

# 日本におけるコンクリート橋について

正員 工学博士 横道 英雄\*

## 1. まえがき

日本で始めて鉄筋コンクリート橋（以下単にコンクリート橋と書く）の実例を見るようになったのは明治末の1910年代であるが、さかんに普及されるようになったのは昭和に入つた1929年以降のことである。そしてその後たちまち、永久橋としてのコンクリート橋の普及度は鋼橋をはるかに凌いでしまつた。1951年3月の統計によると、全国の国府県道路橋の総数は115522橋で延長は1481.14kmに達しているが、そのうちコンクリート橋は55366橋（47.9%）、551.57km（37.2%）であるから鋼橋の2869橋（2.5%）190.71km（12.6%）にくらべると数において19倍、延長において約3倍の普及率となつている。しかも1948年の統計にくらべると年々約800橋、延長7830mの増設を見ており、今後ますますその数が増加するものと思われる。そしてこのことは全国の市町村道路橋を合算すればさらに倍加するものと考えられる。このようにコンクリート橋がいちじるしく普及されるようになったのは、特殊熟練工や高性能機械などをあまり必要としないで現地製作が可能であり、主材料の入手も容易でしかも工費は比較的低廉であるという点において鋼橋よりも勝つていたことがおもな原因である。しかしその反面、コンクリート橋の施工容易という利点はややもすると施工の粗雑化をまねきやすいという欠点を生じ、とくに請負工事の現場コンクリートの品質に多少の不安を抱かしめ、従つて設計者はコンクリートの許容応力度の引き上げを渋り、長スパン橋の設計をためらうという傾向がないではなかつた。それであるから鋼橋に比してスパンも橋長も比較的短かいも

のが多い。このことは前記の統計から1橋当りの平均橋長をしらべて見ると、鋼橋は66.5mであるのに対し、コンクリート橋はわづか10mにすぎないということでもうなづけよう。また統計の基準となるコンクリートの許容曲げ圧縮応力度についても、今日なお50km/cm<sup>2</sup>以下という低い値をとつているものが多いということもその一つの現われとみられる。それであるから今後は、コンクリート橋の量的発達を図るのはもちろんとしても、さらにその質的向上をはかることについても大いに努力することが必要であると考え。以下各項において日本における現況と将来への展望について概説しよう。

## 2. コンクリート桁橋

コンクリート橋で最も多い型式は桁橋であるから、まずこれについてわが国の実例中から最大スパン長の順に戦前の10橋及び戦後の1橋をひろつてみると表一のごとくである。1931年の豆津橋は最大スパン30mを有するゲルバー桁で橋長350m、橋面積2100m<sup>2</sup>という堂々たるものであつて、当時ドイツの *Beton und Eisen* 誌にも掲載され大いに気を吐いたもので、この頃よりコンクリートゲルバーが急激に普及され、スパン長の記録も1933年小森野橋の30.5m、1935年多摩河原橋の32m、その翌年の川島橋の34mと更新され、ついに1941年には最大スパン41m・9連の十勝大橋を見るに至つた。これは全長369m、巾員18m、橋台裏に10.5mの対重用突桁を有し、全橋面積6987m<sup>2</sup>という世界2位の規模を有するもので、主鉄筋はφ44、最大購入長25mの丸鋼を使用し、継手は始めて矢筈銀接法を用い、可動支承上には巾

