

コンクリート施工のポイント④

コンクリートに生じる初期ひび割れを抑制するために

広島工業大学 教授
工学博士 十河茂幸

前号では、養生の水分・温度・期間について解説した。今号は、コンクリートの初期ひび割れの発生メカニズムと抑制対策について概説する。

1 はじめに

コンクリートに生じるひび割れには、主として施工中に生じるひび割れと供用中に生じるひび割れがある。このうち、供用中に生じるひび割れは設計より過大な荷重が作用したり、内部の鋼材が腐食膨張してかぶりの部分に内部から押し広げる力が作用し、ひび割れを生じさせるパターン（写真1）がある。一方、施工中に生じるひび割れ（写真2）は初期ひび割れと呼ばれ、構造物に荷重が作用しているわけでもなく、劣化が進んでいるわ



写真1 供用中に生じるひび割れ

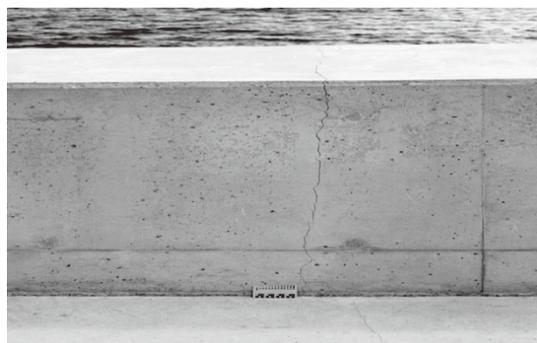


写真2 コンクリートの初期ひび割れ

けでもないのに生じる。

ここでは、施工中に生じるひび割れの発生メカニズムと抑制対策を概説する。

2 初期ひび割れとは

コンクリートの施工初期に生じるひび割れを初期ひび割れと呼ぶが、初期ひび割れにもいろいろなものがある。

図1は、コンクリートにブリーディングが生じ、その影響で表面が沈下する現象に伴い、沈下量の差から生じる「沈下ひび割れ」である。このひび割れは、沈下ひび割れが生じた直後に生じることから、上面においては、硬化前に上面をタンピングをすることで、再振動により柔軟性を取り戻す効果によりひび割れが修復されるため、問題になることは少ない。型枠面ではセパレータの位置にひび割れが残る場合があるが、ブリーディングを抑制することで沈下ひび割れは低減させることができる。

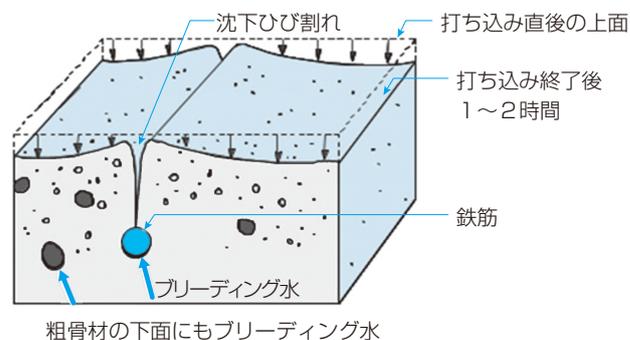


図1 沈下ひび割れの発生機構

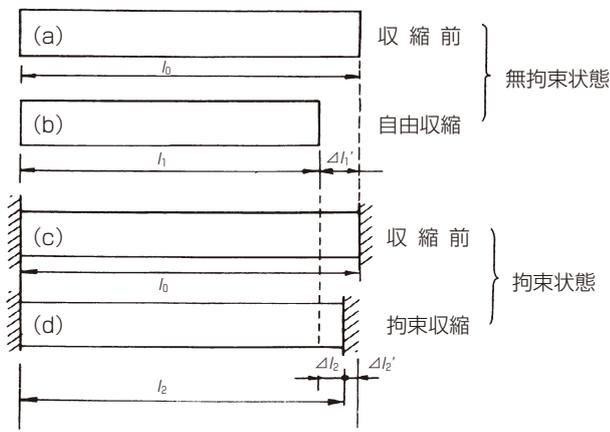


図2 収縮による部材の長さ変化の概念

このほかには、型枠の変形に伴うひび割れ、支保工の変形（沈下）によるひび割れなどもあるが、強固な型枠支保工を構築しておけば問題になることは少ない。

初期ひび割れの中で、最も対策がとり難いのが収縮を拘束することにより生じる収縮ひび割れである。収縮ひび割れは、コンクリート自体の自己収縮、乾燥収縮、水和発熱が部材内部に蓄積されたのちに放熱して生じる温度収縮が原因となる。これらの収縮ひび割れは、部材が薄いと乾燥が生じやすく、部材が厚いと水和熱に起因する温度が蓄積されやすく、強度を求めると自己収縮が大きくなるため、ひび割れの抑制が求める性能と相反することになり、宿命とも言われることが多い。

