

(37) トンネル覆工面の亀裂変位挙動

応用地質株式会社 正会員 ○鶴原 敬久

応用地質株式会社 正会員 大野 博之

応用地質株式会社 正会員 曾根 好徳

Behavior of crack developed on the concrete lining of tunnel

Takahisa TSURUHARA, OYO corporation

Hiroyuki OHNO, OYO corporation

Yoshinori SONE, OYO corporation

Abstract

A great deal of effort has been made on the investigation of the concrete lining concerning with the damage of concrete. What seems to be lacking, however, is the study of behavior of the cracks on the concrete.

The purpose of this paper is to clear the relationship between the progress of the crack width and the temperature drift.

We measured the width progress of the cracks in concrete linings and the temperature drift. From the data, the relationship between crack width and temperature drift is obtained. The most part of displacement is correspondent to temperature drift. But some part of the displacement is no relation with the temperature drift.

In this paper, it is shown in an example that actual progress of crack width can be seized by eliminating apparent drift of width due to the temperature changes from the original measured data.

1. まえがき

既設トンネルの老朽化の程度を把握するため、トンネルの変状調査が多くのトンネルで実施されている。この種の調査では、トンネル覆工の変状の発生形態が検討・整理され、さらに、変状の因果関係の推定がなされるようになってきた。¹⁾ また、NATMで施工された新設トンネルにおいても、2次覆工に亀裂が発生する事例が報告されている。

トンネルの変状調査は、維持管理を行う上で重要であり、今後トンネルの延長が増加するにしたがって、より重要な技術になっていくものと考えられる。

トンネルの変状調査の主な項目は、亀裂の発生状況、コンクリートの剝離剝落、打ち継目の段差などのコンクリートの変位や劣化の程度などに関する項目と漏水などの水に関する項目が挙げられる。¹⁾ これらの調査結果を基に対策工の検討が行われる。この場合、調査時点での変状の程度の他に、その変状が進展しているかどうかに対策工を早急に実施する必要があるかを判断する上で重要な指標となる。

ここでは、変状の進展状況を確認するため、覆工コンクリートの亀裂の変位測定を実施した結果、興味深い知見が得られたので報告する。さらに、今回計測された結果を基に、より有効な計測手法および計測結果の解釈の考え方について考察を行った。

2. 亀裂変位の計測手法

亀裂変位の測定システムの採用に当たっては、以下の点を考慮した。

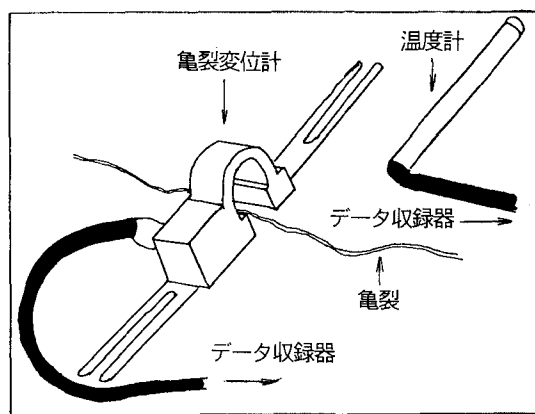
1) 変位の増大スピードが大きいかどうか、つまり、早急に対策を行う必要があるかどうかの判断材料を得ること。

2) 変位が今後、増大する傾向にあるかどうかを確認すること。

この条件を満足するためには、短い時間間隔で計測を行うこと、および、できるだけ短期間の計測で変位挙動の判定ができるような測定精度を有する必要がある。このため、図2-1に示す様な自動計測による測定を実施した。

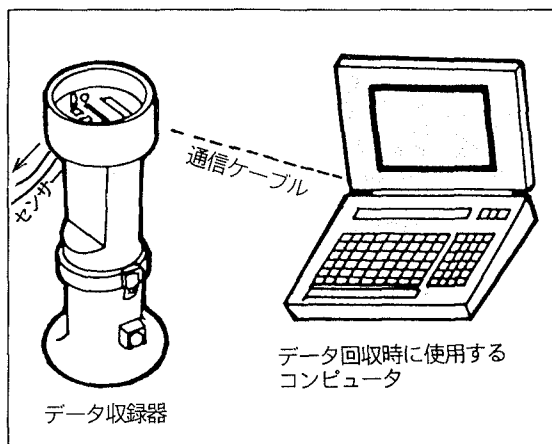
また、温度の影響も同時に把握できるように覆工コンクリートの表面の温度を測定した。測定は1時間に1回の頻度で行った。また、トンネル内は延長が長く、新たに電源を準備することが困難な場合が多いため、電池を電源として使用できて、しかも、データの回収頻度の関係から1カ月程度は電池交換を行う必要のないデータ収録器を使用した。

