

移動輪荷重下におけるRC床版の押し抜きせん断耐力

Punching shear strength of RC slabs under a moving load

北海道大学工学部土木工学科 ○学生員 佐倉圭太郎 (Keitaro Sakura)
北海道大学大学院工学研究科 正会員 上田多門 (Tamon Ueda)

1. まえがき

近年、橋梁の床版に関する様々な実験が行われ、特に疲労耐久性を確認する試みが行われている。従来の定点載荷による疲労試験では実橋の床版の疲労破壊を再現できず、松井らの研究により、輪荷重移動載荷疲労試験機によって実橋床版の疲労損傷の状況を再現できることが確認された。松井らは多くの RC 床版の試験結果から、供試体の大きさや寸法を無次元化することにより統一された S-N 曲線を提案し、これによって RC 床版の実験室レベルでの疲労寿命の予測が可能となってきた。

本研究では、押し抜きせん断破壊が生じる時、床版は主鉄筋方向に梁状化し、梁としての押し抜きせん断耐力が疲労耐久性に影響を及ぼすという点に注目し、棒部材のせん断耐力算定式をもとにして、床版の押し抜きせん断耐力算定式とそれに基づく S-N 曲線を求めることを目的とする。

2. 押し抜きせん断耐力算定式の提案

輪荷重走行試験では、数種類の押し抜きせん断耐力算定式が提案されているが、今回はその一つである松井式¹⁾を比較、参考の対象として取り上げる。

(1) 松井による押し抜きせん断耐力算定式

松井は、RC 床版の終局状態において、主鉄筋方向のせん断力が床版の挙動に対して支配的であるとして、はりのせん断 P_{sx} を提案している。

$$P_{sx} = 2\tau_{s\max} X_m B + 2\sigma_{t\max} C_m B \tag{1}$$

$$B = b + 2d_d$$

$$\tau_{s\max} : \text{コンクリートの最大せん断応力度 (kgf/cm}^2\text{)}$$
$$= 0.252\sigma_{ck} - 0.000246\sigma_{ck}^2$$

$$\sigma_{t\max} : \text{コンクリートの最大引張応力度 (kgf/cm}^2\text{)}$$
$$= 0.583(\sigma_{ck})^{2/3}$$

$$E_c : \text{中立軸を算出する際のヤング係数 (kgf/cm}^2\text{)}$$
$$= 210,000 + 900(\sigma_{ck} - 300)$$

$$X_m : \text{主鉄筋断面の中立軸距離 (cm)}$$

$$C_m : \text{主鉄筋のかぶり深さ (cm)}$$

$$b : \text{載荷板の配力鉄筋方向の辺長 (cm)}$$

$$d_d : \text{配力鉄筋の有効高さ (cm)}$$

著者は、この式(1)の適合性を調べるために過去の論文から表 1 に表わされる 4 つの床版供試体、DR²⁾、RC39³⁾、IS⁴⁾、IR⁴⁾

名称	寸法 (cm×cm)	板厚 (cm)	支間 (cm)	載荷板 寸法 (cm×cm)	上段:橋軸直角方向 下段:橋軸方向 (cm)		
					径	有効高さ	間隔
DR	200×300	19	180	30×12	D16	3	18
					D16	16	9
					D13	4.45	40
					D13	14.55	25
RC39	280×450	19	250	50×20	D16	3	30
					D16	15.7	15
					D10	4.3	30
					D13	14.3	30
IS	90×310	7.2	80	15×8	D6	1.6	—
					D6	6.2	5
					D6	1	—
					D6	5.6	5
IR	90×310	7.2	80	15×8	D6	1.6	10
					D6	6.2	5
					D6	1	10
					D6	5.6	5

表 1 供試体の諸元

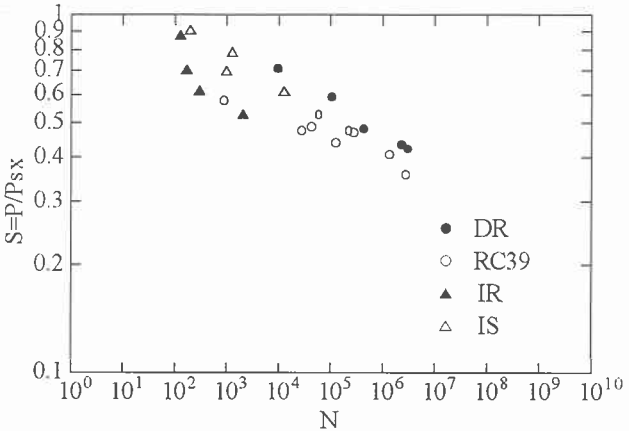


図 1 松井式による S-N 曲線

を採用し、図 1 の S-N 曲線を作成した。グラフは全体的にまとまっているが、IS と IR に着目すると、圧縮筋を有している IR の方が明らかに有していない IS よりも下方に位置しており、圧縮筋による影響の考慮が足りないように思われる。また、部分的にばらつきがあり、特に走行回数が少ない段階での縦軸 P/P_{sx} では 2,3 割のばらつきを持っている。

(2) 棒部材のせん断耐力式

著者は、乾燥収縮や損傷の進行により RC 床版が主鉄筋方向に梁状化する幅から耐力を求めている式(1)の考え方にもとづき、次に示す棒部材のせん断耐力式⁵⁾を床版の押し抜きせん断耐力算定式に適用することで、より精度の高い算定式を提案できないかと考えた。

$$V_c = 0.94 f_c' (100 \rho_t)^{1/3} (d/100)^{-1/4} (0.75 + 1.4d/a) b_w d$$

f_c' : コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm²) (2)
 ρ_t : 引張鉄筋比
 a : 載荷板から支点までの距離 (cm)
 b_w : 幅 (cm)
 d : 有効高さ (cm)

