

## EPS を用いた鉄道道床における現場計測(その 2)

相 良 昌 男      岡 野 幹 雄  
中 山 昌 尚      香 川 和 夫 <sup>\*1</sup>  
平 野    裕 <sup>\*2</sup>      根 川 宙 志 <sup>\*2</sup>

### 概 要

発泡スチロール(以下, EPS と略。EPS; Expanded Polystyrol)を盛土材料として鉄道路盤へ用いた例は世界的にも少なく, 我が国でも数例に過ぎない。これまで, 室内試験および実物大実験等の研究成果がいくつか報告されているが, EPS の実工事への適用とその現場計測結果等についての報告は少なく, 実際の EPS 盛土体の挙動等については未確認の部分が多い。一般に, EPS を用いた盛土体においては繰返し荷重による動的影響による盛土体の残留変形等が問題となる。

本報告では, EPS 盛土体を鉄道路盤へ採用した経緯, その施工概要および EPS 盛土体の安定性の確認を目的として実施した長期現場計測結果の一部について報告する。

長期現場計測の結果, 列車荷重による EPS 盛土体への影響は殆ど無く, 本工事の EPS 盛土体が安定であることが確認された。

### Site Measurement of Railway Embankment Constructed by Expanded Polystyrol

#### Abstract

Few applications of expanded polystyrol (hereinafter referred to EPS) to railway embankments have been reported in the world, although several research results obtained from laboratory tests and full-scale model tests have been reported in Japan. However, actual applications of EPS to railway embankment works and site measurement results have not been reported. Therefore, detailed behaviors of EPS railway embankment have not been completely clarified. Generally, residual displacement caused by cyclic train loads is assumed to be the most important issue to be solved.

In this paper, we examine the background of the application of EPS, the outline of the construction method and the results of long term site measurements to verify the stability of the embankment.

As results, the result of long term site measurement indicates that the influence of cyclic train loads to the embankment is not significant, and the stability of the embankment is confirmed.

キーワード: 発泡スチロール, EPS, 軽量盛土,  
鉄道盛土, 鉄道路床

\*1 土木本部 \*2 名古屋支店

## §1. はじめに

名古屋市と津島市を結ぶ「名鉄津島線」は海部郡北西部地域の発展に大きな役割を果たしている。さらに、今回の事業区間である津島駅から勝幡駅までの区間(図 1 参照)には、県道甚目寺佐織線をはじめとする道路計画や、日光川の河川計画が立てられており、これを実施するためには「名鉄津島線高架化事業」が不可欠である。

工事は名古屋鉄道株式会社 津島線勝幡～津島間の 2.5km の高架化を計る工事で、現営業線に近接して仮線を構築し、路線を切替えた後、高架橋を新設する。新しい高架橋の完成後、路線を戻し、仮線を撤去して工事を完了する。仮線工事のうち、津島駅～勝幡駅間の既設高架と地平部を接続する仮線のアプローチ区間は盛土構造体となる。現場の地質は軟弱で、盛土荷重に対する地盤の支持力不足が懸念され、用地も現状復帰が条件の借地であるため、発泡スチロール(通称 EPS; Expanded Polystyrol)を用いた軽量盛土工法を採用した。なお、EPS 盛土体には補強のため、1m 間隔で 200mm のコンクリート杭体を打設する。

EPSを盛土材料として列車軌道部へ用いた例は、世界的にも少なく、我が国でも数例に過ぎない<sup>1),2),3)</sup>。特に、本工事に見られるような軌道部が複線かつ局部(R=300)となっている適用例はない。本報告では、EPS盛土体を鉄道路盤へ採用した経緯、その施工概要およびEPS盛土体の安定性の確認を目的として実施した長期現場計測結果の一部について報告する。



