

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

FUNDAMENTAL STUDY ON LIMIT STATES OF STEEL NIELSEN-LOHSE BRIDGES
AND RIGID FRAMED BRIDGE PIERS

北田俊行*, 中井 博**, 石崎 浩***, 江口慎介****

Toshiyuki KITADA, Hiroshi NAKAI, Hiroshi ISHIZAKI and Shinsuke EGUCHI

*工博 大阪市立大学助教授 工学部土木工学科 (〒558 大阪市住吉区杉本3-3-138)

**工博 大阪市立大学教授 工学部土木工学科 (〒558 大阪市住吉区杉本3-3-138)

***阪神高速道路公団・神戸第2建設部・設計課長 (〒650 神戸市中央区東川崎町1-3-3)

****大阪市立大学大学院生 工学研究科土木工学専攻 (〒558 大阪市住吉区杉本3-3-138)

For the purpose of obtaining a reference data needed for establishing a limit states design method for the steel bridge structures, this study examines the influences of the following parameters upon the yield and ultimate strengths of steel bridge structures. These parameters are ; (1) variation of residual stress, initial deflection and thickness of plate element, (2) variation of yield stress of plate element, (3) mistake of material selection due to human error, (4) fracture of some structural members due to accident, and (5) unexpectedly large loads by earthquake and typhoon. For this purpose, the yield and ultimate load carrying capacities of Nielsen-Lohse bridges subjected to live or wind load and a steel bridge pier subjected to seismic load are investigated numerically through elasto-plastic and finite displacement analyses.

Key Words: steel bridge structures, limit states design method, ultimate strength, elasto-plastic and finite displacement analysis, initial imperfection, yield stress, thickness of plate element, human error

1. まえがき

近年、わが国の土木構造物の設計法は、世界的な動向にしたがって、許容応力度設計法から限界状態設計法のフォーマットに移行しつつある。鋼橋の設計においても、材料の弾塑性挙動を許した設計法を認めたり、確率理論と統計処理とによって、荷重や強度のばらつきが鋼橋の各限界状態に及ぼす影響を評価し、合理的な限界状態設計法を確立することが重要な課題となってきた。

鋼橋の限界状態設計法を確立するためには、種々な不確定量、および不完全因子のばらつき、ヒューマン・エラー、事故、ならびに地震や強風などの予想外の過大荷重が構造部材のみならず構造物全体の降伏・終局荷重に及ぼす影響についても検討することが不可欠である。とくに、以下のような構造物では、最も弱い構造部材の降伏により構造物の終局強度を決めるのは、必ずしも経済的であるとは言えない。

- (1) 省力化のため断面変化点を少なくしたり、補剛材を少なくし、厚肉断面とした部材を用いた鋼橋
- (2) エネルギーの吸収性をよくするため、降伏強度と終局強度との差異を大きくした鋼製橋脚などの耐震構造

物

このような構造物では、構造物全体の終局強度に基づいて設計するのが経済的であると考えられる。しかしながら、鋼橋構造物全体の終局強度特性、および、それに基づいた設計法は、十分に確立されていないのが現状である。

そこで、本研究では、鋼橋の限界状態設計法を確立する際に必要な、1つの参考資料を提供することを目的とし、具体的な解析モデルを使用し、以下のパラメーターが鋼橋構造物全体の降伏・終局強度、および変形性能に及ぼす影響について検討した。すなわち、(1)残留応力、初期たわみ、および部材を構成する板要素の板厚のばらつき、(2)構造物を構成する板要素の降伏点のばらつき、(3)ヒューマン・エラーによる材料の選択の誤り、(4)事故による一部分の部材の破断、および(5)地震や風荷重による過大荷重をパラメーターとした。対象とする解析モデルは、活荷重、および風荷重を受けるニールセン・ローゼ橋²⁾³⁾、および地震荷重を受ける鋼製ラーメン橋脚⁴⁾とした。そして、上記の影響を調べるため、それらに対して弾塑性有限変位解析¹⁾を行った。

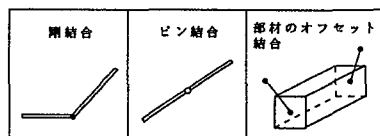
2. 解析プログラムの概要

本研究の弾塑性有限変位解析においては、ケーブルを用いた鋼橋の耐荷力解析用の専用プログラムであるEPASS(Elasto-Plastic Analysis of Steel Structures)¹⁾を用いた。このEPASSは、ケーブル部材、および薄肉箱形断面部材からなる立体的な橋梁構造物の終局強度を弾塑性有限変位解析により求めることができるプログラムである。その特徴を、以下に示す。

- (1)数々の形式の橋梁構造物の弾塑性有限変位解析を対象とした専用プログラムである。
- (2)橋梁構造物が受ける種々な特有の荷重に対処できる。
- (3)橋梁の構成部材である薄肉断面部材に含まれる残留応力や、構成部材、および構造物全体の初期たわみが、考慮できる。
- (4)架設工法や、ケーブルのプレストレス力によって生じる初期断面力、考慮できる。
- (5)断面内の塑性域の広がり、考慮できる。
- (6)ケーブル張力によるケーブルの非線形性が、考慮できる。
- (7)最高荷重通過後の挙動の追跡も可能である。
- (8)EPASSで扱える有限要素と結合方法は、図-1に示すとおりである。



(a)要素の種類



(b)要素間の結合方法

図-1 EPASSで扱える要素と結合方法

3. ニールセン・ローゼ橋における初期不整の有無、および材料強度や板厚のばらつきによる降伏・終局強度の変動解析例

ここでは、以下の不確定量、および不完全因子、すなわち(1)初期不整の有無、(2)降伏点のばらつき、および(3)箱形断面部材の板厚のばらつきが鋼橋の降伏・終局強度に及ぼす影響を調べた。解析モデルには、ニールセン・ローゼ橋を想定した2つの解析モデルを使用し、解析を行った。

