

(52) 人工軽量コンクリートを使用したPC桁定着部に関する実験的研究

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○渡邊 忠朋

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 宮本 征夫

1. まえがき

軽量コンクリートは軽さの面では有利であるが、コンクリートとしての力学的特性は骨材内部に気泡を保有するため普通コンクリートに比べてやや劣ることから、特にPC桁定着部のように局部応力が作用する箇所では特別の配慮が必要である。

PC桁に細・粗骨材とも軽量骨材としたコンクリート(以下、軽量コンクリートという)を用いた場合のPC鋼材定着部の性状を明らかにするために、PC桁の定着部をモデル化し、端部に定着具を取りつけた実物大供試体を製作し支圧載荷試験を行った。

以下に、実験結果および考察を述べる。

2. 実験概要

2.1 供試体諸元及び形状

供試体諸元を表-1に、形状および配筋を図-1に示す。

実験のパラメータは、載荷面積(B×H)、断面形状(正方形、長方形)、割裂補強鉄筋量(A_{s1})、背面補強鉄筋量(A_{s2})、支圧板面積および骨材(普通骨材、軽量骨材)とした。

なお、背面補強鉄筋はD13とした。

2.2 載荷方法

載荷は、シリーズI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(図-2)。荷重載荷のパターンは単調載荷とした(図-3)。なお、供試体No.5~10について

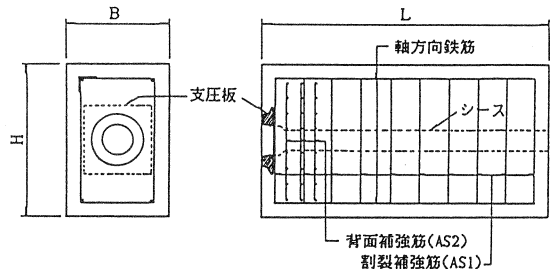


図-1 供試体形状および配筋

表-1 供試体諸元および実験結果

No.	供試体名称	B (cm)	H (cm)	支圧板形状 (cm × cm)	f _c (kgf/cm ²)	A _{s1} 径, 間隔	A _{s2} 段	使用骨材
1	I-1	36	54	24 × 24	404	D13ctc10cm	3	普通
2	I-2	36	54	24 × 24	362	D13ctc10cm	3	軽量
3	I-3	36	54	24 × 24	357	D22ctc10cm	3	軽量
4	I-4	45	45	24 × 24	357	D13ctc10cm	1	軽量
5	II-1	36	36	24 × 24	386	D19ctc10cm	3	軽量
6	II-2	45	45	24 × 24	386	D19ctc10cm	3	軽量
7	II-3	54	54	24 × 24	386	D19ctc10cm	3	軽量
8	II-4	36	36	29.8 × 29.8	386	D19ctc10cm	3	軽量
9	II-5	45	45	28.6 × 28.6	386	D19ctc10cm	3	軽量
10	II-6	36	54	24 × 24	386	D19ctc10cm	3	軽量

注) f_c: コンクリートの圧縮強度
A_{s1}: 割裂補強鉄筋 A_{s2}: 背面補強鉄筋

は使用定着具に用いるPC鋼材の引張強度相当荷重までの
 載荷とした。

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 割裂補強鉄筋のひずみ
- ③ 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、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 R5210)を用いた。軽量骨材には、膨張頁岩を用いた非造粒型の骨材(JIS A5002)を用いた。定着具については、使用PC鋼材として使用頻度の多いSWPR7B12T12.7mmを想定し、フレッシュコーン12T13(MODEL220)を用いた。

なお、供試体No.8、9については、定着具支圧板の背面に十分な剛性を有した鋼板を取付けることにより支圧板面積を変化させた。

3. 実験結果及び考察

3. 1 ひびわれ性状

各供試体ともひびわれは、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リング中のPC鋼材の許容引張力の172t(0.9P_y, P_y:鋼材の降伏点強度)である。使用状態の目安として、0.9P_y相当荷重載荷時のひびわれ状況の例を図-4に示す。

供試体No.1は、普通コンクリートの供試体であるが、ハの字状にひびわれが発生した。供試体No.2は、鉄筋による補強は供試体No.1と同じで軽量コンクリートの供試体であ

