

## 軽量 PC 床版の静的および疲労押抜きせん断に関する研究

### Static and fatigue properties of punching shear strength of lightweight PC slab

久木野定\*, 田中 浩\*\*, 浜田純夫\*\*\*, 松尾栄治\*\*\*\*, 吉武 勇\*\*\*\*

Sadashi KUKINO, Hiroshi TANAKA, Sumio HAMADA, Eiji MATSUO and Isamu YOSHITAKE

- \* 山口大学大学院 理工学研究科 社会建設工学専攻 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2 丁目 16-1)
- \*\* (株)栗本鐵工所 大阪臨海工場 技術担当部長 (〒590-0977 大阪府堺市大浜西町 2-2)
- \*\*\* Ph. D. 山口大学工学部 社会建設工学科 教授 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2 丁目 16-1)
- \*\*\*\* 博(工) 山口大学工学部 社会建設工学科 助手 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2 丁目 16-1)

Lightweight concrete with artificial lightweight aggregate is well known as a material of inferior intensity to normal concrete. In the present study, tests for static and fatigue punching shear strength were conducted for the purpose of obtaining the basic data of lightweight pre-stressed concrete (=PC) slab with artificial lightweight aggregate concrete. The test result shows that lightweight slab with artificial lightweight aggregate concrete is inferior in static and fatigue punching shear strength compared with normal concrete slab. A modified formula is proposed herein for static punching shear strength to lightweight PC slab.

Key words : lightweight aggregate concrete, fatigue, PC slab, punching shear

#### 1. はじめに

近年、車輛の大型化や交通量の増加によって既設道路橋の床版の損傷が進んでおり、それに伴い床版の損傷に対する補強や補修の事例が増加している<sup>1)</sup>。損傷を受けた床版の補修・補強工法の一つにプレキャスト床版による取替え工法がある。床版取替え工法において、プレキャスト床版を軽量化できれば主桁や下部工への負担を軽減できる。また、プレキャスト床版の軽量化は、運搬や架設機材を簡素化できるためコスト縮減効果も期待できる。

床版の軽量化の方法には、鋼コンクリート合成構造、プレストレスの導入、人工軽量骨材の使用などが挙げられる。このうち、一般的な人工軽量骨材を用いたコンクリートは普通コンクリートと比べ約 15~25%の軽量化が可能となる<sup>2)</sup>が、人工軽量骨材は内部空隙を多く含み、骨材自体の強度が天然骨材より劣るため、ヤング率、コンクリート引張強度などが低下する問題がある。また、プレストレスを導入することによって床版の押抜きせん断耐力は向上するが、プレストレストコンクリート床版(以下、PC 床版)については実用的な頻度が高いにも関わらず押抜きせん断耐力に関する研究は少なく、破壊機構そのものに対しても未解明な点が多い。

そこで、本研究では人工軽量骨材を用いた軽量コンクリートを床版へ適用するための基礎的データを得ることを目的とし、人工軽量骨材を用いた PC 床版(以下、軽量 PC 床版)の静的および疲労押抜きせん断試験を行った。また既往の PC 床版の押抜きせん断耐力算定式を用いて、本研究で得られた実験結果との適合性を検討した。すなわち、軽量 PC 床版に対しても適用できるように提案式中のコンクリートの引張強度項およびせん

断強度項の修正を行った。さらに疲労性状の検討を行った。

#### 2. 試験方法

##### 2.1 使用材料および配合条件

供試体は静的試験用を S1~S5、疲労試験用を F1~F10 とした。全ての供試体の粗骨材に人工軽量骨材 G (最大寸法 15mm) を使用した軽量コンクリートを用いた。表 1 にコンクリートの配合を示す。設計基準強度は 45N/mm<sup>2</sup>であり、S1~S5、F1~F10 は各々同一ロットで作製した。粗骨材 G は真珠岩を使用した独立気泡を有する造粒型の人工軽量粗骨材(以下、軽量骨材)であり密度 0.85g/cm<sup>3</sup>、吸水率 1.8%である。細骨材は密度 2.58g/cm<sup>3</sup>の海砂を使用した。混和剤はポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤を使用した。軽量コンクリートの単位体積質量は 1.65~1.69t/m<sup>3</sup>の範囲にあり、一般的な(=軽量でない)コンクリート(以下、普通コンクリート)の単位体積質量である約 2.3t/m<sup>3</sup>に

表 1 コンクリートの配合

供試体 No.	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
			W	C	G	S	Ad
S1~S5	26	37.5	150	577	323	609	11.54
F1~F10	30	42.9	160	533	296	699	6.4

