

V-14 コンクリート舗装のすりへり抵抗に関する試験

日本道路公団試験所 正員 石田孝九夫

○中村 修吾

飯田 文夫

1. まえがき

国道開発幹線自動車道の全国的な伸長とともに寒冷積雪地等における道路の構造、供用路面の維持管理などに関する諸問題を解決するための試験研究がいそがれている。なかでも、寒冷地の道路では、厳しい気象条件と相まってタイヤチェーンやスパイクタイヤによる路面のすりへりがはなはだしく、舗装のすりへり抵抗が重要な問題となっており、現に欧米諸国の寒冷地道路では、特にスパイクタイヤによる輪だちばれが多数報告され、深刻な問題とされている。アスファルト舗装のすりへりに関しては、主に北欧、北米において数年前からかなり試験研究が行なわれているようであるが、コンクリート舗装を対象としたものは極めて少なく、基礎的な試験研究の文献はほとんどみあたらないのが現状である。

本試験は、回転式舗装試験機(Traffic Simulator Machine)を用いてコンクリート舗装の施工条件について、コンクリートの締固め、表面仕上げ、養生およびスランプの各要因がスパイクタイヤによるすりへりに及ぼす影響を検討したものである。又、すりへり面のすべり抵抗値についても検討した。

2. 既往の試験研究

前述したようにコンクリート舗装のすりへりに関する試験研究の例は数少ないが、それらの要点をとりまとめてみると以下のようである。

配合条件については単位セメント量が 350 kg/m^3 以下の場合にはすりへり抵抗が低下する、あるいは圧縮強度の高いコンクリートのすりへり抵抗は良好であるという報告もあるが水セメント比とすりへり抵抗との間には明らかな相関が認められないという報告もある。又、すりへり抵抗に関する最適細骨材率は32~36%程度と報告されている。施工条件については、早期養生、水中養生の効果が認められており、フィニッシング又はフロート掛けの方法が摩耗量に影響を及ぼすことも示されている。なお、摩耗に関する要因として、施工温度、季節、乾湿等を考慮する必要がある事が示唆されている。以上のような結果であるが、これらはロード式試験機、ドリー試験機、ラベリング試験機およびGerman wear test machine等の小型試験機を使用して試験を行ったものであり、スパイクタイヤによる路面のすりへりとはすりへり機構が異なつた試験方法で行なわれている場合が多い。日本道路公団試験所ではより実際に近い条件で路面のすりへり性状を検討するために、大型の回転式舗装試験機を用いてすりへり試験を行っている。昭和45年度に実施したコンクリート舗装のすりへり抵抗に関する室内試験の結果を要約すると次のようである。コンクリート舗装の材料及び配合条件がコンクリートのすりへり抵抗に及ぼす影響を検討するために、単位セメント量、細骨材粒度、粗骨材種類(川砂利・碎石)・最大寸法および粗骨材すりへり減量の各要因を取り上げ実験計画法を用いて試験を行った。

セメントは普通ポルトランドを用いた。コンクリートの配合と強度試験結果は表-1に示す。

表-1 配合結果と強度試験結果

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (kg/cm^2)	すりへり抵抗 (kg/cm^2)
30~46	27~40	1~5.5	2.9~6.5	289~548	361~577

(1) 取りあげた要因のうちすりへりに影響するものは、単位セメント量、細骨材粒度、粗骨材種類およびすりへり減量であり、単位セメント量が多く、細骨材の粒度が粗く、すりへり減量の少ない河川産粗骨材を用いたコンクリートがすりへりにくい。

(2) 各要因のすりへり量に対する寄与率は次のようである。単位セメント量や細骨材粒度の寄与率は、すり

ヘリが進んでもあまり変らないが、粗骨材種類の寄与率は、すりヘリが進むとともに小さくなり、すりヘリ減量の寄与率は逆に大きくなる。

(3) すべり抵抗値は、平均してすりヘリ初期に一増増加し、以後試験前よりも低下する傾向が見られるが、すべり抵抗に影響する要因は見い出せなかった。

(4) すりヘリ面の凹凸度は、粗骨材の種類 すりヘリ減量によつて相連し、碎石ですりヘリ減量20%程度のものを使った場合が凹凸が少なくなった。以上のような結果を踏まえ、昭和46年度は下記に述べるように施工条件がコンクリートのすりヘリ抵抗に及ぼす影響を検討したものである。

