

25. レーザーポジショナーを用いた 建設機械の自動化・ロボット化

鹿島建設(株)：三尾 興平・*越智 達之

1. まえがき

建設工事では作業対象が広い範囲に配置されており、位置の管理が常に必要となってくる。建設業での自動化のニーズ調査結果などを分析してみると、実現のために位置の自動計測の必要があるテーマは20~30%にものぼる。しかし、これまでこれらのテーマの要求する仕様、測定距離、精度、計測速度、コスト等を満足するものがなかった。

レーザーポジショナーは、平面上の位置を計測する新しい方法である。実験により最大誤差4mm/26m、(計測速度 0.1秒)の結果を得ており、その他にも建設工事に適した特性を持っていることから、いくつかの自動化、ロボット化のテーマを実現することが可能と思われる。

2. 概要

レーザーポジショナーは、レーザー光を水平面内に旋回照射するレーザー燈台(レーザー発振側の装置)を2台設置し、計測したいポイントにセンサーを置くだけで、自動的にその位置を計測するものである。

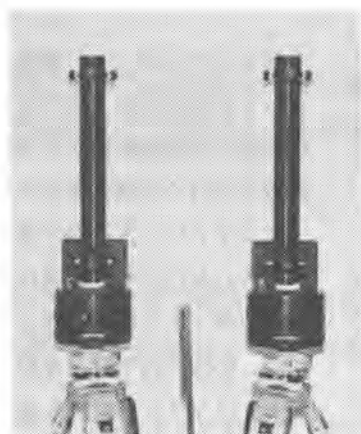
計測は高速でおこなわれ、移動中のものでも測定可能であるため、距離・位置等の測量をはじめ、建設機械やロボットの走行・位置決め制御装置、CADの入力装置、移動物体の走行軌跡のトレース等の装置としても利用できる。

レーザー燈台はレーザー発振器、プリズム、ミラー、回転台、モーターから構成され、互いに逆回転する2本のレーザービームを照射する装置である。また、センサー部は、レーザー光を受光

するフォトセンサー、時間を計測する回路、位置を計算・表示する装置からなる

計測においては、まず2つの基準点に各々燈台を設置する。次に、測定したい点にセンサーを置いてレーザー光を受光し、2本のレーザー光の受光時間間隔を精密な電子時計で計る。

この受光時間間隔はレーザー光の基準線(2本のレーザー光が重なる線)からの角度に比例しており、計測された2つ



装置写真

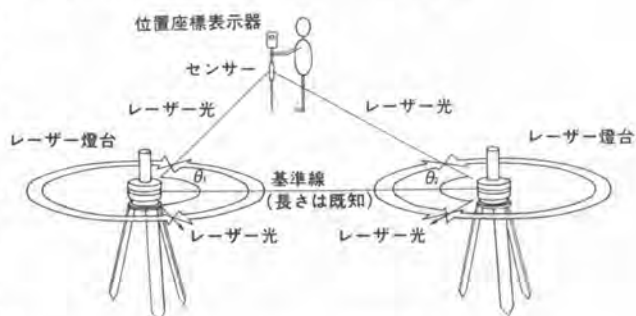


図1 システム配置図

の角度と既知の燈台間の距離から、その地点の位置（平面座標）がわかるものである。

3. 特 徴

- ① 非接触で、広いエリアを測定可能で、建設工事に適している。（作業船位置決めシステムの測定範囲は 300m。）
- ② 計測精度が高い。（計測精度は基線長の 0.015% である。）
- ③ 測定は自動で速く、動いているものでも測定可能である。（レーザー光は 1 秒間に 10 回転しており、測定は 0.1 秒で可能であるので移動中のものでも計測可能である。）
- ④ センサー部は半導体素子のみで構成され、可動部がなく、小型、軽量かつ破損しにくい。
- ⑤ コンピュータに直接入力可能で、データの処理が簡単である。
- ⑥ 操作には熟練不要で、だれでもできる。
- ⑦ 安価である。また、センサ部を増やすだけで同時多点計測も可能である。

4. 原 理

(1) レーザー燈台の構造

図2はレーザー燈台の内部の構造を示したものである。ペンタプリズムと複合プリズムは回転台上に設置されており、固定鏡はハウジングに固定されている。

図の光学構成により、下方より発射されたレーザービームは2方に分けられ、回転台を回すことにより互いに逆方向に回転される。

複合プリズムが固定鏡の正面に来たとき2本のレーザービームの方向は一致する。これはレーザービームの対称軸となっており、回転台が回転してもこれを軸として、レーザービームは常に線対称な関係にある。

