

鐵筋コンクリート橋梁に於ける 最近の進歩

※ 瀬 戸 政 章

要旨 本文は鐵筋コンクリート橋梁に於ける設計施工に於ける最近の傾向と其の進歩に就き述べたるものである。

緒 言

近時に於ける鐵筋コンクリート橋梁の發達には極めて著しいものがあり、コンクリート橋梁と云へば、拱橋、單純桁、ゲルバー桁乃至はラーメン橋位であつたものが、タイドアーチやランガー桁ローゼ桁或は、ファイレンデル橋もやるし又各種の結構 (Truss) もやると言ふ風に色々の型の橋を實施するに至つた。

然し乍ら茲に考ふべきは、單に色々な橋を架すると言ふ丈でなく、如何に設計したならば合理的たらしめ得るかと言ふ事であつて、斯る合理的な考へ方と其の設計法に依つては一層の進歩發達を期待する事が出来るのである。

大體鐵筋コンクリート橋は吊橋を除く他の殆んど型の橋梁は架設が可能であり、特に桁の様に比較的マツシブ (Massive) なものやラーメンの如き剛節構造物に於ては一層コンクリート橋は鋼橋より合理的になし得るのである。

鐵筋コンクリート橋の特長とする所は敢て喋々を要する迄もなく殆んどが現場作業 (Field Work) であるといふ事と、如何なる型のものでも造り得て如何なる應力でも自由に働かし得ることとであつて茲にコンクリート橋の限りなき將來性が豫約されてゐる。

最近に於ける獨逸、洪牙利、佛蘭西、西班牙瑞典及亞米利加等の鐵筋コンクリート橋に於ては見るべきもの極めて多く、且之等の諸國に於ける共通的な傾向は著しき機能主義 (Functionalism) である。

換言するならば不必要な裝飾や、”あくどい”仕上を廢し、力學的に當然生ずべき形を其の儘生かしてスマートな橋を架する。桁橋の如きは上下のコード (Chord) の線を強く強調する。又脚なども塗りテーパーを付けぬ又縦梁橋梁美學等で稱せられた所の、山間溪谷には美しいアーチ (拱橋) を……平坦部にはスマートの桁橋を……或は都市には上路橋を……とか言つた様な概念でなく、其の架設地點に最も適する型式を經濟的に力學的に研究し、然る後四圍の風致に一致せしめる様に工夫する。故に平坦部でも美事な拱橋もあり山間部でも水平線を強調した桁橋をかけるが、其處には一貫した著しい機能主義が現はれてゐる様である。

特に之の傾向は獨逸に著しいのであつて彼の全體主義的な獨逸民族の近代思想に極めて符合してゐる。

簡単に言ふならば桁橋は如何にも桁橋らしく、アーチ橋はアーチ橋らしい力學的な美しさを持ち又鉸結 (Hinge) の箇所は素人が見ても判る様に明瞭にしてゐる。此の傾向は獨逸、洪牙利を中心として特に著しく大體歐羅巴を支配してゐる様である。又亞米利加、英吉利、佛蘭西といふ様なデモクラシー國家に於ても遂次橋梁に於ける自由主義は少くなりつゝあるものの如くである。英吉利の如きは重要な土地の橋梁計畫に關しては設計者の自由に委ねず、美術審議會 (Fine-Art Commission) の審査を経なければならぬ様にさへ統制を加へてゐることが報ぜられてゐる。

獨逸の國營自働車専用道路 (Reichs Autobahn) の建設は餘りも有名であるが、之の8,000軒の全延長には、770米に一橋、即ち約10,000橋を架設する必要があり、之内6,000橋が竣工してゐる様であるが、之の設計施工に當つては特筆に値すべき技術的進歩があり恰も今後の鐵筋コンクリート橋梁の將來を決定的に指示してゐるかの如くである。

§ I. 鐵筋コンクリート橋に於ける最近の情況

A. 徑間長の増大

鐵筋コンクリート橋の徑間長は最近極めて大なるものが實施されてゐる。單純桁では33.0米の公道橋が架設され、又37.0米の鐵道橋が架設されてゐる。又アーチ橋では一徑間200米の鐵道橋が既に出來て居り、450米のものが近く竣工せんとしつゝある。又ゲルパー桁橋では71.8米のものがあつた。更に Dr. Dischinger は伯林の第2回橋梁及建造物國際大會に於て拱橋は一徑間で、1,000米のもの迄可能であることを述べ其の詳細なる説明を與へてゐる。

又コンクリートに初應力 (Initial Stress) を與へることに依り長大徑間の橋を計畫することが可能であることは從來研究討議されて最近其の實例さへ見るに到つた。之の初應力を與へることに依り單純桁では70米が可能であり、單純助桁及構桁は80~100米が可能、ゲルパー桁では一徑間125米連続桁では實に150米迄が可能とされてゐる。

此等の著しい飛躍的進歩の理由はセメントの研究、コンクリート施工法の改良等に依る所あるは勿論なるも、特に鐵筋コンクリートの材料強弱學的な研究と其の合目的な工夫に據るのである。

日本に於てはゲルパー桁では北海道河西橋が徑間41米で最大、アーチは台北の明治橋の41米、第三只見川鐵橋の84米が最大である。又タイドアーチ、ランガー桁、ローゼ桁では40米乃至50米位のものである。

B. 床版橋に就いて

從來床版橋は桁橋に比して不經濟とされ一般には經濟的徑間の限度を5米位に考へられてゐた。併し茲に注意すべきことは特に立體交叉に於てであるが、床版橋は前後の取付土工が其の版の厚さが同一徑間の桁橋に比して低いといふ事から土工を非常に經濟的たらしめ得ることである又床版橋はT型橋に比して一般には鐵筋量を增加する傾向があるが、コンクリートの容積を著しく節減出来る

又死荷重の少いことから橋脚乃至は基礎工を經濟的たらしめ得ることに注目すべき必要がある。加ふるに外觀はマツシブな (Marrive) 感じを與へず極めて輕快になし得る。斯る時橋梁丈に就いての工費のみを以つて經濟不經濟を律するは誤りである。實際には床版橋は單純梁で8—10米迄はT桁橋に比して有利である。又單に橋梁自身に就いて論ずるにしても獨逸のカール、エツチ、メーヤー氏 (Karl H. Meyer) の行へる實績に就いて見るも、一等橋の幅員6.0米の10.0m 徑間に就いての床版橋とT桁橋の比較に於て、床版の方はコンクリートを型枠と含み $35R.M/m^2$ ($R.M$ はライヒマルク) T桁は之を、 $40 R.M/m^2$ としたる時前後の土工の高さが同じなる様な桁高さのT桁を設計し鐵筋を $260R.M/t$ としたる時、床版橋は1米當り $205R.M$ でありT桁は $210R.M$ となつてゐる。又T桁共のものを經濟的に設計せんとすれば桁高が増し、土工費を間接的に増加することになりあらゆる。場合10.0米位までは床版橋が有利である。更に床版を橋台に固定した形を考へると兩端の負の曲げモーメントを生ぜしめることに依り著しく斷面を薄く出來て、此の時T桁より一層固定状態に近づき力學的に經濟的に有利になる。即ちラーメン橋及連續床版橋となすと著しき特長を發揮出來るのである。尙斜橋に於ては更に有利である。

アメリカに於て Leonard C. Hollister 氏が床版橋を幾多實施して上記の事柄を實證してゐる。但し連續床版橋は連續橋に絶對的である支保工と地盤の不等沈下に對し格別なる注意を要するは言を俟たざる所である。

