

既設のニールセンローゼ橋の構造特性について

岩坪 要*

The Report of Structure Characteristic of Existing Nielsen-Lohse Bridges

Kaname Iwatsubo*

The Nielsen bridge proposed by O.F.Nielsen(Sweden) in 1922 is formed that use of the cable on tensional hanger, and is constructed after 1967 in Japan. The Nielsen-Lohse bridge has the structure form of a parallel arch rib or a basket handle arch rib, and it shows the fine sight and good strength as a bridge. Many researches about the seismic performance of a steel bridge are made, and the seismic design method is becoming up. It is required to develop the method of raising the ultimate strength and the earthquake-proof performance about existing Nielsen-Lohse bridges. Especially, the basket handle arch type erected in three dimensions must investigate the relationship of between axial force and bending moment of arch rib member, and the influence of hanger as tension member to refine the performance under big earthquake. However, there is little research which investigated the performance on seismic load or ultimate strength behavior of the Nielsen-Lohse bridge. In this report, to decide the parameter for structural analysis, it shows the investigated result about the structure characteristic of the constructed Nielsen-Lohse bridges.

キーワード：ニールセンローゼ橋，アーチ橋，鋼橋，耐震設計，耐荷力

Keywords：Nielsen-Lohse Bridge, Arch Bridge, Steel Bridge, Seismic Design, Ultimate Strength

1. はじめに

2012年3月に道路橋の技術基準を示している道路橋仕方が改訂された⁽¹⁾。今回の改訂では、維持管理に関する規定や構造設計の合理化を目指した規定などが採用されている。耐震設計に関しては、2011年3月11日に発生した東日本大震災の経験から耐震性能照査のための地震波形が変更された。これらの規定は新設橋のみならず、今後の既設橋の耐震補強でも使用されるため、様々な橋梁の地震時挙動を調べておくことは重要な課題である。著者はこれまでに鋼構造物の終局挙動に関する研究を行ってきているが、既往の研究を調べてみるとニールセンローゼ橋についての研究事例が少ないことが分かった。そこで本報告では構造パラメータを決定するための資料として、既設のニールセンローゼ橋の構造上の特徴を調べた結果を報告する。

2. ニールセンローゼ橋について

アーチ橋のニールセン形式は、1922年にスウェーデンのO.F.Nielsenによって提案された橋梁形式で、日本でも1966年の鏡川橋（水管橋）で初めて採用された⁽²⁾。下路橋や中路橋で採用されているニールセン形式の特徴は、吊り材にケ

ーブルやロッドを使用している点であり、オープンな視界を確保できる。我が国ではアーチリブと補剛桁に軸力と曲げモーメントが作用するローゼ形式と併せて、ニールセンローゼ橋として多く建設されている。さらに本形式の特徴として、アーチクラウン部のアーチリブ間隔をアーチ基部の間隔よりも狭めたバスケットハンドル形式が採用されることも多い橋梁形式である。

図1は熊本県球磨郡五木村に架かる椿橋である。椿橋の諸元を表1に示すが、橋梁の規模としては標準的な規模である。本橋ではメンテナンス性を重視して耐候性鋼が用いられており、さび安定化補助処理材が塗布されている。耐候性鋼は鋼材自身から発生する安定錆で悪質な腐食損傷を防止する材料であるため、塗装の塗り替えが不要となりライフサイクルコストが低減できる鋼材である。

アーチ橋はアーチリブ部材で曲線が強調されているため美観に優れており、アーチ効果により優れた面内の耐荷力を有する。しかしながら地震時荷重のように面外方向の荷重が作用した場合は、アーチリブ全体の面外座屈が発生するため、横構を適切に配置することで耐震性能の向上を図っている。その点、バスケットハンドル形式のニールセンローゼ橋では、面外方向に傾斜させた構造形式としているため、面外座屈の耐荷力も高い形式である^{(3),(4)}。本報告では橋梁データベース⁽⁵⁾を用いて、橋梁の耐荷力に関係がある橋梁全体の寸法諸元について調べている。

* 建築社会デザイン工学科
〒866-8501 熊本県八代市平山新町 2627
Dept. of Architecture and Civil Engineering,
2627 Hirayama, Yatsushiro-shi, Kumamoto, Japan 866-8501



図1 椿橋 (Fig1 Tsubaki Bridge)

