

論文 偏心載荷した RC 床版の押抜きせん断耐荷力

東山浩士*1・松井繁之*2・伊藤定之*3

要旨：道路橋床版上を走行する車両の位置は完全にランダムなものではなく、車種にかかわらずある確率分布特性を有していることが分かっている。このことから最頻載荷位置は床版中央に限らず、このような位置での疲労耐久性の評価を行うには同位置での押抜きせん断耐荷力の評価が必要である。しかし、RC 床版の押抜きせん断耐荷力に関する既往の研究では床版中央での載荷実験にもとづいた耐荷力算定式が提案されており、載荷位置を変えた実験は非常に少ない。本研究では載荷位置を変えた RC 床版の押抜きせん断耐荷力実験を行い、耐荷力に与える偏心荷重の影響を調べた。

キーワード：RC 床版, 押抜きせん断耐荷力, 耐荷力比, 偏心荷重

1. はじめに

道路橋床版の押抜きせん断耐荷力は耐久性を評価する上で重要な指標であり、多くの研究者が RC 床版の押抜きせん断耐荷力の評価を行ってきた^{1)~3)}。しかし、これらのほとんどが床版中央に載荷した実験結果から押抜きせん断耐荷力算定式を誘導している。実際の床版上における車両の走行位置は車種にかかわらずある確率分布特性を有していることが分かっている⁴⁾。このような調査結果から道路橋の構造形式、特に、主桁間隔の違いにより車両の走行位置は必ずしも床版中央ではなく、主桁に近寄った位置を走行する場合が考えられる。

本研究は載荷位置の違いによる RC 床版の押抜きせん断耐荷力についての基礎的実験であり、また、試験装置の制約から一方向版とするには試験体寸法に限りがあるため、正方形の RC 床版を製作し、4 辺単純支持した状態で載荷位置を変えた押抜きせん断耐荷力実験を行った。また、床版支間長の影響については文献⁵⁾で調査されているが、床版の有効高さに対する支間長

の比を考えると、道路橋床版ではその影響がほとんど無いと言えるため、本研究では床版支間長を 2 種類とした。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体は表-1 および図-1 (SB15 シリーズ) に示すように、厚さ 10cm の RC 床版で支間長を 150cm および 200cm の 2 種類としている。鉄筋比はすべての試験体で同じとし、引張側鉄筋は D10 を 8cm 間隔で配筋している。各試験体を使用したコンクリートおよび鉄筋の材料特性を表-2 および表-3 にそれぞれまとめてある。

表-1 試験体の種類

試験体	支間長 2L (cm)	偏心量 e (cm)	e/L
SB15-1	150	0	0
SB15-2	150	24	0.32
SB15-3	150	48	0.64
SB20-1	200	0	0
SB20-2	200	32	0.32
SB20-3	200	64	0.64

*1 近畿大学助手 理工学部土木工学科 博 (工) (正会員)

*2 大阪大学大学院教授 工学研究科土木工学専攻 工博 (正会員)

*3 近畿大学大学院 総合理工学研究科環境系工学専攻

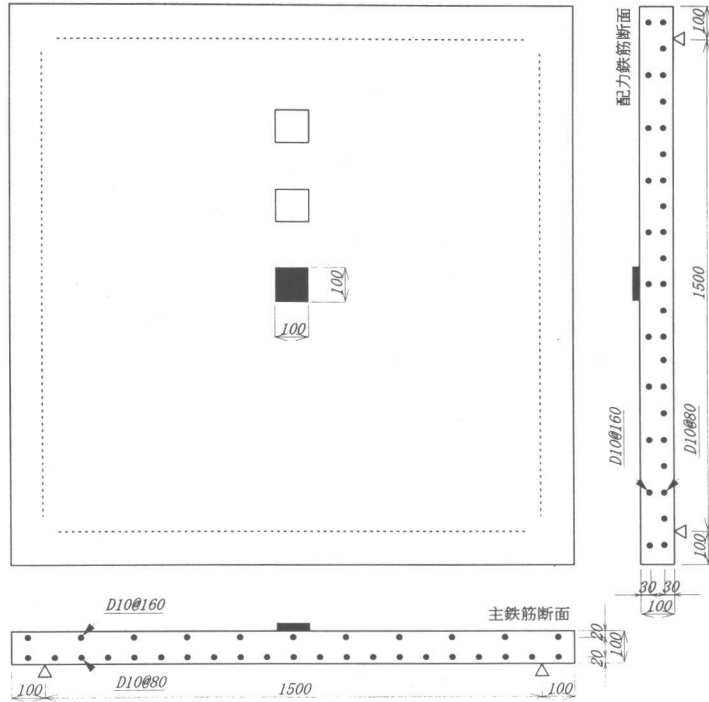


図-1 試験体 (SB15 シリーズ)

