

コンクリート 乾燥収縮 有限要素法  
逐次積分法 クリープ ひび割れ

### 1. はじめに

本報は、前報<sup>1)</sup>に引き続いて、解析計画を報告する。

### 2. 解析モデル

本解析で対象とした建物は、既報<sup>2)</sup>と同様に実際に建設された鉄筋コンクリート造の純ラーメン構造の集合住宅を参考とし、地上10階・桁行方向3スパンの構造体モデルを作成した。部材は、柱・梁・スラブ・基礎からなり、その寸法や鉄筋量は、設計図書における構造図とほぼ同等にした既報<sup>2)</sup>と同じとした。設計基準強度および主筋の鉄筋比は、階数ごとに異なる。図-1に本解析モデルを示す。平面計画の対称性により、図中のYZ方向の平面を対称とした1/2モデルとした。また、地盤との拘束がほとんど生じないよう基礎下部にヤング係数を低く設定したダミー要素を設けた。

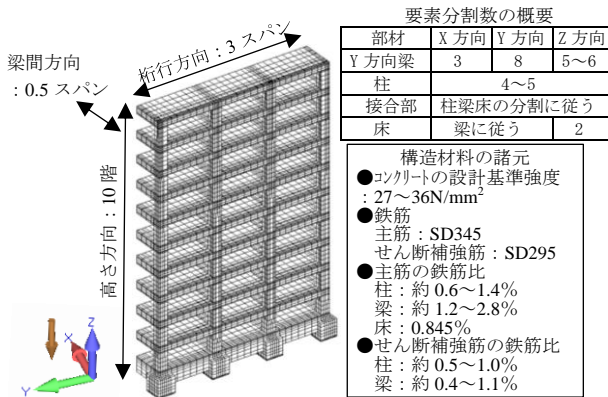


図-1 解析モデル (1/2モデル)

### 3. 解析概要

本解析では、図-2に示すように、乾燥収縮ひずみによるひび割れ発生に伴う非線形解析を、クリープひずみの発生も含めた逐次積分法 (Step-by-step 法) を用いて実行した後、各種応力およびひずみを残留した状態で、水平力による Pushover 解析を行う。要素は8節点アイソパラメトリックソリッド要素である。

また、コンクリートのひび割れモデルは、分散ひび割れモデル<sup>3)</sup> (回転ひび割れ)、鉄筋は分散鉄筋モデルとし、コンクリートとの付着は完全一体とした。要素に存在する鉄筋は、柱および梁については、主筋およびせん断補強筋の鉄筋比の値を均一に配置したものとし、スラ

ブについては平面方向の2方向(x, y方向)について所定の鉄筋比とした。非線形解析における反復計算法は修正ニュートンラプソン法を適用した。本ひび割れ解析では、架構の新設による初期弾性応力に応じてクリープひずみの増分計算し、この架構の乾燥収縮ひずみの増加に伴って生じる弾性ひずみならびにクリープひずみを同様に増分解析し、ひび割れが発生する場合には塑性ひずみの増分解析も行っている。

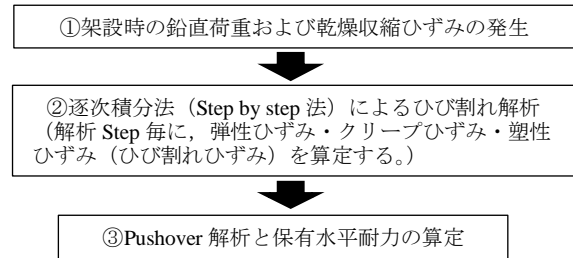


図-2 本研究における解析プロセス

### 4. 材料モデル

コンクリートの応力-ひずみ関係を図-3に示す。引張域については、引張強度までは直線とし、そのヤング係数  $E_c$  を圧縮強度から推定する日本建築学会式<sup>4)</sup>を適用し、引張強度も同学会式を適用し、持続的応力による低減係数を「0.75」とし、ひび割れ発生は引張主応力が引張強度に達した時点とした。また、塑性域における引張軟化則は、白井式<sup>5)</sup>を適用した。

