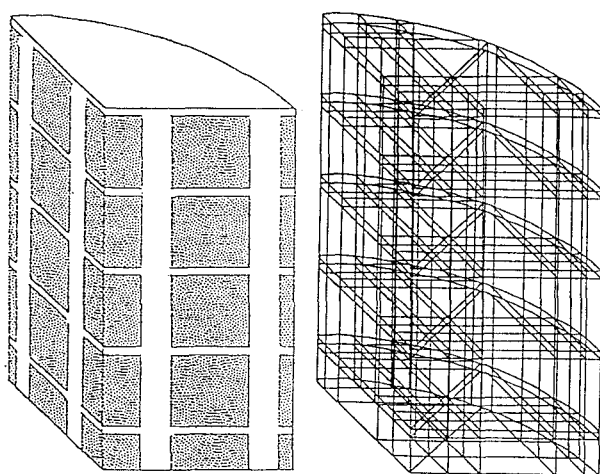


名古屋鉄道 正 篠田知堅 神戸大学 正 櫻井春輔 学 川嶋幾夫

1. はじめに 近年、トンネルの施工に情報化施工が用いられることが多くなってきた。情報化施工では、掘削による地山挙動を把握するために現場計測が行なわれるが、それには主に変位計測が採用される。現場計測結果から、現在の地山の挙動が予測通りであるかを判断するには、測定された変位と解析によって求められた予測変位を対照させなければならない。このとき、予測変位の計算には、地山の変形特性が得られていることが必要であるが、場所によって地山の風化の程度や組成が異なる場合や、破碎帯を横切る場合のように、地山が不均質なときは、その場所場所でサンプリングしたコアを用いた試験によって変形特性を求めることが困難であり、地山の変形特性を求めることに苦慮していた。そこで、地山の変形特性がその不均質性(ここでは混合比率)との関係から推定できれば有利であることから、地山の不均質性と変形特性の関係について調べることを考えた。ここでは、2種類の材料で作成された不均質岩質材料を対象に、3次元有限要素解析を行い、変形係数と硬材比率との関係について調べた。

2. 計算モデル 不均質岩質材料のモデルとしては、著者らが先の実験¹⁾で作成した2種類の材料による不均質岩質材料の供試体とした。これは、一方の材料で作成した一辺2cmのキューブを、別の材料と混合し、 $\phi 10\text{cm} \times \text{高さ} 20\text{cm}$ の円柱供試体としたものである。以下、2種類の材料のうち、変形係数が大きい材料を硬材、もう一方を軟材と呼ぶ。また、硬材のキューブが軟材のマトリクスの中にあるモデルを軟材マトリクス、他方を硬材マトリクスという。これらの軟材マトリクスおよび硬材マトリクスについて、それぞれキューブの混合比率が20, 40, 60, 80%の4種類(計8種類)のモデルについて設定した。計算には、図-1(a)に示す円柱供試体の1/4角 $\times$ 高さ1/2のモデルに対して行った。(b)にメッシュ図を示す。要素には、20節点6面体アイソパラメトリック要素、および15節点5面体アイソパラメトリック要素を用いている。なお、図は軟材マトリクスで硬材の混合比率(以下、硬材比率という)が40%のケースである。これらのモデルに対して軸方向に、モデル中の等分布荷重を載荷させて計算を行い、モデルの巨視的な変形特性を求めた。

3. 結果および考察 表-1に計算結果を示す。これを、先に行った実験の結果¹⁾と併せて図-2(a), (b)にそれぞれ軟材マトリクスおよび硬材マトリクスの場合を示す。実験では、一軸圧縮試験および側圧が1, 2, 4 kgf/cm²の非排水三軸圧縮試験(実験に用いた供試体は室乾状態)を行っており、それぞれの実験値をキャラクターを変えて示している。図中、硬材比率が0, 100%について示しているものは、均質供試体の実験値である。またこれらの硬材比率の解析値は、計算で用いた入力値であり、いずれも側圧が1 kgf/cm²の三軸圧縮試験の実験値とした。図から軟材マトリクスでは解析値が、実験値のほぼ平均的な値になっていることが分かる。一方、硬材マトリクスでは、解析値がほぼ実験値の上限