この式(2)で b_w を松井式と同様 $B(=b+2d_d)$ とおき、また、せん断耐力式を適用するため、縦軸を $P/2V_c$ としてS-N曲線を作成した。その結果、 $2V_c$ の数値が小さいため、全体的に上方に位置するグラフとなった。まとまりに関しても松井式と比較して明らかにばらついており、この状態で適用することは困難であった。そこで、式(2)を変形しようと考えた。

(3) 著者が提案する押し抜きせん断耐力式

理想的なグラフを作るための必要条件として、第一にグラフ全体を下方に移動させること、第二にDR、RC39の二つのグラフとIS、IRの二つのグラフを近づけること、そして第三にISとIRを近づけることがあげられる。

まず、式(2)で V_c の数値の大きさに最も影響を与えている梁状要素の幅 $b_w(=b+2d_d)$ を大きくすることでグラフ全体を下方に移動させたい。また、床版厚の大きいDR、RC39のグラフをより下方に移動させ、床版厚の小さいIS、IRに近づけるために、配力鉄筋の有効高さ d_d が大きいほど V_c が大きくなるという関係を築きたい。そこで、押し抜きせん断におけるコーン状の破壊面が直線的な一次関数ではないと仮定し、 d_d をある定数で累乗しようと考えた。そして、 $b_w = b + 2d_d^{3/2}$ とすると、計算上、最適な結果が得られることが分かった。この根拠として、コンクリートの破壊面は引張鉄筋のせん断抵抗により、かぶり領域では引張鉄筋に沿った形でより外側へ拡張し、床版厚が大きいものほどその影響が大きいということなどが考えられる。

次にISとIRを近づけたいのだが、ここで重大な問題が浮上する。この2つの供試体の相違点は、IRが他の2つの供試体同様、圧縮筋を有しているのに対し、ISは唯一有していないという点のみである。しかし、式(2)では、圧縮筋の影響がまったく考慮されておらず、この問題を解決するには、式(2)へ新たに圧縮筋に関する要素を加える必要がある。著者はISとIRを近づけるため、式(2)の引張鉄筋比を参考に、圧縮筋を多く有する床版の方が、 V_c が小さくなるという関係を築き、さらに圧縮筋が含まれない場合を考慮して、 $(1+100\rho_t)^{-1/2}$ を提案した。圧縮筋が多くなるほど疲労寿命が短くなる原因として、①圧縮筋の存在によりコンクリートの有効せん断断面が減少する、②圧縮筋の拘束によりコンクリートの乾燥収縮による引張応力または初期ひび割れが顕著になる、などが知られており、式(1)でも主鉄筋断面の中立軸 X_m の中で考慮されている。また、元としている梁の静的せん断耐力に関する論文⁹⁾においても、せん断力がトラス的機構で伝達される $a/d \geq 3$ の場合では、圧縮筋があることによって耐力も低下し、せん断ひび割れ幅も急激に拡大すると

いう実験結果が得られている。以上の点に加え、松井式では考慮されていないせん断スパン比の影響を梁のせん断と同様に考慮し、次式を提案する。

$$V_c = 0.94 f_c'^{1/3} (100 \rho_t)^{1/3} (1 + 100 \rho_t)^{-1/2} (d/100)^{-1/4} (0.75 + 1.4d/a) b_w d$$

$$b_w = b + 2d_d^{3/2}$$

(3)

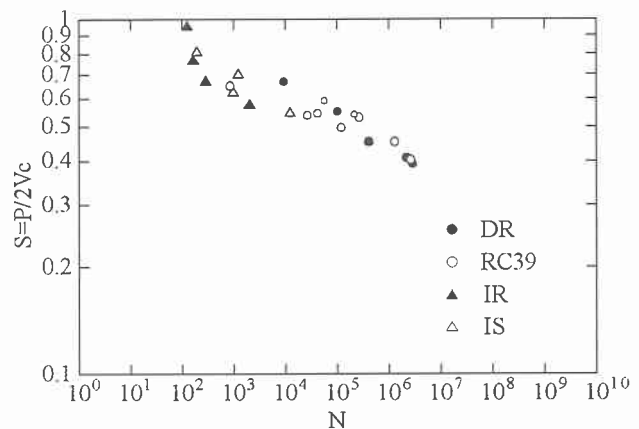


図3 著者が提案する押し抜きせん断耐力式によるS-N曲線

3. あとがき

図3から分かるように著者の提案する式(3)は松井式と比較して、グラフのまとまりの面からは優れているといえるだろう。しかし、現段階では4つの供試体に当てはまる式を作ったにすぎず、今後、さらに多くのデータについてもこの式が適用できるか否かを検証していきたい。

参考文献

- 1) 松井繁之：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報告集 9-2、pp.627-632、1987.
- 2) 前田・松井：輪荷重動移動装置による道路橋床版の疲労に関する研究、第6回コンクリート工学年次講演会論文集、pp.221-224、1984.
- 3) 土木学会・鋼構造委員会・鋼橋床版の調査研究小委員会：道路橋床版の新技术と性能照査型設計、pp.15-20、平成12年10月.
- 4) 園田・堀川：輪荷重の反復作用下での道路橋RC床版の低サイクル疲労特性、土木学会論文集 第390号/V-8、pp.97-106、1988年2月.
- 5) 二羽・山田・横沢・岡村：せん断補強筋を用いないRCはりのせん断強度式の再評価、土木学会論文集 第372号/V-5、pp.167-176、1986年8月.
- 6) 沢村・丸山・前川：鉄筋コンクリート単純梁のせん断ひびわれ性状、第6回コンクリート工学年次講演会論文集、pp.481-484、1984.