

# 実物大実験による CFA 安定処理路盤の 路床負荷軽減効果の検証

富澤健<sup>1</sup>・五傳木一<sup>2</sup>・岡部俊幸<sup>2</sup>・海老澤秀治<sup>3</sup>・金井利浩<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 正会員 鹿島道路技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1)  
E-mail: tomisawa@kajimaro.com.jp

<sup>2</sup> 正会員 鹿島道路技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1)

<sup>3</sup> 正会員 鹿島道路技術部 (〒112-8566 東京都文京区後楽 1-7-27)

<sup>4</sup> 正会員 博(工) 鹿島道路技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1)

セメント・フォームドアスファルト (CFA) 安定処理路盤に関して、著者らは環境保全の観点からセメントの散布および混合時における飛散を防止するためセメントをスラリー化して利用する工法を開発し、その優れた防塵性と耐久性を実物大の促進載荷試験により確認した。CFA 安定処理した舗装が良好な耐久性を有する理由は、路盤自体の強化の他、荷重分散性の向上による路床負荷の軽減が考えられるが、それを定量的に調べた事例は少ない。そこで、実物大試験において路床上面に設置した土圧計およびひずみ計の応答データを用い、CFA 安定処理路盤の荷重分散性を評価した。その結果、CFA 安定処理路盤が路床ダメージの軽減については舗装の長寿命化に寄与することが確かめられた。

*Key Words* : CFA stabilized base, load dispersion, subgrade damage, pavement life, accelerated loading test

## 1. はじめに

路上路盤再生工法の中でも適度な剛性とたわみ性を有し、耐久性に優れたセメント・フォームドアスファルト (CFA) 工法が注目されている。当該工法は、工事用道路への適用事例も多く、その際は表層としてアスファルト混合物層を施工しないのが一般的である。著者らは環境保全の観点からセメントの散布および混合時における飛散を防止するためセメントをスラリー化して利用する工法を開発し、先般、実物大の促進載荷試験 (表層なしの断面) によりその優れた防塵性と耐久性を確認した<sup>1)</sup>。

このように CFA 安定処理路盤が優れた耐久性を有している理由としては、安定処理による路盤自体の強化の他、当該路盤による輪荷重の分散効果をもたらす路床負荷の軽減が考えられる。しかし、わが国においては、実際の輪荷重による路床応答を実測した事例<sup>2,3)</sup>は少なく、安定処理路盤の荷重分散効果について調べた研究はほとんどないのが現状である。

そこで、本研究では促進載荷試験ヤードの路床上面に埋設した土圧計およびひずみ計により測定した、輪荷重に対する路床応答に基づき、CFA 安定処理路盤の荷重分散性を評価するとともに、路床ダメージの軽減効果についても併せて試算したので、以下に報告する。

## 2. 促進載荷試験の概要

促進載荷試験の概要は、以下に述べるとおりである。なお、試験の詳細については参考文献 1) を参照されたい。

### (1) 試験ヤード

#### a) 所在地

埼玉県北葛飾郡栗橋町大字高柳 2600  
(鹿島道路(株)栗橋テクノセンター構内)

#### b) 舗装断面 (図-1 参照)

設計 CBR は 6 であり、スタビライザーを用いて既設舗装を厚さ 200mm 破碎混合した後に CFA 安定処理を行っている。なお、CFA 安定処理後の断面は舗装計画交通量 40 以上 100 台/日・方向未満の交通量区分 N<sub>3</sub> 相当 (疲労破壊輪数: 30,000 回) である。

#### c) 評価対象工区と計器の埋設位置 (図-2 参照)

試験ヤードは、比較工区として一般的な粉体セメントを使用した CFA 安定処理工区 (1 工区) と、セメントの発塵を抑制する目的で W/C=60% のセメントスラリーを使用した工区 (2 工区) からなる。

いずれの工区とも、セメント量: 2.5%、アスファルト量: 4.0% であり、応答計測を目的として路床上面に

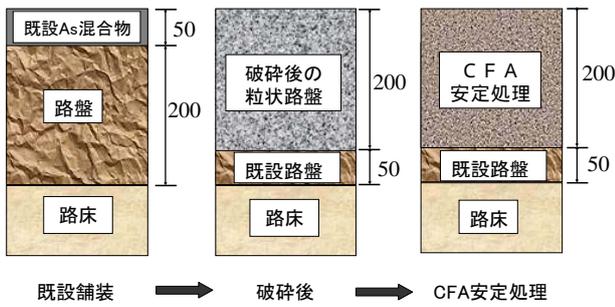


図-1 舗装断面 (単位: mm)

