

アンボンド PRC ラーメンの設計と施工

(三井銀行豊中支店)

海老原 武*
内藤 行孝*
梶村 俊夫**

1. はじめに

ラーメンの大梁にアンボンド PC 鋼材を用い PRC 構造とした建物の設計・施工を行ったので、ここで紹介させていただくことにする。

2. 概 要

建物は、地下1階、地上3階、塔屋1階、建築面積 401.66 m²、延床面積 1 616.09 m² の規模で、建設地は大阪府豊中市である。設計は(株)大林組東京本社一級建築士事務所、施工は(株)大林組本店、工期は着工が昭和 55 年 3 月、竣工が昭和 55 年 11 月である。PC 仕様としては、鋼材は 19 本よりアンボンドシートストランド 17.8φ (B種)、コンクリートは設計基準強度 $F_c=240 \text{ kg/cm}^2$ で、スランプは 12 cm、定着工法は CCL 工法を用いた。

なお、プレストレスト工事を含めた躯体工事は、昭和 55 年 7 月末に完了した。

当設計の場合、建設省告示第 949 号に一部抵触したため、日本建築センターの評定を経たのち昭和 55 年 1 月に建築基準法第 38 条の規定に基づく認定を取得した。

3. 構造計画

本建物は主たる用途を銀行営業室とする事務所建築である。銀行営業室はその性格上比較的大きな空間を要求されるのが通例で、この建物の場合も最大スパンは、約 17 m である。このスパンを含め 図-1 に示されるように各階において 5 台 (図中梁記号 PG の大梁)、2 階より R 階まで計 15 台を工期短縮、部材の性能向上、経済性等の理由からアンボンド PC 鋼材を用いた、いわゆる PRC 構造として設計を行った。

3.1 PRC 構造

概念としての PRC 造は、鉄筋コンクリート造 (以下 RC 造または RC とする) とプレストレストコンクリート造 (以下 PC 造または PC とする) の中間に位置し、軽度のプレストレスを導入することにより部材のひびわれ、たわみを制御しようとする構造である。

フルプレストレスとして設計された PC 部材でも長期設計荷重を超過したある荷重段階では当然ひびわれが発生し、それ以後は RC 的挙動を示す。すなわち、PC も PRC も RC もひびわれの発生以後は同一の力学的性質をもつものとして扱うことができるゆえに、ひびわれを

