

Ⅲ-B104 地盤剛性がケーブルボルトの付着抵抗特性に与える影響

清水建設(株)技術研究所 正会員 石塚与志雄
正会員 安部 透

1. はじめに

ケーブルボルト（P C鋼より線等）は、大断面トンネルや地下空洞掘削時の先行補強やロックボルトの代替として期待されているが、ロックボルトと比較してボルト／グラウト間の付着強度が小さいとの課題がある。筆者ら¹⁾²⁾は、室内試験により、各種ボルトの付着特性を明らかにするとともに、P C鋼線にインデント（凹）を設けることにより、付着強度が画期的に向上することを確認、検証してきた。付着強度は、ボルト／グラウト間の接触抵抗とボルト／グラウト接触面のグレイタンシー内圧の発生（図－1）に大きく依存する⁽²⁾³⁾。グレイタンシー内圧の発生は、グラウトの変形・強度特性に加えて周辺地山の変形特性に影響を受ける。そこで、本研究では、各種の管で地盤剛性を再現し、地盤剛性と付着強度の関係を定量的に検討した。

2. 検討方法

(1)試験方法とケーブルボルト

- ①試験方法： 既往の試験¹⁾²⁾と同様、金属等の管で地山を模擬し、定着長 300 mm の引き抜きとした。グラウト材はモルタルグラウト（プレミックス・ライモルタル、水セメント比 0.40）とし、材令 3 日で試験を行った。引き抜きは変位制御（0.5 mm/min）とし、管外周のひずみ値からボルト／グラウト間に発生する試験中の内圧（拘束圧）を算出した。
- ②ケーブルボルト： 表－1 に用いたケーブルボルトを示す。JIS 規格の P C 鋼より線と付着強度の向上のためにインデント（凹 0.33 mm）⁽²⁾を施したインデント付 P C 鋼より線の 2 種類について試験を行った。

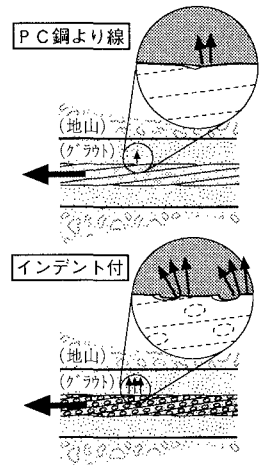
(2)管種による地盤剛性

硬岩から軟岩までの地山の剛性を再現するために、図－2 に示すように 6 種類の管を選定した。各管種の弾性係数、ポアソン比、管径（外径、内径、厚肉）及び等価地盤剛性を表－2 に示す。等価地盤剛性は、内圧作用時の厚肉円筒理論から得られる管の半径方向変位と半無限地盤の円孔の半径方向変位を等しいとして算定される半無限地盤の剛性（弾性係数）である。塩化ビニルが軟岩、真鍮以上が硬岩の弾性係数に相当する。

3. 試験結果と考察

(1)付着応力－変位関係

図－3、4 に P C 鋼より線、インデント付（凹 0.33 mm）の付着応力－変位関係を、表－3 に付着強度、剛性を示す。ここで、付着応力は、軸荷重を定着長（300 mm）で除した値（単位長さ 1 m 当りに換算した軸荷重）である。既報²⁾のように、インデント付は、P C 鋼より線より大きな付着応力を発揮するが、最大引き抜き荷重は管種（地盤剛性）によって大きく異なる。これは、インデント付では、発生するグレイタンシー内圧が地盤剛性によ



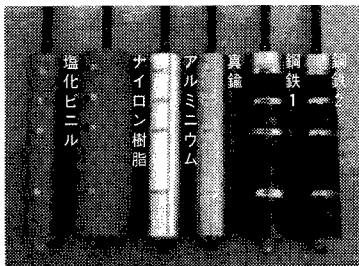
図－1 グレイタンシー内圧

表－1 P C 鋼より線とインデント付

種 類	縦断形状	横断形状
P C 鋼より線		 外径：15.2 mm
インデント付 (凹 0.33 mm)		 長径 4.50 mm、短径 2.50 mm 外径：15.2 mm

表－2 地盤剛性模擬管の種類

管種類	弾性係数 E (N/m ²)	ポアソン 比 ν	外径 2 b (mm)	内径 2 a (mm)	厚肉 t (mm)	等価地盤剛性 (N/m ²)
鋼鉄 2	2.10E+11	0.300	60.2	43.4	8.4	7.71E+10
鋼鉄 1	2.10E+11	0.300	73.0	53.0	10.0	7.56E+10
真鍮	1.01E+11	0.350	60.0	51.4	4.3	1.95E+10
アルミニウム	7.03E+10	0.345	59.8	55.0	2.4	7.66E+09
ナイロン樹脂	3.19E+09	0.400	90.0	50.0	20.0	1.78E+09
塩化ビニル	3.33E+09	0.380	60.0	52.6	3.7	5.66E+08



図－2 各試験体（6 管種）

キーワード： ケーブルボルト、支保、補強、地盤剛性、付着強度

連絡先：〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設(株)技術研究所 TEL:03-3820-5520, FAX:03-3643-7260

