



有珠山噴火に伴う地殻変動を受ける泉の沢橋に関する数値解析的研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2007-06-06 キーワード (Ja): キーワード (En): Mt. Usu, Eruption, Crustal movements, Forced-displacement analysis 作成者: 岸, 徳光, 小室, 雅人, 栗原, 浩, 多田, 誠 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/108

有珠山噴火に伴う地殻変動を受ける泉の沢橋に関する数値解析的研究

その他（別言語等）のタイトル	Numerical Simulation of Izumi-no-sawa Bridge Under Crustal Movements due to Eruption of Mt. Usu
著者	岸 徳光, 小室 雅人, 栗原 浩, 多田 誠
雑誌名	室蘭工業大学紀要
巻	51
ページ	1-8
発行年	2001-11-30
URL	http://hdl.handle.net/10258/108

有珠山噴火に伴う地殻変動を受ける 泉の沢橋に関する数値解析的検討

岸 徳光*¹, 小室 雅人*¹, 栗原 浩*², 多田 誠*²

Numerical Simulation of Izumi- no- sawa Bridge Under Crustal Movements due to Eruption of Mt. Usu

Norimitsu KISHI, Masato KOMURO, Hiroshi KURIHARA and Makoto TADA

(論文受理日 平成13年 8月31日)

Abstract

A multi-span Prestressed-Concrete hollow rigid-frame bridge has been constructed near Mt. Usu as a part of Central Hokkaido expressway by Japan Highway Public Corporation, which is named as Izumi-no-sawa Bridge. The bridge suffered severe crustal movements due to eruption of Mt. Usu occurred in March 2000. In this paper, in order to investigate the influence of the crustal movements on the bridge, static force-displacement analysis is performed by means of 3D elastic finite element method taking geometrical nonlinearity into account. From this study, following results are obtained: 1) damaged area of each Reinforced Concrete pier can be estimated by this numerical analysis; and 2) it can be numerically made clear that the footings of bridge pier from P4 through P9 are more moved in the direction of Date than its superstructure.

Keywords: Mt. Usu, Eruption, Crustal movements, Forced-displacement analysis

1. はじめに

支笏洞爺国立公園に位置する有珠山(図1参照)は、平成12年(2000年)3月31日13:10、23年ぶりに有珠山西方の西山・西山麓において上空3,500mにおよぶ噴煙を上げた(写真1参照)。その翌日4月1日には、北西側の金比羅山北西山腹で新たな火口が形成され、2つの火口群で活発な噴火活動が続いた。その後、地震回数は激減したものの、両火口群からの噴火活動が継続し、またそれに伴う地殻変

動により各地で地表変形が発生した。この地表変形により、有珠山南西に位置する日本道路公団北海道支社室蘭管理事務所(以後、JH室蘭管理事務所)管内の道央自動車道虻田洞爺湖IC付近の道路構造物は、火口から600m程度と近いため、路線の水平・鉛直移動によって大きな損傷を受けた。特に道央自動車道虻田洞爺湖ICから伊達IC間に位置する泉の沢橋付近では約5mの地盤隆起が発生し、その影響により橋桁、橋脚および基礎杭にひび割れ等の損傷が生じた。

本論文は、JH室蘭管理事務所と室蘭工業大学の共同研究により、噴火に伴う地殻変動が全長378mの多径間PC中空ラーメン橋である泉の沢橋に及ぼ

*1 建設システム工学科

*2 日本道路公団北海道支社 室蘭管理事務所

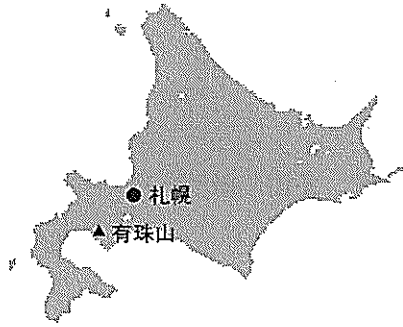


図1 有珠山の位置

す影響について詳細に検討することを目的に、有限要素法を用いた数値シミュレーションを実施した。ここでは、特に噴火後の地殻変動により、橋桁、橋脚等に発生した応力状態を確認すると共に、実際の損傷（ひび割れ）との比較検討も行っている。なお、本数値解析には三次元有限要素法に基づく構造解析用汎用プログラム ABAQUS⁽¹⁾を用いている。

