

プレストレスト コンクリート T 形ばりの有効幅について

本 岡 順 二 郎*

1. ま え が き

曲げを受ける T 形ばりの有効幅に関しては 1921 年の R. Bortsch 以後 Th.V. Karman, W. Metzger などの多くの研究があり、わが国では 1941 年および 42 年の坪井博士¹⁾の研究以後、最近の東博士の一連の理論および実験的研究が行なわれてきた。また、実際設計の面ではこれらの研究結果に基づいて各国の規準で実用的な有効幅を規定しているが、たとえば、日本建築学会鉄筋コンクリート構造計算規準(1971)では、東博士の提案²⁾に基づいて規定の変更を行なうなど、有効幅の規定値についても変遷が続いている。

鉄筋コンクリートばりにおいてはラーメンの応力計算ではりの剛比決定に有効幅が必要となるが、断面算定時には T 形ばりではほとんどの場合、釣合い鉄筋比以下であるから、有効幅の多少は問題となることは少ない。

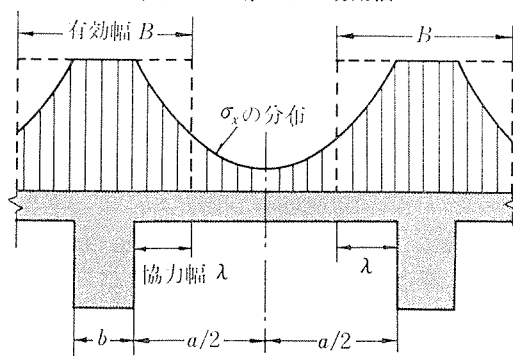
これに対してプレストレスト コンクリートラーメンでは、ラーメンの応力計算時に不静定 2 次モーメントが加わるほか、断面計算時の応力度の値やプレストレス力の決定に有効幅が大きく影響することになる。したがって、関係者は有効幅の決定に慎重となるが、現在の建築学会プレストレスト コンクリート設計施工規準の有効幅規定の不備もあって、実際設計では過去の研究結果や設計例を参考に適当と思われる値を採用しているのが実状である。

この報告は、以上の点からプレストレスト コンクリート T 形ばり、特に建築物に用いられる T 形ばりの有効幅を実際設計でどのように考えればよいかを過去の理論研究および実験的研究から検討したものである。

2. T 形ばりの有効幅

曲げを受ける T 形ばりは板部がはりに協力して抵抗するが、その材軸方向応力 σ_x の分布は一様ではなく、図-1 のようにはりを離れるにつれて減少する。このような応力分布を一様分布に置きかえて初等曲げ理論が適用

図-1 T 形ばりの有効幅



できるようにしたときの仮想幅を有効幅 B としている。したがって、有効幅 B は

$$B = b + 2\lambda$$

$$\lambda = \frac{1}{\sigma_x(y=0)} \int_0^{a/2} \sigma_x dy$$

で定義されることになる。

σ_x の分布は材軸方向のモーメントをフーリエ級数で表わし、応力関数を用いて求められる。このようにして求められた有効幅は図-2 のように、その値は材端の支持条件、板の辺長比、断面各部の寸法比などによって変化するとともに、材軸方向にもその分布が変化することが従来の研究によって示されている。したがって、断面算定には設計断面における有効幅を用いる必要があり、ラーメン応力の計算には材軸方向に変化する有効幅からなる材の曲げ剛性を表わす有効幅を用いる必要がある。特にプレストレスト コンクリート T 形ばりではプレストレス導入にともなう曲げモーメントと外力による曲げモーメントではその分布形が異なるので、厳密にはそれぞれ異なった有効幅をとることになる。また、材軸方向に圧縮力が作用するので、T 形ばりを Scheibe として取扱う必要がでてくる。この場合、材端から十分離れた位置では軸方向力に対して全断面が有効であり、端部では桁ばりの水平剛性の影響を受けるが一般に減少する。

したがって、軸長変化に基づく不静定力を計算する場合などでは、このような有効幅の変化を代表するようないわば平均の有効幅を求める必要がある。

* 日本大学理工学部

以上のように応力計算と断面計算とではそれぞれ異なる有効幅を用い、さらにプレストレスト コンクリート ラーメンでは曲げと軸力に対して2種類の有効幅を必要とすることになる。しかし、実際設計で種々の有効幅を用いるのは繁雑であり、また、通常応力計算にあまり大きな影響を与えないことが多いので、一般に計算規準などでは有効幅を規定し、なるべく簡単に計算できる形で示してあることが多い。

