

報告

[1205] 沈埋函コンクリートの測壁部における拘束度に関する一考察

横田季彦\*1・三橋郁雄\*2・小泉哲也\*3・信田佳延\*4

1. はじめに

大阪港・港区と南港地区とを連結する海底トンネルの建設は、鋼コンクリートの合成構造方式を採用して進められているが、沈埋函の部材寸法が1mを越えるマッシブなコンクリート構造物であるため、製作時においてはセメントの水和熱に起因する温度応力によりひびわれの発生が懸念されている。すなわち、本沈埋函では、側壁部コンクリートが先に打設された下床版コンクリートによって拘束を受けることによる温度ひびわれの発生が問題となっている。このため、事前検討の結果から低発熱型セメントの使用などの温度応力の低減対策を行っている。

本報告は、沈埋函製作時の温度応力を明確にするとともに、事前検討結果を評価して今後の施工へのフィードバックを行うことを目的とした温度応力計測のうち、温度およびひずみの計測結果から、沈埋函コンクリートの側壁部の拘束度について検討を行ったものである。

2. 計測概要

2.1 沈埋函の概要

沈埋函1函は長さ103.3m,幅35.2m,高さ8.6mで、コンクリート部材厚は下床版1.25m,側壁1.20m,上床版1.15mであり、周囲が鋼板で覆われた鋼・コンクリート合成構造となっている。コンクリートの打設は全長を6ブロック(1ブロックは約17m)に分割して行っており、側壁部は5月中旬から7月下旬の間で打設した。図-1に沈埋函の標準断面図を示す。

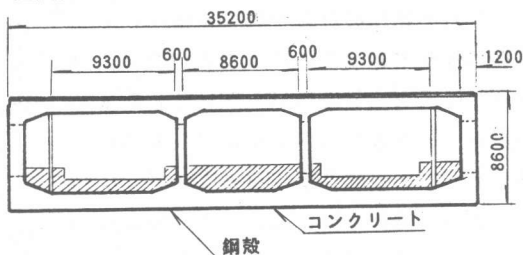


図-1 沈埋函の標準断面

表-1 コンクリートの配合

	最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
						C	W	S	G	石粉	混和剤
下床版	20	12	4.0	55	43	280	154	765	1065	20	4.48
側壁	20	18	4.0	55	43	284	156	758	1061	30	4.54

表-2 コンクリートの使用材料

セメント	低発熱型高炉セメントB種 (O社製: ρ=2.96)
下床版	細骨材 岡山県堅場産海砂70%, 兵庫県男鹿島産砕砂30% (ρ=2.56, FM=2.64)
	粗骨材 兵庫県男鹿島産碎石 (ρ=2.63, FM=6.63)
	石粉 石灰石粉 (ρ=2.70)
混和剤	高性能AE減水剤 (ナフタリン系)
セメント	低発熱型高炉セメントB種 (S社製: ρ=3.05)
側壁	細骨材 岡山県堅場産海砂70%, 兵庫県赤穂産砕砂30% (ρ=2.57, FM=2.68)
	粗骨材 岡山県神島産碎石 (ρ=2.62, FM=6.71)
	石粉 石灰石粉 (ρ=2.72)
混和剤	高性能AE減水剤 (ナフタリン系)

2.2 配合および使用材料

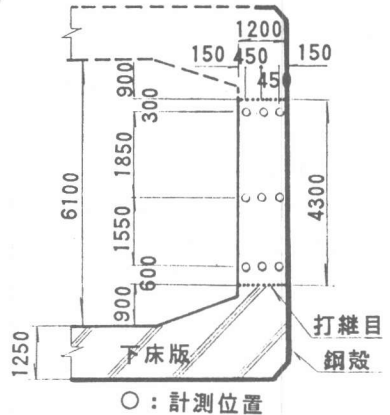
側壁部および下床版部コンクリートの配合を表-1に、使用材料を表-2に示す。セメントは中庸熱セメントをベースとした低発熱型高炉セメントB種で、流動性を付与させ、鋼殻とコンクリートとを一体化させる目的で石粉を混入した。また、スランプの増大に伴う単位水量の

- \* 1 大阪南港トンネル沈埋函製作JV事務所 (正会員)
- \* 2 運輸省第三港湾建設局神戸港工事事務所所長 工修
- \* 3 運輸省第三港湾建設局神戸港工事事務所建設専門官 工修 (正会員)
- \* 4 鹿島技術研究所第二研究部主任研究員 工修 (正会員)

