

2 橋梁・トンネルに関する技術

(1) 橋梁

ア 橋梁

(ア) 橋梁の歴史

道路は、人と物を輸送するための施設であり、その延長線上に橋がある。

日本の国土は地形が急峻であり、多数の河川があるため、この自然条件の中で道路整備を行う上では、橋の果たす役割は極めて大きいものがある。

最古の橋は、大木が倒れて橋として利用されていたものと思われるが、人智の発達とともに、丸木橋に始まり、つたなどを使った吊橋、石を使った石橋など工夫が重ねられ、鋼鉄、コンクリートなどによる橋が架けられるようになってきた。

北海道では、橋の無い道路も随所に見られ、大きな川では渡船による通行が行われていた（写真1）。

渡船場は、社交場の一つとして住民の交流の場でもあったが、渡船の転覆、洪水などによる危険性を抱えていた。



写真1 昭和47年 石狩渡船
(国道231号 石狩町)

北海道の冬は寒く、河川の多くが凍結することから、渡船も運航できなくなり、生活の知恵で板や木枝を敷き並べ、夜に水をかけて氷を厚くして、人や馬が通れる氷橋を作って利用していた。しかし、一年を通して通行ができる橋の架設に対しての要望は各地で起こり、橋の架設に関する声が多く出された。

現在の架設されている橋梁は、桁橋等が一般的（図1）であるが、当時の北海道の橋は木橋が主流で、形式についても丸太を渡し、板を敷いた板橋であったが、その後、より長く渡れる吊橋、キングトラス、ハウトラスなどの橋についても盛んに架けられるようになった（写真2、3）。

昭和25年の記録によると、北海道には4,539橋、延長68,785mの橋があり、うち3,613橋(80%)が木橋であったと言われている。

しかし、度重なる洪水により、流失、架設の繰り返しの時代が長く続いた。

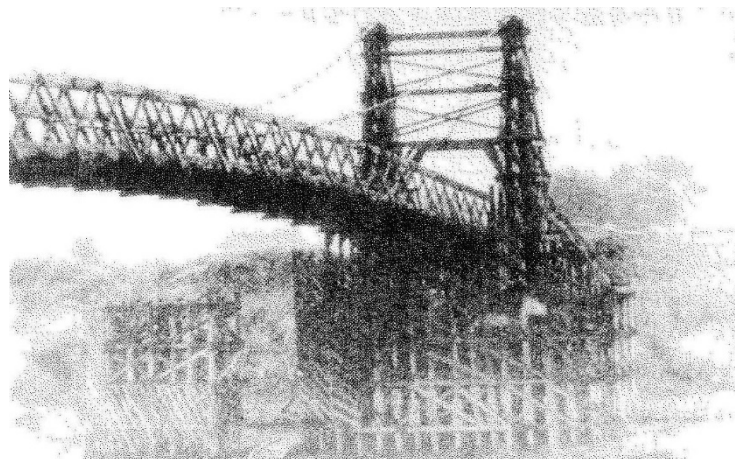
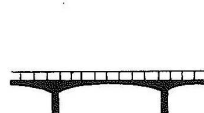


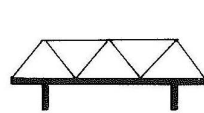
写真2 月形橋（木造吊橋）
（流水、流木除が見える）



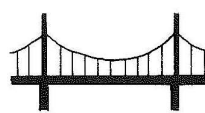
写真3 挽歌橋（木造キングトラス）



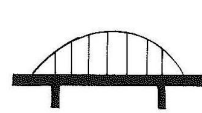
桁橋（けたばし）
最も多く造られている橋で、I 桁と箱桁がある。I 桁は45mまで、箱桁は45～100m程度、跨ぐ時に使われる。



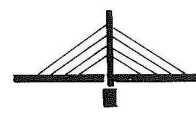
トラス橋
鋼材を三角形に組立てた橋で、50～150m程度、跨ぐ時に使われる。



吊り橋（つりばし）
太いケーブルを張り渡し、ハンガーロープで桁を吊る橋で、400m以上跨ぐ時に使われる。



アーチ橋
鋼材をアーチ形に組立てた橋で、100～200m程度、跨ぐ時に使われる。



斜張橋
（しゃちょうきょう）
鉄塔からケーブルで斜めに桁を吊る橋で、150～400m程度、跨ぐ時に使われる。

図1 現在架設されている橋梁のかたち

北海道の開発を支えてきた木橋も昭和 40 年を境にほとんど架けられなくなり、その後、鉄筋コンクリート橋・鋼橋が多く架けられるようになった。

鉄筋コンクリートの橋が北海道において初めて架けられたのは、昭和初期である。人馬から自動車への交通体系の変化、木材資源の高騰、維持費の増大、更にはコンクリート技術の向上があって、小支間の橋は徐々に鉄筋コンクリート橋に架け替えられてきた。

当初の鉄筋コンクリートの橋は単純桁であったが、支間の大きい橋はゲルバー形式又はアーチ形式が採用されている。

昭和 15 年 10 月に国道 241 号帯広市～音更町間に架けられた旧十勝大橋は、鉄筋コンクリートゲルバー橋としては東洋一の橋面積を誇っていた。

また、昭和 36 年に架けられた国道 230 号札幌市盤の沢橋は 3 径間連続 PC 箱桁橋（中央ヒンジ）で、北海道初（全国で 5 番目）のディビダーク工法による橋である。昭和 41 年に国道 5 号森町に架けられた上姫川橋は、世界で最初の PRC 工法を用いて設計・施工された橋である。

鋼橋は戦後に、鋼材料の市場が好転した関係もあって多く架けられるようになってきた。型式についても設計理論の研究、コンピューター、鋼材の発達によって新型式の橋も開発されてきた。

