

# **東北地方太平洋沖地震に伴う川崎市公共 基準点成果改定に関する調査研究報告書**

2011年6月

**(社) 神奈川県測量設計業協会  
川崎支部会**

# 東北地方太平洋沖地震に伴う川崎市公共基準点成果改定に関する調査研究

## 要 旨

2011年3月11日発生の東北地方太平洋沖地震は、震源に近い場所では水平5m余り及び上下1m余りの地殻変動を生じた。本調査研究の目的は、この地震による川崎市が管理する公共基準点に対する地殻変動の影響を調査し、公共基準点の成果改定の対処方法を見出すためのものである。特に、液状化現象が生じた川崎区の埋立地域の地殻変動の実態調査が必要である。

調査は、川崎市が管理する公共基準点31点(点間平均辺長2.7km)上でGNSS観測を行い、これら基準点の座標変化から地殻変動を推定した。選んだ公共基準点31点の中には、川崎区の埋め立て地域に設置された8点が含まれている。川崎市に設置された電子基準点は、神奈川川崎(基準点コードEL05339257303)の1点だけである。この電子基準点は、ほぼ東方へ25.5cm移動している。電子基準点の高さを固定したときの内陸の23点の基準点の高さの平均変動量は+0.3cmであるのに対して、埋立地の8点の基準点の平均変動量は-9.4cmである。埋立地の基準点の最大沈下量は20.3cmであって、埋立地域に地盤沈下が生じていることは明らかである。

電子基準点を固定した場合の試験観測から得られた公共基準点の平均座標は、東西(X)方向及び南北(Y)方向共に1cm程度のずれである。平均座標値に対する個々の座標値のばらつきを標準偏差で表すと、内陸地域(X方向=1.1cm、Y方向=1.2cm)であるのに対して埋立地域(X方向=1.8cm、Y方向=2.6cm)となっており、埋立地域では不規則な水平変動が生じたことを示している。各観測点間の辺長変化では、埋立地域に30ppmを超えるものがある。上下変動及び水平変動共に、埋立地域の基準点8点に、地震による地殻変動の影響が現われていることが明らかになった。

公共測量成果改定マニュアル(H20.4国土交通省国土地理院)では、座標及び標高補正の方法として、国土地理院が提供する座標補正ソフトウェア(Patch JGD)を利用して行う方法と、その他の方法(改測、一部改測により旧観測値を用いての改算)について解説されている。

川崎市の基準点成果の座標補正等については、上記の調査結果から、内陸と埋立地域では、測量成果改定に異なった対処が必要であることが言える。

後者の埋立地域の公共基準点は、改測による成果改定が望ましい。前者の地域の公共基準点は、国土地理院が提供する座標補正ソフトウェア(Patch JGD)を利用して行い検証測量によって精度を確認するか、高精度を維持する為に川崎市独自の座標補正による改算で行うかの何れかであろう。なお、国土地理院で提供予定である川崎市付近の座標(及び標高)補正パラメータは、電子基準点神奈川川崎及び東京、横浜、神奈川東部の三角点を改測する精密測地網高度基準点測量の結果を基に作られるもので、川崎市の公共基準点全体にきめ細かな座標補正を行うには精度的に十分ではないと推測できることから、川崎市独自の座標補正による改算を推奨する。

# 第1部 試験観測とその解析結果

## 1-1 調査地域

図-1は、調査研究地域のGNSS観測平均図で、電子基準点神奈川川崎（基準点コードEL05339257303）を既知点として、川崎市が管理する公共基準点31点が配置されている。点間の平均距離は2.7kmである。川崎区の埋立地域に8点が配置されている。