2. 有珠山噴火の概要

有珠山は日本有数の活火山であり、これまで計7回の噴火が確認されている。今回の噴火は、1977年に発生して以来23年ぶりの出来事である。図2には、噴火前後における地震回数の時間的変化を示している⁽²⁾。噴火の3日前より、有珠山周辺を震源とする無感・有感地震が急激に増加し、1時間毎の地震回数（振幅 $3\mu\text{m}$ 以上）は、120回程度まで増加し、3月31日13:10に西山・西山麓において噴火を開始した。噴煙は上空3,500mにもおよび、西～西南西の風に乗って支笏湖から札幌方面へと広がった。翌4月1日には再び西山・西山麓の火口から2回目の噴火が発生し、その後有珠山北西側の金比羅山北西山麓で新たな火口が形成された。最大地震は同日、北海道胆振支庁西部の壮瞥町壮瞥温泉にてマグニチュード4.8、震度5弱を記録した。その翌日以降、地震回数は激減している。気象庁からは、地震回数が2001年2月の段階で1日当たり数回程度となっており、ほぼ噴火以前の活動レベルに戻っているとの報告がなされている。

3. 有珠山噴火に伴う泉の沢橋の損傷状況

3.1 泉の沢橋の概要

道央自動車道泉の沢橋は、洞爺湖虻田ICから伊達IC間に位置し、4径間連続PC中空ラーメン橋(A1~P4)、3連の3径間連続PC中空ラーメン橋

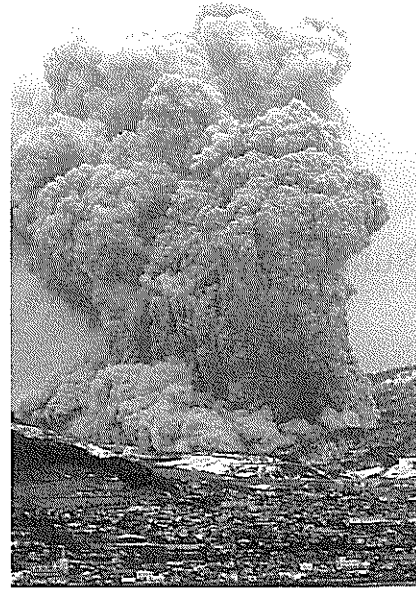


写真1 噴火状況（写真：毎日新聞社提供）

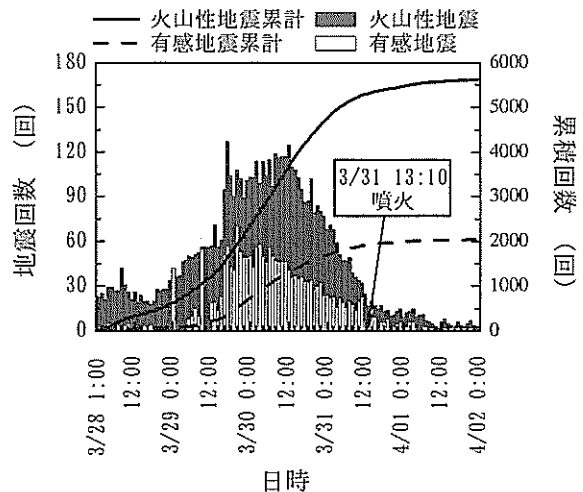


図2 地震回数の時間的変化（2000.3.28~4.3）
（日本気象協会北海道支社提供資料）

(P4~P7, P7~P10, P10~P13) および2径間連続桁橋 (P13~A2) より構成される全長378mの高架橋である。表1には泉の沢橋の構造諸元を、また写真2には完成当時（平成5年）の全景を示している。

3.2 損傷状況

前述のように、有珠山噴火に伴う地殻変動により虻田洞爺湖ICから伊達ICまでの道路構造物が大きな損傷を受けた。

図3には、洞爺トンネルから長流川橋区間の地殻変動による変形状況を示している。図3より、水平方向には虻田洞爺湖ICにおいて8.1m、鉛直方向に

表1 泉の沢橋の構造諸元

上部工形式						
区間	A1~P4	P4~P7	P7~P10	P10~P13	P13~A2	
構造形式	連続ラーメンPC中空床版					
径間数	4	3			2	
橋長 (m)	93.300	79.500			46.200	
桁長 (m)	93.210	79.435	79.450	79.445	46.135	
支間割り (m)	22.825+2×23.350+22.825		26.050+26.500+26.050		22.625+22.625	
支承条件	可動	A1, P4	P4, P7	P7, P10	P10, P13	P13
	剛結	P1, P2, P3	P5, P6	P8, P9	P11, P12	P14
	ヒンジ	--	--	--	--	A2
下部工形式						
区間	A1~P4	P4~P7	P7~P10	P10~P13	P13~A2	
橋脚	壁式橋脚					
基礎	場所打ちRC杭					

