

1 方向単調荷重を受ける鉄筋コンクリート断面の非線形挙動

- 数値シミュレーションによる曲げ耐力と靱性の評価 -

山口 知泰 牧原 成樹 吉川 弘道

1. RC 断面の非線形挙動

構造物に荷重をかけると、圧縮の力と引張の力を受け水平変位が生じる。この荷重と変位の関係 (P- 関係) が図 1.1 のようなグラフで表される。これを断面レベルで考えると曲げモーメントと曲率 (図 1.2 M- 関係) が生じ、徐々に損傷し、やがて終局を迎えることになる。図 1.2 の左図は断面が損傷していることを示している。

今回はこの M- 関係についての検討を行ったが、その挙動は非線形であるため、ファイバーモデルを用い曲げモーメント M と曲率 の関係を算出し、数値シミュレーションによる曲げ耐力と靱性の評価を行った。

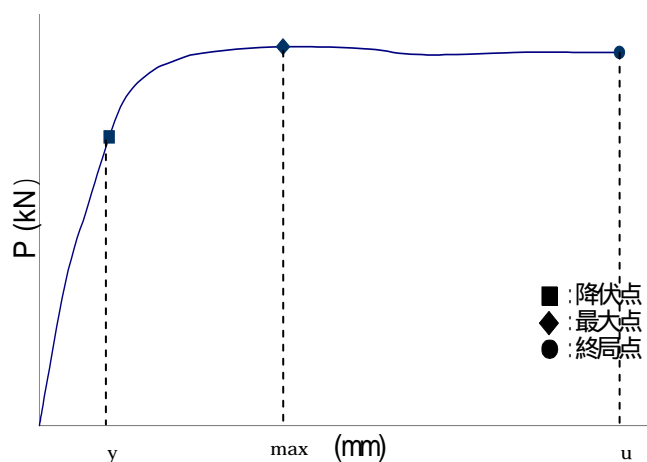
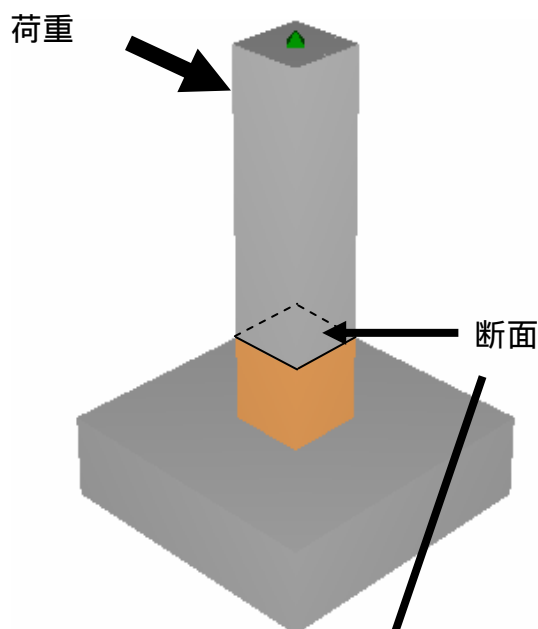


図 1.1 P- 関係

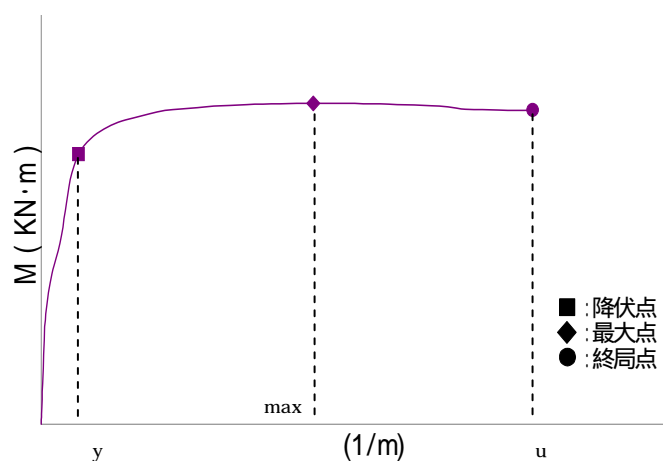
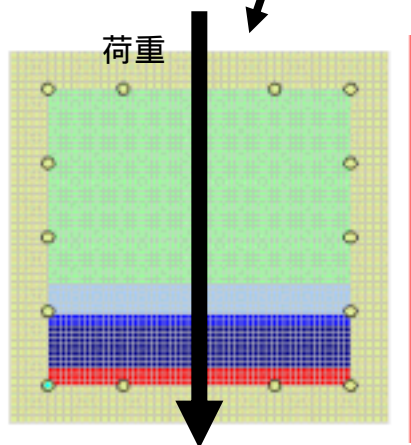


図 1.2 M- 関係

ここで靱性とは粘り強さを指すが、P- 関係では変位靱性率 μ , M- の関係では曲率靱性率 μ として表される。図 1.3 ではこの変位靱性率 μ , 曲率靱性率 μ の数値的な意味として、どの程度の損傷であるかを表している。

ここでは曲率靱性率に着目し、 μ が 2~4 の場合では損傷レベルは小さなもの、 μ が 4~6 の場合では修復可能な程度の損傷であることを示しており、 μ が 8~10 となると甚大な損傷であると言える。これにより、どの程度の損傷であるかを把握することができる。

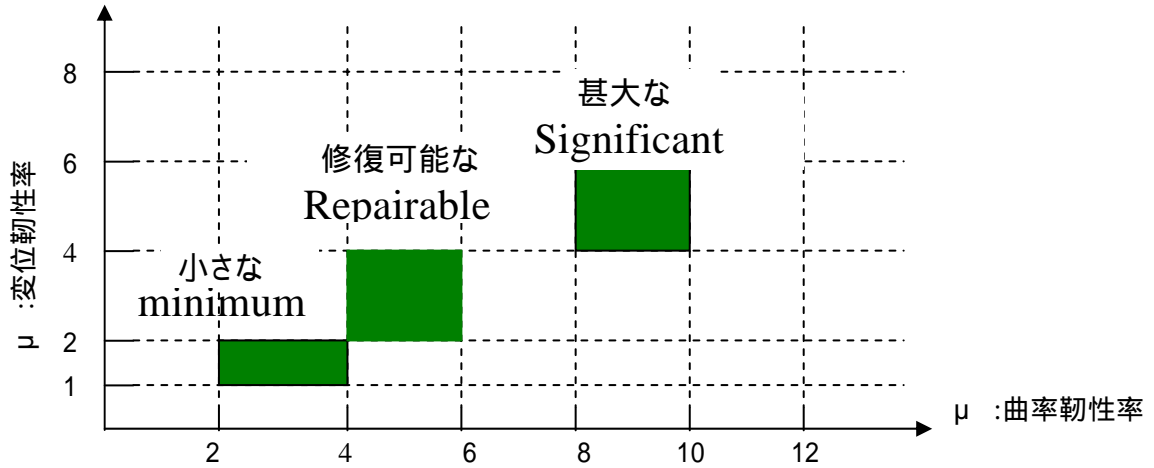


図1.3 靱性率の数値と損傷

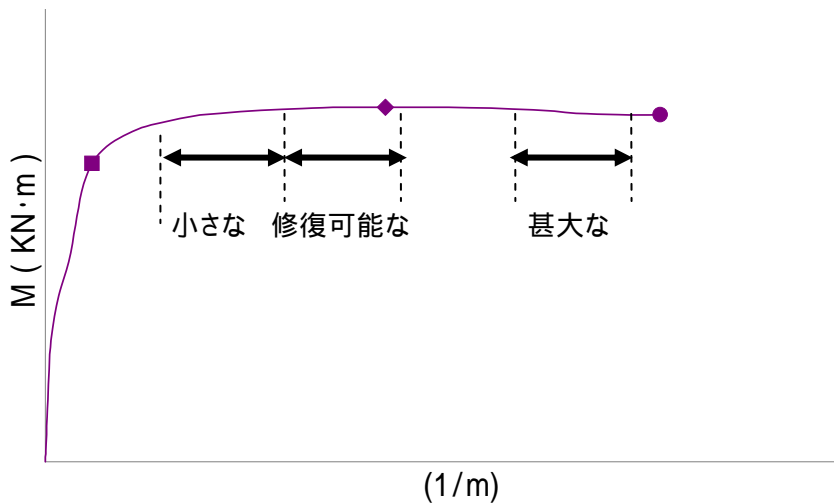


図 1.4 M- 関係と損傷評価

図 1.4 では例として M- 関係図を示し、損傷の評価を表した。これは一例であるが、降伏直後では損傷は小さなものであり、終局手前で甚大な損傷となっていると考えることができる。

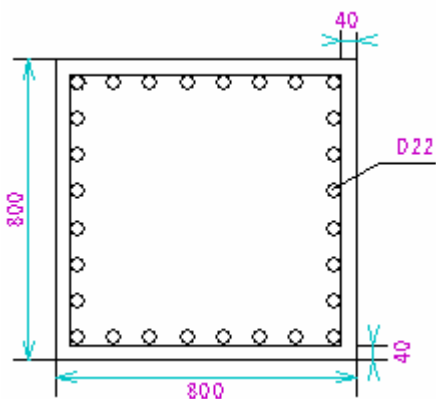
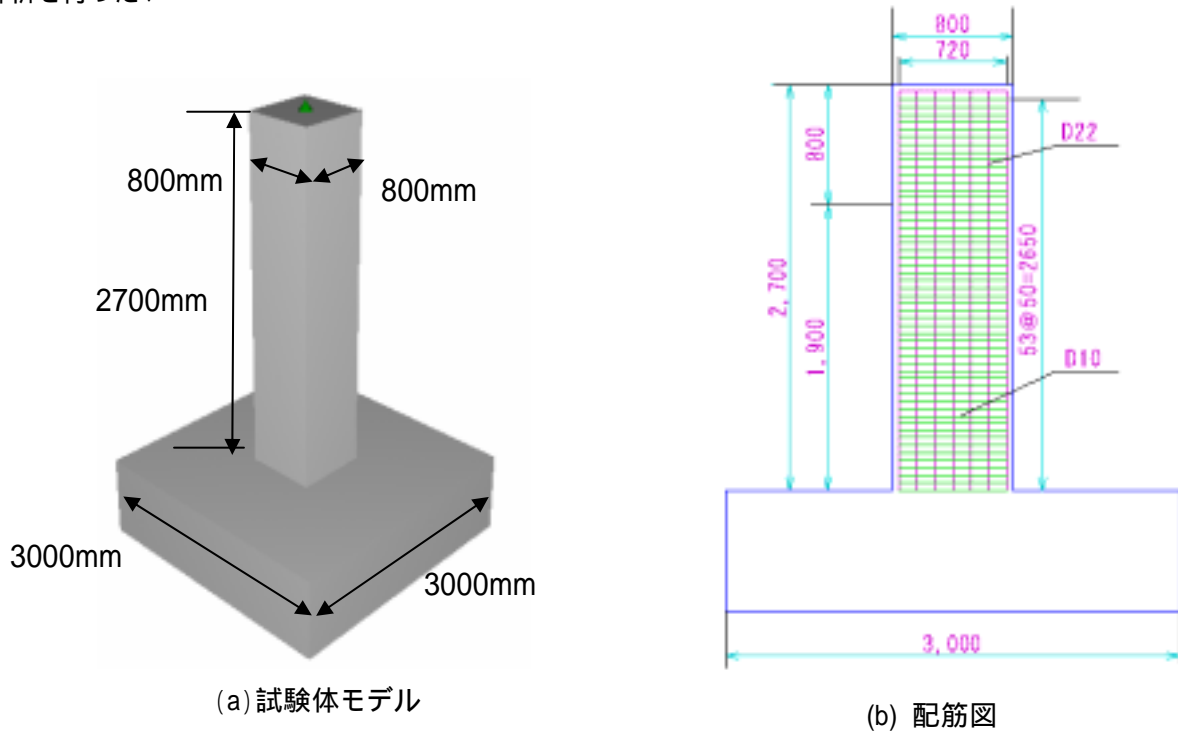
ここで曲率靱性率の式 $\mu = \frac{y}{y_0}$ で表され、降伏時での μ が 1 となる。

