

PC 斜張橋の将来展望

昭和 61 年 7 月 21 日 (月) 於 私学会館

座長

多田 浩彦 (財) 道路管理センター 道路管理 システム
研究所長兼システム開発部長
(前: 建設省土木研究所構造橋梁部長)

出席者 (順不同)

石橋 忠良 日本国有鉄道構造物設計事務所主任技師
坂手 道明 日本道路公団技術部構造技術課長代理
杉山 守久 阪神高速道路公団大阪第二建設部設計係長
曾川 文次 新構造技術 (株) 土木設計部長
田中 義人 神鋼鋼線工業 (株) エンジニアリング部長
今井 義明 大成建設 (株) 土木本部設計部係長
石原 重孝* 鹿島建設 (株) 土木設計本部副主査
板井 栄次* 住友建設 (株) 土木部設計第二課長代理
中村 一樹* オリエンタルコンクリート (株) 技術部主
任研究員

* 本誌編集幹事

座長(多田) 最近、鋼橋にいたしましても、コンクリート橋にいたしましても、中規模、あるいは大規模な橋につきまして、斜張橋が非常にたくさん用いられ、斜張橋の全盛時代にはいつているという感じがしております。特に、プレストレストコンクリートの特性を生かした PC 斜張橋は、世界でもあちこちで相次いで建設されておりまして、既に最も長いものでセンタースパン 440 m にも達しております。このような状況におきまして、PC 斜張橋は長大コンクリート橋の代表的な橋梁形式として着実にその価値が認められてきているという感じを強くしております。

日本でも、いくつかの PC 斜張橋が建設されましたが、欧米に比べまして、若干、スパンの長大化が遅れ気味でございましたが、最近になりまして、ようやく、本格的な PC 斜張橋が計画、あるいは建設され始めている状況でございます。

今日は、このような現状にかんがみまして、わが国における「PC 斜張橋の将来展望」というテーマで、関係

各方面で御活躍になっていらっしゃる方々にお集まり頂き、いろいろ御意見をお伺いしたいと思っておりますので、よろしくお願いいたします。

最近の PC 斜張橋の話題

座長 まず最初に、最近の PC 斜張橋の話題を御提供願いたいと思います。代表的な施工例、あるいはこれから架けられるであろうという計画中の PC 斜張橋について、簡単にお話頂ければ結構かと思います。

まず海外はアメリカからお願いいたします。

田中 アメリカで代表的な PC 斜張橋としましては、皆さん御存知のようにスパン 299 m の Pasco Kenne-
wick 橋とスパン 274.3 m の East Huntington 橋、これはシングルピロンですが、既に完成しております。

現在工事中のものとしては、4 橋ほどございまして、スパン 365.7 m の Sunshine Skyway 橋、基礎工事が始まったばかりのスパン 396 m の Dame Point 橋、スパン 237 m の Cochrane River 橋、スパン 195 m の Neches River 橋の 4 橋でございます。

近いうちに工事が始まる予定のものとして、スパン 192 m の James River 橋がございます。

また、これはカナダでございしますが、スパン 340 m の ALRT Fraser River 橋が近々着工の予定と聞いております。

そのほかに、今後 PC 斜張橋になるかどうかわかりませんが、計画中のものが 4 橋ございます。スパン 365 m の Houston Ship Channel 橋、スパン 304 m の Talma-
dge Memorial 橋、スパン 274 m の Roosevelt Dam 橋、スパン 286 m の Portsmouth 橋が計画されておりまして、設計はいずれも、PC 斜張橋と複合斜張橋の双方で行われております。

座長 どうもありがとうございました。アメリカの場

合、全般的に鋼の斜張橋が劣勢で、PC 斜張橋が多用されているような感じを強く受けるんですけど、実際はいかがなものでございましょう。

田中 PC と複合ですね。これが大体、1対1ぐらいの割合ではないかと思います。

座長 それでは、次にヨーロッパの状況についてどなたか全般的に御紹介願いますか。

曾川 ヨーロッパの中でも、西ドイツが理論的な発祥の地と言われておりますが、西ドイツ国内での施工例では意外と長大スパンの PC 斜張橋は少ないようです。

年代順では、スパン 148 m の第 2 Main 橋、スパン 145 m の Metten 橋、スパン 106.5 m の Flösser 橋、それとこれは歩道橋ですがスパン 139.5 m の Neckar-center 橋がございします。

西ドイツ以外での代表的な PC 斜張橋としましては、フランスのパリ郊外にありますスパン 320 m の Brotonne 橋、現在のところ世界最長スパン 440 m を誇っておりますスペインの Luna 橋、スイスのスパン 174 m の Ganter 橋、オランダのスパン 267 m の Tiel 橋がございします。

座長 どうもありがとうございました。特にアメリカと比べてヨーロッパ独特の特徴のようなものはございしますか。

石原 大きな特徴は斜材にあると思います。ヨーロッパにおきましては、Metten 橋、Ganter 橋、Flösser 橋のように PC 斜材が用いられているものと、第 2 Main 橋、Brotonne 橋、Luna 橋のように現場製作のケーブルが用いられているものがあります。一方、アメリカでは PC 斜材を用いた例はなく、ケーブルもプレハブケーブルが多く用いられております。斜材選定にはそれぞれの国のいろんな条件、事情があると思いますが、結果として、このように分かれているのも興味深いと思われま

