

スイスにおけるロベール マイヤールと クリスチャン メンの橋梁

辻 幸和*

スイスが生んだ偉大な構造技術者であるロベール マイヤールおよびクリスチャン メン名誉教授がそれぞれ設計したシュタウファッヒャー橋、ヴァルチール橋、サルギナトール橋およびヴィア マラ橋、ガンター橋、ズンニベルク橋を採り上げ、それらの橋梁の特徴を述べた。いずれの橋梁とも、スイスだけでなく世界における代表的なもので、橋におけるコンクリートの構造形態の可能性を追求し、それが優れた構造美や景観を醸し出して、コンクリート橋の存在を著しく高めてきた地域のランドマークであることを特筆したい。

キーワード：ロベール マイヤール、クリスチャン メン、橋梁、構造美、景観、スイス

1. はじめに

ロベール マイヤールは、スイスのETH (Swiss Federal Institute of Technology: スイス連邦工科大学) を卒業後、スイスにおいて生涯にわたって鉄筋コンクリートの可能性を主として橋について追求した偉大な技術者である。彼の残したコンクリートの構造美は、橋だけでなく建築にも大きな影響を及ぼして現在に引き継がれている。またクリスチャン メン名誉教授もETHを卒業後、ヴィア マラ (Via Mala) 橋やガンター (Ganter) 橋を設計し、ETHの教授を長年務めた後に、ズンニベルク (Sunniberg) 橋なども設計した世界的に著名な構造技術者である。そして、彼が敬愛している人物が、ロベール マイヤールである。

本文では、ロベール マイヤールおよびクリスチャン メン名誉教授が設計したスイスにおける代表的な3橋梁として、それぞれシュタウファッヒャー (Stauffacher) 橋、ヴァルチール (Valtschiel) 橋、サルギナトール (Salginatobel) 橋およびヴィア マラ (Via Mala) 橋、ガンター (Ganter) 橋、ズンニベルク (Sunniberg) 橋を採り上げ、それらの橋梁の特徴を述べる。

2. シュタウファッヒャー (Stauffacher) 橋

この橋はロベール マイヤール (Robert Maillart) が設計し、1899年に完成した3ヒンジ式無筋コンクリートアーチである。橋長が53.9m、アーチスパンが39.6m、アーチライズが3.7m、全幅は20mである¹⁾。ライズスパン比が約1/10と小さく、力学的に洗練された印象を与えるこの橋は、現存するマイヤールの最初の作品である。

3ヒンジのコンクリートアーチ構造を、本格的に採用してはいるものの、それまでの伝統的な石造アーチ構造からは、コンクリートを用いて模倣していると見なされ、まだ十分に脱しきれない面は残っている。アーチリブと鉛直壁は無筋コンクリートで、床版部分のみを鉄筋コンクリート

としている。アーチのクラウン部はまた軽量化を図るため、軽量レンガを充填した構造である。そして、他の部分は軽量化を図るために、アーチリブは鉛直壁を介して鉄筋コンクリートの床版と有機的に構成されている (図 - 1, 写真 - 1)。側面のコンクリート表面には石によるデザインが施され、重厚な石橋を思わせる景観となっている (写真 - 2)。