表-2 コンクリートの材料特性

試験体	f_c (N/mm^2)	E_c (kN/mm^2)	ν_c
SB15シリーズ	35.2	26.1	0.201
SB20シリーズ	33.2	28.2	0.184

表-3 鉄筋の材料特性

試験体	f_y (N/mm^2)	f_u (N/mm^2)	E_s (kN/mm^2)
D10	391	526	187

2.2 実験方法

支持条件は4辺単純支持とし、荷重は変位制御で行った。荷重位置は図-1に示すように床版中央から主鉄筋に沿って支持辺へ向かって偏心させた。表-1中の偏心量 e は床版中央から荷重位置までの距離を示している。荷重板は引張側鉄筋間隔から引張側鉄筋部でのダウエル破壊に対して、上向きの引張応力の欠損が生じないと考えられる大きさとした。なお、床版隅角部には荷重中の床版浮き上がりを防止す

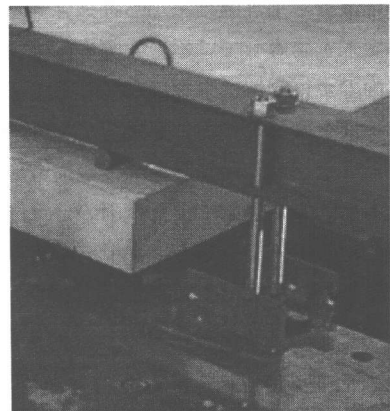


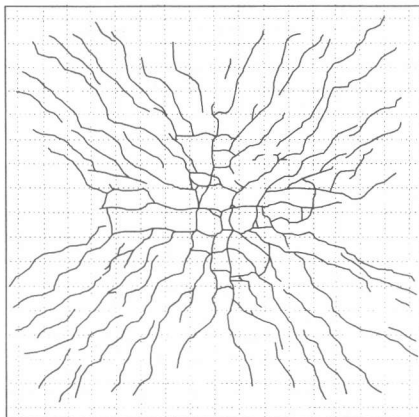
写真-1 浮き上がり防止装置

るため、写真-1に示す装置を取り付けた。

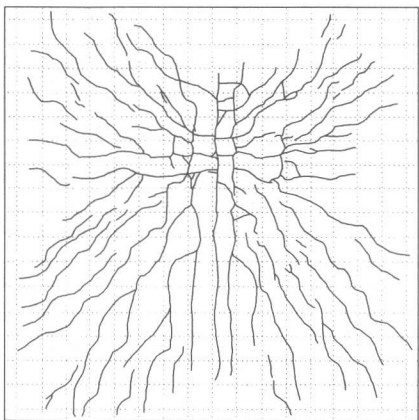
3. 実験結果と考察

3.1 ひび割れ性状

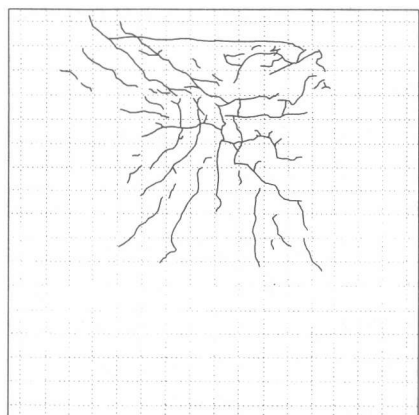
実験終了後の床版下面におけるSB15シリーズのひび割れを図-2に示す。SB20シリーズについてはSB15シリーズと同様のひび割れ性状