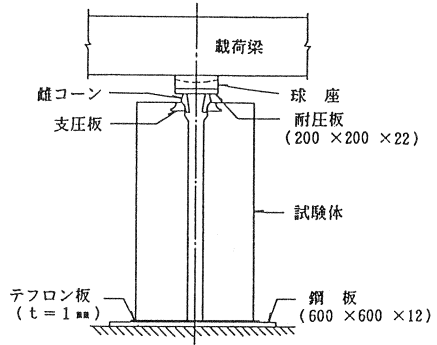


図-2 載荷方法

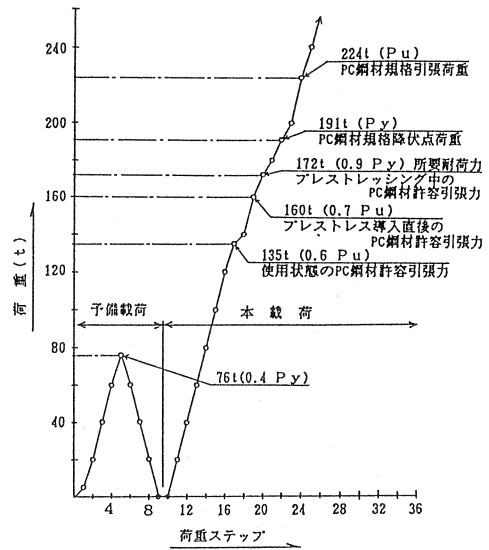


図-3 載荷パターン

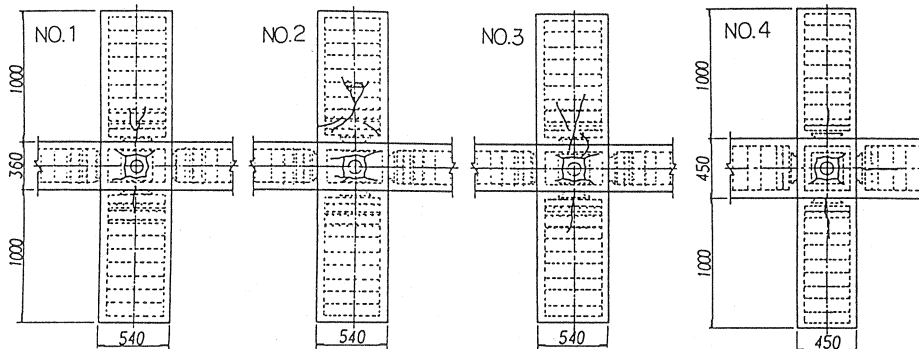


図-4 ひびわれ状況

るが、八の字状のひびわれが伸展しかぶり部分の剝離が認められ普通コンクリートの場合に比べてひびわれ性状が劣る結果となった。供試体No.3は、割裂補強鉄筋をD22とした他は供試体No.2と同様の供試体である。ひびわれは、八の字状に発生しているがかぶりの剝離は認められず供試体No.2に比べてひびわれ性状が改善されていることがわかる。しかし、普通コンクリートの供試体No.1(割裂補強鉄筋はD13)のひびわれ長さよりも長くなっている。

供試体No.4は、形状寸法が他の供試体と異なる供試体であるが、ひびわれは載荷軸方向に1本のみ発生した。これは定着具から供試体の自由縁の最短距離が他の供試体に比べて大きいことによる影響と考えられる。

供試体No.5とNo.8およびNo.2とNo.9は、供試体断面積は同じで、支圧板の面積を変化させた供試体である。供試体No.5とNo.8では、支圧板面積を大きくしたNo.8の方がひびわれの伸展が少なくひびわれ性状の差異が認められたが、No.2とNo.9については顕著な差異は認められなかった。

供試体No.7は、供試体の中で支圧板面積に対して最も供試体断面積の大きい供試体であるが、ひびわれは供試体側面部には発生しなかった。

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べてひびわれ幅、長さとも大きくなる結果となった。供試体形状が同一であっても、割裂補強筋量を増加させることによりひびわれ性状は改善され、供試体形状を普通コンクリートとに比べ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 破壊性状

普通コンクリートを用いた供試体No.1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、No.2は、0.9P, 相当荷重時を越えると割裂補強筋の外側のかぶりが剝離し、急速に耐力を失った。No.3は、割裂補強筋の外側のかぶり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、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ものと考えられる。

他供試体とほぼ同断面積を有する正方形の供試体No.4は、0.9P, 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、背面補強鉄筋を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No.2, 3に比べて早かったことによると考えられる。

4. 実験結果の検討

4.1 ひびわれ発生荷重(P_{cr})

ひびわれ発生荷重に影響を及ぼすパラメータについて検討する。

図-5に形状寸法比(A_2/A_1)と支圧応力比(ひびわれ発生支圧応力度(P_{cr}/A_1))のコンクリートの圧縮強度(f_c)に対する比: $(P_{cr}/A_1)/f_c$ の関係を示す。

