

プレストレスしたコンクリート床版の押抜きせん断耐荷力

Prediction on Punching Shear Capacity of Prestressed Concrete Slabs

東山浩士*, 松井繁之**

Hiroshi HIGASHIYAMA and Shigeyuki MATSUI

*工修 大阪大学大学院生 工学研究科博士後期課程 (〒565 大阪府吹田市山田丘 2-1)

**工博 大阪大学教授 工学部土木工学科 (〒565 大阪府吹田市山田丘 2-1)

Some formulae predicting punching shear capacities for reinforced concrete slabs have been proposed and those are empirical equations due to complex of failure mechanism. From statistical comparison to experimental results, Matsui's equation agrees well with experimental results for one-way and two-way reinforced concrete slabs. In this papers, modified formulae are derived for the prestressed concrete slabs by expanding Matsui's equation. The factors on the punching shear capacity by prestressing are angle of diagonal cracking plane, ultimate shear strength of prestressed concrete, splitting failure zone of cover concrete by the dowel action on the tension side reinforcements, and depth of neutral axis. From experimental results and FEM analysis, the effect of the angle of diagonal cracking plane is introduced into Matsui's formula. For confirming the property of calculating values, a series of static tests was conducted on simply supported prestressed concrete slabs of 6cm slab thickness prestressed with various levels. Furthermore, two full-size prestressed concrete slabs were verified with the formulae.

key words : punching shear capacity, prestressed concrete slab, prestress levels

1. まえがき

輪荷重のような小さい載荷面積で載荷された鉄筋コンクリート床版 (以下, RC床版) の破壊モードは押抜きせん断破壊であることはよく知られている. このような RC床版の押抜きせん断耐荷力算定式がいくつか提案されているが^{1),2)}, 破壊機構の複雑さから実験式になっているのが現状である. 統計的な比較から, 著者のひとりが提案した評価式が実験結果との整合性がよいという結果が得られている³⁾.

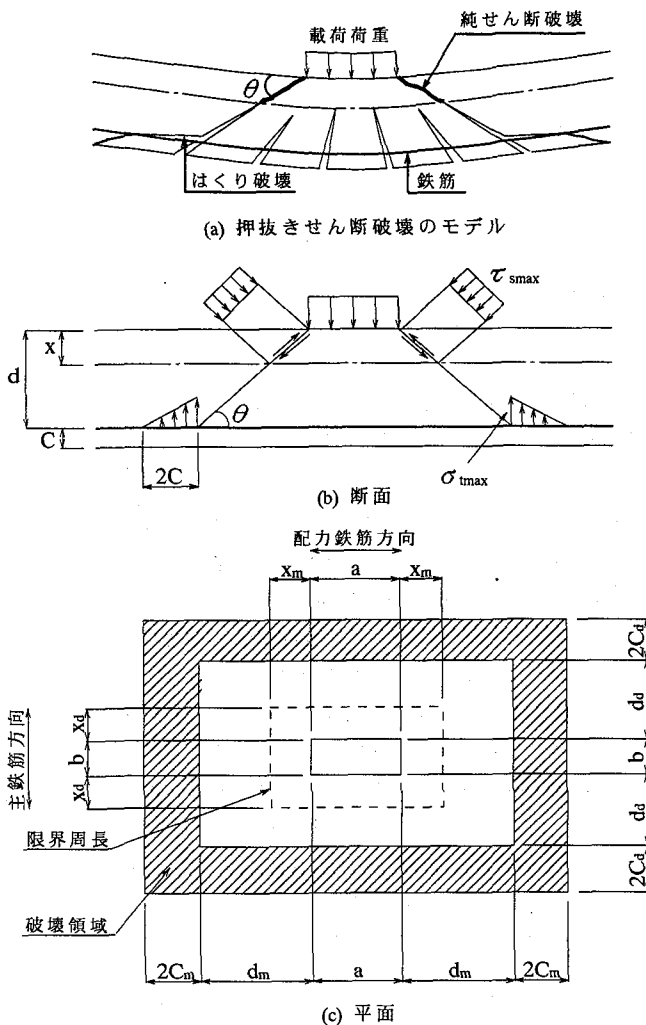
近年, 高耐久性を有するコンクリート床版の開発が盛んに行われており, そのひとつであるプレストレスを導入したコンクリート床版は耐久性向上の信頼性が高いと考えられる. このような観点から, 著者らは外ケーブル方式を合成桁橋に適用し, 鋼桁だけでなく, コンクリート床版にも橋軸方向プレストレスを導入することで, 床版の耐久性向上を図ることができ, 施工の合理化が図れ, 合成桁橋の復権が期待できる工法であるとし, 種々の実験的研究を進めてきている^{3),4)}. この一連の研究成果から, プレストレスした床版 (以下, PC床版) の疲労耐久性を評価するための重要なパラメータである PC床版の押抜きせん断耐荷力を算定する評価式が必要である. プレストレスの影響に関する研究では, 末弘ら⁵⁾, 松井⁶⁾らの

研究が挙げられる. 松井らによる実験結果では, プレストレスによって押抜きせん断破壊面の破壊角度が 45° よりも小さくなるという結果を得ている. しかし, 末弘らのプレストレスの効果を評価する式にはプレストレスによる破壊角度の変化が考慮されていない. このことから, 本研究では, プレストレスによる破壊角度の変化を考慮して, 著者のひとりが提案した RC床版の押抜きせん断耐荷力の評価式を PC床版へも適用できるように拡張を試みた. その妥当性を検討するために, プレストレス量を種々変化させた床版厚 6cm の PC床版の押抜きせん断耐荷力実験を行った. さらに, 他の研究者らが行った PC床版の押抜きせん断耐荷力に関する実験結果^{5),7)}との比較・検討も行った. ただし, 本論文では, 外ケーブル方式による橋軸方向プレストレスを導入した床版に適用するために, PC鋼材が押抜きせん断破壊領域内に配置されていない場合について, 評価式を誘導することとした.

