

道路橋の鋼製部材の耐久性向上策に関する試験調査

Survey on the durability of steel members of highway bridges

(研究期間 平成 16 年度)

道路研究部 橋梁研究室

室長 玉越隆史

Road department, Bridge division Head Takashi TAMAKOSHI

主任研究官 渡辺陽太

研究官 中洲啓太

研究員 石尾真理

Senior Researcher Yota WATANABE

Researcher Keita NAKASU

Research Engineer Mari ISHIO

In this study, in order to collect the basic data for establishing rational design method of steel plate decks, some structural factors that influence fatigue durability of steel plate decks were found by analysis of damage cases, survey of existing bridges, and FEM analysis.

[研究目的及び経緯]

道路橋の主要な耐久性喪失要因として、鋼部材の疲労とコンクリート部材の塩害があげられる。平成 14 年 3 月には、道路橋示方書に疲労および塩害に関する規定が取り入れられ、関連する指針・資料等が整備されたが、これらの規定に関しては、適用範囲が限定されるなど多くの課題が残されている。本研究では、鋼部材の疲労を対象として、現行基準の拡充や合理化を図りつつ、耐久性向上策に関するガイドラインをとりまとめることを目的とする。

平成 16 年度は、鋼部材の疲労に関して、応力に基づく疲労設計では対処が難しい鋼床版のような複雑な構造について、損傷事例の分析や現地調査、FEM 解析を行うことで疲労耐久性に影響を与える構造要因を抽出し、鋼部材の耐久性向上策を検討するための基礎資料とした。

[研究内容と成果]

1. 研究概要

近年、鋼床版のデッキプレートとウリブの溶接ルートを起点としてデッキプレート貫通方向へ進展する疲労損傷（以下、「デッキ貫通型損傷」という）が報告されている。鋼床版の疲労損傷のなかでもデッキプレートとウリブとの縦方向溶接部において、亀裂がウリブの内面側からデッキプレート上面に向かって進展した場合その発見が難しく、舗装面の陥没など供用性に直接影響を及ぼす危険性がある。

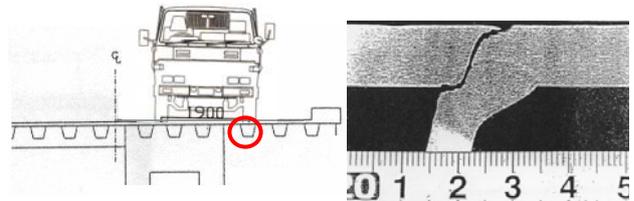


図-1 デッキ貫通型損傷

本研究では、鋼床版のデッキプレートとウリブの溶接部の損傷事例の分析や現地調査を行うとともに、デッキ貫通型の損傷発生に影響を与える要因を把握するために、デッキプレート厚、ウリブ厚などをパラメータとした FEM 解析を行った。

2. 損傷事例の特徴

デッキ貫通型の損傷が発生した橋梁の分析を行い、以下の共通項を抽出した。

- ① 3 径間連続鋼床版箱桁
- ② デッキプレート厚 12 mm, ウリブ厚 8 mm の組合せ
- ③ 大型車交通量の多い工業地帯隣接の湾岸線
- ④ 供用開始から 20 年以上経過
- ⑤ 主桁ウェブ直近の輪荷重直下付近のウリブ

3. 現地調査

(1) 目的

疲労損傷発生のおそれがある橋梁を中心に現地調査を実施し、損傷の有無等、鋼床版のおかれている現況を把握するとともに、鋼床版の点検方法の確立や、高耐久性を有する鋼床版構造の提案の一助となる情報を収集する。また、鋼部材の耐久性という観点から、腐食状況など疲労以外の健全度についての確認も行う。

(2) 調査方法

図-2に現地調査の流れを示す。まず、損傷事例と類似した構造である鋼床版橋梁を選定する。次に、事前調査として調査対象について、路面の路面状況や大型車混入状況の把握、輪荷重走行位置やレーン配置とUリブ配置の確認、および桁下、桁内へのアクセス方法の確認を行った結果から、更に詳細調査の対象の絞込みを行う。詳細調査は、主としてデッキ貫通型損傷に着目した疲労損傷調査（目視検査、磁粉探傷試験や超音波傷試験による非破壊検査）を行う。

