-49.0	-57.8	-55.3	-38.6	-25.8	-55.4	-40.5	-41.0	-48.6	
1/21 11:04	10.54	235R組立完了から10日後	-64.8	-55.6	-38.8	-47.4	-57.6	-66.5	-55.3	-59.0	-52.2	-58.7	-58.0	-42.0	-28.4	-58.1	-44.2	-43.9	-49.3	
1/31 12:00	20.58	235R組立完了から20日後	-65.8	-57.6	-43.9	-49.0	-60.0	-66.8	-58.7	-61.2	-54.4	-60.2	-59.8	-45.1	-32.0	-59.7	-47.9	-46.9	-50.5	
3/12 13:00	60.62	235R組立完了から60日後	-69.2	-61.0	-49.0	-53.0	-64.3	-67.7	-63.8	-66.0	-59.3	-63.1	-63.8	-49.8	-36.2	-62.1	-52.4	-50.8	-54.2	
4/11 13:00	90.62	235R組立完了から90日後	-71.2	-62.2	-49.6	-54.9	-66.6	-70.7	-64.6	-67.2	-60.7	-66.3	-66.1	-51.7	-37.7	-64.1	-54.1	-51.7	-56.1	
5/11 12:00	120.58	235R組立完了から120日後	-73.3	-63.6	-50.8	-56.4	-68.5	-72.1	-65.8	-68.9	-62.4	-67.3	-67.8	-53.9	-39.6	-65.8	-56.3	-52.5	-57.6	
9/8 13:00	240.62	235R組立完了から240日後	-73.4	-63.2	-49.1	-56.4	-70.9	-73.3	-65.1	-72.1	-64.8	-68.9	-70.2	-57.3	-41.5	-68.2	-57.8	-52.5	-60.7	

単位:N/mm2

初期値は２３５Ｒ組立前としている



外郭方水路第4工区　235R円周方向計測結果

日付 (2002年)	経過日数	状態	235R:主桁計測(外縁側)																	
			B9			A1	A2			A3	A4			A5	A6			B7	K8	
			S1_O	S2_O	S1S_O	S1_O	S1_O	S2_O	S1S_O	S1_O	S1_O	S2_O	S1S_O	S1_O	S1_O	S2_O	S1S_O	S1_O	S1_O	
1/11 3:22	0.00	234R組立直後	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	
1/11 11:03	0.54	235R組立完成前	7.7	1.4	5.3	-11.6	1.5	-17.9	-1.9	-7.8	4.1	-1.9	8.0	0.0	5.8	-3.6	5.3	-3.7	-1.0	
1/11 11:24	0.55	235R組立直後	-28.4	-24.8	-12.8	-13.6	1.2	-17.9	-1.9	-8.2	4.1	-1.7	8.3	-0.5	1.5	-6.5	-8.8	-21.1	-14.6	
1/11 21:39	0.98	236R組立直後	-35.9	-21.3	-9.4	-12.4	-6.3	-18.7	-16.2	-25.7	-15.8	-16.0	-18.0	-26.7	-15.5	-14.8	-15.5	-33.2	-18.9	
1/11 23:03	1.04	234Rテール脱出	-51.7	-43.4	-29.1	-37.2	-31.5	-41.7	-43.5	-50.2	-31.3	-29.9	-37.6	-36.0	-29.9	-32.3	-39.3	-55.9	-37.1	
1/12 0:52	1.11	235Rテール脱出	-51.7	-42.0	-28.1	-40.6	-36.6	-46.4	-47.6	-50.8	-32.3	-32.5	-37.9	-35.4	-27.5	-34.5	-37.2	-52.2	-31.5	
1/12 2:19	1.17	235R組立完了時から4R経過	-52.7	-42.8	-31.6	-45.1	-37.7	-44.7	-47.9	-50.2	-34.3	-33.5	-40.0	-36.4	-31.6	-41.8	-41.5	-55.1	-32.5	
1/15 8:31	4.43	235R組立完了時から5R経過	-56.1	-47.8	-42.5	-53.9	-45.2	-48.1	-50.0	-56.4	-36.4	-37.1	-44.5	-41.8	-36.0	-48.3	-46.8	-66.6	-34.9	
1/15 9:51	4.49	235R組立完了時から6R経過	-57.8	-52.7	-43.0	-54.6	-46.8	-51.2	-52.7	-58.8	-38.8	-39.4	-46.4	-43.4	-36.7	-47.3	-48.6	-67.0	-36.0	
1/15 11:09	4.54	235R組立完了時から7R経過	-58.3	-53.2	-43.0	-54.2	-46.6	-50.2	-51.5	-58.0	-37.9	-39.1	-46.6	-44.9	-37.9	-47.4	-49.8	-66.8	-36.9	
1/15 12:24	4.59	235R組立完了時から8R経過	-58.0	-53.2	-43.0	-54.4	-46.8	-50.2	-51.5	-58.5	-38.8	-39.3	-46.6	-44.5	-37.2	-47.8	-50.0	-67.5	-37.4	
1/15 13:44	4.65	235R組立完了時から9R経過	-57.3	-52.4	-42.2	-54.2	-46.4	-49.0	-50.0	-57.0	-38.1	-38.8	-47.1	-46.8	-39.6	-49.5	-52.2	-67.5	-37.9	
1/15 14:58	4.70	235R組立完了時から10R経過	-59.7	-54.2	-43.9	-55.4	-48.6	-51.7	-53.0	-59.3	-41.5	-41.3	-48.6	-47.6	-41.5	-51.2	-54.9	-68.5	-40.0	
1/16 11:04	5.54	235R組立完了から5日後	-57.8	-53.6	-43.9	-56.1	-49.5	-52.0	-53.2	-59.5	-42.3	-42.8	-48.8	-47.3	-40.0	-50.3	-53.4	-69.9	-38.1	
1/21 11:04	10.54	235R組立完了から10日後	-60.7	-56.4	-46.4	-58.7	-52.2	-54.9	-57.6	-62.1	-46.4	-45.1	-52.4	-51.0	-43.4	-53.6	-58.1	-70.9	-41.7	
1/31 12:00	20.58	235R組立完了から20日後	-63.9	-59.0	-48.1	-60.4	-54.4	-57.8	-60.7	-64.9	-48.8	-47.4	-55.3	-54.1	-46.6	-56.6	-61.5	-70.7	-44.7	
3/12 13:00	60.62	235R組立完了から60日後	-69.9	-64.4	-52.4	-64.8	-58.8	-62.4	-64.6	-71.9	-54.2	-52.9	-61.9	-58.5	-52.2	-61.5	-66.3	-75.0	-49.8	
4/11 13:00	90.62	235R組立完了から90日後	-70.7	-66.1	-54.9	-66.8	-60.4	-63.1	-61.4	-75.3	-56.1	-55.8	-64.4	-59.8	-53.6	-63.2	-67.7	-79.1	-51.2	
5/11 12:00	120.58	235R組立完了から120日後	-72.3	-68.0	-57.0	-68.5	-62.1	-64.6	-62.4	-78.9	-58.0	-58.8	-67.0	-61.9	-55.4	-65.3	-69.7	-81.9	-52.5	
9/8 13:00	240.62	235R組立完了から240日後	-73.3	-69.2	-58.3	-68.7	-64.3	-66.6	-60.0	-86.7	-62.4	-62.9	-70.9	-64.1	-57.3	-68.5	-74.0	-86.7	-54.6	