2. 対象構造物

2.1 構造物の概要

今回用いた試験体は、柱基部から上端部までの長さが 3500mm、柱基部から水平載荷点までは 2700mm (有効高さ)とした。(図 2.1.1(a))また軸方向鉄筋を 16 本配置し、横拘束鉄筋は 50mm 間隔で配置した。(b)配筋図

断面 800×800(mm)、せん断スパン長 2700mm、せん断スパン比 3.75 で、実構造物と同当の試験体を解析対象とした。(c)に断面図を示す。この試験体を用い、(d)をパラメータとした RC 柱部材の単調押し切り載荷の解析を行った。



(c)断面

断面	(mm ²)	800 × 800
コンクリート	f_c (N/mm ²)	30
鉄筋	呼び名	SD295
軸方向鉄筋	呼び名	D22
軸方向鉄筋比	p_s (%)	1.45
横拘束鉄筋	呼び名	D10
横拘束鉄筋比	p_w (%)	0.79
横拘束鉄筋間隔	s(mm)	50
軸力	N(kN)	640
せん断スパン比	a/d	3.75

(d) 基準モデル

図 2.1.1 試験体諸元

2.2 構成則

2.2.1 コンクリート構成則

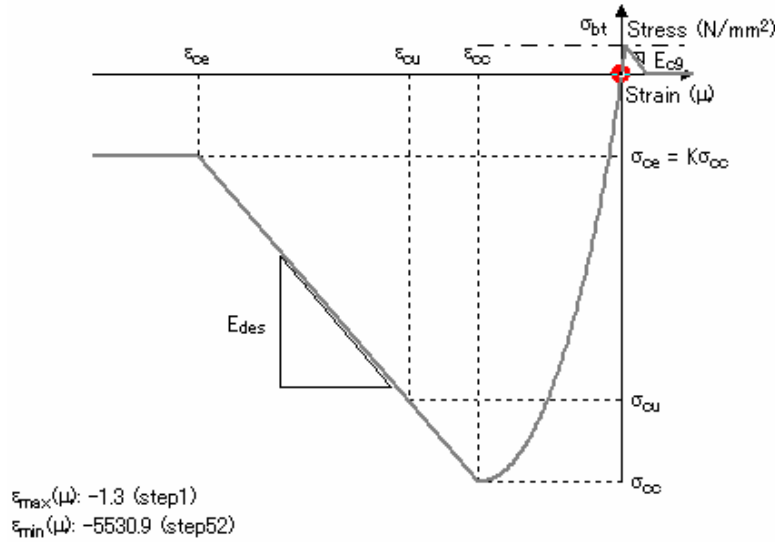


図 2.2.1 コンクリート構成則

コンクリートの応力 ひずみ曲線の骨格は道路橋示方書 の 10.4 に準じて設定されている。終局以降も荷重が落ちていき、横拘束筋の影響を受けるため、応力が 0 に落ちることなく K_{cc} で一定となる。

$$\sigma_c = E_c \varepsilon_c \left\{ 1 - \frac{1}{n} \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \right)^{n-1} \right\}$$

$$(0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cc})$$

$$\sigma_c = \sigma_{cc} - E_{des} (\varepsilon_c - \varepsilon_{cc})$$

$$(\varepsilon_{cc} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu})$$

$$n = \frac{E_c \varepsilon_{cc}}{E_c \varepsilon_{cc} - \sigma_{cc}}$$

$$\sigma_{cc} = \sigma_{ck} + 3.8 \alpha \rho_s \sigma_{sy}$$

$$\varepsilon_{cc} = 0.002 + 0.033 \beta \frac{\rho_s \sigma_{sy}}{\sigma_{ck}}$$

$$E_{des} = 11.2 \frac{\sigma_{ck}^2}{\rho_s \sigma_{sy}}$$

$$\varepsilon_{cu} = \begin{cases} \varepsilon_{cc} & (\text{タイプ 地震動}) \\ \varepsilon_{cc} + \frac{0.2 \sigma_{cc}}{E_{des}} & (\text{タイプ 地震動}) \end{cases}$$

$$\rho_s = \frac{4A_h}{sd} \leq 0.018$$

c : コンクリート応力度 (N/mm²)

cc : 横拘束筋で拘束されたコンクリートの強度 (N/mm²)

ck : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)

c : コンクリートのひずみ

cc : コンクリートが最大圧縮応力に達する時のひずみ

cu : 横拘束筋で拘束されたコンクリートの終局ひずみ

E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm²) で、共通編表 3.3.3 による。

E_{des} : 下降勾配 (N/mm²)

s : 横拘束筋の体積比

A_h : 横拘束筋 1 本あたりの断面積 (mm²)

s : 横拘束筋の間隔 (mm)

d : 横拘束筋の有効長 (mm) で、帯鉄筋や中間帯鉄筋により分割拘束される内部コンクリートの辺長のうち最も長い値とする。

sy : 横拘束筋の降伏点 (N/mm²)

β : 断面補正係数で、矩形断面では $\beta = 0.2$, $\beta = 0.4$ とする。

n : で定義する定数

2.2.2 鉄筋構成則

鉄筋の構成則はトリリニアモデルを用いており、このモデルではバイリニアモデルとことなり、鉄筋が降伏した後の付着特性を考慮している。そのため、引張降伏、圧縮降伏以降は硬化ひずみにいたるまでは、バイリニアと同様に一定値をとるが、硬化ひずみ開始以降はひずみ硬化域に達するので勾配が変わるモデルとなっている。

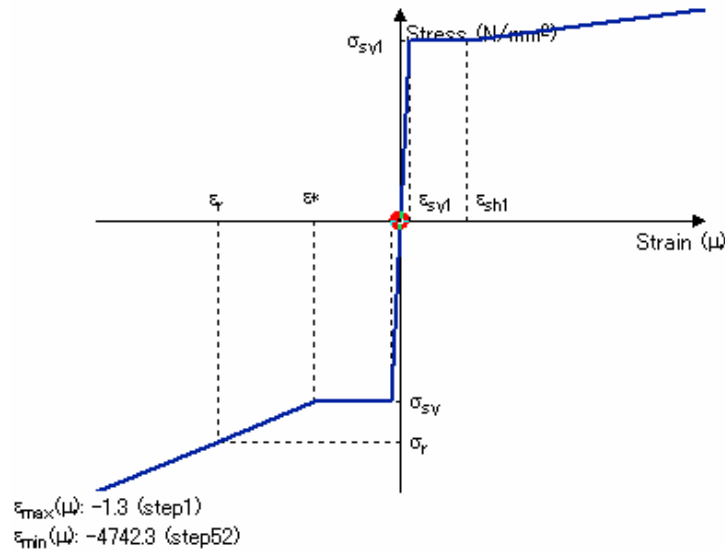


図 2.2.2 トリリニアモデル

$$\sigma_s = E \cdot \varepsilon_s \quad (0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_y)$$

$$\sigma_s = f_y \quad (\varepsilon_y \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh})$$

$$\sigma_s = f_y + \left(\frac{1 - \exp(\varepsilon_{sh} - \varepsilon)}{K} \right) \cdot (1.01f_u - f_y) \quad (\varepsilon_{sh} \leq \varepsilon_s)$$

E_s : 主鉄筋のヤング係数 (N/mm^2)

ε_y : 主鉄筋降伏ひずみ

f_y : 主鉄筋降伏強度 (N/mm^2)

ε_{sh} : 主鉄筋硬化開始ひずみ

f_u : 主鉄筋破断強度 (N/mm^2)

2.3 荷重方法と構造体諸元

今回は変位制御による単調押し切り荷重の解析を行った。変位制御とは、変位を定めた数値までとし、それまで荷重をかける方法をいう。

単調押し切り荷重とは、荷重点に1方向のみ荷重を与え続ける荷重方法で、今回は変位が8.5mmに至るまで荷重を与え続けた。

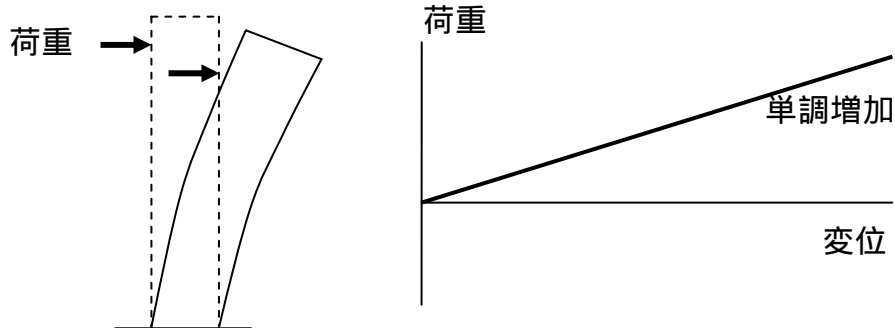


図 2.3.1 荷重方法

3. 解析方法

3.1 解析モデル

柱基部に非線形を期待するために、ファイバー要素を用いてモデル化を行い、断面における曲げモーメント - 曲率関係(M- κ 関係)を追従可能にした。

ファイバー要素の長さは、塑性ヒンジ区間(曲率が集中する区間)に変形が集中するため柱基部から800mmとし、基部以外は線形部材とし、弾性梁要素(曲げ変形のみ)でモデル化をおこなった。

