

1. ハンバークホイールトラッキング試験による アスファルト混合物の耐流動性評価の検討

Flow Resistance of Asphalt Mixture based on the Hamburg Wheel Tracking Test

技術支援課 橋本 喜正、○上野 真誉

1. はじめに

東京都では、都道において局所的にわだち掘れが大きくなる重交通路線の交差点流入部やバスベイ、バス停留所等に対し、半たわみ性アスファルト混合物（以下、「半たわみ性混合物」という。）を用いている¹⁾。

半たわみ性混合物は、セメントを主体とする浸透用セメントミルクを母体となる開粒度アスファルト混合物の空隙に浸透させたもので、一般的なアスファルト混合物に比べ、塑性変形抵抗性や耐油性に優れている。その一方、開粒度アスファルト混合物を敷設後にセメントミルクを注入することから、工期が必要なることや耐水性が劣るという特徴がある。

近年、技術的な進歩により、耐流動性に優れるアスファルト混合物（以下、「高耐流動性混合物」という。）が舗装会社等から各種開発されている。

そこで、これら高耐流動性混合物と半たわみ性混合物の耐流動性を比較し、高耐流動性混合物を半たわみ性混合物の代替とすることが可能か検討した。

耐流動性の評価は、一般的にホイールトラッキング試験（以下、「WT 試験」という。）により行われるが、測定及び読取り誤差を考慮すると動的安定度（以下、「DS」という。）が 6,000 回/mm を超えるような場合は、明確な有意差は得られない²⁾とされている。HWT 試験は、高い領域の耐流動性も評価することができるとともに、1つの試験で、耐流動性と混合物の剥離抵抗性を評価できるという特性がある。そこで、WT 試験と合わせて、欧米で耐流動性の評価に用いられているハンバークホイールトラッキング試験（以下、「HWT 試験」という。）も行った。

本稿では、WT 試験と HWT 試験による半たわみ性混合物と高耐流動性混合物の結果比較と高耐流動性混合物の現場適用性の検討について得られた知見を報告する。



写真 1-1 半たわみ性舗装施工例

2. 試験概要

(1) 検討対象混合物

表 2-1 に示す 6 種類の混合物を検討対象とした。

表 2-1 検討対象混合物

種類	詳細	略称
密粒度アスファルト混合物 (I3)	ポリマー改質アスファルト II 型	改 II
半たわみ性アスファルト混合物 (I 型)	空隙率22%程度、超速硬セメント	半
高耐流動性アスファルト混合物A	プラントミックスタイプ	高A
高耐流動性アスファルト混合物B	プレミックスタイプ	高B
高耐流動性アスファルト混合物C		高C
高耐流動性アスファルト混合物D		高D

都では、道路で大きなわだち掘れが生じやすい箇所では、耐流動性の高いポリマー改質アスファルト II 型を用いた混合物（密粒度、粗粒度、開粒度）（以下、「改質 II 型混合物」という。）や半たわみ性混合物を使用している¹⁾。このため、高耐流動性混合物の耐流動性調査を行うに当たり、比較対象としてこれらの混合物の試験も合わせて実施した。また、高耐流動性混合物も製造している企業によっては、プラントミックスタイプ、プレミックスタイプ等様々な種類があることから、高耐流動性混合物は、製造メーカーが異なるものを 4 種類用意した。

(2) 試験項目及び数量

検討対象混合物に対し、配合試験を行った後、表2-2に示す試験を行った。

表 2-2 試験項目及び数量

混合物	ハンバーグ ホイールト ラッキング 試験	ホイール トラッキ ング試験	曲げ試験		密度試験
			アスファ ルト混合物	半たわみ 性混合物	
	試験数	試験数	試験数	試験数	試験数
改II	2組	3枚	3本	-	10
半	2組	3枚	3本	3本	13
高A	2組	3枚	3本	-	10
高B	2組	3枚	3本	-	10
高C	2組	3枚	3本	-	10
高D	2組	3枚	3本	-	10