以下に, 評価式の誘導経緯, 実験結果との比較・検討について報告する.

2. プレストレスした床版の押抜きせん断耐荷力

図-1 は著者のひとりが提案した RC床版の押抜きせん



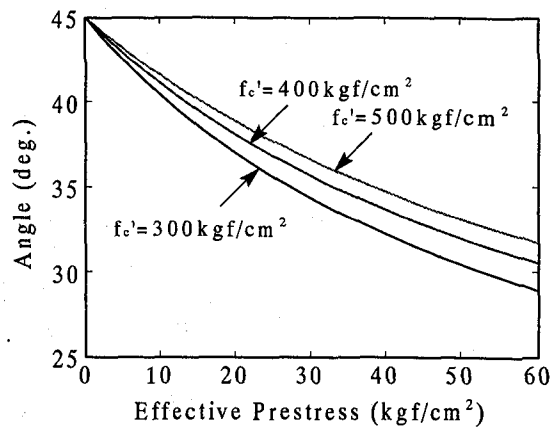
図一 押抜きせん断破壊の力学モデル

ん断破壊の力学モデル²⁾である。RC床版では、押抜きせん断破壊面の破壊角度 θ を 45° とし、圧縮側コンクリート部でコンクリートの純せん断破壊が生じ、引張側鉄筋部でダウエル力によるかぶりコンクリートのはくり破壊が生じると仮定している。この力学モデルから誘導された算定式(松井式)を式(1)に示す。このモデルに対して、プレストレスの導入によって変化するパラメータを挙げ、それぞれについてその影響度を以下に検討する。

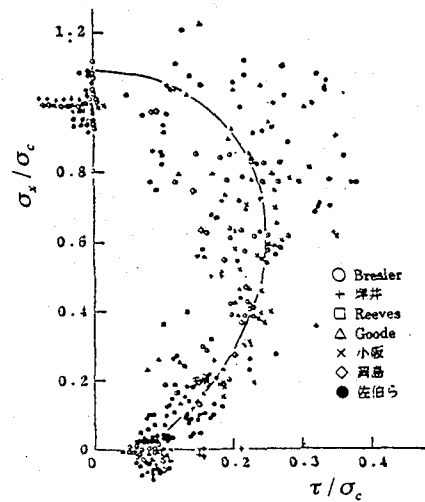
$$P = f_v \{ 2(a + 2x_m)x_d + 2(b + 2x_d)x_m \} + f_t \{ 2(a + 2d_m)C_d + 2(b + 2d_d + 4C_d)C_m \} \quad (1)$$

ここに、

- a, b : 載荷板の主鉄筋、配力鉄筋方向の辺長
- 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中立軸
- d_m, d_d : 引張側主鉄筋、配力鉄筋の有効高さ
- C_m, C_d : 引張側主鉄筋、配力鉄筋のかぶり
- f_v : コンクリートのせん断強度 (kgf/cm²)
- f_t : コンクリートの引張強度 (kgf/cm²)



図一 破壊面の角度変化



図一 3 圧縮応力比とせん断強度比との関係

2. 1 押抜きせん断破壊面の破壊角度

押抜きせん断破壊面の角度は初期せん断ひび割れの角度に等しいと考え、全断面コンクリート有効時の有効プレストレスと輪荷重によるせん断応力とによる主応力作用方向により評価できるものと仮定する。式(2)で表される最大主応力がコンクリートの引張強度に達したときにひび割れが発生するとし、矩形断面部材内のせん断ひび割れ発生応力度を表す式(3)を式(2)に代入し、 S_{cr} についてまとめると矩形断面部材のせん断ひび割れ発生耐力を式(4)⁸⁾のように表すことができる。

$$\sigma_1 = -\frac{\sigma_{pe}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{pe}}{2}\right)^2 + \tau_{cr}^2} \quad (2)$$

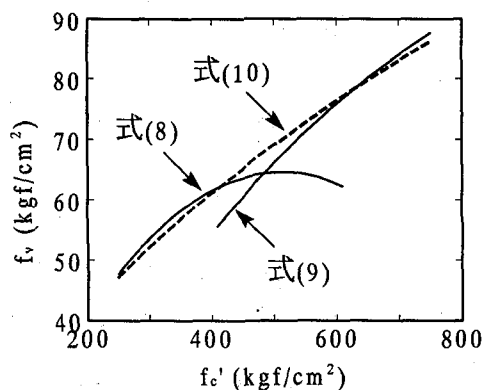
$$\tau_{cr} = 1.5 \frac{S_{cr}}{bh} \quad (3)$$

$$S_{cr} = 0.67bh\sqrt{f_t^2 + f_t\sigma_{pe}} \quad (4)$$

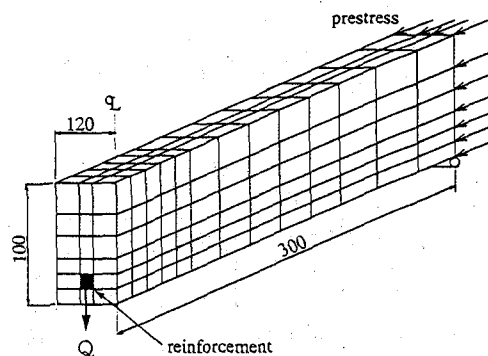
ここに、

σ_{pe} : 有効プレストレス (kgf/cm²)