表 2 材料試験結果

供試体 No.	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	割裂引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	脆度係数 $\eta$
S1~S5	45.60	3.05	15
F1~F10	52.20	2.32	23

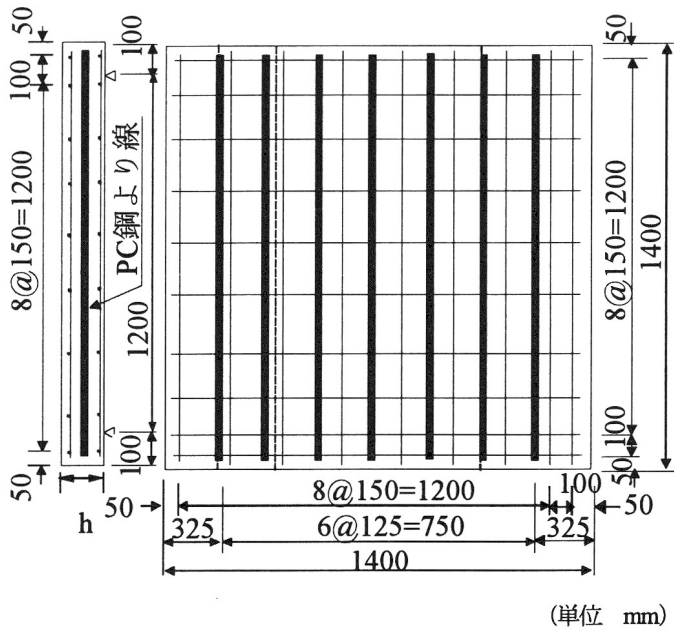


図1 配筋図

表3 供試体諸元

供試体 No.	床版厚 h(mm)	有効プレストレス (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋比 (%)
S1~S2	110	5.03	0.637
S3~S4	130	4.29	0.510
S5	150	3.69	0.425
F1~F10	130	4.24	0.510

表4 破壊荷重

供試体 No.	S1	S2	S3	S4	S5	F10
破壊荷重 (kN)	156.8	131.2	166.6	154.8	207.1	162.7

対し約30%の軽量化が可能である。使用した軽量コンクリートの材料試験結果を表2に示す。脆度係数 $\eta$ は普通コンクリートが約9~12であるのに対し、本研究で用いた軽量コンクリートは静的試験用で約15、疲労試験用で約23であった。SシリーズとFシリーズで、打設時期、打設規模、ミキサー種類など異なったため、表のようなばらつきが生じたと考えられる。

プレストレスはPC鋼より線 (JIS G 3536) を用いて一軸方向にプレテンション方式により導入した。静的押抜きせん断試験には床版厚の異なる5体の軽量PC床版を用い、また疲労押抜きせん断試験には諸条件の同じ10体の軽量PC床版を用いた。鉄筋は主鉄筋、配鉄筋ともにSD295のD10を使用した。配鉄筋図を図1に、床版供試体の諸元を表3に示す。鉄筋のピッチは150mm (etc)、PC鋼より線のピッチは125mm (etc) とし、今回は特に揃えずに配筋した。床版寸法は実構造物に出来るだけ近くすることを考え、載荷試験機に適應できる範囲で最も大きく設定した。また、有効プレストレス量は、高速道路橋などの実工事で使用されるPC床版のプレストレス量に準じ、3.5N/mm<sup>2</sup>を最小目標値とした。表3中のプレストレス量は、コンクリート床版に貼付したひずみゲージにより測定した結果で

