

CHAPTER 7

悪条件が重なる 夏の打設に要注意



夏冬間の気温低下で 温度ひび割れが発生

➡ 乾燥収縮と重なればリスクは飛躍的に増大

外気温の低下によるひび割れトラブルは実に多い。

しかし、打設する季節と、問題となる施工条件に注意を払えば、リスクを低減できる。
そのポイントを解説する。

前パートでは温度ひび割れについて解説したが、実は温度ひび割れには、2つのタイプがある。

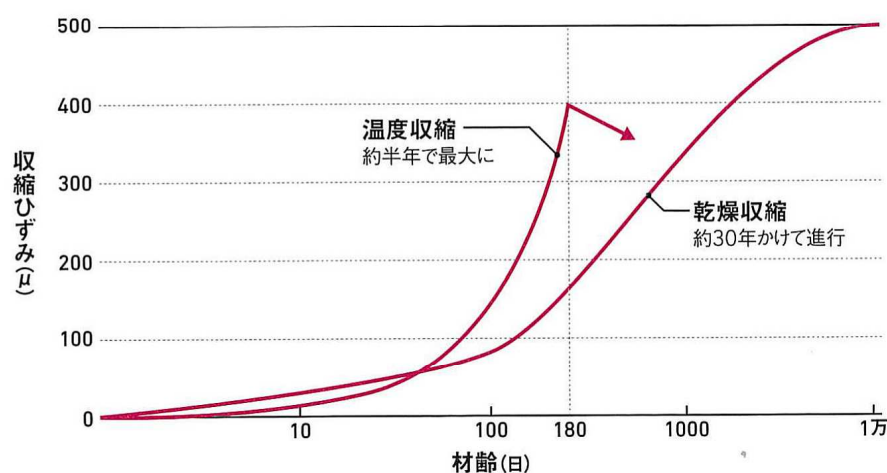
1つは、いわゆるマスコンクリートを打設するときに問題となるひび割れである。大断面の部材では、内部で大量の水和熱が発生して温度が上昇するが、その後、外部から冷却されて急激に温度低下することで部材が収縮し、その収縮を外部から拘束されることで起こる。

もう1つは、季節変動による外気温の低下によって生じるひび割れである。夏から冬に向けて外気温が低下するとコンクリートは収縮するが、外部の既設構造物がそれを拘束する。そのため、コンクリートは既設構造物から引張力を受ける形になり、内部応力が限界を超えてひび割れが生じる。

特に注意したいのは後者の外気温の低下によるひび割れで、関連するトラブルが後を絶たない。

このタイプは、マスコンの温度ひび

図1 温度収縮によるひずみは半年間で最大になる



温度収縮によるコンクリートのひずみは、打設後から約半年で400 μ mに達して最大となる。
一方、乾燥収縮によるひずみは、数十年かけてゆっくり進行する（資料：図8 まで筆者）

割れとは異なり、部材断面が小さくても発生する。また、マスコンの場合には、材齢7日程度で早期にひび割れが生じるのに対して、外気温の低下によるひび割れは夏から冬に向かう季節変動のなかで生じるため半年のスパンで発生する。

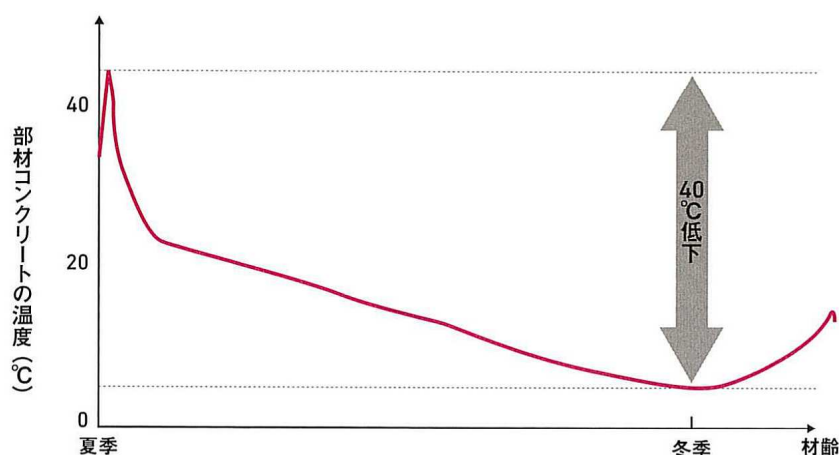
そこで、ここでは外気温の低下に

よるひび割れに的を絞って詳しく解説したい。

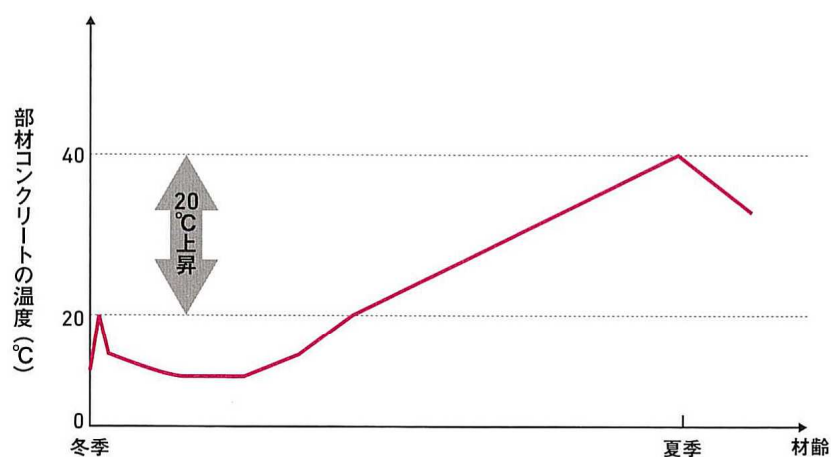
乾燥収縮より温度収縮が速い

図1で、温度低下による温度収縮ひずみの変化と、乾燥収縮によるひずみの変化を比較した。

【図2】 夏季に打設すると半年間で温度が約40℃低下



【図3】 冬季に打設すると半年間で温度が約20℃上昇



例えば、夏にコンクリートを打設すると、次の冬までのわずか半年間で、温度低下による収縮ひずみが約400 μ （マイクロ）まで増大する。一方、乾燥収縮の速度は比較的緩慢で、特に大断面のコンクリートでは10年単位でゆっくり進行する。約10年経過して、やっと温度ひび割れの最初の