(a) SB15-1



(b) SB15-2

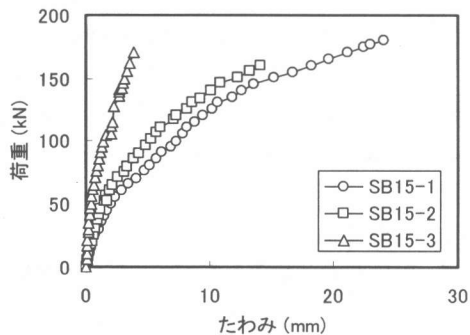


(c) SB15-3

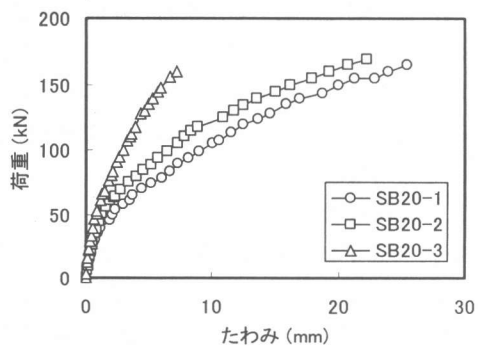
図-2 最終ひび割れ性状

表-4 破壊荷重

試験体	P_{exp} (kN)	P_v (kN)	P_y (kN)
SB15-1	185	171	237
SB15-2	163	—	—
SB15-3	191	—	—
SB20-1	168	162	225
SB20-2	172 (138)	—	—
SB20-3	167	—	—



(a) SB15 シリーズ



(b) SB20 シリーズ

図-3 荷重-たわみ

であった。SB15-1 および SB15-2 において載荷点付近では亀甲状のひび割れが観察され、そこから床版隅角部へ向うねじりモーメントによるひび割れの発達しているのが観察される。SB15-3 においては他の試験体と比較してひび割れの発達が少ない。これは載荷位置が支持辺に近いため曲げモーメントおよびねじりモーメントの分布範囲が狭いためである。また、SB15-3 では抜落ちと同時に形成されたと思わ

表-5 降伏荷重

試験体	降伏荷重 (kN)	
	主鉄筋	配力鉄筋
SB15-1	76	76
SB15-2	95	95
SB15-3	126	—
SB20-1	78	78
SB20-2	94	100
SB20-3	107	144

れる支持辺に沿ったひび割れが生じている。載荷位置からの距離からして引張側鉄筋のダウエル力によるはくり破壊には影響を及ぼさない範囲であると考えられる。いずれの試験体においても破壊形式は押抜きせん断破壊であった。

3.2 変形性状

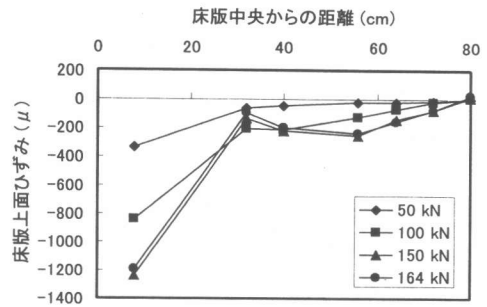
図-3 に荷重と載荷点直下のたわみの関係を示す。また、表-4 には破壊荷重を示してある。SB15-1 と SB15-2 および SB20-1 と SB20-2 の変形性状は同様な傾向を示しており、ひび割れの発達により剛性が低下し、鉄筋の降伏が載荷位置周辺に広がり、ひび割れが十分に発達して破壊に至っている。SB15-3 および SB20-3 は他の試験体と比べて大きな剛性の低下が無いまま押抜きせん断破壊に至っている。

3.3 降伏荷重

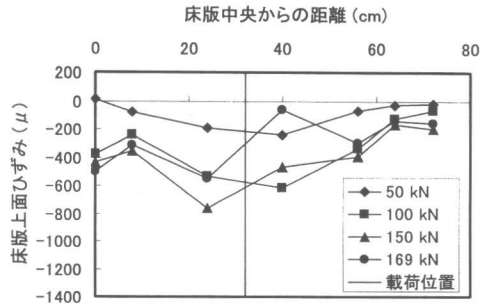
載荷点直下の主鉄筋および配力鉄筋の実測による降伏荷重を表-5 に示す。偏心量 $e/L=0$ の SB15-1, SB20-1 および $e/L=0.32$ の SB15-2, SB20-2 の場合は主鉄筋、配力鉄筋がほぼ同時に降伏荷重に達している。それに比して、偏心量 $e/L=0.64$ の SB15-3, SB20-3 は主鉄筋と配力鉄筋の降伏荷重に差が生じている。これは支持辺に近づくことにより配力鉄筋方向の曲げモーメントが小さくなり、分担断面力が他の試験体と異なっていることによると考えられる。

