

江戸橋自動車駐車場に用いられた PC小ばりの設計について

小 林 制*
 沢 井 昭 吾**
 山 本 康 正**

1. 緒 言

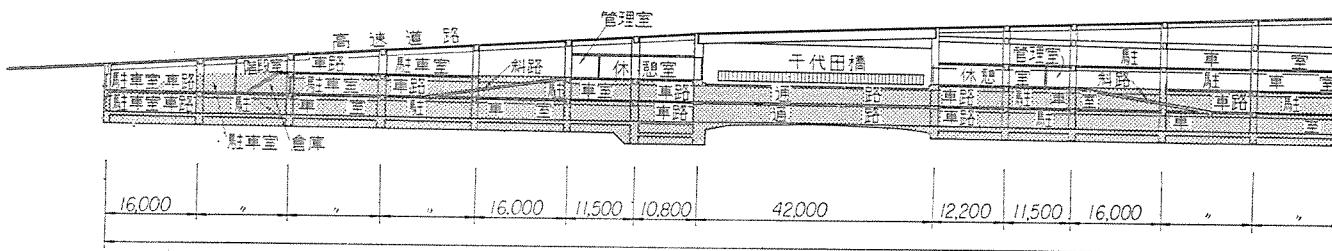
江戸橋自動車駐車場は都市計画で決定された公共路外駐車場であり、汐留駐車場（本年1月完成）、本町駐車場（現在施工中）とあわせて都心部駐車需要に対する首都高速道路公団駐車場事業の一つとして計画されたものである。

本駐車場は、高速道路1号線高架下に設けられるもので、巾員28m、延長400m余にわたり総面積33000m²、収容台数850台という公共路外駐車場としてはきわめて大規模なものである。架構は口絵写真および図-1に

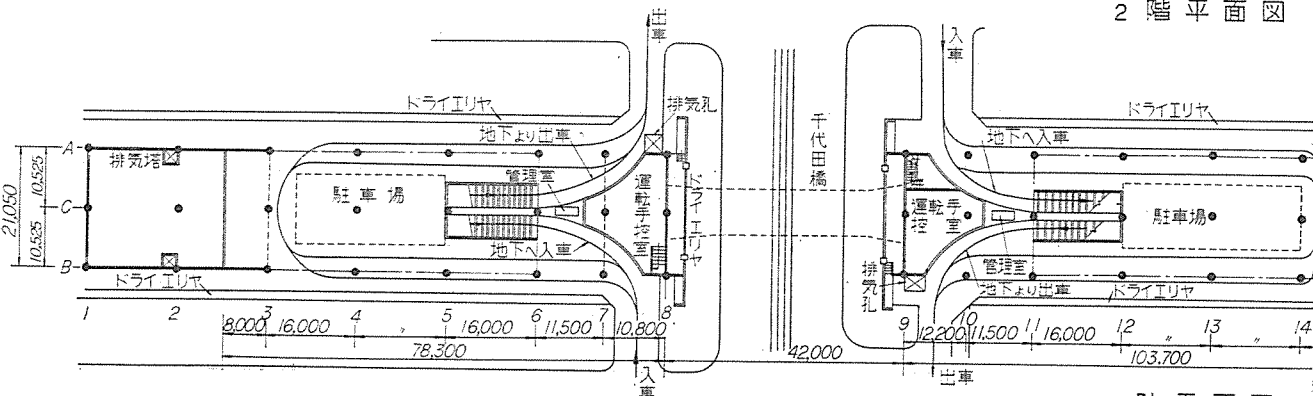
見られるごとく、上部高速道路2層、下部駐車場地上2層、地下2層の道路～建築物の一体構造で、はり間、桁方向ともラーメン架構形式を採用している。桁方向柱間は、上部高速道路より来る制約のためスパン16mという建築物としての比較的長スパンを有し、この桁方向に小ばりとしてPC構造を採用した。小ばりはスパン4つ割りとし、4～5スパン連続とした。

