平成 17 年（2005 年）福岡県西方沖を震源とする地震に伴う測地測量の取り組み

Geodetic Surveys after the West-off Fukuoka Prefecture Earthquake in 2005

測地部　平井英明・横川　薫・齋田宏明
Geodetic Department　Hideaki HIRAI, Kaoru YOKOKAWA and Hiroaki SAITA
測地観測センター　湯通堂 亨
Geodetic Observation Center　Toru YUTSUDO
九州地方測量部　植竹政夫
Kyushu Regional Survey Department　Masao UETAKE

要　旨

平成 17 年３月 20 日 10 時 53 分頃，福岡県西方沖を震源とするマグニチュード 7.0，最大震度６弱の地震（以下，「福岡県西方沖地震」という.）」が発生した.

国土地理院（測地部・測地観測センター・九州地方測量部）は，翌日の３月 21 日～４月６日にかけて現地緊急測量調査作業（GPS 機動連続観測点の設置及び被災地域に設置されている三角点の調査，電子基準点の調査作業）を数回にわたり実施した．４月 12 日～ 22 日には，地震活動で大きな地殻変動が認められた地域において，復旧・復興事業の測量に，正確な基準を与えるため，再び現地緊急測量調査作業（三角点の測量）を実施した．電子基準点の調査結果から４月 18 日に，被災地域周辺の電子基準点３点の成果を改定した.

その後，三角点の測量結果を踏まえ，さらに広域な地域において三角点の復旧測量作業及び都市再生街区基本調査で設置した街区基準点の改測作業を実施した.

本稿では，電子基準点の成果改定及び GPS 機動連続観測点の設置と観測，三角点成果の改定のための観測や計算方法など，「福岡県西方沖地震」に伴い実施した測地測量の概要について報告する.

１．はじめに

福岡県福岡市，前原市などで震度６弱を記録した「福岡県西方沖地震」は，死者１名，負傷者 1,087 名，住家全壊 133 棟，半壊など 8,864 棟（５月 12 日８時 30 分現在，総務省消防庁による）など玄界島や福岡湾岸を中心に被害をもたらした（図－１）．また，震度４以上の余震が５月２日１時 24 分までに８回発生した.

国土地理院は，発災直後の 11 時 00 分に災害対策本部を設置，九州地方測量部にも現地災害対策本部を設置し，情報の収集と職員の安全確認を行った.

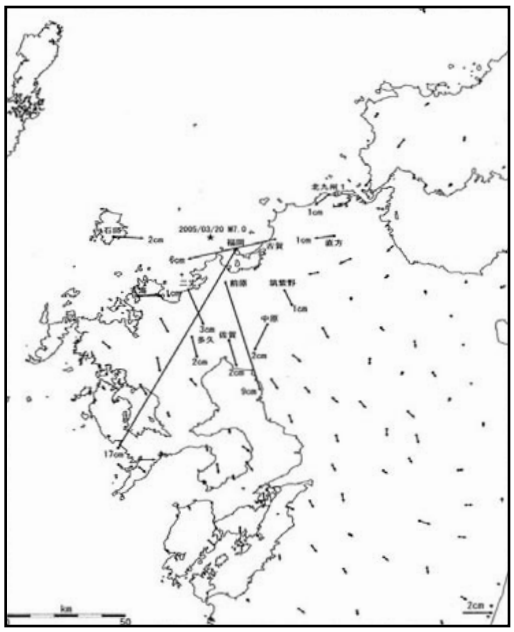
図－１　電子国土（国土地理院 HP）で表示した家屋損壊（赤域）の状況

２．現地緊急測量調査

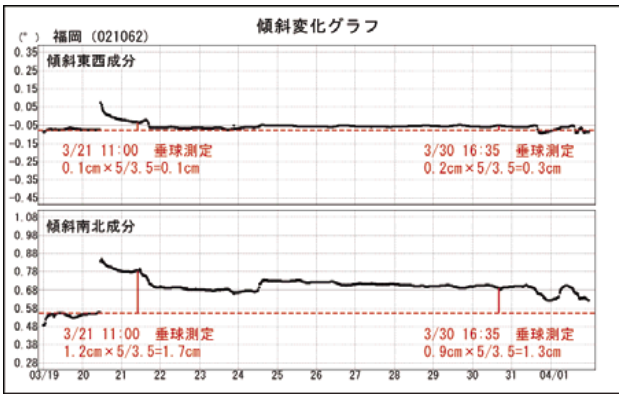
現地緊急測量調査は，地震発生の翌日（３月 21 日）に九州地方測量部が電子基準点「福岡」の点検調査を実施し，24 日には，電子基準点「古賀」の点検調査及び福岡市東区の国営海の中道海浜公園内の観測点において GPS 連続観測を開始した．27 日～ 31 日には，測地部，測地観測センター及び九州地方測量部により，GPS 機動連続観測点の設置，電子基準点の点検調査及び震源周辺の三角点調査を実施．また，４月５日～６日には，九州地方測量部が追加の三角点調査を実施し，12 日～ 22 日には，調査した三角点で緊急観測を実施した．これら作業の現地進入に当たっては，国土地理院災害対策本部との定時連絡，作業前後の連絡など，安全確認を行いながら実施した.