座長 あと幾つかほかの国もあるようでございします。最近では中国にも多いと聞いているのですが。

田中 中国についての情報は非常に少ないのですが、文献によりますと既に 11 橋ほど完成しているという報告がございします。それらの詳細についてはよくわかっておりません。文献では最も長いのはスパン 220 m とありますが、スパン 260 m のものも工事中という情報は聞いております。

座長 そのほかについていかがですか。

田中 中南米につきましては、アルゼンチンとパラグアイの国境にスパン 330 m の Posadas Encarnacion 橋が現在施工中であります。また、メキシコでは、スパン 288 m の Coatzacoalcos 橋が完成しております。

また、東南アジアでは、マレーシアのペナン橋が最近完成しております。スパンは 225 m で、設計はアメリカのコンサルタントが行い、施工は韓国の業者が行っております。

それと、非常に近いところで、韓国に一つ計画がございまして、オリンピックブリッジと呼ばれていますが、スパン 150 m の 2 径間連続 PC 斜張橋で、ソウルオリンピックを目指して建設されることになっています。

座長 どうもありがとうございました。海外の話題としましては、特にアメリカで鋼とコンクリートがかなり激しいコンペティションを行った結果、PC 斜張橋が多く採用されていることが非常に興味深いことですね。それでは、一応海外の話題はこの程度にいたしまして、次は国内に移っていただきたいと思います。

今井 それでは、最近の日本における PC 斜張橋の実績と工事中のものについて、簡単に御紹介させて頂きま

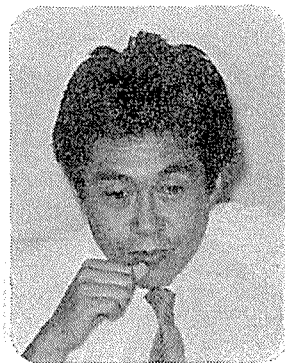
まず、1978 年にスパン 96 m の松ヶ山橋、1979 年に鉄道橋ですが、スパン 85 m の小本川橋梁が造られております。この小本川橋梁は日本では初めての移動式作業車によりカンチレバー施工された PC 斜張橋です。一等橋の道路橋は、1982 年にスパン 52 m の錦岡 3 号橋が完成してから相次いで建設されています。1983 年にはスパン 37 m の豊後橋が、その翌年にはスパン 67 m の



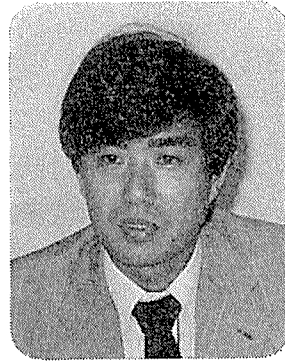
多田 浩彦 氏



石橋 忠良 氏



坂手 道明 氏



杉山 守久 氏

Eimeikan 橋、今年になりまして銚原大橋が完成しました。銚原大橋は2径間連続でスパンが86mですが、現在、日本で完成している道路橋の中では、これがまだ最大のものではないかと思えます。

現在施工中のものとして、スパン74mの新門司2号橋、スパン110mの新丹波大橋、それと、スパン250mの呼子大橋があります。呼子大橋は今までの我が国のPC斜張橋の規模を大きく更新する橋梁でありまして、これが完成すれば、我が国も世界の長大PC斜張橋の水準に達するものと思えます。

座長 どうもありがとうございました。それでは、現在、計画中のPC斜張橋につきまして、御紹介願います。

石橋 国鉄では、一つ大きなものとしては、これは道路橋ですが、スパンが240m、幅員25mのPC斜張橋を現在設計しております。そのほかに、鉄道橋として、スパン150m～180mのものを2橋、比較設計している段階です。

坂手 道路公団では、1橋、東名高速道路の改築路線にスパン185m、幅員14.5mのPC斜張橋を計画し、現在設計しております。これは、そう遠くない将来に施工に入る予定でございます。

杉山 阪神高速道路公団でも、1橋、現在PC斜張橋として設計しております。これは、大阪池田線が猪名川を渡るところに計画しているもので、路線計画上、猪名川をかなり急な角度で渡るスパン200m、幅員18mの2径間連続PC斜張橋になっています。これにつきましては、昭和59年の秋に技術委員会を設けまして、検討をしてきております。

座長 どうもありがとうございました。建設省の関連では、ダムに関連工事で、近畿地建に一橋、白屋橋という道路橋をPC斜張橋で考えております。2径間連続でスパンは124mと99mの非対称でファン形2面吊りマルチケーブル方式が採用される予定です。

そのほか、建設省所管事業の中には1～2橋、PC斜

張橋の計画があると聞いております。

計画面からみたPC斜張橋

座長 それでは、次に計画面から見たPC斜張橋について御意見を頂きたいと思えます。

先ほど、海外では、PC斜張橋がたくさん架けられているという話でございましたが、日本では、PC斜張橋が最近徐々に採用されはじめてきております。

こういう形式は、どんな点から採用するに至ったかということ、計画中あるいは工事中のものについて、お話しして頂きたいと思えます。

石橋 計画段階では、必ず比較設計がございまして、スパンが長くなれば当然、形式のいかにかわらず、工事費は上がってきますので、斜張橋がそもそも選ばれるのは条件的にどうしてもスパンを跳ばざるを得ないという場合に限定されると思えます。今回、我々の計画しているところも、桁下が港だったり、あるいは線路の上だったり、かなりスパンを跳ばなくてはならないという条件がありまして、そういう場合に、初めて構造形式として斜張橋が選ばれると思えます。

