

正会員 〇林 静雄 (東京工業大学, 助手)

正会員 黒正 清治 (東京工業大学, 教授, 工博)

■ 1 序および目的

地震時に構造物の柱には、曲げモーメントとせん断力とともに軸力も変動しながら作用している。鉄筋コンクリート柱の復元力特性は、軸力の大きさに大きく影響されるにもかかわらず、軸力が曲げモーメントやせん断力と同時に変動しながら作用している鉄筋コンクリート柱に関する実験は、あまり行われていない。

本論文は、鉄筋コンクリート柱について、軸力と曲げモーメントを変動させながら作用させた実験を行い、鉄筋とコンクリートとの付着による影響を考慮した曲げ解析を行って、実験結果と比較検討したものである。

■ 2 曲げ実験

(1) 概要 実験に用いた試験体の寸法と配筋をFig.1に示す。試験体の断面は20cm×20cmの正方形で、主筋には横ぶしのD13を使用した。試験体は全部で11体で、その荷重(P)と軸力(N)の載荷経路をFig.2に示す。5体は、軸力を一定に保ったまま荷重を増加させる定軸力載荷を行っており、5体は軸力と荷重をたがい一方を一定に保ったまま他方を変動させており、1体は軸力と荷重の関係を一定に保ちながら同時に変動させている。

加力は、Fig.3に示すように単純支持、2点載荷で行い、中央の試験部分には、純曲げモーメントと軸力のみが作用している。変形は、Fig.4に示す位置で、ダイヤルゲージによって測定している。

試験部分の平均曲げモーメント(M)は、変形に伴う軸力による付加モーメントを考慮して、 $M = Px40cm + N \times \bar{\delta}$  ( $\bar{\delta}$ は、ダイヤルゲージNo.3~No.9による試験部分の変形の平均)として計算した。試験部分の平均曲率は、試験部分が円弧であると仮定し、ダイヤルゲージNo.3, No.6およびNo.9による変形から計算した。使用材料の力学的性質は、Table 1に示す。

(2) 実験結果 N-00.02-VとN-04.00-Vの平均曲げモーメントと平均曲率の関係をFig.5とFig.6に示す。N-00.02-Vは、主筋降伏以前に軸力が増加した時の曲げモーメントと曲率の関係を調べることを目的と

