

路盤材に EPS を用いた道路トンネルの 振動特性評価

村里 静則* ・ 棚橋 由彦**
岡林 隆敏** ・ 蔣 宇静**

Examination of the vibration characteristic during excavation of urban tunnel which used EPS as the subbasecourse material

by

Shizunori MURASATO*, Yoshihiko TANABASHI**
Takatoshi OKABAYASHI**, Yujing JIANG**

Recently, railroad and road are concentrating in the city central part for facilitating city traffic. For this reason, vibration and noise affect significantly surrounding environment. This study is to evaluate the effectiveness of reducing vibration of traffic by using EPS as the subbasecourse material.

1. はじめに

近年、都市交通の円滑化と土地の有効利用の必要性から、鉄道や幹線道路が都市中心部に集中する一点集中型となっている。このため、鉄道や道路交通によって発生した地盤振動が環境問題となっている。特に、今後都市部トンネル施工などはより一層増加が見込まれるため、これらの諸問題の解決が重要となっている。

このような振動・騒音問題の解決策として、鉄道では軌道下に樹脂やゴム等を敷き振動に対して低減効果の有効性が確認されている施工事例はあるが、道路交通に対する施工事例はこれまでほとんどないのが現状である。一方、長崎市では近年の交通量増加や慢性的な交通渋滞緩和のため、都市部においてトンネルが建

設されている。この中で、オランダ坂トンネルは住宅密集地の下を薄い土被りを通るという特徴を有しており、施工中だけでなく、供用後も振動・騒音による近隣生活環境への影響が懸念されている。

供用後の道路交通による振動を低減させる有効な対策を検討するために、本研究では、供用前のトンネルを利用して、試験的に路盤材に EPS (Expanded Polystyrene) を用い、振動低減に対する有効性を評価するための実験的検討を行った。

本論文では、試験現場に用いた EPS のモデル構造を紹介した上で、EPS の厚さを変化させて振動低減効果を詳細に考察する。それを基に、新規道路トンネルの振動低減対策について提言を行う。

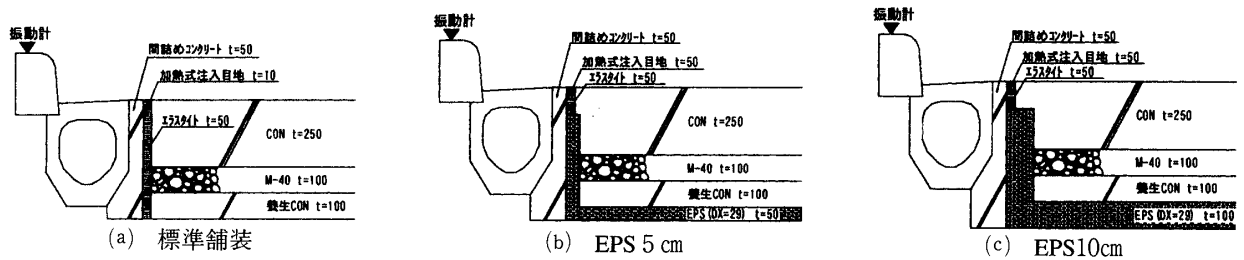


図-1 トンネル断面における EPS の打設状況

平成14年10月25日受理

*長崎県土木部道路建設課 (Nagasaki Prefecture Office)

