

V-250 ECL工法に於けるシェル合成構造実験

鉄建建設（株） 正員 高野佳博
東京工業大学 正員 長滝重義
鉄建建設（株） 塩崎光明

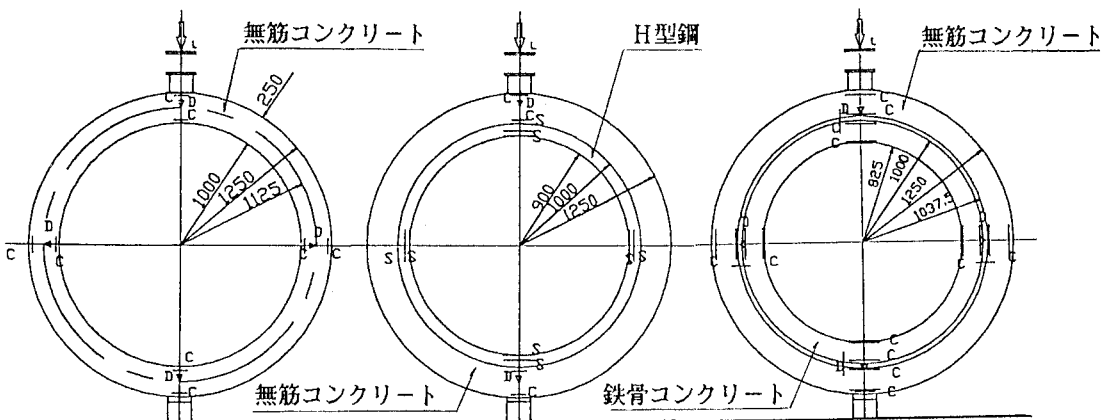
1. 実験の目的

直打ちコンクリートライニング工法（ECL工法）に於いては、施工条件・土質条件により無筋コンクリートからなる一次覆工と補強コンクリートからなる二次覆工によるダブルシェル構造を選択せざるを得ない場合がある。その1ケースとして一次覆工を無筋コンクリートの内側にH型鋼をリブ状に密着させた構造とし、そのH型鋼を巻き込んで鉄骨コンクリートとして二次覆工を施工するタイプ（H-ECL工法）が考えられる。図-1に示すケース2がその一次覆工、ケース3が二次覆工に相当する。本実験に於いては、引張強度特性を異にする両シェルの合成効果を照査し、より経済的なトンネル断面の設計方法を確立する為の一助とすることを実験目的とする。

2. 実験内容

1) 実験方法

上記の目的を達成する為、図-1に示す様に構造特性の異なる各ケースのリング供試体を上下方向荷重で一軸的に圧縮しその荷重-変位関係及び発生歪を測定する実験を行った。



ケース1（シングルシェル）

ケース2（シングルシェル+H型鋼）

ケース3（ダブルシェル）

図-1 実験モデル図

2) 材料特性

ECL工法の実施工を考慮してコンクリート及び鋼材を選定した。鋼材は、2×H-100×100×6×8 SS41材（弾性係数 $E_s=210000 \text{ Kg/cm}^2$ 降伏強度 $f_y=3160 \text{ Kg/cm}^2$ ）を使用した。

コンクリートは早強・高強度コンクリートを使用しその材料特性を表-1に示す。又、表-2～4に於けるコンクリートの引張強度（ f_t ）、曲げ強度（ f_b ）は次式より算定した。

$f_t=0.5 \cdot f_c^{2/3}$: $f_b=0.9 \cdot f_c^{2/3}$ (1) ここで、 f_c は、コンクリートの圧縮強度である。

3. 実験結果

実験結果を表一2～4に示す。ケース1に於いて破壊荷重6.05tfより発生応力を求めると31.2Kgf/cm²となり引張強度29Kgf/cm²を僅に越える程度である。ケース2では、曲げ強度を47Kgf/cm²（計算上は56Kgf/cm²）とし、コンクリートリングとH型鋼が一体構造であると仮定した場合の計算値と実験値が一致する。しかし、歪の計測値に注目すると、両者の挙動は一体構造とは認め難くコンクリートと鋼材の間に働く付着力、摩擦力により一体構造と重ね構造の中間的構造形態を成していると思われる。

