

(74) PCR工法箱形トンネル形式における隅角部補強に関する実験的研究

ジェイ・エル・東日本コンクリート(株) 技術部 正会員 〇高藤 寛
 同 上 正会員 栗原 啓之
 オリエンタル建設(株) 技術研究所 正会員 今井 昌文
 同 上 正会員 手塚 正道

1. はじめに

線路下を横断する構造物を構築する方法として、線路下にプレキャストPC桁(以下PC元素)を圧入し線路を支持するPCR工法がある。(写真-1参照)

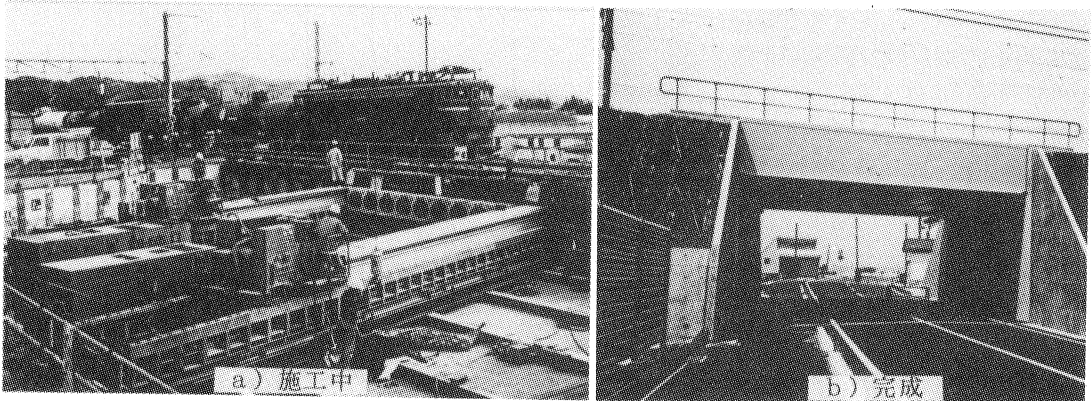


写真-1 PCR工法の施工例

本工法の一つの構造形式として、一般に横断距離が長い場合に適用する図-1に示すようなラーメン構造の箱形トンネル形式がある。

この構造形式では、圧入したPC元素相互間をPC鋼材で一体化するために隅角部に箱形鋼管(以下鋼製元素)を圧入配置し、その中でPC鋼材の挿入および緊張作業を行なう。PC工事が完了後、補強鉄筋を配置しコンクリートを充填して隅角部を形成する方法をとる。このため、この構造物はPC部材とRC部材の混合構造となる。この場合、鋼製元素で囲まれた隅角部の剛性を的確に評価することと、隅角部の補強鉄筋量を極力少なくすることが施工性、経済性を向上させる。

そこで本実験では隅角部に着目し、その部分を取り出したL型模型供試体の曲げ荷重試験を実施し、実験結果から隅角部の剛性の評価および適切な補強鉄筋量について検討したものである。

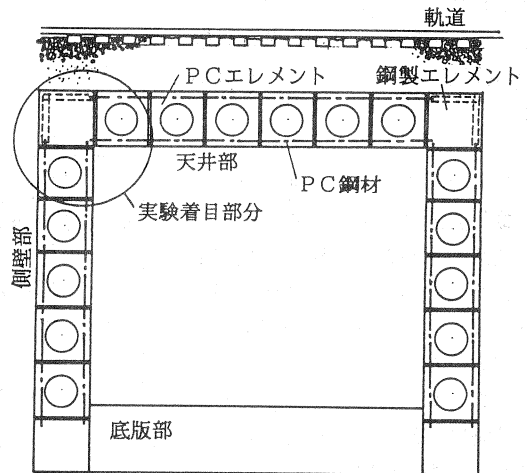


図-1 箱形トンネル形式横断面概要図

2. 実験概要

2.1 供試体の形状および種類

供試体は図-2に示す形状で、隅角部の構造の異なる5体である。

供試体の大きさは、実構造物を1.0とした場合に0.75~0.85の、比較的実物に近いものである。

供試体の種類を表-1に示す。供試体の柱部と梁部は曲げ破壊抵抗モーメントが全ての供試体ではほぼ等しくなるように設計した。PC部材となる部分については軸力として35 kgf/cm²の有効プレストレスを導入している。No. 3~5 供試体の隅角部の補強方法は本工法で採用しているもので、図-3に概要を示すが、PC鋼材を定着している支圧板にネジ孔を設けておき、ネジ切り加工した鉄筋をネジ込みしたものである。

