

VI-68 NATM鉄筋支保工の基礎的実験(その2)

—— RC部材としての曲げ実験と解析 ——

西松建設(株)技術研究所 正会員 ○伊藤忠彦 正会員 武井正孝
正会員 熊谷健洋 正会員 西 保

1. はじめに

一般にNATMにおける鋼製支保工は、ロックボルトや吹付けコンクリートとの一体性を保ち内圧効果を期待するために用いられることが多い。この場合、鋼製支保工は支保部材の主要な部分として用いられるため、H鋼等の断面係数の大きなものが用いられるが、これを鉄筋支保工で代替することで軽量化が図れ経済的となる可能性がある。ここでは、螺旋筋を組立筋に用いた鉄筋支保工のRC部材としての挙動を実験により確認し、非線形FEM解析により検証を行った。

またトンネルの設計において、従来からの標準パターンによる経験的手法からFEM等による解析的手法を積極的に利用しようとする傾向が高まりつつある¹⁾。これは数値解析手法が任意のトンネル断面形状を扱え、地盤の非線形性や異方性も扱えるためである。数値解析手法による設計の場合、施工される支保効果の定量的評価が非常に重要になるため、鉄筋支保工のRC部材としての挙動を把握しておく必要がある。

2. 実験概要と実験結果

表-1 コンクリート配合

RCはり供試体は図-1に示す断面で、螺旋ピッチは150mmのものを使用した。載荷方法はスパン270cmの三等分点一方向載荷とした。

G _{max} (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)					スパン (cm)	空気量 (%)
			W	C	S	G	AE減水剤		
20	56.0	50.1	175	313	895	904	0.782	18.5	3.3

せん断スパン比が大きい(a/d=6.0)ため曲げ破壊が先行する形式だが、せん断区間には土木学会RC示方書による最小スターラップ量を配置した。本実験に使用したコンクリート配合を表-1に、材料強度を表-2に示す。供試体は実験時まで湿布養生し、載荷速度0.2mm/minの変位制御で部材角約1/30まで行った。図-2に実験終了時のひびわれ図を示す。せん断区間に斜め引張りひびわれの進展は見られず、典型的な曲げ引張り破壊となった。鉄筋は丸鋼を使用しているため、ひびわれ間隔は大きいのが、後述する解析結果と比較すると、ひびわれ発生範囲はよく一致している。また、引張り鉄筋降伏後は、ひびわれが圧縮筋に沿うように進展した。図-3にモーメントとたわみの関係を示す。RC示方書による終局強度と比較してもRC部材として妥当な挙動を示したといえる。

表-2 材料強度

(kgf/cm ²)			
	f _c	f _t	E _c
コンクリート	323	27.4	2.04×10 ⁵
鉄筋	種別	f _{sy}	E _s
	φ10	3011	1.98×10 ⁵
	φ19	3041	1.96×10 ⁵
	φ25	3044	2.00×10 ⁵

3. 解析結果

解析は4節点アイソパラメトリック要素を用いた2次元非線形FEM解析で行った。コンクリートの2軸応力状態における破壊条件はKupfer

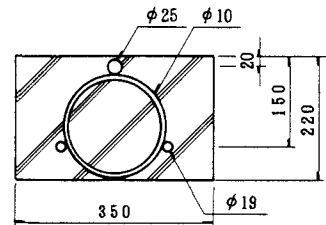


図-1 供試体断面寸法

則により、破壊後の残留剛性および残留応力は、圧縮・引張ともに1/100とした。鉄筋はBi-Linearモデルとし、降伏後の残留剛性は1/100とした。解析モデルを図-4に示す。鉄筋はトラス要素(線材)で考慮し、螺旋筋及びスターラップは近似的に鉛直材に置き換えてモデル化した。解析結果は図-3(cal.①)に示すように、初期ひびわれの発生荷重が実験値より大きいのが、RC部材としての剛性や降伏点荷重および降伏点変位等の終局状態付近までの挙動は、よく一致していると思われる。実験のひびわれ発生が早い

のは、螺旋筋下端での
かぶりが無いため、ひ
びわれが誘発されたた
めと思われる。

解析値cal.②は本解
析モデルを用いて、逆
方向の荷重を作用させ

た場合の解析結果である。cal.①と比
べ、ひびわれ発生後に引張り鉄筋がす
ぐきき始めるため、全断面有効からR
C断面への移行が早く現れる。また、
RC示方書の終局状態では中立軸が上
筋のかぶり部分に入り、上筋も引張り
となるが、cal.②の解析結果も下筋(ϕ
25)の降伏後に上筋(ϕ 19)が圧縮から
引張りに移行し、この現象をよく再現
していると思われる。