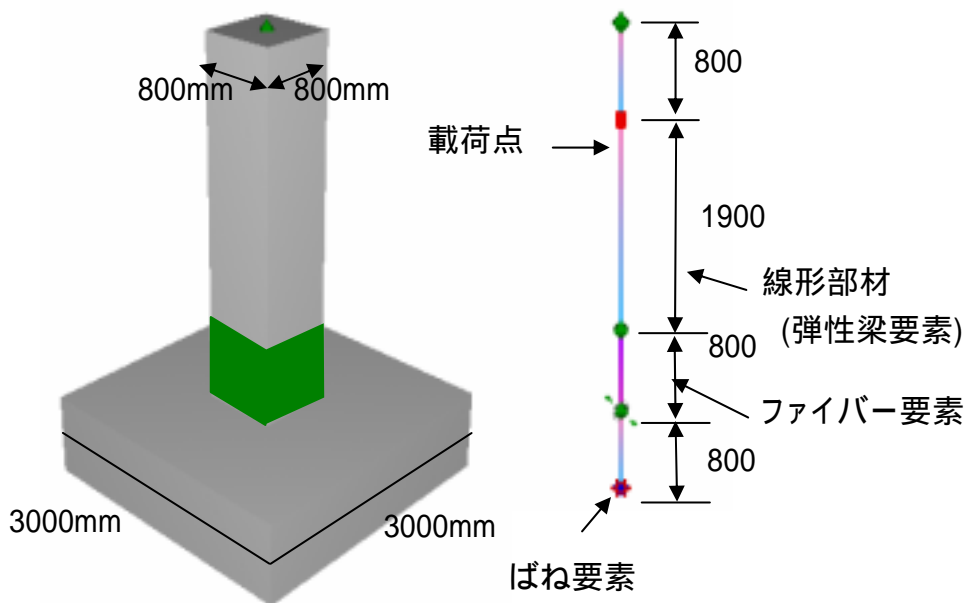


図 3.1.1 試験体モデル図

3.2 解析パラメーター一覧

以下の表では曲げモーメントと曲率に影響を与えと考えられる軸圧縮応力 σ_c , 軸方向鉄筋比 p_s , 横拘束鉄筋比 p_w , コンクリート強度 f_c' を変化させた。このときの $M-\phi$ 関係のグラフを示し, 判別を行なった。

表 3.2.1 パラメーター一覧

ケース	パラメータ	軸圧縮応力	軸方向鉄筋比	横拘束鉄筋比	コンクリート強度
		σ_c (N/mm ²)	p_s (%)	p_w (%)	f_c' (N/mm ²)
	標準モデル	1	1.45	0.79	30
	軸圧縮応力 σ_c (N/mm ²)	0 ~ 4	↓	↓	↓
	軸方向鉄筋比 p_s (%)	1	0.74 ~ 1.90	↓	↓
	側方鉄筋比 p_w (%)	↓	1.45	0.08 ~ 1.45	↓
	コンクリート強度 f_c' (N/mm ²)	↓	↓	0.79	20 ~ 40

この表で, それぞれ変化しているところ以外は標準モデルを用いている。

4. 解析結果および考察 (M- 関係図)

それぞれのパラメータ(軸圧縮応力, 軸方向鉄筋比, 横拘束鉄筋比, コンクリート強度)を変化させた M- のグラフを図 4.1.1 ~ 図 4.1.4 に示す. まず図 4.1.1 のグラフから, 軸圧縮応力 σ_c が大きくなると曲げ耐力 M も大きくなった. しかし, 終局曲率 θ_u は軸圧縮応力の増加とともに低下した. つまり, 軸圧縮応力が大きくなると構造物は大きな力で押さえつけられ, 強度は大きくなる. しかし曲率の低下, つまり変形が小さくなってしまう. このことから脆性的になったと言える.

このことは軸方向鉄筋(図 4.1.2)でも同じことが言える. 軸方向鉄筋が多いほど強度は増すが, 脆性的になり急激な破壊をもたらす.

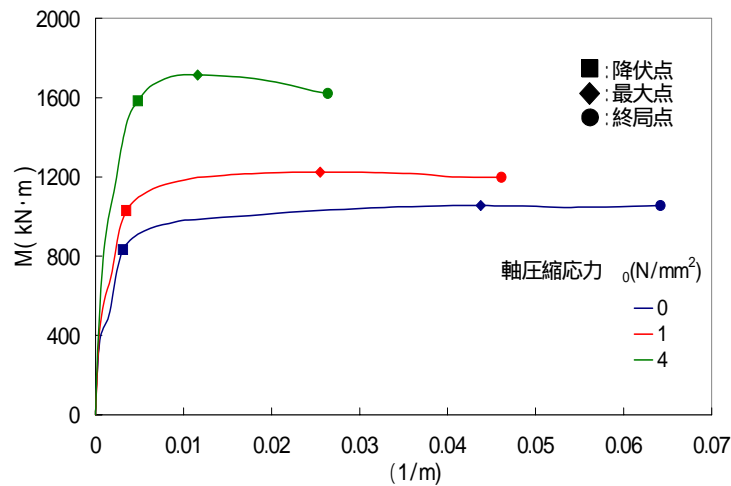


図 4.1.1 軸圧縮応力関係

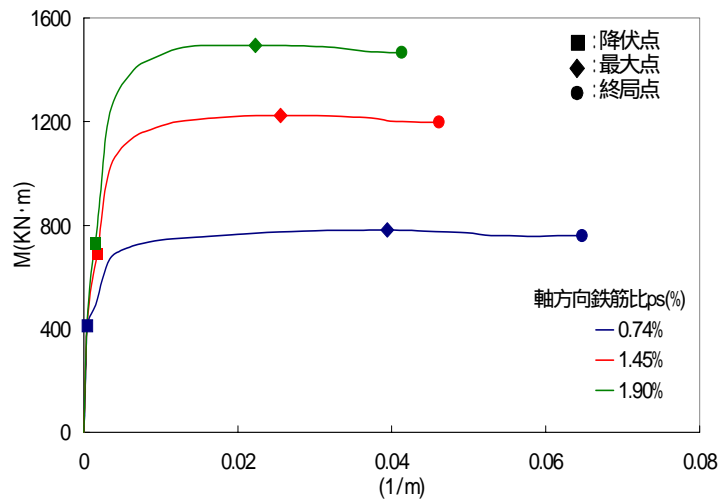


図 4.1.2 軸方向鉄筋関係

次に横拘束鉄筋比 p_w とコンクリート強度 f_c' の場合には応力 - ひずみ関係 (- 関係) 図と共に示す。横拘束鉄筋比 p_w を変化させた場合ではまず、図 4.1.3 の - 関係で、 p_w が増加すると応力 はあまり大きくなっていないが、ひずみ は大きくなっている。また、応力 の最大点からの減少も図 4.1.3 の より のほうがなだらかである。これと関連して M- 関係 (図 4.1.4) を見ると、曲げモーメント M にはほとんど影響を与えず、曲率 は増加することが確認できる。ここで曲率 は $\phi = \frac{\epsilon_c'}{x}$ であることより、 x が増加することにより ϕ も大きくなるのがわかる。これらのグラフから横拘束鉄筋の増加 p_w には構造物を延性的にする効果があるとあらためていえる。

次にコンクリート強度 f_c' を増加させた場合での - 関係 (図 4.1.4) では f_c' が大きくなると応力 は増加し、ひずみ は小さくなりグラフ ~ になるにつれ減少は急になっている。しかし、図 4.1.4 の M- 関係では曲げモーメントは増加し曲率 も大きくなった。曲率 が大きくなった原因として、中立軸が影響していると考えられる。(これについては###を参照)