3.4 コンクリートひずみ

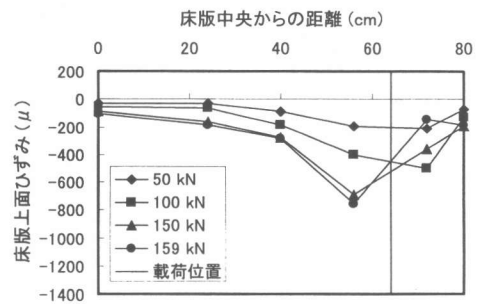
図-4 は床版上面における主鉄筋方向のコンクリートひずみ分布を SB20 シリーズについて示している。SB20-1 では載荷板近傍のひずみが破壊直前に 1200μ 程度に達し、偏心載荷した



(a) SB20-1



(b) SB20-2



(c) SB20-3

図-4 コンクリートひずみ分布

SB20-2 および SB20-3 では破壊直前でも 800μ 程度にしか達していない。破壊直前には短せん断スパン側のひずみが低下し始め、逆に、長せん断スパン側のひずみが増加している。鉄筋のひずみ分布からも同様な傾向が見られ、短せん断スパン側では荷重分配作用が減少し、床版内部ではせん断力が大きく、せん断ひび割れが先行して形成されるためと考えられる。

3.5 押抜きせん断耐力

表-4 には実験値、式(1)の押抜きせん断耐力 $P_v^{(3)}$ および降伏線理論による曲げ耐力 $P_v^{(1)}$ を

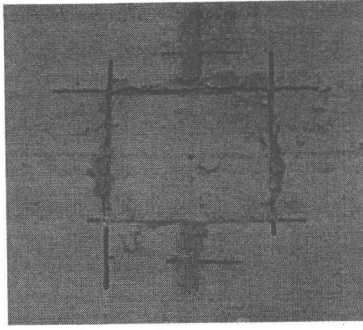
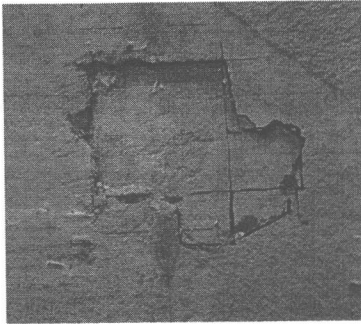


写真-2 床版上面の抜落ち (SB15-1)

短せん断スパン側



長せん断スパン側

写真-3 床版上面の抜落ち (SB20-2)

示してある。

$$P_v = f_{cv} \{ 2(a+2x_m)x_d + 2(b+2x_d)x_m \} + f_i \{ 2(a+2d_m)C_d + 2(b+2d_d+4C_d)C_m \} \quad (1)$$

$$f_{cv} = 0.656 f_c^{0.606} \quad (2)$$

$$f_i = 0.267 f_c^{0.667} \quad (3)$$

ここに、

f_{cv} : コンクリートのせん断強度⁶⁾ (N/mm²)

f_i : コンクリートの引張強度 (N/mm²)

f_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

a, b : 載荷板の主鉄筋, 配力鉄筋方向の辺長 (mm)

x_m, x_d : 主鉄筋, 配力鉄筋に直角な断面の引張側コンクリートを無視した時の中立軸深さ (mm)

d_m, d_d : 引張側主鉄筋, 配力鉄筋の有効高さ (mm)

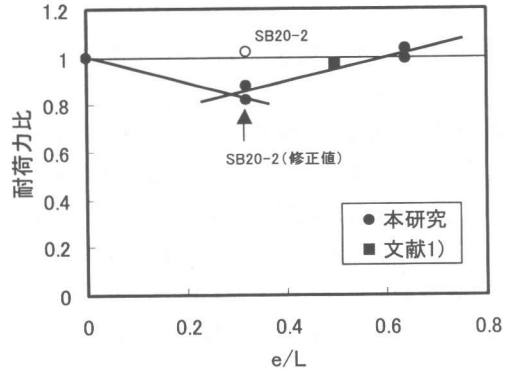


図-5 耐力力比と偏心率

C_m, C_d : 引張側主鉄筋, 配力鉄筋のかぶり深さ (mm)

SB20-2を除く床版では写真-2に示すように実験終了後の床版上面における抜落ちは載荷板と同形状であった。しかし、SB20-2は載荷板と同形状では抜けておらず、写真-3に示すように載荷板より大きな範囲に及んでいた。そこで、押抜きせん断耐力は載荷板辺長に比例するという報告¹⁾があることから、実際の抜落ち面積を計算し、同面積を有する載荷板の辺長を求め、実験値を載荷板 (10cm×10cm) の辺長になるように修正した結果、138kNとなり、この値を修正値として取扱うことにした。