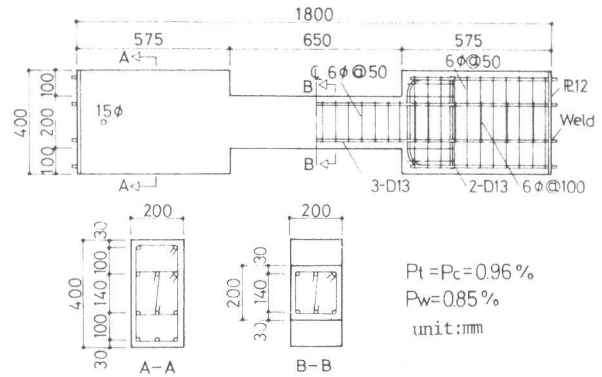


Fig. 1 Test specimen of bending tests

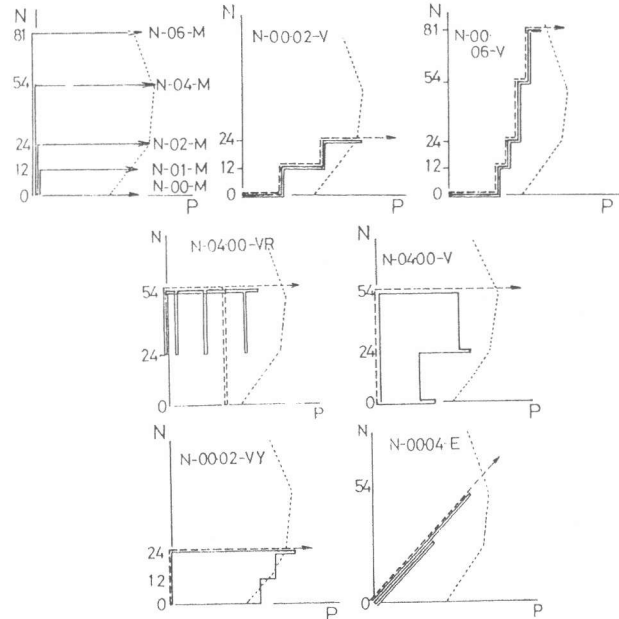


Fig. 2 Loading paths of specimens

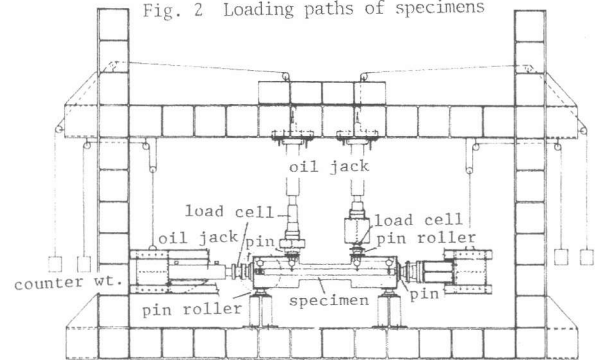


Fig. 3 Loading arrangement

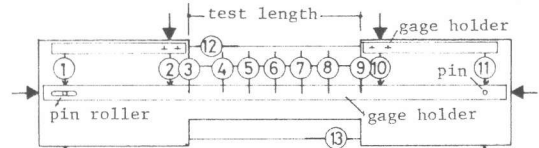


Fig. 4 Measuring arrangement of deflection

した試験体で、荷重一定で軸力を増加させても曲率はほとんど変化していない。次に、その軸力を一定にして荷重を増加させると、曲げモーメントと曲率の関係は、同じ軸力で定軸力載荷を行った試験体の曲げモーメントと曲率の関係に近づく。N-04.00-Vは、主筋降伏以前に軸力が減少した時の曲げモーメントと曲率の関係を調べようとしたもので、荷重一定で軸力を減らすと曲率は増大し、定軸力載荷の試験体とほぼ同じになる。降伏モーメントは、今回の軸力の変動幅では、軸力の大きさで決まり、載荷径路には影響されなかった。

### 3 付着実験

(1) 概要 上記の曲げ実験結果を、平面保持を仮定した断面解析によって追跡すると、引張ひびわれは材軸方向全長にわたって同時に発生すると仮定しなければならない。しかし、実際には、引張ひびわれはある間隔で発生し、ひびわれ間のコンクリートは、鉄筋とコンクリートとの付着を介して鉄筋の剛性を高める働きをしている。そこで、ここでは、上記曲げ実験に用いた試験体と同断面の鉄筋コンクリート柱の一軸圧縮引張実験を行い、付着を介しての、ひびわれ間のコンクリートの性状を調べる実験を行った。

試験体の詳細をFig.7に、使用材料の力学的性質を、Table 2に示す。

(2) 実験結果 軸方向荷重と軸方向平均ひずみ（鉄筋定着間の伸び/鉄筋定着間の長さ）の関係をFig.8に示す。Fig.8において、破線はコンクリートのシリンダー試験から求めた荷重とひずみの関係であり、一点鎖線は、鉄筋の引張試験から求めた荷重とひずみの関係である。Fig.8の全荷重からコンクリートと鉄筋による荷重を差し引いたものを、Fig.9に示し、これを軸方向ひずみと付着を介して作用しているひびわれ間のコンクリートによるみかけ上の力との関係であるとして、モデ

