

◆特集：道路構造物の性能評価技術◆

# 現場の施工条件を考慮した舗装の塑性変形輪数の評価法

寺田 剛\* 金井利浩\*\* 鈴木秀輔\*\*\* 久保和幸\*\*\*\*

## 1. はじめに

平成13年7月に通達された「舗装構造に関する技術基準」(以下、技術基準)では、舗装の性能指標として塑性変形輪数が定められ、評価法として「試験温度を60度としたホイールトラッキング試験(以下、WT試験)によって、確認できるものとする」と示されている。また、塑性変形輪数の定義として「舗装の表層の温度を60度とし、舗装路面に49kNの輪荷重を繰り返し加えた場合に、当該舗装路面が下方に1mm変位するまでに要する回数で、舗装の厚さ及び材質が同一である区間ごとに定められるものをいう」と定められている。すなわち舗装の塑性変形輪数は、現地における評価が基本となる。しかし、現行のWT試験は、室内作製供試体を使用して、締固め度100%、厚さ5cm、接地圧0.627MPa(6.4kgf/cm<sup>2</sup>)で試験することになっており、実際に施工された舗装の施工条件を考慮した評価法になっていない。また、現在、WT供試体を作製するために必要なローラコンパクタが配備されているプラントはわずかであることから、ほとんどのプラントでは採取した混合物をローラコンパクタのある施設に運搬し、再加熱してWT供試体を作製することになる。

そこで、①「WT試験条件の検討」としてWT試験条件のうち締固め度、厚さ及び接地圧を変化させた時の動的安定度(塑性変形輪数)に及ぼす影響度合いの検討、②「WT試験用供試体作製方法の検討」として、プラントで採取した試料を再加熱した場合の動的安定度(以下、DS)に及ぼす影響の検討を行い、実際に施工された舗装の塑性変形輪数を評価することが出来る評価法(案)及び加熱劣化等の影響が少ないWT試験用供試体作製方法(案)の提案を行ったので報告する。また、提案を行った評価法及び供試体作製方法がポーラスアスファルト混合物に対して適用が可能か確認を行ったので、③「ポーラスアスファルト混合物への適用性の検討」として、その結果を併せて報

告する。

## 2. WT試験条件の検討

### 2.1 試験方法

実際に施工された舗装条件を評価する必要があるため、その条件を想定して表-1に示す通り締固め度を96~100%、供試体厚さを4~6cm、載荷荷重は技術基準に定義されている49kNと現行の荷重条件でWT試験を行った。厚さの調整は4cmの場合は5cmの型枠に1cmの鉄板を敷き、6cmは10cmの型枠に4cmの鉄板を敷いた。締固め度の調整は、混合物の量で調整した。また、試験に用いた混合物は、表-2に示すとおりであり、目標塑性変形輪数が、現行の試験条件で500、1500、5000回/mmになるよう配合設計を行い作製した。それ以外の試験条件は舗装試験法便覧に準拠した。

### 2.2 試験結果

#### 2.2.1 締固め度と塑性変形輪数の関係

図-1に締固め度を変えた時の塑性変形輪数の関係を示す。この結果、締固め度が小さくなると塑性変形輪数も小さくなることが分かった。締固め度100%を基準に締固め度が96%の時の低下度合いを比較すると、改質Ⅱ型を使用した混合物Ⅲ

表-1 WT試験条件

条 件	荷重条件		厚さ (cm)	締固め度(%)		
	載荷荷重	接地圧		96	98	100
現 行	686N (70kgf)	0.63MPa (6.4kg/cm <sup>2</sup> )	4	—	○	—
			5	○	○	○
			6	—	○	—
49kN相当	539N (55kgf)	0.54MPa (5.5kg/cm <sup>2</sup> )	5	—	○	—

表-2 試験を行った混合物種類

	目標塑性 変形輪数 (回/mm)	使用 バインダー	アスファルト 量(%)	粒 度
混合物Ⅰ	500	ストアス	5.6	密粒(13)
混合物Ⅱ	1500	改質Ⅰ型		
混合物Ⅲ	5000	改質Ⅱ型		

Evaluation Methods of Number of Wheel Passes Causing Plastic Deformation of Pavements that Consider Construction Condition of Site.