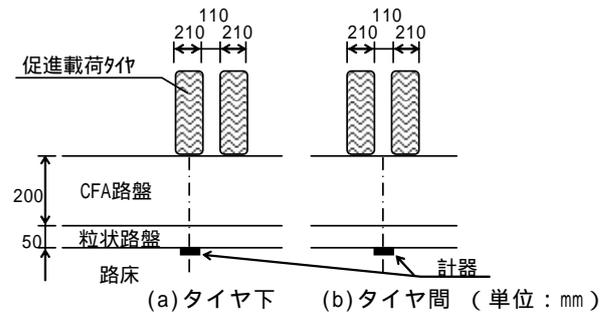


図-3 車輪の走行位置

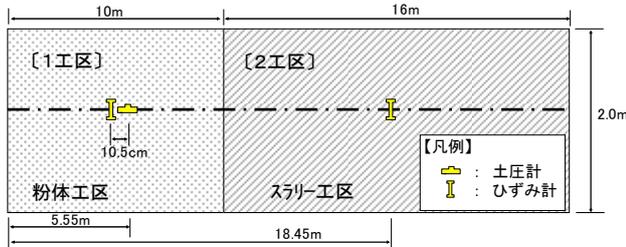


図-2 調査対象工区と計器の埋設位置

注) スラリー工区(2工区)の土圧については、計器の故障により測定できなかった。



写真-1 促進荷重試験機の概観

土圧計とひずみ計(鉛直方向)を埋設している。なお、両計器のデータサンプリング間隔は2msである。ただし、2工区の土圧は計器故障のため測定できなかった。

### (2) 促進荷重試験の実施要領

CFA 安定処理路盤の耐久性を検証するため、写真-1に示す促進荷重試験機により、施工7日養生後に車輪走行を開始し、2007年の2月から同年5月にかけて49kNに荷重調整した車輪を疲労破壊輪数である30,000回まで走行させた。走行位置は図-3の2パターンに右側車輪が計器の直上を走行する場合は加えた3パターンとし、各パターンで10,000回ずつ車輪走行を実施した。

### (3) 現場試験結果

現場試験は、既設舗装を破碎した後の粒状路盤の状態、CFA 安定処理路盤の施工7日養生後(CFA 7)ならびに所定の回数(7,500回、15,000回ならびに30,000回)まで促進荷重を行った後において実施した、路面性状および舗装支持力に関する現場試験の結果を表-1に示す。

なお、表中の1工区におけるわだち掘れおよびひび割れが30,000回走行後の方が15,000回走行後よりも値が小さくなっているのは、車輪の走行位置をシフトさせて

表-1 現場試験結果

工区	試験名	測定項目	粒状路盤 測定日 2006年 12月21日	CFA安定処理路盤			
				7日 養生後 走行前	促進荷重試験		
					7,500回 走行後	15,000回 走行後	30,000回 走行後
1工区 (粉体)	路面性状	わだち掘れ (mm)	-	0	5.3	6.3	4.8
		ひび割れ (%)	-	0	20.9	28.3	18.8
	FWD(49kN)	たわみ量 (mm)	1.325	1.049	-	-	1.154
	平板荷重	地盤係数 (MN/m <sup>3</sup> )	262.8	382.5	-	-	533.5
2工区 (スラリー)	路面性状	わだち掘れ (mm)	-	0	1.7	3.6	7.9
		ひび割れ (%)	-	0	0	11.1	16.2
	FWD(49kN)	たわみ量 (mm)	1.290	0.778	-	-	0.818
	平板荷重	地盤係数 (MN/m <sup>3</sup> )	303.0	499.2	-	-	657.0
備考		天候	曇	晴	晴時々曇	晴	曇一時晴
		平均気温( )	7.0	7.6	6.6	5.9	23.1

