

地震研究情報データ提供システム(J-SEIS)の開発(3)

Development of JAMSTEC Ocean-bottom Seismology Database (J-SEIS) to download DONET Event Data and Borehole Continuous Data (3)

*堀川 博紀¹、鈴木 健介¹、末木 健太郎¹、荒木 英一郎¹、園田 朗¹、高橋 成美^{1,2}、坪井 誠司¹

*Hiroki Horikawa¹, Kensuke Suzuki¹, Kentaro Sueki¹, Eiichiro Araki¹, Akira Sonoda¹, Narumi Takahashi^{1,2}, Seiji Tsuboi¹

1. 国立研究開発法人海洋研究開発機構、2. 国立研究開発法人防災科学技術研究所

1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

国立研究開発法人海洋研究開発機構 地球情報基盤センター (CEIST) では、今後、大地震の発生が予想されている東南海地震震源域の各種地震活動データを収集・統合した、地震研究情報データベースを運用している。CEISTでは、データベースに蓄積された海底地震観測データを、地震・地殻変動現象の速やかな解析の促進と科学研究・教育への利用を目的として広く一般へ公開するため、2016年4月より地震研究情報データ提供システム (J-SEIS : JAMSTEC Ocean-bottom Seismology Database) *の運用を行っている。

本システムでは、長期孔内観測システムにて観測されたデータを連続データとして提供している他、地震・津波観測監視システム (DONET1) にて観測された地震イベント毎の観測データをイベントデータとして提供している。

長期孔内観測システムは、2010年に国際深海科学掘削計画 (IODP) により、地球深部探査船「ちきゅう」によって、紀伊半島熊野灘沖に観測点 (C0002) が設置された。さらに、2016年3月から4月にかけて実施されたIODP第365次研究航海では、同海域に長期孔内観測システムの新観測点 (C0010) が設置され、DONET観測網を通し、2観測点の観測データをリアルタイムで横浜研究所へ送信している。長期孔内観測システムには複数のセンサー (広帯域地震計、傾斜計、間隙水圧計、歪計、温度計など) が備えられており、本システムでは、システム利用者が任意の時間長で切り出した観測データを、SEEDフォーマットの連続データとして準リアルタイムで提供している。

DONET1にて観測されたイベントデータは、DONET1の観測点における強震計と広帯域地震計観測データの内、米国地質調査所のUSGSカタログに掲載されているマグニチュード6以上、気象庁カタログのマグニチュード4以上の地震イベントを対象として切り出し、イベント毎に観測データをSEED形式の地震波形データとして提供している。

本システムによる連続データの提供は、ブラウザ上で観測データの切り出し期間とチャンネルを指定する方法の他に、IRISのWeb Serviceを参考にした、URLパラメータ (期間やセンサー種別、観測点) の指定によるダイレクトダウンロードでの提供も行っている。

*地震研究情報データ提供システム J-SEIS

URL <https://join-web.jamstec.go.jp/join-portal/>

キーワード : ちきゅう、Borehole、DONET

Keywords: Chikyu, Borehole, DONET

南海トラフ広域地震防災研究プロジェクトにおける地域防災活動に向けたリアルタイム地震関連情報表示システムの機能強化

Improvement of real-time seismic waveform display system for "Nankai Trough Region Earthquake Disaster Prevention Research Project"

*杉山 大祐¹、高江洲 盛史²、堀川 博紀¹、末木 健太郎¹、水井 良暢³、高橋 成実³、園田 朗¹、坪井 誠司¹

*Sugiyama Daisuke¹, Morifumi Takaesu², Hiroki Horikawa¹, Kentaro Sueki¹, Yoshinobu Mizui³, Narumi Takahashi³, Akira Sonoda¹, Seiji Tsuboi¹

1. 海洋研究開発機構、2. 日本海洋事業、3. 防災科学技術研究所

1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. Nippon Marine Enterprises, 3. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

国立研究開発法人 海洋研究開発機構 (JAMSTEC) では、東南海地震の想定震源域である熊野灘周辺に、地震計・水圧計等を備えた大規模かつ稠密海底観測網を整備し、地震・地殻変動・津波といった物理的諸現象をリアルタイムで観測・監視するシステム (DONET) を防災科学技術研究所 (NIED) から委託運用している。それらを用いた地震学的な成果としての研究情報と防災減災に寄与する情報を積極的に発信するため、防災担当者向けのコンテンツ提供サービスとして、DONETから送られてくる強震計・水圧計の波形データをリアルタイムにウェブブラウザ上で表示するウェブアプリケーションシステムを運用している。

