

# 大規模災害時における迅速な被害調査方法の確立

戸田堅一郎

近年、西日本を中心に全国各地で大規模災害が発生している。災害発生後には、行政機関においては迅速に被害状況を把握し、情報の集約と対策の検討が求められる。しかし、限られた人員の中では対応が難しい場合もある。本研究では、人工衛星やドローン等を用いたリモートセンシング技術や高精度GNSS等の最新のICTを活用して、山地災害の発生状況を迅速に把握する技術の開発を行った。人工衛星データの解析では、大まかな災害発生位置を把握することができた。ドローン写真の解析では、崩壊地内に立ち入ることなく崩壊幅や斜面延長を計測することができた。高精度GNSSでは、概ね延長や面積計測に耐える精度であり、開空条件下ではセンチメートル級精度の測位が可能であることが確認できた。リモートセンシング技術やICTは日進月歩の発展を遂げているが、災害調査時には、用途や使用環境、求める精度により、用いる技術を選択することが重要であると考えられる。

キーワード：大規模災害、人工衛星データ、ドローン、高精度GNSS

## 1 はじめに

近年、西日本を中心に全国各地で大規模な山地災害が発生している。長野県内においても、2006年の岡谷市豪雨災害、2014年度の南木曾町土石流災害、2016年度飯山市融雪災害、2019年台風19号災害などの豪雨災害に加えて、2011年栄村地震災害、2014年の神城断層地震災害、同年の御嶽山噴火など、大規模な災害が発生している。今後も、地球温暖化に伴う極端な気象現象や突発的な大地震等の発生により、大規模災害の発生頻度が高くなることが懸念される。災害発生後には、行政機関においては迅速に被害状況を把握し、情報の集約と対策の検討が求められる。しかし、限られた人員の中では対応が難しい場合もある。本研究では、人工衛星やドローン等を用いたリモートセンシング技術や高精度GNSS等の最新のICTを活用して、山地災害の発生状況を迅速に把握する技術の開発を行う。

なお、本研究は県単課題「大規模災害時における迅速な被害調査方法の確立」(2018～2020年度)、技術協力「森林内のGNSS-RTKによる高精度測位の検証と評価(株)パスコ」、およびGOM専門部会の活動として実施した。

## 2 災害発生直後の初動調査におけるリモートセンシング技術の活用

### 2.1 目的

災害発生直後に広範囲に被災状況を把握する方法の1つに、人工衛星データの活用がある。近年は、各国が運営する数多くの人工衛星があり、無料で入手可能なデータもある。災害発生直後の晴天日の光学衛星データを入手できれば、目視判読でも災害発生位置を把握することができるほか、

災害発生前後のデータを比較することで、崩壊発生位置を自動抽出できる可能性がある。

また、現地調査においては、崩壊発生位置や規模、土量等を迅速に把握する必要があるが、災害発生直後に崩壊地内を踏査することは、2次災害の危険性があるため、安全が確認できるまでは崩壊地内への侵入は避けるべきである。そこで、ドローンの活用が有効な方法として期待できる。

本章では、衛星画像解析とドローン写真解析により、それぞれ作成したデータを比較することで、両手法の有効性について検討した。

### 2.2 方法

解析対象地は、2018年7月6日の豪雨により発生した、天龍村の林道虫川新野線における林道災害とした。

衛星画像解析は、無料で利用可能なWebGISと無料で入手できる光学人工衛星データを用いて、崩壊箇所の検出が可能かを試みた。解析に用いたWebGISは、GoogleEarthEngine (<http://code.earthengine.google.com/>)で、ブラウザ上でプログラミングすることにより様々な解析を行うことができる。人工衛星データには、欧州宇宙機関が運用し、無料でデータを使用できるSentinel-2<sup>1)</sup>を選定した。Sentinel-2は、Red, Green, Blue, NIR(近赤外線)による4バンドカラーの空間分解能が10mで、日本上空には約10日に1回の周期で飛来するため、災害発生後の直近の飛来日が晴天であれば、迅速に崩壊地を観測できる可能性が高い。プログラミングは、共同研究者である(国研)森林総合研究所の大丸裕武氏の協力により、下記のアルゴリズムで作成した。

