

特殊条件下での地下連続壁の施工（その1）

－工事概要・掘削管理システム－

北本利男 平山達也
結城知史 *寺平良人

要旨

原町火力発電所1・2号機新設工事の放水口側立坑壁を、地下連続壁工法（P D W工法）によって施工した。この工事は、RC円形ケーソン上での海上施工、特殊な土質条件、内空5.04～5.74（m）の小断面八角形形状等、他に類を見ない条件下での施工であった。このように特殊な施工条件にも関わらず、掘削機に光ファイバージャイロを利用した掘削管理システムを導入した結果、鉛直精度1/1,480以上かつ平面精度±3.0cm以内での高精度な掘削が可能であった。

1. まえがき

原町火力発電所1・2号機新設工事の放水口側立坑地下連続壁工事は、次に示すような条件での施工であった。

- ① RC円形ケーソンを海上に据付けた後、地下連続壁の施工を行う海上施工である。
- ②立坑形状が八角形で、かつ継手部は側圧に抵抗する二方向版耐側圧壁（剛体）継手である。
- ③掘削深度が約48mとかなり深く、また、掘削対象地盤が軟岩である。

このような条件において、地下連続壁の施工を円滑に進めるため、光ファイバージャイロを用いた掘削管理システムの導入、継手形状に合わせた継手掃除機の開発などの新しい技術を導入した。この報告は、工事の施工概要および工事で採用した掘削管理システムについて述べたものである。

2. 放水口側立坑工事概要

2. 1 施工フロー

原町火力発電所1・2号機新設工事における復水器冷却水路系放水路はトンネル方式を採用しており、港外南側沖合へ設置した円形の放水口ケーソンから海面下約7mに水中放水する計画である。このうち放水口側立坑工事は、直径27mのRC円形ケーソンを海上に据付けた後、ケーソン上部から地下連続壁工法によって立坑壁を築造した。図-1に概略の施工フローを示す。

2. 2 改良土埋戻し工事

地下連続壁の準備工事は、ガイドウォールおよび作業床の設置や安定液プラントの設置・配管等があるが、当工事特有の準備工事である改良土の埋戻し工事について報告する。工事は、まずケーソンを据付けた後、改良土

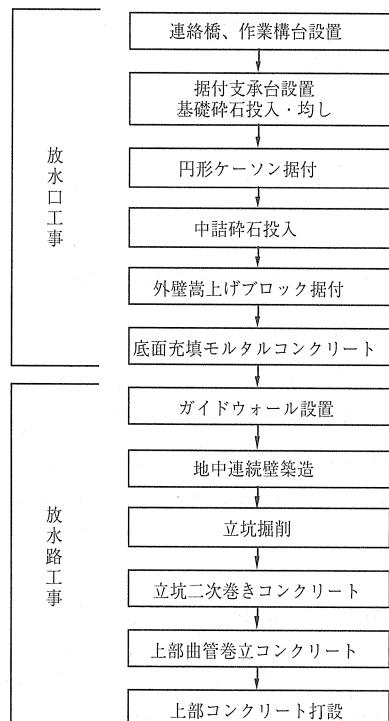


図-1 放水口側立坑工事概略施工フロー

をケーソン内円筒内に埋戻し、ガイドウォールおよび作業床を設置する必要があった。図-2に放水口側立坑の断面を示す。この改良土に必要な機能として、次の3点が求められた。

- ①海中に投入しても充分な流動性を確保できること。
また、海水の影響を受けないこと。
- ②硬化後は、上部での連壁築造作業に耐えられる強度($qu=3\sim5\text{kgf/cm}^2$) $|0.392\sim0.490\text{MN/m}^2|$ を有すること。
- ③打設完了後の天端が、ほぼ均一な仕上がりになる程

*東北支店 原町火力建設工事事務所

2.3 地下連続壁工事概要

地下連続壁工事の概要を表-2に、エレメント割りを図-3にそれぞれ示す。地下連続壁は、立坑掘削時の止水壁、土留壁であるとともに、立坑本設構造物として使用するものである。

