

# 論文 疲労寿命推定理論を用いた床版の対策優先順位決定に関する一手法

古市 亨<sup>\*1</sup>・松井 繁之<sup>\*2</sup>・佐光 浩継<sup>\*3</sup>・小寺 徹<sup>\*3</sup>

**要旨：**本論では既設橋梁の代表的な部材である床版に着目し、簡易的な調査・対策の優先順位決定手法の検討を行った。まず、過去の道路橋示方書における設計思想を整理し、各年代の道示における床版厚・鉄筋量などを復元設計により推定し、この床版諸元を過去に室内実験結果の蓄積により作成した床版の疲労寿命推定理論に適用することで、適用した道路橋示方書による支間毎の疲労寿命推定を簡易的に推定する手法を提案した。この結果、架設年度、床版支間などの比較的容易に収集することのできる橋梁諸元を用いて、橋梁毎に床版疲労寿命を推定し、調査・対策の優先順位を決定することができた。

**キーワード：**床版, 疲労寿命, 優先順位, 維持管理, 対策

## 1. はじめに

我が国にも着実に社会資本が蓄積されてきたがストックの増大と共に、老朽化に伴って維持管理費が増大し、今後財政上の負担が増々大きくなることが予想される。橋梁を例にとると我が国の主要な道路橋だけでも約15万橋以上あると言われており、そのほとんどが1975年を中心とした年代に偏って建設されている。この偏りは将来のある時期（橋梁の寿命を50年と考えると2025年近傍）に多くの橋梁が一斉に寿命を迎えることを意味している。そこで、構造物の維持管理の現状をみれば、維持管理の基本的な考え方や、その具体的手法論に関しては近年徐々に整備されつつあると言える。しかし、これまでの維持管理は点検で損傷が発見された場合に補修・補強を実施するという対処療法であったため、今後、一斉に既設橋梁の劣化・損傷が顕在化した場合には対応できなくなることも考えられ、予防療法として計画的な維持管理が必要となる。この実施には橋梁の各部材の構造特性、交通特性などを勘案した各部材の劣化メカニズム理論を用いた優先順位決定手法が必要となる。

本論では、橋梁における損傷を起こしやすい代表的な部材である床版に着目し、まず過去の道路橋示方書（以下、道示と示す。）における設計思想を整理し、各年代の道示における床版厚・鉄筋量等の床版諸元を復元設計により設定し、それらの床版に過去の室内実験により作成した床版の疲労寿命推定理論に適用することで、道示年代毎の疲労寿命を推定することを基本とする。この考えの基で、架設年度、床版支間をパラメータとし、床版の疲労寿命を比較し、疲労に影響する交通量を勘案して対策の優先順位を決定する手法を提案した。

## 2. 示方書の変遷とその床版諸元

### 2.1 示方書の変遷

我が国においては「大正15年道路構造細則」から「平成14年道路橋示方書」に至るまで、表1に示すような道示・基準・通達<sup>1~9)</sup>が出されており、設計輪荷重(P)、設計活荷重曲げモーメント計算式、最小床版厚(t)などの項目に対して改訂が加えられている。設計輪荷重は年代が新しくなるに従い大きくなり、主筋の活荷重曲げモー

表1 床版に関する示方書の変遷（一等橋）

適用示方書	略称	西暦	輪荷重 P (tf)	設計活荷重曲げモーメント式		許容応力度 kgf/cm <sup>2</sup>
				主鉄筋	配力筋	
大正15年道路構造細則	T15	1926	4.5	$M=P \cdot (L-b/2)/4 \times (1+i)$	規定無し	1200
昭和14年鋼道示	S14	1939	5.2			
昭和31年鋼道示	S31	1956	8.0	$M=0.4 \cdot P \cdot (L-1) \times (1+i)/(L+0.4)$	主鉄筋量の25%以上	1400
昭和39年鋼道示	S39	1964				
昭和42年通達(昭和43年暫定基準)	S42	1967				
昭和46年通達(昭和48年道示)	S46	1971				
昭和53年通達(昭和55年道示)	S53	1978	10.0	$M=(0.12L+0.07) \times P \times 0.8$	$M=(0.10L+0.04) \times P \times 0.8$	(1400-200) 許容応力度に の余裕を持た せる。
平成2年道示	H2	1990				
平成5年通達(平成6年道示)	H5	1993				
平成8年道示	H8	1996				
平成14年道示	H14	2002				

