

地盤工学会2003年十勝沖地震 緊急地盤災害調査団

震源

Map of Hokkaido showing seismic sources. The map includes latitude and longitude lines, major cities (札幌, 旭川, 釧路, 帯広, 小樽, 苫小牧, 室蘭, 函館), and several labeled seismic sources with their coordinates and magnitudes. A legend indicates that stars represent seismic sources.

Seismic sources marked on the map:

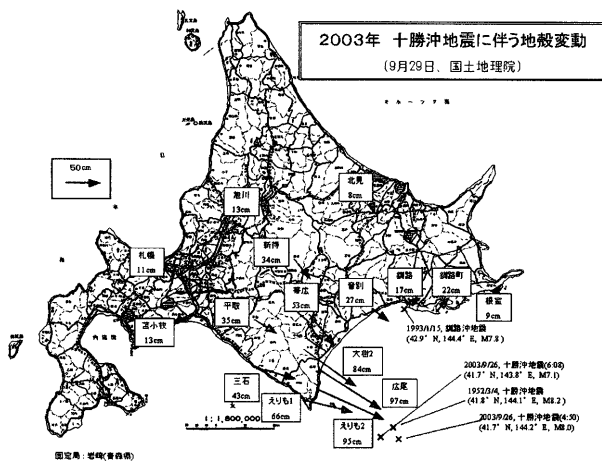
- 1993/01/15 釧路沖地震 (42.9° N, 144.4° E, M7.8)
- 1972/04 十勝沖地震 (41.8° N, 146.1° E, M8.2)
- 2003/06/26 十勝沖地震(4.30) (41.7° N, 144.2° E, M5.0)
- 2003/06/26 十勝沖地震(6.0) (41.7° N, 143.8° E, M7.1)
- 1982/01/6 十勝沖地震 (40.7° N, 143.6° E, M7.0)

Legend: ★ 震源

上記の震源要素，断層パラメーターから推定される震源地および発生メカニズムは，1952年の十勝沖地震とほぼ同じで，プレート境界型地震（太平洋プレートの上で陸側プレートが元に戻ろうと跳ね上がって発生，**口絵写真一**参照）と考えられている。**図一2**は，国土地理院発表の地殻変動記録に2003年十勝沖地震の震源位置を併せて示したものである。図から，今回の地震による地殻変動は，えりも町で東南東に約95 cm，広尾町では南東に約97 cm 移動し，札幌でも東に11 cm 程の移動に至っていることがわかる。なお，今回の地震は，政府の地震調査委員会が今年3月に「今後30年以内に60％程

