

# 報告 中庸熱ポルトランドセメントと膨張材を併用した無収縮コンクリートの床スラブへの適用事例

石関 浩輔\*1・百瀬 晴基\*2・関田 徹志\*3・氏平 玲子\*4

**要旨**：近年、躯体コンクリートの耐久性に対する要求水準の高まりから、収縮ひび割れ抑制を目的として膨張材や収縮低減剤の仕様が設計図書に明記される事例が増加傾向にある。本報では、中庸熱ポルトランドセメントと膨張材を組み合わせた無収縮コンクリートについて、モックアップを用いた温度・ひずみ計測と応力解析によってひび割れ抵抗性を定量的に評価し、実工事に適用した。その結果、モックアップにおいて無収縮コンクリートは普通セメントに膨張材と収縮低減剤を組み合わせた仕様と同等以上のひび割れ抵抗性を有することを確認した。また、実躯体においても無収縮コンクリートの高いひび割れ抵抗性が確認された。

**キーワード**：コンクリート、収縮、ひび割れ、中庸熱セメント、膨張材

## 1. はじめに

近年、躯体コンクリートの耐久性に対する要求水準の高まりから、収縮ひび割れ抑制に関する事項が設計仕様に盛り込まれる傾向が強まっている。日本建築学会のひび割れ制御設計指針<sup>1)</sup>やJASS5<sup>2)</sup>においては、収縮ひび割れの主要因である乾燥収縮について収縮率の目標値が明記されている。このことを背景に、収縮ひび割れ抑制を目的として膨張材や収縮低減剤の仕様が設計図書に明記されることも多い。しかし、膨張材や収縮低減剤の乾燥収縮低減効果が定量的に検討されている事例は少ない。

本報では、中庸熱ポルトランドセメントと膨張材を組み合わせた無収縮コンクリートについて、床スラブを模擬した実大試験体(モックアップ)を用いた温度・ひずみ計測と応力解析によってひび割れ抵抗性を定量的に評価し、実工事に適用した事例について報告する。

## 2. 無収縮コンクリートの概要

図-1 に、無収縮コンクリートの概念図を示す。本図は、JIS A 6202 付属書 2「膨張コンクリートの拘束膨張および収縮試験」の結果例である。図-1 に示すように、同試験において材齢半年経過時点で膨張ひずみが残存する性能を有するコンクリートを、本報では無収縮コンクリートと定義した。

無収縮コンクリートの性能は、膨張量と収縮量を制御することで実現した。膨張量については結合材として低発熱系セメントと膨張材を併用することで膨張材による膨張効果を最大限に引き出し、収縮量については使用する骨材を厳選することで乾燥収縮率を 500 $\mu$ 以下の特級レベル<sup>1)</sup>相当まで低減した。

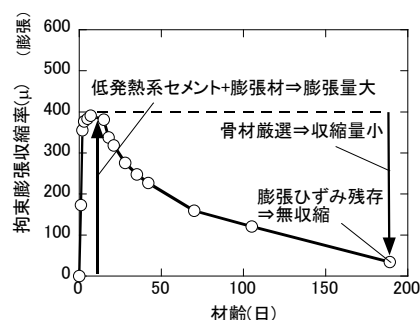


図-1 無収縮コンクリートの概念図<sup>3)</sup>

## 3. 対象建物の概要と無収縮コンクリートの提案

対象建物は大規模物流施設で、検討を行った対象範囲は長辺方向 294m, 短辺方向 117m の 1 階床スラブである。1 階床スラブのコンクリートは数量約 8300m<sup>3</sup> であり、設計基準強度 24N/mm<sup>2</sup>, スランプ 15cm, 単位水量 175kg/m<sup>3</sup> 以下の指定があった。スラブ厚は 250mm で、スラブ下の型枠はデッキプレートを採用した。床スラブへのコンクリート打設期間は 4 月から 7 月を予定していた。

本建物は免震構造であり、1 階床スラブは直下に免震装置を備えた大梁により拘束され、スラブは外気に接しているのに対し大梁は年間温度変化の影響を受けにくい免震ピット内にある。すなわち、年間温度変化によりスラブに温度ひずみが生じた際、拘束体である大梁には温度ひずみが生じないため、スラブの温度ひずみが拘束され応力が発生する条件であった。

1 階床スラブに関する懸念点と設計要求について述べる。初めに、1 階床スラブは基本グリッドが 12000×9000mm で、基本床組は 1500×2000mm の RC 大梁と WH-1100×400×16×32 の S 小梁で支持されており、乾燥収縮に対する拘束が大きく乾燥収縮ひび割れの発生が

\*1 鹿島建設(株)技術研究所 建築生産グループ 研究員 修士(工学) (正会員)

