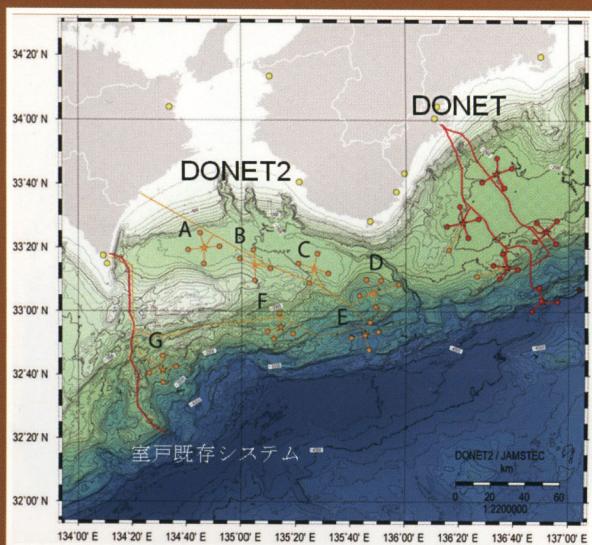


地質調査

'11 第4号
(通巻130号)

編集／社団法人全国地質調査業協会連合会

巻頭言「減災思想～安全に対して想定外はない」 関西大学 社会安全学部長 河田恵昭



小特集 東日本大震災

東北地方太平洋沖地震発生のメカニズム 平田 直

東北地方太平洋沖地震による地殻変動と断層モデル 今給黎哲郎

東北地方太平洋沖地震の津波災害 原口 強

液状化災害 安田 進

ライフラインの被害と復旧～環境工学からの視点～ 福士謙介

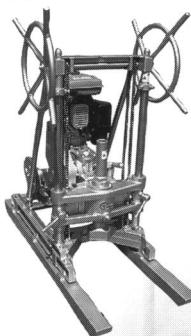
斜面災害—主に都市域の斜面災害について— 釜井俊孝

災害廃棄物処理に関する諸問題 中山 稔

やさしい知識 東京都における被害想定と防災への取組みの考え方 保家 力

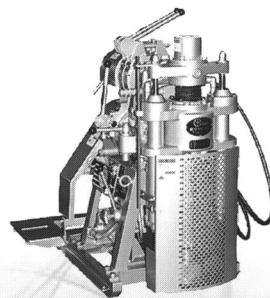
教養読本 東海・東南海・南海連動型地震への備え 金田義行

YHP-1

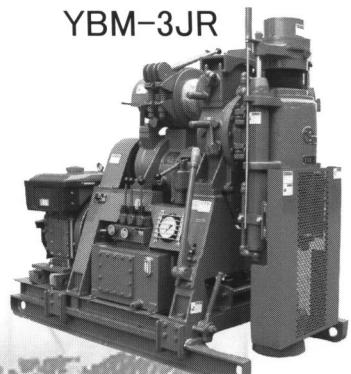


(ニッケル鉱調査 フィリピン)

YBM-05DA-2



YBM-3JR

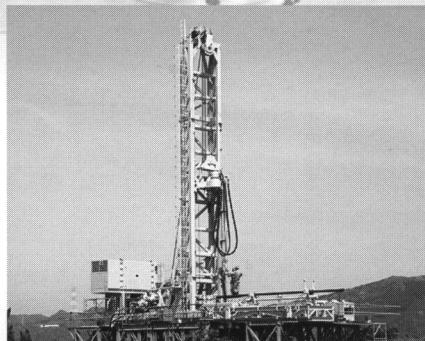


資源探査、環境調査、土木建設の基礎調査 世界で活躍するYBMのボーリングマシンとツールス

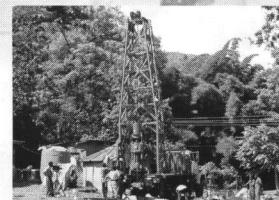
大口径ボーリングマシンから、超軽量ボーリングマシンまで、
幅広いニーズを満たす製品を取り揃えております。



ワイヤーライン工法用削孔機
TYW-50



地熱開発用コンパクトリグ
HC-2000R



(鉱物資源調査
マラウイ)

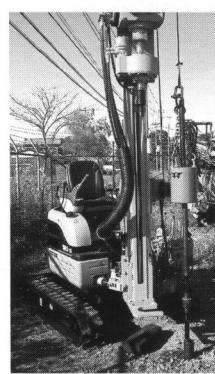
トラックマウントドリリングリグ
YSD-500BV



ワイヤーライン
工法調査機

YWL-200

スピンドル回転数
2速切換の為、
低速回転での口元
ケーシング掘削も
可能。



標準貫入試験作業風景



バイブロドリル
ECO-1VIII

土壤・地下水汚染調査など

バイブロ機能を活
かして回転せずに
土中に貫入可能。



ポータブル
表層土壤調査機
ハンディECO
表層土壤汚染調査など

ybm 株式会社 ワイビーエム

本社／〒847-0031 佐賀県唐津市原1534 TEL (0955) 77-1121

<http://www.ybm.jp/>

東京支社 〒104-0032 東京都中央区八丁堀3丁目22-11八重洲第三長岡ビル2F TEL (03) 6280-4789

東京支店 〒342-0005 埼玉県吉川市川藤3062 TEL (048) 982-7558

大阪支店 〒578-0964 大阪府東大阪市新庄西5-4 TEL (06) 4309-2921

名古屋営業所 〒468-0043 愛知県名古屋市天白区菅田1丁目1208 TEL (052) 804-4841

広島営業所 〒732-0802 広島県広島市南区大州1丁目1-25第一ふじビル1F TEL (082) 285-3824

インドネシア総代理店 Room No. 343 3F, PPHUL, JL. HR. Rasuna Said Kav. C-22 Jakarta Selatan 12940 TEL (+62) 21-52921131

卷頭言 減災思想～安全に対して想定外はない

関西大学 社会安全学部(兼)阪神・淡路大震災記念人と
防災未来センター長 河田惠昭 1

小特集 東日本大震災

東北地方太平洋沖地震発生のメカニズム	平田 直 3
平成23(2011)年東北地方太平洋沖地震による地殻変動と断層モデル 今給黎哲郎・飛田幹男・小沢慎三郎・西村卓也・水藤 尚・小林知勝 9	
東北地方太平洋沖地震の津波災害	原口 強 13
液状化災害	安田 進 17
ライフラインの被害と復旧～環境工学からの視点～	
2011年東日本大震災による斜面災害 一主に都市域の斜面災害について一	福士謙介 24 釜井俊孝 28
災害廃棄物処理に関する諸問題	山中 稔・八村智明 34

やさしい知識 東京都における被害想定と防災への取組の考え方

保家 力 40

教養読本 東海・東南海・南海連動型地震への備え

金田義行 42

基礎技術講座 ボーリング掘削技術第2回

フォアマン技術力向上のための「高品質サンプリング技術」

金子 進 45

私の経験した現場 大規模地すべり地でのボーリング調査 一大深度孔内傾斜計設置と噴出ガス対応について一

菖蒲幸男 51

大地の恵み 広島の地形地質が生んだ景観、銘水

小笠原洋 55

各地の残すべき地形・地質 石灰岩の景勝地（沖縄本島・宮古島）

上原 裕 57

各地の博物館めぐり 石川県能登町 真脇遺跡縄文館

高田秀樹 59

技術フォーラム2011について

61

会 告 地質情報管理士資格検定試験および登録更新について

64

地質リスク学会主催「第2回地質リスクマネジメント事例研究発表会」の資料公開について

64

全地連e-learningセンターの試験公開について

65

地盤工学会基準（JGS）の改正案が公開されています

65

全地連オートリース制度（自動車リースの団体割引制度）

66

平成23年度上半期の事業量 378億円

67

小特集テーマ 水文調査とその最前線

持続可能な水循環と水文調査

国土の持続的発展を支える水循環の構築に向けた取り組み

地下水環境の保全

トンネルにおける渴水問題と水文調査

地下水環境の保全に向けた取り組みと水文調査

河川管理

河川調査における最近の話題（洪水時の流量観測技術の動向：非接触型流量計）

自然共生/自然再生

人工改変と生物の多様性—劣化プロセスとその再生—

解析・シミュレーション

水循環の可視化ツールとしての数値解析シミュレーターの活用

教養読本 ICHARM（水災害・リスクマネジメント国際センター）

やさしい知識 統合的水資源管理

基礎技術講座 ボーリング掘削技術

私の経験した現場

各地の博物館巡り

大地の恵み

各地の残すべき地形・地質

減災思想～安全に対して想定外はない～

関西大学社会安全学部長・教授 河田 晃昭

1960年チリ地震のマグニチュード9.5が歴史時代の最大であるといわれている。東日本大震災はわが国で起こった地震の中で最大の9.0であった。そうすると、わが国では9.5は起こらないのかという疑問が出てくる。それに留まらず、さらに9.5を超える地震が起こらないのという不安も顔を出す。

地震がそうであるから、地震に起因した最大の津波など想定できるわけがない。これまで想定してきたのは、過去に起こった最大級の地震や津波を再現できるものに限られていた。でも、それを超えるものがないと断言できない以上、このような作業には必ず限界がある。言い換えれば、仮定がなければ決められないのである。

洪水の場合には、もっとこれが明らかである。たとえば、2011年11月現在、タイはチャオプラヤ川のはん濫が広域・長期化する中で、流域の工業団地に進出した日本企業も甚大な被害を被っている。この洪水は最大規模なのだろうか。来年も再来年も起こるのではないだろうか。このような疑問に的確に答える解を私たちは知らない。たとえば、200年に1回の大暴雨を想定した洪水流量を計算して、その結果に基づく治水対策は本当に有効なのだろうか。総雨量400ミリといつても、雨の時間的かつ地域的な降り方は無数にあるから、この洪水流量も一つではない。だから、必ず何らかの仮定が必要となる。まして、流域が急激に都市化しているところでは、洪水流量に人間活動の影響が入っている。

しかも、地球の温暖化の進行によって、これまでに得られた雨量や流量は統計解析に耐えられなくなっている。なぜなら、これらの物理量には地球温暖化の影響が反映しトレンドが存在するからである。

このように考えると、地震マグニチュードや津

波の高さ、洪水流量を決めなければならないのは、防災施設を作らなければならないからだと気づく。そして、ある種の仮定抜きで、これらを決める方法はないのであるから、今回起こった地震マグニチュードや来襲した津波高さを基準にするこというような短絡的な考えがまかり通ることになる。既往最大という考え方である。しかし、これにも盲点がある。東日本大震災で甚大な被害が出た宮古市の田老地区にあった高さ10mの津波防波堤は、そのことを明快に教えてくれた。明治三陸津波は田老地区で15mであったから、これ以上の津波が再来すれば、津波防波堤では防ぐことができないことがわかっていた。だから、筆者が35年前に当時の田老町の町長にこの疑問を発したところ、「12ヶ所に避難路を整備してあるから、町民はそこを通って避難する」という答えが帰ってきた。

ところが、ここ数年の避難訓練では、地区的住民4,600人中、約200人程度しか参加しない低調ぶりであった。東日本大震災では、この防波堤が存在して助かった住民も多い（実際には、総延長1.35キロのX字型の防波堤であり、海に直接面する部分は全壊し、その控堤の役割をした陸側の部分は、部分的な破壊にとどまった。このため、その背後の約100ヘクタールの市街地への津波のはん乱は、流量や伝播速度のいずれもかなり制御された結果となった）。しかし、この防波堤が“あつたために”避難が遅れて、いのちを落とした住民も多かった事実を忘れてはならない。

今回の津波は、これまでの災害に対する考え方を大きく変えた。それは、物理的に防御できない津波が存在するということである。この規模の津波を防波堤・防潮堤を中心とする防災施設で制御することは、もはやできないということが明らかとなった。今後の復興にあたっては、巨大な自然

外力を完全に封ずることができるとの考えではなく、災害時の被害を最小化する「減災」の考え方方が重要であろう。この考え方方に立って、人命が失われないことを最重視し、また経済的被害ができるだけ少なくなるような観点から、災害に備えなければならない。

しかし、この考え方をもっと発展させていく必要がある。これでは、津波が“主”で人間は“従”になっている。これを逆転させなければならぬ。これではいつまで経っても私たちは減災において主役にはなれない。「想定する」ということは、来襲する津波が、すべてを決めるということである。尊いのちを失わないためには、そのような主導権を私たちが取り戻さなければならぬ。そのためには、まず「逃げる」こと、「避難する」ことである。より安全を求めて、行動することである。

現在は、津波が主導権をもっているから、津波警報をより「正確」「迅速」「詳細」に出さなければいけないし、津波防波堤はますます高く、頑丈に作らなければいけない。減災に対して受身であるかぎり、そのような要求は際限なく続くだろう。これは「外力と対策の悪循環」と呼ぶべきものにつながっていく。

この「減災」の考え方に基づけば、これまでのように専ら水際での構造物に頼る防災から、「避難する」「逃げる」ことを基本とする防災教育の徹底やハザードマップの整備など、ソフト面の対策を重視せねばならない。ソフト面の対策の効果の評価は、それがより早く、より高く「避難する」「逃げる」という行為につながって実を結ぶ。そのような基本が確立できれば、防潮堤等に加え、道路や鉄道を活用した二線堤の機能を充実させ、土地のかさ上げを行い、避難地・避難路・避難ビルを整備することも役に立つ。加えて、災害リスクを考慮した土地利用・建築規制を一体的に行うなど、ソフト・ハードの施策を総動員した多重防護方式を採用することが被害軽減効果を發揮する

ようになる。しかも、高齢化に伴う地域防災力の低下のさなかにあって、人と人の結びつきである「絆」を大切にするコミュニティの一体性を確保する共助思想の重要性も認識されなければならぬ。人が人を助けなければならぬのである。

復興まちづくりを策定するにあたり、種々の選択肢を比較検討するに際しては、まず、住民が「避難する」「逃げる」ことを基本として、地形の特性に応じた防災効果や、それにかかる費用、そして整備に必要な期間等を考慮すればさらに効果が上がる。その上で、防波堤、防潮堤、二線堤、高台移転等の「面」の整備、土地利用・建築構造規制等の適切な「組み合わせ」によって尊いのちを守るのである。

しかも、国土交通省が準備している『津波防災地域づくり条例』では、土地区画整理事業として盛土を可能にするほか、災害に先行した防災・減災のまちづくりを可能とする画期的な法律となっている。意識の高い基礎自治体の支援を積極的に進めたいとする政府の方針が具体化している。

「想定内」も「想定外」も災害の外力から見れば、思う壺である。そうではなくて、私たち人間側から災害の外力を見なければならない。“借金を返すために借金を重ねる”という悪循環を断ち切らなければならない。

東海・東南海・南海地震の発生が心配な西日本太平洋沿岸と瀬戸内海沿岸では、従来の3連動に加えて4連動の場合も想定が可能である。しかも、固着域の特性やプレート境界面でのスリップの量を変化させれば、“とんでもない津波”が発生可能である。このような外力との際限のない競争に陥ることなく、津波減災の基本は「避難すること」「逃げること」であるという立場から、対策を再考する必要があろう。津波の再現年を千年あるいは二千年にとれば済むというような単純な取り扱いでは、再び想定外の巨大津波災害に見舞われことになろう。

東北地方太平洋沖地震の発生メカニズム

[Key Word]

東日本大震災, 超巨大地震, 余震, 誘発地震, 前震活動, 地震アスペリティ

ひら た なおし
平田 直*

1. はじめに

2011年3月11日に東北地方の太平洋岸で発生した地震はマグニチュード(M) 9.0の我が国最大の地震であった。この地震では、強い揺れの他、高い津波が生じ、約2万人の死者・不明者が発生した。戦後最大の震災となった1995年阪神・淡路大震災を上回る大震災である。この地震は気象庁によって2011年東北地方太平洋沖地震と命名された。発生した震災は東日本大震災である。小論では、自然現象としての東方地方太平洋沖地震とそれによってもたらされた日本列島全体への影響について考える。

2. プレート境界の地震

日本列島の東半分は、北米大陸を形作るプレート(北米プレート)の西の端にあたる。このプレートの下に、地球上最大の太平洋プレートが年間8~9cm程度の速さで、東から西に向かって沈み込んでいる。二つのプレートの境界では大きな摩擦力によって結合している。二つのプレート境界に働く摩擦力は、プレート境界の深部、つまり西側では比較的小さく、太平洋プレートはするすると東北日本の下に沈み込んでいるが、浅部では摩擦力が強いため東北日本のプレートの底部は太平洋プレートに引きずられるように西進している。つまり、太平洋プレートの西進とともに東北日本は東西に圧縮され、年間1~2cmの割合で縮んでいた。

太平洋プレートと東北日本のプレートの境界で起きる地震は、この太平洋プレートの西進に伴って縮んでいた東北日本のプレートの底部が、蓄えられていた弾性エネルギーを解放するように急速に東側にずれる現象であった。プレート境界の上

側が、東側にせり上がるよう急激に動く運動が、プレート境界で起きる地震の発生メカニズムである。

3. マグニチュード(M) 9.0の地震

3月11日14時46分、宮城県沖の海底下20kmのプレート境界で破壊が開始し、約3分間かけて南北約400km、東西200kmの領域が破壊され、マグニチュード(M) 9.0の巨大地震が発生した^{1,2)}。これまで地球上で発生したM9.0以上の超巨大地震である1960年チリ地震(M9.5), 1964年アラスカ地震(M9.2), 2004年スマトラ-アンダマン地震(M9.1)に次ぐ、4番目に大きな地震である。我が国ではこれまでこのようなM9クラスの超巨大地震が発生したことは知られていなかった。

この地震によって宮城県栗原市で震度7が観測され、震度6強が宮城県、福島県、茨城県、栃木県の4県で、震度6弱がこの他、岩手県、群馬県、埼玉県、千葉県など計8県で記録された。都内でも最大震度5強を感じた。気象庁の記録によれば、東京都千代田区で震度4相当以上の揺れが130秒間続き、最終的に震度5強となった。この揺れで、首都圏でも鉄道・高速道路などのインフラが完全に麻痺した。

阪神淡路大震災をもたらした1995年兵庫県南部地震では、震度7が神戸市で記録されたが、震度6の揺れにみまわれたのは兵庫県一県であり、局地的な地震だったと言える。これに対して、東北地方太平洋沖地震は広範な地域に強い揺れをもたらし、大規模な津波発生とともに、広域な地震災害をもたらす原因となった。

この地震では海底が数メートル隆起し大規模な津波が発生した。岩手県大船渡では8メートル以上の津波が観測され、津波観測点付近の地震発生後

* 東京大学地震研究所 教授

の調査により 11.8 メートルの津波が来たことが分かった。沿岸の津波計の他、海上のブイによる津波観測、さらに海底ケーブルによる観測によって水深 1600 m となる深海の沖合でも 5 m を超える津波が観測された³⁾。

日本国内と世界中に設置された地震計のデータは大きな振幅の揺れを観測した。気象庁は地震発生当初、この地震のマグニチュードを 8.4 と発表し、2 日後に 9.0 に訂正した。これにはいくつかの理由があるが、基本的には国内の地震計の記録が振りきれてしまい、遠方にある外国の記録を使う必要があったこと、震源での破壊が長い間続き地震波形記録が複雑になり解析に手間取ったことが考えられる。日本国内と世界中の地震計の記録は、世界の研究者によって解析され、東北地方の太平洋沖では M9.0 の超巨大地震の震源断層での破壊の様子が推定された⁴⁾。これらの結果は、太平洋プレートの上面で数十メートルを超える大きなずれが発生したことが示している。

地震発生にともなって、東北地方の太平洋沿岸は最大で 5.3 m 東に移動した⁵⁾。さらに、近年開発された海底での地殻変動を測定する技術によって、海底が約 20 m 東に動いたことも分かった⁶⁾。さらに日本海溝の最深部（海溝軸部）での海底地形の調査によると、海溝軸部は大きく東に 50 m

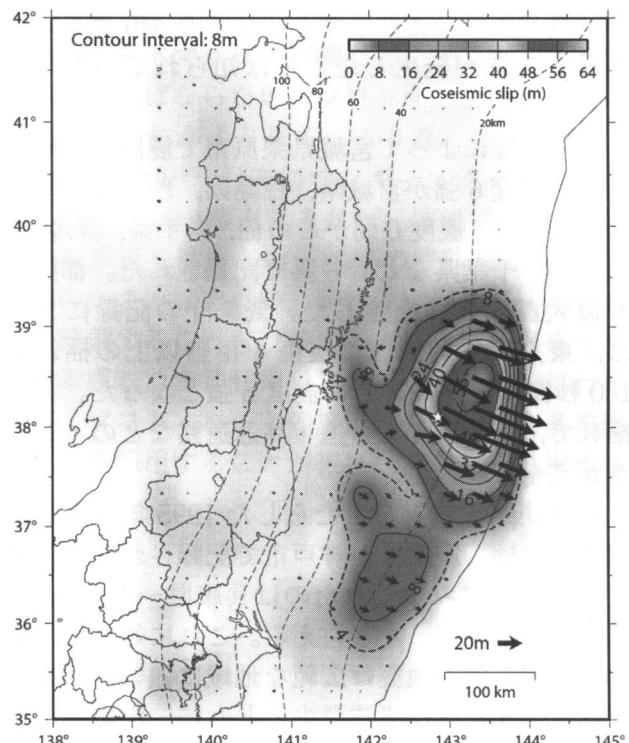


図 1 国土地理院によって設置された GPS 観測と、海上保安庁によって行われた海底地殻変動観測によるデータを用いて得られた地震時の滑り分布。最大で 56 m の滑りが推定された⁸⁾。

程度移動した⁷⁾。これらの海底と陸上の動きから、50 m を超える大きなずれが太平洋プレートと陸側のプレートの境界で発生していることが推定された（図 1）⁸⁾。海底ケーブルに設置された津波計のデータも用いた津波データの解析によっても、日本海溝に近い太平洋プレートのプレート境界ではやはり 57 m という大きなずれが生じたことが分かった³⁾。これらのデータは M9.0 という我が国で観測された最大規模の地震が如何に大きかったかを示している。

4. 地震後の地殻変動

3月 11 日に巨大地震が発生した直後から、太平洋プレートと東北日本のプレートの境界では地震時と同じ方向にゆっくりとした滑り（余効滑り）が発生し、7 カ月を超えた現在でも滑りは続いている。例えば、岩手県山田では 70 cm 東に、千葉県銚子も 40 cm 東に移動している。国土地理院によると、地震後のプレート境界での滑りの総量は、地震のマグニチュードに換算して M8.5 を超えている。この結果として東北日本には東西に伸びるような力が加わっている。

余効滑りがいつまで続くかは現時点では確定的なことは言えない。しかし、例えば超巨大地震である 1964 年アラスカ地震（M9.2）では地震発生後 35 年経っても余効的な変動が続いていることを考えれば、東北沖でも今後 10 年以上続く可能性は高い。この間、3 月 11 日の地震以前は東西方向に縮んでいた東日本に、反対方向の東西に伸びる力が働く。これは、日本列島の内陸域で力のバランスが 3 月 11 日の前後で大きく変わったことを意味している。そのため、次に述べるように日本列島内陸部でも地震活動が活発化した。

5. 余震と誘発地震

大きな地震（本震）が発生すると直後から本震の震源断層の周辺で中小の地震（余震）が頻発する。3 月 11 日の地震ではおびただしい余震が発生し、10月末までに M5.0 以上の余震は約 600 回、M6.0 以上が約 100 回を数えている⁹⁾。M7.0 を上回るものは、3 月 11 日の本震直後に 3 回、4 月に 7 日と 11 日、10 日にそれぞれ 1 回の計 6 回発生した（図 2）。これまで、日本周辺の海域で発生した大地震でも多数の余震が発生していたが、1994 年北海道東方沖地震（M8.2）でも M5.0 以上の余震発生数が 150 回程度であることを考えれば、この地震の余震がいかに多いかが分かる。余震の数は、一般に本震発生からの経過時間に反比例する

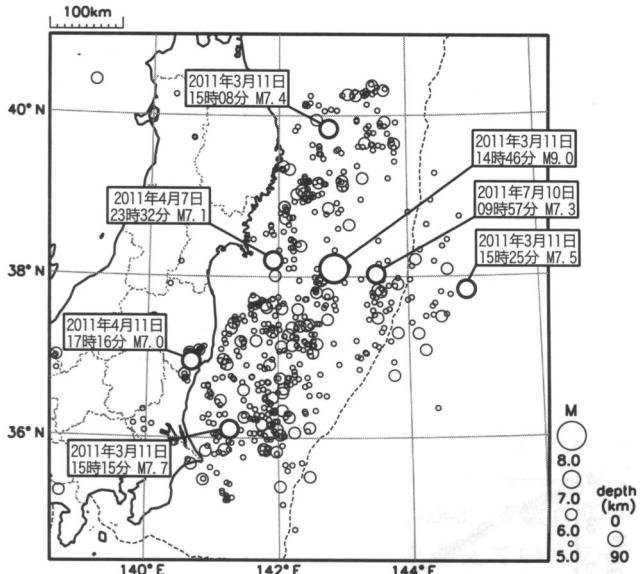


図2 本震と余震の震央分布図（2011年3月11日12時～9月30日、深さ0～90km, M≥5.0) M7.0以上の地震に吹き出しをつけている（気象庁）。

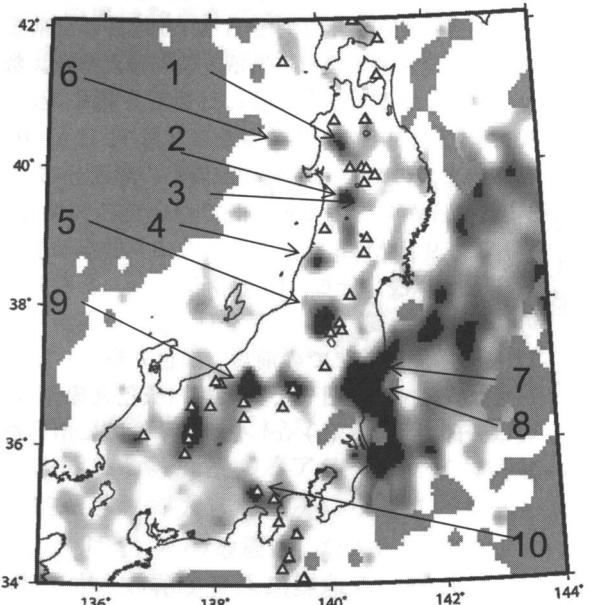


図3 3月11日後に地震活動が活発化した地域。数字は顕著に活発が活発化した地域（1. 秋田県北部, 2. 秋田県南部群活動, 3. 秋田県田沢湖付近, 4. 山形-月山群活動, 5. 会津群活動, 6. 秋田沖, 7. いわき, 8. 北茨城, 9. 長野県北部, 10. 静岡県東部）。この地域以外に、他に、火山フロント周辺、銚子付近で活発化した。また、内陸地震の余震域（岩手・宮城内陸地震、新潟県中越地震・中越沖地震、能登半島地震）では沈静化した。

ように減少する。余震数の時間推移を表す式を、大森の式という。東北地方太平洋沖地震の余震もほぼ大森の式に従って減少している。経過時間に反比例しているので、大きな余震の頻度は確実に少なくなっているが、それでも有感の余震はまだ

まだ発生している。今後1年程度は大きな余震が発生する可能性があると考えるのが妥当である。

さらに、3月11日以降日本列島の広い範囲で地震活動が活発になった。広域に発生した地震は誘発地震といわれる。例えば、長野県と新潟県の県境では、3月12日にM6.7の被害地震が発生し、3月15日には静岡県東部の御殿場の下10kmでM6.0が発生した。また全国の火山の下でも、例えば伊豆大島等で微小地震の活動が活発化した（図3）。首都圏でも3月11日以前の数倍の地震発生数となっている。これらの活動は、本震と大規模な余効変動によって日本列島の応力状態が大きく変化し、力のバランスが変わったことによって発生している。中小地震だけでなく、被害をもたらすような内陸の大地震の発生の可能性も否定できない。

6. 前震活動

東北地方太平洋沖地震の前に、この地震の発生を予測することの出来る現象は起きていたのであろうか。残念ながら、地震発生の前に明確にM9.0の地震を予想できるデータは得られていなかった。しかし、「今から思えば」地震発生の前に起きていた特別な現象が幾つかあった。

その一つは、3月9日に発生したM7.3の地震とその後の地震活動である（図4）。これらは3月11日のM9.0の地震の前震活動である。ただし、M7.3の地震が前震であると判断できたのは、M9.0の地震が起きたからであり、事前の予測という観点からはこの地震活動を用いることは出来なかつた。前震と考えられるは、この地震活動の空間的な広がりがM9.0の震源断層の広がりにくべて狭かったこと、大きな地震の数の割合が通常より大きかったことによる。

一般に、地震規模Mの地震の起きる頻度Nは

$$\log(N) = a - bM$$

と表わされる。ここで、aは対象とする地震の総量を決める定数、bはMの大きい地震と小さい地震の割合を決める定数で、1.0程度の値となる。bが小さいと、大きい地震の数が小さい地震の数に対して相対的に多くなる。この法則をG-R則という。3月9日のM7.3とその後の地震のb値は顕著に小さかった。東北地方太平洋沖地震が起きてからの解析によると、b値が減少していた領域は本震で大きく滑った領域に集中するように、解析できる記録のある1965年ころから地震直前まで減少していた。3月9日のM7.3の地震とその後の本震直前までの地震のb値は0.5以下に低下

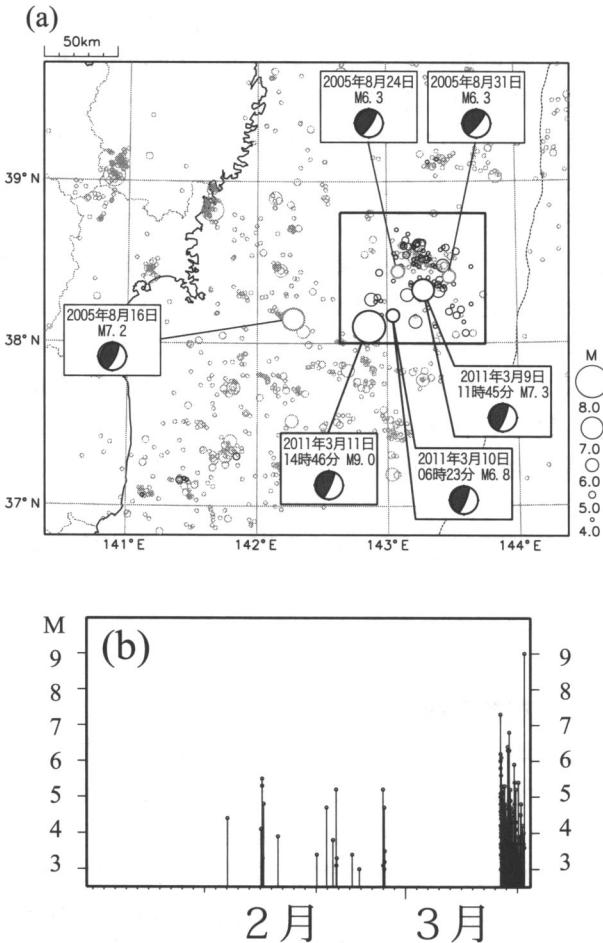


図4 2011年3月11日の東北地方太平洋地震の前の地震活動。(a) 震央分布図。1997年10月1日～3月11日14時46分、深さ0～100 km, $M \geq 4.0$ を示した。2011年2月の地震を濃く表示。(b) 領域a内の地震活動経過図(2011年2月1日～3月11日14時46分、深さ0～100 km, $M \geq 3.0$)

していた。本震後、この領域の地震の b 値は0.8程度まで回復した(図5)¹⁰⁾。

7. なぜM9の地震が発生したか

繰り返しM7, M8クラスの地震の起きていた東北地方の太平洋沖で、なぜ突然M9クラスの地震が起きたのであろうか？しかし、この問いは、これまで何故M7～8程度の地震しか東北沖では起きなかつたのかという問いに変えた方が良いかもしれない。それには、以下のようないがある。

東北地方の太平洋沖では、これまで、M7からM8程度の地震が数十年から100年程度に1回の頻度で発生していた。M8程度の地震では5～10mのずれが発生するので、仮に100年に1回5mずれるとすると、1年間のずれにすれば5cmとなる。太平洋プレートの沈み込む速度8cm/年に比べて有意に小さい。詳しい解析によれば、これ

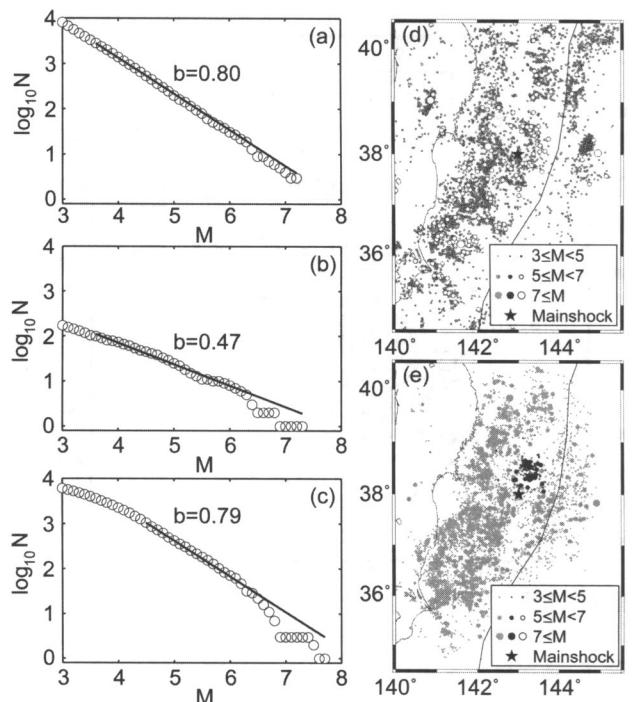


図5 定常的な地震、前震と余震の b 値¹⁰⁾。(a) 2000年1月1日から2011年3月9日 $M7.3$ 地震の直前までの地震(定常的地震)の累積規模別頻度分布。数字はG-R則の b 。(b) 2011年3月9日 $M7.3$ 前震から3月11日 $M9.0$ 本震直前までの地震(本震の前震)の頻度分布。(c) 3月11日から3月31日までの余震の頻度分布。(d) 3月9日 $M7.3$ 前震より前の定常的な地震(深さ60 km以浅)分布(白丸○印)。(a)を計算するのに用いた地震。(e) 3月9日 $M7.3$ 地震から3月11日の本震直前までの前震(黒色丸●印)と3月11日から3月31日までの余震(灰色丸●印)。本震は★印で示す。(b)(c)を計算するのに用いた地震。

までに知られている地震によって解放された地震モーメントは、プレートの沈み込みによって生じたずれによるモーメントの半分にも満たなかつた^{11,12)}。

これに対して、3月11日の地震では、50 mを超えるずれが生じた。この量は、プレートの西進速度8 cm/年の、600～700年分のずれに相当する。この地震の起きる前までは、地震によって解放されたモーメントが小さいのは、地震以外のプレート境界のゆっくりとした滑りが発生しているためだと考えられていた。