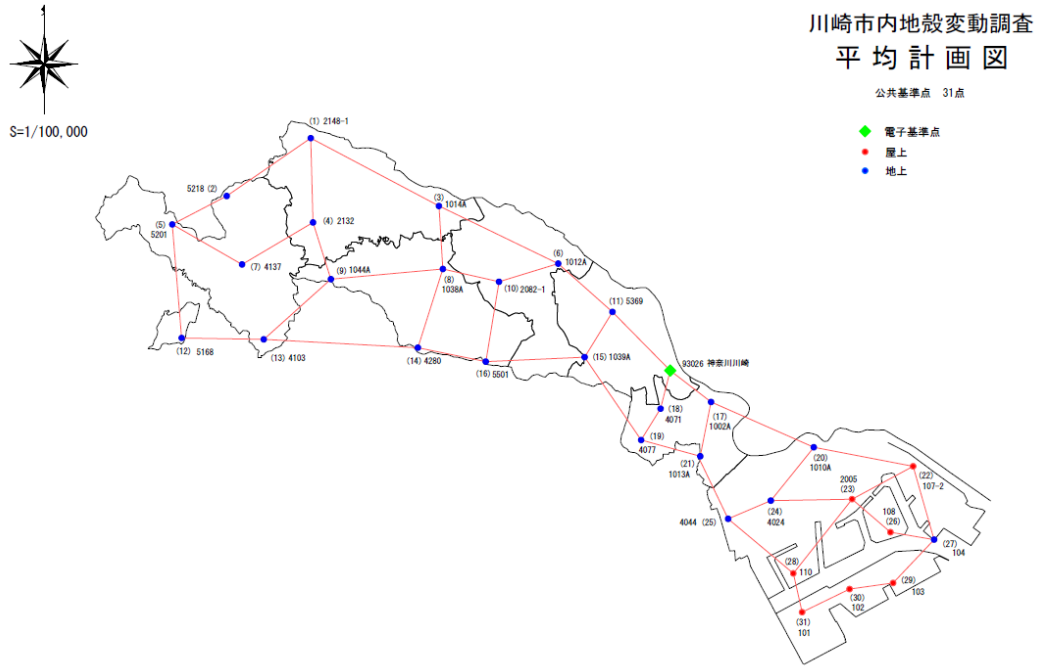


図-1 調査研究のGNSS観測点

## 1-2 GNSS観測結果

図-2は、電子基準点神奈川川崎を既知点とした水平地殻変動図である。全体的に25cm余りの地殻変動を示している。数値は、別表-1に示してある。

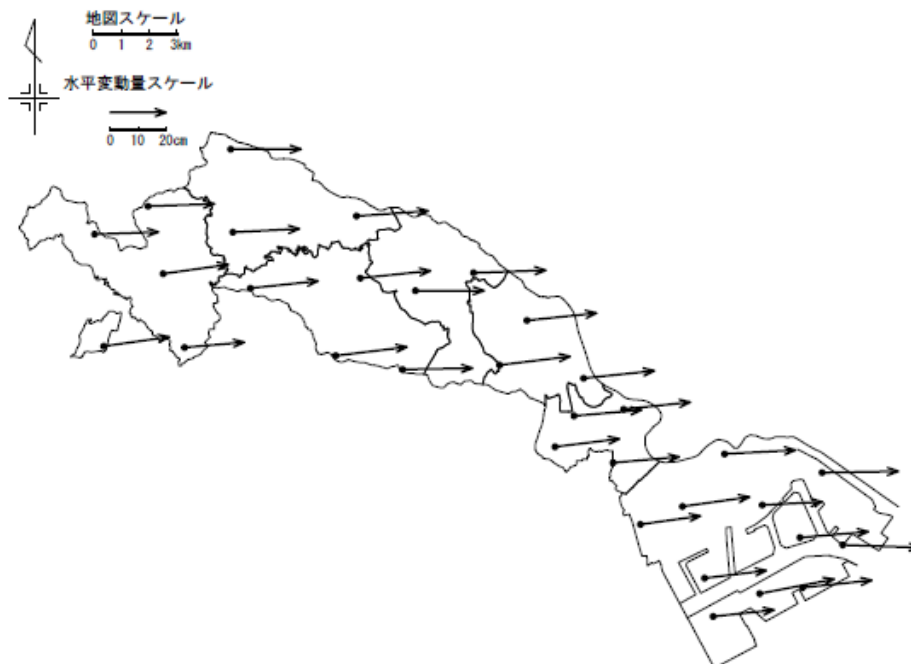


図-2 電子基準点神奈川川崎を既知点とした地殻変動ベクトル

図-3は、電子基準点神奈川川崎の座標変動を零とした水平地殻変動図である。埋立地域の基準点に不規則な変動が見られ、標準偏差で表すと ( $\sigma_x=1.8\text{cm}$ 、 $\sigma_y=2.6\text{cm}$ ) となっていて、内陸地域の標準偏差 ( $\sigma_x=1.1\text{cm}$ 、 $\sigma_y=1.2\text{cm}$ ) より有意に大きい。数値は、別表-2 に示してある。



図-3 電子基準点神奈川川崎を既知点とした水平変動ベクトル

図-4は、電子基準点神奈川川崎の上下変動を零とした上下変動ベクトル図である。埋立地域の地盤沈下は、最大20.3cmとなっていて、この地域の8点の基準点の平均沈下量は-9.4cmで有意な沈下量である。数値は、別表-2 に示してある。