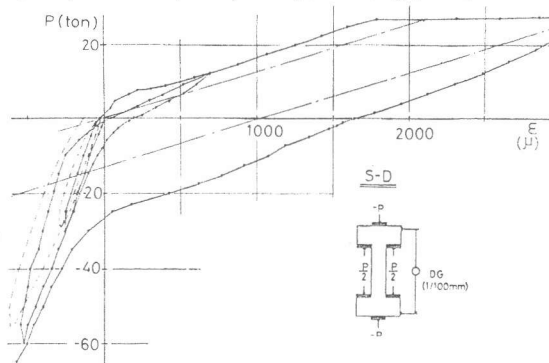


Fig. 8 Relationship between axial strain and axial load from bond test

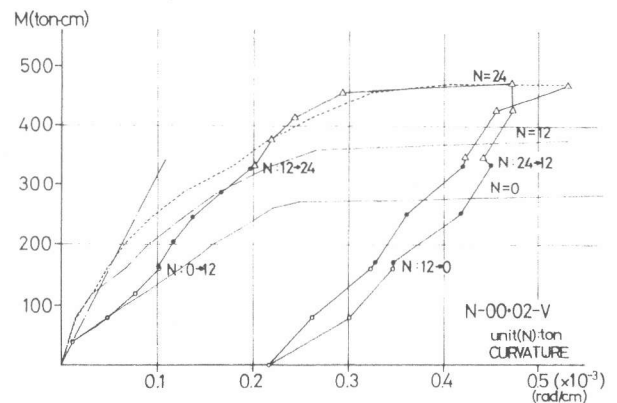


Fig. 5 Relationship between average moment and average curvature of N-00.02-V from bending test

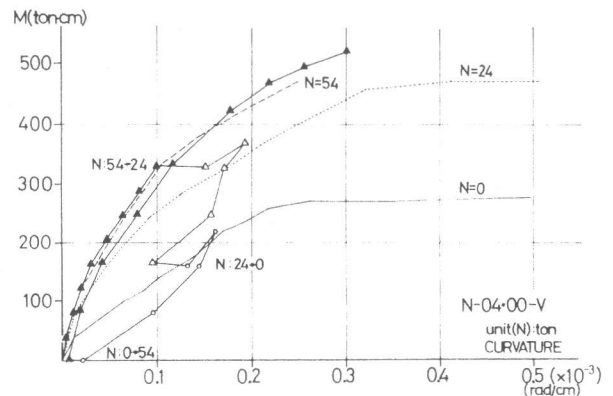


Fig. 6 Relationship between average moment and average curvature of N-04.00-V from bending test

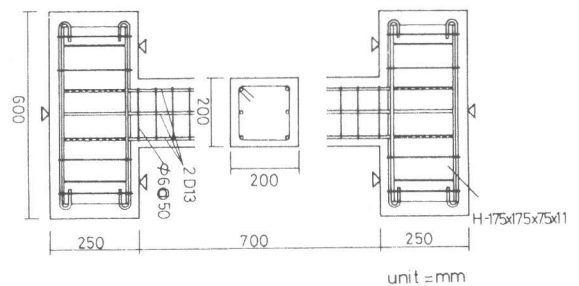


Fig. 7 Test specimen of bond test

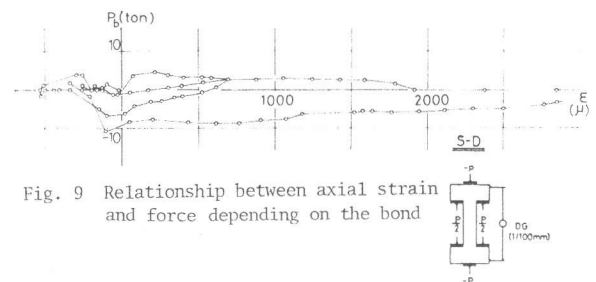


Fig. 9 Relationship between axial strain and force depending on the bond

Table 1 Mechanical properties of materials used in bending tests

Steel Bar			
	$s\sigma_y$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$s\sigma_{max}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
D13	3,820	5,570	25.6
6φ	3,950	4,390	27.2
Concrete			
	$c\sigma_B$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$c\epsilon_B$ ( $\times 10^{-6}$ )	$c\sigma_t$ (kg/cm <sup>2</sup> )
	298	2,500	$2.08 \times 10^5$

Table 2 Mechanical properties of materials used in bond tests

Steel Bar			
	$s\sigma_y$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$s\sigma_{max}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
D13	4,230	6,443	27.7
6φ	3,820	4,400	27.8
Concrete			
	$c\sigma_B$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$c\epsilon_B$ ( $\times 10^{-6}$ )	$c\sigma_t$ (kg/cm <sup>2</sup> )
	337	3,600	$1.77 \times 10^5$

