

RC 梁のせん断挙動に関する考察

- 修正圧縮場理論による数値シミュレーション -

武蔵工業大学構造材料研究室
相原 啓仁 依田 宏之 吉川 弘道

1.はじめに

コンクリート構造物の設計を行う際、その構造物はどの程度の荷重に耐えられるのかをまず考え耐力算定する必要がある。特に鉄筋コンクリート(RC)を扱う場合には、靱性・破壊形態に対しても十分な考慮が必要となる。RC 梁部材では、急激な耐力低下を生じさせるせん断破壊ではなく、徐々に荷重が低下する曲げ破壊を想定して設計を行い、曲げ破壊を先行させる荷重が作用した際もせん断耐力に十分な余裕を持たせるように設計されている。また、曲げ破壊を生じる場合においても、圧縮側コンクリートの圧壊を先行させ、引張鉄筋が破断するのを回避している。このような観点からも、いかに破壊形態が重要であるかがわかる。ここでは、RC 梁部材の破壊形態と、破壊に至るひび割れについて示した。

2.RC 梁部材のせん断耐力に関する既往理論

2-1 力学的性状による破壊形態の分類

RC 部材の破壊形態は、曲げ破壊(flexural failure)とせん断破壊(shear failure)の2つの大別される。曲げ破壊は、主鉄筋が降伏し、コンクリートの圧壊に至る破壊である。せん断破壊は、せん断補強筋降伏後に急激に耐力を低下させ、靱性に欠けるためコンクリートの脆性的破壊に至る危険な破壊形態である。そのため、せん断破壊は回避しなければならない。(図-2.1 参照)

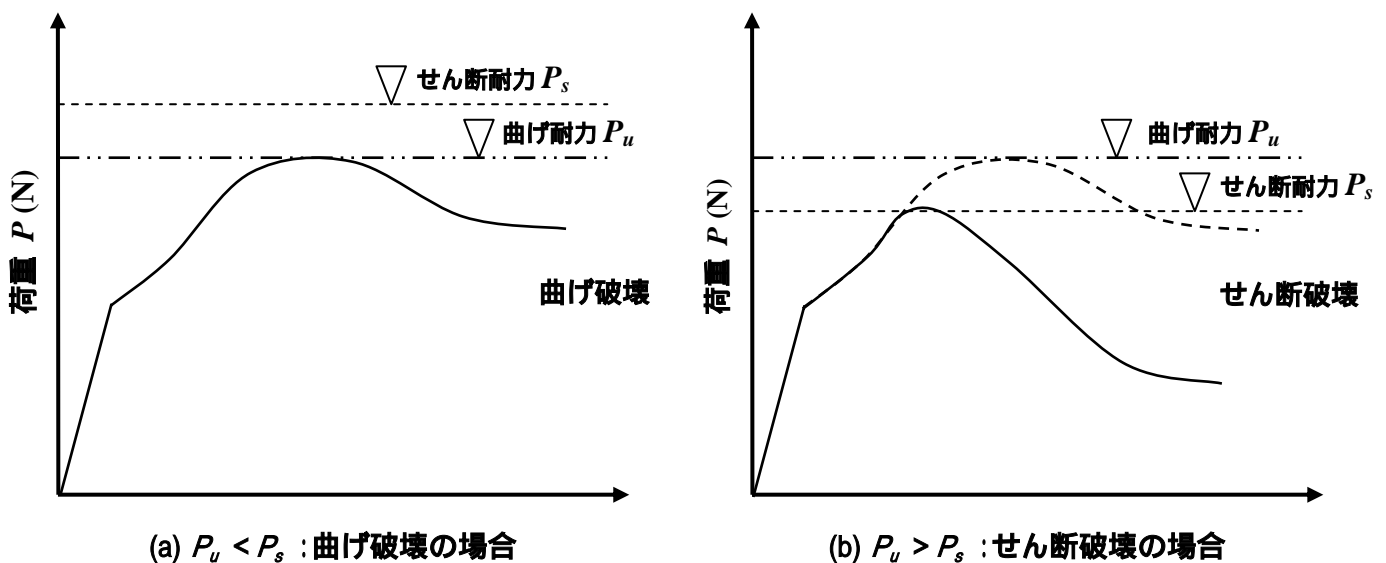
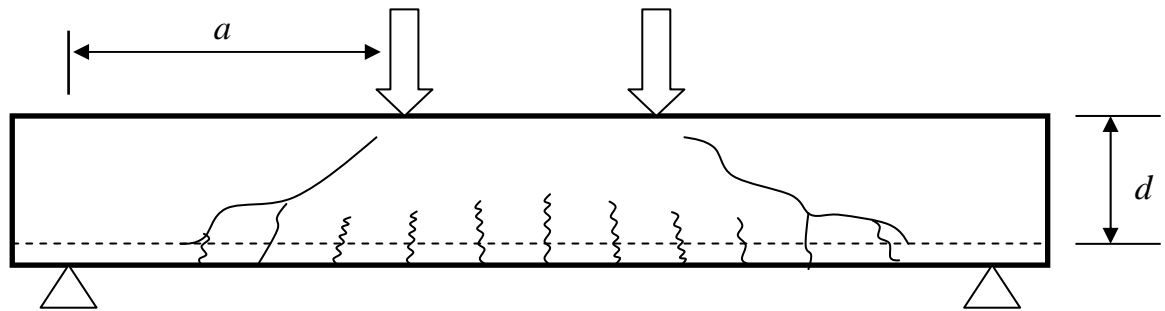


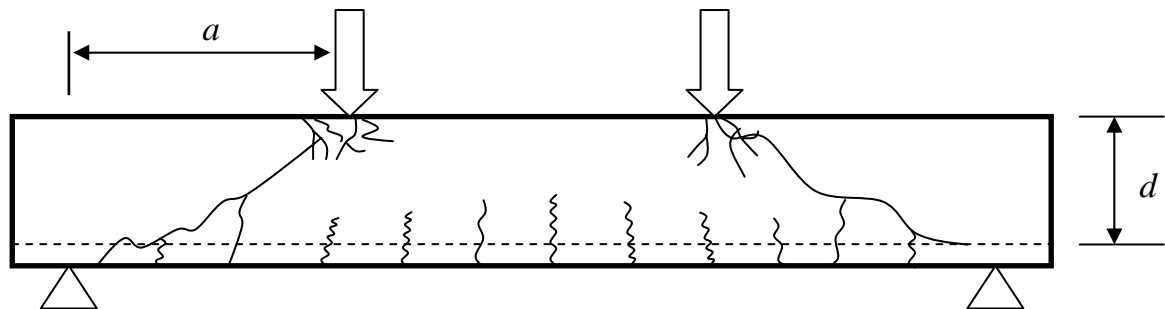
図-2.2 鉄筋コンクリート部材における各破壊形態の力学的性状

2-2 鉄筋コンクリート梁のせん断破壊の破壊形式(文献 3)より引用)

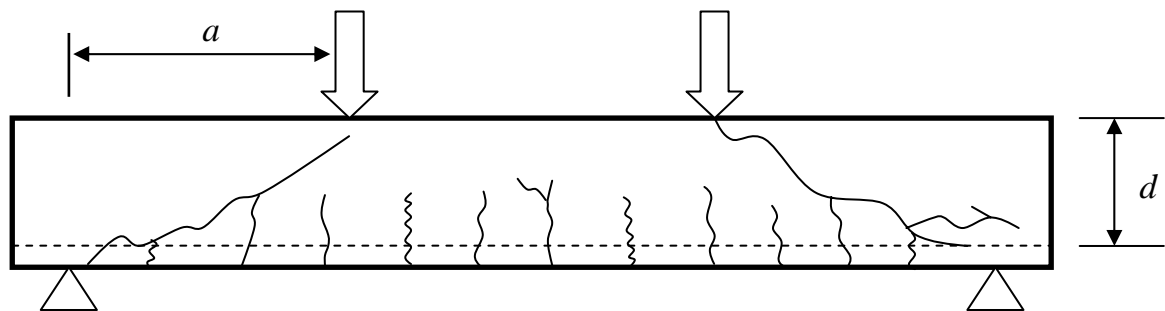
RC梁部材は、主に曲げモーメントとせん断力を受け、せん断スパン比がおよそ6以下の梁では、**図-2.2**に示すような破壊形態が見られる。一般的にこのような破壊を総称して、せん断破壊と呼ぶ。また、このようなせん断破壊形式の相違は、せん断スパン長と有効高さの比(a/d)によりせん断ひび割れ発生後のせん断抵抗メカニズムが異なる。



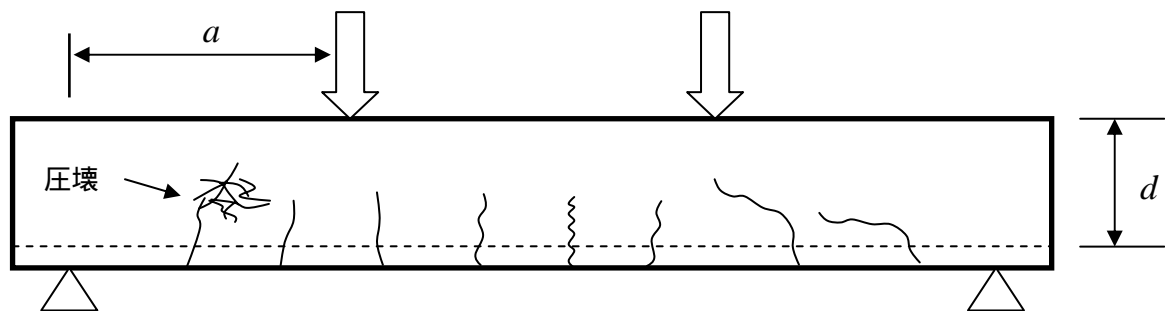
(a) 斜め引張破壊 ($2.5 < a/d < 6.0$)



(b) せん断圧縮破壊 ($1.0 < a/d < 2.5$)



(c) せん断引張破壊 ($1.0 < a/d < 2.5$)



(d) ウェブ圧縮破壊

図-2.2 せん断破壊形式

(a)斜め引張破壊(diagonal tension failure)

ウェブせん断ひび割れの発達による破壊で、せん断補強筋が配置されていない場合には、ウェブせん断ひび割れの発生とほぼ同時に急激に脆性的な破壊性状を示す。

(b)せん断圧壊破壊(shear compression failure)

曲げせん断ひび割れの発達によってコンクリートの圧縮域が次第に減少し、最終的には曲げ圧縮域コンクリートの圧壊によって破壊が生じるものである。これは の破壊ほどに急激ではない。

(c)せん断引張破壊(shear tension failure)

ウェブ幅が薄い場合や鋼材が集中配置されている場合、斜めひび割れ発生後に鋼材の付着破壊によるコンクリートの割裂、あるいはひび割れ開口部でのダウエル作用によるコンクリートの割裂によって破壊する。

(d)ウェブ圧壊破壊(web crushing failure)

斜めひび割れ間のコンクリートが斜め圧縮応力により圧縮破壊するものである。特にプレストレストコンクリートのI型やT型断面でウェブが非常に薄く、しかもプレストレスが過大な場合にはせん断補強筋を配置しても、このような破壊を生じやすい。

一例として、2点集中荷重を受ける長方形断面の鉄筋コンクリート単純梁(せん断補強筋無配置)の破壊形式・耐力と a/d との関係はおおむね図-2.3 のようである。 の曲線はモーメントを変化させた場合であり、 はせん断スパン a を変化させた場合である。図示のように、 a/d 6.0程度でない限り曲げ破壊が生じない。

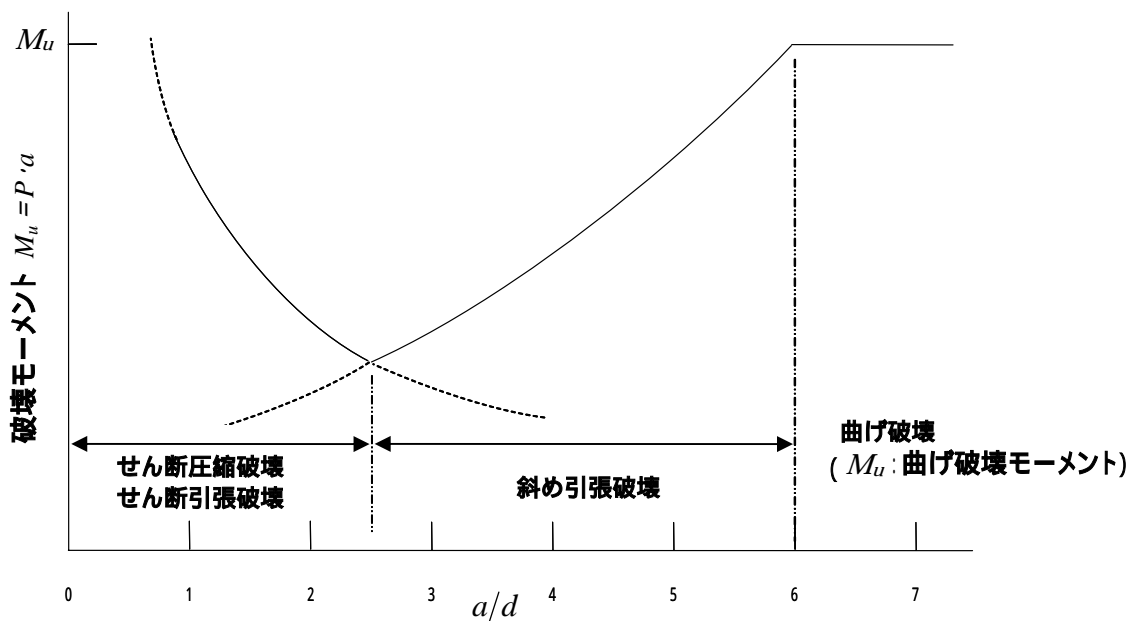


図-2.3 せん断破壊形式・耐力 a/d との関係

3.修正圧縮場理論

3-1 対象梁部材の応力分布とモール円

(1)モールの応力円

2点集中荷重を受けるRC単純梁は、荷重の載荷により梁内部では図-3.1(b)のような応力伝達が生じ、梁内部にある一点を通る面要素には軸方向応力 σ_x ・軸直交方向応力 σ_y ・せん断応力 τ_{xy} が生じる(図-3.2 参照)。それらの応力は面要素の傾きによってその大きさが変化し、ある特定の角度でせん断応力がゼロとなる。その際に最大主応力と最小主応力となる断面が存在する。この2つの主応力の差を直径とする円がモールの応力円である(図-3.3 参照)。