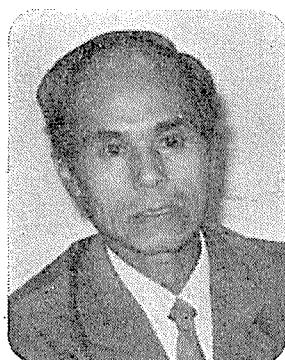
そして、スパンが跳ぶとなったときに、鋼橋との比較が当然出てくるわけですが、鋼橋と比較しますと、下部工がさほどコストアップにならない限り、鋼橋よりもコスト的にかなり有利になるものと思えます。

それから、PC斜張橋に決まった場合、基本構造系の選定になりますが、構造部材の組合せにより、基本構造系が自由に選べるために、いろいろ比較検討をすることになります。私どもの計画中のPC斜張橋では、主桁は3径間の連続構造にしまして、地震時の水平力は通常の鉄道橋と同じようにダンパーを設けて、各橋脚に分散させることを考えています。

また、斜材は吊り面数の問題がありますが、これについても比較検討も行いまして、景観上の問題も含めて一面吊りを選定しております。



曾川 文次 氏



田中 義人 氏



今井 義明 氏



石原 重孝 氏

坂手 景観面で斜張橋を考えた場合に、特に皆さんよく御存じの Brotonne 橋を最初に見ましたときに、非常にスレンダーな橋で、かなり大たんな縦断線形でセヌ河を渡っている点に感動を覚えました。このとき斜張橋というのは景観面での自由度が非常に高いと感じました。タワーと斜材の組合せによって人工的な景観の造形ができるわけですが、今回の橋についても将来、東名の目玉にしたいということで斜張橋を採用いたしました。それと、もちろん石橋さんが言われたように、200 m クラスの長大スパンですので、今の段階で比較するとおそらく斜張橋が経済的になるのではないかと考えております。

次に、基本構造系ですが、主桁はすべて可動支承で、斜材はハープ形2面吊りマルチケーブル方式となっています。こういう形式を採用することにより、耐震性に優れた構造になっています。

杉山 私どもの方で計画中の猪名川第二橋梁は、当初2径間連続の鋼斜張橋とPC斜張橋、2径間連続の鋼箱桁橋、それから鋼単弦ローゼ橋の4案を考えました。

PC斜張橋が比較の対象となりましたのは、この地域は地盤が非常によいということが一番の要因です。それと、当初からこの路線全体をできればコンクリート系の橋梁で統一したいということも一つの要因となっております。

比較の結果、当初の環境アセスメントの段階から防音壁を設置することを前提にしておりましたので、そのために、耐風安定性の面から最も有利なPC斜張橋を採用いたしました。

経済性の比較では、工事費のみにつきましては、PC斜張橋の方がむしろ高いということになりましたが、完成後の維持費とかその他を考慮しますと、トータル的にはPC斜張橋が最も経済的と判断いたしました。

座長 どうもありがとうございました。今お三方から話題を提供して頂きましたが、これについて、何か御意見がございしますか。

今井 斜張橋の特徴としては、やはり桁高が非常に低いことではないかと思います。従来のPC桁橋ですとメインスパンの20分の1程度の桁高だったものが、斜張橋ですと100分の1とか、外国では170分の1とか、その程度の桁高で済むことになります。そうしますと、桁下制限のある場合やアプローチを短くする必要のある場合などにも斜張橋が計画されることが多くなるのではないかと思います。

石橋 今井さんのお話の桁高の件は、景観面でも有利と思われる。それと、アプローチが短くてすめば、コスト面でもかなりメリットがあると思います。

曾川 呼子大橋は、佐賀県の呼子町というところから加部島という島に渡る橋ですが、ここはちょうど2000トン級の船舶が通る航路に当たっておりまして、そのために、スパンが250 mとなっています。

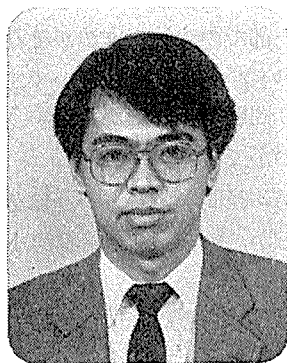
その250 mを、例えばPCの中央ヒンジのラーメン橋にいたしますと、桁高がおそらく15 m程度必要となりますので、海面上27 mの航路限界を確保することを考えますとアプローチの延長が当然長くなります。そういった面で、結果的に斜張橋にしたことによって、アプローチを含めた橋梁全体の経済性につきましては、かなり効果があったと言えます。

中村 PC斜張橋とPC桁橋の上部工工費を比較した場合、スパンが200 mを超えないと経済的には不利ではないかという話もございますが、いかがなものでしょうか。

石原 私は、地盤条件によってもPC斜張橋の適用スパンはかなり変わってくるのではないかと考えております。

それと、先ほど杉山さんの方からもございましたように、PC斜張橋は完全にメンテナンスフリーというわけではないのですが鋼桁でしたら数年に一回ぐらいの塗装をしなければなりません。それがコンクリート桁でしたら、少なくともそういう塗替え作業はない。したがって、上下部工合わせてイニシャル・コストが少々高くとも、トータルのライフ・サイクル・コストで見れば、やはり安いというような見方がこれから出てきて、PC斜張橋は鋼橋といい勝負ができるのではないかと思います。