プレート境界では地震時の急速なずれと、地震間での完全な固着の他に、ゆっくりと滑る現象(ゆっくり滑り)が発見されていた。2000年から2005年にかけて浜名湖の下では非地震性のゆっくりとした滑り(長期的ゆっくり滑り)が観測さ

れていた。さらに、西南日本の広い範囲で、1週間から10日程度継続するM6程度のゆっくりとした滑り（短期的ゆっくり滑り）が年に数回発生していた。

東北地方の太平洋沖でも、1994年の三陸はるか沖地震（M7.6）では、余効滑りと言われる現象が発生し、本震によって解放された地震モーメントに匹敵するプレート境界でのゆっくりとした滑りが数年にわたって発生した。このため、地震によって解放されたモーメントが、プレートの沈み込みによって生じるモーメント解放量に足りなくとも、それほど不思議には思わなかった。しかし、実際には、プレート境界は強く固着して数百年から1000年分の弾性エネルギーを蓄えていたのである。

3月11日のM9の地震を経験した今、東北地方の太平洋沖で起きていたことはもう少しシンプルに考えることができるようになった。つまり、プレート境界は数百年のあいだ強く固着して、プレート運動の数100年分の「ずれ」を蓄えていた。2011年3月11日に、これを全て解放して、50mずれた。

さて、それでは何故M9の地震を準備している段階でも、3月11日以前には、M7からM8クラスの地震が起きていたのであろうか。プレート境界には、地震アスペリティと呼ばれる通常は強く固着していて、地震時には急激に滑る領域があり、地震の大きさはアスペリティの大きさによるというモデルが提出されていた。これがアスペリティモデルである。隣接するアスペリティは時には同時に破壊されて大きな地震になることも知られていた。3月11日の地震は、たんに複数のアスペリティが同時に破壊されただけではなく、ずれの量も通常のM7クラスの10倍になったことで、M9という巨大な地震となった。なぜ、東北地方太平洋沖のアスペリティがあるときは、2mしかずれず、3月11日に50mずれたのかは、これまでのアスペリティモデルでは説明できないかもしれない。

3月11日の地震発生後この問題について幾つかの考えが発表された。プレート境界の滑りと固着の性質、つまり滑りの法則を支配する摩擦パラメータの分布によって数百年間隔でM9クラスの地震が発生し、その間でM7～8クラスの地震が発生する可能性がある。例えば、プレート境界の海溝軸に近い浅いところで数百年間のプレートの沈み込みに耐える強いところ（高強度アスペリティ）があると仮定すると、それより深いプレート

高強度アスペリティモデル

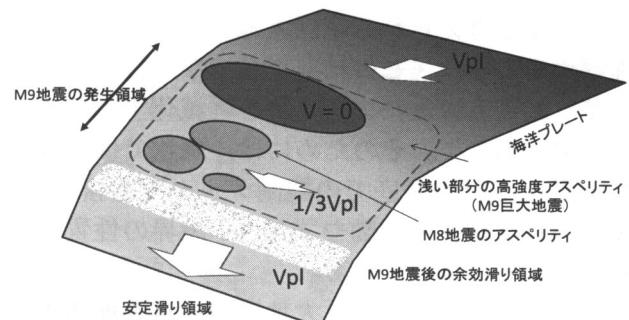


図6 高強度アスペリティモデル。浅い部分に数百年分のプレート滑りを蓄積する高強度アスペリティが存在する。その深部側でのプレート間の滑り速度は、プレートの収束速度 V_{pl} の $1/3$ 程度になり、そこでのM8級アスペリティが数十年間隔で破壊される。浅部の高強度アスペリティが破壊されると深部の複数のM8地震アスペリティを含む広範な領域で、大きく滑りM9の地震が発生する。さらに、その深部で大規模な余効滑りが、M9地震発生直後から発生する。このことによってM8アスペリティに再度力が加わり、M8地震発生の間隔はM9地震前より短くなる。

境界はプレートの沈み込む速さの半分程度の滑りが生じて、数十年の間隔でM7～8クラスの地震が発生する（図6）¹³⁾。また、M9クラスの地震の発生する大きなアスペリティの中にM7～8の地震の発生する中規模のアスペリティがあるとすると、全体が破壊されるとM9クラスの地震が発生し、その中の中規模アスペリティが破壊されるとM7～8クラスの地震が発生する（階層アスペリティモデル）¹⁴⁾。

高強度アスペリティモデルが正しいとするとM9.0の巨大地震の発生後に大規模な余効滑りがプレート境界の本震で破壊され場所の深部で発生することが予想される。さらに、余効滑りの進行によって宮城県沖のM7から8級の地震アスペリティ周辺にひずみが蓄積し、これまでより短い間隔でM7級の地震が発生する可能性がある。モデルの妥当性は、今後の余効滑りを注意深くモニターすることによって判断する必要がある。

8. おわりに

2011年3月11日に起きたM9.0の地震は、我が国でこれまで経験したことの無い超巨大地震であった。この地震とその後の余効滑りによって日本列島は大きく変動している。地震発生後半年以上たった今でも、東北日本は引き続き東西に引き延ばされる状態が続き、各地で活発化した地震活

動も継続したままである。今後10年以上にわたってこの余効的な変動が続く可能性が高い。数百年に一度と考えられる超巨大地震の性質を正しく理解することは、この地震だけでなく日本全土で数多く起る地震による災害を軽減化するために不可欠である¹⁵⁾。そのためには、現状では決定的に不足している海底での観測データを蓄積して、沈み込むプレート運動やプレート境界の性質を理解することが重要である。

さらに、低頻度の超巨大地震の性質を理解するためには、日本とその周辺の地震だけでなく世界各地で発生した巨大地震とその地震を発生させたプレートの運動の理解を進める必要がある。また、機器による観測データのない時代に発生した古地震を、史料や地質データによって過去に遡って調べる研究を進める必要がある。とりわけ、超巨大地震によって発生した津波の痕跡を海岸で調査する研究が重要である。同時に、海底の超巨大地震の断層の調査を、陸上の活断層調査と類似の手法を開発して実施することが必要である。数千メートルを超える深海底で、高分解の反射法地震探査とボーリング調査を実施して、過去の巨大地震の痕跡とその活動履歴を調べることは、現在の技術では難しいが、今後技術開発を行って過去の超巨大地震の活動履歴を調査することが重要である。

参考文献

- 1) Hirose, F., K. Miyaoka, N. Hayashimoto, T. Yamazaki, and M. Nakamura (2011) : Outline of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (Mw 9.0)—Seismicity: foreshocks, mainshock, aftershocks, and induced activity—Earth Planets Space, 63, 513–518.
- 2) Yoshida, Y., H. Ueno, D. Muto, and S. Aoki (2011) : Source process of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake with the combination of teleseismic and strong motion data, Earth Planets Space, 63, 565–569.
- 3) Maeda, T., T. Furumura, S. Sakai, and M. Shinohara (2011) : , *Earth Planets Space*, 63, 803–808.
- 4) Ide, S., A. Baltay, and G.C. Beroza (2011) : Shallow Dynamic Overshoot and Energetic Deep Rupture in the 2011 M_w 9.0 Tohoku-Oki Earthquake, *Science*, 332, 1426–1429.
- 5) Ozawa, S., T. Nishimura, H. Suito, T. Kobayashi, M. Tobita, and T. Imakiire (2011) : Coseismic and postseismic slip of the 2011 maginutde-9 Tohoku-Oki earthquake, *Nature*, 475, 373–376.
- 6) Sato, M., T. Ishikawa, N. Ujihara, S. Yoshida, M. Fujiita, M. Mochizuki and A. Asada (2011) : Displacement Above the Hypocenter of the 2011 Tohoku-oki Earthquake, *Science*, 332, 1395 ; published online, 19 May 2011 (10.1126/science.1207401) .
- 7) 海洋研究開発機構 (2011) : http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20110428/
- 8) 国土地理院 (2011) : 東北地方太平洋沖地震の陸域及び海域の地殻変動と滑り分布モデル, <http://www.gsi.go.jp/common/000060854.pdf>
- 9) 気象庁 (2011) : M5.0以上の余震回数(日別回数・回数積算図) http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2011_03_11_tohoku/aftershock/
- 10) 楠城一嘉・平田直・小原一成・笠原敬司 (2011) : 2011年東北地方太平洋沖地震震源域のb値の時空間変化, 地震予知連絡会会報, 第86卷.
- 11) Yamanaka, Y., and M. Kikuchi (2004) : Asperity map along the subduction zone in 294 northeastern Japan inferred from regional seismic data, *J. Geophys. Res.*, 109, B07307, doi : 10.1029/2003JB002683.
- 12) Kanamori, H., M. Miyazawa, and J. Mori (2006) : Investigation 220 of the earthquake sequence off Miyagi prefecture with historical seismograms, *Earth Planets Space*, 58, 1533–1541.
- 13) Kato, N., and S. Yoshida (2011) : A shallow strong patch model for the 2011 great Tohoku-oki earthquake : A numerical simulation, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L00G04, doi : 10.1029/2011GL048565.
- 14) Hori, T. and S. Miyazaki (2011) : A possible mechanism of M 9 earthquake generation cycles in the area of repeating M 7~8 earthquakes surrounded by aseismic sliding, *Earth Planets Space*, 63, 773–777.
- 15) 平田直・佐竹健治・目黒公郎・畠村洋太郎, 巨大地震・巨大津波—東日本大震災の検証—, 朝倉書店, 2011.

平成 23（2011）年東北地方太平洋沖地震による 地殻変動と断層モデル

今給黎 哲郎¹⁾・飛田 幹男²⁾・小沢 慎三郎³⁾・西村 卓也⁴⁾・水藤 尚⁵⁾・
小林 知勝⁶⁾・国土地理院地理地殻活動研究センター

【Key Word】

地殻変動, GEONET, 滑り分布モデル, 成果改定, 余効変動

1. はじめに

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震（以下「東北地方太平洋沖地震」と表記）は Mw9.0 というわが国観測史上最大の地震であり、世界的に見ても最大規模の地震の一つであった。その被害の大きさから「未曾有」あるいは「想定外」という言葉で表現されることもしばしばある。しかしながら、地震と津波のことだけを考えるなら、そのような事件はこれまで地球上で（そして日本でも）起きてきた自然現象の一つであることを我々日本人は理解しなければならない。

本稿では、地殻変動観測結果から見た東北地方太平洋地震の特徴、断層モデルについて説明し、日本海溝沿いの巨大地震発生メカニズムについて新たにわかったことなどについて概観したい。

2. 東北地方太平洋沖地震の概観

東北地方太平洋沖地震の本震は 2011 年 3 月 11 日 14:46 に発生した。地震の規模は気象庁によれば最終的に Mw = 9.0 とされ、わが国の観測史上で最大規模の地震となった。

震源は宮城県沖で、最大震度 7 が宮城県栗原市で記録された。また、地震後東北地方を中心とする北海道から九州に至る太平洋沿岸に高い津波が押し寄せた。三陸沿岸では 30 m を超える週上高となった地点も多く確認されているほか、仙台平野などでは海岸から 5 km 以上も津波が浸入し甚大な被害をもたらした。高いピークを持った津波

は波源域での地殻変動量が大きかったことを、内陸深く浸水域が広がる津波は波源域が広く長周期の波が発生したことを意味している。このような津波を引き起こした震源断層がどのようなものであったかは、地殻変動の解析結果などとともに後述するが、三陸沖から茨城沖までの長大な断層が動いたものと考えられている。

本震発生後、震源域及びその周辺においては余震が活発に発生し、本震直後に発生した茨城県沖の M7.7 の地震を最大として、M7 級の余震も複数発生している。また、震源域から離れた地域でも場所により地震活動が活発化した。長野・新潟県境や静岡県東部で発生した M6 級の地震も東北地方太平洋沖地震による地殻の応力状態変化を反映した誘発地震と考えられている。

3. 地震時の地殻変動

国土地理院が全国に展開している GPS 連続観測点網 GEONET により、東北地方太平洋沖地震に伴って、東日本を中心に大きな地殻変動が観測された（国土地理院, 2011）。図 1 は地震時の地殻変動を概観したものである（西村, 2011）。左図は、地震時の水平地殻変動を示したものであるが、東北地方を中心に東から南東方向の大きな変動ベクトルが広い地域で見られる。特に、牡鹿半島の電子基準点「牡鹿」（宮城県石巻市）では東南東方向に約 5.3 m の変位が観測されたが、これは 1994 年に国土地理院が全国で GPS 連続観測を始めて以来最大の水平変動量である。なお、これまでの記録は平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震時に電子基準点「栗原 2」（宮城県栗原市）で観測された約 1.5 m が最大であった。また、図 1 の右図は地震時の上下変動を示した図であるが、同じく「牡鹿」では約 1.2 m の沈降が観測されるなど、東

1)国土地理院地理地殻活動研究センター 地理地殻活動総括研究官 2) (同) 地殻変動研究室 室長 3) (同) 地殻変動研究室 主任研究官 4) (同) 地殻変動研究室 主任研究官 5) (同) 地殻変動研究室 研究官 6) (同) 地殻変動研究室 研究官

北地方の太平洋沿岸を中心に顕著な沈降が起きたことが確認できる。なお、1.2 m の沈降は1回のイベント時における沈降量としてはGEONET観測史上最大であるが、上下変動の絶対値としては岩手・宮城内陸地震時に同じく「栗原2」で約2.1 m の隆起が観測されているものが最大である（国土地理院、2009）。図には上下変動の等値線図が重ねられているが、宮城県沿岸と福島県沿岸で0.5 m 以上の沈降域があり、0.2 m 以上の沈降域は北は岩手県から南は茨城県沿岸まで広がっている。

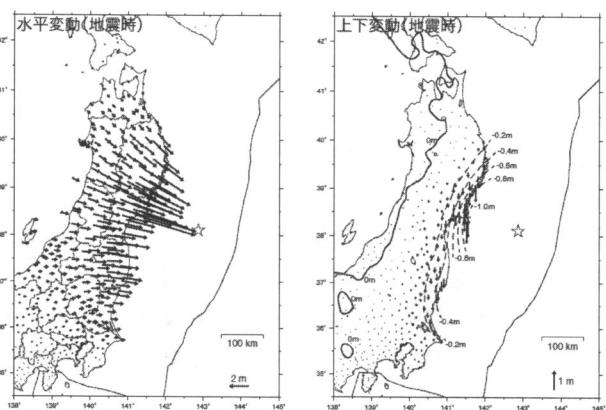


図1 東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動（左：水平変動、右：上下変動）。2011年3月10日3時から3月11日18時までの変動（Q3解による）であるため、本震の他に直後の三陸沖、茨城県沖などのM7級余震の影響も含む。固定局は島根県の三隅観測局。図中☆は気象庁による本震の震央。上下成分の等値線間隔は0.2mで沈降域の等値線は破線で示す。

図1の左図で見ると、1m以上 の水平変動が起きた地域は、宮城県を中心に岩手県、秋田県、山形県、福島県、茨城県に広がっている。東京都区内でも0.2m～0.3m程度の水平変動があり、位置の基準となる日本経緯度原点（東京都港区）の原点数値についても改定が必要となった。このため原点を含めた東日本一帯の基準点成果を更新する作業が実施された。2011年5月末には電子基準点の新成果が公表され、標石基準点については10月31日に新成果が公表された。また、日本経緯度原点については新しい原点数値が記載された測量法施行令が10月21日付で公布・施行されているが、経度の値で0.011秒の増加であった。なお緯度の値には変更がなく、日本経緯度原点はほぼ真東に動いたといえる。また、原点方位角は1.5

秒ほど増加（時計回りに振れる）している（表1）。原点方位角は経緯度原点から見た国土地理院構内（つくば市）のVLBI観測点金属標の方向について真北を基準として右回りに測った方位角で、つくば市が本震時に東向きに約50cm変位し、その後の余効変動でもさらに東に動いたことなどの影響を受けている。成果改定は高さについても行われており、東日本一帯で水準路線の改測を行い、日本水準原点の原点数値と水準点の成果を改定するための作業が行われた。改測の結果、日本経緯度原点と同じ測量法施行令改正により日本水準原点の原点数値は2.4cm低くなった（表2）。また、水準点の新成果も10月31日に公表されている。成果改定のための測量は一部地域において継続中であり、追加的な改定成果が2011年度中に公表される見通しである。

4. 断層モデル

地震時の地殻変動データから、震源断層の位置・形状と滑りの大きさを推定することができる。国土地理院では、断層の広がりと滑りの大きさを概観するため、長方形の断層面に一様な滑りを与えた「矩形断層モデル」をGEONETの観測データに基づき作成し、次に断層滑りがプレート境界面で起きたと仮定して滑りの向きと大きさを推定する「滑り分布モデル」を作成した（国土地理院、2011）。さらにGEONETのデータに加えて海底地殻変動の観測結果も加えた滑り分布モデルを作成した（国土地理院・海上保安庁、2011）。図2には海底地殻変動も加えたデータで推定した地震時の滑り分布モデルが示してある。太線が地震時の滑り分布を示す等値線であるが、震源よりも海溝寄りに滑りの中心があり、断層面は最大で約60mも滑ったことが推定されている。

このモデルに基づいて推算すると、震源域付近の海底面は10m以上隆起し、これが高い津波の原因となったと考えられる。また、断層面の広がりは、南北400km以上、東西約200kmにもおよび、この幅広い断層面が動いたことで波長が長く

表2 東北地方太平洋沖地震を受けた日本水準原点の原点数値の改定・新旧数値比較

水準原点の数値	標高（東京湾平均海面上）
政令改正前（地震前）	24.4140m
政令改正後（地震後）	24.3900m

表1 東北地方太平洋沖地震を受けた日本経緯度原点の原点数値の改定・新旧数値比較

経緯度原点の数値	経度（東経）	緯度（北緯）	原点方位角
政令改正前（地震前）	139° 44' 28.8759"	35° 39' 29.1572	32° 20' 44.756"
政令改正後（地震後）	139° 44' 28.8869"	35° 39' 29.1572	32° 20' 46.209"

データ期間 20110310–20110312 (F3解) 固定局：福江 (950462) + SGO by JC65

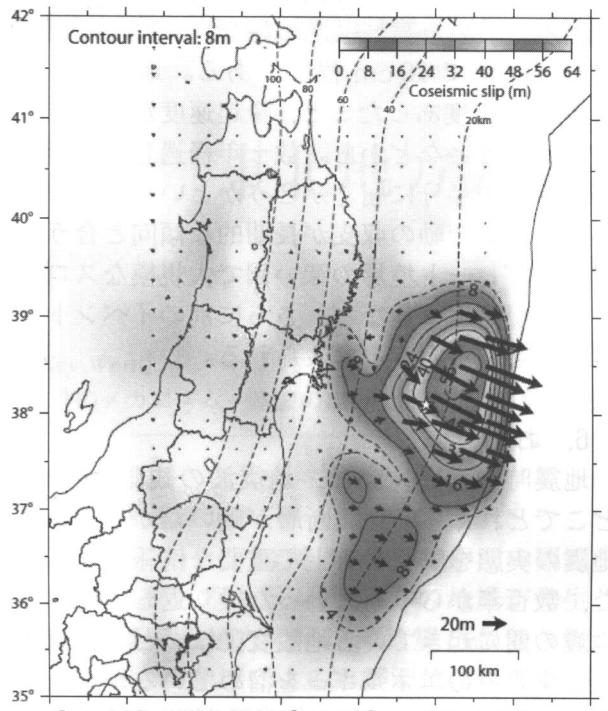


図2 東北地方太平洋沖地震の滑り分布モデル (GEO-NET データと海上保安庁による海底地殻変動観測に基づく)。星印（☆）は気象庁による震央。推定された最大滑りは震央の北東側の領域で約 60 m. Mw = 9.0 (剛性率 40 GPa を仮定)

浸水域が陸上奥深くまで到達するような津波となったと考えられる。今回のように仙台平野の奥深く津波が浸水することは、869年の貞觀地震津波の際にもあったことが津波堆積物の調査から確認されており、宮城・福島沖のプレート境界地震で規模はM8.4という震源モデルについての提案がされていた。今回の地震を受けての調査研究結果の見直しで、貞觀地震も東北地方太平洋沖地震のような超巨大地震であった可能性が指摘されている。

今回の地殻変動観測結果に基づく滑り分布モデルが示す重要な情報として、海溝軸近くでこのような非常に大きいプレート間滑りが地震時に起きたということが挙げられる。すなわち、地震前にその領域のプレート境界は強く固着していて、長期間にわたりそこに歪みを蓄積していたことが示唆されるのである。東北地方太平洋沖地震発生以前の調査研究では、日本海溝沿いのプレート沈み込み帯において、陸に近い宮城県沖の領域ではプレート境界の固着が強く、M7.5～M8程度の地震が繰り返し発生することで歪みが解放されると考えられていたが、海溝軸近くの領域では固着は弱く、太平洋プレートの沈み込みに伴う歪みは、スロースリップのような非地震性のイベントにより大部分が解消されると考えられていた。今回の観

測・解析結果はそれを覆すものであり、今後は、海溝沿いのプレート沈み込み境界では世界中のどこでも、そのような歪みの蓄積と巨大地震による解放があり得ると疑う必要が出てきたといえよう。

5. 余効変動

大地震後には、地震時の地殻変動と類似のパターンを持った地殻変動（余効変動）がしばらく続くことが過去の例でも観測されているが、東北地方太平洋沖地震についても、非常に顕著な余効変動が見られている。図3は2011年9月下旬まで本震後約半年間の地殻変動を示したものである（西村, 2011）。左図は水平変動を示したものであるが、東北地方を中心に東から南東方向の変動が続いていることが確認できる。なお、福島県南部から茨城県北部の周辺とは異なる目立った変動は4月11日の福島県浜通りの地震（M7.0）の影響によるものであり、新潟・長野県境付近に見られる変動は3月12日の長野県・新潟県県境付近の地震（M6.7）によるものである。これらは本震の余効変動とは分けて扱われるべきものである。

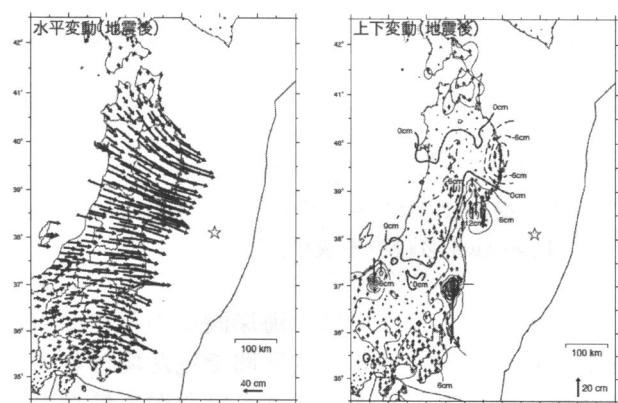


図3 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動(左:水平変動、右:上下変動)。2011年3月11日18時から9月27日18時までの変動 (Q3解による)。固定局は、島根県の三隅観測局。図中☆は気象庁による本震の震央。上下成分の等値線間隔は 3 cm で沈降域の等値線は破線です。

右図は同じ期間で見た上下変動である。地震時には全域で沈降であったものが、宮城県周辺で一部に隆起の領域となっていることが注目される。余効変動による隆起は、地震時に滑ったプレート境界面が地震後に深部延長上すなわち震源域よりも陸側で滑り続けることで生じる。現在観測されている余効変動は、そのようなメカニズムで発生していると推測される。図4は地震時と地震後のプレート間滑りの分布を重ねて示しているが、太線で描かれた地震時の滑り領域と比較すると、細

線で描かれた地震後の滑り領域は中心が西側にずれていて、余効的な滑りが実際にプレート境界の深い側で起きていることが想像される（西村，2011）。

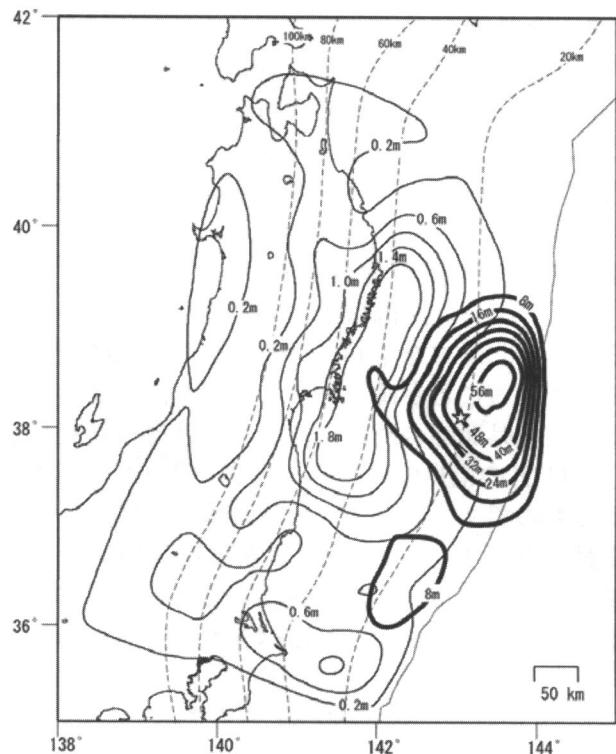


図4 プレート境界面上の地震時滑り分布（太線）と余効滑り分布。滑りの等値線間隔は、地震時が8 m、余効滑りは0.4 m (0.2 mの等値線を除く) となっている。破線は、プレート境界の等深線 (Nakajima and Hasegawa, 2006) を表す。

東北地方の太平洋岸は、海岸段丘の存在などから数万年から十数万年の長期間で見た場合わずかに隆起の場にあると考えられていたが、最近十数年のGPS観測や数十年から百年の駿潮観測、水準測量などでは沈降傾向にあったため、長期的な傾向と短期的な観測事実が合わないことがパラドックスとされていた。長期的な隆起傾向を説明するために、海溝型の巨大地震時に海岸が隆起するという仮説も提示されていたが、今回の地震時には海岸がさらに沈降したため、パラドックスは更に深まってしまった。上下変動の収支を解決するもう一つの可能性として地震後の余効変動による隆起が挙げられている。北海道東部太平洋岸では、17世紀に発生した巨大地震の後、数十年間隆起が続いたことがケイ藻分析の結果から判明しており、東北地方太平洋沖地震後にも同様の顕著な隆起が起きることを予想した専門家もいる。ただし、現在観測されている隆起の速度と空間的広が

りは、期待されたほど大きくない。余効変動で最も隆起している宮城県内の観測点においても、隆起量は半年で10 cm程度である。地震時の沈降量が1 m程度あったこと、隆起速度が次第に減衰していることなどから、数十年経過しても隆起量は沈降量の半分に届くかどうかといったペースである。上下変動の収支が長期的な傾向と合うためには、プレート境界の深い側で大規模なスロースリップが発生するなど、さらに別のイベントを想定する必要があると考えられる。

6. おわりに

地震時の地殻変動は、地震波の観測と併せて、どこでどれくらい地震断層が動いたかを知り、大地震の実態を解明する上で重要な情報となる。また、数百年から千年といった繰り返しで起きる大地震の間に起きている地殻変動は、どこに地震を起こす歪みのエネルギーを溜めているかを推測する上で重要である。このような情報を積み重ねることで、「どこで」「どれくらいの大きさの地震が」「どれくらいの頻度（間隔）で」起きるかを推測することが可能となると考え、これまででも研究が行われてきた。しかしながら、プレートの沈み込み帯で繰り返し起きている大地震のサイクルのうち、われわれが1世代の間で観測できる期間は限られている。また、地殻変動の観測点が陸上に偏っていることなどから、東北地方太平洋沖地震の震源域でM9といった大規模の地震を起こす歪みが溜まっている可能性があることについて、見誤っていたことが悔やまれる。しかしそれだからこそ、発生した巨大地震と地震が起きていない時期の状態について、われわれはしっかりと観測をしてデータを集め、今後の大地震への備えをしていくことが、未来のために大切だと考えている。

参考文献

- 国土地理院, 2011, 東北地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 第86巻, 184-272.
- 西村卓也, 2011, 東北地方太平洋沖地震の地震時・地震後地殻変動と地殻変動から推定した滑り分布, 地震学会ニュースレター, 2011年11月号, 12-16.
- 国土地理院, 2009, 東北地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 第81巻, 208-263.
- 国土地理院・海上保安庁, 2011, 東北地方太平洋沖地震の陸域及び海域の地殻変動と滑り分布モデル, <http://www.gsi.go.jp/cais/topic110520-index.html>

東北地方太平洋沖地震の津波災害

【Key Word】

津波のメカニズム、津波の高さ、浸水範囲、津波防波堤、津波防災対策

原 口 強*

1. はじめに

2011年3月11日14時46分、我が国の観測史上最大となるマグニチュード9.0の地震が発生した。2011年東北地方太平洋沖地震と命名されたこの地震は、気象庁によると震源位置は北緯38.1度、東経142.9度、深さは24km、震源域は長さ約450km、幅約200km、すべり量は20~30m程度とされている¹⁾。

この地震により引き起こされた津波は、太平洋沿岸の広範囲に到達した。特に波源域に近い東日本の太平洋沿岸を襲った大津波は、高さ20mを越え、平地では内陸数kmまで浸入して集落や都市をことごとく破壊し尽くし、甚大な被害をもたらした。人的被害は死者15,960人、行方不明者4,004人（2011年9月9日時点）に及び²⁾、そのほとんどが津波によるものとされている。

地震前の想定では日本海溝沿いは8個のセグメントに分割され、宮城県沖と三陸沖南部海溝寄りのセグメント以外はそれぞれが独立して地震を起こすと³⁾され、これを初期条件として津波予測が行われていた。しかし、今回は三陸沖中部、宮城県沖、三陸沖南部海溝寄り、福島県沖、茨城県沖、三陸沖北部から房総沖の海溝寄りの一部を含めたセグメントが連動・破壊し、強大な津波が引き起こされた。

一方、日本海溝沿いのどの地域でも明治三陸津波地震と同程度の津波地震が起こる可能性を、地震調査委員会は2002年に指摘・公表していた³⁾。

今回の津波については、津波発生直後から、大学や研究機関などで構成された合同調査グループによる現地調査（筆者も参加）が実施され^{4,5)}、その結果は情報共有サイトで公開⁶⁾されている。

筆者は発災後の被災地への立入を自粛していた

が、気仙沼市の要請により3月26日から湾内の海域被災調査に入った。海域調査終了後、津波浸水域調査を開始し、気仙沼、陸前高田、…と下北半島まで北上し、南下して千葉県館山までの海岸線を現地調査し、結果を地図^{7,8)}としてまとめた。

本文では、これらの経緯を踏まえ、今回の津波の特徴と津波被害の状況等をまとめ、津波防災対策のあり方について述べる。

2. 津波のメカニズムとその特徴

2.1 津波のメカニズム

佐竹ほか⁹⁾は、全国の検潮所などで観測された津波波形を用いて、波源域の広がりや津波を起こした断層面上のすべり分布を計算し、波源域は岩手県沖から福島県沖の長さ350km程度に伸び、特に日本海溝付近での海底の変動が大きかった⁹⁾（図1）としている。

さらに釜石沖の海底水圧計とGPS波浪計で記録された津波波形（図2）を解析した結果、最初の

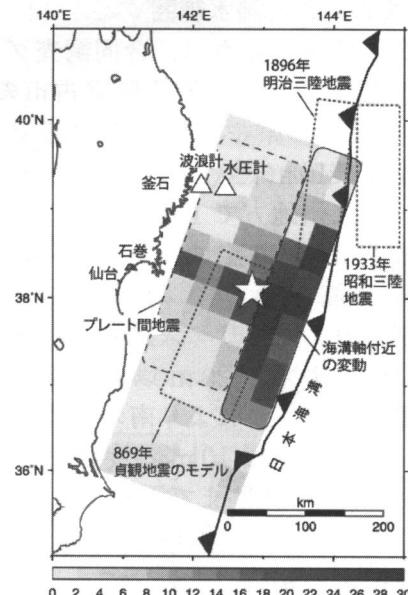


図1 東北地方沖で発生した津波の波源域⁹⁾

* 大阪市立大学大学院理学研究科・准教授

やや長周期の波はプレート間地震による沿岸に近い部分からの津波で、それに続くより短周期・大振幅の津波は日本海溝の海溝軸付近で発生したもので、それぞれ最初の海面上昇とそれに続く短周期・大振幅の津波に対応する⁹⁾、としている。

すなわち、東北地方太平洋沖地震の津波は、プレート間地震によるものと海溝軸付近の変動の両方が原因で、前者は貞観津波のモデルとして採用されたプレート間地震モデルとよく似ており、仙台平野や石巻平野での数kmにも及ぶ浸水域を説明でき、後者は明治三陸津波と似ているが、明治三陸地震より南部でさらに大きな変動が発生した⁹⁾、としている。

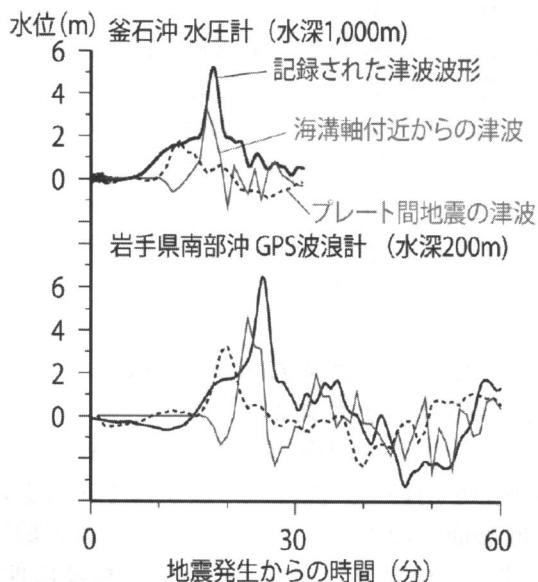


図2 釜石沖の海底水圧計及びGPS波浪計で記録された津波（太線）。破線はプレート間地震から計算された津波波形、グレーの実線は海溝軸付近の変動域のみから計算した津波波形。⁹⁾

2.2 津波の高さと浸水範囲

日本各地の津波の高さは、合同調査グループ⁶⁾によると、震源域に近い岩手県宮古市の39.7mを最大として岩手県や宮城県の北部で20m以上、関東地方で10m近く、北海道で5m強、四国地方で3m、九州地方で1m程度の津波となり、その影響範囲は極めて広域に及んでいる。

牡鹿半島を境に北と南で津波の高さや浸水範囲が明瞭に異なり、北のリアス式海岸では浸水域は谷沿いに限定されるが20m以上の高い津波が集中する（図3）。一方これより南の平野が発達する地域では、津波高さは10m程度以下と低いものの、海岸から数km内陸まで浸水している（図4）。

