

日本鋼管(株) 正員 斎藤 彰
 “ “ 蛭名 淳一
 “ “ ○若松 精次

1) まえがき

沈埋トンネル用エレメントの製作方法には、大別して(1)ドライドック方式 (2) 海上製作方式の2通りがあるが、後者は簡易なドックにて鋼殻を製作し進水させる、引き続いて構築格橋に繋留しながら殻内にコンクリートを打設してエレメントをつくる方法であって、日本鋼管扇島連絡海底トンネルでもこの方式を採用している。

エレメントの出来上がり形状は、沈設結合工及び最終ジョイント工、ひいては沈埋トンネルの線形に多大な影響を及ぼすので、製作精度上、特に(1)バルクヘッドの鉛直度 (2) 軸方向の変形(たわみ)に留意する必要がある。

その為筆若うは、計算と現場測定を試みて、海上打設コンクリートによるエレメントの変形について考察を行なった。

2) 計算の方法

(1) エレメントを68ブロックに分割し、中心線を軸にして左右対称となるようにコンクリートを打設するので計算モデルは、エレメントの半分の長さをスパンとする片持梁である。

荷重としては、打設されたコンクリート重量が上から作用し、その荷重に相当する水圧反力が等分布に下から作用する。図-1及び表-1を参照のこと。

(2) 梁の断面2次モーメントは、鋼殻と打設完了ブロックのコンクリートを有効と考えると算定するが、コンクリートのYoung率は材令によって変化するので、この点を考慮し、かつ鋼に換算して計算に用いる。従って断面2次モーメントはコンクリートの材令の関数として表示される。尚コンクリートのYoung率と材令の関係を図-2に示す。これは実験によって求めたものである。

(3) コンクリートを打設する場合の分割数及び打設順序については、(1)打設時に発生する最大曲げモーメントをエレメントのもつ撓抗曲げモーメント以下にする。(2)打設済みコンクリートに許容以上の引張り応力が生じないようにする。(3)エレメント内の作業性を重視する等を考慮して決めた。

分割方法及びコンクリート量等については、表-1参照のこと。又打設場所、順序及び打設工程の関係は、紙面の都合上割愛する。

(4) 計算式についてはMohrの定理から誘導される。梁はブロックによって9個の変断面を有する。たわみ角、たわみは式1、式2-1、式2-2及び式2-3となる。

$$\theta_i = \theta_{i-1} + \frac{Q(x_i) - Q(x_{i-1})}{EI_i} \quad \text{---(式1)}$$

$$y_i = y_{i-1} + \frac{M(x_i) - M(x_{i-1})}{EI_i} + (x_i - x_{i-1}) \left(\frac{Q(x_i)}{EI_i} + \frac{Q(x_2) - Q(x_1)}{EI_2} + \frac{Q(x_3) - Q(x_2)}{EI_3} + \dots + \frac{Q(x_{i-1}) - Q(x_{i-2})}{EI_{i-1}} - \frac{Q(x_{i-1})}{EI_i} \right)$$

$$y_1 = \frac{M(x_1)}{EI_1} \quad \text{---(式2-2)} \quad , \quad y_2 = y_1 + \frac{M(x_2) - M(x_1)}{EI_2} + (x_2 - x_1) \left(\frac{Q(x_2)}{EI_2} - \frac{Q(x_1)}{EI_2} \right) \quad \text{---(式2-3)}$$

ここで x_i : 原点からの横座標値

$M(x_i)$: 弾性荷重による x_i 点の曲げモーメント

y_i : x_i 点におけるたわみ

$Q(x_i)$: 弾性荷重による x_i 点のせん断力

θ_i : x_i 点におけるたわみ角

I_i : x_i 点における断面2次モーメント ($E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$)

A	B	C	g	E
ベース	9	240	47.64	a
ハッチ	3	120	7.83	b
中壁(下)	3	70	5.02	b
側壁(下)	3	130	2.04	b
中壁(上)	3	70	5.02	b
側壁(上)	3	130	2.04	b
スラブ	9	230	48.63	b
防護コン	1	370	7.78	a
合計	34	6180		

表-1

A: 打設場所

B: 分割数

C: 1アロフ当りのコンクリート量(m³)

g: 軸方向単位長さ当りの荷重(t/m)