\*2 鹿島建設(株)技術研究所 建築生産グループ 主任研究員 博士(工学) (正会員)

\*3 鹿島建設(株)技術研究所 建築生産グループ グループ長 Ph.D (正会員)

\*4 鹿島建設(株)東京建築支店工事管理本部建築工事管理部技術グループ 課長代理 (会員外)

懸念された。また、打設時期が外気温の比較的高い4月から7月であるため、コンクリート打設後、冬期に外気温が低下した際に年間温度変化による温度応力が增大すること、打設時期に加えてスラブ厚が比較的大きいためコンクリートの水和熱による温度応力が增大することが懸念された。一方、設計要求として1階床スラブの乾燥収縮ひび割れの抑制が求められ、普通ポルトランドセメントに膨張材と収縮低減剤を組み合わせた仕様が特記されていた。

しかしながら、普通ポルトランドセメントの使用は温度応力ひび割れ抑制の観点から望ましくないと考えられ、また収縮低減剤は出荷予定ブランドの乾燥収縮率が小さいため効果が限定的であると考えられた。

以上から、収縮ひび割れおよび温度ひび割れに効果の高い、中庸熱ポルトランドセメントに膨張材を組み合わせた無収縮コンクリートを提案した。本コンクリートは過去に実工事で適用実績があり、無収縮コンクリートの定義に合致することが確認されているものである<sup>4)</sup>。

#### 4. モックアップによるひび割れ抵抗性の定量評価

##### 4.1 実験概要

本実験では、無収縮コンクリートのひび割れ抵抗性を定量的に評価することを目的として、対象建物の床スラブを模擬したモックアップの温度・ひずみ計測および応力解析を実施した。

表-1 に実験要因と水準の組合せを示す。無収縮コンクリートを ME、比較対象を NES とした。セメントは普通ポルトランドセメント(N)および中庸熱ポルトランドセメント(M)の2水準とした。膨張材(E)は全水準で使用し、収縮低減剤(SR)は NES でのみ使用し、ME では使用しなかった。

表-2 に使用材料を、表-3 に調合表を示す。コンクリートは NES では 27-15-20N、ME では 27-15-20M とした。また、膨張材の使用量は全水準で 20kg/m<sup>3</sup> とし、セメントの内割で混合した。

図-2 にモックアップの詳細を、図-3 に自由収縮試験体の詳細を示す。モックアップは高さ 900mm×幅 600mm×長さ 5000mm の梁に厚さ 250mm×幅 2850mm 長さ 5000mm のスラブが打設されたもので、スラブ配筋は本工事と同様 D13@200mm ダブルとした。一方、自由収縮試験体は厚さ 250mm×幅 1000mm×長さ 1000mm で、床スラブを模擬するため周囲 4 方向に厚さ 100mm の断熱材を設置した。本報で検討したコンクリートには膨張材を用いており、安定した膨張量を計測するために自由収縮試験体には鉄筋比 0.1%の鉄筋(D6@250mm ダブル)を配した<sup>5)</sup>。図-2 で梁部は地中に埋設しているが、これは前述した1階床スラブの条件に鑑み、床スラブに温

度ひずみが生じたときの拘束を強く与えるためである。

モックアップのスラブには図-2 に示す位置に、自由収縮試験体には図-3 に示す位置にひずみ計および熱電

表-1 実験要因と水準の組合せ

記号	セメント	膨張材(E)	収縮低減剤(SR)
NES	普通セメント(N)	○	○
ME	中庸熱セメント(M)	○	-

表-2 使用材料

項目	記号	材料	物性値
セメント	N	普通ポルトランドセメント	密度3.16g/cm <sup>3</sup>
	M	中庸熱ポルトランドセメント	密度3.21g/cm <sup>3</sup>
混和材	E	膨張材	密度3.16g/cm <sup>3</sup>
水	W	上水道水	-
細骨材	S	山砂(千葉県君津市産) 容積割合75%	表乾密度2.62g/cm <sup>3</sup> F.M. 2.47
		砕砂(栃木県佐野市産) 容積割合25%	表乾密度2.67g/cm <sup>3</sup> F.M. 3.0
粗骨材	G	砕石(高知県吾川郡仁淀町産)	表乾密度2.70g/cm <sup>3</sup> F.M. 61.0
混和剤	SR	収縮低減剤	-
	Ad	AE減水剤標準形 I種	-

表-3 調合表

記号	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )							
			N	M	E	W	S	G	SR	Ad
NES	53.5	44.3	302	-	20	172	795	1023	8	2.58
ME	50.4	45.2	-	314	20	168	814	1010	-	2.67

