

光波測位機による海洋構造物3次元測位誘導システムの開発

Three Dimensional Navigation System for Marine Structures using Total Stations

泉 正寿*・小松 章**

Masatoshi Izumi, Akira Komatsu

The revetment of the artificial island in Trans Tokyo Bay is constructed by forming several gigantic steel jackets into a ring. A high accuracy of location and level is necessary for setting these jackets because of maintaining toughness by forming a ring, ensuring verticality for lagging and tunnelling through steel piles. The accuracy demanded the work was within $\pm 10\text{cm}$ for location and $\pm 5\text{cm}$ for level.

In the installation work, the jacket is hung and moved by a crane or shifted by an anchor operation to the planned position. If the survey is carried out after the installation, we must repeat installation and survey works till satisfying the accuracy.

Therefore we have developed three dimensional navigation system that can navigate jackets with a real time and a high accuracy using two total stations.

Keywords: Trans Tokyo Bay, Jacket, Navigation system, Total station

1. はじめに

東京湾横断道路はその名が示すように、東京湾を横断し神奈川県川崎市と千葉県木更津市を結ぶ延長約15.1kmの有料道路である。川崎側の約9.1kmを海底トンネルで、木更津側の約4.4kmを橋梁で施工し、トンネルの中間部とトンネルから橋梁に移る場所に換気施設のための人工島が建設される。このうち川崎側の人工島の護岸は、図-1に示すように鋼製トラス構造からなる大規模ジャケッットを計画位置に複数据え付けリング状構造(図-2)になるよう建設される。据え付けは、クレーン船でジャケッットを吊り、計画位置までクレーンで移動させるかアンカー操作でクレーン船自体を移動させて行う。据え付けの精度は、護岸の強度を最大に発揮できるよう真円に近いものにすることが必要であること、土留鋼管矢板を併合させるため鉛直度を確保する必要があること、さらに海底トンネルを杭間に通す必要があることから、平面位置のずれ $\pm 10\text{cm}$ 、レベル $\pm 5\text{cm}$ 以内という海上では前例のない程高いものが要求された。この精度で据え付けを行うためには、設置後に測量を行い位置の確認をする方法では、設置と測量を何度も繰り返さなければならず、施工の効率が懸念された。また、据え付けに先立って、基礎として鋼管杭が打ち込んであり、この上に正確にジャケッットの杭受け台が乗るようジャケッットを誘導しなければならないため、海面下の杭受け台の位置も正確に把握する必要があった。

これらのことから、ジャケッットの位置形状が3次的に高精度かつリアルタイムで決定できる測位誘導システムの開発が要求された。

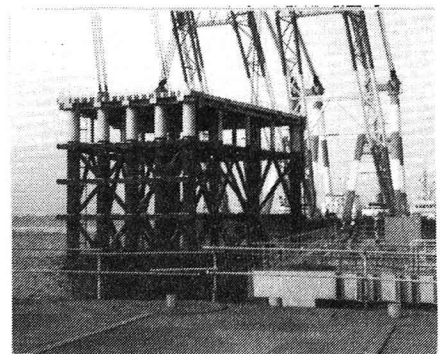


図-1 吊り運搬中のジャケッット

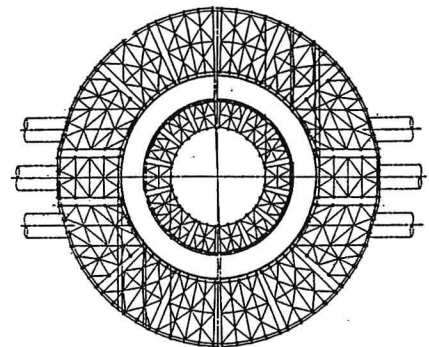


図-2 川崎人工島護岸平面図
(パイプ状の構造物はシールドトンネル)

* 正会員 国際航業株式会社海洋エンジニアリング事業部(191 東京都日野市旭が丘3-6-1)

