

融雪期の路面冠水による被害軽減に資する 道路管理に関する研究について —路面冠水実験路の新設と対策に関する基礎検討—

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム ○倉田 和幸
国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム 布施 浩司
国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム 畠山 乃

近年、国内各地で集中豪雨や台風による路面冠水被害が増加しているが、北海道では融雪時期における同被害も散見される。寒地土木研究所は、令和3年度に苫小牧寒地試験道路内に路面冠水実験路を新設し、冠水時の道路状態を再現し、車両走行実験を行うことが可能になった。本報告は、路面冠水実験路における基礎実験について報告する。

キーワード：防災、道路管理、路面冠水、危機管理

1. はじめに

近年、国内各地で集中豪雨や台風による路面冠水被害が増加しているが、北海道では融雪時期における同被害も散見される。

小島氏は、ゲリラ豪雨によるアンダーパス冠水時の二次災害防止のため、自動(遠隔操作)遮断機の導入による事例と運用方法の検討した³⁾。脇坂氏は、鉄道立体交差のアンダーパスで異常が発生したときのメール通知監視システムの導入と期待する効果についての報告をした⁴⁾。松田氏、三森氏は、H24・25の融雪期に道路冠水による通行止め発生、早急な再発防止対策と恒久対策に向けた調査・解析、設計施工の成果を報告した⁵⁾。

苫小牧寒地試験道路は、平成11年に整備され、全長L=1300.0m、直線区間は、一般国道対応2車線道路と、高規格幹線道路対応4車線道路がL=1200.0m、曲線区間はR=50.0mの単曲線L=160.0m、1周の延長L=2720.0mの試験走行の研究を行うコースがある。令和2から3年度にかけて試験路の舗装修繕、路面冠水実験路を新設した。同実験施設を用いて、路面冠水の走行実験を行ったので報告する。

2. 路面冠水実験路

北海道において近年多発する融雪期の降雨による路面冠水や全国でみられる異常気象(ゲリラ豪雨・降雪等)に伴う路面冠水などによる車両水没事故や、交通遮断による障害が頻発している。当該実験施設は、路面冠水状態における車両や運転に与える影響についての解明と、被害軽減に資するための道路管理の改善事項の整理、対策

工の検討、路面冠水検知技術の検証などの実施を想定している。

道路規格は第3種2級相当、延長L=300.0m、車道幅W=3.5m、路肩幅W=1.5m、幅W=10.0mの2車線道路である。縦断の中心部を凹ませ、路体外盛土と法面に防水シートを設置して、試験の際には、排水柵を閉じて路面上を冠水させる構造とした。

実験を行うため、水を必要とするが、水道管設置の他に自然水も利用するよう貯水池を設けた。貯水池は、延長L=85.0m、幅W=7.0m、満水時V=275.0m³と、路面冠水試験で水深H=50cmになる水量を確保でき、水道水は、貯水池の水量が足りない場合の補填時に使用するよう計画した。貯水池の水を実験路に汲み上げるための水中ポンプ2台、水中ポンプを起動させるための発動発電機、実験路面上の水位を観測する水位計3箇所、映像記録用の観測カメラを整備した。今年度の10月末に工事及び設備・計測器・配電設置が全て完了した。

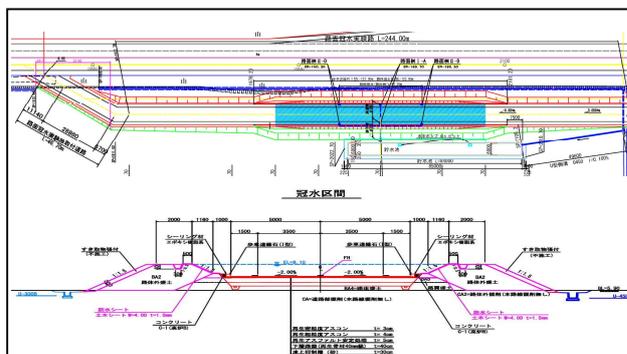


図-1 平面図・断面図



写真-1 路面冠水実験路（冠水時）



写真-3 実験車両（三菱ランサー）

3. 路面冠水に関する基礎実験

被験者は実験車両を運転して冠水路面を通過し、実験車両に搭載したドライブレコーダーにより、運転挙動を記録した。走行実験の終了毎に、運転行動に関するアンケートを記入した。



