

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 15 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2011

課題番号：20360191

研究課題名（和文）コンクリート構造物のひび割れが耐久性に与えるリスクとその低減方策に関する研究

研究課題名（英文）Effect of cracks on durability of concrete structures and its minimizing method

研究代表者

河野 広隆（KAWANO HIROTAKA）

京都大学・経営管理研究部・教授

研究者番号：80344018

研究成果の概要（和文）：

コンクリートのひび割れが構造物の耐久性に与えるリスクと、ひび割れの低減方策の効果に関する検討を行った。過去にひび割れを生じた一般環境下のコンクリート構造物では、10年程度の追跡調査からは、劣化の進行は見られなかった。ひび割れの自己治癒効果に関する実験からは、各種の条件が自己治癒に及ぼす影響を明らかにした。現在多用されているひび割れ低減策の中には、構造物に悪影響を及ぼすものがあることが分かった。

研究成果の概要（英文）：

In this research project, the effect of cracks on durability of concrete structures was investigated and some crack-minimizing methods were evaluated. There was no deterioration proceeding observed in concrete structures with cracks built in mild environment from 10 years term follow-up observation. From the experiments on self-healing of concrete cracks, effects of some influencing elements were clarified. There are some crack-minimizing methods having negative effects for structures, though they are often used on the site.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	8,800,000	2,640,000	11,440,000
2009年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011年度	1,600,000	480,000	2,080,000
総計	14,300,000	4,290,000	18,590,000

研究分野：土木工学

科研費の分科・細目：土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：コンクリート、ひび割れ、耐久性、リスク評価

1. 研究開始当初の背景

コンクリートのひび割れはこれまでも大きな問題であり、幾多の研究が実施されてきた。それにもかかわらず、この問題は収束するどころかますます大きな問題となってきた。その背景には、実際に問題を生じた事例が発生し、一部が大きな社会問題化したこともあるが、それ以外にもひび割れを見る目が厳しくなってきたことがある。

もともと、ひび割れ幅が大きい範囲ではコンクリートのひび割れは構造物の耐久性、特に鉄筋腐食には大きな影響を与えないことが経験的に知られている。この要因の一部にはコンクリート自体にひび割れを自ら埋めてしまう性質があることがあげられている。いわゆる自己治癒効果と呼ばれるものである。しかし、この効果については不明な点も多く、設計や維持管理の方針決定に対し

て積極的に用いられるほどには、現象が解明されていない。

一方、新設のコンクリート構造物の検査時のひび割れの捉え方についてみると、公共工事の竣工検査では、ここ数年、ひび割れに対して非常に不寛容になってきている。この背景にはいくつかの要因がある。平成 10 年に当時の建設省は「公共工事の品質確保等のための行動指針」を打ち出し、「性能規定化の導入」をうたうとともに、発注者として『「造る」から「買う」』への方向転換を明確にした。それまで、構造物を施工者とともに自らも「造る」という感覚を持っていたが、施工者が造ったものを検査して受け取るだけ、という方向に意識改革を促したのである。そこで、コンクリート構造物にひび割れがあると、傷物の商品として受け取らないという意識が出てきた。こうした行き過ぎに歯止めをかけるため、国土交通省が 2001 年に出した「コンクリート構造物の品質通達」(研究代表者は原案作成に参画)では、重要構造物では竣工時の 0.2mm 以上のひび割れを記録するように通達した。この通達全体の趣旨は、1999 年に起こった新幹線福岡トンネルの覆工落下事故を契機に問題化したコンクリート構造物の品質問題に対応するためであるが、一方では不必要に厳しい目で見られているコンクリート構造物のひび割れについて、0.2mm 以下のものはとりあえず問題にしなくてもよいということを明確にしたものでもあった。しかし、現実には通達等の本当の趣旨が理解されず、現場ではあらゆるひび割れは許容しないという方向へ向いてしまっている。さらに、平成 17 年 4 月 1 日から、「公共工事の品質確保の促進に関する法律」(品確法)が施行され、いわゆる総合評価方式の契約がなされるようになったが、分かり易い評価項目として「ひび割れ防止」が取り上げられていることが、それに拍車をかけた。研究代表者は某地方整備局の評価委員として、この評価に参加しているが、対応する施工側は、ひび割れをなくすために過大ともいえるコストをかけている例が少なくない。本来ならコンクリート構造物の品質や耐久性を総合的に上昇させるために使わなければならないコストを、いたずらにひび割れ削減のみに投資している。

