

防振ゴムを利用した振動軽減型舗装の開発

伊藤 彰彦・山脇 宏成・福原 義樹

交通量の増加や車両の大型化が進行し、車両による振動はもとより、地下交通網の発達による振動も増加している。環境問題として騒音に次いで多く発生しているこれらの振動は、地盤を介して建築物に伝達されることから特に都市部周辺において振動による環境悪化が懸念されている。そこで、舗装部分で交通振動を大幅に軽減できる技術の研究開発を行い、試験施工において良好な結果が得られた。

本稿では、振動軽減型舗装の基本構造や防振ゴムの基礎実験、試験施工と振動測定結果について報告する。

キーワード：道路、環境問題、交通振動、振動軽減、舗装、防振ゴム、振動加速度レベル、振動特性、高強度 RC プレキャスト版

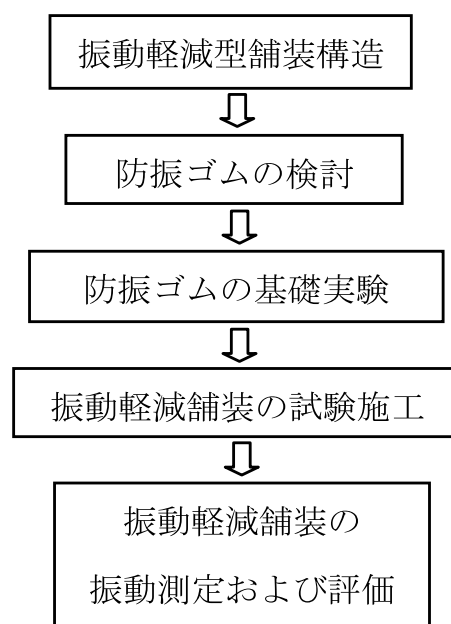
1. はじめに

道路交通網が整備されるとともに交通量の増加や車両の大型化が進行し、車両による振動はもとより、地下交通網の発達による振動も増加している。環境問題として、騒音に次いで多く発生しているこれらの振動は、地盤を介して建築物に伝達されることから特に都市部周辺において振動による環境悪化が懸念されている。振動対策のひとつとして地盤改良等が有効であるが、現道での施工は規制面や工期面等で問題があるとともにどのような地盤改良が振動低減に有効であるかが明確になっていない。そこで、短期間で施工が可能であり、舗装部分で交通振動を大幅に軽減できる技術の研究開発を行い、その内容¹⁾について報告する。

2. 研究開発概要

舗装構造は、路盤上に下部スラブを構築し、その上に防振ゴムを配置し、さらにその上に上部スラブを設置する構造を基本とした。走行車両の卓越振動数に対し、防振ゴムが固有振動数を下げることにより振動を減衰させ下部スラブへの振動を軽減させることから、振動軽減効果の大きい防振ゴムの性状を確認するための基礎実験を行った。この実験で得られた結果から防振ゴムの形状、硬度、配置等を決定し、独立行政法人土木研究所内舗装走行実験場に 40 m 程度の試験舗装を施工し、荷重車による 49 kN 換算輪数で 119 万輪

走行させた。試験舗装の耐久性を確認するとともに 39 万、79 万、119 万輪時において振動レベル、周波数特性等を確認するための振動測定を実施し、振動軽減型舗装の評価を行った（図—1）。



図—1 開発のフロー

3. 振動軽減舗装の検討内容

(1) 基本構造

振動軽減型舗装の基本構造は図—2 に示すとおり、

路盤上に下部スラブを構築し、その上に防振ゴムを配置し、上部スラブとして急速施工を行うための高強度RCプレキャスト版²⁾を設置する構造で表層にSMA舗装を施した。

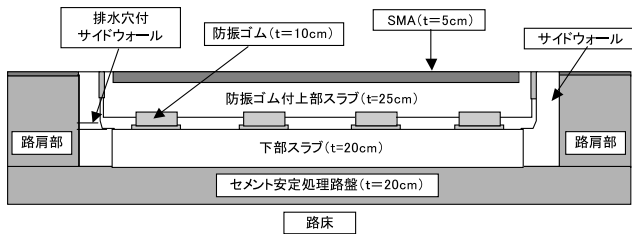


図-2 構造断面図

(2) 防振ゴム

防振ゴムは、車両によって振動する上下の振幅を減衰させ、下部スラブに伝達する振動を抑制する機能をもたなければならない。この機能を確認するために、防振ゴムにバネ値を入力した二次元解析ならびに防振ゴム単体での基本実験を実施した。

