

# コンクリートのひび割れ

## clacking

### 1. 用語の説明

硬化したコンクリートまたはモルタルに生じた割れ目をひび割れという。亀裂あるいはクラックとも呼ばれる。コンクリート構造物に発生するひび割れは、鋼材の腐食による耐久性の低下、水密性や気密性などの機能の低下、過大な変形、美観が損なわれるなどの原因となる。従って、適切な方法でひび割れの発生を抑制あるいは制御することにより、発生したひび割れが構造物の機能、耐久性、美観など、その使用目的を損なわないよう注意しなければならない。

### 2. ひび割れの調査

ひび割れの発生機構は複雑で、多くは複数の原因により、しかも互いに他の原因の影響を助長するように作用し、ひび割れの発生に結びついている場合が多い。しかし、複数の原因の中から、ひび割れの主原因を推定することは、ひび割れの補修を行うに当たり重要な事項であり、その主原因に応じて、補修の必要性の有無や適切な補修方法を検討する必要がある。また、複数の原因によると考えられる、パターンの異なるひび割れが混在している場合には、パターン毎にそれらのひび割れを分類し、それぞれの発生原因を推定しなければならない。

ひび割れの発生原因に関する標準調査は、一般に以下の内容について行われる。

現状の調査：パターン、開き幅、長さ、貫通の有無、異物充填の有無、乾湿、汚れなど  
障害の調査：漏水、エフロレッセンス、鉄筋の錆、部材のたわみ、美観の損傷など

ひび割れの経時調査：発生または発見時期、成長経過など

設計図書類の調査：設計図、構造計算書など

施工記録の調査：使用材料、配合、打込み、養生、工程、管理試験データ、地盤の状況、型枠の種類、環境条件など

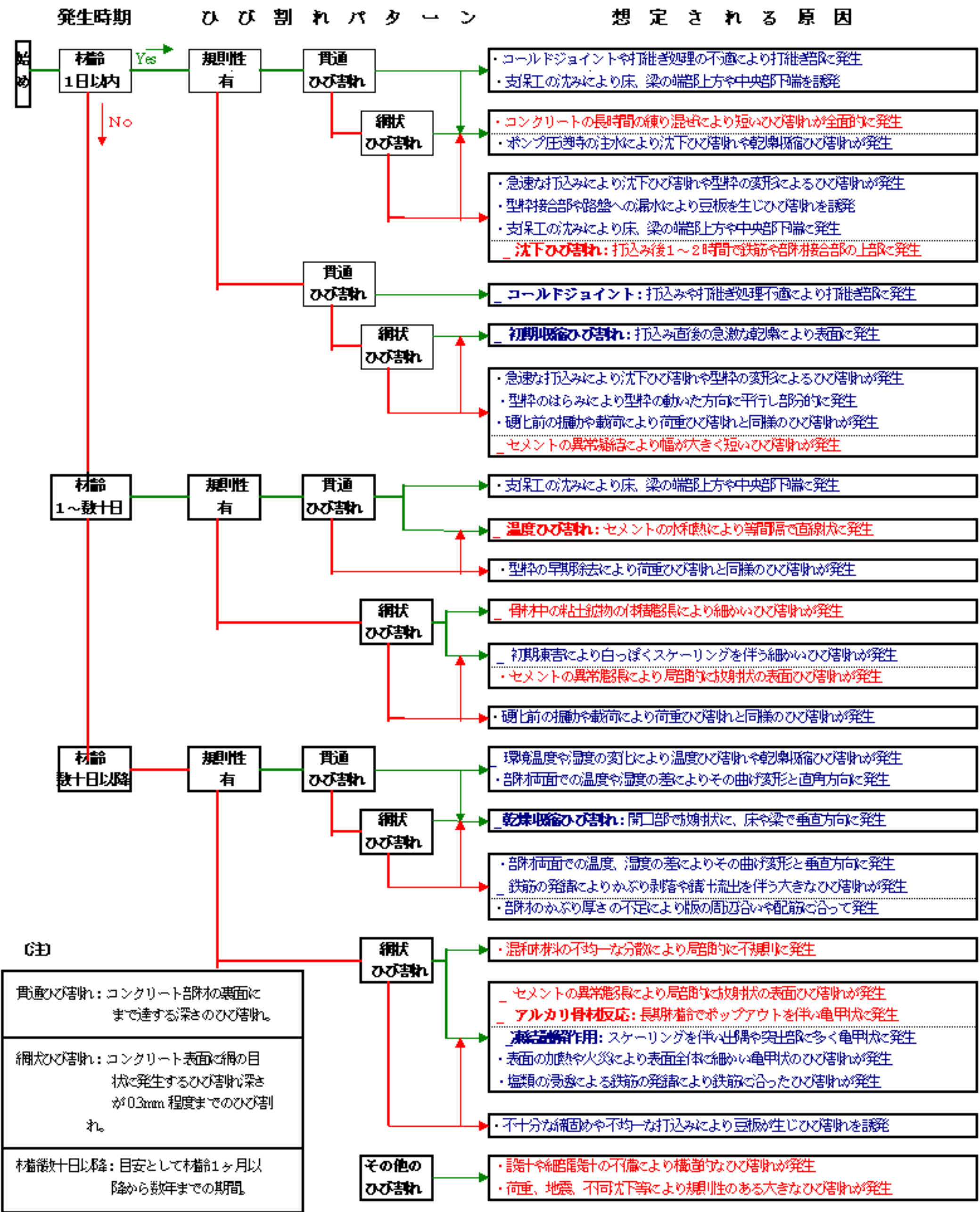