表-2 地下連続壁工事の概要

工事場所	福島県原町市大字金沢地先および相馬郡鹿島町大字鳥崎地先
発注者	東北電力株式会社
施工者名	五洋建設・熊谷組・東洋建設・若築建設・大都工業・りんかい建設・佐藤工業(福島)共同企業体(第5工区JV)
工法名	二方向版耐側圧壁継手(剛体継手)
工期	平成6年8月1日~平成7年1月31日
使用用途	放水路立坑(本設構造物)
壁厚	1,000 (mm)
内空・形状	5.04~5.74 (m) : 八角形
設計深度	48.0 (m)
使用掘削機	ハイドロミル掘削機(FD32/180)

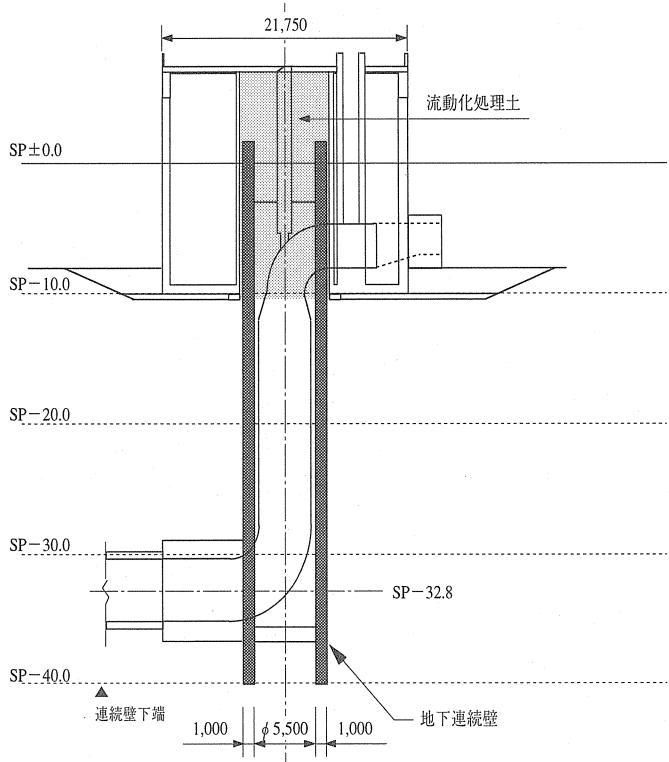


図-2 放水口側立坑の断面

度の流动性を持っていること。

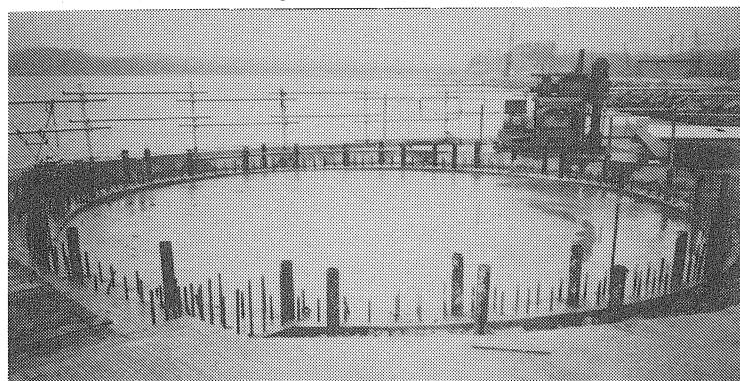
検討の結果、セメント系固化材を使用した流動化処理土を選定した。なお、混合土は、浚渫工沈殿池にある発生土(シルト)を使用した。表-1に使用した流動化処理土の諸元を示す。この流動化処理土は、写真-1に示すように優れたセルフレベルリングを発揮した。

表-1 流動化処理土の諸元

単位体積重量 (tf/m ³) *1	フロー値 (mm)	一軸圧縮強度 (kgf/cm ²) *2	ブリージング率 (%)	使用固化材
1. 2以上	200±20	4. 0以上	1. 5以下	C-213

