

清水第三トンネルのコアを用いた室内応力測定

- AE法・変形率変化法の適用 -

三井建設(株)
サココンサルタント(株)
日本道路公団
大成建設(株)

正会員 〇木山 保
正会員 佐々木勝司
正会員 田中 一
正会員 青山 繁夫

1. はじめに

静岡県庵原郡の清水第三トンネルのTBM導坑で採取されたボーリングコアを用いて、AE法・変形率変化法による室内応力測定を実施した。6方向の供試体を作製し、トンネル掘削断面内の応力状態とトンネル軸方向の応力を評価したので、試験結果について報告する。

2. 試験方法および試験結果

AE法・変形率変化法により室内応力測定を実施した供試体は、清水第三トンネルTBM導坑の上り線STA914+06地点から下り線に向かって掘削した水平ボーリング孔の細粒砂岩のコアである。採取深度は13.5～15.6mで、導坑の直径5mに比べて十分大きく、導坑掘削が岩石の応力履歴に与えた影響は十分小さいと思われる。この地点の被りは約100mである。原位置採取コア径は約70mmで、このコアから、直径25mm、長さ55mmの6方向の円柱形供試体を抜き出した。採取コアの方向は、ボアホールテレビで確認した。まず、ボーリング軸をx軸（孔底側を正）、トンネル坑軸をy軸（東京側を正）、鉛直方向をz軸（上を正）と定義する。供試体は、z×x平面（トンネル掘削断面）内において、z軸正方向（上）からx軸正方向（南）への回転角で供試体の方向を表現すると、0°、36°、72°、108°および144°の5方向（それぞれシリーズA～E）と、y軸に平行（シリーズF）のもの、計6方向である。シリーズA～Eの結果からトンネル掘削断面内の初期平面応力状態を推定し、シリーズFからトンネル軸方向の応力成分を測定し偏圧等の有無を評価した。

直径10mm、厚さ4mm、共振周波数500kHzの厚み振動型圧電素子を、AEセンサーとして供試体側面にエポキシ樹脂で貼付した。変形率変化法のひずみ測定のために、ゲージ長5mmのひずみゲージを3枚、エポキシ樹脂で貼付した。AEの測定は増幅率1000倍のアンプを使用し、その後、波形処理を行い、AEイベントとして抽出してから計数している。ひずみ計測は、動ひずみアンプで増幅し、A/D変換後にLabViewでデータを取り込み、300回/秒でスタッキングして保存した。載荷装置は、MTS815岩石試験装置を使用し、試験はすべて荷重でコントロールした。空気のゆらぎ、温度変化、電磁氣的ノイズを軽減するために、供試体を鋼製の圧力容器に収めた状態で試験を実施した。載荷パターンは、0.8MPaから10MPaまで5回の繰り返し載荷とした。載荷速度は、0.5MPa/minとした。

3. 試験結果および考察

今回、試験を実施した第三紀の細粒砂岩は、AEの発生頻度が低かった。このため、AE法による応力測定は、先行応力の読み取りが困難であった。しかし、AEアンプの増幅率をこれ以上向上させても、ノイズの除去が困難となるため、本システムでは1000倍のキークット：変形率変化法、原位置応力、AE法、清水第三トンネル、TBM連絡先：千葉県流山市駒木518-1三井建設、0471-40-5201(fax5216)

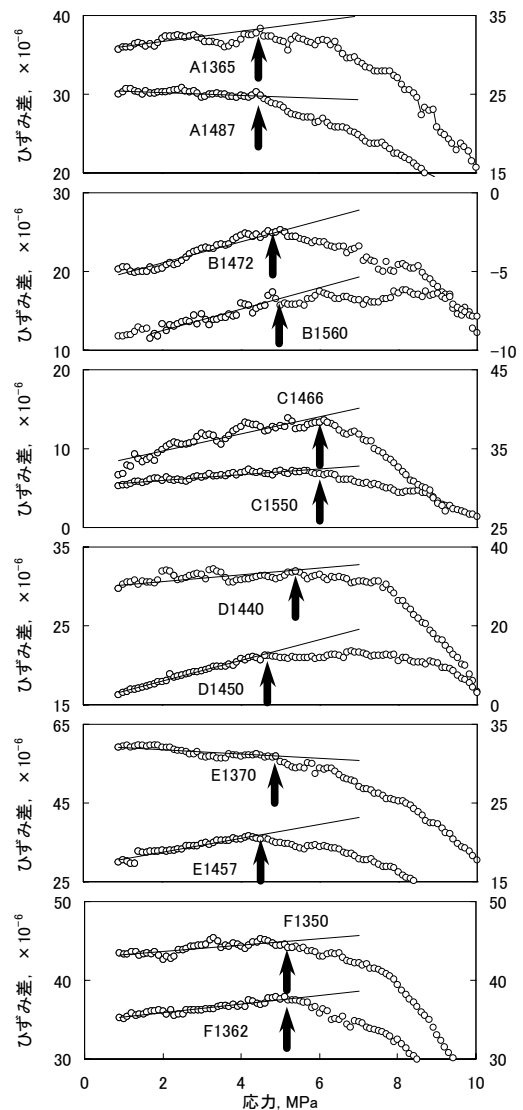


図 1 変形率変化法のひずみ差-応力関係

増幅率が限界と考えられる。一方、変形率変化法では、ひずみ差-応力の関係において、ひずみ差の変化が比較的大きかったため、先行応力の読み取りはAE法よりも容易であった¹⁾。図 1に、変形率変化法のひずみ差（5回目と2回目の差）-応力の関係を示す²⁾。図中の矢印が読み取った先行応力である。各方向、2本ずつ試験を実施したが、シリーズDを除けば、それぞれの2本の結果は良い一致を示し、試験の再現性は高い。

