

特集 「品質の向上をめざして」

建築用コンクリートのひび割れ制御に関する技術開発

都 築 正 則 小 柳 光 生
一 瀬 賢 一 小 川 晴 果

Research and Development on Crack Control of Concrete used in Buildings

Masanori Tsuzuki Mitsuo Koyanagi
Kenichi Ichise Haruka Ogawa

Abstract

Environmental conditions affect the concrete surface of floor slabs, and therefore, the curing method is required to be examined during the early stages of concrete making for improving the strength of surfaces and crack resistance. Moreover, cracks in the outer wall are mainly caused due to dry shrinkage and changes in the outside temperature. As a counter measure, a joint-induced crack is fabricated at a predetermined position. This report introduces “Research on improvement in quality of floor concrete surfaces” and “Crack control technology of outer walls” for the purpose of guaranteeing the quality of concrete used in buildings. The former introduces a study on the reduction method for plastic shrinkage cracks in high-strength concrete during various curing stages and a study on the curing method that decides the properties of the concrete surface. The latter introduces a joint material referred to as “COLUMN JOINER” for cracks induced at a high probability and a joint material referred to as “SHEET IN JOINER” without the necessity of a ceiling.

概 要

床スラブ等のコンクリート表層部は、環境条件の影響を受けやすく、表層部の強度やひび割れ抵抗性等の耐久性向上のためにも、材齢初期からの養生方法を検討することが重要である。また、外壁コンクリートは、乾燥収縮や外気温変動に伴う変形が、柱・梁等に拘束されることによりひび割れが発生しやすい。この対策としては、予め定めた位置に目地を設け、ひび割れを集中して誘発させる方法がある。このことから、建築工事におけるコンクリート構造物の品質確保を目的として、「床コンクリート表層部の品質改善に関する研究」および「外壁ひび割れ制御技術」を述べる。前者では各種養生における高強度コンクリート床スラブのプラスチック収縮ひび割れ低減方法の検討結果、普通強度コンクリート床表層部の耐久性向上の検討結果を示し、後者ではひび割れ集中性の高い誘発目地「カラム目地工法」、シーリングの必要がない成型目地「シートイン目地工法」を述べる。

1. はじめに

型枠面に接していない打設天端面のコンクリート表層部は、打設直後から乾燥状態に置かれる。打設面の広い床スラブは、環境条件の影響を特に受けやすく、表面強度やひび割れ抵抗性等の部材表面の耐久性向上のためにも、材齢初期からの養生方法を検討する必要がある。近年、鉄筋コンクリート造の高層集合住宅が多数建設されてきており、高強度コンクリートが採用されている。床スラブのコンクリートは設計基準強度（以下、 F_c と称す） 30N/mm^2 で十分な場合が多いものの、梁部材との打ち分けに要する手間から、 $F_c40\sim60\text{N/mm}^2$ の高強度コンクリートを床スラブに打設するケースが増えてきている。このため、床表層には水分の急激な蒸発が主な原因であるプラスチック収縮ひび割れが発生しやすくなっている。対策としては、水分の蒸発を抑制する「養生剤」が使用され始めているが、ひび割れ低減効果については、十分な検討がされているとは言えない。

また、外壁においては、コンクリートの乾燥収縮や外

気温変動に伴う変形を避けることが困難であり、この変形が梁・柱等に拘束され引張応力が発生した場合、ひび割れの発生に繋がる。対策としては、材料、調合の検討により、コンクリートの乾燥収縮を小さくしたり、予想されるひび割れに対して鉄筋を増やしてひび割れを分散させる方法および予め定めた位置に目地を設け、ひび割れを誘発させる方法等が考えられる。

このように建築用コンクリートは品質確保を行う上で、部材ごとに種々の対策が必要であり、一様でないことが分かる。本報告では、建築工事におけるコンクリート構造物の品質確保を目的として、「床コンクリート表面の品質改善に関する研究」および「外壁ひび割れ制御技術」を紹介する。前者では養生剤や養生マットの使用および散水養生を行った各種養生における高強度コンクリート床スラブのプラスチック収縮ひび割れ低減方法の検討結果、および普通強度コンクリート床表層部の耐久性向上の検討結果を示し、後者ではひび割れ集中性の高い誘発目地「カラム目地工法」およびシーリングの必要がない成型目地「シートイン目地工法」について報告する。