写真-4 ドライブレコーダー・水圧計

(1) 被験者による実走行実験

実験ケースは、水深 10cm・20cm・30cm、走行速度 20・30・40km/h の 3 条件とし、計 9 項目の走行ケースとした。

(表-1)

また、実験当日は湛水確認、気象等観測機器の確認、走行試験の実施前には実験手順、KY活動、コロナ対策の除菌作業を行い、実験準備を行った。

表-1 実験日程

実験日	実験項目＝水深：走行速度	天候	気温(°C)
11月16日	10cm-20km/h・30km/h・40km/h、20cm-20km/h	晴れ	6.1
11月17日	20cm-30km/h・40km/h、30cm-20km/h・30km/h	晴れ	7.3
11月18日	30cm-40km/h、管理水準：10%・50%・80%の排水時間	曇り	8.6



写真-2 KY活動状況・コロナ対策の除菌作業

(2) 実験車両

走行実験は以下の車両を用いた。

表-2 実験車両

メーカー	車種名	初度登録年月	長さ	幅	高さ
三菱	ランサー	平成18年4月	453cm	169cm	143cm
		乗車定員	定格出力	車両重量	車両総重量
		5人	1.46kw	1210kg	1485kg
		前バンパー高	後バンパー高	後輪軸高	マフラー最下部
		20.0cm	24.0cm	28.5cm	24.0cm

走行データは、位置・速度・画像・加速度のデータ取得を目的に、フロントガラス中央付近にドライブレコーダー(CASTRADE社製CJ-DR450)を装着、データ取得した。

冠水路面走行時の自動車フロント部にかかる水圧データを取得するため、圧力式水位計(光進電気工業(株)：ATM1ST)を車両の前面下部、地上15cmの位置に設置し、各走行ケースにおける冠水路面入水時の水圧データ(kN/m²：静水圧換算)を計測した。

(3) 被験者構成

走行実験の被験者は、運転経験者の20代から70代、男性7名、女性3名の10名に参加して貰った。(表-3)

表-3 被験者構成

年代別	男性	女性	合計
20代	3	1	4
30代	1	0	1
40代	1	1	2
50代	0	1	1
60代	1	0	1
70代	1	0	1
合計	7	3	10

(4) 被験者の走行グラフ

実験ケースの被験者別に走行実験の開始時刻、終了時刻を野帳に記載し、実験時刻表を作成した。

各被験者走行データは、実験時刻表を基に、取得データから該当時刻データを抽出し、グラフを作成した。

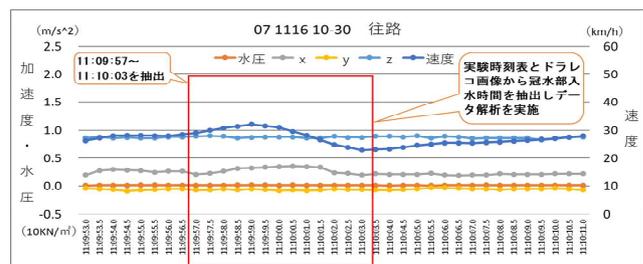


図-2 被験者の水深別走行グラフ



写真-5 走行実験状況

(2) アンケート調査

アンケートの内容は、実験ケースごとに走行終了後に以下の項目について評価を行った。(表-4) 走行速度の違いにより、運転行動の認知・判断・操作がどのような変動するのか調査した。以下の項目について7段階評価で回答して貰い、主観評価として数値化を行った。