石橋 先ほどのお話と共通するかどうかは別として、スパンは百数十 mを超えたところで本当は競り合ってもraitたいという希望はあります。トータルの材料は減っているわけですから、後は架設費を減らしていくことにより、工費的にも安くなる可能性が非常に高いのではないのでしょうか。



板井 栄次 氏



中村 一樹 氏

PC 斜張橋の設計について

座長 どうもありがとうございました。計画面からみましたが PC 斜張橋はコスト面での課題はあるようですが、構造面や景観面においては非常に有望な橋梁形式であるということですね。

それでは、次に、PC 斜張橋の設計について御意見を頂きたいと思います。

PC 斜張橋の設計を進めていく段階で、スペック上の問題とか、我が国は世界でも有数の地震国ですから耐震上の問題とか、通常の PC 橋に比べてフレキシブルな構造ですから耐風安定性上の問題とか、いろいろございすでしょうから、そのような点を含めて御意見を頂きたいと思います。

石橋 私は、特に日本は地震が多いという条件で考えますと、耐震上の問題をもう少し、今の設計体系から一歩進めて考えることによって斜張橋の採用もかなり増えてくるものと思います。地震波の長周期問題をどう考えるかという難しい問題はありますが、極端に言えば超長周期にすれば、加速度の応答はしなくなるわけですから、その代わり変位が出るのをどう抑えていくかという問題ができてきますが、ある種のダンパー構造みたいなものを考え合わせることによって、かなり耐震性という面では将来性のある形式ではないかと思います。今回設計中のもので通常の修正震度法と、動的解析による方法で応力レベルを比較してみたんですけども、通常の修正震度法よりも動的解析をメインに設計した方がコスト的に安くなりました。安くなることが、良いわけではないのですが、安くなるうえに、全体の安全性は落ちていないわけです。今後の方向として、斜張橋の耐震設計においては通常の修正震度法に代えて、動的解析中心としていくことが必要かと思います。それにより、全体の耐震性が上がるとともに構造系選定の自由度の高い斜張橋のメリットが生かせると思います。

曾川 耐震構造としての斜張橋の構造系を考えたときに、日本のような地震国では、ある程度地震時で変位を許してやることによってその有利性が発揮できると思います。その変位を、少しでも抑えた方が設計上はよりベターだと思いますので、それを今度は構造系、主に斜張橋の場合は斜材の張り方である程度カバーできると思います。

と申しますのは、多くの外国の例は、地震を考えなくてもいいものですから、斜材の配置形状は、放射形、あるいはファン形になっていると思いますが、地震を考えたときに、今度はハープ形にすることによって、橋軸方

向の変位はかなり抑えられると思います。

呼子大橋では主塔部で主桁を宙吊りにし、ハープ形を採用することによって、桁端の地震時水平変位を制御しております。したがって、私も斜張橋は地震国には適した構造といえると思います。

今井 今、桁を宙吊り方式にするお話が出ましたが、Pasco Kenewick 橋がそれのほしりではないかと思えます。この橋を設計したレオンハルト博士によれば、固有周期が 10 秒ぐらいあるわけなんですけれども、それを利用するのが耐震性を向上させる方法だと言っているのを聞いたことがございます。この橋の場合は常時は端部で固定しておき、大きな地震が来たときは、その固定沓が破壊し、完全にフローティング形式になるという構造を採っています。

坂手 まさにそうなんです。これは、施主側の一つのふん切りが必要なんですけれども、壊れてもいい部位と壊れてはいけない部位の使い分けとか、その辺をかなり大胆にしていかなければいけないし、そうすることによって私は非常に合理的な設計ができると思います。非常に大きな地震を受けて、大きな変位が生じた場合には、例えば固定沓とかジョイントは確かに壊れてしまうでしょう。それはそれでいいんだというような一つの設計の考え方の転換を図ることによって有利性が出てくると思います。

杉山 確かに、長周期になるというのは、免震構造ですか、そういう面では斜張橋は非常に有利な構造だと思います。

私が今担当しています PC 斜張橋では、フローティングタイプと、主桁とタワーと橋脚を剛結するタイプを検討したのですが、フローティングタイプにしますと、13 秒という非常に長い周期になりました。

しかし、この橋は橋脚と主桁が約 25° というきつい角度で交差しておりますので、結局、長周期になりましても、橋軸方向の免震効果が出せないことから、剛結構造を採用しております。

座長 先ほどから、計画中の PC 斜張橋のお話を聞いているのですが、主桁のタワー部での支持の方法がそれぞれ違っているのもおもしろいなと思っていたんですが、具体的にはその辺がかなり問題じゃないかなという気がするのですが、いかがですか。

曾川 一つは、2 径間なのか 3 径間なのかという構造的な差でフローティング形式とか、剛結形式のメリットの違いが出てくるのではないのでしょうか。

石原 従来のコンクリート桁橋の耐震設計には、通常は震度法、あるいは応答を考慮した修正震度法が用いられてきたわけでございますけれども、PC 斜張橋は、主

桁、タワー、斜材、橋脚などの多様な部材の組合せで構成されておりますので、振動系としては、これら部材の部分振動要素から成る連成振動系を形成するため、地震応答性状も特殊になります。それで、構造系や地震波の入力条件によっては、各部材毎の応力上のバランスが必要となりますので、計画される橋梁ごとにそれぞれ最適な斜材の張り方や主桁の支持条件が出てくるのではないのでしょうか。