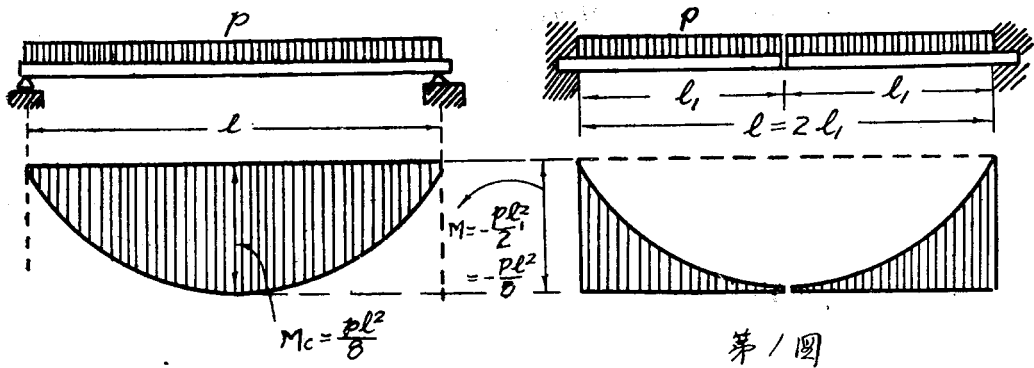
1934年即ちライヒスアウトバーン (Reichs Autobahn) の着手された翌年 Walter Presser 氏に依つて復線鐵道橋の跨線橋として徑間 23.2米の一徑間スラブラーメン橋が架設された。此れは二鉸ラーメンであつて床版の厚さは中央に於て僅かに0.70米である。主鐵筋は $9-32mm$ ϕ を用ひ、コンクリートの許容壓縮強さは $73kg/cm^2$ である。此の橋の型枠取外しの時の中央に於ける沈下は $6mm$ であつて徑間の $1/4000$ に過ぎず、18噸ローラーに因る撓度は僅かに $1mm$ であつた。之に勢を得て一徑間30米の二鉸スラブラーメン橋を實施したが之は中央斷面は厚さ $1.05m$ で足り鉸は塊コンクリートの中に保護され完全であり型枠取外の最大沈下量は $14mm$ で活荷重に因る最大撓度は $5mm$ であつた。普通の設計に因る最大徑間は30米位といふことになつたが、之に型枠の工夫を加へるとより長いものが可能である。

次に特別なるアイデア (Idea) に立脚する所の、Franz Brandeis 氏の創案を掲げる。

單純梁に W なる等分布荷重が滿載した時の曲げモーメントは中央に於けるものが $1/8wl^2$ なることは周知の通りである。今第1圖の如く此の $1/8wl^2$ に等しき曲げモーメントを生ずる片持梁を考へると $l=2l_1$ なる關係がある。片持梁 (Cantilever) は單純桁に比して次の如き材料強弱學上の合理性を有する。

- (1) 單純桁に於ては曲げモーメントの最大なる所では剪斷力は少く、剪斷力の最大なる所、即ち支點では曲げモーメントが零となる。
- (2) 片持梁では剪斷力と曲げモーメントは大體一致して増減する。従つて斷面の變化は應力の

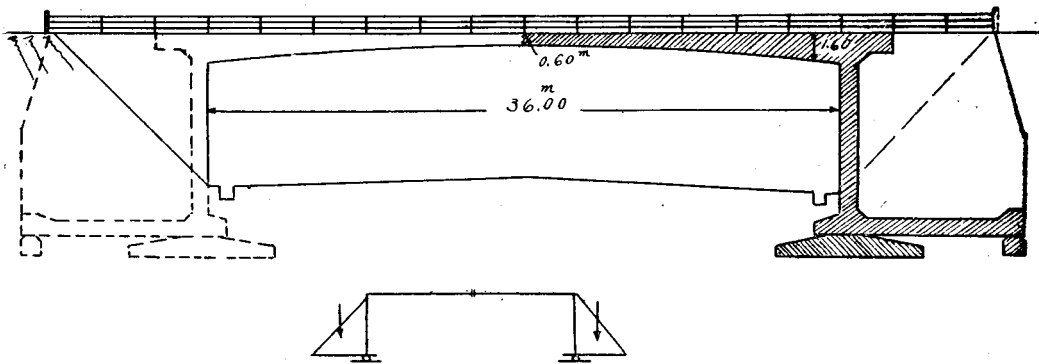
變化に大略一致せしめ得る。



第 1 圖

茲に於て片持梁を兩側から出して兩側を扶壁式擁壁の如き橋台にし此の部分の土量の自重に依り轉倒に對し對重 (Counter balance) せしめる方法が考へられる。然して片持梁は其の尖端換言するならば橋の中央は、断面は小さくて濟むが撓度が大なる缺點を有し且つ構造上の弱點となり勝ちである。Franz Brandeis 氏は片持梁が轉倒に對して1.5の安全率を有するに到る迄其の腕長を増加し、而も上記缺點を補ふ爲めに其の先端を連結して一體のフレーム (Frame Work) たらしめ之を二鉸ラーメンに變へることに着想した。(第 2 圖参照)

床版二鉸ラーメン橋



(第 2 圖)

此の考へ方は錦帯橋の構築の方法に似てゐるが、斯くて18.0mの突桁に依つて徑間を36.0mになし得た。

中央で連絡された二鉸ラーメンの計算には變断面の影響を加味すると、大なる断面の處には大なる曲げモーメントを生ずる事が明瞭に表はれ結果として中央断面には微小なる正の曲げモーメントを生ずるに過ぎなくなる。

變断面不靜定構造の計算方法に就いては後述するが、二鉸ラーメンの不靜定力Hは

$$H = \frac{\int \frac{H_0}{EI} y ds}{\int \frac{1}{EI} y^2 ds} = \frac{\sum M_0 w y}{\sum w y^2},$$

w = 彈性荷重

で求められる。

斯くして徑間中央の曲げモーメントは端部の負曲げモーメント $320t \cdot m$ に對して僅かに $M_c = 39t \cdot m$ となし得た。活荷重は $24ton$ 輻壓機と群集荷重で鐵筋の許容應力、コンクリートの許容應力及附着應力を夫々、 $\sigma_s = 1200kg/cm^2$ 、 $\sigma_c = 75kg/cm^2$ 、 $\sigma^l = 6kg/cm^2$ として中央斷面は僅かに $0.60m$ で足りた。端部は $1.60m$ の厚さを要したが、極めてスマートな橋梁となし得たのである。之に要した鐵筋量は、 $140kg/m^2$ で基礎を含み $250kg/m^2$ に過ぎず、コンクリートの量も上部 $0.8m^3/m^2$ で全體では $2.06m^3/m^2$ で、之を普通床版の鐵筋量 $377kg/m^2$ 、及コンクリート量 $161m^3/m^2$ に比較して極めて經濟的となつた。

斯くしてスラブ橋は上記概念に基き $40m$ — $50m$ の徑間のものが實際的に可能となすことが出来る。之を立體交叉、特に高速度自働車道及鐵道の夫れに就いて、考へるならば、更に驚くべき利益となる。

即ち復線鐵道の乗越鐵道の取付勾配 $1/150$ なる時、 $6m$ の交叉建築限界を半分切下げ半分盛土するとせる時、桁高の $2cm$ の減小は土工を $155m^3$ と基礎碎石 $1m^3$ の減小となるが、桁高の $1.0m$ の低下は一立體交叉建設費の 50% を節約出来るのである。又獨逸の例を見ても $21.0m$ のアウトバーン（自働車専用道路）の交互立體交叉に於て其の取付勾配が $1/40$ としたる時、橋梁の桁高を $1m$ 減小する事に因る建設費は 40% 利益として表はれてゐる。

之は特筆すべき事項であつて獨逸の橋梁が極めて桁高が小でスマートな理由は斯る根據より出發せるものであつて、以下の本文に於けるあらゆる設計法及び施工法も其處に歸納されてゐるのである。

C. 單純桁に就いて

緒言に掲げたる單純桁の徑間長の増大に就き以下詳述する。

元來コンクリートは其の凝結に際して收縮するは周知の通りである。鐵筋コンクリートに於てはコンクリートが收縮を開始する同時に鐵筋の周邊の附着力を媒介として鐵筋が壓縮を受けるのである。又之の凝結時の鐵筋の受ける壓縮はコンクリートの塑性に基因するクリーピング (Cree ping) に依り更に多くなる。

今假りにコンクリートの收縮率を $\epsilon = 0.0006$ とし、鐵の彈性係数を $E_s = 2.1 \times 10^3$ としコンクリートとの彈性比を $n = E_s/E_c = 10$ としたる時、鐵筋比 1% の鐵筋コンクリート部材に於ける鐵筋の壓縮とコンクリートの引張應力を計算すると、

$$\sigma_s = \frac{E_s \cdot \epsilon}{1 + n p} = \frac{2.1 \times 10^3 \times 0.0006}{1 + 10 \times 0.01} = 1150kg/cm^2$$