代表的な橋を挙げると、大正 13 年に完成した現国道 36 号札幌市の豊平橋や昭和 7 年に完成した国道 40 号旭川市の旭橋があり、旭橋は過去の歴史を見つめてきて現在もその雄姿を誇っている。タイプはタイドアーチ橋である。

設計的には、北海道は積雪寒冷地であるため、雪荷重の問題、地震に対する問題、河川の結氷による橋脚の被害の問題などがある。また、川の流域は軟弱な地盤が多く、特に地震の影響を受けやすいなど、橋の設計に当たっては高度な技術が要求される。

斜張橋としては、昭和 37 年に北海道で初めて架けられた神納橋（旭川～深川・石狩川：写真 4）がある。この橋は、1 塔で 2 径間連続鋼床版箱桁を吊る型式で、この形式では我が国初めてのものであった。

その後架けられた大きな橋としては、石狩河口橋（現石狩市・石狩川：写真 5）、十勝中央橋（音更町～幕別町・十勝川）などがある。

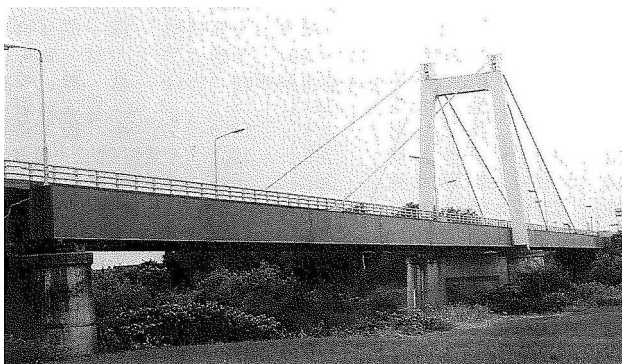


写真 4 神納橋
（現主要道道 旭川深川線）



写真 5 石狩河口橋
（国道 231 号 現石狩市）

北海道には、歴史的に代表される数々の名橋があるが、主な名橋として豊平橋（札幌市：写真6）・旭橋（旭川市：写真7）・十勝大橋（帯広市～音更町：写真8）・幣舞橋（釧路市：写真9）がある。

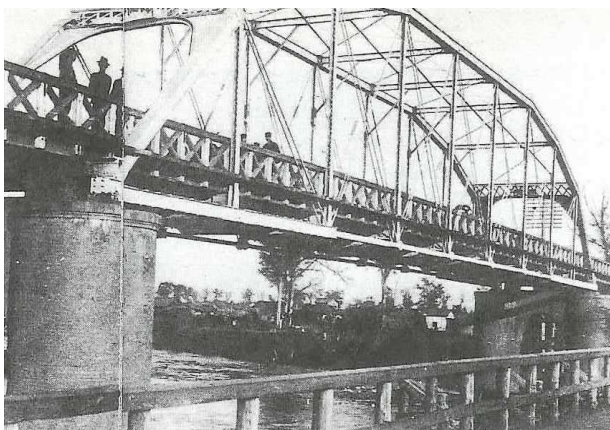


2代目の橋（大正13年～昭和40年）

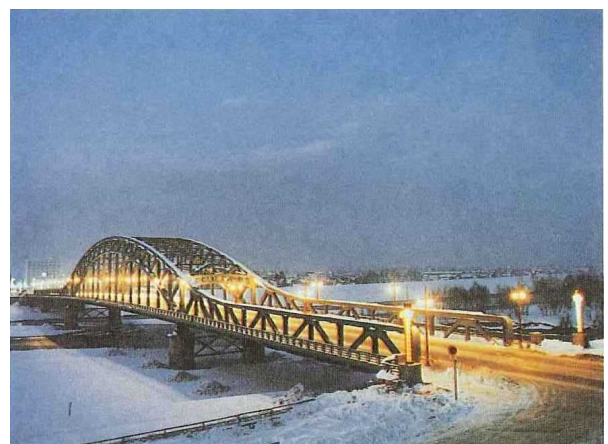


3代目の橋（昭和40年～現在）

写真6 豊平橋（国道36号 札幌市）



初代の橋（明治37年～昭和7年）



2代目の橋（昭和7年～現在）

写真7 旭橋（国道40号 旭川市）



初代の橋（昭和 15 年～平成 7 年）

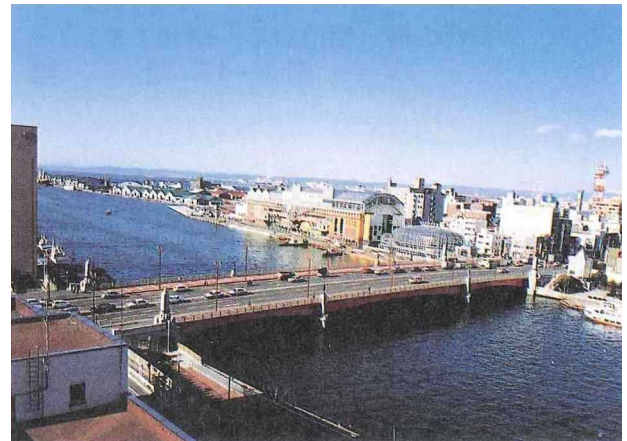


2 代目の橋（平成 7 年～現在）

写真 8 十勝大橋（国道 241 号 帯広市～音更町）



初代の橋（明治 33 年～明治 42 年）



5 代目の橋（昭和 51 年～現在）

写真 9 幣舞橋（国道 38 号 釧路市）

(イ) 橋梁整備の状況

橋梁整備の現状について、表 1・表 2 に示す。

表 1 橋梁現況総括表（国・都道府県道）

区 分		合 計	鋼 橋	RC 橋	PC 橋	石 橋	木 橋	混合橋※3	その他
北海道	数	5,659 橋	3,445	297	1,863	0	1	50	3
	延長	411,040 m	281,378	13,561	108,066	0	19	7,931	85
全 国	数	65,373 橋	27,247	8,697	27,668	41	18	1,431	251
	延長	5,737,487 m	3,129,859	447,937	1,846,985	966	1,514	293,486	16,740