**社会開発工学科 (Department of Civil Engineering)

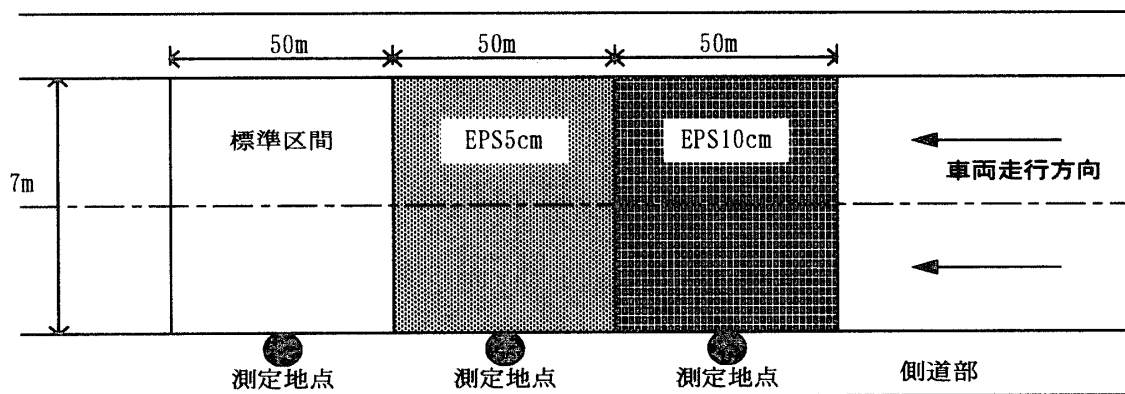


図-2 トンネルの縦断方向における振動測定点配置図

2. 振動測定方法と特徴

振動低減効果を考察するために用いたEPSは、図-1(b)(c)に示すように、路盤の最下部に厚さ5cmと10cmの2種類を路盤の最下部に設置した。各施工区間長は50mである。また、振動によるEPSの破損を防ぐために、EPS上部には10cmの養生コンクリートを打設した。

2.1 振動測定位置

測定位置は、トンネルの側道部とし、各舗装区間の中央部に配置した。振動計の測定方向は、X成分がトンネル縦断方向、Y成分がトンネル横断方向、Z成分が上下方向である。

図-2に測定点位置図を示す。

2.2 振動測定機器

測定には、公害用振動計を用い、振動加速度レベルでデータレコーダに収録した。

表-1に測定機器の仕様一覧表を示す。

表-1 測定機器仕様一覧表

| 測定機器 | 主な仕様 | 数量 | 製作所 |
|-----------------------|--|----|---------|
| 振動レベル計 (VM-52) | 測定範囲：30～120dB 周波数範囲：1～90Hz | 3 | 株リオン |
| デジタルデータレコーダ (RD-200T) | 成分数：最大16ch 周波数特性：DC～2.5KHz (16ch 使用時) 入力インピーダンス：100kΩ 入力電圧：±0.5, 1, 2, 5, 10, 20 VA/D 変換：16bit | 1 | TEAC(株) |

2.3 試験車両及び走行方法

試験車両には、乗用車と空荷の20tダンプトラックおよび積載した20tダンプトラックの3種類を用いた。また、測定パターンは、測定車両、走行速度、台数、走行車線を変化させて、計28ケースの測定(表-2)を行った。

表-2 測定パターン一覧表

| 車種 | 走行車線 | 走行台数(台) | 走行速度(km/h) |
|----------|------------|---------|------------|
| 乗用車 | 手前側 (振動計側) | 1 | 30 |
| | | | 40 |
| | | | 50 |
| | | | 60 |
| | 反対側 | 1 | 30 |
| | | | 40 |
| | | | 50 |
| | | | 60 |
| | 上下車線 | 6 (各3台) | 30 |
| | | | 40 |
| | | | 50 |
| | | | 60 |
| ダンプ (空荷) | 手前側 | 1 | 30 |
| | | | 40 |
| | | | 50 |
| | | | 60 |
| | 反対側 | 1 | 30 |
| | | | 40 |
| | | | 50 |
| | 上下車線 | 6 (各3台) | 30 |
| | | | 40 |
| | | | 60 |
| ダンプ (積載) | 手前側 | 1 | 30 |
| | | | 40 |
| | 反対側 | 1 | 30 |
| | | | 40 |
| | 上下車線 | 6 (各3台) | 30 |
| | | | 40 |
| | | | 60 |
| | | | 60 |