この他、半たわみ性混合物では、注入するセメントミルクに対し、流動性試験、強度試験を実施した。

表 2-2 等に示した試験は、「舗装調査・試験法便覧（平成 31 年版）（（公社）日本道路協会）」（以下、「試験法便覧」という。）に基づき実施した。

ただし、半たわみ性混合物の曲げ試験は、「土木材料仕様書（東京都建設局）」（以下、「材料仕様書」という。）に基づき実施した。

なお、HWT 試験は、試験法便覧に定められていないため、米国の AASHTO T324 と国内で HWT 試験を実施している先行事例³⁾を参考に表 2-3 に示す条件で行った。

表 2-3 HWT 試験の試験条件

供試体の形状	空隙率	走行輪
直径150mm、高さ60mmの円柱供試体の一部を切断し、それを2つ合わせたもの（切断面の長さは6cm程度）	7.0 ± 0.5%	直径203.2mm、幅47mmの鉄輪
	荷重	走行速度
	705 ± 4.5N	50回/min
	試験温度	試験条件
	60℃	水浸
	試験時間	試験結果の整理
走行20,000回	変形(mm)、SIP、破壊回数	

供試体の形状はジャイレトリーコンパクタで作成可能なφ15cm、試験温度はWT試験と同じ60℃とした。

ジャイレトリーコンパクタは、混合物の締固め特性を評価するのに用いられる試験機であり、一般的に性状試験用の供試体を作成することにも用いられている。

また、試験結果の整理として用いた SIP は、剥離抵抗性の高さを示す指標である。図 2-1 のように HWT 試験初期の傾きと試験継続時の傾きの交点の走行回数に

より求められる。

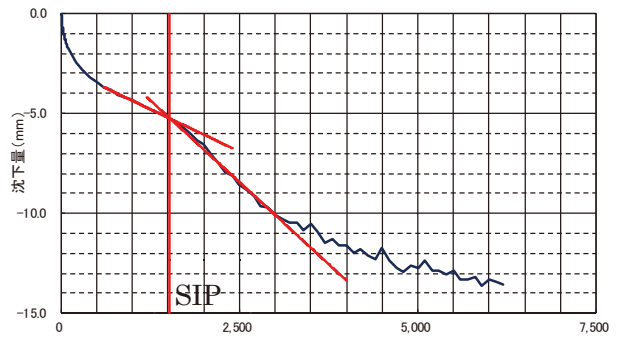


図 2-1 SIP 概念図



写真 2-1 HWT 試験用の供試体の切断面



写真 2-2 HWT 試験機の状況



写真 2-3 試験後と未試験の供試体

3. 試験概要

(1) 試験結果一覧

試験等に先立ち実施した配合試験の結果を表 3-1 に示す。

また、表 3-2 に HWT 試験等の結果を示す。

表 3-1 配合試験結果

混合物	アスファルト量 (%)	基準密度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	飽和度 (%)	安定度 (kN)	フロー値 (1/100cm)	残留安定度 (%)
改II	5.4	2.402	3.9	76.5	15.26	28	86.4
高A	6.6	2.349	4.4	77.1	35.77	18	93
高B	6.3	2.363	4.0	78.4	30.3	17	82.3
高C	5.4	2.398	3.9	76.5	17.3	30	85.3
高D	5.6	2.394	3.8	77.4	19.91	46	92.3
規格値	-	2.33以上	3~6	70~85	8.0以上	20~40	-

混合物	アスファルト量 (%)	基準密度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	連続空隙率 (%)	飽和度 (%)	安定度 (kN)	フロー値 (1/100cm)	残留安定度 (%)
半	4.5	1.974	21.6	19.1	28.7	4.56	21	96.3
規格値	-	1.93以上	18~26	-	-	3.0以上	20~40	-

表 3-2 HWT 試験等結果

混合物	ハンバーグホイールトラッキング試験				ホイールトラッキング試験		アスファルト混合物の曲げ試験		半たわみ性混合物の曲げ試験		セメントミルクの流動性試験	セメントミルクの強度試験	
	SIP		試験終了時		動的安定度 (回/mm)	最終沈下量 (mm)	曲げ強度 (MPa)	破断ひずみ (ε)	曲げ強度 (MPa)	破断ひずみ (ε)	フロー値 (sec)	曲げ強度 (MPa)	圧縮強度 (MPa)
	SIP (回)	沈下量 (mm)	走行 (回)	沈下量 (mm)									
改II	1,780	5.3	6,350	11.4	10,500	1.1	11.2	5.00E-03	-	-	-	-	-
半	-	-	20,000	7.6	52,500	0.37	5.3	5.60E-03	3.5	45.0E-3	11.3	1.9	5.8
高A	4,130	3.1	13,850	11	21,000	0.61	8.7	5.00E-03	-	-	-	-	-
高B	1,990	2.7	7,500	11.4	16,450	0.58	8.8	4.70E-03	-	-	-	-	-
高C	4,340	4.3	15,000	12.1	19,250	0.93	11.2	4.50E-03	-	-	-	-	-
高D	7,180	3.7	20,000	8.5	16,450	0.95	11.6	4.30E-03	-	-	-	-	-