図 1 名鉄津島線位置概略図

## §2. 盛土形式の選定

工事箇所は、市街地となっている津島駅の高架部から田園が広がる平地部への取付け区間となっている。

地盤は、砂またはシルト混じり砂の層の間に上部粘土層(2.8m)、下部粘土層(14.5m)の大きな沈下層があり、軟弱地盤となっている。計画の盛土高は4.0m～5.0mと高く、通常の盛土では47cm程度の沈下が予想された。

このように仮線盛土箇所の地質が軟弱であることから、地盤支持力不足の対策工として、深層混合処理工法などの

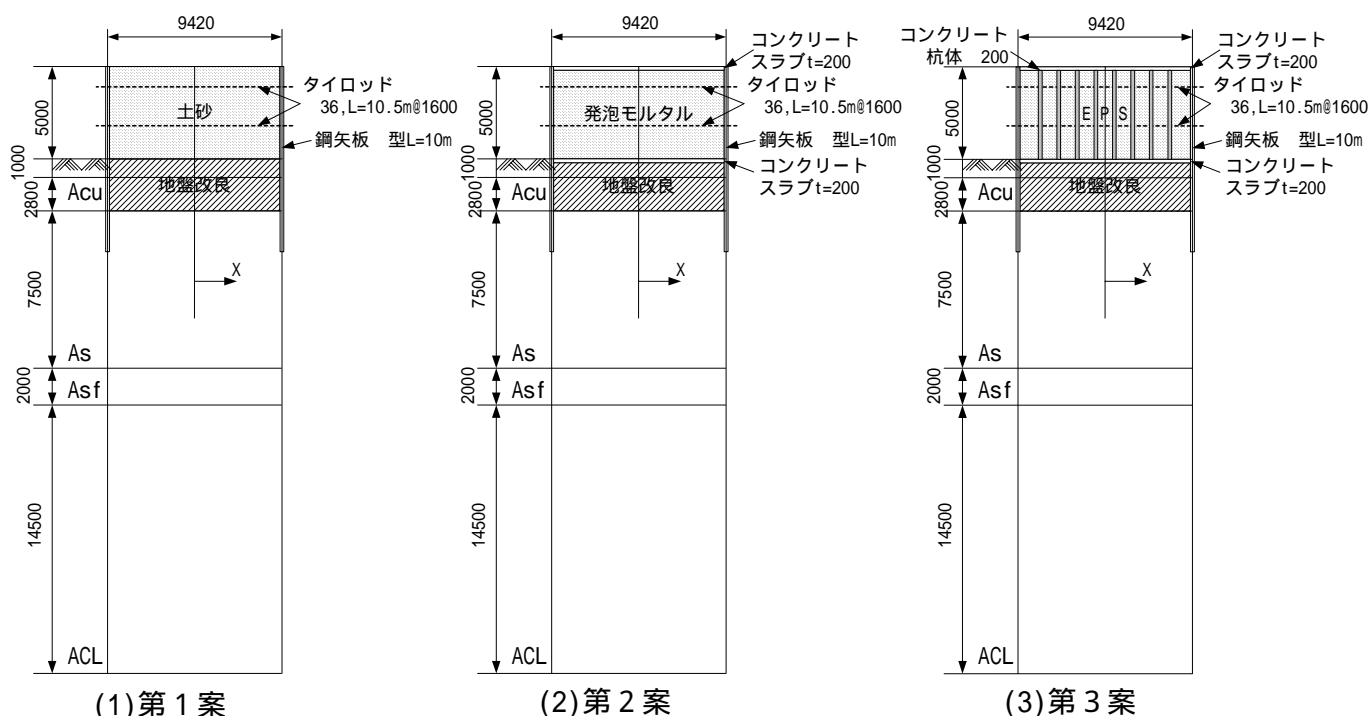


図 2 盛土工法の検討案

地盤改良が考えられた。しかし、施工箇所は借地となっており、杭、改良土を地中に残さない等の借地条件があった。そのため、工法選定に当たっては土中に異物を残さない工法を基本とし、以下に示す3案について、検討を行った(図2参照)。

