

冬期氷上の自動車運転と走路に関する実験研究

正 員 ○板 倉 忠 三*
正 員 加 来 照 俊**
正 員 堀 内 数***
正 員 小 野 寺 雄 輝****

1. 概 説

冬期氷結路面上の自動車の挙動は、秋期乾燥した舗装面におけると同一の運転操作では、思いもかけぬ程奔放になることが知られており、これが雪寒地冬期道路交通事故の大きな原因であることが認識されてきた。

氷上において自動車を運転するには特別な注意が必要であって、米国においては 1930 年代の末期から氷上運転の練習を行っていた。わが国においては 1966 年からウツナイ湖氷上において種々の実験が行なわれていたが、NSC (米国安全協会) 交通安全部が採用している教範を入手して検討し、1969 年 1 月 6～13 日同湖氷上において実車による安定運転の実験結果と、理論計算の結果とを比較検討し、若干の操縦に関する注意事項を摘出すると共に、練習走路の最小寸法と、この走路における 8 日間の除雪ならびに維持の実績を述べて報告とした。

実車試験には普通乗用車排気量 1,000～1,600 cc を、タイヤはスノータイヤ、スパイクタイヤおよび秋タイヤにチェーンを装着したものをを用いた。

理論計算としては、氷面とタイヤ間の滑り抵抗係数の極端な低下によるものとして多くの文献に表われている値を検討し、さらに当研究室において試作した滑り抵抗試験車により実測した BFC および SFC の値を用いて、スノータイヤおよびスパイクタイヤについて検討した。

ここに安定運転とは一車線幅 3.0～3.5 m から外れない程度の運転を名付けた。

2. 自動車運転方式と走路の種類

ここに準拠した実車運転の方式と走路種類は次のとおりであった。

(1) 出発の要領 (直線コース)

- (2) 出発後ある速度に達する直線助走距離 (直線コース)
- (3) ある速度からの制動停止距離 (直線コース)
- (4) 30 m 間隔に一直線上に並べたラバコーンを縫って蛇行安定運転できる最高速度 (直線コース)
- (5) 半径 10～60 m の円形走路上の安定運転最高速度 (円形走路)
- (6) 120×45 m、幅 6 m の矩形走路上において隅角を廻り、長辺上で加速して最高速度に達し、次いで減速して次の隅角を廻り、短辺を直線走行して隅角を旋回する動作を、左廻り、右廻りに繰り返すので、これが運転技術の仕上げとなる。

この外、雪面上にも同種類のものがあるが、今回は氷面上のみに限った。

3. 理論計算

実車試験は 5 種類であったが、計算を行なったのはその内基本的なもの、前掲 2. の (2), (3) および (5) である。

(1) 試験車の実測によって求めた BFC および SFC の内、計算に用いた値は、計算目的に応じて表-1 のとおりである。

表-1 計算に用いた滑り抵抗係数の値

タイヤの種類	B.F.C.	S.F.C.
スノータイヤ	0.10	0.12
スパイクタイヤ	0.17	0.27
計 算	助 走 距 離 制動停止距離	円形走路走行速度

(注) B.F.C. は縦滑り抵抗係数値
S.F.C. は横滑り抵抗係数値

* 北海道大学教授 工博
** 北海道大学助教授 工修
*** 北海道工業大学助教授
**** 北海道大学工学部

(2) 出発後滑り抵抗により加速してある速度 v (m/sec), V (km/h) に達する距離 S (m) は次式によって求めた。

$$S = \frac{vt}{2} = \frac{v^2}{2\alpha}$$
 (1)

茲に t = 出発点から距離 S に到達する時間 (秒)
 α = 速度 0 から v に至る加速度 (m/sec²)
今, g = 重力の加速度 (=9.8 m/sec²) とすれば, (1) 式は

$$S = \frac{v^2}{2g(\text{BFC})} = \frac{V^2}{2 \times 3.6^2 \times 9.8(\text{BFC})} = \frac{V^2}{254(\text{BFC})}$$

(1')

