

# 高強度軽量コンクリートを用いたプレキャスト床版に関する研究

## Study on Precast Concrete Slab Using High Strength and Light Weight Concrete

深山清六\*、武部陽\*\*、中村定明\*\*\*、遠藤秀紀\*\*\*\*

Kiyoroku FUKAYAMA, Yoh TAKEBE, Sadaaki NAKAMURA and Hideki ENDO

\* ピーシー橋梁株式会社 (〒105-0003 東京都港区西新橋 3-24-9)

\*\* 工修 ピーシー橋梁株式会社技術開発センター (〒529-14 滋賀県神崎郡五個荘町大字奥)

\*\*\* 工修 ピーシー橋梁株式会社本社技術部 (〒105-0003 東京都港区西新橋 3-24-9)

\*\*\*\* 工修 太平洋セメント株式会社佐倉研究所 (〒285-0802 千葉県佐倉市大作 2-4-2)

In recent years, many troubles on reinforced concrete (RC) slabs in steel bridges have occurred due to increase of large-sized tracks and heavy traffic. Replacing the damaged RC slabs by precast concrete slabs is one of the most effective repairing methods. Using light weight concrete for the replacing method is advantageous to reducing the stress level of existing steel girders and simplifying erection facilities. On the other hand, there is a problem that light weight concrete is less durable than normal concrete. Authors propose to use the high strength and light weight concrete as the countermeasure. In this paper, the characteristics of the high strength and light weight concrete was investigated, and loading tests using the full-scale precast prestressed concrete slab specimens were also performed. The loading tests verified enough strength and feasibility of the precast prestressed concrete slabs using the high strength and light weight concrete.

key words : high strength and light weight concrete, precast and prestressed concrete slab, repair

### 1. まえがき

近年、車両の大型化や交通量の増加により、鋼橋の鉄筋コンクリート床版（以下、RC床版）の損傷が問題となっている。供用中の橋梁における損傷を受けたRC床版の補修・補強方法を確立する事は、重要かつ急務である。この対応策の一つとして、プレキャストコンクリート床版（以下、PCa床版）による床版取替え工法が考えられる。

床版の取替え工法においてPCa床版を軽量化することは、車両の大型化等による主桁への負担を軽減できるとともに、取り替え作業時の架設機材を簡素化できる等の利点がある。しかし、軽量コンクリートは、普通コンクリートに比べて耐久性に劣るといふ課題が残されている。著者らは、この耐久性の課題に対して、高強度コンクリートの使用を提案している。しかし、PCa床版へ高強度軽量コンクリートを適用した事例は少なく、不明な点も多い。

本研究では、高強度軽量コンクリートをPCa床版へ適用するための基礎的データを得る事を目的とし、硬化コン

クリート試験および実物大モデルに相当する大型のプレテンション方式によるプレストレストPCa床版供試体を用いた載荷試験を行った。

ここでは、本研究で得られた高強度軽量コンクリートの基本性能およびPCa床版の載荷試験結果について述べ、鋼橋床版の補修・補強方法への本工法の適用性について報告を行うものである。

### 2. 実験概要

#### (1) 使用材料

セメントは、比重 3.16 の早強ポルトランドセメントを用いた。

粗骨材としては、人工軽量粗骨材（表乾比重 1.80、絶乾比重 1.65）を使用した。

細骨材には、普通細骨材として比重 2.53 の愛知川産の川砂、軽量細骨材として人工軽量細骨材（表乾比重 1.65、絶乾比重 1.30）を使用した。

表1 コンクリートの配合

種類	スランプ値 Sl (cm)	空気量 Air (%)	単位容積 重量 $\gamma_c$ (t/m <sup>3</sup> )	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a(%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤	
										AE剤	減水剤
軽・軽	12以上	5±1	1.7±0.1	21	50	104	500	553	603	1.8	10
軽・重			1.9±0.1	26	44	130	500	735	609	0.3	10

\*) 軽・軽は(軽量粗骨材+軽量細骨材)を使用した場合の配合を示し、軽・重は(軽量粗骨材+普通細骨材)の場合を示す

(2) コンクリートの配合

高強度軽量コンクリートの設計基準強度は、 $50\text{N/mm}^2$ とし、スランプ値が $12\text{cm}$ 以上、空気量が $5.0 \pm 1.0\%$ となるように試験練りを行い配合を決定した。使用骨材としては、軽量粗骨材+軽量細骨材（以下、軽・軽）および軽量粗骨材+普通細骨材（以下、軽・重）の組合せとし、目標単位体積重量は各々 $1.7\text{t/m}^3$ および $1.9\text{t/m}^3$ とした。表1に高強度軽量コンクリートの配合表を示す。

