

## 時間依存性自己ひずみによる劣化ひび割れに関する解析的研究 (その2. 解析結果)

正会員 ○張 殿宇\*2 同 渡部嗣道\*1 同 富田耕司\*3

### 2. 構造—8. 鉄筋コンクリート構造—g. 構成則・解析法 FEM, 自己ひずみ, クリープ, RC 造建物, ひび割れ

#### 1. はじめに

本報は前報に引き続き、解析結果を報告する。

#### 2. 解析ソフト

##### 2.1 乾燥収縮ひずみによる部材の変形と応力

###### (1) 乾燥収縮ひずみによる部材の損傷と検討項目

図-1 に、前報<sup>1)</sup>の表-2 に示した解析 4 の場合の乾燥収縮ひずみの目標値を作用させた場合における塑性ひずみ (3 方向ひずみベクトルの絶対値: ひび割れひずみ) の発生状況を示す。梁および柱について最も大きな塑性ひずみを生じていたのは低層階の梁であったが、この他、上層階を含めた梁端部や 1 階柱脚部にも塑性ひずみが生じた。この他の解析でも、これと同様な箇所に塑性ひずみ (ひび割れひずみ) が生じた。そこで、本研究では、図-1 に示すように、乾燥収縮ひずみによる部材の変形と損傷について、柱については外柱の層間変形角、梁については中間スパン梁に関する軸方向応力、塑性ひずみ、拘束率について評価することとした。なお、各評価値の経時変化について、前報<sup>1)</sup>の表-2 の解析 1~3 は、解析 4 と同じ材料条件であるから、ここでは解析 4~6 について検討した。

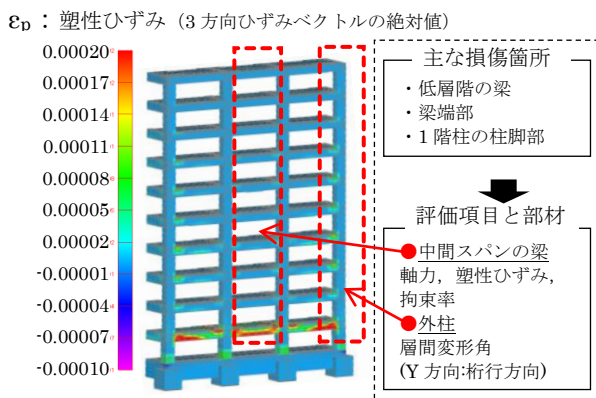


図-1 乾燥後の塑性ひずみ (解析 4)

###### (2) 層間変形角

図-2~4 に、各階の桁行方向に関する層間変形角の経時変化を示す。この値は、各階スラブ位置の外柱の変形から求めた。いずれの解析番号についても 1 および 2 階に大きな層間変形角が生じ、1 階であれば 0.0012 程度 (1/800 程度)、2 階であれば 0.0005~0.0006 (1/2000 程度) 程度であった。解析 5 および 6 については、それを上限として、経過時間とともにその値を保つかやや減少する傾向を示した。図-9 の 1 階柱脚部に塑性ひずみが生じたのは、以上の層間変形によるものと考えられる。

###### (3) 梁に作用する軸方向平均垂直応力

図-5~7 に、桁行方向の梁に作用する軸方向平均垂直応力の経時変化を示す。対象とした梁は、3 スパンのうちの中央の梁で、平均垂直応力は梁中央部の要素群の軸方向 (桁行方向) の直角断面における垂直応力の平均値とした。解析 4 については、引張強度に達したのは 2 階の梁のみであった、解析 5 および 6 については上層階についても引張強度に達していた。ただし、これらの解析で引張強度に達する場合は、その値を保持するか緩やかな減少の傾向を示した。

###### (4) 梁の Y 方向の塑性ひずみの平均値

平均軸力と同様に、同じ梁位置および要素群の塑性ひずみ (Y 方向成分) の平均を求めた。図-8~10 に、その経時変化を示す。解析 4 では 2 階のみ塑性ひずみが生じたが、解析 5 および解析 6 では上層階でも塑性ひずみは増大し、上層階でもひび割れた状態となっていた。

###### (5) 拘束率 (Y 方向ひずみ成分で算定)

これも平均軸力と同様に、同じ梁位置および要素群の拘束率を求めた。拘束率の算定方法は前報<sup>1)</sup>と同様である。図-11~13 に、その経時変化を示す。2

