

ウルボンによる柱せん断補強筋の設計例

——洛西高島屋新築工事——

松 谷 輝 雄*
 櫻 原 健 一*

1. はじめに

近年、建築の分野でプレストレストコンクリート構造が多く用いられるようになった。アンボンド工法の普及により簡便に施工できることが大きく寄与していると思われる。比較的長いスパンの梁に部分的に用いたり、せいの低い構造体にたわみ制御の目的に用いたりされている。

また、日本建築学会における PRC 構造（Ⅲ種 PC 構造）の設計・施工指針（案）の発表もさらに注目を集めるきっかけとなっているようである。ただ、PRC 構造については、建築基準法の制約があって、実際の建物での利用は現時点ではできないことになっている。

しかしながら、コンクリート躯体のひびわれの制御およびたわみ防止を目的とした若干のプレストレスの導入は担当行政庁の主事の判断で認められる。

この場合、構造設計はプレストレスは無視して、RC 造として設計するが、若干のレベルにしる、梁断面の終局曲げ耐力は上昇するので、設計内容によっては、梁のせん断耐力、保有耐力算定時のヒンジ位置の変動等についての概略検討はしておく方が良いと思われる。

このような考え方で、ひびわれ対策としてアンボンド工法により建物全体にプレストレスを導入して RC 造の欠点を少しでもカバーする方法もある。

ここで報告する事例は、低層の大型建物で収縮クラック等、ひびわれの発生が憂慮される建物に、積極的に採用を試みたものである。

また、この建物には、柱のせん断筋として PC 鋼棒をスパイラル加工したものを利用している。PC 鋼棒は普通鉄筋に比べて、降伏点強度が高く有効なものである。しかしながら、PRC 造と同じく、PC 鋼棒をフープ筋として使用する場合も基準法に抵触するので、日本建築センターの評定を受けている。

なお、設計するにあたっての諸算定式は、建築研究振興協会編の「PC 鋼棒を柱・はりのせん断補強筋として使用する場合の設計指針」に依っている。



写真—1 完成写真

2. 工事概要

この建物は京都市の洛西地域に建設中の計画人工 4 万人を擁する洛西ニュータウンの中心であるタウンセンターに位置し、ショッピングセンターの核店舗をなす郊外型の百貨店舗である。表—1 に建物概要を示す。

表—1 建 物 概 要

建 築 名 称	洛西高島屋新築工事
建 築 主	(株) 高島屋
設 計・施 工	(株) 鴻池組
建 築 場 所	京都市西京区大原野東境谷 2 丁目
建 築 面 積	4 783.08 m ²
延 床 面 積	11 417.11 m ²
規 模	地上 3 階
構 造	RC 造 (一部 3 階 S 造)

この種の大型店舗には最近フラットスラブ構造がよく用いられている。フラットスラブのメリットは、地震時水平力を外周の壁に負担させ鉛直時応力のみでフラットスラブを構成することにより、階高の減少、型枠の合理化、設備配管の合理化等の長所を取り入れる構造である。ところが、躯体歩掛りに注目した場合は必ずしも従来の構造に比較して経済的ではなく、特に 1 F 以上に限ってみれば、相当に数量が増加するようである。ただし 1 階床もフラットスラブとして設計して、基礎梁を省略

* 鴻池組大阪本店設計部

することによって、全体の数量を従来のものと差をなくすることができるようである。

そこでこの建物は、従来の構造形式とフラットスラブ構造をミックスした構造として設計した。

すなわち、1階床をフラットスラブとし、一部、基礎梁を省略するとともに、水平時応力をほとんど外周の壁付きラーメンで負担させることとした。したがって、基礎梁のないフレームはフラットスラブ同様ほとんど鉛直応力に対するだけとなる。

このような、フラットスラブの長所を生かし、その短所には従来のメリットを残した構造形式を採用した。

3. 構造計画

階数は3階建てで低層であるが、平面形状は64m×72.5mと大型である。ショッピングセンターとしての用途から耐震壁は外周に集中し、内部の架構にはほとんど耐震壁は配置されない。

