室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

地殻変動がもたらす基礎地盤のせん断変形の推定

メタデータ	言語: jpn
	出版者: 土木学会北海道支部
	公開日: 2013-02-27
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 堀田, 大介, 三浦, 清一, 川村, 志麻, 木幡, 行宏
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/1764

室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

地殻変動がもたらす基礎地盤のせん断変形の推定

その他（別言語等）のタイトル	Estimation of shear deformation of ground induced by diastrophism of volcanic activity
著者	堀田　大介，三浦　清一，川村　志麻，木幡　行宏
雑誌名	論文報告集
巻	58
ページ	568-571
発行年	2002-01
URL	http://hdl.handle.net/10258/1764

地殻変動がもたらす基礎地盤のせん断変形の推定

Estimation of shear deformation of ground induced by diastrophism of volcanic activity

北海道大学大学院　工学研究科　○学生員　堀田　大介　(Daisuke Hotta)
北海道大学大学院　工学研究科　フェロー　三浦　清一　(Seiichi Miura)
室蘭工業大学　工学部　正　員　川村　志麻　(Shima Kawamura)
室蘭工業大学　工学部　正　員　木幡　行宏　(Yukihiro Kohata)

1．はじめに

北海道南西部に位置する有珠山は，2000年3月31日，西山山麓からマグマ水蒸気爆発を起こし，その後の火山活動によって周辺地域に被害をもたらした．1977年8月以来，今回の噴火は23年ぶりである．今回の火山活動では，降灰や噴石，噴火口からの泥流流下などの直接的被害のほか，噴火口周辺のドーム隆起とそれに伴う山麓部の圧縮・横ずれなどの地殻変動による間接的な被害が多数報告されている．噴火口が地域住民の生活圏や主要交通路(道央自動車道，国道37号，国道230号，JR室蘭本線)に近接していたことから，重要土木構造物に与えた影響は極めて大きい．特に，道央自動車道が受けた被害は甚大で，その復旧に一年を越える月日が費やされた．

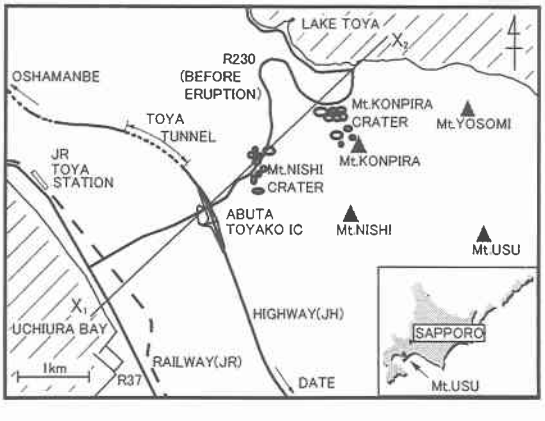
本研究では，西山山麓火口のマグマ水蒸気爆発に伴う地殻変動が，構造物基礎として利用されている支持地盤に与えた影響を評価し，損傷を受けた橋梁基礎杭の調査結果との関連性を調べた．その結果，地盤に生じた変化と橋梁基礎杭の被害との間に関連性が認められた．このことから，杭体に生じたクラックは，周辺地盤のせん断変位によるものと仮定し，せん断変位量の大きさとその分布性状についての検討を行った．