図には、配筋状況が同様で形状寸法比のみ異なる供試体について示した。

形状寸法比が大きくなると支圧応力比も大きくなり両者には相関が認められる。

図-6に割裂補強鉄筋比(P_w)と支圧応力比($(P_{cr}/A_1)/f_c$)の関係を示す。図には、それぞれ形状寸法比が等しく割裂補強鉄筋比のみ異なる供試体を点線で示している。

割裂補強鉄筋比の小さい供試体No.4がNo.6に比べて支圧応力比が大きくなっているが、形状寸法比による影響は小さいと考えられる。

以上より、ひびわれ発生荷重は、主としてコンクリートの圧縮強度と形状寸法比の影響を受けると考えられる。

そこで、これらのパラメータが考慮されている以下に示す支圧強度算定式 [1] を用いてひびわれ発生荷重の推定を検討する。

$$f'_{c,d} = \eta \cdot f'_{c,d} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{ただし、} \eta = \sqrt{A_2/A_1} \leq 2$$

- ここに、 A_1 : 支圧を受ける面積
- A_2 : コンクリート面の支圧分布面積
- $f'_{c,d}$: コンクリートの設計圧縮強度

(1)式を変形し、次式で補正係数 α を求めひびわれ発生荷重の評価を検討する。

$$\alpha = P_{cr} / (f'_{c,d} \cdot \sqrt{A_1 \cdot A_2}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

- ここに、 α : 補正係数
- P_{cr} : ひびわれ発生荷重
- $f'_{c,d}$: 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 に各供試体のひびわれ発生荷重及び計算結果を示す。

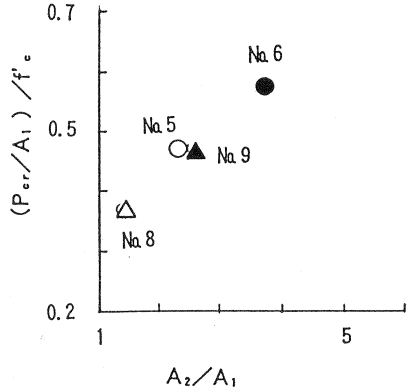


図-5 形状寸法比と支圧応力比の関係

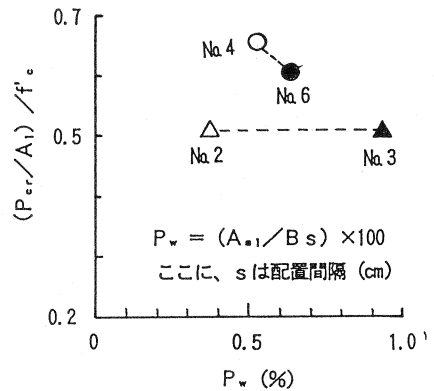


図-6 割裂補強鉄筋比と支圧応力比の関係

表-2 実験結果および計算結果

Na	P_{cr} (t)	A_1 (cm^2)	A_2 (cm^2)	α	$P_{c,cal}$ (t)	$P_{cr}/P_{c,cal}$	$P_{0.1}$ (t)	$P_{0.2}$ (t)	P_{test} (t)	P_{cal} (t)	P_{test}/P_{cal}
1	95	537.5	1257.5	0.29	106	0.89	172	260	444	332(409)	1.34(1.09)
2	100	537.5	1257.5	0.34	95	1.05	135	154	325	297(256)	1.56(1.27)
3	100	537.5	1257.5	0.34	94	1.06	150	200	366	293(253)	1.78(1.44)
4	130	537.5	1986.5	0.37	118	1.14	190	208	274	258(258)	1.06(1.06)
5	100	537.5	1257.5	0.32	101	0.98	---	---	---	---	---
6	130	537.5	1986.5	0.30	128	0.94	---	---	---	---	---
7	---	537.5	2877.5	---	---	---	---	---	---	---	---
8	120	849.5	1257.5	0.30	127	0.94	200	---	---	---	---
9	140	779.5	1986.5	0.29	154	0.91	---	---	---	---	---
10	100	537.5	1257.5	0.32	101	0.98	180	---	---	---	---

注) $P_{0.1}$, $P_{0.2}$: それぞれひびわれ幅が0.1mm, 0.2mm の場合の荷重を示す。
 表中()内の数値は、コンクリート面の支圧分布面積を供試体の全断面を有効とした場合の値。

