

単弦ニールセンローゼ橋の設計について —橋梁設計におけるコスト縮減事例—

札幌開発建設部 夕張シューパロダム総合建設事業所

○柳川 典之
松下 錦弥
三浦 克真

石狩川夕張シューパロダム建設事業に伴う付替道路工事において、市道の機能回復を図ることを目的として白銀橋の付替工事を実施している。

本報告は、ニールセンローゼ橋として設計された橋梁において、一般的に2主構アーチで設計される構造を上弦部を単弦にすることでのコスト縮減、また、施工後における施工性及び安全性の結果について報告するものである。

キーワード：設計・施工、道路橋、コスト

1. はじめに

(1) 事業の概要

石狩川夕張シューパロダム建設事業は、昭和37年に石狩川水系夕張市南部地先に完成した大夕張ダムの再開発事業として、その直下流155m地点に堤高110.6mの夕張シューパロダムを建設するものである。本橋梁は、ダム建設に伴い、水没する現況施設の夕張市道奥鹿島線を補償する、3.6kmの付替道路の橋梁として実施している。

(2) 白銀橋の概要

現市道である奥鹿島線は、夏季の湖水観光や夕張市の主要観光名所である夕張岳登山への入林、また、北海道森林管理署による国有林の管理として木材搬出車両等、幅広い用途に利用されており、夕張シューパロダム完成後は、地元夕張市でもダム周辺の整備のひとつとして、新たな観光開発の中心に大いに期待している道路である。

この付替道路のダム湖横断部に計画された白銀橋は、橋長が761mと長大橋であることから、地形・地質及び現ダム湖の横断等の理由によりA、B、Cの3タイプの橋梁形式として設計されている。

本論文では、C橋において設計されたニールセンローゼ橋のコスト縮減、施工性及び安全性における検討結果について報告する。

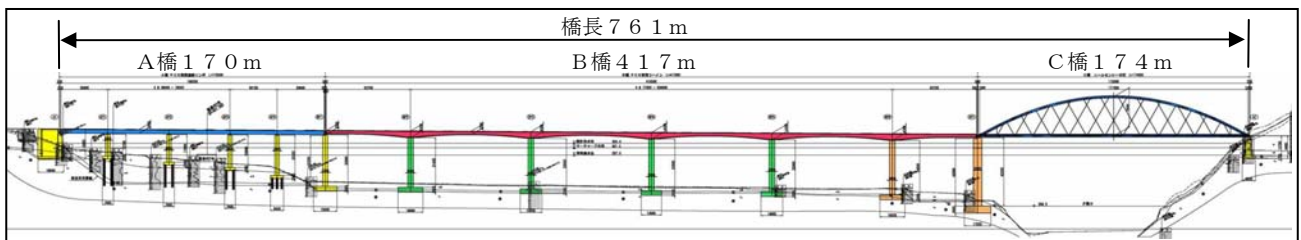


図-1 位置図

白銀橋の諸元は以下のとおり。

- ① 道路規格：第3種第5級
- ② 設計速度：V = 30km/h
- ③ 幅員構成：0.5m+4.0m+0.5m=5.0m
(総幅員)：(0.6m+5.0m+0.6m=6.2m)
- ④ 設計荷重：A活荷重
- ⑤ 交差条件：国道452号、現ダム湖
- ⑥ 除雪計画：なし

図-2 白銀橋一般図



2. 上部工形式の検討

(1) A橋及びB橋の設計概要

A橋は、現場条件として橋脚高が15～20m程度で設定できること、また、旧国道452号の制約条件から平均支間長を35m程度と設定し、経済支間長に対し、適用可能な鋼橋案及びPC橋による設計を行い、経済比較の結果、PC5径間連続コンポ桁として設計した。

B橋は、現場条件として橋脚高が35～45m程度となるが、平坦地形であることからコントロールポイントが無く、自由に下部工位置を計画できるため、径間数をコントロールして経済的径間数を検討した。その結果、鋼橋案及びPC案を組み替え十数種類の比較案の中から最も経済的な6径間連続PCラーメン桁として設計した。