注) 1. 道路統計年報2019（平成30年4月1日）

2. 橋梁は橋長15m以上の道路橋

3. 混合橋は鋼とRCまたはPCとの混合橋

表2 橋の一覧表（北海道開発局所管、橋梁ベスト50）

【総合】		【橋長順】		(令和2年4月1日現在)								
NO	建設部	橋梁名	路線名	市町村名	架設年度	橋長	有効幅員	最大支間長	橋面積	上部形式	橋格	材質
1	函館	桔梗高架橋(上り)	228号	函館市	平成12年	1,433	6.25	34	8,956	床版橋	1等橋	混合
2	函館	桔梗高架橋(下り)	228号	函館市	平成12年	1,433	6.25	34	8,956	床版橋	1等橋	混合
3	札幌	石狩河口橋	231号	石狩市	昭和51年	1,413	10.50	160	14,837	桁橋 1桁	1等橋	鋼
4	室蘭	静川高架橋(下り)	235号	苫小牧市	平成9年	1,402	9.75	90	13,670	桁橋 箱桁	1等橋	鋼
5	室蘭	静川高架橋(上り)	235号	苫小牧市	平成9年	1,402	9.75	90	13,670	桁橋 箱桁	1等橋	鋼
6	室蘭	白鳥大橋	37号	室蘭市	平成10年	1,380	14.25	720	19,665	吊橋 箱桁	1等橋	鋼
7	旭川	岩見大橋(下り)	12号	旭川市	昭和57年	1,100	12.70	25	14,026	床版橋	1等橋	コンクリート
8	室蘭	共和高架橋(下り)	235号	厚真町	平成9年	1,017	9.75	34	9,916	桁橋 1桁	1等橋	鋼
9	室蘭	共和高架橋(上り)	235号	厚真町	平成9年	1,017	9.75	34	9,916	桁橋 1桁	1等橋	鋼
10	札幌	札幌大橋(下り)	337号	当別町	昭和63年	985	12.00	150	11,824	桁橋 1桁	1等橋	鋼
11	帯広	豊頃大橋	38号	豊頃町	昭和58年	984	11.00	140	10,824	アーチ橋 ローゼ	1等橋	鋼
12	札幌	札幌大橋(上り)	337号	当別町	平成27年	982	9.25	150	9,088	桁橋	1等橋	鋼
13	札幌	美原大橋	337号	江別市	平成16年	972	28.00	340	27,216	斜張橋 箱桁	1等橋	鋼
14	札幌	IC高架橋(下り)	274号	札幌市	昭和56年	957	10.00	46	9,570	桁橋 箱桁	1等橋	鋼
15	札幌	IC高架橋(上り)	274号	札幌市	昭和56年	957	10.00	46	9,570	桁橋 箱桁	1等橋	鋼
16	帯広	十勝河口橋	336号	豊頃町	平成4年	928	11.00	165	10,208	桁橋 箱桁	1等橋	コンクリート
17	札幌	新石狩大橋	275号	江別市	昭和43年	918	8.00	120	7,344	アーチ橋 ランガー	1等橋	鋼
18	帯広	平原大橋(下り)	241号	帯広市	平成2年	755	12.75	170	9,626	桁橋 箱桁	1等橋	コンクリート
19	帯広	平原大橋(上り)	241号	帯広市	平成14年	755	12.75	170	9,626	桁橋 箱桁	1等橋	コンクリート
20	札幌	滝新橋	451号	新十津川町	平成8年	754	15.00	91	11,310	桁橋 箱桁	1等橋	鋼
21	札幌	千歳高架橋(下り)	337号	千歳市	平成13年	747	10.00	71	7,470	床版橋	1等橋	混合
22	札幌	千歳高架橋(上り)	337号	千歳市	平成13年	747	10.00	71	7,470	床版橋	1等橋	混合
23	函館	茂辺地高架橋	228号	北斗市	平成18年	739	10.50	96	7,760	桁橋 箱桁	1等橋	コンクリート
24	釧路	新釧路大橋	38号	釧路市	平成16年	733	10.50	156	7,697	桁橋 箱桁	1等橋	鋼
25	釧路	貴老路大橋	横断道	本別市	平成20年	730	10.31	110	7,526	桁橋 箱桁	1等橋	コンクリート
26	帯広	千代田大橋	242号	池田町	平成19年	705	10.50	112	4,236	桁橋 箱桁	1等橋	鋼
27	札幌	白石高架橋(下り)	274号	札幌市	昭和55年	699	10.00	76	6,990	桁橋	1等橋	混合
28	札幌	新空知大橋(下り)	12号	砂川市	平成2年	677	11.70	107	7,955	桁橋 箱桁	1等橋	コンクリート
29	札幌	新空知大橋(上り)	12号	砂川市	平成5年	677	11.70	107	7,955	桁橋 箱桁	1等橋	コンクリート
30	室蘭	輪西高架橋(仲町)	36号	室蘭市	昭和53年	675	17.30	25	11,678	桁橋 1桁	1等橋	鋼
31	室蘭	祝津オランプ橋	37号	室蘭市	平成10年	664	5.50	37	3,652	桁橋 箱桁	1等橋	鋼
32	札幌	石狩川橋	451号	滝川市	昭和37年	640	9.00	45	5,760	桁橋 1桁(合成)	1等橋	鋼
33	札幌	雁来大橋	275号	札幌市	昭和55年	638	24.00	61	15,312	桁橋 箱桁	1等橋	鋼
34	札幌	白石高架橋(上り)	274号	札幌市	昭和55年	633	10.00	82	6,330	桁橋	1等橋	混合
35	釧路	里音別川橋	横断道	釧路市	平成23年	623	10.25	86	6,392	ラーメン橋	1等橋	コンクリート
36	帯広	札内橋(下り)	38号	帯広市	昭和60年	622	11.75	40	7,309	桁橋 箱桁	1等橋	コンクリート
37	帯広	札内橋(上り)	38号	帯広市	昭和32年	622	10.75	39	6,935	桁橋 T桁	1等橋	コンクリート
38	函館	昭和高架橋(下り)	5号	函館市	平成11年	620	5.75	62	3,565	桁橋 箱桁	1等橋	鋼
39	帯広	土狩大橋	236号	芽室町	平成13年	610	22.00	140	13,420	桁橋 箱桁	1等橋	コンクリート
40	函館	函館Aランプ3号橋	228号	函館市	平成14年	603	7.00	603	4,221	桁橋 箱桁	1等橋	鋼
41	札幌	豊水大橋(下り)	274号	札幌市	昭和54年	555	10.00	76	5,553	桁橋	1等橋	混合
42	帯広	歴舟橋	336号	大樹町	昭和47年	554	6.00	37	3,324	桁橋 T桁	2等橋	コンクリート
43	札幌	豊水大橋(上り)	274号	札幌市	昭和54年	542	10.00	76	5,424	桁橋	1等橋	混合
44	旭川	水明橋(下り)	450号	上川町	平成12年	540	10.25	152	5,535	アーチ橋	1等橋	コンクリート
45	室蘭	祝津オランプ橋	37号	室蘭市	平成10年	538	5.50	48	2,959	桁橋 箱桁	1等橋	鋼
46	札幌	江別大橋(下り)	12号	江別市	平成3年	534	11.75	81	6,275	桁橋 箱桁	1等橋	鋼
47	札幌	江別大橋(上り)	12号	江別市	平成3年	534	11.75	81	6,275	桁橋 箱桁	1等橋	鋼
48	帯広	川西大橋	236号	帯広市	平成17年	528	12.00	75	6,336	桁橋 箱桁	1等橋	鋼
49	札幌	新江別橋	12号	江別市	昭和51年	521	20.50	83	10,681	桁橋 箱桁	1等橋	鋼
50	旭川	恵深橋	40号	美深町	平成5年	509	12.00	90	6,108	桁橋	1等橋	鋼

