サルギナトーベル橋における構造特性の照査

日本大学　学生会員　○千葉　深広
日本大学　正会員　関　文夫

１．はじめに

サルギナトーベル橋はロベルト・マイヤールによって1930年に竣工され,実験的に考察して求めた独自の計算式を用いて設計されている.載荷が予想される外力から算出して断面力を求め,それをもとに構造形態を決めたとされる.デビット・ビリントンを始めとする多くの橋梁技術者がこの橋について多角的視点で様々な意見を述べている.しかし,構造合理性が高いと称される構造的形態を定量的にまとめている文献は少ない。そこで本研究は設計書[1)]を基に推定された発生した断面力と２次元骨組解析の結果を照査,検討し構造特性を定量的に評価する.また,設計書からマイヤールの設計思想を考察する.

２．サルギナトーベル橋の概要

サルギナトーベル橋は, 橋長90.4m, 幅員3.8mの上路式3ヒンジRCアーチ橋である（図-1）. アーチ支間長は90m, アーチライズは13mであり, スパンライズ比は1/7である．3DAutoCADによる設計書のスキャニングでアーチ曲線が単円8つからなる多心円で設計されたことがわかった.構造形式は1905年に造られたタバナサ橋の影響を受けており[2)]，オープンスパンドレルアーチが採用され, アーチクラウン部に近くなるにつれてアーチリブの幅を拡げている. 同様にアーチリブの鉄筋はアーチ曲線にそって配筋されている. スプリンキング部に向かうにつれてアーチの下床版の幅と柱の幅を拡げている. また、ヒンジ部はメナーゼヒンジで設計されている[3)].

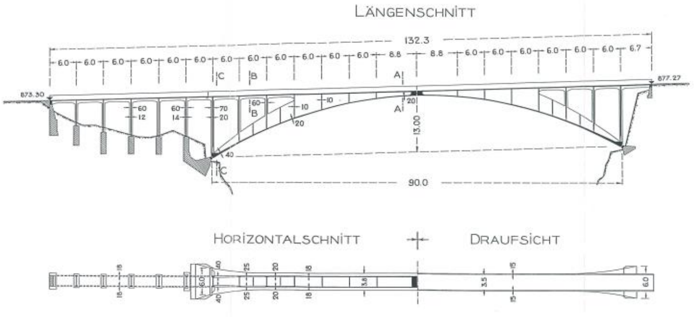


図-1　サルギナトーベル橋縦断面図

設計書には断面力並びに応力が記されており，応力の実験的データから得られたものであることが確認されている. 縦断面図の中には詳細な配筋図（図-２）があり,剪断の影響を強く意識していたのではないかと推察される.

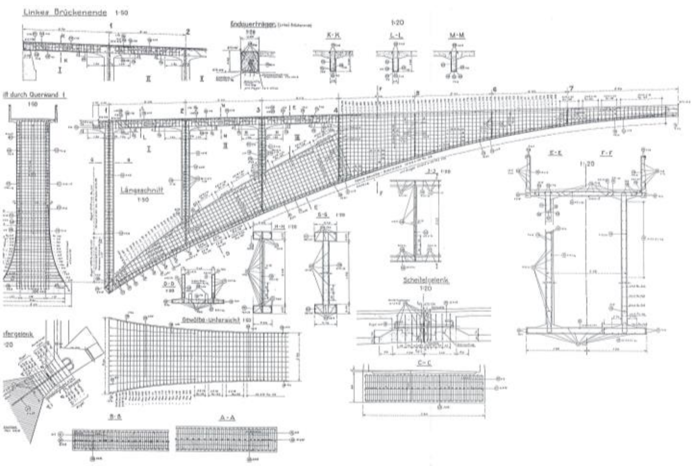


図-２　配筋図

設計荷重条件については死荷重と活荷重を検討し,活荷重は自動車荷重を想定している.また,活荷重がオープンスパンドレルアーチの梁に位置する時,及ぼす影響を考慮して独自の係数を用いて照査している（表-1）.

表-1　活荷重条件（係数を掛けた値）

前輪集中荷重	35.28 KN/m^2
後輪	57.82 KN/m^2
分布荷重	12.05 KN/m^2
梁部載荷時の前輪	48.02 KN/m^2
梁部載荷時の後輪	79.38 KN/m^2

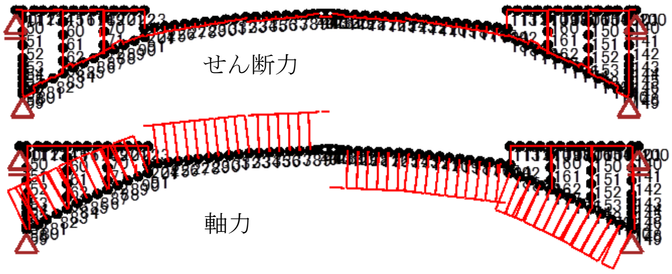


図-３　死荷重, 集中荷重載荷時のせん断力, 軸力図

キーワード　ロベルト・マイヤール，サルギナトーベル橋，3ヒンジRCアーチ橋, 構造特性
連絡先　〒101-8308　東京都千代田神田駿河台1-8-14　E-mail:csmi10181@g.nihon-u.ac.jp

３．解析諸条件と結果

本研究では 2 次元解析ソフト Ezy−Frame を使用した.

