

付着特性を考慮した全面付着型ロックボルト作用効果の評価

長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静 長崎大学工学部 フェロー 棚橋 由彦
 長崎大学工学部 学生員 永家 健司 長崎大学工学部 学生員〇森尾 真悟
 (株) ケー・エフ・シー技術部 正会員 羽馬 徹

1. はじめに

ロックボルトは山岳トンネルや地下空洞などの補強対策として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、現場引抜き試験により評価されている。しかしながら、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が作用せず、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。

本研究では、NATM 工法を用いた山岳トンネルにおいて打設されるロックボルトを対象として、一面せん断試験を実施しグラウト部とロックボルトの付着特性および変形剛性をより正確に求めることでロックボルトの支保効果を評価し、また表面形状の異なるロックボルトの付着強度を比較検討することによりロックボルトの支保効果を理論的に考察する。

2. 試験概要

ロックボルトとグラウトとの境界面の付着強度を求めるために、著者らが試作した一面せん断試験機を用いる。せん断供試体としては、ロックボルト(ツイストバー異形棒鋼 TD24)とその周囲のグラウトを平面展開したものを考える(図1)。NATM 工法を用いた山岳トンネルを対象としているため、初期垂直応力 σ の設定において、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 を1、3、5MPaと変化させた。また、ボルト表面の凹凸によって引き抜く際に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、ロックボルトの引き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。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、 $\sigma_c=3\sim 10\text{MPa}$ 、 $E=1.0\sim 3.0\text{GPa}$ 、 $\nu=0.3$ から、 K_n が256~769MPa/mと求められるため、せん断試験では K_n を0、300、700MPa/mと3段階に変化させる。

3. 試験結果と考察

それぞれの試験条件におけるピークせん断応力の比較を図2に示す。初期垂直応力の増加に伴ってピークせん断応力はほぼ線形的に増加しているのがわかる。そこで、図2の試験結果に対する回帰式を用いてそれぞれの見かけ粘着力 c_p 、摩擦角 ϕ_p を求めると、CNLでは $c_p=0.99\text{MPa}$ 、 $\phi_p=61.53^\circ$ となり、またCNSでは各垂直剛性の値を平均して $c_p=0.231\text{MPa}$ 、 $\phi_p=64.56^\circ$ となった。垂直剛性の推移とそれぞれの試験ケースでのピークせん断応力における見かけ粘着力 c_p 、摩擦角 ϕ_p の関係を図3に示す。ここで、

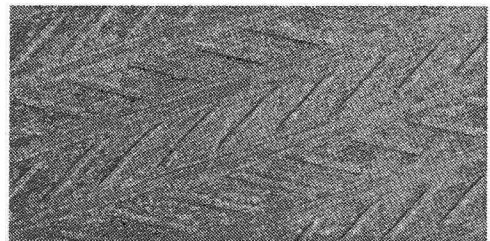
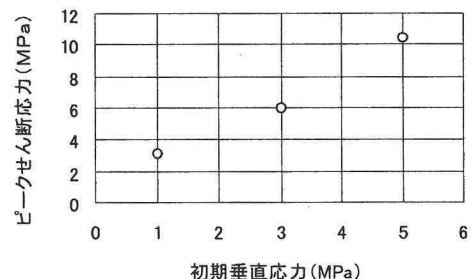
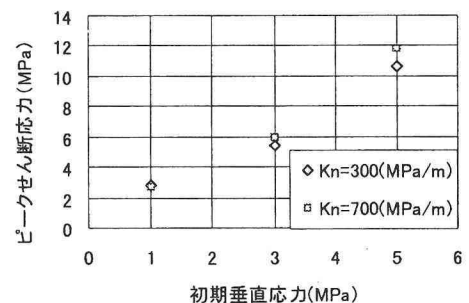


図1 ロックボルト付着面の展開図



(a) CNL



(b) CNS

図2 付着面のピークせん断応力の比較

図・3に着目すると、ピーク時においては、垂直剛性値の増加に伴い見かけ粘着力 c_p は減少の傾向を示した。また摩擦角 ϕ_p は増加の傾向を示し、次の回帰式が求められる。

