

# 土 木 研 究 所 資 料

## 軟弱地盤中のシールドトンネルの 現場計測

平成元年12月

建 設 省 土 木 研 究 所  
道 路 部 トンネル研究室

Copyright © (1989) by P.W.R.I.

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

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

# 軟弱地盤中のシールドトンネルの 現場計測

|                 |       |         |
|-----------------|-------|---------|
| 前トンネル研究室        | 室 長   |         |
| 現企画部地下開発研究官     |       | 水 谷 敏 則 |
| 前トンネル研究室        | 研究員   |         |
| 現中部地方建設局高山工事事務所 |       | 真 下 英 人 |
| トンネル研究室         | 室 長   | 猪 熊 明   |
|                 | 主任研究員 | 吉 永 優   |
|                 | 研究員   | 石 村 利 明 |
|                 |       | 井 手 統 一 |
|                 |       | 河 野 吉次郎 |

## 要 旨

本報告書は、軟弱地盤に建設中の併設シールドトンネルで行った、トンネルに作用する土圧・トンネルの挙動及び周辺地山の挙動等の現場計測を取りまとめたものである。取りまとめに当たっては、特に併設トンネルの施工時の影響に注目して結果の分析を行い、施工時にトンネルに作用する土圧について新しい知見を得ることができた。

キーワード：併設トンネル，軟弱地盤，作用荷重

## ま え が き

本報告書は、土木研究所トンネル研究室が東京湾横断道路株式会社と共同で、昭和63年度、建設中の京葉線隅田川シールドトンネルで行った現場計測を取りまとめたものである。研究内容のうちトンネル本体に係る現場計測は土木研究所が行ったが、周辺地盤の挙動については東京湾横断道路株式会社が行ったものであり、会社の了解を得て併せて本報告書に取りまとめた。取りまとめに当たっては特に併設トンネル施工時の影響に注目して結果の分析を行い、施工時にトンネルに作用する土圧等について新しい知見を得ることができた。

なお、本研究の現場計測は、鉄道建設公団の協力を得て同公団の事業中の建設現場を使わせて頂いた。ここに深謝の意を表します。

本資料が、より合理的なトンネル設計手法を確立するため参考になることを願うものである。

平成元年12月

土木研究所トンネル研究室

前室長 水谷 敏 則

前研究員 真 下 英 人

室 長 猪 熊 明

主任研究員 吉 永 優

研 究 員 石 村 利 明

井 手 統 一

河 野 吉次郎

# 目 次

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第1章 はじめに .....              | 1  |
| 第2章 現場計測 .....              | 2  |
| 2.1 計測目的 .....              | 2  |
| 2.2 トンネルの概要と計測位置 .....      | 2  |
| 2.3 地質状況 .....              | 3  |
| 2.4 測定項目 .....              | 8  |
| 2.5 計測機器の配置 .....           | 10 |
| 2.6 測定方法 .....              | 19 |
| 2.7 測定頻度 .....              | 19 |
| 2.8 測定行程表 .....             | 19 |
| 第3章 施工管理 .....              | 31 |
| 3.1 切羽圧力 .....              | 31 |
| 3.2 総推力 .....               | 31 |
| 3.3 裏込め注入材料・圧力 .....        | 31 |
| 第4章 計測結果 .....              | 43 |
| 4.1 土圧計 .....               | 43 |
| 4.2 水圧計 .....               | 43 |
| 4.3 軸方向鉄筋計 .....            | 43 |
| 4.4 円周方向鉄筋計 .....           | 44 |
| 4.5 目開き計 .....              | 44 |
| 4.6 ひずみ計 .....              | 45 |
| 4.7 コンクリートひずみ計 .....        | 45 |
| 4.8 内空変位計 .....             | 45 |
| 4.9 層別沈下計 .....             | 45 |
| 4.10 固定式傾斜計 .....           | 46 |
| 4.11 水盛り沈下計 .....           | 47 |
| 第5章 単設シールドトンネルの設計への応用 ..... | 81 |
| 5.1 シールドトンネルに作用する荷重 .....   | 81 |

|                     |                                  |     |
|---------------------|----------------------------------|-----|
| 5.2                 | 覆工体に発生する応力度 .....                | 85  |
| 5.3                 | トンネル方向に発生する施工時荷重 .....           | 101 |
| 第6章 併設トンネルの影響 ..... |                                  | 106 |
| 6.1                 | 概 説 .....                        | 106 |
| 6.2                 | 計測結果 .....                       | 106 |
| 6.2.1               | 後行トンネルによる地盤変状 .....              | 106 |
| 6.2.2               | 後行トンネル通過により先行トンネルに作用する荷重 .....   | 116 |
| 6.2.3               | 後行トンネル通過による先行トンネルの応力・変位の挙動 ..... | 131 |
| 6.3                 | 計測結果の分析 .....                    | 139 |
| 6.4                 | 設計への応用 .....                     | 141 |
| 6.4.1               | 離隔距離が異なる場合の併設トンネルの影響 .....       | 141 |
| 6.4.2               | 後行トンネルの施工管理に必要な事項 .....          | 148 |
| 第7章 まとめ .....       |                                  | 150 |

## 第 1 章 は じ め に

近年、大都市においては東京湾横断道路をはじめ本格的なシールド工法による道路トンネルが、計画されるようになった。シールドトンネルの設計は、山岳トンネルと異なり構造計算を行って覆工の寸法等を定める。しかし、山岳トンネルと同様地盤中を掘削し自由空間を確保しつつ覆工を設置するため、トンネルが構造的に安定するまでの地山の挙動等不明な部分もある。特に将来の道路構想を考えると軟弱地盤に大口径トンネルを建設する場合に、こうした点に関して考え方を整理しておく必要がある。また併設シールドトンネル施工時の相互影響についても、現段階では経験的に処理しており、力学的に完全には明確にされていない部分がある。

こうした課題を解決するのに必要な基礎的な知見を得るため、建設中の軟弱地盤シールドトンネルにおいて現場計測を行い、結果を分析した。対象としたトンネルは、千葉市から東京湾岸地域を経て東京駅に至る新設鉄道路線である京葉都心線隅田川トンネルである。

本報告書の構成については、第2章では、地質などを含む現場計測の条件を整理した。シールドトンネルにおいては、地盤条件とともにシールドマシンの推進状況、裏込め注入圧の状況等施工管理上の条件が土圧等に大きい影響を与えることになるため、特に第3章に施工管理の条件を詳細に整理した。第4章に土圧、水圧等と周辺地盤の挙動に関する計測結果を取りまとめた。第5章には、計測結果を単設シールドトンネルの設計へどのように応用するかをまとめた。第6章では、併設トンネルの相互影響に関して現場計測結果と分析をまとめた。

## 第2章 現場計測

### 2.1 計測目的

軟弱地盤中に構築される長大、大断面シールドトンネルの覆工体を設計するにあたっては、その社会的な重要度ならびに公共投資への注目度から、より安全性、耐久性、快適性ならびに経済性が確保された、できるだけ適正な構造物の構築が要求されている。また、都市部等においては、トンネルが近接して施工される、いわゆる併設シールドとなる場合が数多くあり、相互のトンネルの影響を正しく把握してこれらをシールドトンネルの覆工体の設計に反映する必要がある。

そのため、不安な要素を全て安全率で包括していく設計手法では、先の要求に反した重厚な覆工構造になってしまう恐れがある。そこで実際のシールドトンネルを利用して次の4項目について現場計測を行い、覆工体の合理的な設計を行うための資料を得ることを目的とする。

- ① シールドトンネルに作用する土圧、水圧荷重の経時変化
- ② 覆工体に作用する応力度の経時変化
- ③ トンネル軸方向に発生する施工時荷重の変化
- ④ トンネル周辺の地盤変状の経時変化

### 2.2 トンネルの概要と計測位置

現場計測は、京葉・都心線のシールド工事の一環として行われている隅田川トンネルを対象として行った(図-2.1)。

隅田川トンネルは、隅田川河底を横断して西越中島駅(仮称)と隅田川立坑を結ぶ延長777m、セグメント外径7.1m(セグメント桁高30cm、幅100cmの7分割のRCセグメント)、セグメントの離隔距離3.7mの単線並列の併設シールドトンネルである(図-2.2)。

計測位置は、東京都江東区越中島一丁目三番地の合同宿舍越中島住宅内(図-2.3参照)であり、ここでのトンネルの土被りは約13mである。

シールドトンネルの掘削方式は、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図及び仕様を図-2.4に示す。

なお、工事の進捗は、1日当り6リング程度の掘進速度であり、先行(B線)トンネルの切羽が現場計測地点まで達したのが11月3日、その後、後行(A線)トンネルの切羽が計測地点に約3週間後の11月24日に達している。

### 2.3 地質状況

現場計測を実施したシールドトンネルは、東京東部の、いわゆる下町と呼ばれる地域にあり、日本橋台と呼ばれる埋没台地の隅田川河口付近の沖積低地に位置する。

周辺の地質は、T. P27m付近までは沖積層の有楽町層が分布し、これより以下は、洪積層の埋没ロ

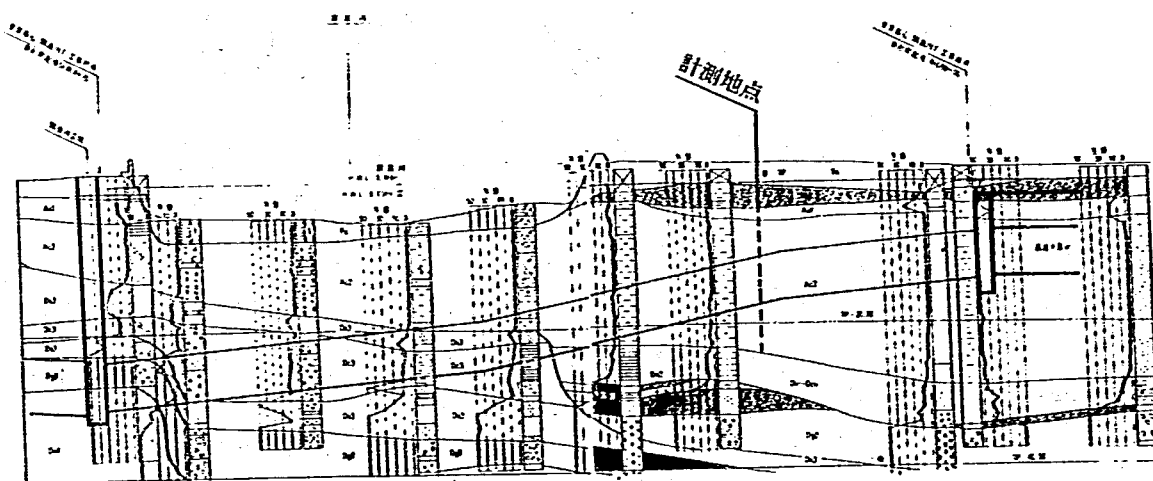
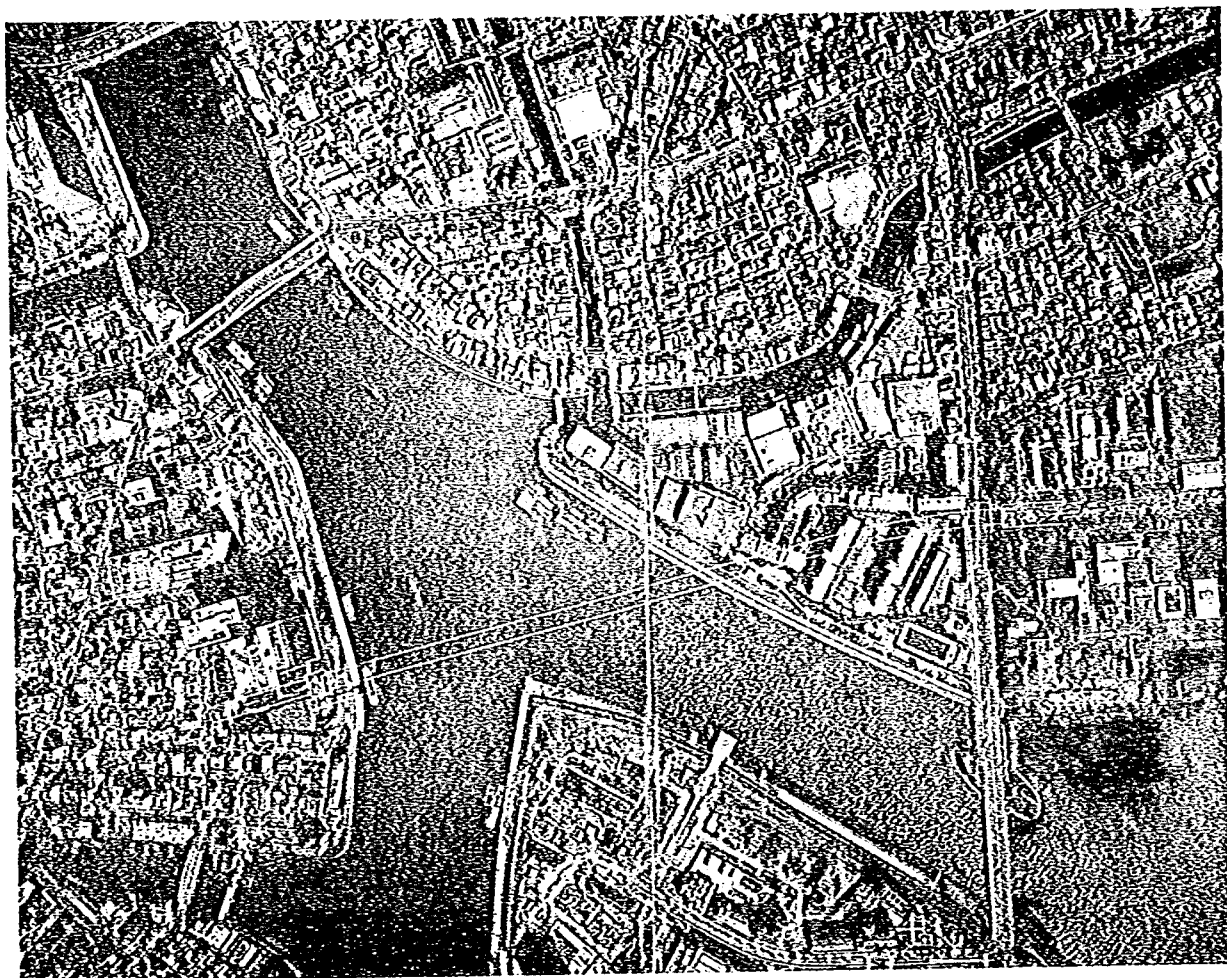


図-2.1 隅田川トンネルの概要図

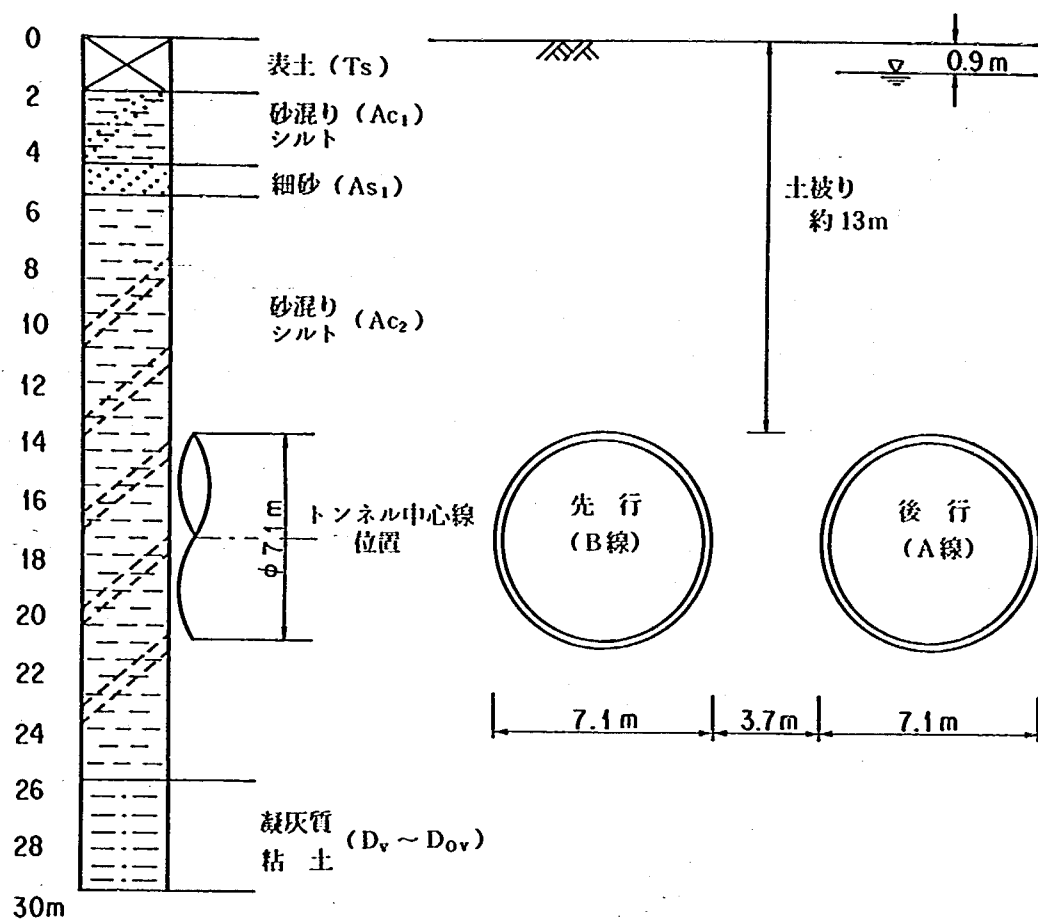


図-2.2 トンネルの概念図

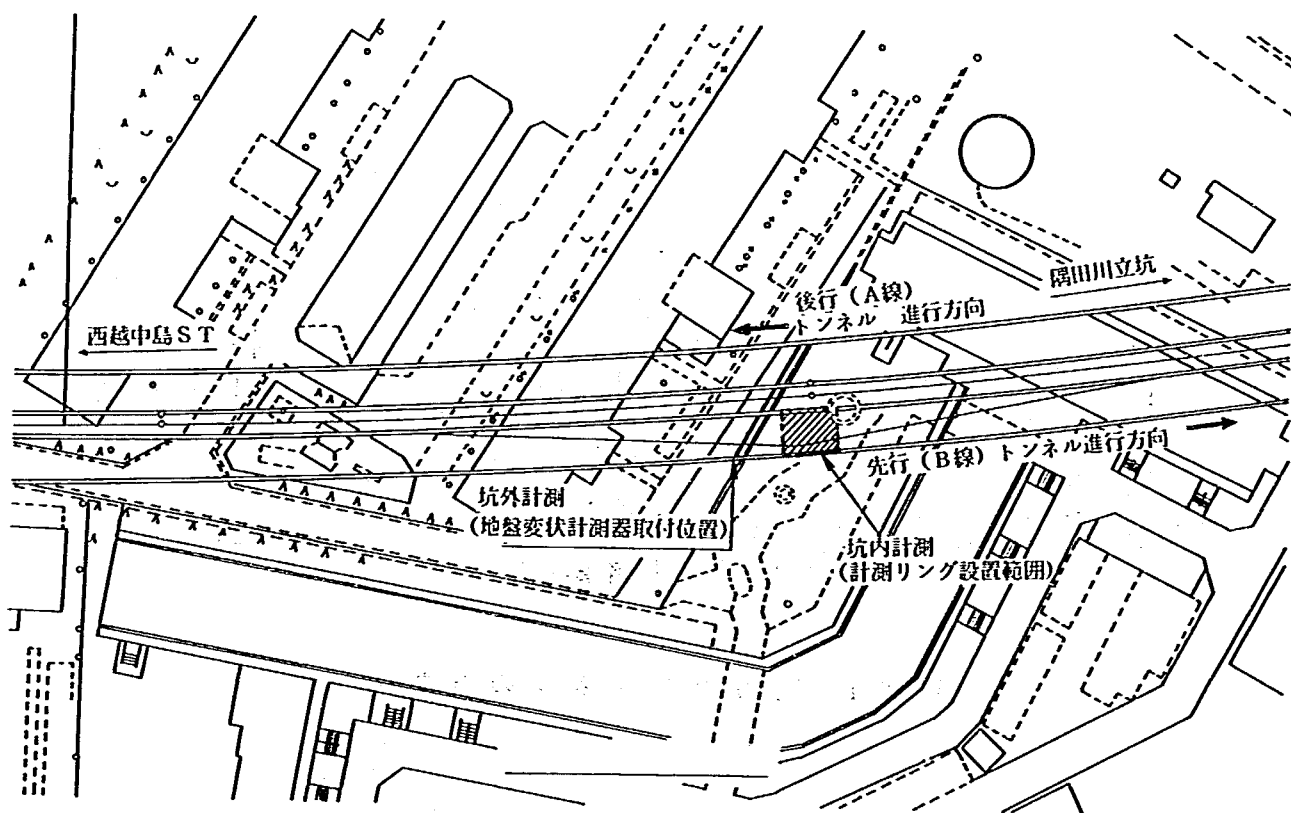


図-2.3 計測位置平面図



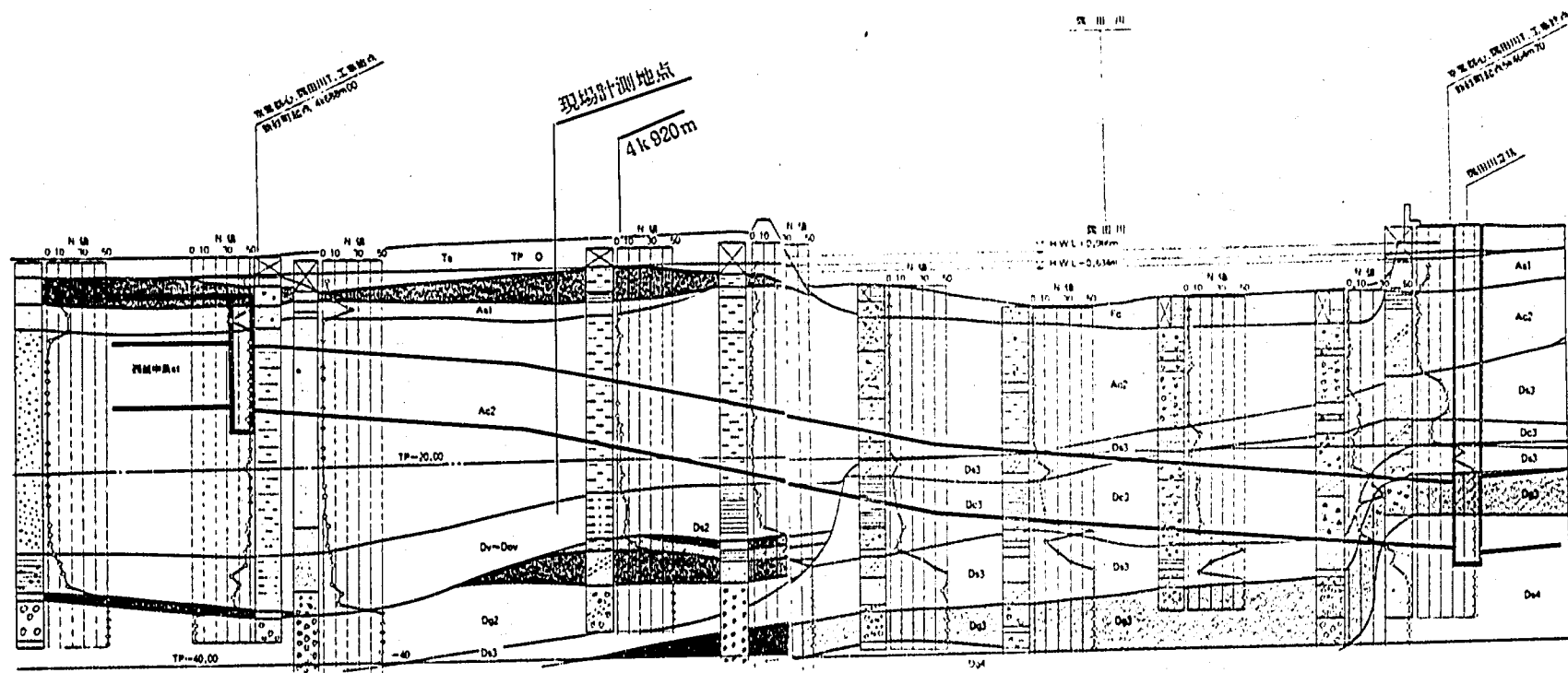


図 - 2.5 地質の概要図

表-2.1 層序と土の特性

| 時 代         | 地 層         |             |             | 土 質 | 記 号          | 色 調                         | 層厚(m)             | N 値             |                   |               |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-----|--------------|-----------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|---------------|
| 第<br>四<br>紀 | 沖<br>積<br>世 | 沖<br>積<br>層 | 盛 土         |     | 粗 砂<br>粘 土   | T s                         | 暗 褐<br>暗 灰        | 1.4 ~<br>2.1    | —                 |               |
|             |             |             | 有 桑<br>町 層  | 上 部 | 粘性土          | 砂 混 り<br>シ ル ト<br>砂 混 有機質粘土 | A c <sub>1</sub>  | 暗 灰<br>暗 褐      | 1.5<br>}<br>3.7   | 2 ~ 4         |
|             |             |             |             |     | 砂質土          | シルト混り<br>細 砂<br>細 砂         | A s <sub>1</sub>  | 暗青灰<br>暗 灰      | 1.4<br>}<br>3.9   | 2 ~ 29        |
|             |             |             |             | 下 部 | 粘性土          | 砂 混 り<br>シ ル ト              | A c <sub>2</sub>  | 暗 灰             | 18.9<br>}<br>22.9 | 0 ~ 5         |
|             | 洪<br>積<br>世 | 洪<br>積<br>層 | 埋 没<br>ローム  |     | 凝 灰 質<br>粘 土 | Dv ~<br>Dov                 | 暗 褐<br>暗緑灰<br>褐 灰 | 4.1<br>}<br>6.7 | 4 ~ 17            |               |
|             |             |             | 埋 没 段 丘 礫 層 |     | 粘性土          | 粘 土<br>砂 混 り<br>シ ル ト       | D c <sub>2</sub>  | 青緑灰<br>暗青灰      | 1.1<br>}<br>2.3   | 8 ~ 15        |
|             |             |             |             |     | 砂質土          | 細 砂                         | D s <sub>2</sub>  | 暗 灰             | 0.6<br>}<br>3.9   | 44 ~ 50<br>以上 |
|             |             |             |             |     | 砂 礫          | シルト混り<br>砂 礫                | D g <sub>2</sub>  | 暗青灰             | 4 m 以上            | 50 以上         |

表 - 2.2 土質試験結果一覧表

地質調査地点 (4km920m)

| 試料採集深度 (m)                   |                        | 6.15~6.45 | 10.00~10.85              | 15.00~15.80              | 20.00~20.80              | 27.00~27.80              |
|------------------------------|------------------------|-----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 粘土特性                         | 礫分 (2000 $\mu$ m以上) %  | 4.3       | 0                        | 1                        | 1                        | 0                        |
|                              | 砂分 (74~2000 $\mu$ m) % | 4.8       | 5                        | 2.4                      | 1.3                      | 2.7                      |
|                              | シルト分 (5~74 $\mu$ m) %  | 5         | 4.9                      | 4.2                      | 5.0                      | 3.8                      |
|                              | 粘土分 (5 $\mu$ 以下) %     | 4         | 4.6                      | 3.3                      | 3.6                      | 3.5                      |
|                              | 最大粒径 mm                | 25.4      | 0.25                     | 4.76                     | 4.76                     | 2.00                     |
|                              | 均等係数 $U_c$             | 28.6      | —                        | —                        | —                        | —                        |
|                              | 曲率係数 $U_c'$            | 0.6       | —                        | —                        | —                        | —                        |
| コンシステンス特性                    | 液性限界 $W_L$ %           | —         | 43.7                     | 47.7                     | 64.1                     | 87.3                     |
|                              | 塑性限界 $W_p$ %           | —         | 29.9                     | 32.6                     | 38.1                     | 60.6                     |
|                              | 塑性指数 $I_p$ %           | —         | 13.8                     | 15.1                     | 26.0                     | 26.7                     |
| 土粒子の比重 $G_s$                 |                        | 2.78      | 2.70                     | 2.69                     | 2.66                     | 2.51                     |
| 自然状態                         | 含水比 $W_N$ %            | 16.5      | 54.6                     | 59.8                     | 65.7                     | 101.2                    |
|                              | 湿潤密度 $\rho_t$ g/cd     | 2.21      | 1.69                     | 1.67                     | 1.62                     | 1.42                     |
|                              | 間隙比 $e$                | 0.47      | 1.47                     | 1.58                     | 1.72                     | 2.56                     |
|                              | 飽和度 $S_r$ %            | 99        | 101                      | 102                      | 101                      | 99                       |
| 一軸圧縮試験                       | 一軸圧縮強度 $q_u$ (kgf/cd)  | —         | 0.59~0.46                | 0.87~0.86                | 0.82~1.02                | 1.77~0.76                |
|                              | 破壊ひずみ $\epsilon_f$ %   | —         | 6.2~7.3                  | 6.3~6.8                  | 5.5~5.7                  | 4.4~3.7                  |
|                              | 変形係数 $E_{50}$ (kgf/cd) | —         | 12.8~10.5                | 22.9~22.6                | 21.6~25.5                | 51.9~29.2                |
| 三軸圧縮試験                       | 試験の条件 (注)              | —         | CU                       | CU                       | CU                       | CU                       |
|                              | 粘着力 $C_{cu}$ (kgf/cd)  | —         | 0                        | 0                        | 0                        | 0                        |
|                              | せん断抵抗角 $\phi$ 度        | —         | 2.4                      | 2.4                      | 2.2                      | 2.7                      |
| 圧密試験                         | 圧密降伏応力 $P_c$ (kgf/cd)  | —         | 1.22                     | 1.23                     | 2.00                     | —                        |
|                              | 圧縮指数 $C_c$             | —         | 0.58                     | 0.37                     | 0.68                     | —                        |
| 透水試験 (変水位法) $K_{15}$ (m/sec) |                        | —         | 1.30<br>$\times 10^{-7}$ | 2.51<br>$\times 10^{-7}$ | 2.20<br>$\times 10^{-7}$ | 2.71<br>$\times 10^{-6}$ |

注) CU: 圧密非排水試験

## 2.4 測定項目

本現場計測における測定項目、測定目的は以下に示す通りである。また、測定計器・数量は表-2.3に示す通りである。

## (1) 坑内計測

## ① 作用荷重

表 - 2.3 測定計器・数量

| 項 目 | 測 定 計 器 名  | 数 量  | 備 考            |
|-----|------------|------|----------------|
| ①   | 土圧計        | 8点   | 8点×1リング        |
| ①   | 水圧計        | 7点   | 7点×1リング        |
| ②   | 円周方向鉄筋計    | 76点  | 19箇所×内外×2リング   |
| ③   | 軸方向鉄筋計     | 8点   | 4点×2リング        |
| ④   | 目開き計       | 12点  | 4点×3リング        |
| ④   | ひずみ計       | 4点   | 4点×1リング        |
| ⑤   | 内空変位計      | 12方向 | 4方向×3リング       |
| ③   | コンクリートひずみ計 | 8点   | 4点×2リング        |
| ⑥   | 層別沈下計      | 49点  | 7箇所×6点, 1箇所×7点 |
| ⑦   | 固定式傾斜計     | 20点  | 2箇所×10点        |
| ⑥   | 水盛り沈下計     | 8点   | 8箇所×1点         |
| ⑥⑦  | 温度計        | 1点   | 1箇所×1点         |

セグメントに作用する荷重を土圧計及び水圧計にて測定する。

② セグメントに発生する応力度（円周方向）

リング方向に鉄筋計を設置し、荷重によって発生する応力を測定する。

③ セグメントに発生する応力度（軸方向）、ひずみ

トンネル軸方向に鉄筋計およびコンクリートひずみ計を配置し、ジャッキ推力によって発生する応力またはひずみを測定し、ジャッキ推力の伝播状況などを把握する。

④ リング継手の変形

リング継手に発生する相対変位量を測定することにより、ジャッキ推力の影響および後行トンネルが先行トンネルに及ぼす影響を把握する。

⑤ 内空変位

セグメントに作用する荷重によって生じるトンネル内空変位量を測定する。

(2) 坑外計測

⑥ 地盤の鉛直変位

シールドトンネル構築に伴う周辺地盤の沈下（隆起）を層別沈下計、水盛り沈下計（地表面）により測定する。

⑦ 地盤の水平変位

シールドトンネル構築に伴う周辺地盤の水平変位を傾斜計により測定する。

## 2.5 計測機器の配置

### (1) 坑内計測

計器の配置についての概要図を図-2.6に示す。また、各計器は下記の要領で設置するとともに、図-2.7～2.12に示すとりの配置とした。

#### ① 土圧計

R Cセグメントの背面（地山）側に予め型抜きを施して製作したセグメントに外径30 cm、容量5 kgf/cm<sup>2</sup>の土圧計（㈱東京測器製KD-5 S）をエポキシ系接着材で設置した。設置位置は、セグメントリングの上下左右および約45度の位置とした（図-2.7）。

#### ② 水圧計

セグメントリングの各ピースにあるグラウトホールを利用して止水用のバルブを介在させて外径3 cm、容量3 kgf/cm<sup>2</sup>の水圧計（㈱共和電業製BS-2 KB）を設置した。設置時期は、トンネルに作用する水圧が裏込め注入材によって阻害されることなく正しく測定できるように、裏込め注入後に注入材がある程度硬化してから行った。したがって、グラウトホールより裏込め注入材を貫いて削孔して水圧計を設置した（図-2.8）。

#### ③ 円周方向鉄筋計

鉄筋計付き主鉄筋（容量3000kgf/cm<sup>2</sup>）をセグメント製作時に配筋した。取付位置は、内周面、外周面の主鉄筋にKセグメントは1箇所、その他のセグメントは各3箇所設置した（図-2.9）。

#### ④ 軸方向鉄筋計

セグメント製作時に円周方向鉄筋計と同様の仕様の鉄筋計（D16、L=700 mm）を上下左右の位置に埋設した（図-2.10）。

#### ⑤ 目開き計

測定リング組立後にホールインアンカーでセグメントリングの上下左右の位置に容量5mmの目開き計（㈱共和電業製BCD-5 B）を設置した（図-11）。

#### ⑥ ひずみ計

測定リング組立後、推進時の目開き計の変位量がひずみ計の測定容量以下になった時点で目開き計と同様な位置に基線長100mm、容量±1000×10<sup>-6</sup>ひずみのひずみ計を設置した（図-2.11）。

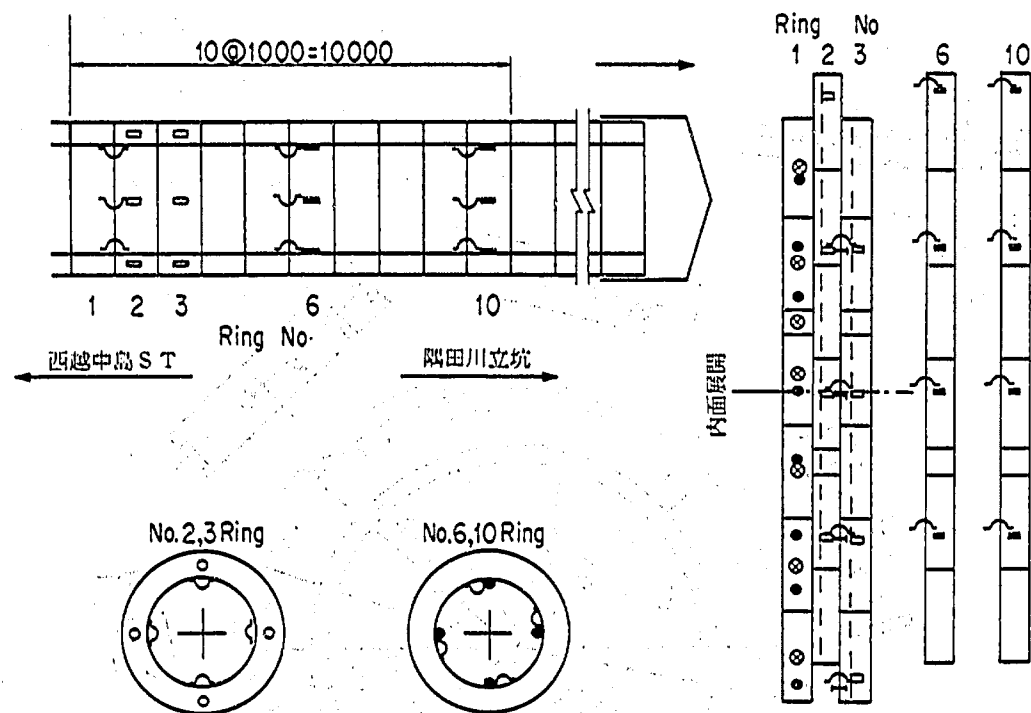
#### ⑦ 内空変位計

内空の上下左右および45度方向にスチールテープを取付けて、後続台車が測定リングを抜けた時点から測定を行った（図-2.12）。

なお、組立直後のセグメントリングの形状は、シールド機械のスキンプレート内面からの離れを定規で測定した。

#### ⑧ コンクリートひずみ計

セグメント内面にコンクリート用ひずみゲージ（ゲージ長60 mm）を貼付して、セグメントリングの上下、左右の4地点のひずみを測定した。



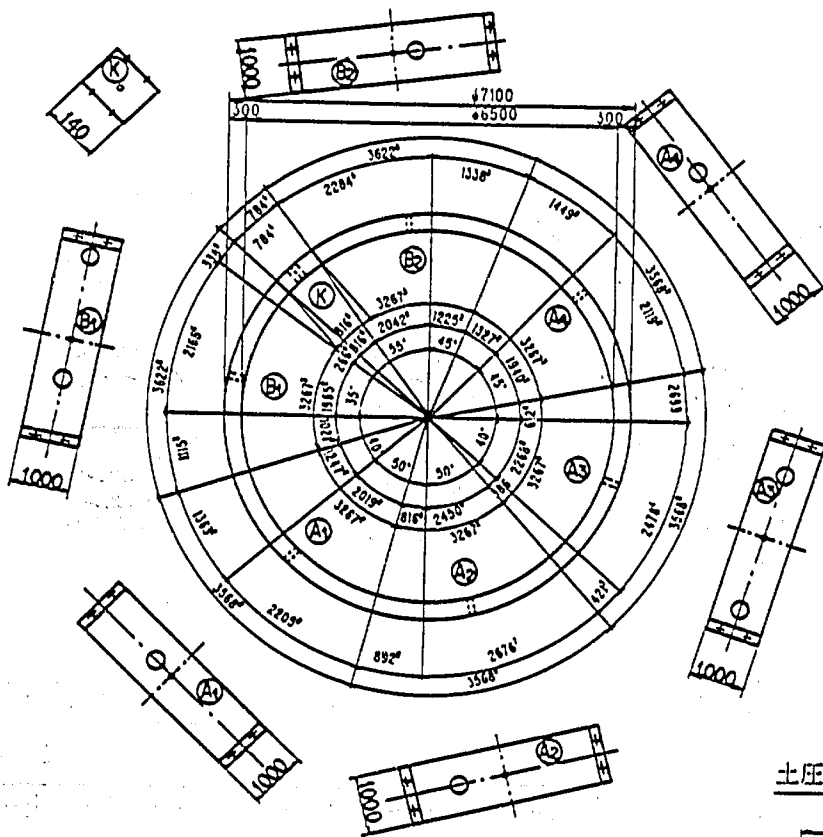
計器数量表

| 計器名            | 記号 | 1 R<br>201リング | 2 R<br>202リング | 3 R<br>203リング | 6 R<br>206リング | 10 R<br>210リング |
|----------------|----|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| 土圧計            | ●  | 8             | —             | —             | —             | —              |
| 水圧計            | ⊗  | 7             | —             | —             | —             | —              |
| 鉄筋応力計          | I  | —             | 38            | 38            | —             | —              |
| 軸方向鉄筋          | □  | —             | 4             | 4             | —             | —              |
| 継目目開き          | ~  | —             | 4             | —             | 4             | 4              |
| ひずみ計           | ⊥  | —             | —             | 4             | —             | —              |
| コンクリート<br>ひずみ計 | ■  | —             | —             | —             | 4             | 4              |

図-2.6 坑内計測の計器の配置図

土圧計配置図

Na 1, Na 4

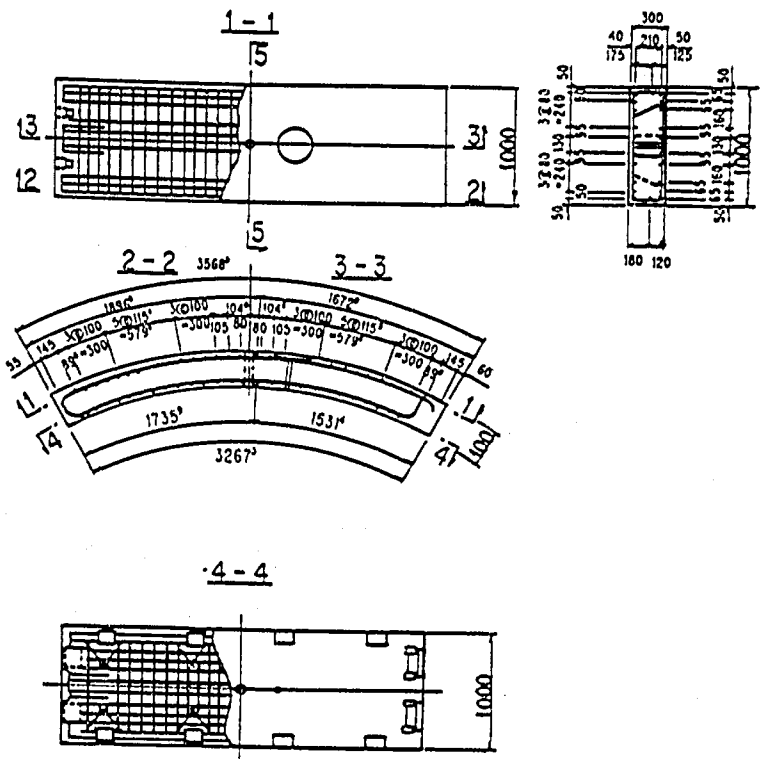


注) 各ピース展開図は内円面を示す。

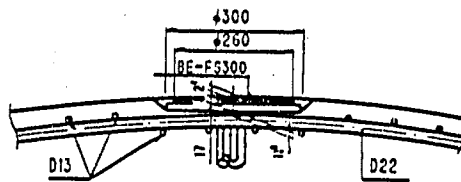
土压計数量表

| R.No <sup>型</sup> | A <sub>1</sub> | A <sub>2</sub> | A <sub>3</sub> | A <sub>4</sub> | B <sub>1</sub> | B <sub>2</sub> | 計 |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---|
| 1 Ring            | 1              | 1              | 2              | 1              | 2              | 1              | 8 |

## A 1 型セグメント



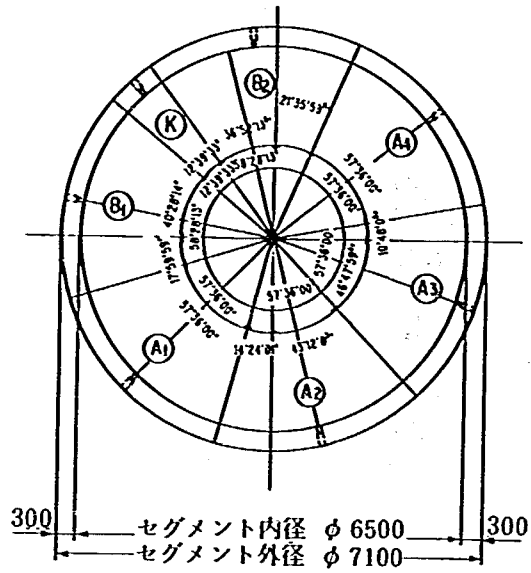
土圧計取付詳細図



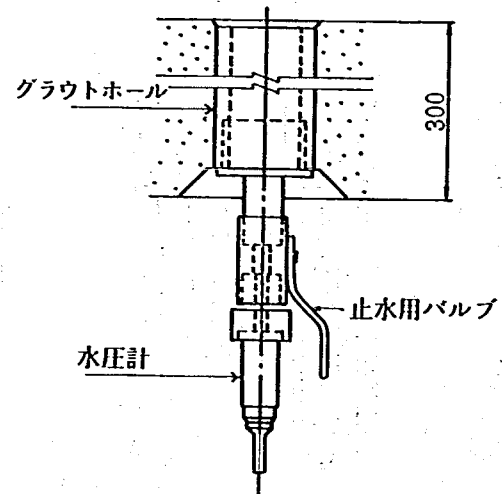
注) 土圧計取付部分のフープ筋は主鉄筋の下に回す。

圖-2.7 土 庄 計 配 置 圖

水圧計配置図



水圧計詳細図

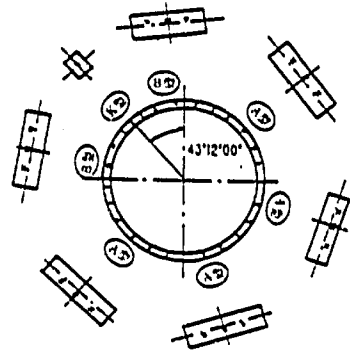


水圧計数量表

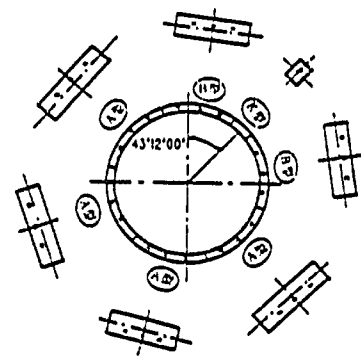
| R. No  | 型 | A <sub>1</sub> | A <sub>2</sub> | A <sub>3</sub> | A <sub>4</sub> | B <sub>1</sub> | B <sub>2</sub> | 計 |
|--------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---|
| 1 Ring |   | 1              | 1              | 1              | 1              | 1              | 1              | 7 |

図-2.8 水圧計配置図

甲型セグメント



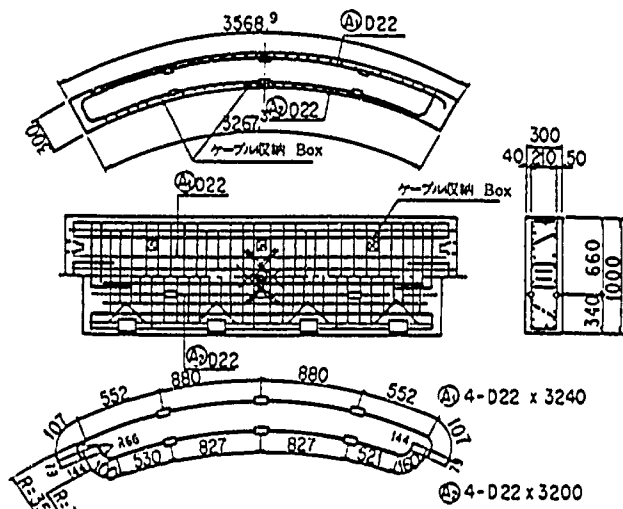
注) 各ピース内円面を示す。



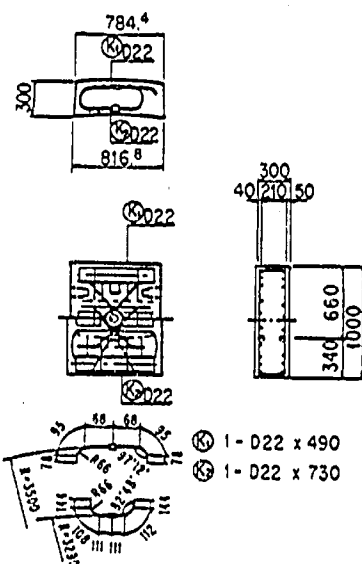
鉄筋計数量表

| R.No   | 型 | K      | B      | A  | 計 |
|--------|---|--------|--------|----|---|
| 2 Ring | 2 | 2×6=12 | 4×6=24 | 38 |   |
| 3 Ring | 2 | 2×6=12 | 4×6=24 | 38 |   |

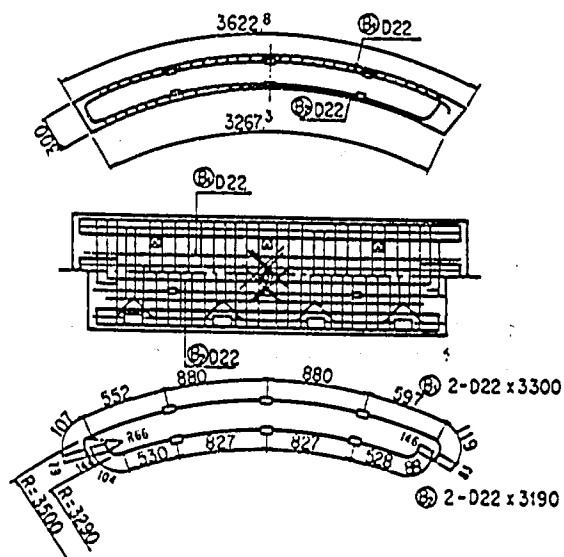
A型セグメント



K型セグメント



B型セグメント



鉄筋計詳細図

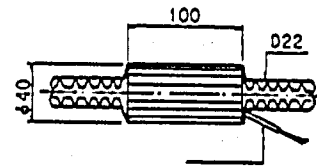


図-2.9 円周方向鉄筋計配置図

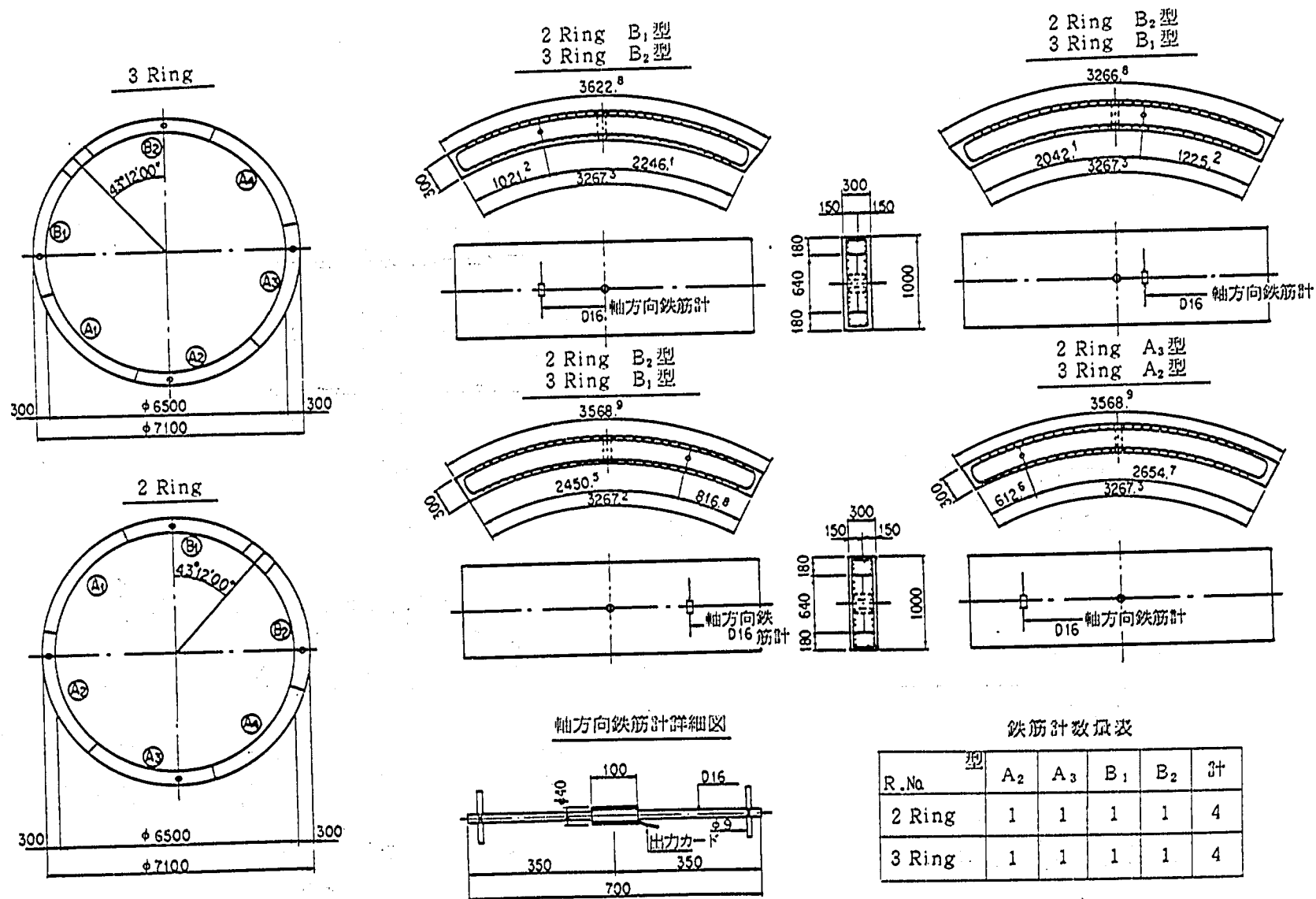
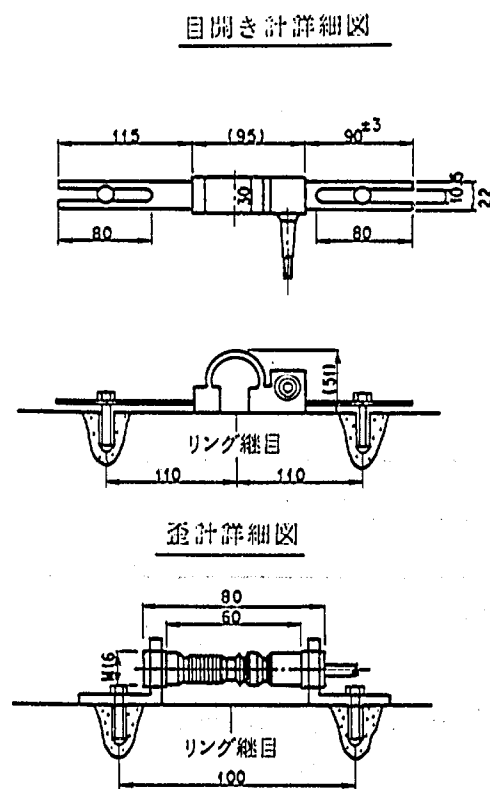
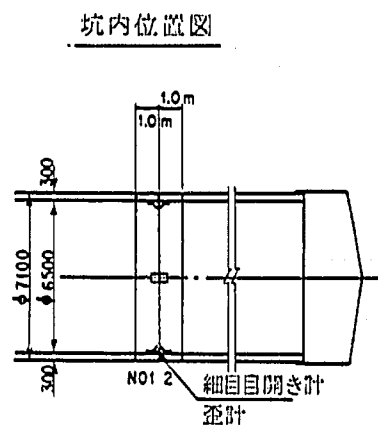
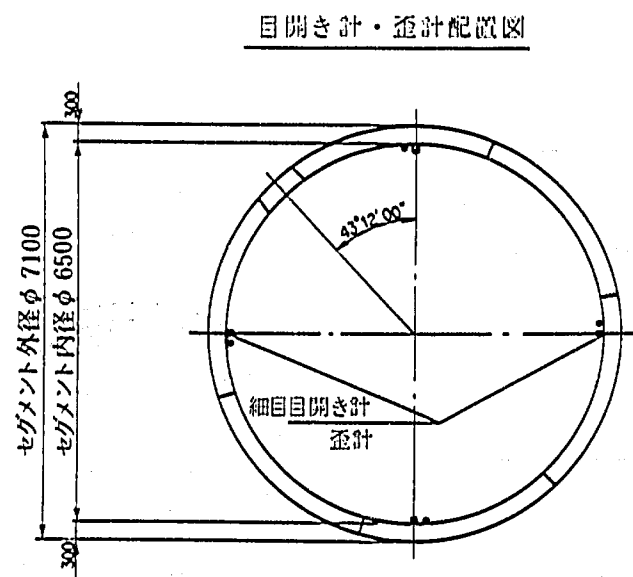


図-2.10 軸方向鉄筋計配置図



|      |        |   |
|------|--------|---|
| 目開き計 | 4×1リング | 4 |
| 歪計   | 4×1リング | 4 |

図- 2.11 目開き計・ひずみ計の配置図

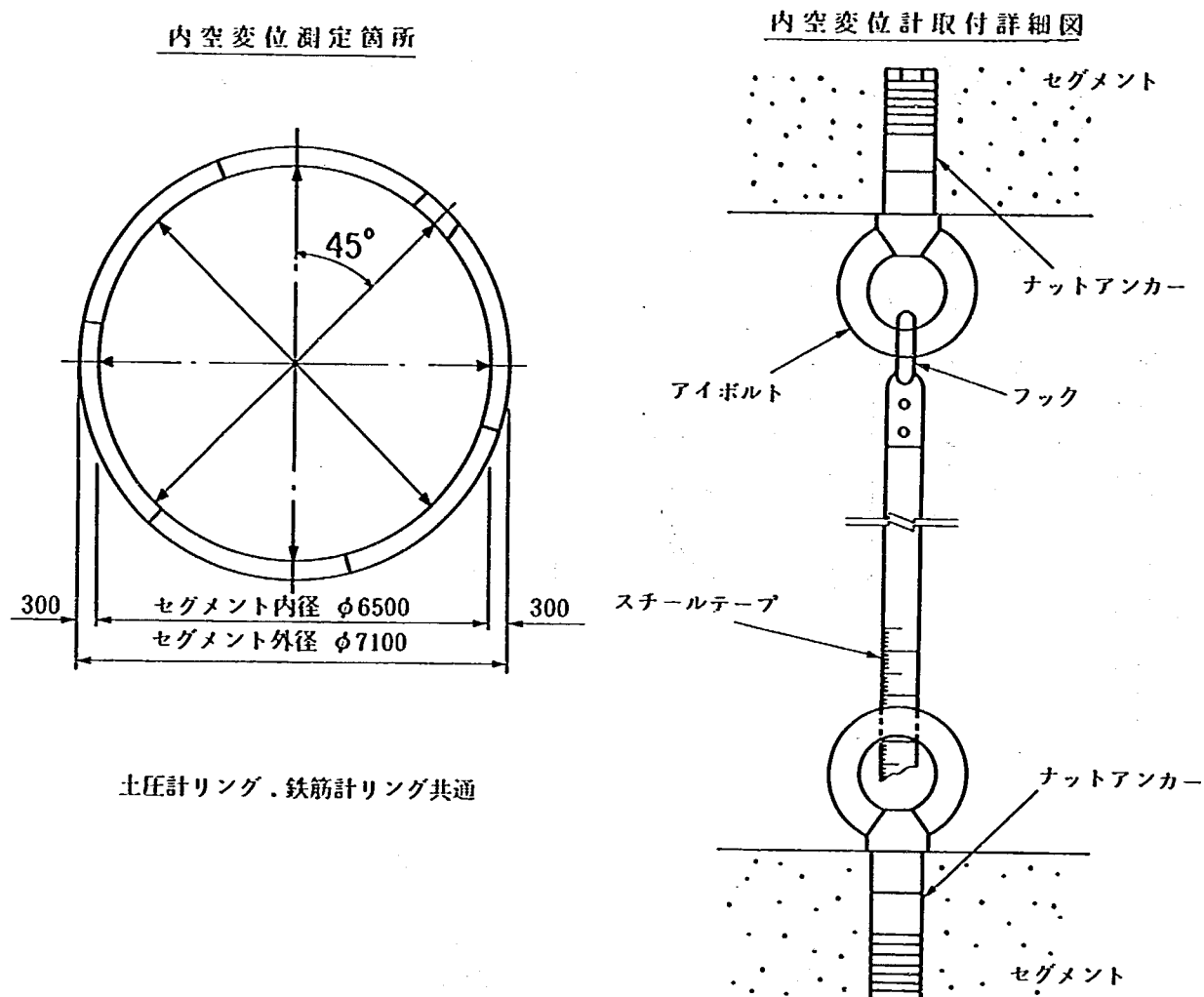


図- 2.12 内空変位計の配置図

## (2) 坑外計測

地盤の変状計測の機器の配置の概要図を図- 2.13に示す。また、坑内計測地点との相対距離に関しては、図- 2.14に示すとおりである。なお、地盤変状の計測結果の温度変化による補正を行う目的で温度も測定した。

### ① 層別沈下計

先行トンネルが地盤変状に与える影響を把握するとともに、後行トンネルの施工が先行トンネルに与える影響を把握できるように、容量150mmの層別沈下計（東横エルメス製WTA）を図- 2.13に示す位置に配置し、容量100mmの変位計（物共和電業製BJ-100CS）により検出した。

### ② 固定式傾斜計

単設トンネル施工時の地盤水平変位と後行トンネル施工時の地盤水平変位を把握できるように図- 2.13に示す位置に容量±5°の固定式傾斜計（物共和電業製BK-5F）を配置した。

### ③ 水盛り沈下計

容量100mmの地表面沈下計（東横エルメス製DVP100L）を図- 2.13に示す位置に配置した。

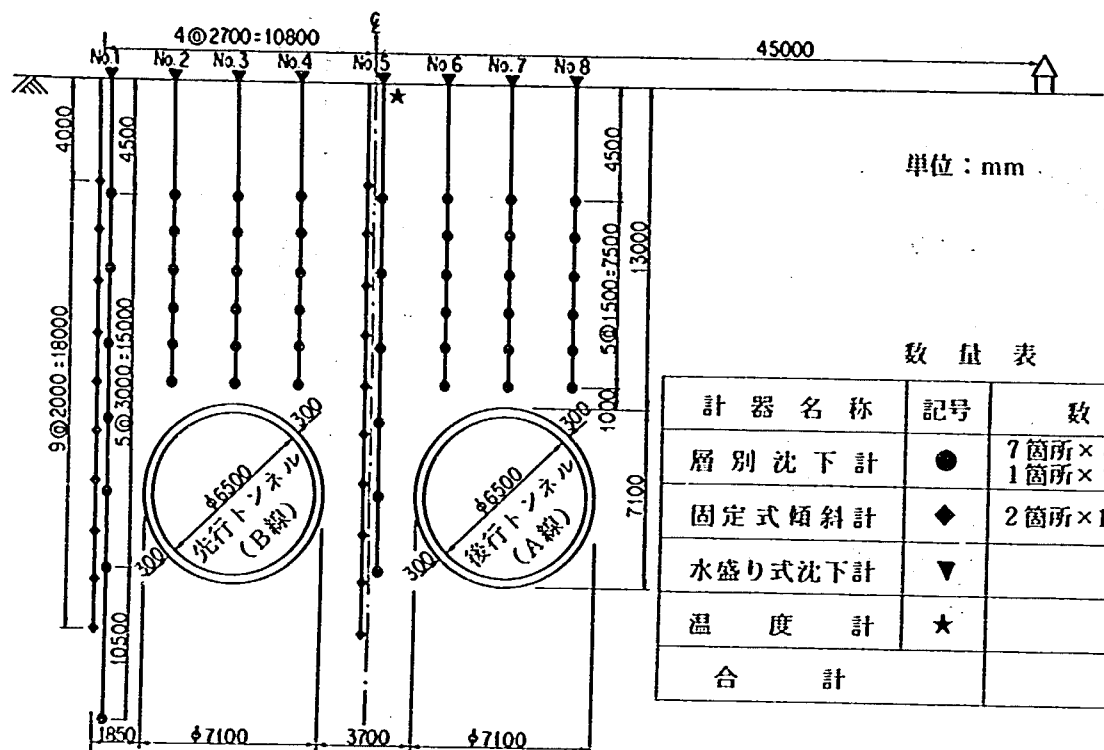


図- 2.13 坑外計測の計器の配置図

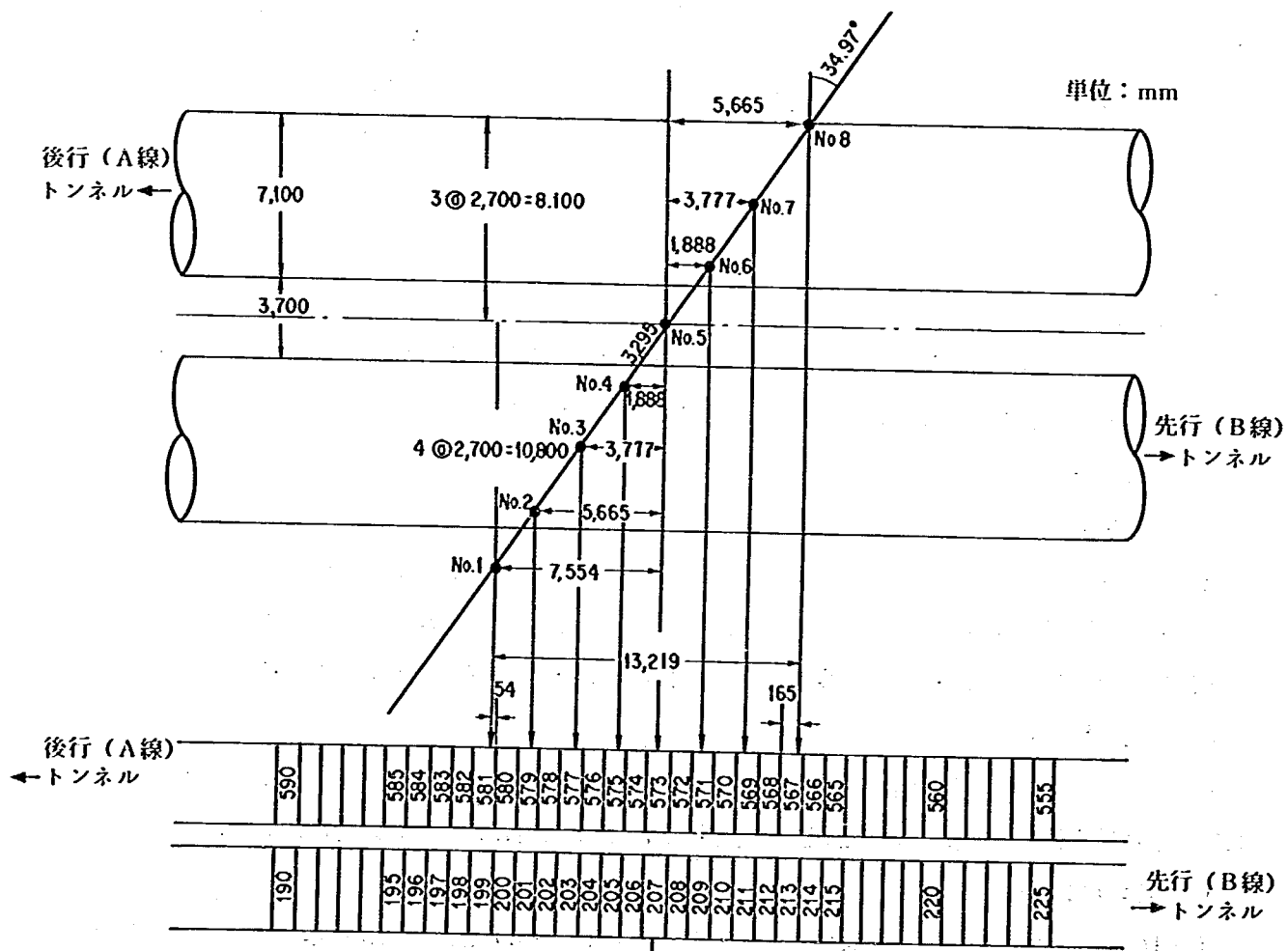


図- 2.14 坑内計測地点との相対距離

## 2.6 測定方法

### (1) 坑内計測

測定は、測定室に設置したデジタル測定器（㈱共和電業製 UCAM-5BT）とパーソナルコンピュータ（日本電気製 PC-9801）により自動計測を行った。

測定システムは、図-2.15に示すように各計器から各芯ケーブルで測定リング近傍に設置したスキナーボックス（㈱共和電業製 USB-51A）に接続して1本のスキナーケーブルで立坑2階の測定室まで配線した。

なお、測定したデータは全てパーソナルコンピュータのフロッピーディスクに収録した。

### (2) 坑外計測

坑外計測に使用した各計測機器も坑内機器と同様に、万能デジタル測定器につなぎ込み自動計測を行うとともに、オンラインでパーソナルコンピュータに全てのデータをフロッピーディスクに収録できるシステムとした。

## 2.7 測定頻度

### (1) 坑内計測

坑内計測は、2.1計測目的で示した下記の項目に着目して、表-2.4に示す頻度を基準として測定した。

- ① シールドトンネルに作用する土圧、水圧荷重の経時変化
- ② 覆工体に作用する応力度の経時変化
- ③ トンネル軸方向に発生する施工時荷重の変化

### (2) 坑外計測

坑外計測の測定頻度は、先行トンネルによる地盤変状に与える影響および後行トンネル掘進による地盤への影響を把握できるように表-2.4に示すように1時間、1日ピッチとした。

## 2.8 測定行程表

現場の作業行程は、図-2.17に示すように先行（B線）トンネルの計測地点である201リング（土・水圧計計測地点）には、昭和63年11月2日にシールドトンネル切羽が達している。また、後行（A線）トンネルがB線のトンネルの201リング横には11月24日にシールドトンネルに切羽が達している。