ひび割れの発生あるいは発見時期とひび割れパターンに関する標準調査の結果に基づいて、ひび割れのパターンによる分類表などから、容易にひび割れの発生原因を推定できる場合も多いが、標準調査の他の項目によっても特定された原因の確認をする必要がある。なお、標準調査によっても全く原因が把握できない場合には、さらに詳細調査（コンクリートのコアによる強度調査、断面寸法の設計図との照合調査、荷重条件の調査、地盤の調査、鉄筋の調査、中性化の調査、漏水経路の調査、ひび割れの詳細調査、コンクリートの分析調査、構造物の載荷試験調査、構造物の振動試験調査など）を実施する。

### 3. 許容ひび割れ幅

土木学会コンクリート標準示方書では、許容ひび割れ幅は、構造物の使用目的、環境条件、部材の条件などを考慮して定めることを原則としている。

鋼材の腐食に対する許容ひび割れ幅は、鋼材の腐食に大きな影響を及ぼす部材表面の許容ひび割れ幅が、かぶり厚さによって変化することを考慮し、環境条件と鋼材の種類に応じて、かぶり厚さ（mm）の0.0035～0.005倍としている。

水密性に対する許容ひび割れ幅は、構造物の使用条件および作用荷重特性などを考慮し、要求される水密性の程度と卓越する作用断面力に応じて、0.1～0.2mmとしている。



(注)

貫通ひび割れ: コンクリート部材の表面にまで達する深さのひび割れ。

網状ひび割れ: コンクリート表面に網の目状に発生するひび割れ深さが0.3mm程度までのひび割れ。

材齢数日以降: 目安として材齢1ヶ月以降から数年までの期間。

図1. ひび割れの発生時期およびパターンによる分類とその原因

## 4. ひび割れの分類

図1に、ひび割れの発生時期およびパターンによる分類と、その推定される原因についてとりまとめた。また、表中の代表的なひび割れについて、発生時期、パターン、発生原因および抑制対策を以下に示した。しかし、微細なひび割れが分散して発生するよう設計された部材、許容ひび割れ幅以下のひび割れ発生を認めた部材、ひび割れを所定の位置に誘発させた部材、あるいは、過大な荷重や早期の載荷により構造的なひび割れが生じた部材などもあるので、ひび割れの分類では、発生時期やパターンだけでなく、設計図書類や施工記録によってもひび割れの発生原因を確認する必要がある。