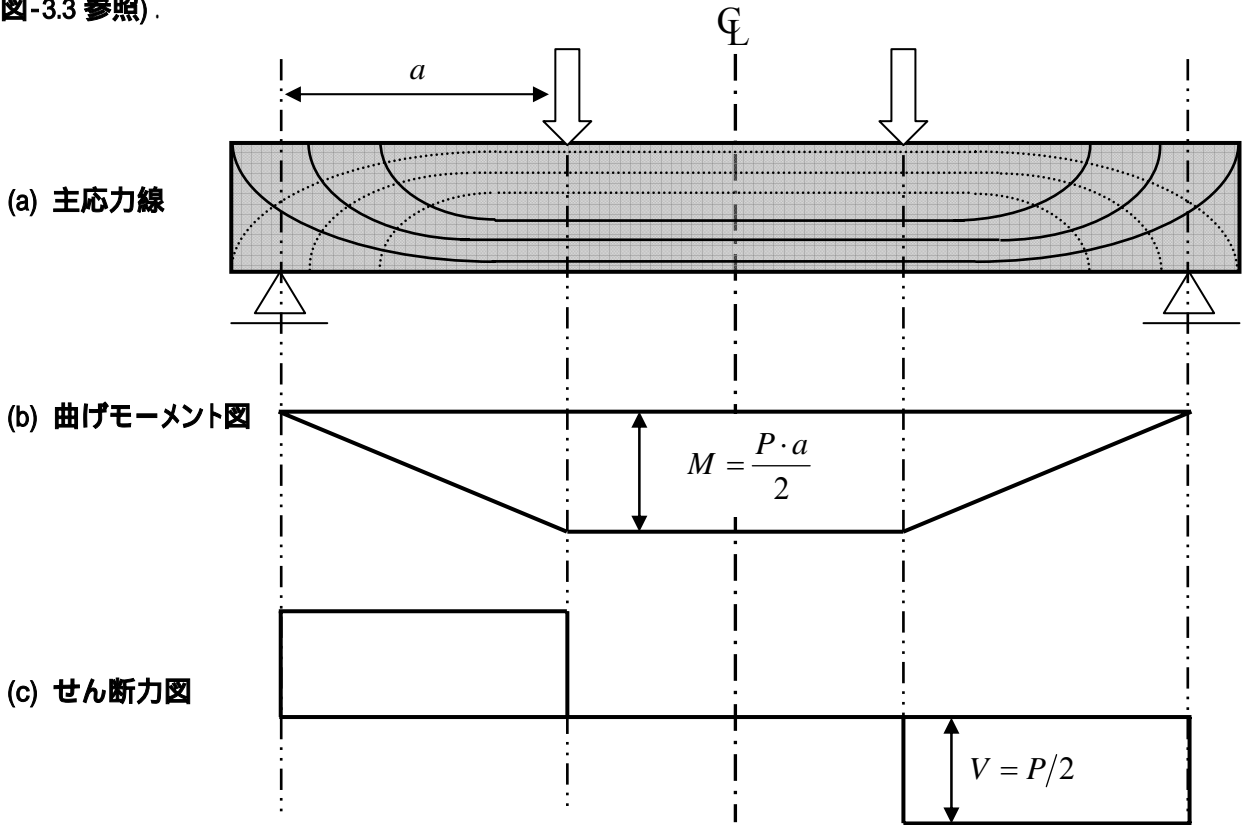


図-3.1 集中荷重を受けるRC単純梁の主応力線図

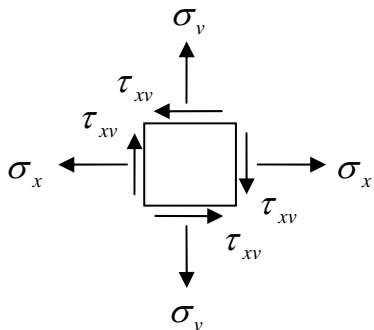


図-3.2 単位面要素の成分応力

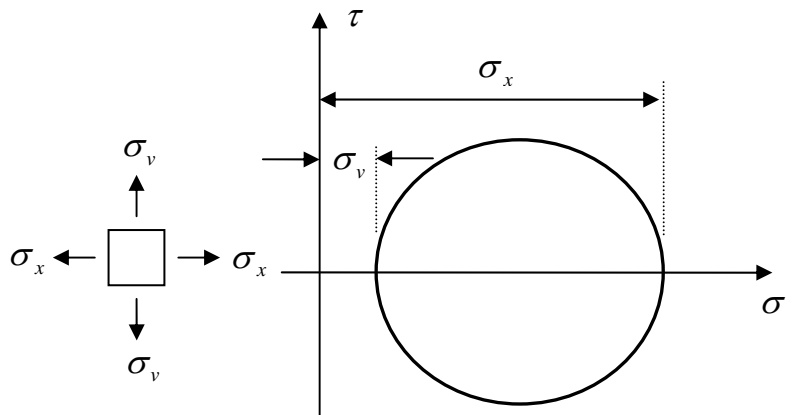


図-3.3 モールの応力円

(2) モールのひずみ円

構造物や構造模型の試験による作業では、構造物の二次元応力は通常ひずみの測定値から算出される。しかし、特定方向のひずみは、 $\sigma = E \cdot \varepsilon$ の式より材料の弾性係数と応力状態が既知であれば理論的に計算することができる。この場合の応力状態は、(1)垂直成分のみの場合か、(2)垂直成分とせん断成分が生じている場合であることを意味している。(図-3.4 参照)これによって理論的に算出されるひずみを表す円のことをモールのひずみ円と言う。(図-3.5 参照)