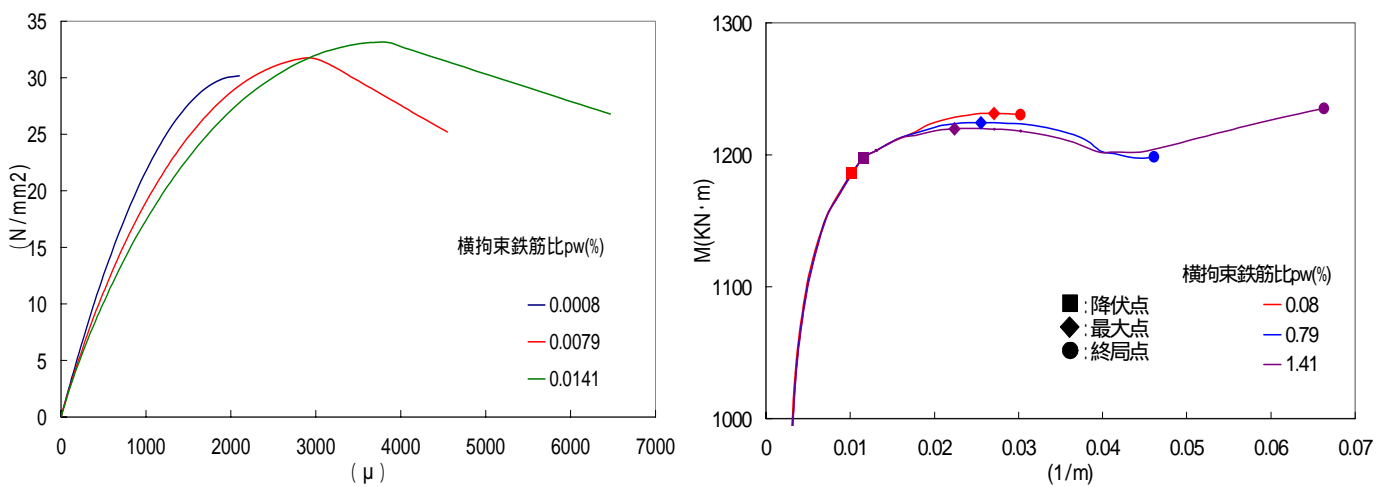


図 4.1.3 横拘束鉄筋比関係

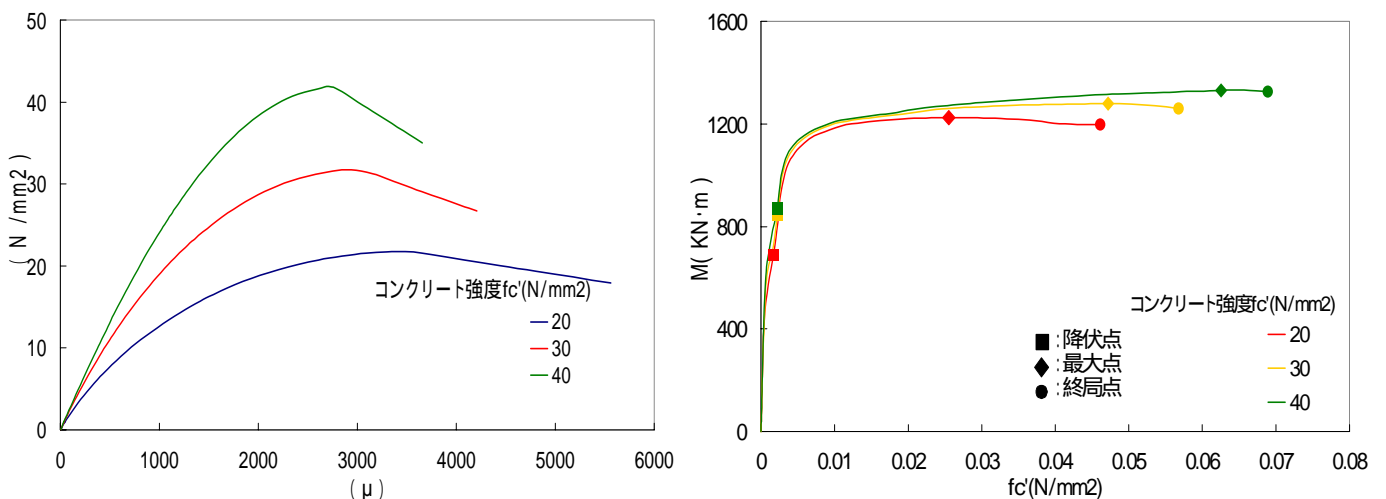


図 4.1.4 コンクリート強度関係

5.2 次パラメータの設定

曲げモーメントと曲率の関係 (M- ϕ 関係) をグラフで表す。(図 5.1) ここでは例として軸圧縮応力 σ_c と軸方向鉄筋比 p_s を変化させた場合について示した。4で行った解析では、図 5.1 のように M- ϕ 関係から軸圧縮応力や軸方向鉄筋などそれぞれの変化を考察してきた。しかしこの図では軸圧縮応力と軸方向鉄筋比の関係をみるできない。

そこで、2つのパラメータを一つの図に同時に表すことにより、関係の追従を行う。

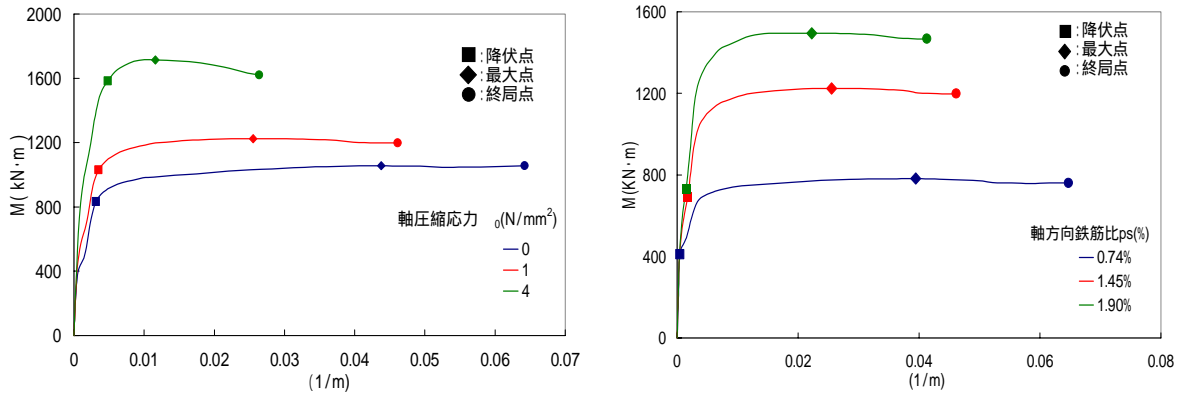


図 5.1M- 関係図

5.1 M_{max} , μ の算出

まず図 5.1 からそれぞれの軸圧縮応力 σ_c での、最大時における曲げモーメント M_{max} 、降伏点における曲率 ϕ_y と終局時における曲率 ϕ_u を求め、曲率靱性率 μ を求める。

$$\text{ここで曲率靱性率 } \mu = \frac{\phi_u}{\phi_y} \quad \text{終局時 } \mu_\phi = \frac{\phi_u}{\phi_y}$$

これより、それぞれの軸圧縮応力 σ_c における最大曲げモーメント M_{max} 、曲率靱性率 μ が算出される。1次パラメータ、2次パラメータが変化したときの最大曲げモーメント M_{max} 、曲率靱性率 μ の関係を考察する。

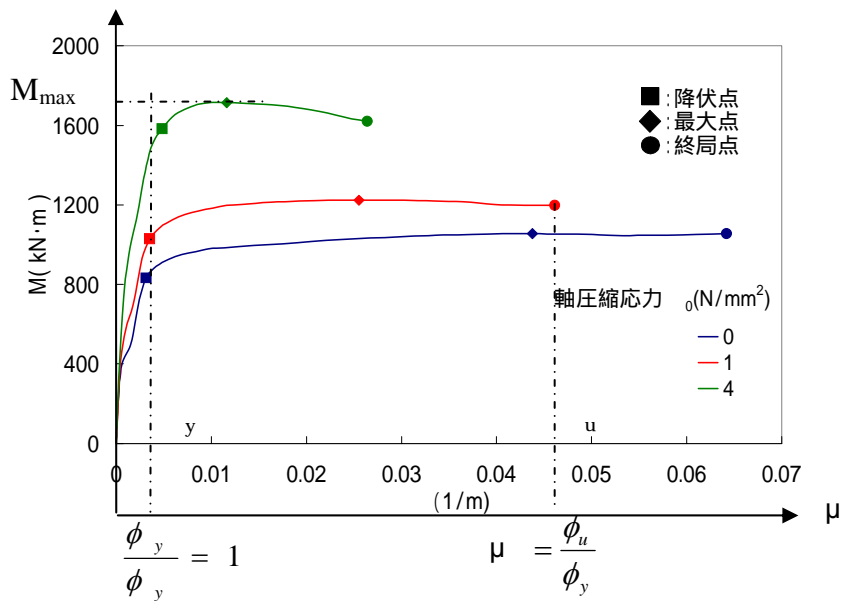


図 5.1.1 M_{max} , μ の関係

5.2 1次パラメータの設定

横軸に1次パラメータの軸圧縮応力 σ_0 をとり、 σ_0 が変化したときの最大曲げモーメント M_{max} と曲率靱性率 μ を図 5.2.1 に示す。

この図では軸圧縮応力 σ_0 が増加すると、最大曲げモーメント M_{max} は増加し、曲率靱性率 μ は減少するということが分かる。

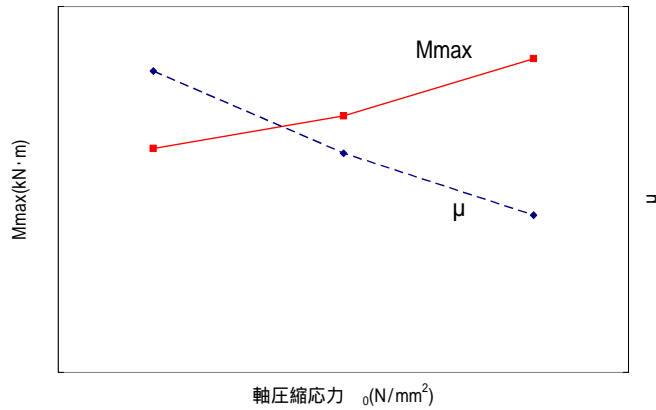


図 5.2.1 1次パラメータ図例

5.3 2次パラメータの設定

2次パラメータとして軸方向鉄筋比 p_s を変化させた。(図 5.3.1)これにより M_{max} と μ の変化だけでなく軸圧縮応力 σ_0 との相関性もみることができる。

ここで相関性とは、1次パラメータと2次パラメータとの関係のことであり、このグラフでの相関性とは σ_0 と p_s との関係のことを表す。 p_s が小さい時 μ は大きく減少しているが、 p_s が大きくなると、 μ の減少率は小さくなり変化が少なくなっている。

2次パラメータ p_s が増加すると M_{max} は増加し μ は減少することがわかる。また σ_0 と p_s の相関性では M_{max} については σ_0 も p_s も一定に変化しているため相関性は見られないが、軸方向鉄筋比が \sim になると μ の減少率が低下していることがわかる。

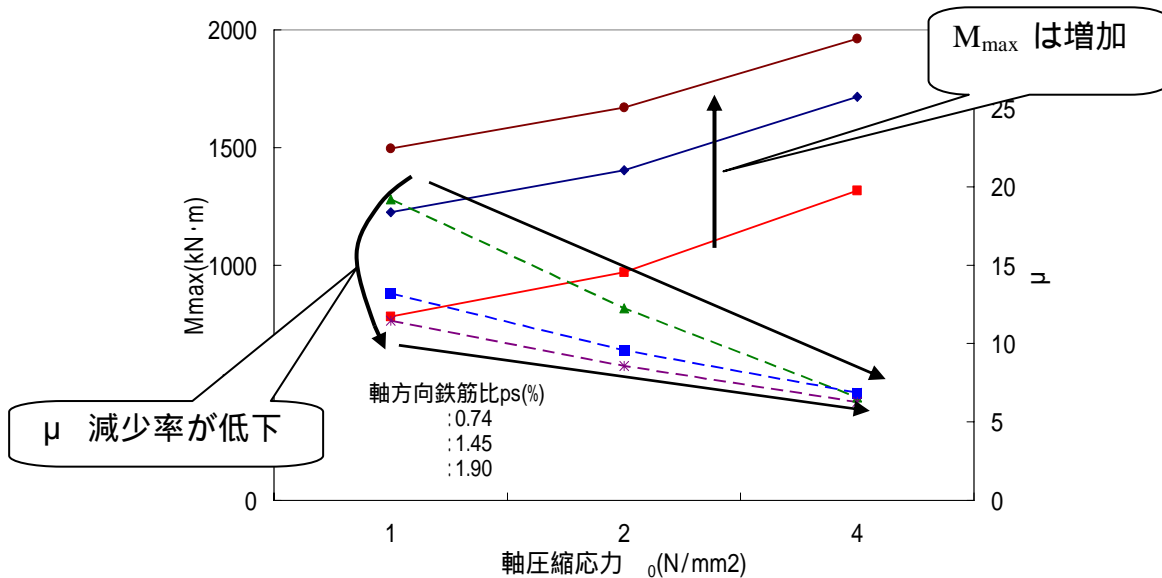


図 5.3.1 2次パラメータ図例

以上のように解析を行った。

5.4 解析パラメーター一覧

1次パラメータ, 2次パラメータには軸圧縮応力, 軸方向鉄筋, 横拘束鉄筋, コンクリート強度を用い, それぞれ変化させる. この表では2次パラメータを用いているので, 例えばケース において軸圧縮応力 σ_0 が 0 ~ 4 に変化したときの, さらに軸方向鉄筋比 p_s が変化した場合, 横拘束鉄筋比 p_w , コンクリート強度 f_c' , が変化した場合と3つがあるということを表している. ケース 以降も同様である.

