

## 構造物設計者への提言

藤田 亀太郎

唯一の人が何でも単独にやれるという時代は過ぎ去ったため、各専門分野の詳細についての知識は欠けていても、広い技術的、工学的教養を身につけた1人の人間が必要になった。それは各専門家から出された各種の要求を判断しこれを裁定してやるが必要になってきたのである。これによって全体の方向を示す指標を明らかとし、より経済的な設計も可能となるための、共同作業の中心とならなければならなくなってきた。若い技術者の一人一人が、やがてこのような人間になれるよう、筆者の日頃考えていることを記してみた。

## 設計計算式には必ず仮定があるということ

設計者の間で珍らしくない悪いくせの一つは、ある特殊な構造解析の数学的優美さに執着することであると、考えている。ある構造解析の方法の優美さに自から酔って、その優美さを確かめ、また他人にも知らせようとして、これを用い、その解析の基本となっている仮定と実際構造あるいは用いられる材料との差については、全く考慮をはらわない場合が多いようである。極端ないい方をすれば、その仮定を知らないのではあるまいかと思われるのである。したがって、その式を用いることによっておこる誤差や、あるいはある項を無視したり、2次の微少項を無視したりしたためにおこる結果については、なにもわかっていない。これらがわかるためには、材料の物理的性質や、構造物の力学的支持条件などについて深い理解が大切になってくるのである。ところが一般的にいって、このような複雑な数式をそのまま利用して設計計算を実施しようとする人達には、この方面の理解が十分でないことが多いようである。

日本では従来設計は大学を出て5年くらいまでの人達がやる仕事であるといったような誤まった考え方があったように思われる。したがって一般に設計に従事する人達は経験の十分でない、また勉強も教科書だけによった人達であったのである。そのため数学的優美さには特に感じやすいのであって、その基本的仮定を忘れてしまっているのである。もちろん筆者は決して複雑な数学的解析が、不必要であると考えているものではないのであって、むしろ、重要な構造物あるいは重要な構造部分には現在よりもさらに高級な数学的解析が必要であるとさえ考えているのである。ただ要は解析理論の仮定と実際と

の差を常に頭に入れておかなければならない、ということ強調したいのである。

またどのような方法を解析に用いるにしても、常に基本となった仮定をふくんでおり、その仮定が単純であり、取り扱いが容易であるほど、事実との離れのおこる程度は多いのである。したがって、どんな単純化が行なわれているかを十分知っておいて適用しないと誤まった結果を与えることになるのである。たとえば普通の規準とか、示方書とかに定められている単純化された計算方法は、従来用いられていた程度の規模、寸法、のものについては十分実的に正しい結果を与えるとしても、新しい構造方式、材料を用いるような場合には誤まった結果を与えることも考えられるのである。それは規定や公式の基礎となった仮定がそのままには成立しない新しい状況がおこった結果によるものである。たとえば、従来の弾性理論によって設計されたプレストレスト コンクリート床版が実際に載荷試験を実施してみると、過大な安全度を有していることが Y. ギヨン氏によって明らかにされている (Rouen において PC 床版の載荷試験を実施し、その結果を Annales du Bâtiment et des Travaux Publics 1955 Novembre に発表してある。筆者はたまたま渡仏中試験現場を見学し、Y. ギヨン氏とこの問題について論じたことがある)。その後実橋について載荷試験をし、設計荷重 50 t に対して肉眼でひびわれを認めたのは、実に3倍の 150 t のときであり、もし従来の弾性理論にしたがって設計されておれば、破壊に対する床版の安全度は 40 程度にも達するであろうと、昨年来日された折に筆者に語られ、いかに現在は床版を過大に設計しすぎているかについて強調されていた。

等方性材料で理想的境界条件を有するものとして、数学的完全さを有するようにして解析された弾性版の仮定が、ひびわれ発生近くになったときには実際の PC 床版では、そのままに成立しないのである。この状態では PC ケーブルを引張材としたアーチの機能がより実際の状況を説明できるようになるのである。弾性理論をもととしてある数式が造られ、その状態に対しては十分妥当であると考えられるが、実際には基本仮定を忘れて、非完全弾性の範囲にまで、その理論を適用することによって不必要に大きい安全度を与え、不経済な設計をしていることがあるのではないかどうか、もう一度自分の頭を整

