

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25630185

研究課題名(和文) コンクリート表層品質の簡易全数検査を目指す繰り返し流水試験方法の開発

研究課題名(英文) Development of repeated water drop test for concise total inspection of surface quality of concrete

研究代表者

岸 利治 (KISHI, Toshiharu)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：90251339

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：デジタルマイクロピペットを用いてコンクリートの鉛直面に一定量の水を一定時間間隔で複数回流下させ、所定の回数だけ流下させた後に流水距離を測定するという極めて簡易なコンクリート表層品質の評価手法(繰り返し流水試験)の開発を行った。コンクリート鉛直面を流れる流水は蛇行や分岐をしがちであることから、適当な流水ガイドについて検討し、コンクリート表面に鉛筆で平行な二本の直線を約5mm間隔で罫書いたものが最も理想的な流水ガイドとなると結論付けた。測定者一人で簡便に測定ができるように更に治具を工夫することで、表層品質簡易測定方法として活用できると考えている。

研究成果の概要(英文)：This research aimed to develop a simple test method to evaluate the surface quality, such as permeability and tightness of concrete. It is so called the repeated water flowing test. Drops of water by digital micro pipet are repeatedly put on the vertical concrete surface and then the length of water flow is measured as an indicator of the surface concrete quality. When drops of water are repeatedly put on the vertical concrete surface without any guiding device the flow path often meander and branch. Thus, this research attempted several devices on the concrete surface to stabilize water flow on the concrete surface to steadily obtain the stable flow length. Then it was found that two vertical parallel lines described by pencil with 5mm interval can play roll as a good guide for water flow due to its water repellency. By improving devices for more quick measurement the proposed method could be established as a simple evaluation method for surface quality of concrete.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：コンクリート 表層品質 非破壊検査 流水 簡易

1. 研究開始当初の背景

(1) コンクリート構造物の耐久性は、かぶりの厚さと共に、かぶりコンクリートの品質に大きく依存する。そして、コンクリートの品質、特に表層の緻密さは、使用材料・配合等の仕様のみならず、実際のフレッシュコンクリートの品質（施工性能・材料分離抵抗性・ブリーディング）や打込み・締固め・養生等の施工方法に大きく依存する。しかるに、近年の竣工検査では、かぶり厚さの非破壊全数検査が一般的になりつつある一方で、コンクリートの表層品質の確認はほとんど行われていない。

(2) コンクリートの表層品質を非破壊で定量的に把握することの重要性は、これまでも多くの研究者により指摘され、海外においては RILEM の関連委員会が継続的に精力的な活動を行っており、国内においても建築分野の先行研究に続き、最近では土木分野でも土木学会の委員会活動が展開されてきた（JSCE335 委員会）。しかし、コンクリートの表層品質を非破壊で定量的かつ正確に確認することは容易ではない。これまでに、トレント式表層透気試験装置や表面吸水試験装置等が開発され、実構造物を対象とした適用性の検討が進められてきた。これらの測定方法は、コンクリート表層品質の確認手法として大いに期待できるものであるが、装置一式が数百万円程度と比較的高価であることから、重要構造物以外への普及にはそれなりの時間を要し、部材レベルの全数検査の実施にも種々の制約を伴うものと考えられた。

(3) 一方、申請者らは、価格数万円のデジタルマイクロピペットを用いてコンクリートの鉛直面に一定量の水を一定時間間隔で複数回流下させ、所定の回数だけ流下させた後に流水距離を測定するコンクリート表層品質の簡易評価手法（繰り返し流水試験）の検討に着手し、大型柱模型供試体を用いた検討において、中性化深さや塩水浸透深さとの間に高い相関性があることを確認した。この極めて簡易な方法がコンクリートの表層品質の確認方法として有効であれば、竣工検査における一次診断として部材レベルの全数検査への途が拓けると考えられた。しかし、流水距離が測定時の天候に影響されることも確認しており、検査手法として確立するためには測定方法の信頼性を高めることが不可欠であり、更に多くの検討が必要な状況にあった。

