

フジタ工業(株)・技術研究所 正会員 大 倉 吉 雅
 フジタ工業(株)・技術研究所 正会員 石 井 武 美
 フジタ工業(株)・土木総務部 正会員 坂 本 俊 二

1. ま え が き

NATMの施工を考慮した有限要素法による事前解析結果を、計測値と照合すると、一般に内空変位量が一致しないことが多い。これは、ロックボルトをトラス要素とレイモデル化している場合が多いことや、地山の剛性変動やロックボルトによるダイレイタンス効果等を表現できないモデルとなっているからであると考えられる。そこで、ロックボルト支保領域の剛性がロックボルトの施工前後で全体的に変動するものとして、NATM施工された土砂・中硬岩・硬岩地山の均質区域で得られたと推定される計測値を用いて、パラメトリック・スタディによる数値解析によりロックボルト支保効果を地山の等価剛性に置き換える評価を行っている。なお、吹付コンクリートの弾性係数は材令により向上し、定値と仮定すると実情に合わないことから、材令毎に試験を求め、これを解析に導入している。

2. ロックボルト支保領域の等価剛性

NATMの有限要素解析において、ロックボルトのモデル化が数々提案されているが、モデル化を行わずに、ロックボルト支保領域の等価剛性を評価する方法が、例えば、要素数の削減、解析精度の向上等、利点が多いと思われる。そこで、ロックボルト支保領域の弾性係数を、図-1に示すように、まず緩み領域の発生によって剛性低下が生じ、ついでロックボルト支保によって剛性が向上するものと考えて評価する。以下に、弾性係数の評価方法を述べる。また、ロックボルト支保領域の弾性係数(E_2)を求めるパラメトリック解析に用いた吹付コンクリートの材令毎の弾性係数を示す。

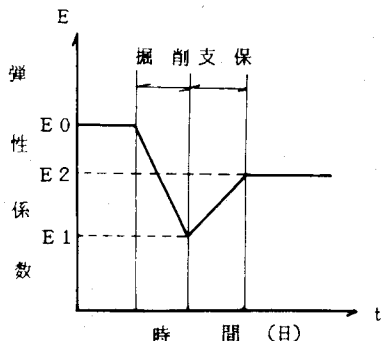


図-1. 地山の等価弾性係数

(i). 緩み領域の弾性係数(E_1)

参考文献[1]により、緩み領域の弾性係数は、初期弾性係数(E_0)の4割と考える。

(ii). ロックボルト支保領域の弾性係数(E_2)

ロックボルト支保により地山の剛性が向上すると考え、天端沈下と水平コンバージェンスに関する計測値と、パラメトリック・スタディによる解析値とを比較して、ロックボルト支保領域の等価剛性を決定する。

(iii). 吹付コンクリートの弾性係数(E_{sc})

吹付コンクリートの各材令における弾性係数は、計測値と解析値を比較する上で、解析値に大きな影響を与える因子となり得るため、図-2に示す試験値を用いる。なお、吹付コンクリートの配合を示しておく。

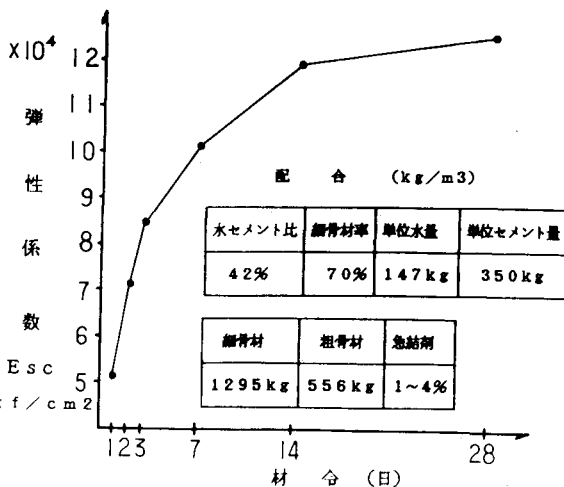


図-2. 吹付コンクリートの材令による弾性係数の変化

3. パラメトリック解析とその結果

解析には、切羽の進行を考慮した非線形弾性解析プログラムを使用した。解析手順を以下に示したが、トンネルへの外力として、掘削時には全掘削相当外力の4割を、支保時には、切羽の進行と吹付コンクリートの弾性係数 E_{sc} の経時変化を考慮して、残りの6割を3ステップに分けて載荷することにした。