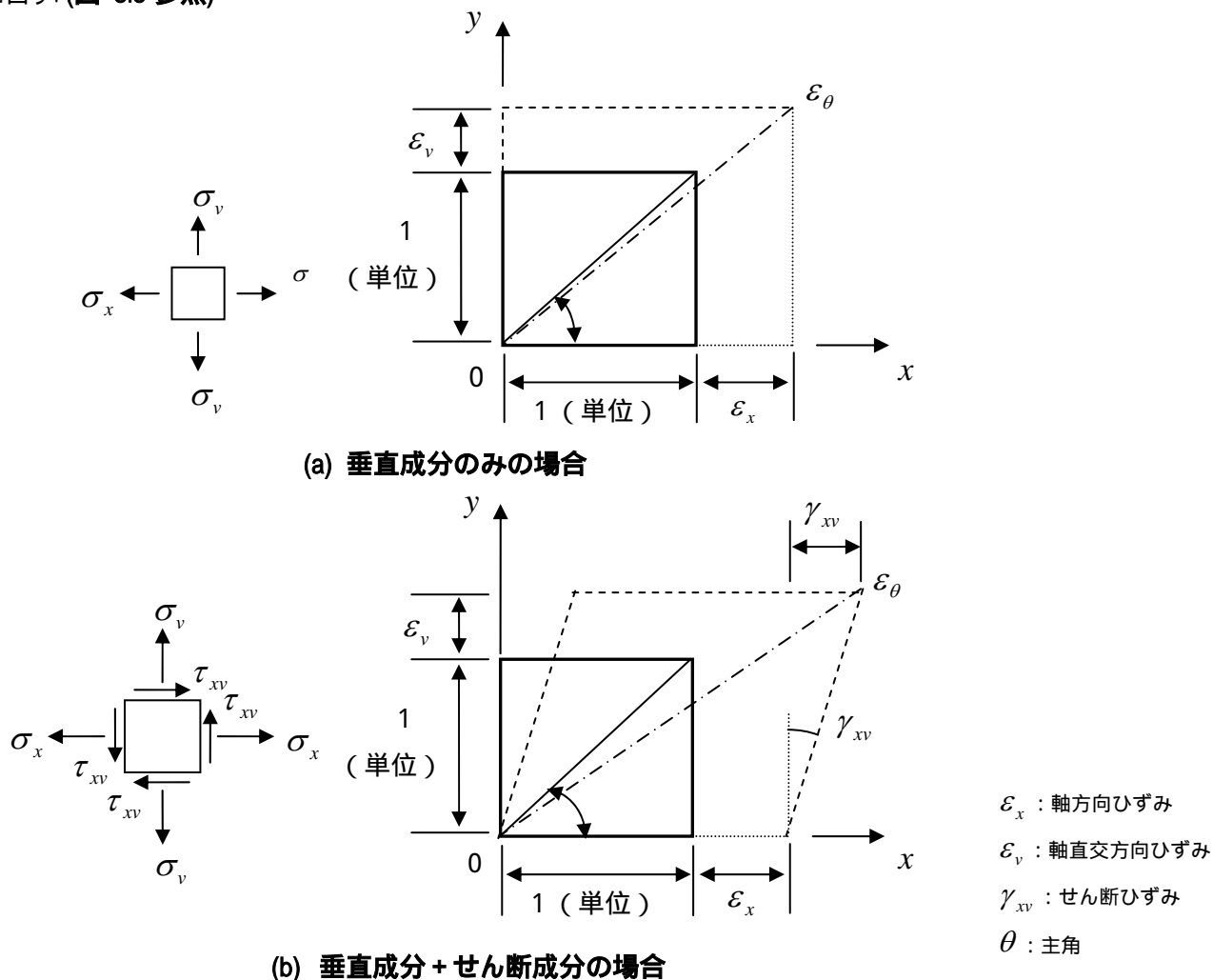


図-3.4 成分応力状態

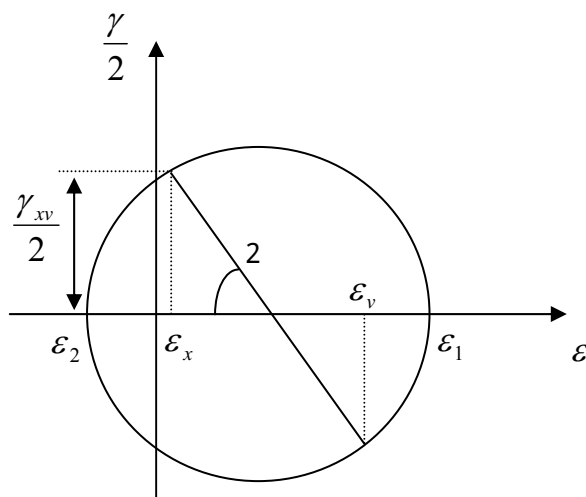


図-3.5 モールのひずみ円

(3)弾性域における梁部材の応力分布とひび割れ

本項では梁部材に展開する応力分布の様子と、梁部材に見られるひび割れパターンを図-3.6 に示した。

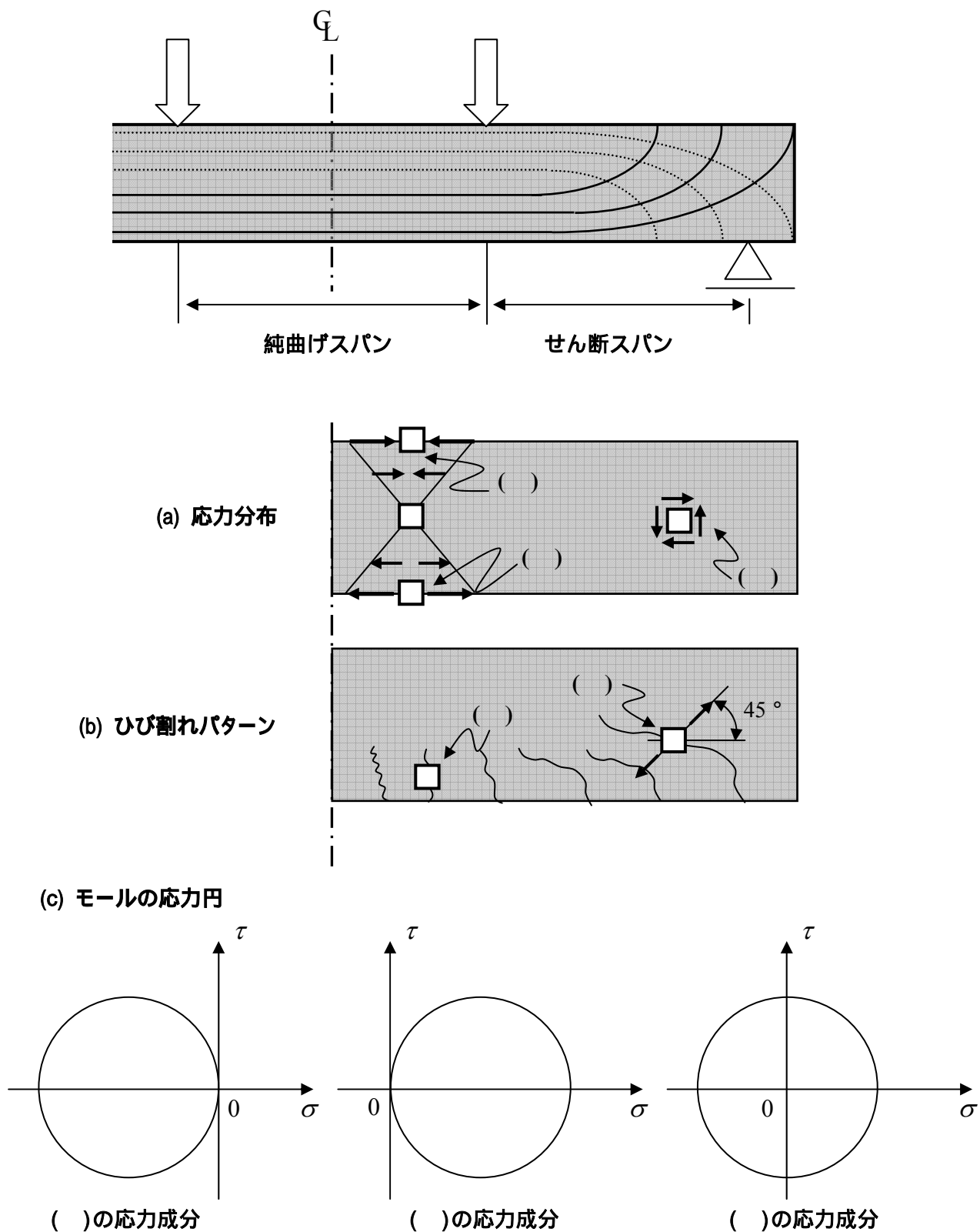


図-3.6 梁部材の応力分布とひび割れパターン

梁部材に作用する応力は、載荷点間の純曲げ区間では、圧縮応力もしくは引張応力の直応力のみである。しかし、せん断スパンではこれらの直応力に加え、せん断応力が作用する。そのせん断スパン内における直応力とせん断応力の分布を図-3.7に示す。例えば、せん断応力は部材中央(中立軸位置 $\theta = 45^\circ$)で最大となる。

コンクリートは圧縮強度に比べて引張強度が著しく小さいため、RC部材の場合、引張ひび割れが最初にかかる。一般にひび割れは、主引張応力 σ_1 (もしくは主引張ひずみ ε_1) によって発生すると考えられている。その直交方向にひび割れは進展する。すなわち、曲げ区間では下縁側の σ_1 によってひび割れが最下縁から垂直に方向に発達する。(図中()) これに対し、曲げとせん断の混在するせん断スパン内では斜めにひび割れを展開させる結果となり、特に中立軸上では純せん断応力状態(pure shear)となり、そこでのひび割れ方向は 45° になる。(図中())

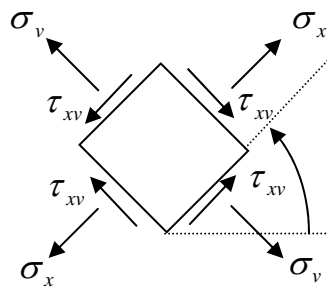
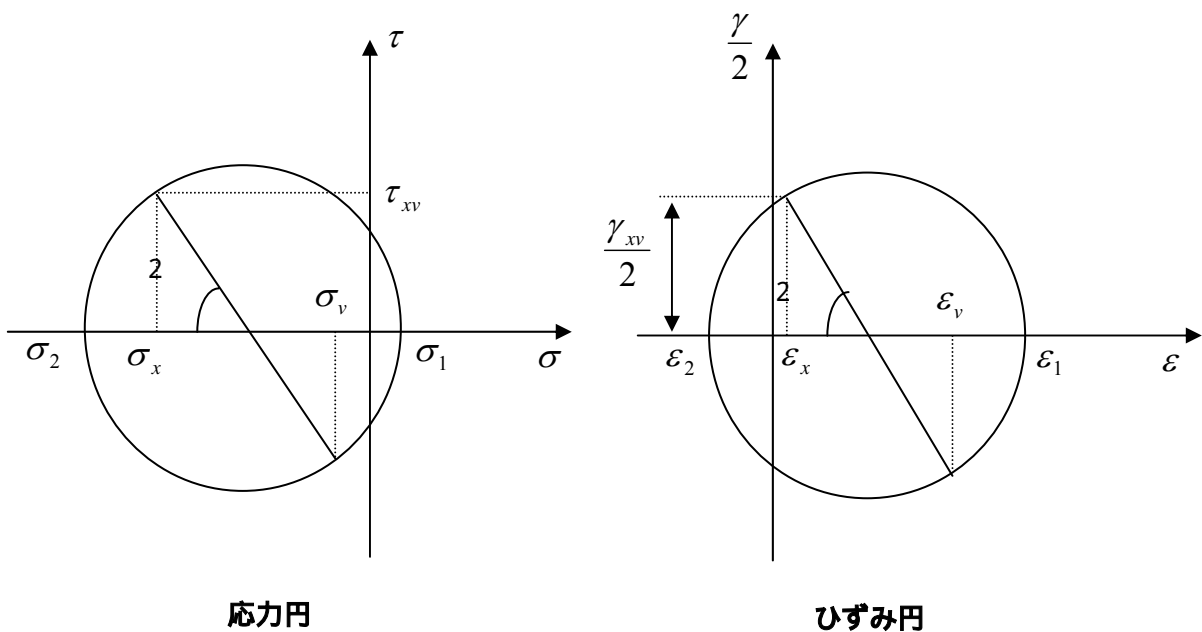


図-3.7 梁の中立軸部に作用する主応力

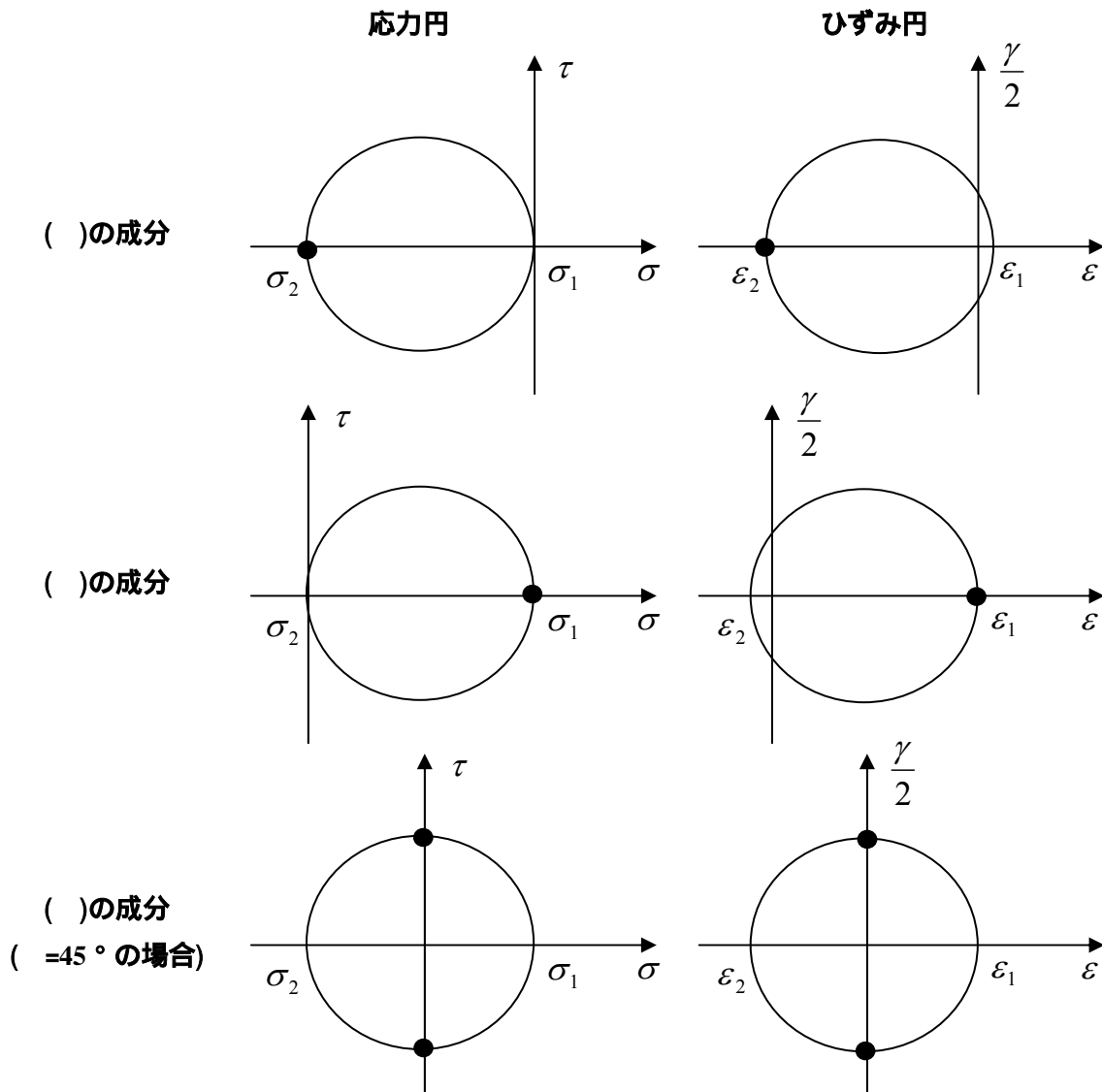
次に、図-3.6の図中に示した応力成分とその際のひずみ成分をモールの円で示す。(図-3.8参照) モール円上の符号は、引張応力 σ_1 ・引張ひずみ ε_1 の場合は正、圧縮応力 σ_2 ・圧縮ひずみ ε_2 の場合は負となる。また、主角度 θ はモール円上では定義より 2θ と表される。



応力円

ひずみ円

(a) モールの応力・ひずみ円



(b) 図-3.6 に示す応力成分・ひずみ成分

図-3.8 モール円と梁部材に作用する応力・ひずみの関係

梁の上縁である()の成分には、軸直交方向の応力は作用せず、軸方向のみの主応力が作用する。この時の主応力は主圧縮応力 σ_2 である。その σ_2 により主圧縮ひずみ ε_2 が作用し、また、この成分には主引張応力 σ_1 ・せん断応力 τ_{xy} が作用せずゼロとなるため、ここで σ_2 の ε_2 とはモール円上では最小となる。

梁の中立軸部である()の成分には、**図-3.7**に示すような面要素の傾きによって主応力または τ_{xy} の大きさが変化する。上記に記した $\theta = 45^\circ$ の場合、モール円上では $2\theta = 90^\circ$ となる。また、その際のモール円上では最大せん断応力 τ_{\max} となり、その際せん断ひずみ γ_{xy} も最大せん断ひずみ γ_{\max} となる。

梁の下縁である()の成分では、 τ_{xy} が作用せず、また()とは反対に σ_2 が作用しない。そのため、 σ_1 のみが作用する。この時の σ_1 は、応力円上で最大となる。その際、主引張ひずみ ε_1 もひずみ円上で最大となる。

3-2 修正圧縮場理論の基本的な考え方

Collins らによって提案された修正圧縮場理論(以下 MCFT)は、鉄筋コンクリートに発生した斜めひび割れを離散的に捉えるのではなく、斜めひび割れを持つ一様な RC 要素としてとらえ、要素内に働くひずみ・応力を平均的に取り扱うことで、せん断問題を合理的に取り扱う解析手法である。

せん断力が作用する RC 要素に、修正圧縮場理論を適用すると図-3.9 のようにモデル化され、一様な斜めひび割れを持つ RC 要素として取り扱うことができる。

このモデル化により、ひび割れ間のコンクリート部分には、部材軸に対し、角度 θ で主圧縮応力、その鉛直方向に主引張応力が作用すると考えられる。

要素内のひずみは、Mohr のひずみ円からひずみの適合条件式が求まり、鉄筋・コンクリートの材料構成則を用いることによって、各応力の主鉄筋方向の力(軸力)が算出される。発生した内力を軸方向に置き換えることにより、釣合い条件を満たす RC 要素状態を収束計算から求める手法である。つまり必要となる条件式は、以下の 3 つとなる。