即ち鐵筋は $1150\text{kg}/\text{cm}^2$ の壓縮を受け、之に對して平衡するコンクリートの引張力は其の斷面積を 100cm^2 とせば、

$$A_i = 100 + 1 \times n = 110\text{cm}^2$$

なるに依り

$$\sigma_c^1 = \frac{1150}{110} = 10.5\text{kg}/\text{cm}^2$$

となる。

吾人はコンクリートの柱などに荷重をかけぬ前に小さきヘアークラック (Haircrack) を見受けることがあるが、概ね之に歸因してゐるのである。

茲に於て凝結開始當時鐵筋に相當の引張力を與へて置き豫めコンクリートを壓縮し置く事に考を及ぼす事が出来る。前述の如く第2回橋梁構造物國際大會(1937—7)には Freyinet 及 Dischinger 氏に依つて、之の初應力を興へる鐵筋コンクリートの理論と實際に付き革命的意見が提案され大いに論議された。

斯くて其の實例は彼の有名な Dr. Gehler 氏に依つてなされ獨逸のアウトバーンに 33.0m の單純桁が架設されたが、其の桁高は僅かに 1.50m に過ぎない。

之は次の方法に依つた。

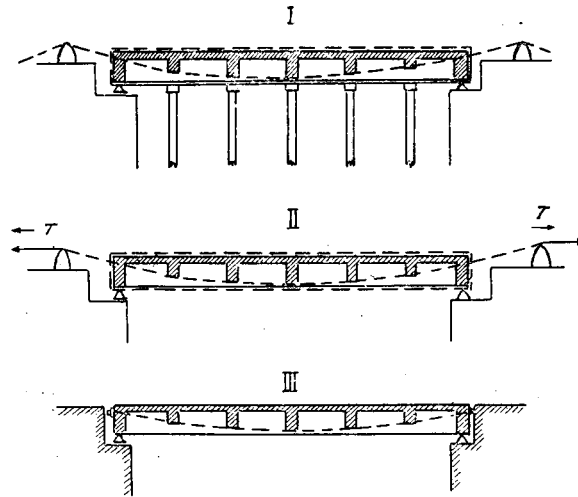
コンクリート桁は鐵製の型枠の中に製作され、型枠はボルトに依つて礎着塊に接続して置いた然してボルトを緊めて型枠に 80ton の壓力を加へる事に依つて、鐵筋は $5500\text{kg}/\text{cm}^2$ の張力を受けた。此の鐵筋は 高強度の マンガ鋼であつて 肋筋も同様に $3000\sim 4000\text{kg}/\text{cm}^2$ の引張を興へた。斯くすることに依りコンクリートは $194\text{kg}/\text{cm}^2$ の壓縮を受けることになるが、實際は凝結中の收縮及其の塑性で鐵筋は $4000\text{kg}/\text{cm}^2$ の引張を、コンクリートは $70\text{kg}/\text{cm}^2$ の壓縮を受ける結果になつた。死荷重に因るコンクリートの纖維引張應力は $50\text{kg}/\text{cm}^2$ である爲め、凝結完了の桁は尙 $20\text{kg}/\text{cm}^2$ の壓縮を引張側で保ち得た。肋筋も引張力を興へた爲め斜張力を斜壓力に變換出來活荷重に因つても實に微小なる斜張力しか生じなかつた。斯くて I 斷面の桁高 1.5m の 33.0 の徑間の單純桁が不安なしに實施された。斯くして死荷重の影響を尠くなし得、一面には築堤高を極度に減じ得て其の外観も頗るスマートなものとなし得た。

之の凝結中の鐵筋コンクリートに於て、鐵筋及コンクリートに初應力を與へるには、コンクリートの變形率に關する材料學的な研討を要することと、相當な引張を興へないとコンクリートの收縮及塑性變形に因り餘り期待する好結果擧げ得ないのであつて、之に關しては、1938年の Schweig Bauzeitung に Albert Senn 氏の詳細なる論文がある。

又略々同一の考へであるが、次に述べる方法は、獨逸の Dyckerhoff u. Widmann 會社の特許あつて、古桁を補強する方法に似た施工方法である。

第3圖に示す如く第一には丸鋼の束を床桁の下に搖承を経てリンク型に排列して、支保工型枠を組みコンクリートを打つのである。コンクリートが凝結を開始して3時間後に、水壓ジャツキに

長径間単純桁架設法



第 3 圖

依つて丸鋼の束を引張る。然して支保工を取外して桁全部を丸鋼の引張力にて支へるのである。斯くして桁の両端の箇所にて丸鋼を切断し支承上の床桁に丸鋼を礎着せしめる。斯くする事に依り丸鋼に生じた伸びは回復せんとしてコンクリート桁の軸方向に強い壓縮を與へる。斯る状態に於て凝結を終了した桁は其の引張側に壓縮を受け且つ丸鋼のケーブルに依つて床版は全部支へられ上部床版は床桁を支承とする連続床版となるに過ぎない。即ち死荷重に因る桁の應力は極めて微小で、極言するならば桁は死荷重丈では桁の作用をせずケーブルに依つて支へられる。活荷重が載つた時始めて、桁は Beam Action (桁作用) を開始することになる。

従つて桁の下側の引張鐵筋は、活荷重に對するもののみで足りる事になつた。Dyckerhoff u. Widmann 會社は之の方法に依つて 34.70m の單純桁 (桁高 1.80m) を計畫し、長径間のトラスを施工した。

此の補強桁式の鐵筋コンクリート施工法は益々發達し遂に一徑間 70.0m の單純桁の架設を可能ならしめ、鐵筋コンクリート桁設計施工法に於ける近時の特筆大書すべき新方法である。

次に 1934 年佛蘭西のブツシロン技師の設計に成る 37.0m の單純桁鐵筋コンクリート鐵道橋に就き若干述べて見よう。

Bou-Roumi 河に架せられた此の橋は上記の初應力を考慮したコンクリート橋を除き現存の世界最長の單純桁である。之れは死荷重を減ずる爲めに I 断面を取り上下突縁を突出せしめ薄い腹版を有する。荷重は 6 輪機關車で軸荷重は 20 噸、等布荷重に換算すると全部で 320 噸となる。最大曲げモーメントは實に 2740 t.m で活荷重の影響は 30% であつた。引張突縁には 26mm 筋を 3 本宛束にして用ひ、附着力を減ぜぬ様に空氣壓縮機に依るパイプレーターを用ひて搗固を施した。3—26mm φ の鐵筋は 1—44mm φ の鐵筋と斷面積は等しいが、周邊は其の 1.7 倍となり、少々附着が悪くとも 1—44mm

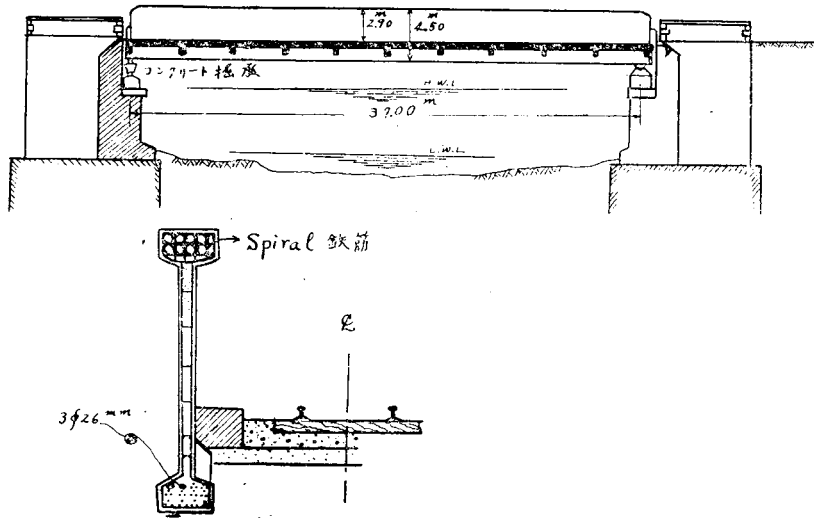
中筋よりも有効であつた。フランスの土木學會では搦固めを規定したる時は鐵筋を束にすることに對して自由である如く仕方書に定められてゐる。

尙本橋は下路橋である爲めに突縁の挫屈に對しては螺旋鐵筋を用ひた。

又支承は特に注意して堅固な橋台に鐵筋コンクリーの鉸支承及搖承を用ひた。

第 4 圖は其の概略を示すものである。

フランス ブウ・ルウミ河 (Bou-Roumi) 鉄橋
下路單桁 支間 37.0m (世界最長、單桁橋)



