

橋梁維持管理のためのプレテン中空床版橋の細分類方法の検討

The detailed classification method of prestressed hollow core slab bridges for bridge maintenance

北見工業大学 ○学生員 奥村涼平 (Ryohei Okumura)
北見工業大学 正会員 宮森保紀 (Yasunori Miyamori)
北見工業大学 正会員 三上修一 (Shuichi Mikami)
北見工業大学 正会員 齊藤剛彦 (Takehiko Saito)
北見工業大学 正会員 山崎智之 (Tomoyuki Yamazaki)

1. はじめに

現在、日本には約 73 万橋の橋梁が存在しており、2033 年には建設後 50 年を経過した橋梁の割合が約 63%に達する¹⁾。今後は長期間にわたって健全な状態で使用するための維持管理が必要である。しかしながら、橋梁点検を行う技術者不足や、財政難といった現状がある。そのため、合理的かつ効率的な維持管理により橋梁の長寿命化を達成することが課題である。近年の定期点検は、近接目視により、5 年に 1 回の頻度で行われている。点検において、構造形式や橋梁諸元といった橋梁情報の把握が必須である。分類の統一をすることで他の橋梁との損傷傾向の比較や有効な補修方法の情報共有が可能になる。しかしながら、橋梁定期点検要領²⁾などで示されている構造物の情報については、例えば上部構造形式では桁の分類は記録されているが、同種の形式における規格の違いまでの詳細は記載されていない。中小橋梁では、同種の形式の橋梁が多数架設されているため、詳細な構造物の情報と劣化傾向を、環境条件に近い地域内で共有できると合理的かつ効率的な維持管理に資すると考えられる。

そこで本研究では、中小橋梁の合理的な維持管理に資するための基礎的検討として、北海道オホーツク地域の橋梁を対象にプレテン中空床版形式について細分類を検討したため、その結果を報告する。

2. プレテン中空床版橋の分類

2.1 プレテン中空床版橋の規格^{3), 4)}

プレテン中空床版形式は 1960 年頃から 5m~25m の支間で使用されており、桁の断面形状が中空となっているブ

レストレストコンクリート橋である。初期には、橋梁ごとに個別の断面で設計し、各社が独自の断面形状の桁(メーカーホロー桁)を設計・製作していたが、その後建設省や JIS 規格の標準設計が制定されて一層の普及が図られた。プレテン中空床版橋に関する標準設計の変遷を表-1 に示す。建設省標準設計 PRH は 1975 年に制定され、1980 年に「道路橋示方書」(昭和 53 年)の制定に合わせ改訂された。また、JIS 橋桁は、1959 年に制定されたスラブ橋用プレストレストコンクリート橋げたとして I 型のプレストレストコンクリートに関する「JIS A 5313」があった。1991 年にこの規格と建設省標準設計が統合され、「JIS A 5313-1991」が制定された。その後、1995 年に 1993 年の道路構造令の一部改訂と 1994 年の「道路橋示方書」の設計活荷重の改訂に適合させ、適用支間も拡大させ、「JIS A 5313-1995」に改訂された。その後、「JIS A 5313-1995」は、2000 年に軽荷重スラブ橋用プレストレストコンクリート橋げた「JIS A 5319」と統合し、「JIS A 5373-2000」が制定された。この時の改正点は場所打ちコンクリート強度、主げたコンクリート強度の変更があったが、適用支間、断面形状の違いはない。さらに、2004 年に最下段中央の PC 鋼材を配置しないことと、初期導入応力度の変更があり、「JIS A 5373-2004」

表-1 プレテン中空床版橋に関する標準設計の変遷³⁾

年次	建設省	JIS 橋桁
1975(昭 50)年	PRH 制定	(プレテン床版)
1980(昭 55)年	PRH 改訂	↓
1991(平 3)年	PRH 廃止	JIS A 5313 改正
1995(平 7)年	—	JIS A 5313 改正
2000(平 12)年	—	JIS A 5373 制定
2004(平 16)年	—	JIS A 5373 改正

