平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震に伴う機動観測（緊急路線調査・機動観測高精度三次元測量・GPS による間接水準測量・REGMOS による電子基準点データの転送）

Mobile Observation with the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008

測地部　木暮弘幸・菅原　準・横川正憲・住谷勝樹・平岡喜文・瀬川秀樹・根本盛行
Geodetic Department
Hiroyuki KIGURE, Jun SUGAWARA, Masanori YOKOKAWA, Katsuki SUMIYA, Yoshifumi HIRAOKA, Hideki SEGAWA and Moriyuki NEMOTO

要　旨

平成 20 年６月 14 日８時 43 分頃,岩手県内陸部を震源とする M7.2，最大震度６強の平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震（以下,「岩手・宮城内陸地震」という.）が発生した．この地震の地殻変動に関する学術的資料を収集するため，震央に近い１級水準路線（東北地方整備局設置），３級水準路線（一関市設置）及び一等水準路線（5442～5460）で緊急測量として，機動観測高精度三次元測量（水準測量）及び GPS による間接水準測量を実施した．また，電源及び通信が遮断した電子基準点「栗駒２」を復旧させるため，GPS 火山変動リモート観測装置（REGMOS）を用いてデータの取得を行った．

６月 16 日，測地部災害対策班会議（以下,「班会議」という.）で「災害時における緊急測量作業実施に関する協定書（以下,「協定書」という.）」に基づく緊急測量を決定した．決定を受け，水準路線の緊急路線調査を６月 16 日から実施した.緊急路線調査は，国土地理院災害対策要領に基づき現地緊急測量調査班を編成し，水準点の現況確認，危険箇所の確認及び水準路線に近い電子基準点の調査を実施した.また，測量の実施方法等の検討も行った．緊急路線調査の結果，水準点が良好であり直接水準測量により地殻変動の検出が可能である路線は，協定書に基づく機動観測高精度三次元測量を実施することとし,通行止め区間等協定書に基づき実施できない路線については，機動観測課で GPS による間接水準等を実施することとした.

協定書に基づく機動観測高精度三次元測量は，６月 24 日に随意契約を行い，６月 26 日から観測を開始し７月８日に観測を終了している．また，GPS による間接水準測量等は,６月 24 日に観測を開始し６月 26 日に観測を終了している.

機動観測高精度三次元測量及び GPS による間接水準測量の測量結果は日々報告され，水準路線の上下変動を精密に捉え,断層モデルの推定等に寄与した.

協定書に基づく作業は,平成 20 年４月１日に国土地理院と（社）全国測量設計業協会連合会（以下,「全測連」という.）で協定書の締結後，初めて実施した作業である.

電子基準点「栗駒２」の復旧は，電子基準点の電源及び通信の復旧に時間を要することが予想されたため，７月２日に GPS 火山変動リモート観測装置（REGMOS）によるデータ取得システムへ切り替える作業を実施した．８月 31 日現在，電力の発電・通信は,正常に行われており,データは機動観測課が日々回収し測地観測センターに転送を行っている.

１．はじめに

岩手県奥州市及び宮城県栗原市で震度６強を記録した岩手・宮城内陸地震は，死者 13 名，行方不明者 10 名，負傷者 450 名，住宅全壊 28 棟，半壊 112 棟，一部損壊 1,693 棟（総務省消防庁，2008）をはじめ，道路の損壊や土砂崩れなどの甚大な被害をもたらした.

国土地理院は，６月 14 日８時 47 分に災害対策本部を設置し，測地部は，同日９時 10 分に「測地部災害対策班」を設置した．災害対策本部は，６月 16 日に機動観測課職員４名（安全管理員：機動観測課長）の班編成で６月 16 日から６月 20 日まで緊急路線調査を行うために現地緊急測量調査班を派遣した.測地部は,６月 16 日に緊急測量実施のため全測連に協定書に基づく緊急測量作業調査等の手続きを要請した．緊急路線調査の結果及び全測連の報告を受け６月 24 日に随意契約により機動観測高精度三次元測量２地区の契約を行った.

災害対策本部は，６月 20 日に安全管理員２名（専門調査官（23-26），測地技術調整官（25-27））・機動観測課職員４名（23-27:２名，24-26:２名）の班編成で６月 23 日から６月 27 日まで，GPS による間接水準測量等及び機動観測高精度三次元測量現地作業着手時打ち合せのために現地緊急測量調査班を派遣した.

災害対策本部は,６月 20 日に測地観測センター職員４名（うち１名安全管理員），機動観測課職員１名の班編成で７月１日から７月３日までの３日間，電子基準点「栗駒２」復旧のために現地緊急測量調査班を派遣した.

緊急測量は，震源が栗駒山に近い岩手，宮城県境付近の内陸部のため，震央に近い国道 397 号に沿った一等水準点 No.5458（奥州市）から公共水準点 BM.３までの１級水準路線，国道 342 号に沿った一等水準点 No.5444（一関市）から公共基準点（公共水準点も兼ねる）No.１までの３級水準路線及び国道４号上の一等水準点 No.5442（一関市）から No.5460（金ヶ崎町）までの一等水準路線で直接水準測量，GPS による間接水準測量及び水準路線近傍の電子基準点取り付け観測を実施した．公共水準路線の観測は，昭和 62 年 11 月及び平成 12 年 11 月であるが貴重な地殻変動データが取得できるものと期待された．

本稿では，岩手・宮城内陸地震で国土地理院が機動観測として実施した緊急路線調査，緊急測量（機動観測高精度三次元測量），GPS による間接水準測量及び GPS 火山変動リモート観測装置（REGMOS）による電子基準点データ転送作業の作業概要と得られた測量結果について報告する．

２．緊急路線調査

２．１　検討・準備

６月 16 日の班会議で協定書に基づく緊急測量の実施決定を受け，機動観測課は，岩手・宮城内陸地震の緊急路線調査に関する課内会議を実施した．発災後に震央を「コ」の字で取り囲む一等水準路線及び公共水準路線（図－１）の資料と現地の被害情報の収集を進めており，課内会議では，緊急路線調査の調査内容及び出張者の確認を行った．