2．地盤構成と地殻変動

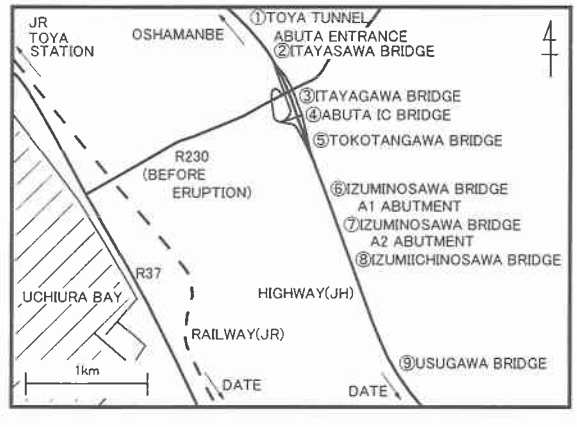
2.1.　地盤構成

図－1に有珠山周辺の概略図を示す．今回の噴火に伴う地殻変動により，道央自動車道虻田洞爺湖IC付近の橋梁群は，上部工・下部工ともに多大な被害を受けた．本研究で対象としたこれらの支持地盤は，地殻変動の中心である西山山麓火口から最大3km程度の範囲に位置している．**図－2**には，道央自動車道虻田洞爺湖IC付近の橋梁群位置を示した．図中の数字は①～⑨の順に，「洞爺トンネル虻田側坑口」，「板谷沢橋」，「板谷川橋」，「虻田IC橋」，「トコタン川橋」，「泉の沢橋A1橋台」，「泉の沢橋A2橋台」，「泉一の沢橋」，「有珠川橋」を示している．また，各橋梁基礎地盤において行われた一連のボーリング調査結果[1)]の柱状図を基に，作成した地質縦断図を**図－3**に示す．実際の柱状図では詳細な区分がなされているが，ここでは概略的な区分として，上層から沖積礫混じり砂質土層(土石流堆積物層)，沖積火山灰層(西長和層)，洪積火山灰質砂層(洞爺軽石流堆積物層)の3層に区分した．

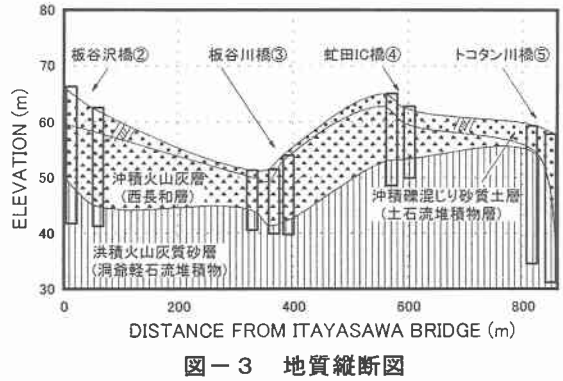
沖積礫混じり砂質土層(土石流堆積物層)は，礫・玉石・岩塊を含む砂質土からなっている．地盤の締まり具合は緩く，礫等の影響がない部分では概ねN＜15程度の値である[1)]．板谷川橋付近で厚さが最小(0.7m)となり，ここ



図－1　有珠山周辺図



図－2　対象地盤とその橋梁群位置



図－3　地質縦断図

から板谷沢橋，トコタン川橋両方向に向けて層厚を増している．特にトコタン川橋付近では急激に厚さを増し，層厚が最大(19.7m)となっている．

沖積火山灰層(西長和層)は，玉石・角礫混じり砂からなる層である．N値にバラツキがあるものの，全体的にN≒30～40の値を示した[1]．板谷沢橋からトコタン川橋にかけて層厚をみてみると，板谷沢橋付近で最大層厚13.3mであり，その後，板谷沢橋付近で一度層厚を増すものの，次第に減少しトコタン川橋手前で消失する．

洪積火山灰質砂層(洞爺軽石流堆積物層)は，火山灰質砂，軽石層からなる．上層部を除けば，N>50であり，深部では溶結して軟岩(凝灰角礫岩)状を呈するものと推測される．後述するいずれの橋梁基礎杭も，この層を支持層としている．

2.2. 噴火前後の地殻変動

2.2.1. 表層地盤の変動

各研究機関が地表面の変位について報告[2]しているが，それぞれ個別のデータでは全体の変位状況が把握しずらいため，これらのデータを再整理し，以下の考察に用いている．

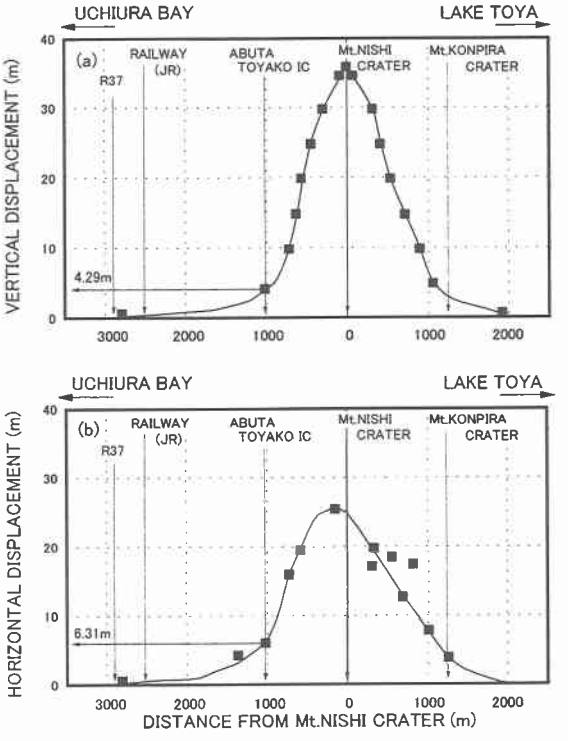
本研究では，国道230号上の西山山麓火口を原点とし，道央自動車道虻田洞爺湖IC板谷川橋と国道230号の交点を通る直線X_1X_2(**図－1**参照)および，道央自動車道の「洞爺トンネル虻田側坑口①」から，虻田洞爺湖ICより伊達方面におよそ2,500m地点に位置する「有珠川橋⑨」までの区間について，表層の鉛直変位量と水平変位量を調べた．