ル化を行った。このモデル化した付着によるみかけ上の力とひずみの関係を、鉄筋の力とひずみの関係、コンクリートの力とひずみの関係とあわせてFig.10に示す。

#### 4 解析

(1) 解析方法 解析は、断面の平面保持を仮定した断面解析で行った。コンクリートの応力とひずみの関係をFig.11に示し、鉄筋の応力とひずみの関係をFig.12に示す。さらに、Fig.10に示した付着によるみかけ上の力は、断面の鉄筋位置に作用するものとした。

通常の方法として、断面の力としてコンクリートと鉄筋のみを考え、付着の影響を考慮しない解析を行い、解析(1)とした。付着の影響を考慮して、断面の力としてコンクリートと鉄筋の他に、Fig.10に示した付着によるみかけ上の力も考えた解析を行い、解析(2)とした。

(2) 解析結果および実験結果との比較 解析(1)による、N-00.02-VとN-04.00-Vの曲げモーメントと曲率の関係を実験結果と合せてFig.13とFig.14に示す。

Fig.13は、荷重の増加(減少)と軸力の増加(減少)を交互に行った例であり、この場合、解析(1)による曲げモーメントと曲率の関係は、曲げひびわれ発生後の剛性低下が実験結果よりも大きく、また荷重一定で軸力のみを増加させると、曲率が大きく戻り定軸力の解析結果の曲げモーメントと曲率の関係に重なり、実験結果とはあまり一致がみられなかった。Fig.14は、主筋降伏以

$P_s$ : Force of reinforcing bar  
 $P_c$ : Force of concrete at position of the reinforcing bar  
 $P_b$ : Force depending on the bond  
 strain: Strain at position of the reinforcing bar

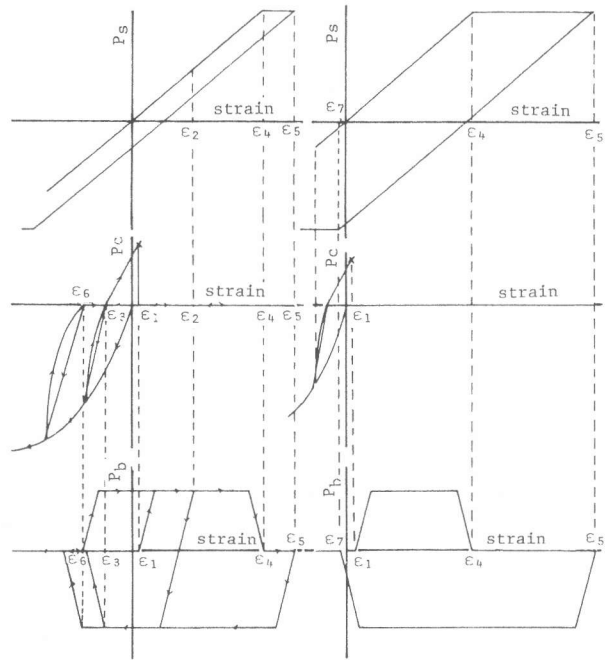


Fig. 10-1 In case that crack is closed before reinforcing bar yield in compression

Fig. 10-2 In case that reinforcing bar yield in compression before crack is closed

Fig. 10 Idearization of the relationship between strain and force depending on the bond