(2) 角度の検知

ここで回転台を一定速度で回せば基準線に対し線対称な反時計回りレーザー光（CCW）と時計回りレーザー光（CW）の2光線が旋回照射される。

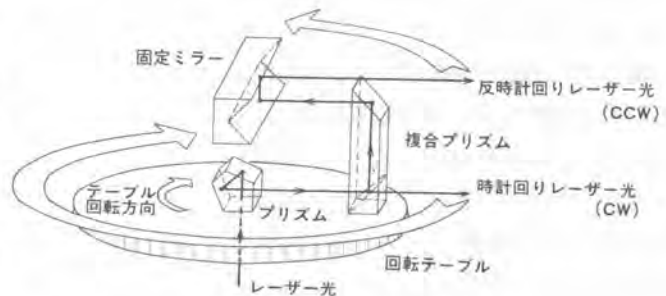


図2 レーザー燈台の構造

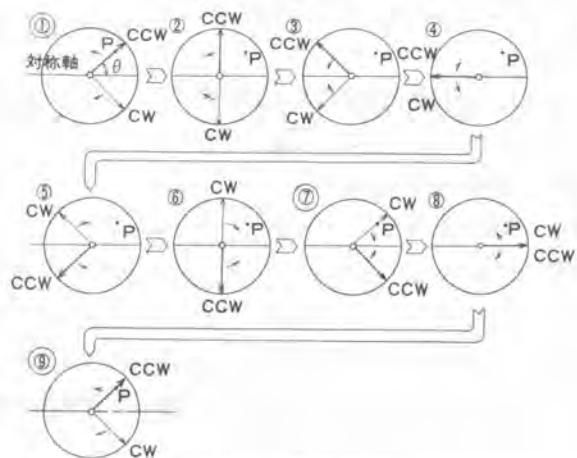


図3 時系列図

測定点にはレーザー光を検知するフォトセンサが置かれ、CCW、CW光の通過タイミングを検知する。これを精度の高い時計で計れば、この受光時間間隔と測定点が基準線となす角度は比例している。従って、測定点でレーザー光を観測するだけでその点の角度がわかる。

図3に時系列図を示すが、測定点にレーザー光が当るのは①、⑦、⑨である。①と⑨は同じ状態で、CCWレーザー光が当り、⑦はCWレーザー光が当たっている。①～⑦間の時間を t_1 、⑦～⑨間の時間を t_2 とすれば、測定点Pと基準線とのなす角 θ は

$$\theta = \frac{t_2}{t_1 + t_2} \times 180^\circ$$

で表せる。

(3) 位置の検出

基準点上にレーザー燈台を設置し、燈台の対称軸を互いに他方の基準点の方向に合せれば、2台のレーザーポジショナーと測定点とのなす角度 θ_1 、 θ_2 （図1参照）が計測される。この角度と既知の基線長から、瞬時に平面位置座標を算出することができる。

5. レーザーポジショナーを用いた作業船の位置決めシステム

海上での位置の計測はマーキングが出来ないので困難である。例えば現状の杭打工事では、杭の建込みを行いながら、位置を監視しなければならない。このため海中に槽を立て人員を配置して、トランシットで視準するなどの方法がとられている。しかし対象物が波浪などにより動揺することから正確な位置決めが困難であり自動化のニーズは高い。

本システムは杭打船の位置決め用に開発し、本年5月から8月にかけて実証テストが行われ良好な結果が得られた。

システム構成は2台のレーザー燈台、2台のセンサ、ホストコンピューターからなっている。船の位置と姿勢を検出し、ホストコンピューターにグラフィック表示する。従来から大型の作業船では光波距離計などを用いたシステムが用いられているが、レーザーポジショナーを用いたシステムは、①装置が小型であるので小型船に設置出来る。②近距離から計測した場合の作業船の大きな動きに追従出来る。③夜間でも使用出来る。④複数の作業船の位置制御が同時にできる。などの特徴がある。