なお、詳細の掘進に関する一覧表を表-2.5に示す。

また、測定行程は、各計測器によって異なり、表-2.4に示すとおりである。

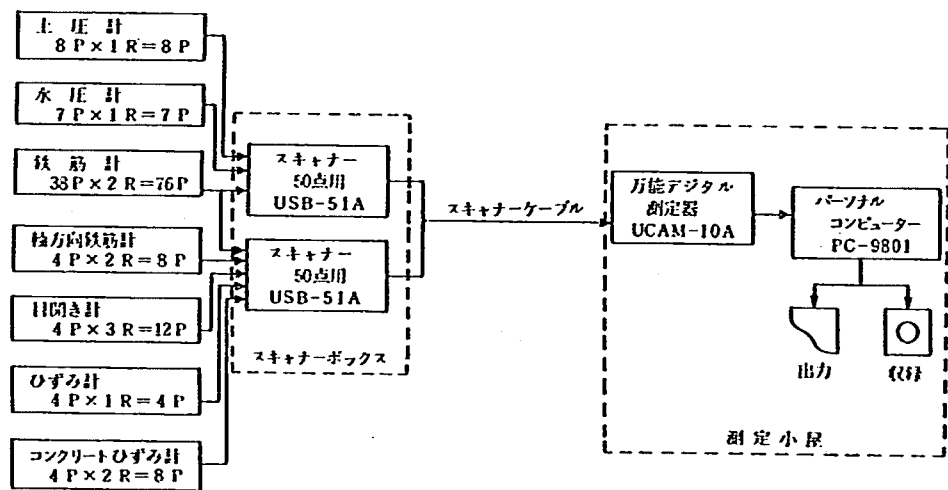
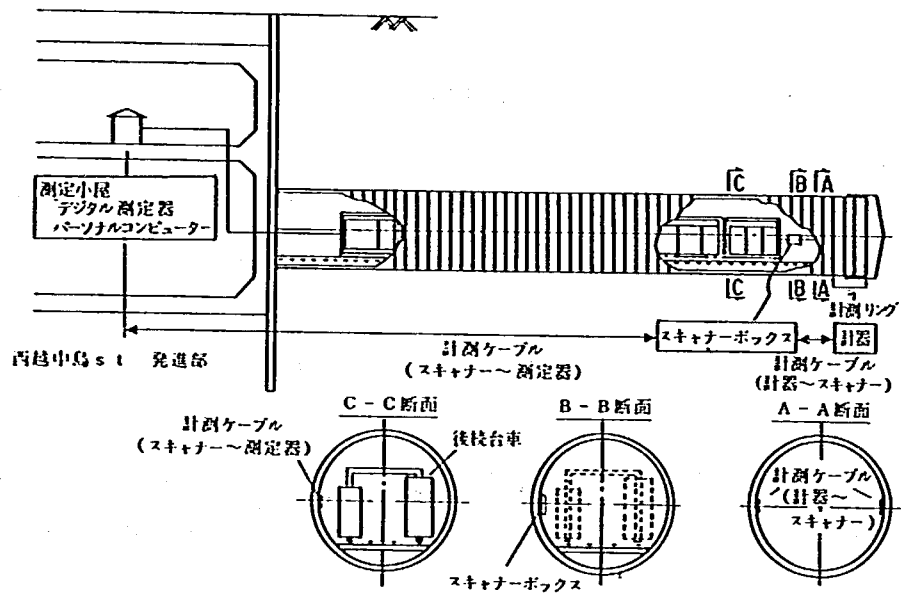


図- 2.15 坑内計測システム図

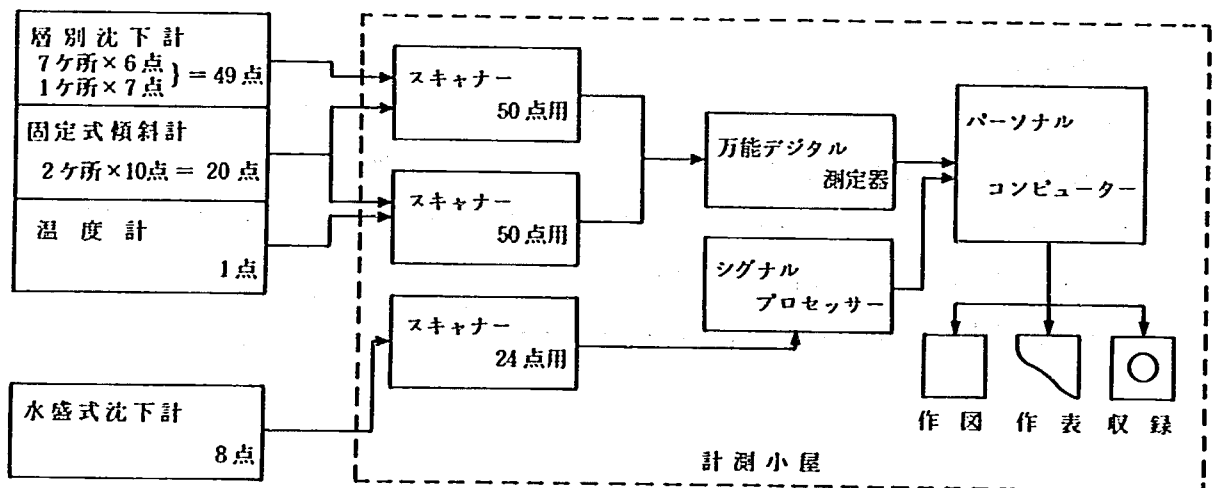


図- 2.16 坑外計測システム図

表一 2.4 測定頻度および測定行程表

[illegible]

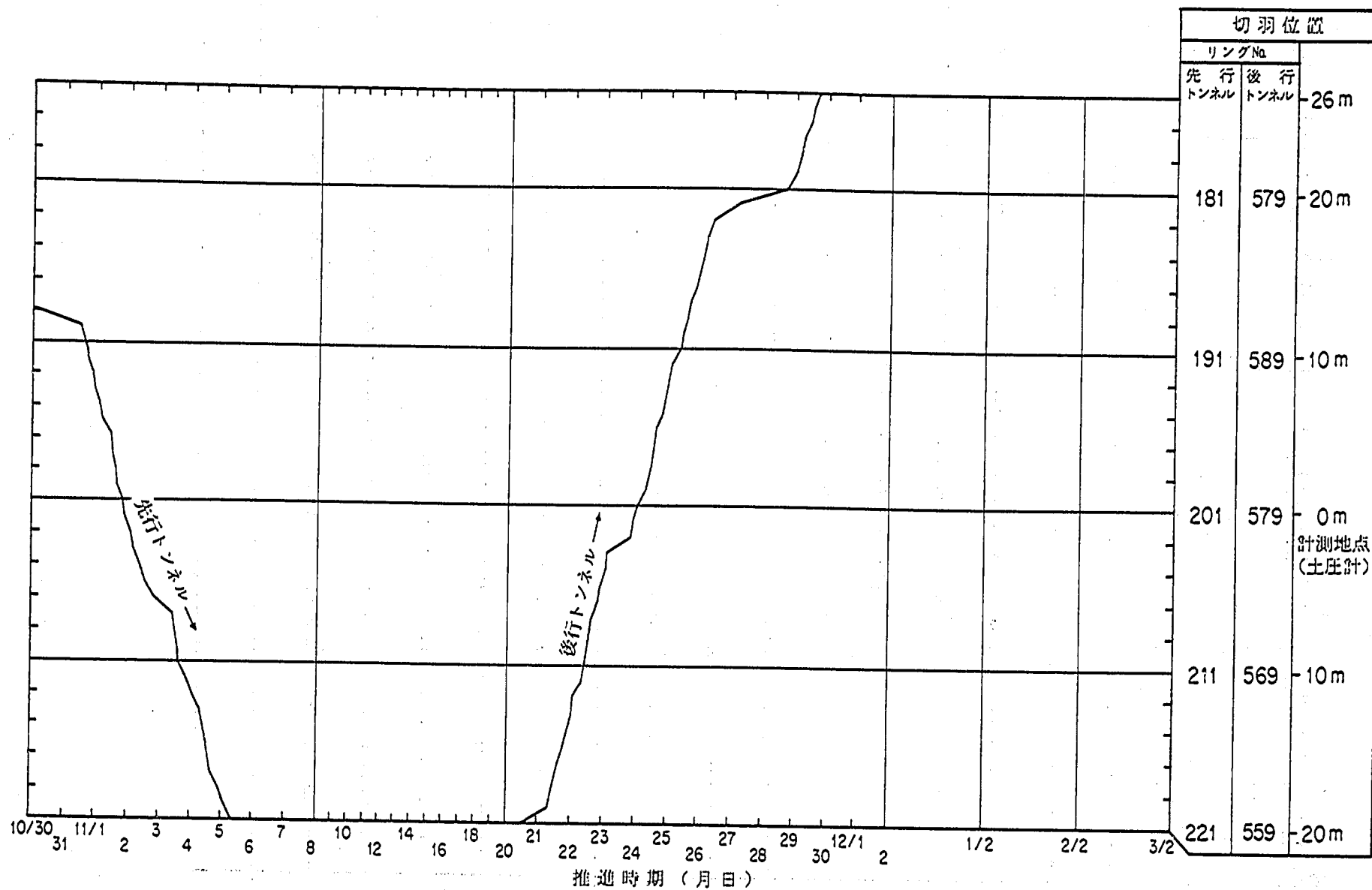


図 - 2.17 シールド推進図

表-2.5 掘進一覧表 先行(B線)トンネル (1)

| Ring No | 掘進月日       | 開始時刻  | 終了時刻  | Ring No | 掘進月日  | 開始時刻  | 終了時刻  |
|---------|------------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|
| 180     | 88. 10. 29 | 3:09  | 4:30  | 210     | 11. 4 | 8:43  | 9:24  |
| 181     | 29         | 10:40 | 12:03 | 211     | 4     | 10:25 | 11:13 |
| 182     | 29         | 14:02 | 14:48 | 212     | 4     | 13:15 | 13:52 |
| 183     | 29         | 20:35 | 21:41 | 213     | 4     | 14:37 | 15:07 |
| 184     | 29         | 23:11 | 1:03  | 214     | 4     | 16:10 | 16:46 |
| 185     | 30         | 2:28  | 3:33  | 215     | 4     | 23:10 | 1:34  |
| 186     | 31         | 10:01 | 11:25 | 216     | 5     | 2:43  | 3:27  |
| 187     | 31         | 13:38 | 14:43 | 217     | 5     | 8:40  | 9:13  |
| 188     | 31         | 15:50 | 16:42 | 218     | 5     | 9:57  | 11:01 |
| 189     | 31         | 20:57 | 20:11 | 219     | 5     | 13:23 | 14:02 |
| 190     | 31         | 22:58 | 23:35 | 220     | 5     | 15:10 | 16:00 |
| 191     | 11. 1      | 1:19  | 1:58  | 221     | 5     | 20:20 | 21:06 |
| 192     | 1          | 3:27  | 4:15  | 222     | 5     | 22:05 | 22:49 |
| 193     | 1          | 10:03 | 10:40 | 223     | 6     | 1:33  | 2:16  |
| 194     | 1          | 11:36 | 12:16 | 224     | 6     | 3:02  | 3:58  |
| 195     | 1          | 14:04 | 14:41 | 225     | 7     | 9:08  | 9:58  |
| 196     | 1          | 15:34 | 16:09 | 226     | 7     | 10:49 | 11:46 |
| 197     | 1          | 20:35 | 21:09 | 227     | 7     | 13:15 | 14:22 |
| 198     | 1          | 21:58 | 23:00 | 228     | 7     | 15:22 | 16:10 |
| 199     | 2          | 2:17  | 2:52  | 229     | 7     | 20:20 | 21:01 |
| 200     | 2          | 3:51  | 4:44  | 230     | 7     | 21:46 | 22:22 |
| 201     | 2          | 9:27  | 10:13 | 231     | 8     | 0:59  | 1:42  |
| 202     | 2          | 13:14 | 13:52 | 232     | 8     | 2:35  | 3:19  |
| 203     | 2          | 20:38 | 21:13 | 233     | 8     | 8:26  | 9:12  |
| 204     | 3          | 10:07 | 10:49 | 234     | 8     | 9:53  | 10:38 |
| 205     | 3          | 12:51 | 13:41 | 235     | 8     | 12:32 | 13:21 |
| 206     | 3          | 14:31 | 15:02 | 236     | 8     | 14:05 | 14:56 |
| 207     | 3          | 15:59 | 16:48 | 237     | 8     | 15:40 | 16:33 |
| 208     | 3          | 22:21 | 22:49 | 238     | 8     | 20:16 | 20:58 |
| 209     | 4          | 2:42  | 3:16  | 239     | 8     | 22:07 | 22:44 |

表 - 2.5 掘進一覧表 先行 (B線) トンネル (2)

| Ring No | 掘進月日      | 開始時刻  | 終了時刻  | Ring No | 掘進月日   | 開始時刻  | 終了時刻  |
|---------|-----------|-------|-------|---------|--------|-------|-------|
| 240     | 88. 11. 9 | 1:33  | 2:16  | 270     | 11. 12 | 22:07 | 22:58 |
| 241     | 9         | 3:51  | 4:30  | 271     | 13     | 1:09  | 1:57  |
| 242     | 9         | 8:55  | 9:42  | 272     | 13     | 3:04  | 3:46  |
| 243     | 9         | 10:26 | 11:21 | 273     | 13     | 8:34  | 9:21  |
| 244     | 9         | 13:22 | 14:17 | 274     | 13     | 10:06 | 10:55 |
| 245     | 9         | 15:15 | 16:04 | 275     | 13     | 12:51 | 13:39 |
| 246     | 9         | 20:16 | 21:50 | 276     | 13     | 20:17 | 21:29 |
| 247     | 9         | 22:31 | 23:11 | 277     | 13     | 22:27 | 23:09 |
| 248     | 10        | 1:20  | 2:00  | 278     | 14     | 1:26  | 2:11  |
| 249     | 10        | 3:16  | 3:43  | 279     | 15     | 9:12  | 10:07 |
| 250     | 10        | 9:24  | 10:58 | 280     | 15     | 10:58 | 11:37 |
| 251     | 10        | 12:45 | 13:32 | 281     | 15     | 13:54 | 14:45 |
| 252     | 10        | 14:34 | 15:23 | 282     | 15     | 16:19 | 17:09 |
| 253     | 10        | 16:04 | 16:51 | 283     | 15     | 21:48 | 22:33 |
| 254     | 10        | 21:06 | 21:45 | 284     | 15     | 23:41 | 0:28  |
| 255     | 10        | 22:47 | 23:24 | 285     | 16     | 3:39  | 4:19  |
| 256     | 11        | 1:28  | 2:06  | 286     | 16     | 8:47  | 9:23  |
| 257     | 11        | 3:02  | 3:37  | 287     | 16     | 10:14 | 10:51 |
| 258     | 11        | 9:26  | 10:18 | 288     | 16     | 13:10 | 13:51 |
| 259     | 11        | 11:24 | 12:08 | 289     | 16     | 14:54 | 15:43 |
| 260     | 11        | 14:48 | 15:40 | 290     | 16     | 16:55 | 17:38 |
| 261     | 11        | 16:42 | 17:33 | 291     | 16     | 21:34 | 22:25 |
| 262     | 11        | 21:11 | 22:03 | 292     | 17     | 2:32  | 3:30  |
| 263     | 11        | 22:40 | 23:38 | 293     | 17     | 8:18  | 9:03  |
| 264     | 12        | 1:29  | 2:18  | 294     | 17     | 11:22 | 12:05 |
| 265     | 12        | 3:38  | 4:26  | 295     | 17     | 14:01 | 14:45 |
| 266     | 12        | 9:40  | 10:35 | 296     | 17     | 15:38 | 16:32 |
| 267     | 12        | 11:25 | 12:24 | 297     | 17     | 20:08 | 20:54 |
| 268     | 12        | 14:06 | 15:02 | 298     | 17     | 21:58 | 22:45 |
| 269     | 12        | 20:12 | 21:03 | 299     | 18     | 0:30  | 1:19  |

表-2.5 掘進一覧表 先行(B線)トンネル (3)

| Ring No | 掘進月日     | 開始時刻  | 終了時刻  | Ring No | 掘進月日  | 開始時刻  | 終了時刻  |
|---------|----------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|
| 300     | 88.11.18 | 2:44  | 3:42  | 330     | 11.22 | 22:27 | 23:15 |
| 301     | 18       | 8:29  | 9:13  | 331     | 23    | 1:10  | 1:50  |
| 302     | 18       | 10:10 | 10:57 | 332     | 23    | 2:41  | 3:27  |
| 303     | 18       | 13:18 | 14:05 | 333     | 23    | 8:32  | 9:26  |
| 304     | 18       | 15:51 | 16:35 | 334     | 23    | 10:08 | 11:03 |
| 305     | 18       | 20:10 | 20:57 | 335     | 23    | 13:11 | 14:01 |
| 306     | 18       | 22:20 | 23:08 | 336     | 23    | 14:50 | 15:33 |
| 307     | 19       | 0:55  | 1:40  | 337     | 23    | 20:20 | 21:07 |
| 308     | 19       | 3:00  | 4:21  | 338     | 23    | 21:59 | 22:41 |
| 309     | 19       | 8:18  | 8:58  | 339     | 24    | 0:17  | 0:58  |
| 310     | 19       | 9:45  | 10:30 | 340     | 24    | 1:44  | 2:24  |
| 311     | 19       | 12:50 | 13:57 | 341     | 24    | 3:18  | 4:11  |
| 312     | 19       | 14:47 | 15:33 | 342     | 24    | 8:14  | 8:56  |
| 313     | 19       | 16:19 | 17:32 | 343     | 24    | 10:01 | 10:42 |
| 314     | 19       | 21:30 | 22:20 | 344     | 24    | 12:57 | 13:37 |
| 315     | 19       | 23:01 | 23:51 | 345     | 24    | 17:03 | 21:06 |
| 316     | 20       | 1:51  | 2:41  | 346     | 24    | 22:04 | 22:43 |
| 317     | 20       | 3:26  | 4:21  | 347     | 24    | 23:24 | 0:07  |
| 318     | 21       | 8:28  | 9:19  | 348     | 25    | 1:58  | 2:42  |
| 319     | 21       | 10:16 | 11:09 | 349     | 25    | 3:44  | 4:20  |
| 320     | 21       | 13:09 | 13:55 | 350     | 25    | 8:20  | 9:01  |
| 321     | 21       | 16:01 | 17:15 | 351     | 25    | 9:54  | 10:42 |
| 322     | 21       | 21:56 | 22:42 | 352     | 25    | 11:21 | 12:03 |
| 323     | 22       | 1:26  | 2:14  | 353     | 25    | 13:55 | 14:51 |
| 324     | 22       | 3:04  | 3:48  | 354     | 25    | 16:09 | 16:59 |
| 325     | 22       | 4:32  | 5:25  | 355     | 25    | 20:30 | 21:14 |
| 326     | 22       | 9:50  | 10:37 | 356     | 25    | 22:02 | 22:38 |
| 327     | 22       | 13:24 | 14:08 | 357     | 26    | 0:24  | 1:10  |
| 328     | 22       | 15:11 | 16:03 | 358     | 26    | 3:30  | 4:05  |
| 329     | 22       | 20:21 | 21:15 | 359     | 26    | 8:22  | 9:03  |

表-2.5 掘進一覧表 先行(B線)トンネル (4)

| Ring No | 掘進月日     | 開始時刻  | 終了時刻  | Ring No | 掘進月日  | 開始時刻  | 終了時刻  |
|---------|----------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|
| 360     | 88.11.26 | 10:03 | 10:43 | 390     | 12. 1 | 15:12 | 15:55 |
| 361     | 26       | 13:22 | 14:03 | 391     | 1     | 20:50 | 21:29 |
| 362     | 26       | 16:10 | 16:56 | 392     | 1     | 22:14 | 22:49 |
| 363     | 26       | 21:14 | 22:01 | 393     | 2     | 1:06  | 1:40  |
| 364     | 26       | 22:46 | 23:41 | 394     | 2     | 3:49  | 4:26  |
| 365     | 27       | 2:35  | 3:25  | 395     | 2     | 13:25 | 14:04 |
| 366     | 28       | 8:29  | 11:01 | 396     | 2     | 14:47 | 15:20 |
| 367     | 28       | -     | -     | 397     | 2     | 16:04 | 16:45 |
| 368     | 28       | 13:45 | 14:28 | 398     | 2     | 21:08 | 21:43 |
| 369     | 28       | 15:53 | 16:36 | 399     | 2     | 22:40 | 23:18 |
| 370     | 28       | 20:16 | 20:57 | 400     | 3     | 1:08  | 1:44  |
| 371     | 28       | 22:09 | 22:53 | 401     | 3     | 2:33  | 3:10  |
| 372     | 29       | 1:05  | 1:57  | 402     | 3     | 3:55  | 4:33  |
| 373     | 29       | 3:03  | 3:41  | 403     | 3     | 9:04  | 9:50  |
| 374     | 29       | 8:26  | 9:10  | 404     | 3     | 10:45 | 11:21 |
| 375     | 29       | 10:59 | 11:39 | 405     | 3     | 13:11 | 13:47 |
| 376     | 29       | 13:55 | 14:33 | 406     | 3     | 14:30 | 15:08 |
| 377     | 29       | 15:46 | 16:28 | 407     | 3     | 15:40 | 16:31 |
| 378     | 29       | 20:10 | 20:57 | 408     | 3     | 20:27 | 21:03 |
| 379     | 29       | 21:44 | 22:35 | 409     | 3     | 21:51 | 22:30 |
| 380     | 29       | 23:12 | 23:54 | 410     | 3     | 23:27 | 0:05  |
| 381     | 30       | 1:54  | 2:44  | 411     | 4     | 1:47  | 2:24  |
| 382     | 30       | 8:25  | 9:03  | 412     | 5     | 8:22  | 8:56  |
| 383     | 30       | 9:59  | 10:43 | 413     | 5     | 10:20 | 11:04 |
| 384     | 30       | 11:23 | 12:02 | 414     | 5     | 11:44 | 12:19 |
| 385     | 12. 1    | 1:05  | 1:52  | 415     | 5     | 13:42 | 14:17 |
| 386     | 1        | 2:37  | 3:28  | 416     | 5     | 17:11 | 17:45 |
| 387     | 1        | 8:16  | 9:01  | 417     | 5     | 20:37 | 21:10 |
| 388     | 1        | 9:55  | 10:42 | 418     | 5     | 21:42 | 22:15 |
| 389     | 1        | 11:26 | 12:09 | 419     | 5     | 22:54 | 23:29 |

表 - 2.5 掘進一覽表 先行 (B線) トンネル (5)

| Ring No | 掘進月日    | 開始時刻  | 終了時刻  | Ring No | 掘進月日 | 開始時刻  | 終了時刻  |
|---------|---------|-------|-------|---------|------|-------|-------|
| 420     | 88.12.6 | 1:15  | 1:49  | 450     | 12.9 | 15:05 | 15:43 |
| 421     | 6       | 2:26  | 3:13  | 451     | 9    | 20:20 | 20:53 |
| 422     | 6       | 4:10  | 4:49  | 452     | 9    | 21:30 | 22:05 |
| 423     | 6       | 8:19  | 8:53  | 453     | 10   | 0:02  | 0:36  |
| 424     | 6       | 10:47 | 11:23 | 454     | 10   | 1:40  | 2:13  |
| 425     | 6       | 13:23 | 13:58 | 455     | 10   | 3:27  | 3:59  |
| 426     | 6       | 14:38 | 15:14 | 456     | 10   | 8:43  | 9:19  |
| 427     | 6       | 15:57 | 16:33 | 457     | 10   | 9:50  | 10:29 |
| 428     | 6       | 20:04 | 20:45 | 458     | 10   | 11:05 | 11:42 |
| 429     | 6       | 21:10 | 21:45 | 459     | 10   | 20:29 | 21:02 |
| 430     | 6       | 23:33 | 0:09  | 460     | 10   | 21:35 | 22:09 |
| 431     | 7       | 0:57  | 1:40  | 461     | 10   | 23:19 | 23:49 |
| 432     | 7       | 2:31  | 3:15  | 462     | 11   | 1:28  | 2:01  |
| 433     | 7       | 3:59  | 4:42  | 463     | 11   | 2:45  | 3:20  |
| 434     | 7       | 8:22  | 8:58  | 464     | 12   | 8:35  | 9:07  |
| 435     | 7       | 9:53  | 10:28 | 465     | 12   | 10:27 | 10:57 |
| 436     | 7       | 11:38 | 12:13 | 466     | 12   | 11:46 | 12:17 |
| 437     | 7       | 14:10 | 14:42 | 467     | 12   | 13:46 | 14:16 |
| 438     | 7       | 16:15 | 16:58 | 468     | 12   | 14:57 | 15:27 |
| 439     | 7       | 20:50 | 21:21 | 469     | 12   | 19:58 | 20:30 |
| 440     | 7       | 21:55 | 22:31 | 470     | 12   | 21:11 | 21:42 |
| 441     | 7       | 23:23 | 23:57 | 471     | 12   | 22:38 | 23:10 |
| 442     | 8       | 1:47  | 2:19  | 472     | 13   | 1:00  | 1:34  |
| 443     | 8       | 20:39 | 21:15 | 473     | 13   | 2:37  | 3:12  |
| 444     | 8       | 22:16 | 22:48 | 474     | 13   | 3:55  | 4:27  |
| 445     | 9       | 0:23  | 0:58  | 475     | 13   | 9:12  | 9:44  |
| 446     | 9       | 1:53  | 2:28  | 476     | 13   | 14:16 | 14:47 |
| 447     | 9       | 3:17  | 3:55  | 477     | 13   | 15:42 | 16:12 |
| 448     | 9       | 8:36  | 9:14  | 478     | 13   | 20:16 | 20:49 |
| 449     | 9       | 13:21 | 13:59 | 479     | 13   | 21:44 | 22:19 |

表 2.5 掘進一覽表 後行 (A線) トンネル (1)

| Ring No | 掘進月日       | 開始時刻  | 終了時刻  | Ring No | 掘進月日   | 開始時刻  | 終了時刻  |
|---------|------------|-------|-------|---------|--------|-------|-------|
| 5 2 1   | 88. 11. 16 | 8:35  | 9:16  | 5 5 1   | 11. 20 | 1:42  | 2:16  |
| 5 2 2   | 16         | 10:42 | 11:19 | 5 5 2   | 20     | 3:37  | 4:11  |
| 5 2 3   | 16         | 13:30 | 14:07 | 5 5 3   | 20     | 9:05  | 9:40  |
| 5 2 4   | 16         | 15:33 | 16:09 | 5 5 4   | 20     | 11:31 | 12:06 |
| 5 2 5   | 16         | 20:26 | 21:05 | 5 5 5   | 20     | 14:18 | 14:52 |
| 5 2 6   | 16         | 22:07 | 22:48 | 5 5 6   | 21     | 8:39  | 9:16  |
| 5 2 7   | 17         | 1:16  | 1:54  | 5 5 7   | 21     | 10:12 | 10:46 |
| 5 2 8   | 17         | 3:35  | 4:12  | 5 5 8   | 21     | 13:15 | 13:50 |
| 5 2 9   | 17         | 8:48  | 9:27  | 5 5 9   | 21     | 14:45 | 15:20 |
| 5 3 0   | 17         | 10:33 | 11:07 | 5 6 0   | 21     | 20:13 | 20:48 |
| 5 3 1   | 17         | 13:10 | 13:46 | 5 6 1   | 21     | 22:12 | 22:48 |
| 5 3 2   | 17         | 14:52 | 15:29 | 5 6 2   | 22     | 1:01  | 1:36  |
| 5 3 3   | 17         | 21:39 | 22:17 | 5 6 3   | 22     | 2:34  | 3:10  |
| 5 3 4   | 18         | 0:16  | 0:52  | 5 6 4   | 22     | 8:32  | 9:09  |
| 5 3 5   | 18         | 1:47  | 2:23  | 5 6 5   | 22     | 10:06 | 10:43 |
| 5 3 6   | 18         | 3:13  | 3:54  | 5 6 6   | 22     | 11:37 | 12:14 |
| 5 3 7   | 18         | 8:40  | 9:15  | 5 6 7   | 22     | 14:09 | 14:45 |
| 5 3 8   | 18         | 10:12 | 10:46 | 5 6 8   | 22     | 15:58 | 16:35 |
| 5 3 9   | 18         | 13:16 | 13:51 | 5 6 9   | 22     | 20:59 | 21:33 |
| 5 4 0   | 18         | 14:55 | 15:30 | 5 7 0   | 22     | 22:30 | 23:05 |
| 5 4 1   | 18         | 20:12 | 20:49 | 5 7 1   | 23     | 1:01  | 1:37  |
| 5 4 2   | 18         | 21:48 | 22:27 | 5 7 2   | 23     | 2:58  | 3:39  |
| 5 4 3   | 18         | 23:25 | 23:59 | 5 7 3   | 23     | 20:24 | 20:58 |
| 5 4 4   | 19         | 1:38  | 2:18  | 5 7 4   | 23     | 22:02 | 22:37 |
| 5 4 5   | 19         | 8:24  | 9:00  | 5 7 5   | 24     | 1:29  | 2:12  |
| 5 4 6   | 19         | 10:00 | 11:25 | 5 7 6   | 24     | 8:35  | 9:11  |
| 5 4 7   | 19         | 13:14 | 13:48 | 5 7 7   | 24     | 10:15 | 10:51 |
| 5 4 8   | 19         | 15:24 | 15:58 | 5 7 8   | 24     | 12:04 | 12:39 |
| 5 4 9   | 19         | 20:05 | 20:41 | 5 7 9   | 24     | 13:50 | 14:26 |
| 5 5 0   | 19         | 21:56 | 22:31 | 5 8 0   | 24     | 15:29 | 16:04 |

表-2.5 掘進一覧表 後行(A線)トンネル (2)

| Ring No | 掘進月日       | 開始時刻  | 終了時刻  | Ring No | 掘進月日   | 開始時刻  | 終了時刻  |
|---------|------------|-------|-------|---------|--------|-------|-------|
| 581     | 88. 11. 24 | 20:09 | 20:44 | 611     | 11. 30 | 23:01 | 23:37 |
| 582     | 24         | 22:39 | 23:19 | 612     | 12. 1  | 0:54  | 1:40  |
| 583     | 25         | 0:44  | 1:28  | 613     | 1      | 2:31  | 3:06  |
| 584     | 25         | 2:41  | 3:44  | 614     | 1      | 3:59  | 4:35  |
| 585     | 25         | 8:43  | 9:49  | 615     | 1      | 9:03  | 9:40  |
| 586     | 25         | 10:49 | 12:12 | 616     | 1      | 10:39 | 11:18 |
| 587     | 25         | 13:45 | 14:26 | 617     | 1      | 14:10 | 14:47 |
| 588     | 25         | 15:52 | 16:34 | 618     | 1      | 15:42 | 16:22 |
| 589     | 25         | 20:44 | 21:37 | 619     | 1      | 20:28 | 21:05 |
| 590     | 25         | 22:47 | 23:58 | 620     | 1      | 21:57 | 22:34 |
| 591     | 26         | 2:03  | 2:54  | 621     | 1      | 23:32 | 0:09  |
| 592     | 26         | 4:00  | 5:06  | 622     | 2      | 3:49  | 4:25  |
| 593     | 26         | 9:24  | 16:20 | 623     | 2      | 9:12  | 9:50  |
| 594     | 27         | 2:36  | 15:02 | 624     | 2      | 10:59 | 11:36 |
| 595     | 28         | 16:15 | 17:04 | 625     | 2      | 13:33 | 14:10 |
| 596     | 28         | 22:00 | 23:19 | 626     | 2      | 17:16 | 17:52 |
| 597     | 29         | 1:02  | 1:52  | 627     | 2      | 21:58 | 22:36 |
| 598     | 29         | 3:11  | 3:57  | 628     | 3      | 0:48  | 1:40  |
| 599     | 29         | 8:50  | 9:38  | 629     | 3      | 3:45  | 4:23  |
| 600     | 29         | 10:56 | 13:26 | 630     | 3      | 9:24  | 10:02 |
| 601     | 29         | 15:01 | 15:51 | 631     | 3      | 11:38 | 12:15 |
| 602     | 29         | 20:33 | 21:23 | 632     | 3      | 14:32 | 15:09 |
| 603     | 29         | 22:16 | 23:00 | 633     | 3      | 16:41 | 17:18 |
| 604     | 30         | 0:57  | 1:39  | 634     | 3      | 21:44 | 22:23 |
| 605     | 30         | 3:30  | 4:13  | 635     | 3      | 23:24 | 0:01  |
| 606     | 30         | 8:54  | 9:43  | 636     | 4      | 2:30  | 3:08  |
| 607     | 30         | 10:51 | 11:29 | 637     | 4      | 5:11  | 5:48  |
| 608     | 30         | 13:52 | 14:43 | 638     | 5      | 9:35  | 10:20 |
| 609     | 30         | 16:02 | 17:14 | 639     | 5      | 11:40 | 12:18 |
| 610     | 30         | 21:19 | 21:56 | 640     | 5      | 13:35 | 14:12 |

表 - 2.5 掘進一覧表 後行 (A線) トンネル (3)

| Ring No | 掘進月日    | 開始時刻  | 終了時刻  | Ring No | 掘進月日 | 開始時刻  | 終了時刻  |
|---------|---------|-------|-------|---------|------|-------|-------|
| 641     | 88.12.5 | 15:13 | 15:50 | 671     | 12.9 | 20:20 | 21:05 |
| 642     | 5       | 20:13 | 20:51 | 672     | 9    | 21:59 | 23:26 |
| 643     | 5       | 21:46 | 22:21 | 673     | 10   | 1:27  | 3:35  |
| 644     | 6       | 0:42  | 1:18  | 674     | 10   | 4:34  | 5:15  |
| 645     | 6       | 2:40  | 3:18  | 675     | 10   | 9:56  | 10:33 |
| 646     | 6       | 8:37  | 9:14  | 676     | 10   | 12:54 | 13:30 |
| 647     | 6       | 10:14 | 11:39 | 677     | 10   | 14:55 | 15:54 |
| 648     | 6       | 20:38 | 21:13 | 678     | 10   | 20:58 | 21:36 |
| 649     | 6       | 22:07 | 22:41 | 679     | 10   | 22:25 | 23:02 |
| 650     | 7       | 0:57  | 1:31  | 680     | 11   | 1:01  | 1:38  |
| 651     | 7       | 2:27  | 3:02  | 681     | 11   | 2:43  | 3:40  |
| 652     | 7       | 4:07  | 4:44  | 682     | 11   | 9:36  | 10:11 |
| 653     | 7       | 9:29  | 10:06 | 683     | 12   | 11:46 | 12:45 |
| 654     | 7       | 11:01 | 11:37 | 684     | 12   | 15:08 | 16:02 |
| 655     | 7       | 13:33 | 14:12 | 685     | 12   | 20:40 | 22:55 |
| 656     | 7       | 15:06 | 15:42 | 686     | 13   | 1:20  | 2:08  |
| 657     | 7       | 20:20 | 20:56 | 687     | 13   | 3:16  | 4:05  |
| 658     | 7       | 21:50 | 22:24 | 688     | 13   | 8:49  | 9:50  |
| 659     | 7       | 23:18 | 23:52 | 689     | 13   | 11:04 | 12:01 |
| 660     | 8       | 1:42  | 2:16  | 690     | 13   | 13:23 | 14:14 |
| 661     | 8       | 3:40  | 4:14  | 691     | 13   | 15:47 | 16:31 |
| 662     | 8       | 8:25  | 8:59  | 692     | 13   | 21:17 | 21:54 |
| 663     | 8       | 10:08 | 10:43 | 693     | 13   | 22:53 | 23:27 |
| 664     | 8       | 12:15 | 12:55 | 694     | 14   | 2:48  | 3:24  |
| 665     | 8       | 14:02 | 14:43 | 695     | 14   | 4:27  | 5:02  |
| 666     | 8       | 16:04 | 16:44 | 696     | 14   | 9:31  | 10:07 |
| 667     | 8       | 20:25 | 21:23 | 697     | 14   | 11:10 | 11:41 |
| 668     | 8       | 22:09 | 22:46 | 698     | 14   | 13:48 | 14:26 |
| 669     | 9       | 0:54  | 1:35  | 699     | 14   | 15:22 | 15:57 |
| 670     | 9       | 2:50  | 3:32  | 700     | 14   | 20:31 | 21:07 |

## 第3章 施 工 管 理

計測されたデータから挙動を解析する場合、施工の状況を把握しておく必要がある。ここでは、計測データに直接関連が深いと考えられるシールドトンネルの切羽圧力、掘進時の総推力、裏込め注入に関する材料、圧力について、A線、B線の各トンネルについて調査した。調査した施工管理の区間は、単線トンネル時の挙動解析のための計測地点を含めたリングの近傍（先行（B線）トンネル；180リング～281リング）および併設時の影響の解析として後行トンネルが先行の計測リング付近（後行（A線）トンネル；562リング～621リング）とした。

### 3.1 切羽圧力

切羽圧力（切羽水圧）の施工管理データを、表-3.1、図-3.1に示す。図表に示すデータは、シールド機前面の天端から下側2mの位置に取り付けた水圧計により計測された値である。図-3.1の各トンネルのリングNO.は、それぞれの位置で隣接するリングのNO.を示す。

先行（B線）トンネル施工時の切羽圧力は、180リング付近の約 $1\text{ kgf/cm}^2$ の切羽圧力から徐々に上昇して、計測リング付近で約 $1.2\text{ kgf/cm}^2$ 、215リング付近から以降は、多少の大小はあるものの約 $1.4\sim 1.5\text{ kgf/cm}^2$ とほぼ一定であった。

後行（A線）トンネル施工時の切羽圧力は、562リング付近より590リングまでの計測リング付近では約 $1.5\text{ kgf/cm}^2$ とほぼ一定であることがわかる。しかし、590リングより以降の切羽圧力は、先行（B線）トンネルの切羽圧力に比べて変動量が多い。

### 3.2 総 推 力

総推力に関する施工管理データを表-3.1、図-3.1に示す。総推力データは、掘削リングの平均値を示す。

先行（B線）トンネル、後行（A線）トンネル共に各リングかなり変動していることがわかる。先行（B線）トンネルは、180リングから225リングまで大きく変動して、それ以降は、変動量が小さくなり約1500ton付近で一定であった。後行（A線）トンネルは、562リング付近より計測リング付近までは、約1100ton程度ではほぼ一定しているが、それ以降は、最高約1900～最低1100tonまでの範囲で大きく変動している。

なお、本施工管理データから、総推力と泥水圧の関連を見いだすことはできない。

### 3.3 裏込め注入材料・圧力

#### (1) 裏込め注入材料

##### ① 先行（B線）トンネル

先行（B線）トンネルの裏込め注入材料は、A液、B液をグラウトホールの直前で混合する2液性を使用した。

表-3.1 シールド掘進総推力 先行 (B線) (1)

| リングNo | 掘進月日  | 掘進開始～終了時刻   | 切羽圧力 | ジャッキ圧力 | 本 数 | 総 推 力   |
|-------|-------|-------------|------|--------|-----|---------|
| 180   | 10/29 | 3:09～ 4:30  | 0.87 | 100.3  | 2 2 | 1 2 6 1 |
| 181   | 10/29 | 10:40～12:03 | 0.71 | 111.3  | 2 2 | 1 3 9 9 |
| 182   | 10/29 | 14:02～14:48 | 1.03 | 135.2  | 2 1 | 1 6 2 2 |
| 183   | 10/29 | 20:35～21:41 | 0.83 | 132.4  | 2 1 | 1 5 8 9 |
| 184   | 10/29 | 23:11～ 1:03 | 0.85 | 137.8  | 2 0 | 1 5 7 5 |
| 185   | 10/30 | 2:28～ 3:33  | 0.88 | 140.0  | 2 1 | 1 6 8 0 |
| 186   | 10/31 | 10:01～11:25 | 1.17 | 131.3  | 2 2 | 1 6 5 1 |
| 187   | 10/31 | 13:38～14:43 | 0.99 | 128.1  | 2 3 | 1 6 8 4 |
| 188   | 10/31 | 15:50～16:42 | 1.21 | 136.6  | 2 3 | 1 7 9 5 |
| 189   | 10/31 | 20:57～22:11 | 1.02 | 162.2  | 1 9 | 1 7 6 1 |
| 190   | 10/31 | 22:58～23:35 | 1.06 | 122.7  | 2 3 | 1 6 1 3 |
| 191   | 11/ 1 | 1:19～ 1:58  | 1.04 | 106.1  | 2 4 | 1 4 5 5 |
| 192   | 11/ 1 | 3:27～ 4:15  | 1.04 | 108.6  | 2 1 | 1 3 0 3 |
| 193   | 11/ 1 | 10:03～10:40 | 1.04 | 125.0  | 2 2 | 1 5 7 1 |
| 194   | 11/ 1 | 11:36～12:16 | 1.03 | 105.7  | 2 1 | 1 2 6 8 |
| 195   | 11/ 1 | 14:04～14:41 | 1.16 | 108.0  | 2 3 | 1 4 1 9 |
| 196   | 11/ 1 | 15:34～16:09 | 1.30 | 117.7  | 2 0 | 1 3 4 5 |
| 197   | 11/ 1 | 20:35～21:09 | 1.32 | 124.8  | 2 0 | 1 4 2 6 |
| 198   | 11/ 1 | 21:58～23:00 | 1.32 | 121.7  | 2 0 | 1 3 9 1 |
| 199   | 11/ 2 | 2:17～ 2:52  | 1.33 | 119.0  | 2 0 | 1 3 6 0 |
| 200   | 11/ 2 | 3:51～ 4:44  | 1.32 | 121.1  | 2 1 | 1 4 5 3 |
| 201   | 11/ 2 | 09:27～10:13 | 1.23 | 112.8  | 2 3 | 1 4 8 3 |
| 202   | 11/ 2 | 13:14～13:52 | 1.19 | 113.9  | 2 1 | 1 3 6 7 |
| 203   | 11/ 2 | 20:38～21:13 | 1.19 | 112.5  | 1 8 | 1 1 5 7 |
| 204   | 11/ 3 | 10:07～10:49 | 1.19 | 108.5  | 2 2 | 1 3 6 4 |
| 205   | 11/ 3 | 12:51～13:41 | 1.28 | 122.5  | 2 0 | 1 4 0 0 |
| 206   | 11/ 3 | 14:31～15:02 | 1.34 | 125.1  | 2 1 | 1 5 0 1 |
| 207   | 11/ 3 | 15:59～16:48 | 1.38 | 124.7  | 2 1 | 1 4 9 6 |
| 208   | 11/ 3 | 22:21～22:49 | 1.47 | 129.0  | 2 1 | 1 5 4 8 |
| 209   | 11/ 4 | 2:42～ 3:16  | 1.47 | 128.0  | 2 2 | 1 6 0 9 |
| 210   | 11/ 4 | 8:43～ 9:24  | 1.53 | 118.9  | 2 0 | 1 3 5 9 |
| 211   | 11/ 4 | 10:25～11:13 | 1.35 | 122.9  | 2 2 | 1 5 4 5 |
| 212   | 11/ 4 | 13:15～13:52 | 1.33 | 129.6  | 2 0 | 1 4 8 1 |
| 213   | 11/ 4 | 14:37～15:07 | 1.22 | 117.3  | 1 9 | 1 2 7 4 |

ただし、単位は、切羽圧力、ジャッキ圧力は kgf/cm<sup>2</sup>、総推力は ton である。

表-3.1 シールド掘進総推力 先行 (B線) (2)

| リングNo | 掘進月日  | 掘進開始～終了時刻   | 切羽圧力 | ジャッキ圧力 | 本 数 | 総 推 力 |
|-------|-------|-------------|------|--------|-----|-------|
| 214   | 11/ 4 | 16:10～16:46 | 1.31 | 129.0  | 20  | 1474  |
| 215   | 11/ 4 | 23:10～ 1:34 | 1.46 | 117.6  | 21  | 1411  |
| 216   | 11/ 5 | 2:43～ 3:27  | 1.48 | 128.8  | 19  | 1398  |
| 217   | 11/ 5 | 8:40～ 9:13  | 1.49 | 139.9  | 20  | 1599  |
| 218   | 11/ 5 | 9:57～11:01  | 1.49 | 123.3  | 20  | 1409  |
| 219   | 11/ 5 | 13:23～14:02 | 1.49 | 141.2  | 19  | 1533  |
| 220   | 11/ 5 | 15:10～16:00 | 1.28 | 117.7  | 19  | 1278  |
| 221   | 11/ 5 | 20:20～21:06 | 1.43 | 129.7  | 19  | 1508  |
| 222   | 11/ 5 | 22:05～22:49 | 1.51 | 126.8  | 19  | 1377  |
| 223   | 11/ 6 | 1:33～ 2:16  | 1.55 | 135.3  | 20  | 1546  |
| 224   | 11/ 6 | 3:02～ 3:58  | 1.53 | 128.8  | 18  | 1325  |
| 225   | 11/ 7 | 9:08～ 9:58  | 1.52 | 140.5  | 20  | 1606  |
| 226   | 11/ 7 | 10:49～11:46 | 1.53 | 145.6  | 19  | 1581  |
| 227   | 11/ 7 | 13:35～14:22 | 1.54 | 141.4  | 20  | 1616  |
| 228   | 11/ 7 | 15:22～16:10 | 1.54 | 132.0  | 20  | 1509  |
| 229   | 11/ 7 | 20:20～21:01 | 1.54 | 153.8  | 18  | 1582  |
| 230   | 11/ 7 | 21:46～22:22 | 1.56 | 138.3  | 21  | 1660  |
| 231   | 11/ 8 | 0:59～ 1:42  | 1.54 | 156.8  | 18  | 1613  |
| 232   | 11/ 8 | 2:35～ 3:19  | 1.54 | 148.3  | 18  | 1525  |
| 233   | 11/ 8 | 8:26～ 9:12  | 1.53 | 147.4  | 19  | 1600  |
| 234   | 11/ 8 | 9:53～10:38  | 1.54 | 132.0  | 21  | 1584  |
| 235   | 11/ 8 | 12:32～13:21 | 1.45 | 149.1  | 19  | 1619  |
| 236   | 11/ 8 | 14:05～14:56 | 1.44 | 138.0  | 19  | 1498  |
| 237   | 11/ 8 | 15:40～16:33 | 1.42 | 133.0  | 20  | 1520  |
| 238   | 11/ 8 | 20:16～20:58 | 1.44 | 139.0  | 20  | 1589  |
| 239   | 11/ 8 | 22:07～22:44 | 1.46 | 142.7  | 19  | 1549  |
| 240   | 11/ 9 | 1:33～ 2:16  | 1.45 | 143.3  | 20  | 1638  |
| 241   | 11/ 9 | 3:51～ 4:30  | 1.45 | 140.1  | 21  | 1681  |
| 242   | 11/ 9 | 8:55～ 9:42  | 1.44 | 138.0  | 20  | 1577  |
| 243   | 11/ 9 | 10:26～11:21 | 1.42 | 126.6  | 19  | 1375  |
| 244   | 11/ 9 | 13:22～14:17 | 1.43 | 141.3  | 19  | 1534  |
| 245   | 11/ 9 | 15:15～16:04 | 1.43 | 137.2  | 19  | 1490  |
| 246   | 11/ 9 | 20:16～21:50 | 1.44 | 135.9  | 19  | 1475  |
| 247   | 11/ 9 | 22:31～23:11 | 1.45 | 146.2  | 19  | 1587  |

ただし、単位は、切羽圧力、ジャッキ圧力は kgf/cm<sup>2</sup>、総推力は ton である。

表-3.1 シールド掘進総推力 先行(B線) (3)

| リングNo | 掘進月日  | 掘進開始～終了時刻   | 切羽圧力 | ジャッキ圧力 | 本 数 | 総 推 力 |
|-------|-------|-------------|------|--------|-----|-------|
| 248   | 11/10 | 1:20～2:00   | 1.44 | 138.0  | 19  | 1498  |
| 249   | 11/10 | 3:16～3:43   | 1.42 | 148.2  | 18  | 1524  |
| 250   | 11/10 | 9:24～10:58  | 1.46 | 140.8  | 19  | 1529  |
| 251   | 11/10 | 12:45～13:32 | 1.44 | 132.0  | 21  | 1584  |
| 252   | 11/10 | 14:34～15:23 | 1.43 | 135.4  | 20  | 1547  |
| 253   | 11/10 | 16:04～16:51 | 1.43 | 137.3  | 19  | 1491  |
| 254   | 11/10 | 21:06～21:45 | 1.44 | 146.4  | 18  | 1506  |
| 255   | 11/10 | 22:47～23:24 | 1.45 | 143.5  | 19  | 1558  |
| 256   | 11/11 | 1:28～2:06   | 1.45 | 142.8  | 19  | 1550  |
| 257   | 11/11 | 3:02～3:37   | 1.41 | 138.0  | 19  | 1498  |
| 258   | 11/11 | 9:26～10:18  | 1.41 | 134.9  | 19  | 1465  |
| 259   | 11/11 | 11:24～12:08 | 1.45 | 145.3  | 18  | 1495  |
| 260   | 11/11 | 14:48～15:40 | 1.43 | 136.8  | 19  | 1485  |
| 261   | 11/11 | 16:42～17:33 | 1.40 | 139.4  | 18  | 1434  |
| 262   | 11/11 | 21:11～22:03 | 1.42 | 138.8  | 19  | 1507  |
| 263   | 11/11 | 22:40～23:38 | 1.43 | 131.4  | 19  | 1427  |
| 264   | 11/12 | 1:29～2:18   | 1.40 | 134.1  | 19  | 1456  |
| 265   | 11/12 | 3:38～4:26   | 1.40 | 133.2  | 20  | 1522  |
| 266   | 11/12 | 9:40～10:35  | 1.41 | 145.8  | 18  | 1500  |
| 267   | 11/12 | 11:25～12:24 | 1.41 | 141.9  | 18  | 1460  |
| 268   | 11/12 | 14:06～15:02 | 1.43 | 133.6  | 20  | 1527  |
| 269   | 11/12 | 20:12～21:03 | 1.42 | 130.4  | 20  | 1490  |
| 270   | 11/12 | 22:07～22:58 | 1.41 | 137.1  | 19  | 1489  |
| 271   | 11/13 | 1:09～1:57   | 1.41 | 139.2  | 19  | 1511  |
| 272   | 11/13 | 3:04～3:46   | 1.41 | 150.5  | 18  | 1548  |
| 273   | 11/13 | 8:34～9:21   | 1.41 | 143.3  | 19  | 1556  |
| 274   | 11/13 | 10:06～10:55 | 1.42 | 144.1  | 19  | 1565  |
| 275   | 11/13 | 12:51～13:39 | 1.42 | 146.1  | 19  | 1586  |
| 276   | 11/13 | 20:17～21:29 | 1.43 | 143.2  | 20  | 1637  |
| 277   | 11/13 | 22:27～23:09 | 1.42 | 141.3  | 19  | 1534  |
| 278   | 11/14 | 1:26～2:11   | 1.41 | 138.8  | 20  | 1586  |
| 279   | 11/15 | 9:12～10:07  | 1.54 | 148.0  | 20  | 1691  |
| 280   | 11/15 | 10:58～11:37 | 1.65 | 145.8  | 19  | 1583  |
| 281   | 11/15 | 13:54～14:45 | 1.66 | 138.1  | 20  | 1578  |

ただし、単位は、切羽圧力、ジャッキ圧力はkgf/cm<sup>2</sup>、総推力はtonである。

表-3.1 シールド掘進総推力 後行(A線) (4)

| リングNo | 掘進月日  | 掘進開始～終了時刻   | 切羽圧力 | ジャッキ圧力 | 本 数 | 総 推 力 |
|-------|-------|-------------|------|--------|-----|-------|
| 562   | 11/22 | 1:01～ 1:36  | 1.53 | 105.7  | 18  | 1087  |
| 563   | 11/22 | 2:34～ 3:10  | 1.54 | 101.2  | 17  | 983   |
| 564   | 11/22 | 8:32～ 9:09  | 1.56 | 111.6  | 18  | 1148  |
| 565   | 11/22 | 10:06～10:43 | 1.55 | 109.6  | 16  | 1002  |
| 566   | 11/22 | 11:37～12:14 | 1.55 | 110.4  | 17  | 1072  |
| 567   | 11/22 | 14:09～14:45 | 1.56 | 106.9  | 18  | 1100  |
| 568   | 11/22 | 15:58～16:35 | 1.55 | 101.3  | 18  | 1042  |
| 569   | 11/22 | 20:59～21:33 | 1.55 | 105.0  | 19  | 1140  |
| 570   | 11/22 | 22:30～23:05 | 1.56 | 101.6  | 19  | 1103  |
| 571   | 11/23 | 1:01～ 1:37  | 1.56 | 101.5  | 18  | 1044  |
| 572   | 11/23 | 2:58～ 3:39  | 1.55 | 102.1  | 17  | 992   |
| 573   | 11/23 | 20:24～20:58 | 1.46 | 109.1  | 18  | 1122  |
| 574   | 11/23 | 22:02～22:37 | 1.46 | 97.0   | 20  | 1109  |
| 575   | 11/24 | 1:29～ 2:12  | 1.46 | 96.9   | 20  | 1107  |
| 576   | 11/24 | 8:35～ 9:11  | 1.46 | 101.4  | 19  | 1101  |
| 577   | 11/24 | 10:15～10:51 | 1.46 | 97.8   | 18  | 1006  |
| 578   | 11/24 | 12:04～12:39 | 1.46 | 104.7  | 18  | 1077  |
| 579   | 11/24 | 13:50～14:26 | 1.45 | 100.2  | 18  | 1031  |
| 580   | 11/24 | 15:29～16:04 | 1.46 | 110.2  | 16  | 1008  |
| 581   | 11/24 | 20:09～20:44 | 1.46 | 108.3  | 17  | 1052  |
| 582   | 11/24 | 22:39～23:19 | 1.47 | 110.5  | 18  | 1137  |
| 583   | 11/25 | 0:44～ 1:28  | 1.37 | 130.2  | 19  | 1414  |
| 584   | 11/25 | 2:41～ 3:44  | 1.28 | 128.0  | 20  | 1463  |
| 585   | 11/25 | 8:43～ 9:49  | 1.42 | 133.4  | 22  | 1677  |
| 586   | 11/25 | 10:49～12:12 | 1.42 | 138.9  | 23  | 1826  |
| 587   | 11/25 | 13:45～14:26 | 1.42 | 131.2  | 20  | 1499  |
| 588   | 11/25 | 15:52～16:34 | 1.42 | 131.2  | 20  | 1499  |
| 589   | 11/25 | 20:44～21:37 | 1.32 | 169.2  | 18  | 1740  |
| 590   | 11/25 | 22:47～23:58 | 1.32 | 172.7  | 19  | 1875  |
| 591   | 11/26 | 2:03～ 2:54  | 1.31 | 150.2  | 19  | 1631  |
| 592   | 11/26 | 4:00～ 5:06  | 1.30 | 130.0  | 19  | 1411  |

ただし、単位は、切羽圧力、ジャッキ圧力はkgf/cm<sup>2</sup>、総推力はtonである。

表-3.1 シールド掘進総推力 後行(A線) (5)

| リングNo | 掘進月日  | 掘進開始～終了時刻   | 切羽圧力 | ジャッキ圧力 | 本 数 | 総 推 力 |
|-------|-------|-------------|------|--------|-----|-------|
| 593   | 11/26 | 9:24～16:21  | 1.07 | 101.1  | 19  | 1098  |
| 594   | 11/28 | 2:36～15:02  | 0.56 | 126.7  | 19  | 1376  |
| 595   | 11/28 | 16:15～17:04 | 0.67 | 138.9  | 19  | 1508  |
| 596   | 11/28 | 22:00～23:19 | 0.76 | 129.2  | 20  | 1477  |
| 597   | 11/29 | 1:02～1:52   | 1.22 | 144.0  | 20  | 1646  |
| 598   | 11/29 | 3:11～3:57   | 1.22 | 144.0  | 20  | 1646  |
| 599   | 11/29 | 8:50～9:38   | 1.02 | 146.9  | 19  | 1595  |
| 600   | 11/29 | 10:56～13:26 | 1.04 | 140.1  | 20  | 1601  |
| 601   | 11/29 | 15:01～15:51 | 1.01 | 137.6  | 20  | 1573  |
| 602   | 11/29 | 20:33～21:23 | 1.19 | 152.2  | 21  | 1826  |
| 603   | 11/29 | 22:16～23:00 | 1.32 | 148.5  | 18  | 1527  |
| 604   | 11/30 | 0:57～1:39   | 1.55 | 135.1  | 21  | 1621  |
| 605   | 11/30 | 3:30～4:13   | 1.60 | 157.9  | 19  | 1714  |
| 606   | 11/30 | 8:54～9:43   | 0.97 | 101.5  | 18  | 1044  |
| 607   | 11/30 | 10:51～11:29 | 1.15 | 122.2  | 18  | 1257  |
| 608   | 11/30 | 13:52～14:43 | 1.02 | 136.8  | 20  | 1563  |
| 609   | 11/30 | 16:02～17:14 | 1.10 | 143.5  | 19  | 1558  |
| 610   | 11/30 | 21:19～21:56 | 1.07 | 133.0  | 20  | 1520  |
| 611   | 11/30 | 23:01～23:37 | 1.16 | 137.5  | 20  | 1571  |
| 612   | 12/1  | 0:54～1:40   | 1.19 | 146.4  | 19  | 1589  |
| 613   | 12/1  | 2:31～3:06   | 1.21 | 136.0  | 20  | 1554  |
| 614   | 12/1  | 3:59～4:35   | 1.19 | 121.9  | 20  | 1393  |
| 615   | 12/1  | 9:03～9:40   | 1.21 | 127.0  | 20  | 1451  |
| 616   | 12/1  | 10:39～11:18 | 1.31 | 134.0  | 19  | 1455  |
| 617   | 12/1  | 14:10～14:47 | 1.33 | 129.5  | 19  | 1406  |
| 618   | 12/1  | 15:42～16:22 | 1.30 | 124.6  | 19  | 1353  |
| 619   | 12/1  | 20:28～21:05 | 1.44 | 133.8  | 20  | 1529  |
| 620   | 12/1  | 21:57～22:34 | 1.50 | 122.6  | 20  | 1401  |
| 621   | 12/1  | 23:32～0:09  | 1.42 | 125.5  | 18  | 1291  |

ただし、単位は、切羽圧力、ジャッキ圧力は kgf/cm<sup>2</sup>、総推力は ton である。

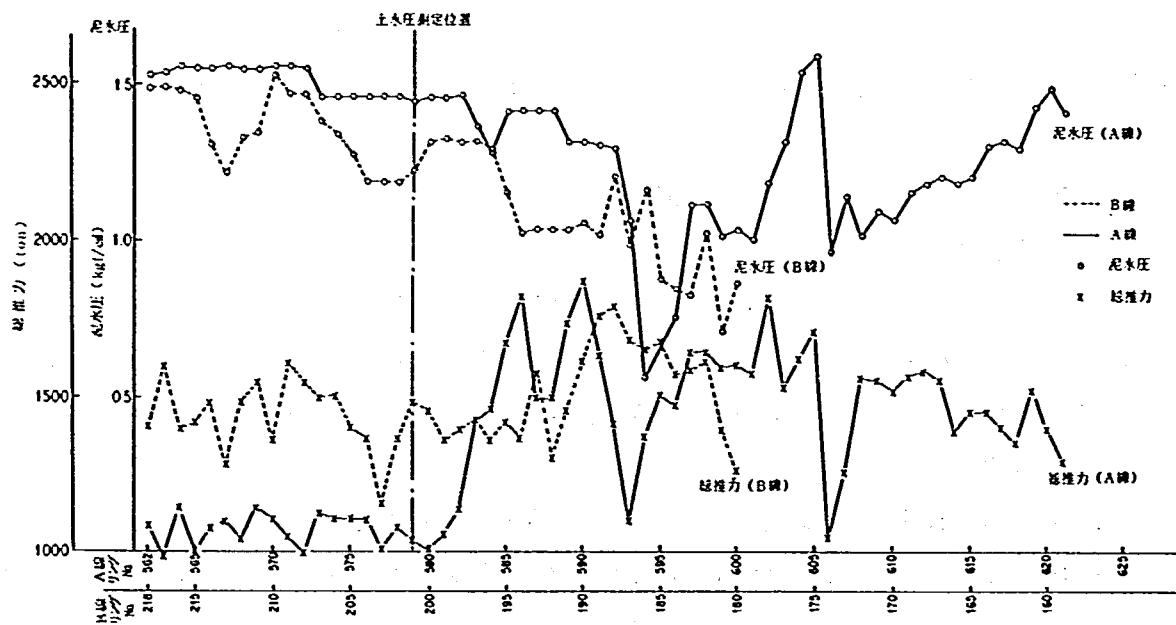


図-3.1 掘進時の泥水圧と総推力(1)

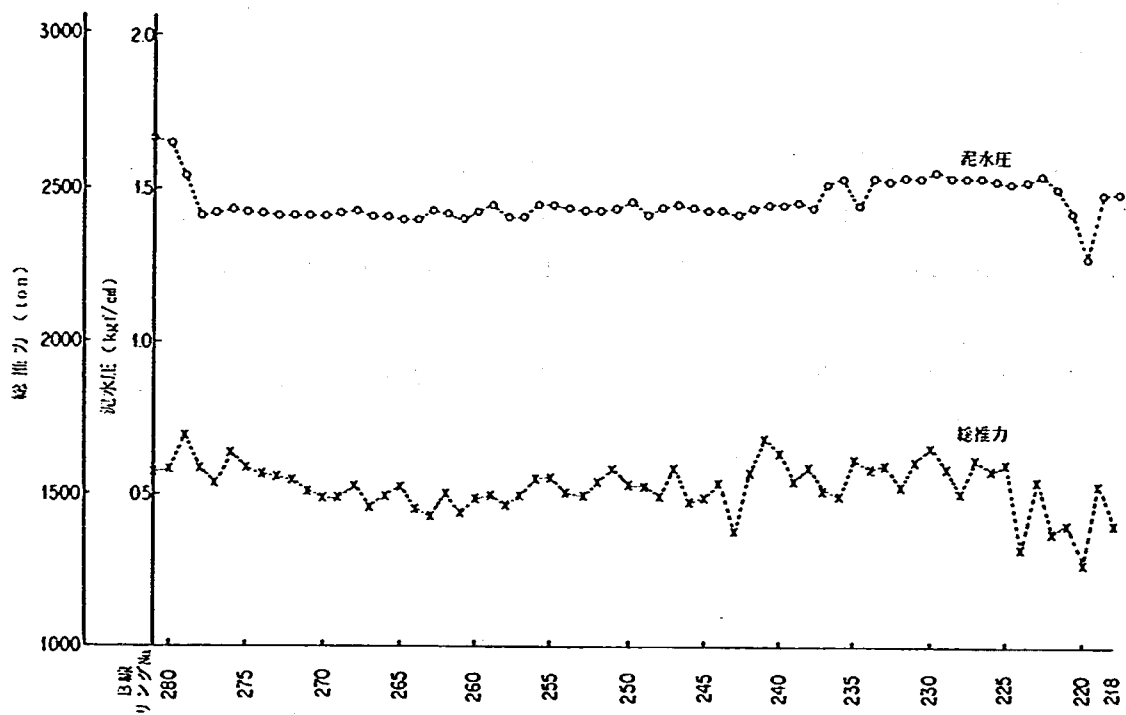


図-3.1 掘進時の泥水圧と総推力(2)

配合表は、表－3.2に示すとおりであり、ゲルタイムは約5秒、一軸圧縮強度は、図－3.2に示すとおりである。

#### ② 後行（A線）トンネル

後行（A線）トンネルの裏込め注入材料は、A液、B液をグラウトホールの直前で混合する2液性を使用した。

A液は、固化材、粘土S、安定材、水の混合物でブリージングの少ない液体であり、B液は、急硬剤でA液との混合性に優れている。

配合表は表－3.3に示すとおりであり、各材料の特性も示す。なお、ゲルタイムは、9秒、一軸圧縮強度は、図－3.2に示すとおりであり、実際のトンネル施工において、裏込め注入を行ってから次の掘削までの時間として考えられる約1時間後の強度は、 $1\text{ kgf/cm}^2$ 以上の強度を有する。

#### (2) 注入量、圧力

表－3.4にA線、B線の裏込め注入量、理論ボイド量に対する注入率およびポンプ吐出口における最終の圧力を示す。ただし、ポンプの圧力に関しては、実際の注入圧力と異なるため参考までに示したものである。

表－3.4を基に裏込め注入量、注入率、圧力についてグラフ化したものを図－3.3に示す。図中には、B線トンネルで実施した土・水圧計の測定位置も示した。図よりB線は裏込め注入量は約 $2.7\sim 2.9\text{ m}^3$ で注入率も170%前後ではほぼ一定しているのに対して、A線は土・水圧計測定位置の約10リング前後において、注入量が最低 $2.6$ から最高 $5.6\text{ m}^3$ 、注入率も160%～330%と変動量が多い。

裏込め注入圧は、注入ポンプ吐出口付近での圧力であるため、参考値であるが $4.5\sim 5.0\text{ kgf/cm}^2$ とさほどの変動は無い。

#### (3) 注入位置

裏込め注入の位置は、セグメントの配置、リングのNO.によって異なる。セグメントの配置は、図－3.4に示すように3つのパターンで組まれており、A線に関しては、パターンAの場合の注入位置は1、6、パターンBの場合の注入位置は1、5、パターンCの注入位置は2、6で注入を実施している。

B線については、各リングによって異なった注入位置であり、各リングでの注入位置を表－3.4に示す。

表-3.2 B線の裏込め注入材料配合表

| 標準配合表        |        |          |      | 1m <sup>3</sup> 当り (kgf) |          |
|--------------|--------|----------|------|--------------------------|----------|
| A 液          |        |          |      | B 液                      |          |
| 普通ポルトランドセメント | ST50-A | 泥 水      | 安定剤  | ST50-B                   | 泥 水      |
| 240          | 15     | 711 リットル | 1.08 | 50                       | 174 リットル |

表-3.3 A線の裏込め注入材料配合表

| 標準配合表 |       |       |     | 1m <sup>3</sup> 当り (kgf) |      |
|-------|-------|-------|-----|--------------------------|------|
| A 液   |       |       |     | B 液                      |      |
| 固 化 材 | 粘 土 S | 安 定 剤 | 水   | 急 硬 剤                    | S    |
| 300   | 80    | 4.6   | 769 | 100                      | リットル |

固化材：活性度の高いアルミネート系特殊クリンカーをベースにした固化材である。(比重3.11)

粘土S：カオリンを主成分としモンモリロナイト、長石を多量に含む粘土鉱物で材料の分離、ブリージングを防ぐ(比重2.6)。

安定剤：固化材中の成分との反応により分散作用、及び硬化の始発時間を著しく遅らせる作用を有する(比重1.16)。

急硬剤：珪酸とアルカリとからなる水ガラス系材料で、固化材の加水分解生成物と反応し固化材成分を急硬させる(比重1.3)。

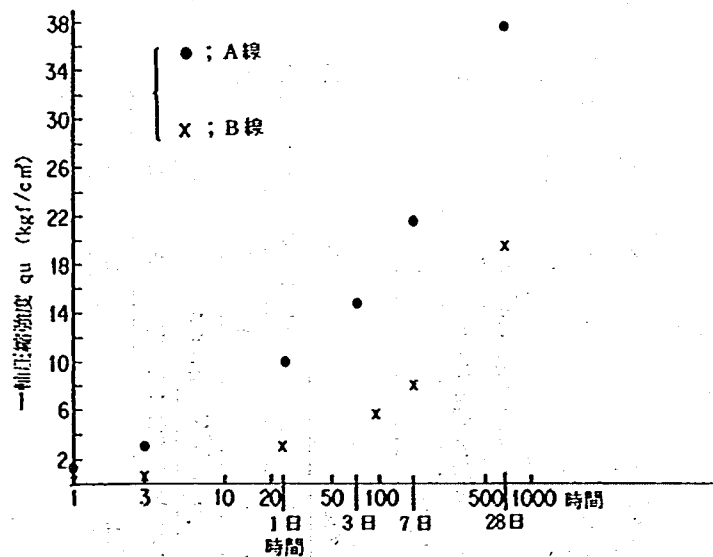


図-3.2 裏込め注入材の一軸圧縮強度の経時変化

表-3.4 裏込注入実績表 先行(B線)トンネル (1)

|                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| リングNo               | 180   | 181   | 182   | 183   | 184   | 185   | 186   | 187   | 188   | 189   | 190   | 191   | 192   | 193   | 194   | 195   | 196   |
| 裏込注入量 $m^3$         | 2.895 | 2.918 | 2.918 | 2.880 | 2.948 | 2.797 | 2.911 | 2.895 | 2.933 | 2.911 | 2.918 | 2.797 | 2.903 | 2.911 | 2.918 | 2.933 | 2.910 |
| “ 率 %               | 171   | 173   | 173   | 170   | 174   | 166   | 172   | 171   | 174   | 172   | 173   | 166   | 172   | 172   | 173   | 174   | 172   |
| “ 圧力(最終) $kgf/cm^2$ | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 5.0   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 5.0   |
| セグメント配置(切羽に向って)     | C     | A     | B     | C     | A     | B     | C     | A     | B     | C     | A     | B     | C     | A     | B     | C     | A     |
| 注入孔番号               | 2.6   | 1.6   | 1.5   | 2.6   | 1     | 1.5   | 1     | 6     | 6     | 2.6   | 1.6   | 2.5   | 2.6   | 1.6   | 6     | 1     | 1     |

|                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| リングNo               | 197   | 198   | 199   | 200   | 201   | 202   | 203   | 204   | 205   | 206   | 207   | 208   | 209   | 210   | 211   | 212   | 213   |
| 裏込注入量 $m^3$         | 2.910 | 2.979 | 2.910 | 2.910 | 2.918 | 2.918 | 2.911 | 2.782 | 2.699 | 2.911 | 2.911 | 2.911 | 2.767 | 2.888 | 2.918 | 2.812 | 2.827 |
| “ 率 %               | 172   | 176   | 172   | 172   | 173   | 173   | 172   | 165   | 160   | 172   | 172   | 172   | 164   | 171   | 173   | 166   | 167   |
| “ 圧力(最終) $kgf/cm^2$ | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 5.0   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 5.0   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 5.0   | 4.5   | 4.5   |
| セグメント配置(切羽に向って)     | B     | C     | A     | B     | C     | A     | B     | C     | A     | B     | C     | A     | B     | C     | A     | B     | C     |
| 注入孔番号               | 6     | 1     | 1     | 1.5   | 2.6   | 1.6   | 1.5   | 2.6   | 1     | 1.5   | 2.6   | 1.6   | 6     | 2.6   | 1.6   | 6     | 1.6   |

|                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| リングNo               | 214   | 215   | 216   | 217   | 218   | 219   | 220   | 221   | 222   | 223   | 224   |
| 裏込注入量 $m^3$         | 2.903 | 2.812 | 2.918 | 2.714 | 2.888 | 2.918 | 2.903 | 2.888 | 2.918 | 2.774 | 2.805 |
| “ 率 %               | 172   | 166   | 173   | 161   | 171   | 173   | 172   | 171   | 173   | 164   | 166   |
| “ 圧力(最終) $kgf/cm^2$ | 4.5   | 4.5   | 5.0   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 4.5   |
| セグメント配置(切羽に向って)     | A     | B     | C     | A     | B     | C     | A     | B     | C     | A     | B     |
| 注入孔番号               | 1.6   | 6     | 2.6   | 6     | 1.5   | 2.6   | 1.6   | 1.5   | 2.6   | 1.6   | 1.5   |