表1 椿橋の諸元 (Table 1 Spec of Tsubaki Bridge)

橋種	ニールセン橋 (中路)	アーチリブ間隔	11 m
橋長	104 m	アーチライズ	18 m
径間長	99 m	横構本数	8 本
床版	RC 床版	アーチリブ断面	箱形断面
完工年	1991 年	鋼材	耐候性鋼

3. データ分析

3.1 一般的なニールセンローゼ橋の構造諸元

文献(5)のデータベースからニールセン形式を調べると182橋該当した。文献(6)では一般的なニールセンローゼ橋の構造諸元として表2に示す寸法を定義している。これらは、中井らがそれまでに行った調査研究の成果を元に示している⁽⁷⁾。以下、既設の橋梁データについて表2に示す標準サイズと比較しながら特徴を示す。

表2 一般的なニールセンローゼ橋の寸法諸元⁽⁶⁾

(Table 2 General Spec of Nielsen-Lohse Bridge)

項目	諸元
アーチスパン (径間長, L)	260m 以下
ライズと径間長との比 (f/L)	1/5 ~ 1/8
アーチリブの面内傾斜角 (θ)	65° ~ 90°
平均上横繫ぎ材間隔 (d)	30m 以下
最大上横繫ぎ材間隔 (dmax)	36m 以下
ケーブル間隔 (a)	5~13m 程度
吊り材の面内傾斜角 (ϕ : 一定)	60° 程度

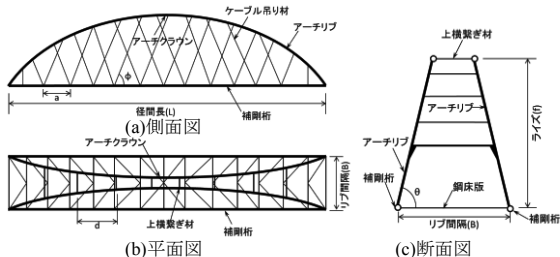


図2 一般的なニールセンローゼ橋の解析モデル (Fig2 General Nielsen-Lohse Bridge Analysis Model)

3.2 データ分析

(1)建設年と径間長

図3に建設年と径間長(L)の関係を示す。多くの橋梁が260m以下の径間で建設されており、260mを超えた橋梁も見受けられる。現在建設中の橋梁が径間長292mの第2音戸大橋(広島県)⁽⁸⁾で、最も長い径間長は305mの新木津川大橋⁽⁹⁾であった。また、建設された径間長の平均は129mであり、一般的なアーチ橋の適用スパンと同様であった。

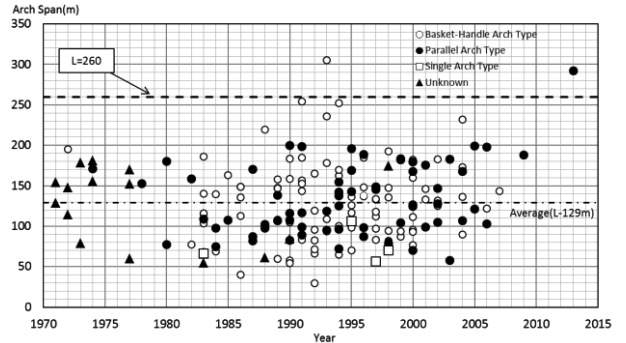


図3 建設数の推移 (Fig3 Trend of the Number of Construction)

(2)構造形式

ニールセンローゼ橋の実績では、2本のアーチリブを平行に配置する平行弦の形式とアーチリブを傾けたバスケットハンドルの形式があり、1本のアーチリブを有する単弦の形式もある。平行弦の形式は表2中のアーチリブの面内傾斜角(θ)が90°に相当し、90°以外はバスケットハンドル形式となる。図4に全橋梁の形式別の割合を示すが、半数がバスケットハンドル形式を採用していることが分かる。また、図3と図4より、各種の形式別に適用径間を調べてみると、どの径間長でもバスケットハンドル形式が採用されており、バスケットハンドル形式の適用限界(最大径間長)は無いようである。