増加を低減するため、ナフタリン系のAE減水剤を使用した。

### 2. 3 計測位置

沈埋函の側壁部における計測位置は図-2に示すように、高さ方向3段および壁厚方向3点とし、打設時期の違いによるブロック間での差異を検討する目的で、6、5、3および1ブロックで計測を行った。



○：計測位置  
図-2 計器埋設位置

### 3. 計測結果および考察

3. 1 温度およびひずみの経時変化  
コンクリート温度の経時変化の一例として3ブロックの中段における計測結果を図-3に示す。沈埋函側壁部コンクリート温度は18~24℃で打設後、材令1.0~1.8日で最高温度40~55℃となり、その後は比較的緩やかに降下する。コンクリートの温度上昇量は18~24℃で、外気温度が上昇する夏場になるに従い最高温度が大きく、最高温度到達材令が早くなる。また、函体内側に比べ外側（鋼殻側）の方が温度上昇量が少なくなっている。

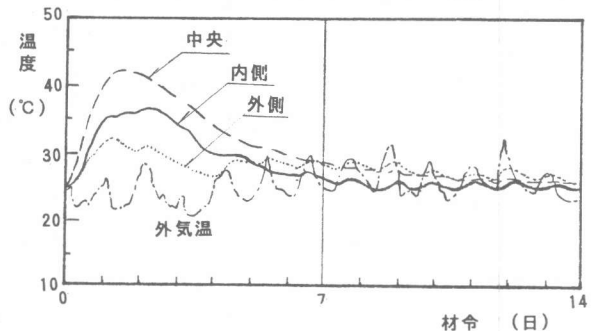


図-3 コンクリート温度の経時変化の一例

これは、鋼殻が日射を受け高温となり、内部コンクリートの温度上昇量を増大させるのを防ぐため、鋼殻を散水するとともに日除けシートを設置したためである。

コンクリートひずみの経時変化の一例として3ブロックにおける計測結果を図-4に示す。同図には同ブロック内に埋設した無応力計による計測結果も併せてプロットした。同図に示されるように側壁部コンクリートは温度の上昇とともにひずみが増加し、最高温度到達後はひずみは減少する。また、無応力計によるひずみの変化量に比べ、側壁部の同位置でのひずみは小さく、体積変形が下床版によって拘束されていることが分かる。

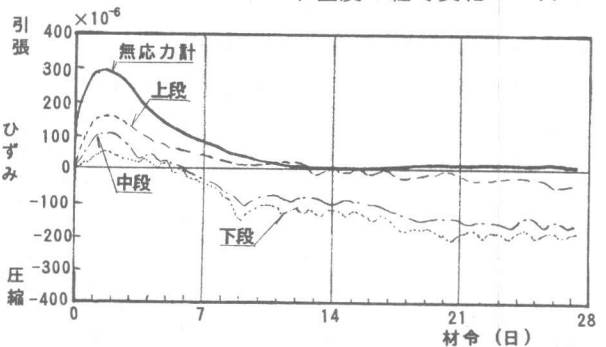


図-4 コンクリートひずみの経時変化の一例  
( $\times 10^{-6}$ )

### 3. 2 拘束度の算定

無応力計によって計測されたひずみ変化量と同位置における温度変化量との関係の一例として、6ブロックにおける計測結果を図-5に示す。コンクリートの硬化時の熱膨張係数は、同

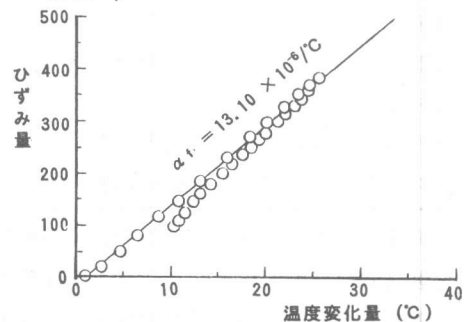


図-5 無応力計によるひずみと温度変化量との関係

図から両者の勾配として求めることができる。本計測では6, 5, および3ブロックに無応力計を設置して計測を行い, これらの平均値として  $12.27 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  を得た。