表 5.4.1 パラメーター一覧

ケース	パラメータ	2次パラメータ				
		軸圧縮応力 σ_0 (N/mm ²)	軸方向鉄筋比 p_s (%)	横拘束鉄筋比 p_w (%)	コンクリート強度 f_c' (N/mm ²)	
	標準モデル	1.00(N=160kN)	1.45	0.79	30	
1次 パラ メー タ	軸圧縮応力 σ_0 (N/mm ²) 0~4.00	/	0.74~1.90	↓	↓	
			1.45	0.08~1.20	↓	
			↓	0.79	20~35	
	軸方向鉄筋比 p_s (%) 0.74~1.90		0~4	↓	↓	30
			1	↓	0.08~1.20	↓
			↓	↓	0.79	20~35
	横拘束鉄筋比 p_w (%) 0.08~1.41		0~4	↓	↓	30
			1	0.74~1.90	↓	↓
			↓	1.45	↓	20~35
	コンクリート強度 f_c' (N/mm ²) 20~40		0~4	↓	↓	↓
			1	0.74~1.90	↓	↓
			↓	1.45	0.08~1.20	↓

$$\sigma_0 = \frac{N}{A_c} \quad (N/mm^2)$$

$$p_s = \frac{A_s}{A_c} \quad (\%) \quad A_s : \text{全鉄筋比}$$

$$p_w = \frac{4A_h}{sd} \quad (\%) \quad A_h : \text{横拘束鉄筋面積}$$

s : 間隔 d : 有効高さ

6 解析結果および考察

6.1 ケース 軸圧縮応力

M_{max} を実線で表し、 μ は点線で示した。まず図 6.1.1 ~ 6.1.3 のいずれも、軸圧縮応力が増すと曲げ耐力は大きくなり、曲率靱性率は減少するということが確認できた。つまりこれは、载荷の初期段階では軸力が大きいことによりひび割れは抑制されるが、同時に圧縮側の破壊を早める結果になるということを意味している。

さらに相関性をみると、図 6.1.2 では軸方向鉄筋比 p_s が 0.74 の場合、軸圧縮応力が増加すると曲率靱性率 μ は大きく減少しているのに対し、 p_s が大きくなると軸圧縮応力が変化しても μ はあまり変化しなくなった。これは、軸圧縮応力が大きくなると、それに対する軸方向鉄筋比の変化はあまり大きくなく影響が表れないと考えられる。

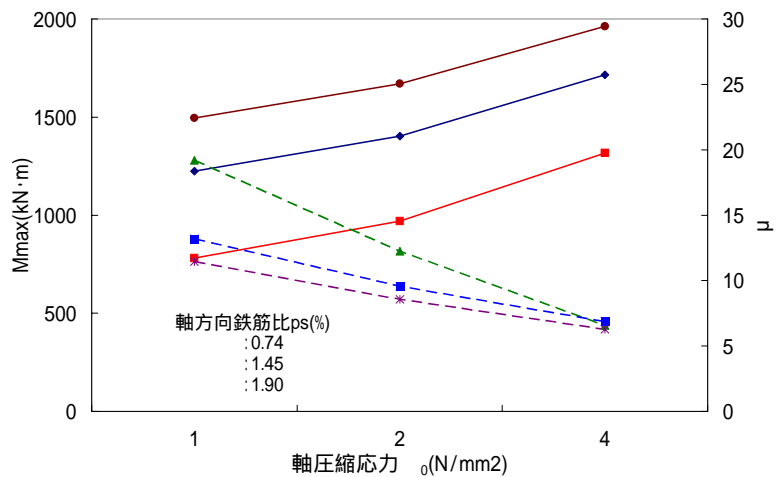


図 6.1.1 軸圧縮応力 σ_0 -軸方向鉄筋比 p_s 関係

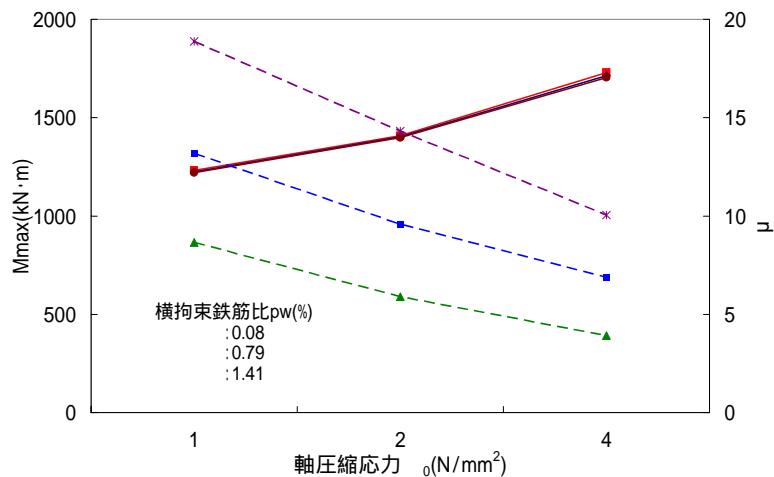


図 6.1.2 軸圧縮応力 σ_0 -横拘束鉄筋比 p_w 関係

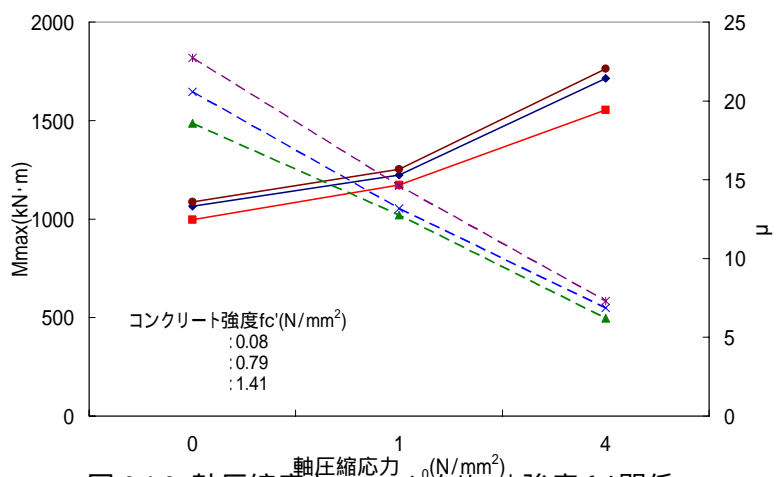


図 6.1.3 軸圧縮応力 σ_0 -コンクリート強度 f_c' 関係

6.2 ケース 軸方向鉄筋比

図 6.2.1 ~ 6.2.3 から軸方向鉄筋比 p_s が増加すると耐力は大きくなり、靱性は低下することが確認できた。次に、図 6.2.1 から軸方向鉄筋比 p_s と軸圧縮応力 σ_0 との相関性として、 σ_0 が小さい時は p_s が増加すると曲率靱性率 μ は大きく減少するのに対し σ_0 が大きい時は p_s が増加しても μ はあまり変化していない。

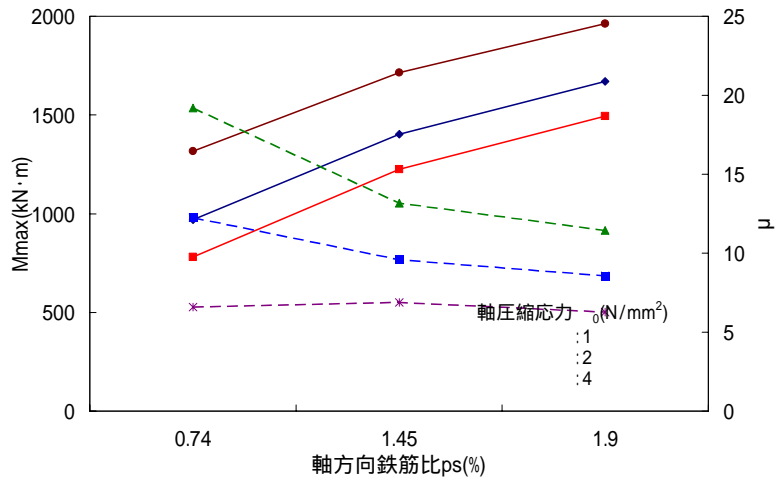


図 6.2.1 軸方向鉄筋比 p_s - 軸圧縮応力 σ_0 関係

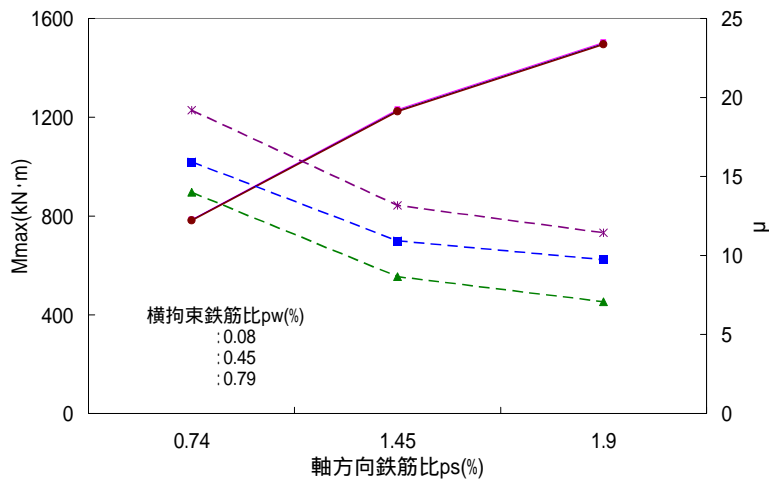


図 6.2.2 軸方向鉄筋比 p_s - 横拘束鉄筋比 p_w 関係

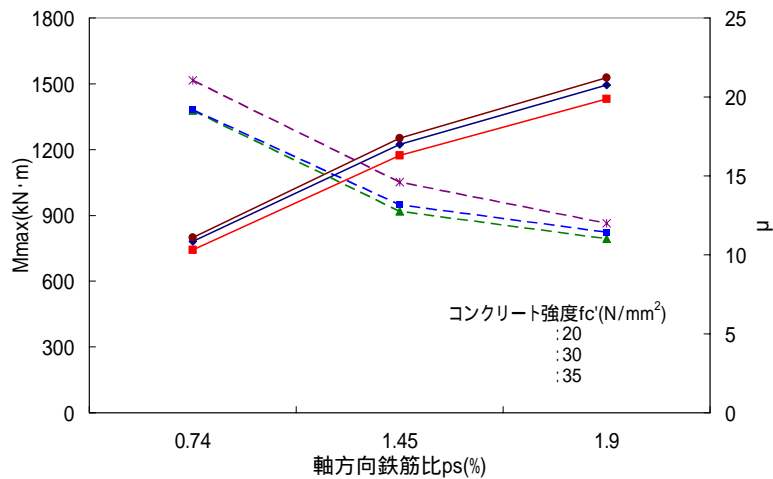


図 6.2.3 軸方向鉄筋比 p_s - コンクリート強度 f_c' 関係

6.3 ケース 横拘束鉄筋比

図 6.3.1 ~ 6.3.3 から横拘束鉄筋比が増加すると、最大曲げモーメントにはほとんど変化は見られず、影響をあたえないが、曲率靱性率は大きくなった。このことから横拘束鉄筋には構造物を延性的にさせる効果があるといえる。

