

コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針 -2013- について

大即 信明*¹・鎌田 敏郎*²・今本 啓一*³・長田 光司*⁴

概要：日本コンクリート工学会では、コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針-2013-を同指針-2009-の小改訂版として刊行した。この指針は、ひび割れに関心のあるすべての方が、ひび割れ発見から、調査, 原因推定, 評価, 判定, 補修・補強を体系化して行える指針である。本稿では同指針の内容を解説する。

キーワード：ひび割れ, 調査, 原因推定, 評価, 判定, 補修, 補強

1. 指針策定・改訂の経緯および特徴

20 世紀初頭に我が国にコンクリートが導入されて以来、コンクリートのひび割れは構造物に対して種々の問題をもたらしてきた。多くの研究や工夫にも関わらず、ひび割れを根絶することはできずにきた。また、危険でただちに対策を取る必要があるひび割れから、ほとんど無害で対策が不要なものもある。

このため、ひび割れを発見した場合の、わかりやすい対処方法が必要であった。このような社会的要請を踏まえ、日本コンクリート工学会(J C

I)では、前身の日本コンクリート工学協会の時代から、コンクリート構造物に発生するひび割れの対策に関して積極的に取り組んできた。1980年には「コンクリートのひび割れ調査・補修指針」[1]を刊行し、継続して改訂を行い、現在「コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針-2013-」[2]を出版している。同指針は-2009-版の図, 表や語句などの表現や誤植のみを見直した小改訂版である。

この指針の特徴は、「ひび割れの発見—調査—原因推定—評価—判定—補修・補強」を体系的に示していることである。およその手順を図-1に

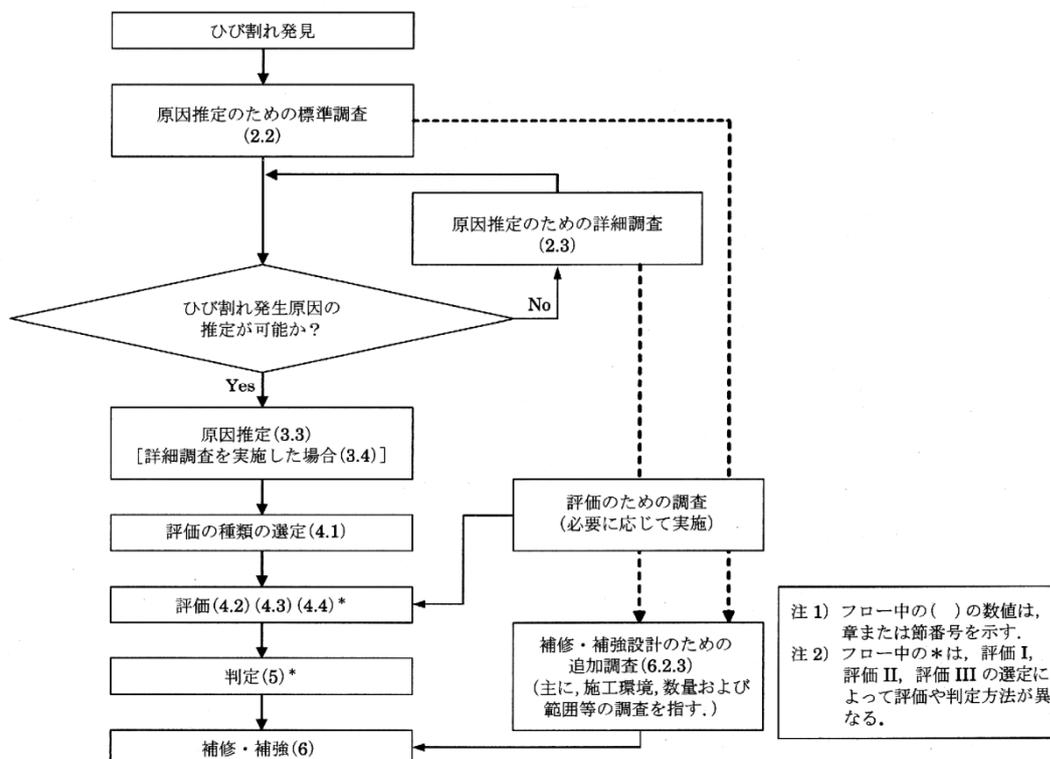


図-1 ひび割れの調査から補修・補強に至るまでの手順

*1 東京工業大学院理工学研究科国際開発工学専攻 (正会員)

*2 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 (正会員)

*3 東京理科大学工学部建築学科 (正会員)

*4 中日本高速道路㈱ (正会員)