* 1 : 1 (tf/m³) = 9806.65 (N/m³)

* 2 : 1 (kgf/cm²) = 0.0980665 (MN/m²)



投入完了

写真-1 流動化処理土の施工状況

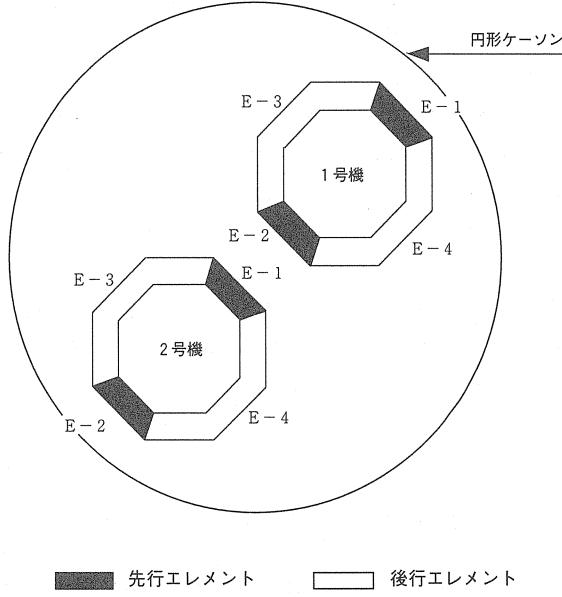
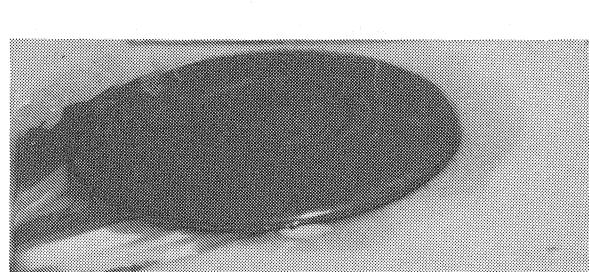


図-3 エレメント割り



(フロー値: 220mm×220mm)

フロー値測定状況

2. 3. 1 掘削機

工事に使用した掘削機（FD 32 ハイドロミル掘削機）を写真-2に示す。なお、当社ではこのハイドロミル掘削機について、（財）日本建築センター基礎評定委員会の評価を取得している。



型式		FD 32 / 180				
壁厚 (mm)	900	1,000	1,200	1,500	1,800	
壁長 (mm)			3,200			
本体重量 (tf)	35.0	35.0	36.7	37.9	40.0	
回転数 (r.p.m.)			0~20			
最大掘削トルク (tf-m) *3			8.2×2			
動力 (kW)			230 (115×2)			
サシヨンポンプ能力 (m³/min)			12			
本体高さ (m)			15			
修正装置		油圧シリンダー作動方式 ストローク: 96mm (前後および左右: 上下2箇所)				
備考		・ストローク6mの油圧シリンダーフィード ・2000kgf/cm²程度の岩掘削可能				

*3 : 1 (tf-m) = 9806.65 (N-m)

写真-2 ハイドロミル掘削機の外形および仕様

2. 3. 2 継手掃除機

地下連続壁の継手は、P D W工法の二方向版耐側圧壁継手（剛体継手）の仕切り板を、八角形の頂点の対角線とした形状に変形させた継手である。このため、継手掃除機はその形状に対応できるように改造を加えたものを開発した。図-4に地下連続壁の主筋概要を、写真-3に継手掃除機をそれぞれ示す。なお、先行エレメントの形状が立坑中心線に対して線対称であるため、継手掃除機は天地を逆にして作業できるように製作した。

3. 土質概要

当該場所の地質はシルト岩を主としており、一軸圧縮強度は $q_u=5 \sim 50 \text{ kgf/cm}^2$ ($0.49 \sim 4.90 \text{ MN/m}^2$) 程度である。ただし、砂層および凝灰岩が介在層として多数存在しており、非常に複雑な地盤を形成している。当該場所の土質概要を表-3に示す。