** 正会員 新日本製鐵株式会社鉄構海洋事業部東京湾横断道路プロジェクト班

2. ジャケットの3次元位置形状決定原理

ジャケットの3次元位置形状を決定するためには、ジャケット上の任意の3点の位置（据え付け時の測量によって得られる工事座標系における工事座標X,Y,Z）とその関係（据え付け前に予め測定しておくジャケット上に任意に設定した座標系におけるジャケット座標x,y,z）が分かればよい。そこで据え付け後においても海面上にあり測量が可能な図-3に示すようなジャケット上面の3箇所に反射ミラーを取り付け、これらのミラーとジャケットの形状の関係を予めデータとしてファイルする。ミラーとジャケットの形状は図-3に示すような任意に設定した座標系でミラーの位置と上面の各レグセンターU1~U4、下面の各レグセンターL1~L4および杭受け台のセンターK1~K4の位置を表したものである。現場では、まず2個のミラー（図-3のミラー1および2）の位置(X,Y,Z)を2台の光波測位機でそれぞれ測定し、ジャケットの平面位置（第1軸）と傾き（第2軸）を決定する。この時使用する光波測位機は、移動体を連続して測定できる機能（トラッキング機能）とコンピュータへのデータ出力機能を有するもので、ミラー1の計測用にGDM140H、ミラー2にGDM422を使用した（表-1参照）。さらに、必要に応じてGDM422で3個目のミラー（図-3のミラー3）の位置(X,Y,Z)を測定することにより第3軸の決定ができ、ジャケットの位置を3次元で把握することが可能となる。

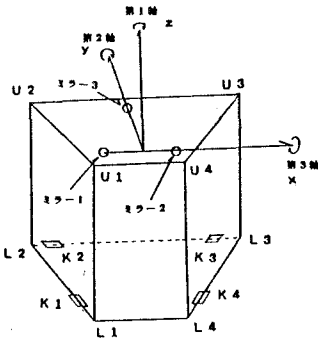


図-3 ジャケットの3次元位置決定原理

表-1 光波測位機の技術使用

機種名	GDM140H	GDM422
測距範囲	1 素子 2,500m	2,300m
	3 素子 3,600m	3,200m
	8 素子 5,500m	4,300m
測距精度	標準測定 ± (5mm+5ppm)	同左
高速トラッキング	± (10~20mm+5ppm)	± (10mm+5ppm)
精密測定	± (5mm+3ppm)	同左
計測時間	短距離 5 秒	同左
	長距離 7 秒	同左
高速トラッキング	0.4秒	同左
測角精度	±2秒	同左
最小読取	2 秒	同左

3. システム構成

本システムは、ジャケットを据え付ける近傍の固定点から、2台の光波測位機により3個のミラーの位置(X,Y,Z)測定を行い、テレメータによって、クレーン船内のコンピュータに測位データを送るサブシステムと、クレーン船の操舵室でテレメータからのデータを受け取り、グラフィックスや数値情報により迅速かつ高精度なジャケットの位置情報を提供するメインシステムからなる（図-4）。

サブシステムのコンピュータは、2台の光波測位機から0.4秒毎に反射ミラーまでの斜距離と水平角、鉛直角をシリアルインターフェイスを通して取り込み、光波測位機の設置座標と視準標の座標から各反射ミラーの座標を計算し、テレメータ（トランスミッタ）に送る。テレメータ（トランスミッタ）は、デジタルデータを電波（169.65MHz、0.5W）に乗せて、クレーン船に取り付けたテレメータ（レシーバ）に送る。メインシステムのコンピュータは、これらの反射ミラーの座標をテレメータから受け取り、図-3に示した3軸の回転角を計算し、上面、下面および杭受け台の計画位置とのずれをグラフィックや数値で表示する（図-5）。