3.1 解析モデル、初期不整、および載荷荷重

(1)解析モデル

実際に道路橋示方書^{5), 6)}などに従って設計された実橋を対象として理想化した2つの解析モデルの骨組線図を、図-2に示す。本解析では、アーチリブの耐荷力に

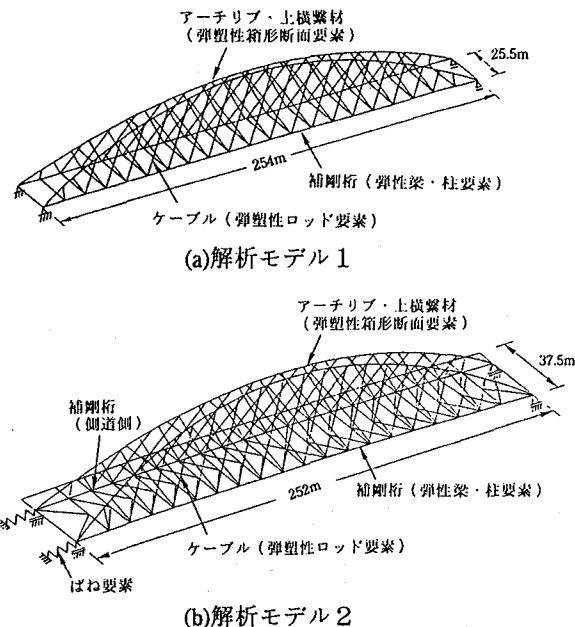


図-2 対象としたニールセン・ローゼ橋の骨組線図

着目した。そのためアーチリブ、および上横繫材は弾塑性有限変位挙動が考慮できる弾塑性箱形断面要素、そして補剛桁は弾性梁・柱要素、またケーブルは弾塑性ロッド要素でモデル化した。

(2)初期不整

解析で考慮する初期不整として、箱形断面の溶接に伴う残留応力⁷⁾、および初期たわみを対象とし、それらをアーチリブに導入した。

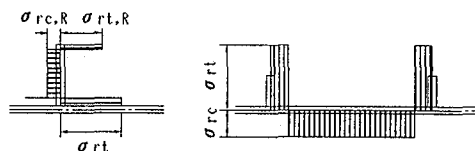
解析に用いた残留応力の大きさと分布形状を表-1、および図-3に、また初期たわみの形状を図-4に示す。なお、初期たわみ波形は、弾性座屈解析による一次座屈モードを参考にして決定した。その最大初期たわみ量は、

表-1 残留応力の大きさ⁷⁾

材質	降伏点 σ_y (kgf/cm ²)	板パネル		補剛材	
		σ_{rt}	σ_{rc}	$\sigma_{rt,R}$	$\sigma_{rc,R}$
SS400	2,400	1.00 σ_y	-0.30 σ_y	0.60 σ_y	-0.20 σ_y
SM520	3,600	0.95 σ_y	-0.23 σ_y	0.60 σ_y	-0.15 σ_y
SM570	4,600	0.90 σ_y	-0.20 σ_y	0.60 σ_y	-0.15 σ_y
HT790	7,000	0.80 σ_y	-0.15 σ_y	0.60 σ_y	-0.12 σ_y

σ_{rt} : 板パネルに生じる引張残留応力
 σ_{rc} : 板パネルに生じる圧縮残留応力
 $\sigma_{rt,R}$: 補剛材に生じる引張残留応力
 $\sigma_{rc,R}$: 補剛材に生じる圧縮残留応力

(1kgf/cm² = 0.098MPa)



(a)フランジ・ウェブの補剛材 (b)フランジ・ウェブの補剛材

図-3 残留応力の分布形状⁷⁾

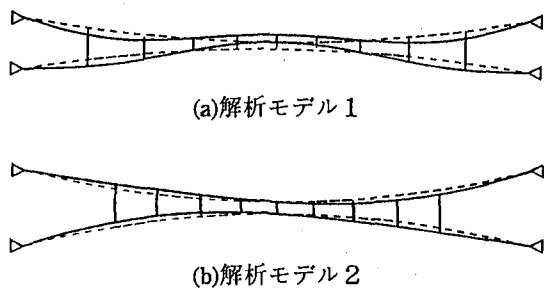


図-4 弾性座屈モードに類似の初期たわみ波形

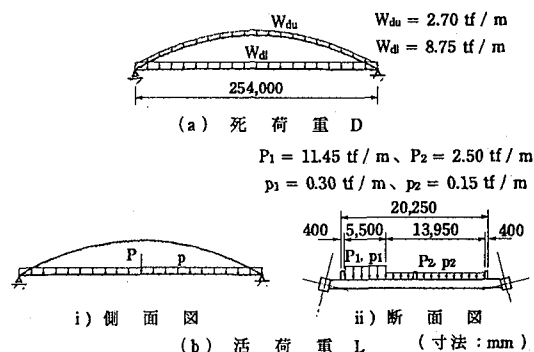


図-5 荷重の載荷方法 (解析モデル 1)
(1tf/m=9.8kN/m)

解析モデル 1、および 2 に対して、それぞれ 36mm、および 25mm とした。これらの値は、道路橋示方書⁶⁾の仮組立の精度である $H/1,000$ (H : 構造物高さ) に従った。