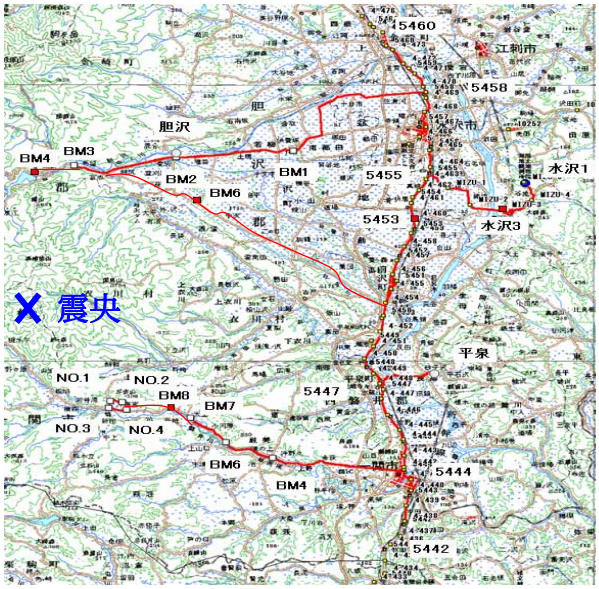
災害対策本部は，緊急路線調査実施のため６月 16 日から６月 20 日まで，機動観測課長を安全管理員とする機動観測課職員４名による現地緊急測量調査班の派遣を決定した．決定を受け，調査する水準点が岩手県奥州市，一関市，平泉町に点在しているため，宿泊場所を奥州市に確保するとともに，機器材及びキャンペーン観測の実施も考慮し水準測量，GPS 観測の器材等の準備を進めた．現地に向け，官用車２台に分乗し 16 時に国土地理院を出発し，21 時 20 分奥州市の宿泊施設に到着した．

宿泊施設には，東北地方測量部の現地緊急測量調査班３名が宿泊しており，現地の状況や業務内容等の情報交換を行った．

２．２　現地調査

南側に位置する国道 342 号に沿った一等水準点 No.5444（一関市）から２級公共基準点（公共水準点も兼ねる）の環路線 No.１から No.４までの公共水準路線は，平成 12 年に設置され３級水準測量で観測された路線である．

調査は，公共測量作業規程で規定された埋設方法の基準点８点を実施した．設置から８年が経過しており亡失が懸念されたが，７点の正常を確認した（写真－１）．BM.８は震源地に近い No.１～No.４の環路線をつなぐ水準点のため念入りに調査したが，土中に横たわり埋没している事を確認し亡失とした（写真－２）．



図－１　調査路線図

写真－１　正常を確認した BM.４ 地下埋設で保存も良好

写真－２　BM.８（左：故障点を確認　右：基準点捜索中）

胆沢ダム建設のために設置された，北側に位置する国道 397 号に沿った一等水準点 No.5458（奥州市）及び一等水準点 No.5451（奥州市）から１級公共水準点 BM.４までの BM.３を交点とするＹ型１級水準路線は，昭和 62 年に設置（平成 15 年改算）された１級水準路線である．水準点の多くは，公共施設に設置されており，小学校にある BM.１（写真－３）及

び BM.２は，説明板も設置され保全も良好であり正常を確認した．胆沢ダム建設地内に設置されている BM.３は，保全も良好で正常を確認した．BM.４は石淵ダム脇に設置されている．石淵ダムに通じる国道397号がBM.３の地点で通行止めのため，東北地方整備局胆沢ダム工事々務所の協力により胆沢ダム建設現場を通り，BM.４の調査を行った． BM.４は山の中腹にあり，近くに地震による地割れが発生していた．地割れに伴い BM.４は，傾斜しており，余震も続いている事から危険と判断し，観測不可能と判断した（写真－４）．

写真－３　説明板も設置され保存も良好な BM.１

写真－４の１　付近で地割れが発生した BM.４

写真－４の２　BM.４付近の落石

BM.６は，現況が大きく変わり亡失を確認したため一等水準点No.5451（奥州市）からBM.３の路線は，観測を実施しない事とした．

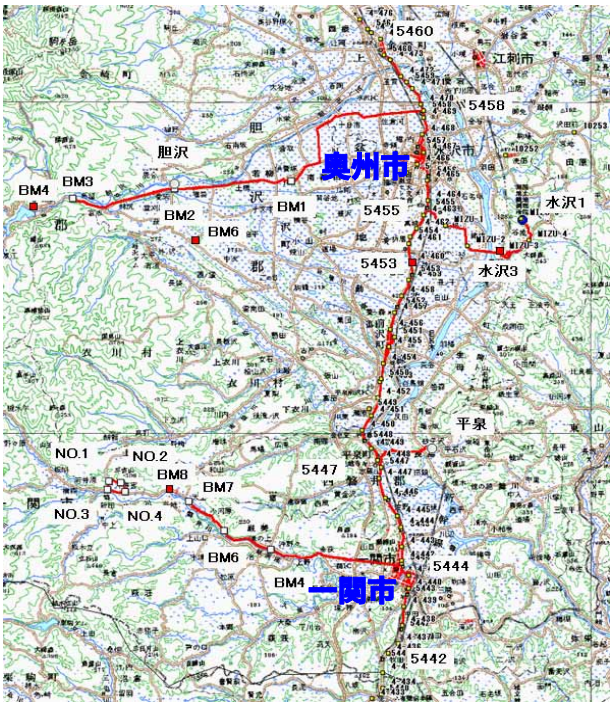
国道４号の一等水準点 No.5442（一関市）から No.5460（金ヶ崎町）までの一等水準路線は，２班に分かれ調査を実施した．一等水準点No.5453は，点の記と現況に大きな変化がないが発見出来ないため，東北地方測量部から過去の調査写真を携帯電話に送信してもらい確認したところ，水準点の位置に排水路が出来ており亡失を確認した．また，一等水準点No.5455（奥州市）から二等水準点No.水沢－５（水沢測地観測所）までの二等水準路線は，No.水沢－３が点の記と現況が著しく変化していたため発見できず亡失とした．

調査を実施した路線のうち，通行止めの箇所は，北側に位置する国道397号に沿った１級水準路線のBM.３からBM.４の区間（写真－５）と南側に位置する国道 342 号に沿った３級水準路線の BM.８（亡失点）から No.４の区間（写真－６）であった．１級水準路線は，迂回路もなく，また No.４付近で地割れも発生していることから危険と判断し水準測量の観測は，No.３までとした．３級水準路線については，通行止め区間を迂回する近くの林道を調査したが，観測のできる状況ではないため，BM.７からNo.４の区間の直接水準測量は不可能と判断した．

