

# スラブにおけるコンクリートのひび割れ防止対策

## Crack Prevention Measures of Slab Concrete

小林 利充*	和田 高清*
Toshimitsu Kobayashi	Kiyotaka Wada
白石 明**	菊川 資弘**
Akira Shiraishi	Motohiro Kikukawa
下村 宏***	塚田 政美***
Hiroshi Shimomura	Masami Tsukada

### 要 約

近年、ひび割れに対する社会的な関心が高まる中、ひび割れ低減技術の確立が切望されている。本論では、デッキスラブにおけるコンクリートのひび割れ防止技術を検討する際の一考察として、フェーズⅠとして、スラブをモデル化し、養生方法や誘発目地がひび割れに及ぼす影響について検討している。併せて、モデル部材の強度発現性及び含水状況についても検討している。又、フェーズⅡとして、フェーズⅠで得られた結果をもとに実施工を行っており、実構造物におけるひび割れの発生状況について検討したものである。

### 目 次

- § 1. はじめに
- § 2. スラブモデル実験
- § 3. 実施工
- § 4. 効果の展開
- § 5. おわりに

### § 1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物のひび割れに対する社会的な関心が高まる中、日本建築学会においても、「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」<sup>1)</sup>が改正されている。又、構造物の耐久性を鑑みた場合、ひび割れを抑制することは非常に重要な問題であり、収縮ひび割れを低減する検討として、単位水量による調合の検討、骨材岩種の影響<sup>2)</sup>、混和材としての膨張材<sup>3)</sup>や収縮低減剤<sup>4)</sup>などの各種検討が行われている。しかしながら、ひび割れ抑制に関する定量的なデータの蓄積があまりなされていないのが現状である。

本実験では、フェーズⅠとして、スラブをモデル化し、養生方法や誘発目地がひび割れに及ぼす影響について検討している。又、併せて、モデル部材の強度発現性及び含水状況についても検討している。

\* 技術研究所  
 \*\* 関西(支)  
 \*\*\* 建築設計部

又、フェーズⅡとして、フェーズⅠで得られた結果をもとに実施工を行っており、大断面におけるひび割れの抑制効果について検討している。併せて、同様の手法で他の物件にも適用しており、その効果を報告する。

### § 2. スラブモデル実験

#### 2-1 実験概要

##### (1) 使用材料及び調合条件

コンクリートの使用材料及び調合条件は、表一1から表一3に示す通りである。なお、スラブモデル実験では、呼び強度21を、供試体実験(強度性状及び含水性状の確認)は、呼び強度21及び30とした。

表一1 使用材料

呼び強度	分類	内容
21 (A工場)	セメント(C)	普通ポルトランドセメント
	細骨材(S)	①滋賀県湖南産砂岩砕石(50%) ②滋賀県甲賀産山砂(50%)
	粗骨材(G)	滋賀県湖南産砂岩砕石
	混和材(E)	膨張材(エトリンガイト・石灰複合系)
	混和剤(Ad)	AE減水剤
	水(W)	上水道水・上澄水
30 (B工場)	セメント(C)	普通ポルトランドセメント
	細骨材(S)	①滋賀県野洲川産川砂(90%) ②滋賀県甲賀産山砂(10%)
	粗骨材(G)	滋賀県野洲川産川砂利
	混和材(E)	膨張材(エトリンガイト・石灰複合系)
	混和剤(Ad)	AE減水剤
	水(W)	地下水・回収水

表一2 設定条件

設定条件			目標値	
Fc (N/mm <sup>2</sup> )	Δ F+T (N/mm <sup>2</sup> )	FN (N/mm <sup>2</sup> )	スランプ (cm)	空気量 (%)
21	0	21	15	4.5
21	3 + 6	30	15	4.5

[注] Fc：設計基準強度，Δ F,T：補正值，FN：呼び強度

表一3 調合条件

W/B (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
		W	C	S	G	CSA	Ad.
55.0	47.4	172	293	843	961	20	3.13
48.8	46.7	175	339	817	958	20	3.59

