

電電公社 東北通信局 正員○中野雅弘  
電電公社 東北通信局 藤沢孝知  
通信土木コンサルタント 山川喜弘

## 1 はじめに

山岳トンネル工事の二次覆工における止水効果を高めるため、一次覆工内側に防水シートを貼付する工事が近年増加している。今回仙台市内の山岳トンネル工法による通信ケーブル用とう道工事において、二次覆工工事に防水シートを採用し、二次覆工コンクリートの温度及びひずみの測定を行なうとともに、覆工表面変化(亀裂)を観察して、コンクリートのひびわれ原因について調査した。以下にその結果を報告する。

## 2 試験概要

(1) 二次覆工打設条件 本工事において、条件設定が可能である3種類について調査することとし、その内容は表-1のとおりである。

(2) 断面形状および測定位置 本施工区間のトンネル断面形状は、図-1に示すとおりでカールソン型ひずみ計を設置しトンネル方向、円周方向別に固定した。各計器の測定頻度および測定回数は、表-2に示すとおりである。

(3) コンクリート打設方法及び配合 吹付コンクリートによる一次覆工表面に、防水シート(ビニル製1.0mm~1.2mm)を貼付した後、

吹上げ方式によりコンクリートを打設した。脱型は打設完了後から、早強コンクリートの場合約19時間、普通コンクリートの場合約42時間で行なった。コンクリート配合は、表-3に示すとおりである。

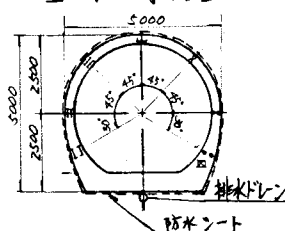
表-3 コンクリート配合

| 使用セメント   | 単位外量  | 単位水量  | 水セメント比 | スライ値 | 空気量  | 細骨材率 | 粗骨材の最大寸法 | 設計強度                   |
|----------|-------|-------|--------|------|------|------|----------|------------------------|
| 普通コンクリート | 319kg | 169kg | 53%    | 10cm | 4.5% | 43%  | 25mm     | 210kgf/cm <sup>2</sup> |
| 早強コンクリート | 332   | 169   | 51     | 18   | 4.5  | 42%  | 25       | 210                    |

表-1 二次覆工打設条件

| 打設長さ | 材質 | 鉄筋 | 打設回次数 |
|------|----|----|-------|
| 1 9m | 早強 | 有  | 4     |
| 2 "  | 普通 | "  | "     |
| 3 "  | 早強 | 無  | "     |
| 4 "  | 普通 | "  | "     |
| 5 3m | 早強 | 有  | 6     |
| 6 "  | 普通 | "  | "     |
| 7 "  | 早強 | 無  | "     |
| 8 "  | 普通 | "  | "     |

図-1 測定位置



| 記号 | 計器名           |
|----|---------------|
| ○  | ひずみ計 (トンネル方向) |
| —  | ひずみ計 (円周方向)   |
| ☒  | 無応力計          |

表-2 測定頻度と測定回数

| 打設完了後の経過時間 | 測定頻度   | 測定回数 |
|------------|--------|------|
| 1~3日       | 1回/8時間 | 9回   |
| 4~7日       | 1回/1日  | 4回   |
| 7~35日      | 1回/週   | 4回   |
| 35~65日     | 1回/月   | 1回   |

## 3 覆工表面調査

(1) 測定方法 覆工表面のひびわれ測定は、変位方向とひびわれ幅の経日変化を調査した。

(2) 調査結果 ① ひびわれ発生状況 打継目以外の一般部では、過去の山岳トンネルの二次覆工でひびわれが発生したが、今回の調査では殆ど見受けられない。しかし、打継目箇所では全ロットとも発生した。

② ひびわれ発生時期 有筋区間に於いては、コンクリート打設後2~4日以内にひびわれが発生し、最長でも7日以内にひびわれの進行が終了している。また無筋区間に於いては、コンクリート打設後2~4日以内にひびわれが発生したが、ひびわれの終了時間は打設長により相違が見られ、9m打設長では打設後20~30日後も継続し、3m打設長では1週間程度で、ひびわれの進行が完了している。これは打設長9mと3mのコンクリート構造物の大小が、そのまま変位量の大小に現われたものと思われる。

## 4 施工打継目のひびわれについて

今回の工事では、施工打継目の全ロットにひびわれが発生したためその原因について考察をした。図-2は連続した2打設面における二次覆工コンクリート内部のひずみ観測値の経日変化を基にして打継目のひびわれ発生状況を示したものである。Fコンクリート打設時の初期端面(A)は、硬化時の膨張でE側即ち右方に移動して、Eコンクリート打設時点における端面は、B点に存在する。Eコンクリート打設後、両コンクリートの端は、共に左方に移動する。その後Fコンクリートは収縮、Eコンクリートは膨張から収縮に変わる。しかしEコンクリートは当分の間Fコンクリートより左方への変位量が大きく、コンクリート硬化後はその分が圧縮力として両端面に作用し、クリープ現象が生じると考えられる。その後S点に達した以降は、打継目に引張力が作用しコンクリートの破断引張強度を越え、ひびわれが発生すると考えられる。最終的に両端面が一定位置に収束し、このときのひずみ(最終ひずみ)対応の変位量が、最終ひずみ幅となる。図-2によると、S点は2~3日の間に位置しているが、表面観測において、F・E間の打継目ひびわれの発見は3日目であり、測定結果とはほぼ一致している。