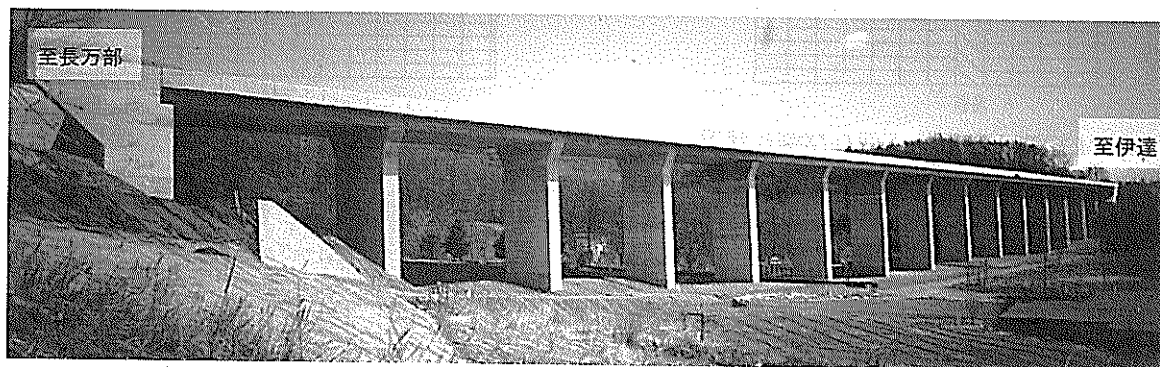


写真2 泉の沢橋の全景 (完成当時:平成5年)

