

2003年宮城県北部の地震関連の地表・地下地質調査成果発表会講演要旨*

2003年には, 5月26日宮城県沖の地震, 7月26日宮城県北部の地震, そして9月26日十勝沖地震と, 2箇月刻みで大きな地震が発生した。いずれの地震でも, 液状化・斜面災害・土石流などの地盤災害, 家屋の倒壊, 橋・道路などの損壊, 上・下水道などライフラインの損壊, など広い範囲で被害が発生した。これらの地震発生にあたって, 産業技術総合研究所地質調査総合センターでは, 研究部門・センターの枠を越えて, 緊急調査を実施した。なかでも, 宮城県北部の地震被害地域では, 地震後すぐの緊急現地調査に加えて, 地下構造の探査や液状化の原因調査を目的とした詳細調査も実施した。この研究成果発表会では, 宮城県北部の地震被害地域で実施した研究調査の成果全体を総覧して, 宮城県北部の地震を引き起こした地震断層の実態, 液状化などの地盤災害の原因を検討し, あわせて今後の緊急調査の進め方を議論することを目的とした。

(世話人代表 木村克己)

2003年宮城県北部地震震源域の 地表地震断層調査

石山達也¹・吉岡敏和¹・宮下由香里¹・堀川晴央¹

2003年7月26日, 宮城県北部を震源とする一連の地震(0時13分Mj 5.5, 7時13分Mj 6.2, 16時56分Mj 5.3)が発生した。0時13分の地震で宮城県矢本町と鳴瀬町で震度6弱, 7時13分の地震では同矢本町, 鳴瀬町, 南郷町で震度6強, 更に16時56分の地震では同河南町で震度6弱を観測し, 家屋の倒壊や600名以上が負傷するなど, 震源域周辺に大きな被害をもたらした。本震及び余震分布の直上には, 「旭山撓曲」と呼ばれる南北方向の活断層の存在が推定されている。地震発生当初, 震央の位置が旭山撓曲とほぼ一致していたため, この撓曲の活動が今回の一連の地震を引き起こした可能性が注目された。そこで, 被害状況の把握と地震断層出現の有無を確認することを主な調査目的として, 7月30日から8月1日にかけて, 緊急の現地調査を行った。その結果, 旭山撓曲周辺の複数地点で路面の陥没・亀裂や墓石の転倒などの地表変状が確認された。しかしながら, これらは強震動に起因する斜面移動によって説明がつくものばかりである。また, 旭山撓曲中部を横断する河川に沿った沖積面においても顕著な地表変状は見られなかった。このように, 「宮城県北部の地震」に際して, 旭山撓曲に沿って地表地震断層は出現したことを支持する証拠は得られなかった。また, 旭山撓曲の東方・旭山丘陵と石巻市街地間の沖積低地においても同様の調査を行ったが, 地表面には地殻変動を示すような現象は観察されなかった。他機関による調査においても, 同様な結論が得られている。なお, 地震発生後の測地データ・余震分布から, 旭山撓曲の更に東に延びる断層面が活動した可能性が指摘された。しかしながら, 現時点では須江丘陵周辺に地表地震断層が形成されたとの報告はない。

(¹活断層研究センター)

Keyword: 2003年7月26日宮城県北部の地震, 地表地震断層, 旭山撓曲

反射法地震探査による旭山撓曲延長部の 浅部地下構造

山口和雄¹・横倉隆伸¹・加野直巳¹

2003年宮城県北部地震の震源域周辺の地下構造を明らかにするため反射法地震探査を実施した。本講演では旭山撓曲の南方延長部を主たる探査対象とした測線2及び3について報告した。測線2は鳴瀬町浜市から矢本町大曲までの海岸沿い約6 kmの管理用道路, 測線3は矢本町館下から四反走までの平野部約2.3 kmの一般道である。調査仕様は, 震源:P波ミニバイブ1台(IVI社製T15000), スイープ周波数:10~80 Hz, スイープ数:3~6回/発震点, 発震点間隔:5 m, 受振器周波数:10 Hz(MarkProducts社製UM2), 受振点間隔:10 m, グルーピング:12個/10 m, 展開:エンドオンオフセット10 m~1,440 m, 探鉱器:DAS1(OyoGeospace社製), チャンネル数:144 ch, CMP間隔:2.5 mである。広域でやや深部を対象とした測線1と比較して浅部でより高分解能のイメージが得られる仕様とした。通常のCMP重合処理法によりデータ処理し深度断面を作成した。測線2の反射断面では, 測線西端の極浅部から1,000 m以深に傾斜20度から40度の東下がりの撓曲状構造, 中央部の深度300 m付近に不整合, それより深部に向斜が見られ, 東部はほぼ水平成層構造である。測線3の反射断面は, 全体として東下がりの成層構造からなり, キンク褶曲状の構造を呈し, 反射面の傾斜は西部で約10度, 中央で約5度, 東部でほぼ水平である。測線2西端の撓曲構造や測線3のキンク褶曲構造のヒンジを連ねた軸面は西方へ急傾斜し, これらの構造が地下深部の高角逆断層の反映であることを示唆する。一方, 震源域の南側領域の余震は北西に40度傾き下がった面上に分布し, 測線2の撓曲はこの余震分

