

高地圧トンネルにおけるフレキシブル支保部材の変形特性評価および解析による適用性検討

鹿島建設(株) 正会員 ○黒川紗季 升元一彦 小泉 悠 岡田侑子 宇津野衛

1. はじめに

海外の高地圧が想定される大土被りトンネルの施工には、地山の変形をある程度許容することで支保にかかる地圧を低減させる変形制御型支保工を採用する事例がみられる。例えば、吹付けコンクリートではスリット部を設け優先的に変形する特性を持ったフレキシブル部材を挟む方法があり、Kovari¹⁾はスリット部に、圧縮力により内部のガラスビーズがつぶれ変形する特殊なコンクリート「hiDCon」を採用している（写真-1）。

国内でも、今後の大土被り地山において多重支保では抵抗できない高地圧が発生した場合の対策を検討する必要がある。そこで筆者らは、フレキシブル部材への適用可能性のある新材材として、ガラス長繊維強化プラスチック発泡体（積水化学工業製、以下 FFU 部材）に着目し、その性能評価と FLAC3Dver5.01（itasca 社製）による解析にて変形挙動のシミュレーションを行ったので報告する。

2. FFU 部材の一軸圧縮試験

FFU 部材の基本性能を確認するため FFU 部材の一軸圧縮試験を実施し応力ひずみ関係を確認した（図-1）。FFU 部材は、ガラス長繊維の混入量を変えることで比重を調整しており、既製品として FFU50（比重 0.5）、FFU74（比重 0.74）、FFU100（比重 1.0）がある。また、ガラス長繊維が一様方向に配合されているため、応力が発生した際の性質が向きにより異なる。そこで、ガラス繊維の方向が圧縮方向に平行な場合を縦、垂直な場合を横とそれぞれの挙動を確認した。また、フレキシブル部材としての適用性を評価するため、事前に入手し確認した hiDCon の一軸圧縮試験の結果と比較した。

図-2、図-3 に試験結果を示す。フレキシブル部材に求める性能は、破壊ひずみが大きく変形制御特性があること、脆性破壊をしないこと、ある程度の耐荷力があることが挙げられる。横方向の結果は、圧縮力がかかることでガラス繊維が広がるように変形を見せるが、含まれるウレタン樹脂の粘りにより、脆性破壊せず、荷重とひずみがなだらかに増加する。この挙動は今回比較対象とした hiDCon の一軸圧縮試験結果と似た挙動を示している。一方、縦方向の結果は初期剛性が高く、ピーク荷重に達するとガラス長繊維の破壊が始まり、ひずみの増加とともに荷重が低下する結果が得られた。これらの結果より、縦方

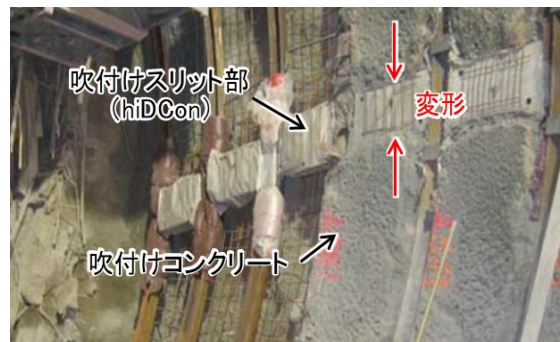
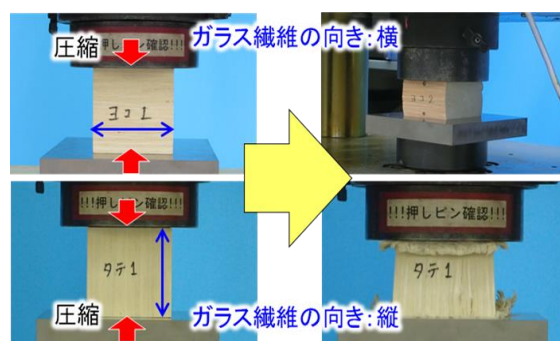
写真-1 可縮支保の適用例¹⁾

図-1 FFU 部材圧縮試験

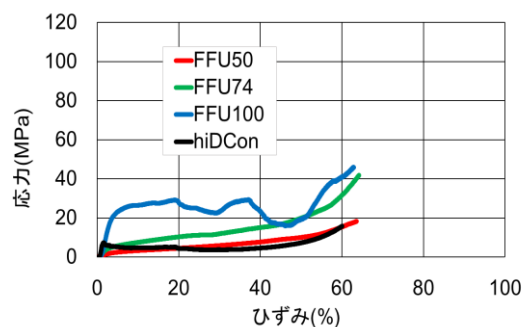


図-2 FFU 部材圧縮試験結果（横向き）

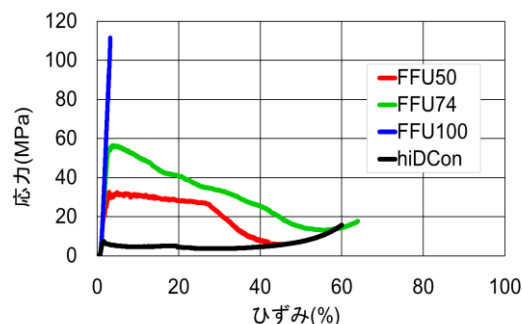


図-3 FFU 部材圧縮試験結果（縦向き）

キーワード 高地圧トンネル、フレキシブル支保部材、変形制御型支保、応力ひずみ関係、掘削解析

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL042-489-8253

向では変形制御特性は見られないが、横方向ではフレキシブル支保部材として適用できる可能性があると考えられる。また、FFU100 に関しては、ガラス繊維の配合が大きくウレタン樹脂が減るため、横方向であっても FFU50 や FFU74 のように大きく広がる変形をみせず、変形挙動は hiDCon から離れる結果となった。