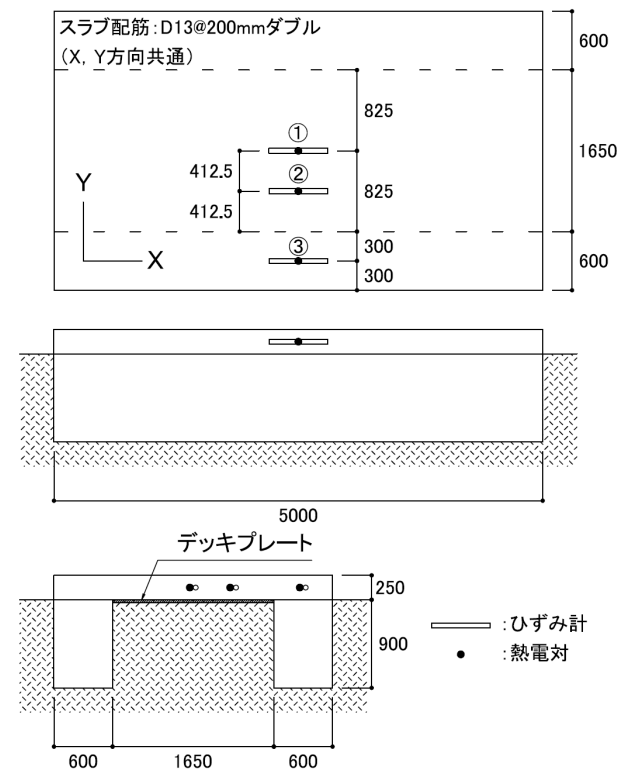


図-2 モックアップの詳細

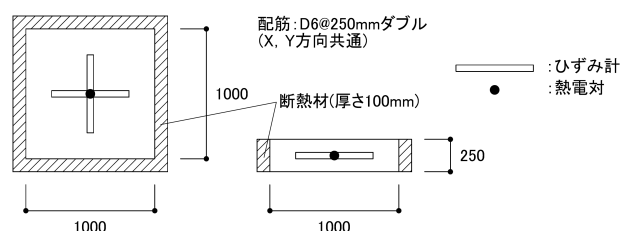


図-3 自由収縮試験体の詳細

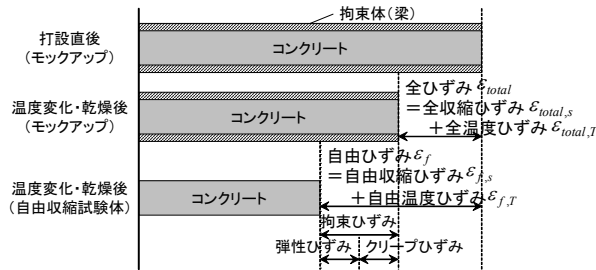


図-4 ひずみの概念図

表-4 フレッシュコンクリート試験結果

記号	調査	スラブ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	単位容積質量 (kg/m³)	外気温 (°C)
NES	27-15-20N	17.5	4.9	34	2317	37
ME	27-15-20M	16.0	4.0	32	2349	36

※スラブ: 15±2.5cm, 空気量: 4.5±1.5%

表-5 強度試験結果

記号	項目	現場封かん			標準 29日
		8日	29日	91日	
NES	圧縮強度(N/mm²)	26.0	30.8	33.4	35.2
	静弾性係数(kN/mm²)	28.6	32.5	33.5	31.5
	割裂引張強度(N/mm²)	2.35	2.57	2.57	-
ME	圧縮強度(N/mm²)	25.4	32.9	37.9	38.0
	静弾性係数(kN/mm²)	26.5	31.5	34.8	33.1
	割裂引張強度(N/mm²)	2.47	2.78	2.85	-

対を設置し、打設直後からコンクリートの温度・ひずみを測定した。

#### 4.2 ひずみの定義

本報で使用するひずみの名称を図-4 に示す。梁により拘束を受けるモックアップのスラブのひずみを全ひずみ $\epsilon_{total}$ と定義した。また、拘束を受けない自由収縮試験体のひずみを自由ひずみ $\epsilon_f$ と定義した。

全ひずみ、自由ひずみのいずれも収縮ひずみ成分 $\epsilon_s$ と温度ひずみ成分 $\epsilon_T$ からなり、収縮ひずみ成分は主として膨張材による膨張、自己収縮および乾燥収縮に起因し、温度ひずみ成分は主として水和熱および環境温度の変動による体積変化に起因するものである。これらのひずみは、図-4 に示すようにそれぞれ全収縮ひずみ $\epsilon_{total,s}$ 、全温度ひずみ $\epsilon_{total,T}$ 、自由収縮ひずみ $\epsilon_{f,s}$ 、自由温度ひずみ $\epsilon_{f,T}$ と定義した。

