

偉大な構造家フィンスターバルダー

— シェルから吊り床版橋へ —

関 淳*

19世紀の後半に、構造力学の理論的な研究においてめざましい進歩をとげたドイツは、その後の世界の構造工学をリードし続けてきた。数多くの留学生在ドイツに押しかけ、教科書や研究論文は、競って諸外国において翻訳され、出版されたが、その伝統は、今日もなお続いているといつてよいであろう。

とくに、第二次世界大戦後の西ドイツにおいて、ライン川橋などの復旧に際して、次々と出現した新構造、新形式による橋の数々は、世界の橋梁技術者を驚嘆せしめたものであった。鋼床版による長大プレートガーダー橋や箱桁橋、斜張形式による現代的な感覚の橋、あるいはカンティレバー工法による長大プレストレストコンクリート橋など必ずしもすべてがそれまでにみられなかったものばかりではないが、世界に与えた影響はきわめて大きく、現在もわが国のみならず、世界の各国においてみることができるのである。

このようなドイツの構造工学を支えてきた数多くの学者や技術者を、われわれは多くの著書とか構造物の理論計算式などによってあげることができるのであるが、実際につくられた構造物とそれを設計した技術者の名前とを結びつけるということになると、それほど容易なことではない。

さらに、スイスのマイヤール、フランスのフレシネ、スペインのトロハ、あるいはイタリアのモランディのように、すぐれた構造による独創的な構造物が注目され、作品集が出版されるまでに至ったドイツの構造家ということになると、残念ながら皆無であるといつてもよいのではないだろうか。

そんななかから、わたしは理論的な面ばかりでなく、実際の橋などの構造物の設計やその架設工法に至るまでの広い分野にわたって活躍したドイツの技術者として、フィンスターバルダーの名をあげたいのである。

生い立ち

西ドイツのほこる偉大なコンクリート構造家ウルリッ

ヒ・フィンスターバルダー (Ulrich Finsterwalder) は、1879年に南ドイツのミュンヘンで生まれた。父親のセバスティアン・フィンスターバルダーは、ミュンヘン工業大学の教授で、航空写真測量の基礎をきづいたことで知られた人であった。

わが国の高校に相当するミュンヘンのギムナジウムの課程を終えたフィンスターバルダーは、1916年に大学への入学資格試験であるアビトゥーアをとったが、おりから第一次世界大戦中のことであり、ただちに徴兵されて西部戦線に送りこまれてしまった。

戦争が終りに近づいた1918年に、フィンスターバルダーはフランス軍に捕えられ、捕虜収容所での生活をしいられることになった。しかしながら、父親ゆずりの数学に関する才能に恵まれていたフィンスターバルダーはこの後に2年あまりにわたって続いた収容所での捕虜生活を、数学の基礎的な勉強のために、きわめて有効に利用したのである。

1914年にオーストリアの皇太子が暗殺されたことに始まった第一次世界大戦は、新興国ドイツの苦悩の現われともいえるが、1918年の末まで続いたこの戦いは、若きフィンスターバルダーの貴重な青春をむしばんだのであった。ようやく釈放されたフィンスターバルダーが、再びミュンヘンに帰り、ミュンヘン工業大学で土工学を専攻することができたのは、1920年に入ってからのことである。

シ エ ル

フィンスターバルダーが大学で学んでいたころ、カール・ツァイス社のパウエルストフェルト博士は、星空を写し出すプラネタリウムを発明し、そのためのドームをつくる研究を、ディッカーホフ・ビドマン社のディッシンガーとの協力のもとに進めていた。父親からこのドームの話聞いたフィンスターバルダーは、卒業論文のテーマに、そこに使われている三角形に組み合わされたトラス部材からなる網状ドームシェルの計算を選んだのである。

* 首都高速道路公団工務部

ドームシェルのメンブレン理論による設計計算法は、すでにかなり以前から知られていたが、フィンスターバルダーはこれを逆に、三角形の網状トラスによって組み立てられたドームシェルの各部材の応力を、メンブレン理論から求めようとしたのである。

