

講 演

第 20 卷 第 12 號 昭和 9 年 12 月

舗装道路に於ける自動車スリップ試験

(昭和 9 年 10 月 28 日土木學會創立 20 周年記念講演會に於て)

會 員 工 學 士 江 守 保 平*

Investigation on Slipperiness of Various Road Surfaces

By Yasuhei Emori, C. E., Member.

内 容 梗 概

本文は各種舗装路面上に於て自動車がブレーキをかけた場合のスリップについて比較研究したものであるが、先づ実験により自動車タイヤと路面間の摩擦係数を算出しこれにより計算した自動車制動距離と實際の制動距離とを比較したものである。本実験の範囲内に於ては路面乾燥の場合に於てはアスファルト系舗装の方がセメント系舗装よりも滑り易く路面が濡れてくるとセメント系舗装の方がアスファルト系のもより滑り易い。

1. 緒 論

道路舗装が近來行き渡つてきたので自動車のスピードが著しく増加し自動車による事故が非常に多くなつて來た。昭和 8 年大阪市内に於ける道路事故 5768 件の中 3308 までが自動車によるもので、そのために 67 人の死亡者と 3351 人の負傷者を出してゐる。自動車事故の多くは人爲的過失によるものであるが中には不可抗力による場合も少くない。スリップによる事故などはこの顯著な例である。砂利道路の場合は自動車のスピードが割合におそかつたため、斯くの如き例も少いが舗装の完備に伴ひ自動車のスピードが速くなつてスリップをおこす様になるのである。

本講演に於ては自動車のゴム・タイヤと各種舗装路面との間の摩擦係数を実験によつて算出し、又同時に自動車の制動距離の試験を行つて比較研究したものであるが、研究が漸くその緒についたのみで整はず、何れ後日機を得て完璧を期したいと思つてゐる。

ゴム・タイヤと路面間の摩擦係数については既に Iowa 大學 Agg 教授の研究あり (Iowa State College Bulletin 67,88) 又 Stuttgart 大學 Neumann 教授の研究あり。又吾國では内務省藤井博士の研究(土木試験所報第 19 號)があるが本講演に於ては自動車のスリップと言ふ方面からこれを觀測してみたい。

2. 摩擦係數試験

自動車用タイヤと舗装路面との間の摩擦係数を求めるため特殊の試験車を使用した。2本の自動車タイヤを固定した木製リヤーカーでこれを自動車で路面上を引張つて滑らせ各種路面上に於ける牽引力と荷重とを觀測して摩擦係数を算出したものである。牽引車の速力は極めて遅く精々 5 km/hr から 6 km/hr の程度であるがこれより速くするとタイヤと路面との間の吸着力による impact のためにダイナモメーターの指針が揺れて正確にその値を讀むことが出来ない。試験に當つては出發即ち滑り始めに於ける瞬間の最大の牽引力と速度が 45 km 内外に達した場合の牽引力とを觀測した。觀測は毎回 5 回以上とつてその平均値を採用する。

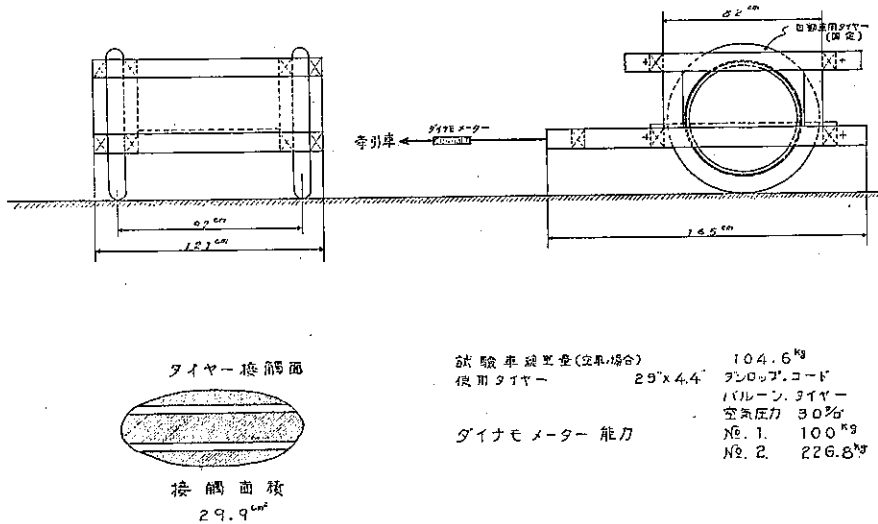
* 内務技師 内務省大阪土木出張所勤務

試験車の荷重は空車の場合 104.6 kg であるが試験に當つては先づ空車の場合から始めて順次 45 kg づゝ荷重を加へ 284.6 kg に至つて止めた。ダイナモメーターは 100 kg のものと 226.8 kg のものを用ひたが何れもスプリング・バランス式のもので唯特に最高指針を別に取りつけ瞬間的の最高牽引力を讀める様にした。