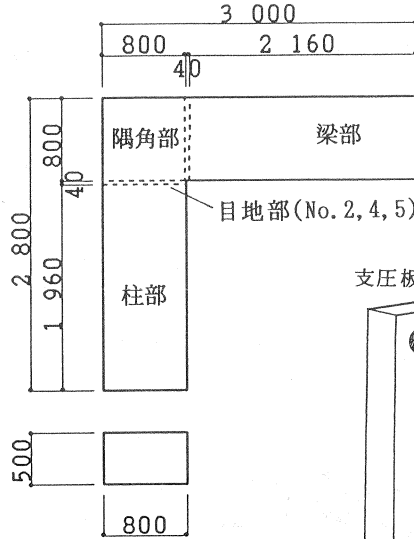


図-2 供試体形状

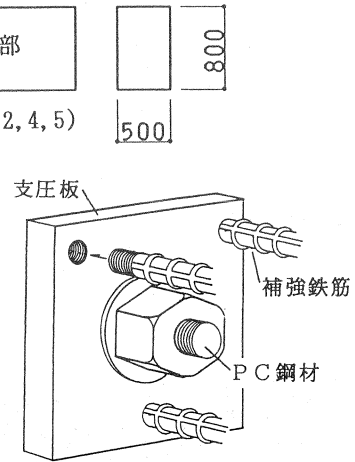


図-3 補強方法概要図

表-1 供試体一覧表

| 供試体名 | 検討目的 | 隅角部の概要図 |
|-------|--|----------------------------------|
| No. 1 | RC一体打ち隅角部の剛性評価 | 7-D25 7-D25 |
| No. 2 | PC隅角部の剛性評価 | PL-16 3-φ23 3-φ23 PL-16 |
| No. 3 | 隅角部の鋼製エレメントの影響を調べるための供試体で、No. 4から鋼製エレメントを省いた構造。 (補強鉄筋量: A _{s1}) | 3x6-D16 3x6-D16 |
| No. 4 | 実構造物を想定した供試体；RC補強隅角部の剛性評価 (補強鉄筋量: A _{s1}) | PL-16 3x6-D16 PL-16 |
| No. 5 | " (補強鉄筋量: A _{s1} /2) | PL-16 3x3-D16 PL-16 |

2.2 使用材料

供試体の使用材料については、鉄筋、PC鋼材および鋼板の機械的性質を表-2.1に、コンクリートおよび目地部モルタルの荷重試験時の強度を表-2.2にそれぞれ示す。

2.3 荷重方法および計測項目

荷重装置は、図-4に示すように柱部の下側をPC鋼棒で反力梁(H鋼)に固定し、供試体梁部先端部分をジャッキで引いて加力するものである。

加力パターンを図-5に示す。

計測は、回転角、変位および隅角部補強鉄筋のひずみを中心に実施した。計測項目および測定位置の例(No. 4 供試体)を図-6に示す。

表-2.1 鋼材の機械的性質

| 種類 | 呼び名 | 降伏点応力 (N/mm ²) | 引張強さ (N/mm ²) | 伸び (%) |
|------|------|-------------------------------|------------------------------|-----------|
| 鉄筋 | D16 | 346 | 494 | 25 |
| | D25 | 311 | 522 | 27 |
| PC鋼棒 | φ23 | 1046 | 1148 | 12 |
| 鋼板 | PL16 | 286 | 437 | 29 |

表-2.2 コンクリートおよびモルタルの試験時強度 (単位: kgf/cm²)

| 供試体 | 梁・柱部コンクリート | | 隅角部コンクリート | | 目地モルタル 圧縮強度 |
|--------|------------|------------------------|-----------|------------------------|----------------|
| | 圧縮強度 | ヤング係数 | 圧縮強度 | ヤング係数 | |
| N o. 1 | 同 | 右 | 366 | 2.62 × 10 ⁵ | — |
| N o. 2 | 414 | 2.76 × 10 ⁵ | 387 | 2.66 | 544 |
| N o. 3 | 395 | 2.65 | 373 | 2.69 | — |
| N o. 4 | 373 | 2.57 | 399 | 2.73 | 509 |
| N o. 5 | 362 | 2.60 | 370 | 2.79 | 498 |

