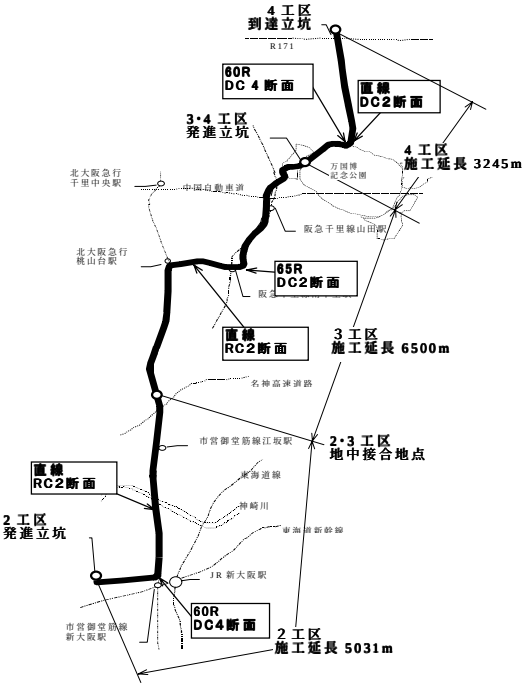
長距離・高速シールド掘進におけるセグメントひずみの計測

（株）ニュージェック　正会員　平川　芳明，正会員　竹澤請一郎
関西電力（株）中央送変電建設事務所　梅田　和俊，正会員　名出　麦生，福田　誠

１．まえがき　関西電力は，500kV 地中送電線の市内導入工事を進めている。このプロジェクトは外径 5～8m 級の大断面，土被り約 50m の大深度の高速掘進シールドトンネル工事であり，急勾配・急曲線・長距離施工，地中接合等を含む工事である。今回，シールド掘進に伴うセグメントの変形，応力を把握すべく一連の計測を行った結果について報告するものである。

２．計測地点・方法　図-1 は，計測に係るシールド工事の平面線形であり，①三国，②万博南および③万博北の３地点で計測を実施した。掘進箇所の地質は，概ね，砂質土と粘性土の互層からなる洪積層である。計測は，直線・急曲線の両線形に対して，掘進中におけるシールドマシン内（土圧・水圧がかかっていない状態）のセグメントの変形（ひずみ）挙動を把握するために，セグメント部材の各位置にひずみ計を設置した。各地点の計器設置個所と個数を表-1 に示し，セグメントへのひずみ計設置位置例を図-2 に示す。



図－１　シールド工事の平面線形と計測地点

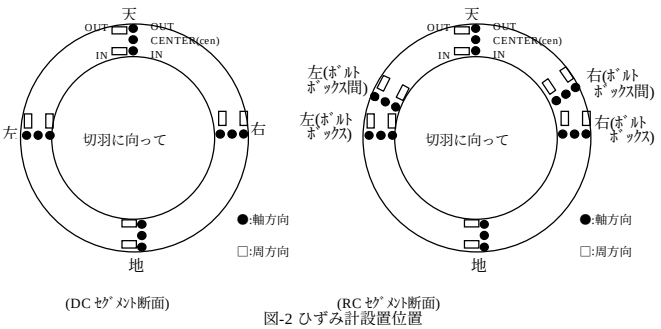
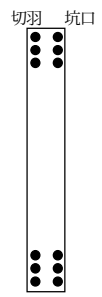


図-2 ひずみ計設置位置

表－１　ひずみ計設置個所と個数
（DC:ダクタイル製，RC:鉄筋コンクリート製）

地点		計側断面	ひずみ計個数
①三国（２工区）	急曲線部(DC)	４断面	４箇所×５点[軸方向:縦リブ３点(*a)，周方向:主桁２点(*b)]
	直線部(RC)	２断面	６箇所×５点[軸方向鉄筋３点，周方向鉄筋２点×２（*c）]
②万博南（３工区）	急曲線部(DC)	２断面	４箇所×７点[軸方向:縦リブ３点(*a)，周方向:主桁２点×２(*c)]
	直線部(RC)	２断面	６箇所×５点[軸方向鉄筋３点，周方向鉄筋２点×２（*c）]
③万博北（４工区）	急曲線部(DC)	４断面	４箇所×５点[軸方向:縦リブ３点(*a)，周方向:主桁２点(*b)]
	直線部(DC)	２断面	同上