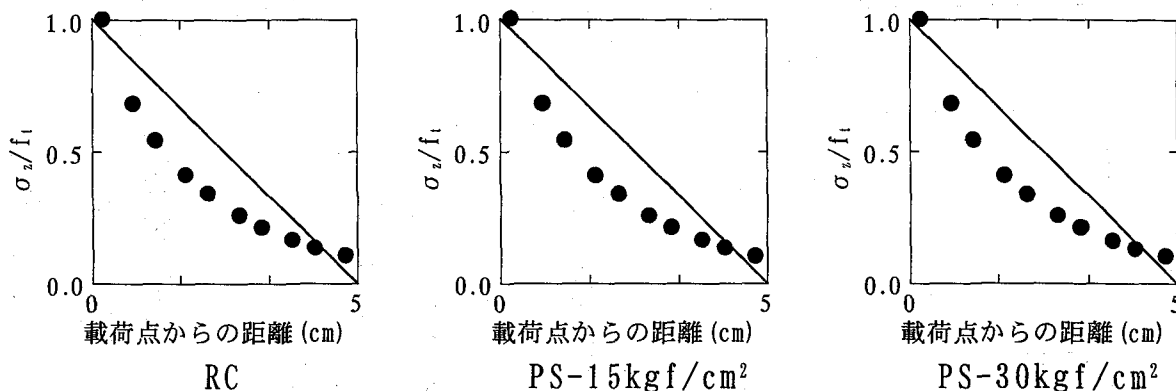
コンクリートの引張強度は次式で計算される。



図一四 コンクリートのせん断強度



図一五 ダウエル力による引張応力解析モデル



図一六 ダウエル力による引張応力分布

$$f_t = 0.583f_c'^{2/3} \quad (5)$$

ここに,

f_c' : コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm²)

式(4)を式(3)に代入すれば, せん断ひび割れ発生応力度は式(6)のように書き換えられる.

$$\tau_{cr} = 1.005\sqrt{f_t^2 + f_t\sigma_{pe}} \quad (6)$$

そして, 破壊角度は次式により算出される.

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{2\tau_{cr}}{\sigma_{pe}} \right) \quad (7)$$

コンクリートの圧縮強度が 300, 400, 500kgf/cm²について, 有効プレストレスと破壊面の角度との関係を図一2に示す. 有効プレストレスが増すにつれて破壊面の角度は 45° から小さくなっていく. ただし, 圧縮強度が増すにつれて, せん断ひび割れ耐力が向上するため, 角度変化は鈍化するようである.

2. 2 コンクリートのせん断強度

プレストレス導入によるコンクリートのせん断強度の変化に関して, 佐伯ら⁹⁾が圧縮とねじりを受けるコンクリ

ートのせん断強度について図一3に示すような実験結果を得ている. この結果から, 圧縮応力の同時作用によりコンクリートのせん断強度が変化することが分かる. しかし, 一般にコンクリート床版に導入されるプレストレス量は圧縮強度の 10%程度であることを考えると, 強度変化は小さいと言え, プレストレス導入によるせん断強度の変化は無視できるとした.

一方, コンクリート自身のせん断強度を算定するための式として, 以下に示す2つの式, 式(8)¹⁰⁾と式(9)¹¹⁾が適用可能と考えられるが, 図一4に示すように, 圧縮強度が 500kgf/cm²付近で不連続となるため, これらを統合した式(10)¹²⁾を提案する.

$$f_v = 0.252f_c' - 0.000246f_c'^2 \quad (8)$$

$$f_v = -264 + 53.1\ln(f_c') \quad (9)$$

$$f_v = 2.214f_c'^{0.553} \quad (10)$$

2. 3 ダウエル力による引張応力分布

図一1に示されているように, 引張側鉄筋部でのダウエル力による引張応力分布がプレストレス導入によってどのような影響を受けるのかを解析的に検討した. 解析に

表—1 断面諸元

床版厚 (cm)	載荷板 a×b (cm)	鉄筋	主鉄筋 (cm)			配力鉄筋 (cm)		
			d _m	d _m '	C _m	d _d	d _d '	C _d
23	50×20	D19	19.0	4.0	4.0	17.1	5.9	5.9