C. ゲルバー桁

ゲルバー桁は Gelber 氏の考究に依るものであつて現時長徑間の桁橋中最も多き型式である。

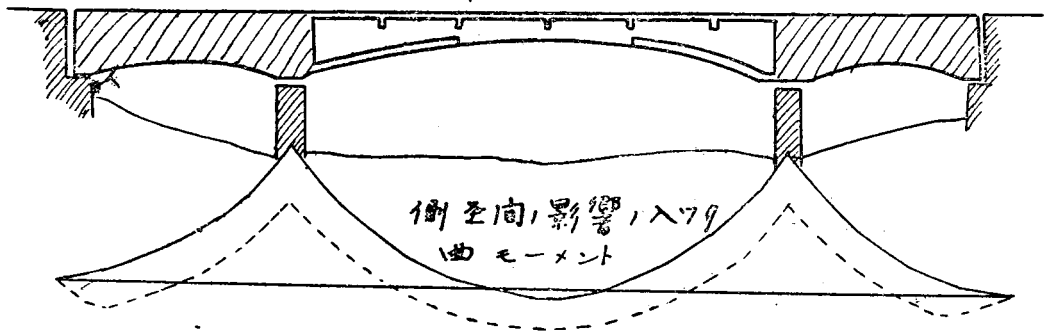
此等の中代表的なコンクリートゲルバー橋は、1923年に Dillingen に架せられたドナウ橋 (Donau Briicge) で、5 徑間の中、中央 3 徑間が 36.8m 左右徑間が 24.8m といふものが先づ大なる方であつた其の翌年 1924 年に Landsberg に架設された War he 橋は、32m 1927 年に Thal'ingeu に架せられた Donau 橋が 33.8m、次いで Grossmehring に架せられた Douau 橋は實に 61.50m で左右のアンカー、スパンは 42.0m のものである。

此の Grossmehring の Donau 橋は最近迄に於ける世界最長のゲルバー橋である、其の吊桁は 24.0m で桁高は 2.7m、支點の最大負曲げモーメントの生ずる處の斷面は腹部厚 1.30m 桁高 5.50m といふ龐大なもので、此處には 45mm 鐵筋 51 本を四段に排列してゐる。

日本に於ては東京府多摩川河橋及福岡縣西大橋の 32m があり又、北海道の河西橋の 41.0m が近く竣工する。此の河西橋に就いては今年の土木講習會に於て、筆者の友人横道技師に依つて報告された所であるが、東洋に於ける最長徑間で橋面積で世界第一である。

今更ゲルパー桁に就き冗言を取てする意志はないが、ゲルパーは吊桁の乗る突桁部の反力に對する斜張應力と其の構造に細心の注意を要し、此處では支承の構造上桁の有効高が半減以下となるのであらゆる場合の弱點となる。又支承の構造、及び負の過大曲げモーメントに對する配筋等にも長大徑間に對しては充分なる注意を要する。

剛度を変へた連続桁



第5圖

D. 特別な考慮に基く橋梁

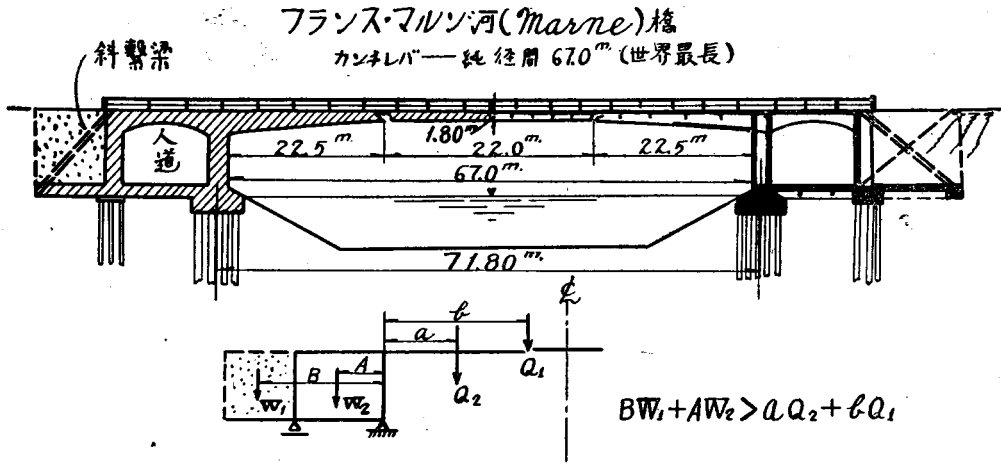
(1) 剛度を変へた連続桁

3徑間の連続桁で兩側徑間の剛度、即ち I/l を大にすると兩側へ曲げモーメントを移動せしめ得て中央徑間は小なる断面で足りる様になる。即ち破線として表はるべき曲げモーメント圖は剛度を兩側に於て大になしたる爲め、實線の夫れに變はり、中央徑間の中央断面を小となし得る。此の様な方法は路面高が押へられ、中央の桁下空間を大にする必要ある如き場合に極めて好都合である。兩側徑間の大なる断面を有する事は又一方に於て中央徑間が大なるに伴ひ橋台支點には負反力を生ずるのであるが、之に對しても對重の役目を果すことにもなる。

(2) カンチレバー橋

次に示す橋は佛蘭西のマルン河に架設されたものであつて、渡河徑間は67.0mで支間71.80mである。

其の兩岸には馬に依る曳船路を必要としてゐるので、ボックス型ラーメンを形成せしめ人道を兼ねた。兩岸は市街地であつて取付道路の高さが制限を受け、加ふるに桁下は航行する船の爲め、桁高は中央に於て1.89m 超える事が出来なかつた。尚徑0.80m 水道管を添加必要があり設計は極めて困難であつた。又航行の都合上1徑間にする必要があり、拱橋でも拱矢が $1/22$ となり不可能であつた。懸賞設計を募集した結果 Schwarty-Haumont 工務所のものが一等當選したが、第6圖の如きカンチレバー橋である。



圖の如く曳船道を形成するラーメンから22.5mの突桁を出し、中央に22.0mの單純桁を乗せた。突桁の附根は3.80mの桁高で、中央は1.80mの桁高となつた。兩側の取付部はケイソン状をなし45°の斜繫梁を以つて、其の箱型の中に填充した砂を支へ對重 (Counter balace) せしめた。橋全體は靜定構造 (Statically Determinate Structure) である。バイプレターを用ひて許容壓縮應力 07 kg/cm² のコンクリートを施工し、鐵筋は4200kg/cm² の許容應力を有する高強度のものを用ひ最大 50mmφの38.5mの長さのものを用ひた。接続は銲接をなし抗張鐵筋を中立軸との間の異常張力を補強筋で防いだ。橋台は1.30m×7.5mの鐵筋コンクリート版上に乗り13.0~17.0mの鐵筋コンクリート杭で支へた。本橋は1938年に竣工した。

マルン橋と同様な橋がウキーン市内のドナウ運河 (Dnau Cannal) に架設されてゐる。

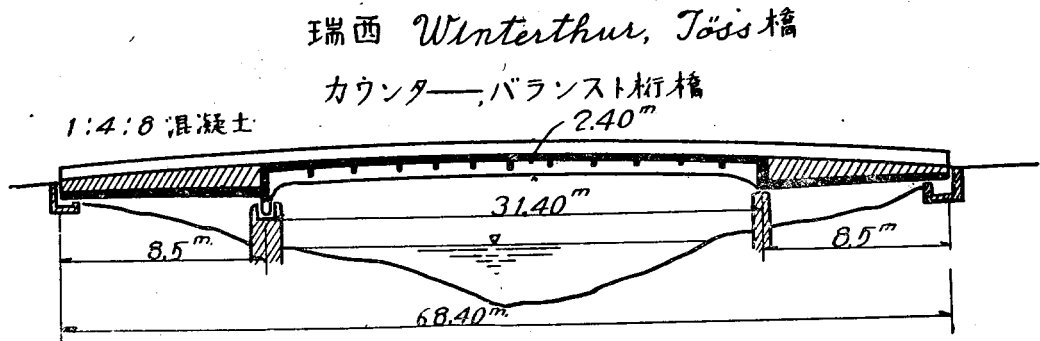
運河は幅50.0mで航行する船の都合上 35×70mの断面が必要であり兩側の岸には曳船道が必要であつた。マルン河の場合と同様に兩側は繁華街である爲めに橋面高は制限され桁高は 1.97m 以下といふ事になつた。此の橋はローテンデン橋と命名された (Routeuden Briicge) が懸賞募集が試みられ、ザリーケル及メラン博士 (Dr. Saliger u. Melan) のものが一等當選した。即ちボツクス型ラーメンより 10.0mの突桁を出し中央に 33.0mの鋼鉄桁が乗せられたが、兩側のコンクリート部は Saliger 博士の設計で中央鋼鉄桁は Melan 博士が設計した。マルン河の橋と同様にラーメンの兩陸側にはブレーションコンクリートの錘を付けて吊桁の起す負反力に抵抗せしめた。靜定構造である爲め温度及收縮に因る不都合はなく、路盤沈下にする悪影響に對しても心配なかつた。市街地なる爲め電纜、水道管、瓦斯管等の添加物を考へたが、表面に見えぬ見事な設計であつた。