(ウ) 代表的な橋梁

a 国道 37 号 白鳥大橋

室蘭港は鍵状の地形で天然の良港であるが、同時に室蘭市を南北に分断する結果となり、都市機能の発展上、大きな障害となってきた。

このような状況から、室蘭港の湾口部を連結し、室蘭市の都市機能の拡大を図るとともに、北海道縦貫自動車道と連結し、国道 36・37 号の交通混雑の解消を図るため、昭和 60 年から白鳥大橋の工事が始められた。

白鳥大橋は 3 径間の吊橋であり、橋長が 1,380m、中央経間が 720m、主塔の高さが約 130m の規模を誇り、中央経径間の長さでは国内 7 番目、積雪寒冷地最大の吊橋として計画・建設された橋である。

橋の架設地点は前述のように室蘭港の湾口部をまたぐため、ケーブルを支える主塔は海上部に位置しているとともに、その支持層となる岩盤が海面下 73m にも達している。この深度に橋の基礎が設置されることは世界的に見てもあまり例がなく、これらの条件を克服するため、主塔の基礎には地中連続壁を仮設の土留止水壁に利用しながら本体基礎を施工していく新しい基礎型式（地中連続壁併用逆巻剛体基礎）を採用している。

上部の桁についても、架橋地点が湾口部で風が強いこと、中央径間が長く橋が揺れやすいこと、北海道特有の着雪による橋への影響などを計算、実験などで十分検討して桁の形を決めるなど様々な工夫がなされている。

平成 10 年 6 月に開通した白鳥大橋は、その優雅な姿を室蘭港に映し、室蘭の新しいランドマークとなった（写真 10）。



写真 10 白鳥大橋（平成 10 年～現在）（国道 37 号 室蘭市）

b 国道 337 号（道央圏連絡道路）美原大橋

国道 337 号道央圏連絡道路は、千歳市を起点として、長沼町、南幌町、江別市、当別町、札幌市、石狩市を経由して小樽市に至る延長約 80km の道路であり、沿線自治体相互の連携を強化し、北海道縦貫自動車道、北海道横断自動車道、新千歳空港、石狩湾新港の広域交通拠点、物流拠点相互を結び、効率的な交通体系を構築することを目的としている。

美原大橋は道央圏連絡道路の一部として、石狩川で分断されている地域を連結するもので、平成 7 年に工事を着手した、橋長 972m の 3 径間連続鋼斜張橋＋ 3 径間連続鋼床版箱桁であり、中央径間の 340m は一面吊り鋼斜張橋としては世界で 8 番目・国内で 3 番目であった（平成 18 年時点）。

斜張橋の特徴でもある空を突くように延びた主塔は 80m もの高さがあり、形を逆 Y 字型にすることで強風などにも強く、安定性に優れた造りとなっている。

国内有数の大河川である石狩川における工事であるため、仮締切兼用として鋼管矢板井筒基礎を採用している。また、基盤となる地盤が深く、60m もの打ち込みを行うため、オランダ製の大型油圧ハンマーを使用した。

着工から 10 年後の平成 17 年に完成し、雄大な石狩川下流域の風景に映えるアクセントとして、地域住民から「美原大橋」という橋名と共に親しまれている（写真 11）。



写真 11 美原大橋（国道 337 号 江別市）
（平成 17 年～現在）

c 国道 5 号（倶知安余市道路）登川大橋

登川大橋は、後志自動車道のうち倶知安町から余市町までを結ぶ倶知安余市道路事業の一環として、国道 5 号のバイパス機能を担い、NEXCO 東日本が管理する余市 IC に接続する自動車専用道路の橋梁である。