(a) 防振ゴムの硬さ (バネ値)

上部スラブの重量および車両重量 (軸重 12t) がプレキャスト版に作用した場合のゴムの変形量が 10 mm 未満になるバネ値を算出した。解析は上部スラブを一樣なバネ値を持つ防振ゴムが支持しているとした梁で解析した。解析結果は、防振ゴム 1 個当たりのバネ定数が 5000 kN/m となったが、上部スラブの自重は常に防振ゴムにかかっていることから、防振ゴムの変形量としては、車両が載ったときに変形する量が問題となり、室内試験で使用する防振ゴムバネ定数を 3000 kN/m とした。

(b) 防振ゴムの形状

輪荷重 (活荷重) による防振ゴムの変形量は、先の解析から 10 mm 以下に設定したため、その形状は二重円筒形とし、外側の円筒部分が上部スラブと接着され、内側の円筒部分は外側の円筒部より高さが 10 mm 低い形状とした (図-3)。これにより想定外

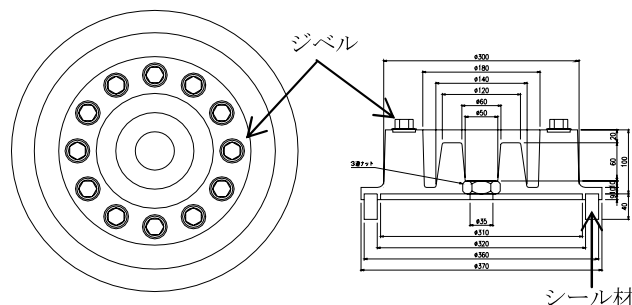


図-3 防振ゴム形状

の重車両が走行したことで、外側の円筒部分が 10 mm 以上変形しても内側の円筒部分が変形を防止できる形状とした。

(c) 防振ゴムの高さ

防振ゴムの耐久性を考慮すると、ゴムの高さに対し 10 % の変形が許容変形量と想定されたため、検討している防振ゴムの高さを 100 mm とした。

(d) 配置

図-4 に示すように上部スラブにおいて防振ゴムを取り付ける部分は 17 cm 厚とし、それ以外は 25 cm 厚とした。防振ゴムの取り付け位置は目地の直下とし、4 個の防振ゴムを上部スラブの接続に使用するコッター式継手³⁾の中間に配置した。

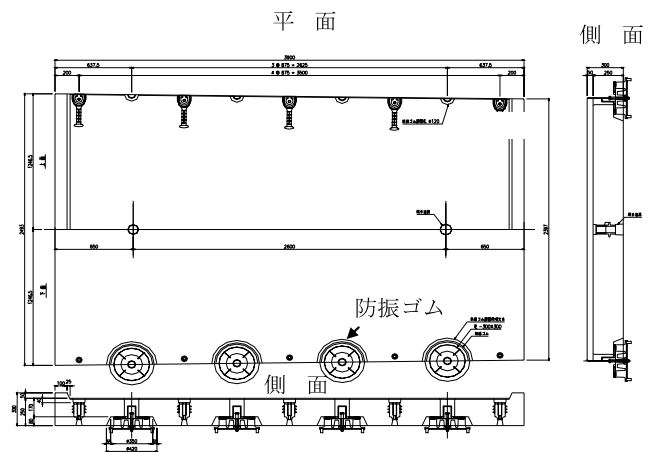


図-4 防振ゴム位置図

(3) 端部構造

上部スラブと下部スラブの空間に異物が入り込むと振動軽減機能や防振ゴムの耐久性が低下する。異物の混入を防止するために図-5 に示すような L 型サイドウォールを設け、サイドウォールと上部スラブとの間は 10 mm 程度離し、変形に対して追従性の大きい目地材を施す構造とした。

4. 防振ゴムの基礎実験

(1) 実験内容

解析より求められたバネ定数を持つ防振ゴムが交通振動に対し有効であるかを確認するために、上部スラブ-防振ゴム-下部スラブ系の実物大に近いモデルで振動実験を実施した。実験は、図-6 に示すような試験体の打点位置においてバングマシン (JIS A 1418 に準拠) で衝撃を与え、各測点で振動レベルを測定した。防振ゴムのバネ定数は 2,000, 3,000 kN/m の 2 種類の円筒形の防振ゴム (写真-1) と 300 ×