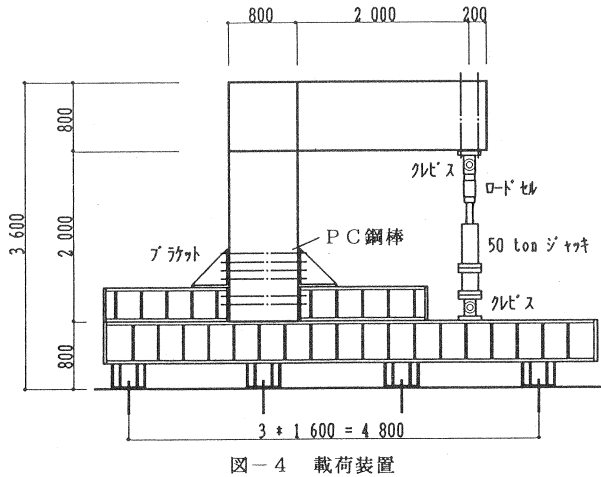


図-4 荷重装置

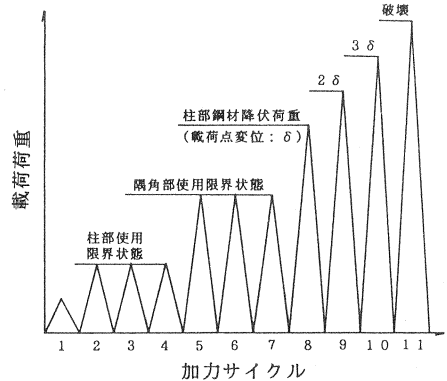


図-5 加力パターン

3. 実験結果

3.1 破壊耐力

破壊に至る経過は、全ての供試体で柱部の引張鋼材 (N o. 1 供試体は鉄筋、他の供試体はPC鋼棒) が降伏し、更に載荷荷重が増加して梁部の引張鋼材も降伏する。最終的には図-7 に示すような柱部の隅角部近傍の圧縮縁においてコンクリートの圧壊が起こり耐力が低下する。ただし、N o. 5 供試体については、圧壊が進行中に隅角部柱側の補強鉄筋が破断した。耐力に関する試験結果の一覧表を表-3 に示す。

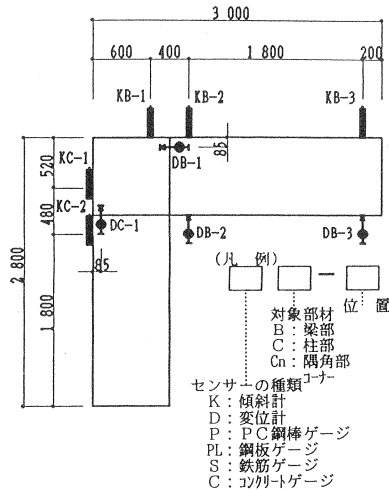


図-6 計測項目および測定位置 (N o. 4 供試体)