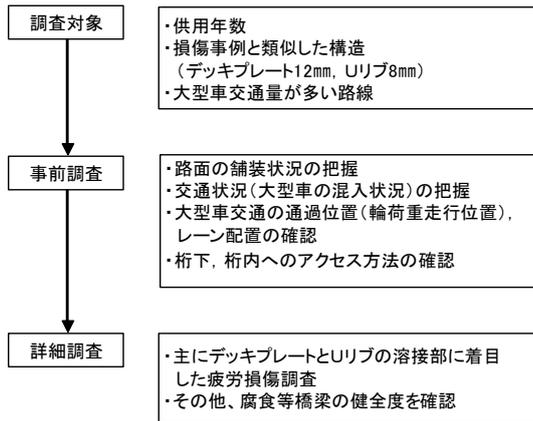


図-2 現地調査の流れ

(3) 調査結果

いずれの橋梁もデッキ貫通型亀裂は発見されなかったものの、デッキプレートとUリブのすみ肉溶接部や

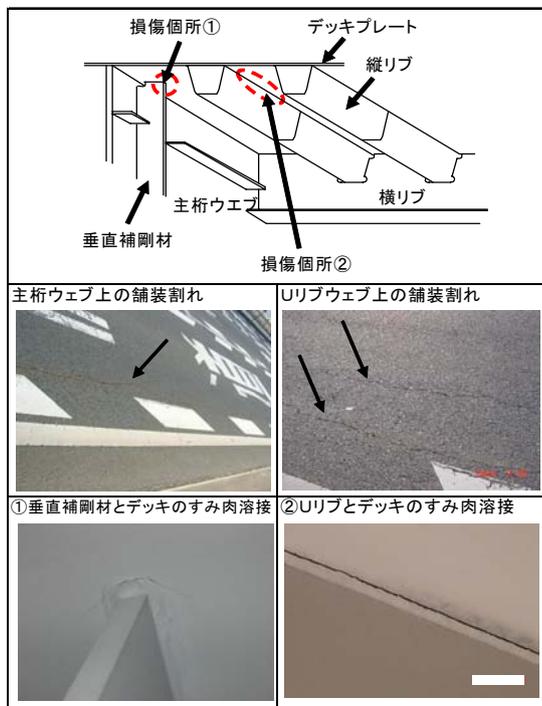


図-3 舗装割れと疲労亀裂

デッキプレートと垂直補剛材のすみ肉溶接部といった箇所に疲労亀裂が発見された。また、図-3のように路

面に著しい舗装割れが生じている場合、舗装割れ直下近傍のUリブ溶接ビード部やデッキプレートと垂直補剛材のすみ肉溶接部といった箇所に疲労亀裂が発見される場合が多い。

4. 解析による検討

荷重載位置、Uリブ厚等をパラメータとした FEM 解析を行い、デッキプレートの応力性状を確認した。

- ① 荷重が橋軸方向に移動することにより、デッキプレートとUリブ溶接線ルート部のデッキ下面に、橋軸直角方向の正負交番応力が発生する。
- ② Uリブ溶接ルート部の主応力を見ると、Uリブ厚 6 mm のケースよりもUリブ厚 8 mm のケースがやや高い傾向にあった。損傷事例より、デッキプレート厚 12 mm、Uリブ厚 8 mm の鋼床版にのみデッキ貫通型損傷が発生しており、デッキプレート厚とUリブ厚の組合せによる剛性バランスが鋼床版の疲労耐久性に影響を与える要因のひとつであることがわかった。

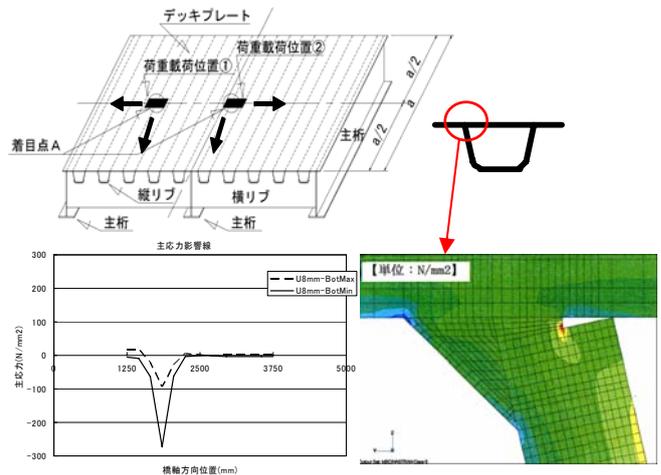


図-4 デッキプレート・Uリブの応力性状

[今後の課題]

疲労設計の高度化、合理化について、平成16年度に行った鋼床版の調査、解析による検討結果を基に、疲労耐久性向上策（構造細目規定の充実、応力による疲労照査の適用可能形式の追加）の検討を行う。

[成果の活用]

ここでの成果は、鋼部材の疲労およびコンクリート部材の塩害に対する耐久性向上策のガイドラインを作成するための基礎的資料となる。

道路橋の安全係数に関する調査

Survey on the coefficient of safety of highway bridges.

