

ロックボルト付着特性の実験的評価法の提案

長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静 長崎大学工学部 正会員 棚橋 由彦
長崎大学大学院 学生員 佐久間 敦之 長崎大学工学部 学生員 原 廣敬

1. はじめに

ロックボルトはトンネルや地下空洞などでは不可欠な支保部材として用いられているが、その定着力の評価は、現場引抜き試験を実施し引抜き強度により行っている。しかしながら、図-1 に示すように引抜き試験では周辺地山への反力により、ロックボルトの周囲には一様分布な垂直応力は作用せず、ロックボルト表面に沿ったせん断応力も局部的集中を起しやすくなり付着強度を的確に評価することができない問題点がある。また、ロックボルトの支保効果を定量的に評価するために数値解析の評価法が用いられているが、入力値としての付着強度や変形剛性が客観的に設定できない課題が未だに残されている。

本研究では、ロックボルトの支保効果を的確に評価するために、まずは地山との付着強度に注目して、周辺地山からの拘束条件を考慮できるロックボルト付着強度の新しい試験法を提案する。

2. 試験概要

(1)供試体の作成 ロックボルトとグラウトとの間の付着強度を求めるために、一面せん断試験装置を用いる¹⁾。せん断用供試体としては、ロックボルトとそれを取り囲むグラウトだけを取り出して平面に展開したものを考える(図-2)。この作成方法では、供試体に作用させる垂直応力は周辺地山からの拘束圧として均一に与えることができる。まずボルト部(本研究では KFC 異形棒鋼ロックボルト D25 を対象としている)の表面形状を測定し、付着面を忠実に作成した。またグラウト部は圧縮強度(σ_c)、弾性係数(E_s)などが実現場で用いられているグラウトの物性値に近い石膏を用いた(14 日養生で $\sigma_c=56.8\text{MPa}$ 、 $E_s=20,000\text{MPa}$)。なお、ボルト部分の供試体の長さは 20cm とした。

(2)試験ケース 初期垂直応力(σ_n)の設定については、NATM 工法を用いた山岳トンネルを対象としているので、土被り(H)は、50～100m と想定し、トンネル周辺の最大垂直応力が 2.5～5MPa となるため、せん断試験では、 σ_n を 1, 3, 5 MPa と変化させた。また、ボルト表面には凹凸があるため引抜きに伴い周辺地山を押し広げるようにダイレーションが生じることから、周辺岩盤の拘束効果が定着部グラウトの付着強度に影響を及ぼし、ロックボルトの引抜き抵抗が変わる可能性があるため、周辺地山の垂直剛性(K_n)を一定に制御しなければならない。周辺地山垂直剛性(K_n)は、その変形係数とポアソン比によって決定することができる¹⁾。ここで堆積岩を想定した地山は日本道路公団分類による C、D I 級物性値を用いて、 $\sigma_c=30\sim100\text{MPa}$ 、 $E=(10\sim30)\times10^3\text{MPa}$ 、 $\nu=0.3$ から、 K_n が 256～769MPa/m と求められる。

キーワード：ロックボルト、グラウト、付着特性、一面せん断試験、垂直剛性

連絡先：〒852-8521 長崎市文教町 1-14 長崎大学工学部 TEL (095)843-7229 FAX(095)848-3624

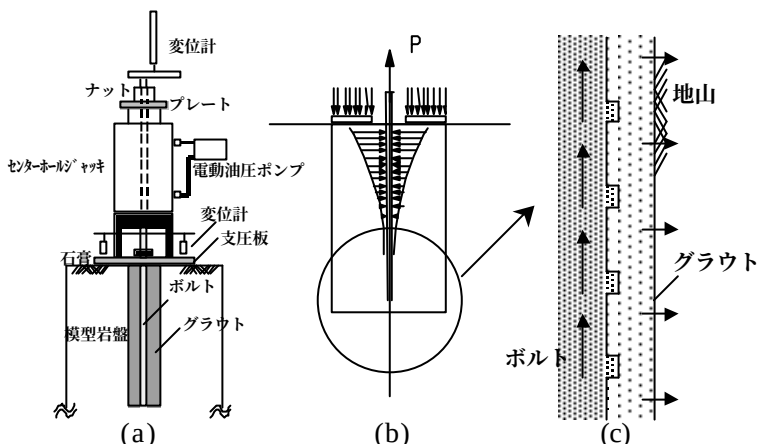


図-1 ロックボルトの引抜き試験における応力分布とグラウトの変位

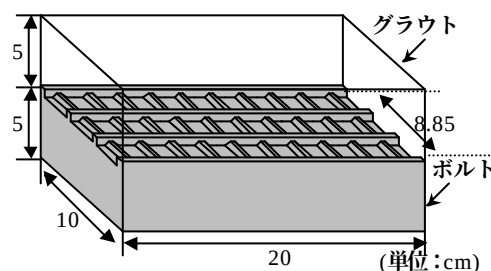


図-2 一面せん断に用いる供試体

(3)せん断試験 周辺地山の拘束効果による影響を比較するため、垂直応力を一定とし地山の変形特性を考慮しない境界条件(CNL, $K_n=0$ MPa/m)と考慮する場合(CNS, $K_n=300, 500, 700, 1000$ MPa/m)に分けてせん断試験を行うが、前者は初めに所定の垂直応力をかけた状態で、せん断速度 0.5mm/min で 5mm までせん断を続けた。一方後者は垂直応力をかけた後、垂直剛性を一定に制御しながら、同様なせん断速度で試験を行った。