第1案は、上部粘性土層をセメント系固化材による現地盤攪拌混合方法で地盤改良し、擁壁として鋼矢板+タイロッド、盛土材は客土で行う。この工法は、一般的な工法であり施工性は良い。しかし、仮線では21cm、周辺部(X=10m)においては10cmの沈下量が予想され、圧密沈下による周辺への影響が考えられる。

第2案は、第1案同様、上部粘性土層にセメント系固化材による現地盤攪拌混合方法で地盤改良をし、擁壁として鋼矢板+タイロッドを採用、盛土材には気泡モルタルを使用する。施工は、流動性を有する気泡モルタルを打設して完了する。よって、通常の盛土工法とは異なり、転圧等による締固めが不要で施工が容易である。同工法は、道路盛土では多くの施工実績を有しており、近年では鉄道盛土においても数例の実績が挙げられている。一方、気泡モルタルの単位体積重量は土の約半分となり、沈下量は仮線部で13cm、周辺部では7cm(X=10m)と第1案と比較するとその効果は期待できるが、圧密沈下による周辺部への影響が懸念される。

第3案はEPSを用いた軽量盛土工法で単位体積重量は補強用のコンクリート杭体を含め、土の約1/10であるため、沈下量は仮線部で6cm、周辺部で3cm(X=10m)となり、周辺部への影響は少ない。また、EPSは軽量( $19.62\text{N/m}^3=20\text{kgf/m}^3$ )であることから、人力による施工が容易で施工性が良い。

以上、沈下による周辺への影響、借地条件への対応、施工性、経済性などを考慮に入れて検討した結果、第3案のEPSを用いた軽量盛土工法が採用された。

### §3. 施工概要

施工手順を下記に示す。また、EPS盛土体の標準断面図を図3に示す。

サンドマット

サンドドレーン(地盤改良)

(サンドマット;  $t=300\text{ mm}$ , サンドドレーン;  $400@1700\text{ mm}$ , 203本(3本/10 $\text{m}^2$ ))

載荷盛土施工時の圧密促進のために、地盤改良工として圧入型のグラベルドレーン工法を採用して施工。

鋼矢板打込み(鋼矢板; 型,  $L=11, 12\text{m}$ )

載荷盛土による沈下防止として、営業線側に先に施工。

載荷盛土



写真1 EPSブロック(1000×2000×500mm)

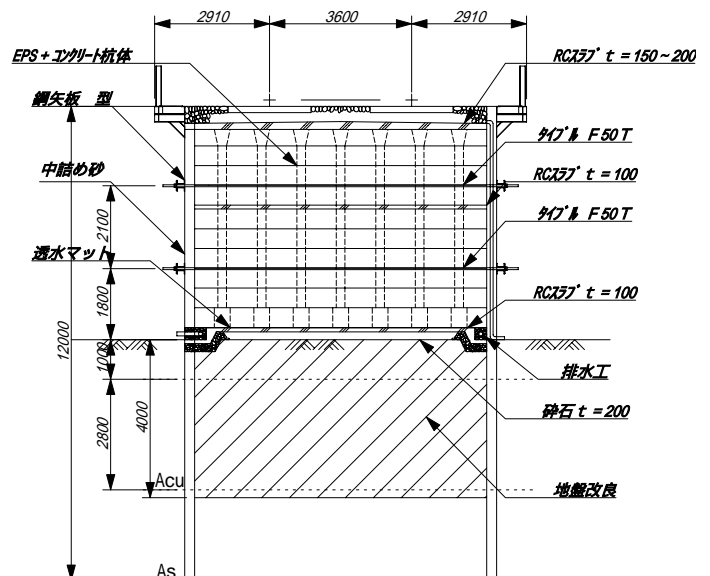


図3 標準断面図

軽量盛土箇所の沈下促進を目的とし、盛土高を仮線運行時の荷重  $26.49\text{kN/m}^2 (=2.7\text{tf/m}^2)$  となる  $H=1.8\text{m}$  (サンドマット  $t=300\text{ mm}$  含む) で盛土した。沈下量は予想沈下量(15cm)の96%圧密とし、現場においても沈下量(15cm)を沈下板により確認した。