緊急測量実施路線を図－２に示す．

写真－５　道路に亀裂が入り通行止めになった BM.３付近の国道 397 号

写真－６　国道 342 号通行止め区間（BM.７－No.４）



図－２　緊急測量実施路線図

２．３　水準測量実施方法の検討

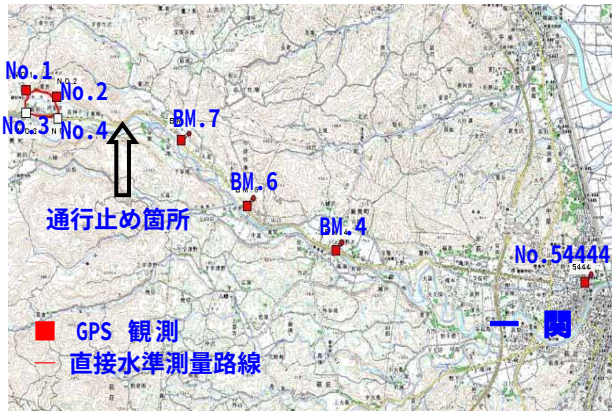
緊急測量の地殻変動データは，速やかな検出が求められるため３級水準路線である国道 342 号の通行止め区間（BM.７～No.４）の測量について，現場の状況も踏まえ検討を行った．検討の結果，図－３に示す通行止め箇所を挟む BM.７から西の路線を機動観測課が実施し，直接水準測量が可能なその他の区間については，協定書に基づき緊急測量（機動観測高精度三次元測量）を実施することとした．

機動観測課が実施する区間の観測方法は，通行制限されていない No.１～No.４の環路線を直接水準測量で実施し，BM.７～No.４までの通行止め区間は，GPS による間接水準測量を実施することとした．

GPS による間接水準測量のための GPS 観測は，直接水準測量を実施している No.5444，BM.４，BM.６，BM.７，No.１，No.２で行い直接水準測量及び間接水準測量の観測結果に基づきジオイドを推定し，BM.７と No.２の比高差を求めることとした．No.１，No.２での GPS 観測は，ジオイドモデルの精度検証のために実施することとした．また，上空視界が悪いため標石直上で GPS 観測が出来ない，No.5444，BM.４，BM.６，BM.７については，水準点に近い場所で上空視界の良好な場所に点を設けて観測を実施することとした．

１級水準路線，３級水準路線及び一等水準路線で実施する「協定書」に基づく緊急測量は，作業量及び観測期間等を考慮し，２社（２班）が妥当と判断した．

６月 19 日に調査結果及び検討結果を機動観測課に報告した．



図－３　機動観測課観測実施図

３．緊急測量（機動観測高精度三次元測量）

３．１　はじめに

緊急測量（機動観測高精度三次元測量）では，公共水準路線，一等水準路線の水準測量と電子基準点取り付け観測を協定書に基づき実施した．

協定書に基づく緊急測量及び公共水準路線での地殻変動観測は，今回が初めてである．その実施について報告する．

３．２　災害時における緊急測量作業実施に関する協定書

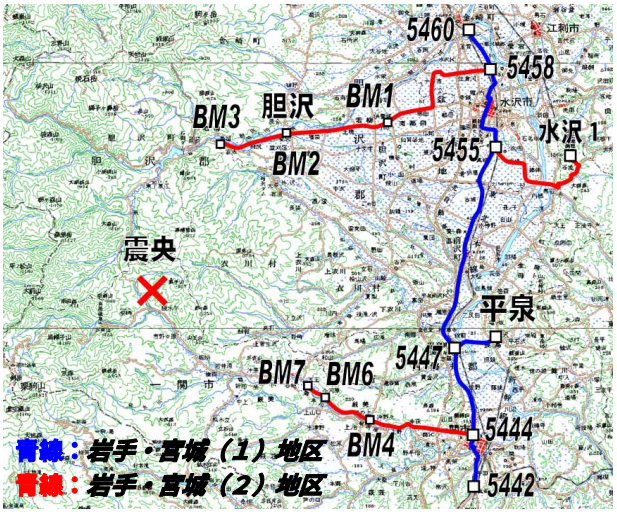
協定書は，平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震等を踏まえ，国土地理院と全測連の間で災害の拡大防止及び復旧・復興対策の円滑な実施を目的に実施する緊急測量作業について平成 20 年４月１日に締結したものである．

協定では，緊急測量作業を円滑に実施するため，作業候補者として一定の条件を満たす請負者の事前登録や請負業者の決定・契約方法等の基本的な運用を定めている．事前登録会社には，平成 20 年６月現在 60 社が登録されている。

３．３　協定書に基づく契約

協定書に基づく機動観測高精度三次元測量は，６月 16 日に実施を決定し，６月 24 日に２地区の契約を行った．本契約は，協定書に基づく最初の契約である．緊急測量実施の決定から契約までの流れを示す．

《６月 16 日》
・緊急測量を協定書に基づき実施することを決定．
・協定書の手続きを開始．
《６月 19 日》
・緊急路線調査の結果を受け，発注物件を決定．
　①岩手・宮城（１）地区（図－４）
　　観測 42.8km
　　国道４号上の一等水準点 No.5442 から No.5460 の水準測量（39.0km）及び電子基準点「平泉」の取付け観測（3.8km）
　②岩手・宮城（２）地区（図－４）
　　観測 43.5km
　　国道 397 号に沿った一等水準点 No.5458 から１級公共水準点 BM.３の水準測量（21.1km），国道 342 号に沿った一等水準点 No.5444 から３級公共水準点 BM.７の水準測量（12.9km）及び電子基準点「胆沢」「水沢１」の取付け観測（9.5km）
・緊急測量に対応可能会社の中から東北測量（株），岩倉測量設計（株）を選定．
《６月 20 日》
・入札・契約に関する手続き終了．
《６月 24 日》
・東北測量（株），岩倉測量設計（株）と契約．



図－４　外注作業地区割り図

３．４　公共水準路線の改測に伴う手続き

国土地理院が緊急測量の実施を公共水準路線で行うことは，今回初めてである．緊急測量を実施した公共水準路線は，ダム建設（胆沢ダム）を目的に昭和 62 年に設置された１級水準路線と遺跡(骨寺村荘園遺跡)調査のために平成 12 年に設置した３級水準路線である．

作業の実施にあたり，測量法に規定する「測量標の使用」「測量成果の使用」の手続きを基準点管理者である東北地方整備局胆沢ダム工事々務所長及び一関市長に行い承認を得て作業を実施した．

