

[98] PC鋼棒用アンカプレート配置間隔に関する実験的研究

正会員 ○石 橋 忠 良 (国 鉄)
 正会員 加 藤 勝 美 (国 鉄)
 正会員 吉 野 伸 一 (国 鉄)

1. 実験目的

プレストレストコンクリート橋（以下PC橋という）の押し出し工法は最近盛んに行なわれている。特に道路上や鉄道上で橋梁の架設工法として、交通止めをせずに安全に施工できる点が高く評価されている。このPC橋の設計は、施工時の応力をPC鋼棒で受けもたせ、これを設計荷重時にも利用する方法が一般である。このPC鋼棒の配置はアンカプレートの配置間隔の制限から決まり、架設時に必要な鋼棒本数より桁断面の大きさが制約される例が多い。したがってこのアンカプレートの配置間隔の限界を知ることは、より経済的・合理的桁断面の選定を可能とする。本実験は最も一般的に用いられている $\phi 32\text{mm}$ のPC鋼棒用アンカプレートの最小間隔を模型実験により定量的に把握しようとするものである。

表-1 供試体の種類

シリーズ	供試体の記号	供試体諸元 (mm)			アンカプレート の大きさ (mm)	アンカプレートの中心 間隔 (mm)
		幅	厚さ	長さ		
1	260-G-220	840	250	1500	165×165×33	220
	260-G-190	780	250	1500	165×165×33	190
	260-G-165	730	250	1500	165×165×33	165
2	260-S-220	840	250	1500	165×165×33	220
	260-S-190	780	250	1500	165×165×33	190
	260-S-165	730	250	1500	165×165×33	165
3	BP-165-165	730	250	1500	165×165×33	165
	BP-145-145	650	230	1500	145×145×33	145
	BP-145-165	690	230	1500	145×145×33	165

2. 供試体

実験は表-1に示す3シリーズ、9種類（18体）のコンクリート供試体について実施した。各供試体とも箱型桁の上床版、下床版を想定して3本のPC鋼棒を配置した。第1シリーズはグリッド筋による補強をしたもの、第2シリーズはスパイラルによる補強をしたものである。この2つのシリーズはPC鋼棒緊張時のコンクリート強度を260%を目標としたものである。コンクリート強度260%というのは、 $\sigma_{ck}=400\%$ のコンクリートを打設後3日目に緊張する通常の工程を想定したものである。第3シリーズは、第1、第2シリーズの実験結果を検討した上で決定したもので、補強はすべてグリッド筋とし、アンカプレートの大きさを、第1、第2シリーズと同一のものを2体、他はそれより幾分小さくし、PC鋼棒緊張時のコンクリートの強度を220%と260%を目標とした。供試体に用いた配合を表2に示す。セメントは早強ポルトランドセメントである。供試体の配筋図の例を図-1に示す。

表-2 コンクリートの配合

σ_{ck} %	粗骨材 の最大 寸法 (mm)	スラン (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/a (%)	単 位 量 (%)					
						W	C	S	G	混和剤	AE剤
400	25	8±1.5	3±1	42	37	158	37.6	68.3	1,189	0.940	0.075

コンクリート打設時に、各種類の供試体ごとに、強度試験用シリンダー（ $\phi 10 \times 20\text{cm}$ ）を18本、温度測定用シリンダーを1本製作した。この18本の内訳は6本が緊張開始時期を確認するためのものであり、12本が緊張実験時の圧縮強度（弾性係数を含む）、引張強度を測定するためのものである。

3. 実験方法

実験の載荷要領を図-1に示す。

PC鋼棒に与える緊張力は、 $\phi 32\text{mm}$ は一般にSBPR B種1号が用いられているが、試験としてはこれより強度の高いC種の強度までを対象とし

