

論文

[2035] 人工軽量骨材コンクリートを用いた PC 桁定着部の補強に関する実験的研究

正会員 宮本 征夫 (鉄道総合技術研究所)  
 正会員 小林 明夫 (鉄道総合技術研究所)  
 正会員 ○渡辺 忠朋 (鉄道総合技術研究所)  
 山住 克巳 (鉄道総合技術研究所)

1. まえがき

人工軽量骨材コンクリート（以下軽量コンクリート）は、普通コンクリートに比較して、支圧強度、引張強度等の力学的特性がやや劣るものの、コンクリートの単位体積重量を普通コンクリートのその約80%程度に抑えることができるという長所がある。

従来、軽量コンクリートを桁部材に使用した実績は少なかったが、軟弱地盤への重量構造物の施工を考えると、軽量の長所を発揮するため骨材のすべてを軽量骨材使用とする必要が生じている。この場合、PC鋼材定着部には大きな応力集中が生じることとなり、全骨材を軽量骨材とすることによるコンクリートの支圧強度、引張強度等の強度低下を考慮すると、定着部付近の補強効果の確認が必要となる[1]。

そこで、PC桁に全骨材を軽量骨材とした軽量コンクリートを用いた場合のPC鋼材定着部の使用状態における力学的性状を明かにするために、PC桁の定着部をモデル化し、端部に定着具を取り付けた供試体を製作し支圧載荷試験を行った。以下に、実験結果及び考察を報告する。

2. 試験概要

2-1. 供試体諸元及び形状

試験は、骨材、鉄筋による補強の程度及び供試体形状寸法を変えた4体の供試体により行った。供試体諸元を表-1に、形状および配筋を図-1に示す。N01,2は背面補強筋（グリット筋）を3段配置し、割裂補強筋はD13を10cm間隔で配置した供試体である。N03は背面補強筋を3段配置し、割裂補強筋はD22を10cm間隔で配置した供試体である。N04は背面補強筋を1段配置し、割裂補強筋はD13を10cm間隔で配置した供試体である。また、供試体N02,3,4には軽量コンクリートを用い、供試体N01には普通コン

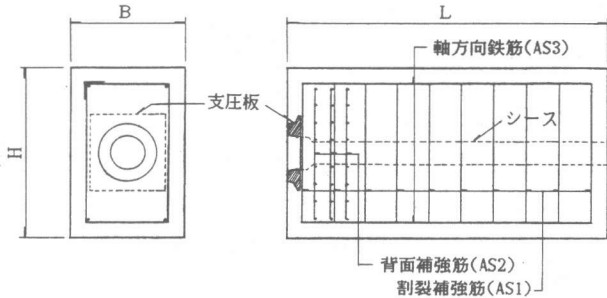


図-1 供試体形状及び配筋状況

表-1 供試体諸元

供試体 NO	B (mm)	H (mm)	L (mm)	As1 (径、間隔)	As2 (段)	As3 (本)	fc' (kg/cm <sup>2</sup> )	使用骨材
1	360	540	1000	D13ctc100	3	D10-4	404	普通
2	360	540	1000	D13ctc100	3	D10-4	362	人工軽量
3	360	540	1000	D22ctc100	3	D10-4	357	人工軽量
4	450	450	1000	D13ctc100	1	D10-4	357	人工軽量

ンクリートを用いた。

軸方向鉄筋は全供試体についてD10を供試体の4隅に各1本ずつ配置した。定着具については、使用PC鋼材としてSWPR7B12T12.7mmを想定し、フレネコーン12T13(MODEL220)を用いた。

## 2-2 試験方法

荷重載荷のパターンを図-2に、載荷装置を図-3に示す。

載荷は、一端に支圧板を取り付けた供試体を鉛直に立て、支圧板に雌コーンを挿着し、その後500t圧縮試験機を用いて雌コーンに直接載荷した。供試体には、偏心荷重がかからないように雌コーンと載荷梁との間に球座を配置し、また、供試体底部にはテフロン板を設置した。

