

山岳トンネルに用いる可縮支保部材に関する検討

大成建設 技術センター 社会基盤技術研究部 正会員 ○谷 卓也, 坂井 一雄, 青木 智幸
 大成建設 本社土木本部 正会員 金子 哲也
 大成建設 東京支店 正会員 市田 雄行

1. はじめに

大土被り下や膨張性地山におけるトンネル掘削では、周辺地山の大きな変形に伴って、支保部材に過剰な応力が発生して支保が脆性的に破壊する可能性がある。このような条件でもトンネル掘進を可能とするため、支保の高強度化や、多重支保による高剛性化で高地圧に対抗する方法が、対策の一つとして採用される。また、変形をある程度許容し、支保部材に発生する応力を緩和する可縮支保構造での対応も考えられる。

昨今、主にヨーロッパ諸国においては、可縮支保構造として図-1の概念図¹⁾に示すような吹付けコンクリート中に設けた隙間に可縮支保部材を任意間隔で配置し、ある程度の抵抗力を保った状態で地山の変形に支保を追従させることで、大変形を生じる条件下でのトンネル掘削を成功した事例が報告されている。そこで、本報告では文献調査に基づく上記の可縮支保構造の発展経緯と使用部材例について概説する。また、報告例の多い可縮支保部材を入手できたため、その基本性能を室内試験によって確認した結果を示す。その上で、国内において可縮支保構造を採用する際の課題について整理する。

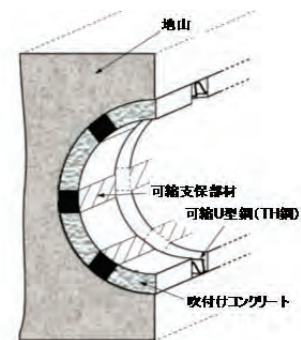
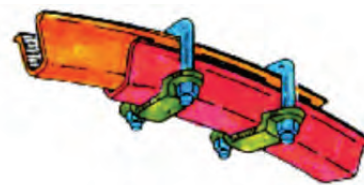


図-1 可縮支保構造概念図 1)に加筆

図-2 可縮U型鋼（TH鋼）²⁾写真-1 Lining Stress Controllers³⁾写真-2 hiDCon⁴⁾

2. 可縮支保構造の発展経緯と使用部材例

過去、可縮支保構造は、図-2に示すようなU型鋼を重ね合わせた可縮機能を有する鋼製支保工（TH鋼）²⁾を使い、吹付けコンクリートの脆性破壊を防止するために縦断方向に30cm程度の開口部を設け、断面の収縮を許容するオープンスロット方式であった。国内でもNATM導入期には、膨張性地山に対し支保工の座屈変形を抑制するための支保部材として、同様の可縮U型鋼（MU-29）を用いた例が複数報告されているが、H型鋼の使用が一般的となった近年での報告事例はほとんどない。

しかしながら、上述のオープンスロット方式による可縮支保構造では、変形初期段階に可縮部での支保内圧や変形抵抗性がほとんど期待できないと考えられる。Galgenbergトンネルの可縮支保構造採用区間で発生した切羽崩落事故では、可縮部で支保に抵抗性があれば、少なくとも崩落現象を緩やかにしたであろうと考察された³⁾。また、Saint Martin La Porteアクセストンネルでも2m超の大きな内空変位が発生した事例が報告されている⁴⁾。このような背景から、トンネル断面の収縮を許容すると同時に、ある一定の変形抵抗性を発揮する可縮支保部材が開発された。これら可縮支保部材のうち、鋼管を主要材料として製作されるLining Stress Controllers（略称LSC, DYWIDAG-SYSTEMS INTERNATIONAL

キーワード 山岳トンネル, 大土被り, 可縮支保部材, コンクリート

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町344-1 大成建設 技術センター 社会基盤技術研究部 TEL 045-814-7217

社製) とコンクリート材料である High Deformable Concrete (名称 hiDCon, Solexperts 社製) の採用例が多い(写真-1, 写真-2 を参照). これらの可縮部材の内, hiDCon についてサンプルを入手できたので, 次章にてこの部材の概要と基本圧縮性能を確認した結果を示す.

3. hiDCon の概要と圧縮性能確認試験

hiDCon は 2003 年に Kalman Kovari が考案し, 日本国内でも関連する特許(特許第 3977843 号)が成立している. それを参照すると, 部材は空隙率の高いガラス性発泡材料が主要骨材となった軽量コンクリートであり, 補強材として鋼繊維と鋼板が含まれている. 必要な強度や変形性能に応じて配合や補強材は設計されるが, 入手した hiDCon のサンプル(写真-3)は比重が 1.1 であり, 補強材として鋼繊維が体積比で約 0.9%含まれていた. 鋼板は部材中央に位置し, 厚さは 4mm であった.

hiDCon の基本圧縮性能を確認するために, サンプルから鋼板を含む 200mm 角供試体を切り出し, 一軸圧縮試験を実施した. 試験は 50% ひずみまで, 0.5%/min (1mm/min) の速度で载荷した.