(研究期間 平成 16 年度)

道路研究部 橋梁研究室 室長 玉越 隆史
 Road department, Bridge division Head Takashi TAMAKOSHI
 主任研究官 渡辺 陽太 研究官 廣松 新 研究官 中洲 啓太
 Senior Researcher Yota WANATABE Researcher Arata HIROMATSU Researcher Keita NAKASU
 研究員 石尾 真理
 Research Engineer Mari ISHIO

In order to conduct rational management of existing highway bridges, it is important to grasp the actual conditions and characteristics of traffic load. In this Study, authors collected and analyzed the live load date of existing highway bridges by "Bridge Weigh-in-Motion System,"

〔研究目的及び経緯〕

道路橋の設計基準を部分安全係数法の書式に改良する作業が進められている。こうした中、交通荷重などの実特性を把握することは、重要な課題である。

平成 16 年度は、車両重量計測システム（以下、「BWIM」という）を用いて大型車の重量や配列の特性、それを受けた部材応答について調査し、分析を実施した。

〔研究内容〕

1. 調査地点の選定

調査地点は、現行設計荷重の元となった調査箇所、大型車交通量や混入率の状況、大型車の通行状況、BWIM の適用性、現行設計荷重の検討の際に用いた既往の測定地点などを勘案し、表-1 に示す 10 地点を選定した。

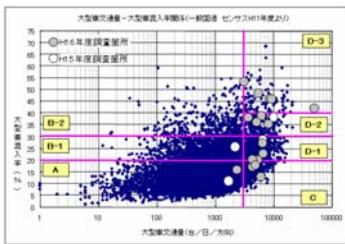


図1 交通特性に着目した区分と調査対象橋梁

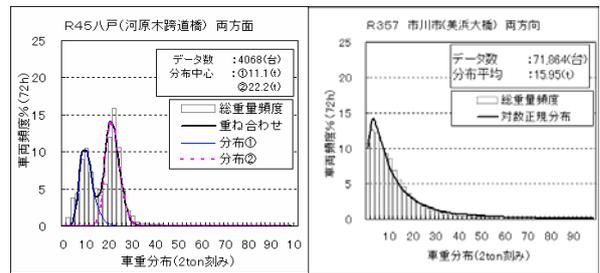


図2 計測地点の位置

2. 調査結果

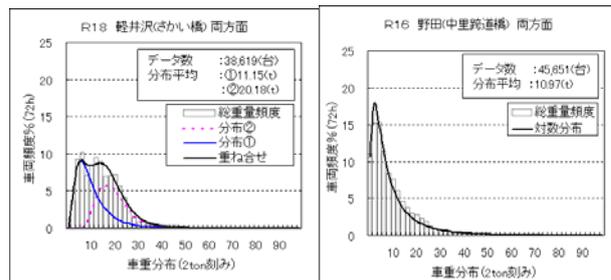
(1)総重量頻度分布

各調査地点から得られる交通特性（総重量の頻度分布）の実態を再現した自動車荷重列を作成し、橋梁部材に及ぼす影響を評価する必要がある。平成 16 年度に各調査地点で得られた総重量のデータを用いて、図 3 に示すような総重量頻度分布を作成した。



①R45 八戸

④R357 市川



⑥R19 軽井沢

⑦R16 野田

図3 総重量頻度分布

(2)最大重量

設計活荷重の検討の際、橋梁部材に及ぼす影響が大きいと考えられる最大級の車両についてとりまとめた。最大総重量については、100ton を超える大型車が計測されており、特異なデータとして処理すべきか検討するため、データ平均+3σ についての整理も実施した。

