

Ⅲ－B 102

引抜き試験結果を利用したケーブルボルトの定着特性評価について

大林組	技術研究所	正会員	○木梨秀雄
大林組	土木技術本部	正会員	天野 悟
大林組	技術研究所	正会員	大内 一

1. はじめに

ケーブルボルトは全面接着式の岩盤補強部材であり、そのたわみ性と引張り剛性を利用して長尺の先行支保を行うなどトンネル・地下空洞への適用が期待されている。ケーブルボルトの支保効果は、岩盤の変形に伴い軸力を生じることで発揮され、この効果は定着特性に大きく依存する。そこで、現場における引抜き試験の結果を利用して、ケーブルボルトの定着特性を決定する方法を提案した¹⁾。本論文では、現場で実施した引抜き試験の結果に基づいて、ケーブルボルトの定着特性を評価した結果について述べる。

2. 定着特性の評価方法

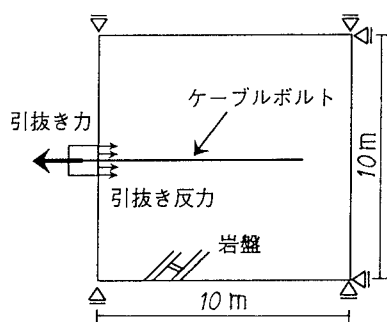
山岳トンネル等において実施されるロックボルトの引抜き試験では、通常、引抜き荷重に対してボルトの口元変位を測定し、荷重－変位曲線の線形性から引抜き耐力や引抜き剛性が評価される。しかしながら、ボルト口元の変位測定の精度は一般に低いものと考えられる。また、ボルト頭部の変位には、ボルト延長の総ひずみや部分的な定着切れ等の成分が含まれる。したがって、定着特性を考える上では、ボルト全体のひずみ分布を考慮して定着剛性と付着強度を評価することが重要となる。Brady²⁾は、定着剛性 K_{bond} および付着強度 S_{bond} を定着特性のパラメータとしたケーブル要素を提案している。これは、ケーブル上に設けた節点と岩盤要素間に K_{bond} および S_{bond} をそれぞれ、ばねとスライダでモデル化したものである。ここで、 K_{bond} はボルトと岩盤間の単位の相対変位に対して生じる単位長さ当たりのせん断力を表し、 S_{bond} は単位長さ当たりのせん断強度と定義される。 K_{bond} および S_{bond} は、原位置での引抜き試験をシミュレーションすることで推定できる。すなわち、解析により軸力分布を再現し、計測結果とのフィッティングを行うことにより K_{bond} および S_{bond} を決定する。なお、解析にはケーブル要素が解析機能として組込まれている2次元個別要素解析コードUDEC³⁾を使用した。

3. 結果および考察

今回は、原位置で実施したケーブルボルトの引抜き試験⁴⁾の軸力分布を解析的に求め、計測結果と比較した。2次元平面ひずみを仮定した解析モデルを図－1に示す。図－1でボルトの頭部に剛結したブロックに所定の引抜き荷重を与え、軸力分布を求めた。解析に用いた岩盤およびケーブルボルトに関する入力値を表－1にまとめる。打設したケーブルボルトは長さ7m、 ϕ 15.2mm (SWPR7B) であり、エポキシ樹脂でコーティングした3ケース (No. 1～3)、および通常のPC鋼より線の2ケース (No. 4, 5) を対象とした。引抜き荷重は0～22tf (0～215kN) の範囲で漸増した。

まず、No.1について K_{bond} および S_{bond} の組合わせを変えて10ケースの軸力分布のフィッティングを行い、計測値と最も一致する結果を選定した。このうちの3ケースを図－2に示す。図－2で、No.1-10が解析および計測値が最も一致した。また、全荷重領域にわたって完全には一致していないが、実用的には K_{bond} 、 S_{bond} を十分評価できるものと考えられる。No.2～5についても各々数ケースを実施し、計測値と最も一致する結果を選定した。評価結果を表－2にまとめる。表－2から、 K_{bond} 、 S_{bond} を平均すると通常のPC鋼に比べ、PC鋼エポキシコートの方がやや大きく、定着性がよいと評価できる。

つぎに、求めた K_{bond} の妥当性を検討する。斉藤・天野⁵⁾は岩盤および全面接着式ボルトの微小部分の釣り合いとボルトの応力－ひず



図－1 引抜き試験の解析モデル

キーワード：ケーブルボルト、定着特性、引抜き試験

大林組 技術研究所 〒204 東京都清瀬市下清戸4-640 TEL 0424-95-0910 FAX 0424-95-0903

表－1 解析の入力条件

岩盤 ケーブル ストランド	弾性係数	12.0 GPa
	ポアソン比	0.25
	ストランド仕様	公称断面積 138.7×10 ⁻⁶ m ² 、 密度 1.101kg/m
	ヤング率	194 GPa
	降伏荷重	242 kN
	破断ひずみ	6.6 %