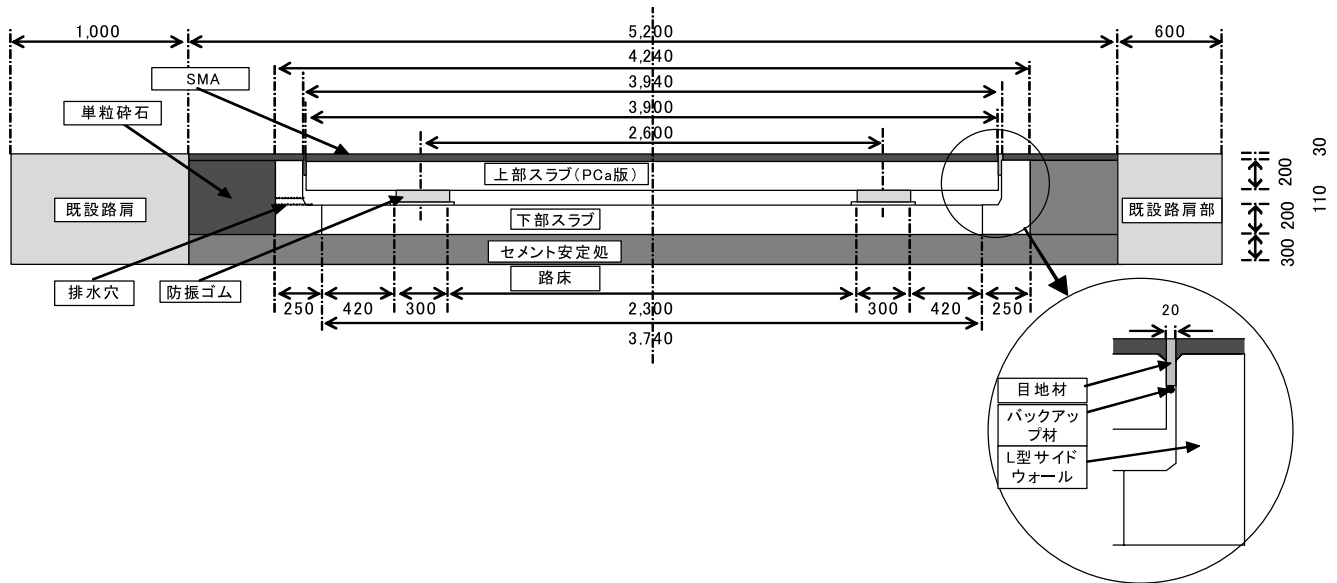


図-5 端部構造図

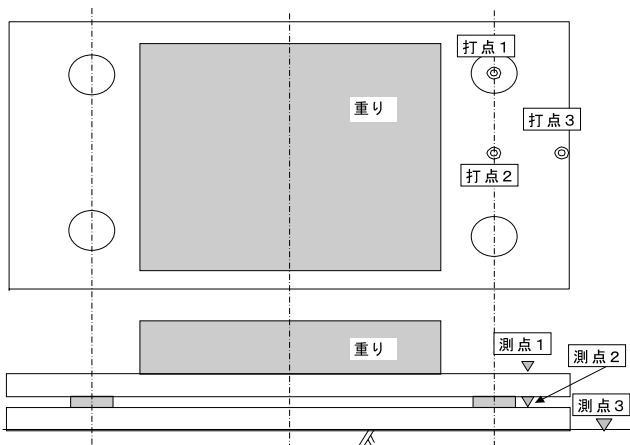


図-6 試験体および測点



写真-1 防振ゴムの形状

300 × 50 mm でバネ定数が 2,000 kN/m の板状防振ゴムを使用し試験を行った。なお、上部スラブ上には、実際に車両が載った場合を再現するため、防振ゴムが 10 mm 程度変形するような重りを設置した。

(2) 実験結果

実験結果を表-1 に示す。測点 3 (路盤上で計測)

の振動レベルに着目すると、円筒形 2,000 kN/m の防振ゴムが打点の位置に関わらずすべて振動レベルが 60 dB 以下になっている。また、同一バネ定数である円筒形防振ゴムと板状防振ゴムで比較すると、同じバネ定数であっても形状が変わると振動レベルが異なることが分かる。したがって、振動軽減効果が高い防振ゴムの形状およびバネ定数は、円筒形 2,000 kN/m の防振ゴムとした。

表-1 実験結果 (単位: dB)