- ① 検索範囲を虫川新野線周辺に指定する。
- ② Sentinel-2 の ImageCollection から、2017 年 5 月 1 日～2018 年 7 月 5 日の期間で雲被覆率が 10%以下のデータを検索し、災害前データとする。
- ③ 同様に、2018 年 7 月 7 日～2018 年 8 月 1 日の期間で雲被覆率が 10%以下のデータを検索し、災害後データとする。
- ④ 災害前データ、災害後データについて NDVI 解析（正規化植生指数）を行う。
- ⑤ 災害前 NDVI と災害後 NDVI の差分計算を行い、差が 0.2 以上の個所を抽出する。

ドローンによる現地調査では、予め被災報告がされている林道災害箇所で、ドローンを用いて十分なオーバーラップが取れるように写真撮影を行った。これらの写真から SfM（Structure from Motion）ソフトを用いて 3Dモデルとオルソ画像を作成し、崩壊位置と規模を計測した。撮影に用いたドローンは DJI 社製 Phantom3 Pro で、SfM ソフトには Agisoft 社製 Photo Scan PRO ver. 1.4.4 を用いた。ドローン写真の撮影は 2018 年 7 月 27 日に実施し、96 枚の空中写真を撮影した。3Dモデルから崩壊幅と延長の水平距離を計測した。

上記のドローン写真から作成したオルソ画像を GoogleEarthEngine にインポートし、人工衛星データからの解析で自動抽出した崩壊地候補と比較することで、衛星画像による崩壊地自動抽出結果の可否を検証した。

### 2.3 結果と考察

ドローン写真から作成した 3Dモデルを図 2-1 に示した。3Dモデルからの計測では崩壊幅約 40 m、延長（斜距離）約 150mの崩壊地が確認でき、災害直後の調査で必要な崩壊幅と延長は、崩壊地内に立ち入ることなく計測できることが確認できた。

図 2-2 にドローン写真から作成したオルソ画像と、人工衛星画像解析から抽出した崩壊地を、同じ図郭で並べて示した。抽出結果とドローン写真の崩壊位置はほぼ一致しており、この規模の崩壊であれば、無料の GoogleEarthEngine による人工衛星データからの自動抽出でも認識が可能であることが示された。

