

GPS と傾斜計を適用した水中基準点の設置方法について

(株) 本間組 非会員 山本 誠
大野武志
本間義信
岩田秀樹

1. はじめに

港湾や漁港の防波堤や護岸の基礎工事などでは、構造物の位置や高さの基準となる水中基準点の設置が必要である。水中基準点の精度は構造物の出来形に大きく影響するため、工事の品質を確保する上で重要である（写真-1 参照）。

従来の水中基準点測量では、陸上基準点から水上の基準点を誘導し、その位置からレッドを海底に落下させ、レッドの落下点を水中基準点としていた。レッドを落下させる際に、海流の影響等により落下点が一定の位置に定まらないケースが多いことから、落下点の平均的な位置を水中基準点としていた。従来の水中基準点の測量の



写真-1 基礎工の水中基準点

概要を図-1 に示す。また、基準点の高さはレッドにより得られた水深と検潮所観測潮位から補正していた。近年、港湾施設の沖合展開等に伴い、水中基準点は、より厳しい環境での設置作業を余儀なくされていることから、潜水士を含めた測量担当者の負担増加およびヒューマンエラーの発生により、安全性や確実性の面で課題があると考えられる。この様な背景から、水中基準点測量の測量精度の向上、安全性の向上、施工の確実性の向上を目的とした測量システムを開発した。本報では、従来技術の課題について整理した上で、新たに開発した測量システムの概要と特徴、現場での適用事例について紹介する。

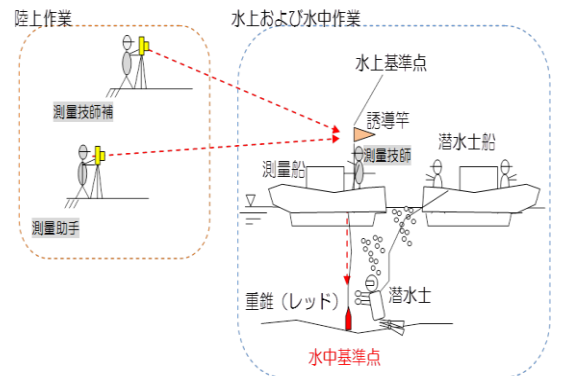


図-1 従来の水中基準点測量

2. 従来技術の課題

図-2 に従来技術の施工フローを示す。従来技術では、水上基準点を誘導するための陸上基準点を設置する必要がある。また、陸上基準点から動揺している船舶を水上基準点へ誘導し、誘導した位置からレッドを複数回落下させて水中基準点の平面位置 x , y を決定するため、海象条件によっては、労力や潜水時間が増加する。水中基準点の高さ z はレッドにより得られた水深と検潮所の観測潮位から補正する必要があるため、ヒューマンエラーの発生が懸念される。表-1 は従来技術の課題を作業工程毎に整理したものである。水中基準点設置作業は、限られた工程や海象条件下で実施しなければならない

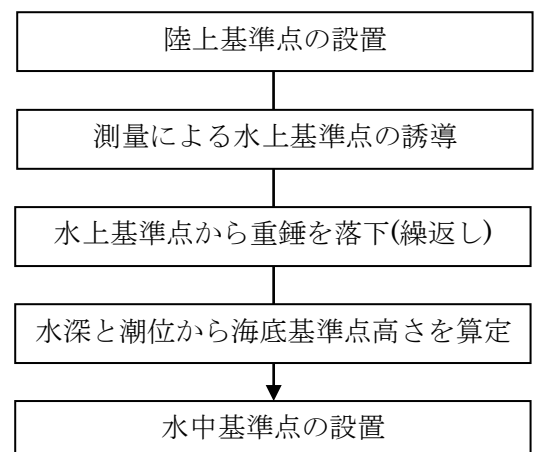


図-2 従来技術の施工フロー

いため、測量作業の省人化・省力化、安全性の向上や作業の確実性が求められている。

3. システムの概要

(1) 測定原理

本システムは主に RTK-GPS, 傾斜計で構成される。RTK-GPS で得られた位置情報 x_0, y_0, z_0 と 2 軸式傾斜計で得られるポールの傾斜情報および GPS コンパスから得られるポールの方角からポール下端の位置座標 x, y, z を得るものである (図-3 参照)。図-4 にシステム系統図を示す。事前にポールの長さや目標点座標 x, y と各座標のジオイド補正情報等を入力する。RTK-GPS 受信機から得られた位置情報, ポールの傾斜情報, 方位情報からポール下端の三次元座標を得る。