### 5. 実験結果

#### 5.1 フレッシュコンクリート試験結果

表-4 にフレッシュコンクリート試験結果を示す。いずれのコンクリートもスランプ、空気量が許容値を満足し、コンクリート温度は35°C以下であった。

#### 5.2 強度試験結果

表-5 に強度試験結果を示す。NES と ME を比較すると、圧縮強度は材齢 29 日および 91 日の長期材齢では ME が大きい結果であった。また、割裂引張強度は全材齢で ME が大きい結果であった。

#### 5.3 温度・ひずみ計測結果

図-5 に、温度・ひずみ計測により得られた材齢 84 日

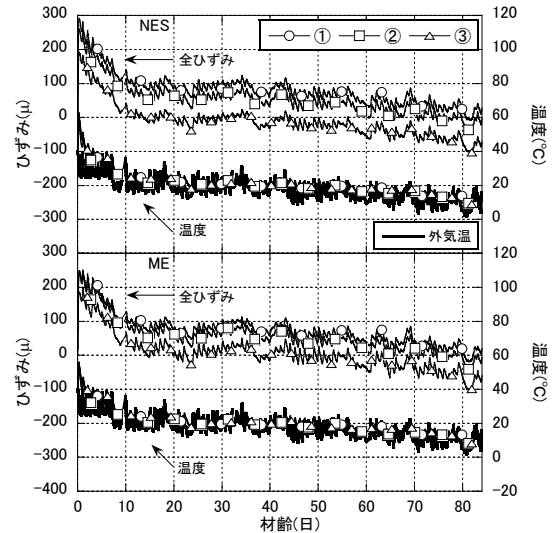


図-5 モックアップの全ひずみと温度の測定結果

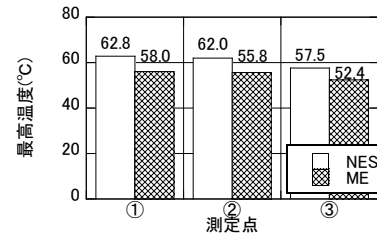


図-6 モックアップの最高温度

表-6 最大全ひずみ、最高温度および材齢 84 日の全ひずみと温度

記号	項目	計測点①			計測点②			計測点③			平均	
		最大	材齢 84日	材齢 84日	最大	材齢 84日	材齢 84日	最大	材齢 84日	最大	材齢 84日	
NES	全ひずみ(μ)	291	27	259	-2	192	-70	248	-15	-262		
	温度(°C)	62.8	12.3	62.0	12.7	57.5	11.7	60.8	12.2	-48.5		
ME	全ひずみ(μ)	251	19	244	-7	198	-59	231	-16	-246		
	温度(°C)	56.0	11.1	55.6	11.5	52.4	10.9	54.7	11.2	-43.5		

までのモックアップの全ひずみと温度の経時変化を、図-6 にモックアップの最高温度を示す。図-6 より最高温度は NES で①62.8°C、②62.0°C、③57.5°C、ME で①58.0°C、②55.8°C、③52.4°Cであり、NES の方が5°C程度高い結果となった。

表-6 に、全ひずみと温度の最大値および材齢 84 日時点の全ひずみと温度を示す。最大値から材齢 84 日時点の値までの変化量の絶対値は、いずれも ME より NES が大きい結果となった。

### 6. 応力解析

#### 6.1 ひずみの分解

スラブの応力解析に用いるインプットデータを求めるため、モックアップと自由収縮試験体のひずみ計測により得られたひずみを収縮ひずみと温度ひずみに分解した。

初めに、コンクリートの線膨張係数を求めた。本報ではコンクリートの材齢初期の膨張・収縮が落ち着き、自己収縮の影響が無視できると考えられる材齢 56 日を原点とし 91 日までの期間について、6 時間間隔で抽出した

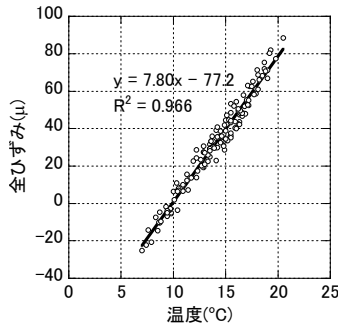


図-7 ひずみと温度の関係の例

表-7 線膨張係数の一覧

計測点	線膨張係数(μ/°C)	
	NES	ME
モックアップ	①	7.80
	②	7.77
	③	7.34
自由収縮試験体	8.64	9.12

データから図-7 のようなひずみと温度の関係を得、この勾配からコンクリートの線膨張係数を求めた。

表-7 に算定した線膨張係数一覧を示す。モックアップ、自由収縮試験体のいずれも、NES より ME の線膨張係数がやや大きい結果となった。また、モックアップは自由収縮試験体よりも線膨張係数が小さいが、これはモックアップが梁による拘束を受けるため、自由収縮試験体と比較して同じ温度変化量に対するひずみ変化量が小さいことに起因すると考えられる。

