

温度ひび割れのないコンクリートを目指して

対策技術でパネル討論 (第7回コンクリート技術交流会)

第7回コンクリート技術交流会（主催は日本コンクリート技術）が11月17日、都内で開催された。メインの催しは「温度ひび割れのないコンクリートを目指して」をテーマとしたパネルディスカッションで、各パネラーが情報提供のプレゼンを行った後に①設計変更をする場合の負担の問題②マスコン対策の基本③内部拘束の考え方④膨張材を使用する場合の留意点などについて議論した。以下にパネルディスカッションの概要を紹介する（パネラーの敬称は略）。

各パネラーのプレゼンの要約

冒頭、長瀧重義日本コンクリート技術最高顧問は「技術交流会は、学会の研究発表会と異なり現場に密着した技術を共有することを目的に2004年から毎年開催し、東日本大震災以降は技術大会として5回にわたり被災地で開催した。昨年から技術交流会の形に戻している。今年のテーマはコンクリートに携わる人の間で関心が高い温度ひび割れ対策を選び、パネルディスカッションを企画した。後半のパネル展示や出展者によるプレゼン、技術発表を通じて議論を深めてほしい」と開会の挨拶を述べた。

金津 マスコンの温度ひび割れは50年超の研究の歴史があるが、いまだに話題になるのはそれだけ根の深い問題ということになる。土木学会のコンクリート標準示方書では「温度ひび割れ」は施工編に記載されていたが、2007年版で設計編に移行した。それ以前は施工側の問題として捉えられていたが、対策は費用に関わる問題なので設計で扱うのが望ましいと考えたからだ。徐々に意識は変わりつつあるが、まだ従来の考え

方が残っているようだ。日本コンクリート工学協会（当時）は2008年に「マスコンクリートのひび割れ制御指針」を改訂した。本日は改訂委員だった方々にパネラーを務めていただくことにした。ご聴講いただいた内容を自分自身の仕事に生かしていただきたい。

小田部 マスコン用セメントを使用する際に温度応力解析を実施することになるが、セメントを供給する側としてはセメントの圧縮強度の発現、圧縮強度と割裂引張強度やヤング係数の関係、断熱温度上昇量、収縮量などの物性値を提供して解析に役立ててもらっている。この中で解析値を左右するのが断熱温度上昇量と考えられる。このため学協会の指針やセメントメーカーの技術資料には断熱温度上昇量を中心とした標準値が記載されている。ただ普通強度レベルと高強度レベルでの断熱温度上昇量の取扱いに注意が必要となる。普通強度レベルの条件を用いて高強度レベルの終局断熱温度上昇量を推定した場合、高めの数値になる。これに十分注意しないと適正な解析結果が得られないことになる。普通、高強度、貧配合などコンクリートの種別に応じた断熱温度上昇のデータを使い分けて解析

作業を実施してほしい。

谷村 三次元解析など解析技術は普及してきたが、新しい構造物の形式・形状、新しい材料などを適用した場合の実物大の検証が最近は行われていないようだ。材料メーカーとしては、マスコンの実物大の検証が必要ではないかと考える。それから膨張材を使用した場合外部拘束が中心となるが、内部拘束の影響は十分に分かっていないので課題として挙げられる。最後にNETISに温度ひび割れ対策に関する材料・技術が登録されて普及が進んでいるが、適用に際してオーバースペックになっているケースがあるようだ。ひび割れ抑制系の材料の効果に関して、過剰か許容範囲かの議論を進めることができると考える。

石田 課題として、まず発注時点で対象構造物の温度ひび割れに対する明確な仕様が示されていないことが多く、施工者側から対策技術を提案することが多い。また地域事情で生コン工場の選択が限定される場合が多く、それによって対策が限定されることも挙げられる。フライアッシュC種のような特殊な材料を使用した場合に材料の特性値をどのようにして入手するか、といった「ひび割れ制御指針」等に記載されていない場合の検討条件の入手方法も課題として挙げられる。実際の現場ではすべての材料に関して試験練りをしてデータを入手したため初期コストがかかった経験がある。もう一つ頭を悩ますことが、設計時に施工する際の外気温や天候などを想定しているが、最近の異常気象を考慮するとどうしても安全側で設計をせざるを得ないことになる。実際に条件に差異が生じた場合にどのような対処方法を取らなければならないかの規定が必要ではないかと思う。ひび割れ指数1.85の位置づけだが、ある程度の気象変動のリスクを見込んでいたはずだが、

