

ケーブルボルトの付着特性パラメータに関する考察

大成建設株式会社 正会員 中原史晴 伊藤文雄
 山口大学工学部 清水則一

1. はじめに

近年の大断面トンネルや地下発電所の施工において、長尺施工が容易で低コストという利点を生かして、先行補強を目的としたケーブルボルト工法が採用されている。しかし、ケーブルボルトによる岩盤補強効果を定量的に評価して支保設計に反映させるまでには至っていない。

支保設計の手法として解析的なアプローチが考えられるが、これには岩盤補強効果を確実に再現できるケーブルボルトのモデル化が必要条件となる。個別要素法 (DEM) のプログラムである UDEC,FLAC におけるケーブルボルト要素は、全面接着型ケーブルボルトの岩盤補強効果を評価するモデルとして一般的である。このモデルにおけるケーブルボルトとグラウト間の付着特性は、k-bond (付着剛性) および s-bond (付着強度) の二つのパラメータで表現されている。これらの付着特性パラメータは、

原位置における引抜き試験により決定されるものであり、引抜き試験における荷重 変位曲線の線形領域の剛性を付着長で除したものを k-bond、ケーブルボルトの引抜き荷重を付着長で除したものを s-bond として求められる。これら付着特性パラメータは岩盤、グラウト物性値およびケーブルボルトの種類、本数、付着長などによって変化する値である。

本論文では、既発表の引抜き試験結果¹⁾と新たに実施した引抜き試験結果²⁾を基に、付着特性パラメータを算定して試験条件別に整理することにより付着特性パラメータの傾向について考察を行った。評価に用いた引抜き試験の検討ケース及び岩盤・グラウト物性値を表-1 に示す。

検討ケース	ケーブルボルト条件			試験体物性値	
	ストランド種類 (Plain or Bulb)	ストランド本数 (Single or Double)	付着長 (mm)	岩盤剛性 (GPa)	グラウト剛性 (GPa)
1	Plain Strand	Single	350	19.6	11.9
2		Single	700	19.6	11.9
3		Single	700	21.7	13.5
4		Single	700	22.4	14.1
5		Double	350	21.7	13.5
6		Single	350	35.1	21.2
7		Single	250	62.1	13.5
8		Single	250	1.18	13.5
9		Single	350	19.6	11.9
10		Single	700	21.7	13.5
11	Bulb Strand	Single	700	22.4	14.1
12		Double	350	22.4	14.1
13		Single	350	35.1	21.2
14		Single	300	49.7	13.5
15		Single	300	17.7	13.5
16		Single	300	10.3	13.5

表-1 検討ケースおよび物性値

2. ケーブルボルトの種類、本数、付着長の違いが付着特性パラメータに与える影響 (検討ケース 1~5,9~12)

ケーブルボルトの種類、本数、付着長の違いが k-bond および s-bond に与える影響を図-1,2 に示す。図-1(a)(b)より、k-bond はケーブルボルトの種類を通常のプレーンストランドから付着特性向上を目的に加工されたバルブストランドに変更することで向上しているが、ケーブルボルト本数をシングルからダブルに増やした場合には向上していないことが分かる。ケーブルボルトをダブルストランドとして打設することは、ケーブルボルトとグラウト間の付着特性を向上させる目的で実施されているが、この結果を見る限り付着剛性についての向上効果は見込めないと考えられる。また図-1(c)より、付着長の違いに関しては k-bond の値はほぼ一定となっており、付着特性パラメータが単位付着長で定義されている事と整合している。

図-2(a)(b)より s-bond は、ケーブルボルトの種類、本数を変更することで向上しており、引抜き荷重を大きくするために加工ストランドやダブルストランドを採用することは効果的であると考えられる。また図-2(c)より、s-bond の値は付着長が長くなるにつれて減少する傾向になっている。通常は、原位置引抜き試験より簡便に s-bond の値を求め、それを実構造物におけるケーブルボルトの解析に適用している。もし、今回の結果が示すように付着長が長くなるにつれて s-bond の値が減少するものであれば、現状の解析における付着強度は過大評価されている事となる。現実の挙動としては、長尺ケーブルボルトに作用する引抜き力がある有効な付着長によって分担され、付着切れの進行に伴って有効付着部もボルト深部へ移動していると考えられる。このメカニズムについては実際のケーブルボルト挙動をさらに詳細に調査し、今後はそれに基づいて実際のケーブルボルト挙動を