サンドマットおよび載荷盛土撤去

鋼矢板打込み(鋼矢板; 型,  $L=11, 12\text{m}$ )

最終的な鋼矢板+ダブル式擁壁構築のため、鋼矢板の打込みを行う。

EPS施工箇所は  $R=300\text{m}$ 、縦断勾配が25.6‰と急勾配であるため、列車による遠心荷重により大きな水平荷重が生じるものと予想される。そこで、列車が時速100km/hの想定で鋼矢板最上部の水平変位量を算出すると10mmと計算された。一方、名古屋鉄道株式会社の軌道の1次管理値は鉛直変位で $\pm 5.0\text{mm}$ 、傾斜量で $\pm 3.0\text{ 分}$ となっ

ているので、動体観測を行い、安全性の確認を行った。

基礎砕石工 ( $t = 200 \text{ mm}$ )

下層 RC スラブ ( $t = 100 \text{ mm}$ , 溶接金網  $6@150 \text{ mm}$ )

排水パイプ工

(下段;  $100@5000 \text{ mm}$ , 上段;  $75@5000 \text{ mm}$ )

透水マット工 ( $t = 10 \text{ mm}$ )

上部より流れてきた水を速やかにサイドの排水に導くために設置。また、EPS の不陸の調整にも役立つ。

EPS 盛土 + タイブル + 中詰砂

(タイブル; F50T,  $L = 9000@1600 \text{ mm}$ , EPS; (標準ブロック  $1000 \times 2000 \times 500 \text{ mm}$ ))

EPSは、ある一定のひずみ領域内では、繰返し荷重に対して弾性的挙動を示す。一般に、許容圧縮応力内で繰返し荷重に対して弾性的挙動を示すのは、EPSの圧縮ひずみが1%以下と考えられている。そこで、EPSにかかる荷重は、列車荷重、死荷重(軌きょう、バラスト、RC床版)合せて $41.10 \text{ kN/m}^2$  ( $=4.19 \text{ t/m}^2$ )となることから、本工事で使用するEPSはエスレンブロックのD-20(許容圧縮応力 $49.05 \text{ kN/m}^2 = 5 \text{ tf/m}^2$ )とした。写真2にEPSブロック1段目の施工状況を示す。

中間 RC スラブ + コンクリート杭体

(中間スラブ;  $t = 100 \text{ mm}$ , 溶接金網;  $6@150 \text{ mm}$ , コンクリート杭体;  $200 \text{ mm}$ )

RC スラブは、上部からの雨水や鉄道からの油脂等の侵入を防ぐとともに EPS への直射日光(紫外線)を遮断する。また、床版の剛性を高めて応力を分散するので、EPS にかかる応力の軽減を図る効果も期待できる。一般に鉄道盛土においては、床版厚は  $40 \text{ cm}$  までは動変位量の軽減効果が期待できるが、それ以上厚くしても上載荷重の軽減にはならないと考えられている。そのため、上載荷重より最適なスラブ厚を求め  $t = 100 \sim 200 \text{ mm}$  の設計とされた。

コンクリート杭体は列車荷重による動変位を低減し、EPS の圧縮剛性を高めるために設けられた。EPS のみに対して体積比でコンクリート杭体の 2% 改良では 4 倍の初期剛性が得られるとの研究成果<sup>1)</sup>がある。今回のコンクリート杭体 ( $200@1000 \text{ mm}$ ) による改良率は 3.14% となるので、EPS 合成体の初期剛性は 4 倍以上の効果があるものと予想される。

EPS 盛土 + タイブル + 中詰砂

上層 RC スラブ + コンクリート杭体(上層スラブ;  $t = 150 \sim 200 \text{ mm}$ , 鉄筋  $D13@150 \text{ mm}$ )

