

第 2 マイン橋 について (ディビダーク工法による PC 斜張橋)

坂 村 泉*

1. ま え が き

第 2 マイン橋は西ドイツの著名なヘキスト 化学会社 (Farbwerke Hoechst AG) の 2 番目の工場内連絡橋として、Dyckerhoff & Widmann 社の設計施工により PC 斜張橋構造でメイン河に架橋されたものである。ヘキスト化学会社の工場はメイン河の北岸と南岸に別れており、この間の原材料、エネルギー、半成品、製品などの移送のほか作業者の連絡路として 1960 年に片持梁張出架設による PC 桁橋が建設されたが、その後の南岸工場施設の急速な拡充に伴い第 2 の連絡橋の建設が要求されるようになり、6 車線 (内 3 車線は一般公共用) の道路と 1 車線の鉄道およびパイプラインの共用橋梁として建設された。鉄道を併設する PC 橋梁としては 148 m という世界最長の主径間長を有するこの第 2 マイン橋は、1970 年 7 月に最初の基本設計に取りかかって以来、その後の約 20 か月の間に構造様式の検討、構造計算、斜吊り材の開発および基本構造部の施工が行われ、引続いて舗装、高欄、照明ならびに取付部の法面安定工事などが行われて 1972 年 7 月に竣工した。以下に第 2 マイン橋の設計、構造および施工の概要について報告する。

2. 設計および構造の概要

第 2 マイン橋の架橋地点は、ヘキスト化学会社の工場内既存施設の関係からあらかじめ決定されており、橋軸がメイン河の流心線に対し 77 度の角度をなす斜橋とし、約 150 m 幅の流水域を跨ぎ、北岸においては古い工場施設の高い護岸に達し、南岸においては北岸より約 7 m 低い取付部に至る全長約 300 m の橋梁として計画された。メイン河はライン河と同様、西ドイツ工業の動脈として船舶の航行が頻繁であり、できるだけ幅広く径間をとり、施工中においても船舶の航行を妨げず、また洪水や流氷の流下についても十分な配慮を施すことが要求されている。船舶の航行の面からは橋梁の径間長のみでなく、桁下許容空間に対しても法規により船舶可航最大高水位上 6.40 m という制限が定められている。一方、鉄道併用橋ということで、北岸工場内の既存の鉄道引込線

のレベルと許容勾配によって橋面のレベルも自ら決ってくるため、橋梁の最大たわみを考慮すると上部工の構造高さは 2.65 m 以下に抑えられなければならなかった。中間橋脚なしにはほぼ 150 m 近い流水部を、僅か 2.65 m の構造高さしか許されない上部工で架橋しなければならないという条件が、PC 斜張橋が採用される一番の要因となった。

約 300 m の橋長の内、メイン河の流水部が北岸側にかたよって位置している関係から、メイン河を越える 148 m の主径間の南側に約 94 m の側径間部が接続するという径間割りのもとなった。このように、側径間側には主径間に比して比較的短い吊り材の碇着区間しかないという条件から、主径間の 148 m 長の補剛桁をすべて橋塔からの斜吊り材で吊り下げるのではなく、橋塔より約 115 m の位置にヒンジを設け、北岸の橋脚より約 33 m 突出した片持梁と接続させるという構造形式が採用された。この北岸の橋脚からの片持梁も、当然上述の桁高制限を受けるものであるので、車道板より上の部分に「Betonseigel」と称する最大構造高さ 6 m、厚さ 1.24 m の三角形のコンクリート桁が、あたかも橋塔と斜吊り材をコンクリートで包んで一体にした格好で設けられている。斜張橋部分は側径間側 94 m、主径間側約 115 m の補剛桁が、約 53 m 高さのコンクリート橋塔よりそれぞれ 13 組の斜吊り材で吊り下げられている。補剛桁長の関係から、斜吊り材の傾斜は側径間側で 1.8 : 1、主径間側で 2 : 1 とされた。第 2 マイン橋の側面図および平面図を 図-1 に、径間割りおよび構造形態の説明図を 図-2 に示す。