に改正された。なお、メーカーホロー桁は JIS 規格が制定され、統一化されたため、現在では製造されておらず、JIS 規格のみが使用されている。

2.2 本研究における細分類

本研究では、プレストレスト・コンクリート建設業協会の設計・製造便覧⁴⁾、メーカーホロー桁の型式寸法、年代がまとめられた各社中空床版橋(メーカーホロー)一覧⁵⁾や各社のカタログ資料から年代が特定できた計 42 型式を対象とした。これらを以下のように 4 種に分類した。メーカーホロー桁は各社によって形状と寸法が多少異なるが、製造年代、橋格の違いはないことから「メーカーホロー桁」とする。「建設省標準設計」はメーカーホロー桁と同年代の桁であるが、断面形状が異なり、損傷傾向が異なる可能性があるため、細分類項目に追加した。JIS 規格に関しては 1995 年の改正時に適用支間、設計活荷重、寸法情報の大幅な変更があり、損傷傾向に違いが生じる可能性があるため、「JIS A 5313-1991」と「JIS A 5313-1995」は分けて分類する。また、「JIS A 5313-1995」、「JIS A 5373-2000」、「JIS A 5373-2004」は適用支間、設計活荷重、寸法情報に変更がなく同じ断面形状のためまとめて分類する。

以上の 42 型式は、それぞれ製造年、寸法、橋格、断面形状、コンクリート強度、PC 鋼材の本数、かぶりといった特徴が存在する。本研究では、このうち製造年、支間長、桁高、底版幅、橋格から分類することとし、15,076 通りの組み合わせから分類を行う。パターン数の内訳は表-2 で示すように、「メーカーホロー桁」が 13,354 パターン、「建設省標準設計」が 432 パターン、「JIS A 5313-1991」が 170 パターン、「JIS A 5313-1995」、「JIS A 5373-2000,-2004」が 1,120 パターンであった。例えば、「JIS A 5313-1991」では、製造年は 1991 年から 1995 年まで 5 通り、橋格は TL-20、TL-14 の

表-2 本研究における細分類とその製造期間

規格		製造期間	型式数	パターン数
I	メーカーホロー桁	1960 年頃 ～1996 年	36	13,354
II	建設省標準設計 PRH	1975 年～ 1991 年	2	432
III	JIS A 5313-1991	1991 年～ 1995 年	1	170
IV	JIS A 5313-1995 JIS A 5373-2000,-2004	1995 年～ 現在	3	1,120
計			42	15,076

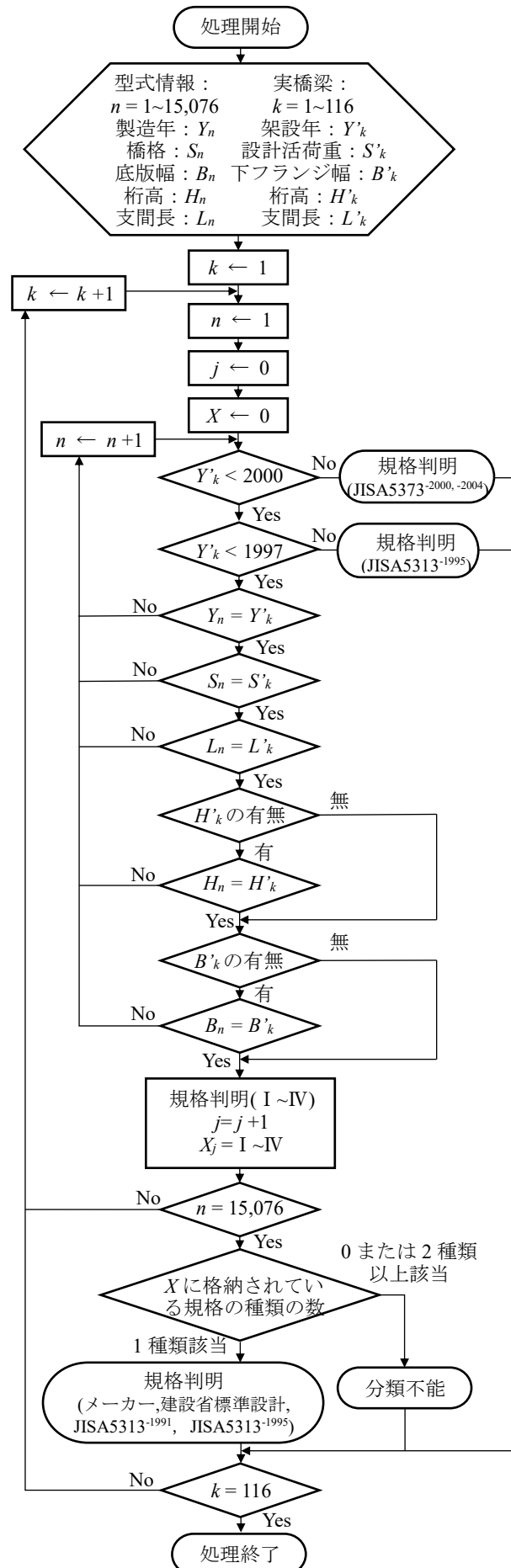


図-1 プレテン中空床版橋の細分類手順

2通り、支間長は5m～21mで1mごとの17通り、底版幅は型式で定められているため1通り、桁高は支間長によるため1通りであり、170パターンのデータが存在する。なお、プレテン桁の幅について、文献4)のメーカーホロー一覧では底版幅、点検報告書では下フランジ幅と表記しているが、同じものとして比較する。