一方、圧縮域については、既報<sup>2)</sup>と同様に、道路橋示方書・同解説 (V耐震設計編) に準拠し、圧縮破壊の判定は圧縮主応力が圧縮強度に達した時点とした。

図-4に引張域の弾性ひずみと塑性ひずみの定義を示す。そして、この弾塑性解析で求めた塑性ひずみ  $\epsilon_p$  を「ひび割れひずみ： $\epsilon_p$ 」、引張軟化領域の大きさを「軟化ひずみ： $\epsilon_d$ 」として、既報<sup>2)</sup>と同様な定義をしている。図-5に引張域におけるひずみ減少時の応力ひずみ関係を示す。弾性域および塑性域ともに、図-4の応力ひずみ関係の途中で、ひずみが減少する場合の応力-ひずみ関係は原点を結ぶ直線の履歴を経るものとした。

柱・梁の主筋はSD345、せん断補強筋およびスラブの鉄筋はSD295とし、応力-ひずみ関係についてはバイリニヤ型とした。

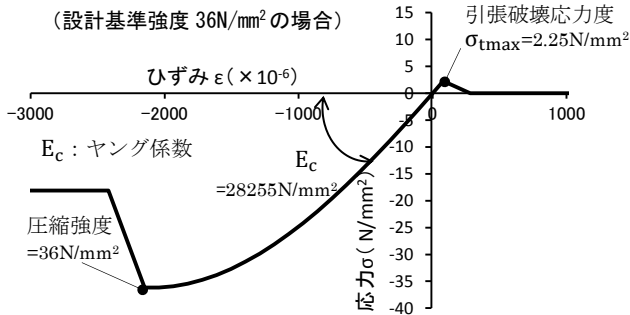


図-3 コンクリートの応力ひずみ関係

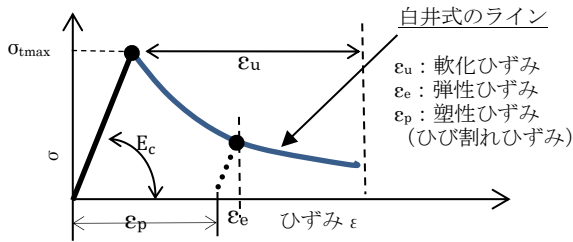


図-4 コンクリート引張域における塑性ひずみ

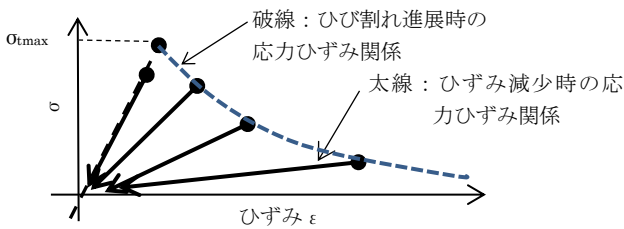


図-5 ひずみ減少時における応力ひずみ関係

## 5. 自重ならびに乾燥収縮ひずみおよびクリープ係数

自重は、コンクリートと鉄筋との複合体の単位体積重量を  $23\text{kN/m}^3$  とした。

乾燥収縮ひずみおよびクリープ係数は、日本建築学会式<sup>4)</sup>を用いた。本解析では、建物全体が一斉に架構されると仮定して新設架構され、その時点から初期弾性ひずみと乾燥収縮ひずみが発生するものとし、柱・梁ならびにスラブの値を同一とした。乾燥収縮ひずみ算定の発生開始を脱型時の材齢 3 日としたが、架構全体に収縮ひずみによる応力が発生する時期は、新設時で支保工を取り外す材齢 28 日経過時からとし、非線形解析における応力発生初期材齢はこの時点とした。基礎および基礎梁は、地中にあるものとし、乾燥収縮は生じないものとした。