どの程度の安全率が明確にされていない。

江渡 温度上昇でコンクリートが外部拘束を受ける状態から、温度が下がる状態になると部材の中にテンションが発生する。それから一層目、二層目と打設が進んでいくと先に打設した層が後から打設した層の温度応力の影響を受ける。これを層間拘束と呼んでいるが、どのような問題が起きるのか明確ではない。それから日射の影響をどう捉えるのか、という問題もある。ある底版で実測したところ表面温度が解析値と乖離していたが、日射を考慮すると値が合致したことがある。「ひび割れ対策を実施した場合の費用をどうするか（誰が負担するのか）」という問題がある。材料を変更して対策を発注者に提案する場合、発注者は設計変更ではなく施工時承諾として扱うよう求める。施工照査をして設計計画書を提出する際に設計変更を提案すると、発注者は「契約にない」「設計変更ガイドラインにない」「内部的に説明できない」などを理由に施工者側の処理を求めることがある。中には協議に応じてくれる発注者もいるし、実際に特記仕様書に「（設計変更の）協議に応じる」ことを記載している発注者もいる。いずれにしても設計者や発注者が設計変更に応じる（費用を負担する）ならばひび割れは相当減らすことが可能となるだろう。

大友 2004年の調査では土木構造物の不具合発生でひび割れが一番多くの割合を占めていた（28%）。それに豆板や充填不良が続く（24%）。この充填不良に関してはコンクリート生産性向上検討協議でスランプ規定を見直すことで対応することになった。それではひび割れ対策はどうか。セメントや配合の変更、補強鉄筋の追加など様々な対策を実施しており、それぞれの効果の程度に差はあるが、いずれの場合も費用は施

PROFILE



長瀧 重義 氏

東京工業大学 名誉教授、日本コンクリート技術(株) 最高顧問



コーディネーター
金津 努 氏

元電力中央研究所地球工学研究所、JCIマスコンクリートのひび割れ制御指針改訂委員会幹事長



小田部 裕一 氏

住友大阪セメント セメント・コンクリート研究所



石田 知子 氏

大林組技術研究所、JCIマスコンクリートのひび割れ制御指針改訂委員



江渡 正満 氏

清水建設土木技術本部、JCIマスコンクリートのひび割れ制御指針改訂委員

工者が負担している。耐久性確保の観点から国土交通省の2002年の通達では「0.2mm以上のひび割れは展開図を残す」ことが示された。同時に「形状から発生することが避けられないひび割れがある」ことが記載されている。ところが工事検査ではひび割れがあると「C」評価になる。温度ひび割れ抑制対策を最近のコンクリート界のトレンドであるi-Constructionや低炭素化社会と結び付けようとするれば、低発熱で収縮抑制型の高炉セメントの開発が有効ではないかと考える。

パネルディスカッションの概要

会場 設計者と施工者の関係に関する江渡さんのプレゼンに共感を覚えた。実際に打設する際には気象条件や打設リフト数が設計と異なるので解析を再度行うことになるが、施工者側の負担で行うよう求められる。ただ発注者によって、あるいは同じ発注者でも事務所によって対応が異なる場合がある。

江渡 設計変更を提案されても、多くの仕事を抱える中で温度ひび割れのデータを持ち込まれても発注者側は正しいのか判断できないのが実情だと思う。発注者側も税金を使うことには慎重にならざるを得ず、さすがにオーバースペックはどうしても避けなければならない。コンサルを含めて三者協議で真摯な対応をするしか解決に向かう手段はなく、真摯な議論をする場を提供するシステムが必要となるのではないかと。

金津 設計段階でマスコンを考慮する場合、どの程度をマスコンと判断するか。

江渡 示方書に壁であれば50cmを目安とすると記載されている。それよりも薄い場合は乾燥収縮ひび割れが発生しやすくなるので建築の指針に基づいて目地を設けるよう提案する。

石田 厚さが40cmでも高強度コンであればマスコン

対応を提案することもある。

大友 マスコンの難しさは施工時期が関係することで、いつ構造物をつくるのかは図面には記載されていない。夏でも冬でも同じコストで施工しなければならない。

金津 やはり経験を積んだ人でも明確には答えられない問題のようだ。指針には、おおよその目安として下端が拘束された壁は厚さ50cm、広がりのあるスラブの場合は80cm以上とされているが、各人の感覚に負うところが大きいようだ。大原則は温度上昇する構造物はマスコンとして考えるべき、ということで何cmとすべきではないと考えている。次にマスコン対策の方法だが、設計、材料、施工の各段階でどう考えるか。

小田部 メーカーとして提案することは、低発熱タイプのセメントに変更するのが第一番目。

谷村 基本的には低発熱タイプのセメント使用が多い。それと混和剤（材）を含めてトータルでコンクリートを考えることも必要。

江渡 できるだけコストがかからない方法から考えるようにしている。しかしながら収縮が少ない材料を選ぶ傾向にはある。したがってBBよりも普通セメントを使いたいと考える。それでもひび割れが発生するとなれば、次にコストを抑えられる対策として誘発目地、次に膨張剤の使用。しかし、発注者が誘発目地を嫌う場合は、膨張剤と普通セメントの組み合わせを採用する。そのほか配筋の増加なども対策となる。