図-3 に示す試験結果は, 次のように要約される. 約 1%の圧縮ひずみ時において, 11.1MPa のピーク応力を示す. 参考として 33%割線弾性係数を算出すると 1.1GPa であった. ピーク応力後, 圧縮ひずみ 10%程度にかけて応力は漸減するが, 圧縮ひずみ 30%でも約 8MPa の応力を保っていた. 圧縮ひずみが 30%を超過すると, 徐々に応力が増加する傾向を示した. このことから hiDCon は硬化後の普通コンクリートと比較して, 低い剛性と極めて大きな圧縮靱性を有し, 寸法半分となっても脆性的な破壊を生じないという力学特性があるといえる. 部材の主要構成材料を加味して考えると, 空隙率の高い軽量骨材により低い剛性でありながら, 鋼繊維の付着力により圧縮時の側方変形を拘束して, 大きなひずみまで応力を保持し, 部材の脆性破壊を抑制していると推察される. また, 中央部の鋼板は, 部材を縦に貫通するような大きなせん断面の形成を防いでおり(写真-4 左), ピーク応力後の急激な応力低下を抑制する効果があると考えられる. このような力学特性により, hiDCon は支保部材, 特に吹付けコンクリートに一定の変形抵抗性を与えながら, トンネル断面の収縮を吸収すると考えられる.

4. まとめと今後の課題

本報告では, 海外にて多数報告事例が見られる吹付けコンクリートの一部を可縮支保部材に置き換えた, 可縮支保構造について概説し, 可縮支保部材の一つである hiDCon の一軸圧縮試験結果によって確認された力学特性について示した. 今後, hiDCon に関しては, 長期荷重に対する安定性の確認を進めたい.

一方, 国内において可縮支保構造を検討する場合には, いくつかの課題がある. 例えば, 現在では一般的には製造されていない(可縮)U型鋼の代替を検討する必要がある. また, 想定変形量に基づいて, 可縮支保部材の配置・数量や必要とされる変形抵抗性能を決定する設計方法の確立と, 試験による確認が必要である.

参考文献

- 1) Arno Thut et al: Tunnelling in Squeezing Rock-Yielding Elements and Face Control, 8th International Conference on Tunnel Constructions and Underground Structures, 2006.
- 2) C.C.Li: Design Principles of rock support for underground excavations, Eurock2012, 2012.
- 3) W. Schubert: Design of Ductile Tunnel Linings, ARMA2008, 2008.
- 4) Kalman Kovari: Design Methods with Yielding Support in Squeezing and Swelling Rocks, WTC2009, 2009.

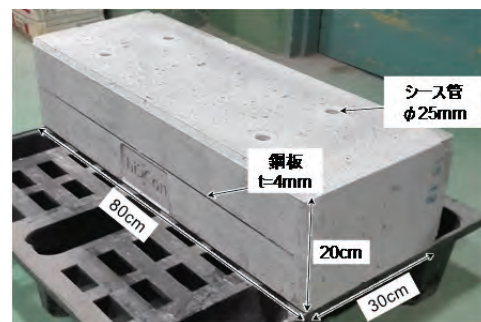


写真-3 hiDCon サンプル

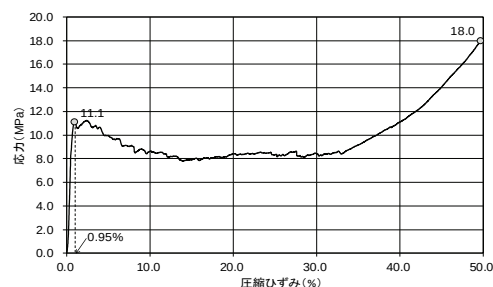


図-3 hiDCon 一軸圧縮試験結果

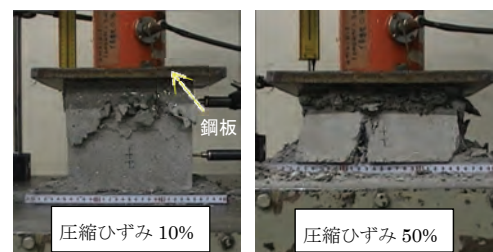


写真-4 一軸圧縮試験状況