

平成24年度

一般国道275号志寸川橋の床版陥没について —陥没の発生から復旧まで—

札幌開発建設部滝川事務所工務課
札幌開発建設部滝川事務所工務課
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地構造チーム

○國松 博一
山谷 直孝
澤松 俊寿

平成24年5月に一般国道275号志寸川橋においてRC床版の陥没が発生した。即座の交通規制、応急復旧により第三者被害はなく、翌日には交通解放することができた。

床版は輪荷重を直接受けるために損傷しやすい部材であり、積雪寒冷地では凍害が加わることで損傷が進展・加速するとされる。今後、床版を維持管理していくに当たり、損傷事例を蓄積することは重要である。本報では、主に床版陥没の発生から復旧について報告する。

キーワード：長寿命化、維持・管理

1. はじめに

北海道開発局が管理する橋梁は約3,700橋あり、そのうち1955年から1973年の高度成長期に架設された橋梁がおよそ半数を占めている。これらの橋梁が10年後には全て経過年が50年を超過することになり、橋梁補修は年々増加傾向になる。(図-1 年度別の橋梁架設数の推移)

本報告における志寸川橋は1965年の架設で、高度成長期の真っ只中に架橋されており、床版の鋼板接着補強や歩道拡幅を経て供用開始から47年が経過した。表-1, 図-2, 図-3, 写真-1に志寸川橋の概要を示す。

補修に当たり、旧床版の疲労耐久性を評価してみると、平成20年頃に破壊走行回数に至る計算になるが、昭和62年の鋼板接着により延命化の効果が得られていたと思われる。建設時に防水工が無いことから、補強時に存在していたひび割れからの水の浸入によって、凍結融解作用により劣化が進行し、せん断耐力の低下によって平成24年5月に床版一部が陥没するに至った。

ここに、志寸川橋の床版打ち換えについて報告する。

2. 床版概要と陥没発見

本橋のRC床版は、昭和39年鋼道路橋示方書により設計されており、床版厚は18cm、鉄筋は丸鋼を使用していて、主鉄筋に比べ配力鉄筋が極めて少ない。このため、現行基準で設計された床版よりも疲労耐久性が低いとされている。

平成20年度に橋梁点検を実施しており、舗装の劣化が認められたことから、詳細調査を行っている。調査の結果、床版の損傷劣化が認められたため、平成23年度に詳細補修設計を実施した。

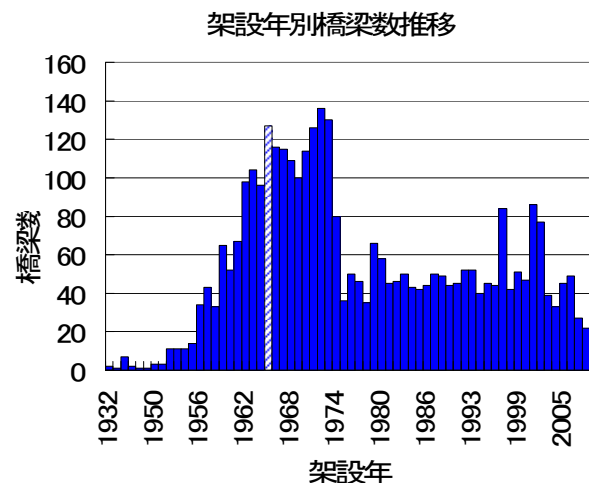


図-1 年度別の橋梁架設数の推移

表-1 志寸川橋の概要

橋梁名	志寸川橋
橋長	L=70.00m
幅員	8.25m (車道) +2.50m (歩道)
橋梁形式	上部：3連単純非合成鈹桁 下部：逆T式橋台、壁式橋脚
活荷重	TL-20 (1等橋)
適用基準	昭和39年鋼道路橋示方書
主な補修履歴	昭和62年 鋼板接着+増し桁 平成元年 歩道拡幅 平成19年 床版防水

