

コンクリート構造物とその将来

—構造材料としての鋼とコンクリートの役割—

藤 田 亀 太 郎*

1. 構造物の質と材料

産業革命以来構造物の需要は規模、量ともにいちじるしく増大し、最近では土地利用の高度化、輸送手段の発達にともない、構造物に対する投資蓄積額の多少が、一社会単位の経済成長性を大きく支配するようになってきた。

わが国においては、昭和 30 年以來年間建設投資の額は3倍となり、昭和 38 年度には4兆円に達しようとしている。その国民総生産に対する比率も1割強から2割に増加し、ようやく目立ってきた輸送、防災などに対する公共投資、住宅投資などのおくれを考えると、この傾向は当分続くのみか、さらに強まる可能性が濃い。この建設時代ともいうべき時代に働らくわれわれ建設技術者のばく大なる資本形成について負わされた責任を考えると、建設すべき構造物の質という問題についていま一度深く反省するとともに、将来に対する方向を確立することの必要性を痛感する。

構造物の質とはその合目的性の次元の高低であり、求められる目的には、① 必要な空間、位置を占めるものであること、② 必要な時期に存在すること、③ 必要な物理、化学的安定性とくに力学的強度を有すること、④ 保守もふくめてより資本効率の高いものであること、⑤ それが生み出す環境がより快適なものであること、などの条件があげられ、それを決定するものは形と材料にほかならない。形はまた材料に影響されること多く、結局材料の選択が構造物の合目的性いかに占める割合は非常に高いのであるが、形の議論は別の機会にゆずることにして、材料の持つあるいは持つべき性質について少し考えてみよう。

2. 材料の持つ特徴とその利用—鉄とコンクリートと土

構造物材料として古くから用いられていたものは石、木、土などの自然材料であった。これらの自然材料はそ

* 正員 極東鋼弦コンクリート振興 KK 社長

れぞれ汎地域性、量産性、加工性、強度、物理的ないしは化学的安定性の不足という欠点を持ち、それを補うべくあるいはさらに新しい長所を持ったレンガ、鉄、コンクリート、合成樹脂などの人工材料がつぎつぎに生れた。とくに最近では需要の増加と技術の進歩が生産設備の飛躍的發展をうながし、材料自体あるいは材料の利用法の開発とあいまって人工材料がますますさかんに使用されるようになってきている。

しかし天然材料にも木はそれが持つあたかくおだやかな感じ、経済性、しゃ音性、断熱性、防湿性において、土は汎地域性、体積当り単価の安さ、材料としての鈍さにおいて人工材料に見られない長所が多く、現在でもなおさかんに使用されている。

最近のわが国の統計では、建設投資中に占めるコンクリート、鉄の割合はそれぞれ約2割に達し、それに土を加えた3者が現在における構造物の材料の代表といて差し支えないようである。

コンクリートは引張りに弱く、初めは石や土を發展させた性格を持つに過ぎなかったが、Joseph Monier が針金を埋め込む工夫をして以来鉄とコンクリートの長所が同時に発揮できる鉄筋コンクリート（以下 RC と呼ぶ）の技術が生れ、さらに今世紀に入ってプレストレスト コンクリート（以下 PC と呼ぶ）が材料の利用効率を飛躍的に高め、その性質をいちじるしく鉄に近づけた。

鉄にはさびやすいという大きな欠点があるほか、耐火性や居住性に対するサービサビリティーに欠ける。コンクリートは重いという点をのぞけば、鉄の持つ欠点がない上に造型の自由さ、流体として扱いうるための加工特性の良さなどの長所を持っている。

鉄、コンクリート、土をくらべるとき、鉄のシャープさと土の鈍さは両極端であり、その中間にあるコンクリートは最もモダレートな材料として、多くの場合構造物の合目的性の次元を最も高めるものである。

重量や体積が要求されるダムや原子力関係の構造物、引張り強さが要求される線材などをのぞき、ほとんどの構造物はコンクリートと鉄を問わない。それを決定する

のは技術者の判断である。19世紀から20世紀前半にかけて鋼材の発達が目ざましく、同時にすぐれた鋼構造物設計者が輩出して橋桁をはじめ多くの鋼構造物がつくられた。しかし20世紀に入って鋼構造物の持つ腐食性や感じとしての冷たさが欠点として注目され始め、同時にコンクリートの品質、鋼材と組み合わせた使用法が急激に発達し、20世紀後半になり実に多くのコンクリート大橋架がつくられている。そしてコンクリートの材料、設計技術の急激な発達という目立った傾向はますますはげしくなっている。

