

III-119

S F R C のトンネルへの適用（4）

－支保・覆工設計に関する試案－

佐藤工業(株) 正会員 木村 定雄
 日本ソールドエンジニアリング(株) 正会員 大泉 英俊
 日本鉄道建設公団 正会員 末永 充弘
 早稲田大学 正会員 小泉 淳

1. はじめに

鋼繊維補強コンクリート（SFRC）は無筋コンクリート（PC）の脆性を改善することにより、曲げ、せん断、引張に対する抵抗性能を向上させた複合材料である。このSFRCの特性をトンネル支保・覆工（覆工体）の設計に適切に利用すれば、より合理的なトンネル設計が可能となる。しかしながら、従来の覆工体の設計は構造材料の圧縮強度に主眼をおいた許容応力度設計法によるため、地山変形に対する追従特性またはPCと比べた耐力の向上等、SFRCの有する特性を有効に設計に反映することが困難であった。

本報告は軸圧縮力と曲げモーメントとを受けるSFRC覆工体を対象に、SFRCのもつ優れた変形性能および引張抵抗力を効果的に評価できる新しい設計法の概念について述べたものである。この設計法はその基本的理念として限界状態設計法を採用している。

2. 支保・覆工（覆工体）の限界状態

トンネル覆工体の破壊は周辺地山の偏土圧、過大な土圧または変形を受け、覆工体の一部に発生した微細なひびわれが、複数箇所の大ひびわれに進展することにより崩壊に至るものと考えられる。地中において閉合された環状覆工体は地山が覆工体の変形を拘束することから崩壊に至る極限耐力は地上におけるそれと比べ、はるかに大きいと考えられる。すなわち、地中の覆工体に生じる断面力は軸圧縮力と曲げモーメントとが組合わされることにより、覆工体が耐え得る曲げモーメントは見かけ上大くなる。覆工体の限界状態を見極めるためには、それに作用する外荷重または強制変位等を明確にすることが重要となるが、覆工体に作用する荷重は地山状況、施工法等により種々に考えられ、これを明らかにすることは現在のところ困難である。したがって、覆工体のどの位置に、どの程度のひびわれが生じれば覆工体が崩壊に至るのかを定めるのは現状では難しいと言わざるを得ない。以上のことから、本設計法ではSFRC覆工体の限界状態はSFRC部材の部材としての限界状態と同一であるとして評価した。すなわち、覆工体の任意の位置(1箇所)に発生する曲げひびわれの程度を基にSFRC覆工体の限界状態を定

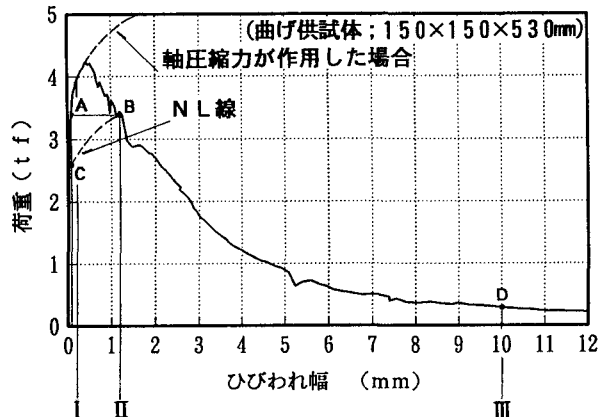


図1 荷重とひびわれ幅との関係

表1 SFRC覆工体の構造種別と限界状態

構築方法	構築部位または種類	構造種別		
		非構造部材	構造部材の一部	構造部材
打込SFRC	一次覆工 *1	II	II	I
	二次覆工	I	I	I
吹付SFRC	一次覆工 *2	III	II	I
	二次覆工	I	I	I
プレキャストSFRC	覆工板 化粧板 その他	I	I	I

*1 原則としてECLを想定

*2 原則として支保を想定

義したものである。

3. SFRC覆工部材の限界状態

SFRC覆工部材の限界状態の種類は図1に示すSFRC部材の曲げ試験から得られる荷重とひびわれ幅との関係から定義づけたⅠ、Ⅱ、Ⅲの3種類とした。表1はこれらの限界状態の原則的な適用を覆工体の構築方法および構築部位から分類される構造種別ごとに示したものである。限界状態Ⅰは対象となる覆工体の長期にわたる耐久性能を保証する観点から定めた限界状態であり、覆工厚に関係なくひびわれ幅0.25mmを限界ひびわれ幅として定めたものである。限界状態ⅡはSFRC部材の有する引張抵抗力を曲げ試験から求めて部材耐力を保証すると同時に、PCと異なりひびわれ発生後も変形に耐え得るSFRCの変形特性を評価する観点から

