

鋼繊維補強コンクリートの特性を考慮した トンネル覆工の設計

鬼頭 誠¹・峯本 守²・梶原 雄三³・松岡 茂⁴

¹正会員 工博 日本鉄道建設公団 元設計技術室 (〒100 東京都千代田区永田町 2-14-2)

²正会員 工博 日本鉄道建設公団 元理事 (〒100 東京都千代田区永田町 2-14-2)

³正会員 日本鉄道建設公団 設計技術室 (〒100 東京都千代田区永田町 2-14-2)

⁴正会員 鉄建建設株式会社 エンジニアリング本部 技術研究所 (〒286 千葉県成田市新泉 9-1)

鋼繊維補強コンクリートでは、ひび割れ面で鋼繊維により引張力が伝達されるために、無筋コンクリートに較べて優れた破壊靱性を有している。この特性を設計に取り入れたトンネル覆工の設計手法の安全性を検証することを目的に、円環供試体による載荷試験と有限要素法によるシミュレーションを行った。その結果、トンネル覆工のような円環構造物では、局部的に断面力が部材の断面耐力を越えても構造物は直ちに破壊に至らないことが確認され、設計指針に定めているように設計上の限界状態を断面力が部材の断面耐力に達した時点とすれば安全であることが判明した。

Key Words : *fracture mechanics, tension softening curve, SFRC, nonlinear FEM analysis*

1. はじめに

無筋コンクリート部材のひび割れ発生・進展をコンクリートの破壊力学に基づいた有限要素法解析モデルにより追跡できることから、筆者ら¹⁾は無筋コンクリートを覆工材料としたトンネル覆工のひび割れ進展に伴う構造物の挙動を解析するモデルを構築し、さらにこの解析モデルを用いて、無筋コンクリートのトンネル覆工を対象とした限界状態設計法による日本鉄道建設公団の設計指針²⁾の妥当性について報告している。

設計指針では、無筋コンクリート以外に鋼繊維補強コンクリート (steel-fiber-reinforced concrete: SFRC) も対象としており、SFRCでは、ひび割れ面において鋼繊維により引張力が伝達されることが報告されている³⁾ことから、SFRCでは引張強度を考慮して設計を行うものとしている。この指針におけるSFRC部材の設計の大きな特徴は、次の点である。

- ①ひび割れ面には、ひび割れ開口幅に応じた引張応力が作用するが、設計上一定の引張応力として取り扱うこととしている。この引張応力を設計上SFRCの引張強度とする。
- ②SFRCの引張強度は、供試体の曲げ試験から定める

ものとする。この引張強度を用いて覆工部材の設計断面耐力を算定する。

SFRCの断面耐力は、ひび割れ開口幅と引張応力との関係である引張軟化曲線に影響され、この引張軟化曲線は、開口幅が増加するのに伴って引張応力が低下することが報告されている。そこで、本研究では、SFRCの引張軟化曲線を考慮した構造物のひび割れ進展に伴う巨視的な挙動を追跡する解析モデルを構築した。さらに、設計指針のように限界ひび割れ開口幅に応じて、ひび割れ面の引張応力を一定とすることが妥当であるかを検討した。

2. 解析方法

(1) ひび割れのモデル化

近年、破壊力学の考え方に基づいてコンクリートのひび割れ進展等を解析することが注目されている。コンクリートの破壊力学における考え方の大きな特徴の一つは、応力が引張強度に達するとひび割れが生じ、その後はひび割れ面における引張応力はひび割れ開口幅が増加するのに伴って低下する引張応力の軟化を考慮することである。SFRCでは、ひび割れ面で鋼繊維により引張応力