登川大橋は、二級河川の登川をまたぐ全長 429.5m の 3 径間連続鋼箱桁橋（2 連）の橋梁であり、令和 2 年度に舗装を残して完成した（写真 12）。

国土交通省では、平成 28 年度から生産性革命プロジェクトにおいて、建設現場の生産性を令和 7 年度までの 10 年以内に 2 割向上させることが掲げられており、本橋梁を担当する小樽開発建設部小樽道路事務所は平成 30 年に、全国 10 か所の「i-Construction モデル事務所」として北海道で唯一選定され、ICT 活用を生産性向上につなげるための方策を行っている。

具体的には、登川大橋における鋼橋の製作に当たっては、3D モデリングを活用した。3D モデルを元に、可動部の干渉チェックなどの照査を効率化し、工場製作に必要な図面や指示書、加工用 NC データを作成し、鋼板の切断と孔開けを自動化した。さらに、施工手順を CG 化することにより、工程の確認などを容易にした。

また、維持管理と点検への活用を考慮し、BIM/CIM 納品を試行している。維持管理に関連する図面などの資料へのリンクを 3D モデル上に併記するとともに、5 年ごとの法令点検の結果をフォルダ内に記録できる形式としている。本試行により、仮に橋梁が損傷した際にも、例えば損傷部材のスペックなど、見たい情報に素早くアクセスできるようになるなど効率化が図られる（図 2）。



写真 12 登川大橋（国道 5 号 余市町）

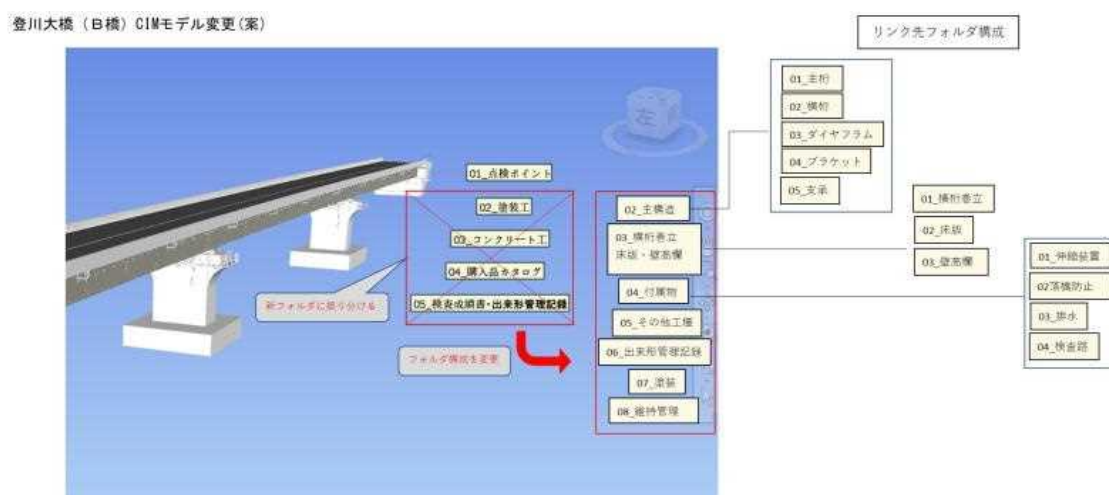


図 2 登川大橋 CIM モデル

イ 橋梁の維持・補修

(ア) 橋梁の維持・補修

道路橋は、供用開始と同時に重車両を含む車両の通行によって繰り返し荷重作用を受けている。また、風雪雨や直射、温度変化、地震等の影響を受けるなど、過酷な条件下で供用されている。さらに、積雪寒冷地である北海道では、積雪期には道路管理のため融雪剤の散布、凍結融解作用の影響などがあり、これらの影響は橋の劣化として現れている。このような中、北海道開発局では道路管理の一貫として、通常点検や定期点検によって橋の不具合を確認している。通常点検については、損傷の早期発見や走行上の不具合の除去を目的として、道路パトロールカーからの目視を主体として日常的に実施し、安全で円滑な交通の確保に努めている。

従来、橋梁に損傷が見られる場合には、安全性や耐久性に問題が生じるものに対して補修を実施してきたが、損傷が大きくなった段階における補修は安全性の問題のほか、補修規模が大きくなり費用の増大や交通規制が必要となるなどの問題があった。そこで、日常的なパトロールによって確認された軽微な損傷を、早期にメンテナンスを実施することによって劣化の進行を遅らせるなどの対応を実施している。特に、ポットホール等の舗装の異状は雨水等が床版へ進入すると床版の耐久性を著しく低下させ、さらに、冬期の凍結融解作用を受ける。また、伸縮装置部を含め、路面の段差は走行者に不快感を与えるばかりでなく、走行車両に損傷を与える要因や、橋に過大な荷重を作用させて耐久性を低下させる要因にもなることから、路面管理が重要となっている。

(イ) 道路橋の床版補修

道路橋における床版は、輪荷重を直接受け止めて支持し、これを床組、主桁に伝達する重要な役割を持つ主要部材であり、鉄筋コンクリート床版（以下「RC 床版」という。）、PC 床版、I 型鋼格子床版、鋼床版があり、近年は、高耐久性床版として鋼コンクリート合成床版なども採用されてきている。鋼道路橋では、他の形式に比べ安価で施工が容易であることから、場所打ち RC 床版の採用事例が多いが、昭和 30～40 年代に架設された橋梁が供用後 40～50 年を経過し、積雪寒冷地特有の凍害を経て疲労破壊に至る床版が見られるようになった（写真 13・14）。