3. FLAC による吹付けスリットシミュレーション

FFU50 と FFU74 の横向きで変形制御特性がみられたので、より hiDCon の試験結果と近い挙動を示した FFU50 の結果を用いて吹付けコンクリートの解析シミュレーションを行った。解析条件を表-1、表-2 に示す。平面ひずみ条件のもと、トンネルは直径 10m の曲げを考慮しない円形モデルとし、応力解放させることで掘削によるトンネル周辺地山挙動を模擬した。岩盤物性は D1 級地山、支保は高強度吹付けコンクリートのみをシェル要素で模擬し、厚さ 0.25m、長さ 0.5m のスリットを円形モデルの中に均等に 8 か所設けた (図-4)。このスリット部に FFU50 の物性を入力したケースとスリットなしのケースを比較することでフレキシブル部材の影響を確認した。FFU50 の物性は、一軸圧縮試験の結果を図-5 に示すようなトリリニアな挙動とし、内蔵プログラミング言語 FISH を用いてモデル化した (図-5)。

解析結果は、図-4 に示すように、FFU 部材に挟まれた吹付けコンクリートの中心点に着目し、FFU 部材による圧縮応力と壁面変位の影響を確認した (図-6、図-7)。スリットなしのケースでは応力解放率 83% で吹付けコンクリートが降伏応力に達する。一方、FFU 部材を導入すると吹付けコンクリートに発生する応力が低減され、応力解放率 100% において 30MPa 程度と、降伏応力に到達しない結果が得られた。また、壁面変位については応力解放率 100% の時点で FFU 部材を挿入したケースの方が 100mm 程度大きく、FFU 部材が優先的に変形し地山の変位を吸収したと考えられる。

4. まとめ

フレキシブル部材を適用することで、吹付けコンクリートに発生する圧縮応力が低減され、変形制御型支保は大土被り地山に有効であることが示唆された。今後は、スリット部に適用するフレキシブル部材の特性をパラメータスタディをすることで、地山に適した部材の検討を行うとともに、ロックボルトや鋼製支保工においても同様に変形制御型支保の検討を行い、3 つの支保を組合わせたトンネル掘削解析により適用性を探っていく所存である。

参考文献

- 1) Kovari, Design Methods with Yielding Support in Squeezing and Swelling Rocks, World Tunnel Congress(2009)

表-1 地山条件

項目		値	単位
密度	d	2.24	g/cm^3
弾性係数	E	500	MN/m^2
ポアソン比	ν	0.35	-
粘着力	c	0.5	MN/m^2
内部摩擦角	ϕ	35	deg
ダイレイタンシー角	ψ	35	deg

表-2 吹付けコンクリート物性

項目		値	単位
弾性係数	E	5000	MN/m^2
ポアソン比	ν	0.35	-
降伏応力	σ_y	36	MPa

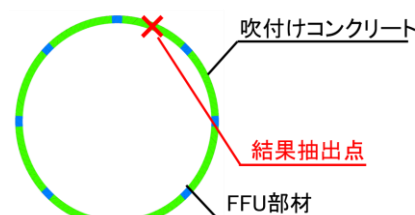


図-4 吹付けコンクリートモデル

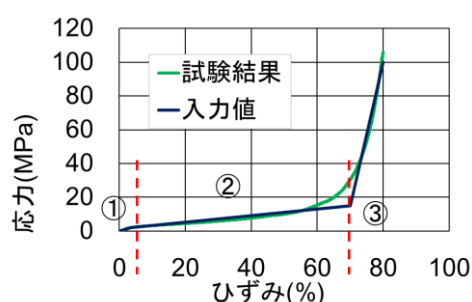


図-5 スリット部入力物性値

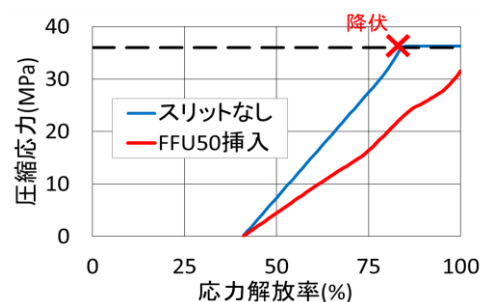


図-6 解析結果（吹付け応力）

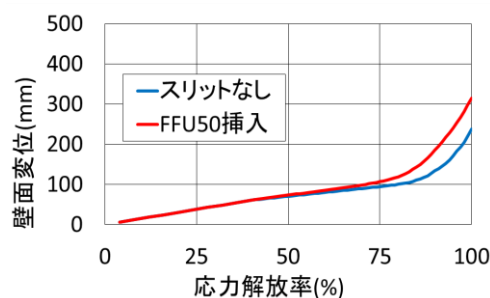


図-7 解析結果（壁面変位）