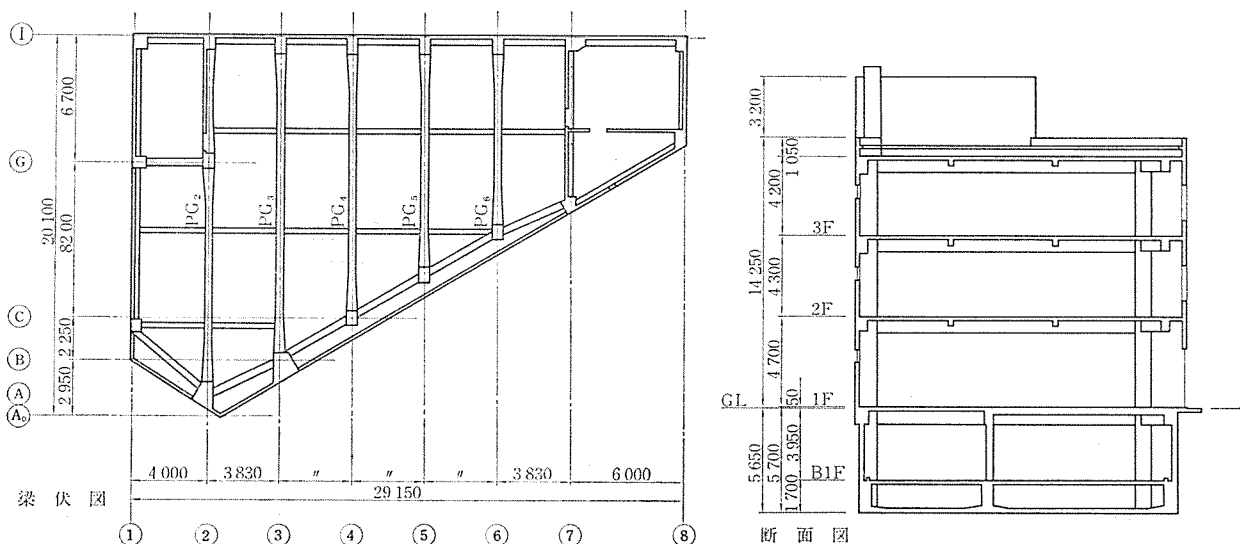


図-1 梁伏図、断面図

* (株)大林組東京本社設計第 3 部
** (株)大林組本店豊中工事事務所

許容する設計荷重を設定し、ひびわれ発生以後のひびわれ幅の制御を設計に積極的にとり込むことが PRC 造設計の最も基本的な事項となる。

3.2 基本方針

CEB-FIP 国際指針では鉄筋コンクリート系の構造物をⅠ種からⅣ種に分類し、それぞれについて荷重、ひびわれのクライテリアを規定している。しかしながら日本においては現在、この種類の分類、クライテリアも存在しないため、本設計においては CEB-FIP 国際指針にいうところのⅡ種もしくはⅢ種 a に相当する程度のクライテリアを設定した。すなわち、次のとおりである。

- 1) 固定荷重+仕上げ荷重+設備荷重+一部積載荷重の組合せに対しては、引張応力度の存在を許容しない。
- 2) 長期設計荷重(前記1)の荷重+積載荷重)の組合せに対してはひびわれの存在は許容するが、ひびわれ幅を 0.1 mm 以下に制御する。ただし、ひびわれ幅の制御は鉄筋の応力度による。

長期設計荷重時については上記以外にたわみについても制御したが、設計当初に定量的には規定しなかった。断面設計終了後に計算した結果によると、長期荷重時の最大たわみは 4 mm 程度であった。

短期設計荷重時に対しては、ひびわれ発生以後の力学的性質が PC も PRC も RC も同一であることから、日本建築学会、プレストレストコンクリート設計施工規程・同解説 44 条に準じた荷重係数を用いた終局強度設計を行った。

3.3 アンボンド工法

従来から指摘されているアンボンド PC 部材の力学的特性は、ボンド PC 部材と比して次のとおりである。

- 1) ひびわれ発生前においては全く同一である。
- 2) ひびわれ耐力は同一である。
- 3) 曲げひびわれの分散性が低い。
- 4) 曲げ破壊耐力は 15% 程度低い。
- 4) は付着がないために PC 鋼材全長にわたる応力の均一化に起因するものであり、3)、4) とも適量の普通鉄筋を配筋することによって充分補えるものである。

本設計にこのようなアンボンド工法を利用した設計上、施工上の理由を下記に示す。

- 1) PC 鋼材の摩擦係数が小さく、その値が一定しており信頼性が高い。
- 2) ひびわれをある程度許容する PRC という構造では特に防錆が重要となり、アンボンド鋼材は端部以外では完全に防錆処理がなされている。
- 3) 軽微なプレストレスの導入により、ひびわれ、たわみの制御が主目的であり普通鉄筋の配筋によってボ

ンド PC 部材と何ら変わらない力学的特性を示す。

- 4) アンボンド PC 鋼材は普通鉄筋と同様に扱え、またグラウトも不必要であるので、通常の RC 並みの工程での施工が可能である。

4. 断面設計

4.1 許容ひびわれ幅と鉄筋の許容応力度

許容ひびわれ幅をどの程度にするかは、本設計において重要な問題となった。CEB-FIP 国際指針、BS の CP 110 等の規程および文献を検討した結果、最も安全側である 0.1 mm を採用した。また 0.1 mm に対応する鉄筋応力度の算定式は、E.W. Bennet 等の提案する下記の式を用いた。

$$w_{\max} = 0.02 + 6.5 \epsilon_s d_t \quad (\text{mm})$$

ϵ_s : 引張側普通鉄筋の引張ひずみ

d_t : 引張側普通鉄筋のかぶり厚さ (mm)

上式において $w_{\max} = 0.1 \text{ mm}$, 0.2 mm とした場合のかぶり厚と鉄筋の引張応力度の関係を示したものが図-2 である。ただし、鉄筋の弾性係数は $2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ として計算した。