表—2 試験体の種類

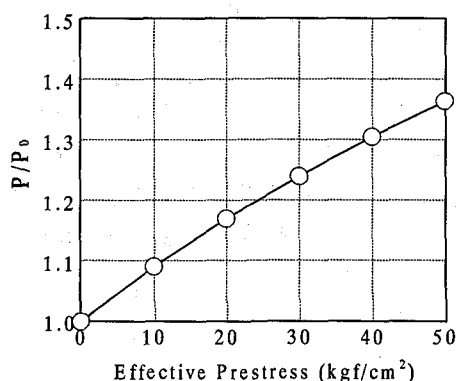
試験体	プレストレス (kgf/cm ²)	載荷板 a×b (cm)	主鉄筋 (cm)			配力鉄筋 (cm)		
			d _m	d _m '	C _m	d _d	d _d '	C _d
RC-1	0	10×4	4.9	1.9	1.6	4.3	2.5	2.2
RC-2	0	10×4	4.7	1.8	1.8	4.1	2.4	2.4
RC-3	0	13×10	5.0	2.1	1.0	4.4	2.7	1.6
PC15-1	15	10×4	5.2	1.0	1.3	4.6	1.6	1.9
PC15-2	15	10×4	5.3	2.2	1.2	4.7	1.8	1.8
PC15-3	15	13×10	5.3	2.4	1.2	4.7	3.0	1.8
PC30-1	30	13×10	5.2	1.3	1.3	4.6	3.0	1.9

表—3 コンクリートの材料特性

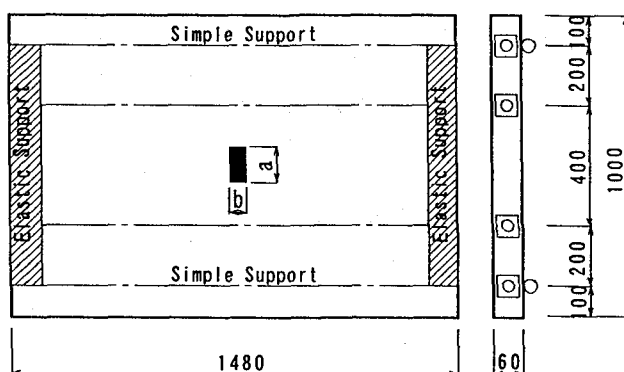
試験体	σ _c (kgf/cm ²)	E _c (kgf/cm ²)	ν _c
RC-1	350	2.43×10 ⁵	0.169
RC-2	342	2.67×10 ⁵	0.197
RC-3	443	2.61×10 ⁵	0.154
PC15-1	358	2.87×10 ⁵	0.191
PC15-2	357	2.35×10 ⁵	0.146
PC15-3	357	2.35×10 ⁵	0.186
PC30-1	347	2.34×10 ⁵	0.152

表—4 鉄筋の材料特性

	σ _y (kgf/cm ²)	σ _u (kgf/cm ²)	E _s (kgf/cm ²)
D6	3580	5478	1.99×10 ⁶



図—7 有効プレストレスと耐荷力の関係



図—8 試験体概要

用いたモデルは図—5に示すはりとし、引張側鉄筋に直接、鉛直荷重を作用させた。そのときの引張側鉄筋位置でのコンクリートの鉛直方向の応力分布を求めた。その結果を図—6に示す。また、図中の実線は図—1の破壊モデルで仮定されているはくり破壊領域で直線分布と仮定したものである。解析結果から、プレストレス量が15kgf/cm²、あるいは、30kgf/cm²であってもRCの場合の分布とほとんど違いは無いことから、プレストレスを導入してもダウエル力による引張応力分布は変化しないことが分かる。そこで、プレストレスを導入した床版についてもはくり破壊領域は引張側鉄筋かぶり深さの2倍とする。

2. 4 中立軸の変化

使用限界状態までの範囲では、プレストレスを導入することによりRC部材に比べ、ひび割れ深さは小さくなるが、終局状態を考えた場合においてはひび割れが発生したPC部材の内部応力はRC部材と本質的に変わらない。このことから、プレストレスを導入しても終局時の中立軸は引張側コンクリートを無視した理論値に達しているものと仮定してもよいとした。

2. 5 プレストレスした床版の押抜きせん断耐荷力

プレストレスの導入による押抜きせん断耐荷力への影響度について上述の4項目について検討してきた。その結果、PC鋼材自身のダウエル効果を考えない場合には、プレストレスした床版の押抜きせん断耐荷力に与える影響は押抜きせん断破壊面の破壊角度のみであるという判断に至った。そこで、その影響を考慮するために、松井の押抜きせん断耐荷力評価式を次式のように修正することとする。

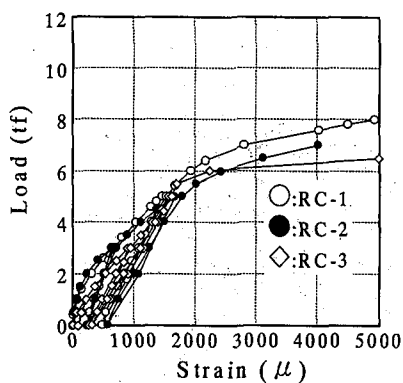
$$P = f_v \left\{ 2(a + 2\alpha_m x_m) \alpha_d x_d + 2(b + 2\alpha_d x_d) \alpha_m x_m \right\} + f_t \left\{ 2(a + 2\alpha_m d_m) C_d + 2(b + 2\alpha_d d_d + 4C_d) C_m \right\} \quad (11)$$

