

FRPM管の浅層化埋設実験

Experiment in Shallower Laying of FRPM Pipes

宮 彦 徹* 福岡義嗣* 車 淳一*

Toru Miyazaki, Yoshitugu Fukuoka, Junichi Kuruma,

強化プラスチック複合管(FRPM管)は、1970年の上市以来、道路占用物として電力ケーブル保護管、下水道用本管および農業用水用送水管に用いられてきた。1999年「規制緩和推進計画」の一環として、いわゆる占用物の浅層化埋設通達が発せられたこと、および「道路土工・カルバート工指針」に採択されたことから浅層埋設が可能となった。本稿では、フィールドにおけるFRPM管の浅層化埋設実験について報告する。

Fiberglass reinforced plastic mortar pipes (FRPM pipes) have been used to protect power cables and as sewage pipes and agricultural feedwater pipes since 1970. As part of the "Deregulation Promotion Program", the shallower laying of FRPM pipes has been made acceptable by an ordinance issued in 1999 which mandated the shallower laying of road objects and adoption of shallower laying of FRPM pipes in the "Guidelines for construction of culverts, Road engineering & construction". This paper studies an experiment conducted in connection with the shallower laying of FRPM pipes.

1. はじめに

強化プラスチック複合管(以下、FRPM管という)は、1970年の上市以来、主に電力ケーブル保護管、下水道用本管および農業用水用送水管として、数万キロメートルの実績を積み重ねてきた。しかし、いずれの用途も道路下に埋設する場合占用物扱いとなり、その埋設深さは道路法施行令第11条、第12条に規定されているため、いわゆる浅層埋設が不可能であった。ところが、「規制緩和推進計画」の一環として、1999年3月31日付建設省道路局路政課長、国道課長連名通達が発せられ、占用物の浅層化が可能となった。一方、当社の長年の課題であった「道路土工・カルバート工指針」へのFRPM管の採択が1999年3月に実現し、道路構造物としての取り扱いが可能となった。

このような背景から、FRPM管の浅層化埋設実験を行うことにより舗装路面および管への影響を確認した。以下に、フィールドにおける実験結果を報告する。

2. 目的

管を道路下に埋設する場合、道路管理者が最も懸念することは、舗装路面への影響である。特にFRPM管のような可とう性管は、交通荷重の繰り返しに伴う管のたわみ変化が舗装路面に悪影響を与えると考えられがちである。

そこで、1987年9月(財)国土開発技術研究センターおよび強化プラスチック複合管協会は、「FRPM管の道路下埋設に関する調査報告書」を取りまとめ、それを基に1989年3月「下水道用強化プラスチック複合管道路埋設指針」を発刊した。しかしながら、浅層化埋

設通達以前の法規定により、最小埋設深さ1.2mの実験結果であった。

従って、今回は最小埋設深さを0.3mとし、舗装路面のたわみ量および管のたわみ量を測定することにした。なお、供試管には、浅層化埋設通達におけるFRPM管の適用対象管径が300mm以下であることから、最大管径となる300mmを選定した。

3. 実験方法

実験は、フィールド内にFRPM管φ300外圧2種を図1および2に示すように埋設し、フォーリングウェイトデフレクトメータ(以下、FWDという)による舗装路面のたわみ量、ベンケルマンビームを用いて輪荷重による舗装路面の復元たわみ量および変位計を用いて各載荷時の管のたわみ量を測定した。

なお、ベンケルマンビームに用いた荷重車は、後軸2軸の3軸車(タンデム車)を用い、その仕様を表1に示す。

4. 埋設条件

埋設条件は、アスファルト舗装仕様(2種類)、埋設深さ(3種類)、掘削幅(2種類)およびFRPM管の埋設有無を組み合わせた表2に示す8ケースとした。舗装仕様は、路床の設計CBRと設計交通量の区分に応じて各層の厚さが決定される。その設計交通量の区分を表3に示す。