坂手 それだけ斜張橋は自由度があるということで、動解を主体とした設計を行う場合、入力地震波をどう選ぶとか、出てきた結果をどう評価するかが、非常に難しい問題になると思われます。

石橋 地盤との関係でいろいろ検討してみましたが、一般的には地盤がよければ上部工の周期を長くすることによって、耐震上のメリットが出てくるのがわかりました。

杉山 私どもで計画中の PC 斜張橋は耐震設計上、一つ特徴がありまして、これは建設省土木研究所でもいろいろ検討をされていますが、2 段階の設計法、まず非常に確率の高い、頻度の多い地震に対して、設計を行います。これは弾性域での設計ですが、さらに第 2 段階としまして、塑性域まで含めてかなり稀に発生する大地震に対しても系全体としては崩壊しないように照査します。このような 2 段階的に照査する方向で現在設計基準を検討しております。

座長 どうもありがとうございました。時間の都合もございまして、耐震の話はこの辺にいたしまして、次に耐風設計について御意見をいただきたいと思ひます。

坂手 これは道路公団だけではないと思いますが、やはり耐風についてはかなりシビアに考えております。主桁断面形状の選定のため、風洞実験を重ねております。現在は、解析や実験もできますので、将来は PC 斜張橋の耐風安定性につきましてはかなりのところを追及できるのではないかと思います。

杉山 私どもでも主桁の風洞実験を当初の断面で 1 回行いまして、その後、外ウェブの傾斜を少し変えた断面でもう一度行っております。特に防音壁の影響に着目しましたが、2 度目の実験でかなり耐風安定性は改善されました。

一様風の場合で、防音壁がないと渦励振は起こっていませんが、防音壁をつけると、実風速 10 m/s ぐらいで倍振幅 10 cm 程度のたわみの渦励振がでてきました。ただし、振幅量としてはほとんど問題にならない程度でした。

ねじりの渦励振につきましては、吹き上げの場合に出ています。設計風速が 40 m/s 程度に対して発現風速

は 70 m/s と非常に高く、耐風上は優れた断面が選ばれておると思っております。

石橋 耐風につきましては、いろいろな推定式もかなり充実してきておりますし、ある程度計算により推定して、それに風洞実験を加えるということで、あまり耐震設計ほど意見の一致を見ないということはないのではないのでしょうか。また斜材の振動につきましては、造ってみたいとわからないという要素が若干あるようですけれども、基本的には、破壊に結び付くような振動につきましては、現在の技術レベルで十分対応できるものと思ひます。

座長 架設時は特に問題ございませんでしたか。

石橋 架設時も一応計算により推定を行いました。さらに架設時に着目した風洞実験も現在やっております。

曾川 呼子大橋では主桁の断面形状と桁高は風で決まっております。風洞実験としましては、主桁の部分模型実験と架設時の最大張出し状態での全橋模型実験を行っております。特に風速 10 m/s 前後の比較的低風速域での渦励振に対して、耐風安定性を確保できるように主桁断面形状寸法を決めました。高風速領域での発散振動に対しては全く安定しているという結果でした。

今井 コンクリート構造物で風が問題になるというのはやはり PC 斜張橋が出てきてからではないかと思うんですが、今お話をお聞きしてまして、風に関してまだよくわかっていない部分は、減衰ではないかと思ひます。限定振動で振幅を問題にした場合、減衰定数を幾らに採るかで大きく差が出てきます。

計算に用いている減衰定数というのは、例えば対数減衰率で 0.01 とか 0.02 とか、鋼橋並みの値だと思いますが、コンクリート自体の材料的な面を考えましても、かなり大きく取れるのではないかと思っております。したがって、今後は実橋による振動実験等を積み重ねて、コンセンサスの得られる適切な減衰定数を見つけていかなければいけないのではないのでしょうか。

それと、コンクリート製タワーなんですが、重量が大きいために鋼製タワーと比べて耐風安定性という点からも優れているのではないのでしょうか。

杉山 減衰定数についてですが、先ほどの風洞実験で倍振幅が 10 cm 程度の渦励振が出ると申しましたけれども、その場合の対数減衰率としては、0.03 を採用して実験を行いました。この値を選びました理由としては、内外の今までの振動実験報告とか、その他の資料をいろいろ集めまして、対数減衰率が大体 0.03 以上ということがわかりましたので、安全側を採りまして 0.03 ということで実験をやっております。

座長 いずれにしても、耐風につきましては、地道に観測データを積み上げていくことが重要と思われます。

PC 斜張橋の設計面での話題として、特に重要な耐震、耐風面での御意見を頂いたのですが、その他、例えばケーブルなどについて、御意見がございしますか。

石橋 ケーブルは今のところ普通の PC 鋼材を使うように考えております。

それと、定着部がもっと簡単な構造で、数も減らせないかと思っています。Brotonne 橋のように主塔部に定着体を使わないスルーの方式も、もっと使っていく必要があるのではないのでしょうか。

