

熊谷組 技術研究所

正 員 つ岡田 喬

信州大学工学部

正 員 長 尚

1. まえがき トンネル掘削にともなう周辺地山の緩みと、支保工および覆工に作用する荷重に関する、有限要素法を適用した一計算法を述べる。トンネルの問題に有限要素法を適用する場合、さまざまなモデル化が試みられているが、本法では、次のようなモデル化を行なう。(1)計算は図-1に示すように、トンネルから十分遠い周辺地山を含む矩形断面を対象とする。(2)荷重は、各要素の自重の他、図-1に示すような周辺荷重を考える。すなわち、垂直荷重はかぶりに比例した重量、水平荷重は垂直荷重の $DOK(\leq 1)$ 倍とする。

(3)地山の破壊はモールの破壊説を用いて考慮する。(4)トンネル掘削後の状態における変位から、掘削前の初期状態における変位の差が地山の最終緩みであるとする。(5)支保工および覆工は、最終緩みの $\alpha(<1)$ 倍の段階で施工され、その後の緩みを弾性的に拘束する。この拘束力が逆に支保工および覆工に緩み荷重として作用するものとする。

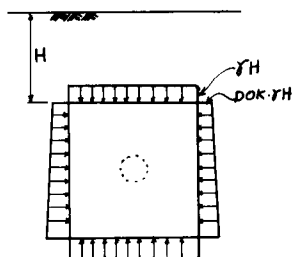


図-1

2. 計算法 上述のモデルに基づいた計算の流れを図-2に示す。ここに各段階の計算内容は次のようである。I: 掘削前の変位 (δ_{i1}) および応力の計算。II: 掘削後の変位 (δ_{i2}) および応力の計算、ただし無背許の状態。したがって掘削による地山の緩み量は $\delta_{i2} - \delta_{i1}$ である。III: 緩み量を $\alpha(\delta_{i2} - \delta_{i1})$ に拘束した状態の応力および拘束力 (F_{i3}) の計算。IV: F_{i3} を支保工もしくは覆工に作用させて、支保工もしくは覆工と地山の变位 (δ_{i4}) と応力の計算。V: 変位を $\delta_{i3} + \delta_{i4}$ に指定して、地山の応力の計算。なお、地山の破壊の取り扱い、図-3に示すように、破壊包絡線を二次放物線と仮定し、応力円の半径 r が、応力円の中心から包絡線までの最短距離 R を越えた場合、その要素の弾性係数を $(R/r)^2$ 倍して減少させる方法による。

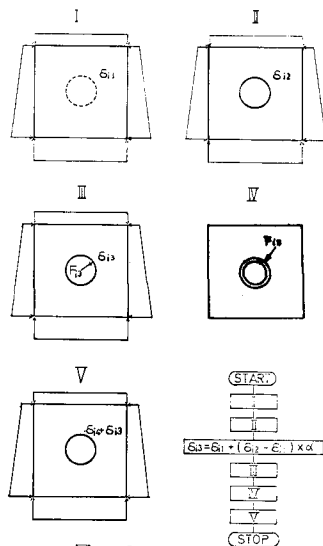


図-2

3. 計算例 トンネルの形状は、半径 2.5 m の円形断面とし、対称性を考慮して、1/4 部分を取り出して計算した。要素分割は図-4に示す。計算した種類は、かぶり (H) 3 種類 (60, 100, 200 m)、地山の弾性係数 (ER) 3 種類 ($10^4, 10^5, 10^6 \text{ t/m}^2$)、鉛直荷重に対する側圧の割合 (DOK) 4 種類 (1.00, 0.50, 0.25, 0.10) である。また $\alpha = 0.5$ とした。計算結果のうち、 $H = 200 \text{ m}$, $DOK = 1.0$, $ER = 10^5 \text{ t/m}^2$ の場合の、掘削面の変