表中, L: 床版支間, i: 衝撃係数, b=(39+2×t)/100: 輪荷重設地幅, t: 床版厚

\*1 大阪工業大学 構造実験センター 国内研究員 工修  
 \*2 大阪工業大学 構造実験センター 教授 工博 (正会員)  
 \*3 第一技研コンサルタント(株) 研究室課長 工修  
 \*4 第一技研コンサルタント(株) 技術部課長

メント算出法は昭和31年と昭和46年に算出式が改訂されている。また、配筋量に関しては、昭和42年(昭和31年以前は明確な規定無)までは主筋の25%と規定されていたが、以降は主筋の70%以上と増加している。さらに、床版の損傷が顕在化してきた昭和53年以降は鉄筋の許容応力度に対して200kgf/cm<sup>2</sup>程度余裕を持たせるよう規定されている。

なお、論文はSI単位系によって記述すべきであるが、本論文では旧道示に合わせ、従来単位系での表示としている。

## 2.2 復元設計を実施した道示と床版支間

床版においては、示方書年代、床版支間により、床版厚、鉄筋量の推定は可能であることから、8種類の道示・細則・通達の違い、ならびに、5種類の床版支間で復元設計を行うこととした。表-1に示す過去の道示、「RC床版維持管理マニュアル」(大阪府土木部道路課)<sup>10)</sup>を参考に表-2に示す設計条件の下で、復元設計を行った。なお、S39については、高強度鉄筋を使用していた時期があるため、2種類の復元設計を行っている。

表-2 床版諸元推定のための設計条件一覧表

適用示方書		輪荷重	許容応力度		鉄筋	最小
		P	鉄筋		かぶり	床版厚
			kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>		
大正15年細則	1926	4.5	1200	60	3	14
昭和14年鋼道示	1939	5.2	1200	60	3	14
昭和31年鋼道示	1956	8.0	1400	60	3	14
昭和39年鋼道示 (高強度鉄筋使用)	1964	8.0	1400	70	3	14
			1800	80	3	14
昭和42年通達	1967	8.0	1400	70	3	3L+9≧16
昭和46年通達	1971	8.0	1400	80	4	3L+9≧16
昭和53年通達	1978	8.0	1200*)	80	4	3L+11
平成5年道示	1993	10.0	1200*)	80	4	3L+11

表申, L: 床版支間 \* )許容応力度に200kgf/cm<sup>2</sup>の余裕を持たせる。

なお、復元設計は各道示の最小床版厚を基準として主鉄筋を算出し、鉄筋が許容応力度を超過する場合には床版厚を5mm単位で厚くしている。なお、鉄筋は13mm鉄筋で鉄筋間隔を5mm単位で狭くし、鉄筋間隔が100mm未満となった場合には、鉄筋径を16mmに上げ、同様の操作を繰り返し行っている。

道示、床版支間毎に復元設計を行い算出した床版厚、鉄筋量の集計を表-3に示す。S39以降は、道示が新しく、床版支間が長くなるにつれて床版が厚く、または鉄筋量が増加している。これは、昭和40年代に多くの床版における損傷事故が起り、耐力向上が必要と考えられたためである。なお、T15、S14の床版厚は他の年代に比べ大きい。また、当時は床版コンクリートの摩耗損傷を考慮して、コンクリートの上置層を打ち増している。S39においては高強度鉄筋を用いたため、当時の高い許容応力を