甚大な被害をもたらした熊本地震、鳥取県中部地震の影響もあり、特に南海・東南海巨大地震発生帯に隣接する地方自治体は、国が示す広域的な防災対策を念頭に置きつつ、それぞれの地域に応じた独自の防災対策を早急に構築していくことが求められている。最新の研究で得られた成果や地震減災に関する情報についての地道な広報活動だけでなく、海溝型巨大地震発生帯の直上・直近において稠密展開した観測装置が検知した生の観測波形データをリアルタイムに防災担当者が確認できることで、より迅速な防災減災対応の判断に資することができる。

平成25年から文部科学省では「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」を実施し、南海トラフ地震の姿、防災対策のあり方についての研究を行う一方、東海地域研究会、関西地域研究会、四国地域研究会、九州地域研究会の4つの地域に分け、各地域に特化した防災・減災上の課題を議論するなど、各地域の防災対策レベルの向上に努めている。平成28年より、本システムもこの地域研究会参加者へ向けた「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」へ波形表示機能の提供を行い、より多くの防災担当者へ本システムを利用した地域防災対策を推進した。また、次年度にはこれまでの提供ユーザの範囲から、幅広い実担当者レベルへ提供ユーザの範囲を拡大したいというNIEDからの依頼により、それに耐えうる負荷対策・機能強化として、本システムの波形について画像キャッシュを描画生成する機能の追加、数週間程遡って過去の波形を保持し閲覧できる機能の追加を実施中である。これにより、利用ユーザの大幅な拡大が可能となり、また、常時本システムをモニタへ表示していなくても、大地震発生後にアクセスしての地震、津波の波形確認が可能となる。

本発表ではシステムの防災利用拡大による今後のシステム機能強化への議論を深めたい。

キーワード：リアルタイム地震波形表示、DONET、南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト、地域防災活動、Webアプリケーション

Keywords: Real-time Seismic Waveform Display, DONET, Nankai Trough Region Earthquake Disaster Prevention Research Project, Regional Disaster Prevention, Web Application

地震動波形から推定したDONET2地震計の方位

Orientations of DONET2 seismometers estimated from seismic waveforms

*中野 優¹

*Masaru Nakano¹

1. 独立行政法人海洋研究開発機構

1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

南海トラフにおける地震・津波の早期検知、地殻活動の監視と構造解明、そして巨大地震の準備プロセスの解明とモニタを目的として、熊野灘にDONET1が、潮岬沖から室戸沖にかけての室戸海盆にはDONET2が構築された。DONET2観測点は2016年3月までに設置が完了した。また、DONET1と2の観測網の間のギャップを埋めるために、潮岬沖の海域に新たに2観測点が追加され、DONET1は計22点となった。地震動波形の解析において、正確な地震計方位の把握が重要である。DONET1観測点においては中野ほか（2012）で推定されている。本研究ではDONET2およびDONET1に新規に設置された2観測点の地震計の設置方位を推定した。また、DONET1のKMA03観測点は2015年12月にセンサーを改修したため、設置方位を再度推定した。

地震計方位の推定は、遠地地震における水平動成分の粒子軌跡が、陸上観測点と相似となる方位を探索することで行った（汐見ほか, 2003）。方位の基準とする陸上観測データとして、F-net観測点のうち紀伊半島および四国の沿岸に設置された5点（KIS, KMT, NOK, ISI, UMJ）を用いた。解析に使用した地震は、2015年3月から2017年1月末までに起きたマグニチュード7以上の遠地地震（31イベント）である。F-netのKISおよびISI観測点は南北成分の方位が真北から数度ずれているため、webサイトで公表されている方位を用いて修正を行った。