理する必要があるのではないであろうか。

### 直感の養生が大切であるということ

構造物の理論や力学的機能とその数式的な形でのみ理解させようとする努力が日本の技術教育の底流となっており、過ぎはしまいかと思うのは筆者だけのことではあるまい。複雑で難解な数学的計算だけで構造物の力学的概念を理解することは容易なことではない。たとえば簡単なラーメンを考え、その水平部材スパン中央および隅角部に生ずる曲げモーメントを計算する場合、ハンドブックや教科書の公式集を見れば、すぐどの式を用いたらよいか分かる。この結果スパン中央や隅角部におこるモーメントの付号は付号の仮定によって、いずれの方向に作用する曲げモーメントかどうかを判断する。しかし非常に複雑な場合には部材のどちら側に引張りがおこるかどうかを誤る場合が非常に多い。特に単に公式集の応用方法だけしか知らない技術者において、しばしばおこる誤りである。これは単に数式的な取り扱いだけになれて構造物の本当の作用状況を理解していないか、または理解の不足によっておこることなのである。

複雑な数式を用いた論文はそれ自体として学問的な価値はあっても、現実に構造物を設計した建設する場合の技術者に対して、有効な指導とはならない場合もあるのである。特に日本の論文には、この傾向がいちじるしいのではあるまいか、と筆者は常に考えているものである。たとえば格子構造物の解に直交異方性版の理論を論じた論文はあっても、一般構造設計者に便利なように、その理論の結果を図表その他に表わされたものは全くない。これに反しこの方面での Y. ギョン氏の理論は理論としてその数学的美しさのほかに、一般設計者が便利に利用できる図表を用意しているのである。

設計当初に最も大切なことは構造物全体としての働かきを確実にまた直感的に知ることが大切である。それには構造物の変形を直感的に知ることができるよう常に心がける必要がある。構造物の変形の仕方は何よりも直接的に感知できるものなのであり、作用する荷重に対する構造物の抵抗の仕方を確実に推察できるのは、この変形の状況によってのみ可能であると考えられる。変形と応力とは直接的関係があるのであるから、変形過程をとって応力状態を頭にえがくことは比較的容易なことなのである。このためには、しばしば構造物全体がどのようなたわみ図を示すか簡単にスケッチすることは非常に有益なことである。たわみの値を正確に求めることは容易ではないが、構造物がたわんだ状態をスケッチすることは、それほど困難なことではないのである。

平面的構造物では主応力線をえがくことによって応力の流れの状況が非常によく理解できるものであって、主応力線の方向を計算する計算式を懸命に解くよりは有益である。一般に直観的に応力線図をえがくことは容易ではないが、光弾性の本の図面を参考にすることによって、次第に習得できるものである。

### 計算書の図面も縮尺に合わせて書けということ

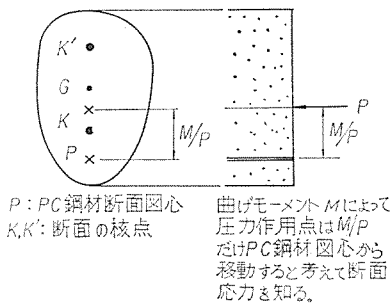
日本では一般に計算書に記入される図面はフリーハンドでえがかれ、縮尺に合わせてないのが普通である。この場合、寸法線が記入してあるから別に縮尺に合わせなくても設計計算には不便はない、というのが日本の一般技術者の考え方である。なるほど計算書を書くという目的からのみすれば、なにも縮尺に合わせて図面を記入しなくてもよいことになる。この方が簡単でもあり労力も節約される。しかしながら、このようにしてえがかれた図面の各部材相互間のプロポーシオンは、一応頭の中で記入された寸法の割合を計算してみないと明確にはならない。もし図面を縮尺に合わせてえがいてあれば、全体としての釣合、各部材間のプロポーシオン、などは一見して明瞭であり、容易に頭の中に記入されることになる。したがって後に同種の構造物の設計を見た場合、その設計が妥当なものであるか、部材および全体としての釣合が適当であるかどうか、図面を見ただけで確実な判断ができるようになるものである。このような習練によって構造設計者としての本当の意味の力が出来ると筆者は考えている。事実プレストレスト コンクリート構造物に関する大家である Y. ギョン氏なども必ずしも簡単な簡単なものでも必ず計算尺のスケールに合わせて図面をえがいて、これをしばしながめ、設計の適・不適を述べておられる。このような習練は日本の技術者に最も欠けているところであろう。