３．５　協定書に基づく緊急測量

３．５．１　作業着手時の打合せ

緊急測量は，速やかな実施が求められている．しかし協定書に基づく作業においても作業着手時打合せ，実地最終確認などは，他の外注作業と変わるものではない．作業を速やかに実施させるため，作業着手時打合せを作業現地（岩手県一関市）で契約日（６月 24 日）に実施した（写真－７）．作業着手時打合せでは，安全管理の徹底，通常作業との相違点（作業班長の常駐，観測開始終了時の連絡，毎日の速報送付）等について確認を行った．このような対応は，今回が初めてであるが作業の速やかな実施が求められる緊急測量では，有効な方法であった．

写真－７　岩倉測量設計（株）との作業着手時打合せ

３．５．２　安全ベスト

平成 20 年（2007 年）新潟県中越沖地震の緊急測量は，機動観測課が高精度三次元測量を実施している．この作業では，被災直後の混乱を予想し，作業員は安全作業服を着用し「国土地理院」腕章及び写真入りネームプレートを着用した．このことで混乱する現場において，身分を証明することに有効であったと報告されている（池田ほか，2007）．

岩手・宮城内陸地震の外注作業に新潟県中越沖地震の直営作業と同様の準備を受注した会社に望めないため，ひとつの方法として，緊急に作成した安全ベストを貸与した（写真－８）．

写真－８の１　安全ベストの貸与

写真－８の２　安全ベストを着用しての作業

安全ベストは，オレンジ色をベースに背中の反射テープには「国土交通省 国土地理院 機動観測」を記載し，前面にはネームプレートが入る透明ポケットを付けたものである．この目的は，安全確保，作業員の身分証明及び国土地理院が実施する機動観測（緊急測量）を地域住民に示す事である．

写真－８の３　安全ベスト（左：前面　右：背面）

３．５．３　観測作業

観測作業は，東北測量（株），岩倉測量設計（株）とも現地調査を６月 25 日に終了し６月 26 日に開始した．両社は，緊急測量の意義を理解しており，短期間での観測に集中し東北測量（株）が７月６日（11 日間），岩倉測量設計（株）が７月７日（12 日間）に観測作業を終了した．観測作業期間中は，作業開始前後に作業班長から監督員に連絡を入れさせ，観測状況の確認と安全確認を行った．また，得られた観測データは，社内点検後に速報とし日々監督員に提出された．監督員は，速報の確認を行い関係部署に迅速に提供を行った．観測作業終了後の７月９日に実地最終確認を実施した．実施区間は，前回の観測値との変動が顕著な区間を選定し，採用値の信頼性について確認を行った．実地最終確認結果は，すべての区間において良好であった．

３．５．４　情報交換

実地最終確認後の７月 10 日に作業に対する率直な意見を聞くため監督員と作業担当者による意見交換を行った（写真－９）．

意見交換で次の意見・要望が出された．

・平時からの情報交換をお願いしたい．
・安全ベストは，安全面を考慮した物であり緊急測量以外でも貸与願いたい．
・「国土地理院」を背負っての作業は，緊急測量に対する自覚がより鮮明になった．
・緊急測量作業対応可能会社の調査から契約までの間，技術者が待機状態になる待機時間が短くなるよう検討願いたい．
・機器検定の有効期限の関係で緊急測量に対応できないこともあり得る．

これらの意見・要望は，今後の課題として早急に対応していく考えである．

写真－９　東北測量（株）と情報交換

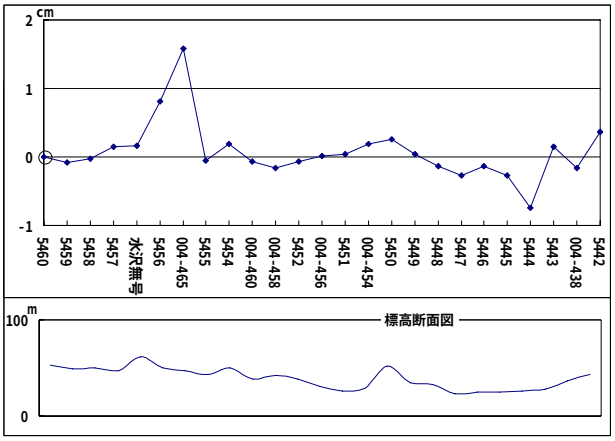
３．５．５　得られた観測結果

図－５は，国道４号上の一等水準点 No.5442（一関市）から No.5460（金ヶ崎町）までの緊急水準測量で得られ観測データと平成 15 年８～９月に観測された前回観測値を比較した変動グラフである．

No.5460 を不動点とし，約１cm の沈下が見られる No.5444 は，平成 14 年 12 月に移転を行い平成 15 年１月及び平成 15 年８月に改測作業を実施している．移転１ヵ月後の平成 15 年１月の改測作業では，No.5444 が前後の水準点（No.5443，No.5445）から

見て約４mm 程度沈下している．平成 15 年１月と平成 15 年８月の観測ではほとんど変動は見られないが，平成 15 年８月と今回の観測では，前後の水準点から見て約７mm 沈下している結果となっている．このような経緯から No.5444 の沈下は，移転に伴って発生したものとも考えられる．

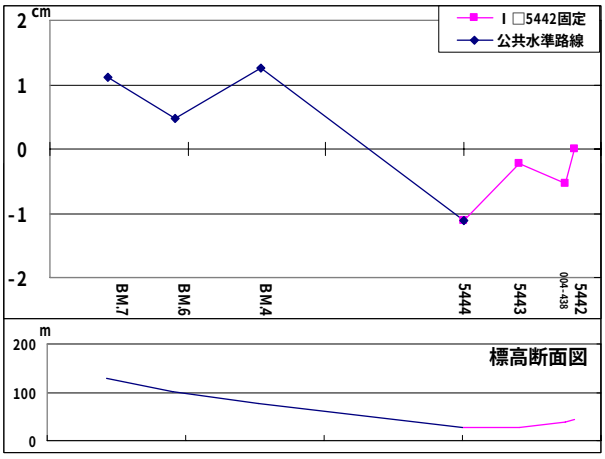
震源から離れている南北にはしる本路線においては，地震に伴う顕著な変動は見られない．



図－５　一等水準点 5442～5460 の変動グラフ

図－６は，国道 342 号に沿った一等水準点 No.5444（一関市）から３級公共水準点 BM.７までの緊急水準測量で得られ観測データと平成 12 年 11 月に観測された観測値を比較した変動グラフである．