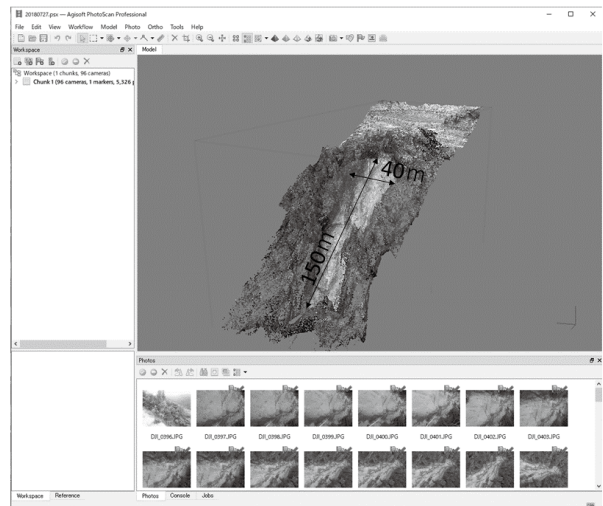


図 2-1 ドローン写真から作成した 3Dモデル

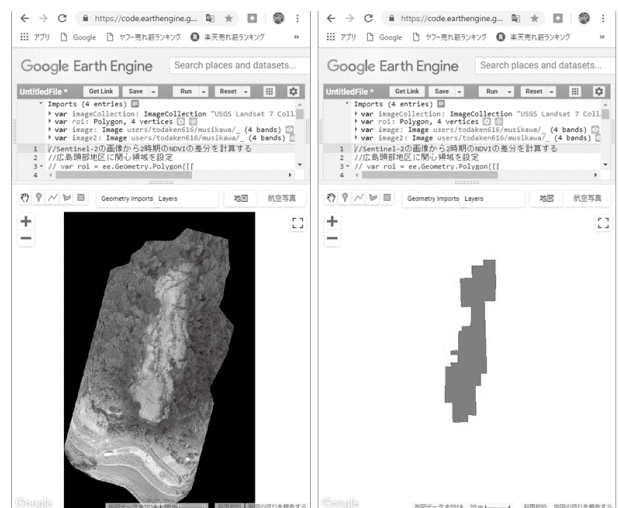


図 2-2 ドローン画像から作成したオルソ画像（左）と人工衛星データから自動抽出した崩壊地（右）を並べて表示

## 3 現地測量における高精度 GNSS の活用

### 3.1 RTK 方式 GNSS の精度検証

#### 3.1.1 目的

従来の災害調査においては、コンパス測量やポール横断測量により崩壊地の形状を計測していた。この方法では、測量作業に多大な労力を要するうえ、位置情報を持たないため、GIS を用いて測量結果を地図上に正確に表示することができなかった。そこで、近年、精度の向上と低価格化が目覚ましい高精度 GNSS を用いて、災害調査時における被災延長や面積の計測に使用可能であるかを検討するための精度検証を行った。

GNSS とは汎地球航法衛星システム（Global

Navigation Satellite System) の略であり、米国の GPS、ロシアの GLONASS、中国の北斗 (BeiDou)、欧州連合の Galileo、日本のみちびきなど、人工衛星を用いた測位システムの総称である。GNSS には様々な位置補正の方式があり、機種や測位条件によって測位精度が異なる。近年、高精度測位が可能な RTK (Real Time Kinematic) 方式の GNSS が 10 万円程度の価格で購入できるため、これを用いた精度検証を行った。

### 3.1.2 方法

GNSS は、人工衛星から送られる信号を受信して人工衛星からの距離を正確に計測し、4 つ以上の人工衛星からの距離を計測することで、自機の位置を測位する。しかし、電波が電離層や対流圏を通過する際に遅延が生じることが、測位誤差の大きな要因となっている。誤差を取り除き測位精度を向上させる方法には、スタティック方式、VRS 方式、FKP 方式、RTK 方式等、様々な方法がある。この中で、RTK 方式は、既知点である基準局で受信したデータを基に、移動局にリアルタイムで補正情報を送り、数 cm 以下の誤差で測位するシステムである (図 3-1-1)。

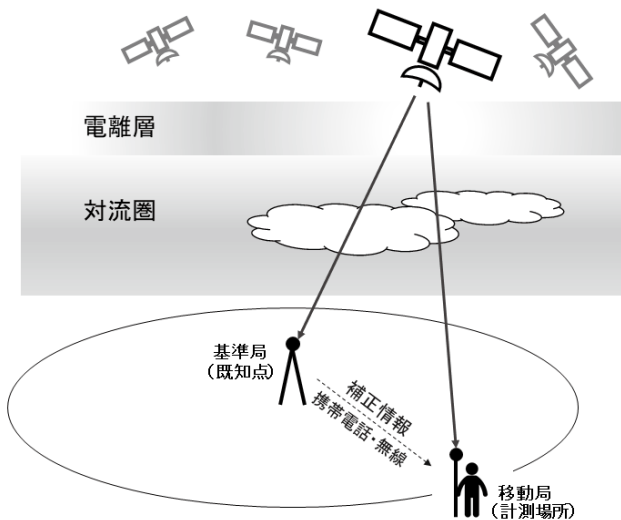


図 3-1-1 RTK-GNSS 方式の模式図

検証試験には、ビズステーション(株)社製の DG-PR01RW を移動局として使用し、松本市内にあるビズステーション(株)社屋上に設置されている基準局の補正データを用いて、直線距離で約 9 km 離れた林業総合センター構内において精度検証を行った。