### Aセメントの異常凝結によるひび割れ

- ・発生時期：打設後数時間以内にコンクリートの水引きに伴って発生する。
- ・パターン：規則性のない表面ひび割れで、一般に開き幅が大きく、長さが短い。
- ・発生原因：セメントの凝結は、始発1時間以上、終結10時間以内が正常であり、これ以外の凝結を異常凝結という。異常凝結には、瞬結、急結、偽凝結等があり、石膏無添加のセメントや石膏の脱水により、アルミン酸三石灰 ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ) が水と瞬時に反応して異常凝結を生ずる。この反応により、多量の熱が放出され、ひび割れの原因となる。なお、偽凝結の場合には、注水後5～10分で軽いこわばりを生ずるが、繰り返しによりワーカビリティが回復し、正常な凝結現象に戻るため、ひび割れの主要原因となることはない。
- ・抑制対策：コンクリートの硬化前にひび割れが発生するので、すぐにタンピング等を実施することにより、このひび割れは消すことができる。なお、使用実績のない特殊な混和剤(材)などを用いる場合には、セメントとの反応性について、凝結試験により異常凝結を起こさないことを、予め確認してから用いるのがよい。

### Bセメントの異常膨張によるひび割れ

- ・発生時期：発生原因により、凝結硬化過程の初期材齢で発生する場合と、比較的長期材齢で発生する場合に分けられる。
- ・パターン：局部的に不規則な表面ひび割れが放射状に発生する。
- ・発生原因：クリンカーの焼成が不十分で化合物組成を生成しきれなかった遊離石灰 ( $f\text{-CaO}$ ) の過剰による  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  の生成、酸化マグネシウム ( $\text{MgO}$ ) の過剰によるペリクレーズ ( $f\text{-MgO}$ ) の生成、添加石膏量の過剰によるエトリンガイトの生成、およびこれらの相乗作用によって、異常な容積膨張を生ずる。この容積膨張作用により、セメント硬化体に局部的なひび割れや反り現象が発生する。 $\text{Ca}(\text{OH})_2$  やエトリンガイトの生成に起因するひび割れは初期材齢で発生し、ペリクレーズの生成に起因するひび割れは比較的長期材齢で発生することが多い。
- ・抑制対策：セメントの安定性試験で「良」と評価されたセメントを用いれば、JIS規格値の範囲内で  $\text{MgO}$  や  $\text{SO}_3$  の多少があっても、このひび割れの原因となることは少ない。

### Cセメントの水和熱によるひび割れ(温度ひび割れ [Thermal Cracking])

- ・発生時期：表面ひび割れの場合は打設後数日以内に、貫通ひび割れの場合は打設後1～2週以降に発生することが多い。
- ・パターン：部材軸と垂直方向に、直線状のひび割れが、ほぼ等間隔で規則的に発生する。ひび割れは、部材を貫通して発生するケースが多いが、表面だけに発生することもある。一般に、温度ひび割れの開き幅は大きい。
- ・発生原因：セメントの水和熱に伴うコンクリートの温度上昇または温度低下による部材の自由変形が拘束されると、内部拘束応力および外部拘束応力が生じ、これらの引張応力により温度ひび割れが発生する。部材中心部の温度上昇により、表面部との温度差が大きくなると、表面部では内部拘束による引張応力が生じ、表面ひび割れが発生する。また、部材中心部のセメントの水和熱による温度上昇がピークに達した後の、温度低下の速度と量が大きいと、温度変化に伴う自由な軸変形と曲げ変形が拘束されて引張応力を生じ、貫

通ひび割れが発生する。水和熱の大きいセメントの使用や単位セメント量の多い配合で、マスコンクリートや外部拘束の大きい部材（連続壁や長い床版など）を打設した場合に、温度ひび割れが発生しやすい。