2. 研究の目的

(1) 耐久性に及ぼすコンクリート品質の重要性を考慮すれば、かぶりの厚さのみならず、竣工後の実構造物においてコンクリートの表層品質をも定量的に確認することは、構造物の耐久性を真に担保する上で極めて重要であるといえる。申請者らは、価格数万円のデジタルマイクロピペットを用いてコンクリートの鉛直面に一定量の水を一定時間間

隔で複数回流下させ、所定の回数だけ流下させた後に流水距離を測定するという極めて簡易なコンクリート表層品質の評価手法（繰り返し流水試験）の検討に着手し、中性化深さや塩水浸透深さと高い相関性があることを確認した。そこで、天候やコンクリート含水率の影響等を明らかにして、妥当な判定基準および測定条件を定めると共に、繰り返し流水試験を安定的に実施するための具体的な測定方法の確立を目指す。また、コンクリートの表面状態によっては、流水経路が分岐したり、表面微細ひび割れの影響を受けて流水が停滞したり滲んだりすることから、繰り返し流水試験を安定的に実施するための具体的な測定方法の確立を目指す。

(2) 熟練したエンジニアがコンクリート表面に水を掛けてその浸み込み状況や流下性状からコンクリートの品質を把握していたことは知られていたが、この単純ながら奥深い知見を定量評価手法の開発に繋げるといった発想はこれまでになかった斬新なものであった。また、他の非破壊試験方法と同様にコンクリートの含水率の影響を受けると考えられ、実用化に至るまでには克服すべき課題が残っていた。しかし、電源を必要とせず基本的にはデジタルピペットと定規だけで実施できる本手法は、コンクリート表層品質の簡易検査方法として活用できる可能性があり、開発に成功した場合の波及効果は大きく、チャレンジングなものである。コンクリートの表面状態によっては、流水経路が分岐したり、表面微細ひび割れの影響を受けて流水が停滞したり滲んだりすることがあるが、簡単な補助的治具やガイドを開発することで繰り返し流水試験を安定的に実施することが可能になるなど、十分に工夫の余地があると考えた。

3. 研究の方法

(1) コンクリート表面に設置してデジタルピペットを固定する治具を開発し、デジタルピペットの角度とコンクリート面との距離を固定して測定者間の相違を解消する工夫を行う。繰り返し流水試験の実施には、ある程度の熟練が必要であり、測定結果には多少の個人差があると考えられる。これは、コンクリート鉛直面に対してデジタルピペットを設置する角度、ピペット先端とコンクリート面との距離ないし接触具合、ピペットから液滴を排出するときの力加減などがある程度流水距離に影響するためである。そこで、これらの条件を出来るだけ統一させるために、コンクリート表面に設置してデジタルピペットを固定する簡易な治具を開発する。これにより、コンクリート鉛直面に対するデジタルピペットの角度とピペット先端とコンクリート面との距離を固定して測定者間の相違を解消する。

(2) また、釣り糸等を用いて流水のガイドを設けるなどの工夫により、流水経路を安定化

させる工夫を行う。長期間屋外で風雨に曝されていたコンクリートの表面で特に顕著であるが、コンクリートの表面に微細なひび割れや空気泡、雨掛りの模様等があることがあり、そのような場合には、流水経路が1本にならずに分岐したり、表面微細ひび割れの影響を受けて流水が停滞したり滲んだりすることがある。そこで、釣り糸等を用いて流水のガイドを設けるなどの工夫により、流水経路を安定化させる工夫について検討を行う。

(3) 安定的な流水試験手法をある程度確定した後に、種々のコンクリートを対象とした繰り返し流水試験を精力的に実施する。補助治具の使用や流水ガイドの使用など、手法が僅かに異なると流水距離が変わることから、これら補助治具の開発を急いで手法をある程度確定してから、種々のコンクリートを対象とした繰り返し流水試験を精力的に実施する。測定対象は、現有のラーメン高架橋模型の柱試験体、新たに作製するコンクリート供試体、実構造物等とする。

