

大断面トンネルの交差部の設計・施工

Design and Construction of Large Sectional Divergence

大窪 克己¹⁾・片寄 学²⁾・小川 直司³⁾・矢部 幸男⁴⁾・高杉 英則³⁾

Ookubo Katumi, Katayose Manabu, Ogawa Naoji, Yabe Yukio, Takasugi Hidenori

The both portals of Shizuoka 3rd tunnel is located the steep slope. So the access tunnel(42m²) was required and diverge the main tunnel(180m²). This report reports on the design and the construction of the large section divergence .

Key Words : large section divergence, seismic reflection survey, PS anchor

1. はじめに

第二東名高速道路静岡第三トンネルでは、両坑口が急峻な崖の上部に位置するため、作業坑を施工し、本坑は作業坑から直角に施工する必要があった。作業坑断面は42m²、本坑は180m²であり、約4倍の分岐工事である。本報告は大断面交差部の設計と施工について報告するものである。設計にあたっては作業坑が約60m程度の離隔距離で本坑に平行する区間を利用して、調査は3成分のHSPを実施した。また、地質の変化がないことを確認し、作業坑でのトンネル挙動を分析することによって、設計に必要な諸定数を推定し、分岐部の設計にフィードバックを行った。

2. 調査

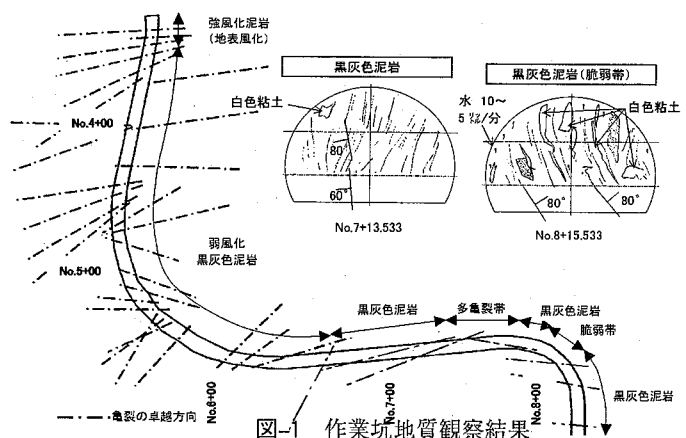
2.1 地質概要と作業坑での観察

新第三紀に付加された付加体であり、岩石は泥岩としているが、岩石強度は40～60Mpaと推定され、むしろ頁岩や粘板岩に分類しても良い状況であった。屈折法の弾性波速度も4～4.5km/secあり、地山等級としてはC等級と判断された。

本地域は、瀬戸川帯の分布域であり、主に、泥岩、泥岩砂岩互層および砂岩から構成され、一部に玄武岩、チャート、石灰岩などを伴う。地層は一般に北東-南西方向ないし、北北東-南南西の走向をもち、北西方向に傾斜する。

図-1に作業坑地質観察結果を示す。作業坑の地質状況は以下の通りである。

- ・全線にわたり黒灰～暗灰色を呈する泥岩が分布し、他の岩種は分布しない。
- ・泥岩は亀裂が発達し、白色粘土を挟在することが多い。鏡肌は認められない。
- ・亀裂の方向は、瀬戸川帯の一般的な地層とほぼ同じ方向に卓越する。



¹正会員 日本道路公団 本社 道路技術部

²正会員 日本道路公団 静岡建設局 静岡工事事務所

³正会員 清水建設(株) 名古屋支店 静岡第三トンネル作業所

⁴正会員 清水建設(株) 土木事業本部 技術第2部

- ・多亀裂帯や脆弱な区間が多く見られる。
- ・湧水はほとんどない。多くて滴水程度である。
- ・亀裂の多い区間では10～30ℓ/minの湧水が見られる。

2. 2 HSP切羽前方探査

図-2にHSP切羽前方探査の概念図を示す。

3成分HSP切羽前方探査は坑内切羽付近において、起振点・受振点を設置して弾性波による測定をおこない、VSP検層および反射法地震探査の処理・解析技術を用いて、切羽前方の地質境界、断層破砕帯などの不連続面から到来した反射波を抽出し可視的に表現する探査法である。

弾性波探査反射法による切羽前方探査には、TSP、HSPがある。今回は、3成分HSP切羽前方探査により測定を実施した。本探査法はTSP等従来の2成分による探査に比べ、虚像の発生が少なく、反射面の位置・角度の精度が優れているため、切羽前方のより正確なイメージングが可能となっている。