階では 0.4~0.7 程度の高い値を示したが、高層階になるといずれもそれよりも低い値となった。ただし、解析 6 については、高層階でも徐々に大きな値を示す結果となった。このように、梁が拘束されること

によって引張応力が発生し、ひび割れが生じる現象が発生したものと考えられる。

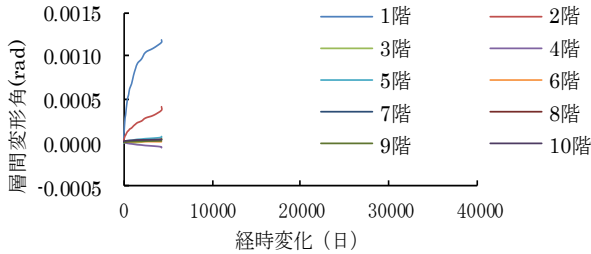


図-2 層間変形角の経時変化 (解析 4)

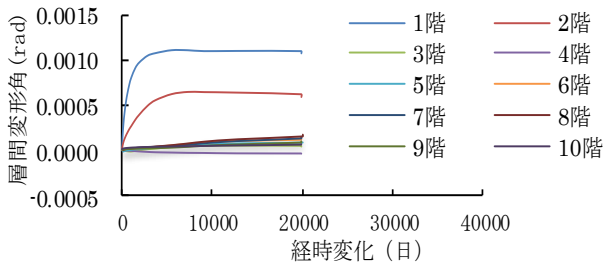


図-3 層間変形角の経時変化 (解析 5)

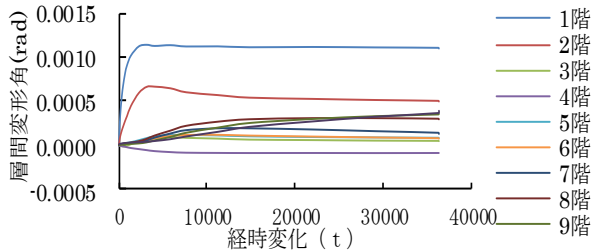


図-4 層間変形角の経時変化 (解析 6)

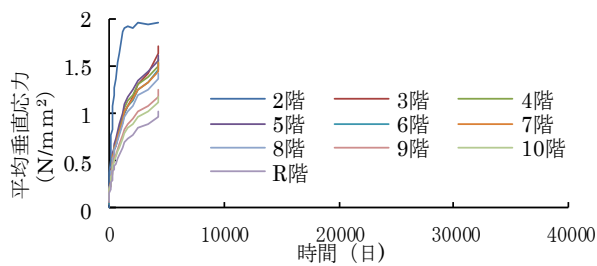


図-5 軸方向平均垂直応力の経時変化 (解析 4)

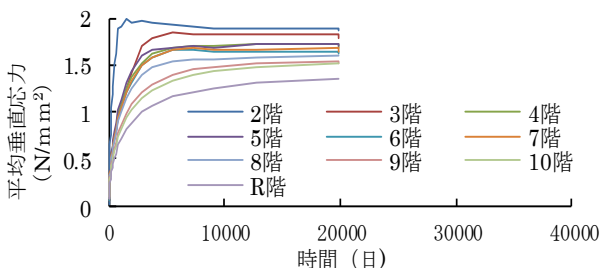


図-6 軸方向平均垂直応力の経時変化 (解析 5)

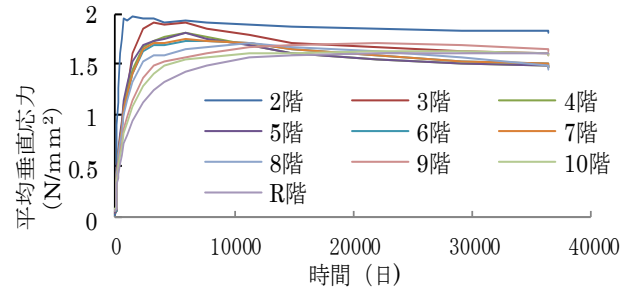


図-7 軸方向平均垂直応力の経時変化 (解析 6)

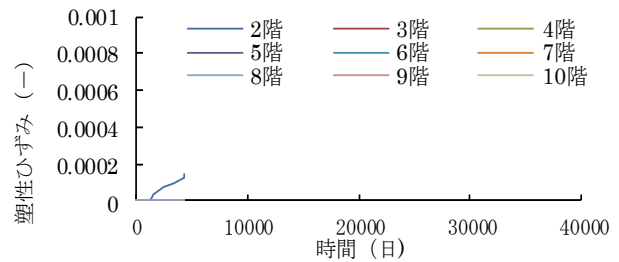


図-8 平均塑性ひずみの経時変化 (解析 4)

