

一定軸力を受ける鉄筋コンクリート柱の水平方向繰り返し変形挙動解析

(株)秋吉組 正員 神戸篤士 中部大学 正員 水野英二

1. はじめに

一定軸力を受ける鉄筋コンクリート（RC）柱の水平方向繰り返し変形挙動解析を行い、本解析結果と実験結果¹⁾とを比較・検討する。本解析では、鉄筋の構成モデルには修正二曲面モデルを、コンクリートの構成モデルにはひずみ軟化型構成モデルを用いる。本解析を通して、使用した構成モデルの有効性を検討するとともに、特にひずみ軟化型構成モデルを有限要素解析に用いる場合の留意点について論ずる。

2. 構成モデル

鋼材の構成モデルには、水野が開発した修正二曲面モデル²⁾（図-1 参照）を採用する。コンクリートの構成モデルには、ひずみ軟化型モデル（図-2 参照）を採用する。本解析は、帯鉄筋をモデル化しない代わりに、図-2 に示すコンクリートの限界ひずみ ϵ_f の値を変化させることにより、コンクリートが帯鉄筋から受ける拘束力の効果を考慮する。

3. 供試体概要

対象とした供試体は、高強度材料から成る H 供試体、HA 供試体および HB 供試体（以後、この 3 供試体を H シリーズ供試体と呼ぶ。）と普通強度材料から成る N 供試体との 4 供試体である。全供試体とも柱部材長は 2250mm、部材断面は 450mm × 450mm、せん断スパン比は 5 であり、主鉄筋比は 1.25 % である。解析モデルを図-3、断面分割図を図-4、各供試体の材料諸元を表-1 に示す。断面は 464 ブロックに分割してあり、図-4 に示す断面分割図中の黒い部分は鉄筋要素である。一定軸力として、H シリーズ供試体には 1.79MN、N 供試体には 0.90MN を作用させる。H シリーズ供試体の違いは、コンクリートの一軸圧縮強度と帯鉄筋比の違いである。

4. 解析結果の検討・考察

鉄筋およびコンクリートに対する構成モデルの有効性を検討するために、一定軸力を受ける RC 柱の水平方向繰り返し変形挙動解析を有限要素法プログラム FEAP を用いて行った。一例として、H 供試体および HA 供試体の解析結果（実線）と実験結果（破線）との比較をそれぞれ図-5 および図-6 に示す。ここでは、要素分割数を 10 として解析を行った。なお、限界ひずみ ϵ_f は、H 供試体に対しては 2.37 %、HA 供試体に対しては 3.0 % と設定した（6 節で説明する最適限界ひずみに設定した）。両図より分かるように、ポストピーク挙動、さらには除荷・再載荷曲線の勾配が繰り返し回数の増加に伴って低減するという点で良い一致を示