乾燥収縮ひずみの大きさは、架設後の値が目標値になるように、単位水量を 185, 195 あるいは  $215\text{kg/m}^3$  とした調査とし、相対湿度を 65% としたうえで、乾燥後の経過時間を決定した。表-1 に本解析で部材に作用させる乾燥学会式に当てはめた値が目標値となるように乾燥材齢を決定した。図-6 に乾燥収縮ひずみの履歴と乾燥材齢の決定

収縮ひずみの目標値を示す。本解析期間の範囲の乾燥収縮ひずみの作用値は、 $0\sim 1000\times 10^{-6}$  を目標として、建築学方法を示す。さらに、クリープ係数の履歴例を図-7 に示す。建築学会式による場合、材齢 28 日以降の載荷によるクリープ係数の収斂値は概ね 1.0 程度の値を示す。

表-1 乾燥収縮ひずみ

解析番号	架設からの目標値 ( $\times 10^{-6}$ )	乾燥開始からの算定値 ( $\times 10^{-6}$ )	材齢 (日)	単位水量 ( $\text{kg/m}^3$ )
1	0	73	28	185
2	200	273	340	
3	400	473	1237	
4	600	674	4298	
5	800	880	19871	195
6	1000	1095	36363	215

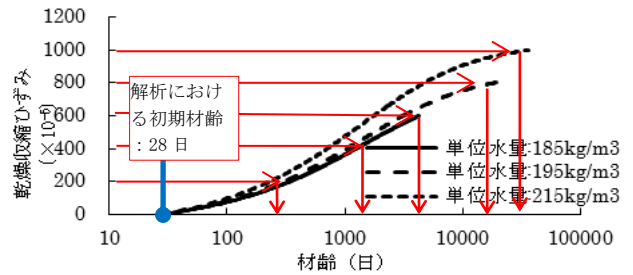


図-6 非線形解析での乾燥収縮ひずみの発生履歴

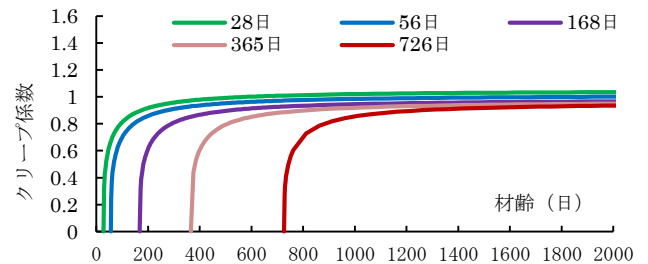


図-7 クリープ係数の履歴例

## 6. まとめ

本報では解析概要を述べた。次報では、解析結果を報告する。

### [参考文献]

- 1) 渡部嗣道, ほか: 自己歪が鉄筋コンクリート造建築物の構造性能に与える影響に関する研究 関する研究 その 1, 日本建築学会学術講演梗概集, 2016
- 2) 渡部嗣道, 張 殿宇, 富田耕司: 鉄筋コンクリート構造物のフルモデルによる乾燥収縮ひび割れ解析, コンクリート年次論文報告集, Vol37, No.2, pp85-90, 2015
- 3) 土木学会: コンクリート標準示方書「設計編」, 2012
- 4) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説, 2006
- 5) 佐藤稔雄, 白井伸明: 鉄筋コンクリート造耐震壁の弾塑性性状に関する研究 (その6: 引張応力-歪曲線にボンド特性を考慮した非弾性解析), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1615-1616, 1978.9

\*ソフトエボリューション(株)

\*\*大阪市立大学大学院 生活科学研究科

\*\*\* (株)バウエンジニアリング

\* Soft Evolution Co.,Ltd.

\*\* Osaka City Uni.

\*\*\* Bau Engineering Co.,Ltd.