[注] W/B：水結合材比，S/a：細骨材率，W：単位水量，C：単位セメント量，S：単位細骨材量，G：単位粗骨材量，CSA：膨張材量，Ad.：混和剤量

(2) 供試体及びスラブモデル部材の作製

供試体の作製 [強度試験用 (φ 10×20)，含水率試験用 (φ 5×10)] 及びスラブモデル部材の作製は，フレッシュ性を確認した後に実施した。なお，供試体の実験水準及びスラブモデル部材の実験水準を表一4 から表一6 に示す。又，スラブモデル部材の概要を図一1 及び写真一1 に示す。なお，コンクリートの製造は，JIS 表示許可レディーミクストコンクリート工場において実施した。ここで，供試体の保管状態として，冠水養生を模擬した現場水中養生の場合は，軽量型枠を外さずに現場水槽にて養生を行う。

表一4 強度試験用供試体の実験水準

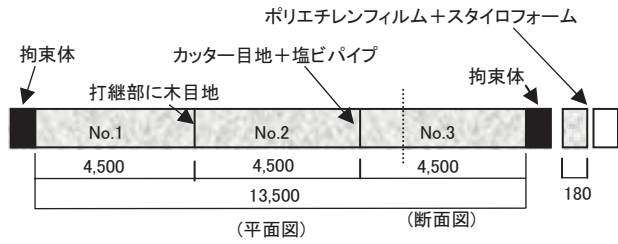
No.	部材想定養生	供試体の養生内容
1	冠水	7, 28日現場水中
2	被覆	7, 28日現場封緘
3	冠水+気中	7日現場水中+21日気中
4	被覆+気中	7日現場封緘+21日気中

表一5 含水試験用供試体の実験水準

No.	部材想定養生	供試体の養生内容
1	冠水+気中	7日現場水中+1~90日気中
2	被覆+気中	7日現場封緘+1~90日気中

表一6 スラブモデル部材の実験水準

No.	養生	スラブモデル部材の養生内容
1	被覆+気中	コテ押さえ終了後3時間経過してから，コンクリート表面をポリエチレンフィルムで覆い，材齢7日まで被覆（シート）養生を行う。7日以降はブルーシートで部材全体を覆い，気中養生を行う。
2	被覆+気中	同上
3	冠水+気中	打設の翌日，コンクリート表面に注水し，材齢7日まで冠水養生を行う。7日以降はブルーシートで部材全体を覆い，気中養生を行う。



図一1 スラブモデル部材の概要



写真一1 スラブモデル部材の外観

又，被覆養生を模擬した現場封緘養生の場合は，軽量型枠を外さずに，上面をPVDCフィルムで覆い，水分の蒸発を防ぎ，直射日光を避けた室外にて静置した。更に，気中養生の場合は，軽量型枠を外さずに雨や直射日光を避けた室外にて静置した（PVDCフィルムは外す）。又，スラブモデル部材の配筋は，実施工物件を考慮して決定した（鉄筋径：D10，ピッチ：200）。又，カッター目地を行う部分に関しては，あらかじめ塩ビパイプを設置し，コンクリートの打設を行った。更に，塗床仕様の選定のために，スラブモデル部材を用いて検討を行った。なお，試験は，1月から3月までの期間に実施している。

(3) 試験項目

試験項目を表一7に示す。なお，スラブモデル部材の水分測定は，各試験体ごと10箇所を平均値を用いる。

表一7 試験項目

種類	試験項目	試験方法
供試体	圧縮強度試験	JIS A 1108
	含水率試験	—
スラブモデル部材	ひび割れ発生状況	目視
	表層部の水分測定	高周波容量法 (各試験体10箇所)
	塗り床材の施工性	目視