RC 床版は、土木コンクリート構造物としては比較的薄い構造部材であるため、ひび割れの発生とその進行は RC 床版の耐久性に大きな影響を与える。RC 床版の劣化要因は、大型車の輪荷重の繰り返し作用による疲労劣化が主たる要因とされ、それに加え床版に



写真 13 床版上面の砂利化



写真 14
RC 床版の局所陥没破壊（凍害+疲労）

生じたひび割れに雨水が浸入すると疲労耐久性が著しく損なわれる。特に、北海道においては、積雪寒冷な気象条件から「凍害」や凍結防止剤散布による「塩害」の材料劣化を受ける過酷な状況にある。

(ウ) 床版の設計基準の変遷

新設 RC 床版の設計は、道路橋示方書により床版支間長や大型車交通量から最小厚を決め、輪荷重や死荷重による曲げモーメントを算出して鉄筋量を求める許容応力度法が用いられているが、その背景には疲労破壊に対する安全性能の確保がある。そのため、これまでの交通量や車両荷重の増加に応じた最小厚や配力鉄筋量の変遷がある。したがって、既設 RC 床版の補修・補強を行う上では、当該床版の構造特性を理解した上で、新設床版と同様にその疲労破壊に対する評価を行う必要がある（表 3）。

表 3 RC 床版の基準の変遷概要

適用基準 年次	活荷重(車両荷重)	最小版厚(cm)	床版防水層
道示 昭和 14 年	TL-9, TL-13	規定なし	規定なし
道示 昭和 31 年	TL-14, TL-20	14cm以上(有効厚11cm)	
道示 昭和 43 年		$t_0 = 3L + 11 \geq 16\text{cm}$	
局要領 昭和 44 年		付加曲げモーメント の規定追加	連続桁の中間支点部
道示 昭和 53 年	A活荷重, B活荷重 (TL-25)		車道部は全面防水
局要領 平成 10 年			床版全面防水

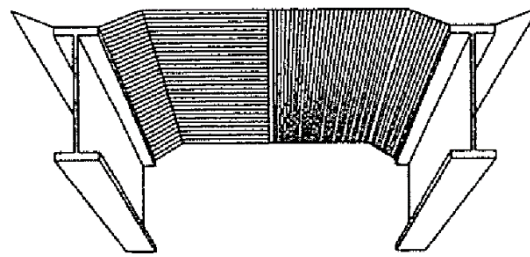
(エ) 道路橋 RC 床版の補修

RC 床版の補修に当たっては、床版の余寿命予測を行い、劣化要因に応じた適切な対策工を選定することが重要である。

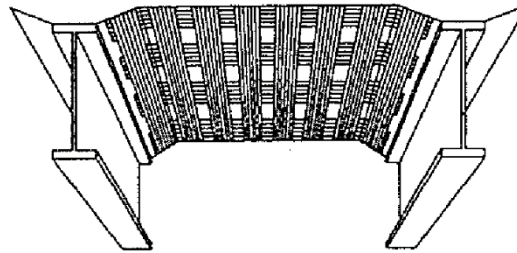
寒地土木研究所の試算結果では、凍害で劣化した床版の疲労寿命は、健全な床版に比べ、上面が 1 cm の劣化で約 1/3、2 cm の劣化で約 1/10、3 cm の劣化では約 1/30 低下し、さらに、上面が凍害劣化した床版は、ひび割れ密度 6.0～7.5m/m² で破壊に至ることが確認されており、北海道における環境条件、使用条件に応じた損傷の評価、診断に基づく適切な補修対策工を選定する必要がある。

RC 床版の対策工には、劣化要因、損傷状態、構造特性などに応じ、下面補強工法、上面増し厚工法、断面修復工法、打換え工法、増し梁工法、剥落防止工法、ひび割れ注入工法があり、要求性能を満足する工法を選定する。特に、疲労劣化による床版下面のひび割れ密度が大きな損傷に対して、従来は、押抜きせん断に対する補強効果の確認が困難であったため、コスト負担の大きな打換え工法となっていたが、劣化床版に対する実験・研究が進み、疲労破壊に対する評価手法、余寿命評価手法の確立により、打換え以外の補修・補強の対策工が採用できるようになってきた。

疲労耐久性を向上させる補修・補強工法は、死荷重の増加を軽減できる下面補強工法（図 3）の採用事例が多い。



(a) 連続繊維シート全面張り



(b) 連続繊維シート格子張り

図3 下面補強工法

下面補強工法には、鋼板接着工法、連続繊維シート接着工法、FRP 接着工法、下面増厚工法があり、従来、床版下面全面の補強が一般的であったが、近年、輪荷重走行試験等による検証が行われ、補強後の維持管理の観点や、滞水による二次損傷を防ぐ目的で、連続繊維シートを格子状に接着する格子貼りの採用事例が増えてきており、今後もこのような実験、研究の進展により、維持管理手法の新たな展開が期待される。

(オ) 道路橋の橋面舗装

橋面舗装は、特に交通車両による衝撃、雨水その他の気象条件などから橋梁の床版を保護し、同時に交通車両が快適に走行できるようにするものである。また、橋面舗装の修繕による交通規制は道路利用者への影響が大きいため、耐久性の高い舗装を適用することが必要である。

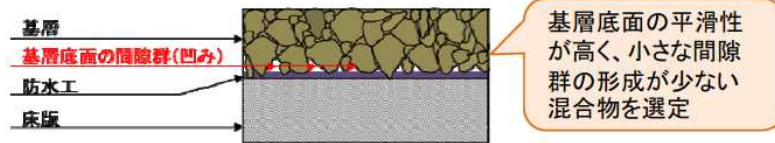
車道部の舗装は、アスファルトコンクリート舗装を標準とし、一般には床版の不陸の影響を考慮して二層仕上げとしている。剛性の大きい版の上に置かれた混合物は流動しやすいため、表層には、耐流動性及び耐摩耗性を考慮してポリマー改質アスファルトⅡ型を用いた細密粒度ギャップアスコン 13F55（新材）を使用することとしている（ただし、鋼床版橋は除く。）。