2. 床コンクリート表層部の品質改善に関する研究

2.1 高強度コンクリートのプラスチック収縮ひび割れ低減方法の検討

2.1.1 目的 高強度コンクリートを使用した床スラブのプラスチック収縮ひび割れ低減方法の確立を目的とし、打設時期の相違による養生剤および養生マットの効果について検討した。ひび割れ低減効果の評価は、単位面積に発生するひび割れ長さで行うものとした。

2.1.2 実験概要 実験水準をTable 1に示す。実験は、養生剤の有無と種類の違いの3水準、養生マットの有無による2水準、コンクリートの打設時期5水準とした。養生剤の種類をTable 2に示す。養生剤は主成分の異なる2種を使用した。コンクリートはFc60N/mm²級とし、中庸熱ポルトランドセメントを使用し、単位水量170kg/m³、水セメント比29.5%、スランブフローを65cm、空気量を4.5%とした。

試験体は、2m×2m、厚さ80mmの平板とし、φ6mm×@100mmのメッシュ筋をかぶり厚さ30mmの位置に設置した。試験体は屋外にて打設を行い、コテ押さえ開始時刻、養生マット敷設時刻を記録した。ひび割れ長さ測定は翌日に行った。

2.1.3 実験結果

(a) コンクリートの物性 コンクリートのフレッシュ性状試験結果、圧縮強度試験結果をTable 3に示す。空気量は3.4~4.8%、スランブフローは58~67cmと目標値を満足した。コンクリート温度は、打設時期の影響により10~35℃程度であった。圧縮強度は現場封緘養生・材齢28日で72~82N/mm²を示した。

(b) 外気温、湿度および風速 気象庁データ(観測場所：東京)による各打設日の最高気温、最低湿度および風速をFig. 1に示す。最高気温は、8月上旬で35℃となり、最低湿度かつ風速が最大となったのは12月下旬の打設日で、最低湿度18%、風速10.8m/sを示した。

(c) ひび割れ長さ測定結果 試験体表面におけるプラスチック収縮ひび割れは、打設後約2時間後から翌日の朝までに集中して発生しており、その後のひび割れの進展は特に見られなかった。

Fig. 2に各打設日における試験体N(養生剤なし、コテ押さえなし)のひび割れ長さおよび最大ひび割れ幅を示す。試験体Nは表面の乾燥が著しく、こわばりを生じるため、コテ押さえは不可能であった。ひび割れ長さが最大となるのは12月下旬の打設であり、ひび割れ幅が最大となったのは8月上旬の打設であった。この結果から、プラスチックひび割れの発生は気象条件に大きく影響されていることを再確認した。

Fig. 3, Fig. 4に、各打設日における養生剤A, Cを使用した試験体のひび割れ長さおよび各試験体における養生剤散布やコテ押さえ等の各工程の開始時間を示す(打設直後0時間とする)。どちらの養生剤を使用しても、試験体

Table 1 実験水準
Experimental Condition

試験体記号	養生剤 ^{*1}	コテ押さえ	養生マット	打設時期
N	—	—	—	8月上旬 9月中旬 11月中旬 12月下旬 2月中旬
A1	A	金ゴテ1回	—	
A1-M	A	金ゴテ1回	有	
C1	C	金ゴテ1回	—	
C1-M	C	金ゴテ1回	有	

*1:養生剤の記号はTable 2を参照

Table 2 養生剤の種類
Curing Agent

記号	主成分	希釈率	使用量
A	アニオン系界面活性剤	10倍	200g/m ²
C	水性パラフィンワックス	原液	200g/m ²

Table 3 コンクリートのフレッシュ性状および圧縮強度
Properties of Fresh Concrete and Compressive Strength