3. 津波による被害

今回の津波は、公共の建物、道路、港湾、漁港、

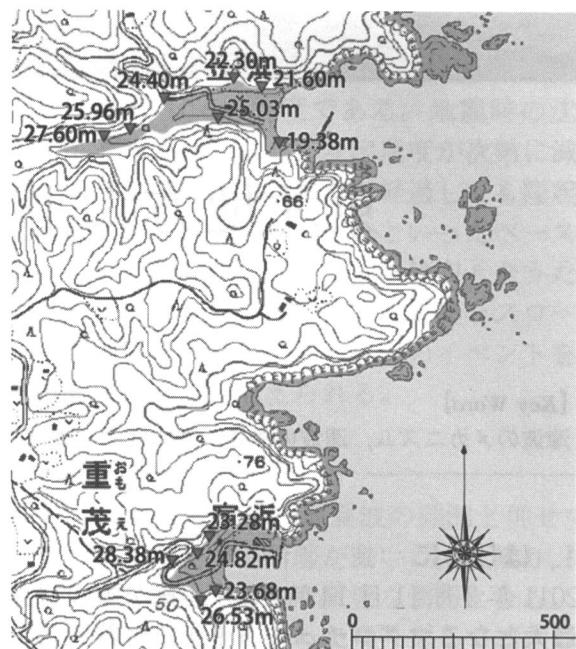


図3 リアス式海岸での浸水例（宮古市重茂）⁷⁾



図4 平野部の浸水例（岩沼市仙台空港付近）⁷⁾

空港などや人家を破壊し、莫大な被害を与えた。ここでは主に海岸保全施設に焦点を絞り、いくつかの事例を述べる。

3.1 海岸堤防の被害とメカニズム

被災前の岩手県宮古市田老町は、市街地の中にX字形に設置された高さ10m、総延長2,433mの新旧の堤防によって守られていた。旧堤防の外には当初集落はなかったが、その後堤防の外に増えた住居を守るために新堤防が建設された。

今回の津波はまず新堤防を越流・破壊し、旧堤防を乗り越えて浸入し、人的にも物的にも壊滅的な被害を市街地全域にもたらした（図5）。

破壊した新防潮堤は傾斜型で、津波を正面から受け止める配置となっている。破壊後の形態から、①津波の越流、②裏のり堤防基部の洗掘、③



図5 田老の浸水状況と破壊した新防潮堤⁷⁾

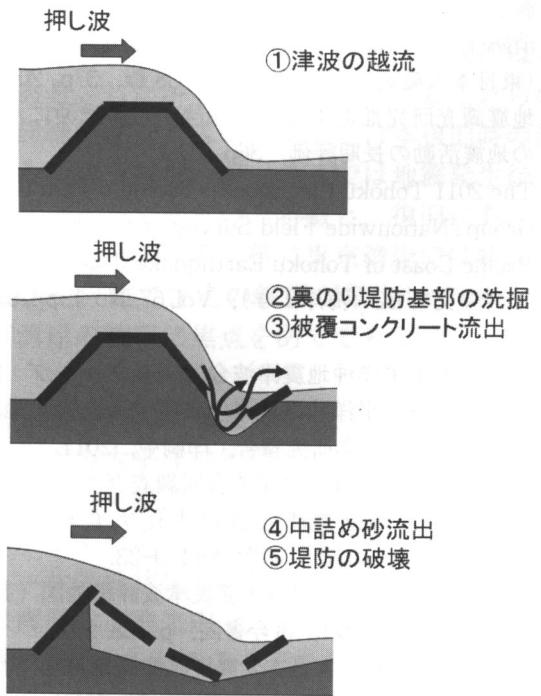


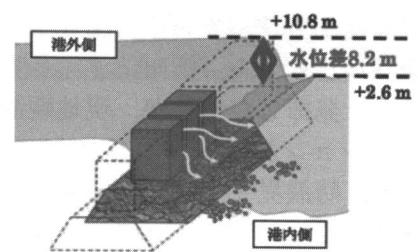
図6 田老、新防潮堤の破壊プロセス

被覆コンクリートの流出、④中詰め砂の流出、の順で堤防の破壊に至った（図6）と判断される。

一方、破壊を免れた旧堤防は、川沿いに設置され津波の波力を斜めに受け流す配置となっていた。

3.2 津波防波堤の被災メカニズムと防護効果

岩手県釜石港の津波防波堤は、最大水深63mの湾口部に、津波の流入を防ぐことを目的として約30年の歳月と1,400億円以上の巨費を投じて建設されていたが、今回の津波により破壊された。



① 防波堤が津波を堰止め、ケーソン前後で8.2mの水位差発生

② 水位差によりケーソンに強い水平力が働くとともに、目地部に強い流れ発生

③ 強い流れでケーソンが押されたり、マウンドが洗掘され、ケーソンがマウンドから滑落

図7 防波堤の被災メカニズム¹⁰⁾

防波堤の構造は、捨石マウンド基礎の上にケーソンを据えつけたものである。被災メカニズムとしては、ケーソンがマウンドの下まで滑落した部分は津波が防波堤を超えて越流が生じたときに防波堤前面と背面の水位差が生じて流されたこと、傾いたものはマウンドの石が津波の流速によって洗掘されたこと、が原因（図7）¹⁰⁾としている。

釜石市内は津波により大きな被害を受け、浸水

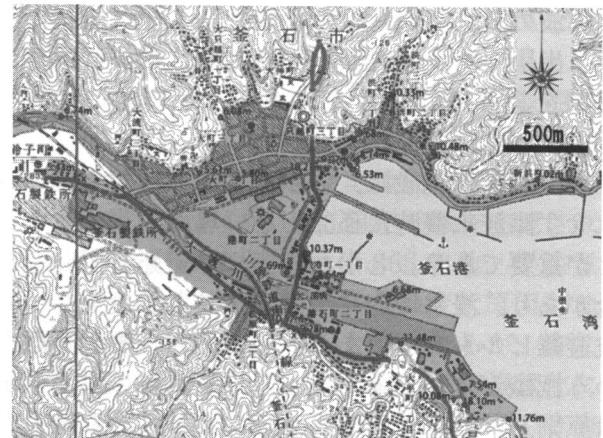


図8 釜石市内の浸水状況⁷⁾

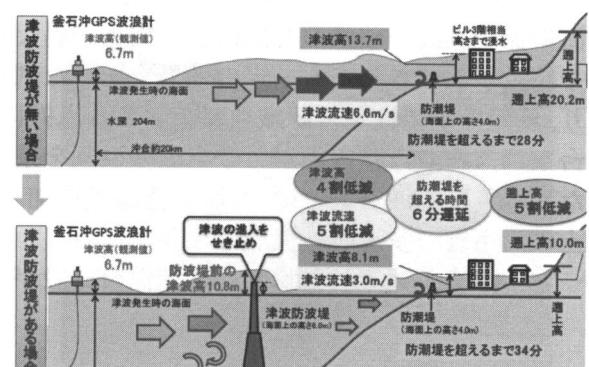


図9 釜石における防波堤の防護効果¹⁰⁾

域は釜石駅付近まで及んでいる（図8）。

一方破壊されたものの、湾口防波堤と堤防は一定の防護効果を発揮したことが、現地観測ならびにシミュレーション結果から示された（図9）¹⁰⁾。それによると、防波堤・堤防がない場合の最大海上津波高さは20.2mが防波堤・堤防によって10.0mに抑えられ、堤防を越える時間も6分引き延ばすことができた¹⁰⁾、としている。

4. 津波防災対策のあり方

津波は、その発生を止めることはできない。しかし、津波から命や財産を守ることはできる。こうした意味で被災した地域を含めわれわれは、世代を超えて東日本大津波の事実を受け継いでいく必要がある。

津波防災対策について以下にまとめた。

(1) 自助と避難

防災には自助・共助・公助が必要であるが、津波から命を守るにはまず自助、すなわち自分の命は自分で守ることが基本である。日頃の訓練通りに避難して助かった釜石の小中学生の事例が示すとおり、情報を待たずに避難することがます重要である。ただし津波は繰り返し来襲するので、リアルタイムで監視し、これを住民に的確に伝える仕組みを作ることも有効である。

津波の教訓を伝承する手段として津波遺構の保存、出版、防災教育などがあるが、過去の津波の実態を具体的に知っておくことが自助につながる。

避難場所・施設は、いかなる津波に対しても浸水せず津波来襲時に孤立しない場所を選定することが重要である。しかし現実には避難が困難な場合があり、浸水域内に十分な高さと強度を持つ津波避難ビルも有用である。その場合、緊急避難という認識が重要である。さらに自動車による避難は原則避けるべきだが、地域の実情に合わせた避難計画も必要である。

(2) 多重津波防護機能と津波に強いまちづくり

海岸保全施設の破壊の有無により被害が異なる例や施設が破壊されても一定の効果をあげた例があり、施設の重要性が再認識された。これ以外に、仙台東部道路の道路盛土が第2線堤の役割を果たした。今後の津波対策では、海岸保全施設に加え、盛土の活用等の多重防護機能も重要である。

一方、津波が越流した瞬間に海岸保全施設が破

壊・倒壊すると、その防護効果が急激に小さくなり、被害が一気に拡大し人命にも大きな影響を及ぼす。このため、施設が瞬間に破壊しない構造物の粘り強さ設計も今後必要である。

さらに、復旧・復興を行いやすい津波に強いまちづくりを目指した対策が重要である。

被災地の復興では現実には津波浸水域を活用することになるため、津波のリスクを認識した上で防災計画・土地利用計画を策定する必要がある。

(3) 長期に維持できる防災対策の必要性

津波は巨大災害をもたらす一方で、その発生頻度は低い。このため10年、20年と時が経ち、まして津波を経験していない世代となると人びとの中で、その記憶が薄らいでいく。これらハードとソフトが一体となった津波防災対策を100年以上の長期にわたって持続できる仕組みが必要である。

参考文献

- 1) 気象庁：「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」について、第28報、21p., 2011.
- 2) 消防庁：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）について、第138報、37p., 2011.
- 3) 地震調査研究推進本部：三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価、36p., 2002.
- 4) The 2011 Tohoku Earthquake Tsunami Joint Survey Group : Nationwide Field Survey of the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake Tsunami, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol. 67, No. 1, pp. 63-66, 2011.
- 5) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ：2011年東北地方太平洋沖地震津波に関する合同現地調査の報告、津波工学研究報告、印刷中、2011.
- 6) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ、東北地方太平洋沖地震津波情報共有サイト、<http://www.coastal.jp/tjt/>、参照2011-9-23.
- 7) 原口強、岩松暉：東日本大震災津波詳細地図（上巻：青森・岩手・宮城）、古今書院、p. 168, 2011.
- 8) 原口強、岩松暉：東日本大震災津波詳細地図（下巻：福島・茨城・千葉）、古今書院、p. 98, 2011.
- 9) 佐竹健治・酒井慎一・藤井雄士郎・篠原雅尚・金沢敏彦：東北地方太平洋沖地震の津波波源、科学、Vol. 81 No. 5, 2011.
- 10) 中央防災会議、東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会、釜石港湾口防波堤の被災状況、第3回資料、2011

液 状 化 災 害

【Key Word】

東日本大震災, 液状化, ライフライン, 戸建て住宅

やす だ
安 田 進

1. はじめに

東日本大震災では東北から関東にかけて広い範囲で液状化が発生し、戸建て住宅やライフライン、道路、河川堤防を中心には甚大な被害が発生した。特に26,000戸とも言われている戸建て住宅の被害は甚大であり、地震から8カ月経ってもまだほとんど沈下、傾斜したままで復旧が進んでいない。また、ライフラインや道路、河川堤防といった公共施設は仮復旧が行われただけで、本復旧は今からである。したがって、液状化によるこれらの被害の詳細やメカニズムに関しては本復旧時の調査を待たねばならないが、ここでは地震発生後これまでに分かってきている特徴と、復旧にあたっての課題を述べてみる。特に東京湾岸では特異な地盤変状や戸建て住宅の被害が発生しているので、東京湾岸の被害に焦点をあててみる。

2. 液状化による被災概況

東北地方太平洋沖地震では東北から関東にかけて非常に広い範囲で液状化が発生した。地震の規模が大きくなると当然液状化が発生する範囲も拡がる。今回液状化した地点で最も震央距離が長いのは南房総市池之内で、若松によるとその震央距離は440kmとのことである。

発生した液状化を地形や構造物によって大まかに分類すると表1のようになる。海岸の埋立地の液状化は東京湾岸を始め、茨城県などの太平洋沿岸の多くの地区で発生した。ただし、太平洋沿岸では津波のために液状化の痕跡が分からなくなつて、液状化が発生したか否か判断できない地区が多い。例えば名取市閑上では、津波来襲前に液状化が発生している写真が撮影されているが、津波でかき消されてしまった。

川、池などの埋立地の液状化は利根川沿いなどの平野部で多く発生した。例えば香取市で広く液状化した区域は利根川の一部を埋め立てたところであり、潮来市で液状化により甚大な被害を受けた日の出地区は内浪逆浦を埋めた所である。

仙台や須賀川、白河などの丘陵地の造成宅地では盛土がすべり沈下して住宅に深刻な被害を与えていた。仙台市で被災宅地危険度判が行われた結果によると、5月19日現在で調査宅地された3,880宅地のうち危険宅地は868宅地、要注意宅地は1,210宅地であった。盛土の変状原因は地震力によるすべり破壊が多いと思われるが、中には噴水・噴砂も発生し明らかに盛土材の液状化による被害も発生している。写真1は茨城県の東海村の造成宅地で発生した液状化であり、付近一帯に

表1 発生した液状化の分類と地区

分類	主に発生した地区
海岸の埋立地	東京湾岸、太平洋岸
平野の川、池などの埋立地	関東や東北の河川沿い
丘陵の造成宅地における池などの盛土地	宮城・福島・茨城県内の造成地
河川堤防の基礎地盤や堤体	関東や東北の河川堤防
埋設管の埋戻し土	福島県など
砂鉄を採取するために掘削し埋め戻した土	旭市

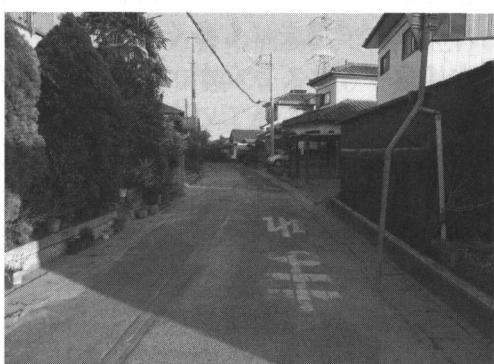


写真1 丘陵の造成宅地での液状化例

* 東京電機大学理工学部 教授



写真2 堤防の特異な被害（江合川左岸 21 km）



写真3 のり尻で見られた噴砂（江合川左岸 14 km）

噴砂が生じて家屋が被災していた。同様な液状化による被害は仙台市の旭が丘や南光台でも発生していた。

東北地方では江合川・鳴瀬川・吉田川、関東地方では利根川・小貝川・那珂川など、今回の地震では非常に広範囲に河川堤防が沈下や陥没といった被害を受けた。国土交通省関東地方整備局によると関東では939箇所（9月13日現在）の堤防等河川管理施設が被災した¹⁾。堤防が大規模に被災した54箇所について詳しく調査されたところ、51箇所は液状化による被害であることが明らかにされた。このうち、基礎地盤の液状化による被災箇所が約7割、堤体の液状化による被災箇所が約1割、基礎地盤・堤体の複合液状化による被災箇所が約2割であった。基礎地盤の液状化は旧川を締め切った所などで過去にも多く発生しメカニズムも明らかになってきてきたが、堤体土の液状化はあまり明らかになってきていないかった。これに対し、今回の地震では写真2、3に見られるような特徴的な被害が多く発生し、そのメカニズムも明らかになってきた。このパターンは粘性土からなる地盤上に砂質土で築堤した場合に生じ、圧密沈下により堤体土が地下水以下になり、また、基礎地盤が不透水層になるため堤体内にも水位が上がって液状化しやすくなる部分が生じるために

発生することが明らかになってきた。このような場合にはのり尻付近地盤を改良をしたり矢板を打設しても対策にはならないので、堤体土内の飽和した部分を改良するといった新たな対策工法を開発する必要が出てきている。

その他、下水管を埋設する際に掘削後に埋め戻した土が液状化して管渠やマンホールが浮き上がった被害も須賀川市などで発生した。また、千葉県旭市では砂鉄採取のために掘削して埋め戻した土が液状化し、住宅などに被害を与えた。

3. 東京湾岸で発生した液状化被害とその特徴

東京湾岸の埋立地では千葉県から東京都、神奈川県と広い範囲で液状化し、1万戸を超す戸建て住宅が液状化により沈下、傾斜した。筆者は地震の翌日から約10日かけて研究室の学生諸君と手分けして東京湾岸を調査してまわった²⁾。その結果に、国土交通省関東地方整備局から委託され地盤工学会で検討した結果³⁾を加えて、液状化したと判断される地区を示すと図1のようになる。これに見られるように東京都の新木場から千葉市の千葉港付近までの広い範囲で一面に液状化が発生した。この地域の液状化による地盤の変状および構造物の被害の特徴を上げると以下のようになる。

(1) 地盤の変状の特徴

①噴水・噴砂は、所々で発生したのではなく一面に発生し、広い範囲で激しい液状化が生じた。搖れの振幅はあまり大きな値ではなかったが、継続時間は長く、また、29分後に大きな余震が襲ったことが、このような激しい液状化を生じさせたものと考えられる。

②噴水がひいた後に残った噴砂の量は非常に厚く、筆者達が見た最大のものは30cmほどの厚さもあった。

③広域にわたって地盤が沈下し、支持層まで打設してある杭の抜け上がりが多く発生した

④幹線道路の歩道や生活道路などでは盛り上がりや迫上がりが各地で発生した。ただし幹線道路自体はほとんど無被害であった。

⑤護岸はあまり孕み出さなかった。

⑥液状化したのは埋立地ばかりで自然堆積地盤の古隅田川沿いなどでは液状化しなかった。

(2) 構造物の被害の特徴

⑦数多くの戸建て住宅が大きく沈下・傾斜した。

⑧杭で支えられている中・高層アパートや高架橋、橋梁などの大型構造物はほとんど無被害だった。



図1 東京湾岸においてお台場から千葉にかけて液状化が発生した地区

ただし、建物自体に被害がなかったといえども、周囲の地盤は沈下したため大きな段差が発生し、また、埋設管が被害を受けた。したがって、住民の方々はしばらくは外の仮設トイレを使用せざるを得ないなど不便な生活を余儀なくされた。

⑨下水道管、ガス導管、水道管など埋設管が多く被災した。一般埋設部に加えて宅地内への取り付け管も被災した。

⑩電柱は各地で最大2m程度も沈下し、電線が垂れ下がって通行の妨げになる所も発生した。

以下にはこのうち3つのポイントに絞って、被災状況や考えられるメカニズム、復旧時の問題などを述べてみる。

4. 長い継続時間と余震が液状化発生に与える影響

K-net⁴⁾の地震記録をみると、200cm/s²前後の地表最大加速度が記録されている。これらの値はレベル1地震動の加速度程度であり、そんなに大きなものではない。図2に液状化が発生したK-net稻毛の波形を示す。110秒あたりから大きく揺れているが、120秒あたりを超えると加速度振幅は急に小さくなり長周期化している。一方、液状化しなかったK-net浦安の波形を図3に示すが、この波形では120秒付近のピークを超えて150秒あたりまで大きな振幅が続き長周期化もしていない。したがって、稻毛では120秒付近で液状化が発生したものと考えられる。

東京湾岸では本震に加えて29分後に大きな余震が襲った。浦安の余震は本震の約半分の加速度振幅であった。浦安や新木場では本震でジワード水が噴き出していたところに余震が襲って噴水の勢いが激しくなったとの証言がある。また、千葉

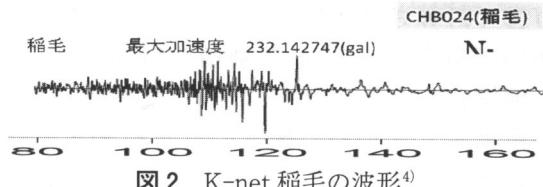


図2 K-net 稲毛の波形⁴⁾

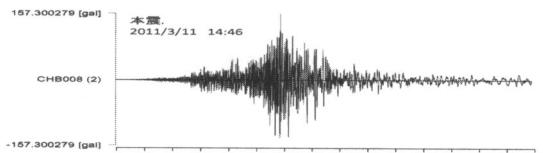


図3 K-net 浦安の波形⁴⁾

市美浜区では本震で噴水が隣の地区生では本震の時に噴水は生じていなく余震の時に噴水が初めて生じたとの話もある。ここではある程度過剰間隙水圧が発生していてそれが消散しきっていないところに余震が襲って、液状化したのであろう。このように本震の継続時間が長かったことに加えて、29分後に襲った余震も、加速度振幅が大きくなかったのにも係わらず激しい液状化が発生したことに関係していると考えられる。

このように継続時間が長かったことは、今回の液状化発生を解釈する上で考慮する必要がある。例えば、道路橋示方書の簡易式で液状化の判定を行う場合には補正係数Cwを1.0ではなく、最大0.5あたりまで小さくした値をとる必要があると考えられる⁵⁾。そこで東京湾岸の地盤に対してCwを小さくとった場合の液状化判定結果への影響を試算してみる。筆者らは地盤工学会の「関東の地盤」および千葉県で公表されている地盤データをもとに内陸から海岸にかけての各市における代表的な土層断面図を推定している⁶⁾。が、そのうち浦安を通る3-3'断面を図4に示す。この断

面の陸側は三角州性の干拓地にあたり液状化しなかったのに対し、海側には厚さ 8 m 前後の埋立層と盛土層がありこれが液状化したと考えられる。なお、断面図作成にあたっては中央開発(株)で公開されているフリーソフト GeoBuild と LayBuild を用いた。

この断面に対し液状化に対する安全率, F_L を計算した結果を図5に示す。ここでは設計水平震度 k_{hg} として東京湾岸で観測されたおよその平均地表面加速度 176 cm/s^2 に相当する $k_{hg} = 0.18$ で設定した。また、補正係数は地震動の継続時間が長かったことを考慮して $C_w = 0.75$ の値を仮定してみた。そして、液状化強度比 R_L および繰返せん断力比 L を道路橋示方書の簡易式で求めた。ただし、東京低地の沖積層の液状化強度は道路橋示方書で計算される値より大きいとの研究成果⁷⁾を用いて細粒分に応じた割増を行っている。また、細粒分含有量は N 値と相関がある⁷⁾ため、 N 値から推定している。図5の計算結果を見ると、液状化地点の F_L は非液状化地点のそれに比べて全体に小さく、1を下回っているといえる。ただし、液状化した層を厳密に判断するためには今後以下のような検討が必要である。

①埋立層、沖積砂質土層の液状化強度を精度良く求めるために、不攪乱試料を採取して、繰返し三軸試験などを行う。

②波形の補正係数を正確に求めるために、不攪乱試料による繰返しねじせん断試験や有効応力解析を行う。

①に関しては現在いくつかの機関で不攪乱試料採取および室内試験が実施されているので、その成果が期待される。今回液状化した土が数10%も細粒分を含む細粒土であるため、簡易式が妥当でない可能性がありこのような試験の実施が望まれている。振り返ってみると、今の道路橋示方書の液状化強度式の原型になる式を導く時に最初に不攪乱試料を採取して試験が行われたのは1976年で、新木場駅西隣の曙橋であった。当時は緩い砂の不攪乱試料をチューブサンプリングによって採取する方法や運搬方法に関して種々の技術開発が熱心に行われていた。その後、凍結サンプリングしか不攪乱試料は採取できないのではないかとの風潮が高まり、チューブサンプリングの熱が冷め、それとともにせっかく開発した技術もすたれてしまった。今回、埋立土と沖積砂層をステンレスの固定ピストン式シンウォールチューブサンプリングで注意して採取したところ、 N 値が5~20程度の砂質土がうまく採取できている。今回の地

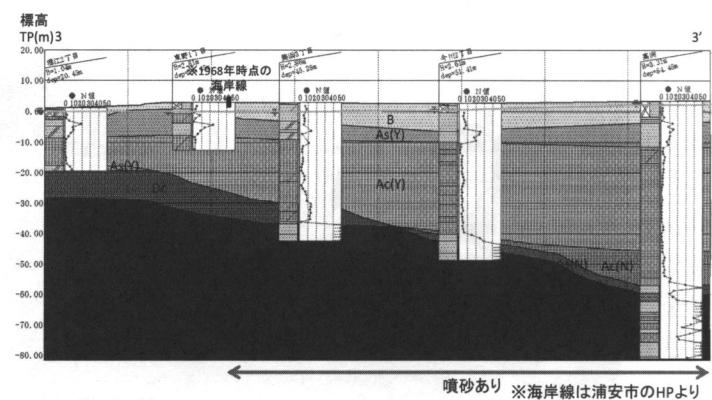
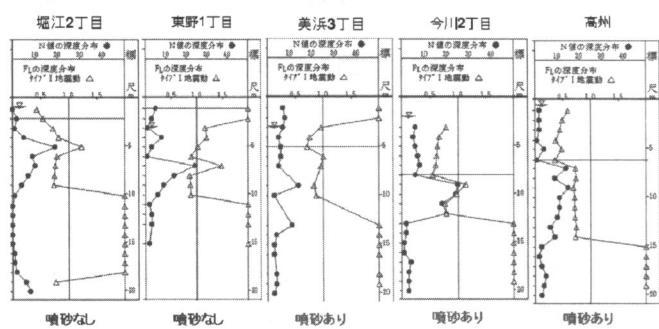


図4 浦安3-3'想定土層断面図⁶⁾



浦安3-3'断面、 $k_{hg}=0.18$ 、 $C_w=0.75$ と設定

図 5 液状化検討結果

震を契機にチューブサンプリングの技術を復活させる必要があると筆者には思われる。

②の波形の補正係数に関しては、地震後にいくつかの機関で累積損傷度によって計算が行われている。筆者達も試みてみたが、一般的な累積損傷度の方法では求まらないことがひしひしと分かつてきた。それは地震動の最初から最後まで一つの液状化強度曲線だけの曲線を用いているからである。液状化を対象にしているので、過剰隙間水圧が上がってくると当然液状化強度曲線自体が変化してくるはずであるが、それを考慮できていない。したがって、継続時間がいくら長くても C_w の値はあまり小さくならない。これを正確に求めるためには、地震波荷重を与えた繰返しねじりせん断試験や、有効応力解析に頼るしかない。なお、前述した方法で新木場から千葉にかけての断面で液状化判定を行い、さらに液状化指數 P_L を求めた結果をまとめて図6に示す。ここでは $C_w = 0.75$ と 1.0 と仮定した場合の P_L 値を比較している。 $C_w = 1$ の場合は大半の P_L 値が 10 程度以下であるが、 $C_w = 0.75$ と仮定すると大半の P_L 値が 20 程度以上になる。したがって、 $C_w = 0.75$ 程度と考えた場合には、加速度振幅はレベル 1 地震動であるにも関わらず、液状化の程度はそれより激しいものであったと考えた方が良いことになる。い

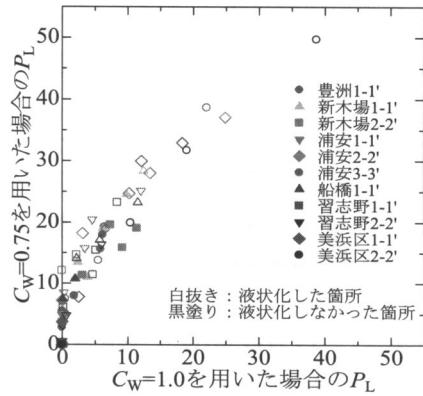


図 6 $C_w=1.0$ と $C_w=0.75$ の場合の P_L の比較

ずれにせよ、今回の地震波における波形補正係数に関して研究が必要である。

5. 液状化した後の揺動が構造物の被害に与えた影響

写真 2, 3 に示したように幹線道路の歩道や生活道路、高架橋、旧護岸の際などで路面が突き上げられたように盛り上がっている箇所が至る所で発生した。インターネットに出されている地震時の動画を見ると液状化した地盤がその後も水平方向に大きく揺すられ続けたものがいくつかある。この大きな揺動は本震中に生じた可能性もあるし、液状化状態が続いている間に余震によって大きく揺すられたために発生した可能性もある。写真 4 は新木場の京葉線の高架橋沿いの歩道で撮ったものであるが、高架橋が揺れを拘束したため歩道部に水平方向のひずみが集中し座屈したようになって、迫上がりが生じたものと思われる。また、幹線道路は硬くしっかりした路盤になっているため揺れを拘束し、隣接する軟らかい歩道部が迫上がったものと思われる箇所も多くあった。このような特異な揺動現象が発生したメカニズムに関して今後さらなる検討が必要である。

さて、甚大な被害を受けた下水道の本復旧はこれからであり本当の被害の実態が分からぬが、下水道管の被害に関しては以下の特異な被害があったようである。

①管渠には蛇行やたるみが生じ、継手がはずれたものが多く発生し、管渠内に砂が多くはいり込んでいた。本管から宅地内に入る箇所でも被害が多く発生した。

②マンホールが浮き上がった率は新潟県中越地震による長岡などの被害に比べて少ない。一方、幹線道路の歩道などでマンホールの軸体ズレが多く発生し、また、砂が多くはいりこんでいた。

長岡などで過去に被災したパターンは、掘削し



写真 4 新木場の高架橋そばで迫り上げた歩道

た溝に埋め戻した土だけが液状化したため、浮上がりによる上下方向のたるみが主に発生した。この場合には浮き上がっても継手がはずれるまでの変位は発生しなかったと考えられる。逆に今回は大きな揺動により、水平方向に継手がはずれるほどの変位が発生したのではないかと考えられる。また、幹線道路の歩道付近ではひずみが集中し、マンホールをずらせてしまったのではないかと考えられる。そして砂が管渠やマンホールに大量に流入し、浮き上がり難かったのではないかと考えられる。また、地震から 8か月経った現在も舗装下の空洞調査が進められて多くの空洞が発見されているが、その原因の一つに下水管渠やマンホールに砂が流入したこともあるかもしれない。

本復旧にあたって、もしこのようなメカニズムで被災しているようであれば、管渠がはずれにくい継手を使用し、ずれ難いマンホールを使用するなど、単に埋め戻し土の液状化対策だけでなく、特別な工夫も必要になってくるのではないかと思われる。

6. 戸建て住宅の被害の評価と復旧について

液状化による家屋の沈下・傾斜は一見して大した被害と見られない。浦安市で地震後に行われた調査では、従来の基準による建物被災度認定方法で、全壊 8 戸、半壊 33 戸、一部損壊 7930 戸、被害なし 1028 戸であった⁸⁾。ところが、人間の感覚は非常に微妙なもので、少しでも傾いた家の中に住んでいると、目眩や吐き気を感じる。2000 年鳥取県西部地震の際に被災した米子市の安倍彦名団地では住民の方々が家の傾斜角をまとめられたが、それによると、1/100 (0.6 度) 程度以上傾くとそこで生活できないので家を持ち上げて水平化せざるを得なかった⁹⁾。今回はこのことが広く認識され、地震から約 2 カ月して内閣府から新しい被害認定基準が出された。これをもとにすると、浦安市の場合は、全壊 18 戸、大規模半壊 1541 戸、半壊 2121 戸、一部損壊 5096 戸、被害なし 1105 戸

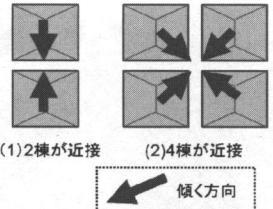


図7 隣接する家屋が傾斜するパターン

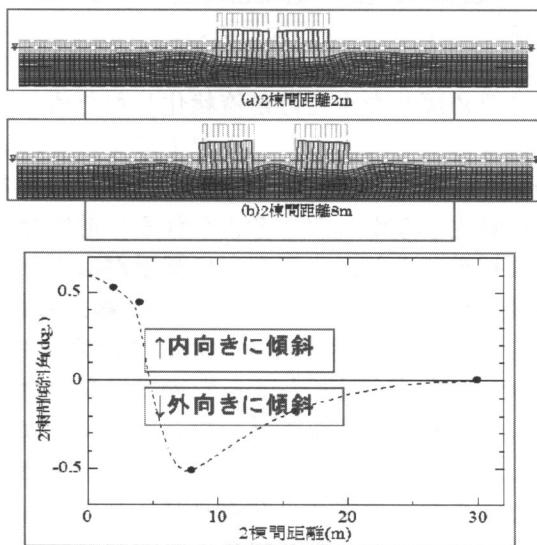


図8 隣接する家屋の傾斜に関する解析例¹⁰⁾

となり、全壊、大規模半壊、半壊の戸数が大幅に増えた。

家屋の傾斜の方向としては図7(1), (2)に模式的に示したように、2棟の場合には内向きに、また4棟の場合は中心に向かって傾く傾向が多々見られた。これらは安倍彦名団地などの事例と一致していた。図8には隣接する2棟の距離が傾斜角に与える影響に関し筆者達がALIDにより解析を行ってみた例¹⁰⁾を示すが、傾斜角は隣接する建物の影響をかなり受けると考えられる。

さて、地震から8カ月以上経っても被災した家屋はまだあまり復旧されていない。どのような復旧をすれば良いのか住民の方々が困っておられる状態である。まず、家を建て替えなくとも、沈下した家を持ち上げ傾斜を直せば再度住める家屋がほとんどである。そこでこの作業だけをおこなう「沈下修正」と呼ばれる工事で復旧することが行われつつある。ただし、それだけだと、ニュージーランドで生じたように¹¹⁾余震や将来の地震で再液状化してまた被害を受ける危険性がある。したがって、再び液状化による被害を受けないために建物直下を地盤改良して復旧することも行われ始めている。なお、地区全体で広域に対策がとれた復旧が行われれば理想的である。例えば、地下水

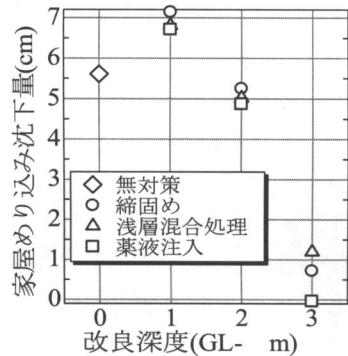


図9 改良深度と家屋めり込み沈下量の関係¹²⁾

位を1~2m下げると被害が軽減されるので、このような方法をとることが有効と考えられる。

前述したように浦安などでは液状化した層の下端深度は数mである。したがって、建物直下を改良する場合はこの下端まで改良することが理想的である。実際建物建設時にその深さまでサンドコンパクションパイル工法で改良してあった区域では液状化が発生せず、建物も被害を受けなかった。ところが、既設家屋の復旧なのでその深さまで改良すると工費はかなり高くなり、また場合によっては工事も困難になってしまう。これに対し、表層のある深さだけ盤状に改良すれば家屋の沈下量はある程度抑えられると考えられるので、この方が現実的で良い可能性がある。そこで、家屋の直下を表層だけ締め固めた場合にその深さによって沈下量がどれだけ軽減できるか試算してみた¹²⁾。この結果の一例が図9である。ここでは浦安市富岡の地盤条件を想定し、東日本大震災時に発生した地震動の大きさでALIDによって解析している。液状化強度比は地震後に近くで不攪乱試料を採取し液状化試験を行って得られた $R_L = 0.235$ の値を用いている。また、地下水位は一般的なGL-1mを想定してある。図に示されるように家屋のめり込み沈下量は改良深度とともに小さくなり、3m程度の深さまで改良すると沈下量はめり込み沈下量はわずかになると予測された。

最近建てられた戸建て住宅の宅地の地盤調査にあたってはスウェーデン式サウンディング試験が多く用いられてきている。それでも液状化による甚大な被害が発生した。液状化する場合にはスウェーデン式サウンディング試験で液状化の判定を行うには、無理があるので、やはり、スウェーデン式サウンディング試験に加えてボーリング・標準貫入試験・粒度試験を行うことが望まれる。さらに、それでも判定し難い場合には不攪乱試料を採取し、液状化試験を行う必要がある。特に、今

回のように細粒分が非常に多い特殊な土の場合や、地震応答解析などを行う場合¹⁴⁾には必要である。

7. あとがき

東日本大震災による液状化災害に関しこれまで分かってきていることと課題を述べた。被災のメカニズムや復旧方法の検討のため、現在地盤調査と土質試験が行われているところであるが、これを契機に不攪乱試料をチューブサンプリングすることの大切さを再認識し、サンプリング技術の開発が復活することを願っている。

参考文献

- 1) 国土交通省関東地方整備局：河川堤防第3回委員会資料, 2011. http://www.ktr.mlit.go.jp/river/bousai/river_bousai00000090.html
- 2) 安田進・原田健二：安田進・原田健二：東京湾岸における液状化被害、地盤工学会誌, Vol. 59., No. 7, pp. 38-41, 2011.
- 3) 国土交通省関東地方整備局：東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態調査結果について、<http://www.ktr.mlit.go.jp/bousai/bousai00000061.html>, 2011.
- 4) (独)防災科学技術研究所：強震ネットワーク K-NET
- 5) 安田進：(総説)巨大地震による液状化被害と予測手法の課題、地盤工学会誌、地盤工学会誌, Vol. 58, No. 11, pp. 1-5, 2010.
- 6) 安田進・萩谷俊吾：東日本大震災で液状化した東京湾岸における土層断面図の作成、Geo関東, 2011. (提出中)
- 7) 亀井祐聰・森本巖・安田進・清水善久・小金丸健一・石田栄作：東京低地における沖積砂質土の粒度特性と細粒分が液状化強度に及ぼす影響、地盤工学会論文報告集, Vol. 42, No. 4, pp. 101-110, 2002.
- 8) 浦安市：浦安市液状化対策技術検討調査委員会第1回委員会資料, 2011. <http://www.city.urayasu.chiba.jp/menu11324.html>
- 9) 安田進・橋本隆雄：鳥取県西部地震における住宅の液状化による沈下について、土木学会第57回年次学術講演会講演概要集, III-515, pp. 1029-1030, 2002
- 10) Yasuda, S. and Ariyama, Y.: Study on the mechanism of the liquefaction-induced differential settlement of timber houses occurred during the 2000 Totoriken-seibu earthquake, 14th WCEE, Paper No. S26-021, 2008.
- 11) 安田進・Cubrinovski Misko・時松孝次・Orense Roldano・渦岡良介・清田隆・細野康代・山田卓：2011年ニュージーランド2011 Christchurch 地震による被害に対する災害緊急調査団報告、地盤工学会誌, Vol. 59, No. 6, pp. 48-49, 2011.
- 12) 安田進・石川敬祐・小澤直輝：液状化する地盤の表層改良深度と家屋の沈下量の関係に関する解析、日本地震工学会2011年大会、投稿中, 2011.