森林路網災害などの被災延長の計測を想定し

て、測量用の巻尺で水平距離 50m を検測し、その両端で DG-PR01RW により測位した。測位した緯度・経度をメートル換算して、巻尺による実測値との誤差を計算した。アンテナは三脚を用いて地上高 3 m の位置に設置した。計測場所の環境は、両脇に樹木がある平坦な舗装道路上である (写真 3-1-1)。



写真 3-1-1 距離計測の実施状況

次に、斜面崩壊等の面積測量を想定し、巻尺を用いて森林内に水平距離が 1 辺 20m の正方形になるように木杭を設置し、2 m のポールにアンテナを設置して、DG-PR01RW を用いて木杭上で測位した。測位した緯度・経度を平面直角座標系に変換して CAD で図化し、理論値との誤差を計算した。計測場所の環境は、西向きの平滑な緩斜面で、アカマツ、スギ、広葉樹の混交林 (550 本/ha) であった (写真 3-1-2)。



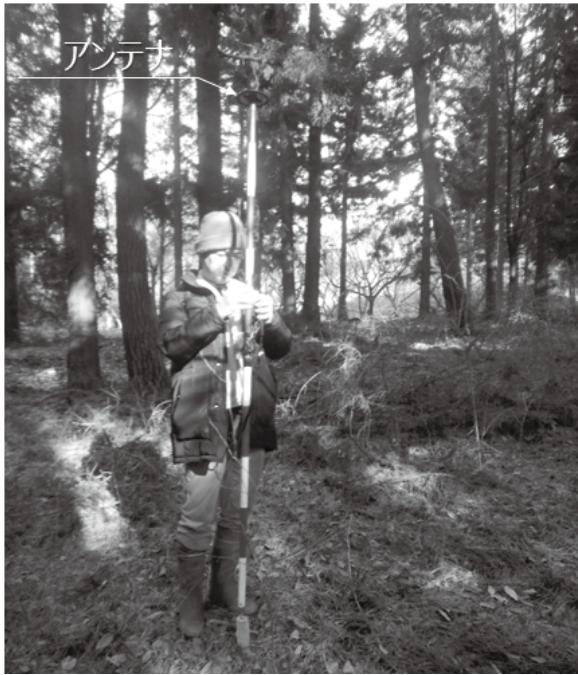


写真 3-1-2 面積計測の実施状況

### 3.1.3 結果と考察

距離計測では、巻尺による実測値 50.000m に対し、DG-PRO では 49.975m であり、誤差は 2.5cm (0.05%) であった。林道事業の出来形管理基準では、IP の距離  $L \leq 40\text{m}$  のときは  $\pm 20\text{cm}$  以内、 $L > 40\text{m}$  のときは  $\pm 0.5\%$  以内、測点間距離は  $\pm 10\text{cm}$  以内であり、全てにおいて基準を満たした。

林内での面積計測では、理論値  $400.00\text{ m}^2$  に対して計測値は  $395.26\text{ m}^2$  であり、誤差  $4.74\text{ m}^2$  (1.2%) であった (図 3-1-2)。GNSS では全ての測点でランダムに誤差が生じるため、既存の周囲測量の管理基準である閉合誤差との比較はできないが、十分に小さい値であると言える。

今回の精度検証では、距離計測、面積計測ともに災害調査時の測量業務にも使用可能な精度といえる。また、GNSS による測位作業は 1 人でも可能であり、各測点において要する時間は数秒から数分であることから、現地調査の大幅な効率化が期待できる。さらに、GNSS では、巻尺やコンパスでは計測することができない位置情報を得ることができるため、被災情報集約の効率化にも期待できる。しかし、GNSS は計測時の衛星状態、地形や樹木による衛星電波の反射や遮断、基準局からの距離等により、誤差精度が変化するという性質がある。また、RTK 方式では補正電波を受信するために携帯電話などによる通信が必要になるため、通話圏外では利用できない。これらの特性を理解し