3. 回転式舗装試験機の概要

この大型試験機は、中心回転軸に支持された4本のアームにトラックタイヤあるいは乗用車タイヤを4本取り付け、幅90または160cmの台形供試体を12個円環状に組合せた直径6mの試験走路を回転走行させるようになっている。輪荷重は0~3000kg/輪、走行速度10~60km/h、走行輪方位角の調節はトーン付与角 $\pm 5^\circ$ 、キャンバー付与角 $\pm 15^\circ$ 、トルクは最大 $\pm 6\%$ 勾配部の走行に相当するトルクを負荷できる性能をもっている。又、走行中に走行輪軌跡を標準位置より $\pm 200\text{mm}$ の範囲内の任意な量で3段階に調節でき、すりヘリガーになるよう配慮されている。なお、実験中の操作ならびに制御、計測はすべて観測室で遠隔操作できるようになっている。

4. 試験計画

すりヘリ抵抗に影響すると考えられる諸要因の中から、締固め方法、締固めの程度、振動機種、表面仕上げ時期、湿润養生日数およびスランプの6要因をとりあげた。表-2はとりあげた要因とその水準を示したものである。各要因・水準は主に材料の分離、グリーンング、水セメント比、初期養生などがすりヘリ抵抗に及ぼす影響を考慮し定めたものである。試験のわりつけには直交表 $L_8(2^7)$ を用い、3水準の要因については一部追加法により処置し、合計に種数の供試体について試験することとした。

5. 使用材料およびコンクリート配合

セメントは普通ポルトランドを使用した。粗骨材は最大寸法40mmの相模川産砂利を用い、細骨材は相模川産り砂と藤沢産陸砂を4:1の比率で混合したものをを用いた。表-3に使用した骨材の物理的性質を示す。

コンクリートの配合は、単位セメント量350kg/m³、細骨材率32%とし、スランプは所定値の0、5cmに從い、単位水量を加減して、それぞれ打込時0~1cm、5 $\pm$ 1cmを目標とした。又、空気量は3~6%を目標とした。コンクリートの配合および試験結果は表-4に示すとおりである。なお表中のスランプ、空気量は各配合3バッチにおける測定値の範囲を、又強度は、圧縮、曲げともに材令28日標準養生供試体各3本の平均値を それぞれ示したものである。

6. 試験方法

6-1. 供試体の作製

わりつけ結果より施工条件と試験順序に従い合計12体の供試体を作製した。供試体は直径6m、幅16m、厚さ300mの回転式舗装試験機の試験走路を、長辺2.01、短辺1.16、幅16mの台形には等分し、所定のスランプ値の生コンを用いて、各施工条件に従い以下に示すような方法で作製した。コンクリートの打込みは、一層締固めの場合300mm厚に、二層締固めの場合一層目200mm厚 二層目100mm厚に行い、各層ごとに締固めた。締固め程度は、モル

表-2 要因と水準

要 因	記 号	水 準		
		1	2	3
締固めの方法	A	1層締固め	2層締固め	—
締固めの程度	B	普 通	過 度	—
振動機種	C	内部振動機	表面振動機	—
表面仕上げ時期	D	早い仕上げ	遅い仕上げ	—
湿润養生日数 (日)	E	0	3	10
スランプ (cm)	F	0	5	—

表-3 使用骨材の物理的性質

骨材種別	比 重	吸水率 (%)	単位容積 重量(g/cm ³)	すりヘリ 減量(%)	安定性 (%)	粗粒率 (F.M)	産 地
粗骨材	2.68	1.1	1.66	16.3	8.2	7.23	相模川
細骨材	2.58	2.9	1.64	—	5.7	2.95	相模川 藤沢(陸)

表-4 コンクリート配合及び配合結果

配合 種別 (スラン プcm)	単位 セメン ト量 (kg)	単位 水量 (kg)	水セ メント 比(%)	細骨 材率 (%)	単位 粗骨 材量 (kg)	単位 細骨 材量 (kg)	粗 骨材 率 (%)	コンクリート状態 スランプ空気量 (cm)(%)	コンクリート強度 28日(kg/cm ²) 圧縮曲げ
0	350	127	36.3	32	604	1324	0.5 ~1.5	3.5 ~4.1	419 54.7
5	350	132	37.7	32	600	1315	4.0 ~6.0	3.4 ~4.0	357 49.5