2. 3 探査結果

解析結果図を図-3に示す。測定は2回行ったが、結果図では1・2回目の結果を重ね合わせた。切羽前方の地山速度は、同時に行った坑内弾性波探査の結果から、4.25km/sおよび4.1km/sを用いた。反射面の色調と地質状況との関係は、赤及び黄色が「硬→軟」、黒及び青色が「軟→硬」の岩質変化を示す。反射面の大きさ(反射強度)と地質状況の関係は、反射面の色が濃色であるほど反射面前後の地質状況の変化が大きいことを示す。

また、地質状況から考慮すると、探査区間では岩石自体の密度や弾性波速度の変化が少ないため、反射面は、岩盤内に発達する亀裂状況の変化を示すと想定された。特に、亀裂が開口し集中湧水がみられる区間や、厚い粘土化した挟在物をもつ亀裂が多い区間などは、大きな反射エネルギーをもつ面として検出される可能性が高い。

2. 4 地質解釈と結果

図-4に解析結果から解釈された地質状況予測を示す。探査からは、多亀裂帯と脆弱帯が予測された。他の区間は、測線区間と同様の硬質な泥岩の分布が予測された。

実際の地山状況は、図-1に示した通りであった。

多亀裂帯は、出現位置はほぼ一致した。幅は予測された幅に比べ広い分布を示した。しかし、多亀裂帯の終端部と考えられた反射面は認められる。地山の性状は亀裂の多い区間であると予測したが予測通りであった。

脆弱帯は、出現位置、幅ともにおおむね一致した。地山の性状は、明瞭な境界面であると予測したが、亀裂間に白色のシルトを多く挟在し、亀裂が細かく脆弱化している状況であった。探査区間内では最も反射面を形成しやすい岩盤状況であったと考えられる。

その他の区間については硬質な泥岩が分布するものと予測した。部分的にシルト分を薄く挟在したり、亀裂が細かい部分があたりするものの、全体的には、予測通り特に脆弱な区間もなく硬質な泥岩が分布した。

図-4より、交差部には脆弱帯が存在せず、作業坑の挙動を分析することで、交差部の設計が可能と判断した。

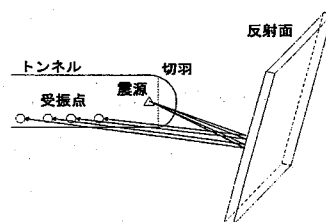


図-2 HSP切羽前方探査の概念図

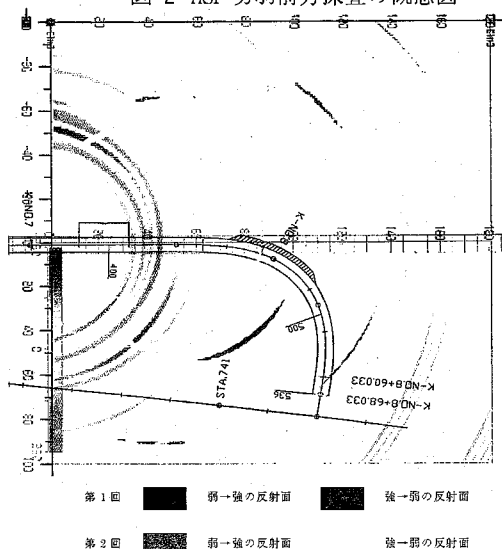


図-3 HSP解析結果(1・2回目合成)

