

山岳トンネル用可縮コンクリート部材に関する研究

大成建設(株) 技術センター 社会基盤技術研究部 正会員 ○水野 史隆, 坂井 一雄, 谷 卓也
大成建設(株) 東京支店 金子 哲也

1. はじめに

土被りが大きく軟弱な地山のトンネル施工においては、著しい地山の变形によって想定以上の支保応力が発生して、吹付コンクリートの圧壊や鋼製支保工の座屈が生じることがある。このような地山への対応策の一つとして、ヨーロッパでは、吹付コンクリートの所定箇所での变形を許容して、支保に作用する応力を軽減する可縮支保が採用されている¹⁾。写真-1は、スイスのLötschbergトンネルで採用された可縮支保部材「hiDCon (High Deformable Concrete, Solexperts製)」である¹⁾。今後、国内においても土被りの大きいトンネルプロジェクトが計画されていることから、著者らはこのhiDConを入手して力学特性の確認と可縮支保としての適用性検討を行ってきた^{2,3)}。さらに、大土被り下で脆弱な地山に遭遇した場合にも、現場にて、簡易、迅速かつ低コストに製造できる部材の開発も進めている。開発の第一段階として、使用実績のあるhiDConと同等の力学特性を有する部材の作製を目標と定めた。本報では、この部材の概要と力学特性を確認するために実施した室内試験の結果について報告するとともに、hiDConとの力学特性に関する差異について述べる。

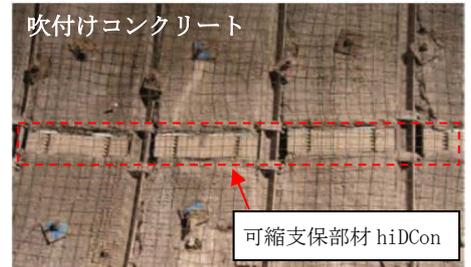


写真-1 可縮支保部材 hiDCon¹⁾

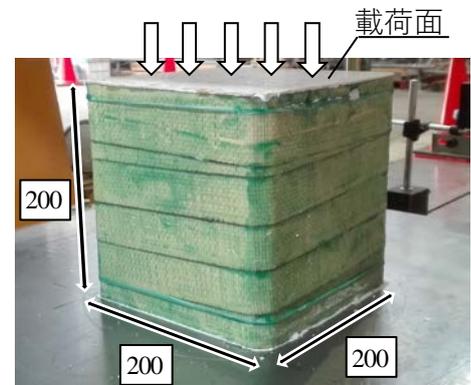


写真-2 部材の外観

2. 可縮支保部材の概要

開発を進めている可縮支保部材の外観を写真-2に、構造の概要を図-1に示す。目標とするhiDConは、軽量骨材の利用により低強度ながら、大きな変形可能量を有し、鋼繊維の配合により高い靱性を確保している。hiDConと同等の力学性能をより簡易に実現するため、変形性能が大きく低強度な圧縮部と、圧縮部を外側から囲うことによって拘束圧を与え、降伏後の急激な応力低下を防ぐ拘束部から構成される部材を検討している。圧縮部には、多孔質で軽量のパーライトを骨材としたモルタルを採用した。拘束部には、試行錯誤の結果、写真-2および図-1に示すような、幅50mm、厚さ0.73mmのポリプロピレン繊維(PP繊維)を重ね代10mmで、らせん状に圧縮部の外側に2重で巻きつけ、エポキシ樹脂で接着した構造を採用した。PP繊維の引張強度は、2700N/5cm幅(平均値、JIS L 1096)である。

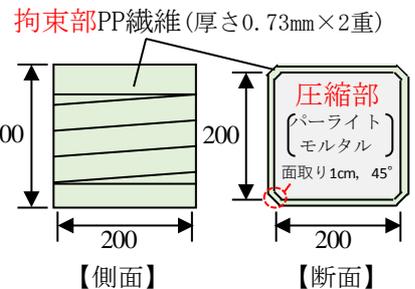


図-1 部材の概要

表-1 パーライトモルタルの配合

単体量(kg/m ³)			
セメント	パーライト	減水剤	水
743.0	129.7	1.86	420.0

3. 可縮性能確認試験

部材の可縮性能を確認するため、一軸圧縮試験を実施した。試験体は、既報²⁾にて報告したhiDConの圧縮試験結果と比較するため、hiDConと同寸法の幅、奥行き、高さ各200mmの立方体とした。また、試験体の隅角部におけるPP繊維の破断を防ぐため、図-1に示すような面取りを行った。圧縮部であるパーライトモルタルの強度は、比較のため、hiDConと同程度となるように配合した。表-1にパーライトモルタルの配合を示す。パーライトモルタルの材齢28日における圧縮強度は、別途作製したφ100mm×H200mm円柱供試体による試験結果から、14.4N/mm²(3供試体の平均値)となった。試験には、容量3000kNの材料試験機(CME3-300, キーワード 山岳トンネル, 大土被り, 可縮支保部材