表-3.4 裏込注入実績表 後行(A線)トンネル (2)

| リングNo               | 562   | 563   | 564   | 565   | 566   | 567   | 568   | 569   | 570   | 571   | 572   | 573   | 574   | 575   | 576   | 577   | 578   |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 裏込注入量 $m^3$         | 4.027 | 3.051 | 3.257 | 3.516 | 3.400 | 3.598 | 5.324 | 3.160 | 3.481 | 3.392 | 4.050 | 4.216 | 3.954 | 4.723 | 3.013 | 3.413 | 2.964 |
| " 率 %               | 239   | 181   | 193   | 208   | 201   | 213   | 315   | 187   | 206   | 201   | 240   | 249   | 234   | 279   | 178   | 202   | 176   |
| " 圧力(最終) $kgf/cm^2$ | 5.0   | 4.5   | 4.5   | 5.0   | 5.0   | 4.5   | 5.0   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 5.0   | 5.0   | 5.0   | 4.5   | 4.5   |
| セグメント配置(切羽に向って)     | A     | B     | C     | A     | B     | C     | A     | B     | C     | A     | B     | C     | A     | B     | C     | A     | B     |
| 注入孔番号               | 1.6   | 1.5   | 2.6   | 1.6   | 1.5   | 2.6   | 1.6   | 1.5   | 2.6   | 1.6   | 1.5   | 2.6   | 1.6   | 1.5   | 2.6   | 1.6   | 1.5   |

| リングNo               | 579   | 580   | 581   | 582   | 583   | 584   | 585   | 586   | 587   | 588   | 589   | 590   | 591   | 592   | 593   | 594   | 595   |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 裏込注入量 $m^3$         | 3.263 | 3.591 | 4.346 | 4.026 | 5.637 | 4.583 | 2.652 | 2.988 | 2.962 | 3.787 | 3.817 | 3.194 | 3.286 | 3.649 | 3.312 | 3.418 | 3.355 |
| " 率 %               | 193   | 212   | 257   | 238   | 334   | 271   | 157   | 177   | 175   | 224   | 226   | 189   | 194   | 216   | 196   | 202   | 198   |
| " 圧力(最終) $kgf/cm^2$ | 5.0   | 4.5   | 4.5   | 5.0   | 5.0   | 5.0   | 5.0   | 4.5   | 5.0   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 5.0   | 5.0   |
| セグメント配置(切羽に向って)     | C     | A     | B     | C     | A     | B     | C     | A     | B     | C     | A     | B     | C     | A     | B     | C     | A     |
| 注入孔番号               | 2.6   | 1.6   | 1.5   | 2.6   | 1.6   | 1.5   | 2.6   | 1.6   | 1.5   | 2.6   | 1.6   | 1.5   | 2.6   | 1.6   | 1.5   | 2.6   | 1.6   |

| リングNo               | 596   | 597   | 598   | 599   | 600   | 601   | 602   | 603   | 604   | 605   | 606   | 607   | 608   | 609   | 610   | 611   | 612   |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 裏込注入量 $m^3$         | 3.300 | 3.735 | 3.160 | 3.663 | 3.740 | 3.670 | 2.880 | 3.887 | 3.334 | 3.894 | 3.600 | 3.069 | 3.762 | 3.341 | 3.768 | 3.594 | 3.572 |
| " 率 %               | 195   | 221   | 187   | 217   | 221   | 217   | 170   | 230   | 197   | 230   | 213   | 182   | 223   | 198   | 223   | 213   | 211   |
| " 圧力(最終) $kgf/cm^2$ | 4.5   | 4.5   | 5.0   | 5.0   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 5.0   | 5.0   | 4.5   | 4.5   | 5.0   | 5.0   | 4.5   |
| セグメント配置(切羽に向って)     | B     | C     | A     | B     | C     | A     | B     | C     | A     | B     | C     | A     | B     | C     | A     | B     | C     |
| 注入孔番号               | 1.5   | 2.6   | 1.6   | 1.5   | 2.6   | 1.6   | 1.5   | 2.6   | 1.6   | 1.5   | 2.6   | 1.6   | 1.5   | 2.6   | 1.6   | 1.5   | 2.6   |

| リングNo               | 613   | 614   | 615   | 616   | 617   | 618   | 619   | 620   | 621   |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 裏込注入量 $m^3$         | 3.922 | 3.359 | 3.667 | 3.611 | 3.009 | 3.297 | 3.316 | 3.865 | 2.292 |
| " 率 %               | 232   | 199   | 217   | 214   | 178   | 195   | 196   | 229   | 136   |
| " 圧力(最終) $kgf/cm^2$ | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 5.0   | 5.0   | 4.5   | 4.5   | 4.5   | 5.0   |
| セグメント配置(切羽に向って)     | A     | B     | C     | A     | B     | C     | A     | B     | C     |
| 注入孔番号               | 1.6   | 1.5   | 2.6   | 1.6   | 1.5   | 2.6   | 1.6   | 1.5   | 2.6   |

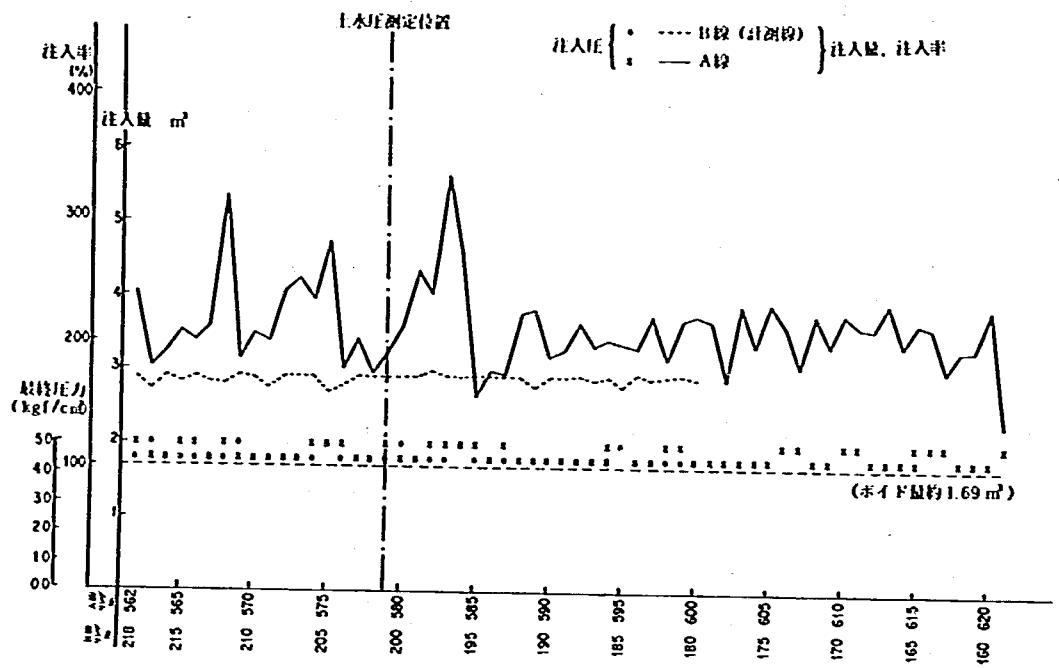


図- 3.3 裏込め注入の管理図

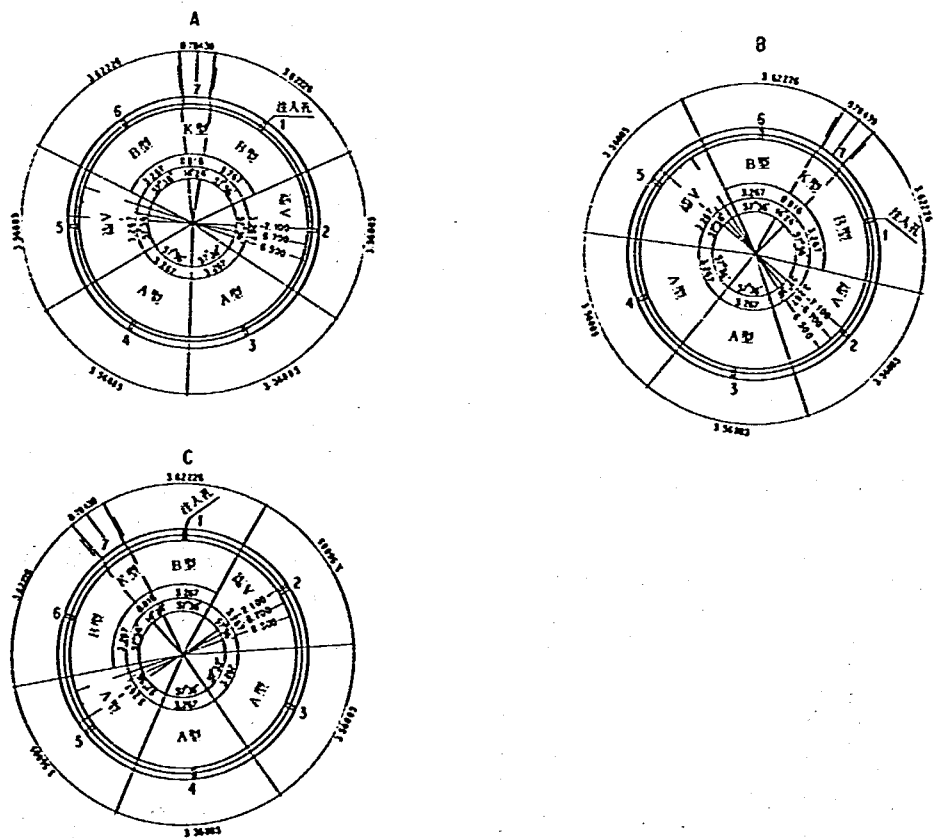


図- 3.4 セグメント配置と裏込め注入番号図

## 第4章 計測結果

### 4.1 土圧計

図-4.1にセグメント組立て直後の昭和63年11月2日午後4時4分を初期値とした土圧計の経時変化を示す。計測セグメントがテールシールを出た11月3日には、裏込注入の影響のため各位置の計測値とも約 $2\text{kgf/cm}^2$ まで上昇している。その後、10日ほどを経た11月13日には、ほぼ安定しているのがみられる。なお3章、表-3.9の裏込注入実績より計測セグメント201リングの最終圧力は $4.5\text{kgf/cm}^2$ とあるが、この値は、圧送ポンプ突出口直前の管理値であるため、テールボイドの填充圧力と等しいとは考えられない。

そして、計測セグメント組立から約3週間後の11月24日午前1時40分に、後行トンネル切羽が201リングの真横を通過した。経時変化図は、後行トンネル側の水圧計が11月23日からまず上昇を始め、11月25日に $2.81\text{kgf/cm}^2$ のピーク値に達していることを示している。

多少のばらつきはあるものの、他の各土圧計も11月25日前後にピークを迎えており、これは、201リングの真横のセグメントリングが後行トンネルテールシールを出て、裏込注入が行われた時刻と一致している。

後行トンネル通過後約3日ほどで大きな変動は収まっているが、微小な低下はその後も続き、通過4ヶ月後の3月20日においてもなお完全には収束していない。

また、偏圧の状態が時間経過とともに増大する傾向を示しており、3月20日には土圧計番号のNO. 3, 4, 5とNO. 6, 7, 8で作用荷重の偏りが顕在化している。

### 4.2 水圧計

先に述べたごとく、水圧計の設置は、裏込注入後、注入材がある程度硬化した後に行い、初期値の設定は昭和63年11月8日午後9時48分直前とした。

図-4.2は、経時変化である。初期値設定後、裏込注入の影響がわずかに見られるが、ほぼ10日後には安定しており、後行トンネル通過に伴う水圧上昇は11月22日から認められるが、後行トンネル側の水圧計にみられるように11月23日からその傾向は顕著となり、各水圧計とも11月25日にピークを示している。なお後行トンネル側の水圧計のピーク値は、 $2.03\text{kgf/cm}^2$ であり、理論静水圧（地下水位 G. L. - 0.9m） $1.50\text{kgf/cm}^2$ の1.35倍の水圧が作用したことになる。

後行トンネルが通過して約2カ月後には、天端を除いて安定しており、通過前の水圧とほぼ等しくなっていることがわかる。

### 4.3 軸方向鉄筋計

図-4.3(1)と図-4.3(2)に202リングと203リングそれぞれの上下左右における軸方向鉄筋計の経時変化を示す。

初期値設定は組立直後とし、202 リングを昭和63年11月2日午後5時5分、203 リングを同年11月3日午前2時10分とした。

図はプラス（+）を引張り、マイナス（-）を圧縮とした。

202、203 リングとも計測セグメント組立て直後の変動が最も大きく、すべて引張り方向に変動している。

202 リングの一部を除いて各位置とも圧縮力を受けており、後行トンネル通過時にわずかな変動がみられるものの、全体的には動きが少ない。

また、後行トンネル通過約4カ月後には、両リングとも天端と後行トンネル側の側壁が圧縮側に位置し、底端と後行トンネル反対側の側壁（以後、右側壁とする）は、前者に比べ引張り側である。

#### 4.4 円周方向鉄筋計

図-4.4(1)~図-4.4(4)には202、203 リングのセグメント内側と外側の円周方向鉄筋計の経時変化を示す。初期値設定は、202 リングが昭和63年11月2日午後7時55分、203 リングが同年11月3日午前8時49分である。なお、プラス（+）を引張り、マイナス（-）を圧縮とする。

202 リングのNO. 17、18とNO. 8、9およびNO. 3、4とNO. 13、14に着目すると、後行トンネル通過前の22日あたりまでは、セグメントが上下方向から力を受けて横潰れしているのがわかる。

その後、後行トンネル通過に伴い23日~25日にかけて、水平方向からの力を受けて一時的に縦潰れの状態に変化している。

そして、後行トンネル通過約3ヶ月後の平成元年2月18日前後ではほぼ安定する傾向を示している。

一方、203 リングでは底部のNO. 11、12、13に変動が見られないものの、わずかな異常値を除いて202 リングと同様の傾向にあることがわかる。なお、203 リングについては、2月18日以降のデータが不足しているため、安定化の状態をみることができない。

しかし、セグメントに使用されている鉄筋SD35の許容引張応力度を、 $\sigma_{sa} = 2000 \text{ kgf/cm}^2$ とすると、図からもわかるように最大値でも  $1000 \text{ kgf/cm}^2$  に達しておらず、セグメントの強度に対しての問題はないものと考えられる。

#### 4.5 目開き計

図-4.5(1)~図-4.5(3)は、セグメントの上下左右位置における目開き計の経時変化を202、206、210 リングについて示したものである。なお、プラス（+）を引張り、マイナス（-）を圧縮とする。

それぞれの初期値設定時期は、202 リングが昭和63年11月23日午前0時1分、206 リング、210 リングが同年11月5日午後0時14分であった。

202、206、210とも縦軸のスケールが異なるが、いくつかの異常値を除き全体的に変動が微小であり、後行トンネル通過後は各測定値ともわずかに引張り方向に動いている。

また、202 リングにおいては、後行トンネル通過時に後行トンネル側の側壁位置が、一時、圧縮された後に開いていく様子を見ることができる。

#### 4.6 ひずみ計

図-4.6は、セグメントの上下左右位置におけるひずみ計の経時変化を203リングについて示したものである。なお、プラス(+)を引張り、マイナス(-)を収縮とする。

初期値設定を後行トンネル通過直前の昭和63年11月23日午前0時1分としたため、セグメント組立てから同年11月22日までのデータはその傾向についての考察にとどまるが、組立て直後は天端が圧縮されており、その後、しだいに4方向の変位が小さくなっていくのがわかる。

そして、後行トンネル通過時は、後行トンネル側の側壁位置が、一時、圧縮されてから引張り側に変化し、最大0.127 mmとなっている。

また、通過後約1週間では、各測定値とも引張り側に推移している。

#### 4.7 コンクリートひずみ計

図-4.7(1)~図-4.7(2)はコンクリートひずみ計の経時変化を206リングおよび210リング内側の上下左右について示したものである。図中のプラス(+)は引張り、マイナス(-)は圧縮とした。

なお初期値の設定は、206リング、210リングとも昭和63年11月5日午後0時14分である。206リングについては組立て後の変動の後、セグメント右側壁と底端が引張り側へ変化しており、左側壁と天端は圧縮する傾向にある。後行トンネル通過時には、左側壁が引張り側に動き、右側壁は圧縮側に変化している。通過後は、通過前の傾向に戻っている様子を見ることができる。

また、ひずみ量でみると、206リングと210リングに違いがあるものの、傾向としては近似しており、206リングの右側壁を除き、ほぼ $\pm 25\mu$ の中で変動している。

#### 4.8 内空変位計

図-4.8(1)~図-4.8(3)に201~203リングの上下左右及び45°方向の内空変位を示す。なお、初期値としては、トンネル内径の6.5mを基準として昭和63年11月15日から計測を行った。いくつかの値を除いて4方向とも圧縮側で変動しており、ほぼ0~25mmの範囲内にある。

後行トンネル通過前の昭和63年11月21日安定した縦潰れの状態にある。22日あたりから後行トンネルの影響のため変動が始まり、25日前後には左右方向の圧縮量が急激に増大する一方、上下方向は圧縮量が減少している。

そして、再び安定した平成元年2月18日には、左右方向の圧縮量の減少と上下方向の圧縮量の増大がみられる。

#### 4.9 層別沈下計

図-4.9(1)~図-4.9(8)に測点NO. 1~NO. 8(トンネル横断方向と測線とのなす角は約35°)に設置した層別沈下計の経時変化を示す。ただし、測定深度は各測点により異なるため図中に示した。初期値はすべて昭和63年10月19日午後0時0分とし、変位はプラス(+)を隆起、マイナス(-)を沈下とした。

ここで、先行トンネル側方であつ先行トンネルが最初に接近した№1に着目すると、深度が増すほど沈下量が小さくなり、同年11月23日あたりから一度沈下した土が後行トンネルの影響で隆起し、再び沈下する傾向がみられる。

また、隆起が始まる以前の沈下量に戻るまでに約10日を用いている。

次に、先行トンネル天端直上に列べた№3をみると、沈下の様子がよりはっきり現れており、先行トンネル周辺の各測点についてもみられる同年11月5日（先行トンネル切羽が№3を通過して約18mの位置）までの大きな沈下が全沈下量（平成元年2月8日における深度方向各側点の最大沈下量）のほぼ50%に達していることがわかる。

№4では、G. L. - 9.0 mの全沈下量がすべてのデータ中で最大値の56.7 mmを示している。

№5は、先行トンネルと後行トンネルの中間に位置しており、隆起量も最大で約3 mmとわずかな値に止どまっていることがわかる。

後行トンネル周辺の沈下計では、後行トンネル天端直上の№7に切羽が到達するのが、昭和63年11月23日午前10時33分であり、後行トンネルが№7を通過して約18m進行した時刻は、同年11月25日午前1時16分となる。

№7においては、後行トンネル切羽通過後約18mまでの沈下量と、平成元年2月8日の深度方向各測点の最大沈下量との比は約35%であるが、同年2月8日の値が安定していないためその後も沈下すると考えられ、その比はより小さくなると思われる。

#### 4.10 固定式傾斜計

図-4.10(1)と図-4.10(2)に測点№1及び№5の固定式傾斜計の経時変化を示す。

測定深度は図中に示し、初期値はすべて昭和63年10月19日午後0時0分とした。

なお、変位はプラス（+）を後行トンネル側へ、マイナス（-）を先行トンネル側への動きとした。

先行トンネル左側の№1に着目すると昭和63年11月4日（先行トンネル切羽が№1の真横を通過して約13mの位置）までに最初の変動がみられ、すべての位置がトンネル側へ移動し、再び底部付近の土だけが外側へ戻っている。

その後、G. L. - 10m以深では外側へ移動し、それより浅い部分ではトンネル側へ移動した状態で安定し、同年11月25日（後行トンネル切羽が№1の真横を通過して約6mの位置であり、真横のリングが裏込注入されている時刻である）に底部付近の土がトンネル側に約4 mmほど移動し、その他の位置は外側へ約1～3 mmほど移動している。

そして、同年11月27日（後行トンネル切羽が№1の真横を通過して約17mの位置）に再び底部付近の土が3 mmほど外側へ戻り、他の位置はトンネル側へわずかに戻っている。

その後、目立った変動はみられず安定した状態が続いている。

次に、先行トンネルと後行トンネルの中間に位置する№5においては、最初が目立った変化が現われるのが昭和63年11月24日（後行トンネル切羽が№5の真横を通過して約6mの位置）であり、底部付近が2 mm前後、後行トンネル側へ移動し、その他の位置ではG. L. - 12.0 mの約11mmを最高に

先行トンネル側へ変化している。

そして、翌日の25日（後行トンネル切羽がNo 5の真横を通過して約14mの位置）には、すべての位置が先行トンネル側へ移動し、G. L. - 12.0mの位置では計測開始からの最大変位 24.6 mmを記録している。その後、トンネル天端付近のG. L. - 12.0 ~ - 14 mの測定値が徐々に後行トンネル側へ戻っているが、その変化量は平成元年2月18日においても最大で7 mmほどで約18mmの残留変位が生じている。

#### 4.11 水盛り沈下計

図-4.11に水盛り沈下計を用いた地表面沈下の経時変化を示す。

初期値は、昭和63年10月19日午後0時0分とした。なお、図中のプラス（+）は隆起を、マイナス（-）は沈下を現す。

昭和63年11月21日（後行トンネル切羽がNo 3の前方約17mの位置で、かつ、No 7の前方約9mの位置）あたりまでは、先行トンネル直上のNo 3が最も沈下量が大きく、その周辺のNo 1、No 2、No 4が影響を受けている様子がみえる。

また、先行トンネル通過の影響がトンネル軸方向の位置の違いもあり、時差を生じつつ現れている。

同年11月22日（後行トンネル切羽がNo 3の前方約11mの位置で、かつ、No 7の前方約3m）の位置には、先行トンネル周辺の沈下計がわずかに上昇を示し、反対に後行トンネル周辺の沈下計は、No 5（後行トンネル切羽がNo 5の後方約7mの位置）を含めて、沈下している。

そして、23日（後行トンネル切羽がNo 5の後方約3mの位置）には再びすべての位置が沈下し、特に後方トンネル側の沈下が顕著である。

微かな位置を除いて25日（後行トンネル切羽がNo 5の後方約14mの位置）には一時的上昇が見られ、その後再び沈下傾向を示しつつ平成元年2月18日を迎えている。

この2月18日の沈下の様子をみると、沈下量の大きい順にNo 5（最大沈下量 56.1mm）、No 4、No 3、No 6、No 7、No 2、No 8、No 1となっており、両トンネル中間位置から先行トンネルよりに著しい沈下が現れ、トンネル外側の部分は小さな沈下に止まっていることがわかる。

表4-1 各計測における初期値設定

| 計測の項目             | リング | 初 期 値 日 付           | 備 考                                               |
|-------------------|-----|---------------------|---------------------------------------------------|
| 土 圧 計             | 201 | 昭和63年11月2日午後4時4分    |                                                   |
| 水 圧 計             | 201 | 昭和63年11月8日午後9時48分以前 |                                                   |
| 軸方向鉄筋計            | 202 | 昭和63年11月2日午後5時5分    |                                                   |
|                   | 203 | 昭和63年11月3日午前2時10分   |                                                   |
| 円周方向鉄筋計           | 202 | 昭和63年11月2日午後7時55分   |                                                   |
|                   | 203 | 昭和63年11月3日午前8時49分   |                                                   |
| 目 開 き 計           | 202 | 昭和63年11月2日午前0時1分    | 計器設置は11月3日午後6時17分                                 |
|                   | 206 | 昭和63年11月5日午後0時14分   |                                                   |
|                   | 210 | 昭和63年11月5日午後0時14分   |                                                   |
| ひ ず み 計           | 203 | 昭和63年11月23日午前0時1分   | 計器設置は11月8日午後9時38分                                 |
| コンクリート<br>ひ ず み 計 | 206 | 昭和63年11月5日午後0時14分   |                                                   |
|                   | 210 | 昭和63年11月5日午後0時14分   |                                                   |
| 内 空 変 位 計         | 201 |                     | トンネル内径6.5mを<br>初期長さとした。<br>初期取込み日は<br>昭和63年11月15日 |
|                   | 202 |                     |                                                   |
|                   | 203 |                     |                                                   |
| 層 別 沈 下 計         |     | 昭和63年10月19日午後0時0分   |                                                   |
| 固定式傾斜計            |     | 昭和63年10月19日午後0時0分   |                                                   |
| 水盛り沈下計            |     | 昭和63年10月19日午後0時0分   |                                                   |

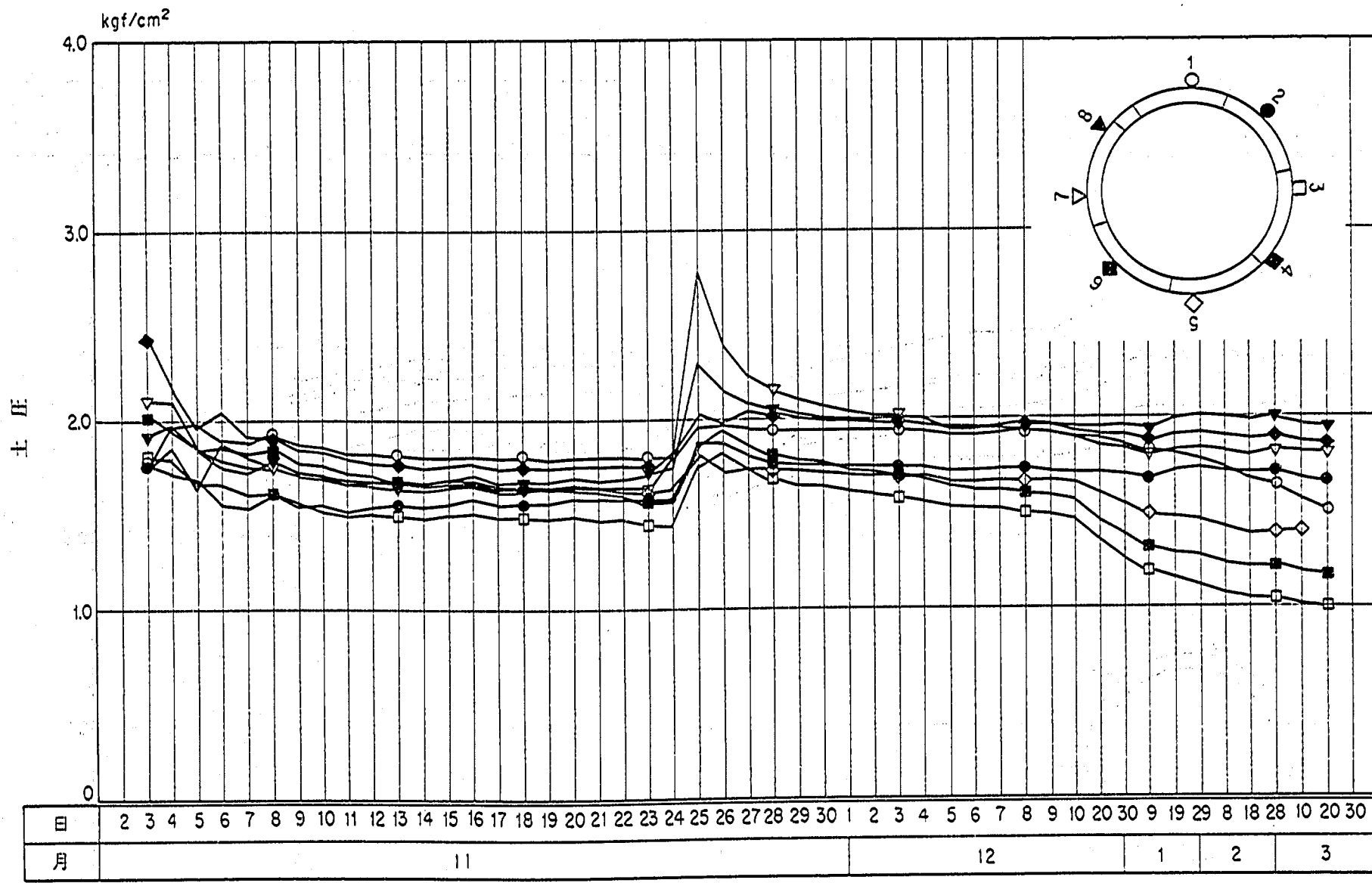


図-4.1 土圧計 経時変化図  
(201リング)

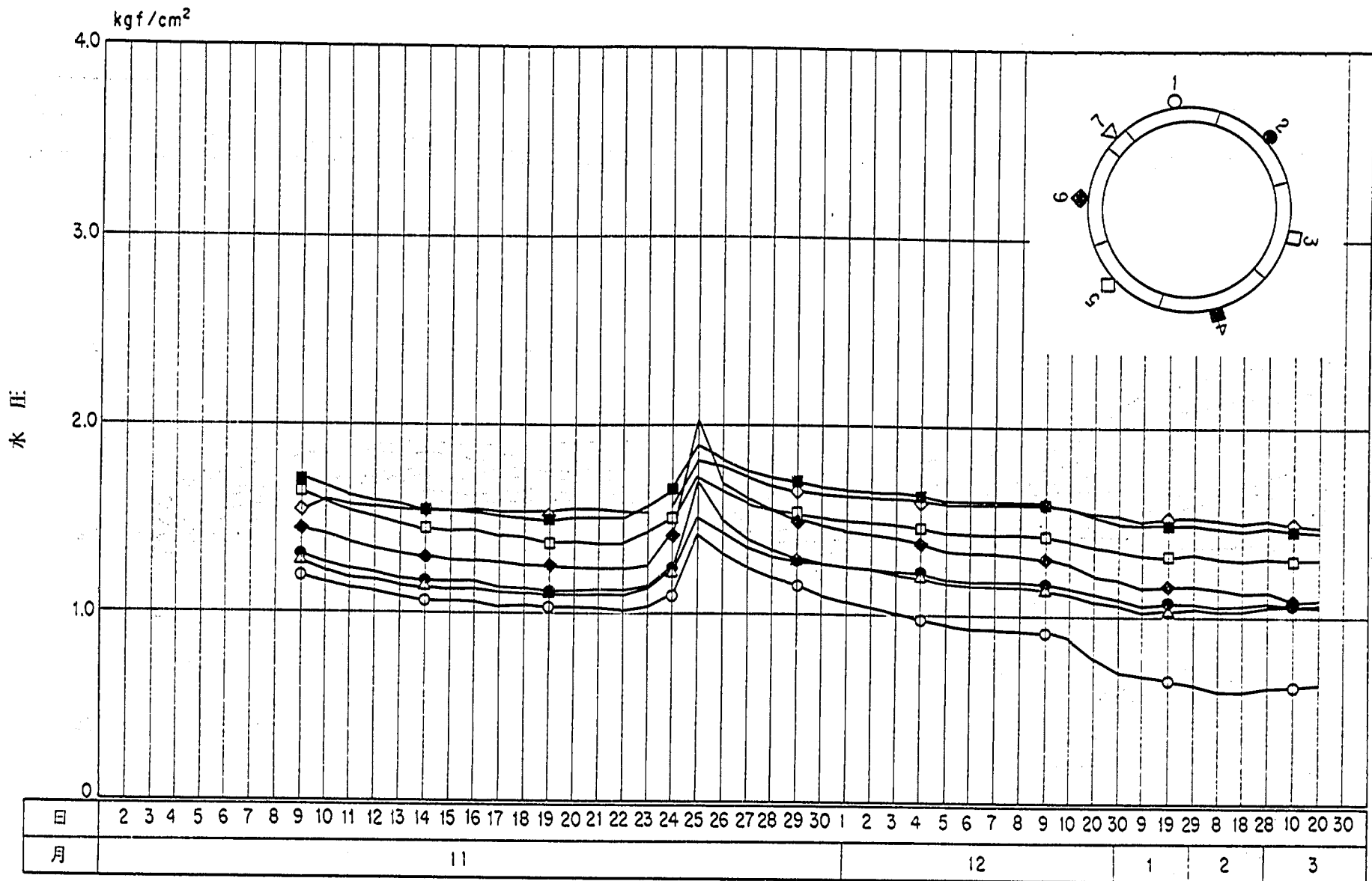


図-4.2 水圧計 経時変化図  
(201リング)

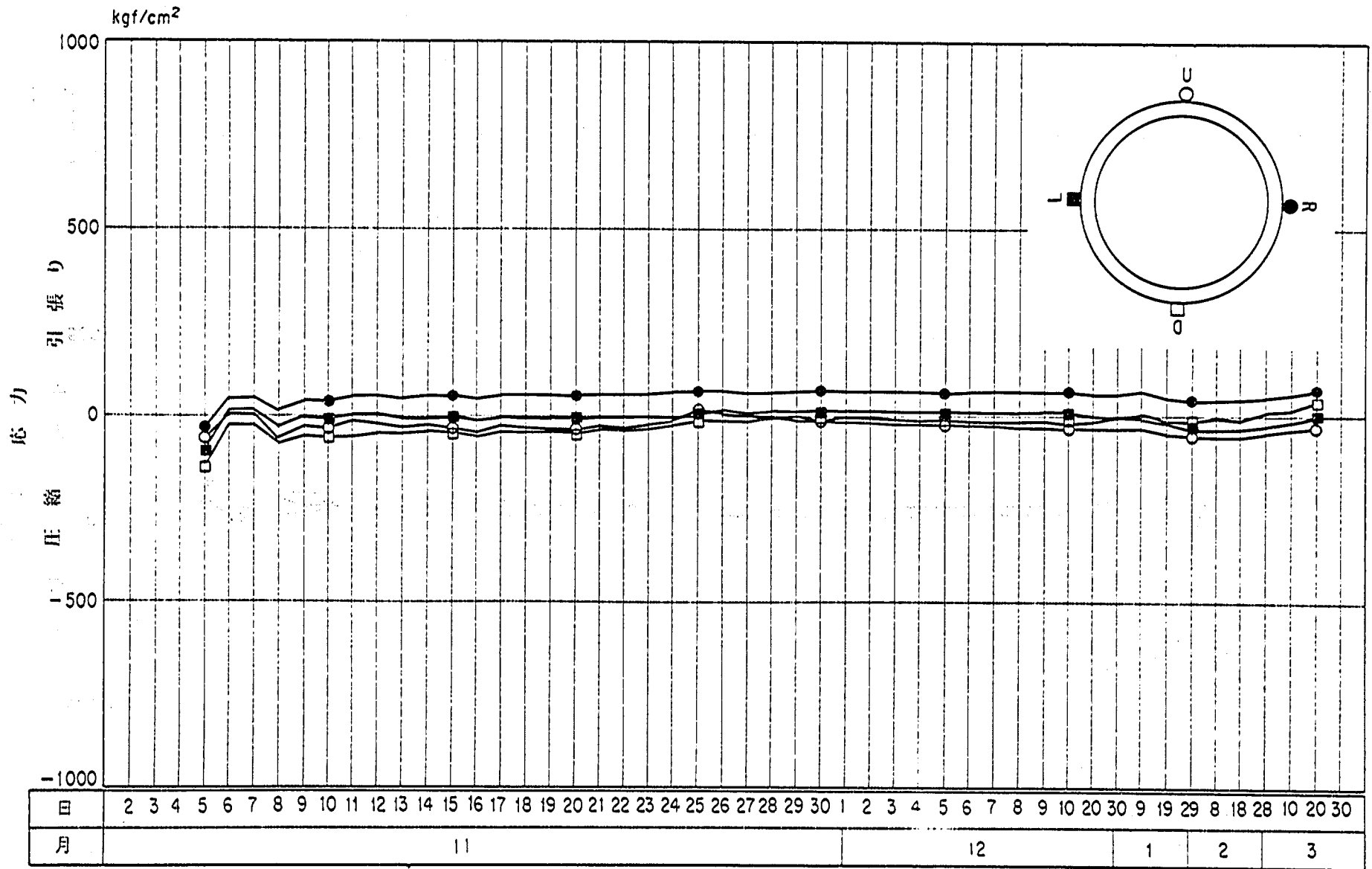


図- 4. 3 (1) 軸方向鉄筋計 経時変化図  
(202リング)

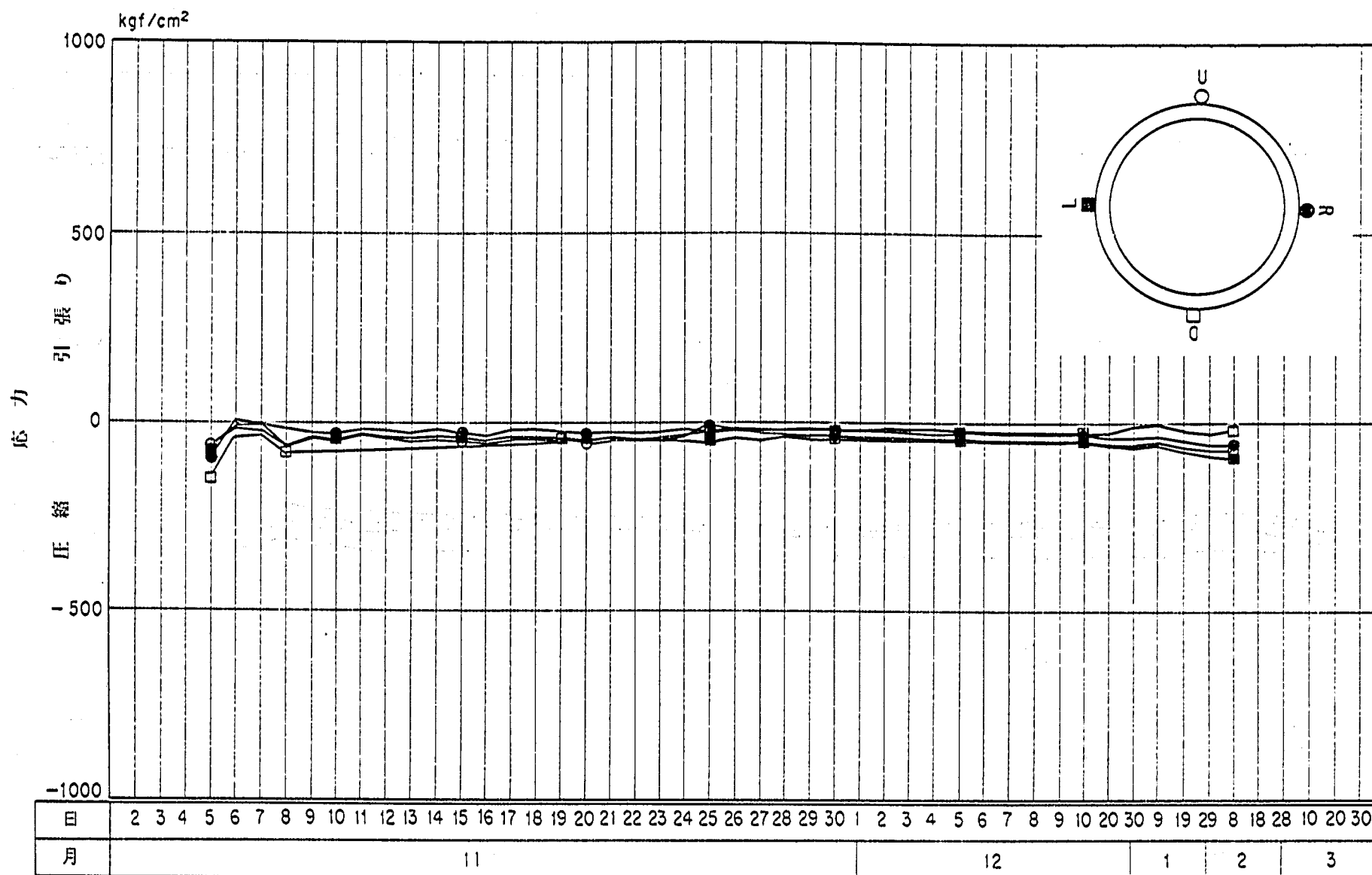


図-4.3(2) 軸方向鉄筋計 経時変化図  
(203リング)

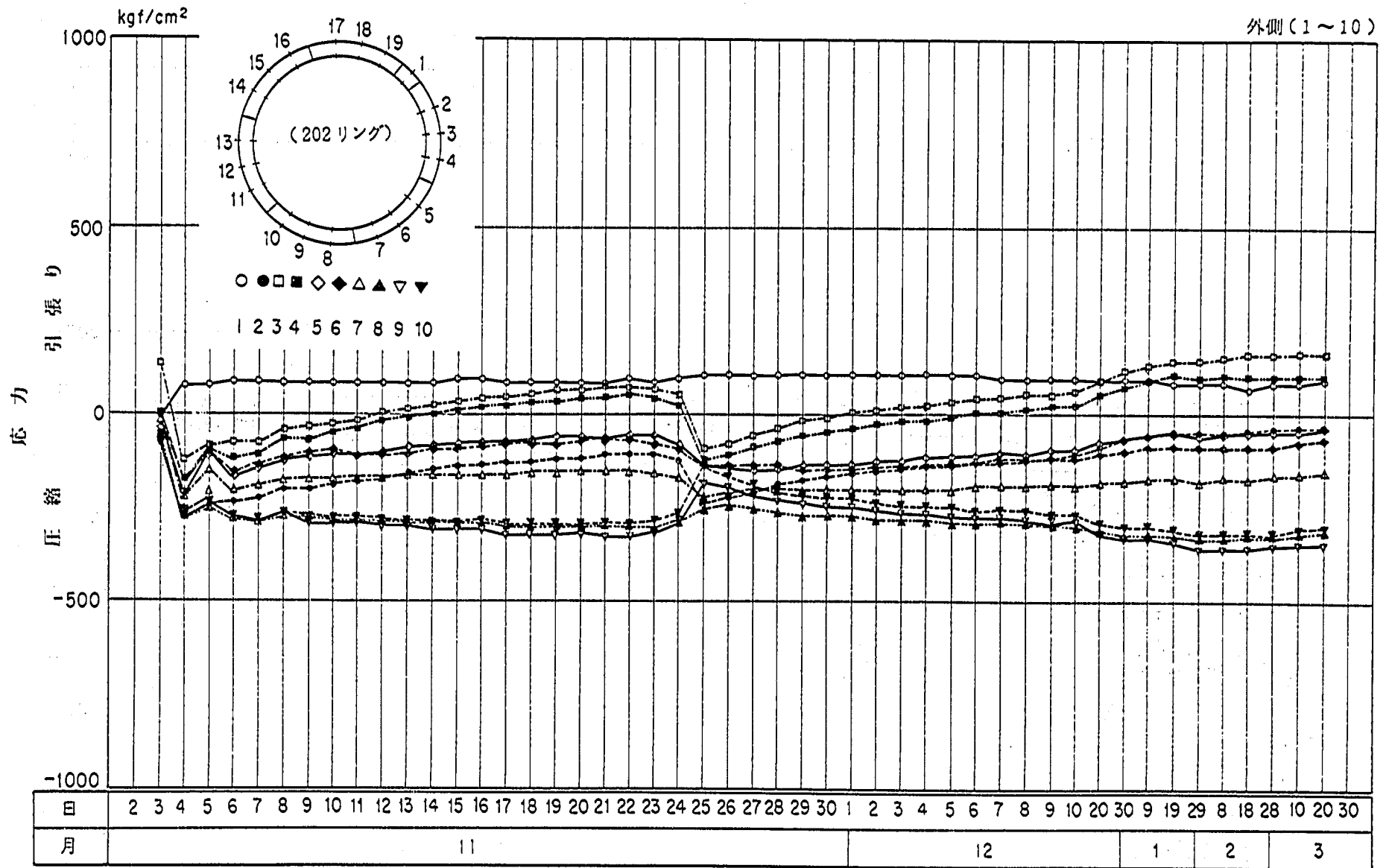


図-4.4(1) 円周方向鉄筋計 経時変化図  
(202リング) 外側(1~10)

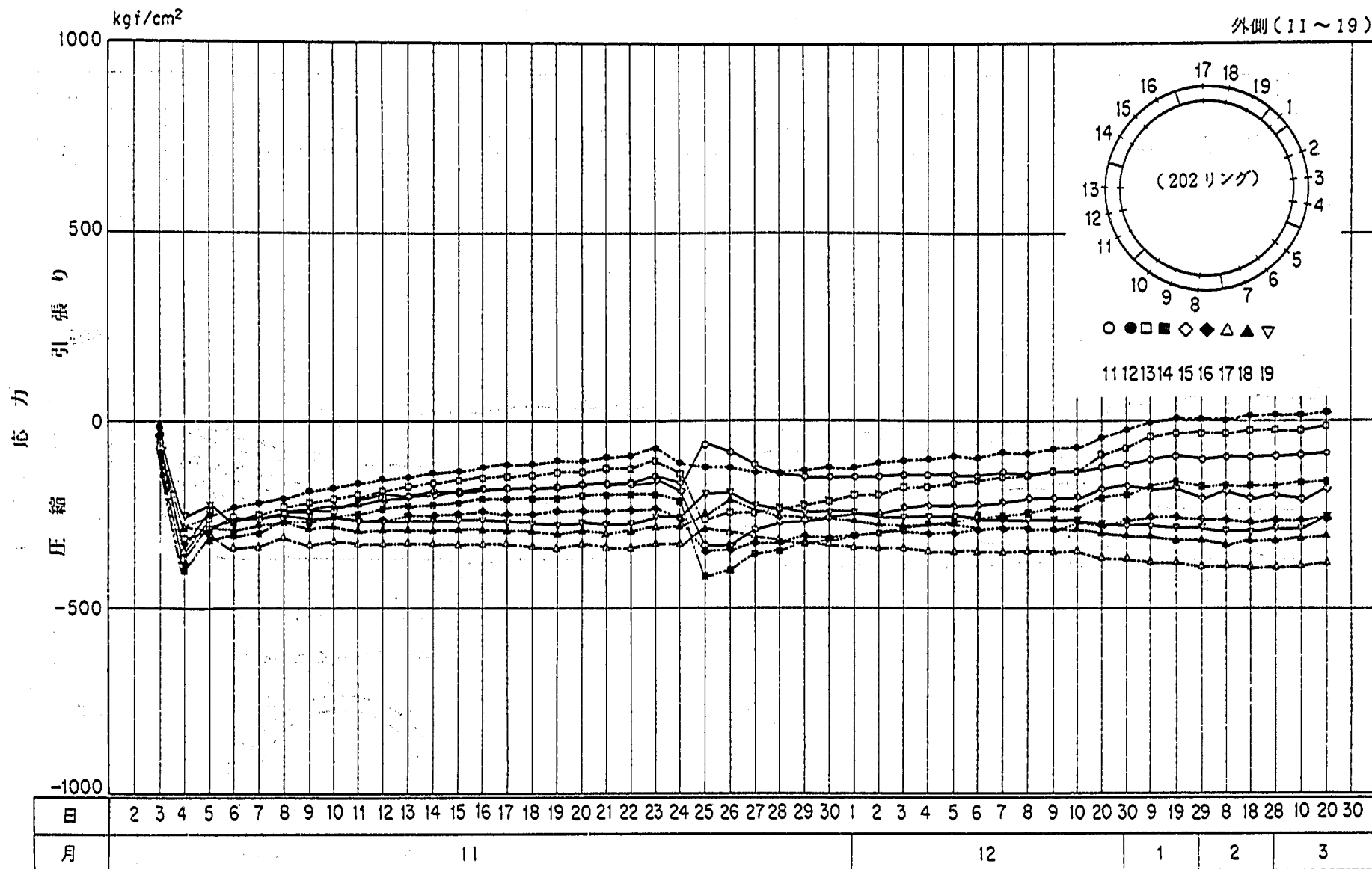


図- 4.4 (1) 円周方向鉄筋計 経時変化図  
(202リング) 外側 (11 ~ 19)

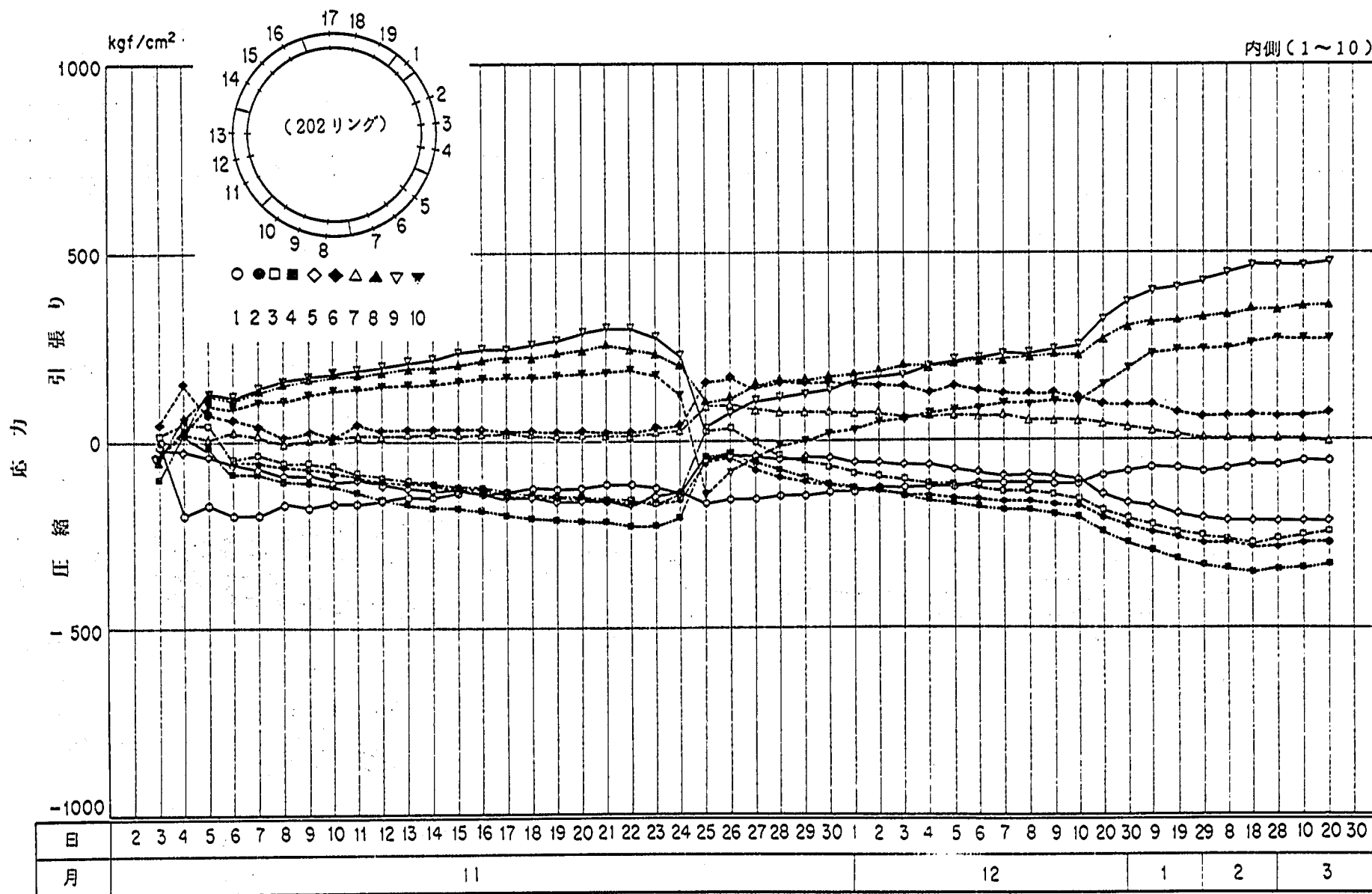


図-4.4(2) 円周方向鉄筋計 経時変化図  
(202リング)内側(1~10)

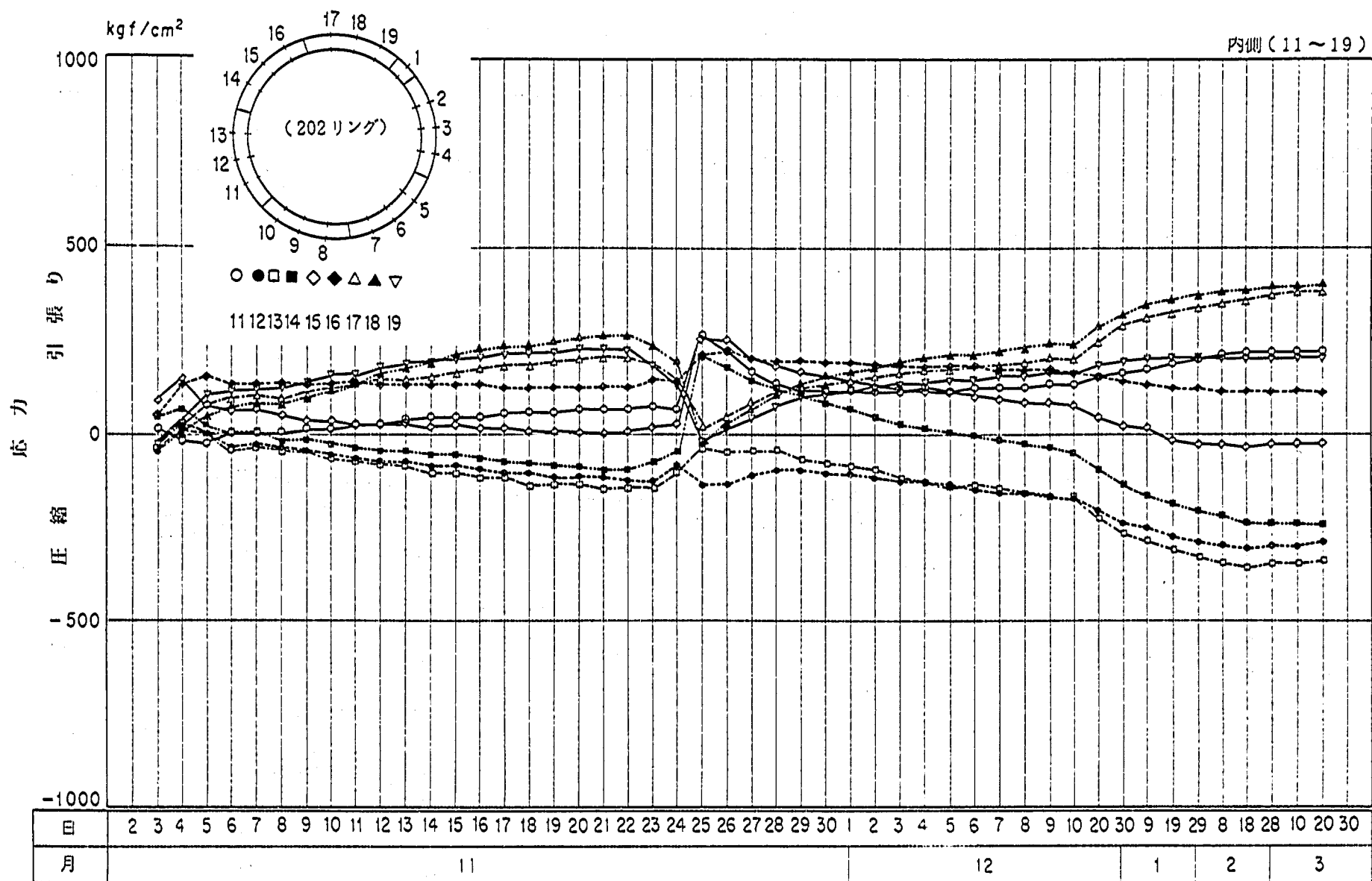


図-4.4(2) 円周方向鉄筋計 経時変化図  
(202リング)内側(11~19)

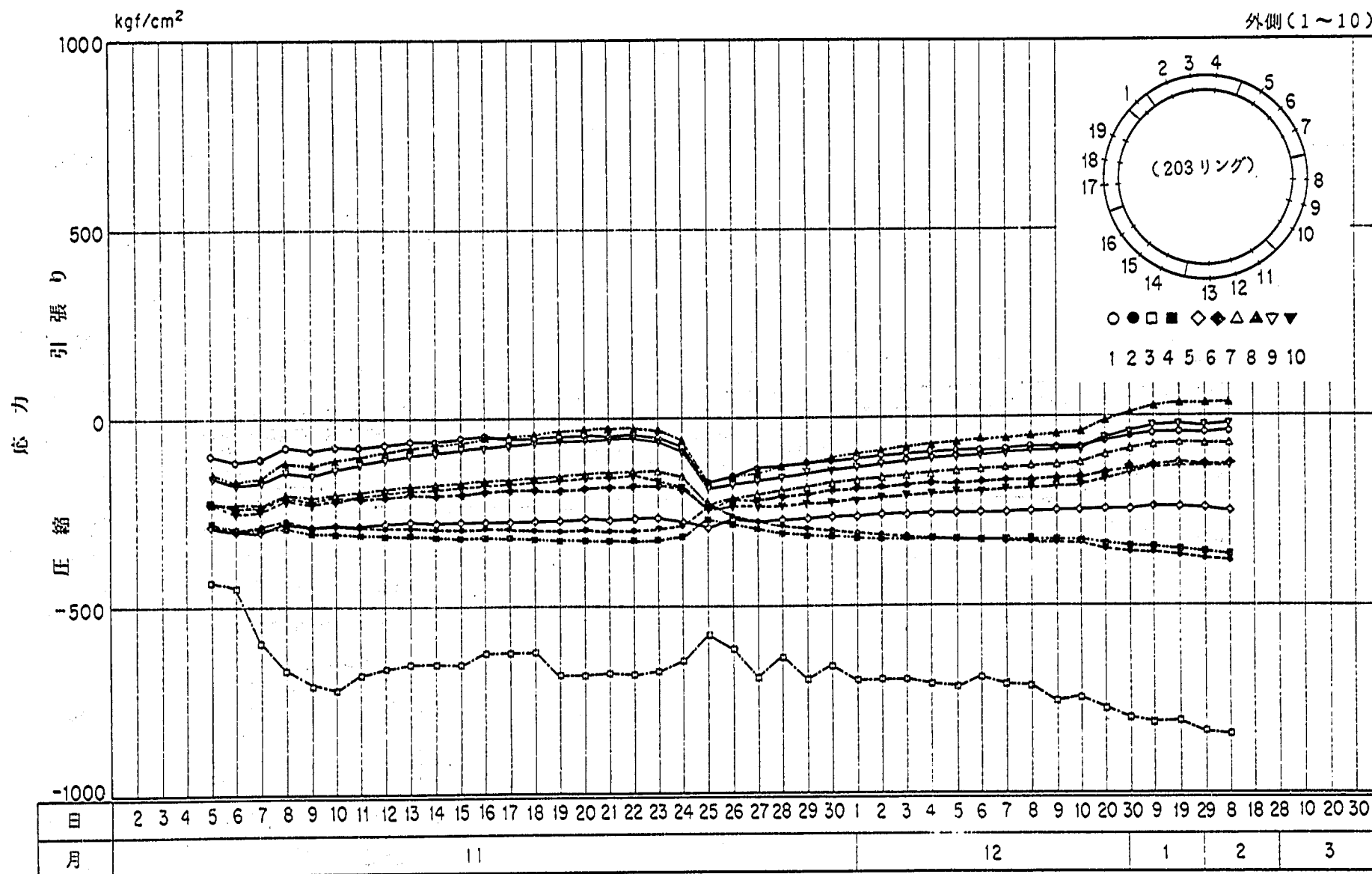


図 - 4.4 (3) 円周方向鉄筋計 経時変化図  
(203リング) 外側 (1~10)

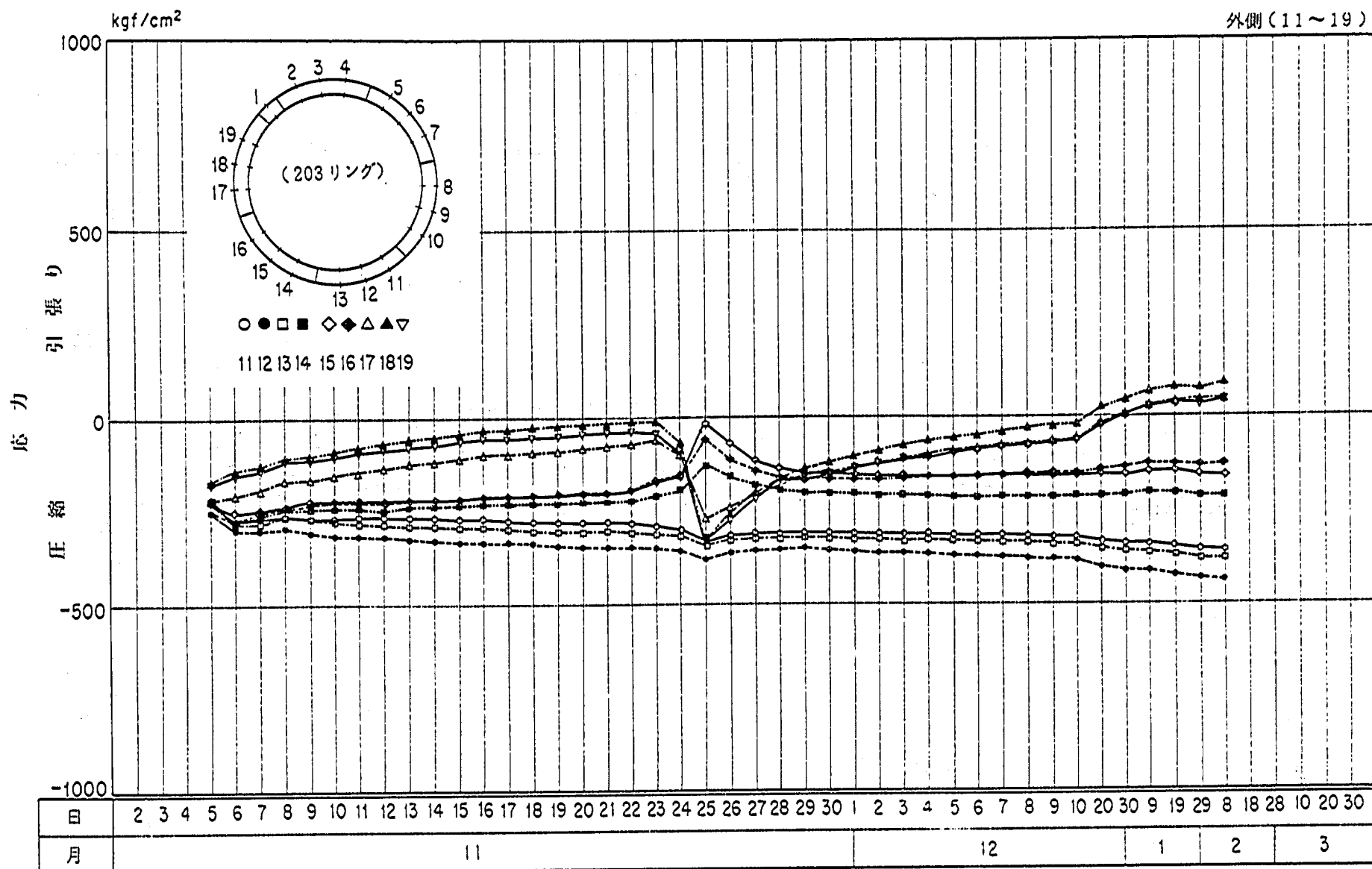


図-4.4(3) 円周方向鉄筋計 経時変化図  
(203リング) 外側(11~19)

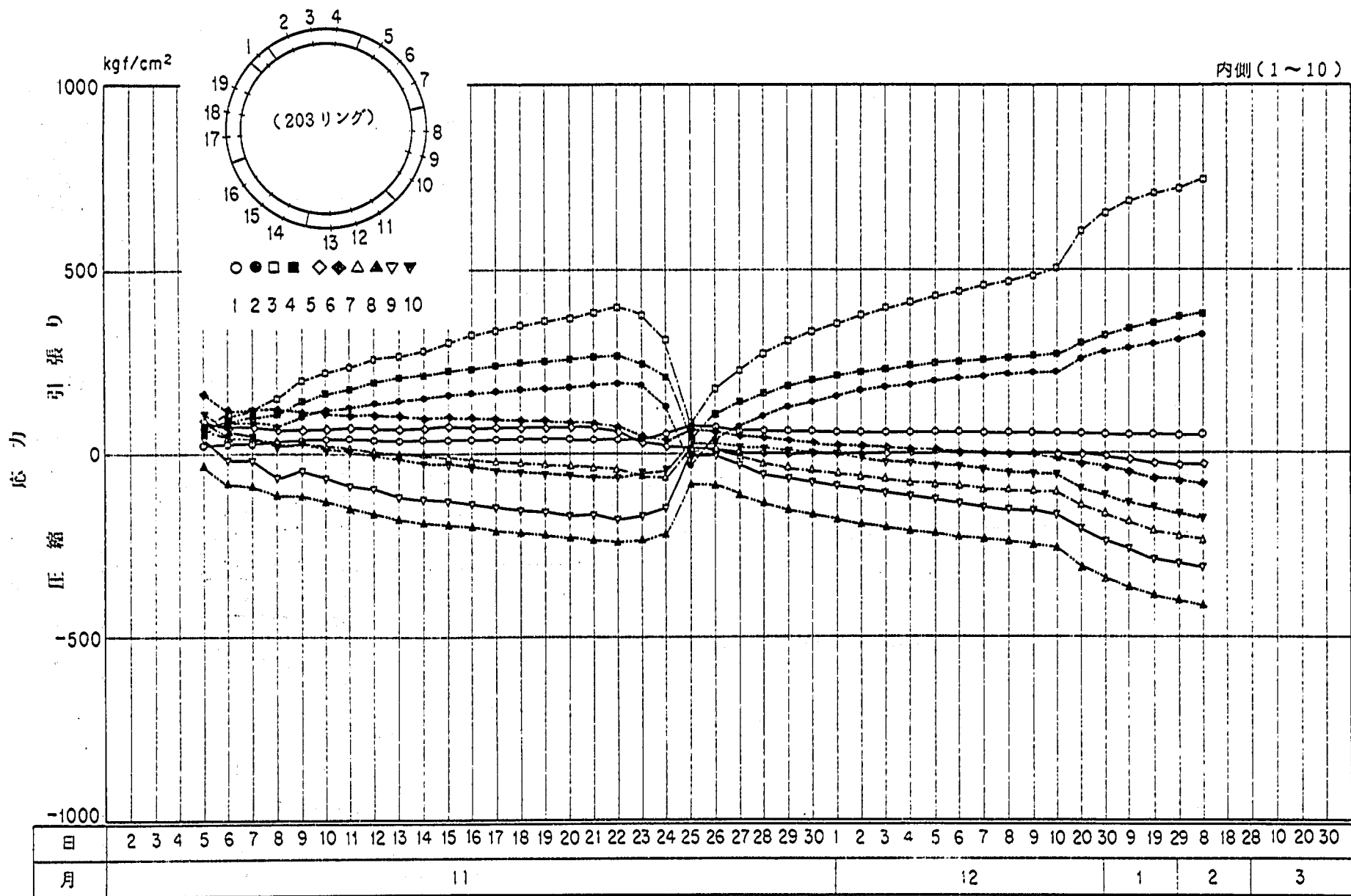


図-4.4(4) 円周方向鉄筋計 経時変化図  
(203リング) 内側(1~10)