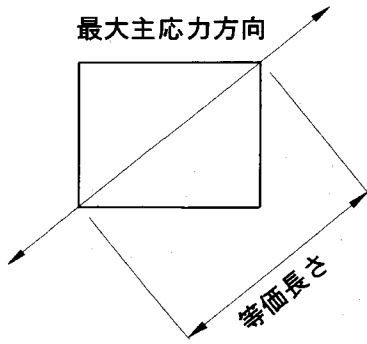


図-1 等価長さ

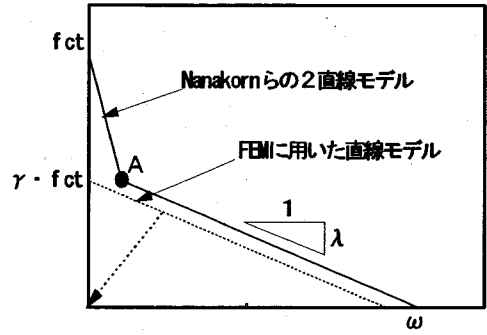


図-2 引張軟化曲線

の伝達があるため、引張応力の軟化が無筋コンクリートと異なると考えられている。このひび割れ開口幅とひび割れ面での引張応力との関係を破壊力学では、引張軟化曲線と定義している。

本研究では、ひび割れ先端付近で骨材の噛み合わせおよび鋼繊維により引張力が伝達される領域を仮想のひび割れ面と考え、この仮想ひび割れ面に引張応力が発生しているものとした Hillerborg ら⁴⁾の仮想ひび割れモデルにより、SFRCのひび割れ進展を解析した。解析では、Dahlblom ら⁵⁾が用いたモデルと同様に分布ひび割れタイプの要素を用いた。ひび割れが発生した要素の変形はひび割れの開口幅とひび割れ部分以外の弾性変形量との和であるものとし、要素における応力-ひずみ関係は弾性領域の特性と引張軟化曲線により決定される。解析においては、応力とひび割れ開口幅との関係である引張軟化曲線を応力-ひずみ関係に換算する際に、要素寸法に依存しないように「等価長さ (equivalent length)」と呼ばれる概念を導入した。

計算では、最大主応力 (引張側が正) がコンクリートのひび割れ発生応力である引張強度 f_t に達した時に最小主応力方向にひび割れが発生するものとし、ひび割れが発生した要素では、最大主応力方向の応力-ひずみ関係はひび割れ以外の弾性挙動と引張軟化曲線から式(1)により与えられるものとし、最小主応力方向はひび割れ発生前の応力-ひずみ関係に従う直交異方体要素とした。

$$\epsilon = \frac{\sigma_x}{E} + \frac{\omega(\sigma)}{L} \quad (1)$$

ここに、 σ_x : 応力、 E : 弾性係数、 $\omega(\sigma)$: 引張軟化曲線、 L : 要素の等価長さ、 ϵ : 最大主応力方向のひずみである。要素の等価長さは、Dahlblom らと同様に図-1に示すように最大主応力方向に要素を投影した長さとした。なお、ひび割れが完全に閉口するまで、ひび割れ面におけるせん断力の伝達は無いものとして解析を行った。解析に用いた要素は、平面応力条件下の8節点4辺形アイソパラメトリック要素である。

(2) 引張軟化曲線と応力-ひずみ曲線

SFRCの引張軟化曲線については、Nanakorn ら⁶⁾が図-2に示すような2直線モデルで近似することができることを報告している。SFRCの引張軟化曲線は、ひび割れ発生直後に急激な応力の低下が生じ、その後緩やかに応力が減少する経路を示す。鋼繊維の形状・混入率により、引張応力の低下率 (図中のA点) およびそれ以降の軟化曲線の勾配が変化する。Nanakorn らは、軟化曲線をA点以降の直線モデルとして近似した場合、SFRCのひび割れ進展および最大荷重を良く近似することができることを指摘している。そこで、解析では、軟化曲線を2直線モデルでなく式(2)に示す直線モデルとした。また、ひび割れが発生した後、開口幅が減少する方向に変形が生じる場合には、図に示すように原点に指向する除荷経路に従うものとした。

$$\sigma = \gamma \cdot f_t - \lambda \cdot \omega \quad (2)$$

ここに、 γ : 残留強度率、 f_t : コンクリートのひび割れ発生応力である引張強度、 λ : 軟化曲線の勾配、 ω : ひび割れ開口幅である。残留強度率は、図-2に示すようにひび割れが発生した直後におこる急激な応力低下の割合を示すものである。