4. 研究成果

(1) 既設中規模柱試験体を用いた検討

測定対象には、屋外で作製された中規模の柱試験体（以下、中規模柱試験体とする）を用いた。高さ 2350mm、断面が 300mm × 400mm の鉄筋コンクリート柱にスラブを載せ、柱には雨が直接当たらないようになっている。柱は配合、養生が異なる 10 種類で構成されている。本研究では常設の水切りが設置されていて、降雨の影響が小さいと考えられる夏季施工（2010年8月5日打設）の10本の柱を対象に検討を行った。

流水距離と比較する耐久性指標として、中規模柱試験体での中性化深さおよび塩分浸透深さを測定した。材齢 15 か月時点で各柱の高さ 1400mm 付近から円柱コアの採取を行った際、コア抜き跡付近を 4 か所はつり、フェノールフタレイン溶液を噴霧して変色域を確認した。これら 4 か所の深さを測定し、その平均値を中性化深さとした。塩分浸透深さの測定では、採取したコアを軸方向に 4 分割し、柱の壁面に対応する 1 面のみを残してエポキシ樹脂を塗布した後、10%塩水に浸漬した。浸漬期間 10 日間で供試体を割裂して割裂面に硝酸銀水溶液を噴霧し、目視で変色域を確認している。

(2) ガイドによる流水安定化に関する検討

何らガイドを使用せずに、コンクリート表面に単に流水させた場合の流水の様子を写真 1 に示す。このような流水の蛇行や流水幅の不均一が生じることは、稀ではない。

次に、ガイドとしてテグスを用いた場合の流水の様子を写真 2 に示す。テグスは試験体表面の微細な凹凸には追従できないため、しみによる幅の拡大は抑制できていないものの、蛇行については制御することができた。蛇行の抑制により流水距離は増加すると予想されたが、ガイドを用いない場合と比較し



写真1 流水ガイドを用いない場合



写真2 流水ガイドとしてテグスを用いた場合



写真3 流水ガイドとして罫書きを用いた場合

てほぼ同等、もしくは若干短くなる結果となった。原因として、テグスとコンクリート表層とのわずかな隙間から生じる粘性抵抗が流水距離の短縮に影響した可能性が考えられる。

鉛筆による罫書きをガイドとした場合の流水の様子を写真 3 に示す。わずかなしみは見られるものの、蛇行および拡幅はほぼ完全に抑制されている。テグスを用いた場合のよ

うな粘性抵抗も生じないため、ガイドを用いない場合と比較しても流水距離が増大する傾向が見られた。テグスを用いたガイドは測定までの準備時間の増加が欠点であったが、けがきにかかる時間は数十秒から1分程度であり、作業時間は大幅に短縮された。

(3) 流水距離の表層品質指標としての検討

何らガイドを使用せずに、コンクリート表面に単に流水させた場合では、中性化深さとの相関を1次近似した場合の決定係数は0.727であった。塩分浸透深さとの関係については、流下に伴う拡幅により流水距離が極端に短くなる傾向のBB24を除くことにより、良好な決定係数(0.8522)となった。この条件では計60点の測定を行ったが、大幅な蛇行や停滞、繰り返し時の分岐により流水距離が測定できなかったものが8点生じ、これらについては位置をずらして再度試験を行う必要があった。

ガイドとしてテグスを用いた場合の中性化深さとの相関については、わずかながら決定係数(0.7436)が向上する結果が得られた。塩分浸透深さとの相関については、同様に流水距離が短いBB24を除いた相関は0.8954であった。計40点の測定を行った結果、テグスと表面の隙間から水が漏れて蛇行し、流水距離が測定できなかったものは2点に留まった。蛇行の解消と合わせて、データの安定した取得という観点から、テグスによるガイドは一定の効果を得られていると言える。ただし、2本のテグスを平行に貼り付けるには現場で1分から数分程度の作業時間を要するため、1回あたりの測定時間が増大した。