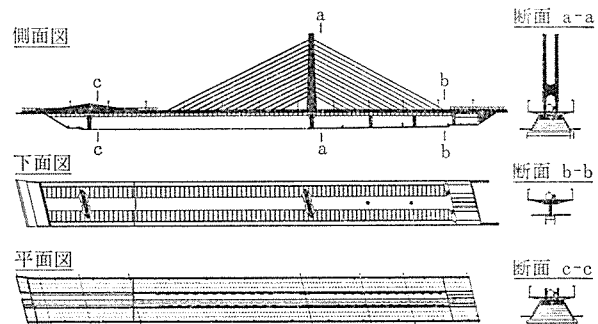


図-1 側面図および平面図

* 住友電気工業株式会社特殊線事業部

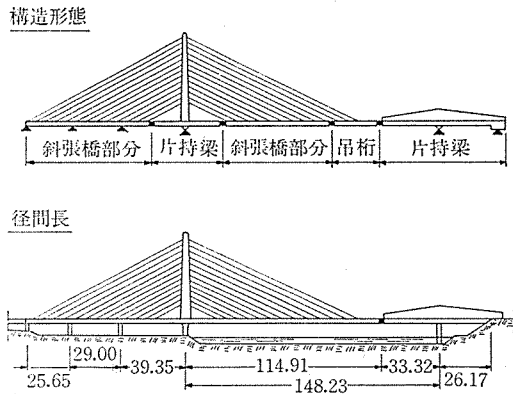


図-2 構造形態および径間長

橋塔部の橋脚および北岸の片持梁の橋脚は上部工と一体に剛結された構造になっており、両橋脚は全く同形に構築されている。南岸の側径間部には3箇所、中間橋脚が設けられ、これと北岸の橋台には可動支承としてネオトップ・テフロン支承が設置されている。また異常時のアンバランスに対する安全性を確保するためには、基礎地盤中への引張アンカーを用いず、北岸の Betonsegel 桁にあっては橋台部に対重を設け、南岸の側径間斜吊り材碇着区間にあっては補剛桁を相応に重く構成することで対処している。

横断面構成は、図-3 に示すように鉄道とパイプライン

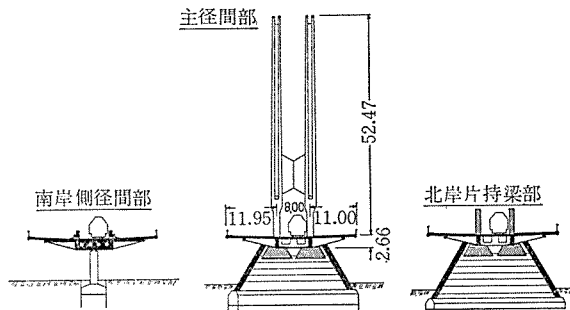


図-3 横断面図

ンが中央部にあり、その両側にそれぞれ 9m 幅の車道と、公共用道路側（下流側）では 1.75m 幅の歩道とからなり、全幅員は約 31m になっている。大きく分けて 3 区分される路面構成に対応して、道路区分と鉄道、パイプライン区分との境い目に、8m の間隔で直立する 2 つの主耐荷面が選定されている。この主耐荷面内に斜吊り材が配置され、2 本の橋塔と箱桁として構成されている補剛桁の腹板が位置し、この腹板と橋塔に斜吊り材が碇着される構造になっている。補剛桁は図-3 に示されているように、箱桁から車道板が左右に大きく張出し、この車道板が 3m 間隔で設けられている横桁と、その先端に配置されている縦桁とによって支えられる構造になっており、十分な曲げ剛性とねじれ剛性を有するもの

