新第三紀泥岩の含水比の変化がロックボルトの付着力に与える影響

（公財）鉄道総合技術研究所　正会員　○西金　佑一郎　正会員　嶋本　敬介
浦越　拓野　正会員　今泉　光智哲

１．はじめに

泥岩地山におけるトンネルの盤ぶくれに関する先行研究では，岩石の乾燥とその後の浸水による含水比変化が顕著な強度劣化をもたらすこと，インバート下の地山がそのような含水比変化を経験することが盤ぶくれの原因となりうることが報告されている[1)]．供用中のトンネルで盤ぶくれが発生した場合，変状の進行を抑えるためにロックボルトを施工することが一般的であるが，上述した地山の含水比変化がロックボルトの付着力（以下「RB 付着力」と称する）に及ぼす影響を検討した研究例はない．また，実際の RB 付着力を把握するには，地山とロックボルト定着剤（モルタル）が付着切れを起こすまでの引抜試験を行う方法が考えられるが，この方法は大掛かりな上，付着切れの前に鋼材が降伏してしまう可能性もある．そこで本研究では，ボーリングコアを用いた供試体レベルの試験によって RB 付着力を評価する方法を考案し，その方法によって含水比変化が RB 付着力に与える影響を検討した．

２．ボーリング掘削と試料採取

新第三紀の泥岩地山におけるトンネルの斜坑で，図 1 に示すように下向きボーリングを 4 本掘削し（A～D 孔；削孔長 L＝1.7m，2.2m，2.8m，3.3m；削孔径 φ＝66mm），コア試料を採取した．なお，深さ 0～1m はインバートコンクリートである．岩石コアには数 cm～10cm 程度の間隔で割れ目が認められ，深さ 1～1.4m 程度の浅部のコアは特に軟質もしくは岩片状の区間が多い．コアを長さ 25mm 程度に切断し，後述する押抜試験用の岩石試料を作製した．

３．原位置でのロックボルト付着力の評価（引抜試験）

原位置での RB 付着力を把握するため，掘削したボーリング孔のうち 3 本（A～C 孔）にロックボルト（異形棒鋼 D25）を打設し，1 週間後に引抜試験を実施した．A，B，C 孔のロックボルトの地山への定着長は，それぞれ 35cm，88cm，134cm である（図 1）．

引抜試験の結果，最も浅い A 孔での RB 付着力は 0.047MPa と，B，C 孔の 1 割程度であった（表 1）．なお，最も深い C 孔では，付着切れの前に鋼材の短期許容応力度に達したため，引抜試験を中断した．

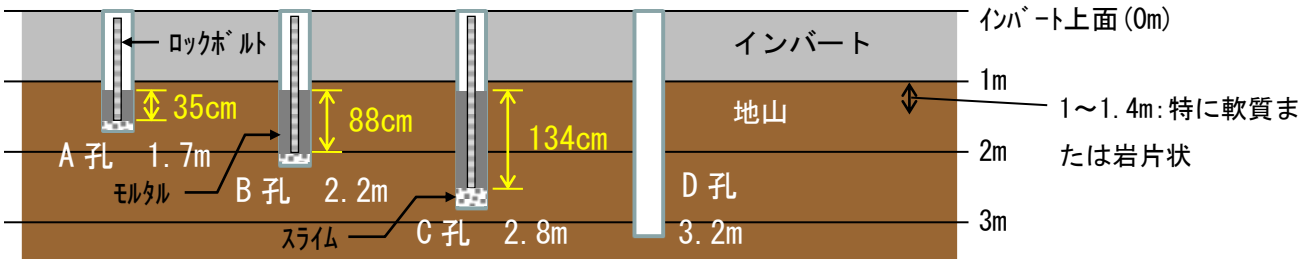

図１　ボーリングおよび引抜試験用ロックボルトの施工

４．供試体レベルでのロックボルト付着力の評価（押抜試験）

4.1　評価方法の考案

新たに供試体レベルの試験による RB 付着力の評価方法を考案した（図 2）．まず，岩石コアから作製した岩石試料を鋼製の型枠の中央に配置し，その周囲にモルタルを充填したものを供試体とした．この型枠の底には岩石試料より大きい円孔を設けている．モルタル打設から 1 週間後，岩石試料の上面に 1mm/min の変位速度で載荷することで岩石試料とモルタルとの付着切れが発生し，岩石試料は型枠の下に押し抜かれる．この「押抜

キーワード　盤ぶくれ，ロックボルト付着力，周面摩擦抵抗，含水比
連絡先　〒185-8540　東京都国分寺市光町 2-8-38　（公財）鉄道総合技術研究所　ＴＥＬ042-573-7265

© Japan Society of Civil Engineers

試験」で得られる最大荷重を，岩石試料とモルタルとの付着面積で割った値，すなわち周面摩擦抵抗力を RB 付着力とした．

表 1　引抜試験の結果

孔	定着深さ (cm)	定着長 (cm)	最大荷重 (kN)	RB 付着力 (MPa)
A	127～162	35	3.4	0.047
B	114～202	88	87.7	0.48
C	119～253	134	≧150.2	≧0.54

