

ズンニベルグ橋が構造エンジニアリングに与えた影響

— The Impact of the Sunniberg Bridge on Structural Engineering, Switzerland —

著：Thomas Vogel, Kristian Schellenberg

訳：会誌編集委員会海外部会*

スイス、クロスターズ近くに位置するズンニベルグ橋は1998年に完成し、隣接するトンネル工事現場へのアクセス道路としての役割を終えたのち2005年に引き渡された。本橋は卓越した技術の象徴ならびに新形式橋梁の代表として世界中に知れ渡ることとなった。引渡し後に設計業務を引き継いだ設計者と当時のオーナー代表者は、オーナーシップ、設計、計画、施工、引渡し、知名度について第3者の見地から評価し、供用後10年間の構造物の挙動を評価した。また、本橋が橋梁形式の発展や工事関係者の社会的名声、追加建設コストの享受性に与えた影響の評価が行った。最後に、将来問題となり得る耐久性と維持管理に関する事項について記述する。

キーワード：橋梁形式、曲線エクストラードーズド橋、インテグラル橋、耐久性

1. はじめに

ズンニベルグ橋は本ジャーナル（Structural Engineering International：以下 SEI）でも竣工間近の革新的構造物、受賞構造物としてたびたび取り上げられてきた^{1,2)}。高度技術の象徴として国際的に広く認知され、新世代のエンジニアにインスピレーションを与えてきた。本稿の筆者らはズンニベルグ橋の計画と維持管理には参画していない。しかしながら設計業務を引き継ぎ、1997年 SEI¹⁾に記事を投稿している縁から、コンセプト設計者である Prof. Em. Dr. Christian Menn とオーナー代表である Heinrich Figi の業績に対し、次世代のエンジニアを代表して多大な感謝を表明する機会が与えられた。なお、両者はコンタクト可能ではあるが、すでに本橋プロジェクトから離れてしまっている。

2. 変遷

2.1 計画

クロスターズ、ザース、キュープリスに繋がる3本の

バイパス道路を建設する本プロジェクトは、18年間にもおよぶ計画を経て1993～1994年に州政府認可を取得したのち、連邦議会にて1995年に正式に承認された。これら3本のバイパス道路のうち、1本は現在も建設中であり2015年に引き渡される予定である。ズンニベルグ橋は、本プロジェクトのなかでもその優雅なフォルムから一際目を引く構造物である。

2.2 建設

ズンニベルグ橋は1996年に着工し2.5年間の工期をもって完成した。最終ブロックであるP3、P4間中央閉合部のコンクリートは1998年6月24日に打設された。1998年秋の完成後は隣接するゴートシュナトンネル工事へのアクセス道路として利用された。総量250 000 m³の掘削土を運搬するために、本橋は例外的に美しい工事用道路としての役割を担った（図-1）³⁾。最終的な建設コストは20 000 000 スイスフラン（CHF 20.0 Mio）もしくは26 800 000 ドル（26.8 Mio US\$）であった（完成当時のレート）。