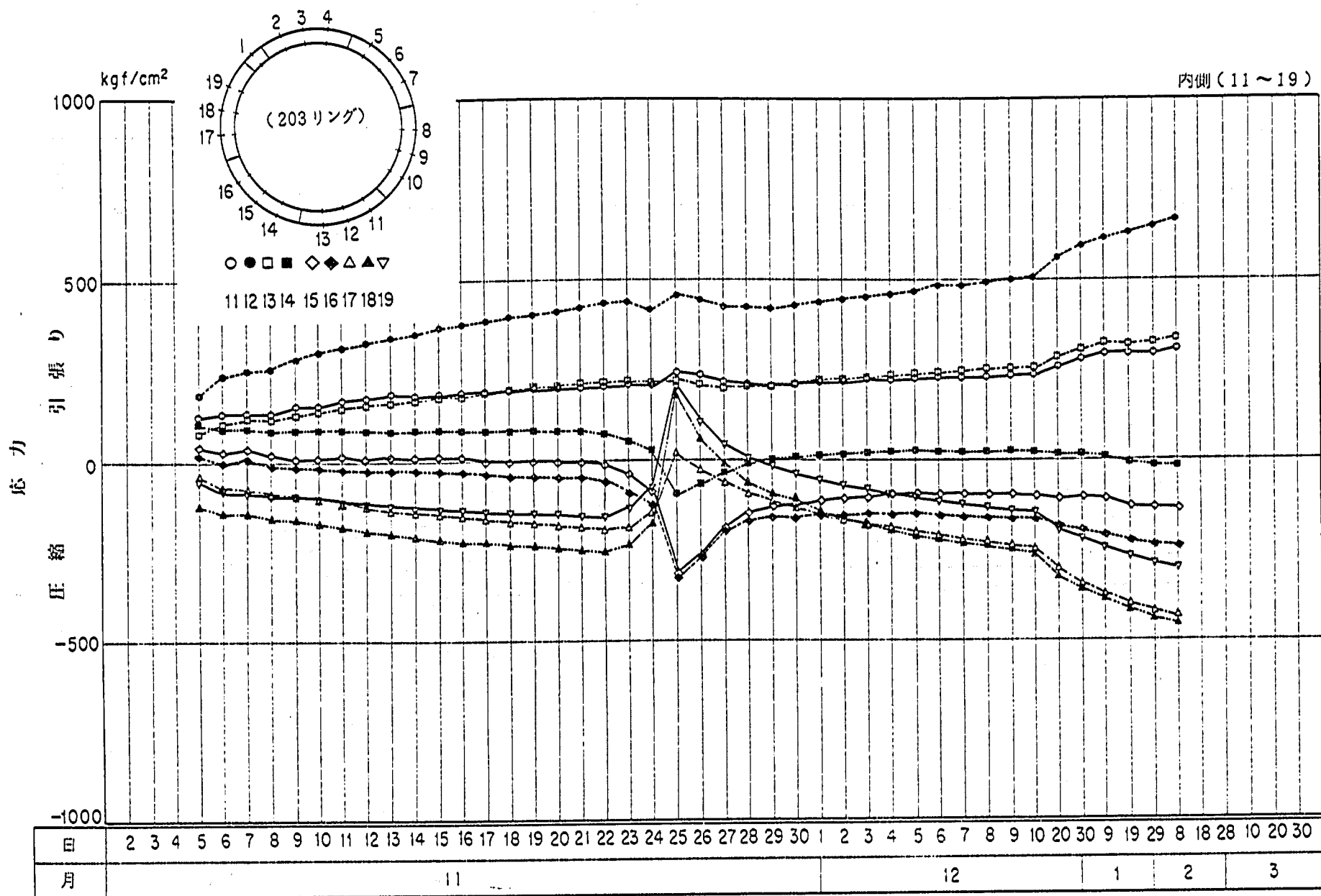


図-4.4(4) 円周方向鉄筋計 経時変化図  
(203リング)内側(11~19)

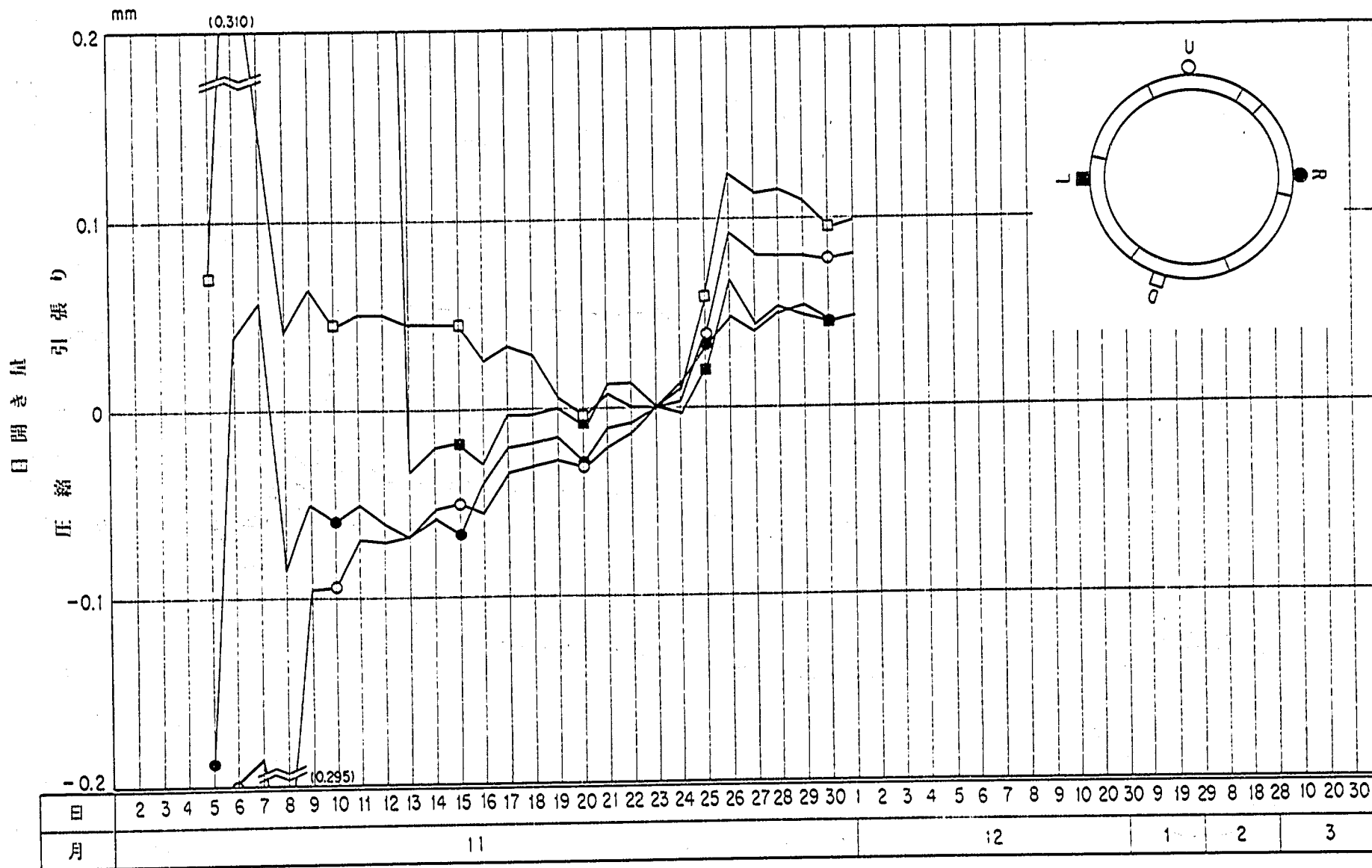


図-4.5(1) 目開き計 経時変化図  
(202リング)

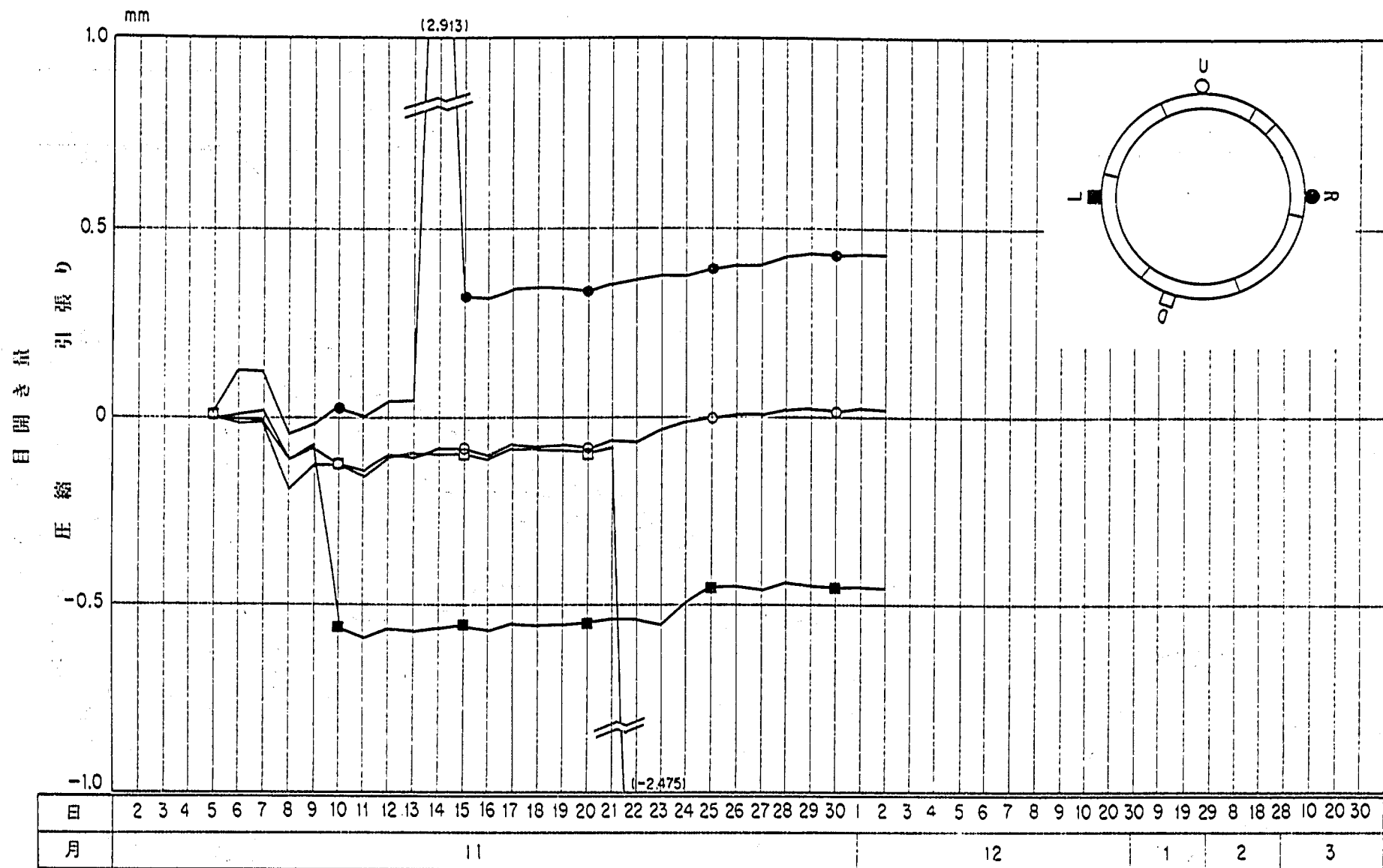


図-4.5(2) 目開き計 経時変化図  
(206リング)

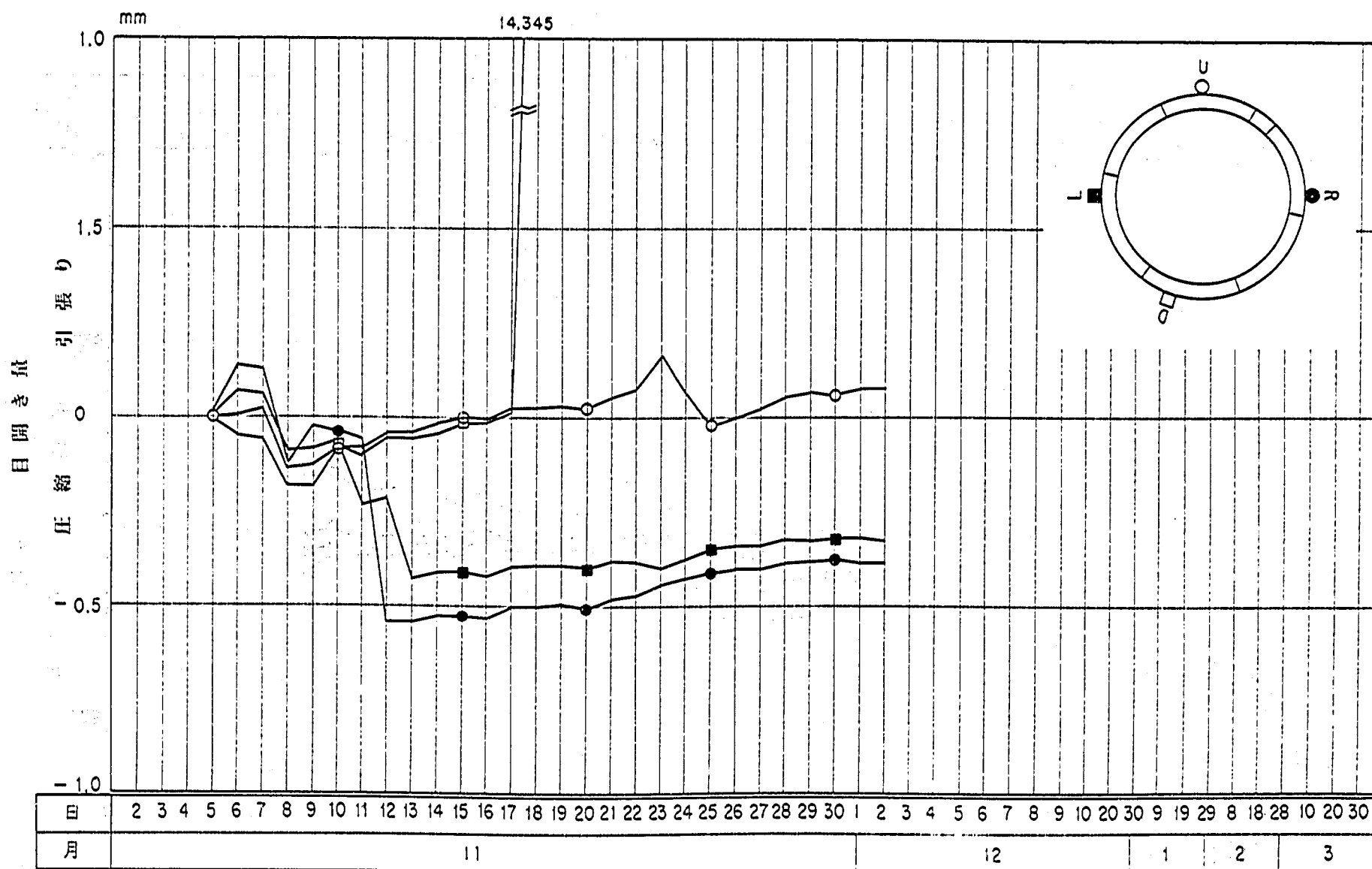


図-4.5(3) 目開き計 経時変化図  
(201リング)

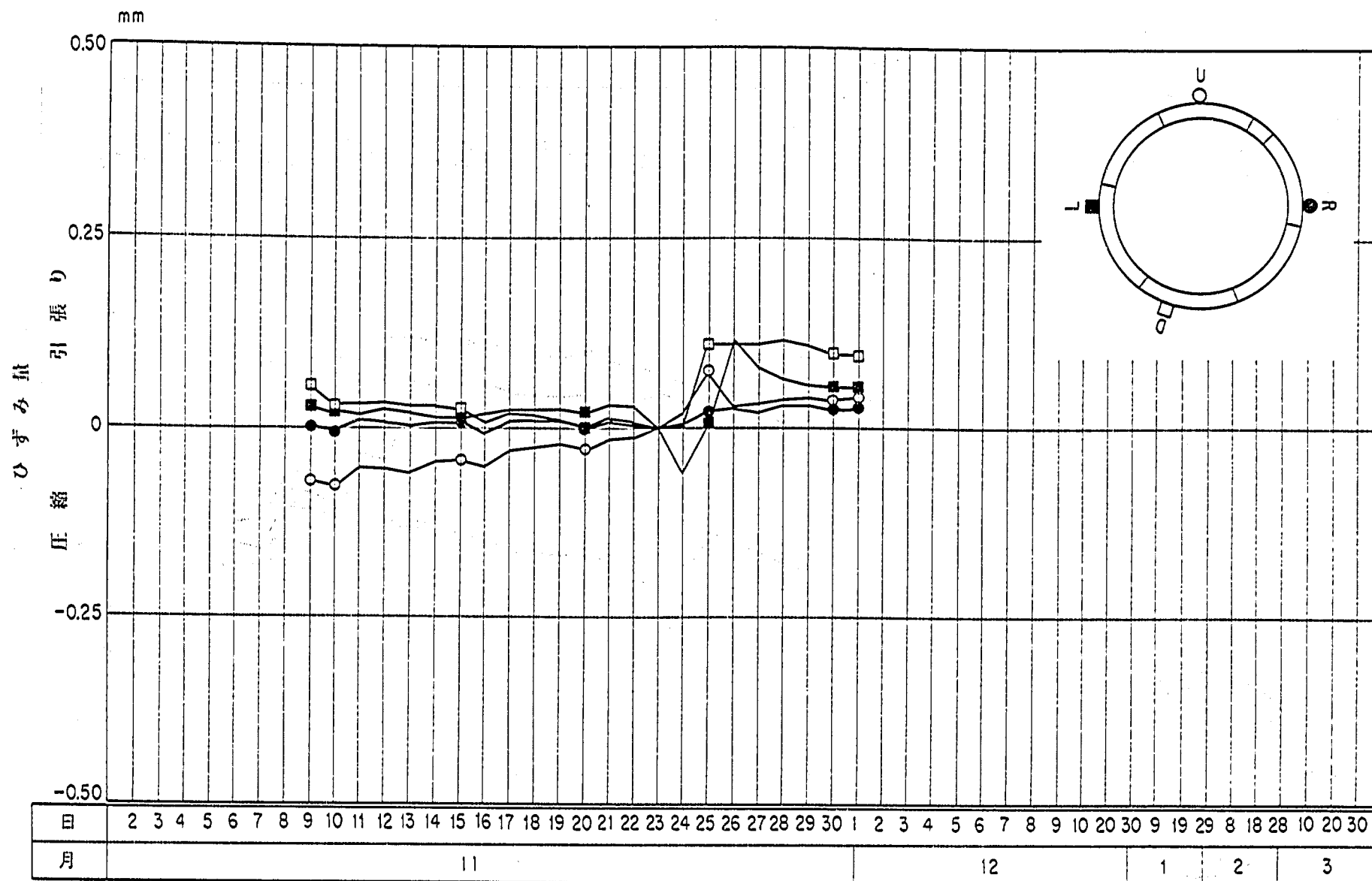


図 - 4. 6 ひずみ計 経時変化図  
( 2 0 3 リンゲ )

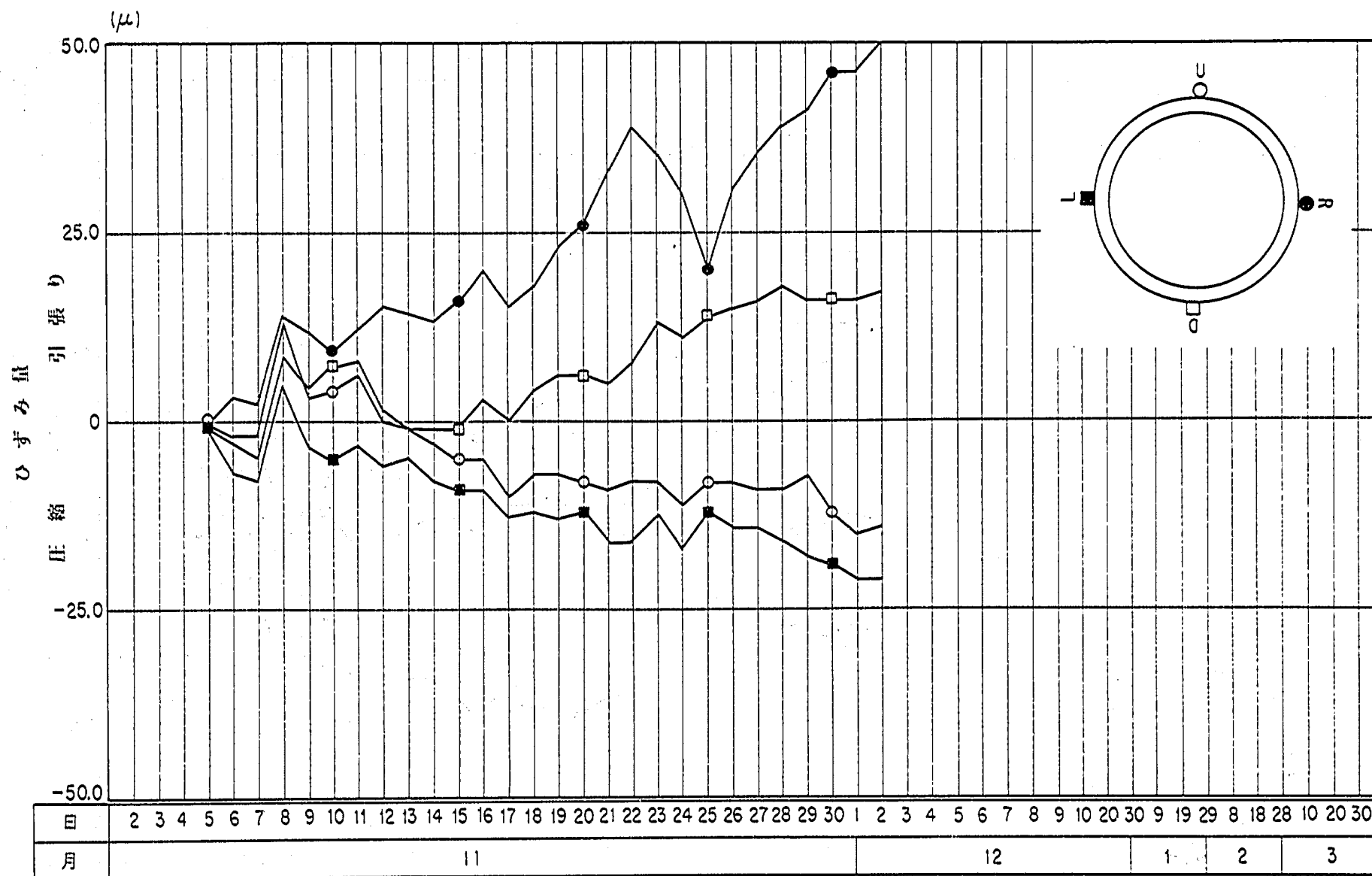


図 - 4.7 (1) コンクリートひずみ計 経時変化図  
(206リング)

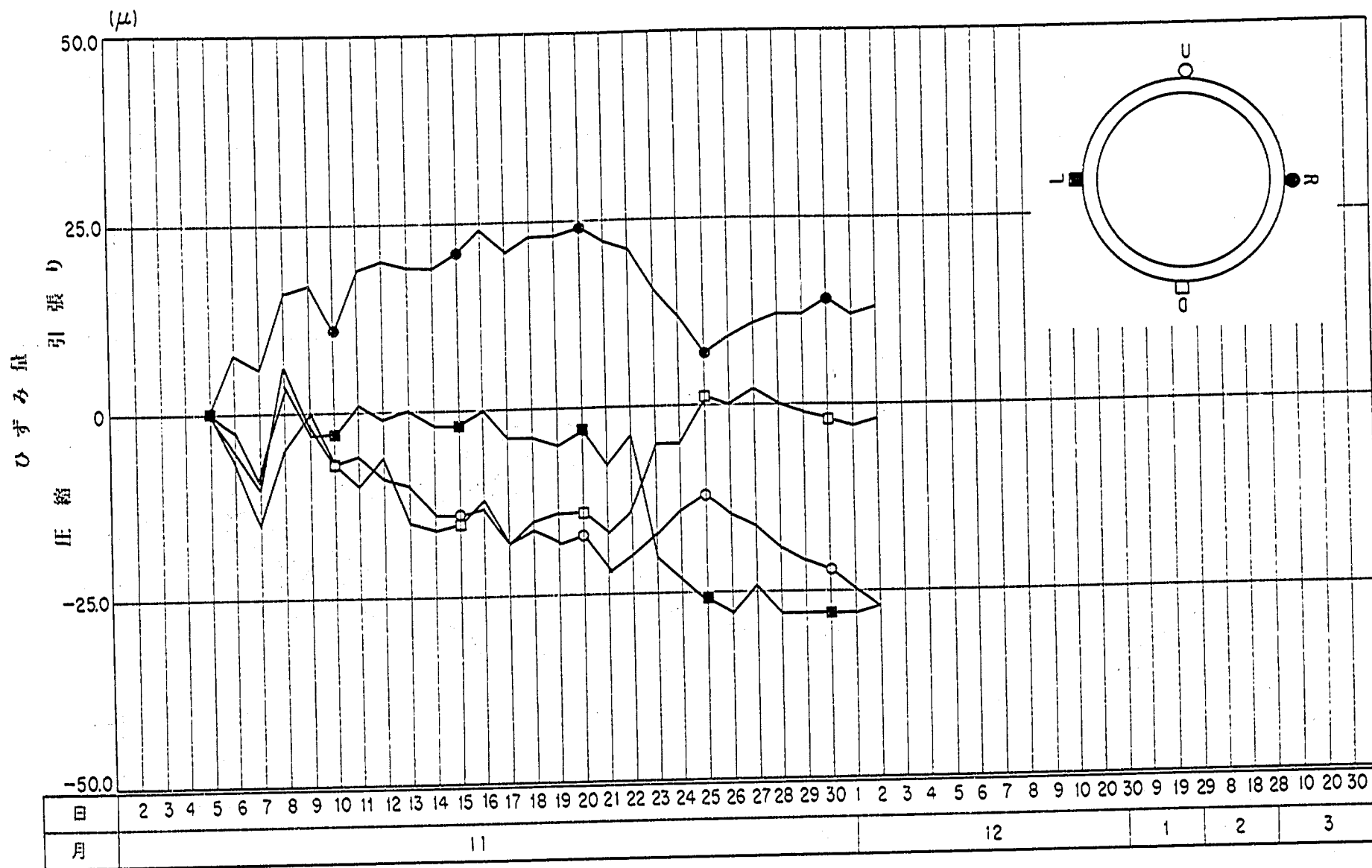


図-4.7(2) コンクリートひずみ計 経時変化図  
(210リング)

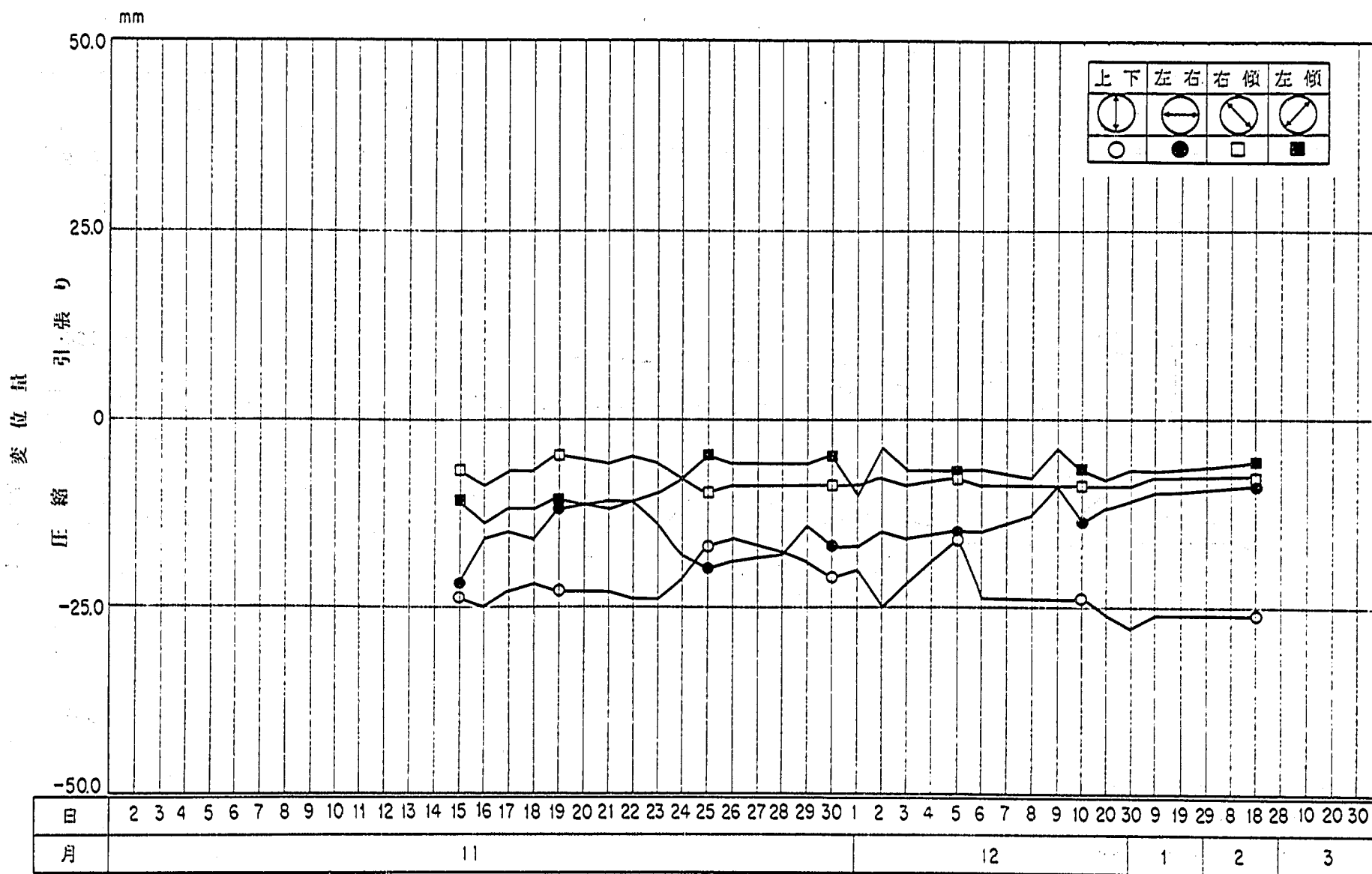


図-4.8(1) 内空変位計 経時変化図  
(201リング)

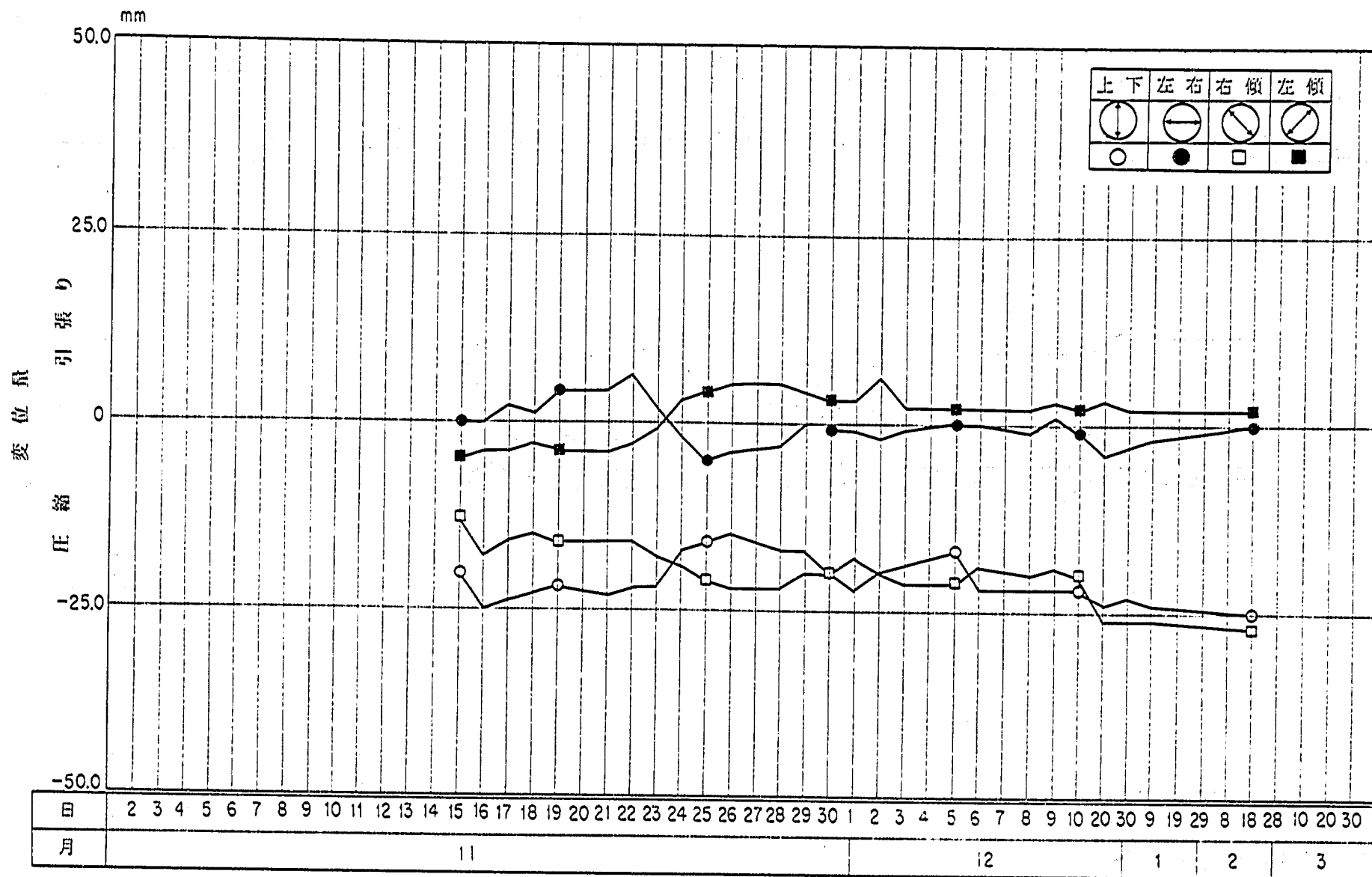


図-4.8(2) 内空変位計 経時変化図  
(202リング)

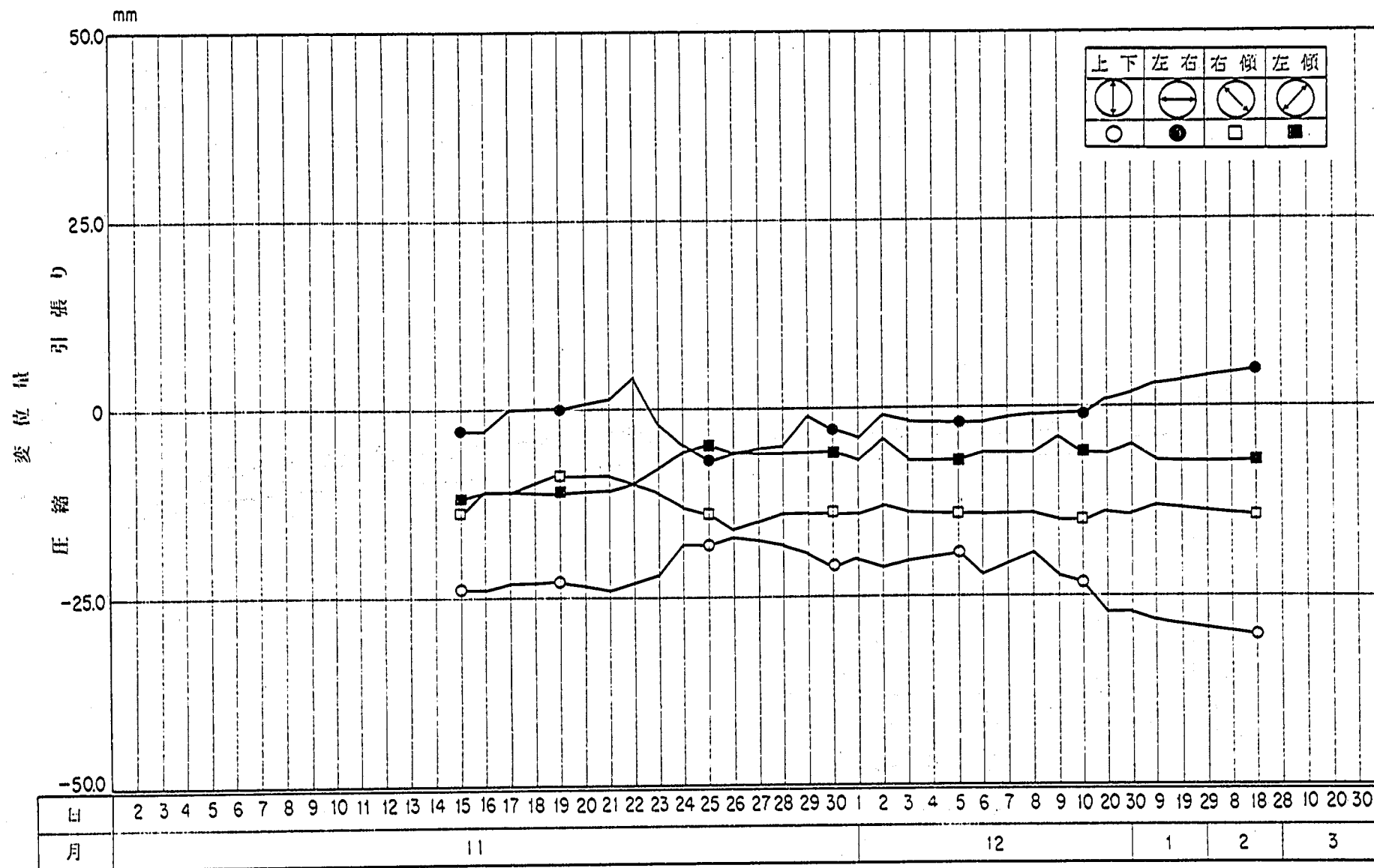


図-4.8(3) 内空変位計 経時変化図  
(203リング)

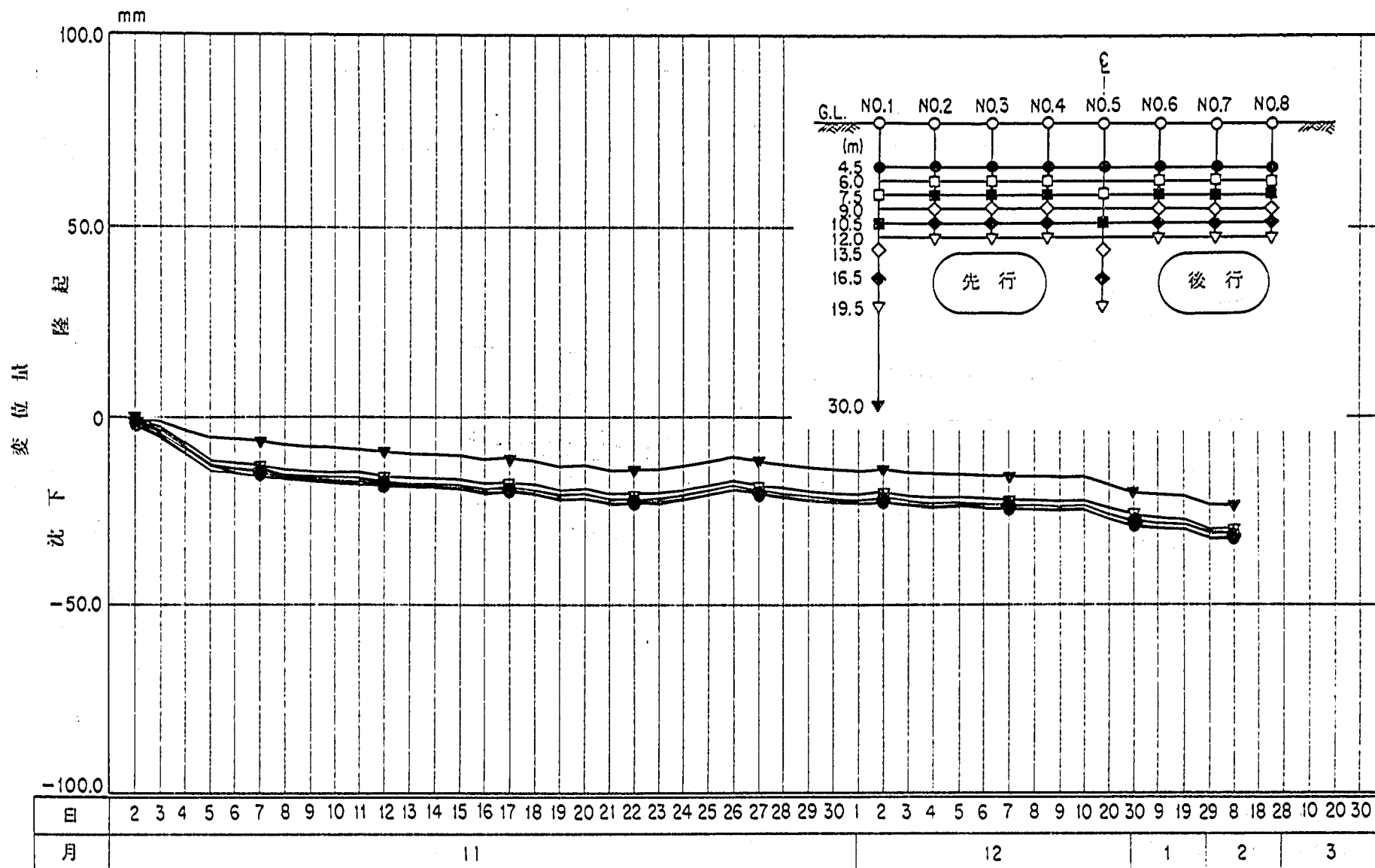


図-4.9(1) 層別沈下計 経時変化図  
(No.1)

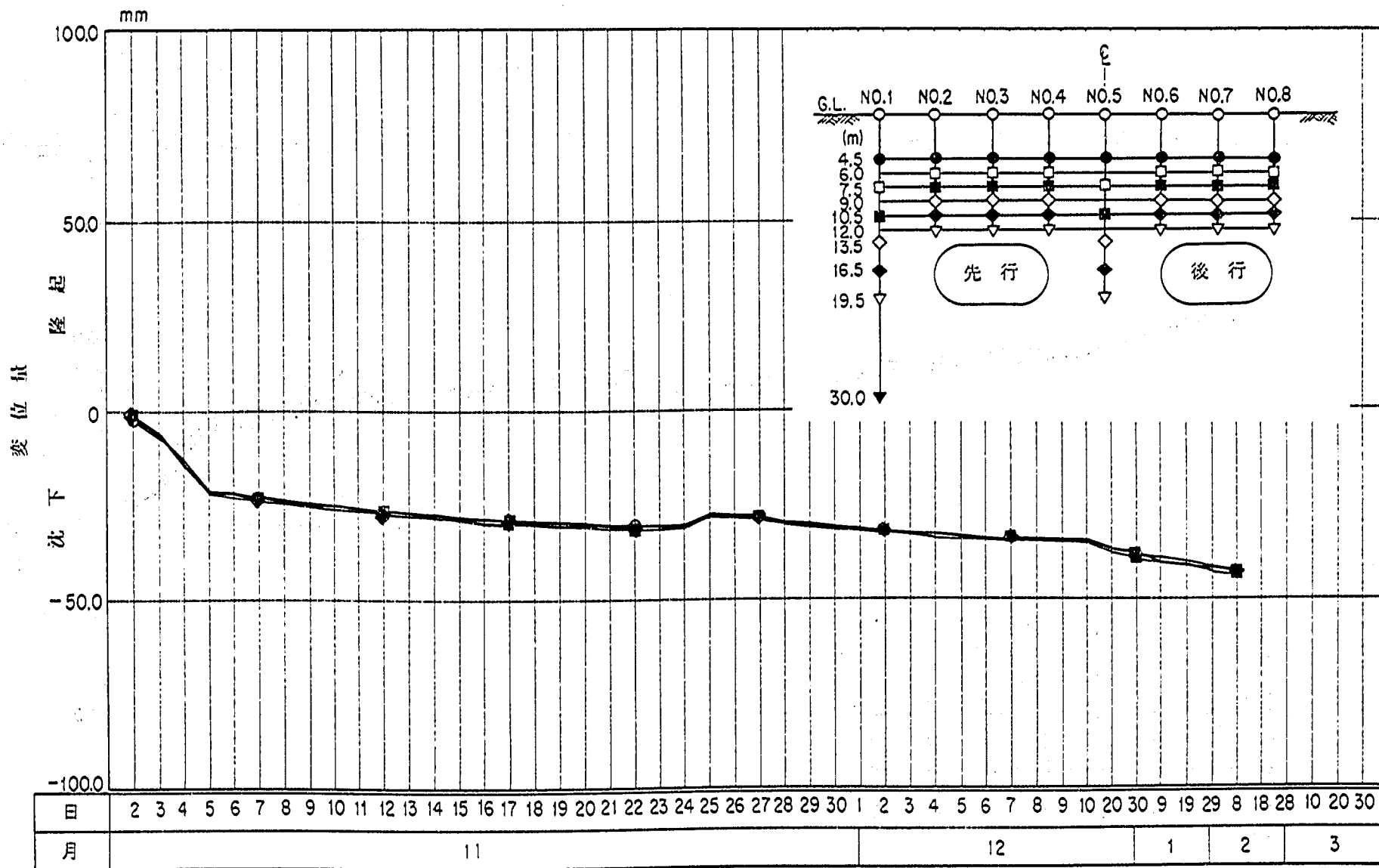


図-4.9(2) 層別沈下計 経時変化図  
(No. 2)

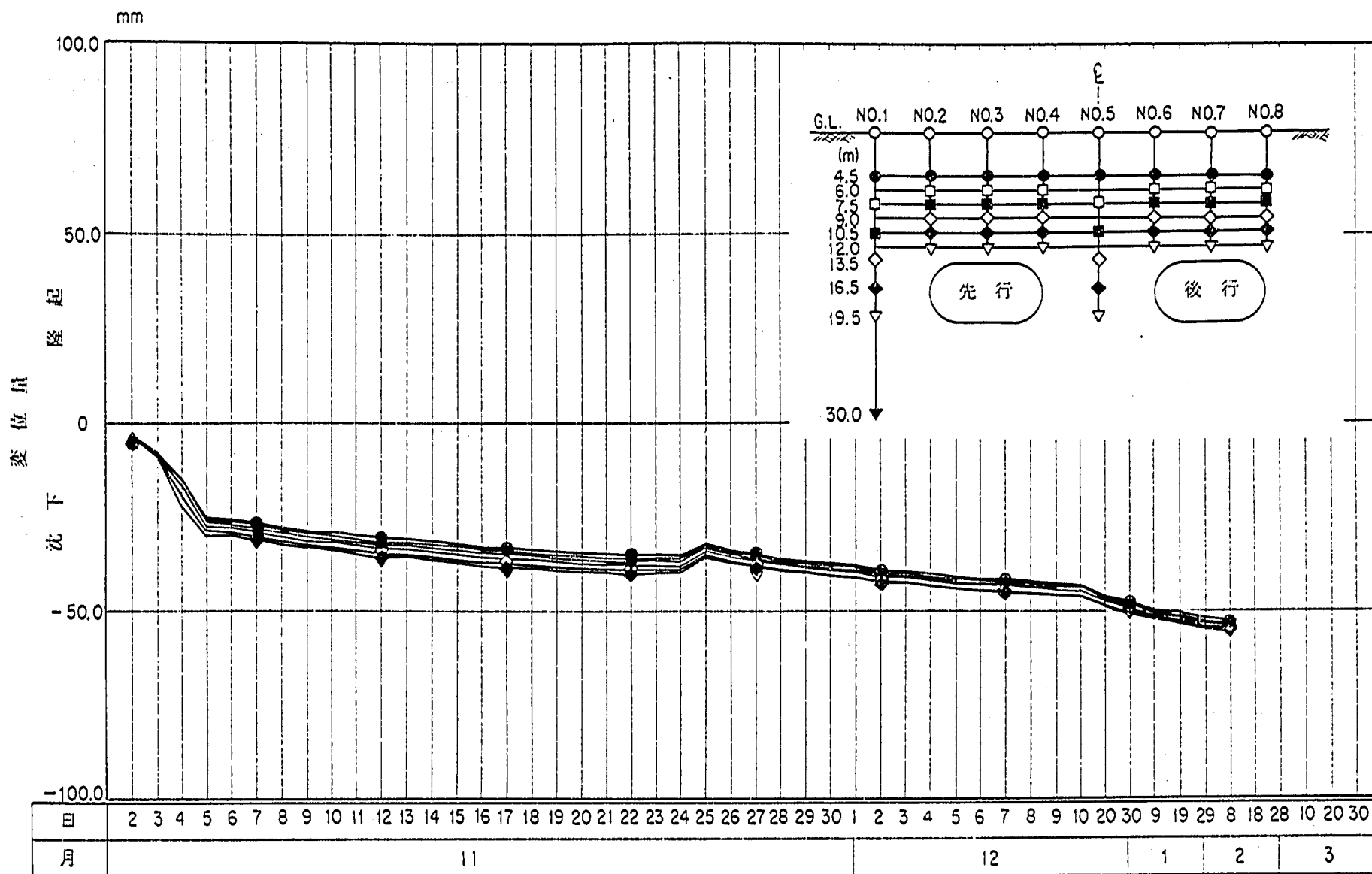


図-4.9(3) 層別沈下計 経時変化図

(No. 3)

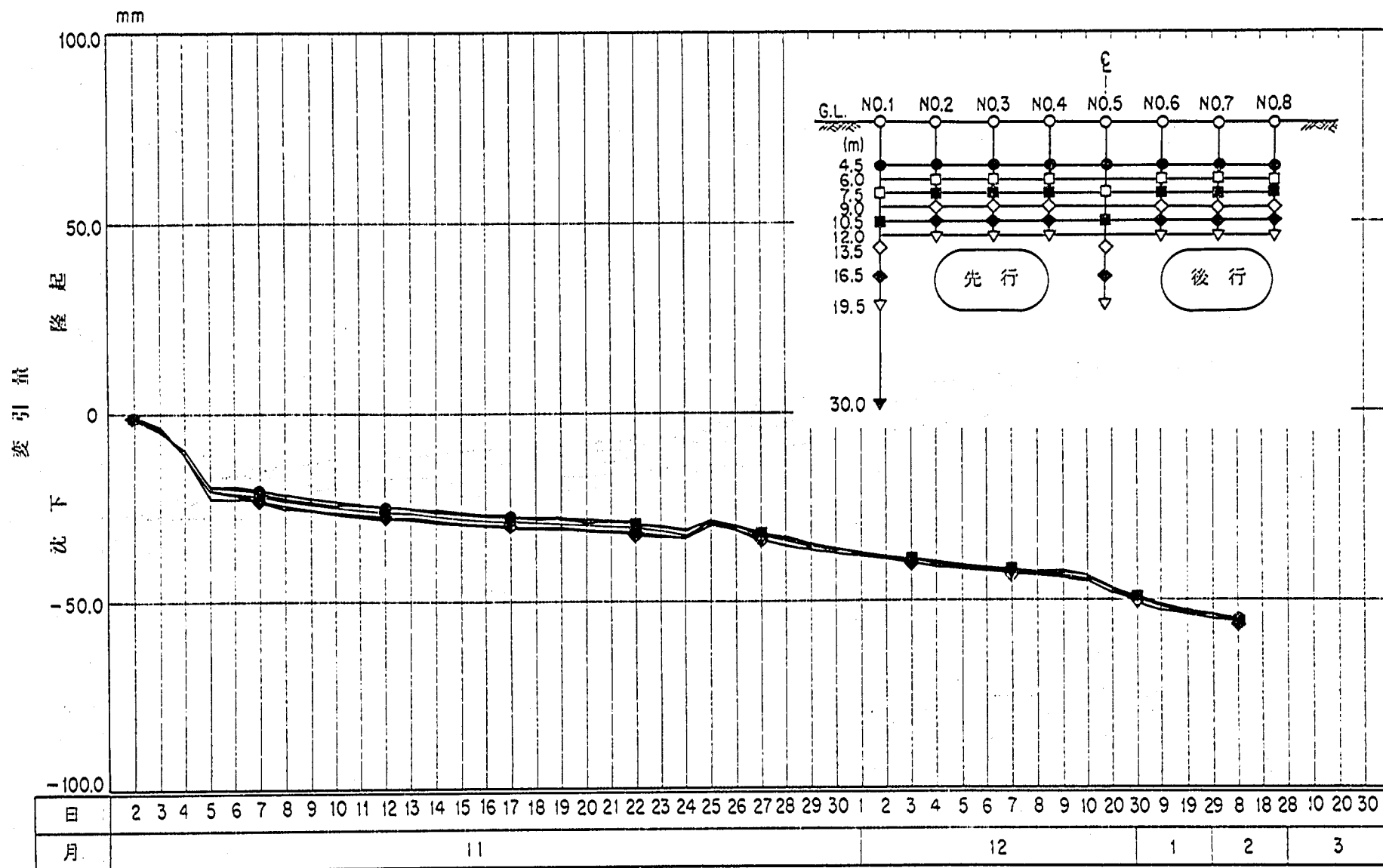


図 - 4.9(4) 層別沈下計 経時変化図  
(No. 4)

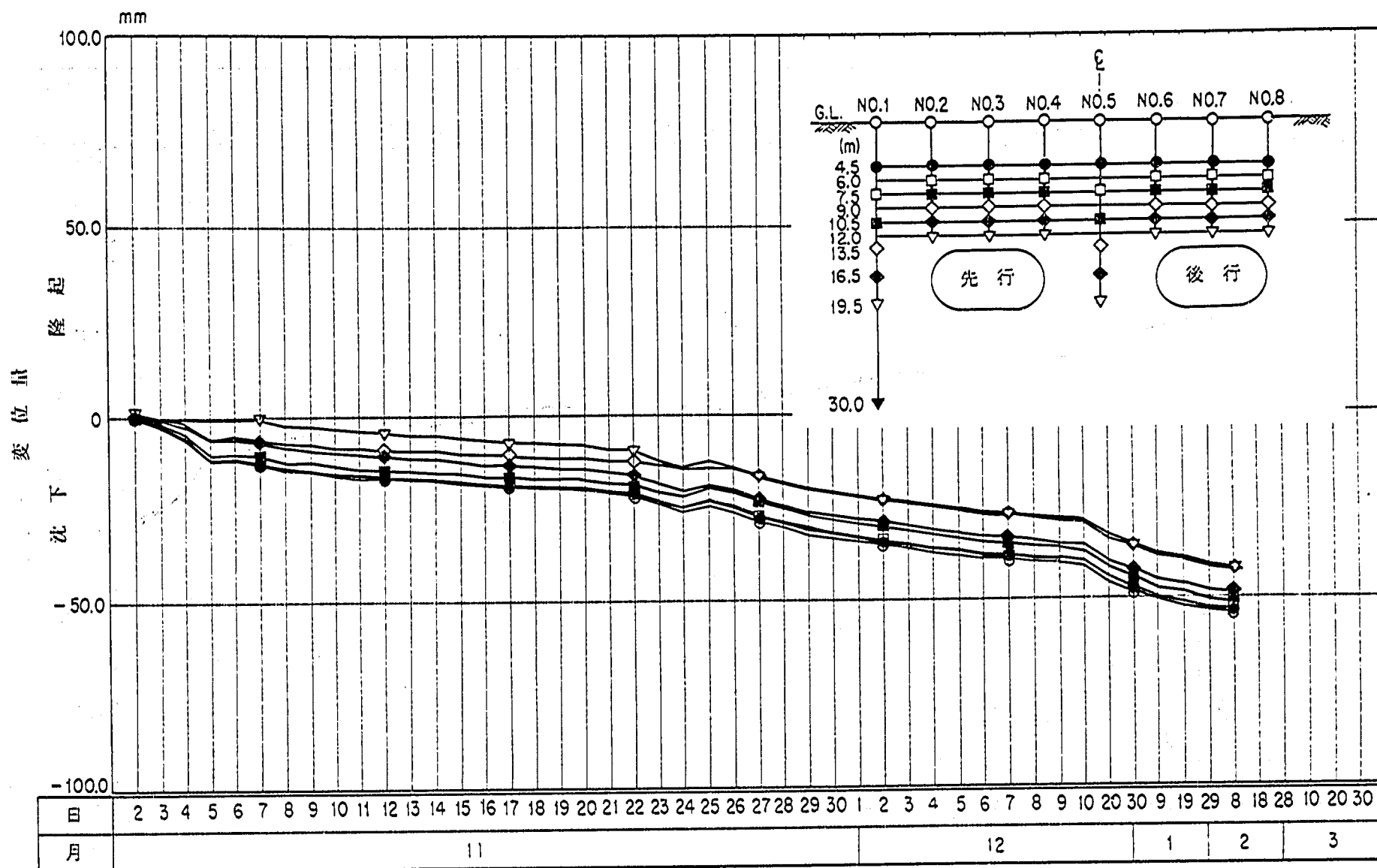


図-4.9(5) 層別沈下計 経時変化図  
(No. 5)

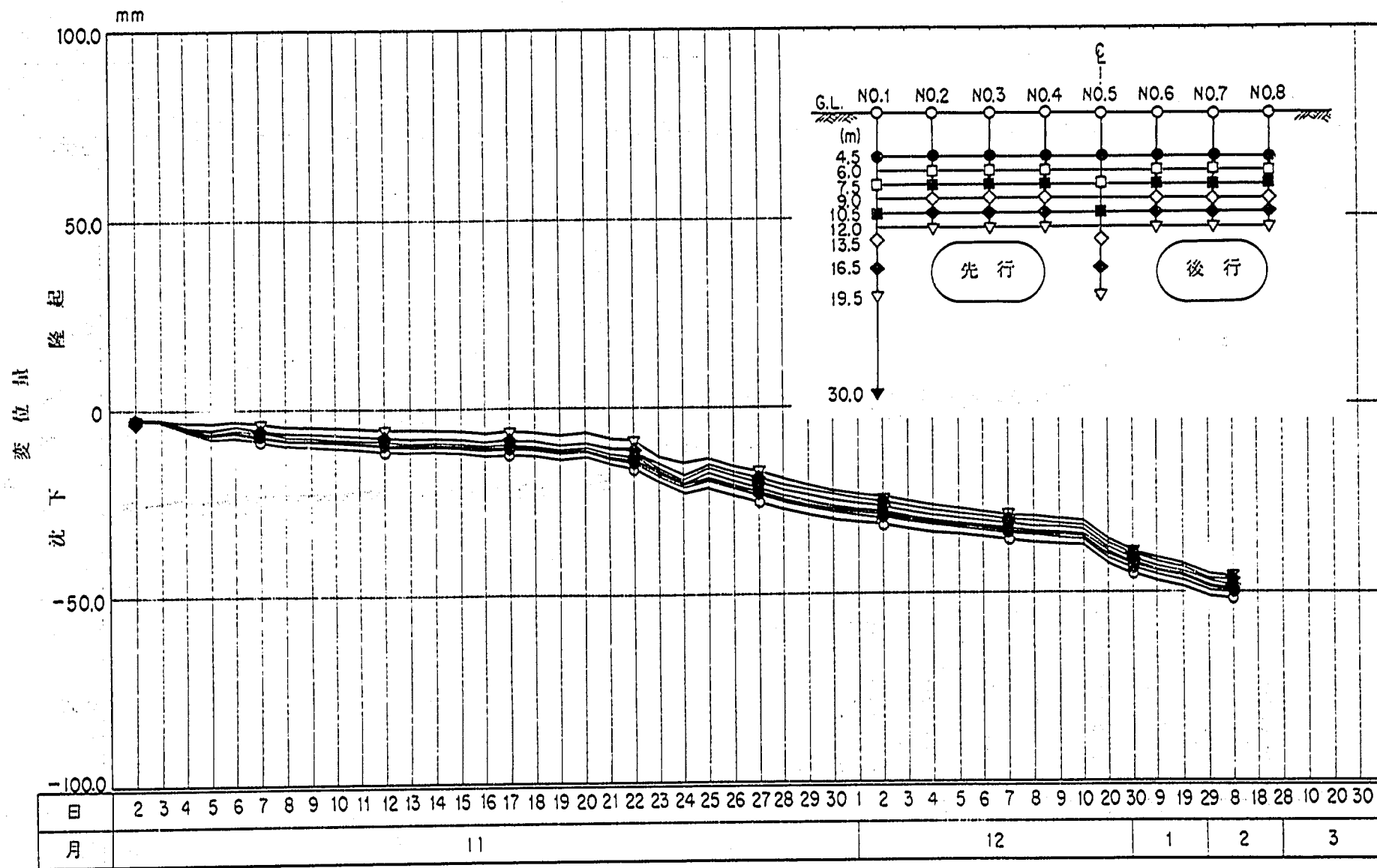


図 - 4.9 (6) 層別沈下計 経時変化図  
(No. 6)

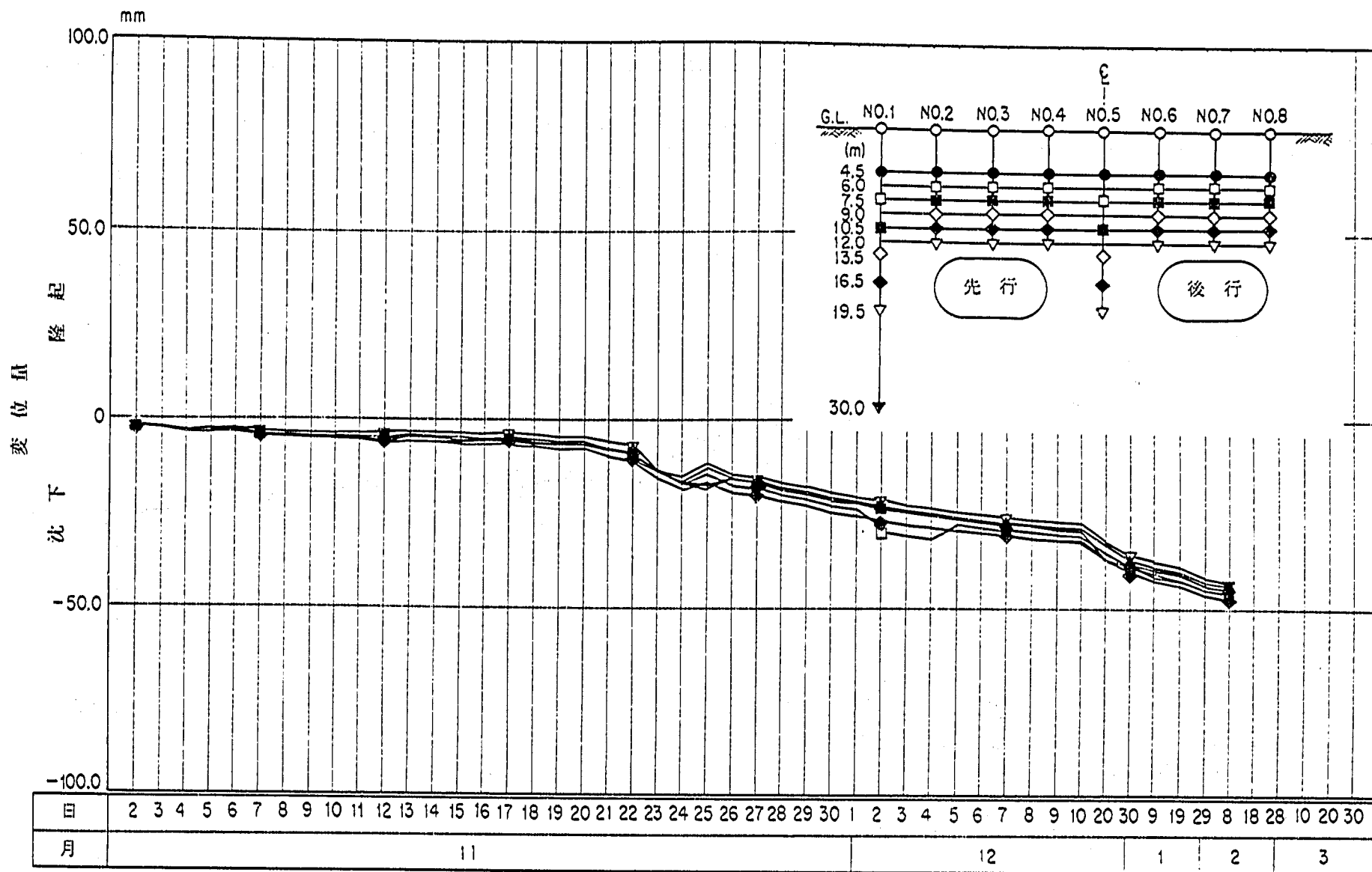


図-4.9(7) 層別沈下計 経時変化図  
(No. 7)

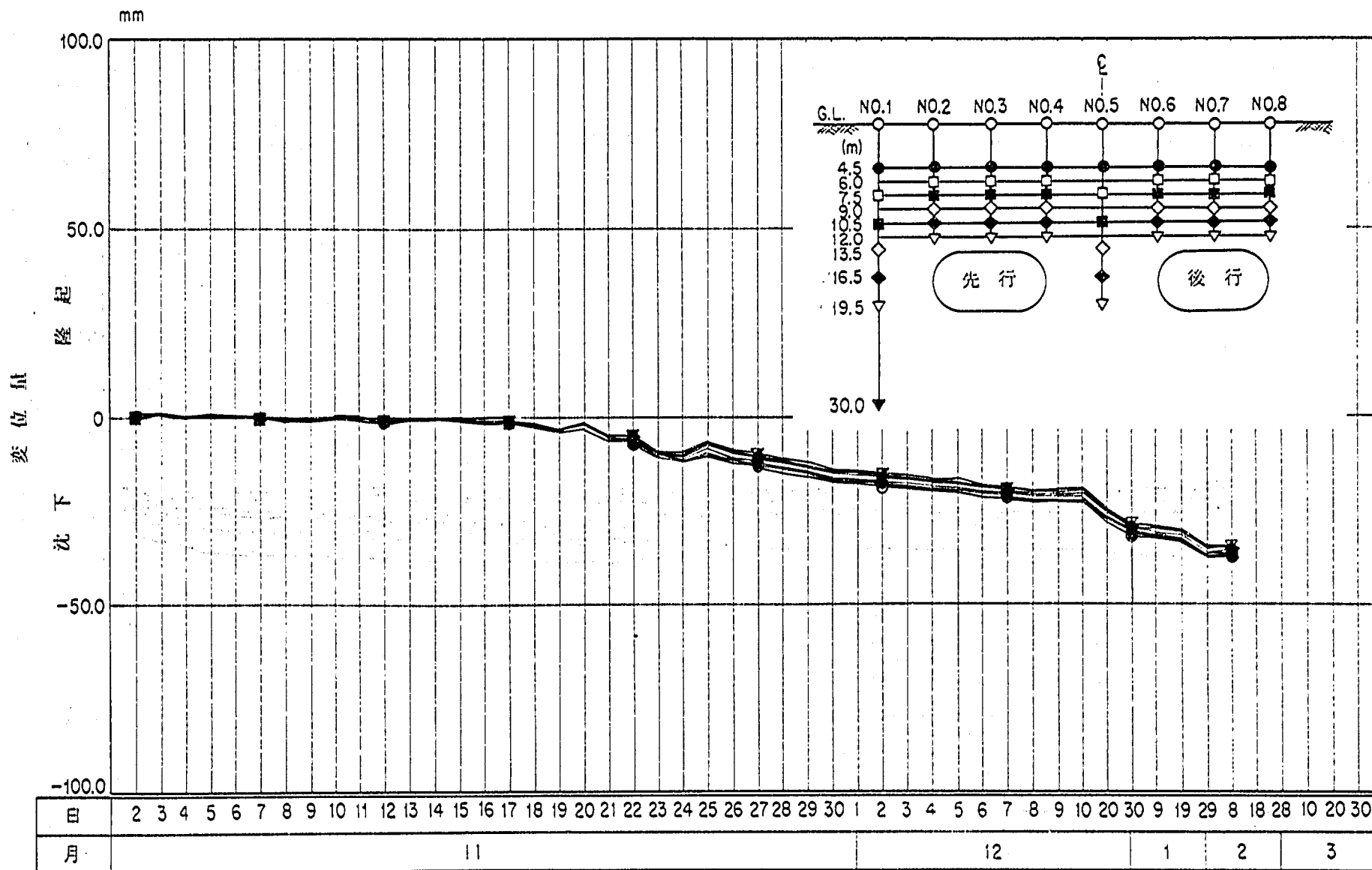


図 - 4.9 (8) 層別沈下計 経時変化図  
(No. 8)

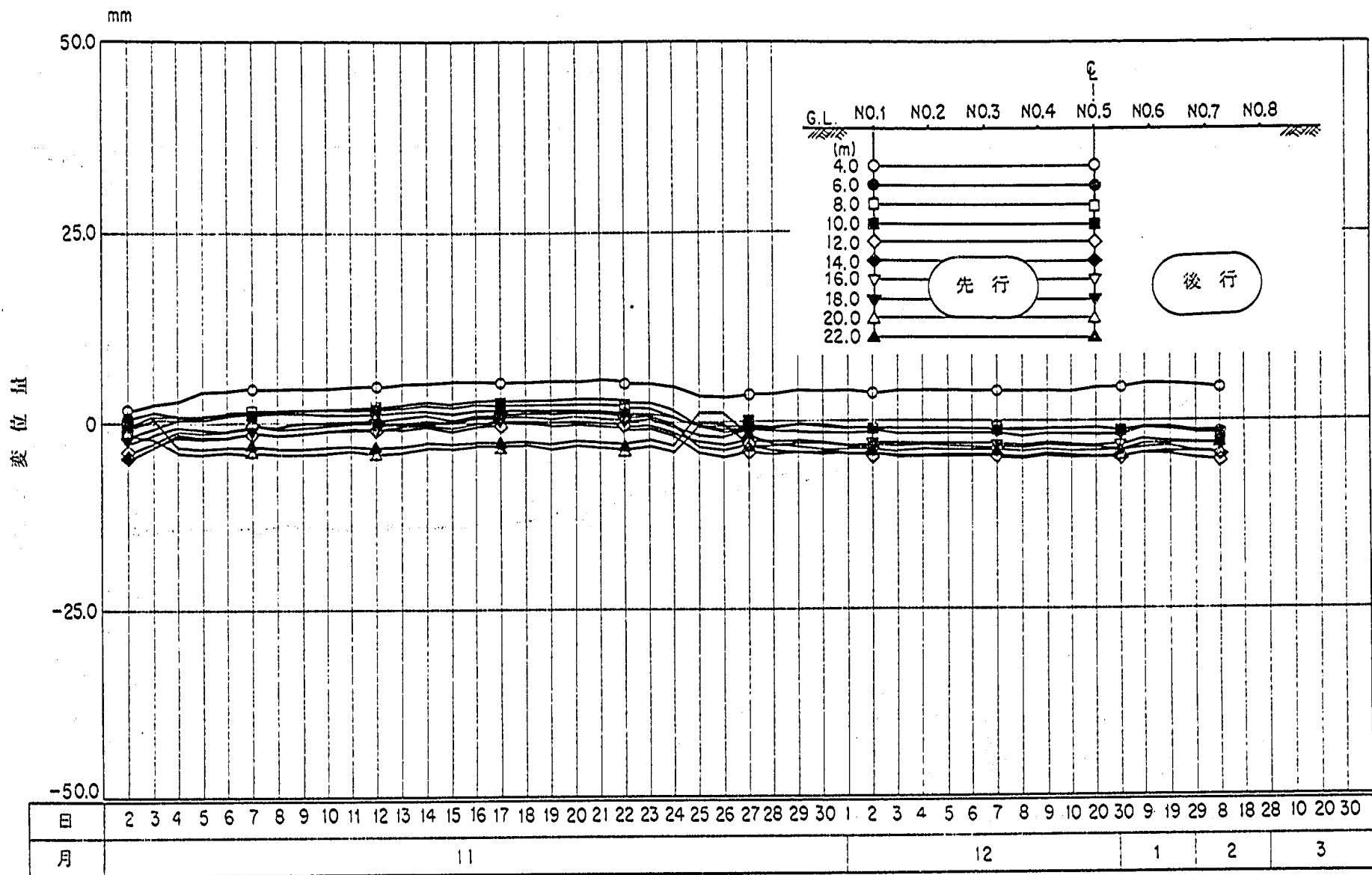


図 - 4.10(1) 固定式傾斜計 経時変化図  
(No. 1)