又之と同様のものが矢張り1936年の懸賞募集にホルツマイスター博士 (Dr. Holymeister) の手で設計されて居るが之の時のものは中央もコンクリートの15.0m徑間で突桁部は19.10mである。桁高は中央で1.75mであつて此の設計が Routeudlen 橋や Marne 橋より早く考へられたもので筆

者の知れる範圍では Holymeister 博士が此の型の橋の考案者の如く考へられる。

(3) バラnstトビーム橋

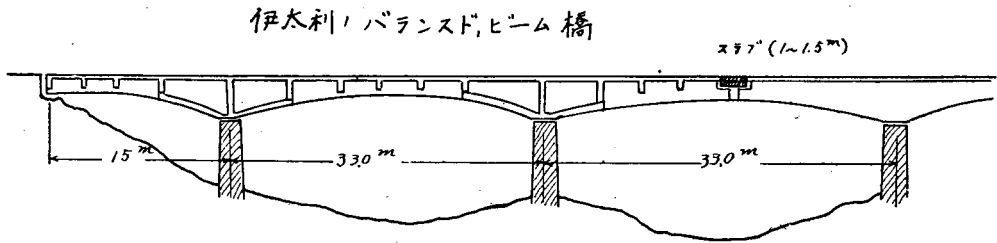
ゲルバー橋に於ける如く支點の兩側の突桁部を適當長さ迄伸ばし其の端部を自由にする、橋脚上の負の曲げモーメントを大にすることに依り中央徑間の正の曲げモーメントを著しく減小することが出来る。之を更に積極的にしたものは第7圖の如く兩側徑間に錘を附してバランスさせる方法である。



即ち瑞典のウインターツウールのテス橋は、橋長68.4mの中兩側8.5mは填充コンクリートによりバランスされ中央は曲げモーメントを著しく減小したる爲め、桁高小となり、且つ下路橋とした爲め桁下空間と路面上の制限あるに係らず合理的に設けされた。

之と同様な橋が洪牙利に在り Bega 橋と稱せられてゐるが、中央徑間31.0mで兩側が8.0mである。此に類似せる橋は極めて多い。

此のバラnst・ビーム橋と、ゲルバー橋との中間のものが伊太利に架設された。此れは第8圖に見られる如く33.0mの徑間に其の半分長さの突桁を出し、接続部に1~2mの床版を乗せてゐる。此れは側面的には全く對照的であり、突桁部が長い爲めに桁下端は扁平な拱形をなしてゐる。必ずし

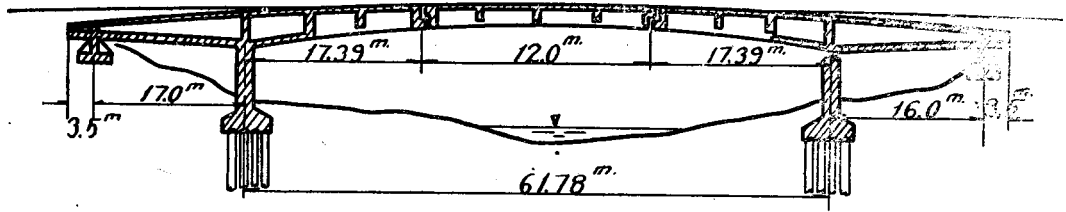


も經濟的でないかも知れぬが、ゲルバー橋の缺點である吊桁部の支點反力に因る突桁端部の弱點を補つてゐる點で研究に値すると思はれる。

次に掲げるものは1934年に獨逸の Bernburg に於ける Saal 橋である。

本橋は全くゲルバー橋に近いが兩側徑間を土中に突込んでゐる。

獨逸ベルツブルグ、ザール橋 (Saal Brücke)
カンチレバ—桁



第 9 圖

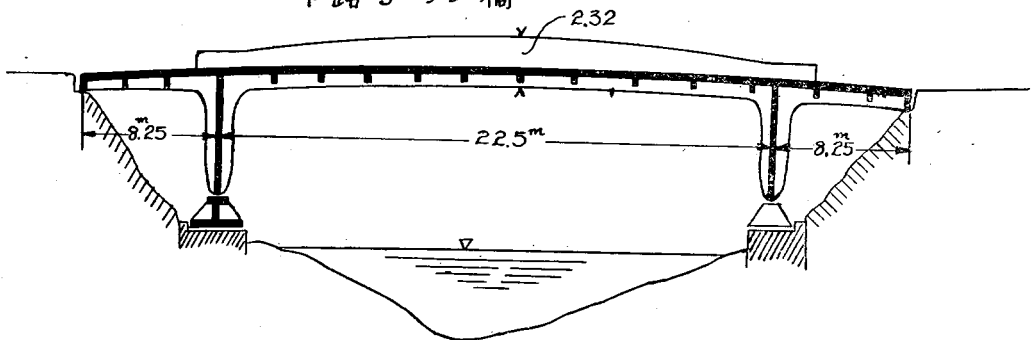
即ち第9圖に於ける如く大いさは Gross mehring のドナウ橋位である。此れは設計に數倍する荷重がかゝつても兩側に負反力を生ずることはない。橋台橋脚は岩盤に直接又は堅固なコンクリート杭に達せしめてゐる。コンクリート填充前中央徑間の撓みを考慮し豫め砂嚢を以つて豫備荷重を加へ撓みを生ぜしめて調整し填充の進行につれて破嚢を取り除いて餘分の撓みを生ぜしめなかつた。

E. ラーメン橋

(1) 下路ラーメン橋

先に述べたバランストビームの橋脚と桁とを一體にすると次の様な構造になる。即ち第10圖はフランスで可成以前に架設され Lobarthe 橋であるが、溪谷が深く鬱蒼たる森の中に白く生き出されてゐる見事な橋であり、下路橋となし中央主徑間の主桁は高欄を代用してゐる。コンクリート支承を堅固なる基礎の上に配した。

Le Pont-route de Lobarthe sur le Drot
下路ラーメン橋

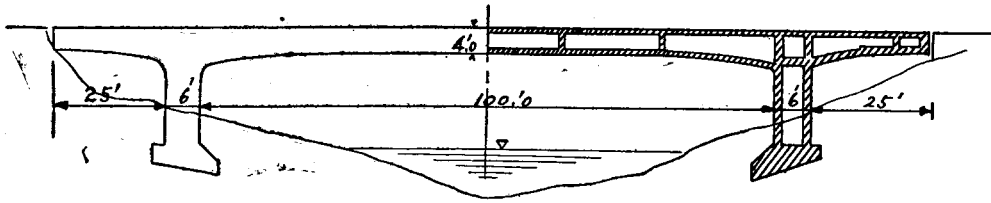


第 10 圖

(II) ボックスガーダー

第11圖に示すものはアメリカに於て最近よく架設されるもので型枠を埋殺にしたラーメン橋である。中央徑間30.0mなるに係らず中央桁高は僅かに1.20mに過ぎない。型枠を埋殺したのに關らず建設費は非常に安くなり外觀も極めて美しい。

アメリカ、イートンビル橋 (全長 182' 6", Hawaii Kauai 島=地)