ライフラインの被害と復旧 ～環境工学からの視点～

【Key Word】

東日本大震災、津波、下水道、上水道

ふく し けん すけ*
福士謙介*

1. はじめに

東日本大震災は多くの日本国民にとって驚くべき悲しい出来事であったことは疑いようもないが、私たちのような土木工学者にとっては別な意味で大変ショッキングな事件であった。様々な技術者が設計し、作り上げ、維持してきた社会の基盤が一瞬にして水泡に帰する現実は耐え難い。ましてや、宮城県で育った人間として、また、一族を含む多くの友人知人が被災した人間として、この事実を理屈的に受け入れることは当時は難しかった。報道される地名はすべて知っているし、行ったこともある。報道から目を背け、日々と通常の生活を送っていた。しかし、ある日、同僚の一人の強引なまでの誘いで、延べ3週間に渡る現地学術調査（公益社団法人土木学会、東日本大震災第一次総合調査団、平成23年3月27日～4月7日）に一団員として参加することとなった。結果として、それは大変よかったです。自分が否応なしに現場へかり出され、研究者として、技術者として郷土のために何かをする機会が与えられたからである。その同僚は今、学会の副会長をしているが大変感謝している。

今回の震災では被害の大きかった太平洋沿岸部だけではなく、仙台など被災状況が顕著でなかつた都市でも、電気、ガス、水道、下水道などのいわゆるライフラインが機能しなくなり、ただでさえ不安である震災後の生活が大変不便なものとなつた。ライフラインは人間が社会的な生活を営むためには常に必要なものである。ライフスタイルが変化しても、人間が生きており、生活が営まれている限り、全くなくなることは基本的には無い。また、それぞれのライフラインはお互い密接に関

係している。たとえば、水を飲めばそれはやがて小便となり、便所から糞尿として下水に排出される。水道水をガスや電気で熱してお風呂を沸かすと、それも排水として家庭からへ水に排出される。排水の処理の観点からみると、地震でライフラインがストップすると、当面は供給側が皆ストップしているので、処理場に下水は来ないのだが、水道が回復したり、ガスが回復したりして、徐々に下水処理場に流れ込む排水の量は増えていく。また、雨が降っても下水処理場に排水が流れこむこともある。

東京の人びとはだいたい水道の水を一日あたり1リットル飲む。また、生命を維持するのに必要な水は数リットルである。だが、通常の生活で消費する水は大体300リットルである。お風呂に入ったり、便所を流したり、炊事に使ったり、洗濯をしたり、庭に散水したり、多くの水を生活の中で使っている。日本人は節約が大好きな国民で水の使用量も少ないとと思われがちだが、先進国の中では使用量は多い方である。これは、日本人はほぼ毎日入浴する習慣があるためと思われる。水の使用量は一般に夏季に多くなり、冬季に少なくなる。

今回のような震災時には特に洗浄のための水を多く使う場合がある。手や体を洗ったり、汚れたものを洗ったりする必要がある。災害時には心身のストレスから体の抵抗力が落ちているので、感染症を防ぐためにも食物や手の洗浄は特に重要である。また、体や手が汚れたりしている場合や、生活環境が清潔でない場合は、それによるストレスが大きく、水による洗浄は大切になってくる。また、入浴は皮膚を清潔に保ち、感染症を防止するという効果の他にストレスを軽減する。筆者も震災調査中、初めの1週間ほどはホテルのお湯が使用できず、入浴はできなかったが、自由な時間が3時間ほどできたので、仙台市郊外の温泉に行った

* 東京大学サステイナビリティ学連携研究機構
地球持続戦略研究イニシアティブ

時のこととは忘れられない。このように、水は単に生命維持という役割だけではなく、生きることへの活力を与えるという大きな意味を持っている。

2. 上水道施設

上水道であるが、地震そのものによる被害は、地震が未曾有の規模であったことを考えると、地震による被害は比較的小規模であったと考える。しかし、仙台市を例にとると、18日間水道がストップした地域もあり、多くの市民が不自由をした事も事実である（ちなみに宮城県沖地震では10日間ストップした）。何週間も水道が止まるということは、大変なことで、お年寄りに限らず、1日何回も給水車が来る配水所まで水を取りに行くことは重労働だ。風呂や洗濯はもちろんのこと、トイレを流す水もままならない。震災直後の調査中、仙台市内のドラッグストアを見ると、芳香剤や脱臭剤のほとんどが品切れであった。これは、入浴ができず、便所も使用できなかったことによるものかもしれない。

浄水場は停電しても自家発電装置で稼働を続けたところが多く、それを水源として、水道がストップした家庭や避難所等へ水を運ぶ給水車への水の補給が行われた。ただし、燃料の入手が困難であったことから、多くの浄水場で発電機の運転の継続が綱渡りの状態であった。浄水場が運転を続けていても家庭の蛇口から水が出るわけではない。地震による排水管へのダメージ、つまり、漏水がないかを確認する作業がある。これは、労働集約型の作業であり、都市の規模が大きくなると、作業員の数が間に合わず、作業時間が長くなってしまう。これに対応するために、多くの都市が相互援助の協定があり、非常時には日本中から修理のための応援に駆けつける。これは、水道だけではなく、ガス事業者なども同様である。このような日本全国で支えあうシステムが効率的に作用し、その復旧速度は単独で取り組むよりも比較にならないほど早かった。

宮城県・仙台市では二つの異なる水道の系列の内の一ひとつが、大きな被害（大きな配水管の破壊）を受けたことが復旧期間を長くした原因でもあった。仙台市・宮城県では、この二つの異なる水道の系列を連携させ、災害時に水の相互融通を可能とするシステムを構築中（工事中）であった。このシステムが稼働中であったならば仙台市の全面的な水道の復旧はより早かったであろう。

様々な自治体から派遣された給水車が被災地へ応援に駆けつけてくれた。東北地方では夏季に渴水がめったに起こらないので、給水車が多数必要

になることはない。そのため、駆けつけてくれた給水車の多くは西日本の自治体からであった。岩手三陸の小さな集落で、京都や鹿児島のナンバーをつけた給水車が走り回っている光景は非日常的である。なお、今回の震災後東北地方では寒波に襲われ、雪が積もった。その際、九州のある自治体から駆けつけてくれた雪を見たこともないであろう人間が運転する雪に対する装備の全くない給水車が、東北の雪で立ち往生したというエピソードを聞いた。南三陸町で地下水を水源としている浄水場が長い期間給水を再開できなかった。これは、津波による地下水への塩分の付加が給水を阻んでいた原因であり、津波で被害にあった浄水場の設備関係が修復されても給水ができない状態が続き、避難所や直接の津波被害を免れた家で暮らす人びとは大変苦労をしている。

3. 下水道施設

東北地方の比較的大きな都市の多くは、沿岸部または沿岸部からさほど遠くないところに位置している。釜石、宮古、仙台、岩沼、石巻、気仙沼などがそれである。下水道システムは都市から出した下水を集め、処理（固体物、有機物、栄養塩類、病原微生物等の除去）した後、環境中に放出する。これらの都市の場合、放出先の多くは海である。このようなシステムでは、下水処理場は沿岸部に作らざるをえない。また、下水を広域で集め処理している地域では沿岸地域に下水を下水処理場に送るためのポンプ場が設置されている。このように、下水に関する重要施設は沿岸地域に設置されている。そのため、今回の震災では津波により、多くの処理場が壊滅的な被害を受けた（写真1、写真2）。

下水処理場は電気モーターやそれを制御する電子的設備、エアレーションタンク、沈殿池等のコンクリート構造物で構成されている。すべての構成物が津波により被害を受けたが、電気設備に関しては特に被害が大きい。コンクリート構造物の多くは残ったが、写真3のようにコンクリートの壁（と柱）が津波により力で破壊されている例もあった。凄まじい力である。残されたコンクリート構造物も基礎が見えるほど洗掘されたり（写真4）、地震による地盤の沈降や液状化現象による構造物の不均衡沈下で構造物が傾いたりする例もあった。被害を受けた下水処理場では下水の処理はできない。町をすべて破壊された都市はそもそも下水が処理場まで来ないが、仙台市の下水処理場では仙台市の中心部の被害が軽微であり、下水は自然流下で下水処理場に集められる方式であるた



写真1 壊滅的な被害を受けた陸前高田浄化センター（外部）

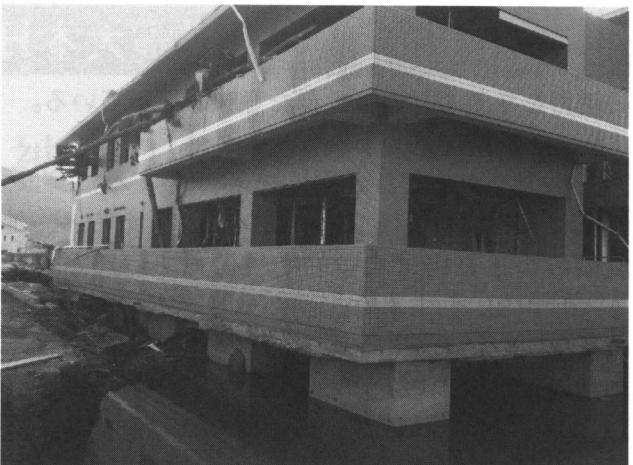


写真4 建物の基礎部が見えるまで洗掘されたと思われる下水処理場（陸前高田浄化センター）



写真2 壊滅的な被害を受けた陸前高田浄化センター（建物内部）

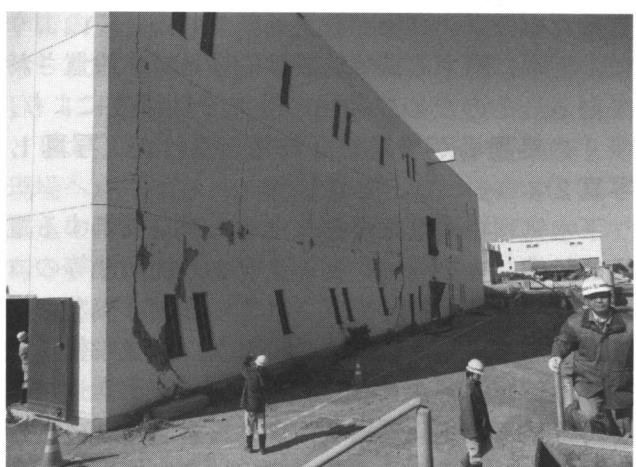


写真3 津波の水圧により破壊されたポンプ建家（南蒲生浄化センター）

め、水道やガスなどの復旧に伴い、通常とさほど変わらない量の下水を受け入れなければならなかつた。

これらの下水処理場が被災後、どのような状況であったかというと、被害の程度にもよるが、原始的な処理のみを行って、放流をした処理場が多くあった。多くの場合、下水をタンクや池に導き、

そこで沈殿処理を行い、その後塩素で消毒し、放流するという簡易処理である。写真5は固体塩素により処理を行なっている例であるが、これは、発災後、液体の消毒剤の入手が困難になったことから、効率の悪い固体塩素による処理を行わざるを得なかった。今回被災した仙台市の南蒲生浄化センターの場合、昭和50年代以前は沈殿による処理のみを行っており（活性汚泥法の導入は昭和54年）、その意味では昭和50年代以前に戻った状態とも言える。処理水の水質はもちろん有機物濃度も大腸菌の濃度も震災前の完全な状態とは比較にならないほど高いが、現在の状態で下水によって沿岸域の環境にすぐに影響が出るわけではない。宮城県の平野部の場合は沿岸域の施設・家屋やそれに繋がる道路などがほぼすべて被災しているし、沿岸部では瓦礫やゴミが散乱している。そのため、この夏、海水浴場の営業はしていない。そのような状況では簡易処理という形で下水を処理することに健康リスク的な問題は無いと考える。しかし、来年の夏や本格的な漁業の再開を見据え、今後数年かかると思われる下水処理場の本格的な復旧までに、何らかの対策が必要となってくる。

下水処理場の位置を沿岸部から山側に移動することは様々な状況を考えると困難であるが、町の近辺に小規模の処理場を作り、ある程度処理ロードを分散させることは可能である。下水処理場がどのような場所に作られているか調べてみると、不合理な場所に建てられている場合がある。これは、下水処理場は周辺の住民や地権者にとっては「やっかいもの」扱いされることが多く、その立地に関しては様々な政治的な力学が関わり、理想的な場所への立地は困難な場合が多い。多少、不便で不経済的であっても、立地に関する理解が得られれば作ってしまう事が多いのである。

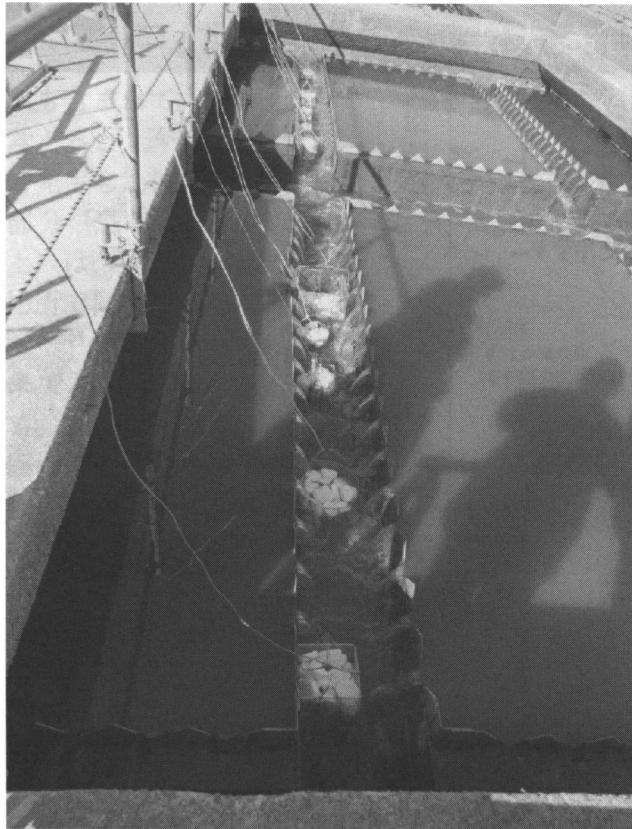


写真5 固形塩素による消毒（南蒲生浄化センター, 2011年4月上旬撮影）

通常の下水処理場というのは、下水に含まれている溶解性の汚染物質を汚泥という固体物に変換させ、水中から除去するシステムである。汚泥は都市における産業廃棄物のおよそ半分を占め、少なくない量の汚泥が各処理場から排出される。この汚泥は焼却されたり、生物的にエネルギーを回収したりするのだが、今回はこの汚泥処理装置（南蒲生浄化センターの場合）は焼却施設も被災した。今回被災下水処理場で行っている簡易処理でも沈殿する固体物は汚泥として排出されるが、これを処理できない。汚泥は悪臭を放ち、貯蔵することが難しい。凝集剤などを添加すると簡易処理の性能は上がると思われるが、汚泥の量も同時に増えるので凝集剤の添加は積極的に行われなかった。

今回の震災では、南蒲生浄化センターのように100余名の職員すべてが無事だった例もある。（写真6）その性質上、沿岸域に位置される場合が多い下水処理場では、特に津波への備えが大切である。すなわち避難でき、ある程度の高さがある頑健なコンクリート造りのビルの存在、ソフトとハード面において強力な津波報知システム等の整備が今後は必須であろう。

最も被害が大きかったとされている仙台市の南蒲生浄化センターの復旧に関しては有識者らによる委員会（南蒲生浄化センター復旧方針検討委員



写真6 ピル往生に非難する縁陰（南蒲生浄化センター, 仙台市提供）

会）が設置され、そのコストや期間、修復すべき目標などの報告がされている。コストは900億円、復旧に要する期間は数年を要するとされている。

4. おわりに

繰り返しになるが、今回の震災では地震の規模を考えると、地震動による上下水道施設の被害は比較的小さかった。これは、地震の周波数特性などもあるかと思うが、様々な地震対策の技術者達の苦労が報われたと思っている。しかし、津波による被害は甚大だった。今回の震災で自治体から国に報告された土木関連施設の被害の内、下水処理施設の被害額は群を抜いていたことでもわかるように、下水処理システムというのは社会の中では大変重要なインフラであり、また、復旧にも時間がかかる。津波を考えて今後、下水システムを構築せよと言うのは簡単であるが、元々厄介者として扱われてきた下水処理場をより山側のどちらかと言えば価値の高い土地に作り直し、それに合うような下水管路やポンプ場を設置することは、不可能では無いにせよ、現実的には難しい。

今、環境工学の分野で必要なのは、被災しても水の供給や污水の排除という機能を維持させるようなシステムであり、それは迅速な復旧技術の開発が必要という考え方もあるだろうし、分散型システムを構築するという考え方もあるだろう。今後、より一層の研究が必要な分野である。

参考文献

- 1) 土木学会・日本都市計画学会・地盤工学会 東日本大震災 第一次総合調査団 中間とりまとめ（案）（土木学会ホームページ）2011年4月28日
- 2) 土木学会・日本都市計画学会 東日本大震災 地域基盤再建総合調査団（第二次総合調査団）中間とりまとめ（案）（土木学会ホームページ）2011年5月26日

2011年東日本大震災による斜面災害 —主に都市域の斜面災害について—

【Key Word】

造成地, 地すべり, 盛土, ローラースライダーモデル, 等高線都市

釜井 俊孝*

1. 東日本大震災における斜面災害

1.1 分布

今回の震災では、津波や放射能汚染、及び液状化の被害に比べ、自然斜面の災害は地震の規模に比べて少なかった。しかし、青森県二戸市から茨城県東海村に至る沿岸地域に分布する多くの造成地盤で斜面災害が発生し、都市機能に甚大な被害を及ぼした。こうした造成地における被害の実態は、大部分が谷埋め盛土・腹付け盛土の地すべりであり、被害は公共の建物や幹線道路にまで及んでいる（写真1）。現地調査によって現象を確認した53地点のうち、8割以上の44地点が仙台市郊外の丘陵地帯に分布する（図1）。仙台都市圏の発達は、1965年頃からこの地域における丘陵地の開発を加速させた。一方、他の都市では、仙台市ほど人口の集積が進まなかつたので、造成地の分布も被害の分布も限定的である。すなわち、今回の被害の分布は、約半世紀に及ぶ東北地方の人口動態と都市発達の歴史を反映した結果であると言える。



写真1 谷埋め盛土地すべり末端部の崩壊（福島市あさひ台）



図1 南東北における都市域の斜面災害分布

1.2 タイプ

地表における変状は、切り盛り境界における盛土側の沈下、斜面変動（地すべり、斜面崩壊等）、液状化による隆起・沈下等であった。これらの地表変状は、切り土であるか盛土であるかの違い、盛土の厚さ、造成年代を反映した地形改変様式、地下水位の高低、対策工事の影響等によって出現する種類と場所が異なっていた。図2は、「盛土の厚さ」と「すべり面の位置」を軸に、これらの地表変動をType 1～5の5種類に分類した結果を示している。ここで、「すべり面の位置」とは盛土全体に対するすべり面の相対的な発達部位を表している。

今回の被害地域のうち少なくとも7地点では、1978年宮城県沖地震の際にも変動した記録があ

* 京都大学防災研究所斜面災害研究センター 教授

る。被害地点に1978年以後に造成された地域も含まれている事を考えると、今回の震災で発生した被害の相当部分（恐らく20%以上）は、過去と同様の場所で同様の盛土の地すべりが再現された結果であると考えられる。しかし一方で、今回の震災による被害の拡がりは1978年宮城県沖地震の被害を超えている。すなわち、新たに被害が発生した事例や、個々の被害地点において1978年の被害よりも範囲が拡大した事例が見られた。例えば、1990年以降の比較的新しい造成地においても、地すべりが発生した事例がある。通常、宅地造成地盤の地すべりは、古い基準で作られた造成地で発生する事が多いとされてきた。しかし、こうした事例は、今回の震災が過去の経験値を超える深刻な災害であることを示していると考えられる。また、これらの新しい造成地での地すべりでは、Type 4の比率が高く、1970年代以前の古い造成地では、Type 1, 2, 3が相対的に多く発生した。この事は、老朽化した盛土斜面では、Type 1, 2の様な底面すべりの発生条件が存在する事を示唆している。

1.3 典型的な地すべり

① 折立5丁目

青葉区折立5丁目では、顕著な地すべり災害が発生した。折立団地は、1972年頃に造成された比較的古い住宅地である。1978年宮城県沖地震の際に被害を受けた鶴ヶ谷団地とほぼ同時期の開発であるが、当時の被害は知られていない。**図3**に平面図を示す。地すべりは旧谷地形に沿って形成されており、変状の分布から推定される層厚は10m未満である。旧地形図から推定される盛土の厚さも10m程度であり、地すべりはほぼ盛土底面で滑っていると推定される。圧縮域の変状（**写真2**）が顕著であり、この部分で多くの住宅が破壊された。明瞭な頭部滑落崖は見られないが、右翼部には引張亀裂（**写真3**）が連続する。一方、左翼には右横ずれのせん断変位を持つ引張亀裂が発

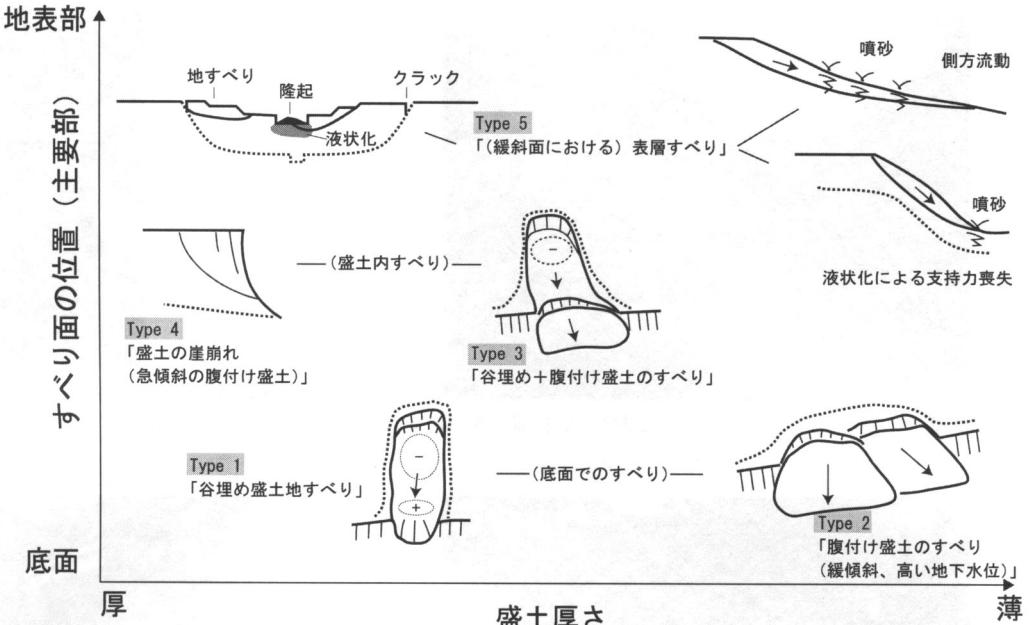


図2 造成地盤で発生した地すべりの分類

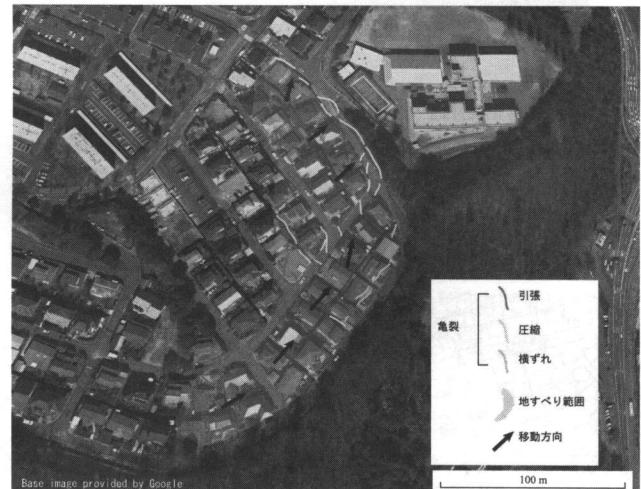


図3 折立5丁目地すべりの平面図

達する。

② 緑ヶ丘4丁目

仙台市太白区緑ヶ丘4丁目では、腹付け型の盛土造成地が変動した。**図4**に地表変状の分布を示す。等高線に沿って、明瞭な頭部引張り亀裂が認められる。地すべりは、基盤の地層傾斜とは関係なく、基盤表面の最大傾斜方向に変動している。本震から60日以上経過した時点での当初の状況と比較してみると、亀裂の拡大が見られることから、余震・降雨の影響で、土塊の変動が継続していると考えられる（**写真4**）。また、斜面の末端では、擁壁の倒壊、圧縮亀裂を伴う変形が多数みられる。4丁目においては、地震発生後にボーリング調査を3箇所で実施した。その結果では、盛土部分のN値は0~4であり、極めて軟質である。盛土内



写真2 折立5丁目地すべりにおける末端圧縮域



写真3 折立5丁目地すべりにおける頭部～側部引張亀裂

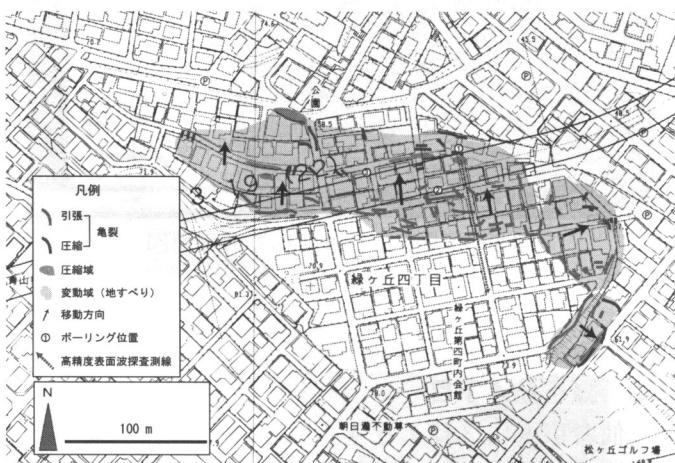


図4 緑ヶ丘4丁目地すべり(腹付け盛土)の平面図

部でN値9~18となる箇所があるが、これらは盛土材料に含まれる礫(軽石、凝灰岩)に当たった結果である。また、基盤(凝灰岩~砂岩)においては、部分的に強風化が進んでいる箇所があるものの、N値40~50以上となる。盛土部分の土質は、礫混じり・砂~シルト質砂~シルト~粘土および、礫質・砂質シルトが主体で難透水性である。また、基盤との境界には、旧表土と想定される有機質粘土層(最大層厚85cm)を挟む。

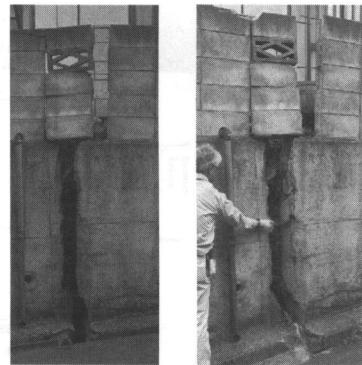


写真4 緑ヶ丘4丁目地すべり頭部の亀裂、左3/27 右5/10



写真5 南光台地区における顕著な隆起域(道路面は復旧の際の掘削によって下げられた)

地下水位は、各孔とともに地表面付近(GL-0.45~1.10m)に形成されており、盛土部分の大半が飽和状態にあると考えられる。盛土部分と基盤の強度比が大きいことから、両者の境界をすべり面として、盛土土塊が変動したと推定される。

③ 南光台・旭ヶ丘地区

仙台市泉区南光台では、南光台2丁目から6丁目、南光台南1丁目の広い範囲に地表変状が分布する。変状の多くは、切り盛り境界上の引張クラックであるが、西に隣接する旭ヶ丘地区と同様に支谷を埋積した部分で末端部(圧縮域)が形成され、緩傾斜の地すべりブロックに発展している。こうした地すべりは、南光台地域で少なくも5箇所確認できる。特に、南光台南1丁目では、幅約70m、長さ約150mの地すべりブロックが発達し、末端部の顕著な隆起(写真5)によって多数の住宅に被害を与えている。また、南光台3丁目の地下鉄・旭ヶ丘駅から鶴ヶ谷に至る幹線道路上でも地すべりブロックが形成され、交通に若干の支障を発生させている。主谷中心部の排水路では、両岸からの圧縮と液状化した地盤の上昇圧によって水路底面が隆起した。また、南光台6丁目に位

置する主谷の出口では盛土斜面が崩壊し、5棟の住宅に被害が発生した。同様の現象は南光台東地区の谷の出口でも認められる。

2. 東日本大震災が提起した課題

都市の斜面災害に限ってみても、今回の震災は様々な課題を浮き彫りにした。それらは、解決のための時間スケールを基準に以下の様に整理される。

2.1 短期的課題

今回大きく変動した盛土地すべりにおいて、地中変位、間隙水圧等の観測を実施している。本震から6ヶ月後の時点においても、余震や降雨に敏感反応しつつ地すべりの活動は継続している。したがって被災地域の復興を計る上では、地下水の排除、抑止工の実施等、地すべりに対する何らかの具体的対策が必要とされる。また、高台に設けられた避難所の中には、斜面に近接している場所も多い。こうした避難所周辺斜面の安定性も今後重要な課題であると考えられる。これらは、短期的な課題として復興計画の中に位置づけられるべきであると考えられる。

2.2 中長期的課題

① 予測の可能性

仙台市南部・八木山緑ヶ丘地区は、1978年宮城県沖地震の際に多くの被害が報告されたため、震災以前から地形変動のデータが良く整備されており、盛土の地すべりに関する様々な予測手法のテストフィールドであった。したがって、今回の震災では、これまで知られている様々な予測手法の有効性を評価する上で有意義なデータが多く得られた。

太田・釜井（2011）による検討によると、基本的にローラースライダーモデル（釜井ほか、2004）を組み込んだ手法の的中率が高かった。したがって、谷埋め盛土すべりの簡易な予測法は、ほぼ実用可能なレベルにまで達しており、今後は誤差をどこまで許容するかが問題であると言えよう。

② 対策工事の意義と限界

1978年当時の地すべり（東北大學、1979）が遊び動いた地域では、過去の対策工事の意義が試された。具体的には、仙台市太白区緑ヶ丘1, 2, 3, 4丁目、白石市緑ヶ丘1丁目である。1978年の災害後、太白区緑ヶ丘1丁目、3丁目に鋼管杭+集水井戸、白石市緑ヶ丘1丁目に集水井戸が施工されていた。



図5 太白区緑ヶ丘3丁目における地表変動

緑ヶ丘3丁目では、5列の鋼管杭と3基の集水井が施工されていたが、小規模な浅い地すべりが杭列の間で発生し、相当数の住宅に被害が発生した（図5）。ただし、1978年当時の様な全面的な崩壊（底面すべり）は、今回は防止された。また、白石市緑ヶ丘1丁目においても、排水工の効果が及んでいると思われる範囲では、変形が少なく、地すべりはその領域の前面でブレーキが懸かった様に停止している。一方、対策工事を実施していなかった仙台市緑ヶ丘2丁目と4丁目では、ほぼ1978年当時と同様の現象が再現され、地すべりによって住宅に深刻な被害が発生した。