3. 振動測定結果と考察

3.1 振動の卓越方向について

表-3 および図-3 に、20 t ダンプトラック（空荷）1 台の40km/h 走行時の測定結果を示す。また、図-4 には標準区間における振動波形記録例を示す。同図表に示すように、トンネル坑内の側道部ではトンネル横断方向（Y成分）の振動が最も大きな値を示しており、次が上下動方向（Z成分）、最も小さいのがトンネル縦断方向（X成分）であることが明らかとなった。この傾向は、各種走行車両や各種走行速度でも同様な傾向である。

一般的には、上下動成分が最も大きな値を示すが、本測定ではトンネルの横断方向が最も大きな値を示しており、トンネルの構造に起因する現象ではないかと考えられる。

表-3 振動加速度レベル測定結果 (単位: dB)

| 走行車種 | 施工種目 | X成分 | Y成分 | Z成分 |
|---------------------|-----------|-----|-----|-----|
| 20 t ダンプ 1台 (空荷) | 標準舗装 | 52 | 65 | 58 |
| | EPS 5 cm | 49 | 57 | 53 |
| 40km/h | EPS 10 cm | 49 | 58 | 56 |
| | 標準舗装 | 38 | 51 | 44 |
| | EPS 5 cm | 36 | 43 | 36 |
| 乗用車 1台 40km/h | EPS 10 cm | 37 | 45 | 43 |

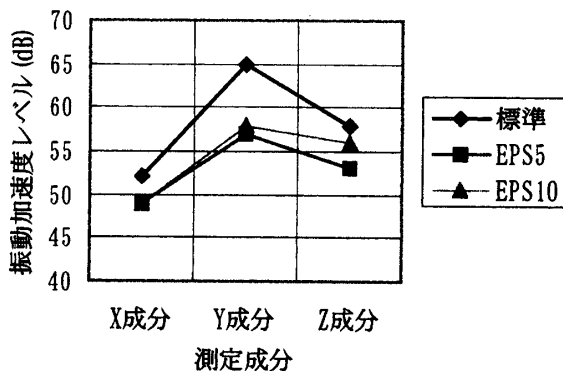
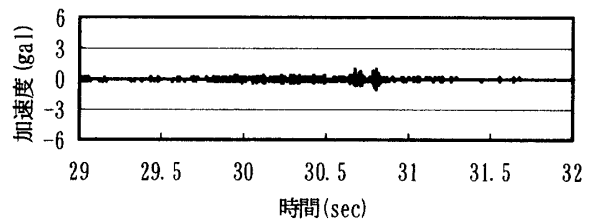


図-3 振動波形記録例
(標準区間 20 t ダンプトラック(空荷) 1台
40km/h)

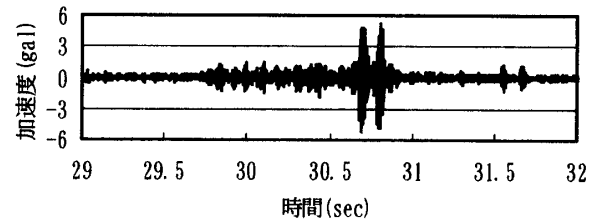
3.2 EPSの振動特性について

EPS は路盤材やコンクリート舗装版に比べると弾性係数が非常に小さいことから、一種のバネの役割を果たし、振動の低減が期待される。そこで、今回実施した測定の内、代表的な車両の測定結果を表-3 および図-5 に示す。また、振動の大きなY成分の加速度波形記録例を図-6 に示す。

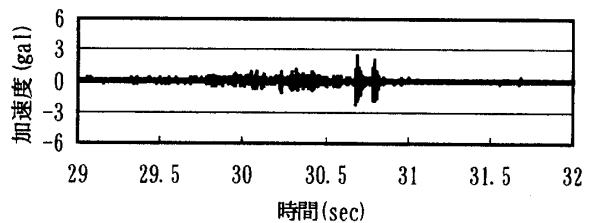
図-5 に示すように、各測定成分の振動加速度レベルは、標準舗装区間が最も大きな値を示しており、EPS