(2) システム管理モニタ

図-5 にシステム管理モニタを示す。測定ポール長, 目標基準点座標, ジオイド補正情報, 座標系, C.D.L 補正值等の入力欄に加え, 管理モニタには各測定機器の計測情報や現在のポール下端の座標が表示される。また, ポール下端座標の目標座標までの距離と方向を直交グラフで視覚的に把握することができるのでポール下端部の誘導が的確に実施出来る。

(3) システムの特徴

本システムは 2 軸式傾斜計によるポールの傾斜情

表-1 従来技術の各作業工程における課題

作業内容		従来技術の課題
Step1	陸上基準点設置	・水上基準点を見通せる位置に陸上基準点を設置する事前作業が必要である。
Step2	測量による水上基準点への誘導	・陸上基準からの誘導作業が必要である。また、陸上から誘導された船舶の動揺は測量精度低下の要因となる。
Step3	水上基準点から重錘を落下(繰返し)	・重錘を落下する際に、海流の影響を受け、水上基準点と落下位置が一致しない可能性がある。 ・複数回落下作業を行うため、海象条件によっては潜水作業が増加し、潜水士の負担が大きい。
Step4	水深と潮位から海底基準点高さを算定	・水深と検潮所から提供される潮位データから基準点高さを算定するため、ヒューマンエラーが生じる可能性がある。
作業全般		・測量作業は限られた海象条件下で実施しなければならないため、迅速に測量作業を実施する必要がある。

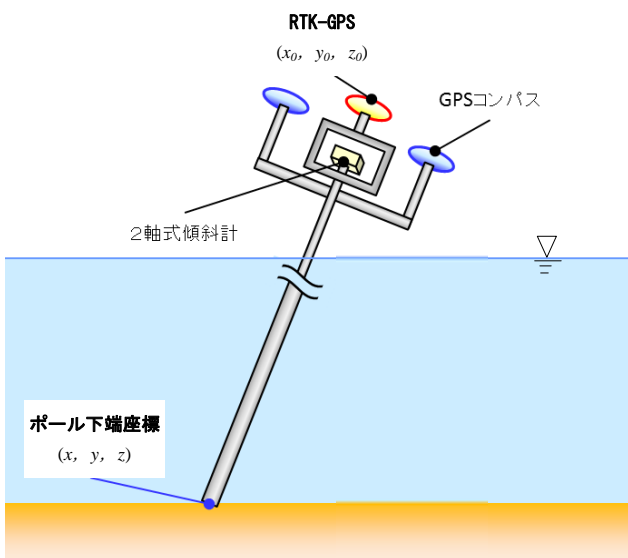


図-3 システム概要

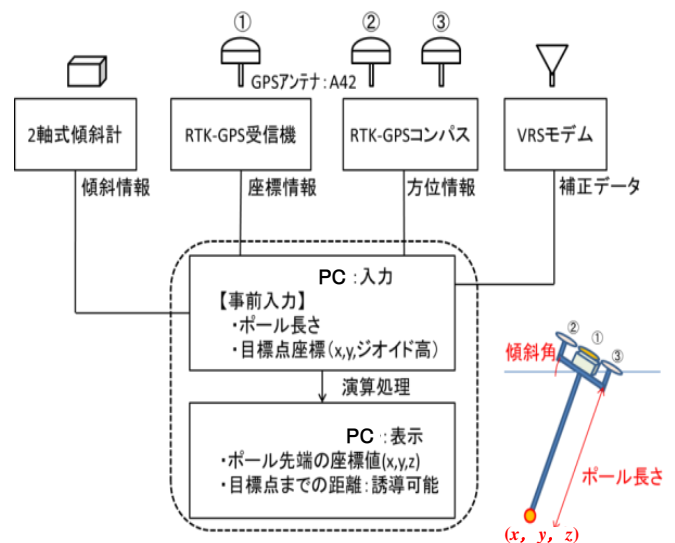


図-4 システム系統図

報と GPS コンパスによる方位情報を得るため、ポールが傾いた状態においても正確な測量および誘導を行うことができる。また、使用するポールは、複数のポールを連結して使用するため、水深に合わせて長さを調節することが可能である。ポールは海流の外力が作用するため、剛性が高く、かつ比較的軽量である SGP 管を採用している。