こうした事例は、地すべり対策における一定の効果を実証したと同時に、一般的な地すべり対策の限界も示している。すなわち、地すべり対策としては十分でも、宅地の保全という点では大きな課題を残したと言える。一方、仙台市緑ヶ丘1丁目では、対策工事が所定の効果を發揮し、住宅の保全も含めて地すべりの発生を抑止することができた。この事例は、より効果的な対策手法の開発に重要な示唆を与えると考えられる。

③ ダイナミック地すべり変動学の可能性

上述の様に、今回の震災では、簡易な予測手法と地すべり対策の意義と限界が明らかになった。今後より詳細な解析の結果が公表されるはずであるが、大局的には造成地盤の地すべりに関して、技術的には対処可能であることが示されるものと期待される。しかし、地すべり現象の本質には未解明の点が多く残されている。例えば、今回の震災では、なぜ自然斜面の崩壊が少なかったかが依然として課題である。2004年中越地震や2009年岩手宮城内陸地震の様な直下地震と今回の地震と

では、山体の揺れ方が異なった可能性もある。今後は、梢密斜面地震動観測による斜面全体の揺れ方の解明が必要であると考えられる。

一方、地震動を受けた斜面の中で何が起きているのかも重要な課題である。今回の震災後、余震観測と並行して地中変位（傾斜）、地表傾斜、間隙水圧の動的観測（100 Hz サンプリング）を実施している。現時点では、地震のタイプによって程度は異なるが、地中の傾斜（＝せん断ひずみ）は、基盤から地表に至る間の最弱部で最も大きく増幅され、それよりも上部ではせん断ひずみが小さくなる事が判明した（図6）。最弱部における増幅には短周期成分の寄与が大きい。すなわち、最弱部が底面付近となる典型的な谷埋め盛土では、盛土（地すべり土塊）中の増幅率が小さくなる代わりに底面付近が震動によって破壊され、盛土全体が滑動するメカニズムが想定される。

また、地すべり斜面では、地震動とは明確に関連付け出来ない、いわゆる微動が頻繁に観測されている。こうした非地震性の短周期微動の多くが、間隙水圧の変動と孔間の時間遅れ（伝播性）を伴い、重力性の地すべり活動に伴うものであることも明らかになった。

こうした「すべり面における動的せん断ひずみのバリアー効果」や「重力性地すべり変動に特徴的な微動」は今回初めて確認された現象である。同様な現象は単に谷埋め盛土に留まらず、地すべり現象全般に広く認められる可能性がある。したがってこれらの結果は、動的な地すべり現象に関する知見として、新たな学問領域の発生を示唆するものである。

2.3 長期的課題

今回の様な造成地盤における地すべりは、1978年宮城県沖地震、1995 兵庫建南部地震、2004 年中越地震、そして今回と繰り返されてきた。こうした状況の背景には、地盤のリスクに関する一般的な認識不足と同時に、住宅の問題を「基準」や「マニュアル」等の技術的問題に矮小化し、どの様に生きるか（住むか）という事にあまり注意を払ってこなかった、戦後社会のあり方が投影されている。その意味で、この災害の経験を踏まえた都市計画のあり方を提案する事が、震災以後の斜面研究の重要な課題となるに違いない。そこでここでは、簡単なラフプランとして、地形改変を最小化

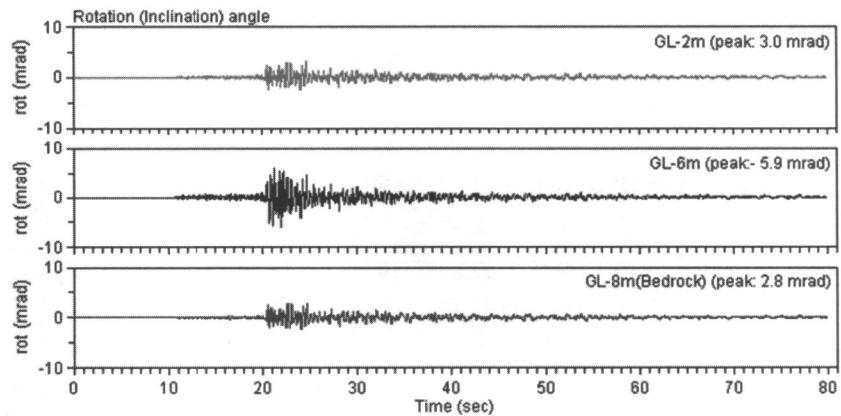


図6 緑ヶ丘4丁目地すべりで観測されたせん断ひずみ（回転角）の動的変動（6月23日19.35宮城沖を震源とする地震）。下から基盤中、すべり面付近、盛土上部。

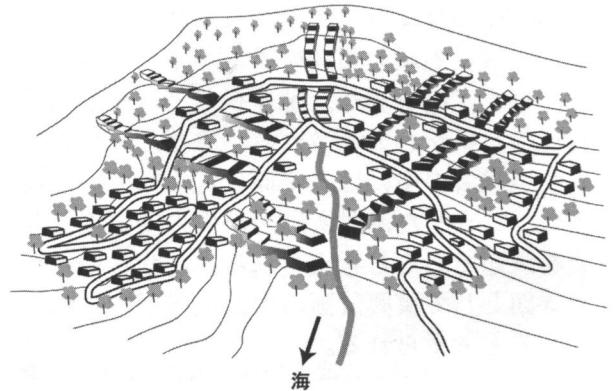


図7 等高線都市のイメージ

した、等高線に沿った街区作りを提唱したい。ここではそうした街区を仮に「等高線都市」と呼ぶことにする。「等高線都市」では、住居部分のコンクリート基礎は地山掘削によって着岩させることを原則とする。こうした堅固な基礎を持った住宅群を等高線に沿って階段状に配置し、それらを桟道、橋を多用した高規格道路によって連結する。住宅と住宅の間には、潜在自然植生における主木（三陸ではタブノキ、シラカシ等）を植樹し、多様な樹種による豊かな森林を再生する（図7）。すなわち、「等高線都市」は、列島の自然と都市との節度あるつきあいを再構築しようとするものである。

3. おわりに

日本人は昔から「海やまのあいだ」（折口信夫）に生きてきた。その変容の歴史が、すなわち日本史である。東日本大震災はますます強くそれを印象づけた。現代に生きるわれわれにとって、今回の震災はまさに不幸な歴史的経験であり、それを乗り越えるために、様々な分野で新たな防災の哲学が要求されている。

今回の震災は、戦後社会の「平等」理念の象徴であったはずのニュータウンですら、宅地の安全という点では不平等であったことを改めて明らかにした。低地における液状化被害も基本的には同様である。この結果、地盤災害の被災地では、地すべりや液状化による被災住民と非被災住民、住民と自治体、専門家同志が、それぞれの立場に基づいて分裂しようとしている。震災から数ヶ月が経過して、「ぼくたちはばらばらになってしまった（東浩紀, 2011）」のである。

この問題を超えて、われわれが新たな連帯を取り戻すには、住宅の地盤に関して住民個人には理不尽に思える格差が存在し、その格差は今後も埋まらないという現実を直視する必要がある。その上で、個々の地すべりや液状化被害が、事前に避けられるべきものであることを明らかにするべきである。われわれは、リスクへの対応を他人に預けることに馴れすぎてしまった。どの様な地盤に住むのかを選択できる仕組みを、個人レベルで取

り戻す事が必要である。「海やまのあいだ」における地質調査、地盤調査の社会的意義もその点にあるように思われる。

参考文献

- 東 浩紀：震災でぼくたちはばらばらになってしまった、
思想地図 beta, Vol. 2, pp. 8-17, 2011.
釜井俊孝・守隨治雄：斜面防災都市、理工図書, 200 p., 2002.
釜井俊孝・守隨治雄・笠原亮一・小林慶之：地震時における大規模宅地盛土斜面の不安定化予測、地すべり学会誌, Vol. 40, No. 5 (157), pp. 29-39, 2004.
国土交通省：大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドラインの解説, 2008.
太田英将・釜井俊孝：2011年東北地方太平洋地震に伴う
造成地盛土の地すべり、平成23年度応用地質学会関
西支部研究発表会, 2011.
東北大大学理学部地質古生物学教室：1978年宮城県沖地震
に伴う地盤現象と被害について、東北大地質古生物
研邦報, 80, pp. 1-97, 1979.

土木研究所資料 第4176号 土層強度検査棒による斜面の土層調査マニュアル(案)(H22.7)に準拠

土層強度検査棒



有限会社太田ジオリサーチ

<http://www.ohta-geo.co.jp>

災害廃棄物処理に関する諸問題

【Key Word】

集積場, 津波廃棄物, 処理・処分, 仮置き場, 瓦礫 (がれき)

やまなか
山中 みのる * はちむらともあき**
稔*・八村智明**

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）では、津波により東北地方の沿岸部で莫大な量の災害廃棄物を発生させた。その災害廃棄物の量は 2,673 万トン¹⁾に達し、我が国的一般廃棄物の 2009 年度年間排出量 4,625 万トン²⁾の約 5 割にまで及んでいる。

阪神淡路大震災では、被災地域が都市部であり周辺地域からのアクセスがよく、また近傍に大規模な海面最終処分場が確保されたことから、災害廃棄物発生量は約 2,000 万トン³⁾と多かったにも関わらず、災害廃棄物の処理・処分は比較的スムーズに進んだと言われている。しかし、今回の東日本大震災では、津波による被害が甚大で広範囲に及んだこと、特に岩手県沿岸の津波被災地はリアス式海岸に位置するため平野部が少なく、廃棄物の集積場を確保することが困難であること、さらにはその後の処理・処分に向けての廃棄物移送のための道路が国道 1 本しかなく、海上移送のための港湾施設も壊滅的被害を受けていること等から、廃棄物の処理・処分が極めて困難な状況となっている。一方、津波被災地より内陸側に広い一次集積場が確保できた場合には、その後の廃棄物の処理・処分が比較的計画的に進むようである。

日本応用地質学会廃棄物処分における地質環境調査・解析手法に関する研究小委員会では、これまでに災害廃棄物の適正な処理・処分に関する調査研究や提言を実施してきた⁴⁾。

本稿は、津波被災地の災害廃棄物の発生状況と処理の現状を把握するために実施した、岩手県沿岸部南部と宮城県多賀城市での調査結果を報告す

るとともに、災害廃棄物処理に関わる現行の法と課題について述べるものである。

2. 津波被災地での災害廃棄物の状況

1) 岩手県陸前高田市

陸前高田市の被災戸数は計 3,368 戸（内、全壊 3,159 戸）であり、被災戸数の大部分が津波による流出・破壊等の全壊被害である。

写真 1 に、陸前高田市内での災害廃棄物の集積状況を示す。地震発生から約 3 週間後には既に道路脇に災害廃棄物が集積され始めており、海岸近くに設けられた一次集積場には分別集積（木材類、鉄類、布団・畳類等）された廃棄物が山積みされ、粗分別が実施されていた。木材類に分類された家屋解体系木材には留め金等の多くの金属類が付帯しており、今後破碎処理を行う場合には困難さを伴うであろうことが伺えた。

2) 岩手県大槌町

大槌町での全壊戸数は 3,677 戸であり、沿岸部のほとんどの建造物が流出・倒壊した。大槌町は、内陸部での十分な面積の一次集積場が確保できなかったためか、被災した防潮堤の外側に位置する水産・港湾施設の敷地が廃棄物の一次集積場として利用されている状況であった（**写真 2** 参照）。

3) 宮城県多賀城市

宮城県多賀城市では、津波区域の住家被害の合計 4,955 世帯、がれき量約 19 万 m³ とされる⁵⁾。

多賀城市では津波浸水域より内陸部において一次集積場を設けることができている。

写真 3 に示す中央公園を活用した一次集積場では、崩壊や火災等に対する仮置き場の維持管理上の観点から、分別が困難な混合物の盛土高さを 5 m として構築されていた。

* 香川大学工学部安全システム建設工学科 准教授

** 財団法人 日本環境衛生センター西日本支局企画事業部 上席研究員（副参事）



(a) 道路脇への集積



(b) ほぼ満杯状態の一次集積場



(c) 処理が困難な廃棄物混じり土砂

写真1 陸前高田市の災害廃棄物の集積状況



写真2 被災した大槌港への廃棄物の集積



(a) 中央公園グランド



(b) インターチェンジ建設予定地内

写真3 宮城県多賀城市内の一次集積場

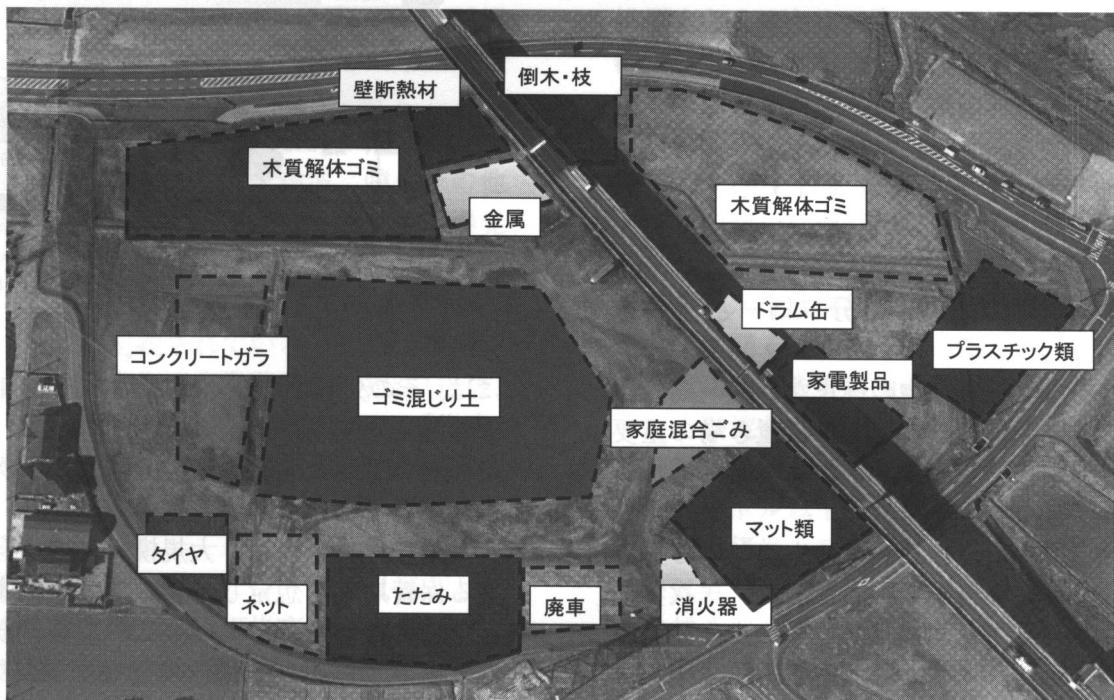


図1 多賀城市内一次集積場の分別仮置き状況

一方、インターチェンジ建設予定地を転用した一次集積場では、その広い敷地を利用して大量の廃棄物を搬入し不燃物と可燃物を分けて集積すると共に、木くず、コンクリートガラ、廃タイヤ、金属くず、石膏ボード、れんが・瓦、粗大ゴミ等に細かく分類作業が実施されていた。さらには、

コンクリートガラを再生骨材に利用するための粉碎機が導入され、集積場内で廃棄物の減容化と再生利用が進められていた。図1に、集積場外側より目視により判別した分別仮置きの分類図を示す。

表1 各種災害廃棄物の特徴（参考文献6）に加筆修正)

種類	震災廃棄物	水害廃棄物	津波廃棄物
発生状況	<ul style="list-style-type: none"> ・ 突発的かつ大量に発生する ・ 排出は、短い時間に集中して行われる ・ 耐震性の弱い建造物が被害を受けやすく、被災建造物が点在する ・ 重機による解体作業となる 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 突発的かつ大量に発生する ・ 排出は、被災直後一斉に、家屋前の路地等に行われる ・ 河川決壊など低地部に被害が集中する ・ 家庭ゴミの割合が多い 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 突発的かつ大量に発生する ・ 排出は、重機による作業が主で、集積場に集積される ・ 大規模な一次集積場（分別・荒処理）および二次集積場（分別・処理・処分）の確保が必要
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・ 損壊家屋の解体廃棄物と家財等になる ・ コンクリートガラ、木くずが多く、再生利用可能なゴミが多い。 ・ 解体作業の管理により分別が期待できる 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 床上・床下浸水による家財（畳、布団類、家電類）が多い ・ 発生現場での分別は作業性が悪く困難 ・ 流入した土砂が多く付着し、水分を多く含み、腐敗しやすい 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 津波高の高い地域では流出・全壊家屋が多いため、家屋木質系木くずが多い ・ 木くず、金属類や分類できない混合物（土砂や塩水を含む）が多い。 ・ リサイクルや焼却処理の際に、付着塩分濃度が悪影響することがある

4) 津波廃棄物の特徴

表1には、従来考えられてきた震災および水害廃棄物と、今回の調査により明らかとなってきた津波廃棄物のそれぞれの特徴を示している。突発的かつ大量に排出されることはずれの廃棄物も同様であるが、津波廃棄物は、水害より大型の廃棄物を大量に含むことがあるために排出作業は重機による作業が主となる。また、津波廃棄物は流出全壊した家屋からの木くずや、容易に分類できない土砂・塩水混じりの混合ごみの割合が多いのが特徴である。木くずの再生利用例としてはパーティクルボード等へ活用が考えられているが、付着する土砂や塩分、さらにはボルトやクギ等の金属類が処理工程上に悪影響を及ぼすとされている。

3. 災害廃棄物の処理・処分フローと仮置き場

災害時に発生する廃棄物の適正な処理・処分のための一時的な保管施設としての仮置き場の重要性は、最近、中央防災会議⁷⁾でも取り上げられるようになってきた。

東日本大震災のように地震そのものによる廃棄物と津波による廃棄物が発生した場合、一次集積場に仮置きされ、粗分別された後、二次集積場で細分別が行われりリサイクルや最終処分が行われる。ここで、二次集積場は、適正な処理・処分を待つ間の比較的長期（数年程度あるいはそれ以上の設置期間が想定される）の間、災害廃棄物を保管する施設あるいは有価物のストックヤードとなる（図2参照）。

一次集積場と二次集積場を合わせて、仮置き場と呼ぶが、一次集積場の設置期間は1年程度と比較的短く、災害が小規模であれば二次集積場は必要ない場合がある。しかし、災害が大規模の場合

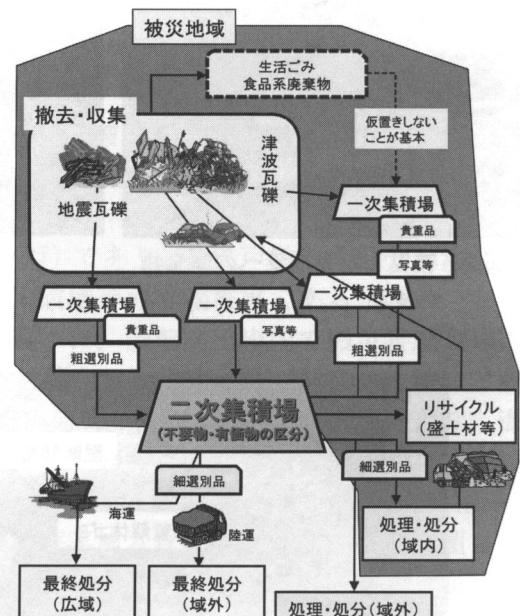


図2 災害廃棄物の処理・処分フローの概念図

には、その処理・処分量は膨大であり、1年程度でその適正な処理・処分が行われるとは考え難い。この場合、比較的長期に設置される二次集積場の役割が重要となる。

この二次集積場は、大規模災害の場合、数年に亘る保管期間を想定し、周辺環境に配慮した施設とすることが必要である。このため、既存の最終処分場（管理型）や閉鎖・廃止した最終処分場（管理型）の空スペースなどを利用することが考えられるが、災害の規模によっては、10ha以上の大規模なスペースが必要となり、通常の陸上最終処分場では対応できない場合がある。こうした仮置きのための最終処分場がない場合、工業用地、港湾施設、公園、公共用地などが二次集積場として考えられる。

しかし、こうした最終処分場以外の土地では、周辺環境への汚染などの影響が懸念される⁴⁾。産

業廃棄物の保管基準に準拠するならば、仮置き場、特に二次集積場では、以下の対策が求められる。

- 災害廃棄物の飛散防止のための措置
- 災害廃棄物の流出防止のための措置
- 災害廃棄物の保有水等の地下への浸透防止のための措置
- 災害廃棄物からの悪臭等（硫化水素などの発生ガスを含む）の発散防止のための措置

4. 現在の法の概要と課題

災害廃棄物というと、すぐに災害発生直後の瓦礫類や生活物資などが混同された土砂類を想像しがちである。本稿では、このような瓦礫類や土砂類に対する各種の法律に基づく定義や対応内容等を紹介し、具体的な事例として現在の東日本大震災における国側の対処の現状などをまとめるとともにそこに新たに発生した問題点と今後の方針を提案する。

1) 各種用語の定義について

災害廃棄物とは何かと聞かれた場合、災害に廃棄物を付け加えた造語であり、すぐに明確な定義がないことに気がつく。そこで、ここでは、誤解を生まないように災害廃棄物に関する用語の定義を行う。

・**災害**とは災害対策基本法によれば、「暴風、豪雨、豪雪、洪水、高潮、地震、津波、噴火その他の異常な自然現象又は大規模な火事若しくは爆発その他その及ぼす被害の程度においてこれらに類する政令で定める原因により生ずる被害をいう。(第二条(二))」と定義されている。また、復旧時の公共土木施設災害復旧事業費国庫負担法(以後、負担法という。)には「この法律において「災害」とは、暴風、こう水、高潮、地震その他の異常な天然現象に因り生ずる災害をいう。(第二条)」とされている。

・**異常な気象(負担法)**には、河川災害としては、警戒水位以上の水位、河岸高の5割以上の水位(警戒水位の定めのない場合)、長時間にわたる融雪出水等、河川以外の施設：最大24時間雨量80mm以上の降雨、時間雨量20mm以上の降雨、最大風速(10分間平均風速の最大)15m以上の風」と基準が設定されている。よって、気象庁などが定義する「異常気象」とは異なっている。

・**瓦礫(類)**とは、災害に関連する法には記述、定義されたものではなく、国語辞典などには「かわらと小石。破壊された建造物の破片など。値うちのないもの、つまらないもののたとえ。」とされて

いる。つまり、廃棄物をさしているようにも思われる。ここに大きな誤解の原点があるようにも考えられる。

・**廃棄物**とは、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律(第二条)では、「廃棄物」とは、ごみ、粗大ごみ、燃え殻、汚泥、ふん尿、廃油、廃酸、廃アルカリ、動物の死体その他の汚物又は不要物であって、固形状又は液状のもの(放射性物質及びこれによって汚染された物を除く。)をいう。」とされている。

2) 災害時に発生した瓦礫類、土砂類の除去

災害関連の法律では、前述のとおり、瓦礫(類)という表現を使用していない。具体的には以下のような法文がある。

・**災害対策基本法(第六十四条の2)**：市町村長は、当該市町村の地域に係る災害が発生し、又はまさに発生しようとしている場合において、応急措置を実施するため緊急の必要があると認めるときは、現場の災害を受けた工作物又は物件で当該応急措置の実施の支障となるもの(以下この条において「工作物等」という。)の除去その他必要な措置をとることができる。この場合において、工作物等を除去したときは、市町村長は、当該工作物等を保管しなければならない。

・**災害救助法施行令(第8条の一、二)、災害救助法(第23条第1項第10号)**：災害によって住居又はその周辺に運ばれた土石、竹木等で、日常生活に著しい支障を及ぼしているものの除去。

・**農林水産業施設災害復旧事業費国庫補助の暫定措置に関する法律(第五条の六、七)**：この法律は、次に掲げる災害復旧事業については適用しない。土砂流入による農地の災害復旧事業のうち、その筆における流入土砂の平均の厚さが、粒径一ミリメートル以下の土砂にあっては二センチメートル、粒径〇・二五ミリメートル以下の土砂にあっては五センチメートルに満たない農地に係るもの。耕土流失による農地の災害復旧事業のうち、その筆における流失耕土の平均の厚さが一割に満たない農地に係るもの。

以上のように、災害で発生した瓦礫類に対する取り扱いは法律には記載されていないことがわかる。したがって、「瓦礫」という言葉は法的には正確性を欠いた表現といえる。このため、報道などによる情報に誤解が生じているのが現状である。

しかし、これらの文書で重要なことは生活上の支障物の除去やその保管義務があることである。

3) 処理をするものと保管すべきもの

以上のように被災地を見た外部の人の個人的な感想に基づく「瓦礫（がれき）類」は、法的には災害直後の生活上の支障物であるが、前述のとおり、被災地の市町村長等はその支障物を保管する義務をもっている。これは、被災者から見れば「大切なもの」である可能性があるからである。多くの人は新聞やテレビ等の報道すでに知っているとは思われるが、この「大切なもの」には、思い出の「写真」や「位牌」等の個人的価値が高いものがあり、これらが支障物には含まれている。前述したように価値のないものが「廃棄物」であるとするなら、個人的な価値が存在する「大切なもの」は法的には「占有権」がある。このため、市町村長はこれらの大切なものを所有する個人を探し、占有権の有無を確認する努力を行なうことが必要となる。しかし、これらの支障物もいずれは腐敗したり、朽ちたりして、本来の所有者の捜索が困難となる時期が来る。このため、災害対策基本法（第六十四条の6, 10, 第六十六条等）では、その保管期間を6ヶ月としている。

ここではじめて、除去物や支障物は占有権のない「無価値」な廃棄物として処理されることになる。つまり、無価値であることの個人確認や保管後6ヶ月たたないと廃棄物として処理できないのである。

4) 災害廃棄物の定義について

以上のように考えると災害廃棄物は、災害発生直後の支障物や除去物をさすのではなく、法的には災害後、所有権の確認後、または、6ヶ月保管後の支障物等を災害廃棄物と呼べることになる。

・災害によって発生した土砂の取り扱い

災害復旧に伴い除去した土砂の扱いについて課題もある。これらの土砂に廃棄物等を含まず、有害性等がないことが確認できれば、通常の建設残土と同様な扱いができると考えられる。しかし、廃棄物を含んだり、有害性が確認された土砂は、土壤汚染対策法上の有害な土壤として、適正な処理、処分が必要となる。しかし、これらの土砂は、同法の通達（「指定区域から搬出する汚染土壤の取扱いについて」（平成15年2月14日、改正環水土第050519002号平成17年5月18日、環境省環境管理局水環境部土壤環境課長））では、以下のように述べられている。「汚染土壤は廃棄物の処理及び清掃に関する法律（昭和45年法律第137号。以下「廃棄物処理法」という。）に規定する廃棄物には該当しないが、最終処分場については同法に

基づきその構造等に係る一定の規制がされていることから、汚染土壤を適当な最終処分場に搬入できることとした。」つまり、汚染土壤は廃棄物ではないが、廃棄物と同等の処理ができる事をしている。したがって、法的には廃棄物ではないので、汚染土壤を災害廃棄物とは呼べないことになる。

しかし、処理がほぼ同様であるとするならば、今回の東日本大震災では、津波によって堆積した塩分を含む（ダイオキシン類発生の問題があること）汚泥や土砂も災害廃棄物として扱うむきもある。

・被災後の解体物の取り扱い

以上のような災害そのものによって発生した除去物などとは異なり、復興に向けた生活再建のための被災者生活再建支援法の「罹災証明」に基づく、家屋等の新築、改修工事に基づく解体物は、解体業者により適切に処理されることになる。したがって、これらの解体物などの廃棄物は解体事業に基づく産業廃棄物として扱われる。つまり、前述のように取り扱われる災害廃棄物は一般廃棄物であるのに対して異なることになる。なお、産業廃棄物はその性格上（リサイクル率の向上や不法投棄の撲滅等を目的する等）、現在では「マニュフェスト制度」が確立されている点も一般廃棄物とは異なった取り扱いを受けている。しかし、災害によって派生的に発生した廃棄物であるという点や支援のための補助制度があること等から、これらの解体廃棄物も災害廃棄物といわれることがある。

以上をまとめると、災害廃棄物は、狭義には、災害により直接的に発生した一般廃棄物であり、広義には、災害に関連し発生した廃棄物や土砂の全てであることになる。

5) 今後の法的な問題点

現在、福島県では比較的高い濃度の放射性物質を含む廃棄物処理について苦慮している。

これらの放射性物質を含む廃棄物は、原則的には、H17の原子力大綱に沿った対応が必要である。以下にこの大綱の概要を紹介する。

＜原子力大綱 H17.10/11。「放射性廃棄物の処理・処分の考え方」より抜粋。

原子力の便益を享受した我々の世代は、これに伴って発生した放射性廃棄物の安全な処理・処分への取組に全力を尽くす責任を、未来の世代に対して負っています。

放射性廃棄物は、次の4つの原則のもとで、その影響が有意でない水準にまで減少するには超長期を要するものも含まれるという特徴を踏まえて適切に区分を行い、それぞれの区分毎に安全に処理・処分することが重要です。

1. 発生者責任の原則
2. 放射性廃棄物最小化の原則
3. 合理的な処理・処分の原則
4. 国民との相互理解に基づく実施の原則

以上からすれば、放射性廃棄物の処理責任は発生者にあることが明確に示されている。しかし、原子力発電所などから生じる「クリアランスレベル（自然に存在するものと同じ程度で十分低い値）」以下の廃棄物については、これを一般廃棄物とすることとなっている。つまり、放射線量（濃度）によって、区分されているということである。つまり、一般廃棄物として中間処理施設等に持ち込まれた廃棄物はクリアランスレベル以下である。しかし、現在、問題となっているのは、この持ち込まれた廃棄物を焼却すると、廃棄物そのものは滅菌、減溶化されるが、放射線濃度が高くなり、クリアランスレベルを越えてしまうということである。これに対し、国側は現在も懸命な努力、検討を行い、その適正な処理や保管法を提案している。

なお、図3に国側が検討した8,000～100,000 Bq/kgの廃棄物の保管手法の概念図を示す。この手法については、「平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法の施行について」平成23年8月31日環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部長通知に基づくものであり、特に「8,000 Bq/kgを超える100,000 Bq/kg以下の焼却灰等の処分方法に関する方針について（お知らせ）」、環境省、2011.8/11の報道資料によるものである。

以上のように災害廃棄物処理は、通常の豪雨災害や震災のみならず、津波や放射性物質の処理や処分まで、新たな検討課題が山積みである。

8,000Bq/kgを超え100,000Bq/kg以下の焼却灰等の処分方法の概要

【一般廃棄物最終処分場（管理型最終処分場）での処理イメージ】

以下の1)～3)のいずれかによる。

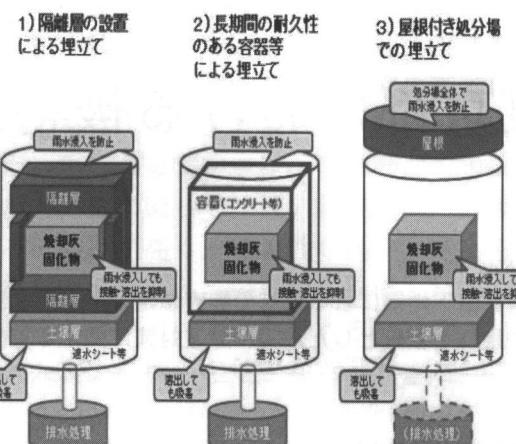


図3 8,000～100,000 Bq/kg以下の焼却灰の処分方法の概念図

また、現在は、このような災害廃棄物処理の広域処理に向けた他地域との協議や協定も進行中で、その際の阻害要因である放射性物質の取り扱い手法や塩分を多く含む廃棄物や土砂処理について多くの検討が必要とされている。

参考文献

- 1) 平山修久：津波廃棄物発生量推定結果について、DRNWW, 2011年3月30日付。
- 2) 環境省：一般廃棄物処理事業実態調査の結果（平成21年度実績について）、2011.3.4発表資料
- 3) 島岡隆行：第1章地球温暖化に伴う異常気象と災害廃棄物、災害廃棄物、中央法規、16p., 2009.
- 4) 日本応用地質学会災害廃棄物の防災と環境に関する研究小委員会：活動報告書、220p., 2010.
- 5) 多賀城市公表資料：多賀城市における東日本大震災の被害状況概要（2011年8月19日現在）
- 6) 石橋 稔, 加藤隆也, 日高正人：災害廃棄物処理に関する現状と今後の課題、都市清掃、Vol. 61, No. 281, pp. 52-59, 2008.
- 7) 中央防災会議第3回地方都市等における地震防災のあり方に関する専門調査会（2010）：資料4-3震災廃棄物対策（概要）&資料5-3震災廃棄物対策

東京都における被害想定と防災への取組の考え方

【Key Word】

首都直下地震による東京の被害想定、東京湾北部地震、多摩直下地震、東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会、南海トラフの海溝型巨大地震

ほけ
保家

ちから
力*

現行の被害想定

平成 17 年に、中央防災会議の「首都直下地震対策専門調査会」が、首都直下地震の被害想定について報告をとりまとめた。そこでは、「今後 100 年程度以内に発生する可能性があるマグニチュード 7 程度の地震」を検討対象として 18 タイプの地震像を選定し、その中でも、①ある程度の切迫性が高いと考えられる地震であること、②都心部の揺れが強いこと、③強い揺れの分布が広域的に広がっていることから、「東京湾北部地震」(M7.3) を首都直下地震対策を検討していく上での中心となる地震とした。

こうした中央防災会議の検討を踏まえ、東京都では、平成 18 年に「首都直下地震による東京の被害想定」を公表し、その内容を踏まえ、平成 19 年に地域防災計画の修正を行った。

東京都の被害想定は、上記の「東京湾北部地震」に加え、同程度に切迫性が高く、東京に大きな被害を及ぼすと考えられる「多摩直下地震」を想定地震として、それぞれについて、M7.3 と M6.9 の場合について想定を行っている。また、震災被害は、地震の発生する季節、時刻、気象条件が大きく影響するため、被害が最大になると思われる季節、時刻、気象条件を選択し、火災による建物被害や死傷者等については、風速による違いも考慮している。

この結果、死傷者が最も大きくなるのが、「東京湾北部地震」(M7.3) が冬の夕方 18 時、風速 15 m/秒のもので発生した場合であり、死者が 6,413 人、負傷者が 160,860 人発生する。また、建物被害（全壊：倒壊と地震火災によるもの）は 471,586 棟、避難者はピーク時で 3,990,231 人発生する。

なお、阪神・淡路大震災では、死者は約 6,400 人

で同程度であるが、負傷者が約 4 万人、建物被害（全壊：倒壊と地震火災によるもの）が約 11 万棟、避難者が約 32 万人であり、これと比較しても、首都直下地震が発生した際の被害がいかに甚大なものかが推測される。