この研究の最中に、フィンスターバルダーは、実験などをとおして、シェルドームを四角形の基礎の上につくすることをすでに考えていた。円形の基礎のほうがドームには都合がよいのであるが、正方形や長方形の上にシェルドームを組み立てるほうが建築物としては実用的であることに気づいたのである。そしてまたさらに、指導教授であったフレッペルの研究に刺激されて、卒業論文を書き上げる前に、バウエルストフェルトとは独立に、円筒シェルに対するメンブレン理論による微分方程式を導くことに成功したのであった。

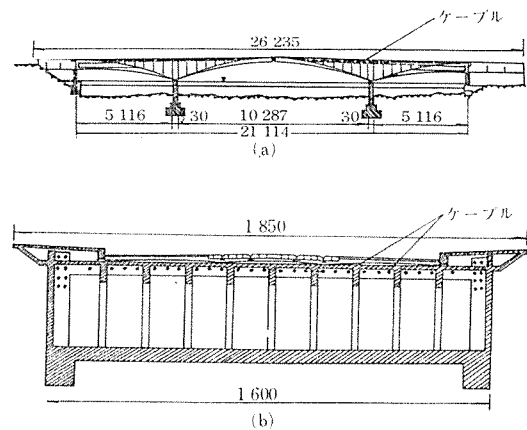
1923年に卒業試験に合格したフィンスターバルダーは、ディッカーホフ・ビドマン社に入り、ディッシンガーの下で、本格的に鉄筋コンクリートシェルに関する理論的、実験的研究に取り組むことになった。そして早くも1924年には、円筒シェルの長手方向に強固な縁桁を入れ、円筒シェル全体をひとつの桁として働かせることによって、広い空間をその下に確保することを提案した。もっとも、フィンスターバルダーがこの新しい円筒シェル構造の応力を求めるための近似解を導くことができたのは、1927年に入ってからのものであった。ここで彼が導き出した円筒シェルの曲げについての微分方程式は、その後の円筒シェルの発展に大きな影響を与えたのである。そしてまた、フィンスターバルダーはこの理論的研究によって、1930年に工学博士の学位を得たのである。

プレストレスト コンクリート

フィンスターバルダーが工学博士号を得た1930年は、彼にとってきわめて実りの多い年であった。ドイツアカデミーが募集した懸賞論文に応募したフィンスターバルダーは、「造形としての鉄筋コンクリート」と題する論文によって、建設部門において入賞したのである。さらにまた、同じ年にスイスのバーゼル市が催したライン川橋の競争設計に、プレストレス工法を用いた、スパンが100mを越える鉄筋コンクリート カンティレバー橋を提案したのであった。

鉄筋コンクリートアーチによるのならともかく、カンティレバーの桁橋を、いまだ実績のないプレストレス工法によるコンクリート構造としてつくろうということのフィンスターバルダーのアイデアは、とうてい当時の審査員たちの受け入れるところとはならなかった。しかし

図—1 バーゼルのライン川橋設計案



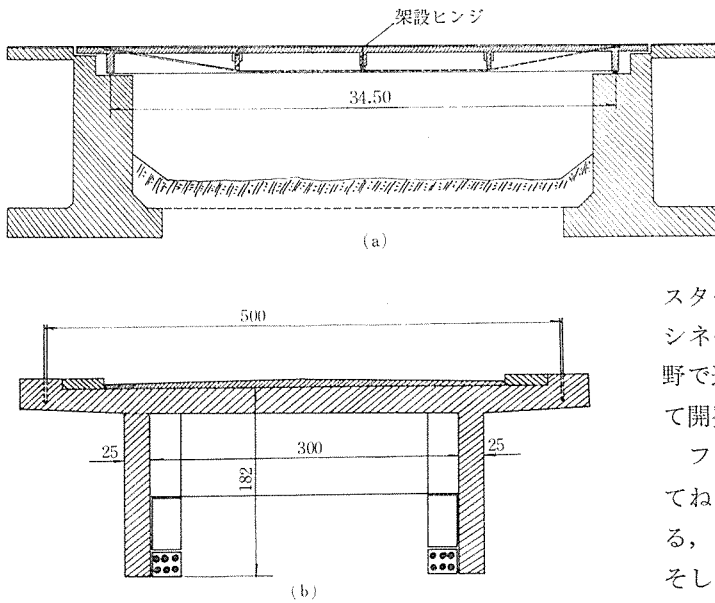
ながら図—1に示すように、アーチ橋と桁橋との中間のような構造のこの橋の上床版の下には、コンクリートに引張応力が生じないようにプレストレスケーブルが配置されており、当時まだ実用化が始まって間もないプレストレスト コンクリートによる長大橋としては、世界で初めてとあってよい設計案であった。そしてまた、アウトサイドケーブル方式によっているにしても、今日わが国でディビダーク工法の名で知られている、カンティレバー工法による長大プレストレストコンクリート橋への道を切り開くことになった、画期的な橋の試案であったのである。