表 3-1 に示した半たわみ性混合物の結果は、母材となる開粒度アスファルト混合物に対して行ったものである。

また、表 3-2 の半たわみ性混合物の曲げ試験では、アスファルト混合物の曲げ試験は母材となる開粒度アスファルト混合物に対して行ったものであり、半たわみ性混合物の曲げ試験は、半たわみ性混合物として実施したものである。

(2) 配合試験結果

配合試験の結果から、調査した 4 種類の高耐流動性

混合物のうち、3 種類で一般的な密粒度混合物等のフロー値の規格値を逸脱するものが確認された。

(3) HWT 試験結果

図 3-1 から図 3-4 に HWT 試験の結果を示す。

図 3-1、3-2 は、各混合物の最終走行回数と最終走行回数時のわだち掘れ量を示したものである。HWT 試験は、AASHTO の基準で走行回数が 2 万回と定められている。しかし、混合物によっては、走行回数が 2 万回に到達する前に沈下量が大きくなり、走行輪が型枠の縁に接触し、試験継続が困難となるものが確認され

た。このような場合は、沈下量が12mm（供試体高さの20%）程度になったところで試験を終了とした。

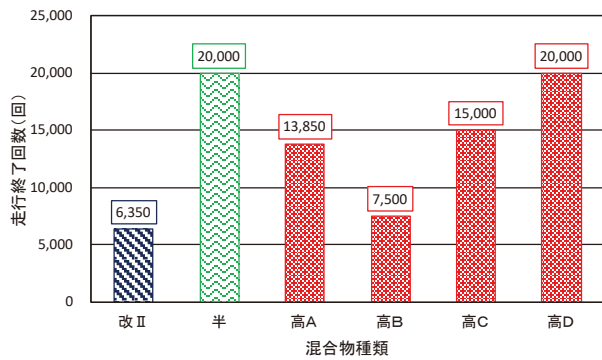


図 3-1 HWT 試験（混合物と走行終了回数）

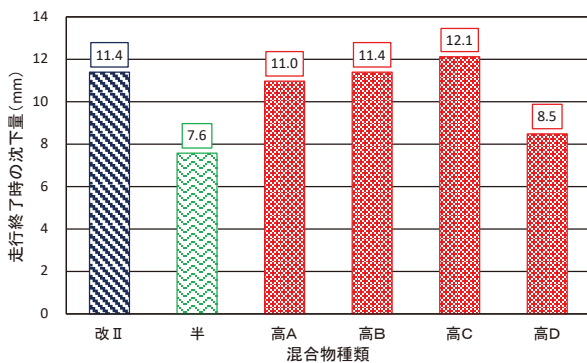


図 3-2 HWT 試験（走行終了時の沈下量）

図 3-1 から半たわみ性混合物と高耐流動性混合物 D が走行回数 2 万回に達した。

また、図 3-1、3-2 から改質 II 型混合物、高耐流動性混合物 3 種類が試験中に沈下量が 12mm 程度に達し、試験継続が困難となったため、試験を中止した。

図 3-3、3-4 は HWT 試験の SIP と SIP 確認時の沈下量を示したものである。

SIP は、HWT 試験において、沈下が急激に進行し始める走行回数である。半たわみ性混合物は、沈下が急激に進行し始める走行回数が発生しなかったため、SIP の評価をなしと判定した。