- ・発震時刻：2003年 9 月26日午前 4 時50分
- ・震源位置：北緯41°46.7' 東経144°4.7'
- ・震源深さ：約42 km

ニュース



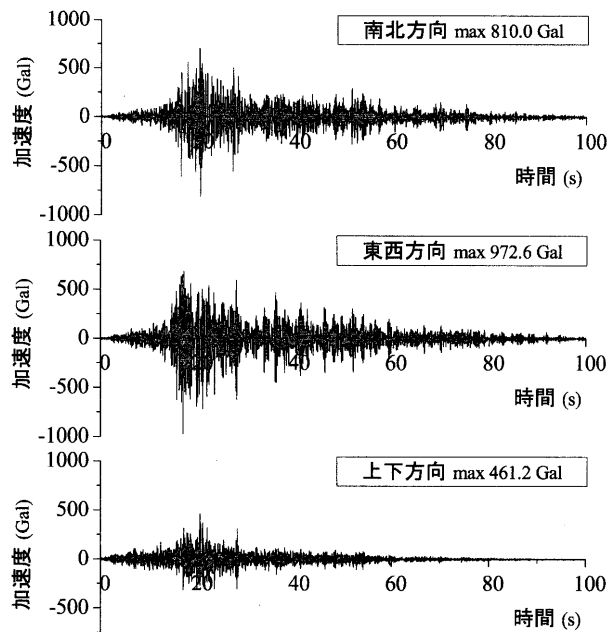
図－2 地殻変動量と震源位置の関係

度の確率で発生する」とした M8.1 前後の十勝沖の地震である可能性が高いとされている。

この地震による北海道各地の気象庁震度情報を口絵写真－2, 3 に、ならびに防災科学技術研究所の強震記録ネットワーク K-NET³⁾ による最大加速度分布を口絵写真－4, 5 に示す。写真では震央が×印でプロットされているが、震央に近い北海道南部および東北地方で震度 5 以上の揺れが生じていることがわかる。特に、静内町、浦河町、釧路町、厚岸町などでは震度 6 弱の参考震度を記録した。また、この地震による強震波形は、防災科学技術研究所の K-NET、基盤強震観測網 KiK-net、気象庁強震ネットワーク、旭空港技術研究所の港湾地域強震観測ネットワーク、国土交通省河川・道路等施設強震計ネットワークなど多くの強震観測網により記録されている。図－3 は、K-NET により得られた本震の強震記録のうち、最も大きな最大加速度を得た観測点（広尾観測点：震央距離 98 km）における南北・東西・上下 3 方向の記録を示す。図から、今回の地震動が東西方向に卓越した震動成分を有していたことがわかる。また、口絵写真－6 は、K-NET により得られた本震での強震記録のうち大きな最大加速度を得た 10 観測点における東西方向の加速度応答スペクトルを重ねて示したものである。震源に近く地殻変動により 97 cm 程度の移動を生じた広尾では、0.5 秒より短い周期成分が卓越しているが、沖積層上にある直別や池田では、0.5～0.7 秒付近に加速度応答スペクトルのピークがある。特に、直別のスペクトルは、他の観測点と比較して 1 Hz（周期 1 秒）付近の周波数で増幅率が非常に高く特徴的である。

3. 被害概要

今回の地震では、道路・河川や港湾・漁港等の施設および宅地・農地等で多数の被害が発生した。また、道内各地で断水・停電等のライフラインの被害が発生し、住民の生活に支障がでた。口絵写真－7 に今回の地震により大きな被害を受けた施設の位置を示した。被害は、道東沿岸部を中心に広範囲に分布している。なお、地震後に太平洋側の各地で津波（襟裳岬の東側で 4 m、広尾町



図－3 加速度 3 方向成分（広尾観測点，K-NET）

で 2.8 m、様似町で 2.5 m、静内から浦河町にかけて 1.3～2.2 m）が発生し、漁船や車が津波により押し流される被害が発生した。地震による人的被害は、10月10日現在、不明者 2 名、負傷者 853 名となっている。

以下では、被災地域別あるいは被害種別ごとに被害概況を略述する。

3.1 豊頃・浦幌地区の地盤災害

(1) 河川関係の被災状況

今回の地震は、十勝川水系の総延長 26 540 m の堤防に被害を与えている。口絵写真－8 は被災箇所の分布を示している。被災状況は、被災域・規模等で 1993 年釧路沖地震のそれを遙かに上回るものである（表－2）。この理由として、釧路沖地震と比べて今回の地震は、①震源が浅く地震動が大きい、②地震動の継続時間が長いことが挙げられる。

なお、これらの被災状況は以下の A～F までの 6 種類に分けられている。

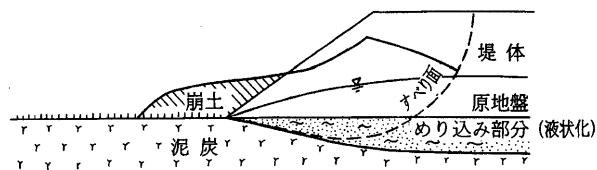
- ・タイプ A（縦断亀裂，HWL 以深に達しないもの），
- ・タイプ B（縦断亀裂，HWL 以深に達するもの），
- ・タイプ C（横断亀裂，HWL 以深に達しないもの），
- ・タイプ D（横断亀裂，HWL 以深に達するもの），
- ・タイプ E（すべり崩壊），
- ・タイプ F（沈下）

この中で、特に堤防被害が甚大なタイプ E（9 箇所、計 3 930 m）およびタイプ F（11 箇所、計 1 175 m）が被害総延長の 2 割弱に達する状況であった。

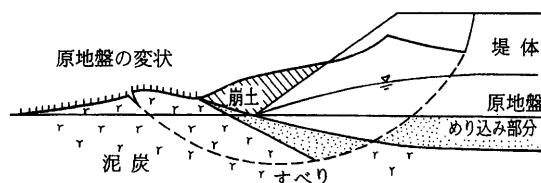
口絵写真－9, 10 は、十勝川右岸の大津築堤（河口から 3.5 km 付近）の被災状況を示している。写真から築堤管理用道路が崩壊していることがわかる。なお周辺地盤の盛上がりが見られないことから、この被災形態は図－4 に模式的に示すような液状化に伴う盛土体内の崩壊とみられる。