罫書きをガイドとした場合の繰り返し流水試験の結果と耐久性指標との関係を図1と図2に示す。他のケースと比較して、最も高い決定係数が得られる結果となった。しかしながら、これまで流下に伴い流水幅の増大が生じていたBB24においても、幅の増大を抑制することができたものの、流水距離としてはガイド無しのケースやテグスを用いた場合とほぼ同様であった。そのため、これまでと同様に、塩分浸透深さとの決定係数は、BB24の測定点を除いて算出した。極めて単純な方法ながら、蛇行や分岐の排除といった点ではテグスを用いたガイドよりも高い効果が得られた。

(4) まとめ

鉛筆は良好な撥水性を示し、コンクリート表面に罫書きすることも容易であることから、現時点で考え得る最も適切な流水ガイドであると結論付けた。これまでも測定時間の短縮を図るべく工夫を重ねてきたが、実用化のためには測定者一人で簡便に測定ができるように更に治具を工夫する必要がある。また、精緻な測定方法である表層透気試験や表面吸水試験と繰り返し流水試験の結果ともある程度の相関を有することを確認しており、精度と簡便さのトレードオフ関係は十分に成立する可能性があると考えている。

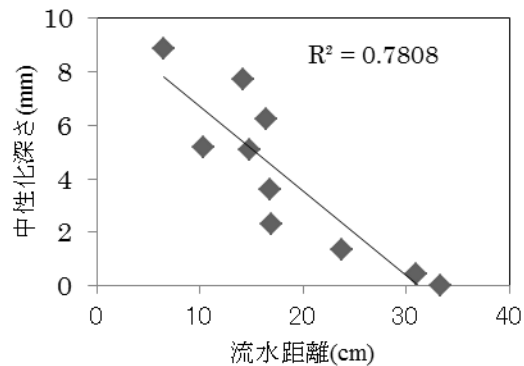


図1 ガイドとして罫書きを用いた場合の流水距離と中性化深さの関係

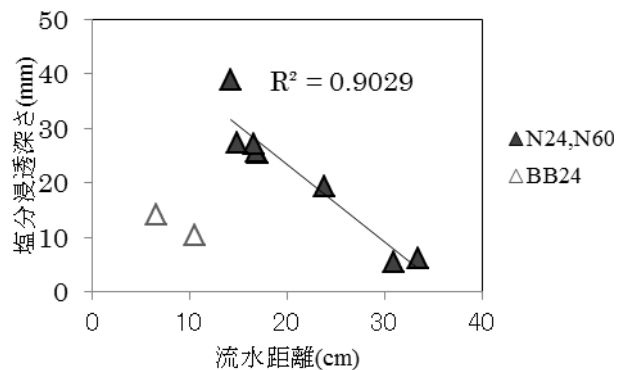


図2 ガイドとして罫書きを用いた場合の流水距離と塩分浸透深さの関係

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 1 件)

菊池健人、岸利治、コンクリート表層品質の簡易判定手法としての繰り返し流水試験の安定性向上に関する検討、コンクリート工学年次論文集、査読有、Vol.35、No.1、2013、1873-1878

〔学会発表〕(計 1 件)

萩原裕貴、岸利治、嶋倉ちづる、流水距離によるかぶりコンクリートの雨水の浸透性評価、土木学会第69回年次学術講演会、2014年9月10日~2014年9月12日、大阪(大阪大学豊中キャンパス)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岸利治 (KISHI、Toshiharu)
 東京大学・生産技術研究所・教授
 研究者番号：90251339

(2) 研究分担者

岩城一郎 (IWAKI、Ichiro)
 日本大学・工学部・教授
 研究者番号：20282113