

論文

可変圧力式の透水試験機を用いた コンクリート床版打継目の水密性評価に関する検討

坂西純平*, 小松怜史**, 野中英***

* 横浜国立大学, 博士課程前期, 大学院都市イノベーション学府
(〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5)

** 工博, 横浜国立大学, 助教, 大学院都市イノベーション研究院
(〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5)

***工博, (株)熊谷組, 技術本部 (〒300-2651 茨城県つくば市鬼ヶ窪 1043)

コンクリート床版打継目の水密性の確保は, 床版継手の腐食や桁, 支承の劣化を抑制するうえで重要である. 原位置におけるコンクリート床版打継目の水密性評価法の構築に向けて, 本研究では打継目を有するコンクリート試験体を製作し, 可変圧力式の透水試験機を用いて, 仕上げ面からの透水量および透水深さの計測を試みた. 結果, 30kPaの水圧作用下であれば, W/Cによらず同一箇所を繰り返し計測することで打継目を含むコンクリートの含水状態に影響されず, 透水量を計測できることが分かった. また, 繰り返し透水試験を行っても打継目の透水性は変化しないことも分かった. このとき, 深さ約1~3cm程度まで打継目に水が浸潤していることが確認された.

キーワード: コンクリート床版, 透水試験, 鉛直打継目, 含水状態

1. はじめに

昨今, 劣化したRC床版をPC床版に取り換える工事や新たなRC床版を現場で作製する工事が進められている. 高耐久, 高品質なコンクリート床版の建設が進められていく中, コンクリート床版打継目の水密性が不十分な場合, 雨水等が打継目から漏水し, 床版継手の腐食や桁および支承の劣化につながる恐れがある. しかし, これまで現場でコンクリート床版の打継目の水密性を評価する方法は確立されていない.

コンクリート床版上面の特徴として, 柳ら¹⁾は, コンクリート仕上げ面には, 降雨が直接作用し雨水が滞留しやすいため, 含水率が高く維持されやすいことを指摘している. 一方, 晴天時は日射が直接作用することから, 仕上げ面ごく表層のコンクリートは比較的容易に乾燥することも分かっている²⁾. そこで筆者らは, 仕上げ面からごく表層のコンクリート(約5mm程度)が十分乾燥したことを道路橋床版水分計で判断した上で, コンクリートの吸水(透水)挙動を計測することで品質を評価する手法(表面吸水試験法)³⁾を提案している. 具体的には, 計測開始から100秒間のコンクリートの吸水(透

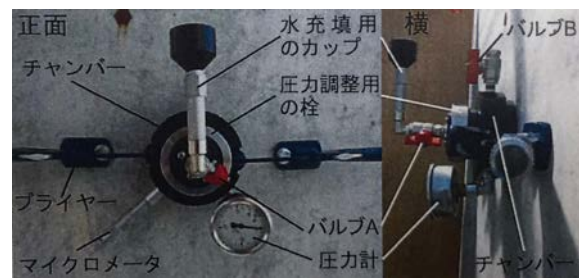


写真-1 透水試験装置の概要

水)量を床版上面の表層品質の評価指標として提示している⁴⁾.しかし, 打継目の含水状態を計測することは困難であり, 水密性を評価する手法も確立できていないのが現状である.

そこで本研究では, 打継目の含水状態に左右されず, 床版打継目の水密性を現場で適切に評価する方法を提案することを目的に実験を行った.

2. 可変圧力式の透水試験機の概要

筆者らの事前検討から、打継目の含水状態を現場で直接計測することは困難であるという判断に至った。そこで、打継目に水圧をかけることで含水状態に影響されず水密性を評価できないかと考え、本研究では、可変圧力式の透水試験機を用いることにした（写真-1）。

