

鋼とPCの合成部材による長径間橋 の設計及び施工についての構想

木村 又左衛門※

鉄筋コンクリートに代つてPCが使用されるようになって、Conc、橋の径間は著しく大きくなつた。Dywidag方式のcantilever bridgeやContinuous bridgeとする場合、径間100mを越えるものが相当数におよび、更に長径間のものを架設しようという傾向がある。

私もまた機会が与えられたならば、Concによる世界最大の径間を誇る橋梁の設計とその施工に参画したいと考えて、構想を練つてきました。

もとより設計上に於ても、施工上に於てもなお、研究しなければならない問題がたくさんありますので、この機会にその構想の概要をのべて、世の学者、技術者諸氏の御意見を伺い、その考え方を取上げられ、あるいは御協力を与えられる事にでもなれば誠に幸であります。

表題に掲げました通り、鋼とPCとの合成部材によるものでありまして、その合成に際しては鋼及びConc、の許容強度を何れも充分に利用する事を考えています。

次に長大橋でありますPrecastの桁を架設することは重量の関係から不可能と考えた方がよいので、Conc、は現場打とする事を考えて居ます。現場打の場合は普通支保工が必要となりますが、Spanの大きい場合は応々橋脚を作る事が困難な場合でありますので、Conc、打のための支保工もまた困難な事情にあると考えまして、支保工を使用しない方法を考えておかないと、実際には合致しない事が多いと想像して、同時にこの事も考慮する事にしました。

次に構造形式としては、Truss形式ではなく、Beam形式の場合を考えて居ます。又長径間であるので、Simple beamでは不適當でありますので、Cantilever方式又はContinuous方式のものにする事にしております。

具体的に申しますと、出来るだけ軽いSteel trussを橋脚又は橋台の上から、双方へ又はAnchorをとつて一方へ伸すようにして架設します。

Cantilever bridgeの場合は双方からCantilever Steel trussを伸して来て中央部で出会うようにします。Continuous bridgeの場合は中央部で相当な間隔

※ 国際コンクリート

をあけて置くが、場合によつては、この部分に Simple support の steel truss を架設して置く事も考えられます。

いづれにしても、この steel truss は自重に耐えることと、その支点部に接した長さ 3m 乃至 4m の conc. の自重と、その支保工の荷重に耐える程度のものでよいのであります。なお、その場合の steel の stress について注文があるのであります。

これについて少しのべて見ましょう。

steel の許容応力は Mjld steel を使用すると、 $+1400 \frac{Kg}{cm^2}$ と考えます。conc. については、その破壊強度 (4 週間) を $450 \frac{Kg}{cm^2}$ と仮定し、許容強度は $135 \frac{Kg}{cm^2}$ 考えます。

次に弾性係数でありますが、 $ES = 2000000 \frac{Kg}{cm^2} \sim 2100000 \frac{Kg}{cm^2}$ でこれには問題はありませんが、 Ec については種々問題がありますが、その Discussion はここではさけて、仮に $350000 \frac{Kg}{cm^2}$ とする事にしておきましょう。

そうしますと、 $\frac{ES}{Ec} = \frac{2100000}{350000} = 6 \dots\dots n$ となります。

一応上記の様に考えますと、Compressive side では、Steel と Conc. が一体化しました後は $\sigma_c = +135 \frac{Kg}{cm^2}$ となつた時、 $\sigma_s = +135 \times n = +810 \frac{Kg}{cm^2}$ となりまして、 σ_s にはなお $1400 - 810 = 590 \frac{Kg}{cm^2}$ の余裕がありますが、 σ_c が既に許容応力一ぱいまで働いていますので、これは生かして使う事ができません。

そこで $\sigma_s = 590 \frac{Kg}{cm^2}$ を生かして使う為に、conc. と一体化するまでに、これを使用する事にします。即ち $\sigma_s = 590 \frac{Kg}{cm^2}$ の時 $\sigma_c = 0$ の状態で組合せる事を考えます。又 Tension side では $\sigma_s = 1400 \frac{Kg}{cm^2}$ で $\sigma_c = 0$ が許容応力でありますので、この部分の $\sigma_s = 0$ であつても何等差支えがありません。

そこで $\sigma_s = -1400 \frac{Kg}{cm^2}$ の状態で conc. と一体化する事にすれば、それ以上の $\sigma_s = 0$ と考えられますので、conc. との組合せ前に $\sigma_s = -1400 \frac{Kg}{cm^2}$ の状態にして置く事にします。

