

特集

PC版構造物

合成化と PC 化による 床版工法の発展

渡 辺 明*



* Akira WATANABE

九州工業大学工学部教授（開発土木工学科），工博

1. 床版工法発展の沿革

コンクリート工事において支保工・型枠などは、それが一時的なものであるため、構造物それ自体に対するより従来一般に軽視される傾向が強かった。

しかしながら、近年、日本では現場技能労務者の高齢化と激減、建設工事の大型化に対処するため、また「一般に建設費の中に占める支保工・型枠費の割合は実に35～60%に達する」とACI 347委員会が指摘するような現実を改善するため、床版工法にも刷新の気運が急速に高まってきている。

床版工法を合理化しようとする方向のその1は、床版をプレキャスト部と現場打ち部とに分け、前者を支保工・型枠代わりに利用して後者のコンクリートを打ち、両者を一体化させ、合成断面として荷重に抵抗させようとする考え方を基調としている。

すなわち、プレキャスト部が鉄製型枠つき鉄骨鉄筋かごであったり、トラス筋を有するRC板であったり、さらにそれにプレストレスも加えられるように改善されたり、ついで、プレテンション方式PC板で成るものも登場してきたりして、変遷が続いている。

なお、プレキャスト部がRC板ながら、1グリッドを1パネルで一気に施工する工法も開発され、実績を収めつつある。

床版工法合理化の方向その2は、全断面を現場打ちしたコンクリート断面に2方向からプレストレスを導入して、ひびわれ耐荷力を確保し、長期たわみの過大化に対処し、かつ、ひびわれ特性も改善しようと図るものである。これがフラットスラブ工法として早くからよく知られていながら、日本で汎用に至らず、近年になって、復活してきたのは、アンボンドPC鋼線の登場によりグラウト工が省かれ得るようになったこと、移動式床型枠・格子鉄筋ユニットなどの利用で省力化が成ったこと、そして“梁なし床版”施工による階高・軒高低減の効果が再評価されたことなどによると思われる。

さて、PCの登場はコンクリート界に一大変革をもたらしたが、日本では、土木分野で橋梁の長大化に対処しての、桁としての利用が長年圧倒的で、建築分野では大梁・小梁にさえ広範囲な利用にまでは至らず、床版へのPCの利用は共に大幅に遅れていた。床版では数多くのPCテンドンを配置しなければならぬうえにグラウトに手間がかかり、しかも、期待どおりのプレストレスが導入されることを疑問視する向きが多かったためとも言われている。そして、床版のPC化で最も実績をあげたのは、むしろ小梁除去の効果もねらったダブルTスラブの活用であった。

さて、本文では床版工法の発展の軌跡を概観し、その個々について若干の考察を加える。特に、その設計・施工指針（案）の制定作業（土木学会）が終わり、コンクリートライブラリー第 62 号として刊行されたばかりの PC 合成床版工法と、近年復権し、とみに実績を拡大しつつあるフラットスラブ工法については、基本的な問題点に関して実験結果も報告する。なお、本文では PC は Prestressed Concrete の略称として用い、建築でいう Precast Concrete の意味ではないことを、最初にお断りしておきたい。

2. 鋼製型枠ユニット床版・鋼格子床版工法

道路橋の床版は、橋梁部材の中で、その耐久性に関し最も問題の多い部材であり、これまで種々の事故が報告されてきた。床版の大部分を占める従来の場所打ち RC 床版は、その施工に手作業が多く、省力化と工期短縮がはばまれ、プレハブ化が遅れてきたが、近年における技能労務者（とび、大工、鉄筋工）の不足に対処するために、そして耐久性の増大と維持修繕費の低減を図るために、急速に研究開発が進められるに至ったのである。