東京都では、この被害想定に基づき、建物の耐震化や不燃化、消防力の充実・強化など、首都直下地震が発生した際にできる限り被害を少なくするための取組を着実に進めてきた。

東日本大震災を踏まえた国の動き

そうした中で、東日本大震災が発災し、日本観測史上最大のマグニチュード 9.0 という巨大地震と、従来の想定をはるかに上回る津波により、甚大な被害がもたらされた。

国においては、この未曾有の震災を受けて、中央防災会議に「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」が設置され、被害想定のあり方や、想定に基づく対策についての検討が行われた。9 月 28 日に出された報告書では、今後の津波対策を構築するにあたっては、基本的に二つのレベルの津波を想定し、対策を講じる必要があるとしている。

一つは、住民避難を柱とした総合的防災対策を構築する上で想定する津波で、発生頻度は極めて低いものの、発生すれば甚大な被害をもたらす最大クラスの津波（今回の東北地方太平洋沖地震による津波など）であり、もう一つは、防波堤など構造物によって津波の内陸への侵入を防ぐ海岸保全施設等の建設を行う上で想定する津波（最大クラスの津波に比べて発生頻度は高く、津波高は低いものの大きな被害をもたらす津波）である。

そして、最大クラスの津波高への対策については、住民等の生命を守ることを最優先として、どのような災害であっても行政機能、病院等の最低

* 東京都総務局総合防災部 震災対策担当課長

限必要十分な社会経済機能を維持するという視点から、住民等の避難を軸に、土地利用、避難施設、防災施設などを組み合わせて、とりうる手段を尽くした総合的な津波対策の確立が必要であるとしている。

また、発生頻度の高い津波への対策については、最大クラスの津波に備えて海岸保全施設等の整備の対象とする津波高を大幅に高くすることは、施設整備に必要な費用、海岸の環境や利用に及ぼす影響などの観点から現実的ではないことから、人命保護に加え、住民財産の保護、地域の経済活動の安定化、効率的な生産拠点の確保の観点から、引き続き、比較的発生頻度の高い一定程度の津波高に対して海岸保全施設等の整備を進めていくことが必要であるとしている。

この報告書では、今後の被害想定のあり方に關し、今回の震災の被害の多くが、従前の被害想定をはるかに超える結果となったことを踏まえ、想定手法自体の課題を明らかにした上で必要な改善を行うべきであるとし、従前の被害シナリオでは定性的に考慮していた項目や、これまでに考慮せず今回の震災で顕在化した項目など、今後の被害想定の対象とすべき項目を精査した上で、より具体的な被害シナリオのもとに防災対策を検討、立案すべきである、としている。

また、自然現象は大きな不確実性を伴うことから、想定やシナリオには一定の限界があることに留意する必要がある、としている。

その上で、最大クラスの津波に対しては、被害の最小化を主眼とする「減災」の考え方に基づき、対策を講ずることが重要であり、海岸保全施設等のハード対策によって津波による被害をできるだけ軽減するとともに、それを超える津波に対しては、避難を中心とするソフト対策を重視しなければならない、とし、今後、南海トラフの海溝型巨大地震や首都直下地震等への備えを万全にすべきであり、大規模地震と台風などの複合災害についても留意する必要がある、としている。

これらの内容は、津波対策に関し述べられたものであるが、その考え方については、防災対策全般にわたって反映していく必要があることから、東日本大震災を契機として、被害想定のあり方や、これに基づく防災対策は大きな見直しを迫られているといえる。

都の取組-①被害想定の見直し

東京都では、今回の震災を踏まえ、東京都防災会議の地震部会において被害想定の検証に着手した。液状化被害など今回の震災の被害実態を踏まえるとともに、新たに津波や長周期地震動による被害想定を行っていく。

また、現行の被害想定は、従来の国の中防災会議の考え方則って、近い将来同様の地震が発生する可能性が高く、切迫性の高いと考えられる地震を想定地震としているが、見直しに当たっては、相模トラフ沿いの規模の大きな地震、いわゆる関東大震災クラスの地震なども対象として検討していく。

さらに、現在、国の中防災会議で、東海・東南海・南海連動地震など南海トラフの海溝型巨大地震についての検証が行われており、この動向についても注視していく必要がある。

都の取組-②防災対策の再構築

これまでの都の防災対策は、首都直下地震への備えを基本としてきたが、今回の震災では、震源から遠く離れた都内においても、液状化や大量の帰宅困難者の発生といった直接的な被害に加え、放射性物質の拡散、電力供給不足に伴う計画停電の実施など大きな混乱を引き起こしたことから、遠隔地の大規模地震に対する備えも必要である。

加えて、想定には一定の限界があり、想定を上回るような大規模災害に対しては、ハード対策により被害を軽減するとともに避難などのソフト対策を組み合わせて対応していくことが必要であること、地域住民どうしの連帯のしくみが被害を軽減させること、行政だけでなく事業者・住民等がそれぞれの役割分担を担っていく必要があることなど、今回の震災からさまざまな教訓を得た。

東京都では、こうした震災の教訓を踏まえ、これまでの防災対策を検証し、首都直下地震に加え、東海・東南海・南海連動地震など他地域で発生する大規模地震に対しても備えを万全にするため、新たな視点からの対応を図るとともに、これまでの防災対策のブラッシュアップ・スピードアップを図っていく。

防災対策は、もとより、一朝一夕に成し得るものではないが、避難や地域住民どうしの連帯のしくみづくりのようなソフト対策は、特に、平時ににおける地道な取組が重要であり、精力的かつ着実に歩を進めていく。

東海・東南海・南海連動型地震への備え

【Key Word】

南海トラフ、連動性評価研究、地震・津波観測監視システム、DONET、京

かね だ よし ゆき
金田 義行*

はじめに

2011年3月11日の東北地方太平洋地震で、これまで想定していた宮城県沖地震、三陸沖地震といった個別の地震発生評価・想定をはるかに超え、約200km×500kmの巨大震源域が破壊したM9地震の脅威を目の当たりにした。さらに宮城沖の日本海溝軸周辺域に至る海域で、20m～50m規模の大きなすべりが生じ、その結果、最大遡上高40mにおよぶ大津波が発生した。

想定を超える巨大震源域、大津波、これらの課題は再来が危惧される南海トラフ巨大地震への備えにおいて無視できない課題である。南海トラフではおよそ100年から200年の時間間隔で東海、東南海ならびに南海地震が、複雑な多様性をもって連動発生している。以下に現在実施している各研究プロジェクトとその展望について述べる。

1. 南海トラフ巨大地震連動性評価研究

フィリピン海プレートの沈み込みにより形成された南海トラフは、駿河トラフから宮崎県日向灘沖まで分布している。この南海トラフ巨大地震の連動性評価研究プロジェクトが文部科学省委託研究として進められている。

課題を1)巨大地震震源域の地下構造、地震活動観測研究、2)予測シミュレーション研究、3)被害予測研究の3つにまとめ、それぞれ、反射法・屈折法構造探査による地下構造イメージングと地震活動観測研究による震源域の特性評価、地震発生予測シミュレーションの開発及び基盤情報の整備、地震動ならびに津波被害予測を実施している。これまでに、いくつかの成果が得られているが、以下、課題ごとに成果の概要をまとめる。

* (独)海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト プロジェクトリーダー

1) 巨大地震震源域の地下構造、地震活動観測研究

地下構造調査研究では、日向灘から紀伊半島における地下構造調査を実施した。日向灘沖では九州パラオ海嶺から足摺岬沖に至る海域で地下構造イメージングを行った結果を図1に示す。ここでは、四国沖の南海トラフの典型的な地殻構造が九州パラオ海嶺東北域では地殻の層厚が薄くなり、いわゆる遷移帯となっていること、散乱解析の結果からプレート境界面での反射強度が不均質であることも明らかになった。今後は、この地下構造イメージングと日向灘への連動可能性の検討が重要である。四国沖から紀伊水道域に至る海域調査結果は現在解析を進めている。

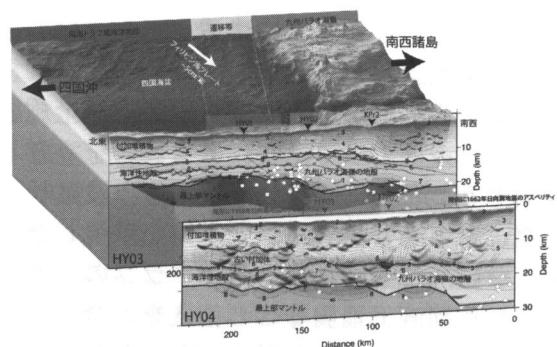


図1 日向灘沖の海底下の地殻構造（屈折法探査結果）。断面の色の違いは地震波伝搬速度の違いを表わす。

また、想定東海地震震源域に評価においては、銚洲海嶺を含む広域な構造評価、地震活動を視野に入れた議論が必要不可欠である。

2) 予測シミュレーション研究

東日本大震災では、海溝軸周辺域のすべり欠損で大きなすべりが発生した。海溝軸周辺のすべり欠損の評価が、南海トラフにおいても重要であり、トラフ軸周辺域に至るすべりの可能性を評価するための試料採取や高分解能な浅部構造調査な

らびに陸域の津波履歴調査が必要不可欠である。例えば、過去の地殻変動や津波履歴に関する研究成果として大分県佐伯市の龍神池における津波堆積物の発見がある(松岡ほか, 2007)。従来の南海地震震源域(足摺岬沖が西端)では津波の襲来が再現できないことから、この津波堆積物を説明するためには、日向灘まで連動した可能性が指摘された。その後、津波シミュレーション(Furumura et al., 2011)によって、日向灘まで同時発生することによって龍神池への津波襲来が確認された(図2)。

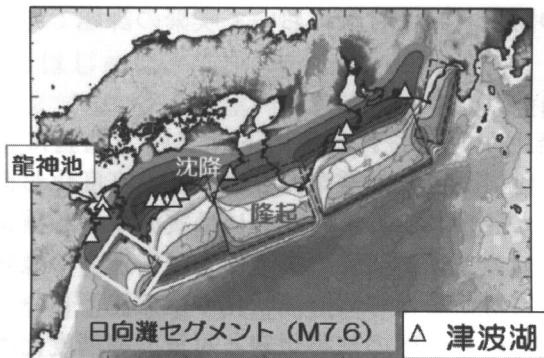


図2 南海トラフ巨大地震の震源域の西方への拡大(Furumura et al., 2011に基づく)

これらの震源域間の連動性評価に加え、沖合の南海トラフ軸周辺に至る破壊の可能性を検証することも重要である。紀伊半島潮岬串本町にある橋杭岩周辺に散在する岩石群が津波によって運ばれたとの研究結果(宍倉ほか, 2011)や、地球深部探査船「ちきゅう」による熊野灘沖のトラフ軸周辺の掘削試料分析結果により、分岐断層周辺域だけでなく、過去にトラフ軸周辺ですべり履歴があったとの研究報告(Sakaguchi et al., 2011)もある。つまり南海トラフ軸周辺に至る破壊によって、これまでの想定以上の大きな津波が発生した可能性を示唆している。

これらから、およそ100年から200年の間隔で発生する南海トラフ巨大地震のなかで特に1707年宝永地震タイプのような東海、東南海ならびに南海地震がほぼ同時に連動発生する「スーパーサイクル地震」の存在が示唆される。スーパーサイクル地震の発生間隔は、およそ350年～400年間隔あるいはその倍程度の時間間隔で発生すると想定されている。その再来の評価においても、トラフ軸周辺にいたる広域破壊のパターンをシミュレーションによって評価することが重要である。

3) 地震津波被害予測研究

東日本大震災の甚大な被害、特に大津波による

被害は、今後の日本の防災減災施策において最重要課題である。被害予測研究においては大型計算資源を用いて地震動伝播および津波伝播・遡上シミュレーション(図3)を実施している。これを通じて再来が危惧される南海トラフ巨大地震・巨大津波被害予測の高度化を行っている。

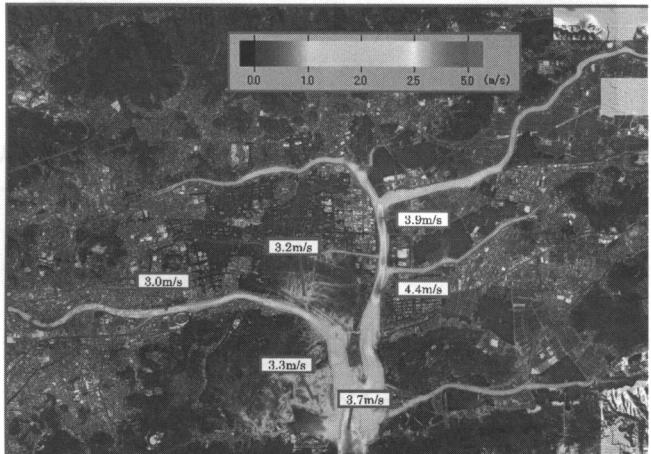


図3 津波伝搬・遡上シミュレーションの一例。最大流速分布(今村, 私信, 2010)

研究成果の防災減災施策への活用を目的として、被害が想定される地域で研究会を実施している。名古屋、大阪、高知には地域研究会を、和歌山県、三重県を対象にした紀州分科会を設置し、研究成果の普及広報並びに自治体が立案する防災減災策の見直し強化を行うとともに、新たな課題の抽出や避難行動の最適化、復旧復興への議論・提言を図っている。

2. 地震・津波観測監視システムの整備

「南海トラフ巨大地震・大津波への備え」として、熊野灘沖東南海震源域において海底ケーブルを用いた地震・津波観測監視システム(DONET)を整備した(図4)。DONETは文部科学省の委託研究として開発されたもので、基幹海底ケーブルから分岐した展張ケーブルに20観測点を接続した。各観測点には強震計、広帯域地震計、水晶水圧計、微差圧計、ハイドロフォンならびに精密温度計を設置し、地震・津波の早期検知はじめ先行現象が発生した場合の把握といった精密広帯域観測を可能とするシステムである。東北地方太平洋沖地震の地震動や津波も高品質に記録している。沖合でのリアルタイム観測では、早期検知だけでなく、早期評価への貢献も期待されている。例えば、DONETでは東北地方太平洋沖地震の津波も沖合の観測点から順に観測した。単純には、沖合の観測値と沿岸の検潮所記録との比較から、沖合から沿



図4 DONET（地震・津波観測監視システム）

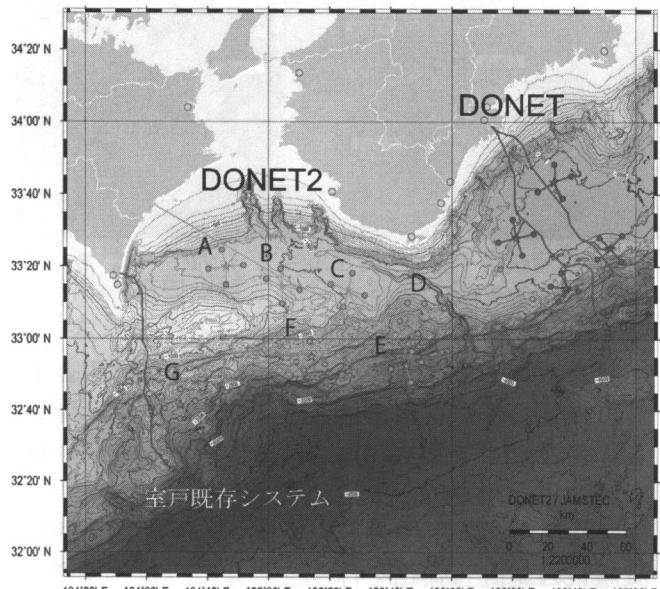


図5 DONET2の展開計画案

岸にかけての津波増幅率を求めることができるから、津波警報の高度化に資するものとなる。このDONETは東南海地震震源域のリアルタイムモニタリングシステムであるが、これを南海地震震源域に展開する新たな地震観測監視システム(DONET2)の整備を開始している(図5)。これらの海底ネットワークの整備によって南海トラフの地震津波監視を強化するとともに、精緻な地殻活動データに基づく予測精度の高度化が期待できる。具体的には陸域データに加え、DONET, DONET2で期待される観測成果として水圧計による海底地殻変動観測がある。これらの観測データとシミュレーションを活用したデータ同化による予測精度向上を目指すことは今後の重要な研究課題である。

3. 「京」コンピュータによる地震・津波予測精度の向上

世界最速を誇る「京」コンピュータを用いた地震・津波研究として、地震発生予測の高精度化研

究、地震動評価研究、津波評価研究ならびに都市における地震・津波複合災害研究を開始した。東日本大震災では大津波による甚大な被害が生じ、あらためて津波被害予測の重要性が明らかになった。一方、南海トラフ巨大地震では大津波被害だけではなく阪神・淡路大震災のような強い地震動被害に加え、地盤沈下や南海トラフ域に発達する付加体を伝播することで増幅される、長周期地震動や長い地震動継続時間による長大構造物被害や液状化被害が想定されている。このような甚大な広域複合災害をあらかじめ精緻なシミュレーションにより高精度に予測しその対策を図ることが今後の防災・減災対策において喫緊の課題である。

4.まとめ

発生が危惧される南海トラフ巨大地震について、地震研究、地震津波被害想定の高度化および対策が急がれる。このためには震源域の各種調査観測研究、予測研究の推進および構造物の地震津波被害対策をはじめ、液状化や地盤沈下といった地盤そのものへの被害想定と対策の高精度化が不可欠である。東日本大震災の教訓として津波避難ビルの確保の必要性が挙げられる。この津波避難ビル確保においては津波浸水評価だけでなく地盤安定性も含めた総合評価が必要である。広域複合災害における救援・支援経路の確保も重要な課題であり、このための地盤安定性評価は今後の防災減災施策の重要な課題の一つである。

参考文献

- Furumura, T., K. Imai, and T. Maeda, A revised tsunami source model for the 1707 Hoei earthquake and simulation of tsunami inundation of Ryujin Lake, Kyushu, Japan., J. Geophys. Res., v116, B02308, doi: 10.1029/2010JB007918, 2011.
- 松岡裕美, 岡村眞, 岡本直也, 中野大智, 千田昇, 島崎邦彦, 津波堆積物に記録された南海地震の繰り返し間隔, 日本地球惑星科学連合大会, S141-P037, 2007.
- Sakaguchi, A., F. Chester, D. Curewitz, O. Fabbri, D. Goldsby, G. Kimura, C.-F. Li, Y. Masaki, E. J. Screeaton, A. Tsutsumi, K. Ujiie and A. Yamaguchi, Seismic slip propagation to the updip end of plate boundary subduction interface faults : Vitrinite reflectance geothermometry on Integrated Ocean Drilling Program NanTro SEIZE cores, Geology, 39, 395–398, DOI: 10.1130/G31642.1, 2011.
- 宍倉正展, 前埜英明, 越後智雄, 行谷佑一, 永井亜沙, 潮岬周辺の津波石と隆起痕跡から推定される南海トラフの連動型地震履歴, 日本地球惑星科学連合大会, SSS035-13, 2011.

フォアマンの技術力向上のための 「高品質サンプリング技術」

【Key Word】

凍結サンプリング、濃厚ポリマーサンプリング、気泡サンプリング、定方位サンプリング

かね こ すすむ 進*

1. はじめに

サンプリングとは室内試験等に供する試験体を採取することであり、その対象はガス・水・土・岩等と幅広く、対象に応じた様々な方法がある。サンプリングの目的は採取位置（現位置）での各種情報を漏らすことなく、さらに採取位置以外を侵入させることなく、室内試験等に供することである。地盤調査によるサンプリングでは地盤の一部を破壊しながらサンプラーを挿入するが、挿入の際には“華麗なる破壊”が要求される。即ちサンプラー挿入に伴う隙間の破壊は必要最低限に留めることが重要となり、被切削物の保持（試験体を動かさないように切削する）が必要条件となる。

本稿では軟弱な土から脆弱な岩（軟岩・破碎帯・亀裂の多い岩）を対象とした高品質サンプリングの原理・方法、実施時の留意点等を述べる。

2. サンプリング方法の分類と切削原理

サンプリング方法を大別すると、**静的圧入方法**（固定ピストン式サンプラー、水圧式ピストンサンプラーなど）、**回転切削方法**（回転式多重管ビット先行型サンプラー、シングルコアバーレル式サンプラー等）があり、その**中間型の方法**（回転式多重管シュー先行型サンプラー）もある。

地盤に与えるダメージはサンプラーのシューやビットなど器具の違い（図1、図2）や使用方法（図3）によって異なる。静的圧入型サンプラーは図3の①、回転切削型サンプラーは図3の④に相当する。同じ状態の刃を使用した場合でも、圧入型よりも回転切削型の方が地盤に与えるダメージは少ない。しかし回転式切削の場合は掘削流体が必要となり、その種類や送量、被切削物（礫や砂、破碎帶の岩片）の状態保持により地盤および試験体

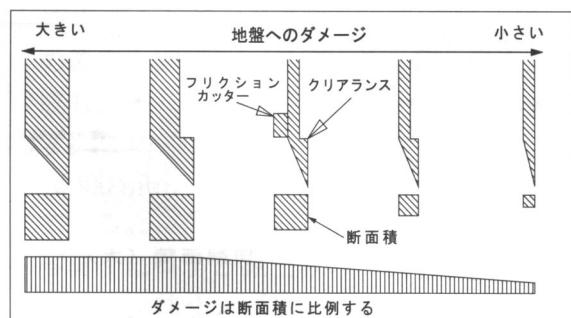


図1 刃先の形状によるダメージの違い

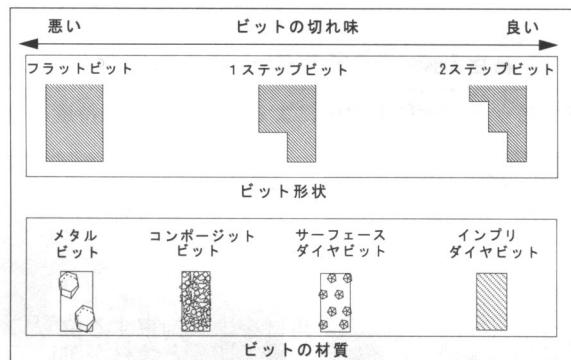


図2 ビット形状・材質による切れ味の違い

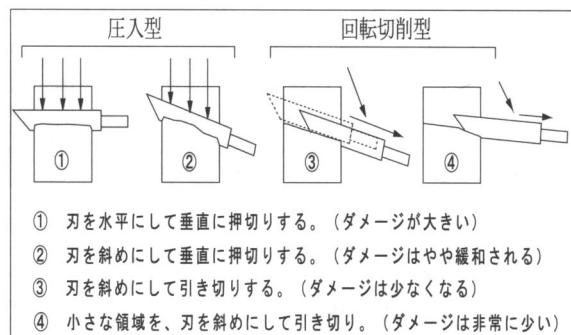


図3 刃の使用方法による切れ味の違い

に与えるダメージは異なる。図4および図5に掘削流体および給圧の違いによる被切削物の状態保持のイメージを示す。

例えて説明する（図6）。被切削物を角材に、ビ

* 基礎地盤コンサルタンツ(株)事業本部 酒井研究室

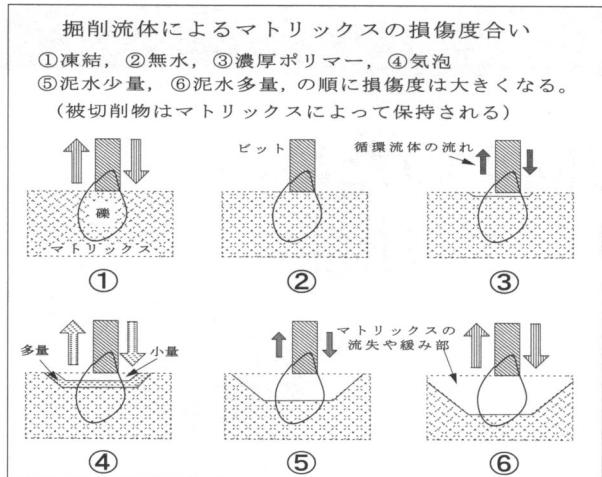


図4 削削流体の種類や量による被切削物の保持度の違い

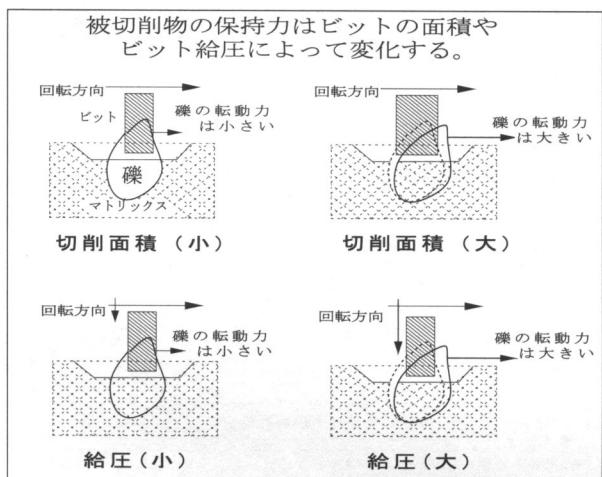


図5 ビットの面積や給圧による被切削物の保持度の違い

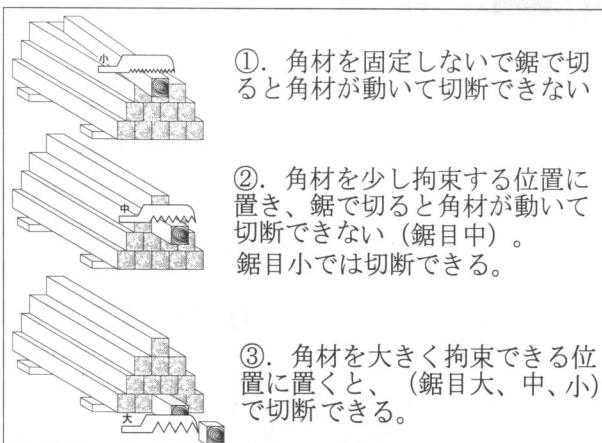


図6 角材の切断（被切削物の保持力と切断）

ットを鋸に代えて考えてみる。角材をピラミッド型に置き、最上段の角材を鋸目小で切ると角材が動いて切断できない（図6の①）。次に上方より2段目の角材（小さい拘束の状態）を鋸目中で切ると角材が動き切断できない。しかし、鋸目小では切断できる（図6の②）。最下段に置かれた角材は鋸目大、中、小で切断できる（図6の③）。

切断（切削）は被切削物の状態保持が如何に重

要であるか判る。これこそ“高品質サンプルの源”である。

3. 高品質サンプリングのための留意事項

高品質サンプリングのためにはサンプリングに至るまでの削孔も重要である。以下に削孔時における留意点とその対応などを示す。

A) ポーリング孔の仕上げ

孔底の平滑仕上げ（一文字ビットなど）、スライムのスムーズな排出（ワイング付コアチューブ、セジメントチューブなど）が必要となる。また、孔底にはボイリング等による乱れやスライム残留がない状態にし、孔壁はサンプラー挿入時の崩壊発生やサンプラーに付着するほどの粗悪な厚いマッドケーキがあつてはならない。

B) サンプラーおよび掘削流体の選択

サンプリング対象となる地盤や室内試験に応じたものを選択する必要がある。選択する要因は地盤の種類、硬さ、試験の目的、必要寸法などが挙げられる。

C) サンプリング時の諸調整

我々が対象とする地盤は同じものが存在しないといつても過言ではない。ポーリング孔掘削時の情報（硬さ、均質さ）などにより、サンプラーの給圧、掘削流体の送圧や送量を調整する必要がある。

D) サンプラーの回収

サンプラー回収時には衝撃・振動・負圧の発生などが生じないように留意する。

4. 凍結サンプリングの原理と方法¹⁾

凍結サンプリングの最大の特徴・利点は被切削物の保持がコンクリート並に堅固になり保持されることである。地盤凍結は冷媒を送り込む凍結管を計画サンプリング深度まで挿入・設置し、凍結管に冷媒を送り込むことにより行う。通常凍結管は凍結外管、凍結内管、冷媒注入管より構成されている。凍結外管は凍結内管設置時の周辺地盤の乱れ防止のために用い、二重盲掘りで実施され、掘削流体は凍結外管の内側返して行う。凍結内管は先端密閉形で、注入管で送られた冷媒の戻り回路の役目を担い、地盤との熱交換が行われる。冷媒注入管は冷媒を凍結内管先端部に供給するために用いる。凍結サンプリングで重要なことは、1) 凍結外管の設置時には孔曲がりのないこと 2) 削削による周面を乱さないようにすること 3) 地盤がコアリングに耐え得る低温度まで凍結する

ことである。サンプリング時の掘削流体は掘削時の発熱を十分に冷却できる低温であることが要求される。

地盤凍結に必要な LN_2 (液体窒素 -196°C) は土量 1 m^3 当り約 10 kN (1 tf) 程度が目安である。この値は一般的なもので地盤凍結を左右する要素として地温、地下水の流速、溶存ガス (メタンガスなど)、塩分濃度、凍結管の大きさなどが挙げられる。**掘削流体作成方法**は塩化カルシウム溶液を比重: 1.140 (ボーメ度: 17.8) に希釈し、氷点 -11.4°C に調節する。**掘削流体冷却方法**は熱交換機を用いる方法と LN_2 を掘削流体の中に直接噴き込む方法がある。後者的方法では、 1 m^3 の掘削流体を 1.0°C 温度低下させるのに約 0.4 kN の LN_2 が必要である。掘削流体容器は保冷のために断熱材で保護し、掘削時の保冷が可能な容量が必要である。例えば $\phi 150 \text{ mm}$ 、コアリング長 15 m 程度の場合は約 7 m^3 の掘削流体容量が必要である。

一般的にコアリング地点で地温が -10°C 、掘削流体温度が -10°C 程度ならば良好なサンプリングが期待できる。砂と砂礫では掘削時の発熱量が違ってくるため、砂礫地盤に対応した温度管理が必要となる。**掘削速度**は概略下記の速度で実施されている。砂地盤: $8.0 \sim 10.0 \text{ cm/min}$ 、礫地盤: $1.5 \sim 2.5 \text{ cm/min}$ 。

掘削流体は氷点より 1°C 程度低い温度まで冷却・攪拌した状態で、若干のシャーベットが浮遊した状況のものを使用することを推奨する。掘削時の送水量はピット周辺の冷却が滞りなくできる量 (約 150 L/min) が目安である。

地盤凍結は間隙水を冷媒 (LN_2 、ブラインなど) により凍結させるため、地下水のない所や粘性土 (凍結膨張を引起す地盤) は適さない。

凍結サンプリングには「オーバーコアリング法、コアリング法、部分凍結法、ブロック法」などがある。

A) オーバーコアリング法

凍結管を中心にして $300 \sim 600 \text{ mm}$ のケーシングにより未凍結部まで掘削し、アイスキヤンディー状のコアを凍結管で引上げる。

B) コアリング法

凍結管の挿入時に発生する乱れゾーンの外側をダブル・コアバーレルでコア採取する。凍結管の円周上で複数本のコアリングが可能であり、同一深度でのサンプリングが可能なため、同一条件での複数の室内試験ができるのが特徴である。

C) 部分凍結法

必要なサンプリング層のみを短時間で凍結させ、掘削はオーバーコアリング法で行う。複数深度で実施する場合は次深度の凍結に悪い影響を与えないように、掘削流体は清水 (氷みず) を推奨する。

D) ブロック法

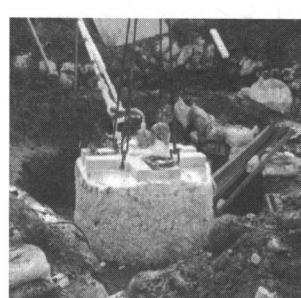
地表面より深さ約 900 mm 、直径 $1,500 \text{ mm}$ の範囲を凍結して、ブロック状に凍土塊を造成し、掘り起こしてコアリングする方法である。この方法も同一深度で多くの供試体 ($\phi 300 \text{ mm}$, $L = 600 \text{ mm}$ を $8 \sim 10$ 本) が採取できる。

写真 1 にコアと凍土塊の一例を示す。

表 1 に凍結サンプリング工法の比較を示す。

5. 濃厚ポリマーサンプリングの原理と方法^{2), 3), 4)}

本方法は濃厚ポリマー溶液を用いることでポリマーが持っているワイゼンベルグ効果やトムズ効



ブロック凍土塊 1.5 m^3 部分凍結法 $\phi 180$ コア



コアリング法 $\phi 150$ コア

写真 1 各凍結方法のコアと凍土塊

表 1 凍結サンプリング工法の比較

凍結工法	適用地盤	可能深度 (m)	最大コア径 (mm)	凍結長 (m)	掘削器具	掘削水種類	凍結時間 (日)	供試体作成	備考
オーバーコアリング法	砂・礫混じり砂	8	300 (600)	8	ケーシング	塩化カルシウム溶液	5	再コアリング	掘削水温度-11°C (塩カル)
部分凍結法	砂・礫混じり砂	40	160 (300)	1 (2.5)	ケーシング	氷水 (冷水)	1		-1°C (氷水)
ブロック法	砂・砂礫	1	300	1	手堀 (スコップなど)	塩化カルシウム溶液	4		シングルコアバーレルで再コア
コアリング法	砂・砂礫	30	300	30	ダブルコアバーレル	塩化カルシウム溶液	10	切断	掘削水温度-11°C (塩カル)

果、非ニュートン流体での曳糸性など様々な“力”を最大限引き出すことが可能となり、高品質サンプリングができるようになった。掘削流体はポリマー（EG ドリル等）を 3~5% に希釈した濃厚ポリマー溶液（写真 2）の状態を例えると、すりおろした自然薯（とろろ芋）状である。砂礫、破碎帯、砂など採取困難とされてきた地盤を、シングルコアバーレルで高品質の試料採取ができる。ポリマーの粘性は図 7 に示すように、せん断速度の増加に反比例して低下をする。

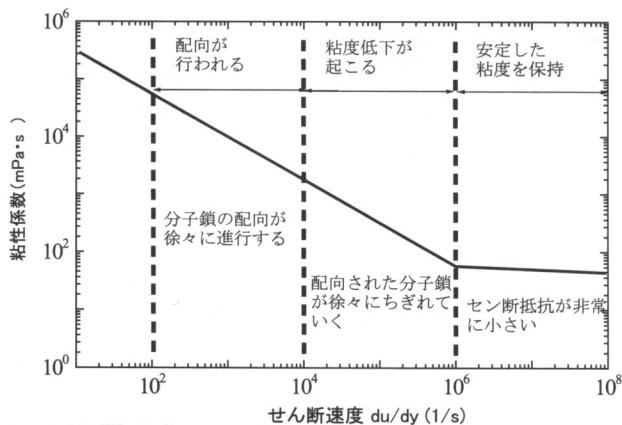


図 7 ポリマー粘性特性の模式図

以下の効果が推測される。トムズ効果は摩擦の軽減に寄与し、シングルコアバーレルでもサンプルを傷めることがない。ワイゼンベルグ効果はサンプルに拘束圧を与える。曳糸（写真 3）は切削時に被切削物の状態保持とコア側面に曳糸が幾重にも巻きつきサンプルの保護をする。