表—2 2003年十勝沖地震と1993年釧路沖地震での被害状況の比較

地震名		平成5年釧路沖	平成15年十勝沖
マグニチュード		7.8	8.0
震源		N 42° 51' E 144° 23'	N 41° 47' E 144° 05'
深さ (km)		107	42
大津水位観測所	位置	N 42° 41' E 143° 38'	
	震央距離 (km)	63	106
	最大加速度 (gal)	468	593
	堤防の被害 (m)		
堤防の被害 (m)	十勝川	7,105	22,540
	利別川	183	550
	牛首別川	1,496	120
	礼文内川	—	250
	久保川	—	1,000
	下頃辺川	100	1,360
	浦幌十勝川	—	720
	浦幌川	284	—
計		9,168	26,540



堤体の液状化に伴う盛土内崩壊



軟弱地盤の基礎地盤破壊

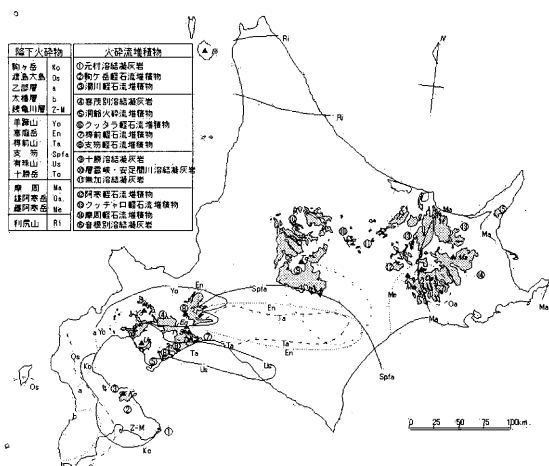
図—4 盛土崩壊のメカニズム

口絵写真—11は河口付近の築堤（堤内側）で見られた噴砂の状況を示す。これは地下水に没した盛土部の液状化によって天端および法面から噴砂が発生し、盛土全体が崩壊に至ったことを示唆している。しかし、地震動の慣性力そのもので堤防盛土が破壊された可能性も現時点では否定できない。

今後は、この種の軟弱地盤上の人工土構造物の被災範囲や程度を最小化するためにも、その動的破壊機構の詳細な調査・研究が急務である。

(2) 道路関係の被災状況

十勝川河口付近の豊頃町、浦幌町両地区における今回の地震による道路関係の被害としては、道路の陥没や沈下、橋梁被害、上部構造物の倒壊等、種々の地盤災害が発生した。口絵写真—12, 13は、道路盛土部の代表的な被害例を示している。口絵写真—12では、軟弱地盤上の



図—5 北海道火山灰分布図

歩道部に30 cm～50 cm程度の沈下が発生し、延長200 m以上にわたって歩道盛土部が側方に移動した。この種の被害の多くは、盛土区間、特に沢地形や湿地上にある盛土区間で発生したが、被災箇所のいくつかでは、盛土法尻の周辺地盤に噴砂が確認された（口絵写真—14）。また、口絵写真—13では、沢地形部の高盛土箇所のすべり、歩道部の沈下が発生し、切盛り境界で沢筋に沿って盛土のすべりがみられる。この他に、橋梁の背面や横断管などの埋戻し部分の多くで沈下が発生した。口絵写真—15では、横断管埋設箇所に沿って横断方向に亀裂が発生し、舗装が隆起している様子がみられる。

3.2 火山灰地盤の液状化被害

今回の地震では十勝と道東地域に被害が集中しているが、震源から200～300 km程離れた端野町（北見市近郊）と札幌市内で、火山灰地盤の液状化による被害が発生した。北海道では、図—5に示すように、全土の50%強が火山灰堆積物で覆われている。1993年釧路沖地震や北海道南西沖地震と同様、今回の地震でもこれらの地盤の破壊が無視できない被害をもたらしている。以下に、それらの概要を示す。