ここまで申しあげればもはやお判と思いますが、steel truss (Cantilever) の upper chord の stress は steel truss の自重とその support に近い 3m~4m 部分の conc. の wt. と、その型枠及び支保工の重量が作用する時、 $\sigma_s = -1400 \frac{Kg}{cm^2}$ となり、Lower chord の stress は同じく、 $\sigma_s = +590 \frac{Kg}{cm^2}$ となるよう、断面を決定すればよい事になります。又 Vertical や Diagonal member の stress もこれに準じて決定する事はいうまでもありません。そして Conc. 打によつて、upper chord や

Lower chord はそれぞれ、Conc、の upper、Lower flange の中に包まれてしまうように設計します。lateral bracing など同じですが、Conc、打を終った後で不要と考えられるものは一部取除いても差支えありません。

Conc、硬化したならば、この部分に一部 prestress を導入します。これがすめば、更に次の 3m~4m の Conc、打をする事にしますが、既に Conc、打を終った部分には、次の Conc、荷重に耐える以上の Pre-stress が導入されていて、強度の点での心配はない、次の 3m~4m の Conc、打に差支えないだけの Steel truss が用意されているので、同じ事を繰返して、Canti lever の先端まで Conc、打、Pre-stressing を繰返す事が出来る。

このようにして全部の Conc、打を終った時の状態を考えて見ますと、Conc、の断面は、この Conc、中に埋込まれた Steel の断面を $(n-1)$ 倍したものを加算した換算断面を考える事になるので、単純な PC の場合と比較すると、それだけ大きい断面係数を持つて居るので大きな曲げに耐える事が出来る。又その Steel truss の W_t による曲げはこの Conc、断面で支持する必要はない。なお、Conc、の自重の一部はこれまた考える必要はない上に、Conc、打の時の支保工、型枠の重量が、取除かれた為に、また Conc、の硬化に伴い重量の減少による荷重だけは、逆方向の荷重として、それだけ Conc 断面で支持する荷重を減少する事になるので、これ等を考え合せると、相当に桁の耐力を大きくする事が出来るのであります。

換言すると、Conc、の断面と、Steel truss の断面を共々完全に生かして働かす事になります。さらに都合のよい事には、Conc、で包み込むまでの Steel truss の Stress は、tension 部分は $6s = 1400 \frac{Kg}{cm^2}$ でその許容強度一ぱいまで働かせるのであるが、これは tension 部材であるために充分可能であります。Compression 部材は $\frac{l}{r}$ の関係で $6s = 1400 \frac{Kg}{cm^2}$ を働かせる事は出来ませんが、 $810 \frac{Kg}{cm^2}$ まで働かせばよいのでこれまたいたした問題はない。ところで、Conc、の打込みを終った後は、さらに $590 \frac{Kg}{cm^2}$ を働かせて、合計 $1400 \frac{Kg}{cm^2}$ を全部働かせる事が出来るので、この点では単独の Steel truss として働かせる場合よりも実際上は有利である事が判る。

以上申し上げた所でこのようにして合成した鋼と PC との合成部材による Cantilever bridge では、単なる PC の Cantilever bridge よりもさらに長径間のものを設計し、施工する事が可能である事は誰でも容易に了承される事と思います。

PC の Cantilever bridge の施工については、Dywidag 方式のものがある事はよく御承知の事と思いますが、たゞいま申し上げました方法は合成部材でありまして、それとは全

然別な方法であり、さらに長径間のを施工する事が出来るほかPC-cable や、PC-strand でprestressを導入するのに、Cableをあらかじめsteel truss上に伸ばして配置する事が出来て、長いCableをあとからシースの中に挿入する不便もなく、steel trussが足場代りをする等、施工上にも幾多の便宜が考えられる。

連続桁とする場合はさらに径間を大きくする事が出来るが、この場合は、両方から伸して来たCantileverの先端がある間隔になつた時Cantilever electionをやめて、ほゞその先端間の空隙と等しい長さの適当に設計した断面のPre-cast 部材を(1部Pre-stress 導入済みのもの)をこの部分に挿入する。この部材をCantilererの先端で支えて置いて、間隙部(この桁とCantileverの先端との間)をconc.で充填する。このconc.が硬化した後で、この連絡部およびその前後に必要なPre-stressを導入してContinuous beamを完成するのである。この場合、連絡部のPre-stress導入によつて、この部分にPre-stressが導入されるためには、それに伴うconc.の収縮が起るが、この問題を解決する必要がある。