起点である No.5444 は，前述したように移転に伴う沈下が考えられるため，変動量の小さい No.5442 を不働点とすると各水準点には，顕著な変動は見られない．本路線は，BM.７から国道 342 号に沿いさらに西に延びる路線であるが土砂崩れによる通行止めのため直接水準測量は BM.７までとした．BM.７から西の路線は，GPS による間接水準測量等を実施して変動量を求めている．この報告は４章で行う．

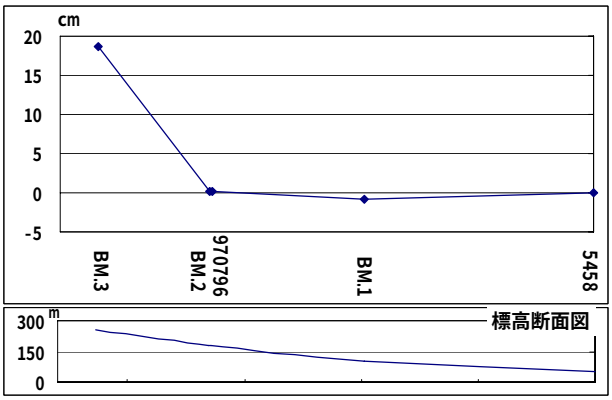


図－６　３級水準路線（5444～BM.７）の変動グラフ

図－７は，国道 397 号に沿った一等水準点 No.5458（奥州市）から１級公共水準点 BM.３までの緊急水準測量で得られ観測データと昭和 62 年 11 月に観測された観測値を比較した変動グラフである．

No.5458 を不動点とし，最大の変動量+187.5mm を示しているのが震央に近い BM.３である．BM.３の北西を走る道路には大きな亀裂が発生し，激しい地震の傷跡を残している（写真－５）．

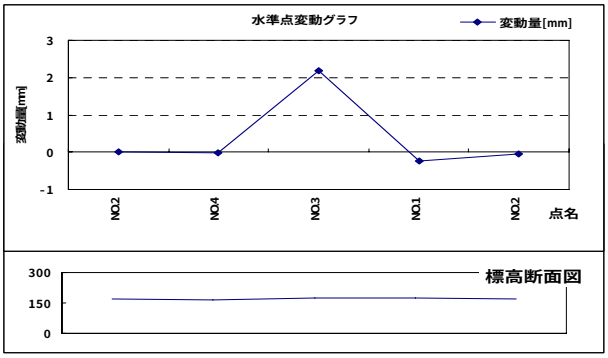
最大変動量を示した区間で BM.２近傍にある電子基準点「胆沢（970796）」は，地震発生後から 33 日間で東南東方向に 43mm の余効変動を観測している．このことから，最大の変動量を示した BM.２から BM.３においても地震後の変動の有無を確認する必要があり，水準測量の実施を検討したい．



図－７　１級水準路線（5458～BM.３）の変動グラフ

図－８は，国道 342 号に沿った３級公共水準路線のうち，GPS による間接水準測量区間（BM.７から No.２）につながる環路線（No.２－No.４－No.３－No.１－No.２）の緊急水準測量で得られ観測データと平成 12 年 11 月に観測された観測値を比較した変動グラフである．

No.３で約２cm の隆起が見られる．No.３は，付近に新たに建物が建設されているが変動との関係は不明である．

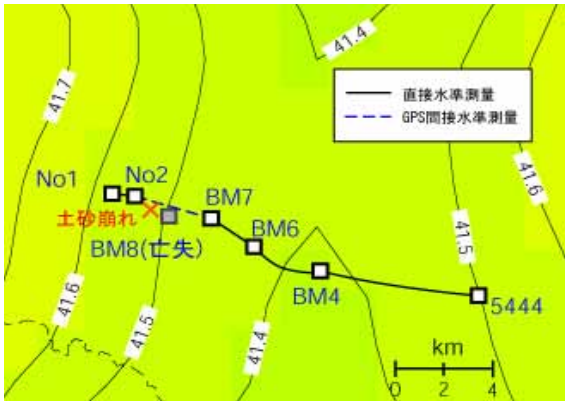


図－８　３級水準路線のうち環路線の変動グラフ

４．GPS による間接水準測量

４．１　はじめに

岩手・宮城内陸地震の緊急測量として，国道 342 号に沿った一等水準点 No.5444 から２級公共基準点（公共水準点も兼ねる)No.１までの地殻変動を求めるための水準測量を実施した（図－９）．緊急路線調査により BM.７から No.２の区間において，直接水準測量の実施が困難であることが確認された．そこで，この区間の比高は，GPS による間接水準測量を用いて計測することとした．GPS 観測による比高の測定は，ジオイド起伏の影響を除去する必要があり，公表ジオイドモデル「日本のジオイド 2000」（以下，「GSIGEO2000」という．）を考慮して当該路線のジオイド高を推定することを試みた．今回，No.5444 から No.１までの地殻上下変動を，直接水準測量及び GPS による間接水準測量を組み合わせて求めたので報告する．

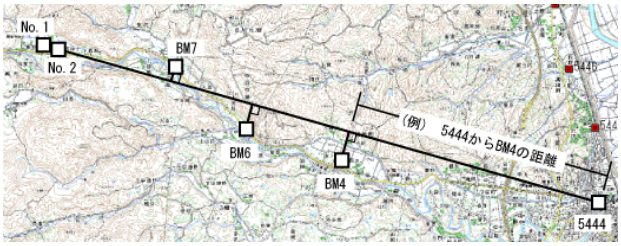


図－９　「日本のジオイド 2000」によるジオイド起伏と観測路線

４．２　この路線におけるジオイド形状

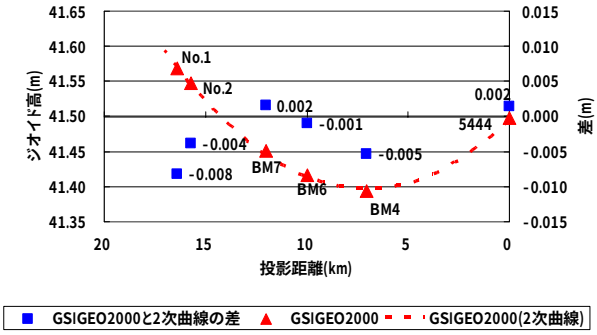
BM.７から No.２の区間の比高を求めるためには，BM.７と No.２のジオイド高の差が必要である．そこで，直接水準測量と GPS による間接水準測量の結果から，GSIGEO2000 で補いつつジオイドを算出した．なお，巨大地震等で地形に大規模な変化があればジオイド形状にも変化が現れるが，今回はその地震の規模から地震前と地震後のジオイド形状の時間変化は無視できるものと考えられる．