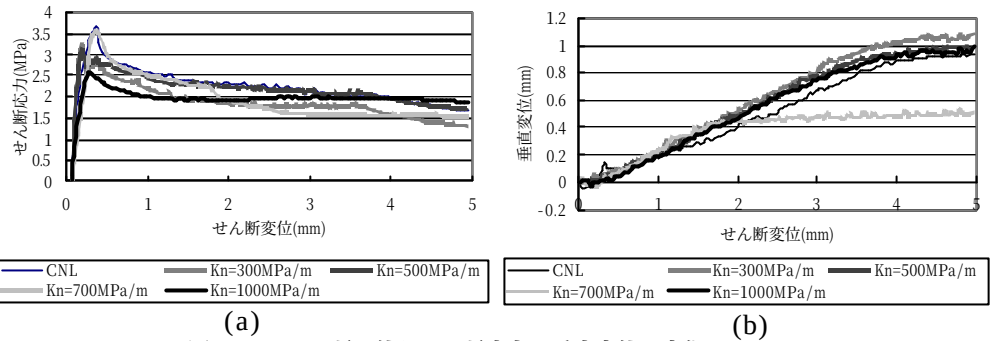


図-3 せん断に伴うせん断応力と垂直変位の変化 ($\sigma_n=1\text{MPa}$)

3. 試験結果と考察

せん断に伴うせん断応力と垂直変位の変化を図-3 に、ピークせん断応力と垂直応力との関係を図-4 に示す。各ケースを比較すると垂直応力の増加に伴いピークせん断応力の増加が顕著に見られたが、垂直剛性の増加に対するピークせん断応力の増加傾向はあまり顕著に現れなかった。しかし破壊形態に関しては、 $\sigma_n=1\text{MPa}$ で $K_n=300, 500\text{MPa/m}$ のせん断過程ではグラウトがボルトの表面にのりあげていたのに対し、それより σ_n, K_n を増加させると破壊形態がのりあげからグラウト自身のせん断破壊による表面損傷へと変化する傾向となり、垂直剛性の影響がみられる。その結果は図-3(b)に示すように、 $K_n=700\text{MPa/m}$ では石膏の破壊がはじまり垂直変位が低く、またそれ以外のパターンは石膏がボルト模型をのりあげるため、ボルトの歯の高さ(約 1mm)に等しい垂直変位を生じた。

以上の試験結果を用いて、ピークせん断応力に対するボルト・石膏間の粘着力 c_{ps} 、内部摩擦角 ϕ_{ps} 、残留段階での c_{rs} 、 ϕ_{rs} 、さらにせん断剛性 K_s を求め、垂直剛性による影響を比較した(図-5~7)。 K_n の増加に伴い、 c_{ps} が減少した一方、 ϕ_{ps} が増加する傾向が見られた。また、せん断剛性 K_s は全体として K_n の増加に伴ってほぼ減少傾向にある。

4. おわりに

本研究では、一面せん断試験によるロックボルトとグラウトとの付着強度および変形剛性を求める新しい試験法を示した。試験法では垂直応力のみならず、地山の変形特性を考慮した垂直剛性の制御も可能となった。今後はここに提案した試験法によって求めたロックボルトの付着特性を考慮して、支保効果の定量的評価を検討していく。

【参考文献】

- 1) 棚橋由彦, 蔣宇静, 溝上建, 祐徳泰郎, 渡辺秀一: デジタル制御型岩盤不連続面一面せん断試験機の作成と応用, 第56回土木学会年次学術講演概要集, 熊本, 第III部門, III-A267, 2001.

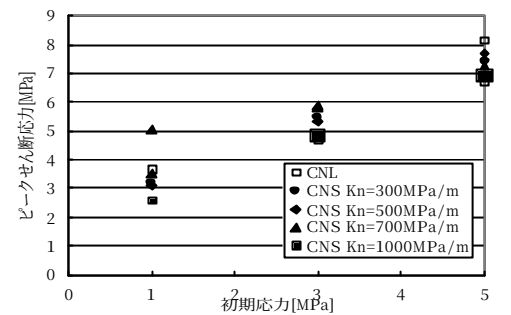


図-4 ピークせん断応力の比較

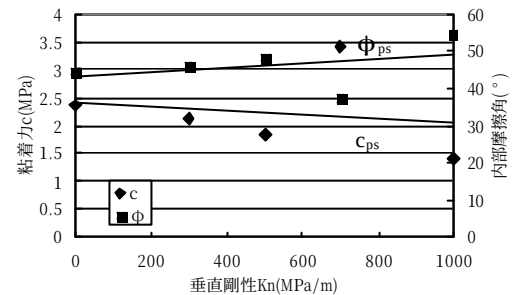


図-5 ピーク応力時の C_p , ϕ_p の比較

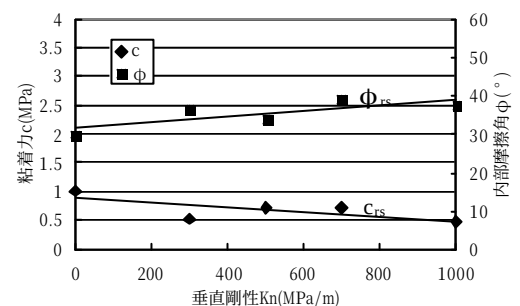


図-6 残留強度における C_r , ϕ_r の比較

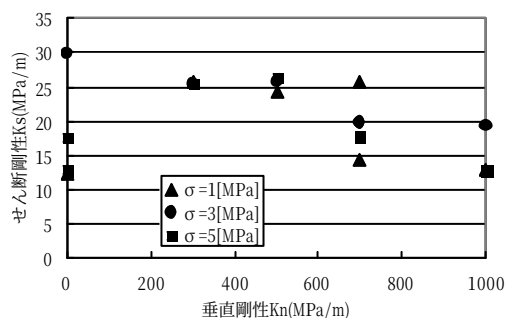


図-7 せん断剛性の比較