## 2-3 測定項目

測定は、以下に示す項目について行った。

- (1) 供試体表面のコンクリートひずみ
- (2) 供試体内部のコンクリートひずみ
- (3) 割裂補強筋のひずみ
- (4) 背面補強鉄筋のひずみ
- (5) 軸方向鉄筋のひずみ
- (6) 供試体のひびわれ状況および破壊状況

## 2-4 使用材料

鉄筋は、熱間圧延異形棒鋼(SD35:JIS G3112)を用い、セメントは、早強ポルトランドセメント(JIS R 5210)を用いた。人工軽量骨材には、膨張けつ岩を用いた非造粒型の骨材(JIS A5002)を使用している。

## 3 試験結果及び考察

### 3-1 ひびわれ性状

供試体N01,2,3のひびわれは、定着具から供試体の自由端までの距離が短い面に発生した。

SWPR7B12T12.7mmを用いた場合には、定着具に作用する最大荷重はプレストレスング中のPC鋼材の許容引張力の172t(0.9Py, Py:鋼材の降伏強度)である[2]。使用状態の目安として、0.9Py相当荷重載荷時のひびわれ状況を図-4に示す。

普通コンクリートを用いた供試体N01は、八の字状のひびわれが発生した。軽量コンクリートを用いた供試体N02は、鉄筋による補強は供試体N01と同様の供試体であるが、八の字状のひびわ