２．１　電子基準点の現地点検調査

電子基準点の緊急解析の結果は図－２のとおりである．地震発生翌日，九州地方測量部は，地殻水平変動ベクトルが大きく，かつ傾斜計データにも異常のあった電子基準点「福岡」の点検調査を実施した．「福岡」では，ピラー内部に備えられている垂球により傾斜測定を行い，電子基準点（地上高約５ｍ）の傾斜量を得た．垂球による傾斜量と設置済傾斜計データの傾斜変化は図－３のとおりである．「福岡」では，



図－２　電子基準点の地殻水平変動ベクトル



図－３　電子基準点「福岡」の傾斜変化グラフ．縦軸が角度，横軸が日付を表す．縦軸の一目盛は，0.1°で傾斜量に換算すると約 0.9cm になる．

その後も引き続き変動が見られていた．測地観測センターは，その変動の原因を確認するため現地調査を行った．その結果，この変動は余効変動であって，傾斜に起因するものでは無いことを確認した．

この現地点検調査では，「福岡」の傾斜測定の他，地震による地殻変動量が大きく，成果改定の必要があった電子基準点「前原」とその与点となる電子基準点の点検調査も合わせて実施した（表－１）．

測地観測センターが行った「福岡」における傾斜測定結果と地震直後に九州地方測量部が行った傾斜測定結果とを合わせて，地殻変動量算出時の傾斜補正量を見積もった．また現地調査を行った他の電子基準点「筑紫野」「北九州 1」「二丈」では，地震による影響を受けていないことを確認した．

表－１　測地観測センターで現地調査を行った電子基準点

観測点名	調査日	調査内容
筑紫野 (950451)	H17.3.29	・現況調査 ・写真撮影
北九州 1 (021060)	H17.3.30	・現況調査 ・垂球による傾斜測定 ・写真撮影
二丈 (021065)	H17.3.30	・現況調査 ・垂球による傾斜測定 ・写真撮影
前原 (950450)	H17.3.30	・現況調査 ・写真撮影
福岡 (021062)	H17.3.30	・現況調査 ・垂球による傾斜測定 ・写真撮影

２．２　GPS 機動連続観測点

２．２．１　GPS 機動連続観測点の設置

九州地方測量部は，地殻変動の推移をより詳細に監視するため，国営海の中道海浜公園内にある，（社）日本測量協会が所有する GPS 測量機比較基線場の基線端点 No. ２において，３月 24 日 GPS 受信機 Trimble 4000ssi，GPS アンテナ Trimble Zepher の組み合わせによる GPS 連続観測を開始した．

３月 28 日，測地部は人手を介さずにデータ送信のできる，自立型 GPS 機動連続観測点（以下，「G-COS」という．）を同観測点に設置した（写真－１，２）．

「G-COS」は，太陽光発電と衛星携帯電話を組み合わせ，GPS 観測・データ通信などが可能な装置として平成 15 年度に開発された．今回設置したものは，通常の携帯電話が利用できる地域であったため，衛星携帯電話の代わりに 800MHz 帯の携帯電話を利用してデータ通信を行っている．

観測機器を収納する架台は，基線端点の隣に設置し，架台を安定させるため 140kg の重しを機器収納箱下部に固定した上で四隅をアンカーで固定した．

GPS 受信機は，より消費電力の少ない Trimble 5700 を使用し，データの連続性を維持させるため整準台及びアンテナはそのまま継続使用した．データ通信を行う携帯電話は，モデムと共に箱の中に設置するため，通信感度の低下が懸念され，外部アンテナを架台背面上部に取り付けるなどの改良を図った．

写真－１　設置された「G-COS」

写真－２　組立中の「G-COS」

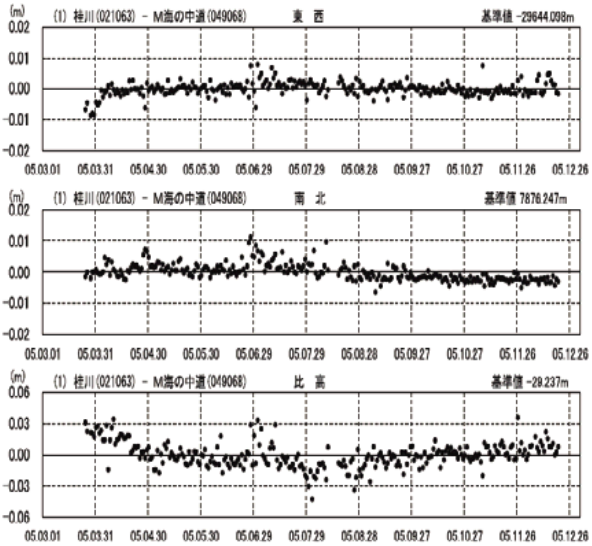
２．２．２　観測

「G － COS」設置の観測点「M海の中道」による観測は，28 日の JST16:42 から開始し，以後国土地理院の「GEONET」から３時間毎に自動的にデータ回収されている．観測開始から 2005 年 12 月中旬までの「GEONET」による解析結果を図－４に示す．