このような大型店舗としての平面計画の必然性から、外周ラーメンは耐震壁を含む剛性の高い架構となり、内部は純ラーメン架構となる。

ところが低層のため、地震時水平力の負担については外周部でほとんど処理が可能となる。そこで内部ラーメンのうち基礎梁を設けないフレームを設けてフレームとしての水平剛性を意図的に極端に小さくし、長期応力で断面が決定されるような配慮を行った。すなわち、内部ラーメンの約半数を非耐震フレームとした。

非耐震フレームとするために、基礎梁を省くかわり、1階の床はフラットスラブ構造とし、基礎部分を剛床で緊結することとした。

一般に基礎梁は上部階の梁に比較して剛性を高めるため、大断面となっている。躯体歩掛に占める比率は高いので、基礎梁の省略はコストダウンにつながるようになる。この建物の場合は外周フレームの剛性が高いので、このような配慮を積極的に取り入れたものであるが、構造計画の特徴としては下記のような事項がある。

- ① 1階床をフラットスラブ構造とし、2～3階床は従来のラーメン型の構造とした。
- ② 基礎梁を省略することにより、非耐震フレームを一部設けて、耐震フレームと区別した。
- ③ 外周フレームには耐震壁を多く配し、地震時水平力の大部分を負担させた。
- ④ 杭の水平抵抗としては外周列の杭のみでは不足する。全体の杭で負担させる必要があるため、1階床の剛性は高める必要がある。それが、建家内部を全面的にフラットスラブとはしないで耐震フレームを適当に配した理由でもある。

この建物の基礎伏図、標準階伏図をそれぞれ図-1、図-2に示す。また非耐震フレームと耐震フレームの軸組図を図-3に示す。

4. 耐震計画

3階部分は外周部分を除いて鉄骨造であるので、3階建てではあっても荷重的には2階建てに近い。また外周部には耐震壁を配し易いこともあり、主要耐震フレームは外周部をあてている。壁のない架構列（内部のラーメン）は剛性比からみても外周列に比較してはるかに小さいものであるが、さらに基礎梁を取り止めたので、耐震思想としてはフラットスラブ構造と同じ考え方に立脚することになる。