はじめに，この路線に沿ったジオイド形状を確認する．この路線はほぼ直線であるため，No.5444 と No.１を結ぶ直線で近似し，その直線における GSIGEO2000 のジオイド断面図を作成した（図－１１）．ここで，各水準点をこの直線上に垂直投影しその直線上の距離を投影距離として，ジオイド断面を考える（図－10）．また，図－９より各水準点とその直線投影点ではジオイド高が同一であるとする．



図－10　No.5444 から各水準点までの投影距離

図－11 から GSIGEO2000 のジオイド断面は BM.４で一番低く，その両側に離れるほど高くなっている．区間全体では約 20cm のジオイド起伏があり，これら６点のジオイド高分布は，放物線状を示している．そこで，これら６点におけるジオイド高データに適合する放物線（２次曲線）でジオイド断面をモデル化することを考える．推定された放物線モデルとそのモデル化誤差を併せて図－11 に示す．モデル化誤差は全ての点で１cm 未満であり，この路線におけるジオイド形状は，この程度のモデル化誤差で放物線近似が可能と考えられる．



図－11　GSIGEO2000 のジオイド断面図と適合させた２次曲線との差

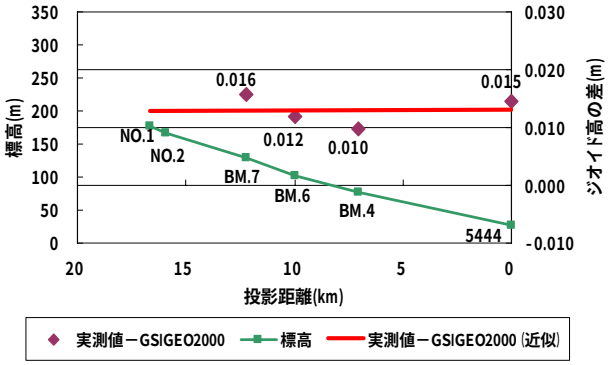
４．３　GPS 観測，水準測量の実施とジオイド高の推定手法

直接水準測量は，No.5444 から BM.７の区間と No.１から No.２の区間で実施した（写真－10）．GPS 測量は，No.5444 から No.１までの全ての点で 15 時間の連続観測を実施した．上空視界が悪いため標石直上で GPS 観測が出来ない No.5444，BM.４，BM.６，BM.７については，水準点に近い場所（水準点から 60m以内）で上空視界の良好な場所に点を設けて GPS 観測と水準取り付け観測を実施した（写真－11）．

写真－10　No.２付近での水準測量の様子

写真－11　No.5444 での GPS 測量の様子

偏心観測を行った４点では，GPS/水準法によるジオイド高の測定値（以下，「実測値」という.）が得られている.この実測値と GSIGEO2000 のモデル値の格差分布は図－12 に示すとおり 10～16mm である．投影距離に対するジオイド高較差の回帰直線を求めると，傾きのないほぼ定バイアス（13mm）で表される．この較差のばらつきは，GPS 測量による高さの精度からみて有意なものとは言えない．従って，GSIGEO2000 に対し，この定バイアスを補正することで実測値に合うジオイド高の推定が可能であると考えられる．また，No.5444 から BM.７の区間のジオイド起伏が GSIGEO2000 により高品質で再現されていることを示している．



図－12　GSIGEO2000 の実測値とのジオイド高の格差

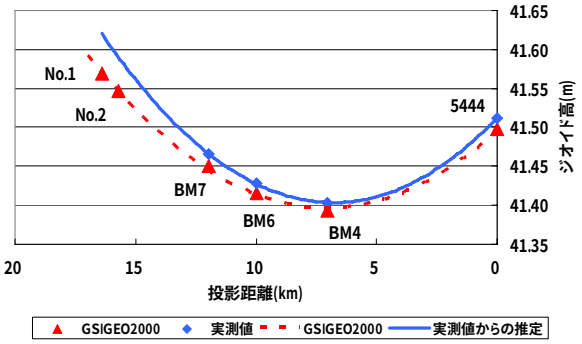
GPS による間接水準測量から水準点の標高を求めるため，この路線におけるジオイド高を推定する手法について，次の３種類を検討する．

①GSIGEO2000 によるジオイド高

②実測値に対する定バイアスを補正した GSIGEO2000 を用いた推定

③実測値からモデル化

４．２より，この路線のジオイド起伏が放物線近似で表される可能性を示した．そこで，４点の実測値から放物線モデルを推定し，そのモデルを用いる方法が③である．その結果を図－13 に示す．



図－13　GSIGEO2000 の実測値に対する２次曲線モデル

４．４　異なるジオイド高推定手法によるジオイド比高の比較

上記３種類の推定手法によるジオイド高を用いた間接水準測量による比高を，No.１から No.２の区間の直接水準測量の結果による比高と比較する．前者は，GPS 測量による No.１に対する No.２の楕円体比高に，推定された No.１と No.２のジオイド高の差を加えることで算出できる.その結果を表－１に示す．GSIGEO2000 を用いた推定手法①による比高の較差は約 15mm であり，ジオイドモデルの精度の範囲内で推定が行われている．推定手法②による比高は①と同一であるから，①と同じ結果となる．一方，実測値」から推定したジオイド高を用いた場合の比高の較差は約４mm と３つの手法の中で最も小さくなった．今回，BM.７から No.２の区間の緊急測量による上下変動の速報値には実測値から求めたジオイド高を用いた比高を用いた．なお，この比較は No.１から No.２の区間のジオイド比高の再現性を評価したものであり，BM.７から No.２の区間のジオイド比高の再現性については評価できない．

表－１　No.１から No.２における比高推定値と水準の比較

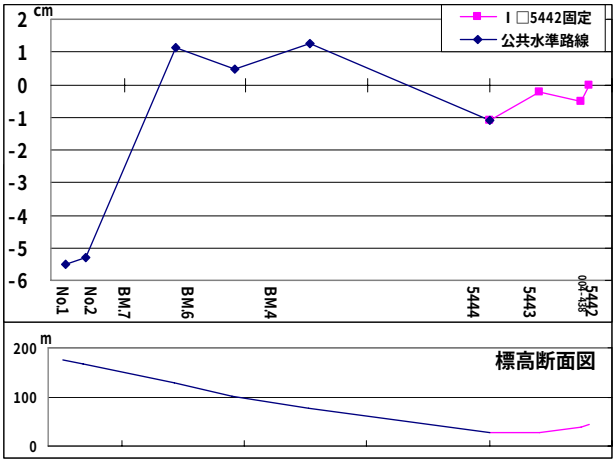
NO.1－NO.2	水準結果	①※	②※	③※
楕円体比高(m)	－	9.0500		
ジオイド高の差(m)	－	0.0213	0.0213	0.0319
比高(m)	**9.0140**	**9.0287**	**9.0287**	**9.0181**
差		－0.0147	－0.0147	－0.0041

