

# 送電鉄塔に近接した 小土被り部におけるトンネル施工

Tunnel excavation in the small overburden close to  
the power transmission iron tower

蔵元利浩<sup>1</sup>・中原光一<sup>2</sup>・柚木崎守<sup>3</sup>・平田亮<sup>4</sup>・笹尾春夫<sup>5</sup>  
Toshihiro Kuramoto, Koichi Nakahara, Mamoru Yukizaki,  
Ryo Hirata and Haruo Sasao

<sup>1</sup>西日本高速道路株式会社 和歌山工事事務所 (〒640-8341 和歌山県和歌山市黒田50)

E-mail:t.kuramoto.aa@w-nexco.co.jp

<sup>2</sup>西日本高速道路株式会社 和歌山工事事務所 (〒640-8341 和歌山県和歌山市黒田50)

<sup>3</sup>鉄建建設株式会社 大阪支店 藤白作業所 (〒642-0035 和歌山県海南市冷水325-20)

<sup>4</sup>正会員 工修 鉄建建設株式会社 大阪支店 藤白作業所 (〒642-0035 和歌山県海南市冷水325-20)

<sup>5</sup>フェロー会員 工博 鉄建建設株式会社 エンジニアリング本部 (〒101-8366 東京都千代田区三崎町2-5-3)

The power transmission iron tower of about 20m in height has been built on the ground at the position of about 55m from the portal of Fujishiro Tunnel. Because of small overburden of about 13m, it was worried for a large subsidence to occur when the tunnel was excavated, and to produce a bad influence on the iron tower as a result. Therefore, the influence of tunnel excavation was examined by geological investigation, ground sample tests and FEM analysis. Moreover, the adequacy of tunnel support pattern and auxiliary method in the iron tower influence range section was verified by installing various measuring instruments.

**Key Words :** small overburden, power transmission iron tower, ground sinkage, Fujishiro Tunnel

## 1. はじめに

阪和自動車道藤白トンネルは、和歌山県海南市の南方1~2kmに位置し、路線上には三波川帯の黒色片岩、緑色片岩、石英片岩、蛇紋岩、輝緑岩が分布する。

藤白トンネルⅡ期線は、坑口から約55m、土被り約13mの小尾根部に高さ約20mの関西電力送電鉄塔が位置しており(図-1, 2)、トンネル掘削による緩みにより、鉄塔基礎および鉄塔本体に不等沈下等の変状が発生する懸念があった。そこで、鉄塔本体および周辺地盤の挙動を計測し、その計測結果をもとに沈下対策工の選定を行い、鉄塔直下の掘削作業を行うこととした。

本稿では、送電鉄塔の計測および下部通過のために実施した対策工について報告する。

## 2. 工事概要

藤白トンネル北工事は、現在供用中の阪和自動車道(海南~吉備間)の繁忙期における渋滞緩和を目的とした四車線複線化工事の一区間であり、トンネル延長2136mの内の北側工区1151mを山岳工法により施工するものである。

工事概要を表-1に示す。

表-1 工事概要

|      |                       |
|------|-----------------------|
| 工事件名 | 近畿自動車道(紀勢線) 藤白トンネル北工事 |
| 工事場所 | 和歌山県海南市藤白~和歌山県海南市下津町  |
| 工期   | 平成16年8月26日~平成19年7月11日 |
| 掘削方式 | 機械掘削, 発破掘削            |