なお、設計の時点では新耐震施行前ではあったが、新耐震設計法（昭和55年政令第196号）に準拠した剛性

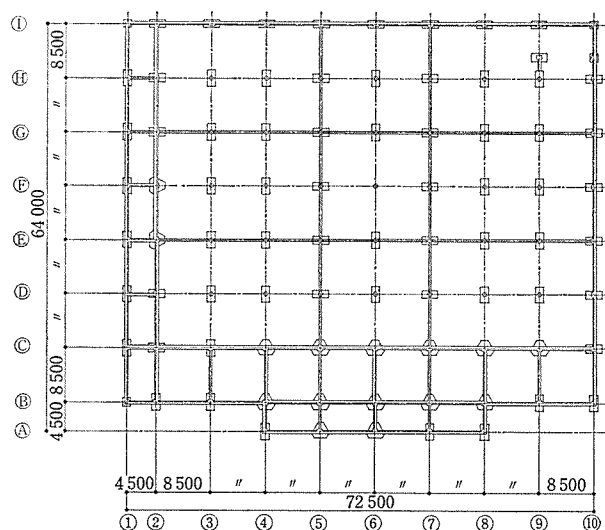


図-1 基礎伏図

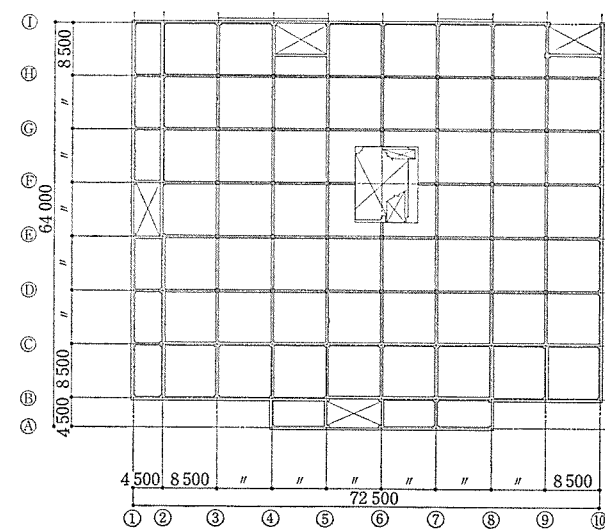


図-2 標準階伏図

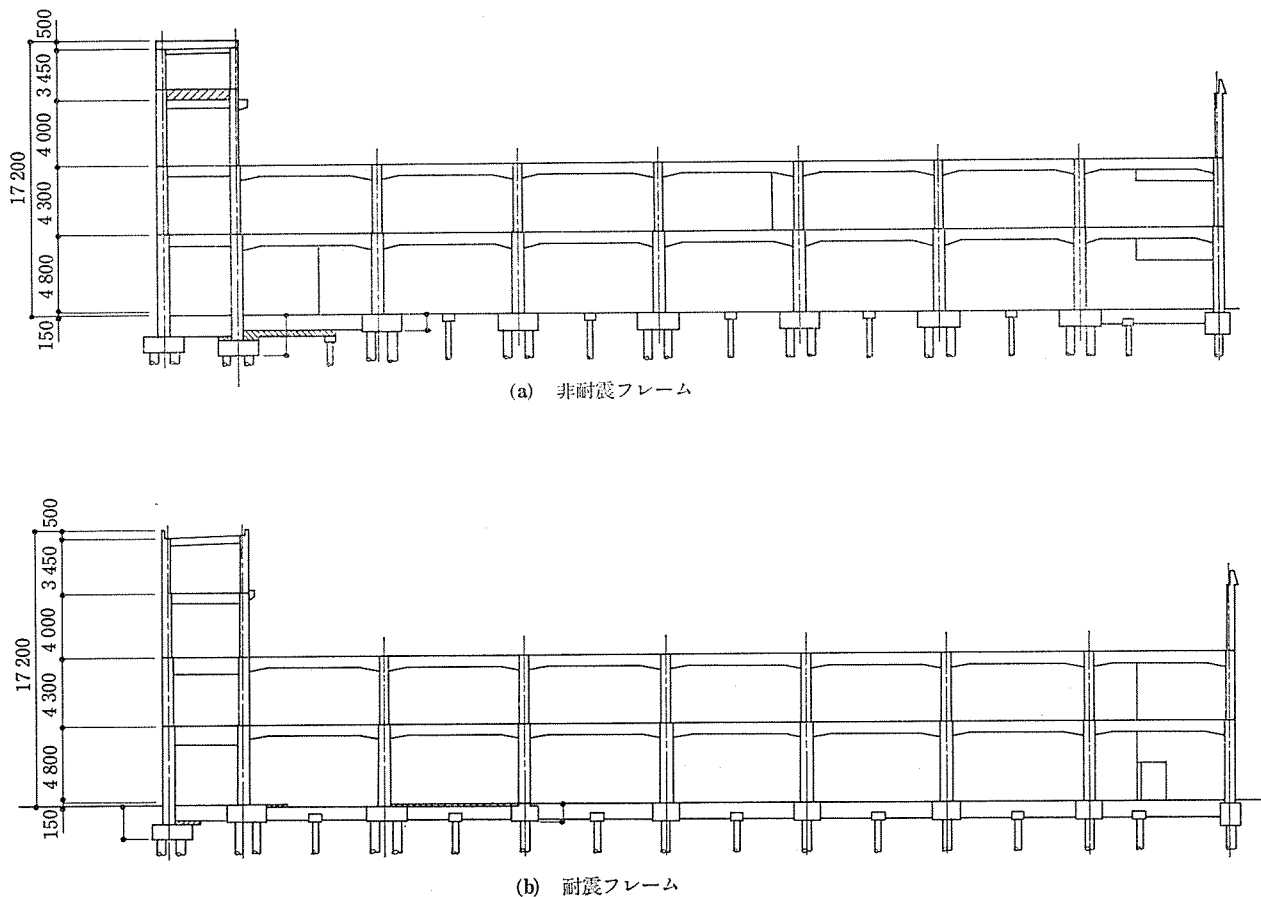


図-3 軸 組 図

率, 偏心率の検討を行い, 壁率・柱率が

$$\Sigma 25 A_w + \Sigma 7 A_c \geq 0.75 ZW A_i$$

および

$$\Sigma 18(A_w + A_c) \geq ZW A_i$$

の両式を満足しているレベルのものとなっている。

5. PC 鋼棒による柱のせん断補強

柱のせん断補強筋として利用するにあたって, その設計指針が HS (High tension Shear reinforcement) 委員会 (建築研究振興協会) によりまとめられているので, その指針に準拠した設計内容とする。