表一 日本における長径間コンクリート桁橋

| 順位 | 橋名(位置)         | 年次   | 型式   | スパン(m)                 | 巾員(m) | 橋面積(m <sup>2</sup> ) |
|----|----------------|------|------|------------------------|-------|----------------------|
| 1  | 十勝大橋(北海道, 十勝川) | 1941 | ゲルバー | 9×41                   | 18    | 6987                 |
| 2  | 川島橋(宮崎)        | 1936 | 〃    | 27+31+34+31+27         | 5     | 750                  |
| 3  | 境橋(青森, 岩木川支流)  | 1939 | 〃    | 24+3×34+24             | 5.5   | 825                  |
| 4  | 多摩河原橋(東京, 多摩川) | 1935 | 〃    | 22+11×32+24            | 8     | 2027.6               |
| 5  | 大曲橋(秋田)        | 1937 | 〃    | 24+10×32+24            | 5.5   | 368.7                |
| 6  | 水分橋(愛知, 左内川)   | 1944 | 〃    | 24+5×31+24             | 9     | 1827.9               |
| 7  | 西大橋(福岡)        | 1935 | 〃    | 21.6+3×30.6+21.6       | 20.5  | 1498.3               |
| 8  | 小森野橋(福岡, 築後川)  | 1933 | 〃    | 25+9×30.5+25           | 7.5   | 2433.7               |
| 9  | 高瀬橋(長野)        | 1937 | 〃    | 2×15+2×23.8+7×30.5     | 5.5   | 1601.7               |
| 10 | 豆津橋(福岡, 築後川)   | 1931 | 〃    | 2×7.8+6×22+2×26.2+5×30 | 6     | 2100                 |
| 戦後 | 荒川橋(神奈川, 津久井郡) | 1948 | 突桁   | 17+2×33+17             | 5.5   | 735                  |

\* 北海道大学教授, 工学部土木教室

120 cm, 高 220 cm, 長 160 cm, 設計荷重 617.8 t という大きなコンクリートロッカーを用い, また工事中出水の害を避けるため低水敷の部分にはアーチ式支保工を施工するなど新技術を用いたものである。

しかしこの最大スパン 41 m も欧米では中級に属する程度で, フランスのコンクリートゲルバー Villeneuve-Saint-Georges 橋 (1939) のスパン 78 m に比べくもない。また戦後においては表-1のごとくスパン 33 m, 橋面積 735 m<sup>2</sup> の荒川橋を見るにすぎず, まだ戦前の水準に復帰していない状況である。ただ, ここに注目すべきは, 後述のごとくわが国にもプレストレストコンクリート桁橋が最近ようやく普及しはじめたことで, すでにスパン 30 m の実例を見るに至っている。しかしこれもまだほとんどが単桁に限られている状態で, これを欧米ではすでにスパン 114 m の連続桁が施工されているのに比してはなお今後多くの努力を必要とするものである。

また型式についてみると, 従来わが国ではスパン 20 m 以上のコンクリート桁はほとんど全部がゲルバー式であるということは一考を要する。ゲルバーは静定構造であるため基礎地盤に多少の不安がある地点でもよいという利点があるが, 30 m 以内の中スパンではゲルバー鉸部がとかく構造上の弱点となり易いのであるから, 無鉸連続桁の方が有利な場合があるのである。また 1 径間の場合にはラーメン桁や, 橋台裏に対重用突桁部を設けた突桁などで経済的に 30~40 m 程度の中スパンのものが考えられる。なおまたコンクリート強度も  $\sigma_{28}=300\sim 450 \text{ kg/cm}^2$  ぐらいの高強度とし, 鉄筋も後述の SS 50 級鋼を使用するようにすれば設計上大いに有利となる。かくすれば, 中スパンまでは単桁で十分であり, とくにプレキャストまたはプレストレストコンクリート法によつて迅速施工が可能となるのである。

### 3. コンクリートアーチ

わが国のコンクリートアーチはスパン 30 m 以上の

もの約 50 橋があるが, そのうち, その最大スパン長の順に戦前 10 橋及び戦後 1 橋をひろつてみると表-2のごとくである。これによれば, 1931 年の姑射橋のスパン 47 m から 1943 年の万年橋の 75.78 m へといちじるしい進歩をみせている。もともとコンクリートアーチで最も長スパンに適する型式は上路開側式であるが, わが国では地理的条件その他の理由から長スパン上路橋の適地点に乏しいため, この種コンクリートアーチの発達が著しく遅れているのである。すなわち世界 1 位はスウェーデンの無鉸開側アーチ Sandö 橋 (1943) で, その最大スパンは 264 m, ライズ 39.5 m という驚異的なものに比較すれば, わが国の現況と大きな隔りのあることがわかる。コンクリートアーチは上路式に適するのではあるが, しかし欧米においてはスパン 100 m 内外までの下路橋としても盛んに架けられており, フランスには La Roche-Guyon 橋 (1934) が無鉸開側アーチでスパン 161 m, Castelmorou 橋 (1933) が 3 鉸アーチでスパン 143 m という下路橋の実例があるほどであるから, 今後わが国でもこの型式の発達が望まれる。