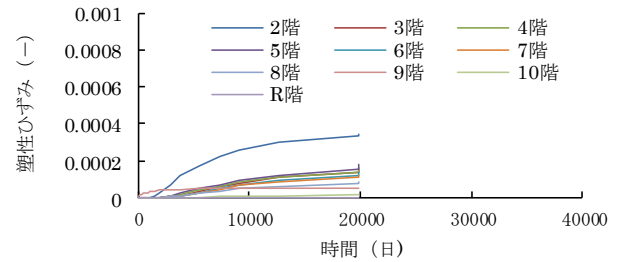


図-9 平均塑性ひずみの経時変化 (解析 5)

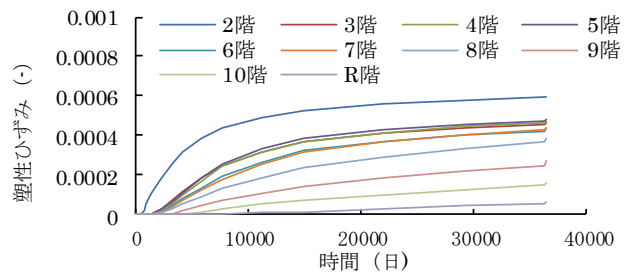


図-10 平均塑性ひずみの経時変化 (解析 6)

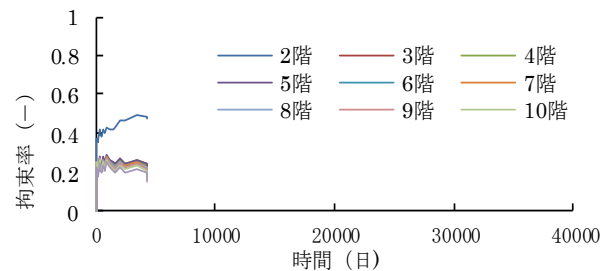


図-11 拘束率の経時変化 (解析 4)

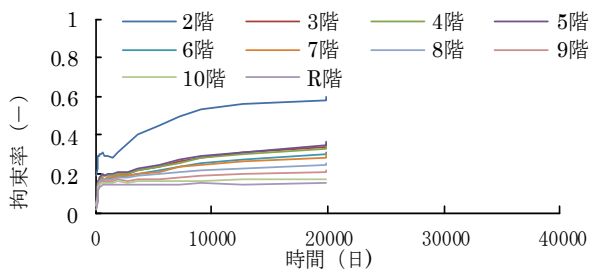


図-12 拘束率の経時変化 (解析 5)

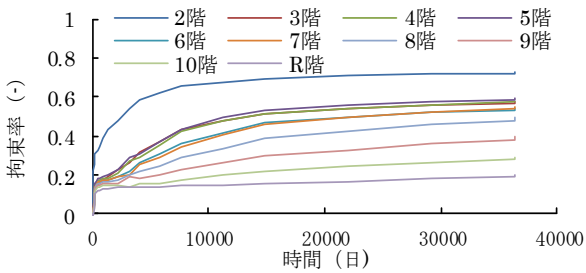


図-13 拘束率の経時変化 (解析 6)

### 3.2 Pushover 解析

(1)市販構造解析ソフトによる場合

図-14 に、市販の一環構造計算ソフト「Super Build/SS3」による解析結果として、層間変形角（桁行方向）と層せん断力との関係を示す。本解析で求められた保有水平耐力は 4413kN であった。

(2)乾燥収縮ひずみ作用後の解析

図-15 に、乾燥収縮ひずみ作用後の Pushover 解析による変形例を示す。これは、4 階の層間変形角が限界変形である 1/100 に達した時点のものである。梁端部に曲げ変形による大きな塑性ひずみ（3 方向ひずみベクトルの絶対値）が低層階から中層階において生じていることが観察された。

図-16~19 に、解析 1~6 のうち、Pushover 解析を行った代表的な例を示す。1/100 の層間変形角（限界変形角）に達する階は、低収縮ひずみの場合は、SS3 の解析結果と同様に 3 階であったが、収縮ひずみが大きくなると、その階数は高くなる傾向を示した。また、限界変形角に達する時点の 1 階の層せん断力を保有水平耐力とした場合には、その値は収縮ひずみが大きくなるほど小さくなる傾向を示した。これらの結果をまとめたものを、表-1 および図-20 に示す。SS3 の計算結果に対する乾燥収縮ひずみのない場合の計算結果との比は、1.05 であり、ほぼ同等の結果となった。また、乾燥収縮のない場合に対して

