

(106) P R C 梁の隅角部設計手法

㈱千代田コンサルタント 構造1部 ○野口照夫

同 上 ” 永井 明

同 上 正会員 高橋 誠

1. はじめに

大きな曲げモーメントと同時に大きなせん断力が作用するラーメン部材の隅角部は、応力の方向が急変し応力の伝達機構が複雑となっている。この隅角部の設計手法としては、RC構造については、その引張応力度および補強鉄筋量の算定式が、道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編(以後道示と略す)で定められている。しかし、梁をPRC部材としたラーメン構造については、プレストレスの影響等を考慮した計算方法が定められておらず、この基準をそのまま適用することは不合理となる。そのため、PRC3柱式ラーメン橋脚をモデルとして、3次元線形FEM解析(以後FEM解析と略す)を行って、隅角部に作用する引張応力度の最大値を求め、プレストレス分力による効果、ハンチの大きさによる引張応力度の影響および地震時における応力性状を知るとともに、その補強方法についての提案を行った。

2. 現状におけるラーメン隅角部の設計方法

ラーメン部材の隅角部は、応力の急変部となるため、接続される部材間の断面力が確実に伝達されるように設計を行う必要がある。鉄筋コンクリート部材のラーメン隅角部の設計方法としては道示で定められており、図-1に示す曲げモーメントが、隅角部に作用する場合の引張応力度と補強方法が示されている。また曲げモーメントの作用方向により、外側引張と内側引張が生じるものとしており、その引張応力度の最大値を求める式として、以下の式が示されている。

$$\sigma_{tmax} = \frac{5 M_0}{R^2 \cdot W} \dots\dots (1)$$

ここに  $\sigma_{tmax}$  : 引張応力度の最大値(kgf/cm<sup>2</sup>)

$M_0$  : 節点曲げモーメント(kgf・cm)

$R$  : 節点部対角線長(cm)

$$R^2 = a^2 + b^2$$

$a$  : 鉛直方向部材の幅(cm)

$b$  : 水平方向部材の高さ(cm)

$W$  : 節点部奥行(cm)

$$A_s = \frac{2 M_0}{R \cdot \sigma_{sa}} \dots\dots (2)$$

ここに  $A_s$  : 補強鉄筋量(cm<sup>2</sup>)

$M_0$  : 節点曲げモーメント(kgf・cm)

$R$  : 節点部対角線長(m)

$\sigma_{sa}$  : 補強鉄筋の許容応力度(kgf/cm<sup>2</sup>)

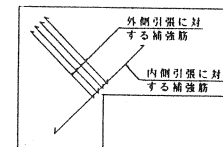
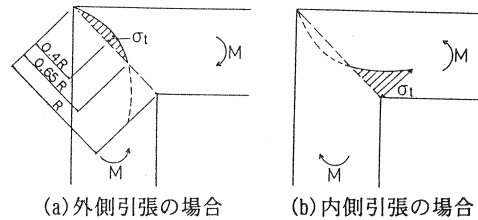


図-1 ラーメン隅角部に生ずる引張力

この引張応力度( $\sigma_t$ )が設計荷重時に許容応力度を越える場合には、補強鉄筋量を(2)式により求めるものとし、内側、外側に生じる引張力について、それぞれ補強筋の配置方法が示されている。しかし、これらは基本的にRC橋脚を対象とした実験式によって求められたものであり、PRC梁(プレストレス)を有するラーメン橋脚に、この基準をそのまま適用することができないことから、図-2に示す3柱式PRCラーメン橋脚を構造モデルとして、この隅角部の応力性状を知るとともに、対角線方向に作用するプレストレス応力分布状態、プレストレスによる応力状態の改善等について調べるために、FEM解析を行って検討した。また、隅角部の内側に設置されるハンチの大

きさによって、引張応力度の最大値 ( $\sigma_{tmax}$ ) は、急激変化することが一般的に知られていることから、ハンチを設けた場合、設けない場合を検討し、隅角部に設けるハンチの最適な形状について検討を行った。

地震時におけるラーメン橋脚の隅角部に発生する引張応力度は、内側引張り、外側引張りが複雑に作用し、この解析方法を厳密に知ることは難しいことであることから、本稿ではFEM解析によって、地震時の引張応力度の分布状態を知るにとどめた。

