

PSⅢ-35

トンネルにおけるコンバージェンス計測の意義

京都大学 谷本 親伯
 大阪大林組○吉岡 尚也
 〃 藤原 紀夫
 〃 畑 浩二

1. はじめに

トンネル支保工の設計は、i)経験的、ii)観測的、iii)解析的な方法によってなされている。しかし、いずれの方法においても、信頼できるインプットデータを提供することは最も難しい課題の一つと言えよう。ここでは、観測的な方法によって合理的な支保工サイズを決める上でのコンバージェンス計測の意義について言及してみる。

2. コンバージェンス計測の意味

トンネルにおけるモニタリングの主たる目的は、岩盤と支保工の挙動に関する定量的なデータを提供することによって、トンネルの安定性を判断することである。そのためには、複雑なモニタリングプログラムを適用するよりも、簡便なモニタリングによってデータを得ることが評価を行なう上でも望ましいように思える。簡便なモニタリング手法としては、コンバージェンス・メジャーによるトンネル壁面間の相対的な変形を測るのが有用である。結果として得られるコンバージェンス曲線は、i)地山の地質学的な条件、ii)初期応力条件、iii)地山を特徴づける力学特性、iv)設置した支保工が発揮する内圧効果等の影響を受けたものである。しかるに、このコンバージェンスは、ある経過時間後に収束するであろう。もし、力学的平衡状態が一次支保工で得られるならば、最終支保工には全く地圧が作用しないことになる。

Rabczewicz は(1964)、コンバージェンスを経時的に整理している。一方、Bieniawskiらは(1975)、トンネル切羽との相対的な位置関係で整理している。トンネル施工は、切羽面を少しずつ前進させることによって遂行される。しかも、この切羽面の進行は、地山条件によって大きく左右される。したがって、コンバージェンス計測値を次段階の施工に反映させていくためには、コンバージェンスを切羽との相対的な位置関係で整理した方が良いように思われる。

すでに、著者らは(1987, 1989)、コンバージェンスの収束状態がわかれば、非弾性域の幅 W_p が推定できる概念を提案した。そして、この概念に基づいてモニタリングデータを詳細に解析し、非弾性域の幅 W_p を推定するとともに、地山強度比の推定も試みた。さらに、地山強度比と観測された変形量との関係についても言及した。

3. コンバージェンス計測値の評価

吉川らは(1983)、多くのコンバージェンス事例から、初期変形速度と最終変形量との関係を求めている。初期変形速度と最終変形量との間には、両対数紙上で良い相関が得られている。桜井らは(1988)、逆解析手法によって地下空洞周辺地山に発生する塑性領域の推定を試みている。この方法では、測定変位のみから直接、塑性領域を推定できる。久武らは(1989)、コンバージェンス計測値を用いて、トンネル掘削前の地山の初期応力状態を推定する方法を提案している。Franklinは(1978)、変形速度に応じた3段階の警告レベルを提案し、それぞれの警告レベルに応じた対応策についても言及している。

モニタリングデータに対していろいろな評価方法があるようであるが、NATMが目的とする最小支保荷重で釣り合いが得られているかどうかを検討する必要がある。そのため、著者らは支保特性曲線を支保・地山圧力比 I_s と観測された変形量との関係で描いている。そして、最小支保荷重でトンネルの釣り合いが得られる変形量の存在するのを見い出している。現在は、地山の内部マサツ角をパラメータにして、最小支保荷重と許容変形量との関係について検討している。

4. コンバージェンス曲線の正規化と変形量の予測

観測されたコンバージェンスに基づいて変形量の予測を行なうためには、釣り合いの得られた変形量が支保特性曲線のどのポイントに位置しているかを十分に把握しておく必要がある。