(1) 火山灰地盤の液状化による大規模な斜面崩壊（端野町）

道東の北見市広郷と端野町協和では、クッチャロ軽石流堆積物で埋め立てられた農地において、液状化による大規模な地盤の崩壊と沈下が生じている。

端野町協和の被災箇所を口絵写真—16に、同箇所の旧地形（1971年の航空写真）を口絵写真—17に示す。口絵写真—16の赤線で示される被災箇所は、1971年の航空写真によれば水田やため池であることがわかる。この地区はクッチャロ軽石流堆積物（Kcfl、噴出年代3万年から3.5万年前）からなる地盤で、後に切盛り土による農地転用がはかられたところである。今回の地震でこの火山灰層が大規模な液状化を起こし、例えば、No. 1地点で長さ約200 m、幅約30～60 mにわたって斜面の流動崩壊が生じ、最大3.4 mの沈下がもたらされている（口絵写真—18, 19）。また、斜面崩壊した随所で火山灰による噴砂が認められた（口絵写真—20）。なお、口絵写真—16のNo. 1地点の被災前の斜面勾配は10/363で

ニュース

約3°以下の緩勾配にあり、このような地形で、液状化による大規模な火山灰層の液状化・地盤流動が発生したことは注目される。現在、地形の精査、原位置試験・室内試験等を行っているので、近いうちにその破壊機構等の詳細を報告できると思われる。

(2) 火山灰の液状化による住宅地の被害（札幌市）

今回、札幌市清田区においても支笏カルデラを噴出源とする火砕流堆積物（Spfl：噴出年代3.0～3.4万年前）の液状化による被害が認められた。震源よりおよそ280 kmの地点である。この種の火砕流堆積物は広範囲（札幌～千歳～苫小牧）に分布し、有効な建設材料として利用されてきた。札幌市内におけるその分布域は口絵写真—21に示される。

札幌市清田区における代表的な火山灰地盤の被害は口絵写真—22に示される3箇所である。図中の清田団地および美しが丘①は、沢部を火砕流堆積物で埋め立てたところであるが、液状化によって火山灰が地表面に噴出し（口絵写真—23）、道路や家屋の沈下・傾斜がもたらされた。なお、清田団地は1968年の十勝沖地震（札幌は震度Ⅳ）の際にも同種の液状化被害が生じていることが報告されている⁴⁾。また美しが丘②では、住宅の基礎となる盛土の沈下（最大約30 cm）が生じた。

これらの火山灰地盤の液状化による被害の特徴は、①自然堆積状態の固結した火山灰地盤ではなく、切土によって乱された火山灰の盛土で生じていること、②河川などを埋め立てた集水しやすい箇所に被害が集中していること、等があげられる。また液状化した火山灰は、③細粒分含有率が20～60%の範囲にある火砕流堆積物である（図—6）。この細粒分は非塑性であるが、既往の研究⁵⁾から火山灰土に含まれる細粒分の含有率が増えると液状化強度は低下するというパターンに属するものである。

なお、表—3にこれらの物理試験結果等を示す。いずれも、北海道火山灰土のそれに近い値になっている。

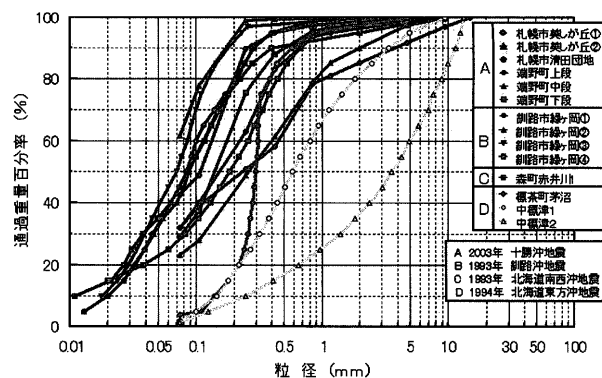
3.3 港湾関係の被災状況および胆振・日高・釧路・根室地区の地盤災害

今回の地震では、胆振・日高・釧路・根室地区の港湾や道路、住宅地等に液状化を含む地盤崩壊や斜面崩壊が発生した。以下にそれらの被災概要を示す。

(1) 港湾関係の被災状況

十勝港（広尾町）、苫小牧東港（苫小牧市）および白老港（白老町）、釧路港等の重要港湾において被災が見られた。地震発生時の各港湾の震度は十勝港や釧路港で震度5強、苫小牧東港で震度5弱、白老港で震度4とされ、各港湾でかなり強い振動を受けたと考えられる。液状化による周辺道路の亀裂や陥没といった現象が各箇所共通して見られたが、苫小牧東港におけるこの現象の概況を示すと口絵写真—24のようである。

口絵写真—25、26は地震発生日の苫小牧東港中央道路で見られた噴砂の状況を示している。また口絵写真—27は同港周水埠頭幹線周辺の地盤沈下の状況を撮影したものである。法面が崩壊し、路面下約80 cmまで地盤沈下