(*a)内側・中・外側，(*b)内側・外側，(*c) 切羽側・坑口側

３．計測結果　図-3 は，掘進時の計測データの一例である。図-4,図-5 は，各リング毎に掘進直前からの増分形で示した計測ひずみである。

掘進時のジャッキの抜き差しにより，セグメントの軸方向には曲線部(DC)・直線部(RC)ともに，荷重が抜けた位置で縦リブ(DC)や軸方向鉄筋(RC)に軸方向の引張ひずみが発生する。（曲線部について表-2，図-4 参照）また，ジャッキ載荷によって周方向にもひずみが発生する。DC セグメントでは，各リングの縦リブが互い違いに配置されるため，縦リブにより主桁が押され周方向に大きな曲げ引張ひずみが発生している（表-2，図-4）。RC セグメントでもリング全体に周方向の引張ひずみが発生している（表-3，図-5）。ジャッキ総推力とともに圧縮ひずみが大きくなるが，片押しでは，無載荷部の軸方向や周方向には同時に引張ひずみも発生する。図-6 は，DC・RC セグメントに発生した最大ひずみのレベルをジャッキ総推力との関係で示したものである。推力 200tf/本前後に対し DC，RC でそれぞれ軸方向に約 1000μ，400μの圧縮ひずみ($\mu=1\times10^{-6}$)が生じている。DC の周方向には 1500～2000μの曲げひずみが生じている。

シールド，セグメント，計測，ひずみ，シールド掘進,急曲線施工
〒530-0005 大阪市北区中之島 6-2-27 関西電力中央送変電建設(事)Tel 06-6446-9783，Fax 06-6446-9888

４．まとめ　計測結果より，ジャッキ推力によるひずみレベルが把握され，また以下のような知見が得られた。
①直線部と曲線部でジャッキ推力による軸・周方向ひずみの発生状態に特別な差異は見られなかった。
②直・曲線部共に片押し状態では無載荷部に引張りが生じた。
③DC セグメント主桁の周方向に大きな曲げひずみが生じた。
　また，本計測結果から急曲線部の RC セグメント化について検討しており，RC 急曲線部で時折発生するクラックについては，曲線部で多用されるテーパーセグメントによって，ジャッキ推力による横方向のせん断力の発生が不具合の原因となっているものと推察される。今後，この計測ひずみを掘進荷重に対するセグメントの設計に活用すると共に，急曲線部で生じる不具合の原因究明と補強対策について検討し，追って報告したい。

図-3　掘進時の計測データ例(引張が正)

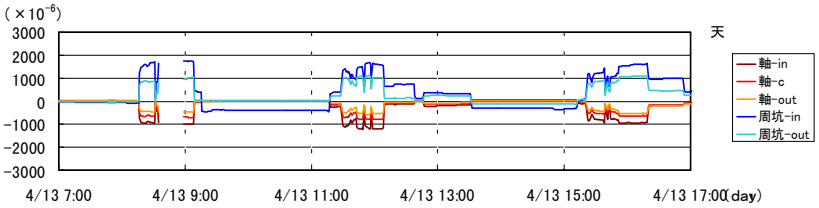


表-2 急曲線部片押し状態の計測結果

曲率半径 R(m)	計測断面 (ﾘﾝｸﾞNo)	材質	ｾｸﾞﾒﾝﾄ割付ﾊﾟﾀｰﾝ	ジャッキパターン			縦リブの増分ひずみ (×10⁻⁶) 軸方向	周方向
60 (左曲がり)	2工区 2断面 925R (テーパーセグメント)	DC	S(T)T	927R掘進中 (ｽﾄﾛｰｸ300mm時) 総推力 22.0MN(2248tf) ジャッキ 12本 (1833kN(187tf)/本) 天 左 右 地 ジャッキパターン (右片押し)	天	in	-704	769
						cen	-467	
						out	-325	657
					右	in	-356	227
						cen	-209	
						out	-144	83
					地	in	-393	—
						cen	-277	
						out	-222	-19
					左	in	107	-506
						cen	46	
						out	37	-211