2-2 実験結果

(1) 強度性状

表一8には，各材齢における圧縮強度試験結果を示す。試験結果からも分かるように，供試体の圧縮強度は，材齢28日で，所定の強度を満足する結果であった。

表一八 供試体の圧縮強度試験結果（呼び強度 21）（N/mm<sup>2</sup>）

No.	タイプ	供試体の養生内容	圧縮強度	
			7日	28日
1	冠水	7 or 28 日現場水中	17.2	26.1
2	被覆	7 or 28 日現場封緘	16.9	26.3
3	冠水+気中	7日現場水中+21日気中	—	27.2
4	被覆+気中	7日現場封緘+21日気中	—	27.2

(2) 含水率

塗り床材を施工する際に、スラブの含水率が重要となるため、供試体及びスラブモデル部材により、含水率の測定を行った。表一九には、供試体の含水率の測定結果を示す。表一〇には、スラブモデル部材表層部の水分測定結果（高周波容量法）を示す。又、図一には、呼び強度及び養生方法をファクターとした供試体の含水率と材齢の関係を示す。

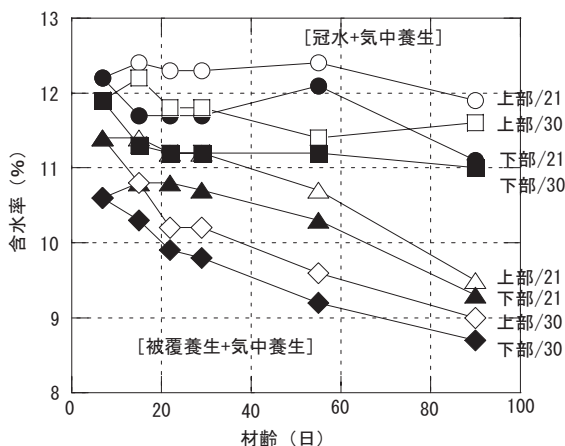
表一九 供試体の含水率測定結果 (%)

No.	タイプ	呼び強度	材齢 (日)					
			7	15	22	29	55	90
1	冠水+気中	(呼び強度 30)	11.9	12.2	11.8	11.8	11.4	11.6
				11.3	11.2	11.2	11.2	11.0
2	被覆+気中	(呼び強度 30)	10.6	10.8	10.2	10.2	9.6	9.0
				10.3	9.9	9.8	9.2	8.7
3	冠水+気中	(呼び強度 21)	12.2	12.4	12.3	12.3	12.4	11.8
				11.7	11.7	11.7	12.1	11.1
4	被覆+気中	(呼び強度 21)	11.4	11.4	11.2	11.2	10.7	9.5
				10.8	10.8	10.7	10.3	9.3

[注] 含水率の測定は、供試体を中央部で切断し、上下それぞれの含水率を測定している

表一〇 スラブモデル部材表層部の水分測定結果 (%)

No	タイプ	材齢 (日)						
		12	24	29	32	36	55	90
1	冠水+気中	11.1	9.4	9.2	6.7	5.1	5.3	5.2
2	被覆+気中	8.3	7.1	7.2	6.1	5.0	4.9	4.7



図一 含水率と材齢の関係

試験結果からも分かるように、「冠水養生+気中養生」は、材齢に伴う含水率の低下があまり見られないのに対して、「被覆養生+気中養生」は、材齢に伴って含水率が低下する傾向にある。又、供試体を上下半分に切断し、供試体の上部及び下部の含水率を測定した結果、下部よりも上部の方が含水率が高い傾向にあった。なお、本実験では、全体的に含水率が高い結果であり、原因の解明には至っていない。又、スラブモデル部材表面での含水率について、ある材齢で含水率が極端に低下しているのは、ジェットヒーターによる乾燥によるものである。