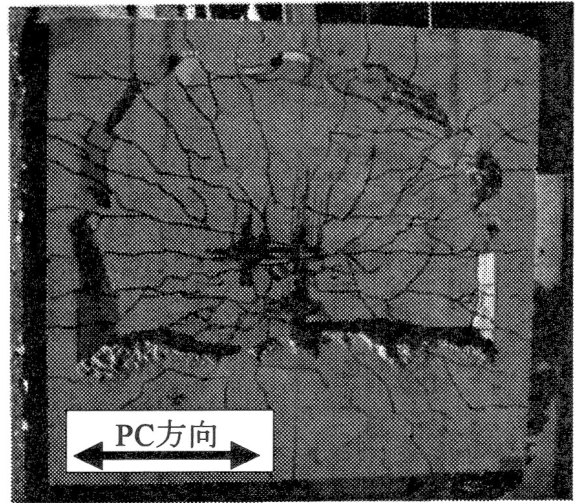


写真1 静的載荷試験後の床版下面

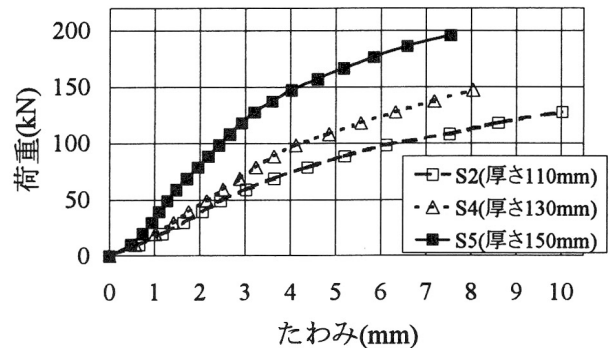


図2 荷重と供試体中央たわみの関係

あり、コンクリートのヤング係数の相違、施工誤差などがプレストレスロスの相違になったものと考えられる。

## 2.2 試験方法

押抜きせん断試験は静的および疲労ともに材齢28日以降に行い、支間長を120×120cmとし、支承には直径10cmの丸鋼棒を使用し、四隅の浮上がり防止は設けない四辺単純支持とした。荷重は厚さ1mmの硬質ゴム板を介し、辺長10cm、厚さ3cmの正方形鋼板を用いて載荷した。載荷位置は全て供試体中央とし、疲労試験も定点載荷とした。

疲労試験では、まずF10を用いて静的強度を求めた。繰返し載荷では上限荷重強度比を強度比 $S = \text{「上限荷重/静的破壊荷重」}$ として $S=65, 70, 75\%$ の3種類とした。各強度比における供試体数は、疲労試験のばらつきを適宜判断しながら決定していった。下限荷重強度比はすべての供試体において静的強度の10%に固定し、載荷速度は毎分60回の正弦変化荷重とした。

## 3. 試験結果

### 3.1 静的せん断押抜き試験

#### 3.1.1 破壊状況

静的試験用のS1~S5およびF10の破壊形態は、すべて載荷板直下が押し抜かれる押抜きせん断破壊であった。表4に各供

試体の破壊荷重を示す。床版厚の厚い 供試体ほど破壊荷重は大きかった。写真1に静的破壊後の床版下面のひび割れ状況を示す。ひび割れは供試体中央から放射線状に伸び、プレストレス直角方向には剥離部から外側へのひび割れは少なく、プレストレス導入方向のひび割れが目立った。これは、プレストレス導入によりひび割れ抑制効果が寄与したためと考えられる。また、破壊断面では粗骨材の破壊がみられた。これは軽量骨材自体の引張強度およびせん断強度が低いことに起因すると考えられる。

### 3.1.2 たわみ

図2に荷重と供試体中央たわみの関係を示す。床版厚の厚い床版ほど荷重-たわみ曲線の傾きは大きく、破壊直前のたわみは小さくなった。これより、軽量 PC 床版においても床版厚はその剛性に大きく関係していることが確認できる。

## 3.2 押抜きせん断耐力算定式の修正

### 3.2.1 押抜きせん断耐力算定式(山口大学提案式<sup>3)</sup>)

筆者らはPC床版に関する松井らの提案式<sup>4)</sup>(以下、松井式)に対し中立軸位置、せん断破壊角度、応力分布範囲の3項目について修正を行い、式(1)を提案した(以下、山口大学提案式)。その力学モデルを図3に示す。

$$P = \tau_{s,max} S_1 + \sigma_{t,max} S_2 \quad (1)$$

ここで、 $\begin{cases} \tau_{s,max} = 2.45 \times 10^2 \sigma_{ck} - 2.36 \times 10^5 \sigma_{ck}^2 \text{ (N/mm}^2\text{)} \\ \sigma_{t,max} = 0.124 \sigma_{ck}^{2/3} \text{ (N/mm}^2\text{)} \\ \sigma_{ck}: \text{コンクリート圧縮強度 (N/mm}^2\text{)} \end{cases}$

また、PC床版の場合、中立軸位置は荷重の変化に伴って変化する。そこで、山口大学提案式ではTimoshenkoの平板の曲げ理論<sup>2)</sup>により、曲げモーメント $M(x)$ が作用した場合の載荷荷重 $P$ を算出し、その荷重-中立軸曲線と押抜きせん断算定式耐力を示す曲線の交点を静的強度としている。図4に山口大学提案式および松井式の「実験値/計算値」を示す。

「実験値/計算値」は山口大学提案式で平均0.76となり実験値の約1.25倍、松井式で平均0.49となり実験値の約2倍と危険側の値が算出されている。これは、普通コンクリートを用いたプレストレストコンクリート床版(以下、普通PC床版)の押抜き耐力算定式が、普通コンクリートの特性に対応しており、軽量コンクリートの特性、すなわち引張強度の低下を考慮していないためと考えられる。また実験値と計算値の差が大きく、普通PC床版と比較し軽量PC床版は押抜きせん断耐力が劣ることがわかる。