3. 有効幅の規準値

鉄筋コンクリートの計算規準で規定される有効幅は $B=b+16t$ (Building Code Requirements for Reinforced Concrete, ACI 318-63), $B=b+12t$ (日本建築学会鉄筋コンクリート構造計算規準, 昭 37 年), (Bauwerke aus Stahlbeton-DIN 1045) および (B.S. Code of Practice for Reinforced Concrete) など板厚を含む表現となっており、板厚を含まない規定では $B=b+0.1l$ ($\lambda=0.2l$) とするフランス規準 (Régles, B.A. 1960) がある。しかしながら、板厚が有効幅にあまり影響しないことは2次元弾性解や種々の実験で確かめられているので、最近改訂された規準などでは板厚を考慮しない規定となっている。

本年改訂となった日本建築学会の鉄筋コンクリート構造計算規準では、板厚の項を省略して下記としている。

$$\begin{aligned} \text{ラーメン材および} & \\ \text{連続ばりの場合} & \lambda = \begin{cases} (0.5-0.6 a/l)a & [a < 0.5l \text{ の場合}] \\ 0.1l & [a \geq 0.5l \text{ の場合}] \end{cases} \\ \text{単純ばりの場合} & \lambda = \begin{cases} (0.5-0.3 a/l)a & [a < l \text{ の場合}] \\ 0.2l & [a \geq l \text{ の場合}] \end{cases} \end{aligned}$$

ここに a : 隣りの材との間隔, l : スパン

また、コンクリート構造物設計施工国際指針³⁾

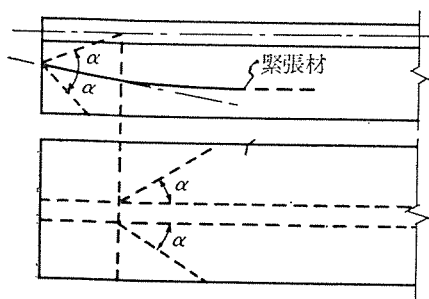
(COMITEEUROPEEN DU BETON-FFDERATION INTERNATIONALE DELA PRECONTRAINTE 1970) では

$$\text{等分布荷重の場合 } B=b+l/8 \quad (\lambda=0.25l)$$

$$\text{集中荷重の場合 } B=b+l/10 \quad (\lambda=0.20l)$$

としており、さらに正確な値を必要とする場合は板厚/

図-2 プレストレスの広がり (CEB/FIP 規準)³⁾



はりせい比、スパン/はり幅比およびスパン/辺長比を関数とする詳細な表が用意されている。

同規準ではさらに緊張端からのプレストレスの広がりについては軸力と曲げとの作用を分けて考慮すること、正確な計算を行わない場合は図-2における α に対して $\tan \alpha=2/3$ (すなわち $\alpha=33.69^\circ$) と規定している。

4. 有効幅に関する実験

T形ばりの曲げに対する有効幅を実大コンクリート試験体や模型で測定することは理論的研究が始められた当時から行なわれており、最近では、実際の構造物を想定した種々の条件に対する実験が行なわれている。

有効幅を実験的に求めるには

- 1) スラブの材軸方向のひずみ分布と、はり上端のひずみがスラブまで直線分布としたときの両ひずみ面積が同じになる幅をひずみ測定図上で求める(台形法)。
- 2) はり上端および下端のひずみ測定値から中立軸を求め、これと図心が一致するようなT形断面を決定する。
- 3) はりの変形を測定し、この変形と同じになるT形断面を求めて、はり全長を代表する有効幅とする。などの方法によればよい。

以上、有効幅に関して行なわれた実験の要約を述べる。東博士は種々の板厚/はりせい比の鉄筋コンクリートT形ばりに対して集中荷重を与えて台形法により有効幅の測定を行なった⁴⁾。実験の結果は板厚と有効幅との相関が見られず、従来よく用いられた有効幅を板厚の倍数で与える規準式に根拠がないことが示されている。

