

前田建設工業株式会社 技術研究所 正会員 関 順一
同 上 正会員 ○三輪 俊彦

1. まえがき

近年、NATMの軟弱地山への適用拡大に伴い、トンネルの周辺地山の安定性及び変形挙動の解明に対する重要性が増してきた。トンネルの安定問題は、F.E.Mなどの数値解析法の発達により、ある程度詳細な解析が可能となっている。しかし、数値解析に用いる地山の力学定数は、一般に岩石の三軸圧縮試験などから導く場合が多く、トンネル掘削による応力解放時を考えると、標準の三軸圧縮試験とは応力経路が異なっている(図-1)。つまり、トンネル掘削による周辺地山の応力は、応力解放に伴う側圧減少・軸圧増加(図-2⑥)の径路を示すのに対し、標準の三軸圧縮試験は側圧一定・軸圧増加(図-2④)の応力経路を用いる。本論文では、側圧減少のみに着目した軸圧一定・側圧除荷試験(図-2③)を行ない、トンネルの安定問題などの応力解放を扱った解析に用いる力学定数を求める試験法について若干の考察を試みた。

2. 試料及び実験方法

本試験で用いた試料は、鶴川層と呼ばれるシルト質泥岩であり、その物理諸量は表-1に示す。供試体は直径5cm、高さ10cmの円柱形を用いた。

標準三軸圧縮試験(標準試験)は、側圧一定による軸圧載荷とし、定歪速度(0.1%/min)、非排水条件を与えた。側圧除荷試験は、軸圧一定による側圧除荷とし、他の試験条件は全て標準試験に準じた。実験装置は通常の三軸圧縮試験機を用い、標準試験では液圧による等方圧載荷型スピンドル、側圧除荷試験では軸圧・側圧完全独立型スピンドルを使用した。又、試料高中央部の側方変形挙動を測定するために非接触型変位計を設置した。

3. 実験結果及び考察

図-3、4は、それぞれの試験における応力-歪関係の代表例である。破壊特性は両者とも非常に似た傾向を示しており、標準試験では側圧10kgf/cm以下で、側圧除荷試験では軸圧50kgf/cm以下で歪硬化-軟化型を示しているが、それ以上では両者とも強い硬化型傾向を示している。

図-5は、圧縮強度と破壊時での側圧の関係を示す。図より、標準試験と側圧除荷試験による圧縮強度はほぼ一致していると考えられ、圧縮強度と側圧とに強い線形相関が存在することがわかる。そこで、破壊強度の包絡線をMohr-Coulombの破壊規準で表わすと、強度定数は $C=18.5\text{kgf/cm}^2$ 、 $\phi=9.2^\circ$ となる。

図-6に変形係数の側圧依存性を示す。側圧除荷試験の方が全体に変形係数が大きくなる傾向が認められ、標準試験では側圧依存性が見られないが、側圧除荷試験では側圧の増加に伴う

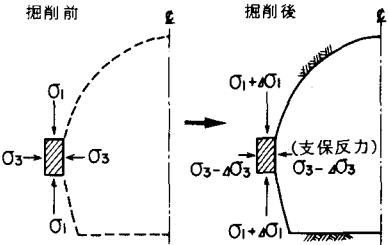


図-1 トンネル掘削に伴う応力解放

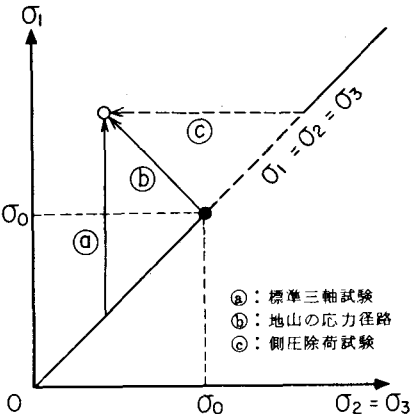


図-2 応力経路

表-1 物理諸量

間 隙 率	n	50.1	%
乾 燥 密 度	r_d	1.31	g/cm ³
湿 潤 密 度	r_t	1.81	g/cm ³
含 水 比	w	38.4	%
粒 子 密 度	G_s	2.62	
一軸圧縮強度	q_u	42.9	kgf/cm ²