これによると観測点「M海の中道」は，地震発生からひと月で，水平成分 10mm，垂直成分 20mm 程度の大きな変動をしたが，５月以降の変動はほとんど停滞しているように見える．

＊「G-COS」: GPS independent mobile Continuous Observation System

＊「GEONET」: GPS Earth Observation Network system
国土地理院の電子基準点網による GPS 連続観測システム



図－４　観測点「M海の中道」解析結果

２．３　三角点の復旧測量

２．３．１　三角点の調査

測地部及び九州地方測量部は，地震活動で大きな地殻変動が認められた地域において，詳細な地殻変動の調査及び復旧・復興事業における測量に正確な基準を与えるため，現地緊急測量調査として，三角点の現状把握及び観測に向けての選点調査を４月 12 日～ 22 日にかけて実施した．調査した三角点の内訳は一等三角点４点，二等三角点７点，三等三角点 30 点，四等三角点７点の 48 点でその結果，亡失点が１点，47 点が正常であった．

２．３．２　三角点における緊急観測

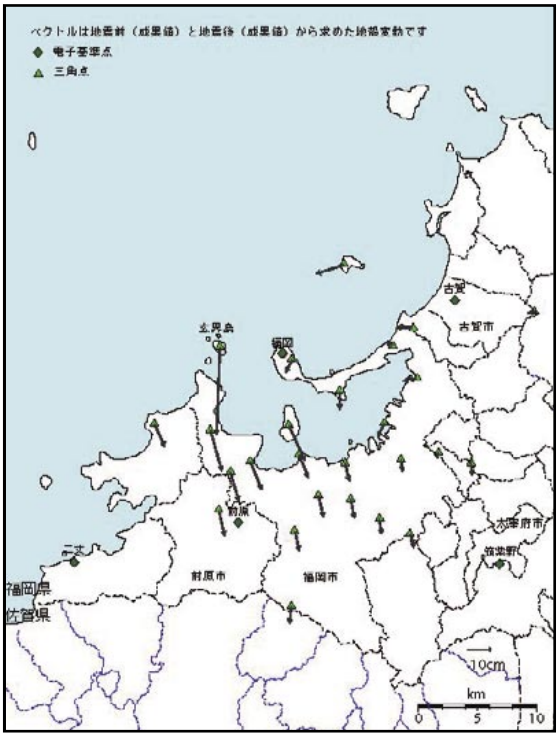
緊急観測は，調査した三角点のうち，過去に一次基準点測量（主に一,二等三角点），又は二次基準点測量（三等三角点）が実施されている三角点や上空視界が確保されている GPS 観測に適した点を選び出し，26 点の三角点について観測を実施した．内訳は一等三角点４点，二等三角点５点，三等三角点 12 点，四等三角点５点である．被害の大きかった玄界灘に浮かぶ玄界島や博多湾の志賀島，能古島の三角点も含まれている．

GPS 観測は，１班３名編成で３～４班に分かれて GPS 測量機を設置し，１セッション（同一時間帯で行う複数地点の観測）を４～７点とし，観測時間は３時間とした．島を含む観測網では，安全対策上，観測点数を少なくして人員の配置を行った．特に，玄界島の観測では，事前に福岡市の災害対策本部に島への立ち入りの申請を行い，安全管理員を同行させ，観測員の安全を確保しながら実施した．

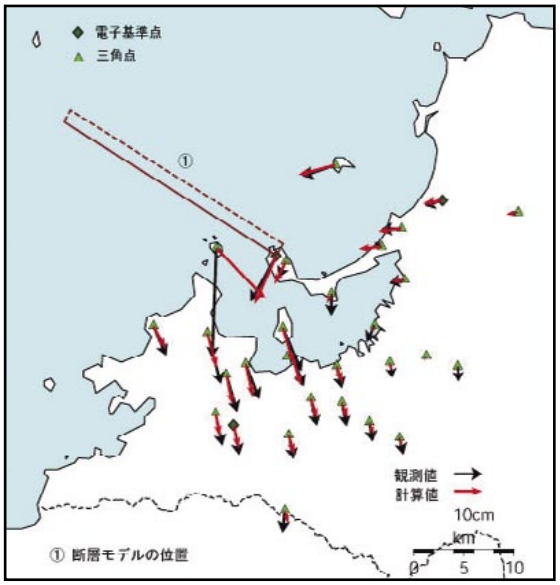
２．３．３　緊急測量結果

観測データは現地にて即座に解析され，取得データの良否を確認すると共に，電子基準点を既知点とし三次元網平均計算により新しい座標値を求めた．各三角点の水平変動ベクトルは図－５のとおりである．震源に近い玄界島が約 38cm 南方に移動しているのが確認された．