サンプリングはシングルコアバーレルにインプレグネイテッドダイヤモンドビットを装着し、掘削速度は被切削物にビットが与えるせん断力を極力小さくするために超低速度（0.5~0.8 cm/min）で行う。掘削回転はポリマーの様々な力を引き出すため高速回転（ $\phi 100$ の時 900 rpm）で実施される。一般的なボーリングマシンではこれだけの高速回転を得ることが難しいため、サンプリングにはコアマシン（写真 4）を用いて実施される。写真 5 でわかるように採取されたコア表面は滑らかに仕上がり、砂粒（ $\phi 1 \text{ mm}$ ）を切断した痕跡を見ることがある。

サンプリング方法は地表面からと、深い位置で実施する方法がある。前者はコアリフタを装備しない薄肉ビット（ビット厚み 5.5 mm）を用い、コア回収はコアバーレルの側面を掘り下げてビット下端部にタガネを打込みコアの根切りをして回収される。最大 $\phi 300 \text{ mm}$, H 900 mm のコアまで採

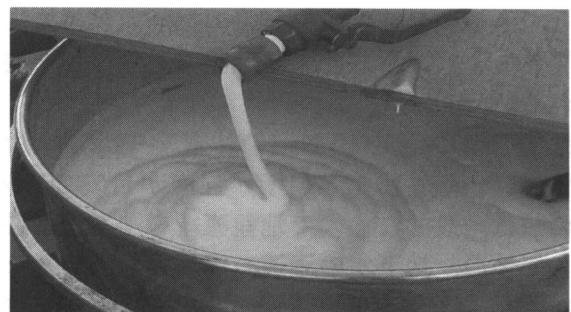


写真 2 濃厚ポリマー 3% 溶液

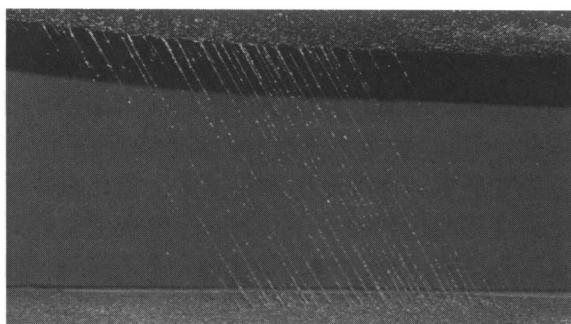


写真 3 サンプルを保護している曳糸

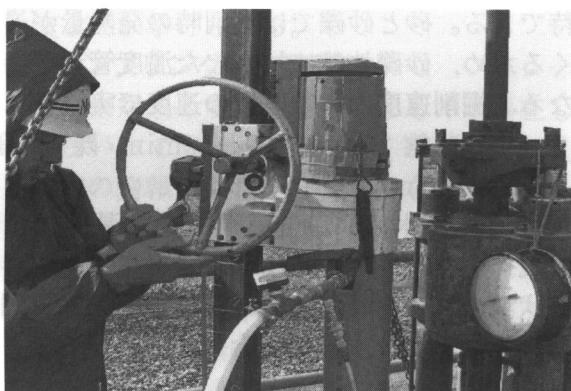


写真 4 サンプリングに使用するコアマシン

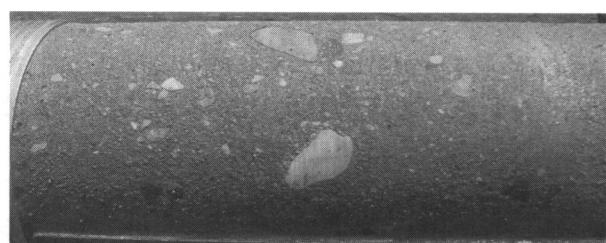


写真 5 $\phi 150 \text{ mm}$ 採取試料の拡大写真

取可能である。後者はコア回収の為にコアリフタが必要で、その分ビット厚みが大きくなる（ビット厚み 9.5 mm）。コア径 $\phi 100 \text{ mm}$ が主流を占めている。最大 $\phi 200 \text{ mm}$ も可能であるが、しかしコアマシンなども特注の大きいものが必要である。

ポリマー効果を阻害する物質を含有している地盤には適用困難である。関東ローム系は綿毛化が生じて効果が著しく阻害される。しかし塩分を含

む地盤ではポリマー効果を低下させるが、濃度を濃くしたり、量を多くしたりして克服できる。

本方法で採取された試料の一例を写真6に示す。貝殻砂層の試料表面はマトリックスの砂粒子を流失することなく、滑らかな肌面を呈し、さらに試料に含まれている間隙水は飲料水のごとく透明な状態で浸出し、試料の乱れが非常に少ないと推測できる。立川礫層は低膠結にもかかわらず、試料は硬質礫岩のごとき容姿で採取されている。

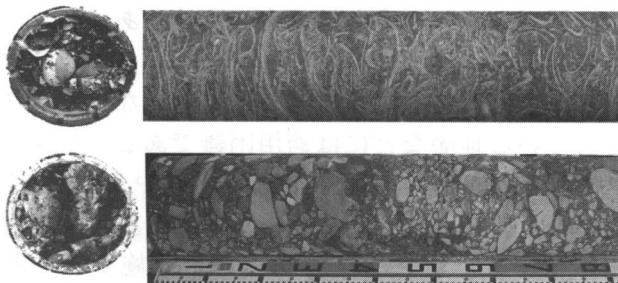


写真6 採取された ϕ 200 mmの試料

上：貝殻砂層，下：立川礫層

6. 気泡サンプリングの原理と方法⁶⁾

本方法は圧縮空気と泡液を混合してミクロ的な気泡を発生させ、その気泡を掘削流体に用い、ボーリングおよびサンプリングを行う。掘削流体に気泡を利用する利点として、掘削流体（水分）がサンプリング試料に流入しないこと、掘削流体の作成に必要な水量が通常の泥水に比べ $1/10\sim1/15$ でできることである。よって不飽和地盤や逸水層が多い山岳地帯では有効である。

泡液の作成は、気泡剤（テルフォーマー 23L 等）を2~3%程度になるように清水で希釈し良く攪拌する。気泡を発生させる装置は圧縮空気用のエアーコンプレッサーと泡液添加装置（写真7）が必要である。泡液添加装置には大別して、圧縮空気の流れによる負圧を利用する吸い込み型と、圧力を利用した注入型などがある。気泡はシェービングクリーム状の極微細な気泡であり、気泡の表面張力により強力な気泡同士の結合力を發揮し、スライムの取り込と排除ができる。掘削ツールは泥水仕様の物が適用できる、しかし気泡の場合は流動抵抗が大きいので、掘削流体圧が上昇し、ツール類にリフトアップが働くため、ビットはワインディング付きを使用した方が良い。スピンドルのラック替え時は必ず掘削流体圧を低下させた後に実施すること（サンプルに引張りクラックが発生する）。圧縮空気量と泡液体積（濃度3%）の混合比は約送気量 $0.5 \text{ m}^3/\text{min}$ 、泡液体積 $0.4 \text{ l}/\text{min}$ で良質な気泡ができる。例えばトリプルチューブサンプラ

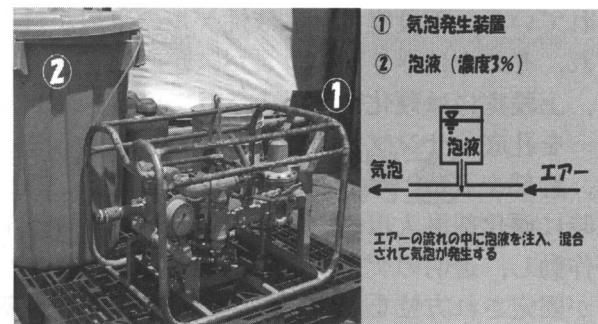


写真7 気泡発生装置の一例（注入型）

ー($\phi_{out} 125 \text{ mm}$)の場合は送気量 $1.0 \text{ m}^3/\text{min}$ 、泡液体積 $0.8 \text{ l}/\text{min}$ 、送気圧力 0.25 MPa で良好なサンプリングができる。地下水の多い時やスライム残留量が多い場合は、泡液にポリマー(EGドリル)を $0.2\sim0.5\%$ 添加することで泡質が改善される。

写真8に気泡サンプリング試料の一例を示す。

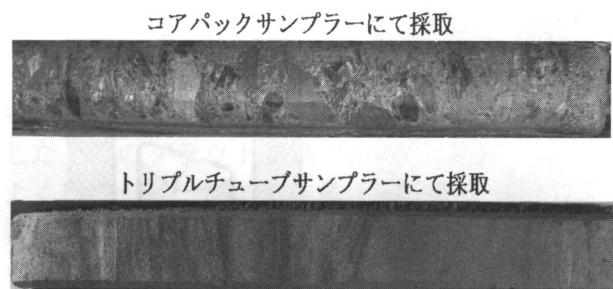


写真8 気泡サンプリング試料の一例

7. 定方位サンプリングの原理と方法

サンプル（コア）の方位を把握する為にコンパスやジャイロ等を駆使して行うサンプリングである。サンプルの正確な方位が判れば、地層の走行や傾斜、節理・断層・亀裂などの方向を知ることができ地盤の安定評価に寄与できる。

古地磁気を正確に測定することで活断層の調査、津波堆積物の調査に基づく地震や津波が発生する間隔の高精度推定に貢献することができる。さらにこれらの調査で得られた地震、津波の発生間隔は、長期確率予測やそれを用いた強震動マップなどの精度向上に繋がり、最終的には防災情報として役立つ。

サンプリング方法は回転式サンプラー法、ワイヤーライン法、静的に押込むサンプリング法等があり、それらを下記に示す。

A) 回転式サンプラー法（コンパスサンプラー）⁷⁾

本方法はサンプラーの先端部に傾斜方位測定装置（フリーピストン型）（写真9）が組込まれている。その先端には試料頭部に固定（貫入困難な場合は針の痕跡を残す）する針が4本あり、その上部にアクリル円筒が接続され円筒は2室から構成

されている。下段室には二液性ゲルの主剤が封入され、その中に浮き型のコンパスが内蔵されていて、上段室には硬化剤が封入されている。サンプラーを孔底（サンプルの頭部）に押し付けることで、針部を孔底（サンプルの頭部）に貫入させ、同時に硬化剤混入用の円盤付きパイロットロッドが作動し、透明のゲル剤は硬化を開始し、コンパスが固定され方位を記録する。ゲル剤上面の傾斜を測ることでボーリング孔の傾斜も計測される。ゲルの硬化時間5分程度経過したら通常のサンプリングを実施する。

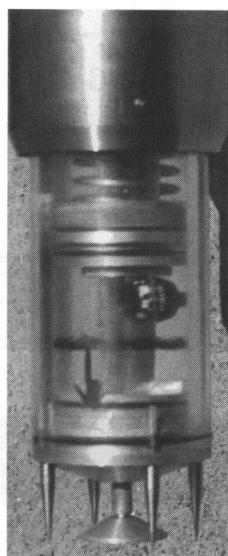


写真9
傾斜方位測定装置

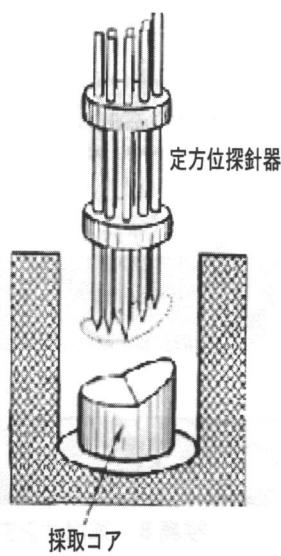


図8 定方位探針器¹¹⁾

B) ワイヤライン法⁸⁾

本方法はコアサンプリングに先立って定方位コアサンプリング装置をボーリング孔に挿入し、孔底（コアの頭部）の形状（定方位探針器 図8）と方位・傾斜を記録し、地上に回収する。

その後、通常のコアサンプリングを実施する。コア側面の軸線方向に条痕をつける鋭利な突起がコアリフタ内周面の一箇所に形成されている。

コア頭部の形状記録部は可動型の複数（13本）の探査針を有し孔底に押し付けることで探査針は孔底の凹凸を反映した形で動き保持される。その上部には方位・傾斜を測定するコンパスやジャイロが格納されている。方位・傾斜は写真に記録される。回収されたコア頭部と探査針を照合することでコアの方位を決定できる。

C) 静的に押込むサンプリング法⁹⁾

本方法は押込み時の回転防止のために正方形のサンプルチューブを有し、その上方には方位センサー（ジャイロ式）が組込まれ、方位や傾斜を電

気的に読み取り内蔵のマイコンに記録される。このマイコンは通信機能を有し随時地上でモニタリングが可能である。

いずれの方式も磁力をを利用して方位を測定する為に器具は非磁性体（ステンレス、アルミ、真鍮、アクリルなど）で作製されている。

8. まとめ

どの方法も万能ではない。凍結サンプリングの場合は細粒分を多く含む所や地下水のない場所では適用できない、また地下水の流速のある所では困難になる。濃厚ポリマーサンプリングはポリマー効果を阻害する物質（硫酸系の物質など）を含有している地層などには適用困難である。気泡サンプリングの場合は地下水の多い所や50m以深においては品質低下を招く恐れがある。よって地盤に適合したサンプリング技術を実施することで、高品質サンプリングの目的が達成される。

品質を左右する最大の要因は地盤に変質を与えることなく被切削物を動かさない状態で切断できるかである。

引用・参考文献

- 基礎地盤コンサルタンツ(株)：凍結サンプリング技術資料「オーバーコアリング法 1984, コアリング法 1986, 部分凍結法 1989, ブロック法 1990」
- 谷, 金子：水溶性ポリマーの濃厚溶液を利用した乱さない試料のサンプリング方法, 土と基礎 54-4, pp 19-21
- 基礎地盤コンサルタンツ(株)：高機能サンプリングシステム技術資料「GPサンプラー」, 1999
- 柳沢, 谷, 金子, 酒井：高濃度ポリマー溶液を使用した新しいサンプリング方法の実験的研究第32回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集(社)土木学会 2003年1月 pp 311-316
- 基礎地盤コンサルタンツ(株)：GP200サンプリングの技術資料, 2007
- 基礎地盤コンサルタンツ(株)：KIHO（気泡）ボーリングマニュアル, 1985
- 基礎地盤コンサルタンツ(株)：地盤試料の傾斜方位測定装置技術資料「コンパスサンプラー」, 1984
- 池田隆司・井ヶ田徳行・川西 肇：ワイヤライン工法による定方位コアリングの開発, 全地連, 技術フォーラム '99 松山論文集, pp. 21~22, 1999
- 田中兼次, 野村成宏 (株式会社田中地質コンサルタント), 加藤茂弘 (兵庫県立人と自然の博物館)：未固結粘性土地盤を対象とした高精度定方位試料サンプラーの開発 (日本文化財科学会大会研究発表の要旨集_2009-07_414-415)

大規模地すべり地でのボーリング調査 一大深度孔内傾斜計設置と噴出ガス対応について

しょう ぶ ゆき お*
菖蒲 幸男*

1. はじめに

山形県の中央部に位置する月山（標高 1,984 m）の南側に位置する志津温泉地区に分布する大規模地すべり地の地質調査を紹介する。月山は古くから信仰の対象となった出羽三山のひとつであり、豪雪地域としても有名なところである。

調査地の地質は、先新第三系の花崗岩類と新第三系中新統下部～上部の安山岩・玄武岩、火山碎屑岩、砂岩及び泥岩とこれらを不整合で覆う第四系の月山火山噴出物よりなる。地すべりのすべり面深度は 150 m 以深と推定される。

調査は地すべり地の地質状況の把握、動態観測機器の設置及び地質解析を目的とし、水位観測孔（φ66, オールコア）、孔内傾斜計設置孔（φ86 mm, ノンコア）の掘削、孔内試験等を実施したものである。現場作業は、玉石混りの未固結堆積物等からなる月山火山噴出物の掘削、大深度の孔内傾斜計設置、孔内から噴出したガスの対応等に苦心した。

本報文では大深度での孔内傾斜計設置と孔内からのガス噴出の対応について示す。

2. 実施例の少ない大深度の孔内傾斜計設置

大深度（深度 190 m）の孔内傾斜計のガイド管の設置は実施例が少ないとため、以下のような問題の発生が懸念された。

- 1) ガイド管の自重による接続部の破断
- 2) グラウトが岩盤中に漏れることによる充填不足
- 3) ねじれや孔曲がりによる測定精度の悪化
- 4) 煩雑な作業の繰り返しに伴う集中力の低下による設置ミスや作業員の事故

本現場ではこれらの問題を防ぐため、「地すべり

り地における挿入式孔内傾斜計計測マニュアル」（2010年7月）に準拠することはもとより、現場状況に合わせた工夫を加えてガイド管の設置作業を実施した。以下に設置状況等を示す。

① 事前準備

ガイド管の設置作業は、65 本のガイド管（3 m/本）を現場で接続して、深度 190 m の孔内へ挿入した上でのグラウト充填である。接続作業を効率よく行うため、事前に作業手順書を整備し、全作業員を集めて設置手順の講習会を実施した（写真1）。講習会では上記のマニュアルの作成に携わった弊社の職員による説明や、作業員の意見も取り入れながら当日の作業内容を決定した。

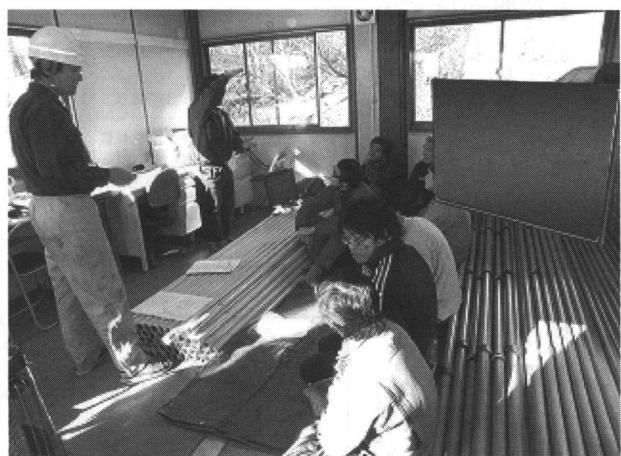


写真1 事前講習会実施状況

また、設置深度が深いためグラウトホースを 4 深度に設置するとともに、段階ごとのグラウト量の計算を行ない、グラウト量と充填深度の関係を整理した。

② 設置作業

ガイド管のねじれ防止や接合部の破断を防止するため、設置は以下の手順で実施した。

- ・4 本のグラウトホースを真っ直ぐに伸ばし、必要延長になるように接続する。（設置中に

* 応用地質株式会社東北支社ジオテクニカルセンター
上級専門職

- ホースが絡まることによる作業中断の防止)
- $\phi 3$ mm のワイヤー ($L = 200$ m 以上) をガイド管の先端に専用の治具でガイド管に取り付ける。(接合部の破断の防止)
- 2本のガイド管を接続し、6 m の長さとする。(設置時の接続作業を半減し、作業効率の向上)
- 塩ビ管 (VP100) に、必要な長さのパッカーを縫い合せて被せる。(グラウトが岩盤に漏れることによる、充填不足の防止)
- グラウト充填は、グラウトの圧力によりガイド管が破損しないように、1回当たり延長 50 m



写真2 ガイド管挿入状況

ずつとし、延べ
4日間かけて実
施した。

なお、設置作業は
2本接続したガイド
管（長さ 6 m）を、
パッカーを被せた塩
ビ管の上部から挿入
するため、高さ 5 m
の足場が必要であつ
た（写真2、図1）。
足場の上下に人員を
配置し、7名程度で
作業を実施した。

③ ガイド管のねじ れ測定と孔曲り測定

大深度の孔内傾斜
計のガイド管は、地
表部と地下での向
きが変化している場
合がある。精度の良い
観測及び地すべりの
移動方向の把握のた

めに、ねじれ測定と孔曲り測定を実施した。

ねじれ測定の結果、孔底（深度 190 m）から孔口までの間に、約 30° 反時計回りのねじれが認められた。この値は、既存データによるねじれの平均値以下である（図2）。

また、孔曲がりはほぼ一定方の傾き（傾斜角約 1°、深度 190 m で水平 3 m の離れ）であることが判明した。

ねじれ、孔
曲りとも、地
すべりの動態
観測に支障は
ない精度であ
ることが確認
できた。

3. ガス対 策

当該地すべ
り地では、既
往の調査でも
ボーリング作
業中に孔口よ
りガスの噴出
が認められ

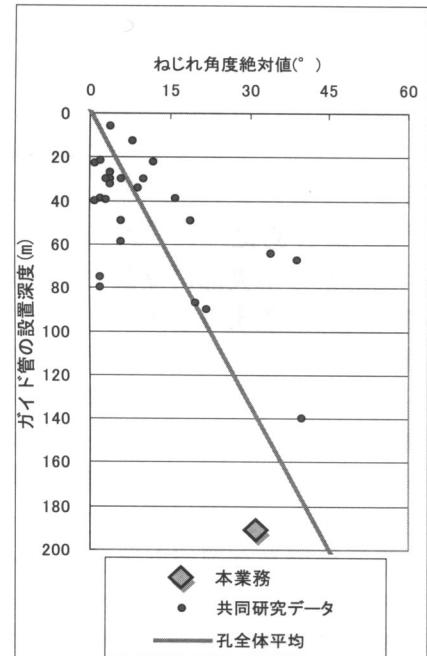


図2 設置深度とねじれ角度

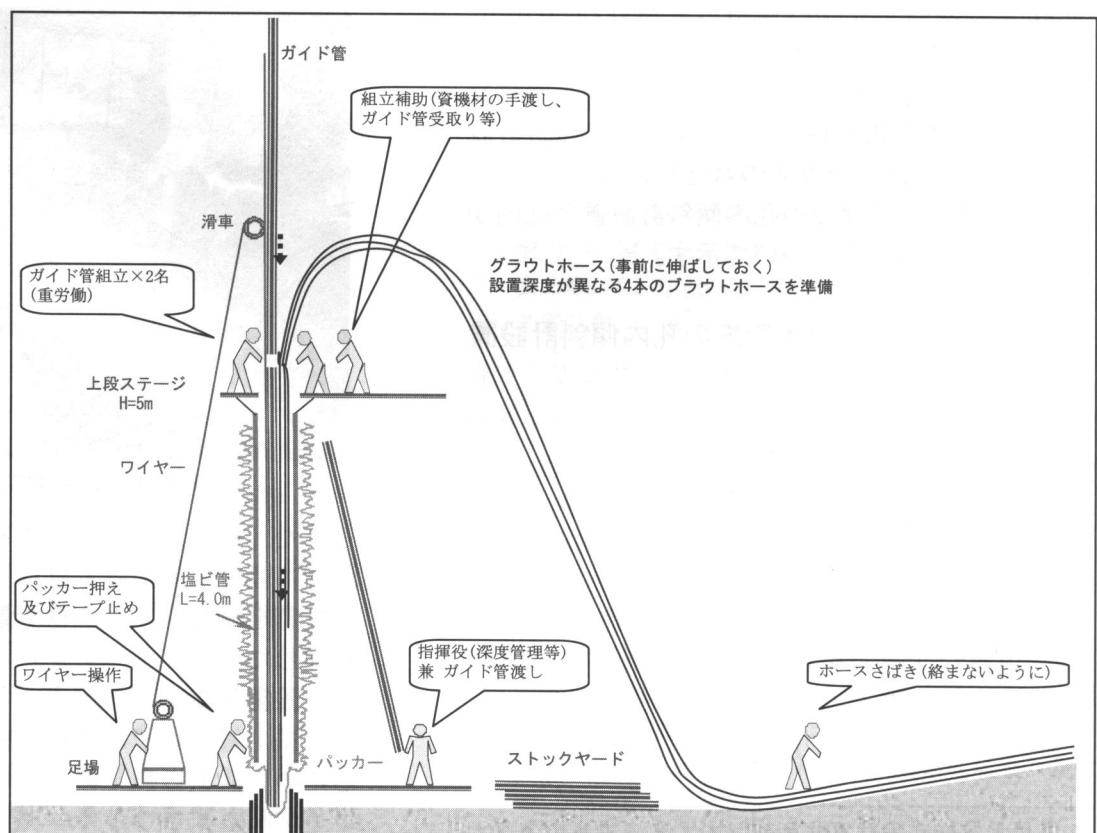


図1 孔内傾斜計ガイド管埋設状況

た。本調査においても、ボーリング作業中にボーリング孔口よりガスが噴出した。現場でポータブル式のガス検知器で測定した結果、可燃性ガスが100%LEL以上、酸素濃度が18%未満であったため、以下のような安全対策を行い、作業の安全を確保した。

- ① 作業中の作業員及び第三者への災害防止
 - ② 教育及び安全意識の向上
 - ③ 作業終了後の災害防止
 - ④ ガスの種類の特定
- 以下に各項目について示す。

① 作業中の作業員及び第三者への災害防止

現場で計測されたガスの状況をもとに、対応策を検討した。以下に対応の概要を示す。

- ・ばらつきの無いガス測定を行うために、ガス測定員をあらかじめ定め、ポータブルガス検知器によるガス測定の方法（孔口部、足場上での測定）を明確化した（図3、写真3）。
- ・測定されたガス濃度による対応方法を明確化し、ガスに対しての管理フローを作成した（図4）。フローには通常時の管理手法も示した。
- ・ガスの拡散を目的に、ボーリング地点ごとに送風機を準備した（写真4）。
- ・第三者が不用意に近づかないように、ガスが湧出したことを地元に報告を行なうとともに、ボーリング作業現場付近にカラーコーンや標識を用いて立入禁止区域を表示した（写真5）。

② 教育及び安全意識の向上

ガスへの正確な情報及び安全意識の向上を目的に以下の対応を実施した。

- ・現場作業を再開する前に酸素欠乏危険作業主任者を講師として、全作業員にガスの性質、測定方法、非常時の対応方法について教育した。
- ・作業前のKY時に、ガスの噴出状況について関係者全員で確認した。
- ・管理手法のフローは、現場事務所及びボーリング足場に掲示するとともに、全作業員に配布した。

③ 作業終了後の災害防止

ポータブルのガス検知器による現場測定では、

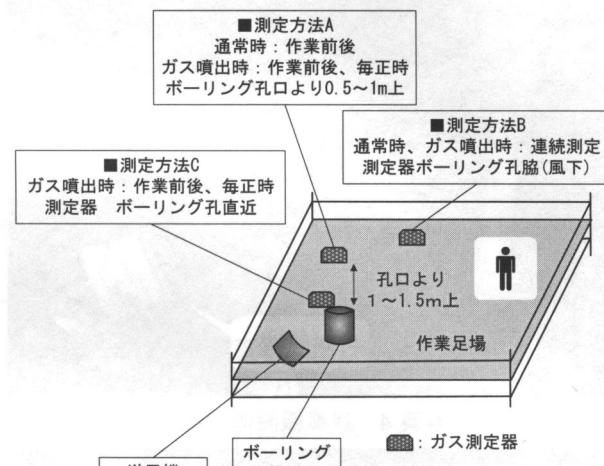


図3 ガス測定方法

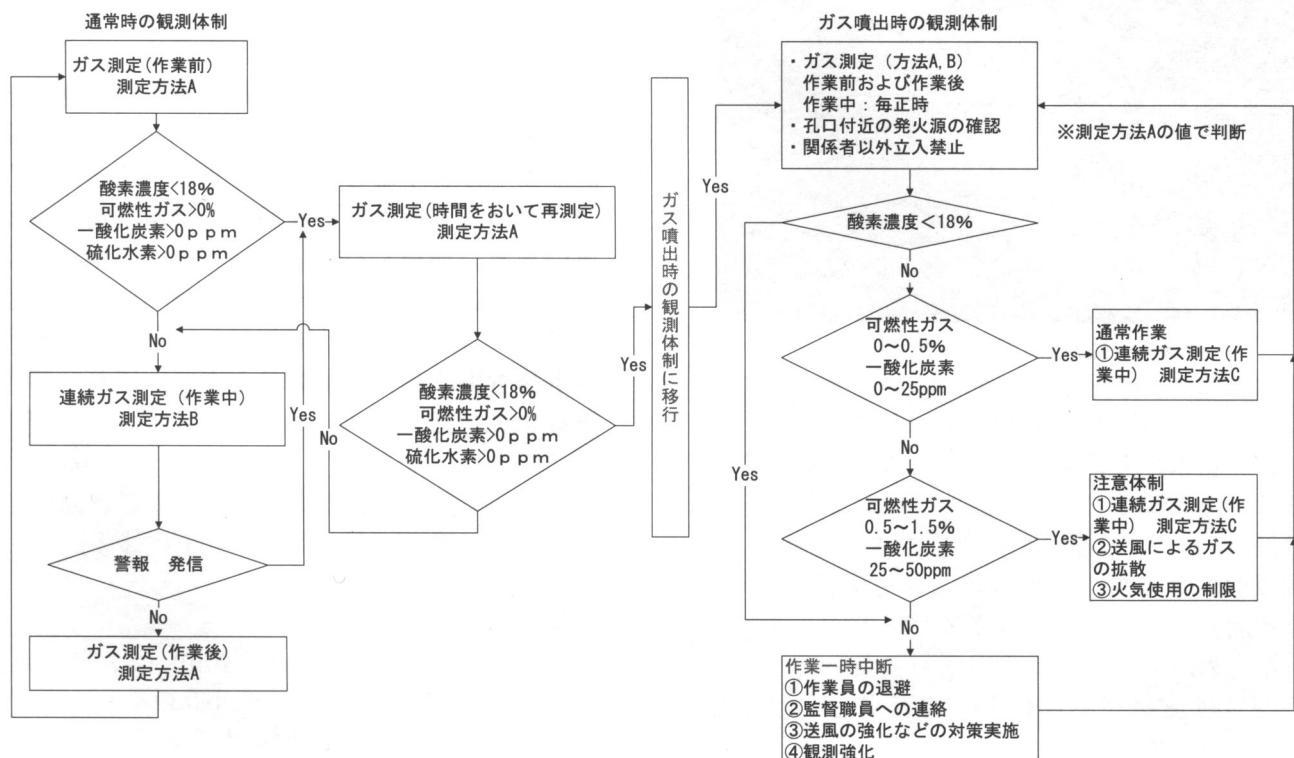
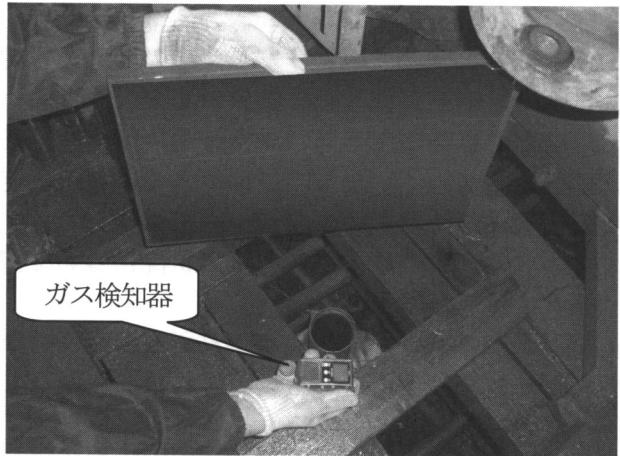


図4 ガス管理フロー



ガス検知器

写真3 ガス測定状況（孔口直上）



送風機

写真4 送風機設置状況



写真5 立入禁止区域の表示状況

噴出しているガスは可燃性ガスと判断されたが、室内分析結果から二酸化炭素を主体とするガスであることを確認された。二酸化炭素は爆発の危険性は無いものの、濃度が高いと低酸素状態となり、直接吸引すると酸欠を引き起こす可能性がある。水位観測孔は作業終了後もガスが噴出する可能性があるため、間違ってガスを吸引しないように水位観測孔は塩ビパイプを2m程度立ち上げて上で雪囲いを実施した。

④ガスの種類の特定

現場で使用したポータブル型のガス検知器は酸素、一酸化炭素、硫化水素及び可燃性ガスを測定する一般的なものであった。この検知器による現場測定では可燃性ガスが多く含まれる計測値を示し、爆発することも考えられた。

しかし、孔口から採取したガスを室内分析した結果では、二酸化炭素が大半をしめ、可燃性ガスは含まれていないことが確認された（表1）。

表1 ガス分析結果

分析項目	単位	本業務		既往調査
		%	%	
可燃性ガス	%	0	0	0
二酸化炭素	%	93.8	93.3	92.1
一酸化炭素	%	<0.01	<0.01	<0.01
窒素	%	3.26	2.97	5.1
酸素	%	0.85	0.64	1.4

現場計測と室内試験結果では、計測されるガスの種類が異なる結果となった。ポータブル型のガス検知器で使用している計測器のセンサーの特性は可燃性ガスを燃焼させてそのときの熱量をもとに可燃性ガスの濃度を求めるタイプであり、二酸化炭素が大半をしめ、酸素が無い気体では正常な計測ができなかったためこの差が生じたと考えられる。

結果的には、爆発の危険性は無いものの、噴出しているガスは低酸素濃度のガスであり、直接吸引すると酸欠状態を引き起こす危険があることが確認された。

4. 終わりに

ガス噴出への対応や厚く堆積した玉石混り土砂の掘削などで作業期間が長くなり、本格的な積雪直前まで作業することとなつたが、地元の協力や国土交通省東北地方整備局新庄河川事務所のご指導のもと、無事に作業を終了することができた。ガス対応について取りまとめたものは、『現場技術者による「安全施工技術」研究発表会』（新庄河川事務所事故防止対策委員会主催）において最優秀賞をいただいた。

また、本文を作成するにあたり発注関係の方々には、関係資料の引用についてご快諾いただいた。この場を借りてお礼申し上げます。

参考文献

- 独立行政法人土木研究所他 (2010) : 共同研究報告書 第397号 孔内傾斜計データ不良の原因に関する実態調査と計測技術の標準化 平成22年3月, pp. 168, 170-173

広島の地形地質が生んだ景観、銘水

1. はじめに

広島県は、南に数多くの島が浮かぶ瀬戸内海、北は盆地を持つ中国山地からなり、海岸平野が少ない、北東—南西方向に並ぶ断層谷地形が多いなどの特徴があります。地質的な面から見ると、広島県は花崗岩と酸性火山岩類が大勢を占めており、「酸性岩の地域」とも言えます。

広島県の特徴を「景観」と「銘水」の観点から、何例かご紹介したいと思います。

2. 宮島の景観を演出する花崗岩

広島県といえば、「安芸の宮島」をまず想像される方も多いと思いますが、ここは花崗岩の特徴が見事に生かされた観光地でもあります。海に浮かぶ厳島神社への参道はまさ土が敷き詰められており、白砂青松の美が演出されています（写真1）。また、厳島神社へと流れる紅葉谷川では、昭和20年の枕崎台風で土石流が発生しましたが、流出土石を巧みに利用した「紅葉谷庭園砂防」として整備されております（写真2）。行き届いた日々の管理も合わせて、見事な日本の景観となっております。さらに、秋は紅葉の観光スポットとして多くの人が訪れていますが、そのほとんどが砂防施設