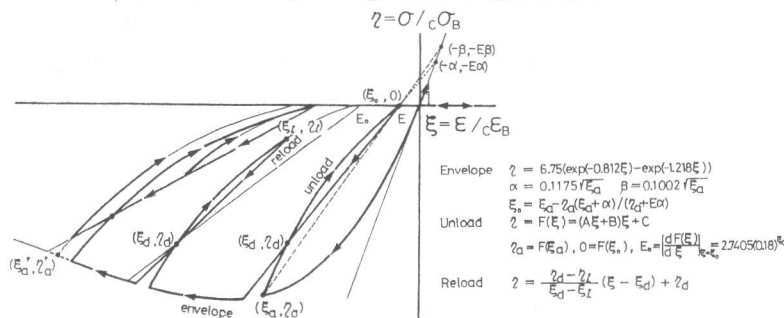


Fig. 11 Model of concrete used in analyses

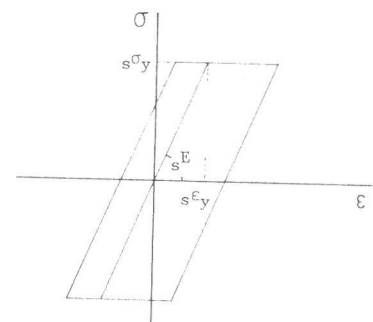


Fig. 12 Model of reinforcement used in analyses

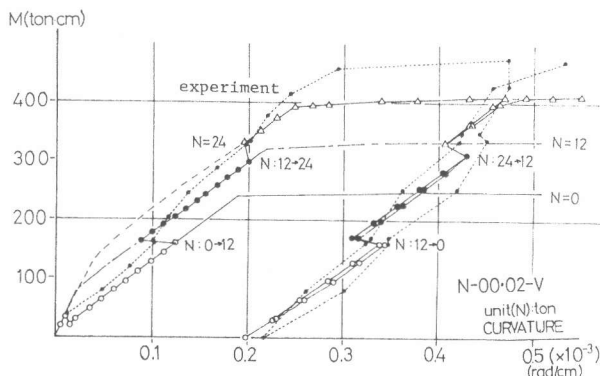


Fig. 13 Relationship between moment and curvature of N-00.02-V from analysis (1)

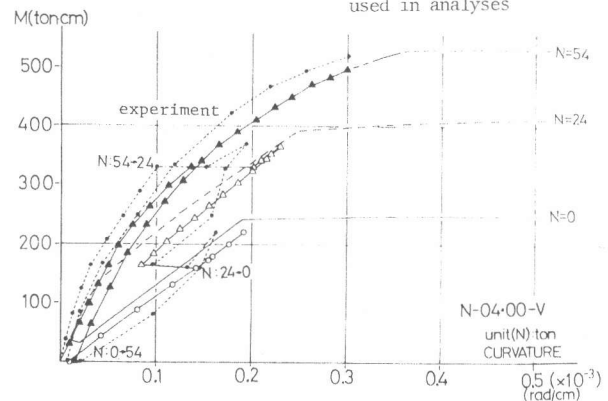


Fig. 14 Relationship between moment and curvature of N-04.00-V from analysis (1)

前に、荷重を増加させた後軸力を減少させた例であるが解析(1)による曲げモーメントと曲率の関係は、ほぼ実験結果と一致している。しかし、Fig.13でもみられるように、軸力一定で荷重を増減させた時の曲げモーメントと曲率の関係が直線的で残留が少なく実験結果とは異なった様子を示している。

解析(2)による、N-00.02-VとN-04.00-Vの曲げモーメントと曲率の関係を実験結果とあわせて、Fig.15とFig.16に示す。Fig.15に示すように、曲げひびわれ発生後の剛性低下の様子、荷重一定で軸力を増加した時の曲率の減少の様子、主筋降伏後の繰返し時の曲げモーメントと曲率の関係、またFig.16に示すように、軸力一定で荷重を増減させた時の曲げモーメントと曲率の関係等解析(2)は解析(1)に比べ非常によく実験結果を追跡できている。

## ■5 結論

以上の実験と解析によって次のことがいえる。

- (1) 降伏モーメントは、軸力の変動幅が今回の実験で行った範囲では、軸力の大きさで定まり、それまでの載荷径路には影響されない。
- (2) 荷重一定で軸力を増加させても、曲率はあまり変化せず、その軸力を一定に保ったまま荷重を増加させると曲げモーメントと曲率の関係は、その増加した軸力で定軸力載荷を行った試験体の曲げモーメントと曲率の関係に近づく。
- (3) 荷重一定で軸力を減少させると、軸力の減少に伴って曲率が減少し、減少した軸力で定軸力載荷した試験体の曲げモーメントと曲率の関係に近づく。
- (4) ひびわれ間のコンクリートは、付着によって鉄筋の剛性を高める作用をし、それを見かけ上の力とすると、ひずみとの関係は、Fig.10のようにモデル化することができる。
- (5) 通常の断面曲げ解析に、(4)の付着によるみかけ上の力とひずみとの関係を取り入れることにより、付着を考慮した断面曲げ解析を行うことができ、この解析は実験結果とよく一致した。