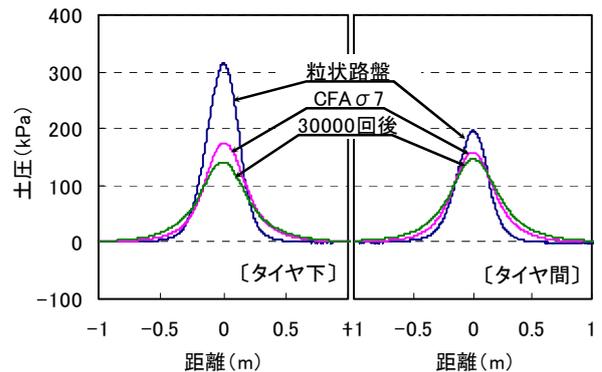


図-4 走行荷重による土圧測定結果の一例(1工区)

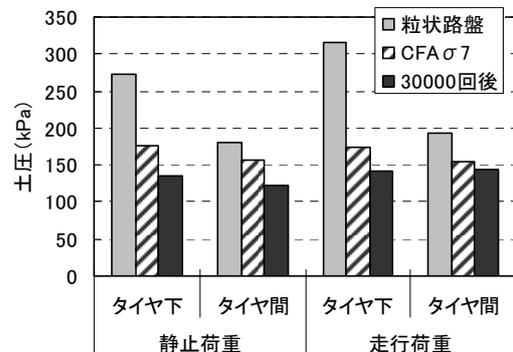


図-5 静止および走行荷重による土圧のピーク値(1工区)

いることや、アスファルトによるひび割れの再癒着によるものと推察される。

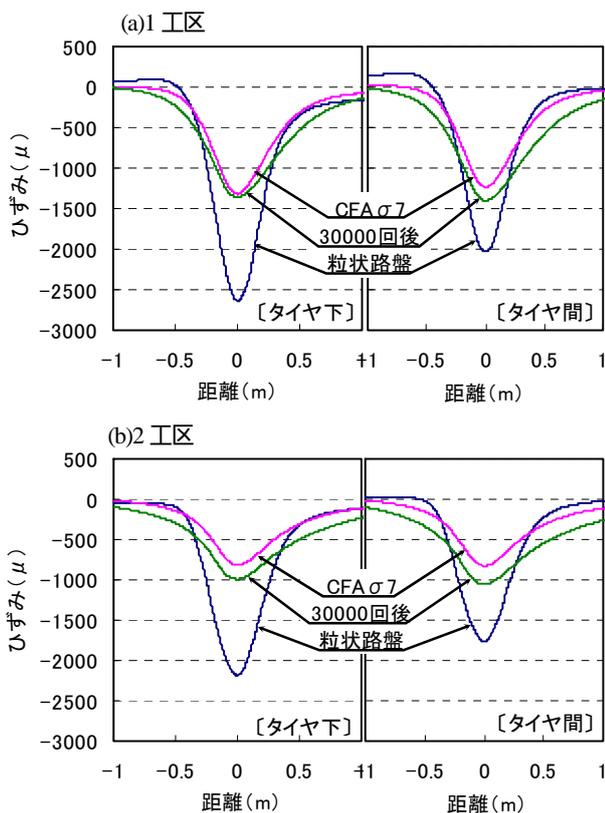


図-6 走行荷重による鉛直ひずみ測定結果の一例  
(a)1工区, (b)2工区)

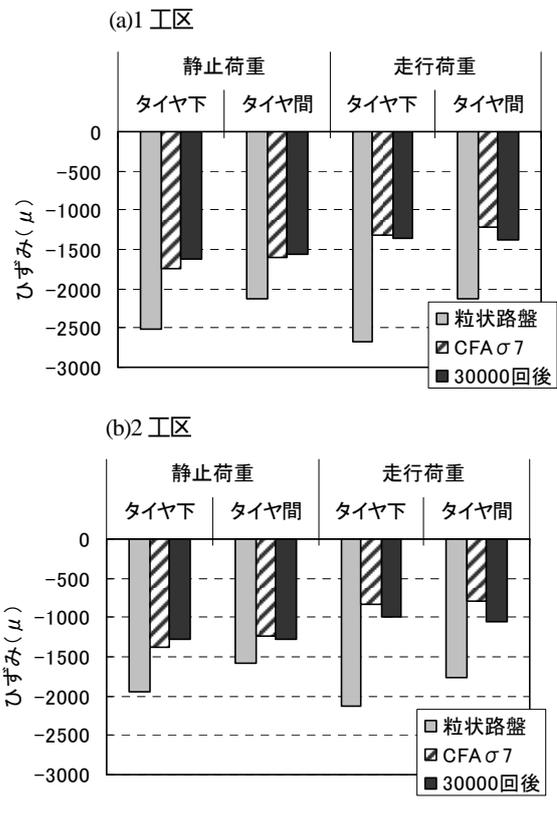


図-7 静止および走行荷重による鉛直ひずみのピーク値  
(a)1工区, (b)2工区)

