

鉄筋コンクリート道路橋床版のせん断に対する安全度の検討

北海道大学 正員 藤田 嘉夫
 北海道開発局土木試験所 〇角田与史雄
 井 藤 昭夫

1. ま え が き

道路橋床版として鉄筋コンクリートスラブが一般に広く使用されている。橋床版のように集中的な荷重の作用を受ける鉄筋コンクリートスラブの破壊型式としてありうる典型的なものとしては、降伏線型の曲げ破壊、鉄筋またはコンクリートの曲げ応力による疲労破壊、押抜きせん断型の静的または疲労破壊、およびこれらの複合型の破壊などがある。現在の橋床版の設計においては、所定の厚さを持つスラブとして曲げに対する安全性を保證された床版は、せん断に対する安全性も検討する必要がないとされている。ところで、鉄筋コンクリートスラブの押抜きせん断耐力に関する研究は、曲げ耐力に関する研究に比べて著しく立ち遅れており、とくに疲労押抜きせん断耐力に関してはほとんど未知の分野と言っても過言でなからう。さらに、一般に構造安全性について論ずる場合には、単に部材の耐力の期待値や安全側に設定された特性強度だけでなく、耐力の因襲的な変動についての情報も不可欠であるが、この点についての有用なデータは非常に少ない現状にある。従って、橋床版がせん断に対して実際にどの程度の安全性を有しているかを知ること、より合理的な設計を得る上からも、また、既設の床版の維持管理面からも興味ある問題であろう。著者らは鉄筋コンクリート橋床版の耐力に関して研究中であるが、押抜きせん断耐力について現在までに得られたデータをもとに、その安全性について予備的な検討を試みた。本文はその概要をまとめたものである。

2. 輪荷重に関する仮定

実測輪荷重の大きさに関する調査は最近各地で行なわれるようになったが、ここではさきに建設省が全国17地点における測定結果の集計として報告しているデータを用いることにする(文献1)の表-12)。その累積分布は図-1に示すとおりである。いま、実際とは異なるが、輪荷重が全くランダムな確率変数として図-1の分布関数が得られたと仮定すれば、総輪荷重数 n 個当りの最大値 Q_{max} に対する分布関数 $F_n(x)$ ははじめの分布関数 $F(x)$ より、 $F_n(x) = \{F(x)\}^n$ として得ることができる。さらにここでは大ざっぱな近似ではあるが、 $F(x) = 1 - A e^{-Bx}$ を上記のデータの末端部に当てはめ、さらに近似的に x_{max} の中央値と期待値に、正規分布の $\pm \sigma$ に対応する超過確率に対して得られる x_{max} の左右の偏差の平均値とその標準偏差に選べば、図-2に示す結果となる。