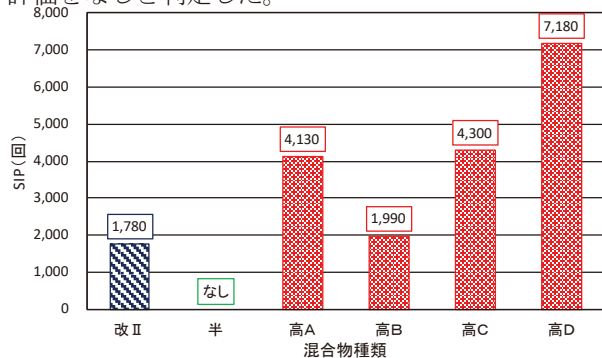


図 3-3 HWT 試験（SIP）

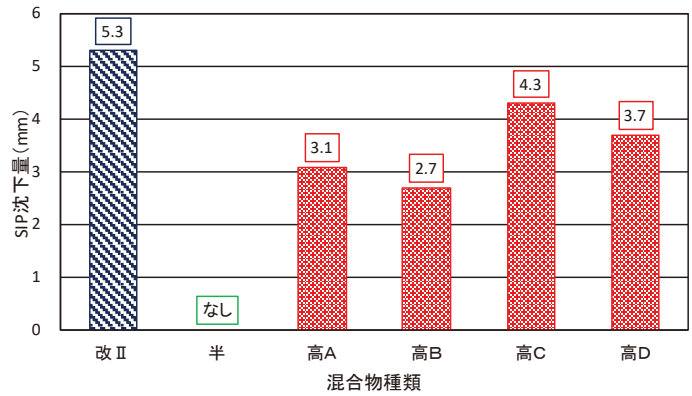


図 3-4 HWT 試験（SIP 時の沈下量）

高耐流動性混合物 4 種類では、高 D > 高 C > 高 A の順に走行回数が多くなったが、結果に大きなばらつきが確認された。

(4) WT 試験結果

図 3-5 及び 3-6 に WT 試験の結果を示す。

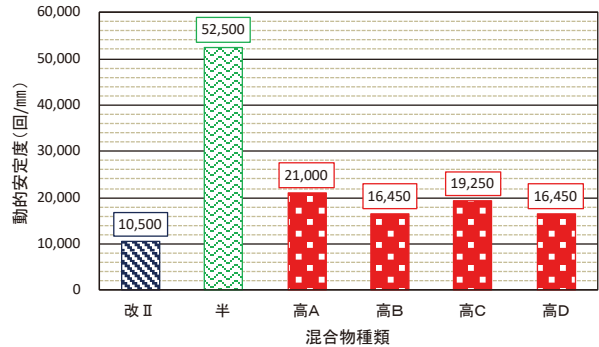


図 3-5 WT 試験（動的安定度（DS））

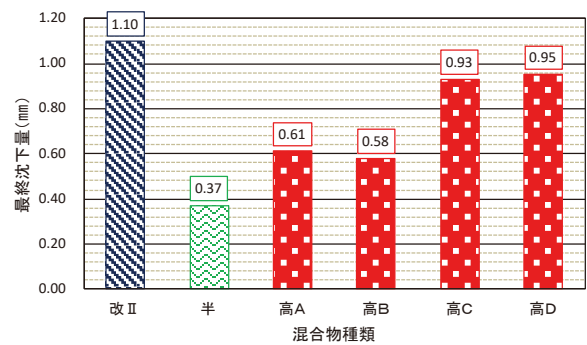


図 3-6 WT 試験（試験終了時の沈下量）

WT 試験は、試験開始から 45 分後、60 分後の変形量から DS を求めるものである。試験法便覧では、DS が 6,000 回/mm を超える場合「6,000 回/mm 以上」、それ以外は計算値（回/mm）と報告することとされている。いずれの混合物も 6,000 回/mm 以上となるが、本稿では計算値を記載した。

(5) アスファルト混合物の曲げ試験結果

図 3-7、3-8 にアスファルト混合物の曲げ試験結果を示す。

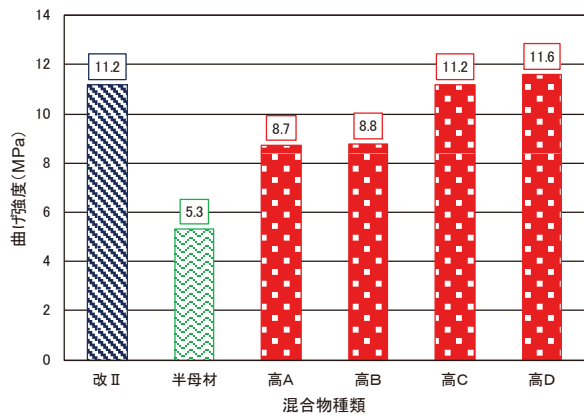


図 3-7 アスファルト混合物の曲げ試験 (強度)