完成から100年以上を経た現在でも、チューリッヒ市内の幹線道路における道路橋としての機能を十分に果たしている。そして、周囲の近代的なビル群にも見事にマッチし

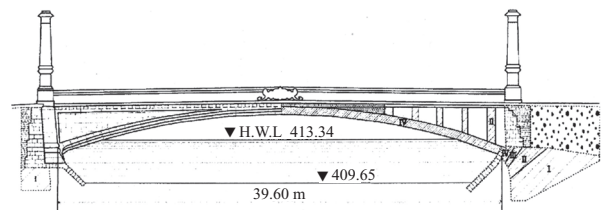


図 - 1 シュタウファッヒャー (Stauffacher) 橋の側面図¹⁾

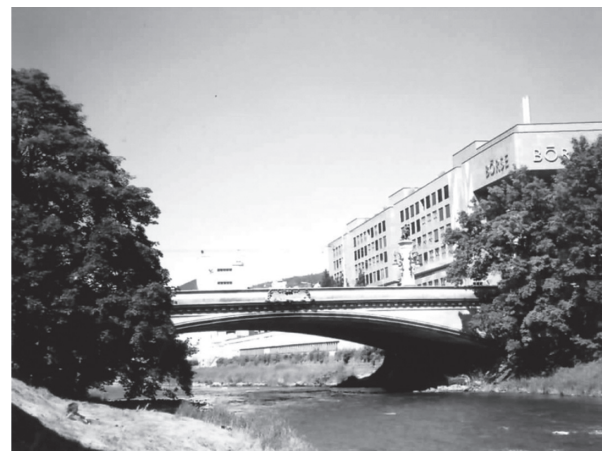


写真 - 1 シュタウファッヒャー橋の全景

* Yukikazu TSUJI: 前橋工科大学 学長

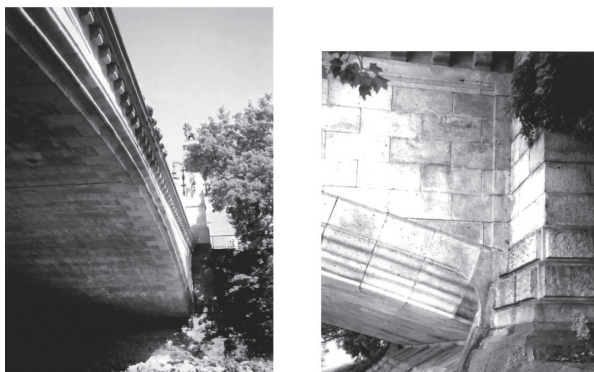


写真 - 2 シュタウファッハー橋の近景

て、チューリッヒの街並みの素晴らしい風景を構成している。

3. ウアルチール (Valtschiel) 橋

マイヤールの代表作品のなかで、ウアルチール (Valtschiel) 橋はほとんど採りあげられていない。アーチ橋の設計においてこの橋は、構造的に大きな進歩を成した作品として特筆される。ウアルチール橋はまた、ウアルチールバッハ (Valtschielbach) 橋とも称されている。

1992年9月にダボスで開催された「欧州構造基準 (ユーロコード) に関する国際会議のテクニカルツアーで訪れたが、機会があればもう一度時間をかけてゆっくり訪ねてみたい橋の一つであった。プレストレストコンクリート技術協会企画の2006年の欧州橋梁調査の際には、ウアルチール橋の下流側の直線距離で2~3km離れたツィリス (Zillis) 村の休憩場 (集会場) まで行き、そこで、販売人や地元の人々にドイツ語も話せる運転手の助けを借りてその場所を尋ねたが、訪れることができなかった。

半井健一郎先生が、2009年の6月にスイスのチューリヒ市近郊の町のNagra (放射性廃棄物管理共同組合) に短期留学しており、先生の運転で、先生が現地で購入したGPSナビゲータを駆使してはじめて実現した。小戦が記憶していたツィリス (Zillis) 村ではなく、その上流のドーナット (Donath) の地名を探しあててはじめて可能となり、約20年間の思いが現実となり、嬉しさがひとしおであった。その調査結果は、半井先生と連名で報告した²⁾。

ウアルチール (Valtschiel) 橋のウアルチール (Valtschiel) は、ドイツ語で“天国の谷”と称されるスイスのグラウビュンデン郡のドーナット (Donath) 村の上流に位置する小さな峡谷である。深さが約40mの峡谷を跨ぐために、43mのスパンで、1925年に建設された。マッシブな橋台はべつにして、この橋は使用材料を最小限にした設計がなされている。図-2に示すように、アーチリブの厚さは約30cmで、欄干の厚さは20cmであり、床版の厚さだけでなく鉛直壁の厚さは16cmと非常に薄くなっている³⁾。写真-3および写真-4は、下流側中央から、および下流側左岸からのウアルチール橋を示す。1925年に建設され、80年以上を経過しているが、いまだ良好な状態にあることは注目できる。