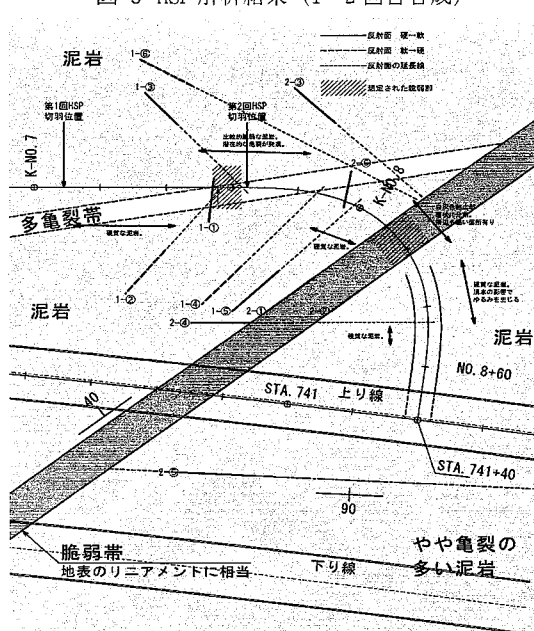


図-4 HSP切羽前方探査による地質予想

2. 5 坑内弾性波速度

HSP は多受振方式であるので、受振したデータを屈折法で解析することによって、トンネル周辺の弾性波速度を把握する事ができる。図-5に坑内弾性波結果を示す。

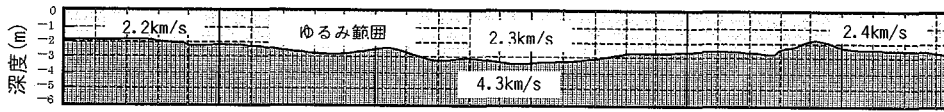


図-5 側壁の弾性波速度の分布

側壁から約2～2.5mの範囲は2.2～2.4km/sであり、これ以深は4.3km/sが得られた。事前の弾性波速度も4 km/s 相当であることから、壁面から約2～2.5mの範囲がゆるみ部であることがわかる。設計時の再現解析でもこの数値を目標に強度定数を推定した。

3. 設計

3. 1 再現解析

再現解析に用いる岩盤物性値は、弾性波速度との相関より推定された弾性係数は非常に大きな値であるが、地山等級C Iでの標準的な変形係数を選定し、作業坑の計測変位を再現することとした。つぎに強度定数は弾性波探査より、トンネル壁面のゆるみ領域は2～3mという結果が得られていることを考慮し、C Iでの値を上限値として、ゆるみ範囲が同程度となるまで低減することとした。

表-1に再現解析に用いた諸定数を示す。参考のためケース②では新鮮部の弾性波速度から推定される弾性係数も試算した。

再現解析結果からケース⑤の定数が変形とトンネル周辺のゆるみ領域を再現できる結果となった。定数としては変形係数は2000MPa、粘着力は0.5 MPa、内部摩擦角35° 弾性限界パラメータ $k=4$ 、非線形指数 $a=2$ が得られた。

図-6に拡幅断面での再現解析結果を示す。

計測変位の平均値は天端沈下：V1=5.3mm、水平変位：H1=2mm、H2=3.8mmである。

表-1 再現解析に用いる岩盤物性値

ケース名	単位体積重量 γ (kN/m ³)	弾性係数 E (MPa)	ポアソン比 ν	粘着力 c (MPa)	内部摩擦角 ϕ (°)	引張強度 σ_t (MPa)	弾性限界パラメータ k	非線形指数 a	備考
①	24	2000	0.3	2.0	45	0.4	6	3	基本物性値 (C I)
②	24	15000	0.3	2.0	45	0.4	6	3	EとVp 相関より設定したE
③	24	2000	0.3	2.0	35	0.4	6	3	ϕ を低減
④-1	24	2000	0.3	1.0	35	0.2	6	3	Cを低減
④-2	24	2000	0.3	0.5	35	0.1	6	3	
⑤	24	2000	0.3	0.5	35	0.1	4	2	k,a を低減
⑥-1	24	2000	0.3	0.5	30	0.1	4	2	ϕ を変化
⑥-2	24	2000	0.3	0.5	40	0.1	4	2	
⑦	24	2000	0.3	1.0	30	0.1	4	2	Cを増加

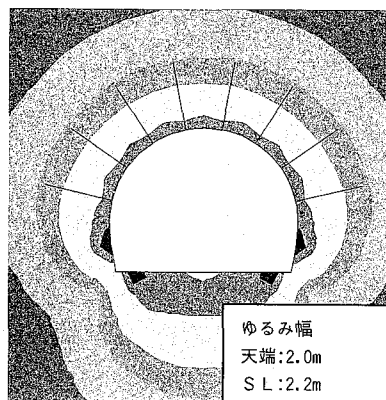
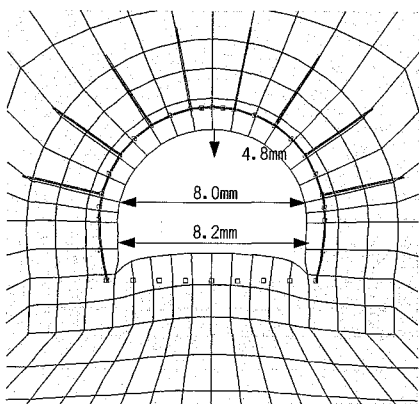