半年間と同じくらいのひずみが生じる。

つまり、短期的には温度収縮の影響がはるかに大きく、ひび割れに直結しやすいことが分かる。

次に、コンクリート打設後の内部の温度変化を、夏に打設した場合と、冬に打設した場合で比べてみる（【図2】 【図3】）。

夏季に打設すると水和熱が加わり、鉄筋コンクリート（RC）部材の温度は50℃程度に上昇し、その後、厳寒期までに約40℃低下する。温度が低下すると、コンクリートは1℃当たり10 μ 程度収縮するので、この温度差によって400 μ の温度収縮ひずみが生じる。一方、冬季に打設すると、外気温は夏に向かって上昇していくから、コンクリート部材は膨張する。つまり、収縮による温度ひび割れのリスクが小さくなる。

ここで、温度収縮によるリスクを、乾燥収縮によるリスクと合わせて考えてみたい（【図4】）。夏季にコンクリートを打設すると、冬季を迎えるまでに温度収縮が進み、これが乾燥収縮に累加されるので、ひび割れリスクは一層増大する。

反対に、冬季に打設すると夏季に向けて温度膨張が生じ、これが乾燥収縮を打ち消す効果をもたらす。これによって、ひび割れリスクが大きく低下する。つまり、ひび割れ抑制の視点に立つと、コンクリートは、冬に打設するのが望ましいことを覚えておいてほしい。

温度収縮が問題となる条件

乾燥収縮に加え温度収縮がひび割れを助長する具体的な施工例を【図5】に示す。

温度収縮が問題になる典型例は、同図左のような地盤に接したスラブである。夏季から冬季に向けて温度が低下すると、床スラブの温度が低くなり温度収縮が発生する。これに対し、

図4

夏の打設は乾燥収縮を助長、ひび割れリスクが増大

夏に打設すると、乾燥収縮と温度収縮が重なり、ひび割れリスクが増大する。冬に打設すると、温度膨張が乾燥収縮を打ち消す効果が期待でき、ひび割れリスクを減らせる

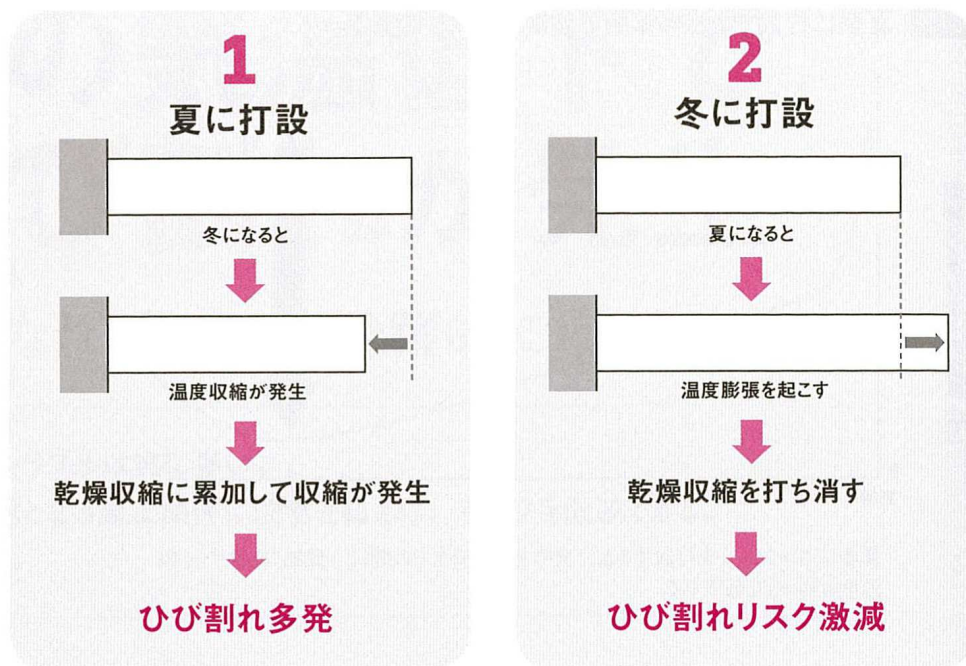
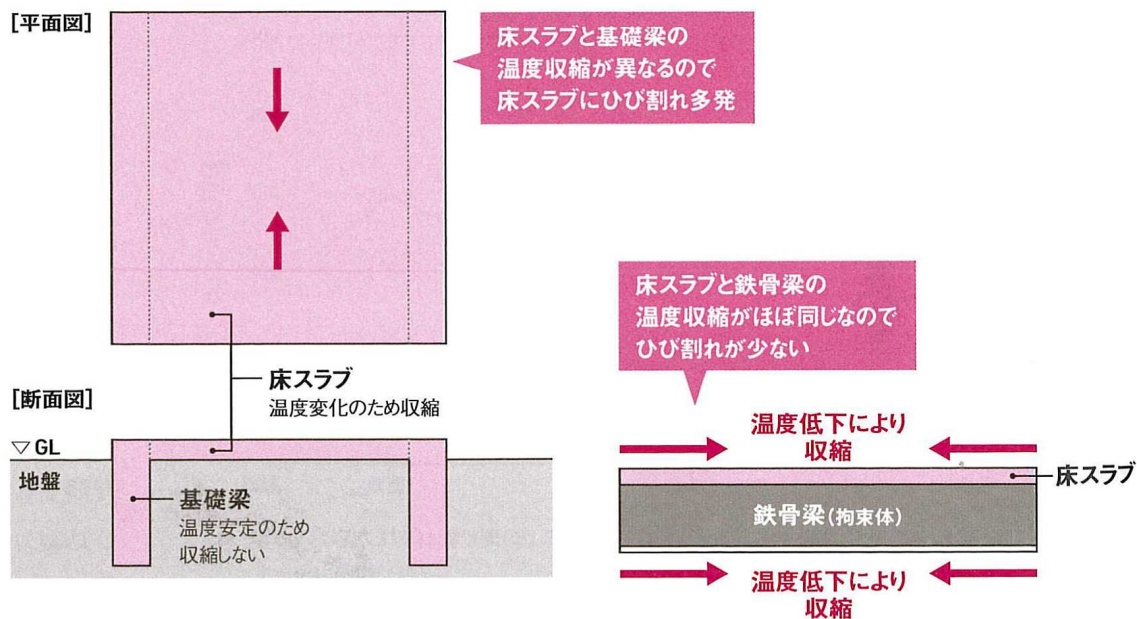