現在プレストレストコンクリート構造による構築物の発展はめざましく当公団においても路線全般にわたり随所に使用されているが、その多くは橋梁あるいは高架道路桁に限られ建築物としての事例はきわめて少ない。

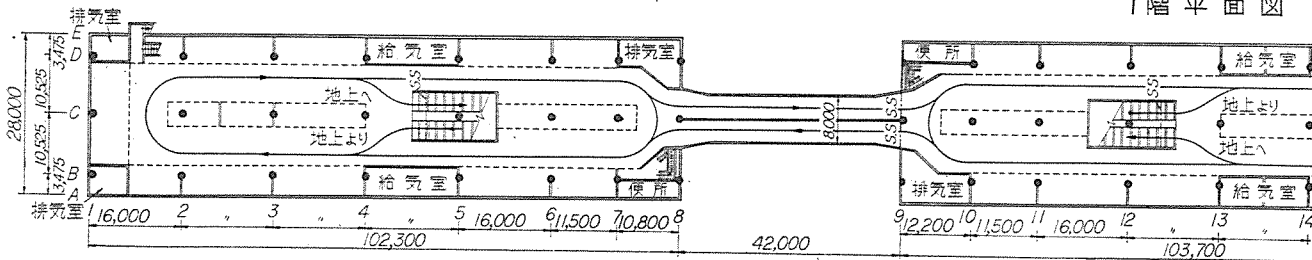
図-1 断 面 お よ



2 階 平 面 図



1 階 平 面 図



*首都高速道路公団建築課長 **同左 建築課技師

江戸橋自動車駐車場におけるPC小ばりの設計については設計当初より、かなり長期間にわたり実験ならびに比較検討を行なってきたが、今般その実施にあたりこれらを取りまとめて報告することとした。

2. PC小ばりの採用に関する検討事項

前述のごとく本駐車場は高架高速道路と一体をなすラーメン構造であり、柱間および荷重条件から見て鉄筋コンクリート構造あるいは鉄骨鉄筋コンクリート構造では部材断面が大きくなり全般として、はなはだ不経済な設計になるものと思われ、計画当初PC大ばりによるラーメン構造としての設計を行なってみたが……

- a) 地震荷重および自動車車線としての、くり返し荷重を受けるはりの端部構造についての設計。
- b) 破壊荷重に対する、鉄筋コンクリート柱との相異。
- c) 上記荷重時における安全率の想定。
- d) 鉄筋コンクリート スラブの乾燥収縮による拘束。
- e) クリープによって架構に加えられる二次的応力。
- f) 施工時における架設足場。
- g) 工場より現場への搬入方法。………など実施設