このころからフィンスターバルダーはプレストレストコンクリートに強い関心を抱くようになり、1935年には、アウトサイドケーブルによるディッシンガーの工法をさらに改良して、死荷重によるプレストレスを有効に利用した、フィンスターバルダー工法によるプレストレスト コンクリートのトラスと桁とを開発した。そして1938年には、彼の工法による最初の桁橋が、アウトバーンのオーバーブリッジとして実現したのである。

このビーデンブリックのオーバーブリッジは、図—2に示すような構造のもので、中央に入れたヒンジを用いて、架設時には橋桁を上方に折り曲げておき、桁の死荷重とケーブルの応力とをつり合わせて、死荷重時には無応力状態となるように計算したものであった。ディッシンガーのプレストレス工法は、図—2のケーブルの折屈点で、ケーブルを下に押し下げてプレストレスを導入するものであり、アウトサイドケーブルによる点では同じであるにしても、プレストレス工法としては、かなり異なるものであった。

フィンスターバルダー工法によるプレストレストコンクリートトラスというのは、45~65mmの高張力丸鋼を束ねたもので、トラスの下弦材を組み立てておき、死荷重などによる応力が丸鋼に生じたあとで、これをコ

図—2 ビーデンブリックオーバーブリッジ



ンクリートで包むもので、コンクリートに直接プレストレスが入れたものではなかった。

プレストレスト コンクリート トラスというよりも合成トラスといったほうがよいこの構造は、重量では鋼トラスの2倍であったが鋼重は逆に1/2程度ですみ、1939年に完成したワイマールのフェスティバルホールなど、数多くの建築物に使われた。とくに第二次世界大戦を前にして、飛行機の格納庫の入口のほりに多く使われ、ミュンヘンの飛行場には、80 m を越えるスパンのものがつくられた。

このような鉄筋コンクリートトラスにおけるフィンスタールバルダーの経験の積み重ねは、1939年のミュンヘン中央駅に対する巨大な鉄筋コンクリート網状ドームの設計案となって現われた。これはボナツ教授の設計になる鉄とガラスのシンフォニーと形容されたものとは対照的な構造で、直径 250 m、高さ 100 m のドームの頂部に明り取りの穴を明けた、ユニークな設計の建物であった。

ディビダーク工法

第二次世界大戦に入ると、フィンスタールバルダーは今度は技術者として戦争に協力しなければならなかった。そこで彼がまず最初に手がけたのは、鉄筋コンクリートによるトーチカの合理的な配筋法であった。フィンスタールバルダーの開発した配筋によるトーチカは、第二次世界大戦中に 10 万 t もの鉄筋が使われほどつくられたのである。

このほか戦時中の鋼材の不足は、鉄筋コンクリートによる船舶の建造を盛んにしたが、フィンスタールバルダー

はここにおいてもシェルの経験を生かして、いくつかの船をつくり上げた。そのなかには、3 770 トンの容量を有するタンカーもあった。

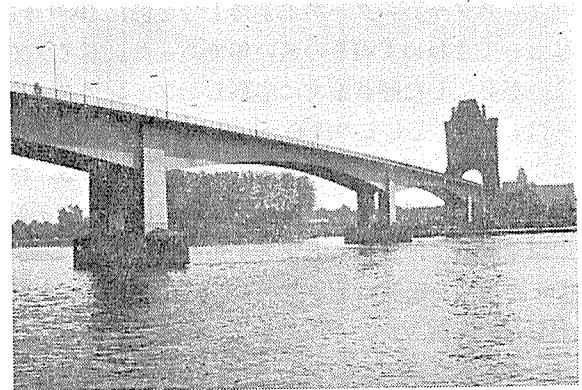
戦火がおさまったあとの西ドイツ復興は、世界の驚嘆的となったが、橋を中心とする構造技術の進歩においても、まことにめざましいものがあった。ティッシンガーやフィンスタールバルダーらの戦前の研究があったとはいえ、フレシネーのフランスにプレストレスト コンクリートの分野で遅れをとっていた西ドイツは、数々の新工法を競って開発したのである。