タルや水分の浮き上がり具合で判断し、締固めの十分とみなされる程度を「普通」とし、「過度」の場合は締固めの時間を「普通」の2倍とした。振動機は、内部振動式として、振動棒 45×450 mm、振動数 8000 VPMのインツシ棒型振動機を、また表面振動式として、振動板 1200×300 mm、振動数 3500 VPMの平面型振動機を、それぞれ使用した。表面仕上げは、早の仕上げの場合コンクリート締固め直後に、また遅れ仕上げの場合は締固め終了後、表面をはば平坦にならして放置し、仕上げ可能な限界と思われる時点に、それぞれ木ゴテを用いて行った。遅れ仕上げの時期は、スランプ 0 cm、 5 cmのコンクリートにおいて、締固め終了後それぞれ約1時間および3時間であった。湿潤養生は、所定の日数供試体面を湿った麻袋でおおって行い、以後供試体は材令28日迄平均 24°C で気乾養生し、すりへり試験に供した。なお、供試体作製の際、普通程度の締固めに要した時間は、スランプ 0 cm、 5 cmのコンクリートについて内部振動機の場合で、それぞれ約9秒、5秒であり、表面振動機の場合でそれぞれ約30秒、5秒であった。締固めの時間が一般的にいわれている時間より少ないのは、供試体寸法が小さく、振動機の挿入間隔が小さかったためである。

6-2 すりへり試験

試験には $10.00-20-14$ PRスノースパイクタイヤ(スパイク数64本、空気圧 60 kg/cm^2)を使用した。回転式鋪設試験機の試験条件は、輪荷重 20 t、走行速度 40 km/h 、2%勾配相当トルク、輪軌道変位量 ± 60 mmとし、走行試験中は路面に散水を行った。なお、スパイクタイヤによる試験に先立ち、供試体表面を平滑にするため、普通タイヤを一万回通過走行させた。すりへり量の測定は、タイヤ通過回数3、7、15、30、60および120万回の時点で、各供試体表面2ヶ所について行った。なお、すりへり量の表示は平均すりへり深さによつたが、これは一定区間長(35 cm)のすりへり部に水を満たしその重量から算出した値である。又 前述の各タイヤ通過回数時の供試体表面のすべり抵抗を、ポータブルテスターを用いて1供試体につき2ヶ所測定し、すりへりに伴うすべり抵抗の変化もあわせて検討した。

7 試験結果と考察

すりへり量及びすべり抵抗値は2ヶ所の測定値を平均したものであるが、すりへり量の分散分析にあたつてはくり返し測定値として処理し検定の精度を高めた。すりへり量の試験結果を図-1のようである。前述の材料・配合条件を変化させた場合に比べ、施工条件を相違させた各供試体間のすりへり量の差は小さい。また主に試験初期に差が生じ、以後すりへり量の差はあまり増大しない。表-5にすりへり量に関する各要因の分散分析結果の一例を示したように有意と認められた要因は、表面仕上げ時期、湿潤養生日数、スランプの3要因であり、締固めの方法、締固めの程度および振動機種についてはその影響が認められなかつた。有意となった各要因ごとに、すりへり量の変化を示すと図-2のようである。表面仕上げの遅いもの、湿潤養生日数の長いもの、スランプの小さいコンクリートを用いたものが、それぞれすりへりにくいことがわかる。また各要因とも水準の相違によるすりへり量の差は平均すりへり深さが 10 mm前後に達するまで拡大するが、以後は一定化する傾向がみられる。これは、表面仕上げ時期や初期の湿潤養生、スランプの各条件が、主に粗骨材が露出するまでの表面モルタル層におけるすりへりに影響し、以後のすりへりにはあまり影響しないことを示すものと考えられる。有意と認められた各要因がすりへり量に及ぼす影響は、タイヤ通過回数120万回で

図-1 すりへり量試験結果

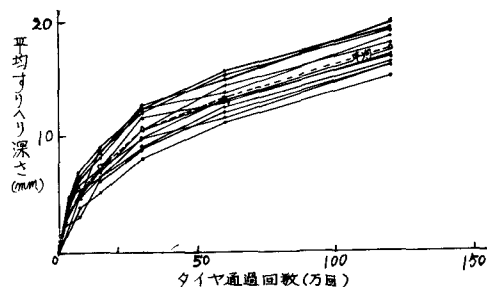


表-5 分散分析表(タイヤ通過回数 30万回)

