

関東大震災における地盤変動量の定量的把握の試み

～100年前の測量成果・水平型几号標石(旧東京市水準基標)の活用～

パスコ ○高岸 且
八州 佐藤 浩一
昭和 千野 敬史
国際航業 小溝 勝利
URリンケージ 鈴木 達士

1. はじめに

几号高低標は、明治初期にイギリス式の水準測量(高低測量)が日本に導入された近代測量の測量史跡である。その几号(丕型)は、石でできた城壁や鳥居の垂直面に縦に刻印されている。しかし、一部の几号は標石上部の水平面に刻印され、特異な意味をもつ標石基準点(以下、水平型几号標石)であると考えられていた。

今般、「東京市水準基標一覧表(大正8年11月)」[1]が、東京都公文書館(東京都国分寺市)に所蔵されていることが発見された。浅野・角田[2]によって、東京市水準基標一覧表に記載された約600点以上の水準基標の所在地と現存する水平型几号標石との照合が行われた結果、水平型几号標石が明治後期から大正初期に東京市役所土木課によって設置された水準基標であることが判明した。東京市が水平面にした理由は明確ではないが、筆者らの考えは、明治初期に明治政府によって使用された几号が水準測量の標識として知れていたため、水準測量標石を保全する目的で刻印されたと想定している。



図1 几号標石の種類

図1に示すとおり、几号標石の種類は、明治政府・東京府にて実施された水準測量、明治政府にて実施された東京・塩竈間水準測量、東京市水準基標の3つに分類される。

2. 研究の目的

本研究の目的は、水平型几号標石が関東大震災前の公共測量成果(水準基標)であることに着目し、関東大震災前の1919(大正8)年の高さ(以下、「関東大震災前の標高」という。)と現在の標高(JGD2011)との比較を行うことで、東京低地の地盤変動量を定量的に把握することである。

なお、陸地測量部[3]により、関東大震災から7年後に発行された「大正十二年関東震災地垂直変動要図」では、東京低地では荒川河口部(江戸川区)で約0.5m～1mの沈下量が確認されている。

3. 研究の方法

(1)研究方法の概要

東京市水準基標一覧表に記載された高さの精度を確認するために、1つの水平型几号標石(標石上部)にて、GNSS水準測量にて観測した標高値[4]と関東大震災前の標高とを比較し、精度を考察した。

次に、複数の水平型几号標石の関東大震災前の標高と基盤地図情報(数値地形モデル)5mメッシュ(標高)(以下、DEM5Aという)とを比較した。

その結果から東京低地の地盤変動量を定量的に把握し、関東大震災時の変動量を把握することが可能かを考察した。

(2)研究対象

水平型几号標石は、台東区、文京区、新宿区、港区、千代田区に13点残存していることが確認されてい

る。そのすべてを現地にて保存状況を確認した結果、浄名院（台東区）の水平型几号標石は、同寺院の工事に伴い移設されていた。そのため、研究対象は移設されていない12点とした。

4. 水平型几号標石の高さ精度の検証

(1) 検証対象の選点

GNSS 観測の対象は、谷中霊園（東京都台東区）に残存する水平型几号標石とした（図2）。当該箇所を選定した理由は、公的機関が管理する場所、上空視界が GNSS 測量に適する場所であること条件を満たしているためである。



図2 谷中霊園の水平型几号標石（上部から）

(2) GNSS 水準測量

GNSS 水準測量の方法は、GNSS 測量による標高の測量マニュアル[5]に準拠した。水平型几号標石の上面を観測点として GNSS 測量機を三脚で据え、5 時間 25 分の連続観測を行った。与点は、電子基準点3点（東京千代田、千葉市川、越谷）を使用し、几号標石の上面の標高を算出した。なお、測量使用機器は1級 GNSS 測量（トプコン HiperHR NO.1405-11438）を使用した。

(3) GNSS 水準測量から得られた標高値

測量手簿の記録からデータ取得間隔は30秒、最低高度角15度、最少衛星個数6衛星であり、観測開始時間は2023年11月7日0:05(UTC)、終了時間は同5:30(UTC)であった。電子基準点は東京千代田、千葉市川、越谷を使用し、観測成果簿の3級水準点平均成果表から $H=18.997\text{m}$ （ジオイド2011Ver2.2）が導き出された。なお、標準偏差は 0.021m （<許容範囲 0.050m ）であった。

(4) 高さの換算方法

GNSS 水準測量による実測標高と関東大震災前の

標高とを比較するため、東京市水準基標一覧表に記載された高さを標高値（JGD2011）に換算した。その方法は、以下のとおりである。

(a) 尺寸からメートルに換算

東京市水準基標一覧表の記録によると、谷中霊園の水平型几号標石の関東大震災前の高さは、65.35尺である。1尺を 0.303m として m 値に換算した（ $65.35\text{尺}=20.407\text{m}$ ）。