図-6に各計測位置における温度変化量とひずみ変化量の関係の一例として, 3ブロック(7月上旬打設)の上段および下段における計測結果を, 前述した硬化時の熱膨張係数とともに示す。同図に示されるように, コンクリート温度降下時の側壁部のひずみ変化率は同図中の熱膨張係数に比べて小さくなっている。また, 上段部と下段部とでは, 下段の勾配が小さく, 打継目に近いほど拘束が大ききことを示している。

側壁部の各計測位置における外部拘束度は, 温度およびひずみの実測結果から, 両者の勾配としてひずみ変化率を求めることにより, 次式によって簡易的に得ることができる。

$$K = (\alpha_f - \alpha_r) / \alpha_f \quad (1)$$

ここに,  $K$ : 拘束度,  $\alpha_r$ : 各計測位置でのひずみ変化率 ( $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ),  $\alpha_f$ : 無応力計によって求めたコンクリートの熱膨張係数 ( $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )

一般に, コンクリートのひずみ変化率は温度上昇時および温度降下時で異なり, それぞれの時期について外部拘束度を求めることができるが, 本報告では, 温度上昇時にひずみが不安定な挙動を示すことから, 外部拘束応力によるひびわれの発生時期が温度降下時であることなどから, コンクリートの温度降下時について側壁部の外部拘束度を算定した。表-3に拘束度の算定結果を示す。

### 3.3 拘束度の評価

ブロック間での拘束度分布を図-7に示す。同図から判断すれば, 全長の間中ブロックである3ブロックにおいて幾分拘束度が大きくなっているものの, これらの差異は顕著なものではなく, 打設時期による影響はないものと考えられる。

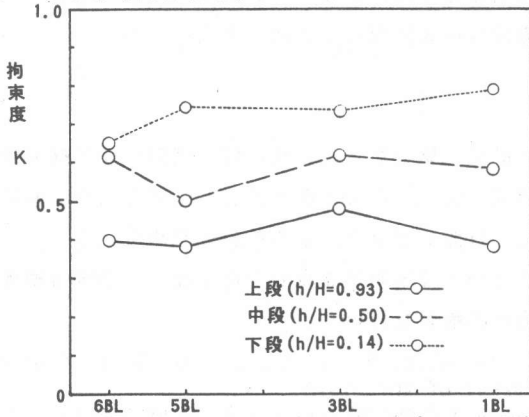


図-7 拘束度の長さ方向分布 (ブロック間)

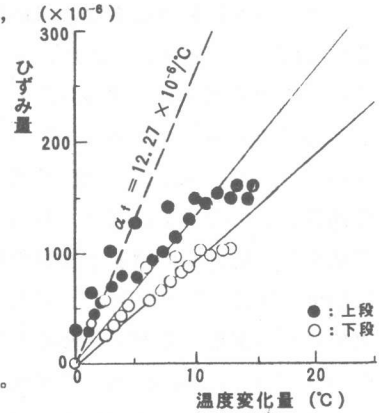


図-6 温度とひずみ変化量との関係

表-3 拘束度の算定結果

計測BL.	計測位置			拘束度
	長さ方向	高さ方向	厚さ方向	
6BL. 5/19	中央	上段	内側	0.25
			中央	0.40
			外側	0.25
	中央	中段	内側	0.52
			中央	0.61
			外側	0.41
中央	下段	内側	0.63	
		中央	0.65	
		外側	0.71	
5BL. 6/3	中央	上段	0.38	
		中段	0.50	
		下段	0.74	
3BL. 7/2	中央	上段	内側	0.56
			中央	0.49
			外側	0.45
	中央	中段	内側	0.68
			中央	0.62
			外側	0.53
中央	下段	内側	0.76	
		中央	0.73	
		外側	0.60	
1BL. 7/29	中央	上段	0.38	
		中段	0.59	
		下段	0.79	
	鋼殻 4000mm	中央	上段	0.32
			中段	0.41
			下段	0.68
鋼殻 2000mm	中央	上段	0.31	
		中段	0.60	
		下段	0.66	