となる。
(1') 式によって求められた値は表-2 に示すとおりである。

表—2 氷面上における助走距離の計算値 (m)

到達走行速度 (km/h)	タイヤの種類	
	スノータイヤ	スパイクタイヤ
20	16	9
30	35	21
40	63	37
50	98	58
60	142	83

(3) 制動停止距離
 V = 制動開始速度 (km/h), t = 反応時間 (秒) とすれば制動停止距離 S (m) は次式によって求められる。

表—3 制動停止距離の計算値 (m)

制動開始 走行速度 (km/h)	タイヤの種類					
	スノータイヤ			スパイクタイヤ		
	反 応 時 間 (秒)					
	0	1.0	3.0	0	1.0	3.0
20	16	21	32	9	15	26
30	35	44	60	21	29	46
40	63	74	95	37	48	70
50	98	112	140	58	72	100
60	142	168	192	83	100	133

表—5 供試乗用車およびタイヤの種類

符 号	年 式	型 式	排 気 量 (cc)	前 輪 タ イ ヤ	後 輪 タ イ ヤ	備 考
A	67	コ ロ ナ	1500 DX	ス ノ ー	ス ノ ー	個 人 所 有
B	64	コ ロ ナ	1500 DX	ス ノ ー	ス パ イ ク	個 人 所 有
C	67	ス バ ル	1000 DX	ス パ イ ク	ス ノ ー	個人所有, F.F.
D	67	コ ロ ナ	1600 DX	ス パ イ ク	ス パ イ ク	レ ン タ カ ー
E	66	コ ロ ナ バ ン	1500	チェーン付夏タイヤ	チェーン付夏タイヤ	自 動 車 短 大

$$S = \frac{V}{3.6} t + \frac{1}{2} \left(\frac{V}{3.6} \right)^2 \cdot \frac{1}{g(\text{BFC})}$$
$$= \frac{V}{3.6} t + \frac{V^2}{254(\text{BFC})}$$
 (2)

(2) 式により $V=20, 30, 40, 50, 60, t=0, 1.0, 3.0$ 秒として求められた値は表-3 に示すとおりである。

(4) 円曲線走行安定最高速度
半径 R (m) の円運動によって自動車の受ける遠心力に伴う滑り打ち克って走行する速度 v (m/sec) は次のとおりである。

$$v^2 \leq gR \frac{(\text{SFC} \pm i)}{1 \mp i(\text{SFC})}$$

茲に i = 円曲線路面の片勾配値, 湖水面では 0
走行速度 V (km/h) を導入すれば次式を得る。
$$V^2 \leq 3.6^2 gR (\text{SFC})$$
$$\leq 127R (\text{SFC})$$
 (3)

(3) 式により $R=10, 15, 20, 30, 40, 60$ m として算出した V の値は表-4 に示すとおりである。

表—4 円形走路上の安定最高速度計算値 (km/h)

タイヤの種類	曲 線 半 径 (m)					
	10	20	30	40	50	60
スノータイヤ	12	18	21	25	27	30
スパイクタイヤ	19	26	32	37	41	45

この場合, 遠心力は車輛の重心に作用し, かつ氷面とタイヤの接触面に作用する滑り抵抗力との間に重心の高さを腕とする回転力が作用し, 車輛曲線の外側に横転を生ぜしめるような動揺を生じ, 不安定状態が考えられるが, これを省略している。

4. 氷面上における実車試験

(1) 自動車とタイヤの種類および気温, 氷の温度等
ここに用いた乗用自動車とタイヤの種類は表-5 に示すとおりである。タイヤ空気圧はチェーン付きの場合は, 2.0 kg/cm², その他の場合は 1.7 kg/cm² とした。

車輛は実験前に完全整備、特にブレーキ系統を調整した。運転者は5名、自家用車所有、運転経験10年以上、氷上運転経験4年目、半数は大型車輛運転免許所有者である。

実験走行中の気温 +2~ -17℃、氷面温度 -4~ -12℃、氷厚約20 cm、概ね晴天あるいは曇天で、微風があったが豪雪あるいは荒天には遭遇しなかったのは幸であった。ただし期間中一度15 cm程度の降雪があった。