ここに使用する PC 鋼棒 (ウルボン) は, JIS G 3109 中の異形棒 D 種 1 号の規定に基づいて製造されているもので, (株) 高周波熱錬の製品で, 一般には PC 杭の主筋として使用されている。

ウルボンの規格降伏点 (0.2% 耐力) は 13000 kg·f/cm² もあり, 一般に使用されている普通鉄筋の約 3.5 倍の降伏点強度を有している。

このような PC 鋼棒の鉄筋コンクリート部材における高強度せん断補強筋の補強効果に関する研究^{1), 2)} は, 従来より行われており, 適切なる配慮のもとに PC 鋼

棒を用いれば, 十分にその高い降伏点強度が活用できるうえに, 性状としてダクタイルな性質を増すことが認められている。

多くの研究者の実験で明らかなように, せん断補強筋の効果は $\sqrt{p_w \cdot w \sigma_y}$ に比例する。

日本建築学会の RC 造計算規準でも, 柱・梁の終局せん断応力度 τ_u は $\sqrt{p_w \cdot w \sigma_y}$ の関数として求められるとされている。

PC 鋼棒の降伏点強度は高いので, これを利用することによって p_w を小さく押さえることができるようになる。したがって, 高い許容せん断力を要求されるような設計の場合は過密なせん断補強筋 (径と本数) を緩和させることが可能となる。

今回, 設計に使用する建築振興協会でもまとめられた設計指針と日本建築学会の RC 造計算規準の内容を比較して示すと表-2 のようになる。

表で見くらべてもわかるように, 普通鉄筋と大きく変わる内容のものとしては,

- 1) せん断補強筋の短期許容引張応力度
- 2) 柱・梁の短期許容せん断力式
- 3) 限界せん断補強筋比

表—2 ウルボンと普通鉄筋 (SD 30) の比較

項 目		ウ ル ボ ン	普 通 鉄 筋 (SD 30)
コンクリートの設計基準強度		210 kg·f/cm ² 以上	135 kg·f/cm ² 以上
使用最小鉄筋径		公称径 6.4 mm	公称径 D 10 以上
梁の許容せん断力式	長期	$Q_{AL}=b \cdot j \{ \alpha \cdot f_s + 0.5 w f_t (p_w - 0.002) \}$	$Q_{AL}=b \cdot j \{ \alpha \cdot f_s + 0.5 w f_t (p_w - 0.002) \}$
	短期	$Q_{AS}=b \cdot j \{ \alpha \cdot f_s + 0.5 w f_t (p_w - 0.001) \}$	$Q_{AS}=b \cdot j \{ \alpha \cdot f_s + 0.5 w f_t (p_w - 0.002) \}$
柱の許容せん断力式	長期	$Q_{AL}=b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$	$Q_{AL}=b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$
	短期	$Q_{AS}=b \cdot j \{ f_s + 0.5 w f_t (p_w - 0.001) \}$	$Q_{AS}=b \cdot j \{ f_s + 0.5 w f_t (p_w - 0.002) \}$
せん断補強筋の許容引張応力度	長期	$w f_t = 2000 \text{ kg} \cdot \text{f} / \text{cm}^2$	$w f_t = 2000 \text{ kg} \cdot \text{f} / \text{cm}^2$
	短期	$w f_t = 6000 \text{ kg} \cdot \text{f} / \text{cm}^2$	$w f_t = 3000 \text{ kg} \cdot \text{f} / \text{cm}^2$
降伏点応力度		$w \sigma_y = 13000 \text{ kg} \cdot \text{f} / \text{cm}^2$	$w \sigma_y = 3000 \text{ kg} \cdot \text{f} / \text{cm}^2$
限界せん断補強筋比		$p_w = 0.1\% \sim 0.6\%$	$p_w = 0.2\% \sim 1.2\%$