一方、圧縮側の応力-ひずみ関係については、無筋コンクリートで一般的に用いられている式(3)に示す二次曲線タイプの応力-ひずみ曲線を使用し、降伏曲面はDrucker-Pragerタイプを用いた。応力-ひずみ曲線を単軸試験結果として考え、降伏曲面の定数を決定した。なお、SFRCは無筋コンクリートと同様に圧縮限界ひずみを 3500μ とした。

$$\sigma = f_c \frac{\epsilon}{0.002} \left[2 - \frac{\epsilon}{0.002} \right] \quad (3)a$$

ただし、 $0 \leq \epsilon \leq 0.002$

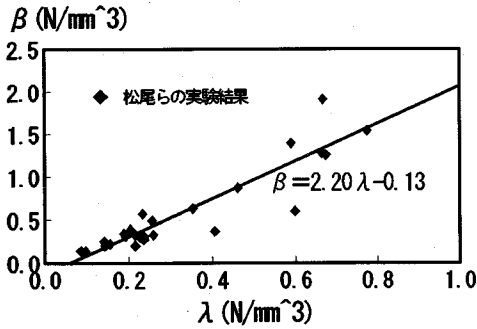


図-3 β - λ 関係

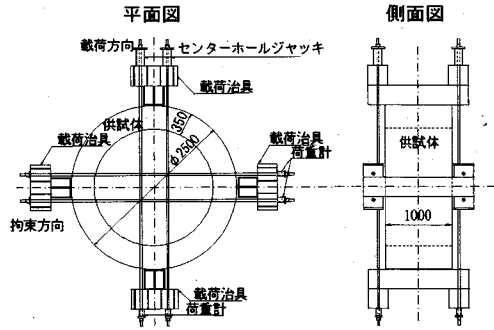


図-5 円環載荷実験

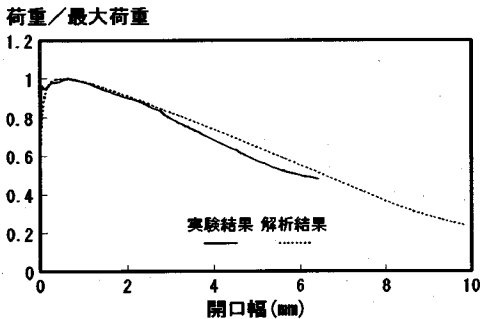


図-4 曲げ試験の荷重-開口幅曲線

$$\sigma = f_c \quad (3b)$$

ただし, $0.002 < \epsilon \leq 0.0035$

ここに f_c : 圧縮強度である。SFRCは等方硬化則に従うものとして解析を行い、圧縮限界ひずみの 3500μ に最小主ひずみが到達した時点で最大主ひずみの値に関係なく圧縮限界に達したものとして計算を打ち切った。また、ひび割れが発生するまでの引張応力-ひずみ曲線の弾性係数は、式(3)aに示す曲線の原点における接線勾配である式(4)の関係を用いた。

$$E_t = f_c / 0.001 \quad (4)$$

ただし、 E_t : 引張側の弾性係数である。

(3) 引張軟化曲線と曲げ試験結果

引張軟化曲線を求める方法としては、直接引張試験による方法⁷⁾がある。直接引張試験による方法は、試験自体が難しいことから、一般的に行われていない。Nanakornらは、SFRCの強度試験として行われている15cm角の直方体供試体による4点曲げ試験と引張軟化曲線との関係を報告している。この報告では、曲げ試験の最大荷重以降における最大荷重の80%と60%間の荷重-ひび割れ曲線の勾配 β と引張軟化曲線の勾配 λ との間には図-3に示すように相関があることを指摘している。

また松尾ら⁸⁾の研究では、残留強度率は鋼繊維の混入率・形状により影響を受けコンクリート強度にはほとんど影響されないこと、さらに曲げ試験においてひび割れ断面上部の圧縮ひずみを計測することにより残留強度率 γ を計算から求めることができることを報告している。

したがって、一般的にSFRCの強度管理手法として行われている曲げ試験により引張軟化曲線を推定することができる。

(4) 解析モデルの妥当性

松尾ら⁸⁾は、SFRCの曲げ試験と直接引張試験を行い、引張軟化曲線と曲げ試験の荷重-ひび割れ曲線との関係を研究している。この研究報告に基づいて、解析モデルの妥当性を検証した。直接引張試験によると引張軟化曲線は式(5)で近似することができると報告されている。

$$\sigma = \gamma \cdot f_{ct} - \lambda \cdot \omega = 0.5 f_{ct} - 0.2 \omega \quad (5)$$