大友 国土交通省の通達では、誘発目地を入れる対策が記載されている。下水道事業団では、5mごとに誘発目地を入れることを標準としている。ただ、誘発目地でひび割れを完全に防ぐことができる訳ではない。

石田 コストを第一に考慮するが、要求性能によって対応が変わる。例えば、いきなり誘発目地を入れる

のではなく、まず材料を変更する。この場合、BBを普通にした程度では防げないと考えれば中庸熱に変更する。実際に可能なことと不可能なことがあり、これは生コン工場や現場の状況に応じて可能な範囲で対応する。パイプクーリングや誘発目地を嫌う発注者や現場監督もいるので使用するかどうかは場合による。

金津 設計段階で誘発目地を入れることが決められていればいいが、そうでない場合はどのように扱われるのか。

大友 解析して標準的なピッチでいいかどうか確認する。5m間隔で目地を設けることになっているが実際には足りず、4~3.5m間隔で入れる必要がある。しかし、それだと目地だらけになってしまう。

金津 指針では、内部拘束は施工で扱うものとして照査の対象としないことになっている。内部拘束について、どのような対応をしているか。

江渡 コンクリート表面の温度解析をして熱伝達率がいい材料、保温が優れる方法などを採用する。

石田 基本的な対応は同じ。ただ、ひび割れは表面だけか貫通しているか見ただけでは判断できない場合もある。気温の変動などで表面のひび割れが避けられない場合もある。そこで「構造物として要求性能を満たすのであれば表面ひび割れは許容してもらえるか」と最初の段階で発注者に質問することもある。

金津 設計するには外部拘束も内部拘束も区別なく同時に考慮しておかなければならない。内部拘束に関しては施工時に対応するしかない。

江渡 内部拘束については、施工側で養生の際にカバーできることになっているが、実際にはマスコンは高温養生となるので対応にはコストが非常にかかる。やはり内部拘束に関する照査の仕方やひび割れの発生法などに関して検討してほしい。

金津 ひび割れは外部拘束と内部拘束が合わさって出るので、内部拘束によるひび割れを特定することは難しい。

江渡 材齢3~4日で内部拘束によるひび割れが発生しても1週間経過して温度が安定すると圧縮ゾーンに入ってくるので表面のひび割れ幅は狭まる。しかし、

その反作用で内部にひび割れが出ている。場合によればそれで貫通ひび割れになることもある。

金津 膨張材を使用する場合の留意点をお聞かせ願いたい。

谷村 基本的には混和材としてセメントに置換して使用するが、強度を維持するためにセメント量を維持したままで使うケースもある。留意点としては生コン段階で温度上昇の仕方が変わる可能性があること。マスコン用に水和熱抑制型の膨張材があるが、データの蓄積が必要と感じている。

大友 湿潤養生が必要となるなど使う側から言えば膨張材は使いづらい。元のコンクリートの膨張率と膨張材を使用した時の膨張率、ヤング率やヤング係数の変化などを解析して効果を確認した上で使用しなければならない。膨張材を入れたからひび割れに抑制効果があったと単純に言えない場合がある。

石田 低発熱セメントと組み合わせる場合は強度割れする恐れがある。このため試験練りで強度を確認したり膨張ひずみを計って添加量を変えたりすることが必要となる。このほか型枠養生や鉄筋量等も考慮しなければならない。

金津 冒頭述べたようにマスコンの温度ひび割れは長い間検討されてきたが、いまだに問題とされている。今日の議論にあったように受発注のシステムの部分に問題があるようだ。温度応力は設計段階で考えておくべきことだと認識しているので、発注者側に認識を徹底してもらう必要がある。それと発注者・受注者間に壁があるので、いかに両者間の情報のやり取りを十分に行うかが大事。コンクリート標準示方書には「施工および維持管理に影響を及ぼす情報については、設計図書として正確かつ確実に次の段階へ引き渡すことが重要である」と書かれている。自分の領域だけでなく相手側の領域を理解して、必要な情報を流すことが大事ではないかと思う。すでに温度ひび割れの対策技術は多数実施されており、効果的な対策が打ち出されている。それらを環境条件に応じて最適な対策技術を採用することが必要となろう。

PROFILE



大友 健 氏

大成建設土木本部、JCIマスコンクリートのひび割れ制御指針改訂委員



谷村 充 氏

セメント協会研究所、JCIマスコンクリートのひび割れ制御指針改訂委員会幹事