このような状況を招いた背景には、なぜひび割れが生じるか、どの程度のひび割れであれば有害か、また環境条件がどう影響するか、更にひび割れを抑えるにはどれくらいのコストがかかり、どの程度の効果をもたらすか、などが理解されていないことがある。

2. 研究の目的

コンクリート構造物の長期耐久性を確保するためには、ひび割れが生じないことが理

想である。しかし現実にはひび割れを皆無にすることは難しく、ひび割れの影響を技術的・経済的に無理のない範囲で制御することが必要である。この研究では、ひび割れが構造物の耐久性に与える影響について、ひび割れ幅だけでなく、構造物の置かれている環境条件やそこでのひび割れの自己治癒効果なども考慮に入れ、長期的なリスク評価を行う。さらに、ひび割れを防止・抑制する対策については、既に種々のものが提案されているが、コストとその対策によって期待される耐久性向上についての効果の評価を行うことでひび割れ抑制対策の効果を定量的に解明する。これらの結果をもとに、ひび割れ対策実施の判定のための客観的指標を提案しようとするものである。

このような状況を鑑み、本研究ではまず既設構造物については、塩害環境などの特別な環境ではなく、ごく普通の環境に供用されているコンクリート構造物のひび割れが構造物の耐久性に与える影響について、過去の調査資料や文献から整理を行う。次に、ひび割れの自己治癒効果について、ひび割れ幅、コンクリート配合、材齢、水分供給環境、などをパラメータにした実験から検討を行う。これらをもとに、構造物の置かれている環境条件やそこでのひび割れの自己治癒効果なども考慮に入れ、ひび割れが耐久性、特に鉄筋腐食に与える影響についてリスク評価を行う。新設の構造物については、ひび割れを防止・抑制する対策のコストとその対策によって期待される耐久性向上について評価を行う。このことでひび割れ抑制対策の効果を定量的に解明することを試みる。

これらの結果をもとに、既設構造物と新設構造物におけるひび割れ対策実施の判定のための客観的指標を提案することを目的とした。

3. 研究の方法

研究は 3 つの項目に分けて進めた。

まずひとつ目は、「既存コンクリート構造物におけるひび割れと鉄筋腐食に関する調査」である。独立行政法人土木研究所の協力のもと、1999 年に旧建設省等が行った全国 2000 余のコンクリート構造物の劣化実態調査の資料から、近畿管内の 20 数構造物を抽出し、現場調査を行った。特にひび割れの進展状況と既発生ひび割れ部の劣化進展に注目し、10 数年経過後の変化を観察した。

次に、「コンクリートのひび割れの自己治癒に関する実験」では、セメント種類、水セメント比、養生方法、ひび割れ幅、ひび割れの発生時期、暴露環境などを変化させた供試体によるひび割れの自己治癒の実験を行った。ひび割れの発生時期については、施工直後の主に温度応力によるひび割れを想定し

た早い時期でのものと、乾燥収縮によるひび割れを想定した打設後1年半ほど経過したものについて実験を行った。

3つ目は、「新設構造物におけるひび割れ抑制対策とその効果に関する調査」である。いくつかのひび割れ抑制対策について、そのコストと効果を調査した。

4. 研究成果

前節で示した3つの項目ごとに主な研究成果を示す。

まず「既存コンクリート構造物におけるひび割れと鉄筋腐食に関する調査」については、近畿管内の20数構造物を抽出し、特にひび割れの進展状況と既発生のひび割れ部の劣化進展に注目し、10数年経過後の変化を観察した。

結果は、行政的に見るとよい結果で、研究的には評価しづらい結果となった。すなわち、調査を行った構造物では、顕著な変化は認められなかった。従来のひび割れ対策では、ある程度の幅のひび割れを生じた場合、その部分から鉄筋のさびの進行が想定されている。しかし、そうしたひび割れ幅の許容されている数値はかなりの安全率を見ている。今回の調査からは、ひび割れを有するコンクリート構造物でも、一般的な環境条件では、鉄筋の保護性能は確保されていることが証明された形になった。