で大きく変化するためである。

(2)地盤剛性と付着強度の関係

地盤剛性 E_g と付着強度の関係は図-5のように整理することができる。参考として、図下方に、地山分類、岩盤等級の弾性係数を示す。P C鋼より線は地盤剛性が高くなると僅かに増加するが、ほとんど一定と考えることができる。これに対して、インデント付は、付着強度 (S_B) は、地盤剛性 (E_g) を対数とした軸上で線形関係を示し、次式で表すことができる。

$$S_B = a + b \log (E_g) \quad (1)$$

つぎに、管外周のひずみゲージ値から算出した拘束圧（内圧）と付着強度の関係について検討する。拘束圧がボルト／グラウト間の付着強度に与える影響はボルト径（表面積）に依存するため、発生した圧力にボルトの周長を乗じた値（拘束力）で整理した。図-6にその結果を示す。P C鋼より線では、発生内圧はインデント付と比較して小さく、その付着強度はほとんど拘束力に依存しない。

一方、インデント付の付着強度は、拘束圧の関数として表現することができる。図中、 p' は拘束圧、perimeterは周長である。

4. まとめ

地盤の剛性がケーブルボルトの付着強度（ボルト／グラウト間）に与える影響について検討した。結果をまとめるとつぎのようになる。

- (1) JIS規格のP C鋼より線の付着強度は、地盤剛性、拘束力の影響をあまり受けず、ほぼ一定値である。
- (2) インデント付P C鋼より線の付着強度は飛躍的に向上するが、その主因であるグライタジ-内圧の発生が地盤剛性に依存するため、付着強度は地盤剛性、拘束圧に影響を受ける。

本研究では、付着強度が地盤剛性及び拘束圧の関数として整理できることを明らかにし、地盤剛性をパラメータとして、地山に応じた付着強度の設定が可能であることを示した。

なお、試験に供したケーブルボルトは東京製鋼㈱殿から提供、試作頂いたものです。ここに、謝意を表します。

【参考文献】

- (1) 石塚・安部（1997）：「ケーブルボルトの付着抵抗特性と解析モデルに関する研究、トンネル工学研究論文・報告集第7巻、pp.7-14.
- (2) 石塚・安部・今津（1998）：インデントを付けたP C鋼より線の付着抵抗に関する研究、第33回地盤工学研究発表会講演論文集
- (3) Hutchinson, D.J. and Diederichs, M.S.（1996）：Cablebolting in Underground Mines, BiTech Publishers Ltd. (Canada) .

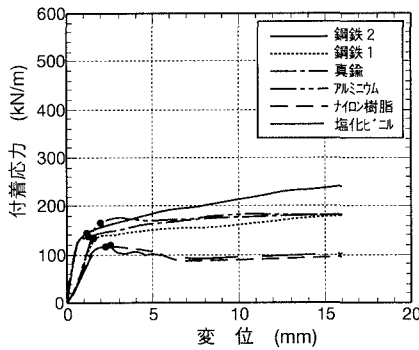


図-3 付着応力-変位関係（P C鋼より線）

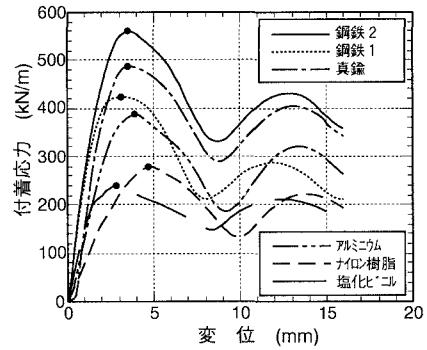


図-4 付着応力-変位関係（インデント付凹0.33mm）

表-3 試験結果一覧表

管種類	P C鋼より線		インデント付（凹0.33mm）	
	付着強度 (kN/m)	付着剛性 (kN/m/m)	付着強度 (kN/m)	付着剛性 (kN/m/m)
鋼鉄2	146	1.98E+05	560	2.75E+05
	150	2.32E+05	698	2.75E+05
鋼鉄1	109	1.27E+05	425	2.63E+05
	134	0.97E+05	343	2.34E+05
真鍮	127	1.37E+05	489	2.63E+05
	138	1.94E+05	502	1.75E+05
アルミニウム	166	1.17E+05	401	1.84E+05
	174	1.01E+05	387	1.52E+05
ナイロン樹脂	155	1.01E+05	279	0.85E+05
	117	0.83E+05	259	1.07E+05
塩化ビニル	119	0.72E+05	230	0.90E+05
	131	0.81E+05	240	1.50E+05

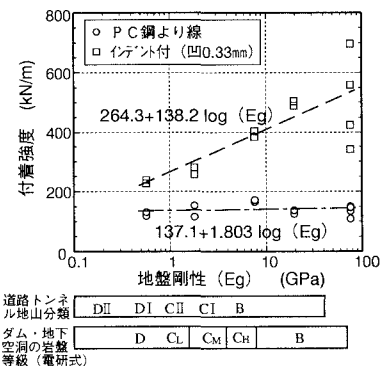


図-5 地盤剛性 (E_g) と付着強度と関係

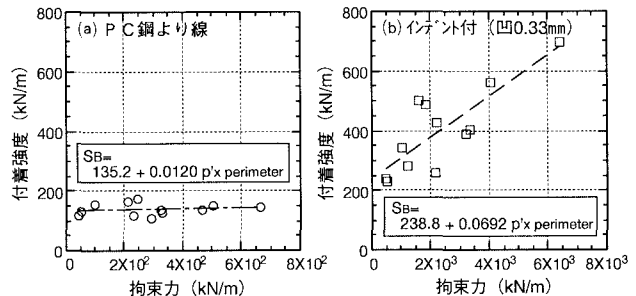


図-6 付着強度-拘束圧関係