既設トンネルでの計測はトンネル供用中に行うことが多いことから、交通規制を行わず、かつ、測定者の安全を確保することが必要となる。また、長期の計測となる場合が多く、計測時の個人誤差のない手法を考える必要がある。今回実施した自動計測ではこれらの要点を満足しており、計測作業という面からも有効な手法と考えられる。



センサー部

トンネル覆工コンクリートの亀裂をはさむ様に亀裂変位計を設置し、その近傍に温度計を設置する。



データ収録部

データ収録器は、センサー近傍のトンネル内に設置する。
データ回収時にのみコンピュータを接続する。

図 2 - 1 自 動 計 測 シ ス テ ム

3. 測定結果

亀裂変位および覆工コンクリートの表面温度の経時変化を図3-1、図3-2に示す。図3-1、図3-2の温度と亀裂変位との関係を図3-3に示す。

図3-3から、亀裂変位は温度に依存していることが伺われる。ただし、亀裂変位と温度の関係は、全てのデータが1直線上に乗るような一意的な相関性はない。ここで示した例では、3つの部分から構成される。つまり、図3-4の概念図に示すように、温度と亀裂変位の関係に相関が見られる期間(①)とあまり相関が見れない期間(②)、そして再び相関が見られる期間(③)が存在し、相関が見られる2つの期間(①と③)は温度変化に対する亀裂変位の変化の割合がほぼ同じとみられる。

したがって、亀裂変位は、温度変化に比例して発生する変位成分(温度依存量)とそれ以外の成分(外的要因量)から構成されると考えられる。今回の計測データの場合、日変化で見れば温度依存量が全変位成分のかなりの割合を占め、外的要因量は比較して小さい値を示す。しかし、温度依存量は温度変化の範囲内で増減するが、外的要因量は将来にわたって累積して行くため、この値についての把握も同時に必要である。

また、変位の発生原因を把握すると言う意味では温度に依存した変位成分とそれ以外の外的要因量を分別して把握し、その他の調査結果と併せて原因の推定を行う必要がある。

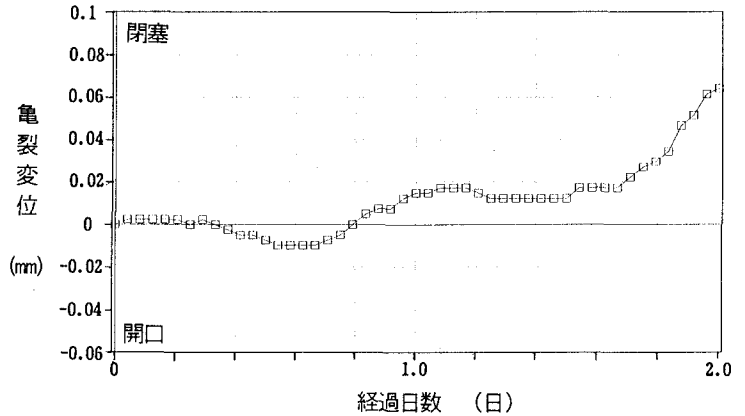


図3-1 亀裂変位の経時変化(短期間)

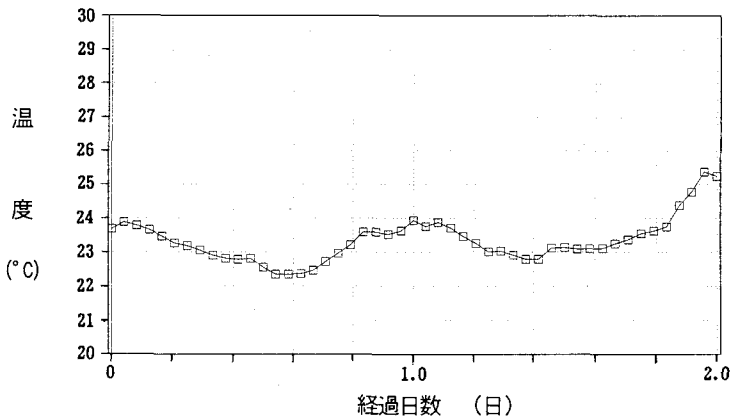


図3-2 亀裂近傍の覆工面の温度の経時変化(短期間)