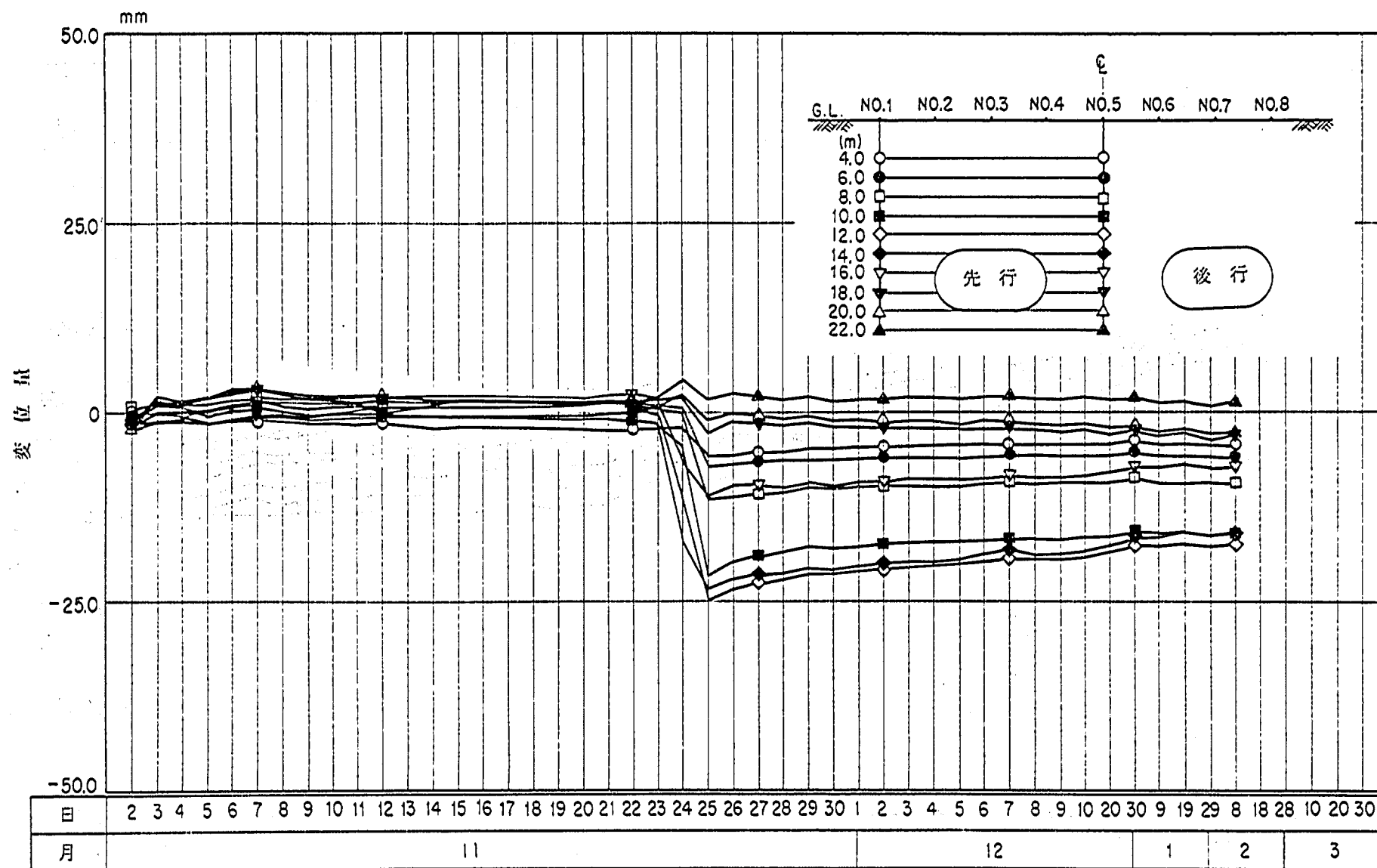


図 - 4.10(2) 固定式傾斜計 経時変化図  
(No. 5)

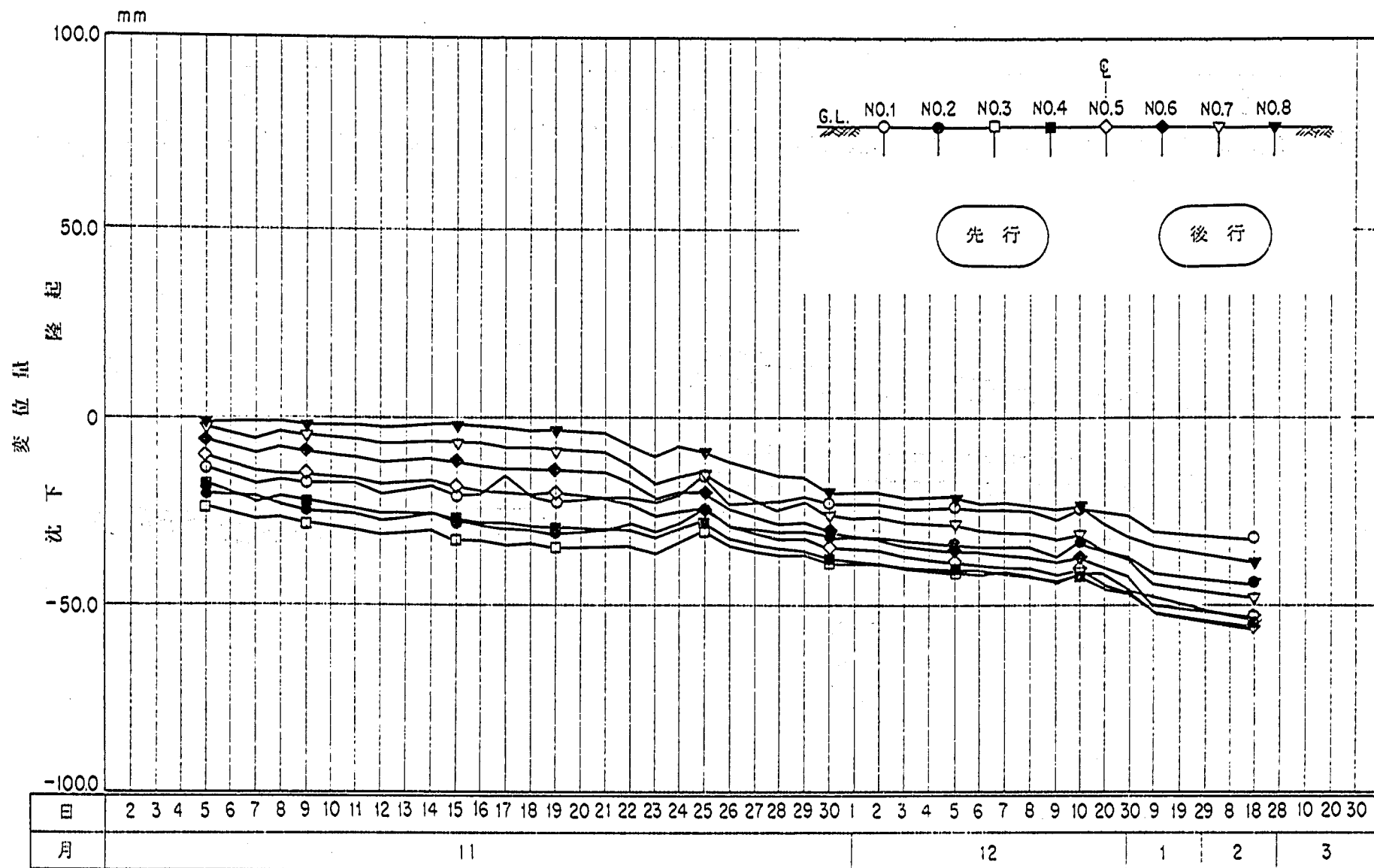


図-4.11 水盛り沈下計 経時変化図

## 第5章 単設シールドトンネルの設計への応用

### 5.1 シールドトンネルに作用する荷重

シールドトンネルに作用する荷重の経時変化（土圧計）を図-5.1に示す。計測リング組立後、テールシールを出たセグメントへの裏込注入により約 $1.8 \sim 2.4 \text{ kgf/cm}^2$ まで上昇し、その後、徐々に減少する傾向がみられる。

ここで、計測リング組立後、荷重がほぼ安定していると考えられる昭和63年11月21日午前0時の計測リング断面に作用する荷重の大きさを表-5.1に、また、その断面分布の状況を図-5.2に示す。

断面分布図からセグメント中心を通る鉛直軸を対称に左右の作用荷重がほぼバランスしていることがわかる。

#### ① 天端の作用荷重

セグメントリングに作用する荷重は、組立後の裏込注入により一気に上昇し、なだらかに減少している。これは、裏込注入材料のゲルタイムが5 secであること、固定式傾斜計の経時変化を示す図-4.10、4.11で裏込注入時に水平変位が生じていることから、地盤側が変動し圧力が減少したものと考えられる。その後、この減少は10日ほどで収まってほぼ安定した状態を呈している。

土被り $H=13\text{m}$ 、単位体積重量 $\gamma = 1.8 \text{ kgf/cm}^3$  (G. L. ~ G. L. - 7.0 m) ,  $1.7 \text{ kgf/cm}^3$  (G. L.

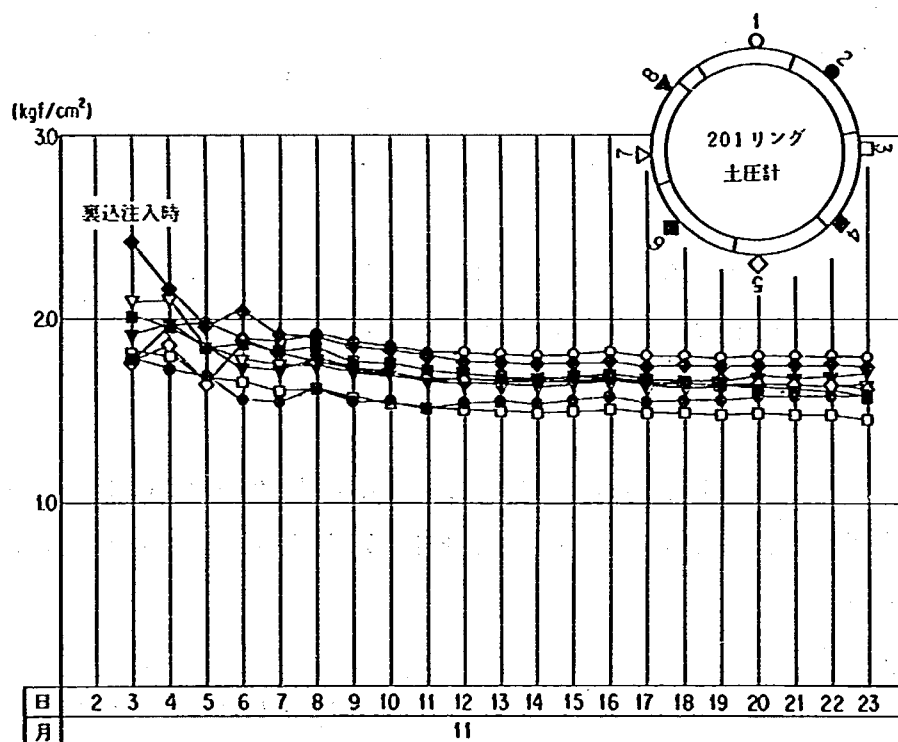


図-5.1 土圧計・経時変化図

表- 5.1 トンネルに作用する荷重 (kgf/cm<sup>2</sup>)

|       | 天端   | 右上   | 右端   | 右下   | 底端   | 左下   | 左端   | 左上   |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 土 圧 計 | 1.80 | 1.58 | 1.48 | 1.62 | 1.64 | 1.75 | 1.64 | 1.68 |
| 水 圧 計 | 1.02 | 1.12 | 1.37 | 1.51 | 1.55 | 1.24 | 1.24 | 1.10 |
| 有効土圧  | 0.78 | 0.48 | 0.22 | 0.13 | 0.12 | 0.23 | 0.33 | 0.52 |

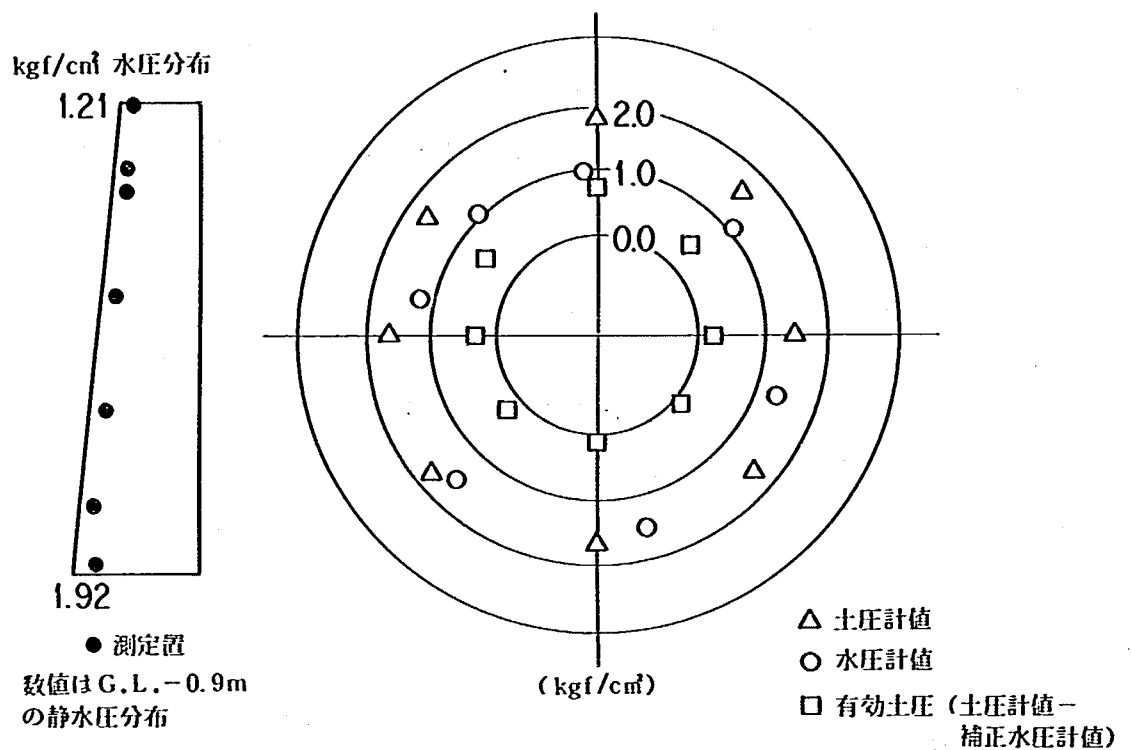


図- 5.2 断面分布図

— 7.0 m—) とした場合、全土被り荷重  $P_s = \gamma H = 2.28 \text{ kgf/cm}^2$  これより、裏込注入時には全土被り重量の約 1.1 倍の施工時荷重が作用したことになる。また、セグメントリング組立後から約 20 日後においては、全土被り重量のはぼ 8 割が作用していることになる。

## ② 水圧分布

理論静水圧は、天端で  $1.21 \text{ kgf/cm}^2$ 、底端で  $1.92 \text{ kgf/cm}^2$  (地下水位 G.L. - 0.9 m) となる。また、水圧分布図より荷重が安定した時期には水圧計値が理論静水圧に比べやや小さいものの同じ傾きで分布していることがわかる。

## ③ 底部の作用荷重

底部と天端の土圧計の値を比較すると、底部の土圧計の値が  $1.6 \text{ tf/m}^2$  低い傾向にある。しかし、上半部 3 点及び下半部 3 点の平均値でみると  $16.8 \text{ tf/m}^2$  となり、上下のバランスは保たれているものと見ることができる。有効土圧の分布は、上半部が大きい傾向にある。その原因として、浮力の影響が考えられる。

\* 浮力による影響はおおむね次の様に算定できる。

$$\begin{aligned} \text{浮力による有効土圧の低下量} &= \{ 39.6 \text{ (浮力)} - 16.0 \text{ (自重)} \} / 7.1 \text{ (トンネル径)} \\ &= 3.32 \text{ tf/m}^2 \end{aligned}$$

#### ④ 側方土圧係数

組立後から約20日間の側方土圧係数  $\lambda$  の変動を図-5.3に示す。

なお、 $\lambda$  は以下に示す式により推定した値である。(表-5.2参照)

$$\lambda = \frac{\overline{P_{ht}}}{\left( \frac{P_{vt}}{P_v} * P_{vh} \right)} \dots\dots\dots (5.1)$$

$\lambda$  : 側方土圧計数

$P_v$  : 天端位置の理論鉛直方向荷重

$P_{vh}$  : 側壁位置の理論鉛直方向荷重

$P_{vt}$  : 天端位置における各時刻の鉛直方向荷重

$\overline{P_{ht}}$  : 側壁位置における各時刻の水平方向荷重

(両側壁位置の平均値)

この経時変化図より、8日間で  $\lambda = 0.68 \sim 0.69$  に減少していることがわかる。この値は、表-5.3に示した土木学会のトンネル標準示方書(シールド編)・同解説における“非常に軟らかい粘性土”の  $\lambda$  にはほぼ等しい。

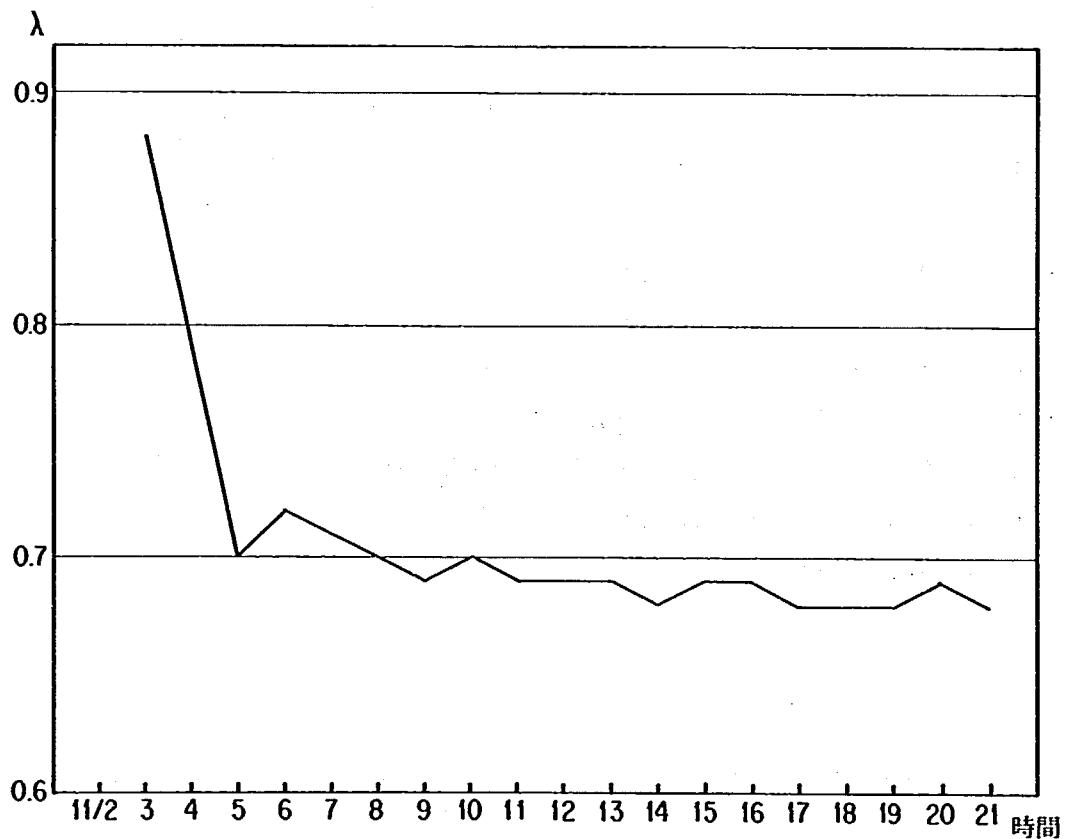


図-5.3 側方土圧係数  $\lambda$  の経時変化

表-5.2 側方土圧係数  $\lambda$  の経時変化

| 日付    | Pv   | Pvt  | Pvt/Pv | Plht | Prht | $\overline{\text{Ph}}$ | Pvh  | $\lambda$ |
|-------|------|------|--------|------|------|------------------------|------|-----------|
| 11/03 | 2.28 | 1.76 | 0.77   | 2.09 | 1.81 | 1.95                   | 2.88 | 0.88      |
| 04    | 2.28 | 1.96 | 0.86   | 2.10 | 1.79 | 1.95                   | 2.88 | 0.80      |
| 05    | 2.28 | 1.98 | 0.87   | 1.84 | 1.67 | 1.76                   | 2.88 | 0.70      |
| 06    | 2.28 | 1.89 | 0.83   | 1.78 | 1.66 | 1.72                   | 2.88 | 0.72      |
| 07    | 2.28 | 1.88 | 0.82   | 1.75 | 1.61 | 1.68                   | 2.88 | 0.71      |
| 08    | 2.28 | 1.92 | 0.84   | 1.75 | 1.62 | 1.69                   | 2.88 | 0.70      |
| 09    | 2.28 | 1.87 | 0.82   | 1.71 | 1.57 | 1.64                   | 2.88 | 0.69      |
| 10    | 2.28 | 1.85 | 0.81   | 1.69 | 1.54 | 1.62                   | 2.88 | 0.70      |
| 11    | 2.28 | 1.82 | 0.80   | 1.66 | 1.51 | 1.59                   | 2.88 | 0.69      |
| 12    | 2.28 | 1.82 | 0.80   | 1.65 | 1.51 | 1.58                   | 2.88 | 0.69      |
| 13    | 2.28 | 1.81 | 0.79   | 1.64 | 1.50 | 1.57                   | 2.88 | 0.69      |
| 14    | 2.28 | 1.80 | 0.79   | 1.63 | 1.49 | 1.56                   | 2.88 | 0.68      |
| 15    | 2.28 | 1.81 | 0.79   | 1.65 | 1.50 | 1.58                   | 2.88 | 0.69      |
| 16    | 2.28 | 1.82 | 0.80   | 1.65 | 1.51 | 1.58                   | 2.88 | 0.69      |
| 17    | 2.28 | 1.80 | 0.79   | 1.63 | 1.49 | 1.56                   | 2.88 | 0.68      |
| 18    | 2.28 | 1.80 | 0.79   | 1.63 | 1.49 | 1.56                   | 2.88 | 0.68      |
| 19    | 2.28 | 1.79 | 0.79   | 1.63 | 1.48 | 1.56                   | 2.88 | 0.68      |
| 20    | 2.28 | 1.80 | 0.79   | 1.64 | 1.49 | 1.57                   | 2.88 | 0.69      |
| 21    | 2.28 | 1.80 | 0.79   | 1.64 | 1.48 | 1.56                   | 2.88 | 0.68      |

Pv : 天端位置の理論鉛直方向荷重

Pvt : 天端位置における各時刻の鉛直方向荷重

Plht : 左側壁位置における各時刻の水平方向荷重

Prht : 右側壁位置における各時刻の水平方向荷重

$\overline{\text{Ph}}$  : 側壁位置における各時刻の水平方向荷重 (両側壁位置の平均値)

Pvh : 側壁位置の理論鉛直方向荷重

$\lambda$  : 側方土圧係数

表-5.3 側方土圧係数の適用値

(k 値: kgf/cm<sup>2</sup>)

| 土の種類         | $\lambda$   | $\kappa$  | N値による目安          |
|--------------|-------------|-----------|------------------|
| 非常によく締まった砂質土 | 0.35 ~ 0.45 | 3.0 ~ 5.0 | $N \geq 30$      |
| 固結した粘性土      |             |           | $N \geq 25$      |
| 締まった砂質土      | 0.45 ~ 0.55 | 1.0 ~ 3.0 | $15 \leq N < 30$ |
| 硬い粘性土        |             |           | $8 \leq N < 25$  |
| 中位の粘性土       |             | 0.5 ~ 1.0 | $4 \leq N < 8$   |
| 緩い砂質土        | 0.50 ~ 0.60 | 0 ~ 1.0   | $N < 15$         |
| 軟らかい粘性土      | 0.55 ~ 0.65 | 0 ~ 0.5   | $2 \leq N < 4$   |
| 非常に軟らかい粘性土   | 0.65 ~ 0.75 | 0         | $N < 2$          |

## ⑤ まとめ

セグメントリングに作用する荷重は、組立後の裏込注入により一気に上昇し、なだらかに減少するが10日ほどで収まってほぼ安定する。

シールドトンネル天端には、裏込注入時に全土被り重量の約1.1倍の施工時荷重が作用し、セグメントリング組立後から約20日後においては全土被り重量のほぼ8割が作用している。側方土圧係数はセグメント組立後8日前後で $\lambda = 0.68 \sim 0.69$ に安定することがわかった。

## 5.2 覆工体に発生する応力度

覆工体に発生する応力度は、先行(B線)トンネルの202リング、203リングの主鉄筋に取り付けた円周方向鉄筋計により測定した。

その結果は、既に第4章で各鉄筋計の経時変化を示した。ここでは、いくつかの代表的な時点の覆工体断面の鉄筋計応力度分布について述べるとともに、鉄筋計応力度から断面力(曲げモーメント)を求めて、設計断面力との比較を行い考察を加える。

## (1) 鉄筋の応力度分布

セグメント組立後、裏込め注入、テール脱出後を含めて14日までの1日毎および3週間後の各リングの鉄筋計応力度分布を、202リングについて図-5.4(1)から(3)に、203リングについて図-5.5(1)から(3)に示す。参考値として後行(A線)トンネル通過後のセグメント組立後1ヶ月、2ヶ月、3ヶ月および最終の各リングの鉄筋計応力度分布を図-5.4(4)、5.5(4)に示す。

また、これらの図面の各鉄筋計応力度の値を表-5.4、5.5に示す。

なお、各鉄筋計の測定値は、初期値をセグメント組立直後にしており、セグメントの自重分は考慮されていない。

図より、セグメント組立直後はシールド機内にあるため、当然、鉄筋計には応力はほとんど生じていない。その後、裏込め注入、テール脱出とともに、鉄筋応力が生じて時間とともに、徐々に増加し

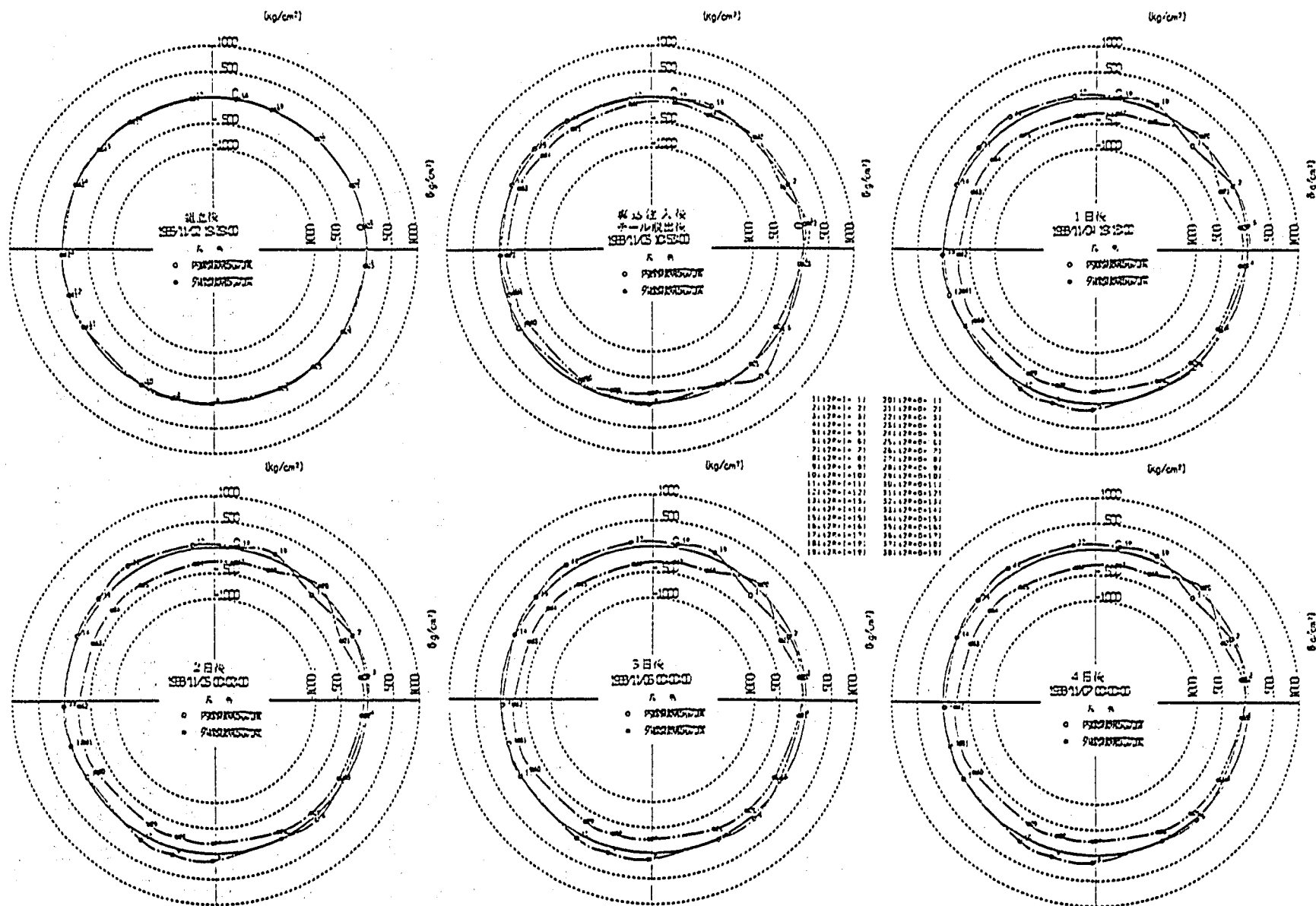


図 - 5.4 鉄筋応力度分布図 (202リング) (1)

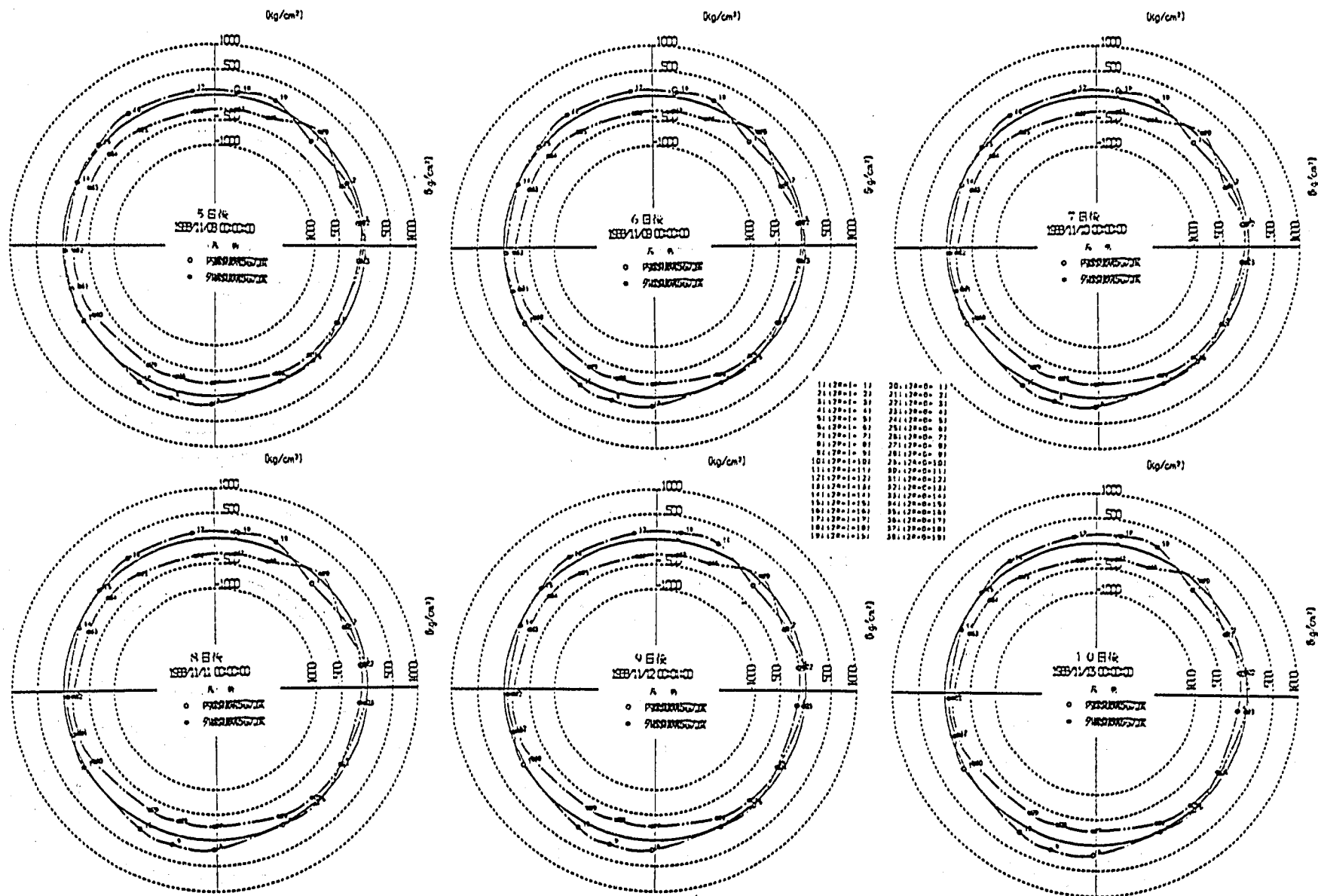


図 - 5.4 鉄筋応力度分布図 (202リング) (2)

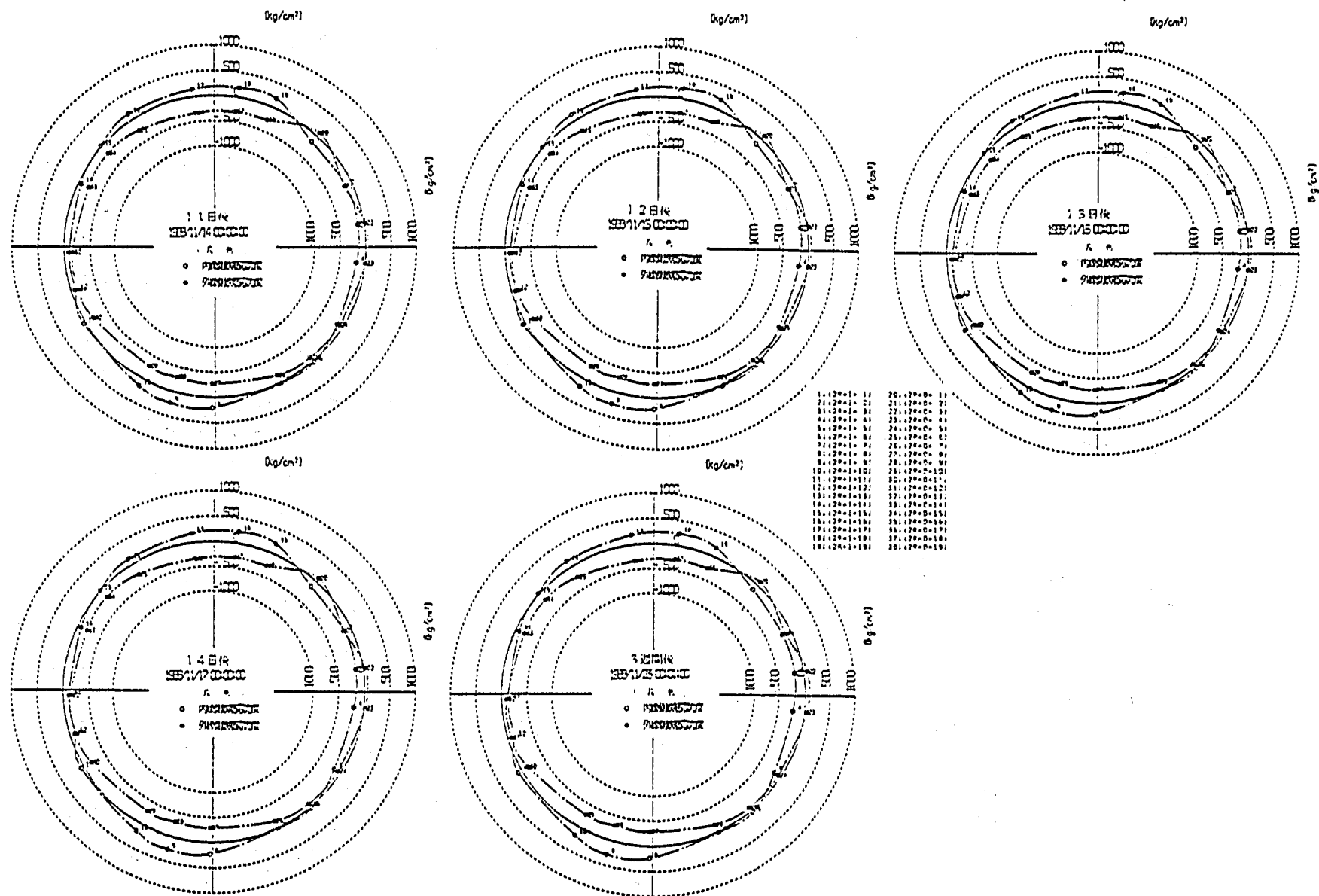


図 - 5.4 鉄筋応力度分布図 (202リング) (3)

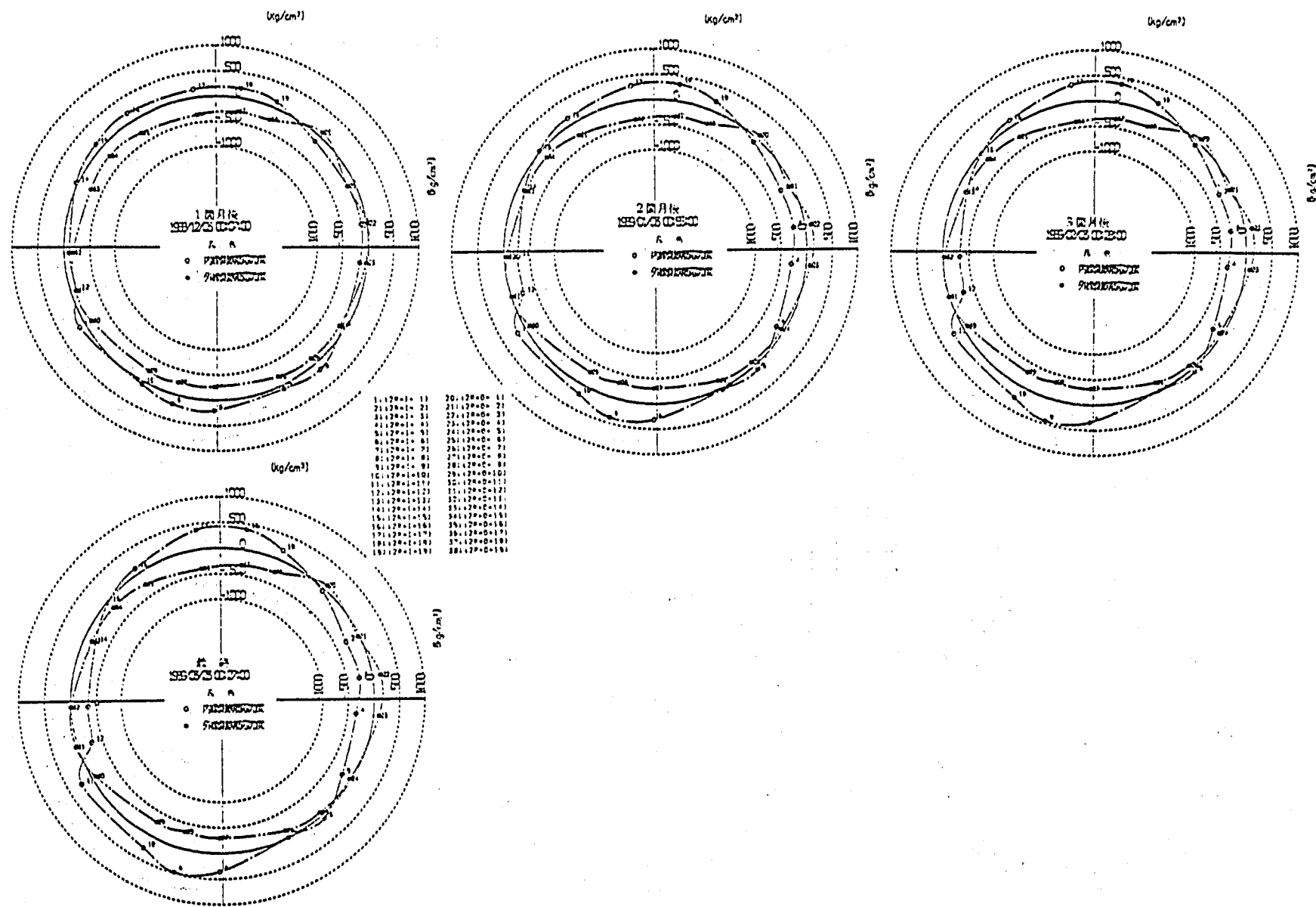


図-5.4 鉄筋応力度分布図(202リング)(4)

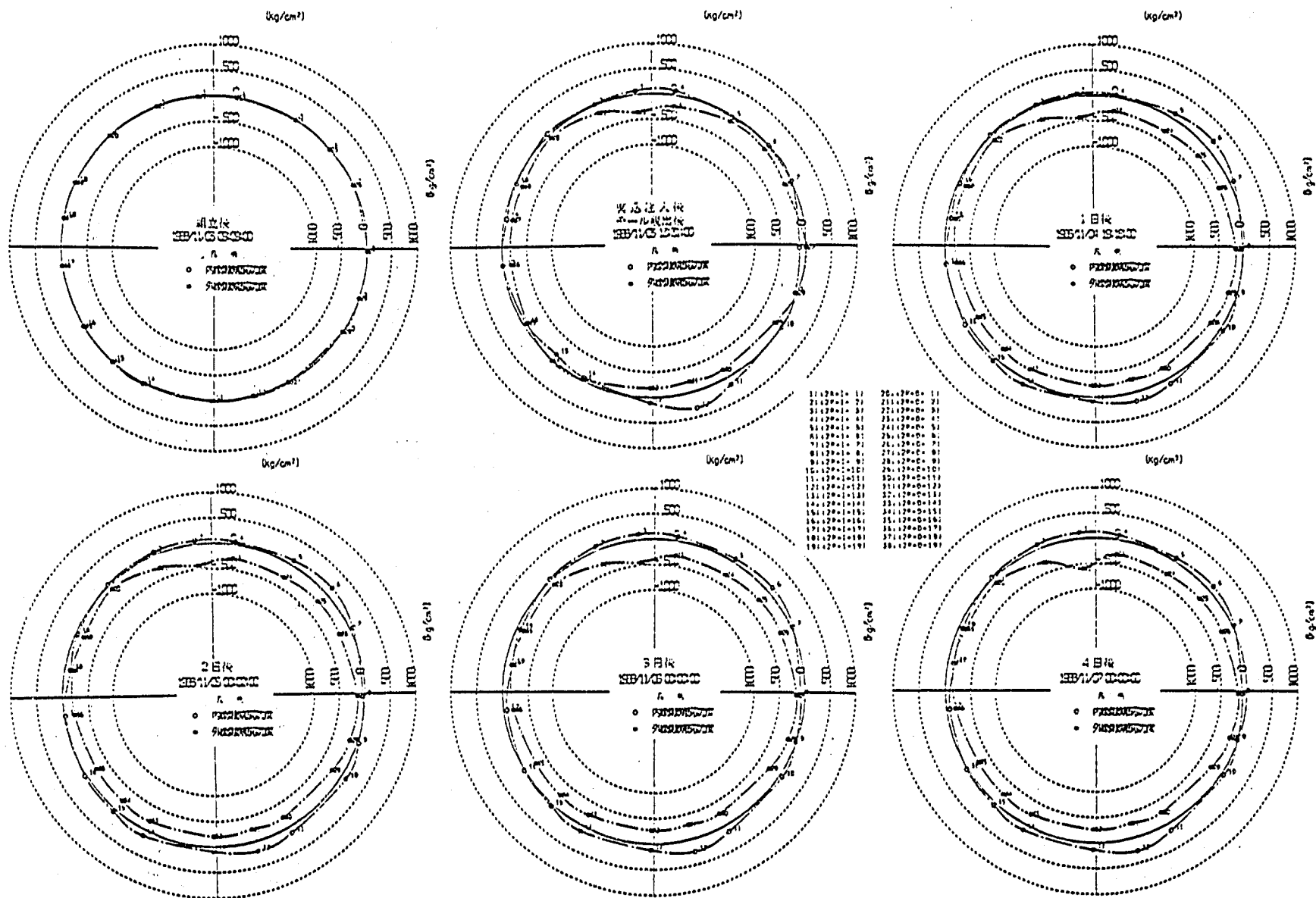


図 - 5.5 鉄筋応力度分布図 (203リング) (1)

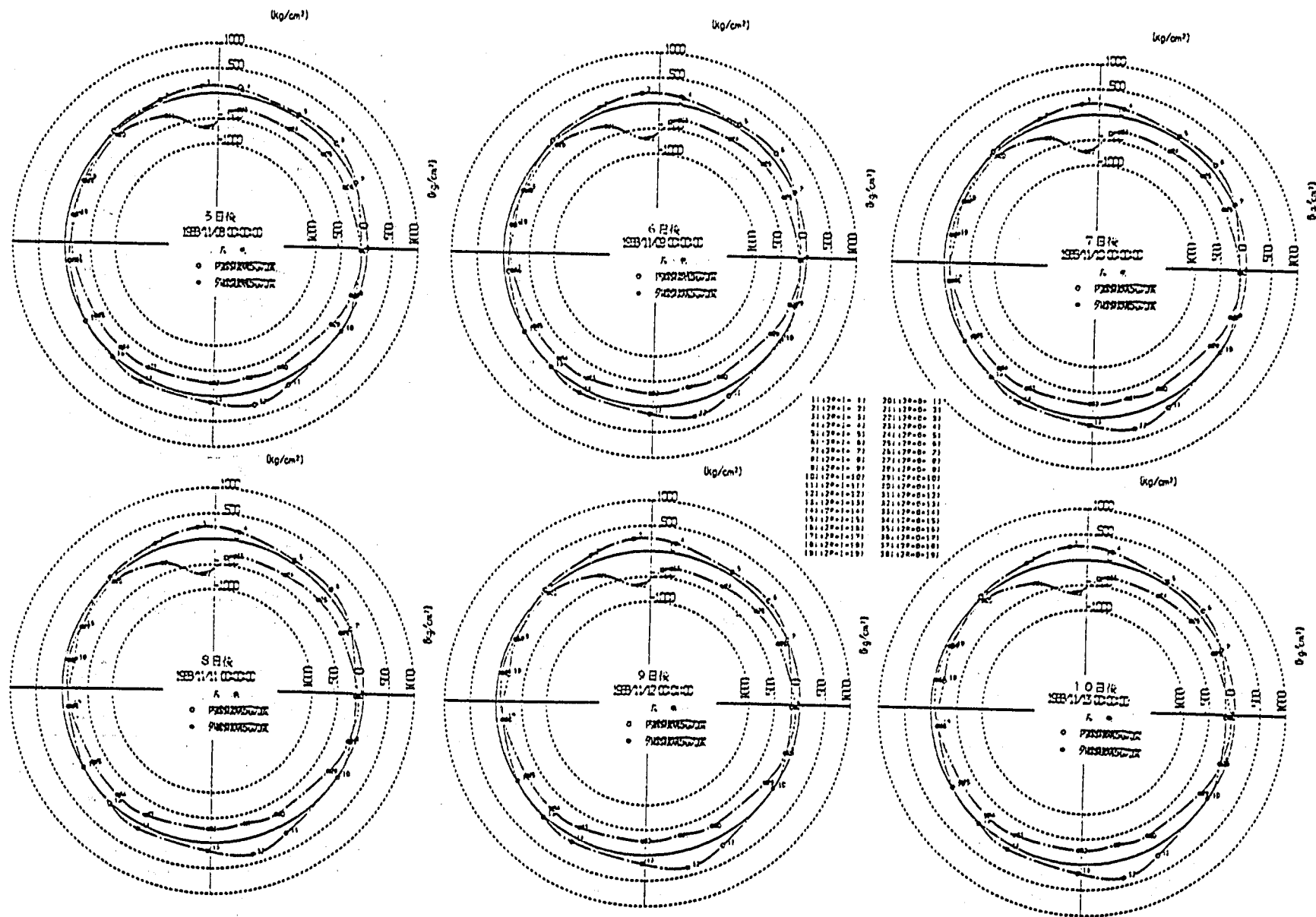


図 - 5.5 鉄筋応力度分布図 (203リング) (2)

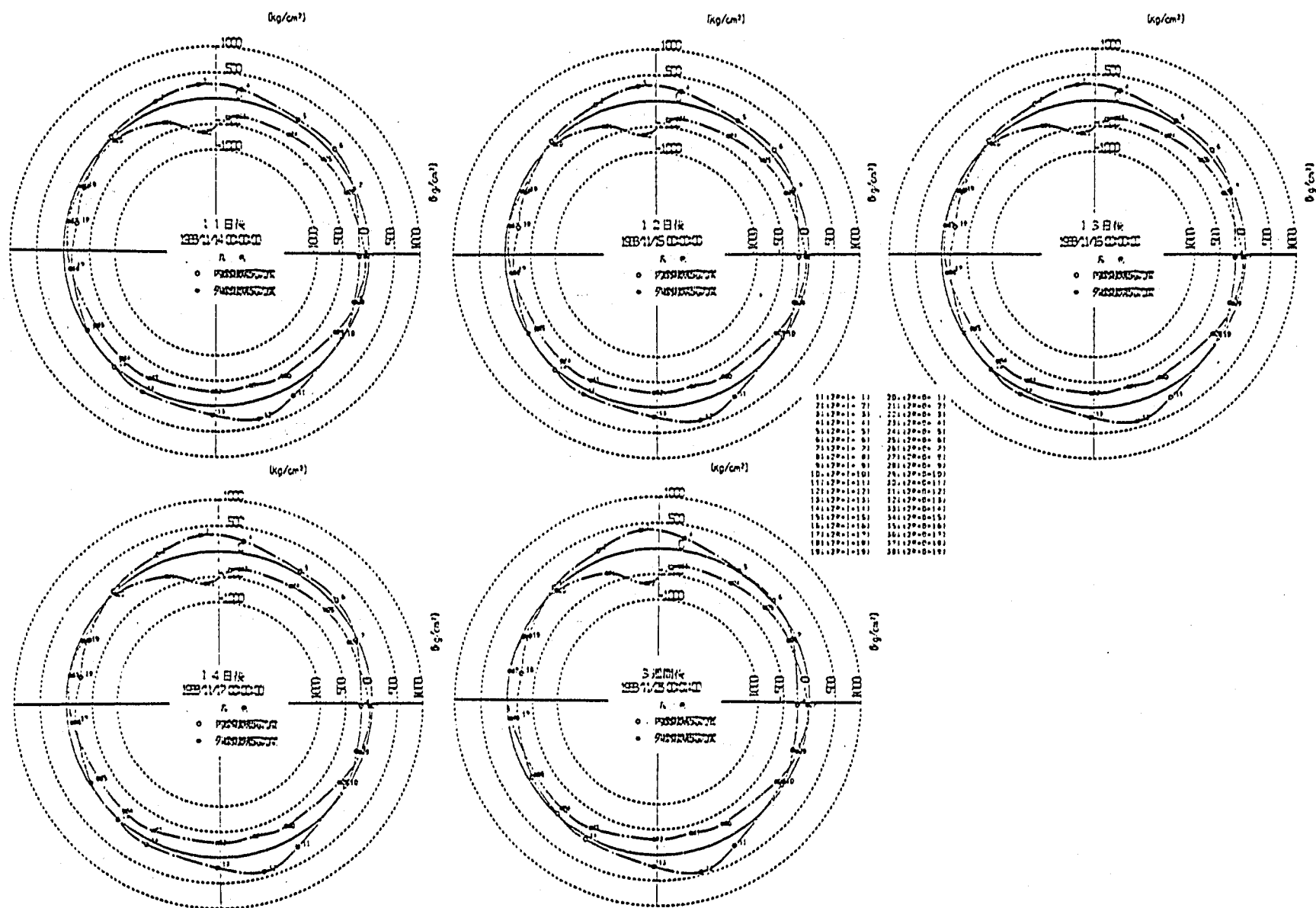


図 - 5.5 鉄筋応力度分布図 (203リング) (3)

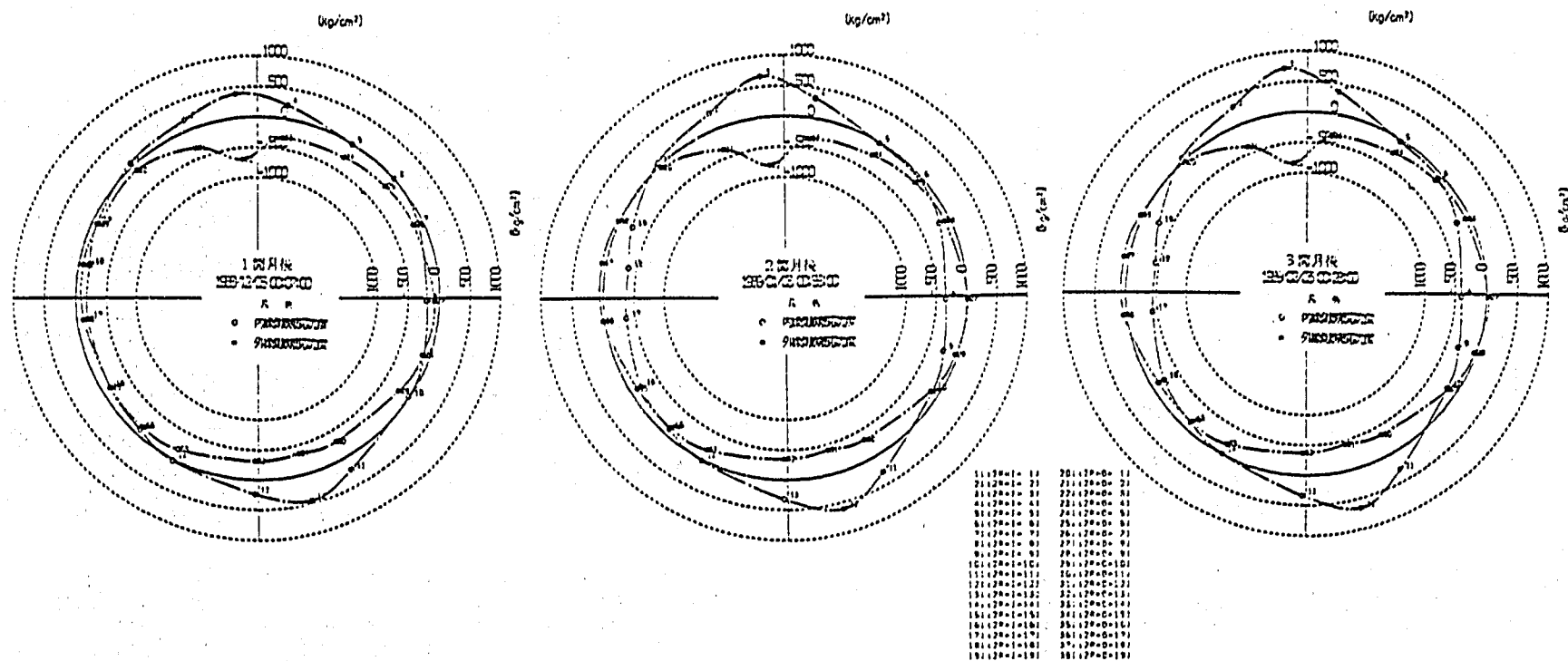


図 - 5.5 鉄筋応力度分布図 (203リング) (4)

表-5.4 鉄筋応力度一覧表(202リング)

鉄筋計(202リング) (断面分布図使用データ) 単位: kgf/cm<sup>2</sup>

|          | 計測月日  |       | 1   |      | 2    |      | 3   |      | 4    |      | 5    |      |
|----------|-------|-------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|
|          | 月日    | 日時    | 外縁側 | 内縁側  | 外縁側  | 内縁側  | 外縁側 | 内縁側  | 外縁側  | 内縁側  | 外縁側  | 内縁側  |
| セグメント組立後 | 11/02 | 19:39 | 2   | 3    | 2    | 3    | 2   | 4    | 2    | 3    | 3    | 2    |
| 裏込注入後    | /03   | 10:53 | 10  | -60  | -136 | -15  | 135 | 73   | -9   | -52  | -108 | 53   |
| 1日目後     | /04   | 19:18 | 77  | -180 | -253 | 2    | -98 | 48   | -108 | -8   | -118 | -59  |
| 2        | /05   | 0:02  | 72  | -163 | -237 | 2    | -85 | 43   | -90  | -16  | -113 | -35  |
| 3        | /06   | 0:00  | 83  | -194 | -230 | -56  | -76 | -42  | -116 | -82  | -163 | -56  |
| 4        | /07   | 0:00  | 86  | -192 | -227 | -52  | -70 | -31  | -102 | -82  | -144 | -69  |
| 5        | /08   | 0:00  | 85  | -165 | -198 | -69  | -42 | -52  | -62  | -101 | -116 | -93  |
| 6        | /09   | 0:00  | 87  | -174 | -198 | -75  | -37 | -55  | -61  | -102 | -116 | -87  |
| 7        | /10   | 0:00  | 89  | -166 | -185 | -84  | -23 | -69  | -47  | -119 | -104 | -102 |
| 8        | /11   | 0:00  | 89  | -165 | -177 | -95  | -10 | -86  | -33  | -136 | -101 | -97  |
| 9        | /12   | 0:01  | 89  | -155 | -164 | -105 | 5   | -98  | -19  | -150 | -93  | -112 |
| 10       | /13   | 0:00  | 88  | -148 | -153 | -113 | 18  | -108 | -6   | -161 | -86  | -120 |
| 11       | /14   | 0:00  | 87  | -145 | -148 | -119 | 26  | -118 | 2    | -171 | -82  | -127 |
| 12       | /15   | 0:00  | 90  | -137 | -138 | -123 | 36  | -122 | 11   | -177 | -76  | -128 |
| 13       | /16   | 0:00  | 90  | -132 | -130 | -129 | 44  | -129 | 21   | -184 | -68  | -134 |
| 14       | /17   | 0:00  | 87  | -132 | -128 | -137 | 49  | -138 | 25   | -194 | -65  | -145 |
| 3週間後     | 11/23 | 0:01  | 88  | -121 | -106 | -165 | 73  | -166 | 48   | -220 | -58  | -148 |
| 1箇月後     | 12/03 | 0:07  | 100 | -126 | -140 | -141 | 22  | -102 | -15  | -146 | -123 | -63  |
| 2        | 1/03  | 0:55  | 94  | -83  | -59  | -236 | 126 | -216 | 86   | -282 | -59  | -164 |
| 3        | 2/03  | 0:28  | 82  | -76  | -48  | -270 | 148 | -257 | 97   | -337 | -54  | -205 |
| 最終       | 3/23  | 0:27  | 90  | -52  | -28  | -277 | 169 | -249 | 107  | -337 | -36  | -212 |

鉄筋計(202リング) (断面分布図使用データ) 単位: kgf/cm<sup>2</sup>

|          | 計測月日  |       | 6    |     | 7    |     | 8    |     | 9    |     | 10   |     |
|----------|-------|-------|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
|          | 月日    | 日時    | 外縁側  | 内縁側 | 外縁側  | 内縁側 | 外縁側  | 内縁側 | 外縁側  | 内縁側 | 外縁側  | 内縁側 |
| セグメント組立後 | 11/02 | 19:39 | 2    | 2   | 4    | 3   | 2    | 2   | 2    | 2   | 2    | 2   |
| 裏込注入後    | /03   | 10:53 | -27  | 297 | -53  | -32 | -189 | 32  | -142 | -32 | -110 | -66 |
| 1日目後     | /04   | 19:18 | -102 | 30  | -164 | -18 | -237 | 113 | -262 | 91  | -263 | 83  |
| 2        | /05   | 0:02  | -95  | 71  | -146 | 2   | -209 | 128 | -239 | 123 | -247 | 96  |
| 3        | /06   | 0:00  | -150 | 60  | -194 | 23  | -278 | 115 | -278 | 110 | -278 | 86  |
| 4        | /07   | 0:00  | -133 | 43  | -182 | 13  | -283 | 136 | -286 | 132 | -281 | 101 |
| 5        | /08   | 0:00  | -112 | 19  | -169 | -1  | -264 | 156 | -282 | 153 | -274 | 109 |
| 6        | /09   | 0:00  | -107 | 26  | -166 | 8   | -266 | 164 | -282 | 164 | -276 | 127 |
| 7        | /10   | 0:00  | -96  | 19  | -165 | 10  | -270 | 172 | -286 | 177 | -278 | 132 |
| 8        | /11   | 0:00  | -100 | 40  | -163 | 17  | -273 | 178 | -288 | 183 | -279 | 137 |
| 9        | /12   | 0:01  | -94  | 36  | -161 | 19  | -278 | 184 | -295 | 197 | -283 | 140 |
| 10       | /13   | 0:00  | -93  | 33  | -159 | 20  | -281 | 190 | -299 | 206 | -284 | 144 |
| 11       | /14   | 0:00  | -89  | 30  | -157 | 19  | -284 | 199 | -303 | 219 | -286 | 150 |
| 12       | /15   | 0:00  | -87  | 33  | -156 | 23  | -286 | 208 | -307 | 231 | -286 | 157 |
| 13       | /16   | 0:00  | -80  | 30  | -151 | 21  | -284 | 215 | -307 | 242 | -286 | 163 |
| 14       | /17   | 0:00  | -77  | 23  | -150 | 16  | -292 | 222 | -312 | 247 | -291 | 165 |
| 3週間後     | 11/23 | 0:01  | -77  | 36  | -151 | 26  | -291 | 232 | -310 | 278 | -287 | 174 |
| 1箇月後     | 12/03 | 0:07  | -134 | 145 | -193 | 69  | -276 | 191 | -260 | 178 | -240 | 54  |
| 2        | 1/03  | 0:55  | -90  | 97  | -165 | 36  | -311 | 305 | -324 | 380 | -291 | 195 |
| 3        | 2/03  | 0:28  | -92  | 73  | -172 | 9   | -325 | 334 | -351 | 436 | -313 | 251 |
| 最終       | 3/23  | 0:27  | -67  | 77  | -144 | -5  | -307 | 353 | -339 | 475 | -301 | 266 |

鉄筋計(202リング) (断面分布図使用データ) 単位: kgf/cm<sup>2</sup>

|          | 計測月日  |       | 11   |     | 12   |      | 13   |      | 14   |      | 15   |     |
|----------|-------|-------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|
|          | 月日    | 日時    | 外縁側  | 内縁側 | 外縁側  | 内縁側  | 外縁側  | 内縁側  | 外縁側  | 内縁側  | 外縁側  | 内縁側 |
| セグメント組立後 | 11/02 | 19:39 | 2    | -2  | 2    | 2    | 3    | 1    | 2    | 2    | 7    | 2   |
| 裏込注入後    | /03   | 10:53 | -178 | 33  | -174 | -69  | -151 | -27  | -132 | 29   | -158 | 48  |
| 1日目後     | /04   | 19:18 | -247 | -32 | -259 | 22   | -286 | 20   | -313 | 32   | -282 | 77  |
| 2        | /05   | 0:02  | -237 | -29 | -248 | 3    | -282 | 8    | -313 | 27   | -283 | 73  |
| 3        | /06   | 0:00  | -249 | 8   | -228 | -35  | -260 | -43  | -304 | 8    | -270 | 67  |
| 4        | /07   | 0:00  | -247 | 1   | -218 | -26  | -250 | -37  | -291 | 5    | -254 | 63  |
| 5        | /08   | 0:00  | -226 | 9   | -200 | -38  | -227 | -48  | -266 | -10  | -236 | 40  |
| 6        | /09   | 0:00  | -220 | 10  | -187 | -41  | -216 | -48  | -263 | -19  | -229 | 37  |
| 7        | /10   | 0:00  | -210 | 19  | -174 | -52  | -203 | -61  | -250 | -26  | -220 | 36  |
| 8        | /11   | 0:00  | -204 | 22  | -163 | -62  | -192 | -77  | -244 | -37  | -213 | 25  |
| 9        | /12   | 0:01  | -198 | 28  | -154 | -70  | -182 | -80  | -235 | -43  | -204 | 25  |
| 10       | /13   | 0:00  | -191 | 33  | -144 | -78  | -171 | -88  | -228 | -49  | -196 | 23  |
| 11       | /14   | 0:00  | -189 | 40  | -137 | -86  | -165 | -102 | -223 | -55  | -190 | 19  |
| 12       | /15   | 0:00  | -186 | 43  | -130 | -89  | -157 | -102 | -215 | -58  | -184 | 21  |
| 13       | /16   | 0:00  | -178 | 46  | -122 | -94  | -149 | -115 | -209 | -66  | -180 | 15  |
| 14       | /17   | 0:00  | -179 | 53  | -119 | -102 | -146 | -119 | -208 | -73  | -178 | 10  |
| 3週間後     | 11/23 | 0:01  | -151 | 70  | -77  | -125 | -109 | -144 | -192 | -77  | -169 | 20  |
| 1箇月後     | 12/03 | 0:07  | -145 | 116 | -108 | -123 | -177 | -110 | -280 | 29   | -233 | 124 |
| 2        | 1/03  | 0:55  | -107 | 173 | -16  | -237 | -61  | -270 | -183 | -148 | -167 | 23  |
| 3        | 2/03  | 0:28  | -101 | 210 | 2    | -288 | -36  | -332 | -181 | -205 | -188 | -21 |
| 最終       | 3/23  | 0:27  | -84  | 226 | 29   | -288 | -10  | -340 | -161 | -238 | -178 | -27 |

鉄筋計(202リング) (断面分布図使用データ) 単位: kgf/cm<sup>2</sup>

|          | 計測月日  |       | 16   |     | 17   |     | 18   |     | 19   |     |
|----------|-------|-------|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
|          | 月日    | 日時    | 外縁側  | 内縁側 | 外縁側  | 内縁側 | 外縁側  | 内縁側 | 外縁側  | 内縁側 |
| セグメント組立後 | 11/02 | 19:39 | 2    | 2   | 3    | 3   | 4    | 2   | 2    | 2   |
| 裏込注入後    | /03   | 10:53 | -158 | 34  | -116 | -15 | -81  | -14 | -135 | 61  |
| 1日目後     | /04   | 19:18 | -295 | 138 | -319 | 69  | -268 | 46  | -248 | 108 |
| 2        | /05   | 0:02  | -291 | 153 | -297 | 72  | -256 | 47  | -229 | 107 |
| 3        | /06   | 0:00  | -304 | 136 | -330 | 94  | -280 | 73  | -260 | 112 |
| 4        | /07   | 0:00  | -297 | 133 | -328 | 101 | -276 | 81  | -259 | 111 |
| 5        | /08   | 0:00  | -264 | 133 | -309 | 97  | -267 | 84  | -245 | 124 |
| 6        | /09   | 0:00  | -267 | 135 | -320 | 118 | -278 | 102 | -257 | 136 |
| 7        | /10   | 0:00  | -259 | 139 | -319 | 129 | -278 | 120 | -257 | 151 |
| 8        | /11   | 0:00  | -261 | 132 | -324 | 136 | -282 | 134 | -262 | 159 |
| 9        | /12   | 0:01  | -250 | 134 | -321 | 142 | -282 | 166 | -261 | 172 |
| 10       | /13   | 0:00  | -245 | 137 | -320 | 149 | -282 | 186 | -262 | 184 |
| 11       | /14   | 0:00  | -246 | 132 | -325 | 157 | -286 | 199 | -266 | 191 |
| 12       | /15   | 0:00  | -245 | 136 | -325 | 168 | -286 | 217 | -267 | 205 |
| 13       | /16   | 0:00  | -236 | 132 | -323 | 178 | -282 | 224 | -263 | 208 |
| 14       | /17   | 0:00  | -240 | 126 | -329 | 183 | -288 | 230 | -270 | 211 |
| 3週間後     | 11/23 | 0:01  | -239 | 144 | -326 | 194 | -279 | 241 | -259 | 184 |
| 1箇月後     | 12/03 | 0:07  | -293 | 188 | -337 | 167 | -273 | 194 | -254 | 131 |
| 2        | 1/03  | 0:55  | -262 | 144 | -368 | 303 | -303 | 337 | -275 | 198 |
| 3        | 2/03  | 0:28  | -264 | 123 | -386 | 347 | -320 | 377 | -291 | 209 |
| 最終       | 3/23  | 0:27  | -256 | 113 | -377 | 383 | -303 | 402 | -253 | 201 |