相関性として、図 6.3.1 の横拘束鉄筋比 p_w と軸圧縮応力 σ_0 では、やはり σ_0 が大きくなると、その影響が強くなってしまいうため、横拘束鉄筋比が大きくなってあまり変化が起きなくなってしまうと考えられる。

図 6.3.3 のコンクリート強度 f_c' との相関性では、 f_c' が増すと横拘束鉄筋比が大きくなってても変化が小さくなる。

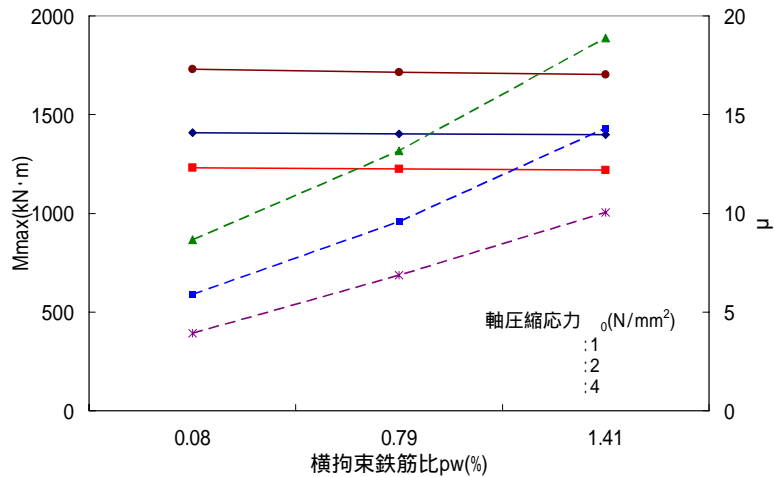


図 6.3.1 横拘束鉄筋比 p_w - 軸圧縮応力 σ_0 関係

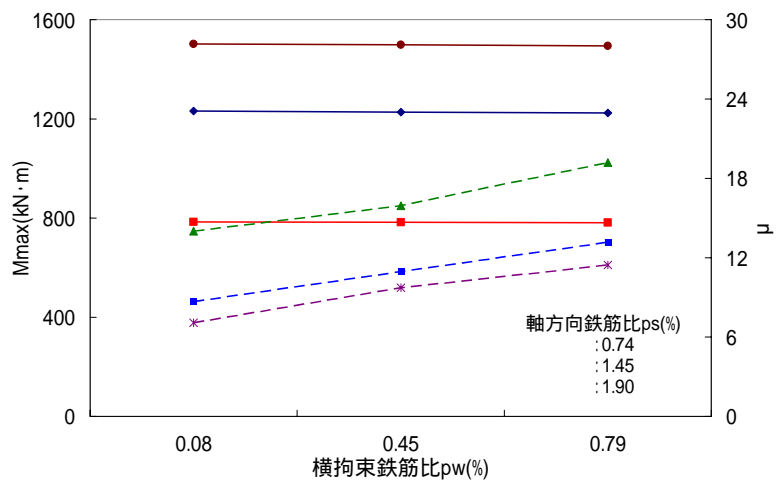


図 6.3.2 横拘束鉄筋比 p_w - 軸方向鉄筋比 p_s 関係

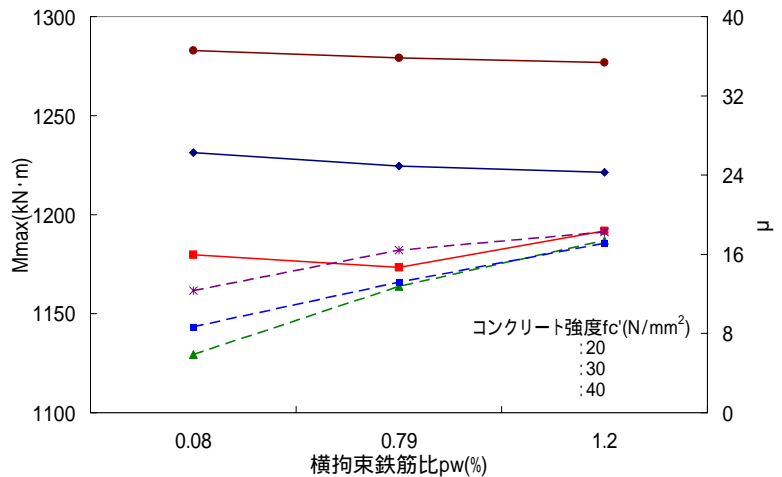


図 6.3.3 横拘束鉄筋比 p_w - コンクリート強度 f_c' 関係

6.4 ケース コンクリート強度

コンクリート強度 f_c' を大きくすると、曲げ耐力、曲率靱性率は増加することが確認できた。相関性として図 6.4.3 から、 f_c' が増加するとは横拘束鉄筋比 p_w が小さい時は曲率靱性率 μ は大きく増加するが、横拘束鉄筋比 p_w が大きくなると、 f_c' が変化してもあまり変わらなくなる。

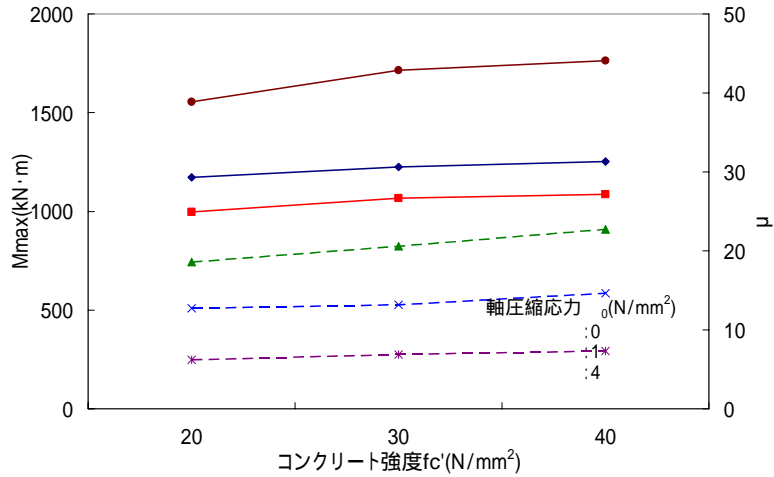


図 6.4.1 コンクリート強度 f_c' - 軸圧縮応力 σ_0 関係図

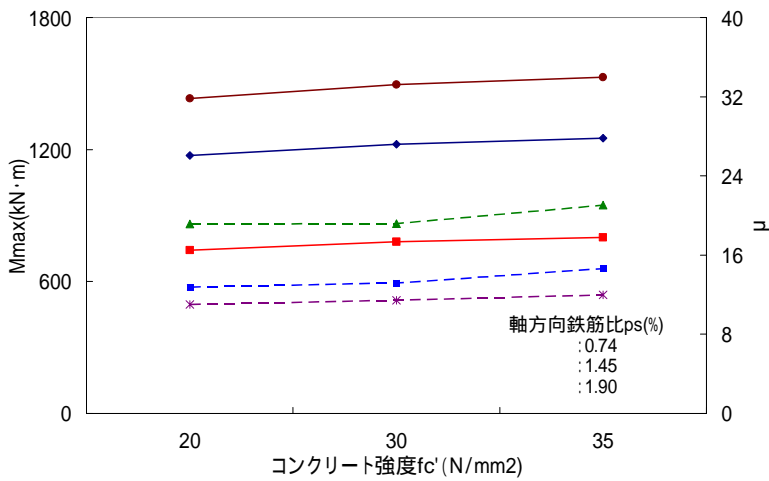


図 6.4.2 コンクリート強度 f_c' - 軸方向鉄筋比 p_s 関係

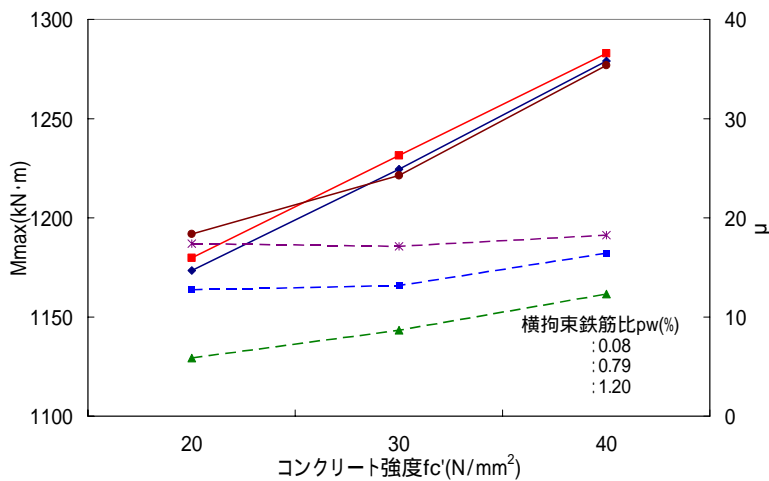


図 6.4.3 コンクリート強度 f_c' - 横拘束鉄筋比 p_w 関係

コンクリート強度と靱性率

コンクリート強度が増すと局率靱性率 μ が大きくなる原因として、図 6.4.4 のように f_c' が増加すると中立軸が上昇し、中立軸位置 x は小さくなる。

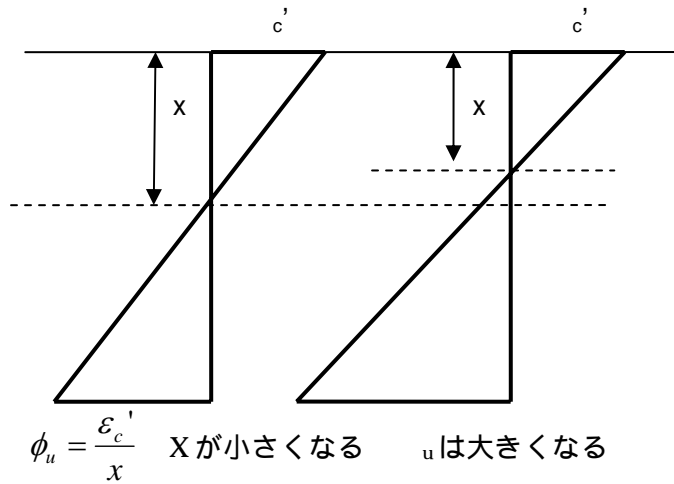


図 6.4.4 コンクリート強度とひずみ分布

すると、終局局率 $\phi_u = \frac{\epsilon_c'}{x}$ は x が小さくなるため、 u は大きくなる。

よって、 μ は $\mu_\phi = \frac{\phi_u}{\phi_y}$ より大きくなるのがわかり、靱性率は上昇することがわかる。

7 Mu- u 関係

7.1 Mu- u 関係の考え方

図 7.1.1 の M- u の関係から終局時における曲げ耐力と靱性率を求め、Mu- u 関係図を作成し、それぞれのパラメータによる変化を調べた。図 7.1.2 にはそれぞれの軸方向鉄筋比 ps の終局曲げ耐力 Mu の点をプロットし、線で結んだ。さらに図 7.1.3 の軸圧縮応力 σ_c が変化しているように、ここでも 2 次パラメータを用いた。