また、基層には、混合物内部への水の浸入及び床版上の滞水による混合物のはく離やブリストリングの発生による橋面舗装、RC 床版の損傷が確認され、その対策及び床版の耐久性向上を図るため、水密性、はく離抵抗性等において高い性能を有するポリマー改質アスファルトⅡ型を用いた細密粒度ギャップアスコン 13F55（新材）を使用することとした（図4）。

歩道部等の舗装には、橋梁の歩道部分と歩道橋等の舗装があるが、いずれも水が溜まることのないように、また、路面の平坦性、凍結融解作用及び歩行等に対するすべりについて充分考慮することとしている。

《 方策と効果 》

■ 舗装体内部への水分の浸入とRC床版上の滞水の軽減



■ 基層混合物としての基本的性能のほか、水分の影響に強く、はく離抵抗性が高い基層用アスファルト混合物の使用

- ⇒ 橋面舗装の耐久性向上
- ⇒ RC床版の長寿命化にも資する

維持・補修費の低減、
維持・補修工事の影響による時間損失の低減にも寄与

図 4 混合物内部への水分の浸入及び床版上の耐水対策

ウ 長大橋の建設技術・管理技術

(ア) 白鳥大橋における建設技術と管理技術

白鳥大橋は、昭和60年の工事着手から平成10年6月に供用開始されるまで約14年の歳月を掛けて建設された長大吊り橋であり、積雪寒冷地に建設された長大橋としては、現時点においても我が国で唯一の橋梁である。建設時に採用した技術の中には、世界初で、現在の吊り橋技術においてスタンダード化された技術を有しており、また、管理においても、厳しい架橋環境ゆえに生じる課題に対し、最新技術による維持管理がおこなわれている。以下に建設・管理の各段階における代表的な技術を述べる。

(イ) ケーブル防食技術 S字ワイヤラッピングとケーブル送気乾燥システム

吊り橋のケーブル内部は一般的に高湿度環境下であり、無対策のままでは腐食が生じる。吊り橋において、主ケーブルは橋桁をつり下げる主要構造部材であり、対策の有無は吊り橋の維持管理コストに大きく影響を与える要素となる。国内の吊り橋における既往の研究調査結果から、腐食原因はケーブル内部に浸入した水分であり、一度浸入した水分は内部で滞留し続ける傾向を有することが判明していることから、雨水等の確実な浸入防止と、建設時に浸入した水分への対策がケーブル防食における技術的な課題であった。

特に、積雪寒冷地に建設された本橋では、浸入した水分が冬季に凍結膨張する懸念もあったため、より確実な浸入防止対策が必要とされた。本橋ではこれらの課題を克服するため、以下の技術を採用した。

a S字ワイヤラッピング工法の採用

従来工法である丸線ワイヤによるラッピングは、ケーブル挙動に追従できず、内部に雨水が浸入するという欠点を有していた（図5）。そのため、本橋では、従来工法に改良を施し、特殊な形状のワイヤ同士を噛み合わせることで追従性の向上を図った「S字ワイヤラッピング工法（図6）」を世界で初めて採用し、ケーブルへの雨水等の浸入防止を図った。

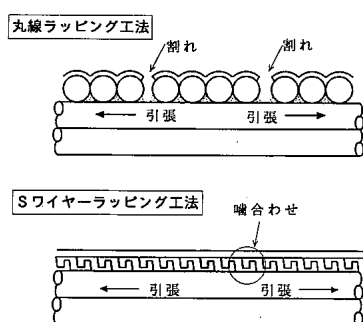


図5 従来型の欠点と改良型の利点

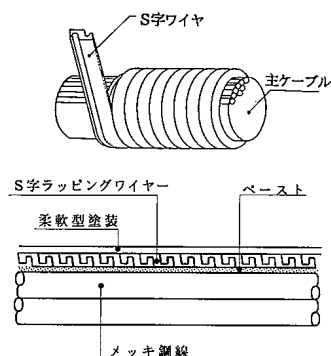


図6 白鳥大橋のラッピング構造

b ケーブル送気乾燥システムの導入

ケーブル内部に浸入した水分は表面張力によりケーブル素線間に滞留するため、自然排出が難しい。また、架設は長期に及ぶため、建設時に水分の浸入を防止することは現実的に困難な状況

であった。そのため、完成後にケーブル内部の環境改善を図るのが効果的と考えられ、内部へ乾燥空気を強制的に送気し乾燥させるという技術を採用した。導入に先立ち行われた現地試験にて、環境改善効果を確認するとともに、相対湿度 40%以下という目標値に対し、確実に乾燥が期待できる圧送距離として 180m、最大送気圧として 300mmAq (=2,942Pa) が得られたため、その値に基づいたシステムを構築した。