また，図－６のとおり，電子基準点の変動から作成した断層モデルによる地殻変動の計算値と今回の三角点の観測結果を比較すると全体的によく一致している．玄界島の三角点では，変動の方向が計算値と一致していない．これは三角点近傍の地盤の変形などの局所的影響を受けている可能性があると思われる．



図－５　三角点の水平変動ベクトル



図－６　モデル計算値と観測結果の比較

３．基準点成果の改定について

３．１　基準点成果の取り扱い

基準点成果の取り扱いは，電子基準点の解析結果から地殻変動量の大きかった地域の三角点成果の公表を３月 23 日に停止した．

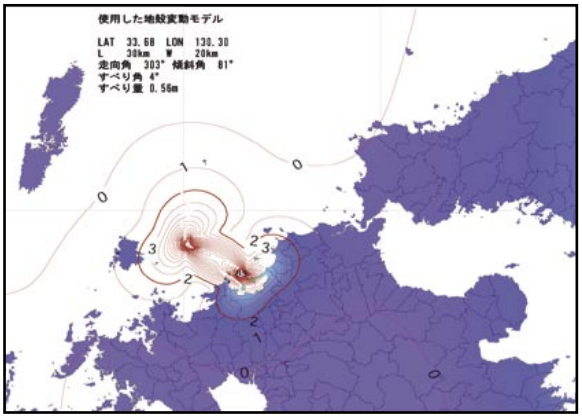
変動の大きかった電子基準点３点「福岡」「古賀」「前原」の成果改定を実施し，４月 18 日に公表した．また，現地緊急測量調査で観測した三角点 25 点の成果は５月 24 日に公表した．さらに，改測を行っていない三角点と街区基準点の成果の早期改定と公表を目指し，改定地域や改定方法の検討を行った．

改定方法の検討では，電子基準点と改測した三角点の水平変動ベクトルから，変動量及び方向にある一定の規則性があり（図－５），「平成 15 年（2003 年）十勝沖地震に伴う基準点成果の改定」と同様の座標補正ソフトウェア「PatchJGD」（以下「PatchJGD」という.）が使えると判断した．また，適用範囲（地域）は，三角点成果公表停止地域全体の未改測三角点の成果改定に用いることとした．しかし，変動の大きかった半島部と福岡市の都市再生街区基本調査地域のうち，沿岸部の三角点については，改測を行うこととした．その他の都市再生街区基本調査地域においては，「PatchJGD」による補正とその検証として観測した三角点の成果改定を行うこととした．

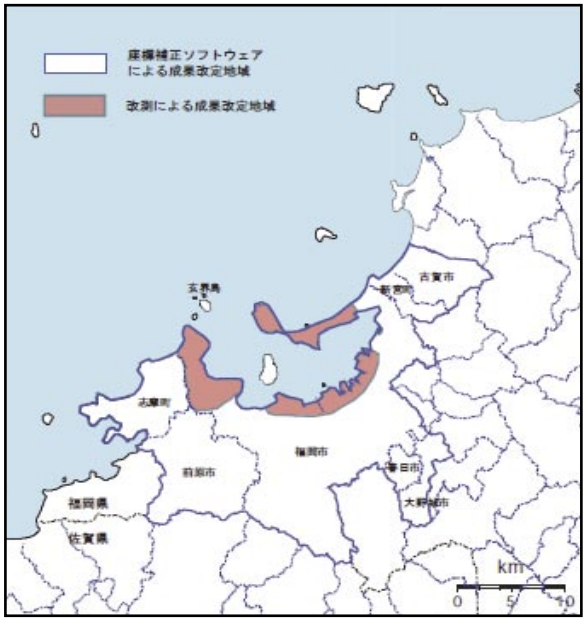
検討項目をまとめると以下のとおりである．

１）電子基準点の変動量から断層モデルを作成する．
２）緊急測量作業の結果と断層モデルの整合性を確認する．
３）断層モデルから水平歪み量２ppm（伸び，縮みの二乗和根）以上の地域を決定する（図－７）．
４）水平歪み量２ppm 以上が含まれる市町村を成果改定地域とする．
５）座標補正パラメータの作成は，十勝沖地震に伴う基準点成果改定作業と同様の方法とする．
６）座標補正パラメータの適用地域は，３）の範囲内で改測作業を行う震源域に近い半島部及び福岡湾沿岸地域を除く地域とする（図－８）．
７）座標補正パラメータの精度検証のため，GPS 観測（検証作業）を実施する．