### 3.2.2 引張強度の修正①

前述のように、軽量床版における押抜きせん断耐力の低下は、軽量コンクリートの引張強度およびせん断強度が小さいことが主な原因と考えられる。そこで、コンクリートの引張強度項 $\sigma_{t,max}$ に、材料試験で求めた軽量コンクリートの割裂引張強度を代入した。図5に修正後の「実験値/計算値」を示す。

いずれの式も割裂引張強度を代入することによって、修正前より計算値は実験値に近づいたが、松井式ではまだ危険側の値

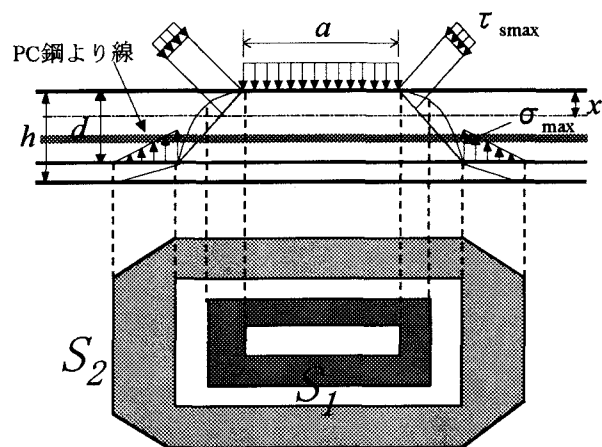


図3 山口大学提案式における力学モデル

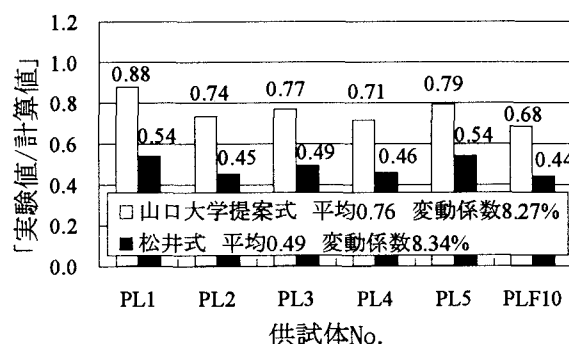


図4 修正前の「実験値/計算値」

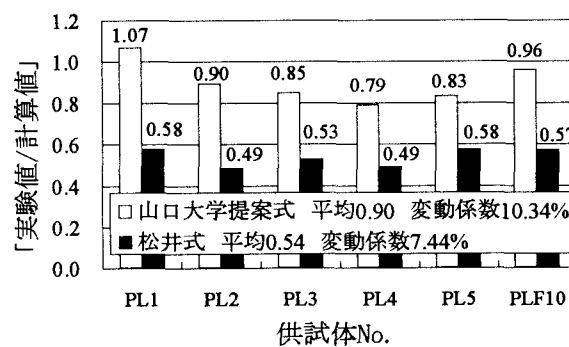


図5 修正①の「実験値/計算値」

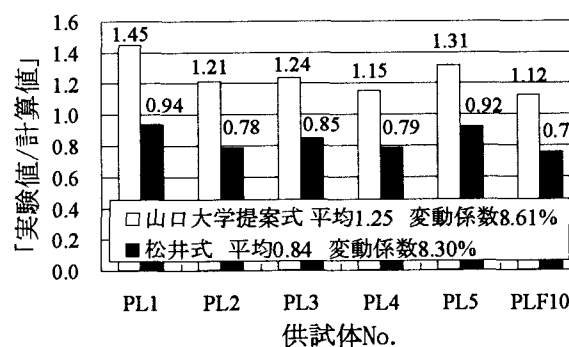


図6 修正②の「実験値/計算値」

表5 載荷荷重と破壊回数

供試体 No.	強度比 S(%)	上限荷重 (kN)	下限荷重 (kN)	破壊回数
F1	70	113.9	16.3	16,612
F2	70	113.9		19,594
F3	75	122.0		105,747*
F4	70	113.9		504,809*
F5	65	105.7		612,883*
F6	75	122.0		6,993
F7	65	105.7		966,100*
F8	70	113.9		411,878*
F9	75	122.0		59,498