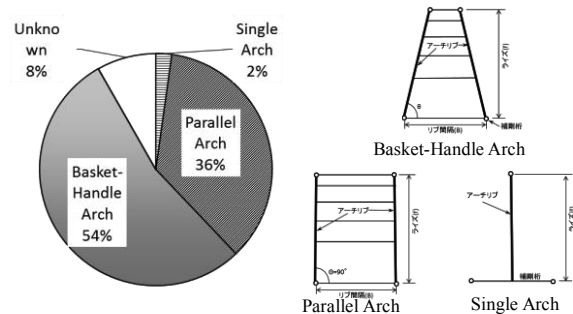


図4 構造形式の割合 (Fig4 Arch Type)

(3)径間長とライズとの関係

図5には径間長(L)とライズ(f)との関係を示し、図6に径間長とライズ比(f/L)との関係を示す。ここでのライズ比とは、ライズ(f)を径間長(L)で除した値である。

図5より、径間長が長くなるにつれてライズ(f)は高くなっていることが分かる。図中の式は最小二乗法を用いて1次式で定式化した式であるが、ほぼ直線近似出来ている。また図6より、ほとんどの橋梁が表2に示すライズ比の間で建設されていることが分かる。バスケットハンドル形式

と平行弦形式との比較でも大きな差は見受けられない。これらの結果より、建設されたニールセン形式の多くは、表 2 に示す範囲で建設されており、それまでの建設事例を参考に寸法が決定されていることが推測出来る。

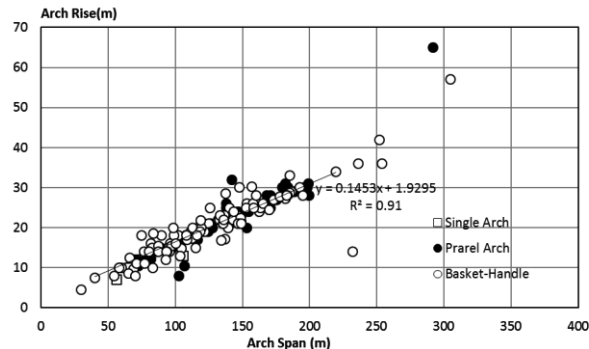


図 5 径間長とライズの関係
(Fig 5 Relation of Arch Span and Arch Rise)

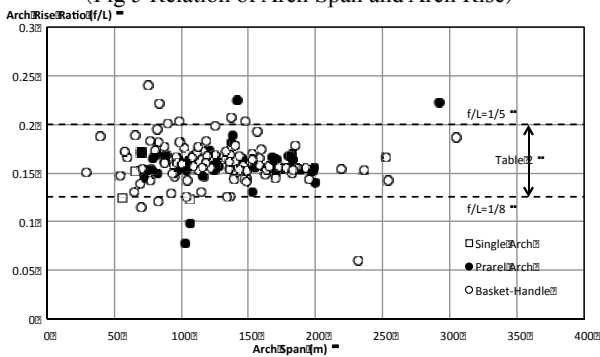


図 6 径間長とライズ比の関係
(Fig 6 Relation of Arch Span and Arch Rise Ratio)

(4)径間長とライズとの関係

次にバスケットハンドル形式の橋梁について、アーチリブの傾斜角について整理した結果を示す。バスケットハンドル形式では、アーチリブ間隔(B)と径間長(L), アーチライズ(f)によって傾斜角(θ)が決定される。図 7 に径間長と傾斜角との関係図を示し、図 8 にアーチリブ間隔と傾斜角との関係を示す。図中の破線は表 2 に示す傾斜角の下限値である 65° を示し、一点鎖線は平均傾斜角を示している。

図 7 よりほとんどの橋梁が 65° 以上の傾斜角を有していることがわかり、径間長が長くてもライズを高くすることによって、傾斜角を 65° 以上に納めている。また図 8 より、アーチリブ間隔が広いほど傾きが大きくなっている傾向がある。アーチリブの傾斜角が小さくなると、アーチリブの基部付近の部材力に影響を与えると考えられるため、基部付近の断面設計が重要になると考えられる。

3.3 海外の事例

図 9 はスペインのパルマ・デル・リオ橋である^{(10),(11)}。径間長は 130m でライズは 25m であり、アーチリブには最大厚 50mm の鋼管を使用している。アーチリブの傾斜角 (θ) は 78.8° であり、これまでの日本での実績とは大きな差は無い。しかしながら本橋の特徴として、バスケットハンドル形式でアーチリブ間に K トラスの上横繋ぎ材を効果的に配置し面外座屈への対策を行っている。その結果、閉断面