(a) 標準-X



(b) 標準-Y



(c) 標準-Z

図-4 振動波形記録例

厚さ 5 cm および EPS 厚さ 10 cm の施工区間では、振動の大きさが標準舗装区間より小さな値を示している。特に、EPS 厚さ 5 cm の施工区間の振動が小さくなる傾向が顕著であり、EPS の層厚にもより振動の低減効果に変化があることが判明された。

3.3 走行速度と振動の加速度レベルとの関係

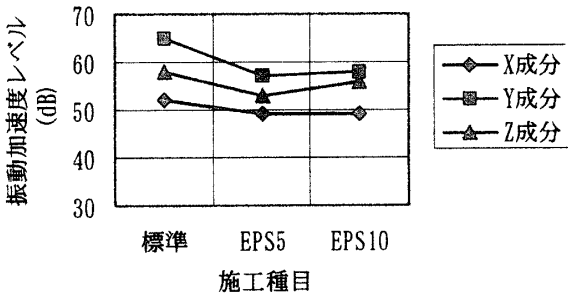
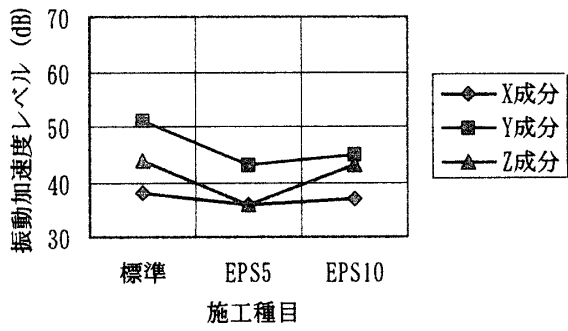
現場試験では車両の走行速度を30km/h~60km/h と設定し振動測定を行った。

表-4 および図-6 に20 t ダンプトラック（空荷）1 台の測定結果を示す。図-7 のように、振動加速度レベルと車両の走行速度の関係は比例関係にあり、EPS 厚さ 10 cm の区間の増加率がやや大きな傾向を示す。