があげられる。

この設計指針ではウルボンの短期許容引張応力度が、 $6000 \text{ kg} \cdot \text{f} / \text{cm}^2$ と規定されているが、実際の降伏点強度は $13000 \text{ kg} \cdot \text{f} / \text{cm}^2$ である。これは、ウルボンの $w \sigma_y$ が高いため、同じ $p_w \cdot w \sigma_y$ を有していても、 p_w が少なくなることが原因となって、終局せん断強度がやや低くなる傾向にあり、この傾向を設計レベルに反映させるために、ウルボンを使用する場合の終局せん断耐力が、普通鉄筋使用時と同等になるようなみかけの降伏点応力度を短期許容応力度の目安としているためである。

そこで、この建物の柱のせん断補強筋の設計を行うにあたって設計応力は、柱の柱頭および柱脚が終局モーメントに達したときのせん断力を採用する。

さらに、柱の曲げ終局耐力式は、外周の長方形柱については RC 造計算規準中の式に依ったが、円形柱については規定されていないので、ACI—STANDARD 318-63³⁾ の引張鉄筋で決まる場合の式に準拠した。

すなわち、原式は、

$$p_u = \phi \left\{ 0.85 f_c' \cdot D^2 \left[\sqrt{\left(\frac{0.85 e}{D} - 0.38 \right)^2 + \frac{p_t \cdot m \cdot D_s}{2.5 D}} - \left(\frac{0.85 e}{D} - 0.38 \right) \right] \right\}$$

ϕ : 低減係数 = 0.9

f_c' : コンクリート強度 (F_c)

D : 断面直径

D_s : 鉄筋中心直径

e : $= M/N$

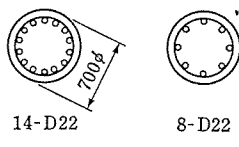
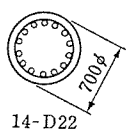
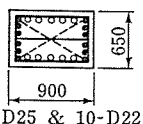
p_t : 全主筋比 (p_g)

m : $= f_y / 0.85 f_c'$

f_y : 鉄筋強度 (σ_y)

であるが、この式を次式のように変形して終局曲げ耐力式とした。

表—3 標準柱のせん断設計リスト

位 置	断 面		方 向	a_t (cm ²)	N (t)	M_u (t·m)	クリアー 高さ h (m)	Q_D (t)	Q_s/bj (kg·f/cm ²)	計算上必要フープ		設 計 採 用 値	
	柱 頭	柱 脚								p_w (%)	フープ	p_w (%)	フープ
1 階中通り (非耐震フ レーム)		14-D22	8-D22	柱頭	156.8	柱頭	3.90	32.88	10.82	0.1	ウルボン 7.4φ@100 (計算外)	0.206	ウルボン 9.2φ@100
				柱脚		柱脚							
1 階中通り (耐震フレ ーム)		14-D22	共通	54.18	157.3	70.79	3.90	36.30	11.95	0.128	ウルボン 7.4φ@100	0.206	ウルボン 9.2φ@100
1 階外周通り Y ↑ X →		12-D25 & 10-D22	X	30.42	108.6	132.70	3.90	68.05	14.25	0.205	ウルボン 11φ@135 (計算外)	0.277	ウルボン 11φ@100
			Y	30.94	123.0	92.78	3.90	47.58	10.15	0.1		0.20	

$$M_u = 0.24 \phi \cdot a_g \cdot \sigma_y \cdot D + 0.45 ND$$

$$\left(1 - \frac{N}{0.65 \phi \cdot F_c \cdot D^2}\right)$$

この終局曲げ耐力式より求めたせん断設計応力に対し柱の短期許容せん断力は下記のウルボン設計指針式

$$Q_{AS} = b \cdot j \{f_s + 0.5 w f_t (p_w - 0.001)\}$$

$$f_s : 11.1 \text{ kg} \cdot \text{f/cm}^2$$

$$w f_t : 6000 \text{ kg} \cdot \text{f/cm}^2$$

ただし最小せん断補強筋比は $p_w = 0.1\%$ 以上によって設計を行った。

ところが、ウルボンを使う場合、前にも述べたように日本建築センターの評定が必要となるが、評定審査の段階で最小せん断補強筋比を 0.15% とすることが条件づけられることとなった。