図 - 1 完成後のズンニベルグ橋 1998年秋

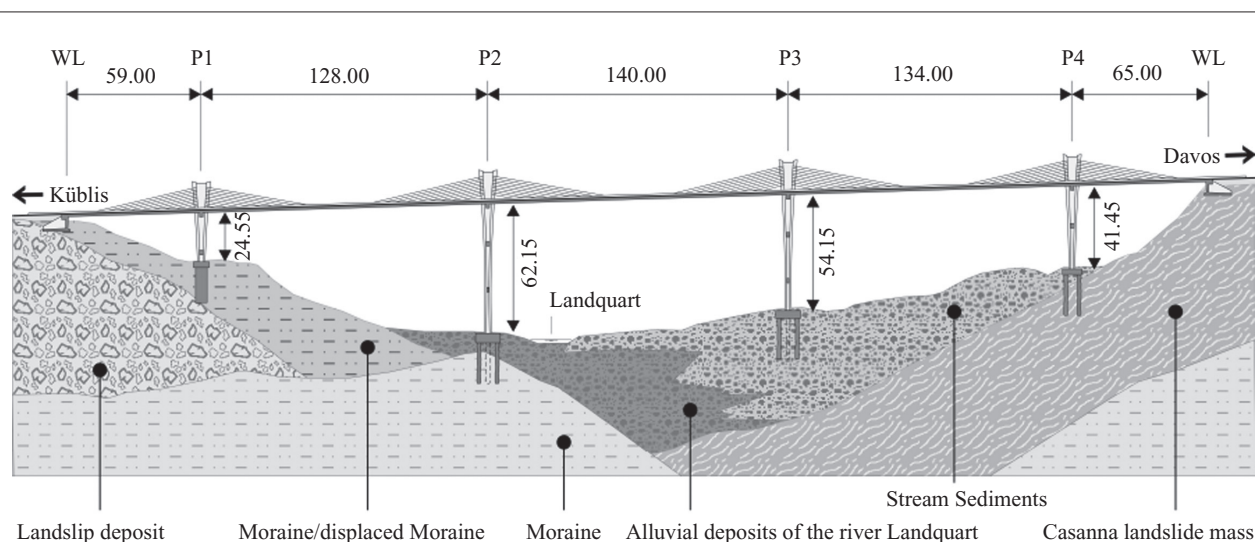


図 - 2 地盤面からの高さ

2.3 自然災害

2005年8月21～23日にかけて、周辺山脈地域一帯が激しい降雨による洪水に見舞われた。ラントクワルト川の氾濫による越流が谷底を縫って流れ続けた。P4橋脚とP3橋脚の間には南方の山地からDrostobel川が流れており、洪水によって大量の水が現場にもたらされた。これによって南側の沢砂が浸食され、河川水位より10m以上も高い位置にあったP3橋脚の基礎が露出した（図-2）。最終的に、長さ16mの杭の上部2.5mが露出されることとなった（図-3）。クロスターズが被った損害は約40 000 000 スイスフラン（52 000 000 US\$）にも及んだ。のちの推定によると、ラントクワルト洪水の規模は再現期間50～100年におよぶ大きなものであった⁴⁾。



図 - 3 杭頭の露出（P3橋脚）

幸いなことに構造物の沈下現象が生じなかったため、本橋はクロスターズのバイパス道路の一区間として予定どおり供用することができた。2005年12月9日に催された開通式では、交通管理主体である連邦参事会と特別ゲストであるウェールズ国王子（クロスターズでスキー休暇を楽しむ）が出席した。

2.4 所有権

2004年11月、スイスの有権者は連盟と州との間での

税や財務負担の新しい配分について同意した。その結果、連盟からの実質的な金融支援と州によって構築されていた全国的高速道路網の所有権は2007年末までに連盟に移行された。ラントクワルトからダボスへの道路は唯一2車線の道路で、その道路は国の道路網に属しているため、ズンニベルグ橋の所有権も同様に移行された。2008年1月以来の唯一のメンテナンスの形跡は、連邦道路庁（FEDRO）により委託された地方自治体によるもののみである。

2.5 受賞歴

建設中および供用開始前からズンニベルグ橋は、国内および国際的な評価を得ていた。2001年のマルタカンファレンス前のIABSEの年次総会において、コンセプト設計者のChristian Mennと詳細設計会社シニアパートナーのDialma Bänzigerに優秀構造物賞が授与された²⁾。2001年9月15日、橋梁で除幕式が行われた（図-4）。



図 - 4 除幕式左から Menn, Ostenfeld (IABSE 元会長), Bänziger

同じ年、ズンニベルグ橋はグラウビュンデン州の文化遺産協会による建築賞を授与された。1988年以来、Ernst & Sohn 出版社は2年ごとにドイツの構造物にエンジニア

賞を贈っていた。2002年の第8回からオーストリアとスイスの構造物にも対象が拡大された。Fritz Wenzel 教授を中心とした有識者の間で、2003年3月6日にその回の勝者としてズンニベルグ橋を選出し、式典は2003年4月9日に行われた⁵⁾。雑誌 SEI の編集者は発刊 10 周年を記念して、1991年から2000年までに SEI に発表されたもっとも好きな構造物を選ぶ調査を行った。その結果、ズンニベルグ橋は第5位に選ばれた⁶⁾。