アスファルト舗装仕様毎の埋設断面を図3に示す。なお、非埋設部は、図3に示す埋設断面で管の代わりに砂で埋め戻したものとした。

* 化成品事業部 技術部

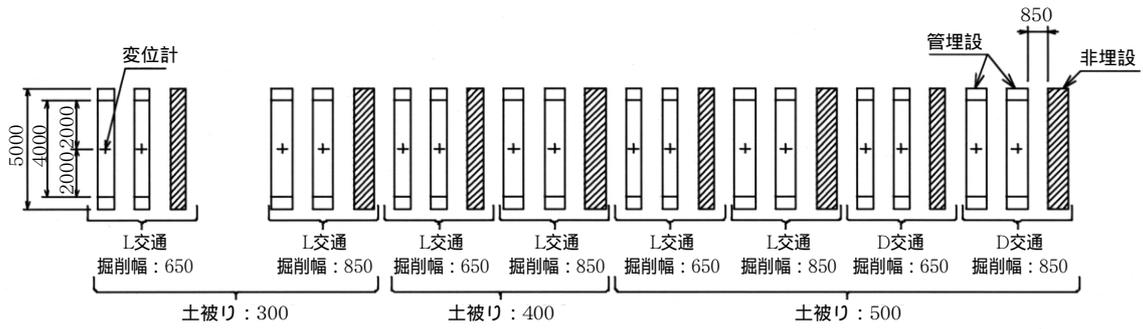


図1 フィールド内配置図

Fig. 1 Pipe arrangement in the field

表2 埋設条件

Table 2 Laying combination

ケース	舗装仕様	埋設深さ mm	掘削幅 mm	埋設管 有無
設計交通量 区分L交通		300	650	有
			850	無
		400	650	有
			850	無
設計交通量 区分D交通		500	650	有
			850	無
		500	650	有
			850	無



図2 管埋設状況

Fig. 2 Laid circumstance

表1 荷重車の仕様

Table 1 Specification of traffic load

車種	タンデム車
輪荷重	49kN
タイヤ空気圧	686kPa

表3 設計交通量の区分

Table 3 Rank of traffic volume

設計交通量の区分	大型車交通量(台/日・方向)の範囲	
L交通	100未満	
A交通	100以上	
B交通	250以上	250未満
C交通	1,000以上	3,000未満
D交通	3,000以上	

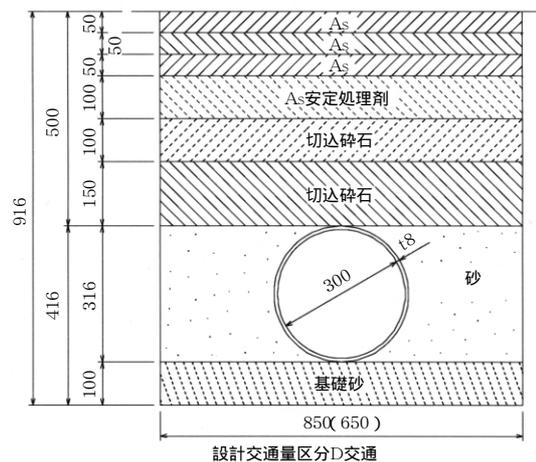
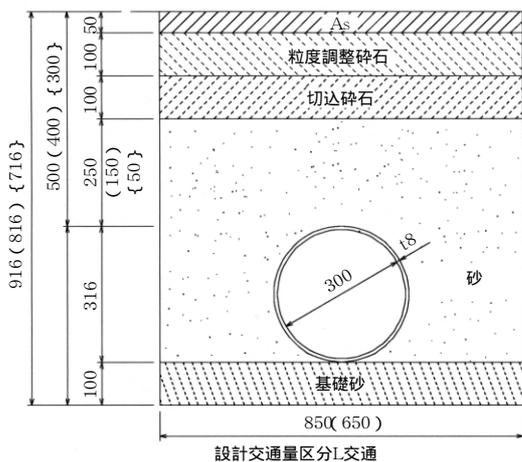