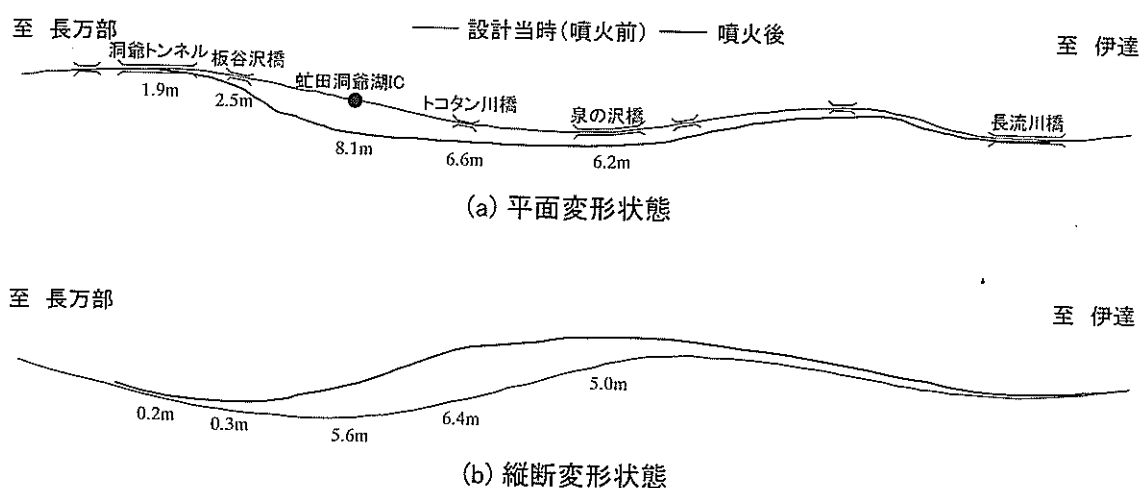


図3 有珠山近傍道央自動車道の変形状態

はトコタン川橋において6.4m程度の地表変形が生じていることがわかる。その中でも損傷の著しい泉の沢橋についてその状況を述べる。なお、ここでは、

本論文の解析対象であるP4~P10橋脚に重点を置くこととする。

図4には、噴火前後の橋脚フーチング中央部にお

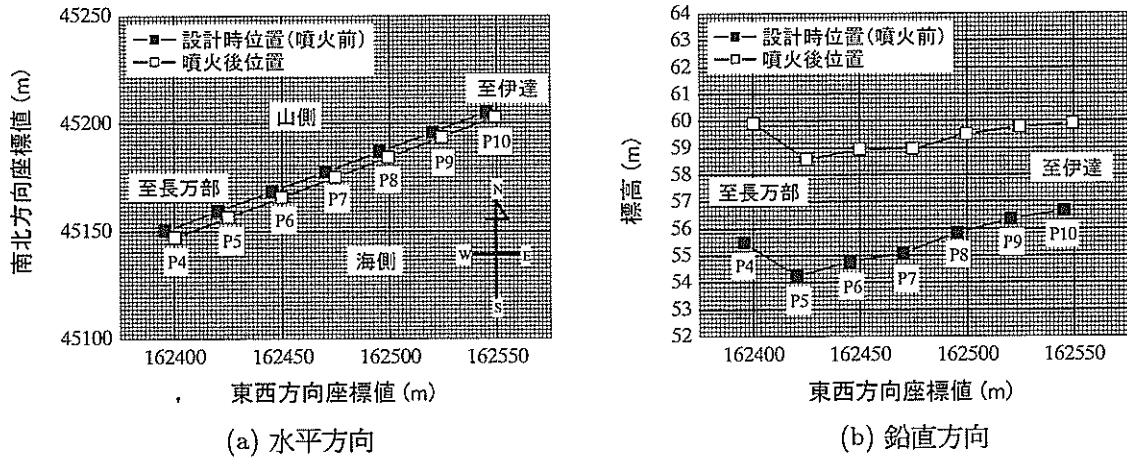


図4 噴火前後における橋脚フーチング部の基準点からの座標値の比較

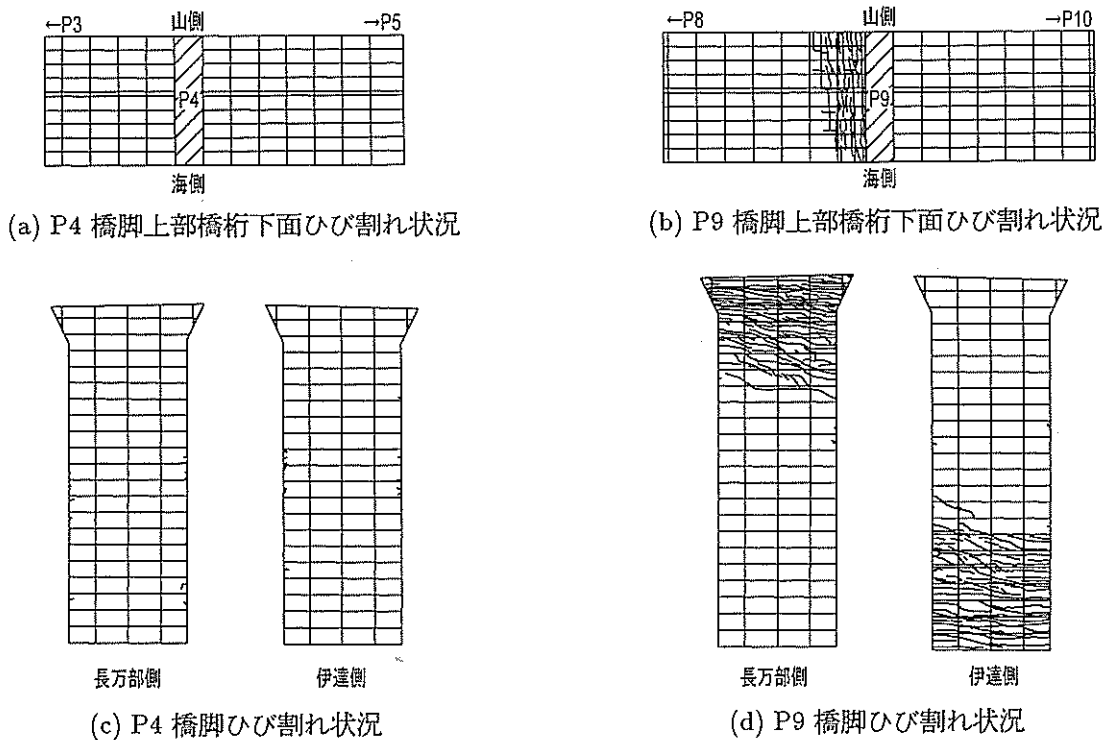


図5 損傷状況

ける座標値（橋脚フーチング各測定位置の座標値より算出）を、水平方向および鉛直方向ごとに比較したものである。図より、噴火後の橋脚は、水平方向で東南東（海側）に4.5～6.0 m程度、鉛直方向で2.8～4.4 m程度移動していることが確認できる。

図5には、泉の沢橋の損傷状況の一例として、P4, P9橋脚上部付近の橋桁下面およびそれらの橋脚壁面（以後、単に橋脚）に生じたひび割れ状況を示している。なお、橋脚部のひび割れ状況に関しては、長万部側および伊達側の両壁面について示している。

(a) および (c) 図より、P4橋脚付近では橋脚および橋桁下面において、著しいひび割れが発生していないことがわかる。これは、表1に示したように、P4橋脚上部の支承が可動条件であることより、地殻変動の影響が支承の移動によって吸収されたためと考えられる。

一方、(b), (d) 図より、P9橋脚近傍の橋桁下面長万部側には多くのひび割れが発生している。また、橋脚部に関しては、上部で長万部側、下部で伊達側にひび割れが発生していることがわかる。このひび