図-6 再現解析結果 (変形図, ゆるみ領域図)

3. 2 交差部の設計

交差部は、当初破碎帯が想定されていたため図-7 示す位置に計画されていた。前方探査結果からこのような破碎帯は存在しない可能性が高いことが判明した。さらに12%の上り勾配での中断面作業坑の換気効率を向上することおよび交差部の補強箇所が3箇所から2箇所に減少し、経済性の観点から交差箇所の変更

とそれに伴う交差部の補強の設計を行った。交差は3次元問題となるため3次元FEM解析を実施した。

図-8に解析モデルを示す。節点数は40528、要素数は9236である。

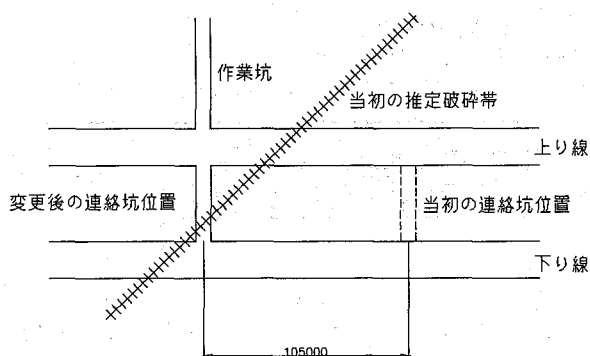


図-7 交差位置の変更

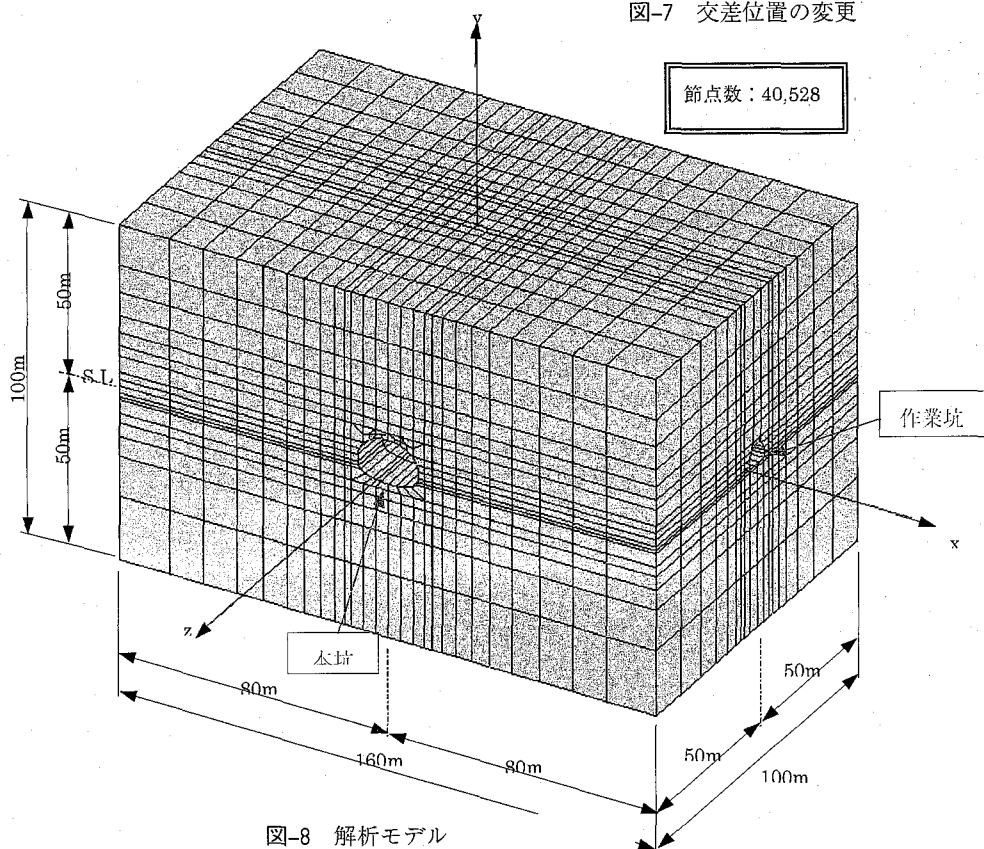


図-8 解析モデル

解析結果の安全率の分布形状は、避難連絡坑を掘削することではほぼ左右対称になり、むしろ偏土圧に関しては安定する結果となった。

また、天端沈下については、片側作業坑で27mm、両側作業坑で29mmとなり、両側作業坑で遜色ないことが判明した。

交差部の補強方針は、このゆりみ部を荷重として考慮し、PSアンカーで釣り下げることとしアンカーの仕様を定めた。PSアンカーの仕様は、設計導入力350kN、L=12mとし、ロックボルトの打設ピッチがDIパターン（周方向1.4m×延長方向1.0m）であることを考慮し、周方