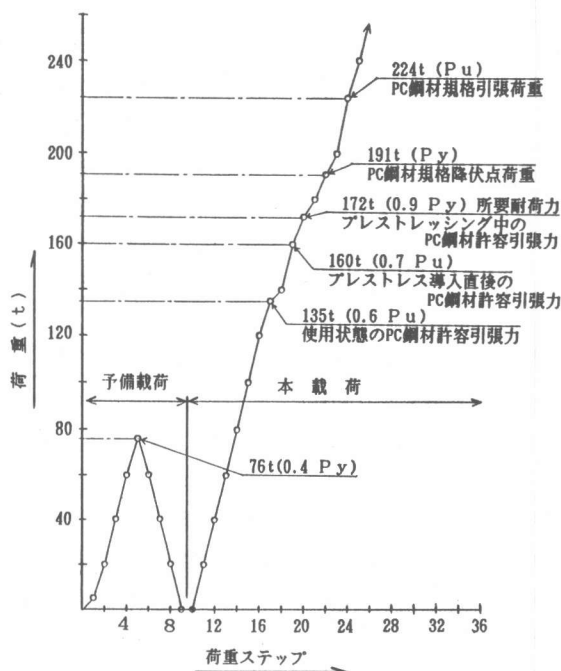


図-2 荷重載荷パターン

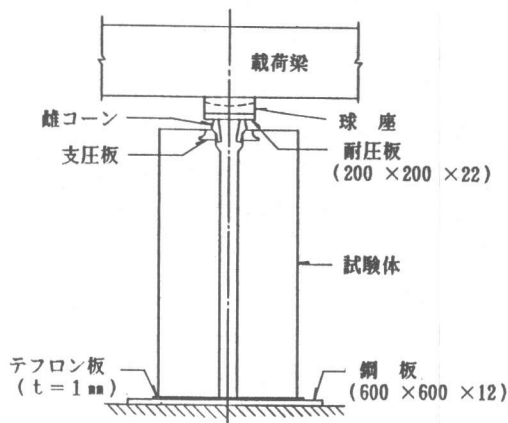


図-3 載荷装置

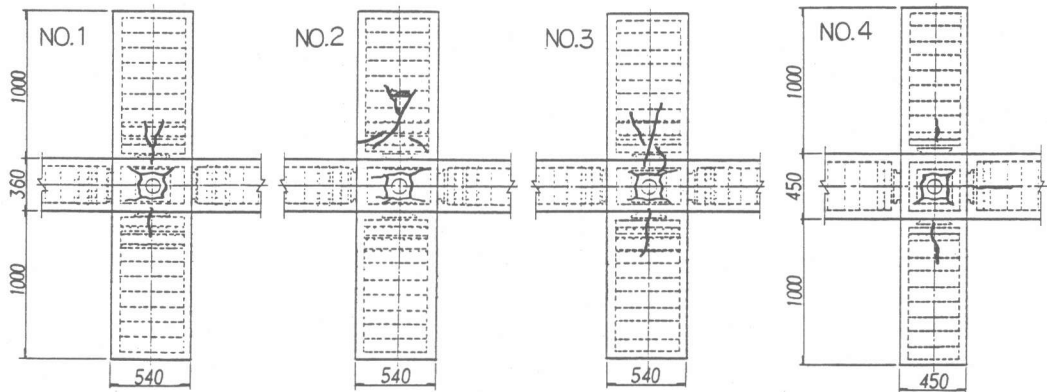


図-4 ひびわれ図 (0.9Py相当荷重載荷時)

れが伸展し、供試体の鉛直方向中央部でかぶりコンクリートの剝離が生じ、定着具背面にくさび状のひびわれが発生した。供試体NO3は、割裂補強筋をD22とした他は供試体NO2と同様の供試体であるが、ひびわれは八の字状に発生し、ひびわれ長さは供試体NO1に比べて若干長くなっている。供試体NO4は、形状寸法が他供試体と異なる供試体であるが、ひびわれは鉛直方向に1本のみ発生した。

ひびわれ性状は、普通コンクリートと同一の供試体形状及び補強鉄筋を配置した軽量コンクリートの供試体では、普通コンクリートと同様のひびわれ性状を得られず普通コンクリートに比して劣る結果となった。

ひびわれ性状から判断すると、0.9Py相当荷重載荷時には、供試体形状が同一であっても、割裂補強筋量を3倍程度増加させることにより普通コンクリートとほぼ同等のひびわれ性状が得られ、また、供試体形状を普通コンクリートに比してある程度大きくすることにより、普通コンクリートと同様のひびわれ性状を得ることができると考えられる。

### 3-2 ひびわれ発生荷重

ひびわれ発生荷重(Pcr)を土木学会示方書で用いられている支圧強度算定式を基本として支圧板面積、支圧を受ける面積、コンクリートの圧縮強度の影響を次式で評価することを検討する[3,4]。

$$\alpha = P_{cr} / (f_c' \cdot \sqrt{A_1 \cdot A_2}) \quad \text{-----} \quad (1)$$

ここに、 $\alpha$  : 補正係数

$f_c'$  : コンクリートの圧縮強度

$A_1$  : シース径を控除した支圧板の面積  $A_2$  :  $A_1$ に相似で供試体縁端に接する面積

表-2にひびわれ発生荷重及び計算結果を示す。補正係数は0.29~0.37の範囲となった。供試体NO1,2は鉄筋による補強は同じであり、NO1は普通コンクリートの、NO2は軽量コンクリートの供試体である。補正係数の値は、普通コンクリートの方が軽量コンクリートよりも小さい値となった。 供試体NO2,3

表-2 ひびわれ発生荷重及び破壊荷重

は、軽量コンクリートを用いた供試体であり、割裂補強筋はそれぞれD13, D22を使用しそれぞれ10cm間隔で配置してある。両者で補正係数の差異は認められなかった。供試体

供試体 NO	Pcr (t)	$f_c'$ (kg/cm <sup>2</sup> )	A1 (cm <sup>2</sup> )	A2 (cm <sup>2</sup> )	$\alpha$	Pmax (t)	$\frac{P_{max}}{P_u}$
1	95	404	537.5	1209.4	0.292	444	1.98
2	100	362	537.5	1209.4	0.343	325	1.45
3	100	357	537.5	1209.4	0.347	366	1.63
4	135	357	537.5	1889.7	0.375	274	1.22