フィンスタールバルダーらが開発した、冷間加工によってねじ切りされた鋼棒を使ってプレストレスを導入する、いわゆるディビダーク工法もそのひとつであった。そしてこの工法による最初の橋は、1949年のスパン 21 m のビルム橋、次いで 1950年にウルム市内のドナウ川にかけられたスパン 82.4 m のラーメン橋として実現した。

しかしながら、ディビダーク工法の名を一躍有名にしたのは、ねじ切りした鋼棒をカプラーでつなぐことにより、段階的なコンクリートの打設が容易であることを利用して、足場を用いずにカンティレバー式に施工してゆく方法であった。この施工法による最初の橋は、やはり 1950年に完成したスパン 62 m のラーン橋である。

そして 1953年に完成したボルムスのニーベルンゲン橋は(写真—1)、戦前にかけられた鋼アーチにかわって 114 m というプレストレスト コンクリート橋としては驚異的な長径間でライン川を渡り、コンクリート桁橋が十分に鋼橋に対抗しうることを示した、貴重な橋であった。

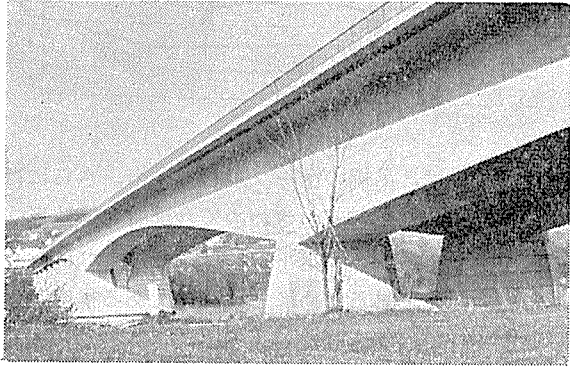
写真—1 ニーベルンゲン橋



さらにニーベルン橋に続いて完成したコブレンツのモーゼル橋においては、スパンは 123 m へと拡大され、長大プレストレスト コンクリート橋に対する世界の関心を集めることになった。ディビダーク式によるカンテ

イレバー工法の長大橋は、ヨーロッパの各国においても施工されるようになり、わが国にも大きな影響を与えたことは、ここで改めて指摘するまでもないところであろう。

写真-2 ベンドルフ橋



一時はイギリスのメドウェイ橋に世界最長の座をゆずったが、その後 1964 年にライン川を渡るスパン 208 m のベンドルフ橋（写真-2）によって、ディッカー・ホフ・ビドマン社は、プレストレスト コンクリート桁橋の世界記録を本家の西ドイツに取りもどしたのであった。

このベンドルフ橋の記録も、わが国で現在架設中の浦戸大橋によって破られようとしているが、ヨーロッパとは異なった鋼橋が橋の主流となっている日本において、コンクリート橋の世界記録が打ち立てられるということは、ディビダーク工法の優秀さを如実に示すものであるといつてよいであろう。

プレストレスト コンクリート トラス橋

フィンスターバルダーの発案になる、プレストレスト コンクリートトラスは、戦前に格納庫などの建築物に用いられたが、橋に応用されたことはなかった。しかしながら戦後における本格的なプレストレスト コンクリートの発展は、フィンスターバルダーをその橋への適用に向わせた。

1948 年に行なわれたケルン・シュールハイムのライン川橋の競争設計に、フィンスターバルダーはスパン 200 m のカンティレバー工法によるプレストレスト コンクリート トラス橋を提案した。そしてさらに、1954 年に催されたケルンのライン川橋の競争設計にも、桁橋のウェブを細い網目のトラス構造に置きかえたプレストレスト コンクリート橋をもって応募した。これらのトラス橋は、いずれも実施案に選ばれるところとはならなかったが、プレストレスト コンクリートによるトラス橋が、それまで鋼橋しか考えられなかった長大スパンにおいても、競争しうることを示した貴重な設計案であった。

このような試練を経たのち、世界で初めてのプレストレスト コンクリートトラス橋は、1958 年にミュンヘン～ザルツブルク間のアウトバーン橋として実現した。仮支柱を用いたカンティレバー工法によつたこのマンガファルタル橋（写真-3）は、最大スパンが 108 m で、トラスの内部は歩道（写真-4）に使われているが、深い