表 1 総重量頻度分布結果

調査箇所	大型車 交通量 (台/日/方向)	大型車 混入率 (%)	取得データ			
			台数 (台/日/方向)	最大総重量 (t)	$\mu + 3\sigma$ (t)	平均値 (t)
1 R45 八戸	2617	16.1	678	49.7	75.66	18.28
2 R13 村山	3431	22.8	1205	68.2	62.58	21.02
3 R357 有明	9058	45.8	12807	122.4	152.56	12.21
4 R357 市川	17340	45.2	11977	105.5	152.41	15.95
5 R4 草加	3422	54.9	5280	104.4	118.75	10.67
6 R18 塹井沢	5893	21.5	6437	82.8	97.4	16.02
7 R4 猿島郡	7389	49.6	5295	96.1	125.7	18.31
8 R16 野田	8284	35.1	7609	89.6	125.28	10.97
9 R6 松戸	5535	20.2	7311	94.7	120.23	9.8
10 R17 深谷	5268	39.6	12277	97.2	117.79	11.89

(3)最大応答時の車両配置

現行の主桁を設計する場合の荷重(L荷重)における荷重状態(車両重量、車両配置、速度等)、またはそれを超えるような荷重状態について相場観を得るため、部材の最大応答時の荷重状態について整理した(図 4)。

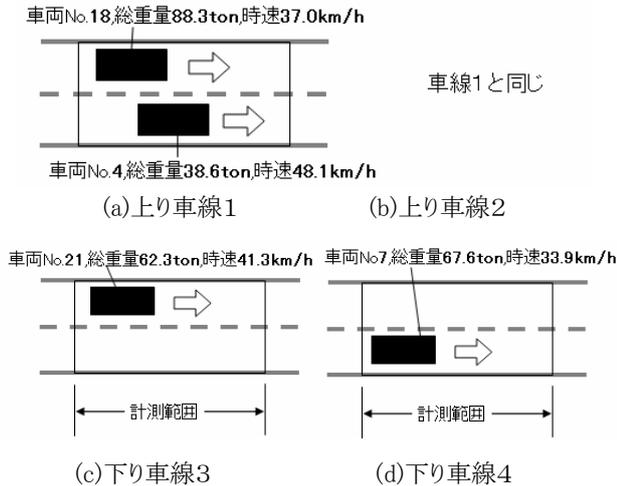
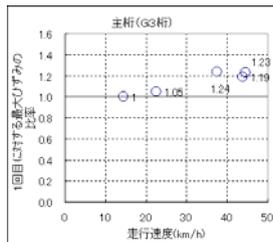


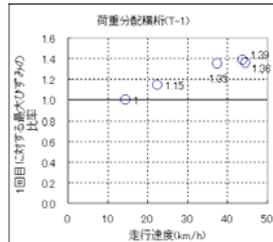
図 4 最大応力発生時の車両配置(R357 美浜大橋より)

(4)衝撃

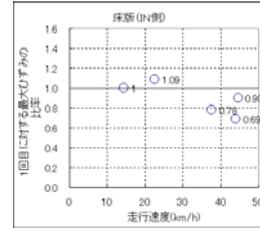
衝撃の検討の際、橋梁部材の応答と関連づけて評価する必要がある。そこで、荷重等の諸元および、走行速度が既知である荷重車を走行させたときに発生する最大ひずみを、時速 20km で走行した際との比率として整理することで、走行速度の増加に伴う部材応答への影響について分析を行った(図 5)。



(a)主桁



(b)荷重分配横桁



(c)床版

図 5 走行速度とひずみのばらつき

(5)疲労設計

平成 13 年度鋼道路橋の疲労設計指針((社)日本道路協会)が発刊されたが、疲労設計用荷重には、計算で求める応力と実応力との関係が明確な主桁部材について、T 荷重補正係数や衝撃係数および大型車交通量に対する頻度補正係数について決定している(図 6)。

平成 16 年度は、床版や横桁などについても、実応力と計算で求まる応力の関係を明確にし、疲労設計用荷重について検討するため、床版や横桁といった部材の応答についてのデータを取得した。

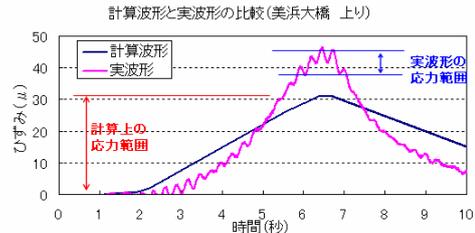


図 6 疲労設計用荷重のイメージ(主桁)

[成果の活用]

今後は、さらに計測地点を増やすとともに、本年度計測した地点も含めてシミュレーション等を用いた分析を進め、今後の道路橋示方書をはじめとする各種基準について検討する予定である。

冬期道路管理手法に関する検討

Research on winter road management

(研究期間 平成 16~17 年度)

道路研究部 道路空間高度化研究室
Road Department
Advanced Road Design and Safety Division

室長 森 望
Head Nozomu Mori
研究官 池原 圭一
Researcher Keiichi Ikehara
研究員 蓑島 治
Research Engineer Osamu Minoshima

This research project summarizes concepts applied to establish rational winter road management standards corresponding regional and road traffic characteristics in order to switch to winter road management based on a specific standard.