図5

温度収縮のリスクが最大になる施工とは

左はリスクの大きい施工例。ひずみの小さい地中梁が床スラブを拘束するため、ひび割れが発生しやすい。右の鉄骨造RCスラブでは、両方の収縮率がほぼ等しく、梁はスラブを拘束しない



拘束体となる地中の梁部材は温度変化が小さく、ひずみも小さい。梁部材は床スラブの温度収縮を拘束するので、床スラブに拘束変形が生じる。つまり、このケースでは、乾燥収縮に加えて、温度収縮もひび割れの原因となる。

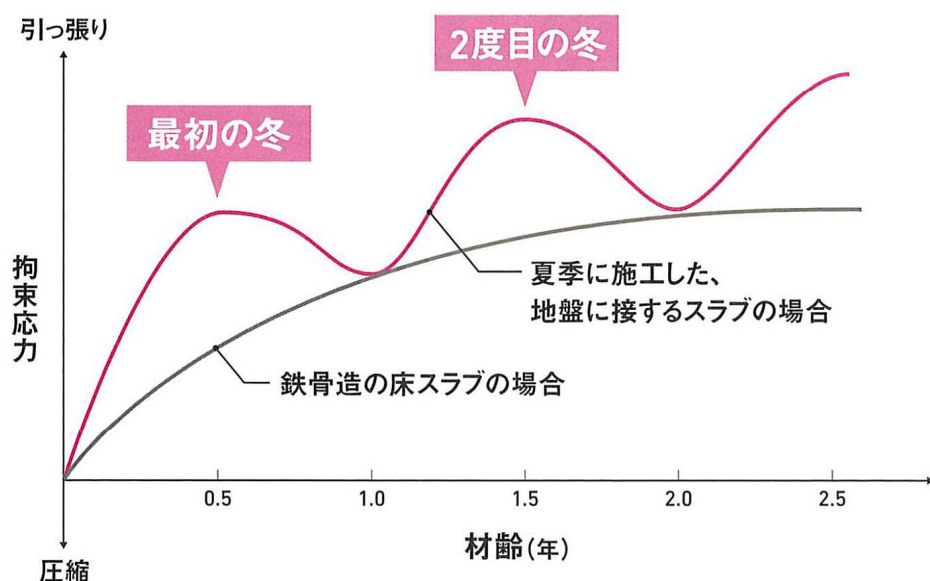
これに対し、同図右は大きな問題とならない、鉄骨造の床スラブの

ケースである。これは、RCの床スラブを鉄骨の梁が下から支えている構造だ。夏季から冬季にかけて、温度収縮が床スラブに生じると、ほぼ同等の温度収縮が拘束体である鉄骨梁にも生じる。なぜなら、コンクリートと鉄の温度変化に対する温度収縮の割合（線膨張係数）がほぼ同じだからである。その結果、床ス

ラブは温度収縮による拘束を鉄骨梁から受けることがないので、ひび割れの要因は生じず、乾燥収縮のみとなる。

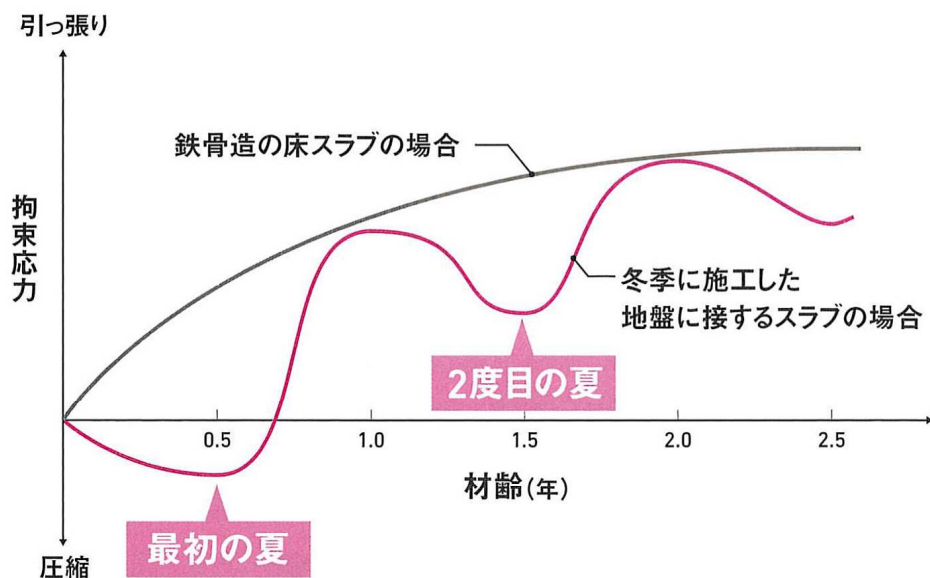
このように、温度収縮によるひび割れを考えるときには、施工時期のタイミングに加え、拘束体に温度収縮が生じるかどうかを見極めることが重要となる。