以上のように本論文は、軸力と曲げモーメントを受ける鉄筋コンクリート柱の復元力特性が、軸力と曲げモーメントの変動径路によって大きく影響されることを述べ、また、付着を考慮した断面曲げ解析法を示し、この解析結果が実験結果とよく一致していることを述べてきた。従って、今後、曲げモーメントと軸力の他にせん断力も同時に変動する部材の復元力特性を調べるとともに、本解析法の拡張をはかっていく必要がある。

謝辞 本研究に際し、最高裁判所経理局管轄課寺本英治氏、東京工業大学大学院生小山内亨君には、大変協力して頂きました。ここに深く感謝致します。また、株式会社神戸製鋼所と高周波熱錬株式会社には、鉄筋を提供して頂きました。ここに厚く御礼を申し上げます。

## 参考文献

- (1) 滝境己,黒正清治,小林克己「鉄筋コンクリート断面の二軸曲げ解析」,日本建築学会論文報告集 第250号,昭和51年12月。
- (2) 六車照,森田司郎,富田幸次郎「曲げひびわれを生じた鉄筋コンクリート部材の応力状態と変形に関する研究」,日本建築学会論文報告集 第200号,昭和47年10月
- (3) 谷満信,曾田五月也「上下地震動の影響を考慮した鉄筋コンクリートフレームの地震応答計算」,第5回日本地震工学シンポジウム,昭和53年11月
- (4) 林静雄,黒正清治,寺本英治「変動軸力を受ける鉄筋コンクリート部材の曲げ性状に関する実験研究その(1)およびその(2)」,日本建築学会大会 昭和50年10月
- (5) 林静雄,黒正清治,小山内亨「変動軸力を受ける鉄筋コンクリート部材の曲げ性状に関する実験研究その(3)およびその(4)」,日本建築学会大会 昭和53年10月

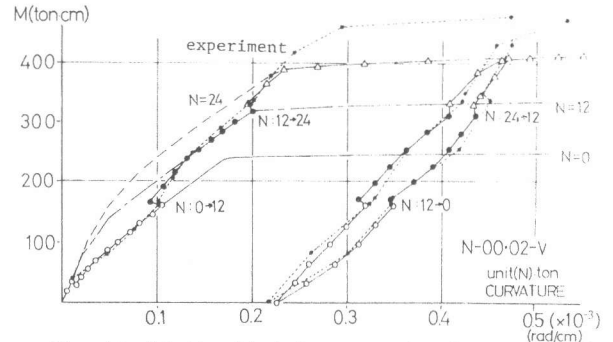


Fig. 15 Relationship between moment and curvature of N-00.02-V from analysis (2)

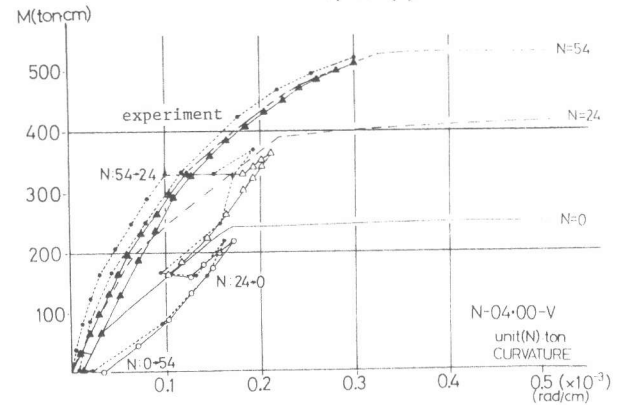


Fig. 16 Relationship between moment and curvature of N-04.00-V from analysis (2)