[研究目的及び経緯]

冬期の道路管理は、道路利用者のニーズの多様化などにより、より安全で快適な冬期道路交通の確保が望まれている。それに対して、道路管理者側では明確な管理水準が確立していないことから、客観的な基準による合理的な除雪や路面凍結対策などが行えていないため、事業費の高騰を招いている。本調査では、管理基準に基づく雪寒事業への転換を目指し、地域や道路の特性に応じた合理的な管理水準を定める考え方をまとめるものである。

[研究内容]

16年度は、既存データ（トラフィックカウンタ、テレメータ等）をもとに気象条件と現状の実態として提供されているサービスの程度（速度）との関係を分析するとともに、今後の分析に必要な路面データの取得方法を提案した。また、これら分析結果などをもとに、現状管理レベルの問題点とその要因を整理し、海外の先進事例を参考に改善の方向性と実現に向けた課題を整理した。

[研究成果]

(1)既存データに基づく実態の検証

現状の実態として提供されているサービスの程度を検証するため、国道沿道に設置されているトラフィックカウンタ及びテレメータなどのデータを入手した。データを入手した地点は、北海道、東北、北陸を対象に、地域・交通量・積雪量毎にある程度の傾向を把握できるように配慮して各2地点ずつ選定した。時間降

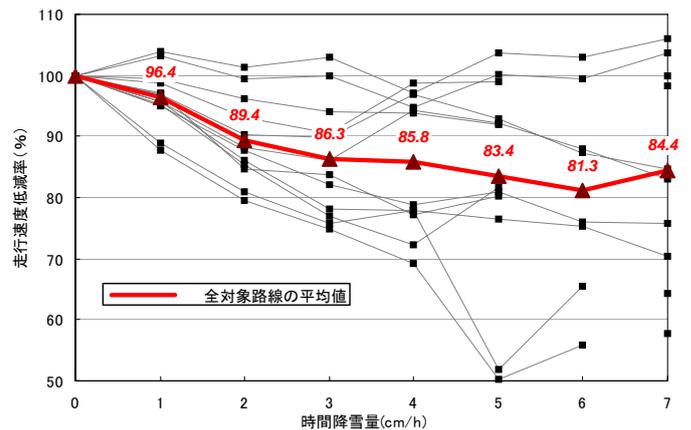


図-1 時間降雪量と走行速度低減率

雪量と走行速度低減率（非降雪時の走行速度を 100 とし、時間降雪量別の走行速度を百分率で表した）との関係を図-1 に示す。平均値をみると時間降雪量が多くなると走行速度が低下する顕著な傾向があるが、各地点のプロット値は、時間降雪量が多くなると走行速度低減率にバラツキが見られる。この原因としては、気象や道路構造などが影響していると考えられ、降雪の有無・降雪量・気温・縦断勾配が走行速度に与える影響を地点毎に詳細に分析した。その結果、寒冷の甚だしい地域では、気温が下がるほど走行速度が上昇する傾向がみられること、短時間で大雪の降る地域では、時間降雪量が 5cm を超えると走行速度低減率が 50% 程度になること、5%程度の下り勾配部においては降雪の有無により走行速度が大きく変化することを把握した。