2.6 構造形式の新規性

次のセクションでは、ズンニベルグ橋の設計において Menn は新しい構造形式を発展もしくは確立したかどうかの疑問を議論すべきだろう。橋梁の技術革新に取り組むそれぞれの技術者はそれぞれの問題に対し、異なったアプローチを行う。独創的な橋梁設計者は、構造形式の分類によらず、与えられた課題のためにもっとも適切な技術的解決策を探索する。大学教授は、実現可能な構造形式の概要・利点・限界を把握しているべきである。幅広い知識に基づいて、開発の方向性や汎用性さえも見越しておく必要があるだろう。美術史家や建築・工学史家は、構造形式の変遷を確認したり、先駆けとなった事例か模倣した事例かどうかを識別したり、著作権がどこにあるのかを判断する。

しかし、どの段階で著作権を判断するのか？

- ① アイデアを紙に残しているか？
- ② 学会で発表する、もしくは論文を提出しているか？
- ③ デザインコンペや入札に参加し、2位もしくは1位に入賞するか？
- ④ プロジェクトが実現可能かつ経済的で、最終的に安く済んでいるか？

技術者は上記 ④ の工程に注意しなければならない。いうまでもなく、これが最大のハードルであり、発明者や設計者がコントロールできない多くの問題があるからである。ズンニベルグ橋ではこれらの項目が、各担当者に割り当てられた。上記のなかで ④ の項目を満たすことが、もっとも技量が必要とされる。

2.7 エクストラードード橋

(1) 用語

「エクストラードード橋」は、1998年にこの構造形式を定義付けし、Arret-Drre 高架橋のために提案した Jacques Mathivat にさかのぼる⁷⁾。この橋梁は、多くの従来工法を用いて建設された。Mathivat はエクストラードード橋を上床版に配置した内ケーブルによるカンチレバー橋とパイロン高：支間比が約 1/5 で張力の上限が引張強度の 40～45% の斜張橋の間に位置付けた。彼はエクストラードード橋のためにパイロン高：支間比を 1/15 にすることや内ケーブルのように張力の上限を引張強度の 65% にすることを提案した。彼はまた、Menn による Ganter 橋 (図 - 5) を参照したが、鋼材がコンクリート内に配置され交換できないため、エクストラードード橋とはみなさなかった⁷⁾。彼は Ganter 橋について、鋼材の緊張後にコンクリートが打設されていることから、フィンバック橋とみなした^{8,9)}。



図 - 5 Menn による Ganter 橋

「エクストラードード橋」という呼称は、英語・スペイン語その他のロマンス語でもドイツ語でもなく、フランス語の「pent extradosse」から採用された。その結果、ズンニベルグ橋に関する論文の著者はエクストラードード橋とは呼称せず、英語の雑誌においても斜張橋とした^{1,10)}。

しかしながら、Baumann¹¹⁾にしたがって、鋼材が供用時で引張強度の 50% を越えていないレベルであっても、Mathivat による第一基準⁷⁾によると、パイロン高：支間比が $15/140\text{ m} = 1/9.3$ のズンニベルグ橋は、エクストラードード橋に分類される。ズンニベルグ橋は最初のエクストラードード橋ではない。日本では「小田原ブルーウェイブリッジ」が 1994 年に完成し、ほかにも Mathivat の概念に基づいた橋梁がすでに建設されていた^{12,13)}。

(2) 先駆けとなった計画

Menn は、1979年9月初旬にチューリッヒで開催された IABSE シンポジウムの最初のセッションでエクストラードード橋のコンセプトに関してプレゼンテーションをおこない、その時点では「Cable Stayed Ribbon」と呼んだ¹⁴⁾。

彼は以下のように述べている。

『しばしば、新しいアイデアは多大な遅延の後にブレイクスルーを生む。なぜなら、大規模構造物では技術革新よりも従来工法の採用が好まれるためである。例えば、200 m 支間の PC 斜張橋の方が経済的であるにもかかわらず、既往の片持ち架設で施工する 300 m 支間の案が提案される。橋脚が非常に高い橋梁では、マッシブな剛性の高い主塔を有する「Cable Stayed Ribbon」の方が従来の風に対して敏感でスレンダーな橋脚を有する等桁高の橋よりも優位性がある。』