び 平 面 略 図

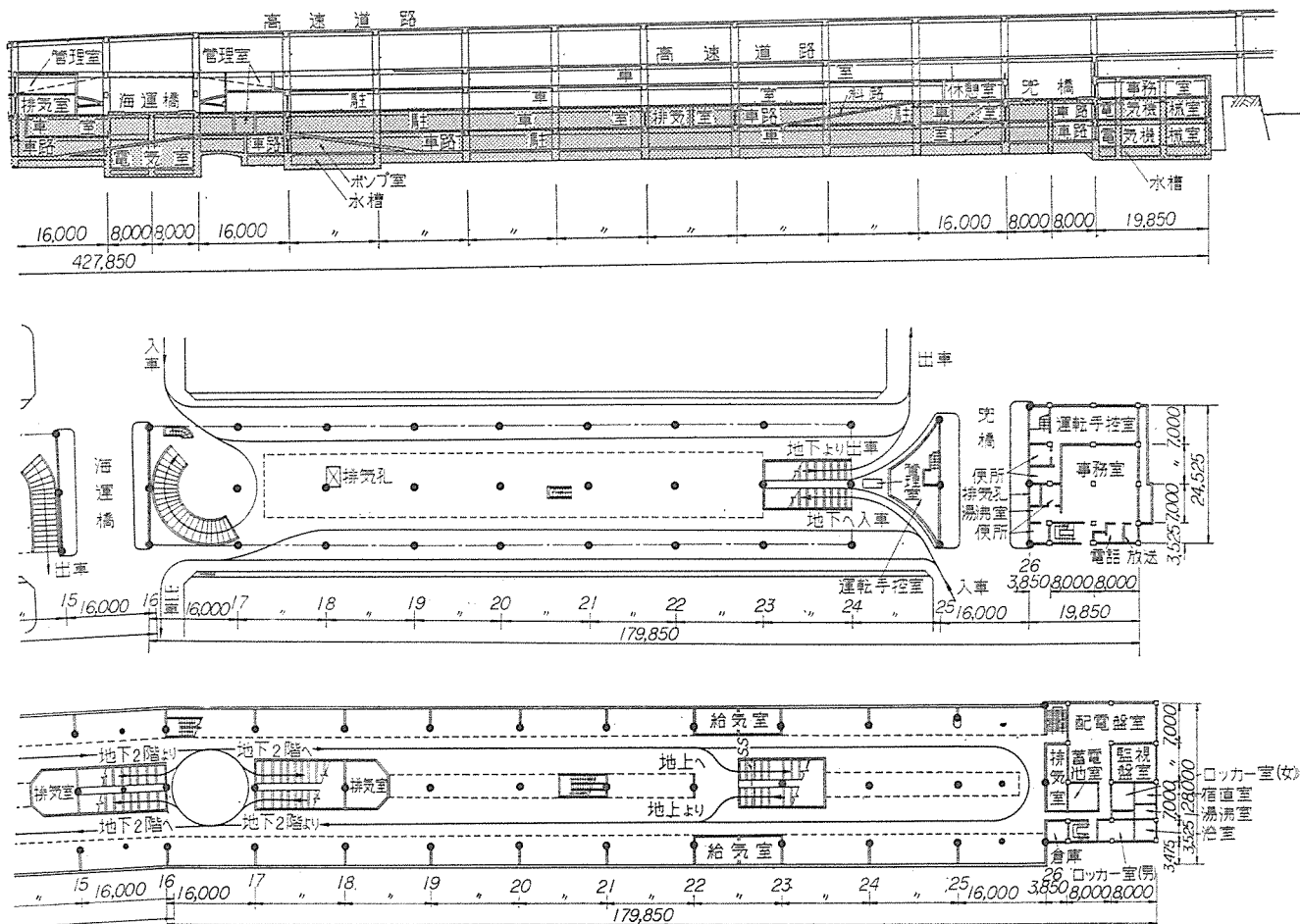
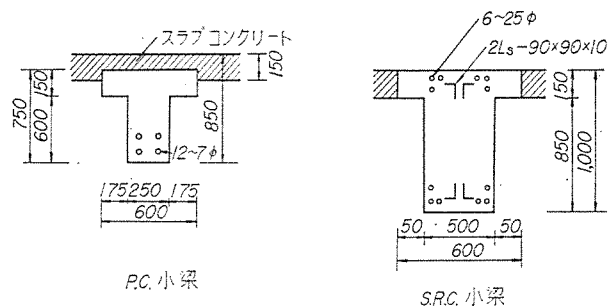


表-1 鉄骨鉄筋コンクリート造小ばりとの比較設計



比 較 表 (各1カ所ずつ)

	重量 (kg)	コンクリート (m ³)	型わく (m ²)	鋼材 (kg)
P.C	8 600	3.70	33.50	340
S.R.C	16 000	6.68	35.20	1 480

計においてあまりにも問題が多く、事実架構自体についても不静定次数の高いものだけに不確定要素を多くふくみ、設計も常に安全側を取りがちとなり当初考えたほど経済的とはならなかった。むしろ建物重量の軽減、階高の低減という点からすれば、スラブ割りを小さくしてPC小ばりを採用した方が有利ではないかと考えられた。