平成24年5月29日午前9時頃道路巡回時に床版の損傷を発見した。緊急に国道275号新十津川町大和地区約

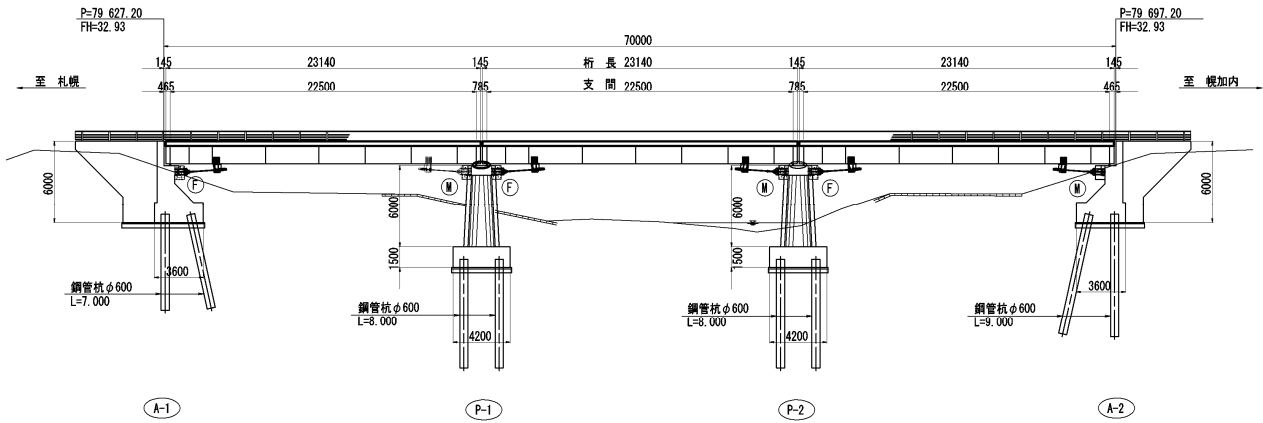


図-2 橋梁側面図

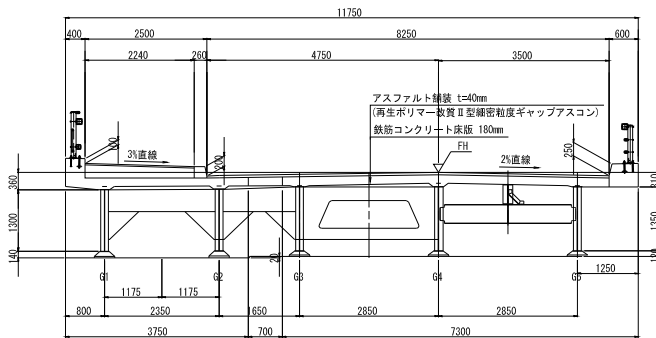


図-3 橋梁断面図



写真-1 橋梁側面写真

0.9km を全面通行止めし、道路防災の有識者（寒地構造チーム西上席研究員）が損傷状態を確認した。

その結果、写真-2のように長さ1.8m×幅1.3mの範囲に舗装のひび割れ、写真-3のように長さ40cm×幅20cmの範囲に床版コンクリートの抜け落ちが確認された。

また、周辺部についても劣化の疑いがあったため、舗装の一部を除去し、たたき点検および目視を行ったところ、建設時の床版コンクリートと以前に補修したときのコンクリート間に砂利化が認められた。さらに、橋梁点検車により床版下面を確認した結果、抜け落ち箇所周辺約2mの範囲で、押し抜きせん断による床版の亀裂、床版コンクリートの浮きおよび漏水が認められた。