3 収縮ひび割れのメカニズム

コンクリートは、様々な理由で収縮を生じる。たとえば、コンクリート中の余剰水が逸散することにより生じる乾燥収縮、セメントの水和反応に伴う硬化収縮が主因となる自己収縮、水和発熱によりコンクリート断面内の温度上昇が生じ、次第に放熱することによる温度収縮などがある。

これらの収縮を自由に生じさせるとコンクリート部材は長さが増えるだけでひび割れが生じることはない。しかし、自由に収縮させない条件つまり、収縮を拘束すると部材には引張応力が生じ、その応力が引張強度を超えるとひび割れが生じることになる。

図2は収縮を拘束することで生じる内部応力の生じる現象を比較して示したものである。図2の(a)は、拘束がない状態における打込み直後の長さ

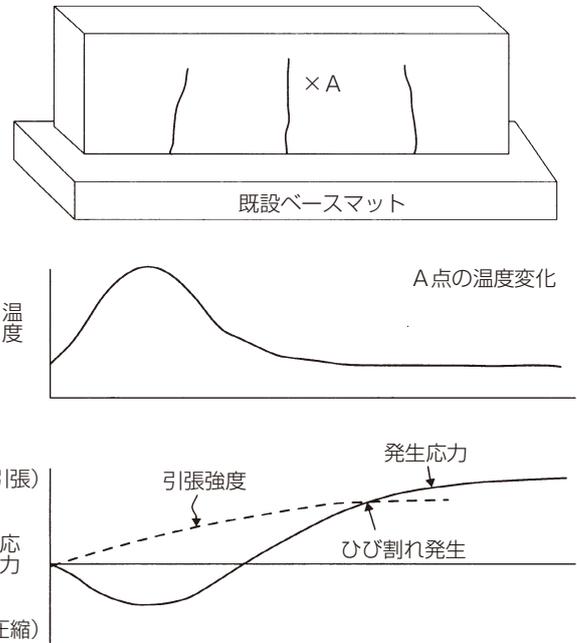


図3 温度ひび割れの発生概念

である。図2の(b)は、これが収縮した状態である。拘束がないため、長さが短くなっている。図2の(c)は、拘束がある状態での打込み直後の状態で、図2の(a)と同じ長さとなっている。図2の(d)は、拘束がある条件での収縮した後の長さを示している。拘束があるため、拘束がない状態のように短くならず、 Δl_2 だけ拘束により伸ばされていることになる。これが収縮を拘束することにより生じた引張応力の原因となっている。ここで生じた引張応力がコンクリートの引張強度を超えるとひび割れが生じることになる。

収縮が大きくても、その収縮を拘束しなければ引張応力は生じず、ひび割れには至らない。しかし、コンクリート構造物の構築においては、部材を打ち継いで構造物とする場合が多いため、先に打設したコンクリート部材に拘束され、後から打込んだコンクリートが収縮するのを拘束してひび割れを生じさせる場合が多い。

図3・上は床版（ベースマット）上に壁体を構築する場合を示している。壁体と床版を同時に打ち込むことは通常は行われぬ。配筋や型枠の作製さらに打込みが困難になるためである。したがって、壁体の収縮は床版に拘束される条件となる。

図3・中は、温度ひび割れの発生概念を示したもので、壁体を打込む前に床版が打ち込まれているため、すでに内部温度は外気温に近くなっている

る。その上に壁体を打ち込むと、壁体の温度が上昇し、1～2日経過後にピークを迎えて次第に降下する。この温度上昇および降下は、コンクリートの熱膨張係数により伸長と収縮を生じる。このとき、温度上昇時には、拘束体が伸びを拘束するため部材には圧縮応力が生じ、温度下降時には拘束体が収縮を拘束して引張応力を生じさせる。同じ温度量だけ上昇・下降をすることになるが、上昇時にはコンクリートがまだやわらかいため大きな応力にはならず、降下時にはすでに強度が発現しているため引張応力は大きくなる。これらの関係を概念的に示したのが、[図3・下](#)である。

4 コンクリートの収縮を小さくする対策

初期ひび割れのうち収縮が主要因のひび割れ対策としては、まず収縮の小さい材料を選択し、収縮が小さくなる配合を定めることが重要となる。

収縮を生じる要因としては、まずセメントの水和に伴う自己収縮が挙げられる。自己収縮は、水セメント比が小さい（高強度）の場合に大きくなり、またセメントの種類により違いがある（[図4](#)）。