各施工種目および測定成分における振動加速度レベル(d)と走行速度(u)の関係は次のように得られた。

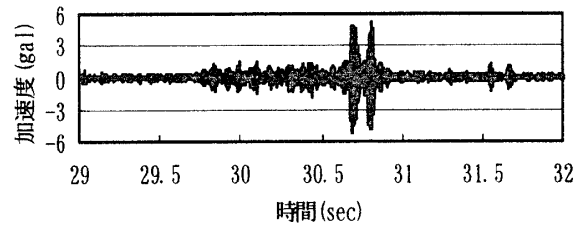
3.4 周波数特性について

測定で得られた波形記録をもとに、周波数分析を実施した。図-8 に周波数分析を行ったフーリエスペクトルの結果を示す。図から分かるように、標準舗装区

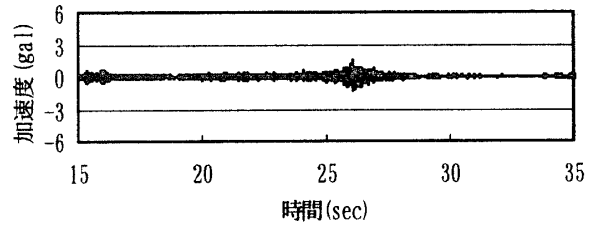


(b) 20 t ダンプトラック (空荷)
1台 40km/h

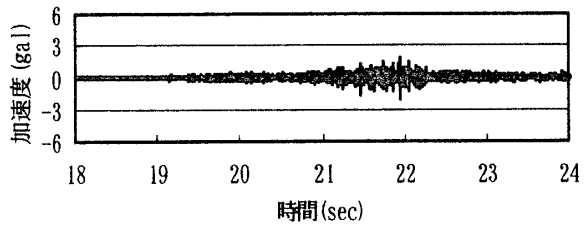
図-5 振動加速度レベル測定結果



(a) 標準-Y



(b) EPS 厚さ 5 cm-Y



(c) ESP 厚さ10cm-Y

図-6 加速度波形記録例

表-4 振動加速度レベル一覧表

| 施工種目 | 測定成分 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|-------------|------|------|------|------|------|
| | | km/h | km/h | km/h | km/h |
| 標準施工 | X成分 | 51 | 52 | 54 | 55 |
| | Y成分 | 62 | 65 | 66 | 67 |
| | Z成分 | 59 | 58 | 61 | 60 |
| EPS 厚さ 5 cm | X成分 | 46 | 49 | 50 | 53 |
| | Y成分 | 58 | 57 | 56 | 60 |
| | Z成分 | 51 | 53 | 54 | 56 |
| EPS 厚さ 10cm | X成分 | 48 | 49 | 55 | 53 |
| | Y成分 | 56 | 58 | 60 | 63 |
| | Z成分 | 53 | 56 | 60 | 61 |

標準区間 (EPS を用いない)

X成分 $d = 0.14u + 46.7$
 Y成分 $d = 0.16u + 57.8$
 Z成分 $d = 0.06u + 56.8$

EPS 厚さ 5 cm 区間

X成分 $d = 0.22u + 39.6$
 Y成分 $d = 0.05u + 55.5$
 Z成分 $d = 0.16u + 46.3$

EPS10cm 区間

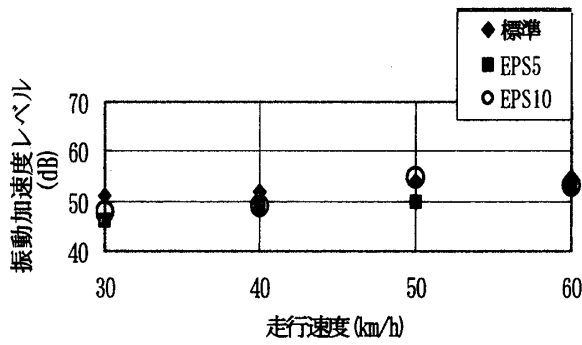
X成分 $d = 0.21u + 41.8$
 Y成分 $d = 0.23u + 48.9$
 Z成分 $d = 0.28u + 44.9$

間の卓越周波数は概ね80~110Hz 付近で、トンネル横断方向 (Y成分) の振動が卓越することが伺える。また、EPS 厚さ 5 cm 区間もやや低周波側へ移行する傾向が見られるが、卓越周波数は概ね50~100Hz 付近である。これに対して、EPS 厚さ10cm 区間では、卓越周波数が低周波成分側に移行し、30~50Hz 付近にピークが存在する。この傾向は振動が小さいX成分とZ成分が顕著である。

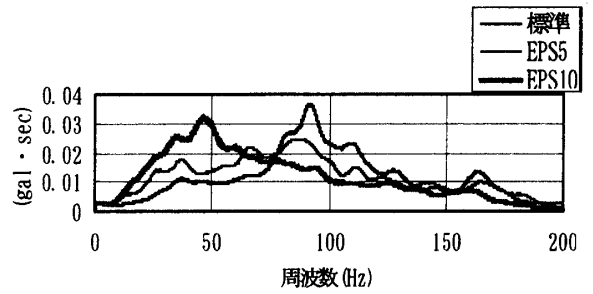
4. おわりに

実トンネルでの振動計測を行った結果、EPS は車両走行による交通振動を低減させる効果があることが判明できた。このことから、低土被り部における交通振動対策には EPS を路盤材として用いれば十分に効果を発揮するものと考えられる。ただし、経済性を考慮すると一般舗装と比較し約6割程度高くなるため、以下に示すような今後の検討が必要である。