打設時期	空気量 (%)	フロー (cm)	コンクリート温度 (°C)	28日圧縮強度 (N/mm ²)
8月上旬	4.8	59.0 × 57.0	34.6	78.1
9月中旬	4.5	64.0 × 63.0	28.5	76.2
11月中旬	3.4	69.0 × 65.0	17.5	74.7
12月下旬	5.8	64.5 × 65.0	10.3	71.5
2月中旬	3.0	66.0 × 64.0	13.1	82.1

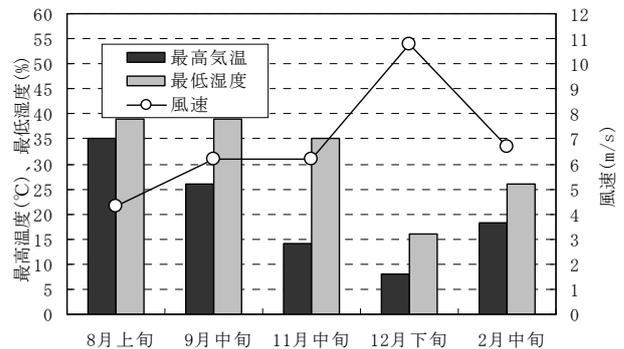


Fig. 1 コンクリートの打設日の環境条件
Environmental Condition of Concrete placement

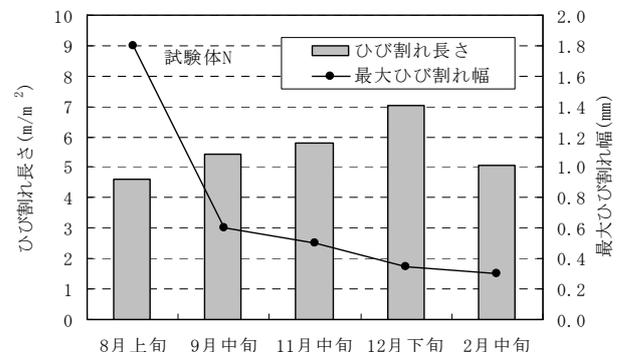


Fig. 2 ひびわれ長さおよび最大ひび割れ幅
Crack Length and Maximum Crack Width

Nよりひび割れは少なくなる結果となった。これは、養生剤がコンクリート表面を著しい乾燥から防ぎ湿潤に保つことでコテ押さえを可能にし、初期のコンクリート表

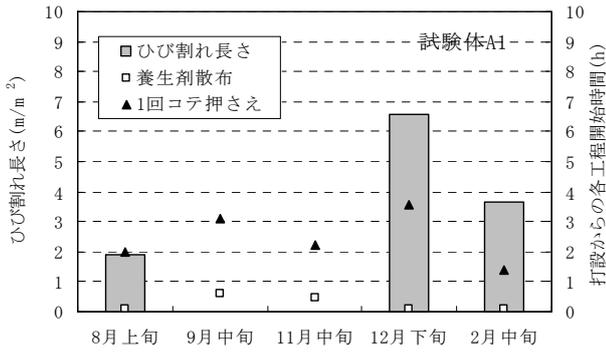


Fig. 3 ひびわれ長さ（mm/m²）と各工程開始時期（試験体A1）
Crack Length and Timing of Works (test piece A1)

層を改善できるためと考えられる。

9月中旬、11月中旬の打設では試験体A1およびC1共にひび割れを完全に防ぐことが出来たのに対し、2月中旬の打設では試験体A1にひび割れが確認された。また両者にひび割れが確認された12月下旬の打設において、ひび割れ長さは試験体A1のほうが大きいことから、養生剤Cは養生剤Aよりもひび割れ低減効果が高いと考えられる。

Fig. 5に養生マットの有無による試験体ひび割れ長さを示す。養生マットの敷設はひび割れ低減に効果があることが確認できた。また、2月下旬の打設では、養生マットの敷設した試験体はひび割れを完全に防ぐことが出来た。これは、8月上旬に打設を行った試験体より、打設終了後早期に養生マットの敷設を行った効果のためと考えられる。

2.2 コンクリート表層部の性状におよぼす初期養生方法の検討

2.2.1 目的 普通強度のコンクリート表面の耐久性向上を目的とし、その表層部の性状におよぼす初期養生方法について検討した。また、養生剤、および表面を緻密化し防塵効果のある表面改質剤(以下、改質剤と称す)がコンクリート表層部におよぼす影響について検討した。