写真-3 マングファルタル橋

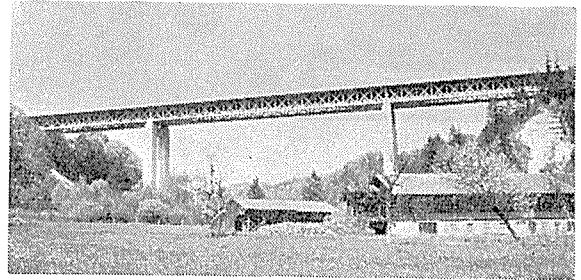
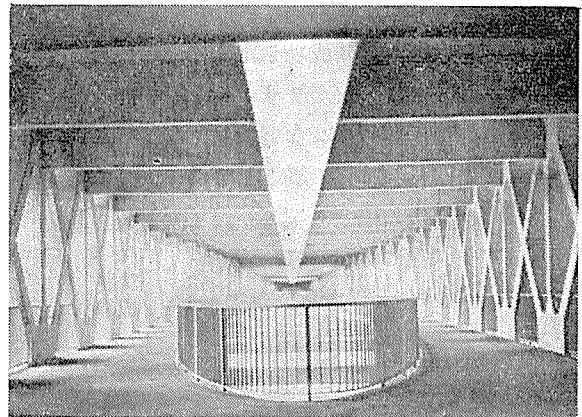


写真-4 マングファルタル橋の内部



谷間を高い橋脚に支えられて渡っており、トラス構造が織りなす独特の構造美をほこっている。

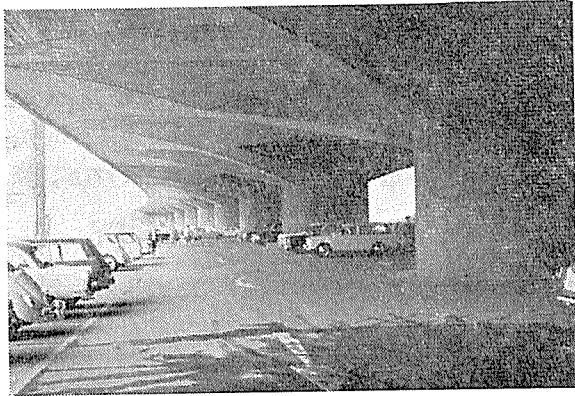
プレストレスト コンクリート構造の新しい分野を切り開くかのように見えたこのトラス橋も、その後においては施工されておらず、戦前にフランスなどを中心としてかなりかけられた鉄筋コンクリートトラス橋と同じような運命をたどっているようである。

ピルツ橋

スイスの構造家マイヤールは、柱と床版とを直結したピルツ構造の開発者として建築史に名を残しているが、これを橋において実現せしめたのは、フィンスターバルダーであった。

1950 年代のなかばころから、フィンスターバルダーはプレストレスト コンクリートによる都市の高架道路に関心を寄せるようになっていた。中央に 1 本だけ橋脚を立てた高架橋の計画を、ミュンヘン市建設局の顧問であったヘッグ博士と進めていたが、残念ながらこの高架橋

写真-5 ルートビックスハーフェンの高架橋



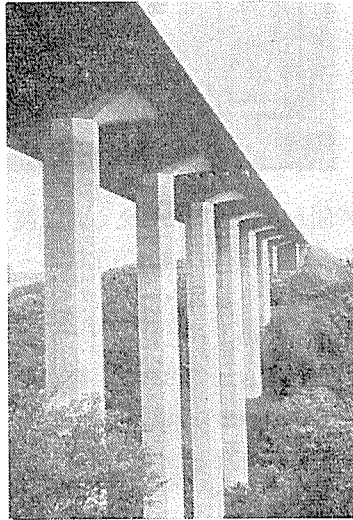
の設計は、市当局の認めるところとはならなかった。

しかしながら、フィンスターバルダーの1本柱高架橋案は消えさることなく、1958年にライン川沿いのルートビックスハーフェン市において目の目を見、ピルツ橋（写真-5）と呼ばれるようになった。この高架橋は写真に明らかなように、きかめて重厚なものであり、都市の高架橋としてはあまり成功したものとはいえなかったが、その後はさらに軽快なデザインのものに改良され、ハノーファーやブレーメンなどの諸都市において施工されており、新しいタイプの橋として注目されている。

