

調査編
第 2 2 章 測量・計測
目 次

第 1 節	総説	1
第 2 節	河川等に関する測量	1
第 3 節	様々な計測技術の活用	3
3. 1	基本事項	3
3. 2	航空レーザ測量	3
3. 3	UAV 写真測量、UAV 写真点群測量	4
3. 4	地上計測技術	4
3. 5	空中計測技術	5
3. 6	水中計測技術	6
3. 7	三次元点群測量	8
3. 8	GNSS 測量/計測	9
3. 9	映像解析・可視化技術	12

令和 4 年 6 月 版

適用上の位置付け

河川砂防技術基準調査編は、基準の適用上の位置付けを明確にするために、下表に示すように適用上の位置付けを分類している。

分 類		適用上の位置付け	末尾の字句例
考え方	技術資料	●目的や概念、考え方を記述した事項。	「…ある。」「…いる。」 「…なる。」「…れる。」
必 須	技術基準	●法令による規定や技術的観点から実施すべきであることが明確であり遵守すべき事項。	「…なければならない。」「…ものとする。」
標 準	技術基準	●特段の事情がない限り記述に従い実施すべきだが、状況や条件によって一律に適用することはできない事項。	「…を標準とする。」 「…を基本とする。」 「…による。」
推 奨	技術資料	●状況や条件によって実施することが良い事項。	「…望ましい。」 「…推奨する。」 「…務める。」 「…必要に応じて…する。」
例 示	技術資料	●適用条件や実施効果について確定している段階ではないが、状況や条件によっては導入することが可能な新技術等の例示。 ●状況や条件によって限定的に実施できる技術等の例示。 ●具体的に例示することにより、技術的な理解を助ける事項。	「…などの手法（事例）がある。」 「…などの場合がある。」 「…などが考えられる。」 「…の場合には…ことができる。」 「…例示する。」 「例えば…。」 「…事例もある。…もよい。」

関連通知等	関連する通知やそれを理解する上で参考となる資料
参考となる資料	例示等に示した手法・内容を理解する上で参考となる資料

第22章 測量・計測

第1節 総説

<考え方>

本章は、河川等に関する測量等の一般的手法を定めるものであって、河川等に関する事業に用いる場合の基準とするものである。

標準化された測量作業の技術的な事項等については、国土交通省公共測量作業規程に詳述されており、基準点測量（基準点測量、レベルや GNSS 測量機等による水準測量）、地形測量及び写真測量（地上レーザ測量、車載写真レーザ測量、UAV 写真測量、空中写真測量、航空レーザ測量）、三次元点群測量（地上レーザ点群測量、UAV 写真点群測量）、河川測量、深淺測量、海浜及び汀線測量等について規程されている。

加えて、本章では、水文・水理観測（第2章）、河道特性調査（第4章）、災害調査（第10章）、地すべり調査（第18章）、海岸調査（第21章）等における調査を支援するため、河川等において、調査目的に応じて個別に工夫した事例や新技術など標準化されていない計測手法についても、推奨・例示事項を中心として記載している。

<関連通知等>

- 1) 国土交通省公共測量作業規程，平成20年3月31日，国国地第668号，国土交通省，一部改正：平成28年3月31日。
- 2) 作業規程の準則，平成20年3月31日，国土交通省告示第413号，国土交通省，一部改正：令和2年3月31日。

第2節 河川等に関する測量

<必須>

河川、ダム、砂防、海岸に関する測量では、それぞれの目的に応じて測量を行うものとする。

測量作業の詳細な技術的な基準については、国土交通省公共測量作業規程によることとする。

<例示>

- 1) 河川、砂防に関する測量

河川及び砂防工事に関し、目的と必要な測量について表 22-2-1 に例示する。

表 22-2-1 河川・砂防に関する測量

目 的	測量作業名	測量の種類
計画策定	計画用基本図作成	地形測量及び写真測量（1/2500 地形図）
距離標設置	距離標設置	基準点測量
水準基標設置	水準基標設置	水準測量
河道計画、河川整備計画、河川管理基図等の策定	定期縦断図作成	縦断測量
	定期横断図作成	横断測量 深淺測量
実施設計書作成 法線等の決定 土工積算	工事用測量図作成	基準点測量 法線測量 地形測量（1/500～1/1000 地形図） 縦断測量、横断測量

用地幅杭の決定 用地買収	用地測量	境界測量 面積計算
-----------------	------	--------------

2) ダムに関する測量

ダムに関し、目的と必要な測量について表 22-2-2 に例示する。

表 22-2-2 ダムに関する測量

目 的	測量作業名	測量の種類
貯水池容量算定、河流処理計画 道路計画（付替、工事用） 補償物件概略調査 貯水池周辺地質調査	計画用基本図作成	空中写真測量、航空レーザ測量 （1/2500～1/5000 地形図）
ダム本体概略設計 仮設備概略計画	ダムサイト地形図 作成	空中写真測量、地形測量 航空レーザ測量 （1/500～1/1000 地形図）
ダム測量基準点設置 既設構造物との関連把握	基準点測量および 水準測量	基準点測量、水準測量
貯水池容量算定 道路路線選定	貯水池地形図作成	空中写真測量、航空レーザ測量、縦断 測量、横断測量 （1/1000～1/2500 地形図）
本体設計	ダムサイト地形図 および断面図作成	地形測量、地上写真測量 （1/500 地形図） 縦断測量、横断測量
用地幅杭の決定 用地買収	用地測量	境界測量 面積計算
堆砂状況把握	堆砂状況調査	横断測量、航空レーザ測量 深浅測量