図6 地盤に接したスラブを夏に打設すると危険が増大



赤の線は、図5左の構造物を夏に打設したときの内部応力の推移。黒線は、図5右の構造物を夏に打設したときの变化

図7 問題になる構造物こそ冬に打設



冬に打設したときの内部応力の推移。地盤に接したRCスラブの内部応力は、鉄骨造の床スラブを超えることはない

建築主にも十分な説明を

さらに、施工時期と拘束体の温度収縮の問題を組み合わせ考えてみる。

まず、図5左の地盤に接する床スラブについて、夏に施工した場合と冬に施工した場合を比較する。同様に、図5右の鉄骨造の床スラブも夏と

冬に分けて検証する。図6に夏に施工した場合を、図7に冬に施工した場合をまとめた。それぞれ、横軸に経過年数を、縦軸にコンクリートの内部応力（拘束体から引っ張られることによる拘束応力）をとった。

まず、夏季から見てみよう。鉄骨造の床スラブでは、スラブと梁の熱膨張率がほぼ等しいので、温度収縮に

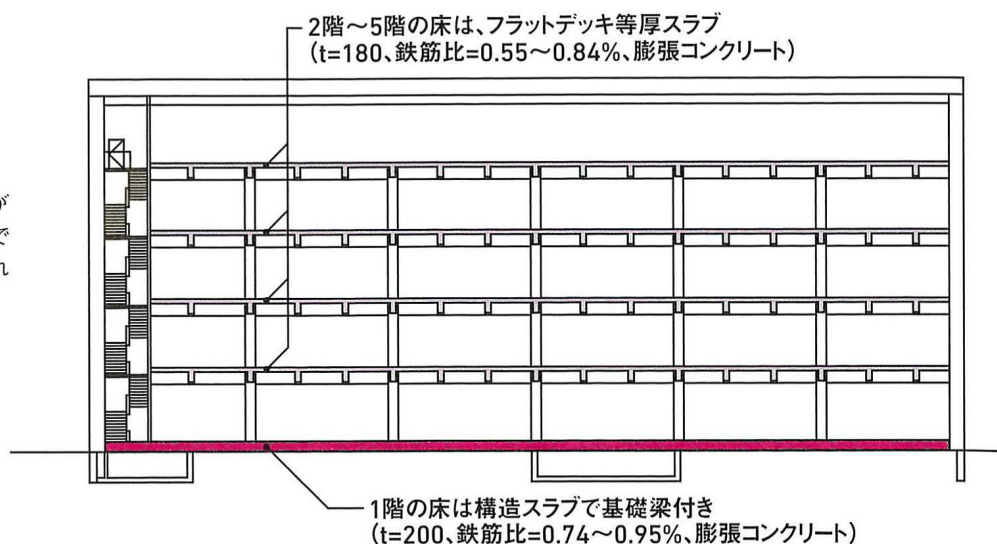
よる内部応力は無視できる程度と考えてよい。そのため、影響するのは乾燥収縮だけとなり、内部応力は緩やかなカーブを描いて増加する。

これに対し、地盤に接する床スラブでは、夏の施工と同時に乾燥収縮に加えて温度収縮が起こる。これらの影響で内部応力は急速に増加し、半年後の最初の冬に第1のピークを

図8

夏季施工で温度収縮による ひび割れが顕著だった実例

2階から5階の床スラブはほとんどひび割れが発生しなかったが、1階は土に接するスラブであったため、基礎梁の拘束を受けてひび割れが発生した



2階から5階の
フラットデッキスラブは、
乾燥収縮の心配だけ

ひび割れはわずか

1階の
構造スラブは、
温度収縮の問題も重なる

ひび割れ発生

迎える。

この後、冬から夏にかけてはコンクリートが膨張するので、1年後の夏にはいったん温度の影響がなくなり、鉄骨造の床スラブと同じ位置まで内部応力が減少する。しかし、その後、冬に向かって再び温度が低下するとともに応力は増加する。

続いて、冬季の場合である。鉄骨造の床スラブは、夏季と同じ変化をたどる。一方、地盤に接する床スラブは、施工後、気温が上昇するため膨張し、半年後の最初の夏に圧縮側に最初のピークを迎える。その後、1年後の冬まで拘束応力が増加するが、鉄骨造の床スラブを超えることはなく、以後、同様の周期的な挙動を示す。

このように、夏の打設はひび割れリスクが高いが、やむを得ず施工する

場合は、事前に建築主にリスクを説明することが重要である。

最後に、夏季施工による温度収縮の影響が顕著であった実例を示す。

図8は、中規模の物流施設の断面図を表しており、1階が図5左の地盤に接するスラブ、2階以上が図5右の鉄骨造の床スラブであった。施工時期は8月で、乾燥収縮率が600 μ 程度と小さなコンクリートを採用し、さら

に膨張材も添加してひび割れ制御のため材料面から十分に配慮した事例である。

その結果、2～5階の床スラブには、期待通りひび割れがほとんど発生しなかったが、1階の床スラブでは、基礎梁の強い拘束を受けてひび割れを十分に抑制できなかった。この結果は、図6の内部応力の模式図とほぼ一致している。

ここがポイント

外気温の低下に伴う温度収縮による
ひび割れを抑制するには、
冬季にコンクリートを打設するのが望ましい

土に接する RC スラブなど、
特に**温度収縮によるひび割れを生じやすい**
施工条件には注意が必要である

施工季節を誤ると 「後打ち帯」は逆効果

➡ 長大建物のひび割れを正しく抑制する

長大建物のひび割れ抑制法の1つとして効果があるとされる「後打ち帯」の施工。しかし、施工の季節を間違えると、かえって逆効果になる場合がある。有効に機能させるためのポイントを解説する。