PCを小ばりに採用した場合、一体どのような利点を

生ずるか。実施設計におけるPC小ばりと同条件のもとに設計された鉄骨鉄筋コンクリート造小ばりとを比較して見ると大体つぎのようなことが言える(表一 参照)。この場合、鉄骨造小ばりも考えられたが建築基準法によって規定された耐火構造として扱えないので本設計については対象外とした。すなわち

(1) はりせいは鉄骨鉄筋コンクリート造小ばりと比較して 15% の減となる。

利点：a) はりせいの減、すなわち階高の低減により駐車場全体の根伐量は減少する。根伐量の減少は土工事の約7%程度の工事費の節減となった。

b) 駐車場周辺の近接建物に対しては駐車場の根伐底を浅くすることによって、不同沈下などの影響を少なくする。

c) できうるかぎり階高を低減することにより、地下駐車場として必要な換気量の絶対容量を少なくし、機械設備費ならびにそのランニングコストの低廉をはかる。

(2) 部材重量は約 1/2 程度になる。

利点：a) 建物全体の重量が軽減され地震荷重としての水平力は約 14% の減となる。これは地上部分においては耐震壁が取り得ないため、設計としては架構全般について有利な条件となる。

b) 柱荷重が軽減するため、基礎工事については約 5% の工事費の節減となる。

c) 部材断面が小さく、建物の美観上軽快性をもたせる。

d) 小ばり 1 本当り 8.6 t 程度のものであるから、プレキャストばりとして工場よりの搬入が可能である。

(3) プレキャストばりとして工場生産が可能である。

利点：a) 工場生産であるため現場打ちコンクリート部分が少なく架設足場が少なくて済む。

b) 重量的に見て鉄骨工事と同程度の架設設備があれば十分である。

c) 同型、同スパンのはりが多いので仮わくの回転率を良くすることによって工期は短期間となる。

d) 工場作業によるため単独の工程をもって他工事と平行して行なうことができる。

e) 工事の管理が工場生産であるため十分できる。また部材個々についても架設以前に試験または検測できるので耐力的にも安全性がある。

f) 鋼材の使用量は 1/4~1/5 程度で済むが単価的に相当な差があるため必ずしも有利な条件とはならなかった。

以上主として経済性の比較を行なった訳であるが、さらに建築物としてのたわみの問題、自動車走路としてのき

れつの発生および部材の補修と言った点から見てもPC小ばりによるものの方が有利であると考えられPC小ばりの採用にふみきった訳である。

2. PC小ばりについての問題点

以上PC小ばりについての採用利点だけを述べたが、PCラーメンにおけると同様PC小ばりについても数多くの問題が残されている。すなわち、

(1) 耐火性：これは駐車場という特殊建築物であるだけに特に重要な問題である。

(2) はり端部における接合方法：本構造においてはPC小ばりとしたため、PCラーメンにおけるものより問題の範囲は局部的になるが、なお十分なる検討を必要とする。

(3) スラブコンクリートの拘束による導入プレストレストの減少：普通鉄筋コンクリートとの一体構造としたため、スラブの乾燥収縮による影響はかなり大きなものと思われる。

(4) クリープ：PCばりにおいては一般にクリープにより上向きのむくりが生ずるが、むくり量の大なる場合、自動車車路としてのスラブ面にかんがりの不陸ができるのではないかと思われ、その対策を講じなければならない。

(5) 安全率：部材の支持方法がPCラーメンの場合ほど複雑ではなくなり、応力状態もきわめて簡明となったが、なお十分なる検討が必要と思われた。

(6) 架設方法：PCばりの架設方法については事例も多く今さら述べるまでもないが、本設計については設計時における仮定ならびに他工事との関連上とくに検討を加えて見ることにした。

以下これらの解決策としては次節に述べる。

3. 実施設計における問題点の検討

(1) PCばりの耐火性

PCばりは普通鉄筋コンクリート構造と比較して耐火性についておとるといわれ、建築物として使用する場合の一大欠点とされているが、大別して次のような諸点があげられる。

a) PCばりに使用されるコンクリートは普通鉄筋コンクリートに使用されるものと比較してきわめて密実な良品コンクリートであるため、一たん火災を受けると、含有水分の蒸発にともない急激な膨張作用を起し、いわゆる爆裂という状態が生ずるのであるが、建築物においては建物の消火活動上きわめて危険なものである。また爆裂による部材断面の欠損は断面剛性の低下をともないPCばり自体の耐力にも大きな影響を与えるものと思わ