単位:N/mm2

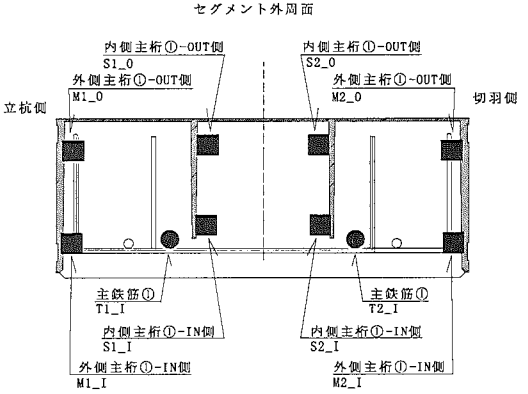


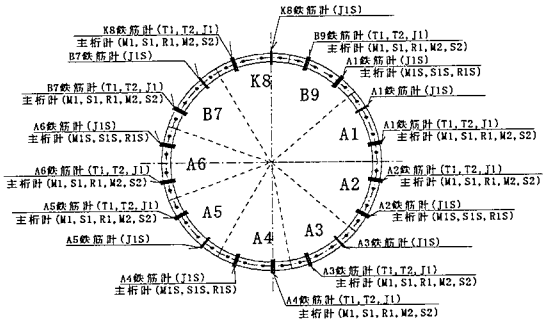
表-4.3　第４工区計測断面(235R)　円周方向計測結果②：主桁-IN

外郭方水路第4工区　235R円周方向計測結果

日付 (2002年)	経過日数	状態	235R:主桁計測(内縁側) B9 M1_I	B9 M2_I	B9 M1S_I	A1 M1_I	A2 M1_I	A2 M2_I	A2 M1S_I	A3 M1_I	A4 M1_I	A4 M2_I	A4 M1S_I	A5 M1_I	A6 M1_I	A6 M2_I	A6 M1S_I	B7 M1_I	K8 M1_I
1/11 3:22	0.00	234R組立直後	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9
1/11 11:03	0.54	235R組立完成前	9.5	-20.6	-25.2	12.6	22.6	3.7	32.5	25.8	15.1	-4.9	5.1	1.5	7.7	-11.7	6.3	20.6	0.2
1/11 11:24	0.55	235R組立直後	9.5	23.5	-22.6	10.5	22.1	2.9	31.8	25.3	15.1	-4.9	5.1	1.5	5.4	-9.0	2.7	18.2	-41.5
1/11 21:39	0.98	236R組立直後	20.1	53.6	-20.2	6.0	10.7	-17.3	21.1	7.8	-4.6	-17.0	-12.2	-29.6	-23.0	-7.3	-17.9	20.1	-47.9
1/11 23:03	1.04	234Rテール脱出	-14.5	11.6	-50.3	-23.6	-3.1	-27.7	-0.9	-10.4	-27.4	-26.9	-32.1	-46.6	-24.5	-28.4	-19.0	10.5	-54.6
1/12 0:52	1.11	235Rテール脱出	-27.2	3.4	-53.7	-25.8	-3.9	-25.0	-6.6	-14.3	-28.9	-32.6	-34.7	-42.0	-15.1	-33.0	-8.2	23.5	-57.0
1/12 2:19	1.17	235R組立完了時から4R経過	-27.9	-2.2	-55.1	-25.7	-7.5	-25.7	-14.6	-16.8	-29.2	-27.4	-30.6	-33.3	-9.5	-35.9	-4.4	14.8	-62.1
1/15 8:31	4.43	235R組立完了時から5R経過	-33.5	-5.3	-60.0	-30.6	-21.4	-30.9	-25.0	-26.5	-39.3	-36.2	-40.8	-43.5	-15.5	-43.5	-4.1	20.7	-70.0
1/15 9:51	4.49	235R組立完了時から6R経過	-29.9	-10.9	-59.8	-31.6	-19.2	-36.0	-26.4	-29.6	-41.8	-36.7	-42.3	-45.9	-18.4	-41.8	-9.7	12.9	-72.3
1/15 11:09	4.54	235R組立完了時から7R経過	-30.8	-11.1	-61.0	-31.6	-22.1	-35.7	-27.0	-28.1	-41.3	-38.8	-41.7	-46.2	-20.1	-42.3	-13.1	9.9	-72.6
1/15 12:24	4.59	235R組立完了時から8R経過	-30.6	-11.6	-61.5	-32.6	-22.4	-36.2	-27.4	-28.9	-42.0	-37.2	-42.2	-45.7	-19.0	-43.4	-13.4	6.3	-72.6
1/15 13:44	4.65	235R組立完了時から9R経過	-31.6	-12.2	-63.2	-31.6	-24.1	-34.9	-28.6	-27.5	-41.5	-37.9	-42.5	-45.7	-20.6	-44.4	-14.1	4.4	-72.9
1/15 14:58	4.70	235R組立完了時から10R経過	-30.3	-11.1	-62.9	-34.7	-20.6	-34.3	-28.1	-29.4	-41.1	-36.6	-41.8	-45.6	-21.3	-46.6	-13.4	-1.7	-72.1
1/16 11:04	5.54	235R組立完了から5日後	-31.3	-14.3	-66.1	-37.7	-23.6	-36.7	-31.1	-28.9	-39.8	-36.0	-42.7	-47.3	-22.6	-47.6	-18.4	0.5	-75.5
1/21 11:04	10.54	235R組立完了から10日後	-28.6	-13.6	-66.8	-40.8	-23.1	-37.7	-30.9	-29.6	-39.8	-35.0	-44.0	-48.1	-24.5	-52.4	-19.0	-4.1	-76.8
1/31 12:00	20.58	235R組立完了から20日後	-26.2	-12.1	-65.8	-43.4	-25.0	-40.1	-32.8	-31.3	-42.7	-37.9	-46.1	-50.3	-27.9	-56.1	-19.2	-9.4	-75.8
3/12 13:00	60.62	235R組立完了から60日後	-23.8	-9.9	-64.3	-46.4	-29.2	-41.3	-34.9	-33.5	-45.4	-41.8	-48.6	-53.2	-31.6	-60.9	-21.9	-13.9	-76.7
4/11 13:00	90.62	235R組立完了から90日後	-25.3	-11.2	-66.1	-48.6	-32.6	-45.4	-38.6	-36.9	-48.8	-43.4	-50.8	-56.1	-34.2	-63.4	-25.3	-15.8	-78.4
5/11 12:00	120.58	235R組立完了から120日後	-25.3	-11.2	-66.5	-49.6	-34.5	-46.6	-39.3	-37.9	-49.6	-44.4	-51.9	-57.5	-35.9	-65.8	-26.7	-17.2	-79.1
9/8 13:00	240.62	235R組立完了から240日後	-25.5	-11.1	-66.0	-49.1	-38.8	-51.9	-38.4	-40.6	-52.0	-45.6	-53.9	-59.8	-37.6	-68.7	-29.9	-18.0	-80.4