許容し、床版厚、鉄筋量とも小さくし、床版死荷重の低減を許していた。

表-3 床版の復元設計結果一覧表

適用示方書	諸元 (mm)	床版支間 (cm)					
		2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	
T15	1926	床版厚	180	200	220	240	260
		主鉄筋	φ19@150	φ19@115	φ19@100	φ22@120	φ22@115
		配力筋	φ13@250	φ13@200	φ13@200	φ16@200	φ16@200
S14	1939	床版厚	190	210	230	250	270
		主鉄筋	φ19@160	φ19@115	φ22@125	φ22@110	φ22@100
		配力筋	φ13@250	φ13@200	φ16@250	φ16@200	φ16@200
S31	1956	床版厚	165	185	195	220	240
		主鉄筋	φ19@190	φ19@185	φ19@155	φ19@190	φ19@185
		配力筋	φ13@250	φ13@250	φ13@250	φ13@250	φ13@250
S39	1964	床版厚	155	170	185	200	210
		主鉄筋	φ19@210	φ19@175	φ19@175	φ19@170	φ19@160
		配力筋	φ13@250	φ13@250	φ13@250	φ13@250	φ13@250
S39 (高)	1964	床版厚	145	160	170	180	190
		主鉄筋	φ19@205	φ19@185	φ19@165	φ19@165	φ19@165
		配力筋	φ13@250	φ13@250	φ13@250	φ13@200	φ13@250
S42	1967	床版厚	160	180	195	210	220
		主鉄筋	D19@220	D19@200	D19@185	D19@180	D19@170
		配力筋	D19@300	D19@250	D19@250	D19@250	D19@200
S46	1971	床版厚	180	195	210	230	250
		主鉄筋	D19@220	D19@200	D19@180	D19@170	D19@160
		配力筋	D19@300	D19@250	D19@250	D19@200	D19@200
S55	1978	床版厚	180	195	210	230	250
		主鉄筋	D19@190	D19@170	D19@155	D19@145	D19@140
		配力筋	D19@200	D19@200	D19@150	D19@150	D19@150
H5	1993	床版厚	190	205	220	240	260
		主鉄筋	D19@160	D19@114	D19@130	D19@125	D19@120
		配力筋	D19@200	D19@150	D19@150	D19@150	D19@150

## 3. 疲労寿命推定理論

### 3.1 疲労寿命推定式と基本的な考え方

松井らは、RC床版の疲労破壊プロセスにおいて、配力鉄筋断面における貫通ひび割れの摩耗によるはり状化と、その後の主鉄筋断面のせん断強度が床版挙動に対して支配的であるとして、S-N線図を、縦軸に作用荷重Pとはりのせん断P<sub>sx</sub>との比をとった両対数の式(1)を提案している<sup>11)</sup>。本提案式の特徴として、床版厚、配筋状況のデータとともに、コンクリートのせん断強度τ<sub>smax</sub>、および引張強度σ<sub>tmax</sub>(引張側主鉄筋のダウエル力によるかぶりコンクリートの剥落耐力分)が必要となる。

#### 【S-N 曲線】

$$\log(P/P_{sx}) = -0.07835 \times \log N + \log 1.51965 \quad (1)$$

式中、P: 作用荷重

$$P_{sx} = 2 \tau_{smax} X_m B + 2 \sigma_{tmax} C_m B$$

τ<sub>smax</sub>: 圧縮側コンクリートの最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

σ<sub>tmax</sub>: コンクリートの最大引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

X<sub>m</sub>: 主筋断面上縁から中立軸までの距離 (mm)

E<sub>c</sub>: 中立軸を算出する際の弾性係数 (N/mm<sup>2</sup>)

C<sub>m</sub>: 主鉄筋のかぶり深さ (mm)

B = b + 2 da (はり状化幅)

B: 配力鉄筋方向の載荷板の辺長 (mm)

da: 配力鉄筋のかぶり深さ (mm)

N: 輪荷重の走行回数 (疲労破壊回数)

今回提案する既設床版の疲労寿命推定の基本的な思想は式(1)の S-N 曲線を用いているが、式中の作用荷重 P、および走行回数 N については、BWIM 理論を用いた軸重推定<sup>12,13)</sup>等を実施しない限り、その実態を把握することは難しく、特に過去の交通特性については再現することはできないため、本法では、走行回数 N は現状の大型車交通量、作用荷重は現行の道示の輪荷重 100KN を使用することとした。なお、本提案は各橋梁の疲労寿命を厳密に求めることはなく、適用道示、床版支間による疲労寿命の差異を確認することを主たる目的としている。つまり、表-3 に示す床版諸元を式(1)に代入し、計算した走行回数 N の差異が示方書年代、床版支間の違いによる床版の疲労耐久性の差と考え、維持管理の順位決定の指標とした。