せん断補強筋および主鉄筋方向の力の釣り合い条件

変形の適合条件

コンクリートおよび鉄筋の材料構成則

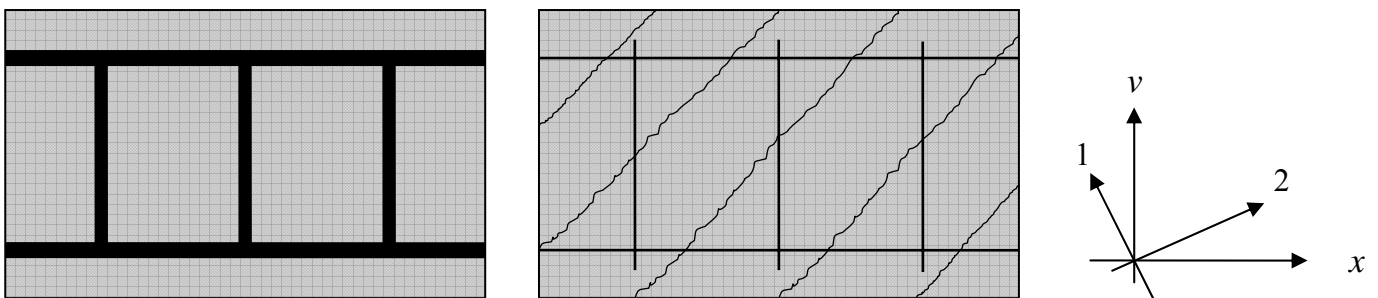


図-3.9 鉄筋コンクリートのモデル化

3 つの関係を解くことにより、従来のトラス理論では、中立軸における主引張応力の角度が 45° であることを根拠に、圧縮ストラット角度を 45° であると仮定しなければならなかった。しかし、MCFT では変形の適合条件を導入することで、圧縮ストラット角度を仮定する必要がなくなり、ひび割れ発生以前からせん断補強筋降伏に至るまでのせん断耐荷機構を合理的に算出できるようになった。

3-3 修正圧縮場理論の定式化

(1) ひずみの適合条件

修正圧縮場理論では図-3.10(a)に示すように、せん断力と軸力を受け、一様なせん断ひび割れを持つ鉄筋コンクリート要素を考えている。さらに RC 要素のひび割れを平均的に取り扱い、その要素は一様に変化すると仮定すれば、各ひずみは主鉄筋方向ひずみ ε_x 、主鉄筋鉛直方向ひずみ ε_y 、およびせん断ひずみ γ_{xy} 、または主引張ひずみ ε_1 、主圧縮ひずみ ε_2 とその角度 θ を考慮することにより、それぞれの適合条件式が求められる。これは、図-3.10(b)に示す Mohr のひずみ円を用いることで、式(3.1)～式(3.4)のように表すことができる。

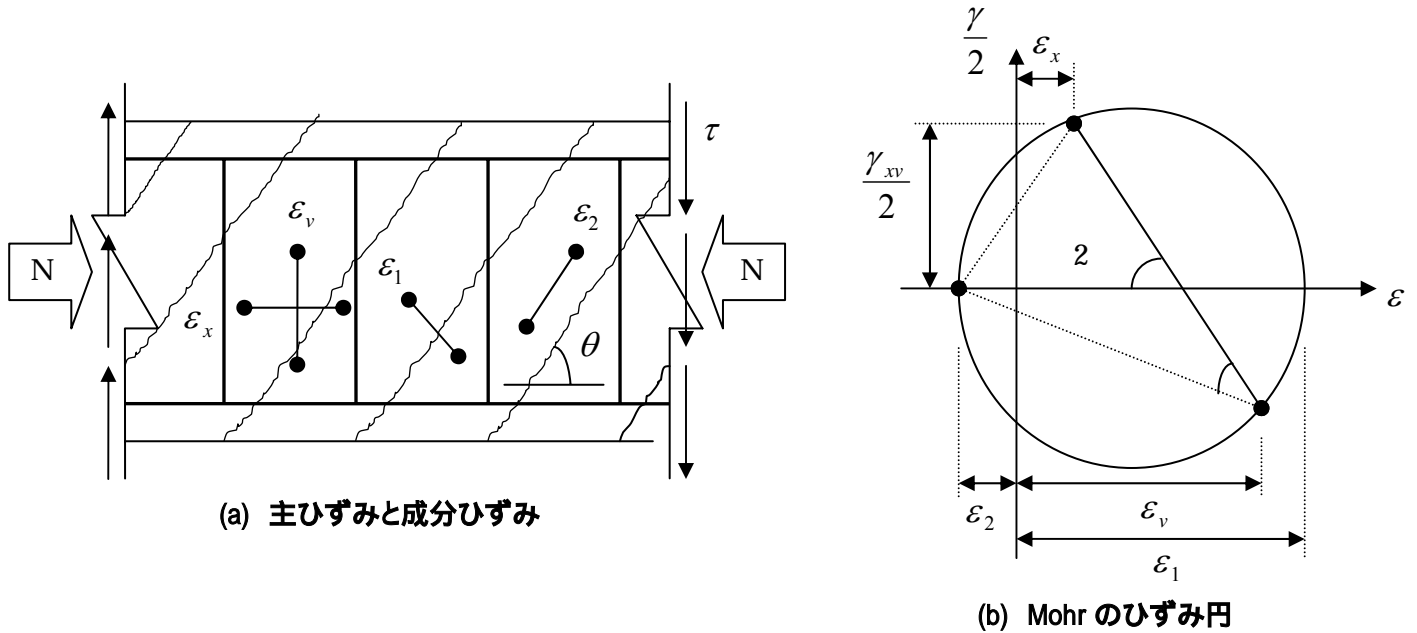


図-3.10 鉄筋コンクリート要素の各ひずみ

主引張ひずみ $\varepsilon_1 = \varepsilon_x + \varepsilon_y - \varepsilon_2$ (3.1)

主鉄筋方向ひずみ $\varepsilon_y = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 \tan^2 \theta}{1 + \tan^2 \theta}$ (3.2)

せん断補強筋方向ひずみ $\varepsilon_x = \frac{\varepsilon_1 \tan^2 \theta + \varepsilon_2}{1 + \tan^2 \theta}$ (3.3)

せん断ひずみ $\gamma_{xy} = \frac{2(\varepsilon_x - \varepsilon_y)}{\tan \theta}$ (3.4)

(2)応力の釣り合い関係

ひび割れの発生したコンクリート要素内で発生した応力は、ひずみと同様に相互関係にあり、主応力とせん断力との関係は、Mohr の応力円(図-3.11)によって次のように表すことができる。

$$\text{主圧縮応力} \quad \sigma_2 = \tau(\tan \theta + \cot \theta) - \sigma_1 \quad (3.5)$$

$$\text{主鉄筋の応力} \quad \sigma_x = \sigma_1 - \tau \cot \theta \quad (3.6)$$

$$\text{せん断補強筋応力} \quad \sigma_v = \sigma_1 - \tau \tan \theta \quad (3.7)$$

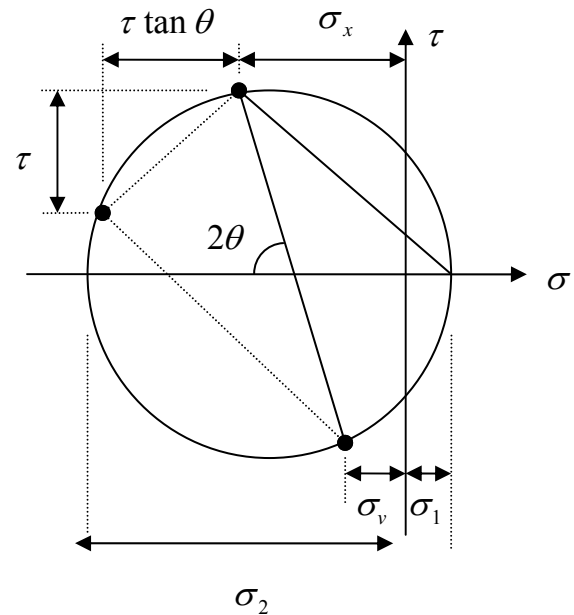


図-3.11 Mohr の応力円

(3)力の釣り合い条件

力の釣り合い条件は、内力と外力が釣り合うという条件であり、外力が作用して生じたひずみと応力との関係から導き出される。

せん断力

$$\text{荷重表示} \quad V = \sigma_1 b j d \cot \theta + \left(\frac{\sigma_v A_v}{s} \right) j d \cdot \cot \theta \quad (3.8)$$

$$\text{応力表示} \quad \tau = \frac{V}{b d} = (\sigma_1 + p_v \sigma_v) j \cdot \cot \theta \quad (3.9)$$

修正圧縮場理論によるせん断耐力算定式は、コンクリートによるせん断耐力負担分とせん断補強筋のせん断耐力負担分の和からなる累計式で表される。

式(3.9)の第1項は、コンクリートによるせん断耐力を表しており、主引張応力 σ_1 と圧縮ストラット角度 θ によって決まる。第2項はせん断補強筋によるせん断耐力負担分を表しており、せん断補強筋の強度及び圧縮ストラット角度 θ によって決まる。両項にも圧縮ストラット角度が入っているため、作用せん断力によって変化する圧縮ストラット角度に適用できる形となっている。

軸力

$$\text{荷重表示} \quad N = A_{sx} \sigma_{sx} - V \cot \theta + \sigma_1 b j d - \sigma_c (A_c - b j d) \quad (3.10)$$

$$\text{応力表示} \quad \frac{N}{b d} = p_{sx} \sigma_{sx} - \tau \cot \theta + j d - \sigma_c \left(\frac{H}{d} - j \right) \quad (3.11)$$

3-4 修正圧縮場理論を用いたせん断挙動解析とモーメント

せん断挙動のみに着目するため、修正圧縮場理論(MCFT)プログラムを用いて、せん断応力 - せん断ひずみ の関係についてせん断耐荷挙動の判定を行った。

(1)せん断応力 - せん断ひずみ の関係

梁部材内部の面要素には、荷重によって作用する下方向の力と支柱の反力により作用する上方向の力の2つの反対方向の力が作用する。その時の面要素にはせん断応力 が生じている。(図-3.12)また、その により面要素にひずみが生じる。その時のひずみをせん断ひずみ と呼ぶ。(図-3.13)

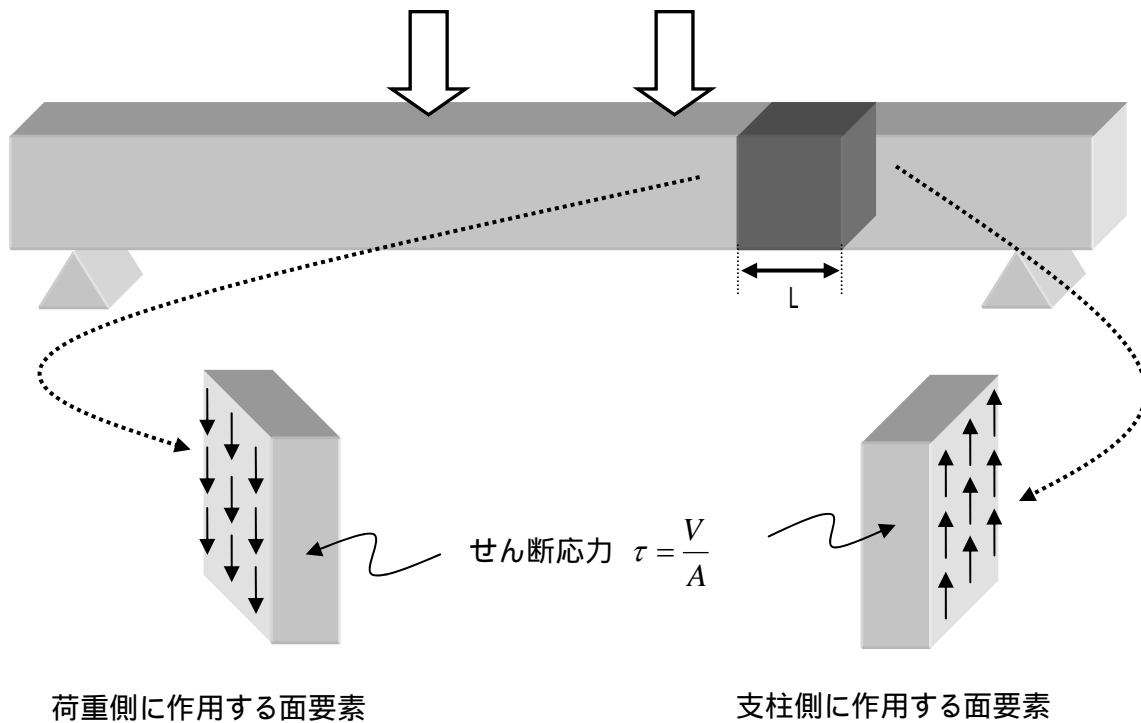


図-3.12 断面に作用するせん断応力

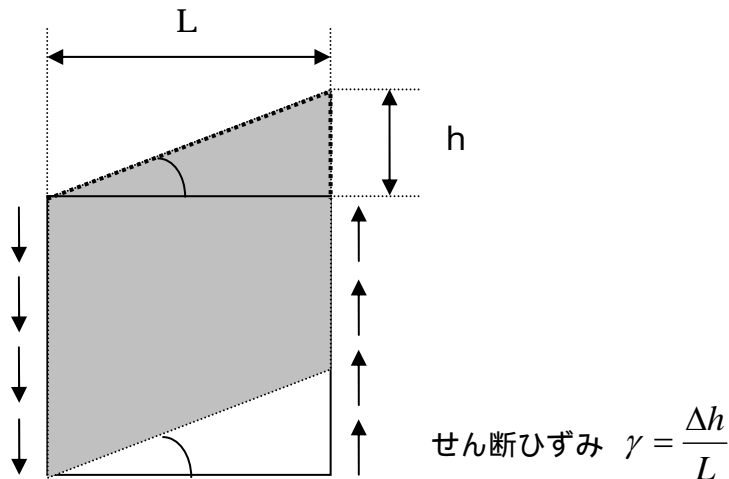


図-3.13 せん断ひずみの定義

(2)材料解析に関する非線形挙動

せん断挙動のみに着目して解析を行うため、修正圧縮場理論プログラムによる結果を示す。(図-3.14 参照)