たうえて、災害時の調査における活用を期待したい。

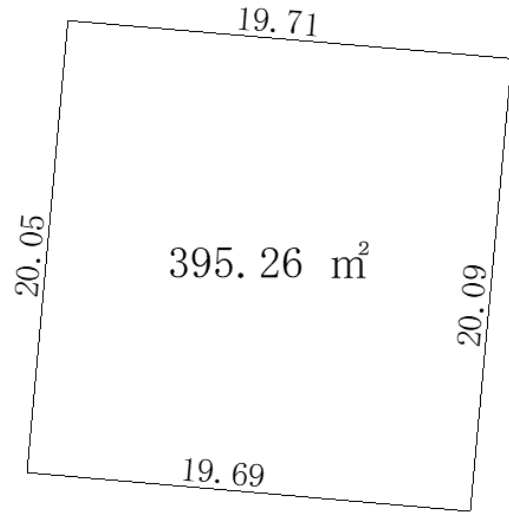


図 3-1-2 面積計測結果

## 3.2 GNSS 試験サイトの設置

### 3.2.1 目的

前述の検証により安価な機器でもセンチメートル精度の測位が可能であることが確認できた。しかし、森林域においては様々な林相や地形条件下での計測を行う必要があるため、条件によっては人工衛星からの電波を十分に受信できず、精度が低下する可能性もある。そこで、より多くの条件下で測位精度の検証を行うために、地形や植生が異なる検証サイトを設置し GNSS の精度検証を行った。

### 3.2.2 方法

精度検証用の試験サイトとして、当センター構内の約 3 ha の範囲外周に、25 測点を設けた (図 3-2-1)。このうち 2 点 (NP02, NP14) でスタティック方式による基準点測量を行い、トータルステーション (以下 TS) を用いた多角測量により全測点を計測し測点位置の真値とした。TS による計測は (株) パスコにより実施した。GNSS には、精度向上のための様々な補正方法があるが、このうち 2 周波単独測位である SLAS (Sub-meter Level Augmentation Service : サブメータ級測位補強サービス, 以下 SLAS)、みちびきの補正情報を使用する CLAS (Centimeter Level Augmentation Service : センチメートル級測位補強サービス), RTK の 3 種類と、比較のために従来方法であるコンパス測量を行った。RTK と SLAS には、ビズステーション (株) 社製の DG-PRO1RWP を用いた。CLAS に

は DG-PRO1RWP と同社製の VRSC を併用した。RTK の基準局には、試験サイトから約 9 km 離れたビズステーション(株)社屋上の基準局を用いた。DG-PRO1RWP, VRSC 共にアンテナ高は地上 2 m とし、全測点において 10 秒間の平均測位を行った。試験サイトの 25 測点のうち、立木伐採作業中などで使用できなかった 4 測点を除き 21 測点の測位を行い、各測点における TS との誤差、および全点を連結した周長と面積誤差を計算した。

### 3.2.3 結果と考察

TS による真値と、各補正方式の GNSS 及びコンパス測量との誤差を表 3-2 に示した。コンパス測量は、NP01-1 を起終点として閉合し、閉合比は 1/352 であった。RTK は、個々の測点の誤差は非常に小さく、開空条件下では概ね 10cm 以下の精度で測位できているが、NP08 のように森林内では 4 m 以上の誤差になる測点があり、周長の誤差 1.13m、面積の誤差率は 0.202% であった。CLAS は、開空条件下では概ね 30cm 程度の精度で測位できているが、森林内では最大 8m の誤差があった。SLAS は全体的に 1 m 前後の誤差であるが、周長誤差、面積誤差率では、誤差が相殺されて最も低い値となった。誤差平均では 3 種の GNSS とコンパスより小さい値となり、周長誤差、面積誤差は RTK と SLAS がコンパスよりも小さい値となった。RTK は携帯電話等によるデータ通信が必要であり、また、基準局からの距離が近い方が精度は良い（一般に 30km 以内を推奨）ため、これらの条件を満たし、かつ開空条件下での高精度測位に適する。CLAS は携帯電話回線によるデータ通信が不要なため、山奥などの通信圏外で開空条件下での高精度測位に適する。SLAS は植生や地形の影響を比較的受けにくく一定の誤差であり、DG-PRO1RWP 単体で計測できることから、ある程度の広さの面積や延長の計測に適する。以上のように、用途や使用環境によって GNSS の補正方法を選択することが重要であると言える。