・抑制対策：コンクリートの打設前に温度ひび割れ指数（ある材齢での引張応力に対する引張強度の比）について検討することにより、温度ひび割れの発生確率を推定することができる。温度ひび割れ指数が1.5以上となるように、材料、配合、部材寸法などを適切に定めることにより、温度ひび割れの発生確率を5%以内に抑えることができる。また、ひび割れの発生を許容するが、開き幅が過大とならないよう制限したい場合には、温度ひび割れ指数を0.7以上とする。

#### D 骨材中の粘土鉱物によるひび割れ

・発生時期：湿潤養生後の比較的早期材齢で発生する。

・パターン：網状の不規則で細かい表面ひび割れが発生する。

・発生原因：骨材中に多量の粘土鉱物や泥分が含まれていると、コンクリートの単位水量が増加し、特に初期材齢での乾燥収縮が大きくなり、初期収縮ひび割れに類似した表面ひび割れが発生する。また、コンクリート中に、粘土鉱物や泥分の塊、あるいは、それらが多く含まれている部分が生ずると、コンクリートの硬化が阻害され、局部的に不規則な表面ひび割れが発生する。また、粘土鉱物によっては、吸水や乾湿の繰返し作用によって、体積膨張を起こしたり、紛状化しやすいものもあり、ひび割れの原因となることもある。

・抑制対策：骨材の有害物含有量（特に、粘土塊や洗い試験で失われるもの）が許容値限度内にある骨材を用いることにより、このひび割れを抑制することができる。また、ひび割れやポップアウトを生じた悪い事例のある、物理的に不安定な粘土鉱物を含む骨材の使用は避けるのがよい。

#### E 沈下によるひび割れ（沈みひび割れ[Settlement Cracking]）

・発生時期：コンクリートの打設後数時間以内に、ブリージングの経過に伴って発生する。

・パターン：水平鉄筋や部材断面が変化する箇所の上面に、規則性のある直線状の表面ひび割れが発生する。

・発生原因：ブリージングによるコンクリート面の沈下が、固定された水平鉄筋などによって局部的に妨げられることにより、その上面に水平鉄筋に沿った沈みひび割れが発生する。また、部材断面が変化する箇所では、その部材高さの違いによっても、コンクリートの沈下量が異なるため、沈みひび割れが発生する。沈みひび割れは、単位水量が多く、ブリージングの多いコンクリートで、打込み速度が速い場合や、打込み高さが大きい場合に発生しやすい。

・抑制対策：コンクリートの硬化前にひび割れが発生するので、すぐにタンピングなどを施すことにより、このひび割れは消すことができる。単位水量が少なく、ブリージングの少ないコンクリートを用い、打込みの速度や順序を配慮することで、このひび割れを抑制することができる。

#### F 打継ぎ処理の不適によるひび割れ（コールドジョイント[Cold Joint]）

・発生時期：コールドジョイント部の打継ぎ強さの低下により、初期材齢でひび割れが発生する。また、コールドジョイント部は、比較的長期材齢で乾燥収縮などによるひび割れの起点となる場合が多い。

・パターン：コールドジョイント部に沿って、直線状のひび割れが発生する。

・発生原因：コンクリートを連続して打設する場合に、先に打った層のコンクリートと後に打った層とが一体化しないと、コールドジョイントとなる。コールドジョイントは、先に打ったコンクリートが、次の層が打設されるまでにある程度凝結した場合や、境界面の締固め作業が不十分な場合などに発生する。また、コールドジョイント部は、打継ぎ強さ

が弱いので、乾燥収縮などによるひび割れの起点となる場合が多い。

・抑制対策：先に打ったコンクリートの始発以前（500psi以下）であれば、前後の層が一体化するよう再振動を行うことにより、コールドジョイントを防ぐことができる。コールドジョイントを防ぐための打継ぎ時間の限度の目安は、外気温が25℃以上で2.5時間程度、25～15℃で3.5時間程度、15℃未満で4.5時間程度である。