収縮の小さい材料とは、セメントでは低熱ポルトランドセメントや中庸熱ポルトランドセメントがあり、早期に強度発現を求めると自己収縮は大きくなる。高炉セメントの場合は、セメントのアルカリ刺激により高炉スラグが潜在水硬性を発揮するが、スラグの粉末度を高くすると反応を早めることになり、自己収縮が大きくなるとされている。

収縮は乾燥によっても大きくなる。コンクリートを製造する場合に使用する練り混ぜ水は、セメントの水和反応に必要な量以外に、施工性を確保するための量も加えられる。後者の水は、硬化後に乾燥して収縮を生じる。乾燥収縮ひび割れの原因となる収縮である。乾燥収縮は、骨材によってもその量が異なり、石灰石は比較的小さいとされている。しかし、収縮だけが優れていてもほかの性質上の課題もあるので、材料の選定には注意を要する。

温度ひび割れの原因となる収縮は、セメントの

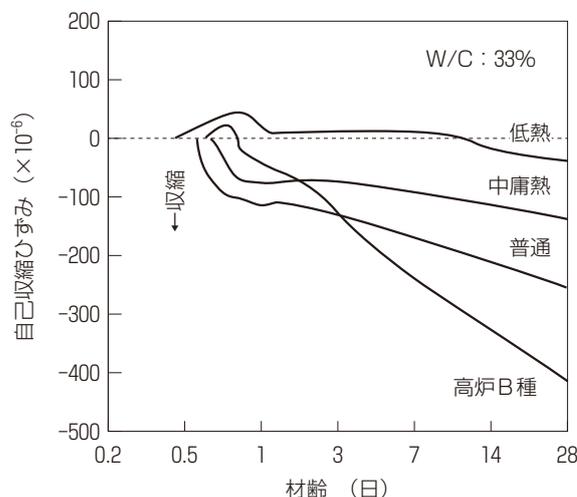


図4 各種セメントと自己収縮

水和熱により部材内部に蓄積された温度が下降する時の温度収縮である。したがって、セメント量が多いと温度上昇量が大きくなり、その結果温度収縮も大きくなることになる。また、低発熱セメントを用いると温度上昇が小さく、かつ、上昇速度が緩やかになり部材内部温度が大きくなりにくいため、温度降下量も小さく温度ひび割れは生じにくくなる。

単位セメント量を小さく抑える対策（水セメント比が同じであれば単位水量を低減すると単位セメント量は小さくなる）、低発熱性セメントの使用が温度収縮を小さくする対策となる。

5 ひび割れを抑制する施工面の対策

収縮の小さいコンクリートを用いても、その収縮を拘束するとひび割れが生じることになる。収縮ひび割れの発生メカニズムで説明したように拘束が大きいとひび割れは生じやすい。また、施工管理によりひび割れが生じる場合がある。

コンクリートの施工で拘束を小さくする対策は通常はとりにくい。施工の手順で工程を優先し、経済性を考慮しなければならないためである。したがって、施工計画のなかで、収縮が小さくなるように配慮することが必要である。

[表](#)に温度ひび割れの抑制対策の一覧を示す。収縮を小さくすること、拘束を意識することが抑制対策に通じる。

施工管理をする中で、ひび割れの発生に影響する場合がある。たとえば、[図5](#)は、型枠を外すタイミングが影響する場合である。部材厚が大きい

表 温度ひび割れの抑制対策の一例

| 検討時期 | 対策技術 | 留意点 |
|-------|--|---|
| 設計時 | 低発熱性セメントの選択 収縮の小さい材料の選択 単位セメント量の小さくなる配合 単位水量の低減策 設計時のひび割れ予測 ひび割れ誘発目地の計画 | 入手可能な材料を指定 使用材料まで考慮した設計 配合まで考慮した設計 施工性まで考慮した設計 ひび割れの対する事前検討 ひび割れの計画的制御 |
| 施工計画時 | 打込み区画の計画 施工時のひび割れ予測 コンクリートの製造・供給計画 打込み、脱枠、養生計画の検討 | 温度制御の観点から計画 現場の状況を考慮した予測解析 近い製造場所と運行計画 季節を考慮した計画立案 |
| 製造時 | コンクリート温度の制御 品質変動の抑制対策 適切な混和材料の使用 | 施工時の環境を考慮 材料の変動を抑制する対策 現場に適した使用材料の選定 |
| 施工時 | コンクリート打込み温度の抑制 初期養生の管理 脱枠時の温度管理 脱枠後の養生温度管理 | コンクリート温度を極力低減 内外の温度差を極力抑制 脱枠時に外気の影響を抑制 脱枠後の温度降下を抑制 |
| 完成後 | ひび割れ等の点検・調査 必要に応じたひび割れの補修 | 温度応力以外の影響を把握 要求性能に応じた補修の検討 |