彼はすべての斜材定着部にアクセスするための台形の孔のあるパイロンを有するファン型の斜材配置のスケッチを描いている (図 - 6)。

1979年の春に Santiago Calatrava はスイス連邦工科大学チューリッヒ校において Menn 教授指導の下、グラウビュンデン州のディゼンティスに近いアクレタ溪谷を横過する橋梁に関する論文を提出し、土木工学の学位 (修士相当 [訳注]) を得た。彼は、1979年の夏に Biaschina 高架橋を建設中の Gotthard 自動車道の南ランプを訪れた。そこで彼はその橋のための彼独自のスケッチを描いた。

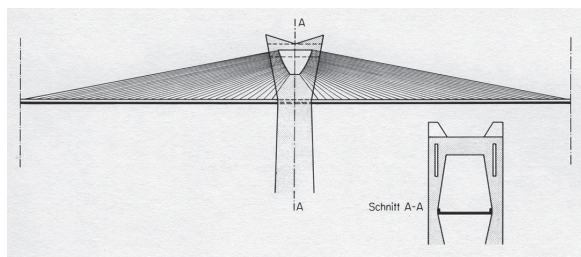


図 - 6 cable-stayed-ribbon の提案

1979 年の秋には、彼はスイス連邦工科大学チューリッヒ校の建築学部において助手および博士課程の学生としての活動を始めた。文献 15) で述べているように、メンは上述の IABSE シンポジウムのプレゼンテーションため、彼に深い谷を渡る橋梁の高い主塔のスケッチを描くように求めた。この Calatrava の 1979 年の 3 つのスケッチは、フィンバック橋やエクストラードード橋を含むものであったが、2004 年まで出版されることは無かった¹⁵⁾。文献 15) のブックレットのために模型を製作し撮影がなされた (図 - 7)。しかしながら、ズンニベルグ橋の最終デザインの形状と比べると、これらのプロポーザルはいずれもスレンダーさやディテールのレベルにおいて、比肩するものではなかった (図 - 8)。

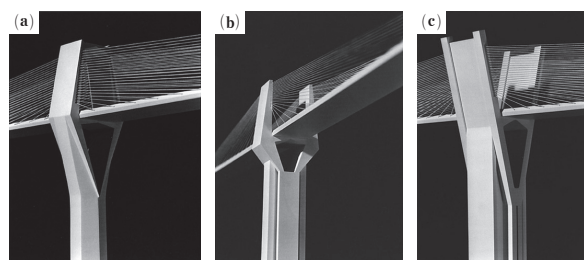


図 - 7 Calatrava によるモデルのスケッチ

(a) Biaschina 橋 (b)(c) 高いパイロンを有する橋梁の例

(3) 曲線を有するエクストラードード橋

Menn は、ganter 橋のフィンプレート案には満足していなかった。報告されているように、彼はフリプールの Poya 橋 (斜張橋^{〔訳注〕}) のコンセプトを改良し、通常的主塔を有する橋の渓谷からの高さをさらに高くしたりもした。1989 年には、デザインコンペの審査員であったため、提出されたデザインには何ら影響をおよぼすことはできなかった¹⁷⁾。

それにもかかわらず、彼はのちのズンニベルグ橋の原型となる類似の彼自身のプロポーザルを出版した (図 - 9)¹⁸⁾。そのなかで彼は、ポヤ橋の平面線形は直線であったが、意匠的理由から主塔を若干傾けたものとした。

ズンニベルグ橋のプロジェクトでは、匿名のデザインコンペよりさらにルールは緩やかなものであった。3 社のエンジニアリング会社が 4 つの異なるコンセプトとプロポーザル計画で競うこととなった。メンは再び審査委員会のメンバーであったが、そのいずれも彼を納得させることができなかった。ある建築家とその助手たちが彼



図 - 8 ズンニベルグ橋のパイロン



図 - 9 Menn が提案した Poya 橋

自身のデザインを提出するようにもちかけた。メンのプロポーザルは、他社のコンセプトと比べて意匠面だけでなく、その長大スパンにより、環境への影響を劇的に減



図 - 10

(a) 支承のない橋台

(b) 伸縮装置のない橋面

じる満足できるものであった。基礎の位置は、アクセス性が良く森の斜面での片付け工が最小限ですむものであった。発注者は、彼のプロポーザルに合意し、引き続いて参加したうちの一社に予備設計を求め、提出した案と比較できるようにした。最終的に、発注者は2社に対して詳細設計の入札に参加を求めた。平面線形の曲率半径は503 mしかなかったが、主塔をさらに横に傾けることにより、斜材のクリアランスを確保することができた。