(3) ひび割れ状況

養生条件ごとのひび割れ発生状況としては、打設後2箇月程度経過してから観察した結果、いずれの養生方法についても、ひび割れの発生は観察されなかった。

§3. 実施工

3-1 建物概要

建物概要を以下に示す。

構造：鉄骨造

規模：地上4階、地下1階

敷地面積：47,348.610 m<sup>2</sup>

延床面積：20,603.630 m

用途：工場

工期：平成19年9月20日から平成20年6月30日

3-2 施工概要

(1) 使用材料及び調合条件

コンクリートの使用材料及び調合条件は、表一〇から表一三に示す通りである。1階の土間スラブは21-15-20 N（膨張材）とし、2階から4階のスラブは30-15-20 N（膨張材）とした。

(2) コンクリートの製造及び環境条件

コンクリートの製造は、JIS表示許可レディーミクストコンクリート工場（3工場）において実施し、運搬時間は、15分から30分程度である。なお、膨張材は、プラントにおいてコンクリート製造時に他材料といっしょに練り混ぜ、袋の数によって添加量を管理した。又、コンクリートの打設を、2月初旬から3月初旬まで予定しているため、建物外周部をシートで覆い、遮風養生とした（写真一参照）。更に、打設直下階にてジェットヒーターによる加熱養生を行い、デッキ揚げ裏部で10℃以上になるように管理した。なお、温度管理の方法としては、T型熱電対を温度センサーとし、データロガーによって温度測定を行った（1時間間隔）。併せて、スラブコンクリート及び外気温の測定も行った。

表一11 使用材料

呼び強度	分類	内容
21 (A工場)	セメント (C)	普通ポルトランドセメント
	細骨材 (S)	①滋賀県湖南産砂岩砕砂 (50%) ②滋賀県甲賀産山砂 (50%)
	粗骨材 (G)	滋賀県湖南産砂岩砕石
	混和材 (E)	膨張材
	混和剤 (Ad)	AE 減水剤
水 (W)	上水道水・上澄水	
30 (B工場)	セメント (C)	普通ポルトランドセメント
	細骨材 (S)	①滋賀県野洲川産川砂 (90%) ②滋賀県甲賀産山砂 (10%)
	粗骨材 (G)	滋賀県野洲川産川砂利
	混和材 (E)	膨張材
	混和剤 (Ad)	AE 減水剤
水 (W)	地下水・回収水	
30 (C工場)	セメント (C)	普通ポルトランドセメント
	細骨材 (S)	①滋賀県琵琶湖産湖砂 (40%) ②大阪府茨木産砂岩砕砂 (30%) ③大阪府伊吹産石灰砕砂 (30%)
	粗骨材 (G)	滋賀県土山産砂岩砕石
	混和材 (E)	膨張材
	混和剤 (Ad)	AE 減水剤
水 (W)	上水道水・上澄水	

表一12 設定条件

設定条件			目標値	
Fc (N/mm <sup>2</sup> )	Δ F+T (N/mm <sup>2</sup> )	FN (N/mm <sup>2</sup> )	スランプ (cm)	空気量 (%)
21(A工場)	0	21	15	4.5
21(B, C工場)	3+6	30	15	4.5

表一13 調合条件

W/B (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
		W	C	S	G	CSA	Ad.
55.0*	47.4	172	293	843	961	20	3.13
48.8**	46.7	175	339	817	958	20	3.59
46.5***	46.0	176	358	779	947	20	3.78

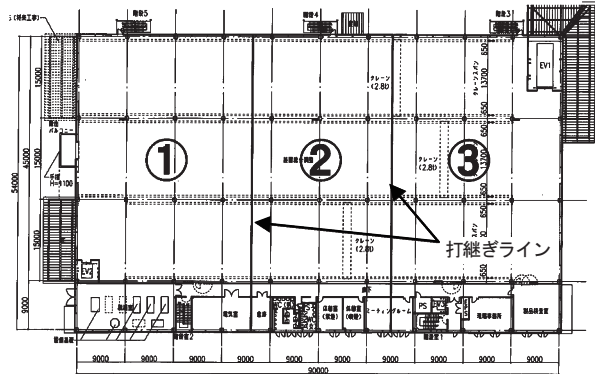
[注] \*: A工場, \*\*: B工場, \*\*\*: C工場



写真一2 建物外周部における遮風状況

(3) コンクリートの打設

スラブコンクリートの打設は、1フロアを3工区に分け(図一3)、1工区、3工区、2工区の順番に打設を行い、隣り合う工区は、7日間以上の期間をおいてから打設した。各工区ともに、コンクリート打設範囲の中央部に生コン圧送用配管を設置し、コールドジョイントができないように連続して打設した。なお、打設速度は35 m<sup>3</sup>/hとし、十分な締固めを行った後、タンピング(担当職人: 2名)を行い、品質の高いコンクリートを施工する。