算定した線膨張係数を用いて、全収縮ひずみ、全温度ひずみ、自由収縮ひずみ、自由温度ひずみを算定した。それぞれのひずみの算定式を(1)および(2)に示す。

$$\varepsilon_{total,s} = \varepsilon_{total} - \varepsilon_{total,T} \quad (1)$$

$$\varepsilon_{f,s} = \varepsilon_f - \varepsilon_{f,T}$$

$$\varepsilon_{total,T} = \alpha_{total} \cdot \Delta T \quad (2)$$

$$\varepsilon_{f,T} = \alpha_f \cdot \Delta T$$

ここで、 $\alpha_{total}$ : モックアップの線膨張係数(°C)、 $\alpha_f$ : 自由収縮試験体の線膨張係数(°C)、 $\Delta T$ : 温度変化量(°C)である。ただし、モックアップについては計測点①、②、③で個別にひずみの算定を行い、3箇所を各コンクリートの結果とした。

図-8 にひずみの分解結果を示す。NES と ME のいずれも、全収縮ひずみは材齢初期に 150μ程度、自由収縮ひずみは材齢初期に 300μ程度の膨張が生じ、その後材齢 84 日まで著しい収縮は確認されなかった。

## 6.2 解析方法

図-9 に、スラブの応力解析の流れを示す。スラブが梁や地盤から拘束を受ける条件下でコンクリートに体積変化が生じると、膨張時には圧縮応力が、収縮時には引張応力が発生する。これらの応力のうち、収縮ひずみに起因する応力を収縮応力、温度ひずみに起因する応力を温度応力と定義する。これら2つの応力を応力解析によ

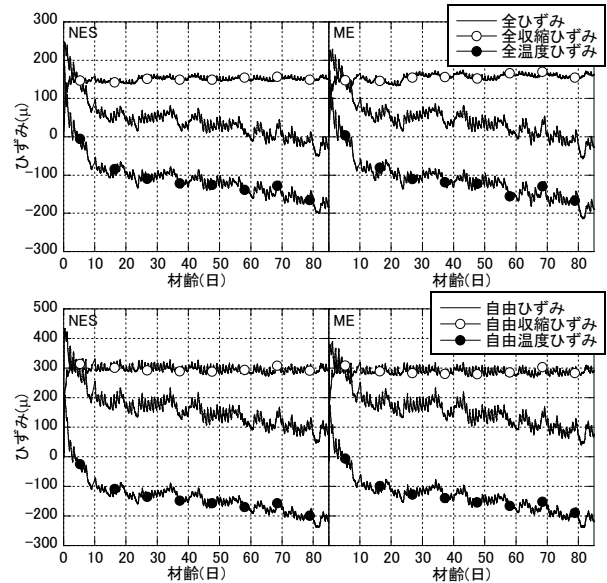


図-8 ひずみの分解結果

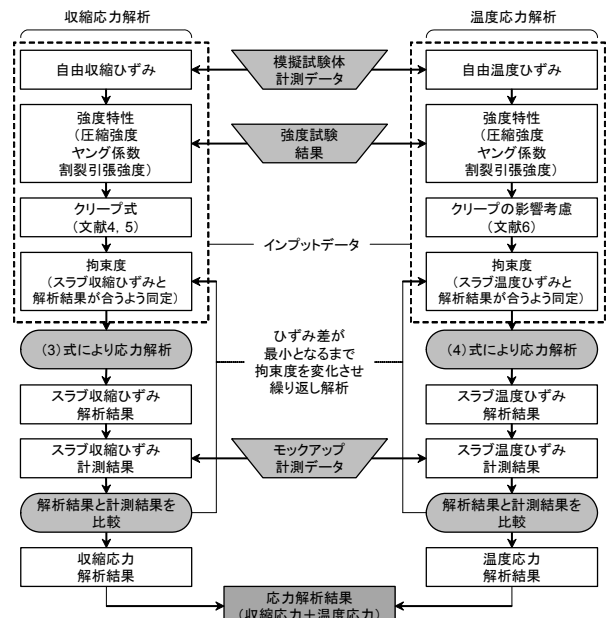


図-9 応力解析の流れ

りそれぞれ求め、それらを足し合わせることで、スラブに生じる応力を算定した。なお解析において、スラブとデッキプレートおよび梁のひずみは一致するものとし、またスラブは梁および地盤の上にあるため、曲げの影響は無視できるものとした。