式(5)の引張軟化曲線を用いて、曲げ試験を解析した結果を図-4に示す。引張軟化曲線を直線モデルで近似しているために、ひび割れ直後の荷重-ひび割れ開口幅との関係は解析と試験結果で多少異なっている。しかしながら、最大荷重および最大荷重以降の荷重-ひび割れ開口幅曲線が解析と試験結果とはほぼ一致している。このことから、本研究で用いた解析モデルと直線モデルの引張軟化曲線により、SFRCの曲げ破壊性状を追跡することができるものと考えられる。なお、SFRCの応力-ひずみ関係は、式(3)、(4)に従うものとして解析を行った。

3. 円環載荷試験

(1) 供試体および載荷方法

載荷実験に用いた供試体の寸法は、図-5に示すように外径2500mm、部材厚350mm、高さ1000mmとした。供試体は、コンクリートを打設した後、試験前日まで散水養生を行った。表-1に実験で使用したコンクリートの配合を示す。なお、実験で用いた鋼繊維は、インデント加工をした長さ30mm(アスペクト比50)のものであり、混

表-1 コンクリート配合表

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメン ト比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/cm ³)				
					鋼繊維 S F	水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
20	18±2	4±1	50.3	60.9	78.5	196	390	998	640

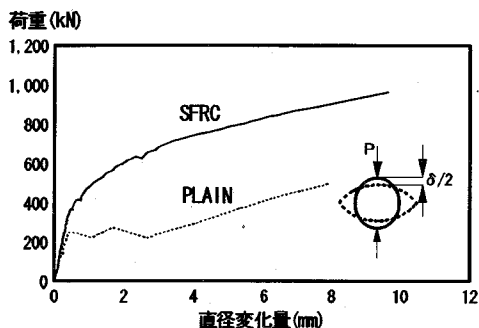


図-6 円環載荷実験の荷重-直径変化量曲線

入率は1.0% (体積百分率)である。また円環載荷実験時におけるコンクリートの圧縮強度は34.7MPaであった。

実験は、図-5に示すように直径方向をP C鋼棒で拘束した後、拘束した方向に直交した直径方向から変位制御により荷重を行った。載荷手順は、最初に拘束しているP C鋼棒に軸力49kNを導入し、その後変位制御の油圧ジャッキ (載荷速度0.1mm/sec)により980kNまで載荷を行った。

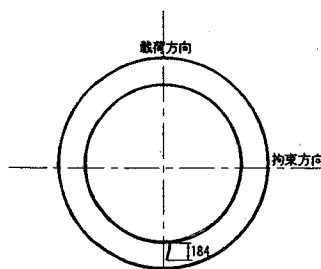
(2) 実験結果概要

載荷方向における直径の変化量と載荷荷重との関係を図-6に示す。図中の破線は、筆者ら¹⁾が同一寸法の無筋コンクリート供試体で行った試験結果である。SFRCの場合では、直径変化量と荷重との関係は、載荷点の内側にひび割れの発生が目視により確認される (載荷荷重392kN付近)までは、ほぼ線形関係を保っている。載荷点にひび割れが確認された後、さらに載荷を続けると載荷点と拘束点との中間部分に複数のひび割れが発生した。このため、円環供試体の見かけの曲げ剛性が低下している。無筋コンクリートの場合では、図中の破線で示すようにひび割れ発生時に荷重が一時的に低下する現象が見られたが、SFRCではひび割れ発生による荷重の低下は見られなかった。

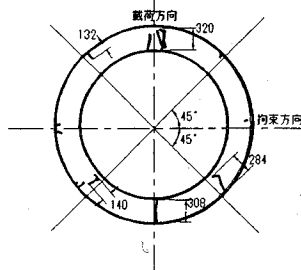
供試体のひび割れ発生状況を図-7に示す。荷重が392kNに達した時点で載荷点の内側にひび割れが発生したことが確認された。さらに載荷を続けると複数のひび割れが発生し、試験終了時 (載荷荷重980kN)では図に示すようなひび割れ発生状況となった。