(3) 供試体の寸法および製作

PCa床版供試体は、曲げ耐力試験用には図2に示す幅 $1000\text{mm}$ 、長さ $3600\text{mm}$ 、厚さ $250\text{mm}$ とし、PC鋼より線SWPR7A  $\phi 9.3$ を20本使用してプレストレスの導入を行った。また、押抜きせん断耐力試験用には、図3に示す幅 $1000\text{mm}$ 、長さ $1500\text{mm}$ 、厚さ $250\text{mm}$ とした無筋軽量コンクリートおよびプレレストコンクリートの供試体を各々2体製作した。尚、PCa床版の曲げ耐力試験用および押し抜きせん断試験用のコンクリートの配合は、表1に示す軽・重の配合を採用した。

強度試験用には、圧縮用に $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の円柱、曲げ用に $15 \times 15 \times 55\text{cm}$ の角柱を製作した。

供試体は、成形後3時間前置きした後、蒸気養生・脱型を行った。

(4) 硬化コンクリートの試験

圧縮強度および曲げ強度は、JISの方法に従って測定し、静弾性係数は、土木学会規準（案）に従って測定した。また、硬化後の単位体積重量は、蒸気養生した供試体を研磨仕上げした後、供試体の寸法と重量を測定して求めた。

(5) PC鋼材の定着長測定試験

PC鋼材の定着長は、プレストレス導入時のコンクリートのひずみを、床版供試体側面に張り付けたひずみゲージにより測定し、定着部端部からプレストレスによる応力度が一定になるまでの距離から求めた。図1に床版供試体のひずみ測定位置を示す。尚、PC鋼材定着長測定試験は、図2に示す曲げ耐力試験に使用したPCa床版供試体を用いて行った。

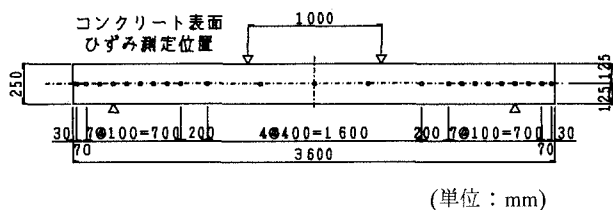


図1 プレストレス導入時ひずみ測定位置

(6) PCa床版の曲げ耐力試験

PCa床版の曲げ耐力試験は、図2に示す対称二点荷

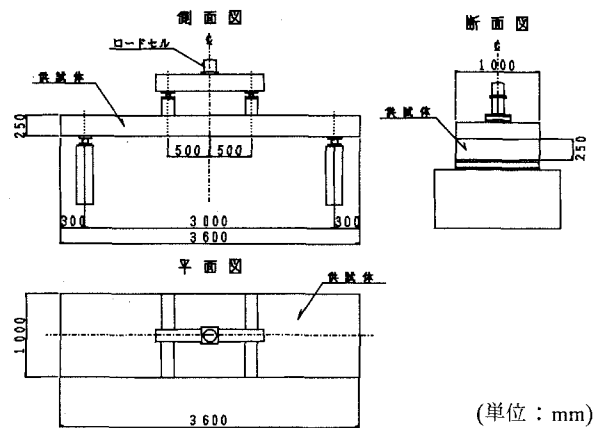
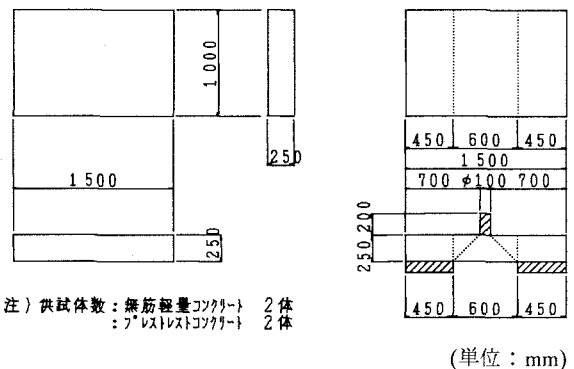


図2 供試体寸法および曲げ耐力試験荷図

とし、支間は $3.0\text{m}$ とした。荷荷重間隔は、原則として、想定ひび割れ荷重までは $9.8\text{kN}$  ( $1.0\text{tf}$ )、その後 $0.98\text{kN}$  ( $0.1\text{tf}$ ) 間隔で床版が破壊するまで荷荷した。ひび割れの発生および進展は目視で観察し、その発生荷重および進展状況を求めた。