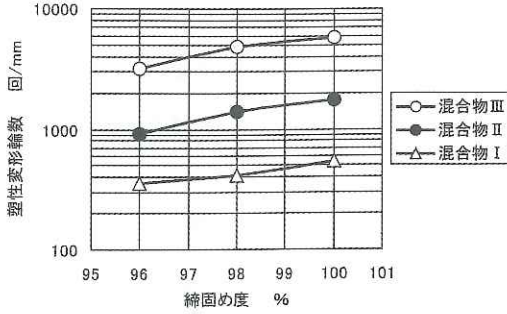


図-1 締固め度と塑性変形輪数の関係

は約45%、改質Ⅰ型を使用した混合物Ⅱも約47%、ストアスを使用した混合物Ⅰは約34%低くなった。これらのことから、締固め度が変わると塑性変形輪数も変化するため、締固め度に応じた塑性変形輪数の評価が必要であることが分かった。また、3種類の混合物とも締固め度と塑性変形輪数の関係はほぼ直線であり、96~100%の間であれば任意の締固め度における塑性変形輪数を推定できると思われる。

### 2.2.2 厚さと塑性変形輪数の関係

図-2に供試体の厚さと塑性変形輪数の関係を示す。この結果、改質Ⅱ型を使用した塑性変形輪数が高い混合物Ⅲ及び改質Ⅰ型、ストアスを使用した塑性変形輪数が低い混合物Ⅱ、Ⅰとも、厚さが変わると塑性変形輪数も変化することが分かった。しかし、表層の厚さが異なっても、アスファルト混合物層(表・基層)全体で捉えると、塑性変形の生じる深さ(温度の影響範囲)はほぼ等しいと考えられることや、「技術基準」における塑性変形輪数の基準値は、厚さ5cmの供試体で実施したWT試験の結果に基づいて定められていることから、供試体の厚さは、現場における表層の厚さ(設計厚さ)に係わらず5cmとすることとした。

### 2.2.3 接地圧と塑性変形輪数の関係

図-3に接地圧と塑性変形輪数の関係を示す。こ

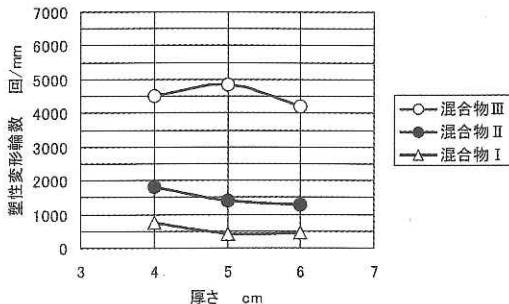


図-2 厚さと塑性変形輪数の関係

の結果、接地圧が小さくなると塑性変形輪数は大きくなることが分かった。現行試験条件である接地圧0.627MPaの時の塑性変形輪数に比べ49kN相当の接地圧が0.539MPaの時の塑性変形輪数は、混合物ⅠとⅡでは1.8倍、混合物Ⅲでは1.3倍になった。なお、49kNに相当する接地圧を今回は0.539MPaとしたが、実際の接地圧は実際の自動車で使用するタイヤ、空気圧等で異なる。

そこで、現在一般的に用いられている大型車両用タイヤの種類と空気圧から、既往の研究成果で得られている数式により49kNタイヤの接地圧を算出した。トラック、バス用タイヤの販売比率<sup>3)</sup>は、ラジアルタイヤ81.7%、バイアスタイヤ18.3%となっており、「ラジアルタイヤ」が一般的である。「技術基準」で定められた49kNの大型車の車輪は一般に複輪であると想定されるため、複輪片側の1輪のみに着目すると輪荷重は24.5kNとなる。大型車用タイヤにおいては、輪荷重が24.5kNの場合も含め、空気圧は概ね0.7MPa(7.1kgf/cm<sup>2</sup>)<sup>4)</sup>である。