### 3.3 荷重条件、床版支間による補正

#### (1) 荷重条件の相違

前節で示した式(1)は大阪大学工学部の輪荷重走行試験機（ゴンゴロ号）を用いて RC 床版の疲労試験結果を分析して作成したものであるが、この時の試験状況を図-1 に示す。主筋方向端は縦桁で支持、配力筋方向の端部は横桁により弾性支持した床版支間 1.8m (全幅 2.0m)、橋軸方向 3.0m の支間中央に、300mm×120mm の載荷版を橋軸方向に並べて輪荷重を走行させるものであり、現道示の載荷面の 500mm×200mm と異なる。載荷位置についても、床版疲労試験では 1800×3000mm の床版中央に一輪の荷重を載荷しているが、実橋では走行位置は一

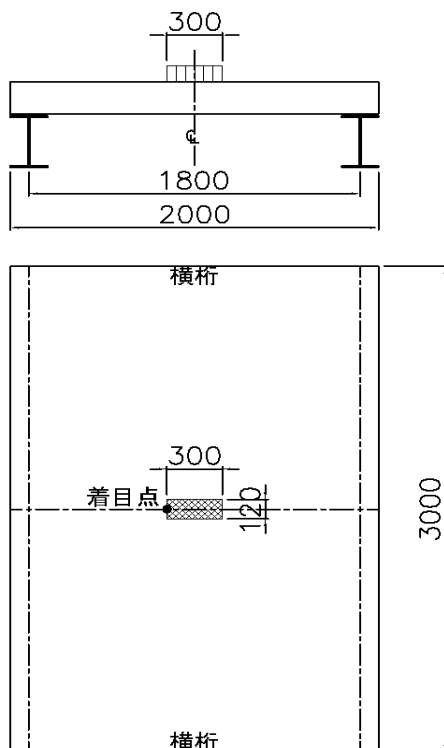


図-1 S-N 曲線提案時の荷重状況

定ではなく、有効幅員と支持桁間隔で異なり、最大せん断力が発生する位置は床版支間中央とは限らない。さらに床版支間が長くなれば、輪荷重が複数載荷することもある。

また、式(1)に示す  $P_{sx}$  により疲労破壊回数 N は大きく変化する。 $P_{sx}$  中にはせん断耐力に関連する  $\tau_{smax}$  と曲げ耐力に関連する  $\sigma_{tmax}$  の影響因子をもつが、表-3 に示す諸元を代入すると  $P_{sx}$  の 80~90% は  $\tau_{smax}$  が占める。このため、載荷幅、あるいは載荷位置の実験値との差異を考慮することとするが、安全側評価とするため、輪荷重位置を主鉄筋方向に変化させ、最大せん断力が発生する位置に車両の左車輪が走行する場合の疲労破壊寿命を求めることとした。なお、差異については、FEM 解析により算出したせん断力により補正を行うこととした。

#### (2) 輪荷重の載荷位置と載荷状況

文献 15) に示されている押抜きせん断耐力評価式では、図-2 に示すように、載荷端から中立軸位置までに加えて、載荷端から 45° 方向に下降させた床版厚の幅の外側に、かぶりの 2 倍分までが耐力部材範囲と考えている。このため、図-3 に示すような主桁上フランジ幅 300mm、ハンチ高 50mm (ハンチ幅:  $3 \times 50 = 150$ mm)、床版厚 200mm、かぶり 40mm の RC 床版を有する鈹桁橋を仮定し、ハンチ上端 (主桁から  $150\text{mm} + 150\text{mm} = 300\text{mm}$ ) から、かぶりの 2 倍 80mm と床版厚 200mm 分離れた位置に 500mm の幅で荷重を載荷させた時の分布荷重端部のせん断力が最大となると考えた。