坂手 ケーブルの定着部における角変化による変動応力は結構大きいんですね。この点で、逆に角変化を許せるような定着構造が出てきてもよいのではと思っております。

田中 定着の件ですが、確かに簡単な定着体ですめばそれに越したことはないと思います。そういう意味では従来の PC 定着工法でも十分使い得る可能性を持っていると思いますが、これはやはりケーブルの変動応力のレベルによると思われます。例えば、変動応力が 10 kg/mm^2 程度でしたら問題ないと思われますが、長大斜張橋になってきますと、この変動応力もさらに大きくなり、従来の定着体では非常に難しい面が出てくるものと思います。

杉山 定着部はもう少し小さくならないものなのでしょうか。特に、タワーの設計で、できるだけスレンダーなものにしたいのですが、どうしても定着の関係で必要な部材寸法が決まってきて、結構太いものになってしまうのですが。

田中 すべてのコンクリートでやろうとすると、応力伝達の関係から結構な大きさが必要となると思われます。例えば、定着のところを部分的に鋼で置き換えれば非常にコンパクトにすることも可能と思われます。このような事例もすでに 2~3 あるようでございますが、いずれにしても、ケーブルと定着部の設計上の安全率をどうとるかによっても変わってくるのではないのでしょうか。

石橋 計画面のところでもお話ししましたが、斜張橋のコストダウンを図るためには、ケーブルの定着部の設計手法も整備し、コスト面でのケーブルのウェイトを下げることも必要だと思います。

石原 設計手法の話が出ましたが、海外と我が国の PC 斜張橋を比較する場合、耐震上の問題はありますが、設計体系そのものにも違いがありますので、単純に比較できない面もございします。

海外の実績に負けないような PC 斜張橋を設計していくためには、やはり、従来の許容応力度法による設計体系を今一度見直して、安全率の設定や照査方法を含めて、PC 斜張橋特有の構造特性をふまえた設計基準の統一化が必要ではないでしょうか。

座長 どうもありがとうございました。現行の道路橋示方書はスパン 200 m 以下の橋梁を対象にしていますが、PC 斜張橋はスパン長もそれをオーバーする場合の多い、比較的新しい橋梁形式ですので、設計基準のようなものになるべく早く統一して、確立してもらいたいという感じが強いようでございします。

この基準化につきましては、建設省の土木研究所で、耐震・耐風を含めまして、PC 斜張橋の設計指針のようなものを今、いろいろ検討している最中でございします。一部はおそらく皆さんにもお入りになって頂いて、日本道路協会等でも議論を重ねているところでございします。あと、1~2 年中には目の目を見るのではないかと考えております。

PC 斜張橋の施工について

座長 それでは、次に施工についてのお話をお願いしたいと思うんですが、これは施工サイドの方からお話をいただければ幸いです。

石原 従来日本では小規模な斜張橋で、施工法としてオールステージング施工が多かったわけですが、スパン 200 m ぐらいの長大斜張橋になりますと、基本的にはカンチレバー架設が前提になろうかと思ひます。そのカンチレバー架設を取ってみれば、基本的には主桁につきましては、従来の PC 桁橋の技術で対応できると思いますが、先ほど来、耐風とか軽量化とか景観とか、主桁断面形状にいろいろなニーズが出てきておりますので、コストを下げるという意味でも特殊な斜張橋の主桁断面を合理的に施工できる移動式作業車の開発が必要と思ひます。ただ、技術的には十分在来の技術を改良することによって可能だと考えております。

主塔の施工につきましても、20~30 m 程度の高さでしたら、総足場型枠工法でいけると思ひますけれども、非常に高くなってまいりますと、高橋脚の施工に用ひております移動式型枠工法を用ひれば、基本的には対応できると思ひます。ただ、斜張橋のタワーには、H 形とか逆 Y 形といったタワーの形式と、充実断面とか中空断面といった断面形状にさまざまなバリエーションがありまひすし、特にケーブルの定着部には、いろいろな金物も入りますので、このような特殊性を考慮した合理的な移動式型枠工法の開発を急ぐ必要があるように思ひます。

また、斜材につきましては大きく分けてプレハブ系のケーブル、あるいは現場で製作するケーブルの2種類がありますが、これはいずれにしても現に諸外国で実績がございますので、架設的には十分対応できるものと思っております。

したがって、施工技術面では、いかにコストを下げるかというのが今後の大きな課題だと思っております。

中村 現在、問題としなければならないことは、施工管理をいかに行うかということだと思います。施工管理基準とそれについての対応を現在検討している段階ですけど、管理基準については現在施工中のPC斜張橋が完成することで、ある程度明確にされるものと期待しております。

板井 施工管理面で最も問題になるのは、温度管理ではないかと思っています。

施工管理システムとしては、すでに押出し工法などでは反力の自動管理システムを採用して施工しています。PC斜張橋の場合も同様に、マイコンによる施工管理システムを用いれば、それで十分対応できるのではないかと思います。

今井 PC斜張橋のカンチレバー工法は、従来の桁橋のカンチレバー工法を踏襲すれば十分やれると思います。ただ、斜張橋ですので、例えば、斜材を利用して移動式作業車の先端を吊ってやるようなことも考えることができます。このような方法でしたら、従来のブロック長をさらに長くでき、工期短縮を図れる可能性も出てくると思います。施工管理に関しましては、パソコンを使った施工管理システムというものが必要になってくるのではないのでしょうか。これは、桁橋などに比べますと、主桁が非常にたわみやすいこと、それから斜材があるために、例えば斜材と主桁の温度差によりまして、カンチレバー施工中の主桁の先端がかなり上下いたします。そういうものに対して、厳密な上げ越し管理や斜材張力管理をするには、現場で上げ越し計算や斜材張力調整計算が即時的に補正できるようなシステムというのがやはり必要だと思います。これは、パソコンを持ち込めば従来の技術で十分できると思います。