単位:N/mm2

初期値は２３５Ｒ組立前としている



外郭方水路第4工区　235R円周方向計測結果

日付 (2002年)	経過日数	状態	235R:主桁計測(内縁側) B9 S1_I	B9 S2_I	B9 S1S_I	A1 S1_I	A2 S1_I	A2 S2_I	A2 S1S_I	A3 S1_I	A4 S1_I	A4 S2_I	A4 S1S_I	A5 S1_I	A6 S1_I	A6 S2_I	A6 S1S_I	B7 S1_I	K8 S1_I
1/11 3:22	0.00	234R組立直後	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9
1/11 11:03	0.54	235R組立完成前	7.3	6.3	5.3	10.9	20.6	6.0	25.3	21.6	15.1	6.1	6.6	13.8	6.8	-2.0	7.0	8.8	0.0
1/11 11:24	0.55	235R組立直後	19.2	20.9	8.5	10.0	20.1	5.6	25.2	21.3	15.0	6.3	6.8	13.8	6.1	-1.0	3.9	12.8	-10.9
1/11 21:39	0.98	236R組立直後	29.2	36.4	-1.7	6.1	3.4	-3.2	14.3	4.8	-4.6	-7.5	-10.2	-12.6	-15.0	-13.9	-17.3	12.6	-20.2
1/11 23:03	1.04	234Rテール脱出	-8.5	-2.4	-27.9	-20.7	-13.6	-20.2	-7.3	-15.5	-24.7	-23.8	-28.7	-29.2	-28.2	-34.2	-26.5	-4.6	-32.6
1/12 0:52	1.11	235Rテール脱出	-16.2	-9.4	-28.7	-22.4	-13.8	-19.9	-10.5	-15.6	-24.5	-23.6	-28.9	-26.0	-23.0	-32.1	-18.4	0.7	-33.3
1/12 2:19	1.17	235R組立完了時から4R経過	-16.3	-9.7	-29.4	-20.2	-14.5	-18.7	-13.9	-17.5	-24.7	-22.4	-27.9	-24.0	-21.1	-33.0	-18.5	-3.6	-37.2
1/15 8:31	4.43	235R組立完了時から5R経過	-17.5	-12.4	-33.3	-25.8	-21.8	-24.3	-19.4	-21.8	-29.1	-26.0	-34.3	-27.7	-27.7	-38.8	-20.7	-9.4	-42.5
1/15 9:51	4.49	235R組立完了時から6R経過	-17.0	-14.3	-34.9	-26.9	-22.4	-26.5	-21.3	-24.0	-30.6	-27.4	-35.4	-27.9	-28.9	-38.3	-21.9	-12.2	-44.0
1/15 11:09	4.54	235R組立完了時から7R経過	-17.2	-14.5	-34.9	-26.7	-22.6	-26.2	-21.1	-22.6	-29.8	-27.2	-35.0	-28.4	-30.1	-38.4	-23.0	-13.6	-45.1
1/15 12:24	4.59	235R組立完了時から8R経過	-17.0	-14.6	-35.2	-27.7	-23.1	-26.7	-21.4	-23.0	-30.4	-26.9	-35.2	-28.2	-29.6	-38.6	-23.3	-15.5	-45.4
1/15 13:44	4.65	235R組立完了時から9R経過	-16.8	-14.6	-35.0	-26.7	-22.6	-25.5	-20.6	-21.1	-29.9	-26.2	-35.4	-29.9	-31.6	-39.4	-24.5	-16.0	-45.9
1/15 14:58	4.70	235R組立完了時から10R経過	-18.7	-15.6	-37.1	-28.9	-24.3	-27.0	-22.3	-24.5	-32.5	-28.4	-36.9	-31.3	-32.6	-40.6	-26.7	-18.4	-47.4
1/16 11:04	5.54	235R組立完了から5日後	-17.2	-15.6	-37.6	-30.4	-26.0	-28.4	-23.8	-23.8	-30.4	-26.7	-36.2	-31.1	-32.6	-41.3	-26.5	-19.7	-47.1
1/21 11:04	10.54	235R組立完了から10日後	-16.7	-15.0	-39.1	-31.3	-28.2	-30.3	-25.8	-27.4	-31.6	-26.9	-38.4	-34.2	-35.2	-43.9	-29.2	-21.9	-51.3
1/31 12:00	20.58	235R組立完了から20日後	-18.2	-15.8	-41.1	-33.5	-30.8	-32.8	-28.6	-29.6	-34.7	-29.8	-40.5	-37.7	-37.9	-46.8	-32.1	-24.3	-53.2
3/12 13:00	60.62	235R組立完了から60日後	-22.8	-19.2	-45.7	-37.9	-34.7	-37.2	-32.3	-35.2	-38.9	-34.3	-44.0	-43.9	-41.8	-50.8	-36.2	-28.4	-55.6
4/11 13:00	90.62	235R組立完了から90日後	-24.1	-21.1	-47.8	-40.8	-37.2	-40.0	-34.3	-37.1	-41.3	-36.6	-46.2	-45.1	-45.1	-53.6	-37.9	-30.6	-56.8
5/11 12:00	120.58	235R組立完了から120日後	-25.5	-22.3	-49.1	-42.5	-38.9	-41.8	-36.4	-38.9	-43.5	-37.9	-47.3	-47.3	-47.1	-55.4	-39.8	-32.3	-57.8
9/8 13:00	240.62	235R組立完了から240日後	-26.0	-23.3	-51.7	-43.9	-43.0	-45.2	-37.7	-43.7	-46.2	-41.0	-48.8	-52.5	-50.7	-58.1	-42.7	-34.9	-58.8