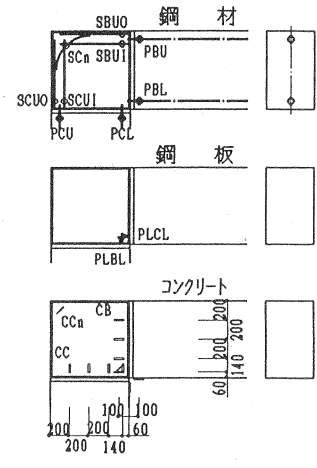


図-7 破壊状況の概要

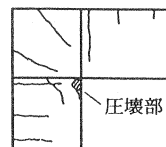


表-3 破壊耐力一覧表

| 供試体名 | 梁部 降伏荷重 $P_{ny}(t)$ | 柱部 降伏荷重 $P_{cy}(t)$ | 破壊 耐力 $P_{max}(t)$ | 破壊形態 | 塑性率 $\frac{\theta_{c,max}}{\theta_{cy}}$ | 耐力 計算値 $P_u(t)$ | $\frac{P_{max}}{P_u}$ |
|-------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|---|-----------------------|-----------------------|
| No. 1 | 鉄筋 39.4 | 鉄筋 37.8 | 42.5 | 柱部 曲げ圧壊 | 7.47 | 34.5 | 1.23 |
| No. 2 | 鋼棒 35.6 | 鋼棒 30.0 | 40.4 | " | 7.62 | 34.8 | 1.16 |
| No. 3 | 鋼棒 35.3 隅角部補強 鉄筋 36.7 | 鋼棒 31.0 隅角部補強 鉄筋 36.1 | 42.2 | " | 6.80 | " | 1.21 |
| No. 4 | 鋼棒 39.1 鉄筋 -- | 鋼棒 30.0 鉄筋 -- | 41.4 | " | 6.56 | " | 1.19 |
| No. 5 | 鋼棒 -- 鉄筋 30.9 | 鋼棒 28.9 鉄筋 33.5 | 38.8 | (曲げ圧壊) 柱側隅角部 補強筋破断 | 5.73 | " | 1.11 |

梁および柱部の引張鋼材降伏荷重はひずみゲージの測定結果から得たものである。塑性率は柱部の隅角部との相対回転角における破壊時の値と引張鋼材降伏時の値との比を表示したものである。耐力計算値は破壊箇所が柱部であるので柱部における値とした。これによると、全ての供試体において、柱部の鋼材降伏が先行し、耐力値も計算値を上回っており、隅角部での耐力低下は見られなかった。また、塑性率を見ると鋼材降伏後も十分な回転角を有しており、塑性ヒンジを形成し得るものと思われる。これらのことから、特に実構造と同様となるNo. 3~No. 5供試体の補強方法は、モーメントの伝達および耐力など、隅角部としての性能は満足しているものと思われる。

3.2 隅角部の剛性の評価

本実験の解析モデルとして、図-8に示す構造図を設定し、各供試体に応じた剛性を仮定して骨組解析を行ない、実験値(回転角、変位)との比較から隅角部の剛性を評価しようとするものである。ここで骨組解析に用いた断面二次モーメントを表-4に記号で示す。記号の定義は次の通りである。

I_g : 全断面を有効と考えた場合の断面二次モーメント

I_{cr} : 圧縮側コンクリートと引張鉄筋のみを有効と考えた場合の断面二次モーメント

$I_{cr'}$: I_{cr} に、鋼製エレメントの引張側鋼板断面積の1/5を加えた場合の断面二次モーメント

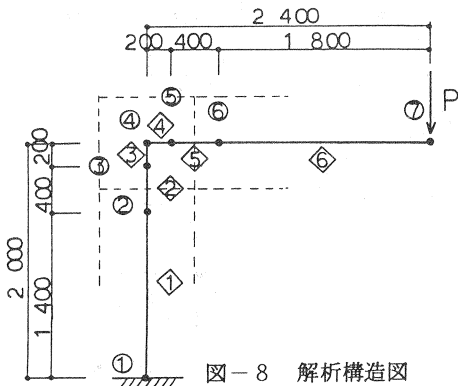
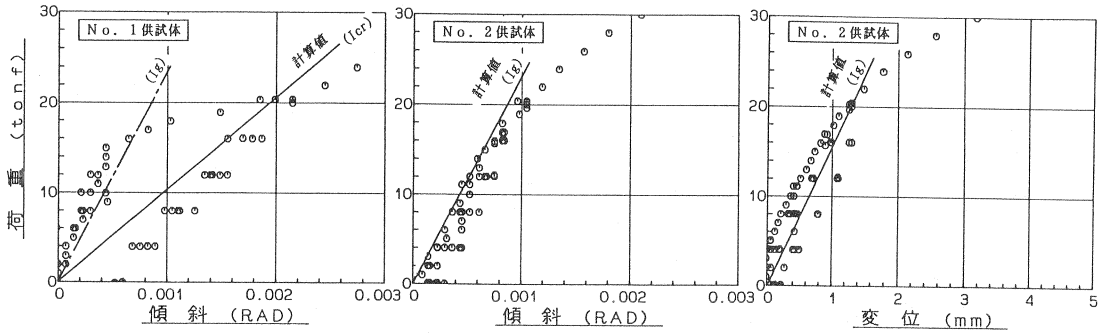