### 3. CFA 安定処理路盤の荷重分散効果の検討

#### (1) 路床応答の測定要領

路床応答の測定は、粒状路盤の状態、CFA 安定処理路盤の施工7日養生後ならびに30,000回走行後において実施した。その際の荷重は、49kN 車輪を静止あるいは走行させて行い、いずれの場合についても、左側車輪を計器の直上に載荷する図-3(a)のパターン(タイヤ下)と、両輪で計器を挟むように載荷する図-3(b)のパターン(タイヤ間)の2とおりとした。

#### (2) 路床応答の測定結果

路床上面に設置した土圧計とひずみ計による応答の測定は2回繰り返し行い、値に顕著な差がないことを確認している。以下、特に断らない限り2回目のデータを示す。なお、土圧に関しては、計器の故障のため2工区では測定が行えなかったため、1工区のみデータを示す。

##### a) 路床上面の土圧

車輪走行時における土圧を、車輪と計測器の距離で整理したものの一例を図-4に示す。図-4より、路床上面の土圧は、粒状路盤の状態においてはタイヤ下の方がタイヤ間より大きくなっている。一方、CFA 安定処理路盤では、タイヤ間とタイヤ下における土圧の差は粒状路盤に

比べて小さくなっており、安定処理を施したことにより路盤が版として機能していることがわかる。

また、走行荷重および静止荷重を与えたときの路床上面の土圧のピーク値(1回目と2回目の平均値)を図-5に示す。図-5より、走行荷重、静止荷重のいずれについても、タイヤ下とタイヤ間ともに、粒状路盤、CFA 7、30,000回走行後の順で土圧は小さくなっている。このことは路盤をCFA 安定処理することにより路床の負荷(応力)が軽減し、繰り返し載荷後もその効果が保持されることを端的に示唆している。

##### b) 路床上面の鉛直ひずみ

車輪走行時における鉛直ひずみを、車輪と計測器の距離で整理したものの一例を図-6(a),(b)に示す。これらの図より、1工区2工区ともに路床上面の鉛直ひずみは、粒状路盤においてはタイヤ下の方がタイヤ間より大きくなっている。しかし、CFA 安定処理後における鉛直ひずみのタイヤ間とタイヤ下の差は、土圧と同様、粒状路盤のときよりも小さくなっている。

また、タイヤ下ならびにタイヤ間において走行荷重および静止荷重を与えたときの路床上面の鉛直ひずみのピーク値(1回目と2回目の平均値)を図-7(a),(b)に示す。図-7(a),(b)より、鉛直ひずみは、1工区、2工区とも走行荷重および静止荷重によらず、粒状路盤に比べCFA 7ならびに30,000回走行後の方が小さくなっている。

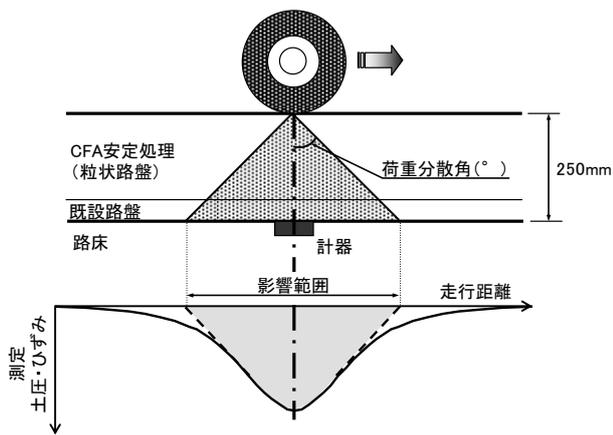


図-8 荷重分散角の算

これらのことから、土圧と同様、ひずみの観点からも CFA 安定処理による路床負荷の軽減効果が窺える。なお、CFA 安定処理 7 日養生後と走行 30,000 回走行後のひずみに注目すると、両工区ともに後者においてひずみが大きくなっているケースがある。この理由は定かではないが、梅雨期間の雨水の浸透などにより路床の支持力が低下した可能性も考えられるが、走行荷重および静止荷重で傾向が異なることから、さらなる検討が必要であると考えられる。