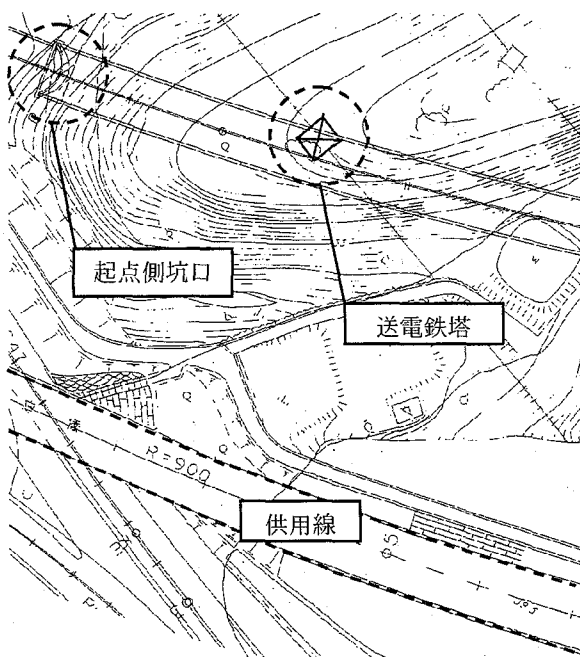


図-1 起点側坑口平面図



図-2 トンネル坑口と送電鉄塔

### 3. 地形・地質概要

#### (1) 地形

当該地区は紀伊山地の西縁にあたり、和歌山東山地の標高 200~400m の小起伏山地に属し、比較的緩やかな稜線を持つ山体が連なっている。山地の北斜面（海南市側）は急傾斜であるが、南斜面（加茂川沿い）は北斜面より緩傾斜である。山地の北側急傾斜地は林地として、それ以外の北側斜面山麓や南側斜面は主にみかん畑として利用されている。

#### (2) 地質

西南日本は東西方向に走る中央構造線によって北と南に区分され、北側は内帯、南側は外帯とよばれており、外帯の地質は、北より南へ三波川帯、秩父帯、四万十帯と次第に若い地質が下にもぐりこむ付加体の覆瓦構造をなしている。和歌山県付近は紀伊半島を東西に横断する長さ約 100km、幅 10~20km で分布している三波川帯であり、北から点紋帯、無天紋帯、堂鳴海山層、生石層の各層は、弱変成を受けた塩基性火成岩類や変斑れい岩、蛇紋岩が多く、御荷鉾帯として区分される。

藤白トンネルの地層はこの中央構造線の南側に接し、分布する岩石は、高压低温型の変成作用を受けた結晶片岩より構成される。表-2 に主な地質を示す。

表-2 地質構成

| 地質年代              | 地質名   | 記号 | 記事                                          |
|-------------------|-------|----|---------------------------------------------|
| 新生代<br>第四紀<br>完新世 | 崖錐堆積物 | dt | 山腹斜面、山麓部、沢部等に分布する。礫混じり土砂よりなる。               |
| 中生代<br>三波川帯       | 黒色片岩  | Bs | 泥質片岩とも言われる。片理が発達し剝離性に富む。                    |
|                   | 緑色片岩  | Gs | 塩基性片岩とも言われる。片理の発達した岩～弱い片理を示す岩～塊状岩と岩相変化が激しい。 |
|                   | 石英片岩  | Qs | 珪質片岩とも言われる。黒色片岩中に層厚 1cm～数m で頻繁に挟まれている。      |
|                   | 蛇紋岩   | Sp | 葉片状～粘土状岩体からなる。岩質はやや軟質である。トンネルにとって要注意岩である。   |
|                   | 輝緑岩   | Dm | 塊状岩体であるが、弱い片理を示す。                           |

### 4. 鉄塔本体および周辺地盤の変位計測

#### (1) 管理基準値

鉄塔基礎沈下の管理基準値は鉄塔基礎の許容相対変位量をもとに鉄塔管理者と協議し、実測最小脚間距離のそれぞれ 1/1200（鉛直方向）、1/800（水平方向）に対して各管理レベルを決定した（表-3）<sup>1)</sup>。この表からわかるように鉄塔基礎の不等沈下量が応急対策を要する注意レベルで 2.97mm 以下に規制され、土被り十数メートルで小尾根部を斜めに貫く偏圧地形での施工としては非常に厳しい条件となった。