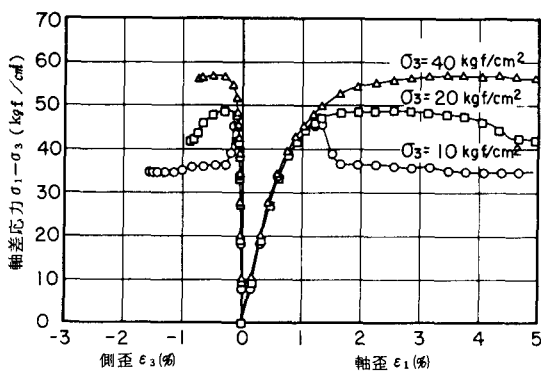


図-3 応力-歪曲線（標準試験）

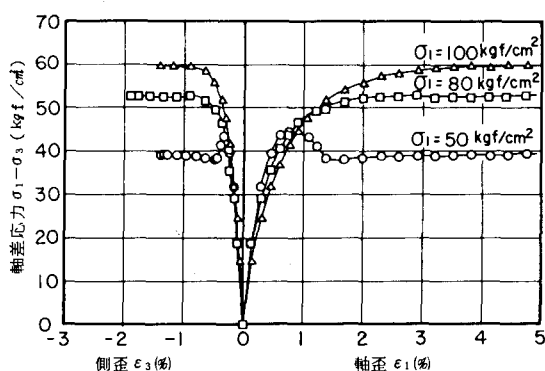


図-4 応力-歪曲線（側圧除荷試験）

変形係数の減少傾向が見られる。図-7は、軸差応力-側歪曲線の初期勾配から得られる側方変形係数の側圧依存性を示す。側方変形は軸変形に比べて標準試験の方が変形係数が大きく、側圧除荷試験ではほぼ一定した値を示している。

以上より標準試験と側圧除荷試験の変形特性について考えると、同じせん断力が負荷した場合でもその応力の変化する方向により変形特性が大きく異なることがわかる。特に側圧除荷時における除荷する方向の変形が、標準試験における同一方向の変形に比べて卓越している。これは、図-1に示すようなトンネル掘削時を考えた場合、除荷方向（法線方向）の変形量が一般の標準試験から得られる変形量より大きくなっていることを示す。このことは、せん断力負荷時における縦横の変形特性の違いが、地山の異方性だけではなく応力の変化する方向にも依存するという特性を表わしている。そこで、この特性を解析的に表現するためにはポアソン比の考え方が問題となり、トンネルの安定問題などの応力解放を伴った現象を解析する場合には、適確なポアソン比の選定が必要であると考えられる。以上より、今後、応力解放を考慮した地山の変形特性の把握がより重要となり、それに伴う適確な試験法の確立が必要となる。

4. あとがき

標準三軸圧縮試験と側圧除荷による圧縮試験を行ないその力学特性を比較することにより、強度的にはほとんど一致しており、変形特性に大きな違いがあることが認められた。特に除荷方向の変形特性の違いに特徴があり、トンネルの内空変位などの評価を解析的に行なう場合には、適確な地山の変形特性の把握が必要であると考えられる。

参考文献

- (1) 西, 江刺, 岡本; 「泥岩の力学的特性に関する研究(その3)」, 電力中央研究所報告, No. 382013, 1982.
- (2) 足立, 小川; 「堆積軟岩の力学特性と破壊規準」, 土木学会論文報告集, No. 295, 1980.

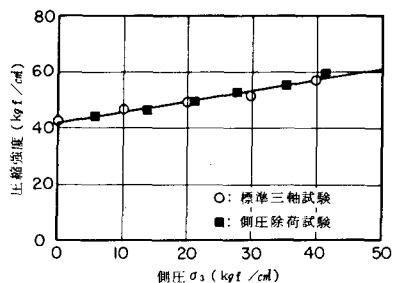


図-5 圧縮強度と側圧の関係

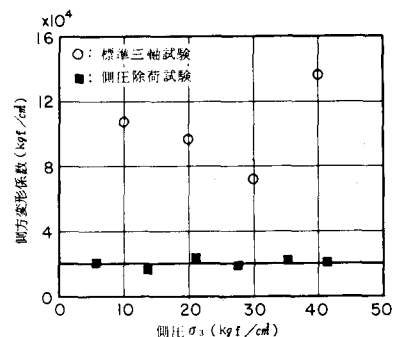


図-6 変形係数 E_{50} と側圧（最大軸差応力時）の関係

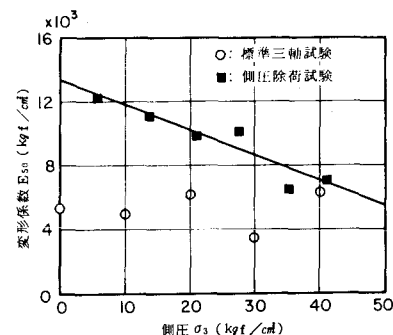


図-7 側方変形係数と側圧（最大軸差応力時）の関係