STEP1: 初期応力計算

STEP2: 掘削時 (全掘削相当外力の4割載荷)

STEP3: 支保時, $L=0.1D$ (3割載荷, $E_{sc}=50,000 \text{ kgf/cm}^2$)

STEP4: 支保時, $L=1.0D$ (2割載荷, $E_{sc}=75,000 \text{ kgf/cm}^2$)

STEP5: 支保時, $L=2.0D$ (1割載荷, $E_{sc}=90,000 \text{ kgf/cm}^2$)

(L : 切羽の距離, D : トンネル径)

この手順により、ロックボルトの支保領域の弾性係数を、パラメトリック解析によって求めた。計測現場は、ハゲレを $L=2.0D$ 以内で計測値が収束している全断面掘削工法の土砂(A)・中硬岩(B)・硬岩(C)地山のトンネルでBはやや風化しており、Cは風化・割れ目の多い地質であった。表-1にそれぞれの地山の材料定数を示す。

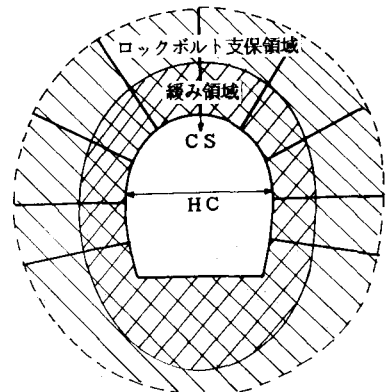
表-2に、均質と推定できる区間で行われた天端沈下と水平コンバージェンス計測の計測値の平均値に基づいて求めたロックボルト支保領域の等価弾性係数 $E2$ とこの等価弾性係数による解析値を示す。

4. まとめ

パラメトリック解析の結果、土砂地山ではロックボルト支保領域の剛性は初期弾性係数より大きな値となり、中硬岩・硬岩地山の場合には小さな値となった。土砂のように均質で、かつボルトと地山の接着度の高い地山では、ロックボルトの支保効果と支保領域の剛性向上とみなしてよいのではと考えられる。しかしながら、風化が進行し、割れ目があるなど不連続性が高い中硬岩・硬岩地山では、ロックボルトによって支保領域の剛性が向上することより、緩み領域発生によって剛性の低下が著しく、特に緩み土圧の発生に注意しなければならぬようである。ここには詳細なデータを示さないが、解析結果を検討すると、緩み領域の弾性係数 $E1$ の初期弾性係数 $E0$ に対する低減率は、緩み土圧が発生しないと仮定すると、B地山では4割以下、C地山では6割以下であると言える。

今後、計測値と解析値の対応が比較的容易な、均質と判断できる地山での計測値を集め、支保領域の等価剛性を検証すると共に、等価強度定数(C , 中等)について検討したい。

参考文献[1]: “トンネル掘削による岩み領域の調査報告書”, 日本トンネル技術協会, pp.110-111, 82.3.



CS 天端沈下 HC 水平コンバージェンス

図-3. 解析モデル

表-1. 材料定数

	土砂 (A)	中硬岩 (B)	硬岩 (C)
単位体積重量 $\gamma \text{ g f/cm}^3$	2.1	2.7	2.5
弾性係数 $E \text{ kg f/cm}^2$	1000	7000	10000
ポアソン比 ν	0.40	0.33	0.27
粘着力 $C \text{ kg f/cm}^2$	0.9	14.0	280.0
内部摩擦角 $\phi \text{ }^\circ$	38.0	35.0	46.0

表-2. 内空変位の計測値・解析結果と地山の等価弾性係数

		A	B	C
天端沈下量 (mm)	計測値	1.0	4.0	2.0
	解析値	0.76	3.80	1.87
水平コンバージェンス量 (mm)	計測値	1.42	4.80	1.03
	解析値	1.39	4.94	1.06
$E0 \text{ (kg f/cm}^2\text{)}$		1000	7000	10000
$E2 \text{ (kg f/cm}^2\text{)}$		20000	2800	6000
$E2/E0$		20	0.4	0.6