3. 実橋梁の分類

3.1 対象橋梁

本研究では、オホーツク地域の2自治体が管理する116橋のプレテン中空床版橋を対象とする。

3.2 分類方法

点検報告書より実橋梁の架設年、設計活荷重、支間長、桁高、下フランジ幅と型式カタログの製造年、橋格、支間長、桁高、底版幅を比較し、細分類を行う。分類の手順を図-1に示す。本分類では、15,076回の規格判定を116橋分繰り返す。1997年以降では、JIS桁のみ製造されているため、1997年～1999年に架設されたプレテン中空床版橋は「JISA5313-1995」、2000年以降に架設されたプレテン中空床版橋は「JISA5373-2000、-2004」とした。1996年以前の場合は、製造年、橋格、支間長を比較する。実橋梁に桁高と下フランジ幅が記録されていない橋梁があるため、その場合は次の手順を飛ばす。型式情報と全て等しい値になれば候補としてカウントする。特定できない場合は次の規格の同定に移る。候補として該当した規格が1種類である場合は、規格判明とする。0または2種類以上該当した場合は規格不明とする。

3.3 分類結果

116橋を分類した結果、81橋は細分類することができた。分類結果を図-2に示す。「JISA5313-1991、JISA5373-2000、-2004」が51橋あり、最も多いことがわかった。35橋が分類できなかった要因としては、桁高、下フランジ幅が点検

報告書に記載されていないことや、複数の規格に該当したことが挙げられる。一方、桁高、下フランジ幅の情報がなくても製造年などから同定できたものもある。不明に分類された橋梁の分類をするには、桁高、下フランジ幅の情報を得る必要がある。下フランジ幅については、点検の際に記録すればよいが、桁高については、推定方法を検討する必要がある。

4. ニューラルネットワークを活用した自動分類

4.1 本研究におけるニューラルネットワーク

3章ではフローチャートによる分類を行った。今後、維持管理を目的として分類の項目を追加して空洞の形状やPC鋼材本数などの情報を追加した場合、フローチャートが複雑になることが予想されるため、ニューラルネットワークのパターン認識を活用し、自動分類を試みる。本研究では、型式情報を学習データとし、3.3節で分類できた81

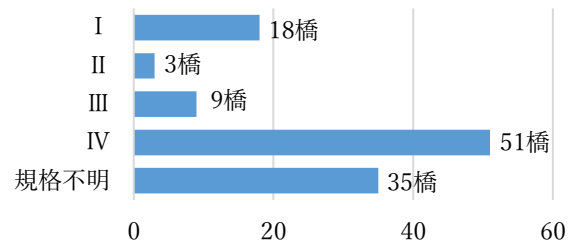


図-2 プレテン中空床版橋の細分類結果

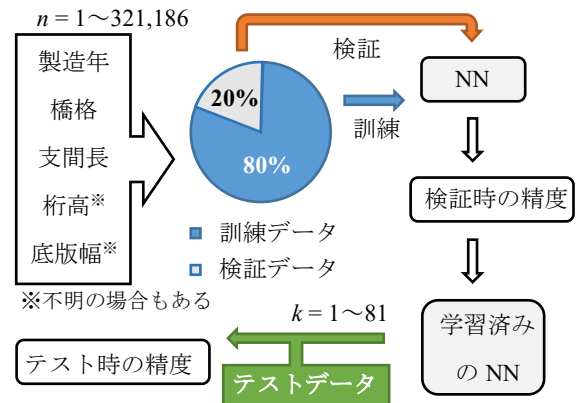


図-3 ニューラルネットワークの流れ

表-3 規格別のデータ数

規格		学習データ					テストデータ (実橋梁)
		基本 (表-2)	桁高無	底版幅無	倍率	オーバーサ ンプリング	
I	メーカーホロー桁	13,354	13,354	13,354	×2	80,124	18
II	建設省標準設計 PRH	432	432	432	×62	80,352	3
III	JIS A 5313-1991	170	170	170	×157	80,070	9
IV	JIS A 5313-1995, JIS A 5373-2000, -2004	1,120	1,120	1,120	×24	80,640	51
計		15,076	15,076	15,076		321,186	81