(3) 円環載荷実験の解析

有限要素法により、円環載荷実験の挙動を解析した。解析では、対称条件を考慮して円環供試体の1/4の部分



(a) ひび割れ発生時



(b) 試験終了時

図-7 ひび割れ発生状況

に対して計算を行った。本実験で使用した鋼繊維の形状・混入率は松尾およびNanokornらの用いているものと同一のため、解析に用いた引張軟化曲線は、式(5)を使用した。また、鋼繊維を混入してもひび割れ発生応力であるコンクリートの引張強度自体は向上しないものと考え、Koenigら⁹⁾が提案している式(6)により引張強度を算定した。

$$f_{ct} = 2.12 \times \ln(1 + f_c/10) \quad (6)$$

解析結果の荷重と載荷方向の直径変化量との関係を図-8に示す。解析結果では実験結果と同様に最初に載荷点にひび割れが発生し、その後は徐々に荷重に対する直径の変化量が大きくなり見かけ上の曲げ剛性の低下が見られる。このように解析結果と実験結果の直径変化量は、ほぼ一致している。

図-9にひび割れ発生分布図を示す。図-9の(a)は最初にひび割れが発生した状態を、(b)は載荷荷重が490kN

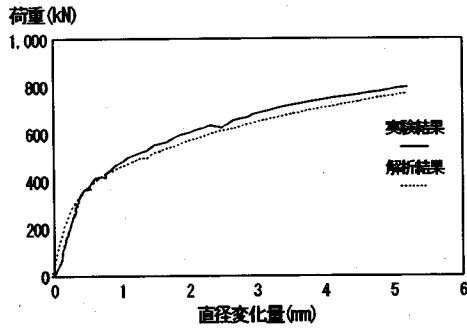


図-8 円環載荷実験の解析結果

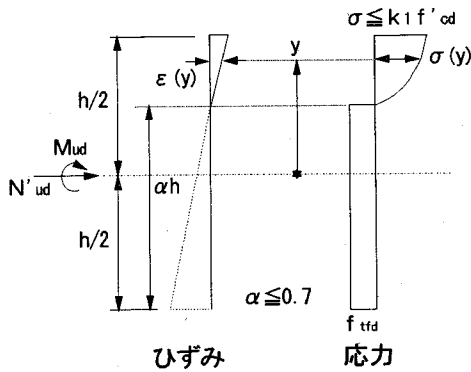


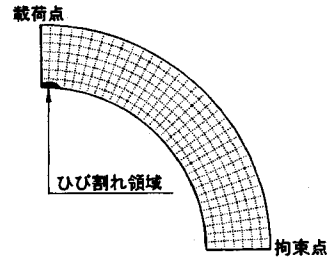
図-10 ひずみ・応力分布図

の状態を示している。また、(c)は試験終了時である載荷荷重 980kN の状態を示している。(a)の状態では、ひび割れは載荷点のみ発生しており、実験結果の状態と一致している。(b)の状態では、ひび割れが発生している要素は載荷点と拘束点との中間部分に分布しており、ひび割れ発生領域は実験結果とほぼ一致している。しかしながら、解析結果のひび割れ本数は、実験結果より多くなっており、この原因については、計算上の問題であるのか、材料の不均質によるものかについては不明であり、今後の検討事項である。(b)の状態における肩部分のひび割れ開口幅は 0.02mm であり、(c)では 30mm に拡大している。(c)の状態では、ひび割れの本数は(b)の状態からあまり増加しておらず、ひび割れの開口幅が増加したのみである。

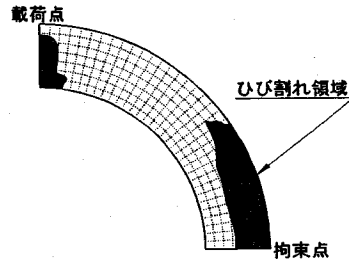
以上のように実験結果と解析結果はほぼ一致しており、引張軟化曲線を考慮した解析によりトンネル覆工のような構造物の最終的な耐力および変形挙動を追跡することができるものと考えられる。