座標補正パラメータ作成に使用した基準点の内訳は電子基準点７点，緊急測量作業で観測した三角点 26 点である．



図－７　水平歪２ppm（太線）の範囲



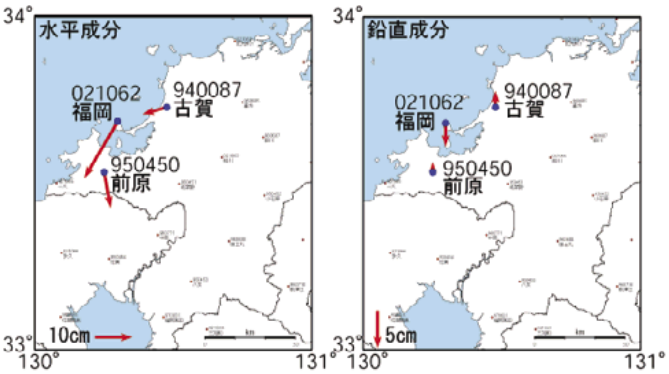
図－８　基準点成果改定地域

３．２　電子基準点の測量成果改定

地震による地殻変動量の大きかった電子基準点「福岡」「前原」「古賀」の３点について，成果の改定を行うこととした（図－９）．なお地殻変動に関しての考察は小清水ほか（2006）を参考にされたい．成果計算時の与点は，現地調査結果及び電子基準点配置図を踏まえ，「北九州１」「石田」「二丈」「筑紫野」の４点（図－９の黄色印）とした．電子基準点維持要領に従い，計算には GPS 精密基線解析ソフトの「GAMIT」を用い，網平均計算には「GLOBK」を用いた．基線解析には 2005 年３月 24 日～ 26 日の３日間の観測データを用い，暦には IGS 精密暦を使用した．

成果改定に伴う新旧成果値の差を図－ 10 に示す．算出された新成果値は，2005 年４月 18 日に公開した．

図－９　地震時の水平変動



図－ 10　成果改定による新旧成果の差

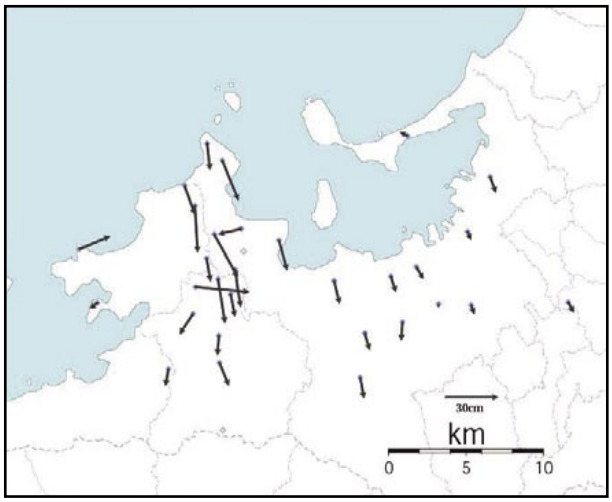
３．３　三角点の成果改定

成果を改定する三角点は，震源域に近い半島部などの三角点及び「PatchJGD」の検証点とするための福岡市内の三角点 34 点とした．その内訳は，成果不整合地域における基準点改測作業（福岡湾北西部地区）で 21 点，街区基準点等改測作業（福岡第１地区，福岡第２地区）の 13 点で，いずれも九州地方測量部が外注作業として実施した．

改測した三角点の水平変動ベクトルは地震前の測量成果と地震後の測量結果で比較した．これを見ると，変動量や方向の傾向が大きく異なる三角点がある（図－ 11）．これは今回の地震による変動だけでなく，三角点毎に成果算出時の差や他の要因による差など固有のものも含まれているためと思われる．

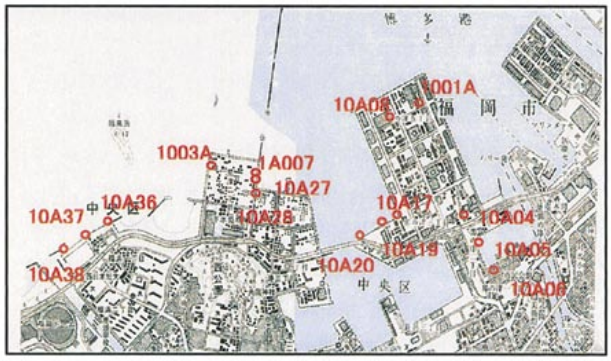
３．４　街区基準点の成果改定

平成 16 年度から都市部の地籍調査を推進するため，全国の DID（人口集中地区）で「都市再生街区基本調査」が実施され，調査に必要な公共基準点として街区基準点が国土地理院によって福岡市に設置された．地震発生後，既に設置されている街区基準点の現況調査を行った結果，被害が大きかったのは