れる。

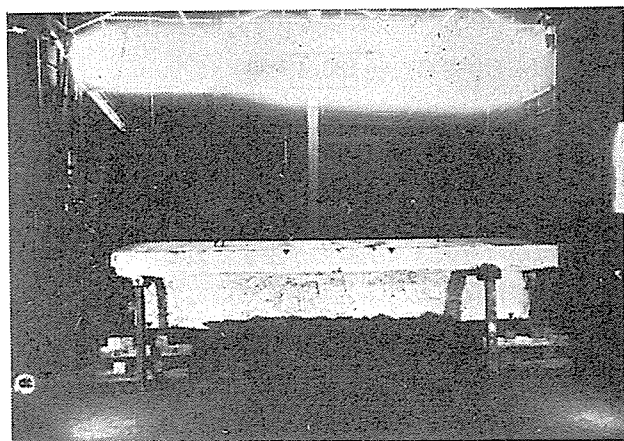
b) PC鋼材の臨界温度は 350~400°C といわれ、普通鉄筋コンクリート鋼材の 450°C に比較して同一コンクリートかぶりならびに前記爆裂はく離によるかぶり厚減少の場合には、鉄筋コンクリート部材よりも耐火力がとおるものと考えられる。

c) 被災後のコンクリートの劣化、鋼材の強度低下については鉄筋コンクリート構造においても同様なことが言えるが、PC部材についてはさらに導入プレストレスの減少が生じ部材の強度低下の一因ともなっている。

本駐車場においては、いわゆる特殊建築物であるという見地からすれば、これはきわめて重要な問題であると考えられ、特に実施に先だって数々の実物大試験を行ってきたが(建築学会 昭和 36 年度大会論文発表) その結果、本工事採用の小ばりについては、おおむね良好な成績を得ている。すなわち

- ① JIS 規格耐火 2 級加熱試験に合格する(図-2)。
- ② 小規模な爆裂は起こるが建築物として被災時、消火活動に支障があるほどの爆裂は見られない。
- ③ 被災時、剛性の低下はあるが終局耐力の低下はきわめて少なく、計算値のほぼ 5% 減程度であり耐力上十分安全であると思われる。
- ④ 被災によるプレストレスの減少はわずかであり、荷重を取り除いた状態ではほとんど正常な姿に復している(写真-1)。