a) 概略図

b) メッシュ図

図-1 計算モデル

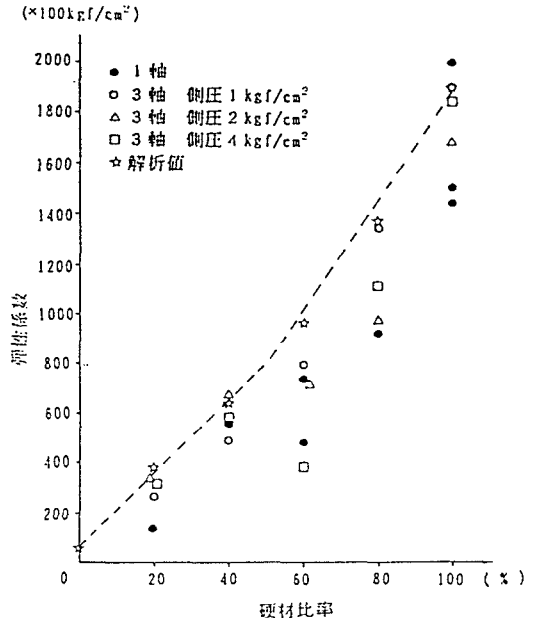
になっている。これは、硬材マトリクスでは、その中に含まれる軟材キューブの角との境界付近に応力が集中し、そこから発生したクラックが伸展し、キューブとマトリクスの境界に縦割れが形成されるためであると考えられる。なお、この縦割れは、破壊後の供試体においても観察できる。また、三軸圧縮試験の実験値が一軸圧縮試験のそれと比べて大きく、解析値に近くなっていることがわかるが、これは側圧によってクラックおよび縦割れの発生が抑えられたためと理解できる。ここで、トンネル周辺地山は切羽以外は、三軸圧縮応力状態にあると考えられるので、不均質性地山の変形係数が弾性解析によっても、ほぼシミュレートできると考えられる。また、それぞれの図中に示した破線は、マトリクスに他の材料が1つのキューブとして混入しているモデルの弾性係数を、Paulによって提案された式²⁾によって求めたものである。図から、軟材マトリクスおよび硬材マトリクスのいずれのケースにおいても、多数のキューブをもつモデルに対する解析値および実験値が、キューブ1つのケースの提案式と非常によく一致していることがわかる。これより、多数のキューブがほぼ等密度で配置されている不均質岩質材料では、キューブの偏在が小さいために、その変形係数が混合比率の等しい1つのキューブをもつモデルに対する提案式にはほぼ一致すると考えられる。なお、解析値が提案式よりも大きくなっているのは、モデル中の硬材の载荷軸方向の配置密度が全体の比率よりも大きいケースであり、逆に、解析値が提案式よりも小さくなっているのは、硬材の载荷軸方向の配置密度が小さいケースである。

4. まとめ ① 不均質材料のうち軟材マトリクスではその変形係数について、弾性計算による解析値と実験値がほぼ一致する。

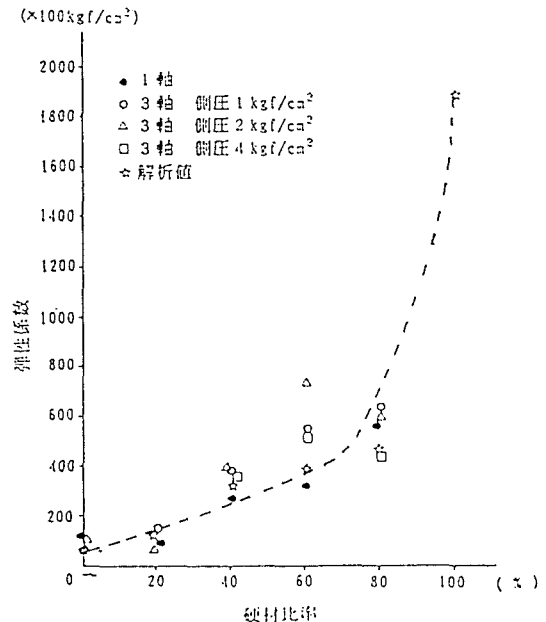
② 硬材マトリクスの場合は、弾性計算による解析値は実験値のほぼ上限となる。

③ 多数のキューブをもち、キューブが等密度で配置されている不均質材料について求めた弾塑性計算による解析値および実験値は、混合比率の等しい1つのキューブをもつモデルに対する提案式とほぼ一致する。

参考文献 1)桜井春輔・川嶋幾夫・小池信司:不均質岩質材料の限界ひずみに関する実験的研究,土木学会第40回年次学術講演会講演概要集(第三部), pp.512~513, 1991年 2)Paul, B: Prediction of elastic constants of multiphase materials, Trans. AIME, Vol.219, pp.36-41, 1960



a) 軟材マトリクス



b) 硬材マトリクス

図一2 計算結果および実験結果