表-1 スウェーデンとフィンランドの請負契約の特徴

国名	仕様	支払いシステム	その他特徴	備考
スウェーデン	<p>○交通量と国・地方道に応じた維持管理等級区分</p> <p>○達成すべき水準の規定(例)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・降雪時:最大積雪深〇cm以下に抑えるよう除雪 ・降雪後:〇時間以内に雪のない状態に戻す ・降雨後:〇時間以内に良好な摩擦確保(摩擦係数0.25以上) 	<p>○作業量ではなく、気象条件や標準的な滑り止め剤散布量などから支払額が決定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・請負業者は費用を削減すれば利益を上げられるため、なるべく効率的な方法で除雪を行う動機が与えられる 	<p>○監督者に対する教育訓練の充実</p> <p>○管理契約エリアが600～1000kmで、請負側にとって利益が出やすいとされている</p>	<p>維持管理の効率が上がり、2001年度は1992年度に比べ、約20%の支出削減達成</p>
フィンランド	<p>○交通量と道路規格(主要道・地方道など)に応じた維持管理等級区分</p> <p>○達成すべき水準の規定(例)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・摩擦係数:通常は0.3を2時間以内に回復する、路面温度-6℃以下では0.25以上 ・除雪:降雪中またはその後の作業サイクル〇時間中は、最大積雪深〇cm以下に抑える ・路面の平坦性:平坦性〇cm以上を超えてはならない 	<p>○仕様に示された水準の達成に対して支払い</p> <ul style="list-style-type: none"> ○達成できない場合はペナルティが課せられる ○一冬の標準的な塩と砂の量の上限が決められており、上限まで使わなければボーナスが与えられる ・業績連動による支払いであるため、民間による創意工夫による効率化の動機が与えられる 	<p>○契約期間は3～4年</p> <p>○請負業者は道路維持契約書の中で示されている管理水準をどのように保証するのか品質計画書の提出が求められる。道路庁はその品質管理システムが機能しているか監視する役割</p>	

以上の分析で、気象条件と現状の実態として提供されているサービスの程度（速度）を整理したが、さらに現状で要している管理コストについても調査した。その結果、走行速度低減率が大きい箇所ほどコスト増となる傾向を確認したが、交通量とコストとの関係には相関が見出せなかった。また、降雪量及び気温とコストとの関係については、ある程度の相関がみられるが、地域によっては異なる傾向を示す場合があることを確認した。

路面状態と速度との関係については、国道 17 号に設置されている路面情報収集システムのデータを入手した。現状では、このシステム以外に路面に関するデータ収集が行われていないため、地域毎の路面状態と速度との関係を調査することができない。よって、次年度以降に地域毎の傾向を分析するため、雪道巡回時にトラフィックカウンタの位置での路面状態等に関するデータ取得方法を提案し、今冬期にデータ取得の依頼を行った。

(2)改善方策の検討

現状管理の実態を整理すると、地域により降雪の有無・降雪量・気温・縦断勾配といった要因でサービスの程度（速度）が異なる傾向にあり、さらに管理に必要なコストを視点にしてみると、必ずしも降雪量の多少や交通量の大小に応じたコストとはなっていない点が問題としてあげられる。

この要因としては、現状の出動基準による作業においては、作業量が計測されているが作業の効果については評価されにくいことが影響していると考えられる。請負業者の立場からみれば、よりよい仕事を実行するためにオーバーワークの方向に動機が働いてしまう傾向にあると思われ、結果として提供しているサービス

が地域により異なり、管理に必要なコストにもバラツキが生じていると考えられる。

これに対して、スウェーデンとフィンランドにおける請負業者との契約で特徴的な事例を表-1 に要約する。これら海外事例からみると、達成すべき水準が設定されており、要求水準の達成に対して請負業者への支払いが行われることが基本となっている。さらに、民間の創意工夫を引き出すため、契約年数も長く、管理区間も工夫により利益が出やすいように広範なエリアで契約されている。支払いシステムについても、作業量ではなく気象条件などから支払額が決められるなど、費用を削減すれば利益につながるため効率的な管理を行う動機が与えられている。

以上を踏まえ、国内における改善の方向性と実現に向けた課題を整理すると、①道路管理者として目標とすべきサービス・管理水準を検討・設定する必要がある、②要求水準を達成できたかどうかを適切にモニタリングし、請負業者が納得する公平な検査・判断ができる指標の設定が必要である。さらに、③請負業者による創意工夫が発揮できるような契約方法の検討が必要である。

[成果の発表]

- ・ 冬期道路管理水準設定における課題と今後の方向性、第 17 回ふゆトピア研究発表会論文集(CD)掲載、2005 年 2 月

[成果の活用]

本成果をもとに、今後は地域に応じたサービス・管理水準を設定する考え方を地整等の意見を踏まえてまとめていく予定である。

冬期歩行空間管理手法に関する検討

Research on winter sidewalk management

(研究期間 平成16~17年度)

道路研究部 道路空間高度化研究室
Road Department
Advanced Road Design and Safety Division

室長 森 望
Head Nozomu Mori
研究官 池原 圭一
Researcher Keiichi Ikehara
研究員 蓑島 治
Research Engineer Osamu Minoshima

This project summarizes concepts to be applied to establish a rational winter sidewalk management standard based on characteristics of the way that sidewalks are used and the region, and to select appropriate snow removal methods in order to switch to a rational standard winter sidewalks.