単位:N/mm2

セグメント外周面

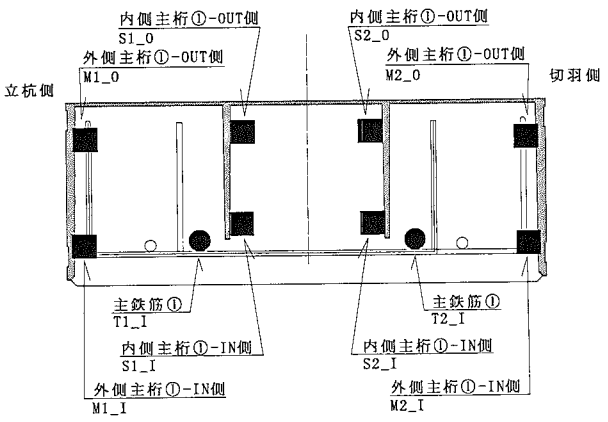


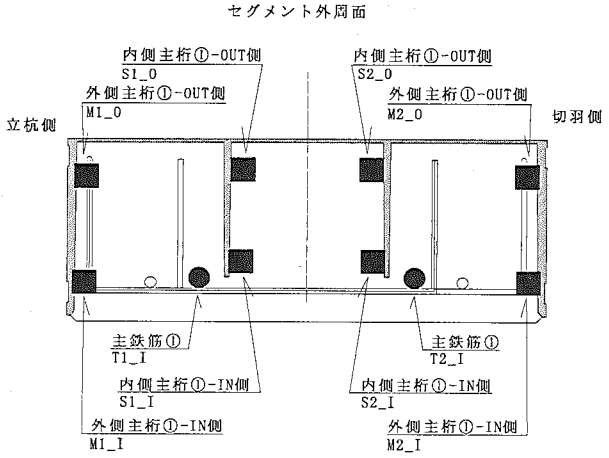
表-4.4　第４工区計測断面(235R)　円周方向計測結果③：主鉄筋

外郭方水路第4工区　235R円周方向計測結果

日付 (2002年)	経過日数	状態	235R:円周方向鉄筋計測																	
			B9		A1		A2		A3		A4		A5		A6		B7		K8	
			T1_I	T2_I	T1_I	T2_I	T1_I	T2_I	T1_I	T2_I	T1_I	T2_I	T1_I	T2_I	T1_I	T2_I	T1_I	T2_I	T1_I	T2_I
1/11 3:22	0.00	234R組立直後	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9
1/11 11:03	0.54	235R組立完成前	9.8	15.0	20.1	-4.3	29.5	-0.5	42.4	5.9	29.2	-1.7	7.4	0.4	17.1	-8.6	29.0	4.6	-0.3	0.1
1/11 11:24	0.55	235R組立直後	30.8	63.7	18.6	-4.6	28.8	-0.9	41.8	5.7	29.2	-1.6	7.4	1.0	17.0	-6.8	30.3	21.8	-18.2	-1.9
1/11 21:39	0.98	236R組立直後	54.0	63.7	9.9	-0.5	9.8	-7.3	13.0	-0.1	9.0	-10.4	-21.7	-11.4	-17.3	-19.2	29.0	22.9	-27.5	-3.4
1/11 23:03	1.04	234Rテール脱出	1.9	4.4	-20.8	-24.9	-6.1	-22.9	-9.4	-16.0	-17.9	-28.9	-43.5	-39.0	-25.8	-42.6	12.1	-2.9	-39.1	-29.7
1/12 0:52	1.11	235Rテール脱出	-10.5	-4.4	-23.1	-27.5	-5.8	-21.1	-12.0	-17.8	-18.4	-30.7	-40.2	-39.1	-17.3	-41.3	21.7	-2.9	-42.6	-36.5
1/12 2:19	1.17	235R組立完了時から4R経過	-11.7	-5.7	-20.3	-21.1	-7.7	-19.7	-15.0	-16.9	-18.0	-28.6	-36.0	-42.3	-14.0	-41.5	15.4	-6.1	-48.4	-39.2
1/15 8:31	4.43	235R組立完了時から5R経過	-13.4	-3.8	-25.7	-22.2	-16.0	-23.6	-22.3	-19.8	-25.2	-33.5	-42.4	-46.2	-20.3	-47.7	12.1	-5.1	-56.6	-43.7
1/15 9:51	4.49	235R組立完了時から6R経過	-11.6	-6.7	-26.8	-25.7	-16.8	-26.3	-24.6	-22.6	-27.1	-34.9	-43.3	-46.4	-22.0	-47.1	6.7	-6.8	-56.8	-45.0
1/15 11:09	4.54	235R組立完了時から7R経過	-12.0	-6.8	-27.0	-25.7	-17.2	-26.2	-23.5	-22.7	-26.0	-35.3	-43.6	-46.0	-23.5	-47.2	4.9	-8.5	-57.3	-45.9
1/15 12:24	4.59	235R組立完了時から8R経過	-12.0	-7.2	-28.4	-26.8	-17.8	-27.0	-24.0	-22.1	-26.8	-34.6	-43.4	-46.4	-23.2	-47.5	3.0	-10.9	-57.7	-46.5
1/15 13:44	4.65	235R組立完了時から9R経過	-12.2	-7.7	-27.9	-25.3	-17.4	-25.8	-22.7	-22.0	-26.3	-33.9	-44.7	-47.3	-25.0	-48.4	2.3	-11.0	-58.2	-47.1
1/15 14:58	4.70	235R組立完了時から10R経過	-13.5	-8.3	-30.4	-28.3	-19.3	-27.5	-25.1	-23.8	-28.3	-35.9	-45.7	-48.8	-26.7	-49.7	-0.1	-12.7	-59.5	-49.4
1/16 11:04	5.54	235R組立完了から5日後	-12.6	-9.2	-33.9	-29.8	-21.7	-29.2	-24.3	-23.6	-25.2	-33.9	-46.3	-50.0	-27.7	-51.1	-2.5	-13.1	-60.8	-49.1
1/21 11:04	10.54	235R組立完了から10日後	-8.7	-6.4	-34.1	-30.7	-23.2	-30.7	-26.2	-25.0	-24.7	-32.5	-48.2	-51.2	-29.2	-53.7	-3.3	-12.3	-60.4	-49.6
1/31 12:00	20.58	235R組立完了から20日後	-7.4	-5.4	-36.7	-33.6	-26.3	-33.7	-28.4	-27.0	-28.8	-36.3	-51.8	-54.9	-33.2	-57.1	-5.7	-4.9	-61.1	-52.0
3/12 13:00	60.62	235R組立完了から60日後	-8.5	-5.7	-41.5	-38.5	-30.3	-37.7	-33.9	-32.2	-34.1	-40.4	-56.4	-59.6	-37.6	-61.5	-9.4	-7.5	-63.6	-56.1
4/11 13:00	90.62	235R組立完了から90日後	-10.2	-7.3	-44.7	-41.4	-33.5	-40.6	-37.6	-35.4	-35.7	-41.7	-59.7	-62.8	-40.4	-64.7	-12.0	79.0	-65.3	-57.9
5/11 12:00	120.58	235R組立完了から120日後	-10.5	-7.7	-46.8	-43.6	-35.6	-42.5	-39.9	-37.4	-37.3	-44.0	-61.7	-65.0	-42.3	-66.8	-13.8	66.9	-66.3	-59.1
9/8 13:00	240.62	235R組立完了から240日後	-12.0	-9.8	-48.4	-45.9	-38.3	-44.3	-45.7	-41.9	-43.0	-45.4	-64.7	-69.1	-46.6	-70.2	-16.9	41.8	-67.7	-60.9

単位：N/mm2

初期値は２３５Ｒ組立前としている



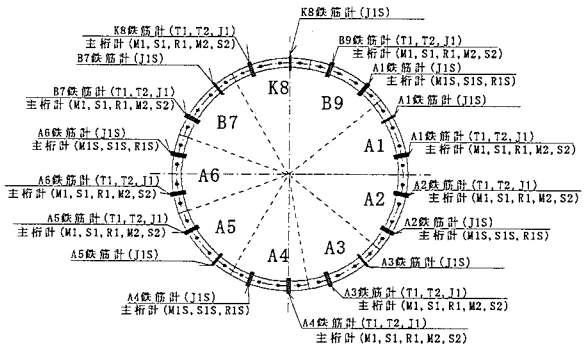


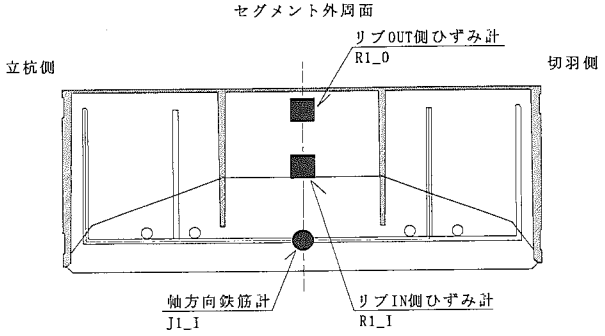
表-4.5　第４工区計測断面(234R)　軸方向計測結果：縦リブ・配力鉄筋

外部方水路第4工区　234R軸方向計測結果

日付 (2002年)	経過日数	状態	234R:縦リブ計測(外縁側)				234R:縦リブ計測(内縁側)				234R:軸方向鉄筋計測			
			A1	A3	A6	K8	A1	A3	A6	K8	A1	A3	A6	K8
			R1_O	R1_O	R1_O	R1_O	R1_I	R1_I	R1_I	R1_I	J1_O	J1_O	J1_O	J1_O
1/11 3:22	0.00	234R組立直後	-17.0	-6.3	-13.4	-13.6	-26.2	-20.6	-27.7	-20.9	-33.0	-37.1	-34.4	-28.2
1/11 11:03	0.54	235R組立完成前	-26.2	-24.8	-34.2	-1.2	-19.2	-23.0	-26.5	-1.7	-10.5	-5.6	-5.8	-0.4
1/11 11:24	0.55	235R組立直後	-26.2	-24.7	-35.0	-17.5	-19.2	-22.8	-27.0	-10.9	-9.7	-5.4	-4.6	-2.1
1/11 21:39	0.98	236R組立直後	-30.8	-27.2	-35.2	-24.1	-15.6	-24.7	-26.9	-11.9	4.2	-2.6	-4.3	4.7
1/11 23:03	1.04	234Rテール脱出	-28.1	-29.1	-31.1	-19.9	-18.2	-25.7	-26.2	-14.5	-4.1	-0.9	-8.0	-6.3
1/12 0:52	1.11	235Rテール脱出	-27.5	-29.9	-30.1	-19.9	-18.5	-26.7	-25.8	-15.6	-7.3	-2.5	-9.7	-10.5
1/12 2:19	1.17	235R組立完了時から4R経過	-27.4	-28.6	-28.7	-21.9	-18.2	-25.3	-24.5	-16.2	-7.4	-1.2	-7.8	-9.9
1/15 8:31	4.43	235R組立完了時から5R経過	-36.9	-41.0	-44.2	-42.0	-26.5	-37.7	-41.5	-32.6	-13.1	-13.2	-21.1	-25.3
1/15 9:51	4.49	235R組立完了時から6R経過	-34.0	-38.4	-45.9	-37.4	-24.3	-36.0	-41.7	-30.4	-11.8	-12.5	-18.4	-23.6
1/15 11:09	4.54	235R組立完了時から7R経過	-37.6	-39.6	-43.4	-36.0	-27.0	-37.4	-39.4	-29.4	-14.1	-15.0	-16.1	-23.0
1/15 12:24	4.59	235R組立完了時から8R経過	-38.1	-38.1	-43.2	-36.2	-27.2	-36.0	-39.1	-29.6	-14.1	-13.3	-16.0	-23.5
1/15 13:44	4.65	235R組立完了時から9R経過	-41.1	-40.5	-38.6	-37.1	-29.9	-37.7	-35.5	-30.6	-16.8	-13.6	-13.8	-24.7
1/15 14:58	4.70	235R組立完了時から10R経過	-33.5	-34.2	-34.0	-30.6	-23.8	-32.3	-32.3	-24.8	-10.7	-7.4	-11.8	-18.2
1/16 11:04	5.54	235R組立完了から5日後	-37.6	-36.6	-41.1	-40.1	-27.2	-35.5	-38.4	-34.5	-16.3	-12.6	-16.9	-31.2
1/21 11:04	10.54	235R組立完了から10日後	-38.8	-35.7	-40.8	-44.9	-29.8	-34.0	-37.9	-40.0	-13.2	-7.1	-15.4	-33.5
1/31 12:00	20.58	235R組立完了から20日後	-37.6	-36.2	-37.9	-41.1	-29.9	-34.9	-36.0	-37.6	-14.3	-8.6	-15.8	-29.6
3/12 13:00	60.62	235R組立完了から60日後	-36.9	-36.6	-37.4	-36.9	-31.1	-35.9	-37.4	-35.0	-18.4	-10.3	-20.1	-29.3
4/11 13:00	90.62	235R組立完了から90日後	-39.3	-40.1	-41.0	-38.8	-33.2	-39.8	-41.8	-36.6	-23.3	-14.9	-24.8	-32.7
5/11 12:00	120.58	235R組立完了から120日後	-40.5	-42.0	-42.3	-40.3	-34.5	-42.0	-44.0	-38.1	-25.8	-16.5	-27.6	-35.2
9/8 13:00	240.62	235R組立完了から240日後	-41.8	-44.9	-43.9	-43.9	-34.7	-45.9	-45.4	-40.5	-26.6	-21.1	-30.2	-40.6