2.2.2 実験概要 試験体の養生方法、養生剤および改質剤の仕様をそれぞれTable 4、Table 5に示す。試験体の養生は5水準とした。シート養生は、試験体打設面に、水を十分含浸したウエスを敷設し、さらに乾燥しないようにポリエチレンシートで覆った。シートの敷設は打設翌朝から行い、材齢3日までとした。散水養生は、打設翌朝から行い、散水の回数は1日2回の計6回とした。養生剤は、打設直後にコテで表面に馴染ませるように塗布した。改質剤は、材齢2日目に刷毛にて塗布を行った。

コンクリートは、普通ポルトランドセメントを使用し、単位水量180kg/m³、水セメント比58.6%、空気量4.5%、目標スランプ18cmの市中プラントで製造された普通強度(Fc24)のものとした。

測定項目、方法および試験体寸法をTable 6に示す。試験体の打設面は、コテ押さえを2回行って仕上げ、押さえ時期はどの試験体も同時期とした。表層部の乾燥を進めるため、各試験体は打設時期から温度20℃、湿度40%程

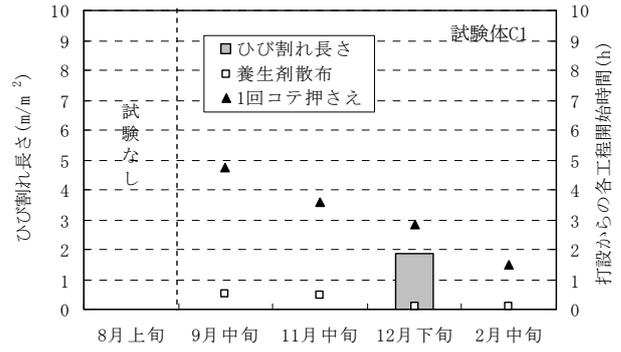


Fig. 4 ひびわれ長さ（mm/m²）と各工程開始時期（試験体C1）
Crack Length and Timing of Works (test piece C1)

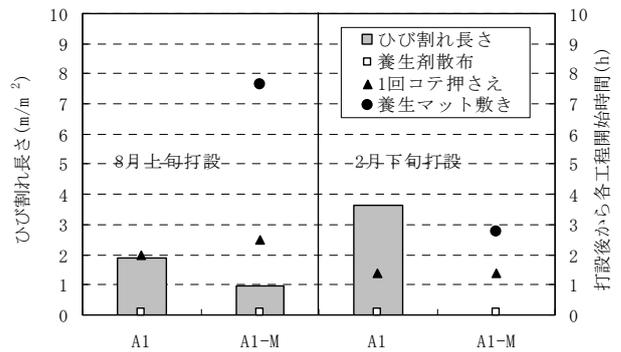


Fig. 5 ひびわれ長さ（mm/m²）と各工程開始時期（養生マットの有無）
Crack Length and Timing of Works (Existence of Curing Mat)

Table 4 実験水準
Experimental Condition

試験体	養生種類	養生方法
N	養生なし	—
A	散水	打設翌日に散水開始し、散水回数は1日2回として計3日間行う。
B	シート	打設翌日に敷設開始し、材齢3日まで養生を行う。
C	養生剤	打設直後に塗布
D	改質剤	打設翌々日に塗布

Table 5 養生剤と表面改質剤
Curing Agent and Surface Protective Agent

材料	主成分	塗布量
養生剤	アニオン系界面活性剤	10倍希釈液を100g/m ²
改質剤	シリカ+有機エマルジョン	原液を80g/m ²

Table 6 測定項目および測定方法
Measurement Items and Method

試験項目	測定方法および概要	対象試験体
反発度 (JIS A 1155)	リバウンドハンマー法	平板試験体 (50×50×厚さ10cm) の打設面
表面透水性試験	水位の降下を測定	
引っかけ試験	日本床施工技術研究協議会による ¹⁾	
中性化試験 (試験体測定方法のみJIS A 1152に準ずる)	材齢4週まで気中養生、その後促進中性化試験開始 (温度20℃、湿度60%、CO ₂ 濃度5%)	角柱試験体 10×10×40cm (打設面以外の5面シール処理)
ひび割れ試験	ひび割れ発生日時を記録	拘束試験体 (JIS A 1151に準ずる)