(7) PCa床版の押し抜きせん断耐力試験

PCa床版の押し抜きせん断耐力試験は、無筋軽量コンクリートおよびプレレストコンクリート供試体を各々2体作成し、図3に示すように圧縮試験機上にセットし、破壊荷重まで徐々に荷荷して行った。



注) 供試体数：無筋軽量コンクリート 2体  
プレレストコンクリート 2体

(単位：mm)

図3 供試体寸法および押し抜きせん断耐力試験荷図

3. 実験結果および考察

(1) 硬化コンクリートの特性

表2に硬化コンクリートの試験結果を示す。単位体積重量は、軽・軽の場合 $1.7\text{t/m}^3$ 、軽・重の場合 $2.0\text{t/m}^3$ であった。普通コンクリートの単位体積重量を $2.35\text{t/m}^3$ とすると、軽・軽で約28%、軽・重で約15%の重量軽減効果が期待できる。

圧縮強度は、軽・軽の場合、材令1日で $46.7\text{N/mm}^2$ 、材令28日で $53.8\text{N/mm}^2$ であり、軽・重の場合は、材令1日で

56.8N/mm<sup>2</sup>、材令 28 日で 67.1N/mm<sup>2</sup>である。両配合とも材令 28 日の圧縮強度は、設計基準強度 50N/mm<sup>2</sup>を満足している。特に、軽・重の配合では、設計基準強度 55N/mm<sup>2</sup>でも対応可能である。

また、材令 28 日での静弾性係数は、軽・重では 2.64×10<sup>4</sup>N/mm<sup>2</sup>であり、設計基準強度 50N/mm<sup>2</sup>の普通コンクリートの静弾性係数を Ec=3.3×10<sup>4</sup>N/mm<sup>2</sup>とすると<sup>2)</sup>、約 80%となる。

表2 硬化コンクリートの試験結果

種類	単位体積重量 γ <sub>c</sub> (t/m <sup>3</sup> )	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )			静弾性係数 (材令28日) (×10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup> )
		材令1日	材令7日	材令28日	
軽・軽	1.7	46.7	—	53.8	—
軽・重	2.0	56.8	61.8	67.1	2.64

### (2) PC鋼材の定着長試験

図4に、PC a床版供試体のPC鋼材定着長試験結果を示す。全プレストレス量の35% (490kN)、71% (980kN)および100% (1373kN) 導入時での、各測定位置におけるコンクリート応力度分布を測定した。図からわかるように、PC鋼材の定着長 La は、各プレストレスの導入レベルに対してほぼ一定で、定着端部より約60cmとなる。これは、PC鋼材の直径(φ=9.3mm)の約65倍となり、コンクリート標準示方書<sup>1)</sup>で定める普通コンクリートを用いたPC鋼材の定着長と同等の値である。

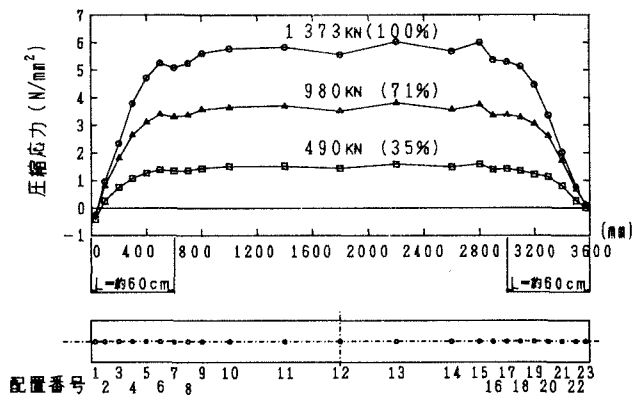


図4 PC鋼材定着長試験結果

### (3) PC a床版の曲げ耐力

#### 1) 曲げひび割れ発生耐力

PC a床版の計算曲げひび割れ発生モーメント、曲げひび割れ発生荷重および曲げひび割れ時のたわみ量は、式(1)~(4)により計算した。尚、PC a床版の載荷試験において、軽・重の配合を採用したため、式(2)の曲げ引張強度<sup>1)</sup>を計算する場合、コンクリート標準示方書に示される軽量骨材コンクリートの低減係数 0.7 は考慮しないものとした。

$$M_{cr} = Z \cdot (\sigma_t + \sigma_{ce}') \quad \dots\dots (1)$$

$$\sigma_t = 0.42 \cdot (\sigma_c')^{2/3} \quad \dots\dots (2)$$

$$P_{cr} = 2 \cdot M_{cr} \cdot a = 2 \cdot M_{cr} \quad \dots\dots (3)$$

$$y = \frac{(P/2) \times \ell^3}{24EI_g} \cdot \alpha \cdot (3 - 4\alpha^2) \quad \dots\dots (4)$$