以下に計測手順を示す。コンクリート表面（本実験では仕上げ面）に透水試験装置（透水チャンバー）を固定するフレームを設置する。設置方法はアンカー（微破壊）による固定もしくは真空ポンプと連結して固定する方法（非破壊）がある。次に、コンクリートに固定したフレームにチャンバーを設置する。設置後、チャンバー内部を水で満たし、圧力調整用の栓を閉めることでチャンバー内部の圧力を任意の値に調整することができる。コンクリート打継目（もしくは打継目以外）に水が透水（吸水）すると、チャンバー内が減圧される。そのため試験中は、チャンバーに設置されているマイクロメータを手動で回し、スピンドル（内径5mm、断面積78.5cm²）をマイクロメータ内に押し込むことで、チャンバー内の圧力を一定に保ちながら計測を行う。マイクロメータの動いた量から透水量（吸水量）を算出するしくみとなっている。

3. 実験概要

3.1 試験体概要

打継目での水密性評価にあたっては、打継目への透水現象と打継目以外への吸水（透水）現象を分けて考える必要がある。打継目とは異なるが、不連続面への透水現象として、柳らりはコンクリート表面にひび割れがある場合、水セメント比にかかわらず、ひび割れ幅が大きいほど水の浸透が速く、深部まで比較的容易に水が到達することを報告している。また、水セメント比の大きい、細孔組織が粗大なコンクリートでは、表層部が飽水状態に達した後に深部へ水が移動し始める傾向を示したのに対し、水セメント比の小さい細孔組織が緻密なコンクリートでは、表層部が飽水状態に到達する前に、内部へ水の移動が生じる傾向を示したことを報告している。

以上の条件を考慮し、本研究では打継目の有無、W/Cおよび含水状態の異なる試験体を作製した。コンクリートの配合を表-1に示す。十分試し練りを行い、材料分離で仕上げ面に脆弱層ができないよう混和剤で調整した。空気量は4.5±1.5%の間に管理した。透水量は、透水面の粗度に影響を受けることをEdvardsen⁹⁾は指摘している。打継目に水圧がかかり、打継目の骨材が洗い出された場合でも、打継目の粗度が同一となるよう、すべての試験体で粗骨材量および細骨材量を統一した。

試験に用いた試験体の寸法は高さ25cm、縦・横一辺

表-1 示方配合

W/C (%)	S/a (%)	単位量(kg/m ³)				
		W	C	S	G	Ad* ¹
35	44	132	378	798	1043	7.56
55	44	160	291	798	1043	0.29

*1 高性能 AE 減水剤（マスターグレニウム SP8SBS X2）

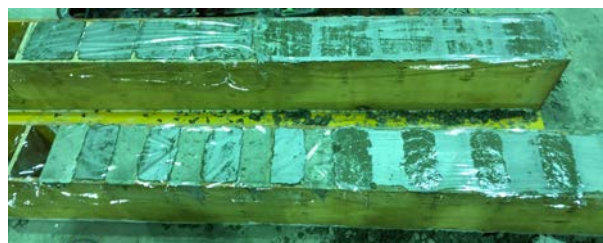


写真-2 試験体の外観

30cm（打継目を有する試験体は、中央部に打ち継目を設けた）の直方体とした。打継目を有する試験体は、まず高さ25cm、縦30cm、横15cmの直方体を打込み、打込みから2日後に、隣接する場所に新たなコンクリートを打込むことで製作した。仕上げ面から深さ方向に透水（吸水）する現象を確認するため、打継目のない試験体は仕上げ面から、打継目を有する試験体では打継目を挟むような形で仕上げ面から、それぞれ10、30、50、70、90、160mmの位置に直径1.5mmのステンレス棒（以下、電極棒）を2本1対でコンクリート中に埋設した。透水（吸水）試験中、電極棒間のコンクリートの電気抵抗の変化を計測することで、透水（吸水）してきた水のフロントを確認するためである。また、乾燥による側面からの水の逸散を防ぐため、試験体側面は木製型枠を常時つけたまま試験を行った。仕上げ面は、打込み後1週間封緘養生し（写真-2）、その後実験棟内（気温、湿度は外気と同程度、降雨はなし）に1週間気中暴露した。

含水率に影響されずに評価することが目的のため、含水率の異なる試験体も製作した。1週間の気中暴露後、仕上げ面を1週間、濡れた布巾で浸した（以下、湿潤試験体）（写真-3）。一方、そのまま気中暴露を続けた試験体も用意した（以下、乾燥試験体）。