バネ定数 (kN/m)	測点 打点	1	2	3
		2,000 (円筒形)	1	83.5
	2	81.1	56.0	56.6
	3	83.4	58.0	58.6
3,000 (円筒形)	1	78.8	61.4	62.5
	2	79.1	61.9	63.0
	3	82.5	66.3	67.0
2,000 (板状)	1	77.8	57.2	58.9
	2	75.6	58.3	60.8
	3	79.4	61.7	63.6

5. 試験施工

(1) 施工フロー

試験施工のフロー図を示す (図-7)。

(2) 施工状況

(a) セメント安定処理路盤工

セメント安定処理路盤は、既設舗装体を撤去後に既設路床面を下げ、転圧後路盤材 (粒調碎石) を敷均し、セメント系固化材を路盤面に均等に散布し、スタビラ

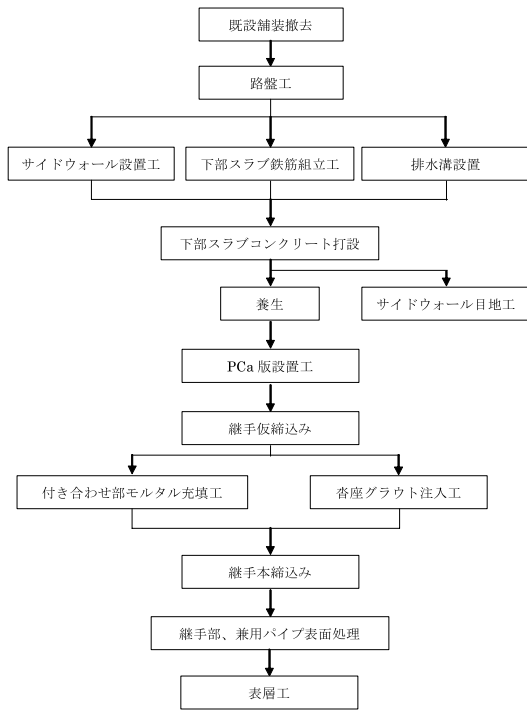


図-7 試験施工フロー図

イザーにより攪拌した後、タイヤローラにて転圧し構築した。

(b) 下部スラブ工

下部スラブ工は、左右のL型サイドウォールをプレキャスト部材とし、中央部を現場打ちコンクリートとし、L型サイドウォール設置工、鉄筋組立工、コンクリート打設工に分けて施工した(写真-2)。L型サイドウォール同士の接続はボルト式継手にて接続し、継手に生じる隙間は、コンクリート打設時にモルタルにて充填した。



写真-2 下部スラブ設置

(c) 上部スラブ工

上部スラブは、防振ゴム付RCプレキャスト版をトレーラにて現場に搬入し、50tラフタークレーンを使用して設置した(写真-3)。防振ゴムと下部スラブの隙間にグラウト材を充填することで上下スラブと防振ゴムを一体化させた。



写真-3 上部スラブ設置

(d) 表層工

表層材は、上部スラブの上には砕石マスチックアスファルト混合物(SMA)を使用した。SMAをアスファルトフィニッシャーで舗設し、振動ローラ、マカダムローラ、タイヤローラで転圧して仕上げた(写真-4)。



写真-4 試験舗装完成

(e) 端部目地工

表層材の温度が完全に下がってからL型サイドウォールと上部スラブの間をカッターで切断し、切断部を洗浄し完全に乾いてからプライマーを塗布し、速硬化形変成シリコンシーラントを注入した。

6. 追跡調査

(独)土木研究所舗装走行実験場において荷重車による促進載荷を行い耐久性および振動軽減効果の確認を実施した。

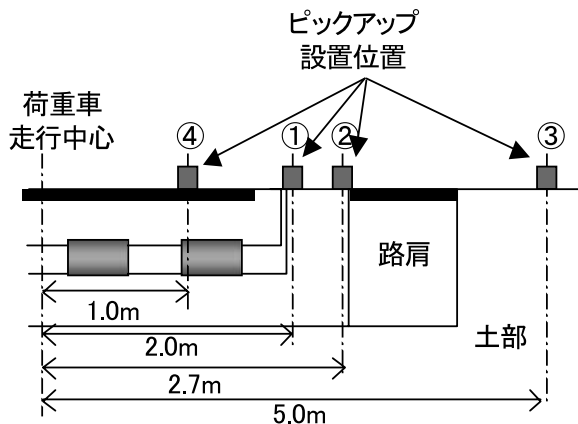
(1) 振動測定の概要

加振源として後軸荷重58.8 kN, 117.6 kNの荷重車による走行とFWD (Falling Weight Deflectometer)により49 kNの衝撃荷重を荷重車走行中心位置で載荷した場合の3通りとした(写真-5)。振動測定位置は施工延長の中央位置とし、振動測定用のピックアップ