表-4 アンケート調査項目

番号	調査項目	主観評価
Q01	認知	水面を認知した距離(自分で感じた距離=00m)
Q02	判断	「7」: とても不安 ⇔ 「1」: 絶対大丈夫
Q03	ペダル操作	「7」: 何もできなかった ⇔ 「1」: 強く踏んだ
Q04	冠水進入時判断	「7」: とても不安 ⇔ 「1」: 絶対大丈夫
Q05	最深部速度認知	実際の走行速度を記載
Q06	最深部走行判断	「7」: とても不安 ⇔ 「1」: 絶対大丈夫
Q07	最深部ペダル操作	「7」: 何もできなかった ⇔ 「1」: 強く踏んだ
Q08	最深部ハンドル操作	「7」: 手を離れた ⇔ 「1」: かなり強く握った
Q09	脱出時の心理状況	「7」: とても怖かった ⇔ 「1」: 全く怖くなかった
Q10	冠水状態経験知	「7」: 経験なし ⇔ 「1」: 経験あり
Q11	対策必要性の有無	「7」: 要対策 ⇔ 「1」: 対策不要
Q12	支払い意思額	支払い可能金額10~10,000円を選択
Q13	運転技術の変動	「7」: 下手 ⇔ 「1」: 上手
Q14	その他	路面冠水状態に関する要望・意見等の直接記載

路面冠水走行実験アンケート票

2021年 月 日 時 分、天候

被験者NO. 回目 (※ピブスの番号をお書き下さい)

運転ご苦労様でした。それでは、アンケート調査にご協力ください(一つに○をして下さい)。

Q1. 路面状態を確認できた時、水際からどのくらいの距離で確認できたかをお聞かせ下さい。
A1. 100m以上手前 90m 70m 50m 30m 10m わからない

Q2. 路面冠水状態を確認した時の感想についてお聞かせ下さい。
A2. とても不安 不安 やや不安 どちらとも いえない たぶん大丈夫 大丈夫 絶対大丈夫

図-3 アンケート調査内容(一部抜粋)

走行条件として、冠水路面に進入する際の走行速度20・30・40km/hとした。また、対策の必要性については、一般道路の冠水状況下で、自分の車を運転するときの冠水対策支払い意思額を選択した。

4. 走行実験の解析

(1) 走行実験データ解析

1) 水深別・速度別の傾向

走行実験におけるデータ解析は各水深(10cm・20cm・30cm)の走行速度別(20km/h・30km/h・40km/h)に冠水路に進入したデータを集計した。

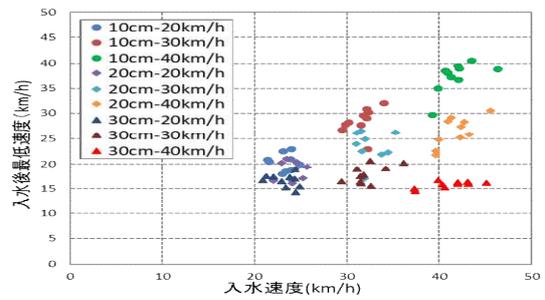


図-4 水深別・速度別走行速度散布図

図-4の横軸は冠水部入水時速度、縦軸は冠水部走行時最低速度を示しており、水深10cmの場合は、傾きが45°近く、入水速度と最低速度の差があまりないことを示している。これは、水深による影響が小さく、冠水状態での走行への影響は小さいものといえる。

一方、水深30cmを40km/hで走行した場合の冠水部走行速度の低下は著しく、入水速度が40km/hの場合で入水後最低速度は15km/hに低下している。この25km/hの減速は水圧によるものなのか、運転者が走行できる速度まで低下させたのかということになる。

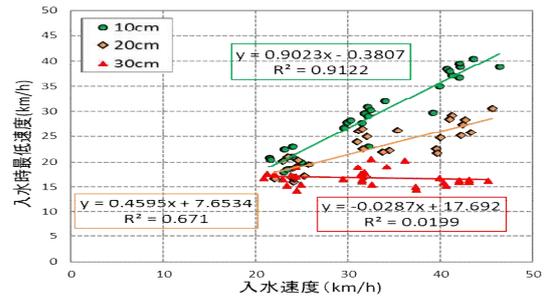


図-5 水深別の入水速度と冠水部走行最低速度の傾向

図-5は水深別に入水速度と冠水部走行時の最低速度を散布させたものである。直線近似により相関式と相関係数を求めた結果は次のとおりである。

水深10cmについては直線の傾きが0.90と1.0に近い値を示しており、相関係数も0.91と強い相関性を示している。これは、水深10cm程度であれば車両走行に与える影響は少ないものと考えられる。

水深20cmでは直線の傾きは0.45と入水時速度の45%程度の速度に低下するが20km/hは確保できており、走行車線はフロントバンパーの地上高(20cm)より水面は14cmと低い。また相関係数も0.67を示しており相関性は認められる。