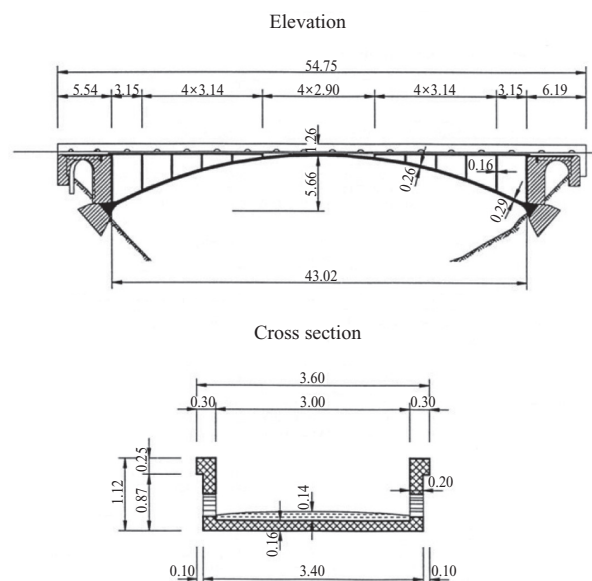


図 - 2 ウアルチール (Valtschiel) 橋の形状寸法³⁾



写真 - 3 下流側中央からのウアルチール橋



写真 - 4 下流側左岸からのウアルチール橋

このような薄いアーチでも、自重と均等な交通荷重に対しては十分な強度を保持している。しかし交通荷重が片側にのみ載荷された場合は、載荷側のアーチが屈曲し、反対側のアーチが浮き上がることになり、許容できない大きな変形が生じる。そこで、欄干とともに床版が協同して、このような偏荷重に対応させることを、マイヤールはウアル

チール橋に初めて適用したのである。

このような床版と欄干を合成した桁部が、アーチ橋に十分な剛性を与える構造型式を「補剛桁アーチ」構造と称しており、アーチ部の剛性を高めた「補剛アーチ」構造に比べて、桁とアーチの変形を小さくできるのである。そのため、この「補剛桁アーチ」構造が現在のアーチ橋の起源になっている。のちにスイス連邦工科大学の教授となったクリスチャン メン名誉教授も、このアーチ構造を利用して後述するヴィア マラ (Via Mala) 橋など多くの美しいアーチ橋を設計している。

なお記憶していたツィリス (Zillis) 村には、立派な教会があり (写真 - 5)、内部の優れた天井絵が有名で (写真 - 6)、ダボス近郊における見学場所の一つになっている。ウォルチール橋の調査と探索の後、半井先生とその教会を見学している際に、クリスチャン メン名誉教授の展示会がたまたま近くの村の公民館において開催されていることを見つけて出かけた。そして、彼の作品のビデオと模型による紹介を十二分に堪能した (写真 - 7, 8)。ツィリス村は、メン名誉教授が幼年期を過ごした場所であり、展示会で受付をされていた年配のご婦人方も、彼を大変自慢にしておられた。



写真 - 5 ツィリス (Zillis) 村の立派な教会

4. サルギナトーベル (Salginatobel) 橋

ロベール マイヤールの設計したなかでもっとも有名な橋が、サルギナトーベル橋である。グリソン州シールズ (Schiers) のランドクヴァント川に架かるサルギナトーベル橋は、きわめて絶妙なバランスを保った造形を有する3ヒンジ鉄筋コンクリート (RC) アーチの橋梁として名高い (写真 - 9)。郵便を配達する小さな車しか通れない1車線の山道が、ランドクヴァント川の深い谷を越える場所に位置している。イギリスの雑誌において、世界でもっとも美しい橋と評されている⁴⁾。またその景観は、米国土木学会 (ASCE) の *International historic civil engineering landmark* (歴史的土木構造物) として、1991年に認定されており、その記念メダルが橋に設置されている。

ウォルチール (Valtschiel) 橋の「補剛桁アーチ」構造と



写真 - 6 ツィリス (Zillis) 村教会の素晴らしい天井絵



写真 - 7 クリスチャン メン名誉教授の展示会の内部
(中央の写真がメン名誉教授)



写真 - 8 クリスチャン メン名誉教授の展示会の内部

は異なり、設計された橋の特徴としては、3ヒンジアーチ構造であり、そのアーチリブは中空箱桁のように荷重を橋全体で支えることによって、力学に合理的な力の流れを作り出している (写真 - 10)。アーチスパンが90mの3ヒンジRCアーチ橋としての美しいフォルムが最大限に引き出されて、軽快感と優美さを兼ね備えている。