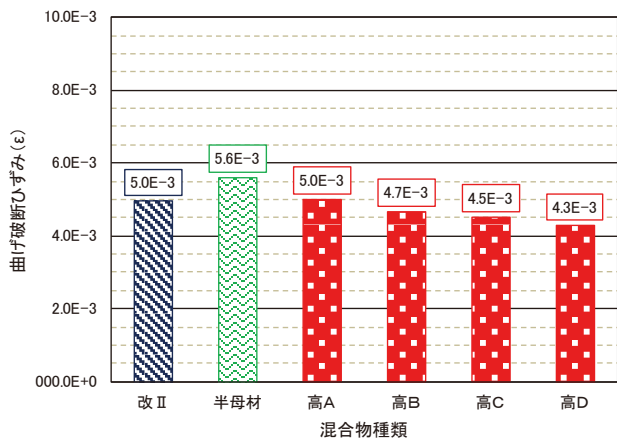


図 3-8 アスファルト混合物の曲げ試験 (曲げ破断ひずみ)

半たわみ性混合物については、アスファルト混合物の曲げ試験と試験方法が異なるため、上図に示した試験結果は母材となるアスファルト混合物の曲げ試験の結果である。そのため、ポリマー改質H型を使用したポーラスアスファルト混合物の曲げ試験結果となる。半たわみ性混合物の曲げ試験結果は、表 3-2 に示したとおり、曲げ強度が 3.5MPa、破断ひずみ ϵ が 45×10^{-3} (mm/mm) であった。

4. 考察

(1) 配合試験

表 3-1 に示したとおり、高耐流動性混合物 4 種類のうち、3 種類で密粒度アスファルト混合物等の一般的なフロー値 20~40 を逸脱することが確認された。これは、高耐流動性混合物は、耐流動性等を高めるため、特殊な材料を添加しており、その性状が一般的なアスファルト混合物とは、大きく異なっているためと考えられる。

(2) HWT 試験

高耐流動性混合物 4 種類のうち、3 種類で HWT 試験の走行回数 2 万回に到達しなかった。これは、浸水状態で試験温度を WT 試験と同じ 60℃ に設定した供試体に対し、厳しい条件で試験したことが影響しているものと考えられる。

(3) WT 試験

改質 II 型混合物を含む全ての混合物で動的安定度が 6,000 回/mm 以上と判定された。このことから、いずれの混合物も乾燥状態では、優れた耐流動性を確保していると考えられる。

(4) HWT 試験と WT 試験の比較

図 4-1 は HWT 試験の走行回数と WT 試験の DS を整理したものである。

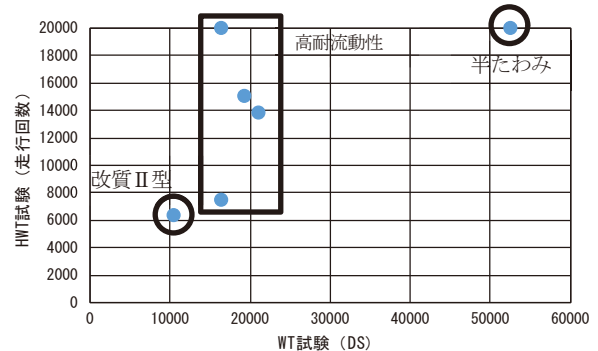


図 4-1 HWT 試験と WT 試験の関係

図 4-1 から高耐流動性混合物においては、DS の上昇に伴い HWT 試験の走行回数が上昇するわけではないことが判明した。これは、製造された高耐流動性混合物の温水中と気中乾燥状態では、耐流動性に大きな違いが出ているためと考えられる。

(5) アスファルト混合物の曲げ試験

アスファルト混合物の曲げ試験は、低温時におけるたわみ性を評価することを目的に実施した。高耐流動性混合物では、曲げ強度が 8.7MPa 程度のものとは 11.2MPa 程度のものに分かれる傾向が確認された。これは、高耐流動性混合物においても、低温時の性状が改質 II 型混合物に近い傾向を示すものがあることとそうでないものがあると考えられる。