ここで、 $M_{cr}$ : 曲げひび割れ発生モーメント(×10<sup>6</sup> kN・m)、 $Z$ : 断面係数(=1.0417×10<sup>7</sup> mm<sup>3</sup>)、 $\sigma_t$ : コンクリートの曲げ引張強度 (N/mm<sup>2</sup>)、 $\sigma_{ce}'$ : 有効プレストレスによるコンクリート応力度(=4.1 N/mm<sup>2</sup>)、 $\sigma_c'$ : コンクリートの圧縮強度の特性値(N/mm<sup>2</sup>)、 $P_{cr}$ : 曲げひび割れ発生荷重(N)、 $y$ : 載荷荷重によるたわみ量(mm)、 $P$ : 載荷荷重(N)、 $\ell$ : スパン(mm)、 $E_c$ : 荷重載荷時静弾性係数(=2.2×10<sup>4</sup> N/mm<sup>2</sup>)、 $I_g$ : 総断面の断面二次モーメント(mm<sup>4</sup>)、 $\alpha$ =(せん断スパン)/(スパン)=1/3

式(1)~(4)による曲げひび割れ発生荷重および曲げひび割れ発生時たわみ量の計算値および載荷試験結果を表3に示す。

載荷試験による曲げひび割れ発生荷重は 198.1kN である。一方、計算値による曲げひび割れ発生荷重は、コンクリートの圧縮強度の特性値  $\sigma_c'$  を設計基準強度 50N/mm<sup>2</sup>とした場合、 $P_{cr}$ =191.5kN となり、載荷試験時圧縮強度 60N/mm<sup>2</sup>に対して  $P_{cr}$ =206.9kN となる。各強度の計算値に対する実験値の比は 0.96~1.03 であり、ほぼ一致した結果を示している事がわかる。

載荷試験による曲げひび割れ発生時たわみ量は 4.1mm で、計算値は 3.5~3.7mm となる。実験値は、計算値と比較して、若干大きめの値を示しているが、材料特性のばらつき等を考慮すれば、両者はほぼ一致した変形挙動を示したと考えられる。

以上の事から、曲げひび割れ発生時までの高強度軽量コンクリートを使用したPC a床版の曲げに対する弾性挙動は、計算値とほぼ一致しており、普通コンクリートを用いたPC a床版と同様な取り扱いが可能である。

表3 曲げ耐力試験結果

	実験値	計算値		実験値/計算値	
		設計基準強度 50N/mm <sup>2</sup>	載荷時強度 60N/mm <sup>2</sup>	設計基準強度 50N/mm <sup>2</sup>	載荷時強度 60N/mm <sup>2</sup>
曲げひび割れ発生荷重 P <sub>cr</sub> (kN)	198.1	191.5	206.9	1.03	0.96
曲げひび割れ発生時たわみ δ <sub>cr</sub> (mm)	4.1	3.5	3.7	1.17	1.11
曲げ破壊荷重 P <sub>u</sub> (kN)	394.2	327.2	338.0	1.20	1.17

\* ) 表中の計算値は、床版自重および載荷装置による荷重を考慮した値を示す。

## 2) 曲げ破壊耐力

破壊抵抗曲げモーメントを算出する場合のひずみ分布および応力度分布を図5に示す。破壊抵抗曲げモーメントおよび曲げ破壊荷重は、次式(5)、(6)により算出した。尚、コンクリートの終局時圧縮ひずみは、普通コンクリートと同様に0.0035とした。

$$M_u = T_{p1} \cdot (d_{p1} - 0.4X) + T_{p2} \cdot (d_{p2} - 0.4X) \quad \dots\dots (5)$$

$$P_u = 2 \cdot M_u \quad \dots\dots (6)$$

ここで、 $M_u$ :破壊抵抗曲げモーメント(kN・m)、 $T_{p1}$ 、 $T_{p2}$ :曲げ破壊時の上側および下側PC鋼材張力(kN)、 $d_{p1}$ 、 $d_{p2}$ :上側および下側PC鋼材の上縁からの距離(m)、 $X$ :上縁から中立軸までの距離(m)、 $P_u$ :曲げ破壊荷重(kN)