DONET各観測点の広帯域地震計の水平動記録に0.008-0.01 Hzのバターース型帯域通過フィルタを適用して方位推定に用いた。水平動二成分の波形を1°ずつ回転させて陸上観測点の南北および東西成分波形と相互相関をそれぞれ計算し、その和が最大となる角度からDONET地震計の方位を推定した。すべてのイベントに対して、すべてのDONETおよび陸上の観測点の組み合わせについて相関を計算し、水平動二成分の相互相関係数の和が1.7より大きい場合の方位の平均から地震計方位を推定した。ここで、イベントや観測点の組み合わせによっては長周期成分のノイズのために平均から大きくずれた方位を示す場合があった。方位の平均を推定後、標準偏差が10°より大きい場合には、平均から10°以上異なる方位のデータを除去するロバスト推定を行った。方位推定の最終的な標準誤差は1°から2°程度であった。

今回、比較のためにDONET1観測点についても同様の推定を行った。中野ほか（2012）における同じ手法で推定した場合と比べ、最大4°程度の違いが見られた。違いの大きい観測点は、特に中野ほか（2012）の推定において使用したデータの数が少ない場合が多い。これは、解析期間が観測点構築から間もないためであったと考えられる。

DONET2観測点方位の推定についても同様の事が言え、推定に用いたイベントの少ない観測点では数度程度の誤差があると考えられる。全観測点の設置が完了したのは解析期間の中盤であり、またいくつかの観測点では後埋設が行われていないために長周期成分のノイズレベルが相対的に大きい。これらの観測点では使用できるイベントが少なくなるため、推定精度が低下する可能性がある。今後、後埋設を行い、より長期間のデータを使用することで推定精度を向上していく必要がある。また、中野ほか（2012）で行われたP波初動の振動方向を用いた推定などを併用することで、精度の向上が期待される。

謝辞：解析にはF-netおよびDONETのデータを使用しました。観測網を維持、管理されている皆様に感謝いたします。

キーワード：海底地震計、南海トラフ

Keywords: Ocean-bottom seismometer, Nankai trough

沖縄地方（島嶼部）における荒天時の地動ノイズの特性調査 Survey of ground noise during stormy weather in Okinawa region

草野 利夫¹、仲間 豊¹、野田 真彦¹、山城 浩¹、川門 義治¹、稲葉 忠司¹、下地 康博¹、*勝間田 明男²
Toshio Kusano¹, Yutaka Nakama¹, Masahiko Noda¹, Hiroshi Yamashiro¹, Yoshiharu Kawajo¹,
Tadashi Inaba¹, Yasuhiro shimoji¹, *Akio Katsumata²

1. 気象庁沖縄気象台、2. 気象庁気象研究所

1. Okinawa Regional Headquarter, JMA, 2. Meteorological Research Institute, JMA

沖縄地方においては、台風等の荒天時には地震の観測数が平常時に比べて少なくなっていることが分かっている。堀本・他（2016）は、台風影響下において、地震計の波形記録のノイズ比が平常に比べ高く、検知能力が低下していることを明らかにした。有感地震は荒天時にも検知できてはいるものの、検知可能な地震の規模が上がってしまうため平常時に比べ地震活動を過小評価する恐れがあることを示唆している。そのため、個々の観測点について荒天時における地動ノイズ特性を調べ、検出時の周波数フィルタの参考にすることが望まれる。

「荒天時」の期間について、本調査では要素を風速、波高、波周期の3つとして、次の通りとした。風速は、実況値（10分値）で15m/sec以上の期間とした。波高は、有義波高で3 m以上の期間とした。波周期は、有義波周期10秒以上の期間とした。荒天の期間の抽出について、沖縄玉城観測点の最近傍の観測点として、風速についてはアメダスの糸数のデータを、波高・波周期については、港湾局NOWPHASの「那覇」のデータを用いた。地震波形の切り出し期間について、各要素において上述で取得した期間の内、期間最大となる値の時刻の前後10分合計20分間とした。切り出した地震波形について、その期間内に沖縄玉城で地震を検知していないものを調査対象とした。

以下に調査対象データの内、2事例を紹介する。

（1）2015年11月27日 波高 ≥ 3 mの例

この日は大陸から高気圧が張り出し、港湾局の那覇観測点で27日10時20分に4.18mを記録している。この前後20分間の沖縄玉城観測点の地震波形をフーリエ変換した結果、1 Hzと3 Hz付近の周波数帯で振幅の大きい波形があることが確認された。

