論文

道路橋RC床版の寿命予測に関する一考察

阿部　忠*

*博（工），日本大学教授，生産工学部土木工学科（〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1）

RC 床版の寿命予測には S-N 曲線式が用いられている．しかし，S-N 曲線式から推定される破壊走行回数には押抜きせん断耐荷力が顕著となる．とくに，昭和 55 年，平成 6 年改定の道示では，RC 床版の設計支間や車両の計画交通量に応じて床版厚が割増されることになるから，長支間になるに従って押抜きせん断耐荷力も増大し，S-N 曲線から算定される破壊走行回数が大幅に向上し，寿命予測年数に差異が生じる．そこで本研究では，道示に規定する床版支間から算定される床版厚から算定される押抜きせん断耐荷力を補正し，算定された破壊走行回数の平準化を図った．その結果，道示に規定する床版支間長 4.0m までの RC 床版の破壊走行回数が平準化され，寿命予測が可能となった．

キーワード：*RC 床版，S-N 曲線，押抜きせん断耐荷力式，破壊走行回数，健全度評価*

1. はじめに

道路橋 RC 床版の破壊走行回数の算定には S-N 曲線式が用いられている．土木研究所[1]では，RC 床版の疲労破壊実験に基づく研究成果を報告している．これによると，疲労損傷度と床版の総たわみ率（総たわみ量/載荷荷重）と劣化過程ごとの疲労損傷度との関係を示している．また玉越ら[2]は，疲労損傷度と健全度ランクの関係を示し，RC 床版の S-N 曲線式と押抜きせん断耐荷力の関係から算定された破壊走行回数に健全度ランクごとの疲労損傷度を乗じ，各健全度ランクに達する走行回数を算定し，交通量で除して RC 床版の寿命を予測している．

一方，道路橋示方書・同解説[3]（以下，道示とする）では，床版支間 L が長大化することにより床版厚が厚くなる．松井ら[4]や筆者ら[5]が提案する押抜きせん断耐荷力式は床版厚が厚くなることにより耐荷力も大きくなる。したがって，床版支間が長大化すほど耐荷力も増大し，寿命も向上する結果とる．よって，実橋 RC 床版の寿命推定と差異が生じることから，玉越ら[2]は松井らが提案する押抜きせん断耐荷力に，床版支間 L と床版厚の関係から得られた補正係数を得て，押抜きせん断耐荷力を補正している．その結果，実橋 RC 床版の経過年と予測年数の誤差が 40%以内に入る橋梁数が 44%となり，補正係数を適用することで予測精度の向上を図っている．これらのことから，筆者らが提案する押抜きせん断耐荷力式についても補正し，道示の規定に基づいて設計された RC 床版の寿命の平準化を図る必要がある．

そこで本研究は，平成 6 年改定の道示に基づいて支間 2.0m 〜 4.0m の床版を設計し，筆者らが提案する押抜きせん断耐荷力を S-N 曲線式に適用し，得られた破壊走行回数から床版支間長 L を関数とする補正係数を得て，押抜きせん断耐荷力を補正し，破壊回数の平準化を図るものとする．また，RC 床版の健全度評価においては破壊走行回数に玉越らが提案する疲労損傷度を乗じて健全度評価を行うなど，道示に規定する RC 床版の維持管理における寿命予測，健全度評価の一助とするものである．