(4) インテグラル橋

最近まで、ある長さのコンクリート橋は拘束による変形を制御し、応力を低減できるように上部工と下部工を伸縮装置で接合しなければならないというパラダイムといっても良いものがあった。結果として、伸縮装置は繰り返し維持管理をする必要があり、騒音と使用性の低下に加え、構造部材に塩化物を含んだ水が流れる要因となり弱点になっている。インテグラル橋は、両端に支承も伸縮装置ももたず、橋台に剛結されている構造である。インテグラル橋の適用範囲は、季節変動による温度変化と要求される路面の快適性およびディテールの諸問題により決定される。傾向として、インテグラル橋として建設される橋長は過去には30～60 mが多かったが、将来的には150 mまたはそれ以上となるとと思われる¹⁹⁾。

ズンニベルグ橋は、橋長約526 mのインテグラル橋である。本橋は曲線橋であるがゆえにインテグラル橋とすることが可能となっている。なぜなら季節変動による温度変化、クリープおよび収縮に対する拘束は、半径方向の挙動として吸収されるからである。過大な拘束を発生させず、この挙動に追従できるように、橋脚は橋軸直角方向にフレキシブルでなければならない。同様に、主桁は風や地震に対しては両端を橋台とした平面アーチとして挙動する。

この案は、維持管理の労力を劇的に減らすことができるため、高い建設コストを正当化できる。伸縮装置と度重なる舗装の維持管理を回避するため、橋梁の両端では使用時において9.5 MNの水平力に対して、グラウンドアンカーにより橋台底面の摩擦を向上させて抵抗させた¹¹⁾。

橋台の長さは、それぞれ12.50 mと13.30 mと長くなったが土砂により完全に隠されている。

2.8 構造設計

Menn がズンニベルグ橋の設計において各段階でどのように問題を解決していったか実証すべきである。しかしながら、構造設計は予備設計から詳細設計、最終的に施工、品質管理にわたるすべての段階を対象にしている。よって、異なる計画、施工段階におけるすべての関係者への貢献度を認める必要がある。

(1) 名声とパラダイムの影響

プロジェクトの初公表後18年²⁰⁾、その完成後の17年、その引渡し後10年に、この構造が多くの関係者の名声や橋梁エンジニアリング団体のパラダイムに影響を与えたことは今ようやく評価できる。

(2) 専門団体 (大学)

Menn は、チューリッヒのスイス連邦工科大学 (ETH) で22年間にわたり教義と研究をしてきた。ETHはそのプロジェクトに関係している多くの土木技術者の母校である。ズンニベルグ橋の写真はETHの卒業生の功績を称し、ETHの土木学科のカリキュラムを宣伝・説明するために広く使われている。

(3) 建設技術・建設材料

構造コンクリートは建設材料や建設技術として役に立っている。ズンニベルグ橋ではコンクリートは嵩張る材料であるが優雅で軽快な構造に建設することができると実証されている。

本橋は鉄筋、防水、斜材のサプライヤーのような多くの建設会社により宣伝や販売に広く使われている。

(4) 適切な設計による追加コストの妥当性

ズンニベルグ橋は橋梁エンジニアリングにおいて適切な設計を行うための追加コストの妥当性や享受性に重要な役割を果たした。

ザルギナトーベル橋のように過去に有名な橋梁はしばしば競争相手に打ち勝つことができた。なぜなら彼らは標準環境下で最適設計を行い、それゆえ入札に打ち勝った。この思想は構造エンジニアリングの教育のなかでパ

ラダイムとなっていることにある。参考図書²¹⁾の初版で、Menn は標準支間による美的な資質を改良するための追加コストが最大で全建設コストの 1～2 % になると評価した。彼は支間を延長するのに美学的観点からより説得力のあるコンセプトを得るために、5～7 % の追加コストが必要になると試算した。

EPFL の Eugen Brühwiler 教授との共同で出版した第 3 版²²⁾で著者は、美観の向上に対する追加コストが大規模な橋梁で 5 %、中規模な橋梁で 15 % であれば許容されたとした。“もしこれらの上限を超過するようなら、設計は不適当で諦めるべきである。” しながら彼らは歩道橋のように小さな構造では、追加コストが最も経済的なプロジェクトのコストの 100 % に達することを認めている。