ここでは、ひび割れの不具合が生じやすい長大建物（横幅の大きな建物）に焦点を当ててみたい。

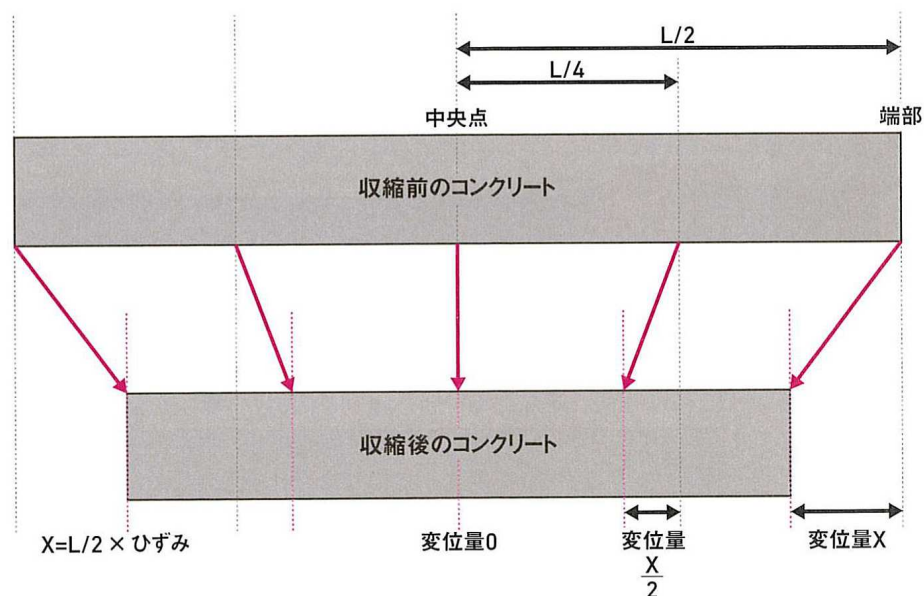
鉄筋コンクリート造（RC造）の長大建物にひび割れが発生しやすいことは、建築専門家の間で経験的に広く知られている事実である。

そのため、かつては横幅が60mを超えるような長大建物を設計する場合には、エキスパンション・ジョイント（Expジョイント）によって建物を分割することが一般的であった。

しかし最近では、初期コストがかかるうえ、維持管理費の増加や段差による使用性低下のため、Expジョイントは建物ユーザーに敬遠されるようになった。今や横幅が100mを超える、Expジョイントのない建物も珍しくなくなっている。

ここでは、長大建物にひび割れが発生しやすい原因について説明するとともに、その抑制策の1つである「後打ち帯」を有効に機能させる方法を解説する。

図1 部材長が大きい建物ほど変位量が大きくなる



端部の変形量 X は、中央点からの距離($L/2$)とひずみの積となる。中央点からの距離が半分の地点の変形量は $4/L$ とひずみの積になり、端部の変形量の半分になる（資料：図5まで筆者）