$$C_p = 0.94 - 0.001K_n \quad (1)$$

$$\phi_p = 61.28 + 0.0068 K_n \quad (2)$$

上式からもわかるように、見かけ粘着力 c_p は垂直剛性に影響を受け、また摩擦角 ϕ_p は垂直剛性の影響が小さくほぼ一定の値をとることがわかった。次に、せん断変位 ($u = 1, 2, 3, 4, \text{mm}$) の状態における見かけ粘着力 c_r 、摩擦角 ϕ_r を図・4～6に示す。残留段階において図・5、6からもわかるように、垂直剛性の影響をあまり受ず、せん断変位とともにほぼ一定の値を示す。よって、各せん断変位の強度に対する平均をとり K_n の推移に伴う c_r 、 ϕ_r のグラフを図・6に示す。図・6から回帰式を求めると次のようになる。

$$C_r = 0.266 - 0.00002K_n \approx 0.27 \quad (3)$$

$$\phi_r = 39.36 + 0.0036K_n \quad (4)$$

残留段階では、見かけ粘着力と摩擦角ともに垂直剛性にほとんど影響されなかった。またピーク時に比べて粘着力は約 30%、摩擦角は約 35%に減少していた。

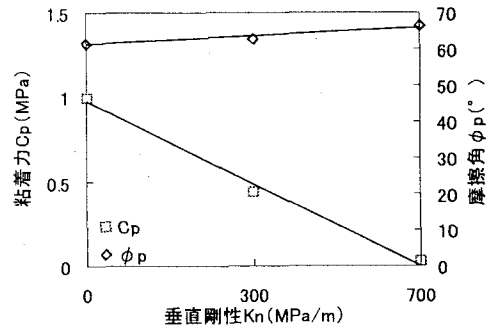
この試験結果は、前年度を行って得られた表面形状の異なるロックボルト (KFC 異形棒鋼 D25) での試験結果 2)と比較すると、垂直応力の増加に対するピークせん断応力の増加率が大きいことがわかった。このことから前年度のロックボルト形状に比べて、本研究に用いられたロックボルト付着面の摩擦角が大きく粘着力が小さいという結果が得られた。

4. おわりに

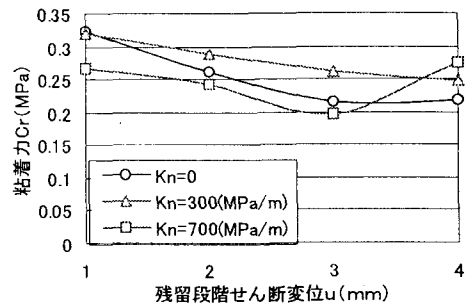
本研究では、表面形状の異なるロックボルトの付着強度特性と周辺地山の変形特性との関係について比較検討した。今後は、著者らの解析手法に試験結果を取り入れて、表面形状の異なるロックボルトの作用効果を理論的に比較検討していく。

参考文献：

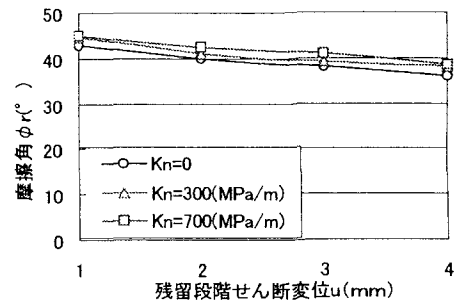
- 1) 棚橋由彦, 蔣宇静, 佐久間教之, 原廣敏: 第 57 回土木学会年次学術講演概要集, 札幌, 第Ⅲ部門, Ⅲ-660, CD-ROM, 2002
- 2) 棚橋由彦, 蔣宇静, 谷口雄一郎, 蔡躍: 平成 14 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 第Ⅲ部門, A-414, 2003
- 3) 棚橋由彦, 蔣宇静, 元尾秀行, 竹下揚子: 第 57 回土木学会年次学術講演概要集, 札幌, 第Ⅲ部門, Ⅲ-200, CD-ROM, 2002



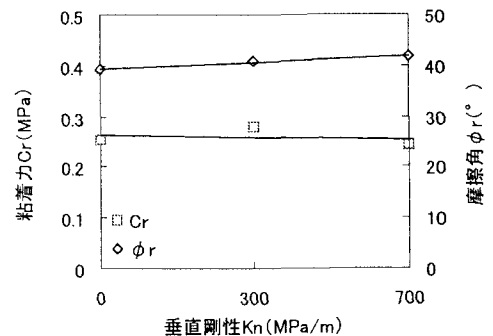
図・3 K_n の推移に伴う c_p 、 ϕ_p の比較



図・4 見かけの粘着力と垂直剛性とせん断変位の関係



図・5 摩擦角と垂直剛性とせん断変位の関係



図・6 K_n の推移に伴う平均 c_r 、 ϕ_r の比較