

## 山岳トンネル用可縮支保部材の室内圧縮試験

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

## 1. はじめに

土被りの大きい山岳トンネルの施工においては、過大な地圧をトンネル周囲の岩盤が受け、しばしば著しい変形が生じる場合がある。このようなトンネルの安定性を確保するための支保構造の一つとして、支保の所定箇所に変形を許すことにより支保全体に生じる応力を軽減する可縮支保が海外では採用されている<sup>1)</sup>。国内においても、かつて可縮機構を有する鋼材等を用いた施工が行われていたが、近年の採用報告はない。しかし、今後行われる大土被り下でのトンネル掘削では、大きな変形が予想される可能性のある工事もある。著者らは、そのような場合に、簡易かつ迅速に現場製造できる可縮支保部材の開発を進めている。既報<sup>2)</sup>では、開発を進める部材サンプル(200×200×200mm 立方体)を用いた圧縮試験の結果を報告し、課題についてまとめた。本報では、降伏直後の応力低下という課題に対して構造についての改良を行い、実際の施工を想定した寸法で作製した部材の概要と、可縮性能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。

## 2. 可縮支保部材の概要

可縮支保部材には、降伏後に脆性的な破壊をせず、大きな変形が生じても一定の耐荷力を保持する性能が求められる。そこで、地盤材料の三軸圧縮試験において、高封圧下では材料が降伏後に延性的な挙動を示すことに着目し、脆性材料であるモルタルを外側から拘束することで、同等な力学挙動を示す可縮支保部材の開発を進めている。具体的には、任意荷重で降伏し(本報では約 10N/mm<sup>2</sup>)、降伏後に一定の応力を保持したまま、ひずみ数 10%程度の変形が可能な弾完全塑性体に近い挙動を示す部材を開発の目標とした。

既報<sup>2)</sup>の部材は、多孔質な軽量骨材を用いた圧縮性に富む立方体のモルタル外周部に、ポリプロピレンの繊維シート(以下、PP 繊維)をらせん状に巻きつけ、エポキシ樹脂で接着した構造であった。この部材の圧縮試験では、降伏直後に応力が低下する課題があった。すなわち、降伏直後のモルタルは断面積の増加が小さいため、PP 繊維のみでは降伏時に応力を保持し続けるだけの拘束効果をモルタルに与えることができないことが示唆された。そこで、降伏直後の応力低下を低減させるため、写真-1 に示すように、部材の形状を円柱(φ200mm、高さ 400mm)とし、モルタルと PP 繊維の間に建築空調用の亜鉛メッキ薄肉スパイラル鋼管(以下、薄肉鋼管)を設置した構造とする改良を行い、実際の施工を想定した寸法で部材を作製した(図-1)。

## 3. 室内試験

改良した部材の可縮性能を確認するために一軸圧縮試験を実施した。試験ケースを表-1 に示す。ケース①は改良型の部材を供試体としたケースである。ケース②との比較により薄肉鋼管の効果を確認する。また、ケース③および④との比較により寸法および形状の効果を確認する。なお、ケース③については、既報<sup>2)</sup>の結果を検討に用いる。試験は材料試験機を用いて、ひずみが 40%に達するまで载荷を行った。



写真-1 部材の外観

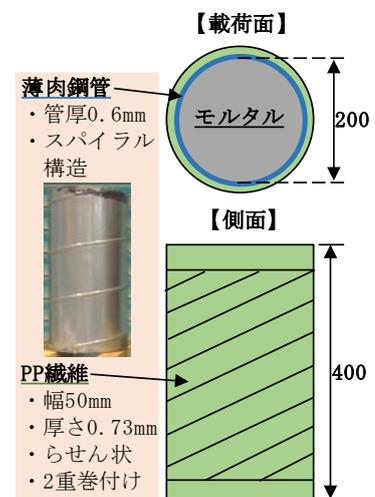


図-1 部材の概要

表-1 試験ケース

| ケース                    | 圧縮部の寸法形状           | PP 繊維 | 薄肉鋼管 |
|------------------------|--------------------|-------|------|
| ①円柱 (PP+鋼管)            | 円柱<br>φ200×400     | 有     | 有    |
| ②円柱 (PPのみ)             | 円柱<br>φ200×400     | 有     | 無    |
| ③直方体 (小) <sup>2)</sup> | 直方体<br>200×200×200 | 有     | 無    |
| ④直方体 (大)               | 直方体<br>800×300×400 | 有     | 無    |

キーワード 山岳トンネル 大土被り 可縮部材 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(株) 技術センター TEL045-814-7217