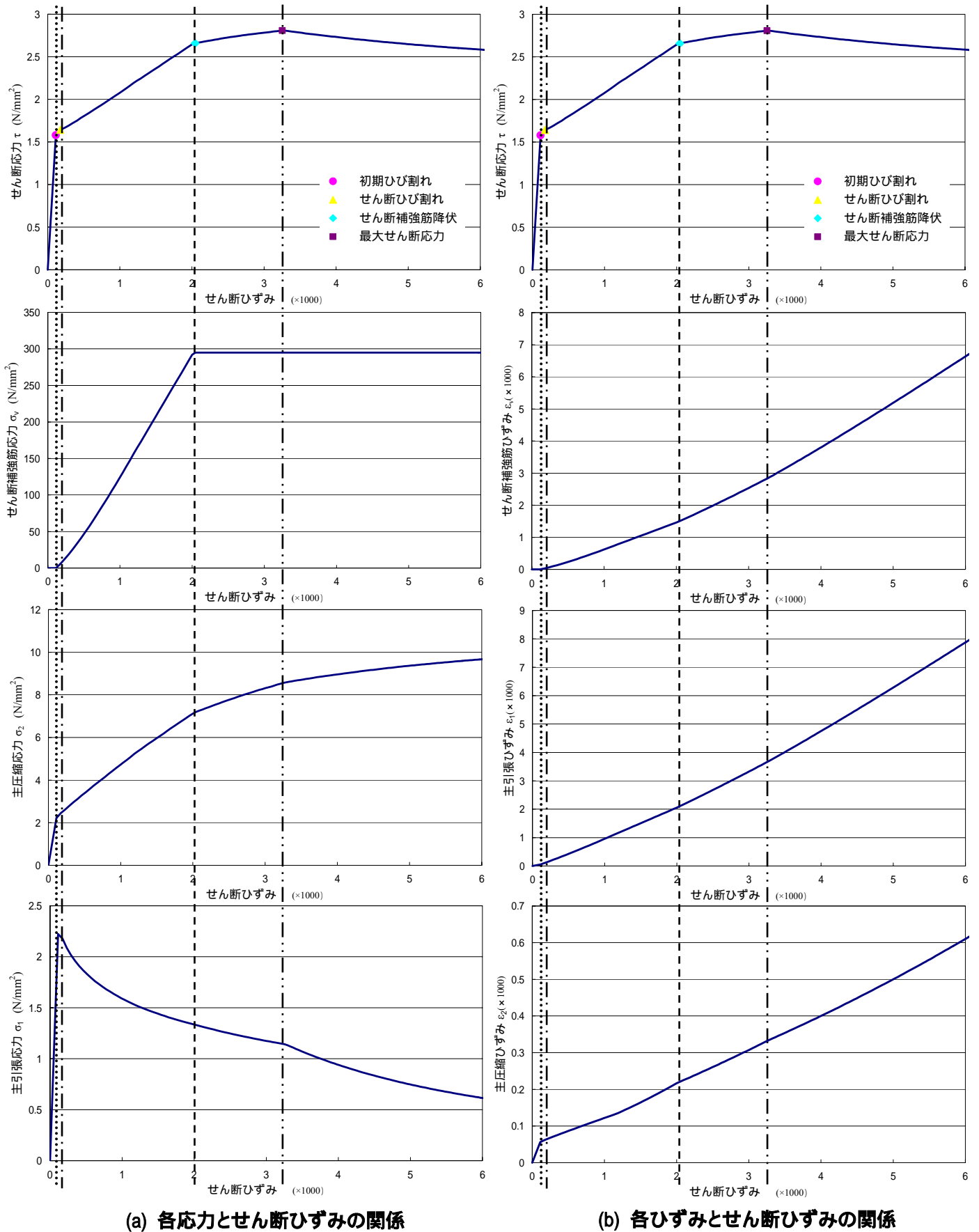


図-3.14 各材料とせん断ひずみの関係

(a)は、各材料の応力挙動を示した。横軸をせん断ひずみで統一し、せん断応力 - せん断ひずみ (断面解析)から算出した。これを用いて、初期ひび割れ発生・せん断ひび割れ発生・せん断補強筋降伏・最大せん断応力の各特異点を特定できた。まず、ひび割れ発生は弾性域まで上昇をしていた主引張応力 σ_1 が低下を始めたことが起因となり発生したことがわかる。その際、主圧縮応力 σ_2 は上昇しており、初期ひび割れ発生時には、これらは近似した値をとっている。せん断ひび割れ発生後、 σ_1 は徐々に低下をし、 σ_2 はさらに上昇を続ける。せん断補強筋が降伏となった起因として、それまで上昇していたせん断補強筋応力 σ_v が降伏棚となった点であると判断できる。その後も、 σ_1 がさらに低下して、傾きが変化した点が最大せん断応力となる。そのことから、最大せん断応力は主引張応力が起因していることがわかる。

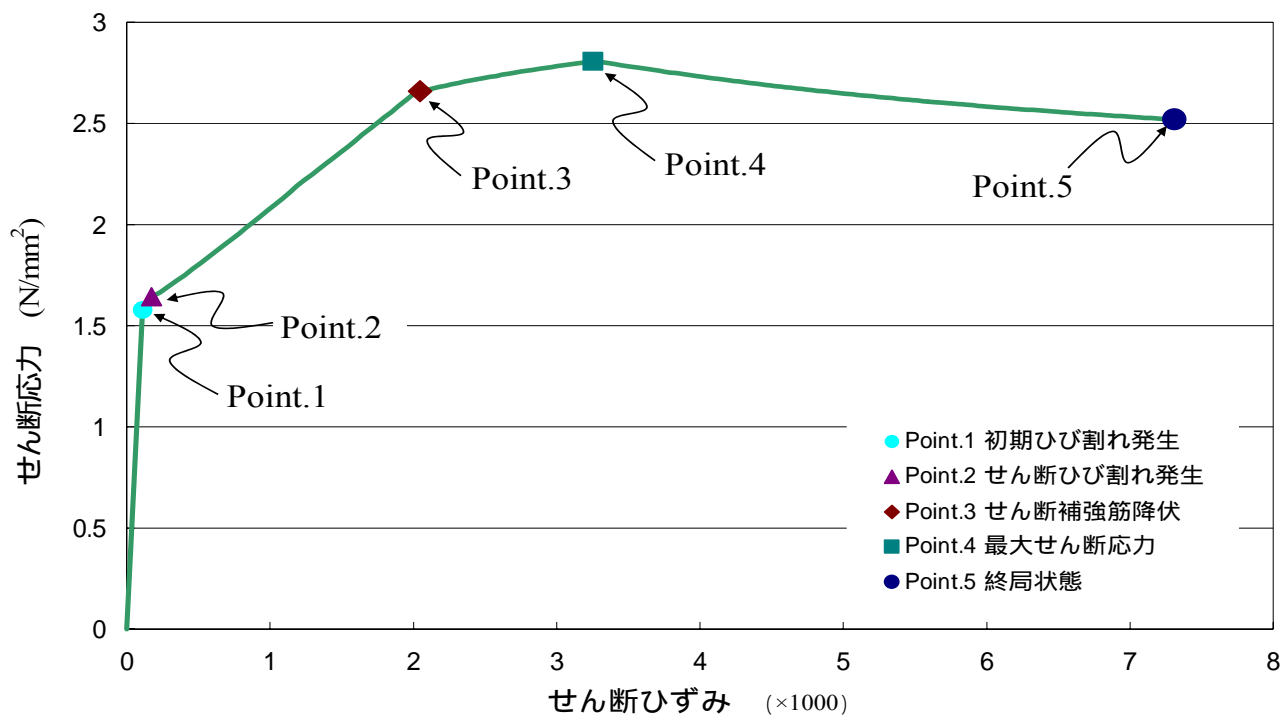
(b)は、(a)の応力パラメータをひずみで示したものである。各ひずみは同等の挙動を示す。しかし、主圧縮ひずみは、縦軸の目盛を見てもわかるように微小な変化である。

(3)応力・ひずみのモール円の変化

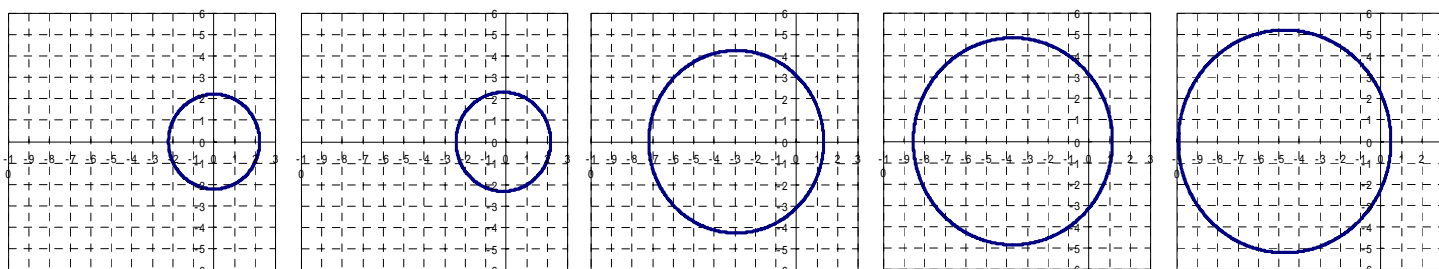
ここでは、初期ひび割れ発生・せん断ひび割れ発生・せん断補強筋降伏・最大せん断応力・終局時のせん断挙動によるモール円の変化について確認する。(図-3.15 参照) (a)は先程の項で述べた、材料解析に用いたと同様の図である。また、モール円については、(c)ひずみ円の変化を見やすくするためせん断ひずみの増大に伴い、倍率を減少している。図-3.16では倍率を同一にして、応力・ひずみ円を記載したものである。

初期ひび割れ発生時は主引張応力 σ_1 が応力円上で最大値をとる。(図-3.14 参照)そのため、応力円は引張側となる。初期ひび割れ発生後のせん断ひび割れ発生時には、 σ_1 や主圧縮応力 σ_2 に大きな変化は見られなかった。せん断ひび割れ発生後は、 σ_1 は低下、 σ_2 は上昇を続けるため、応力円の直径が大きくなり、せん断補強筋降伏を迎える点では、応力円の中心が圧縮側に移動している。その後も、 σ_2 が上昇(σ_1 は低下)を続けるため、応力円の直径は大きくなり、最大せん断応力・終局時にはさらに中心が移動していた。

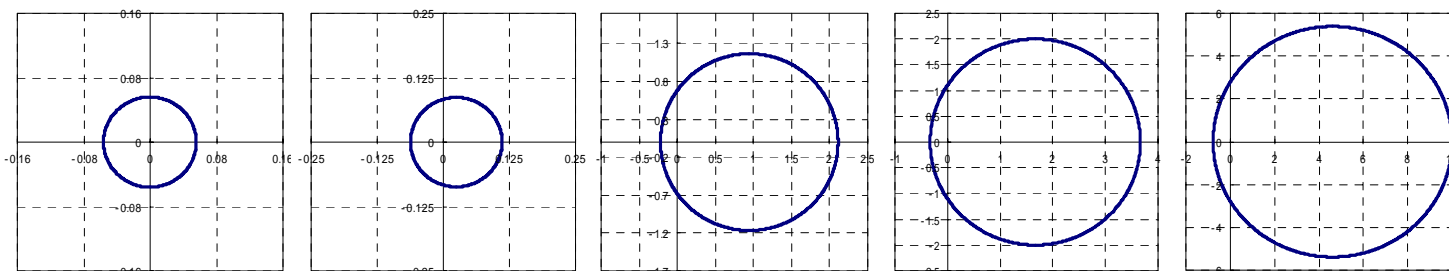
ひずみ円は、主引張ひずみ ε_1 が徐々に上昇していることから、ひずみ円の直径が広がり、中心が引張側に移動している。その際、微小な変化だが、主圧縮ひずみ ε_2 の上昇より、ひずみ円が圧縮側に広がっていることがわかる。



(a) - 関係



(b) Mohr の応力円



(c) Mohr のひずみ円

図-3.15 Mohr 円の変化(ひずみ円のみ倍率を変化)