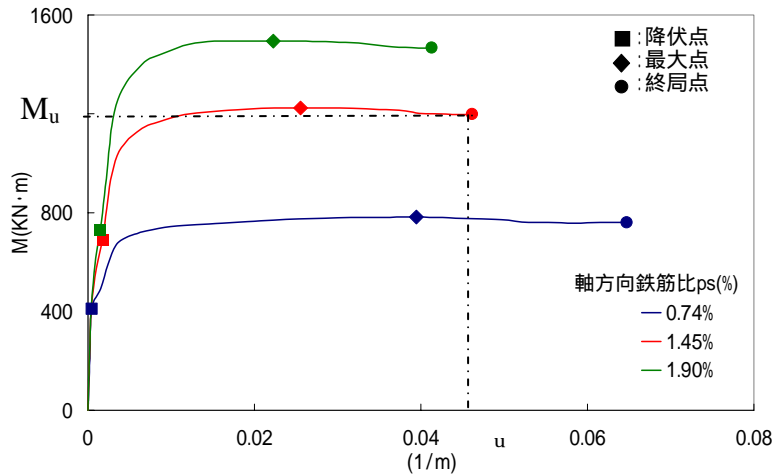


図 7.1.1 M- u 関係図

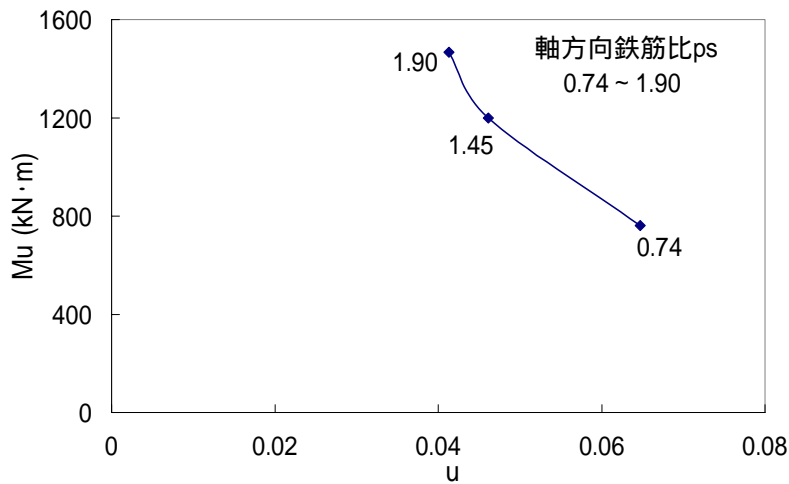


図 7.1.2 Mu- u 関係

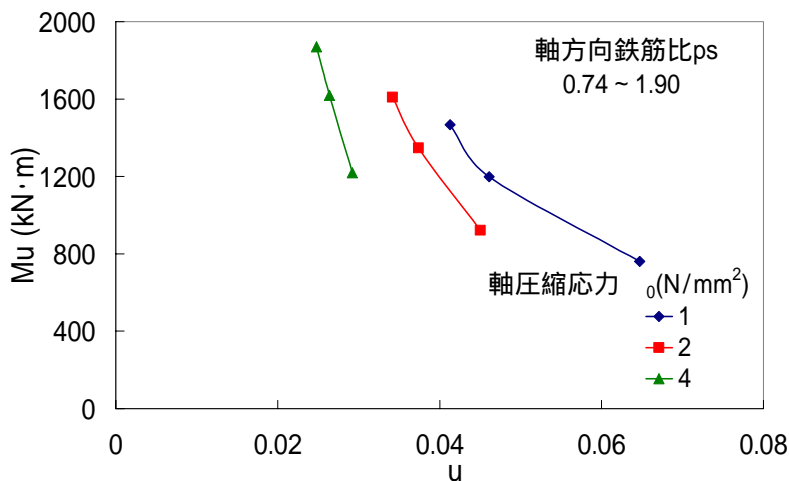


図 7.1.2 Mu- u 関係

7.2 解析結果および考察

まず図 7.2.1 より、軸圧縮応力 σ_c が $1 \sim 4$ (N/mm^2) に変化したときの M_u と u の関係を見ると、4.1 ケース 1 と同じように M_u の減少に伴い u は増加していることがわかる。

同じように図 7.2.2 でも軸方向鉄筋比が $0.74 \sim 1.90$ (%) に変化した場合、 M_u が減少し u は増加した。

図 7.2.3 では横拘束鉄筋比が $0.08 \sim 0.79$ (%) に変化した場合、 M_u は一定であり u は増加した。

図 7.2.4 ではコンクリート強度が $20 \sim 40$ (N/mm^2) に変化した場合、 M_u 、 u は共に増加した。

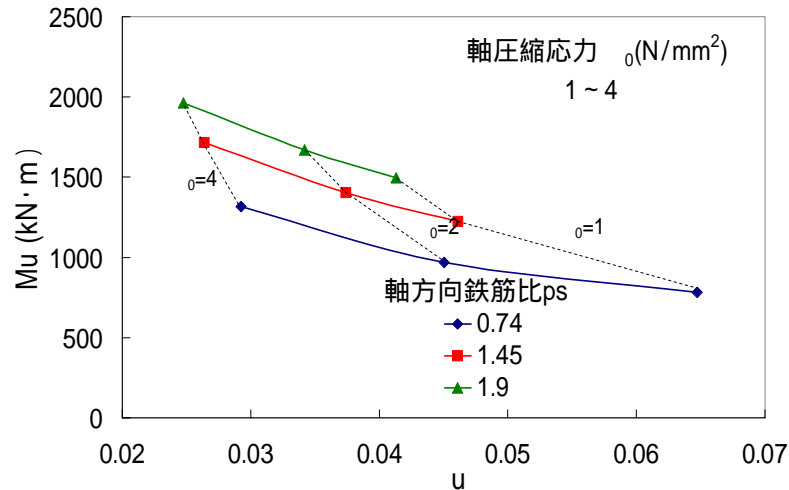


図 7.2.1 軸方向鉄筋比 p_s - 軸圧縮応力 σ_c 関係

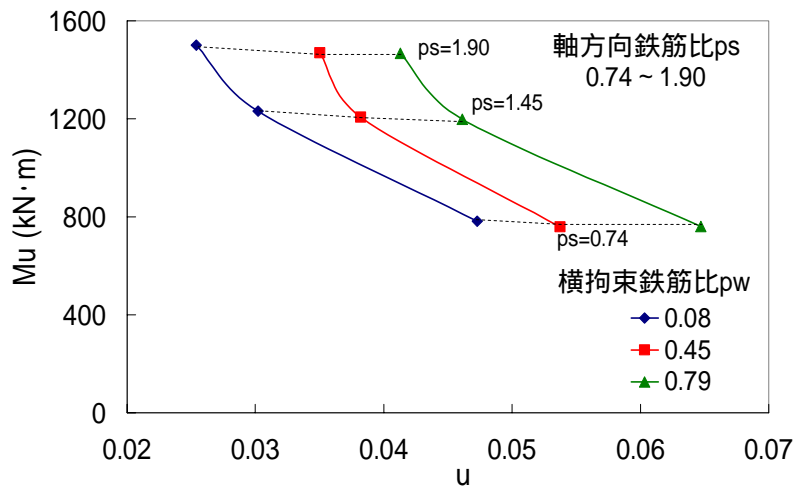


図 7.2.2 横拘束鉄筋比 p_w - 軸方向鉄筋比 p_s 関係

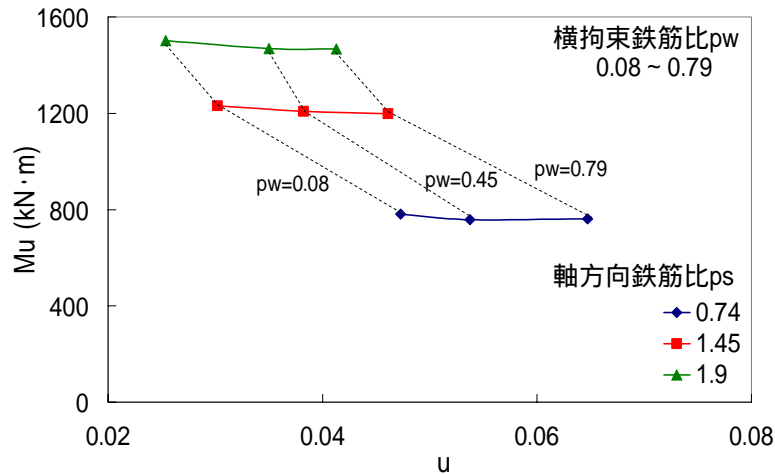


図 7.2.3 軸方向鉄筋比 p_s - 横拘束鉄筋比 p_w 関係

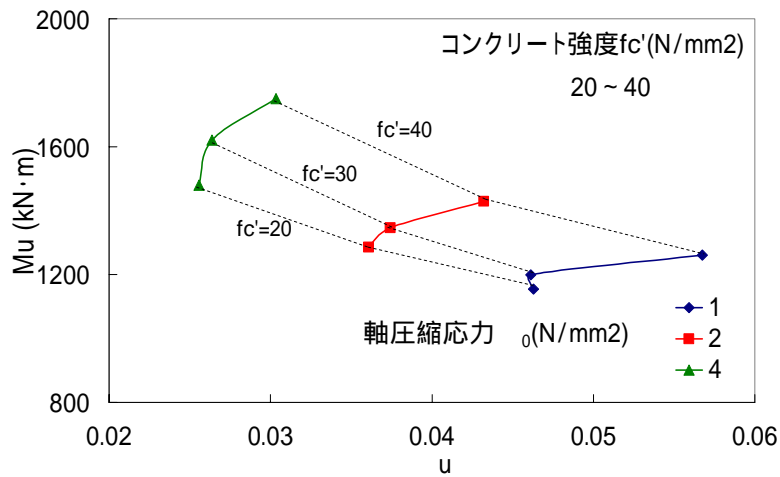


図 7.2.4 軸圧縮応力 σ_0 - コンクリート強度関係

以上の結果より、曲げ終局耐力 M_u と曲率靱性率 u の関係は $M_{max} - \mu$ の関係と同じことがいえる。これは降伏曲率 y はほぼ一定であるため、終局曲率 u に μ は大きく影響をうけるためと考えられる。