(2) 実車走行実験の成績

(a) 直線走路上における安定最高速度

出発に当ってはアクセルを強く踏み込んで後輪が滑って空転する。アクセルを軽く踏み、車輪を空転させないように少しずつ強くしていくようにする。

出発したならば徐々に速度を上げるのであるが、車輪が滑って空転しない程度を体得するのである。急に速度を上げようとしてアクセルを踏み込んでも車輪が空転し、速度計の指度は上がるが、対地速度は上っていない。滑らずに安定状態で達し得る最高速度は40~50 km/hであった。この時、ハンドルは常に遊びを残して固定する必要があり、速度上昇中に不用意にハンドルを切るなど直進できないばかりではなく、簡単に車線からとび出す。

(b) 制動停止距離

直進して走行速度20, 30, 40, 50 km/hからブレーキにより制動をかけて車輪をロックして停止せしめるのに要した距離は表-6に示すとおりであった。

表-6 制動停止距離実測値 (m)

供試車両	制 動 開 始 速 度 (km/h)			
	20	30	40	50
A	17	36	64	—
B	14	29	50	75
C	9	25	44	67
D	8	18	30	—
E	7	25	46	—

制動開始時の走行速度は、10 m 間隔に走路を横断して張り渡した2本の細糸間を車輪が通過する時間をデジタルカウンタによって記録して計算した。

制動停止距離の最も短かったのは実車 D、最も長かったのは A であり、E が D より長かったのは注目に値する。

これは車輪がロックされる際に抵抗の大きなチェーンの横リンクの部分避けてタイヤのゴム面で滑走したことを示している。強化チェーンならば異なった値になったであろう。またこの実験中にハンドルを切ってはいけなく不安定運動を起すからである。

一般に自動車のカタログには制動開始速度50 km/h で制動停止距離14 m 程度が示されているが、この時の BFC の値は逆算すれば0.7 前後となる。

(c) 円形走路上の安定最高速度

半径10, 15, 20, 30, 40, 60 m の円形走路上で走行して一車線からはみ出さないように注意しながら、車輪に装備した速度計によって安定最高速度を観測した。その値は表-7に示すとおりであって、タイヤの相違による速度差は見出されなかった。ラジアルタイヤの試験に興味がある。

表-7 円形走路上の安定最高速度実測値 (km/h)

円 曲 線 半 径 (m)	10	15	20	30	40	60
安 定 最 高 速 度 (km/h)	10×	10×	15~20	20	20×	38

但し表中の10× km/h は速度計の文字盤には線が入っているが数字はなく、指針はその付近をフラフラして、この動揺が止まらなかった。半径15 m 以下の円曲線では正確な値は掴めなかったといい得る。指針が安定していると見られたのは半径50 m 以上、60 m であった。練習走路として内径60 m が適当であったといえる。所謂コーナリングに際して、安定運転は自動車力学上興味深いものであり、前述の横方向の動揺と曲線内外側の車輪に掛る垂直力の差が差動歯車の作用を誘導して、左右の駆動輪に不規則な駆動力を与え、これが不安定運動に連がるものと思われる。

半径60 m の曲線走行の際、ハンドルの回転角度は90°前後であり、これに伴う前輪のスリップ角は4°程度となる。

タイヤチェーンを装着したものは横滑りが甚しく、不安定であった。

また僅少でも逆勾配のついている街路交差点の右折に当っては、この計算に表わし得ない微妙な挙動による不安定運動、およびこれを避けようとする走行速度低下が表われるのではないかと。

(d) 蛇行運転における安定最高速度

30 m 間隔に一直線上に並べたラバコンの間を縫って走行する蛇行運転における安定最高速度は表-8に示すとおりであった。

表-8 蛇行運転の安定最高速度実測値 (km/h)