図－11　改測三角点の水平変動ベクトル

写真－３　街区基準点周辺の被害状況



図－12　再測量した街区基準点

沿岸部の埋立地に設置したもので，液状化現象などにより街区基準点周辺に亀裂などが見られた（写真－３）．これらの街区基準点15点についても，改測を行い地震前の測量成果と地震後の観測結果から変動量を求めた（図－12，表－２）．

これらの調査結果と三角点の改測作業の結果などを参考にして，改測を行う地域と改算で対応する地域とに分けた．福岡市に設置した街区基準点3,024点のうち改測を行った街区基準点は306点，残り2,718点の街区基準点は改算で対応した．

改測作業では，街区基準点のほか設置時に既知点として使用した福岡市の１，２級公共基準点81点の改測も併せて行った．

また，改算作業では，街区基準点設置時に使用した既知点の座標を「PatchJGD」で補正した後，設置時の観測データを用いて行った．なお，既知点のうち福岡市１級基準点は，地震後，福岡市が行った１級基準点改測作業の成果を用いた．福岡市は，市全域の１～３級基準点の改測計画を策定し，１級基準点は10月に終了，２，３級基準点は平成18年３月に終了予定で作業を進めている．街区基準点改測作業は測量の重複などが無いように福岡市と連携を図りながら行った．

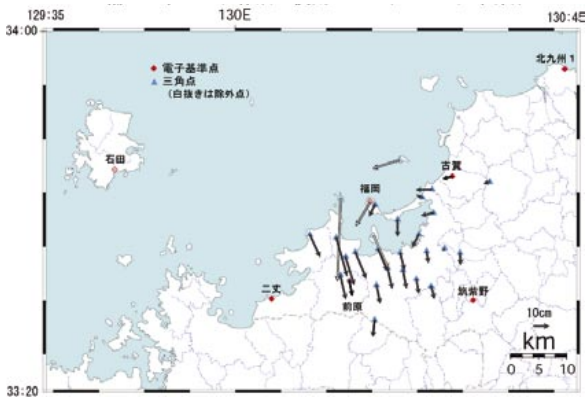
表－２　街区基準点の変動量

点番号	ΔX	ΔY
10A38	−0.043	−0.341
10A37	0.144	−0.163
10A36	0.087	−0.025
1003A	0.172	−0.021
1A007	0.014	0.056
10A27	−0.017	0.129
10A28	0.004	0.029
10A20	0.068	−0.090
10A19	0.221	−0.142
10A17	0.138	−0.119
10A08	0.174	−0.088
1001A	0.747	−0.322
10A04	−0.002	−0.019
10A05	0.051	0.125
10A06	−0.007	0.007

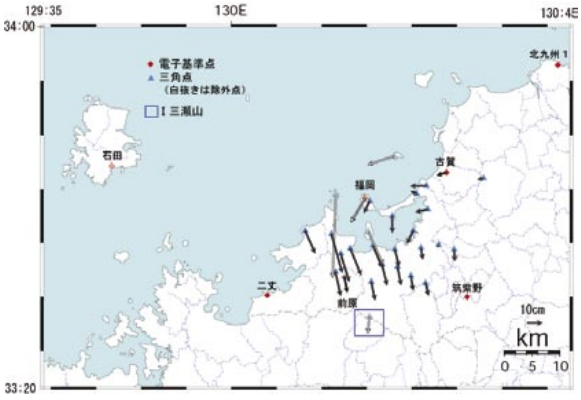
４．座標補正ソフトウェア「patchJGD」

４．１　座標補正パラメータの作成

座標補正パラメータの作成は，電子基準点及び緊急測量作業で観測した三角点の変動量を検討し，周囲の観測点と傾向が異なり，地殻変動による変動でないと判断される点を削除するなど，電子基準点，緊急測量作業で測量した三角点の組合せを変え，３