[研究目的及び経緯]

積雪寒冷地域では、高齢化や過疎化の進展に伴い、地域コミュニティの崩壊や雪国の生活習慣の消失を招いており、凍結による歩行者の転倒事故も多発していることなどから歩道除雪に対する住民の要望が高まっている。しかし、近年は車道の除雪費も高騰しているため、現在の道路管理者の除雪能力では、住民の要望に充分に応えることが困難な状況である。また、一部地域では、官民の連携により歩道除雪が行われているが、官側の責任範囲が明確ではないことなどからあまり普及していない。本調査では、管理基準に基づく雪寒事業への転換を目指し、歩道の使われ方の特性や地域に応じた合理的な歩道の管理水準を定める考え方や、官民連携も含め合理的な除雪方法を選択する考え方をまとめるものである。

[研究内容]

16年度は、歩道の利用特性や沿道特性などに応じて、適切なサービスレベルを設定するための考え方を中心にとりまとめた。

[研究成果]

図-1 に冬期歩行空間を確保するための方針を決めるにあたり、配慮する要因とサービスレベルを設定する考え方をまとめた。以下に各段階における概要をフローにそって整理する。

(1) 歩行ネットワークの設定

歩行ネットワークの設定にあたっては、まず地域の中で優先的に冬期歩行空間を確保するエリア（重

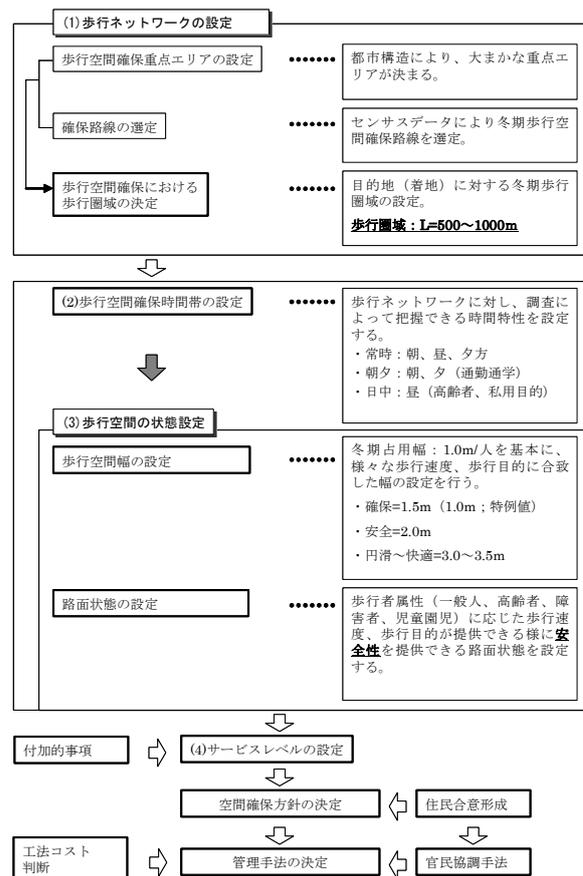


図-1 サービスレベルを設定する考え方

点エリア) を大まかに把握する。なお、重点エリアの設定は、都市構造(都市規模、産業構造など)と気象条件から抽出するものとした。次に道路交通センサをもとに実際に確保する路線を選定し、さら

表-1 サービスレベルと歩行空間の状態（案）

サービスレベル	基本交通量 (ピーク時間交通量)	歩行空間の状態			適用
		空間確保幅 (m)	路面状態		
			残雪深 (cm)	路面勾配 (%)	
確保	50人/hr以下	1.5m(特例値1.0m)	制約なし		交通弱者がいない状態
			5 cm	5%未満	高齢者、障害者が存在する場合
安全	50~400人/hr	2.0m	5 cm	5%未満	
円滑・快適	400人/hr以上	3.0~3.5m	5 cm	5%未満	高齢者、障害者が多く存在する場合
			2 cm	3%以下	車いす利用者が存在する場合

に歩行者の目的に応じた歩行空間確保を行う歩行圏域を設定するものとした。

(2) 歩行空間

確保時間帯の設定

歩行空間を確保する時間帯は、上記で設定される歩行ネットワークにより異なると考えられ、また同じ道路でもピーク特性があり、平日と休日による違いも想定される。よって、現地の歩道利用実態を調査することで、各歩行圏域内において歩行空間を常時確保するのか、朝夕のみ確保するのか、あるいは日中のみ確保するのかを決定するものとした。