4. 適用の効果

図-6 は本システムと従来方法の施工手順を対比したものである。本システムを適用することにより、陸上基準点の設置や陸上からの水上基準点の誘導が省略され、手順が簡素化されるため、測量作業の省人化、省力化を図ることができる。また、繰り返し作業が発生しないため、潜水時間が短縮し、潜水士の安全性が向上する。さらに、従来技術における潮位補正作業が不要となり、ヒューマンエラーの要因を排除出来るため確実性が向上する。従来技術と比較し、海流の影響を受けにくく、ポール下端の座標を直接測定するため、測量精度が向上し、構造物の品質の向上につながる。

5. 適用事例

本システムを港湾工事に適用し、工事に必要となる仮基準点を水中に設置した。適用にあたり、事前に陸上基準点での精度確認を実施した。写真-2、表-2 に実施状況および結果を示す。測定の結果、既知座標値と測定座標値の差は x 方向で 11mm、 y 方向で 29mm、 z 方向で 5mm であることを確認した。また、本システムにより計測した水中仮基準点の高さを水中水準器により測定したところ、その差は 3mm であった。写真-3、表-3 に本システムによる測定状況および水中水準器による測定結果を示す。

本システムは、動揺する作業船上で適用することから、測量作業中、船体動揺によってポール傾斜角も連続的に変動する条件下で計測している。ここで、ポール傾斜角が連続的に変動した状態における本システムの動的精度について事後検証した。図-7 に示す様に陸上ヤードにおいてポールを任意の点に設置し、人為的にポールを傾斜させた。ポールを中心固定点 O に設置した状態での移動量 A および移動時間 T は、それぞれ実施工で得られたおおよその経験値として $A=1000\text{mm}$ 、 $T=5\text{sec}\sim 7\text{sec}$ と設定した。検証開始前にポール下端部の計測座標を記録した後、ポールを人力にて往復移動させながらポール下端部