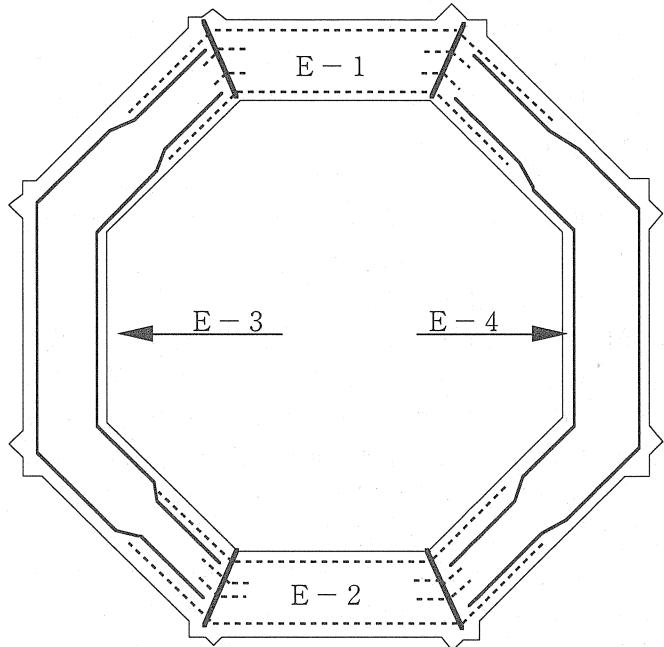


図-4 地下連続壁の主筋概要

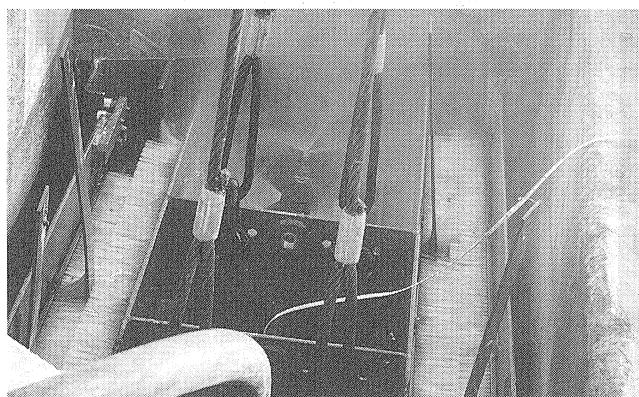


写真-3 継手掃除機

表-3 土質概要

深度 (G L - m)	土質	一軸圧縮強度 (kgf/cm²)	備考
0 ~ 16.0	改良土	3 ~ 5 程度	流動化処理土
16.0 ~ 18.3	細砂	—	海底面の堆積砂
18.3 ~ 41.3	シルト岩	25 ~ 40	砂層等多数の介在層が存在
41.3 ~	シルト質砂岩	8 ~ 20	

4. 掘削管理システム

4. 1 システム導入の目的

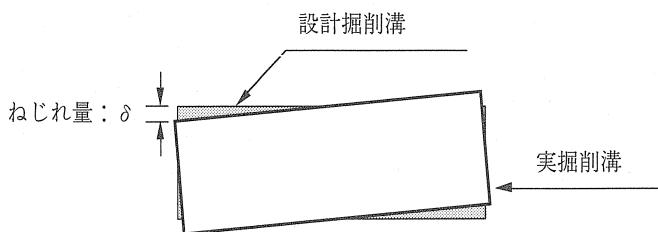
当工事の地下連続壁は、八角形の二方向版耐側圧壁である。このことから、ある程度の掘削精度を確保できない場合、鉄筋かごの設置位置が設計上の位置とのズレが施工余裕以上に生じることが考えられる。このような場

合には、必要な継手部鉄筋のラップ長さが確保できず、二方向版耐側圧壁として所定の機能が充分に得られないことが懸念された。検討の結果、掘削精度管理目標を表一4に示すように定めた。