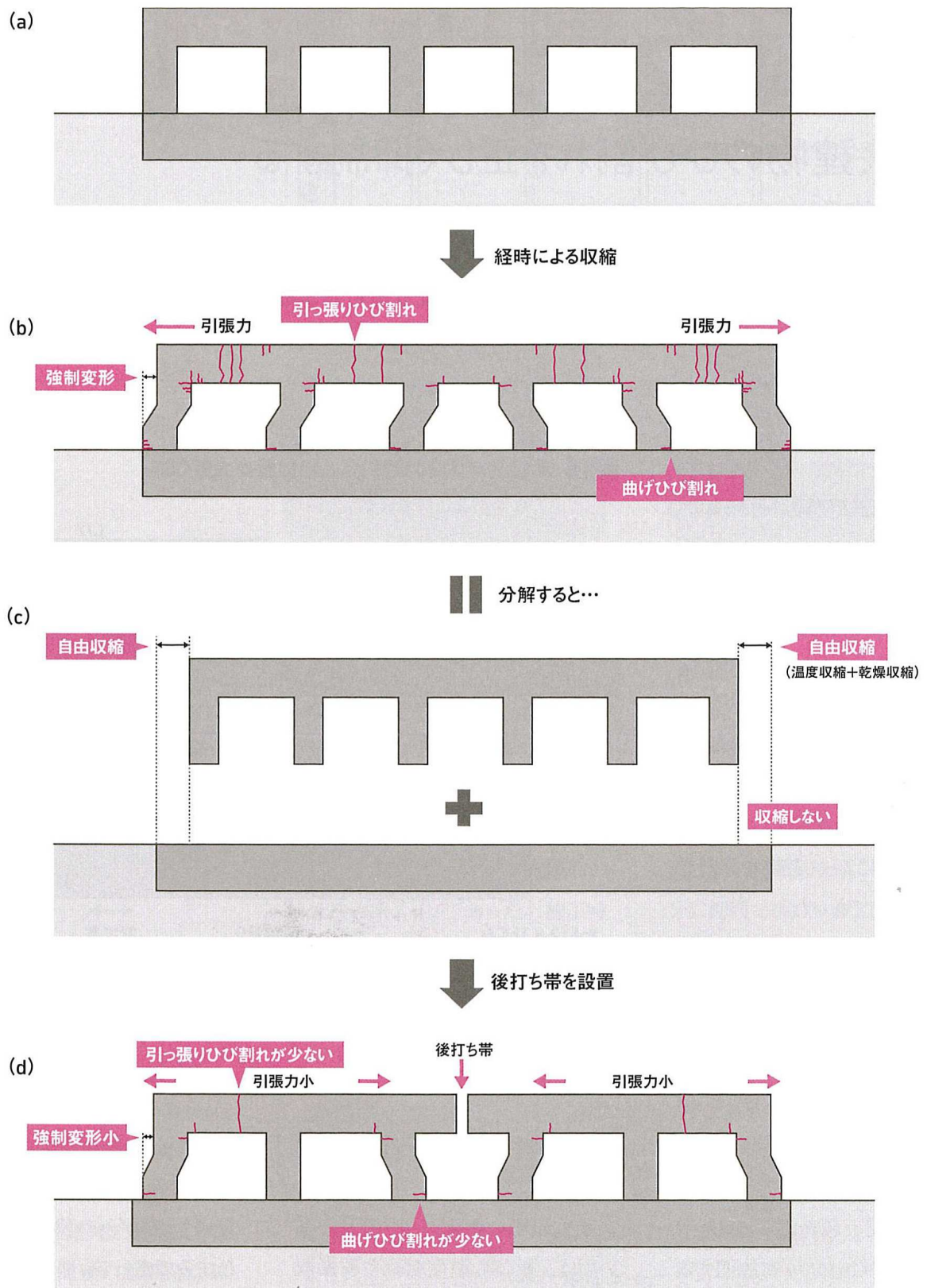
長大建物のリスクが高い理由

長大建物の躯体のひび割れが多いのは、躯体の温度収縮や乾燥収縮に起因する自由変形が大きくなるからである。

図1は、RC部材の収縮による変形

を模式的に示したものである。まず、端部の変形量 X は、部材長 L の2分の1とひずみの積で表され、同じひずみであっても部材長に比例して大きくなる。さらに、部材中の位置によって変形が異なり、端部が最も大きく中央部で0となる。変形量 X は、

【図2】 梁の中央にスリットを入れると変形量が小さくなる



コンクリート打設後の経時収縮により、(b) のようなひび割れが生じる。(c) はその原因を上部和下部の構造に分解して考えたもの。(d) のようにスリットを入れるとひび割れは少なくなる

温度収縮と乾燥収縮の影響を合わせると、例えば200m長さの建物では長期的には最大100mm程度に達する。

典型的な長大建物のひび割れを**図2**に示す。

図2 (a) はコンクリート施工直後を表し、温度収縮と乾燥収縮で**図2** (b) のようなひび割れが生じる。ここで、収縮によるひび割れのメカニズムを理解するため、**図2** (b) の状態を、**図2**

(c) に示すように、上部構造と下部構造に分解して考えてみる。

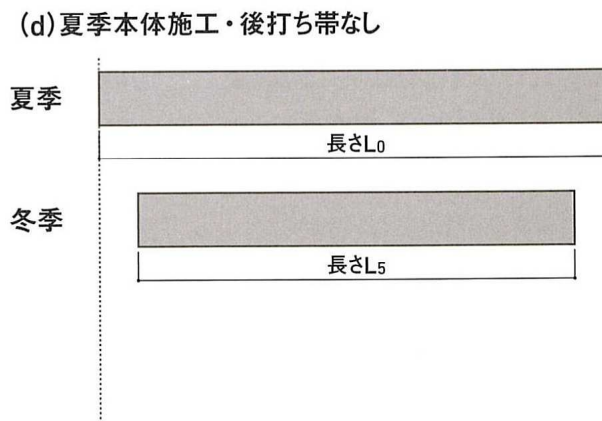
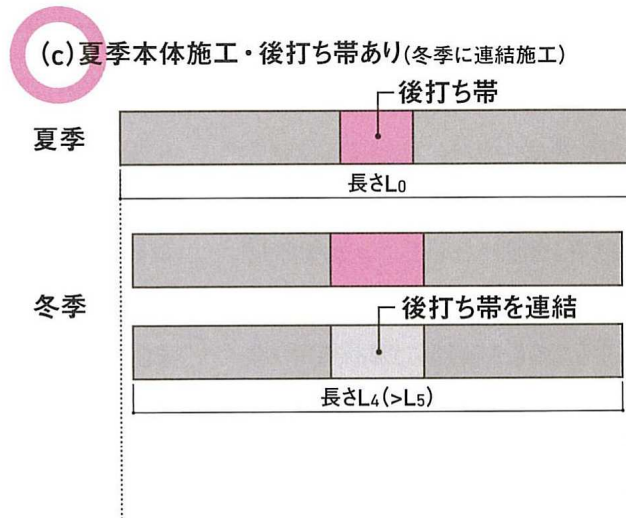
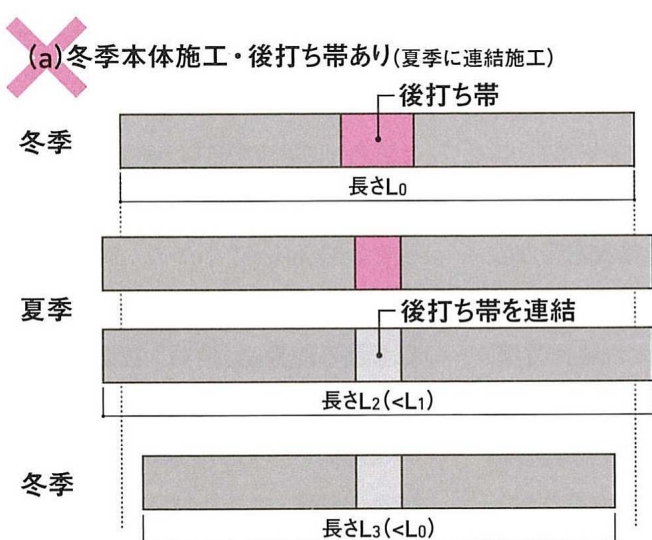
上部構造には温度低下と乾燥による自由収縮変形が生じているが、これを支える下部構造（基礎梁）では温度変化と乾燥の影響は少なく、収縮変形は小さい。このため、上部構造は剛性の高い基礎梁に拘束されて引張力を受ける。このとき、柱の水平変形、梁の引っ張り変形とも、端部ほど大きくひび割れも発生しやすい。

後打ち帯でひび割れを抑制

図2 (b) の状況の緩和に有効なのが、後打ち帯または収縮帯と呼ばれる部分を設けて施工する方法である。これについては、適切でない施工方法も散見されるので、ここで詳しく説明したい。