直線X_1X_2上の鉛直変位量(隆起を正)，水平変位量(山麓へのせり出しを正)を投影して示すと，**図－4 (a)**，**(b)**のようになる．図より，鉛直・水平変位ともに西山山麓火口付近(0m地点)で最大値(35m)を記録していることがわかる．一方，もう一つの火口である金比羅山山麓火口付近(X_2方向およそ1,250m地点)では，この火口が主因とみられる地殻変動は確認できない．このことから今回の噴火における地殻変動の中心は，西山山麓火口であるといえる．また，板谷川橋③(X_1方向およそ1,023m地点)では，鉛直変位量4.29m，水平変位量6.13mが観測されており，噴火に伴う被害の大きさが伺える．

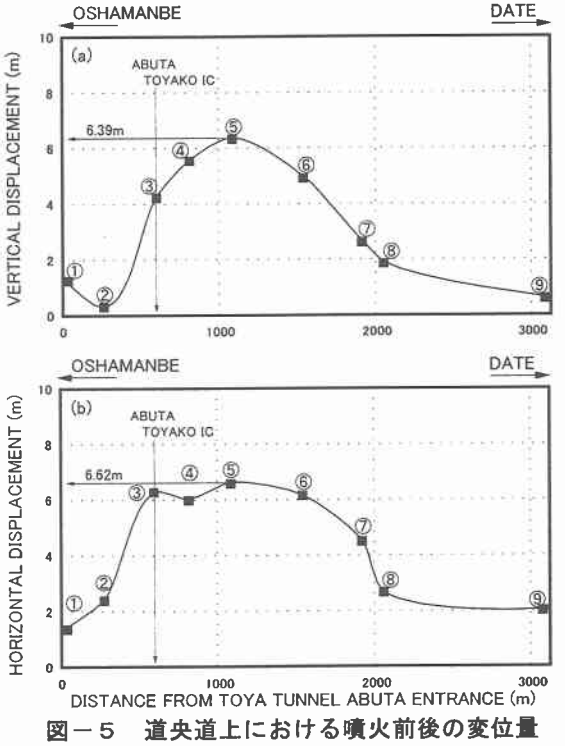
次に，道央自動車道の対象区間上の鉛直変位量(隆起を正)，水平変位量(西側を正)を**図－5 (a)**，**(b)**に示す．図中の数字は**図－2**中の数字に対応した各計測地点を示している．この区間では，⑤地点の「トコタン川橋」で，鉛直・水平共に最大変位量(鉛直変位量6.39m，水平変位量6.62m)を記録している．

2.2.2. 地盤内の原位置力学挙動の変化

噴火前後の地盤の原位置力学挙動の変化を調べるために，板谷沢橋における設計時(調査期間：1989年10月24日～1989年10月30日)及び，噴火後(調査期間：2000年9月5日～2000年11月10日)の標準貫入試験結果[3]の比較を行った．**図－6**に板谷沢橋の断面図，**図－7**に同橋両橋台近傍におけるN値の変化を示す．前述したように，この地盤は広く礫の混在が確認されているため，N値にバラツキが認められるが，両者とも沖積礫混じり砂質土層と沖積火山灰層の境界面付近(標高58～60m)において