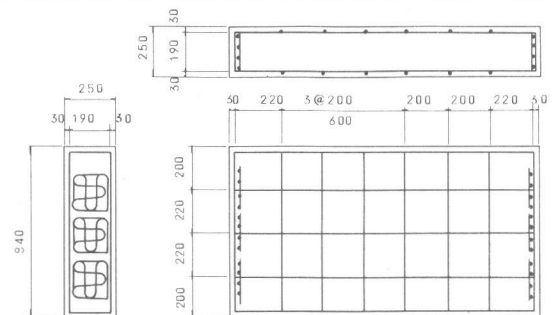


図-1 260-G-220 供試体配筋図

て考えた。この場合プレストレス中の引張力は80t、プレストレス直後は70tまで許容されている。それ由、

最初に供試体の両端部のP C鋼棒を70tで定着した後、中央部のP C鋼棒を80tまで緊張し定着することとした。第1、

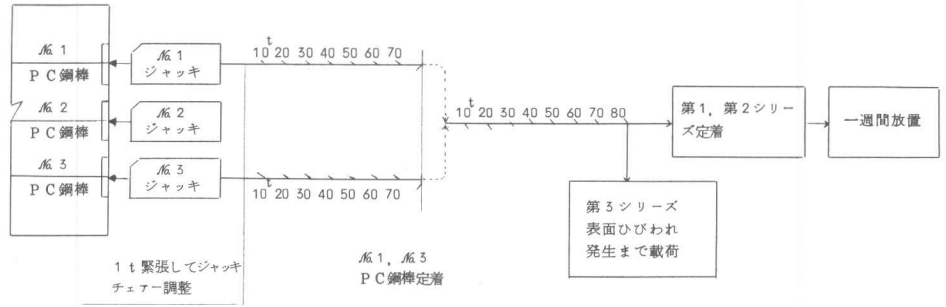


図-2 荷重要領

第2シリーズについては、そのまま一週間放置し表面ひびわれの有無を観察した。第3シリーズについては、中央部のP C鋼棒の緊張を供試体に表面ひびわれが発生するまで行うことを目的とし、P C鋼棒の緊張力だけでは表面ひびわれの生じない時は、別の載荷装置をもちいて表面ひびわれを発生させた。

本実験の測定項目は次の通りである。

- (1) 定着部付近のひずみの測定 (2) 内部ひびわれ発生荷重の検出 (A E装置使用) (3) 表面ひびわれ発生荷重の確認とその発生状況

定着部付近のひずみの測定はP C鋼棒の緊張によって生ずる支圧板直下の引張ひずみを測定することを目的としたものである。このひずみ測定に用いたゲージは外径100mm、厚さ3mmのアクリルパイプの外周面にワイヤストレインゲージ(PL-120)を2枚貼って製作したものであり、中央のP C鋼棒の両端に各3個ずつ設置した。このリングゲージの設置位置を図-3に示す。

内部ひびわれ発生荷重の検出はA E (Acoustic Emission) により行った。本実験におけるA Eの観測は、各荷重段階ごとのA E信号と、その発生頻度(カウントレート)である。トランジューサーの取付け位置は、両端部のP C鋼棒緊張時には、そのうちの1本に沿って、中央部のP C鋼棒緊張時は中央部のP C鋼棒に沿って4点取りつけた。



図-3 リングゲージ設置位置

4. 実験結果及び考察

4.1 コンクリートの品質試験結果

供試体のコンクリートの載荷実験時の圧縮強度、引張強度および弾性係数を表-3に示す。なおここには、供試体とシリンダーのコンクリート打設後のセメントの水和熱による温度上昇の測定結果から積算温度を計算し、これから供試体強度を予測した値も示した。

4.2 積算強度確認試験結果

載荷実験時における供試体のコンクリート強度を、供試体とシリンダーの積算温度の比が両者のコンクリート強度比に一致すると仮定して求めたので、この関係を確認した。

表-3 コンクリートの品質

供試体記号	載荷時コンクリートの品質 %			シリンダー、供試体の積算温度比	供試体の積算強度 (%)	材令(h)
	圧縮強度	引張強度	弾性係数			
260-G-220	265	26.8	3.32×10 ⁵	1.32	350	39.0
	269	29.7	3.03	1.30	350	43.0
260-G-190	249	25.2	2.76	1.33	331	30.5
	241	24.4	2.48	1.37	330	27.0
260-G-165	209	21.2	2.36	1.34	281	27.0
	212	22.3	2.35	1.34	284	30.0
260-S-220	209	22.2	2.46	1.35	277	24.0
	208	23.2	2.45	1.35	286	25.0
260-S-190	201	21.9	2.84	1.32	266	24.0
	202	22.5	2.98	1.36	275	26.0
260-S-165	200	24.4	2.42	1.39	278	24.5
	200	23.8	2.39	1.39	278	23.5
BP-165-165	147	17.9	2.21	1.35	198	24.0
	164	19.4	2.26	1.36	223	26.5
BP-145-145	175	17.1	2.25	1.33	232	20.8
	212	22.2	2.49	1.32	280	25.3
BP-145-165	166	17.7	2.23	1.31	217	22.0
	169	17.3	2.22	1.32	223	25.0

確認方法は表-2に示した配合のコンクリートで本試験と同一の形状、寸法を有する無筋の供試体を2体製作し、これから所定材令でコアをとり、圧縮強度試験を実施した。同時にシリンダーの圧縮強度試験も行ない、両者の強度比を求めた。試験の結果を表-4、および図-4に示す。