図—6 噴砂試料の粒度分布

表—3 噴砂試料の物理試験結果等

土質 噴出年代	採取地	ρ_s (g/cm ³)	ω_L (%)	U_c (mm)	D_{50} (mm)	F_c (mm)	ω_L (%)	$\rho_{d max}$ (g/cm ³)	$\rho_{d min}$ (g/cm ³)
火山灰 支笏軽石流 堆積物 (Spfl) BP3.0～3.4万	美しが丘①	2.28	51.7	—	0.24	32.1	68.1	0.96	0.65
	美しが丘②	2.42	51.7	—	—	61.7	51.6	1.03	0.62
	清田団地	2.39	59.4	—	0.11	42.6	61.2	0.99	0.65
砂	十勝河口①	2.59	43.5	2.58	0.19	7.9	—	1.51	1.15
	十勝河口②	2.65	35.3	2.50	0.16	9.9	—	1.36	1.01
	十勝河口③	2.68	16.4	4.14	0.48	5.1	—	1.69	1.29
火山灰 クッチャロ軽 石流堆積物 (Kcfl) BP3.0万～ 3.5万	北見上段	2.50	46.4	—	0.15	32.1	48.2	1.21	0.85
	北見中段	2.49	61.4	—	0.26	23.2	42.2	1.31	0.92
	北見下段	2.41	52.7	—	0.14	29.3	56.2	1.10	0.84

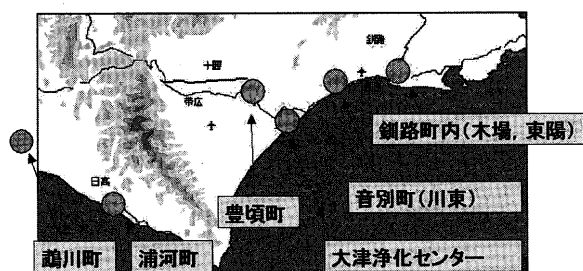
した様子が伺える。なお、本噴砂試料は非塑性の細粒分を含む土であることが報告されていることから、液状化現象が発生しやすい条件がそろっていたことが示唆されよう。

釧路港では、口絵写真—28、29に示すように西港第4埠頭の港湾施設用地で最大80 cmの沈下（段差）が生じ、また西港区道路を中心に広範な液状化がもたらされている。なお、この地点での強震観測記録（北海道開発局釧路開発建設部釧路港港湾建設事務所）は東西、南北、上下方向それぞれで576, 347, 149 Galとなっており、1993年の釧路沖地震に比べて、地震規模は小さいものの、震動成分が東西方向へ卓越している点は留意する必要がある。さらに、釧路市千代の浦漁港においても全面的な液状化による施設の破壊が生じている（口絵写真—30）。

(2) 道路関係の土砂崩落災害

国道336号（広尾～襟裳岬）では20数箇所では岩盤崩落あるいは落石が発生した。口絵写真—31は国道336号線（広尾町付近）で見られた落石、斜面崩壊の箇所を示している。広尾町の地震当日の震度は5強であった。また地震発生から3日後（9月29日）に連続雨量69 mmの降雨にみまわれた。したがって当該地域では地震と降雨の両者の影響を受け、数箇所にわたって被害が拡大したもののと思われる。

口絵写真—32は国道336号線（えりも町庶野～広尾町、通称黄金道路）で発生した斜面崩壊の状況を示している。口絵写真のはしは第1覆道では、崩石土は覆道を乗り越え海岸に達するとともに、覆道出口付近で覆道明かり部から道路面に崩石土が流入した。幸い人的被害は無かったものの、崩石量は約2,400 m³に達した。当該箇所の地



図一7 ライフライン（主に下水道施設）被災発生箇所

質は広尾町寄りが日高累層群（粘板岩および砂岩）、襟裳岬寄りが花崗岩類であった。本地震およびその後の降雨によって写真のような大規模な斜面崩壊に至ったものと予想される。余震が断続的に発生しており、今後も当該箇所の斜面挙動に注意を払う必要がある。

3.4 ライフライン関係被害

ライフライン関連（主として下水道関連）の主たる被害は、図一７に示されるとおり、日高、帯広・十勝、釧路地方で見られている。これらの多数の地区では、地盤の液化化現象が発生した箇所とライフライン被害はほぼ一致している。以下に、代表的な被災状況について述べる。