橋の実橋梁の情報をテストデータとする。本研究におけるニューラルネットワークの流れを図-3に示す。

4.2 学習データ

本研究に用いた学習データは、3章で説明したプレテン中空床版の型式別のデータを用いた。学習データ数を表-3に示す。ここで、実橋梁の情報には、「桁高」、「底版幅」が不明な橋梁があるため学習データには、桁高を含まないデータ、底版幅を含まないデータを追加した。本研究では、学習データにおけるクラスごとのサンプル数に差があり、分類精度に悪影響が生じることが考えられるため、その対策として少数派のクラスのデータ量を増やすオーバーサンプリングを使用した⁹⁾。また、本研究では、精度を上げるため多数派であるメーカーホロー桁のデータ数を2倍にし、少数派のデータはそれぞれメーカーホロー桁のデータ数に近づけるようにした。

4.3 評価方法

本研究では、k分割交差検証法(k-fold cross-validation)を用いて評価する。k=5とし、全データを5分割し、4組のデータで訓練し、残り1組のデータで検証する。以上の動作を5回繰り返し、精度は5回の検証結果の正解率を平均したものとする⁷⁾。結果は、混同行列 (Confusion Matrix)で表す。

4.4 ニューラルネットワークによる分類結果

本研究では、規格の型式情報から4分類するための学習モデルの構築と実橋梁データを使用したテストを行った。まず、321,186個のデータからなる学習モデルの精度は95.1%であった。次に、実橋梁データでテストした結果を表-4に示す。全体の精度は96.3%である。「建設省標準設計」、「JISA 5313-1995」、「JISA 5373-2000,-2004」は誤分類することなく正解率は100%であった。しかし、「メーカーホロー桁」は18橋のうち1橋が誤分類され、正解率は94.4%であった。「JISA 5313-1991」は9橋のうち2橋が誤分類され、

正解率が77.8%であった。全体では81橋のうち3橋が誤分類される結果となった。要因としては、1991年～1994年は複数の規格が存在しており、似ている寸法の規格が存在するためであると考えられる。また、誤分類された橋梁は桁高、下フランジ幅の情報が無い橋梁だった。

5. まとめ

本研究では、合理的かつ効率的な維持管理に資するための基礎的な検討として、プレテン中空床版橋の細分類を行った。規格を製造年代や設計活荷重をもとに4規格に分類した。2つの自治体における116橋のプレテン中空床版橋の分類を行い、81橋は4つの規格に分類できたが、残りの35橋は、情報不足で規格の同定が不可能であった。また、NNでの分類を試み、規格の情報を学習させ、実橋梁の分類でテストをした。フローチャートによって分類できた橋梁に対し、正解率は96.3%であり、NNで規格分類が実現できることが実証できたが、現段階では図-1で示したフローチャートを活用した分類が合理的かつ効率的な分類方法である。今後の課題としては、型式別のPC鋼材、かぶりといった情報を追加し、橋梁における損傷傾向を規格別に比較する必要がある。

謝辞：本研究の実施に際して、資料を提供いただいたPCメーカーの皆様と関係自治体の皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 国土交通省：令和3年度版 国土交通白書，p.155，2021.
- 2) 国土交通省道路局国道・技術課：橋梁定期点検要領2019.
- 3) 多田宏行：橋梁技術の変遷—道路保全技術者のために，pp.144-149，鹿島出版会，2000.
- 4) プレストレスト・コンクリート建設業協会：道路橋用橋げた 設計・製造便覧(H16.6)，2004.
- 5) プレストレスト・コンクリート建設業協会設計検討小委員会：各社中空床版橋(メーカーホロー)一覧(H22.10)，2010.
- 6) 宮本崇，浅川匡，久保久彦，野村泰稔，宮森保紀：防災応用の観点からの機械学習の研究動向，AI・データサイエンス論文集，1巻J1号，pp.242-251，2020.
- 7) Francois Chollet(著)，クイープ(訳)，巢籠悠輔(監訳)：PythonとKerasによるディープラーニング，マイナビ出版，2018.

表-4 テスト結果の混同行列 (Confusion Matrix)

		モデルの出力				正解率
		I	II	III	IV	
正解	I	17	0	1	0	94.4%
	II	0	3	0	0	100%
	III	2	0	7	0	77.8%
	IV	0	0	0	51	100%