Pcr : ひびわれ発生荷重, Pmax : 破壊荷重  
Pu : PC鋼材の規格引張強度相当荷重(224t)

断面の最小辺長を大きくしてある供試体N04の補正係数は他の供試体に比べて若干大きな値となった。

これらより、ひびわれ発生荷重は、軽量コンクリートと普通コンクリートとではほぼ同等であり、所定の鉄筋補強をしておけば補強鉄筋量の大小による影響は小さいものと考えられる。

また、ひびわれ発生荷重については、(1)式でほぼ評価できると考えられる。ひびわれ発生荷重に対して1.2倍の安全率を考えると補正係数は0.25程度とするのが良いと考えられる。

### 3-3 ひびわれ幅

各荷重ステップごとのひびわれ幅を表-3に示す。

表中に示すひびわれ幅は、最初に発生したひびわれを各荷重段階ごとに追跡し、その段階での最大ひびわれ幅を表している。0.9Py相当荷重時のひびわれ幅で比較すると、ひびわれ幅は、大きい順にN02,N03,N01,N04となっている。

表-3 荷重とひびわれ幅(mm)の関係

N02,3を比較すると、割裂補強筋量を増加させたN03のほうがひびわれ幅は小さくなり、割裂補強筋によるひびわれ幅の抑制効果が認められる。

供試体N0	95t	100t	135t	160t	172t	191t	224t
1	0.04	0.04	0.04	0.04	0.10	0.15	0.15
2	----	0.04	0.10	0.22	0.25	0.32	0.60
3	----	0.04	0.06	0.13	0.15	0.18	0.23
4	----	----	0.04	0.04	0.04	0.10	0.15

N04は、供試体の形状寸法を他供試体と等断面積の正方形にした供試体であるが、

定着具から供試体最短縁端距離を大きくすることにより、ひびわれ幅は小さくなっていることが認められる。

これより、軽量コンクリートの場合、普通コンクリートと同等の荷重でひびわれが発生するが、ひびわれに対してねばりがなく、普通コンクリートと同等の補強を行った場合の軽量コンクリートのひびわれ幅は、普通コンクリートに比較し大きくなる。また、そのひびわれ幅は、Py相当荷重程度までは、割裂補強筋により制御できると考えられる。

### 3-4 破壊性状

表-2に破壊荷重(Pmax)を示した。

普通コンクリートを用いた供試体N01は、荷重の増加と共にひびわれ本数が増加し、ねばりのある破壊性状を示した。軽量コンクリートを用いた供試体のうち、N02は、0.9Py相当荷重時を越えると割裂補強筋の外側のかぶりコンクリートが剝離し、急速に耐力を失った。N03は、割裂補強筋の外側のかぶりコンクリートが剝離しても耐力を保持したが、支圧板背面部の無筋部分のコンクリートが圧壊し急激に耐力を失い、他の供試体とは異なる破壊性状を示した。これは、割裂補強筋量が多いため、圧縮荷重載荷により生じるコンクリートの横方向変形を割裂補強筋が拘束し、拘束部分のコンクリートの剛性が向上したため、逆に支圧板背面の無筋部分のコンクリートが圧壊したのと考えられる。

他供試体とほぼ同断面積を有する正方形の供試体N04は、0.9Py相当荷重時には、軽量コンクリートを用いた供試体のうちで最もひびわれ幅が小さかったが、他の供試体よりも低い荷重で破壊した。これは、背面補強筋を1段しか配置していないので、内部ひびわれの伸展が供試体N02,3に比べて早かったことによるものと考えられる。

軽量コンクリートの破壊性状は、普通コンクリートに比べてぜい性的な破壊性状である。

想定PC鋼材の引張強度相当荷重(Pu)に対する供試体の破壊耐力(Pmax)の比(Pmax/Pu)を表-2示す。これによると、軽量コンクリート供試体は、背面補強筋及び割裂補強筋を適切に配置するこ