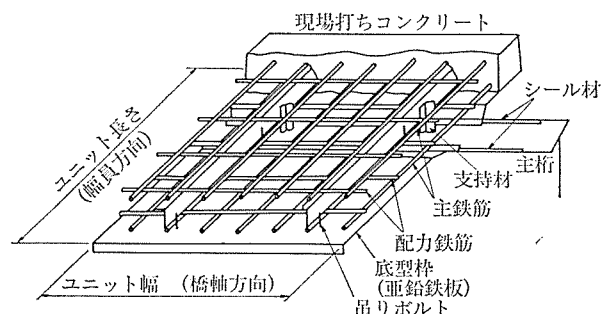
図—1 は、昭和 49 年度の建設省技術研究補助金によって開発された鋼製型枠ユニット床版で、これを用いることによって、加工、配筋、型枠設置といった従来の現場作業の大部分が工場での作業に置き換えられ、現場での作業は、型枠付きの鉄筋かごの設置とコンクリートの打設だけとすることに成功した。また I 形鋼格子床版の例を図—2 に示す。なおこれらの床版では鉄板が捨て型枠として処理され、引張主鋼材は別に配置されているから問題ないが、型枠と引張主鋼材が兼用になっているタイプのものでは、負モーメント領域はもちろん正モーメント領域でも、床版上面からの浸透水や、輪荷重の繰返し・せん断力交番に基づく貫通ひびわれをたどっての貫通水などが底部主鋼板上にたまり、肝心の鋼板を発錆劣化させてしまうおそれがある。よって、鋼板に穿孔して水の流下を図ったり、さらに鋼板の上下面について防錆の処理するなどが肝要であろう。

3. オムニア床版工法とその改良工法

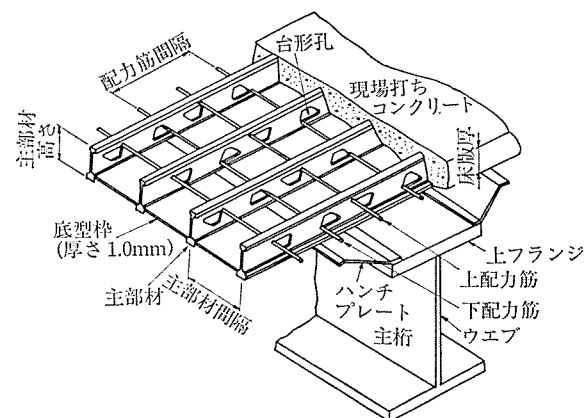
西ドイツのラインバウ社が

開発したオムニア板の歴史は古く、建築で国際的に多用されている（図—3^{1),2)}）。オムニアトラス筋（オムニア型、カイザー型）の下弦材を 4~6 cm のコンクリート板に埋め込んだものを、後からの現場打ちコンクリートと一体化させるもので、耐火・耐久性スラブとして実績を重ねてきた。

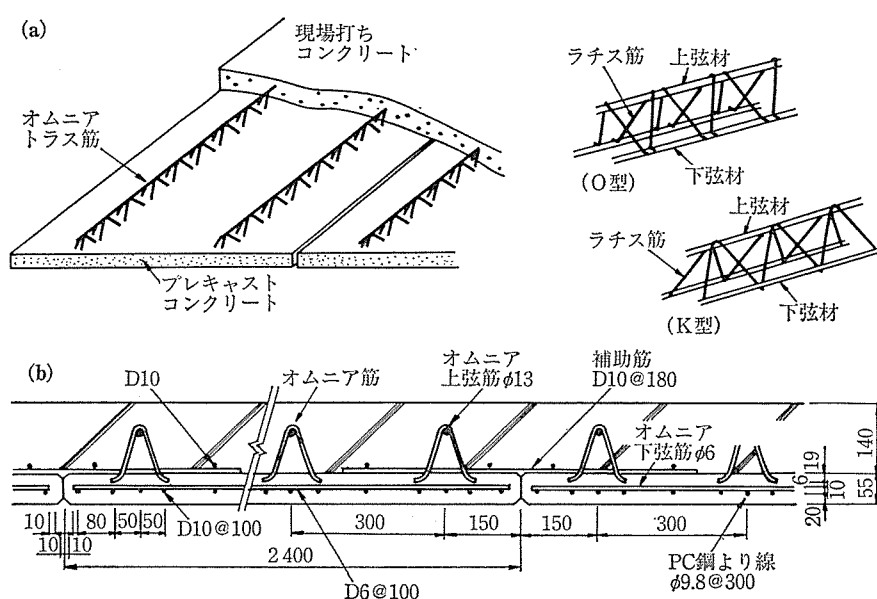
近年、長期たわみ・ひびわれ対策上から、場合によってはさらにプレストレスを導入することもなされ（図—



図—1 鋼製型枠ユニット床版



図—2 鋼格子床版



図—3 オムニア床版工法

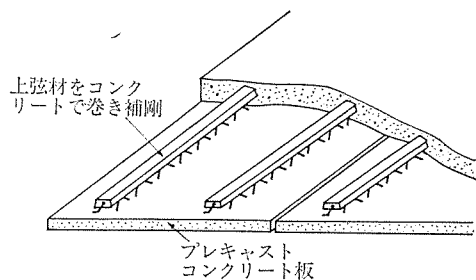


図-4 上弦補剛オムニア板

3(b)), PC ストランドによる方法, またはプレビームの原理にならないオムニアトラス筋にプレベンディングを与えておくことによって導入する方法などが採られている。