※①「GSIGEO2000」によるジオイド高，※②「実測値」に対する定バイアスを補正した「GSIGEO2000」を用いた推定，※③「実測値」からモデル化

４．５　得られた観測結果

推定手法③によるジオイド高モデルを用い，GPS 観測から BM.７から No.２の区間の比高を決定した．この結果を組み入れ,No.5444 から No.１までの区間の上下変動図を図－14 に示す．No.5442 から BM.７の区間については図－６を転写したものである．

BM.７から NO.２の区間で，約 70mm の沈下がみられ，震央に近い地域での地殻上下変動が大きいことを示している．



図－14　３級水準路線（5458～BM.１）の変動グラフ

４．６　ジオイドの推定手法について

GPS による間接水準測量により比高を高精度に求めるには，当該地区のジオイド起伏を高確度で知る必要がある．特に，地殻上下変動の観測といった高精度な比高を目的とする場合，GPS/水準法によるジオイド高の測定を密に行う必要がある．

今回の緊急測量では，既存の水準点に対する直接水準測量が BM.７から No.２の区間（約 3.7km）において行うことができず，この区間のジオイド高を精密に推定する必要が生じた．本稿では，GPS/水準法により No.5444 から BM.７の区間（直線距離 16km）で得られた４点のジオイド高データに基づき，２次曲線表現でジオイド高をモデル化し，その外挿部分を用いてジオイド比高を推定した．これは，外挿部分にある No.１と No.２の区間の比高の再現性から推定手法を選択したものであり，推定すべき BM.７から No.２の区間におけるジオイド比高について，必ずしも良好な推定であることを保証するものではない．

GPS/水準法によるジオイド高の測定は，既存の水準点の有無に拘わらず，実行可能である．土砂崩れによる通行止め（BM.８の近傍）により水準測量の実施が困難であった BM.７から No.２の区間のジオイド比高の推定とその評価をより高い信頼度で行うためには，例えば，通行止めのあった BM.８近傍の前後に仮の水準点を設け,BM.７から一方の仮設水準点,他方の仮設水準点から No.２という区間において GPS/水準法によるジオイド高の測定を追加することが考えられる．これにより，ジオイドのモデル推定に取り入れられるジオイド高データの個数，区間とモデル推定の外挿部分についての品質を評価する区間数を増大することができる．今後，GPS による間接水準測量を用いた比高計測などでは，ジオイド高推定の高精度化を図る，このような測量の計画策定について検討を進めたい．

４．７　まとめ

今回の GPS を用いた間接水準測量作業では，GPS/水準法によるジオイド高の実測値に基づく２次曲線モデルを用いたジオイド比高の推定を用いた．これは，路線長が比較的短く，やや平坦な区間が対象であり，実測値との比較からジオイドモデル GSIGEO2000 によるジオイド起伏の再現性が高く，当該区間のジオイド形状を一定の精度で２次曲線近似できることが分かったことによる．２次曲線は，変曲点から離れるにつれて起伏が拡大するモデルであり，特に，限られた個数のデータへの適合では，データ区間以外において精度の劣化が大きくなりやすい．今回，間接水準測量区間に対するジオイド比高の推定が必要であったのは，２次曲線モデルの推定や外挿部分を用いるものであり，限られた個数の実測値しかなく，２次曲線モデルの推定や外挿部分の精度評価を行うには必ずしも十分ではない．

今後，実測値からジオイドを推定する場合は，GSIGEO2000 と比較しながら，緊急測量等での速報値の提供に限定し，後に直接水準測量を実施して評価を行う等,慎重に運用することが必要である.また，ジオイドの形状は,地形起伏の影響を短波長成分で,深部密度構造の影響を長波長成分で大きく受けるため，場所によりジオイド起伏の形状や程度は大きく異なる．路線長が短い区間であっても，いつも２次曲線で近似できるものではない．GPS を用いた間接水準測量の実施では，GPS/水準法によるジオイド高の計測を十分な密度で行い，GSIGEO2000 を考慮しながら，当該地区のジオイド形状の特徴に応じ，その

表現モデルや推定手法を検討することが必要である．

最後に，今回の速報では，実測値から求めたジオイド高を採用したが，土砂崩れの通行止めが解除された後に直接水準測量を実施し最終成果としたい．

５．REGMOSによる電子基準点データの転送

５．１　はじめに

地震に伴う崖崩れにより，電気及び電話回線が不通となり機能が停止した電子基準点（栗駒２）において，REGMOSによりデータの転送を行い電子基準点の稼働を再開させた．このような試みは今回が初めてであり，その内容を報告する．

５．２　REGMOSの機種選定

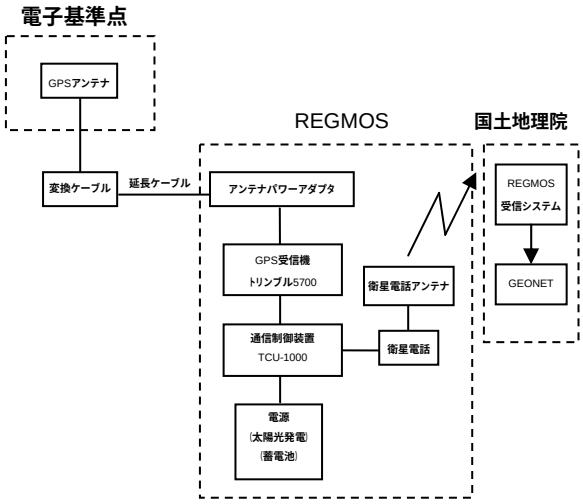
電子基準点に至る道路は土砂崩れで寸断されており，現地にはヘリコプターでのみ進入可能な状況であった．また，現地ヘリポートから電子基準点までの器材の運搬は，人力によらなければならなかったことから，使用するREGMOSは小型で軽量なタイプのものが求められた．さらに，電子基準点が設置されている場所は冬期には積雪が多いが，すでに道路及び電気･電話の復旧工事が進められていたことから，REGMOS による電子基準点データの転送は長期化しないと予想され，降雪に強いタイプである必要はないと判断した．以上から，今回使用するREGMOSは，積雪の多い場所での使用には向かないものの，他のREGMOSと比べて小型かつ軽量で，部材を分解して運搬できる可搬型タイプとした．