表-3　直線部全押し状態の計測結果

曲率半径 R(m)	計測断面 (ﾘﾝｸﾞNo)	材質	ｾｸﾞﾒﾝﾄ割付ﾊﾟﾀｰﾝ	ジャッキパターン			坑口側軸・周方向の増分ひずみ(×10⁻⁶) 軸方向	周方向
直線	3工区 3断面 2870R (スタンダードセグメント)	RC	S(S)S	2872R掘進中 (ｽﾄﾛｰｸ300mm時) 総推力 17.9MN(1,827tf) ジャッキ 22本 (813kN(83tf)/本) 天 左 右 地 ジャッキパターン (全押し)	天	in	-140	31
						cen	-160	
						out	-70	58
					右	in	-78	38
						cen	-50	
						out	-21	64
					地	in	-94	16
						cen	-37	
						out	1	65
					左	in	-62	23
						cen	-66	
						out	-8	38
							(鉄筋のひずみ)	

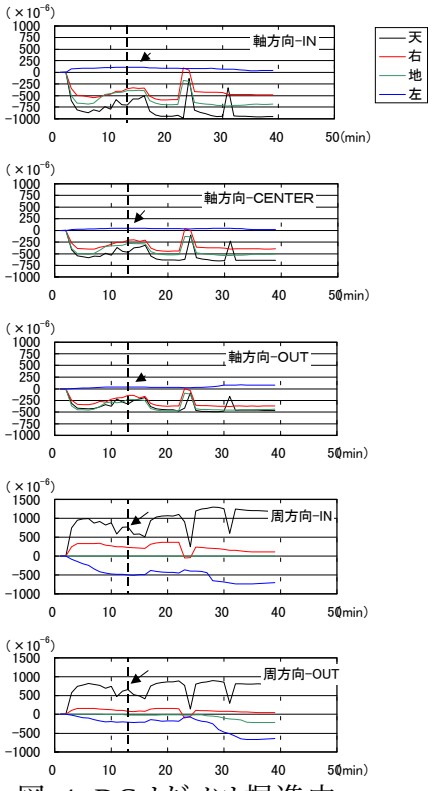


図-4 DC ｾｸﾞﾒﾝﾄ掘進中の増分ひずみ(1 ﾘﾝｸﾞ分) 2 工区 2 断面

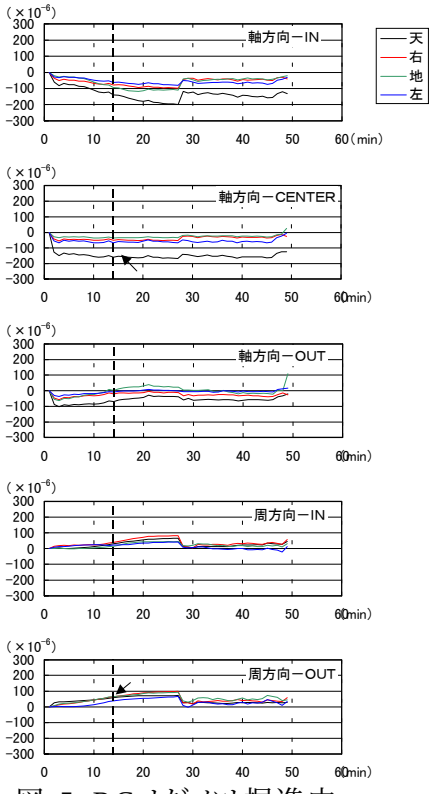


図-5 RC ｾｸﾞﾒﾝﾄ掘進中の増分ひずみ(1 ﾘﾝｸﾞ分) 3 工区 3 断面

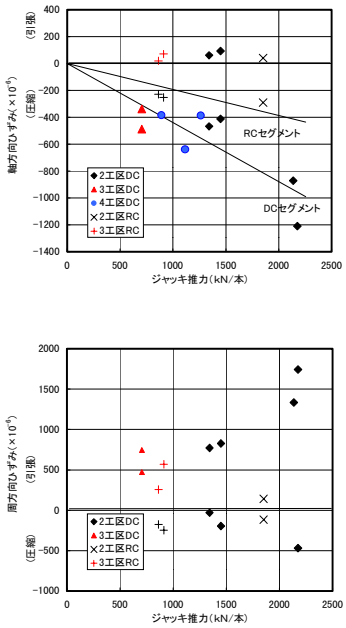


図-6 掘進中の増分ひずみ～ジャッキ推力関係（上：軸方向，下：周方向）