### プレストレッシングの作用をより具体的に理解する方が便利であるということ

プレストレッシングの作用をある断面に作用する偏心軸方向荷重としてプレストレスを計算し、ほかに静荷重、動荷重による応力度を計算し、これらを加算して合成応力度を求め、断面が安全であるかどうかを論ずるのが、現在一般に行なわれている応力計算の方法である。もちろん、この方法はわれわれが知っている材料力学の公式を、そのまま簡単に応用できるという便利さを持っており、学生に説明するには適当な方法である。

しかしながら、PC 鋼材によってコンクリート断面に作用する圧力線の作用点は、外力による曲げモーメン

図-1



トが0のときはPC鋼材図心と一致しているが、外力による曲げモーメントが作用するにしたがって、圧力の作用点が  $M/P$  だけ移動するものである(図

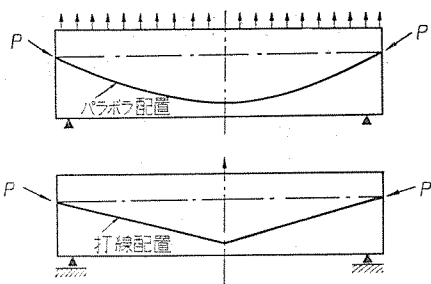
1)と考えた方が、応力状態を明確に直感的に知るには非常に便利である。すなわち移動後の圧力作用点が常に断面の核点内にあれば、断面には引張力がおこらないことは、材料力学を勉強した人なら知っていることである。

日本人はどうもプレストレス、荷重による曲げ応力というように分解して行って、最後にそれをまとめてみないと気がすまないようなところがある。分解などせずに図-1に示したような考え方をすれば、断面の適・不適の判断が、ただちに下せることになる。物の見方をちょっと変えただけで非常に便利な方法があるのであるが、物を各方面から見るのがきらいなのか、あるいはできないのか、いずれにしても日本の技術者は日本の政治家と同じに、あるとらわれた物の見方しかできないようである。これは非常に困ったことであって常に心すべきことであろう。

ドイツだ、アメリカだ、いやフランスだ、いやいやイギリスだと、自分の読める範囲の語学を標準とし、これらの言葉で書かれた文献だけを絶対とし、自分の読めない言葉で書かれた文献にある論文は全く誤まりであるが、あるいは一段低いものであるかのように議論をする文献学者先生の多い日本の現状では、もっととらわれない物の見方をしようといっても、いう方が無理なのかも知れないが、今このような学者先生は論外としたい。

図-1は断面の応力状況についての概念をうるのには便利であるが、さらに構造物としてプレストレスの作用を具体的

図-2



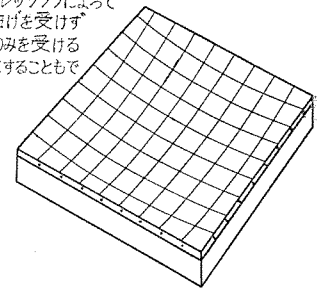
的に明らかとするには、プレストレスの作用を構造物に対する外力のように考えたらよ

い。たとえば図-2のようなPCケーブルの配置の場合、(a)ではプレストレスによって上向きに等分布荷重が作用したと同じであり、(b)では集中荷重が上向きに作用したのと同じである。このプレストレスによる反力を適当に選定すると、構造物に所望の変形をあるいは応力状態を与えることができるのである。こ