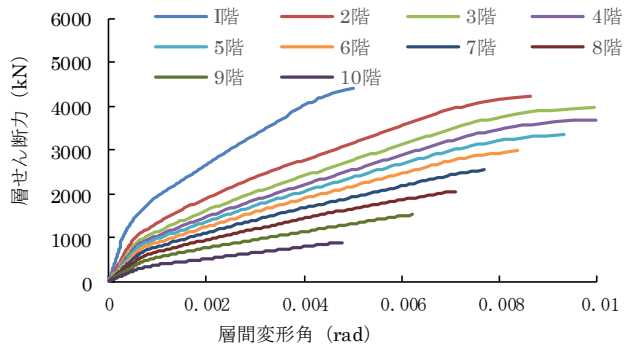


図-14 層間変形角と層せん断力との関係 (SS3)

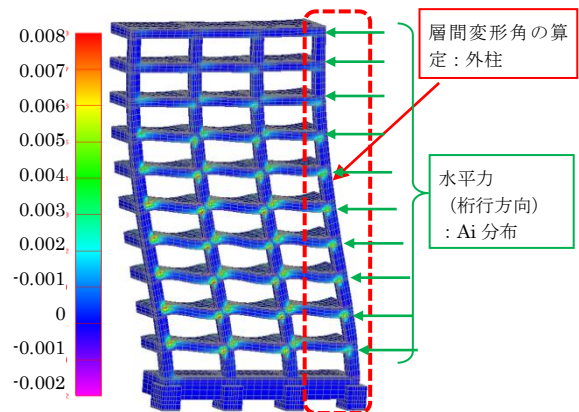


図-15 Pushover 解析での塑性ひずみ (解析 4)

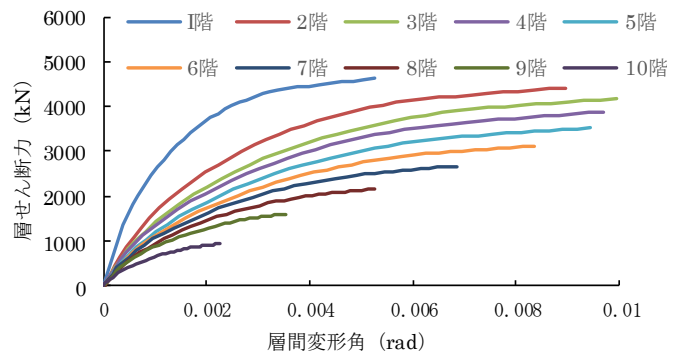


図-16 層間変形角と層せん断力との関係 (解析 1)

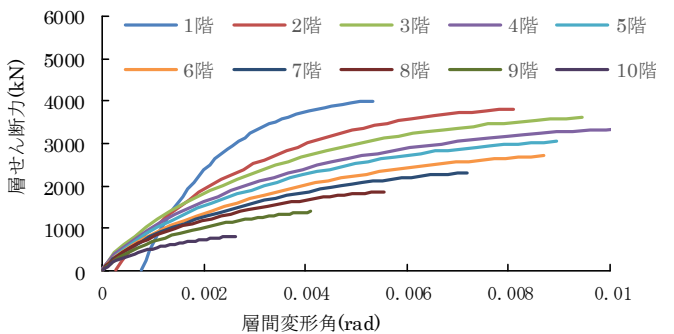


図-17 層間変形角と層せん断力との関係 (解析 3)

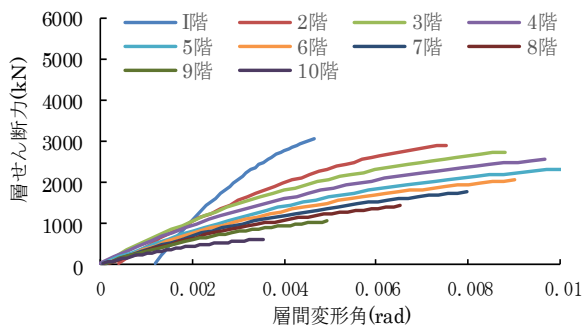


図-18 層間変形角と層せん断力との関係 (解析 5)