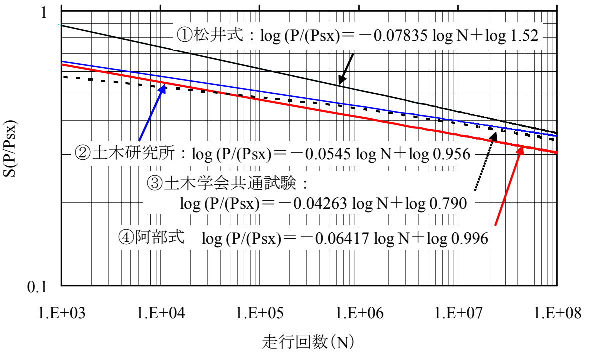
2. S-N曲線・押抜きせん断耐荷力式および破壊走行回数

2.1　輪荷重走行疲労実験におけるRC床版のS-N曲線

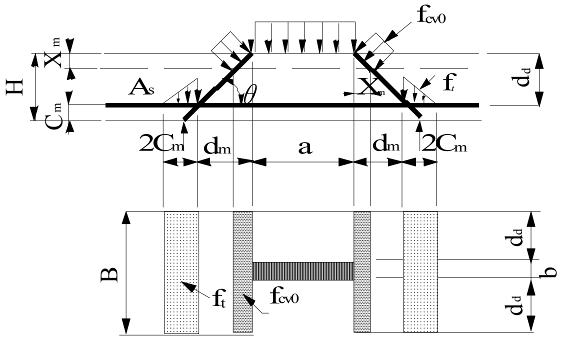
RC 床版の耐疲労性の評価式には S-N 曲線式が用いられている．S-N 曲線図に示す縦軸 S は，作用荷重 P を押抜きせん断耐荷力 P_{sx} で除して無次元化した P/P_{sx} としている．横軸 N は走行回数とし，これらの関係が S-N 曲線である．S-N 曲線式には，松井ら[6]や，土木学会道路橋床版性能評価小委員会の共通試験[7]（以下，土木学会とする），土木研究所[7]および筆者ら[5), 8)]が輪荷重走行疲労実験を実施して，それぞれの S-N 曲線を提案している．ここで，RC 床版の S-N 曲線を図－ 1 に示す．

(1)　松井らが提案するS-N曲線・押抜きせん断耐荷力式

松井ら[6]が提案する S-N 曲線式は，39 年改定道示に準拠して製作した床版（以下，39 床板とする），すなわち鉄筋に丸鋼を用いた供試体を用いて輪荷重走行疲労実験の結果から得られた式に，一部に異形鉄筋を用いた供試体も含めた S-N 曲線式を提案している．一方，S-N 曲線式に適用する押抜きせん断耐荷力 P_{sx} には，輪荷重の走行によって発生する主鉄筋の貫通ひび割れによって形成されるはり状化された幅「はり幅 B」



図－1　RC 床版供試体 RC 床版の S-N 曲線



図－ 2　はり幅 B を考慮した押抜きせん断力学モデル

の押抜きせん断耐力を算定する式である．ここで，松井らが提案するはり幅 B を考慮した押抜きせん断力学モデルを**図－ 2** に示す．はり幅 B は，輪荷重が載荷版幅 b から下縁の引張配力筋の有効高 d_d まで 45 度で分布した幅（＝ b ＋ $2d_d$ ）である．押抜きせん断耐荷力は，主鉄筋方向の中立軸の位置 X_m の範囲にコンクリートのせん断強度 f_{cv0} が及ぼし，また下縁の引張鉄筋かぶりコンクリート C_m には，コンクリートの引張強度 f_c が及ぼすものとして解析されている．ここで，松井らが提案する押抜きせん断耐荷力式は，式(2)として与えられている．

1)　松井式 [6]：

$$\log (P/P_{sx}) = -0.07835 \log N + \log 1.52 \quad (1)$$

ここに，P：基準荷重，　P_{sx}：はり幅 B の押抜きせん断耐荷力（kN），N：繰返し回数（回）

2)　はり幅 B を考慮した押抜きせん断耐荷力 P_{sx} [4]：

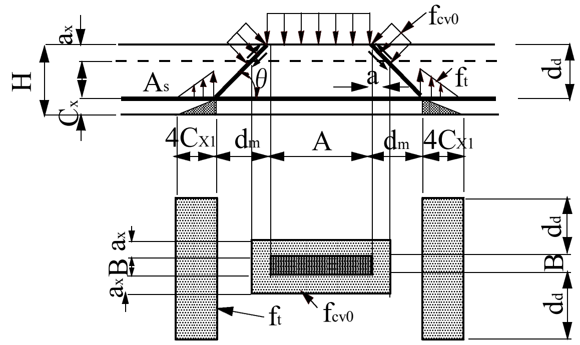
$$P_{sx} = 2B(f_{cv0} \cdot X_m + f_t \cdot C_m) \quad (2)$$

$$B = b + 2d_d$$

$$f_{cv0} = 0.252f'_c - 0.00251f'^2_c$$

$$f_t = 0.269f'^{2/3}_c$$

ここで，：B：はり幅（mm），b：輪荷重の軸方向の辺長（mm），X_m：使用限界状態における主鉄筋方向の中立軸の位置 (mm)，C_m：引張主鉄筋のかぶり (mm)，d_d：配力筋の有効高さ（mm），f_{cv0}：コンクリートのせん断強度 (N/mm^2)，f_t：コンクリートの引張強度 (N/mm^2)，



図－ 3　走行荷重実験による押抜きせん断力学モデル

f'_c：コンクリートの圧縮強度（N/mm^2）

(2)　土木学会[7]および土木研究所[7]

土木学会では，39 床版供試体を用いて各研究機関[7]が所有する輪荷重走行疲労試験機を用いて共通試験を実施し，S-N 曲線式(3)を提案してる．一方，土木研究所では H8 年改定道示に準拠した RC 床版供試体を用いて，土木研究所が所有する輪荷重走行疲労実験から得られた S-N 曲線式(4)を提案している．