である。

図-4 は線荷重 $g=1\text{ t/m}$ を載荷した場合の補剛桁の曲げモーメントの分布を示したものである。正の曲げモ

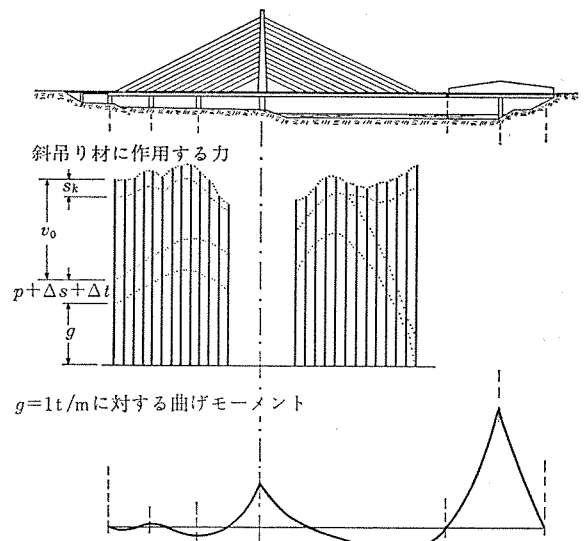


図-4 斜吊り材に加わる力および補剛桁の曲げモーメント

ーメントは、構造概念上の仮定の吊り桁部分（図-2 参照）に生じ、負の曲げモーメントは北岸の片持梁構造の部分および南岸の橋塔の前後の部分に生ずるが、斜張橋部分の曲げモーメントはいずれにしても低減したものとなっている。また、図-4 には各種の荷重条件下において斜吊り材に生ずる力の大きさも示してある。斜吊り材を緊張することにより、最大荷重作用下においてすべての斜吊り材に加わる力をほぼ均等化させ、所要の支持機能を発揮させることができる。

なお、橋梁の上部工、橋脚および橋塔には B450 級のコンクリートが使用された。また、Betonsegel ならびに補剛桁の縦方向および横方向のプレストレスングには $\phi 26\text{mm}$ および $\phi 32\text{mm}$ の SBPR-85/105 級の PC 鋼

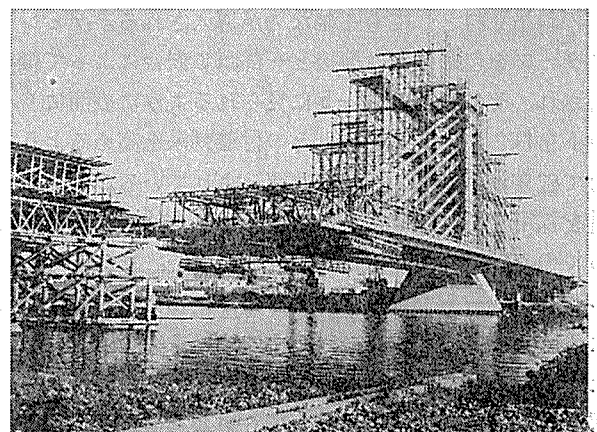


写真-1 施工中の第 2 マイン橋

棒によるディビダーク緊張材が用いられ、斜吊り材としては後述する $\phi 16\text{mm}$ のゲビンデスターブが使用された。フォルパウ・ワーゲン（張出架設作業足場）を用いて補剛桁を突出させながら施工区分ごとに斜吊り材を張り渡している状況を写真-1に示す。

3. 斜吊り材の構造

斜張橋における斜吊り材は補剛桁とともに構造主要部材であり、施工中においても、また供用状態にあっても十分な静的および動的強度を有するものでなければならない。特に碇着部における斜吊り材の疲労強度に関しては十分な配慮を施す必要がある。また腐食に対しても永久に保護される構造のものでなければならない。

第2メイン橋に用いられたディビダーク方式の斜吊り材の構造は図-5に示すように、直径16mmの総ねじ

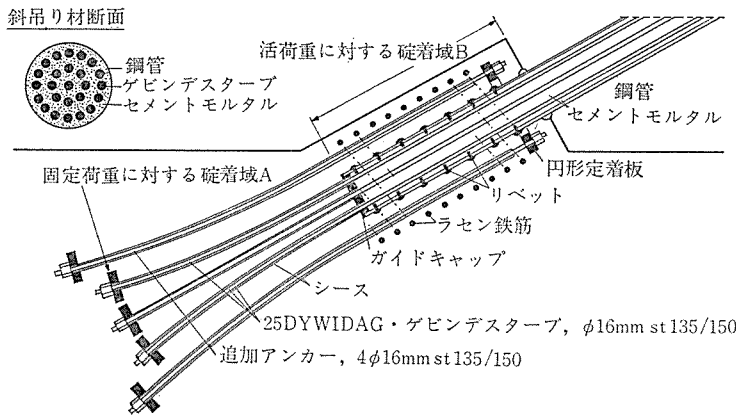


図-5 斜吊り材の碇着部構造

異形PC鋼棒—ゲビンデスターブ—(SBPD-135/150) 25本がスペーサーを介して外径約194mm、厚さ5.4mmの鋼管の中に平行して配列され、その端部は橋塔および補剛桁腹板中に扇状に分散し、個々にナットと定着体により定着される構造になっている。これらゲビンデスターブは個々に緊張され、確実に定着されるので、全体の斜吊り材としても正確な力が導入される。ゲビンデスターブを包む鋼管は溶接と一部ねじ嵌合によって継ぎ足され、その端部は図-5に見られるように表面にリベットを打ち、コンクリートとの付着効果を高めるようにして碇着部コンクリート中に埋込まれている。独自の構造を採用することにより、鋼管には基本的に活荷重によってのみ応力が生ずるようになっている。また斜吊り材がコンクリートで拘束される位置で生ずる風荷重などによる固定端モーメントに対処するため、鋼管は補強されたものになっている。図-5に示されているように、斜吊り材に加わる力の内、プレストレスを含む固定荷重による力は碇着域Aにおいて定着体を介してコンクリート

に伝えられ、活荷重による力は碇着部Bにおいて鋼管とコンクリートとの付着および鋼管に取付けられたリングアンカープレートとPC鋼棒とにより伝達される機構になっている。したがって碇着域Aには活荷重による繰返し応力が伝わってこない構造になっている。施工中におけるゲビンデスターブの防食は、清浄な乾燥した空気を鋼管中に吹き込むことによって行われた。この処置は現場にテスト材を工期中置いておき、同様の処置を併行して行い、完全な防錆効果がえられていることを確認しながら実施された。ゲビンデスターブを緊張した後、鋼管中にはセメントモルタルをグラウトし、ゲビンデスターブの防食を行うとともに鋼管とゲビンデスターブとの間に付着を生ぜしめるようにしている。また鋼管は防食のため、その外面にHypalon塗装を施している。

完成した斜吊り材の破断荷重は860tである。この斜

吊り材は各施工区分ごとに4本、すなわち片側の橋塔に2本ずつ配置されている。橋塔の碇着域においては、主径間側の2本の斜吊り材と側径間側の2本の斜吊り材を相互に交差せしめて定着する必要がある。このため主径間側の2本の斜吊り材は垂直方向に並んで配置され、側径間側の2本の斜吊り材は水平方向に並び、その間に主径間側の斜吊り材を挟む格好に配置されている。橋塔部における斜吊り