\*は鉄筋の破断を示す

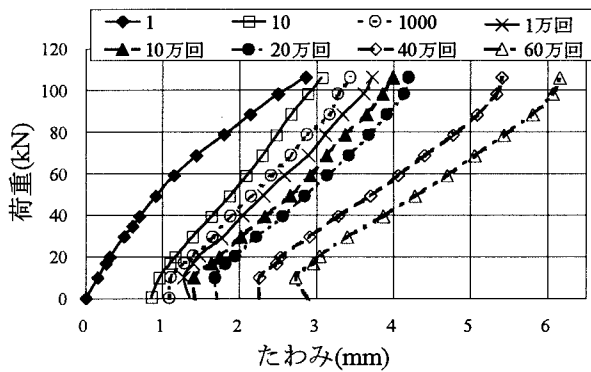


図7 荷重とたわみの関係 (供試体F5)

を示している。これは、修正前はコンクリート圧縮強度から換算した引張強度を使用しており、実際の引張強度はこれよりさらに低いために計算値が過大になったものと考えられる。また修正前と比較し変動係数が大きくなった。この原因として、個々の供試体で引張強度のばらつきが影響するものと考えられる。また、この修正方法では軽量コンクリートのせん断強度低下が考慮されていない。

### 3.2.3 引張強度の修正②

軽量コンクリートの引張強度とせん断強度の低下を算定式中に考慮するために、算定式中の引張強度項およびせん断強度項の修正を行った。コンクリートが押抜きせん断のような荷重を受ける場合の直接せん断強度は、モールの破壊包絡線<sup>9)</sup>より式(2)が求まる。

$$\text{せん断強度 } \tau = \sqrt{\sigma_c \sigma_t} / 2 \quad (2)$$

ここで  $\left\{ \begin{array}{l} \sigma_c : \text{コンクリート圧縮強度} \\ \sigma_t : \text{コンクリート引張強度} \end{array} \right.$

軽量コンクリートの引張強度は普通コンクリートの引張強度と比較し約50%低下する<sup>7)</sup>ことより、式(2)よりせん断強度は約30%低下する。これより引張強度項 $\sigma_{tmax}$ に0.5、せん断強度項 $\tau_{smax}$ に0.7を乗じて修正を試みた。図6に修正後の「実験値/計算値」を示す。「実験値/計算値」は山口大学提案式で平均1.25、松井式では平均0.84となり、修正前と比較し精度が向上したこ

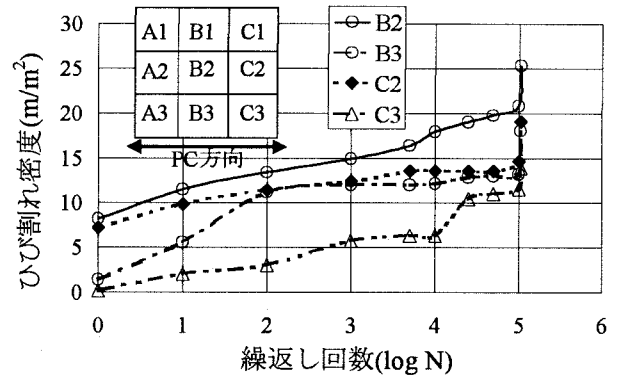


図8 ひび割れ密度と繰返し回数の関係 (供試体F3)

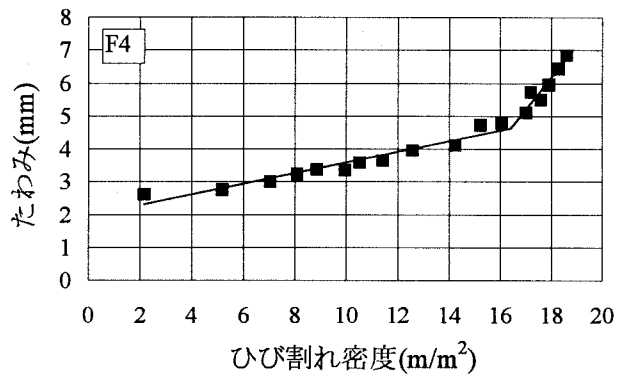


図9 たわみとひび割れ密度の関係 (供試体F4)

とがわかる。また変動係数はいずれの式とも修正前とほとんど等しく、ばらつきは小さい。しかし、軽量コンクリートのせん断強度については未だ明確にされていない点も多く、今後さらなる検討が必要である。

## 3.3 疲労押抜きせん断試験

### 3.3.1 破壊性状

疲労試験用の供試体 F1~F9 の破壊性状はいずれも押抜きせん断型の疲労破壊であった。破壊形状は一部の供試体に数個所の鉄筋の疲労破断がみられ剥離面積が若干広がった以外は写真1の静的押抜きせん断破壊とほぼ同様であり、破壊断面には骨材の破壊がみられた。各供試体の破壊回数を表5に示す。破壊回数は大きくばらついており、疲労特有の性質を示している。