#### G 初期収縮によるひび割れ（初期ひび割れ[Plastic Shrinkage Cracking]）

・発生時期：凝結の始まりからブリージング水が吸収される過程の初期材齢で発生する。  
・パターン：コンクリート表面の全体にわたって、比較的短い表面ひび割れが発生する。  
・発生原因：コンクリート打込み直後の、表面からの水分蒸発速度がブリージング速度より速いと、セメント粒子などが露出して生じたコンクリート上面のメニスカスの釣り合いが破れ、水平方向に収縮する。この自由収縮が、骨材の不均一な分布などによって拘束されることにより、引張応力を生じて、ひび割れが発生する。型枠からの漏水などでコンクリート表面の水分が流出した場合にも、同種のひび割れが発生する。  
・抑制対策：コンクリート表面からの水分蒸発速度が $0.1 \sim 1.5 \text{kg/m}^2 \cdot \text{hr}$ より大きくならないよう適切な養生を行うことにより、このひび割れを抑制することができる。気温の高い時や風の強い時には、打設後、できるだけ早い時期に通気性のないフィルムでコンクリートの露出面を覆うのがよい。

#### H 初期凍害によるひび割れ

・発生時期：コンクリートの凝結硬化過程での凍結あるいは凍結融解作用により、初期材齢で発生する。  
・パターン：コンクリート表面の全体にわたって、不規則で、細かい表面ひび割れが発生する。型枠面では、脱枠時に表面が白っぽく、荒れて見えることが多い。  
・発生原因：コンクリートの凍結温度（ $-0.5 \sim -2.0$ ℃）より、コンクリート温度が低下すると、1～数回の凍結融解作用による膨張圧で、ひび割れが発生する。凍害によるひび割れでは、強度低下、ポップアウト、スケーリングなどを伴うことが多い。凍結した地盤上や氷雪が付着している型枠内にコンクリートを打設した場合にも、初期凍害によるひび割れが発生することがあるので注意が必要である。  
・抑制対策：早強性混和剤の使用や打設直後の保温養生などにより、早期に初期凍害を受けにくい所要の強度（ $3.5 \sim 5.0 \text{N/mm}^2$ ）を得ることで、このひび割れを抑制することができる。また、防凍剤を用いてコンクリートの凍結温度を $-5$ ℃程度まで下げることにより、初期の凍害を受けにくくすることもできる。

#### I 乾燥収縮によるひび割れ（乾燥収縮ひび割れ[Shrinkage Cracking]）

・発生時期：打設時期や部材寸法によって異なるが、材齢2～3ヶ月以降に発生する。  
・パターン：部材の長手方向とほぼ垂直に、規則性のある直線状の貫通ひび割れが発生する。また、開口部の周囲では放射状に、外壁部や隅角部では斜め方向に、ひび割れが発生する。ひび割れ発生時の開き幅は $0.05 \sim 0.5 \text{mm}$ 程度で、材齢の経過とともに $1 \sim 3 \text{mm}$ 程度まで開き幅が拡大することもある。  
・発生原因：セメントゲル細孔中の水分の蒸発に伴って、セメントペースト部分が収縮（乾燥収縮）する。この自由収縮が、コンクリート中の骨材や鉄筋、あるいは接合部材によって拘束されることにより引張応力を生じ、コンクリートに乾燥収縮ひび割れが発生する。乾燥収縮の大きさは、使用材料、配合、部材寸法、環境条件などによって異なるが、一般に $150 \sim 350 \times 10^{-6}$ 程度である。単位水量が多いほど、部材の暴露面積が大きいほど、また環境条件の相対湿度が低いほど、乾燥収縮は大きくなり、その自由収縮に対する拘束度が大きい部材ほど、ひび割れが発生しやすい。  
・抑制対策：コンクリートの乾燥収縮試験における乾燥期間6ヶ月時の乾燥収縮率が800

