

電気公社 正員 村上 文章
 " " 姫野 梶彦
 " " 小竹 繁
 " " 石川 有孝
 白山製作所 木村 哲男

1. まえがき

電気公社においては既に多条数の地下ケーブルを収容するため、ずい道建設工事に中口径（内径3～4.5m）のシールド工法が採用されている。しかし最近は大都市の交通事情の悪化等により少条数に対応する管路工事さえ次第に困難になっており、この解決策として一般的にはヒューム管推進工法が考えられるが、この工法は線形、推進距離において限界がある。この制約を解決するものとして、小口径シールドの必要性が生じて来た。しかしこのように内径の小さいシールド工法は二次覆工が困難で、また経済性からもこれを省略できることが望ましいと考えられる。

これらの条件を満足するものとして軽量で作業性が良く、しかも強度的にはセメントコンクリートより機械的強度が数段優れているレジンコンクリートに着目しこれをセグメントとしての構造、強度について検討した。この結果実用化の見通しを得たので報告する。

2. 材質

レジンコンクリートとは、結合材として熱硬化性樹脂を、骨材としてセメントコンクリートと同様に砂、砕石を用いたものである。樹脂は不飽和ポリエステル樹脂、フラン樹脂、フェノール樹脂、エポキシ樹脂等である。なおレジンコンクリートをセメントコンクリートと比較した場合の特徴としては次の諸点である。

- 1.) 曲げ強さ、引張強さおよび剪断強さが大きい。
- 2.) 防水性、耐凍結融解性が優れている。
- 3.) 耐摩耗性、耐衝撃性がよい。
- 4.) 耐薬品性、特に耐酸性がよい。

以上のような優れた特徴がある反面、結合材として有機材を用いるため耐火、耐熱性がセメントコンクリートより劣っている。なお公社が採用しているものの機械的諸特性は表-1に示す。

単体ピース構造図

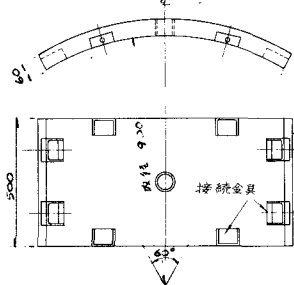


図-1

表-1 レジンコンクリートの機械的特性

比 重	2.300	弾性率 10^4 kg/cm^2	2.5 ~ 3.5
圧縮強度 (kg/cm^2)	10 ~ 12	衝撃強さ 10^4 kg/cm^2	1.8 ~ 2.0*
曲げ強度 (%)	17 ~ 20	熱膨張率 $10^{-5} / ^\circ\text{C}$	1.1 ~ 1.7
引張強度 (%)	6.9 ~ 11	吸水率 % 24H	0.03 ~ 0.1
剪断強度 (%)	1 ~ 2		

* 20°C

表-2 ガラス筋の機械的特性

引張強度 (kg/mm^2)	100 ~ 150
弾性率 (10^4 kg/cm^2)	6.5 ~ 7.5

3. 設計概要

3.1. 設計条件

施工性、経済性からセグメントの重量および厚さが限定され、土被5.0m程度に適合するように規格化した。なお設計計算は図-2に示す荷重状態によりセグメントをソリッドリングとして計算することとした。

また、一般的にレジンコンクリートは強度的バラツキが大きいと書かれているため多数のテストピースによる工場実験の結果、圧縮強度、最低 1000 kg/cm^2 、曲げ引張強度、最低 170 kg/cm^2 が保証された。

これをもととして、安全率を4.0とし、許容圧縮応力 $\sigma_{ca} = 250\text{ kg/cm}^2$ 、許容曲げ引張応力 $\sigma_{cr} = 42.5\text{ kg/cm}^2$ を用いた。

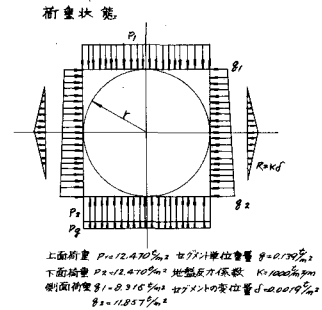


図-2

3.2. 構造および補強方法

セグメントの単体ピース構造は図-1に示すとおりである。1リングは6等分割(A形3個、B形2個、K形1個)とし、厚さ60mm、巾500mm、内径1800mmおよび重量70kg/ピースの充実型セグメントである。接合部は組立ての作業性および出来上りの寸法精度等と考へ、平板U字金物を使用した。なお接合ボルト数は円周方向12/4本、トンネル軸方向12/4本とした。

上記、設計条件、構造の結果、最大曲げ引張応力は 82 kg/cm^2 となり許容応力を越えるので補強することとした。補強筋としては単体ピースの実験結果から鉄筋よりガラス筋の方が強度的に有効(附着応力が高くている、加工性に富む)であることが判明したため、ガラス筋を用いた。ガラス筋は、JIS-R-3412規定のガラスロービングに不飽和ポリエステル樹脂も含浸させたものである。(樹脂含有率は重量比で40~50%)、ガラス筋の量を表わすエンドとは約104の無アルカリガラスの繊維、約200本を集束したものを1エンドと称し、360エンドではガラス断面積は約 5.6 mm^2 である。ガラス筋の機械的特性は表-2に示す。なお、ガラス筋の断面量の算出は実験値および鉄筋コンクリートの応力計算に準じて行なった。

4. 単体実験結果および考察

単体ピース実験は、単体ピースとしての強度確認および補強効果を検討するため、図-3に示すように両端可動支承、2線載荷法で実施した。載荷中はセグメント中と同一とし、載荷点は有効断面が最小となる軸方向接合金物の位置とした。