ウルボンそのものは、建築材料としての一般認定を受けることになるが、当建物の個別物件に限って p_w の最小せん断補強筋比 0.15% となるが、実験の結果では 0.1% のものでもその性状に差のないことが確認されている。

標準柱のせん断設計リストを表-3 に示す。

6. アンボンドテンドンによる収縮クラック対策

コンクリートの収縮クラック対策としてプレストレスを導入する方法を満点商会阿倍野営業所ビル⁴⁾で試行した。

竣工後2年経過してクラックの発生がなく、予想以上の好結果が得られている。

しかし、満点商会のケースは小規模な建物であり、そのまま大規模な建物に適用するかどうかは疑問である。そこで、この建物にプレストレスを導入すれば、壁の多い大規模な建物の場合の効果を知ることができる。

プレストレスを導入するにあたっては、アンボンドテ

ンドンを壁体および大梁、小梁に配し、全体を締めつけるような効果を期待した。したがって、まず床面は、大梁・小梁を介して床面にもプレストレスが影響すると考えられるので、梁と床の全有効断面に対する平均プレストレスを $5 \text{ kg} \cdot \text{f/cm}^2$ に、壁の断面に対する平均プレストレスを $9 \text{ kg} \cdot \text{f/cm}^2$ となるようにプレストレス力を決めている。

1階床（フラットスラブ部分）にはプレストレスを導入していないが、外周部の基礎梁には壁のプレストレスによる圧縮歪が均等に生じることを期待して、壁部分と同程度の平均プレストレスを導入した。

アンボンドテンドンの配線については、壁体中には直線配置をしているが、梁の中に配するテンドンについては、長期応力に対する曲げひびわれの防御に役立たせるために、曲線配置としている。

また、中央部のエスカレーターまわりの吹抜け部分については、相当地に跳ね出しているキャンチ梁があるが、この応力に対して有効にキャンセルさせることができ、無理なく設計をすることができた。

アンボンドテンドンの配線の状態を図-4 と図-5 に示す。

クラックの追跡は、目視観察により行っているが、施工期間中発見されず、竣工後半年以上経過した現在も、クラックは認められていない。

平均プレストレスは $5 \text{ kg} \cdot \text{f/cm}^2 \sim 10 \text{ kg} \cdot \text{f/cm}^2$ のわずかなものであるが、このような平面的に大規模な建物においても、PRC 造の主な目的である曲げひびわれの制御のみでなく、収縮クラック対策としても期待できるようである。