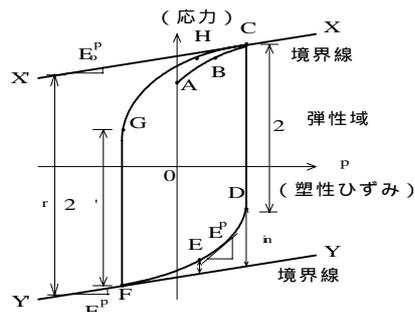


図-1 修正二曲面モデルの一軸応力-ひずみ曲線

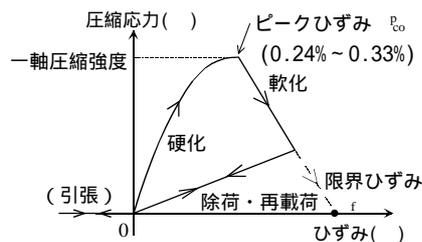


図-2 ひずみ軟化型モデルの一軸応力-ひずみ曲線

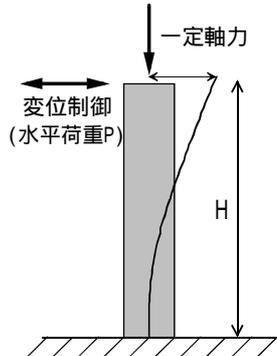


図-3 解析モデル

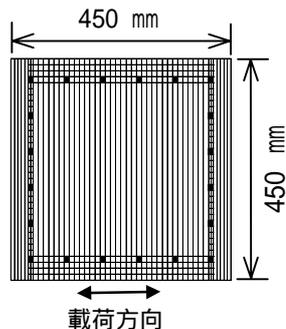


図-4 断面分割図

表-1 材料諸元

| | H 供試体 | HA 供試体 | HB 供試体 | N 供試体 |
|----------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| コンクリート強度 | 65.7 MPa | 66.8 MPa | 64.3 MPa | 37.1 MPa |
| 主鉄筋 | USD685 D13 | USD685 D13 | USD685 D13 | SD345 D13 |
| 主鉄筋降伏強度 | 795 MPa | 795 MPa | 795 MPa | 399 MPa |
| 主鉄筋引張強度 | 998 MPa | 998 MPa | 998 MPa | 587 MPa |
| 帯鉄筋 | SD490 D6 @40mm | SD490 D6 @40mm | SD490 D6 @80mm | SD295A D6 @40mm |
| 面積帯鉄筋比 | 0.352 % | 0.523 % | 0.176 % | 0.352 % |

USD：高強度鉄筋コンクリート用棒鋼

キーワード：RC 柱、繰り返し変形挙動、塑性力学モデル、修正二曲面モデル、ひずみ軟化型モデル、応力-ひずみ関係
 連絡先 〒487-8501 春日井市松本町 1200 中部大学工学部土木工学科 TEL:0568-51-1111 内 4252 FAX:0568-51-1495

した。本解析結果より、ポストピーク挙動の再現には、ひずみ軟化型モデルの適用が不可欠であることも分かった。

5. ひずみ軟化型モデルの限界ひずみと要素分割数との関係

ひずみ軟化型モデルの特徴として要素長さの違いが、特にポストピーク挙動に大きく影響することが予想される。このことを検討するため、H 供試体を対象として、要素分割数を 5, 10, 15, 20 および 25 分割と変化させ、コンクリートの構成モデルに完全弾塑性モデルおよびひずみ軟化型モデル（限界ひずみを 2.37 %と設定）を用いて、一方向載荷（Push Over）解析を行った。完全弾塑性モデルを用いた解析結果を図-7、ひずみ軟化型モデルを用いた解析結果を図-8 に示す。本解析結果より、ひずみ軟化型モデルを用いた解析結果は要素分割数（要素長さ）に大きく影響されることが分かる。このため、ひずみ軟化型モデルを用いる場合は、分割数や帯鉄筋量等を考慮して、最適な限界ひずみを設定する必要があると思われる。

6. 最適限界ひずみの設定

最適限界ひずみを求めるため、各種限界ひずみの中で Push Over 解析を実施した。一例として、H 供試体に対する解析結果（10 分割：3 種類の限界ひずみ）を図-9 に示す。解析結果より、最適限界ひずみを 2.37 %と設定した。このように全供試体に対して求めた最適限界ひずみと分割数との関係を図-10、10 分割として解析する場合の最適限界ひずみを基準とした最適限界ひずみ比と分割数との関係を図-11、ピークひずみ以降の軟化域の圧壊エネルギーと分割数との関係を図-12 に示す。これらの結果より、帯鉄筋比およびコンクリート強度の違いはあるものの、4 供試体に対する解析結果は概ね同じ傾向を示していることが分かる。

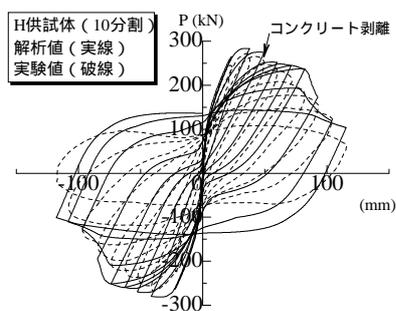


図-5 荷重-変位曲線 (H 供試体)