さらに、当工事のような大深度の地下連続壁では、従来の掘削深度では問題とならなかった掘削溝壁のねじれ量を管理すること（掘削平面精度管理）が大きな課題となってくる。地下連続壁の大深度化にともなって、掘削機固有のクセや掘削地盤の特性から掘削溝壁の平面ねじれ量が大きくなり、鉄筋かご建込み作業に対して無視できない量になることから、平面ねじれ量を把握する必要がある。仮に、この掘削平面精度管理を怠ると、先に述べた鉛直方向の場合と同様に鉄筋かごが所定の位置に設置できないばかりか、最悪の場合、鉄筋かごそのものを建込めない状態にもなりかねない。特に、掘削溝壁が八角形という特殊な形状を考慮すると、掘削平面精度管理は重要な管理である。図一5に掘削溝壁ねじれ現象の概念を示す。

表一4 掘削精度管理目標

目標鉛直精度	1/1,000以上かつ±3cm以内
鉛直精度の定義 $E_{\text{max}} = \frac{E_{\text{max}}}{L}$	<p>E : 実掘削中心線の予定掘削中心線からのずれ量 E_{max} : 最大ずれ量 L : 掘削深度</p>



図一5 掘削溝壁ねじれ現象の概念

掘削溝壁の平面ねじれ量測定結果は、リアルタイムに掘削施工に反映させなければならない。循環式掘削機の場合、溝壁測定器による測定方法では、安定液の流動が

静止するまでの時間（3~4時間程度）は、溝壁測定装置による測定が行えないため、掘削工程の遅れが生ずることとなる。

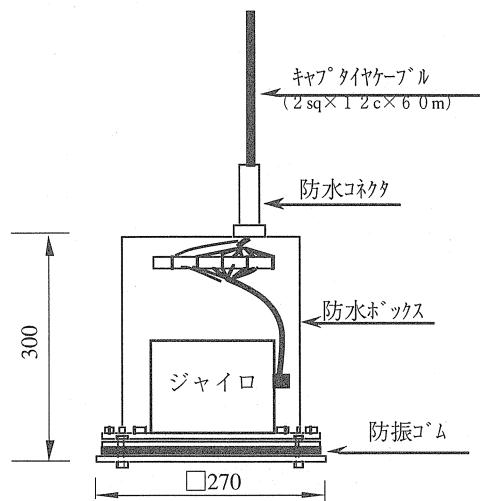
そこで、光ファイバージャイロを用いたねじれ量測定装置から構成される掘削管理システムを導入し、掘削溝の平面精度の確保のための管理を行った。検討の結果、ねじれ量管理目標値は、設計・施工条件を考慮して、±3.0cm以内とした。

4. 2 掘削管理システムの概要

当システムは、ねじれ量測定装置やハイドロミル掘削機の内蔵演算装置（以下、内蔵装置と称す）から出力（掘削深度等）される信号をコンピュータにて処理を行い、掘削状態の表示、ならびに掘削データの収録を行うものである。

今回、掘削機のねじれ検出には光ファイバージャイロ（以下、ジャイロと称す）を使用した。このジャイロは、ファイバー内を伝播する光の位相変化が角速度に比例する原理を応用したものである。当システムでは、ジャイロから出力される角速度を積分することにより角度を求め、移動体（掘削機の平面ねじれ）の角度検出を行っている。この検出した角度と掘削機の幅を演算することにより、掘削機のねじれ量を求め、掘削溝壁のねじれの状態をリアルタイムに表示するものである。

なお、このジャイロは防水仕様ではないため、当工事の最大掘削深度程度においても十分に耐えられる防水ボックス内に格納した。平面ねじれ量検出装置は、平面的には掘削機の中心、かつ掘削機本体上部より約3m下がりに設置した。また、内蔵ポンプ等からの振動の影響を極力低減するために、このボックスの下には防振ゴムを設置した。図一6に平面ねじれ量検出装置の構成を、図一7に掘削管理システム流れ図を、図一8に平面ねじれ量測定管理フローをそれぞれ示す。