写真-2 舗装ひび割れ

3. 原因の推察

今回の損傷箇所は桁端部であることから、車両の輪荷重による衝撃を受けやすい箇所となっている。調査結果から舗装面のクラックからの水の浸入で、既往の床版コンクリートと補修コンクリートとの間に滞水し、凍害の発生があったと推察される。その後、床版上面のコンクリートの砂利化、併せて床版下面のひび割れの進行、さらには、輪荷重による衝撃や疲労などが複合的に作用し、押し抜きせん断による損傷に至ったと考えられる。



写真-3 コンクリート抜け落ち

4. 作業状況と応急対策

作業は、全面通行止めのまま、午後7時頃から脆弱部の除去を開始し、午後11時頃にジェットコンクリート打設を開始した。翌日5月30日午前5時半頃に舗装の作業を開始し、午前7時には全面通行止めを解除した。

その間、床版抜け落ち箇所は脆弱部を除去し、ジェットコンクリートで舗装面まで打換えた。また、床版抜け落ち箇所以外の舗装損傷箇所においてもたたき点検を行い、劣化が確認された箇所についても脆弱部を除去した後、ジェットコンクリートにより断面修復を行った。

5. 床版打ち替え設計

(1) 旧床版の仕様

旧床版は昭和39年建設示方書に準じており、当時の設計図書から仕様は表-2である。

現地では、橋軸方向に短冊状の鋼板接着が施工されていた。架設当時の配力鉄筋は、主鉄筋の25%で配筋されている。同時代の橋梁床版では配力鉄筋不足による橋軸直角方向ひび割れが進行しやすく、床版の梁状化が起きやすい状況であり、その対策として、配力鉄筋を補うための橋軸方向への鋼板接着が実施されている場合がある。

志寸川橋の補修履歴を確認すると、供用後22年が経過した昭和62年に鋼板接着が行われており、その当時に橋軸直角方向のひび割れが顕著であったことが予想され、現状からの可能性として2方向ひび割れに発展していたことも考えられる。

表-2 旧床版の仕様

厚さ cm	設計基準強度 N/mm ²	主鉄筋		配力鉄筋	
		上側	下側	上側	下側
18.0	21	φ 16@100		φ 13@250	



写真-4 第2径間の舗装はつりの状況

(2) 床版調査の結果

a) 調査内容

平成23年度詳細補修設計業務において、床版調査が行われている。

- ①舗装劣化が著しく、短期的なスパンで修繕されていたことから床版上面の劣化が原因と推察された。
- ②鋼板接着はされていたが、ひび割れ密度が高く、エフロッセンスの析出も著しい。施工当時の床版の様子との対比はできず、母材である床版コンクリートの健全性を確認する必要があると判断した。これらのことを確認するため、次の調査を実施した。
Step1：片側交互通行として舗装面の打音調査
Step2：舗装の浮きや修繕履歴から舗装の撤去・復旧箇所を決定。(1.0m×2.0m/箇所×3箇所)
Step3：床版上面の目視・打音確認。鉄筋探査の実施からコア採取位置を選定。舗装復旧。
Step4：外観上は健全と思われる床版張出し部下面からコア採取。(上面採取のコアとの比較)
Step5：採取したコアについて、圧縮・静弾性試験、微細ひび割れ観察を実施し、定数の状態や凍害影響深さを確認。

b) 現地調査結果

舗装のはつり箇所は、各径間で1箇所ずつの計3箇所を選定し、はつり範囲は、打音調査の結果から求めた舗装の浮きが認められる部分と、浮きが確認されない部分を跨ぐようにして、1m×2mの矩形形状とした。

舗装のはつり調査結果を、写真-4に示す。床版上面コンクリートは劣化が進行しており、テストハンマーで軽く叩くだけで容易に砕けて砂利化し、場所によっては上側鉄筋が露出してきた。舗装の浮きが無い範囲でも、叩くと容易に砂利化することから、舗装の浮きが確認されたか否かで状態に差は無いと判断された。

