

吹付けコンクリートの押し抜きせん断に関する一考察

鉄建建設（株） 正会員 ○松岡 茂、土井 至朗
 日本道路公団試験研究所 正会員 伊藤 哲男、赤木 渉
 東京大学工学部 正会員 堀井 秀之

1. はじめに

トンネル掘削の支保部材としては、ロックボルト、吹付けコンクリート、鋼アーチ支保工が主に用いられている。しかしながら、各支保部材の作用効果を厳密に定量評価してトンネルの支保パターンは決定されておらず、過去の実績などに基づいて定められた標準支保パターンを用いてトンネルの施工が行われているのが現状である。そこで、各支保部材の作用効果を定量的に評価し、施工条件に応じた支保パターンを検討することを目的に、吹付けコンクリートの押し抜きせん断破壊に関する検討を行った。

吹付けコンクリートの支保効果の一つとして、図-1 に示すように節理面などの不連続面で囲まれた岩塊による局所的な集中荷重を負担する効果がある。このような局所的な集中荷重が吹付けコンクリートの一次支保に作用すると、押し抜きせん断破壊が生じると想定されることから吹付けコンクリートの押し抜きせん断破壊について数値解析で検討を行った。さらに、鋼繊維などの短繊維を混入した場合の押し抜きせん断破壊への影響についても数値解析で検討を行った。

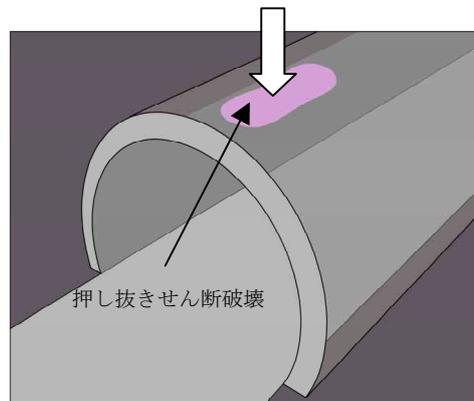


図-1 押し抜きせん断破壊

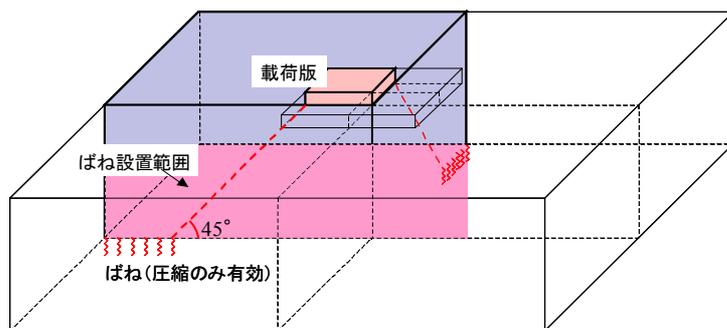


図-2 計算モデル

2. 計算モデル

コンクリートの力学特性は、ひび割れの発生・進展により支配されることが知られており、ひび割れの発生・進展はひび割れ先端で伝達される引張応力で決定されると考えられている¹⁾。更に、ひび割れ先端で伝達される応力については、ひび割れ幅と引張応力の関数である引張軟化曲線でモデル化することができるとされている。そこで、各要素にひび割れが1本発生すると仮定した有限要素法に引張軟化曲線を組み込んで押し抜きせん断の計算を行った。押し抜きせん断の解析に使用した計算モデルは、図-2 に示すようにコンクリート平板に正方形の载荷版を介して荷重を上面から与えるものである。なお、底面の支承部分は圧縮力のみ有効として計算を行った。また、計算範囲は対称条件を考慮して図-2 に示すように全体の1/4とした。短繊維を混入しない吹付けコンクリートの引張軟化曲線については、無筋コンクリートと同様と考えコンクリート標準示方書に準拠した。短繊維補強コンクリートについては、曲げ試験結果から引張軟化曲線を既存文献²⁾に基づいて算定した。なお、短繊維は両端フック付きの鋼繊維を0.5vol%混入したものである。

3. 計算結果

図-3 に示すように鋼繊維を混入しないものは、最大荷重に達すると急激に荷重が低下する。これに対して鋼繊維を混入すると最大荷重以降の挙動が大幅に異なり、無筋コンクリートのように荷重が急激に低下することはない。計算結果と実験結果の荷重-変位曲線は図-3 に示すように、ほぼ良い一致を示している。数値

キーワード 吹付けコンクリート、短繊維補強、トンネル

連絡先 〒286-0825 千葉県成田市新泉9-1 鉄建建設(株) 技術研究所 TEL:0476-36-2355

解析で得られたひび割れは、図-4に示すように荷重版端部から支承部に向かって生じており、典型的なせん断破壊形状を示している。この斜めひび割れが貫通することにより、計算上では耐力が完全に失われた。これらのことから、引張軟化曲線を考慮した分布ひび割れモデルで吹付けコンクリートの押し抜きせん断破壊を推定することが出来ると判断された。