表－2 結果のまとめ

	Case	K_{bond} (kN/m/m)	S_{bond} (kN/m)	平均	係数 C (kN/m/m ²)	K_{bond}' (kN/m/m)	平均
エボキシ P C 鋼	No.1	50,000	125	K_{bond} : 50,000 S_{bond} : 127	140,000	6,600	K_{bond} : 5,163
	No.2	50,000	125		88,100	4,200	
	No.3	50,000	130		95,500	4,690	
P C 鋼	No.4	50,000	100	K_{bond} : 40,000 S_{bond} : 113	81,500	3,890	K_{bond} : 3,230
	No.5	30,000	125		54,000	2,570	

み関係を考慮し、ボルトに作用するせん断応力 τ_x がボルトと岩盤の相対変位に比例して発生すると仮定し、次式を誘導している。

$$\frac{d^2 \xi_x}{dx^2} - \alpha^2 \xi_x + \alpha^2 \gamma_x = 0, \quad \left(\alpha^2 = \frac{2c}{E_s \cdot r} \right) \quad (1)$$

ここで、 γ_x はボルト軸方向の岩盤変位、 ξ_x はボルトの軸方向変位で、C は定着性を表す係数である。また、 E_s はボルトのヤング率、 r はボルトの半径である。さらに、式(1)で引抜き試験における口元荷重 P、先端荷重 0、および $\gamma_x = 0$ を境界条件とすると、係数 C は次式のように表現できる。

$$c = \frac{1}{2\pi^2 r^3 E_s} \cdot \left(\frac{P}{\xi_0} \right)^2 \quad (2)$$

ここで、 ξ_0 はボルト口元での変位である。式(2)のように、係数 C は引抜き試験における荷重－変位曲線の勾配 P/ξ_0 の 2 乗に比例しており、定着性を表すパラメータとなっている。

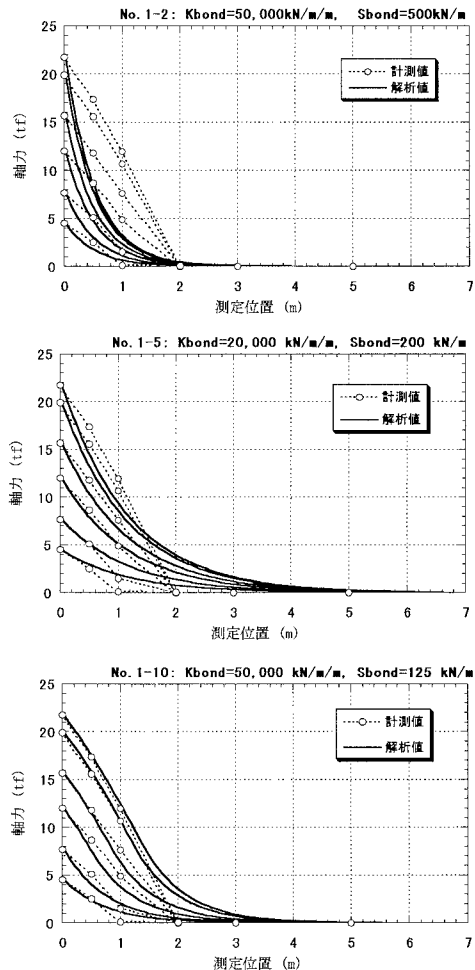
今回の引抜き試験で測定した口元変位より求めた係数 C、および K_{bond}' ($= 2\pi rC$) を表－2 に示した。表－2 より、 K_{bond} と K_{bond}' を比較すると、付着切れによる変位成分を含んでいる K_{bond}' は K_{bond} より小さくなっており、解析から推定した K_{bond} は妥当に評価できたものと考えられる。

4. まとめ

現場におけるケーブルボルトの引抜き試験結果に対して、軸力分布に着目したシミュレーションを行い定着剛性 K_{bond} および付着強度 S_{bond} を評価した。今後は実用的な付着モデルなどをさらに検討していく。

参考文献

- 1) 木梨・天野：ケーブルボルトの作用機構と支保効果に関する考察、第7回トンネル工学研究発表会、pp.15-22、1997
- 2) Brady, B. and Lorig, L.: Analysis of Rock Reinforcement Using Finite Difference Methods. Computers and Geotechnics, pp. 123 ~ 149、1988
- 3) Itasca Consulting Group, Inc.: UDEC(Universal Distinct Element Code) Version 3.0 User's Manual, 1996.
- 4) 武内・中野：原位置緊張試験によるケーブルボルトの定着特性評価、第53回土木学会年次講演会投稿予定、1998
- 5) 斉藤・天野：ロックボルトの支保設計に関する基礎的考察、第14回岩盤力学に関するシンポジウム、pp.76-80、1983



図－2 計測および解析の軸力分布