また、有効幅の実測値は2次元弾性理論値によく一致し、同博士が提案して、前記日本建築学会鉄筋コンクリート構造計算規準(1970)で採用された規準式との比も0.912, 1.22の範囲で一致している。直交するはりとはスラブおよび柱からなる鉄筋コンクリート試験体に対して逆対称荷重を与えて有効幅を測定した東研究室の実験⁵⁾では、板部が圧縮・引張のいずれの場合でも $\lambda=0.1 \sim 0.2l_x$ (l_x は逆対象荷重点間距離)であった。

また、断面2次元モーメント増大率から算出したスラブ協力幅 λ は、柱で直交するはりがある場合 $\lambda=0.2l_x$ 、直交するはりが無い場合 $\lambda=0.15l_x$ 程度であった。

プレストレスト コンクリートシングル T スラブの片持ばり実大試験体に5点荷重した東大の実験⁶⁾では、断面2次元モーメントから求めた有効幅およびスラブのひずみ分布から求め有効幅は、東式に対してそれぞれ93%および80%と小さな値を示している。逆T形ばりの曲げ試験を行なった横浜国大の実験⁷⁾では、有効幅は少な

くとも $12t+b$ 以上あることを示している。

国鉄東京工事局ではアクリル樹脂製の種々の寸法をもつ試験体の有効幅をスラブのひずみ分布から求めた⁸⁾。実験の結果は図-3に示すごとくで、スパン中央付近における載荷時有効幅は、ほぼ建築学会規準(東式)もしくは FIP-CEB 規準⁹⁾に近い値を示した。

プレストレス導入時にはプレストレスによる圧縮が加わるので、載荷時より有効幅は大きな値となっている。また、プレストレス導入時における導入端近傍の有効幅の分布は定着端の位置すなわち軸力と曲げとの比でかなり異なっている。図-4に示すように、はり端に桁ばりがない場合で緊張端が図心にある場合は有効幅はほぼ緊張端から 30° で広がるのに対して偏心が大きい場合には 45° 程度で広がっている。また、桁ばりがある場合では偏心曲げが大きい場合有効幅は材端から大きな値となるのに対して、偏心がない場合は桁ばりの有無にかかわらず 30° となっている。したがって、プレストレスの広が

図-3 有効幅計算式とアクリル模型の実験値⁸⁾

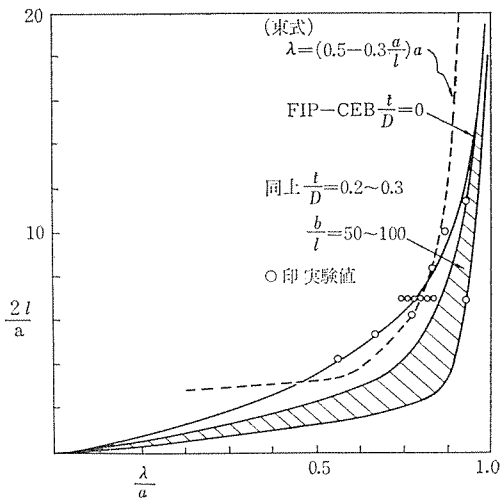
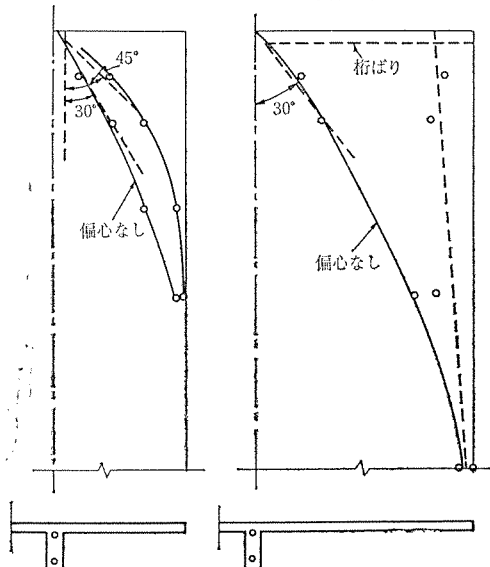


図-4 プレストレス導入時有効幅の分布⁸⁾



りは CEB 規準で与えている $\tan \alpha = 2/3$ を採用してよいことになる。

これに対して桁ばりがない単純支持ばりに曲げのみが加わった場合の有効幅の分布は図-5のごとくで、その広がり 60° 程度となっている。なお、集中荷重位置では有効幅は急減している。