また施工法においても, 長スパンアーチに対するアーチ式支保工の採用や, クラウンに水圧ジャッキを挿入して所要の水平力を与えることにより, アーチ内のコンクリート応力を調節してから最後のコンクリートを打つという, いわゆるフレシネ工法の採用などをもつと普及すべきであろう。この方法によればアーチリブの座屈に対する危険を全く防止することができるので, アーチリブの厚さを大いに減ずることができ, 死荷重を軽減し得るのである。

### 4. 材 料

(1) コンクリート 戦後一時不調であつた日本のセメントも今日では品質, 生産高ともに戦前を凌ぐに至つており, いまのコンクリート技術をもつてすれば, ウォーカビリティをさほど犠牲にしなくても 200~350 kg/cm<sup>2</sup> 程度の強度をうることは容易であるとい

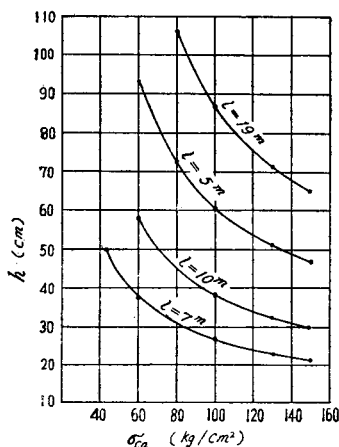
表-2 日本における長径間コンクリートアーチ橋

| 順位 | 橋 名 (位 置)          | 年 次  | 型 式   | 最大スパン<br>(m) | ライズ (f/l)<br>(m) | 巾 員<br>(m) | 全 長<br>(m) |
|----|--------------------|------|-------|--------------|------------------|------------|------------|
| 1  | 万年橋 (東京, 多摩川)      | 1943 | 2 鉸開側 | 75.78        | 10.55 (1/7.2)    | 5.5        | 89.1       |
| 2  | 大牧橋 (岐阜, 左川)       | 1939 | 3 鉸開側 | 74           | 7.4 (1/10.1)     | 4.5        | 75.4       |
| 3  | 坂戸橋 (長野, 天龍川)      | 1933 | 無鉸開側  | 70           | 11.7 (1/6)       | 5.5        | 77.86      |
| 4  | 笹津橋 (富山, 神通川)      | 1941 | 〃     | 64.5         | 11.5 (1/5.6)     | 6          | 80         |
| 5  | 第 2 只見川橋 (中部, 鉄道橋) | —    | 無鉸充側  | 60           | 10.06 (1/6)      | 4          | —          |
| 6  | 明鏡橋 (山形, 最上川)      | 1938 | 無鉸開側  | 54           | 12.5 (1/4.3)     | 5.5        | 74.28      |
| 7  | 臥龍橋 (山形, 寒河江川)     | 1937 | 〃     | 53           | 6.625 (1/8)      | 5.5        | 53.04      |
| 8  | 祝橋 (山梨, 日川)        | 1940 | 〃     | 51.5         | 10.3 (1/5)       | 6          | 58.6       |
| 9  | 氷川大橋 (東京, 日原川)     | 1933 | 〃     | 50           | 12.5 (1/4)       | 6.3        | 83.9       |
| 10 | 姑射橋 (長野)           | 1931 | 〃     | 47           | 9.4 (1/5)        | 5.5        | 68.6       |
| 戦後 | 千歳橋 (群馬, 利根郡)      | 1949 | 〃     | 45           | 〃                | 5.5        | 75         |

つてよい。しかし実際に用いる許容曲げ圧縮強度のほとんどがいまなお  $50 \text{ kg/cm}^2$  以下とされているようである。このような低調は従来の現場コンクリートに対する不信から生じたものであるとはいえ、1日も早く改善されなければならない。橋のような高級の鉄筋コンクリート構造物においてコンクリート強度の増大が、断面の節約、死荷重の軽減にいかに関与するかは、簡単なスラブ橋についての図-1によつても明らかである。