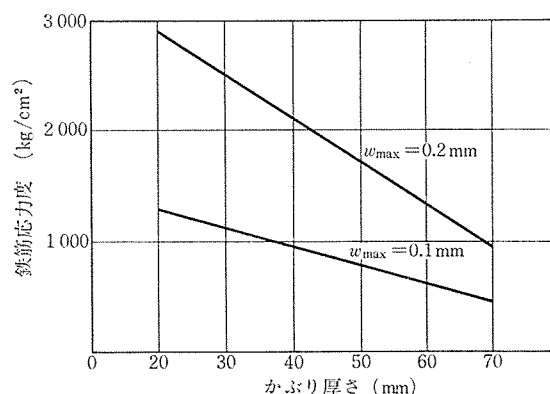


図-2 かぶり厚さと鉄筋応力度

本設計においては、普通鉄筋の許容引張応力を 430 kg/cm^2 とした。

4.2 断面算定上の仮定

- 1) コンクリートと鉄筋との間には平面保持が成立する(ただし、アンボンド鋼材は除く)。
- 2) コンクリートの圧縮応力は完全弾性。
- 3) コンクリートの引張応力は無視する。
- 4) 鉛直荷重時および水平荷重時におけるアンボンド PC 鋼材の応力増分はない。

上記の 1)~3) は通常の RC の断面算定上の仮定と全く同一である。4) はアンボンド固有の仮定であり、鉛直荷重時の曲げ変形に伴い鋼材応力は増加するが、導入応力に比して極めてわずかであり、また水平荷重時の鋼材応力の増減は評価しえないことによる。

4.3 断面設計式

4.2 で述べた仮定により下記の式が導かれる。

$$x_1 = -[n_0 p_0 (1 + r) - k \sigma_g / f_c] + \sqrt{[n_0 p_0 (1 + r) - k \sigma_g / f_c]^2 + 2 n_0 p_0 (1 + r) d_{c1}}$$

or

$$x_1 = -[n_0 p_0 (1 + r) + k n_0 \sigma_g / f_t] + \sqrt{[n_0 p_0 (1 + r) + k n_0 \sigma_g / f_t]^2 + 2 [n_0 p_0 (1 + r) d_{c1} + k n_0 \sigma_g / f_t]}$$

$$M = b d^2 f_c I_{x1} / x_1 + P (d_p - x)$$

or

$$M = b d^2 f_t I_{x1} / n (n - 1) + P (d_p - x)$$

$$I_{x1} = x_1^3 / 3 + n_0 p_0 r (x_1 - d_{c1})^2 + n_0 p_0 (1 - x_1)^2,$$

$$k = D/d + (1 + r) n_0 p_0$$

$x = x_1 d$: 中立軸位置

f_c : コンクリート許容圧縮応力度

f_t : 引張側普通鉄筋許容引張応力度

$d_c = d_{c1} d$: 断面圧縮縁より圧縮側普通鉄筋断面図心までの距離

$d_p = d_{p1} d = g + e$: 断面圧縮縁よりプレストレス力 P の作用点までの距離

g : 断面圧縮縁から RC 等価断面 (コンクリート + 普通鉄筋) 重心軸までの距離

e : RC 等価断面重心軸からはかった偏心距離 (図で下側にはかるときを正とする)