応力解析には、インプットデータとしてコンクリートの自由ひずみと、圧縮強度、ヤング係数、割裂引張強度などの物性値が必要となる。本報では前者に自由収縮試験体のひずみ計測結果を、後者に強度試験結果を用いた。

収縮応力の解析では膨張コンクリートに対応できるクリープ式<sup>6),7)</sup>を用い、有効ヤング係数を用いた重ね合わせ法<sup>1)</sup>により収縮応力を算定した。温度応力の解析ではヤング係数を一律に低減することでクリープの影響を考慮する有効ヤング係数法<sup>8),9)</sup>を用い、マスコンクリート

の簡易な温度応力解析で用いられる手法により温度応力を算定した。収縮応力算定式を(3)に、温度応力算定式を(4)に示す。

$$\sigma_s(t_i) = \sum_{j=1}^i \frac{1}{1 + \phi(t_i, t_j)} \cdot E_c(t_j) \cdot R_s(t_j) \cdot \Delta \varepsilon_{f,s}(t_j) \quad (3)$$

ここで、 $\sigma_s(t_i)$  :  $t_i$  日における収縮応力(N/mm<sup>2</sup>)、 $\phi(t_i, t_j)$  :  $t_j$  日で載荷された  $t_i$  日におけるクリープ係数、 $E_c(t_i)$  :  $t_i$  日におけるヤング係数(N/mm<sup>2</sup>)、 $R_s(t_i)$  :  $t_i$  日における収縮ひずみに対する拘束度、 $\Delta \varepsilon_{f,s}(t_i)$  :  $t_i$  日における自由収縮ひずみの増分である。

$$\sigma_T(t_i) = \frac{1}{1 + \phi} \cdot E_c(t_i) \cdot R_T(t_i) \cdot \varepsilon_{f,T}(t_i) \quad (4)$$

ここで、 $\sigma_T(t_i)$  :  $t_i$  日における温度応力(N/mm<sup>2</sup>)、 $1/(1 + \phi)$  : クリープを考慮したヤング係数の補正係数、 $E_c(t_i)$  :  $t_i$  日におけるヤング係数(N/mm<sup>2</sup>)、 $R_T(t_i)$  :  $t_i$  日における温度ひずみに対する拘束度、 $\varepsilon_{f,T}(t_i)$  :  $t_i$  日における自由温度ひずみである。

いずれの解析においてもスラブの拘束度は未知であるため、応力解析で得られたスラブの全ひずみと、モックアップのひずみ計測で得られたスラブの全ひずみの差が最も小さくなるよう拘束度を同定した。この拘束度を用いて、スラブの応力を算定した。

図-10 に自由収縮ひずみと自由温度ひずみのインプットデータを示す。自由収縮ひずみと自由温度ひずみは計測データを基に、土木学会の収縮ひずみの式<sup>10)</sup>を参考にした(5)式、(6)式の係数を最小二乗法により同定して回帰式を求め、解析の入力に供した。なお、(5)式は乾燥開始前後の自由収縮ひずみを正しく表現するため乾燥開始材齢を境界として、(6)式は温度上昇時と下降時の自由温度ひずみを正しく表現するためコンクリート温度が最大となる材齢を境界として、それぞれ2つの式を用いた。

$$t_i \leq t_s : \varepsilon_{f,s}(t_i) = a_{s1} [1 - \exp\{a_{s2} \cdot (t_i)^{a_{s3}}\}] \quad (5)$$

$$t_i > t_s : \varepsilon_{f,s}(t_i) = a_{s4} [1 - \exp\{a_{s5} \cdot (t_i - t_s)^{a_{s6}}\}] + \varepsilon_{f,s}(t_s)$$

ここで、 $\varepsilon_{f,s}(t_i)$  :  $t_i$  日における自由収縮ひずみ、 $t_s$  : 乾燥開始材齢、 $a_{s1} \cdot a_{s4}$  : 自由収縮ひずみの終局値、 $a_{s2} \cdot a_{s3} \cdot a_{s5} \cdot a_{s6}$  : 自由収縮ひずみの発現を表す係数である。

$$t_i \leq t_T : \varepsilon_{f,T}(t_i) = a_{T1} [1 - \exp\{a_{T2} \cdot (t_i)^{a_{T3}}\}] \quad (6)$$

$$t_i > t_T : \varepsilon_{f,T}(t_i) = a_{T4} [1 - \exp\{a_{T5} \cdot (t_i - t_T)^{a_{T6}}\}] + \varepsilon_{f,T}(t_T)$$