度の室内環境下で、材齢4週まで静置した。

反発度の測定は、リバウンドハンマーにて行った。表面透水性試験は、平板試験体にガラス製のロートをエポキシ樹脂で貼り付け、水を投入後、水面の降下する程度(透水量)を測定した。引っかき試験は日本床施工技术協議会で紹介されている引っかき試験機(ピン荷重1.0kgを採用)¹⁾で行った。中性化試験体は打設面以外の5面をエポキシ樹脂でシール処理し、材齢4週まで室内にて気中養生後、促進中性化試験を開始した。ひび割れ試験における拘束型枠の寸法は、JIS A 1151と同等であるが、側面の拘束板を5mm厚とし拘束力を強めた。また、打設面のみの影響を検討するため、側面と底面の脱型は行っていない。

2.2.3 実験結果

(a) 平板試験体を対象とした各試験結果 表面透水性試験結果の例をFig. 6に示す。図より養生方法によって、経過時間とその透水量の曲線が異なることが分かった。 $Y=a\sqrt{X}$ の式(X =経過時間, Y =透水量)で近似し、その係数 a (透水性係数 a と略す)で評価することとした。透水性係数 a が小さいほど透水しにくいコンクリートとなる。透水性係数は2回の試験結果の平均とした。

透水性係数 a と試験体の反発度 R の関係をFig. 7に示す。図より、養生方法によって各値は異なり、反発度 R が大きいほど透水性係数 a は小さい値となった。試験体「A」、「B」および「D」は、引っかき試験による「はげ(表面の欠け)」は発生せず、「N」に比べ、表面強度の改善が見られた。また、それら3つの試験体は「N」に比べ、反発度 R は大きく、透水性係数 a は小さい値を示すことから、コンクリート表面強度は、反発度 R および透水性係数 a と関係していると考えられる。

養生剤を使用した試験体「C」は「N」と比較し、反発度 R は小さく、透水性係数 a は大きい結果となった。また「N」同様、引っかき試験による「はげ」も生じ、「N」よりも表面強度が低下していると考えられる。これは、養生剤を使用した試験体「C」は、他の試験体と同時期にコテ押さえを行ったため、コテ押さえのタイミングが早く、コテの圧力が表層に十分にかからず、コンクリート表面の密実性が低下したためと考えられる。

(b) 中性化試験結果 中性化試験結果Fig. 8に示す。打設翌日から3日間の養生シート敷設や散水養生は、中性化を抑制する効果があることが分かった。しかしながら、反発度 R および透水性係数結果 a において、表面性状の改善が見られた試験体「D」においては、中性化抑制効果は見られなかった。

(c) ひび割れ試験結果 拘束試験体における打設日からひび割れ発生確認までの経過日数をFig. 9に示す。確認直後のひび割れ幅はどれも0.06mm程度の小さなものであった。養生シートを敷設した試験体は、ひび割れ発生日が大幅に遅れ、ひび割れ抵抗性の効果が大きいことを確認できた。他の試験体はひび割れ日時にばらつきがあるものの、養生を行っていない試験体と同程度であり、大きな効果が確認できなかった。