また, オムニア板をさらに長スパン用に使用しようとする場合, コンクリート打設時にオムニアトラス筋中の上弦材の座屈が問題となるので, その周りをコンクリートで巻いて補剛する方法が用いられたり (図-4³⁾), さらに, コンクリート板を平型からダブルT形に変えたものも開発されている。

4. シュタールトン床版工法⁴⁾

通常の RC 床版で施工した場合, その重量は建物全重量の約 22% にも達するといわれ, 床版の重量軽減への要請は強い。ホロータイルの利用と PC のいち早い適用でその要請に応えた例に, スイス生まれのシュタールトンスラブがある。すなわち 図-5 に示すように, 上面に溝のある高さ 6 cm, 幅 15~25 cm の粘土製品をプレテンションベッド上に連続して並べ, その溝内に PC 鋼線を通して緊張し, モルタルで充填した後緊張を解放し, 100 kgf/cm² 程度のプレストレスを導入したシュタールトン板と, ホロータイルを横方向に並べ, その上に現場打ちコンクリートを施工する方法で, ヨーロッパでかなり普及した模様である。

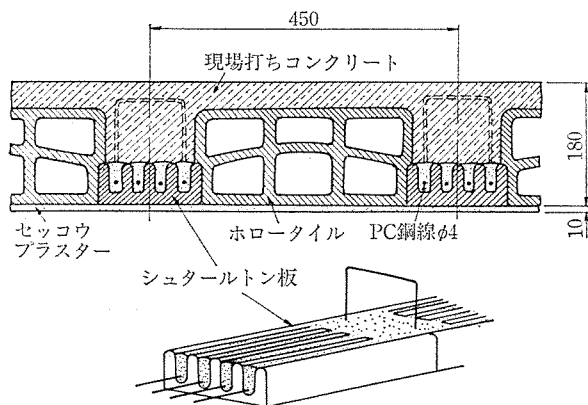


図-5 シュタールトン床版工法

5. スパンクリート合成床版工法

スパンクリート⁵⁾ はホロータイプの板状 PC 製品である。この表面に円形のシャーコッター (φ 25×7 mm, 600 個/m²) を付したものを梁上に並べ, これらを支保工・型枠代わりに用いて現場打ちコンクリートを打設し, 両者を一体化させて合成床版とする工法である (図-6⁶⁾)。曲げに対する贅肉が除かれているため PC 板が軽量であり, ひびわれ, 長期たわみの点でも優れている。

6. ピコス工法

Precast Insiteplaced Concrete Composite Slab 工法の略称で, コンクリート版を沢山敷き並べ, その上に現場打ちコンクリートを打設して一体化する方法ではなく, 原則として, “1 グリッド・1 パネル” 方式で施工する工法で清水建設 (株) の開発による。

スパン 8 m 程度までを対象に, 図-7⁷⁾ に示すように大型プレキャスト RC 板 (厚さ 70 mm 以上, PC 板ではない) が現場で積層製作されるところに特色がある。それらはクレーンで専用の治具を介して吊込みセットされ, その上に上端筋などが配された後, 現場打ちのコンクリート (厚さ 60 mm 以上) が打設され, 合成される。なお, 板の表面には 80×80×8 mm のシャーコッタ