口絵写真—33, 34は、それぞれ大津浄化センターおよび音別町で発生したマンホールの浮き上がりを撮影したものである。地盤全体が沈下し、かつマンホールが浮き上がったため、被災後の地盤との相対的な高低差は1.5～1.7 m にまで及んだ。

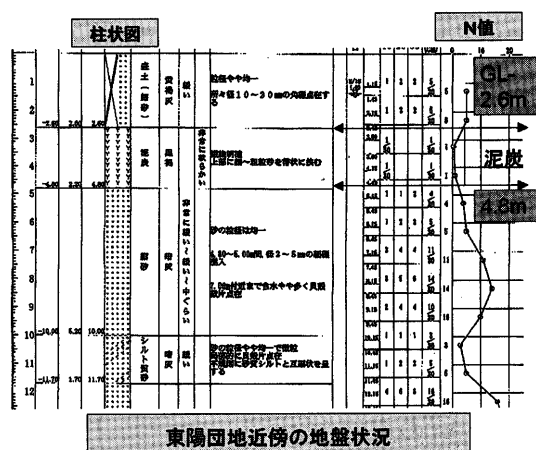
このような被災が見られる中、音別町川東地区での下水道施設の被災に関するヒアリングの結果、埋戻し土に軽量材を適用した箇所では顕著な被害を免れたことが明らかになった。このような対策工は、もともと液状化対策としてではなく、周辺地盤が泥炭層であったために、管路の沈下防止対策として施工されたものであると推察される。しかし結果として、下水道施設の耐震性能を向上させるような貢献があったものと考えられる。

図—8は釧路町東陽団地近傍の地盤状況を示している。写真によると地表面より深さ2.6 mから4.8 mまで軟弱な泥炭が分布している。当団地の代表的な被害状況としては、道路陥没やマンホールの浮上がりが見られた（口絵写真—35, 36）。当団地内の道路造成等は砂置換工法で施工されたため、本地震によって液状化の被害を受けたものと考えられる。一方、団地内の住宅は泥炭地盤上に木杭が打設されていたため、液状化による被害はほとんど生じていない。この種の泥炭地盤対策工が結果として耐震性能を向上させたことは、音別町の事例と共通することのように考えられる。

このような軟弱地盤対策工が耐震性能向上化に果たす役割を力学的にも明確にしておくことが望まれる。

4. おわりに

以上、執筆時点（10月10日）までに得た調査団の調



図—8 釧路町東陽団地近傍の地盤状況

査結果をもとにして、2003年十勝沖地震の地盤災害速報としてその概要報告をさせていただいた。緊急地盤災害調査団では、上述のように道路・河川・港湾・ライフライン等に関わる地盤災害や住宅・農地等の被害および各施設の被害と復旧の状況を調査したが、

- ・被害は広範にわたっており、今後詳細な調査や解析を行わなければ原因究明に至らない事項が多い
- ・報告内容には調査団員の独自の考察や判断であるものも少なくない

等、現状でいくつかの不安な点もあり、地震被害の全容はまだ十分明らかにされていない。今後、これらの調査結果をもとに、被災原因の究明や被害軽減策に関する研究、また10年前の釧路沖地震（1993.1.15）後になされた耐震対策工の効果検証などに関する検討をより一層推進させることの必要性を感じている。

なお、今後新たに得られた知見については、逐一報告していく予定である。

最後になりましたが、緊急地盤災害調査団に参加された団員の方々、現地調査への協力や種々の貴重なデータを提供していただいた国土交通省北海道開発局を始め関係各機関の皆様には、深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 気象庁ホームページ : http://www.jma.go.jp/JMA_HP/
jma/
 - 2) 国土地理院ホームページ : <http://www.gsi.go.jp/>
 - 3) 舩防災科学技術研究所ホームページ : <http://www.bosai.go.jp/>
 - 4) 北郷 繁・土岐祥介：地震による火山灰および砂地盤の沈下に関する土質工学的研究，1968年十勝沖地震調査報告，pp. 463～494，1968.
 - 5) 八木一善・三浦清一：火山灰粗粒土の繰返し非排水せん断特性に及ぼす破砕細粒分の影響，土木学会論文集，No. 694/Ⅲ-57，pp. 305～317，2001.
- (文責：北海道大学 三浦清一，石川達也，横濱勝司)
- (原稿受理 2003.10.16)