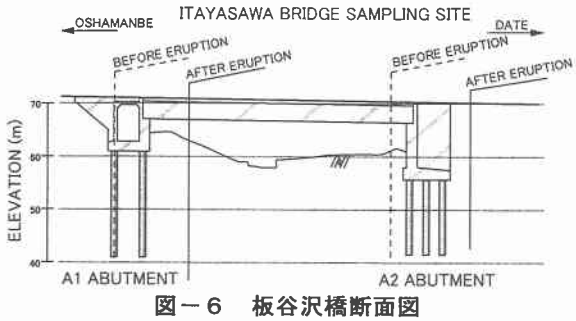
図－4 X_1X_2上における噴火前後の変位量 (a)鉛直方向，(b)水平方向



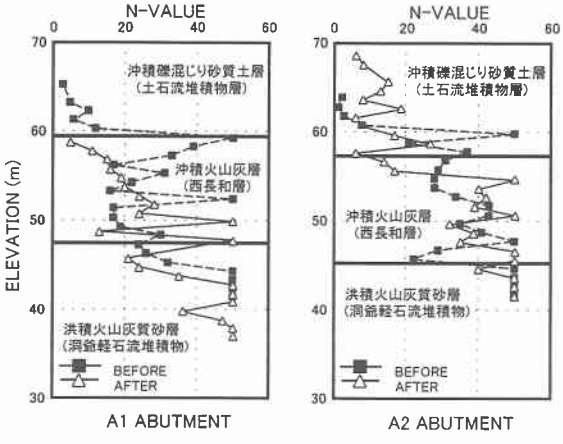
図－5 道央道上における噴火前後の変位量 (a)鉛直方向，(b)水平方向

N値の急激な減少が確認される．

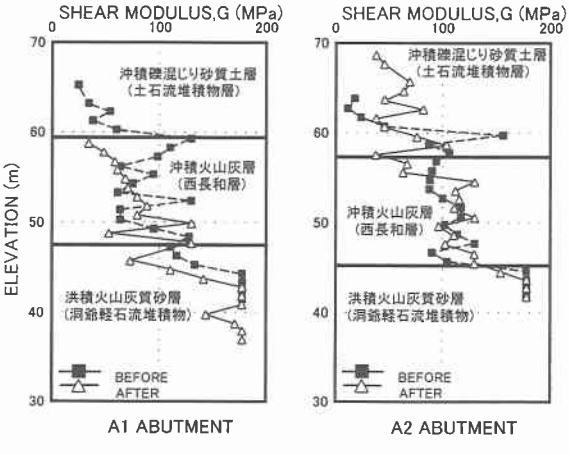
また，せん断剛性率Gによる比較も試みた(**図－8**参照)．ここでせん断剛性率は，N値とせん断波速度Vsの関係式[4]より算出しているが，原位置地盤の湿潤密度ρ_tに関する情報が入手できなかったため，既存の研究成果[5]より地質の代表値を引用している．これらの値を**表－1**に示す．



図－６　板谷沢橋断面図



図－７　板谷沢橋における噴火前後のＮ値



図－８　板谷沢橋における噴火前後のせん断剛性率

表－１　層別のN-Vs関係，湿潤密度

	N-Vs EQUATION	ρ_t(tf/m^3)
沖積礫混じり砂質土層 (土石流堆積物層)	$Vs=80.6N^{0.331}$	1.8
沖積火山灰層 (西長和層)	$Vs=80.6N^{0.331}$	1.5
洪積火山灰質砂層 (洞爺軽石流堆積物層)	$Vs=97.2N^{0.323}$	1.5

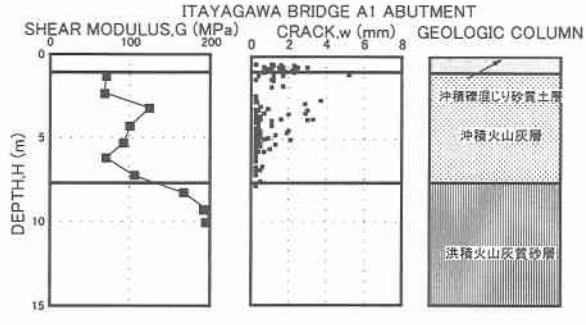
せん断剛性率Ｇによる比較においても，先に述べたＮ値と同様に，沖積礫混じり砂質土層と沖積火山灰層の境界面付近において大きな変化が認められる．

以上のことから，今回の噴火に伴う地殻変動が，周辺地盤内の構造に影響を及ぼしていることが推察される．

３．基礎杭の損傷について

基礎杭の損傷については，橋梁群の設計図面，被害調査報告を用いて，各橋梁橋台・橋脚基礎ごとのデータ整理を行った．整理したデータのうち，クラック幅と発生位置の確認には，杭体に対するコアボーリングサンプリングと，コアボーリング孔内のボアホールカメラによる間接目視調査を行っている．