一例として鉄道橋について考えてみれば、下部構造に鋼構造を使った例はごく古い例として残っているが、現在その保守、補修が大きな問題となっており、近年はすべてコンクリート製となった。橋架すなわち鉄桁というイメージは唱歌にも唱われているとおりかなり根強く、事実鉄道建設時代の橋桁はほとんどが開床式の鋼製であった。しかしまくらぎ下の腐食、軌道保守上の不便、列車通過時の騒音などから漸次有道床式がさかんととなり、フランス国鉄では戦後開床式鉄桁のほとんどがコンクリート床版の有道床式のものに取り替えられている。

一方コンクリート桁はアーチ式のものゝぞぎ、第2次大戦の前はせいぜい十数メートル以下の支間において、有道床を必要とする特殊な箇所にRC桁が用いられていたが、戦後PC桁が採用されるようになって現在では支間60mくらいまでは経済的にコンクリート桁がつくられる範囲であり、コンクリートの強度の増加、軽量化、鋼材の発達などにより、近い将来この範囲は100m程度まで高められるであろう。PCの技術はまたRCの技術の発展をも促がし、RC桁の経済的な範囲も支間30mをしのごうとしている。

なお、最近鋼ぐいが復活しているが、価格の点で既成コンクリートぐいにおよばないので、使用箇所は既成コンクリートぐいが施工できないたとえば長さ40m以上の場所あるいはきわめて固い中間層を打ち抜く必要のある場所にしか用いられない。このような場所においてはほかにも現場打ちコンクリートぐいや井筒基礎のような工法があり、その方が一般に経済的である。鋼ぐいにはそのほか腐食の問題があり、採用にはよほどの慎重さがなければならない。

しかし、これらのコンクリート構造物はほとんどの場合鉄との組み合わせでできており、RCやPC構造物の材料費でコンクリートよりも鋼の占める割合が多いこともまれではない。したがって鋼材の改良がコンクリート構造物の発展におよぼす影響は大きい。要するに鋼材がそのみ単独で使用される場合は、単位重量当りの強さとくに引張強さが極度に求められる場合以外次第に減り、コンクリートとの組み合わせにおいて、それぞれの

特徴を生かせるような材料の使い方が今後発展してゆくであろう。

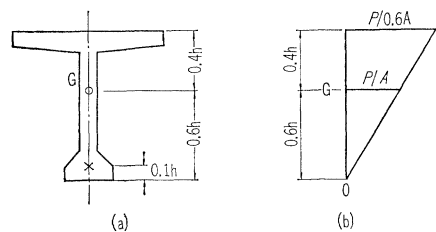
つぎにその発展の方向と限界について考えてみよう。そのために現在の材料と設計法を用いた場合の、橋桁設計における可能性を調べる。

3. コンクリート橋桁設計上の可能性

コンクリート橋の支間を延ばしてゆくとき、自重と強さの比 σ/r と単位幅当り可能プレストレス力がその限界を与える。RC桁はコンクリートの引張り強さを期待できず、鉄筋の許容応力度もコンクリートのひびわれによって定まるので材料の強度を生かす点での効率が悪く、長い支間では当然PC桁となる。

まず単純桁について、PC道路橋に広く用いられている図-1(a)のようなT型断面を対象とし、従来の多くの例から断面図心を上縁から $0.4h$ 、PC鋼材図心を下縁から $0.1h$ 、 $r^2/y_u y_u = 0.5 (r^2 = I/A)$ と仮定する。

図-1 PC桁断面と応力分布



下縁応力度が0となるときの上核点の位置は図心から $r^2/y_u = 0.5 y_u y_u / y_u = 0.5 y_u = 0.5 \times 0.4h = 0.2h$ にあり、したがって桁断面の合力作用点の許容移動量は $0.2h + 0.5h = 0.7h$ 、プレストレス力を P とすると内力の抵抗モーメントは $P \times 0.7h$ である。一方上縁応力度 $P/0.6A$ (図-1(b)参照)をコンクリートの許容圧縮応力度 σ_{ca} に等しくすれば $P = 0.6 \sigma_{ca} A$ は P の許容最大値を与え、橋の単位床面積当りの平均自重を w_d ($w_d = Ar$)とすれば、抵抗モーメント M は次式で表わされる。

$$M = 0.6 \sigma_{ca} \frac{w_d}{r} \times 0.7h = 0.42 w_d \left(\frac{h}{l} \right) \left(\frac{\sigma_{ca}}{r} \right) l \quad \dots \dots \dots (1)$$