$\times 10^{-6}$  以下であれば、耐久性が確保できる（乾燥収縮ひびわれを生じにくい）との観点より、日本建築学会JASS 5では、単位水量の上限値（ $185 \text{ l/m}^3$ ）が定められている。乾燥収縮を小さくするには、できるだけ小さな単位水量とすることが望ましいが、混和剤により単位水量を減少させた場合には、逆に初期の乾燥収縮が大きくなることもあるので注意が必要である。

### J凍結融解によるひび割れ

- ・発生時期：冬期の凍結融解作用により、冬から春までの期間に発生する。
- ・パターン：不規則な細かい亀甲状の表面ひび割れが発生し、さらにその後の凍結融解作用により、開き幅が拡大する。昼夜の温度差が大きいほど、凍結融解作用を受けやすいので、寒冷地では日射側のコンクリート面や出隅部に発生することが多い。
- ・発生原因：寒冷地では、コンクリート中の水が夜間に凍結して膨張圧を生じ、この凍結が日中の日射で融解する繰返し作用（凍結融解作用）を受ける。この凍結融解作用による内部応力により、ポップアウト、スケーリング、ひび割れが発生する。特に、ひび割れ部では、コンクリート内部に水が浸透しやすいため、次の凍結により、さらに大きな膨張圧を生じ、ひび割れ部の開き幅拡大や損傷の原因となることが多い。
- ・抑制対策：気泡間隔係数が $200 \mu$ 程度以下となるAEコンクリートとし、所要の空気量（日本建築学会JASS 5では $4.5 \pm 0.5\%$ ）を確保することで、凍結時の膨張圧を緩和させ、凍結融解に対する耐久性を高めることができる。また、コンクリートが密実になるよう打設し、吸水の小さなコンクリートとすることも有効である。

### K環境温度の変化によるひび割れ

- ・発生時期：平均気温が最も低下する冬期や初期材齢の早朝に発生しやすい。
- ・パターン：環境温度の低下による温度収縮と乾燥収縮は同時に作用するので、冬期に乾燥収縮ひび割れと同じパターンのひび割れが発生する。また、日内の環境温度の低下が大きいと、初期材齢でセメントの水和熱による温度上昇がピークに達した後の温度低下量を大きくするので、早朝に温度ひび割れと同じパターンのひび割れが発生する。
- ・発生原因：コンクリート部材は外気温の低下に伴って収縮するが、この収縮が拘束されると引張応力を生じてひび割れが発生する。コンクリートの線膨張係数は $10 \times 10^{-6} /$ 程度であり、夏期打設したコンクリートで冬期までの温度低下が $30$  があると $300 \times 10^{-6}$ の温度収縮を生ずる。この収縮量は、部材の乾燥収縮量に匹敵し、しかも乾燥収縮に加わって作用する。また、初期材齢においては、単位セメント量の多い配合を用いた拘束度の大きい部材では、日内温度差が $10 \sim 15$  以上と大きい場合に、セメントの水和熱による温度上昇がピークに達した後の温度低下量を増大させるので、日内温度が最も低下する早朝に、温度収縮による大きな引張応力を生じ、温度ひび割れと同様のひび割れが発生する。
- ・抑制対策：コンクリートの線膨張係数は、骨材の岩質の影響を大きく受けるので、線膨張係数の小さい石灰石などの骨材を用いることにより、環境温度の変化に伴う温度応力の蓄積を小さく抑えることができる。また、打設時からの温度低下量が大きいほど、大きな引張応力が部材内に蓄積されるので、コンクリートの練り上がり温度を低く抑えたり、夏期の日中時の施工を避けるのがよい。

### L鉄筋の発錆によるひび割れ

- ・発生時期：コンクリートの中性化深さが大きくなる、長期材齢でひび割れが発生する。
- ・パターン：鉄筋に沿ってコンクリート表面に、規則性のある直線状の大きなひび割れが発生する。ひび割れ部では、水が浸入し、さらに鉄筋の錆が促進されるので、かぶりコンクリートの剥落や錆汁の流出による変色（赤褐色）を伴うことが多い。
- ・発生原因：セメントの水和物（主として $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ）は、空気中の炭酸ガスと反応し、コンクリートのアルカリ性が低下（中性化）するとともに、炭酸化の過程で収縮傾向を示す。