表-5.5 鉄筋応力度一覧表(203リング)

鉄筋計(203リング) (断面分布図使用データ) 単位: kgf/cm<sup>2</sup>

|          | 計測日時  |       | 1    |     | 2    |     | 3    |     | 4    |     | 5    |     |
|----------|-------|-------|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
|          | 月日    | 日時    | 外縁側  | 内縁側 | 外縁側  | 内縁側 | 外縁側  | 内縁側 | 外縁側  | 内縁側 | 外縁側  | 内縁側 |
| セグメント組立後 | 11/03 | 9:09  | -1   | 0   | -2   | 0   | -2   | 1   | -2   | 2   | -2   | 0   |
| 裏込注入後    | /03   | 13:31 | -65  | 48  | -171 | 19  | -353 | 73  | -224 | 86  | -113 | -24 |
| 1日後      | /04   | 19:18 | -102 | 27  | -273 | 41  | -425 | 49  | -275 | 45  | -298 | 107 |
| 2        | /05   | 0:02  | -95  | 26  | -277 | 57  | -427 | 69  | -276 | 56  | -285 | 98  |
| 3        | /06   | 0:00  | -113 | 27  | -294 | 83  | -443 | 111 | -292 | 89  | -294 | 75  |
| 4        | /07   | 0:00  | -107 | 31  | -284 | 89  | -586 | 123 | -290 | 98  | -291 | 77  |
| 5        | /08   | 0:00  | -73  | 36  | -270 | 77  | -666 | 148 | -286 | 109 | -273 | 70  |
| 6        | /09   | 0:00  | -84  | 40  | -284 | 107 | -696 | 199 | -300 | 141 | -281 | 68  |
| 7        | /10   | 0:00  | -74  | 40  | -283 | 120 | -719 | 224 | -302 | 164 | -278 | 73  |
| 8        | /11   | 0:00  | -77  | 40  | -286 | 127 | -679 | 238 | -307 | 178 | -280 | 73  |
| 9        | /12   | 0:01  | -69  | 38  | -286 | 136 | -661 | 258 | -308 | 193 | -276 | 74  |
| 10       | /13   | 0:00  | -61  | 38  | -287 | 144 | -648 | 270 | -308 | 207 | -274 | 75  |
| 11       | /14   | 0:00  | -61  | 37  | -291 | 152 | -648 | 281 | -312 | 216 | -274 | 75  |
| 12       | /15   | 0:00  | -56  | 38  | -293 | 161 | -650 | 303 | -313 | 228 | -274 | 80  |
| 13       | /16   | 0:00  | -48  | 37  | -290 | 165 | -621 | 324 | -311 | 236 | -269 | 75  |
| 14       | /17   | 0:00  | -54  | 39  | -294 | 169 | -621 | 336 | -316 | 242 | -270 | 73  |
| 3週間後     | 11/23 | 0:01  | -52  | 48  | -295 | 184 | -673 | 377 | -315 | 245 | -261 | 36  |
| 1箇月後     | 12/03 | 0:07  | -98  | 59  | -316 | 182 | -692 | 395 | -320 | 232 | -256 | 2   |
| 2        | 1/03  | 0:55  | -48  | 52  | -356 | 286 | -797 | 667 | -342 | 332 | -240 | -11 |
| 3        | 2/03  | 0:28  | -44  | 53  | -379 | 318 | -838 | 726 | -366 | 374 | -249 | -30 |
| 最終       | 3/23  | 0:27  | -    | -   | -    | -   | -    | -   | -    | -   | -    | -   |

鉄筋計(203リング) (断面分布図使用データ) 単位: kgf/cm<sup>2</sup>

|          | 計測日時  |       | 6    |     | 7    |      | 8    |      | 9    |      | 10   |      |
|----------|-------|-------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
|          | 月日    | 日時    | 外縁側  | 内縁側 | 外縁側  | 内縁側  | 外縁側  | 内縁側  | 外縁側  | 内縁側  | 外縁側  | 内縁側  |
| セグメント組立後 | 11/03 | 9:09  | -2   | -1  | -1   | -1   | 0    | -1   | -0   | 0    | -2   | 1    |
| 裏込注入後    | /03   | 13:31 | -90  | 19  | -137 | 16   | -12  | -117 | -24  | -50  | -155 | 11   |
| 1日後      | /04   | 19:18 | -232 | 188 | -236 | 90   | -160 | -29  | -170 | 14   | -227 | 71   |
| 2        | /05   | 0:02  | -218 | 169 | -221 | 73   | -141 | -31  | -153 | 31   | -220 | 107  |
| 3        | /06   | 0:00  | -233 | 120 | -225 | 41   | -162 | -79  | -174 | -14  | -250 | 53   |
| 4        | /07   | 0:00  | -233 | 125 | -224 | 43   | -156 | -84  | -169 | -15  | -243 | 48   |
| 5        | /08   | 0:00  | -207 | 126 | -199 | 31   | -116 | -112 | -140 | -67  | -218 | 13   |
| 6        | /09   | 0:00  | -215 | 119 | -206 | 27   | -122 | -111 | -150 | -48  | -226 | 31   |
| 7        | /10   | 0:00  | -209 | 118 | -195 | 23   | -107 | -128 | -133 | -66  | -215 | 16   |
| 8        | /11   | 0:00  | -210 | 111 | -192 | 13   | -95  | -145 | -121 | -82  | -206 | 6    |
| 9        | /12   | 0:01  | -205 | 109 | -182 | 6    | -83  | -160 | -109 | -97  | -198 | -7   |
| 10       | /13   | 0:00  | -200 | 107 | -175 | -1   | -73  | -171 | -99  | -111 | -192 | -18  |
| 11       | /14   | 0:00  | -199 | 102 | -171 | -6   | -65  | -182 | -93  | -120 | -186 | -25  |
| 12       | /15   | 0:00  | -198 | 104 | -165 | -10  | -58  | -189 | -86  | -126 | -181 | -29  |
| 13       | /16   | 0:00  | -192 | 98  | -160 | -15  | -49  | -195 | -78  | -136 | -174 | -36  |
| 14       | /17   | 0:00  | -193 | 94  | -158 | -20  | -45  | -205 | -73  | -144 | -171 | -42  |
| 3週間後     | 11/23 | 0:01  | -179 | 41  | -140 | -61  | -32  | -232 | -66  | -161 | -164 | -57  |
| 1箇月後     | 12/03 | 0:07  | -179 | 15  | -152 | -69  | -78  | -199 | -118 | -109 | -207 | -21  |
| 2        | 1/03  | 0:55  | -132 | -42 | -81  | -174 | 15   | -343 | -37  | -241 | -141 | -120 |
| 3        | 2/03  | 0:28  | -129 | -72 | -72  | -221 | 33   | -402 | -31  | -300 | -136 | -165 |
| 最終       | 3/23  | 0:27  | -    | -   | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |

鉄筋計(203リング) (断面分布図使用データ) 単位: kgf/cm<sup>2</sup>

|          | 計測日時  |       | 11   |     | 12   |     | 13   |     | 14   |     | 15   |      |
|----------|-------|-------|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|------|
|          | 月日    | 日時    | 外縁側  | 内縁側 | 外縁側  | 内縁側 | 外縁側  | 内縁側 | 外縁側  | 内縁側 | 外縁側  | 内縁側  |
| セグメント組立後 | 11/03 | 9:09  | 0    | 2   | -2   | 3   | 0    | 2   | 1    | 0   | 1    | -1   |
| 裏込注入後    | /03   | 13:31 | -179 | 155 | -216 | 323 | -167 | 98  | -48  | -71 | -15  | -137 |
| 1日後      | /04   | 19:18 | -236 | 107 | -265 | 180 | -233 | 74  | -247 | 102 | -250 | 60   |
| 2        | /05   | 0:02  | -224 | 123 | -247 | 194 | -210 | 83  | -221 | 108 | -227 | 48   |
| 3        | /06   | 0:00  | -268 | 136 | -297 | 245 | -275 | 110 | -268 | 98  | -252 | 31   |
| 4        | /07   | 0:00  | -264 | 138 | -296 | 261 | -275 | 123 | -260 | 98  | -247 | 40   |
| 5        | /08   | 0:00  | -258 | 136 | -291 | 263 | -257 | 123 | -242 | 90  | -230 | 23   |
| 6        | /09   | 0:00  | -265 | 156 | -303 | 291 | -266 | 136 | -241 | 92  | -221 | 12   |
| 7        | /10   | 0:00  | -265 | 160 | -309 | 308 | -274 | 146 | -239 | 91  | -220 | 15   |
| 8        | /11   | 0:00  | -263 | 171 | -312 | 321 | -277 | 153 | -237 | 94  | -220 | 18   |
| 9        | /12   | 0:01  | -263 | 178 | -316 | 337 | -282 | 163 | -238 | 90  | -219 | 15   |
| 10       | /13   | 0:00  | -265 | 180 | -320 | 345 | -283 | 167 | -235 | 89  | -215 | 13   |
| 11       | /14   | 0:00  | -266 | 184 | -324 | 355 | -288 | 174 | -234 | 88  | -215 | 12   |
| 12       | /15   | 0:00  | -268 | 190 | -328 | 370 | -291 | 182 | -233 | 89  | -214 | 15   |
| 13       | /16   | 0:00  | -269 | 191 | -329 | 381 | -290 | 186 | -228 | 88  | -209 | 13   |
| 14       | /17   | 0:00  | -273 | 192 | -332 | 389 | -296 | 194 | -229 | 86  | -207 | 7    |
| 3週間後     | 11/23 | 0:01  | -288 | 208 | -349 | 437 | -310 | 223 | -210 | 57  | -174 | -36  |
| 1箇月後     | 12/03 | 0:07  | -312 | 220 | -362 | 451 | -324 | 229 | -207 | 20  | -158 | -98  |
| 2        | 1/03  | 0:55  | -336 | 285 | -409 | 603 | -357 | 312 | -202 | 12  | -149 | -107 |
| 3        | 2/03  | 0:28  | -356 | 298 | -438 | 658 | -378 | 331 | -211 | -17 | -159 | -135 |
| 最終       | 3/23  | 0:27  | -    | -   | -    | -   | -    | -   | -    | -   | -    | -    |

鉄筋計(203リング) (断面分布図使用データ) 単位: kgf/cm<sup>2</sup>

|          | 計測日時  |       | 16   |      | 17   |      | 18   |      | 19   |      |
|----------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|          | 月日    | 日時    | 外縁側  | 内縁側  | 外縁側  | 内縁側  | 外縁側  | 内縁側  | 外縁側  | 内縁側  |
| セグメント組立後 | 11/03 | 9:09  | 0    | -1   | 0    | -2   | 0    | -1   | 0    | -1   |
| 裏込注入後    | /03   | 13:31 | -93  | -68  | -177 | -10  | -172 | -58  | -162 | -30  |
| 1日後      | /04   | 19:18 | -256 | 45   | -220 | -12  | -174 | -86  | -171 | -44  |
| 2        | /05   | 0:02  | -245 | 26   | -214 | -36  | -164 | -119 | -177 | -50  |
| 3        | /06   | 0:00  | -267 | 1    | -202 | -74  | -136 | -141 | -152 | -82  |
| 4        | /07   | 0:00  | -261 | 9    | -190 | -74  | -123 | -140 | -140 | -83  |
| 5        | /08   | 0:00  | -236 | -5   | -166 | -81  | -107 | -154 | -115 | -86  |
| 6        | /09   | 0:00  | -232 | -12  | -163 | -90  | -102 | -158 | -117 | -90  |
| 7        | /10   | 0:00  | -226 | -15  | -149 | -98  | -87  | -169 | -102 | -94  |
| 8        | /11   | 0:00  | -225 | -17  | -138 | -111 | -76  | -179 | -95  | -103 |
| 9        | /12   | 0:01  | -224 | -22  | -129 | -123 | -65  | -190 | -86  | -111 |
| 10       | /13   | 0:00  | -220 | -25  | -119 | -132 | -55  | -199 | -77  | -118 |
| 11       | /14   | 0:00  | -217 | -27  | -114 | -139 | -48  | -208 | -75  | -124 |
| 12       | /15   | 0:00  | -215 | -27  | -107 | -147 | -41  | -214 | -67  | -128 |
| 13       | /16   | 0:00  | -210 | -31  | -98  | -151 | -33  | -219 | -58  | -132 |
| 14       | /17   | 0:00  | -209 | -37  | -96  | -160 | -30  | -226 | -58  | -138 |
| 3週間後     | 11/23 | 0:01  | -172 | -85  | -61  | -186 | -7   | -232 | -44  | -133 |
| 1箇月後     | 12/03 | 0:07  | -162 | -148 | -110 | -178 | -73  | -178 | -112 | -86  |
| 2        | 1/03  | 0:55  | -131 | -199 | 19   | -356 | 57   | -371 | 17   | -231 |
| 3        | 2/03  | 0:28  | -132 | -234 | 48   | -426 | 77   | -440 | 37   | -287 |
| 最終       | 3/23  | 0:27  | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |

ていることがわかる。

202 リングについて見ると、テール脱出直後の外縁側鉄筋計は、ほとんど圧縮応力が作用している。その後、時間の経過とともに、トンネル天端付近の鉄筋計は圧縮応力がほぼ一定か増加の傾向にある。それとは逆に側壁部分の外縁側鉄筋計は、圧縮応力が減少し鉄筋計によっては圧縮側から引張側の応力に転じているものもある。トンネル天端付近の内縁側鉄筋計は、引張応力が、側壁付近の内縁側鉄筋計は圧縮応力があらわれており、それぞれ時間の経過とともに、それぞれの方向へ増加の傾向にある。

したがって、外縁側、内縁側の鉄筋計の測定値から、上下方向からの卓越した荷重によりトンネルが上下方向に押しつぶされた、いわゆる横潰れの応力状態になっていることがわかる。ただ、第4章で述べたように応力度の値は設計許容応力度  $\sigma_{sa} = 2000 \text{ kgf/cm}^2$  に対して小さい。また、応力度分布の形状は、トンネルの鉛直線に対してほぼ対象となっており、偏圧荷重等の作用は見られない。

これらのことは、各位置に対応する鉄筋計の応力値は異なるが、203 リングについても同様な傾向がいえる。各位置に対応する鉄筋計の応力値が異なる原因としては、202 リングと203 リングとではセグメントの配置が異なり、リング間継ぎ手の位置の違いによる応力の伝達が異なることが考えられる。

また、セグメントに作用する荷重として測定された土圧計の結果では、セグメントが裏込め注入、テール脱出時で最大値を示しているのに対し、鉄筋計の応力度は、時間とともに、徐々に増加する経時変化とは異なる。セグメントが外荷重を受けた直後に鉄筋計の応力があまり発生していないのは、セグメント、リング間の継ぎ手等のなじみ、継ぎ手部分でずれが生じることにより、外部からの荷重が直接覆工体に作用しなかったこと等が考えられる。その後、鉄筋計の応力度が徐々に増加していくのは、こうした継ぎ手部分のなじみが終了し、覆工体に直接外荷重が作用していくことに加えて、側方土圧係数  $\lambda$  の減少に伴うものと考えられる。

側方土圧係数  $\lambda$  の減少は、5.1 で示した土圧計の実測値から推定されており、裏込め注入直後の  $\lambda$  は、約 0.9 であったのに対し、時間の経過とともに低下し 0.68 ～ 0.69 で落ち着いていることから説明できる。したがって、トンネルに作用する荷重は、裏込め注入直後の静水圧に近い状態から鉛直荷重の成分が徐々に卓越して、曲げモーメントが発生しやすい状態になったためと考えられる。

以上のように、土圧計と鉄筋計の相互の経時変化は異なった挙動を示した。しかし、併設トンネル通過時においては、後行トンネルによって先行トンネルの左側壁（後行トンネル側）の土圧計の値が上昇するのに伴って、鉄筋計の値も合わせて挙動しており、よく整合した結果となっている。

なお、後行トンネル通過後においても鉄筋計の値が徐々に増加する傾向は、覆工自体のクリープ等の影響も含まれているものと推察される。

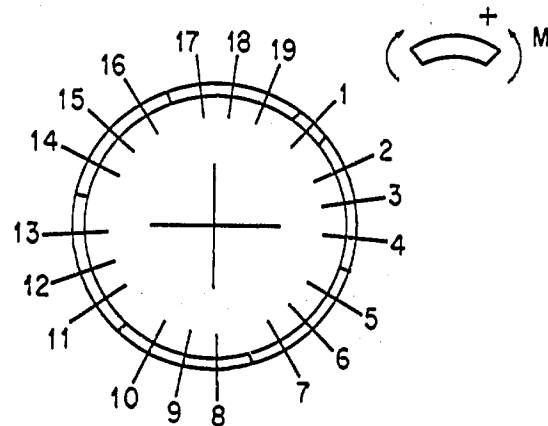
## (2) 覆工体に発生する断面力（曲げモーメント）

鉄筋計の応力度から、代表的な時期の約 3 週間後の11月23日の覆工体に発生する断面力（曲げモーメント）を算定すると表-5.6、図-5.6、5.7 のようになる。11月23日を代表時期とした理由は、セグメントが裏込め注入、テール脱出後から外部からの荷重を受け、先行（B線）トンネルの施工に

表-5.6 覆工体に発生する断面力(曲げモーメント)一覧表

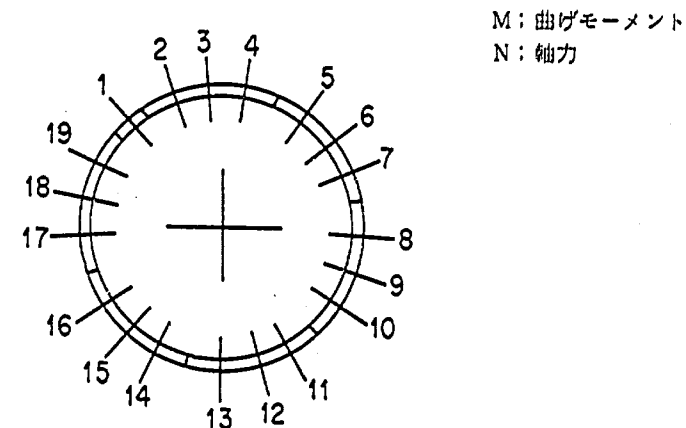
202リング

| 測定点 | 計 測 時 刻    |       |            |        |           |        |
|-----|------------|-------|------------|--------|-----------|--------|
|     | 11/23 0:00 |       | 11/25 0:00 |        | 2/15 0:00 |        |
|     | M(t·m)     | N(t)  | M(t·m)     | N(t)   | M(t·m)    | N(t)   |
| 1   | -3.5       | -28.0 | -4.8       | -40.3  | -2.1      | -12.4  |
| 2   | -0.3       | -77.6 | 5.6        | -82.7  | -5.1      | -95.5  |
| 3   | -4.4       | -43.8 | 2.4        | -25.1  | -7.5      | -65.9  |
| 4   | -5.5       | -64.4 | 2.3        | -48.7  | -9.2      | -99.8  |
| 5   | -2.2       | -69.8 | 2.8        | -64.4  | -4.2      | -87.3  |
| 6   | 1.6        | -13.2 | 3.7        | -20.2  | 1.9       | -11.4  |
| 7   | 3.9        | -47.3 | 5.9        | -56.1  | 4.0       | -55.3  |
| 8   | 8.8        | -66.9 | 6.9        | -63.4  | 10.1      | -65.0  |
| 9   | 9.5        | -68.7 | 4.9        | -56.2  | 11.5      | -65.3  |
| 10  | 8.5        | -74.0 | 0.1        | -96.6  | 9.4       | -77.8  |
| 11  | 4.3        | -40.2 | 3.2        | -3.1   | 3.7       | -11.7  |
| 12  | -1.2       | -68.1 | -0.1       | -85.4  | -7.5      | -100.7 |
| 13  | -0.8       | -85.5 | 6.2        | -97.9  | -8.1      | -125.6 |
| 14  | 3.2        | -90.5 | 11.8       | -106.4 | -1.2      | -134.6 |
| 15  | 4.9        | -62.7 | 10.5       | -83.7  | 5.3       | -88.9  |
| 16  | 7.0        | -60.5 | 10.1       | -85.4  | 7.5       | -72.0  |
| 17  | 9.5        | -83.0 | 7.3        | -97.8  | 12.0      | -84.5  |
| 18  | 8.6        | -64.2 | 4.5        | -75.7  | 10.4      | -63.3  |
| 19  | 7.8        | -63.9 | 4.2        | -72.7  | 8.7       | -70.6  |



203リング

| 測定点 | 計 測 時 刻    |        |            |        |           |        |
|-----|------------|--------|------------|--------|-----------|--------|
|     | 11/23 0:00 |        | 11/25 0:00 |        | 2/15 0:00 |        |
|     | M(t·m)     | N(t)   | M(t·m)     | N(t)   | M(t·m)    | N(t)   |
| 1   | 8.6        | -73.6  | 4.6        | -43.6  | 2.2       | -18.1  |
| 2   | 19.6       | -174.2 | 5.2        | -86.9  | 11.7      | -84.8  |
| 3   | 9.5        | -73.3  | 15.5       | -188.7 | 25.6      | -184.8 |
| 4   | 6.7        | -84.3  | 7.1        | -80.9  | 11.5      | -75.7  |
| 5   | 4.8        | -55.2  | 7.2        | -98.7  | 5.3       | -97.1  |
| 6   | 2.1        | -69.6  | 6.5        | -70.7  | 1.1       | -71.0  |
| 7   | 2.8        | -74.5  | 5.8        | -77.4  | -4.5      | -103.6 |
| 8   | -4.9       | -89.0  | 2.5        | -85.0  | -10.6     | -135.0 |
| 9   | -2.4       | -78.0  | 4.5        | -69.2  | -7.2      | -113.8 |
| 10  | 8.5        | -67.5  | 6.2        | -78.9  | -1.2      | -99.6  |
| 11  | 11.1       | -64.7  | 9.7        | -76.4  | 10.6      | -77.2  |
| 12  | 9.0        | -71.6  | 11.9       | -71.3  | 14.5      | -71.2  |
| 13  | 5.7        | -61.1  | 9.9        | -75.5  | 11.4      | -80.4  |
| 14  | 3.8        | -70.6  | 1.0        | -73.3  | 4.6       | -75.3  |
| 15  | 2.5        | -84.4  | -7.1       | -110.5 | 0.6       | -98.2  |
| 16  | 5.6        | -82.7  | -6.7       | -125.0 | -2.3      | -122.6 |
| 17  | -3.2       | -84.3  | 6.7        | -88.7  | -11.6     | -141.9 |
| 18  | -5.7       | -85.1  | 9.1        | -79.5  | -12.3     | -143.2 |
| 19  | -2.3       | -61.0  | 9.5        | -80.8  | -8.0      | -98.4  |



M: 曲げモーメント  
N: 軸力

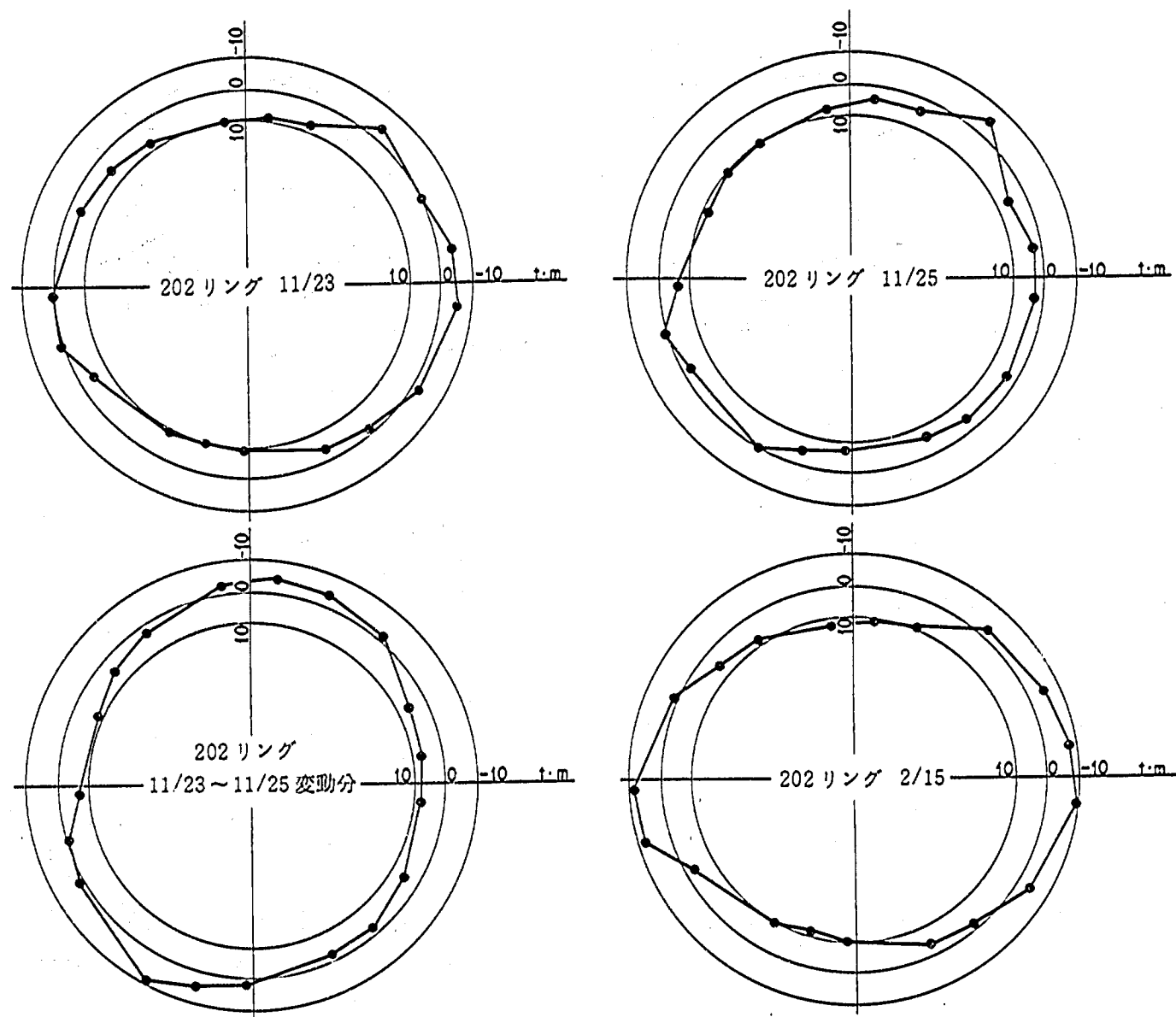


図 - 5.6 覆工体に発生する断面力（曲げモーメント） 202リング

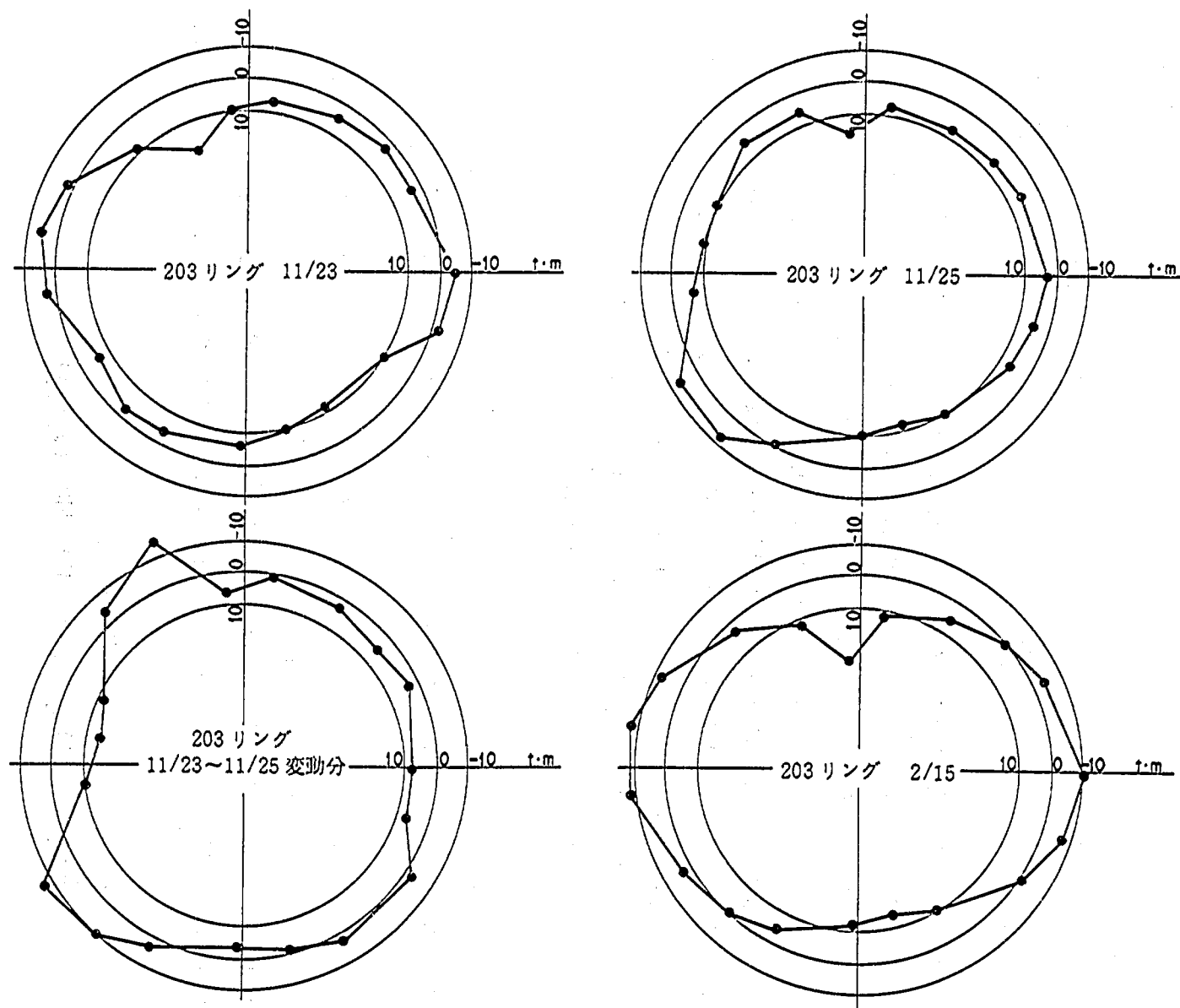


図 - 5.7 覆工体に発生する断面力 (曲げモーメント) 203 リング

伴う計測器への大きな変動を生じない時期、後行（A線）トンネルが近づいて、ほとんど影響を受けない時期としたものである。

なお、図、表には、参考値として円周方向鉄筋計のほぼ真横に後行（A線）トンネルのシールド機のテール部分が位置する11月25日の断面力、および11月23日と25日の変動分、2月15日の時期の断面力も示した。

計算条件は、図－5.8に示す断面形状として、鉄筋計、コンクリートの弾性係数はそれぞれ $E_s = 2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $E_c = 3.9 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ とした。なお、引張側のコンクリートの断面力は無視している。

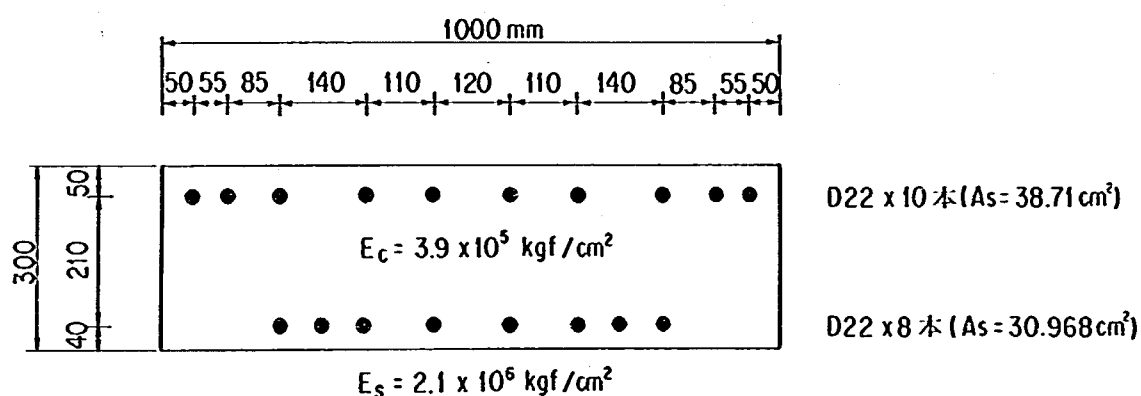
11月23日の時点の断面力（曲げモーメント）は、表－5.7に示す設計断面力に比較して、202リングは正、負の曲げモーメントの最大が、それぞれ9.5、 $-5.5 \text{ tf}\cdot\text{m}$ と半分程度の断面力しか発生していないことがわかる。また、203リングは、測定点NO. 2のみが正の曲げモーメントが卓越しているが、他のほとんどの曲げモーメントは設計断面力に比較して半分程度の断面力しか発生していない。

しかし、計算された断面力にはセグメントの自重分が考慮されていないため、自重分の断面力として作用する曲げモーメントを考慮する必要がある。設計時の計算によれば、自重分の曲げモーメントとしてトンネル天端で正の曲げモーメント約 $3 \text{ tf}\cdot\text{m}$ 、トンネル側壁で負の曲げモーメント $3.4 \text{ tf}\cdot\text{m}$ が作用することとなり、この値を算出した曲げモーメントに加算する必要がある。これらの値を加算すると、203リングの測定点NO. 2を除き、設計断面力に対して半分程度から6、7割程度の値となる。

後行（A線）トンネルの影響が含んでいる2月15日の時点の断面力に関しては、202リングは11月23日の断面力と比較して、若干増加しており、自重分の曲げモーメントを考慮して設計断面力の約7、8割程度の値である。

また、203リングは、天端付近の測定点NO. 3のみが $25.6 \text{ tf}\cdot\text{m}$ と設計断面力を上回る値となっているが、ほぼ対象の位置の測定点NO. 13は、その約半分以下となっていること、隣接する鉄筋計の位置での曲げモーメントの値等を考えると実際の覆工体に発生している断面力とは考えにくい。

したがって、覆工体には、後行（A線）トンネルの影響を含んだ状態においても7、8割程度の断



図－5.8 断面力を算出したセグメント形状と諸数値

表-5.7 設計断面力

|                 |   |     | 断面耐力        | 設計断面力       |
|-----------------|---|-----|-------------|-------------|
|                 |   |     | 民地下(4k880m) | 民地下(4k880m) |
| 正の最大<br>曲げモーメント | M | t・m | 16.29       | 19.55       |
|                 | N | t   | 77.44       | 77.44       |
| 負の最大<br>曲げモーメント | M | t・m | -15.07      | -18.08      |
|                 | N | t   | 99.91       | 99.91       |
| 最大せん断力          | S | t   | 9.66        | 9.66        |

ただし、覆工体の設計は、シールドトンネルの設計施工指針(案)国鉄建設局構造物設計事務所編(昭和58年8月)により、平均剛性一様リングの計算法による。

設計条件は、全土被り荷重(土水圧分離)、併設トンネルの影響は考慮なし。地盤沈下の影響は考慮。側圧係数 $\lambda = 0.65$ 、水平地盤反力 $k = 0$ 、曲げ剛性の有効率 $\eta = 0.6$ 、曲げモーメントの割増し率 $\zeta = 0.2$ である。

面力が作用しており、本設計荷重の条件で十分安全な構造体となっていることがわかる。

これらの結果は、5.1のシールドトンネルに作用する荷重で述べた天端の土圧計が、11月21日の時点で全土被り荷重の約8割程度作用している結果とも比較的整合している。

### 5.3 トンネル方向に発生する施工時荷重

トンネル方向に作用する施工時荷重は、主にシールド推進時に作用するジャッキ推力が挙げられる。既往の文献によれば、推力の後方伝達はN値により異なりN値が50以上の場合では25m、N値が約10で50mと報告されている<sup>2)</sup>。

本計測現場における推進時のジャッキ推力は、平均で約1500tonであり、この場合のジャッキ総推力により発生する軸方向鉄筋計の経時変化は、図-5.9に示すとおりである。また、一覧表を表-5.8に示す。図中の値は、202リング、203リングの各々に円周方向に4点設置している軸方向の鉄筋計の平均値を示したものである(図-5.10)。これは、推進時のジャッキ使用本数がシールド機械の方向制御のため適宜必要な箇所のジャッキを使用するため、トンネルに作用するトンネル方向の作用外力に対しては、平均値を取ることが妥当であると考えたからである。

図-5.9よりジャッキ総推力により、軸方向への影響範囲は後方へ約140mであることがわかる。ただし、約75m以遠に対しては計測されたひずみの変動量が $10\mu$ 以下であることから計測誤差範囲とも考えられる。

したがって、本現場のような軟弱な粘性地盤において泥水式シールドの場合には、約140m後方では影響はないことがわかる。

この結果は、203のリングに対しても概略同様な結果であると言える。

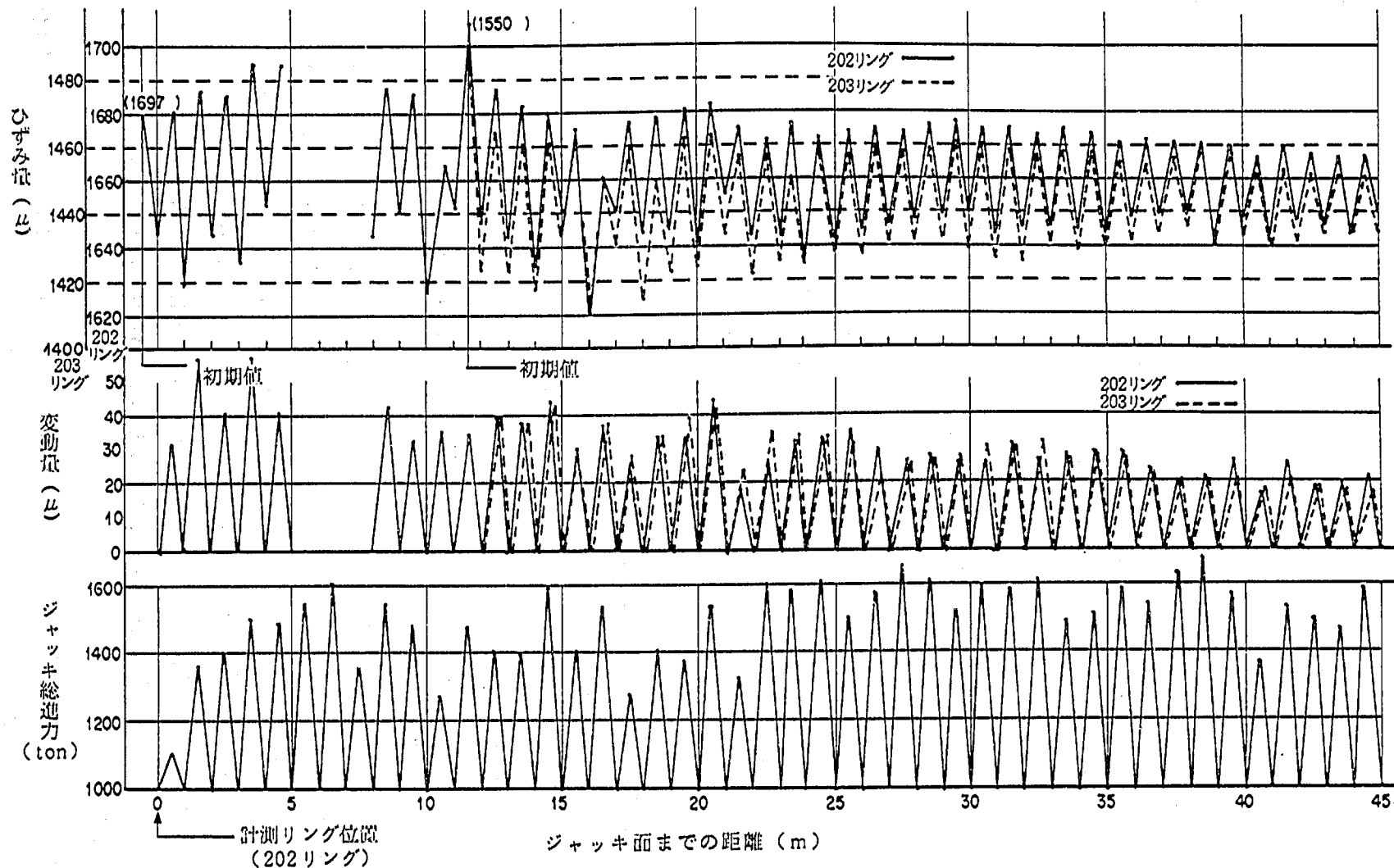


図 - 5.9 ジャッキ推力の後方伝播 (1)

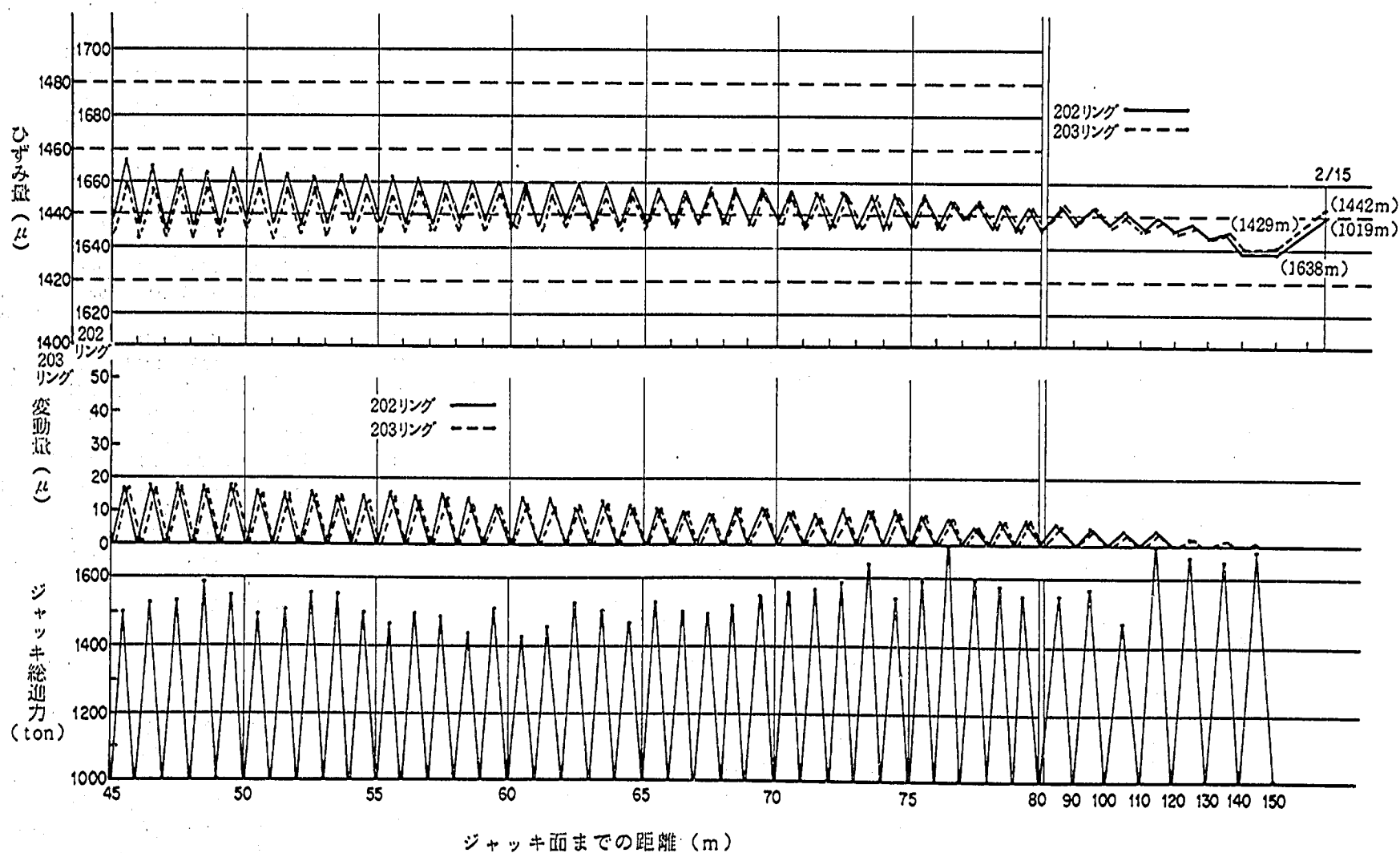


図 - 5.9 ジャッキ推力の後方伝播 (2)

表-5.8 ジャッキの総推力と軸方向鉄筋計の変動量の関係

※ひずみ量は、全て⊖値である。

| 202リングと<br>ジャッキ面<br>の距離(m) | ジャッキの<br>総 推 力<br>(ton) | 軸方向鉄筋計<br>2 0 2 リング(μ) |      |     | 軸方向鉄筋計<br>2 0 3 リング(μ) |      |     |
|----------------------------|-------------------------|------------------------|------|-----|------------------------|------|-----|
|                            |                         | 掘進前                    | 掘進中  | 変動量 | 掘進前                    | 掘進中  | 変動量 |
| 0                          | 1157                    | 1649                   | 1681 | 32  | -                      | -    | -   |
| 1                          | 1364                    | 1630                   | 1687 | 57  | -                      | -    | -   |
| 2                          | 1400                    | 1644                   | 1685 | 41  | -                      | -    | -   |
| 3                          | 1501                    | 1636                   | 1694 | 58  | -                      | -    | -   |
| 4                          | 1496                    | 1653                   | 1694 | 41  | -                      | -    | -   |
| 5                          | 1548                    | -                      | -    | -   | -                      | -    | -   |
| 6                          | 1609                    | -                      | -    | -   | -                      | -    | -   |
| 7                          | 1359                    | -                      | -    | -   | -                      | -    | -   |
| 8                          | 1545                    | 1644                   | 1687 | 43  | -                      | -    | -   |
| 9                          | 1481                    | 1651                   | 1685 | 34  | -                      | -    | -   |
| 10                         | 1274                    | 1628                   | 1664 | 36  | -                      | -    | -   |
| 11                         | 1474                    | 1652                   | 1687 | 35  | -                      | -    | -   |
| 12                         | 1411                    | 1647                   | 1687 | 40  | 1424                   | 1464 | 40  |
| 13                         | 1398                    | 1644                   | 1682 | 38  | 1423                   | 1461 | 38  |
| 14                         | 1599                    | 1635                   | 1680 | 45  | 1418                   | 1461 | 43  |
| 15                         | 1409                    | 1647                   | 1675 | 28  | 1430                   | 1460 | 30  |
| 16                         | 1533                    | 1621                   | 1658 | 37  | 1413                   | 1451 | 38  |
| 17                         | 1273                    | 1651                   | 1677 | 26  | 1432                   | 1460 | 28  |
| 18                         | 1408                    | 1644                   | 1678 | 34  | 1415                   | 1449 | 34  |
| 19                         | 1377                    | 1647                   | 1681 | 34  | 1423                   | 1462 | 39  |
| 20                         | 1546                    | 1639                   | 1682 | 43  | 1421                   | 1463 | 42  |
| 21                         | 1325                    | 1655                   | 1675 | 20  | 1434                   | 1457 | 23  |
| 22                         | 1606                    | 1643                   | 1672 | 29  | 1422                   | 1457 | 35  |
| 23                         | 1581                    | 1644                   | 1677 | 33  | 1426                   | 1460 | 34  |
| 24                         | 1616                    | 1638                   | 1672 | 34  | 1425                   | 1459 | 34  |
| 25                         | 1509                    | 1639                   | 1674 | 35  | 1425                   | 1457 | 32  |
| 26                         | 1582                    | 1645                   | 1675 | 30  | 1423                   | 1459 | 31  |
| 27                         | 1660                    | 1647                   | 1674 | 27  | 1432                   | 1458 | 26  |
| 28                         | 1613                    | 1648                   | 1676 | 28  | 1432                   | 1459 | 27  |
| 29                         | 1525                    | 1649                   | 1677 | 28  | 1433                   | 1461 | 28  |
| 30                         | 1600                    | 1650                   | 1675 | 25  | 1429                   | 1460 | 31  |
| 31                         | 1584                    | 1644                   | 1675 | 31  | 1427                   | 1458 | 31  |
| 32                         | 1619                    | 1646                   | 1673 | 27  | 1426                   | 1457 | 31  |
| 33                         | 1498                    | 1647                   | 1675 | 28  | 1432                   | 1459 | 27  |
| 34                         | 1520                    | 1645                   | 1674 | 29  | 1429                   | 1458 | 29  |

※ひずみ量は、全て⊖値である。

| 202リングと<br>ジャッキ面<br>の距離(m) | ジャッキの<br>総 推 力<br>(ton) | 軸方向鉄筋計<br>2 0 2 リング(μ) |      |     | 軸方向鉄筋計<br>2 0 3 リング(μ) |      |     |
|----------------------------|-------------------------|------------------------|------|-----|------------------------|------|-----|
|                            |                         | 掘進前                    | 掘進中  | 変動量 | 掘進前                    | 掘進中  | 変動量 |
| 35                         | 1589                    | 1641                   | 1671 | 30  | 1428                   | 1455 | 27  |
| 36                         | 1549                    | 1649                   | 1672 | 23  | 1433                   | 1455 | 22  |
| 37                         | 1638                    | 1650                   | 1671 | 21  | 1432                   | 1454 | 22  |
| 38                         | 1681                    | 1650                   | 1671 | 21  | 1435                   | 1456 | 21  |
| 39                         | 1577                    | 1641                   | 1669 | 28  | 1436                   | 1457 | 21  |
| 40                         | 1375                    | 1649                   | 1666 | 17  | 1433                   | 1451 | 16  |
| 41                         | 1534                    | 1642                   | 1668 | 26  | 1431                   | 1452 | 21  |
| 42                         | 1490                    | 1648                   | 1667 | 19  | 1432                   | 1451 | 19  |
| 43                         | 1475                    | 1647                   | 1666 | 19  | 1433                   | 1451 | 18  |
| 44                         | 1587                    | 1644                   | 1666 | 22  | 1433                   | 1450 | 17  |
| 45                         | 1498                    | 1650                   | 1667 | 17  | 1434                   | 1451 | 17  |
| 46                         | 1524                    | 1647                   | 1665 | 18  | 1433                   | 1450 | 17  |
| 47                         | 1529                    | 1645                   | 1663 | 18  | 1431                   | 1448 | 17  |
| 48                         | 1584                    | 1646                   | 1663 | 17  | 1433                   | 1449 | 16  |
| 49                         | 1547                    | 1646                   | 1664 | 18  | 1431                   | 1449 | 18  |
| 50                         | 1491                    | 1647                   | 1663 | 16  | 1433                   | 1448 | 15  |
| 51                         | 1506                    | 1647                   | 1662 | 15  | 1433                   | 1448 | 15  |
| 52                         | 1558                    | 1646                   | 1661 | 15  | 1433                   | 1448 | 15  |
| 53                         | 1550                    | 1648                   | 1662 | 14  | 1433                   | 1448 | 15  |
| 54                         | 1498                    | 1648                   | 1662 | 14  | 1435                   | 1448 | 13  |
| 55                         | 1465                    | 1645                   | 1662 | 17  | 1432                   | 1448 | 16  |
| 56                         | 1495                    | 1647                   | 1661 | 14  | 1434                   | 1448 | 14  |
| 57                         | 1485                    | 1645                   | 1660 | 15  | 1433                   | 1448 | 15  |
| 58                         | 1434                    | 1647                   | 1660 | 13  | 1434                   | 1446 | 12  |
| 59                         | 1507                    | 1648                   | 1660 | 12  | 1435                   | 1446 | 11  |
| 60                         | 1427                    | 1645                   | 1659 | 14  | 1434                   | 1447 | 13  |
| 61                         | 1458                    | 1646                   | 1659 | 13  | 1435                   | 1446 | 11  |
| 62                         | 1522                    | 1648                   | 1659 | 11  | 1435                   | 1447 | 12  |
| 63                         | 1500                    | 1647                   | 1659 | 12  | 1435                   | 1446 | 11  |
| 64                         | 1460                    | 1646                   | 1658 | 12  | 1436                   | 1447 | 11  |
| 65                         | 1527                    | 1647                   | 1658 | 11  | 1435                   | 1446 | 11  |
| 66                         | 1490                    | 1647                   | 1657 | 10  | 1436                   | 1446 | 10  |
| 67                         | 1489                    | 1649                   | 1658 | 9   | 1435                   | 1445 | 10  |
| 68                         | 1511                    | 1647                   | 1658 | 11  | 1435                   | 1446 | 11  |
| 69                         | 1548                    | 1647                   | 1658 | 11  | 1435                   | 1446 | 11  |

※ひずみ量は、全て⊖値である。

| 202リングと<br>ジャッキ面<br>の距離(m) | ジャッキの<br>総 推 力<br>(ton) | 軸方向鉄筋計<br>2 0 2 リング(μ) |              |     | 軸方向鉄筋計<br>2 0 3 リング(μ) |              |     |
|----------------------------|-------------------------|------------------------|--------------|-----|------------------------|--------------|-----|
|                            |                         | 掘進前                    | 掘進中          | 変動量 | 掘進前                    | 掘進中          | 変動量 |
| 70                         | 1556                    | 1648                   | 1657         | 9   | 1436                   | 1446         | 10  |
| 71                         | 1565                    | 1648                   | 1657         | 9   | 1437                   | 1446         | 9   |
| 72                         | 1586                    | 1646                   | 1657         | 11  | 1437                   | 1446         | 9   |
| 73                         | 1637                    | 1646                   | 1656         | 10  | 1436                   | 1446         | 10  |
| 74                         | 1534                    | 1646                   | 1656         | 10  | 1436                   | 1445         | 9   |
| 75                         | 1586                    | 1646                   | 1656         | 10  | 1436                   | 1445         | 9   |
| 76                         | 1691                    | 1646                   | 1654         | 8   | 1436                   | 1444         | 8   |
| 77                         | 1583                    | 1648                   | 1653         | 5   | 1439                   | 1444         | 5   |
| 78                         | 1578                    | 1646                   | 1653         | 7   | 1436                   | 1443         | 7   |
| 79                         | 1545                    | 1645                   | 1652         | 7   | 1435                   | 1442         | 7   |
| 80                         | 1544                    | 1645                   | 1653         | 8   | 1435                   | 1442         | 7   |
| 90                         | 1546                    | 1647                   | 1652         | 5   | 1438                   | 1442         | 4   |
| 100                        | 1462                    | 1647                   | 1651         | 4   | 1436                   | 1439         | 3   |
| 110                        | 1692                    | 1645                   | 1649         | 4   | 1435                   | 1438         | 3   |
| 120                        | 1657                    | 1645                   | 1647         | 2   | 1434                   | 1436         | 2   |
| 130                        | 1644                    | 1643                   | 1644         | 1   | 1433                   | 1434         | 1   |
| 140                        | 1675                    | 1638                   | 1638         | 0   | 1429                   | 1429         | 0   |
| 150                        | 1605                    | 1638                   | 1638         | 0   | 1429                   | 1429         | 0   |
| 初期値<br>2/15                |                         |                        | 1679<br>1649 |     |                        | 1550<br>1442 |     |

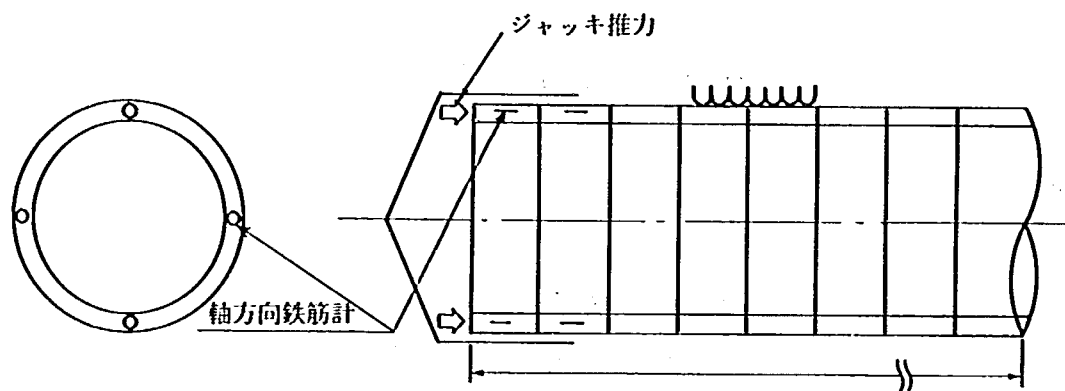


図 - 5.10 ジャッキ推力と軸方向鉄筋の関係

参考文献；1) トンネル標準示方書（シールド編）・同解説，土木学会，1986年6月

2) 西野，吉田，小泉；シールドトンネル縦断方向の現場載荷実験とその考察，土木学会  
 論文集，第376号 / Ⅲ - 6，1986年12月

## 第6章 併設トンネルの影響

### 6.1 概説

併設トンネルの影響を検討する場合、大きく後行トンネルの通過時の影響と通過後の長期的影響とに分けて検討する必要がある。通過後の長期的影響は併設トンネルの相互干渉として現れ、これについては、土圧係数の低減、地盤係数の低減及び鉛直土圧の割増し等で評価できると考えられている。本章では、現場計測結果を詳細に分析することにより、併設トンネル通過時及び通過後の影響のメカニズムについて検討する。

### 6.2 計測結果

京葉線における計測結果を、地山の挙動、先行トンネルへ作用する荷重及び先行トンネルの挙動に分けて、検討結果とその変動要因について検討する。

#### 6.2.1 後行トンネルによる地盤変状

##### (1) 鉛直変位計（層別沈下計及び水盛り沈下計）

図-6.1～3に鉛直変位計の計測結果を示す。図-6.3は、後行トンネルの切羽の位置と計測地点（No.5, GL-12m）との距離を横軸に、縦軸に切羽がその位置に到達した時点の鉛直変位（1サイクル（掘削開始から次の掘削開始まで）中での最大沈下量）を示したものである。

これらの図及び図-4.9より以下のことが分かる。

地盤沈下は、先行トンネルの切羽が計測断面に到達してから+20m前方まで掘進するまでに先行トンネル上で約30～40mmの沈下が生じている。トンネル横断方向への沈下分布はトンネル上を最大として両側に約15mまで分布している。（図-6.4）

ここで、先行トンネルの掘削時に生じた分布を後行トンネルに対しても独立して生じると仮定した場合、重ね合わせた沈下曲線は、計測横断面全体の最終沈下分布となる。また、その絶対量は約50mmである。しかし、図-6.1における最終沈下分布は先行トンネル側へ多少ずれている。これは、先行トンネルに比べ、後行トンネルの切羽圧力が高いこと並びに裏込め注入量が多いため（表-6.1）、先行トンネルの掘削により乱れた地盤内を後行トンネルが掘削したためなどによるものと考えられる。

後行トンネル通過に伴うNo.5の沈下曲線（図-6.3）は、後行トンネルの切羽通過後5リング目ぐらいから沈下しはじめ、テール通過時に一時ピークを示すがその後2リングの間で隆起し、再び沈下を始める。

後続沈下量は、表-6.2に示すように後行トンネル通過後半月から1ヶ月単位で、約3mm/週→約1mm/週→約0.8mm/週と減少している。

ここで、徐々に収束傾向にある沈下量の最終値を求めるために、12月1日から最終計測値（2月15日）までの測定データを用いて近似式を求める。

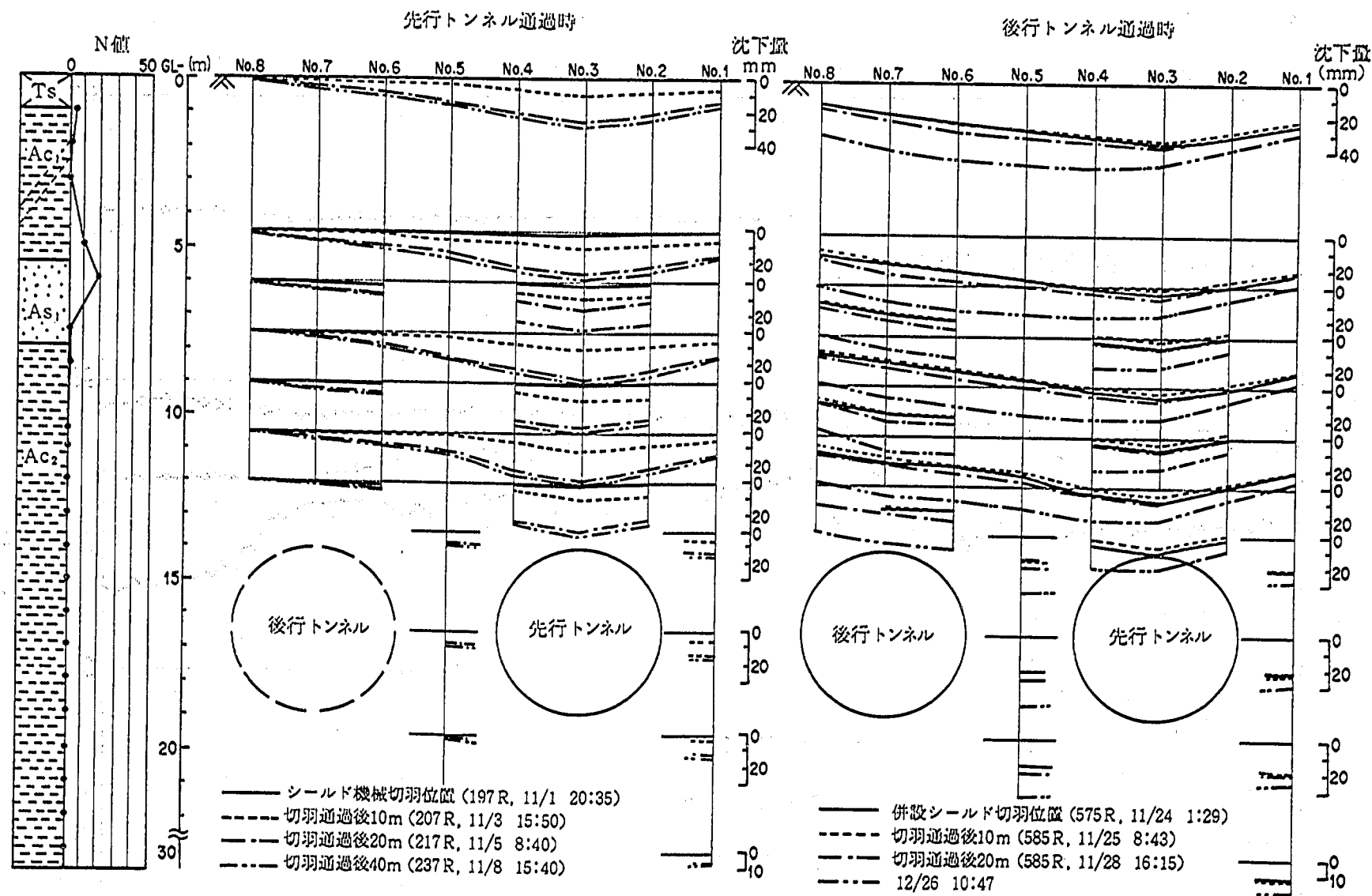


圖-6.1 鉛直變位分布圖

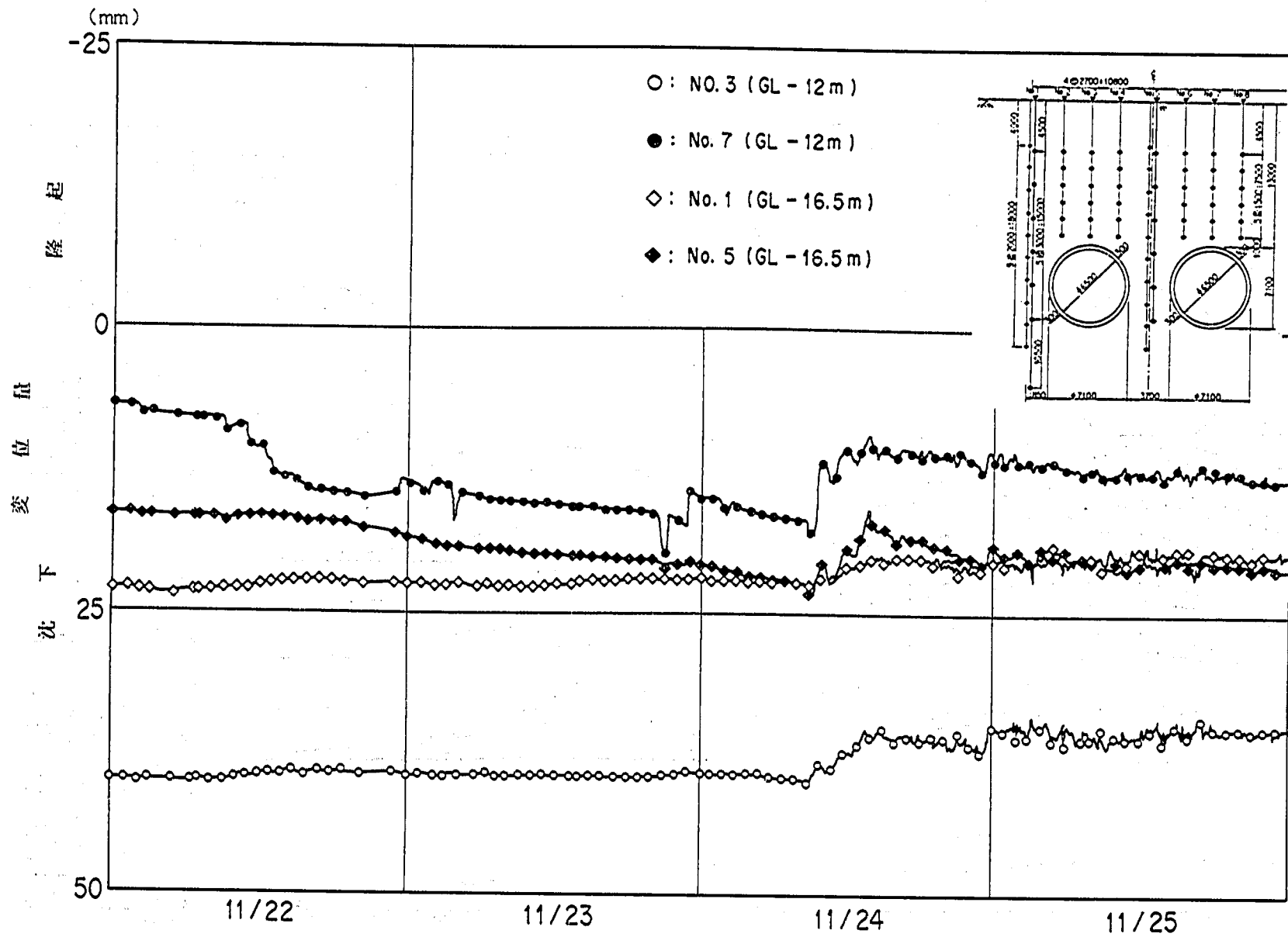


図 - 6.2 鉛直変位 経時変化図

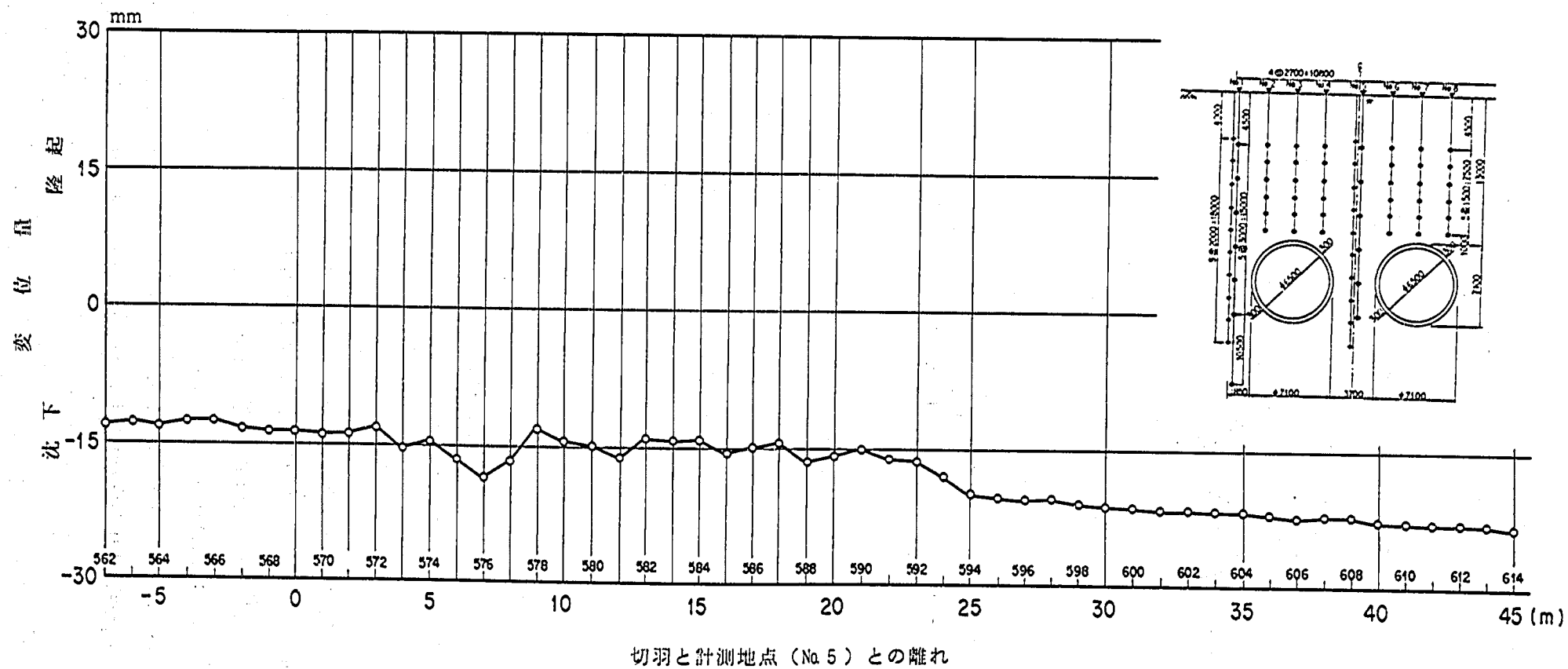


図 - 6. 3 切羽位置と鉛直変位

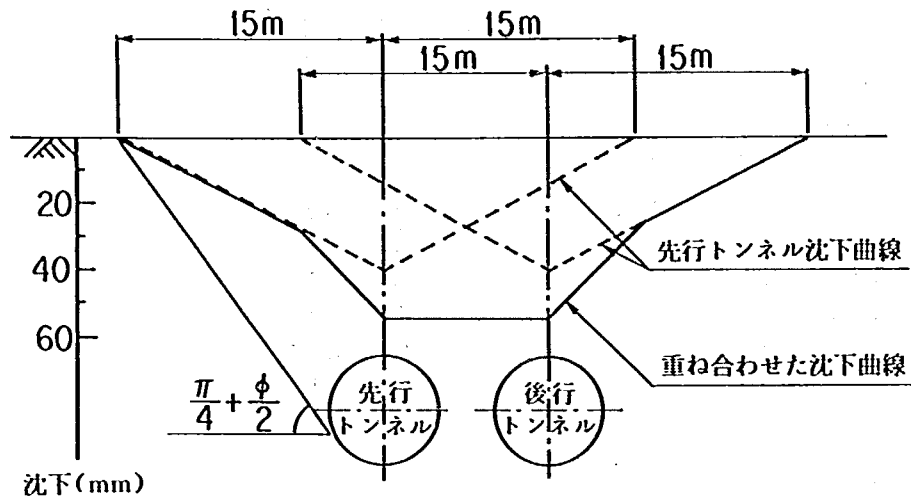


図 - 6.4 トンネル掘削による沈下量の類推

表 - 6.1 計測地点近傍の施工状況の比較

|                                  |    | 先行トンネル(B線)<br>186～216リング | 後行トンネル(A線)<br>564～594リング |
|----------------------------------|----|--------------------------|--------------------------|
| 切羽圧力<br>(kgf/cm <sup>2</sup> )   | 平均 | 1.25                     | 1.41                     |
|                                  | 範囲 | 0.99～1.53                | 0.56～1.56                |
| 総推力<br>(TON)                     | 平均 | 1463                     | 1255                     |
|                                  | 範囲 | 1157～1680                | 992～1826                 |
| 裏込め注入率<br>(%)                    | 平均 | 171                      | 218                      |
|                                  | 範囲 | 160～176                  | 157～334                  |
| 裏込め注入圧<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 平均 | 4.6                      | 4.7                      |
|                                  | 範囲 | 4.5～5.0                  | 4.5～5.0                  |