A_{sc} : 圧縮側普通鉄筋断面積

A_{st} : 引張側普通鉄筋断面積

$D = D_1 d$: 断面全高さ

d : 断面圧縮縁から引張側普通鉄筋断面図心までの距離

$p_0 = A_{st} / b d$: 引張鉄筋比

$r = A_{sc} / A_{st}$: 圧縮鉄筋比

$n_0 = E_{s0} / E_c$: ヤング係数比

E_{s0} : 普通鉄筋ヤング係数

E_c : コンクリートのヤング係数

上記の断面設計式に基づき、許容ひびわれ幅を 0.1

mm とした時の断面算定図表を 図-4 に示す。図から明らかなように、わずかなプレストレスの導入により抵抗モーメントが大きく増大することがわかる。

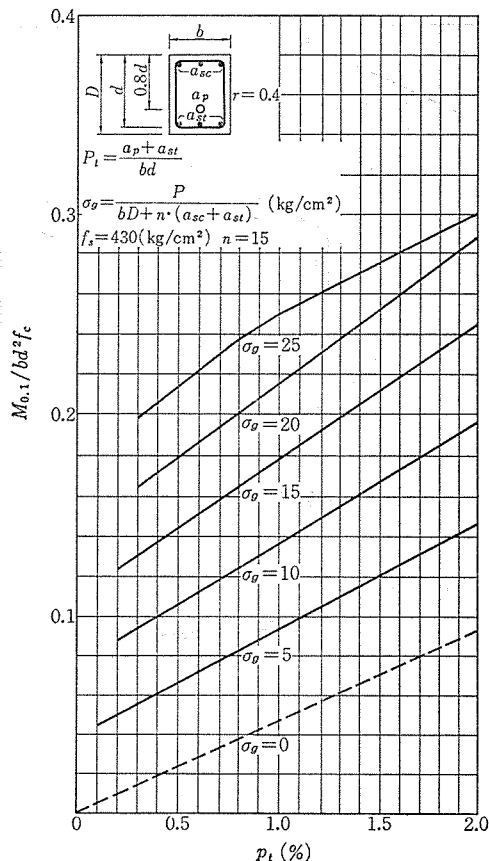


図-4 PRC 断面算定図表

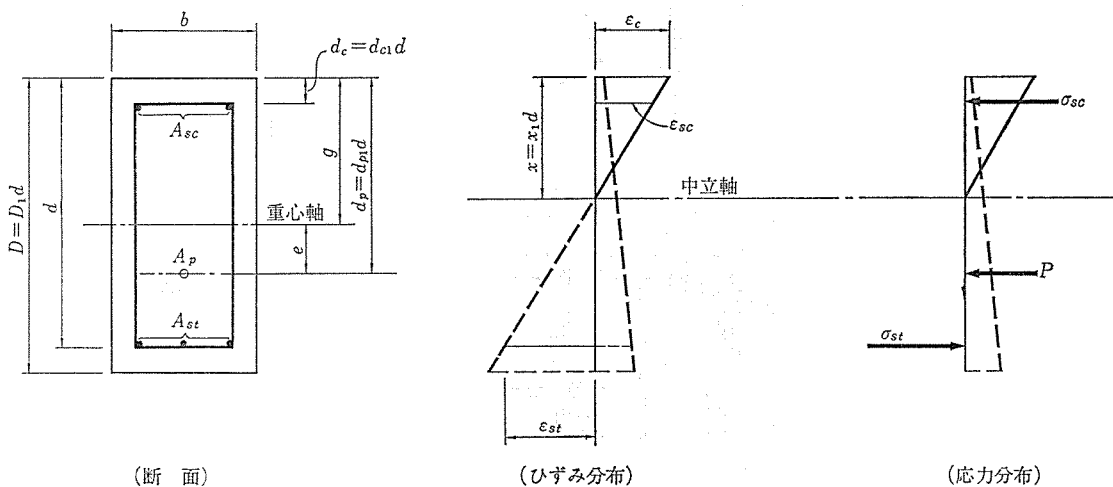
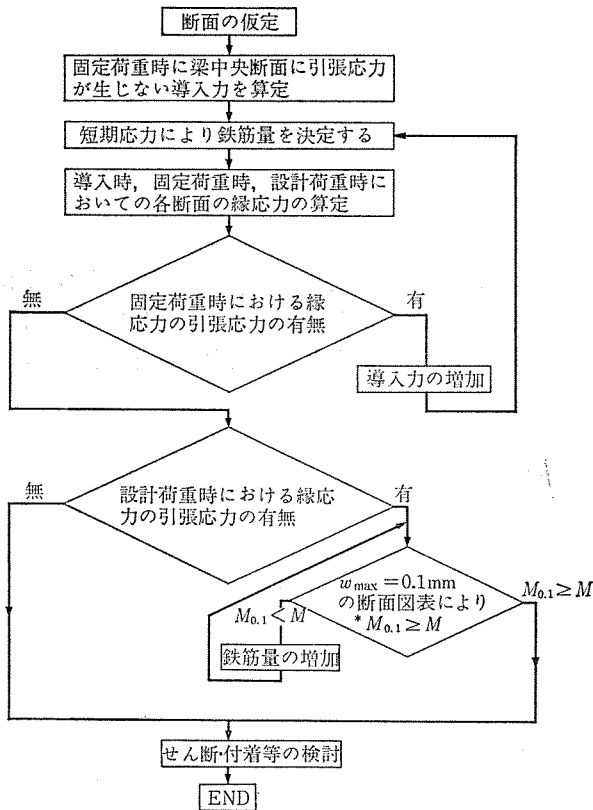