ここに、

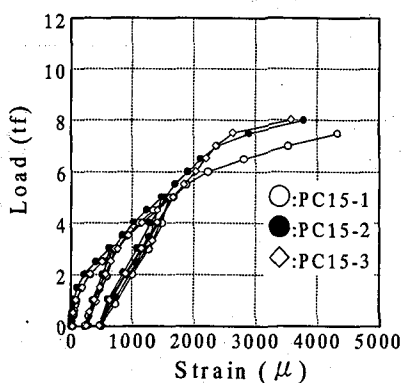
$$\alpha_m = 1 / \tan \theta_m, \quad \alpha_d = 1 / \tan \theta_d \quad (12)$$

θ_m, θ_d : 式(7)による主鉄筋方向、配力鉄筋方向の破壊面の角度

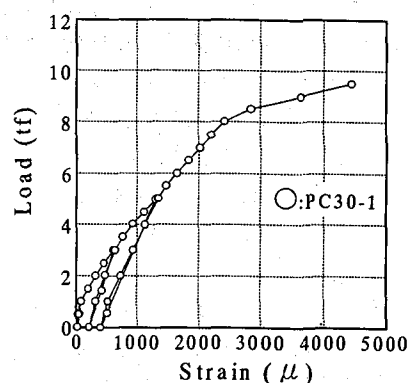
表—1に示す断面を有し、主鉄筋間隔は下側12.5cmピッチ、上側25.0cmピッチ、配力鉄筋間隔は下側15.0cmピッチ、上側30.0cmピッチであるコンクリート床版に対し



(a) RC

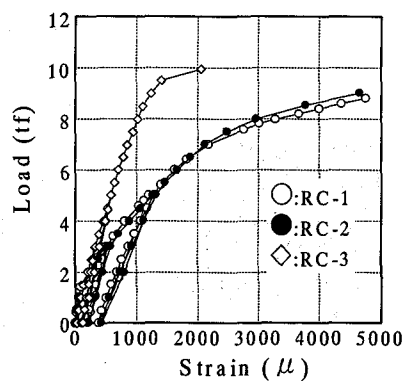


(b) Prestress 15kgf/cm²

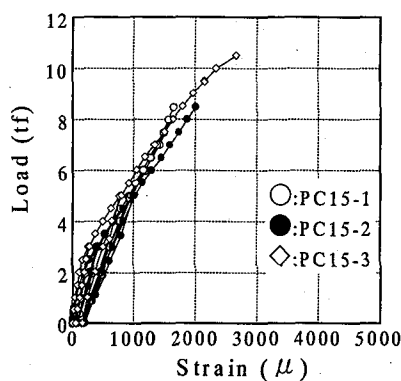


(c) Prestress 30kgf/cm²

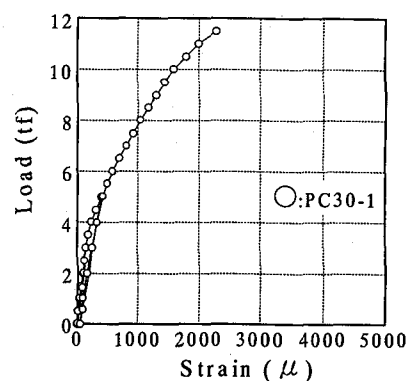
図—9 主鉄筋ひずみ



(a) RC

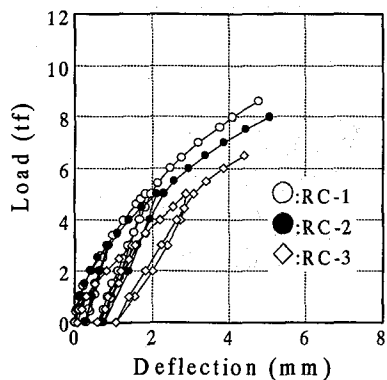


(b) Prestress 15kgf/cm²

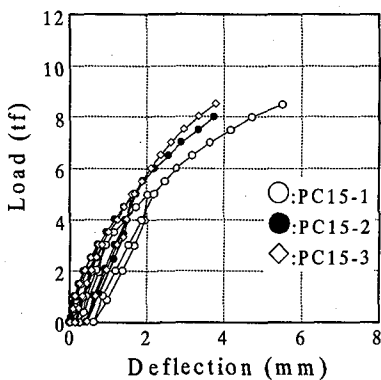


(c) Prestress 30kgf/cm²

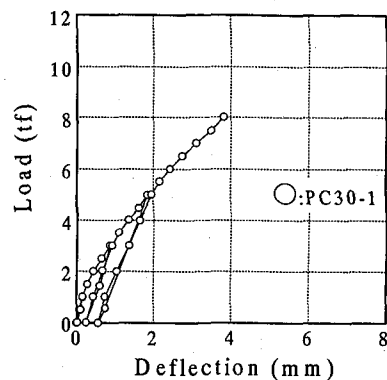
図—10 配力鉄筋ひずみ



(a) RC



(b) Prestress 15kgf/cm²



(c) Prestress 30kgf/cm²

図—11 たわみ

て、有効プレストレスと式(11)により算定される押抜きせん断耐力比との関係を図—7に示す。有効プレストレスが 15kgf/cm²で 13%, 30kgf/cm²で 22%程度の耐力力向上が見られ、有効プレストレスと耐力力比との関係は線形ではなく、有効プレストレスが増しても、耐力力の増加は鈍化する。