床版コンクリートの健全性を確認する指標として、静弾性係数・圧縮強度試験と、劣化深さの推定として微細ひび割れ観察を行うこととした。そのためのコアを舗装のはつり範囲から採取した。また、劣化程度を相対的に対比するため、外観上は比較的健全である床版張出し部の下面からもコアを採取した。

コア採取は、健全と考えていた張出し部も含めて、いずれの箇所でも5~8cm程度の長さで採れる場合があり、床版内部に層状のひび割れが発達していることがその段階で予想された。

表-3に圧縮強度と静弾性係数の試験結果を示す。床版上面(図-4)から採取したコアでは、圧縮強度は第3径間で設計基準強度の1/2程度の値を示すが、それ以外では強度が得られている。床版張出し部のコアでは、いずれも高い値を示す。静弾性係数は床版上面でいずれも標準値に比べて低い値を示し、床版張出し下面でも第3径間では低い値となった。これは、荷重載荷によって初め

に内在するひび割れが閉じることでひずみが大きく出てしまうことが原因である。これらの結果からも床版内部ではひび割れが発達していると推察される。

次に第2径間から採取したコアの微細ひび割れ観察の結果を、写真-5に示す。左側が床版上面で右側が深さ方向である。上段はコア表面、中段は蛍光エポキシ樹脂注入後にコア表面を撮影したもの、下段はひび割れ図を示す。ひび割れ図を見ると、ほぼ水平方向のひび割れが深さ方向に複数存在していることが分かる。一般的には表面から浅いひび割れが顕著な場合は凍害、深さに関係なく見られる場合にはアルカリ骨材反応(ASR)に起因すると言われており、本試験のコアは両方の特徴を併せ持つ結果であった。

(3) 床版補修工法の選定

微細ひび割れ観察の結果からは、凍害劣化もしくはASRとの複合劣化により、床版内部に層状のひび割れが多数あることが確認された。さらには、現地調査における上面・下面の劣化状況、舗装修繕箇所の面積、打音調査による浮きの範囲などから、同様の劣化が広範囲であることが推察された。

層状のひび割れが発達している場合、その上下に増し厚や接着する工法を用いても母材ごと剥離・剥落することが懸念される。したがって、補修工法としては、床版打ち替えを選定した。

(4) 床版厚さの決定

a) 道路橋示方書の規定

鉄筋コンクリート床版(以下RC床版)厚さは、過度に薄くして疲労耐久性を損なわないように、床版支間をパラメータとした最小厚が式(1)によって規定されている。

$$t_0 = 30 \times L + 110 \quad (1)$$

ここに、 t_0 ; RC床版の最小厚(mm)

L ; 床版支間長(m)

志寸川橋の車道部の桁支間は、縦桁の増設によって、1425mmであるが、歩道側の桁との支間が1650mmある。最小厚は最大桁支間を用いて算出すると、式(1)より、 t_0 が159.5mmとなり、これに大型車交通量による割増を考慮すると、床版厚は191.4mm≒19cmとなる。

b) 疲労耐久性の照査

現況の床版厚は18cmであり、打ち替えて19cmとすると次のような問題が生じる。

- ①死荷重が増加し、主桁応力や支承反力が超過する。
- ②下部工が負担する死荷重が増加する。

表-3 圧縮・静弾性試験の結果

採取箇所	コア径 mm	コア長 mm	圧縮強度 N/mm ²	静弾性係数 ×10 ⁴ N/mm ²
1-床上	55.0	109.9	19.1	0.30
1-張下	55.0	107.0	54.8	3.1
2-床上	54.6	71.8	20.8	0.20
2-張下	55.0	108.3	57.2	4.3
3-床上	55.0	110.0	11.9	0.29
3-張下	55.0	69.2	57.2	1.1