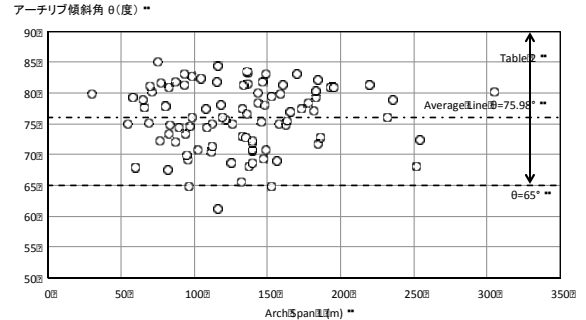


図 7 径間長とアーチリブ傾斜角の関係
(Fig 7 Relation of Arch Span and Inclination Angle)

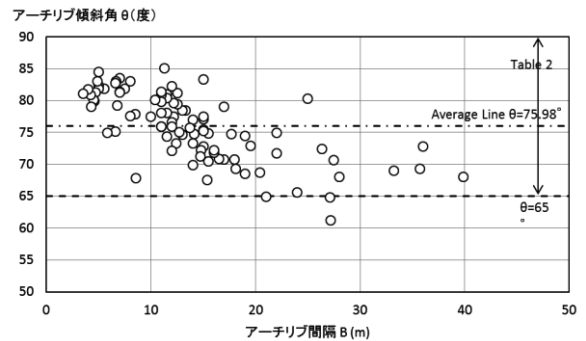


図 8 アーチリブ間隔とアーチリブ傾斜角の関係
(Fig 8 Relation of Interval of Arch Rib and Inclination Angle)



図 9 パルマ・デル・リオ橋 (スペイン)^{(10),(11)}
(Fig 9 Palma del Rio Bridge (Spain))



図 10 Tri-Countries Bridge (ドイツ, フランス, スイス)⁽¹²⁾
(Fig 10 Tri-Countries Bridge (Germany, France, Switzerland))

である鋼管の断面特性と合わさり、非常にスレンダーな橋梁となっている。

図 10 はライン川に掛かる Tri-Countries Bridge である⁽¹²⁾。本橋は歩道橋であるが、径間長 229.4m に対してライズは 23m と扁平なニールセン形式を採用している。本橋の名前の由来はドイツ, フランス, スイスにまたがる橋梁による。構造上の特徴として、北側は 2 本の 6 角形箱形断面部材を

並べて垂直なアーチリブを形成し、南側は鋼管を使用してバスケットハンドルに近い形状を有している。

4. まとめと今後の検討課題

4.1 まとめ

既往の研究文献を文献(13)の文献検索データベースを用いて調べてみたところ、土木学会に関係する発表としては43件の文献が検索され、その他の学協会も含めると60件の文献が検索された。詳細は省略するが、その半数近くがケーブル(吊り材)の張力に関する内容と、実橋の施工報告であった。比較的歴史が浅い橋梁形式であるため、このような傾向が顕著になったものと推察できるが、橋梁の耐荷力に関する研究が少ないことが分かった。特に地震時の動的挙動について調べた研究は僅かであった。以上の結果より、これまでの建設実績のデータ分析と文献検索を通じて判明したことを要約すると次のようになる。

- 1) これまでの建設実績では、表2に示す一般的なニールセン形式として適用できる寸法で建設されている。
- 2) 新設の橋梁でも過去の施工実績を参考にしているものと考えられ、特殊な形状は少ない。
- 3) 径間長(L)が長くなるにつれてライズ(f)も高くなる傾向があるが、ライズ比(f/L)のばらつきは少ない。
- 4) アーチリブの傾斜角(θ)は径間長(L)よりもアーチリブ間隔(B)の影響が大きい。ただし、アーチリブ間隔は、道路の幅員に左右されるため、この点は構造計画の時点で制約条件が付くものと考えられる。
- 5) ニールセン形式の重要な要素であるケーブル(吊り材)の張力に関する施工実績の報告に関する文献は多数発表されている。
- 6) ニールセンローゼ橋の耐荷力特性や地震時挙動を調べた研究発表の文献は少ない。
- 7) 海外ではアーチの特性と吊り材を効果的に使用してスレンダーな橋梁が建設されている。