また、アスファルト混合物の曲げ試験の結果と HWT 試験の結果を図 4-2 に示す。

図 4-2 から高耐流動性混合物では、HWT 試験の走行回数が高いと曲げ強度が高くなるわけではないことが確認された。これは、WT 試験についても同様である。

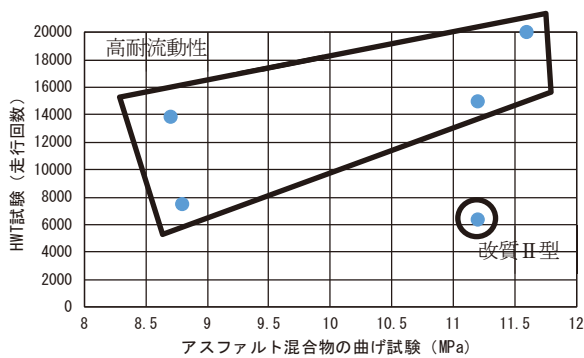


図 4-2 HWT 試験と曲げ試験の関係

5. まとめ

改質 II 型混合物、半たわみ性混合物、高耐流動性混合物の耐流動性を評価するため、各種試験 (HWT 試験、WT 試験、アスファルト混合物の曲げ試験) を行った結果、以下のことが明らかになった。

- ・高耐流動性混合物は、一般的なアスファルト混合物と性状が異なるため、現在主流の配合設計法であるマーシャル法になじまないと考えらる。そのため、基準化に際しては、高耐流動性混合物にあった基準値等を新たに検討する必要がある。
- ・高耐流動性混合物では、DS と HWT 試験の走行回数に明確な関係性を確認することはできなかった。
- ・高耐流動性混合物では、アスファルト混合物の曲げ強度と HWT 試験の走行回数に明確な関係性を確認することはできなかった。
- ・HWT 試験、WT 試験の結果から、耐流動性が半たわみ性混合物に近い高耐流動性混合物があることが判明した。

6. おわりに

現在、アスファルト混合物の耐流動性を評価するため、WT 試験が広く行われている。しかしながら、アス

ファルト混合物の製造技術の向上や舗装会社等の製品開発により、DS が 6,000 回/mm 以上と評価されている製品を多く目にするようになった。また、製品によっては DS が 1 万回/mm を超えるとされているものもある。そのような中、耐流動性がより優れている製品がないか検討するため、欧米で広く使用されている HWT 試験を実施した。

HWT 試験は、供試体を温水に浸し、鉄輪により载荷することから、WT 試験よりも更に負荷がかかる。加えて、今回使用した供試体のように、供試体を加工し、中央部に温水が常時通水している状況は、夏場にひび割れが発生した舗装に雨水等が浸水した状況と類似しているため、実践的な試験であると考えられる。近年では、舗装体内の水分が、舗装の強度低下を招き、劣化を促進していると指摘されている³⁾。舗装の強度を考えると、水分の条件が WT 試験と異なることから、HWT 試験も有効であると推察される。また、HWT 試験の結果から高耐流動性混合物の中にも半たわみ性混合物に近い結果を示す混合物が確認された。このような混合物については、半たわみ性混合物を使用している現場に適用することが可能と考えられる。なお、それ以外の高耐流動性混合物についても、改質 II 型混合物から半たわみ性混合物の間を埋めるような試験結果を確認することができたことから、施工可能な時間が短い等、現場条件が厳しい、半たわみ性混合物の適用が困難な現場に使用することで、道路のパフォーマンスを向上させることが可能と考えられる。

今後、高耐流動性混合物の調査を更に進めるとともに、現場で適用することができるよう基準類整備に向けた取組みを推進していく。

参 考 文 献

- 1) 東京都建設局 (2022) : 道路工事設計基準、3-93
- 2) 公益社団法人日本道路協会 (2019) : 舗装調査・試験法便覧 (平成 31 年版) [第 3 分冊]、[3]-59
- 3) たとえば、遠藤桂 (2018) : ハンバーグ・ホイール・トラッキング試験機、アスファルト合材 NO. 125、60-65
- 4) 株式会社高速道路総合技術研究所 (2019) : 長寿命舗装の作り方、23-34