地山補強におけるディンプル鋼管の付着耐力評価

新日鉄住金　正会員　○妙中　真治
新日鉄住金　正会員　石濱　吉郎
新日鉄住金　非会員　寺田　好男

1．はじめに

地山を補強する目的で、地山内に複数の補強材を設置する工法がある。斜面や切土・盛土のり面における斜面安定化工法[1)]や、トンネル掘削における補助工法としての切羽安定対策、地表面沈下対策[2)]などが代表的な適用例としてあげられる。これらの工法では、補強材は芯材と定着材から構成され、一般的な施工手順としては、初めに削孔を行い、その中に引張芯材を挿入し、定着材を注入することによって周囲の地山との一体化を図る。芯材は、鉄筋などの鋼製棒鋼や、FRPなどの樹脂材が使用されることが多いが、最近では削孔における施工性や定着材の注入など現場での施工上の観点から、鋼管が用いられることもある。特に山岳トンネルの補助工法としては、フォアポーリングや鏡補強工、あるいはフットパイルとして、比較的小径の鋼管の使用実績が増えている。

これらの用途においては、鋼管には材料自体の強度に加えて、定着材との付着耐力が重要となる。図 1に示すディンプル鋼管[3)]は、この付着耐力を向上させるために、管外表面にゴルフボールのような窪みを多数配置した鋼管である。

図1 ディンプル鋼管

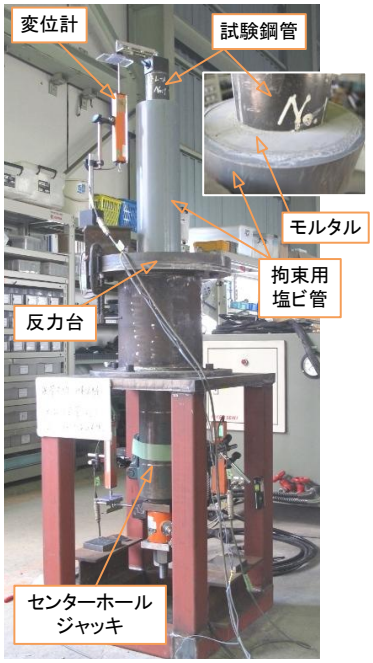

図2 試験装置の外観

既報[4)]では、このディンプル鋼管の圧縮耐力に加えて、付着耐力の調査が実施され、非常に高い付着性能が発揮できることが示されている。しかし、この付着性能調査は、押し込み試験であり、先に述べた地山補強での使用条件(主に引張材)とは試験条件が異なる。そのため本研究では使用条件を考慮し、引張荷重を作用させたディンプル鋼管の付着性能試験を行ったので、その結果を報告する。

2．試験方法

本研究では、試験方法はトンネル施工における鏡補強工を対象とした高橋らの研究[2)]に準じ、室内において実施工時を想定した引き抜き試験を実施した(図 2参照)。地山の拘束条件を考慮するため、硬質塩化ビニル管(径 140mm×肉厚 7mm)を外殻拘束管として使用することで、D級地山相当の拘束効果を模擬した。試験体(鋼管)は塩ビ管内にセットし、定着材としてモルタルを充填した。ほぼ一日の養生後、センターホールジャッキを用いて試験体を引き抜き、その付着耐

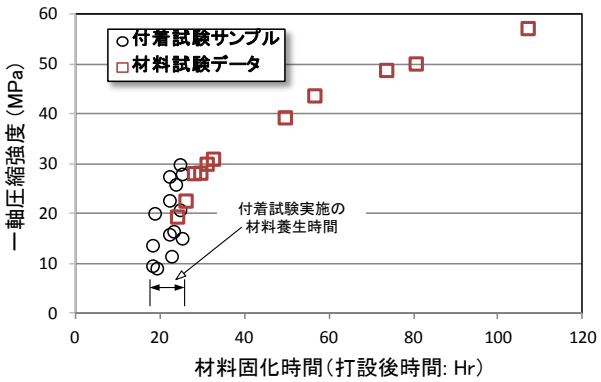

図 3 使用したモルタル材の強度発現履歴

表 1 試験ケースと試験結果

試験体		付着長さ	窪み	定着材強度	付着耐力	特記事項
鋼管仕様	ID	[mm]	段数	[MPa]	[kN/m]	
ディンプル鋼管 周方向窪み6個	D6-1	500	9	25.3	608.7	
	D6-2	500	9	17.0	585.4	外殻管変形大
	D6-3	500	9	16.4	569.0	外殻管変形大
	D6-4	225	4	22.4	764.4	
	D6-5	225	4	28.0	753.3	
	D6-6	225	4	30.8	848.9	
ディンプル鋼管 周方向窪み9個	D9-1	500	9	21.3	606.1	鋼管降伏
	D9-2	500	9	20.7	560.2	鋼管降伏
	D9-3	285	5	11.4	692.0	
	D9-4	225	4	19.2	869.8	
	D9-5	225	4	27.9	893.3	
	D9-6	225	4	29.8	876.4	
通常鋼管	N-1	500	–	14.8	136.0	
	N-2	500	–	29.8	150.0	

キーワード　付着耐力、鋼管、地山補強、鏡ボルト
連絡先　〒293-8511　千葉県富津市新富 20-1　TEL　0439-80-2929

力を調査した。これらの試験方法は、試験体である鋼管種別およびモルタル材料を除いて、高橋らの実験と条件を揃えている。尚、使用したモルタルの強度発現を図 3に示す。試験を実施した 20～30 時間後は強度が急速に増加している傾向があり、そのため実施した試験材料の強度も約 10～30MPa に広く分布する結果となった。