(3) 載荷荷重

これらの解析モデルにおいては、死荷重、および活荷重を対象として解析した。図-5には、解析モデル 1 における載荷方法¹³⁾を示す。

3.2 解析結果とその考察

(1) 初期不整による影響

ここでは、初期不整として、部材や構造物全体の終局強度に影響を及ぼす残留応力と初期たわみとを、対象として解析した。とくに、その残留応力と初期たわみとが、鋼橋の終局強度に至るまでの挙動に及ぼす影響を調べた。

また、道路橋示方書で定められている安全率との比較が容易となるように、終局状態に至るまでの荷重の漸増方法は、比例載荷とし、その倍率には、荷重パラメーター α を用いた。なお、挙動を追跡する着目点には、アーチクラウンに相当する節点を選んだ。

解析結果である荷重パラメーター-変位曲線を、図-6に示す。この図において、係数 α_v 、および α_u は、それぞれ降伏・終局状態における荷重パラメーターの値である。

解析結果によると、初期たわみの有無は、終局強度、および、それに至るまでの挙動に大きな影響を及ぼさない。しかし、残留応力の有無は、終局強度にあまり影響

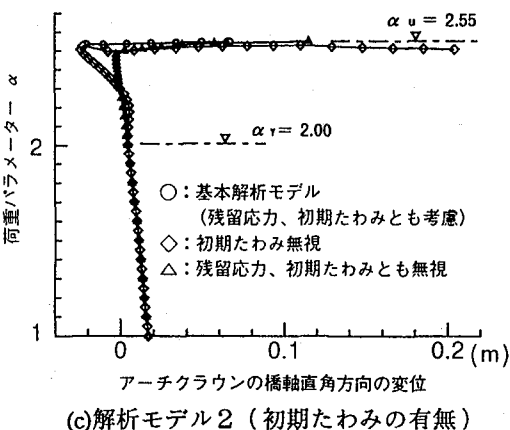
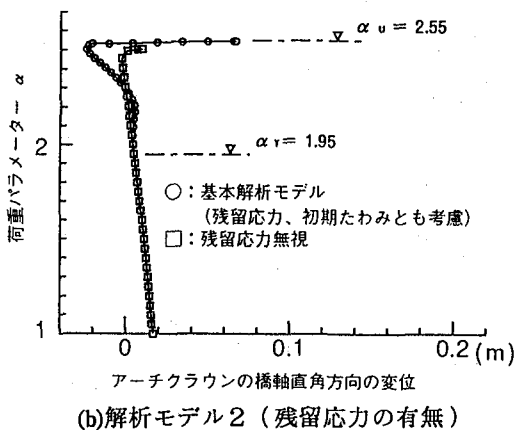
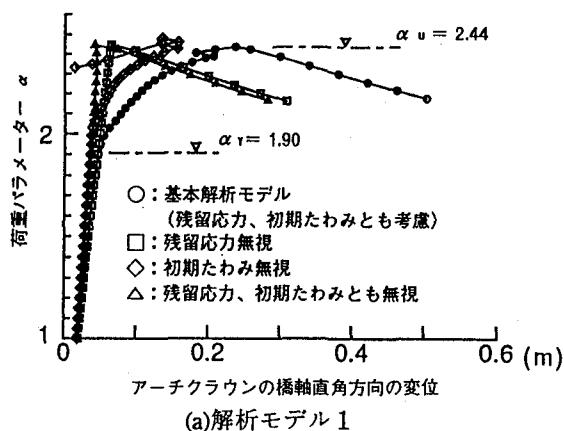


図-6 初期不整の有無が荷重パラメーター-変位曲線に及ぼす影響 (ニールセン・ローゼ橋)

しないが、降伏が早められるため、終局強度に至るまでの変位が大きくなることがわかった。また、実際のである残留応力が存在する場合、降伏限界状態と終局限界状態とが明確に現れることがわかった。

(2) 材料の降伏点のばらつきによる影響

ここでは、降伏点のばらつきが、鋼橋全体の強度にどの程度の影響を与えるかを調べた。降伏点のばらつきの統計量には、文献8)の統計量を用いた。その値を、表-2に示す。

これらの値を用いて、ケーブル以外のアーチ部材すべ

表-2 鋼種別の鋼材の実降伏点（下降伏点）の統計量⁸⁾

鋼材 降伏点 パラメータ	SS(SS330-SS470)		SM(SM400-SM570)		HT(HT590-HT790)	
	M	S	M	S	M	S
σ_{YL}/F_y	1.179	0.132	1.162	0.135	1.112	0.082

σ_{YL} : 実降伏点、 F_y : 公称降伏点、M: 平均値、S: 標準偏差

ての降伏点を変化させて、それらが終局強度、および終局状態に至るまでの挙動に及ぼす影響を調べた。降伏点を(M-2S)とすると、その値は、道路橋示方書の公称降伏点を下回る。実際に、このようなケースは発生しないと考えられるが、ここでは、最悪のケースとして、解析することにした。

荷重の組み合わせは前節と同様に、死荷重+活荷重とする。荷重パラメーター変位曲線の解析結果を、図-7に示す。

この図の解析結果によると、降伏点のばらつきは、鋼橋の挙動にそのままの比率で反映されており、鋼橋の強度に大きく影響することがわかった。しかし、降伏点の平均値Mは公称降伏点の1.162倍と大きな値であり、さらに鋼橋に使用する鋼材においては公称降伏点を下回らない。したがって、材料強度のばらつきによって、鋼橋強度は、設計強度を下回ることはないと考えられる。しかしながら、実際に用いられる鋼材の降伏点は、公称降