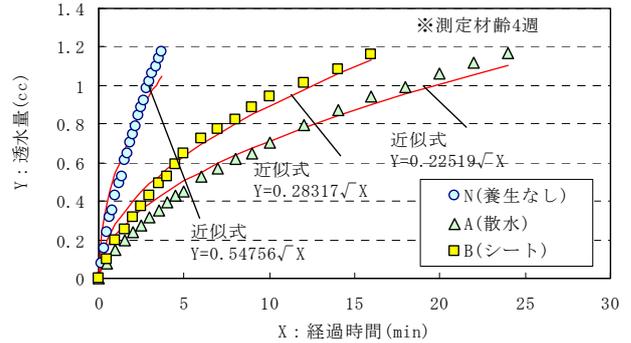


Fig. 6 表面透水性試験結果

Results of Water Permeability Test of Concrete Surface

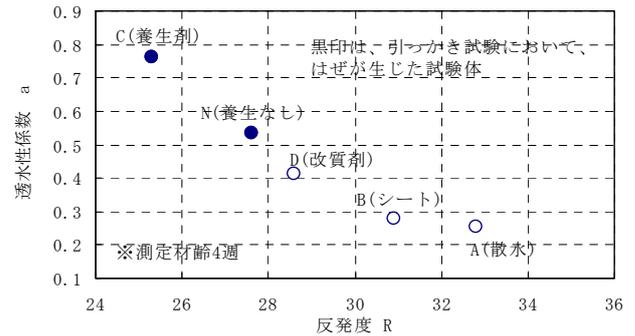


Fig. 7 反発度と透水性係数の関係

Relation between Rebound Number and

Results of Water Permeability Test of Concrete Surface

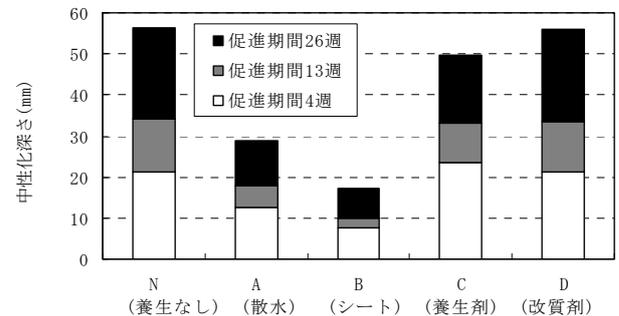


Fig. 8 促進中性化試験

Results of Accelerated Carbonation Test

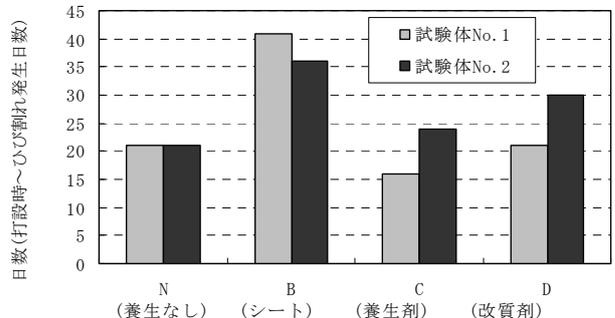


Fig. 9 拘束ひびわれ試験結果

Results of Restraint Cracking Test

3. 外壁ひび割れ制御技術

3.1 カラム目地工法

誘発目地工法は、ひび割れを予め定めた位置に集中

して発生させる工法であるが、確実に目地位置に発生させるには壁厚に対して1/4～1/3の断面欠損が必要となる。表面に欠損部を設ける従来の方法（化粧目地）では目地深さが1/5以下と浅いため、30～40%のひび割れが目地以外に発生することがあり、効果的ではなかった。

そこで、塩ビパイプと、コンクリートとの付着力がないという特性を利用して、壁のダブル筋の内部に設置する誘発目地工法「カラム目地」を2001年に開発した²⁾。これは、鉄筋を切断することなく塩ビパイプの空洞部に高強度モルタルを充填することで、耐震壁にも使用できる目地工法である。1/4～1/3の欠損部の造成が可能となり、確実にひび割れを誘発することができる。また、塩ビパイプの取付けは、壁内横筋に結束線で結びつけることで行い、施工が容易に出来ることも特徴である。この工法内で耐震壁に使用できるタイプとしては、Fig. 10に示すように標準タイプの「カラム目地Ⅰ」の他、止水性棒状ゴムを取り付けて止水性を向上させた「カラム目地Ⅱ」がある。適用物件は、2008年3月までに約185件の多くの実績があり、壁内に3mピッチ以下で目地を設置することにより、優れたひび割れ制御効果があることを、実建物の追跡調査からも確認している。

