

(株)熊谷組技術研究所 正員 犬塚 本夫

同 上 正員 上野 正高

同 上 正員 石垣 和男

1. はじめに

近年、特に、膨張性地山や軟弱性地山におけるトンネルの一支保手段として、全面接着型ロックボルトが用いられており、その効果が注目されております。ロックボルトは、吹付ナコンクリートと共に、NATMの重要支保メンバーであり、ロックボルトがNATMの支保として、充分その機能を発揮しているかどうかの判定基準を得るにあたり、種々の計測方法が考えられている。しかし、これらの計測結果をシステマチックに解析し、NATMの設計及び施工管理にまで適用しようという試みは、今まで全く成されていなかった。そこで、本報告は、ロックボルトにひずみゲージを貼付したメカニカルアンカーを、トンネル周辺に設置し、引抜試験及びそれを用いた軸力測定とい、に計測結果を基にして、ロックボルトの設計及び施工管理にまで、計測結果を適用しようという、計測から設計、施工管理までを一体化した総合システムについて、言及するものである。

2. ロックボルトの引抜試験

地山内に設置されたロックボルトに、引抜試験を行うと、Fig-1の様な、軸力分布が得られる。ここに示された3種類の曲線は、ボルト長の適否によ、て得られる典型的なものである。(a)は、ボルトの全長に渡、て凸形の曲線を示しており、ボルトが短い場合に見られるものである。(c)は、所定の引抜荷重に対して軸力の収束が、ボルトの途中にな、ており、ボルトが長すぎる場合、そして(b)は、ボルトの長さ適当な場合に得られる軸力分布曲線である。又、この軸力分布曲線の形状からボルトが地山の拘束を受けている部分と、そうでない部分との区別が可能となる。すなわち、軸力分布曲線の形状が凸の場合は、地山とロックボルトがスリッパしている状態であり、凹の場合は、ロックボルトが地山の拘束を受けている状態、つまり、ロックボルトが地山と完全に密着している状態と言える。このボルトの付着状態をより明確に調べるためには、軸力を微分してせん断力分布を求めることにより、明らかとなる。それが、Fig-2である。図より、せん断力のピークを境にして、軸力分布曲線の形状が変化していることが分る。すなわち、せん断力がピーク値に達するまでの区間は、非抵抗領域であり、ピーク値からボルトの先端までが、抵抗領域である。これをより詳細に区分すると、区間Aがボルトと地山が完全にスリッパしている領域であり、無抵抗領域、区間Bが、ボルトと地山の間にスリッパはあるが、抵抗力もあり疑似抵抗領域、そして、区間Cは、完全にボルトと地山が密着している抵抗領域である。そして、施工上、ボルトが、この抵抗領域に半分以上入、てい、ることが、必要条件である。この様に、引抜試験を行うことによ、て、ロックボルトの長さが適当か否

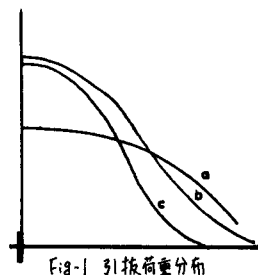


Fig-1 引抜荷重分布

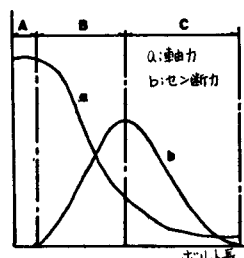
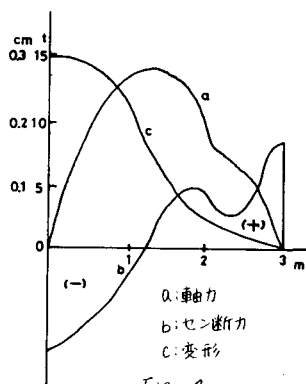
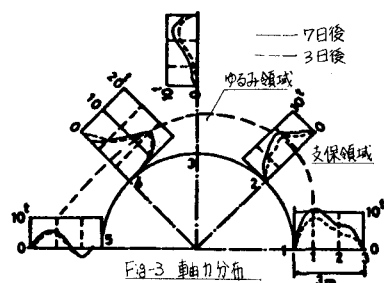


Fig-2

か、又、地山の施工直後の塑性及び非塑性領域の推定が可能である。

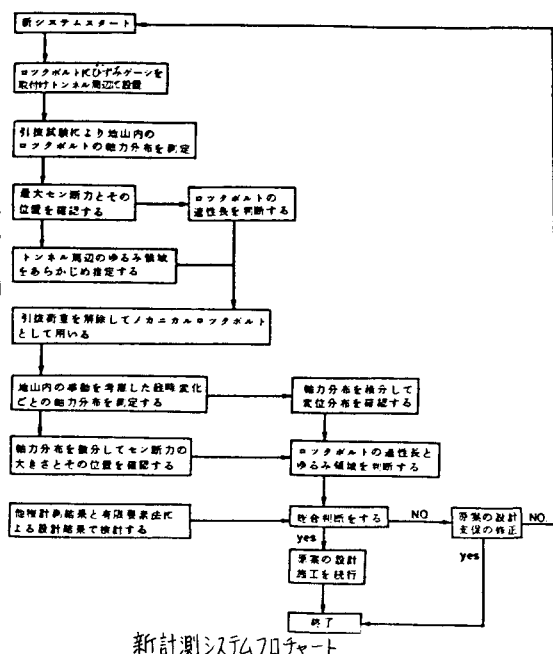
3. メカニカルアンカーの軸力分布測定

引抜試験後、荷重を除荷し、メカニカルアンカーとして軸力の経時変化を測定すると、Fig-3の様な、トンネル周辺に設置されたロックボルトの軸力分布が得られます。この軸力分布の一部を取り出し、微分及び積分を行うことにより、地山の変形に伴うボルトのせん断力及び変形を求めることができます。Fig-4がその結果である。せん断力において、(-)の領域は、地山が内空側へ変形しようとするのをボルトが拘束している状態であり、ゆるみ領域と考えられるのに対して、(+)の領域は、地山の変形に伴ってボルトが抜けようとするのを、地山が拘束している支保領域と考えられる。又、ボルトの変形より、ボルトと地山が完全に密着していれば、地山の変形も推定可能である。又、引抜試験のせん断力分布と、この軸力分布が相似形にあることから、引抜試験と、地山の変形に伴うボルトの挙動との間に、何んらかの相関関係がある様に思えるが、これは今後の課題である。この様に、メカニカルアンカーの軸力を測定することによって、施工進行後のゆるみ領域の推定が可能であり、かつ、ゆるみ領域の推定からボルトの長さの適否も判断可能となる。尚、Fig-3に示した破線は、軸力の測定結果より推定されるゆるみ領域である。



4. 総合システムのフローチャート

以上述べた、2種類の試験結果をもとにして、NATMの重要支保メンバーであるロックボルトの設計、施工管理と行う際のフローチャートを右に示した。ここに示した様に、引抜試験や、地山の挙動によるボルトの軸力分布の測定結果から、ロックボルトの適正長と、ゆるみ領域を判断し、これに、内空変位測定や、地中変位測定等の他種計測結果や、有限要素法を加味して、総合的な判断を下し、フィードバックを繰り返して、安全で経済的なNATMの設計、施工を可能と成さしめることができる。



5. 今後の課題点

この様に、ロックボルトにひずみゲージを貼付したメカニカルアンカーによつて、多方面に渡つて、地山及びボルトの特性が把握できる訳であるが、引抜試験の結果と、地山内ロックボルトの測定結果と等、尚問題が残されている。