

Ⅲ-588

トンネル掘削に伴う軟岩地盤の力学挙動に関する研究

京都大学工学部 正会員 足立紀尚 京都大学大学院 ○学生員 劉軍
 京都大学大学院 学生員 古池章紀 中央復建コンサルタンツ 正会員 張鋒

1) まえがき

土は一般にダイレイタンス特性を有し、さらに密な砂、過圧密粘土、軟岩をせん断すると、それらの応力-ひずみ関係にはFig.1に示すようにひずみ硬化のみならず、ひずみ軟化現象が観察される。

そこで、本研究では、ダイレイタンス特性及びひずみ軟化現象を表現することのできる足立・岡のひずみ軟化型弾塑性構成式を用い、トンネルの掘削に伴う軟岩地盤の力学挙動の検討を行った。

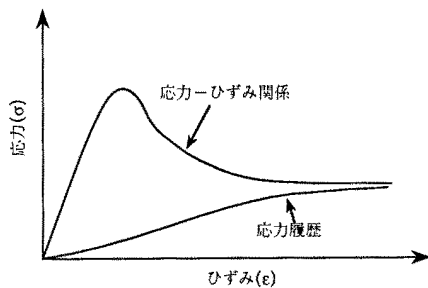


Fig.1 ひずみ軟化を呈する応力-ひずみ関係

2) 解析結果及び考察

本研究において用いた材料定数をTable 1に示す。Fig.2に解析に用いた有限要素メッシュを示す。トンネルの掘削は瞬間的に行われるものとし、その直径は10mとする。周辺の初期応力の解放は1stepにつき2%ずつ行われるものとする。また、初期応力場としては自重を考慮し、 $k_0=0.67$ で解析を行った。境界条件としては、領域の左右端、下端とも滑らかで剛であるものとする。

Table 1 Material parameter

G'	454.0	τ	0.06
$\sigma_{mb}(\text{kgf/cm}^2)$	24.0	M'_f	0.84
$b_r(\text{kgf/cm}^2)$	1.91	ν	0.40
$b_s(\text{kgf/cm}^2)$	1.0×10^{-5}	$E(\text{kgf/cm}^2)$	100.0

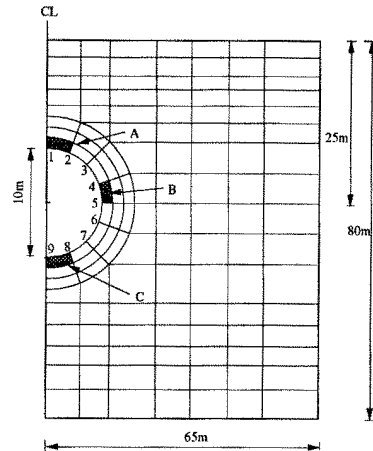


Fig.2 有限要素メッシュ

2-1 地盤の応力とひずみの変化

Fig.3に各要素における応力-初期応力解放率関係を示す。B要素においては、応力が初期応力の解放に伴い増加し、その後軟化現象がみられる。したがって、B要素は基本的に圧縮破壊状態にあるものと考えられる。一方A、C要素においては応力が初期応力の解放に伴いある程度まで減少し、その後増加に転じる。このA、C要素においてみられる応力の減少は、トンネルの内空変位の増加による体積膨張が影響しているものと考えられ、その後の応力の増加は地盤内の応力の再分配に伴うものであると考えられる。したがって、覆工を行うに際しては、これらの挙動や変位の影響を十分に考慮したうえで、理想の施工時期を考えることが重要である。特に力学的・一定量の判断に基づく設計においては、地盤の特性曲線を求めることが重要であり、地盤の力学的特性を考慮した変形-応力解析が必要となる。

Fig.4に各要素の応力経路を示す。各要素の応力の経路をみると、A、B、C要素とも残留強度線を越えている。B要素においては、初期応力の解放に伴い応力と平均応力が初め増加し、その後減少する。一方、A、C要素においては、応力は上に述べたようにある程度まで減少し、その後増加に転じるが、平均応力に対しては、常に減少している。これは、地盤