後打ち帯は、Exp ジョイントに相当するスリットを、施工中のある期間に限って設けるもの。後打ち帯は、コン

図3 注意したい後打ち帯の施工時期



温度収縮に対する後打ち帯の効果は、季節によって大きく異なる。夏季の本体施工では、大きな効果が期待できる半面、冬季の本体施工では逆効果となる場合が多い。この点に関しては、十分な注意が必要である

クリートを打ち込まず鉄筋を組んだだけの状態で帯状に残しておき、その後、一般には1カ月から数カ月後にこの部分にコンクリートを打設して連結するものだ。後打ち帯の幅は狭くてよいが、鉄筋をここで切断する場合は、重ね継ぎ手分の距離は最低でも必要である。(例えば500mm程度)。

図2 (d) が後打ち帯の効果を表している。後打ち帯は、その両側が施工されてから当該部分にコンクリートが打設されるまでの間に、建物を分割する役割を果たしている。RC部分に比べれば、後打ち帯部分の鉄筋を分割せずに通したままとした場合でも、その剛性は無視できる程度なので、コンクリートを打設しなければ、後打ち帯はスリットに相当する役割を果たす。

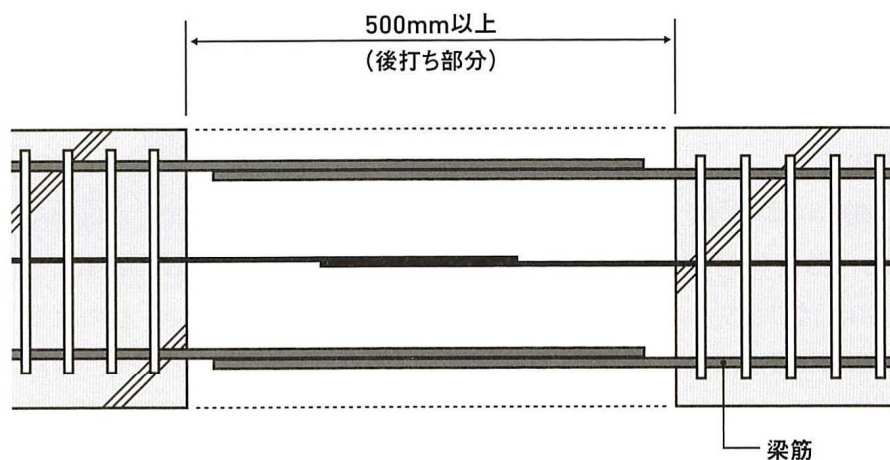
スリットを設けた期間は、建物の長さが短くなり、**図1**に示した変形が小さくなるため、柱部材、梁部材に生じるひび割れも少なくなる。

連結の季節を間違えるな

後打ち帯を残す期間をどの程度にするかの判断基準は特に設けられていないため、現状ではもっぱら経験に頼っている。正しい判断の一助とするため、後打ち帯の効果が外気温と密接な関係があることを説明したい。

図3に、施工時期による後打ち帯の効果の違いを模式的に示した。分かりやすくするため、乾燥収縮の効果を無視し、温度変化による収縮の影響だけを考慮し後打ち帯の連結は、コンクリート施工後半年と仮定した。

図4 気温が下がりきってからスリットを連結する



後打ち帯では、鉄筋も含めてその両側の躯体を完全に分離させる。
また、後打ち帯の部分の鉄筋は、重ね継ぎ手となる(資料:日経アーキテクチャ)

図3 (a)と**図3** (b)は、冬季に本体コンクリートを打設する場合だ。(a)は後打ち帯あり、(b)は後打ち帯なしである。(b)の後打ち帯なしでは、コンクリートを冬季に打設した後、夏季までに温度膨張し(長さ L_1)、翌年の冬季には収縮して元の長さ L_0 に戻る。

これに対し、(a)の後打ち帯ありでは、冬季に本体コンクリートを打設した時点でスリットを入れておき、夏季に後打ち帯を施工する。注目してほしいのは、夏季に膨張したときの長さ L_2 が、(b)の夏季の長さ L_1 より小さくなることだ。理由は、冬季にスリットを入れたので、部材長が小さくなり、同じ温度膨張ひずみがあっても、夏季にかけての膨張量も小さくなるからである。最終的に、翌年の冬季の部材長 L_3 も、後打ち帯なしの L_0 より小さくなる。

最終的な部材長が小さくなるという

ことは、収縮変形が大きくなるということ。つまり、それだけひび割れが発生しやすくなる。

反対に、夏季の本体施工では後打ち帯の効果は大きい。**図3** (d)は、後打ち帯なしの場合で、夏季にコンクリートを打設すると冬季までに部材長は L_0 から L_5 へ大きく収縮変形する。しかし、**図3** (c)の後打ち帯ありでは、夏季にスリットを入れるので部材長が小さくなり、冬季までの温度収縮変形が小さくなる。つまり、翌年冬季の長さ L_4 は、後打ち帯なしの L_5 よりも大きい。このことは、ひび割れが少なくなることを表す。