表2 材料物性値一覧

	単位体積重量 γ_c (kN/m ³)	弾性係数 E_c (GPa)	ポアソン比 ν_c	備考
鉄筋コンクリート	24.5	30.0	0.167	弾性体

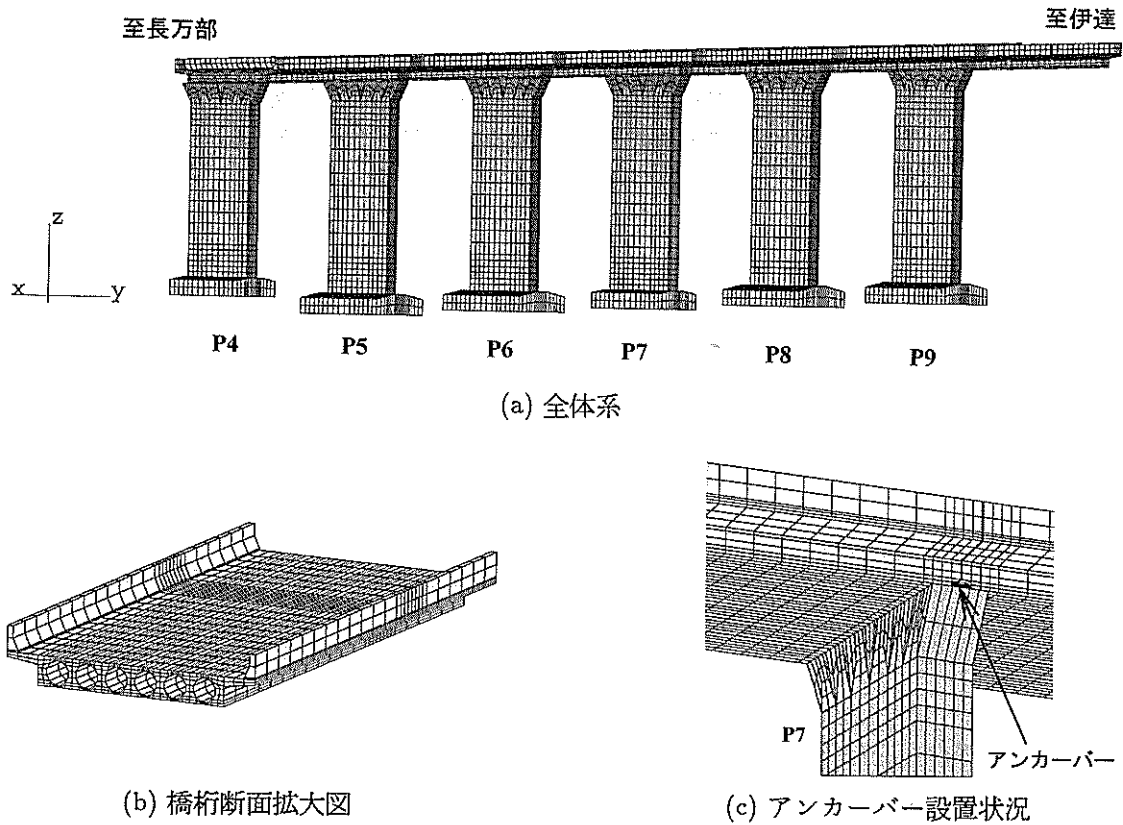


図6 要素分割状況

割れ状況から判断すると、P9橋脚基部は上部工に対して相対的に伊達側に移動したことが推察される。

4. 数値解析による損傷実態評価

4.1 数値解析仮定

本数値解析では、泉の沢橋の全体的な損傷状況を把握するため、損傷の著しいP4~P10橋脚までの橋桁および橋脚を解析対象区間と設定した。解析では、以下に示す仮定に基づいて、橋桁および橋脚をモデル化することとした。

- 1) 橋桁断面に関しては忠実にモデル化を行うこととするが、弾性解析を行うこととしていることより、プレストレス力は考慮しない。
- 2) 橋脚、橋桁はRC（鉄筋コンクリート）構造と仮定し、全て弾性体として取り扱う。
- 3) 場所打ち杭（基礎杭）に関しては、i) 地中の変

位量が正確に計測できないこと、また、ii) その損傷を適切に評価することが困難であることから無視する。従って、iii) 解析のための強制変位はフーチングの4隅点のみに入力する。

- 4) P10橋脚に関しては、損傷が極めて少ないことが確認されていることより、計算の効率化を考慮して省略することとした。
- 5) 可動支承部を有するP4、P7橋脚上面と橋桁下面間には、接触および剥離が考慮可能な接触面を定義する（ただし、摩擦係数は無視する）。
- 6) P7橋脚天端に設置されている落橋防止を目的としたアンカーバー（最大変位量：46.5mm）に関しては、予備解析を実施しその機能が満足される範囲内で簡略なモデルに置換する。なお、P4橋脚天端のアンカーバーに関しては、橋脚および上部橋桁において、著しいひび割れが確認されていないことより、計算の効率化のため

表3 解析ケース一覧

解析ケース	備 考	解 析 条 件
CASE1	有珠山噴火前における自重解析	自重
CASE2	有珠山噴火後の変位量を与える強制変位解析	自重+強制変位

無視することとする。

図6に解析対象区間の要素分割状況を示している。(a)~(c)図には、それぞれ、全体系、橋桁断面拡大図および橋脚上部(アンカーバー部)の要素分割状況を示している。なお、実際の橋桁は、落橋防止用のアンカーバーを介して、伊達側および長万部側の両方向に最大46.5mmまで変位可能となっている。ここでは、計算の効率化を図るため、予備解析結果から橋桁の変位方向を特定し、その方向にのみ移動が可能となるように要素分割を行っている。また、橋桁の移動量が46.5mmを超える場合には、橋桁と橋脚は一体となって移動するようにモデル化を行っている。