田中 ケーブルメーカーサイドとしましては、仕様書で非常に厳密に規定されたとおりケーブルを造るわけですが、実際に架設される現場へ行ってみますと、必ずしもその品質が十分維持されていないのではないかと思います。これは、PCとは限りませんが、鋼の斜張橋などを見てそう感じるわけですが、防錆方法にしても、ケーブルメーカーの立場からすると、もう少し丁寧に、あるいは品質的によりよく架設し

てほしいと思うことがあります。

それと、先ほど温度管理の話が出ましたが、例えばSunshine Skyway橋では、現場製作のケーブルを使っているわけですが、ケーブルの温度の影響、それから桁の温度の影響を、緊張するとき、いかに見るかということが必ずしも確立されないまま工事が進んでいるとも聞いております。

PC斜張橋の維持管理について

座長 どうもありがとうございました。施工については、施工技術面での若干の課題が残されているようですが、現時点では十分施工できるという印象を受けました。それでは、次に計画設計の段階で、維持管理について、何か特に気を払われているようなことがございますか。

石橋 今、計画中のもので考えていますことは、斜材の再緊張のことも考えてジャッキを出し入れできる配慮をしておかなければいけないことと、タワーの頂上の航空障害灯の点検とかでタワーの上に昇れるようなシステムを設計で考えています。

それから百年に一度というか、そういうオーダーの地震が来たときに、ある程度剛性低下を考えていまして、それよりももっと大きな地震がくることを考えなければ、後から若干補強できるようにアウトケーブルが入れられる余地等は設計面では配慮をしようと考えております。

座長 なかなか万全な御配慮ですが、主桁について点検車みたいなものは考えていないんですか。

石橋 斜材が主桁の中で定着されていますので、主桁の中に入れるように考えています。ジャッキも重いですから、当然移動用の台車を考えて、主桁の中で自由にジャッキを移動できるような設備を考えております。

坂手 これは常識的な話なのですが、主桁についてはPCの桁ですから、通常考えるぐらいのことは考えなければならないと思います。

斜材の再緊張の問題は石橋さんが言われたとおりなんですけれども、私どもの方で一番議論をしましたのは、ケーブルのメンテナンスをどうするかということです。当然高速道路の上になりますから、その高いところをどうやって点検するかということがまだ未解決ですけども問題意識は持っております。

杉山 タワーと主桁については両方検査車を考えております。

座長 主桁の検査車はどこにつけるのですか。

杉山 まだ、具体的に考えておりません。

座長 ケーブルの話でほかに何かございますか。

田中 ケーブルについては、防錆というのが一番問題かと思います。いろいろな形式の防錆方法はあろうかと思いますが、例えば鋼管とセメントグラウトの場合、鋼管のメンテナンスとしてペンキの塗替えというのが必要になります。

一方、ポリエチレン管とセメントグラウトで防錆した場合、メンテナンスは必要ないというふうに言われていますが、美観の問題などありまして、これにテープを巻いて着色するような場合があります。例えば Pasco Kennewick 橋のように塩化ビニールのテープを巻いたものは 2~3 年でボロボロになってくるというようなことがありますので、もしテープを巻くのであればそのメンテナンスを十分配慮しておかないと、メンテナンスコストが非常にかかるということになるかと思っています。

また、ペンキはポリエチレン管に対しては付着性がなく、現在のところポリエチレン管にペンキを塗ったという例はございません。

それから、ほかにいろいろな防錆の方法があろうかと思いますが、セメントグラウトの代わりにグリースを注入したようなノングラウト方式のケーブルが最近出かけておりますけれども、これについては、ポリエチレン管でカバーするということになりますので、ポリエチレンの耐久性、耐候性というものを十分吟味したものを選択する必要があるかと思っています。

また、欧米の最近の斜張橋は交通を許しながらケーブルを取り替えられるという条件で設計されておりますので、取り替えられるような構造としておくことも必要ではないかと思っています。

PC 斜張橋の将来性

座長 どうもありがとうございました。それでは、最後に PC 斜張橋の将来性についてお話いただきたいと思っています。

曾川 日本の場合、島国で、それと同時に、大河川を相当の数抱えている国だと言えます。今までいろいろな背景から、PC の分野で斜張橋というのは諸外国から見ると立ち遅れたということは否めないと思われますが、これだけの PC 技術というものが積み重ねられた現在で、さらに先ほど来施工関係に携っておられる方から十分対応できる体制にあるんだというようなお言葉がありましたので、我々も設計の立場からしますと、非常に設計上厄介な構造物と言えますけれども、技術先進国の一端を担う日本といたしまして、何とかいろいろ努力して造り出していきたいと考えております。

そういう設計および施工者が一丸となって立ち向かいますと斜張橋というのは急速に増えてくるような感じを持っております。

杉山 維持管理等の完成後のことを考えますと、やはりメタルに比べて塗装一つを取りましてもコンクリート構造ということで、PC 斜張橋のメリットはかなりあると思います。ただ、そういった長大スパンの PC 斜張橋を計画するにあたって、支持地盤のよしあしというものがかなり影響すると思いますので、そういう条件さえ許せば、かなりこれから採用されるケースが多いと思います。