図一6 平面ねじれ量検出装置の構成

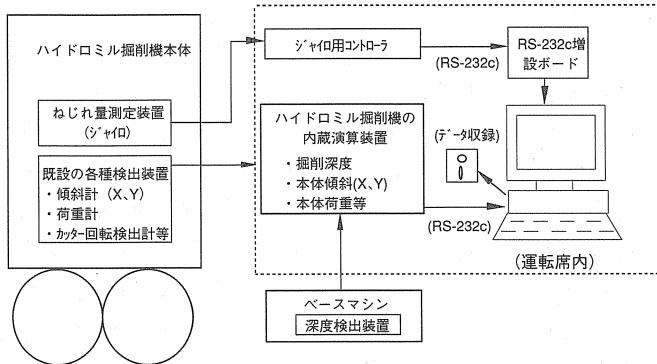


図-7 掘削管理システム流れ図

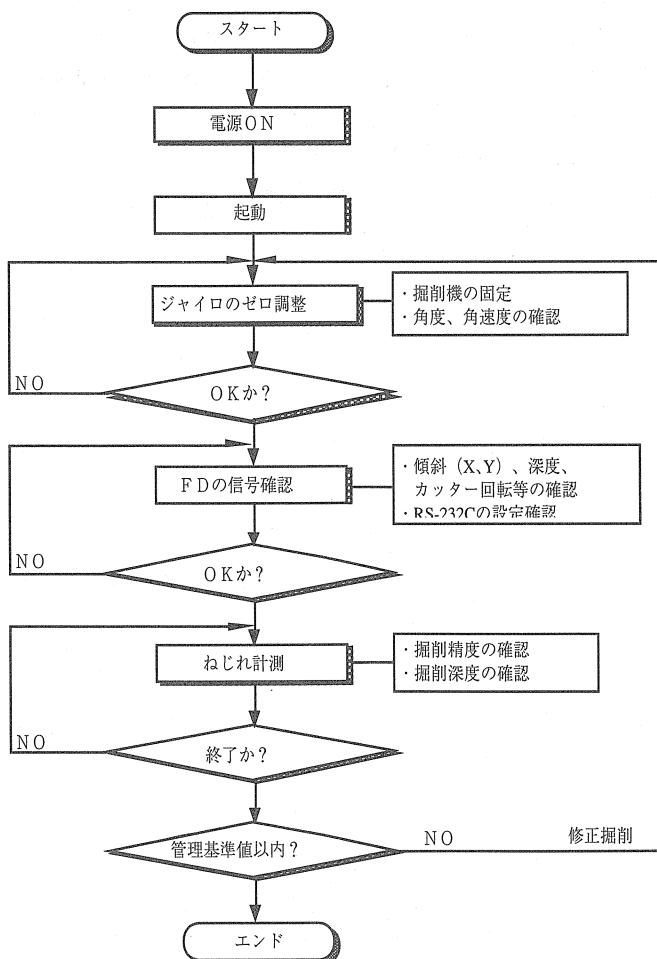


図-8 平面ねじれ量測定管理フロー

4. 3 測定結果

当システムによるねじれ計測結果と、溝壁測定結果より算出したねじれ量の比較を図-9に示す。なお、溝壁測定結果より算出した溝壁のねじれ量は、1ガット当たり2箇所（センターより左右800mm離れた位置）の測定結果をスケールアップし、換算することにより求めた。

当システムによるねじれ量の計測結果は、溝壁測定結果からの算出による結果とほぼ一致している。特に、掘

削機の機長（約17m）以深の結果は、定量的にもかなり正確に一致している。この結果から、掘削機全体が溝壁内に取まる深度より深い深度であれば、当システムによる掘削管理が、高い信頼度で可能であるといえる。