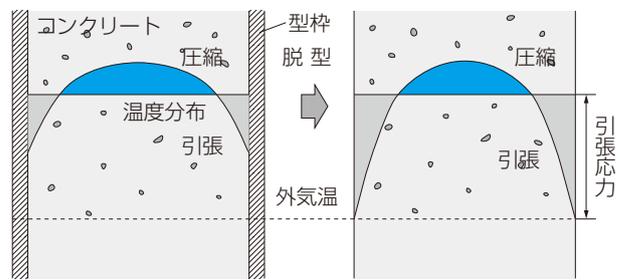


図5 型枠内の温度分布と脱枠後の温度分布

打ち込み時に比較して脱枠時に外気温が低下する時期にひび割れの危険性が増すことを図示している。現場に搬入されたコンクリートの温度が高い場合や脱枠時期に急に冷え込む場合は、危険であることを認識しておきたい。

6 おわりに

初期ひび割れが生じると施工技術者の評価が下がる。抑制が困難であることは多くの技術者の理解しているところであるが、不用意な施工管理面の対応でひび割れを生じさせている場合もある。

初期ひび割れの抑制は困難な課題ではあっても、ひび割れの生じるメカニズムを理解して対策を考えたい。使用材料・配合の選択、構造物の条件、施工時期も影響する。これらの情報を整理し、ひび割れが生じやすい条件を整理し、まず、ひび割れを予測することが重要である。

【参考文献】

- 1) 土木学会編『コンクリート標準示方書【施工編】』土木学会、2007
- 2) 十河ほか『改訂版 コンクリート名人養成講座』日経BP社、2008.10
- 3) (社)全国土木施工管理技士会編『良いコンクリートを打つための要点 改訂第7版』全国土木施工管理技士会連合会、2006.10

と内部に温度分布ができ、温度上昇する中央部では外部に拘束されて圧縮応力が生じ、逆に表面部では引張応力が生じる。内部温度が高いうちに型枠を外すと、表面部分が外気温に冷やされて温度分布が大きくなり、表面の引張応力が増加する。脱枠後にシートなどで覆うと外気温の影響を受けずに抑制対策になるが、その配慮を怠ると表面の引張応力を増加させ、表面ひび割れを生じさせる場合がある。

型枠を早期に外して、養生を継続するため散水することで結果的に表面を冷やすことがあり、養生と考えると、逆効果でひび割れを生じさせる場合がある温度の影響を考慮することを忘れてはならない。

温度ひび割れは温度応力が大きくなることで生じるため、メカニズムを理解して対策を考えたい。図6は、打込み温度が高いコンクリートを用いることでひび割れの危険にさらされる場合と打

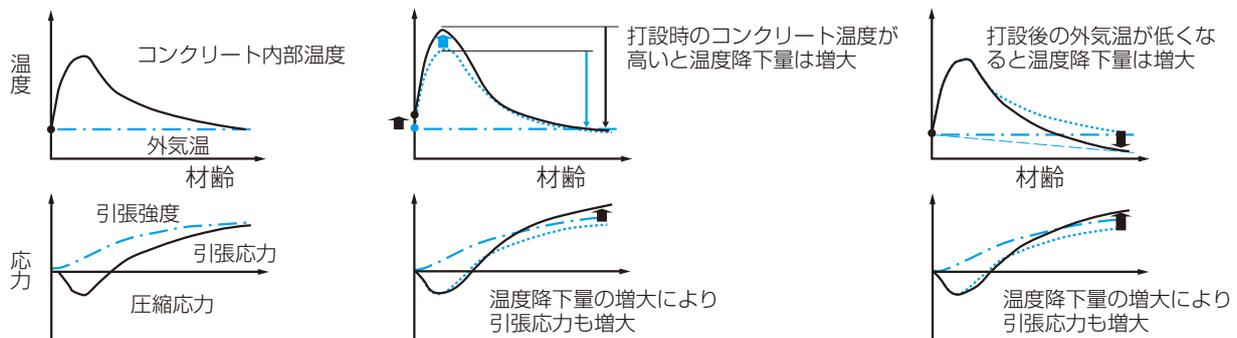


図6 打込み温度や脱枠時の温度による影響