坂手 私は設計のところで述べましたように、耐震性という面を考えた場合には、設計をフレキシブルに考えることによってかなり将来性はあると思います。合わせて、景観面もかなり自由度がある構造系ですから、本来の斜張橋を突き詰めて合理性を考えたら、非常に景観上もすばらしい橋梁形式ではないかと思っています。

石橋 PC 斜張橋の特徴というか、メタルと比べてやはり一つは重量が重いという不利な面がありますが、耐風、疲労、たわみの面ではかなりメリットはあると思います。

それと、今まで日本で造られたのは小さいものが多くて、施工の実績から見ると、コスト的にまだ十分に桁橋に対抗できるレベルに達しているかどうかという点では少し疑問を持っております。少なくとも材料的にはかなり減ってきていますので、その材料と、それと、施工技術面でのコストダウンを図れる余地がかなり残っているのではないのでしょうか。コストダウンを図っていくことによって、100 m を超えるぐらいのところでは、桁橋と十分に競り合う可能性を持っているのではないかと考えております。

田中 アメリカやカナダでは、まず斜張橋については設計の入札があります。条件はセンタースパン幾らということで、鋼とコンクリートを両方設計しまして、同時に入札をします。それが、同じ土俵で鋼とコンクリートが競争をしているというのが現状なんです。

その結果、現在、アメリカでは斜張橋の施工実績のうち、PC 斜張橋が半数ぐらいあるわけですから、結構、鋼橋とも競争力のある形式と思っております。

今井 日本では残念ながら PC 斜張橋に関してはまだ 100 m を超えるものが完成していないということで、大変遅れている状況にあります。もちろん、今日お話をお聞きしましたように、ここ数年の間にかなり大きなものができてくるという期待はあるわけなんです。田中さんのお話にありましたように、特にアメリカなどの状況を見ますと、PC 斜張橋の競争力が十分にあり、大きな

ものがどんどん造られているということで、業界の方から見ましても大変期待したいというふうに思っております。

そのためにも新しい施工法というものの開発も積極的に行っていかなければならないと思っております。

板井 PC 斜張橋全体は非常に合理的な構造であると思っているんですけども、それが諸外国に比べ、日本においてあまり長大化の道を歩まなかったということについて言えば、いろいろな理由があるかと思います。しかし、現在 200 m のクラスのものすでに設計・施工されているわけですが、これは、本四公団で行われた一つの委員会、そこで提案された設計指針が一つのインパクトを与えたからだと思います。

そういった関係で、先ほど設計技術の面でお話があったかと思いますが、そういった設計基準を確立することによって、より採用されやすくなるのではないかと思います。

業者としても施工法等についてはいろいろ見直しをしていって、より経済的な施工法というものを追及していかなければならない点は、問題として残されていると思っています。

中村 一人の技術屋として言わせていただきます。坂手さんは先ほど Brotonne 橋を見られてすごく感動を受けられたとおっしゃったのですが、私も Brotonne 橋、それから Ganter 橋、Luna 橋等、いろいろな橋をヨーロッパで見てきたわけですけども、やはりあの感動は

PC を志す技術屋としては当然のことだと思うんです。ですから、今いろいろお話を聞いて、景観を重視していいですか、景観を考慮した設計というものがなされて、PC 斜張橋が採用されるとしたら、これはすばらしいことだと思うんです。日本でも施主の皆さんがそういう姿勢を持たれてきたというのもすばらしいことだと思います。私も是非大きい斜張橋を日本で造ってみたいと思います。

石原 PC 斜張橋を普及させるための一番大きな課題はコストダウンだと思っております。私も業者の側でございますから、施工技術面でのコストダウンを目指してがんばっていきたく思っております。また PC 斜張橋は鋼橋とやはり競合する領域になってこようかと思えます。したがって、鋼製メーカーさんが工場で製作される品質と同等レベルのものを私達は現場で造れるような技術を開発し、アピールしていけば、コンクリートはトータルコストでは勝てると思えますから、PC 斜張橋は非常に普及していくのではないかと思います。

座長 どうもありがとうございました。PC 斜張橋の将来性について、あるいはその総括のようなものについて意見が出尽くしたようでございます。

欧米に比べて多少長大化が遅れていた日本の PC 斜張橋の現況でございますけれども、将来は非常に明るいというふうな感じを強く受けました。

どうも皆さん、長らくありがとうございました。

〔文責：本誌編集幹事〕

◀刊行物案内▶

PC 定 着 工 法

(1982 年改訂版)

本書は、現在我が国において多く用いられている PC 定着工法 19 種についてとりあげ、それぞれの工法の概要、構造、施工法、特長、注意事項などを解説したものであります。

設計者、施工者の利用とともに教育用テキストなどにも広く使用できることと思えます。

また付録として PC 鋼材一覧表（改訂版）等を添付してあります。

ご希望の方は代金を添え（現金書留かまたは 郵便振替東京 7-62774）プレストレストコンクリート技術協会宛（電 03-261-9151）お申し込みください。

体 裁：B 5 判 94 頁

定 価：2,800 円（会員特価 2,500 円） 送 料：350 円