## 4. 結果

改良部材であるケース①のひずみ 0, 20, 40%時の状況を図-2に、各ケースの応力ひずみ関係を図-3に示す。なお、応力は経時的な断面積変化に対する補正は行わず、載荷荷重を試験開始当初の供試体断面積で除した値とした。また、ひずみは軸方向のひずみで圧縮を正とした。各ケースのピーク強度(≒降伏強度)、降伏後の応力最小値およびピーク強度と応力最小値の差を表-2にまとめる。全てのケースにおいて、10N/mm<sup>2</sup>程度で降伏し、応力が低下した後、緩やかな増加に転じる傾向は共通であるが、ケースによって降伏後の応力低下量に差があることがわかる。ケース①を除いた3ケースで降伏後に大きな応力がみられたが、ケース①では、ほとんど応力の低下がみられず、目標とする応力ひずみ関係に近い挙動を示した。

## 5. 考察

### (1) 薄肉鋼管の効果

モルタルをPP繊維のみで囲ったケース②は、降伏後に大きく応力が低下しているが、薄肉鋼管を併用したケース①では、応力低下が小さい。これは、比較的剛性の高い薄肉鋼管がモルタルに密着しており、降伏直後の小ひずみレベルにおいても大きな拘束効果を発揮したためと推察される。また、ケース②では、ひずみ約25%でPP繊維が破断し耐荷力を失っているが、ケース①では、ひずみ40%まで応力を保持し続けた。これは、薄肉鋼管の拘束によりモルタルの周方向への膨張が抑制されたためと推察される。なお、降伏し応力が低下した後、ゆるやかに応力が増加するのは、PP繊維および薄肉鋼管による拘束効果、圧縮に伴うモルタルの空隙減少および応力算出時に断面積補正を行っていないことなどが要因として考えられる。

### (2) 寸法形状の影響

ケース③と④を比較すると、断面積の大きなケース④の方が降伏後の応力低下が大きいことがわかる。部材の断面積が大きい程、断面の周長に対する面積の比も大きくなる。すなわち、断面積が大きい程、PP繊維がモルタルに与える拘束効果が小さく、応力低下量が大きくなるものと推察される。また、ケース②とケース③の応力低下量に大きな差はないが、ある一定の面積を持つ断面に対して、その周長が最小となる形状は円であることから、断面形状は円であることが望ましいと考える。

## 6. まとめ

課題であった降伏後の応力低下に対して、部材の形状を円柱形に変更し、補強として薄肉鋼管を加えた構造とする改良を行い、実施工を想定した寸法で作製した部材の室内圧縮試験を行った。その結果、降伏後にほとんど応力が低下することなくひずみ40%まで圧縮され、目標に近い力学挙動を示すことを確認した。

今後は、現場での実適用に向け、長期的な耐久性の確認や設計的な検討<sup>3)</sup>を反映し、地山条件に応じた部材の開発を行っていきたい。

## 参考文献

- 1) K. Kovari : Design Methods with Yielding Support in Squeezing and Swelling Rocks, World Tunnel Congress, 2009.
- 2) 水野ら: 山岳トンネル用可縮コンクリート部材に関する研究, 第73回土木学会年次学術講演会, III-546, pp. 1091-1092, 2018.
- 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, No. 18, pp. 103-108, 2018.

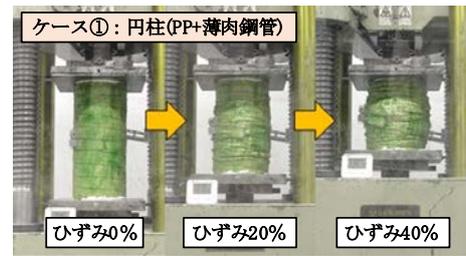


図-2 試験時の状況(ケース①)

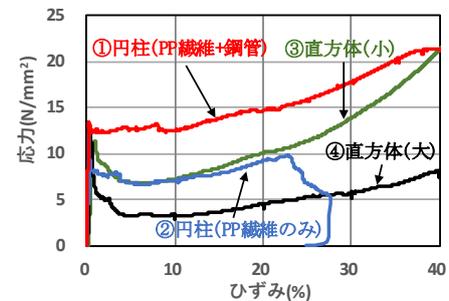


図-3 応力ひずみ関係

表-2 降伏後の応力低下

| ケース | A.ピーク強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | B.降伏後の<br>応力最小値<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 応力低下量<br>A-B<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|-----|---------------------------------|---|--------------------------------------|
| ①   | 13.4                            | 12.3                                    | 1.1                                  |
| ②   | 12.2                            | 6.6                                     | 5.6                                  |
| ③   | 11.4                            | 6.9                                     | 4.5                                  |
| ④   | 12.2                            | 3.2                                     | 9.0                                  |