図3 埋設断面

Fig. 3 Pavement structure

5. 測定方法

舗装路面のたわみ量および管のたわみ量は、以下の方法および位置で測定した。

5.1 舗装路面のたわみ量

舗装路面のたわみ量は、舗装試験法便覧別冊に基づき、図1に示した埋設管の管軸長さ中心線および掘削幅中心線の交点を測点とし、FWDおよびベンケルマンビームを用いて測定した。測定回数は、全ての埋設条件ごとに各3回とした。なお、FWDを用いた舗装路面のたわみ量測定位置は、載荷中心である測点から0、0.2、0.3、0.45、0.6、0.9、1.2、1.5および2.0m離れた位置で行った。また、非埋設部も埋設部と同位置とした。FWDおよびベンケルマンビームの測定状況をそれぞれ図4、図5に示す。



図4 FWDによる測定状況
Fig. 4 Measurement circumstance by FWD



図5 ベンケルマンビームによる測定状況
Fig. 5 Measurement circumstance by Benkelman Beam

5.2 管のたわみ量

管のたわみ量は、管内の管軸長さ中心部に予め設置しておいた図6に示す変位計を用いて測定した。

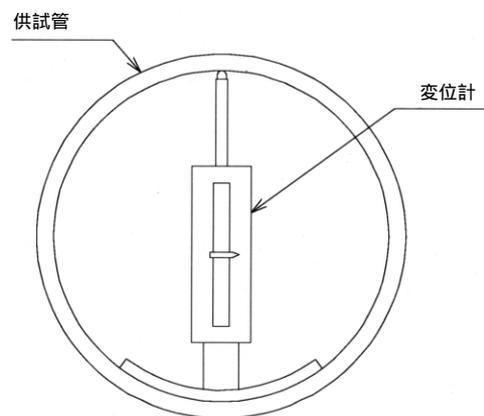


図6 管内変位計
Fig. 6 Displacement transducer in the pipe

6. 測定結果

6.1 舗装路面のたわみ量

6.1.1 FWDの結果

FWDによるたわみ量は、測定時の載荷荷重や温度の影響を受けるため、そのままでは比較できないことから、測定値の正規化を行うため次式を用いて載荷荷重の補正(49kN)および温度補正(20℃)を行った。

$$\log CF_0 = (-4.914 \times 10^{-2} \times A_s + 2 \times 10^{-4}) \times (T - 20)$$

$$\log CF_{20} = (-4.829 \times 10^{-2} \times A_s + 2 \times 10^{-4}) \times (T - 20)$$

$$D' = (D \times 49 / P) \times CF_i$$

ここに、 D' : 補正後のたわみ量 mm

D : 測定時のたわみ量 mm

P : 測定時の荷重 kN

CF_i : 載荷中心から0または0.2mに対する温度補正係数でそれ以外の距離は $CF_i = 1$

CF_0 : 載荷中心(0m)に対する温度補正係数

CF_{20} : 載荷中心から0.2mに対する温度補正係数

A_s : アスファルト層の厚さ m

T : 測定時の温度 ℃

載荷中心(0m)の補正たわみ量を表4に、載荷中心からの距離毎の補正たわみ量を図7に示す。

表4 FWDによる舗装路面の補正たわみ量
Table 4 Calculated deflections by FWD

舗装仕様	設計交通量区分 L						設計交通量区分 D		
	300		400		500		500		
ケース									
埋設深さ mm	300		400		500		500		
掘削幅 mm	650	850	650	850	650	850	650	850	
補正たわみ量 mm	管理設部	1.099	1.299	1.078	1.154	1.145	1.124	0.387	0.294
	非埋設部	0.967	0.992	1.042	1.153	1.128	0.959	0.335	0.349