4. トンネル覆工の設計方法

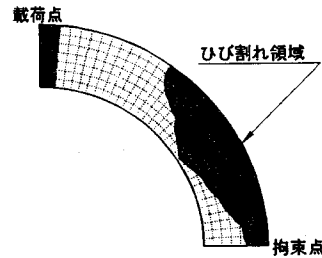
日本鉄道建設公団の設計指針²⁾によれば、設計上の限界状態を覆工部材に発生する断面力が設計断面耐力に達した時点と定めている。設計では、覆工部材に発生する断面力はひび割れによる剛性低下を無視して剛性一様リングで算定するものとしている。有限要素法解析結果に



(a) ひび割れ発生時



(b) 490kN 載荷時



(c) 980kN 載荷時

図-9 解析によるひび割れ発生分布

よるとトンネル覆工のようなアーチ状の構造物では、断面力が局部的に部材の断面耐力に達してひび割れが発生しても、構造物は直ちに破壊に至らないことが確認された。したがって、設計指針で定めている設計断面耐力の算定方法が妥当なものであれば、SFRC覆工の設計方法は安全であるものと判断される。そこで、有限要素法解析モデルを用いて設計指針の断面耐力および断面力の算定方法について検討を行った。

(1) SFRC部材の断面耐力

設計指針では、図-10に示すような応力分布を仮定して式(7)、(8)により断面耐力を算定するものとしている。

$$N_{ud} = \left[\int_{-h/2}^{h/2} \sigma(y) b dy \right] / \gamma_s \quad (7a)$$

$$M_{ud} = \left[\int_{-h/2}^{h/2} \sigma(y) y b dy \right] / \gamma_s \quad (7b)$$

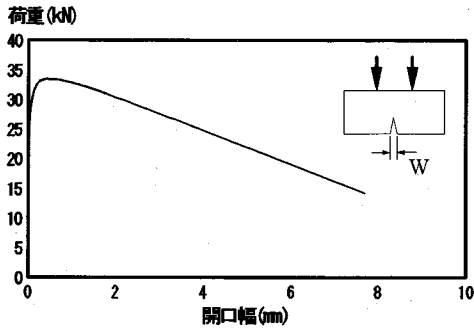


図-1 11 荷重-開口幅曲線

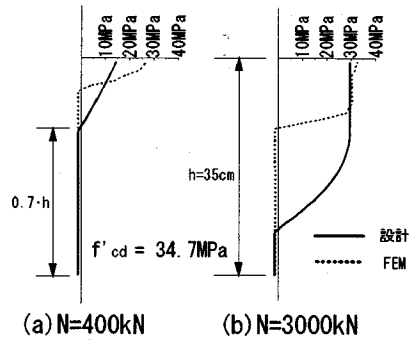


図-1 13 応力分布図

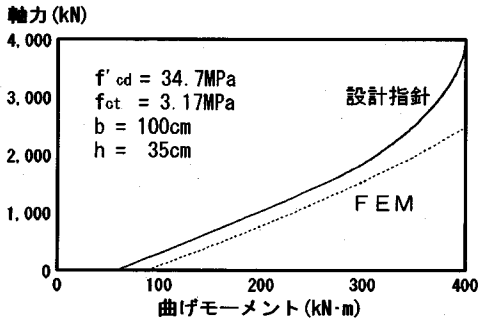


図-1 12 断面耐力図

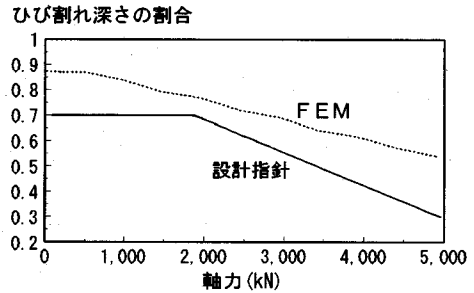


図-1 14 最大曲げモーメント作用時のひび割れ深さの割合

$$\sigma(y) = k_1 f_{cd} \frac{\epsilon(y)}{0.002} \left[2 - \frac{\epsilon(y)}{0.002} \right] \quad (8) a$$

