

平成 21 年 6 月 3 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18560553
 研究課題名（和文） 真の内部応力分布性状に基づく RC 柱の力学的挙動の解明と応力
 - ひずみ関係の定式化
 研究課題名（英文） Modeling for compressive stress-strain curves of concrete based on
 stress distribution measured in reinforced concrete column
 研究代表者
 塩屋 晋一（SHIOYA SHINICHI）
 鹿児島大学・工学部・准教授
 研究者番号：80170851

研究成果の概要：

鉄筋コンクリート造建物において、柱や梁に様々な力が伝達するが、その内部の応力性状はまた不明な点が多く、合理的な設計方法を発展させるためには、それらの性状を解明する必要がある。本研究では研究代表者が開発してきた柱内部の応力分布を測定する方法を用い、それらを明らかにし、まだ解明されていない部材の挙動を解析的に解明するために、柱の内部の応力状態を反映できるコンクリートの応力 - ひずみ関係の定式化を行った。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2004年度			
2005年度			
2006年度	1,800,000	0	1,800,000
2007年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,500,000	510,000	4,010,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学 建築構造・材料

キーワード：鉄筋コンクリート，応力 - ひずみ関係，曲げ解析，応力分布，柱

1. 研究開始当初の背景

コンクリート系部材の強度・変形・ひび割れ性状を評価する方法として有限要素解析がある。そこで用いるコンクリートの構成則は複雑で多数の変数が仮定されている。しかし、その検証は部材の加力実験で測定される外力 - 変形関係や破壊状況などの限られたデータだけに基づいて行われている。

一方、コンクリート系部材ではまだ解明さ

れていない部材の力学的挙動が多く残されている。そこで、部材内部の詳細な応力分布が測定されると、それに基づいてコンクリートの構成則を効率よく開発でき、また解明されていない部材の挙動も解明できる可能性が大きい。コンクリート系構造物の合理的な設計法を発展させるうえで、有限要素解析のような微視的な解析法の整備と、構成部材の巨視的な復元力特性の特徴の解明とその評

価方法の整備は重要である。

2. 研究の目的

研究代表者はコンクリート系部材内部の特殊な力学的対称面に生じる直圧縮応力分布を測定する手法と、対称面のせん断応力分布を推定する方法を提案してきた。本研究はこれまで開発してきた内部の応力分布を詳細に測定できる手法を用いてコンクリート系部材の内部の応力分布と応力 - ひずみ関係を明らかにし、それらに基づいて、つぎの二つの主要事項の解明を目指している。

- ・有限要素解析などで用いられるコンクリートの構成則の検証と改良
- ・未解明のコンクリート系部材の挙動の解明

上記 については実大寸法に近い柱に適用できるように大型の測定装置を完成させ、また 120MPa 級の超高強度コンクリートの柱にも適用できるように応力の測定範囲の改良にも成功している。

一方、上記 については鉄筋コンクリート柱(以後、RC柱)に関して、つぎの具体的な事項を解明しようとしている。

曲げ圧縮域のコンクリートの応力分布や応力 - ひずみ関係に及ぼす、曲げひずみ勾配、部材のせん断力、せん断補強筋(帯筋)の拘束力、繰り返し加力による履歴、などの諸要因の影響量と、それらを反映できる曲げ解析用の応力 - ひずみ関係の定式

曲げヒンジ領域におけるせん断補強筋のせん断補強効果と横拘束効果の寄与メカニズム

せん断破壊時または曲げ降伏後のせん断破壊時の応力伝達機構

寸法効果と内部応力分布の関係、動的載荷と静的載荷の違いによる内部応力分布の変化

今回の研究期間では、軸力、曲げ、せん断力を種々、組み合わせて加力されるRC柱に

適用し、測定される柱断面内のコンクリートの真の応力分布や応力 - ひずみ関係に基づいて、上記の 事項の解明を目指し、最終的には内部の応力状態を反映できるRC柱の曲げ解析用の応力 - ひずみ関係の定式化を行った。そして、これを用いた曲げ解析と、一軸圧縮実験による平均の応力 - ひずみ関係を用いる従来の曲げ解析による解析結果の比較を行い、その両者の差異から、解明されていなかった曲げ破壊形式の柱の挙動の解明を試みた。