トンネル支保では軸力が卓越することが予想されることから、軸力による押し抜きせん断応力の影響を計算した。軸力比と押し抜きせん断応力は図-5に示すように、軸力比が増加するのに伴って鋼繊維混入の影響はほとんど無くなる。この原因は、短繊維はコンクリートの引張破壊特性を改善するが圧縮強度に対してはほとんど影響を与えないため、圧縮側で最終破壊が決定される軸力比が高い領域では短繊維の効果が発揮されないためである。なお、軸力比および押し抜きせん断応力は式(1)、(2)により換算した。

$$\alpha = \frac{N}{f'_{cd} \cdot A} \quad \text{式(1)}$$

ここに α : 軸力比、 N : 軸力、 f'_{cd} : 圧縮強度、 A : 断面積である。

$$\tau_a = P_a / a \cdot b \quad \text{式(2)}$$

ここに、 τ_a : 押し抜きせん断強度、 P_a : 押し抜き荷重、 a : 荷重版の周長、 b : 部材の断面高である。

4. まとめ

トンネル支保に局所的な外力が作用し、押し抜きせん断破壊が発生する場合を想定して、数値解析で吹付けコンクリートのせん断耐力を検討した。その結果をまとめると次のようになる。

- ① 無筋コンクリートは、軸力が無い場合には最大荷重に達すると急激に荷重低下が発生する。
- ② 軸力が無い場合には、短繊維補強の効果は顕著で最大荷重が増加するだけでなく最大荷重以降の荷重低下が緩やかである。
- ③ 軸力が高くなるのに従って、短繊維補強の効果は見られなくなる。この原因は、軸力比が高くなると圧縮側で破壊が決定されるためである。

今後は、トンネル掘削に伴い支保に作用する荷重状態を推定することにより、吹付けコンクリート支保効果を定量的に評価することができると思われる。

- 参考文献** 1)Hillerborg, A.E., Modeer, M. and Petersson, P.E.: Analysis of crack formation and crack growth in concrete by means of fracture mechanics and finite elements, *Cement and Concrete Research*, Vol. 6, pp. 773-782, 1976
- 2)松岡他、鋼繊維補強コンクリートの引張特性試験法に関する研究、土木学会論文集、No. 564/V-35、pp. 145-153、1997. 5

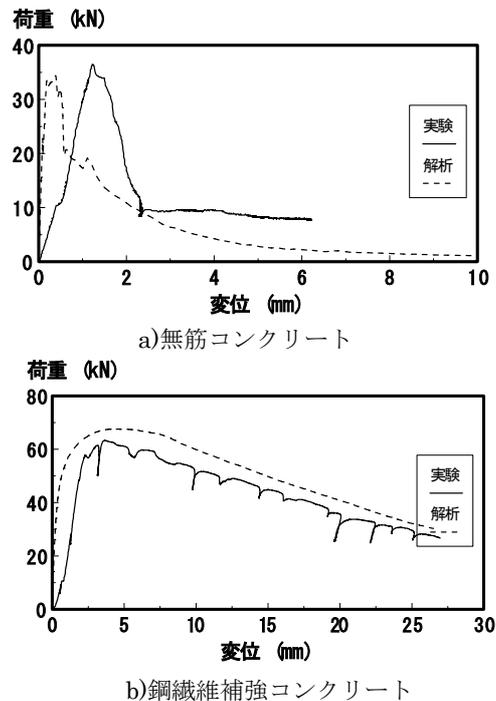


図-3 試験結果

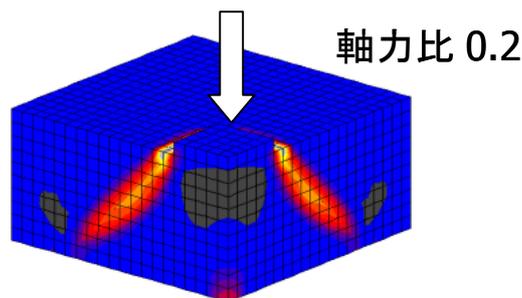


図-4 ひび割れ発生状況

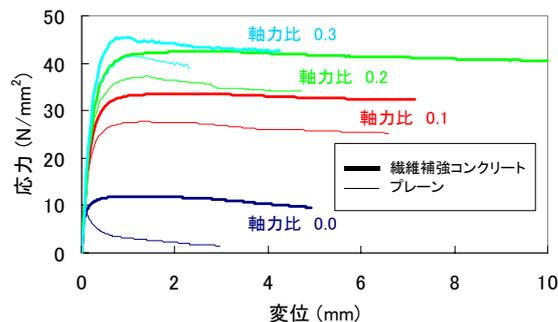


図-5 荷重-変位曲線