第 11 圖

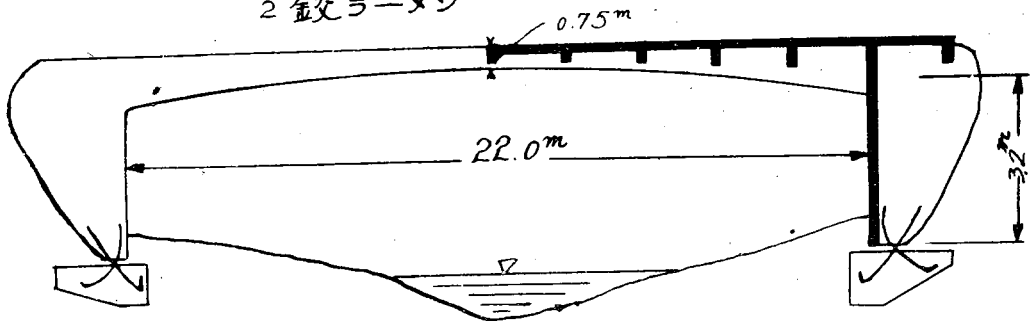
(II) 二鉸ラーメン

二鉸ラーメンは先述の通り變斷面の影響を加味し不靜定力 H を簡単に計算出来る。

又脚を短かくすると水平反力 H を増大し得るから負の曲げモーメントを大にし中央の正の曲げモーメントを輕減出来る。脚を短かくすると鉸の點に大なる水平反力を生ずるが之は背後に土の在る場合は土壓に依つて其の一部に抵抗せしめ得る。此の一例に Jokkomokk の Appo 橋が在る。

瑞典 Jokkomokk, Appo 橋

2 鉸ラーメン



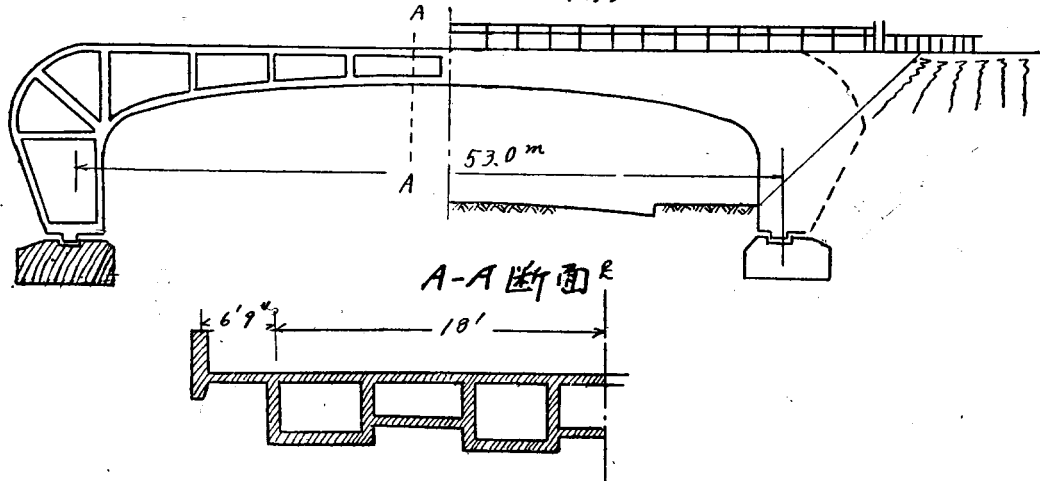
第 12 圖

二鉸ラーメンの大なるものは加奈陀ゲベツク州のボールドウキイに純徑間 22.0m の鐵道立體交叉橋があるが、更に第11圖イートンビル橋の脚を鉸にしたボックスガーダーが1938年に布哇のカウアイ島 (Kauai island) に架設された。一徑間125' (38m) で兩方に28.5' (8.5m) の突桁を出し全長 182' (55.0m) に及ぶ。中央桁高は5.3' (1.65m) である。

又アメリカのシャトル市に一徑間で53.0m の記録的なラーメン橋を1936年に架設した。當時シャトル市に在りしワシントン州道路技師クラーク・エツチ・エルドリツジ (Clark. H Eldridge) 氏の設計で公園に架設することと一般民衆の希望もあり永久に残る堂々たる橋を架けることにした。全部箱型の桁で荷重は $H=20$ で桁の型枠製作には非常に苦心し立體幾何學を應用し、ワシントン大學の學生が圖面を作製して大工に現寸圖を引かせた。

之に類似の橋梁が最近リンカン道路 (Licoln Highway) や、ワシントン州内の立體交叉橋に見られるが、加奈陀のトロント州あたりにも架設されてゐるのを最近の雑誌が報導してゐる。

シアトル市 シュミツ公園 (Seattle Schmitz Park) 橋
(在界最長ノ一空間ラーメン橋)



第 13 圖

(IV) 固定脚ラーメン橋

日本或は諸外國でも良く固定脚のラーメン橋を架設するのを見受けるが、之に於て最も大切なることは、固定脚は如何なる場合に存在し得るかを研討して置く事である。由來固定脚なることは脚が同一材料の無限大の慣性モーメントを有する部材と剛節せざる限り存在し得ない。

従つて岩盤の中へ埋込た脚とか、強固なコンクリート杭と連結したからと言つて決して固定となり得ない。即ち脚に働く垂直反力水平反力、曲げモーメントに因る廻轉が相手に些細の歪を與へる限り固定たらしめる事が不可能でもあり又脚の外力に因る内働を急激に無限大の慣性モーメントを有する部材に吸収せしめる事も不可能に近い。

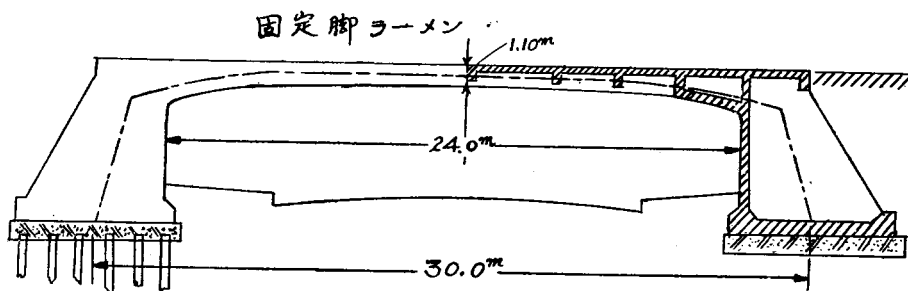
此の事を要約すれば固定脚ラーメン等といふものは一寸實在出來得ないといふ事になる。然し基礎版が柱に對して極めて大であり堅固な岩盤に埋込まれた場合とか柱が大なる基礎版に依つて直接鐵筋コンクリート、杭群に堅固に連結され相互の鐵筋が深く挿入してゐる場合、即ち基礎版の慣性モーメントが柱の夫れに比して極めて大であり且脚の垂直線に對する撓角が零に近い様な場合にのみ之を近似的に固定脚と考へても差支はないといふ程度である。筆者は特に茲で之を指摘するのは一般に凡そ固定脚とは考へられぬ構造を以つて固定脚ラーメンの設計をしてゐる場合を見受けるので注意を喚起せんとしたものであつて、此の様な場合は似而非構造となり實應力は計算とは全く縁遠いものとなつてゐる事を指摘したいである。

従つて構造上は殆んど完全に近く造られるが、脚の固定といふ事は不可能と迄極論したい。従つて固定脚ラーメンの設計の如き餘程の注意を拂はないと力學上の曖昧性を残した儘になる。固定脚の場合など脚の受ける内應力は基礎版から杭にかけて極めて微小なものに變つてゐる時のみ比較

的固定状態に近いといふ丈である。

又不静定力は部材の大なる處へ集中するといふ實に都合良い法則が存在し、桁部材の兩端部を大にすると曲げモーメントは大になる。一般に長徑間のラーメンに於ては隅角部に大なる負の曲げモーメントを生ずるので、斷面を大にするか又は下側の抗壓側にフランヂを附さねばならなくなる。斯くすると其の部分の慣性モーメントが増す爲めに一層大なる曲げモーメントが生ずることになるが、部材としての中立軸は扁平な曲線をなし理論的にはフラツアーチのラーメンとなし得、脚と短かくして斷面を大にすれば増々之の傾向を助長して、水平部材の正の曲げモーメントを減ずることが出来る。

又長徑間ラーメンでは脚の反力が大となる爲め大なる基礎版を必要とすることとなり、且水平部材の桁高を小にする目的を以つて脚の剛度を大にする事は一方に於て大なる水平剪力に對して極め



第 14 圖

て合理的となる。此の考へ方を以つて設計すれば第14圖の如くなる。

筆者は斯る考へを以つて東京市内オリンピック道路に數個の幹線街路との立體交叉橋を設計した
が不幸オリンピック中止の爲め竣功に到らなかつた。徑間30.0純徑間 24.0m の一徑間ラーメン橋の
中央桁高は1.10m で尙且相當の餘裕を持ち得、脚は扶壁式擁壁の如き形狀をなし、各フレームは土
壓に抵抗する垂直壁と基礎版に依つて完全に連結される。又桁の兩端の下側抗壓版は歩道の天井と
なり極めて都合よくなる。