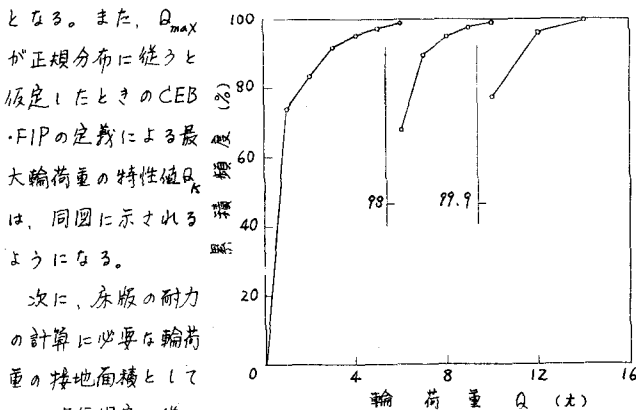


図-1

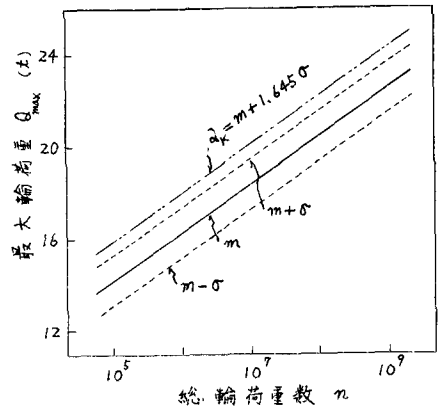


図-2

次に、床版の耐力の計算に必要な輪荷重の接地面積としては、現行規定に従って50cm X 20cmと

標準値として選んだが、5t未満の輪荷重はシングルタイヤ、12t以上は2軸ダブルタイヤを想定し、さらに舗装による荷重分配の影響も考慮して、輪荷重接地周長 b_0 を次のように仮定する； $Q < 5t$ に対して $b_0 = 105\text{ cm}$ ， $5t \leq Q < 12t$ に対して $b_0 = 130\text{ cm}$ ， $Q \geq 12t$ に対して $b_0 = 180\text{ cm}$ 。

3. 床版の耐力に関する仮定

鉄筋コンクリートスラブの静的押抜きせん断耐力については、単独支持版を対象として得たものではあるが、著者らの行った59枚の模型スラブの実験データと、過去に海外で報告されている実験データの中から有用なものとして選んだ54個のデータ、合計113個の統計的解析によって得た次式を用いる。²⁾

$$P = 0.674 (b_0 + 3\pi d) \sqrt{\sigma_{CB}} (1 + 0.5 \alpha \sigma_{sy} / \sqrt{\sigma_{CB}}) / (1 + d/20) \quad (1)$$

ここに d はスラブ有効厚、 σ_{CB} はコンクリート圧縮強度、 α は主鉄筋および配力鉄筋に対する鉄筋比の平均値を表わす。なお、上式の適用範囲は $\alpha \sigma_{sy} / \sqrt{\sigma_{CB}} \leq 3.33$ であり、これを満たす上記のデータ77個に対する破壊荷重の測定値/計算値の比のばらつきから上式による推定の不確実性を見積れば、変動係数は10.0%である。また、その比の分布は、図-3の正規確率紙上の関係に見られるように、ほぼ正規分布に従うとみなすことができる。

鉄筋コンクリートスラブの疲労押抜きせん断耐力については、著者らの行った模型スラブの実験結果を使用する。それはスパン100 cm，厚さ10 cm，主鉄筋比0.988%，配力鉄筋比0.678%，載荷辺長10 cmの一方方向スラブの定荷重繰り返し載荷によるもので、これより得られた繰り返し上限荷重/静的耐力の比 R と破壊回数 N との関係は図-4に示すとおりであり、実用的でかつ実験結果との適合性の良い関係として次式を得た。

$$\log N = A - BR \quad (2)$$

$$A = 10.90, \quad B = 8.94$$

実験値の $\log N$ の上式からの偏差は、 R が大きいほど大きくなる傾向が見られたが、 N の小さいものは実験技術上の誤差が入り易いことを考慮してこれを一定とみなせば、 $\log N$ の偏差に対する標準偏差（ A の標準偏差に相当する）は0.55であった。また、その分布を正規確率紙上に描けば図-5に示すとおりである。これより多少の相違は覚悟することにして以下では $\log N$ が正規分布に従って変動すると仮定する。

上記と同じ諸元をもつ模型スラブ6枚について異なる荷重レベルの組合せ載荷を行なった。得られた累積損傷 $D = \sum (n_i / N_i)$ の変動は $\log N$ で表わして $-0.84 \sim 0.77$ ，平均0.018（ $D = 1.04$ ），標準偏差0.52であり、Minerの仮説が定荷重下におけると同じ程度のはばつきをもって適用しうることが示された。