写真3には、EPS ブロック 1 ~ 12 段目を敷設した後、コンクリート杭体の施工完了状況を示す。

写真4に、上部の RC スラブコンクリートの打設状況を示す。



写真2 EPS ブロック 1 段目施工状況



写真3 EPS ブロック 1 ~ 12 段目敷設完了状況



写真4 RC スラブコンクリート打設状況



## § 4 . EPS 盛土体の長期現場計測

EPSを鉄道の盛土部分に用いる場合には、列車走行時のEPSの振動が乗り心地や保守に与える影響、繰返し荷重载荷によるEPS強度の疲労低下、水平荷重(地震、風、遠心力荷重等)による影響などが懸念される。筆者らは、当現場のEPS盛土完成後、始発列車から10本以上の列車走行時の動的現場計測を行った<sup>5)</sup>。その結果、列車走行時のEPS盛土体の沈下量は0.02～0.53 mm程度で、振動による乗り心地への影響等は無いと判断された。また、EPS盛土は、盛土高さが約5mであることから、その変形量はひずみ量で0.01%程度と極めて小さく、列車走行時のEPS盛土体の挙動は弾性域内であり、繰返し荷重载荷による残留変形は生じないと考えられた。しかしながら、軌道部が複線かつ局部(R=300m)となっている軌道にEPS盛土体を適用した例が無いことから、前述の懸念事項およびについて検討するため、長期現場計測を実施した。計測期間は、EPS盛土体の供用後から約3ヶ年間とした。計測は、EPS盛土上部に定点を設け、EPS盛土体の鉛直変位、水平変位を測量により計測した。計測した箇所は、EPS盛土体のほぼ両端に位置する11k290地点(EPS盛土高さ5.129m)と11k340地点(EPS盛土高さ5.226m)の2地点において、各々3箇所(軌道中心と軌道直角方向の両端部)を計測した。図4に計測箇所の平面図を示す。

## §5 . 計測結果および考察

図5に各々の計測箇所における鉛直変位の計測結果を示す。約3ヵ年経過後の沈下量は、おおよそ20～30 mm程度で、いずれも予想した地盤の圧密沈下量よりも実測値の方が小さく、本施工が安全側であったと判断される。沈下量の最大値は11k290地点で33mmが計測されており、この値はEPS盛土体の0.64%の圧縮ひずみ量に相当する。一般に、繰返し荷重に対してEPSの圧縮ひずみは1%程度までは完全弾性体として挙動することから、前述の値は1%以下と小さくEPSは弾性域で挙動しており、EPS盛土体の圧縮変形による残留変位は生じていないと考えられる。また、沈下の経時変化についても、実測値(図中 )と予測値(図中 )は、ほぼ同様の傾向を示しており、計測した沈下量は粘土層地盤の圧密沈下によるものと推察される。したがって、沈下は粘土層地盤の圧密沈下によるもので、EPS盛土体の鉛直方向への圧縮変形は無く、約3ヵ年という長期において安定であったと判断できる。11k290地点と11k340地