補正係数 α は0.29~0.37の範囲となった。 α は平均で0.32となる。

ひびわれ発生荷重は次式で推定することができるとして、ひびわれ発生荷重の実験値 (P_{cr}) と計算値 (P_{ccal}) の比 (P_{cr}/P_{ccal}) を求め、形状寸法比 (A_2/A_1) と割裂補強鉄筋比 (P_w) の関係をそれぞれ図-7に示す。

$$P_{ccal} = \alpha \cdot \sqrt{A_1 \cdot A_2} \cdot f'_c \dots\dots\dots (3)$$

これより、ひびわれ発生荷重は(3)式で推定することができると思われる。

4. 2 支圧力とひびわれ幅の関係

支圧力と載荷荷重 (P) の比 ($P/f'_c \cdot \sqrt{A_1 \cdot A_2}$) と割裂補強鉄筋比 (A_{s1}/B_s) の関係を供試体のひびわれ幅が0.1mmの場合と0.2mmの場合について示す(図-8)。ここで言うひびわれ幅は実験時における供試体側面部の割裂補強鉄筋位置の最大ひびわれ幅とした。

ひびわれ幅が0.1mmの場合は、支圧耐力比は骨材の種類や割裂補強鉄筋比によらずほぼ0.5程度になっている。それに対して、ひびわれ幅が0.2mmの場合、骨材の違いの影響が顕著に表れ普通骨材の場合は0.7となり軽量骨材の場合に比べて大きくなっていることがわかる。

また、軽量コンクリートの場合には、割裂補強鉄筋比が大きいほど支圧耐力比が大きくなっており、割裂補強鉄筋によるひびわれ幅の制御に対する効果があることを示している。

これより軽量コンクリートの場合、割裂補強鉄筋は支圧力比が0.5程度の荷重のレベルの小さい範囲においては、ひびわれ幅の制御に対して十分な効果が発揮されなく、荷重レベルが支圧耐力比0.5よりも大きくなると、割裂補強鉄筋によるひびわれ幅の抑制効果認められる。しかし、その効果は普通コンクリートの場合に比べて著しく小さいと考えられる。

4. 3 破壊荷重

破壊荷重を支圧強度算定式(1)式を変形して用いて評価することを試みる。

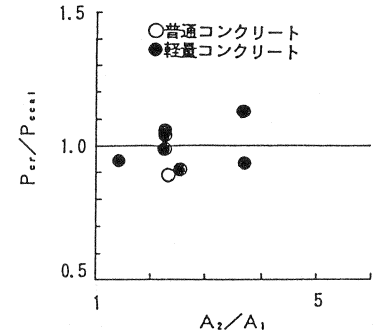
$$P_{ccal} = \beta \cdot \sqrt{A_1 \cdot A_2} \cdot f'_c \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 β : 普通コンクリートの場合 1.0

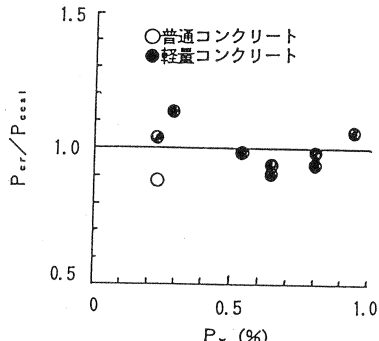
軽量コンクリートの場合 0.7

A_1 : シース径を控除した支圧板面積

A_2 : コンクリート面の支圧分布面積

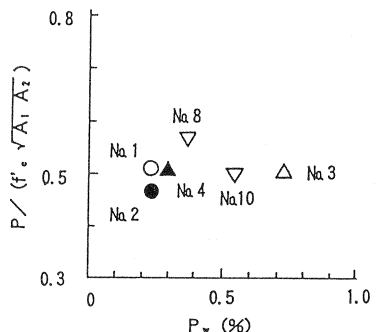


(a) 形状寸法比

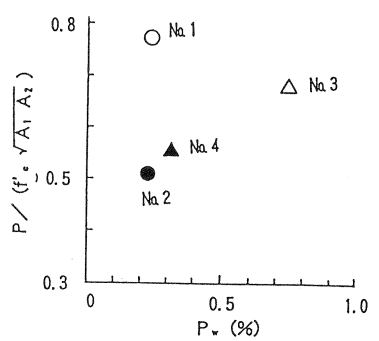


(b) 割裂補強鉄筋比

図-7 形状寸法比・割裂補強鉄筋比と P_{cr}/P_{ccal} の関係



(a) ひびわれ幅0.1mmの場合



(b) ひびわれ幅0.2mmの場合

図-8 ひびわれ幅と支圧力の関係

f'_c : コンクリートの圧縮強度

コンクリート面の支圧板面積 (A_2) を、支圧板面積で供試体縁端に接する面積とした場合 (CASE 1) と、供試体断面の全断面積とした場合 (CASE 2) の両ケースについて計算した。計算結果および計算値 (P_{ucal}) と実験値 (P_{utest}) の比 (P_{utest}/P_{ucal}) を表-2 に、割裂補強鉄筋量と P_{utest}/P_{ucal} の関係を図-9 に示す。