3) 海岸に関する測量

海岸に関し、目的と必要な測量について表 22-2-3 に例示する。

表 22-2-3 海岸に関する測量

目 的	測量作業名	測量の種類
計画策定	海岸地形図作成 計画用基本図作成	水準測量（海浜及び汀線測量） 深浅測量
海岸保全施設設計	設計用基本図作成	水準測量（海浜及び汀線測量） 深浅測量
モニタリング（海岸地形変化）	海岸侵食実態調査 被災実態調査	水準測量（海浜及び汀線測量） 深浅測量

<関連通知等>

- 1) 河川定期縦横断測量業務実施要領について、平成 30 年 4 月 13 日、国水環第 1 号、国土交通省水管理・国土保全局河川環境課長。

<参考となる資料>

従来の測量方法の他、近年の測量技術の進展に伴う 3 次元点群データによる定期縦横断測量の実務については、下記の資料が参考となる。

- 1) 河川定期縦横断測量業務実施要領・同解説，平成 30 年 4 月，国水環第 2 号，国土交通省 水管理・国土保全局河川環境課河川保全企画室長。

第3節 様々な計測技術の活用

3. 1 基本事項

<考え方>

平常時における河道や施設の現状、並びに水災害時の被災状況や管理施設の変形などの迅速な把握と監視を行うため、測量・計測に関する今後の技術開発の動向や活用実績も踏まえながら、新しい計測技術の活用を促進し、効率化や精度の向上を図ることが重要である。

<標準>

計測技術や計測機器について「国土交通省公共測量作業規程」に規程されていない新しい手法を用いて公共測量を行う場合には、「国土交通省公共測量作業規程」第 17 条（機器等及び作業方法に関する特例）に基づき実施することを標準とする。すなわち、使用する資料、機器、測量方法等により精度が確保できることを作業機関等からの検証結果等に基づき確認するとともに、確認に当たっては、あらかじめ国土地理院の長の意見を求めるものとする。

3. 2 航空レーザ測量

<考え方>

航空レーザ測量とは、航空機に搭載したレーザスキャナから地上にレーザ光を照射し、地上から反射するレーザ光との時間差より得られる地上までの距離と、GNSS (GPS) 測量機、IMU (慣性計測装置) から得られる航空機の位置情報より、地上の標高や地形の形状を精密に調べる測量方法である。

航空レーザ測量は、1/500～1/5,000 の地形図作成、河川堤防や高水敷の連続的な縦横断形状の把握、並びに氾濫解析を実施するための氾濫域の地盤高、砂防施設、ダム等の堤体の変形、岩盤崩壊、地すべり等の発生のおそれのある斜面地形の面的な監視などに活用するものであり、最新の技術開発の動向や活用実績を把握し、計測作業の効率化や計測精度向上を目的に、活用を図ることが重要である。

<必須>

河川等の調査、計画、施工、維持管理において活用することを目的に、航空レーザ測量を実施するに際しては、「国土交通省公共測量作業規程」第 10 章 航空レーザ測量に従うものとする。

<推奨>

なお、今後の技術発展とともに、レーザ測量の精度は高くなり、解析手法も改良されることから最新の技術開発動向も踏まえ、活用目的に応じて最新の解析手法を取り入れることを推奨する。

<参考となる資料>

航空レーザ測量の実務については、下記の資料が参考となる。

- 1) 航空レーザ測量による河道及び流域の三次元電子地図作成指針（案），平成 19 年，国土交通省河川局。
- 2) 藤澤和範，笠井美青：地すべり地における航空レーザー測量データ解析マニュアル，土木研究所資料，第 4150 号，2009。

- 3) 齋藤和也監修:図解 航空レーザ計測 基礎から応用まで, (財)日本測量調査技術協会, 2008.

3. 3 UAV 写真測量、UAV 写真点群測量

<考え方>

無人航空機 (UAV: Unmanned Aerial Vehicle 通称ドローン。以下 UAV という。) により地形、地物等を撮影し、その数値写真を用いて数値地形図データを作成する UAV 写真測量や、三次元点群データを作成する UAV 写真点群測量がある。

UAV 写真測量や UAV 写真点群測量は、1/250～1/500 の地形図や地形を表す三次元の座標データ等を作成するものである。

その他、UAV を活用した計測には、3.5 空中計測技術で述べるレーザスキャナ搭載による測量などがあげられ、最新の技術開発の動向や活用実績を把握し、計測作業の効率化や計測精度向上を目的に、活用を図ることが重要である。

<必 須>

河川等の調査、計画、施工、維持管理において活用することを目的に、UAV 写真測量、UAV 写真点群測量を実施するに際しては、それぞれ「国土交通省公共測量作業規程」第3編地形測量及び写真測量 第5章 UAV 写真測量、第4編三次元点群測量 第3章 UAV 写真点群測量に従うものとする。

3. 4 地上計測技術

<考え方>

地上計測技術は、堤防の連続的な縦横断形状の把握、並びに河川堤防、砂防施設、ダム等の堤体の変形、岩盤崩壊、地すべり等の発生のおそれのある斜面地形の面的な監視などに活用するものであり、最新の技術開発の動向や活用実績を把握し、計測作業の効率化や計測精度向上を目的に、活用を図ることが重要である。

地上計測技術には、たとえば移動型の地上計測システムや固定型の地上計測システムがあり、それぞれレーザスキャン装置や熱センサ等の各種センサを用いて、線的・面的な形状を計測する、時期を変えて計測することで、地盤や施設の変形量を求めることも可能となる。

例えば、車両写真レーザ測量による車両での堤防天端を走行しながらの連続的な計測や、固定型の地上計測システムによる三次元レーザスキャンによって、線的・面的な形状の計測や、時期を変えた計測で、地盤や施設の変形量を把握できる。