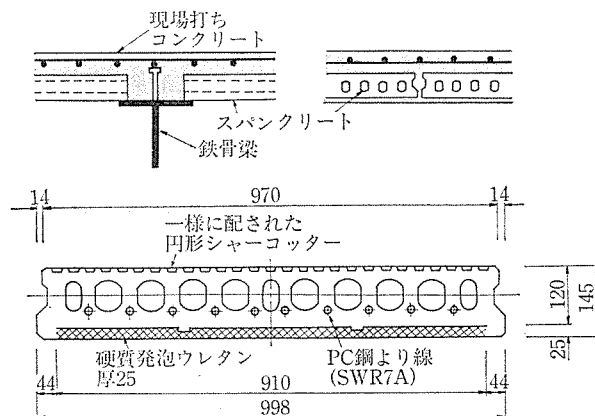


図-6 スパンクリート合成床版工法

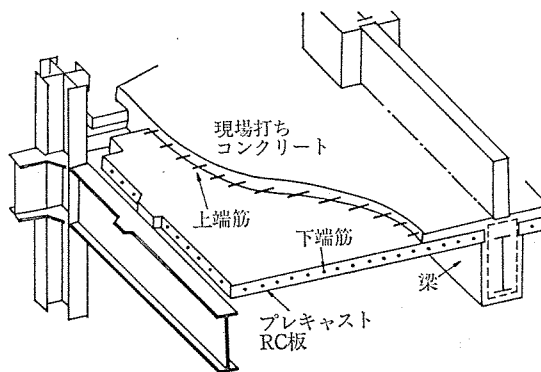


図-7 ピコス工法

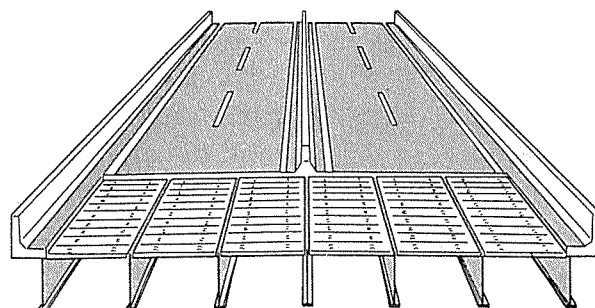
一⁸⁾が、普通の場合周辺に最低3列、フォークリフト等が走行する床および積載荷重が 500 kgf/cm^2 を超える床については全面に設けてある。

7. PC 合成床版工法⁹⁾

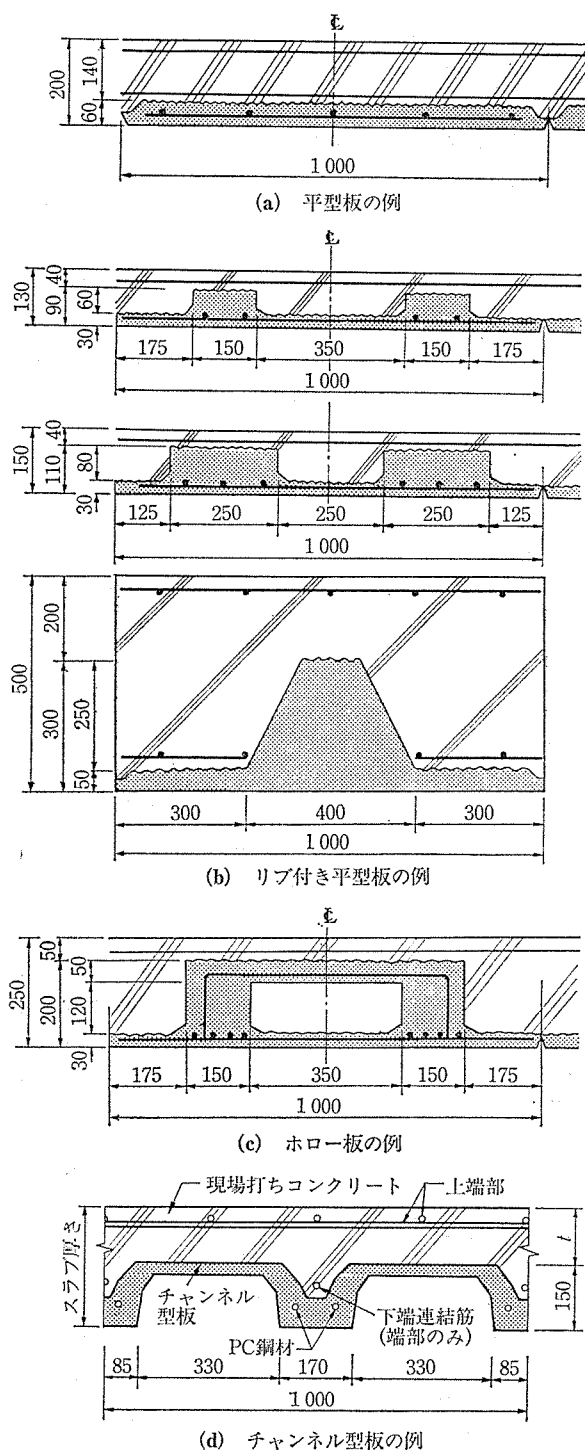
図—8 に示すように平型、リブ付き平型、ホロー型、チャンネル型などと、スパンに応じて断面形を工夫した PC 板を、型枠・支保工代わりに敷き並べ、その上に配

力筋などを配置してコンクリートを打ち、合成断面として荷重に抵抗させようとするもので、近時、土木・建築両面で多用されている。いま、橋梁の床版に適用した場合の概念図を図—9 に示す。