供 試 車 両	A	B	C	D
安 定 最 高 速 度 (km/h)	30	30	35	38

この速度を超過すれば幅員3.5 m をはみ出すのである。

氷結路面の場合には、この横ぶれが併進車と接触し、あるいは2車線の場合対向車と衝突するような危険状態を生み出すことになる。

冬期事故はこうにして起るのが一つの大きな原因と考えられるので、直進車を追い越す場合、速度計の指度をたよりにし対地速度を誤認してハンドルを切り、不安定運動と重なって不測の危険を犯すことになる。慎重な操縦が必要である。

(e) 矩形走路上の運転

短辺から出発して 10× km/h まで減速し、隅角部の手前 10 m 程度でハンドル角の遊びをなくして徐行し、ハンドルを切って隅角部を廻り、直ちにハンドルを戻して遊び角を取って徐々に加速し、長辺 120 m の中央付近に至ってからエンジンプレーキとポンピングブレーキによって減速し、隅角部の 10 m 手前からハンドルの遊びをなくしてハンドルを切って隅角部を廻わり、再びハンドルの遊びを取り直線走行に移り小区間加速し、また 10× km/h まで減速し、上の操作を繰り返す。隅角を廻る際、ハンドルの遊びをそのまま残して急にハンドルを切っても直進して旋回はできない。

即ち加減速と同時にハンドルを利かせれば必ず不安定運動を起すことが必定である。また長辺においてエンジンプレーキの練習をも練習するのである。長辺において加速して得られる安定最高速度は 35 km/h 程度であり、隅角旋回速度は 10× km/h であった。

(f) 安定運転の要領私案

今回の実車運転実験において得られた安定運転の要領と考えられるものを挙げれば次のとおりである。

- (1) 常に車輪が空転せぬよう低速を保つこと。
- (2) 加速、減速は必ず直線部で行ない、ハンドルは遊びを残して直線走行の位置に固定しておくこと。
- (3) 加速は徐々に行ない、減速はエンジン・ブレーキとポンピングブレーキによること。
- (4) ブレーキを踏み続けたまま、ハンドルを切らないこと。
- (5) 追越は余程の余裕がない限り実施しないこと等が主な注意事項と考えた。

5. 試験走路の大きさおよび維持、その他

今回使用した各種試験走路の配置は、一部共用して図-1に示すとおりであり、各走路別の最小限度の寸法は表-9に示すとおりである。

また走路正味面積は除雪、清掃、整備の面積で円形コースの内側半径 55 m、幅員 10 m とした。敷地面積は陸上に設ける場合の走路外辺が包む面積である。大型トラック用としては NSC の走路寸法を追記した。

危険防止の観点から、1 走路上一度に 1 台しか走行を許さないのであるから、幅員の広い走路を 1 本設けるよりは幅員 10~15 m の走路を何本か平行して設け、各走路の両側には雪堤を設けて逸走を防ぐようにすれば、一度に走路

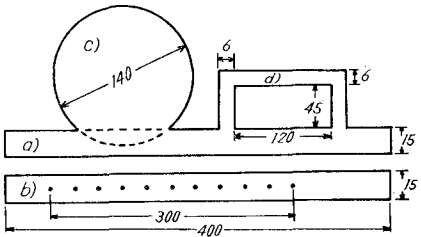


図-1 本実験に整備した走路の寸法および配置

(注) a), b) ……は表-9 参照
寸法単位 m

表-9 乗用車用試験走路の最小寸法

走路種類	長さ (m)	幅員 (m)	半径 (m)	走路面積 (m ²)	
				走路 正味	敷地
a) 直進,制動用	210	10	—	2,100	2,100
b) 蛇行用	280	10	—	2,800	2,800
c) 円形	—	10	55×	3,770	13,273
d) 矩形	120×45×	10	—	3,300	6,600
所要面積合計				11,890	24,773

(注) × 印は内側寸法

表-10 試験走路 8 日間の除雪、氷面整正に要した機械、器具、人員調

種別名称	数量	備考
一文字プラオ付 ウイリスジープ	1 台延べ21時間	除雪用
動力回転ブルーム	1 台延べ15時間	除雪、清掃用
散水用ポンプ	1 台延べ12時間	氷面整正用
竹箒	10 本	除雪、清掃用
ラバコーン	11 本	走路標識用
水性ペイント	2ℓ入 3 缶	走路面標示用
ウエス	15 kg	機械掃除用
ガソリン	約 150 ℓ	走行車輛燃料
清掃員	延べ約 70 名	氷面清掃その他