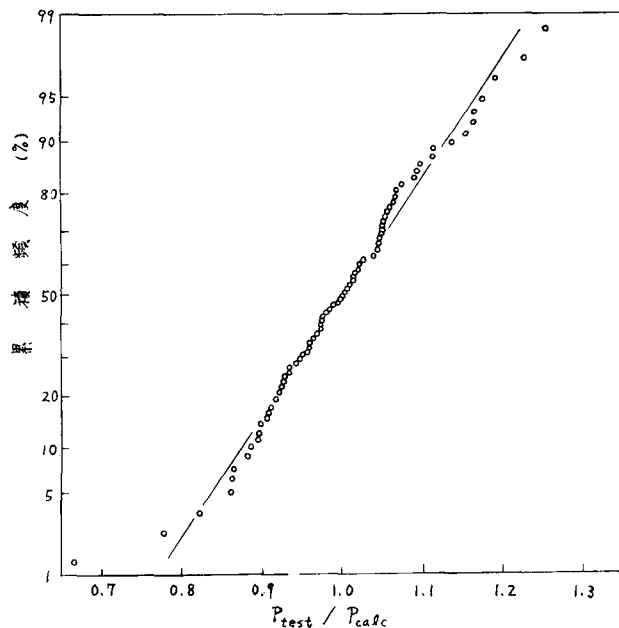


図-3

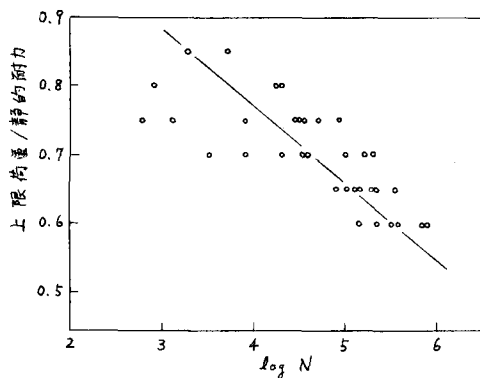


図-4

次に、静的耐力についてCEB-FIPの定義による特性値を求めれば、次式のようになる。

$$P_k = 0.563 (b_0 + 3\pi d) d \sqrt{\sigma_{CB}} (1 + 0.5 \gamma \sigma_{sy} / \sqrt{\sigma_{CB}}) / (1 + d/20) \quad (3)$$

200万回疲労強度についても同様に特性値を定めれば

$$R_{200K} = 0.447, \quad P_{200K} = 0.447 P \quad (4)$$

となる。

4. モデル床版の見かけ上の安全率

いま、橋床版として連続版のスパン中央部を取り上げ、表-1に示す8種のモデル版を考える。ここにCFシリーズはCシリーズに対して活荷重曲げモーメントを1.2倍に割増しで設計したものである。なお、鉄筋はSD24、コンクリートは $\sigma_{CK} = 240 \text{ kg/cm}^2$ としている。

図-6はこれらのモデル床版に対する特性強度を示したものである。これらの値を用いたときの、設計活荷重 $Q_0 = 8 \text{ t} \times (1+\alpha)$ に対する比(安全率)は図-7および8に示しており、静的耐力に対して約2.5以上、200万回疲労強度に対して約1.3以上の安全率をもっていることが示されている。また、 Q_0 の代りにCEB-FIPの定義に相当するものとして定めた特性荷重 Q_k を用いたときの耐力との比のいくつかの例を図-9~11に示す。以上の5枚の図において、点線は、床版の有効厚が施工上の配筋位置の誤差によって10mm