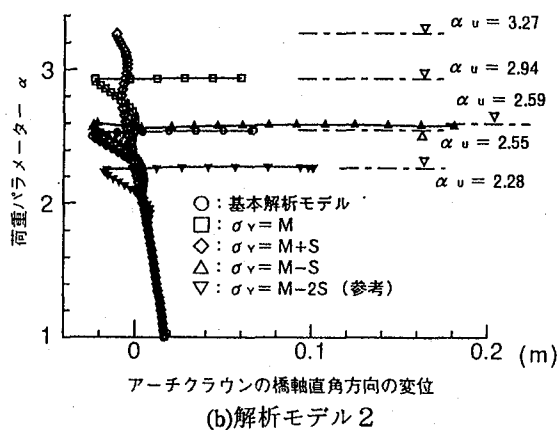
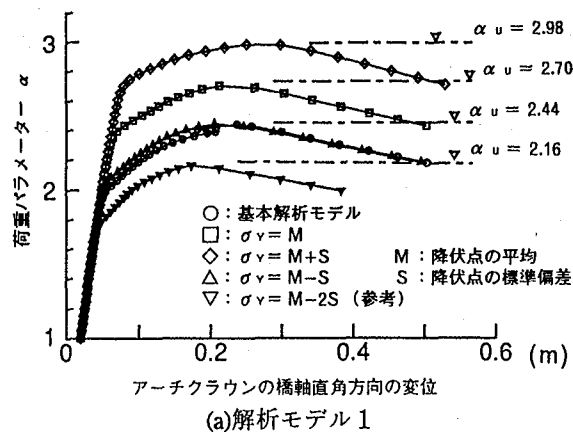


図-7 降伏点のばらつきが荷重パラメーター変位曲線に及ぼす影響

伏点より、かなり上回る確率が高く、この点を設計段階で何らかの方法で評価できれば、より経済的な設計が可能になると考えられる。

(3)箱形断面部材の板厚のばらつきによる影響

ここでは、箱形断面を構成している鋼板の板厚の公差(tolerance)がニールセン・ローゼ橋のアーチリブの耐力に及ぼす影響を調べた。具体的には、基本解析モデルのアーチリブすべての板厚を、道路橋示方書で定められている許容限界値である95%に減らし、解析を行った。

荷重パラメーター変位曲線の解析結果を、図-8に示す。

同図から、板厚の5%の公差が降伏・終局荷重パラメーターに及ぼす低減量は5%程度となり、解析モデル1においては、終局荷重パラメーターの低減量が板厚の低減量5%よりやや大きくなっていることがわかった。したがって、箱形断面の板厚の公称値からのばらつきは、若干拡大されて、アーチリブの耐力に影響する可能性があり、今後、その影響を設計において、どの程度見積もらなければならないのか、検討する必要がある。

4. ニールセン・ローゼ橋におけるヒューマン・エラー

と事故とによる降伏・終局強度の変動解析例

一般に、構造物の破壊の原因の多くは、ヒューマン・

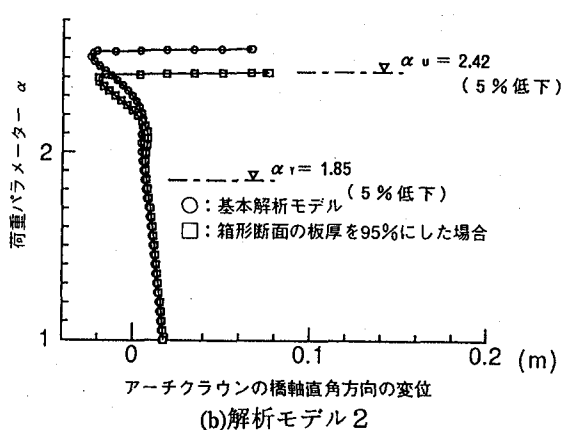
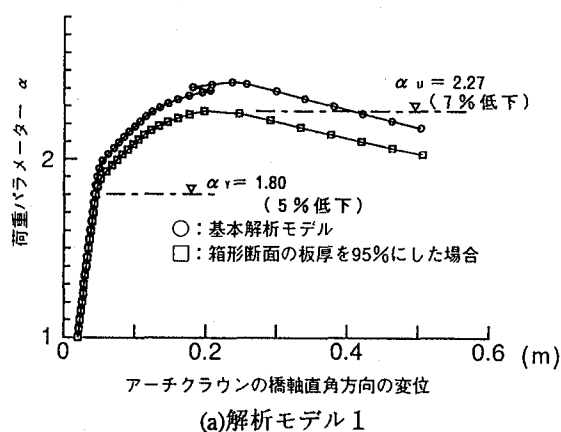


図-8 箱形断面部材の構成鋼板要素の板厚のばらつきが荷重パラメーター変位曲線に及ぼす影響

エラー、事故、および風荷重や地震荷重など予期せぬ過大荷重の作用などが挙げられる。したがって、これらが鋼橋の降伏・終局強度に及ぼす影響を調べることは、鋼橋の耐荷力、および安全性を評価する上で重要である。

ここでは、図-2に示したニールセン・ローゼ橋モデルのうち、解析モデル1を用い、ヒューマン・エラー、および事故のうち、具体的例として、(1)ケーブル要素の切断、および(2)材料の誤った採用を取り上げ、これらが鋼橋の降伏・終局強度に及ぼす影響を調べた。