数だけの自動車を収容することができる。潮水を利用したこの場合は水深 60 cm 以下の個所を選んだ。

また雪中に突入した場合の脱出方法の練習、あるいは雪上の運転走路を設けて轍からの脱出操作等も練習する必要がある。

氷面は降雪毎に除雪すると共に、スパイクタイヤあるいはチエーン付タイヤ等によって特に荒らされ、粗面となるので、夜間撒水して平坦、滑らかに維持する必要がある。

表-10 は今回 8 日間の走路設定および維持に要した機械、器具類と延べ人員数を示した。ペイントは円形走路の標示

に用い、氷面に標示した後、水を掛けて凍結させれば、この水が凍結して氷の保護層とすることができる。

6. 謝 辞

今回の実験研究に当り、北海道工業大学の今田、干野両先生には車輛の提供と運転および測定を御願いし、北海道開発局札幌出張所からはラバーコーンを拝借し、北大工学部土木工学科の牧助手および学生諸君には走路の除雪、整備等に多大の助力を得た。ここに深甚なる謝意を表する次第である。

またこの実験研究は 文部省科学試験研究費補助金の一部および札幌市除雪対策研究委員会の研究費によって行なわれたものである。

7. 参考文献

- 1) A Winter Driving Hazards Driver Education Workbook, Stexens Point, Wisconsin, U.S.A., February, 1968 (National Safety Council, U.S.A.).
- 2) 加来照俊・塩田 衍その他：雪氷路面とタイヤ間の滑り抵抗，土木学会第 23 回年次学術講演会概要集，昭和 43 年 10 月。
- 3) 加来照俊：積雪地の道路線形設計の一考察，同上。
- 4) 板倉忠三・加来照俊・堀内数・小野寺雄輝：トルクメーターを使用した滑り抵抗試験車と 2, 3 の測定例，日本道路協会第 9 回日本道路会議論文集，昭和 44 年 10 月。
- 5) 板倉忠三・加来照俊：氷上における自動車の運転について，日本道路協会第 9 回日本道路会議論文集，昭和 44 年 10 月。

8. 追 記

大型トラックを含んだ NSC の走路寸法，附属施設，練習内容等は次のとおりである。

(1) 走路寸法等

- a) 氷上直線走路，長さ約 300 m，幅員約 60 m の両端に円形方向転換路付 (18,000 m²)
- b) 氷上円形走路，半径 60 m の外側に幅員約 15 m (6,362 m²)
- c) 氷上矩形走路，120 m×45 m の外側に幅員約 15 m (2,025 m²)
- d) 踏み固めた雪上直線走路，長さ約 150 m，幅員約 45 m (6,750 m²)
- e) 陸上に氷上走路を設置する場合の用水量，約 4,000 tan (氷厚約 13.5 cm)
- f) モーターグレーダーによる表面整正，凹凸 25 mm 以内，各走路の外側に雪堤を設ける。

(2) 附属施設

講義室，控室等の建物一棟，車庫，倉庫その他

(3) 練習教科内容

(a) 出発技術，(b) 停止技術，(c) 走行制御技術（追越を含む），(d) 曲線路走行（コーナーリング）技術，(e) 以上各運転技術の総合練習，(f) 各種タイヤおよびチェーンによる以上の技術練習，(g) 雪堤，吹き溜り等に突入，停止した場合の脱出方法の練習

(4) 所要練習期間

1 回 2～3 日間

(5) 後援団体

本練習所は法人組織で，後援団体は次のとおりである。米国安全会議，州庁，警察交通部，自動車学校，大学，消防署，自動車メーカー，タイヤおよびチェーンメーカーおよび保険会社等。

(6) そ の 他

湖沼の場合は水深 60 cm 以下の場所
夏期練習用に蛇紋岩舗装の走路も計画中