6. 重機類の自動運転への応用。

レーザーポジショナーを用いて重機の自動運転、位置決めを行えば、施工品質の向上、省力化、

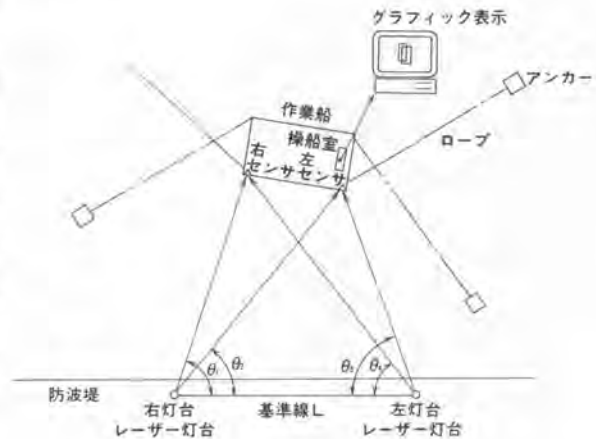


図4 作業船位置決めシステム

工程の短縮、コストダウンなどの効果がある。次に、転圧ローラ、アースオーガ、ブルドーザについて応用例をあげる。

(1) 転圧ローラ

転圧作業は転圧回数で管理されており、転圧むらの少ない施工を実施するために位置制御が必要である。特に広い現場では人的管理がむづかしく、レーザーポジショナーを用いた自動走行位置制御により、施工品質の向上、省力化が期待できる。また、転圧ローラの運転は単調で、アスファルトの熱気、あるいは振動ローラでは不快な振動などがあり、作業環境の面からも自動化が望まれている。

(2) アースオーガ

アースオーガを用いて地盤改良、建築物基礎などの工事をする場合、頻繁な位置決めが必要である。この場合地盤が悪く墨出しが困難であることが作業工程を複雑にしている。

現状の方法は、あらかじめトランシットを用いて測定した位置に粗を付けた鉄筋などを埋込み、施工時にこれを掘出し鉄筋を抜いてからアースオーガをセットする作業を行なっている。レーザーポジショナーを用いた自動位置決めを行なえば、この一連の作業がなくなり大幅な能率向上が計られる。

(3) ブルドーザ

整地作業は、一定の高さに仕上げる作業、水勾配などを付けた傾斜面に仕上げる作業などがある。現在ブレード制御の自動化により能率の向上が計られているが、レーザーポジショナーを用いた自動走行制御により無人運転が可能である。

また例えば、運動場など中央部の盛上がった水勾配を付ける作業では、位置とレベルの管理が煩わしいものであるが、本システムを用いる事により自動的に正確でむだのない施工を行なうことができる。

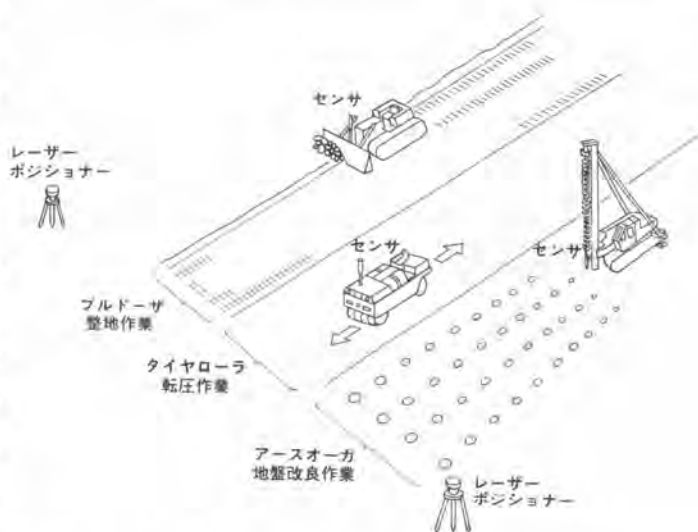


図5 レーザーポジショナーを用いた重機の自動運転

7. 墨出しロボット

土工事の墨出し、ビルの床面上の墨出しなどでは自走式の墨出しロボットが可能である。

CADで設計されたデータを墨出しロボットに転送すれば、建設する前に現物大の図面を現地に描くことができる。また、夜間の作業が可能となり工事工程の短縮にも繋がる。

このロボットの能力は曲線をプロットするときにも最大限に発揮できる。現在行なわれているトランシットと巻尺による測量は直角と直線を基本としたもので、曲線の測量には多大の労力が必要とされているが、本墨出しロボットによれば曲線も直線も同様に測量できる。