なお、この調査では、当初対象とした構造物だけではなく、周辺の構造物の調査も合わせて行ったが、国土交通省の管理以外の構造物、例えば地方自治体管理の構造物などでは、維持管理があまりなされておらず、劣化の進行したものいくつかを発見した。

この調査では、付随した研究成果として現在の構造物の維持管理上の記録（いわゆるカルテ）が、継時的な変化を観測するのにきわめて使い勝手が悪いことが判明した。既存のひび割れの場所の特定が難しく、特に大きな構造物ではひび割れの発見さえ手間取ることが多かった。つまり、今後維持管理すべき構造物が増えた場合、それらの健全度や劣化の進行を短時間で把握しようとする場合、現在のカルテでは対応できない。今後のカルテの改善のための具体的課題が見つかったことは意義深い。また、膨大な数の構造物を地方自治体も含めて効率的に管理するためには、これまでの国土交通省などの体制とは違った体制、すなわち土木系のインハウス技術者がいない and/or 少ない状況下での効率的かつ適切な維持管理体制が必要であると結論した。こうした情報は、関連雑誌等に直ちに公表した。

次に、「コンクリートのひび割れの自己治癒に関する実験」では、セメント種類、水セメント比などのコンクリート配合、養生方法、

ひび割れ幅、ひび割れの発生時期、ひび割れの状況（貫通ひび割れ、曲げひび割れ）、ひび割れ発生後の材齢、水分供給環境、暴露環境などを変化させた供試体によるひび割れの自己治癒の実験を行った。ひび割れの発生時期については、施工直後の主に温度応力によるひび割れを想定した早い時期でのものと、乾燥収縮によるひび割れを想定した打設後1年半ほど経過したものについて実験を行った。

この結果、ひび割れの自己治癒への各種の影響の度合いを明確にすることができた。たとえば、構造物が置かれている環境条件では、水中環境、降雨を受ける環境、常に乾燥した環境では治癒の程度が大きく異なることが判明した。また、普通ポルトランドセメントと高炉セメントB種では、ひび割れ治癒に対する各種環境要因の影響のしかたが異なることも判明した。

さらに、ひび割れ面の詳細な観察により、ひび割れを埋めているものは主に炭酸カルシウムであるが、ひび割れの自己治癒が単純にひび割れ幅の小さい奥のほうから生じるのではなく、コンクリート表面からの炭酸の供給の程度などにも左右され、表面に近い部分から埋まっていく可能性を示すデータも得られている。