### (3) 荷重分散効果の定量的評価

以上のように、粒状路盤を CFA 安定処理することで路床上面にかかる荷重が分散され負荷が軽減することが判明した。そこで、ここでは、走行荷重による土圧ならびに鉛直ひずみの範囲から荷重分散角を求め、その効果を定量的に評価する。

#### a) 荷重分散角の算出方法

荷重分散角は、図-8 に示す要領で求めた。

まず、図-8 のような土圧あるいはひずみの応答曲線に 2 本の接線を引いて影響範囲を読み取る。次に、車輪中心点と影響範囲で囲まれる三角形を描き、その頂角の半角をもって荷重分散角とした。

ここで、接線を引いたのは、CBR 試験等の原点補正と同様の目的で、応答曲線の立ち上がり部および残留部を補正するためである。なお、応力、ひずみともに、ピーク値の 50~80% の範囲において応答曲線がほぼ直線となっていることから、当該範囲のデータを単回帰分析して回帰式を求め、接線とした。

#### b) 荷重分散角の算出結果

荷重分散角を求めるため、土圧および鉛直ひずみの影響範囲を読みとった 1 工区の例を図-9 に示す。また、上述した要領で求めた荷重分散角の結果を表-2 に示す。

表-2 より、土圧と鉛直ひずみによる荷重分散角を比較すると、鉛直ひずみによる方が土圧によるよりも 10° 以上大きくなっている。これは、計器の感度などの影響に

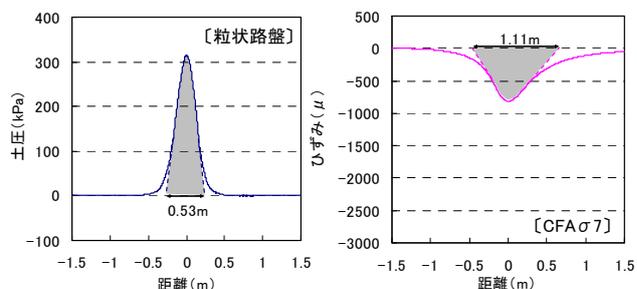


図-9 走行荷重による路床上面の土圧および鉛直ひずみ(1工区)

表-2 荷重分散角の算出結果

荷重の種類	舗装の種類	荷重方法	荷重分散角(°)					
			土圧(1工区)		ひずみ(1工区)		ひずみ(2工区)	
			個々の値	平均	個々の値	平均	個々の値	平均
走行荷重	粒状路盤	タイヤ間	45.6	46.1	55.2	55.8	60.7	60.3
		タイヤ下	46.7	(1)	56.3	(1)	59.8	(1)
	CFA 7	タイヤ間	55.2	54.2	61.5	61.7	67.7	66.7
		タイヤ下	53.3	(1.18)	62.0	(1.11)	65.8	(1.11)
	走行30000回後	タイヤ間	59.2	57.8	68.7	68.2	71.2	71.0
		タイヤ下	56.3	(1.25)	67.7	(1.22)	70.9	(1.18)

注) ( )内は粒状路盤の荷重分散角を1とした時の比である。

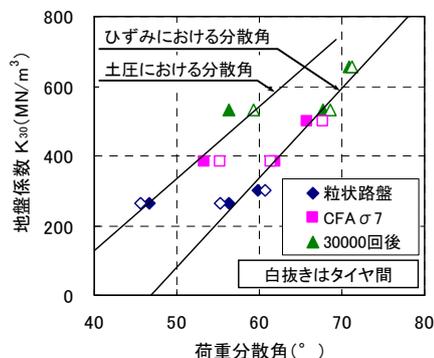


図-10 荷重分散角と地盤係数の関係

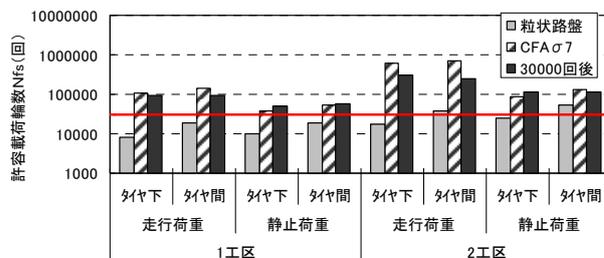


図-11 許容載荷輪数の計算結果

よるものと考えられるが、粒状路盤を基準として CFA 安定処理 7 日養生後ならびに 30,000 回走行後の荷重分散角の比を求めると、土圧と鉛直ひずみによる差はほとんどない。