1)土木学会共通試験式：

$$\log (P/P_{sx}) = -0.04263 \log N + \log 0.790 \quad (3)$$

2)土木研究所式：

$$\log (P/P_{sx}) = -0.0545 \log N + \log 0.956 \quad (4)$$

(3)　筆者らが提案するS-N曲線式[5), 8)]

筆者らは，平成 6 年改定の道示に基づいて設計し，1/2，3/5 モデルの供試体を用いて，輪荷重走行疲労実験から得られた S-N 曲線式であり，式(5)を提案した．また，同供試体を用いて走行荷重実験を行い，破壊状況から，圧縮域，すなわち等価応力ブロック内にはせん断強度 f_{cv0}，ダウエル効果の影響を受ける範囲にはコンクリートの引張強度 f_c が及ぼすものとしてモデル化した．ここで，筆者らが提案する押抜きせん断力学モデルを図－ 3 に示す．また，押抜きせん断耐荷力は式(6)として与えている．

1)　筆者らが提案する S-N 曲線 [5), 8)]

$$\log (P/P_{sx}) = -0.06417 \log N + \log 0.996 \quad (5)$$

2)　押抜きせん断耐荷力 [5)]

$$P_{sx} = f_{cv0}\{2(B + 2a)a + 2(A \times a)\} + f_t\{4(2d_d + B)C_X\} \quad (6)$$

$$f_{cv0} = 0.688f'^{0.610}_c \leqq f'_c = 80N/mm^2$$

$$f_t = 0.269f'^{2/3}_c$$

$$a = (a_x + a_y)/2$$

$$C_X = (C'_X + C'_Y)/2$$

ここで，A，B：載荷版の主鉄筋，配力筋方向の辺長（mm），a：主鉄筋方向 a_x，配力鉄筋方向 a_Y の等価応力ブロックの平均値（mm），C_X：ダウエル効果が影響

を示す寸法効果（＝主鉄筋のかぶり(C'_X)と配力筋方向のかぶり（C'_Y）の平均値（mm)），C'_d：主鉄筋のかぶり（C'_X）と配力筋方向のかぶり（C'_Y）の平均値(mm)，d_d：主鉄筋の有効高さ（d_X）と配力筋方向の有効高さ（d_Y）の平均値（mm）（＝(H − C'_d))，H：床版全厚(mm)，f_{cv0}：コンクリートのせん断強度（N/mm^2）[5]，f_t：コンクリートの引張強度（N/mm^2）

2.2　破壊等価走行回数の算定

RC 床版の S-N 曲線式(1)，(3)～(5)に示す．基準荷重 P と押抜きせん断耐荷力 P_{sx} の比 S 値と，S-N 曲線式の傾きから，破壊走行回数 N_f を算定する．破壊に至る走行回数（以下，破壊走行回数とする）は，式(7)として与えられる．

$$N_f = 10^{[\{\log(C) - \mathrm{Log}(P/P_{sx})\}/K]} \qquad (7)$$

ここで，N_f：破壊走行回数，P：基準荷重(kN)，P_{sx}：押抜きせん断耐荷力(kN)，C：S-N 曲線における S 値，K：S-N 曲線における曲線の傾き

RC 床版の寿命予測については式(7)より算定された破壊等価走行回数 N_f を道示に規定する大型車両の 1 日 1 方向あたりの計画交通量（以下，計画交通量とする）で除することで推定することができる．よって，破壊するまでの年数（以下，破壊年数とする）は式(8)として与えられる．

$$破壊年数 = N_f\ /\ (計画交通量 \times 365) \qquad (8)$$

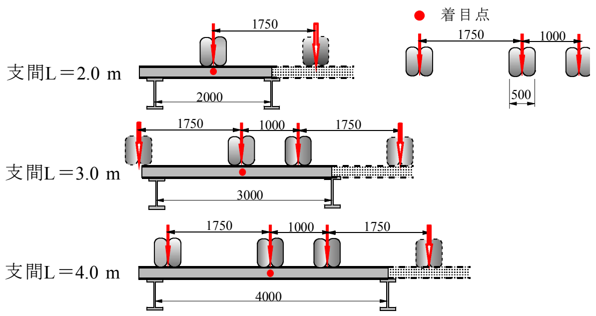
ここで，N_f：破壊走行回数

一方，道路橋 RC 床版の健全度は，RC 床版の損傷に対する劣化過程として潜伏期，進展期，加速期，劣化期に区分されている．予防保全型維持管理計画では，各劣化過程に達する時期，すなわち健全度評価を行い，補修時期を推定し，ライフサイクルコストが算定されている．この健全度評価に対する走行回数の算定には，玉越ら [2]は式(7)から算定された破壊走行回数に，RC 床版の疲労損傷度 D を乗じている．疲労損傷度 D は，進展期が 0.2 ～ 0.5，加速期（前期）が 0.5 ～ 0.65，加速期（後期）は 0.65 ～ 0.8，劣化期が 0.8 ～ 1.0 として与えられている．いずれにおいても，破壊走行回数の算定が重要となる．