筆者は之の設計を了へた後意外にも同様な型の橋を1928年頃 Dr. Melan 氏が考へており、更に
1936年に瑞西で計畫された事實を知つて奇異の感に打たれた。

(V) 變斷面不静定構造の計算

Aの床版橋及びラーメン橋 (IV) に於て述べた如く變斷面の部材より成る構造物が、部材の中大
なる斷面の方へ不静定力 (Indeterminate stress) が集中するといふ事は、一切の不静定構造に起
る特有の現象であつて、極めて常識的であるが反面には氣付かずに居る人が多いので、概略の説明
を加へる。

簡単な例を取ると、兩端固定桁に等分布荷重が載つた時、兩端の負の曲げモーメントは、

$$M = - \frac{Pl^2}{12}$$

として表はされる事は周知の通りである。然して中央の正モーメントは

$$M_c = \frac{Pl^2}{8} - \frac{Pl^2}{12} = \frac{Pl^2}{24}$$

であることも初歩の応用力學が教へて呉れる通りである。

茲で兩端の曲げモーメントが大であるからと言つて、端部に持送り（ハンチ）を附して置いて足れりとするならば大いなる誤りである。

上記曲げモーメントは一定断面の部材に於てのみ成立する値であつて、持送りを附したならば其の不靜定力は別な形を以つて現はれる。

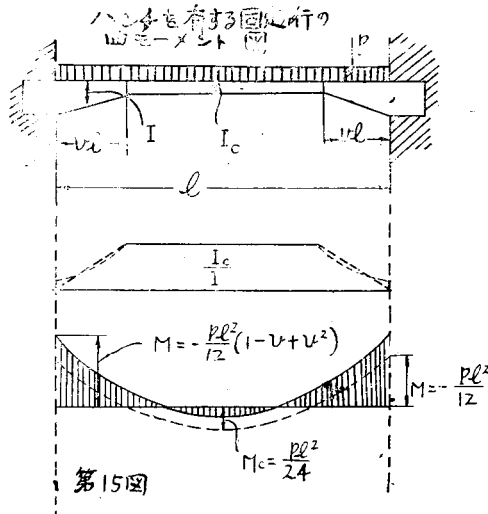
即ち断面の大なる方へ内側抵抗は移動するので持送を附したる場合曲げモーメント M_h 、 M_c は

$$M_h > -\frac{Pl^2}{12}, \text{ (固定端)}$$

$$\therefore M_c < \frac{Pl^2}{24}, \text{ (桁中央)}$$

となる。従つて持送りを附したからと言つて必ずしも安全でなくなるのである。

今固定桁の慣性モーメントが中央附邊で I_c とし、持送附邊では I とせる時、持送りの慣性モーメントが直線的變化をなすとして、之を假想働の原理で正確に解くと、持送の長さ Vl なる時は第 15 圖の示す如く、 $M_h = M \cdot \lambda$ となり $\lambda = (1 + V - V^2)$ なる係數を持つて来る。



第 15 圖

従つて $V=0.2$ なる時は、負の曲げモーメントは、

$$\begin{aligned} M_h &= -\frac{Pl^2}{12} (1 + 0.2 - 0.2^2) \\ &= -\frac{Pl^2}{12} \times 1.16 \end{aligned}$$

となり等断面の場合より 16% 大となる。従つて持送りが $0.5l$ に及ぶ時は 25% 誤差を生ずる。是れは断面を大にした爲めに外力に因る影響を大にした結果となり、複雑な構造物では之の變断面の影響を考慮せねば、幾ら微密な計算をやつても意味がないといふ事になる。之の計算は複雑な構造物で嚴密解を行ふことは極めて困難であるか、二鉸ラーメンの如きは簡単に圖式的に

すら求められる。之れに關しても二鉸ラーメンは固定脚ラーメンよりは遙かに合目的性を有する。

又曲げモーメントが變断面に依つて變れば當然剪力に就いても同様なことが言へるので、之等のことは注意すべき事柄である。

變断面部材よりなる不靜定構造物の正確解に就いては獨逸のクラインローゲル博士 (Dr. K. Leinlogel)、メーヤー博士 (Dr. Meyer) 及びマン氏 (Mr. Mann) の説もあり、日本ではラーメンに

就いては三浦耀博士の論文（剛節構材に於ける變二次率に就いて、昭和 4 年 3 月、建築學會法）等があるが、複雑なものに対しては莫大な努力と時間を要する。

1937 年諾威工科大学の Jakobsen 氏は比較的明快な所論を發表した。此れは亞米利加イリノイ大學 (Illinois University) のクロス氏 (Mr. Hardy Cross) のモーメント配分法 (Moment Distribution Method) に依つて、變斷面の兩端固定、一端鉸結他端固定の各桁の曲げモーメントを配分法で處理する方法である。あらゆる荷重に對する變斷面桁の計算を假想働の原理で算出し置き之をクロス氏法に適用する方法であつて、筆者の知れる限りに於て最も合理的、進歩的な方法である。之に關しては筆者は他日詳論すべき意志を有してゐる。

E. 拱橋及其他

(I) 拱橋

鐵筋コンクリート拱橋は鐵筋コンクリート橋の中で最も多き種類の一つであり、又最も長徑間に適するは言を俟たない。

佛蘭西では 10 年前に即ち、1928~1930 年に、エロン河 (Elorn Rivier) に 184.0m 三連の開側拱橋が架設されてゐる。又 1938 年には西班牙の Zamor-La Caruna 間の鐵道橋として中央徑間 200.0m 全長 600.0m の拱橋が竣工した。一つの溪谷を橋で渡り現存の記録的な橋となつた。200.0m の拱の架設には 160.0m の木造拱を作り吊出しケーブルエレクションを採用した。

又フランスの La Roche-Guyon に於けるセーヌ河 (Seine Rivier) には 161.0m 徑間の下路橋が架けられてゐる。又 Dr. Dischinger 氏は 1000.0m の拱迄は可能なる旨を述べてゐるが、吾人顧みて寂寥を感じる次第である。

(II) 其の他の橋

コンクリート橋で、タイドアーチは從來多く架けられたか、更に色々な橋が考へられる。

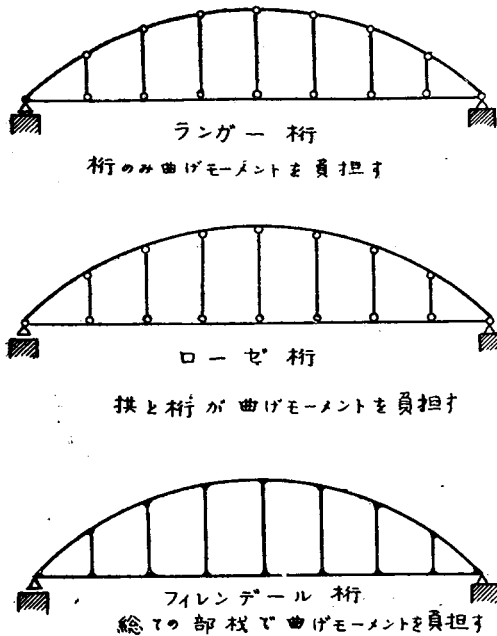
タイドアーチは拱が凡て彎曲に抵抗する爲め、斷面が大となりマツシブ過ぎる感が與へられる。之をランガー桁となせば拱は補強材としての鐔 (リンク) であり、之が桁を吊材で吊つてゐる爲め桁は曲げモーメントに堪へるから大となるが、拱は細くて橋全體がスマートになる。

拱鐔と吊材との連結はランガー桁では理論上滑節 (鉸結) であるが之の鉸結構造が困難となるので、拱を一本の曲部材に代へたのが、ローゼ桁である。従つてローゼ桁は拱と桁とで曲げモーメントを分割負擔することになる。

ローゼ桁の拱の先端と桁との鉸結を剛結に變へたものを中島武工學士創案の變形ローゼ桁と稱してゐる。

又之等のローゼ桁の一切の鉸結箇所、即ち滑節を除きたるものをファイレンデル橋と名付ける。

ランガー、ローゼ、及びファイレンデル桁は近時他の結構と共に各國で實施されつゝあるが、凡ての下路橋桁の有する防空上の不利を有してゐるので、桁橋又は他の上路橋に比し今後餘り普及を見られぬかも知れぬ。