このピルツ構造の橋

写真-6 エルツタール橋

は、西ドイツ国内ばかりでなく、ベルギーやオーストリアなどにも進出し、市街地ばかりでなく山間部においても施工されるようになった。ルクセンブルグに近い国境の町トリヤに向って、モーゼル川沿いの丘陵地帯を走るアウトバーンにかけられた、エルツタール橋（写真-6）も、深い谷間を渡るもので、比較



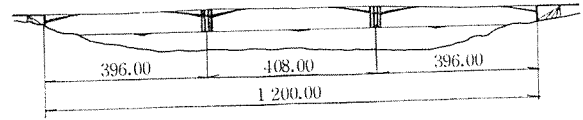
的短い間隔で立てられた橋脚によって、この種の橋に新しい景観をもたらしたのである。

吊り床版橋

トルコのイスタンブールとウスクダルとをへだてるボスポラス海峡には、ヨーロッパとアジアとを結ぶ要衝の地であるだけに、古くから架橋計画がなされてきた。フィンスターバルダーは1953年に、吊り床版構造による巨大なプレストレストコンクリート橋（図-3）を提案

し、世界の橋梁技術者を驚嘆させたのであった。同じ年にフィンスターバルダーは、ケルンのライン川橋の競争設計においても、やはり吊り床版構造によるスパン290mの橋を提案して入賞している。

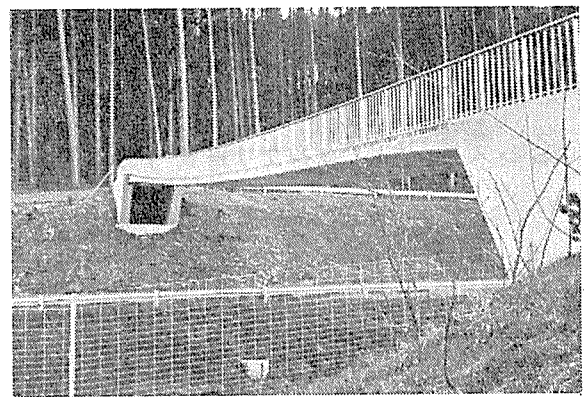
図-3 ボスポラス橋の計画案



吊り床版橋は、吊橋のケーブルと補剛桁、さらには床版が一体となったもので、きわめて合理的な構造形式であるといえるが、大きな水平力に抵抗しなければならない橋台の問題や、吊るためにどうしてもある程度の勾配が必要とされている床版、そして風による振動の問題などがあって、新形式の橋と注目されながら、いまだ本格的な橋としては実現するに至っていない。

しかしながら、その構造の新らしさが世界の技術者の関心を集めたこともあってか、まずスイスにおいて、高速道路のための歩道橋として実験的ながら施工され（写真-7）、その後においても、日本と西ドイツで同じように歩道橋として試みられており、今後の発展が期待されている。

写真-7 ビルヘアバイトの吊り床版による歩道橋



偉大な構造家

ここにあげたように、シェルについての理論的な研究に始まり、吊り床版橋に至るまで、数々の新構造、新工法を生み出したフィンスターバルダーの業績は、コンクリートの構造家として知られるフレシネーやトロハに、まさるとも劣らないものがあるといつてよいであろう。しかしながら、フィンスターバルダーの構造家としての名声は決して彼らのように高いとはいえないのである。

その理由のひとつとして、フィンスターバルダーが黙々と従順なゲルマン民族にふさわしく、大学を卒業して以来、一貫してディッカーホフ・ビドマン社の技師と

して働いてきたため、彼の仕事がとかく会社の業績とし受け取られ、個人の名前が表面に出てこなかったことをあげなければならないであろう。

そしてまたさらに、フィンスターバルダー自身が構造技術者の造形家としての能力に限界を感じ、橋などの土木建造物の設計に際して、建築デザイナーとの協力を積極的に押し進めたことも理由のひとつに数えられる。実際、フィンスターバルダーが設計した橋には、いつも建築デザイナーであるローマーの名前がついており、どうかすると設計技術者の名前がかすんでしまっているのである。