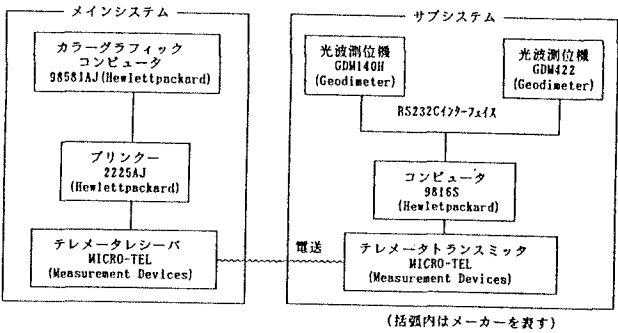


図-4 システム構成

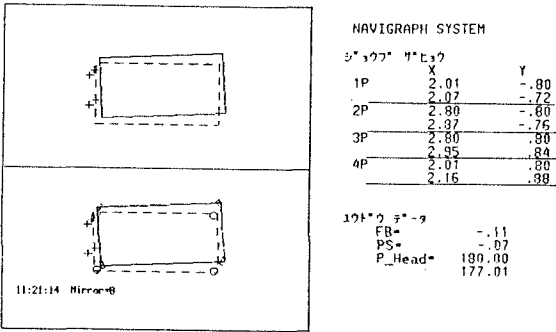


図-5 誘導情報

4. 据え付け作業

本システムは、川崎人工島の西工事において利用された。図-2の内側護岸据え付けでは、円の中心付近に移動式の測量台を設置し、ここにサブシステムを持ち込んで測位誘導を行った。また、外側護岸の据え付けでは、内側護岸上に基準点を設けてここから測位誘導を行った。光波測位機から反射ミラーまでの距離は図-3のミラー1、ミラー2が約30m、ミラー3が内側護岸で約40m、外側護岸で約60mである。サブシステムの要員はコンピュータオペレータが1名、光波測位機で反射ミラーを追跡するのが2名である。クレーン船に吊られたジャケットが計画位置近くまで運搬された時点から2台の光波測位機で追跡を開始する。最初はミラー1とミラー2を測定して計画位置の±10cm近くまで主にメインシステムのグラフィックスで誘導する（第1軸の補正）とともに吊りワイヤーを調整し第2軸を補正する。次に、ミラー2の代わりにミラー3を測定し第3軸を同様に補正し、ジャケットの上面、下面の各レグの位置を決定する。再びミラー2を測定し、画面をグラフィックスから計画位置からの偏位がミリメートルのオーダーで表示される数値情報に切り替え、計画の±10cm以内に上面、下面の各レグのセンターが位置するまで誘導する。許容範囲内にジャケットが据えられた後、再度ミラー3を測定し各レグのレベルを求め、必要ならばライナーをレグの下部にかませてレベルの調整を行う。ただし、光波測位機によるレベル測定は片方向からの斜距離と鉛直角で決定するうえに、測量台が波等による動揺を受けるため、ミラー3までの距離が約60mになる外側ジャケットのレベル測定では直接水準測量を併用し精度を上げた。

据え付け終了後、光波測位機をトラッキングモードから精密測定モードに切り替え、各反射ミラーの位置を正確に測定し、その結果をメインコンピュータにマニュアル入力して成果とした。

5. 結 果

光波測位機2台、反射ミラー3個、コンピュータ、テレメータを用いた本システムの開発により、

- ・海上でジャケット等の構造物の位置を3次元でリアルタイムかつ高精度に決定する手法が確立できた。
- ・テレメータの使用によりクレーンやアンカーワイヤのオペレータ、工事関係者の目前で据え付け誘導状況が把握でき、作業効率の向上が図れるとともにあらゆる状況に迅速な対応がとれた。

問題点としては、光波測位機でレベルを決定する場合、揺れ動く測量台の上で斜距離と鉛直角を片方向から測定しているため、反射ミラーまでの距離が遠くなる場合は誤差をとまなう危険性があることである。

6. 謝 辞

本システムを快く採用し、また改良のための貴重な助言を戴いた鹿島・新日鐵・東洋建設共同企業体東京湾横断道路川崎人工島西工事事務所の職員の皆様に厚く御礼申し上げます。