中性化が鉄筋位置にまで及ぶと、アルカリによる鉄筋保護の環境が崩れ、水分と炭酸ガスによって鉄筋は腐食する。特に炭酸による鉄の腐食では、炭酸カルシウムが存在するので、錆は急速に促進される。鉄筋が錆びると、体積が膨張し、かぶりコンクリートを押し上げ、鉄筋に沿ったひび割れが発生する。一旦ひび割れが発生すると、そこから水が浸入したり、鉄筋付近のコンクリートの中性化が進むので、鉄筋の錆がさらに促進され、かぶりコンクリートの剥落や錆汁による変色の原因となる。

・抑制対策：コンクリートの中性化の速度は、コンクリートの材料、配合、密度、均等性などと深い関係を有するが、特に、水平鉄筋や骨材の下部空隙、打継目などの弱点部に沿って中性化が促進されることが多い。単位セメント量が多く（日本建築学会JASS 5では単位セメント量の最小値270kg/m<sup>3</sup>以上）、水セメント比の小さい、中性化しにくいコンクリートを密実で均等質となるよう入念に打設するとともに、十分なかぶりコンクリートの厚さを確保することで、このひび割れを抑制することができる。

## M アルカリ骨材反応によるひび割れ

・発生時期：配合条件や環境条件によっても異なるが、一般に打設後数年以上経過した長期材齢で発生する。

・パターン：表面に多くの不規則な亀甲状ひび割れが発生する。また、ひび割れ部に、ゼラチン状の物質や白い沈殿物を発生させることや、ポップアウト現象を伴うことも多い。

・発生原因：アルカリ含有量(Na、K)の高いセメントを用いた場合、水和によって生じたアルカリ成分(NaOH、KOH)と、ある種の骨材中に含まれるシリカ鉱物とが化学反応を起こし、アルカリシリケートを生成する。これがコンクリート中の水分を吸収して膨張し、ひび割れが発生する。アルカリと反応性のある鉱物としては、火山ガラス、クリストバライト、トリジマイト、オパール、結晶格子にひずみのある石英などがある。しかし、これらの鉱物すべてが有害な膨張を示すことはなく、場合によっては、非反応性骨材と混合した場合により大きな膨張を示す(混合比によって最大の膨張量となるペシマム量が存在する)こともあり、骨材の反応性試験による品質の確認が必要である。アルカリ骨材反応には、アルカリシリカ反応、アルカリ炭酸塩反応、アルカリシリケート反応がある。

なお、アルカリ骨材反応だけでなく、鉱物と水との水和反応、酸化反応、液相を通してのセメント水和物との反応、湿度変化に伴う可逆的相変化、水和膨張反応などによっても、骨材と反応してひび割れを生ずることがある。

・抑制対策：アルカリ骨材反応は、アルカリシリカ反応に関してJIS A5308の区分A(無害)と判定された骨材の使用、低アルカリ形(NaOHで0.6%以下)ポルトランドセメントの使用、コンクリート中のアルカリ総量の規制(3.0kg/m<sup>3</sup>以下)あるいは、混合セメントの使用などの対策により、抑制することができる。

## 5. ひび割れの補修

ひび割れの補修は、ひび割れの調査結果に基づいて、ひび割れの状況を十分に把握し、補修の目的に最も適した方法を採用しなければならない。ひび割れを補修する場合、漏水などの直接的な障害があれば、まずその障害を止めることが第一の課題であり、美観や長期の耐久性を確保するための補修であれば、補修の規模や程度をどのように決めるかが重要な課題となる。また、構造的な欠陥がある場合には、補修後に新たに同様のひび割れが発生することもあるので、補修と併用して補強を行う必要がある。