図－ 13　座標補正パラメータの作成に使用したベクトル（一回目）



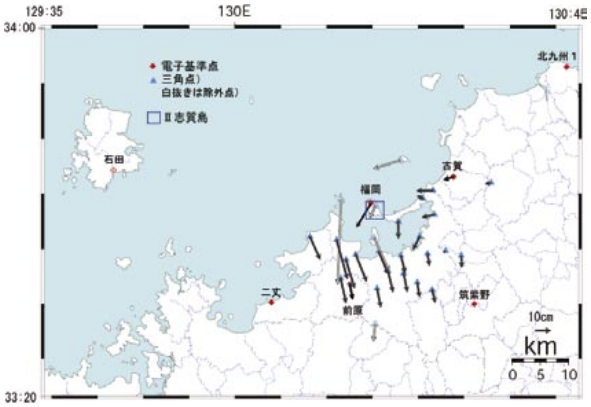
図－ 14　座標補正パラメータの作成に使用したベクトル（二回目）

表－３　一回目の座標補正パラメータ作成で除外した基準点

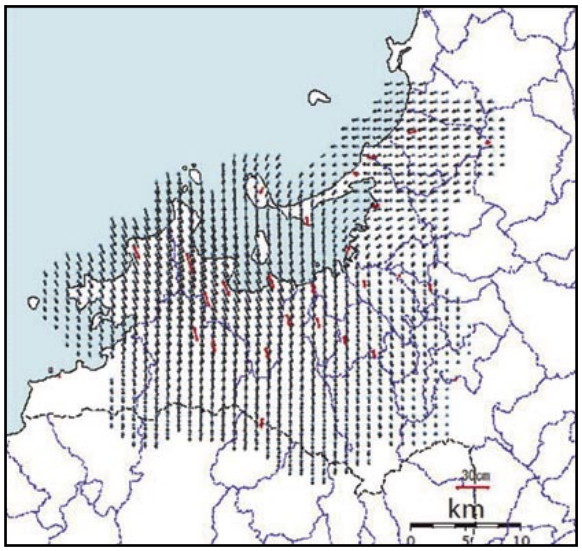
	基準点コード	点　名
三角点（緊急測量作業）	5030520901	相島
	5030412801	玄界島
	5030324401	残島
電子基準点	021062	石田
	950458	福岡

表－４　一回目の座標補正パラメータ作成の基準点内訳

	使用点数	除外点数	合計
電子基準点	5 点	2 点	7 点
三角点	23 点	3 点	26 点
合　　計	28 点	5 点	33 点



図－ 15　座標補正パラメータの作成に使用したベクトル（三回目）



図－ 16　作成した座標補正パラメータ

回計算し決定した．

一回目の計算では，電子基準点５点，緊急測量作業で使用した三角点 23 点の計 28 点を用いて座標補正パラメータを作成した（図－ 13）．

電子基準点「福岡」については，震源に近くまた，埋め立て地ということから隣接の基準点と変動量が異なっているため除外した．電子基準点「石田」は，震源から遠く，地震の影響が無いことから除外した．緊急測量作業で使用した三角点３点についても，周辺の基準点と変動量及び方向が一致しないと判断し，除外した．計算から除外した基準点などの内訳は表－３及び表－４のとおりである．

なお，一等三角点「三瀬山」（以下，「三瀬山」という．）は，成果改定地域外であったが周辺の三角点との整合性を考慮して使用した．

二回目の計算（図－ 14）では，「三瀬山」を除外し作成した．その結果，「三瀬山」を除くことで，福岡県と佐賀県の県境脊振山周辺部でパラメータの決定精度が悪化し，標準偏差の許容範囲を超過した．この要因として，「三瀬山」の同程度の緯度でパラメータ作成時に使用する点が無くなり，福岡市内周辺から県境の脊振山周辺まで，補正量が増幅し続けたためである．

三回目の計算（図－ 15）では，一回目の志賀島周辺の座標補正パラメータ作成に使用する点を二等三角点「志賀島」から電子基準点「福岡」に変更し，作成した結果，志賀島，糸島半島周辺以外の座標補

正パラメータの補正量及び補正方向にほとんど変化は無かった．しかし，志賀島，糸島半島周辺では，補正量及び方向が大きく変化し，断層モデルとの差が大きくなった．これらの３回の計算結果から，一回目に計算した座標補正パラメータを最終版とした（図－16）．

４．２　精度検証

座標補正パラメータの妥当性を評価するための精度評価としては，内部評価と外部評価がある．内部評価は，座標補正パラメータ作成時に使用した三角点の変動前の座標値から変動後の座標値を算出し，算出値と改測結果の比較をすることで行い，外部評価は，座標補正パラメータ作成時に使用した三角点の内，検証点とした三角点でGPS観測を実施し，その結果と座標補正パラメータによる補正結果とを比較する方法で行った．

４．２．１　内部評価

内部評価の結果は，表－５のとおりであり，「平成15年（2003年）十勝沖地震」による北海道南東部の座標補正パラメータを作成した時の標準偏差，緯度方向に４mm,経度方向に３mmとほぼ同等の精度であった．

表－５　内部評価結果（28点）

	dx	dy
最大値(m)	0.007	0.003
最小値(m)	-0.005	-0.008
標準偏差(m)	0.003	0.002

４．２．２　外部評価

外部評価の結果は，九州地方測量部で実施した福岡県西方沖地震に伴う街区基準点の改測作業等31点において，改測作業の結果と座標補正パラメータによる補正結果との比較を行った（表－６）．

上記の結果の分布は，表－７のとおりで，全体の77％（31点中24点）が10cm未満と十勝沖地震時の61％より良好な値となった．しかし，20cm以上の差が生じた三角点も２点あった．

表－６　外部評価結果（31点）

	dx	dy
最大値(m)	0.112	0.172
最小値(m)	-0.133	-0.271
標準偏差(m)	0.066	0.079

表－７　結果の分布

	dx	dy	ds
5cm未満	20	23	17
5～10cm 〃	7	4	7
10～15cm 〃	4	3	4
15～20cm 〃	0	0	1
20cm以上	0	1	2