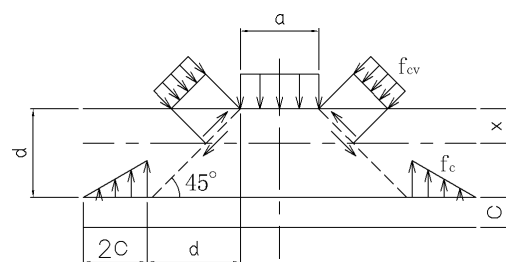


図-2 押抜きせん断耐力評価式のイメージ

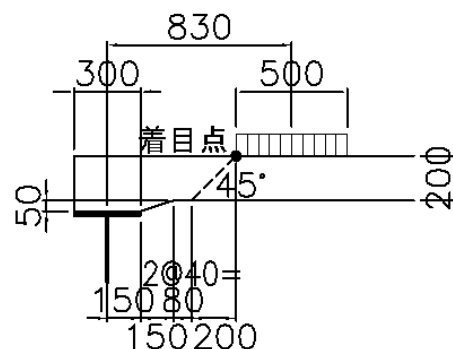


図-3 せん断力着目位置のイメージ

また、床版疲労試験では1輪のみの载荷となっているが、床版支間が広がると1750mm離れた位置に2輪目が载荷することになり、せん断力もこの影響を受けると考えられる。

これらの思想による各床版支間(L)の载荷状況のイメージを図-4に示す。図に示すように、L=2.0mの場合は1輪しか载荷されないが、L=3.0m以上では2輪载荷となることが解る。

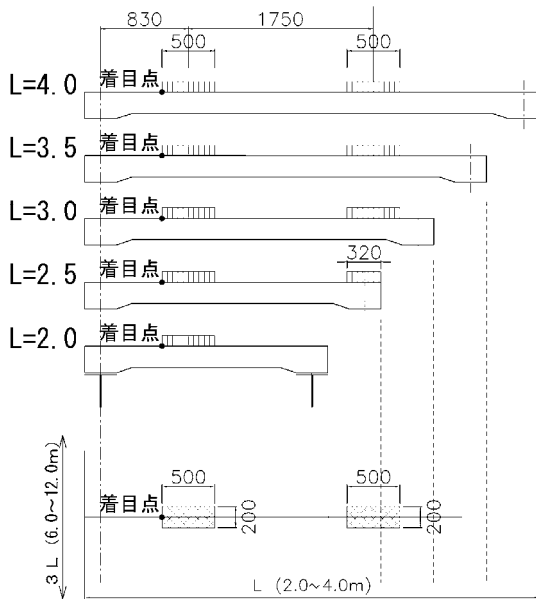


図-4 床版支間と载荷状況のイメージ

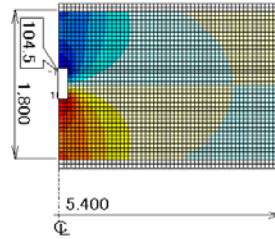
### (3) FEM解析結果

前項で示した床版疲労試験、床版支間とその载荷状況における着目点のせん断力  $Q_x$  の差異を確認するためにFEM解析を実施した。解析には主筋方向、配力筋方向の梁理論による剛度の比を考慮した直交異方性シェル要素を用いた。また、配力筋方向の長さは各床版支間の3倍とし、主桁ウェブ位置で単純支持とした平面モデルとしている。代表的な結果として、床版疲労試験、床版支間2.5m、3.5mの解析結果を図-5に、床版支間毎のせん断力とその比較を表-4に示す。

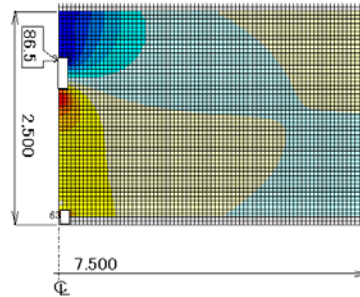
図-5、表-4より、床版疲労試験、L=2.0mは1輪のみの影響であるが、L=3.5mでは2輪の影響が確認でき