7.3 パラメトリックシミュレーションのまとめ

表 7.3.1 結果一覧

ケース	パラメータ	2次パラメータ							
		軸圧縮応力		軸方向鉄筋比		横拘束鉄筋比		コンクリート強度	
		$N/A_c(N/mm^2)$		$p_s(\%)$		$p_w(\%)$		$f_c'(N/mm^2)$	
標準モデル		1.00($N=160kN$)		1.45		0.79		30	
		1.00 ~ 4.00		0.74 ~ 1.90		0.08 ~ 1.20		20 ~ 35	
1次パラメータ	軸圧縮応力 $N/A_c(N/mm^2)$ 0 ~ 4.00	Mu 増加 μ 減少		Mu 増加 μ 減少		Mu 増加 μ 減少		Mu 増加 μ 減少	
	軸方向鉄筋比 $p_s(\%)$ 0.74 ~ 1.90	Mu 増加 μ 減少		Mu 増加 μ 減少		Mu 増加 μ 減少		Mu 増加 μ 減少	
	側方鉄筋比 $p_w(\%)$ 0.08 ~ 1.41	Mu 一定 μ 増加		Mu 一定 μ 増加		Mu 一定 μ 増加		Mu 一定 μ 増加	
	コンクリート強度 $f_c'(N/mm^2)$ 20 ~ 40	Mu 増加 μ 増加		Mu 増加 μ 減少		Mu 増加 μ 増加		Mu 増加 μ 増加	

8. 載荷角度の違い

今までは、図 8.1 のように荷重をかけていたが、今回は載荷角度を図 8.2 のように 22.5 度、45 度に変化させた。

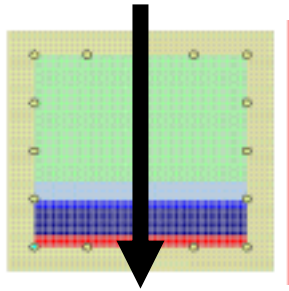


図 8.1 主軸方向載荷

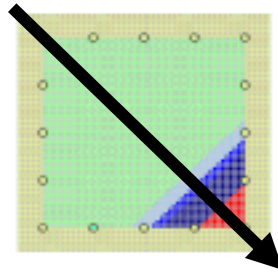


図 8.2 斜め方向載荷

図 8.1 では損傷が面に対して水平に出ているのに対し、図 8.2 は 45 度の角度から荷重をかけているため損傷が斜めにでているのがわかる。斜めに荷重をかけることによる曲げモーメントや、曲率にどのような影響を与えるかを考察する。

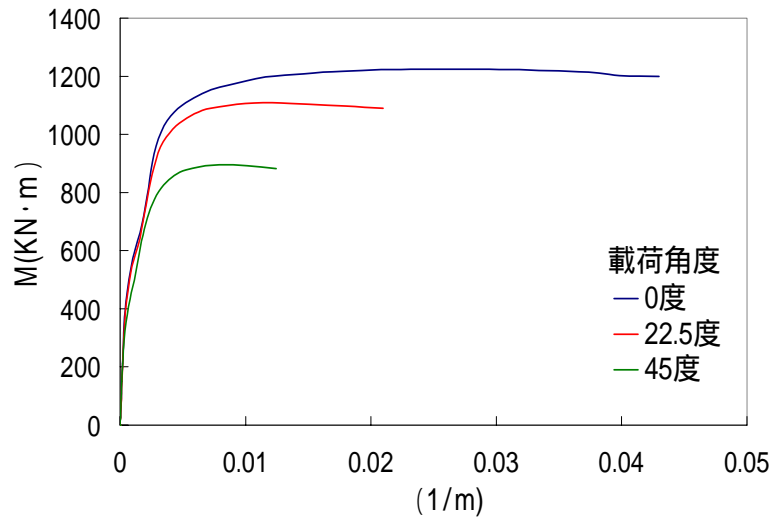
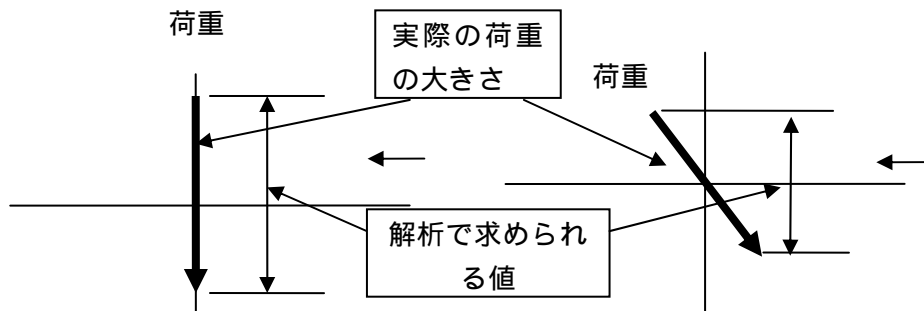


図 6.1.1 載荷角度による M- 曲線の違い

8.1 M- 関係

図 8.1.1 と図 8.1.2 は同じグラフであるが、図 8.1.1 の方では 22.5 度、45 度となると曲げモーメントの値が小さくなっている。これは解析を行った際、斜め載荷では荷重は斜めからかかるが、主軸方向でグラフを読み取っているため、正確な曲げモーメントと曲率の値が表れていなかった。図で表すと



この荷重を矢印の方向からみると力の大きさは同じでも、斜めに荷重をかけた場合のほうが小さく表れてしまう。

これを考慮したグラフが図 8.1.2 である。このグラフを見ると、角度を変化させても曲げモーメントにはさほど影

響を与えない(むしろ多少増加している)が u が大きく減少した。

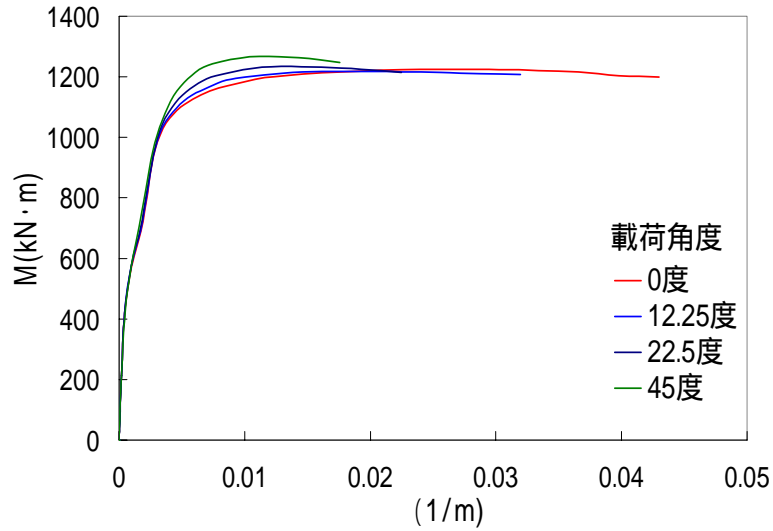


図 8.1.2 載荷角度による M- 曲線の違い

8.2 Mu- u 関係

図 8.2.1 からよくわかるが、載荷角度の変わることにより終局曲率 u も変化している。つまり、斜めに荷重をかけることにより、粘り強さが低下するということがこのグラフから理解することができる。Mu の値も変化しているが、その変化は u に比べるととても小さいものと言える。

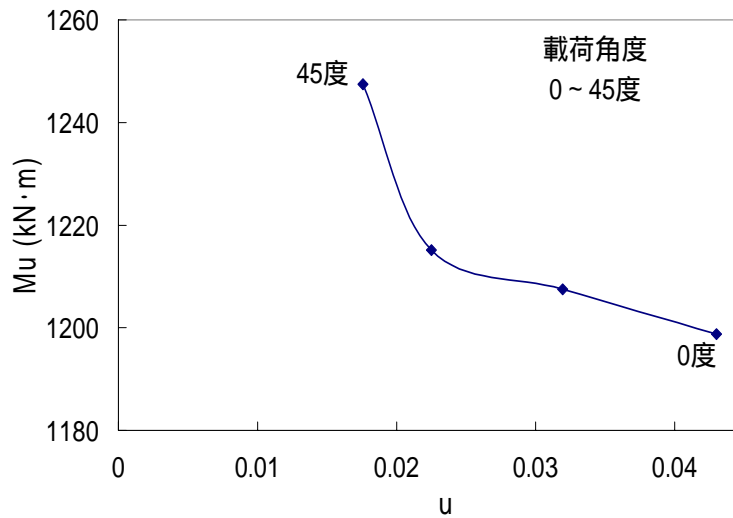


図 8.2.1 角度の違いによる Mu- u の関係

表より、軸圧縮応力 σ_c の増加は、

最大曲げモーメント M_u を増加させ、 μ を減少させる。

軸方向鉄筋比の増加は、 M_u を増加させ、 μ を減少させる。

横拘束鉄筋比の増加は、 M_u には影響を与えず、 μ を増加させる。

コンクリート強度の増加は、 M_u 、 μ を増加させる。

軸力の影響が大きいと、その他の 2 次パラメータへの影響が小さくなる。

載荷角度を変化させると曲げモーメントにはあまり変化はないが、曲率に影響を与える。

以上のことが今回の解析で確認することができた。

【参考文献】

- (1) 解析ソフトおよび資料: フォーラムエイト株式会社
- (2) 箱田 裕子: 斜め方向載荷を受ける RC 柱部材の挙動, 平成 16 年度武蔵工業大学卒業論文
- (3) 牧原 成樹: UC-win/F-RAME(3D)の有用性と損傷状態の照査, 平成 17 年度武蔵工業大学中間発表概要書