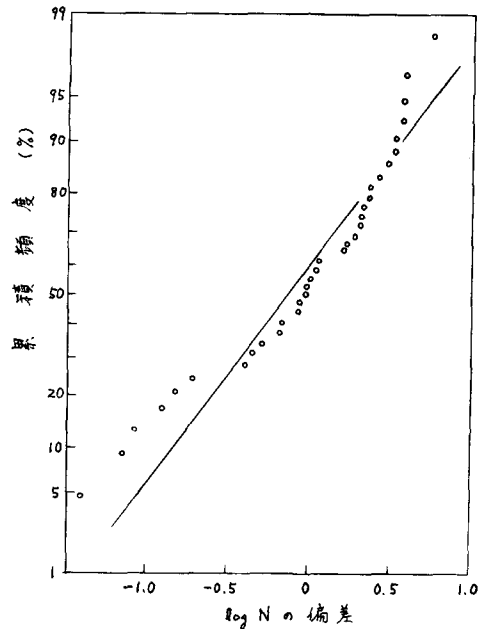


図-5

表-1

床版	スパン (m)	全厚 (cm)	有効厚 (cm)	主筋配比 (%)	配筋率 (%)
C-1	1	16	12	0.708	0.577
C-2	2	17	13	1.053	0.741
C-3	3	20	16	1.022	0.691
C-4	4	23	19	0.990	0.631
CF-1	1	16	12	0.854	0.657
CF-2	2	17	13	1.263	0.931
CF-3	3	20	16	1.213	0.855
CF-4	4	23	19	1.163	0.765

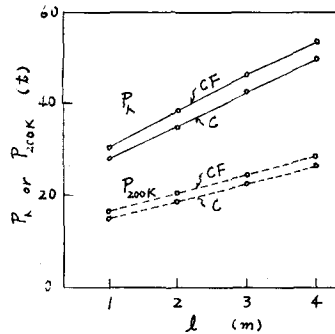


図-6

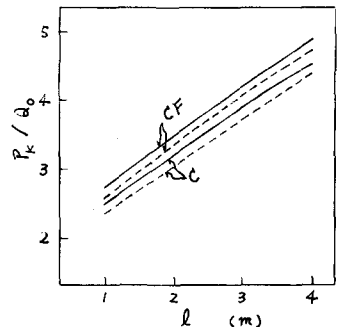


図-7

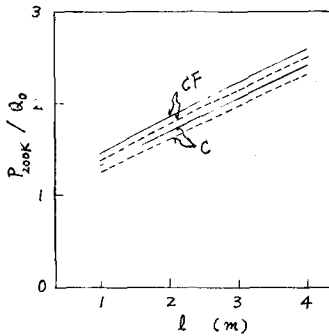


図-8

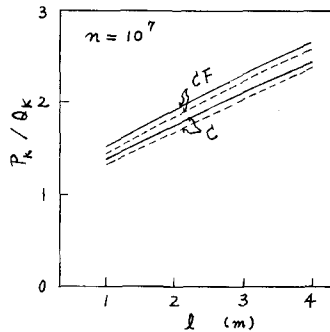


図-9

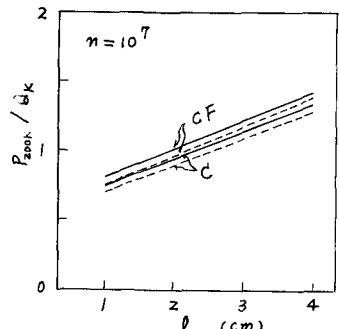


図-10

(許容量の2倍)の低下を見込んだときの値を参考までに示したものである。

5. モデル床版の破壊確率

いま、最大荷重 Q_{max} と耐力 P とが相互に独立した確率変数であるとするは、静的破壊が生ずる確率は

$$q_f = P\{Q_{max} > P\} \quad (5)$$

Q_{max} および P がそれぞれ $N(m_Q, \sigma_Q)$ および $N(m_P, \sigma_P)$ なる正規分布に従うときは、上式は次のようになる。

$$q_f = 1 - \Phi\left\{\frac{(m_P - m_Q)/\sqrt{\sigma_P^2 + \sigma_Q^2}}{\sigma_P}\right\} \quad (6)$$