(b) 基準面の換算

水準基標の高さは、霊岸島元標から起算して高低を測定[1]されているため、荒川工事用基準面（A.P.）である。A.P.と東京湾平均海面（T.P.）との差は -1.1344m であり、明治期から現在まで変更されていない[7]。A.P.から 1.1344m を差し引き、標高値（T.P.）に換算した（ $20.407-1.1344\text{m}=19.273\text{m}$ ）。

(c) 日本水準原点の変更に伴う換算

日本水準原点が設置された1911（明治24）年は、当時 24.500m であったが、関東大震災後の1928（昭和3）年に 24.414m に変更され（ -0.086m ）、東日本大震災に伴い2011（平成23）年に 24.3900m に改定されている（ -0.024m ）[6]。

その合計 0.1100m を差し引いて標高値（JGD2011）に換算した（ $19.273-0.1100=19.163\text{m}$ ）。

5. 水平型几号標石の高さの差の結果と考察

谷中霊園の水平型几号標石の標高（JGD2011換算値）は 19.163m であり、GNSS 水準測量成果（ 18.997m ）との差は 0.166m であった。以下に、高さの差異の理由について検討した。

(1) 測量精度の許容値

霊岸島元標を起点とした場合は谷中霊園天王寺前までの距離は概ね 8km であり、仮に現在の三級水準測量相当と仮定するとその許容値は、 $10\text{mm}\sqrt{S}$ から約 0.028m と推察できる。本手法によって得られる誤差の理論値は、GNSS 水準測量の許容値（ 0.05m ）と水準測量の許容値（ 0.03m ）から、誤差伝搬の法則によって両方の標準偏差の二乗和平方根の $\pm 0.058\text{m}$ である。実測値との差（ 0.166m ）との差は、他の理由によるものと考えた。

(2) 東京低地一帯の地盤沈下

遠藤ら[8]によると、東京低地では1952（昭和27）



図3 水平型几号標石の場所と地表面の標高 標高はスーパー地形にて計算、背景図は地理院タイル

表1 水平型几号標石の諸元、1919年の標高、現在の標高、変動量

No	名称(東京市水準基準)	旧区	現区	現住所 周辺状況	地形区分 (地盤条件)	設置 状態	保存状態	尺	1919(大正8)年の標高換算		現在の標高 (5mメッシュ標高) JGD2011	変動量 (1919年から現在 (JGD2011)の変動量 (③-①))
									①標高換算値 (×0.3030)	②AP-TP換算 (-1.1344m)		
1	谷中墓地天王寺前	下谷区	台東区	谷中7丁目	武蔵野台地	石柱型	一部破損	67.350	20.407	19.273	18.740	-
2	今戸町小松宮邸前左側	浅草区	台東区	今戸2丁目	東京低地	地面型	良好	12.960	3.927	2.792	1.480	-1.312
3	橋場町三十八番地先	浅草区	台東区	橋場2丁目、伊勢金前	東京低地	地面型	良好	12.609	3.821	2.686	1.200	-1.486
4	東照宮石段下鳥居前	下谷区	台東区	上野公園9	武蔵野台地	石柱型	一部破損	26.370	7.990	6.856	6.750	-
5	中根岸町二十七番地	下谷区	台東区	根岸3丁目	東京低地	石柱型	良好	18.910	5.730	4.595	3.710	-
6	西蔵院門前左 丸山町八番地先 (自動電話)	小石川区	文京区	千石3丁目37番	武蔵野台地	地面型	良好	88.313	26.759	25.624	25.410	-0.214
7	小日向台町一丁目 六十九番地先	小石川区	文京区	小日向台2丁目 小日向台小学校南東角 白山1丁目	武蔵野台地	地面型	傷有	88.723	26.883	25.749	25.350	-0.399
8	丸山新町一番地先	本郷区	文京区	耳島町32 大塚町32	武蔵野台地	地面型	良好	73.360	22.228	21.094	20.910	-0.184
9	大番町百〇番地先角	四谷区	新宿区	新宿御苑南側 余丁町14	武蔵野台地	石柱型	良好	91.449	27.709	26.575	26.460	-
10	大久保余丁町 八十一番地先	牛込区	新宿区	稲葉ビル前	武蔵野台地	地面型	良好	118.540	35.918	34.783	34.600	-0.183
11	狸穴町二番地先	麻布区	港区	ロシア大使館 北西交番前	武蔵野台地	石柱型	良好	93.943	28.465	27.330	26.880	-
12	新見附内	麹町区	千代田区	新見附橋東側	武蔵野台地	地面型	良好	64.834	19.645	18.510	18.130	-0.380

年～1973（昭和48）年の22年間に揚水や天然ガス採取の影響による地盤沈下があり、1974（昭和49）年～1998（平成10）の25年間は、工場揚水法、地下水規制法による規制で地下水位は回復し、約2%程度地盤隆起があった報告されている。筆者が地盤沈下量図[8]から判読したところ、谷中霊園付近で約0.2mの沈下量が確認できた。