従来の資料からPC単純桁の平坂コンクリート厚さ e は $0.27 \{1 + 4(L/100)^2\}$ (m)であり、 $r = 2.5 t/m^3$ とすれば

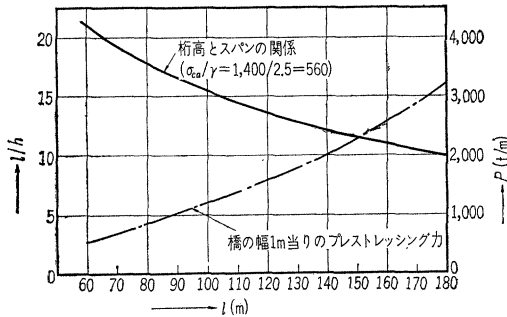
$$w_d = 0.68 \left\{ 1 + 4 \left(\frac{L}{100} \right)^2 \right\} (t/m^2) \dots \dots \dots (2)$$

舗装その他の静荷重を $0.2 t/m^2$ とし、 $L-20$ 荷重の場合の曲げモーメントを近似的に求め式(1)の M と等しいとおけば

$$\begin{aligned}
& 0.286 \left\{ 1 + 4 \left(\frac{l}{100} \right)^2 \right\} \left(\frac{\sigma_{ca}}{r} \right) \left(\frac{h}{l} \right) \\
& = 12.5 \left(\frac{l}{100} \right) \left[0.88 + 2.72 \left(\frac{l}{100} \right)^2 \right. \\
& \quad \left. + 0.35 \left(1 + \frac{0.20}{0.5 + \frac{l}{100}} \right) \right] + 1.25 \left(1 + \frac{0.20}{0.5 + \frac{l}{100}} \right) \\
& \dots\dots\dots(3)
\end{aligned}$$

式(3)から σ_{ca}/r を与えた場合に l と h/l との関係が定まり、図-2の実線は σ_{ca}/r を現行の材料から 560 としたときの l と h/l との関係を表わしている。

図-2 PC 単純桁道路橋のスパンと桁高および橋幅 1 m 当りのプレストレス力



また、このときに必要な橋の単位幅当りプレストレス力 P の値は $M = P \times 0.7h$ なる関係から l と h/l の関数として

$$\begin{aligned}
0.7 \left(\frac{h}{l} \right) P & = 12.5 \left(\frac{l}{100} \right) \left[0.88 + 2.72 \left(\frac{l}{100} \right)^2 \right. \\
& \quad \left. + 0.35 \left(1 + \frac{0.20}{0.5 + \frac{l}{100}} \right) \right] + 1.25 \left(1 + \frac{0.20}{0.5 + \frac{l}{100}} \right) \\
& \dots\dots\dots(4)
\end{aligned}$$

で表わされ、図-2 の点線が得られる。

図-2 によると $l=80$ m 程度で h/l は 1/18 程度となり、プレストレス力も現在の工法で十分に与えられる値を示している。

つぎに連続桁について考察してみる。桁自重以外の静荷重と活荷重とをあわせ 0.9 t/m^2 とすれば、支点モーメントは近似的に

$$\frac{l^2}{10} (2.5e + 0.90) \dots\dots\dots(5)$$

支点断面における桁高 h を l/m で表わせば、内力のモーメントの腕長は近似的に $0.7l/m$ で与えられ、プレストレス力は断面図心で $0.6 \sigma_{ca}$ 程度の応力度を生ずるものとすれば、単位幅当りのプレストレス力は大体 $0.6 \sigma_{ca} e$ となり、抵抗モーメントの値は

$$0.6 \sigma_{ca} \cdot e \cdot 0.7 \frac{l}{m} = 0.42 \sigma_{ca} \cdot e \cdot \frac{l}{m} \dots\dots\dots(6)$$

式(5)、(6)の両式より

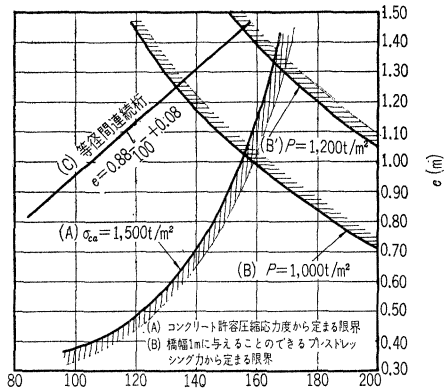
$$e = 0.36 \frac{l}{\frac{1.68}{m} \sigma_{ca} - l} \dots\dots\dots(7)$$