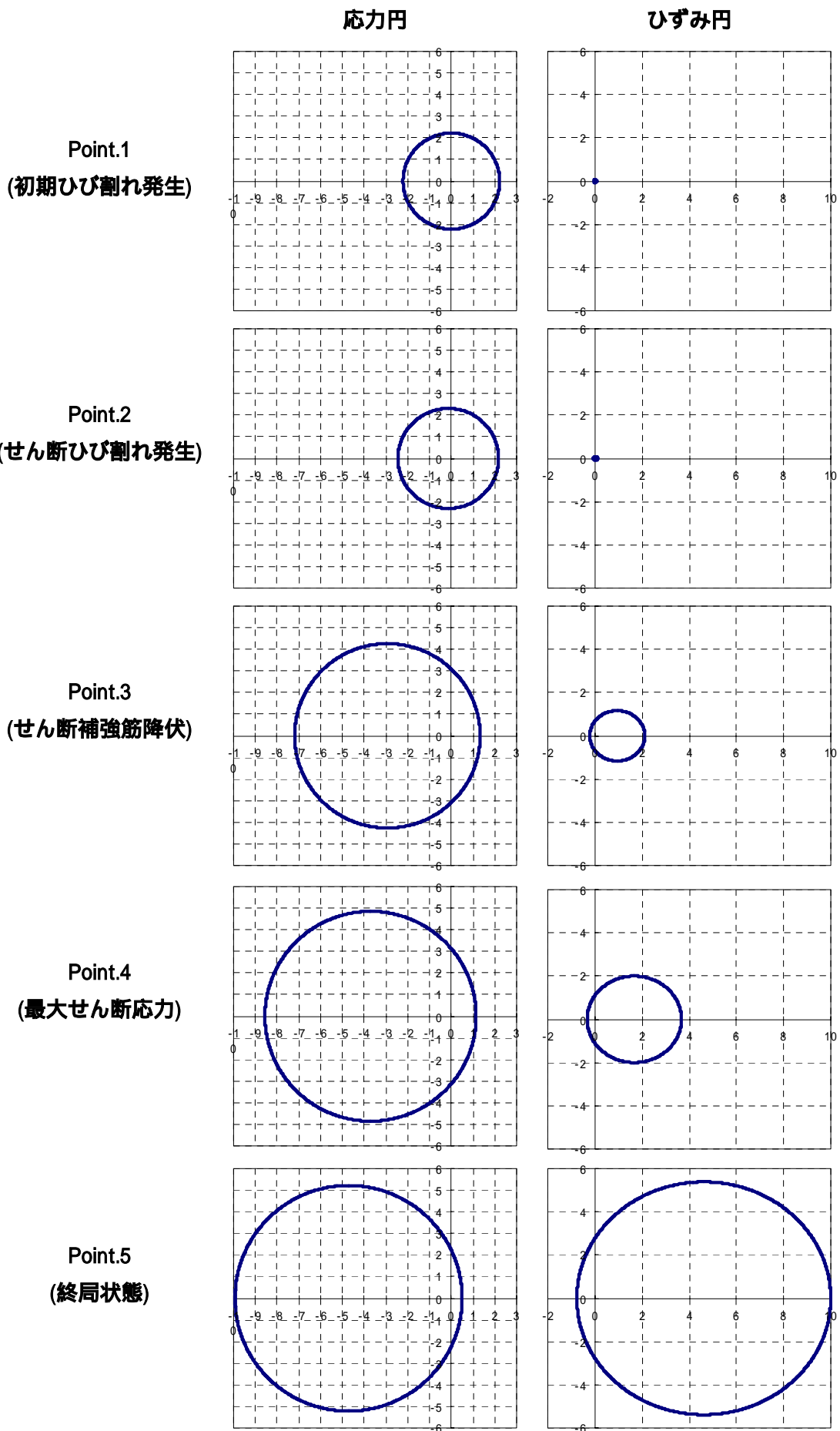
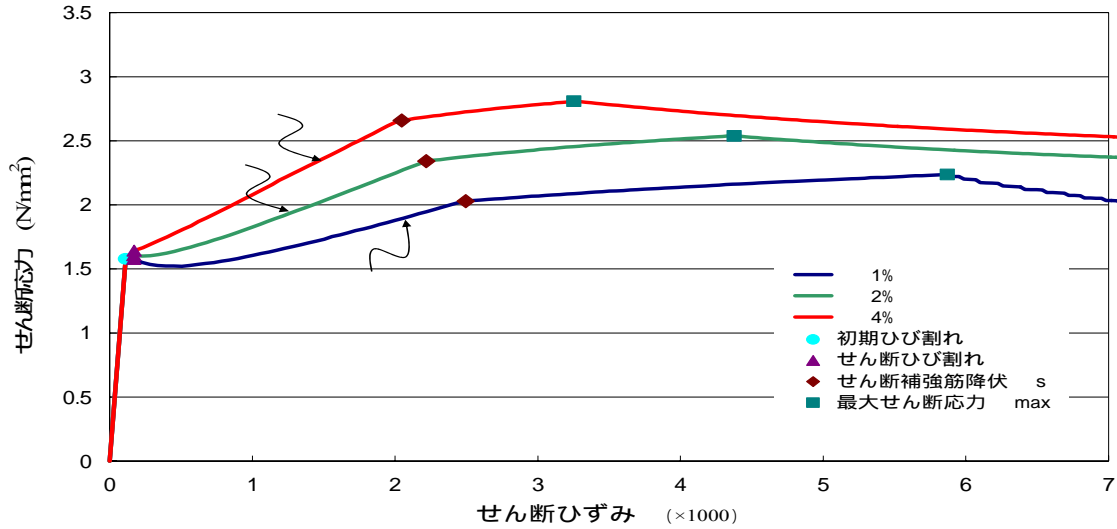


図-3.16 Mohr 円の変化(同一スケール)

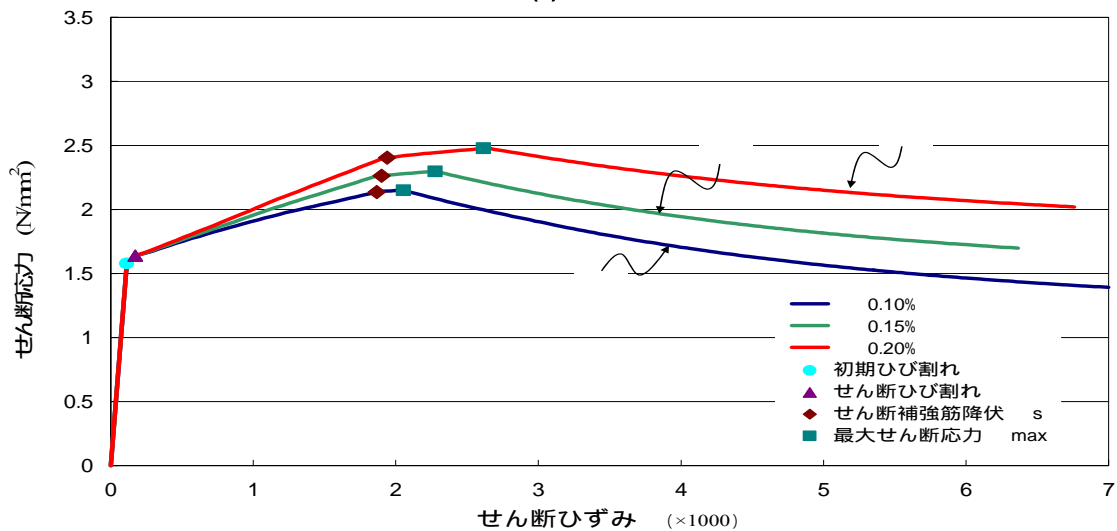
3-5 修正圧縮場理論を用いたパラメトリックシミュレーション

RC 部材におけるせん断破壊は脆性的な破壊をもたらす。そのせん断破壊に影響を与える要因として、コンクリート強度・せん断補強筋量などが挙げられる。そこで本項では、主鉄筋比・せん断補強筋比・コンクリート圧縮強度を解析パラメータとした数値シミュレーションを行った結果を示す。

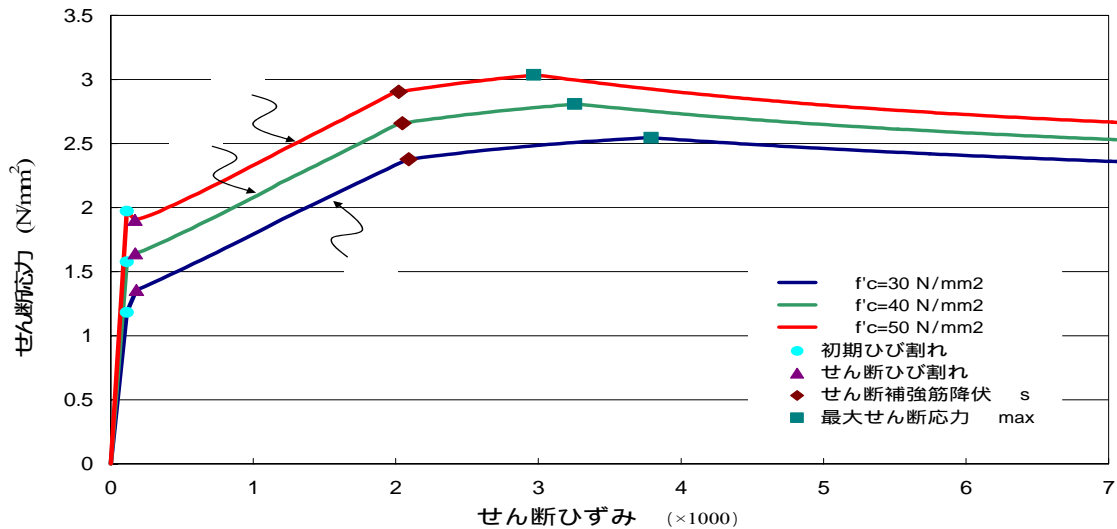
(1) によるせん断変形挙動



(a) 主鉄筋比



(b) せん断補強筋比



(c) コンクリート圧縮強度

図-3.17 せん断応力とせん断ひずみの関係


(a)(b)より、主鉄筋比・せん断補強筋比の数値シミュレーションからは、弾性域(初期ひび割れ)までの差異は見られなかった。しかし、せん断ひび割れ発生からせん断補強筋降伏までの引張硬化域、また最大せん断応力を迎えるまでの挙動に大きな変化が見られた。

まず、主鉄筋比を変化させた場合では、主鉄筋比が大きいほどせん断変形が小さく、せん断補強筋降伏・最大せん断応力を早期に迎える。逆に主鉄筋比が小さい場合、せん断応力は小さいがせん断変形が大きくなり、最大せん断応力を迎えるまでの耐力を保持する間隔が広がっている。

次にせん断補強筋比を変化させた場合では、せん断補強筋降伏までの引張硬化域での変化は小さく、せん断補強筋降伏以降の挙動に変化が見られた。せん断補強筋比が小さい場合では、せん断補強筋降伏から最大せん断応力を迎える間隔が狭い。これは降伏からせん断変形が小さいため、脆性的な破壊となりやすく、設計上危険である。また、せん断補強筋比が大きい場合では、せん断補強筋降伏から最大せん断応力までの間隔が広がっていることに加えせん断応力の増加から、最大せん断応力を迎えるまでの耐力保有が長いためせん断に対する抵抗が増し、破壊後に延性的な性状を期待できる。

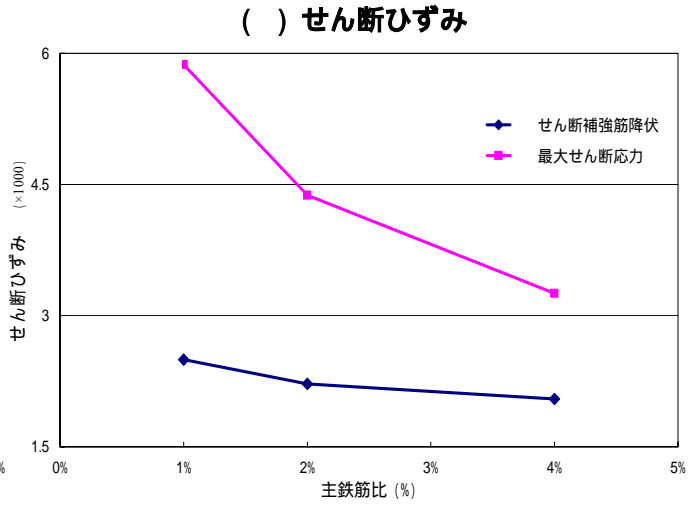
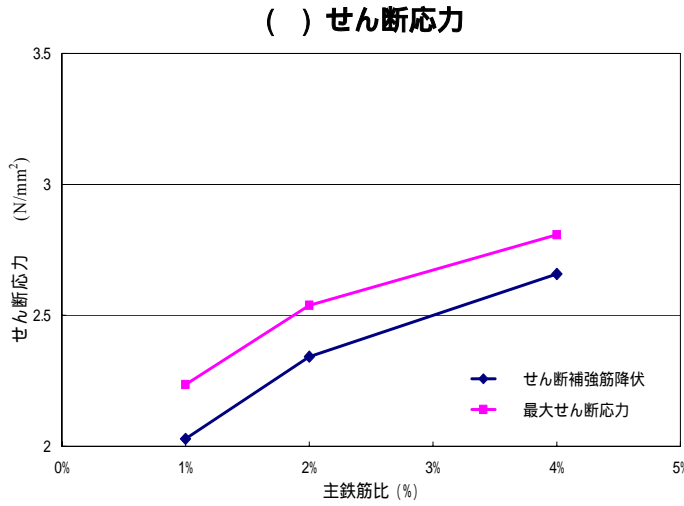
(c)より、コンクリート圧縮強度による数値シミュレーションの結果から、初期ひび割れ発生・せん断ひび割れ発生・せん断補強筋降伏・最大せん断応力の点に大きな変化が見られた。圧縮強度の増加に伴い、せん断補強筋降伏後のポストピークが早期となることがわかった。また、このことからコンクリート強度のみに着目した場合、高強度ほどせん断変形が小さいため脆性的となりやすく、逆に低強度であればせん断変形が大きくなるため延性的となると言える。以上のことより、コンクリート圧縮強度がせん断挙動へ直接の影響をもたらすことがわかった。