写真 - 9 サルギナトobel (Salginatobel) 橋

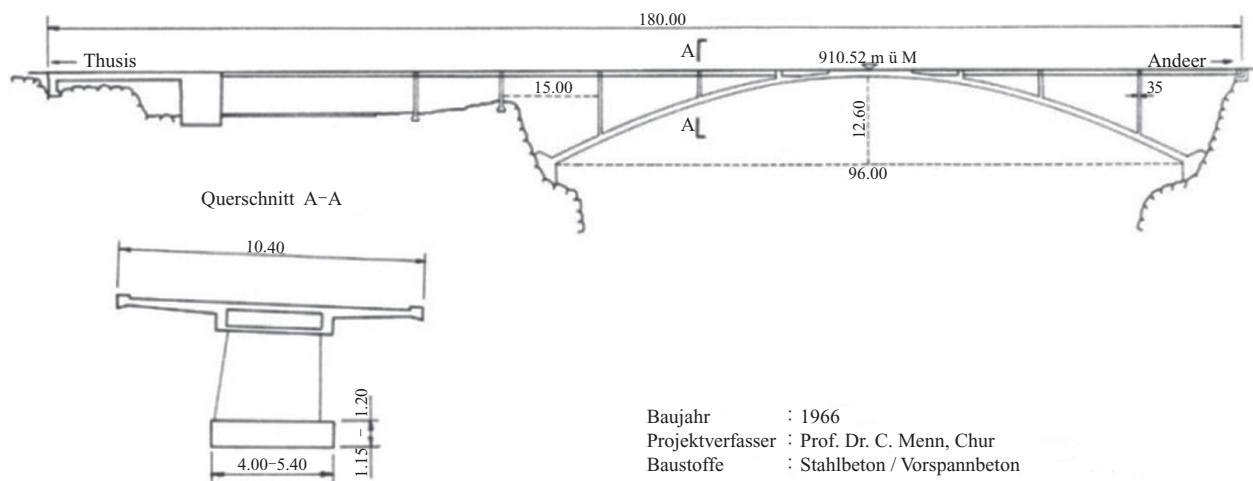


写真 - 10 サルギナトobel橋のアーチリブと鉛直壁

ワールチール橋と同様に、当時の交通荷重に対して設計されていた。幅員は3.8 mで、車軸荷重の許容値は40 kN (4 t) であった。その後、車両の幅と特に自動車荷重が大幅に増加してきた。なおマイヤールが橋を建造した当時は、建設材料を最小にするために断面形状寸法を非常にタ

NATIONALSTRASSE N13

VIA MALA BRÜCKE BEI THUSIS

図 - 3 ヴィア マラ (Via Mala) 橋の形状寸法³⁾

イトに選定して、建設コストを抑えていた。

このサルギナトobel橋は、マイヤールによる鉄筋コンクリート橋のなかで画期的な作品の1つであり、彼の代表作といえ、美観の面でも優れた橋梁である。そしてこの構造デザインは、今日でも構造開発のモデルになっており、現代橋梁の記念碑とも位置付けられている。

5. ヴィア マラ (Via Mala) 橋

高速道路 N13 がヴィア マラ峡谷を渡る位置に、1966年に竣工したヴィア マラ (Via Mala) 橋には、アーチ部の剛性を高めた「補剛桁アーチ」構造を、クリスチャンメン (Christian Menn) 名誉教授 (スイス連邦工科大学) は採用した (図 - 3)。幅員が10.4 m、アーチスパンが96 m、アーチライズが12.6 mで、ライズスパン比が約1/8と小さいアーチ部とそれに続く桁橋部は、スレンダーで透明感のある優美な景観を風光明媚なヴィア マラの峡谷のなかに醸し出している。

この構造形式は、ロベール マイヤールがワールチール橋の設計に本格的に採用したものであるが、クリスチャンメンがETHの教授に就任する前に、高速道路の橋梁に採用した。鉛直壁を介して床版と桁が薄いアーチリブと協同しており、大型車の偏荷重にも容易に対応させている (写真 - 11)。