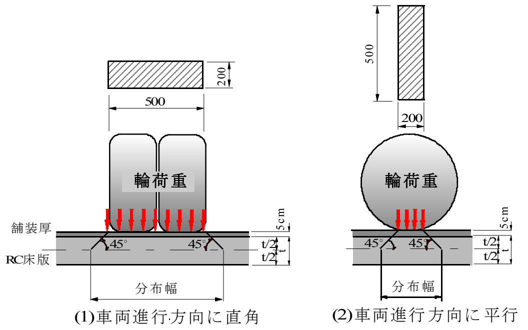
3.　輪荷重（T荷重）の載荷状態

3.1　T荷重載荷状態

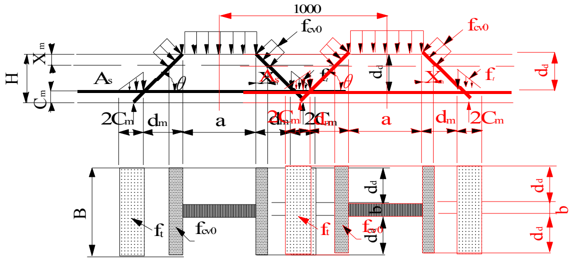
実橋 RC 床版は連続版として設計される場合が多い．しかし，設計曲げモーメントは単純版を基本とした等方性矩形版モデルとして解析されている．ここで，床版支間長ごとの T 荷重載荷状態を図− 4，輪荷重載荷分布状態を図− 5 に示す．



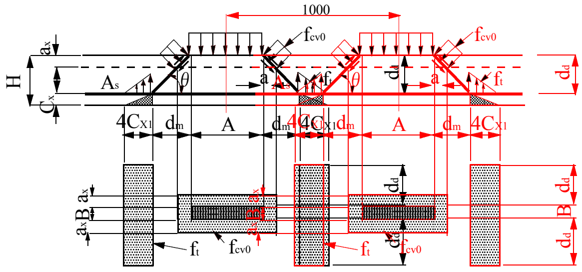
図−4　輪荷重（T荷重）の載荷状態



図− 5　輪荷重の載荷分布状態



(1)はり幅を考慮した押抜きせん断耐荷力



(2)筆者らが提案する押抜きせん断耐荷力

図− 7　支間長 3.5m の押抜きせん断力学モデル

3.2　支間長3.5mの押抜きせん断力学モデルの一例

松井らや筆者らが提案する押抜きせん断耐荷力の力学モデルは，それぞれ図− 3，4 として与えられている．一方，道示に示す輪荷重の載荷分布状態も図− 4，5 として与えられ，いずれも輪荷重載荷位置から 45 度底面方向に分布するものとしている．また，鋼橋床版の支間は道示では 4.0m までと規定され，x 方向に載荷する輪数（T 荷重）は図− 4 に示すように，床版支間 2.0m ≦ L ＜ 3.0m，3.0m ≦ L ＜ 4.0m，4.0m ≦ L で異なる．床版支間 L が 3.0m 未満の場合は，輪荷重 P が 1 軸，

床版支間 3m 以上 4.0m 未満の場合は 2 軸，床版支間 4.0m の場合は 3 軸が作用し，それぞれの押抜きせん断耐荷力算定における載荷状態が異なる．ここで，支間 L ＝ 3.5m の場合の荷重載荷における押抜きせん断力学モデルは図− 7 となる．床版支間 L ＝ 3.5m の床版の押抜きせん断力学モデルは，輪荷重が 45 度で分布するものとすると 1 軸目の右側と 2 軸目の左側のダウエル効果が及ぼす範囲がラップすることになる．すなわち押抜きせん断耐荷力式における底面のかぶりコンクリートの引張強度が及ぼす部分がラップすることから押抜きせん断耐荷力の算定には難を要する．また，支間 2m から 3m 未満の床版においては 1 軸のみが作用するものの, 床版支間 L に比例して床版厚が厚くなり，併せて，押抜きせん断耐荷力 P_{sx} も大きくなる．この，押抜きせん断耐荷力 P_{sx} を用いて破壊走行回数 N_f（式(7)）および破壊年数を算定すと，床版支間 L が長支間になるほど寿命が長くなる．よって，床版支間 L に対する，床版厚で設計された支間 2.0m から支間 4.0m までの床版厚に対する破壊年数が同一となるように，補正する必要がある．