### 3.3.2 たわみ

図7に供試体F5の荷重とたわみの関係を示す。いずれの床版も類似した挙動を示しており、紙面の都合上、F5を代表として示す。載荷10回目の残留たわみが大きく、その後は残留たわみの増分は少ない。これは1回目の載荷で側面のひび割れが確認できたことより、ひび割れが発生したために床版の剛性が低下したと考えられる。また、1回目と10回目の荷重-たわみ曲線は同じような傾きを示しているが、繰返し回数が増えていくと傾きは小さくなっている。この理由として、軽量コンクリートとPC鋼材の付着応力の低下によるプレストレスの損失や、鉄筋の破断などによる剛性の低下が考えられる。

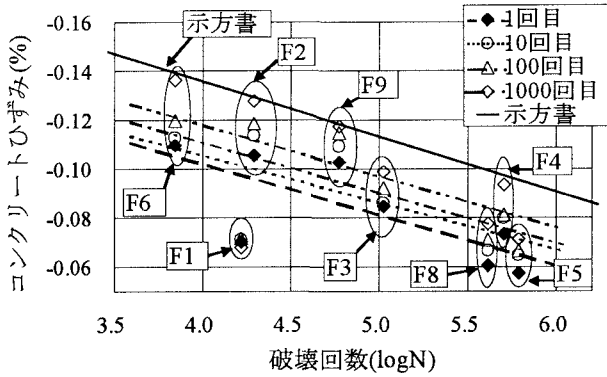


図10 圧縮側コンクリートひずみと破壊回数との関係

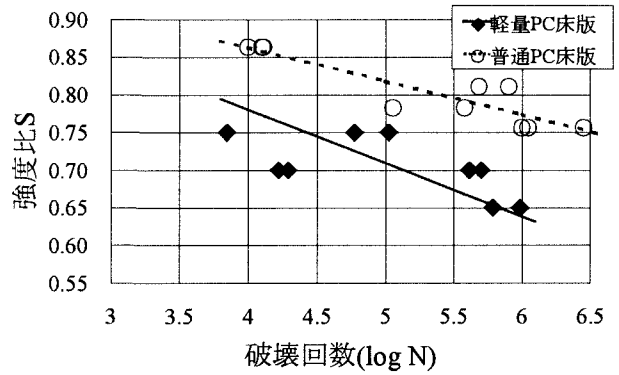


図12 軽量PC床版および普通PC床版のS-N曲線

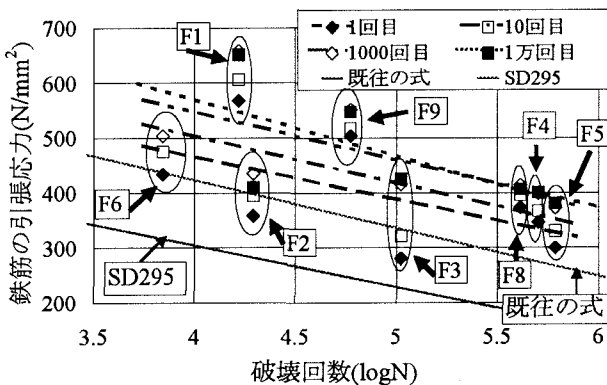


図11 鉄筋応力と破壊回数との関係

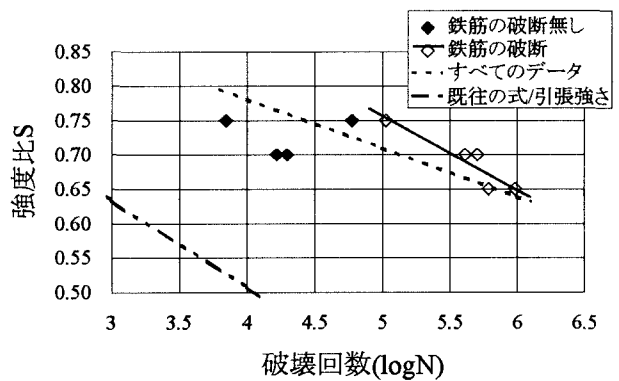


図13 鉄筋の破断の有無によるS-N曲線

### 3.3.3 ひび割れ性状

図8に供試体F3のひび割れ密度と繰返し回数logNの関係を示す。ひび割れ密度の測定は、図中に示すように供試体下面のスパン間内をA1~C3の9区間に分けて行った。繰返し回数が増えると、まず荷重直下である床版中央の位置(B2)およびPCの導入方向(C2)にひび割れが集中的に発生し、その後、四隅の方向に進行していくものと推察される。また、ひび割れは繰返し回数が増えるとともに増加し、破壊直前にひび割れが繋がり破壊に至るために破壊後のひび割れ密度が急増した。この性状はいずれの床版も同様であった。