摩擦係数試験を行ふ路面は大阪市近郊に於て下記 8 種類を選んで行つた。

1. 膠石舗装 (京阪国道, 京都府施工)
2. セメント・コンクリート舗装 (配合 1:2:4, 奈良国道, 内務省施工)
3. 煉瓦舗装 (堺都計線, 堺市施工)
4. 鋪木舗装 (天満・寝屋川線, 大阪市施工)
5. シート・アスファルト舗装 (京阪国道, 京都府施工)
6. アスファルト・ブロック舗装 (京阪国道, 京都府施工)
7. アスファルト乳劑簡易舗装 (堺市郊外, 大阪府施工)
8. 砂利道 (奈良市外)

第 1 圖 摩擦係数試験車



本試験に於ける摩擦係数の算式は次の通りであるが、尙その計算例は第 1 表に示す通りである。

第 1 表 摩擦係数の計算

W	コンクリート舗装		煉瓦舗装		シートアスファルト舗装	
	P	f	P	f	P	f
104.6	48.5	0.94	86.0	0.82	94.0	0.90
149.6	134.2	0.90	115.0	0.77	134.2	0.90
194.6	154.0	0.79	136.0	0.70	175.0	0.90
239.6	200.0	0.84	162.0	0.68	205.0	0.86
284.6	227.0	0.80	208.0	0.73	239.0	0.84
平均		0.86		0.735		0.88

$$f = \frac{\eta}{w}$$

f = 摩擦係数

η = 牽引力 (kg)

w = 試験車重量 (kg)

本表より教へらるゝ所は 摩擦係数は荷重の大小に影響されることがないと言ふことでこれは物理學上の常識と全く一致する所である。

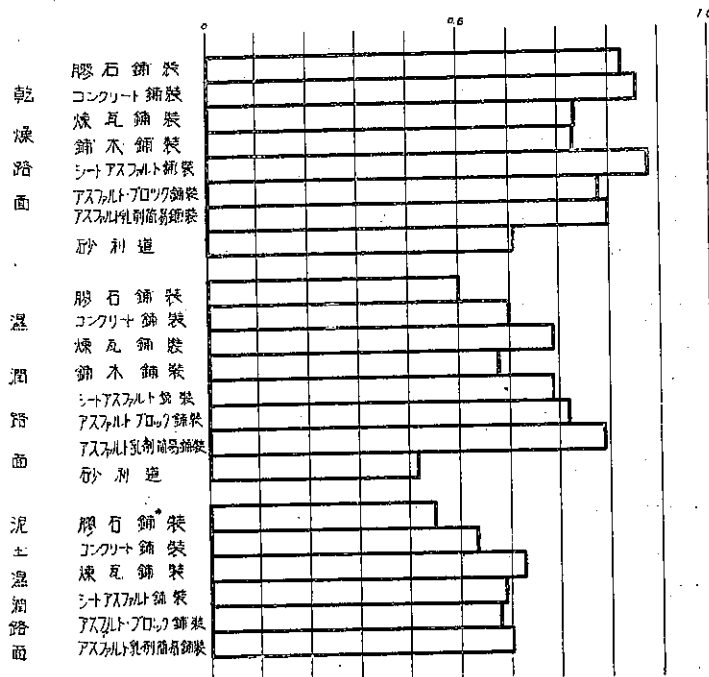
次に前記 8 種の路面に於て状態を色々に變へて得たる平均摩擦係数は第 2 表に示す通りである。

本試験は 7, 8 月の盛夏の候に行つたものであるが乾燥状態とは路面清潔にして完全に乾燥したもの、又濕潤状態とは雨天を想像して路面に撒水し完全に飽和せしめたもの、又泥土濕潤状態とは舗装表面に泥土のある最も危険な状態を想像したもので濕潤路面にセメント泥を撒布したものである。この各種の場合にそれぞれ 路面温度を測定し表の最下欄に附記した。

第 2 表 各種路面平均摩擦係數
(29' x 4.4' バルン・コード・タイヤ)