この対策はコンクリートの収縮を集中させることではないので、当然のことながら、この建物の壁面にはタテ目地（収縮目地）は設けていない。

また、有限要素法等により乾燥収縮歪から主応力を計

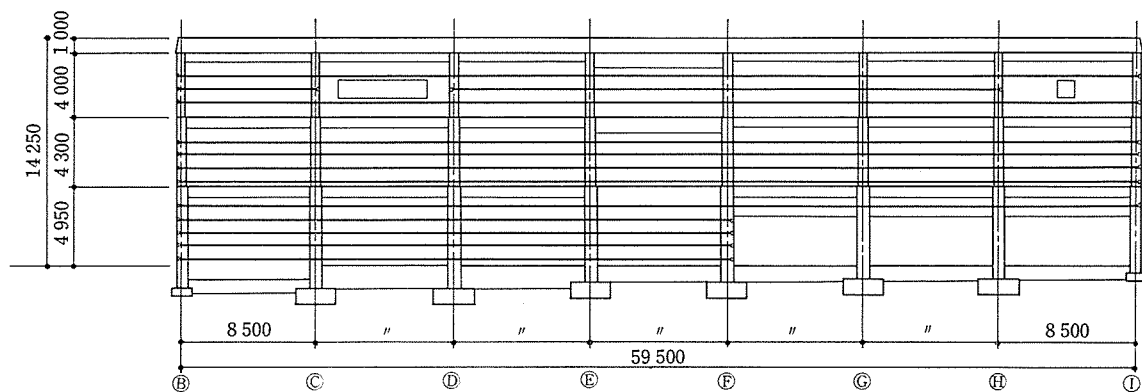


図-4 壁アンボンドテンドン配線図

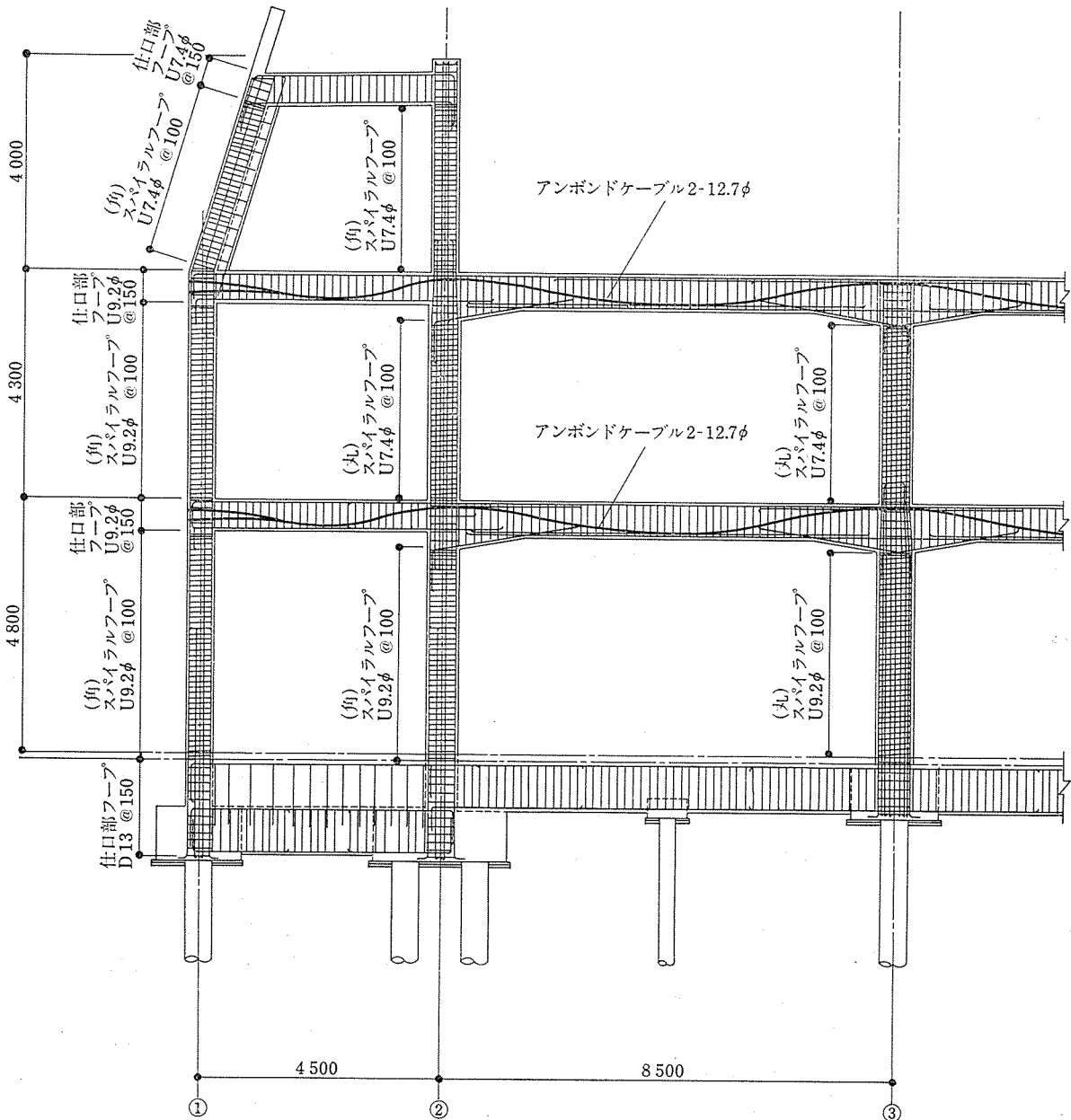


図-5 架 構 配 筋 図

算した場合、壁面の引張応力はプレストレスで導入する圧縮応力をはるかに超えたものとなる。にもかかわらずクラックの発生を見ないのは、梁断面にもプレストレスを導入することによりラーメンの縮みが伴い、ラーメンの壁体に対する拘束緩和が寄与している結果ではないかと思われる。

7. あとがき

ウルボンの強度をそのまま評価した設計例は、おそらくこの建物が最初であろうと思われる。

この建物は、低層であるので、せん断補強筋としての高耐力はあまり必要としなかったが、中高層の建物の場

合は有効になるのではないかと思う。特に新耐震設計法による地震荷重の増加に対処するには、普通鉄筋では過密配筋となる傾向にあるフープを緩和させることができるようになるであろう。

現在のところは、建築センターの評定を受けないと使用できないが、メーカーより一般認定の申請が出されており、近い将来自由に使用できるようになる予定である。

一方、収縮クラック対策としてのプレストレスの効果は、予想以上に良好なようである。この工事では都合により各種の計測は行っていないが、導入するプレストレスによる圧縮応力以外の効果も相乗しているようであ

る。

最後に、ウルボンを使用するにあたって、技術的な御指導をいただいた京大 六車教授，さらに評定を受けるにあたって多大の御協力をいただいた東工大 福原助手 および高周波熱錬（株）水馬常務に感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 黒正，福原ほか：高強度せん断補強筋を用いた鉄筋コン

クリート梁・柱の力学的挙動に関する実験研究，昭和 51 年日本建築学会関東支部報告集ほか