一方で水深30cmの場合は、直線の傾きが-0.028、相関係数が0.02と相関性が認められず、フロントバンパーの地上高(20cm)よりも水深が高い(車道中心部で24cm)ため、水圧やアクセル操作により影響を及ぼしているものと考えられる。

2) 水深別・速度別の走行データについて

水深別・走行速度別の路面冠水状態での入水速度と入水時最低速度の速度差についての傾向を示したグラフを図-6に示す。

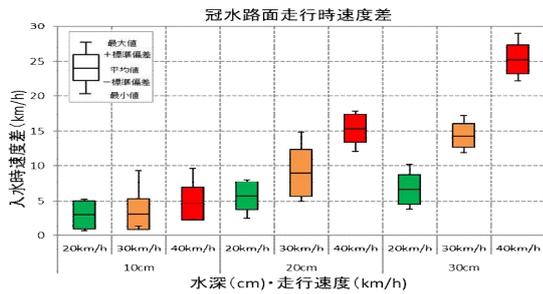


図-6 冠水路路面走行時速度差の傾向グラフ

横軸は実験時の水深と走行速度を示しており、縦軸は冠水路路面走行時の最高・最低速度の速度差についてのバラツキを示したものである。

水深 20cm に 30km/h では速度差の 5~12km/h のバラツキがみられるが、それ以外は 5km/h 以内のバラツキとなる。

例えば、水深 20cm に 30km/h で路面冠水状態に進入した場合、冠水状態でのペダル操作や水圧抵抗により 5~12km/h 減速されることにより、走行速度が 18~25km/h に減速されるため、冠水状態でのペダル操作に個人差が生じていることにより、車両運転に影響を与えている傾向が読み取れる。

また、水深 20cm に 40km/h で進入しても 15km/h の速度低下で走行速度は 25km/h は維持できており、冠水状態での判断で迷いが生じず思い切りアクセルを踏んでいるため速度差が少ないことも考えられる。

他方、水深 30cm の場合は、20km/h・30km/h・40km/h で進入しても、各々 5km/h・15km/h・25km/h の減速し、冠水路路面の走行速度は 15km/h となる。

各被験者の冠水状態でのペダル操作よりも、水圧抵抗による速度への影響が考えられる。

以上のことから、水深 20cm までは路面冠水状態による走行速度への減速による車両運転への影響は少なく、水深 30cm では、水圧抵抗による車両運転への影響が大きいと考えられるため、アンケート調査を含めた解析により結果を導くこととする。

5. アンケート調査結果

各走行条件で走行実験終了後、アンケート調査を行い数値化することにより運転行動と心理状況を把握することとした。

(1) アンケート調査の傾向把握

アンケートの13項目を集計し解析を行った。集計結果に差が見られない項目については省略する。

Q2. 路面冠水状態を確認した時の感想についてお聞かせ下さい。

(1=絶対大丈夫, 4=どちらとも言えない, 7=とても不安)

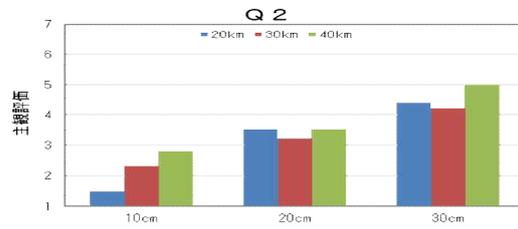


図-7 冠水路路面確認時の傾向

路面冠水状態を確認した時点での水深 10cm・20cm では恐怖心による不安感はないとみえるが、水深 30cm となると主観評価が 4 以上と不安感を覚える運転者が存在する傾向となった。また、その時点でペダルを強く踏む傾向はなく、冠水状態に入水するまでの運転操作は大きく変わらないといえる。

Q4. 冠水状態の道路に進入したときの感想をお聞かせ下さい。

(1=絶対大丈夫, 4=どちらとも言えない, 7=とても不安)