### 3. 引張応力度の解析

#### (1) 隅角部対角線断面の引張応力度

計算モデルとしては図-2に示す通り、上部工形式がPC箱桁橋でそれを支持する3柱式ラーメン橋脚である。柱間隔が11.0mと広くなっていることから、梁部材をPRC構造とし、コンクリート強度は $\sigma_{ck}=350\text{kgf/cm}^2$ としている。PC鋼材は、図-3に示す通り、PC鋼より線SWPR7B 12T15.2mm、 $n=12$ 本とし、橋脚端部に偏心して定着されている。

荷重載荷状態としては、梁自重、上部工荷重および活荷重を含めた常時状態についての検討を行った。

その結果、道示式を用いた荷重による隅角部対角線上に生じる引張応力度の最大値は $\sigma_{tmax}=-16.7\text{kgf/cm}^2$ となった。FEM解析の結果は、 $\sigma=-15.0\text{kgf/cm}^2$ となり、FEM解析とほぼ一致した結果となった。またその発生位置については、道示が梁の端部より0.4Rの位置であるのに対して、FEM解析では0.35Rとなった。発生範囲については、ほぼ両者とも梁の端部より0.65Rの範囲内に発生する結果となった。(図-4)

PRC構造の場合、PC鋼材の定着によって隅角部内部の応力状態が複雑となるが、特にFEM解析結果によれば、定着具付近に大きな引張応力度が生じ、補強の必要が生じる結果となった。

隅角部対角線位置のプレストレスによる応力分布は、図-4に示すように、対角線断面に対して $\sigma_{p1}$ の圧縮応力成分として $1/\sqrt{2}$ 分だけ有効と仮定されるため、この有効プレストレス分力による圧縮応力度は、 $\sigma_{p2}=15.2\text{kgf/cm}^2$ となる。この値がプレストレスを導入することによる応力状態の改善を期待できる応力度となる。また、FEM解析によれば $\sigma_{p2}=18.5\text{kgf/cm}^2$ となり、仮定されたプレストレス成分の2割程度大きくなることから、 $1.2\sigma_{p2}$ をプレストレス分力による応力度とした。

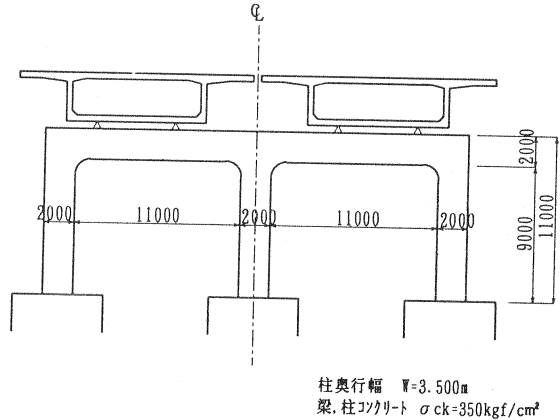


図-2 3柱式ラーメン橋脚

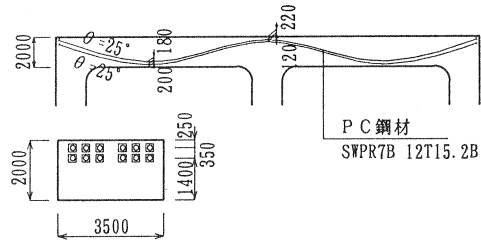
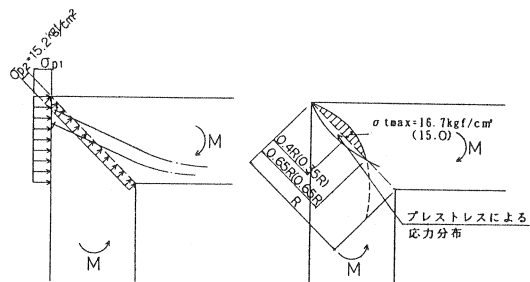


図-3 PRC梁鋼材配置図



$\sigma_{p1}$ : 橋脚端部に作用するプレストレス  
 $\sigma_{p2}$ : 対角線方向に作用するプレストレス  
 注: ( )内はFEM解析値を示す。

図-4 プレストレスの効果

以上により、道示によるRC橋脚を対象とした隅角部対角線断面の引張応力度は、これをPRC橋脚とした場合には、プレストレスの影響を考慮した(3)式が提案できる。また、その補強鉄筋量の算出式も同様に(4)式のように表すことができる。

(2) ハンチ形状の影響

ラーメン隅角部に生じる引張応力度の最大値は、一般にハンチの形状により大きく影響を受けることが知られている。そのため、FEM解析を行って、ハンチの効果およびハンチ形状の違いによる隅角部の応力性状を知るとともに、最適な最適なハンチ形状の検討を行った。