表-3 管理基準値

| 管理レベル    | 鉄塔基礎<br>相対沈下 | 鉄塔基礎<br>根開き | 備考   |
|----------|--------------|-------------|------|
|          | (鉛直方向)       | (水平方向)      |      |
| 通常 (40%) | 1.98mm 以下    | 2.96mm 以下   |      |
| 注意 (60%) | 2.97mm 以上    | 4.45mm 以上   | 応急対策 |
| 警戒 (80%) | 3.96mm 以上    | 5.93mm 以上   | 施工中断 |
| 厳戒 (90%) | 4.45mm 以上    | 6.67mm 以上   | 施工中止 |

## (2) 事前解析

補助工法としては、沈下抑制効果の高いとされている<sup>2)</sup> AGF(L=12.5m, n=24.5本, シフト長=6.0m)を採用し、事前に三次元FEM解析を行い、管理基準値を満足するかどうか、その妥当性を検討した。なお、表-4に示す地山物性値は、地中沈下計設置時に採取したボーリングコアの室内試験結果(三軸圧縮試験その他)を参考に設定した。

事前解析の結果、鉄塔基礎の最大不等沈下量は2.81mmであり、これは管理基準値の注意レベル以内の変位であることから、AGFの沈下抑制効果を確認できた。

表-4 地山物性値

| 岩種     | 単位体積重量<br>$\gamma$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | 弾性係数<br>$E$<br>(MN/m <sup>2</sup> ) | ポアソン比<br>$\nu$ | 粘着力<br>$C$<br>(kN/m <sup>2</sup> ) | 内部摩擦角<br>$\phi$<br>(°) |
|--------|--------------------------------------------|-------------------------------------|----------------|------------------------------------|------------------------|
| 土砂+軟岩C | 21                                         | 30                                  | 0.325          | 20                                 | 20                     |
| 軟岩A    | 25                                         | 200                                 | 0.300          | 250                                | 30                     |
| 硬岩A    | 25                                         | 450                                 | 0.300          | 550                                | 30                     |
| 断層     | 20                                         | 50                                  | 0.350          | 10                                 | 10                     |

## (3) トライアル区間および計測工

掘削に先立ち図-3に示すように、トンネル掘削が鉄塔へ影響を及ぼす範囲を鉄塔の前後計30m間とし、また、その手前12m間を、鉄塔影響範囲区間の事前トライアル区間と位置付けた。このトライアル区間においては、各種計測器を設置し、事前の解析値と実測値により、鉄塔影響範囲区間の支保パターンと補助工法の妥当性の検証を行った。

鉄塔本体計測は、鉄塔基礎の鉛直方向変位、水平方向変位、傾斜および計測機器の温度補正を行うための温度測定の数4項目の計測を行った。

なお、今回鉄塔本体計測には、計測器が落雷の被害を受けて計測が中断することを防ぐため、落雷等の影響を受けにくく、耐久性に優れた光ファイバーセンサー(FBG)を採用した。

また、鉄塔基礎根開き計測には、通常のスチールの鋼線に比べ線膨張係数が1/10程度であり温度変化を受けにくい特徴を有するインバー線を採用した。

周辺地盤計測においては、掘削による緩みが地表面へ及ぼす影響を深度別に確認するための層別沈下計および地表面沈下測点を設置した。また、先行沈下を把握するためトンネル天端から2.5m直上に坑口から鉄塔直下まで圧力式沈下計を設置した。表-5に各計測項目を示す。これらの計測結果をリアルタイムで監視し、異常な変位が発生した場合の早期の対応が可能な体制で掘削を開始した。

表-5 計測項目一覧

| 計測対象 | 計測項目       | 数量        | 使用機器              |
|------|------------|-----------|-------------------|
| 鉄塔本体 | 鉄塔基礎相対沈下   | 4箇所       | 連通管式沈下計           |
|      | 鉄塔基礎根開き    | 6測線       | FBGファイバーセンサ付インバー線 |
|      | 鉄塔基礎傾斜     | 1箇所・2方向   | FBG傾斜計            |
|      | 温度計        | 2箇所       | FBG温度計            |
|      | 地中沈下計測     | 5箇所(16測点) | 層別沈下計             |
| 周辺地盤 | トンネル天端沈下計測 | 1箇所(8測点)  | 圧力式沈下計            |
|      | 地表面沈下計測    | 39測点      | トータルステーション        |