写真-1 被災後荷重を取り除いた状況



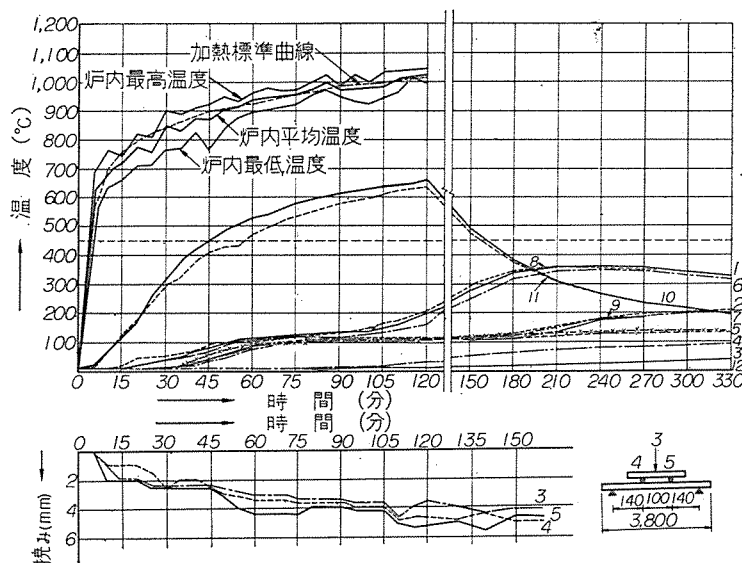
⑤ 被災時のたわみはきわめて小さく使用上問題とならない程度である。

⑥ 被災による部材の損傷はすべて表面的なもので補修による再使用は可能である。

(2) 鉄筋コンクリート スラブによる拘束

本設計においてはPC小ばりの両端を剛な大ばりに接

図-2 耐火試験における温度およびたわみ図



合し、かつそのはり上面に 10 cm 厚の鉄筋コンクリートスラブを打設し、鉄筋コンクリートスラブとの合成ばりとしているため、コンクリートの乾燥収縮およびクリープが生じた場合、PCばりに大きな引張応力を生じ、有効プレストレスの大巾な減少をきたし、使用上支障が生ずるのではないかという懸念もあったが、この点に関しては、施工計画の上でPCばり製作後 3 カ月後に架設し、その両端を大ばりに緊結することにしたため解決された。すなわち

$$\text{材令 } t = \infty \text{ のときのクリープ係数 } \varphi_{\infty} = \frac{0.5 \cdot \infty}{1.5 + 0.25 \cdot \infty} = 2.0,$$

$$\text{材令 3 カ月 } (t = 13) \text{ のときのクリープ係数 } \varphi_{13} = \frac{0.5 \times 13}{1.5 + 0.25 \times 13} = 1.37, \text{ すなわち } \varphi_{13} / \varphi_{\infty} \doteq 0.70$$

よってクリープは架設時においてその約 70% が進行していることになる。したがって、スラブコンクリートの乾燥収縮による最終的収縮度を $S_{\infty} = 2.5 \times 10^{-4}$ とすれば、PCばりとスラブコンクリートの乾燥収縮ひずみ度の差 S' は、材令 13 週時のPCばりの収縮ひずみ度

$$S_{13} = 2.5 \times 10^{-4} \times \frac{1.37}{2} = 1.71 \times 10^{-4}$$

と S_{∞} との差に等しい。すなわち

$$S' = (2.5 - 1.71) \times 10^{-4} = 0.79 \times 10^{-4}$$

一方クリープによるPCばりのひずみ度 ϵ は

$$\epsilon = 2.19 \times 10^{-4} \times (2.00 - 1.37) = 1.38 \times 10^{-4}$$

よってPC小ばりの全ひずみ度は

$$\Sigma S = S' + \epsilon = (0.79 + 1.38) \times 10^{-4} = 2.17 \times 10^{-4} \text{ となる。}$$

したがってスラブとPC小ばりとの全ひずみ度の差は

$$2.5 \times 10^{-4} \doteq 2.17 \times 10^{-4} \text{ といえるので、当初考えられたほど拘束はないものと思われる。}$$

(3) PC小ばり端部における大ばりとの取合部の設計

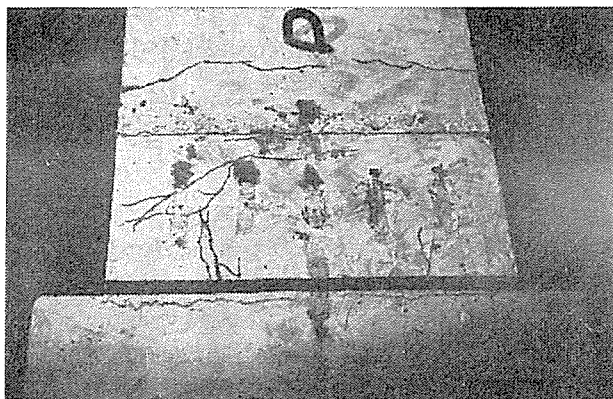
PCばり端部の接合方法としては大別して次のような方法が考えられる。

- ① 鉄筋コンクリート構造によるもの。
- ② 連続ケーブルによるもの。
- ③ 局部的なPCケーブル使用によるもの。

本構造においては①の鉄筋コンクリート構造による接合を考えて見たが、設計に先だってPC小ばりと鉄筋コンクリート造大ばりとの接合部における曲げ剛性およびクリープ、乾燥収縮ならびに部材温度変化による端部引張応力についての実験的検討を行なって、その連続性ならびに接合部における応力の伝達状況について確かめてみた。