使用した要素は全て8節点固体要素(C3D8)であり、解析モデルの総要素数、総節点数はそれぞれ56,402、76,976である。なお、解の安定性を図るため、接触対(例えば橋脚上面と橋桁下面)の一方の弾性係数を10倍としている。表2に使用材料物性値の一覧を示している。

4.2 数値解析ケース

数値解析は、解析対象範囲を(i)P4~P7橋脚区間、(ii)P7~P10橋脚区間に变化させた予備解析を実施し、それぞれの区間における変形状態や応力状態を確認した後、P4~P10橋脚区間を対象として実施した。

ここでは、有珠山噴火前後における損傷状況を念頭に、以下に示す2種類の解析を実施している。すなわち、

- 1) 有珠山噴火前における応力状態を確認するための自重解析(CASE1)、
- 2) 自重を考慮しかつ噴火後に計測された変位を入力する強制変位解析(CASE2)

である。表3には数値解析ケースの一覧を示している。

CASE2の場合は、有珠山噴火前後における実測結果(座標値)から、噴火後の移動量を計算し、自重の他橋脚および橋桁に強制変位を与えることにより解析を行うものである。強制変位は、各橋脚フーチング部およびP10橋脚上部橋桁端部に与えてい

る。なお、解析では、計算の効率化を考慮し、噴火後におけるP10橋脚フーチング中央部での座標値を基準とし、各計測点における座標値から基準座標値を差し引いた相対変位量を強制変位量として与えている。また、解析モデルは、橋軸方向を x 軸、橋軸直角方向を y 軸、鉛直方向を z 軸と定義していることから、得られた強制変位量に対して座標変換を施し、それらの値を修正している。

5. 数値解析結果

5.1 有珠山噴火前における自重解析(CASE1)

自重解析は、有珠山噴火前(設計時)を想定し、橋脚および橋桁の重量を考慮して行った。境界条件は各橋脚フーチング部およびP10橋脚上部橋桁の鉛直方向成分を拘束した。

図7には、自重解析終了時における変形状況を鉛直方向反力と併せて示している。なお、変形倍率は、自重による変形量が極めて小さいため、100倍に設定している。図より、橋桁中央部において若干変形量が大きく示されていることがわかる。また、各橋脚の鉛直方向反力は、9,300~14,000kN程度となっている。

図8には、橋脚の長万部側壁面鉛直方向応力を示している。図より、P4橋脚において 0.5N/mm^2 程度の引張応力が発生していることがわかる。一方、他の橋脚では $0\sim 1.5\text{N/mm}^2$ 程度の圧縮応力が発生している。なお、橋脚フーチング部において引張応力が発生している。しかしながら、これは橋脚フーチング上面の4箇所のみを鉛直方向変位に拘束していることによるもので、実挙動を反映しているものではないものと判断される。

以上の結果より、橋桁および橋脚の自重が泉の沢橋に及ぼす影響は非常に小さいことが確認された。

5.2 有珠山噴火後における強制変位解析(CASE2)