3. 押抜きせん断耐力力実験

式(11)による計算値と実験値との整合性を確認するためにプレストレス量と載荷面積をパラメータとした押抜きせん断耐力力実験を行った。

3. 1 実験概要

本実験に用いた試験体は図—8に示すような 6cm 厚床版であり、2辺単純支持、2辺弾性支持されている。橋軸方向(配力鉄筋方向)プレストレスの導入には床版内に P C 鋼材を配置したが、P C 鋼材自身の曲げ剛性が押

抜きせん断耐力に影響を与えないように、計算で仮定されるせん断破壊領域より外側に配置し、さらに、シー内にはグラウト注入をしないアンボンド方式としている。主鉄筋間隔は下側 4.5cm ピッチ、上側 9.0cm ピッチ、配力鉄筋間隔は下側 6.4cm ピッチ、上側 12.8cm ピッチである。表一 2 に試験体の種類と実測した床版断面の諸定数をまとめている。導入したプレストレス量は 15kgf/cm^2 と 30kgf/cm^2 である。

表一 3 に各試験体のコンクリート材料、表一 4 に鉄筋の材料試験結果を示している。なお、コンクリートの材料試験は荷重直前に行っている。

3. 2 実験結果

図一 9 および図一 10 には各試験体の荷重点直下での主鉄筋ひずみおよび配力鉄筋ひずみを示してある。主鉄筋ひずみは全ての試験体でせん断破壊に至る前の 6tf 前後で降伏し始めている。また、配力鉄筋ひずみは RC-3 を除いて、RC では、約 6tf で降伏し始めている。プレストレスした試験体では、せん断破壊に至る直前で降伏し始めている。この結果から、RC 床版と同様に、PC 床版についても、輪荷重のような小さな面積で荷重されることによって、曲げ変形が生じた後に、抜きせん断破壊に至るということが分かる。

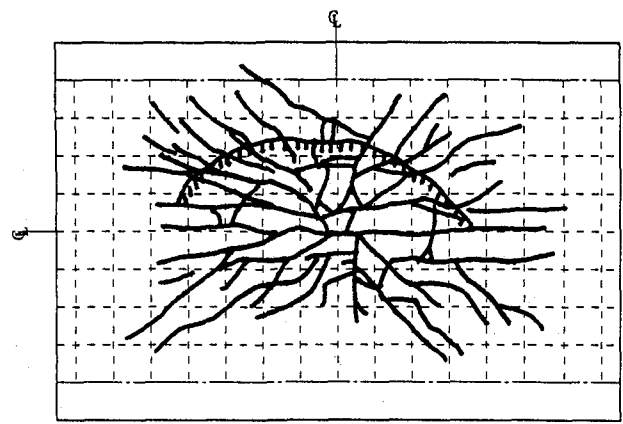
図一 11 に荷重点直下の床版のたわみを示す。プレストレスを導入した試験体では、配力鉄筋断面の剛性低下が抑制されているために、有効プレストレスの増加に伴って、たわみが低減されていることが分かる。

また、破壊状況は全ての試験体で、上面は荷重板の周辺に沿った陥没破壊、下面は放射状のひび割れと円弧状のはくり破壊であった。実験終了後の床版下面の破壊状況の一例を図一 12 に示す。RC-3 では、荷重点直下で発生したひび割れが支持辺に向かって放射状に進展していく。プレストレスを導入した試験体では、荷重点直下で発生したひび割れは支持辺に向かって放射状に進展していくが、有効プレストレスの増加に伴って、その角度は RC-3 より小さくなっているのが分かる。図中のハッチングしてある領域は抜きせん断破壊時に床版下面に段差が生じた部分である。この領域の大きさは各試験体で異なり、床版厚が薄かったことから、はくり領域の増減は外観上からは不明瞭であった。

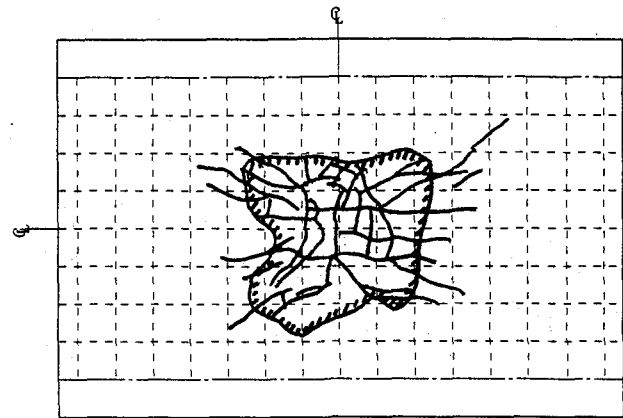
4. 計算値と実験値との比較

3. で述べた実験結果および他の研究者が行った内ケーブル方式 PC 床版⁵⁾⁷⁾の実験結果と評価式(11)との比較を行い、その整合性について検討を行った。

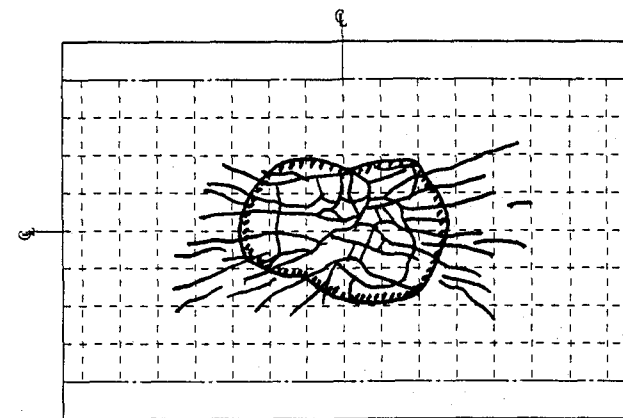
表一 5 に著者が行った実験結果および文献 5)~7)の床版諸元をまとめているが、詳細については文献を参照されたい。ただし、文献 5)ではドーナツ型の荷重板を用