ただし, $0 \leq \epsilon(y) \leq 0.002, k_1 = 0.85$

$$\sigma(y) = k_1 f_{cd} \quad (8) b$$

ただし, $0.002 < \epsilon(y) \leq 0.0035, k_1 = 0.85$

ここに, N_{sd} : 設計軸方向圧縮耐力, M_{sd} : 設計曲げ耐力, h : 断面高さ, b : 単位幅, γ_s : 部材係数 (=1.15), f_{cd} : 設計基準強度, y : 図心からの距離, $\sigma(y)$: 距離 y における応力, $\epsilon(y)$: 距離 y における圧縮ひずみ, α : 断面高さに対するひび割れ深さの割合, f_{ct} : 設計引張強度である。なお、断面算定では、圧縮領域を断面高さの 30%以上確保することとしている。また、設計指針では、設計上の簡便性を考慮してひび割れ面に一様な設計引張強度が分布しているものとしている。設計引張強度は、15cm 角の直方体供試体による曲げ試験結果に基づいて定めることとしている。その算定方法の詳細は、鬼頭ら¹⁰⁾により報告されている。

図-1 11 に有限要素法により解析した 15cm 角の直方体供試体による曲げ試験結果の荷重-開口幅の関係を示す。設計指針によると、ひび割れ開口幅が 0.86mm になった時の荷重から設計引張強度を算定するものとなっている。この指針に従って、図-1 11 に示す解析結果から円環供試体 (断面高さ 35cm) の設計引張強度を計算すると

1.4MPa となる。設計指針の設計断面耐力算定法に従って、円環供試体 (断面高さ $h=35\text{cm}$, 幅 $b=100\text{cm}$) の設計断面耐力を計算した結果を図-1 12 に示す。なお、図中に強度試験から得られた SFRC の設計基準強度と引張強度を示し、有限要素法解析ではこの強度試験結果に基づいて入力値を定めた。図中の実線で示している断面耐力は、有限要素法により解析した結果であり、ある軸力 N における最大曲げモーメントである。有限要素法の断面耐力に較べて、設計断面耐力は小さくなっている。

図-1 13 に設計指針と有限要素法により求めた断面内の応力分布を示す。図中の (a) は、軸力 400kN における分布であり、(b) は軸力 3000kN におけるものである。軸力 3000kN の場合では、圧縮側の最大応力が設計基準強度に達していることから、設計断面耐力および解析の断面耐力共に圧縮側の応力により断面耐力が決定されている。一方、軸力 400kN の場合では、圧縮応力は設計基準強度以下となっていることから、断面耐力は圧縮側により決定されずに引張側の条件により決定されている。設計指針による応力分布では、ひび割れ深さが設計上の制限値である断面高さの 70%に達しており、引張側の制限であるひび割れ深さにより設計断面耐力が決定されていることがわかる。

図-1 14 に各軸力における最大曲げモーメント時のひび割れ深さの割合を示す。有限要素法解析の場合、ひび割れ深さに制限を設けていないため軸力が小さくなるに

つれひび割れ深さは大きくなっている。一方、設計指針によると軸力が 1900kN 以下の領域ではひび割れ深さの制限を受け耐力が決定されていることがわかる。Nanakorn らは断面耐力とひび割れ深さの関係について、ひび割れ深さが大きくなるにしたがって、圧縮側応力による偏心モーメントが大きくなるため部材の曲げ耐力は増加していくことを報告している。図に示すように設計指針によるひび割れ深さの値は全領域において有限要素法解析値を下回っており、よって設計指針により得られる耐力値は安全側の値をとることが確認された。

(2) 断面力算定

設計指針では、断面力についてはひび割れ発生による影響を考慮しない剛性一様リングで求めるものと定めている。ひび割れは、軸力の大きさによるが一般的には部材の断面耐力に到達する前に発生する。したがって、設計指針で定めているような限界状態（部材の断面力が設計断面耐力に達した時）では、ひび割れの影響を受けることになる。筆者らは、無筋コンクリートを対象とした円環載荷試験および解析により、ひび割れ発生による見かけ上の曲げ剛性の低下を無視した剛性一様リングによる設計は安全側になることを指摘している¹⁾。したがって、SFRCにおいても剛性一様リングにより断面力を算定すれば、安全側になるものと考えられる。