（2）2015年12月17日 波周期 ≥ 10 秒の例

この日は大陸から高気圧が張り出し、港湾局の那覇観測点で17日15時20分に有義波周期10.0秒を記録している。この前後20分間の沖縄玉城観測点の地震波形をフーリエ変換した結果、1 Hz付近の周波数帯で振幅の大きい波形があることが確認された。

今後更に、期間を拡大し事例を多く収集し、宮古島、石垣島等でも主となる観測点で調査する。

キーワード：地動ノイズ、荒天時、地震の検知能力

Keywords: seismic noise, stormy weather, detectivity of earthquakes

防災科研Hi-net震源カタログに基づく発破頻発地域の抽出

Detection of the blast frequent areas based on the NIED Hi-net hypocenter catalog

*汐見 勝彦¹

*Katsuhiko Shiomi¹

1. 国立研究開発法人防災科学技術研究所

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

日々の微小地震震源カタログ整備において、砕石・採鉱発破などの人工的な震動源の情報は震源リストから除外すべき要素のひとつである。防災科研が定常的に運用している震源決定システムでは、あらかじめ砕石・採鉱のための発破が頻発すると想定される地域と時間帯をデータベースに保持し、決定した震源情報がこのデータベースに設定された情報に該当する場合、当該イベントを自動的に発破（人工地震）と判断する、あるいは確認を促す。一方、発破地点等の人工的な震動源は、工事地点の移動や採鉱地の新設・廃止等により時間的に変化する（例えば、岡田, 1996）。今回、2008年4月から2016年3月までの8年間の防災科研Hi-netの震源カタログを用いて簡便な方法で直近の発破頻発地域を抽出するとともに、東北地方太平洋沖地震前後の変遷について調査した。

通常、砕石発破や工事発破は昼間の時間帯に実施されることが多い（岡田, 1996；平・津村, 2001）。Hi-netの8年間の震源カタログにおいて、手動で発破と確認されたイベントの発生時刻を確認したところ、7時から19時までの12時間に全ての発破の99.5%が集中していたため、この時間帯を本検討における発破対象時間帯とした。発破頻発地域判定の選定にあたっては、直近3年間（2013年4月から2016年3月）に発生した震源深さが10 kmより浅い全イベントを対象とした。また、日本列島を東西、南北それぞれ0.025度のセルに分割し、各セルを発破頻発地域判定単位とした。まず、各セルのイベントの90%以上が発破対象時間帯に偏重して発生しているセルを領域EVTとして抽出した。この際、イベントの検測状況（自動・手動）の違いや発破と確認されているかどうかは判断基準としていない。この他、同期間で手動検測により発破と判断されたイベントが集中している領域MANおよび現行情報としてデータベースにマスタ情報として既に登録されている領域MASも抽出した。各領域の分布を比較し、MANとして抽出されたセルは全てEVTでも抽出されていることを確認した。また、MASに登録されているにも関わらず、EVTで検出されなかったセルが700箇所以上存在した。逆に、MASで登録されていないがEVTとして検出されたセルが約240箇所存在した。次に、8年間のデータについて、これらのセルにおけるイベントの発生状況の確認を実施した。その結果、前者には、そもそもイベントが検知されていないセルのほか、発破と通常の微小地震活動が混在し発破対象時間にイベントが偏らない事例や、発破と思われる活動がある時期に明瞭に終了した事例が存在した。後者については、特定の時期から活動が開始している事例やMASと隣接するセルであることが多く、新たな採鉱が始まったことや震源決定精度の問題が示唆される。

次に、2011年東北地方太平洋沖地震前後の発破地域の変遷を確認するため、地震直前（2009年3月から2011年2月）、地震直後（2011年4月から2013年3月）、最近（2014年4月から2016年3月）の各2年間のデータを対象に、発破対象時間に90%以上のイベントが集中しているセルの抽出を行った。その結果、地震前には活発な発破が確認された岩手県および宮城県を流れる北上川沿いや福島県浜通り地方、茨城県日立市付近で地震直後には発破が検知されなくなったことに加え、岩手県や秋田県の内陸部でも活動が著しく低下した地域が存在したことを確認した。一方、近年ではそれらの地域の多くで活動が再開しているほか、岩手県周辺、福島県浜通り、茨城県北部で発破頻発地域が拡大している。このことは、震災復興需要による採鉱量の増加や工事範囲の拡大を反映していると考えられる。