４．３　成果改定

「PatchJGD」の座標補正パラメータによる基準点成果改定は，広範囲の三角点成果を効率的に補正することができる（十勝沖地震で初めて導入）．一方，今回のような規模の地震に対しても，地殻変動が一様に変化している場合は，座標補正パラメータによる補正が有効であることが示された．今回の「福岡県西方沖地震」は，横ずれ断層によるものであり，十勝沖地震のプレート境界における逆断層型と違い，変動量及び方向の推定は困難に思われたが，震源から離れた陸地においては，十勝沖地震の場合よりも精度良く補正量を決定することができた．

また，座標補正パラメータの作成から成果改定まで約３ヶ月間と短い期間であったが，順調に実施できた．これは，十勝沖地震の時に試行錯誤して作成した経験が大いに活かせた結果である．

一方，最終的な座標補正パラメータを決定するには，モデル計算（フィッティング）を数回行う必要もあり，座標補正パラメータ作成に使用する三角点，除外する三角点の線引き方法が確立できれば，より効率的な作業が期待できる．そのためのマニュアル作成や計算方法などを今後検討していきたい．

５．まとめ

「福岡県西方沖地震」に伴う地殻変動によって電子基準点や三角点の測量成果に差異が生じ，基準点成果の公表を停止した．しかし，４月18日には電子基準点の成果を改定し，公表するとともに，緊急観測を実施した三角点25点の測量成果も５月24日には公表できた．さらに広範囲な地域における三角点156点の改測作業を行い，10月18日に改定成果の公表ができた．従来では数年かかっていた基準点成果の改定作業が比較的短期間のうちに実施でき，改定成果の提供ができた．これは，電子基準点の全国整備により，広域な範囲の地殻変動の様子が短時間のうちに把握できること，GPS測量など測量技術の進歩，現地緊急測量調査などの被災地における作業をすばやく実施できる体制が組めたこと，座標補正ソフトウェアの開発など改定手法が確立されていたこと，などによる．

また，国及び地方公共団体などの公共基準点成果

及び地図成果を地震後の現況と整合させるための座標補正ソフトウェア「PatchJGD」を国土地理院ホームページ上でも公表するとともに，公共測量成果としてディジタルマッピング（DM）で作成された都市計画図などを補正するためのDM補正ソフトウェアを，必要とする地方自治体などに九州地方測量部から貸与するなど利用面でも便宜を図ってきた．

日本は地震大国である．その地震による様々な影響を如何に少なくするかは最重要課題であり，国土地理院もその一翼を担っている．日々の地殻変動の監視はもとより，地震により変動した基準点の成果改定など，災害対策基本法に基づく指定行政機関として，また，唯一の測量行政機関として，これら事業の一層の充実を図って行きたい．

謝　辞

今回の緊急測量の実施に当たっては，福岡市をはじめ，関係市町村及び基準点敷地所有者など多くの方々にお世話になった．また，国土地理院内にあっても，災害対策本部を核とした現地緊急測量調査班，三角点や街区基準点の改測作業の発注，監督，座標補正ソフトウェアによる成果改定作業など多くの職員の協力体制があって遂行されたものである．以下に現地作業などに関係した職員を記す．

【現地緊急測量調査班及び作業監督など】

・班長（安全管理員）　白井康友（測地部）宮崎清博，植竹政夫(九州地方測量部)

・班員　住谷勝樹，徳留　護，横川　薫，岩田和美，原　慎一郎（測地部），瀬川秀樹，雨貝知美（測地観測センター衛星測地課），松本高明，錦輝明，後藤勝広，山本宏章，藤田耕作，大森秀一，杉本昌也(九州地方測量部測量課)

【基準点成果の改定】

土井弘充，千葉浩三，田中愛幸，齋田宏明（測地部）米渓武次，湯通堂　亨，小清水　寛（測地観測センター）

参 考 文 献

小清水寛，畑中雄樹，根本盛行，西村卓也，今給黎哲郎，村上亮，藤原智（2006）：平成17年（2005年）福岡西方沖を震源とする地震に伴う地殻変動と断層モデル，国土地理院時報，109，45-49.

飛田幹男（2005）：地殻変動に伴う座標値補正を行う座標補正ソフトウェア「patchJGD」，国土地理院技術資料，H・1-№5.

土井弘充，白井康友，大滝三夫，斉藤正，湊敏弘，千葉浩三，井上武久，住谷勝樹，菅原準，田中愛幸，齋田宏明，矢萩智裕，小島秀基，湯通堂亨，雨貝知美，岩田昭雄（2005）：平成15年（2003年）十勝沖地震に伴う基準点成果の改定，国土地理院時報，108，1-10.

田中愛幸，齋田宏明（2005）：福岡県西方沖を震源とする地震に伴う基準点成果改定の座標補正パラメータ作成及び精度評価について－技術報告.