

日本大学工学部 正 員 ○原 忠勝

日本大学大学院 学生員 高原 二郎

1. はじめに： 吹付けコンクリートを用いたトンネル工法において、覆工の剛性を高めるために鋼製支保や鉄筋支保が用いられている。このうち鉄筋支保工は、吹付けコンクリートの充填性が良いことなどから、ヨーロッパなどでは広く用いられている。しかし、これら鉄筋支保に関する研究[1~3]は少なく、データの蓄積が望まれる分野である。また、これら吹付けコンクリートを用いたトンネルの設計・施工においては、地山の持つ支保能力を巧妙に引き出すために、耐力ばかりでなく、変形状態なども知る必要がある。

したがって本研究の目的は、鉄筋支保工を用いたトンネル覆工の任意荷重下における性状を知ることにある。本報告では、組立筋として帯鉄筋と、ラティス筋を用いた軸力と曲げモーメントを受けるRC支保部材の実験結果[3,4]を用い、部材の引張剛性を考慮した非線形解析より、任意荷重作用下における性状について検討した結果を述べたものである。

2. 検討に用いた実験の概要[3,4]： 解析に用いた試験体は、図-1に示すように、変形なコの字型のものである。鉄筋支保工の組立筋として帯鉄筋を用いた試験体は、図-1(b)に示すように、軸方向筋が3D10で、帯鉄筋にはD10を20cmピッチで用いており、鉄筋比は約0.3%である。そして、偏心距離 e を実験条件とし、 $e=12, 20, 30$ cmの3条件である。

一方、ラティス筋を用いた試験体は、同図(c)に示すように、ラティス筋を平面（2次元：2D）と、ピラミッドのように立体的（3次元：3D）に配置したものである。このシリーズでは、偏心距離は一定で、 $e=15$ cmで、さらに曲げモーメントの正負を実験条件としている。これら2つのシリーズの実験における試験体の断面諸元とコンクリートの性質は表-1、また、鉄筋量および鉄筋の性質は表-2に示す通りである。表-1および表-2に示すように、検討に用いた試験体は7体で、これらは全て、鉄筋の降伏後に圧縮側コンクリートが圧壊を生ずる典型的な曲げ破壊の様相を呈しているものである。

3. RC支保部材の任意荷重下の性状： 帯鉄筋を用いた試験体のうち、 $e=20$ cmの場合について、軸方向鉄筋と圧縮側コンクリートのひずみの測定結果と、コンクリートの引張応力（引張剛性）を考慮する方法が任意の荷重下における部材の性状を良く表現できることがわかる。

このように、鉄筋コンクリート部材の性状を精度良く推定するための方法として、引張剛性を考慮する種

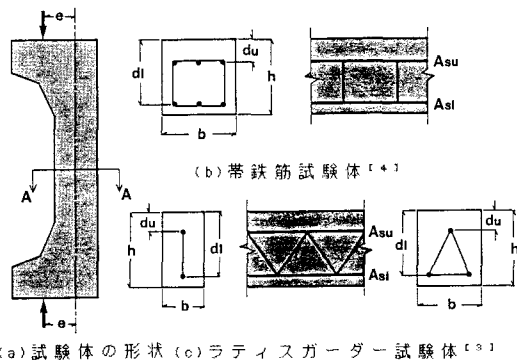


図-1 試験体の形状寸法

表-1 断面諸元とコンクリートの性質

Specimen No.	b (cm)	h (cm)	du (cm)	dl (cm)	コンクリートの性質
帯鉄筋 PCA86-E(12)	29.8	26.7	10.26	21.35	$f'_c = 202.74 \text{ kgf/cm}^2$
帯鉄筋 PCA86-E(20)	29.5	26.8	9.18	19.93	$f'_c = 21.723 \text{ kgf/cm}^2$
帯鉄筋 PCA86-E(30)	29.8	26.8	10.50	21.26	$E_c = 2.099 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$
ラティス筋 H/N(+)-20	10.1	29.8	4.67	23.67	$f'_c = 257.35 \text{ kgf/cm}^2$
ラティス筋 H/N(-)-20	10.2	30.3	5.22	24.22	$f'_c = 27.046 \text{ kgf/cm}^2$
ラティス筋 H/N(+)-30	15.0	25.8	5.52	20.72	$E_c = 1.824 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$
ラティス筋 H/N(-)-30	15.1	25.8	4.59	19.79	

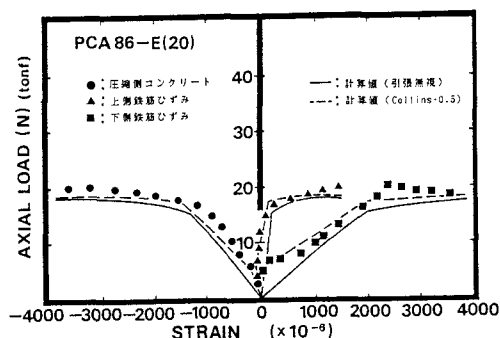


図-2 帯鉄筋試験体の計算結果

々の方法[5]が提案されている。ここでは、比較的簡便な方法として、コンクリートのひずみ軟化を考慮した引張応力-ひずみ関係を用いることとし、VecchioとCollins[6]の実験結果を下限値で修正した次式を用いた。

$$\sigma = E_c \cdot \varepsilon_t \quad \text{ただし, } \sigma \leq f_t$$

$$\sigma / f_t = [1 / (1 + \sqrt{200(\varepsilon - \varepsilon_t)})] - 0.5$$

$$\text{ただし, } \sigma \geq f_t$$

また、コンクリートの圧縮応力-ひずみ関係には、ACI規準による2次式を実験データに基づいて修正したものを用いた。鉄筋の応力-ひずみ関係は、引張試験結果に基づいて、ひずみ硬化域を考慮したバイリニア型である。