ズンニベルグ橋における予備設計段階でのコストは、標準的な手法で評価された²³⁾。もっとも低コストの案(47.5 m の側径間と 7 @ 62.5 m の中間支間)は環境に準拠していないと判断された。推定コストが 15 000 000 スイスフラン (CHF 15 Mio) の従来工法を基準として判断した。審査委員会は斜張橋としての提案の 15 % の追加コストを承認し、施工を計画した²⁴⁾。Menn はこれらの追加コストを特別なケースとして正当に考慮していたが、今もなおバイパス道路プロジェクト単位長さあたりの平均コスト以上となっている²⁵⁾。これは驚くことではない。なぜなら道路全長の 64 % がトンネルであるからである。1998 年に確定した橋梁の建設コストは最終的に 1995 年に関連した標準設計の 133 % に達した。

その一方で、建設コストの評価は以下の点を考慮する必要がある。

・ライフサイクルコスト

供用時の維持管理コストや構造物の供用終了時の総コストを考慮することによって、より高い初期コストが妥当と判断される。ライフサイクルコストの観点から、支承および伸縮装置を設置しないほうが妥当であると判断される。

・特徴的な橋梁 / 支間

世界的に有名な建築家による美術館の建設で名声を得た工業都市ビルバオの場合では、橋梁の設計にも影響を



図 - 11 ズンニベルグ橋を通過するダボス行列車

与えた。最近では、特徴的な橋梁は一般的に付加価値がつき、観光客および地域の評判が高まる傾向がある。ズンニベルグ橋はそれを体現した橋梁である。

(5) 車や列車による通過

年に一度、一月の終わりに、ダボスという町で政治家が世界経済会議を開き世界的知名度があがった。もっとも近い国際空港はチューリッヒだが、気候的にいつでもヘリコプター移動が可能なわけではなかった。このため、大部分の参加者は列車や車やバスなどで陸上移動となった。どちらの場合も、彼らはズンニベルグ橋に接触することができた。彼らは路上でズンニベルグ橋を通過し、列車が通過する際は違った角度から眺めることができた(図 - 11)。ダボスではまた多くの関連イベントを主催している。1986 年以来、スイスアルペンマラソンはすべての年代のプロはもちろん初心者やアマチュアも異なるカテゴリで構成されている。K21 レースは 21 km を超えるハーフマラソンで 2007 年から 2013 年に行われている。そのルートはズンニベルグ橋の向こう側のクロスターからダボスとなる。群衆が橋梁を渡ることは、有名なニューヨークマラソンで経験したような雰囲気醸し出している(図 - 12)。

(6) 専門家と観光客

スイスの南東部に位置するグラウビュンデン州には、Johannes Grubenmann, Richard La Nicca, Robert Maillart, Walter Versell, Christian Menn, Jürg Conzett 等のような有名な橋梁技術者により設計された橋梁が多く存在する。

学生や橋梁技術者は、Robert Maillart により設計されたサルギナトール橋を見るために、スイスのこの地域を訪れる。1990 年にこの橋はズンニベルグ橋とともに、米国土木学会 (ASCE) により歴史的土木遺産として認定された。この 2 橋はわずか 23 km の距離に位置する。これにより同日に両方の橋梁を訪れることが容易となっている。

2.9 次世代のための土木遺産

次世代の技術者のため、名声と知名度とはべつに、橋梁の維持管理と保存に関するすべての課題について議論されなければならない。



図 - 12 ズンニベルグ橋を渡るスイスアルペンハーフマラソン

(1) 点検時のアクセス

モニタリングに関する規定を設けなかったため、耐久性の問題の早期発見のためには、主に技術的な点検が必要となる。構造上主要な点は、支間の中央部（斜材により支持されるコンクリート桁非圧縮部）の斜材定着部と強い圧縮力が作用する橋脚の状態である。また、支間の中央部は比較的アクセス性が良いが、定着部付近の点検には斜材がかなりの障害となる。これは、橋梁点検車の使用により解決される。橋梁点検車による橋への近接には、通行止めと正確な操作が要求される（図 - 13）。通常の桁橋やアーチ橋と異なり、一般的な設備では橋面上から橋脚に到達できない。