ここで、 $\varepsilon_{f,T}(t_i)$  :  $t_i$  日における自由温度ひずみ、 $t_T$  : コンクリート温度が最大となる材齢、 $a_{T1} \cdot a_{T4}$  : 自由温度ひずみの終局値、 $a_{T2} \cdot a_{T3} \cdot a_{T5} \cdot a_{T6}$  : 自由温度ひずみの発現を表す係数である。

図-11 に強度特性のインプットデータを示す。圧縮強度とヤング係数は、実験結果を基に CEB-FIP 1990 式<sup>11)</sup>の係数を同定して回帰式を求め、解析の入力に供した。割裂引張強度は、実験結果を基に野口式<sup>12)</sup>の係数を同定して回帰式を求め、解析の入力に供した。ひび割れ強度

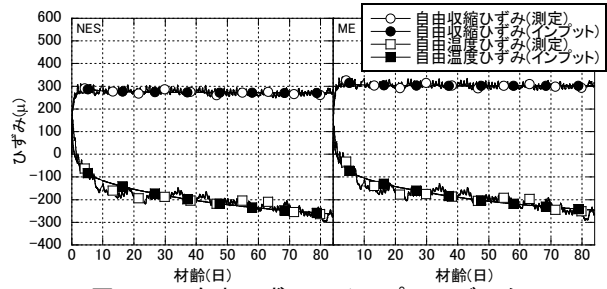


図-10 自由ひずみのインプットデータ

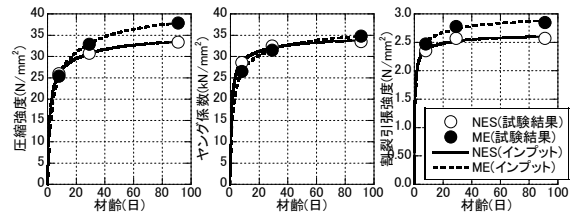


図-11 強度特性のインプットデータ

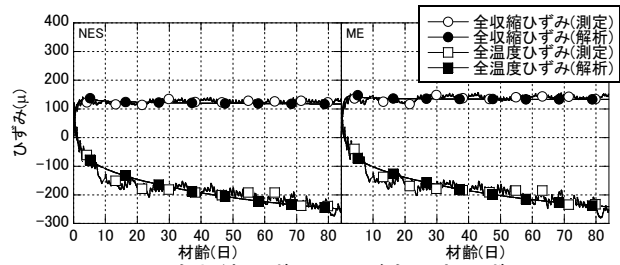


図-12 全収縮ひずみおよび全温度ひずみの測定結果と解析結果

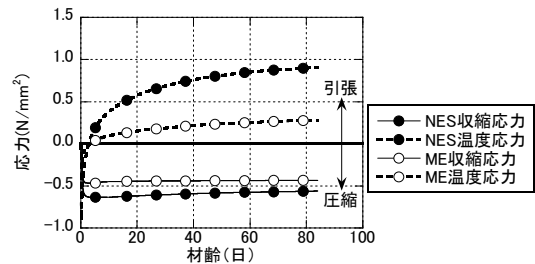


図-13 温度応力および収縮応力の解析結果

は割裂引張強度の回帰式に 0.7 を乗じて算定した<sup>13)</sup>。

図-12 にスラブの全収縮ひずみと全温度ひずみの計測結果と解析結果を示す。前述のように拘束度を定めたことで図-12 の全収縮ひずみと全温度ひずみの解析結果が計測結果と概ね一致した。

### 6.3 解析結果

図-13 に収縮応力と温度応力の解析結果を示す。収縮応力は NES の方が圧縮側に約 0.1N/mm<sup>2</sup> 程度大きく、温度応力は NES の方が引張側に約 0.6N/mm<sup>2</sup> 程度大きい結果となった。温度応力については、打設後のコンクリートの最高温度は NES が ME よりも 6°C 程度高かったため、NES の温度降下量の方が大きく、温度応力が大きくなったと考えられる。

図-14 に、収縮応力と温度応力を合算した応力と、ひび割れ強度の解析値を示す。応力と強度を比較すると、NES と ME のいずれもスラブに発生する応力はひび割れ

強度に対して十分余裕がある結果となった。また、NESとMEの応力を比較すると、材齢84日時点でNESに発生した引張応力が $0.3\text{N/mm}^2$ であるのに対し、MEに発生した引張応力は $0.1\text{N/mm}^2$ の未満であり、ひび割れ抵抗性はMEの方が高い結果となった。これは、図-13に示すように、収縮応力はNESとMEで大きな差がない一方で、温度応力はMEの方が小さかったためである。