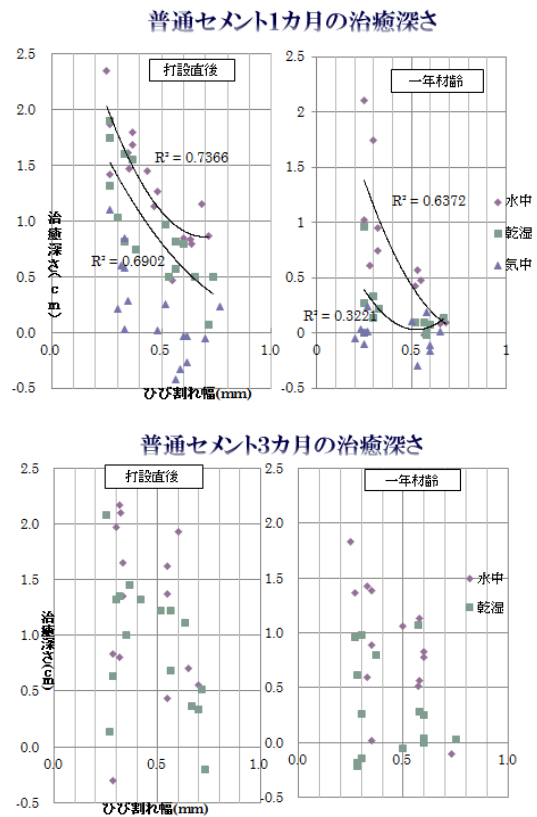


図1 導入ひび割れ幅と治癒した深さの関係

図1は、ひび割れ導入後の自己治癒効果を

ひび割れ導入時期と、養生条件ごとに見たものである。上図はひび割れ後1か月、下図は3か月の、ひび割れが埋まった深さを示す。それぞれの条件で治癒深さが異なっており、その効果を期待する場合、各条件によって許容できるひび割れ幅が異なることがわかる。具体的には、自己治癒深さにはひび割れ幅の影響が大きく、幅の狭いものほど治癒深さが大きい。しかし、水分の供給が良好であれば、0.6mm程度の比較的大きなひび割れでも、かなりの治癒効果が期待できそうである。

またこの実験に併せて、ひび割れの自己治癒状況を非破壊的に簡易に測定する手法についても検討を行った。しかし、一般的にはひび割れ深さの測定は難しく、さらにそこから治癒深さを割り出すのは困難であることが分かった。

「新設構造物におけるひび割れ抑制対策とその効果に関する調査」については、いくつかのひび割れ抑制対策について、そのコストと効果を調査した。

その中で鋼製鈹桁橋のコンクリート高欄に、近年多用されているスリット導入によるひび割れ抑制対策について詳細に検討した。この経緯は、次のようである。通常の鋼製鈹桁橋ではコンクリート高欄は断面剛性には算入されていないものの、実際には桁の剛性上昇に大きく貢献していて、鋼部材の応力を大きく低減している。近年の行き過ぎたひび割れ抑制対策で、高欄のひび割れをなくすことが最優先となり、その応力低減効果が期待できない状況になっていたためである。ちなみに、道路橋の高欄ではコンクリートの表面剥離がきわめて多数発生しており、確かに現場では問題となっている。しかしこの原因は、30 cm程度の薄い部材で主鉄筋が2段に配置され、施工上、かぶりが取れにくい状況が発生しやすく、このために生じたかぶり不足から中性化による鉄筋腐食が生じ、表面コンクリートが剥離することによる。この問題は、すでに鉄筋スペーサの配置量の基準が見直されたことから、近年では極端に減ってきている。つまり、高欄におけるひび割れ低減対策は、実は、的を外した対策となっているのが現状である。

この課題については、スパンが20mと40mのごく一般的な道路用の鋼製鈹桁橋を想定し、3次元のFEM解析を行った。まず、一般的なコンクリート高欄を設置し、次に高欄部分に0~7か所の1~2 cm幅のスリットをいれて、上載荷重を乗せた時の、鋼桁に生じる応力を算出した。

解析による検討の結果、コンクリート高欄へのスリット導入は、外側の鋼鈹桁のスリット直下の断面に大きな局所的な応力を生じさせることがあることがわかった。スリットの設置は、かぶり不足によるコンクリート剥

落には全く効果がないので、橋梁全体としてみると、スリットの設置は大きなデメリットのみを生じさせることになる。

図2は4主桁の鋼製鈹桁橋のコンクリート高欄にスリットを入れた場合の、外桁下縁に生じる応力の3次元FEM解析値の図である。高欄なしに比べ、高欄を設けると、大きく応力が低下する。しかし、高欄中央にスリットを設ける（図では分割数2）と、高欄なしよりもさらに応力が大きくなっていることがわかる。

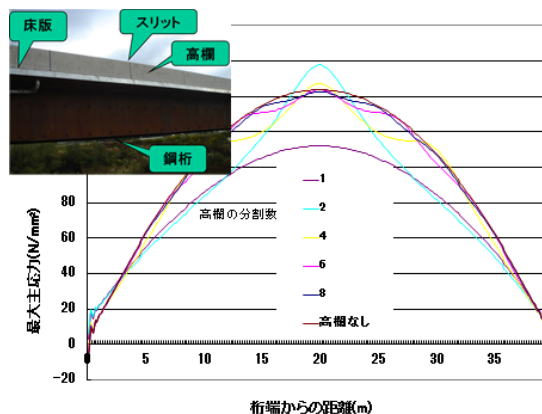


図2 外側鋼桁下フランジ部の応力分布
(スパン40mの4主桁鋼製鈹桁橋)