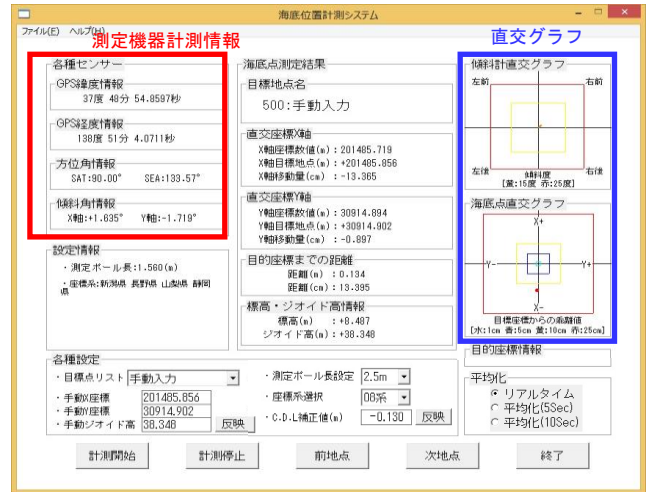


図-5 システム管理モニタ

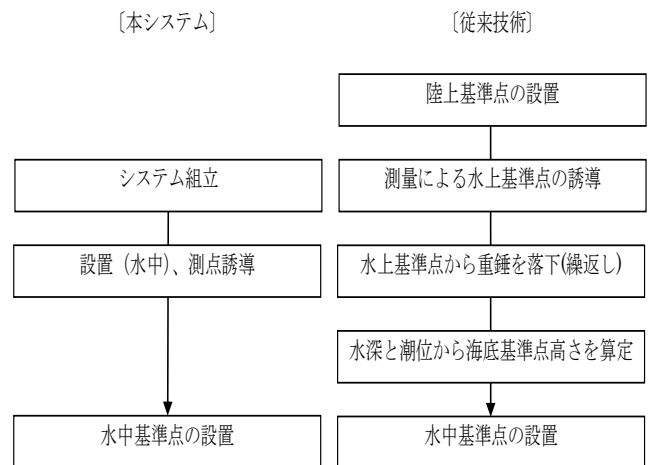


図-6 施工手順の比較



写真-2 精度確認実施状況

表-2 実施結果

測点	座標	既知座標値	測定値	差(m)
陸上基準点	x	215709.852	215709.841	0.011
	y	49424.804	49424.775	0.029
	z	1.562	1.567	-0.005

の座標を計測し、ポール移動中の計測誤差を記録した。表-4に移動中のポール下端部の計測誤差の最大値を示す。移動時間 $T=5\text{sec}$ のケースでは平面誤差 Δxy の最大値は 0.050m 、移動時間 $T=7\text{sec}$ のケースでは平面誤差 Δxy が 0.031m の結果が得られた。表中にはポール上端部の移動速度を示すが、移動速度の増加により誤差が大きくなる傾向であった。なお、高さ誤差 Δz は両ケース共に最大で 0.015m であった。動的精度については、本システムの今後の実績を踏まえ、 T および A を適切に設定し、更に検証が必要と考える。表-5に港湾工事における捨石本均しおよびケーソン進水据付の出来形管理基準値を示す。前述した精度確認結果、水中仮基準点測定結果および動的誤差の検証結果から、本システムは、出来形管理基準値を満足する精度を確保できていると考えられる。適用事例は港湾工事におけるものであるが、本システムは、河川工事などにおける水中測量にも適用できる。



写真-3 測定状況

表-3 水中水準器による
水中仮基準点(z)測定結果

測点	座標	計画値	確認値	差(m)
水中 仮基準点	z	-6.900	-6.903	0.003

表-4 動的誤差 (最大値)

移動時間 $T(\text{sec})$	移動速度 $v (\text{m/s})$	誤差 $\Delta xy(\text{m})$	誤差 $\Delta z(\text{m})$
5	0.20	0.050	0.015
7	0.14	0.031	0.015

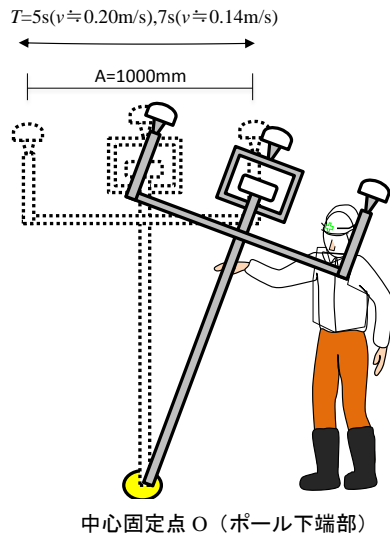


図-7 陸上ヤードにおける検証状況

表-5 出来形管理基準¹⁾

工種	管理項目	測定単位	許容範囲
捨石本均し	天端高	1cm	±5cm
	天端幅	10cm	+規定しない -10cm
	延長	10cm	+規定しない -10cm
ケーソン進水据付	法線に対する出入	1cm	防波堤 ケーソン質量 2,000t未満 ±20cm 2,000t以上 ±30cm
			岸壁 ケーソン質量 2,000t未満 ±10cm 2,000t以上 ±15cm
	据付目地間隔	1cm	防波堤 ケーソン質量 2,000t未満 20cm以下 2,000t以上 30cm以下 岸壁 ケーソン質量 2,000t未満 10cm以下 2,000t以上 15cm以下
	天端高さ	1cm	-
	延長	1cm	-

6. おわりに

安全性の向上、施工性の向上、省人化、省力化を含めた生産性の向上は、建設産業にとってますます重要になると考える。今後は、実績を踏まえ、本システムの軽量化、適用水深の拡大等について検討を進めて行く。

参考文献

1) 港湾工事共通仕様書, 国土交通省港湾局, 2015,3