(1)材料の使用ミスによる影響

誤って強度の低い材料をアーチリブに使用したときの影響を調べるため、図-9に示す要素の降伏点を、1ランク低くして解析を行った。

荷重パラメーター変位曲線の解析結果を、図-10に示す。

解析ケースNo.1～No.4においては、アーチリブの耐荷力に最も影響を及ぼしそうなアーチリブの区間を選び、

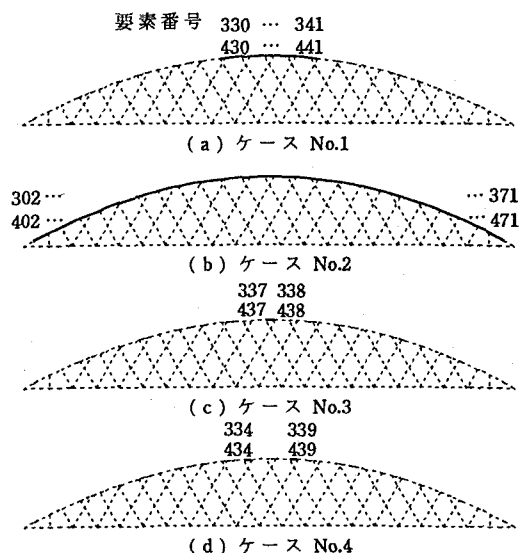


図-9 降伏点をグレード・ダウンするアーチリブ有限要素（太線部分のアーチリブの降伏点3、600kgf/cm²を3,200kgf/cm²にグレード・ダウン、(1kgf/cm²=0.098MPa)）

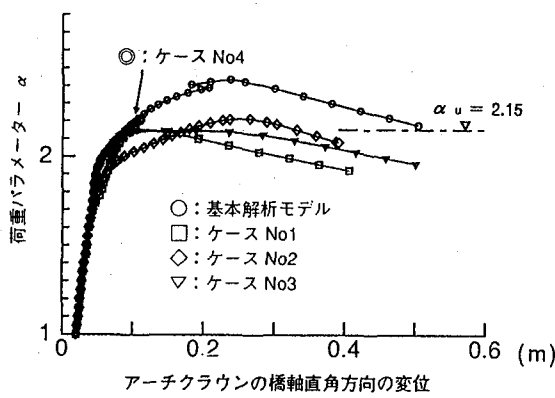


図-10 誤って降伏点が部分的にグレード・ダウンした場合の荷重パラメーター変位曲線

降伏点を低減している。その結果、どのケースともほぼ同じ程度の強度低下を示しており、基本解析モデルの終局荷重パラメーター $\alpha_u=2.44$ に対して、約12%の強度低下となった。すなわち、アーチリブにおいては、すこしでも降伏点の低い材料が1つの断面にわたって誤って採用されると、その材料の降伏点でアーチリブ全体の強度が決まってしまうことになる。

(2)ケーブルの破断の影響

何らかのヒューマン・エラーや事故によるケーブルの破断が、ニールセン・ローゼ橋のアーチリブの耐荷力に及ぼす影響を調べるため、以下のような解析を行った。

i)図-11に示すケーブル要素6本が、架設時から機能していないことを想定した場合

ii)その鋼橋に活荷重が載荷されているときに、上と同じ要素が、機能しなくなることを想定した場合

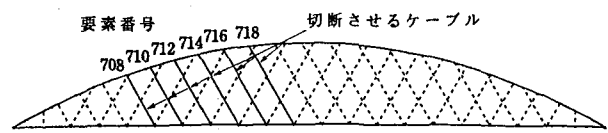


図-11 切断を仮定したケーブル要素

切断するケーブルとしては、最大の引張力を有し、耐荷力に大きな影響を及ぼしそうな同じ斜め方向のケーブルを選択した。

解析結果である荷重パラメーター変位曲線を図-12に示す。

同図から、大きな引張力が作用しているケーブルを数本切断した場合、終局状態に至るまでのアーチリブの挙動には、相当な影響が現れる。しかし、崩壊に対しては、まだ2.1程度の実安全率があることがわかった。これは、ケーブルが切断されると、アーチリブに補剛桁の死荷重や活荷重が作用しなくなるためである。

ただし、今回の解析では、補剛桁が降伏しないように、弾性梁・柱要素を用いた。しかし、補剛桁にとっては、ケーブルの破断が重要な問題となり、今後、十分に検討する必要がある。

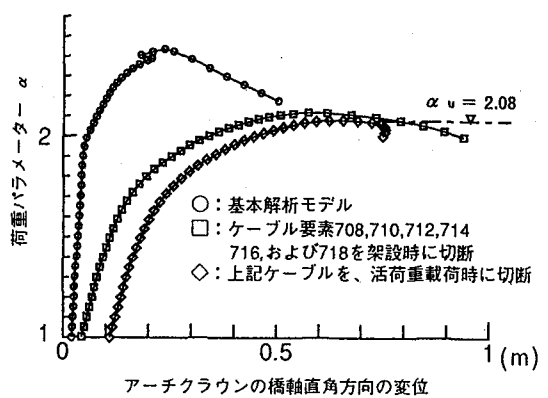


図-12 ケーブルの切断が荷重パラメーター変位曲線に及ぼす影響

今回の阪神・淡路大震災においては、ケーブルが抜け落ちたり、緩んだ事例が2ケースあった。このような事例の原因や評価法についても、今後、検討することが必要である。

5. 鋼製ラーメン橋脚の地震荷重、およびニールセン・ローゼ橋の風荷重による降伏・終局強度の解析例

ここでは、地震荷重、および風荷重が鋼橋の降伏・終局強度に及ぼす影響を調べるため、解析モデルに地震荷重を受ける鋼製ラーメン橋脚、および風荷重を受けるニールセン・ローゼ橋を使用し、解析を行った。