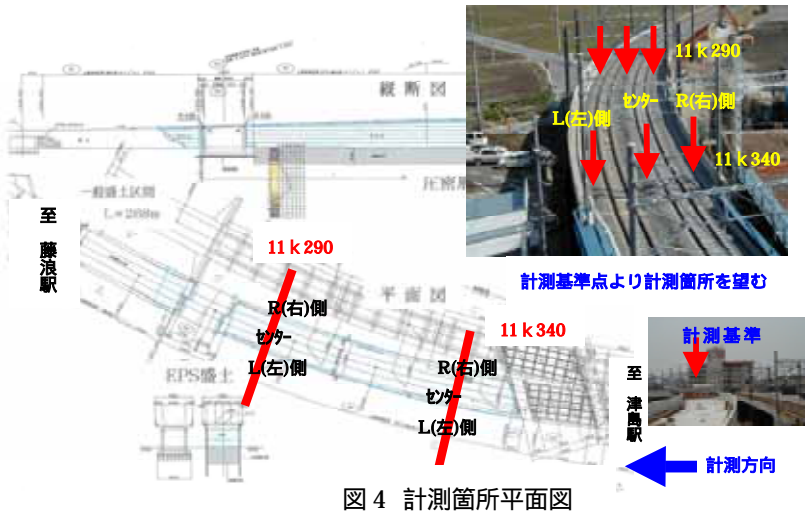
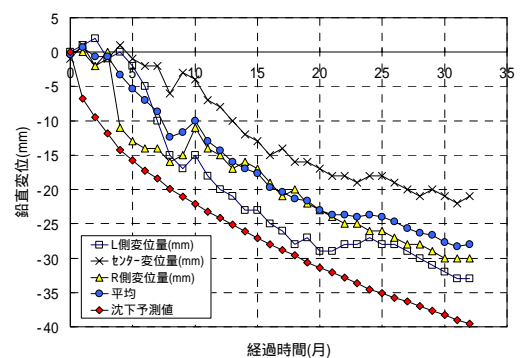
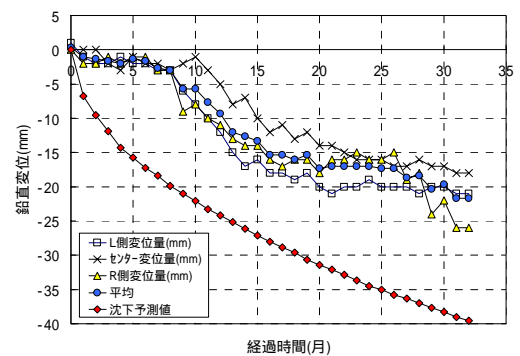


図4 計測箇所平面図



(a)11k290 地点 鉛直変位



(b)11k340 地点 鉛直変位

図5 鉛直変位

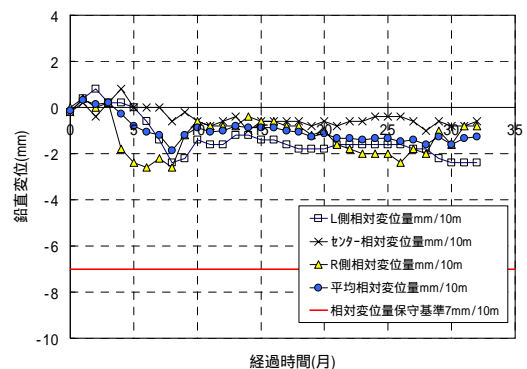


図6 10m 毎の相対鉛直変位

点では、11k 290 地点の方が鉛直変位は大きい。これは、下り線の列車では11k 290 地点で300Rのカーブの出口となり列車が加速を開始する地点であり、遠心力荷重により沈下量が平均値で6 mm程度大きく現れたと考える。図6に計測箇所の沈下量の差分をその路線区間50mで除し、10mを単位とした相対沈下量を示す。図から分かるように、EPS盛土間の相対沈下量は2 mm/10m程度で軌道管理基準の7 mm/10m以下であった。EPS盛土体による軌道への鉛直方向の影響はほとんど無いと考えられる。図7に各々の計測箇所における水平変位の計測結果を示す。水平変位は、約3か年で10～15 mm程度に収束している。11k290 地点と11k340 地点では、11k290 地点の方が水平変位は大きい。これは、前述の鉛直変位と同様に、遠心力荷重により変位量が大きく現れたと考える。図8に計測箇所の水平変位量の差分をその路線区間50mで除し、10mを単位とした相対変位量を示す。図から、10m単位の水平方向の相対変位量は2 mm/10m程度で、軌道管理基準である水平方向の通り7 mm/10m以下であった。本工事に於いて、遠心力による水平荷重のEPS盛土への影響が懸念されたが、水平方向の相対変位量は軌道管理基準を満足しており、水平方向の長期安全性が確認された。ただし、地震荷重や風荷重等の影響については、今後の課題と考える。