その結果はり端部における曲げ剛性は一般に全断面による剛性よりも低く、長期荷重時において1/1.8、短期荷重時においては1/2.0程度の低下を示し、その大部分は目地におけるきれつ集中によるものと考えられる。しかしながら端部結合部は曲げ応力に対しては連続ばりとして設計は可能であると思われる。なお曲げきれつ巾は実用上問題にならない程度で自動車車路として使用上支障はない。引張試験の結果によると(写真-2)、目地

写真-2 端部引張り試験供試体のきれつ発生状況



部におけるきれつ巾は挿入鉄筋の伸び量と等しく、鉄筋応力が降伏点に達するまでは荷重—きれつ巾はほぼ直線的となる。この場合はり端部引張応力は、すべて挿入鉄筋に頼らねばならない。つまり目地部においては鉄筋の付着を期待することは考えられず、実際の部材においては引張応力により、かなり大きなきれつ巾が生ずるものと思われ、実施設計においてはその引張応力に抵抗するだけの付着力を期待するため、折込付図に示すごとく相当数の挿入鉄筋を必要とした。

(4) クリープによるコンクリート スラブ面のむくりにについて

PCばりはクリープによりかなりのむくりを生ずるが、本駐車場のように広い床面を有する場合その影響は大きなものである。事実同一断面の小ばりにおいてもクリープ量の相異がかなり生じ、スラブ面の不陸という結

果が起きている。実施設計部材におけるクリープによる小ばり中央のむくりの値は、

- ① プレストレス導入時…………… 2.07 cm
- ② 架設時(3カ月後)…………… 4.92 cm
- ③ 全荷重作用時…………… 2.05 cm となっている。

これについての解決策としては、

- ① 仕上工事における仕上厚の調整による。
- ② 小ばり上部に打設する10 cm厚のスラブコンクリートによる調整。

③ PC小ばり自体に逆プレストレスを導入する。…など設計当初から検討してきたが、いまだに結論的なのは出ていず、現在各製品について工場においてむくりの測定を行なっている。

(5) 安全率について

PC構造物においても鉄筋コンクリート構造と同様にある程度の安全率を考える必要があるが、その決定条件は必ずしも鉄筋コンクリート構造とは一致しない。つまりPC構造においては各種応力度の変化が荷重と比例せず設計荷重をもととした許容応力度を用いる設計方法では破壊による安全度を確保するには不十分であり、極限強度をもととした設計法によることが望ましい。本設計については建築学会のプレストレストコンクリート設計施工規準により破壊に対する安全性の検討を行なった。連続ばりとして設計するとスパン中央の曲げモーメントは

$$G \text{ (静荷重によるもの)} = 58.0 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$P \text{ (動荷重によるもの)} = 53.8 \text{ "}$$

$$\text{よって } 1.2G + 2.4P = 111.8 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$2(G+P) = 141.4 \text{ t}\cdot\text{m}$ となり、一方部材破壊抵抗曲げモーメントは(RCスラブとの合成断面として)

$$M_B \text{ (中央部)} = 180.4 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_B' \text{ (端部)} = 82.7 \text{ " となる。}$$

したがってスパン中央および材端について曲げ破壊に対して十分安全である。また前述のごとく、はり端部においてはかなり大きな引張力が生ずるので、その危険性を考えて単純ばりとなった場合についても検討した。すなわち

$$1.2G + 2.4P = 144.6 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$2(G+P) = 176.0 \text{ t}\cdot\text{m}$ となり曲げ破壊に対しても安全であると考えられる。

(6) PC小ばりの架設について

本設計については次のような仮定を立てて行なったため、施工に当ってはそれらの条件を含味した上で架設計画を立てねばならない。

- ① はり作成後プレストレス導入、3カ月後架設とする。