4. RC床版の設計および押抜きせん断耐荷力

4.1 RC床版の設計

昭和 55 年改定の道示では，床版厚の算定には大型車両の 1 日 1 方向の計画交通量や施工の難易度による割増係数が適用され，平成 6 年改訂の道示では，設計活荷重が 100kN へと引き上げられたと同時に，等級も A 活荷重，B 活荷重へと改訂された．床版厚は，大型車両の 1 日 1 方向の計画交通量による割増係数が適用され, 現在に至っている. よって, 筆者らが提案する S-N 曲線および押抜きせん断耐荷力式は平成 6 年改訂の道示に準拠して製作した供試体から得られた結果である．よって，押抜きせん断耐荷力を算出する場合のモデル化の検討が必要となる．

4.2 RC床版の設計

平成 6 年改訂の道示の基準に基づいて支間 L ＝ 2.0m から 4.0m まで設計する．平成 6 年改訂の道示による RC 床版の最小床版厚の算定は式(9) として与えられている．また，式(9)には，交通量に応じた割り増し係数が適用されている．

(1) RC床版の設計条件

床版支間：2.0m, 2.2m, 2.4m, 2.6m, 2.8m, 3.0m, 3.5m, 4.0m

最小床版厚[3)]：$d = k_1 \cdot k_2 \cdot d_0 \quad \geqq 160\text{mm}$ (9)

ここで，d：床版厚(mm)，k_1：大型車の交通量による係数，k_2：床版を支持する桁の剛性が著しく異なるために生じる付加曲げモーメント係数(＝ 1.0)，d_0：道示Ⅱの規定による最小厚さ（d_0 ＝(30L ＋ 110)）

大型車両の 1 日 1 方向あたりの計画交通量：2000 台（k_1 ＝ 1.25）

コンクリートの設計基準強度：σ_{ck} ＝ 24N/mm^2

鉄筋の許容応力度：σ_{sa} ＝ 140N/mm^2（130N/mm^2 以上）

以上の条件より算定された RC 床版の諸元を表− 1 に示す.

(2) 設計結果および破壊走行回数・年数

本設計条件による床版厚および鉄筋量（表− 1）を基に算定された押抜きせん断耐荷力 P_{sx} を表− 1 に併記する．表− 1 に示すように RC 床版の最小厚は，床版支間長 L が長大化するほど厚くなり，鉄筋量も多くなっている．よって，押抜きせん断耐荷力 P_{sx}（式(6)）も大きくなり，寿命が増大することになる．

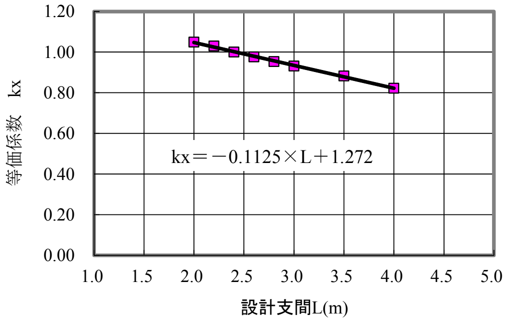
次に, S-N 曲線（式(5)）および押抜きせん断耐荷力（式(6)）から算定した破壊走行回数（式(7)）および大型車両の 1 日 1 方向あたりの計画交通量 2000 台が走行した場合の破壊年数（式(8)）を算出し，その結果を表− 2 に示す．なお，破壊走行回数は式(7)に適用する