と、または定着具と供試体縁端までの距離を大きくすることにより $P_u$ 以上の耐力を有することが可能であることがわかる。本試験の補強方法の範囲では、 $P_u$ に対しては普通コンクリートと同等の破壊に対する安全度を有するには至らなかったが、破壊に対してはいずれも1.2倍以上の安全度を有している。

### 3-5 割裂補強筋の応力

0.9 $P_y$ 相当荷重時及び $P_u$ 相当荷重時の割裂補強筋の応力度分布を図-5に示す。供試体N01, 2, 3については、割裂補強筋に発生する引張応力は、定着具から供試体の自由縁への距離が小さい面(図中A面)に生じた。

割裂補強筋の最大引張応力は、供試体N01, 2の場合は2段目に生じた。供試体N03の場合は、ひびわれ発生時には2段目の割裂補強筋に生じたが、それ以降の荷重については1段目の割裂補強筋に生じた。これは、破壊性状が他供試体と異なることを示しているものと考えられる。供試体N04は、0.9 $P_y$ 時までは2段目の割裂補強筋に生じたが、それ以降の荷重については3段目に生じた。

0.9 $P_y$ 時における、割裂補強筋の最大引張応力度を比較すると、供試体N01, 2では、N02の方が若干大きい値となっている。

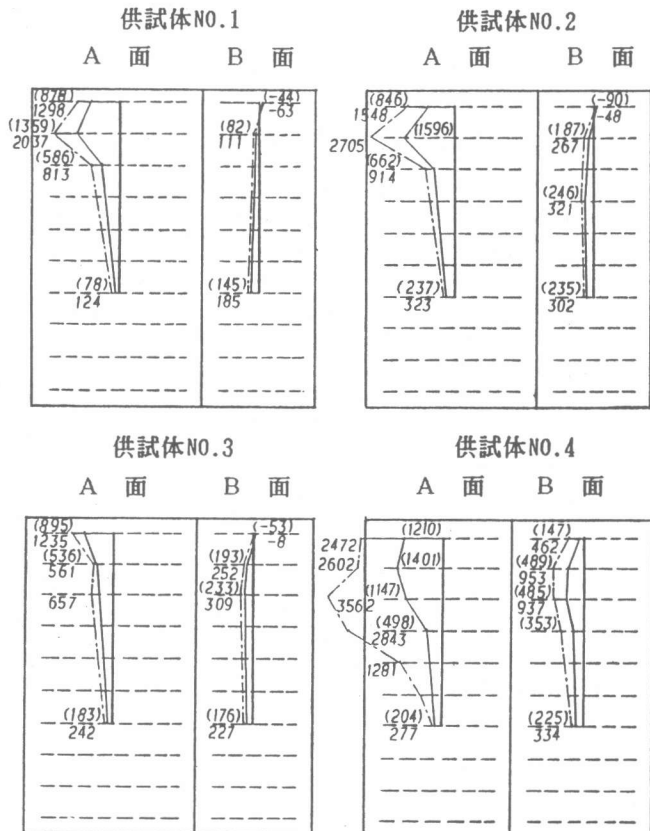
供試体N02, 3では、割裂補強筋量

に約3倍の違いがあるが、引張応力度はN02の方がN03の約1.8倍程度となっている。供試体N04は、3段目までの割裂補強筋に1150~1400 $\text{kg}/\text{cm}^2$ の引張応力度が発生しており、引張領域が他供試体に比べて広く分布していることがわかる。