(a) RC-3

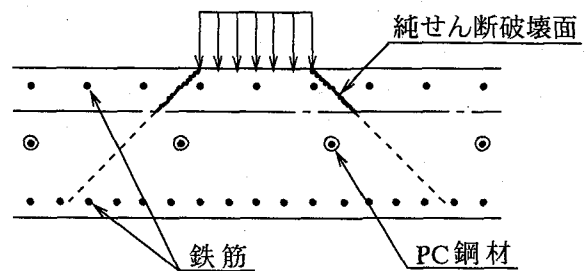


(b) PC15-3



(c) PC30-1

図一 12 床版下面の破壊状況



図一 13 せん断破壊領域と PC 鋼材配置

表—5 床版諸元

試験体	辺長 (cm)	床版厚 (cm)	コンクリート		プレストレス (kgf/cm ²)		載荷板 a×b (cm)	文献
			f_c (kgf/cm ²)	E_c (kgf/cm ²)	σ_{pm}	σ_{pd}		
RC-1	148×100	6.5	350	2.43×10^5	0	0	10×4	著者ら
RC-2	148×100	6.5	342	2.67×10^5	0	0	10×4	
RC-3	148×100	6.5	443	2.61×10^5	0	0	13×10	
PC15-1	148×100	6.5	358	2.87×10^5	0	15	10×4	
PC15-2	148×100	6.5	357	2.35×10^5	0	15	10×4	
PC15-3	148×100	6.5	357	2.35×10^5	0	15	13×10	
PC30-1	148×100	6.5	357	2.34×10^5	0	30	13×10	
A1	165×165	20	532	4.16×10^5	0	0	8.86×8.86	文献 5)
A2	165×165	20	456	3.78×10^5	10	10	8.86×8.86	
A3	165×165	20	449	3.75×10^5	20	20	8.86×8.86	
A4	165×165	20	441	3.71×10^5	40	40	8.86×8.86	
A5	165×165	20	534	4.17×10^5	0	0	8.86×8.86	
A6	165×165	20	479	3.90×10^5	10	10	8.86×8.86	
A7	165×165	20	456	3.78×10^5	20	20	8.86×8.86	
A8	165×165	20	498	3.99×10^5	40	40	8.86×8.86	
B1	165×165	15	522	4.11×10^5	0	0	8.86×8.86	
B2	165×165	15	512	4.06×10^5	10	10	8.86×8.86	
B3	165×165	15	529	4.15×10^5	20	20	8.86×8.86	
B4	165×165	15	536	4.18×10^5	40	40	8.86×8.86	
APC-1	—	18	576	3.30×10^5	69	40	50×20	文献 6)
APC-2	300×250	18	598	3.44×10^5	0	34	30×12	文献 7)

 σ_{pm} : 主鉄筋方向 σ_{pd} : 配力鉄筋方向

いているため、計算では等価な表面積の正方形載荷板とした。また、文献 6) の橋軸直角方向（主鉄筋方向）プレストレス分布は床版厚さ方向に台形分布であるため、平均したものをを用いることとした。

表—6 には、著者らが行った実験結果および文献 5)～7) の実験結果と計算値とを比較した結果をまとめてある。式 (1) による RC 床版として計算した値を計算値(1)とし、式(11)による PC 床版として計算した値を計算値(2)として示してある。表—6 中の記号 * は計算で仮定しているせん断破壊領域内に PC 鋼材が配置されていることを意味している。すなわち、図—13 のような場合である。本研究では、PC 鋼材のダウエル効果を考えていないため、* 以外の結果について、計算値に対する実験値の比の平均値と標準偏差を計算すると、計算値(1)では平均値が 1.163、標準偏差が 0.167、計算値(2)では平均値が 1.006、標準偏差が 0.130 という結果を得た。

プレストレスによるせん断破壊面の角度変化を考慮した式(11)の方が平均

表—6 押抜きせん断耐荷力

試験体	実験値 (tf)	計算値 (tf) (1)	実験値／(1)	計算値 (tf) (2)	実験値／(2)
RC-1	10.637	8.62	1.23	8.62	1.23
RC-2	9.867	8.64	1.14	8.64	1.14
RC-3	10.07	10.7	0.94	10.7	0.94
PC15-1	8.975	7.62	1.18	8.42	1.07
PC15-2	8.669	8.01	1.08	9.18	0.94
PC15-3	10.981	11.04	0.99	12.17	0.90
PC30-1	11.899	10.85	1.10	13.16	0.90
A1	44.2	45.04	0.98	45.04	0.98
A2	59.0	42.48	1.39	49.19	1.20
A3	60.0	42.19	1.42	55.29	1.09
A4	65.0	41.87	1.55	66.93	0.97
A5	57.5	57.41	1.00	57.41	1.00
A6	65.0	56.81	1.14	66.15	0.98
A7	63.5	55.28	1.15	73.58	0.86
A8	65.0	57.71	1.13	92.18	0.71
B1	27.3	26.68	1.02	26.68	1.02
B2	37.7	28.36	1.33	32.21	1.17
B3*	45.5	28.73	1.58	36.11	1.26
B4*	45.3	28.89	1.57	42.90	1.06
APC-1*	140.0	98.36	1.42	139.91	1.00
APC-2*	101.5	79.235	1.28	93.26	1.09