なお、過去に建設されたスリットなしの高欄について、橋梁技術者への聞き取りも行った。過去には数十m区間を目地なしで施工した例もあるが、当然ひび割れが入るものの、そのひび割れが原因で劣化が進行しているという事例はないとのことである。

こうした研究成果から、現在、総合評価制度で「コンクリート構造物の品質向上」が課題となった時の「三種の神器」ともなっている「目地の増加」「膨張材の添加」「高性能AE減水剤の添加」の盲目的な評価に警鐘を鳴らすことができた。研究代表者が参画している総合評価の委員会でも、この意見を採用してもらっている。

このほかにも、温度応力低減工法などについてもその効果を検討し、その成果を個別に学会発表している。

以上、コンクリートのひび割れが構造物の耐久性に与えるリスクと、ひび割れの低減方策の効果に関する検討を行った。コンクリートのひび割れの自己治癒効果への影響要因を明確にできたとともに、一般環境の実構造物の10年目の追跡調査からは、ある程度までの幅のひび割れの存在が大きく構造物の耐久性に影響していないことが判明した。さらに、最近とみに増えているコンクリート構造物のひび割れ対策の中には、効果がないだけでなく、場合によっては負の影響を及ぼすものがあることも判明した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

- ① 河野広隆／土木構造物の長寿命化技術と技術者評価、土木施工、Vol.52 No.9、p.8、2011.09、査読あり
- ② 河野広隆／維持管理に必要な技術・人・体制、環境・エネルギー、11 年特集号Ⅱ、p.6-11、2011.04、査読なし
- ③ 河野広隆／コンクリート技術者はひび割れとどう付き合うべきか、セメント・コンクリート誌 No.761、2010.07、p.12-18、査読あり
- ④ 河野広隆／インフラの長寿命化の効果と課題、建設リサイクル誌 2010 年春号、2010.04 p.4-8、査読なし
- ⑤ 河野広隆／良いインフラを造りうまく使うために、コンクリート工学誌 2009 年 9 月号、p.9-12、2009.09、査読あり

[学会発表] (計 11 件)

- ① 西村昌朗、平準化手法の違いが橋梁群の維持管理コスト平準化に与える影響、土木学会関西支部、V-44、2011.06.12、関西大学
- ② 河野広隆、コンクリートのひび割れとどう付き合うか (招待講演)、社会基盤メンテナンスエキスパート養成ユニットシンポジウム、2010.10.07、岐阜大学
- ③ 富田貴大、初期材齢および一年材齢におけるコンクリートに生じたひび割れの自然治癒に関する研究、第 65 回土木学会年次講演会講演概要集 V-400 2010.09.02、北海道大学
- ④ 田中雄基、コンクリート高欄のひび割れ防止スリットが橋梁鋼桁の応力および疲労に与える影響、第 65 回土木学会年次講演会講演概要集 V-239、2010.09.03、北海道大学
- ⑤ 西村昌朗、コンクリートに生じたひび割れの自然治癒および治癒検知に関する研究、コンクリート構造物の補修・補強・アップグレード論文報告集第 8 巻、2009.10.30、p.75-82、日本材料学会、京大会館
- ⑥ 篠田佳男、壁状構造物の温度応力低減工法に関する実証実験、第 64 回土木学会年次講演会講演概要集 V-414、2009.09.02、福岡大学

[図書] (計 1 件)

- ① 十河茂幸、河野広隆他、セメントジャーナル社、コンクリートの初期ひび割れ対策、2012.03、(全 127 頁、p.3-24、p.105-111)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://csd.kuciv.kyoto-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河野 広隆 (KAWANO HIROTAKA)

京都大学・経営管理研究部・教授

研究者番号：80344018

(2) 研究分担者

服部 篤史 (HATTORI ATSUSHI)

京都大学・工学研究科・准教授

研究者番号：30243067

大島 義信 (OSHIMA YOSHINOBU)

京都大学・工学研究科・准教授

研究者番号：10362451

(3) 連携研究者

なし