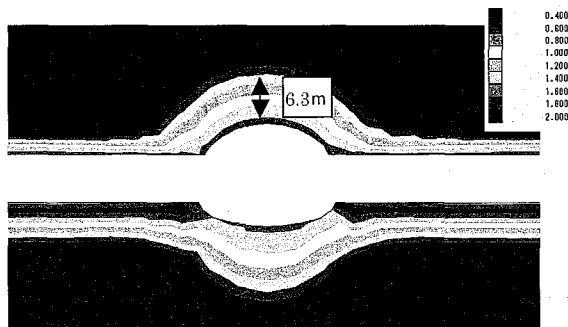


図-9 安全率の分布

向 2.8m×延長方向 2.0m とし、各断面に 7 本配置した。なお、プレストレスは導入せず待ち受けアンカーとし、掘削時の計測により P S の導入を行うこととした。吹付けコンクリートについても鋼繊維補強を行った。

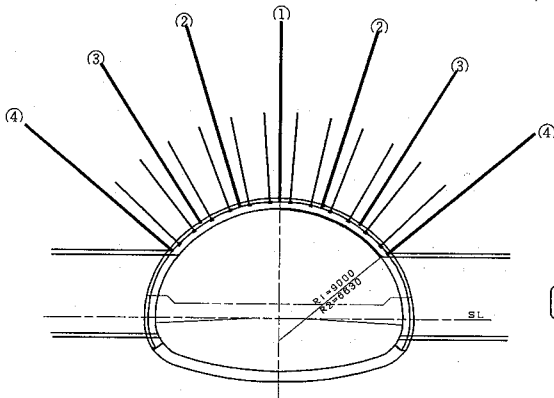


図-10 補強図

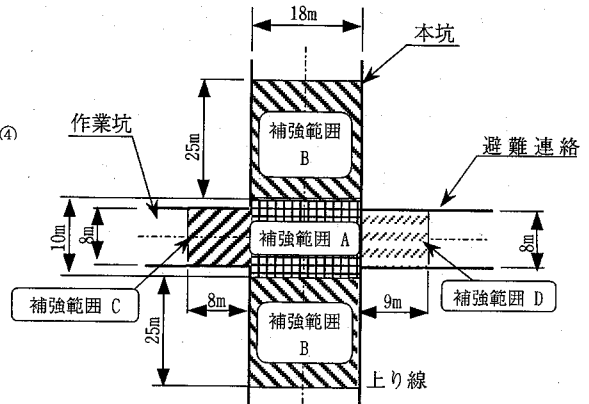


図-11 補強範囲図

4. 交差部の施工

交差部の施工フローを図-12 に施工位置を図-13 に示す。本坑へ作業坑の延長方向へ作業坑掘削断面の掘削を行った。その時点で地中内変位計を本坑円周方向に 3 ケ所設置した。次に、直角方向に西側に分岐し、10m掘付区間を設け本坑上半断面まで切掘げを実施した。バックシャントとして更に 50m程度掘削した後、反転し、東側の掘削を行った。東側に向かい交差点を通過する際に、A計測用のターゲット及び地中内変位計の盛替を実施し、その後 P S アンカーの施工を実施した。