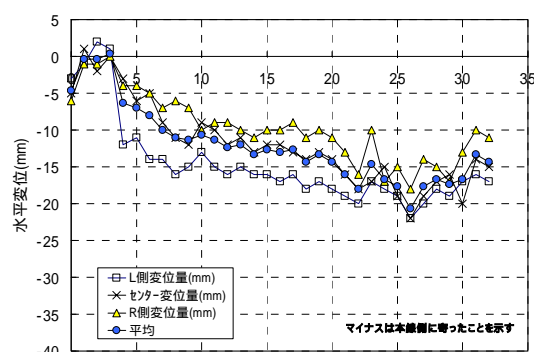
## §6. まとめ

過去に行った動的現場計測<sup>5)</sup>および今回の長期現場計測の結果から、EPS盛土体が列車通過時および長期において、安定していることが分かった。本工事のEPS盛土体の供用期間は約3年間であったが、その間、EPS盛土体は大きな変形等も無く、無事に仮設供用期間を終了した。EPS盛土体が安定していた要因としては、EPS盛土体中の200 mmのコンクリート杭体によるEPS盛土体の圧縮強度および耐久性の向上によるところが大きいと考えられる。今後は、本工事で実施したようなコンクリート杭体等とEPSを用いた複合材料による軽量盛土体を鉄道盛土の本設への適用を期待したい。

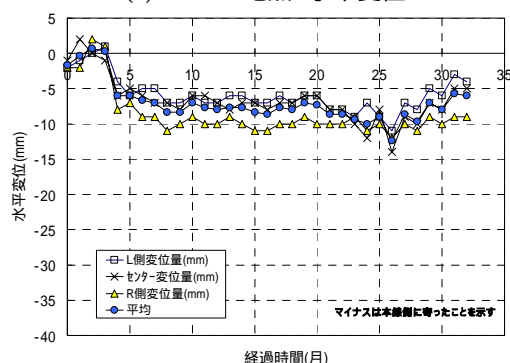
謝 辞 最後に、新技術の導入を積極的に推進された、名古屋鉄道株式会社様、また、技術的な指針を提供された関係各位に深大なる敬意と謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 館山勝, 村田修, 片野田隆宣; 「鉄道盛土への発泡スチロールの適用性」, 基礎工, Vol.18, No.12, 1990.12
- 2) 村田修, 館山勝, 安田祐作; 「発泡スチロールによる盛土の研究」, 鉄道総研報告, Vol.3, No.8, 1989



(a)11k290 地点 水平変位



(b)11k340 地点 水平変位

図7 鉛直変位

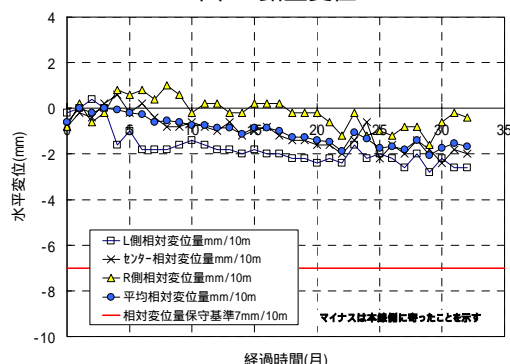


図8 10m 毎の相対水平変位

- 3) 館山勝, 安田祐作; 「発泡スチロールの鉄道盛土への適用に関する研究」, 鉄道総研報告, Vol.4, No.10, 1990
- 4) 相良, 香川, 平野, 根川; 「EPS を用いた鉄道道床における現場計測」, 土木学会第 55 回年次学術講演会, 2000.9
- 5) 相良, 齊藤, 中山, 香川, 平野, 根川; 「EPS を用いた鉄道道床における現場計測」, ㈱フジタ技術研究報告, 第 36 号, 2000



相良 昌男

ひとこと 本報告が、EPS 工法に携わる技術者の方をはじめとする関係各位の参考になれば幸いです。