上記の条件を、池田らが提案した接地圧を求め式<sup>5)</sup>をSI単位系に換算した次式に代入すると、接地圧として0.59MPa(6.0kgf/cm<sup>2</sup>)が得られる。なお、数式はタイヤの溝を接地面積に含めない場合のものである。これより、WT試験により塑性変形輪数を評価する場合の接地圧は0.59MPa(6.0kgf/cm<sup>2</sup>)とすることとした。

$$\begin{aligned}
 p &= 4.70 \times 10^{-3}P + 0.36A + 0.22 \\
 &= 4.70 \times 10^{-3} \times 24.5 + 0.36 \times 0.7 + 0.22 \\
 &\approx 0.59\text{MPa}
 \end{aligned}$$

ここに、p: 接地圧 (MPa)、P: 輪荷重 (kN)、  
A: タイヤの空気圧 (MPa)

## 3. WT試験用供試体作製方法の検討

### 3.1 試験方法

プラント練落とし混合物を再加熱した時に熟劣

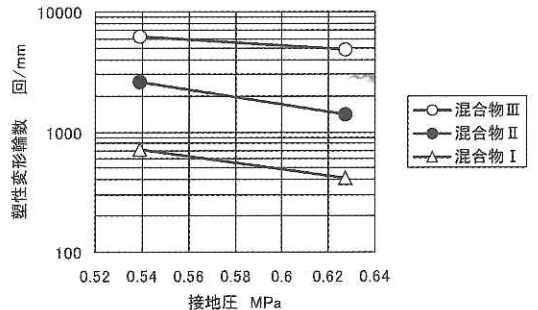


図-3 接地圧と塑性変形輪数の関係

化等が少ないWT供試体作製方法を検討するため、プラントからWT試験を行える試験室まで運搬する方法を変えるなどして、再養生および再加熱の方法がDSに及ぼす影響を調べた。

3.1.1 試験条件

供試体作製条件を表-3に示す。舗装の種類はストアスのみで、目標締固め度を3種類とした。混合物の運搬方法とWT試験用供試体を作製する時の再加熱方法は、表-4に示す7条件とした。練落とし混合物の採取は実際の運搬と同じように、ダンプの荷台に直接排出した混合物をシートで覆っ

表-3 供試体作製条件

項目	内容
粒度	密粒度アスコン (13)
バインダの種類	ストアス
目標締固め度	96, 98, 100%
供試体寸法	30cm × 30cm × 5cm
試料採取および供試体作製場所	試料採取：プラント 供試体作製：プラントおよび試験室(運搬後)

表-4 試験条件

条件	運搬方法	運搬時の保管容器	加温・加熱条件
①	ダンプ	なし(荷台)	・試験室到着直後、温度調整して作製
②	ダンプ	なし(荷台)	・試験室到着後、保存箱に入れ110℃の乾燥機で1.5h養生して作製
③	ダンプ	なし(荷台)	・試験室到着後、保存箱に入れ翌日まで放冷し、110℃の乾燥機で3.0h養生して作製
④	ダンプ	なし(荷台)	・試験室到着後、保存箱に入れ翌々日まで放冷し、110℃の乾燥機で3.0h養生して作製 ・練り落とし直後、軽微な温度調整をして作製
⑤	なし(プラント作製)	大バット	・110℃乾燥炉で1.5h養生後、温度調整して作製 ・110℃乾燥炉で3.0h養生後、温度調整して作製
⑥	なし(プラント採取)	保存箱	・保存箱内で翌日まで放冷した後、110℃の乾燥機で3.0h養生して作製
⑦	ダンプ	なし(荷台)	・試験室到着後、保存箱に入れ翌日まで放冷し、110℃の乾燥機で24.0h養生して作製