表− 1　RC 床版諸元および押抜きせん断耐荷力

設計支間（mm）		2000 mm	2200 mm	2400 mm	2600 mm	2800 mm	3000 mm	3500 mm	4000 mm
最小床版厚（mm）		210 mm	220 mm	230 mm	240 mm	240 mm	250 mm	270 mm	290 mm
コンクリート設計基準強度（f'_c）		24 N/mm^2	24 N/mm^2	24 N/mm^2	24 N/mm^2	24 N/mm^2	24 N/mm^2	24 N/mm^2	24 N/mm^2
主鉄鉄筋	引張鉄筋(A_s)	1419 mm^2	1419 mm^2	1471 mm^2	1528 mm^2	1655 mm^2	1655 mm^2	1891 mm^2	1976 mm^2
	圧縮鉄筋(A'_s)	709 mm^2	709 mm^2	736 mm^2	764 mm^2	828 mm^2	828 mm^2	946 mm^2	988 mm^2
配力鉄筋	引張鉄筋(A_s)	1014 mm^2	1014 mm^2	1056 mm^2	1056 mm^2	1152 mm^2	1207 mm^2	1207 mm^2	1207 mm^2
	圧縮鉄筋(A'_s)	507 mm^2	507 mm^2	528 mm^2	528 mm^2	576 mm^2	604 mm^2	603 mm^2	603 mm^2
鉄筋降伏強度(f_{ud})		295 N/mm^2	295 N/mm^2	295 N/mm^2	295 N/mm^2	295 N/mm^2	295 N/mm^2	295 N/mm^2	295 N/mm^2
鉄筋引張強度(f_y)		440 N/mm^2	440 N/mm^2	440 N/mm^2	440 N/mm^2	440 N/mm^2	440 N/mm^2	440 N/mm^2	440 N/mm^2
有効高	主鉄筋(d_m)	172.0 mm	182.0 mm	192.0 mm	202.0 mm	212.0 mm	212.0 mm	232.0 mm	250.5 mm
	配力筋(d_d)	157.5 mm	167.5 mm	177.5 mm	187.5 mm	197.5 mm	197.5 mm	217.5 mm	234.5 mm
かぶり厚	主鉄筋(c_m)	38.0 mm	38.0 mm	38.0 mm	38.0 mm	28.0 mm	38.0 mm	38.0 mm	39.5 mm
	配力筋(c_d)	52.5 mm	52.5 mm	52.5 mm	52.5 mm	42.5 mm	52.5 mm	52.5 mm	55.5 mm
等価応力ブロック	主鉄筋(a_m)	30.5 mm	30.5 mm	31.1 mm	33.3 mm	33.3 mm	33.3 mm	35.9 mm	37.4 mm
	配力筋(a_x)	29.4 mm	29.4 mm	30.0 mm	31.5 mm	32.3 mm	32.3 mm	32.3 mm	33.1 mm
押抜きせん断耐荷力(P_{sx})		432.0 kN	440.1 kN	453.2 kN	463.9 kN	475.4 kN	486.8 kN	513.3 kN	550.9 kN

表－2　押抜きせん断耐荷力および破壊走行回数
された破壊走行回数

支間 (mm)	床版厚 (mm)	押抜きせん断耐荷力 (kN)	基準荷重 (kN)	破壊走行回数 (回)	年数 (年)
2000	210	432.0	140	39,700,944	54
2200	220	440.1	140	53,049,006	73
2400	230	453.2	140	83,817,444	115
2600	240	463.9	140	120,616,026	165
2800	240	475.4	140	176,653,822	242
3000	250	486.8	140	254,986,292	349
3500	270	513.3	140	583,201,194	799
4000	290	550.9	140	1,754,925,206	2,404



図－8　等価係数と設計支間の関係

表－3　等価押抜きせん断耐荷力比から算定

支間 (mm)	床版厚 (mm)	押抜きせん断耐荷力 (kN)	等価押抜きせん断耐荷力比	等価押抜きせん断耐荷力 (kN)	基準荷重 (kN)	破壊走行回数 (回)	年数 (年)
2000	210	432.0	1.0491	453.2	140	83,759,822	115
2200	220	440.1	1.0297	453.2	140	83,759,822	115
2400	230	453.2	1.0000	453.2	140	83,759,822	115
2600	240	463.9	0.9769	453.2	140	83,759,822	115
2800	240	475.4	0.9532	453.2	140	83,759,822	115
3000	250	486.8	0.9311	453.2	140	83,759,822	115
3500	270	513.3	0.8829	453.2	140	83,759,822	115
4000	290	550.9	0.8227	453.2	140	83,759,822	115

表－4　平準化した押抜きせん断耐荷力と
破壊等価走行回数の関係

支間 (mm)	床版厚 (mm)	押抜きせん断耐荷力 (kN)	等価押抜きせん断耐荷力比	等価押抜きせん断耐荷力 (kN)	基準荷重 (kN)	破壊走行回数 (回)	年数 (年)
2000	210	432.0	1.047	452.3	140	81,216,087	111
2200	220	440.1	1.025	450.9	140	77,355,561	106
2400	230	453.2	1.002	454.1	140	86,468,245	118
2600	240	463.9	0.980	454.4	140	87,341,723	120
2800	240	475.4	0.957	455.0	140	89,055,797	122
3000	250	486.8	0.935	454.9	140	88,723,022	122
3500	270	513.3	0.878	450.8	140	77,123,370	106
4000	290	550.9	0.822	452.8	140	82,728,386	113