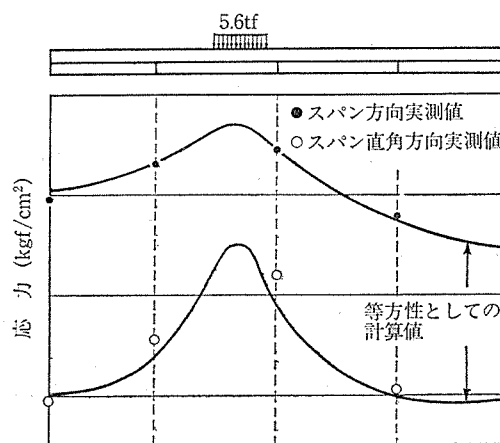
この床版については、当初「プレキャスト PC 板と現場打ちコンクリート間のせん断耐力は大丈夫か」、「PC 板間のバットジョイントが版としての挙動に悪影響を与



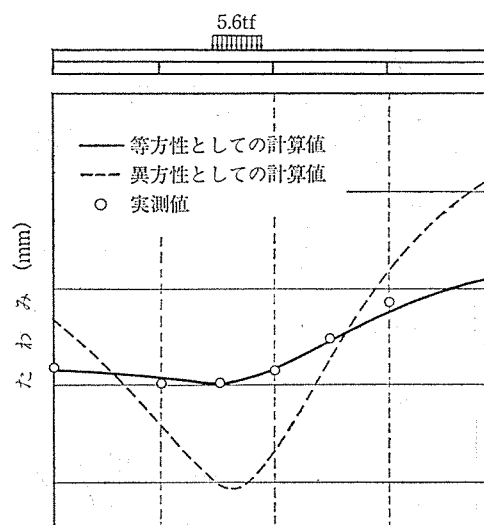
図—9 PC 合成床版工法（橋梁に適用の場合）



図—8 PC 板の種類



図—10 PC 合成床版上面の応力度分布



図—11 バットジョイントのある方向のたわみ
(PC 合成床版, スパン直角方向)

えないか」などの疑念が強く、多方面で種々の実験と試行を重ねられた。前者に関しては PC 板上面に間隔 40～50 mm、段差 4 mm 程度の凹凸を設ければ十分であるという結論に至っている¹⁰⁾。次に後者に関しては筆者らの研究結果¹¹⁾を示す。図—10、図—11 は T-14 後輪荷重 5.6 tf を床版供試体の中央部に載せたときの版上面応力分布、たわみ曲線などを示したものである。この供試体では現場打ちコンクリート厚をプレキャスト PC 板厚と同じ 7 cm と極端に薄くしてあるが（新指針¹⁰⁾では現場打ち厚 ≥ 1.5 プレキャスト厚）、これを等方性版とみなし、全厚 14 cm で計算した理論たわみ曲線が 図—11 の実線であり、スパン直角方向については、PC 板厚を無視し異方性版として計算したたわみ曲線が同図の点線である。両図から実測値は等方性版として取り扱った計算値によく合っていることがわかる。疲労試験においても同様のことが認められた。

ついでながら、アメリカにおいても大規模な実験と実

績を背景に、次のような結論を導いている¹²⁾。

1. The bond at the interface between the prestressed precast panels and the cast-in-place concrete performed without any indication of distress under cyclic design loads and static failure loads.
1. Wheel loads were transferred and distributed across transverse panel joints in a satisfactory manner.

なお設計法として、土木学会新指針ではひびわれ安全度の見地から A, B, C の 3 法を認めており、それらは用途に応じ適宜選択される。

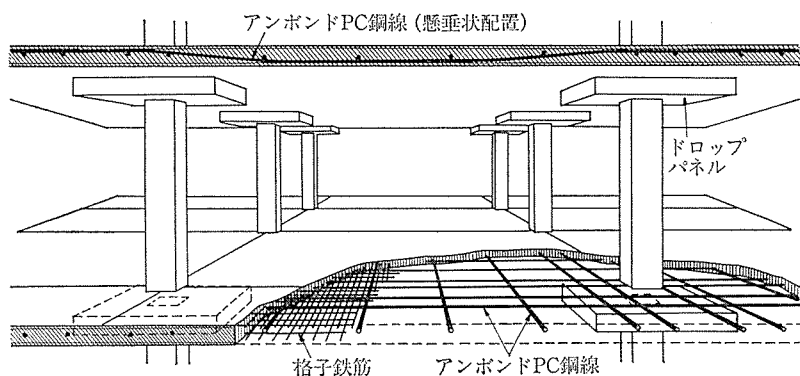
8. フラットスラブ工法

古い“無梁版”の改称で、原点の歴史は古い。アメリカでは PC の登場とともにいち早くこれにプレストレスが導入され汎用されたが、日本では、グラウト注入の煩わしさ・耐震性の懸念などで敬遠された。近時再登場し