単位：N/mm2

初期値は２３４Ｒ組立前としている



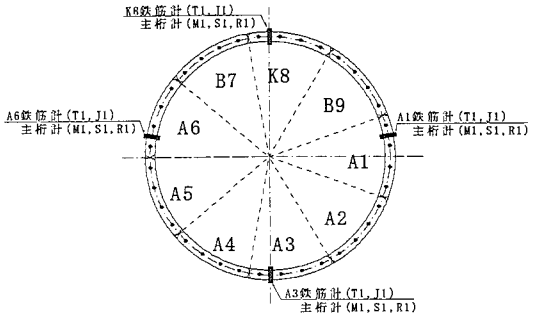
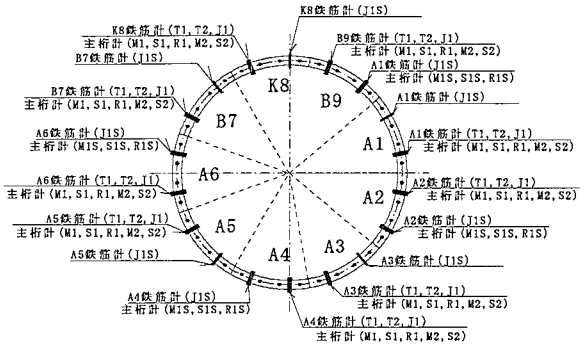


表-4.6　第４工区計測断面(235R)　軸方向計測結果①：縦リブ

外郭方水路第4工区　235R軸方向計測結果

日付 (2002年)	経過日数	状態	235R:縦リブ計測(外縁側)													
			B9		A1	A2		A3	A4		A5	A6		B7	K8
			R1_O	R1S_O	R1_O	R1_O	R1S_O	R1_O	R1_O	R1S_O	R1_O	R1_O	R1S_O	R1_O	R1_O
1/11 3:22	0.00	234R組立直後	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9
1/11 11:03	0.54	235R組立完成前	-18.9	-19.6	-11.1	-14.3	-8.8	-14.8	-21.6	-24.5	-21.3	-19.9	-25.7	1.5	-0.2
1/11 11:24	0.55	235R組立直後	-13.1	-16.3	-11.4	-14.5	-9.0	-14.8	-21.6	-24.7	-21.3	-18.7	-21.9	-11.7	-13.3
1/11 21:39	0.98	236R組立直後	-19.2	-36.4	-29.2	-20.7	-16.3	-21.1	-37.9	-30.6	-23.0	-32.1	-35.5	-17.9	-29.2
1/11 23:03	1.04	234Rテール脱出	-20.2	-36.4	-28.1	-23.5	-13.6	-18.7	-40.6	-28.6	-24.7	-32.3	-31.6	-11.4	-25.7
1/12 0:52	1.11	235Rテール脱出	-15.8	-39.4	-26.0	-21.1	-10.9	-19.7	-39.8	-25.5	-20.9	-30.3	-28.1	-8.0	-25.5
1/12 2:19	1.17	235R組立完了時から4R経過	-17.7	-37.9	-25.0	-22.3	-11.7	-22.3	-38.6	-25.0	-20.2	-26.9	-25.7	-6.3	-26.5
1/15 8:31	4.43	235R組立完了時から5R経過	-35.2	-54.9	-38.8	-34.2	-19.0	-36.7	-56.1	-37.4	-32.0	-44.2	-43.7	-25.8	-49.1
1/15 9:51	4.49	235R組立完了時から6R経過	-30.9	-50.3	-34.7	-31.1	-15.8	-33.8	-54.1	-36.0	-35.0	-46.2	-45.2	-26.4	-45.6
1/15 11:09	4.54	235R組立完了時から7R経過	-30.6	-51.9	-39.1	-35.4	-19.6	-36.9	-55.3	-34.2	-31.3	-43.0	-42.2	-24.3	-43.7
1/15 12:24	4.59	235R組立完了時から8R経過	-31.6	-52.0	-39.4	-36.2	-20.1	-35.4	-53.0	-32.8	-31.8	-43.7	-42.0	-22.1	-41.8
1/15 13:44	4.65	235R組立完了時から9R経過	-34.7	-55.8	-43.0	-39.6	-23.6	-40.1	-55.9	-31.3	-26.0	-36.9	-36.6	-19.0	-40.6
1/15 14:58	4.70	235R組立完了時から10R経過	-28.2	-49.5	-36.0	-31.5	-16.7	-32.6	-48.3	-26.2	-23.5	-33.0	-30.9	-13.6	-33.8
1/16 11:04	5.54	235R組立完了から5日後	-36.0	-54.7	-40.6	-34.0	-18.0	-36.0	-52.0	-29.9	-27.9	-40.1	-38.9	-20.7	-43.7
1/21 11:04	10.54	235R組立完了から10日後	-41.8	-57.8	-41.1	-34.3	-18.4	-34.3	-51.9	-26.9	-26.5	-40.0	-38.8	-22.6	-49.0
1/31 12:00	20.58	235R組立完了から20日後	-38.6	-54.2	-40.1	-34.3	-18.7	-35.2	-51.0	-26.5	-25.3	-37.7	-35.4	-19.7	-46.4
3/12 13:00	60.62	235R組立完了から60日後	-35.0	-52.0	-41.7	-34.3	-19.7	-35.9	-51.2	-26.2	-24.8	-36.2	-35.2	-19.0	-44.0
4/11 13:00	90.62	235R組立完了から90日後	-36.9	-55.1	-46.4	-38.9	-23.6	-40.8	-55.4	-30.1	-29.9	-40.3	-39.4	-21.9	-46.2
5/11 12:00	120.58	235R組立完了から120日後	-38.1	-56.6	-48.5	-40.3	-24.8	-42.7	-57.3	-31.6	-31.8	-41.7	-41.0	-23.5	-47.6
9/8 13:00	240.62	235R組立完了から240日後	-37.7	-57.1	-49.1	-42.2	-23.1	-45.7	209.1	-34.9	-34.0	-44.2	-44.0	-25.5	-50.8