表 1 および 表 2に、それぞれ AE 法と変形率変化法で得られた応力測定結果を示す。なお、供試体 C 1550 では、明瞭な AE の増加点が読み取れなかった。読み取った先行応力について、AE 法では、同一方向の2つの結果がばらついているが、変形率変化法では2つの結果が良い一致を示している。これらの結果から、 $z \times$ 平面内の平面応力状態を最小二乗法で計算し、各供試体に対する残差と面内の最大・最小主応力を求めた。AE 法では、変形率変化法に比較して残差が大きい。今回の試験に関しては、AE 法から読み取った先行応力がばらついており、精度としては変形率変化法よりも低い。変形率変化法の結果を図 2に示す。図中の○印は先行応力の測定値を、灰色の曲線は最小二乗法で求めた応力の最確値を示すが、測定値が最確値の曲線に良く一致し、データとしての信頼性は高いと思われる。

AE 法の結果から計算された最大主応力は、変形率変化法の約 1.2 倍、最小主応力は約 0.9 倍で、最大主応力方向は両者で約 30°のズレがあるものの概ね水平方向であり、両手法の試験結果は矛盾しないと考えられる。

4. 原位置の地形と測定応力について

鉛直方向の応力（最確値）は、AE法で4.0MPa、変形率変化法で4.5MPaと推定された。原位置のかぶり約100mからかぶり圧は2.5MPaで（比重2.5と仮定）、測定応力は予想されるかぶり圧よりも大きい。AE法や変形率変化法では、いつの履歴応力を反映しているかがいつも議論になる。本結果も、古い履歴応力を反映している可能性がある。地形の浸食などで応力が解放される場合、平地では水平応力が解放されずに保存され、鉛直応力のみ解放されるが、本現場のような山間地では、平均的に応力が解放されると考えられる。これらから、現在の原位置応力は、推定された応力より小さい可能性が高い。トンネル掘削断面内の主応力比は、変形率変化法で1.27と小さな値を示し、地下構造物としては安定した条件であると考えられる。トンネル軸方向の応力は約5MPaで、原位置の応力状態は大きな偏圧は受けていないと考えられる。

5. おわりに

清水第三トンネルの周辺岩盤の初期応力状態をAE法・変形率変化法で推定した。本現場の岩石は、AEの発生頻度が低く、AE法による応力の測定結果は誤差を含むが、変形率変化法では良好な結果が得られた。推定された応力から、周辺岩盤は偏圧などを受けておらず、安定していると考えられる。

（参考文献）

- 1) 木山，他：猪名川深部ボーリングコアを用いた変形率変化法による応力測定，土木学会年次講演会，1997
- 2) 山本清彦：平成 5 年度科研費成果報告書，pp.86～103,1994

表 1 AE 法による応力測定結果

供試体	角度	先行応力	残差	最大主応力	最小主応力
	degree	MPa	MPa	MPa	MPa
A1487	0	3.5	-0.5	6.60	3.92
A1365	0	3.3	-0.7	角度	角度
B1472	36	4.3	-0.1	degree	degree
B1560	36	5.5	1.1	100.8	10.8
C1550	72	-	-		
C1466	72	5.8	-0.2		
D1440	108	7.9	1.3		
D1450	108	4.8	-1.8		
E1457	144	5.0	-0.3		
E1370	144	6.7	1.4		
F1362	坑道軸	5.4			
F1350	坑道軸	4.3			

表 2 変形率変化法による応力測定結果

供試体	角度	先行応力	残差	最大主応力	最小主応力
	degree	MPa	MPa	MPa	MPa
A1487	0	4.4	-0.1	5.58	4.38
A1365	0	4.6	0.1	角度	角度
B1472	36	5.1	-0.1	degree	degree
B1560	36	5.0	-0.2	72.2	-17.8
C1550	72	5.6	0.0		
C1466	72	5.9	0.3		
D1440	108	5.4	0.2		
D1450	108	4.6	-0.6		
E1457	144	4.3	-0.2		
E1370	144	4.9	0.4		
F1362	坑道軸	5.1			
F1350	坑道軸	5.1			

x軸：ボーリング軸、孔底方向を正
y軸：トンネル軸、東京方向を正
z軸：鉛直方向、上方を正
角度は、y軸正（東京側）からzx平面を見たとき、z軸正（上）から反時計回りの回転角
残差は、最小二乗近似から求めた最確値と測定された先行応力との差

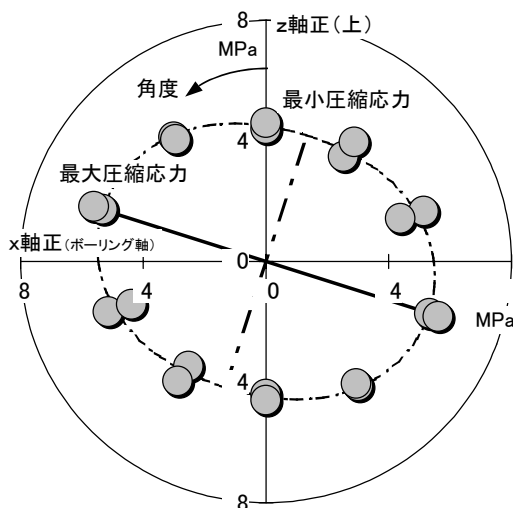


図 2 トンネル掘削断面内の応力状態（変形率変化法による応力測定結果）