路面	状態	工種	膠石	セメント	煉瓦	鋪木	シート	アスファルト	アスファルト	アスファルト	砂利道
			鋪装	コンクリート	鋪装	鋪装	アスファルト	ブロック	乳剤		
乾燥	F		0.95	0.945	0.80	0.81	0.90	0.88	0.85	0.515	
	f		0.83	0.86	0.735	0.73	0.88	0.78	0.80	0.61	
濕潤	F		0.56	0.83	0.725	0.65	0.715	0.83	0.81	0.465	
	f		0.50	0.60	0.69	0.58	0.69	0.72	0.79	0.42	
泥土濕潤	F		0.50	0.73	0.67	—	0.63	0.705	0.725	—	
	f		0.45	0.535	0.63	—	0.59	0.58	0.605	—	
路面温度		氣温	32°C	30°C	29°C	—	32°C	26°C	30°C	26°C	
		乾燥路面	40°C	35°C	36°C	—	42°C	36°C	36°C	30°C	
		濕潤路面	36°C	—	33°C	—	38°C	34°C	29°C	28°C	

第 2 圖 摩擦係數の比較 (f)



摩擦係数 f は試験車が或る速度を以て路面上を滑りつゝある場合の摩擦係数で一般に用ひられるものであるが、 F は試験車が正に出発せんとする場合、即ち滑り出し瞬間の摩擦係数でこれは常に f より大きい。

道路設計上最も重要なものは走行中の摩擦係数即ち f であるが、第 2 圖は各種の状態に於けるその比較である。一般に路面乾燥時に於ける f よりも路面濕潤時に於けるものの方が小さく、又泥土濕潤時に至れば f の値は更に小さくなつてくる。即ちかかる場合に自動車のスリップは最も多く起りうるものである。冬期路面凍結の場合に於けるものは更に機を見て實驗を續ける筈である。

路面乾燥時に於ける f は大體に於てセメント系のコンクリート舗装及び膠石舗装が第 1 位をしめアスファルト系のアスファルト・ブロック舗装及びアスファルト乳劑簡易舗装がこれに次ぎ（シート・アスファルト舗装は例外）煉瓦舗木等のブロック系舗装は最下位になつて居る。

然るに路面濕潤の状態になるとアスファルト系が簡易舗装、アスファルト・ブロック、シート・アスファルトの順で第 1 位を占め、セメント系のもは、コンクリート舗装、膠石舗装の順で成績が落ちてしまう。ブロック系ではこの場合煉瓦舗装が割合成績が良いが、舗木は感心出来ない。

泥土濕潤の状態になると俄然煉瓦舗装が擡頭し第 1 位についてしまった。一般に煉瓦は歐米での經驗では滑り止めには最も成績の良い様に言はれて居たがこの實驗がそれに合致する。

この場合のアスファルト系とセメント系とを比較すると揃つて前者の方が成績が良い。

實驗中得た感じによるとアスファルト系の舗装はゴム・タイヤとは特殊の馴染みがあるらしい。

この種の摩擦試験に於ては路面の温度が相當關係を有することも考へられるが、アスファルト系の舗装は撒水と同時にその保有熱を著しく發散し温度の降下の大なるのも前記の現象に影響を及ぼしてゐるのであらう。

セメント系舗装はその表面が硬いために乾燥時に於てはゴム・タイヤの引掛り良好であるが、表面が濡れると滑りやすくなる。特に膠石舗装は表面が極めて、平滑なるため濡れて居る時特に泥土が上に附着して居る時は著しく滑りやすくなる。最近京津國道及び京阪國道に於て路面の slipperiness が問題になるのは結局この摩擦係数の大小に起因するのである。

最後に砂利道に於てはその乾燥時濕潤時を通じて摩擦係数の少ないのは常識と相反する様にも見うけられるが、これは路表面に浮遊する砂利粒があつて、これがローラーの役をするためタイヤが滑るのである。又實際問題としても砂利道に於ては自動車が餘りスピードを出さないため比較的危険を感じないのである。

3. 自動車制動試験

自動車の制動距離は路面の摩擦係数と密接な關係を有して居るので前項の試験と並行して制動距離を調査し道路の slipperiness の研究を行はんとするものである。

現在の自動車は大部分 4 車輪ブレーキを備へる様になつた。即ちブレーキ・ペダルを踏めば殆んど同時に前後の 4 車輪の制動輪が締めつけられてブレーキが利く様になつて居るものであるが、2 車輪ブレーキの時代に較べると制動距離は著しく短縮してゐる。現在の自動車取締令に於ては 4 車輪ブレーキの場合 50 km の速度で制動距離は 22 m 又 2 車輪ブレーキの場合 35 km の速度で 14 m 以下と言ふ様に規定されてゐる。

茲で制動距離と言ふのはブレーキをかけてから車が完全に停止するに至るまでの距離を言ふのである。ブレーキが完全に利くものとすれば、自動車の制動距離は次の各項によつて支配される。