図-8 解析構造図

表-4 計算値部材データ

| | 断面二次モーメント | | ヤング係数 2.7×10^6 (t/m^2) |
|-------|----------------|-----------------|---|
| | ①, ⑥ | ②~⑤ | |
| No. 1 | $I_{cr}(0.42)$ | $I_{cr}(0.42)$ | |
| No. 2 | $I_g(1.00)$ | $I_g(1.00)$ | |
| No. 3 | " | $I_{cr}(0.42)$ | |
| No. 4 | " | $I_{cr'}(0.57)$ | |
| No. 5 | " | $I_{cr}(0.42)$ | |
| | | $I_{cr'}(0.43)$ | |
| | | $I_{cr}(0.23)$ | |



ここで、 I_{cr}' は隅角部を囲む鋼製エレメントの効果をある程度評価したもので、実験結果から逆に推定したものである。表中の()内の数値は I_g を 1.0 とした場合のそれぞれの比を表す。

図-9, 10には各供試体の載荷点の隅角部に対する相対回転角および相対変位の実験結果を計算結果と合わせてそれぞれ示す。この値は、隅角部を基準として得られたもので、言い換えれば隅角部の剛性を評価しているものである。この結果から次のことが言える。

- (1) 部材構成が明快な No. 1, No. 2 供試体の計算値との比較から、ひびわれの発生前後の挙動において一般的な傾向が得られており、この方法で剛性を評価することの妥当性が確認できたと思われる。
- (2) No. 3 供試体については実験値と計算値はよく一致しており、補強方法の妥当性が確認できたと思われる。
- (3) No. 4, 5 供試体では、鋼製エレメントの鋼板をある程度引張鋼材として評価できると思われる。

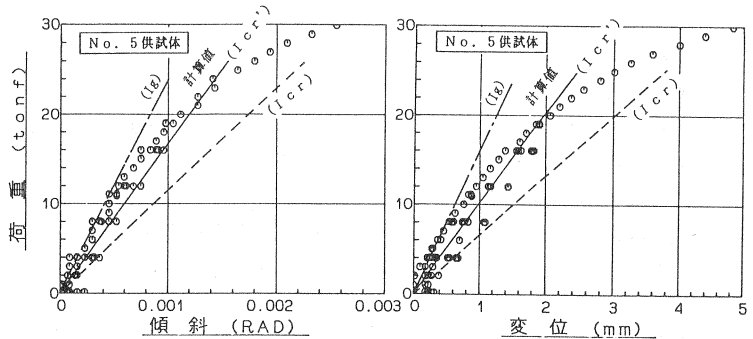
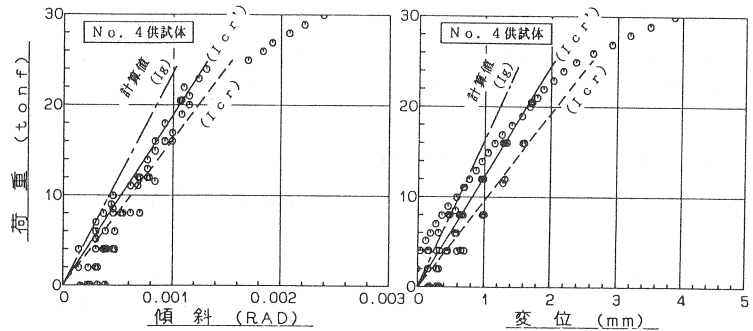
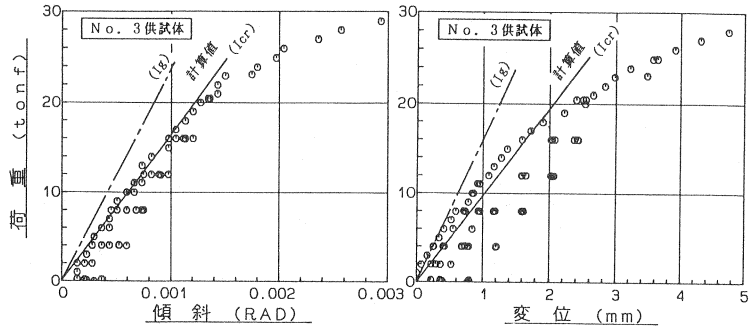