写真1 厳島神社へ続く白砂青松の参道



写真2 紅葉谷庭園砂防渓流

であることに気付かないほど、自然と調和しています。これを終戦直後の昭和21年に実施した先見性は、もっと認められて良いと思います。なお、平成17年の豪雨で隣接する白糸川でも土石流が発生しましたが、先人の知恵に学び、同様の思想で整備されました。

3. 花崗岩の風化がもたらす景観

花崗岩の風化といえば、まさ土が真っ先に思い浮かぶでしょうが、節理間隔などにより「コアストーン」と呼ばれる未風化岩塊が残ることがあります。それが一ヶ所に集積し、得意な地形を呈しているのが三原市久井町にある「久井・矢野の岩海」です。写真3のとおり、2m大以上の花崗岩

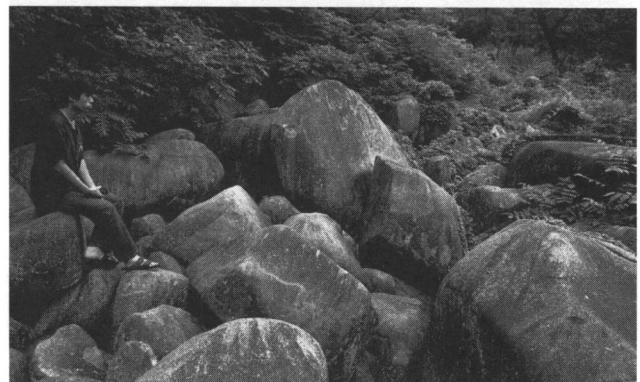


写真3 三原市久井町の久井の岩海

礫がゴロゴロ転がっており、圧巻です。夏に訪れると、この岩海の地下を流れる水流が心地よい音を響かせ、とても心が落ち着きます。もっと知られて良い場所だと思います。

4. 断層が見せる景観

広島県内には北東一南西方向に発達する谷地形が多く存在しますが、この多くには断層が関係していると考えられています。写真4は広島県北西部の北広島町鶴木で撮影したものですが、手前からはるか向こうまで谷が揺っており、見事な景観を見せてくれます。私は空気が澄んだ時を待ち続けて何度も足を運び、やっとこの一枚を撮影できました。

断層地形をもう一枚紹介します。写真5は安芸太田町の「押ヶ堺断層帯」と呼ばれる天然記念物の断層鞍部地形ですが、地学の教科書などでも紹介される断層の模式地形です。



写真4 北広島町鶴木から見た断層地形



写真5 小山と鞍部が「押ヶ堺断層帯」の一部

5. 地形地質がもたらす恵み「銘水」

広島県には西に太田川、東が芦田川、北に江の川などの水系がありますが、銘水も実に多いです。

花崗岩や流紋岩類の場所に多く、地質的な関係が深そうです。写真6は呉市上蒲刈島宮盛にある「桂の滝」と呼ばれる湧き水ですが、この水のまろやかさは飛び抜けており、ほのかな甘味さえします。また、持て帰った水をポリタンクに入れたまま数ヶ月、我が家玄関に放置していましたが、腐ることなく美味しいままでした。この湧き水は流紋岩質凝灰岩からなる山地斜面にあり、山頂からの水が地下を通る過程で美味しい水が出来るでしょう。写真7は呉市宮原の「真梨清水」です。ここは花崗岩と岩脈の花崗斑岩が分布する山地斜面に位置していますが、やはり腐らないのが昔から知られていたようで、かつて軍艦用水として用いられていたこともあるそうです。



写真6 呉市上蒲刈島の「桂の滝」



写真7 呉市宮原の「真梨清水」

6. さいごに

以上、簡単にですが、広島県の大地の恵みについてご紹介しました。この他にも、石灰岩からなる帝釈峡の「雄橋」、過去の平坦地の名残である「地形面」など、広島県にはまだまだ面白い景観や銘水があります。広島の地質は比較的単調ではあります、だからこそその恵みがあると思います。

[復建調査設計株式会社 地盤環境部 小笠原洋]

各地の残すべき地形・地質

石灰岩の景勝地 (沖縄本島、宮古島)

はじめに

石灰岩は大変おもしろい岩石である。炭酸ガスを含む雨水に溶けやすく、溶けて奇妙な地形をつくることで知られている。この石灰岩で形成される沖縄本島及び宮古島の代表的景勝地を紹介してみる。



写真1 辺戸岬（沖縄県北部国頭村）

辺戸岬（へどみさき）：沖縄本島最北端、太平洋及び東シナ海に面する岬。



写真2 辺戸岳（沖縄県北部国頭村）

辺戸岳（へどだけ）：辺戸岬から見ると山というよりけわしい岩峰の姿をしている熱帯カルスト地形。

喜如嘉（きじょか）のビーチ・ロック、板干瀬（いたびし）とか海岸の洗濯板とかよばれる板状



写真3 喜如嘉の板干瀬（沖縄県北部大宜味村）

の岩。厚い板を重ね合わせたような岩石の層は海水の浸食でできたものである。



写真4 万座毛（沖縄県北部恩納村）

万座毛（まんざもう）：隆起サンゴ礁の断崖上には、天然芝が広がる一面の広場があり、250年前、琉球王尚敬が、その広場をみて万人を座するに足る毛（原）とたたえたのが万座毛の名前の由来。

残波岬（ざんぱみさき）：けわしい断崖絶壁（およそ 30 m）になっている。釣り場としても知られ、灯台ちかくの岩場には太公望たちの姿がたえない。

ギーザバンタ：隆起サンゴの絶壁（バンタ）が



写真5 残波岬（沖縄県中部読谷村）



写真7 喜屋武岬（沖縄県南部糸満市）

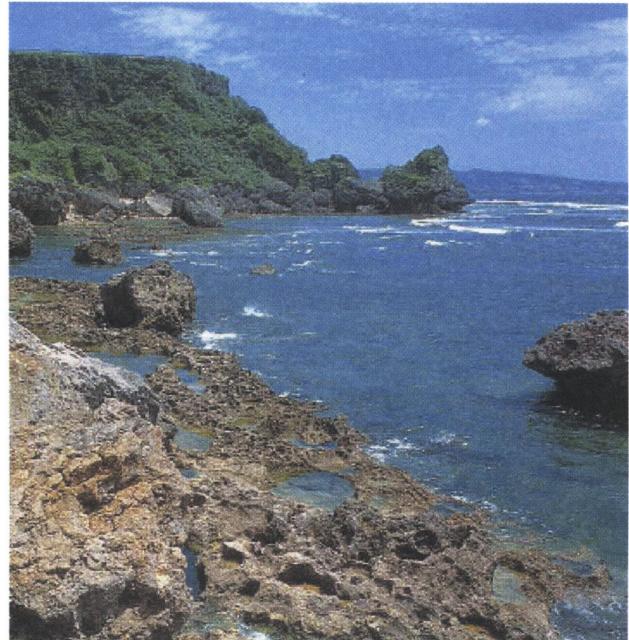


写真6 ギーザバンタ（沖縄県南部八重瀬町）

ノコギリの歯のようギザギザにいりこんでいる海岸線が数キロにわたって延々と続く。

喜屋武岬（きやんみさき）：沖縄本島の最南端の東シナ海に面する岬。

東平安名岬（ひがしへんなざき）：宮古島の南東部に突出。長さ 2 km, 幅 50 m～100 m, 標高 10～20 m の崖になっている。中央を道路がはしり、先端には無人灯台がある。東平安名岬隆起サ

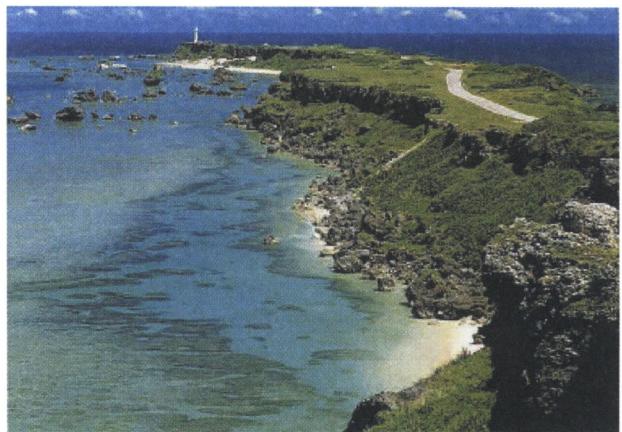


写真8 東平安名岬（沖縄県宮古島市）

ンゴ礁海岸は風衝地特有の植物群落が成り立っている。（県指定天然記念物）

おわりに

沖縄の石灰岩には形成時期の若い琉球石灰岩や古い本部（もとぶ）石灰岩などが存在します。今回紹介した景勝地がどんな石灰岩なのか、調べてみるのも楽しいかなと思います。

引用文献・写真

- 1) 木崎甲子郎・目崎茂和編著 琉球の風水土 1984
- 2) 新報出版 ふるさと自然百科 1992

[株式会社 協和建設コンサルタント調査部部長
上原 裕]

各地の博物館巡り

石川県能登町 真脇遺跡縄文館



縄文館の正面

はじめに

真脇遺跡は能登半島の先端に近く富山湾側に面し、岩礁地帯がひろがる海岸の入り込んだ入江奥に所在しています。標高は4~12mで、その地表面は海側へ緩やかに傾斜し、周りを囲む丘陵からは小さな川が流れ込んでいます。

縄文時代前期初頭（約6,000年前）から晩期終末（約2,300年前）までの分厚い包含層から多種多様な遺物が出土し、縄文時代を代表する貴重な遺跡として、37,599.94 m²が1989年に国指定史跡となり、大量の出土品の内219点が1991年に国指定重要文化財となりました。

史跡周辺には真脇遺跡公園として、宿泊施設（真脇ポーレポーレ）、縄文真脇温泉浴場、木製遊具施設、真脇遺跡縄文館（博物館）、真脇遺跡体験館がこれまでに整備されています。1997年から史跡整備を実施するための事前調査を行っています。事前調査には発掘調査に加えて地質調査等も行ない、縄文時代より深い堆積物の分析も行なった結果、縄文海進と呼ばれる海水面の変動を明らかにする事ができました。これらの調査の成果に基づいて、2007年から第1期史跡整備工事を実施し、2011年11月9日に完成しました。



写真1 手前から体験村、縄文館、温泉浴場、ポーレポーレ

真脇遺跡の概要と史跡整備

縄文時代晩期に石川・富山を中心とする北陸地方にしか見られない環状木柱列と呼ばれている遺構があります。その特徴は柱が真円配置に立てられて、線対称形に8ないしは10本配置されます。クリ材を使用し、木心をはずしカマボコ状に半割りされ、割った面を外側に向けています。半割柱に付属して断面U字状の桶形の材（門扉）と断面三角の柱（三角柱）が対になっている例（門扉状遺構）があります。これは出入口の施設と考えられています。真脇遺跡で検出された環状木柱列は、縄文時代晩期後葉（約2,800年前）に作られたもので、同じ位置に6回の立て替えが行なわれています。中でもA環と呼んでいる環状木柱列が最大の規模です。直径約7mの真円配置に10本の柱が立ちます。木柱根の幅は68~98cm、厚さは22~56cmです。

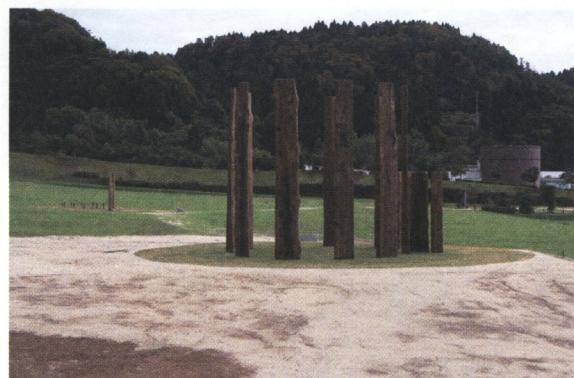


写真2 復元された板敷き土壙墓（左奥）と環状木柱列

縄文時代中期前葉から中期中葉（約4,500年前）にかけて縄文人が整地した粘土層に長径140~150cm、短径90~115cmの橢円形の大きな土壙墓が4基検出されました。ほぼ同じ時期に作られています。3基の土壙の底面からは大きな板

が敷かれていました。最も南に位置する3号土壙墓からは、板の上に人骨が検出されました。大きなスギ板の上に頭を北に向け横向で足を強く折り曲げた状態で埋葬されていました。壮年期(20~30代)の男性と推定されています。このような埋葬方法は類例が無く、「板敷き土壙墓」と名付けられました。周囲に同規模のものがないことから、被葬者は当時のムラのリーダーではないかと考えられています。

真脇遺跡を最も特徴付けているのがイルカ層です。前期末から中期初頭(約5,500年前)の地層に大量のイルカ骨が層状に検出されました。この層には土器、石器をはじめ大量の動物骨が堆積していました。確認されたイルカ骨は286頭分を数え、カマイルカ・マイルカ・ハンドウイルカ・オキゴンドウ・コビレゴンドウ・ハナゴンドウの6種類です。イルカのうちカマイルカが全個体数の約60%を占めています。石器には多量の石鏃・石槍・石匙・削器が出土しています。この時期以外にもイルカ骨が検出されていることから、真脇遺跡の存続した縄文時代全時期にわたってイルカ漁が行なわれていたものと考えられています。イルカは種類により回遊時期が違うので、ほぼ一年を通じて得ることのできる安定した食料源となっていたと考えられます。このことが真脇集落の長期間存続が可能となった最大の要因といえます。

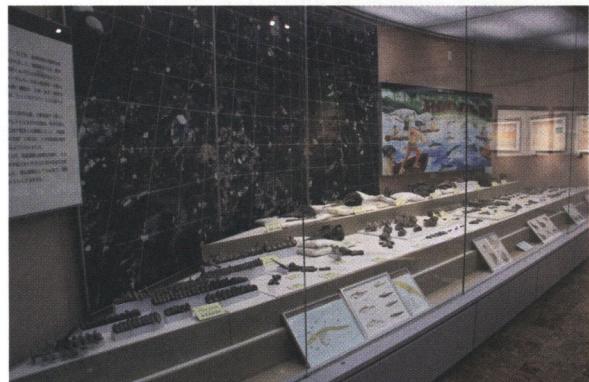


写真3 イルカ骨の展示



写真4 お魚土器

これらの特徴ある遺構の内、環状木柱列と板敷き土壙墓の復元工事が行なわれていて、2011年11月9日に完成しました。

真脇遺跡縄文館の概要

真脇遺跡に隣接して、出土品を展示公開している真脇遺跡縄文館があります。約5,500年前のイルカ層から出土したイルカ骨を始め、たくさんの動物の骨を展示しています。これらから縄文人の食糧事情を推測することができます。出土した土器の内、真脇式土器があります。魚が口を開けて上を向いているように見えることから、「お魚土器」というニックネームが付いています。1991年石川国体の炬火台のモデルになり、1998年にフランスのパリで開催された縄文展に出品されました。晩期の環状木柱列は、保存処理された本物の木柱根が展示されています。直径が1mを超えるクリの木から作られた柱は見応えがあります。伐採した後に、山から木を曳く際に曳き綱が地面に擦れて切れないように溝が掘られています。



写真5 環状木柱列木柱根の展示

一般情報

(1) 住所・電話番号

石川県鳳珠郡能登町字真脇 48字 100番地

Tel 0768-62-4800 Fax 0768-62-4172

(2) アクセス

自家用車等：北陸自動車道「金沢森本IC」から能登有料道路「能登空港IC」より東へ約30分。

公共交通機関：「能登空港」からふるさとタクシーで約30分。「JR金沢駅」から特急バスで「縄文真脇温泉口」下車。北へ徒歩5分。

(3) 料金

大人300円(200円)、小中高校生150円(100円)。()内は20名以上の団体料金。

(4) 開館時間

午前9時～午後5時(入館は午後4時30分まで)

(5) 休館日

毎週月・火曜日(月・火曜が祝日の場合は翌平日)

年末年始(12月29日～1月3日)

[真脇遺跡縄文館 高田秀樹]

全地連「技術フォーラム 2011」について

第22回技術フォーラムが、9月8日（木）～9日（金）の2日間、京都市で開催された。（行事の具体的な内容は、表1参照）

今回のフォーラムでは、「“現場”へ戻ろう—地質調査の役割と今後の展開—」をメインテーマに、地元「関西地質調査業協会」の全面的な協力と国土交通省近畿地方整備局、京都府、京都市の後援および独立行政法人土木研究所、独立行政法人産業技術総合研究所、日本情報地質学会、NPO地質情報整備活用機構、一般社団法人日本応用地質学会に協賛いただいた。

初日の特別講演会は、京都大学防災研究所・地震予知研究センター長の飯尾 能久氏に基調講演として「地震予知研究の最新の動向について」と

いうテーマでご講演いただいた。2日目には、今回の大震災の津波被害について大阪市立大学・准教授の原口 強氏に現地での調査結果についてご報告いただいた。

技術発表会には、若手技術者を中心に全国から99編（表2参照）の応募があり、活発な質疑が行われた。

なお、今回の優秀技術発表者賞には、各セッションから選抜された17名が受賞された。（表3参照）

2日間の総入場者数は、約480名となった。

平成24年度の技術フォーラムは、北陸地区（新潟市）で開催する予定である。



表1 行事内容

エリア①⇒ 入場無料

第1日目 9月8日（木）

会場：1F テルサホール

- 開場 9:30～
- 開会式 10:00～10:30
 - ・開会挨拶 全地連会長 成田 賢
 - ・来賓挨拶
- 特別講演会 10:30～12:00
「地震予知研究の最新の動向について」
京都大学防災研究所 地震予知研究センター長
飯尾 能久 氏

第2日目 9月9日（金）

- 開場 8:45～
- 報告会 9:00～10:00
「東日本大震災 津波被害現地調査報告」
大阪市立大学 准教授 原口 強 氏

◆同時開催展示会（入場無料） 会場：テルサホール 1F・2Fロビー
第1日目 12:00～16:30 第2日目 9:00～15:00

エリア②⇒ 有料

第1日目 9月8日（木）

会場：1F テルサホール

- 技術者交流懇親会 18:00～20:00

第1日目 9月8日（木） 13:00～17:30

第2日目 9月9日（金） 10:15～15:00

会場：西館3F「第1会議室」、東館3F「大会

議室」、東館2F「セミナー室」、

東館2F「中会議室」

- 技術発表会 4会場 発表論文数99編

一般セッション 93編

「盛土の調査・解析」「ハザードマップ」「情報化」

「現地調査」「地域特性」「地下水調査・水文解析」

「ケーススタディ」「環境」「自然災害・動態観測」

「河川・物理探査」「物理探査」「斜面・地すべり」

地質リスクセッション 3編

オペレーターセッション 3編

表2 全地連「技術フォーラム 2011」京都 技術発表内容一覧

一般セッション

セッション/発表時間	論文No.	発表者	所属先	地区	題目
A-1 盛土の調査/解析 9月8日 13:00～14:00 第1会議室	1	星野 笑美子	基礎地盤コンサルタント(株)	関東	盛土の安定についての一考察
	2	斎藤 正朗	(株)エイト日本技術開発	関東	谷埋め盛土造成地における各地盤調査手法の適用性についての一考察
	3	横山 昇平	応用地質(株)	関東	大規模盛土造成地の変動予測調査におけるラムサウンディングの有効性について
	4	小西 裕樹	川崎地質(株)	九州	スウェーデン式サウンディング結果による解析モデルの見直しと対策工法の検討
A-2 ハザードマップ 9月8日 14:15～15:45 第1会議室	5	酒井 信介	(株)阪神コンサルタント	関西	斜面のハザードマップ作成に関する研究(その4)
	6	中村 出	(株)日建設計シビル	関西	土石流ハザードマップの作成方法に関する研究(その6)
	7	諫訪 陽子	(株)エイト日本技術開発	関西	地すべりハザードマップに関する研究(その8)
	8	秋山 晋二	国際航業(株)	関西	地すべりハザードマップに関する研究(その9)
	9	熊岡 康之進	基礎地盤コンサルタント(株)	九州	急傾斜地の崩壊ハザードマップ作成のためのマニュアル(案)
	10	杉原 正樹	(株)藤井基礎設計事務所	中国	土砂災害から命を守るために社会貢献事例
A-4 情報化 9月9日 10:15～11:45 第1会議室	11	加藤 史恵	中央開発(株)	関東	インターネットを利用した地盤情報配信サービスの活用事例
	12	松下 純子	(株)宇部建設コンサルタント	四国	GISを用いた地下水状況把握の効率化
	13	西川 清治	応用地質(株)	東北	高速道路維持管理のためのGISを用いたデータベースの構築
	14	西岡 佑介	中央開発(株)	関東	東日本大震災の被災地域における作付け可能範囲のGISによる概定手法について
	15	山田 晃	川崎地質(株)	関西	航空レーザ測量を用いた地質調査事例
A-5 現地調査 9月9日 13:00～15:00 第1会議室	16	川久保 昌平	川崎地質(株)	関東	KKTを用いた軟質地盤対象の孔内水平載荷試験におけるすべりの影響
	17	太田 佳之	北海道土質コンサルタント(株)	北海道	北海道に分布する火山灰地盤の支持力特性について
	18	森本 崇	北海道土質コンサルタント(株)	北海道	北海道に分布する火山灰地盤の変形特性について
	19	能野 一美	(株)四電技術コンサルタント	四国	利便性に優れた原位置透水試験装置の開発
	20	長塚 正樹	MGLシステム研究会	関東	大深度の地下水圧測定への単孔多段式間隙水圧測定(MGL)システムの適用
	21	東 豊一	(株)相愛	四国	小型軽量ジャッキを用いた既設アンカー法面的調査事例
	22	塙本 一也	東邦地下工機(株)	九州	北九州市内における土砂災害危険箇所調査について
	23	住 武人	川崎地質(株)	関西	コストパフォーマンスに優れた高速サウンディング(HiSS)について
	24	眞本 悠一	(独)海洋研究開発機構	関東	ターピング駆動コアリングシステムの開発
B-1 地域特性 9月8日 13:00～14:00 大会議室	25	原 裕二	(株)コスマ建設コンサルタント	中国	出雲平野の地下におけるテフラについて
	26	伏木 治	サンコーコンサルタント(株)	中部	三波川結晶片岩の地質構造とその土木地質的特性について
	27	鳥海 貴裕	(株)エイト日本技術開発	関西	和歌山市及び海南市周辺の砂質地盤分布について
	28	安井 明紀	川崎地質(株)	中部	各務原市における地下水流动の経年変化について
B-2 地下水調査/水文解析 9月8日 14:15～15:45 大会議室	29	山口 明代	応用地質(株)	四国	濁水を対象とした移流分散解析のパラメータ設定に対する一考察
	30	松本 裕司	(株)キンキ地質センター	関西	山間部の温泉地における飲料水の水源開発
	31	中松 結衣	(株)日さく	北陸	冷水と塩水をトレーサとした地下水流动調査
	32	宮田 修志	ハイテック(株)	関西	電気伝導度の分布による地下水流动方向の推定
	33	中村 均史	(株)関西土木技術センター	関西	感潮河川近傍の地下水状態と潮汐の関係
	34	美玉 宏文	(株)東建ジオテック	関西	制約条件のある箇所での地下水調査事例
	35	中島 功祠	(株)東建ジオテック	中部	水文観測と渴水影響判定方法の一考察
B-3 ケーススタディ 9月8日 16:00～17:30 大会議室	36	川口 貴之	中央開発(株)	九州	浚渫土砂受入地における減容化工法の検討事例
	37	松本 修司	協同組合関西地盤環境研究センター	関西	連続大型不攪乱試料による土層の構造調査法
	38	原口 慎一	(株)東京ソイリサーチ	関西	史跡宇陀松山城跡の石垣状況と地盤特性
	39	谷 祐治	(株)田中地質コンサルタント	北陸	土と石の強化保存剤を用いた露頭の保存対策
	40	八島 隆志	北海道土質試験協同組合	北海道	粉末X線回折法によるスメクタイトの交換性陽イオンの推定
	41	武田 理香	大地コンサルタント(株)	北海道	構造物基礎調査における地表地質踏査結果から推定した地質分布や土木地質的問題点を考慮したボーリング位置の検討
B-4 環境 9月9日 10:15～11:45 大会議室	42	河村 重行	(株)ソイル・ブレーン	中国	水道水冷却システム構築の可能性についての現地計測とその評価
	43	紫牟田 博	東邦地下工機(株)	九州	地中熱ヒートポンプによる空調設備の事例
	44	廣田 熱	明治コンサルタント(株)	関東	稼働中施設における揮発性有機化合物の漏洩に対する調査と対策
	45	米田 英治	川崎地質(株)	中部	ふつ素汚染地下水におけるふつ素吸着材としての浄水ケーキの利用可能性
	46	濱本 拓志	(株)ダイヤコンサルタント	中部	重金属を含むトンネル地山の調査・対策例(中部地方の山岳トンネルの例:その2)
	47	大橋 優子	応用地質(株)	中部	岩石を主体とした盛土・自然堆積土中に存在する砒素の分布状況の把握および溶出特性の評価
	48	井原 拓二	応用地質(株)	中国	H22年豪雨における土石流災害事例
B-5 自然灾害/動態観測 9月9日 13:00～15:00 大会議室	49	藤原 康正	(株)エイト日本技術開発	関西	ニュージーランド クライストチャーチ地震の斜面災害事例
	50	尾山 寿史	(株)ダイヤコンサルタント	関西	平成21年台風9号による兵庫県南西部地域の溪流の被害
	51	大隅 清司	応用地質(株)	関西	ボアホール型火山観測施設整備事業の紹介
	52	平川 英樹	中央開発(株)	関西	傾斜計センサーによる落石監視システムの設置事例
	53	石本 裕己	(株)宇部建設コンサルタント	中国	地すべり防止区域内で発生した崩積土地すべりの調査設計事例
	54	原田 康弘	(株)日本地下技術	九州	地盤伸縮計の気温変化による変動について
	55	松場 康二	(株)ダイヤコンサルタント	四国	光る変位計による崩壊斜面の監視事例
	56	徳原 裕輝	(株)宇部建設コンサルタント	中国	道路切土斜面で発生した崩壊調査設計事例

表2 つづき

一般セッションセッション（続き）

セッション/発表時間	論文No.	発表者	所属先	地区	題	目
C-1 河川/物理探査 I 9月8日 13:00～14:00 セミナー室	57	宗村 知明	(株)宇部建設コンサルタント	中国	河川堤防における漏水に対する調査事例	
	58	原澤 剛史	群馬大学大学院	関東	河川堤防のモニタリングについて(その1)	
	59	林 久夫	ジオックスコンサルタント(株)	関東	河川堤防モニタリングについて(その2)	
	60	竹内 篤雄	自然地下水調査研究所	関東	河川堤防のモニタリングについて(その3)	
C-2 物理探査 II 9月8日 14:15～15:45 セミナー室	61	五十嵐 憲久	キタイ設計(株)	関西	地温探査手法を用いた地下水調査の実用例	
	62	都築 孝之	日本物理探査(株)	中部	1m深地温探査ならびに自然電位接地法による用水管埋設位置探査の試み	
	63	加藤 弘徳	(株)荒谷建設コンサルタント	中国	1m深地温探査を用いた備北層群地すべりの対策事例	
	64	安田 匠	(株)田宮設計事務所	北海道	地すべり災害箇所における物理探査の適用事例	
	65	太田 雄三	(株)構研エンジニアリング	北海道	地すべり災害箇所における地下水流动調査事例	
	66	西川 裕輔	(株)日さく	関東	孔内傾斜計観測孔を利用した地下水流动層の推定	
C-3 物理探査 III 9月8日 16:00～17:30 セミナー室	67	野牧 優達	応用地質(株)	関西	物理探査による堤防三次元構造調査について	
	68	橋本 裕司	応用地質(株)	関東	空港誘導路における地盤改良範囲確認のための物理探査適用事例	
	69	伊藤 亮太	応用地質(株)	北海道	表面波探査、微動アレー探査を用いた軟弱層分布調査	
	70	高橋 勇介	興亜開発(株)	関東	微動アレー探査の適用性の検証	
	71	川崎 直樹	(株)キンキ地質センター	関西	S波反射法探査による埋設管調査事例	
	72	吉村 春朗	復建調査設計(株)	九州	磁性を考慮した放射能探査の原理 I	
C-4 物理探査 IV 9月9日 10:15～11:45 セミナー室	73	峰松 拓史	川崎地質(株)	中国	地質断面図の精度向上を目的とした音波探査の実施例	
	74	松尾 宣明	興亜開発(株)	中国	ボーリング孔を利用した物理探査による橋台基礎調査事例	
	75	本山 普士	中央復建コンサルタント(株)	関西	砂防えん堤基礎部における電気探査の適用事例	
	76	松永 勇希	地盤環境エンジニアリング(株)	関東	ボーリング調査時の地下埋設物探査事例と課題	
	77	末永 記世	応用地質(株)	関東	新しい路面下探査車『ロード・ビジュアライザー』の紹介	
	78	佐々木 誠	(株)愛媛建設コンサルタント	四国	高知県越知町谷ノ内地すべり地すべり構造	
C-5 斜面/地すべり 9月9日 13:00～15:00 セミナー室	79	村井 政徳	川崎地質(株)	九州	平成22年7月豪雨に起因した三郡変成岩分布域の地すべり災害の一事例	
	80	菊田 寛	明治コンサルタント(株)	北海道	豪雨を誘因としたスレーリングの早い泥岩の岩盤地すべり	
	81	齊藤 龍太	(株)藤井基礎設計事務所	中国	急速に動いた地すべりが収束するまでの動態観測記録と変形形態	
	82	青木 淳	(株)構研エンジニアリング	北海道	物理探査を利用した水理地質調査と斜面の安定性評価	
	83	三輪 哲生	東邦地水(株)	中部	施工段階における地すべり対策工の設計見直し事例	
	84	山田 政典	応用地質(株)	四国	地すべりの地質・性状区分と単位体積重量	
D-2 室内試験 9月9日 13:00～15:00 中会議室	85	藤井 俊逸	(株)藤井基礎設計事務所	中国	工事中の斜面崩壊による労働災害防止に対する地質調査業の役割	
	86	松川 尚史	協同組合関西地盤環境研究センター	関西	ふるい残留量測定方法の違いによる粒度試験結果の検討	
	87	石橋 慎一朗	日本地研(株)	九州	圧密試験結果の解釈について	
	88	米田 久美子	興亜開発(株)	関東	セメント固化処理土の強度特性の検討	
	89	遠藤 彰博	中央開発(株)	関西	スラグ類を用いた土質改良工法	
	90	小倉 敦弘	中部土質試験協同組合	中部	材料の違いによる配合CBR試験の強度特性について	
	91	荒谷 賢一	(株)関西土木技術センター	関西	粘性土の一軸圧縮強さと各物性値との相関性について	
	92	田中 洋	(株)東京ソイルリサーチ	関西	大阪層群を対象とした強熱減量とN値と深度の関係	
	93	島田 徹也	基礎地盤コンサルタント(株)	中国	黒ボク他の洗掘抵抗試験結果事例	

地質リスクセッションセッション

セッション/発表時間	論文No.	発表者	所属先	地区	題	目
A-3 地質リスク 9月8日 16:00～17:30 第1会議室	R1	石井 真治	大地コンサルタント(株)	北海道	切土法面調査における地質リスク	
	R2	今村 純	(株)シアテック	四国	盛土による地盤破壊のリスク低減策	
	R3	杉山 直起	(株)ダイヤコンサルタント	関西	第三紀海成泥岩を用いた土研式雨水曝露試験	

オペレーターセッションセッション

セッション/発表時間	論文No.	発表者	所属先	地区	題	目
D-1 オペレーター 9月9日 10:15～11:45 中会議室	OP1	風見 健太郎	(株)エイト日本技術開発	関東	ボーリング調査時の騒音対策の有効性	
	OP2	児玉 晃	(株)関西地質調査事務所	関西	振動式貫入ボーリングマシンを用いた新しい試み	
	OP3	中村 司	松阪鑿泉(株)	中部	熱量法による地下水流向流速測定実施上の留意点	

表3 優秀技術発表者賞 受賞者一覧

セッション名	論文No.	発表者	所属先	地区	題 目
A-1 盛土の調査/解析	3	横山 昇平	応用地質(株)	関東	大規模盛土造成地の変動予測調査におけるラムサウンディングの有効性について
A-2 ハザードマップ	6	中村 出	(株)日建設シビル	関西	土石流ハザードマップの作成方法に関する研究(その6)
A-3 地質リスク	R1	石井 真治	大地コンサルタント(株)	北海道	切土法面調査における地質リスク
A-4 情報化	11	加藤 史恵	中央開発(株)	関東	インターネットを利用した地盤情報配信サービスの活用
A-5 現地調査	19	能野 一美	(株)四電技術コンサルタント	四国	利便性に優れた原位置透水試験装置の開発
B-1 地域特性	26	伏木 治	サンコーワンダーコンサルタント(株)	中部	三波川結晶片岩の地質構造とその土木地質的特性について
B-2 地下水調査/水文解析	29	山口 明代	応用地質(株)	四国	濁水を対象とした移流分散解析のパラメータ設定に対する一考察
B-3 ケーススタディ	40	八島 隆志	北海道土質試験協同組合	北海道	粉末X線回折法によるスメカタイトの交換性陽イオンの推定
B-4 環境	46	濱本 拓志	(株)ダイヤコンサルタント	中部	重金属を含むトンネル地山の調査・対策例(中部地方の山岳トンネルの例:その2)
B-5 自然灾害/動態観測	49	藤原 康正	(株)エイト日本技術開発	関西	ニュージーランド クライストチャーチ地震の斜面災害事例
C-1 河川/物理探査 I	58	原澤 剛史	群馬大学大学院	関東	河川堤防のモニタリングについて(その1)
C-2 物理探査 II	63	加藤 弘徳	(株)荒谷建設コンサルタント	中国	1m深地温探査を用いた備北層群地すべりの対策事例
C-3 物理探査 III	67	野牧 優達	応用地質(株)	関西	物理探査による堤防三次元構造調査について
C-4 物理探査 IV	76	松永 勇希	地盤環境エンジニアリング(株)	関東	ボーリング調査時の地下埋設物探査事例と課題
C-5 斜面/地すべり	81	齊藤 龍太	(株)藤井基礎設計事務所	中国	急速に動いた地すべりが収束するまでの動態観測記録と変形形態
D-1 オペレーター	OP1	風見 健太郎	(株)エイト日本技術開発	関東	ボーリング調査時の騒音対策の有効性
D-2 室内試験	88	米田 久美子	興亜開発(株)	関東	セメント固化処理土の強度特性の検討