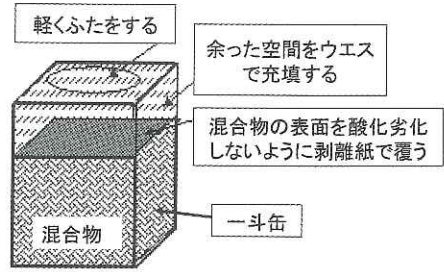


図-4 保存箱に混合物を保存する方法

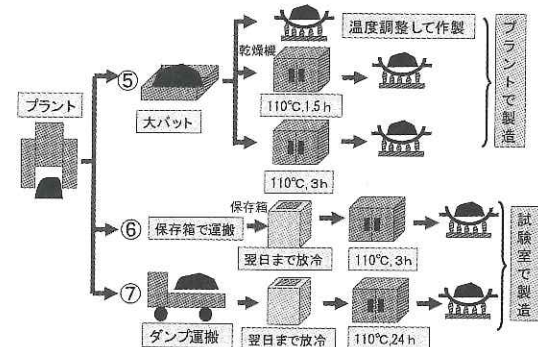
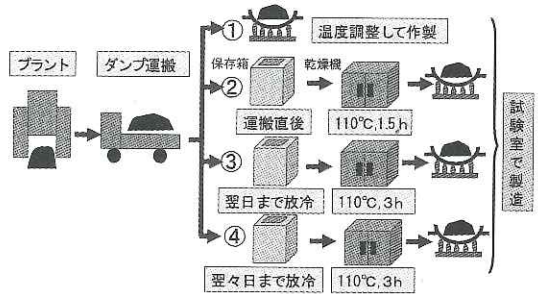


図-5 供試体作製フロー

た状態で試験室まで運搬する方法(試験室までの運搬時間は現場までの平均運搬時間と同じ1時間)と練落とし混合物をそのままプラントで作製する場合と練落とし混合物を酸化劣化させないようにすぐに図-4に示す保存箱に入れて保存した場合で検討した。表-4に示した7つの試験条件の供試体作製フローを図-5に示す。

3.1.2 WT試験条件

WT試験の試験輪の接地圧は技術基準に定義されている49kNに相当すると考えられる0.539MPa(6.0Kgf/cm<sup>2</sup>)で行った。それ以外の試験条件は舗装試験法便覧に準拠した。

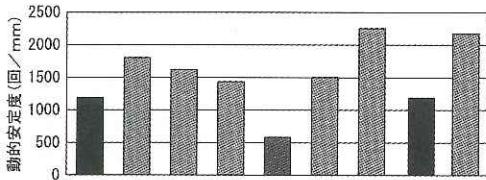
3.2 試験結果

3.2.1 作製方法が試験結果に及ぼす影響

プラント練落とし混合物を用いたWT試験結果を

表-5 WT試験結果

条件 No	作製方法の概要	締固め度 (%)	動的安定度 (回/mm)
①	運搬後、放冷なし、当日、 (温度調整のみ)	99.5	1190
		98.3	850
		96.7	680
②	運搬後、放冷なし、当日、 110℃、1.5h 養生	99.6	1800
		98.4	1090
		96.8	810
③	運搬後、放冷、翌日、 110℃、3.0h 養生	99.7	1620
		98.2	1070
		96.7	900
④	運搬後、放冷、翌々日、 110℃、3.0h 養生	99.6	1430
		98.1	1210
		96.5	900
⑤	プラント、放冷なし、当日	99.8	580
	プラント、放冷なし、 当日、110℃、1.5h	99.8	1500
	プラント、保冷なし、 当日、110℃、3.0h	99.7	2250
⑥	プラント採取後、放冷、 翌日、110℃、3.0h	99.4	1190
⑦	運搬後、放冷、翌日、 110℃、24.0h	99.5	2170