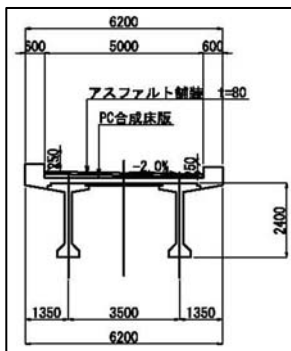


図-3 A橋標準断面図

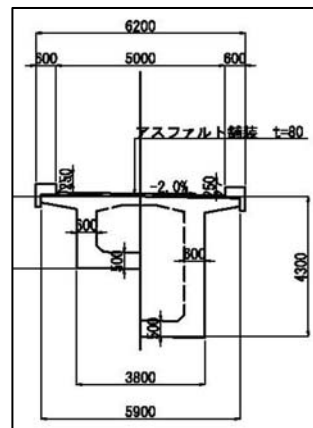


図-4 B橋標準断面図

(2) C橋の設計

C橋は、現ダム湖を跨ぐ区間であるため、橋長が約170mを超えることとなり、単純径間案と橋脚を設置し複数径間とする案が考えられる。

しかし、ダム湖内の湖床部に橋脚を設置すると、約70m程度の脚高が必要であり、また、施工性の観点からもダム湖の水位が年間を通して高いことで、締切工により施工箇所をドライアップした状態にて作業するのが非常に難しいことから、湖面に栈橋を架けて栈橋上から工事を実施することとなり、工事費も高くなる。寒地土研との協議結果においても、耐震設計手法及びコストの観点で構造的懸案事項が多いことから、ダム湖内への橋脚は設置しない橋種案を1次選定することとした。

その結果、鋼橋として、ニールセンローゼ桁、トラスランガー桁、鋼斜張橋、ローゼ桁+鋼単純非

合成鉄桁、ランガー桁+鋼単純非合成鉄桁を選定、PC橋としては、PC斜張橋を選定し、経済性に優れる表-1の鋼橋3橋種を2次選定の対象とした。

2次選定の内訳としては、経済性の有利な点も大きいですが、構造的、施工性及び景観性を含めた検討の結果、総合評価の最も高いニールセンローゼ桁を採用した。

3. 単弦ニールセンローゼ桁形式採用の検討

(1) 検討経緯

予備設計では従来どおり、2主構アーチを内側に傾斜させたバスケットハンドル形式を採用している。

しかし、本橋の予備設計での橋長はL=171.0m、主構間隔W=8.4mで、一般に構造系全体の橋軸直角方向への横倒れ座屈に対する安定性の目安値W/L=1/20を若干下回る1/20.5となっている。また、有効幅員が5mと狭く、主構は作業上必要な形状を確保すると最低板厚で決定されるほど荷重規模は小さい。

そこで詳細設計時に従来どおりの2主構アーチによるバスケットハンドル形式に対して上弦材を1本とした単弦形式を提案して、その可能性を検討した。

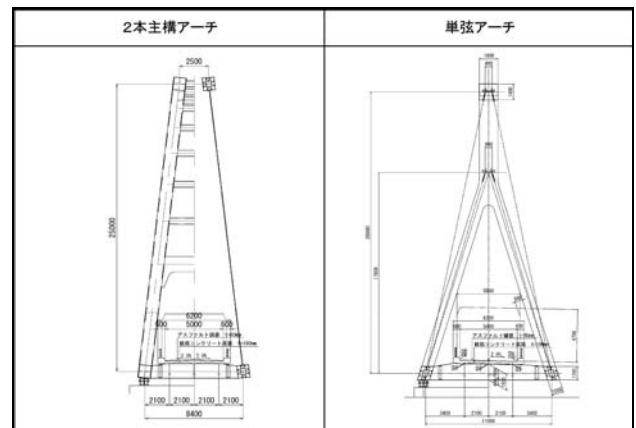


図-5 アーチ形式

(2) 2主構アーチの特徴

1) 利点

- ・実績が多いことによる安心感

2) 問題点

- ・耐震・耐風安定性に対する不安
- ・不必要な主構鋼材の使用による不経済性
- ・主構と床版の隙間がないため検査路が必要

表-1 橋梁形式選定表

(単位：千円)

	橋梁型式	経済性	構造的	施工性	維持管理	景観性	総合評価
第1案	ニールセンローゼ桁	1,489 (1,000)	◎	◎	◎	◎	◎
第2案	鋼斜張橋	2,298 (1,543)	△	○	◎	○	△
第3案	ローゼ桁 鋼単純非合成鉄桁	1,574 (1,057)	○	○	◎	◎	○