*平成16年6月23日 産業技術総合研究所つくばセンター中央 第七事業所 第2会議室において開催

布の最浅部直上に位置する。このことから、撓曲やキンク褶曲の下位に推定される逆断層の深部延長は今回の地震の震源断層と一致する可能性がある。

(¹地質情報研究部門)

Keyword: 2003年宮城県北部の地震, 反射法地震探査, 旭山撓曲, 地下構造, 活構造

宮城県北部地震被害域での液状化被害に関する詳細調査の概要

木村克己¹・宮地良典¹

2003年宮城県沖の地震(5/26), 宮城県北部の地震(7/26)において, 宮城県鳴瀬町の田園地帯では, 震度5ないし6の大きな地震動の影響を受け, 広範囲において液状化被害が繰り返し発生した。鳴瀬町の田園地帯は海沿いの浜堤列平野にあたる。噴砂と陥没帯がこの水田一帯に広範囲に分布することは, 地震直後の空中写真から確認された(木村・宮地, 2003)。地震直後の緊急調査は, 浜堤列平野部での浜堤と堤間湿地との地質・地下水条件から, 液状化被害が発生した原因を検討することを目的としていた。そのとき, 浜堤列上の田圃でも液状化による地盤変状が発生していたことが大きな疑問としてあった。しかし, その後, 詳細調査開始期に行った現地での聞き込み調査で, 実は, 液状化が発生した場所は, 80年代前後に骨材として砂を採取した窪地にほぼ相当し, その窪地は山砂層で充填されていたことが明らかになった。そのため, 調査目的を人工改変による地下地質・構造の実態把握と液状化機構の解明に変更して, 自然・人工盛土の地下構造, 堆積学的特徴・堆積物物性・化学特性の検討を行った。

本発表会では, 一連の調査・分析結果とそれに基づく地下構造の実態と液状化の発生機構について, それぞれの担当者で分担して報告する。木村ほかは, 現地調査, ボーリング・ジオスライサー調査による試料採取とその層相観察, 密度・帯磁率・pH・ECの測定結果について, 井上ほかでは, 噴砂のソースを明らかにするために行った噴砂・山砂層・自然砂層の粒度・鉱物分析結果について, 原口ほかは, 3Dレーザースキャナー計測によって, 得られた地表面レベルでの詳細な地盤変状の幾何学的特性について, 高倉ほかでは, 電気探査による地下構造探査結果について, そして, 稲崎ではボーリング孔でのPS検層とS波ランドストリーマ探査結果について, それぞれ報告する。

(¹地質情報研究部門)

Keyword: 2003年宮城県北部の地震, 鳴瀬町, 液状化, 噴砂, 地下構造

宮城県北部地震被害域の鳴瀬町田園地帯で発生した液状化被害調査

— ボーリング・ジオスライサー調査 —

木村克己¹・宮地良典¹・高倉伸一²・稲崎富士¹・
田辺 晋¹・植木岳雪¹・原口 強³・青野道夫⁴・
高木俊男⁵・原 未来也¹・内山美恵子¹

2003年宮城県沖の地震(5/26), 宮城県北部の地震(7/26)において, 宮城県鳴瀬町の田園地帯において広範囲に液状化被害が発生した。両地区は海沿いの浜堤列平野にあたる。噴砂がこの水田一帯に広く分布することは, 地震直後の空中写真から確認された(木村・宮地, 2003)。液状化被害が発生した地域は, 80年代前後に骨材として砂を採取した跡地にほぼ相当し, その跡地は山砂層で埋め立てられたことが現地での聞き込みで明らかになった。そのため, 調査目的は, 人工改変の実態把握と液状化機構の解明とした。液状化の詳細調査サイトとして, 鳴瀬町の牛網地区・浜市地区から液状化現象が顕著な場所をそれぞれ1箇所(約150 m四方)選択した。本研究では, 地震直後の地表調査と, ボーリング・ジオスライサー調査による試料採取, 及び採取試料の層相観察, 密度・帯磁率・含水比・泥分含有率・pH・ECの測定を行った。