各ブロックにおける高さ方向の拘束度の分布を図-8に示す。一般に、マスコンクリートの拘束度を評価する方法としてACI図表値が用いられている。[1] いま、本沈埋函について、側壁部の断面積および静弾性係数を $5.16\text{m}^2$ および $2.0 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$ 、下床版部の有効断面積および弾性係数を $7.87\text{m}^2$ および $2.5 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$ として同図表値から拘束度の分布を求めると図-8中の実線となる。同図から、沈埋函の側壁部の外部拘束度は下段部 ( $h/H=0.14$ ) で $0.65 \sim 0.80$ 、中段部 ( $h/H=0.50$ ) で $0.50 \sim 0.65$ となっており、ACI図表値に比べて下段部で20%程度大きくなっている。また、前述した側壁部および下床版部の静弾性係数から $E_c / E_r = 0.80$ 、 $L/H = 4.0$  ( $=17.25/4.3$ ) としてRC示方書から軸拘束係数 $R_N$ を求めると $R_N=0.5$ となる。溝淵らの報告によれば、同種のRC構造方式の沈埋函での拘束度の実測値は側壁下段で $0.52$ 、側壁中段で $0.47$ となっており、[2] ACI図表値およびRC示方書の軸拘束係数と同等の値となっている。本沈埋函での外部拘束度がこれらの値に比べて20%程度大きくなった原因として、外部の鋼殻による拘束の付加も考えられるが、不明確な点も少なくない。

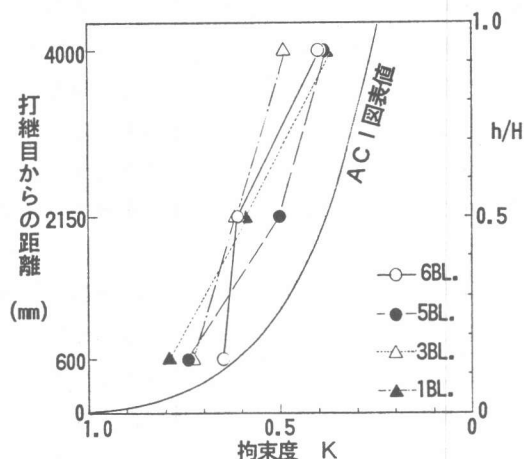


図-8 拘束度の高さ方向分布

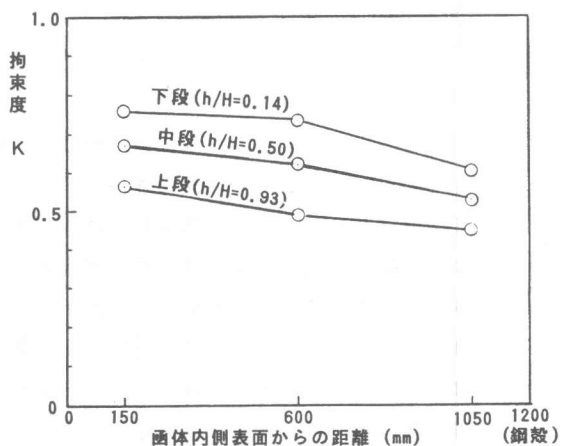


図-9 拘束度の壁厚方向分布

側壁壁厚方向の拘束度分布を図-9に示す。同図によれば、函体内側に比べ外側の拘束度が若干小さくなっているが、拘束度の算定精度を考慮すればこれらの差は有為なものではない。側壁壁厚方向の拘束度がほぼ均一となった原因としては、鋼殻とコンクリートとのずれ止めとして鋼殻に溶殖されたスターラップ筋が壁厚方向全体を拘束したことが考えられる。

#### 4. まとめ

大阪南港トンネルの沈埋函の温度応力計測結果をもとに、沈埋函側壁部の外部拘束度を検討した結果、打継目近傍で $0.65 \sim 0.80$ 、中段部で $0.50 \sim 0.65$ となること、壁厚方向では鋼殻による影響は顕著でなくほぼ均一な値となること、打設ブロックによる差異は認められないこと等が分かった。しかしながら、鋼殻による影響については不明確な点も少なくなく、今後引き続き計測を行いデータを蓄積し、外部拘束度の評価方法の検討を行いたい。

#### 《参考文献》

- 1). ACI Committee 207: Effect of Restraint, Volume Change, and Reinforcement on Cracking of Massive Concrete, Journal of ACI, 1973
- 2). 溝淵 利明ほか: 沈埋函体コンクリートの施工時の温度応力についての検討, コンクリート工学年次論文報告集, Vol 11-1, pp. 475 ~ 480, 1989.6