この事については、私が前にPre-stressed conc.による、不静定構造物の施工方法として考案した方法をこゝで使用すればよい。

その方法を説明しますと、既設の2本の柱の間に丁度ほめられる長さのPrecastのPre-stressed conc.の桁を持つて来て所定の位置に収めます。次に柱とのすきまにconc.を打ち、これが硬化後に柱との連絡のPre-stressを導入する。このPre-stress導入によつて、この部分に収縮が起るので、これによつて二次応力が生じる事になり、柱の性が大きいと、stressが入らない事になるので、この事に対する処置として、Precastの桁に仮のPre-stressを導入して置く。通常、桁の外側にhigh tension bar等を使用するのが便利である。この仮のPre-stressによつて桁に Δl の収縮を起させて置く、 Δl は柱との連絡のためのPre-stressingによつて生じるはずの収縮(両側分)量を生ず。計算してそれと同量の収縮量として置く。連絡のためのPre-Stressingの量は相当大きいなが長さが短かく仮のPrestressingを入れる桁の長さは大きいのでPre-stressの量は大体長さに逆比例するので仮のPre-stressingの量は大きくはならない。conc.の硬化後、仮のPre-stressingの解放と、連絡のPre-stressingによる伸びと収縮が相殺されて二次応力を生じる事なく、予定のPre-stressが導入される事になる。なお仮のPre-stressing位置については、連絡用のPre-stressingがある偏倚を持つた場合が多いので、これによる角変移を考え、仮のPre-stressの解放によつてこの角変化

をも同時相殺するように、仮の Pre-stress を導入する位置を定めるならば、長さの変化及び角変化共相殺する事が出来、その何れにもよる二次応力の発生をなくする事が出来、この種、不静定構造物の施工方法としてはほぼ完全な方法と考えて居る。

従つて、最後に取付ける径間中央部の Precast Pre-stressed 部材には、既成の桁との取付け様及びその他の Pre-stressing による収縮量を計算して、此れと同量の仮の Pre-stress を持込み桁又は既成桁の部分に導入して置いて、連絡用の Pre-stress の導入と呼応して、これらの仮の Pre-stress を解放して、必定の Pre-stress を二次応力を生ぜしめないで導入する、角変化の関係についても前に述べた方法で処理すれば良い。

以上が鋼と PC との合成部材により長大径間橋の設計および施工に関する構想の概要であります。

そこで特に注意し、研究し工夫をしなければならない問題があります。その 1.2 をあげますと構造としては steel truss の上下の member の形であります。

これについては山型鋼を使用し、出来る丈溶接で組立する事にします。

山型鋼は V 形の位置に置き、これに垂直の Plate を溶接して 形としこの Plate の部分 (vertical および diagonal member と連結する、山型鋼の断面不足の時は、この Plate で補う事にするが、必要がなければ接続部だけに Plate を使用する。

Upper chord も同様で普通 Plate の補強は不必要であるが取付けの為には Y 型になる様 Plate を取付ける、これは Conc. の打込みの際鋼材の全表面に Conc. が廻り易くする為の工夫である。

計算上の問題としては、 E_c の値を何程と考えるかと云う事であるが、これについては簡単には回答が得られないので maximum と minimum を決める事にする、即ち $\frac{E_s}{E_c} = n$ の n の値を 5~7 と仮定するとして、此の間に或る事が判るとするならば、念の為 $n=5$ および $n=7$ とした二つの計算から何れでも安全な様に設計する事にすれば多少の不経済はあつても安全度を高める事には大きく役立つものと思う。

今一つ conc. のクリープ、鋼線のレタクレイションについては、一般的な考え方をそのまま応用して差支えないと考える。クリープについて、合成材のクリープは研究する価値のある事であるが、鋼と conc. との Bond が充分であればクリープは小さな値となるのでは、なからうかと思う。bond については必要に応じジベルの使用を考えれば良い。

鋼材の量の点については、実際問題としてはそれ程大きくはない。普通の PC 構造に使用する組立用鉄筋の量を考えると著しく大きい事にはならない。

従つて普通の P C の場合と同じクリープを考えて置けばむしろ安全側と云えよう。

特に長径間の場合、又は桁高を小さくしたい場合、鋼材の量を必要以上に増加する事を考える事になるが、此の場合は Conc、の打設の為の支保工および型枠の量のほかに、仮の荷重を負荷して steel の stress をその限度まで作用させておいて Conc、打をする事になるが、この様にすれば仮の荷重だけ完成後の耐力が増加するので、それだけ span を延ばせる事になるが steel の量が多くなると、クリープの問題を研究する必要が大きくなると思う。然しクリープが大きくなるのではなく、むしろ小さくなるので条件としては良くなる方と考えられる。

この他にも研究すべき事、工夫すべき事が多々あると思いますが、この事について御意見を賜り、或は共に研究をして、この種の橋梁が実際に計画され、施工される機会が与えられますならば誠に幸と存じます。