5.1 解析モデルと載荷荷重

(1) 解析モデル

i) 対象とする鋼製ラーメン橋脚

地震荷重による影響の検討に用いる解析モデルを、図-13に示す。ラーメン橋脚モデルは、すべて弾塑性箱形断面要素でモデル化した。

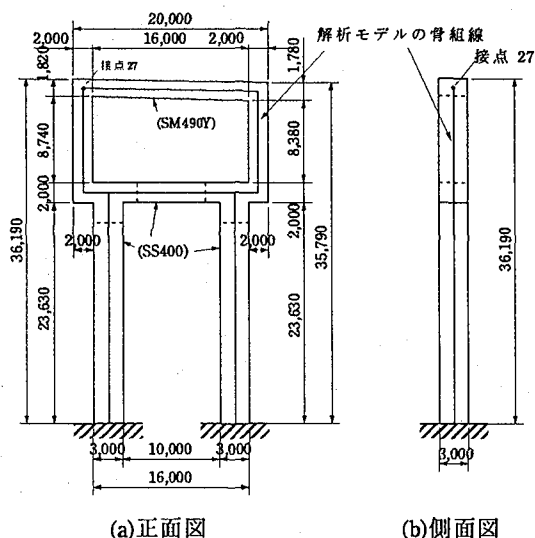


図-13 対象としたラーメン橋脚の基本解析モデル⁴⁾
(寸法単位: mm)

ii) 対象とするニールセン・ローゼ橋

風荷重を受けるニールセン・ローゼ橋モデルは、図-2(a)で示したものと同一のものである。

(2) 載荷荷重

i) 鋼製ラーメン橋脚に作用する地震荷重

鋼製ラーメン橋脚への地震荷重の載荷方法⁴⁾を、図-14に示す。なお、地震荷重は震度法に基づいており、設計水平震度は、以下のとおりとしている。

上部構造: $k_h = 0.3$

橋脚: $k_h = 0.24$

ここで、橋脚の設計水平震度は、上部構造の80%としている。また、橋脚自身のX軸方向の地震荷重は、Y軸方向の地震荷重と同じ大きさとしている。

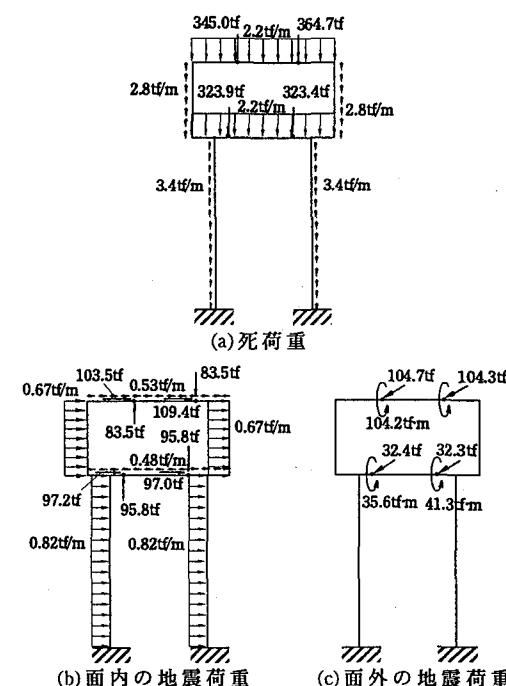


図-14 ラーメン橋脚モデルへの荷重の載荷方法⁴⁾
(1tf=9.8kN)

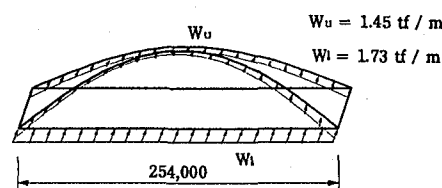


図-15 ニールセン・ローゼ橋への風荷重の載荷方法²⁾
(寸法単位: mm, 1tf/m=9.8kN/m)

ii) ニールセン・ローゼ橋に作用する風荷重

ニールセン・ローゼ橋への風荷重の載荷方法²⁾を、図-15に示す。

5.2 解析結果とその考察

(1) 鋼製ラーメン橋脚の地震荷重に対する解析例

解析モデルにラーメン橋脚を用いて、地震荷重による橋脚の挙動を調べた。上述の水平震度を用い、地震荷重は、静的な荷重として橋軸方向と橋軸直角方向とに作用させた。終局状態に至るまでの荷重増加方法は、死荷重を増加させず、地震荷重のみ、荷重パラメーター α を用い増加させた。なお、地震応答加速度は、以下の式を用いて計算した。

$$\text{応答加速度} = \alpha \times 980 \times 0.3 \text{ gal} \quad \cdots (1)$$

解析結果を、図-16、および図-17に示す。

これらの解析結果から、本研究で対象としたラーメン橋脚においては、橋軸直角方向よりも、橋軸方向に地震荷重を受ける場合に、降伏強度、および終局強度がともに大きく低下することがわかった。しかしながら、橋軸方向の地震に対しては終局荷重パラメーター α_{ul} は、1.89となり、道路橋示方書で期待する安全率 $\nu = 1.13$

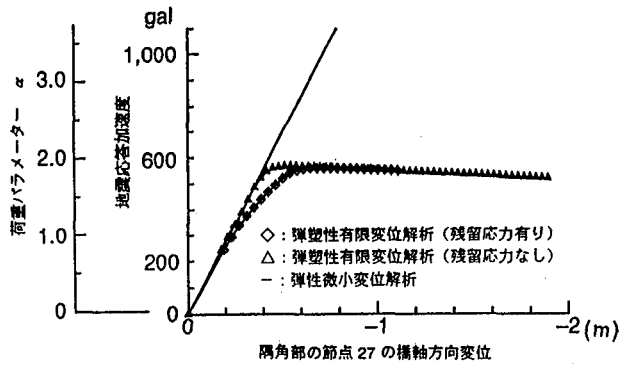


図-16 静的地震荷重による橋脚の挙動
(橋軸方向地震荷重を受けるラーメン橋脚)