キーワード：防災科研Hi-net、発破、東北地方太平洋沖地震、震源カタログ

Keywords: NIED Hi-net, Blast, Tohoku-Oki Earthquake, Hypocenter Catalog

海底広域研究船「かいめい」による伊豆小笠原前弧海山での2次元反射法地震探査

2-D seismic reflection survey across the Izu Bonin forearc seamounts using the R/V *Kaimei*

*野 徹雄¹、中村 恭之¹、三浦 誠一¹、藤江 剛¹、小平 秀一¹

*Tetsuo No¹, Yasuyuki Nakamura¹, Seiichi Miura¹, Gou Fujie¹, Shuichi Kodaira¹

1. 国立研究開発法人海洋研究開発機構

1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

海底広域研究船「かいめい」（国際総トン数5747トン）は2016年に竣工した海洋研究開発機構（JAMSTEC）で最も新しい調査船である。「かいめい」は、地震津波研究・海底資源研究・大気海洋研究などの海洋観測に対応した多目的船であり、その中でも特に大きな特徴の1つが、4タイプの地震探査（2次元反射法地震探査・3次元反射法地震探査・高解像度3次元反射法地震探査・海底地震計を用いた地震探査）に対応した仕様であることである（海洋研究開発機構, 2016）。その地震探査システムの海上公試の一環として、JAMSTECと三菱重工は2017年1月に伊豆小笠原前弧域で2次元反射法地震探査を実施した。試験測線は、伊豆小笠原海嶺の西側の海溝陸側斜面に点在している鳥島海山と鳥須海山を南北に横切っている。加えて、測線近傍ではODP（Ocean Drilling Program）による掘削研究（Fryer et al., 1990）や海底地震計を用いた地殻構造研究（Kamimura et al., 2002）や「しんかい6500」による調査（藤岡・他, 1995）などの観測研究が実施されており、これらの蛇紋岩海山の形成に関連する内部構造を研究する上で貴重なデータとなる可能性がある。

この探査の主なデータ取得仕様は、発震間隔50 m、エアガンアレイ総容量最大10,600 cu.in.（約173.7リットル）、エアガン動作圧力2000 psi（約14 MPa）、エアガン曳航深度10m、受振点間隔3.125 m、ストリーマーケーブル曳航深度12 m、ストリーマーケーブルのチャンネル数1920、サンプリング間隔2 ms、記録長は13秒である。通常実施されている反射法地震探査と比較すると、受振点間隔が1/2～1/4程度狭く、CMP（Common mid point）間隔も狭く設定できる。そのため、品質の良いデータが取得できた場合、空間エイリアシングが相対的に抑制され、マイグレーションや速度フィルタなど空間方向の波形処理は非常に効果的に作用することが期待される。また、エアガンアレイは4列で計44台のエアガンから構成されたtuned arrayであり、総容量的にはこれまでJAMSTECが地震探査で使用してきた「かいらい」の約1.35倍となる。

本発表では、「かいめい」の地震探査システムの概要を紹介すると共に、伊豆小笠原前弧海山付近で取得された反射法地震探査データについて報告する。

謝辞：「かいめい」海上公試を実施した三菱重工業株式会社と海洋研究開発機構海洋工学センターの関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

キーワード：反射法地震探査、空間エイリアシング、伊豆小笠原前弧

Keywords: seismic reflection survey, spatial aliasing, Izu Bonin forearc

Characterization of earthquakes in terms of high frequency seismic signal durations, velocity and acceleration amplitudes

*原 辰彦¹

*Tatsuhiko Hara¹

1. 建築研究所国際地震工学センター

1. International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Building Research Institute

Hara (2007a, EPS) developed a magnitude formula, referred to as M_{hdd} (Hara, 2013, SSJ), in which high frequency seismic signal durations and maximum displacement amplitudes measured from tele-seismic P waves are used. Hara (2007b, EPS) showed that tsunami earthquakes were characterized by longer high frequency seismic signal durations and smaller displacement amplitudes. Since there exist events which are not tsunami earthquakes that have similar characteristics, it is difficult to distinguish tsunami earthquakes only by the above observables.