以上のような材料の性質を用い、各試験体について計算を行った。このうち、帯鉄筋を有する試験体について、曲げモーメント-曲率関係を比較したものを図-3に示す。また、本解析結果より、初期ひびわれ発生荷重 N_{cr} と、最大耐力 N_{max} について比較したものを表-3に示した。

表-2 鉄筋量および鉄筋の性質

Specimen No.	Asl (cm^2)	Asu (cm^2)	Av (cm^2)	鋼材の性質
帯鉄筋 PCA86-E(12) PCA86-E(20) PCA86-E(30)	3010 " " " "	3010 " " " "	D10 " " " "	D10: $f_y=36.64\text{kgf/mm}^2$ $E_s=1.944 \times 10^5 \text{kgf/mm}^2$
ラティス筋 M/N(+)-20 M/N(-)-20	D13 D10	D10 D13	$\phi 9$ "	D10: $f_y=34.58\text{kgf/mm}^2$ $E_s=1.897 \times 10^5 \text{kgf/mm}^2$ D13: $f_y=36.70\text{kgf/mm}^2$ $E_s=1.911 \times 10^5 \text{kgf/mm}^2$ $\phi 9: f_y=33.19\text{kgf/mm}^2$ $E_s=2.084 \times 10^5 \text{kgf/mm}^2$
ラティス筋 M/N(+)-30 M/N(-)-30	D10 D10	D10 D10	$2\phi 6$ "	D10: $f_y=37.62\text{kgf/mm}^2$ $E_s=1.761 \times 10^5 \text{kgf/mm}^2$ $\phi 6: f_y=32.51\text{kgf/mm}^2$ $E_s=1.914 \times 10^5 \text{kgf/mm}^2$

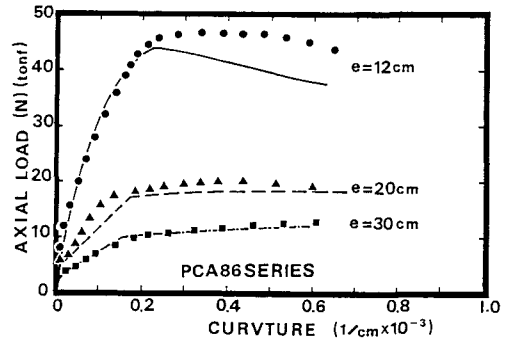


図-3 荷重-曲率関係

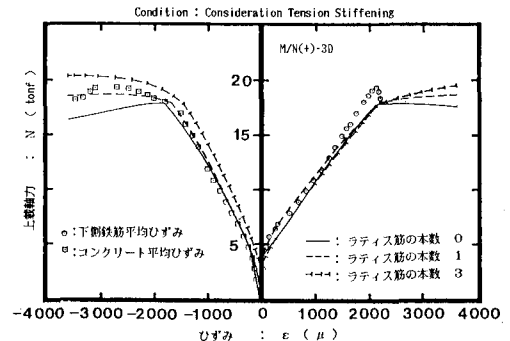


図-4 ラティス試験体の計算結果

表-3 実験値と計算値の比較

Specimen No.	N_{cr}			N_{max}		
	EXP. (tonf)	CAL. (tonf)	EXP. CAL.	EXP. (tonf)	CAL. (tonf)	EXP. CAL.
PCA86-E(12)	12.5	10.10	1.24	47.0	44.19	1.06
PCA86-E(20)	6.8	4.99	1.36	20.4	18.64	1.09
PCA86-E(30)	3.2	3.11	1.03	13.0	11.98	1.09
M/N(+)-20	6.0	4.32	1.39	24.1	19.89	1.21
M/N(-)-20	5.9	4.56	1.29	20.1	16.28	1.23
M/N(+)-30	4.9	4.46	1.10	19.4	18.56	1.05
M/N(-)-30	6.0	4.47	1.34	13.3	12.29	1.08

参考文献

- [1] Baumann, T. and Betzle, M., Rock Mech. & Rock Eng., V.17, No.2, pp.67-81, Feb. 1984.
- [2] 大西ら, 土木学会第42回年講, 第Ⅲ部門, 1987.
- [3] 原・井戸川, ibid. 第Ⅲ部門, 1987.
- [4] 今泉ら, 土木学会東北支部, March 1987.
- [5] 角田, 土木学会論文集, No.384, V-7, 1987.
- [6] Vecchio, F. and Collins, M.P., Pub.No.82-03, Univ. of Toronto, Canada, 1982.