1. 制動機構の能率
3. タイヤと道路面との間の摩擦係数

- 3. 自動車の速度
- 4. 道路の勾配
- 5. 風 圧

今道路勾配及び風圧は一定なりと假定すれば制動距離は 1, 2, 3 の 3 項により影響されることになる。

このうち 1. の制動機構の能率と言ふことは甚だ複雑であるから、常に一定に保つことは却々困難である。例へばブレーキ・ペダルを踏んでから 4 車輪が固定しブレーキが完全に利くまでに要する時間は車により又運転者によつて不同であるし、又 4 車輪に於けるブレーキの利き方も常に一樣ではない。

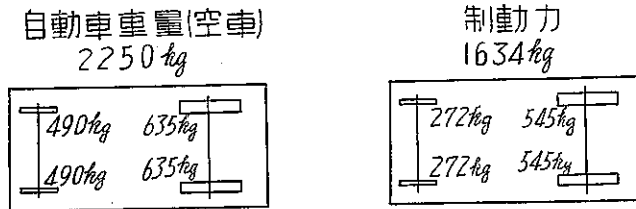
冬期路面凍結の際自動車事故を起すのは自動車の横通りに起因する場合が多いが、それは後車輪が前車輪よりも早く制動されて滑り出すからである。又逆に前車輪の方が先にブレーキが利いて滑り出すと舵取りが不能に陥り危険の上もない(機械工学 April 1933 前田利一氏)。

自動車はこれに急制動をかけると車が前へのめり前車輪の方へ 餘分に重量がかかるため均等なるべき制動力に狂ひを生ずることもある。これを Weight transfer と稱し通常全重量の 15%~20%の移動があるが、これを見込んでブレーキの調節をするのが普通である。

最近 Weaver Brake Test Machine と稱するものが各地に用ひられてゐるが、これによれば自動車は車輪別に制動力が指示される様になつてゐる。この機械は路面の高さに 4 枚の鐵板が敷かれ走行自動車を恰度この上で急制動をかけて停止せしめると、各の鐵板は各車輪の制動力によつて水平の方向に動かされ、各の制動力が自動的に指示されるものである。この試験機を用ふれば 4 車輪の制動力は或る程度調節することが出来る。

後に述べる制動試験には 1933 年式シボレー型 2250 kg 積の貨物自動車を用ひたがこの試験機によつて調査した制動力は次の如くである。

第 3 圖



制動機構の能率は前記の如く色々な要素が入つてくるので複雑なものではあるが、茲では便宜上 4 車輪にかかる制動力は各分擔重量に相當の均等なるものとし又ブレーキをかければ直ちに 4 車輪同時に固定されて車が制動されるものとする。

かくして制動機構の能率は一定なりとすれば結局自動車の制動距離は自動車の速度と路面の摩擦係数との函數になる。

走行中の 4 輪制動自動車に急激にブレーキをかけ停止に至るまでの運動を考へれば次の如くである。

- 自動車重量..... W kg
- 重力加速度..... g m/sec²
- 自動車速度..... V km/hr, v m/sec
- 制動距離..... b m
- 路面摩擦係数..... f

$$\text{走行自動車の運動勢力} = \frac{Wv^2}{2g} = \frac{WV^2}{2g \times 3.6^2}$$

自動車を停止せしめる摩擦の仕事 = Wfb

$$\frac{WV^2}{2g \times 3.6^2} = Wfb \quad \therefore \quad b = \frac{V^2}{3.6^2} \times \frac{1}{2gf}$$

この計算では前記の如くブレーキをかけて即座に4車輪とも固定されタイヤと路面との摩擦によりて自動車を停止に至らしむると考へて居るが、實際はブレーキペダルを踏んでも4車輪が固定するまでに0.2秒乃至0.4秒を經過しその間、車は始めの速度に近い速度で進行してしまふことになる。今この場合の合計制動距離を b' とし、経過時間を t とすれば次の如くなる。

$$b' = \frac{V}{3.6} \times t + \frac{V^2}{3.6^2} \times \frac{1}{2gf}$$

$t = 0.3$ 秒とし f は前節に述べた平均値を採り、自動車の速度を 8 km 及び 16 km とすれば b' の値は次の如く算出さる。

第3表 計算制動距離 (m)