許容曲げ圧縮応力度の増大にともなつて、ずれ応力度の許容値も増大してよいが、この場合アメリカの示方書のように正比例的な増加とするのには異論はあるとしても、ドイツ系のように例えば  $\sigma_{ca}=60, 80, 100, 130$  に対し、それぞれ  $\tau_a=6, 8, 9, 10$  及び  $\tau_{amax}=14, 16, 18, 20 \text{ kg/cm}^2$  の程度に増加しう

図-1 荷重：第1種



るものと思われる。わが国でもすでにプレキャストおよびプレストレストコンクリートでは  $\sigma_{ca}=100\sim 150 \text{ kg/cm}^2$  を用いており、今後は一般的にも高強度コンクリートの使用が増加するものとみられるので、現行示方書の改訂が急務であると考えられる。

② 鉄筋 鉄筋の許容引張応力度は、コンクリート示方書では  $1200 \text{ kg/cm}^2$ 、鋼橋示方書では  $1300 \text{ kg/cm}^2$  と異なっているが、今日の日本のSS 41級の丸鋼は一流工場の製品であれば降伏点強度の実験は  $2800$  以上でありこれを指定して購入しうるから、ドイツのBetonstahl Iに準じて  $\sigma_{sa}=1400$  となし得よう。またさらにSS 50級丸鋼は富士製鉄室蘭工場の製品についての実験によると降伏点は  $3800\sim 3900$ 、伸び  $36\%$  であるからBetonstahl IIに準じて  $\sigma_{sa}=1800$  となしうべく、最近日本鋼管よりも同種のものがNK-HITENとして市販に供されるようになったので今後は大いに使用されるものと思われる。また戦時中に一時生産された高付着強度の異形丸鋼も使われてよいと考える。

次に継手の数を減らすためには長大丸鋼の生産が望

ましいが、いままでの記録は十勝大橋で使用した  $\phi 44-25 \text{ m}$  である。また継手の工法としては、効率  $100\%$  以上でしかも継手部があまり太くならずできるだけ場所をとらないものがよいが、これには矢管鍛接法、ガス圧接法などがあり、なお今後の研究が望まれる。

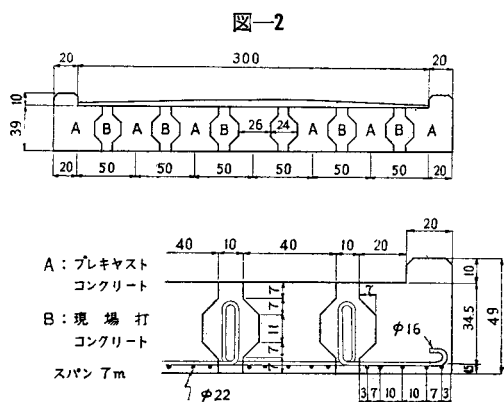
## 5. 設 計

現在コンクリート橋の設計には、コンクリートと鋼道路橋の両示方書をそれぞれ関係事項につき準用することになっているが、これらは早晚改訂の必要に迫られており、またコンクリート橋それ自身として特別に考慮すべき事項も多いので単独の示方書の制定が望ましい。設計理論において今日問題となつている事項は相当多いが、そのうちでも破壊曲げモーメントについては、従来の弾性理論による抵抗モーメントでは実際の値よりあまり過小に失するので、コンクリートの塑性理論によつて是正した算式を用いようとする気運が欧米各国に生じている。日本においてもこれについて算式を統一するための努力が必要と思われる。一般に破壊モーメントは  $M_b = \alpha j k b d^2 \sigma_{cb}$  で表わされる。アメリカ系はコンクリート圧縮応力の分布を矩形として  $\alpha=1, j=1-0.5k$  とし、さらに鉄筋も破壊強強度  $\sigma_{sb}$  まで有効に使えるとして  $k = \rho \sigma_{cb} / \sigma_{sb}$  としているがこれには多少の疑問があるので、もしドイツ系のごとく分布を矩形とパラボラの合成と考えると  $\alpha=0.8\sim 0.9, j=1-(0.4\sim 0.45)k, k = \alpha \rho \sigma_{cb} / \sigma_s, \sigma_s = \sigma_{sy} \sim \sigma_{sb}$  となるわけである。