4.2　試料の含水比条件と試験結果

モルタルを打設する前の岩石試料を表 2 に示す 4 ケースで養生することで，異なる含水比の試料を作成した．これらの岩石試料を用いた押抜試験の結果を図 3 に示す．モルタル打設前に岩石試料を乾燥させた供試体は，乾燥させない供試体に比べて RB 付着力が小さいことが分かった．また，押抜試験での RB 付着力（自然含水比の岩石試料）は，原位置での B 孔における引抜試験で得られた RB 付着力と同程度であること，浅部の岩石試料（深さ 1.2m；軟質）では押抜試験での RB 付着力が小さいことが分かった．

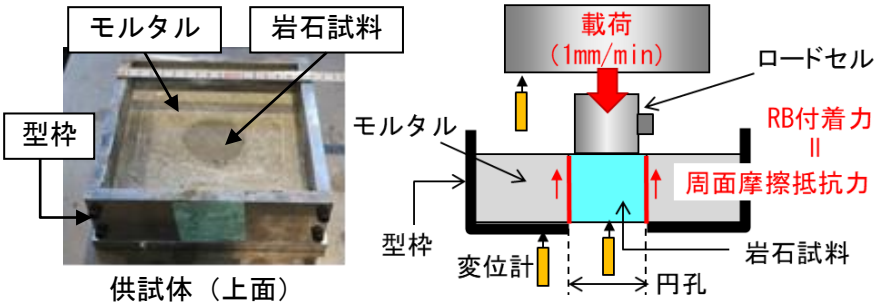

図 2　押抜試験の供試体および模式図

表 2　押抜試験におけるモルタル打設前の岩石試料の養生条件

ケース	養生条件	養生時間
ケース 1	40℃乾燥	48 時間
ケース 2	風乾	1 週間
ケース 3	自然含水比	―
ケース 4	浸水	1 週間

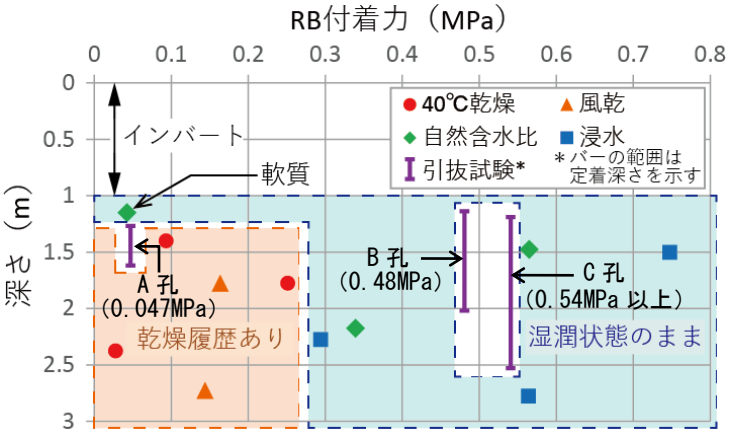

図 3　押抜試験および引抜試験の結果

5．考察

今回考案した押抜試験で得られた RB 付着力（自然含水比の岩石試料）は，原位置での引抜試験の結果と同程度であることから，押抜試験の方法および試験結果は妥当だと考えられる．押抜試験において，乾燥させた試料の周囲にモルタルを打設すると，岩石の表面がモルタルの水分によって湿潤し，含水比が増加する（図 4）．押抜試験の結果から，一度減少した含水比が再び増加すると，RB 付着力が小さくなると考えられる．

また，引抜試験と押抜試験の両方において地山の浅部（軟質または岩片状の区間）で RB 付着力が小さいことについては，斜坑掘削時に地山の浅部が緩んでいた可能性がある．さらに，浅部では掘削による一時的な含水比の低下とその後の地下水位の回復による含水比の増加が生じやすく，この試験中の含水比の変化が RB 付着力の低下を招いた可能性が推察される．

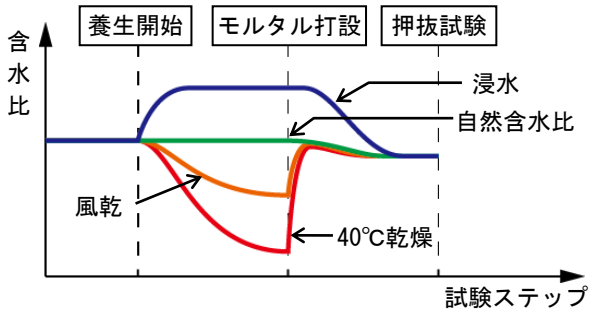

図 4　押抜試験における含水比変化のイメージ

参考文献

1）嶋本敬介，川越健，野城一栄，小林寛明，磯谷篤実：含水比変化に着目した山岳トンネルの盤ぶくれメカニズムの推察，土木学会論文集 F1，Vol.76，No.1，pp.34-48，2020.

© Japan Society of Civil Engineers