4.2 今後の課題

現在の橋梁設計は高度化しており、複雑な外的作用(荷重)に対する検討が可能となってきている。さらに東京湾ゲートブリッジで採用されているような高強度鋼の使用が可能となってきており、構造形式の合理化が可能となりつつある。しかしながら、東日本大震災の被災事例を教訓として、地震時挙動や橋梁の終局状態を検証しつつ、効果的な耐震対策を行っていくべきである。さらに新しい構造形式の開発は、日本の橋梁技術の発展のためには必要である。今回取り上げたニールセンローゼ橋は、構造部材を3次元的に配置している点と、ケーブルを活用している点が特徴である。これらの特徴を活かすことで、耐震性、美観に優れ、さらに合理的な設計に基づいた橋梁の創造が可能にな

ると考えられる。さらにケーブルを使用した補強方法は、現在問題となっている老朽化した既設橋のリニューアルなどにも転用できるものと考えている。今後はこの点に着目しながら研究を遂行する予定である。

(平成24年9月25日受付)

(平成24年10月25日受理)

参考文献

- (1) 日本道路橋会:「道路橋示方書 II 鋼橋編」(2012).
- (2) 原田政彦, 梶川康男, 深田幸史:「30年を経過したニールセンローゼ橋の調査」, 土木学会第57回年次学術講演会第1部, Vol.57, I-290, pp.579-580 (2002).
- (3) 北田俊行, 中井博, 吉川紀, 阪野雅則:「ニールセンローゼ橋アーチリブの座屈に対する合理的設計法について」, 構造工学論文集, Vol.34A, pp.315-326 (1988).
- (4) 阪野雅則, 北田俊行, 鳥野晃督:「ニールセンローゼ橋の力学特性とその耐荷力」, 構造工学論文集, Vol.49A, pp.93-104 (2003).
- (5) 日本橋梁建設協会:「橋梁年鑑データベース」(<http://www.jasbc.or.jp/kyoryodb/index.cgi>).
- (6) 土木学会:「座屈設計ガイドライン[2005年版]」, pp.320-327 (2005).
- (7) 中井博:「鋼・合成橋梁の進歩を支える諸技術」, 山海堂, pp.165-180 (1999).
- (8) 的場武文, 桑垣誠, 岡清志, 道管裕一:「第2音戸大橋の施工」, 橋梁と基礎, Vol.46, No.1, pp.11-16 (2012).
- (9) 藤澤悟, 芦原栄治, 横山哲也, 中地映司:「新木津川大橋の実橋載荷試験」, 土木学会第51回年次学術講演会第1部(A), Vol.51, A342, pp.684-685 (1996).
- (10) Francisco Millanes, Miguel Ortega, Antonio Carnerero: “Palma del Río Arch Bridge, Córdoba, Spain”, Structural Engineering International, Vol.20, No.3 pp.338-342 (2010).
- (11) 橋梁と基礎 海外文献グループ:「スペインのパルマ・デル・リオ橋の設計・施工」, 橋梁と基礎, Vol.46, No.9, pp.42-43 (2012).
- (12) Uwe Häberle: “Tri-Counties Bridge between Weil am Rhein, Germany and Hüningen, France”, Structural Engineering International, Vol.20, No.3 pp.321-324 (2010).
- (13) 土木学会:「所蔵文献・書誌検索データベース」(<http://www.jsce.or.jp/>).
- (14) Per Tveit: “An Introduction to the Optimal Network Arch”, Structural Engineering International, Vol.17, No.2 pp.184-187 (2007).
- (15) 田中克弘, 北田俊行:「弾塑性有限変位解析によるニールセン・ローゼ橋および斜張橋の耐荷力照査法について」, 鋼構造論文集, Vol.8, No.30, pp.39-49 (2001).
- (16) 北田俊行, 中井博, 石崎浩, 江口慎介:「鋼ニールセン・ローゼ橋, およびラーメン鋼橋脚の限界状態に関する基礎的研究」, 構造工学論文集, Vol.42A, pp.91-98 (1995).
- (17) 梅田聡, 磯江暁, 渡辺和明, 阪田大蔵:「ニールセン橋の斜材張力調整について」, 土木学会第46回年次学術講演会第1部, Vol.46, I-335, pp.708-709 (1991).
- (18) 佐野泰如:「既設橋上路式アーチ橋における構造パラメータの調査」, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.67, No.2, pp.320-325 (2011).