基準荷重 P は 140kN（＝ 100kN×(1 ＋ i)：i ＝ 0.40）とする．また，押抜きせん断耐荷力 P_{sx} は表－ 1 に示す結果を適用する．S-N 曲線式の C（0.996）および傾き K（0.06417）は，筆者らが提案する S-N 曲線を用いる．

RC 床版の支間長 2.0m の場合，設計厚が 210mm であり，押抜きせん断耐荷力 P_{sx}（式(6)）は 432.kN である．破壊走行回数 N_f（式(7)）は 39.70×10^6，破壊年数（式(8)）は 54 年となる．一方，支間 4.0m の床版の場合は，床版厚が 290mm，押抜きせん断耐荷力が 550.9kN である．破壊走行回数は 1.754.9×10^6，破壊年数は 2,404 年となり，設計支間 L が長くなることにより，寿命も大幅に延びる結果となる．よって，RC 床版の最小厚は床版支間長 L に応じた厚さとなるように規定されていることから，各設計支間ともに破壊走行回数が平準化されるように押抜きせん断耐荷力式を補正する必要がある．

(3)　押抜きせん断耐荷力の平準化

筆者らはが提案する RC 床版の S-N 曲線式は，寸法の異なる 2 タイプのモデル化した RC 床版供試体から評価したものである．そこで，破壊回数を平準化するためには，押抜きせん断耐荷力を等価換算する必要がある．そこで，筆者らが実験に用いた支間 2.4m の床版の押抜きせん断耐荷力 $P_{sx2.4}$ ＝ 453.2kN を基準に，支間 2.0m から 4.0m までの押抜きせん断耐荷力との比（以下，押抜きせん断耐荷力比 $P_{sx}/P_{sx2.4}$ とする.）を求める．たとえば，支間 2.0m の床版の場合の押抜きせん断耐荷力 P_{sx} ＝ 432.0kN である．また，床版支間 2.4m の押抜きせん断耐荷力 $P_{sx2.4}$ ＝ 453.2kN であり，RC 床版の押抜きせん断耐荷力比 $P_{sx}/P_{sx2.4}$ は 1.0491 となる．ここで，押抜きせん断耐荷力比を適用して算出した押抜きせん断耐荷力を等価押抜きせん断耐荷力と定義する．一方，支間 4.0m の床版の押抜きせん断耐荷力 P_{sx} ＝ 550.9kN であり，押抜きせん断耐荷力比は 0.823 となり，これを乗じると等価押抜きせん断耐荷力は，453.2kN となり，支間長 2.0m ～ 4.0m で設計された破壊走行回数は 83.759×10^6，破壊にいたる年数は 115 年となる．ここで，等価押抜きせん断耐荷力比から算定された破壊走行回数を表－ 3 に示す．

以上より，押抜きせん断耐荷力比 $P_{sx}/P_{sx2.4}$ と設計支間 L の関係を図－ 8 示す．図－ 8 に示すように，各床版支間の押抜きせん断耐荷力比 K_x と床版支間 L の関係を線形近似している．よって，床版支間 L を変数とする線形近似式は式(10)として与えられ，これを等価押抜きせん断係数 K_x と定義する．

$$K_x = -0.1125L + 1.272 \qquad (10)$$

ここで，K_x：等価低減係数，L：床版支間

以上より，等価押抜きせん断係数 K_x を適用して算出した等価押抜きせん断耐荷力式を式(11)として与える．

$$P_{sx} = f_{cv0}\{2(B + 2a)a + 2(A\times a)\}_x + f_t\{4(2d_d + B)C_x\}K \qquad (11)$$

次に，等価押抜きせん断耐荷力式を式(11)から得られた平準化した等価押抜きせん断耐荷力と破壊等価走行回数の関係を表－ 4 に示す．表－ 4 より，支間 2.0m

の RC 床版の等価押抜きせん断係数 K_x は，1.047，等価押抜きせん断耐荷力 432.0kN，破壊走行回数は 81.216×10^6，1 日 1 方向あたりの計画交通量を 2000 台とした場合の破壊に至る年数は 111 年となる．また，支間 4.0m の床版の場合の等価押抜きせん断係数 K_x は 0.823，この係数を乗じて等価押抜きせん断耐荷力 452.8kN，破壊走行回数は 82.728×10^6，破壊に至る年数は 113 年となり，ほぼ平準化される結果となった．