3. 研究の方法

柱の内部の応力分布を測定するRC柱の加力実験を行い、曲げ圧縮域のコンクリートの圧縮特性に対する、曲げひずみ勾配の有無、せん断力、せん断補強筋(帯筋)、繰り返し加力の履歴などの影響量を定量的に把握できるように実験を計画した。実験により測定された応力分布性状を説明できるコンクリートの応力 - ひずみ関係の定式化を行った。

4. 研究成果

実験結果を基に、柱の内部の応力性状を反映できる直圧縮応力 - ひずみ関係のモデル化を試みて、それを用いて繰り返し加力の曲げ解析を行い、柱の内部の応力分布性状とモーメント - 曲率関係について実験結果との比較を行い、モデルの検証を行った。以下に成果を述べる。

(1) コンクリートの応力ひずみ関係の定式化

図-1にコンクリートが圧縮力を受ける場合の応力 - ひずみ関係の基本モデルを示す。容易に柱断面内の応力性状の特徴を反映できる区間を、近似によりモデル化を行った。

包絡線のモデル化

図-1のOABC区間は折れ線で表し、C以降は図中に示す双曲線で表している。OA区間は弾性範囲で、そのヤング係数 E_C はコンクリート

シリンダーのものとしている。 σ_{MAX} 、 ϵ_{MAX} 、 A 、 C 点以降の双曲線の指数 n を、断面内の位置で変化させた。具体的な与え方は以下のとおりである。

図-2(a)に断面内の最大強度 σ_{MAX} をコンクリートシリンダーの圧縮強度 σ_c で除した値 σ_{MAX}/σ_c の分布を示す。また図-2(b)にそれを近似した関数とそれによる曲面を示す。両曲げ圧縮縁と柱幅中央が1.79で最大で、柱せいの面の中央の位置が0.85である。

図-3には弾性限界時 A 点の応力 σ_A を σ_{MAX} で除した値 σ_A/σ_{MAX} の分布を示す。その値は0.6から0.7の範囲になっており、 σ_A は σ_{MAX} の65%としている。

図-4(a)に最大強度時のひずみ ϵ_{MAX} をコンクリートシリンダーの圧縮強度時のひずみ ϵ_c で除した値 $\epsilon_{MAX}/\epsilon_c$ の実験値の分布を示す。図-4(b)にそれを近似した関数と曲面を示す。

図-1の点 B と点 C のひずみは、 σ_{MAX} が BC 間の中間であるため、 ϵ_{BC} と σ_{MAX} により定義できる。図-5(a)に ϵ_{BC} の実験値の分布を示し、図-5(b)にそれを近似した関数と曲面を示す。

図-1の点 C 以降の軟化域は図中に示す双曲線の式で近似するが、そこでは指数 n が定義されればよい。図-6(a)に実験結果によく適合する n の分布を示す。図-6(b)にそれを近似した関数と曲面を示す。断面中心の軟化域の強度低下は緩やかで、断面の隅は急であることを意味する。以上の関数および定数により、応力-ひずみ関係の包絡線は表現される。

除荷再載荷のループのモデル化

図-1に示すように除荷・再載荷時の代表的な点を点1~点5としている。図中では点番号を \circ で囲んでいる。点1は除荷開始時、点2は応力が零になる時点、点3は再載荷に