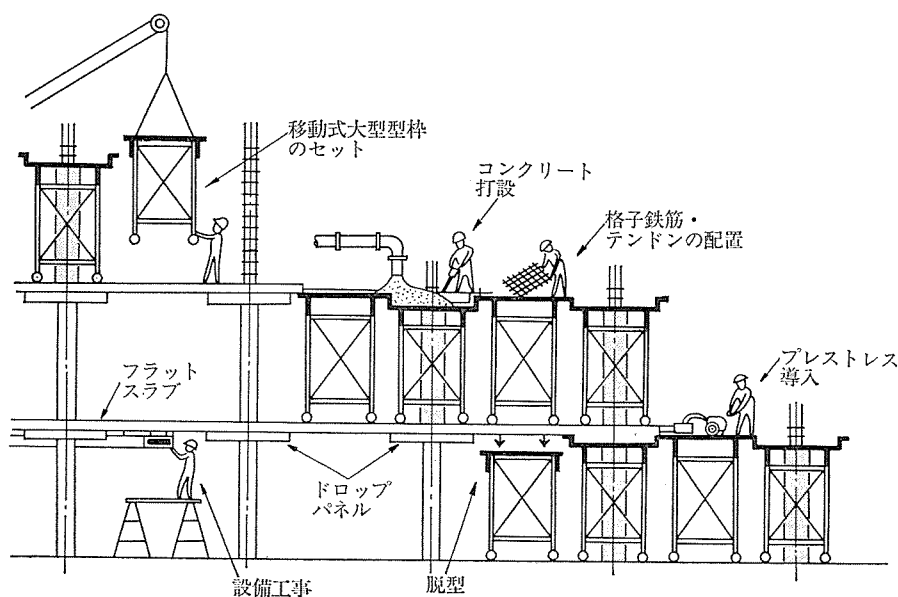
よく使われるようになったのは、アンボンド PC 鋼線の登場や耐震壁の適正配置などで上記障害が除かれるに至ったためである。

図—12 のように床版の縦横にアンボンド PC 鋼線が懸垂状に配置され、プレストレスが導入される。結果として、スラブには持ち上げる懸垂力と面内圧力が作用し、たわみ・ひびわれの点で優れたスラブが一気に出来上がることになる。開発の当初は、床の長期たわみ過大化防止・ひびわれ抑制などむしろ使用性能向上の見地から用いられたが、近時、PRC 造として積極的に経済設計する気運にある。

本工法ではプレキャスト部材を型枠・支保工代わりに利用しないから、それらを別途に確保しなければならないが、図—13¹³⁾にみられるように、“梁のない床”という特質を利用しての大型移動型枠の導入、格子鉄筋ユニットの採用などで極力省力化し、ま



図—12 フラットスラブ工法



図—13 サイクル施工による生産性向上

た適切な工区分割によるサイクル施工の実施で生産性を高め、特に大規模の建物で好成果を挙げている。

さて、設計荷重による曲げモーメントの何割かをプレモーメントでバランスさせ、残りの曲げモーメントに対しては RC 造として建築学会 RC 規準に準じ普通鉄筋で抵抗させることとした、厚さ 25 mm, 単位幅 1 m の供試体（設計荷重時にパーシャルプレストレスレベルで、ボンダあり・なしのものと通常の RC のもの）について

スパン 5.5 m の単純支持の一方版としての曲げ試験を実施した結果をまとめると、

- 1) 各破壊パターンは曲げひびわれ発生、普通鉄筋の降伏、コンクリートの圧壊の順であった。
- 2) 懸垂力大なるものほど、ひびわれ発生後の剛性大、除荷後の復元性も大であった。
- 3) アンボンド PRC のひびわれ荷重、曲げ破壊耐力は RC の 1.2~1.6 倍、曲げ破壊時最大たわみは懸垂力の大きさに無関係にスパンの $1/20 \sim 1/25$ であった。