(2)せん断応力・ひずみによる感度解析

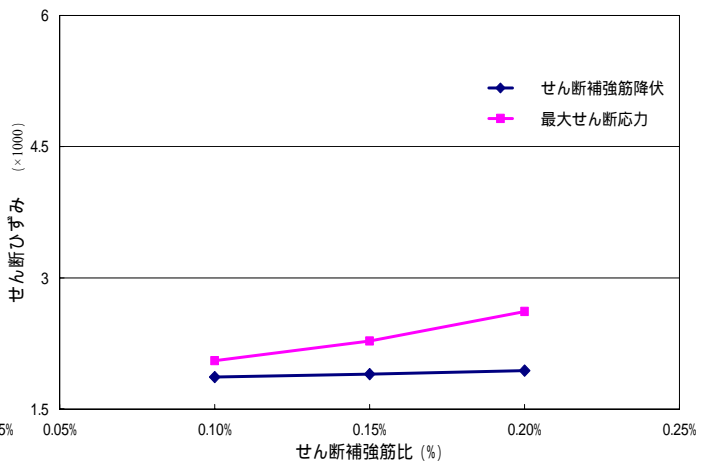
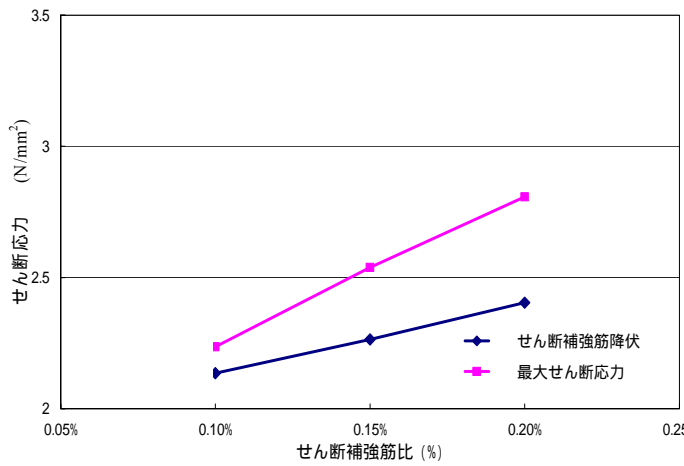
前述の数値シミュレーションの結果から、せん断補強筋降伏時の応力 τ_s と最大せん断応力 τ_{max} の応力変化、および、その時のせん断補強筋降伏時のひずみ γ_s と最大せん断ひずみ γ_{max} に着目し、-3.18にまとめた。

(a)と(c)より、主鉄筋比・コンクリート圧縮強度を増加させるとせん断応力は増加し、せん断ひずみが減少する傾向が見られた。せん断補強筋を増加させた場合は、主鉄筋やコンクリート圧縮強度とは対照的に、せん断応力・せん断ひずみ共に増加した。また、主鉄筋やコンクリート強度の増加に伴い、せん断補強筋降伏から最大せん断応力までのせん断ひずみが小さくなっていることがわかる。過剰な主鉄筋の配筋やコンクリート圧縮強度の増加は、破壊に至るまでの変形が小さくなり、また最大せん断応力以降の靱性に乏しくなる。これは設計の際に注意すべき要素である。

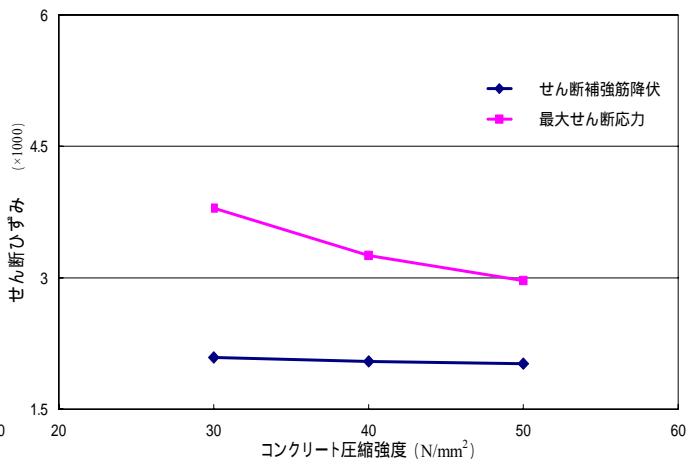
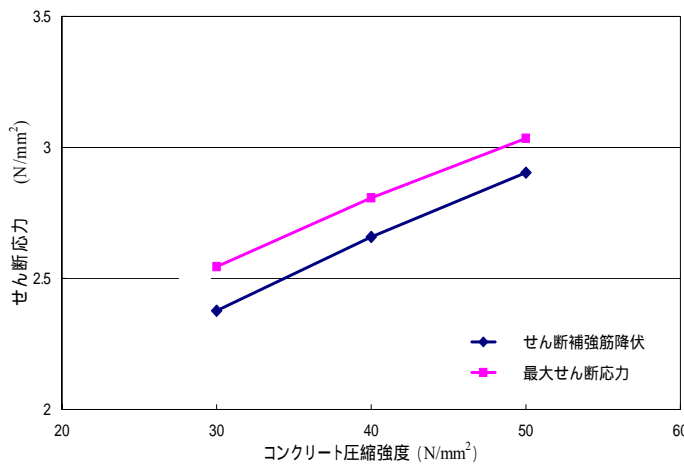
一方、(b)のせん断補強筋の場合は、せん断補強筋比の増加に伴い、応力・ひずみともに上昇し、またせん断補強筋降伏から最大せん断応力までの応力・ひずみが大きくなっていることがわかる。これより、せん断補強筋量の増加は延性的終局を迎えることができ、せん断抵抗に対して重要な役割を示していることが確認できる。



(a) 主鉄筋比



(b) せん断補強筋比



(c) コンクリート圧縮強度

図-3.18 各パラメータによるせん断挙動の変化

(3)せん断変形成分解析

本項では、圧縮ストラット角度、コンクリート・せん断補強筋によるせん断力負担分について確認する(図-19 参照)。

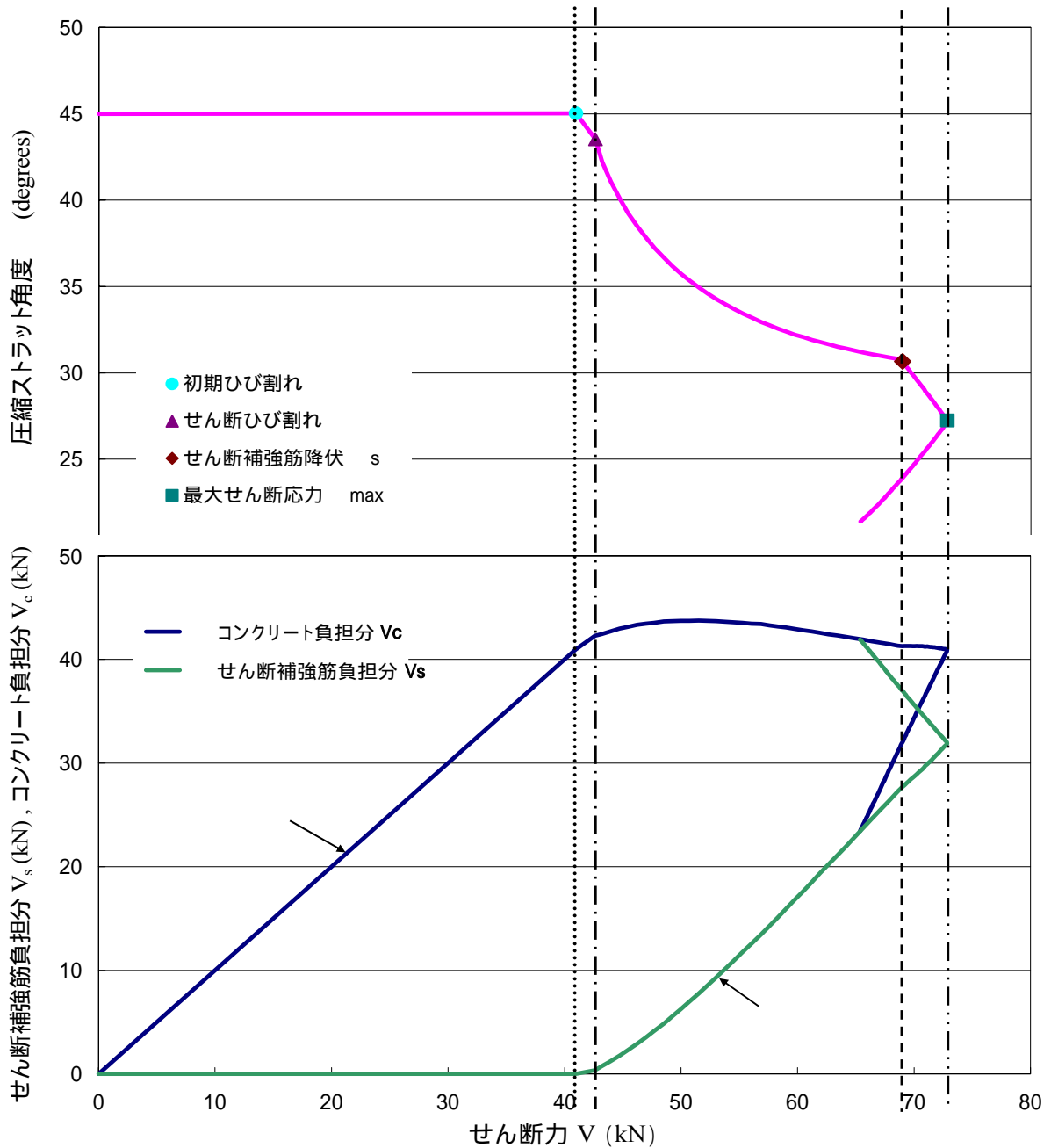
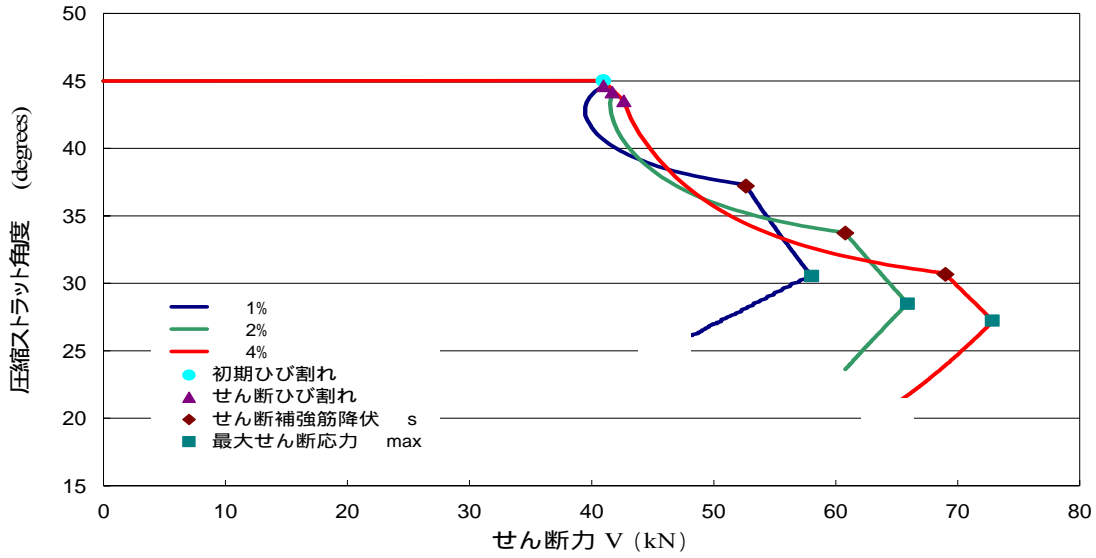