強制変位解析は、P10橋脚に対する相対変位量として各橋脚およびP10橋脚上部橋桁に強制変位量を作用させて実施した。

図9には有珠山噴火後における強制変位解析終了

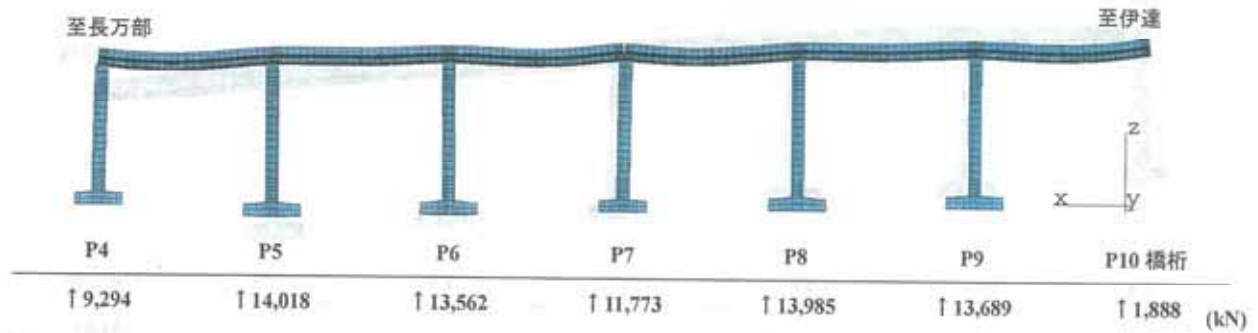


図7 自重解析終了時における変形状況（変形倍率：100倍）

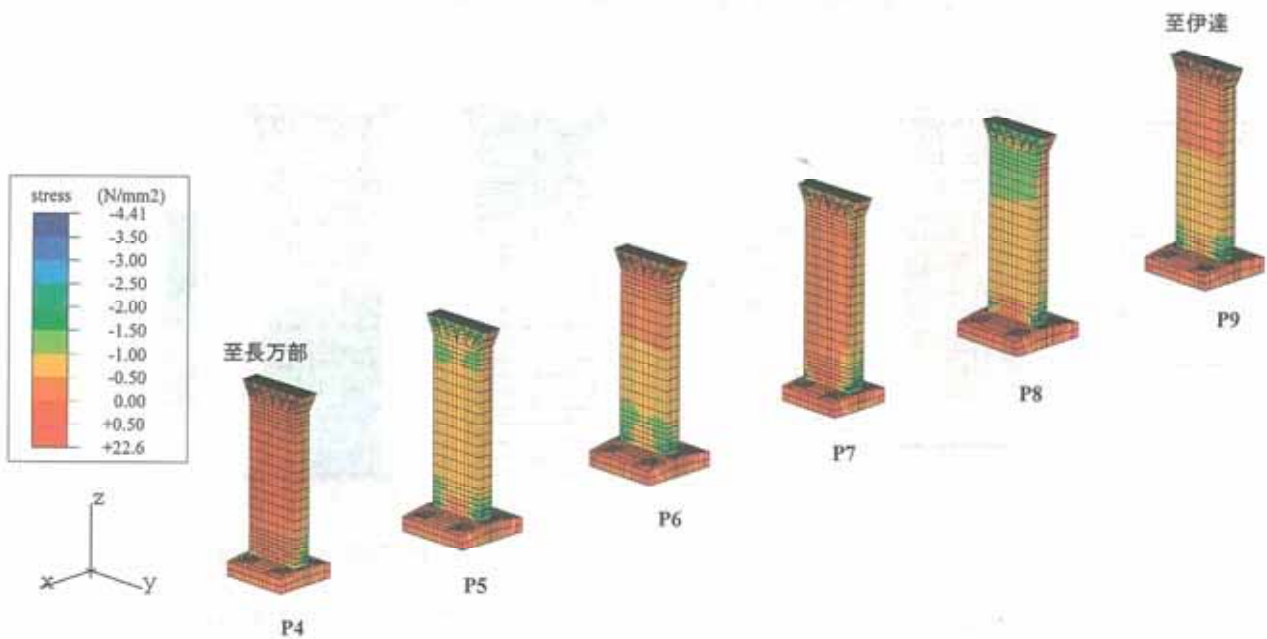


図8 自重解析終了時における鉛直方向応力分布図（変形倍率：1倍）

時の変形状況を水平方向反力と併せて示している。なお、変形倍率は10倍としている。図より、橋桁および橋脚が全体的に大きく変形していることがわかる。特に、P7橋脚に着目すると、他の橋脚と比較して橋脚上部のみが相対的に長万部側に大きく変形していることがわかる。これは、実際のP7橋脚におけるひび割れが伊達側下部近傍にのみ発生していることから、ほぼ実挙動に対応した性状を示しているものと推察される。一方、水平方向反力に着目すると、P5～P9橋脚の水平方向反力は、伊達方向に作用していることがわかる。また、P10橋脚上部橋桁の反力が極めて大きい。なお、これらの変形状態および水平方向反力分布から、解析対象区間であるP4～P9橋脚は上部工に比較して相対的に伊達側に移動したことが推察される。

図10には、P4およびP9橋脚に関するひび割れ状況と数値解析結果の鉛直方向応力分布図を比較

して示している。なお、着目した壁面は長万部側である。

(a) 図より、可動支承部を有するP4橋脚では、0～5 N/mm²の引張応力が発生しているにもかかわらず、実際の橋脚には明確なひび割れは発生していない。この両者の差異は、P4橋脚天端のアンカーバーを無視したことが多少なりとも影響しているものと推察される。

一方、(b) 図より、橋脚と橋桁が剛結接合されているP8橋脚の場合には、解析結果が5 N/mm²以上の引張応力分布を示しており、それらが実際に発生しているひび割れ発生範囲と良く対応していることがわかる。なお、P4およびP8橋脚の損傷度合いの差異は、橋脚上部と橋桁の境界条件（可動あるいは剛結）に大きく依存することが明らかとなった。