ここに $\Phi(x) = 1/\sqrt{2\pi} \cdot \int_{-\infty}^x e^{-t^2/2} dt$ を表わす。

総荷重 n 個が作用したときに疲労破壊が生じている確率は

$$q_f = P\{D \geq 1\} \quad (7)$$

疲労強度が(2)式の関係をもち、 $\log N$ の変動が R に関係なく一定で正規分布に従うときは、上式は次のようになる。

$$q_f = 1 - \Phi\left\{\frac{(1/\sigma_{\log N})\{A - \log(\sum_{i=1}^n q_i \cdot 10^{-BR_i}) - \log n\}}{\sigma_P}\right\} \quad (8)$$

ここに q_i は、荷重レベル i に対する総荷重数の確率密度、 R_i は荷重 i と同じ荷重面積に対する静的耐力に対する比を表わす。

上記の仮定に基づくときの(6)式または(7)式による破壊確率を前述のモデル床版に対して計算した結果からいくつかの例を図-12~14に示す。

6. 考察および結論

上記の計算結果の主な点について述べれば、次のとおりである。

1) 疲労破壊確率は静的破壊確率に比べて n に非常に敏感であり、 n が $10^7 \sim 10^8$ 以下では静的破壊が、それ以上では疲労破壊が床版の押抜きせん断に対する安全性にとって卓越的影響をもっている。

2) スパンの増大すなわち版厚の増大は、静的破壊確率に対してはかなりの効果が見られるが、疲労破壊確率に対しては、とくに n の大きな領域においてはそれほど効果がもたらされていない。

3) 有効厚 10mm 程度の低下では、静的および疲労のいずれに対する安全率または破壊確率に対しても著しい影響が見られず、現行の許容誤差 5mm は押抜きせん断耐力から見る限り妥当な値と言えよう。

4) 交通量の多い(1日1000台以上)橋床版に対する活荷重曲げモーメントの割増しは、曲げに対する安全性に対しては直接の影響があると考えられるが、押抜きせん断に対する安全性にとってはそれほど大きな効果が期待できないようである。

5) 疲労破壊に対する見かけ上の安全率を定めようとするときは、最大総荷重の特性値によってではなく、実働荷重レベルに対して定めるべきは意味がないようである。

文 献

1) 設計活荷重に関する研究，土木研究所資料第701号，昭46.11

2) 河田・井藤・藤田，鉄筋コンクリートスラブの押抜きせん断耐力，土論第22号，昭49

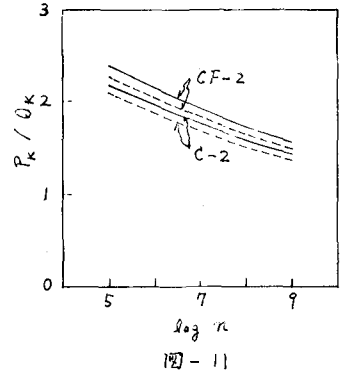


図-11

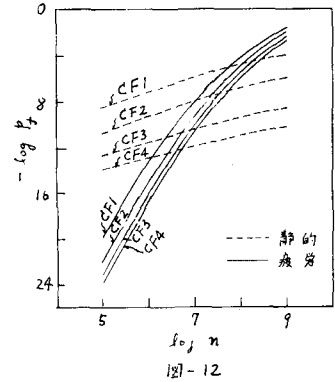


図-12

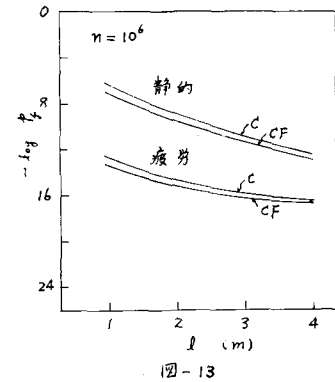


図-13

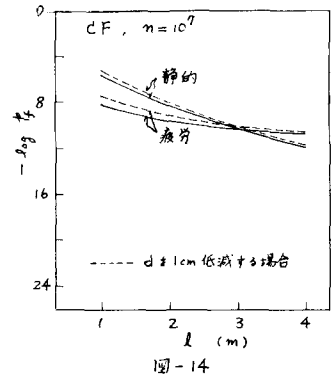


図-14