各スパンを移動式点検足場により、点検が容易になれば大変意義深い。詳細な計画段階にて検討されるべきことは理解されているが、コストと美的な条件によりないがしろにされる。将来のプロジェクトでは、橋梁端部や中央部において、取り外しができるような足場を設計する等の処置を考える必要がある。

(2) 維持管理

本橋梁の橋面は海拔 1 050 m に位置しており、毎年、大量の雪、雨が降り、気温は年間を通じて低く、凍結対策として凍結防止塩が散布される（図 - 14）。

除雪作業は、スノーブラウだけでなく、ロータリー車も使用し、主に夜に実施される。パイロンや通行禁止帯に対しては、小さな表示灯（図 - 13(a)）により注意を喚起し、ロータリー車の排気管を回転させることにより接触を避けている。しかしながら、斜材は橋長に対し相当な箇所数存在し、それらを避けることは難しい。斜材には、雪とその跳ね返りがぶつかるが、これはそれほど問題とはならない。

毎年の排水管の清掃は、隣接した Gotschna トンネルの清掃と一緒に通行止めをして行われる。

供用から一年間は、Gotschna トンネルからの漏水の影響で、排水管が凍結した。損傷を防ぐため、凍結防止用ヒーターが設置された。



図 - 14 冬期のズンニベルグ橋

(3) 耐 久 性

耐久性の重要性は設計段階で認識されており、いくつかの特別な規定が課された。

- 橋面には内側の横断勾配の低い方だけでなく、外側の高い方にも、排水口、排水管を設置すること。つまりスノーブラウにより外側に寄せられた雪が溶けた場合にも、車道を横切らないようにすること（図 - 16）。
- 横断面のもっとも低い部分で排水口により防水層の排水を行うこと。塩化合物を含む排水を構造物の下に落とすため、端部に設置する排水管は数センチメートル突き出すこと（図 - 15）。雪によりこれらの管が詰まった場合、その水が横断面の構造上重要なコンクリートに届く危険性があるためである。
- 斜材は交換できるようにすること。
- 塩化物による腐食に対して高い抵抗性をもつ強化鋼（鋼材番号 1.4003）を、融雪剤にさらされるパラペットのスターラップに使用すること。

斜材定着部の防水性、とくに融雪剤にさらされるすべての鋼材の防食性を確保することが課題として残っている。



図 - 13 昇降つりかごによる床版へのアクセス

(a) 斜材部での作業状況 (b) 通行止めによる作業状況



図 - 15 床版下面の電線管・排水管・斜材定着

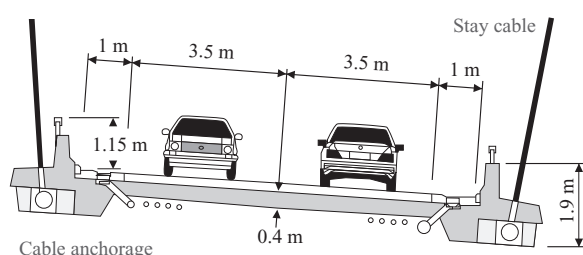


図 - 16 横断面図 (曲線部の横断勾配 7 %)

3. 結 論

ズニベルグ橋は、スイスの技術の象徴となっている。高い性能、品質と優雅さを持ち、技術者から知名度が高く、賞賛され、目標とされる。そして就職時においても若者の志望動機となっている。

ズニベルグ橋は、さまざまな側面で先駆者となっている。建設中および供用 10 年間に於いてさまざまな知見を得ることができた。そして将来的にはもっと積み重ねることができるだろう。非難するためではなく、将来のために、そして同じようなキャリアを目指す若い技術者を奨励するために、本橋梁におけるすべての経験は、善し悪しを含め議論されるべきである。

参考文献

- 1) Figi H, Menn C, Bänziger DJ, Bacchetta A. Sunniberg Bridge, Klosters, Switzerland. *Struct. Eng. Int.* 1997; 7(1): 6-8
- 2) IABSE. IABSE Award Presentation Ceremony-Malta, March 21, 2001. *Struct. Eng. Int.* 2001; 11(2): 148-149
- 3) Tiefbauamt Graubünden. Sunniberg Bridge completed [Press release English] No. 33e, November 1998, http://tools.tiefbauamt.gr.ch/pdf/tba-info-33e_sunniberg_bridge.pdf
- 4) Eberhard A, Diezig R, Kan C, Sigris B. Hydrologie Fließgewässer. In Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1-Prozesse Schäden und erste Einordnung. Umwelt-wissen Nr. 0707, Bezzola GR, Hegg, C(eds). Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL: Bern; 39-70
- 5) Herr M. Ingenieurbau-Preis von Ernst & Sohn 2002. Bautechnik. 2003;