単体試験曲げ試験方法

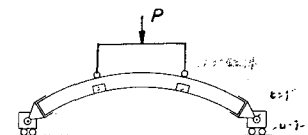


図-3

この結果は図4、図5に示す。図-4は無筋の場合の応力

ひずみ曲線であり、セグメントの表面にワイヤーストレインゲージを貼付して測定したものである。図から分るように理論値はカウレジンコンクリートの弾性率 $3.0 \times 10^5\text{ kg/cm}^2$ にはほぼ近い値を呈している。しかし破壊応力を実験値がテストピースより曲げ試験結果を少し下まわっているが、これは貼付したゲージの位置が必ずしも破壊点と一致せず破壊筋

度以下の値が測定されたものである。従って材質的問題ではなく、むしろ構造的に接続金物の部分の有効断面が他の部分より小さいため多少弱点になったものと考えられる。これはガラス筋を補強した。

ピースの実験結果は図-5に示すように無筋と比較して破壊荷重は大幅に増加(2.2t → 5.8t)し、このときの破壊応力は約400 kg/cm^2 であり、設計最大応力(82 kg/cm^2)の約5倍で、ガラス筋の補強効果があられセグメントの単体としては設計荷重に対して十分安全であるといえる。

5. リング載荷実験結果と考察

セグメントがリングに組立てられた場合にどのような挙動を示すか、特に接続部の剛性に付いて検討するためセグメントを縦に3リング干鳥組にして実験を行った。

実験方法は図-6に示すように3点支持による1点集中荷重とし、載荷中および支取の中は3リング全体とした。

なお、リングの応力分布を測定するためにセグメント内外面にワイヤストレーンゲージを貼付け、またリングのたわみ状況を観察するため、半径方向にダイヤルゲージを設置し荷重によるたわみ曲線を描いた。

上記測定結果を図7~11に示す。

図-7は載荷直下の荷重-ひびき曲線であり、セグメントに最初のクラックが発生するまでの測定値を示している。このときの破壊荷重は14.0tであり、これから最大応力を求めると、約350 kg/cm^2 となり、リ

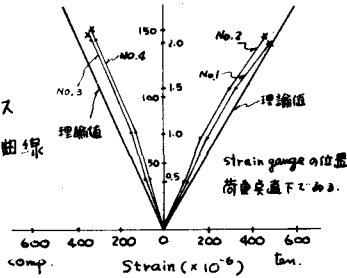
ングとして十分な安全である。

また接続部の剛性は

図-9. 図

図-4

無筋ピース
応力-歪曲線



単体ピース P-S 曲線

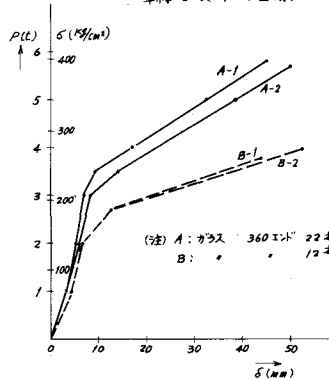


図-5

リング試験実験装置図

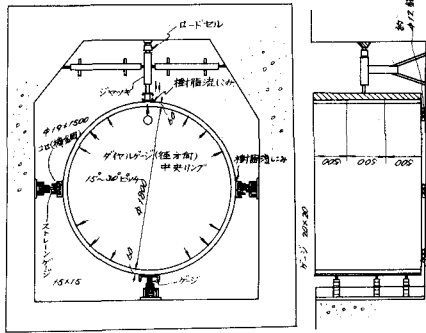


図-6

荷重-歪曲線

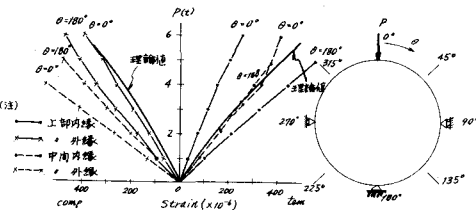


図-7

荷重-歪曲線

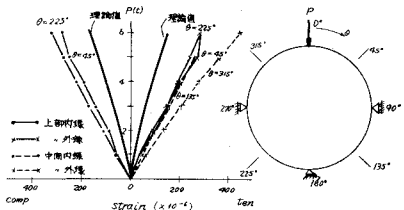


図-8

- 10 の内縁および外縁応力度曲線より、リングをソリッドリングと考へて計算した理論値にほぼ近い傾向を示し、さらに図-11のリングたわみ曲線も同様にこの理論値にほぼ近いといえる。

たゞ $\theta = 45^\circ$ の果では試験方法の関係上、外縁に大きな引張応力が発生し、図-8.10に示すように理論値より大きい応力度が出ているが、セグメントが地中に埋設された状態では、分節荷重となるので外縁にはこの実験のような大きな引張応力は効かないと考へられる。従つて本セグメントは工場実験の結果、ほぼソリッドリングに近いものといふことができる。

6. おまへ

以上のことから本セグメントは工場実験において強度的には十分設計条件を満足する結果が得られた。従つてこれを実際に実験的に使用して、土圧、水圧およびセグメントに発生する応力等の現場測定を実施し、地山の中でどのような挙動を示すかを調査する。また施工時における作業性についてもあわせて調査検討する。

なお今後の課題としてセグメントが薄くなることにより生ずる接合部による有効断面の低下、接合部剛性の低下を防ぐため、高分子材料の特徴を活かし、接着剤による接合方式等の検討を進めていく予定である。

参考文献

- オ3 回トンネル工学シンポジウム(土木学会編)
- しジンコンクリート製ブロックマンホール
(電研公社編)