図-9 載荷荷重と
載荷点回転角の関係

図-10 載荷荷重と
載荷点変位の関係

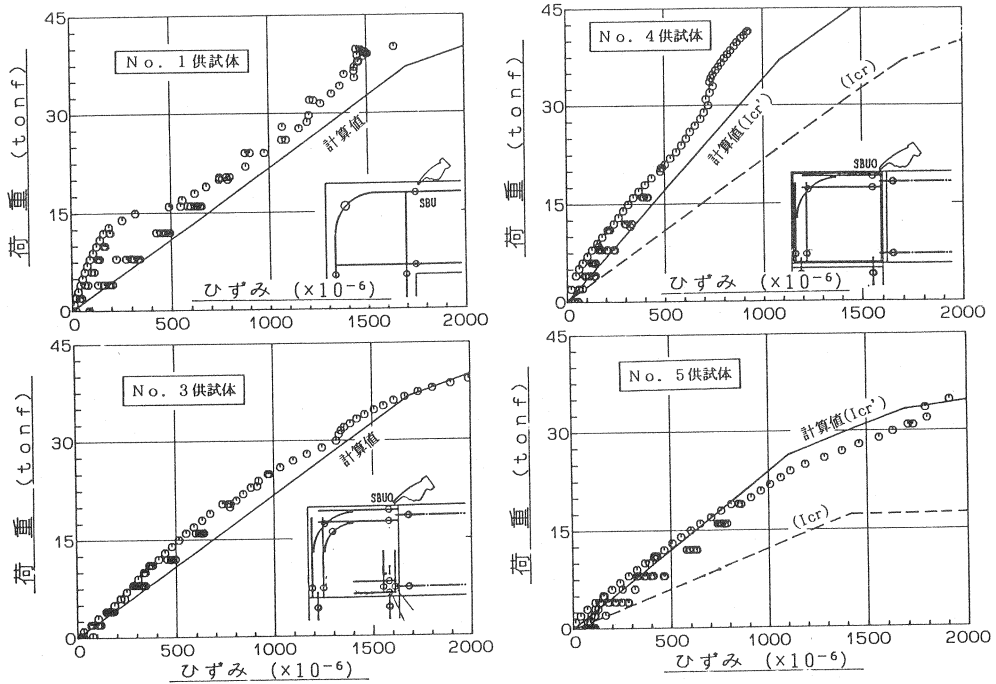


図-1 1 載荷荷重と隅角部鉄筋ひずみの関係

3.3 隅角部補強鉄筋のひずみ

隅角部に配置した補強鉄筋のひずみの測定結果を図-1 1 に示す。また、図中に計算結果も合わせて示すが、No. 4, 5 供試体については 3.2 における I_{cr} と I_{cr}' の仮定を適用したものである。

この結果によると、3.2 の結果同様に、No. 3 供試体については実験値と計算値はよく一致しており、PC 鋼材に作用する力は補強鉄筋に伝達されていることが、また、No. 4, 5 供試体では計算値 (I_{cr}') は比較的实验値に近似しており、鋼製エレメントの評価としては適当であると思われる。

4. おわりに

本研究は、PCR 工法の箱形トンネル形式における隅角部に着目し、剛性の評価および補強鉄筋の適切な配置について実験を行なって検討したものである。本実験によって得られた成果を要約すれば以下のようになる。

- (1) 本工法で採用している隅角部の補強方法は、モーメントの伝達および耐力など隅角部の構造性能を満足していることが確認できた。
- (2) 本工法で採用している隅角部の補強方法によれば隅角部の剛性および補強鉄筋の挙動は、鋼製エレメントの圧縮側鋼板は無視し、引張側鋼板の断面積の $1/5$ を RC 部材の補強断面積として評価することによって推定することができる。

今後の課題としては、鋼製エレメント内の PC 鋼材定着位置が本実験と大きく異なる場合やコンクリートの充填度合との影響について更に検討する必要があると思われる。

参考文献

- 1) 関 博、張 歐華：鋼柱と RC はりからなる門型ラーメンの剛性変化と断面力に関する研究、コンクリート工学論文集、第 3 巻第 1 号、pp.13~21、1992.1.