

全面付着型ロックボルト付着特性の評価

長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静
 (株)ケー・エフ・シー技術部 正会員 羽馬 徹

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 森尾 真悟

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こ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、山岳工法トンネル等において打設される全面付着型ロックボルトを対象として一面せん断試験を実施して、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、ロックボルトの作用効果を評価する。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付着強度に対する表面形状の影響を明らかにする。さらに、得られた試験結果をもとに、ロックボルトの支保効果に関する理論的考察を行う。

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の(a))。初期垂直応力 σ_0 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_0 を1, 3, 5MPaと変化させた。また、ボルト表面の凹凸(リブ)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ク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)を一定に制御する。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¹⁾、せん断試験では K_n を0, 300, 700MPa/mと3段階に変化させる。



(a)ツイストバー異形棒鋼 TD24



(b)異形棒鋼 D25

図-1 ロックボルト付着面の展開写真

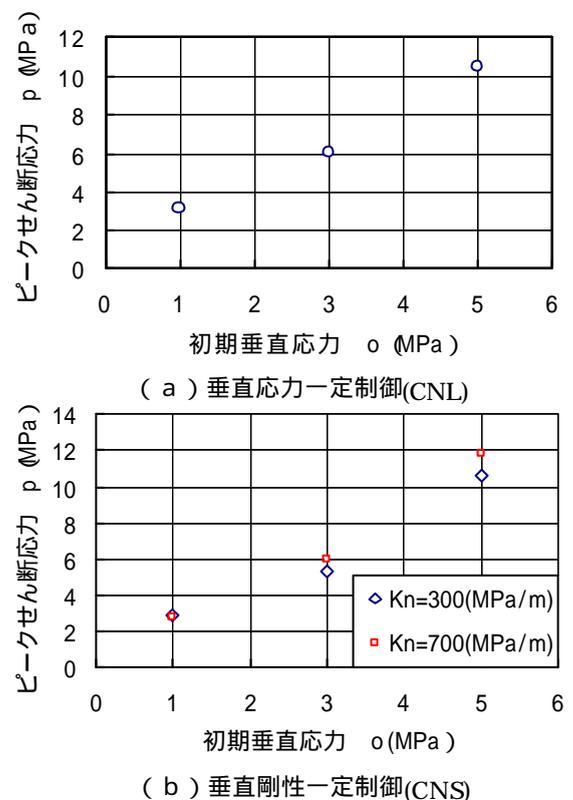


図.2 制御方式による付着面のピークせん断応力の比較

(キーワード)ロックボルト、一面せん断試験、垂直剛性、数値解析、支保効果

(連絡先)長崎大学工学部社会開発工学科 〒852-8521 長崎市文教町1番14号 095-819-2626

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ことがわかる。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 ρ を求めると、CNL では $c_p=0.99\text{MPa}$ 、 $\rho=61.53^\circ$ となり、また CNS では各垂直剛性の値を平均して、 $c_p=0.231\text{MPa}$ 、 $\rho=64.56^\circ$ 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 ρ の関係を図-3 に示す。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 ρ は増加の傾向を示し、次の回帰式が求められる。

$$c_p = 0.94 - 0.0014 K_n \quad (1)$$

$$(TD24) \quad \rho = 61.28 + 0.0068 K_n \quad (2)$$

$$c_p = 2.2 - 0.0006 K_n \quad (3)$$

$$(D25) \quad \rho = 46.0 + 0.0023 K_n \quad (4)$$

上式からもわかるように、見かけ粘着力 c_p は垂直剛性の影響を受け、また摩擦角 ρ は垂直剛性による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 (残留段階) における見かけ粘着力 c_r と摩擦角 r は垂直剛性の影響をあまり受けず、せん断変位とともにほぼ一定の値を示した。よって、各せん断変位に対する強度の平均をとり K_n と c_r 、 r の関係を図-4 に示す。図-4 から回帰式を求めると次のようになる。

$$(TD24) \quad c_r = 0.266 - 0.00002 K_n \approx 0.27 \quad (5)$$

$$r = 39.36 + 0.0036 K_n \quad (6)$$

$$c_r = 1.3 - 0.0007 K_n \quad (7)$$

$$(D25) \quad r = 32.7 + 0.0098 K_n \quad (8)$$

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ず、また TD24 では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。

ツイストバー異形棒鋼 TD24 の試験結果と前年度用い

た表面形状の異なるロックボルト (図-1 の (b) 異形棒鋼 D25 の平面展開写真) での試験結果²⁾ を比較すると、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。このことからツイストバー異形棒鋼 TD24 のピーク時における摩擦角 ρ は異形棒鋼 D25 より大きいことがわかった。また残留段階でのツイストバー異形棒鋼 TD24 のせん断応力も異形棒鋼 D25 と比較して若干大きく、その結果、残留段階での摩擦角 r も大きくなった。

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, 佐久間敦之, 原廣敬：第 57 回土木学会年次学術講演概要集, 札幌, 第 部門, - 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 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 部門, - 200, CD-ROM, 2002

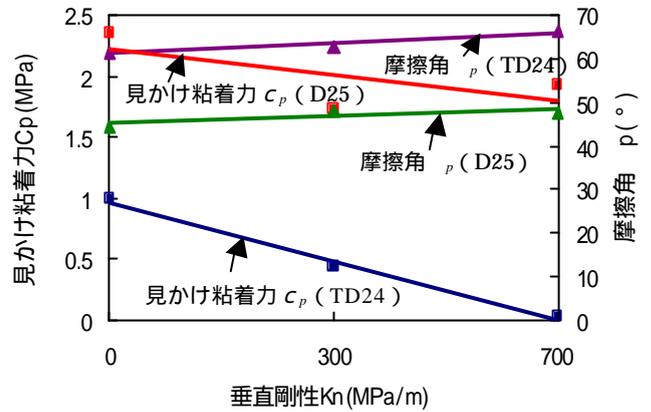


図-3 K_n と c_p 、 ρ との比

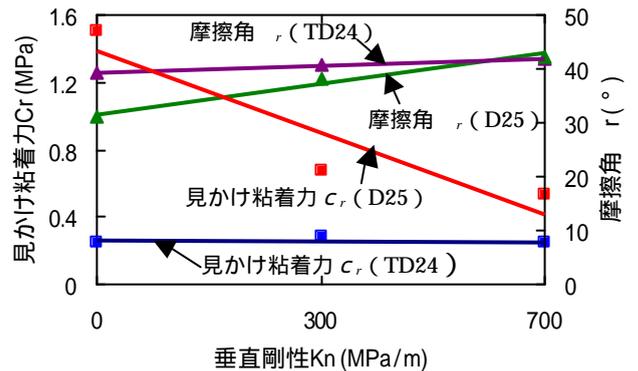


図-4 K_n と c_r 、 r との比較