注) 管理設部のたわみ量は、各ケースごとの2本の平均値を示す。

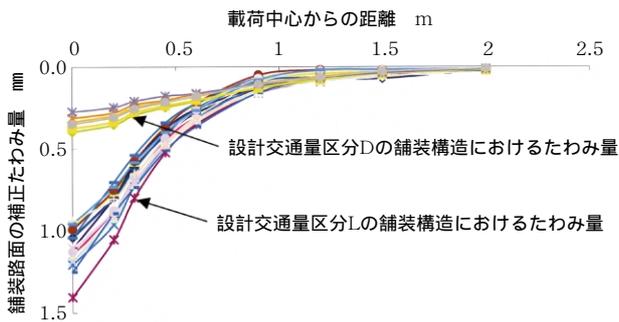


図7 FWDによる舗装路面の補正たわみ量
Fig. 7 Calculated deflections by FWD

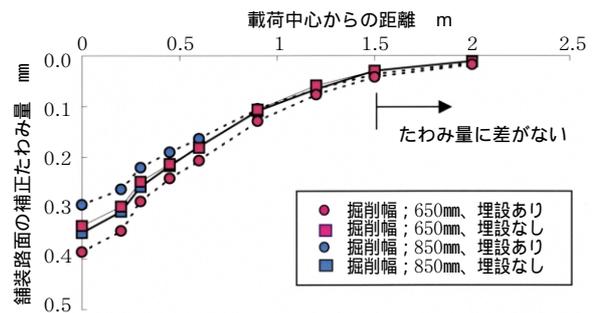


図8 設計交通量区分D交通の舗装路面の補正たわみ量
Fig. 8 Calculated deflections at rank of traffic volume D

1) 舗装仕様の比較

設計交通量区分D交通とL交通のたわみ量比較では、設計交通量区分D交通の方が小さい値を示した。そのたわみ量の差は、載荷中心(0m)から0.9mの範囲で明確である。

2) 管理設の有無の比較

埋設深さが最も浅い0.3mの場合、管理設部より非埋設部の方が明らかにたわみ量が小さい。しかし、埋設深さ0.4mおよび0.5mでは、管理設の有無による明確な差は認められない。

3) 掘削幅の比較

設計交通量区分D交通のたわみ量を図8に示す。非埋設部では掘削幅の違いによる差は認められない。管

埋設部では、掘削幅が広い850mmの方がたわみ量が小さい。

これは、十分な転圧作業が可能な掘削幅を確保することが重要であることを示唆している。

6.1.2 ベンケルマンビームの結果

ベンケルマンビームによるたわみ量は、道路維持修繕要綱に従い温度補正後のたわみ量を表5に示す。

舗装仕様の比較、管理設の有無の比較および掘削幅の比較は、FWDの測定結果と同様な傾向を示した。

6.2 管のたわみ量

6.2.1 FWDの結果

FWDによるたわみ量の実測値と荷重補正值および

表5 ベンケルマンビームによる舗装路面のたわみ量
Table 5 Measured deflections by Benkelman Beam

舗装仕様		設計交通量区分L						設計交通量区分D	
ケース									
埋設深さ mm		300		400		500		500	
掘削幅 mm		650	850	650	850	650	850	650	850
補正たわみ量 mm	管理設部	1.705	1.928	1.608	1.568	1.790	1.523	0.555	0.496
	非埋設部	1.457	1.561	1.594	1.561	1.496	1.477	0.484	0.555

注) 管理設部のたわみ量は、各ケースごとの2本の平均値を示す。

表6 FWDによる管のたわみ量
Table 6 Pipe deflections by FWD

舗装仕様		設計交通量区分L						設計交通量区分D		
ケース										
埋設深さ mm		300		400		500		500		
掘削幅 mm		650	850	650	850	650	850	650	850	
実測値	FWD載荷荷重 kN	50.85	44.47	51.90	45.49	51.22	47.34	52.27	54.16	
	たわみ量 mm	0.894	0.729	0.831	0.564	0.761	0.759	0.368	0.306	
	たわみ率 %	0.290	0.237	0.270	0.183	0.247	0.246	0.119	0.099	
補正值	FWD載荷荷重 kN	49								
	たわみ量 mm	実測値	0.862	0.804	0.785	0.608	0.729	0.786	0.345	0.277
		計算値	2.578		2.062		1.719		1.719	
	たわみ率 %	実測値	0.280	0.261	0.255	0.197	0.237	0.255	0.112	0.090
計算値		0.837		0.670		0.558		0.558		