##### 5 コンクリートのひずみを妨げる拘束度について

側壁の外壁・吹付モルタル側は、従来から拘束度が大きい。防水シートの使用によりこの点が変わることに着目して検討を行なった。トンネル方向については、図-3の通り打設後30日を経過すればコンクリートの硬化が進行し、比較的安定した状況となる。したがって、打継目におけるひびわれを左右する全ひずみの変化分( $\Delta E$ )は、拘束がないかぎり無効ひずみ( $\Delta EN$ )とほぼ等しくなると考えられる。ここで無効ひずみ:コンクリート

硬化時に発生するひずみ(温度、乾燥、硬化) 全ひずみ:二次覆工に発生したひずみと定義する。そこで拘束度Kを「 $K=1-(\text{全ひずみ変化分}(\Delta E)/\text{無効ひずみ変化分}(\Delta EN))$ 」と定義する。拘束度をひずみ観測値から算出した結果を表-5に示す。表-5よりトンネル方向のひずみについては、F断面を除き外側と内側との拘束度がほぼ等しいことから、防水シートによる拘束度への効果があると思われる。またF・EがD・Cに比べて拘束度が大きいのは、鉄筋の拘束による影響と思われる。

6 まとめ (1)防水シートの効果 防水シートは止水効果だけでなく、吹付コンクリートによる拘束を縁切り開放することによって、ひびわれを防止する効果が確認できた。(2)二次覆工打設長さが短かいほどひびわれの進行が早く完了し、打継目のひびわれは小さい傾向を示している。(表-6参照)

(3)有筋断面の場合 打継目のひびわれ幅は小さいが、一般部にもひびわれが確認された。(4)早強・普通コンクリートの違いによるひびわれ幅は、今回の調査で顕著な相異は見られなかった。

7 おわりに 今回の計画に引継ぎ二次覆工のひずみ測定を継続して実施し、外力による変位量とひびわれについて調査し、ひびわれ発生原因と、その防止対策を調査して行く予定である。

[参考文献] トンネルと地下(1982・8)

図-2 打継目に発生するひずみ

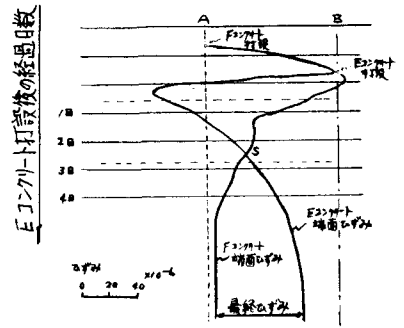


図-3 打継目のひびわれ状況

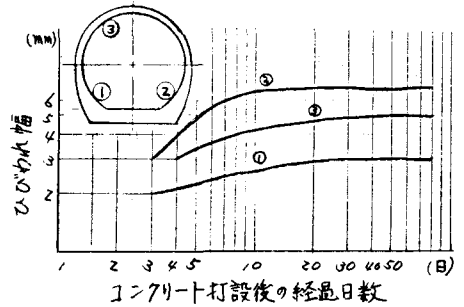


表-5 拘束度

| 断面 | 鉄筋の有無 | トンネル内・外の別 | 拘束度 |
|----|-------|-----------|-----|
| F  | 有筋    | 内         | 0   |
|    |       | 外         | 0.5 |
| E  | "     | 内         | 0.7 |
|    |       | 外         | 0.7 |
| D  | 無筋    | 内         | 0   |
|    |       | 外         | 0   |
| C  | "     | 内         | 0   |
|    |       | 外         | 0.1 |

表-6 ひびわれ発生状況

| 項目                  | 無筋区間   |      | 有筋区間 |      | 有筋区間 |      |
|---------------------|--------|------|------|------|------|------|
|                     | 早・9m   | 普・9m | 早・9m | 普・9m | 早・3m | 普・3m |
| 個別の箇所<br>のひび<br>われ幅 | a 0.4  | 1.4  | 0.6  | 0.3  | 0.3  | 0.4  |
|                     | b 2.0  | 1.3  | 0.4  | 0.3  | 0.2  | 0.3  |
|                     | c 1.9  |      |      |      | 0.3  | 0.3  |
|                     | d 2.0  |      |      |      |      | 0.3  |
|                     | 計 4件   | 2件   | 2件   | 2件   | 3件   | 4件   |
|                     | 最大 6.3 | 2.7  | 1.0  | 0.6  | 0.8  | 1.3  |
| 平均ひび<br>われ幅         | 1.6    | 1.35 | 0.5  | 0.3  | 0.27 | 0.33 |
|                     | 1.5    |      | 0.4  |      | 0.3  |      |