また、プレストレス力 P は抵抗モーメント $0.7Ph$ を与えることから式(6)より

$$e = \frac{2.8P}{ml} - 0.36 \dots\dots\dots(8)$$

式(7)、(8)からスパンの限界値を求めることができ、 $m=12$ の場合について σ_{ca} を 1500 t/m^2 とすると式(7)から図-3の(A)曲線、 $P=1000 \text{ t/m}$ および 1200 t/m とすると式(8)から図-3の(B)、(B')曲線が得られる。

図-3 連続 PC 桁の限界径間



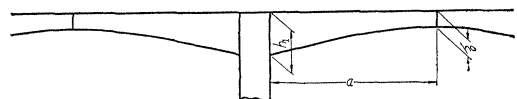
等径間連続桁における e と l との経験的な関係が図-3の(C)曲線であるが、この図から現在の材料と工法を用いて、連続桁では $160 \sim 180$ m の支間が得られうる。

片持ばりについて、コンクリート平坂厚さは $0.27 + 1.30 \left(\frac{h_1}{10} \right)^{3/2}$ (m) 程度で、単位床面積当りの自重は大体、 $1.56 \left[1 + 2 \left(\frac{h_1}{10} \right)^{3/2} \right]$ 、フランジ内における引張りまたは圧縮力の全力は大体

$$1.56 \frac{a^2}{2(h_1 - h_0)} \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{h_1}{10} \right)^{3/2} \right] \dots\dots\dots(9)$$

と表わされる(図-4参照)。

図-4 片持ばり



圧縮側フランジは厚さを増すことによって式(9)を満足しうるので、引張り側フランジに 1500 t/m のプレストレス力を与えるとすれば、式(9)より a と h_1 、 h_0 の関係として

$$0.78 \frac{a^2}{h_1 - h_0} \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{h_1}{10} \right)^{3/2} \right] = 1500 \dots\dots\dots(10)$$

いま $h_0 = 2.0$ m とし、 h_1 と a の関係を求めれば

$$h_1 = 6.0 \text{ m } 8.0 \text{ m } 9.0 \text{ m } 10.0 \text{ m}$$

$a = 79\text{ m } 92\text{ m } 101\text{ m } 102\text{ m}$

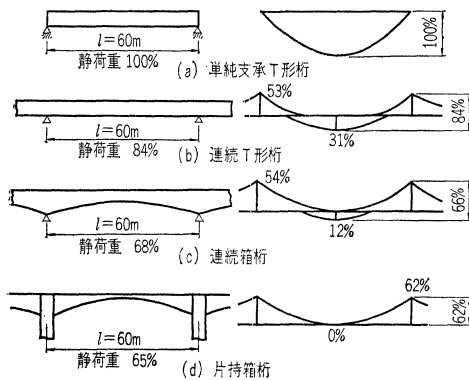
すなわち 200 m 程度の支間までが可能である。

以上は桁橋について考察したものであるが、アーチ、ボーストリングなどの形式を採用すれば、コンクリート橋の限界スパンはそれぞれ 1500 m, 500 m 程度、自定式の PC つり橋では 300~450 m 程度まで比較的容易に達せしめることができる。また桁をトラス形式として自重をいちじるしく軽減し、たとえば Forth 橋タイプの下路 PC トラスでは 500 m 程度までの支間のものは容易に設計できる。

一般に構造形式を適当に選び限界支間を大きくすることは容易で、桁橋についていえば、大きな曲げモーメントの値を支点近くに集めることにより、それをカバーするために必要な大断面積の死荷重により生ずる曲げモーメントの値を極力減らすことができ、使用材料を減じるとともに限界支間を増大しうる。

図-5 はその一例として支間 60 m の場合、単純桁にくらべ連続桁、片持ばりなどの材料がどのように減少するか、最大曲げモーメントや曲げモーメントの絶対値の和がいかに減少するかを示している。曲げモーメントの絶対値の和は使用材料の多少に関係が深い。

