

Ⅲ - B72

グラウト種類、材令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

P C鋼より線や新素材より線等のケーブルボルトが、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。筆者ら⁽¹⁾は、付着抵抗試験により、各種ボルトの付着強度・剛性特性を定量的に比較検討するとともに、通常のP C鋼より線より2倍近くの付着強度を発揮するインデント付P C鋼より線の有用性を明かにした。国内ではロックボルトの定着材としてモルタルグラウトが使われる例が多いが、海外ではケーブルボルトの定着材としてセメントグラウトがよく使われている⁽²⁾。そこで、本研究では、室内付着抵抗試験により、グラウト種類（モルタルとセメント）と材令が、ケーブルボルトの付着抵抗特性に与える影響について検討した。

2. 試験概要

(1)試験方法

定着長を300mmとした二重定着軸方向試験⁽³⁾に準拠した付着抵抗試験を行った。試験では孔径を ϕ 50mmとし、地山を内面が粗な鋼管（外径71mm、肉厚10.5mm）で模擬した。供試体は、固定部（490mm）をモルタル充填（4週間以上養生）で作成した後、定着部にグラウト材を充填して作成し、試験材令経過後、試験を行った。

ケーブルボルトは表-1に示すように、JIS規格の通常のP C鋼より線とP C鋼線にインデント（凹み）設けたインデント付P C鋼より線の2種類である。なお、グラウト種類の効果については異形棒鋼も試験を行った。

(2)グラウト材

グラウト材はつぎに示す2種類を用いた。グラウト種類の比較は材令3日の試験、材令の効果はモルタルグラウトについて材令1、3、7日の3材令で試験を行った。

①モルタルグラウト：プレミックスドライモルタル（(株)ケー・エフ・シー社のSNドライモルタル、水セメント比0.4）

②セメントグラウト：普通セメント（水セメント比0.35）

図-1にグラウト材の一軸圧縮強度の経時変化を示す。1日強度は、モルタルグラウトで15.9MPa、セメントグラウトで19.1MPaとセメントグラウトの方がやや大きい。3日以降（3日強度はモルタルグラウトが46.1MPa、セメントグラウトが38.5MPa）になるとモルタルグラウトの方がセメントグラウトより10～20%大きくなる。

3. 試験結果

(1)グラウト種類と付着強度

図-2に付着応力-変位関係、表-2に付着強度・剛性を示す。異形棒鋼ではモルタルグラウトの方が20%程度大きくなるのに対して、P C鋼より線ではほとんど差が認めれない。また、インデント付P C鋼より線ではモルタルグラウトの方が10%程小さくなる。異形棒鋼の付着強度は、グラウトの強度特性（モルタルグラウトの方がセメントグラウトと比較して約20%大きい）とよい対応を示している。一方、P C鋼より線ではグラウト強度が直接、付着強度に反映する結果にはなっていない。これは、既論文⁽¹⁾で報告したように、異形棒鋼では異形部分（凸節部分）とグラウトの付着（力学的結合）がその付着強度に大きな影響を与えてグラウトの強度特性が

表-1 ケーブルボルトの形状

種 類	断 面 形 状		特 徴
	縦断面	横断面	
① P C鋼より線 外径：15.2mm			JIS規格のP C鋼線を用いたケーブルボルト（SWPR7AN：7本より）
② インデント付P C鋼より線 外径：15.2mm			5mmのP C鋼線に8.2mmピッチに0.18mm深さのインデントを設けて、JIS規格と同様によるP C鋼より線

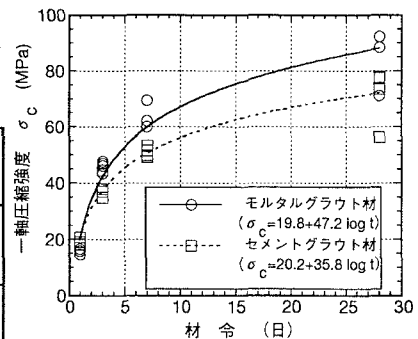


図-1 グラウト材の一軸圧縮強度-材令関係

キーワード： トンネル、支保、ケーブルボルト、付着強度、グラウト材

連絡先： 〒135 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

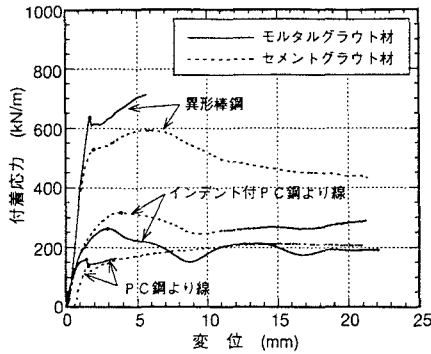


図-2 付着応力-変位関係（グラウト材の比較）

直接、付着強度に反映するのに対して、P C鋼より線ではP C鋼とグラウト材間の接触抵抗とより線形状の凹凸に起因する抵抗が主であるため、グラウト強度との相関が低いものと考えられる。