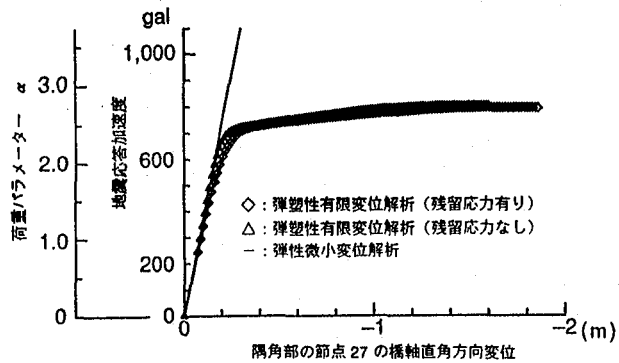


図-17 静的地震荷重による橋脚の挙動
(橋軸直角方向地震荷重を受けるラーメン橋脚)

(1.7/1.5)よりかなり大きくなっていることがわかる。

また、図-18、および図-19に示すように、文献6)に従って、構造物の最大弾性応答加速度が1,000gal(レベル2)となる地震荷重を想定した場合の橋脚の安全性を、等価エネルギー則⁹⁾に基づいて考察した。すなわち、図-18、および図-19において、弾性微小変位解析による曲線①と縦直線ABと変位軸とで囲まれた面積と、曲線②と縦直線CDと変位軸とで囲まれた面積が等しくなるようにする。すると、点Dが、橋脚に1,000galの弾性応答が発生するときの近似的な最大弾塑性応答変位と考えられる。点Uを終局限界状態と考えると、橋軸直角方向の地震荷重に対し、部材の板要素の局部座屈を無視すれば、最大応答変位に対応する点Cは、終局限界状態(点U)を超えない。しかし、橋軸方向の地震に対しては、点Uを超えていることがわかった。橋軸方向の地震に対しては、点Cの状態においても、橋脚の構成板パネルに局部座屈が発生しないようにしたり、あるいは、もう少し強度を上げた設計を行うなどについて、今後、検討する必要がある。

今回の阪神・淡路大震災においては、崩壊したり(2ケース)、種々な損傷を受けた鋼製橋脚が多数見られた。鋼製橋脚の限界状態設計法を確立するためには、これらの震災事例の原因や評価法について、十分に検討を加えることも必要である。

(2) ニールセン・ローゼ橋の風荷重に対する解析例

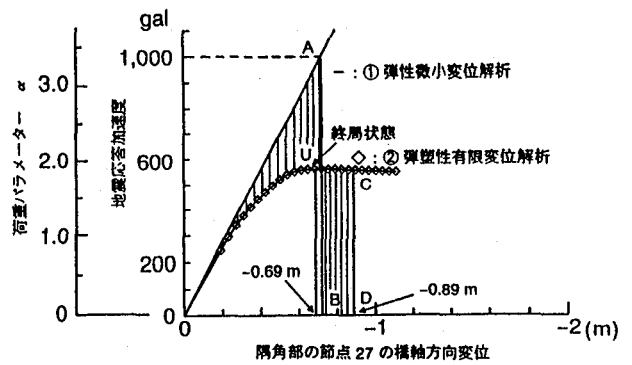


図-18 等価エネルギー則による橋軸方向の1,000galの地震動に対応する水平変位(ラーメン橋脚)

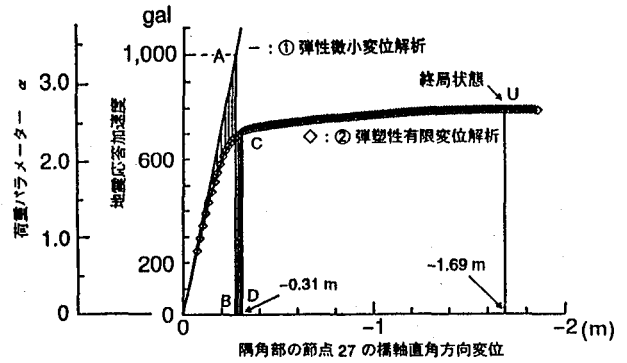


図-19 等価エネルギー則による橋軸直角方向の1,000galの地震動に対応する水平変位(ラーメン橋脚)

ここでは、風荷重によるニールセン・ローゼ橋の終局状態に至るまでの挙動を調べた。

荷重の組み合わせは、死荷重と風荷重とする。また、3.と同様に、終局状態に至るまでの荷重の漸増方法は、比例載荷とした。

荷重パラメーター変位曲線の解析結果を、図-20に示す。

この解析によると、降伏荷重パラメーターは $\alpha_Y = 1.59$ 、また終局荷重パラメーターは $\alpha_U = 2.31$ となった。これらに対して、道路橋示方書で期待する風荷重に対する安全率は、 $\nu = 1.36(1.7/1.25)$ である。

以上のデータ、道路橋示方書で期待する風荷重に対する安全率 $\nu = 1.36$ 、ならびに今回の解析結果である降伏荷重パラメーター $\alpha_Y = 1.59$ 、および終局荷重パラメーター