図-5 各種構造形式橋の曲げモーメント比較例



プレストレスリングは単に部材に生ずる引張力を打消すばかりではなく、構造物に生ずる内力がその構造物に対して有利になるように積極的に利用できる。たとえばコンクリート トラスの二次応力度は一次応力度の 100~150% にも達するが、荷重とプレストレスリングによる応力を各部材とも等しくしてやれば、荷重の組み合わせをいろいろ考えてもその値を 25% 以下とすることや、連続桁の中間支点上に負の二次モーメントを与えスパン モーメントを減少させ、曲げモーメントの大きな部分を支点に近づけ、材料を節減することができるなど、このような方法で内力分布を改善した例は多い。

4. コンクリート材料の将来

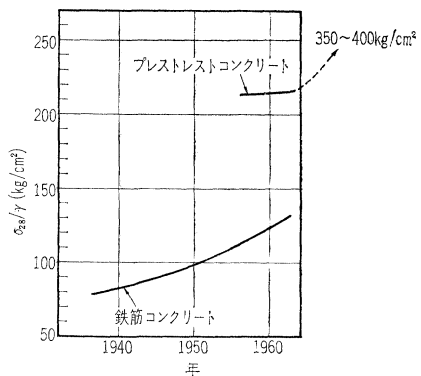
以上の例は現在の材料を前提としたものであるが、コ

ンクリート材料の将来はどうであろうか。現在のコンクリートの観念からまったく離れた、まったく新しくすぐれた材料が、たとえば合成樹脂系のものでつくられることも、可能性としては考えられるが、いまの段階では開発の方向さえもつかみにくいで一応除外して考える。

セメントは古くエジプト、ギリシャ文明において石灰石、石膏などの水硬性を利用した例がすでに見られているが、18 世紀中葉 John Smeaton が石灰石と粘土の混合物を焼成することにより水硬性物質が得られることを発見して以来幾多の改良が加えられ、19 世紀中頃に製造が工業化されてから急激に発達した。現在望まれている性質は一般的にいえば強度の増加、急硬性などであるが、価格や発熱、硬化収縮、クリープの増加、扱いやすさなどの性質も考えなければならず、これらが相矛盾することも多いので、使用目的による分化がさかんになるう。

強度の増加が構造物設計上の経済性や可能性に大きな影響を持っていることは前章に述べたとおりであるが、最近における σ_{28}/r の変化の傾向を図-6 に示す。図-6 によればこころずか 20 数年間のうちに σ_{28}/r の値が非常に増大したことがわかるが、これはパイプレーターの使用、ミキサ、パッチング プラントの改良など現場の施工技術が進歩し、でき上がったコンクリートの質に対する信頼度を高めたことが大きく影響している。

図-6 σ_{28}/r の変化傾向



セメントの粒子を細かくすれば強度は増加し、そのためにボールミル ミキサによるプレミックスなどの方法があるが、現在でもクリンカーの成分によりモルタル強度として 2000 kg/cm² 程度のものが得られており、良質の骨材を使用する限りコンクリートの強度を 1000 kg/cm² くらいに高めることは近い将来において可能であると思われる。コンクリートの強度を高める方法としては、高温高压養生、弗素強化などの工夫も興味のある問題である。

引張り強度の増加はコンクリートの夢であるが、現在

のセメント成分をもってすれば本質的に困難であり、コンクリート内に強いせいの組織を形成させるような混和剤のごときものが開発されればおもしろい。

コンクリートの硬化速度を高めれば工期が早くなり、投下資本の機動性が増し工事設備の工事が高まるが、とくに取り替え工事など工期の短縮がシビヤーに求められる場合に有効であり、この点においてアルミナセメントの開発が注目している。アルミナセメントは鋼材をさびさせない性質にとほしいといわれていたが、現在ではその懸念が少なく、とくに w/c 45% 以下ではまったくポルトランドセメントと同様と考えてよく、ある条件下ではポルトランドセメント以上の防銹性を持つことが確かめられている。

A Eコンクリートは偶然に見えられたといえるが、コンクリートの施工上および強化後の耐久性に対する特性をいぢるしく高めた。混和剤としてはそのほかにコンクリートの凝結時間を必要に応じてある時間遅らせる凝結遅延剤、急硬剤、膨張材などがあるが、今後より欠点の少ないものやまったく新しい性能を持ったものなどが発見される可能性がある。

膨張コンクリートは現段階では乾燥収縮をカバーする程度の消極的な用途しかないが、積極的なプレストレスングに対する利用が可能になれば汎用性は高く、きわめて興味ある問題を提起するものと期待する。