後打ち帯を残す期間

以上のメカニズムは少し難しかったかもしれないが、結論として「後打ち帯を設けるときには、スリットを入れた

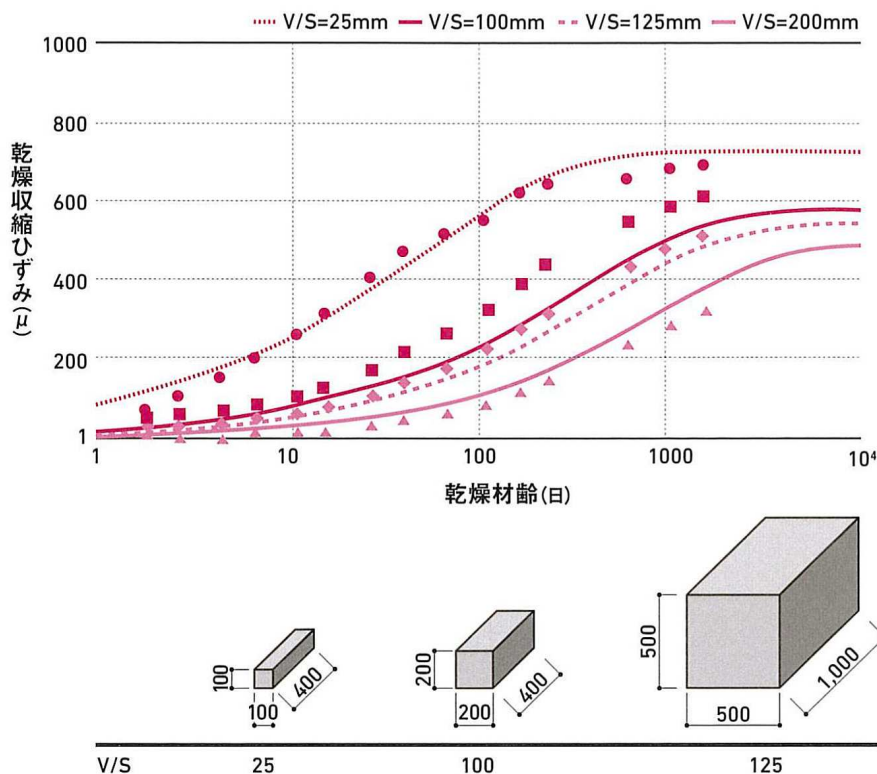


図5

乾燥収縮は 部材断面の大きさが 大きく影響

V/Sの指標は、部材の体積を乾燥にさらされている表面積で除した
もの。この数値が小さい（表面積
が大きい）ほど乾燥収縮が早い

あとに、十分に収縮ひずみを進展させてから連結する」と覚えてほしい。

問題は、スリットを入れた後、どのくらいの期間を置いて連結するかだ。収縮ひずみは、温度収縮と乾燥収縮の累加となるが、それぞれ特性が異なる。温度収縮ひずみは、p103の図2にあるように、夏季に打設して最高温度に達してから冬季に気温が下がった状態を考えると、40℃程度の低下幅がある。温度収縮ひずみはわずか半年の期間に400μ（マイクロ）になる（コンクリートの線膨張係数を10μ/℃と仮定）。この値は、梁部材などの長期的（例えば10年）な乾燥収縮ひずみに匹敵する。

次に乾燥収縮ひずみに関し、部材断面の大きさが同ひずみの進展に及ぼす影響を図5に示す。

部材断面が大きいほど乾燥収縮ひずみの進展が遅く、最終値も小さくな

る。図中のV/Sとは、部材体積を乾燥にさらされる表面積で除した値で、例えば500mm角で4面乾燥の梁のV/Sは125mmとなる。図中のV/Sが125mmの乾燥収縮ひずみを見ると、最終値500μに対して、100日ではまだ200μ程度である。つまり、100日後に後打ち帯を打設した場合には、過半の乾燥収縮が打設後に生じることになり、後打ち帯の効果が不十分になる。

以上をまとめると、温度収縮に対し

ては、夏季にコンクリートを打設してスリットを設けたときには、厳冬期に気温ができるだけ下がってから連結することが重要である。また、冬季にコンクリートを打設するときに、スリットを設けることはむしろ逆効果となる可能性がある所以要注意である。

また、乾燥収縮に対する効果を合わせて考えると、夏季に本体の打設工事を行う場合、3ヵ月以上の期間を確保してから連結することが最も有効であると考えられる。

ここがポイント

後打ち帯は、**夏季の本体施工・冬期連結では大きな効果を期待できるが、冬季の本体施工・夏季連結では逆効果になる可能性**

後打ち帯の連結は、**十分に気温が低下してから施工すべきだ**

コンクリートこぼれ話 ③

地下の漏水問題が顕在化



築25年のマンションで発生した漏水事故例。地下水位の上昇に伴い、土間コンクリートの打ち継ぎ面から漏水が発生した（写真：日経アーキテクチャ）

最

近、RC造の個人住宅の地下居室をめぐる漏水トラブルが増えています。今や地下居室は、個人の趣味を楽しむ隠れ家的な場所。ホームシアターやオーディオルーム、ワインセラーなどを設けて自分の時間を楽しむ人が少なくありません。しかし、ひとたび地下居室で漏水が起こると、十分な補修ができないため、訴訟に発展するケースもあります。

地下漏水の原因の1つとして、地下水位の上昇が挙げられます。例えば、東京都墨田区京島の地下水位は1965年には地下約60mまで下がっていましたが、2010年には地下10m付近まで上昇しています。これは、70年代に地下水の汲み上げが規制されたことが原因です。それまで産業用水に大量の地下水が使用されたため、地盤沈下や地下水位の低下を招きました。それを抑制するために地下水の汲み上げが規制された結果、大都市圏では地下水位の上昇が続いています。

もともと、地下には水が入りやすい部位がたくさんあります。コンクリートの打ち継ぎ部やひび割れ部をはじめ、パイプや

杭頭など躯体貫通部もあります。地下水位の上昇に伴って、これらの場所から浸水するケースが後を絶ちません。居住者にとっては、深刻な問題です。

ひとたび地下居室で漏水トラブルが起こると、なかなか有効な対策を打ちにくいのが実状です。防水工事を施工するにしても、コンクリートの躯体は地下に埋まっているので手の施しようがありません。せいぜい、ドライエリアなどを設けて排水経路を新たに設けるか、二重壁で漏水箇所の影響を遮断するくらいしか、有効な手立てがありません。

上の写真は、築25年のマンションで、1階土間コンクリートの打ち継ぎ部から漏水が発生した事例です。打ち継ぎ部は、地表面より低い場所にあったため、長年にわたる地下水位の上昇と、コンクリートの劣化などで地中の水が浸入しました。この現場では、土を撤去して打ち継ぎ面を露出させ、止水処理を実施しています。地下の漏水対策は、トラブルが発生してから対処するよりも、設計段階で入念な対策を講じるほうが得策です。

（文責＝日経アーキテクチャ編集）