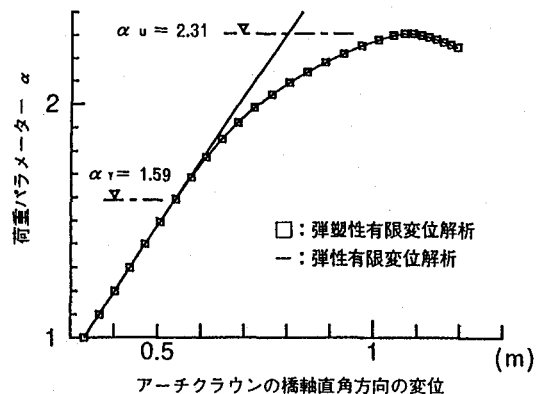


図-20 静的風荷重によるニールセン・ローゼ橋の挙動

ター $\alpha_u=2.31$ から、対象橋梁の風荷重の設計に用いられた安全率の妥当性についても考察することは、なかなか難しい。今後は、以下の点について検討する必要がある。

- i)上横繫材など風荷重によって断面が決まる部材がどの程度で、風荷重によって、どの程度鋼重が増加するのか。
- ii)動的な効果を、どう評価するか。
- iii)今回の解析においては、2本のアーチリブに同じ抗力係数を用いているが、それが妥当であるのか。
- iv)基本風速の再現期間などの決定法についても、検討する必要がある。

6. まとめ

本研究では、死荷重と地震荷重とを受ける鋼製ラーメン橋脚、死荷重と活荷重、あるいは死荷重と風荷重とを受けるニールセン・ローゼ橋を例として、鋼橋の限界状態設計法を確立するにあたり、検討すべきであると思われる種々な不確定量のばらつき、ヒューマン・エラー、事故、および予期せぬ過大荷重がこれらの鋼橋の強度に及ぼす影響を具体的に検討した。

本研究で得られた主な成果をまとめると、以下のとおりである。

- (1)本研究で対象としたニールセン・ローゼ橋モデルに限ると、初期たわみの有無は、終局強度、および、それに至るまでの挙動に大きな影響がない。しかし、残留応力の有無は、終局強度にあまり影響を及ぼさないものの、降伏を早めるため、終局状態に至るまでの変位が大きくなる。
- (2)降伏点のばらつきは、鋼橋の降伏・終局強度に著しく影響し、それらのばらつきの幅も大きいことがわかった。
- (3)アーチリブ内のごく小区間においても材料の使用ミスがあり、その材料が所定の材料よりも降伏点が高い場合、誤った材料の降伏点が、アーチリブの強度を支配してしまう。
- (4)ケーブルの破断があったとしても、アーチリブは、所定の安全率を確保していることがわかった。
- (5)本研究で検討した鋼製ラーメン橋脚においては、地震荷重が橋軸方向に作用する場合、橋軸直角方向に作用する場合よりも、終局強度がかなり低下した。
- (6)風荷重に関しては、終局荷重パラメーター $\alpha_u=2.31$ の妥当性に加えて、風荷重の載荷方法、動的効果、および基本風速の大きさの決定法についても検討する必要がある。

なお、本研究では、特定のニールセン・ローゼ橋、および鋼製ラーメン橋脚を使用している。しかしながら、同形式の他の橋梁や橋脚、および他の形式の鋼橋においては、異なった結果が得られる可能性もある。したがって、今後は、同形式の他の鋼橋、および他の形式の鋼橋

に対しても、本研究と同様な検討を行ってみる必要がある。

本研究に対し、平成6～7年度の2年間にわたる文部省・科学研究補助金・一般研究C（研究代表者：北田俊行）の補助金を受けたことを付記する。

参考文献

- 1)北田俊行・大南亮一・丹生光則・田中克弘：ケーブルを用いた鋼橋の耐荷力解析用の汎用プログラムの開発、構造工学における数値解析法シンポジウム論文集、第13巻、鋼構造協会、pp.89～94、1989年7月
- 2)阪神高速道路公団：新浜寺大橋工事誌（4号湾岸線）、平成5年12月
- 3)阪神高速道路公団・神戸建設部：西宮港大橋設計概要書、平成4年3月
- 4)阪神高速道路公団：兵庫県道高速湾岸線六甲アイランド橋（その2）鋼桁及び鋼製橋脚工事RP8鋼製橋脚設計計算書、平成3年11月
- 5)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅰ.共通編,Ⅱ.鋼橋編、丸善、昭和55年5月
- 6)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ.耐震設計編、丸善、平成2年2月
- 7)小松定夫・牛尾正之・北田俊行：補剛板の溶接残留応力、および初期たわみに関する実験的研究、土木学会論文報告集、第265号、pp.514～515、1977年9月
- 8)土木学会：座屈設計ガイドライン、技報堂、1987年10月
- 9)土木学会・鋼構造委員会・鋼構造動的極限性状研究小委員会：鋼構造物の弾塑性性状と耐震設計法、6.4鋼橋構造物の2段階設計法の一提案、pp.96～106、平成5年8月
- 10)北田俊行：鋼構造物の信頼性設計の実用化における2～3の問題点、第43回応用力学連合講演会概要集、pp.185～186、平成6年1月
- 11) Kitada, T.: Issues on Reliability Methods and Limit States Design Methods in Applying Them to Design of Steel Bridges, Korea-Japan Joint Seminar on Steel Bridges, Seoul, KOREA, pp.161～178, October 6-7, 1994
- 12) Ellingwood, B.: Design and Construction Error Effects on Structural Reliability, Proc. of ASCE, Vol.113, No.ST-2, pp.409～422, February, 1987
- 13)阪神高速道路公団・（財）災害科学研究所：新浜寺大橋を用いたパラメトリック解析結果、平成5年3月
- 14)三菱・川田・住重・日塔・神鋼建設工事共同企業体・（財）災害科学研究所：西宮港大橋アーチリブの座屈耐荷力に関する研究業務、平成5年3月
- 15)阪神高速道路公団：阪神高速道路の設計荷重体系に関する調査研究、昭和61年12月

（1995年9月18日受付）