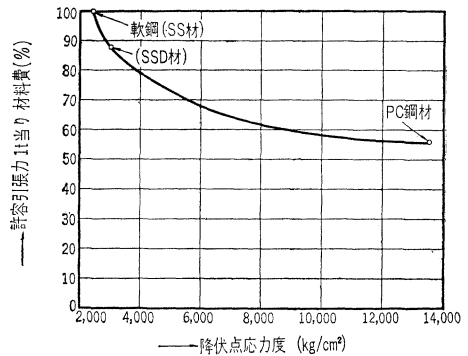
最近わが国では需要の増加、ダムの造成などの原因で大都市近郊における骨材の不足が目立ってきた。単価中に占める運搬費の割合は非常に高くなっている。

この骨材不足の問題を一挙に解決するのみかコンクリートの重さを 20~30% も減ずるといふ人工骨材の研究が最近さかに行なわれている。これは粘土塊、フライアッシュ、頁岩などを焼成してつくるもので、従来の天然軽骨材（一般には火山軽石）とは異なりコンクリート強度としても 500~600 kg/cm² 程度が期待でき、現在ではコンクリートとして 1m³ 当り 3000 円程度高づくが、コンクリートの比重を 1.6~1.9 程度とすることは容易であり、構造物の自重軽減による利益は単価の差を十分にカバーしうる。工業化上の問題は大体解決され、コンクリートの吸水性、疲労強度、クリープなどの基本性質に対する試験が現在行なわれつつあり、この人工骨材の実用化はかなり間近にせまっている。

コンクリートとともに用いられる鋼材の改良もきわめて重要な問題である。図-7 は鋼材許容引張り力当りの単価を、SS 41 クラスを 100 として比較したものであるが、許容引張り力当りの単価は SSD 材において約 10%、P C 鋼材においては緊張、締着、グラウチングの費用をふくめてもなお 40% 数% も安くなっている。一般に鋼の強さを高めるために増加する単価の割合は強度増加

率を下まわっているのが、今後高張力鋼の開発が待たれるわけであるが、その限界は破断強度で 25 000~30 000 kg/cm² 程度と考えられる。

図-7 許容引張り力 1t を与えるための鋼材費の比較



RCではコンクリートに発生する引張りクラックから鋼の許容応力度が定まり、異形鉄筋の研究がさかに行なわれているが、鋼の弾性係数を増大させない限り高張力鋼の使用には限界があり、弾性係数の増大は強度の増大に比べて本質的にきわめて困難であるから、高張力鋼の使用はP Cに限られるであろう。しかし異形鉄筋の進歩はRC技術をなお一段階発展させるであろうことは疑われない。

グラスファイバーはP C鋼材に比べ引張り強度、耐久性が大きく、弾性係数が小さいので、P C鋼材に代る将来の材料として大きく期待されている。

5. コンクリート設計法の将来

コンクリート自体あるいはコンクリートと鋼の組み合わせは、材料として鋼などよりもはるかに複雑な性質を持っていて、今後の問題として研究、改善される余地がきわめて多い。たとえば安全率の問題にしても“Coefficient d'ignorance”（無知係数）とさえ呼ばれたこともあり、施工管理の発達、材料の性質の把握、構造力学の発達から、ドイツのコンクリート圧縮係数に対する規定を例にとれば、1907年に10、1916年に5、最近では3と極端に変化し、将来に向かってもっと減少する方向に向かっている。

RC部材の計算法は長年にわたり弾性論、引張り側コンクリート無視という大きな仮定の上に立ってきたが、実際は構成材料の性質を単純に組み合わせたような応力は働かず、仮定の非現実性とも相まって現行の理論は真実の応力状態をまったく示していないといっても過言ではない。この欠点を補うべく部材の破壊強度を求め、これを安全率で割って許容荷重を定める方法が広く実用化され始めているが、土木学会のRC標準示方書では柱の設計に採用されているに過ぎない。

従来の RC, PC 不静定構造物の設計には弾性理論を適用し、こみ入った構造物では計算簡易化のための仮定を設け、求められた応力度が部材の許容応力度を越えないことを条件としているが、コンクリート部材は破壊にいたるまでに最大ひずみが 0.25~0.35% におよぶので非常に大きな塑性回転角を生み、実際はある断面が破壊応力に達しても全体としての破壊は起こらず、モーメントの再配分によって別の部材がつつぎと塑性化してゆき、したがって不静定構造物の崩壊は一部材が最初に塑性化した荷重よりも相当大きな荷重によってしか起こらない。このように現行の設計法は不静定構造に対しては安全率が過剰であり、その余裕を完全に利用するには塑性設計法によらなければならない。