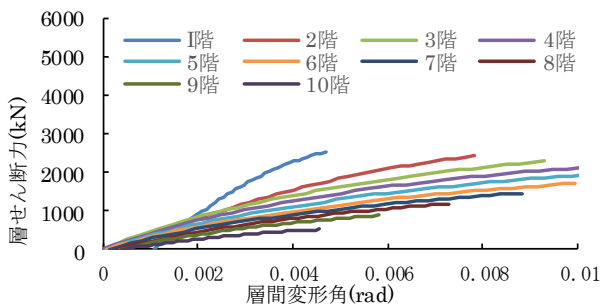


図-19 層間変形角と層せん断力との関係 (解析 6)

表-1 保有水平耐力

	解析番号	乾燥収縮ひずみ ( $\times 10^{-6}$ )	限界変形の到達階	保有水平耐力 (kN)	無収縮に対する比
構造解析ソフト SS3	-	0	3	4413	-
「Soft OCU」による解析	1	0	3	4648	1.000
	2	200	3	4382	0.943
	3	400	4	4002	0.861
	4	600	4	3613	0.809
	5	800	4	3039	0.654
	6	1000	5	2527	0.544

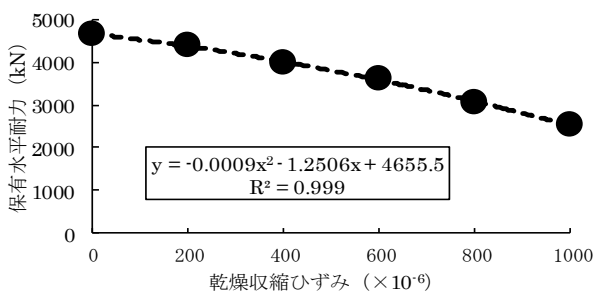


図-20 乾燥収縮ひずみと保有水平耐力との関係

収縮のある場合の値の比は、目標乾燥収縮ひずみが

$400 \times 10^{-6}$  で 0.861,  $800 \times 10^{-6}$  で 0.654,  $1000 \times 10^{-6}$  で 0.544 であった。 $1000 \times 10^{-6}$  程度作用した場合には 50% 近く低下する結果となった。このように収縮ひずみが大きくなるほど、保有水平耐力の算定値が小さくなる要因の一つとして、図-8~10 のように梁部材の塑性ひずみ (ひび割れ歪み) が増大することによって梁の曲げ剛性が低下したことや、図-1 に示したように、層間変形が生じて低層階の柱脚部や各層の梁端部に塑性ひずみが生じたことによって、建物の水平剛性が低下して変形が大きくなったことによるものと考えられる。

#### 4. まとめ

著者らが開発した 3 次元非線形解析用ソフトウェア「Soft-OCU」によって、鉄筋コンクリート造ラーメン構造の乾燥収縮ひび割れ解析を行い、引き続き Pushover 解析を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 乾燥収縮ひずみが生じると水平部材には層間変形が生じ、それは下層階になるほど大きくなり、1 階の柱脚には塑性ひずみが生じる。また、層間変形角の経時変化はいずれもある値以下に収斂する。
- 2) 同様に、乾燥収縮ひずみが生じると、梁は柱や基礎梁などの拘束を受け、軸方向に引張力を受けてひび割れが生じる。塑性ひずみの大きさは低層階ほど大きくなる傾向を示す。
- 3) 乾燥収縮ひずみが生じた後に Pushover 解析を行って保有水平耐力を求めた場合、乾燥収縮ひずみが大きいほど、保有水平耐力は低下し、 $1000 \times 10^{-6}$  程度作用した場合には 50% 近く低下することが分かった。これは、乾燥収縮ひずみによって梁にひび割れが生じることや、低層階の柱脚部が損傷されることなどによって、建物の水平方向の剛性が低下したことによるものと考えられる。

#### [参考文献]

- 1) 渡部嗣道, 張 殿宇, 富田耕司: 時間依存性自己ひずみによる劣化ひび割れに関する解析的研究 (その 1. 研究課題と解析概要), 日本建築学会近畿支部研究報告集, 2016

\*1 大阪市立大学 教授・工博  
 \*2 大阪市立大学大学院 修士課程  
 \*3 ソフトエボリューション株式会社

Prof., Osaka City University, Dr. Eng.  
 Graduate Osaka City University  
 SoftEvolution Co., Ltd