6. ガンター (Ganter) 橋

クリスチャンメン名誉教授が、橋の構造デザイナーとして世界的にその名を知られるようになった橋梁がこのガンター (Ganter) 橋で、1980年に竣工したわが国でもよく知られている橋梁である (写真 - 12)。ETHでは、1971年から1992年まで構造工学の教授を務めており、この期間の作品である。

ガンター橋は、国道 N9 がイタリアの国境に近い南スイスの町であるブリークからシンプロン峠 (ブリークの東南



写真 - 11 ヴィア マラ (Via Mala) 橋の薄いアーチリブと補剛桁



写真 - 13 主塔, 斜材, 主桁および橋脚の一体化



写真 - 12 ガンター (Ganter) 橋の全景

約 10 km, 海拔約 1 450 m) へ抜ける間にある壮大なかつ雄大なアルプスを背景にスケールの大きいガンター渓谷に位置して架けられている。

橋長が 678 m の PC 斜張橋である。この橋の橋面は渓谷から約 150 m の高い位置にあり、曲線半径 200 m のアプローチ部をもつ S 字橋である。橋脚の位置は、道路線形、地形、地質および施工性から総合的に判断して、35 + 50 + 127 + 174 + 127 + 80 + 50 + 35 m の 8 径間である。2 車線で、幅員は 10 m である。そのうち、127 + 174 + 127 m の対称 3 径間の部分には、吊材として斜材に PC 部材を用いた特殊な斜張橋となっている。

主塔、三角形の斜材、主桁および橋脚の一体化はほとんど直線で処理されており、シンプルなものである。シャープでしかも安定感のあるデザインではあるが、そのシルエットの美しさには多くの者が感銘を受ける。

とくに斜材としての PC 版は活荷重作用時においても引張応力を生じさせないように十分なプレストレスが導入され、さらに吊ケーブルの防蝕効果および疲労強度と構造全体の剛性の向上に配慮されている (写真 - 13)。

主塔が路面上から 13.5 m と低いために、通常の斜張橋に比べれば景観は劣り、印象も弱いと思っていた。実際に現場でガンター橋に対峙して、その存在感と景観に驚かさ

れた。とくに、主塔、斜材、主桁および橋脚の接合部や曲線部の形態の美しさには、誰もが圧倒される。

7. ズンニベルク (Sunniberg) 橋

1998 年に完成したズンニベルク (Sunniberg) 橋は、クリスチャン メン名誉教授が ETH を 1992 年に定年退職したのちに、概念設計をされた。この橋は、チューリッヒから南東に約 200 km 行ったところにある Landquart (ラントクアート) の町から国道 28 号線を進み、Klosters (クロスタース) の町に入るすぐ手前に位置している。Klosters の町を迂回するスイスアルプス高速道路のバイパス道路が 50 ~ 60 m の深さの谷を跨ぐ場所に架けられている。

橋長が 526 m で、支間長が 59 + 128 + 140 + 134 + 65 m、幅員が 12.4 m の 5 径間連続 PC 斜張橋である。そして全長にわたって、約 500 m の曲率半径を有している (図 - 4、写真 - 15)。本橋のデザインコンセプトは、高橋脚と背の低い主塔を一体の造形とすること、また 2 本の柱を外側に反らせることにより、曲線橋の制約に対処し、かつ優美な造形美を印象づけることであるとされている。さらに、多径間連続橋の床版厚をできるだけ薄くすることであ