式(5)、(6)による曲げ破壊荷重を表3に示す。載荷試験による曲げ破壊荷重は394.2kN、計算による曲げ破壊荷重は、コンクリートの圧縮強度の特性値 $\sigma_c$ 'を設計基準強度50N/mm<sup>2</sup>とした場合、 $P_u=327.2$ kNとなり、載荷試験時圧縮強度60N/mm<sup>2</sup>に対して $P_u=338.0$ kNである。この結果、載荷試験による曲げ破壊荷重は、計算値の1.17~1.20倍となり、設計曲げ破壊耐力に対して十分な耐力を有している事を示している。

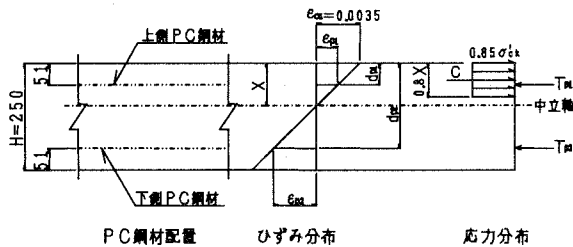


図5 破壊抵抗曲げモーメントを算出する場合のひずみ分布および応力分布

## (4) PCa床版のせん断耐力

表4にPCa床版の押抜きせん断耐力試験結果を示す。無筋軽量コンクリート床版は、終局荷重212.3kNで曲げ破壊を示した。一方、プレストレストコンクリート床版は、曲げひび割れが発生した時点(P=751.7kN)で荷重載荷を終了した。

本試験では、曲げ破壊が先行したためPCa床版の押抜きせん断耐力を求める事はできなかった。しかし、PCa

表4 PCa床版の押抜きせん断耐力試験結果

	終局荷重 Pu(kN)	備考
無筋軽量コンクリート床版	212.3	曲げ破壊
軽量プレストレストコンクリート床版	751.7	曲げひび割れ発生

\*) 破壊荷重は、供試体2体の平均値を示す。

床版の押抜きせん断耐力は、実験により得られた最終荷重以上であると考えられる。つまり、プレストレストPCa床版では750kNの荷重に対しても押抜きせん断型の破壊を生じない事となる。現行の道路橋示方書<sup>2)</sup>では、床版の設計に用いる輪荷重が98kN(10tf)である事を考えると、高強度軽量PCa床版は、現行の設計法に対して十分なせん断耐力を有していると考えられる。

## 4. 結論

高強度軽量コンクリートを鋼橋の床版取替え工法のPCa床版に適用する事を考え、材料試験、曲げ耐力試験および押し抜きせん断耐力試験を行った。以下に、本研究から得られた結果を要約する。

- (1) 硬化コンクリートの結果から、単位体積重量は、軽・軽の場合で約1.7t/m<sup>3</sup>、軽・重で約2.0t/m<sup>3</sup>となり、普通コンクリートと比較して、各々28%および15%程度の重量軽減効果が期待できる。また、両配合とも、材令28日で、設計基準強度50N/mm<sup>2</sup>以上の圧縮強度が得られた。
- (2) PC鋼材の定着長は、PC鋼材直径の約65倍となり、コンクリート標準示方書で定める普通コンクリートに対する定着長と同等の結果が得られた。
- (3) 載荷試験によるPCa床版の曲げひび割れ発生荷重は、設計基準強度50N/mm<sup>2</sup>および載荷時圧縮強度60N/mm<sup>2</sup>での計算曲げひび割れ発生荷重とほぼ合致する結果が得られた。また、曲げひび割れ発生時たわみ量に対しても実験値と計算値は、ほぼ一致した結果となった。
- (4) 載荷試験によるPCa床版の曲げ破壊荷重は、計算値の約1.2倍となり、設計曲げ破壊耐力に対して十分な曲げ破壊耐力を有している事が示された。
- (5) PCa床版の押し抜きせん断試験では、曲げ破壊が先行したため、せん断耐力を決定する事は出来なかった。しかし、PCa床版の押抜きせん断耐力が、載荷試験での最終荷重以上であると考え、現行の道路橋示方書で定める輪荷重に対して十分な耐力を有することがわかった。

以上の事から、高強度軽量コンクリートを鋼橋床版の取り替え用のPCa床版に適用する事は十分可能であり、高強度軽量コンクリートを使用したプレストレストPCa床版は、現状の設計法に対して十分な安全性を確保している事を確認した。

## 参考文献

- 1) コンクリート標準示方書 設計編, 土木学会, 1996
- 2) 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IIIコンクリート橋編, 日本道路協会, 1996