3.2 シートイン目地工法

前述のように、外壁部材において「カラム目地」を埋設することが多く、このコンクリート表面には化粧目地を設ける。化粧目地にはひび割れ部から雨水が浸入し、室内側への漏水、および外壁側のエフロの発生防ぐために、その溝部にシリコン系・ポリウレタン系などのシーリングを行って止水対策を施すのが一般的である。しかし、これらシーリング材は、長期的には汚れや劣化を起こすことがあり、その度にシーリング材を施工しなおさなければならない。この問題を解決するためにPhoto 1に示す止水機能を有した埋設の成形目地「シートイン目地工法」を開発した。Fig. 11のようにカラム目地と併用し、この目地内に確実にひび割れを発生させることを標準とする。

3.2.1 引張試験および拘束ひび割れ試験 EVAシート（エチレン酢酸ビニル樹脂系シートの略称、主にシート防水工法に使用される。）は、長さ方向には伸び率が100%以上あり、ひび割れ追随性はかなり高いが、厚さ方向の伸び率は10～15%とあまり期待できない。そこで、シートイン目地として使用した場合に、EVAシートの厚さ方向に強制変形が作用すると、目地材のシートと後打ちコンクリートの界面で剥離を起し、止水効果が損なわれる事が考えられる。このため、シートイン目地材を取り付けたコンクリート試験体に対して、引張試験および拘束ひび割れ試験を行うことより、コンクリート本体に強制的にひび割れを入れると共に、目地材とコンクリートは界面剥離せず、シートを横断するようにひび割れが発生することを確認した。

(a) **引張試験** 引張試験体の形状をFig. 12に示す。引張試験体は、φ50mmの半円形状のモルタルに欠き込み

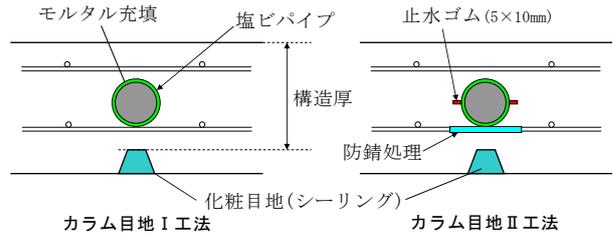


Fig. 10 カラム目地工法
Method of COLUMN Joinder



Photo 1 シートイン目地
SHEET IN Joinder

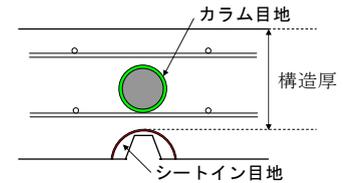


Fig. 11 シートイン目地工法
Method of SHEET IN Joinder

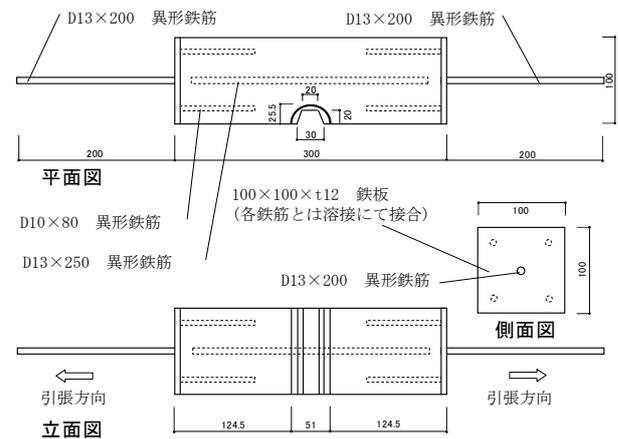


Fig. 12 引張試験体の形状
Form of Specimen of Uniaxial Tension Test



Photo 2 引張試験結果
Results of Uniaxial Tension Test

が形成されているシートイン目地を、予め型枠に設置し、そこにコンクリートを打設して作製した。なお、引張試験体は、断面方向に均等に力が作用するように、引張鉄筋（D13×20mm）を鉄板（厚さ12mm）に溶接し、内部側には鉄板と溶接接合した差し筋（4-D10×80mm）をあらかじめ埋め込んだ。コンクリートは水セメント比

60%，スランブ18cm，単位水量180kg/m³のものとした。コンクリート材齢2週にて引張り試験を行った。

引張試験の結果をPhoto 2に示す。目地の欠き込み内部にひび割れが発生しており，シートイン目地材とコンクリートとの剥離現象は認められなかった。また，引張試験後に，目地部のひび割れを覆うような容器に水を張り，漏水試験を実施した。結果，裏側のひび割れ部に漏水することもなく，良好な結果であった。