注1) FWD載荷荷重、たわみ量およびたわみ率は、各ケースごと2本の平均値を示す。

2) 補正值とは、FWD載荷荷重を49kNに換算しときのたわみ量およびたわみ率である。

表7 ベンケルマンビームによる管のたわみ量
Table 7 Pipe deflections by Benkelman Beam

舗装仕様 ケース	設計交通量区分L						設計交通量区分D		
	300		400		500		500		
埋設深さ mm	300		400		500		500		
掘削幅 mm	650	850	650	850	650	850	650	850	
たわみ量 mm	実測値	1.452	1.315	1.069	0.870	0.995	0.885	0.520	0.461
	計算値	2.578		2.062		1.719		1.719	
たわみ率 %	実測値	0.471	0.427	0.347	0.282	0.323	0.287	0.169	0.150
	計算値	0.837		0.670		0.558		0.558	

注) たわみ量およびたわみ率は、各ケースごと2本の平均値を示す。

その時のたわみ率を表6に示す。載荷荷重によるたわみ量は、設計交通量区分L交通の場合、埋設深さ0.3mのとき約0.83mm、0.4mのとき約0.7mm、0.5mのとき約0.76mmと明確な差は認められない。一方、設計交通量区分D交通の場合、約0.3mm程度である。

6.2.2 ベンケルマンビームの結果

ベンケルマンビームによる49kN輪荷重時のたわみ量を表7に示す。49kN輪荷重によるたわみ量は、設計交通区分L交通の場合、埋設深さ0.3mのとき約1.4mmに対し、0.4mおよび0.5mのとき約0.95mmと小さな値を示している。一方、設計交通区分D交通の場合、約0.5mm程度である。

7. FWDとベンケルマンビームの相関

FWDによる舗装路面のたわみ量とベンケルマンビームによる舗装路面のたわみ量との相関を調べた。

両者の相関図を図9に示す。相関係数は、0.97とほぼ直線関係にあることを示している。この回帰直線は、最小二乗法により求まる次式で表され両試験が同種の試験であることを示している。

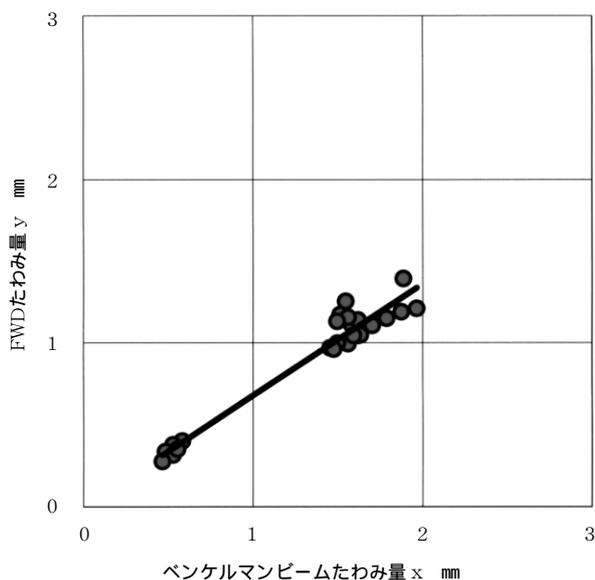


図9 相関図

Fig. 9 Relationship between measured deflections by Benkelman Beam and FWD

$$y = 0.6802x - 0.0023$$

ここに、y : FWDのたわみ量 mm

x : ベンケルマンビームのたわみ量 mm

得られた結果は、丸山・後藤・阿部他が実施した測定結果による相関係数0.57と異なるものとなった。これは、管理されたフィールドにおけるデータと供用中の国道および県道のデータであることに起因するものと考えられる。