示す。

ひび割れに懸念を抱くのは、主にコンクリート構造物の所有者または管理者（オーナー）であるので、本指針では初心者から中堅技術者が容易に対応できる内容としている。また、評価（技術的内容に基づくもの）と判定（オーナーが実施するもの）を別の章に分離し、オーナー側の条件で、補修・補強の実施の有無に対して同一評価であっても異なる判定ができるようになっている。

2. 調査

本指針では、調査の内容を、第一段階として必ず実施する標準調査と、この標準調査のみでは原因の推定、評価および補修・補強方法の選定が行えない場合に実施する詳細調査の2つに分けている。

多くのひび割れは標準調査だけで発生原因の推定が可能である。標準調査では、資料調査と現況調査を実施する。資料調査では設計図書類、施工記録などの収集や過去の補修・補強工事などの履歴の確認、使用時の荷重条件など構造物に関する記録の収集等を実施する。現況調査ではひび割れが構造物に与える影響等を判断するために写真-1に示すようにクラックスケール等を用いてひび割れの幅の調査を実施する。また、補修・補強の規模の把握等のためにひび割れの長さ、総延長の調査を行う。ひび割れ発生位置、発生パターンはひび割れ発生原因と極めて関連が深いため、重要な調査項目である。図-2は開口部隅角部に発生した斜めひび割れであり、乾燥収縮ひび割れでみられる典型的な発生パターンである。本指針では数多く掲載されているひび割れ発生パターン事例を参考にして原因推定を行うことができる。また、現況調査では剥離や剥落状況などのひび割れ以外の調査や、鉄筋の錆などのひび割れに伴う不具合の調査なども実施する。現況調査は、写真

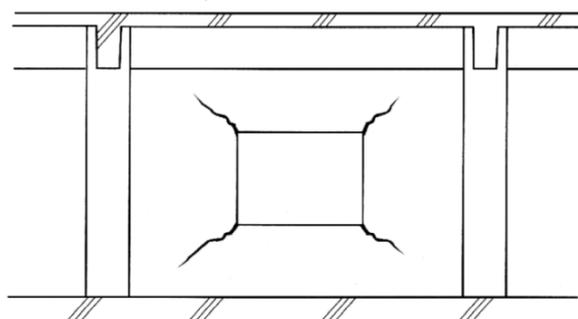


図-2 乾燥収縮ひび割れの典型的な発生パターン

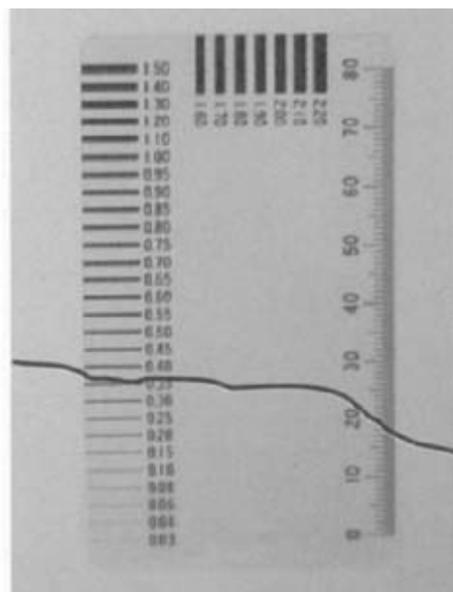


写真-1 クラックスケールによるひび割れ幅測定

-2に示すように下げ振りやタイルハンマ、チョークなど身の回りにある機材だけで調査可能であり、オーナーなどの専門技術者でない者でも実施することができる。

3. ひび割れの原因推定

ひび割れの原因推定は、ひび割れの原因に応じて、ひび割れが構造物の性能に与える影響に関する評価を行い、これに基づいて補修・補強の要否の判定と補修・補強方法の選定を行うという一連の行為の出発点となるものである。

本指針ではひび割れの原因推定は、標準調査に基づいて実施することを原則としている。なお、原因の推定が困難な場合には、原因の特定に必要な詳細調査を選定し、これに基づいてひび割れの原因推定を行うこととしている。

標準調査に基づくひび割れの原因推定の概略は次に示す(i)～(iv)の手順による。



写真-2 現況調査に使用する機材の例

- (i) 原因のおおよその判別として、①材料（分類 A）、②施工（分類 B）、③使用環境（分類 C）、④構造・外力（分類 D）に区分する。
- (ii) 本指針に示されている表を用いて、対象とするひび割れの①発生時期（数時間～1 日、数日、数 10 日以上）、②規則性（有、無）、③形態（網目状、表層、貫通）、などからひび割れの原因を絞り込む。
- (iii) 本指針に示されている表を用いて変形の種類により、①コンクリートの変形要因（収縮性、膨張性、沈下・曲げ・せん断）、②ひび割れに関する範囲（材料、部材、構造体）からひび割れの原因を絞り込む。
- (iv) その他の分類として、①配（調）合による影響、②打込み時の気象条件（高温、低温、低温）の影響の有無などを把握する。