東北鉄道学園の PC 建物の建設の際に小ばりつきプレストレス コンクリート ばり 3 並列 1/5 模型の中央にはりに対してプレストレス導入時の有効幅の測定が行なわれた¹⁰⁾。スラブ表面のひずみ分布は図-6に示すごとくで、図中の有効幅ははり左右の平均値から算出したものである。図-6に見られるごとく中央部の有効幅はプレストレスが加わるのでほぼ全幅となり、東式より若干大きな値となっている。この試験体では、緊張時に等曲げが生じるので曲げに対する有効幅もまた軸力に対する有効幅と同様に材端で小さくなり、端部では急激に減少する分布となっている。

PC 構造 T 形スラブ有効幅模型試験委員会は、プレストレス コンクリート ラーメン 1/2 試験体に対してプレストレス導入時、載荷時および水中加力時の有効幅を測定した¹¹⁾。有効幅は柱のたおれ角と柱頭の回転角測定値、はりの上下ひずみ、およびスラブ表面のひずみ分布から求め(図-7)、各荷重状態で有効幅は中央部全幅、端部ではほぼ、はり幅となる結果を得た。また、不静定 PC ラーメンに有効幅がどのような影響を与えるかについて 3 種類の構造について計算を行ない、はり中央の許容抵抗モーメントに対して、中央および端部の有効幅は大きな影響を与えないが、プレストレス力の決定に対しては

図-5 鉛直荷重による有効幅の分布⁸⁾

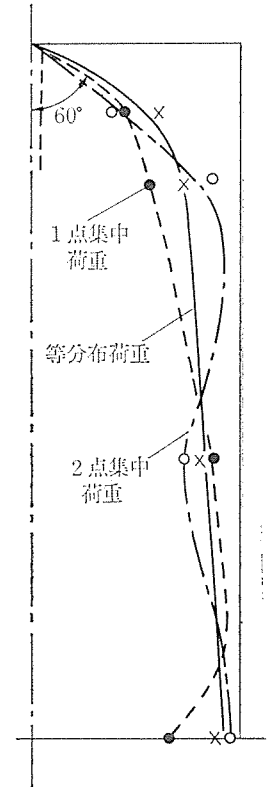


図-6 小ばりつき 3 並列 PCT 型ばりの導入時ひずみ分布と有効幅分布¹⁰⁾

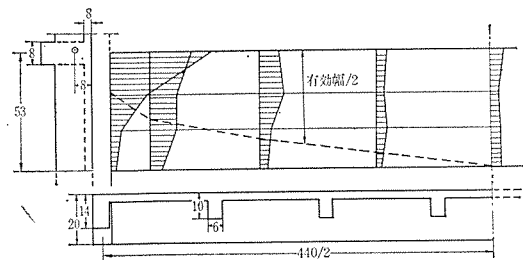
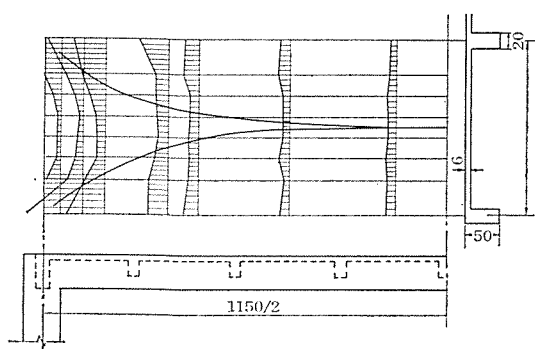


図-7 PC 不静定ラーメンの導入時ひずみ分布と有効幅分布¹¹⁾



大きく影響すること、はり断面が小さいほど有効幅の仮定を小さくするのが望ましい、などの結果を得ている。

5. プレストレスが作用する T 形ばりの有効幅

以上の諸実験から、曲げに対する有効幅は CEB 規準や日本建築学会の規定値を設計用として採用するのが適当であるといえよう。

プレストレスが作用する場合には、平均プレストレスがスパン中央付近では全断面に、端部近傍では集中して作用する。したがって、図-8 に示すように中央および端では軸力による応力と曲げ応力とをそれぞれ異なった有効幅に基づいて計算する必要がある。

設計用としてはプレストレス力および外力による合計モーメント分布をパターン化し、従来の理論研究の結果を適用して有効幅を次のように分類すれば、ほぼ適当な値を与えるのではないかと考える。

断面応力計算用有効幅 ($B=b+2\lambda$)