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町344-1 大成建設(株) 技術センター TEL045-814-7217

東京衡機製)を用いた。荷重は、荷重速度 1.0mm/min の変位制御 (hiDCon 圧縮試験と同条件)で行い、高さ 200mm の試験体が 100mm (圧縮ひずみ 50%) になるまで荷重した。

4. 結果と考察

(1) 変形の様子

試験時における開発部材の状況を写真-3 に示す。荷重に伴い、当初立方体だった開発部材が円柱状に変形していく様子が観察された。また、PP 繊維接着用のエポキシ樹脂にひび割れが生じたものの、圧縮によって砕けたパーライトモルタルが PP 繊維の破断により部材の外側に漏れ出すこともなく、50%まで圧縮されることを確認した。

(2) 力学特性

開発部材および hiDCon の応力-圧縮ひずみ関係を図-2 に示す。応力は、荷重荷重を当初の供試体断面積で除した値とし、断面積の補正は行っていない。以下、試験結果を、(a)荷重開始から降伏(≒ピーク強度)まで、(b)降伏から圧縮ひずみ 30%まで、(c)圧縮ひずみ 30%以降に分けて示す。

(a) 荷重開始から降伏まで

開発部材のピーク強度、その時の圧縮ひずみ、および弾性係数(33%割線)を表-2 に示す。別途実施した圧縮試験の結果、圧縮部(φ100×H200 円柱供試体)のピーク強度は、11.4N/mm²であったが、開発部材のピーク強度は 11.1N/mm²となり、hiDCon と同程度の値となった。

(b) 降伏から圧縮ひずみ 30%まで

開発部材は、降伏後、圧縮ひずみ 4%に到達する間、約 7N/mm²まで応力が低下し、ほぼその応力を保って圧縮ひずみ約 10%まで変位した。その後、応力は、徐々に増加する傾向を示した。一方、hiDCon は、降伏後、応力が緩やかに低下していき、圧縮ひずみ約 10~30%にかけては約 8N/mm²のまま推移した。開発部材の降伏後の応力低下は、hiDCon と比較して、急かつ大きいことが明らかとなった。hiDCon は、構造体内部の鋼繊維により、降伏後、直ぐに拘束効果を発揮するのに対して、開発部材は、PP 繊維により外側から圧縮部を拘束するため、降伏後、直ぐに拘束効果を与えづらい構造となっていると推察される。降伏後の急激な応力低下は、支保が地山に与える内圧を低下させ、過度な変形を助長する可能性がある。そのため、降伏後の応力低下は、極力小さいことが望まれる。

(c) 圧縮ひずみ 30%以降

圧縮ひずみ 30%以降、開発部材および hiDCon の応力は、どちらも増加していく傾向を示した。圧縮ひずみ 50%時の応力はそれぞれ、29.9N/mm²、18.0N/mm²であった。

5. まとめ

hiDCon と同等な力学性能を目標に、パーライトモルタルを圧縮部とし、PP 繊維をらせん状に圧縮部に巻きつけた構造の部材を作製した。圧縮試験の結果、hiDCon 同様に、降伏後に顕著な応力低下を示さず、圧縮ひずみ 50%まで脆性的に破壊しないことを確認した。今後は、降伏直後の応力低下をさらに抑制する方法について検討を行い、現場での実適用に向け、可縮支保部材として要求される性能について設計的な検討を反映し、開発を進めていきたい。

参考文献

1) K. Kovari : Design Methods with Yielding Support in Squeezing and Swelling Rocks, World Tunnel Congress 2009, 2009.
 2) 谷ら : 山岳トンネルに用いる可縮支保部材に関する検討, 土木学会第 72 回年次学術講演会, pp741-742, 2017.
 3) 小原ら : 山岳トンネルにおける可縮支保工の設計と適用可能性検討, 第 45 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp103-108, 2018.

表-2 試験結果比較

	ピーク強度 (N/mm ²)	ピーク時圧縮ひずみ (%)	33%割線弾性係数 (kN/mm ²)
開発部材	11.4	0.9	1.3
hiDCon	11.1	1.0	1.1



写真-3 試験時における開発部材の状況

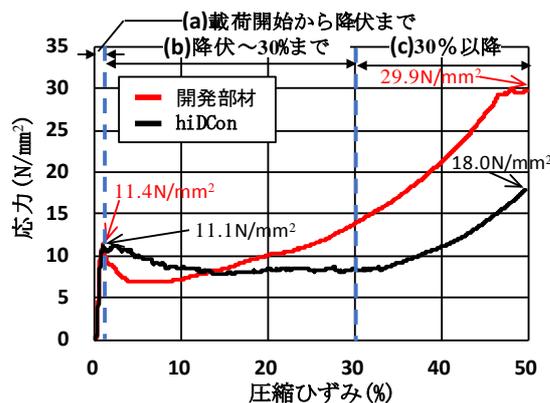


図-2 応力-圧縮ひずみ関係