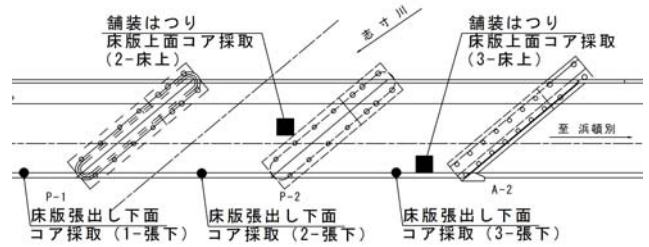


図-4 コア採取箇所図

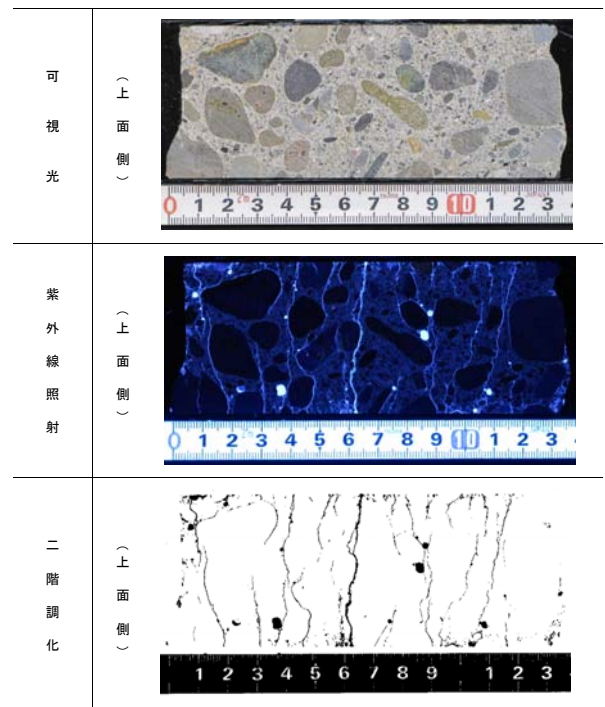


写真-5 微細ひび割れ観察 (第2径間コア)

③残存する歩道側床版と厚さが異なり、一体化ではなく縦目地で分離する構造になるが、車道に縦目地が入るのは、縦目地周辺で舗装が劣化しやすく水の供給源となることから望ましくない。

したがって、打ち替える床版厚は既設橋の補修であることを鑑みて18cmとした。なお、18cmとした場合の疲労耐久性について、現行の道示に配慮しつつ、次のように確認を実施した。

鉄筋コンクリートの輪荷重走行に対する疲労耐久性に

については、これまでに多くの実験検証が行なわれ、寒地土木研究所においても研究が進められており、式(2)に示す松井式⁹⁾により、破壊走行回数(N)を求めることができる。

現在床版の疲労耐久性としては、橋梁の供用期間を100年として算出している。昭和40年に架設された本橋は昨年度的设计段階で供用から47年経過しており、求められる余寿命を53年と設定した。その間の大型車交通量は、交通センサスから推定するが、H22センサスの結果が社会実験期間中であり、交通量が明らかに縦貫道に流れていることが窺えた。社会実験が終了後は、それ以前の交通量に戻っていると思われたことから、H17センサスの結果を用いて今後53年間の大型車交通量を推定した。その結果を表-4に示す。

$$\text{Log}(P/P_{sx}) = -0.07835 \cdot \text{Log} N + \text{Log} C \quad (2)$$

ここに、N：対象とする輪荷重Pの繰返し作用回数

C：定数(乾燥状態では1.52)

また、式中の P_{sx} は対象のRC床版が梁状化したときの押し抜きせん断耐力で、式(3)で示される。

$$P_{sx} = 2 \times B \times (\tau_{s,max} \cdot X_m + \sigma_{t,max} \cdot C_m) \quad (3)$$

ここに、

P_{sx} ：梁状化したRC床版の押し抜きせん断耐力(N)

B：輪荷重に対する床版の有効幅

(はり状化幅で、 $B = b + 2d_q$ (mm))

b：橋軸方向の輪荷重載荷幅(一般に200mm)

d_q ：引張側配力鉄筋の有効高(mm)