要因	偏差平方和	自由度	分散	分散比	寄与率(%)
A	2.5	1	2.5	1.35	
B	0.1	1	0.1		
C	1.8	1	1.8		
D	8.3	1	8.3	451*	7.9
E	25.0	2	12.5	679**	25.9
F	13.9	1	13.9	755*	14.7
e ₁	15.4	4	3.85		
T	67.0	11			
e ₂	15.2	12	1.27		
全誤差	35.0	19	1.84		51.5
T	82.2	23			100.0

注: *は5%有意, **は1%有意

るが、以後は一定化する傾向がみられる。これは、表面仕上げ時期や初期の湿潤養生、スランプの各条件が、主に粗骨材が露出するまでの表面モルタル層におけるすりへりに影響し、以後のすりへりにはあまり影響しないことを示すものと考えられる。有意と認められた各要因がすりへり量に及ぼす影響は、タイヤ通過回数120万回で

1~2mm程度であり、同一試験条件で材料及び配合条件を変化させた場合のすりへり量の差が5~10mm程度であったことを考えあわせると、施工条件がすりへり抵抗に及ぼす影響は比較的小さいものと考えられる。又、締固の程度、振動機種の種類がすりへり抵抗に及ぼす影響は、本試験で用いた程度のコンシステンシーのコンクリートでは問題とならないようである。すりへり抵抗値の試験結果を図示すると図-3のようである。すりへり抵抗値は平均して、すりへり量5mm程度(タイヤ通過回数約7万回)で最大となり、以後すりへりの進行につれて徐々に低下し、すりへり量10mm程度(約30万回)から一定の値を示す傾向が認められる。このような傾向は前回の試験においても同様に認められたもので、すりへり抵抗

はコンクリート表面に粗骨材が露出しはじめた頃に最大となり粗骨材の露出がほぼ一定化した頃にすりへり抵抗値も一定化するのではないかと思われる。

8 結論

施工条件がコンクリート舗装のすりへり抵抗に及ぼす影響を明らかにする目的、回転式舗装試験機を用いて行った試験の結果をまとめると以下のようである。

(1) とりあげた要因のうちすりへり抵抗に影響するものは、表面仕上げ時期、湿潤養生日数、スランプの3要因であり、締固の方法、締固の程度、振動機の種類についてはその影響が認められない。すりへり抵抗を増大させるためには、初期の湿潤養生が大切であり、仕上げ時期はできるだけ遅くし、スランプの小さいコンクリートを用いることが必要である。

(2) 上記3要因の各々がすりへり量に及ぼす影響は、既報の材料・配合条件の影響に比べるとかなり小さく、通常の施工の範囲内ではすりへり抵抗に大きな差異は生じないと思われる。

(3) すりへり抵抗は、すりへり量5mm程度で最大となり、以後一旦低下するがすりへり量10mm程度からは一定の値を示す傾向がみられる。

参考文献

- (1) A C I Committee 302: "Proposed Recommended Practice for Concrete Floor and Slab Construction" A C I Journal Jan. 1966
- (2) セメント技術年報 昭和38年 P 331
- (3) セメント コンクリート プロダクト・ 1970年 5月
- (4) A C I Committee 302: "Proposed Standard: Recommended Practice for Concrete Floor and Slab Construction" A C I Journal, Aug. 1968
- (5) Shu-T'ien Li: "Wear-Resistant Concrete Construction" A C I Journal, Feb 1957
- (6) Olle Andersson and Bengt Lilja: "Road wear due to studded tyres. Measurements of road profiles in the Stockholm area progress report" The National Swedish Road Research Institute Nov. 1969

図-2 要因別すりへり量

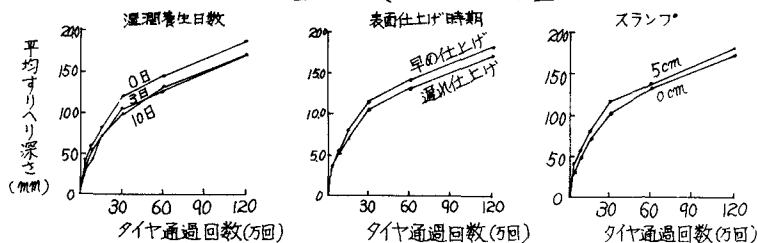


図-3 すりへり抵抗値試験結果