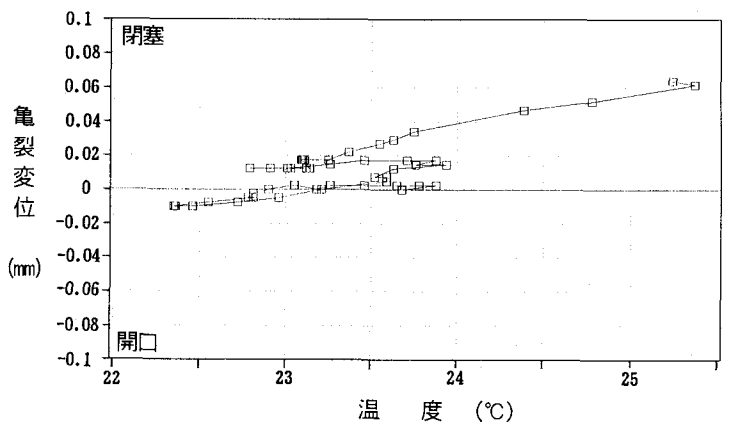


図3-3 温度と亀裂変位の関係(短期間)

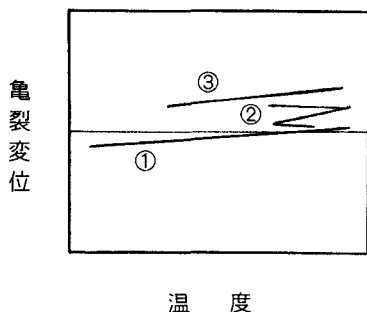


図 3-4 温度と亀裂変位の関係の概念図

一定の測定期間の亀裂変位 u と温度 t との関係が

$$u = a \times t + b \quad (1)$$

で近似できれば、ある一定温度における亀裂変位をこの(1)式から算定することができ、温度と比例して発生する変位成分以外の変位を計算できる。

(1)式において基準となる期間のデータを添え字0、対象となる期間のデータを添え字1とすれば、ある温度 t における変位量は次式となる。

$$\begin{aligned} u_1 - u_0 &= (a_1 \times t + b_1) - (a_0 \times t + b_0) \\ &= (a_1 - a_0) \times t + (b_1 - b_0) \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、温度と亀裂変位の傾き a の値が変化しなければ単純に b の変化 ($b_1 - b_0$) が検討すべき変位量となる。長期間の計測による温度と亀裂変位の関係を図3-5に示す。このデータを1日毎のデータに区切り、1日毎(24点のデータ)の(1)式における a と b の値を最小自乗法を用いて算定し、経時変化図として表したものを図3-6、図3-7に示した。図3-6から温度と亀裂変位の傾き a の値はある短い区間で大きい変動があるものの、ほぼ平均して $0.01\text{mm}/^\circ\text{C}$ 前後の値を示している。したがって、このデータの場合、温度と亀裂変位の間には、長期的に見ても相関があると考えられる。

一方、図3-7に示された b の経時変化図から、 b の値は、最初は増

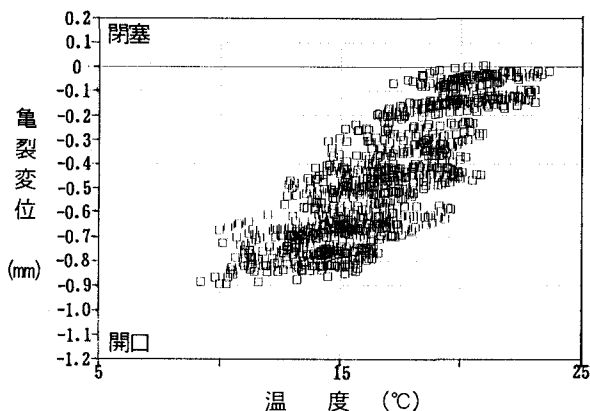


図 3-5 長期計測時の温度と亀裂変位の関係(長期的)