(3) RC 床版の健全度評価および破壊年数の算定

道示の規定に基づいて設計された RC 床版の諸元を基に算定された押抜きせん断耐荷力に，本提案する等価押抜きせん断係数 K_x を乗じることで支間長 4.0m までの押抜きせん断耐荷力が平準化され，これを筆者らが提案する S-N 曲線式に適用することで破壊走行回数が算定される．これを，RC 床版の 1 日 1 方向あたりの計画交通量で除することで，破壊までの年数が算定できる．また，RC 床版の劣化課程に達するまでの健全度評価においては，玉越ら[2]らは破壊走行回数 N_f に疲労損傷度 D を乗じることで健全度ランクおよび劣化過程ごとの走行回数および設計時の計画交通量で除することで年数が算定可能となる．ここで，各劣化過程に達する時期の走行回数を式(12)として与える．

$$N_D = N_f \cdot D \tag{12}$$

ここで，N_D：各劣化過程に達する時期の走行回数，D：疲労損傷度

1 日 1 方向あたりの大型車両の計画交通量を 2000 台とした場合の支間長 2.0m の RC 床版の破壊走行回数は 81.216×10^6 回であり，破壊年数は 111 年となる．ここで，健全度ランクⅢおよび劣化過程が進展期の走行回数は 16.545×10^6 回～ 40.608×10^6 回，年数は 22.3 年～ 55.6 年となる．また，健全度ランクⅣ，加速期（前期）の走行回数は 40.608×10^6 回～ 64.973×10^6 回，年数は 55.6 年～ 88.8 年となる．なお，道示に規定する床版厚に比して設計厚が厚い場合は，押抜きせん断耐荷力が向上することから寿命および健全度も併せて向上する．また，道示の規定厚に比して，上面損傷による上面のスケーリング，あるいはかぶり不足などにより床版厚が薄い場合は，押抜きせん断耐荷力が不足し，寿命および健全度も低下することになる．また，コンクリートの圧縮強度が押抜きせん断耐荷力に大きく寄与することから，この影響においても寿命および健全度が異なるものとなる．

以上より，設計支間に比例して床版厚や曲げモーメントの増大され，併せて鉄筋量が多く配置されることから，支間長 L に対応できる押抜きせん断耐荷力の平準化が図られる結果となった．なお，適用道示は昭和 55 年，平成 6 年改定の道示で基準で設計された RC 床版を対称とする．

5. まとめ

(1) 押抜きせん断耐荷力は，床版支間に比例して床版厚が厚くなることから支間 2.0m と支間 4.0m では，耐荷力が 1.28 倍，破壊走行回数が 44 倍となり，寿命推定に差異が生じる．

(2) 平成 6 年改訂の道示の基準に基づいて設計支間 2.0m ～ 4.0m までを設計し，それぞれの押抜きせん断耐荷力を算定し，筆者らがモデル化した床版支間 2.4m を基準に，支間 2.0m ～ 4.0 までの押抜きせん断耐荷力を平準化するために補正し，平成 8 年改定の道示で設計された RC 床版の寿命は 100 年であることから，この年数に近似するために補正係数，すなわち等価走行係数を評価し，これを適用することでほぼ平準化された押抜きせん断耐荷力を算定できることがわかった

(3) 本提案する平準化した押抜きせん断耐荷力を用いて算定された破壊走行回数に，玉越らによる疲労損傷度を適用することで RC 床版の健全度ランクおよび劣化過程ごとの走行回数が算定されることから，RC 床版の補強時期の推定およびライフサイクルコストの算定に大きく寄与するものと考えられる．

参考文献

1) 国土技術政策総合研究所：道路橋床版の疲労耐久性に関する検討業務報告書，2003.
2) 玉越隆史，大久保雅憲，渡辺陽太：道路橋の計画的管理に関する調査研究, 国総研資料, 第 523 号, 2009.
3) 日本道路橋会：道路橋示方書・同解説 I，II，III, 2004.
4) 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，No. 348/ V-1, pp. 133-141, 1984.
5) 阿部忠，木田哲量，高野真希子，川井豊：道路橋RC床版の押抜きせん断耐荷力および耐疲労性の評価，土木学会論文集 A1，pp.39-54，2011.1
6) 松井繁之：道路橋床版　設計・施工と維持管理，森北出版，2007.
7) (社) 土木学会性能照査設計分科会：道路橋床版の性能照査型設計，道路橋床版の設計の合理化と耐久性の向上，pp. 65-93, 2004.
8) 阿部忠，木田哲量，水口和彦，川井豊：輪荷重走行疲労実験における車輪寸法がRC床版の耐疲労性に及ぼす影響および評価法，構造工学論文集，Vol.57A，pp. 1305-1315 (2011.3)