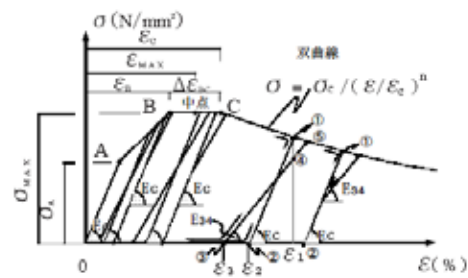


図-1 基本モデルの応力-ひずみ関係

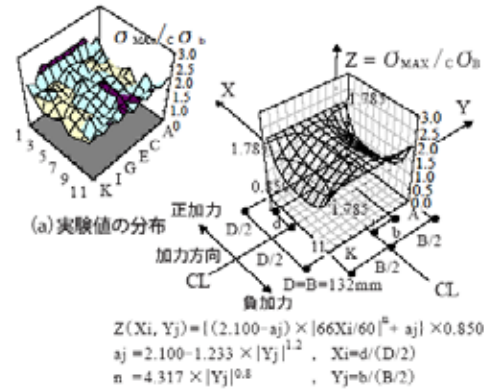


図-2 σ_{MAX}/σ_c 分布と近似曲面

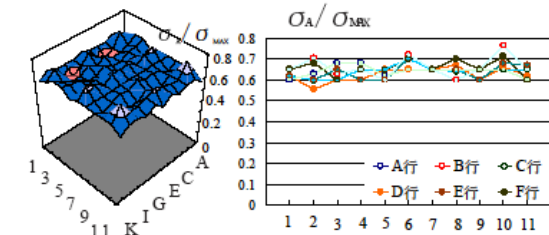


図-3 σ_A/σ_{MAX} の分布

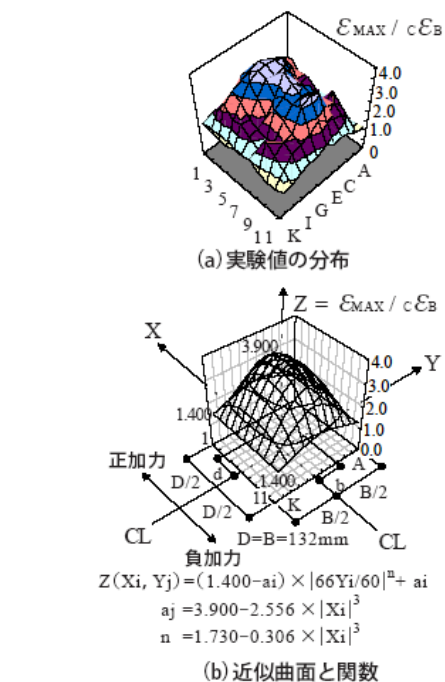


図-4 $\epsilon_{MAX}/\epsilon_c$ 分布と近似曲面

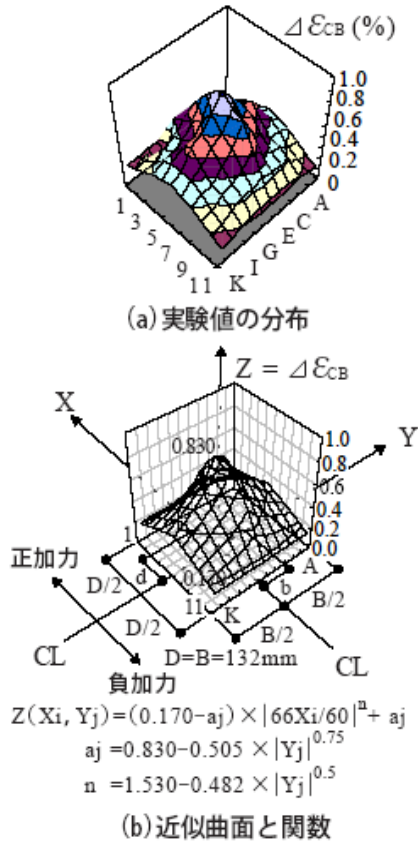


図-5 $\Delta\varepsilon_{CB}$ 分布と近似曲面

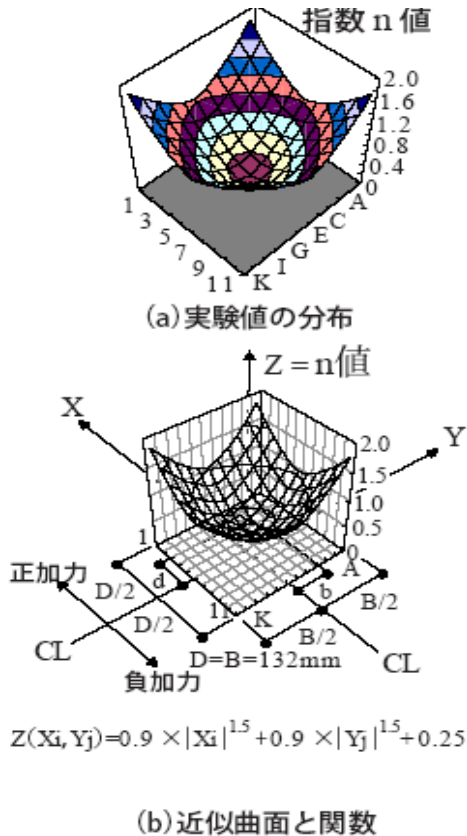


図-6 指数 n 値分布と近似曲面

より剛性が復活する時点、点4は再載荷時の剛性 E_{34} を決める時点、点5は包絡線に移る時点である。ここでは各点 i の応力を σ_i 、ひずみを ε_i と記号で表す。除荷時の剛性は初期のヤング係数 E_c と同じとし、再載荷時の剛性 E_{34} は Common Point の考えに基いた。点3のひずみ ε_3 は点2のひずみ ε_2 の90%とした。点4の応力は応力 σ_1 の90%とし、ひずみは ε_1 と同じとした。