表-4 積算強度の試験結果

材令 (時間)	シリンダーの 積算温度	供試体の 積算温度	シリンダーの 圧縮強度 (% _{std})	供試体のコア 圧縮強度 (% _{std})
21	23.5	31.9	95	148
23.5	26.6	36.1	133	174
25.5	29.1	39.4	152	209
27.5	31.5	42.5	165	214
29.5	33.9	45.4	168	220
31.5	36.3	48.2	186	244

図-4からわかるように、コンクリートの圧縮強度はほぼ積算温度に比例する。つまり供試体のコンクリート強度をシリンダーの圧縮強度から、両者の積算温度比より計算することは、ほぼ妥当である。

4.3 載荷実験結果

第1, 第2シリーズはディバダーク工法設計施工指針(土木学会)のグロックアンカーの配置間隔の規定の最小間隔を基本に、それよりきびしい条件の下に試験を行なうことを計画した。またアンカープレートのかぶりも鉄筋の配置も考慮してすべて4.25cmに統一している。このようにかなりきびしいと思われるアンカープレートの配置間隔で試験を行なったが、いずれの供試体も80tの載荷で表面ひびわれは発生せず、そのまま一週間放置後も何ら異状は認められなかった。そこで第3シリーズの実験では条件をさらにきびしくし、表面ひびわれが発生するまで載荷し、ひびわれ発生に対する定量的評価を行なうこととした。したがって第1, 第2シリーズについては、内部ひびわれの発生の有無についてA Eの観測結果およびリングゲージのひずみ測定結果から考察する。次に第3シリーズについては表面ひびわれ発生まで載荷しているため、これについては内部ひびわれおよび表面ひびわれ発生両方について考察する。

A Eの観測結果から内部ひびわれ発生時期の推定は、観測されたA Eのカウントレートの絶対量が種々の条件により異なることが考えられるため、各供試体または各トランジューサーにおけるA Eのカウントレートの相対的な変化をとらえて行なうこととした。本実験で用いたリングダウン計数方式によるA Eカウント方法とは、初めにディスクレベル(しきい値)を設定し、A E波形がこの値を越えるごとにカウントされる方法である。したがって、1回のA E信号で数10回のカウント数が記録され、大きいA E信号の場合には数百回のカウント数が記録されることになる。このカウント数の単位時間当りの相対的な変化から内部ひびわれを推定した。

4.3.1 第1・第2シリーズ載荷実験結果

A Eの観測結果からみると、各供試体とも両端部のP C鋼棒緊張に対して顕著な変化は認められず、内部ひびわれの発生はないものと考えられる。次に中央部のP C鋼棒の緊張に対しては、第1シリーズ(グリッド筋)と第2シリーズ(スパイラル筋)では若干観測結果に違いが見られる。第1シリーズでは70t緊張まではA Eのカウントレートにほとんど変化は認められないが、80tでは若干多発しており内部ひびわれの徴候が伺われる。一方第2シリーズでは80tまでの緊張に対してA Eのカウントレートの変化はほとんど認められず、内部ひびわれは発生していないものと推定される。

リングゲージの測定結果のうち、最大ひずみを示した固定端に最も近いリングゲージの最大ひずみと荷重の関係を両対数グラフにプロットした結果を図-5に示す。破線は第1シリーズ、実線は第2シリーズの結果であり図中に示した凡例の数値はアンカープレートの中心間隔である。この図からわかるようにスパイラル筋で補強し

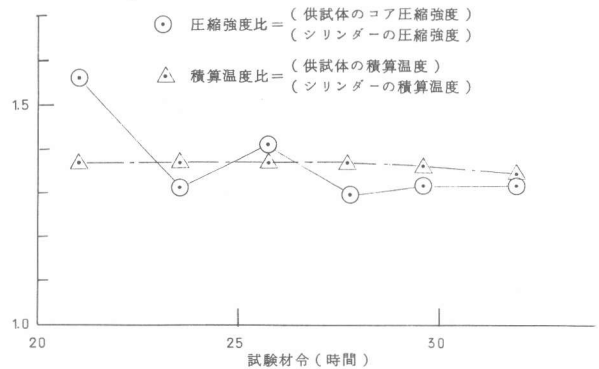


図-4 コンクリートの圧縮強度比と積算温度比の関係

た第2シリーズの供試体は80tまで両者の関係はほぼ直線であり、内部ひびわれは発生していないと考えられる。一方グリッド筋で補強した第1シリーズの供試体では50~70t以降で関係の勾配が変化しており、内部ひびわれ発生等の変状が推察される。第1シリーズのグリッド筋よりも第2シリーズのスパイラル筋の補強の方が効果的なのは、グリッド筋はアンカープレートの背面20mmの位置に1組入っているだけであり、スパイラルはアンカープレートの背面20mmの位置から300mmの間を補強しているため当然な結果であろう。