図-4 電子基準点神奈川川崎を既知点とした上下変動ベクトル

### 1-3 統計的仮説検定による地殻変動の推定

表-3は、電子基準点神奈川川崎の座標及び標高を基準とした埋立地域及び内陸地域における平均値及びその標準偏差である。

表-1 変動量の平均値とその標準偏差 (単位 cm)

		X座標	Y座標	標高
埋立地域 (8点)	平均値	-0.6	-0.8	-9.4
	標準偏差	1.8	2.6	6.4
内陸地域 (23点)	平均値	-0.6	-1.2	0.2
	標準偏差	1.1	1.2	1.6

#### ・埋立地域の地盤沈下の判定

表-1の結果から、埋立地域の標高の平均沈下量が9.4cmであり、内陸では0.3cmである。この数値から、直観的に埋立地域の地盤沈下が推定できるが、統計的検定を行って、直観的判断の正しいことを確認する。

①埋立地域の上下変動の平均値-9.4cmの標準化変数は、次の結果となる。

$$\text{標準化変数 } z = (-9.4/1.6) \times \sqrt{7} = -15.5$$

有意水準5%の両側検定の場合、 $-1.96 > z = -15.5$ となるので、帰無仮説  $H_0$ : 平均値=0 が棄却され平均値の量は有意なものであると判断できる。ただし、標準化変量に使う標準偏差は、内陸の結果1.6cmを用いている。

②内陸地域の上下変動の平均値0.3cmの標準化変数は、次の結果となる。

$$\text{標準化変数 } z = (0.3/1.6) \times \sqrt{22} = 0.8$$

有意水準5%の両側検定の場合、 $-1.96 < z < 1.96$ となるので、帰無仮説  $H_0$ : 平均値=0 が採択され、平均値の量は有意なものではないと判断できる。

#### ・埋立地域の不規則な水平変動の判定

内陸地域の分散は、 $(U_1)_x = (1.1\text{cm})^2$ 及び $(U_1)_y = (1.2\text{cm})^2$ である。一方の埋立地域の分散は、 $(U_2)_x = (1.8\text{cm})^2$ 及び $(U_2)_y = (2.62\text{cm})^2$ である。これらの結果から、帰無仮説  $H_0$ :  $(U_1)_x = (U_2)_x$  及び 帰無仮説  $H_0$ :  $(U_1)_y = (U_2)_y$  を検定する。

$(F)_x = (U_2)_x / (U_1)_x = (1.8/1.1)^2 = 2.7$  及び  $(F)_y = (U_2)_y / (U_1)_y = (2.6/1.2)^2 = 4.7$  が計算される。

有意水準5%における自由度はそれぞれ、 $v_1=22$ 及び $v_2=7$ であり、それぞれをF分布表から求め、次の $F=3.4$ の数値を得る。従って、帰無仮説  $H_0$ :  $(U_1)_x = (U_2)_x$  は採択されるが、帰無仮説  $H_0$ :  $(U_1)_y = (U_2)_y$  は棄却される。すなわち、埋立地域のY座標の標準偏差と内陸地域のY座標の標準偏差との間に有意な差が存在することになり、埋立地域に不規則な変動があると判断できる。

#### ・内陸地域の平均値の判定

表-1の結果から、内陸地域における電子基準点座標と今回の試験観測の座標の平均値との差はそれぞれ-0.6及び-1.2cmである。それぞれの標準化変数は、次のようになる。

$$\text{標準化変数 } z = (-0.6/1.1) \times \sqrt{22} = -2.6$$

$$\text{標準化変数 } z = (-1.2/1.2) \times \sqrt{22} = -4.7$$

有意水準5%の両側検定の場合、 $-1.96 > z$ となるので、帰無仮説  $H_0$ : 平均値=0 は棄却され、これら平均値の量は有意なものであって無視できないことになる。

すなわち、川崎市公共基準点は、電子基準点のみの変動量から成果改定を行うべきでないことを示している。

### 1-4 辺長変化

別表-3に各点間の地震前後における辺長変化を示してある。単位はppm(100万分の1)である。埋立地域の基準点間距離に大きな辺長変化が見られる。最大辺長変化は、埋立地域のNo101-No102間の30ppmである。なお、国土地理院が測量成果の公開を停止している基準は、ひずみが2ppmを超える地域である。

## 1-5 試験観測

試験観測は、下記により実施された。

- ・観測日時

2011年5月31日 6月1日 の2日間

- ・GNSS 機器

1級	ニコン・トリンブルN J 4000 S S E	G S	4台
1級	ニコン・トリンブル5700		4台
2級	ニコン・トリンブルN J 4600 L S		2台

- ・参加企業

社団法人 神奈川県測量設計業協会 川崎支部 会員（下記15社）

株式会社 アースコンシヤス

有限会社 江崎測量設計社

株式会社 オノダ測量設計

川崎測量有限公司

株式会社 コート設計社

株式会社 サン測量

株式会社 三和

株式会社 第一調査コンサルタント

株式会社 多摩測

株式会社 東光測建

株式会社 日豊

株式会社 三浦測量

株式会社 森下測量設計

ユニオン測量株式会社

株式会社 ランドサーベイ

## 第2部 川崎市公共基準点の成果改定方法の提案

### 2-1 国土地理院提供の座標（及び標高）補正パラメータによる改算

図-5は、6月3日に開催された国土地理院報告会「基準点測量成果改定」資料によるものである。三角点及び水準点の成果が公表されるのは、2011年10月末が予定されている。

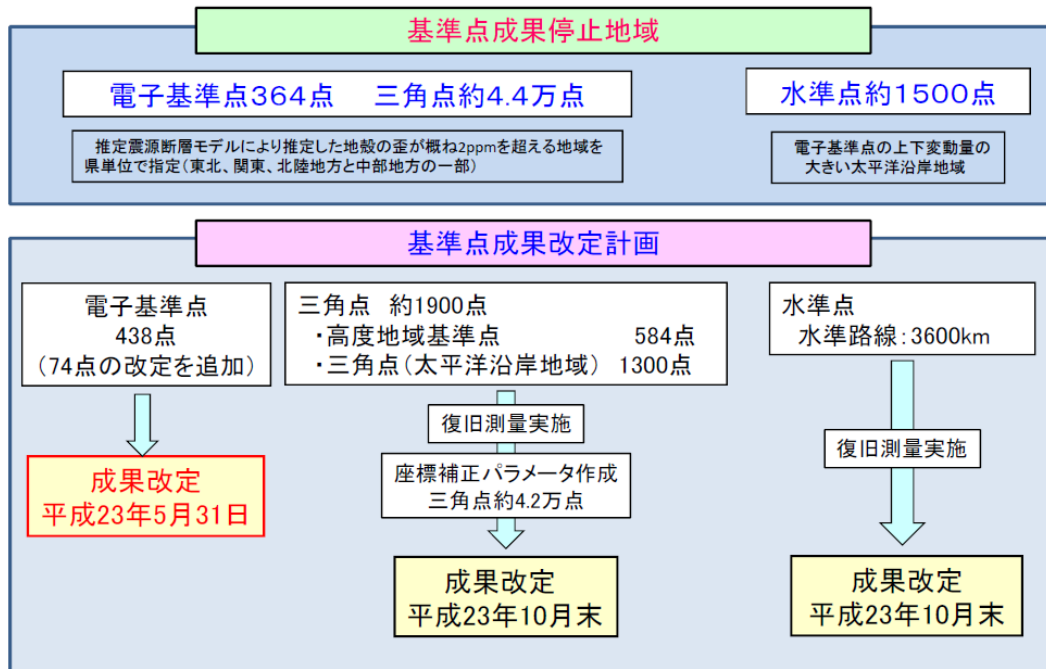


図-5 基準点成果の改定計画(6月23日国土地理院報告会資料より)

測量成果公表停止した主な基準点の一覧が、表-2のように示されている。これらの基準点のうち、三角点関係約1,900点及び水準点約1,500点が、改測の予定になっている。

表-2 測量成果公表停止地域の三角点及び水準点数

種別	成果停止基準点数	
	2011年5月31日現在	全国
電子基準点	3/31公表 438点	1,240点
三角点	総点数 43,851点	109,074点
一等三角点	253点	975点
二等三角点	21,40点	5,060点
三等三角点	15,168点	32,326点
四等三角点	26,190点	70,713点
水準点	総延長 3,600 km	18,239点
一等水準点	989点	14,682点
二等水準点	370点	3,471点
道路水準点	193点	

三角点関係の改測点数は、電子基準点も含めて約5%である。これらの改測成果に基づいて PatchJGD 方式による座標（及び標高）補正パラメータが決められる。残り約95%の三角点は、パラメータによる改算により、新成果が決められる。川崎市付近の座標（及び標高）補正パラメータは、三角点の改測の予定が示されてなく、ほとんど電子基準点の変動量から決められることになる。