このようにして得られたクラック幅とその発生位置の関係を**図－９**にまとめて示した．一例として板谷川橋のものをプロットしている．図中には近傍の柱状図も併せて示している．図より，沖積火山灰層の上層境界面付近(深さ 1.0m)および，沖積火山灰層内(深さ 1.0～7.6m)において，クラックが多数発生していることがわかる．ここで沖積火山灰層の上層境界面は，Ｎ値，せん断剛性率Ｇが大きく変化した地点である．このことから，対象とした周辺地盤の沖積火山灰層において，何らかの変化が生じ，基礎杭に多数のクラックを生じさせたと考えることができる．つまり，局部的な応力(せん断応力)の発生が考えられる．なお，図示は省略しているが，他の橋梁群の同地点においても同様な傾向が確認されている．



図－９　板谷川橋A1橋台下の地盤

４．地殻変動がもたらすせん断変形の推定

4.1.　変位の定義

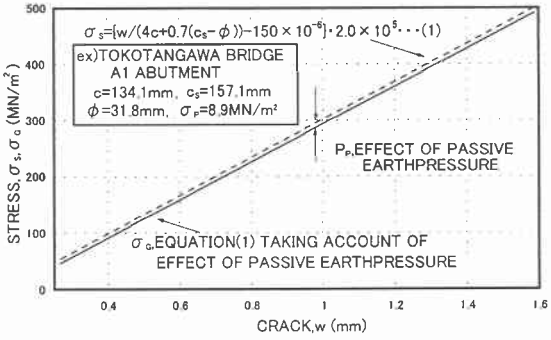
本研究では地殻変動によってもたらされた変位は，相対変位とせん断変位からなるものと定義した．この相対変位は深さによらず一定の大きさを保ち，構造物の破壊に直接的な影響は与えないものとした．一方，せん断変位は地盤内の局所的な変位であり，橋梁基礎杭に発生したクラックはせん断変位によるものとみなした．

4.2.　地盤内ひずみの算定

今，地盤を弾性体と仮定すると，地盤内応力度σ_G，地盤の弾性係数E_Gより地盤内ひずみε_Gが算出できる．この地盤内ひずみからせん断変位δ_h，せん断ひずみγを算出した．

ここでは基礎杭に生じたクラックに注目し，地盤内応力度σ_Gを求めている．すなわち，沖積火山灰層において局部応力(せん断応力)によって生じたひび割れ(クラック)幅ｗと鉄筋応力度σ_sの算定式(**図－１０**中(１)式)[6]を用いて杭の鉄筋応力度を逆算で求めている．ひび割れ幅と鉄筋応力度の算定式は，通常のコンクリート構造物の設計に対して用いられているものである．しかし，基礎杭のように全周にわたって土に覆われているような場合では，その拘束圧により鉄筋応力度を過小評価する可能性があるため，求まる鉄筋応力度から受働土圧成分P_pを差し引くことにより，地盤内応力度を求めた．

受働土圧成分P_pはランキンの受働土圧式より求めている．一例として**図－１０**には，受働土圧成分が最も大



図－１０　クラック幅と応力度の関係

きく算出されたトコタン川橋 A1 橋台基礎杭における鉄筋応力度 σ_s (破線)と，地盤内応力度 σ_G (実線)を比較して示した．図より，受働土圧成分が受け持つ応力度(破線と実線の間隔)は鉄筋が受け持つ応力度に比べてかなり小さいことがわかる．本研究では，拘束圧の影響を補正する方法として，上記のような方法を採用し，地盤内応力度を算定した．

トコタン川橋をはじめとした橋梁群の基礎杭に使用されている鉄筋は SD345 である．**図－１０**から降伏強度 345N/mm², 引張強度 490N/mm² に対応するクラック幅 w はそれぞれ 1.1mm，1.6mm となる．一方，被災後の調査報告によると，クラック幅は最大で 10.8mm と報告されている．このような過大なクラックは鉛直方向の変位や，上部工の変位による引張の影響と考えられる．よって，地盤内応力度 σ_G の算定に関しては，クラック幅 1.6mm 以下のものを用いた．

地盤の弾性係数 E_G については，標準貫入試験の N 値に基づく推定式 [7]から算出した．**図－３**に示すように対象地盤では砂質土の占める割合が高いことから，この推定式を用いている．基礎杭のクラック深さに対応する N 値をその近傍で実施された標準貫入試験結果から求め，地盤の弾性係数を算出した．