(2) 解析結果と実験結果の比較

上述の定式化したコンクリートの応力 - ひずみ関係を用いて高軸力のRC柱の曲げ特性を説明できるかを調べる目的で行った曲げ解析と実験結果の比較について述べる。下記では、今回、定式化した応力 - ひずみ関係を用いた解析をモデル1とし、従来の一軸圧縮実験の平均の応力 - ひずみ関係を用いた解析をモデル2と称している。

モーメント - 曲率関係

図-7にモーメント - 曲率関係を示す。軸力・せん断力・モーメントを受ける柱のMQN-H試験体の実験結果と計算結果を比較して示している。モデル1は実験に対して最大荷重までは剛性と最大荷重が大きくなり、最大荷重は約11%増加している。最大荷重時の曲率と最大荷重後の耐力低下の勾配は実験結果に近い結果となった。

一方、モデル2は解析値の最大荷重までは剛性は実験結果と一致しているが、最大荷重が実験値に対して21%減少している。また従来の一軸圧縮実験の平均の応力 - ひずみ関係を用いた解析では実験結果を説明できない状況になっている。

断面内のコンクリートの応力分布

図-8に代表的な時のコンクリートの直圧縮応力分布を実験値と比較して示す。最大曲げ荷重時(時点1)と正加力の最終曲率の時点

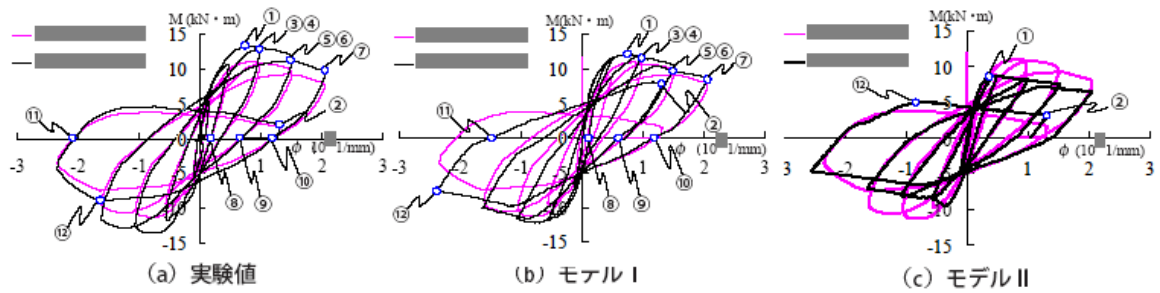


図-7 モーメント-曲率関係

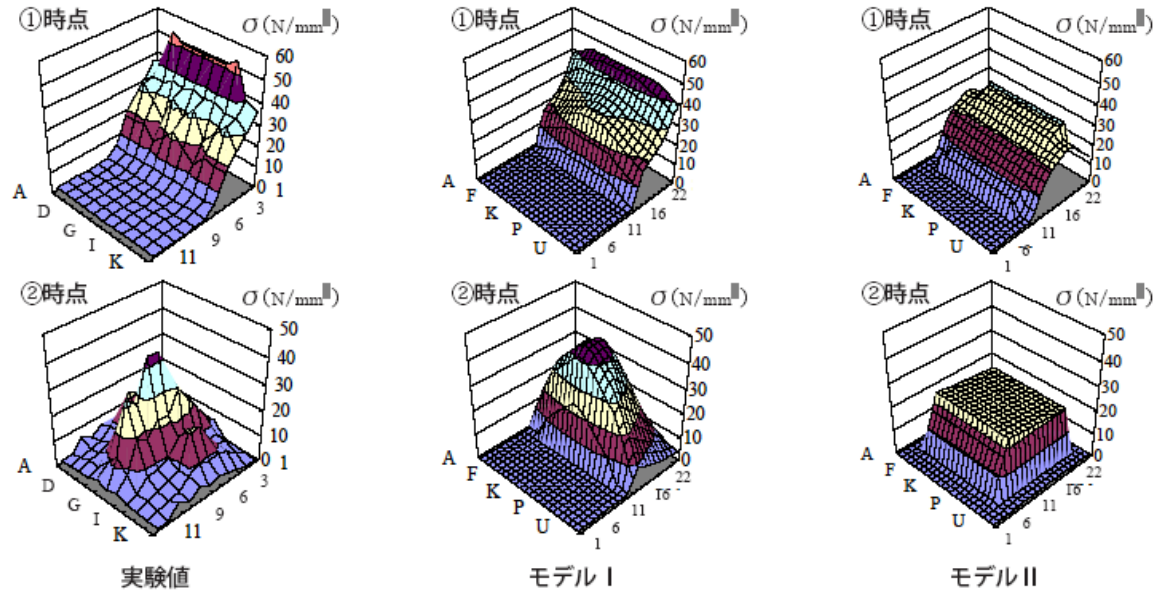


図-8 柱断面内のコンクリートの直圧縮応力分布の比較

(時点)である。最大荷重 時点では、実験の最外圧縮縁では、柱幅の中央の応力が 53N/mm^2 で大きくなりコーナが 35N/mm^2 と小さくなっている。この傾向はモデル でも生じているが、実験結果ほど顕著ではない。これに対してモデル ではカバーコンクリートに位置する最外縁の応力はコンクリートの圧縮強度 25N/mm^2 より小さくなり、圧縮破壊が生じている状態になっている。応力の大きさや分布形状および圧縮域の幅について3種類の応力分布を比較するとモデル の分布が実験結果にかなり近いと判断できる。

最終曲率の 時点では、実験の分布は中央が 43N/mm^2 で周囲の応力は小さくなっている。これは全ての柱主筋が座屈してそれらの周辺のコンクリートが剥落していることが理由である。