(3)水平型几号標石の高さ精度

谷中霊園付近での1952年から1998年までの46年間の地盤沈下量（約0.2m）と実測値との差（0.166m）は、約0.034mとなり測量精度の許容値（0.058m）以内となった。水平型几号標石は、現在の水準測量の基準と同等の精度であると考察することができる。

6. 1919年から現在までの地盤変動量

(1)地盤変動量調査の方法

水平型几号標石が設置されている場所での現在の

標高を地図アプリ「スーパー地形」[9]を使用して算出した（図2）。なお、使用している標高データは、DEM5Aであり、高さの精度は0.3m以内[10]である。

水平型几号標石には、地面と同じ高さとして埋設されている地面型（7点）と地面から標石が突出している石柱型（5点）が存在する。石柱型は、地表の改変（舗装、被覆）があり、当時の標石高を類推することができないため、調査対象から除いた。

(2)各地点の変動量の結果

表1に水平型几号標石の諸元や変動量をまとめた。表2に地盤条件ごとの各水平型几号標石の変動量を集計した。図3に水平型几号標石の分布と変動量を示す。

(3)地盤条件による変動量の違い

関東大震災前から現在までの変動量は、表2から武蔵野台地上の5点では平均-0.27m(σ=0.10)で隅田

川沿いの東京低地(台東区今戸2丁目, 橋場2丁目)では平均-1.40mであった

遠藤らによる地盤沈下量図[8]から筆者が判読したところ, 台東区今戸2丁目, 橋場2丁目にて1952(昭和27)年~1973(昭和48)年の22年間に約0.4mの沈下量であることが確認できた. あくまで推測であるが, 関東大震災による沈下量が約1.0m, 高度成長期の地盤沈下量が約0.4mで構成されているのではないかと推測した.

表2 地盤条件の違いによる変動量

	(単位: m)		
調査地8点	武蔵野台地	東京低地	
調査点数	7	5	2
変動差の平均	-0.59	-0.27	-1.40
変動差の最大	-1.49	-0.40	-1.49
変動差の最小	-0.18	-0.18	-1.31
変動差の標準偏差	0.52	0.10	0.09



図3 関東大震災前から現在までの変動量図

7. まとめ

本研究では, 関東大震災前の測量成果を用いて地盤変動量を推定した. また, 地盤条件の違いにより変動量の違いがあることを確認した. 変動量の違いは台地(洪積層)上と東京低地(沖積層)上での沈下量の違いを表している.

当初の目的であった関東大震災による地盤変動量の定量的把握は, 東京低地にて高度成長期に起こった地盤沈下の影響が大きいため, 推測にとどまり, 定量的な把握には至らなかった.

100年前の測量成果である東京市水準基標の有効性が証明されたことから, 標石基準点の維持管理の重要性を示唆することができた.

今後の課題は, 関東大震災前の国家水準点や三角点および古地図の標高値などをもとに, 変動量の空間分布を整理した上で, 高度成長期の地盤沈下量を差し引くことで関東大震災時の沈下量関係を分析することである.

首都直下地震の懸念があるなか, 過去の測量成果を活用し, 防災対策を講じることが重要であると考ええる.

8. 謝辞

この調査研究は, (一社)東京都測量設計業協会(会長: 岩松俊男)・基準点研究部会の活動の一環として行われた. 元中庭測量コンサルタント渡邊淳氏は調査研究を共に行った. 東京市水準基標一覧表の発見は浅野勝宣氏と角田澄彦氏の尽力によるものである. GNSS水準測量にあたり, 谷中霊園管理事務所と天王寺にご協力を頂いた. ここに感謝の意を表す.

9. 参考文献

- [1] 東京市役所土木課, 1919, 水準基標一覧表(大正8年11月謹製). 東京都公文書館所蔵(資料番号: 東京都公文書館所蔵. 請求番号: U519.8-す-3362-18)
- [2] 浅野勝宣・角田澄彦, 高低凡号の情報室
- [3] 陸地測量部, 1930, <https://www.gsi.go.jp/> (2024年4月1日確認)
- [4] 高岸且, 2024. 関東大震災以前に設置された水準基標の高さをGNSS水準測量で検証, 東測協2024
- [5] 国土地理院, 2017, GNSS測量による標高の測量マニュアル(平成29年2月)
- [6] 国土地理院, 水準原点. 原点数値の変遷. <https://www.gsi.go.jp/> (2024年4月1日確認)
- [7] 箱岩英一, 2022. 河川・水路・港湾の基準面について, 国土地理院時報2002 No.99
- [8] 遠藤毅ら, 2001. 東京下町低地における”ゼロメートル地帯”展開と沈静化の歴史, 応用地質, 第42巻第2号, 74-87頁
- [9] 杉本智彦, スーパー地形 AppVer5.8.2A
- [10] 国土地理院, 高精度な標高データ <https://www.gsi.go.jp/> (2024年4月1日確認)