試験対象となる鋼管径は全て 76.3mm で統一している。ディンプル鋼管は、周方向の窪み配置が 6 個の仕様と 9 個の仕様の 2 種類を準備し、比較のため窪みのない通常鋼管の試験体も準備した。表 1 には各試験ケースの条件を一覧で示している。付着長さは 500mm を基本ケースとしたが、一部の試験体で鋼管降伏が先行する等、最大耐力を確認できなかったものがあったことから、付着長さの短い 285mm と 225mm のケースの追加実験を実施した。これら各々の付着範囲における軸方向の窪み個数を、窪み段数として同表に記載している。

3．試験結果

代表的な試験結果における引き抜き荷重と変位量の関係を図 4に示す。引き抜き荷重は 1m 長さ当たりに変換しており、変位量は付着長さに相当するモルタルへの埋込長さで無次元化している。まず通常鋼管は最大引き抜き荷重が約 100kN/m であり、高橋らの実験結果とほぼ同様の付着耐力が確認された。しかし最大耐力発揮後は、急激な耐力低下がみられ、非常に脆性的な挙動を示す。一方、ディンプル鋼管は載荷初期段階で、通常鋼管とほぼ同等の剛性を示すが、その後、一旦ピーク荷重を迎えた後、非常に大きな付着強度を発現する傾向が確認された。最大荷重後の耐力低下も緩やかな傾向が確認され、付着耐力が非常に高いとともに、極めて安定性の高い付着性能を発揮することが確認された。これらの挙動は、押し込み荷重における付着試験結果[4]と同様の傾向である。

試験ケースごとの付着耐力(最大引き抜き荷重)を表 1 に整理した。また付着耐力と定着材の一軸圧縮強度の関係を図 5に示した。ここでは、高橋らが実施した溶接突起鋼管での付着試験結果も併せて示している。試験ケースごとに多少のばらつきがみられるが、付着耐力はほぼ一軸圧縮強度と比例関係にあることが分かる。図では溶接突起鋼管と周方向に窪みを 9 個配置したディンプル鋼管の付着耐力の近似線を示しているが、ディンプル鋼管の付着耐力は、溶接突起鋼管に比べて 1.5～2.5 倍の非常に高い付着耐力を発揮することが確認される。

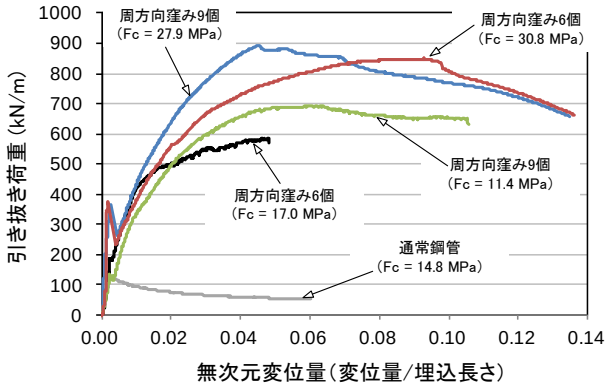

図 4 引き抜き荷重～変位関係

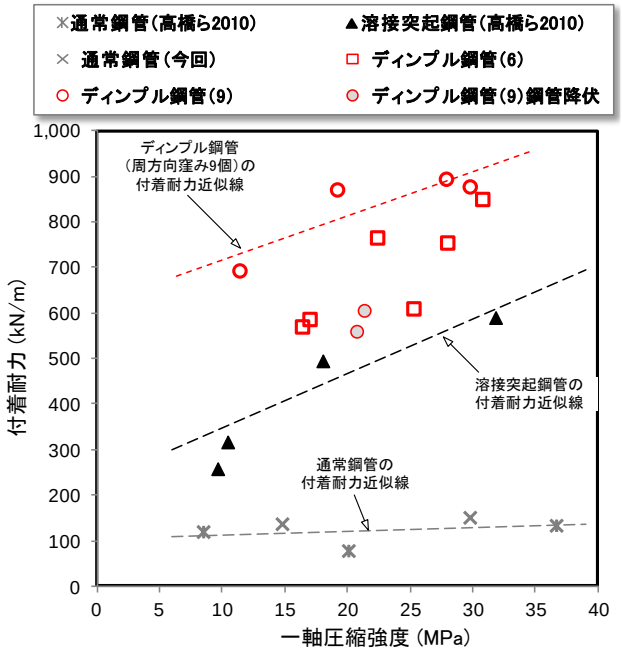

図 5 付着耐力と定着材強度の関係

4．まとめ

ディンプル鋼管の引き抜き荷重作用時の付着耐力調査を実施した。定着材強度に依存するものの、溶接突起鋼管を凌駕する約 700～900kN/m クラスの非常に高い付着強度が発揮されることが確認された。

参考文献

1)地山補強土工法 設計・施工マニュアル, 地盤工学会.
2)高橋ら(2010):高耐力・高定着力の長尺鏡ボルトの開発, トンネル工学報告集,第 20 巻,pp.123-128.
3) 妙中ら(2013):オンライン窪み成形技術による小口径ディンプル鋼管の開発,新日鉄住金技報,第 397 号,pp.99-105.
4) 妙中ら(2013):付着耐力を向上させた小口径ディンプル鋼管の性能評価,第 48 回地盤工学研究発表会(富山),pp.1493-1494.