図一3 各工区の打設手順

(4) スラブコンクリートの養生

スラブコンクリートの養生としては、被覆養生[不透水被膜: ポリエチレンフィルム(略称: PEフィルム)]を採用している。具体的な手順としては、コンクリートを打設し、金鋲仕上げ完了後、コンクリートの硬化が始まるタイミングを見計らい、膨張材の初期膨張効果をより高めるため、満遍なく散水を行う。その後、直ちにPEフィルムを敷き込む(写真一3参照)。なお、その際の留意事項として、水分の蒸発を防ぐために、端部・継目部をテープングする。これにより、コンクリート表面とPEフィルムの間を保湿し、膨張材の反応を促進させる。又、養生期間としては、膨張材の効果がピークを過ぎる材齢<sup>5)</sup>を考慮して7日とした。なお、養生方法については、スラブモデル部材による実験などを含め、事前に被覆養生と冠水養生の比較検討を行い、①水分の蒸発を抑え、②工程を厳守した塗り床材の施工(所定の乾燥状態を確保)、③塗り床材施工後の不具合防止、④冬期の施工という観点から、PEフィルムによる被覆養生を採用した。

又、ひび割れ対策の一環として、1階土間スラブについては、5,000×4,500ごとに誘発目地を設置した。なお、誘発目地は、塩ビパイプの埋込み及び乾式カッター(幅: 6mm, 深さ: 30mm)により行った。なお、カッター目地の施工は、原則打設翌々日(強度発現によって異なる)に行った。



写真-3 PEフィルムの敷込み状況

(5) 試験項目

試験項目を表-14に示す。

表-14 試験項目

種類	試験項目	試験方法
フレッシュ性状	スランプ	JIS A 1101
	空気量	JIS A 1128
	コンクリート温度	棒状温度計
	単位水量	高周波加熱乾燥法
硬化性状	圧縮強度	JIS A 1108
	コンクリート温度	T型熱電対
	表層部の水分計測	高周波容量法
	拘束膨張試験	JIS A 6202
	長さ変化試験	JIS A 1129
	ひび割れ状況	目視
	導電性	NFPA法

3-3 実験結果

(1) フレッシュ性状及び強度性状

コンクリートの試験結果を表-15に示す。試験結果からも分かるように、フレッシュ性状及び硬化性状ともに、所定の基準を満足している。

表-15 コンクリートの試験結果 (一例)

階数	工区	フレッシュ性状				強度性状	
		SL	Air	CT	W	7日	28日
1	1	17.0	4.4	10	164.1	26.1	37.6
	2	16.5	5.1	10	165.1	27.3	36.6
	3	16.0	4.8	8	168.2	26.0	38.9
2	1	15.0	4.2	10	166.2	26.4	46.9
	2	16.5	4.6	11	168.6	29.0	40.8
	3	15.5	4.1	13	166.5	29.3	44.2
3	1	15.0	3.9	12	171.0	27.0	45.2
	2	15.5	3.5	12	167.9	32.6	50.4
	3	15.0	4.0	8	169.3	29.8	43.1
4	1	15.0	3.6	11	166.1	25.5	45.7
	2	16.0	3.7	12	171.0	27.1	43.8
	3	14.5	3.4	10	166.9	26.3	43.7

[注] SL:スランプ (cm), Air:空気量 (%), 強度: N/mm<sup>2</sup>  
CT:コンクリート温度 (°C), W:単位水量 (kg/m<sup>3</sup>)