(3) 単弦アーチの特徴

1) 利点

- ・上弦材が単弦になることによる鋼重の軽減
- ・両主構を結ぶ上横支材の省略による鋼重の軽減
- ・主構幅が広がることによる面外の耐震・耐風安定性の増加
- ・大型材片減少によるコスト縮減効果
- ・部材数減少による工期の短縮

2) 問題点

- ・主構幅が広がることによる橋長及び横桁の増加と鋼重増
- ・単弦部分の面外座屈安全率の確保に伴う鋼重増

4. 単弦アーチの問題点の検証

以下の項では、単弦ニールセンローゼ桁の問題点として計上した項目の検討を加え、問題点を解決した上で2主構アーチより総合的に優れると判断した場合に採用することで整理した。

(1) 主構幅が広がることによる橋長及び横桁の増加について

予備設計では、2主構のニールセンローゼ桁として、終点橋台位置をSP=1064.5mとし、橋長はL=171mとしていた。

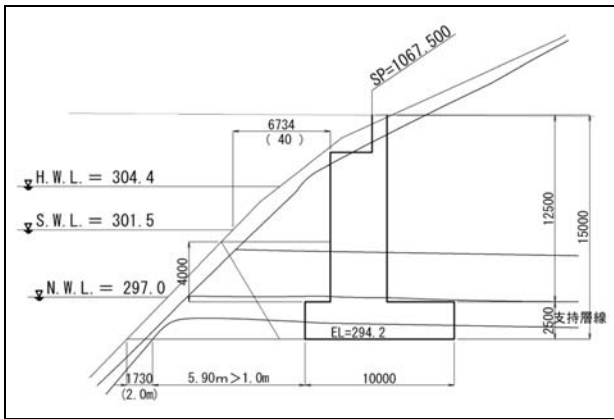


図-6 単弦アーチの場合の橋台位置(1)

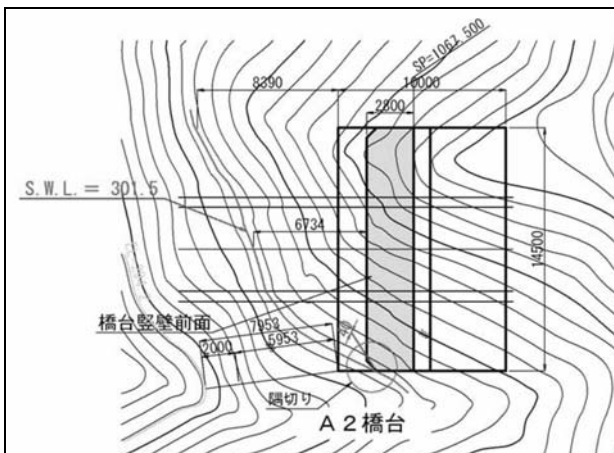


図-7 単弦アーチの場合の橋台位置(2)

今回提案の単弦ニールセンローゼ桁では、単弦アーチリブを支えるレッグ部を設けるため、主構間隔が広がることから橋台幅が11.0mから14.5mに変更となる。橋台位置は、ダムの計画洪水水位(SWL)と現地盤の交点をコントロールポイントとしているため、橋台幅が広がることによって橋長も変更になる。

そのため、図-7に示すように橋台幅が14.5mになることによって終点側橋台位置は3m後退して、橋台位置はSP1067.5mとなり、橋長はL=174mとなった。

(2) 単弦部分の面外座屈安全率の確保について

1) 照査方法

道路橋示方書では鋼橋編「13.4アーチの面外座屈」では活荷重満載時における水平力Hを算出して、下記の式-aを満足させることによって面外の座屈に対する安全性を確認することとなっている。

$$\frac{H}{A_g} \leq 0.85 \sigma_{ca} \quad \dots\dots\dots \text{式-a}$$

A_g: 片側アーチ部材の総断面積の平均値(m²)
 σ_{ca}: 片側アーチ部材のL/4点の許容軸方向圧縮応力度(kN/m²)
 ただし、許容応力度算出に必要な有効座屈長及び断面二次半径は道路橋示方書P362参照

しかし、道路橋示方書に示されている式-aは、図-8に示すように面外座屈時に床組による変形ηを戻そうとする反力Rの影響も考慮されており、バスケットハンドル形式に対応されているため、今回のような単弦アーチ形式では、そのまま採用することはできない。そこで、詳細設計により座屈安全率を直接汎用プログラムで算出して面外座屈に対する安全性を照査した。