調査・測定の結果, 次のことが判明した。液状化被害を受けた水田では, 40~50 cmの段差がある陥没帯が広い面積を占め, しばしば細長く続く隆起帯により陥没帯が区画されている。陥没帯は鍋底型形状をなし, 縁にそって噴砂丘が配列し, 陥没帯内部にも散在している。隆起帯の大半は噴砂で覆われている。噴砂が認められる田圃の層序は, 上位から下位に, 噴砂層(数 cm~40 cm厚), 耕作土層(15 cm厚), 山砂層(10 cm~6 m厚), 自然砂層(9~13 m厚)である。山砂とは, 農地の土地改良として埋土に使われた人工土で, 泥質基質に富む淘汰の悪い礫混じり砂である。自然砂層は, 沖積層の上部砂層にあたり, 海浜堆積物であり, 平行葉理などの堆積構造が発達する。陥没帯では縁にそって, すべり面が形成されており, 縁から中央部に向かって, 山砂層が20 cm厚から6 mと厚くなる。そのすべり面にそって, 砂脈が貫入しており, 山砂層と自然砂層との境界付近の液状化・流動化層にまで続く。

山砂層は, 乾燥密度:1.45~1.55, 泥分含有率:30~40%, 含水比:20~30%, 著しく低いECで特徴づけられる。一方人工的擾乱のない自然砂層では, 乾燥密度:1.15~1.30, 泥分含有率:10~15%, 含水比:30~40%, 高いEC, pH:8.5~9を示すが, 山砂層との境界直下から2~4 mの深度にわたっての砂層では, 液状化による擾乱・均質化, 砂脈の分布が観察され, 堆積物物性・化学特性においても, 密度・含水比の大きなばらつき, 中性を示すpH, 著しく低いECという海浜砂層としては異常な特徴が得られた。これらのことは, 山砂層直下の海浜砂層が人工的な改変による影響を受けており, 液状化を被ったことを示す。

山砂層直下の自然砂層が液状化を起こしやすかった条件として, 自然砂層採取時の人工的擾乱, 採取した窪地形成時の酸化・リーチング, キャップロックとしての難透水性

の山砂層の存在があげられる。

(¹地質情報研究部門,²地圏資源環境研究部門,³大阪市立大学,
⁴サンコア株式会社,⁵復建調査設計株式会社)

Keywords: 宮城県北部の地震, 宮城県沖の地震, 液状化,
噴砂, 地下構造

堆積物からみた液状化層準の推定

井上卓彦¹・井内美郎²

2003年,宮城県において2度の地震が発生し,宮城県鳴瀬町牛網・浜市地区で特に大きな液状化現象が認められた。本地域は浜堤列の発達した沖積低地(石井ほか,1982)に位置しており,今回噴砂被害が認められたのは,沖積低地の中でも人工改変が行われた農地であることが知られている(木村ほか,2004,原口ほか2004)。本研究では,液状化し噴砂として噴出したものの層準を明らかにするため,牛網(MNR-1A)・今市(MNR-2A)で得られた2本のボーリングコアと“ジオスライサー”による試料をもとに,粒度及び砂粒・鉱物組成分析を行ない検討した。噴砂が認められる地域の地層層序は,上位から噴砂層・耕作土層・山砂層・自然砂層となっている。粒度分析の結果から,噴出した層準をある程度限定することが出来る。噴砂試料とボーリング試料の粒度分布を比較した結果,MNR-1Aコアでは,山砂層下位に接する自然砂層最上部の1~2 mの層準が噴出した可能性が高いことが明らかになった。またMNR-2Aでは,山砂層から自然砂層上部まで噴砂と同様の粒度組成を持った碎屑物が分布しており,山砂から自然砂層最上部が液状化した可能性が高い。更に噴砂として噴出した層準を限定するため,砂粒・鉱物組成分析を行なった。ジオスライサーで得られた山砂層・自然砂層について,噴砂試料の砂粒・鉱物組成と比較した。またデータを補完するためにボーリング試料についても分析を行なった。砂粒・鉱物組成分析の結果,海砂層に特有の海棲生物片やシソ輝石が噴砂層にも認められることが明らかになった。また碎屑物中には透明な石英と鉄酸化物などで着色された石英の2種類の石英が存在し,その量比が噴砂層・山砂層・自然砂層でそれぞれ違い,噴砂層は自然砂層に近い組成を示すことが明らかになった。以上より,今回の噴砂は自然砂層起源である可能性が非常に高いことが示唆される。

(¹愛媛大学理工学研究科,²愛媛大学沿岸環境科学研究センター)