なお、上記の (i) ～ (iv) のうち、該当しない項がある場合には、その項を除いて検討してよい。

本指針の【事例 20】に示されている写真-3 および写真-4 に示すような壁高欄に図-3 に示す初期ひび割れが発生した例により、上記方法でひび割れの原因推定をすると以下の通りとなる。

(i) の手順において、対象のひび割れは初期ひび割れであるため、使用環境（分類 C）および構造・外力（分類 D）は除外できるので、材料（分類 A）と施工（分類 B）が残る。

(ii) の手順において、当該ひび割れは型枠脱型

からしばらく経ってから発生しており、ひび割れ発生時期は「数 10 日以上」、また、ひび割れは鉄筋に沿うように発生しており、「規則性を有すること、ひび割れの形態は「表層」「貫通」となる。この結果を用いて、本指針に示されている表（指針²⁾ p. 62, 解説表-3.3.1）から、表-1 に示された A6～B18 が候補となる。

(iii) の手順において、壁高欄は床版部のコンクリートの上に後打込みされている。これより、床版により拘束されているため、変形の種類は「収縮性」が該当する。また、ひび割れに関する範囲は「材料」および「部材」であり、本指針に示されている表（指針²⁾ p. 62, 解説表-3.3.2）から、表-1 に示されている A9～B3 が候補となる。

以上の結果、表-1 の分類 (i) ～ (iii) に共通する要因として、A9（コンクリートの乾燥収縮）、A10（コンクリートの自己収縮）、B2（長時間の練り混ぜ）、B3（ポンプ圧送時の配合の不適切な変更）が残る。最後に施工記録より施工上の問題に起因する B2（長時間の練り混ぜ）、B3（ポンプ圧送時の配合の不適切な変更）と材料記録から A10（コンクリートの自己収縮）を除外し、最終的に、A9（コンクリートの乾燥収縮）が原因であると推定できる。

なお、上記の標準調査に基づく手順では、原因推定が困難であった場合には、詳細調査に基づいた方法を取る必要が生じるが、多くの場合、専門技術者に依頼することになる。

表-1 標準調査に基づく原因の推定結果

分類	推定されるひび割れの原因
(i)	A B
(ii)	A6, A7, A9, A10, B2, B3, B4, B11, B12, B18
(iii)	A9, A10, B2, B3
(iv)	—

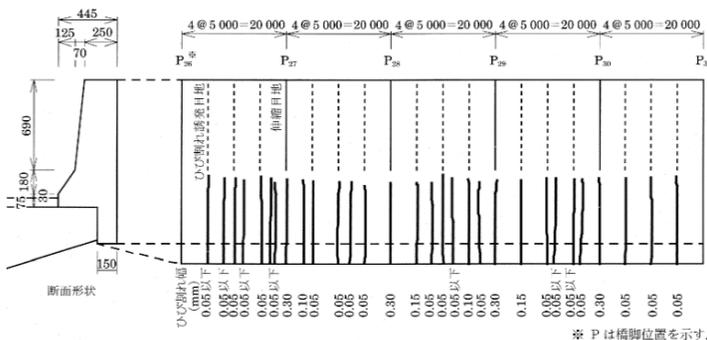


図-3 壁高欄外面のひび割れ展開図



写真-3 初期ひび割れが発生した壁高欄の例



写真-4 壁高欄下部のひび割れ発生状況の例

4. 評価

本指針では、補修・補強の要否の判定を行うプロセスを、評価と判定の2段階に分けて考え、対象とするひび割れが部材（構造物）の要求性能に与える影響の程度を客観的に求める行為を「評価」として定義している。本指針では、部材（構造物）の性能へのひび割れの影響程度を「大」、「中」、「小」のいずれかにより表現する。

ひび割れの評価は、補修・補強の要否を判定する上で必要な情報を得るために行うものであり、ひび割れの評価結果は、ひび割れが部材（構造物）の要求性能へ与える影響の程度として客観的に表す必要がある。本指針では、ひび割れの評価の種類は、以下に示す3種類とし、ひび割れの原因や対象部材の条件等によって、評価の種類を選択することとしている。なお、第三者への影響度に関する性能が直ちに問題となる場合には、しかるべき応急措置が施されていることを前提として評価する。