4.3.2 第3シリーズ荷重試験

このシリーズの特徴をAEの観察結果からみると明確にAEの波形の増大する点があり、内部ひびわれから表面ひびわれにかけてその発生エネルギーが急激に増加しているのがわかる。図-6はBP-165-165のAEのカウントの累加曲線であるが、82t付近に変曲点が生じ、内部ひびわれの発生を示している。

次にリングゲージのひずみと荷重の関係を両対数グラフにプロットしたものを図-7に示す。

また面ひびわれの形状は、ほとんどPC鋼棒の配置位置の表面にPC鋼棒に平行に生ずる。

このシリーズの実験結果をまとめて表-5に示す。表で σ_c は積算温度から求めたコンクリート強度である。 A_1 はアンカープレートの大きさ、 A_2 は A_1 に相似のコンクリート縁端に接し相互に重ならない範囲までの面積である。この表より、グリッド筋程度の補強があれば、アンカープレートの配置間隔はPC鋼棒緊張力が $\sigma_c \sqrt{A_1 \cdot A_2}$ 以下であれば、安全と考えられる。

5. まとめ

押し出し工法におけるPC鋼棒の緊張は、現場養生のシリンダーのコンクリート強度に基づき材令2~3日で行なわれるのが一般である。コンクリート強度はこの後時間の経過とともに増加することと、シリンダ強度よりも本体の強度が一般に大きいことを考えれば、アンカープレートの配置間隔は次式で検討すれば安全と思われる。

$$P < \sigma_c \sqrt{A_1 \cdot A_2} \quad (Pは緊張力)$$

なお本実験およびとりまとめにあたり、大成建設技術研究所・松岡康訓氏、五十嵐孝文氏の多大な御協力をいただいたことを記して感謝の意を表します。

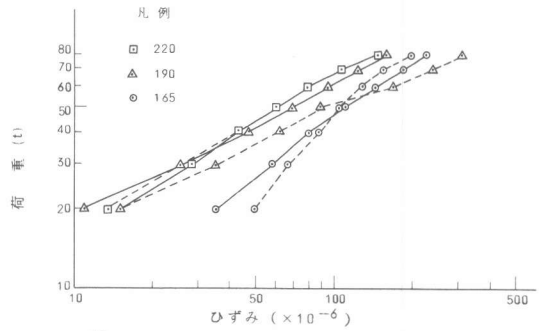


図-5 No.1のリングゲージのひずみと荷重の関係

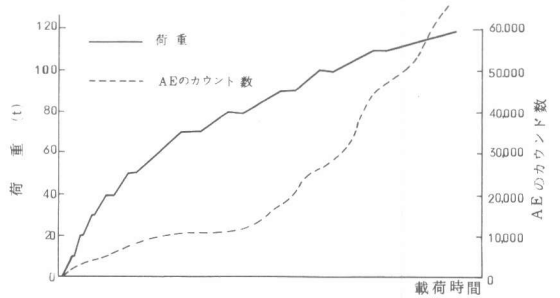


図-6 A Eのカウントの累加曲線

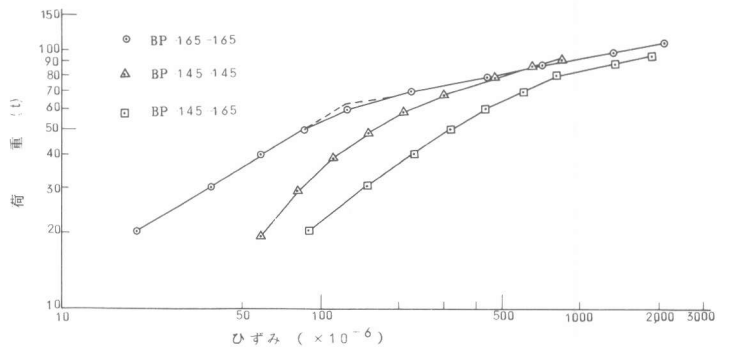


図-7 No.1のリングゲージのひずみと荷重の関係

表-5 第3シリーズ実験結果

供試体の記号	内部ひびわれ発生荷重 P_1 (t)	表面ひびわれ発生荷重 P_2 (t)	$P_3 = \sigma_c \sqrt{A_1 A_2}$ (t)	P_1/P_3	P_2/P_3
BP-165-165	72	90	66	1.09	1.36
	82	90	75	1.09	1.20
BP-145-145	70	80	62	1.12	1.29
	80	90	74	1.08	1.21
BP-145-165	74	90	62	1.19	1.44
	72	90	63	1.14	1.42