床版支間長に対する床版中央からの偏心率の比 e/L と耐力力比の関係を文献1)の結果も含めて図-5に示す。耐力力比は床版中央での耐力力を基準にしている。図中の○はSB20-2の破壊荷重の実測値を表している。また、修正値は●で表している。全データの傾向からして、SB20-2の修正値は妥当な値を示しているようである。床版中央に載荷した場合に比べて、 $e/L=0.32$ では、SB15シリーズおよびSB20シリーズともに他と比べて耐力力が低下しており、低下率はそれぞれ12%、18%程度であった。文献1)において本研究の試験体と同厚、同鉄筋比の支間長100cmの床版について $e/L=0.50$ の結果が示されている。この場合においても僅かながら耐力力が低下しており、本実験結果と同様な

傾向にあると推察される。また、 $e/L=0.64$ では床版中央に載荷した場合とほぼ同じ耐力比であった。

異方性版理論による解析を行うと、載荷板近傍に生じる最大曲げモーメントは載荷位置の変化とともに減少し、逆に、最大せん断力は増大する。 $e/L=0.30$ 付近からそれらの変化は顕著になる。床版断面に作用するせん断力が偏心量とともに増大することによって耐力比が低下していく。偏心量がある程度大きくなると、短せん断スパン側でせん断ひび割れが先行して形成されるが、曲げモーメントが減少することで中立軸深さが大きくなり、その結果、断面の圧縮域におけるせん断破壊抵抗分が増大すると考えられる。

3.6 耐力比

$e/L=0.32$ 以上の耐力比の増加域に対してはその変化量を推定することができるが、試験体数が少ないことから低下域に対しては変化点が明らかにできていない。本実験結果から判断して、図-5 に示すように $e/L=0.30$ を変化点と仮定すると、低下域および増加域に対して次のような耐力比推定式が提案できる。

低下域について

$$\frac{P_c}{P_v} = -0.52 \frac{e}{L} + 1.0 \quad (6)$$

増加域について

$$\frac{P_c}{P_v} = 0.52 \frac{e}{L} + 0.69 \quad (7)$$

ここに、

P_v : 床版中央における押抜きせん断耐力

e : 床版中央からの偏心量

$2L$: 床版の支持間隔、あるいは主桁間隔

4. まとめ

本研究では、RC 床版の押抜きせん断耐力に与える偏心荷重の影響を調べるため、4 辺単純支持での押抜きせん断耐力実験を行い、以下のような結果を得た。

(1) 床版中央から載荷位置を支持辺へ向かって

偏心させると、ある偏心量までは耐力比が低下し、それ以上の偏心量になると再び耐力比は増加し始める。

- (2) 支間長に対する偏心量の比をパラメータにして耐力比との関係を調べると、ほぼ直線的に耐力比が増減すると言えるが、実験データが少なかったため、耐力比の変化点を明らかにできていない。しかし、本研究では実験結果から変化点を $e/L=0.30$ と仮定し、耐力比推定式を誘導した。
- (3) 本研究は RC 床版の押抜きせん断耐力に与える偏心荷重の影響に関する基礎的実験であったため、今後、耐力比推定式について押抜きせん断耐力に影響する各種構造パラメータに関する実験データを蓄積し、検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 角田与史雄, 井藤昭夫, 藤田嘉夫: 鉄筋コンクリートスラブの押抜きせん断耐力に関する実験的研究, 土木学会論文報告集, 第229号, pp.105-115, 1974
- 2) 小柳 洽: 鉄筋コンクリートスラブの押抜きせん断とその設計上の取扱い, コンクリート工学, Vol.19, No.8, pp.3-13, 1981
- 3) 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/V-1, pp.133-141, 1984
- 4) 研究代表者 福本昤士: 中小スパン橋梁構造における高度技術の開発研究, 大阪大学工学部土木工学科, pp.179-189, 1991
- 5) Lovrovich, J. S. and McLean, D. I.: Punching Shear Behavior of Slabs with Varying Span-Depth Ratios, ACI Structural Journal, V.87, No.5, pp.507-511, 1990
- 6) 東山浩士, 松井繁之, 水越睦視: PC 床版の押抜きせん断耐力算定式に関する検討, 構造工学論文集, Vol.47A, pp.1347-1354, 2001