<必 須>

河川等の調査、計画、施工、維持管理において活用することを目的に、地上レーザ測量、車載写真レーザ測量、地上レーザ点群測量を実施するに際しては、それぞれ「国土交通省公共測量作業規程」第3編地形測量及び写真測量 第3章 地上レーザ測量、第4章 車載写真レーザ測量、第4編三次元点群測量 第2章 地上レーザ点群測量に従うものとする。

<例 示>

堤防や地形の変状を検地するための光ファイバセンサを用いた計測システムなどもある。これは、光ファイバに入射したレーザ光パルスが、光ファイバを進行する際に発生する各種後方散乱光を利用するもので、光ファイバに歪みが生じた場合に発生する散乱光や反射波の到達時間や強度を計測することで、その位置や歪みの量を検知するものである。現地に光ファイバケーブルを敷設するだけなので、電気式の従来型計測システムの欠点である落雷によるセンサの

故障や電気ノイズによる計測データの欠損がないことが利点として挙げられる。

3. 5 空中計測技術

<考え方>

空中計測技術は、流域や施設における現況や被災の全体像（地すべり崩壊地や氾濫浸水域、地震による河道閉塞）の把握などに活用するものであり、最新の空中計測技術の技術開発の動向や活用実績も踏まえ、計測作業の効率化や計測精度向上を目的に、新たな空中計測技術の活用を図ることが重要である。なお、空中計測技術として、実施例の多い航空レーザ測量、UAV 写真測量、UAV 写真点群測量については本節の 3. 2、3. 3 に別途記述した。

<例 示>

空中計測技術には、たとえば航空機や人工衛星による計測システムがあり、それぞれ光学カメラやレーザスキャン装置、熱センサ、合成開口レーダ（SAR）等の各種センサを用いて、面的な形状を計測し、時期を変えて計測することで、地形や施設の変形量を求めることも可能となる。

航空機搭載型の熱センサは、GNSS (GPS) 測量機、IMU (慣性計測装置) との連携により、観測エリアの地表面熱画像を取得し、ヒートアイランド調査・河川流入水調査、活火山活動調査等に活用できる。

合成開口レーダ（SAR）装置は、マイクロ波を能動的に照射して、反射波の情報から対象物の形状などを計測するリモートセンシング技術である。マイクロ波が水蒸気を透過する性質を利用して全天候型の画像取得を可能とするものであり、風水害発生時に雨天・夜間でも緊急に被災状況を把握したい場合などに利用される。

SAR 画像は、通常の光学カメラによる画像と異なり、照射したマイクロ波の反射強度を表すため、地物の物性や形状によっては大きな反射強度が出る場合や、水面等では鏡面反射のため反射強度がほとんど得られない場合など、画像判読には注意が必要である。

UAV へのレーザスキャナ搭載やセンサの精度向上など、今後の技術発展とともに UAV 利用用途や解析手法も改良されることから最新の技術開発動向も踏まえ、活用目的に応じて最新の解析手法を取り入れることが考えられる。

表 22-3-1 空中からの計測技術の特徴

観測手段		特徴（◎：最適、○：適、△：やや不適、×：不適）							特徴を活かした利用例
		時間的優位性				空間的優位性			
		即時性	夜間	悪天候時	継続的観測	最大分解能	広域	局所	
人工衛星 ※1	SAR ※2	△	◎	◎	○	1m	◎	△	・地殻変動・浸水域等、 長期的・広範囲な被災状況の把握
		・衛星が被災地上空にいることが条件 ・分解能は観測周波数に依存							
	光学	△	△	○	○	0.5m	◎	△	
		・衛星が被災地上空にいることが条件 ・悪天候時の撮影は可能だが雲下の状況は把握不可能							
航空機	SAR ※2	△	○	△	△	—	○	△	・火山活動の把握を人工衛星の回帰を待たずに行う
		・電波法上の手続き・観測したデータ処理に時間を要する ・夜間に離着陸可能な空港は限られる ・分解能は観測周波数に依存 ・センサ等が水弱く、降雨中の航行・観測は不適							
	光学	○	△	○	△	—	○	○	・施設被害等の状況把握
		・雲下の状況は把握不可能 ・分解能は飛行高度に依存							
ヘリコプター 光学センサ※3		◎	△	×	○	—	○	○	・施設被害等の機動的調査（全体把握や被災箇所の詳細調査等）
		・夜間の活動は装備・環境等の条件が合えば可 ・分解能は飛行高度に依存							
無人航空機（UAV）		○	×	○	◎	—	×	◎	・局所的な被災箇所の継

レーザ※3	・現地への運搬が必要 ・飛行距離・高度に限界あり	続観測
-------	--------------------------	-----

※1 国土交通省側で雨量計・水位計・震度計等の情報により被害が想定される地域を特定し、JAXA 等に撮影依頼。

※2 Strip map-mode SAR の特徴、海外で Spotlight-mode SAR が実用化されているが、日本では開発中。

※3 ヘリコプター及び無人航空機に搭載する SAR についても、現在、国内で Spotlight-mode SAR を開発中。

注：本表の◎～×は、現状における手段の適否を表したもので、将来的には各手段の即時性や分解能等に改善が期待される。

出典：「大規模自然災害時の初動対応における装備・システムのあり方検討委員会」資料（国土交通省河川局）を基に作成

<参考となる資料>

UAV レーザ測量については、下記の資料が参考となる。

- 1) UAV 搭載型レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル（案），平成 30 年 3 月，国土交通省国土地理院，一部改正：令和 2 年 3 月。

3. 6 水中計測技術

<考え方>

水中計測技術は、ダム湖の堆砂、ダム堤体の上流面、河川の樋門・樋管、河川内の橋脚基礎部、河口テラスの形状、海岸の浅海地形や離岸堤など、水中に没した地形や施設の変状の有無や程度を迅速かつ安全に把握するために活用するものであり、最新の水中計測技術の技術開発の動向や活用実績も踏まえ、計測作業の安全確保と効率化や計測精度向上を目的に、新たな水中計測技術の活用を図ることが重要である。