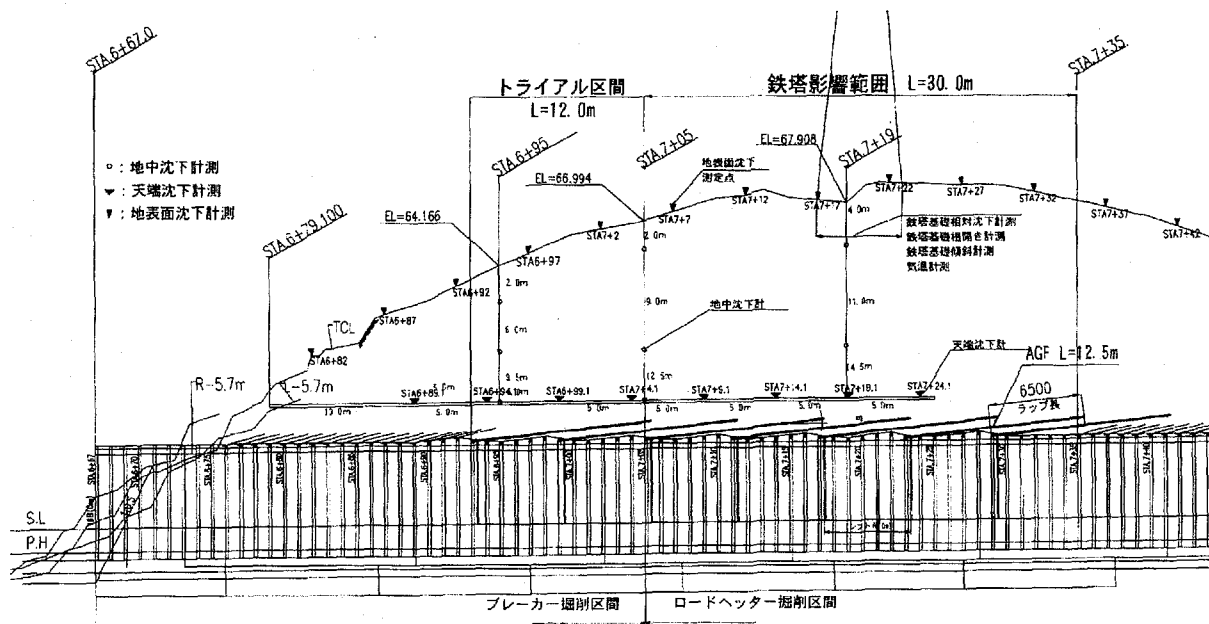


図-3 計測工・掘削工法一般図

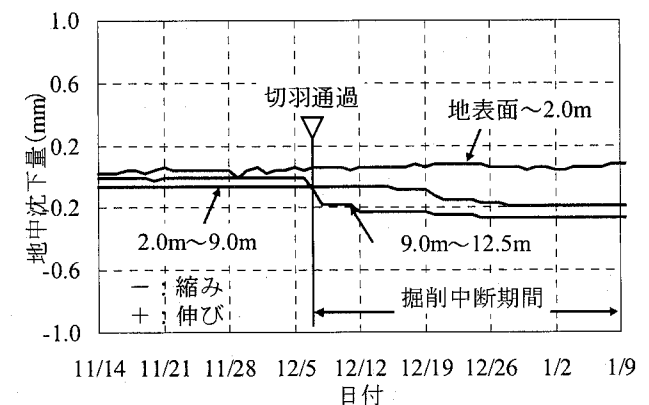
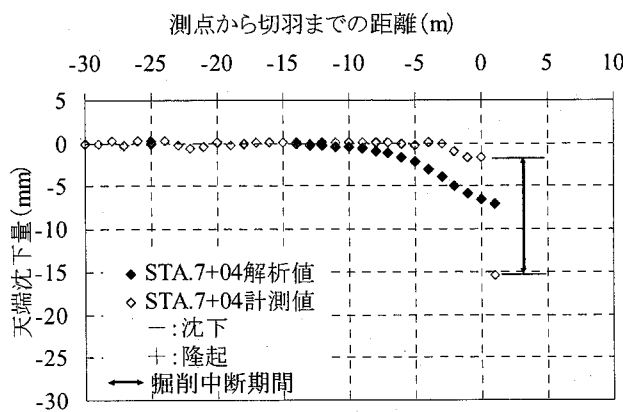