表-4 床版支間と载荷状況のイメージ

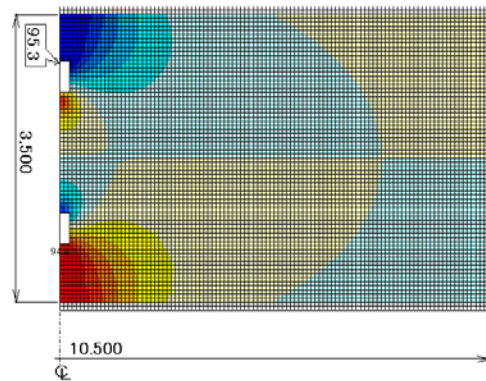
TYPE	モデル	せん断力 $Q_x$	Aとの比率 ( $\alpha$ )
A	床版疲労試験	104.5	1.00
B	床版支間 2.0m	82.4	0.79
C	床版支間 2.5m	86.5	0.83
D	床版支間 3.0m	90.8	0.87
E	床版支間 3.5m	95.3	0.91
F	床版支間 4.0m	98.9	0.95



(a) 疲労耐久性確認試験



(b) 床版支間 L=2.5m



(c) 床版支間 L=3.5m

図-5 载荷状況によるFEM解析結果

る。せん断力  $Q_x$  については、床版疲労試験の値が最も大きく、床版支間が広がるに連れて、せん断力は大きくなっていることが解る。床版疲労試験の値が大きいのは、载荷幅が  $300\text{mm} \times 120\text{mm}$  と小さいことの影響であり、床版支間については、支間が広がると2輪目の影響が大きくなるためと推測できる。

### (4) 床版支間、载荷条件による補正

表-4に床版疲労試験の解析結果と各床版支間の解析結果との比率( $\alpha$ )を示しているが、この $\alpha$ が床版疲労試験と実橋の床版支間における作用荷重の補正值であると考え、式(1)中のPに補正值を乗じた床版支間を考慮したS-N曲線、式(2)に修正した。

#### 【補正を考慮したS-N曲線】

$$\log(P'/P_{sx}) = -0.07835 \times \log N + \log 1.51965 \quad (2)$$

式中、

$$P' = P \cdot \alpha$$

$\alpha$  : 床版支間による補正係数

#### 4. 走行回数の算出

前章までに、過去の床版諸元の復元と床版支間の補正を考慮したS-N曲線を示したが、式(2)に8種類の道示・細則、5種類の床版支間の諸元を代入し走行回数Nの計算を行った。なお、式(1)中の作用荷重Pは現道示における輪荷重100KNとしている。

##### 4.1 適用道示の違いによる疲労寿命回数Nの傾向

適用道示による疲労寿命回数Nの傾向を確認するために、代表事例として床版支間L=3.0mの場合の適用道示と疲労寿命回数Nの相関を図-6に示すが、Nは適用道示により大きな差があることが解る。

経済設計を目指したS39とその前後の道示では、Nが小さく、その後、床版の損傷が顕在化し、道示の床版厚などが改善されてNは増加している。S39(高)のNが最も少ない回数7.3E09回に対し、H5では1.9E12回と約250倍の値となっている。また、Nは床版厚に敏感な要因であることが解る。

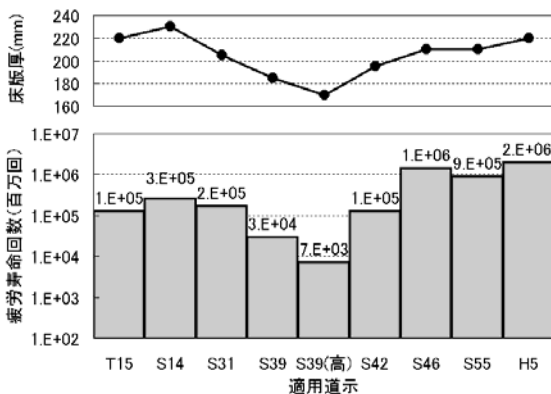


図-6 道示と疲労寿命回数Nの相関(L=3.0m)