得られた地盤内応力度 σ_G と地盤の弾性係数 E_G から地盤内ひずみ ε_G を算出し，以下，考察を行った．

4.3.　基準長の算定

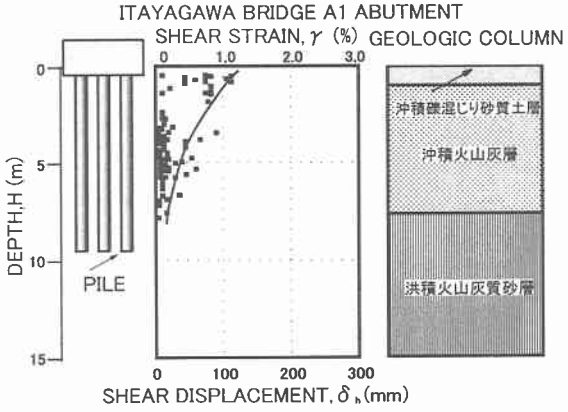
せん断変位量 δ_h は，地盤内ひずみ ε_G と基準長 d の積で表されるものとする．はじめに基準となる実測のせん断変位量を求め，その値から基準長を算出した．

実測せん断変位量 δ_h は，橋梁群と同様に被害を受けた洞爺トンネルの被害調査報告より求めている．すなわち，土被り 3m の坑内における水平変位量 415.2mm と，近傍の地表面における水平変位量 380.5mm との差を実測せん断変位量 δ_h=34.7mm とした．

また，地盤内ひずみ ε_G は橋梁群の被害調査報告書 [1]より，トコタン川橋 A1 橋台基礎杭の深さ 3.15m のクラックから地盤内応力度 σ_G を算出し求めている．クラック幅 w=0.8mm, N 値 N=30 より地盤内ひずみは ε_G=2.6 となり，基準長を d=13mm と決定した．

4.4.　せん断変位量の推定

図－１１は N 値より求めた地盤内ひずみ ε_G と基準長 d から算出されるせん断変位量 δ_h とその分布を示したものである．一例として板谷川橋のものを示す．図示は



図－１１　板谷川橋 A1 橋台下のせん断ひずみ分布

省略しているが各橋梁におけるせん断変位量は，最大で δ_{hmax}=50～150mm の範囲にあった．先に述べたように，本研究では受働土圧成分 P_p を考慮して地盤内応力度 σ_G を算出しているが，結果的にこのような比較的大きいせん断変位量が得られている．ここで，せん断ひずみ γ は，せん断変位量を地表面から支持層とされる洪積火山灰質砂層までの深さで除すことにより求めた．

図より，せん断ひずみ分布はクラックの発生が卓越している沖積火山灰層の上層境界面付近で最大値を取り，洪積火山灰質砂層で収束する傾向が伺える．この傾向は他の橋梁群においても確認されている．以上のことから，噴火前後の力学挙動の変化と，基礎杭に生じたクラックとの間には相関があることが示された．

5．まとめ

(1)今回の噴火による地殻変動は，橋梁基礎地盤の原位置力学挙動に影響を及ぼしている．

(2)地盤の変動と基礎杭の損傷には関連性が認められ，そこから推定したせん断ひずみ分布は，沖積火山灰層の上層境界面付近で最大値をとり，洪積火山灰質砂層に向けて収束する傾向にある．

謝辞

本研究の遂行にあたり，太田哲司氏(日本道路公団北海道支社)に資料の提供を受けた．末筆ながら記して深甚なる感謝の意を表します．

参考文献

1)例えば，日本道路公団：北海道縦貫自動車道構造物基礎調査，1985.

2)例えば，北海道立地質研究所：有珠火山噴火合同観測班観測結果 HP，2000.

3)高速道路技術センター：道央自動車道虻田地区復旧対策検討報告書，2001.

4)Imai，T.：P-and S-wave velocities of the ground in Japan，Proc. of the 9th Int. Conf. ICSMFE，Vol. 2，pp.257-260，1977.

5)地盤工学会北海道支部：北海道火山灰土の性質と利用，pp.27-33，1997.

6)土木学会編：コンクリート標準示方書　設計編(平成８年版)，pp.90-92，1996.

7)地盤工学会：地盤工学ハンドブック第１刷，pp.770-773，1999.