単位:N/mm2



初期値は２３５Ｒ組立前としている

外郭方水路第4工区　235R軸方向計測結果

日付 (2002年)	経過日数	状態	235R:縦リブ計測(内縁側)													
			B9		A1	A2		A3	A4		A5	A6		B7	K8
			R1_I	R1S_I	R1_I	R1_I	R1S_I	R1_I	R1_I	R1S_I	R1_I	R1_I	R1S_I	R1_I	R1_I
1/11 3:22	0.00	234R組立直後	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9
1/11 11:03	0.54	235R組立完成前	-25.8	-26.5	-25.5	-19.2	-20.1	-24.5	-29.1	-28.9	-35.9	-21.6	-26.9	-1.4	0.0
1/11 11:24	0.55	235R組立直後	-27.5	-25.7	-25.3	-19.0	-20.1	-24.3	-28.9	-28.9	-35.5	-20.2	-25.8	-19.7	-19.0
1/11 21:39	0.98	236R組立直後	-5.4	-31.6	-34.3	-17.7	-20.4	-24.1	-33.8	-25.0	-27.2	-21.3	-24.0	-23.1	-22.1
1/11 23:03	1.04	234Rテール脱出	-16.8	-28.7	-27.0	-13.1	-14.6	-19.2	-30.4	-18.9	-26.4	-12.4	-13.6	-16.0	-16.2
1/12 0:52	1.11	235Rテール脱出	-18.0	-31.8	-28.1	-12.6	-13.4	-22.3	-31.6	-18.5	-25.3	-13.9	-15.5	-18.0	-19.0
1/12 2:19	1.17	235R組立完了時から4R経過	-19.7	-30.9	-28.6	-13.9	-14.1	-22.6	-30.1	-17.5	-24.7	-11.9	-14.8	-15.3	-18.5
1/15 8:31	4.43	235R組立完了時から5R経過	-36.7	-45.7	-40.8	-24.3	-21.9	-35.7	-44.9	-30.1	-36.4	-31.5	-33.0	-33.2	-41.1
1/15 9:51	4.49	235R組立完了時から6R経過	-33.3	-42.3	-37.7	-22.1	-19.4	-33.3	-43.0	-29.4	-38.8	-32.1	-32.5	-32.1	-38.6
1/15 11:09	4.54	235R組立完了時から7R経過	-33.2	-43.7	-41.3	-25.3	-22.1	-36.7	-44.9	-28.4	-35.7	-29.1	-29.6	-30.1	-36.7
1/15 12:24	4.59	235R組立完了時から8R経過	-33.8	-43.9	-41.3	-25.5	-22.3	-35.5	-43.4	-27.4	-36.4	-29.9	-29.6	-28.1	-35.0
1/15 13:44	4.65	235R組立完了時から9R経過	-36.2	-46.9	-44.5	-28.2	-25.2	-39.8	-45.6	-26.2	-31.5	-24.1	-25.0	-25.5	-33.8
1/15 14:58	4.70	235R組立完了時から10R経過	-30.4	-41.5	-37.9	-21.6	-19.4	-32.0	-38.1	-21.8	-28.7	-20.6	-20.1	-20.6	-27.4
1/16 11:04	5.54	235R組立完了から5日後	-37.9	-46.8	-42.0	-24.0	-20.7	-35.5	-42.2	-25.5	-33.5	-28.4	-28.1	-27.0	-37.7
1/21 11:04	10.54	235R組立完了から10日後	-44.2	-51.0	-44.0	-24.0	-21.4	-34.3	-40.1	-23.6	-33.0	-27.5	-27.5	-29.6	-43.2
1/31 12:00	20.58	235R組立完了から20日後	-41.8	-49.3	-44.2	-24.5	-22.3	-35.5	-41.5	-24.1	-32.3	-25.8	-25.0	-27.7	-40.6
3/12 13:00	60.62	235R組立完了から60日後	-39.8	-49.0	-46.8	-26.0	-24.7	-37.6	-43.7	-25.0	-32.0	-25.7	-25.2	-27.5	-38.8
4/11 13:00	90.62	235R組立完了から90日後	-41.3	-51.2	-50.3	-31.3	-28.9	-42.3	-48.1	-29.4	-36.9	-30.6	-28.7	-29.8	-41.1
5/11 12:00	120.58	235R組立完了から120日後	-42.5	-52.7	-52.2	-33.3	-30.4	-44.5	-50.3	-31.8	-38.8	-32.5	-30.4	-31.1	-42.8
9/8 13:00	240.62	235R組立完了から240日後	-41.3	-51.0	-52.0	-35.9	-27.2	-47.4	-54.2	-34.2	-39.8	-34.9	-33.0	-31.1	-45.2