塑性設計法の考え方としては Guyon が“Béton Précontraint”に述べている方法、Baker による Institution Research Committee on the Ultimate Load Design of Concrete Structure 1962 年報告書の方法などがあり、その実用化は間近と考えられる。

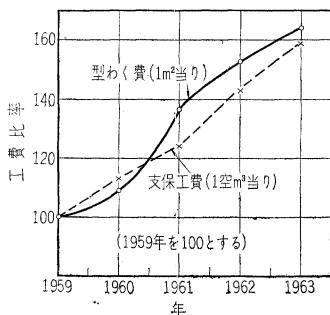
塑性設計法はまた計算の単純化に資する点も多く、複雑な形状の床版を弾性理論によって解くことは不可能に近いが、Yield-line Theory がそのための有力な武器となろう。

耐震性の問題も、従来の地震力を静的な力に置き換える方法には疑問点が多くしばしば過大設計を生む結果となり勝ちであるが、実測と電子計算機の使用などによる新理論の発達は目ざましく、合理的な設計法が近いうちに生れることを期待したい。なお、計算機の発達は計算自体の複雑さを次第に問題にしなくなってきており、あるいは電気的な Model の採用によりいままできわめて困難であった問題の解を非常に容易なものに変え、今後このような基盤のもとに新しい研究の方向が成長するであろうことも論をまたない。

6. コンクリート施工法の将来

コンクリートの施工法が設計の問題と密接な関係を持

図-8 PC 橋型わく費および支保工費の増大傾向



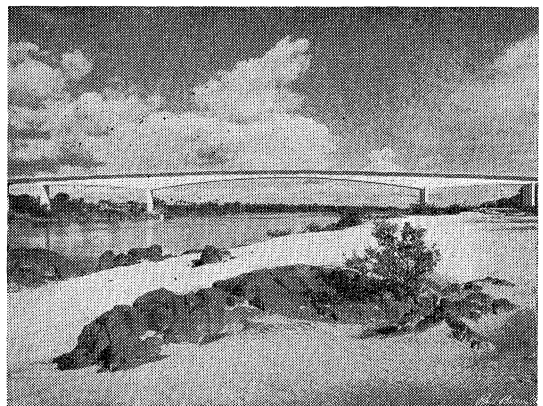
つことを述べたが、工事の工期、経済性などもきわめて重要な関係にある。

型わく、支保工に鋼材が使用され始めてから、その経済性や組立てに特殊技術が要らない点から一度に普遍化されてしまった。その採用が急激すぎたために二、三の現場において扱い方の未熟から事故が発生したが、そのために工法の価値を問題とすることは早計であり、事故の発生率からいえば、なお、鋼桁架設工事よりも低いくらいである。いずれにせよ型わく、支保工に要する費用は工費中かなりのパーセンテージを占め 30~40% におよぶこともあり、近年労賃の値上りから図-8 に示すようにますますその傾向を強めようとしている。

長大橋梁では支保工の設計、施工が工事の工期、経済性や可能性までを制することさえ珍らしくない。この点支保工技術の発展がとくにわが国においては遅くされており、早晚専門業者の育成などにより解決しなければならない事柄である。

支保工を節減するために考えられた代表的工法に片持ばり式工法がある。この工法は 1930 年 Rio do Peixe 橋において始められ、1939 年にはベルギー領コンゴで支間 70m の RC 橋が架けられているが、近年 PC 技術の発展とともにしばしば用いられるようになり、いまではきわめて一般化している。写真-1 はこの工法による橋の一例である。

写真-1 Rio Tocautins 橋 (Freyssinet 工法 PC 橋) 支間 53m+140m+53m, 1960 年完成



そのほかの工夫も数々重ねられ、たとえば Morandi による Paul Saver 橋はコンクリートアーチの肋を半スパンあて兩岸で鉛直に立ててつくり、硬化後プレストレッシングで応力を調節しながら支点の回りに回転させアーチを形成した(図-9 参照)。また、Freyssinet による Caracas 橋(写真-2 参照)では最初に箱型断面の下部のみのコンクリートを打ち、クラウンにジャッキをそう入してスラストを与えアーチを形成し、残りのコ