測定データは、表 - 6.2 に示す先行トンネルと後行トンネルの地表沈下の測定値を用いて行った。  
計算の結果、沈下量は式 (6.1) で表され、2月15日から5ヶ月後の7月15日に最終的に  $\delta = 54.2$  mm になると予想された。また、2月15日の最終測定値は予想沈下量の約95%となる。

$$\delta = 54.2 - 22.1 \times 0.68^{t-1} \quad (t: 15日単位) \quad \text{式 (6.1)}$$

後続沈下の変状の要因としては、掘削に伴う過剰間隙水圧の上昇により生じる圧密沈下がある。軟弱な粘性土の場合には、一般に過剰間隙水圧が復元するまでに相当な時間を必要とする。

表-6.2 地表面沈下量 経時変化表

(単位: mm)

| 月 日  | № 3  | № 7  | 平均   | 月 日 | № 3  | № 7  | 平均   | 月 日        | № 3  | № 7  | 平均   |
|------|------|------|------|-----|------|------|------|------------|------|------|------|
| 12/1 | 37.8 | 25.0 | 31.4 | 1/1 | 48.2 | 40.7 | 44.5 | 2/1        | 52.4 | 45.9 | 49.2 |
| 2    | 39.3 | 26.3 | 32.8 | 2   | 48.5 | 40.9 | 44.7 | 2          | 52.6 | 46.9 | 49.8 |
| 3    | 39.4 | 27.2 | 33.3 | 3   | 48.5 | 40.9 | 44.7 | 3          | 52.4 | 46.7 | 49.6 |
| 4    | 40.2 | 28.2 | 34.2 | 4   | 49.0 | 41.3 | 45.2 | 4          | 52.2 | 46.8 | 49.5 |
| 5    | 41.0 | 29.0 | 35.0 | 5   | 48.9 | 41.9 | 45.4 | 5          | 52.3 | 46.8 | 49.6 |
| 6    | 41.5 | 29.9 | 35.7 | 6   | 48.9 | 42.0 | 45.5 | 6          | 52.7 | 47.1 | 49.9 |
| 7    | 41.8 | 30.6 | 36.2 | 7   | 48.9 | 42.0 | 45.5 | 7          | —    | —    | —    |
| 8    | 42.2 | 31.2 | 36.7 | 8   | 49.4 | 42.1 | 45.8 | 8          | —    | —    | —    |
| 9    | 42.7 | 31.8 | 37.3 | 9   | 49.7 | 42.5 | 46.1 | 9          | —    | —    | —    |
| 10   | 43.1 | 32.1 | 37.6 | 10  | 49.7 | 42.3 | 46.0 | 10         | —    | —    | —    |
| 11   | 43.6 | 33.3 | 38.5 | 11  | 49.7 | 42.3 | 46.0 | 11         | —    | —    | —    |
| 12   | 44.0 | 33.8 | 38.9 | 12  | 49.9 | 42.4 | 46.2 | 12         | —    | —    | —    |
| 13   | 44.2 | 34.0 | 39.1 | 13  | 50.2 | 43.2 | 46.7 | 13         | —    | —    | —    |
| 14   | 44.5 | 34.4 | 39.5 | 14  | 50.1 | 43.3 | 46.7 | 14         | —    | —    | —    |
| 15   | 44.9 | 35.1 | 40.0 | 15  | 50.3 | 43.5 | 46.9 | 15         | 54.0 | 48.7 | 51.4 |
| 16   | 45.4 | 35.9 | 40.7 | 16  | 50.2 | 43.7 | 47.0 | 沈下<br>予想値* |      |      |      |
| 17   | 45.4 | 36.4 | 40.9 | 17  | 50.2 | 44.0 | 47.1 |            |      |      |      |
| 18   | 45.7 | 36.9 | 41.3 | 18  | 50.5 | 44.1 | 47.3 | 3/1        |      |      |      |
| 19   | 45.8 | 36.9 | 41.4 | 19  | 50.6 | 43.8 | 47.2 |            |      |      |      |
| 20   | 46.0 | 37.3 | 41.7 | 20  | 50.7 | 43.8 | 47.3 | 3/15       |      |      |      |
| 21   | 46.2 | 37.3 | 41.8 | 21  | 51.3 | 43.7 | 47.5 |            |      |      |      |
| 22   | 46.7 | 37.9 | 42.3 | 22  | 52.2 | 45.2 | 48.7 | 4/1        |      |      |      |
| 23   | 46.5 | 38.2 | 42.4 | 23  | 51.7 | 44.9 | 48.3 |            |      |      |      |
| 24   | 46.7 | 38.5 | 42.6 | 24  | —    | —    | —    | 5/1        |      |      |      |
| 25   | 47.2 | 39.0 | 43.1 | 25  | —    | —    | —    |            |      |      |      |
| 26   | 47.1 | 39.4 | 43.3 | 26  | —    | —    | —    | 5/15       |      |      |      |
| 27   | 47.2 | 39.3 | 43.3 | 27  | 52.2 | 46.1 | 49.2 |            |      |      |      |
| 28   | 47.4 | 39.7 | 43.6 | 28  | 52.2 | 46.4 | 49.3 | 6/1        |      |      |      |
| 29   | 47.4 | 40.1 | 43.8 | 29  | 51.9 | 46.7 | 49.3 |            |      |      |      |
| 30   | 47.7 | 40.4 | 44.1 | 30  | 51.9 | 46.4 | 49.2 | 6/15       |      |      |      |
| 31   | 47.9 | 40.7 | 44.3 | 31  | —    | —    | —    |            |      |      |      |
|      |      |      |      |     |      |      |      | 7/1        |      |      |      |
|      |      |      |      |     |      |      |      |            |      |      |      |
|      |      |      |      |     |      |      |      | 7/15       |      |      |      |
|      |      |      |      |     |      |      |      |            |      |      |      |
|      |      |      |      |     |      |      |      | 8/1        |      |      |      |
|      |      |      |      |     |      |      |      |            |      |      |      |
|      |      |      |      |     |      |      |      | 8/15       |      |      |      |
|      |      |      |      |     |      |      |      |            |      |      |      |

\* : 予想沈下量は、修正成長曲線により近似させた。 ( $\delta = 54.2 - 22.1 \times 0.6782^{t-1}$ )

\* : 予想に用いた値は、12/1から15日間隔で№3と№7の平均値を使用した。

## (2) 水平変位計

図-6.5～7に水平変位の経時変化を示す。図-6.7は、No 5のGL-14m地点の水平変位の経時変化を後行トンネルの切羽位置とトンネル軸方向の水平変位分布に修正したものである。

これらの図及び図-4.10より地盤の水平挙動について以下のことが分かる。

先行トンネル通過時の水平変位量は、切羽通過に伴い先行トンネルを中心に外側に押し広げられるようにトンネル中心深度で約3mm変位している。特に、肩口の変位が大きくなっている。(No 5のGL-14mで最大10mm) また、切羽通過後2週間で元に戻っている。

後行トンネル通過時では、切羽通過前5リング程度より先行側へ変位し始め、切羽到達時より急激に先行トンネル側へ変位し、テール通過時に若干の戻りが認められるが、再度、先行トンネル側へ変位し、テール通過後最初の裏込め注入時にピーク (No 5のGL-14mで23mm) となる。ピーク以降の水平変位の戻りはわずかしき認められず、No 5のGL-14mで20mm程度の変位が残留している。

水平変位の分布を見た場合、先行トンネル通過時と同様に肩口の変位が特に大きくなっており、その変位量は先行トンネル通過時に比べると、最大変位量で約2倍と非常に大きなものとなっている。これは、先行トンネルの掘削により肩口が乱されていたためと判断される。

また、シールドトンネルの中心深度における水平変位はNo 5で約10mm、No 1で約4mmと大きな変位量が生じている。この値は先行トンネル自体を水平変位させる程の量であると考えられる。

## (3) まとめ

今回の地盤変状に関する計測結果を整理すると以下の通りである。

- ① 併設トンネルの場合、単独トンネルで生じた沈下曲線を足し合わせることで併設での沈下曲線が類推できる。
- ② 先行トンネルが掘削により地山を乱した部分は、後行トンネルの影響を受けやすく、地盤の水平変位が大きいという結果になる。(水平変位は最大変位量で約2倍となっている。)
- ③ 先行トンネルと後行トンネルの地盤変状の相違の要因の一つに、掘削時の切羽圧力や裏込め注入が考えられる。
- ④ 本計測箇所での後続沈下の要因としては、掘削に伴う過剰間隙水圧の上昇により生じる圧密沈下が考えられる。
- ⑤ シールド機の通過前後には、周辺地盤はトンネルを中心として外側に押し広げられる。
- ⑥ 後行トンネルの通過に伴う水平変位は、後行トンネル切羽通過5リング(約1D(D:シールド径))程前より発生する。
- ⑦ 後行トンネルの通過時に発生した地盤の水平変位は、通過後も残留している。
- ⑧ 後行トンネルの通過に伴う水平変位は、先行トンネル自体を水平変位させるほどの量である。

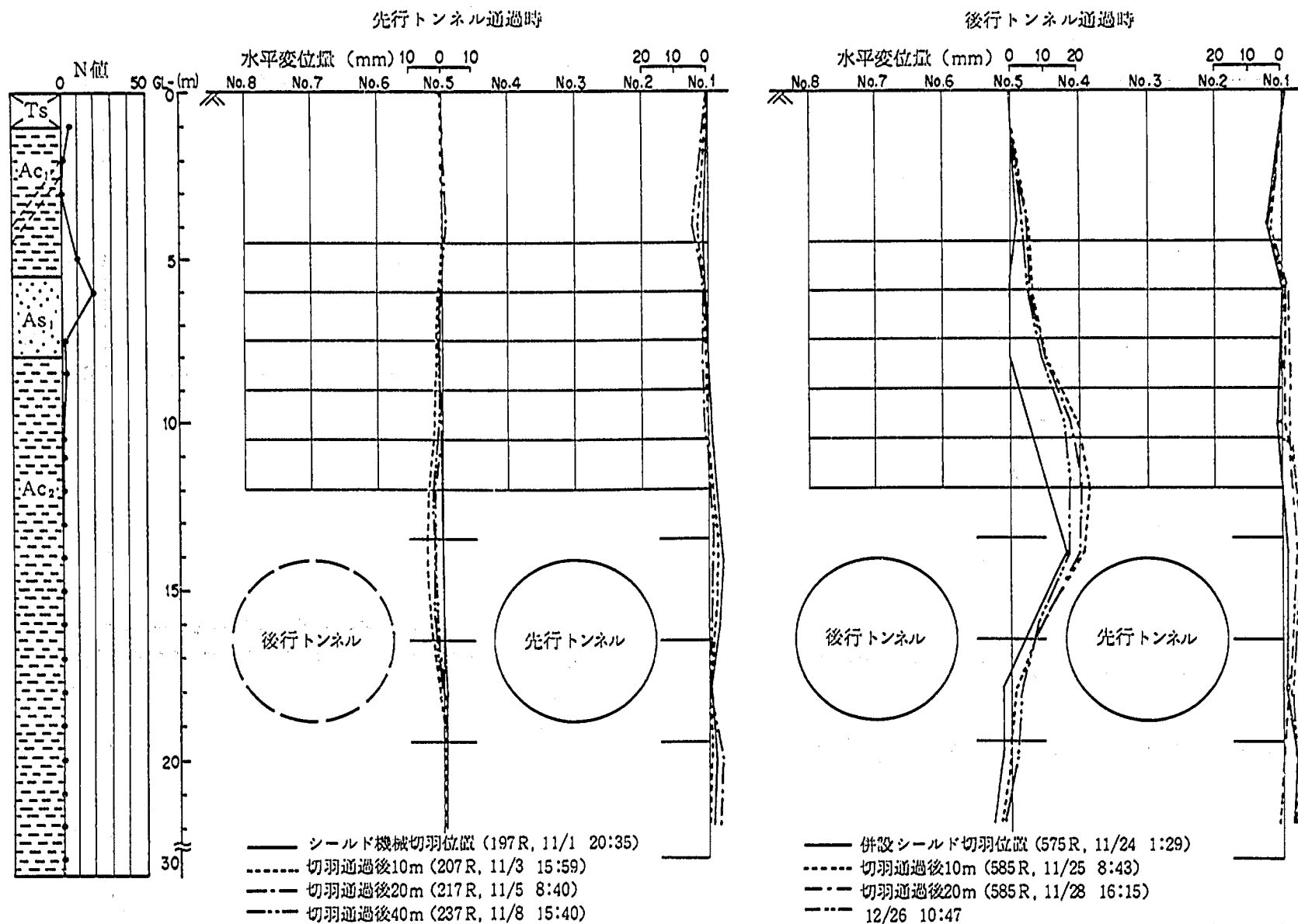


図 - 6.5 水平変位分布図

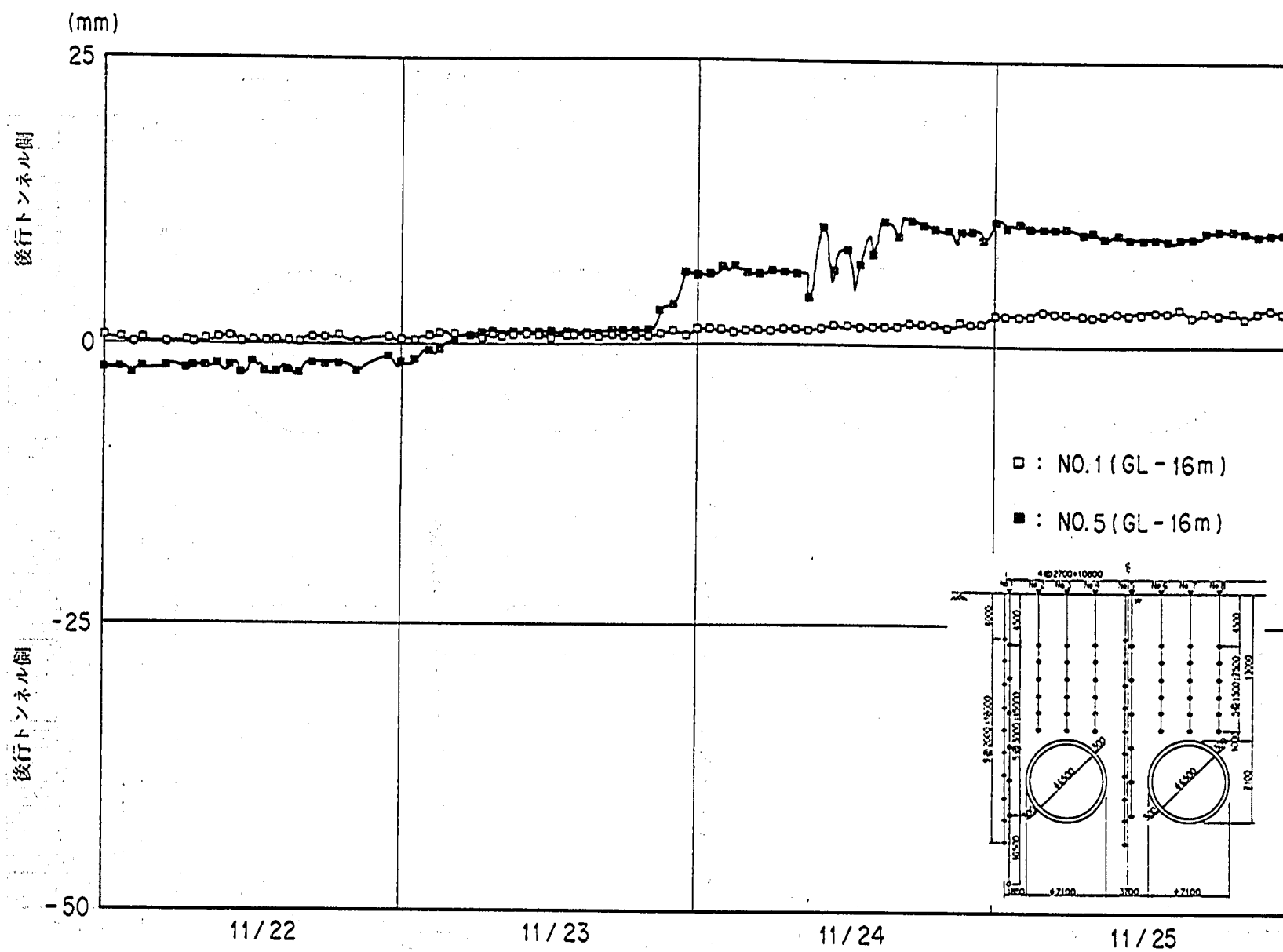
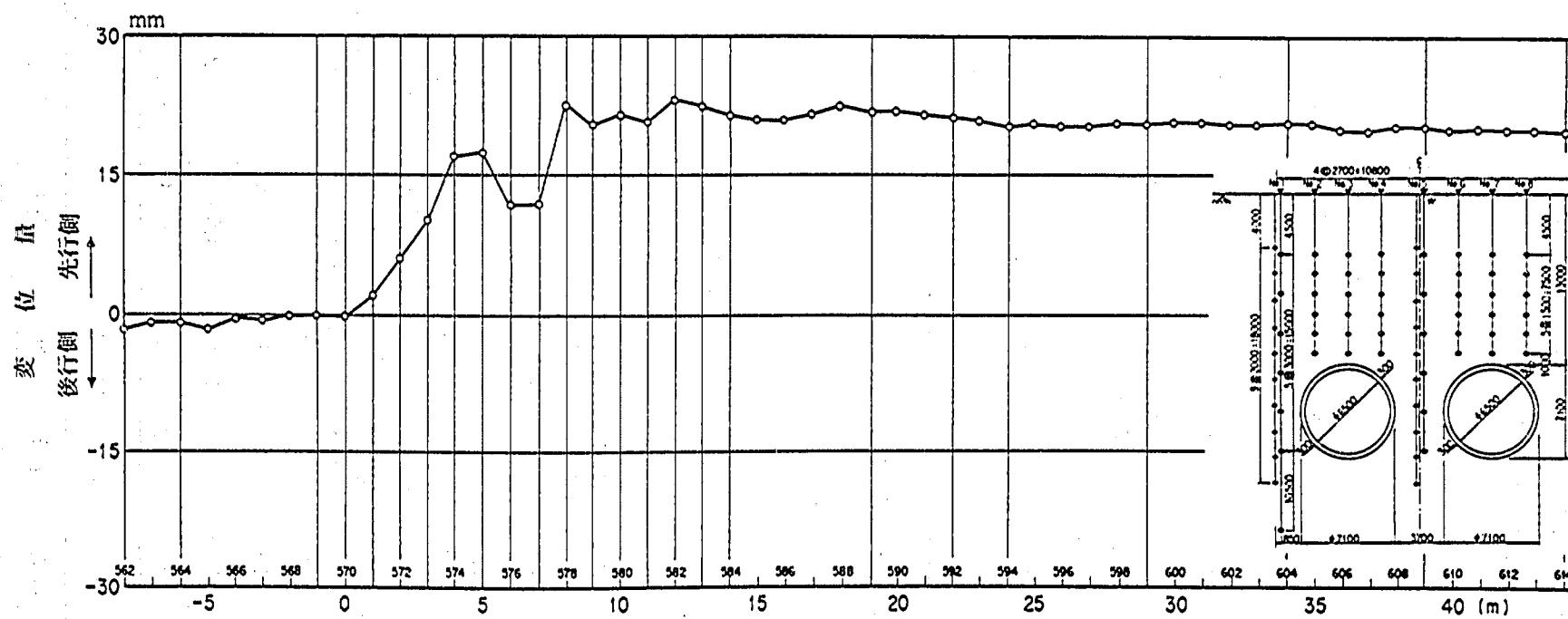


図-6.6 水平変位 経時変化図



切羽と計測地点 (No 5) との離れ

図 - 6.7 切羽位置と水平変位

### 6.2.2 後行トンネル通過により先行トンネルに作用する荷重

今回の現場計測では、土圧計及び水圧計を先行トンネルに設置した。この土圧計は、トンネル半径方向に作用する力（セグメントに直角に作用する力）を計測し、水圧計は、セグメントの外縁に作用する水圧を計測している。

従って、今回の現場計測では、先行トンネルのトンネル半径方向に作用する外力を調査したことになる。以後、この外力を作用荷重と呼ぶこととする。

また、土圧計の値と水圧計の値の差は、水圧を除いた先行トンネルの半径方向に作用する応力を意味し、以後、この応力を有効土圧と呼ぶ。

後行トンネルの通過による先行トンネルに作用する荷重を検討する場合、比較の対象としては以下のものが考えられる。（表－6.3）

- ① 理論的に求められる作用荷重（以後、理論値と呼ぶ）（側方土圧係数は現場計測結果及びトンネル標準仕様書（シールド編）（土木学会）より、0.7とした。）
- ② 計測リング組立後、作用荷重がほぼ安定した状態と考えられる昭和63年11月21日の計測結果（以後、先行トンネル安定時の作用荷重と呼ぶ）
- ③ 先行トンネルの掘進による影響が大きく現れていると判断される昭和63年11月4日の土圧計の計測結果（以後、先行トンネル施工時の作用荷重と呼ぶ）

今後は、後行トンネルの影響はあるか否かの検討を行う場合には、先行トンネル安定時作用荷重と、

表－6.3 後行トンネルの通過の影響を見るための  
先行トンネルに作用する荷重

| (理 論 値) |      |    |      |    |    |    |      |    |
|---------|------|----|------|----|----|----|------|----|
|         | 天端   | 右上 | 右端   | 右下 | 底端 | 左下 | 左端   | 左上 |
| 土 圧 計   | 2.28 |    | 1.96 |    |    |    | 1.96 |    |
| 水 圧 計   | 1.21 |    | 1.57 |    |    |    | 1.57 |    |
| 有効土圧    | 1.07 |    | 0.39 |    |    |    | 0.39 |    |

| (先行トンネル安定時 11/21) |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                   | 天端   | 右上   | 右端   | 右下   | 底端   | 左下   | 左端   | 左上   |
| 土 圧 計             | 1.80 | 1.58 | 1.48 | 1.62 | 1.64 | 1.75 | 1.64 | 1.68 |
| 水 圧 計             | 1.02 | 1.12 | 1.37 |      | 1.51 | 1.55 | 1.24 | 1.10 |
| 有効土圧              | 0.78 | 0.48 | 0.22 | 0.13 | 0.12 | 0.23 | 0.33 | 0.52 |

| (先行トンネル施工時 11/4) |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                  | 天端   | 右上   | 右端   | 右下   | 底端   | 左下   | 左端   | 左上   |
| 土 圧 計            | 2.05 | 1.81 | 1.81 | 2.00 | 1.93 | 2.36 | 2.30 | 2.17 |

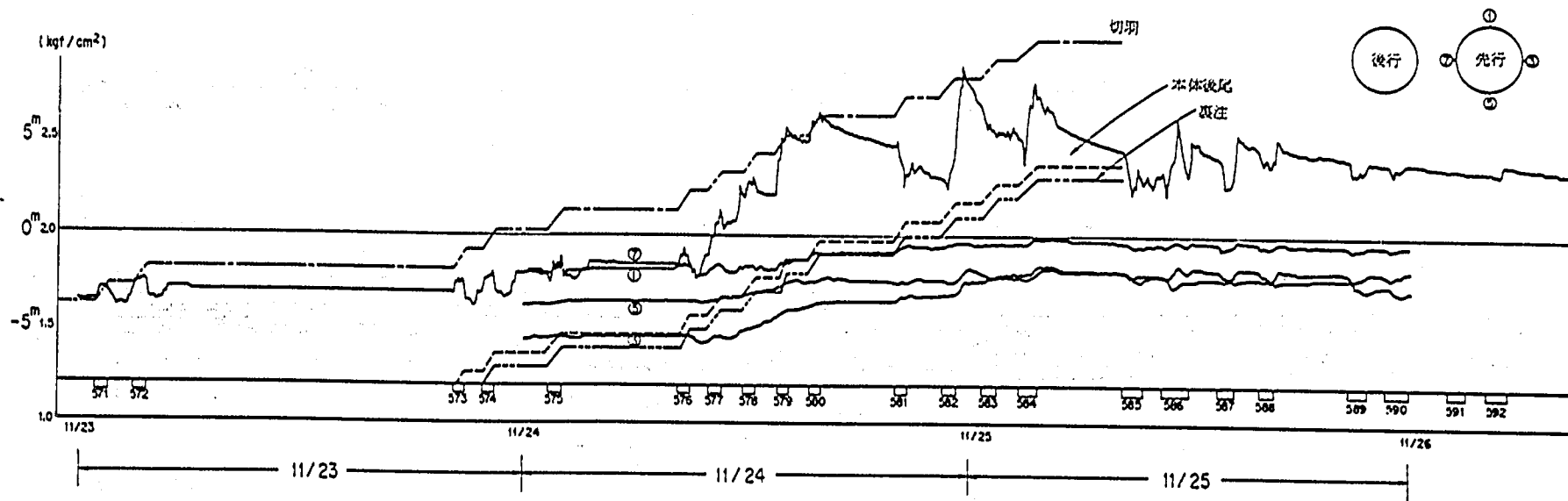
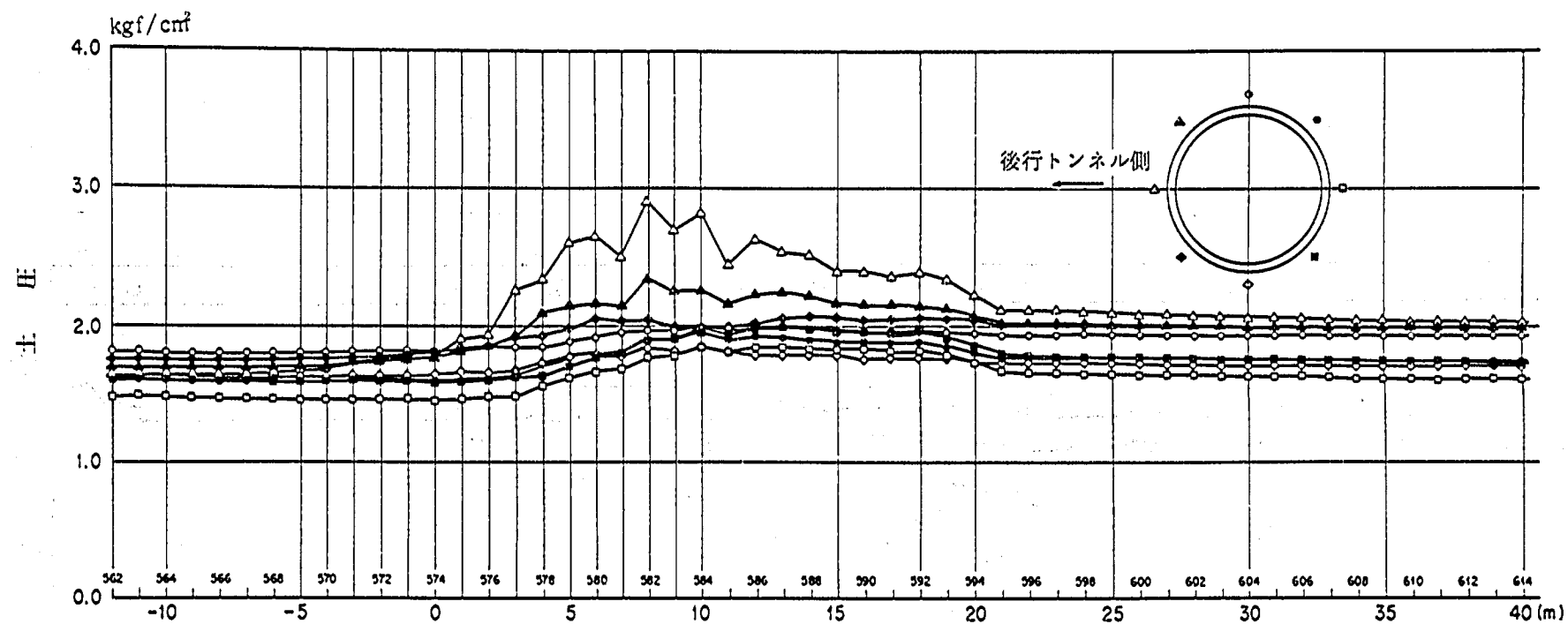


図-6.8 土圧計 経時変化図(6分間ピッチ)



切羽と計測地点（201リング）との離れ

図 - 6.9 切羽位置と土圧

後行トンネルの影響は先行トンネルのみの場合（単独で施工した場合の施工時の影響）より大きいのかを検討する場合には先行トンネル施工時作用荷重と、後行トンネルの影響を設計条件として検討する場合には理論値と比較するものとする。

#### (1) 土圧計（全土圧）の変化

図-6.8は、後行トンネル通過前後の先行トンネルに設置した土圧計の値を6分ピッチを示したものである。図-6.9は、1サイクル（掘削開始から次の掘削開始まで）の土圧計の最大値を縦軸に、切羽位置と計測位置との離れを横軸にしたものである。

これらの図及び図-4.1より、以下のことが分かる。

① 各側点とも以下のa)からe)までの挙動を示す。なお、その挙動幅は後行トンネル側程大きい。（この考察は「(4)作用荷重の変動」にて、水圧、有効土圧も含めて行う）

a) 後行トンネルの切羽通過10リング前より圧力上昇は始まるが、その上昇幅は小さい。（先行トンネルの後行トンネル側では、 $1.64 \text{ kgf/cm}^2$ から $1.74 \text{ kgf/cm}^2$ へ $0.10 \text{ kgf/cm}^2$ 上昇している。）

b) 後行トンネルの切羽通過よりテール通過直前まで圧力は上昇する。（先行トンネルの後行トンネル側では、 $1.74 \text{ kgf/cm}^2$ から $2.91 \text{ kgf/cm}^2$ へ $0.90 \text{ kgf/cm}^2$ 上昇している。）

c) 後行トンネルのテール通過時に一旦低下する。（先行トンネルの後行トンネル側では、 $2.64 \text{ kgf/cm}^2$ から $2.35 \text{ kgf/cm}^2$ へ $0.29 \text{ kgf/cm}^2$ 低下している。）

d) テール通過後の最初の後行トンネルの裏込め注入時（箇所）に圧力は急上昇し、最大値を示す。（先行トンネルの後行トンネル側では、 $2.35 \text{ kgf/cm}^2$ から $2.90 \text{ kgf/cm}^2$ へ $0.55 \text{ kgf/cm}^2$ 上昇している。ちなみに、テール通過前のピーク値と比較すると、 $0.27 \text{ kgf/cm}^2$ 高くなっている。）

e) 後行トンネルが通過した後は、後行トンネルの掘進時には圧力は上昇するものの、全体的には低下傾向にある。低下については切羽通過20リングまでは大きく、それ以後は漸減である。（先行トンネルの後行トンネル側では、切羽通過20リングまでは、 $2.91 \text{ kgf/cm}^2$ から $2.39 \text{ kgf/cm}^2$ へ $0.52 \text{ kgf/cm}^2$ 低下し、それ以降は約2ヶ月で $0.58 \text{ kgf/cm}^2$ 低下し、それ以降は約2ヶ月で $0.58 \text{ kgf/cm}^2$ 低下している。）

なお、掘進時の圧力の変動（主に上昇）幅は時間、距離経過とともに小さくなっている。（先行トンネルの後行トンネル側では、掘進開始の時点での値とその掘進サイクル（掘削開始から次の掘削開始まで）のピーク値との差は、 $0.61$ 、 $0.00$ 、 $0.30$ 、 $0.00$ 、 $0.30$ 、 $0.13$ 、 $0.07$ 、 $0.00$ 、 $0.00$ 、…… $\text{kgf/cm}^2$ となっている。）

② 後行トンネルのテール通過前と後では、掘進中の土圧の変動パターンが異なっている。（この考察は「(4)1サイクル中の作用荷重の変動で、水圧、有効土圧も含めて行う）

③ 後行トンネル通過前後より、先行トンネルの左右の作用荷重の釣合がとれていない。ちなみに、ピーク時では、後行トンネル側の土圧計の値は、後行トンネル反対側のその約1.7倍である。（この考察は「(5)作用荷重の変動のモデル化」にて、水圧、有効土圧も含めて行う）

後行トンネル通過時における作用荷重の最大値と理論値、先行トンネル安定時作用荷重及び先行トンネル施工時作用荷重とを比較すると表-6.4のようになる。

この表より、以下のことが言える。

表- 6.4 ピーク時と理論値等との比較 (土圧計)

(kgf/cnf)

|       | 天端   | 右上   | 右端   | 右下   | 底端   | 左下   | 左端   | 左上   |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ピーク時① | 1.96 | 1.89 | 1.75 | 1.86 | 1.81 | 2.02 | 2.90 | 2.34 |
| 理論値②  | 2.28 |      | 1.96 |      |      |      | 1.96 |      |
| 安定時③  | 1.80 | 1.58 | 1.48 | 1.62 | 1.64 | 1.75 | 1.64 | 1.68 |
| 施工時④  | 2.05 | 1.81 | 1.81 | 2.00 | 1.93 | 2.36 | 2.30 | 2.17 |
| ① / ② | 0.86 |      | 0.89 |      |      |      | 1.48 |      |
| ① / ③ | 1.09 | 1.20 | 1.18 | 1.14 | 1.10 | 1.15 | 1.77 | 1.39 |
| ① / ④ | 0.96 | 1.04 | 0.97 | 0.93 | 0.94 | 0.86 | 1.26 | 1.08 |

① 後行トンネル通過時には先行トンネルへの作用荷重は、全ての計測地点で増加し、増加の割合は先行トンネル安定時作用荷重の約1割から8割である。特に、後行トンネル側ではそのほかに比べて非常に大きく増加している。

② 後行トンネルの通過時には、天端に全土被り荷重の約0.9倍の施工時荷重が作用したことになる。

③ 後行トンネル通過時の作用荷重は、後行トンネル側を除くと単独で施工した場合の先行トンネル施工時作用荷重より等しいか若干小さい。後行トンネル側では約1.3倍となっている。また、後行トンネル側は理論値の約1.5倍の施工時荷重が作用している。

図- 6.10に側方土圧係数の経時変化を示す。この図での側方土圧係数は、5-1④と同様にして求めたもので、地盤反力も含んでいる。

この図より以下のことが分かる。

後行トンネルが通過してから約50日後より、側方土圧係数は再度上昇しているがこれは天端の土圧が側方の土圧の低減より大きく低減したためである。これは、併設の影響とは考え難く、そのほかの要因によるものと判断される。

約50日までの経時変化を見ると、側方土圧係数は通過前の0.68より0.94まで上昇し、約40日で0.65に収束している。これは、先行トンネル単線の場合と比較して約5倍の日数を要している。この原因としては、先行トンネル+後行トンネル掘削という広範囲な地山の乱れが想定される。

## (2) 水圧計 (水圧) の変化

図- 6.11は、後行トンネル通過前後の水圧計 (後行トンネル側のトンネル中心深度の位置) の値を6分ピッチで示したものである。図- 6.12は、1サイクル (掘削開始から次の掘削開始まで) の水圧計の最大値を縦軸に、その掘削箇所と計測位置との離れを横軸にしたものである。

これらの図及び図- 4.2より、水圧計の動きは土圧計の動きとはほぼ同様の動きを示しているが、以下の点が異なっている。

① 土圧計に比べて滑らかな変化となっている。

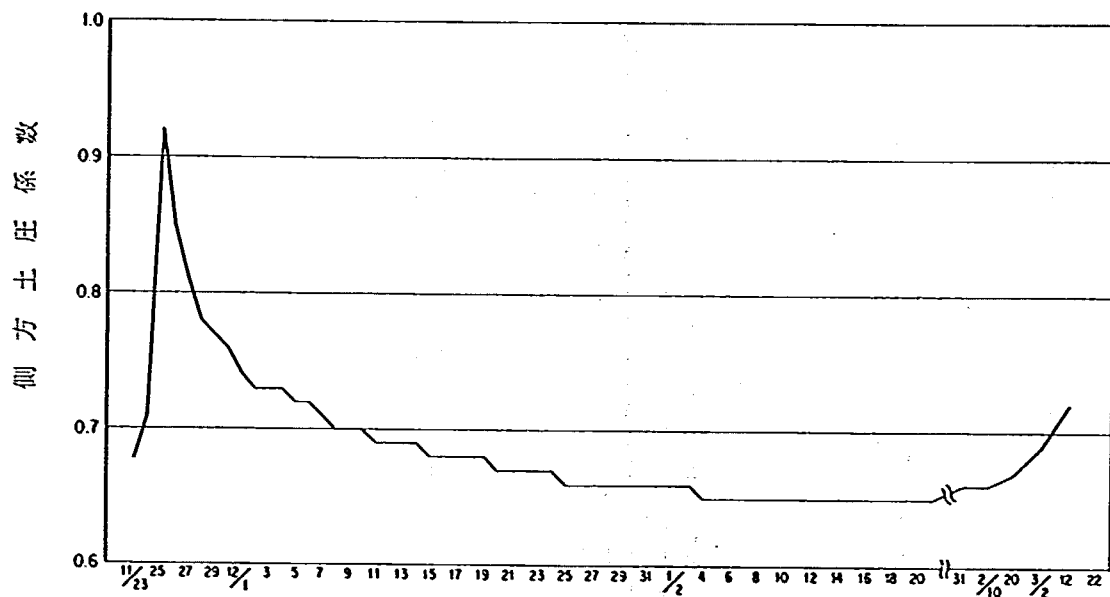


図 - 6.10 側方土圧係数 経時変化図

水圧計経時変化 (6分間ピッチ) 新データ

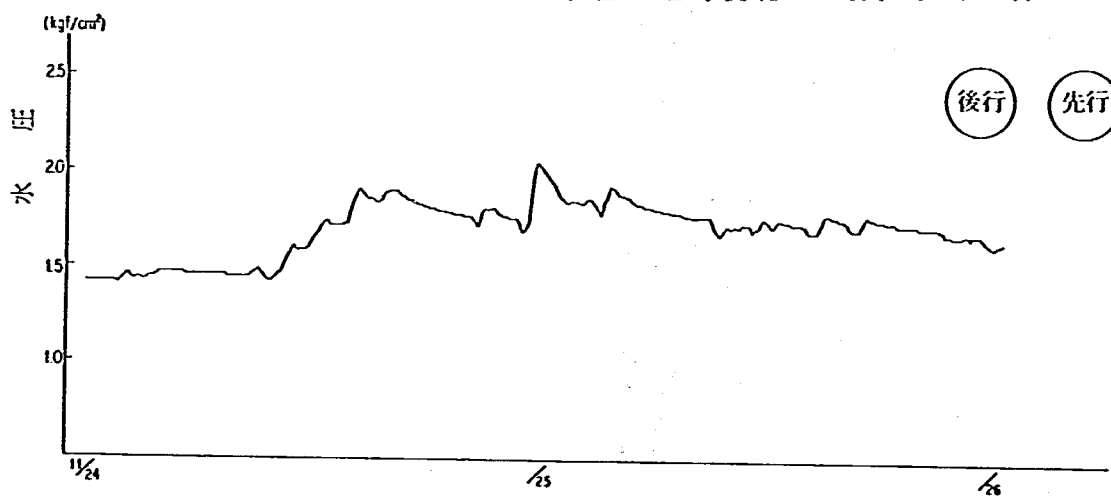


図 - 6.11 水圧計 経時変化図 (6分間ピッチ)

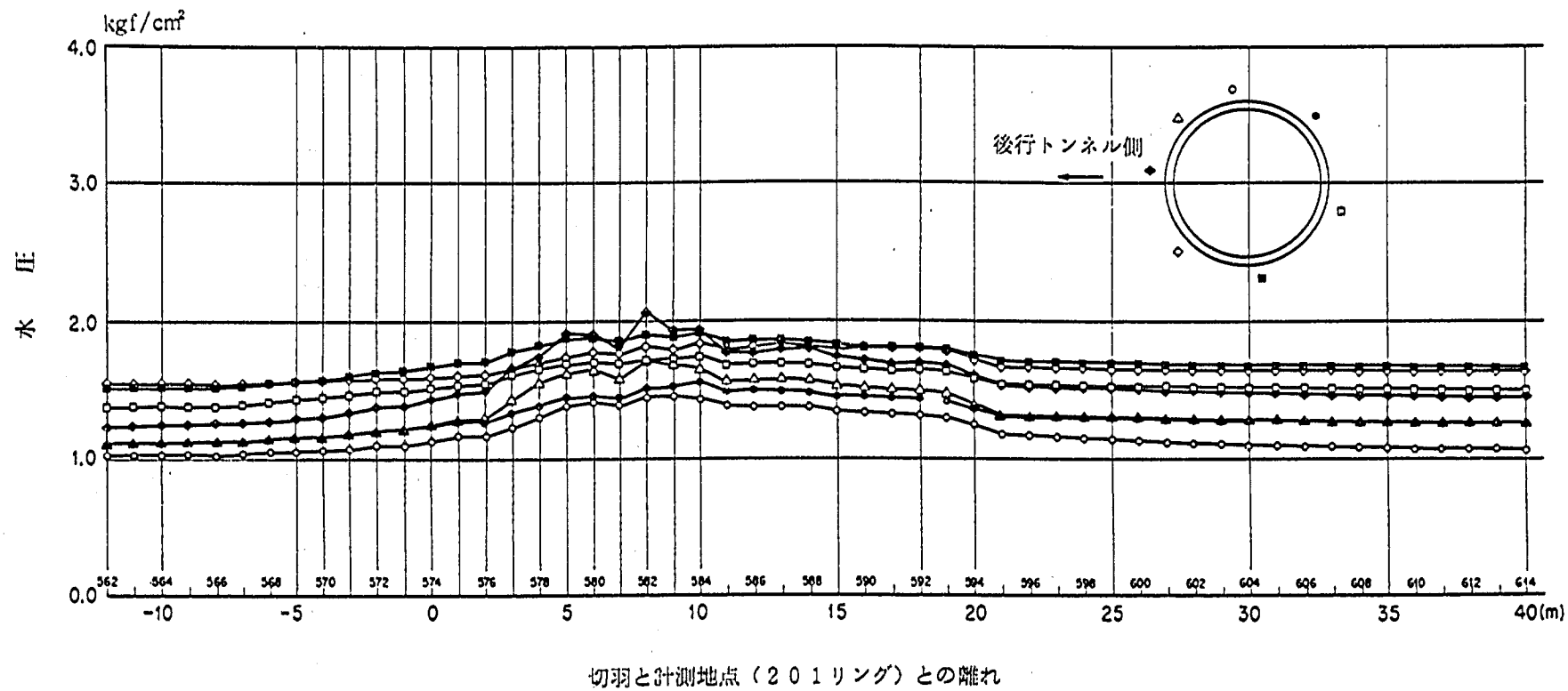


図 - 6.12 切羽位置と水圧

② 通過前及び通過して2ヶ月後には、ほぼ先行トンネルの左右の水圧は、ほぼバランスしているが、後行トンネル通過時には左右の水圧のバランスはとれていない。(表-6.5 参照)

③ 最終的にはほぼ静水圧となる。

水圧計の変動量を、土圧計と同様の観点から見ていると、以下のようになる。

a) 切羽到達までは、先行トンネルの後行トンネル側では、 $1.26 \text{ kgf/cm}^2$  から  $1.34 \text{ kgf/cm}^2$  へ  $0.08 \text{ kgf/cm}^2$  上昇している。

b) 後行トンネルの切羽通過よりテール通過直前までは、先行トンネルの後行トンネル側では、 $1.34 \text{ kgf/cm}^2$  から  $1.90 \text{ kgf/cm}^2$  へ  $0.56 \text{ kgf/cm}^2$  上昇している。

c) 後行トンネルのテール通過時には、先行トンネルの後行トンネル側では、 $1.90 \text{ kgf/cm}^2$  から  $1.72 \text{ kgf/cm}^2$  へ  $0.18 \text{ kgf/cm}^2$  一旦低下している。

d) テール通過後に発生する上昇は、先行トンネルの後行トンネル側では、 $1.72 \text{ kgf/cm}^2$  から  $2.05 \text{ kgf/cm}^2$  へ  $0.33 \text{ kgf/cm}^2$  上昇し、ピーク値となっている。ちなみに、テール通過前のピーク値と比較すると、 $0.15 \text{ kgf/cm}^2$  高くなっている。ピーク値と理論値、先行トンネル安定時と比較すると、ピーク値の方が各々より、約1.4倍、約1.7倍高くなっている。

e) 先行トンネルの後行トンネル側では、切羽通過20リングまでは、 $2.05 \text{ kgf/cm}^2$  から  $1.69 \text{ kgf/cm}^2$  へ  $0.36 \text{ kgf/cm}^2$  低下し、それ以降は約2ヶ月で  $0.55 \text{ kgf/cm}^2$  低下している。

なお、先行トンネルの後行トンネル側では、掘進開始の時点での値とその掘進サイクル(掘削開始から次の掘削開始まで)のピーク値との差は、0.29, 0.00, 0.07, 0.00, 0.00………  $\text{kgf/cm}^2$  となっている。

表-6.5 ピーク時と先行トンネル安定時との比較(水圧計)

( $\text{kgf/cm}^2$ )

|       | 天端   | 右上   | 右端   | 右下   | 底端   | 左下   | 左端   | 左上 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| ピーク時① | 1.39 | 1.48 | 1.71 | 1.90 | 1.81 | 2.05 | 1.67 |    |
| 安定時②  | 1.02 | 1.12 | 1.37 | 1.51 | 1.55 | 1.24 | 1.10 |    |
| ① / ② | 1.36 | 1.32 | 1.25 | 1.26 | 1.16 | 1.65 | 1.52 |    |

### (3) 有効土圧(土圧計-水圧計)の変化

図-6.13(a)は、有効土圧の経時変化を示す。なお、縦軸は11/23午前零時の値を基準値として作図している。

図-6.13(b)は、後行トンネル通過前後の有効土圧の値を6分ピッチで示したものである。

これらの図における着目すべき事項を列記すると以下のようになる。

① 11/22日より、後行トンネルの影響が現れる。

② 土圧計、水圧計の動きと異なった動きとなっている。

③ 水圧の変動量(ピーク値と先行トンネル安定時との差が  $0.8 \text{ kgf/cm}^2$ ) に比べて有効土圧の変

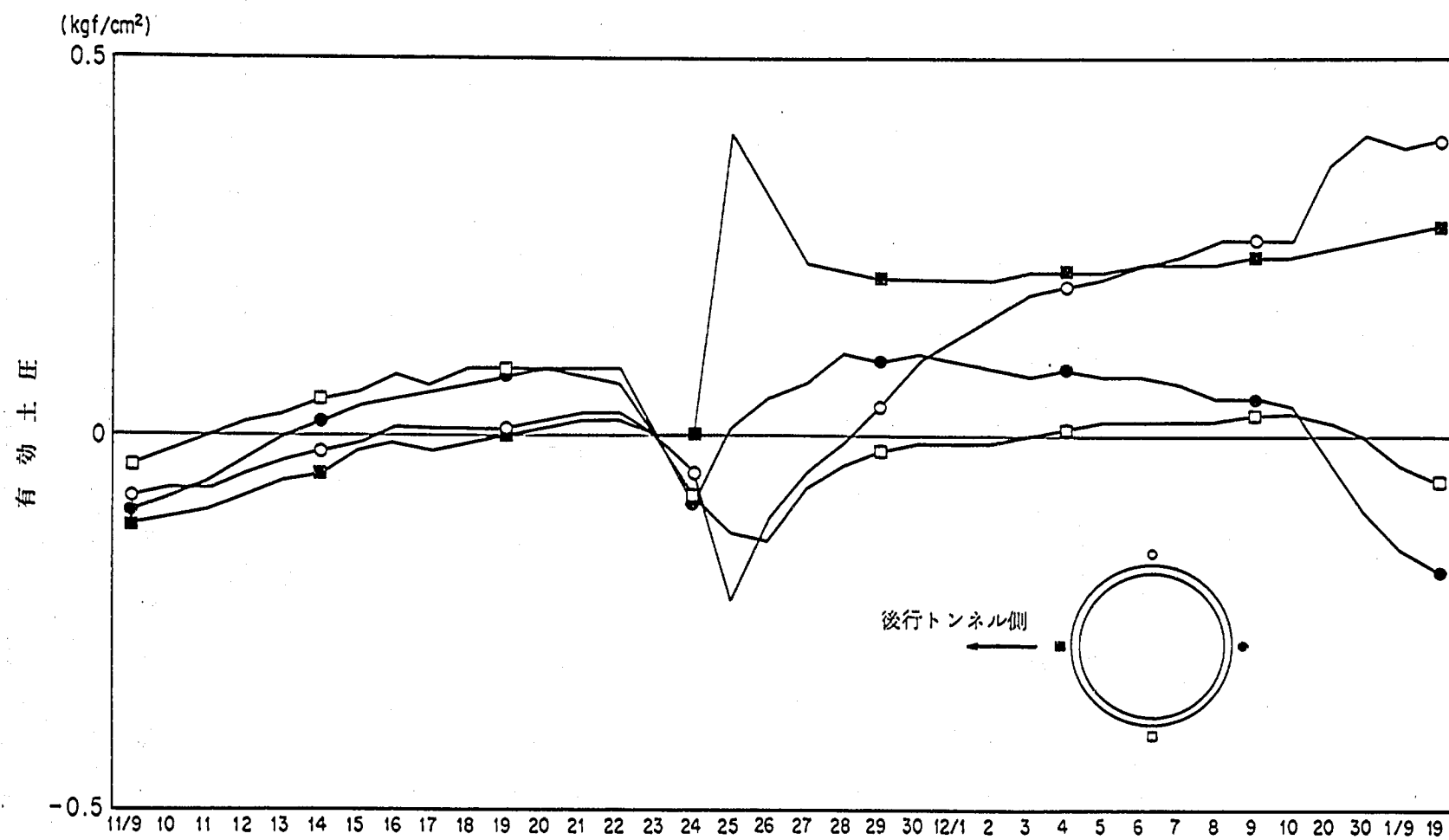


図 - 6.13(a) 有効土圧 経時変化図

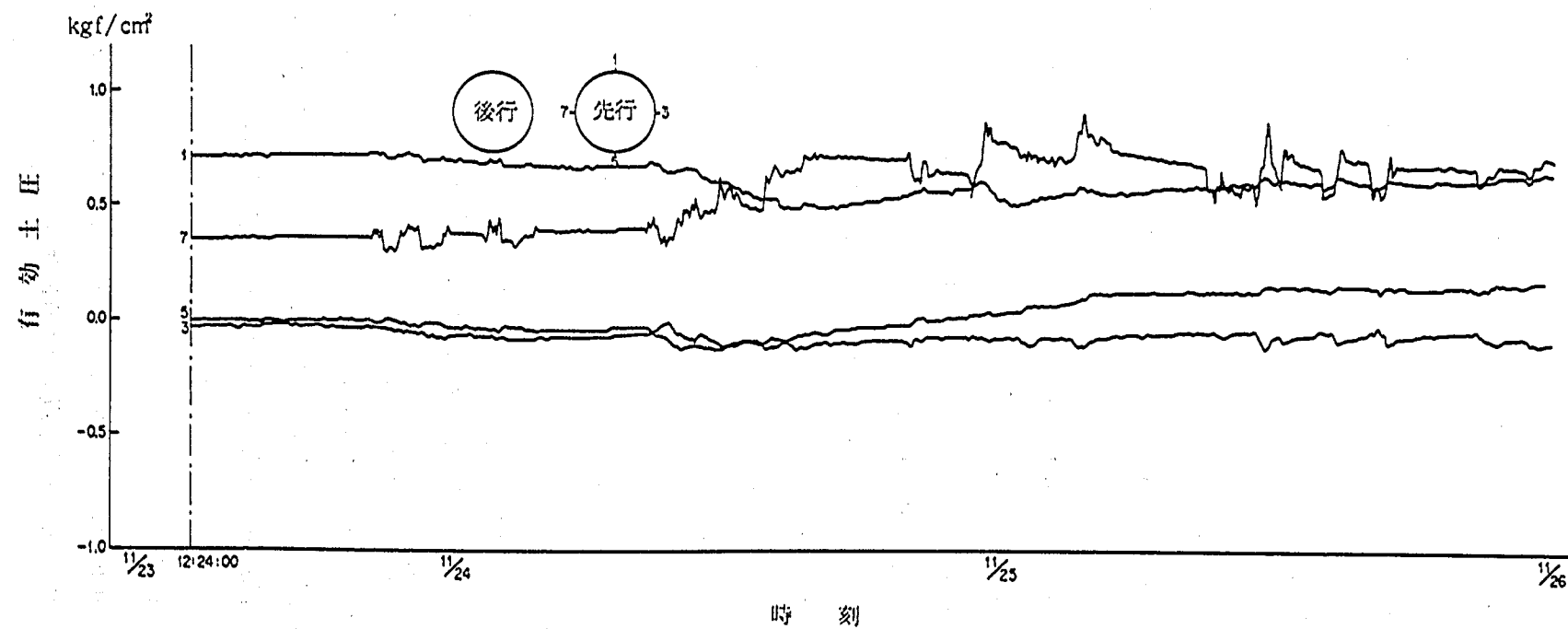


図 - 6.13(b) 有効土圧 経時変化図 (6 分間ピッチ)

動量 ( $0.4 \text{ kgf/cm}^2$ ) は小さい。

④ 有効土圧の天点、下端、後行トンネル側及び後行トンネル反対側の挙動はみな異なる。(図-6.13 (b)) つまり、

a) 後行トンネル反対側の有効土圧は、後行トンネルの接近に伴い低下し、通過後は復元しているが、長期的には低下傾向にある。

b) 先行トンネル天端の有効土圧は、後行トンネルの接近に伴い一旦低下するものの通過後は当初より高くなっている。

c) トンネル下端の有効土圧の変動量は他の3点の約半分である。

d) 後行トンネル側の有効土圧は、後行トンネルのシールド機の通過に伴い、上昇し、通過後の戻りは小さく、当初の約2倍の高い値で安定化している。

なお、先行トンネルの後行トンネル側の有効土圧の変動を後行トンネルの掘進位置との関係で見ると以下ようになる。

① 後行トンネルの切羽通過10リング (約  $1.5 D$  ( $D$ : シールド径)) 前より有効土圧は後行トンネルの影響と思われる変動をするが、その幅は小さい。

② 後行トンネルの切羽通過よりテール通過直前まで有効土圧は上昇する。(約2倍となる)

③ 後行トンネルのテール通過時に一旦低下する。

④ テール通過後の初期の後行トンネルの裏込め注入時 (箇所) に有効土圧は急上昇し、最大値を示す。(先行トンネル安定時の約2.4倍)

⑤ 後行トンネルの裏込め注入時 (箇所) に有効土圧は上昇するものの全体的には低下傾向にある。しかし、低下については切羽通過20リング (約  $3 D$  ( $D$ : シールド径)) までの低下もそれほど大きくはなく、それ以後はほぼ一定となる。

これらより、先行トンネル周辺の地盤の挙動と先行トンネルへ作用する有効土圧の変動との関係を推定すると、以下ようになる。

後行トンネルの接近に伴い、周辺地盤は後行トンネルを中心に後行トンネルより離れる方向に変位する。後行トンネル側のトンネル中心深度付近の地盤は先行トンネルによって変位が抑制されるため、先行トンネルの後行トンネル側の有効土圧は増大する。また、先行トンネルの後行トンネル側以外の地盤は、後行トンネルを中心に外側へ離れる方向に変位するため、先行トンネルへの作用荷重は低下する。なお、先行トンネルの後行トンネル反対側においては、先行トンネルが変位したため、地盤反力が発生し、一旦低下していた有効土圧は増大する。但し、長期的には先行トンネルの変位が若干戻るため、再度減少する。

#### (4) 1 サイクル中の作用荷重の変動

テール通過前と後の1サイクル間の作用荷重の変動例を図-6.14に示す。この図より、テール通過前と通過後の作用荷重の変動について考察すると以下ようになる。

##### ① 通過前

掘進中は、掘進開始とともに土圧計は急上昇し、ある値に収束する。水圧計は、掘進開始から掘進

完了まで一様に上昇し、掘進完了後は低下する。有効土圧は、掘進開始とともに急上昇し、ある値に収束するが、掘進が完了してもほとんど低下しない。

このことより、通過前においては、シールドの切羽圧力、ジャッキの推進力やスキンプレーットの地山加圧によりシールド機前方の周辺地盤が計測地点の方へ押し付けられると推定される。

## ② 通過後

掘進開始とともに土圧計は低下するが、ある時点（掘進中とは限らない）より土圧計は上昇しピークを迎えその後低下する。水压、有効土圧とも同様の変動を示す。なお、この土圧計の上昇量は、シールド機が遠ざかるに従って小さくなる。（「(1)土圧計の変化」の①のe）参照）

このことより、通過後の作用荷重の変動は、掘削開始直後はシールドの切羽圧力やスキンプレーットの地山加圧により、周辺地盤が計測地点より遠ざかる方へ動くため低下するものの、裏込め注入に伴い作用荷重は増加し、再度低下するものと推定される。

## (5) 作用荷重の変動の整理

作用荷重の変動及び地盤変位を整理すると図-6.15のようになる。なお、この図は先行トンネルの

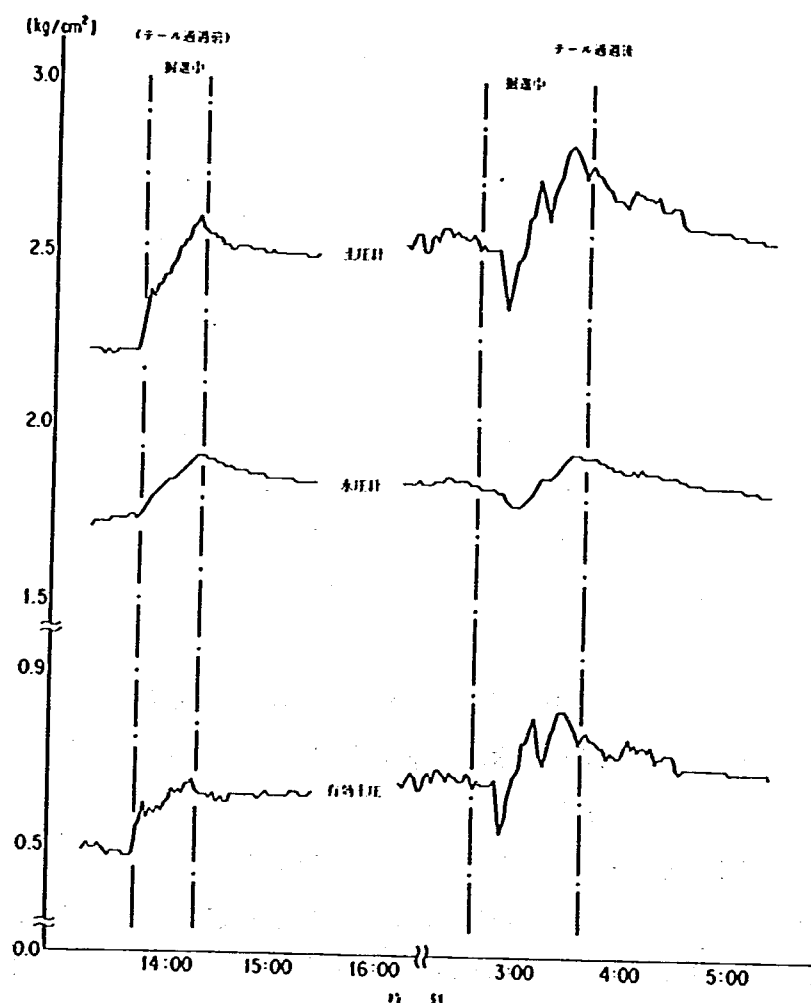


図-6.14 1サイクルの作用荷重の変化図（2分間ピッチ）

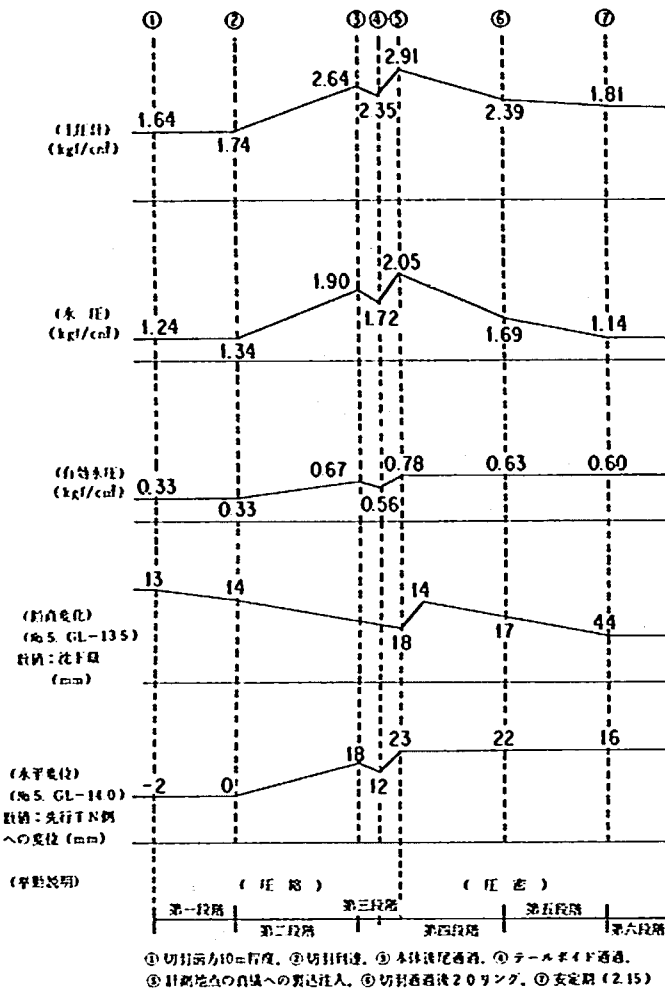


図 - 6.15 モデル図

後行トンネル側の計測値により作図している。この図より、後行トンネルの影響は以下の6段階に分けることが出来る。従って、考察は段階毎に行うこととする。

- 第一段階 …… 切羽到達1.0～1.5 D前から切羽到達まで
- 第二段階 …… 切羽到達からテール通過前まで
- 第三段階 …… テール通過時
- 第四段階 …… テール通過後で裏込め注入の影響が卓越する期間
- 第五段階 …… 第四段階以降で水圧が静水圧になるまでの期間
- 第六段階 …… 第五段階以降の安定期

○第一段階 …… 切羽到達1.0～1.5 D前から切羽到達まで

水圧・有効土圧とも微増しており、作用荷重は先行トンネル安定時より約6%増加している。中間地盤も先行トンネル側へわずかではあるが変位している。このことより、シールド機が、周辺地盤を押し広げるように掘進していることを意味すると考える。このシールド機の要因としては、切羽圧力、ジャッキの推進力・スキンプートの地山加圧及び裏込め注入が考えられる。

○第二段階 …… 切羽到達からテール通過前まで

水圧・有効土圧とも急増しており、作用荷重は先行トンネル安定時の11/21の約1.5倍となっている。中間地盤も先行トンネル側へ大きく変位している。

このことより、以下の推定ができる。

① シールド機は、地山に貫入するように掘進している。

② シールド機は、周辺地盤を押し広げる性質を持つ。このシールド機の性質としては、切羽圧力、ジャッキの推進力・スキンプートの地山加圧及び裏込め注入が考えられる。

また、水圧・有効土圧の急増は、中間地盤が先行トンネル側へ大きく変位するものの、先行トンネル及び周辺地盤の変位拘束により土塊の圧縮が発生しているためと判断される。

○第三段階 …… テール通過時

水圧・有効土圧及び中間地盤の水平変位とも元に戻るように挙動している。これは、テール通過時にテールボイドが発生しているためと判断される。

○第四段階 …… テール通過後で裏込め注入の影響が卓越する期間

この段階の土圧計及び水圧計の挙動は「(4) 1サイクル中の作用荷重の変動」で述べたように、掘進中の後半より水圧・有効土圧とも急上昇しているものの、計測地点とシールド機の離れが大きくなるに従って、土圧計・水圧計の上昇は小さくなる。掘進中の変動が見られなくなるのは、ほぼ切羽が通過してから20リング程度である。時間に直して3～4日程度である。

マクロ的に変動を見た場合、モデル図に示すように、作用荷重のピークがこの段階の初期に発生し、ピーク以降は、水圧は、急激に減少し、有効土圧も小さいながら減少している。この結果、作用荷重は急激に減少している。また、トンネル周辺地盤の水平変位の戻りも小さい。

この段階の土圧計・水圧計の挙動は、テール通過前に生じた過剰間隙水圧の低下と裏込め注入による一時的な作用荷重の増加によるものと判断される。

なお、作用荷重のピークが、この段階の初期の掘進中に発生しているのは、テール通過前に生じた過剰間隙水圧の低下より裏込め注入による作用荷重の増加が大きいためであると判断される。

有効土圧及び水平変位の戻りが小さいのは、地盤の変位が大きすぎたため、塑性状況になっているためと判断される。

ピーク時の作用荷重を表-6.6に示す。各側点のピーク時と先行トンネル安定時との差を先行トンネル安定時の作用荷重で除したものを示すと表-6.7のようになり、後行トンネル側ほど作用荷重が増大していることが分かる。

○第五段階 …… 第四段階以降で水圧が静水圧になるまでの期間

水圧はわずかであるが、減少し、後行トンネル通過後約2ヶ月で安定化している。有効土圧・水平変位は安定化している。この結果、作用荷重は微減している。

この段階の土圧計・水圧計の挙動は、テール通過前に生じた過剰間隙水圧及びテール通過後の裏込め注入により生じた過剰間隙水圧の低下によるものと判断される。

○第六段階 …… 第五段階以降の安定期

最終的な作用荷重は、表－6.8に示すように、水圧はほぼ静水圧となっている。従って、最終的な作用荷重は、静水圧＋有効土圧（＝当初作用荷重＋有効土圧の変動分）となる。