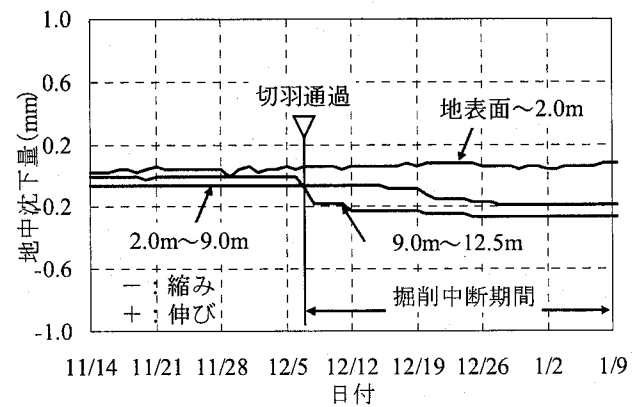
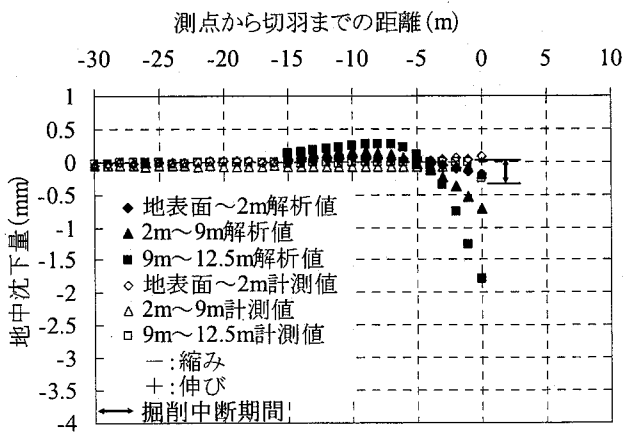
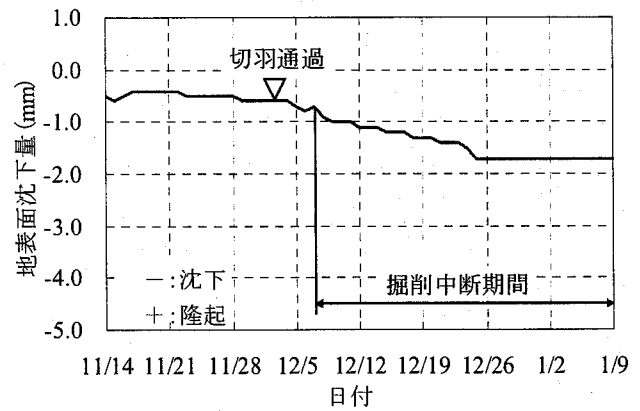
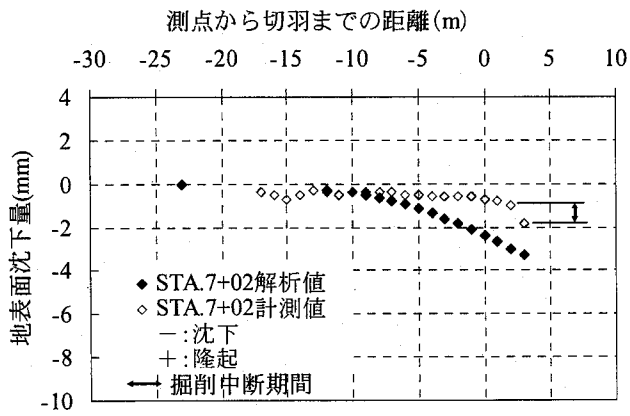