(2)グラウト材令と付着強度

付着強度のグラウト材令（モルタルグラウト）に伴う変化を図-3（図中の破線はモルタルグラウトの強度変化）と表-3に示す。1日材令の付着強度はP C鋼より線で119kN/m、インデント付P C鋼より線で218kN/mとかなりの付着強度を発揮している。3、7日材令の付着強度は、グラウト材の硬化に伴って増加するが、1日材令の強度を1.00とすると、モルタルの圧縮強度は、3日で2.90、7日で3.73と増加するが、付着強度は、P C鋼より線では3日で1.30、インデント付P C鋼より線では3日で1.22、7日で2.04の増加となっており、グラウト強度の増加割合と比較すると小さい。

今回、試験を実施していないが、異形棒鋼では(1)で記したようにグラウト強度が直接、付着強度に影響を与えるため、グラウト材の強度特性と付着強度は1対1の対応を示すものと推定される。

3日材令の異形棒鋼の付着強度（638kN/m）とグラウトの強度特性から1日材令の付着強度を推定（3日強度を2.90で除する）すると220kN/m程度であり、インデント付P C鋼より線の付着強度（218kN/m）とはほぼ同等となる。1日材令では、インデント付P C鋼より線は異形棒鋼と同程度の付着強度特性が期待できるものと思われる。

4. まとめ

付着強度は、異形棒鋼ではグラウト材の強度特性を反映してモルタルグラウトの方が20%程度大きくなるが、P C鋼より線ではモルタルとセメントのグラウトではほとんど差異は見られない。これは、異形棒鋼ではグラウトの強度特性が直接、付着抵抗に影響を及ぼすのに対して、P C鋼より線ではP C鋼とグラウトの接触抵抗とより線形状の凹凸形状による抵抗が主であり、グラウトの強度特性がそのまま付着強度には反映しないためと考えられる。

一方、付着強度は、グラウトの硬化に伴って増加する。1日材令の付着強度は、P C鋼より線では119kN/m、インデント付P C鋼より線では218kN/mとかなりの強度を発現しており、早期の補強・支保材としての有用性を示している。今後、定着長や拘束圧の効果などについても検討を行い、ケーブルボルトの補強効果の定量的な特性把握を行う予定である。

なお、試験に供したケーブルボルトは東京製綱(株)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）：室内試験によるケーブルボルトの付着抵抗に関する検討、第32回地盤工学研究発表会講演論文集
- (2) Benmokrane, A. Chennouf, A. and Baillivy（1992）：Study of bond strength behaviour of steel cables and bars anchored with different cement grouts, Pro. of the International Symposium on Rock Support, Sudbury/Ontario/Canada, pp.293-301.

表-2 グラウト材と付着強度・剛性

グラウト材	モルタルグラウト		セメントグラウト	
	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)
異形棒鋼	638	4.62×10^5	515	3.04×10^5
P C鋼より線	155	1.28×10^5	151	1.34×10^5
インデント付P C鋼より線	267	9.26×10^4	307	8.09×10^4

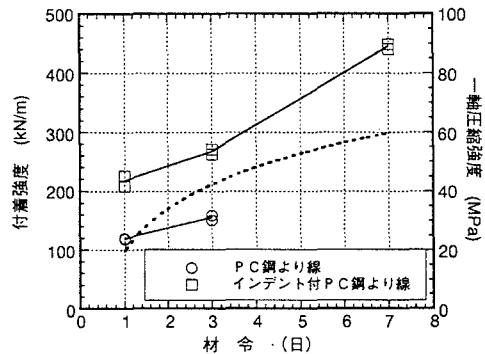


図-3 付着強度・グラウト強度-材令関係

表-3 グラウト材令と付着強度・剛性の比較

ボルト	P C鋼より線		インデント付P C鋼より線		モルタルグラウト
	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)	圧縮強度 (MPa)
1日	119 (1.00)	1.08×10^5	218 (1.00)	8.26×10^4	15.9 (1.00)
3日	155 (1.30)	1.28×10^5	267 (1.22)	9.26×10^4	46.1 (2.90)
7日	---	---	445 (2.04)	1.09×10^5	59.3 (3.73)