コンクリート面の支圧分布面積のとり方にかかわらず、供試体 No. 4 は供試体 No. 2 に比べ破壊荷重の計算値に対する比が小さくなっている。これは背面補強鉄筋量が No. 2 に比べて少ないことによる影響と考えられる。

なお、コンクリート面の支圧分布面積は、供試体 No. 4 は背面補強鉄筋量が No. 2 に比べ少ないので破壊荷重に対して直接比較は出来ないが、計算値が実験値に近くなり供試体断面の全断面を有効とした場合の方が断面形状が正方形の供試体 No. 4 との差が小さくなっており、供試体の全断面が有効として考慮できる可能性があるものと考えられる。

したがって、背面補強鉄筋量が同じであれば割裂補強鉄筋比が大きい供試体ほど P_{utest}/P_{ucal} が大きくなる傾向があるが、定着部の耐力は(4)式を用いて概ね安全側に評価できるものと考えられる。

その場合、コンクリート面の支圧分布面積は供試体の全断面面積を有効として考慮することも可能であると考えられる。

5. 実験結果のまとめ

本実験の範囲内で、明らかになったことをまとめて以下に示す。

- (1) ひびわれ発生荷重は、骨材の種類や補強鉄筋量による影響よりも形状寸法による影響が大きく、P C 桁定着部のひびわれ発生荷重は、次式を用いて推定することが出来る。

$$P_{cr} = \alpha \cdot \sqrt{A_1 \cdot A_2} \cdot f'_c$$

ここに、 P_{cr} : ひびわれ発生荷重 α : 補正係数 (0.32)

A_1 : 支圧を受ける面積 (シース径を控除した支圧板の面積)

A_2 : コンクリート面の支圧分布面積 f'_c : コンクリートの圧縮強度

- (2) 軽量コンクリートの場合、支圧力比が0.5 程度では、割裂補強鉄筋量の違いによるひびわれ幅の顕著な差異は認められない。支圧応力比が0.5 程度を越えると割裂補強鉄筋によるひびわれ幅の制御に対する効果が現れるが、その効果は普通コンクリートに比べて小さい。
- (3) 定着部の破壊荷重は、土木学会示方書コンクリート標準示方書における支圧強度算定式を用いることにより安全側に評価することができる。

参考文献

- 1) 土木学会 : コンクリート標準示方書 (平成 3 年版)、平成 3 年
- 2) 渡邊、小林 : 人工軽量コンクリートを使用した P C 桁定着部の補強、鉄道総研報告、Vol. 2, No. 8, 1988. 8

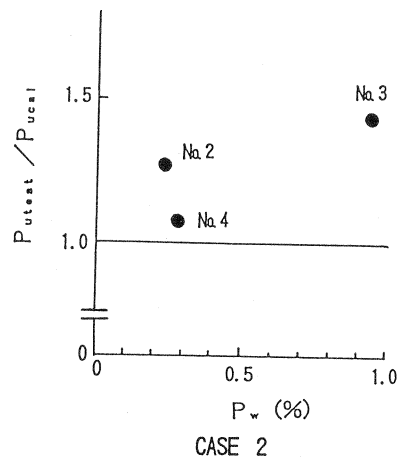
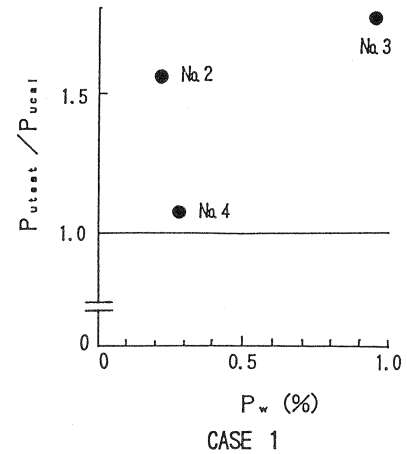


図-9 割裂補強鉄筋比と P_{utest}/P_{ucal} の関係