We investigated a possibility to characterize tsunami earthquakes by high frequency seismic signal durations and maximum velocity and acceleration amplitudes. The dataset consists of waveform data recorded at the GSN stations in the epicentral distance range between 30 and 85 degrees for large (the minimum M_w is set to 7.2) shallow events that occurred between 1994 and May 2015, which were used to revise the M_{hdd} formula.

We show that tsunami earthquakes are characterized by longer high frequency seismic signal durations and smaller velocity and acceleration amplitudes more clearly than in case displacement amplitudes are used. This suggests a possibility to distinguish tsunami earthquakes through simple measurements of high frequency seismic signal durations and velocity and/or acceleration amplitudes.

キーワード：津波地震、高周波震動継続時間

Keywords: tsunami earthquake, high frequency seismic signal duration

基盤面が傾斜した地盤における 2 点同時アレー微動観測に基づく地盤構造推定の試み

Application of the simple technique to estimate subsurface structure with sloped engineering bedrock to microtremor array observation records

*飯山 かほり¹、盛川 仁¹、田中 浩平²、坂井 公俊²

*Kahori Iiyama¹, Hitoshi Morikawa¹, Kohei Tanaka², Kimitoshi Sakai²

1. 東京工業大学大学院情報理工学研究科、2. 公益財団法人鉄道総合技術研究所

1. School of Environment and Society, Tokyo Institute of Technology, 2. Railway Technical Research Institute

Regarding a long-continuous civil engineering structure such as a railway structure, the geological profile under the structure is not identical and the significant difference in geological property within the limited area possibly induce unexpected seismic behavior in the structure. To ensure the reliability in seismic safety evaluation, the ground property at an objective site should be estimated with appropriate resolution.

As one of the simple and easy techniques to estimate the representative velocity structure, the H/V spectral ratio (RH/V) is widely used, which requires only one observation point. The predominant period (TH/V) of RH/V likely indicates the resonant period of the objective ground. The representative thickness of the subsurface layer can also be identified if the shear wave velocity is known.

The technique, however, theoretically supposes that the layers are flat and spread infinite as same as most of the methods. In other words, the applicability to irregular ground, e.g. the engineering base surface is steeply sloped, is uncertain.

In recent study, Zhang et al. (2015) proposed the estimation technique using only vertical records of two observation sites. It has not only the same advantage as the H/V technique with respect to the simplicity but has the potential to extract the amplification characteristics generated by the sloped bedrock surface. The technique is based on the theory that the cross-spectral density function between two sites for each component can theoretically be shown as the function of three factors: the energy density of the waves E_s , the wave number k , and IOG for the corresponding sites and components. Needless to say, the imaginary part of Green function (IOG) is closely related to the amplification characteristics of the objective site.

Using these theory, Zhang et al. focused on the power-spectral density function of respective sites A and O for the vertical component, $SAA(\omega)$ and $SOO(\omega)$, and took the ratio of them to eliminate the unknown factors E_s and k . They showed the predominant period (TIOG) of the ratio of IOGs (RIOG) reflects the geological profile of the two sites by numerical study using two layered model, the layer boundary of which is linearly sloped.

However, the applicability of the technique to actual microtremor data was still unclear, because not only the subsurface structure is more complicated in actual site but observed microtremor data inevitably includes various types of noise, and these facts necessarily effect on RIOG in some way.

To confirm the applicability of the technique using RIOG to actual data, we conducted microtremor array observations over the ground surface, the bedrock surface of which is considered to being steeply sloped, and evaluated the subsurface structure using RIOG and RH/V. With respect to RIOG, we focused on the difference between TIOGs (Δ TIOG) which was calculated for the different pair of RIOG, to evaluate the relative difference in thickness of the subsurface layer between the two sites.

Although both RIOG and RH/V basically seemed to be complicated, the following states were found; It is difficult to find the corresponding peak to the engineering bedrock from RH/V and there are almost no differences between TH/Vs for different observation point. On the other hand, the Δ TIOG gradually change with the location of observation points. These results indicate the applicability of RIOG to an irregular ground.

A future work is to establish the method to estimate absolute thickness of surface layer. It is necessary to investigate the relationship between Δ TIOG and the amount of change in the depth of sloped-engineering bedrock by numerical study.

キーワード：不整形地盤、グリーン関数虚部、速度構造推定

Keywords: Irregular ground, Imaginary part of Green function, estimation of velocity structure