単位:N/mm2

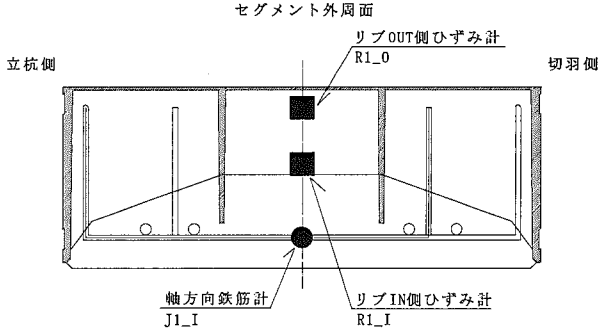


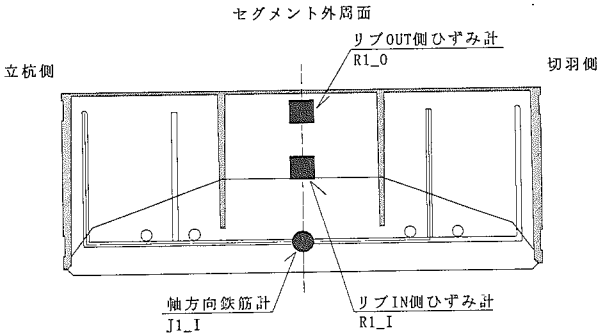
表-4.7　第４工区計測断面(235R)　軸方向計測結果②：配力鉄筋

外郭方水路第4工区 235R軸方向計測結果

日付 (2002年)	経過日数	状態	235R:軸方向鉄筋計測																	
			B9		A1		A2		A3		A4		A5		A6		B7		K8	
			J1_I	J1S_I	J1S_I	J1_I	J1_I	J1S_I	J1S_I	J1_I	J1_I	J1S_I	J1S_I	J1_I	J1_I	J1S_I	J1_I	J1S_I	J1_I	J1S_I
			999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9	999999.9
1/11 3:22	0.00	234R組立直後																		
1/11 11:03	0.54	235R組立完成前	-22.2	-34.3	-30.1	-41.3	-28.3	-34.4	-28.4	-31.0	-26.2	-26.2	-35.6	-48.5	-25.8	-22.4	-12.9	-0.8	-0.7	-1.2
1/11 11:24	0.55	235R組立直後	-34.5	-37.4	-28.8	-39.9	-28.0	-34.3	-28.3	-30.8	-25.7	-25.6	-34.0	-46.1	-23.8	-23.5	-33.9	-24.6	-32.5	-24.1
1/11 21:39	0.98	236R組立直後	5.0	-18.8	-17.9	-30.1	-6.5	-22.2	-21.4	-23.1	-8.6	-16.0	-17.7	-22.9	-12.4	11.3	-26.4	-3.1	-16.4	-15.4
1/11 23:03	1.04	234Rテール脱出	-5.7	-6.0	-7.7	-11.7	6.1	-8.1	-10.9	-11.3	3.9	-1.4	-3.3	-13.1	9.1	39.6	-15.2	-4.3	-11.5	-9.8
1/12 0:52	1.11	235Rテール脱出	-8.9	-8.0	-9.4	-15.6	3.8	-8.4	-14.8	-18.4	-0.8	-4.9	-6.5	-16.8	4.1	28.7	-25.3	-5.2	-19.9	-15.5
1/12 2:19	1.17	235R組立完了時から4R経過	-10.5	-9.2	-11.8	-17.8	0.1	-9.0	-14.7	-16.0	1.9	-3.5	-4.8	-16.3	5.2	17.3	-21.2	-3.7	-17.5	-17.2
1/15 8:31	4.43	235R組立完了時から5R経過	-21.0	-19.4	-20.6	-27.3	-6.5	-16.1	-23.1	-28.7	-10.1	-16.5	-17.5	-35.0	-14.3	-3.3	-40.5	-12.2	-38.1	-33.7
1/15 9:51	4.49	235R組立完了時から6R経過	-19.1	-16.8	-18.8	-25.6	-5.9	-13.9	-21.0	-26.4	-8.3	-14.5	-16.0	-33.0	-9.9	3.8	-35.9	-11.6	-35.8	-31.3
1/15 11:09	4.54	235R組立完了時から7R経過	-19.6	-18.4	-20.2	-28.7	-7.9	-16.3	-24.1	-30.6	-11.4	-14.6	-14.3	-29.4	-6.8	8.1	-33.1	-10.9	-33.6	-30.5
1/15 12:24	4.59	235R組立完了時から8R経過	-20.1	-18.6	-19.9	-28.0	-7.3	-16.2	-24.1	-30.1	-10.4	-14.1	-14.6	-30.5	-8.7	5.9	-31.3	-10.5	-32.3	-30.9
1/15 13:44	4.65	235R組立完了時から9R経過	-21.6	-21.5	-22.4	-31.4	-9.2	-18.7	-27.3	-33.5	-11.5	-13.1	-11.8	-25.4	-4.3	12.6	-29.3	-10.2	-31.1	-31.2
1/15 14:58	4.70	235R組立完了時から10R経過	-18.0	-16.3	-16.8	-23.5	-4.3	-13.3	-19.9	-23.3	-3.1	-9.1	-9.5	-22.8	-1.3	20.7	-24.1	-9.0	-23.3	-24.8
1/16 11:04	5.54	235R組立完了から5日後	-23.3	-21.8	-22.2	-30.7	-5.7	-14.1	-20.7	-27.5	-8.1	-12.3	-11.8	-27.8	-9.9	4.2	-33.3	-12.9	-37.1	-36.7
1/21 11:04	10.54	235R組立完了から10日後	-25.6	-23.1	-21.9	-26.2	-5.7	-14.6	-20.0	-24.4	-4.8	-11.5	-11.2	-26.3	-6.1	14.9	-31.8	-15.2	-37.7	-39.2
1/31 12:00	20.58	235R組立完了から20日後	-24.4	-22.1	-22.8	-26.9	-8.2	-15.8	-21.7	-26.2	-6.7	-14.0	-12.9	-27.1	-5.6	19.7	-29.8	-16.5	-33.9	-36.4
3/12 13:00	60.62	235R組立完了から60日後	-26.7	-26.1	-26.8	-31.3	-11.7	-21.1	-26.9	-29.4	-10.9	-19.2	-17.6	-30.2	-7.1	20.1	-31.9	-21.2	-32.8	-37.3
4/11 13:00	90.62	235R組立完了から90日後	-29.6	-30.5	-30.6	-36.0	-15.9	-27.9	-32.8	-34.8	-14.8	-24.8	-22.5	-36.9	-12.6	14.6	-36.1	-25.0	-35.8	-40.5
5/11 12:00	120.58	235R組立完了から120日後	-31.5	-33.2	-32.9	-38.2	-17.9	-30.7	-35.2	-36.9	-17.5	-28.4	-25.1	-39.4	-14.5	12.3	-38.3	-27.7	-37.5	-43.0
9/8 13:00	240.62	235R組立完了から240日後	-29.7	-33.7	-31.8	-37.8	-16.8	-30.7	-38.1	-41.3	-21.6	-35.1	-27.3	-43.1	-17.6	5.6	-40.5	-29.2	-41.3	-47.1

単位:N/mm2

初期値は２３５Ｒ組立前としている



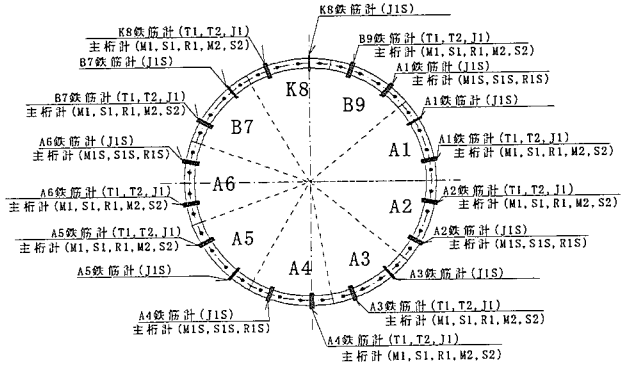


表-4.8　第４工区計測断面（235R）　円周方向の曲げモーメント算出結果一覧表

外部方水路第4工区　235R曲げモーメント計測結果

日付 (2002年)	経過日数	状態	NO.2リング(235R)												
			B9		A1	A2		A3	A4		A5	A6		B7	K8
			20度	40度	80度	100度	120度	160度	180度	200度	240度	260度	280度	300度	340度
1/11 3:22	0.00	234R組立直後	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1/11 11:03	0.54	235R組立完成前	-29.3	-222.2	99.8	211.3	209.5	171.0	40.1	-15.6	26.2	4.3	8.9	110.1	8.8
1/11 11:24	0.55	235R組立直後	334.4	-33.5	105.8	208.5	204.7	71.5	38.2	-17.0	32.0	2.0	71.7	234.0	-63.0
1/11 21:39	0.98	236R組立直後	474.5	-64.7	57.0	112.4	177.3	226.2	139.7	79.5	66.0	-27.2	-48.5	260.7	-98.0
1/11 23:03	1.04	234Rテール脱出	397.1	-163.0	102.8	247.7	285.6	358.5	110.6	110.6	-29.1	-22.3	144.5	412.0	-19.4
1/12 0:52	1.11	235Rテール脱出	331.0	-188.2	110.6	306.6	297.5	391.9	122.7	97.0	-8.7	8.7	209.5	401.3	-102.8
1/12 2:19	1.17	235R組立完了時から4R経過	327.4	-149.4	185.3	295.2	336.6	372.5	145.0	133.9	32.0	76.1	239.3	403.0	-134.8
1/15 8:31	4.43	235R組立完了時から5R経過	355.3	-101.8	229.9	299.2	308.4	352.1	95.1	102.8	24.2	77.6	260.2	425.7	-183.3
1/15 9:51	4.49	235R組立完了時から6R経過	402.4	-111.5	220.2	309.4	316.2	352.1	113.5	119.3	33.9	83.9	285.2	419.3	-192.1
1/15 11:09	4.54	235R組立完了時から7R経過	405.2	-120.3	215.3	299.7	297.8	356.0	107.7	128.0	43.6	85.4	278.4	394.2	-195.0
1/15 12:24	4.59	235R組立完了時から8R経過	404.0	-123.2	205.6	298.3	294.9	357.9	115.9	127.1	40.7	84.4	277.4	396.2	-192.1
1/15 13:44	4.65	235R組立完了時から9R経過	394.8	-144.5	215.3	297.8	278.4	355.0	113.5	131.9	60.1	91.2	298.7	397.2	-190.1
1/15 14:58	4.70	235R組立完了時から10R経過	412.5	-127.1	200.8	320.6	309.4	358.9	138.2	143.6	62.1	91.2	325.9	465.5	-164.9
1/16 11:04	5.54	235R組立完了から5日後	426.3	-154.2	187.2	309.4	290.0	361.8	167.8	143.6	42.7	77.6	279.3	462.8	-205.6
1/21 11:04	10.54	235R組立完了から10日後	437.8	-116.4	189.1	319.1	320.1	368.6	196.4	159.1	61.1	78.1	308.4	455.2	-213.4
1/31 12:00	20.58	235R組立完了から20日後	463.3	-83.4	180.4	314.7	330.8	375.4	187.2	163.0	63.0	74.2	331.7	436.6	-194.0
3/12 13:00	60.62	235R組立完了から60日後	508.9	-47.5	186.2	315.7	349.2	397.7	196.4	188.2	64.0	76.1	345.3	475.3	-162.0
4/11 13:00	90.62	235R組立完了から90日後	508.8	-51.4	179.4	301.2	302.6	393.8	195.9	191.1	59.2	63.5	333.7	480.1	-160.0
5/11 12:00	120.58	235R組立完了から120日後	520.0	-42.7	182.4	300.7	299.7	407.4	202.2	203.7	63.0	62.1	339.5	484.0	-153.3
9/8 13:00	240.62	235R組立完了から240日後	521.5	-56.3	178.5	274.5	279.3	427.7	211.0	219.2	51.4	57.7	337.5	491.8	-137.7