具体的にみると、CFA 7 では、粒状路盤に対し土圧および鉛直ひずみともに荷重分散角は 1.10~1.18 倍となっており、CFA 安定処理することで荷重分散性が向上していることがわかる。さらに、30,000 回走行後においては荷重分散角が粒状路盤に対し 1.18~1.25 倍となっており、CFA 7 の時点よりも一段と荷重分散性が向上していることが窺える。

表-3 路床ダメージ

荷重の種類	載荷方法	路床ダメージ (1/N <sub>6</sub> )					
		1工区			2工区		
		粒状路盤	CFA 7	30000回後	粒状路盤	CFA 7	30000回後
タイヤ 走行荷重	タイヤ下	0.000127 (1)	0.00000944 (0.07)	0.0000107 (0.08)	0.0000553 (1)	0.00000168 (0.03)	0.00000337 (0.06)
	タイヤ間	0.0000547 (1)	0.0000072 (0.13)	0.000011 (0.20)	0.000027 (1)	0.00000146 (0.05)	0.00000405 (0.15)
タイヤ 静止荷重	タイヤ下	0.000101 (1)	0.0000259 (0.26)	0.0000207 (0.21)	0.0000392 (1)	0.0000113 (0.29)	0.00000846 (0.22)
	タイヤ間	0.0000546 (1)	0.0000194 (0.35)	0.0000172 (0.32)	0.0000187 (1)	0.00000738 (0.40)	0.0000086 (0.46)

注) ( )内は粒状路盤の路床ダメージを基準(1)とした時の比である。

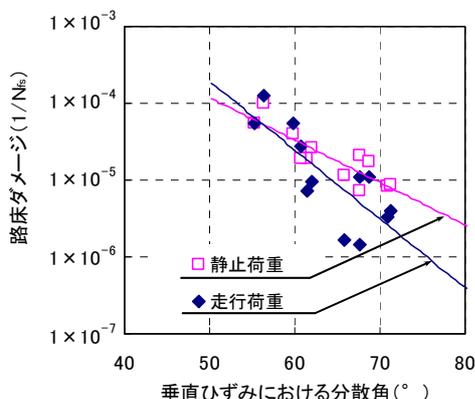


図-12 垂直ひずみによる荷重分散角と路床ダメージの関係

#### c) 荷重分散角と地盤係数の関係

荷重分散角と地盤係数  $K_{30}$  の関係を図-10に示す。図-10より、荷重分散角と地盤係数には強い正の相関関係があり、地盤係数が大きいことは荷重分散角が大きいことと同義であると言える。よって、CFA 安定処理には、路盤を強化し、舗装の支持力を高め、荷重分散性を向上させる効果のあることを定量的に示すことができたと考える。

### 4. 路床ダメージ解析

荷重分散により路床上面における応答ひずみは減少することが確認できた。そこで、その減少により舗装寿命(永久変形)がどの程度延びるのかについて検証する。

#### (1) 路床の許容載荷輪数

走行荷重および静止荷重による路床上面の鉛直ひずみから、わだち掘れが15mmに達するまでに許容される輪数を算出した。なお、計算にあたっては、日本道路協会の暫定破壊規準式<sup>4)</sup>を用いた。計算結果を図-11に示す。

図-11より、破碎後の粒状路盤では許容載荷輪数が10,000回程度であるがCFA 安定処理を施すことにより、7日養生後にもとより促進載荷後においても疲労破壊輪数:30,000回(交通量区分  $N_3$ )を全てのケースで満足している。このように、CFA 安定処理を施すことにより、永久変形に対する抵抗性は著しく向上することがわかる。

#### (2) 路床ダメージの算出

路床の許容載荷輪数の逆数をとって、走行荷重ならびに静止荷重の1回の載荷により路床が受けるダメージを

算出した計算結果を表-3に示す。

表-3より、粒状路盤をCFA 安定処理することにより、路床ダメージが安定処理前の半分に軽減されており、CFA 安定処理による路床ダメージの著しい軽減効果が見て取れる。