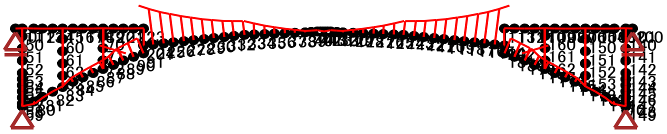
(1) 解析諸条件

解析条件は設計条件と等しくして行い,解析は全長から死荷重載荷した場合,中点に 1 点集中荷重載荷した場合の 3 パターン行った（図−３, 図−４,図−５）. モデルは各断面の図心をつないだ為, 途中で仮想点を設けている（表−2）[4].

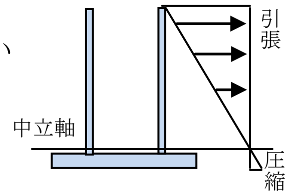
単位体積重量	24.5×10^3 N/m^3
コンクリート 許容応力	8.33 N/mm^2
コンクリート 弾性係数	3.92×10^4 N/mm^2
鉄筋 許容応力	196 N/mm^2
鉄筋 弾性係数	2.0×10^5 N/mm^2
境界条件	3 ヒンジ

(1) 2 次元モデルの解析結果

せん断, 軸力の断面図はほぼ変わらない分布が現れているため, 変化が大きかったモーメント図に注目する. 設計書と解析結果でのアーチスプリンキング部, アーチクラウン部の発生断面力と鉄筋量を比較した. またアーチ断面における応力分布を示す（表−3, 表−４）.



図−４　死荷重, 集中荷重載荷時のモーメント図



図−５　アーチ断面図

表−3　設計書と解析結果比較１

	設計書	骨組み
アーチスプリンキング		
軸力 （KN）	8193	8511.7
アーチクラウン		
軸力 （KN）	6654	7178.8

表−４　設計書と解析結果比較２

アーチスプリングから13.53mのアーチ断面	
マイヤールの設計書の鉄筋量（cm^2）	66.68
本解析による必要鉄筋量（cm^2）	65.64
アーチスプリングから7.53mのアーチ断面	
マイヤールの橋設計書の鉄筋量（cm^2）	53.12
本解析による必要鉄筋量（cm^2）	56.25

４．解析結果の考察

解析結果より, マイヤールはアーチライズ比が 1/7 になると外力が軸力変換され, アーチアクションが起こることを知っており, その為長スパンにおける RC 構造物を設計する時アーチを選択したと推察できる.また死荷重載荷時においてアーチクラウンから仮想点までが桁と同じ挙動を示している.設計書に記されている断面力の値は手計算にもかかわらず骨組み解析の結果とほぼ一致していることは驚くべきことである.設計計算には移動荷重による影響線図が多数書かれている.3 ヒンジアーチにおいて不等荷重の載荷時に起こる不安定な挙動を考慮し照査したものと推察できる.今回の解析ではその影響がアーチ軸に沿って発生し,アーチリブは移動荷重によって起こるモーメントの影響を抑えるように補剛の役割を果たしており,アーチの下床版は主に軸力を伝え,支持支点に向うにつれて圧縮力を分散させるために断面が拡幅広している.またアーチ部は計算過程が示されていないが解析で求めた必要鉄筋量の値と一致しておりマイヤールのアーチに対する洞察の鋭さが伺える.以上よりマイヤール独自の計算方法と考察が 3 ヒンジアーチにおいて適切であったことがわかる.

５．結論

ロベルト･マイヤールが設計に使用したコンクリートの材料強度は当時の一般的な許容値より 50%も高い材料物性値を示しており,現在日本で用いられているコンクリートの設計基準強度 24N/mm^2 と,鉄筋 SD345 の許容応力度の値[5]が約 80 年前のマイヤールの設計値と同等であることを示している.またアーチ断面に発生する断面力が若干の誤差はあるものの,応力の照査において必要鉄筋量の差が 4cm^2 以内と小さいことも重要な結果である. これらからマイヤールが 90m スパンの橋を設計したことは感動をも覚える.

参考文献

１）Andreas Kessier：Vom Hoizsteg zum Weltmonument, Anhang2, Statische Berechnung der Salginatobelbrucke. 1996.

２）David P.Billington：ROBERT MAILLART AND THE ART OF REINFORCED CONCRETE,pp4-5,10-13,41-49.1990.

３）David P.Billington：The TOWER and the BRIDGE The New Art of Structural Engineering,pp147-170,1985.

４）セメント、石灰、石膏製造協会：Versuche und Erfahrungen an ausgefuerten EisenbetonBauwerken in der Schweiz,p113,1937

５）（社）日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編, II コンクリート橋編, 2012.pp73-86.