	工程 路面状態	膠石	セメント	煉瓦	鋪木	シート	アスファルト	アスファルト	砂利道
		鋪装	コンクリート	鋪装	鋪装	アスファルト	ブロック	乳剤	
摩擦係数	乾燥	0.83	0.86	0.735	0.73	0.88	0.78	0.80	0.61
	濡潤	0.50	0.60	0.69	0.58	0.69	0.72	0.79	0.42
	泥工	0.45	0.535	0.63	—	0.59	0.58	0.605	—
8 軒速度 制動距離	乾燥	0.955	0.945	0.990	0.995	0.935	0.970	0.965	1.065
	濡潤	1.155	1.070	1.015	1.085	1.015	1.000	0.970	1.250
	泥工	1.210	1.120	1.050	—	1.075	1.085	1.065	—
16 軒速度 制動距離	乾燥	2.510	2.470	2.670	2.680	2.440	2.60	2.56	2.95
	濡潤	3.300	2.980	2.760	3.040	2.760	2.70	2.58	3.70
	泥工	3.550	3.180	2.900	—	3.010	3.04	2.96	—

各路面が第2表の如き摩擦係数を有し自動車の速度が 8 km 及び 16 km の一定であるとすれば、制動距離は當然この表に示す如きものでなければならぬ。この計算によつて得た制動距離と實際路面上に於けるものとを比較してみるため前に述べた重量 2250 kg の貨物自動車を用ひて制動試験を施行した。

自動車のタイヤは 32" x 8" コード・タイヤで約 10000 哩を走り、トレッドの状態も殆んど原形と變りがない。填充空氣壓力は 70#/ロ" である。ブレーキは周到の検査を行ひブレーキ・ライニングも新規のものを取換へた。

この試験を行つた道路は摩擦係数試験を行つた場所と全く同じで路面状態もこれに準じて居る。試験に當つて人為的誤差を出来るだけ少くするため運転手は熟練せるものを選んで練習させ常に同一の者を使用した。

自動車の速度は實驗の値に大なる影響あるため充分注意し、必ずスピード・メーターが 8 km (5 mile) 及び 16 km (10 mile) にある様にした。速度の精密を期するため後日更に精密な装置を考案して實驗をしたいと思つて居る。

制動距離實驗の結果は次の如くである。

扱つてこの第4表を通過して見ると必ずしも第3表の計算値と完全に一致はしてゐないが、1, 2 のものを除けば大體は合つて居る様である。例へば 16 km の速度の場合路面乾燥の項を見ると摩擦係数の小なる膠石鋪装は制動距離最も大きく係数の大なるセメント・コンクリート鋪装は制動距離が遙かに小さい。

第4表 實測制動距離 (m)

工程 舗装	路面 状態	膠石	セメント	煉瓦	シート	アスファルト	アスファルト	砂利道
		舗装	コンクリート	舗装	アスファルト	ブロック	乳劑 簡易舗装	
8 軒速度 制動距離	乾燥	1.23	1.36	0.80	0.80	0.80	0.90	—
	濕潤	1.58	1.63	1.10	1.10	1.00	1.10	—
	泥土 濕潤	—	—	1.20	1.30	1.30	1.40	—
16 軒速度 制動距離	乾燥	2.46	2.10	2.40	2.40	2.50	2.60	2.30
	濕潤	3.60	2.80	3.60	3.10	3.00	3.30	3.10
	泥土 濕潤	—	3.15	3.90	3.20	3.20	3.50	—

又アスファルト乳劑簡易舗装とアスファルト・ブロックと及びシート・アスファルト舗装との場合に於ても略同様のことが認められる。

アスファルト系のものとセメント系のものとを較べると、大體に於て係數の大なるセメント系舗装は係數の小なるアスファルト系舗装よりも制動距離は小さい。

次に濕潤状態に於ては係數の小なるセメント系舗装は係數の大なるアスファルト系のものより制動距離は大きい。その他の舗装についても同様のことが言へやう。

4. 結 語

本講演は摩擦係數試験と自動車制動試験とより自動車のスリップ問題を研究したものであるが、結論として次の如きことが言ひうらと思ふ。

路面乾燥の場合に於てはアスファルト系舗装の方がセメント系舗装よりも滑り易く鋪木等は一番滑り易い。雨天で路面が濡れてくると逆にセメント系舗装の方がアスファルト系のものより滑り易い。鋪木道は依然成績がわるい。最も危険な状態として路表面に泥土があつて濡れて居る場合には矢張りアスファルト系舗装の方がセメント系よりも成績が良い。

砂利道は一般に舗装道路より摩擦係數は少いが、この場合は自動車が大なる速度を出さないで、あまり危険は感じない。

尙自動車のスリップに於て路面の凍結の場合を研究しなければならないが、何れ機を見て施行したいと思つて居る。

註 本文は講演會當日著者差支への爲講演せられなかつたものであるが、講演豫定にて準備せられたものなるを以て特にこれを登載す。