ップは、図—8に示すように荷重車走行中心から1.0 m, 2.0 m, 2.7 m, 5.0 m (加振源が荷重車の場合は1.0 mを除く)の位置に設置して測定した。なお振動測定は、施工直後と促進载荷時で累積49 kN換算輪数が39万, 79万, 119万輪時に実施した。また、比較用として振動軽減型舗装に隣接する密粒度アスファルト舗装工区で同様に測定を実施した。



写真—5 試験荷重車走行状況



図—8 振動測定位置

(2) 施工直後の振動測定結果

施工直後の荷重車による振動加速度レベルの測定結果の一例を表—2に示す。なお、振動加速度レベル値は、測定した振動加速度レベルのピーク値(Z方向)を示しており、10回の測定の平均値としている。表—2は、標準的な舗装である密粒度アスファルト舗

表—2 施工直後の振動加速度レベル

	载荷条件	測定位置 (m)			
		1	2	2.7	5
密粒度 工区	117.6kN	—	74.9	70.3	68.5
	58.8kN	—	74.7	70.7	72
	FWD	90	84.4	80.1	80.9
振動軽減 型舗装 工区	117.6kN	—	66.2	62.8	64.3
	58.8kN	—	67.7	64.0	64.7
	FWD	93	74.4	70.7	64.7

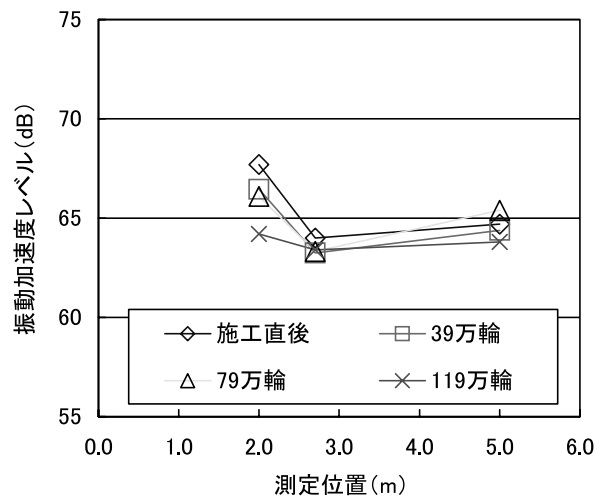
装と振動軽減型舗装の施工後の振動測定結果を比較したものである。表—2より隣接する密粒度アスファルト舗装と比べると路肩部(2.7 m地点)で、試験荷重車による振動加速レベルの軽減は6.7~7.5 dBであり、FWD試験においては9.4 dB軽減していることからかなりの振動軽減効果が確認された。

(3) 促進载荷後の振動測定結果

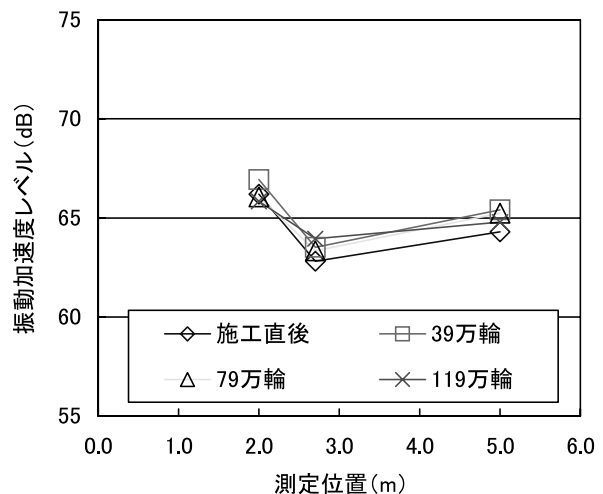
(a) 試験荷重車による測定

施工直後、促進载荷試験で累積49 kN換算輪数が39万輪, 79万輪および119万輪に達した時に、軸重58.8, 117.6 kNに調整された荷重車を走行させ、振動測定した結果を図—9, 10に示す。

軸重58.8 kNの試験荷重車による振動測定では、測定位置が2 mで119万輪通過後の振動加速度レベルに若干の差があったが、2.7, 5 mの位置の各通過回



図—9 促進载荷後の振動加速度レベルの測定結果 (荷重条件: 58.8 kN, 50 km/h)