材の配置および定着の状態を図-6に示す。

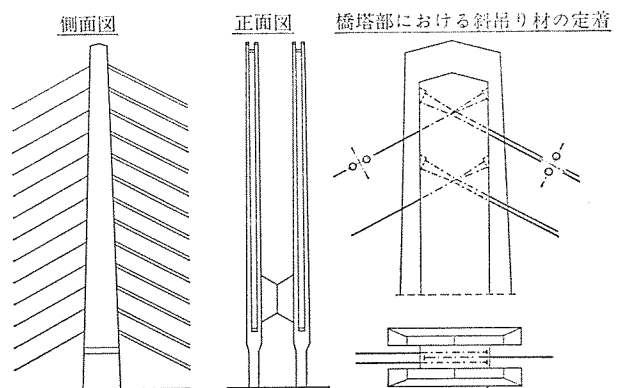


図-6 橋塔部における斜吊り材の配置

4. 工事計画と施工

第2メイン橋は主径間におけるせん断力ヒンジが、2つの互いに独立した構造部分に分割するように設計されている。施工に際しての構造形態面からの条件は、斜張

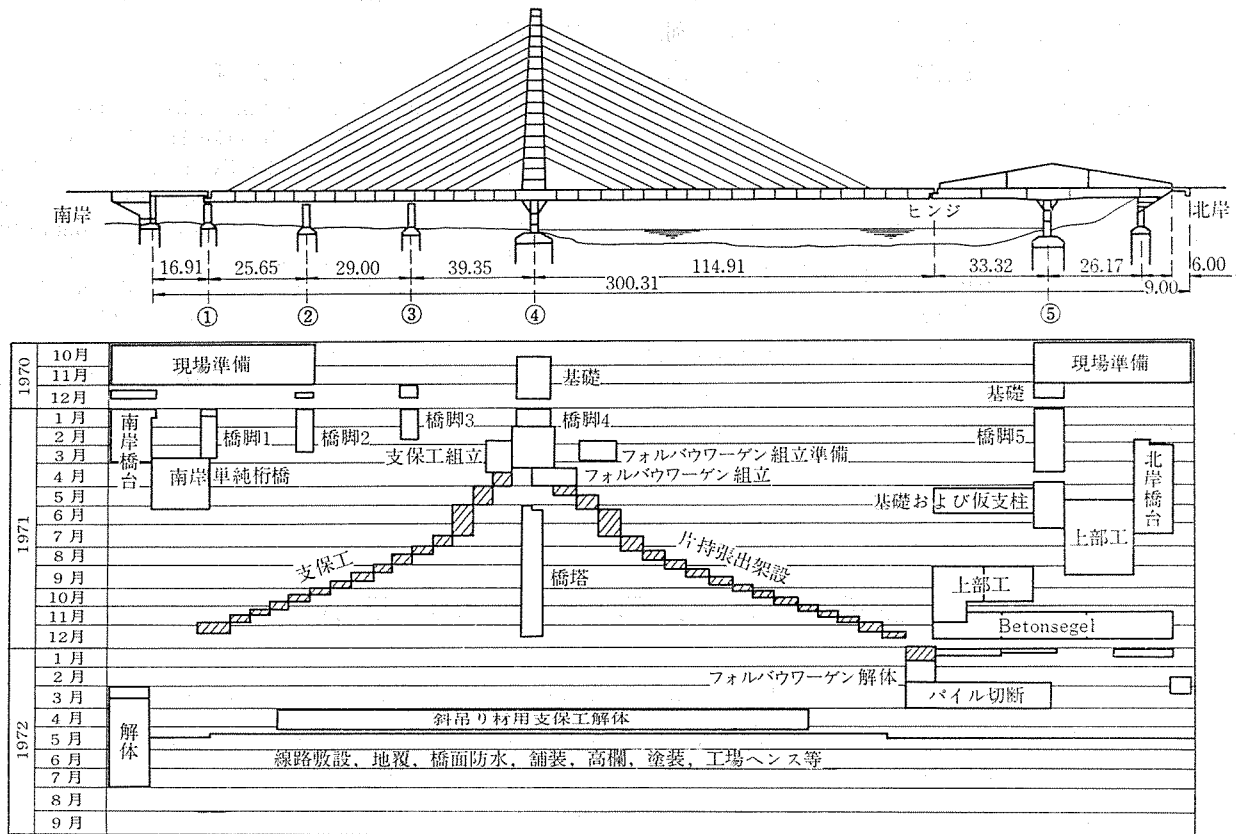


図-7 第2メイン橋の工程図

橋の補剛桁の最後の施工区分がコンクリート打ちされる前に北岸の片持梁が完成していなければならないということである。構造規模から見ても明らかなように、工事の主要部分はヒンジより南岸側の斜張橋部分であり、まずこの部分の施工に重点がおかれた。実施に際し採用された工程表を 図-7 に示す。

主径間側の補剛桁は 写真-1 にも示されているようにフォルバウ・ワーゲンをを用いての片持梁張出架設によって建設された。1回の施工区分長は斜吊り材の定着の関係から 6.3m とされた。側径間側の補剛桁の施工は移動支保工を用い、5.8m の施工区分長ごとに主径間側と同じ施工サイクルで行われた。施工中における安定性の理由から、側径間側の施工区分は主径間側の施工区分よりも先にコンクリート打設が行われ、次いで主径間側のコンクリート打設、さらに引続いてこれらの施工区分に対応する橋塔の施工区分のコンクリート打設が行われた。このような順で、順次にコンクリート打設を行うことにより、コンクリート打設の際に斜吊り材の定着部が片持梁の変形によって未だ固まらないコンクリート中で変移するのを防止することができた。