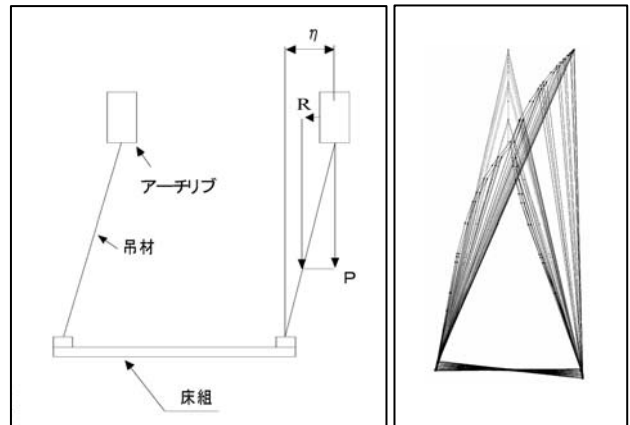


図-8 面外座屈の吊材・支材の作用

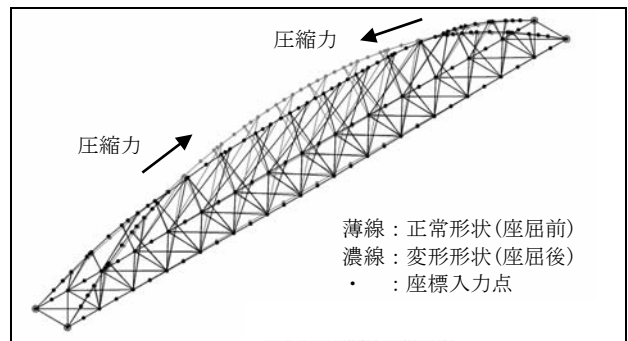


図-9 座屈モード解析図

2) 照査結果

座屈固有値解析結果は、図-9に示す1次モードにおいて道路橋示方書鋼橋編の解説に示されている安全率 $\nu=2.0$ を満足する構造として、単弦部は重厚な形状となった。

(3) 経済性の確認

上記の結果、表-2のとおり、単弦アーチ桁の上部工における鋼重量については、主構幅が広がったことによる橋長及び横桁長の増、また、重厚な形状にはなったが、単弦としたことによる鋼重の減を精査し、数量をとりまとめた結果、総重量として、2主構アーチ桁よりも少ない結果となり、主構製作費、輸送費及び桁架設費において経済的に有利となった。

表-2 アーチ形式別事業費比較 (単位:千円)

橋長(支間長)	2主構アーチ桁		単弦アーチ桁	
	数量	工費	数量	工費
橋長(支間長)	171.0m(168.5m)		174.0m(171.5m)	
部位				
(工場原価)		963,604		906,213
主構製作費	895.3t	799,604	835.5t	742,213
ケーブル・支承等	1.0	164,000	1.0	164,000
(架設原価)	1.0	789,700		743,563
輸送費	943.1t	7,167	883.5t	6,715
桁架設費	943.1t	537,546	883.5t	503,620
床版工費	288.1㎡	19,015	293.2㎡	19,350
橋面工費	1.0	773	1.0	784
舗装工費	850t	3,400	865t	3,460
共通仮設費	1.0	55,216	1.0	52,460
現場管理費	1.0	166,583	1.0	157,174
(一般管理費)	1.0	61,406	1.0	58,323
上部工計		1,814,710		1,708,099
下部工費		203,958		216,088
合計		2,018,668		1,924,187
差額		94,481		
評価		○		◎

(4) 検証の結果

経済性については、下部工を含めても単弦アーチの方が有利な結果となった。

工期については、製作にかかる総重量が減となったことで、工場製作日数及び架設日数も短縮される。

安定性についても、主構幅が広がることによる面外の耐震・耐風安定性が増加となることから総合的に検証した結果、表-3のとおり、単弦アーチ桁が2主構アーチ桁より優れると判断し、白銀橋C橋については、単弦方式のニールセンローゼ桁として決定した。

表-3 形式別総合評価

	経済性	構造的性	工期	安定性	総合評価
2主構アーチ桁	○	◎	○	○	○
単弦アーチ桁	◎	◎	◎	◎	◎

5. 工事の実績による施工性及び安全性の結果

H24年の上部工工事において、単弦アーチ形式を採用したことによる、2主構アーチ形式との比較結

果として以下の項目が実績として確認された。

(1) 架設日数の減少

主構が1本であること及び2主構の間を繋ぐ上横支材が不要なため、現地にて取り扱うブロック数が減少する。これにより、桁搬入時の荷取回数、ケーブルクレーンによる架設回数を減少することができ、工期の短縮につながる。