評価Ⅰ：乾燥収縮ひび割れなどに適用するもので、打込みから数年の間に収束すると考えられるひび割れを対象とした評価であり、資料調査と現況調査の結果によって行う。大部分のひび割れは評価Ⅰとなる。評価Ⅰの対象となるひび割れは、適切な時期に補修を実施すれば劣化が重大化することは無いと位置づけられている。

評価Ⅱ：中性化や塩害による腐食ひび割れなど、進行性のひび割れの場合であっても、専門的な調査により、劣化進行予測が概ね可能と考えられるひび割れを対象とした評価であり、資料調査と現況調査に加え、詳細調査結果も勘案して行う。

評価Ⅲ：上記の評価ⅠあるいはⅡで取り扱うことができない複合的な劣化によるひび割れや、構造上の検討が必要と考えられるひび割れを対象とした評価であり、コンクリート診断士などの資格を有する専門技術者が行う。

評価Ⅰの対象となるひび割れは、本指針に示されている表により、ひび割れ幅に応じて部材性能への影響を機械的に評価することが可能である。例えば、ひび割れ幅： $0.2\text{mm} < w \leq 0.3\text{mm}$ の場合、鋼材腐食の観点から塩害・腐食環境下における20年耐久性に対して、影響は「中」となり、ひび割れが性能低下の原因となるが、軽微（簡易）

な対策により対処が可能であると評価することができる。

評価の種類を選択にあたっては、対象とする部材が構造部材であり、かつ耐力低下が考えられる場合には、構造安全性の観点から補強の検討を前提とした評価Ⅲを選択する。また、推定されるひび割れの原因が複数にわたる場合は、それぞれについて評価を実施することとする。さらに、ひび割れの評価にあたっては、要求性能だけでなく、残存供用期間（またはオーナーによる期待延命期間）を明確にするものとしている。

5. 判定 —補修・補強の要否の判定—

補修・補強の要否の判定は、ひび割れが部材（構造物）の性能に与える影響や構造物の重要度などの固有の制約条件を考慮し、構造物のオーナー（コンクリート構造物の所有者あるいは管理者）が行うものとしている。なお、ここでいう固有の制約条件とは、ひび割れが部材（構造物）の性能に与える影響（評価の結果）、構造物の（オーナーによる）期待延命期間、構造物の社会的な重要度、構造物の維持管理シナリオ、ライフサイクルコスト（LCC）およびアセットマネジメントなどの経済的な評価などが考えられる。また、判定の際に評価の結果を無視すると、ひび割れに対して補修・補強を行ったとしても期待した効果が得られず、不利益を被る場合もあり得るので、補修・補強による効果を最大限得るためには、ひび割れの評価結果を尊重することが肝要である。

評価Ⅰおよび評価Ⅱの対象となるひび割れに対しては、本指針に示されている表を用いて機械的に補修・補強の要否を判定することができる。例えば、評価Ⅰの対象となるひび割れを鋼材腐食に対する耐久性の観点から判定すると、部材性能への影響が20年耐久性に対して中程度の場合、オーナーによる期待延命期間が20年以上の場合には補修必要となるが、10～20年の場合には基本的には補修不要と判定される。

補修・補強の要否の判定において、第三者への影響度に関する性能が直ちに問題となる場合には、応急措置を施した上で、部材（構造物）の要求性能に対して再評価した結果に基づいて補修・補強の要否の判定を行う。また、補修・補強の要否の判定は、ひび割れの評価の種類ごとに行うこととし、複数の種類の評価を行った場合は、それぞれの推定した原因ごとに判定を行い、この中で最も安全側の結果を最終的な判定とする。



写真-5 管渠不具合状況



写真-6 断面修復工

6. 補修・補強

補修が必要であると判定されたひび割れに対しては、ひび割れの原因、進行の程度などを十分に検討し、補修の目的に最も適した補修方法を選定することが肝要である。本指針では補修・補強設計にあたっての留意点として、過去の失敗事例などを紹介し、適切な対応方法について概説している。

評価Ⅰの対象となるひび割れに対しては、本指針に示されている図を用いて、機械的に補修工法を選定することが可能である。例えば、乾燥収縮が原因で発生した（温度等による）ひび割れ部の開閉が小さい0.3mm程度のひび割れであれば、注入工法が選定される。

補強が必要であると判定された部材は、低下したコンクリート構造物の耐力などの力学的な性能を回復、あるいは向上させる必要がある。補強工法の選定にあたっては工法の特徴、使用する材料の特性を十分に理解し、補強の目的に最も適した補強工法を選定することが肝要である。本指針では、現在、一般的に採用されている補強工法を5種類に分類し、それぞれの工法について特徴や補強効果を発揮するための留意点などを示している。