図-4 トライアル区間における計測結果

## 5. トライアル区間の施工結果

図-4にトライアル区間施工時における地表面沈下量，地中沈下量，天端沈下量の事前解析値と実測値を比較した結果および各沈下量の経時変化図を示す。この結果より，地表面の絶対沈下量は2mm程度，また地中沈下量も相対沈下で0.3mm程度であり，解析値と比較して安全側の値で収まっているが，天端直上2.5mに設置した天端沈下計測は，解析値に比べ大きく沈下しており，切羽通過

後約1ヶ月の掘削中断期間中も変位の増加傾向が見られ，掘削再開時までに最大15mmの沈下を示した。このことから，図-5のように天端沈下計付近の地山が，トンネル掘削の応力解放により部分的に緩んだものと判断した。

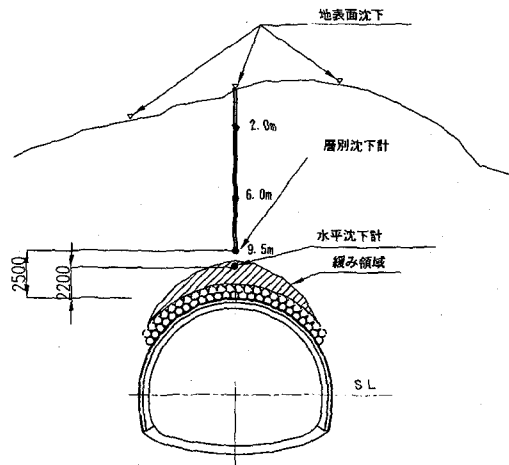


図-5 緩み領域概念図

## 6. 鉄塔影響範囲の施工結果

### (1) 鉄塔影響範囲の対策

鉄塔影響区間の施工にあたっては、トライアル区間における天端直上の地山の緩みによる沈下、およびAGF施工時にトンネル右側半分では注入材が定量注入で圧力上昇が見られなかったこと、切羽の風化状態や亀裂の状況、トンネル左右の土被り厚の状態等を考慮して、表-6に示すように、AGFの注入率をトライアル区間より大きく設定し、トンネル直上の緩み領域の補強を行った。

表-6 注入量変更

| 注入材   | 注入量     |         |           |           |
|-------|---------|---------|-----------|-----------|
|       | トライアル区間 |         | 鉄塔影響範囲    |           |
|       | 左       | 右       | 左         | 右         |
| シリカレジ | 128kg/本 | 128kg/本 | 192.3kg/本 | 256.4kg/本 |

### (2) 鉄塔影響範囲の計測結果

図-6に鉄塔影響範囲施工後の地表面沈下、地中沈下、天端沈下の経時変化図を示す。この図から、トライアル区間に比べ鉄塔影響範囲では、各沈下量ともに変位が減少していることがわかる。これは、注入量を増加したため、掘削により発生した緩み領域が補強されたものと考えられる。

また、図-7に鉄塔本体の計測結果を示す。鉄塔基礎相対沈下および鉄塔基礎根開きともに、鉄塔直下を切羽が通過後、微小な動きはあったものの、その変位量は鉄塔基礎相対沈下量で0.8mmの沈下、鉄塔基礎根開き量で0.9mmの収縮方向の変位といずれも管理基準値の通常レベル範囲内の変位であり、トンネル掘削による鉄塔本体の大きな変状は認められなかった。