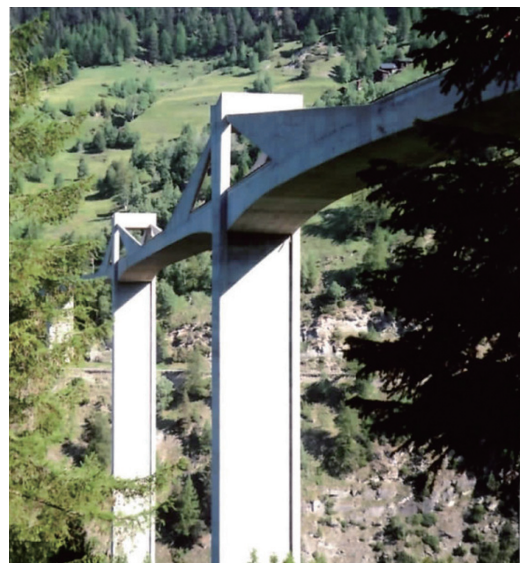


写真 - 14 両端に縁部のある高橋脚



写真 - 15 ズンニベルク (Sunniberg) 橋の曲線形状

の剛性にも配慮されたものである (写真 - 15, 16)。

8. おわりに

スイスが生んだ偉大な構造技術者であるロベール マイヤールとクリスチャン メン名誉教授が設計したスイスにおける代表的な3橋梁として、それぞれシュタウファッヒャー橋、ワルチール橋、サルギナトール橋およびヴィアマラ橋、ガンター橋、ズンニベルク橋を採り上げ、それらの橋梁の特徴を述べた。橋におけるコンクリートの構

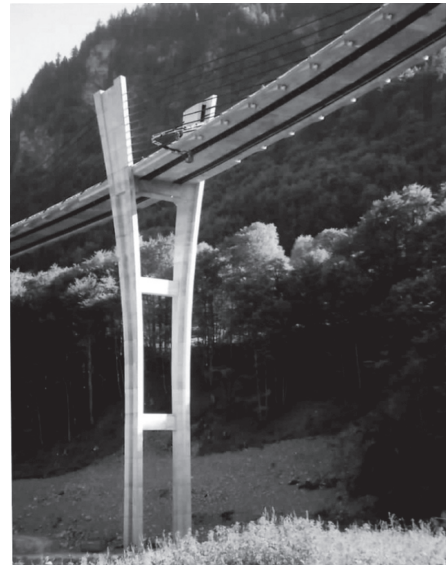


写真 - 16 外側に反らせた橋脚と背の低い主塔

る⁵⁾。

主塔に作用する活荷重による曲げモーメントが過大にならないように、主桁は主塔と橋脚に固定されている。床版厚は図 - 4 に示したように支点部の 0.4 m から中間部の 0.34 m へと変化し、斜張ケーブルはエッジ桁に定着されている。支間中央部の床版にはケーブルによる圧縮力が働かないため、軸方向にプレストレスが導入されている。

大きくカーブする橋体は両側の橋台に剛結されており、走行性に配慮して目地が一切ない構造となっている。また、温度変化による伸縮は、アーチのようにになっている主桁および橋脚の水平方向への弾性変形で吸収される。とくに外に反らせた橋脚の形状は、走行性ととも