5. まとめ

本研究では、SFRCの引張破壊特性であるひび割れ面で鋼繊維により伝達される引張応力をコンクリートの破壊力学の考え方に基ついで評価して、ひび割れ進展による構造物の巨視的な挙動を追跡する解析モデルを構築した。さらに、この解析モデルを用いて限界状態設計法を適用した鋼繊維補強コンクリートのトンネル覆工の設計指針の妥当性を検証した。その結果をまとめると次のようになる。

- ①引張軟化曲線を考慮した有限要素法解析と円環載荷実験結果の変形挙動およびひび割れ発生領域がほぼ一致したことにより、提案した解析モデルによりSFRCを覆工材料としたトンネル覆工のひび割れ進展に伴う挙動を追跡することができるものと判断される。
- ②設計指針の引張応力を矩形分布とした設計断面耐力は、

鋼繊維補強コンクリート部材の最大断面耐力に対して安全側になっている。

- ③最大断面耐力までは剛性一様モデルにより断面力を算定して、トンネル覆工を設計することができる。

参考文献

- 1) 峯本 守, 鬼頭 誠, 梶原 雄三, 松岡 茂: トンネル覆工の限界状態設計に関する研究, 土木学会論文集, No. 523/III-32, pp. 141-149, 1995.
- 2) 併進工法設計施工研究委員会編: 併進工法設計施工法(都市トンネル編), 吉井書店, 1992.
- 3) 六郷 恵哲, 内田 裕市, 加藤 英徳, 小柳 洽: 鋼繊維補強コンクリートの曲げ破壊性状と引張軟化曲線, 土木学会論文集, No. 460/V-18, pp. 57-64, 1993.
- 4) Hillerborg, A., Modeer, M. and Petersson, P.E.: Analysis of crack formation and finite elements, *Cement and Concrete Research*, Vol.6, pp.773-782, 1976.
- 5) Dahlblom, O. and Ottosen, N.S.: Smearred crack analysis using generalized fictitious crack model, *Journal of Engineering Mechanics, ASCE*, Vol.116, No.1, pp.55-76, 1990.
- 6) Nanakorn, P., Horii, H. and Matsuoka, S.: A fracture mechanics-based design method for SFRC tunnel linings, *J. Materials, Conc. Struct., Pavements* No.532/V-30, pp.221-233, February 1996.
- 7) Wang, Y., Li, V.C. and Backer, S.: Experimental determination of tensile behavior of fiber reinforced concrete, *ACI Material Journal*, Vol.87, No.5, pp.461-468, 1990.
- 8) 松尾 庄二, 松岡 茂, 益田 彰久, 柳 博文: SFRCの引張軟化曲線の推定に関する一研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 17, No. 2, pp. 1317-1322, 1995.
- 9) Koenig, G., Grimm, R. and Remmel, G.: Shear behavior of longitudinally reinforced concrete members of HSC, *JCI International Workshop on Size Effect in Concrete Structures*, pp.63-74, 1993.
- 10) 鬼頭 誠, 梶原 雄三, 峯本 守, 涌井 一: 鋼繊維補強コンクリート覆工の新設計法, コンクリート工学論文集, Vol. 6, No. 1, pp. 31-41, 1995.

(1995. 8. 14 受付)

DESIGN FOR TUNNEL LININGS WHICH INVOLVE PROPERTY OF STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE

Makoto KITO, Mamoru MINEMOTO, Yuzo KAJIWARA and Shigeru MATSUOKA

With steel fiber reinforced concrete (SFRC), it was seen that the sectional force capacity becomes larger than that of plain concrete, because the tensile stress is transmitted through the steel fibers intersecting the crack surface even after cracking has developed. However there are almost no methods to calculate the sectional force capacity, with consideration of the tensile stress transmitted through the steel fibers. Therefore in this paper a method to calculate the sectional force capacity in SFRC is proposed based on fracture mechanics. To apply the method to SFRC tunnel linings the authors conducted test on a ring model and analyzed load-displacement curve of a ring model by nonlinear F.E.M. analysis.