モデル では中央の応力は 45N/mm^2 程度で、実験の分布の値とほぼ一致している。しかし、その座屈を考慮していないため周辺の応力が大きい。この影響で図 - 7 で観られるようにモデル の 時点のモーメントは実験の の値より大きくなっている。これに対してモデル の分布ではカバーコンクリートの応力低下が観られるが、コアコンクリートは一般的な分布になり、実験の分布を説明できる状況ではない。

モデル は解析値の最大荷重までは剛性は実験結果と一致しているが、最大荷重が実験値に対して21%減少している。またその時の曲率も実験値に対して小さくなっている。

(3) 総括

今回、定式化したコンクリートの応力 - ひずみ関係に基づく曲げ解析では、最大曲げ荷

重が増大し,最大曲げ荷重後のモーメント - 曲率関係の靱性も改善され,実験結果の傾向に近づいた。また断面内の応力分布も実験結果の分布に近づいた。これらのことから,高軸力を受けるRC柱の最大曲げ荷重やその後の弾塑性性状は断面内の応力分布性状に基づく応力 - ひずみ関係を用いて解明できる可能性がある。

今後は,一軸圧縮加力や,一定軸力と曲げ加力についても,既に測定されている実験結果に基づいて応力 - ひずみ関係のモデル化を検討して,せん断加力も含めた種々の加力状態の部材の挙動の解析を行う必要がある。

5 . 主な発表論文等

(研究代表者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

佐々木泉, 塩屋晋一 : 柱断面内の応力分布性状を考慮した RC 柱の曲げ解析, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.3, pp.151-156 (2008 年 6 月), 査読有り

[学会発表] (計 2 件)

佐々木 泉, 塩屋晋一 : 柱内部の応力分布性状を考慮した RC 柱の曲げ解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造系 C-2, pp.489-490(2008 年 9 月 19 日), 査読無し

佐々木 泉, 塩屋晋一 : 柱内部の応力分布性状を考慮した RC 柱の曲げ解析, 日本建築学会研究報告, 九州支部第 47 号・1, 構造系, pp.389-392(2008 年 3 月 2 日), 査読無し

[その他]

なし

6 . 研究組織

(1)研究代表者

塩屋 晋一 (SHIOYA SHINICHI)

鹿児島大学・工学部・准教授

研究者番号 : 80170851

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし