

ブリーディング層を導入したコンクリート供試体の寸法効果に関する三次元 FEM 解析

三重大学 正会員 畑中重光
三重大学 森本康介
中部大学 正会員 水野英二

1. はじめに

一般に鉄筋コンクリート構造物や部材の耐力は、寸法が大きくなるにつれて低下することが知られている。この現象は寸法効果と呼ばれ、コンクリート材料の分野において主要なテーマのひとつである。本研究ではこの現象を確認するための一考察として、寸法の異なるブレンコンクリート供試体に材料不整（ブリーディング層）を導入し、三次元有限要素解析を行うことにより寸法効果現象の再現を試みた。また、コンクリート部分の構成則にはこれまでに筆者らが開発したひずみ軟化型モデル[1][2][3]を採用した。

2. 解析手法

(1) 解析対象：解析対象とした試験体を図-1に示す。なお、解析は試験体の1/4（図中の斜線部）にて行った。解析条件を表-1に、試験体の形状・材料に関する諸量を表-2および図-2に示す。本研究では、解析条件の異なる計3ケースについて、寸法の違う4種類の試験体で解析を行った。試験体へのブリーディング層の導入に際し与えた強度分布を図-2に示す。強度分布は、各層毎に1[MPa]の強度差を与え、平均化するとコンクリートの一軸圧縮強度 $f_c' = 30.0$ [MPa] となるように設定した。

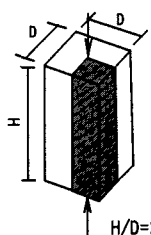


図-1 試験体（全体図）

表-1 解析条件

	ブリーディング層の有無	端部拘束の有無
ケース1	あり	あり
ケース2	あり	なし
ケース3	なし	あり

(2) 要素分割図：有限要素解析に用いた試験体の要素分割図を図-3に示す。本研究では、1要素当たりの寸法を $10 \times 10 \times 10$ (cm)の立方体として要素分割を行った。また、解析モデルは、対称性から、試験体の1/4部分とした。

(3) 境界条件： $X=0$, $Y=0$ および $Z=0$ 平面でそれぞれ X , Y , Z 方向を固定した。

表-2 試験体の形状・材料データ

試験体寸法 $D \times D \times H$ (cm)	E_c (GPa)	ν_c
(a) $20 \times 20 \times 40$	21.0	0.2
(b) $40 \times 40 \times 80$		
(c) $60 \times 60 \times 120$		
(d) $80 \times 80 \times 160$		

D: 試験体幅 H: 試験体高さ
 E_c : コンクリートのヤング率
 ν_c : コンクリートのポアソン比

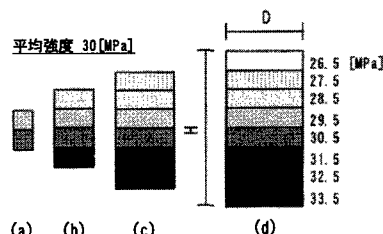


図-2 試験体寸法およびブリーディング層の強度分布

(4) 解析プログラム：

本研究では、8 節点アイソパラメトリック三次元ソリッド要素[4]を組み込んだ有限要素プログラム FEAP[5]を使用する。コンクリートのひずみ軟化領域まで解析するため、

試験体（高さH）の上部に軸ひずみ0.005%を与える変位制御とした。

(5) 構成モデル：コンクリート部分には、筆者らのひずみ軟化型モデル[3]を採用し、鉄筋部分には von Mises モデルを用いた。

3. 解析結果

平均軸応力-平均軸ひずみ関係を、図-4および図-5に示す。図-4に、端部拘束の有無による比較（解析ケース1および2）、図-5には、ブリーディング層の有無による比較（解析ケース1および3）を示す。図中の軸応力の値は、解析モデルの最上面での節点力の総和を最上面の面積で割ったものである。

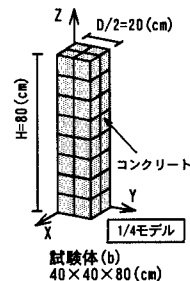


図-3 要素分割例

また、各解析ケースの寸法の違いによる一軸圧縮強度比の関係を図-6に示す。縦軸の一軸圧縮強度比 $f_c'/f_{c'AVE}$ とは、各試験体の最大応力をコンクリートの平均一軸圧縮強度（ここでは、30[MPa]と設定）で除した値である。横軸には、各試験体の幅 D (cm)を示した。実験値[6]も併せて示す（図中の実線）が、この実験結果は円柱供試体に対して行った結果であることを付記しておく。

寸法の増大に伴い圧縮強度が低下していく傾向が図-4、図-5および図-6より分かる。これは、ブリーディング層の導入により供試体寸法が大きくなるに従い供試体内に、より弱い強度層を含むことになるため、圧縮強度の低下を再現できたと考えられる。しかし、ブリーディング層を導入しなくても解析ケース3では、圧縮強度の低下が見られた。これは、端部拘束を行っているため供試体寸法が大きくなるに従い端部からの拘束効果が薄れることが原因と考えられる。

図-4は、端部拘束の有無による比較（解析ケース1および2）を示したものであるが、応力上昇域の勾配に差が見られ端部拘束の影響が現れていることが分かる。また、両ケースともひずみ軟化域については、供試体中央部のある要素内にてスナップバック現象[3]が起きたためピーク以降の応力-ひずみ関係がほとんど得られなかった。

図-5では、ブリーディング層の有無による比較（解析ケース1および3）を示す。図から分かるように、ブリーディング層の有無による影響は、試験体(a)の場合を除いて見られなかった。また、ひずみ軟化域については両ケースともスナップバック現象[3]が起きたため応力-ひずみ関係が得られなかった。

解析結果より、3ケースとも寸法の増大に伴って圧縮強度の低下が確認された。図-6によると体積比が8倍（ $D=40$ cm）の試験体(b)では、圧縮強度に平均圧縮強度（本研究では、30MPa）の4~8%程度の低下が見られ、寸法が大きくなるに従い強度の低下率が小さくなることを確認した。

5. まとめ

プレーンコンクリートの3次元有限要素解析へブリーディング層の導入を行い、圧縮強度の低下傾向を再現できることを確認した。

謝辞：本研究費の一部は、文部省ハイテクリサーチ構想による研究費（中部大学）および平成9・10年度文部省科研費・基盤研究B(2)（研究代表者・谷川恭雄 名古屋大学大学院教授）によって付記する。

参考文献

- [1] 水野英二・畑中重光：塑性理論によるコンクリートの圧縮軟化特性のモデル化，コンクリート工学論文集，Vol.2(2)，1991，pp.85-95.
- [2] 水野英二・畑中重光：塑性理論によるコンクリートの経路依存型圧縮軟化特性のモデル化，コンクリート工学論文集，Vol.3(2)，1992，pp.1-13.
- [3] 柴麻紀・前田欣昌・畑中重光・水野英二：ひずみ軟化を考慮したコンクリート構成モデルの開発，コンクリート工学年次論文集，Vol.18(2)，1996，pp.401-406.
- [4] Chen, W.F. and Mizuno, E.: Nonlinear Analysis in Soil Mechanics, Elsevier, 1990, 661pp.
- [5] Zienkiewicz, O.C.: The Finite Element Method, Third Ed., (吉識・山田監訳：マトリックス有限要素法)，培風館，1984，pp.672-796
- [6] Department of the Interior: Cement and Concrete Investigations, US Bureau of Reclamation, Boulder Canyon Project, Final Report, Part VII, Bulletin 4, 1965.

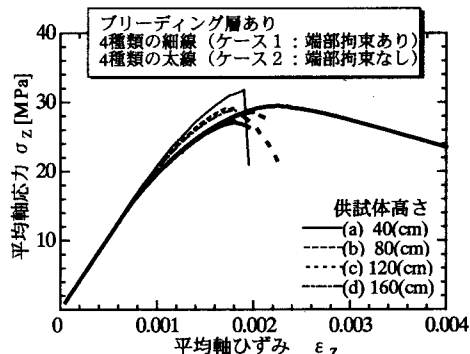


図-4 平均軸応力-軸ひずみ関係（端面拘束の影響）

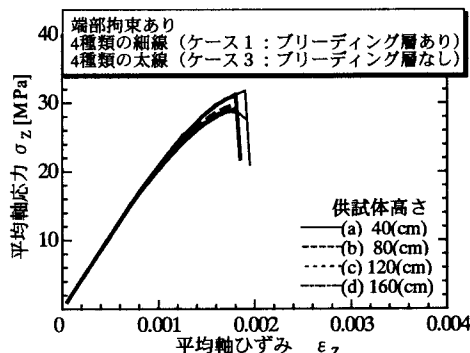


図-5 平均軸応力-軸ひずみ関係（ブリーディング層の影響）

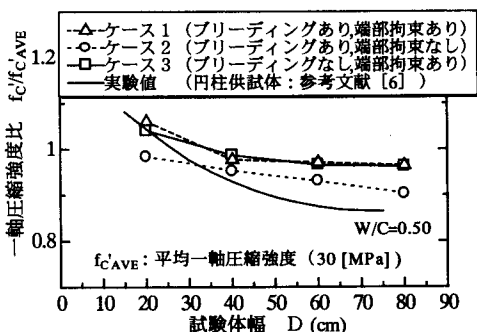


図-6 寸法の違いによる一軸圧縮強度比