図-3 PRC 断面のひずみおよび応力分布



注* $M_{0.1}$: 許容ひびわれ幅を0.1mmとしたときの許容モーメント

図-5 断面設計フロー

4.4 断面設計フロー

本設計は 4.1~4.3 の仮定および設計式によって、図-5 のフローに従って設計された。

4.5 PRC 梁のプロフィールおよび詳細

前記のように設計された PRC 梁のプロフィールおよび端部の詳細図を図-6 に示す。端部の納りを容易にするために、割裂補強としてグリッド筋を用い、また梁主筋は束ね主筋とした。

4.6 その他

(1) PS 有効率

PRC 構造は通常の PC 構造に比して鉄筋量が多く、PS 導入後にコンクリートの収縮によってプレストレスが鉄筋に移行することが考えられる。またコンクリート強度、および配合も通常の PC 構造の場合と異なるために、本設計では有効率を算定した。算定上必要とされるクリープ係数 (ϕ_n)、収縮係数 (S_n) については各種の推奨式があり、今回は“PC 設計施工規準・同解説”の 58 条、CEB-FIP 国際指針、Din 1045、および Branson によって規定、提案されている ϕ_n 、 S_n を用いて算定した。その結果を表-1 に示す。Din 1045 が少し低い値となったが、他の三つの値はほぼ同じとなり、本設計では PS 有効率を 0.85 とした。