の考え方を採用すると、非常に複雑な構造物の場合でもプレストレスの影響を明確に具体的に知ることができる。たとえば図-3のよう

図-3

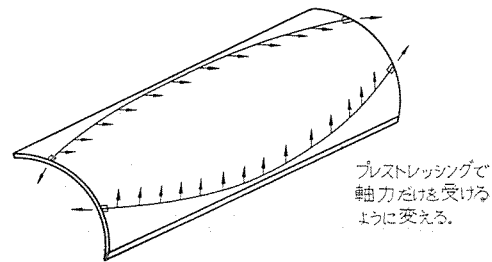
プレストレスによって版は曲げを受けず軸力のみを受ける状態にすることもできる。



な四辺で支承された版に2方向からプレストレスを与えた場合PCケーブルをパラボラ状に配置することによって静荷重だけのときには、曲げを全く受けず、軸力だけの状態にすることができるのである。

もっと複雑なものとしては図-4のようなシャーレにおいてプレストレスによる静荷重を打ち消して、普段は軸力だけを受けた状態の構造物とすることができるのである。

図-4



プレストレスで軸力だけを受けるように変える。

以上の問題はこれを数学的に解こうとすると境界条件を常に満足できるとは限らないため、非常に解が求めにくい場合もある。このような場合、プレストレスの効果を外力のように考えると具体的に問題を処理することができるのである。数学的意味での正確さは十分でないかも知れないが、現実にはこのような方法ですでに多数の構造物が建設され、満足な結果がえられているのである。

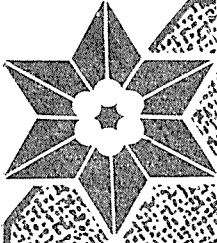
プレストレスの作用を単に断面に対する曲げモーメントと軸力というような分析的な考え方ではなくて、機能的な、構造物全体に対する総合的な作用として、考えるということが、日本のプレストレスコンクリート技術に関係している構造設計者の今後心すべきことであると思われる。

以上要するに筆者の論旨の要約はつぎのようである。数学や理論というものは道具であって、これがそのまま目的ではなく、最も大切なことはアイデアであるということである。すなわち構造設計の当初にアイデアが直感的に浮んで来て、次にこれを解析するための理論が出てくるものであることを強調したい。

(筆者：正会員、極東鋼弦コンクリート振興KK取締役社長)

1962.3.1・受付

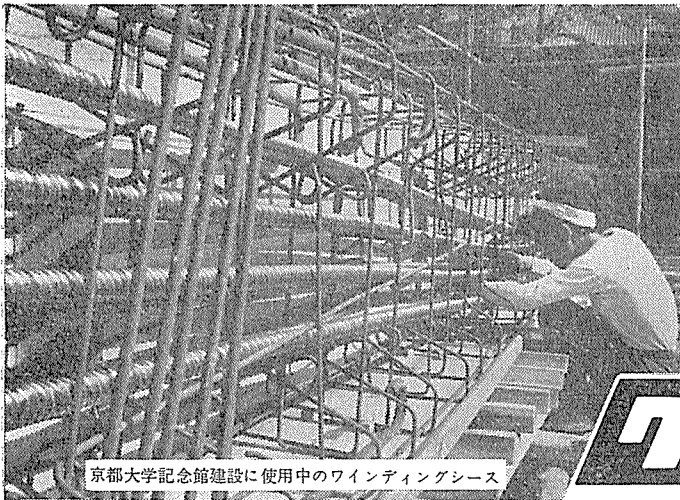
東京製網製品



# PC WIRE & STRAND

製造元 **東京製網株式会社**  
発売元 **東網商事株式会社**

東京都中央区日本橋室町2丁目8番地 古河ビル四階  
電話 (211) 2851 (大代表)



京都大学記念館建設に使用中のワインディングシース

## P.S.コンクリート用 ワインディングシース

西独シュベルマー社との提携によって生産する

- ・管厚が極めて薄い
- ・強度が高い
- 特長 ・簡単に接続出来る
- ・費用が節減される
- ・管の長さが自由にとれる

# ワイヤト

### 販売特約店 日本産業機械株式会社

東京都中央区日本橋浪花町8 電話 (661) 5942~3  
電話 (661) 7468・7488  
大阪市西区立売堀北通1の30丸栄ビル内 電話(54)5201~6  
倉庫 東京都練馬区中村町北2の2 電話(991)3804



### 株式会社 栗本鐵工所

大阪市東区唐物町4 TEL 大代表 3431  
東京・小倉・名古屋・札幌



鳴尾〜武庫川間の新設橋梁に使用のワインディングシース