このことより、併設の長期的影響を考察する場合は、有効土圧の変動分をどう把握するかにかかっていると言える。

表－6.6 ピーク時の作用荷重

|       | 天端   | 右上   | 右端   | 右下    | 底端    | 左下   | 左端   | 左上   |
|-------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|
| 土 圧 計 | 1.96 | 1.89 | 1.75 | 1.86  | 1.81  | 2.02 | 2.90 | 2.34 |
| 水 圧 計 | 1.39 | 1.48 | 1.71 | 1.90  | 1.81  |      | 2.05 | 1.67 |
| 有効土圧  | 0.94 | 0.43 | 0.15 | -0.02 | -0.10 | 0.24 | 0.78 | 0.61 |

表－6.7 ピーク時の変動量

(ピーク時の作用荷重－先行トンネル安定時の作用荷重) / (先行トンネル安定時の作用荷重)  
(kgf/cm<sup>2</sup>)

|       | 天端   | 右上    | 右端    | 右下    | 底端    | 左下   | 左端   | 左上   |
|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| 土 圧 計 | 0.09 | 0.20  | 0.18  | 0.13  | 0.10  | 0.15 | 0.78 | 0.39 |
| 水 圧 計 | 0.36 | 0.32  | 0.25  | 0.26  |       | 0.17 | 0.65 | 0.52 |
| 有効土圧  | 0.21 | -0.10 | -0.32 | -1.15 | -1.83 | 0.04 | 1.36 | 0.17 |

表－6.8 地盤変状計測終了時（2/15）の作用荷重

|       | 天端   | 右上   | 右端    | 右下    | 底端    | 左下   | 左端   | 左上   |
|-------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|
| 土 圧 計 | 1.70 | 1.71 | 1.06  | 1.22  | 1.40  | 1.89 | 1.81 | 1.99 |
| 水 圧 計 | 0.61 | 1.07 | 1.34  | 1.47  |       | 1.50 | 1.14 | 1.05 |
| 有効土圧  | 1.09 | 0.66 | -0.13 | -0.23 | -0.08 | 0.42 | 0.60 | 0.88 |

#### (6) まとめ

今回のような軟弱地盤で、シールド離隔距離が0.5 Dと接近している場合における後行トンネルが先行トンネルへ与える影響を地盤変状と作用荷重について整理すると以下の通りになる。

① 先行トンネルへの作用荷重は、後行トンネルの切羽到達1.0～1.5 D（10m程度）前より影響を受けはじめ、切羽到達よりテール通過直前まで増大する。これは、後行トンネルの切羽圧力、ジャッキの推進力、スキンプレーットの地山加圧、裏込め注入の影響により後行トンネル側の地山が先行トンネル側へ変位するため、土の圧縮現象が起こり、有効土圧及び水圧が増大（特に、後行トンネル側）するためと判断される。但し、有効土圧については地盤が後行トンネルを中心に外側へ広がるように変位するため、先行トンネルの後行トンネル側以外では、先行トンネルの周辺地盤が先行トンネルよ

り離れる方向へ移動するため、後行トンネル側を除き低下する。

② テール通過時はテールボイドのため、作用荷重は低下する。

③ テール通過後は、作用荷重のピークが最初の裏込め注入時に発生し、ピーク以降は裏込め注入の影響による一時的な作用荷重の増加があるものの、全体としては作用荷重は低下する。作用荷重の変動量の最も大きいのは先行トンネルの後行トンネル側で、先行トンネル安定時の約1.8倍になっている。このことより、過剰間隙水圧が低下することによる圧密現象が現れているものと判断される。なお、作用荷重のピークが、最初の裏込め注入時に発生しているのは、テール通過前に生じた過剰間隙水圧の低下より裏込め注入による作用荷重の増加が大きいためである。

④ 先行トンネルの後行トンネル反対側の有効土圧は通過時低下するものの、通過後は増加する。この増加は、先行トンネルが後行トンネルより離れる方向に水平変位し、地盤反力が発生したためと判断される。

⑤ 先行トンネルの後行トンネル側の有効土圧は、テール通過後も増加分が残留している。また、中間地盤の水平変位は切羽到達からテール通過後の最初の裏込め注入時まで後行トンネルから遠ざかるように変位し、以後の戻りは無視できる程度に小さい。このことより、トンネル間の中間地盤の変位が有効土圧の増加をもたらす、その変位の戻りが少ないため、その有効土圧が減少しないと推察される。

⑥ 後行トンネル通過時以降は先行トンネルの左右の作用荷重の釣合がとれていない。（ピーク時で、左：右＝1.7：1）

⑦ 後行トンネルのテール通過の前と後では、先行トンネルへの影響のメカニズムが異なる。つまり、テール通過前は、シールド機によって地山が加圧及び地盤が先行トンネル側へ変位するのに対して、テール通過後はシールド機によって後行トンネル前方の地山が加圧されるため計測地点の地山は前方（計測地点より遠ざかる方向）へ挙動し、この結果作用荷重は低下する。

### 6.2.3 先行トンネルの応力、変位の挙動

#### (1) 円周方向鉄筋計

図－6.16、17は、1サイクル（掘削開始から次の掘削開始まで）の円周方向鉄筋計の最大値を縦軸に、切羽位置と計測位置との離れを横軸にしたものである。

これらの図及び図－4.4より、以下のことが分かる。

202リングと203リングでは若干異なった動きを示しているが、シールド通過に伴う影響は11/22（切羽通過前4～6リング）からそれまでと逆の挙動（例えば、引張りが圧縮）となり、11/25（切羽通過後6～8リング）を境に元の挙動に戻っており、計測終了時の2/18になっても挙動が続いている。このことは、後行トンネルの通過時には側方からの作用荷重の増加が上下からのそれより卓越するが、その期間は短いことを意味している。

また、「5.2 覆工体に発生する応力度」で述べたように、鉄筋計の左右の動きはほぼ対称になっている。このことより、トンネル横断面を変形させるように作用する荷重分布はほぼ対称形であると

判断される。

通過時及び通過後の鉄筋計の応力度は、設計許容応力度  $\sigma_{so}=2,000 \text{ kgf/cm}^2$  に対して半分とかなり小さい。

## (2) 目開き計

図-6.18は、202リングの1サイクル（掘削開始から次の掘削開始まで）の目開き計の最大値を縦軸に、切羽位置と計測位置との離れを横軸にしたものである。

これらの図及び図-4.5より、以下のことが分かる。

202リングの底端を除いて、11/10頃から開く挙動を示している。これは、ジャッキ推力の影響の低下が原因ではないかと判断される。

202リングではシールド通過に伴う影響は通過前10リングから通過後18リング程度までに現れており、18リング以降も目開きの形で変化が残留している。つまり、後行トンネル側と天端は切羽通過前後それぞれ3リングの間で一度継手（リング間）は、閉じる方向に動いており、その後切羽通過18リング後まで開く方向となっているが、反対側の2点は常に継手は、開く方向に動いている。なお、18リング以降は目開きの量は安定化している。このことより、先行トンネルが後行トンネルより遠ざかるように変位し、戻りが少なかったため、トンネル延長が極めて微量（1リング（1m）当り、0.15mmの目開き量）ではあるが、若干延びたと判断される。

## (3) ひずみ計

図-6.19は、1サイクル（掘削開始から次の掘削開始まで）のひずみ計の最大値を縦軸に、切羽位置と計測位置との離れを横軸にしたものである。

これらの図及び図-4.6より、以下のことが分かる。

シールド通過に伴う影響は切羽通過前10リング（約1.5D（D：シールド径））から通過後18リング（約2.5D（D：シールド径））程度の間で現れている。つまり、先行トンネルの後行トンネル側は、切羽通過10リング前より閉じる方向の挙動が現れており、ピークは切羽通過後3リング目で、その後開く方向の挙動に転じテール通過後は開閉を繰り返し、切羽通過後18リングで動きはなくなり、目開き量が残留している。天端は、切羽通過10リング前より開く方向の挙動を示し、テール通過時にピークを迎え、通過後は若干閉じる方向へ動くものの、切羽通過10リング後で動きはなくなり、目開き量が残留している。その他の2つの計器は切羽通過前10リングの位置から目開きの方向に動き通過後8リングで定常化している。

このことより、目開き計と同様に先行トンネルが後行トンネルより遠ざかるよう変位し、戻りが少なかったため、トンネル延長が極めて微量（1リング（1m）当り、0.15mmの目開き量）ではあるが、若干延びたと判断される。

## (4) 内空変位

図-4.8より以下のことが分かる。

トンネル内空の左右の挙動が対称か否かは不明であるものの、そのほかの内空変位の挙動は円周方向鉄筋計とはほぼ同様である。

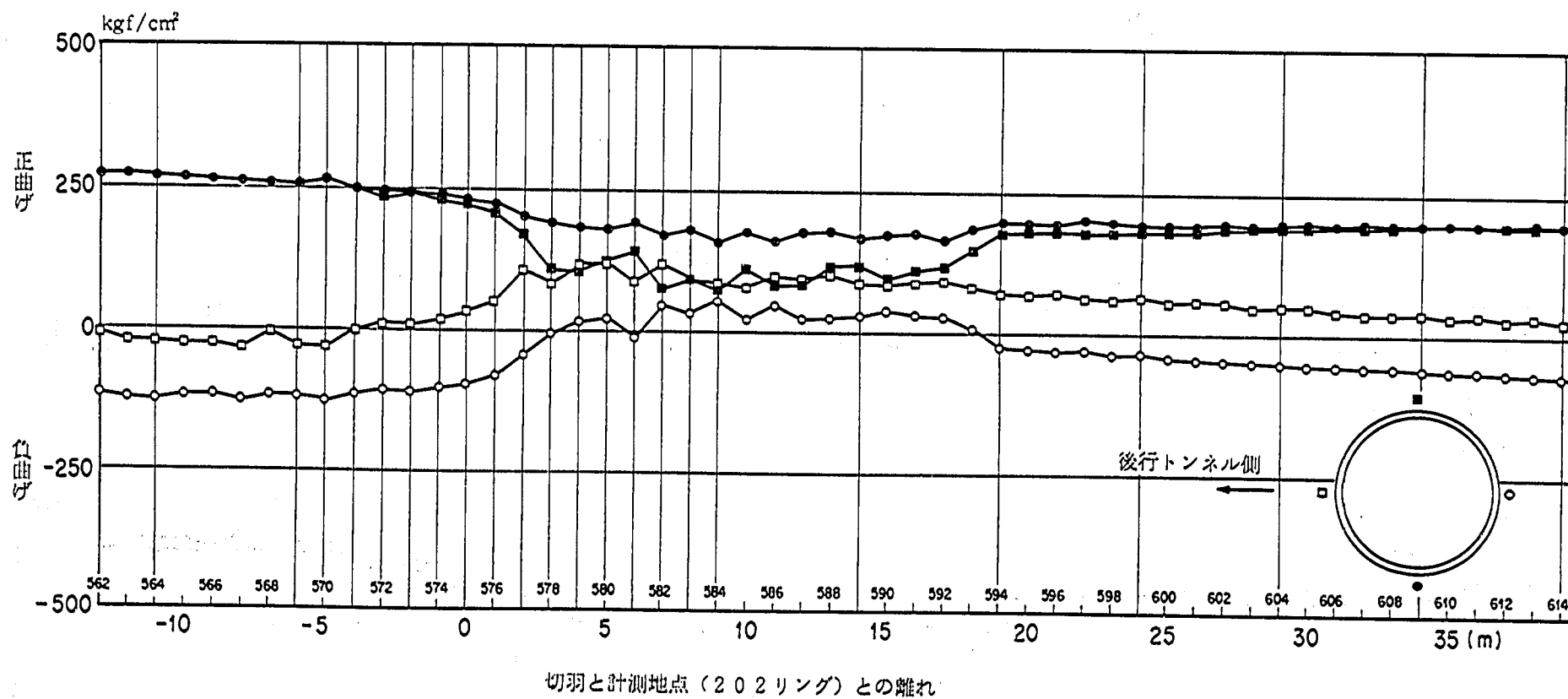
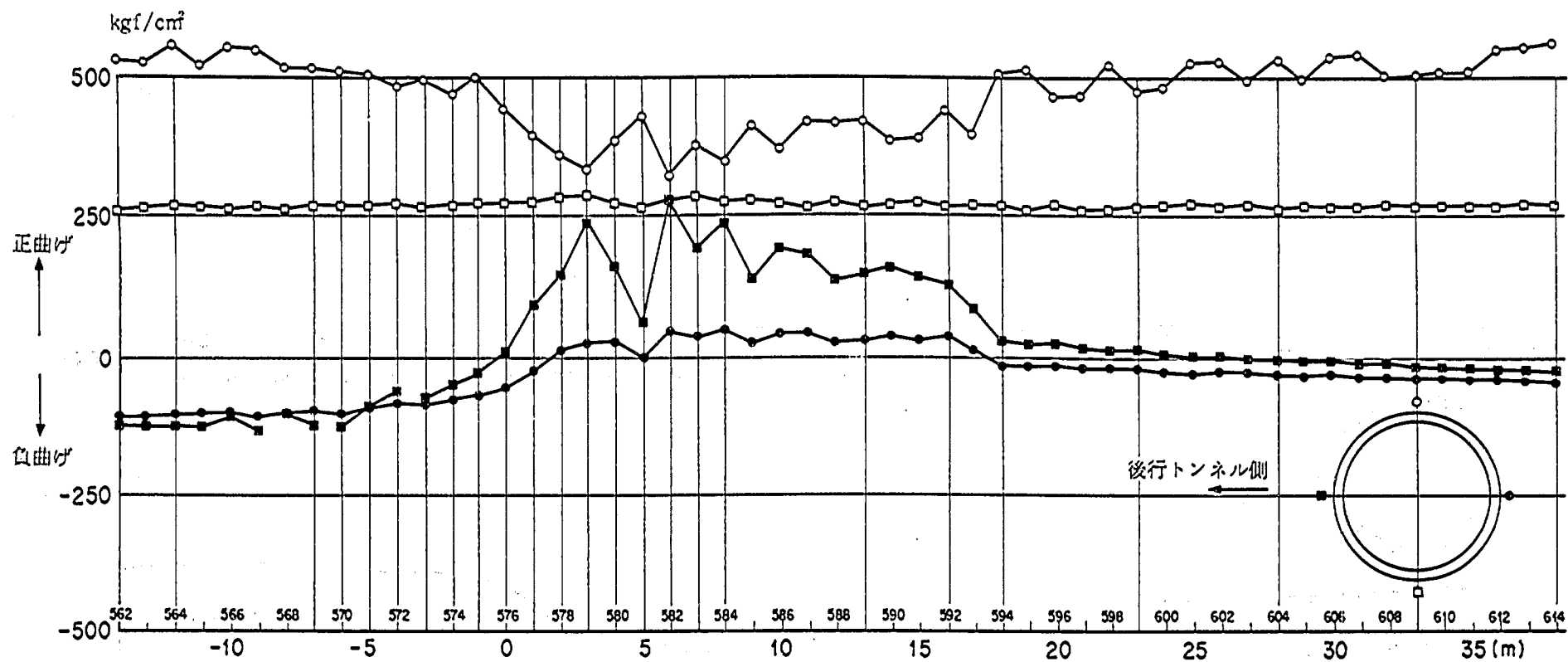
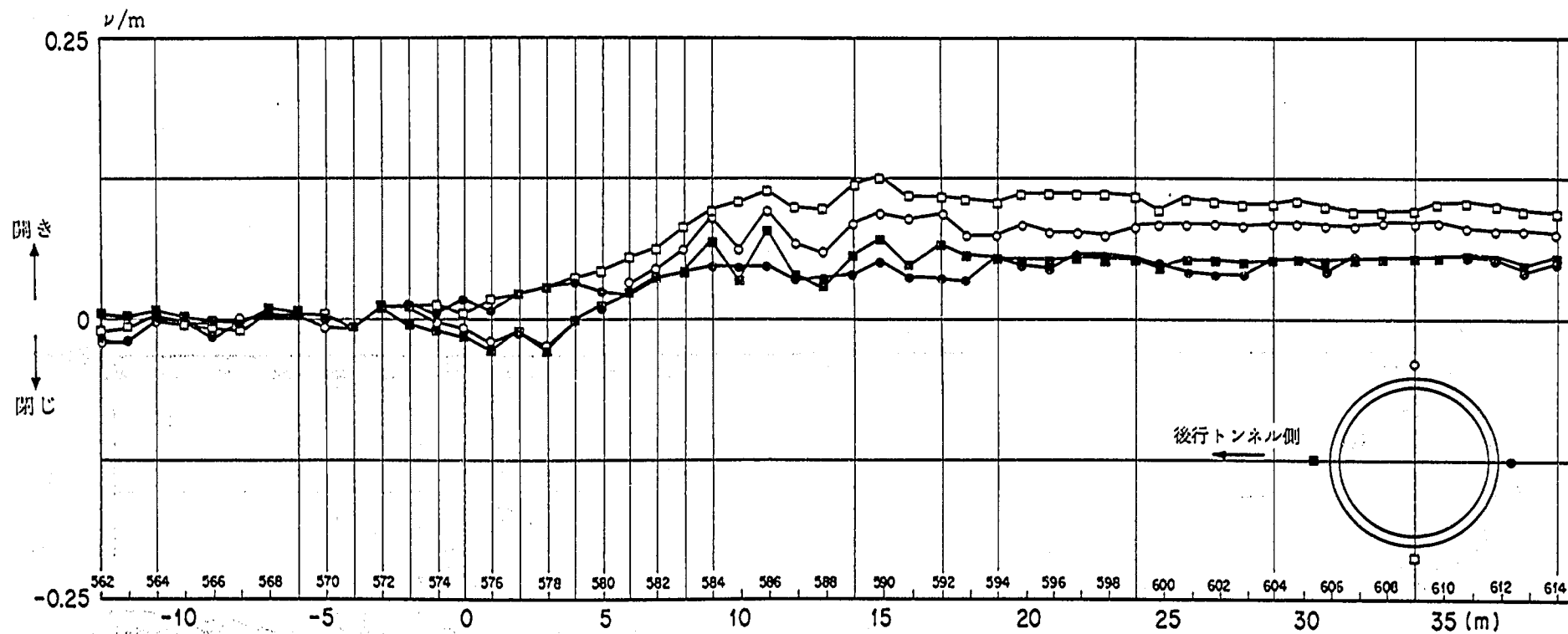


図 - 6.16 切羽位置と円周方向鉄筋計 (202リング)



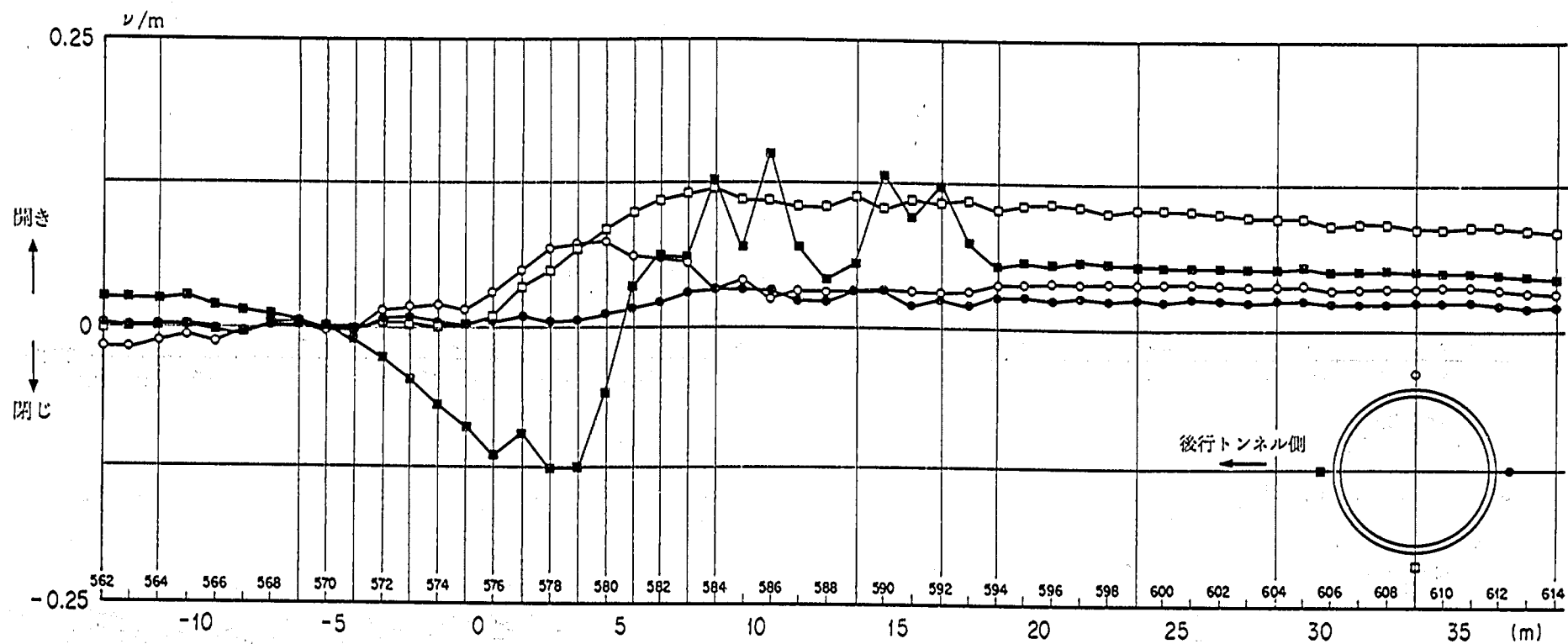
切羽と計測地点 (203リング) との離れ

図 - 6.17 切羽位置と円周方向鉄筋計 (203リング)



切羽と計測地点 (202リング) との離れ

図 - 6.18 切羽位置と目開き計 (202リング)



切羽と計測地点（203リング）との離れ

図 - 6.19 切羽位置とひずみ計（203リング）

このことより、これらの挙動は、側方土圧係数が、後行トンネルの通過時には高くなるものの、比較的早い時期に元に戻ることと、最終的には当初より若干低くなることを推察させる。

#### (5) 軸方向鉄筋計

図-6.20に、軸方向鉄筋計の経時変化を示す。この図は、各日の午前零時の鉄筋計の値をプロットしたものであるため、ジャッキ推進時の影響を含んでいる可能性はあるが、この図より以下のことが分かる。

① 各測定値とも同様な挙動を示す。このことは、セグメントには上下左右で同じ様な荷重が作用することを示唆している。

② 後行トンネル通過時には、203リングの後行トンネル側の一点が圧縮側へ変動しているものの、全体的には引張側へ変動している。このことより、後行トンネル通過時には、先行トンネルが後行トンネルより遠ざかるよう変位し、戻りが少なかったため、トンネル延長が若干延びたと判断される。

#### (6) まとめ

##### (a) トンネル横断面の挙動

後行トンネル通過時には、水平方向の荷重が卓越した挙動を示すが、約3日で元の鉛直方向の荷重が卓越した状態へ戻るように挙動し、最終的には若干ではあるが、通過前より、鉛直方向の荷重が卓越した状態になる。

このことより、シールドトンネル推進の直接的な影響期間は比較的短いと判断される。また、長期的な影響はシールドトンネル推進に伴う地山の変化に対応したものであると判断される。

通過時及び通過後の鉄筋計の応力度は、設計許容応力度  $\sigma_{sa}=2,000 \text{ kgf/cm}^2$  に対して半分とかなり小さい。

##### (b) トンネル軸方向の挙動

トンネル軸方向の動きを見る計測機器（軸方向鉄筋計、目開き計、ひずみ計）に引っ張りが発生していることより、先行トンネルは、後行トンネルより離れる方向へ変位し、このためトンネル延長が極めて微量（1リング（1 m）当り、0.15 mmの目開き量）ではあるが、若干延びたと判断される。

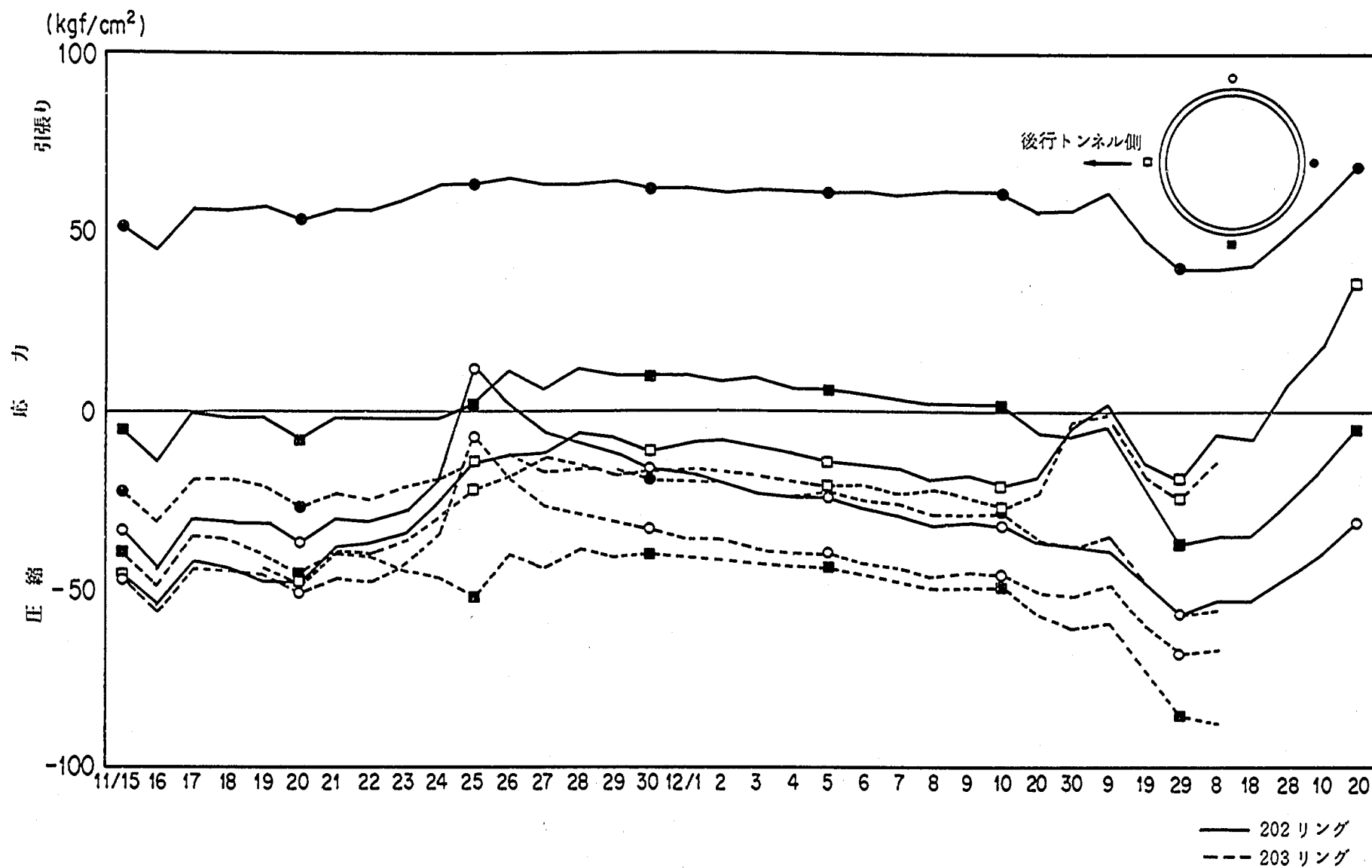


図 - 6.20 軸方向鉄筋計 経時変化図 (202, 203 リング)

### 6.3 計測結果の分析

今回の現場計測では、トンネル周辺地盤のトンネル軸方向の水平変位、先行トンネルへの軸方向及び円周方向に作用する荷重については測定していない。従って、シールド推進による影響の全容はつかめるとは言い難いが、これまでの計測結果より、以下のことが言える。

#### (1) 後行トンネルの通過時の影響

後行トンネルの通過時の影響は、切羽到達 1.0～1.5 D (D: シールド径) 前から現れ、切羽到達からテール通過前まで顕著に影響は増大し、テール通過後の初期の裏込め注入時にピークとなる。以降はこれまでの変化の残留が影響として現れる。なお、顕著な影響の期間は約一週間程度である。(表-6.9)

表-6.9 後行トンネルの影響

| 影 響 内 容                | 期 間    | 備 考           |
|------------------------|--------|---------------|
| 土圧計No 7 の計測値が初期値を越える   | 約 5 日  | 11/24 - 11/28 |
| 土圧計No 7 の計測値が増加する      | 約 2 日  | 11/23 - 11/24 |
| 水圧計No 6 の計測値が初期値を越える   | 約 5 日  | 11/24 - 11/28 |
| 水圧計No 6 の計測値が増加する      | 約 3 日  | 11/22 - 11/24 |
| Tn 中間地盤が先行 Tn 側へ移動する   | 約 2 日  | 11/23 - 11/24 |
| 側方土圧係数が11/23の値に戻る      | 約 20 日 | 11/23 - 12/14 |
| 側方土圧係数の値が増加する          | 約 2 日  | 11/23 - 11/24 |
| 円周方向鉄筋計がそれまでと逆の挙動を示す   | 約 3 日  | 11/22 - 11/24 |
| 円周方向鉄筋計の計測値が11/23の値に戻る | 約 20 日 | 11/25 - 12/15 |
|                        |        |               |

具体的な現象としては、以下のものがある。

- ① 地盤の後行トンネルより離れる方向への変位 (肩口で最大23mm)
- ② 作用荷重の増大 (各土圧計とも増大するが、特に後行トンネル側はそのほかの土圧計の増加量に比べ、約4～9倍程度の増加量を示し、先行トンネル安定時の約1.8倍となっている。)
- ③ 後行トンネル側の作用荷重が後行トンネル反対側の作用荷重より大きくなることによる、左右の作用荷重のアンバランス (ピーク時には、後行トンネル側が反対側より約1.7倍大きくなっている。)
- ④ 側方土圧係数の増大 (通過前の0.68 から 0.94 (ピーク時) へ増大)
- ⑤ 側方土圧係数の増大に伴うトンネル横断面の変形 (横つぶれから縦つぶれ)
- ⑥ 先行トンネルの後行トンネルより離れる方向への変位
- ⑦ 先行トンネルの変位に伴うトンネル軸方向の引っ張りの発生
- ⑧ 過剰間隙水圧の低下に伴う圧密現象

## (2) 後行トンネル通過に伴う長期的な影響

後行トンネルの通過時の影響の中で残留するものは、地盤の水平変位とそれに伴う有効土圧の変動分である。特に、有効土圧は、左右のバランスがとれていないため、先行トンネルが後行トンネルより離れる方向へ変位が残留し、トンネル軸方向に引張りが働いている。

また、先行と後行のトンネル掘削における地山の緩みが相互に干渉し合い、地盤沈下は、先行トンネル側へ多少のずれはあるものの、単設トンネルで生じた沈下曲線を足し合わせた沈下分布となる。また、トンネルへの作用荷重は、鉛直方向が卓越した形となる。

## (3) まとめ

後行トンネルの通過による影響を、シールド機と地盤変状、地盤変状と先行トンネルへの作用荷重、及び作用荷重と先行トンネルの挙動という観点から整理すると以下の通りとなる。

### ① シールド機と地山変位

今回のような軟弱地盤でシールドトンネルを建設する場合には、シールド機は、周辺地盤をトンネル中心より外側に押し広げようとする。この傾向は地山が乱れている場合ほど大きいと判断される。

地盤の顕著な水平変位は、テール通過時に一時的に戻るものの、切羽到達からテール通過後の最初の裏込め注入時まで後行トンネルから遠ざかるように発生する。

シールド機の地山を押し広げようとする要因としては、切羽圧力、ジャッキの推進力、スキンプレーットの地山加圧及び裏込め注入が考えられる。しかし、トンネル間の中間地盤の水平変位は、切羽到達からテール通過前まで急激に変化し、テール通過時には一旦、テール通過後の初期の裏込め注入時に再度変位していることを考慮すると、周辺地盤を押し広げようとする大きな要因としては、テール通過まではスキンプレーットの地山加圧、テール通過後は裏込め注入であると考えられる。

### ② 先行トンネル周辺の地盤変位と先行トンネルへの作用荷重

後行トンネルと先行トンネルに挟まれた地盤（中間地盤）は、後行トンネル掘進時に先行トンネル方向へ変位しようとするが、先行トンネルによって変位を拘束されるため、水圧及び有効土圧とも上昇し、先行トンネルに対して大きな作用荷重（通過前の約1.8倍）を与えることとなる。これに対して、その他の先行トンネル周辺地盤は変位するものの遠方地山の拘束によって土塊の圧縮が起こり、過剰間隙水圧の上昇が起こるが、中間地盤のそれより小さい。（通過前の約1.1～1.2倍）この結果として、左右の作用荷重のバランスが崩れることとなる。（左：右＝1.7：1）

後行トンネルのシールド機の通過後は、過剰間隙水圧の低下による圧密現象が現れる。

### ③ 先行トンネルへの作用荷重と先行トンネルの応力、変位の挙動

水平方向の作用荷重の増加の方が鉛直方向の作用荷重の増加より大きいため、トンネルの横断面は縦つぶれになる挙動を示す。しかし、このような挙動の変動は後行トンネル通過時の約3日で元に戻る。

今回の現場計測を行った軟弱な地盤でのトンネル本体工にとっては、後行トンネルが来るまでは側方土圧係数が0.68であり、鉛直方向に押しつぶされていたのが、後行トンネル通過時には側方土圧係数が0.94と高くなったため、真円に戻ろうとしており、後行トンネルの通過時の影響としては、安全

側になると判断される。

後行トンネル通過後の先行トンネルの左右の土圧計の釣合がとれていないが、円周方向鉄筋計の計測結果は左右対称の形である。この差は、外力がトンネルを横断的に変形させるだけでなく、トンネルを水平変位させる力として働いていることが原因となっていることが考えられる。このことは、先行トンネルの後行トンネル反対側の地盤が変位していること、及び、後行トンネル通過後でも目開き計等が開いていることなどからも推定される。こうした状況を説明するには、トンネル縦断方向も含めた3次元的な力のつりあいを考える必要があると思われる。

通過時及び通過後の鉄筋計の応力度は、設計許容応力度  $\sigma_{sa} = 2,000 \text{ kgf/cm}^2$  に対して半分とかなり小さい。

## 6.4 設計への応用

### 6.4.1 離隔距離が異なる場合の併設トンネルの影響

トンネルが近接して併設される場合には、地山条件、離隔距離などに応じてトンネルの相互干渉により、トンネルの変形が増加し断面力が変化することがあるが、併設の影響は非常に複雑で、離隔の違いによりどのように変化するかを明確に定量化するのは困難である。

今回実施した離隔距離 0.5 D での計測値を用いて、1.0 D ならびにその他の離隔における影響値を算出するためには、まず「地盤内に外力が加わった場合の応力の分布状態」を把握する必要がある。

土は均質な連続体ではないから、その応力と歪みとの関係は、弾性体の法則にはしたがわないのが当然であって、これらを正確に計算することは難しいが、一般に、地盤を理想化してある応力の範囲内では弾性体として取り扱い、さらに実験結果などを用いて修正をほどこしているのが現状である。

したがって、本報告においては、下記のケースについて検討を行い、離隔距離が異なる場合の併設トンネルへの影響を把握することとした。

- ① 地盤を弾性体とした場合の応力分布
- ② 類似条件下での現場計測結果および模型実験結果による応力分布

#### ① 弾性的地盤内の応力分布

地盤内のある深さのところに荷重が作用した場合に、地盤内にいかなる応力が発生するかで弾性学的な解の得られている基本的な式には、次頁に示す「地盤内の一点に鉛直および水平方向の集中荷重が作用した場合のMindlinの第1式と第2式」がある。

また当式は、これらの集中荷重に対する応力解を積分することによって、線荷重あるいは面荷重に関する地盤内応力を求めることもできる。

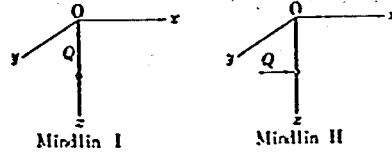


図-6.21 地盤内応力分布の基本型

### 地盤内に加えられた外力による応力分布

#### (1) 鉛直方向の集中荷重 (Mindlin の第1式)

図-6.22 に示すように、半無限弾性体が  $z=0$  なる面で埋され、 $z$  軸は鉛直下方を正とする。集中荷重  $Q$  が点  $(0,0,+c)$  に正の  $z$  方向に作用するものとする。

地盤内応力は  $z$  軸に関して対称であるから円筒座標系  $(r, \theta, z)$  を用い、また図-6.22 のように荷重作用点およびその地盤表面に対する映像点と考えている点  $(x, y, z)$  との距離をそれぞれ  $R_1$  および  $R_2$  で表わすと、地盤内応力の各成分は次の式で表わされる。

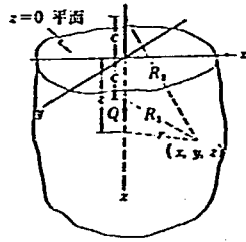


図-6.22 半無限体の内部に鉛直に作用する集中荷重

$$\sigma_r = \frac{Q}{8\pi(1-\nu)} \left\{ \frac{(1-2\nu)(z-c)}{R_1^3} - \frac{(1-2\nu)(z+7c)}{R_2^3} + \frac{4(1-\nu)(1-2\nu)}{R_1(R_1+z+c)} - \frac{3r^2(z-c)}{R_1^5} + \frac{6c(1-2\nu)(z+c)^2 - 6c^2(z+c)}{R_2^5} - \frac{3(3-4\nu)r^2(z-c)}{R_2^5} - \frac{30cr^2z(z+c)}{R_2^5} \right\}$$

式 (1) a

$$\sigma_\theta = \frac{Q(1-2\nu)}{8\pi(1-\nu)} \left\{ \frac{z-c}{R_1^3} + \frac{(3-4\nu)(z+c)-6c}{R_2^3} - \frac{4(1-\nu)}{R_2(R_1+z+c)} + \frac{6c(z+c)^2}{R_1^5} - \frac{6c^2(z+c)}{(1-2\nu)R_2^5} \right\}$$

式 (1) b

$$\sigma_z = \frac{Q}{8\pi(1-\nu)} \left\{ -\frac{(1-2\nu)(z-c)}{R_1^3} + \frac{(1-2\nu)(z-c)}{R_1^3} - \frac{3(z-c)^2}{R_1^3} - \frac{3(3-4\nu)z(z+c)^2 - 3c(z+c)(5z-c)}{R_2^5} - \frac{30cz(z+c)^2}{R_2^5} \right\}$$

式 (1) c

#### (2) 水平方向の集中荷重 (Mindlin の第2式)

この場合には軸対称性がないので直角

座標系  $(x, y, z)$  を採用する。図-6.23 のように点  $(0,0,+c)$  に  $x$  の正の方向に集中荷重  $Q$  が作用するものとする。

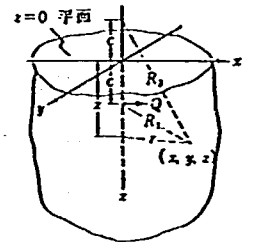


図-6.23 半無限体の内部に水平に作用する集中荷重

(1) の場合と同じく、荷重作用点およびその映像点と考えている点  $(x, y, z)$  との距離をそれぞれ  $R_1$  および  $R_2$  で表わすと、地盤内応力は次式で与えられる。

$$\sigma_x = \frac{Qx}{8\pi(1-\nu)} \left[ -\frac{1-2\nu}{R_1^3} + \frac{(1-2\nu)(5-4\nu)}{R_2^3} - \frac{3x^2}{R_1^5} - \frac{3(3-4\nu)x^2}{R_2^5} - \frac{4(1-\nu)(1-2\nu)}{R_2(R_1+z+c)^2} \left\{ 3 - \frac{x^2(3R_1+z+c)}{R_2^3(R_1+z+c)} \right\} + \frac{6c}{R_2^5} \left\{ 3c - (3-2\nu)(z+c) + \frac{5x^2z}{R_2^3} \right\} \right]$$

式 (2) a

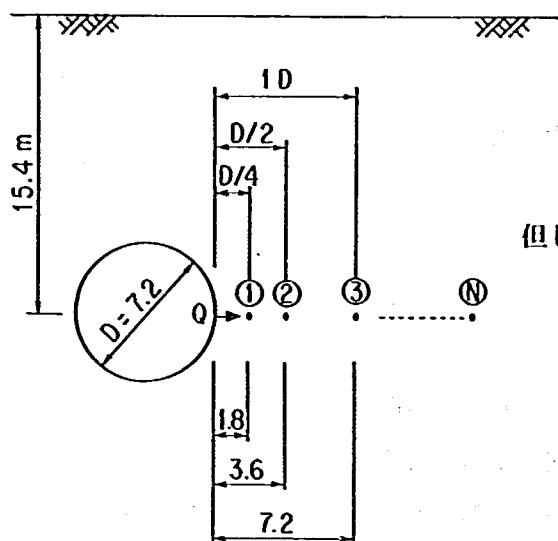
$$\sigma_y = \frac{Qx}{8\pi(1-\nu)} \left[ \frac{1-2\nu}{R_1^3} + \frac{(1-2\nu)(3-4\nu)}{R_2^3} - \frac{3y^2}{R_1^5} - \frac{3(3-4\nu)y^2}{R_2^5} - \frac{4(1-\nu)(1-2\nu)}{R_2(R_1+z+c)^2} \left\{ 1 - \frac{y^2(3R_1+z+c)}{R_2^3(R_1+z+c)} \right\} + \frac{6c}{R_2^5} \left\{ c - (1-2\nu)(z+c) + \frac{5y^2z}{R_2^3} \right\} \right]$$

式 (2) b

$$\sigma_z = \frac{Qx}{8\pi(1-\nu)} \left[ \frac{1-2\nu}{R_1^3} - \frac{1-2\nu}{R_2^3} - \frac{3(z-c)^2}{R_1^3} - \frac{3(3-4\nu)(z+c)^2}{R_2^5} + \frac{6c}{R_2^5} \left\{ c + (1-2\nu)(z+c) + \frac{5z(z+c)^2}{R_2^3} \right\} \right]$$

式 (2) c

前頁の「(2) 水平方向の集中荷重 (Mindlin の第2式) 一式 (2) a」を用いて、下図の条件下 (後述の京葉都心線東越中島トンネル計測現場と同条件) における離隔距離の違う①, ②, ③……④点に作用する地盤内応力を算出すると、「表- 6.10」のようになる。



但し ①点における土圧  $\sigma = 2.36 \text{ kgf/cm}^2$   
 $Q = 12.07 \text{ kgf/cm}^2$  (既知点①の  $\sigma = 2.36 \text{ kgf/cm}^2$  より逆算)  
 $\nu = 0.3$   
 静止土圧  $\sigma = 1.64 \text{ kgf/cm}^2$

図- 6.24 計算モデル

表- 6.10 計算結果一覧表

| N | 離 隔 距 離 |                         | $\sigma \text{ kgf/cm}^2$ |        |
|---|---------|-------------------------|---------------------------|--------|
|   | D       | $L = N * 7.2 \text{ m}$ | Mindlin の第2式              | 簡 略 式  |
| ① | $1/4 D$ | $1/4 * 7.2 = 1.8$       | 2.3600                    | 2.3600 |
| ② | $1/2 D$ | $1/2 \text{ " } = 3.6$  | 1.8201                    | 1.8200 |
| ③ | 1.0 D   | 1.0 " = 7.2             | 1.6852                    | 1.6850 |
| ⋮ | 2.0 D   | 2.0 " = 14.4            | 1.6514                    | 1.6513 |
| ⋮ | 3.0 D   | 3.0 " = 21.6            | 1.6448                    | 1.6450 |
| ⋮ | 4.0 D   | 4.0 " = 28.8            | 1.6425                    | 1.6428 |
| ⋮ | 5.0 D   | 5.0 " = 36.0            | 1.6415                    | 1.6418 |
| ⋮ | 10.0 D  | 10.0 " = 72.0           | 1.6403                    | 1.6405 |
| ⋮ |         | ⋮                       | ⋮                         | ⋮      |
| ④ |         | $\infty$                | 1.6400                    | 1.6400 |

この結果から、離隔距離と応力との関係を導き簡略式に表すと、下式「式- 6.2」となり、当式を用いて各点に作用する地盤内応力を算出し、「表- 6.10」に併記するが、その値は、(Mindlin の第2式)を用いて算出した数値とほとんど同じ値となっている。

$$\begin{aligned} L &= 1.8 \times N \\ \sigma &= 0.72 \times 1/N^2 + 1.64 \end{aligned} \Rightarrow \sigma = 0.72 \times (1.8/L)^2 + 1.64 \quad \text{式-6.2}$$

このことより、地盤を弾性体と仮定した場合には、地盤内に加えられた外力（水平方向の集中荷重）による応力の分布は離隔距離の2乗に反比例して減衰するものと想定される。（「図-6.31」，「表-6.12」参照）

尚、「式-6.2」を一般式に表すと次の様である。

$$\sigma = \alpha \times (\beta / L)^2 + r$$

$\sigma$  = 地盤内応力  
 $L$  = 離隔距離  
 $\alpha$  = ①点の土圧－静止土圧  
 $\beta$  = ①点までの離隔距離  
 $r$  = 静止土圧  
 （①は土圧が既知の点）

## ② 類似条件下での現場計測結果および模型実験結果による応力分布

①においては地盤を弾性体と仮定のもとに検討を行ったが、本項では実際の現場での挙動、すなわち類似条件下で施工されたシールドトンネル現場における計測結果を用いて、軟弱粘性土地盤中での離隔距離と応力分布との関係を把握しようとするものである。

また、土木研究所において実施した双設シールドトンネル模型実験（模擬地盤は乾燥砂）での検討結果も参考とした。

尚、検討に用いた事例は

1. 近接並列シールドで土被りの浅い軟弱地盤を掘進－京葉都心線東越中島トンネル－（トンネルと地下 1989/2）であるが、次の事例および実験結果も参考とした。
2. 土圧系シールドにおける軟弱地盤の挙動と施工管理－大阪市地下鉄4号線－（トンネルと地下 1983/7）
3. 大口系シールドトンネルの周辺地山の安定に関する調査研究報告（土木研究所資料 第2101号）
1. 京葉都心線東越中島トンネルの計測結果による検討

当現場の計測地点における地質状況は、N値0～3程度のきわめて軟弱な沖積シルト層である。

各種計測結果のうち、当検討に必要な離隔距離と応力との関係を知るための測定概要を示したものが「図-6.25」であり、先行シールドテール通過時におけるそれぞれ離隔距離の違う①、②、③点の土圧を計測したものである。

これをグラフ「図-6.26」にし、かつ近似値修正を行い離隔距離と土圧との関係を一般式に表したものが「表-6.11」である。

## 2. 大阪市地下鉄4号線の計測結果による検討

当現場の計測地点における地質状況は、N値0～4程度の軟弱な粘性土層である。

前述の1.と同様にシールドテール通過時における離隔距離の違う各点の土圧が計測されており、その概要を「図-6.27」，「図-6.28」に示す。

# 1. 京葉都心線東越中島トンネル計測結果

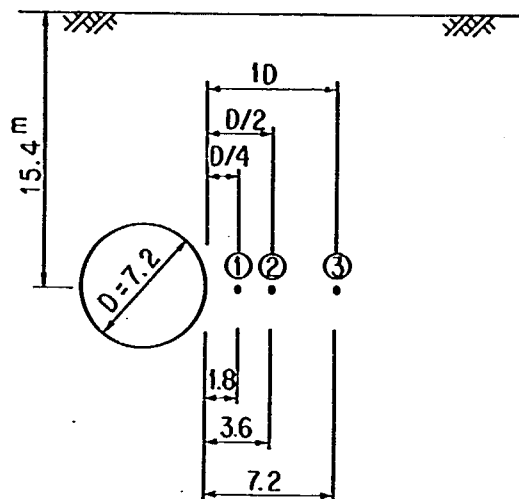


図-6.25 計測地点概要図

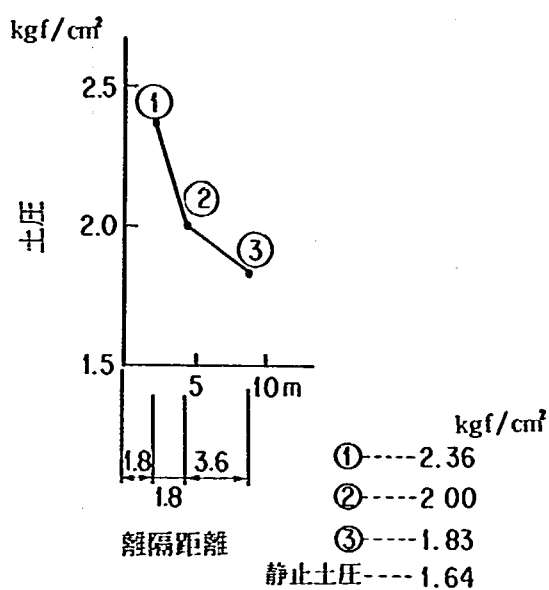


図-6.26 計測結果

# 2. 大阪市地下鉄4号線計測結果

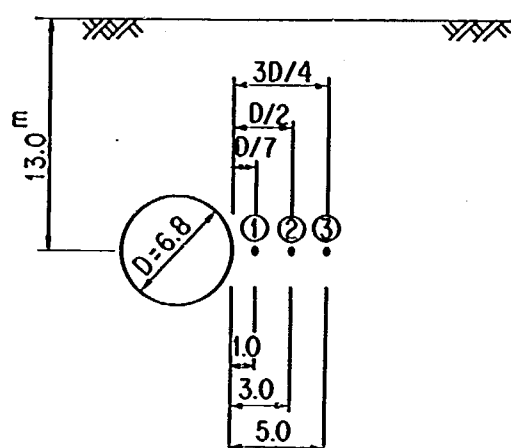


図-6.27 計測地点概要図

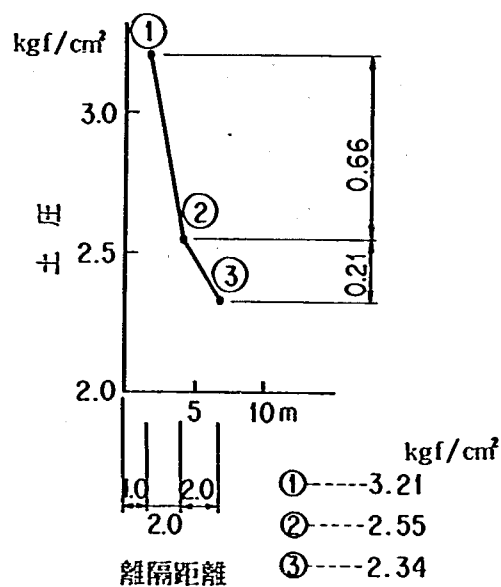


図-6.28 計測結果

表-6.11 離隔距離と土圧との関係

| 離隔距離 (L)                 | 土圧 (P)                                     |
|--------------------------|--------------------------------------------|
| 1.8m                     | 2.36                                       |
| 3.6                      | 2.00                                       |
| 7.2                      | 1.82                                       |
| ↓                        | ↓                                          |
| $1.8 \times 1$           | $0.72 \times 1 + 1.64$                     |
| $1.8 \times 2$           | $0.72 \times \frac{1}{2} + 1.64$           |
| $1.8 \times 4$           | $0.72 \times \frac{1}{4} + 1.64$           |
| $L = 1.8 \times 2^{N-1}$ | $P = 0.72 \times \frac{1}{2^{N-1}} + 1.64$ |

### 3. 模型実験結果による検討

本実験は、土被りが薄いという条件のもとで、先行して建設されたシールドトンネルに隣接して、もう一本のシールドトンネルを建設する場合に周辺地盤の土圧や先行トンネルの覆工に加わる土圧等が、離隔の違いによりどのように変化するかを検討したものである。

模擬地盤は、乾燥砂を水槽中に緩詰で投入し作成された。その物性は、下記である。

単位体積重量； $\gamma = 1.47 \text{ gf/cm}^3$

内部摩擦角； $\phi = 30^\circ$

その実験結果を「図-6.29」，「図-6.30」に示す。

#### 3. 双設シールドトンネル模型実験（模擬地盤は乾燥砂）

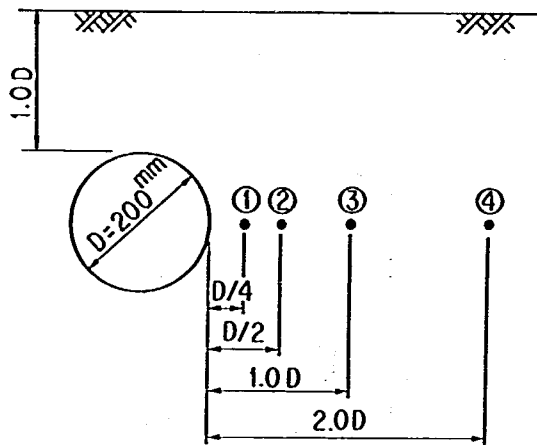


図-6.29 計測地点概要図

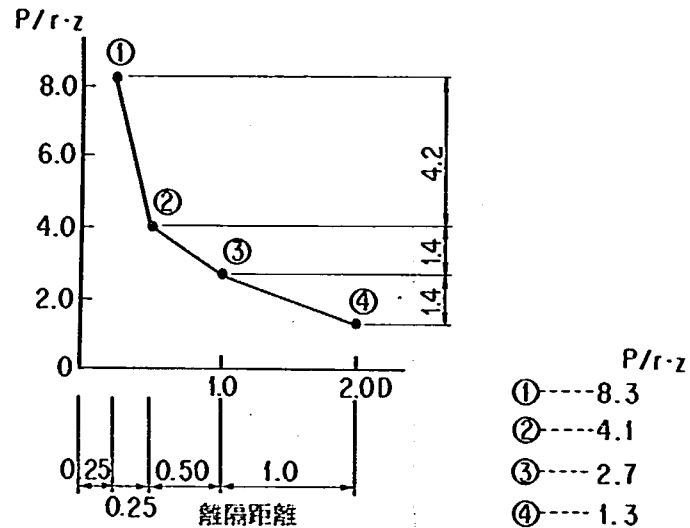


図-6.30 計測結果

軟弱地盤における併設トンネルの影響を調べるため、「事例1.」を対象として以下の様な検討を行った。

「表-6.11」から、離隔距離と土圧との関係式を導くと

$$\left. \begin{aligned} L &= 1.8 \times 2^{N-1} \\ \sigma &= 0.72 \times 1 / 2^{N-1} + 1.64 \end{aligned} \right) \Rightarrow \sigma = 0.72 \times (1.8 / L) + 1.64 \quad \text{式-6.3}$$

となり、土圧は離隔距離に反比例して減衰するものと想定される。（「図-6.31」，「表-6.12」参照）

尚、「式-6.3」を一般式に表すと次の様である。

$$\sigma = \alpha \times (\beta / L) + r$$

$\sigma$  = 地盤内応力

$L$  = 離隔距離

$\alpha$  = ①点の土圧-静止土圧

$\beta$  = ①点までの離隔距離

$r$  = 静止土圧

（①は土圧が既知の点）

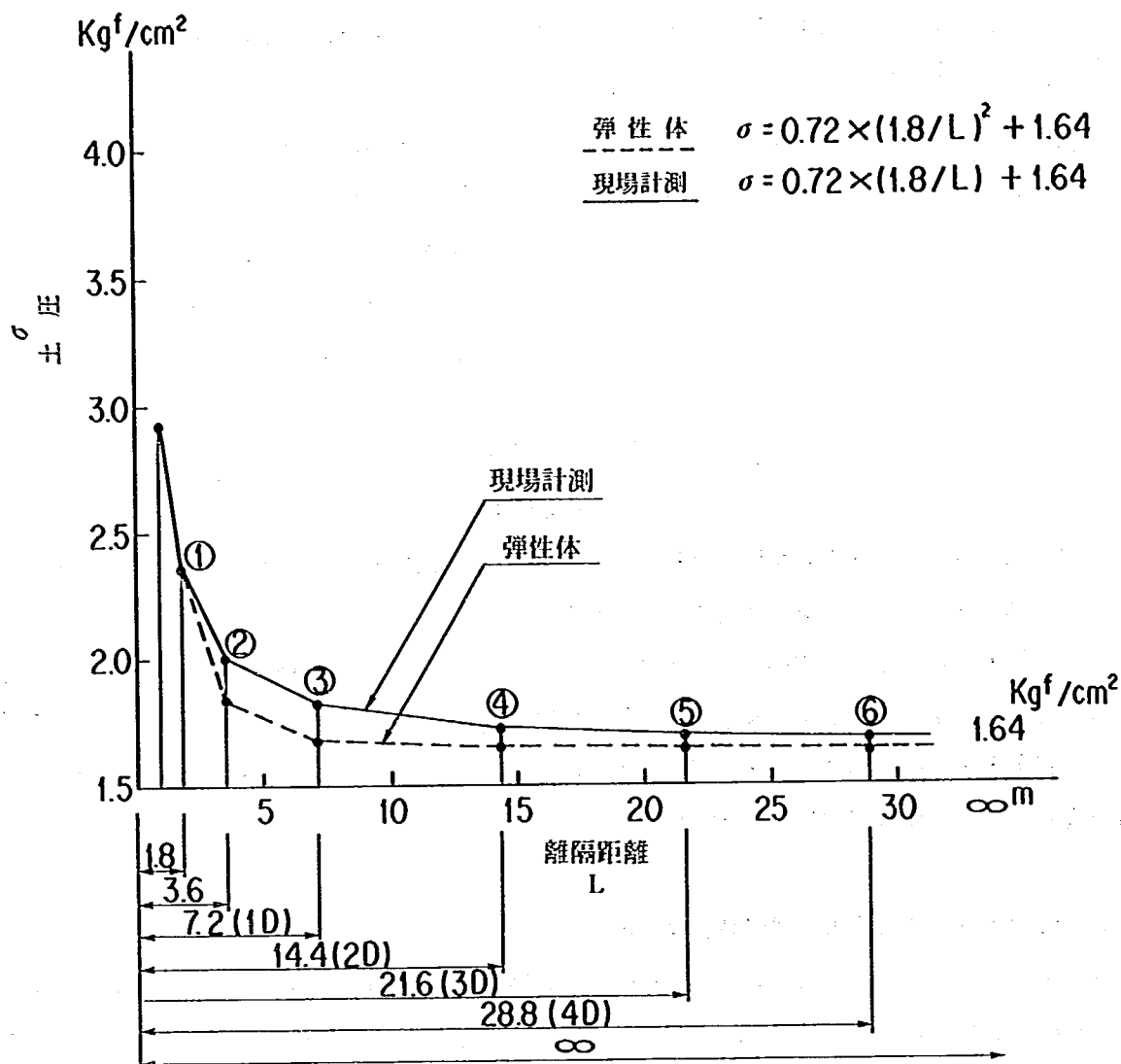


図- 6.31 弾性体（計算値）と現場計測との比較図

表- 6.12 弾性体（計算値）と現場計測との比較表

| N | 離 隔 距 離 |              | $\sigma$ kgf/cm <sup>2</sup> |        |
|---|---------|--------------|------------------------------|--------|
|   | D       | L=N×7.2 m    | 弾 性 体                        | 現場計測   |
| ① | 1/4 D   | 1/4×7.2= 1.8 | 2.3600                       | 2.3600 |
| ② | 1/2 D   | 1/2 " = 3.6  | 1.8200                       | 2.0000 |
| ③ | 1.0 D   | 1.0 " = 7.2  | 1.6850                       | 1.8200 |
| ④ | 2.0 D   | 2.0 " =14.4  | 1.6513                       | 1.7300 |
| ⑤ | 3.0 D   | 3.0 " =21.6  | 1.6450                       | 1.7000 |
| ⑥ | 4.0 D   | 4.0 " =28.8  | 1.6428                       | 1.6850 |
| ⑦ | 5.0 D   | 5.0 " =36.0  | 1.6418                       | 1.6760 |
| ⑧ | 10.0 D  | 10.0 " =72.0 | 1.6405                       | 1.6580 |
| ⋮ |         | ⋮            | ⋮                            | ⋮      |
| ⑨ |         | ∞            | 1.6400                       | 1.6400 |

この結果、離隔距離の違いが併設トンネルへおよぼす力学的影響力は、「地盤を弾性体と仮定した場合には離隔距離の2乗に反比例して減衰し、軟弱地盤中における計測結果からの検討によると、離隔距離に対し反比例的に減衰する」ことが推定された。

|       |                                       |                       |
|-------|---------------------------------------|-----------------------|
| ①弾性体  | $\sigma = \alpha * (\beta / L)^2 + r$ | $\sigma$ = 地盤内応力      |
| ②現場計測 | $\sigma = \alpha * (\beta / L) + r$   | $L$ = 離隔距離            |
|       |                                       | $\alpha$ = ①点の土圧－静止土圧 |
|       |                                       | $\beta$ = ①点までの離隔距離   |
|       |                                       | $r$ = 静止土圧            |
|       |                                       | (①は土圧が既知の点)           |

#### { 参考文献 }

- 1) 前田 誠・竹内雄三・興紹敏明：近接並列シールドで土かぶりの浅い軟弱地盤を掘進（京葉都心線東越中島トンネル），トンネルと地下，1989/2
- 2) 平田武弘・有留靖朗・市川裕一：土圧系シールドにおける軟弱地盤の挙動と施工管理（大阪市地下鉄4号線延伸工事），トンネルと地下，1983/7，基礎工，1983/10
- 3) 建設省土木研究所道路部トンネル研究室：大口系シールドトンネルの周辺地山の安定に関する調査研究報告，土木研究所資料，第2101号

#### 6.4.2 併設トンネルの施工管理に必要な事項

併設トンネルについて，土木学会トンネル標準示方書（シールド編），同解説には37条，152条（脚注）に規定している。一般的には，この2条に示されていることに従って設計，施工管理を行えばよいが，今回の現場計測から得た知見を基に示方書で示されている項目に加えて注意すべきと考える項目を以下に示す。

- (1) 今回の計測のような地盤等の条件で，トンネル離間がトンネル外径の1/2程度（0.5D）ある場合には，明らかに相互影響があるので地山，トンネルの挙動を監視する必要があると思われる。離間距離がトンネル外径の1D程度でもなんらかの影響はある可能性が高いので，トンネル地山の挙動を監視することが望ましい。（6.4.1参照）
- (2) 今回のような軟弱地盤を泥水シールドで掘進する場合，最も影響の大きいのは，シールドマシンの推進，裏込め注入等により後行トンネルが地盤を周辺に押し出すことにより発生する，先行トンネルを含んだ周辺領域での応力等の変化であると考えられるので，こうした観点からのシールド推進力，裏込め注入等の適切な計測，管理が必要である。
- (3) 併設トンネルの2次覆工は，トンネル相互の影響がなくなり安定状態に達してから施工するのが適切と考えられるが，先行トンネルが受ける後行トンネルの力学的な影響について，今回の計測ではセグメント外壁に設置した土圧計とセグメント内に円周方向に設置された鉄筋計で異なった傾向の計測結果を示した（5.2(1)参照）。このため計測は，土圧計，鉄筋計両方で行うのが望ましい。

### 第37条 併設トンネルの影響

トンネルを近接して併設する場合には、土質条件、トンネル相互の位置関係、トンネル径等を検討し、荷重に相互干渉の影響を受けることが予測されるとき、これを考慮するものとする。

【解 説】 ここでいう併設トンネルは複数のトンネルが一定の区間において平面的に、あるいは縦断的に平行する場合を想定するものであり、複数トンネル相互干渉による緩み範囲の変化、あるいは施工時荷重による影響を検討し、必要に応じて対策を講ずるものとする。

特に軟弱地盤において上記影響に対する十分な検討が必要である。

併設トンネルの検討にあたり配慮すべき主な事項は次のとおりである。

- 1) トンネル相互の位置関係
- 2) 周辺地盤の性質
- 3) 併設トンネル相互の外径
- 4) トンネル相互の施工時期

1) について 位置関係では水平、上下いずれの関係においてもその離れが後続するトンネルの外径(1D)以内の場合は十分な検討が必要である。

2) について 併設トンネルの相互干渉は、自立性の乏しい軟弱地盤において顕著に現われる。特に荷重に大きな影響を与える緩み範囲の決定は慎重を要する。

3) について 併設トンネルの施工では、後続して施工するトンネル外径の1D以内まで接近する。

### 第152条 併設トンネルの施工

2本以上のトンネルを併設して施工する場合は、相互の影響について特に留意し、地山、トンネルの挙動を十分監視し、必要に応じて地山安定処理を行う等の処置をとらねばならない。

【解 説】 2本以上のトンネルを上下あるいは左右に併設して施工する場合には、地山の条件、工法、トンネル断面の大きさ、離れ等を考慮して相互の影響を検討し、十分安全な施工方法をとらなければならない。施工にあたっては、各種計器を用いて、地山および相互のトンネルの挙動を監視、把握して、その情報をただちに施工にフィードバックさせる等、情報管理施工を実施し必要に応じて地山安定処理等を行い、地山の緩み、トンネルの変形等を防止しなければならない。

1) 相互の影響 併設トンネルにおける相互の影響については、施工条件により種々異なるが、一般的には、①先行シールドによる地山の緩みに起因する、後続シールドの引き込まれ、②あるいは後続シールドの掘進による先行トンネルの押し出され、引き込まれ、③テール通過による引き込まれ、④裏込め注入による押し出され等が考えられ、それらに伴うセグメントの変形、継手ボルトの破断、漏水、地表面沈下の増大等があるので十分な検討が必要である。

2) 地山、トンネルの監視 地表面の沈下、トンネルの変形、沈下、蛇行等は施工条件により異なり、また、計算値と一致しないことが多いので、常に監視することが必要である。地中沈下計、傾斜計、土圧計、間隙水圧計、変位計等により精密な観測を行うことは、安全施工に効果的である。

異常な変状を観測したらただちに施工を中断し、その原因を究明するとともに、場合によっては工法の変更、地山安定処理の施工等の対策を講じなければならない。

## 第 7 章 ま と め

軟弱地盤中にシールドトンネルを建設する場合のシールドトンネルに作用する土圧、周辺地盤の挙動、併設トンネル相互の影響等を明らかにするため、隅田川トンネルで現場計測を行った。それによって得られた知見を以下に整理する。

単設シールドという観点からは、先行トンネルに関する計測値が安定した時点までの計測結果を分析・検討した。その概要を以下に示す。

- ・土圧計の計測結果によると、シールドセグメントに作用する土圧は、セグメントがマシンから離脱した直後は裏込め注入等の影響の為かなり大きいですが、徐々に減少し10日ほどで安定する。
- ・安定時の天端の作用荷重としては、全土被り荷重の約8割が作用した。
- ・側方土圧係数は、ほぼ0.7程度であった。
- ・セグメント内の鉄筋計の計測値とセグメント外周部に設置された土圧計の計測値は、安定に至るまでの経時変化が傾向として互いに整合するものではなかった。この原因については今後の検討が必要であるが、セグメントのなじみも一つの要因と考えられる。
- ・鉄筋計による曲げモーメントの計測結果は、推定された設計断面力の1/2程度であった。

併設トンネルという観点からは、後行トンネルが計測地点に達した以降の計測結果を分析・検討した。その概要を以下に示す。

- ・併設トンネルの沈下曲線は、鉛直変位はその最大沈下地点が併設トンネルの中央よりやや先行トンネル側にあり、水平変位は後行トンネル推進時の方がより大きい変位となる。これは先行トンネルの掘削により乱された地盤内を後行トンネルが掘削したということも一つの要因と考えられた。
- ・併設トンネルの後行トンネル施工時には、シールド機等が周辺地盤を押し広げようとする働きをするため、一時的に先行トンネルに作用する全土水圧は上昇する。その後3～4ヶ月を経過した後は、水圧は静水圧まで減少し安定するが、有効土圧の一部はその影響が残留する。こうした現象の主たる原因は、後行トンネルのシールド機のスキンプレートによる地山加圧と裏込め注入であると考えられる。こうした後行トンネルシールド機が影響を及ぼすメカニズムは、後行トンネル周辺の地盤が変位して先行トンネルに作用する荷重が増大し、それにともない先行トンネルの変位、変形が発生するものと考えられた。
- ・先行トンネルに作用する通過後2～3ヶ月間の土圧は左右釣合がとれていない。これに対し鉄筋計の計測値は左右釣合がとれているが、これについてはトンネル横断面だけでなく、縦断方向の力の釣合も考えて説明する必要があると考えられる。
- ・軟弱地盤中を掘進する併設シールドにおける施工管理上の注意点を示した。

軟弱地盤中のシールドトンネル  
の現場計測

ISSN3386-5873  
土木研究所資料 第 2839 号  
平成元年12月(1989年)

|                 |       |       |
|-----------------|-------|-------|
| 前トンネル研究室        | 室 長   | 水谷 敏則 |
| 現企画部地下開発研究官     | 研究員   | 眞下 英人 |
| 前トンネル研究室        | 研究室   | 猪熊 明  |
| 現中部地方建設局高山工事事務所 | 室 長   | 吉永 優  |
| トンネル研究室         | 主任研究員 | 石村 利明 |
|                 | 研究員   | 井手 統一 |
|                 |       | 河野吉次郎 |

要 旨

本報告書は、軟弱地盤に建設中の併設シールドトンネルで行った、トンネルに作用する土圧・トンネルの挙動及び周辺地山の挙動等の現場計測を取りまとめたものである。取りまとめに当たっては、特に併設トンネルの施工時の影響に注目して結果の分析を行い、施工時にトンネルに作用する土圧について新しい知見を得ることができた。

郵便はがき

305-□□

41円切  
手  
は  
は  
き  
下  
さい

茨城県つくば市大字旭一番地  
建設省土木研究所  
トンネル研究室 御中

No. 046

No. 046

配布先氏名

配布先住所

○



土木研究所資料第 2839 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属(住所)

氏 名

印

土木研究所資料第 号