(2) スラブ表層部の含水率

スラブ表層部の含水率の測定結果を表-16に示す。又、スラブからコアを採取し、含水率を測定した結果を表-17に示す。高周波容量法による含水率は、材齢2箇月程度で4.5%となっているのに対して、コアの含水率は、材齢1箇月程度で5%程度になっており、使用する塗床材施工時の含水率基準(5.5%)を満足する結果であった。

表-16 スラブ表層部の含水率 (高周波容量法)

測定箇所	材齢 (日)	含水率 (%)
1階1工区	52	4.6
2階1工区	59	4.5
3階1工区	60	4.5

表-17 スラブより採取したコアによる含水率

測定箇所	材齢 (日)	含水率 (%)	
		コア上部	コア下部
2階3工区	20	4.9	3.4
3階2工区	34	4.9	4.3
4階1工区	32	6.4	5.9

(3) 長さ変化

C工場から出荷した呼び強度30の膨張材混入コンクリート及び膨張材無混入コンクリートについて、拘束膨張試験及び長さ変化試験(無拘束)の結果を図-4に示す。試験結果からも分かるように、膨張材混入コンクリートは、若材齢において、220 $\mu$ 程度の膨張が生じ、その後は材齢の経過に伴って収縮へと転じており、材齢182日において200 $\mu$ の収縮となっている。一方、膨張材無混入コンクリートについては、材齢182日において450 $\mu$ の収縮である。又、併せて一般的に行われている長さ変化試験を膨張材無混入コンクリートにおいて実施した結果、材齢182日において600 $\mu$ 以下となった、以上のことから推察すると、実施工で使用した膨張材混入コンクリートは、ひび割れ指針<sup>6)</sup>における推奨値(600 $\mu$ 以下)を満足する結果である。

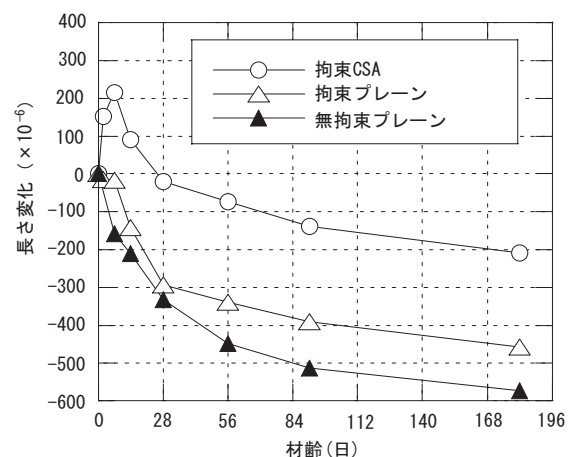


図-4 長さ変化と材齢の関係

(4) ひび割れ発生状況

ひび割れ発生状況として、竣工時（打設後4箇月程度経過）に観察した結果、ひび割れの発生は観察されなかった。これは、前述したように、収縮量の小さいコンクリートを使用し、施工時にタンピングを十分に行うことでコンクリートを密実にし、被覆養生によってコンクリートが十分に湿潤（写真-4参照）に保たれていたことに起因するものと推察される。

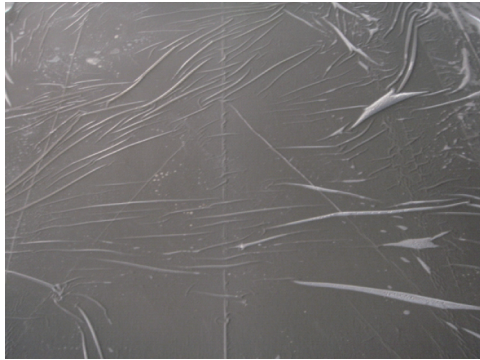


写真-4 コンクリートの湿潤状態

(5) 導電性

本物件は、機械組立て、試運転、分解・出荷を行うことを目的としており、導電性について検討を行った（表-18及び表-19）。その結果、ASTM基準（表面抵抗値）及び静電気安全指針（漏洩抵抗値）を満足する結果であった。