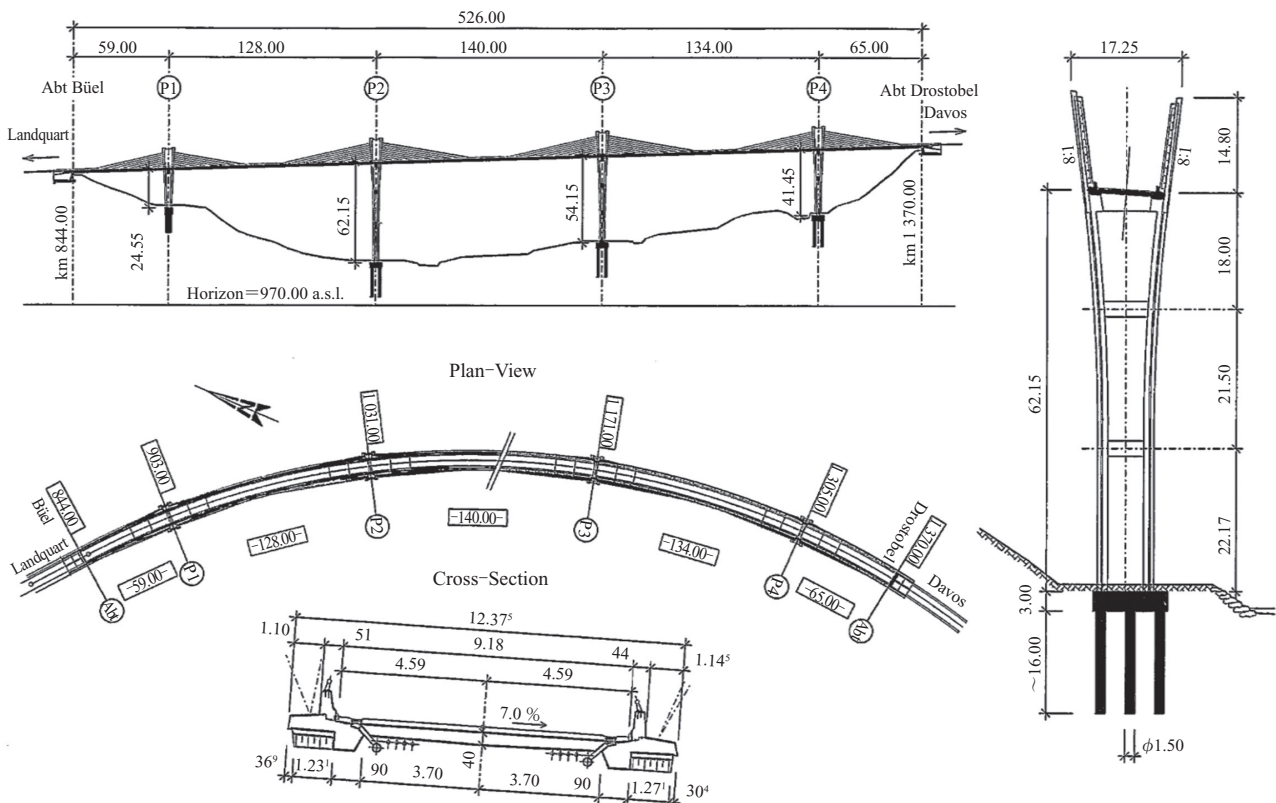


図 - 4 ズンニベルク (Sunniberg) 橋の形状寸法と主桁の断面形状⁵⁾

造形態の可能性を追求し、それが優れた構造美や景観を醸し出して、コンクリート橋の存在を著しく高めてきたことを特筆したい。

謝辞：本文の作成には、プレストレストコンクリート技術協会企画の2006年の欧州橋梁調査「2006年fibコンgres出席並びにイタリア・スイスにおける橋梁調査団」が調査、入手した資料を使わせていただいた。付記して、厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 鈴木 圭：ロベール・マイヤールの構造デザインと設計思想（その2）、土木史研究講演集、Vol.26、pp.17～25、2006年

- 2) 辻 幸和、半井健一郎：マイヤールのワールチール（Valtschiel）アーチ橋の保存と新設橋、プレストレストコンクリート、Vol.52、No.1、pp.52～55、Jan.2010
- 3) Heinrich Figi: The Valtschiel Arch Bridges, IABSE International Conference on Structural Eurocodes, Technical Excursion Document, 16 Sept. 1992, 8pp.
- 4) David P. Billington: Robert Maillart and the Art of Reinforced Concrete, Artemis Publishers, 1990
- 5) Heinrich Figi, Christian Menn, Dialma Jakob Banziger, and Aldo Bacchetta: Sunniberg Bridge, Klosters, Switzerland, Structural Engineering International, SEI Volume 7, Number 1, pp.6～8, Feb. 1997

【2012年6月13日受付】

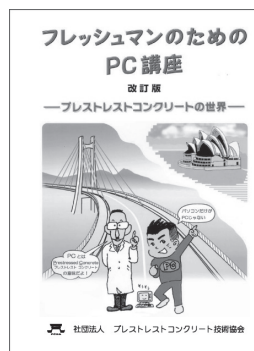


図書案内

フレッシュマンのためのPC講座・改訂版 — プレストレストコンクリートの世界 —

大変ご好評をいただいております「フレッシュマンのためのPC講座」も平成9年に第一版が発刊されてから約10年が経過いたしました。

その間に、基準値・規格値をはじめとした技術基準が従来単位系からSI単位系に移行しました。また、プレストレストコンクリート構造物においても、複合構造等の新しい構造物が誕生しています。そこで、これらの項目を新しく見直して、改訂版を発刊することにいたしました。これからの技術者を育てるためには、大変有意義な図書であると確信しておりますので、是非有効利用されることをお勧めいたします。



主な改訂項目

- ・従来単位系からSI単位系に変更しました。
- ・PCを利用した構造物の紹介に、最近の新しい構造物を盛り込みました。

発刊日：2007年3月

定価：3,600円／送料400円／冊

会員特価：3,000円／送料400円／冊

体裁：A4判、140頁

申込先：公益社団法人プレストレストコンクリート工学会