## 4. おわりに

本稿では、大規模な山地災害が発生した時に現地調査を迅速かつ効率的に行う方法として、無料で利用可能な人工衛星データ、ドローン写真、高精度 GNSS の検証を行った。人工衛星データでは、詳細な計測は難しいが、大まかな災害発生位置を把握することができた。ドローン写真では、上空か

らの写真撮影が可能な崩壊地においては、崩壊地内に立ち入ることなく崩壊幅や斜面延長を計測することができた。高精度 GNSS では、補正方式と、植生や地形条件による精度の差はあるものの、概ね延長や面積計測に耐える精度であり、開空条件下ではセンチメートル精度の測位が可能であることが確認できた。ICT やリモートセンシング技術は日進月歩の発展を遂げているが、災害調査時には、用途や使用環境、求める精度により、用いる技術を選択することが重要であると考えられる。

### 参考文献・Web サイト

- 1) 一般社団法人 リモート・センシング技術センターWeb サイト, <https://www.restec.or.jp/satellite/sentinel-2-a-2-b>, (2022/2/1 最終確認)
- 2) 古澤宏章 (2021) 高精度 GNSS 測量の森林・林業の現場における活用—長野県の取組事例—, 森林技術948: 16-19

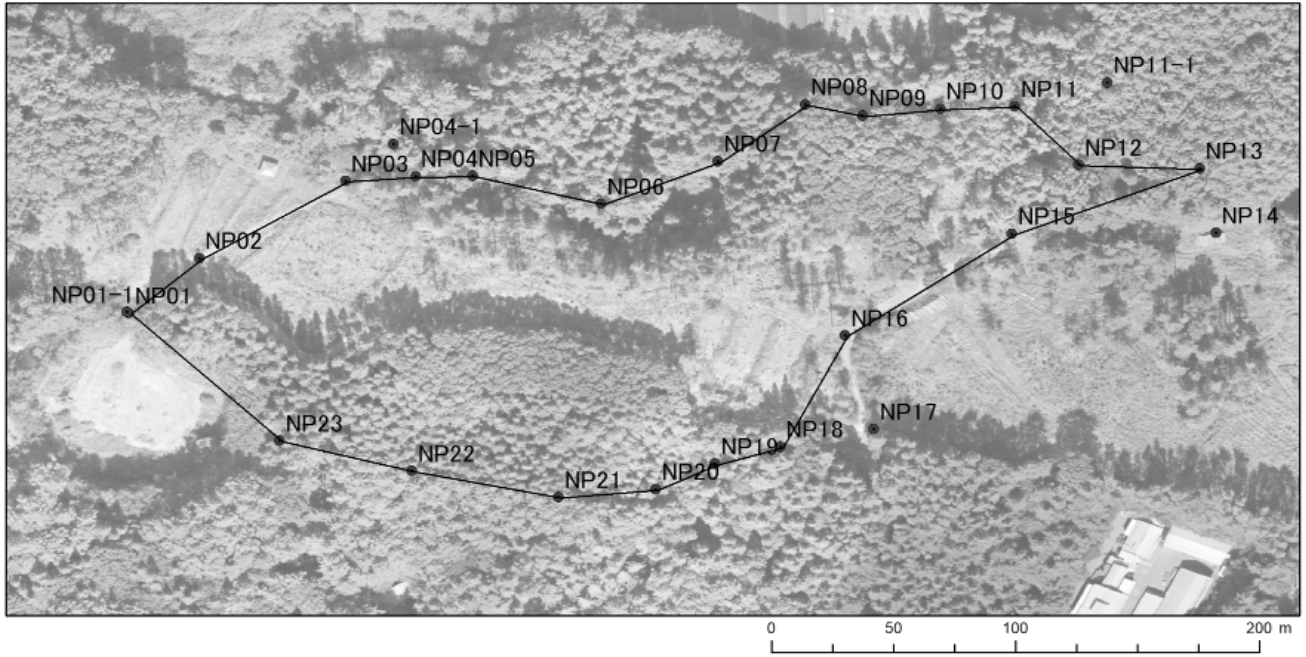


図 3-2-1 GNSS 試験サイト

表 3-2 TS と GNSS 及びコンパス測定の誤差

点名	TS (真値)				TSとの水平誤差(m)			
	X(m)	Y(m)	標高(m)	備考	コンパス	RTK	CLAS	SLAS
NP01	16295.031	-45628.979	807.090	TS点 (突出)	-	-	-	-
NP01-1	16295.515	-45629.571	807.101	TS点	0.00	0.11	4.27	0.47
NP02	16318.170	-45605.417	809.602	GNSS点	0.67	0.08	0.27	0.25
NP03	16350.490	-45556.730	812.963	TS点	1.36	0.05	0.31	0.70
NP04	16352.366	-45533.449	809.837	TS点	1.65	0.06	4.58	1.14
NP04-1	16366.084	-45540.717	803.336	TS点 (突出)	-	-	-	-
NP05	16352.417	-45514.514	808.045	TS点	2.00	0.09	4.08	1.13
NP06	16340.392	-45471.972	811.654	TS点	2.87	0.12	8.00	2.51
NP07	16358.142	-45433.029	813.258	TS点	3.34	1.00	3.35	2.22