<例 示>

水中計測技術には、たとえば音響測深やレーザ測深による計測システムがある。

音響測深は、船から発信された音波が水底で反射されて戻ってくるまでの時間を測定することにより水深を計測するシステムである。測定に当たっては、水温や深度による音速度補正、波浪や潮汐の影響補正等が必要となる。

近年では、船の左右方向に指向角が広く前後方向に指向角が狭い音波を発射して、船の真下の水深だけでなく船の左右方向の水深まで一時に測量することができるマルチビーム音響測深が利用されている。

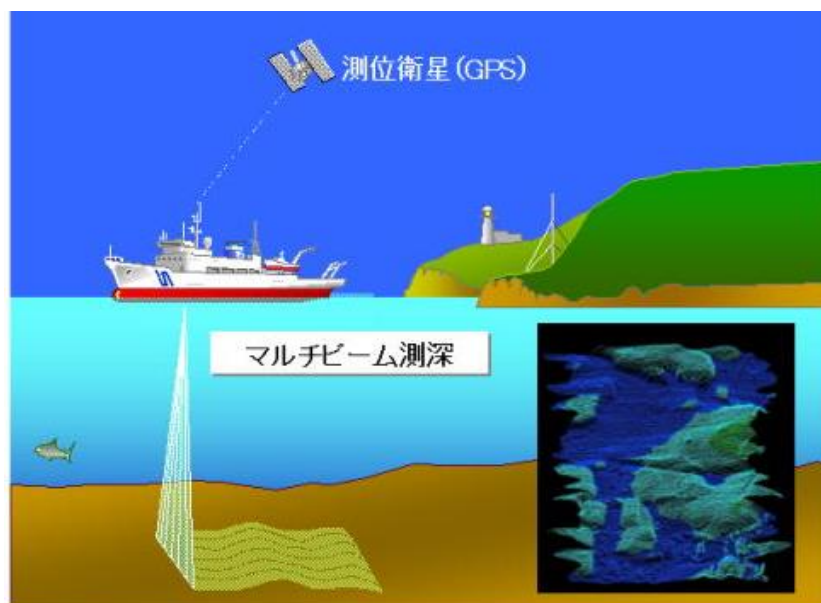


図22-3-1 マルチビーム音響測深のイメージ

出典：第九管区海洋情報部 (http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN9/sokuryo/sokuryo_history.htm)



図22-3-2 サイドスキャンソナーのイメージ

出典：第九管区海洋情報部 (http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN9/sokuryo/sokuryo_history.htm)

また、水深を測る機器ではないがサイドスキャンソナーというものがある。サイドスキャンソナーは、船舶の後部から曳航される曳航体(フィッシュ)から、超音波ビームを、進行方向に垂直に扇形に発射、海底面からの反射強度の強弱の分布を濃淡の分布に変換、図化する機器である。非常に細かい起伏や海底面の底質を表現することができるので、海底の割れ目やサンドウェーブ(砂が描く波紋)、溶岩流などの自然現象のほか、海底のパイプラインや沈没船などもリアルに図化できる。海面付近(100m以浅)を曳航する型と、海底付近(海底上約100m)まで降ろす深海曳航型の2通りがある。

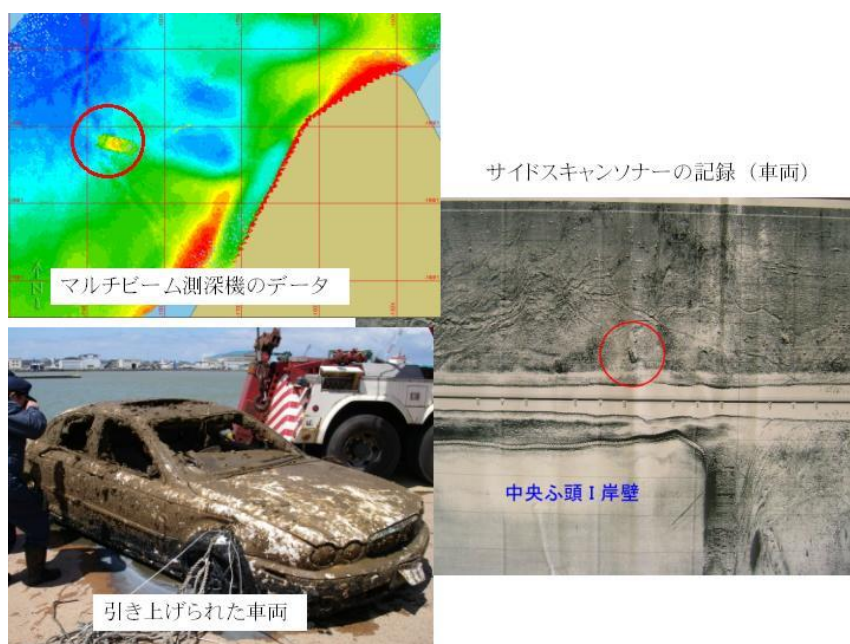


図22-3-3 マルチビーム、サイドスキャンソナーを活用した水中転落車両の探査例

レーザ測深は、赤色のレーザ光（主に海面で反射される）と緑色のレーザ光（主に海底で反射される）を併用して両者の反射時間の差から水深を測定する手法である。航空機は高度 500m 程度を飛行し、発射されるレーザ光は機体の左右にスキャン（走査）されるため、航空機の直下の水深だけでなく左右に幅を持って多数の水深値を短時間に得ることができる。

現在の技術で測深できる深さは海水のきれいな場所でも水深 50m 程度までであるとされており、測量船での測深が困難な岩場などの浅瀬が存在する浅海域での測量を効率的に行うことができる。