(3) 歩行空間の状態設定

歩行空間として確保する幅と路面状態について検討した。空間確保幅については、「道路構造令」、「道路の移動円滑化整備ガイドライン」などを参考に、ここでは以下のようなサービスレベルの定義毎に設定した。

- ・ 確保 (歩行スペースの確保、最小値) : 1.5m
 なお、現場の道路構造から十分な幅員が確保できない場合は特例値として 1.0m とする。
- ・ 安全 (安全な歩行スペースの確保、標準値) : 2.0m
- ・ 円滑・快適 (円滑・快適な歩行スペースの確保) : 3.0~3.5m 以上

路面状態については、歩行者属性に応じて既往検討結果などをもとに、以下のように確保すべき路面状態を設定するものとした。

- ・ 高齢者・身体障害者：残雪深 5cm 以下、勾配 5%未満
- ・ 車いす利用者：残雪深 2cm 以下、勾配 3%以下

(4) サービスレベルの設定

サービスレベルの設定は、(2)の確保時間帯に対し、(3)の歩行空間の状態を提供するものとした。表-1にサービスレベルと歩行空間の状態を整理したが、サービスレベルは、ピーク時間交通量(歩行者交通量)を基本交通量として設定するものとした。ただし、歩道周辺の付加的な事項により、提供するサービスレベルは低下してしまうことが考えられるため、基本交通量に加え、付加的な事項を踏まえたサービスレベルの設定フローを図-2に整理した。

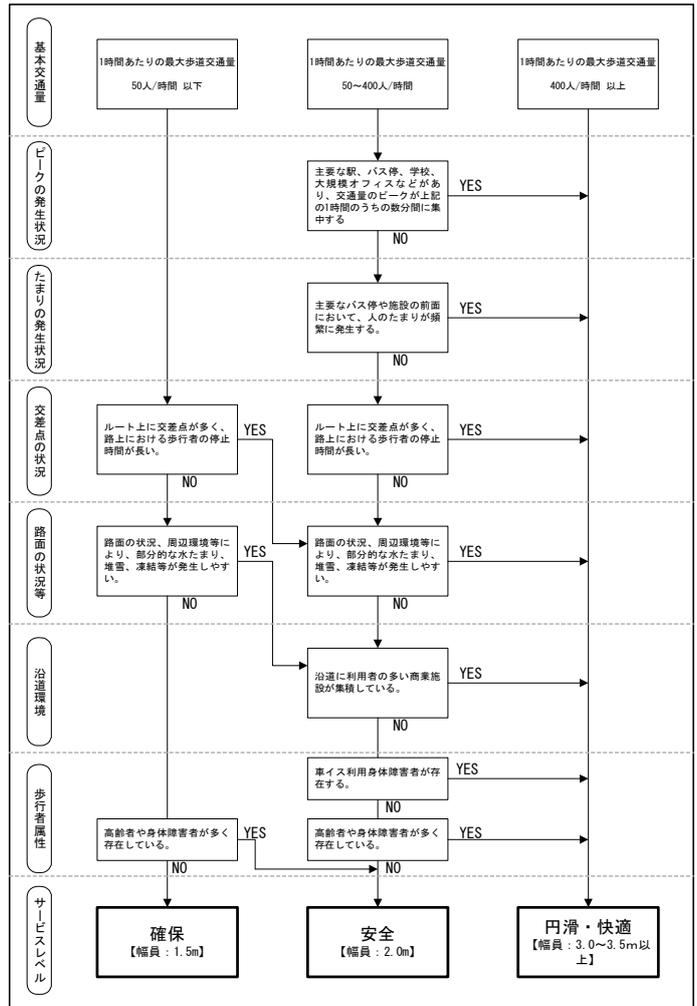


図-2 付加的事項を踏まえたサービスレベル設定フロー（案）

[成果の発表]

- ・ 冬期道路管理水準設定における課題と今後の方向性、第 17 回ふゆトピア研究発表会論文集(CD)掲載、2005年2月

[成果の活用]

本成果をもとに、次年度以降においては、サービスレベルを設定する考え方、適切な管理手法を選択する考え方、管理コストとの兼ね合いについて、地整等の意見を踏まえてまとめていく予定である。