正規化するための観測されたコンバージェンスは、高速自動車道トンネルでの事例である。変形量は約20 mmから約250 mmの範囲のものである。正規化のために用いた関数形は、ロジスティック曲線、逆三角関数、2倍時変位法およびワイブル分布曲線の下式に示す4つである。

$$Y=1/(A+B \cdot R^{-X}) \quad (1)$$

$$Y=A \cdot (\tan^{-1} X)^3 + B \cdot (\tan^{-1} X)^2 + C \cdot (\tan^{-1} X) + D \quad (2)$$

$$Y=A \cdot (1 - e^{(-D \cdot X)}) \quad (3)$$

$$Y=A \cdot (1 - e^{(-(X-L)/B)}) + C \quad (4)$$

ここで、A, B, C, D, R, L は定数であり、Xは切羽距離を示す。これらの関数形でコンバージェンスを近似した例を図-1に示す。○が観測値であり、実線はワイブル分布曲線、破線は2倍時変位法、一点破線はロジスティック曲線、二点破線は逆三角関数による近似曲線である。近似は数10事例について行なった。その結果、共通して言えることは、ロジスティック曲線と逆三角関数による近似は、切羽のわずかな進行によって収束に向かう傾向が強い。2倍時変位法による近似は、図-1のようによい一致の見受けられる場合もある。しかし、2倍時変位法では、切羽の通過位置で近似値は必ず0となる。したがって、コンバージェンスの初期値がつねに切羽面で測られていれば不都合を生じない。大半のコンバージェンスは、切羽面の少し後方で初期値が取られている。これをカバーできるのは、ワイブル分布曲線である。言いかえれば、計測断面の位置が切羽面の後方であったとしても、見掛け上は切羽面でコンバージェンスの初期値が設定されたように近似できるということである。

図-2は、ワイブル分布曲線による近似から初期変形率（S.L 付近の掘削幅をDとし、0.3 D切羽が進行したときの単位進行長あたりの変形のこと）を求め、これと最終変形量との関係を描いたものである。

図-2を5つのカテゴリーに区分し、それぞれの関係をまとめたものが表-1である。なお、表-1では、最終変形量と支保荷重の大きさとの関連づけも行なっている。

5. おわりに

質の良いトンネルのあり方がトンネル標準示方書で命題になっている。この質のよいトンネルという表現に対して、いろいろな考え方があるであろう。その一つとして、数10年間メンテナンスを必要としない構造物を構築することも質のよいトンネルのあり方へのパラダイム転換と言えるかも知れない。そのためには、構造物の品質を保证するためのモニタリングプログラムを今後は検討していく必要がある。

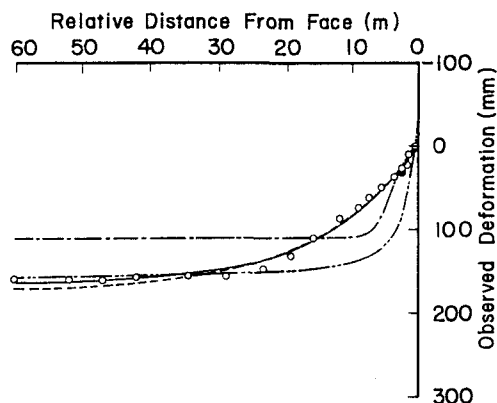


図-1 コンバージェンスの関数近似

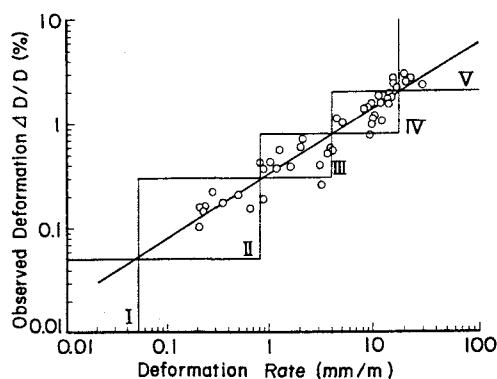


図-2 初期変形率と最終変形

表-1 トンネル変形量の分類

Class	Support Load	Initial Deformation Rate (mm/m)	Observed Deformation $\Delta D/D$ (%)
I	Slight	less than 0.05	less than 0.05
II	Medium	0.05 - 0.8	0.05 - 0.3
III	Heavy	0.8 - 4	0.3 - 0.8
IV	Very Heavy	4 - 18	0.8 - 2
V	Extremely Heavy	over 18	over 2