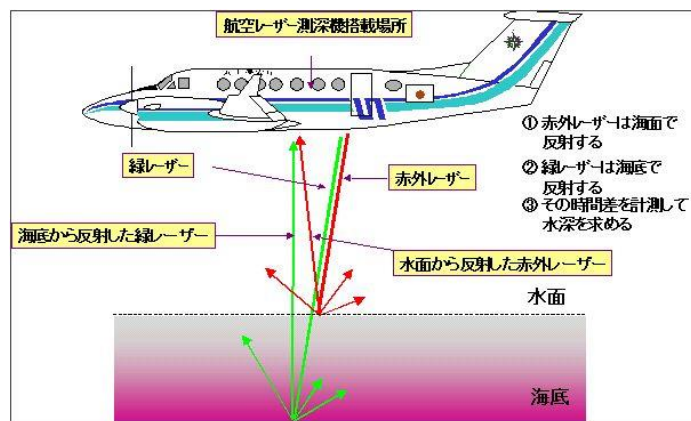


図22-3-4 レーザ測深のイメージ

出典：第九管区海洋情報部 (http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN9/sokuryo/sokuryo_history.htm)

<参考となる資料>

水中計測技術を活用する際の実務については、下記の資料が参考となる。

- 1) 水路測量業務準則，昭和 57 年 10 月 1 日，保水測第 47 号，海上保安庁，一部改正：令和 2 年 3 月 31 日保海技第 164 号。
- 2) 水路測量業務準則施行細則，昭和 58 年 4 月 27 日，保水海第 13 号，海上保安庁，一部改正：令和 2 年 3 月 27 日保海海第 140 号。
- 3) マルチビーム（浅海用）音響測深実施指針，平成 14 年 3 月 28 日，保水沿第 208 号，一部改正：平成 22 年 11 月 29 日保海海第 145 号。
- 4) （社）海洋調査協会：海洋調査技術マニュアルー深浅測量ー，2020。
- 5) David F. Ph.D. Maune：Digital Elevation Model Technologies and Applications, The DEM Users Manual, 3rd Edition, 2019。

3. 7 三次元点群測量

<考え方>

三次元点群測量とは、応用測量等に用いる三次元点群データを作成する作業をいう。三次元点群データとは、地形を表す三次元の座標データ及びその内容を表す属性データを、計算処理が可能な形態で表現したものをいう。

前述の計測手法によって取得した写真やレーザ等のデータを使用することによって、測量した範囲のあらゆる地点の地形を三次元点群データとして把握することができる。これらの測量方法の精度は、取得された個々の点では水準測量に及ばないが、目的とする範囲の地形を網羅的に把握出来るという特徴があり、適切な精度の三次元点群データを使用することで、総合的には十分な精度を有する測量成果となり得る。その結果、設計などに置ける柔軟な利用や作業時間の短縮が見込める。

< 必 須 >

河川等の調査、計画、施工、維持管理において活用することを目的に、三次元点群測量を実施するに際しては、「国土交通省公共測量作業規程」第4編 三次元点群測量に従うものとする。

< 推 奨 >

なお、三次元点群データ作成は、今後も発展が期待されることから、最新の技術開発動向も踏まえ、地形測量や工事測量など活用目的に応じて最新の手法を取り入れることを推奨する。

< 参考となる資料 >

三次元点群データの使用については、下記の資料が参考となる。

- 1) 三次元点群データを使用した断面図作成マニュアル（案），平成 31 年 3 月，国土交通省 国土地理院。

3. 8 GNSS 測量/計測**< 考え方 >**

GNSS(Global Navigation Satellite System / 全球測位衛星システム)は、米国の GPS、日本の準天頂衛星 (QZSS)、ロシアの GLONASS、欧州連合の Galileo 等の衛星測位システムの総称である。

GNSS を利用した測量/計測は、地形や施設の詳細な 3 次元位置や位置変化を取得するのに有効であり、目的に応じて最適な方式を採用するとともに、必要な衛星数を確保するための上空視界の確保などの条件に留意して活用することが重要である。

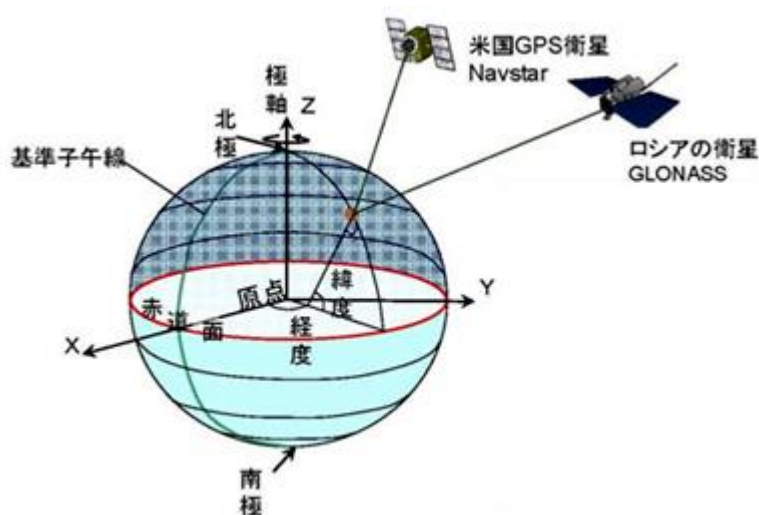


図22-3-5 GNSS の測定手法

出典：九州地方整備局 (http://www.qsr.mlit.go.jp/ict/technology/jitsugen_3.html)