8. 多層弾性理論による解析

8.1 弾性係数の推定

設計交通量区分D交通のケース⑦および⑧において、FWDによる舗装路面の補正たわみ量に基づき、前田道路(株)技術本部技術研究所の協力により多層弾性理論を用いて各層の弾性係数を推定した。計算プログラムはCHEV5L(Chevron社)を適用した。なお、多層弾性理論には図10に示すモデルを用いた。推定した各層の弾性係数を表8に示す。

推定した各層の弾性係数のうち、アスファルト混合物(E1)と同程度と見込まれるアスファルト安定処理材の弾性係数(E2)がアスファルト混合物の20%程度に相当する1.1GN/m²前後と小さな値と推定された。また、路盤についてはやや小さな値となっているが、大きな問題はないものと考えれ、路床についてはCBR=20%相当の強固なものと推察された。

8.2 舗装路面のたわみ量の推定

8.2.1 標準的なアスファルト安定処理材使用時

アスファルト安定処理材の弾性係数が小さな値と推定されたことから、仮にアスファルト安定処理材の弾性係数が標準的なもの(4.41GN/m²)であったとして舗装路面のたわみ量を推定した。推定結果を表8に示す。推定結果は、設計交通量区分D交通の場合FWD運用マニュアル(案)の基準値(D₀=0.3mm)を満足した。

8.2.2 設計CBR12%相当時の舗装路面のたわみ量

推定した路床の弾性係数は設計CBR=20%相当の強固なものであったため、路床の設計CBR=12%相当と

表8 多層弾性理論による解析結果
Table 8 Analyzed result by multilayered elastic theory

多層弾性理論の解析	掘削幅 mm	弾性係数 GN/m ²					舗装路面のたわみ量 mm									
		E1	E2	E3	E4	E5	D0	D20	D30	D45	D60	D90	D120	D150	D200	
弾性係数の推定	650	5.490	0.873	0.098	0.034	0.210	0.387	0.346	0.284	0.236	0.195	0.126	0.079	0.049	0.027	
	850	6.180	1.350	0.168	0.051	0.215	0.294	0.265	0.219	0.184	0.156	0.105	0.069	0.046	0.027	
標準的なアスファルト 安定処理剤使用時	650	5.490	4.410	0.098	0.034	0.210	0.282	0.255	0.231	0.199	0.170	0.119	0.081	0.056	0.032	
	850	6.180	4.410	0.168	0.051	0.215	0.241	0.214	0.194	0.167	0.142	0.100	0.070	0.050	0.031	
設計CBR = 12%相当時	650	5.490	4.410	0.098	0.034	0.118	0.337	0.310	0.288	0.255	0.223	0.168	0.124	0.093	0.060	
	850	6.180	4.410	0.168	0.051	0.118	0.297	0.270	0.252	0.223	0.196	0.150	0.114	0.087	0.059	

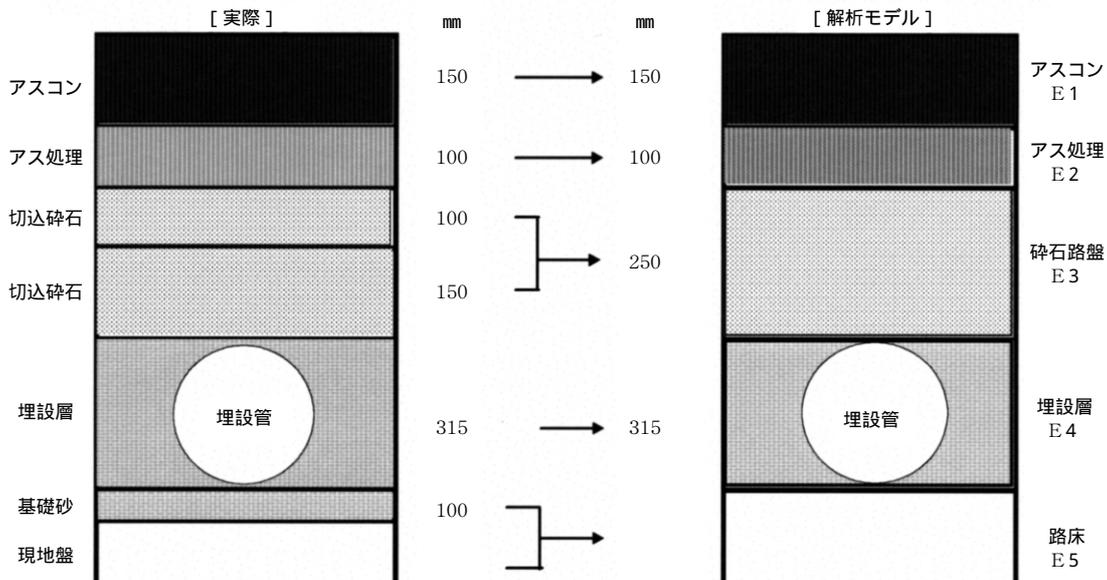


図10 多層弾性理論によるモデル
Fig. 10 Model of multilayered elastic theory

した時の舗装路面のたわみ量を推定した。なお、路床の弾性係数(E5)は、設計CBR=12%に相当する弾性係数0.118GN/m²とした。推定結果を表8に示す。

推定結果は、設計交通量区分D交通の場合掘削幅が広い850mmのときFWD運用マニュアル(案)の基準値(D₀=0.3mm)を満足する結果となった。このことから、道路土工カルバート工指針に示されている標準掘削幅の妥当性が推察される。

9. まとめ

本実験のまとめを以下に述べる。

- 1) 舗装路面のたわみ量は、本施工における設計交通量区分D交通の場合、路床の設計CBRが12%以上であれば、掘削幅850mmの場合FWD運用マニュアル(案)に示されている基準値0.3mmを十分に満足する。
- 2) 管理設深さの違いによる舗装路面のたわみ量は、舗装構造が同一であれば明確な差違は認められない。
- 3) 掘削幅の違いによる舗装路面のたわみ量は、管理設深さ同様明確な差違は認められないが、十分な転圧

が行えるよう掘削幅を広く採る方が望ましい。

4) FRPM管の埋設有無の違いによる舗装路面のたわみ量は、埋設深さ400mm以上であれば有意差は認められない。

5) FRPM管のたわみ量は、埋設深さおよび舗装構造に関係なく理論計算値を下回り、安全な設計であることが確認できた。

6) FRPM管のたわみ量と舗装路面のたわみ量には一定の傾向が見られ、設計交通量区分D交通の場合は管のたわみ量と舗装路面のたわみ量はほぼ一致するのに対し、L交通の場合は舗装路面のたわみ量の60~70%が管のたわみ量であった。

7) 設計交通量区分D交通とL交通の舗装構造の違いによる舗装路面のたわみ量は、載荷中心から0.9mの範囲において明らかな差が認められ、より堅固な舗装構造であるD交通が小さい。

8) FWDとベンケルマンビームによる舗装路面のたわみ量の相関係数は、0.97と強い相関関係が認められた。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路土工カルバート工指針、平成11年3月
- 2) (財)国土開発技術研究センター：FRPM管の道路下埋設に関する調査報告書、昭和62年9月
- 3) (財)国土開発技術研究センター：下水道用強化プラスチック複合管道路埋設指針：平成元年3月
- 4) (社)日本道路協会：舗装試験法便覧別冊、平成8年10月
- 5) (社)日本道路協会：道路維持修繕要綱、昭和53年
- 6) (社)日本道路協会：アスファルト舗装要綱、平成4年11月
- 7) 丸山・後藤・阿部他：FWDによる舗装の非破壊試験に関する研究、長岡技術科学大学研究報告、第10号、昭和63年6月
- 8) (財)道路保全技術センター：FWD運用マニュアル(案)、平成8年3月
- 9) 土木学会：舗装工学、平成7月1月

【用語の説明】

FWD(Falling Weight Deflectometer)

舗装路面のたわみ量測定装置の一つで、走行車両に近い荷重波形で道路設計荷重と同じ荷重を舗装に加え、その時の載荷荷重と複数点のたわみデータを測定することができる装置である。FWDの原理は、ある高さから重りを落下させることによって舗装に衝撃荷重を与え、その時の舗装表面のたわみを測定するものである。特長としては、ベンケルマンビームでは載荷位置でのたわみ量しか測定できないのに対し、舗装のたわみ形状が得られる点である。このことにより舗装内部の強度を推定することができる。規格としては、ASTM(American Society for Testing and Materials) D4694「Standard test method for deflections with a falling-weight-type impulse load device：重錘落下式衝撃荷重装置によるたわみ測定方法」およびD4695「Standard guide for general pavement deflection measurements：舗装たわみ測定指針」がある。

ベンケルマンビーム(Bengkelman-beam)

舗装路面のたわみ量測定装置の一つで、1953年アメリカの道路技術者ベンケルマンが考案したもの。1955年AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials)道路試験に使用されて以来、広く利用されている。測定方法は、規定の輪荷重とタイヤ空気圧の荷重車を測定箇所止め、ベンケルマンビームの先端を荷重車の後輪の複輪タイヤの中央に差し込み、荷重車をゆっくり発進させたときのビ

ームの先端の動きを手元にあるダイヤルゲージで読み取り、たわみ量を求めるものである。装置は簡便で安価なため普及度は高い。

CBR(California Bearing Ration)

土の支持力を測定する試験の一つで、路床土の設計CBRを求める試験と、路盤材の修正CBRを求める試験がある。設計CBRは、アスファルト舗装の厚さを決定するのに用いられる。規格としては、JIS A 1211(CBR試験方法)とJIS A 1222(現場CBR試験方法)がある。

執筆者

宮 藤 徹

Toru Miyazaki

昭和58年入社

FRPM管の設計・開発に従事



福岡義嗣

Yoshitugu Fukuoka

昭和45年入社

FRPM管の試験研究に従事



車 淳一

Junichi Kuruma

平成10年入社

FRPM管の試験研究に従事



さくら

用語解説

ロードプライシング(Road Pricing)

一定の地域に入ってきたり、ある道路を利用したりする際に自動車に特別料金を課したり、料金に割高感を与えて交通量の削減を図る制度をいう。具体的には、混雑する道路施設をさらに効率的に運用する観点から、混雑税、あるいは混雑料金を課す道路料金制度である。シンガポールやノルウェーなどですでに導入実績がある。

日本でも自動車排気ガス中の汚染物質による大気汚染にからみ、汚染物質の排出抑制を命じた「尼崎公害訴訟」を受けて、国などは自動車交通を臨海部に誘導したりするためのロードプライシングの早期実施を検討している。また石原都知事の提案を受けて、東京都も一般道向けの制度を2003年度に始める方向で検討している。日本でもこの制度の実用化へ向けての論議が高まってきた。

栗本トピックス

2001年家電リサイクル法施行に向けて、断熱材フロン回収装置を6台受注

家電リサイクル法とは、平成10年6月に公布され、平成13年4月より本格施行される「特定家庭用機器再商品化法」という法律である。この法律により製造メーカは、使用済みになった製品4種類のリサイクル義務を負うことになる。

この製品4種類の中には冷蔵庫が含まれているが、冷蔵庫の冷媒フロンは容易に回収できる。しかし、冷蔵庫の断熱材に含まれるフロンの回収は、極めて難しいのが現状である。

当社では、以前から地球の環境を破壊する有機溶剤を回収するアメージャー溶剤回収装置を販売してきた。今回、当社の技術が認められ、断熱材に含まれるフロンの回収装置を6台受注することができた。

今後、地球環境の保護のため、有機溶剤の回収はますます重要となり、装置のより一層の性能の向上が求められる。



回収装置外観