条件	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
供試体作製場所	試験室	試験室	試験室	試験室	プラント	プラント	試験室
運搬方法	ダンプ	ダンプ	ダンプ	ダンプ	太バット	太バット	ダンプ
養生方法		保存箱	保存箱	保存箱			保存箱
養生時間		当日	翌日	翌々日	当日	当日	翌日
加熱方法	大鍋	乾燥機	乾燥機	乾燥機	大鍋	乾燥機	乾燥機
加熱温度		110℃	110℃	110℃	110℃	110℃	110℃
加熱時間		1.5h	3h	3h	1.5h	3h	24h

図-6 供試体作製条件がWT試験結果 (DS) に及ぼす影響

表-5に示す。表-5から目標締固め度100%におけるWT試験の結果を抽出したグラフを図-6に示す。この図より次のことがいえる。

- 1) 現場の舗設は、ダンプで混合物を運搬後すぐに舗設する。この条件と同じ条件① (運搬後放冷なしで温度調整のみですぐに供試体を作製) を基準 (真値として仮定) として比べると、放冷時間、養生温度及び養生時間を変えた②~④及び⑦は熱劣化を起こしDSは高くなっている。
- 2) プラントで作製した⑤の条件のうち、放冷なしで当日すぐに作製した場合は、運搬中に生

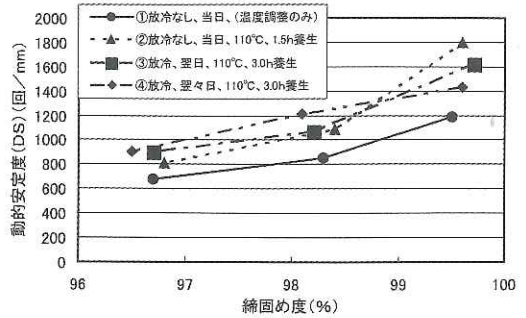


図-7 締固め度と塑性変形輪数の関係

じる劣化がない分、DSは①より小さくなっている。ただし、養生を行うと養生時間に依じてDSは増加し①より大きくなっている。これらに対して、練落とした混合物をすぐに保存箱に入れた⑥は、3時間の再加熱を行っても、①の条件と同じDSであった。これは、プラントですぐに保存箱に入れ放冷するため、酸化および熱劣化を受ける時間が短いことによると思われる。

### 3.2.2 締固め度の違いによる影響

図-7に締固め度を変えて試験した試験条件①~④までのWT試験結果 (DS) を示す。この図より、いずれの条件においても締固め度が低下するにしたがって、DSは減少する傾向を示している。また、いずれの締固め度においても条件①に比べ②~④のDSは高い値を示すことが分かる。

## 4. 評価法の提案

以上の結果から、熱劣化及び酸化劣化を受けにくい供試体作製方法 (案) と現場条件を考慮した塑性変形輪数の評価法 (案) を以下のとおり提案することができた。

### 【熱劣化等の影響を受けにくい供試体作製方法 (案)】

- ① 試料はプラントで採取する。
- ② その場で保存箱 (一斗缶) に入れ、はく離紙を敷設した後、ウェスで空隙を充填する。
- ③ そのまま、放冷する。(最長でも2日間)
- ④ 室温まで低下した試料の入った保存箱を、混合温度-30℃の乾燥炉で3時間養生する。
- ⑤ 所定の量の試料を計り取り、大鍋に移して攪拌しながら混合温度まで加熱する。
- ⑥ 混合温度になったら所定量を型枠に入れ転圧する。

### 【現場の施工条件を考慮した塑性変形輪数の評価法 (案)】

WT試験による塑性変形輪数の評価は図-8のフローに従い、次の方法で実施する。

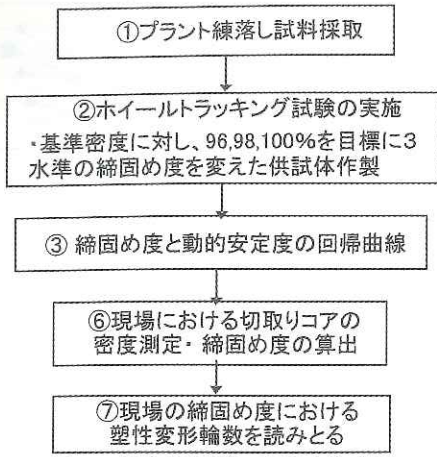


図-8 塑性変形輪数の評価方法 (案)