1) GNSS 測量/計測の方式

GNSS 測量/計測には大きく 2 つの方式に分類される。

- a) 単独測位：受信機 1 台を使用して観測点の位置を求める。
- b) 相対測位：受信機を 2 台以上使用して観測点間の相対位置を求める。

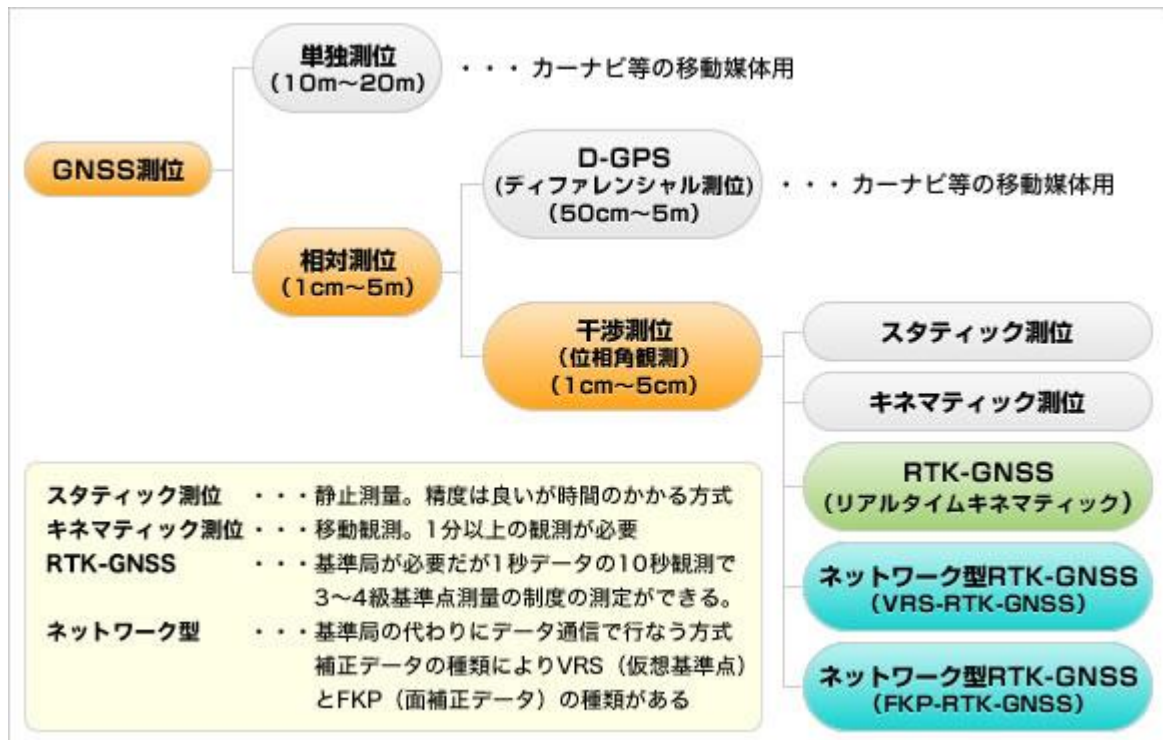
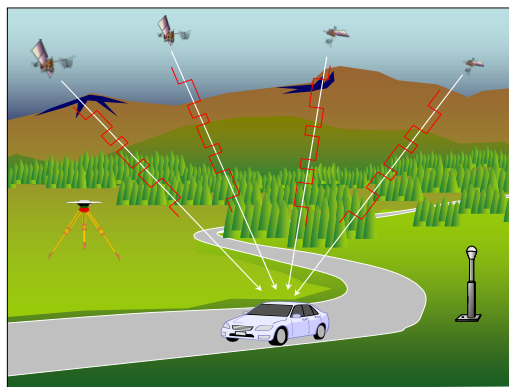


図22-3-6 GNSS 測量/計測の方式の種類

出典：九州地方整備局 (http://www.qsr.mlit.go.jp/ict/technology/jitsugen_3.html)

GNSS測位の方法

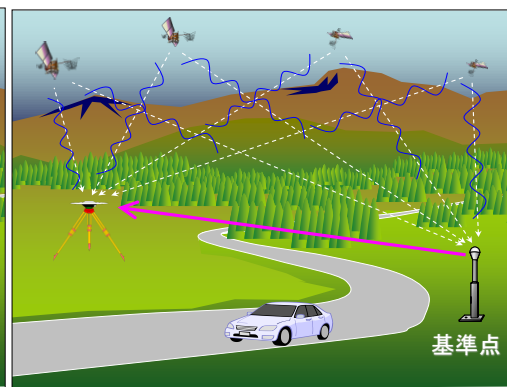
カーナビ方式 <単独測位>



- ・絶対位置(経緯度、高さ)
- ・精度：～10 m

→カーナビ等では十分な精度

測量方式 <相対測位>



- ・基準点からの相対位置(距離と方向)
- ・精度：cm級

→測量ではこの精度が必要

図22-3-7 単独測位と相対測位の違い（国土地理院提供）

相対測位は更に幾つかの方式に分類され、精密な観測が要求される測量では干渉測位方式が採用されている。

一般的に測量では、精度や目的、方式に応じて、数分から数時間のGNSS衛星信号の観測を行って、観測点の3次元位置座標を求めるが、固定した点での繰り返し観測や連続的な観測によって、観測点の位置座標の変動を定期的あるいはリアルタイムに検出する技術も実用化されている。

2) ネットワーク型 RTK 方式

RTK (Real Time Kinematic) 方式は、座標値が与えられた基準局に設置した GNSS 測量機器の観測データを一方の観測点の測量機器に無線で送信し、観測点を短時間に移動しながらその位置座標を求める方式である。これに対して、ネットワーク型 RTK 方式は、国土地理院の電子基準点網等を利用することで、観測点を含む広域的な観測データ等により補正データ等又は面補正データを算出し、移動観測点で観測したデータとともに計算処理することで観測点の位置座標を求める方式である。RTK 方式に比べて、利用者側で基準局を設置する必要がない、より広域に位置座標の観測が可能であるなどのメリットがある。