5種類の床版支間と適用道示ごとのNの算出値を図-7に示すが、道示によるNの傾向は図-6と同様の傾向を示している。なお、設計荷重の小さなT15, S14がS31, S39より大きいのは、2章でも示したが、曲げモーメント算出式が異なり、床版厚が厚くなっているためである。

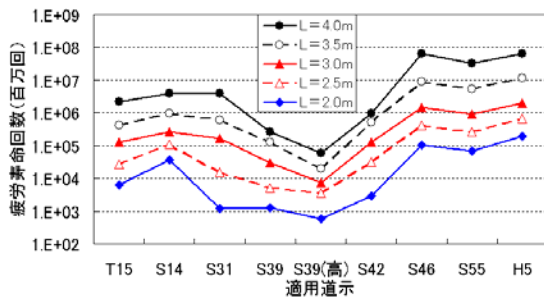


図-7 道示と疲労寿命回数Nの相関

##### 4.2 床版支間による疲労寿命回数Nの傾向

道示による床版支間と疲労寿命回数Nの相関を図-8

に示すが、すべての道示について、床版支間が広くなれば、疲労寿命回数は大きくなっている。これは床版支間が大きくなると床版厚、鉄筋量が増加することが、せん断力が大きくなることによるNの減少を上回っているためと考えられる。また、疲労寿命回数の分布は床版支間が狭い場合には若干のバラツキはあるが、道示により3種類に分類できると判断した。図-9に示すように、H5, S55, S46のグループ、T15, S14, S31, S42のグループ、S39と、それぞれのグループでデータの近似曲線を作成し、各道示の疲労寿命回数と仮定した。

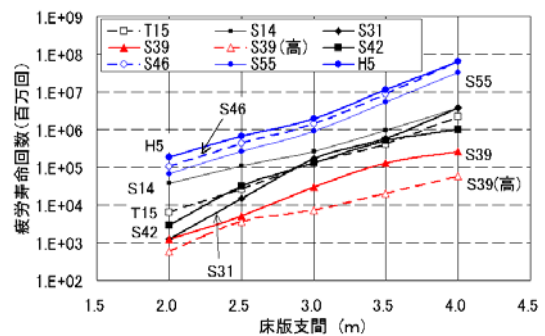


図-8 床版支間と疲労寿命回数Nの相関

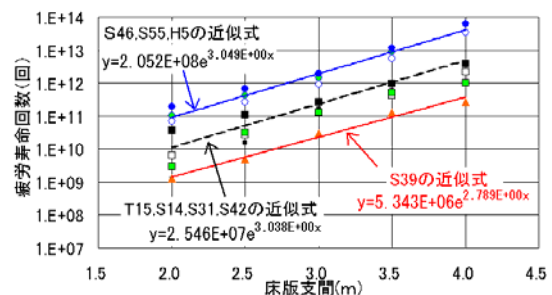


図-9 適用道示によるグループ分け

#### 5. 床版の対策優先順位決定手法

##### 5.1 床版疲労に関する提案式

対策の優先順位決定の基本点数として式(3)を提案する。

前章までに、適用道示と床版支間による疲労寿命回数Nを分析し、3つの示方書のグループ毎の近似曲線について述べたが、この近似曲線を表-5に示す疲労寿命回数yとした。しかし、最も疲労寿命回数の大きなグループのL=4.0mと最も小さなS39, L=2.0mの疲労寿命回数では4桁の差があり、この比率で単純に対策の優先順位を決定することはできない。このため、疲労寿命比率の対数で比較することとした(式(3)の第1項)。この際に、橋梁上を通過する車両重量を考える必要があるが、荷重で比較するには橋梁毎の輪荷重特性を求める必要があり、これを採用するのは困難である。このため、輪荷重特性は全国同一と考え、大型車の交通量でその違いを考

慮できると考えた<sup>16)</sup>。交通量の違いを荷重の違いと読み変えると、基本交通量(1000台/日)との比の対数を、寿命比率の対数から差し引くとよいと考えた(第2項)。

【床版疲労に関する基本点数 S】

$$S = \log(y/y_0) - \log(TN/T_0) \quad (3)$$

式中、

y:対象とする橋梁の道示, 床版支間により決定する疲労寿命回数(表-5参照)

y0:基本となる疲労寿命回数(参考値:1.0E08)