#### (3) 荷重分散角と路床ダメージの関係

前項で求めた路床ダメージと鉛直ひずみによる荷重分散角の関係を調べた結果を図-12に示す。この図をみると、全体的な傾向として荷重分散角が大きくなるにつれて路床ダメージは小さくなっている。したがって、CFA 安定処理による荷重分散効果の向上は、路床負荷を軽減し舗装の寿命を延ばすことに大いに寄与していると考えて差し支えなからう。

なお、同一荷重分散角において走行荷重と静止荷重による路床ダメージを比較すると、静止荷重によるダメージの方がやや大きく、永久変形の量は載荷時間の長さに依存するという概念と符合する結果となっている。

### 5. まとめ

本検討で得られた知見をまとめると、次のようである。

#### (1) 路床応答

粒状路盤をCFA 安定処理することで、路床上面に生じる土圧および鉛直ひずみはともに小さくなり、載荷位置による路床応答の差(タイヤ下載荷とタイヤ間載荷による路床上面の土圧ならびに鉛直ひずみの差)が減少することがわかった。これらの事実は、CFA 安定処理路盤が版として機能し、荷重分散性が向上したことによるものと思われる。

#### (2) 荷重分散角

走行荷重による路床上面の土圧および鉛直ひずみの影響範囲から荷重分散角を算出したところ、CFA 安定処理により荷重分散角が広がり荷重分散性が向上することがわかった。

さらに、荷重分散角と地盤係数には強い正の相関関係が認められ、CFA 安定処理には、路盤を強化し、舗装の支持力を高め、荷重分散性を向上させる効果のあることを定量的に把握できた。

#### (3) 路床ダメージ

許容載荷輪数の算出結果から、粒状路盤では疲労破壊輪数:30,000回(交通量区分  $N_3$ )を満足できない場合があるのに対し、CFA 安定処理を施すことにより、許容載荷輪数はそれを上回り、永久変形に対して十分な耐久性のあることがわかった。

## 6. おわりに

本研究により、限られた舗装断面における検討結果に基づくものではあるが、CFA 安定処理路盤による荷重分散性の向上ならびに路床負荷の軽減効果を、実物大実験を通じて定量的に把握することができた。

今後は、CFA 安定処理路盤に関して得られた新たな知見を、配合設計から構造設計、施工ならびに維持修繕に及ぶ舗装マネジメントにおいて有効かつ適切に活用していきたいと考えている。

## 参考文献

- 1) 海老澤秀治, 五傳木一, 鬼倉一展, 富澤健, 金井利浩: セメントスラリーを用いた CFA 安定処理路盤の促進載荷試験による耐久性評価, 土木学会舗装工学論文集 第 13 巻, pp.107-114, 2008
- 2) 岳本秀人, 久保宏, 有田政博: 路床上面での応力解析と実測値, 土木学会第 38 回年次学術講演会講演概要集, V 部門, pp.473-474, 1983
- 3) 東滋夫, 神谷和明, 富澤健, 金井利浩, 松井邦人: 荷重の相異による舗装挙動に関する基礎的研究, 土木学会舗装工学論文集, 第 10 巻. pp.31-38, 2005
- 4) (社)日本道路協会: 舗装設計便覧, p.125, 2006

## VERIFICATION ON REDUCTIVE EFFECT OF SUBGRADE RESPONSE BY CFA STABILIZED BASE WITH FULL SCALE LOADING TEST

Ken TOMISAWA, Hajime GODENKI, Toshiyuki OKABE,  
Hideharu EBISAWA and Toshihiro KANAI

We have developed a construction method of Cement foamed-asphalt (CFA) stabilized base with slurried-cement in order to prevent scattering of powdery cement in spreading and mixing it on the view of environmental preservation, and confirmed non-scattering of cement during its construction and durability of CFA stabilized base with full-scale accelerated loading test. The reasons why the pavement stabilized with CFA has good durability might be the increase of strength of base course and the reduction of stress or strain on subgrade due to the load dispersing function of CFA stabilized base, however they have not been determined quantitatively on-site. So we have evaluated the load dispersing capacity of CFA stabilized base using the response data measured by gauges for soil pressure and vertical strain on top of subgrade at the full-scale loading test. As results, we find that CFA stabilized base contributes to the reduction of subgrade damage, or the extension of pavement life.