値、標準偏差とも精度が向上しており、文献 6)の実験結果に見られるように、プレストレスによるせん断破壊面の破壊角度の変化を考慮した評価式の妥当性を示すことができたと言える。

5. まとめ

本論文では、P C鋼材がせん断破壊領域内に配置されていないP C床版の押抜きせん断耐荷力を算定できるように、著者の一人が提案したR C床版に対する押抜きせん断耐荷力評価式を拡張し、評価式の誘導を行った。さらに、その整合性を確認するために、実験結果との比較を行った。以下に得られた結果をまとめる。

- (1) プレストレス導入による押抜きせん断耐荷力に与える影響パラメータを挙げ、それぞれについてプレストレス導入による影響度を既往の研究、有限要素解析から検討した結果、押抜きせん断破壊面の角度変化のみを導入すればよいことが分かった。プレストレスされたコンクリート床版の押抜きせん断耐荷力の評価式として式(11)を提案した。
- (2) 提案した評価式の整合性を確認するために橋軸方向にプレストレスした模型床版の押抜きせん断耐荷力実験を行った結果、本実験のR C床版では押抜きせん断破壊以前に主鉄筋ひずみ、配力鉄筋ひずみが降伏ひずみに達し、大きなひずみが生じていたが、橋軸方向にプレストレスを導入することにより配力鉄筋ひずみは押抜きせん断破壊に至る直前で降伏ひずみに達していた。しかし、主鉄筋ひずみは橋軸直角方向にプレストレスを導入していないためR C床版と同様に押抜きせん断破壊以前に降伏ひずみに達し、大きなひずみが生じていた。また、破壊形式は全ての試験体でコンクリートが陥没する押抜きせん断破壊であった。
- (3) 実験値とR C床版として計算した値との比の平均値は1.163、標準偏差は0.167、また、式(11)により計算した値との比の平均値は1.006、標準偏差は0.130となり平均値、標準偏差とも精度が向上し、本論文では、少ない実験結果での比較ではあったが、せん断破壊面の角度変化を考慮した押抜きせん断耐荷力評価式の妥当性を確認することができたと考えられる。

あとがき

本研究で行ったP C床版の押抜きせん断耐荷力実験の試験体数は十分であるとは言えず、また、床版厚が薄いために実験結果にもバラツキがあった。さらに、既往の研究データを調査しても、その数が少ないことから、今後、床版厚、鉄筋量等を変えた実験を行い、データの蓄

積およびP C鋼材の耐荷力への影響について検討を進めていきたい。

最後に、外ケーブル補強した合成桁橋に関する一連の研究に対して、(社)鋼材倶楽部より研究援助を得たことを記し謝意を表する次第である。ならびに、本研究に対して、ご協力を頂いた松尾橋梁(株)、(株)春本鐵工、(株)富士ビー・エスの関係各位に感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1)例えば、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299号、pp.105-115、1974。
- 2)例えば、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荷力の評価式、土木学会論文報告集、第348号、V-1、pp.133-141、1984。
- 3)松井繁之・東山浩士：外ケーブル方式によるコンクリート床版へのプレストレス導入に関する研究、第6回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、pp.159-162、1996.10。
- 4)松井繁之・東山浩士・林 功治：外ケーブルによりプレストレスした合成桁橋プレキャストR C床版の力学的性状の向上に関する研究、鋼構造論文集、第4巻第13号、pp.9-18、1997.3。
- 5)末弘 保・石橋忠良・佐藤春雄・大庭光商：P Cスラブの押抜きせん断耐力に関する実験的研究、第11回コンクリート工学年次論文集、pp.149-152、1989。
- 6)松井繁之・中井 博・袴田文雄・竹中裕文：プレストレスを導入するプレキャスト床版の継目部の連続性と耐荷力に関する実験的研究、構造工学論文集、Vol.34A、土木学会、pp.285-296、1988。
- 7)(財)災害科学研究所・ショーボンド建設(株)：S B床版の疲労耐久性に関する研究報告、1995.3。
- 8)岡田 清・藤井 学・小林和夫：プレストレストコンクリート構造学、国民科学社、pp.114-115、1990。
- 9)佐伯 昇・高田宣之・藤田嘉夫：圧縮一ねじり荷重下のコンクリートの変形と破壊挙動、土木学会論文報告集、第308号、pp.99-108、1981。
- 10)伊東茂富：コンクリート工学、森北出版、pp.75、1972。
- 11)並木 哲・山本康弘・戸祭邦之・黒羽健嗣：高強度コンクリートの各種強度の検討、日本建築学会大会学術講演梗概要(近畿)、pp.737-738、1989.10。
- 12)東山浩士・太田博士・朴 淳珍・松井繁之：P C床版の押抜きせん断耐荷力について、第7回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、pp.13-16、1997.10。

(1997年9月26日受付)