Keywords: 宮城県地震, 液状化, 噴砂, 粒度分析, 砂粒・鉱物組成分析

3Dレーザースキャナー計測結果から読み取れる 液状化と人工地盤との関係

原口 強¹・木村克己²・宮地良典²・田辺 晋²・
植木岳雪²・中迎 誠¹

2003年三陸南地震(5/26)・宮城県北部地震(7/26)において,宮城県鳴瀬町で規模の大きな液状化が発生した。同地点では地震直後に現地調査が行われ,「液状化発生地点は主に地下水位が高い運河の近く,及び旧河道付近にみられ,1978年宮城県沖地震,5/26地震に引き続き,再液状化した地点も確認された」と報告(2003年三陸南地震・宮城県北部地震災害報告書:地盤工学会,p113)された。

詳細な液状化被害の実態を把握するため,同年12月25日に同上地点で,地上型3Dレーザースキャナーによる計測を行った。140 m×220 mの範囲で合計47.6万点のデータを取得し,0.5 mメッシュによる再サンプリング後,0.1 m等高線図や標高別段彩図による変状地形のイメージングを行った。

その結果,人為的な幾何学模様が浮かび上がり,相対的な隆起部分が水田整備前の農道に,地表面変状範囲が水田整備前の地割に相当することが判明した。聞き取りの結果,変状範囲は砂地の水田で,建設骨材として砂が採取されその後溜池状の採取跡は山砂で埋め戻された事実が明らかとなった。すなわち,液状化発生地点は砂を採取し山砂で埋め戻した人工改変地のみに限定されるという事実である。このことは,同時に行われたボーリングやジオスライサー調査結果でも裏付けられた。

液状化発生予測では,①地盤が緩い砂質土であること,②地下水位が浅く飽和していること,③地震動の強さと継続時間が十分であること,が重要な3条件である。液状化被害の契機となった新潟地震以降の国内における地震に伴う液状化発生事例を再検討してみると,被害地のほとんどが旧河道や沿岸部の埋立地盤であり,自然地盤の液状化被害は極めて少ない。緩い砂地盤は,現在の国内の自然堆積環境では,河道の砂や湖沼に流れこむ土砂流や火砕流堆積物を除くと,湛水状態で急速埋立てた人工地盤以外に考えられない。すなわち液状化被害との土地利用を考えるとこうした人工地盤を対象とすればよい。このことは,液状化予測マップ作成上で重要な視点であろう。

(¹大阪市立大学,²地質情報研究部門)

Keywords: 液状化, 人工地盤, 3Dスキャナー

電気探査による宮城県北部液状化発生域の 埋立層と自然堆積層のイメージング

高倉伸一¹・国松 直²・木村克己³・宮地良典³・
植木岳雪³・内山美恵子³・田辺 晋³・原 未来也³

2003年5月26日に宮城県沖を震源とする地震が,7月26日に宮城県北部を震源とする地震が起こり,宮城県北部の鳴瀬町浜市地区及び牛網地区の田園地帯において規模の大きな液状化が発生した。これらの液状化は砂を採取し山砂で埋め戻した人工改変地に集中していた。そこで我々は,液状化の実態を把握し,それを発生させた地下の環境

を明らかにするため、両地区から液状化現象が顕著に発生した場所を1箇所ずつ選び、精密な電気探査を実施して、地表から深度40 m付近までの比抵抗構造を求めた。また、電気探査の結果の検証と解釈のため、当該地区で掘削されたボーリングのコアに対して、比抵抗、間隙水の導電率（比抵抗）とpH、間隙率などを計測した。

電気探査から求めた比抵抗とコアの比抵抗とはほぼ一致しており、電気探査の結果が妥当であることが確認された。コアの比抵抗と間隙水の比抵抗とを比較したところ、海成の自然堆積層では両者の間に高い相関のあることが確認され、大局的な比抵抗構造は岩質・土質の違いより間隙水の塩濃度の差に支配されていることがわかった。しかし、埋立層（山砂層）と自然堆積層（海浜砂層）の境界付近では埋立層の方が低比抵抗であり、比抵抗値の極大位置は自然堆積層の上面にほぼ一致する。地質データから判断すると、山砂層に含まれている粘土鉱物が低比抵抗の原因と考えられ、塩分濃度の低い淡水領域では山砂層と粘土鉱物を含まない自然堆積層との間に比抵抗のコントラストが

生じている。そのため、電気探査で求めた比抵抗構造から埋立層の位置や厚さが明瞭に解釈された。当該地域の液状化は山砂層を埋め立てた場所で発生し、液状化の痕跡はおもに山砂層と海浜砂層の境界付近で顕著に現れていることから、精密な電気探査によって詳細な比抵抗構造を求めることで液状化の起きる位置や深度及び地質環境が把握できると考える。

(¹地圏資源環境研究部門、²活断層研究センター、³地質情報研究部門)

Keywords: 液状化, 電気探査, イメージング, 埋立層と自然堆積層, 宮城県北部

宮城県北部地震被害域での表層地盤探査

稲崎富士¹

(¹地質情報研究部門)