(b) 拘束ひびわれ試験 Photo 3に示すように，JIS A 1151に準じた拘束型枠底面にシートイン目地を設置し，コンクリートの打設を行った。試験体数は2体とした。側面および底面の型枠を脱型したところ，材齢7日前後で試験体側面に表面ひび割れが発生し始め，その後貫通ひび割れに進展した。試験体におけるひびわれの状況をFig.13に示す。両試験体とも，ひび割れの発生は底面の目地の内部で発生しておりシート界面廻りのひび割れや剥離は認められなかった。

3.2.2 シートイン目地工法の実大施工 上記試験の他，模擬部材による施工試験を行い，目地材としての効果および施工性を確認した後，某体育館新築工事(Photo 4)に適用した。同外壁の仕上げはタイル貼り仕上げであるが，誘発目地の形状が目立たないような意匠性が要求されるため，目地幅は10mmしか許容されなかった。この目地幅では，シーリングの施工が困難であり，それに伴う施工不良から，止水性能を確保出来ないことが想定された。このため，シーリング不要のシートイン目地工法が採用され，使用した延長きは600mとなった。施工上の取付けは特に問題なかった。また，現地追跡調査の結果，ひび割れ発生のおそれがある外壁面には，シートイン目地(幅10mm×奥行き17mm)内部でひび割れが発生しており，ひびわれ制御および目地部の止水性能の面から良好な結果が得られた。

4. まとめ

建築工事におけるコンクリート構造物の品質確保を目的として，「床コンクリート表面の品質改善に関する研究」および「外壁ひび割れ制御技術」を紹介した。

床コンクリート表面の品質改善に関する研究では，高強度コンクリートのプラスチック収縮ひび割れの低減方法を検討した結果，養生剤を使用することはプラスチック収縮ひび割れの低減に有効であり，気象条件の厳しい夏期や冬期においては，養生剤の使用と早期の養生マットの敷設が有効であることが確認できた。また，普通強度のコンクリート表面の各種性状に及ぼす初期養生方法の検討した結果，散水養生およびシートの敷設を行った試験体は中性化しにくいこと，およびシートの敷設を行った試験体は，ひび割れ発生が他の試験体より遅れる結果となり，ひび割れ抵抗性の効果があることを確認した。

外壁ひび割れ制御技術では，ひび割れ集中性の高い「カ



Photo 3 拘束ひび割れ試験用型枠
Mold of Restraint Cracking Test

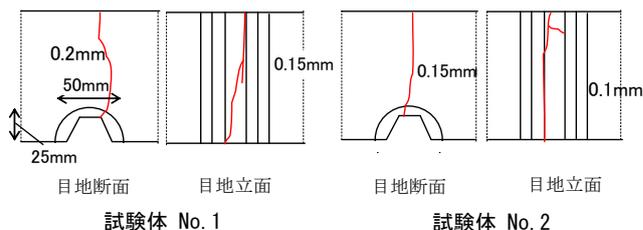


Fig. 13 拘束ひび割れ状況
Drawing of Restraint Crack



Photo 4 体育館の外壁の状況
Appearance of the Outer Wall of Gymnasium

ラム目地工法」を紹介した。この工法の特徴としては，壁体内に，高強度モルタルを充填した塩ビパイプを設置することで，1/4～1/3の欠き込みが可能となり，従来の化粧目地よりもひび割れ集中性が高いほか，構造性能を損なわないため，耐震壁に適用できることが挙げられる。また，シーリングの必要がない成形目地材「シートイン目地工法」を紹介し，伸び能力およびコンクリートとの付着力の高いEVAシートを使用することで，優れた止水性を確保できることを示した。

参考文献

- 1) 日本床施工技術研究協議会編：コンクリート床下地表層部の諸品質の測定方法，グレード，pp2-3，2003.12
- 2) 小柳光生他：誘発目地工法「カラム目地」の開発，大林組技術研究所報，No.63，pp41-44，2001