### 表面処理工法

表面処理工法は、ひび割れに沿ってコンクリートの表面に被膜をもうける方法で、0.2m以下の開き幅の小さいひび割れの、構造的な機能回復を目的としない補修に用いられる。ひび割れの動きが比較的大きい場合には、ポリウレタン、ポリサルファイド、シリコン系などの材料が用いられ、ひび割れの動きが比較的小さい場合には、ポリマーセメント、アスファルト、セメントモルタル、エポキシ系などの材料が用いられる。

施工に当たっては、まず被膜を設けるコンクリート表面をワイヤブラシなどで荒らすとともに、表面の付着物をよく取り除き、水洗いした後、水分を十分乾燥させてから、補修材を塗布する。コンクリート表面に気泡孔などがある場合は、パテ状の材料で充填しておく必要がある。

#### 充填工法

充填工法は、ひび割れに沿ってコンクリート表面をVまたはU字形にはつり、充填材を詰めて補修する方法で、表面処理工法では耐摩耗性や耐食性の面で不十分と考えられる場合に用いられる。ひび割れの動きが比較的大きい場合には、ポリウレタン、ポリサリファイド、シリコン系などの材料が用いられ、ひび割れの動きが比較的小さい場合には、セメントペースト（住友大阪セメント(株)製、補修用充填材：ライオンシスイ）、セメントモルタル、アスファルト、鉛コーキング、ポリマーセメント、エポキシ系などの材料が用いられる。

施工に当たっては、VあるいはU字形の溝をはつり、浮いたコンクリート片などをワイヤブラシで除去し、清掃した後、必要に応じてプライマーを塗布して充填材を詰める。充填材が十分硬化した後、表面をグラインダー、サンダーなどを用いて、平坦に仕上げる。なお、はつり取る充填用の溝形は、U字形がV字形に比べ、はつり作業は難しいが、補修後充填材が剥離しにくいので、セメント系材料を充填する場合にはU字形を用いるのが望ましい。U字形の溝は、ひび割れを挟んだ2本の溝をカッターで切った後、その間のコンクリートをはつり取るようにすればよい。

#### 注入工法

注入工法は、ひび割れに沿って注入用パイプを取り付け、他の部分をVカット充填、表面被覆あるいは粘着テープなどで注入材が漏れないようシールし、ポンプなどを用いて注入材を注入する方法で、0.2mm以上の開き幅の大きいひび割れの補修に用いられる。ひび割れの動きが比較的大きい場合には、ポリウレタン、ゴムアスファルト系などの材料が用いられ、ひび割れの動きが比較的小さい場合には、ポリエステル、セメントペースト、セメントモルタル、ポリマーセメントモルタル（住友大阪セメント(株)製、超微粒子セメント系注入材：リフレフィルボンド）、エポキシ系などの材料が用いられる。

施工に当たっては、注入材を注入する前に空気を送って、ひび割れ内部の清掃と注入のチェックを行い、続いてゆっくり補修材を注入する。注入速度が速すぎると、注入材が閉塞して十分な充填ができないことや、ひび割れ部の開き幅を拡大させることがあるので注意が必要である。一般的な注入パイプの間隔は10～30cmで、並んだパイプに順次注入し、隣接パイプから注入材が溢れるのを確認した後、そのパイプを閉じ、次のパイプから注入するという手順で施工を行う。注入工法は、注入材の選択により0.05mmの幅のひび割れ部にまで充填できることにより、構造部材の強度回復を目的とした補修にも適用することができる。

#### 補強工法

アンカー工法は、鋼製アンカーをひび割れを跨ぐように取り付け、アンカーをセメントモルタルなどで充填する方法で、構造的補強を兼ねたひび割れの補修に用いられる。

その他の補強工法として、ひび割れに直角にPC鋼材を配置し、PC鋼材を緊張してプレストレスを与える方法、鋼板を樹脂系接着剤でひび割れを跨ぐように張り付ける方法、あるいは、ひび割れの発生したコンクリートをはつり取って、鉄筋を配置して新しいコンクリートを打込む方法などがある。

住友大阪セメント(株)  
セメント営業技術部