なお、不適当な補修や補強を実施してしまった場合には効果が得られないことや、かえって劣化を助長することがあるため、本指針では補修・補強は専門技術者が実施することを原則としている。

7. ひび割れの調査と補修・補強事例

実際の構造物に本指針を適用する場合、類似の

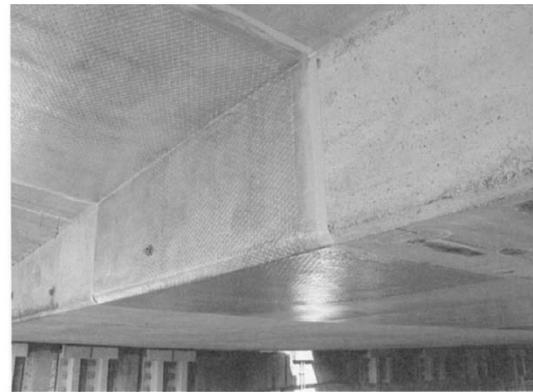


写真-7 ビニロンメッシュシート貼付け状況

事例があると非常に参考となり、合理的で効率的な判断が容易となる。本指針では、建築関係19事例（集合住宅4例、事務所6例、工場・倉庫2例、一般建築等5例、煙突1例、サイロ1例）と土木関係24例（橋梁11例、トンネル2例、水利施設4例、港湾構造物5例、舗装1例）、その他3例、参考事例として8例が示されている。写真-5 および写真-6 は下水処理施設のRC部材に生じた化学的腐食による劣化補修の事例における補修前と補修中の状況を示した写真である。また、写真-7 はコンクリート片の剥落対策の事例である。事例では写真や図を多用し、なるべく初心者でも理解できるように解説されている。また、紹介されている事例は、ひび割れ発見から、調査、原因推定、評価、判定、補修・補強について、本指針の検討手順に沿って示されており、本指針の各章と対応させることにより、本指針の考え方を理解するのに役立つと思われる。事例一覧では原因による分類、調査項目別分類、補修・補強工法別の分類を示しており、目的に応じた事例を簡単に検索することができる。



写真-8 コンクリートのひび割れ調査原因推定ソフト

8. 原因推定・評価判定ソフト

日本コンクリート工学会では、本指針に沿ってひび割れの調査、原因推定、評価・判定をするための支援ソフト『コンクリートの調査ひび割れ調査・原因推定ソフト』（写真-8）を販売している。このソフトには以下のプログラムおよび標準書式が含まれている。

プログラム

- ひび割れ原因推定プログラム
- 評価・判定プログラム
- 原因別ファイル検索プログラム
- 報告書ファイル収納プログラム
- 報告書印刷プログラム

標準書式

- 構造物概要調査
- 標準調査記入票
- 詳細調査記入票
- 標準調査・原因推定結果票
- 詳細調査結果票
- 評価・判定結果票

このソフトを使用して調査結果を入力すれば、本指針に従ってひび割れの原因の候補を絞り、評価・判定を行うことができる。また同時に報告書を作成することができるため、点検結果の蓄積と分類に便利である。

なお、JCI 広報普及委員会のコンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針普及委員会ホームページ (<http://www.jci-net.or.jp/~hibiware/>) において、旧バージョンとなる 2003 年版ソフトが無料でダウンロード可能となっている。

9. 本指針の普及状況

表-2 講習会の開催状況

開催年	開催地	参加者数
2009	東京、大阪、高松、新潟、仙台、名古屋、金沢	809
2010	東京、大阪、チェンマイ、ケソン、ハノイ、ホーチミン、バンコク	1,090
2011	シンガポール	200
2012	札幌	67
2013	東京、大阪、名古屋、金沢、マレーシア	456
2014	大分、沖縄	83



写真-9 ホーチミン市での講演状況

2003 年から 2013 年までの本指針の売り上げは、総計約 12,200 冊、また、講習会は 2009 年から国内 16 か所（約 1500 名）、シンガポール、フィリピン、ベトナムなど海外で 7 ヶ所（約 1200 名）で開催した。表-2 に講習会の開催状況を写真-9 にホーチミンでの講演状況をそれぞれ示す。また、本指針は、国土交通省や地方自治体におけるコンクリート構造物の建設および維持管理、あるいはマンション管理組合での建物修繕計画立案等に至るまで、様々な実務の場面で幅広く用いられている。

10. 参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：コンクリートのひびわれ調査・補修指針，1980
- 2) 日本コンクリート工学会：コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針-2013-，2013