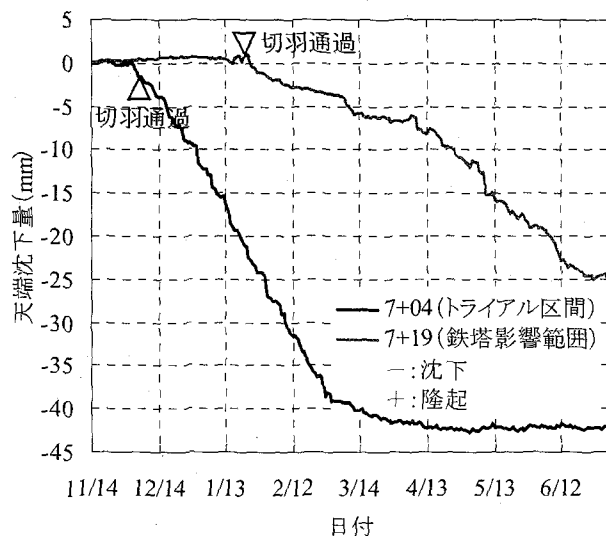
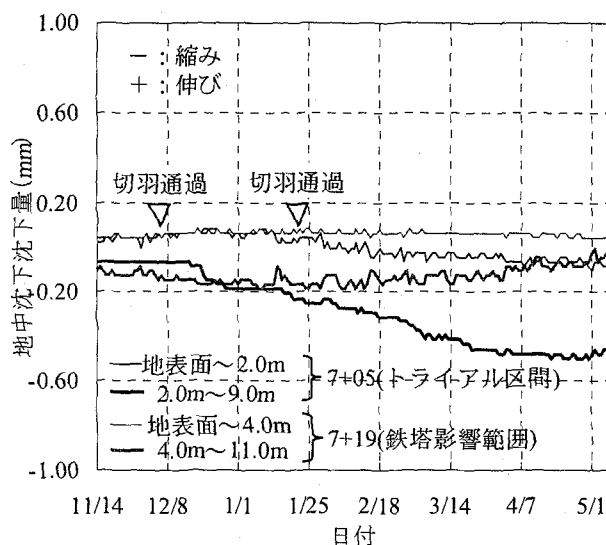
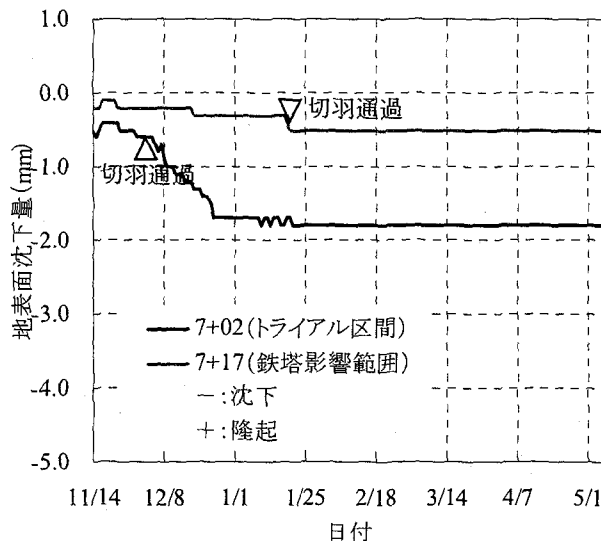