図9にF4のひび割れ密度とたわみの関係を示す。これより、ひび割れ密度が $16\text{m}^2$ 程度まではたわみが増加するにつれてひび割れ密度も直線的に増加しているが、ひび割れ密度が $16\text{m}^2$ 程度になるとたわみが急増している。これは、ひび割れの進行によって、床版がプレストレス導入方向に分割された状態いわゆる梁状になり、剛性が急激に低下したためと考えられる。また、松井ら<sup>9)</sup>が行ったRC床版の実験では、RC床版のひび割れ密度は $10\text{m}^2$ 程度でほぼ停滞しているが、軽量PC床版ではひび割れ密度の増加が変曲する約 $17\text{m}^2$ を超えてもなお増加し続け、最終的には $20\text{m}^2$ 近くまで増加している。この原因として、普通コンクリートに対し軽量コンクリートは引張強度が低いことなどにより、ひび割れが入りやすくなったものと考えられる。また、いずれの床版も類似した挙動を示した。

### 3.3.4 コンクリートひずみと破壊回数との関係

図10に供試体上面コンクリートひずみと破壊回数との関係を示す。コンクリートひずみは床版上面の中央から150mmの位置における測定値であり、圧縮を負として表す。これは縦軸に繰返し回数毎の最大荷重時のコンクリートひずみを取り、横軸に破壊回数をとったものである。図中には土木学会コンクリート標準示方書式(以下、示方書)<sup>9)</sup>のコンクリートの疲労強度に関する式を取り入れた。図に示すように、破壊回数が少ない供試体ほどコンクリートひずみは大きい傾向になった。これより、強度比Sに関係無くコンクリートひずみが大きい供試体は疲労強度が低くなるといえる。また、各繰返し回数のコンクリートひずみの傾きは示方書とほぼ同様な傾きをしており、繰返し回数が増えるごとにコンクリートひずみは示方書式に近づいている。これより、軽量PC床版の疲労強度はコンクリートの疲労強度に影響されると考えられる。また、プレストレスの導入による疲労強度の影響も考えられるが、その定量化については今後さらに詳細な検討が必要である。

### 3.3.5 鉄筋応力と破壊回数との関係

図11に最大荷重時における下側鉄筋の中央部の鉄筋応力と破壊回数との関係を示す。これは縦軸に繰返し回数毎の最大荷重時の鉄筋ひずみを取り、横軸に破壊回数をとったものである。図中には既往の鉄筋の疲労に関する式<sup>10)</sup>と実験値を示した。コンクリートひずみと同様に、破壊回数が少ない供試体ほど鉄筋ひずみが大きい傾向がある。また、鉄筋の応力は全ての供試

体において繰返し回数1回目で示方書を上回る応力が生じている。また、各回数ごとの回帰曲線は既往の式および実験値とほぼ同様な傾きを示し、繰返し回数が増えるごとに鉄筋応力は増加している。

### 3.4 S-N 曲線

#### 3.4.1 軽量 PC 床版と普通 PC 床版の S-N 曲線

図 12 に本研究で行った軽量 PC 床版の S-N 曲線を示す。比較のために図中には過去に本学で行った実験における普通 PC 床版の S-N 曲線<sup>11)</sup>を取り入れた。S-N 曲線の回帰直線を最小二乗法により求めると次式になる。

$$\text{軽量 PC 床版} : S = 1.065 - 0.071 \log N$$

$$\text{普通 PC 床版} : S = 1.040 - 0.045 \log N$$

図 12 より軽量 PC 床版は普通 PC 床版に対し疲労強度が低下していることがわかる。100 万回疲労強度は軽量 PC 床版で約 64%、普通 PC 床版で約 77% となり、軽量 PC 床版は普通 PC 床版と比較し疲労強度が約 13% 低下し、S-N 曲線の傾きも軽量 PC 床版の方が急になる。角田らの実験<sup>12)</sup>では RC 床版の 100 万回疲労強度は 55% としており、軽量 PC 床版の疲労強度は普通 PC 床版と普通 RC 床版の中間ぐらいに位置すると考えられる。また、RC 部材のせん断強度に関しコンクリート強度の影響が大きいことが知られており、疲労に関しても同じことがいえる。浜田ら<sup>13)</sup>は軽量コンクリートの疲労圧縮試験を行い、普通コンクリートに対し軽量コンクリートは疲労強度が 10% 程度低いとしている。これより、軽量 PC 床版の疲労強度の低下と軽量コンクリートの疲労強度の低下量はほぼ同様であり、軽量 PC 床版の疲労強度低下の原因は軽量コンクリートの疲労強度低下が大きく影響したものと考えられる。