５．３　電子基準点とREGMOSの接続

電子基準点，REGMOSとも，基本的にはGPSアンテナ，GPS 受信機，電源及び通信装置により構成されている．しかし，電子基準点は電源に商用電源，通信には有線電話を使用しているのに対し，REGMOSは電源に太陽光発電及び蓄電池，通信には衛星電話もしくは地上携帯電話を用いているところが異なる．REGMOSは，取得したGPSデータをREGMOS受信システムへ転送するだけでなく，蓄電池や内部温度データ，通信制御装置（TCU-1000）のログデータを同時に転送し，稼働状況をモニタリングすることができる．これらのデータは，万が一，機器にトラブルが発生した場合には，原因究明や対策の貴重なデータとなる．また，通信制御装置は自己のほか，GPS 受信機や衛星電話が異常な動作を行った場合には，それを検知して，必要であればリセットをかけるなどして修復する機能を有しており，長期の不日照により蓄電池の電源を使い切り停止したとしても，発電が回復すれば自動で復帰することができる．これらのことから，REGMOSによる電子基準点のデータ転送は，発電が天候に左右される太陽光発電を電源として用いる以上，REGMOSの機能をできるだけ使用した方が安定的な稼働ができると期待される．

一方，電子基準点は地殻変動を継続的に監視する観点から，設置されているGPSアンテナをそのまま使用すべきである．また，GPS アンテナレドームの開閉は，GPS アンテナ位相特性に変化を与える懸念があり，アンテナケーブルを交換する作業は行わないのが賢明である．そこで，GPS アンテナ及びアンテナケーブルは電子基準点に設置されているものをそのまま使用することにして，変換ケーブル及びアンテナケーブルを接続して延長し，それを REGMOS 内に引き込み，アンテナパワーアダプタを経由してGPS受信機に接続した．電子基準点とREGMOSの接続配線を図－15に，電子基準点に接続したREGMOSの状況を写真－12に示す．

写真－12　電子基準点に接続したREGMOS

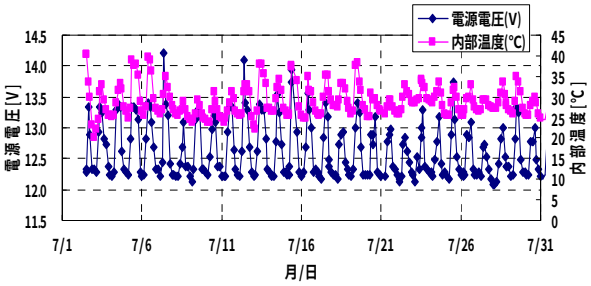


図－15　電子基準点とREGMOSの接続配線

５．４　稼働状況

７月２日の設置以降，トラブルが発生することもなく，順調に稼働を続けている．日々，GPS データとともに転送されて来るREGMOSの蓄電池の電圧と，

内部温度の変化を図－16 に示す．REGMOS は，太陽光発電により発電された電気を，充電コントローラーを通して蓄電池に蓄電し，そこから通信制御装置に電力を供給し，さらに各機器に分配している．これまでのところ発電は安定しており，蓄電池の電圧は12Ｖを切らないようコントロールされている．機器の熱対策は，収納ボックスにファン等の温度調整機能を取り付けていないものの，筐体には赤外線反射塗料を塗装している．７月は内部温度が平均で約30℃，最高でも約 40℃であり，機器の動作環境（-10℃以上，50℃以下）の範囲内に収まっている．



図－16　REGMOS の電源電圧と内部温度

５．５　まとめ

電気及び電話回線が不通となり機能が停止した電子基準点（栗駒２）に，可搬型タイプの REGMOS を接続して稼働を再開させ，データの転送を行った．GPS アンテナレドームを開閉することなく電子基準点の既存の GPS アンテナとアンテナケーブルをそのまま使用し，その他については REGMOS の機能を使用することにより，継続性のあるデータを安定的に取得することに成功した．機器の輸送の制約や，電気・電話の復旧に長い時間がかからないと予想されたことから，可搬型タイプの REGMOS を選択し，迅速に稼働させることができた．電気・電話の復旧が遅れて冬期にまで及ぶ場合には，稼働を継続するには降雪に強いタイプの REGMOS に交換する必要がある．

６．全体のまとめ

本稿は，岩手・宮城内陸地震への対応として，測地部が発災後速やかに実施した緊急路線調査，高精度三次元測量，GPS による間接水準測量及び測地部と測地観測センターの協力により実施した REGMOS による電子基準点データ転送の概要をまとめたものである．今回の機動観測では協定書に基づく高精度三次元測量の実施，公共水準路線での地殻変動の検出，安全ベストの貸与・着用，GPS による間接水準測量による地殻変動の検出，REGMOS による電子基準点データの転送と初めての試みも多かったが関係者の協力により問題なく対応できた．また，各作業においては，写真の記録を残すことに心がけた．記録は，今後の機動観測を想定したイメージ資料として活用されることが期待される．

謝　　辞

機動観測を実施するにあたり，岩手県を始め，一関市，奥州市，東北地方整備局，（社）全国測量設計業協会連合会，東北測量（株），岩倉測量設計（株），水沢警察署及び一関警察署，基準点敷地所有者など多くの方々にお世話になった．国土地理院内においても，東北地方測量部や災害対策本部を核とした職員の協力体制があって遂行された．関係諸氏に深く感謝する．また，本稿の執筆において，黒石裕樹宇宙測地研究室長には，GPS による間接水準測量に対し，助言を頂き深く感謝する．

最後に，地震で被災された方々が一日も早く元の生活に戻られるとともに，被災地の早期復興を願っている．

参 考 文 献

池田尚應，横川正憲，田上節雄，佐々木利行，塩谷俊治，大森秀一，根本盛行（2008）：平成 19 年（2007 年） 新潟県中越沖地震に伴う緊急現地調査（水準測量），国土地理院時報，114，39-45.

総務省消防庁，平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震（第 73 報），
http://www.fdma.go.jp/data/010807081806395887.pdf （accessed 8 Aug.2008）.