図-3.19 圧縮ストラット角度と各せん断力の関係

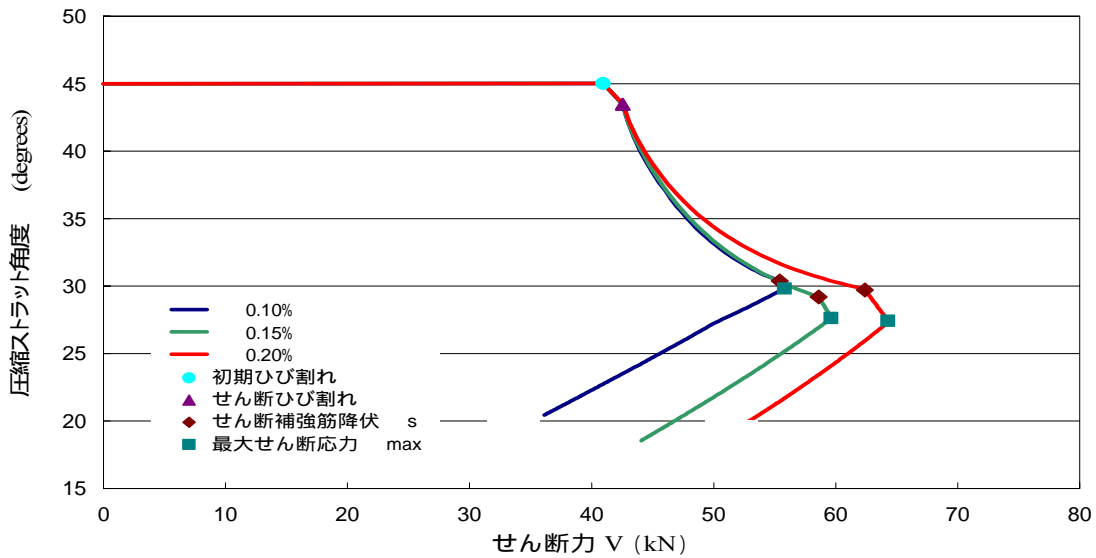
圧縮ストラット角度とは、内部の応力の軌跡であり、簡単に言い換えるとひび割れ角度である。RC 部材にせん断力 V を作用させると、まずコンクリート負担分 V_c のみが作用し、全せん断力を負担する。その際、圧縮ストラット角度は 45° を保っている。初期ひび割れ発生と同時にせん断補強筋負担分 V_s が作用し始める。この時から圧縮ストラット角度が徐々に低下を始め、せん断ひび割れ発生・せん断補強筋降伏・最大せん断応力時にさらに低下が進んでいることが図から読み取れる。最大せん断応力以降には、 V_c が V_s を上回りせん断耐力を受けていることがわかる。以上の事からも、 V_s はひび割れ発生以降のせん断抵抗に対する影響が大きい事が確認できる。

(4) 圧縮ストラット角度の変化

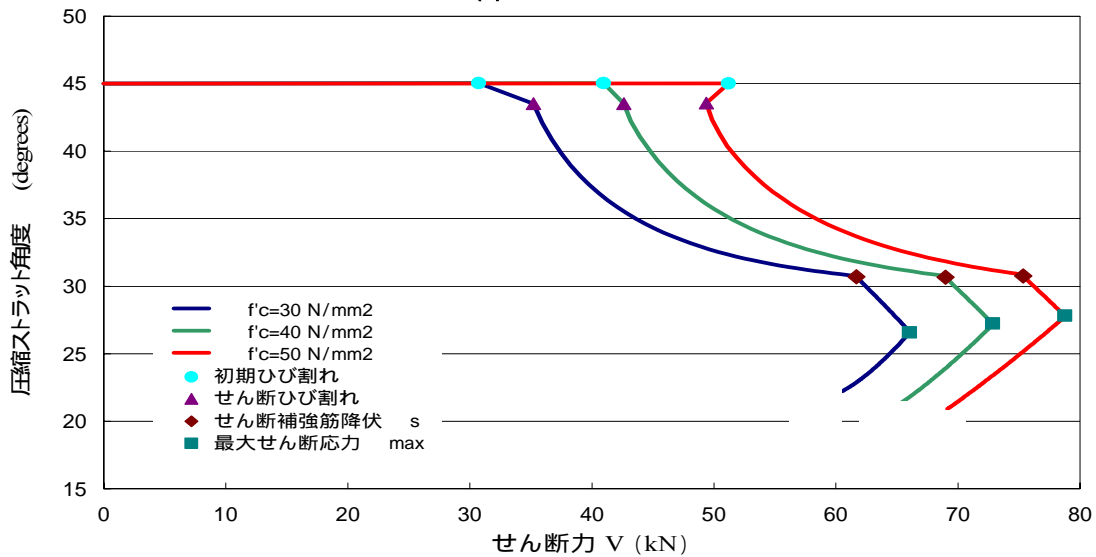
(1)で行った数値シミュレーションを用いて、圧縮ストラット角度とせん断力についての結果を示す。(図-3.20 参照)



(a) 主鉄筋比



(b) せん断補強筋比



(c) コンクリート圧縮強度

図-3.20 圧縮ストラット角度とせん断力の関係

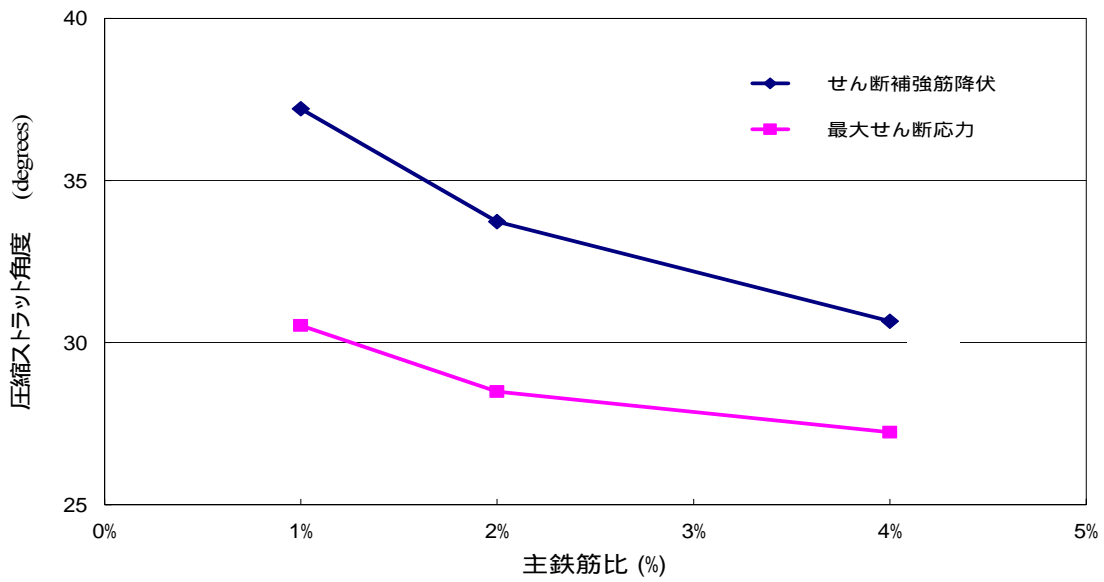
(a)の主鉄筋比を増加させた場合、せん断ひび割れ発生からせん断補強筋降伏までの圧縮ストラット角度が大きく低下した。しかし、せん断補強筋降伏から最大せん断応力までの圧縮ストラット角度の低下の割合は減少している。(b)のせん断補強筋比を増加させた場合、せん断補強筋降伏から最大せん断応力までの耐力を保有する間隔が大きくなっていることがわかる。しかし、せん断耐力の大きさに違いはあるが、圧縮ストラット角度には大きな違いは見られなかった。(c)のコンクリート圧縮強度を増加させた場合もまた、せん断耐力の大きさに違いは見られたが、圧縮ストラット角度には違いは見られなかった。

(5)圧縮ストラット角度による感度解析

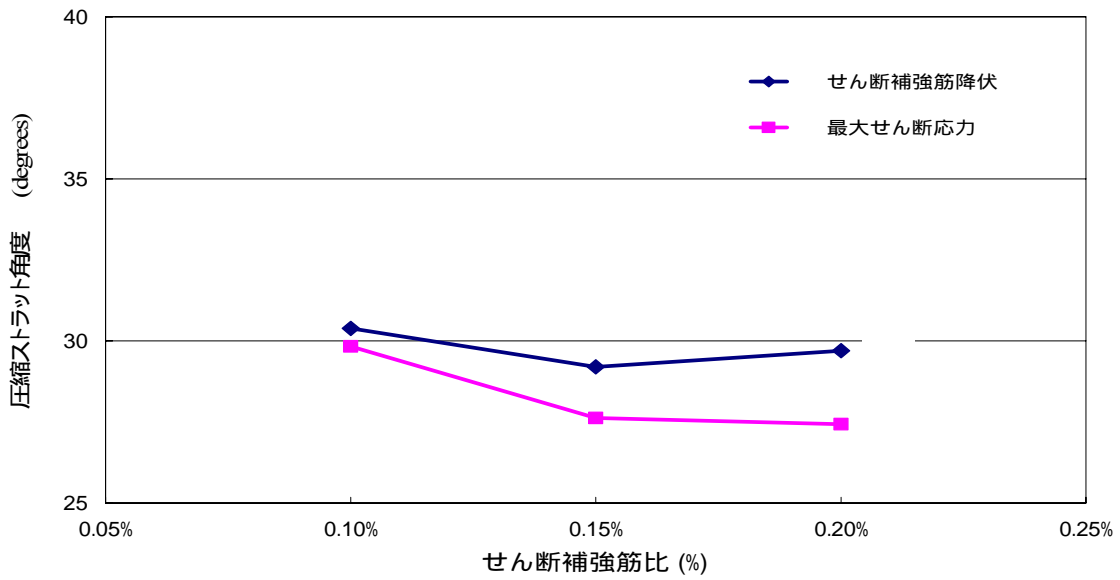
ここではせん断補強筋降伏時、または最大せん断応力時の圧縮ストラット角度を各パラメータごとに示した。

(図-3.21 参照)

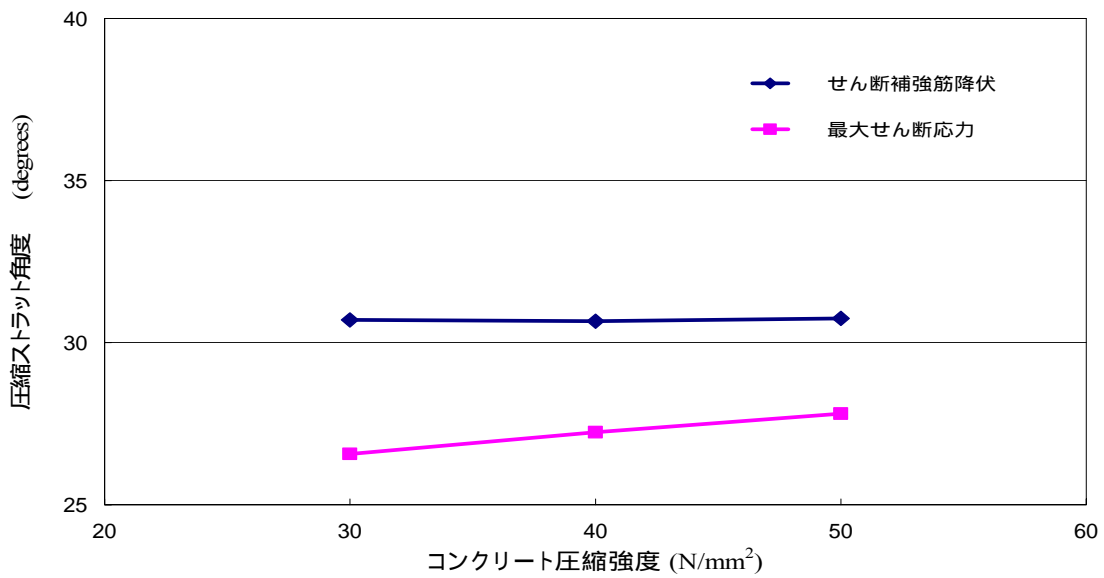
(a)の主鉄筋比の増加によって、せん断補強筋降伏時の圧縮ストラット角度が大きく低下している。しかし、せん断補強筋降伏後から最大せん断応力時までの圧縮ストラット角度の低下が小さくなっている。このことから、主鉄筋がせん断補強筋の代わりにせん断抵抗の役割をしていると言える。また、他の図と比較しても、圧縮ストラット角度の低下が著しく大きい。主鉄筋比はせん断抵抗メカニズムにおいて重要な指標の一つである。(b)のせん断補強筋比の増加によるせん断補強筋降伏時の圧縮ストラット角度に大きな変化は見られなかった。しかし、せん断補強筋降伏から最大せん断応力までの圧縮ストラット角度の低下が大きくなっている。(c)のコンクリート圧縮強度からも、せん断補強筋降伏時の圧縮ストラット角度に変化は見られなかった。コンクリート圧縮強度の場合、増加に伴い、最大せん断応力時の圧縮ストラット角度が増している。これは、強度増加がせん断補強筋降伏から破壊に至るまでの耐力保有が小さくなっていると言える。



(a) 主鉄筋比



(b) せん断補強筋比



(c) コンクリート圧縮強度

図-3.21 各パラメータによる圧縮ストラット角度の変化

参考文献

- 1) 吉川弘道:鉄筋コンクリートの解析と設計,丸善株式会社,2003年6月
- 2) M.P.Collins and D.Mitchelt:Prestressed Concrete Structures PRENTICE HALL INC.1991
- 3) 小林和夫:コンクリート構造学,森北出版株式会社,2002月11月