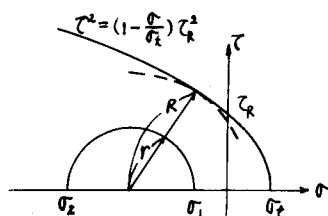
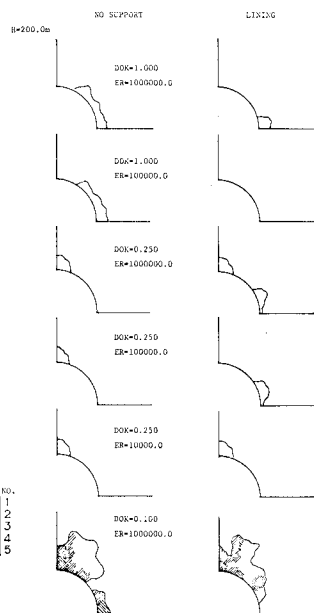
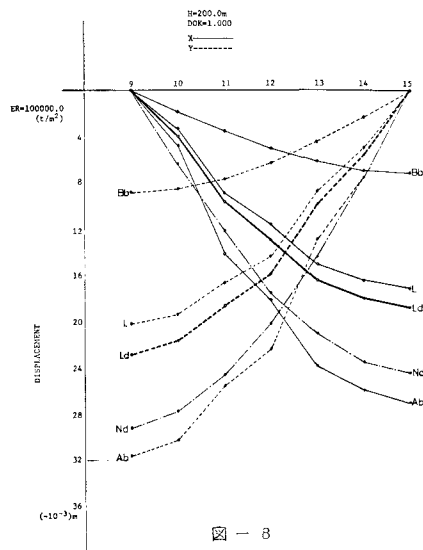
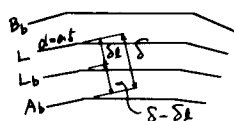
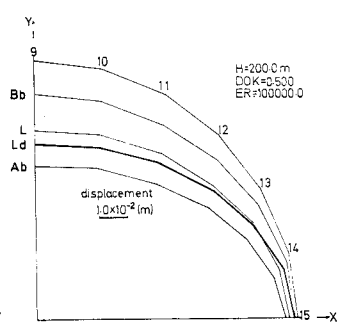
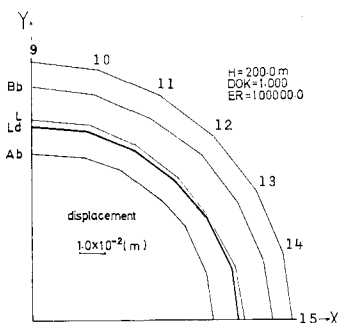
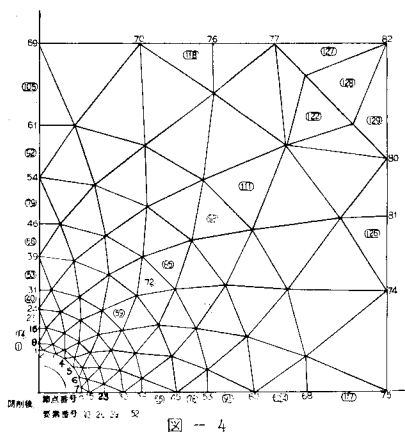


図-3



位置について、図-5, 6に示す。なお、図中の記号は、Bb:掘削前の変位、Ab:掘削後の変位、ただし無普請の場合、Ld:覆工を施工した場合の最終変位、L:覆工施工までの変位、である。覆工を施工する効果を、覆工が緩みをどの程度押えるかによって表わすために、図-7より、 $(S - \delta_L)/S$ を計算すると、 $EC = 2.1 \times 10^6 \text{ t/m}^2$ の場合、 $ER = 10^6, 10^5, 10^4 \text{ t/m}^2$ でそれぞれ 0.3, 0.80~0.85, 0.90 程度となっている。地山の破壊による緩みの増加の程度を示す一例を図-8に示す。この図中Ndは破壊を考慮しない場合の変位である。したがってこのNdとAbより破壊の影響がわかる。次に図-9には、 $H = 200 \text{ m}$ の場合について、破壊の生じた部分を示す。この図において、左側が無普請の場合、右側が覆工を施工した場合である。

4. あとがき ここて示した計算例のように、本法によれば、トンネル掘削に伴う周辺地山の緩みと、覆工に作用する荷重、覆工の効果などが、合理的な傾向をもった数値として得られる。ただし、計算に用いる、 EC , ER , DOK , σ_x , τ_r , α などの具体的な数値の選択は難しい問題であるので、今後は、地山が断層などで分断されているようなケースも含めて、種々なケースについて数多く計算を進めて、覆工設計のための目安を得たいと思っている。

参考文献 (1) 林正夫, 日比野敏: 地下の開削に伴う地盤内のゆるみ領域の逐次的発達過程の解析法, 第2回岩の力学シンポジウム 11, 1967.