以上より、本数値解析は噴火後の地殻変動による泉の沢橋の損傷状況をほぼ適切に再現しているもの

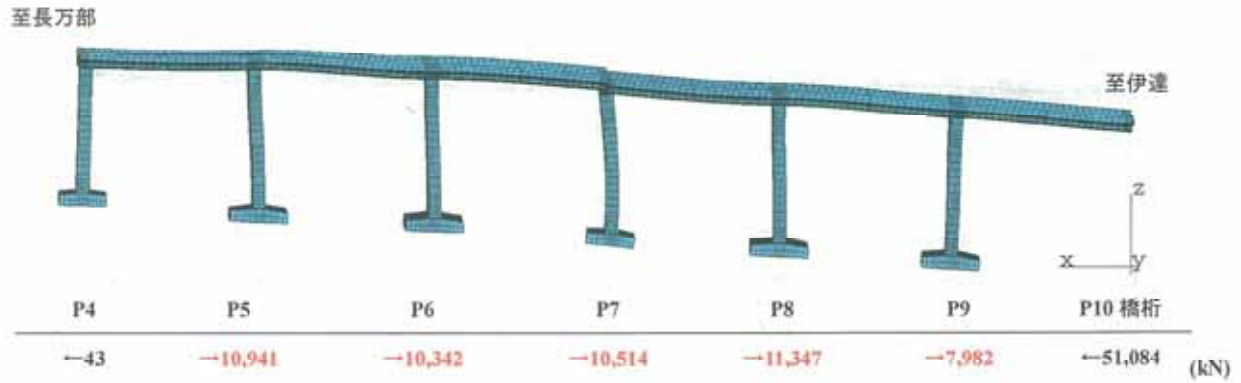


図9 強制変位解析終了時における変形状況 (変形倍率: 10倍)

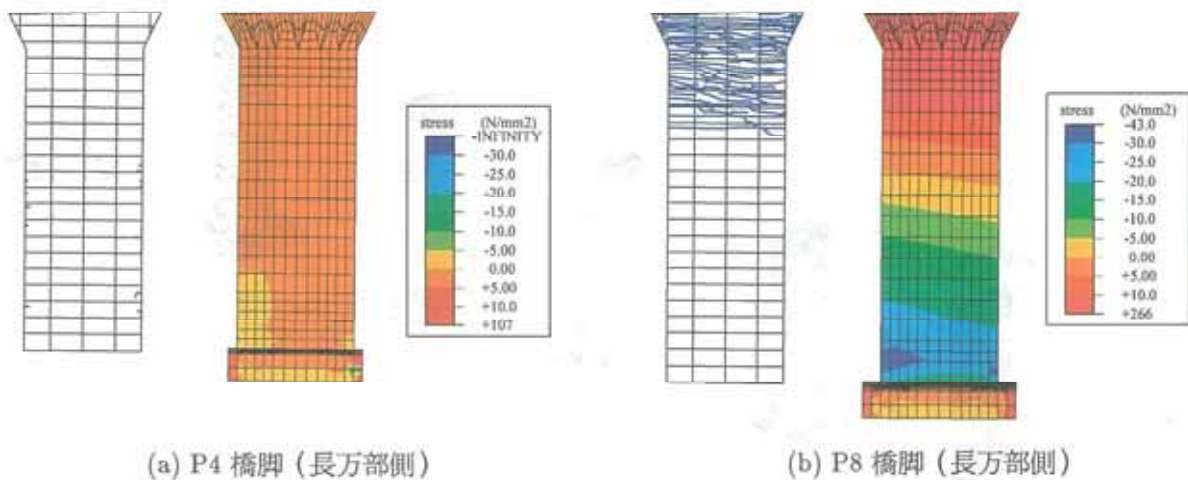


図10 強制変位解析終了時におけるひび割れ状況と鉛直方向応力分布図の比較

と推察される。

6. まとめ

本論文では、平成12年3月に発生した有珠山噴火に伴う地殻変動が泉の沢橋へおよびす影響を検討するために、有限要素法を用いた数値シミュレーションを実施した。解析は、(i) 噴火前の状況を把握する自重解析、(ii) 噴火後に計測された変形量を入力して解析する強制変位解析の2種類について行った。得られた結果を整理すると以下ようになる。

自重解析より、

- 1) 噴火前の橋桁および橋脚の作用応力は極めて小さいことを明らかにした。また、建設時の応力状態を確認した。

強制変位解析より

- 2) 噴火に伴う地殻変動により、橋桁および橋脚に大きな引張応力が発生することを明らかにした。

また、その引張応力の分布性状と実際に確認されたひび割れ分布はほぼ対応していることから、本数値解析の妥当性が確認された。

- 3) また、各橋脚の変形状態および水平方向反力分布から、P4~P9 橋脚は上部工に対して相対的に伊達側に移動していることを解析的に明らかにした。

今後は、泉の沢橋における全体の損傷状況を把握するため、解析対象区間を拡大した解析を実施し、より詳細な検討を行う予定である。

参考文献

- (1) ABAQUS/Standard User's Manual, Ver. 5.6, Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc., 1997.
- (2) 道央自動車道 有珠山噴火災害 復旧の概要, 日本道路公団 北海道支社 室蘭管理事務所, 2001.6