曲げ応力計算用

緊張材を直線配置した単純はり

$$\text{スパン中央, 端 } \lambda = (0.5 - 0.6 a/l)a$$

緊張材を曲線配置した単純はり

$$\text{スパン中央 } \lambda_c = (0.5 - 0.3 a/l)a$$

$$\text{はり端 } \lambda_e = 0.7 \lambda_c$$

プレストレス力による軸応力計算用

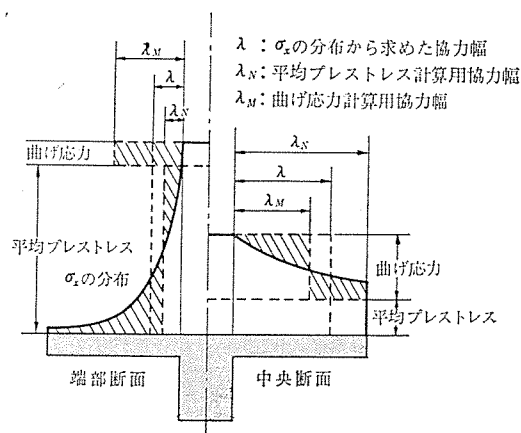
$$\text{スパン中央 } \lambda = 0.5 a \text{ (全断面有効)}$$

はり端 CEB 規準もしくは柱幅の小さなほう

剛比計算用有効幅は中央断面応力計算用の値とする。

曲げ用軸力用とも 1 種類の有効幅を用いることができれば実際設計の上では便利であるが、このような有効幅は緊張材の偏心距離、有効幅の変化と断面積および断面係数の変化の割合、すなわち、断面寸法比に影響されるので画一的には定められない。しかし概略設計用としては中央断面では軸力用曲げ用有効幅の平均値を端部断面では軸力用有効幅を用いてもさしつかえないようである。

図-8 PC ばりの協力幅 λ



静定構造物の場合には有効幅の値が正確に応力値に反映するので特に慎重に扱う必要がある。しかし、建築物で多く用いられる不静定ラーメンなどでは、柱脚の固定度やクリープと乾燥収縮など計算に乗りにくい点や不明確な要素が多いので、有効幅のみに注意しても全体の精度は必ずしも上がらない。したがって、不静定構造では大きな影響を与えない範囲で、なるべく簡単な有効幅を用いるのが適当であろう。

参考文献

- 1) 坪井善勝：T 梁に関する理論的研究，日本建築学会大会論文集，昭和 16 年 4 月
- 2) 東 洋一：T 形大梁・小梁の協力幅と有効剛度，日本建築学会論文報告集第 57 号，昭和 32 年 7 月
- 3) コンクリート構造物 設計施工国際指針，日本語版監修プレストレストコンクリート 技術協会・日本 コンクリート 会議，鹿島出版会，1971 年
- 4) 東 洋一，大久保全陸：中央集中荷重時単純支持鉄筋コンクリート T 梁の有効巾と破壊性状，日本建築学会論文報告集第 146 号，昭和 43 年 4 月
- 5) 東・大久保・木村：鉄筋コンクリート T 形梁に関する研究，日本建築学会関東支部第 39 回学術研究発表会 (昭和 43 年)
- 6) 梅村・青山・中田：シングル T スラブの曲げ試験，日本建築学会関東支部第 38 回学術研究発表会 (昭和 42 年)
- 7) 池田・杉山：鉄筋コンクリート逆 T 形梁の曲げ破壊実験，日本建築学会論文報告集第 60 号，昭和 33 年 10 月
- 8) 石原・前川・安藤：PC ばりの有効幅に関する研究，プレストレスト コンクリート，第 10 巻第 2 号，昭和 43 年 4 月
- 9) 文献 3) の補遺 C 41.5 もしくは FIP-CEB Joint Committee: Practical recommendations for the design and construction of prestressed concrete structures 1966, もしくは 尾坂芳夫訳：終局強度理論による鉄筋コンクリート設計施工基準，日本セメント技術協会
- 10) 国鉄盛岡工務局建築課，交通建築設計事務所 (井原道継氏担当) およびピーエスコンクリート (株)，昭和 41 年，未発表
- 11) 石原・中野・本岡・渡辺：一体式 PC ラーメン構造 T 型梁スラブ有効幅について，プレストレスト コンクリート 技術協会第 10 回研究発表会，1970 年

1971.7.5・受付