図22-3-8 ネットワーク型 RTK 方式概念図

出典：九州地方整備局 (http://www.qsr.mlit.go.jp/ict/technology/jitsugen_3.html)

我が国では、VRS (Virtual Reference Station: 仮想基準点) 方式及び FKP (Flächen Korrektur Parameter: 面補正パラメータ) 方式を利用したサービスが実用化されている。

上に述べたような利点からネットワーク型 RTK 方式の利用が広がっているが、一方で、単点観測のように周辺の観測点から独立に位置を求める方式では観測の異常やミス、作業地域周辺の基準点との不整合をそのまま採用するおそれもあり、「国土交通省公共測量作業規程」に示す手順等を参考に観測計画を立てることが望ましい。

3) 精密な計測のための留意点

GNSS 測量/計測のような精密な位置観測では、常に上空に GNSS 衛星を 5 個以上捕捉することが求められ、また、観測障害や誤差要因となる近くの構造物や樹木によるマルチパスや電波遮蔽を除くなど、機器の設置場所には特に留意する必要がある。

さらに、遠隔地での観測では、電源や通信手段にも配慮する必要がある。計測目的によっては、1cm 以下の位置座標の変化を検出することが要求されるが、このような小さな位置変化となると、GNSS 測量機器を設置した地盤の変動や日射による機器の変形などの雑音要因をいかに除去するかといった技法も重要な要素になる。

「国土交通省公共測量作業規程」では、路線測量や河川縦横断測量等の多くの測量で GNSS 測量を使用した方式が示されている。このほか、河川・砂防分野では、以下に例示するような様々な用途で GNSS 測量/計測が利用されてきている。

a) 土量の計測

盛土の土量算出のため、ネットワーク型 RTK 方式による単点観測法を用いて、受信機を移動させながらデータコレクタで 3 次元座標を取得。その後、測量データを CAD に取り込み、展開図の作成及び土量の計算を行う。

b) ダム等施設の変形計測

ダム施設では水位変動によるダム本体の変形や周囲地盤の変位を監視する目的で、施設や構内に GNSS 測量機器を複数設置して連続観測を行い、機器間の位置の変化を監視するシステムが稼動している。



図22-3-9 GNSS ダム変形計測システム概念図

出典：GPS 自動計測による大保脇ダム堤体挙動観測について（北部ダム事務所 調査設計第二課）

(<http://www.dc.ogb.go.jp/hokudamu/jimusyo/katudo/happyou/img/ronbun19.2.pdf>)

<標準>

「国土交通省公共測量作業規程」では、河川測量その他の章の中で、各種の測量作業における GNSS 測量の適用法について記載しており、GNSS 測量の実施に当たっては、これにしたがって行うことを標準とする。

<考え方>

GNSS は、近年、米国の GPS だけでなく、日本の準天頂衛星システム、ロシアの GLONASS、欧州連合の Galileo といった各国の衛星測位システムの利用が可能となり、複数の種類の測位衛星や新たな周波数帯の信号が利用できる「マルチ GNSS」の環境が整うなど、さらに高精度な位置計測を可能にする GNSS 補強システムや各分野への応用技術の開発も進められている。

これらの新たな技術や手法の活用にあたっては、その性能や観測条件、制約等について十分にチェックを行い、河川等に関する事業への活用の可否・適用性を検討し、活用していくことが重要である。

<参考となる資料>

マルチ GNSS を利用した測量については、下記の資料が参考となる。

- 1) 国土交通省国土地理院：マルチ GNSS 測量マニュアル（案）—近代化 GPS, Galileo 等の活用—，国土地理院技術資料，G 1—No. 18，2020。

3. 9 映像解析・可視化技術

<考え方>

映像解析・可視化技術は、デジタル画像からの測量、流速ベクトルの把握、地形や海岸汀線

変化の把握などに活用するものであり、最新の映像解析・可視化技術の技術開発の動向や活用実績も踏まえ、作業の効率化や精度向上を目的に、新たな映像解析・可視化技術の活用を図ることが重要である。

＜例 示＞

映像解析・可視化技術には、たとえばデジタル画像処理を適用した写真測量技術や動画を活用した PIV 法による流速ベクトル解析、レーザデータの可視化技術がある。

デジタル画像処理を適用した写真測量技術は、現地で撮影位置を変えて写した複数枚のデジタル写真画像の視差の違いから、対象物の測点の三次元座標をパーソナルコンピュータにより算出し、計測する技術である。

現地では写真撮影のみで、後工程は室内での処理となるため、現地での測量や調査時間が短く、工事の妨げや危険箇所への立ち入りが少なくなる。主に、施工時の測量や岩盤の不連続面の計測、法面やトンネルなどの構造物の挙動計測等に用いられている。

粒子画像流速測定法（PIV：Particle Image Velocimetry）は、ビデオ等の動画像を用いて流速ベクトルを解析する技術である。

PIV 法は、隣接するフレーム間の対応点を濃度相関で決定し、画像内の輝度の分布パターンが一定時間内に移動する状況を追跡して、対象領域内における速度ベクトルを同時に多点で面的に計測するものである。本手法により流動又は崩落する移動体の各部分の移動速度、移動方向等の詳細情報を取得することができる。

このほかのビデオ画像解析の一つに、高解像度ビデオカメラによりコンクリート構造物や土構造物を撮影することによって遠くからでも目視と同程度の精度で表面変状を検出できる技術がある。