- 80(4): 263-268
- 6) Brühwiler E. Ten Years of Structural Engineering, International, *Struct. Eng. Int.* 2001; 11(1): 6-17
- 7) Mathivat J, Recent developments in prestressed concrete bridges. FIP Notes, 1988, vol. 2, 15-21
- 8) Collings D, Gonzalez AS. Extradosed and cable-stayed bridges, exploring the boundaries, *Bridge Eng.* 2013; 166(BE4): 231-239
- 9) BridgeMapper. Barton Creek Boulevard Bridge, http://www.bridgemapper.com/bridge_detail.php?ID=2127
- 10) Baumann K, Däniker J. Sunniberg Bridge, Klosters, Switzerland, Paper presented at: IABSE Conference, Malmö 1999, Proceedings of Cable-stayed Bridges, Past, Present and Future, June 2-4, Malmö, Sweden. Zurich: IABSE; 1999. 74-75
- 11) Bänziger DJ, Bacchetta A, Baumann K. Statik und Konstruktion: Sunnibergbrücke. *Schweizer Ingenieur und Architekt.* 1998; 116(44): 838-846
- 12) Kasuga A. Extradosed bridges in Japan. *Struct. Concr.* 2006; 7(3): 91-103
- 13) Kasuga A. Extradosed bridges. In *Bridge Engineering Handbook*. Wai-Fah C, Lian D(eds), 2nd edn. Taylor & Francis Group: Boca Raton, FL, 2014; 437-459
- 14) Menn C. Stahlbeton-Brückenbau der letzten 50 Jahre [Fifty Years of Bridge Building in Reinforced Concrete]. Keynote paper presented at: IABSE Symposium Zürich 1979. Symposium Report Reports of the Working Commissions, Vol. 32, Zurich, IABSE, 1979. 29-40
- 15) Calatrava S. Alpine Bridges. Wolfau-Druck: Weinfelden (CH), 2004
- 16) Honigmann C, Billington DP. Conceptual Design for the Sunniberg Bridge. *J. Bridge Eng. (ASCE)* 2003; 8(3): 122-130
- 17) Odermatt B. Pont de la Poya à Fribourg-Résultats. *Ingénieurs et architectes suisses* 1999; 116(6): 83-92
- 18) Menn C. An approach to bridge design. *Eng. Struct.* 1991; 13(2): 106-112
- 19) Kaufmann W, Alvarez M. Swiss Federal roads office guidelines for integral bridges. *Struct. Eng. Int.* 2011; 21(2): 189-194
- 20) Sunnibergbrücke. In Christian Menn-Brückenbauer, Vogel T, Marti P(eds), 1st edn. Birkhäuser Basel, 1997; 88-91
- 21) Menn C. Stahlbetonbrücken, 1st edn. Springer: Vienna, 1986
- 22) Brühwiler E, Menn C. Stahlbetonbrücken, 3rd edn. Springer: Vienna, 2003
- 23) Tiefbauamt Graubünden. Innovative Schrägseiltechnik für die Sunnibergbrücke. [Press release German] No. 17/17a, October 1995
- 24) Jury Sunniberg Bridge. Abschlussbericht der Jury September 27, 1995
- 25) Menn C. Sunnibergbrücke-Konzept, *Schweizer Ingenieur und Architekt.* 1998; 116(19): 337-340

This article was first published in English in *Structural Engineering International*, SEI, Vol.25, No.4, IABSE, Zurich, pp.381-388, November 2015. IABSE: www.iabse.org

*: 会誌編集委員会海外部会委員
秋山 博 (株) 銭高組
三浦 廣高 (鹿島建設 (株))
田原 徹也 (首都高速道路 (株))
田中 慎也 (株) IHI インフラ建設
横田 剛 (株) ビーエス三菱

【2016 年 4 月 15 日受付】