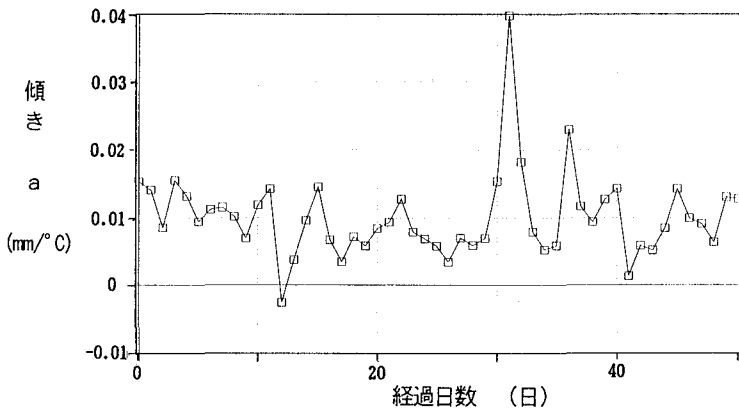


図 3-6 傾き a の経時変化(長期的)

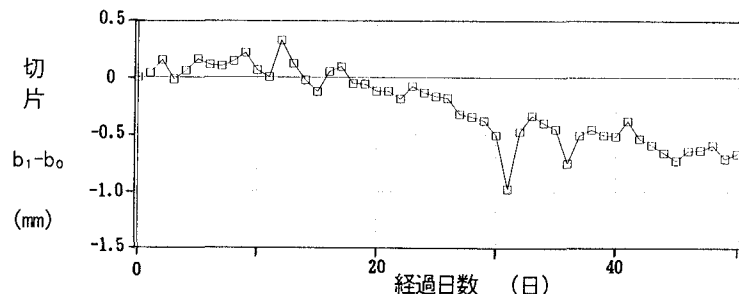


図 3-7 切片 ($b_1 - b_0$) の経時変化(長期的)

加傾向（閉塞）が見られ、その後減少傾向（開口）が見られている。

したがって、温度に比例した変位成分以外の変位成分は、変動しながらも若干開口傾向で増大していることが判明した。

4. あとがき

今回の亀裂変位および温度の自動計測を行った結果から以下のことが明らかとなった。

- (1) 温度と亀裂変位は1日程度の短い測定期間では相関がみられ、長期においては温度変化に対する亀裂変位の変化の比率はほぼ一定値を示す。
- (2) 亀裂変位と温度との相関を求め、その係数（傾きと切片）を経時的に整理することにより温度に比例した変位成分以外の変位成分を把握することが可能となる。したがって、既に変状が発生している区間の変位計測はある程度長期の計測結果を基に温度以外の原因による変位の有無を判断する必要がある。
- (3) 亀裂変位の温度依存量と外的要因量の分別は(2)に示したように今後のデータ解釈の上で重要と考えられるが、そのためには、今回実施した程度の時間間隔で計測する必要がある。また、変位の増減に伴って計測頻度の再設定も必要となる。したがって、覆工コンクリートの亀裂変位測定としては、経済的な観点からも自動計測による頻度の多い計測が有効な手法と考えられる。

今回計測されたデータには温度変化に依存した変位が含まれており、変位データをそのまま評価すると温度以外の要因に対する挙動が明確とならない。したがって、今回実施したように、温度による変位を除去した変位データを基に、変状対策に必要な変状要因の検討を進めるべきであろう。

ここでは、温度と亀裂変位の経時的な値についてのみ検討を行ったため、温度以外に亀裂変位が発生する要因については検討を行っていない。温度以外の要因としては、地下水や降雨による荷重の変化、地山の強度低下や膨潤現象、覆工材料の強度低下、温度の変化に起因した亀裂の進展などトンネルがおかれた環境により様々な原因が考えられる。変位挙動の原因を考える際には広範な視野で他の調査結果を加味して検討する必要がある。したがって、変状調査の結果からある程度原因を推定した上で、変位計測と同時に原因に関する調査（例えば、降雨量、地下水変動、亀裂の進展の有無や程度など）を同時に実施することが、変状対策を検討する上で重要であろう。

<参考文献>

- 1) (財) 鉄道総合技術研究所：トンネル補強・補修マニュアル、平成2年10月
- 2) 朝倉、小島：鉄道トンネルの補強・補修法、トンネルと地下、第21巻8号、1990.8、PP.31-37