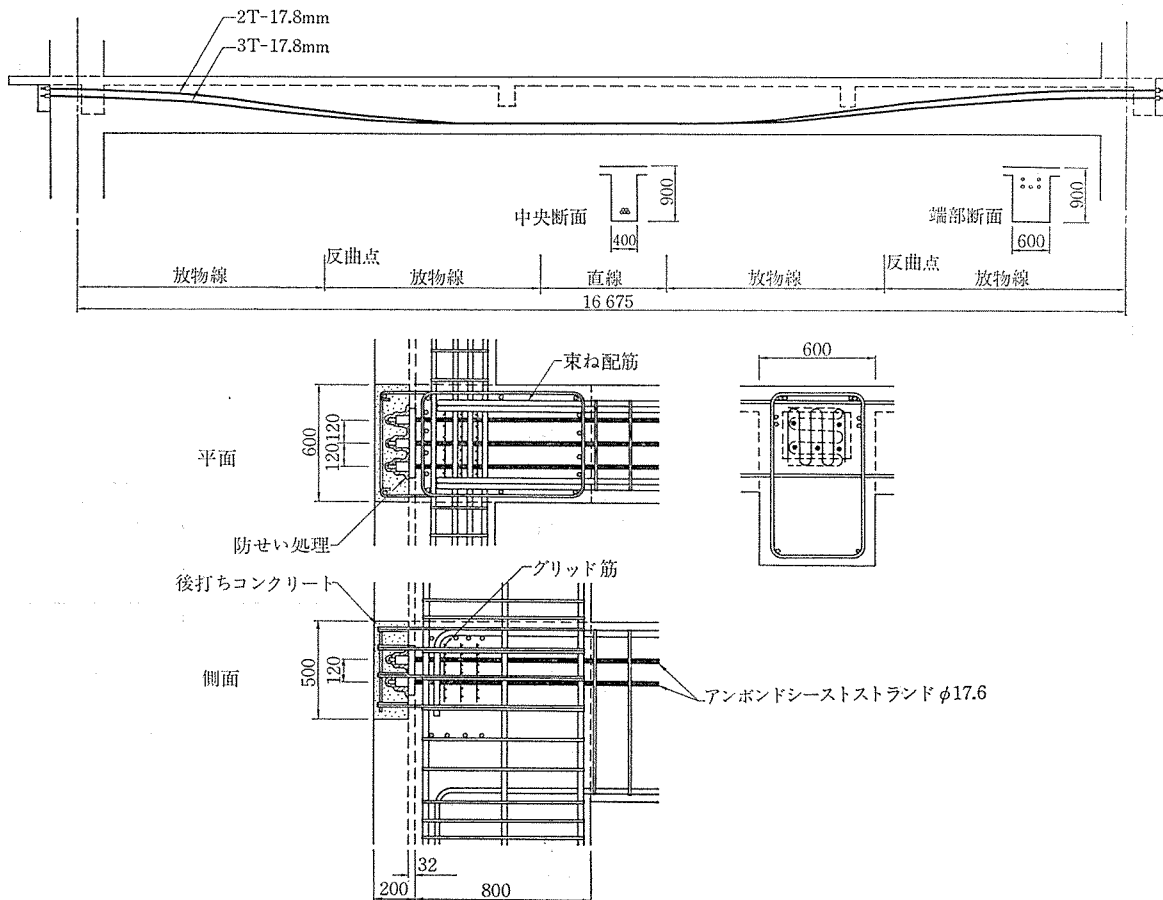


図-6 PRC 梁のプロフィールおよび端部詳細図

表-1 PS 有効率

	PS 有効率
PC 設計施工規準	0.848
CEB-FIP 国際指針	0.853
DIN 1045	0.812
Branson	0.866

(2) 鋼材鉄筋係数

PC 梁の断面の靱性の指標として鋼材鉄筋係数が用いられているが、PRC 構造の場合は普通鉄筋と PC 鋼材を含めた鋼材鉄筋係数が指標となる。その値 q は、

$$q = \frac{a_r \cdot r f_y + a_p \cdot p f_y}{B D F_c}$$

として算定した。ただし a_r, a_p は各々引張鉄筋, PC 鋼材の断面積 (cm^2), $r f_y, p f_y$ は各々引張鉄筋, PC 鋼材の降伏点応力 (kg/cm^2), B は梁幅 (cm), D は梁せい (cm), F_c はコンクリートの設計基準強度 (kg/cm^2) である。本設計の PRC 梁の q の最大値は 0.226 であり、既往の研究によれば十分な靱性を有していることが推測される。

5. 施 工

5.1 アンボンド PC 鋼材の配置

PC 鋼材の配置は、主筋、スターラップ配筋後に吊り金物をスラブに取り付け、PC 鋼材を梁端部のスターラップの間から挿入し、所定の位置に設定した。通常のグラウトする PC 鋼材はシースがそれ以前に配置されており、建物外部から挿入しなければならないことに比べてかなり簡易な作業となる (写真-1)。



写真-1

5.2 PS 導 入

コンクリート打設 10 日後、強度 ($F_c = 220 \text{ kg}/\text{cm}^2$) の発現を確認したのちプレストレスを導入した。導入作業は、図-1 の伏図に示される④通りから始め、スラブ、桁梁の亀裂の発生を避けるために隣接する PRC 梁とのバランスを考慮して各梁とも段階的にプレストレスを導

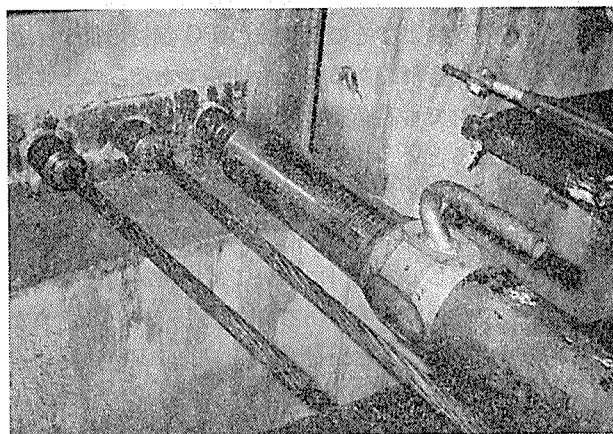


写真-2

入した。なお、緊張管理は μ 管理法によって行われた (写真-2)。

5.3 端部の処理

本建物の PC 鋼材はアンボンド鋼材であるために端部の防せいは非常に重要である。導入 2 日後、まずケーブル余長をガス切断し、PC 鋼材、グリップ、耐圧板に防せい剤としてエポキシ樹脂を塗布した (写真-3)。その後、補強用鉄筋を配筋し、箱抜き部分を無収縮モルタルにて後詰めした。



写真-3

6. 今後の問題点

今回アンボンド PRC ラーメンの設計・施工を経験し、下記の問題点について、その究明の必要性を再認識した。

6.1 アンボンド PC 鋼材の応力変化とそれに伴う端部の疲労特性

水平荷重を受けた 1 スパンラーメンの梁の応力は、長期荷重を無視するならば逆対称となる。この場合 PC 鋼材が対称に配置されたアンボンド PC 梁であるならば、PC 鋼材の応力増分はボンドのある場合と比べて小さい