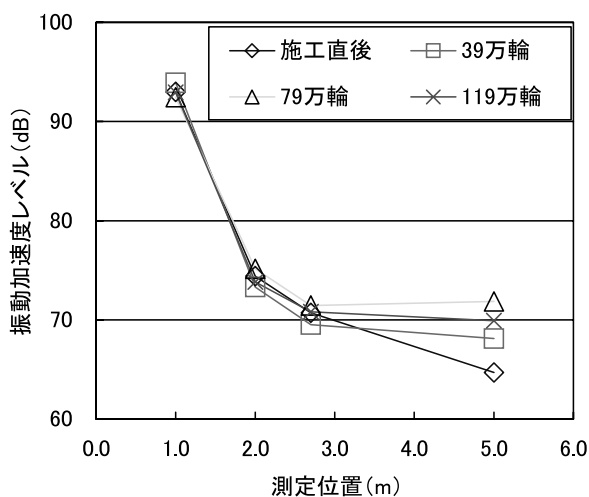
図—10 促進载荷後の振動加速度レベルの測定結果 (荷重条件: 117.6 kN, 50 km/h)

数の振動加速度レベルがほぼ同程度である。また軸重 117.6 kN の試験荷重車による振動測定では、施工直後および各通過回数で振動加速度レベルに差が見られないことから、促進载荷試験により路面性状が変化しても振動加速度レベルが大きく変化することがなく、振動軽減効果が施工直後の状態を維持していると考えられる。

また、走行路の横断方向について比較すると、試験荷重車の軸重 58.8 kN および 117.6 kN の測定では、走行路の範囲外の L 型サイドウォール上である 2.0 m では 66 dB 前後、2.7 m では 64 dB 前後、土部である 5 m の位置では 65 dB 前後であり、走行路の範囲外であれば位置的な差や換算輪数による差がないことが確認できた。

(b) FWD 試験

図—11 は促進载荷による振動軽減型舗装自体の振動特性の変化を把握するために行った FWD による振動測定結果である。これによると測定位置 5 m の地点（土部）では、通過回数毎で若干の差が見られるが、そのほかの測定位置ではほぼ同程度の振動加速度レベルとなっている。このことから振動軽減型舗装自体の振動特性は、促進载荷による変化はほとんどないと考えられる。また、この測定では走行路の範囲内である 1.0 m の位置では振動加速度レベルが 93 dB 前後であることに対し、走行路の範囲外の L 型サイドウォール上である 2.0 m では 74 dB 前後、2.7 m では 70 dB 前後、土部である 5 m の位置では 68 dB 前後であり、走行路の範囲内外でおよそ 19 ~ 25 dB の差が確認で



図—11 促進载荷後の振動加速度レベルの測定結果 (荷重条件: FWD)

きた。

7. まとめ

試験荷重車による振動軽減型舗装の効果は、施工直後において密粒度アスファルト舗装と比べると振動加速レベルで 4.2 ~ 8.7 dB 程度の軽減が確認できた。振動軽減型舗装における耐久性の検証や促進载荷による振動特性の変化を確認した結果、119 万輪の载荷回数で路面の破損もなく、振動軽減効果の持続性も良好であった。

今後の課題としては、この工法の施工単価が非常に高いことや現道における道路周辺地盤の影響を考慮した設計が必要となり適用箇所が限定されることである。今後の方向性として今回の試験舗装をモデル化し、三次元 FEM 解析による設計やシミュレーションによる評価⁴⁾を確立することで振動軽減型舗装をできるだけ多くの箇所に展開できるよう開発を進めたい。

JICA

《参考文献》

- 1) 土木研究所ほか：交通振動の軽減のための舗装技術の開発共同研究報告書，土木研究所共同研究報告書，[290]，(2003.2)
- 2) 八谷ほか：RCプレキャスト版舗装による空港誘導路の急速補修，土木学会論文集 F，62 [2]
- 3) 伊藤ほか：土木学会舗装工学論文集（第8巻）
- 4) 飯田ほか：路盤以下に面新構造を持つ舗装の振動低減効果の解析，土木学会第58回年次講演会

[筆者紹介]



伊藤 彰彦 (いとう あきひこ)
ガイアート T・K
新事業推進室
RC プロジェクトリーダー



山脇 宏成 (やまわき ひろなり)
ガイアート T・K
技術研究所
主任研究員



福原 義樹 (ふくはら よしき)
ガイアート T・K
新事業推進室
RC プロジェクトチーフ