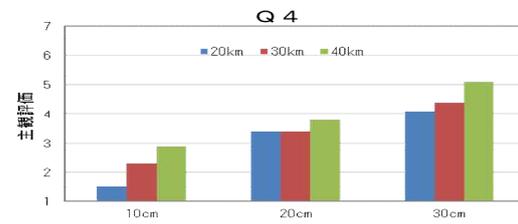


図-8 冠水路路面進入時の心理状態の傾向

水深 30cm となると主観評価が 4 以上と不安感を覚える運転者が存在する傾向となった。その傾向は特に水深 30cm-40km/h の走行時に顕著となる。Q2 の主観評価に対する相对比较では若干、進入時の平均値が高い傾向を示した。

Q6. 冠水状態の最深部にさし掛かったときの感想をお聞かせ下さい。

(1=絶対大丈夫, 4=どちらとも言えない, 7=とても不安)

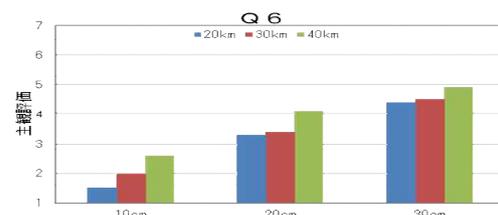


図-9 最深部走行判断の傾向

Q7. 冠水状態の最深部にさし掛かったときの状態で、ペダル操作についてお聞かせ下さい。
(1=かなり強く踏む, 4=維持した, 7=何も出来なかった)

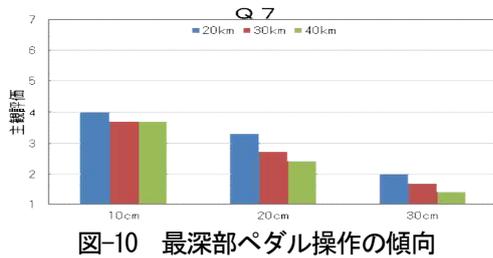


図-10 最深部ペダル操作の傾向

最深部での認知では速度の低下がどれくらいか確認できており、水深 20cm までは走行速度に応じた減速とみえるが、水深 30cm では 15km/h 程度と認識され、その後のペダル操作では、強く踏み込んだと回答した方がほとんどだった。Q6 は Q4 と同様の傾向を示しているが、平均値は 20cm-40km/h 以降、さらに高い傾向を示している。

Q11. 一般道路でこのような状態のとき、交通対策でどのようなことを望みますか？
(1=対策不要, 4=自分で判断, 7=要対策)

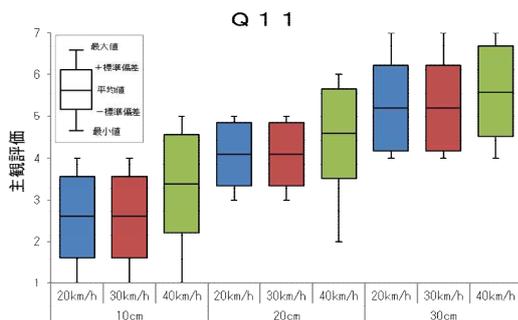


図-11 路面冠水対策の必要性の傾向

ここで着目すべきは水深 30cm での最低値でも 4 であるため、対策工の必要性が確認される。

Q12. 対策をしたらどのくらいのお金を支払うことができますか？
(1=10円, 2=100円, 3=500円, 4=1000円, 5=3000円, 6=5000円, 7=10000円)

表-5 Q12 対策する場合の支払い意思額(単位:円)

	20km	30km	40km
10cm	0	0	100
20cm	2,500	3,100	4,610
30cm	8,710	11,710	12,510

被験者合計金額

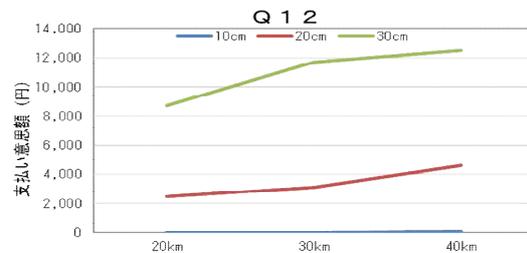


図-12 対策する場合の支払い意思額傾向

路面冠水に関する対策について水深別では、水深 10cm の場合、対策を必要としない傾向がみられた。水深 20cm では 4 以上が必要であるとの傾向であった。これには維持工事の排水工清掃作業が含まれているため、その傾向が強い。しかし、水深 30cm では対策を必要とする傾向がみられ、支払い意思額についても水深 20cm とは倍以上の金額となる傾向がみられ、水深 30cm の場合は、路面冠水対策に関する要望は強いものと判断される。