川崎市が管理する公共基準点は、1級基準点約100点を始め2級基準点、次級基準点、街区基準点及びこれらからつくられた多くの座標点がある。これらの位置座標を国土地理院提供の座標（及び標高）補正パラメータでは、きめ細かな改定は困難であろう。

## 2-2 川崎市独自の座標（及び標高）補正による改算又は改測

2002年度から施行された世界測地系への移行は、測地成果2000導入に伴う公共測量成果座標変換マニュアル（以下座標変換マニュアルという。）によって行われた。この座標変換マニュアルに規定された方法を使った川崎市公共基準点の成果改定は、きめ細かな処理が可能になる。

第1部で解析したように、川崎区の埋立地域の基準点は、不規則な変動となっている。特に標高は、液状化の影響もあり、改測による成果改定が望ましい。

### まとめ

以上の考察をまとめると、次のようになる。

1. 川崎市公共基準点の成果改定は、座標変換マニュアルに従って川崎市独自の処理を行う。ただし、液状化が生じた埋立地域の成果改定は、改測によることが望ましい。
2. 上記の処理にあたっては、国土地理院の指導を求め、その了解のもとに行う。

### 謝辞

本調査研究にあたっては、川崎市役所建設緑政局土木管理部管理課のご協力を得ました。また、国土地理院関東地方測量部 川本測量課長から、様々なご助言を得ました。これら関係者に感謝申し上げます。試験観測結果の統計検定に関する解析は、元国土地理院研究官 中根勝見氏のご援助を得ました。感謝いたします。

（文責：神山道也）



別表-3 各点間の辺長変化 ( $\Delta s/S$  : 単位 ppm)

番号	測点1	測点2	地震前	地震後	後-前	$\Delta s/S$
1	2148-1	5218	3605.502	3605.511	0.009	2.5
2		2132	2983.813	2983.802	-0.011	-3.7
3		1014A	5123.399	5123.395	-0.004	-0.8
4	5201	5218	2169.184	2169.191	0.007	3.2
5		4137	2842.824	2842.816	-0.008	-2.8
6		5168	4032.654	4032.630	-0.024	-6.0
7	1014A	1012A	4679.422	4679.429	0.007	1.5
8		1038A	2234.322	2234.315	-0.007	-3.1
9	2132	4137	2914.225	2914.219	-0.006	-2.1
10		1044A	2103.286	2103.276	-0.010	-4.8
11	1012A	5369	2567.775	2567.755	-0.020	-7.8
12		2082-1	2186.487	2186.502	0.015	6.9
13	1038A	2082-1	2033.041	2033.041	0.000	0.0
14		4280	2921.288	2921.281	-0.007	-2.4
15		1044A	3970.552	3970.561	0.009	2.3
16	5369	93026	2909.795	2909.801	0.006	2.1
17		1039A	1877.842	1877.839	-0.003	-1.6
18	5501	1039A	3493.626	3493.629	0.003	0.9
19		2082-1	2865.154	2865.150	-0.004	-1.4
20		4280	2449.750	2449.752	0.002	0.8
21	4103	4280	5448.746	5448.786	0.040	7.3
22		1044A	3186.348	3186.373	0.025	7.8
23		5168	2901.877	2901.856	-0.021	-7.2
24	93026	1002A	1821.118	1821.106	-0.012	-6.6
25		4071	1391.037	1391.046	0.009	6.5
26	1002A	1010A	3967.751	3967.770	0.019	4.8
27		1013A	1956.826	1956.832	0.006	3.1
28	4077	1039A	3547.360	3547.349	-0.011	-3.1
29		4071	1303.673	1303.672	-0.001	-0.8
30		1013A	2164.889	2164.897	0.008	3.7
31	1010A	107-2	3570.149	3570.168	0.019	5.3
32		4024	2421.903	2421.895	-0.008	-3.3
33	4044	1013A	2422.063	2422.046	-0.017	-7.0
34		4024	1640.101	1640.126	0.025	15.2
35		110	3004.862	3004.868	0.006	2.0
36	2005	4024	2870.483	2870.455	-0.028	-9.8
37		107-2	2447.785	2447.834	0.049	20.0
38		108	1789.771	1789.789	0.018	10.1
39	2005	110	3347.786	3347.770	-0.016	-4.8
40	104	107-2	2698.954	2698.969	0.015	5.6
41		108	1564.466	1564.503	0.037	23.6
42		103	2109.783	2109.777	-0.006	-2.8
43	103	102	1552.479	1552.458	-0.021	-13.5
44	101	110	1408.832	1408.836	0.004	2.8
45		102	1866.047	1866.103	0.056	30.0