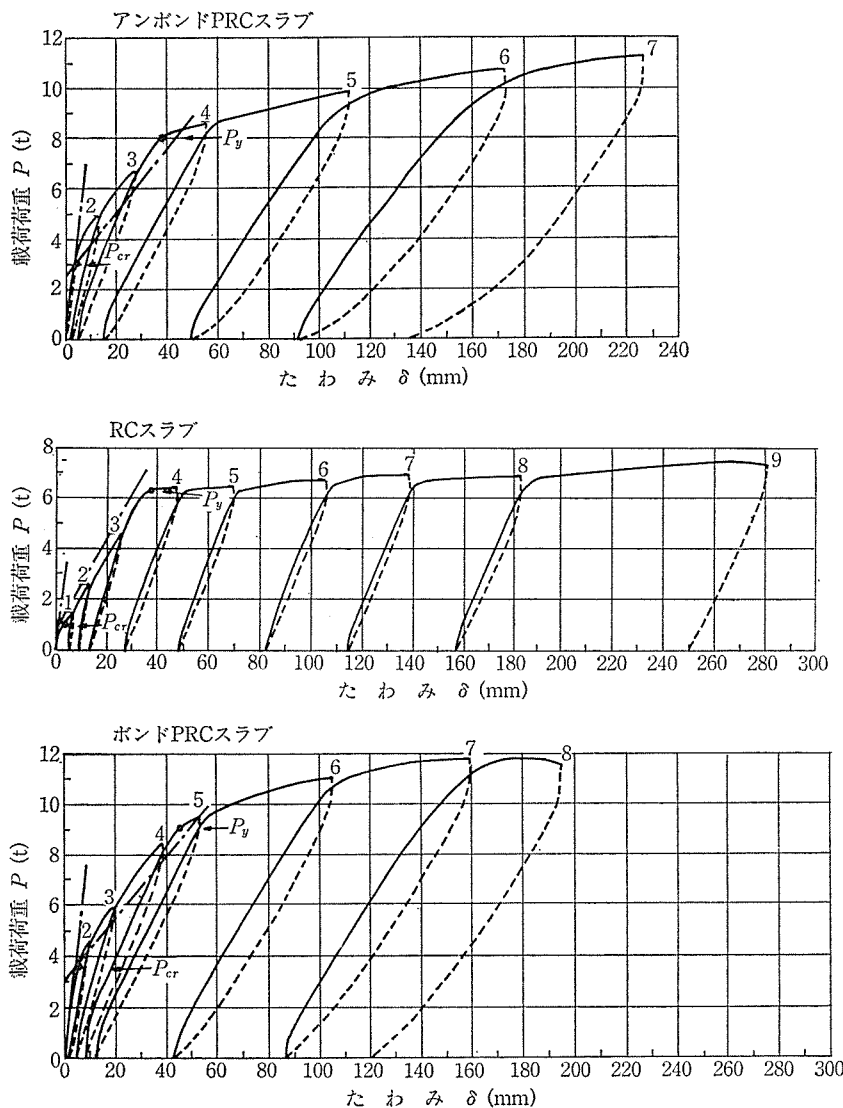
- 4) アンボンド PRC の曲げ破壊耐力はボンダ PRC のその 90~95% で、最大たわみは約 1.3 倍であった。

参考までにプレモーメント比 45% の場合の PRC 供試体（ボンダなし、ボンダあり）と RC 供試体の荷重-たわみの実測結果を図—14¹⁴⁾ に示す。また、実大スラブについて 220 日間にわたりたわみを計測したものが図—15¹⁵⁾ である。PRC スラブではプレストレス導入までは増大しているが導入後はほとんど停止しており、ちなみに 140 日後で比較すると、RC スラブの約 1/10 にすぎないことがわかり、長期たわみの過大化防止やひびわれの抑制に有効であることが認められる。

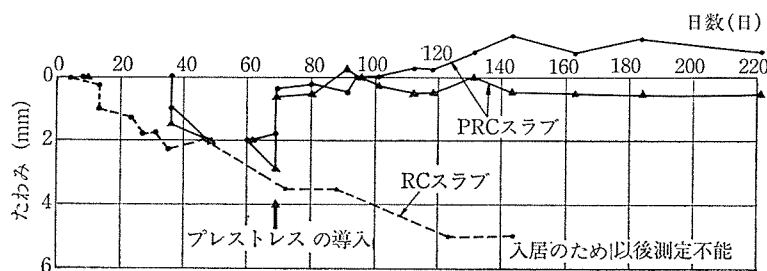
9. 今後の展開

近年の床版工法は、建設工事における現場熟練作業員の激減、技能レベルの低下の現実を背景に、施工の単純化・安全化・迅速化そして省力化を目指し、研究開発されてきた。

いまや、外国人労務者の導入すらかなり進みつつあり、現場事情はますます深刻になってきていることに加え、土木にあつてはプレハブユニットの長大化・重量化による車輛荷重の増大や荷重回数の激増、建築にあつてもフォークリフト走行その他の重荷重スラブの増加、インテリジェントビルにお