これより、割裂補強筋量を同量程度配置した場合、割裂補強筋に発生する引張応力は、軽量コンクリートでも普通コンクリートでもそれほど大きな差はないと考えられる。

### 3-6 割裂補強筋の引張応力度とひびわれ幅の関係について

供試体形状寸法及び補強鉄筋量が同じ供試体であるN01, 2の割裂補強筋に発生している引張応力度とひびわれ幅の関係を図-6に示す。ひびわれ幅は、クラックスケールを使用して目視観察により測定している。図-6によると、割裂補強筋の引張応力度が2000 $\text{kg}/\text{cm}^2$ 以下であれば、割裂補強筋に発生する引張応力度が同じ場合、軽量コンクリートのひびわれ幅は、普通コンクリ



—— :  $P=172t(0.9 P_y)$  時の応力度 [ ( ) 内の値 ]

----- :  $P=224t(P_u)$  時の応力度

図-5 割裂補強筋の応力度分布

ートに比べてほぼ2倍のひびわれ幅になっていることがわかる。

#### 4. 結論

本試験から、明かになったことを以下に示す。

①軽量コンクリートの場合、普通コンクリートに比べて形状寸法を大きくするか、背面補強筋量及び割裂補強筋量を増加させることにより、使用状態には、普通コンクリートと同等の定着部としての性能を得ることが可能である。その場合、破壊に対する安全度も考慮すると、本実験の範囲内においては、背面補強筋を3段、割裂補強筋は普通コンクリートの3倍程度配置するのが良い。

②ひびわれ発生荷重は、(1)式でほぼ表すことができ、式中の補正係数は、ひびわれ発生荷重に対する安全度を1.2と考えると、0.25程度とするのが良い。

③割裂補強筋に作用する引張応力は、普通コンクリート、軽量コンクリートともにそれほど大きな差はない。

④割裂補強筋に発生している引張応力が同じ場合、割裂補強筋に発生している引張応力度が2000 kg/cm<sup>2</sup>程度以下であれば、軽量コンクリートのひびわれ幅は普通コンクリートのほぼ2倍であると考えて良い。

#### 5. あとがき

今回、軽量コンクリートPC桁のPC鋼材定着部の使用状態における性状及び、定着部の補強方法についてある程度定性的な把握ができたが、今後、これらを定量化し、設計方法を検討して行きたいと考えている。

#### 【参考文献】

- 1] 宮本、小林、渡辺、他：人工軽量骨材を用いたPC下路桁の設計・施工、プレストレストコンクリート、VOL29,NO6,NOV.1987
- 2] 土木学会：建造物設計標準、昭和58年
- 3] 土木学会：コンクリート標準示方書、昭和61年
- 4] 宮本、小林、渡辺、高田：人工軽量骨材を用いたPC桁定着部の補強実験、PC技術協会第27回研究発表会講演概要、1987年11月
- 5] 石橋、加藤、吉野：PC鋼棒用アンカープレートの配置間隔に関する実験的研究、第2回コンクリート工学年次講演論文集、1980年
- 6] 土木学会：コンクリートライブラリー第56号 人工軽量骨材コンクリート設計施工マニュアル、昭和60年6月

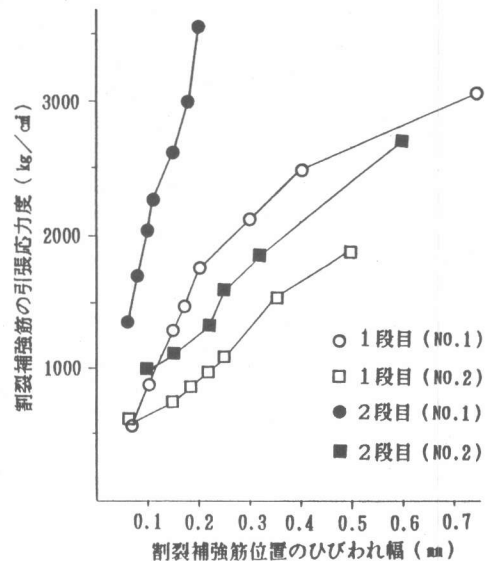


図-6 割裂補強筋の引張応力度とひびわれ幅の関係