表-18 表面抵抗値測定結果 (Ω)

塗り床材の種類	電圧レベル		
	250 V	500 V	1000 V
無機系	1.67×10 <sup>5</sup>	2.17×10 <sup>5</sup>	3.00×10 <sup>5</sup>
素地	1.07×10 <sup>5</sup>	1.37×10 <sup>5</sup>	3.00×10 <sup>5</sup>

表-19 漏洩抵抗値測定結果 (Ω)

塗り床材の種類	電圧レベル		
	250 V	500 V	1000 V
無機系	1.00×10 <sup>4</sup>	2.00×10 <sup>4</sup>	1.00×10 <sup>4</sup>
素地	1.00×10 <sup>4</sup>	1.00×10 <sup>4</sup>	1.00×10 <sup>4</sup>

§ 4. 効果の展開

ケーススタディとして、同様の手法を他の物件にも適用しており、その概要を以下に述べる。なお、建物概要及び施工概要を表-20に示す。結果として、竣工時において、打継ぎ部を含めて、多少のひび割れの発生が確認された。しかしながら、242m×80mという大面積の大型物流倉庫であることを考慮すると、スラブ全体として、有害となるひび割れの発生は抑制できたと考える。

表-20 建物概要及び施工概要

建物概要	構造・規模	鉄骨造 地上2階
	敷地面積	45,704.77 m <sup>2</sup>
	建築面積	23,873.9 m <sup>2</sup>
	延床面積	44,027.5 m <sup>2</sup>
材 料	用途	物流倉庫
	セメント	普通ポルトランドセメント
	細骨材	①山砂 (80%) ②砂岩砕砂 (20%)
	粗骨材	砂岩砕石
調 合	混和材	膨張材
	調合 (Fc)	27 - 12 - 20N (Fc24)
	水結合材比	50%
	単位水量	168 kg/m <sup>3</sup>
施工時期	混和材添加量	20 kg/m <sup>3</sup>
	打設期間	6月から8月初旬
施工方法	工区分け	1フロアを16分割（基本：1300 m <sup>2</sup> , 265 m <sup>3</sup> ）し、隣接工区内をチドリ形状に打設（3日以上の間隔）
	タンピングの有無	2回行う
養生方法	養生の種類	被覆養生（PEシート）
	養生期間	翌日から7日間
	周辺状況	建物外周部をブルーシートで覆い、遮風養生とした
その他	被覆養生終了後、清掃・乾燥を経て、表面硬化材を塗布した	

§ 5. おわりに

本論では、スラブコンクリートのひび割れ防止対策について検討を行った。その結果、材料・調合、施工、養生について検討を行うことで、竣工時においても、有害なひび割れの発生を抑制できたと考える。本工事で行った対策が、今後のコンクリートひび割れ対策の一助になれば幸いである。

謝辞：効果の展開に当たり、東北支店の庄子好義氏を含め関係諸氏にご協力頂いた。付記して謝意を表します。

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び割れ制御設計・施工指針（案）・同解説、丸善、2006、253 p.
- 2) 大塩明ほか：石灰石骨材を用いたコンクリートの基礎的物性、セメント技術年報41、1987、pp. 106-109.
- 3) 閑田徹志ほか：膨張材と収縮低減剤を併用したコンクリートの実躯体におけるひび割れ低減効果に関する研究（その1、その2）、日本建築学会大会講演梗概集（近畿）、2005. 9、pp. 651-654.
- 4) 梅本宗宏、小林利充ほか：施工事例 乾燥収縮低減剤を用いた高耐久性コンクリートの開発と現場適用、コンクリートテクノ、V. 21、No. 12、2002. 12、pp. 9-15.
- 5) 電気化学工業：デンカパワー CSA（カタログ）
- 6) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造のひび割れ対策（設計・施工）指針・同解説、丸善、1997、p. 58.