E: 使用したコンクリートの仕様

a: 270kg/m³ (0.28-スラブ)

b: 270kg/m³ (0.28-スラブ)

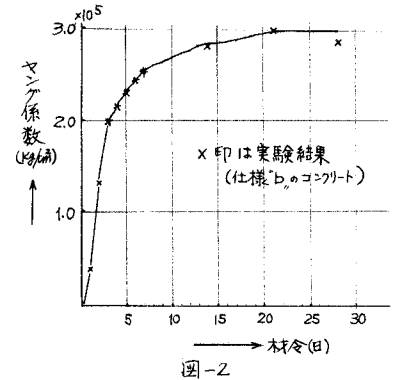


図-2

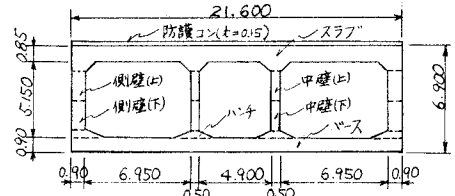
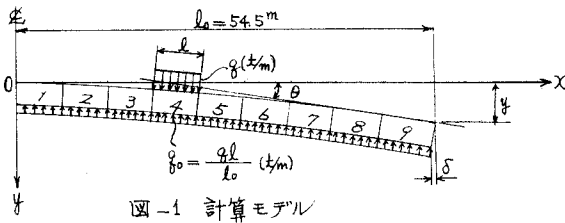


図-3 エレメント断面図

3) 計算の結果と実測値

計算の結果と実測値を(ケース1)エレメントにまだコンクリートが打設されていない状態(ケース2)エレメントが完成した状態について表-2に示す。 y , θ 及び δ はバルフヘッド部のたわみ, たわみ角及び鉛直度($h=6.4m$ に対する)である。

エレメント	ケース 1						ケース 2					
	計 算 値			実 測 値			計 算 値			実 測 値		
	y (mm)	θ (rad)	δ (mm)	y (mm)	θ (rad)	δ (mm)	y (mm)	θ (rad)	δ (mm)	y (mm)	θ (rad)	δ (mm)
NO. 1	25	7.4×10^{-4}	4.7	60	1.7×10^{-3}	10.8	25	6.4×10^{-4}	4.4	53	4.4×10^{-4}	3.0
NO. 2	25	7.4×10^{-4}	4.7	20	5.8×10^{-4}	3.7	-3	-1.7×10^{-4}	-1.1	-45	-3.1×10^{-3}	-21.0
NO. 3	25	7.4×10^{-4}	4.7	14	4.5×10^{-4}	2.9	20	5.8×10^{-4}	3.7	22	-1.4×10^{-3}	-9.5
NO. 4	25	7.4×10^{-4}	4.7	10	4.4×10^{-4}	2.8	33	8.6×10^{-4}	5.5	3	-1.2×10^{-3}	-7.5
NO. 5	25	7.4×10^{-4}	4.7	27	8.6×10^{-4}	5.5	31	8.2×10^{-4}	5.2	-35	-3.1×10^{-3}	-20.5
NO. 6	25	7.4×10^{-4}	4.7	32	1.2×10^{-3}	7.7	31	7.4×10^{-4}	5.0	50	3.4×10^{-4}	3.0

表-2

4) 考察とむすび

計算結果と実測値が相違したのは以下の理由が考えられる。

- (1) エレメントの中心付近に置かれた型枠等の仮設材や組立前の鉄筋が荷重となってNO.4, 5アロフのたわみを負方向に変位させたと考えられる。従ってバルフヘッド部の鉛直度も負方向の値をとる結果となった。この点については今後これらの荷重を加味した計算を行うつもりである。
- (2) 各アロフの中立軸は計算上不連続線となるが, 実際は複雑な連続曲線を形成するものと考えられる。
- (3) 鋼殻製作時の溶接応力の残留及び気象条件の変化に伴う温度応力の残留があり, コンクリートの打設によって複雑に再調整されると思われる。

弾性学的な考え方で取り扱えば, すべてのエレメントはコンクリート打設による影響は最終的には相殺されて, 進水時の鋼殻のもつ形状に出来上がる結果になるが, 筆者らが試みたように, エレメントのコンクリート打設による変形は“打設済のコンクリートが自らの材令によるYoung率の上昇を反映して, エレメントの挙動と拘束する”という概念を取り入れて計算する必要がある。