また変形及び不静定力の計算に用いる弾性係数  $n=10$  という従来の値も、コンクリート強度の増加にともなつて例えば  $\sigma_{ca}=180\sim 420$  に対し  $n=10\sim 5$  のごとく変化させるべきで、これについてわが国でも多くの実験結果により定説をたてることが望まれる。

## 6. プレキャストコンクリート橋

コンクリート橋の橋体の大部分を適当数に分割してあらかじめヤードで製作しておき、これをクレーントラック、トレーラーその他で運搬し、据え付けてから少量の現場打ちコンクリートで連結するいわゆるプレキャストコンクリート工法は、欧米でも戦前より行われたが戦後とくに盛んになりつつあり、わが国でも北海道ですでに  $20$  橋余の実例を見ている。広い意味ではプレストレストコンクリートもこれに属するが、ここでは除外することにする。この工法によれば支保工の不要、施工の迅速、コンクリート品質の管理の容易という利点がある。今までの応用例はスパン  $10 \text{ m}$  以内のスラブ橋で図-2のごときもので、1本のプレキャスト桁の重量は  $2\sim 4 \text{ t}$  以内としている。もしクレーンの能力が  $8 \text{ t}$  までを許容すれば、このスラブ橋でスパン



20 m まで応用しうべく、さらに高能力のクレーンを使用するかまたは架設方法を適当に考慮すれば、T形桁として 30~40 m までの中スパンの施工が可能である。T形桁とすればコンクリート断面を経済的に決定できるが、スラブより桁高が増加するので 1 本のプレキャスト材の重量は大となる。この工法においては、各プレキャスト材間の横断方向の連絡を適当にして、この方向の活荷重の分布をよくしなければならぬ。またプレキャスト桁の重量をできるだけ小さくすることが有利であり、そのためには高強度のコンクリート及び鋼を使用することが望ましいのである。

### 7. プレストレスト コンクリート橋

高強度鋼の鉄筋を使用してこれにあらかじめ引張応力を与えることにより、コンクリートに圧縮応力を生じさせ、その後の荷重によつて生ずる応力と相殺させて、コンクリート内に引張応力が生じないかまたは許容値以内にとどめるようにする プレストレスト コンクリート工法を橋に応用した実例は、ドイツ、フランスなどで約 20 年前から見られ、すでにスパン 69 m のゲルバー Aue 橋（ドイツ、1937）がデシェンガー方式で架設されたほどであるが、広く普及されはじめたのは欧米でも戦後のことである。これらの諸国では、

プレストレスト鉄筋として  $\phi 2 \sim 5$  のピアノ線（強度  $15 \sim 23 \text{ t/cm}^2$ ）または St 90~165（強度  $9 \sim 16.5 \text{ t/cm}^2$ ）級鋼の丸鋼  $\phi 26$  ぐらいを使用するものがあり、またそのアンカーの方法にもフレシネ式、マグネル式、デビダッグ式、デシェンガー式など各種の特許が行われている。わが国でも戦後この工法が漸次発展してきたが、もつぱらピアノ線を用いるフレシネ式が行われている。日本ではプレストレスト コンクリートの原理について総括的な特許が 1932 年フレシネーに与えられており、戦後はじめてその実用化が行われるに至つたわけである。そして現在は極東鋼弦コンクリート振興会社がその総代理店となつており、実際施工にはピースコンクリート K.K.（東京）、日本ピースコンクリート K.K.（敦賀）、オリエンタルコンクリート K.K. 及びその他が当つている。

わが国で施工されたプレストレスト コンクリート橋は表—3のごとく 140 橋で、このほかに調査洩れを合わせると 160 余橋に達するものと思われる。そのうち約 100 橋はピースコンクリート K.K.、30 橋はオリエンタルコンクリート K.K.、20 橋は日本ピースコンクリート K.K. が施工したものである。表—3には各年度の施工橋数をスパン区分に分けて示してあるので、これによりその発達の状況を知ることができ、プレストレストの方法に、コンクリートの硬化前にピアノ線を緊張しておくプレテンション式と、硬化後に緊張するポストテンション式とがあり、橋のように比較的大寸法のものにはポストテンション式が有利