$\tau_{s,max}$ ：コンクリートの最大せん断応力度

$$= 0.656 \cdot \sigma_c^{0.606} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

X_m ：主鉄筋に直角な断面の引張コンクリートを無視した中立軸深さ(mm)

このときのコンクリート弾性係数

$$= 20,600 + 900(\sigma_c - 30) \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$\sigma_{t,max}$ ：コンクリートの最大引張応力度

$$= 0.269 \cdot \sigma_c^{2.3} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

C_m ：引張側主鉄筋のかぶり深さ(mm)

σ_c ：コンクリートの圧縮強度(N/mm²)

対象とする輪荷重は、25t荷重の後輪1軸荷重10tに衝撃係数を考慮して128kNとし、表-4の大型車交通量とともに式(2)に入力することで P_{sx} が求められる。これが今後53年供用するために必要な押し抜きせん断耐力となり、式(3)で求められる新設床版の押し抜きせん断耐力がそれを上回っていれば良いことになる。

表-5に式(2)より求めた必要せん断耐力と、式(3)より求めた新設床版が有するせん断耐力を求めた結果を示す。

表-4 新設床版に作用する大型車交通量の推定

H17交通センサス交通量(2方向)	6,741台
重方向率(推定)	50.0%
大型車混入率	32.2%
大型車交通量(台/1方向・日)	1,085台
余寿命	54年
年間当たり大型車交通量	396,025台
余寿命期間の大型車交通量	21,385,350台

表-5 押し抜きせん断耐力

名称		単位	数値
式(2)で求められる $P_{sx} = P_0$		kN	316.1
新設床版のせん断耐力	コンクリート強度 σ_c	N/mm ²	30
	最大せん断応力度 $\tau_{s,max}$	N/mm ²	5.15
	引張側コンクリートを無視した中立軸 X_m	cm	5.325
	輪荷重載荷幅 b	cm	20
	引張側配力筋までの有効高 d_d	cm	12.15
	梁状化したときの梁幅 B	cm	44.3
	最大引張応力度 $\sigma_{t,max}$	cm	2.597
	引張主鉄筋のかぶり深さ C_m	cm	4.1
	押し抜きせん断耐力 $P_{sx} = P_1$	kN	337.3

床版コンクリートの設計基準強度を30N/mm²とすることで、押し抜きせん断耐力が $P_1 > P_0$ となることから、新設床版は25t荷重に対して余寿命54年を満足する疲労耐久性を有すると考えられる。

(5) 新設床版の設計活荷重と配筋

打ち替える床版の厚さは、前節より疲労耐久性を照査したうえで現況と同じ18cmとした。次に、設計荷重を現行示方書に準拠してB活荷重として鉄筋量を求める。このとき、床版支間部は縦桁により支間長が小さいことから現況鉄筋量と同様となったが、床版張出し部についてはD22@100が必要になる。

RC床版部材は通常厚さが20cm前後と薄く、鉄筋間隔が小さくなる傾向になることから、道路橋示方書等では、鉄筋はD19以下を標準とし、端部打ち下ろし部についてはハンチ高も含めた厚さになることからD22を用いても良いとされている。今回、B活荷重を設計荷重とした場合、床版張出しの上側鉄筋でD22が必要になり、D19までとされる標準仕様と異なることになるが、以下のことから許容した。

- ①鉄筋が不足する範囲が張出しの上側に限られること。
- ②床版厚とハンチ高は、他部材や下部工に与える影響が大きく、変更が難しい。
- ③鉄筋のあきが78mmあり、粗骨材最大寸法(20~25mm)の3倍確保されること。