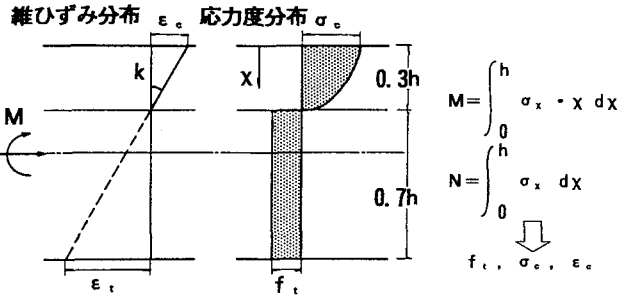


図2 限界状態Ⅱにおけるひずみ、応力度分布

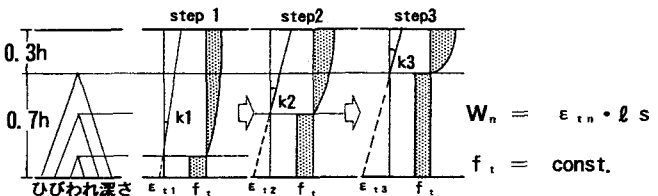


図3 NL線の計算方法

定めた限界状態である¹⁾。すなわち、図1中のA点における応力状態（図2）で耐力を定めるとともに図1中のB点におけるひびわれ幅で変形に対する限界値を定めている（たわみ量とひびわれ幅とは比例する）。なお、図2に示す中立軸の位置は曲げ試験から得られたひびわれ深さから決定した。このことは、覆工体設計におけるSFRC部材の荷重－変形曲線は荷重が零からC点（ひびわれ発生点）までは線形として評価し、ひびわれ発生後は非線形（NL線）として評価したことを意味する。NL線は図3に示した各ステップにおいて、断面の平面保持を仮定した部材回転角 k にひびわれによる応力解放領域 l を乗じてひびわれ幅を計算することにより得られる。また、この部材回転角を限界状態Ⅱにおける限界部材回転角 ϕ_{II} とすれば、部材厚が150mmと異なる場合のB点は部材厚比から計算することが可能である。なお、純曲げ試験から引張抵抗力 f_t を評価することは、実際のSFRC覆工体には軸圧縮力が作用することを考えると、設計上安全側の限界を設定していることになる。限界状態Ⅲは覆工体に耐力を期待せずに地山の大変形に追従するといったSFRC部材の変形特性を評価する観点から定めた限界状態であり、150mmの覆工厚において限界ひびわれ幅を10mm（D点）と定めたものである。また、この状態におけるひびわれ深さはほぼ部材厚に相当するため、部材厚150mmの場合のひびわれ幅10mmに対応する部材回転角を限界状態Ⅲにおける限界部材回転角 ϕ_{III} とすれば、部材厚が異なる場合においても限界部材回転角 ϕ_{III} に部材厚を乗じることにより限界ひびわれ幅の目安は計算できるものと考えられる。図4はその概念を示したものである。Ⅲの限界状態は曲げに対する抵抗力がほとんどないため、断面の最終的な破断に対しては用いる鋼繊維の形状寸法の影響が大きいと考えられる。したがって、150mmを越える部材厚に対してその限界ひびわれ幅を定める場合にはこのことを十分に考慮する必要がある。

4. おわりに

本報告はSFRC覆工体の限界状態を定義し、限界状態設計法に基づく設計概念を提案したが、今後、曲げ試験に用いる部材寸法と実際の覆工厚とが異なる場合について、鋼繊維の受持つ引張抵抗力の寸法効果および鋼繊維の形状寸法の影響を適切に評価する方法等に検討を加えてゆくつもりである。

なお、本報告は（社）鋼材倶楽部SFRC構造設計施工研究会の研究成果の一部であることを付記する。

【参考文献】1) 颯, 梶井, 末永, 梶原: 直打ちコンクリートライニングの耐力算定方法, トンネル工学研究発表論文・報告集, 第2巻, 1992. 10, pp. 11~18

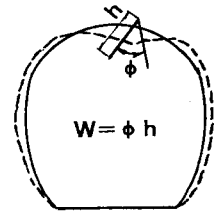


図4 部材回転角とひびわれ幅