以上の結果より、無収縮コンクリートMEを実工事のコンクリートとして採用するに至った。

#### 6.4 実施工結果

表-8に無収縮コンクリートMEの受入検査結果および強度試験結果を示す。スラブ、空気量が許容値を満足し、圧縮強度は呼び強度を満足した。実工事にてMEを用いて打設された実躯体の床スラブには、材齢126日時点でひび割れは確認されなかった。このことから実躯体においてもMEの高いひび割れ抵抗性が確認された。

#### 7. 結論

本報では、コンクリートの収縮ひび割れ抑制を目的として中庸熱ポルトランドセメントと膨張材を組み合わせた無収縮コンクリートについて、床スラブを模擬したモックアップを用いた温度・ひずみ計測と応力解析によってひび割れ抵抗性を定量的に評価し、実工事に適用した事例について報告した。検討の結果、下記の事項が明らかとなった。

- (1) 無収縮コンクリートMEと比較対象NESを用いて作製したモックアップのスラブの温度・ひずみ計測を実施し、応力解析を行った結果、材齢84日時点でNESに生じた引張応力は $0.3\text{N/mm}^2$ 程度であるのに対し、MEでは $0.1\text{N/mm}^2$ 未満であった。このことから、ひび割れ抵抗性はMEの方が優れていた。この結果より、MEを実工事のコンクリートとして採用するに至った。
- (2) 測定したコンクリートの線膨張係数を用いてコンクリートのひずみを収縮ひずみと温度ひずみに分解し、解析を行った結果、収縮応力と温度応力が個別に得られた。このことはコンクリートの応力が増大する原因を抽出し、有効な対策を講じることができると考えられる。
- (3) 実工事にて無収縮コンクリートMEを用いて打設した実躯体の床スラブには、材齢126日時点でひび割れは確認されなかった。このことから実躯体においてもMEの高いひび割れ抵抗性が確認された。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひ

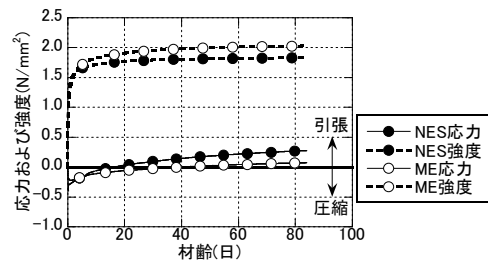


図-14 応力およびひび割れ強度の解析結果

表-8 受入検査結果および強度試験結果

車	時間 (時:分)	スラブ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度(°C)	外気温 (°C)	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> ) 標準28日
1	9:15	16.5	3.1	34	33	33.9
2	9:50	13.0	3.2	34	34	-
3	10:15	13.0	3.2	34	34	-

※スラブ:  $15 \pm 2.5\text{cm}$ , 空気量:  $4.5 \pm 1.5\%$

び割れ制御設計・施工指針(案)・同解説, 2006.

- 2) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事, 2009.
- 3) 百瀬晴基, 閑田徹志, 荻原克二, 鈴木康範：低発熱系セメントと膨張材を併用した無収縮コンクリートの適用事例, セメント・コンクリート, No.811, pp.29-35, 2014.
- 4) 閑田徹志, 八隅竹水, 百瀬晴基, 鈴木康範：不規則開口を有する角筒状の高層壁式免震建物の施工, コンクリート工学, Vol.48, No.8, pp.19-25, 2010.
- 5) 百瀬晴基, 閑田徹志, 鈴木康範, 小林隆芳：低熱ポルトランドセメントおよび膨張材を用いたコンクリートの膨張収縮挙動に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.495-499, 2004.
- 6) 百瀬晴基, 閑田徹志, 溝渕利明, 三橋博三：膨張材を用いたコンクリートのクリープ性状に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, No.608, pp.1-8, 2006.
- 7) 百瀬晴基：乾燥収縮に起因するひび割れ発生制御設計に関する研究, 東北大学博士論文, 2008.
- 8) 日本コンクリート工学協会：コンクリートのひび割れ制御指針 2008, 2008.
- 9) 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メカニズムと対策技術の現状, 2003.
- 10) 土木学会：コンクリート標準示方書 設計編, pp.45-49, 2008.
- 11) Comite Euro - International Du Beton : CEB - FIP Model Code 1990, 1991.
- 12) 野口貴文, 友澤史紀：高強度コンクリートの圧縮強度と各種力学特性との関係, 日本建築学会構造系論文集, No.472, pp.11-16, 1995.
- 13) 牧角龍憲, 太田俊昭：外的に線拘束されたコンクリートの乾燥収縮ひび割れに関する基礎研究, 土木学会論文集, No.378, V-6, pp.137-146, 1987.