フレッシュネーやトロハの場合には、彼らのつくり出し建造物が、技術的に高く評価されているのはいうまでもないところであるが、その高度の技術によって裏付けされた独創的な構造美が、建築デザイナーなどから賞讃されている点が大いなのであり、マイヤール、ネルビ、モランディといった構造家についても、同じことがいえるのである。そしてそれに加えて、彼らが皆ひとかどの技術評論家でもあり、独自の技術哲学を展開していることも忘れてはならないところであろう。その技術的な信念が彼らの作品集の行間を埋めて、彼らの業績をいっそう精彩あるものとしているからである。こういった点に関

しては、フィンスターバルダーも彼らに一步ゆずらざるを得ないのではないだろうか。

それはともかくとして、シェルの理論計算というような、きわめて数学的なことから構造技術者としてのスタートをきったフィンスターバルダーが、構造力学に関心の強い技術者になりたがらないいわゆる計算屋とはならず、次々と新しい構造形式を考え出し、その実現に努力したことは、とかく設計計算にばかり力を入れて、構造設計の本質を見失なう傾向のあるわれわれにとって、教えられるところが少なくないといつてよいのではないだろうか。

また、フィンスターバルダーが彼の性格ゆえか、独立して設計事務所を持つことなく、あくまでも組織の一員として通してきたことは、専門の分化が進み、ひとりの天才的な技術者がすべてをなしとげるといふようなことが不可能になり、多くの人達による協力が要求されるようになってきた現在、構造技術者の理想像のひとつとして、より高く評価されなければならないのかもしれない。

参考文献

- 1) G. Günschel : Große Konstrukteure 1, Ullstein Verlag, 1966

1972.2.16・受付

PC構造物設計図集発売について

当協会では、先に「PC構造物設計図集」の出版を企画し、本会編集、(株)技報堂発行の形で出版しておりますのでお知らせします。

本書は、本協会誌「プレストレスト コンクリート」の末尾に掲載致しております折込付図を、協会誌編集委員会の手により、PCの設計・施工にたずさわの方々のご使用に便利なように、土木編(32編)・建築編(28編)・その他(4編)の三部門にわけ、それぞれに写真・説明等を入れ、わかりやすく編集したものです。皆様のお手元にぜひお備え下さいませよう、おすすめ申し上げます。

体 裁 : B4判 138 ページ 活版印刷

定 価 : 1500 円 会員特価 : 1200 円

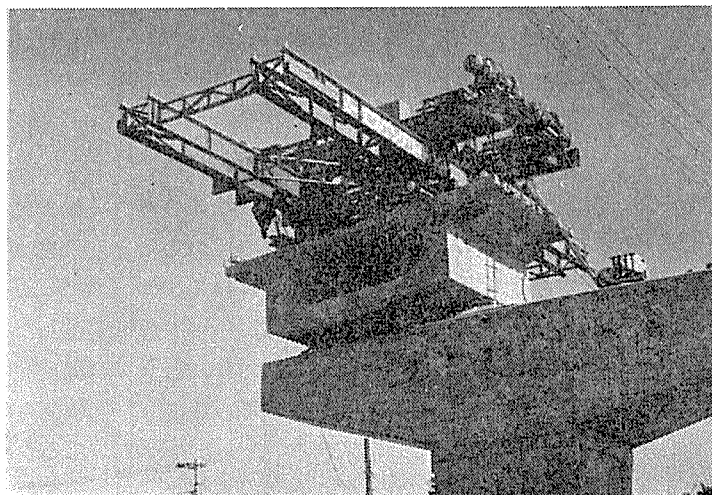
送 料 : 200 円

申 込 先 : 東京都中央区銀座2の14の4 銀鹿ビル3階

プレストレスト コンクリート技術協会

TEL (541) 3595 振替 東京 62774 番 104

PC架設機 の 設計・製作



プレキャストブロック架設機
(首都高速3号線)

三信工業株式会社

東京都千代田区神田錦町1-4 (滝本ビル5階)

TEL (294) 5131・5132

PAT No. 467154
532878

LPPセンターホール
ジャッキ

PC同時緊張機
PAT No. 569584

PC・各工法用ジャッキ・ポンプ・油圧機器・試験機

OX山本扛重機株式会社

東京都中央区新富1-6-3
TEL 東京(551)局2115~9