単位:KN・m

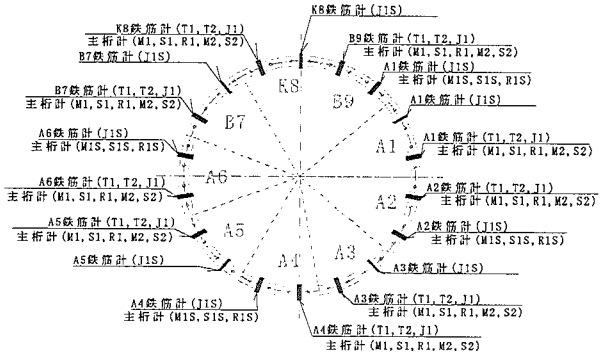
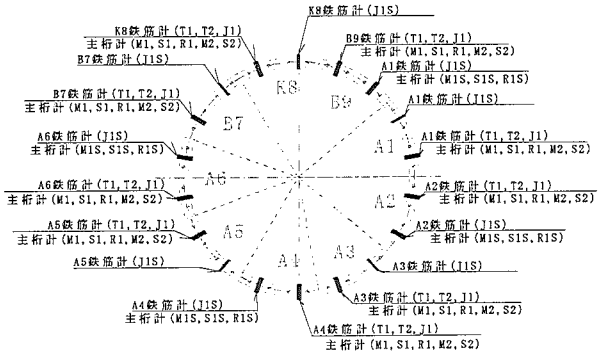


表-4.9　第４工区計測断面（235R）　円周方向の軸力算出結果一覧表

外郭方水路第4工区　235R軸力計測結果

日付 (2002年)	経過日数	状態	NO.2リング(235R)												
			B9		A1	A2		A3	A4		A5	A6		B7	K8
			20度	40度	80度	100度	120度	160度	180度	200度	240度	260度	280度	300度	340度
1/11 3:22	0.00	234R組立直後	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1/11 11:03	0.54	235R組立完成前	441.9	442.1	92.2	382.7	−1411.2	−247.0	121.0	−130.4	−836.4	382.0	−124.3	−228.6	73.9
1/11 11:24	0.55	235R組立直後	1789.2	1175.6	207.1	407.7	−1397.6	138.5	112.1	−134.8	−807.3	368.9	409.7	57.2	3005.4
1/11 21:39	0.98	236R組立直後	604.4	1070.8	234.0	970.7	134.8	1491.6	1765.2	1814.6	2993.1	1734.0	1982.1	1341.2	3830.5
1/11 23:03	1.04	234Rテール脱出	3457.9	4129.7	3327.3	3436.0	2758.1	3853.3	3801.0	4397.3	4646.5	3530.8	3599.6	3321.0	5425.4
1/12 0:52	1.11	235Rテール脱出	3732.6	4272.6	3613.0	3697.2	3381.9	3811.9	4081.7	4501.5	4253.8	3304.1	2720.3	2725.1	5203.0
1/12 2:19	1.17	235R組立完了時から4R経過	3830.8	4594.9	3834.9	3731.9	3482.6	3994.5	4004.9	4362.9	3780.1	3522.0	2928.3	3096.4	5612.8
1/15 8:31	4.43	235R組立完了時から5R経過	4368.3	5390.4	4723.4	4601.8	4341.5	4774.0	4604.6	5261.1	4622.3	4351.1	3166.8	3415.6	6209.0
1/15 9:51	4.49	235R組立完了時から6R経過	4515.6	5428.0	4804.0	4835.2	4584.3	5107.0	4884.5	5504.4	4831.8	4441.6	3419.7	3674.0	6401.9
1/15 11:09	4.54	235R組立完了時から7R経過	4573.2	5459.7	4769.1	4862.0	4524.7	4943.7	4871.6	5483.5	4933.9	4561.7	3665.2	3776.7	6473.3
1/15 12:24	4.59	235R組立完了時から8R経過	4575.3	5498.9	4849.6	4913.9	4553.2	5028.6	4896.6	5521.6	4876.4	4546.1	3703.3	3980.7	6509.3
1/15 13:44	4.65	235R組立完了時から9R経過	4564.8	5489.3	4769.1	4868.5	4492.4	4809.9	4852.3	5578.0	5080.6	4751.8	3927.9	4071.2	6572.7
1/15 14:58	4.70	235R組立完了時から10R経過	4687.7	5683.7	5029.6	4955.2	4722.4	5162.3	5072.3	5689.7	5165.4	4913.0	4160.0	4165.6	6741.4
1/16 11:04	5.54	235R組立完了から5日後	4601.3	5784.7	5252.0	5168.2	4915.7	5101.6	5042.5	5700.5	5165.4	4942.0	4228.7	4143.4	6731.7
1/21 11:04	10.54	235R組立完了から10日後	4765.8	6112.9	5508.7	5361.6	5183.8	5404.1	5195.8	6003.4	5504.4	5315.0	4588.6	4428.0	7047.6
1/31 12:00	20.58	235R組立完了から20日後	4881.4	6341.8	5766.0	5635.3	5527.1	5685.0	5520.5	6280.6	5879.3	5698.6	4898.0	4717.2	7198.0
3/12 13:00	60.62	235R組立完了から60日後	5227.1	6714.0	6267.7	6075.2	5984.2	6290.4	6055.3	6793.1	6453.6	6229.3	5395.5	5044.2	7561.6
4/11 13:00	90.62	235R組立完了から90日後	5410.0	6941.8	6556.2	6405.6	6117.4	6604.1	6353.7	7086.9	6687.2	6515.6	5659.7	5326.2	7753.9
5/11 12:00	120.58	235R組立完了から120日後	5556.0	7092.7	6742.6	6612.7	6274.8	6854.4	6557.0	7278.7	6932.2	6760.8	5892.9	5538.9	7895.2
9/8 13:00	240.62	235R組立完了から240日後	5611.6	7154.0	6777.0	7019.3	6205.5	7428.7	6896.0	7581.7	7357.6	7082.8	6270.0	5792.5	8123.0

単位:KN



巻末資料６　互層地盤および地下水位を考慮したゆるみ土圧の計算

（ａ）Terzaghiのゆるみ土圧基本式

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

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

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

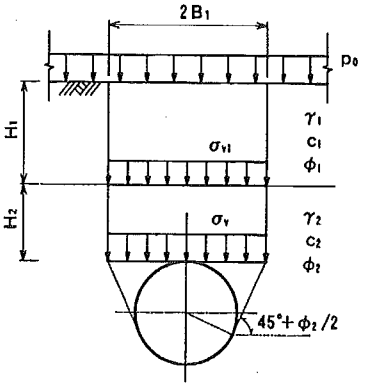
$$\sigma_{v1}=\frac{B_1(\gamma_1-c_1/B_1)}{K_0\tan\phi_1}\cdot(1-e^{-K_0\tan\phi_1\cdot H_1/B_1})+p_0e^{-K_0\tan\phi_1\cdot H_1/B_1}$$

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

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

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

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



（ｃ）地下水位がある場合のゆるみ土圧

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

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

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

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

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

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

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