4. 軸力が作用した場合の解析

トンネルの支保工は上記のような単
純曲げが作用するのではなく、軸力と
曲げが作用する部材である。そこで、
支保工軸力と曲げモーメントの関係を考察するため、本解
析モデルにより軸力をパラメータとした解析を行った。解
析上、軸力は始めの数ステージで作用させ、その後荷重増
分により解析した。図-5に解析結果を示す。インタラク
ションカーブの理論値と解析値は比較的よく一致しており、
軸力作用下においても本解析モデルで部材の挙動を解析的
に求めることが可能と思われる。

5. おわりに

吹付けコンクリート施工後の鉄筋支保工は、曲げと軸力
が作用するRC部材として十分モデル化できることが確認
された。一般に解析的手法でトンネルの設計を行う場合、
支保材は曲げと軸力が考慮できる「線形はり要素」でモデル
化される¹⁾が、鉄筋支保工ではRC部材として非線形性
を考慮したモデル化が必要であると思われる。また、支保
設計の妥当性を施工中の計測によって確認する際に、部材
の変形性能を事前にシミュレートすることにより、計測値
に対する管理基準等を設定する目安とすることができる。

〈参考文献〉

- 1) 土木学会編：トンネルにおける調査・計測の評価と利用，
1987

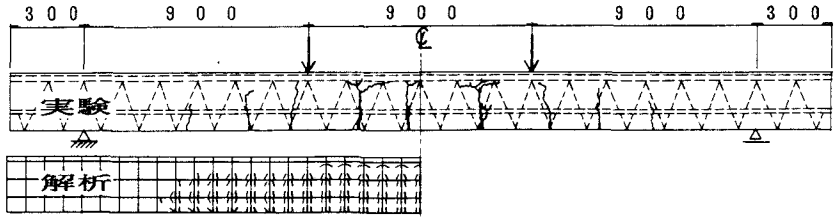


図-2 ひびわれ図

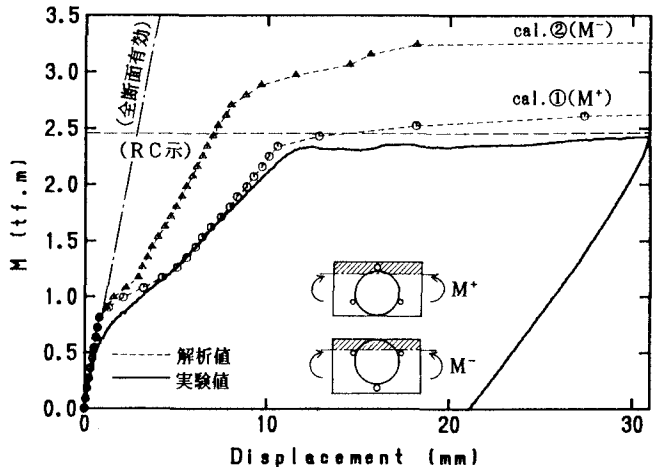


図-3 モーメント-たわみ曲線

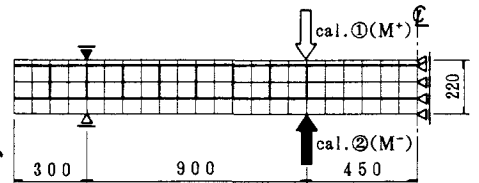


図-4 解析モデル

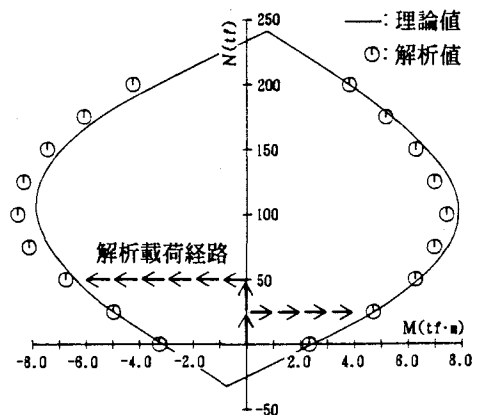


図-5 M-Nインタラクション