つぎに、ねじれ計測結果と溝壁測定結果より読み取ったねじれ量の最大値の比較を表-5に示す。最大ねじれ量で両者の測定結果を比較すると、当システムにより算出された最大ねじれ量は、1.6cm～3.0cm、溝壁測定結果より読み取った場合は、0cm～3.0cmであった。平均的には、当システムの方が、溝壁測定結果より読み取った場合よりも若干大きめの値を測定する傾向にあったが、両者の測定値は、ほぼ一致しているといえる。これらの測定値相互の誤差は、読取誤差やジャイロのゼロ調整位置の若干のずれ等によるものと考えられる。なお、最大ねじれ量は、工事の管理目標値（±3.0cm以内）をすべて満足した。

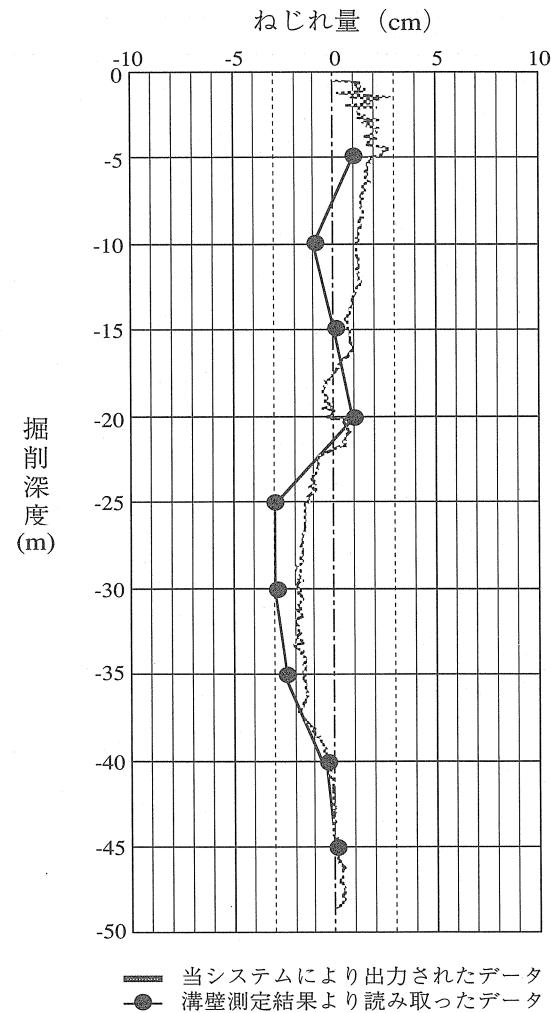


図-9 ねじれ結果の比較（1号機E-1エレメント3ガット）

表-5 ねじれ計測および管理結果

エレメント名等		測定結果		最大ねじれ量の差(cm) (a.-b.)
		a. 当システムによる測定結果	b. 溝壁測定結果からの算出結果	
1号機	E-1エルメント	1ガット	2.1	1.5
		2ガット	2.5	1.0
		3ガット	2.8	3.0
	E-2エルメント	1ガット	2.4	1.5
		2ガット	3.0	1.5
		3ガット	2.5	2.0
	E-3エルメント		2.8	1.5
	E-4エルメント		2.1	1.5
	最大ねじれ量の差の平均値		0.34	

5.まとめ

地下連続壁の工事は、狭隘な敷地や路下での施工など年々特殊な条件下での施工が多くなってきている。その内の一つとして、当工事は、ケーソンを据付けることができる程度までの水深および断面規模であれば、比較的容易に地下連続壁の水上施工が可能であることを実証した貴重な施工実績である。このような地下連続壁の水上施工を他の現場において実施するためには、当工事で導入した技術の他にも、各現場特有の施工条件に対応できる施工技術を導入・開発することが、特に重要であると考える。

謝辞

東北電力(株)原町火力発電所建設所の皆様には、掘削管理システムの導入・運用に対して貴重な御指導・御助言を頂きました。また、梅沢所長をはじめ第5工区JVの方々には、多大な御協力を頂きました。あわせてこの紙面を借りまして、心から感謝の意を表します。