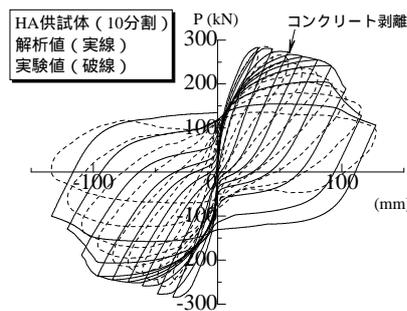


図-6 荷重-変位曲線 (HA 供試体)

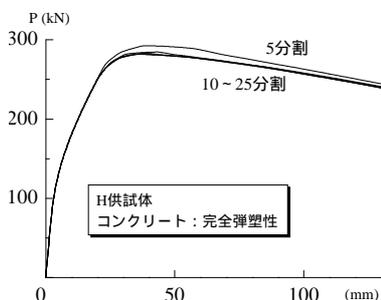


図-7 分割数による影響 (コンクリート：完全弾塑性)

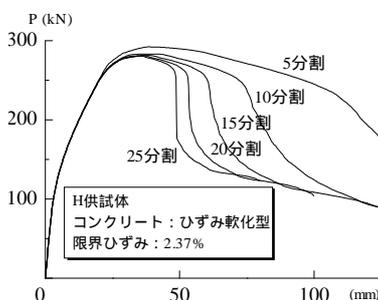


図-8 分割数による影響 (コンクリート：ひずみ軟化型)

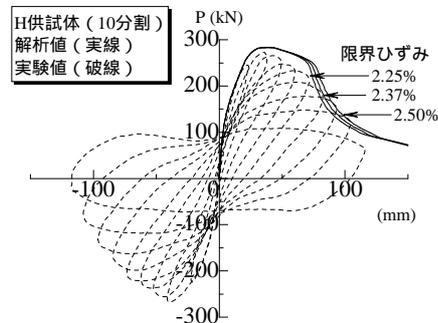


図-9 Push Over 解析

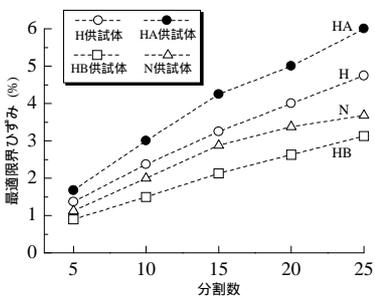


図-10 最適限界ひずみと分割数

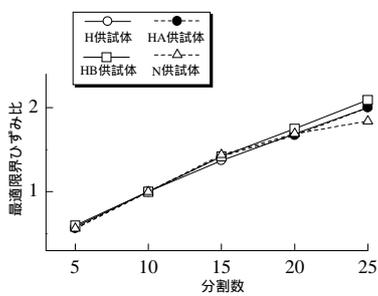


図-11 最適限界ひずみ比と分割数

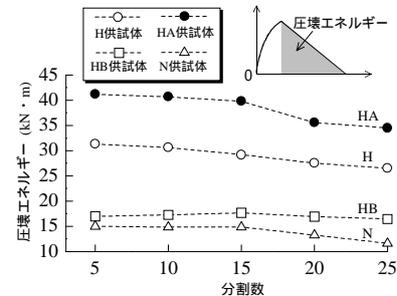


図-12 圧壊エネルギーと分割数

参考文献

- 1) 足立幸郎, 運上茂樹, 長屋和宏, 林昌弘: 高軸力下における高強度 RC 部材の変形性能に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.3, pp.169-174, 1999.
- 2) 水野英二: 鋼素材に対する修正二曲面モデルの一般定式化, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.40A, pp.235-248, 1994.