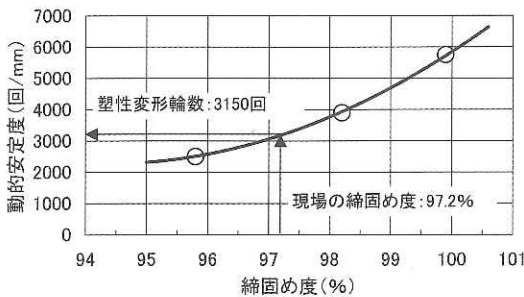


図-9 回帰曲線から塑性変形輪数を読み取る方法

- ①プラントで練落とした直後の混合物を保管箱に採取する。
- ②採取した混合物を用いて基準密度に対する締固め度96、98、100%の3水準を目標として供試体を作製し、WT試験を実施する。
- ③②の結果を、図-9に示すようにプロットし、締固め度とDSの回帰曲線を求める。
- ④現場切取りコアの密度測定結果から締固め度を算出する。
- ⑤現場切取りコアの締固め度を③の回帰曲線上にプロットし、当該締固め度におけるDSを読みとって「塑性変形輪数」とする。

## 5. ポーラスアスファルト混合物への適用性の検討

### 5.1 試験方法

排水性舗装等に使用されるポーラスアスファルト混合物は、粘度、混合温度及び空隙率が高い混合物のため、今回提案を行った供試体作製方法(案)と塑性変形輪数の評価法(案)において、保存箱(一斗缶)から取り出しが可能か、均一な転

圧が可能か、密度を3水準(基準密度に対する締固め度96、98、100%)変えて供試体を作製可能か等について検討を行った。

#### 5.1.1 試験に供した混合物

使用した混合物は、ポリマー改質アスファルトH型を用いたポーラスアスファルト混合物(13)で、空隙率20%、アスファルト量4.7%である。

#### 5.1.2 供試体作製に関する確認

今回用いたポリマー改質アスファルトH型のメーカ推奨混合温度が170℃であったことから、再加熱において乾燥炉の温度を140℃(混合温度-30℃)、再加熱時間を3時間とし、供試体の作製が可能かを確認した。

#### 5.1.3 塑性変形輪数の評価に関する確認

締固め度96%、98%、100%を目標に作製した供試体について、0.539MPa(6.0kgf/cm<sup>2</sup>)の荷重条件でWT試験を実施し、締固め度を变化させた供試体の作製及び塑性変形輪数を求めることが可能かを確認した。

### 5.2 確認結果

#### 5.2.1 供試体作製に関する確認

ポリマー改質アスファルトH型を用いた混合物を対象に、140℃の乾燥炉において3時間の再加熱を行っても混合物が取り出せるかどうかを確認した。

養生時間終了後、保存箱を傾けることで、保存箱内の混合物塊が崩れ、ハンドスコップ等で容易に混合物を取り出せることが確認できた他、ナベ等を用いた加熱混合においてもダレ等、特に問題とされるような現象は見られなかった。

また、供試体が均一に転圧できているかを確認するため、作製供試体を9分割して供試体の密度分布を調べた。結果の一例を図-10に示す。若干のばらつきは見られるものの、ほぼ均一な締固め

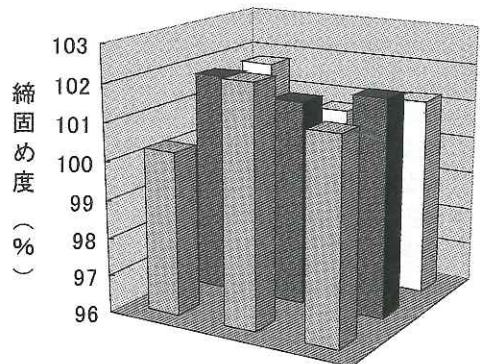


図-10 締固め度の分布

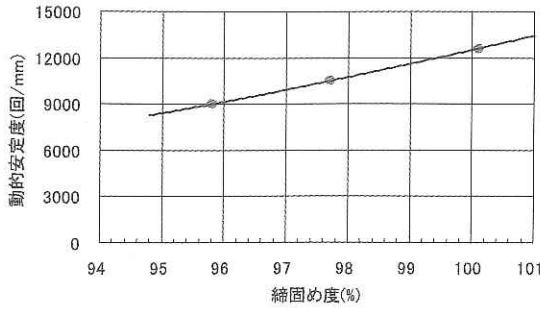


図-11 縮固め度とDSの関係

度の供試体の作製が可能であることが確認できた。

### 5.2.2 塑性変形輪数の評価に関する確認

ポリマー改質アスファルトH型を用いた混合物の縮固め度とDSの関係を図-11に示す。

図に示すとおり、縮固め度が低下するにしたがって、DSも減少している。

このことより、ポーラスアスファルト混合物でも、縮固め度を変化させた供試体の作製及びDSすなわち塑性変形輪数の評価が可能であると確認された。

## 6. まとめ

検討結果をまとめると以下のとおりである。

### 6.1 WT試験条件の検討

- 1) 縮固め度が変わると塑性変形輪数も変化するため、縮固め度に応じた塑性変形輪数を評価することとした。
- 2) 供試体の厚さは一律5cmとすることとした。
- 3) WT試験により塑性変形輪数を評価する場合の接地圧は0.59MPa (6.0kgf/cm<sup>2</sup>) とすることとした。

### 6.2 WT試験用供試体作製方法の検討

熱劣化及び酸化劣化を受けにくく、現場のアスファルト混合物を再現できる供試体作製方法は、

試料をプラントで採取し、保存箱（一斗缶）で放冷し、混合温度-30℃の乾燥炉で3時間養生して供試体を作製する方法である。

### 6.3 ポーラスアスファルト混合物への適用性の検討

1) 作製供試体を切断して密度分布を確認した結果、若干のばらつきは見られるものの、ほぼ均一な縮固め度であったことなどから、ポーラスアスファルト混合物であっても問題なく供試体を作製できることが確認された。

2) 縮固め度を変化させた供試体を作製し、WT試験を行って塑性変形輪数を評価することが可能であることが確認された。

### 6.4 評価法の提案

図-8に示した手順で、舗装の塑性変形輪数を評価する方法を提案した。

## 7. おわりに

実際の舗設時におけるアスファルト混合物の劣化の程度を勘案し、それを再現するための供試体作製方法（案）と、現場の施工条件を考慮した塑性変形輪数の評価法（案）を提案することができた。

今後は、現場における管理データなどを蓄積し、評価方法の検証及び普及を図っていきたいと考えている。

## 参考文献

- 1) (社)日本道路協会：舗装性能評価法, 2006.1
- 2) 寺田、伊藤：再加熱が塑性変形輪数に及ぼす影響の検討、第26回日本道路会議論文集2005.10
- 3) 環境庁大気保全局：タイヤ単体騒音実態調査検討会中間報告について、p.26, 2000.10
- 4) 同上、p.32
- 5) 池田ほか：大型車のタイヤ接地圧評価式の検討、第40回土木学会年次学術講演会講演概要集、pp.465～466, 1985.10

寺田 剛\*



独立行政法人土木研究所  
つくば中央研究所道路技術研  
究グループ舗装チーム主任  
研究員  
Masaru TERADA

金井利浩\*\*



鹿島道路株式会社技術研  
究所主任研究員  
Toshihiro KANAI

鈴木秀輔\*\*\*



大成ロテック株式会社技術  
研究所所長代理  
Syusuke SUZUKI

久保和幸\*\*\*\*



独立行政法人土木研究所  
つくば中央研究所道路技術研  
究グループ舗装チーム上席  
研究員  
Kazuyuki KUBO