初期応力の影響と初期応力の解放に伴う応力の再分配の影響であると考えられ、A、C要素は膨張破壊状態にあるものと考えられる。

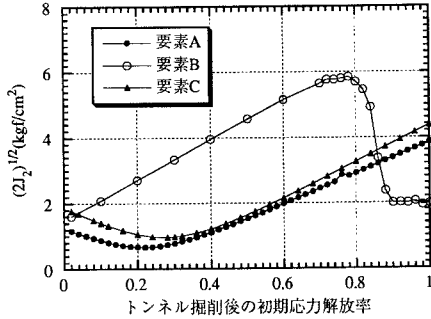


Fig.3 初期応力の解放率と各要素の応力関係

Fig.5に各要素の応力-ひずみ関係を示す。A、C要素では、応力はある程度のひずみまでは減少し、その後はひずみの増加に伴い増加する。一方、B要素では最初、軟化に達するまで応力とひずみはほぼ正比例の関係にあり、その後ひずみの増加に伴い応力は減少している。

2-2 トンネル内壁の応力の変化

Fig.6、Fig.7にトンネル各内壁点の初期応力と初期応力が全て解放された後の垂直応力図と水平応力図をそれぞれ示す。図をみると、トンネルの天端と底端（点の番号はそれぞれ1、9）においては初期応力の解放に伴い、垂直応力は減少しているが、水平応力は増加する。一方、トンネルの水平端（番号は5）においては垂直応力、水平応力ともに減少している。原因としては、水平端周辺が軟化領域にあることが考えられる。また、初期応力の解放に伴い、軟化に達する前の内壁点における水平応力と垂直応力はほぼ反比例の関係があることが解析の結果、わかった。

3) まとめ

本研究では、軟岩のひずみ軟化型弾塑性構成式に基づきトンネル掘削に伴う地盤の力学挙動の数値解析を行った。その結果、地盤の特性曲線を得ることができた。

4) 参考文献

1. 足立紀尚、岡二三生：軟岩のひずみ軟化型弾塑性構成式、土木学会論文集NO.445/III-18、pp.9-16、1992.3.
2. 足立紀尚、劉軍、古池章紀、張鋒：ひずみ軟化型弾塑性構成式に基づいた水の連成問題の数値解析、第30回土質工学発表会、1995（投稿中）

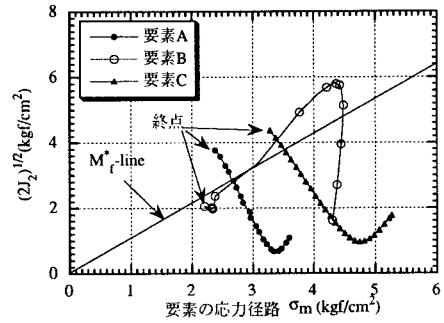


Fig.4 各要素の応力経路

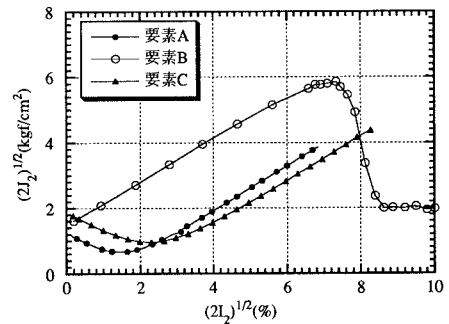


Fig.5 各要素の応力-ひずみ関係

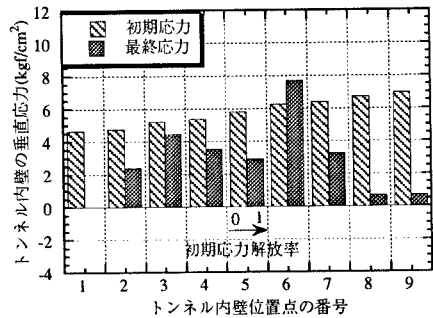


Fig.6 トンネル内壁の垂直応力

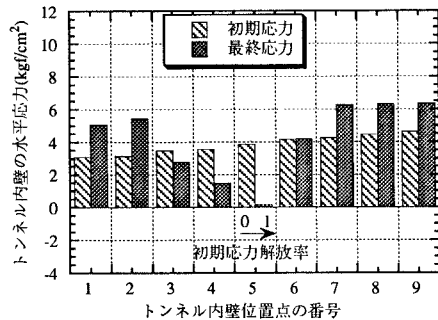


Fig.7 トンネル内壁の水平応力