図—14 床スラブ別荷重-たわみ曲線



図—15 床スラブ別長期たわみ曲線

ける電子情報設備機器内蔵のためのより大きな空間と耐荷力の要求、さらに、電気配線・情報通信回線収納に備えた床断面を、どの要請などにも対処する方向で、床版に関する研究は今後ともさらに活発に進展しよう。

また、コンクリート構造物の設計耐用年の議論が進むなか、床版設計のあり方にも変革が迫られており、たとえば橋梁のようにひとたび供用が開始されると、交通事情などの制約を受けて、構造物の保守管理作業が極めて難渋するため、初期投資は大きくとも、むしろ完成後の保守管理のより容易なものを選ぼうとする傾向や、構造物を耐用部位と更新部位とに分けて設計しようとする、いわゆる「部位別設計」において、たとえば、橋梁床版を更新部位として位置づけ、交換し易い構造細部にしようとする世界的気運などにも対処し、床版設計の考え方そのものも再構築されていくのではないだろうか。

参 考 文 献

- 1) タカムラ建設(株): オムニアスラブシステム マニュアル, 昭 56.2
- 2) 昭和プレハブ(株): カイザーシステム KT トラス床版設計・製造・施工要綱
- 3) 岡田克也, 中山康志, 岡本晴彦: 組立鉄筋トラスを用いた薄肉 PCa 板合成スラブ工法, 施工, No. 214, Nov. 1983
- 4) 坂 静雄: プレストレストコンクリートの建築構造, 日本セメント技術協会コンクリートパンフレット, 第 72 号, 昭 39.3
- 5) 日本スパンクリート協会: スパンクリート床構造設計要綱
- 6) 溝口隆英: スパンクリート合成床工法, 施工, No. 214, Nov. 1983
- 7) 黒正清治, 松崎育弘, 松本信二, 高田博尾, 友永久雄: 合成床板 (PICOS) の構造性能に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭 58.9
- 8) 友永久雄, 高田博尾, 前田義一: PICOS 合成床板工法の施工について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭 61.8
- 9) 渡辺 明: PC 合成床版工法とその活用, コンクリート工学, Vol. 24, No. 10, Oct. 1986
- 10) 土木学会: PC 合成床版工法設計施工指針(案), コンクリートライブラリー, 第 62 号, 昭 62.3
- 11) 江本幸雄, 出光 隆, 渡辺 明: 移動載荷方式による現場打ちコンクリート厚さの薄い PC 合成床版の疲労試験, プレストレストコンクリート, Vol. 29, No. 2, Mar. 1987
- 12) E. Buth, H.L. Furr, H.L. Jones, A.A. Toprac: Evaluation of a Prestressed Panel, Cast-in-place Concrete Bridge, The Research Report 145-3, The Texas Highway Department, Sept. 1972
- 13) 竹下 靖: アンボンド方式の適用による床スラブの合理化施工法, 施工, No. 214, Nov. 1983
- 14) 松崎育弘, 畑野 肇, 田中久雄, 佐藤雄二: アンボンド PC 鋼材を用いたプレストレスト鉄筋コンクリート造床スラブの曲げ耐力に関する実験的研究, 鹿島建設技術研究所年報, 第 29 号, 昭 56.6
- 15) 松崎育弘, 畑野 肇, 田中久雄, 佐藤雄二: アンボンド PC 鋼より線を用いた RC 造床スラブの長期たわみに関する実験的研究, 鹿島建設技術研究所年報, 第 28 号, 昭 55.7

◀刊行物案内▶

PC 斜 張 橋

(本誌第 29 巻第 1 号特集号)

現在、世界的にも、また我が国でも有力な橋梁施工法として台頭し始めた PC 斜張橋を特集した本書は、その歴史、変遷から始まって、将来展望に関する座談会、斜張ケーブルの現状、既に実施された、または計画中の代表的な斜張橋(白屋橋、東名足柄橋、猪名川第 2 橋梁、衝原大橋、呼子大橋、新丹波大橋)の報告等、多岐にわたり収録してあります。PC 橋梁の設計・施工関係技術者にとっては必携の参考図書と確認します。

在庫数が限られていますので、ご希望の方は至急代金を添え(現金書留か郵便振替東京 7-62774) 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: B 5 判 108 頁

定 価: 1 500 円 送 料: 150 円