キーワード : ケーブルボルト、設計手法、付着特性パラメータ、有効付着長

再現できるパラメータの設定方法またはモデル化を検討する必要がある。

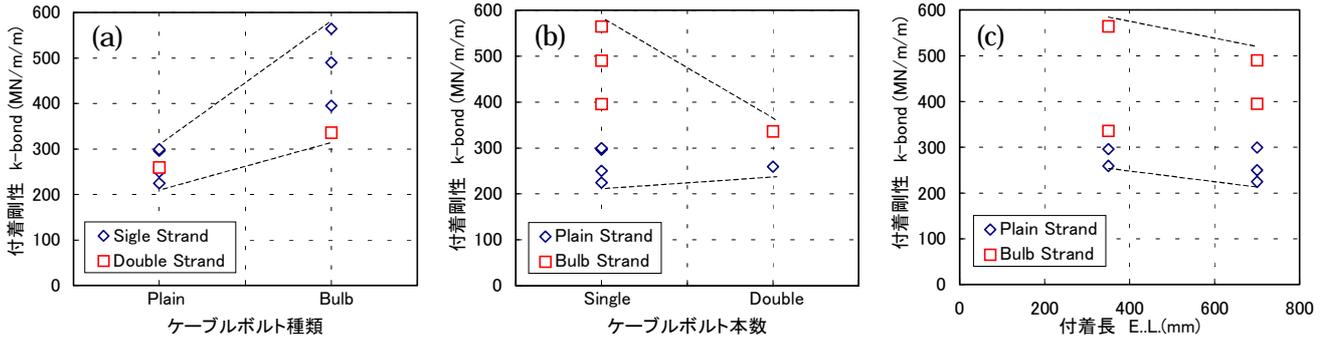


図-1 ケーブルボルト条件がk-bondに与える影響

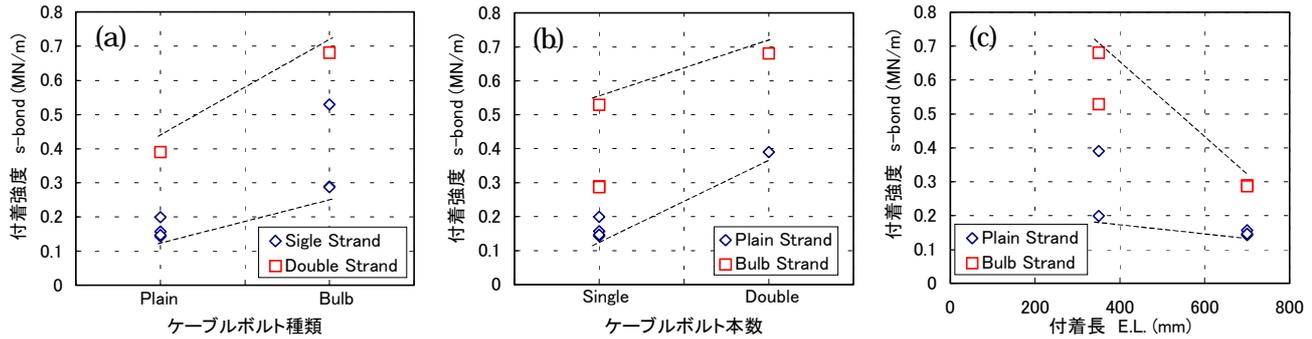


図-2 ケーブルボルト条件がs-bondに与える影響

3. 岩盤およびグラウト物性が付着特性パラメータに与える影響 (プレーンストランド)

岩盤内に打設されたケーブルボルトは周辺岩盤とグラウトにより拘束された状態にあり、一般的に引抜きに対する変形および強度特性はその拘束圧の大きさに依存するものと考えられる。図-3に岩盤およびグラウト物性値の違いに着目して付着特性パラメータを整理した。k-bondは、グラウト剛性が高くなるにつれて大きくなる傾向は見られるが、岩盤剛性にはあまり依存していない。これに対してs-bondは、グラウト剛性に依存せず岩盤剛性が高くなるにつれて大きくなっている。これより、岩盤中に打設されたケーブルボルトの変形特性はグラウト材の剛性に、強度特性は周辺岩盤の剛性に影響を受けて変化するものと推測できる。

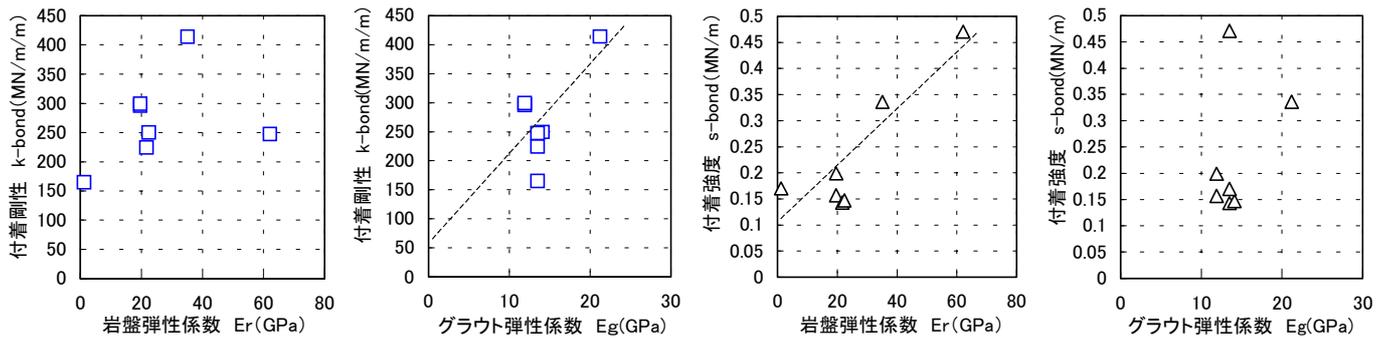


図-3 岩盤およびグラウト物性が付着特性に与える影響

4. まとめ

- ・現状の解析における付着強度パラメータ s-bond は付着長に依存するため、付着強度は過大評価されており、解析手法を用いた支保設計を行う上でモデル化の再検討が必要である。
- ・付着剛性および付着強度ともに向上させるには、加工ストランドを採用するのが効果的である。
- ・ケーブルボルト (プレーンストランド) の変形特性はグラウト材の剛性に、強度特性は周辺岩盤の剛性に影響を受けて変化するものと考えられる。

参考文献

- 1) A.J.Hyett, W.F.Bawden, R.D.Reichert : The Effect of Rock Mass Confinement on the Bond Strength of Fully Grouted Cable Bolts, Int. J. Rock Mech. Min. Sec. & Geomech. Abstr. ,Vol.29 ,No.5 ,pp.503-524 ,1992
- 2) 谷卓也、伊藤文雄、清水則一：室内試験によるケーブルボルトの付着特性評価,第34回地盤工学研究発表会講演集,vol.2,pp.1167-1168,1999