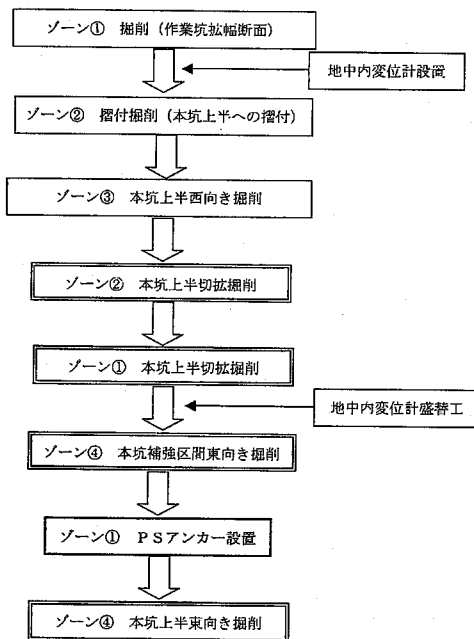


図-12 交差部の施工フロー

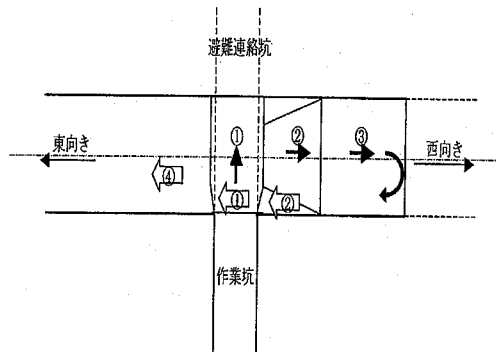


図-13 施工位置図

5. 計測結果

施工順序で示すように、本坑内は作業坑断面掘削から本坑断面に切抜けを行っていくので本坑内に設置した地中内変位計は盛替方式とした。掘削段階での変位を表-2 に示す。これらの値は3次元解析の天端沈下の予測値 29mm に対し非常に良い対応を示した。

表-2 内空変位

	上り線			下り線		
	天端沈下	内空変位	地中内変位	天端沈下	内空変位	地中内変位
切抜け前	14.2	5.3	6.35	17.6	13.7	11.11
切抜け後	23.0	12.7	22.03	30.4	22.9	30.03
収束値	23.0	12.8	22.37	33.3	28.8	32.83

図-14 には地中内変位の経時変化を示す。地中内変位は坑壁から4m程度までゆるんでおり、設計時の6.3mよりやや狭い範囲となった。天端沈下と地中内変位の予測値と計測結果は比較的良好な対応を示し、本設計の妥当性と補強方法が妥当であると考えられる。

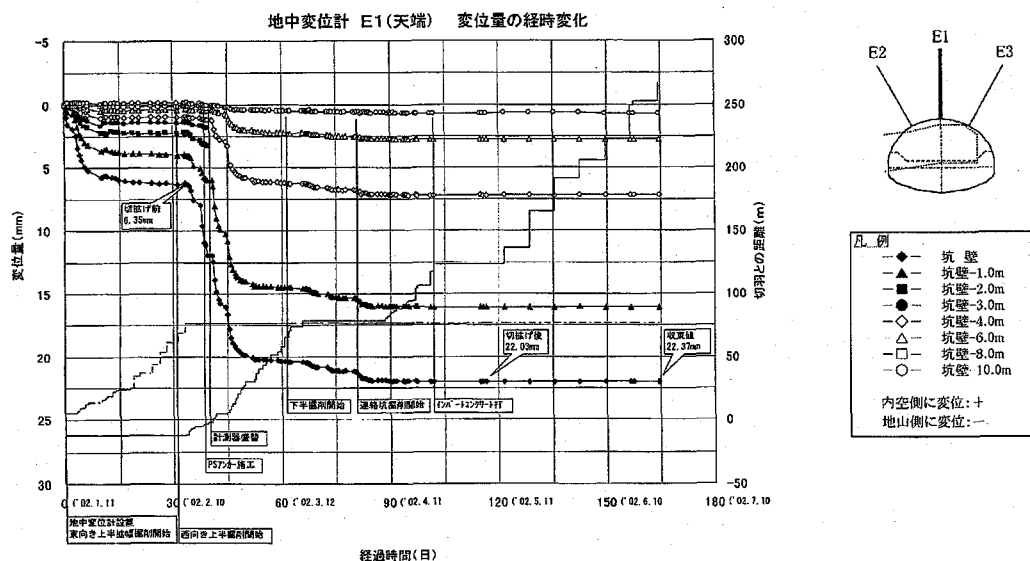


図-14 地中内変位の経時変化

6. おわりに

大断面の交差部の施工に当たり、調査・設計・施工・計測までの全体を報告した。本手法による設計の妥当性が確認されると共に、当初の目的であった換気の効率アップ、補強力所低減による工事費の低減が達成された。

今後、同様な交差部の設計・施工に役立つことができれば幸いである。