- 2) 六車，渡辺ほか：鉄筋コンクリート柱のせん断力伝達機構に及ぼす帯筋降伏強度の影響について，昭和 54 年第 1 回コンクリート工学年次講演会
3) Building Code Requirements for Reinforced Concrete
4) 亀高，松谷ほか：RC 建築物におけるアンボンド工法の利用，建築技術/1981・9

◀刊行物案内▶

プレストレストコンクリート構造物の設計・施工の現状

本書は第 11 回 PC 技術講習会のためのテキストとして編纂したもので，PC 構造物の設計・施工の現状について，我が国のみならず，諸外国の現状にまで言及・解説しています。また，耐久的な PC 構造物作製のための注意点や，新しい建築設計規準法の解説なども盛り込み，大いに参考になることと思います。

ご希望の方は，代金を添えて（社）プレストレストコンクリート技術協会宛お申し込みください。

- 体 裁：A 4 判 112 頁
定 価：3,500 円 送 料：450 円
内 容：(A) 諸外国における PC 橋梁設計・施工の発展（第 9 回 FIP ストックホルム大会セミナー報告）1) 架設工法の発展，2) プレキャスト技術応用範囲の拡張，3) 断面形状とその構成，4) 複合構造物，5) 結論。(B) PC 構造物の設計基本——考え方 1) まえがき，2) 許容応力度設計方法から限界状態設計法へ，3) 限界状態，4) 水準-1 の安全検証法，5) プレストレストコンクリートの限界状態，6) 断面応力の計算，7) 曲げ破壊に対する安全度の検討，8) せん断。(C) 耐久的な PC 構造物構築のための注意点 1) まえがき，2) 橋梁における PC 構造物に関して，3) 建築における PC 構造物に関して，4) 構造物の欠陥に対する一般的注意，5) あとがき。(D) PC 建築構造物の新しい設計法について 1) まえがき，2) 新耐震設計法の概要，3) PC 造建築物に対する新耐震設計法の適用，4) PRC 造の設計，5) 結語。(E) 最近施工された PC 橋 1) 新プレストレストコンクリート鉄道橋設計標準の概要，2) 注目される施工法，3) 実施例。