6. 路面冠水走行実験のまとめ

(1) 走行実験結果とアンケート調査の関連性について

路面冠水状態における走行実験の走行データ(客観データ)とアンケート調査(主観データ)の関連性について検証した。但し、アンケート調査では冠水路面に進入後の最深部での内容について客観データと対策工の必要性について行った。

1) Q6 最深部走行判断

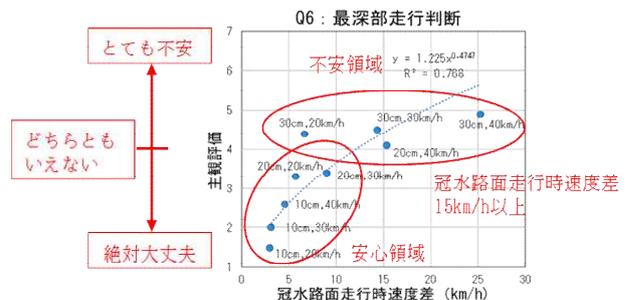


図-13 最深部の走行判断の傾向

最深部走行判断では水深 30cm あるいは速度差 15km/h の速度を感じると不安感が出てくる傾向が伺える。これは水深 30cm を走行した経験がないことと水面を見たときの不安が出てくるものと思われる。

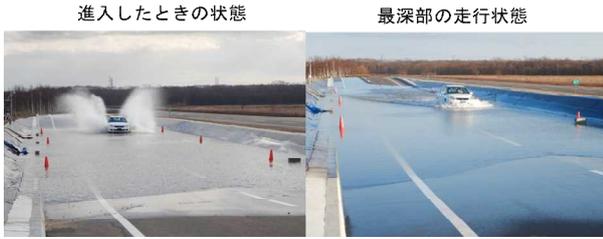


写真-6 進入時・最深部走行時の状態

写真-6 のように最深部に差し掛かるとフロントバンパー付近まで浸水し走行が困難になる傾向が確認できる。

2)Q11 路面冠水対策の必要性

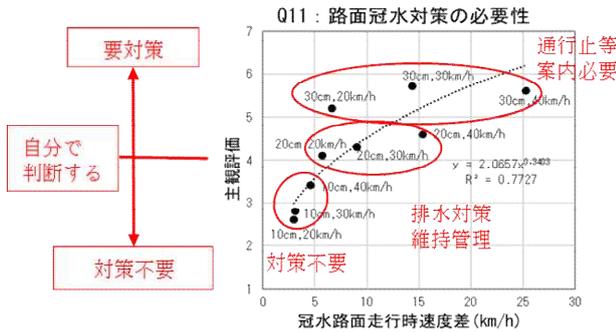


図-14 路面冠水対策の必要性の傾向

路面冠水対策の必要性については Q11 と冠水路面上走行時速度差より自分で判断できるの 4 以下は対策不要と判断し、4~5 は排水対策や維持管理、6 程度では通行止めなど強制的な措置が必要と判断される。

7. おわりに

今後は、今回取得した基礎データを基に、路面冠水対策検討表を整理していくこと、道内の路面冠水発生実態に関する聞き取り調査の整理、適切に冠水を検知できる技術や具体的な対策手法や注意喚起に及ぶ総合的な対策をシステム化するとともに、冠水しない道路メンテナンス手法の構築も検討する必要がある。筆者らは、路面冠水対策について、引き続き走行実験及び対策検討を継続する予定である。

参考文献

- 1) 北海道開発局：道路設計要領（令和 2 年度）
- 2) 公益社団法人 日本道路協会：道路構造令の解説と運用（平成 27 年 6 月）
- 3) 関東地方整備局 大宮国道事務所：アンダーパスの冠水時の通行規制対応について（自動（遠隔操作）遮断機の導入に向けての検討）
- 4) 滋賀県 長浜土木事務所：アンダーパスにおける冠水監視システムの導入について
- 5) 釧路開発建設部 根室道路事務所：一般国道44号の融雪期冠水被害への迅速な対応（人流・物流の大動脈を通行止めから守る）