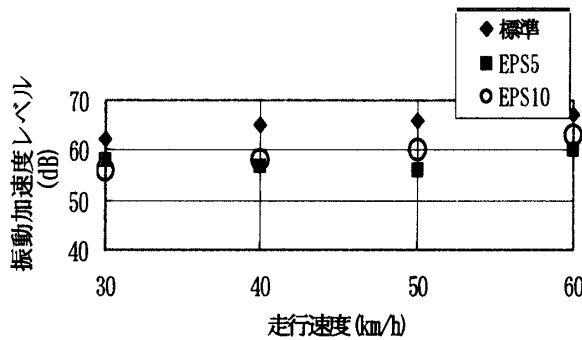
- ① 地上部での交通振動予測
- ② 施工範囲の検討
- ③ 耐久性の問題



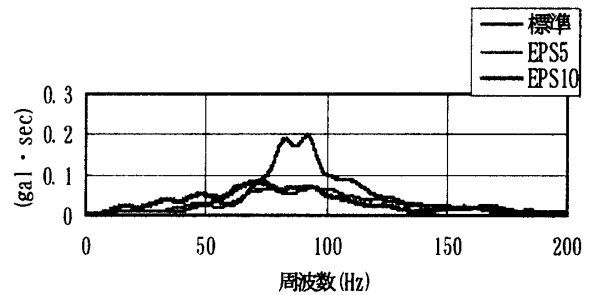
(a) X成分



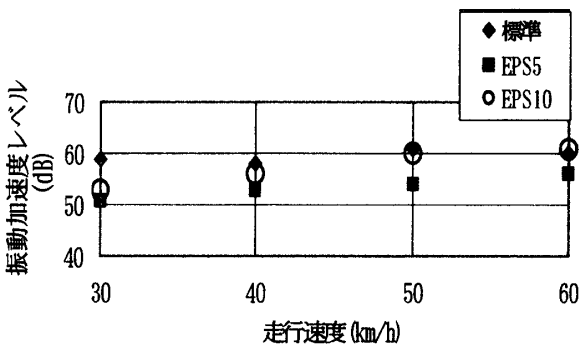
(a) X成分



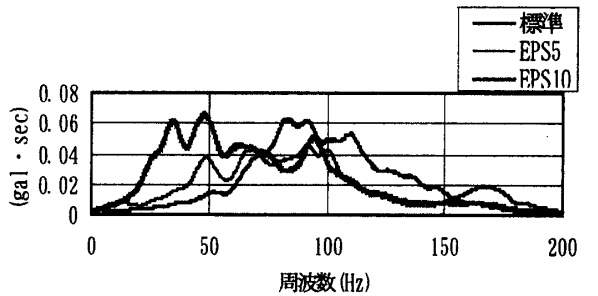
(b) Y成分



(b) Y成分



(c) Z成分



(c) Z成分

図-8 フーリエスペクトル分析結果

図-7 振動加速度レベル測定結果図

①については、今後、現地で実際に発生する交通振動を実験によって予測し、影響範囲の検討を行わなければならない。この結果をもとに施工範囲を決定する必要がある。また、1日に一万台前後の交通量が予測されているため、EPSの耐久性を予め検討する必要がある。

計測を実施したトンネルの交通量は、供用前約3,300台/日から供用後5,400台/日と伸びを示しており、半年後での検証では異常は見られない。現場施工中のオランダ坂トンネル交通量も12,200台/日であるが、2本のトンネルで上下分離するため約6,100台/日とすると、計測トンネルと同程度の振動低減効果が期待できると考えられる。

参考文献

- 1) 早川 清・澤武正昭・村田裕計・仲尾 浩：発泡スチロールを使用した地盤振動対策，環境技術，Vol.19, No.4, pp.40~45, 1990.
- 2) 長崎県出島バイパス事務所・応用地質株式会社：一般国道324号道路改良工事（振動・騒音聞き取り調査委託）報告書，2000.