#### 3.4.2 鉄筋の破断の影響

図 13 に鉄筋の破断を区別した S-N 曲線を示す。比較のために図中には既往の式による鉄筋の設計引張強度を鉄筋の引張強度で割った値を強度比  $S$  として S-N 曲線を取り入れた。鉄筋が破断した軽量 PC 床版の S-N 曲線は軽量 PC 床版全体の S-N 曲線に比べ傾きが急になっており、鉄筋が破断した供試体の S-N 曲線は既往の式とほぼ同様な傾きを示している。これより、鉄筋が破断した供試体の疲労強度は鉄筋の疲労強度に支配されるといえる。

また、軽量 PC 床版は強度比  $S = 0.75$  でも鉄筋が破断しているのに対し、過去に本学で行われた普通 PC 床版の疲労試験では全ての供試体において鉄筋の破断がなかったことや、角田らの RC 床版の疲労試験では強度比  $S = 0.65$  以下で鉄筋が破断していることを考慮すると、軽量 PC 床版は比較的高い強度比  $S$  の繰返し載荷でも鉄筋が破断し、破壊回数が少ない場合でも鉄筋の破断を起こす可能性が高いことが考えられる。この原因として、軽量コンクリートは引張強度やせん断強度が低下するので、繰返し荷重に対する鉄筋の応力負担が増えるためと考えられる。

## 4. 結論

本研究では軽量 PC 床版の静的および疲労押抜きせん断試験を行い、その考察と押抜きせん断破壊算定式の修正を行った。その結果を以下に示す。

1. 軽量 PC 床版の押抜きせん断耐力に関しては、既往の提案式中のせん断強度項と引張強度項の修正を行うことによって精度が向上する。
2. コンクリートの引張強度、せん断強度は床版の押抜きせん断耐力に大きく影響を与えるので、床版に軽量骨材を用いる場合にはコンクリートの引張強度およびせん断強度を正確に知る必要がある。
3. 軽量コンクリートを用いた床版のひび割れ密度は普通コンクリート床版よりも大きい。また、最終的に破壊するまで増加し続ける。
4. 軽量 PC 床版の疲労強度は普通 PC 床版に対し約 13% 低下する。この原因として軽量コンクリートの疲労強度が低いことが考えられ、軽量 PC 床版の疲労強度は軽量コンクリートおよび鉄筋の疲労強度に依存するといえる。

### [参考文献]

- 1) 石井孝男, 谷倉泉, 庄中憲: 23 年供用した RC 床版の損傷実態・残存疲労寿命と維持管理との関係に関する研究, 土木学会論文集, No.537/I-35, pp.155-166, 1996.4
- 2) 岡田清, 西林新蔵, 千葉静男: 人工軽量コンクリート, 朝倉書店, 1969
- 3) 浜田純夫, 阿部宗人, 松尾栄治: プレストレストスラブの押抜き強度に関する一考察, プレストレストコンクリート技術協会, 第 7 回シンポジウム論文集, pp.7-12, 1997.10
- 4) 東山浩士, 松井繁之: 鉄筋コンクリート床版の押抜きせん断耐荷力について, プレストレストコンクリート技術協会, 第 7 回シンポジウム論文集, pp.13-16, 1997.10
- 5) S.P.Timoshenko and Woinosky-Krieger: Theory of Plates and Shell, 2nd ed, pp.79-103, 1995
- 6) 西村 昭, 藤井 学, 湊 俊: 最新土木材料, 森北出版株式会社, 1988
- 7) 日本コンクリート工学協会: 高性能軽量コンクリート研究委員会報告書, 2000.9
- 8) 松井繁之, 前田幸雄: 道路橋 RC 床版の劣化度判定法の一提案, 土木学会論文集, No.374/I-6, pp.419-425, 1986.10
- 9) 土木学会: コンクリート標準示方書 [構造性能照査編], 2002 年制定版
- 10) 土木学会: コンクリートライブラリー第 52 号, コンクリートの限界状態設計法指針 (案), 1983.11
- 11) 松尾栄治, 浜田純夫, 阿部宗人, 大岩 昇: プレストレストスラブの押抜き疲労強度に関する研究, プレストレストコンクリート技術協会, 第 7 回シンポジウム論文集, pp.1-6, 1997.10
- 12) 角田与史雄, 藤田嘉夫: RC スラブの疲労押抜きせん断強度に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, No.317, pp.149-157, 1982.1
- 13) 浜田純夫, 成岡昌夫: 軽量コンクリートの圧縮疲労強度に関する一実験, 土木学会論文報告集, No.176, pp.83-88, 1970.4