図-9 Paul Saver 橋の施工概要

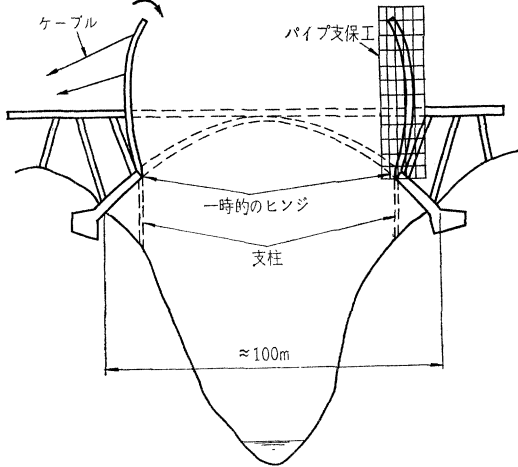
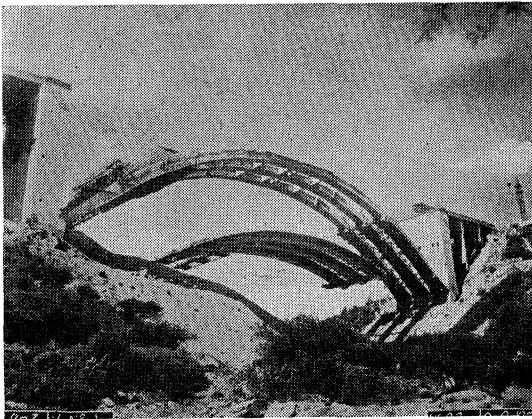


写真-2 Caracas 橋
支間 152 m



コンクリートの重さはそのアーチでささえさせた。今後はさらに進んだ工夫が開発されることを期待したい。

プレキャスト部材の採用は支保工費、型わく費を節減する以上に、工期の短縮、工場における大量生産による単価の節減、品質の向上などの意味から施工機械の発展とも相まって近年注目を浴びている。ソ連ではすでに大きなアーチ橋や鉄道橋の橋脚にいたるまでプレキャスト部材による施工がさかんであり、建築におけるプレファブリケーション工法とともに今後大いに発展するであろう。技術的な問題としては継手構造があげられるが、ネオプレレン版や PC 鋼材の利用など各種の設計が工夫されており、基本的な問題は残っていない。大きな発展のためには規格の決定を進めねばならない。

型わくは扱手間を省くために使用箇所によりタイプ

を変えたり、大単位としての使用を可能にしたりの工夫がなされつつあるが、設計も使用型わくを前提に考えなければならない。この点から現在の一般メタルホームは汎用性の点では優れているが、もう少し機能的に分化されるであろう。スライディングホームは工期短縮や工事の流れの定常化の上から非常に興味深い、そのままの位置に残ってコンクリートの養生に役立たせる内型わくを持った二重型わく工法なども考えられている。プレキャスト部材の使用と現場打ちの中間の性格を持った型わく埋殺し工法もすぐれた特徴を持ち、今後発展するであろう。

7. これからの構造物建設

構造物の質の良否はその合目的性の次元の高さにより決まるが、材料の選択が重要な意味を持っている。主要材料として合成樹脂系材料などの飛躍的発展も考えられるが、当分は鉄とコンクリートと土が問題となり、おのおのの特徴を生かした組み合わせが最良の解決策となることが多い。

その組み合わせの方法は多種多様でこれからの発展に待つところが多いが、急速な進歩のためには設計つき競争入札を考えなければならない。

コンクリートの一つの特徴として材料の普遍性、とくにわが国では外貨依存率の低さがあげられる。材料としてのすぐれた特性とともに今後ともその有効な利用法を研究することがぜひ必要である。

コンクリートの欠点として橋桁などの使用中取り替えの困難さを指摘する者もいるが、近年施工、材料の発達注入などによる補修技術の進歩とともにその寿命はますます延びてきており、耐久性は取り替えの不便を補ってあまりある長所であると考えられる。しかしそれだけに長所を生かすためには投資の計画性が問題であり、石で長年月かかって造り上げられた欧州の近代都市はいろいろな意味で良い手本である。

コンクリート技術は近年 RC、PC の開発と急激な進歩を示しこの傾向は当分続くものと思われる。

われわれ技術者は公共資本形成上に負わされた責任を自覚し、十分なる研究を積み重ねてゆくとともに、必要な時点における判断の誤まりを避けねばならない。

その経験は技術の海外進出に直結している。アジア諸国における日本技術に対する期待と、日本における市場の狭まさを考えるとき海外発展の必然性が痛感される。

(1964. 2. 14・受付)