なお、張出し端部(支点上)は活荷重による曲げモーメントを2倍にするため、D22でも許容応力度を超過することから、活荷重による断面力を端部ブラケットで負

担することとした。

6. 施工方法

床版打ち替えの施工方法としては、現道交通を全面通行止めにする方法と片側交互通行とする方法が考えられる。全面通行止めする場合には、迂回路の選定、関係機関との協議に時間を要する。片側交互とする場合には、片車線ずつを規制しながら現況床版の撤去・打ち替えを行なうが、以下の事項に注意が必要となる。

- ①現況床版をブロック撤去する際、交通に支障のないクレーン配置(アウトリガー幅)を検討する。
- ②フレッシュ状態の新設床版コンクリートに対する交通振動の影響を軽減するため、交通量が少ない時間帯に打設する。

問題点①は、クレーンのアウトリガー幅を小さくすると吊り能力が低下するため、撤去床版のブロック割を小さくする必要があり、カッター工や一次はつりが増え、施工時間も長くなる要素がある。

問題点②は、フレッシュコンクリートに対する交通振動の影響については、日本橋梁建設協会の文献²⁾で、衝撃力に近いような外力や特殊な振動が加わる以外では悪影響はないと考えられた。一方で、上面増し厚に関する研究論文³⁾では、打設直後(約1日の間)に交通振動が加わると、新旧接着面の付着強度が低下するという報告がある。

これらのことから、当初は、打設時間を交通量の少ない時間帯に合わせることで片側交互通行の中で施工できると考えていた。しかしながら、既設床版の陥没によって早急な対応が求められたこと、気温が低く、降雪が多い冬期になる以前に床版打ち替えを完了させることを考えると、工期短縮が必要であり、施工性の向上が求められた。

7. 通行止め時の迂回路選定

通行止めが可能になると、撤去時間の短縮、鉄筋組立やコンクリート打設を複数回に分けずに1度でできる、交通振動の影響を考えなくても良い、など工期短縮及び施工性の向上に繋がると考えられた。関係機関と協議を重ね、国道の迂回を図-5に示すように選定した。

ただし、約2ヵ月の国道の通行止めは、地域住民の方々に大きな損失を与えることから、普通自動車に限り図-6の迂回を選定した。

8. 床版打ち替え

全面通行止めをすることで、平成24年9月18日から平成24年11月22日の66日間という短期間で、既設床版の撤



図-5 国道の迂回路

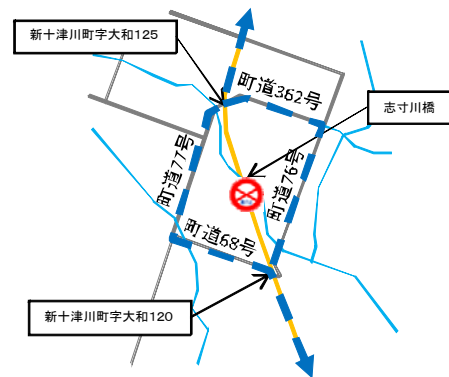


図-6 普通自動車の迂回路

去、床版コンクリート型枠・鉄筋組立・打設、伸縮装置設置、橋梁用防護柵設置、アスファルト舗装舗設を完了させることができ、11月22日は降雪があったが、正午には全面通行止めを解除した。

謝辞: 今回の床版打ち替えにあたり、国道を通行止めし迂回が出来たことは関係機関のご協力により、実現できたことでした。特に新十津川町建設課の皆様方には、地域住民への周知をしていただきありがとうございます。また、地域住民の方々のご理解にも感謝いたします。

参考文献

- 1) 松井繁之: 道路床版 設計・施工と維持管理、森北出版株式会社、2007
- 2) 日本橋梁建設協会、鋼橋の Q&A、コンクリート系床版編、Q6-109 (No.121)、2012.3
- 3) 尾上幸造、中澤隆雄、今井富士夫、黒木裕貴: 若材齢時に振動作用を受けるコンクリートの残存強度、コンクリート工学年次論文集、Vol.31、No1、2009