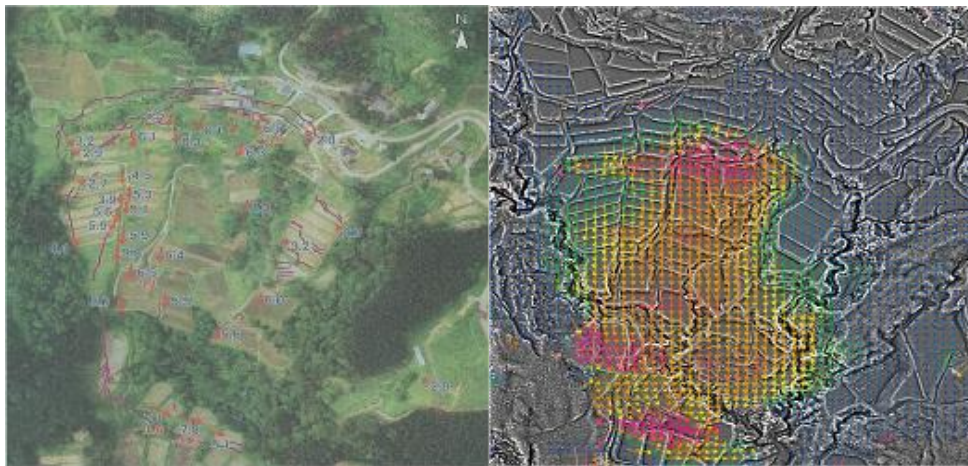


図22-3-10 航空レーザ計測による地すべり変位計測(左)と PIV 手法による地すべり変位計測(右)

レーザデータの可視化は、レーザ計測によって取得された 1～数m程度のグリッドセルデータを用いて可視化する技術である。可視化によって擬似 3 次元化する方法には、GIS ソフトによる簡便な方法、グリッドセルデータを数値変換する方法等がある。前者には陰影図や段彩図等がある。後者には衛星画像解析によく使われた各種フィルターや最近よく使われるグリッド間角度から求める開度、波として解析するウェーブレット変換等がある。また、数種の数値変換結果を重ね合わせて GIS ソフトによって効果的に表示する手法もある。レーザデータを活用することにより斜面での 50cm～1m オーダーの微細な凹凸の判読が可能となっている。

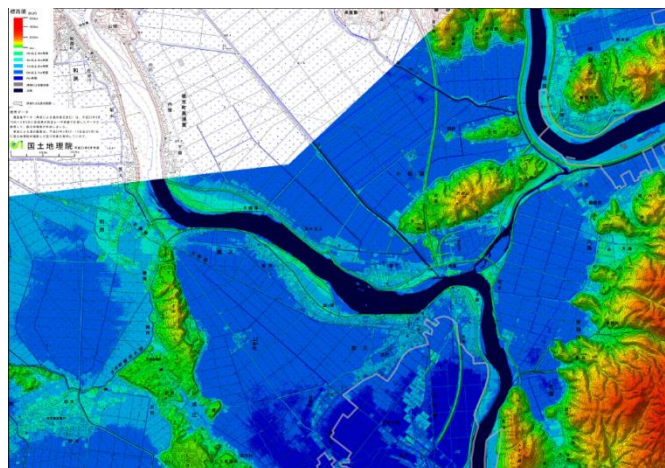


図22-3-11 デジタル標高地形図（航空レーザデータを用いた陰影段彩図）の例

出典：国土地理院 (<http://saigai.gsi.go.jp/2012demwork/checkheight/index.html>)

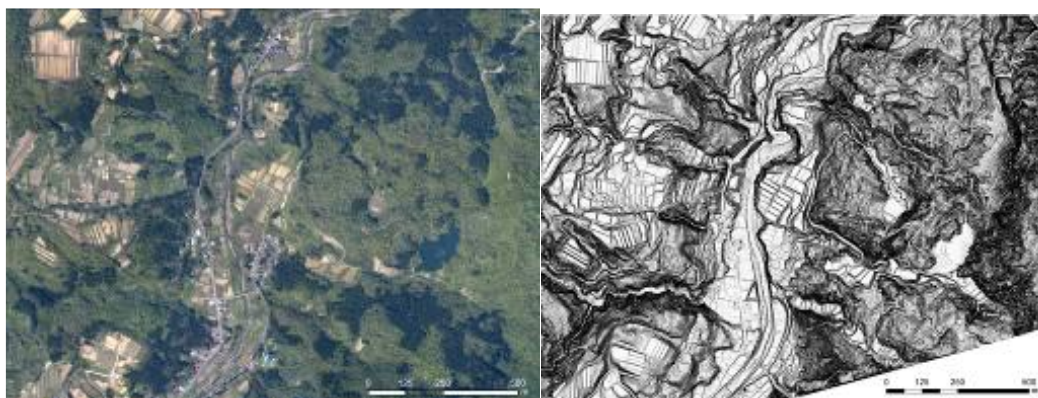


図22-3-12 通常の空中写真から見た地すべり斜面(左)と開度の原理を応用した微地形表示画像(右)

このような新たな計測技術は、河川等に関する事業以外の他分野での活用を念頭に、日々進化し、システム化、コストダウンが図られるものであることから、河川等に関する事業への応用も念頭に、活用の可否・適用性を検討し、取捨選択の上、活用していくことが重要である。

<参考となる資料>

映像解析・可視化技術の実務については、下記の資料が参考となる。

- 1) 加賀昭和, 井上義雄, 山口克人：逐次棄却法を用いたパターン追跡アルゴリズム, 可視化情報学会誌, 第13巻 Suppl 2号, 1993.
- 2) 徐超男：応力発光体を用いたセンシング, セラミックス, 44-3, pp.154-160, 2009.
- 3) 横山隆三, 白沢道生, 菊池祐：開度による地形特徴の表示, 写真測量とリモートセンシング, Vol.38 No.4, pp.26-34, 1999.