ハンチ形状を直線とするか円弧とするかによって、応力上の影響があると思われるが、本検討では応力の流れを考慮した場合ハンチは円形が最適であると判断し、円弧を基本とし、表-1に示す通り、ハンチを設置しない場合と、ハンチを設置した場合の比較を行った。また、ハンチの大きさは、隅角部には部材の高さと同程度のハンチを付ければ、応力の低減が期待できると言われているため梁高相当のR=2.0mを最大とした。また中間値として、R=1.0mとし、全3ケースについて比較検討を行った。尚、荷重載荷状態は、梁自重、上部工荷重、活荷重の組合せとし、外側引張の応力状態にて検討を行った。検討の結果、表-1に示す通り隅角部に作用する引張応力度σmaxは隅角部内側のハンチの大きさにより、いくらか変化する結果となった。CASE-3の、梁高と同程度とした場合には、引張応力度は8kgf/cm<sup>2</sup>と最小となり、かなり引張応力度を低減できる結果となった。しかしハンチを大きくする事は、死荷重の増加、景観上の問題があり、できるだけ小さくする事が望まれることからPRC梁を前提とする場合には、ハンチ形状は梁高(h)の半分程度(R=h/2)あれば隅角部対角線断面の引張応力度を低減でき、実用上十分であることがわかった。

$$\text{引張応力度の最大値 } \sigma_{tmax} = \frac{5 M_o}{R^2 \cdot W} - 1.2 \sigma_{p2} \dots\dots(3)$$

$$\text{補強鉄筋量 } A_s = \frac{2 M_o}{R \cdot \sigma_{sa}} - \frac{0.65 \cdot R \cdot 1.2 \sigma_{p2}}{\sigma_{sa}} \dots\dots(4)$$

- ここに、σ<sub>tmax</sub> : 節点部の最大引張応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>)
- M<sub>o</sub> : 節点部曲げモーメント (kgf・cm<sup>2</sup>)
- R : 隅角部対角線長(cm)
- W : 奥行き幅 (cm)
- σ<sub>p2</sub> : 隅角部対角線方向に作用するプレストレス応力 (kgf/cm<sup>2</sup>)
- σ<sub>sa</sub> : 補強鉄筋の許容応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

表-1 ハンチ形状の影響比較結果

		CASE-1	CASE-2	CASE-3
		ハンチ無し	R=1.0m	R=2.0m
応力分布図	道示			
	FEM			

(3) 地震時の引張応力度

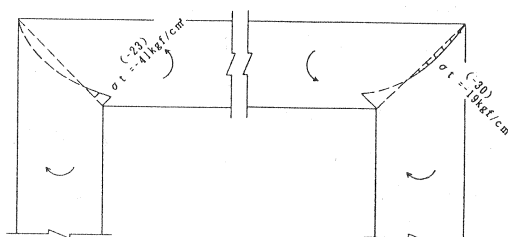
地震時におけるラーメン隅角部の引張応力度は、ラーメン構造の形式および地震力の作用方向によって複雑であり、その解析手法および応力分布を厳密に知ることは、不可能であるとされている。また引張力の生じる位置も、図-4に示されるように内側引張が支配的となり、一般的に道示式は、外側引張を前提としていることから適用できない。そのためFEM解析を実施して、その応力分布状態を調べることにした。

解析の結果、地震力の作用方向によって生じる(a)内側引張、(B)外側引張は、外側引張をとらえれば、プレストレスの効果があらわれているが、内側引張についてはプレストレスの影響が逆効果となる場合もあることがわかった。

4. まとめ

PRC構造は、従来のRC、PC構造と比較し、構造的性、施工性、経済性等の面で有利な構造といわれており、最近多用されている。本稿では、PC鋼材を配した隅角部の設計手法が確立されていないことから、FEM解析を実施してPRC梁における隅角部の応力状態を推定するとともに、最適なハンチ形状等の隅角部についての基礎的な検討を行った。

今後はひびわれ発生前と発生後の隅角部の応力分布、地震時の挙動について明確にするため、さらに検討が必要であると考え。また、PRC構造の隅角部は、定着具などにより複雑となるので、配筋などを簡略化し、コンクリート打設等の施工が容易となるように、設計上から十分に配慮する必要があると考える。



(a)内側引張 (b)外側引張

註：( )内は、プレストレスを無視した場合

図-5 地震時の応力分布図

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IIIコンクリート橋編 平成6年2月
- 2) 日本道路協会：コンクリート道路橋設計便覧 昭和60年10月
- 3) 土木技術(29巻9号, 10号)コンクリート構造物の隅角部設計法(その1~その3)