これら繰返し作業の1サイクルは、当初の作業習熟期間内では3週間、その後は2週間と計画されていたが、

実際には短期間の後に1.5週間のサイクルで行われるようになり、予定工期を2か月半短縮する結果となった。完成した状態の第2メイン橋を 写真-2 に示す。

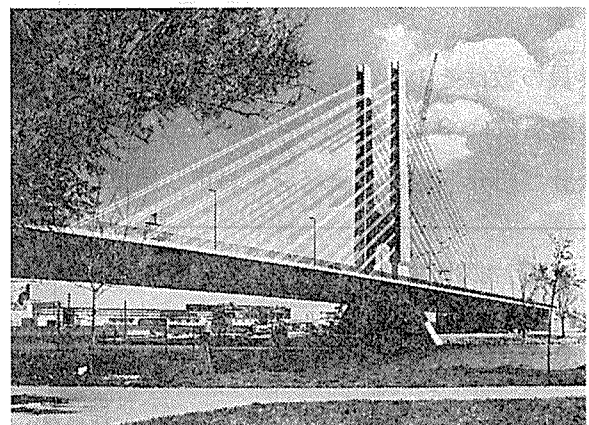


写真-2 完成した第2メイン橋

5. むすび

以上 Dyckerhoff & Widmann 社より発表された 2,3 の技術報告をもとに、ディビダーク工法によるPC斜張橋の最初の実施例である第2メイン橋の構造および施工概要をとり纏めて報告した。第2メイン橋の建設を通じこの種のPC斜張橋は、補剛桁の自重が大きくなるもの

の断面剛性も大となるため、変形は小さくなり活荷重作用下における吊り材の繰返し応力も低減するという利点を有していること、また安全にかつ目的に適った方法で建設しうる構造形式のものであることなどが確かめられている。

わが国においても、規模としては未だ第2メイン橋にまで至らないものの、すでに筑波学園都市の大角豆歩道橋や、径間長 96m の三保ダム洪水吐横断橋などディビダーク工法によるPC斜張橋が建設されている。ディビダーク片持梁張出架設工法によりPC桁橋の径間長は240mにまで拡大してきたが、さらに長大径間のPC橋梁を経済的に架橋しうる構造として、PC斜張橋が将来

多くの長大径間の架橋プロジェクトに適用されることが期待される。

参 照 文 献

- 1) DYWIDAG Berichte, Sonderdruck: "Der Bau der 2. Mainbrücke der Farbwerke Hoechst AG"
- 2) H. Schambeck: "Bau der Zweiten Mainbrücke der Farbwerke Hoechst AG—Konstruktion und Ausführung—", Sonderdruck aus Vorträge Betontag 1973.
- 3) H. Schambeck, K. Finsterwalder: "Spannbetonschrägseilbrücken", Festschrift 50 jährigen Dienstjubiläums von Dr.-Ing. U. Finsterwalder.
- 4) Dyckerhoff & Widmann AG: "Dywidag-Spannverfahren, Paralleldrahtseil", Bericht Nr. 14, Juni 1972.

転勤（または転居）ご通知のお願い

勤務箇所（会誌発送，その他通信宛先）の変更のご通知をお願いいたします。

会誌発送その他の場合，連絡先が変更になっていて，お知らせがないため郵便物の差し戻しをうけることがたびたびあります。不着の場合お互いに迷惑になるばかりでなく，当協会としましても二重の手数と郵送料とを要することになりますので，変更の場合はハガキで結構ですから，ただちにご一報下さるようお願いいたします。

ご転勤前後勤務先に送ったものがそのまま転送されないでご入手になれない場合は，当方として責任を負いかねますからご了承下さい。

会員増加についてお願い

会員の数はその協会活動に反映するもので，増加すればそれだけ多くの便益が保証されています。現在の会員数は2200余名ですが，まだまだ開拓すべき分野が残されております。お知合いの方を一人でも余計ご紹介下さい。事務局へお申し出下されば入会申込書をすぐお送りいたします。

◀刊行物案内▶

PCくい基礎の最近の進歩

—PCくいの正しい使い方—

体 裁：A4判 246 ページ

定 価：2000 円（会員特価 1800 円）送料 600 円

内 容：1) PCくい，2) PCくい基礎の設計，3) PCくいの施工，4) 超高強度コンクリートくい，超大径くい

お申込みは代金を添え，（社）プレストレストコンクリート技術協会へ