図-6 鉄塔影響範囲における計測結果

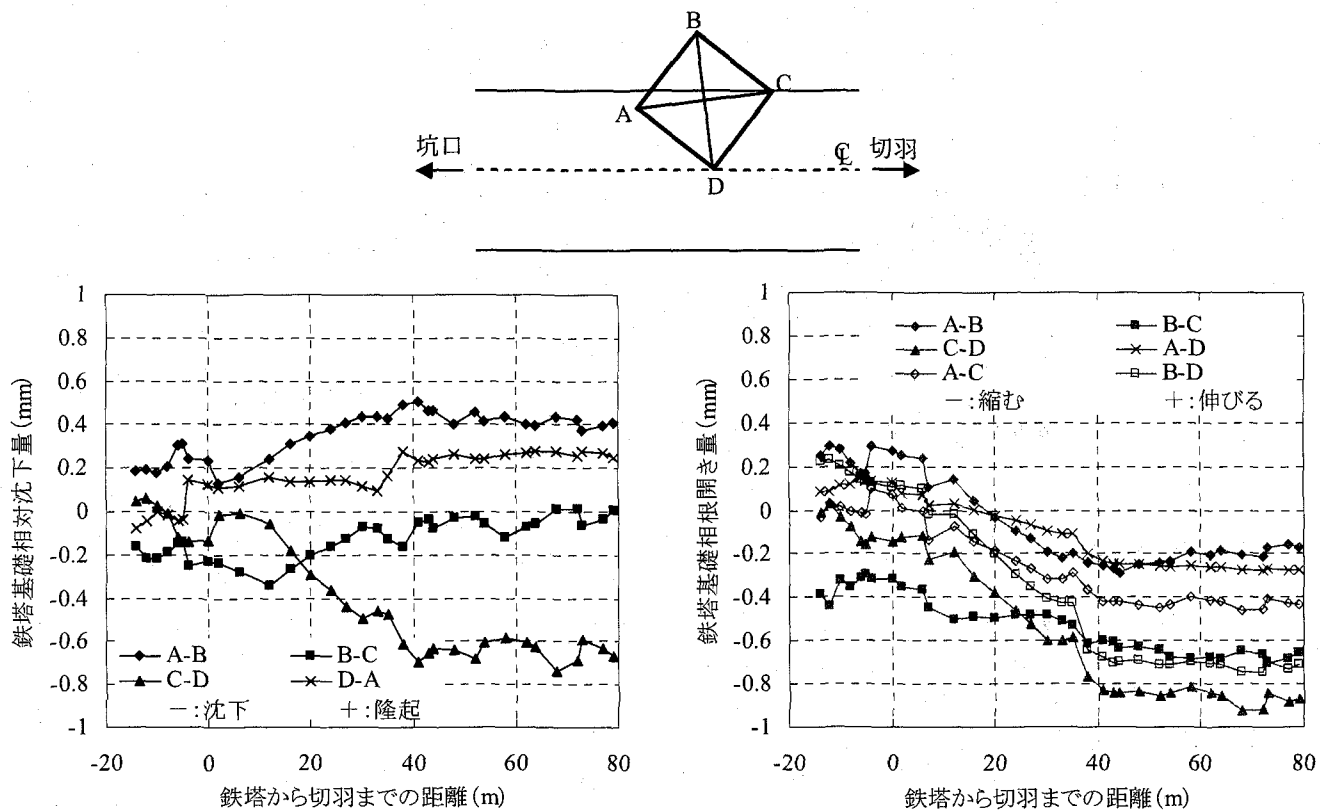


図-7 鉄塔本体計測結果

## 7. おわりに

本稿で述べた送電鉄塔脚部の不等沈下対策においては、その管理基準値が 2.97mm 以下と非常に厳しいものであった。そのため、施工にあたっては、類似事例調査、三次元 FEM 解析、鉄塔本体および周辺地盤の挙動計測を行い、また、トライアル区間を設定して事前解析値と実測値を比較検討することにより鉄塔影響区間における施工法の妥当性と追加対策等の必要性を確認することができた。

なお、今回のように送電鉄塔のような重要構造物に近接するトンネル掘削においては、事前にトライアル区間を設けることが、より安全で確実な施工を行う上で非常に重要であると考えられる。

## 参考文献

- 1) 電気学会:送電用支持物設計標準 (JEC-127-1979), 1979
- 2) ジオフロンテ研究会 アンブレラ工法分科会:注入式長尺先受け工法(AGF工法)技術資料(四訂版)-AGF工法の考え方とその適用-, 2002