報 告

と考えられる。この点に関しての明確な資料はない。

また、定着具およびその近傍での PC 鋼材の低サイクル疲労の資料が皆無であることも問題である。たとえボンドのある部材でも高荷重の繰返しによって、早期にボンドが失われるという報告もされており、ボンドの有無にかかわらず低サイクル疲労の実験的研究が必要である。

これらに対応して本設計においては、終局時の PC 鋼材応力として安全側の値である有効引張応力とし、また断面の終局モーメントにおけるアンボンド PC 鋼材の寄与率を 30% 程度に抑えた。

6.2 アンボンド PRC 部材の耐火性

アンボンド PC 部材の耐火性については、ボンドのある PC 部材と全く同一であり、かぶり厚 5 cm で問題がないことが既往の研究によって確認されている。しかし、ひびわれをある程度許容する PRC 部材についての報告はなされていない。

本設計においてはこの点を勘案し、充分なかぶり厚 (18 cm) が確保されており問題とはならなかった。

6.3 許容ひびわれ幅

許容ひびわれ幅をどの程度にするかということは、断面設計を大きく左右する。たわみや美観上の問題もあり一概に構造設計者が決定しうる数値でもないと考えられる。建物の用途別、環境別 (海岸の建物等) による許容ひびわれ幅の規定が望まれる。

6.4 摩擦係数

アンボンド工法を多スパン連続のフラットスラブ等に適用する場合、多スパンを、しかも片引きによってプレストレスを導入すること (不静定モーメントは大きくなるが) が施工性、経済性の面から要求される。この場合に問題となるのはアンボンド PC 鋼材の摩擦係数である。

本建物では様々な測定計画を立て実施したが、施工管理の一環として摩擦力の測定を行った。方法は固定端側にロードセルとグリップ、導入端側にロードセルとジャッキを装着し、両端の荷重の差を測定した。その結果は設計値よりかなり小さい値であり、これは多スパンの片

引きによるプレストレス導入の可能性を示している。実際に即した摩擦係数の設計段階での把握のためには、このような実測資料の蓄積が必要とされる。

7. おわりに

水平力に抵抗する要素をアンボンド PRC 構造とした設計・施工の実績は、我が国で初めてである。前述したようにアンボンド PRC 構造については、まだ残されている問題点もあるが、部材の性能向上・施工性・経済性で多くの長所をこの構造はもっている。本設計が経済性ということに関しては必ずしも満足できる結果とならなかったことは、この構造についての広く認められた設計思想・設計手法が存在しなかったことにも起因する。

同じコンクリート系構造物である PC-PRC-RC という一貫した設計思想・設計手法が確立されることが望まれるとともに、本設計・施工の実績がそのための参考にでもなれば幸いである。

末尾になりますが、本建物の設計・施工にわたり御助言くださいました京都大学教授六車熙博士に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) CEB-FIP-1970, 邦訳, 鹿島出版
- 2) 六車他: アンボンド PC 梁の静力学的性質に関する実験的研究, 建築学会近畿支部研究報告集, 昭和 52 年 5 月
- 3) CP 110
- 4) E. W. Bennet & N. Veerasubramanian: Behavior of Nonrectangular Beams with Limited Prestress after Flexural Cracking, J. of A.C.I., Vol. 69, No. 9, Sept. 1972
- 5) 六車: アンボンドプレストレスコンクリート (IV), GBRC, Vol. 3, No. 1
- 6) 鉄筋コンクリート 終局強度設計に関する資料 シリーズ 4, 建築雑誌, 昭和 54 年 4 月号
- 7) 鉄筋コンクリート 終局強度設計に関する資料 シリーズ 5, 建築雑誌, 昭和 54 年 5 月号
- 8) 岡本他: プレストレストコンクリート部材の塑性変形能力に関する研究, 建築学会大会梗概集, 昭和 54 年 9 月
- 9) アンボンド工法用鋼材と施工時の取扱いについて, 建築雑誌, 昭和 54 年 7 月号
- 10) 六車他: アンボンド PC 梁の低サイクル曲げ疲労性状に関する研究, 建築学会大会梗概集, 昭和 54 年 9 月