ケース3に関しては、表一4に示す様に外リングの破壊荷重は14.63tfでその後30.94tfの荷重で内リングが破壊した。ダブルシェルが一体構造であれば耐荷重は100tf以上となるが実験による破壊荷重及び歪の測定値よりこの仮定は否定される。重ね構造の計算値と実験値を比較するとケース1同様引張強度を僅に越える荷重にて外リングが破壊した。ここで、曲げ剛性比(EI/Rc⁴)による荷重分担率は外リングが57%、内リングが43%である。次に、内リングの評価であるが、コンクリートの引張強度を無視し剛性一様のリングとして計算すると耐荷重は20tfであるが、実験による破壊荷重は30tfを越えた。これは、内リングのクラウン及びボトムにて貫通クラックが発生し、この部分の剛性が低下し、応力の再分配が行われた為と考えられる。即ち、H型鋼は内リングの外周部に位置するので、内リングはスプリング部の負のモーメントに対しては高い剛性を有することになる。これは、歪の測定値及び外リング破壊後は水平方向変位が鉛直方向変位より卓越することから証明される。

4. 結論

実験結果よりダブルシェルが一体構造でないという結論が得られた。しかし、今回の実験では、両リングは付着力のみで接続されているにすぎず、リング間にジベル等を配することにより両者の一体性を高めることが可能と思われる。

又、実際のトンネルでは、外荷重の載荷条件が本実験の様に一軸方向ではなく、全周的に土圧・水圧等が作用するので軸力が曲げモーメントに対して卓越し引張強度が劣る無筋コンクリート構造物に於いては有利な応力状態となる。そのため、一次覆工及び二次覆工を一体構造ではなくても重ね構造と評価すれば、二次覆工のみを永久構造物として設計する場合と比較して、かなりの断面の縮小が可能と判断される。

トンネルに作用する荷重は未知な要素が多く、特にECL工法に於いては、コンクリートの打設圧の影響も考慮されより複雑である。その解明と合わせてより経済的な断面の追及および施工法の確立を今後の研究テーマとしたい。

表一1 コンクリートの材料特性（単位 Kgf/cm²）

材料特性	ケース1	ケース2	ケース3	
			一次覆工	二次覆工
圧縮強度	443	488	450	450
弾性係数	339000	375000	350000	350000

表一2 実験結果（ケース1）

対象項目	計算値		実験値
	f t=29	f b=52	
破壊荷重 (t)	5.42	12.18	6.05
鉛直変位 (mm)	0.29	0.53	0.30
水平変位 (mm)	0.27	0.49	0.25

表一3 実験結果（ケース2）

対象項目	計算値			実験値
	一構体 f b=47	重ね構造		
		f t=31	f b=56	
破壊荷重 (t)	13.00	6.31	13.92	13.42
鉛直変位 (mm)	0.48	0.26	0.57	0.47
水平変位 (mm)	0.45	0.24	0.53	0.44

表一4 実験結果（ケース3外リング）

対象項目	計算値			実験値
	一構体 f t=0	重ね構造		
		f t=29	f b=53	
破壊荷重 (tf)	112.1	13.20	25.80	14.63
鉛直変位 (mm)	3.16	0.61	1.20	0.62
水平変位 (mm)	2.90	0.56	1.10	0.58

・ f t=29は引張強度29Kgf/cm²に対する検討を意味し、f b及びf bは、(1)式より算出した、破壊荷重及び変位の解析とし、クリティカルとなる変位にて計算した。
・ 計算式は、下記の如くである。
・ 自重する断面力は、 $N=1.5 \cdot Rc \cdot w$ 、 Rc : 円心半径、 w : 断面係数、 P : 集中荷重、 P によってボトムにて発生する断面力は、 $N=0.5 \cdot Rc \cdot w$ （引張を正）となる。
・ 内縁応力が引張強度に等しいとして破壊荷重 (P_u) を求めると、 $P_u = \pi \cdot Z \cdot f_t / Rc - 0.5 \cdot \pi \cdot (3 \cdot Rc - Z/A) \cdot w$ となる。
・ 曲げ強度 (Z) の場合も同様である。
・ 又、 P による鉛直変位 (Δx) 及び水平変位 (Δy) は、 $\Delta x = (2/\pi - \pi/4) \cdot Rc^3 \cdot P/EI$ 、 EI : 曲げ剛性、 $\Delta y = (2/\pi - 1/2) \cdot Rc^3 \cdot P/EI$ 、 EI : 曲げ剛性より算定した。