第 16 圖

1:2:0.9とし $1m^3$ のコンクリートにセメント $550kg$ 乃至 $600kg$ を使用した例もある。従来瀝青質舗装では配合が極めて嚴重に行はれてゐるが、セメントコンクリートでも、粗粒式コンクリートから細粒式コンクリートに向ひつゝある。

但し富配合コンクリートに於て考慮すべきは、收縮の少ないセメントを使用すべき事である。

B. 搗固め方法及コンクリートの強度に就いて

近時コンクリートの搗固めにバイブレーター (Vibrator) を使用してゐるが、之にも内部に衝撃を加へるインターナルバイブレーター (Internal Vibrator)、外部から加へるエキスターナルバイブレーター (External Vibrator) 又はサーフェースバイブレーター (Surface Vibrator) があるが、一般には前者の方が良結果を齎らしてゐる。又バイブレーター使用に際して重大なことは、水セメントが適當に小でなくてはならぬ事であり又衝撃時間にも充分なる注意を要する。

又水セメント比は稠度とウオーカビリティー (Workability) を害さぬ程度に於ては水の量とコンクリート強度が反比例するといふのがエブラムス教授の説であつて、コンクリートの量及形状は従つて出来上りの水セメント比が一定なる爲めには混合時の水量を加減する必要があるといふ事を特に記憶すべきである。

骨材も品質粗度に関しては充分なる調査が必要であり特に碎石を使用する場合は一應靱性、硬度を試験すべき必要がある。

歐米 就中獨逸では 1 ヶ月の強度が普通セメントでは $350kg/cm^2$ 、高級セメントでは $500\sim 650$

§ II. 鐵筋コンクリート橋施工上の最近の進歩

A. セメントコンクリートに就いて

セメントコンクリートは高級セメントを用ひ高強度のコンクリートを作製する傾向は世界共通である。此の時特に著しい傾向はコンクリートに高い稠度を與へる事で砂及砂利の粒度を考へ密度の高いものを作る反面、セメントペースト (セメント糊) が、骨材の表面を被覆し空隙を満すに必要な丈存在するを要する爲め、従來の 1:2:4 は兎角砂が少量に過ぎる事が一般に指摘されてゐる。

日本の建築學會は鐵筋コンクリートに於けるコンクリートの配合を重量 1:2.2:3.2 乃至は 1:2.5:3.5 を採用し實施しつゝある。又先に述べた 33.0m の單純桁の如きは、床版は 1:2.1:1.4、桁は

kg/cm^2 、超高級セメントでは $700\sim 800kg/cm^2$ のコンクリートが製作されつゝある。此等の高強度のコンクリートの許容應力は日本及吾が國の破壊強度に匹敵してゐる。及引張強度も同時に高くなり、 $40\sim 50kg/cm^2$ に達してゐる。引張強度の高いことは桁高の大なる場合及び収縮に對し極めて好都合である。

C. 鐵筋に就いて

鐵筋は世界共通に $1200\sim 1500kg/cm^2$ の許容強度のものが用ひられてゐるが、初應力を與へるものに就いては、 $6000\sim 9000kg/cm^2$ に達する高強度の特殊鋼を用ひてゐる。又電氣銲接の技術の進歩に依り長い鐵筋が盛んに用ひられてゐる。又獨逸では Walz 工場の如き 1本で $60m$ の長物を販賣してゐる。

又鐵筋二本を常溫の儘加工して扭つたイステグバーが近時用ひられて附着力に對し好結果を示してゐるが、之は大いに使用すべきものと思考される。

D. 型枠及支保工

型枠は各國に於ても吾人の行へる様な方法を取つて居る他、種々合理的方法を講じてゐるが普通の方法に就いては特別に紹介の必要もない。

フランスではヴェヤ板を以つて型枠となした例が相當あるが、此のヴェヤ板は水に膨れない糊を使用してゐるので、ある會社の特許品である。此の實績を見るに緊付や棧、腹起材を多く要したに關らず、普通型枠費の $\frac{3}{10}$ で足り然も表面は仕上を省き得て極めて良好な結果であつた。

又死荷重を減ずる爲めや、負の曲げモーメントの起る箇所で抗壓版を要する處等には、型枠は形の中に埋設される場合がある。一般には型枠を埋殺したにしても斷面を經濟的たらしめ得るが、此箱の埋殺をやめる方法として空氣壓縮袋を使用する方法が考案された。

空氣袋型枠



空氣壓縮袋
コンクリート硬化後空氣を抜き出す

第 17 圖

即ち空氣壓縮袋を移動せぬ様に排列しコンクリートを打ち、其の硬化の後、空氣を抜き袋を引出す方法である。此の時空氣袋はコンクリート填充や人間の歩行にも支障ない程度の壓力を有してゐるのであつてアメリカに於て實施されたが、相當の成績を擧げてゐる。

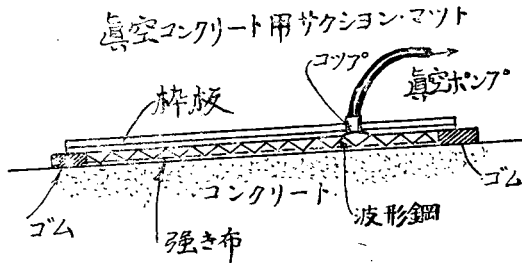
E. 眞空コンクリート

コンクリートは填充及混合時に於て凝結時に必要な水以上を必要とする。換言するとウオーカブルな (Workable) コンクリートを造る時の使用水量は凝結硬化に必要な以上の量である。セメントの水和作用以上の水はレータンスとなり餘分の水は硬化凝結を著しく遲滞せしめ空隙を大ならしむるものである。

茲に於て稠度とウオーカビリティーを保つ爲めに一定の水を使用し、填充後水和作用に必要以外

の水を排除する方法として考へられたのが真空コンクリートである。

真空コンクリート施工に使用するサクシヨンマット (Suction Mat.) を圖示すれば第18圖の如くである。



第18圖

板枠の周邊にゴムが取付けられコンクリートの面に強い布を配し其の背後に波型鋼を置き穴をあけて置く。枠には真空ポンプのホースの先端のコップを挿入し、バルブを開くとコンクリートの内部の水を吸出し排除する。

斯くしてコンクリート内部には所要水量のみ残り、空隙を少なくする爲め極めて微密なコン

クリートが得られる。水量の多いコンクリートでは本方法に依つて100%の強度を増し得、堅練りの場合でも40%の強度を増し得たことが報告されてゐる。此れは餘り厚くない構造、壁とか床版には特によく、アメリカに於ける一例を挙げると、厚さ7吋のスラブの填充後20分で真空ポンプ(1000#/ロ'~1500#/ロ')で厚さか3/4吋壓密され、強度の高い、外觀の美しい、防水性のある、収縮の少ないコンクリートが得られたことが報告されてゐる。真空コンクリートに関する詳細は1938年アメリカ土木協會年鑑 (Journl of American Civil Engineering Institute. 1938—1-2) に紹介されてゐる。

§ III 筋コンクリート橋設けに関する二三の注意

橋梁の縦斷勾配は最近の傾向は可成く少くすることで、寧ろ水平を推奨してゐる。路面排水の目的では横斷勾配と多少の工夫で殆んど縦斷勾配を附せずとも差支ない。強い縦斷勾配の場合に長い橋では先方の自働車の見透しを妨げ大なる障害となる。

交通頻繁なる橋梁に於ては街路以外でも狭き歩道を設けることか好ましい。自働車専用道路橋ですら之を置くことに依り危険を少くし且監理上の利便となる。歩道を突桁として出すことに依り側面から見た橋の桁高を低く見せる事が出来る。

又應力度は必ずしも凡ての場合一律に考ふべきでなく長徑間の場合は短徑間の場合よりも高強セメントを用ひ抗壓側に多くの鐵筋を用ひても死荷重を減ずることに努力せねばならぬが、短徑間の場合は桁高を増して鐵筋を少くし安いセメントを用ふる事の經濟的なる場合がある。

幅員の大きな長き橋梁は桁若しくはフレームを二橋となすことが溫度に因る伸縮上、防空上特に考慮すべきである。又鐵筋コンクリート橋は鋼橋に比し荷重大となる爲めに中空橋脚となし基礎工を經濟的たらしめる事等も考へ實行すべき事柄である。斜橋は床版橋が極めて都合よく又築堤の高き場合には橋台に欄付けをなし土壓を輕減する方法等も當然考慮すべき事柄である。

其の他立體交又橋梁に関する種々の格別なる考慮も必要であるが割愛し稿を了へる (1940-3-1)