NP08	16382.052	-45404.044	819.834	TS点	4.05	4.08	4.66	1.25
NP09	16377.297	-45384.868	821.498	TS点	4.35	0.10	0.33	1.22
NP10	16379.903	-45359.163	821.277	TS点	4.77	0.11	2.34	1.19
NP11	16380.887	-45334.436	823.192	TS点	5.37	0.15	3.14	4.04
NP11-1	16390.738	-45303.710	824.416	TS点 (突出)	-	-	-	-
NP12	16356.052	-45313.381	838.325	TS点	5.53	0.20	7.19	2.17
NP13	16354.349	-45273.211	846.009	TS点	6.36	0.11	0.62	1.25
NP14	16327.141	-45267.976	850.549	GNSS点	-	-	-	-
NP15	16327.074	-45335.636	845.487	TS点	5.41	0.10	0.39	0.39
NP16	16284.453	-45391.315	841.784	TS点	4.65	0.10	0.39	1.25
NP17	16244.817	-45381.869	842.639	TS点	-	0.07	0.31	0.53
NP18	16237.584	-45412.961	838.744	TS点	4.72	1.48	3.06	2.24
NP19	16230.443	-45434.736	832.362	TS点	4.42	0.04	2.83	3.18
NP20	16219.931	-45454.429	827.820	TS点	4.21	0.15	4.00	0.66
NP21	16216.679	-45486.748	821.630	TS点	3.47	2.90	0.48	2.11
NP22	16227.954	-45535.356	817.135	TS点	2.88	2.33	2.97	2.15
NP23	16240.882	-45579.116	812.044	TS点	2.17	0.16	6.12	0.55
誤差平均(m)					3.54	0.62	2.90	1.48
周長(m)				838.17	839.91	837.03	829.54	837.76
周長誤差(m)					1.74	1.13	8.63	0.41
面積(m <sup>2</sup> )				30,911.60	31,214.70	30,974.15	31,284.20	30,910.46
面積誤差(m <sup>2</sup> )					303.10	62.55	372.60	1.14
誤差率					0.981%	0.202%	1.205%	0.004%