架設所要日数の実績として、2主構部が6節×2(12ブロック)を約12日、単弦部が11節×1(11ブロック)を約11日であった。仮に全てが2主構形式であった場合と比較すると、約11日短縮され、休日補正を考慮すると2週間程度の短縮になったと思われる。

(2) 単弦部の断面が水平

2主構アーチのバスケットハンドル形式では、アーチの断面は斜めに傾いた形状となる。それに対し、単弦形式では水平となる。そのため、桁内での移動、添接及び塗装等の作業効率が向上し、また、形状が単純なため、架設用足場の設置も容易となり、施工性及び安全性が向上した。

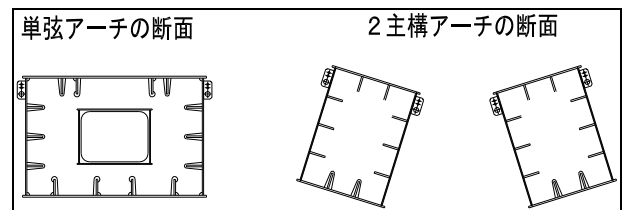


図-10 アーチ頭頂部断面図

(3) 施工管理の軽減

施工性として、2主構アーチの場合、LRを別々に架設することで斜吊り時における主構の左右上面部の高さ管理に調整が出てくるが、単弦の場合、図-11のように設置位置の条件がセンターであり、主構の上面が水平であるため、目標が立てやすく施工管理が軽減され、施工性が向上した。

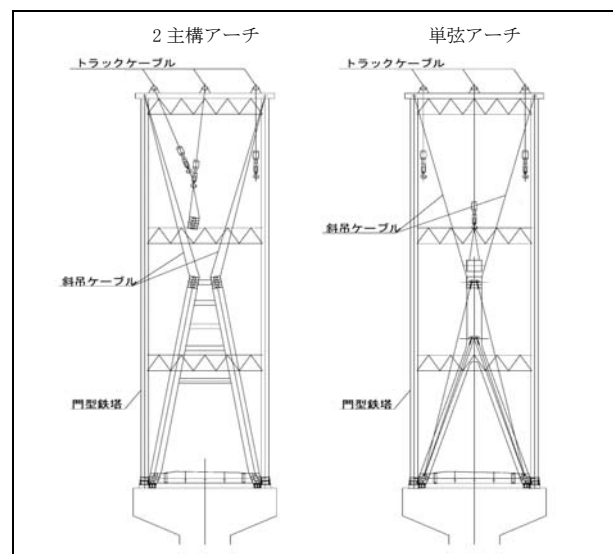


図-11 架設方法

(4) 高所作業における安全性

安全性としては、アーチ足場及び主構上部の外面塗装において、水平な足場を形成しやすく有利であった。また、本橋梁工事の場合、H24春より現場施工を開始し、12月初旬に本体工の施工を完了できたことで、結果として厳冬期を回避でき、冬期の高所作業を軽減し、安全性が増したと思われる。

6. まとめ

白銀橋C橋は、当初計画の2主構アーチ桁に対して、よりコスト削減を検討した結果、単弦アーチ桁の採用となり、上部工のみで約10,660万円、また、下部工を含めると約9,450万円のコスト削減効果となり、コスト削減率として約5%の達成を実現した。

施工性及び安全性の観点からも、単弦アーチになったことで、施工日数が短縮され、本橋梁工事に限ったことではあるが、厳冬期の施工を縮減したことによる結果も大きい。そのため、除雪にかかる経費及び現場管理費を縮減できたことで、実態として、さらなるコスト削減となったことは明らかである。

現在、白銀橋全体工事として、A橋・B橋については、H23年度発注の3カ年工期により、今年は中間年として現時点で約70%の進捗率を達成している。C橋については、H22年度発注の3カ年工期により、今年度は最終年として今年2月で架設が完了し、H26年度に供用開始の予定となっている。

我が国では、公共事業費の縮小に伴い、初期コストの縮小やライフサイクルコストの低減が求められており、橋梁設計においてもこれらの要求にこたえられる構造物であることが、この工事を通じて改めて考えるところである。



図-13 現場施工状況 (H24. 9. 26)



図-12 C橋工場仮組検査時 (H24. 5. 21)



図-14 白銀橋完成予想図