図 7 にシステム概要図を示す。

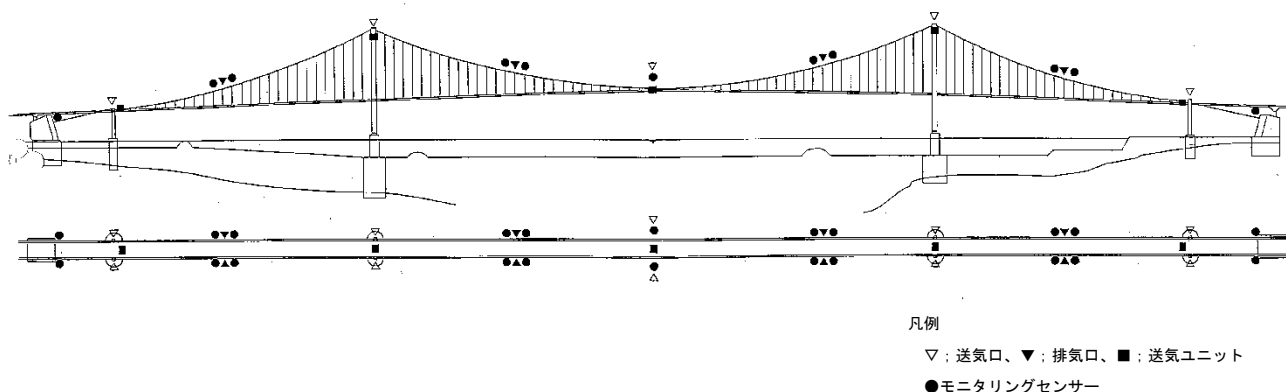


図 7 ケーブル送気システム全体配置図

c 補剛桁内面の防食技術「桁内除湿システム」

箱桁の内部は一般的には飛来塩分の影響を受けない等の理由から、外面に比べ良好な環境にあると言われているが、実際には桁の継ぎ手など、僅かな隙間から水分が浸入する。そのため、それらが桁内に滞留したり、結露が生じやすい環境下におかれた場合には、塗膜劣化や鋼材腐食が局所的に発生することとなる。本橋の桁内では、供用後、そのような局所的な塗装劣化・腐食が認められ、補修が繰り返しおこなわれてきたが、供用後 8 年間で補修した面積は桁内面積の 2～3%（内面全面積：16.3 万 m²、補修面積：3～5 千 m²、一般的な単純鋼桁橋の 5 橋分程度）に相当するものとなり、桁内環境の改善による維持管理コストの縮減が管理上の技術的課題であった。そのため、国内における実績調査や実証試験、補修塗装との比較検討（図 8）を実施した結果、除湿による環境改善が最も効果的であったことから、桁内除湿システムを導入した。図 9 及び写真 18・19 にシステムの概要図と設置状況を示す。

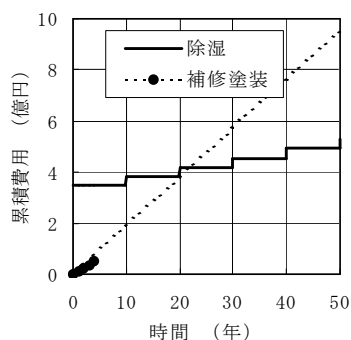


図 8 除湿と補修塗装における LCC 比較



写真 18 桁内除湿ユニット

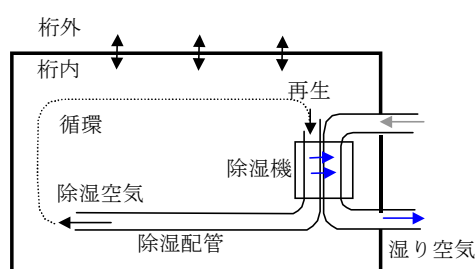


図9 桁内除湿システムの概略図

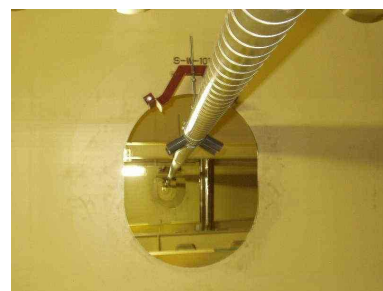


写真19 配管と吹出口

d 維持管理 維持管理検討委員会

吊橋は規模が大きく補修に莫大なコストが必要となる。また、架け替えが難しく、適切な予防保全による長寿命化が必要である。国土交通省北海道開発局室蘭開発建設部では、平成24年に学識経験者による維持管理検討委員会（名称：白鳥大橋維持管理計画検討会）を設置し、長寿命化に向けた維持管理計画の策定に取り組んでいる。

維持管理検討委員会では、建設後14年経過した白鳥大橋の維持管理における課題（図10）を三つの視点から評価し、優先度（点数）が高いと評価された項目から検討することとした（図11）。

令和2年時点で、主塔・側塔の塗装塗り替えが完了し、補剛桁の塗装塗り替えを実施中である。また、ハンガーロープは、損傷程度の比較的大きな定着部を補修する工事を進めている。（写真20）ハンガーロープ一般部は塗装塗り替えの方針で検討し、積雪寒冷地最大の吊り橋である白鳥大橋のハンガーロープは888本あり、延べ延長28,000mにもなるため、ケレンから塗装まで行う専用器具を製作し、試験施工にて実用性などを検証した（写真21）。

維持管理検討委員会において検討したことを踏まえて順次補修を行い、長寿命化に向けて白鳥大橋の維持管理が行われている。

No.	維持管理の視点	付与点数
1	構造・設備の重要度	主構造 +5点, 付属構造 +3点
2	現状の劣化度	著しい劣化 +2点 ~ 健全 -2点
3	対策案の難易度	高い +5点 ~ 低い +1点

図10 維持管理における課題

管理項目	検討項目	部位・部材	優先度
ハンガーロープの管理	□腐食対策、管理計画策定	ハンガーロープ	15
ボルトの軸力管理	□ボルト軸力管理方法の見直し	ケーブルバンド・サドル	15
塗装の管理	□塗装の劣化予測、管理計画策定	主塔・側塔・補剛桁	13
		ケーブル	13
		防護柵	11
コンクリート構造の管理	□塩害対策の必要性（調査、将来予測）	塔基礎・アンカレイジ	9
主要設備の管理	□機能不全設備の補修必要性、補修方法	桁下作業車	13
		動態観測	11
		航空障害灯	11
		ケーブル送気設備	9

図11 検討優先項目の整理



写真20 ハンガーロープ定着部の補修



写真21 専用器具によるハンガーロープ塗装塗り替えの試験施工