TN:対象とする橋梁の1車線当たりの日大型車交通量(台)

T0:基本となる1車線当たりの日大型車交通量(台) <参考値:1000台/日>

表-5 道示・床版支間による疲労寿命回数 y

適用道示	疲労寿命回数 y
H5	$y=2.052E08e^{3.0487X}$
S55	
S46	
S42	$y=2.546E07e^{3.038X}$
S31	
S14	
S15	
S39	$y=5.343E06e^{2.789X}$

表中、X:床版支間

5.2 対策の優先順位決定手法のサンプル

基本点数 S の小さいものから対策を行うことが必要と判断し、対策順位を決定する。表-6に床版疲労からみた対策の優先順位決定の判定例を示す。

表-6 対策の優先順位決定の判定例

NO.	道示	床版支間	交通量	寿命回数	基本点数	RANK
		(m)	(台)	y	S	
A	T15	2.0	800	1.1E+10	2.1	3
B	S14	2.5	1,200	5.1E+10	2.6	4
C	S31	2.0	1,000	1.1E+10	2.0	2
D	S31	2.5	1,000	5.1E+10	2.7	5
E	S39	2.0	1,200	1.4E+09	1.1	1
F	S42	3.0	2,000	2.3E+11	3.1	7
G	S42	3.0	500	2.3E+11	3.7	8
H	S46	3.0	3,000	1.9E+12	3.8	9
I	S55	2.0	1,800	9.1E+10	2.7	6
J	H5	3.0	1,000	1.9E+12	4.3	10

表中、C、Dは道示、交通量は同じであるが、床版支間が異なり、床版支間が広い方が基本点数 S は大きくなっている。交通量が異なる F、G は交通量が多い F の方

が点数は低くなっている。

また、他の条件が異なるため明確ではないが、道示による基本点数の違いの傾向も確認できる。同一管理管内にある橋梁に対して、このような基本点数が計算できると、床版の損傷が進行している可能性の高い橋梁の順が同表のようにランキングできる。

6. おわりに

以上のように、前節で考えた道路橋 RC 床版の対策優先順位について、方法論と検討結果の一例を示したが、実橋梁では、輪荷重特性、走行位置、雨量や気温などの違いがあり、これらの環境条件の違いやコンクリートの品質が劣化速度に影響を与えることを考慮する必要がある。本方法は更なる検討が必要と言える。

参考文献

- 1) 内務省土木局:道路構造に関する細則案, 1926.6
- 2) 日本道路協会:鋼道路橋示方書・同解説, 1939.2
- 3) 日本道路協会:鋼道路橋示方書・同解説, 1956.5
- 4) 日本道路協会:鋼道路橋示方書・同解説, 1964.2
- 5) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説 I, 1972.2
- 6) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説 I, 1980.2
- 7) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説 I, 1990.2
- 8) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説 I, 1994.2
- 9) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説 I, 2000.2
- 10) 大阪府土木部道路課:RC床版維持管理マニュアル, 1996.3
- 11) 松井繁之ほか:移動荷重を受ける道路橋 RC 床版の疲労強度と水の影響について, コンクリート工学年次論文報告集, Vol9, No.2, 1987-7, pp.627-632.
- 12) 松井繁之, EL-HARIM:RC床版のひび割れの開閉量による輪荷重の測定に関する研究, 構造工学論文集, Vol35A, 1989-3, pp.407-418.
- 13) 小塩達也, 山田健太郎, 古市亨:鋼床版部材を用いた走行車両の軸重推定, 構造工学論文集, Vol.44A, 1998-3, pp.1141-1151.
- 14) 大阪府土木部道路課:RC床版維持管理マニュアル, 1997.10
- 15) 前田幸雄, 松井繁之:鉄筋コンクリート床版の押抜きせん断耐力の評価式, 土木学会論文集, 第348号, pp133-141, 1984.
- 16) 古市ほか, 供用下における実橋床版の疲労寿命推定方法の提案, 土木学会関西支部年次学術講演会, 2003-5, 第I部門, I-23-2