表—3

| スパン区分 | ~10 m  | ~15 m  | ~20 m | ~25 m | ~30 m | 計       |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|---------|
| 1951  | 1      |        |       |       |       | 1       |
| 1952  | 3      | 1      |       |       |       | 4       |
| 1953  | 57(3)  | 21(2)  | 1(1)  |       |       | 79(6)   |
| 1954  | 26(11) | 16(11) | 8(8)  | 3(3)  | 3(3)  | 56(36)  |
| 計     | 87(14) | 38(13) | 9(9)  | 3(3)  | 3(3)  | 140(92) |

表—4 プレストレスト コンクリート橋スパン長記録表

| 年次   | 橋名(位置)           | スパン<br>m | 巾員<br>m | 桁高<br>cm | 桁巾 cm |    | ピアノ線                     | 方式  | 施工会社名  |
|------|------------------|----------|---------|----------|-------|----|--------------------------|-----|--------|
|      |                  |          |         |          | 上     | 下  |                          |     |        |
| 1951 | 長生橋(石川, 七尾)      | 3.4      | 6       | 20       | 10    | 20 | 13 $\phi$ 2.9            | プレ  | ピース    |
| 1952 | 万葉橋(神奈川, 湯河原)    | 12.0     | 4       | 40       | 23    | 33 | 13 $\times$ 4 $\phi$ 2.9 | 〃   | 〃      |
| 1953 | 赤城見橋(埼玉, 岡部)     | 14.3     | 9       | 75       | 95    | 30 | 5 $\times$ 12 $\phi$ 5   | ポスト | 〃      |
|      | 石徹白橋(福井, 石徹白川)   | 19.6     | 4.5     | 95       | 100   | 30 | 6 $\times$ 12 $\phi$ 5   | 〃   | 日本ピース  |
| 1954 | 横谷橋(福井, 耳川)      | 19.6     | 4.5     | 95       | 100   | 30 | 6 $\times$ 12 $\phi$ 5   | 〃   | 〃      |
|      | 銚子口橋(石川, 旭川村)    | 24.2     | 5.5     | 110      | 110   | 30 | 8 $\times$ 12 $\phi$ 5   | 〃   | ピース    |
|      | 遠山川 4 号橋(長野, 林鉄) | 29.3     | 3       | 125      | 95    | 40 | 10 $\times$ 12 $\phi$ 5  | 〃   | オリエンタル |
|      | 熊山橋(岡山, 熊山)      | 29.4     | 4.5     | 140      | 115   | 40 | 10 $\times$ 10 $\phi$ 5  | 〃   | ピース    |
|      | 大戸川橋(鉄道, 信濃線)    | 30.0     |         | 130      | 91    | 70 | 23 $\times$ 12 $\phi$ 5  | 〃   | 〃      |

註 会社名はそれぞれ、ピース コンクリート K.K., 日本ピース コンクリート K.K., オリエンタル コンクリート K.K. の略

であり、とくに突桁、ゲルバー桁、連続桁ではぜひともこの方式によらなければならない。表-3の( )の内の数字はプレテンション式で施工した数を示し、残りはプレテンション式を示す。

次にスパン長の記録を年度別にしらべてみると表-4のごとくであつて、まず1951年最初のプレストレストコンクリート橋長生橋が施工された。これはスパンわずか3.4mにすぎなかつたが翌年には万葉橋の12mとなつた。これらはいずれもプレテンション式であつたが、1953年にはポストテンション式でスパン19.6mの石徹白橋が施工され、本年に入つて同じポストテンション式で29mの遠山川4号橋および熊山橋、さらに30mの大戸川鉄道橋の架設を見るに至り、

今後ますます発達する勢いとなつた。しかしこれはいずれもまだ単桁であつて、突桁、ゲルバー桁、連続桁などの型式については未だしである。ドイツでは

Ausburg 橋 突桁 8.2 + 73.6 + 8.2 m 自碇式

Ulm 橋 " 6.85 + 82.4 + 6.85 m "

Hilbronn 橋 " 95.5 m

Nibelungen橋 連続桁 101.65 + 114.2 + 104.2 m

などの例があり、しかもその架設方法も、中間の支保工を全く必要としない突桁式方法を用いて、橋台及び橋脚より左右へ数mずつ伸ばしながら架設する方法が行われている。わが国でもこのプレストレストコンクリート橋は今後ますます発展するものと思われる。