写真-3 試験体仕上げ面を湿潤養生している様子



写真-4 試験中に電極棒間の電気抵抗を計測している様子

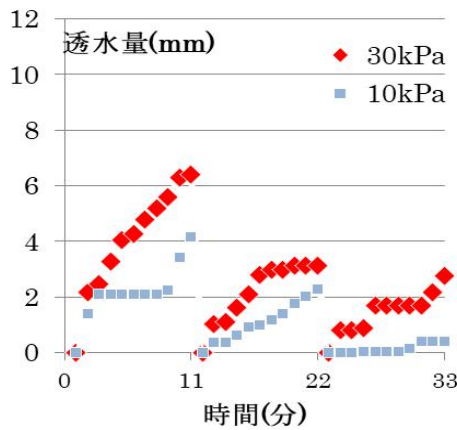


図-1 異なる圧力下での透水・吸水量の経時変化 (W/C=55%, 乾燥, 打継目有の試験体)

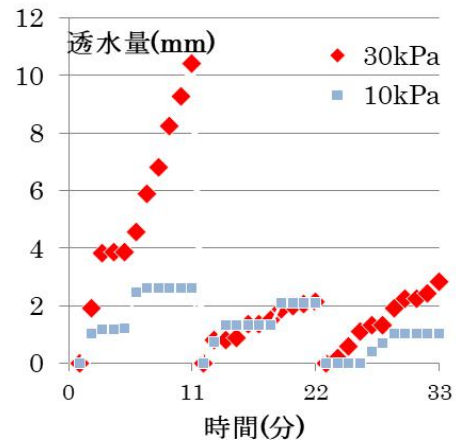


図-2 異なる圧力下での透水・吸水量の経時変化 (W/C=35%, 乾燥, 打継目有の試験体)

3.2 可変圧力式透水試験機による実験方法

本実験では、以下のように手順を統一して、水密性評価の試験を実施した。30秒間でチャンバー内に注水し、その後15秒間でチャンバー内の圧力をおおよそ10kPaもしくは30kPaまで上げた。その後15秒間で、マイクロメータで圧力を微調整し、注水開始から60秒経過時点でのマイクロメータの値を初期値として記録した。その後は1分ごとにマイクロメータの値を記録し、10分間透水量を算出した。10分経過後、同一の計測箇所再度試験をするために、チャンバー内を一度大気圧まで減圧し、1分間で再度、同様の圧力までチャンバー内を加圧し計測を開始するという手順を2回繰り返した。つまり、10分間の計測を合計3回連続して行った。

試験中の試験体上面の温度は8~9°C、水温は6~8°Cであった。チャンバーからの漏水を防ぐために設置されているスポンジを計測開始前に十分濡らしておかない

と、試験中に水を最大で約1.5g程度吸ってしまうため、スポンジを水で十分湿らしてから試験を行った。

3.3 仕上げ面からの透水(吸水)深さに関する検討方法

透水試験中、仕上げ面から深さ10, 30, 50, 70, 90, 160mmの位置に埋め込んだ2本1対の電極棒間の電気抵抗値(カウント値)を時々刻々計測することで水の浸透位置を確認した(写真-4)。計測には削孔電気抵抗式のコンクリート・モルタル水分計を使用した。水が打継目を透水し、水のフロントが各電極棒間に到達すると電気抵抗が下がり、カウント値が大きくなるという仕組みである。

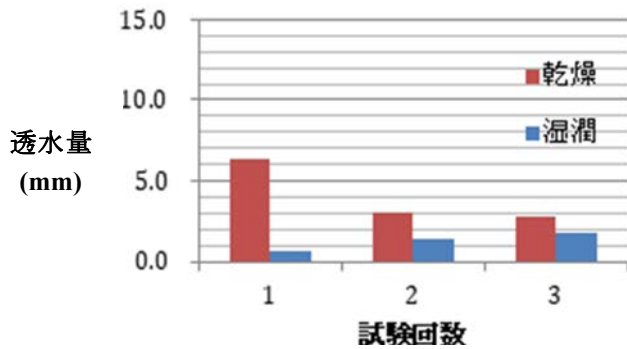


図-3 含水状態の異なる試験体の透水・吸水量の経時変化 (W/C=55%, 打継目有の試験体)

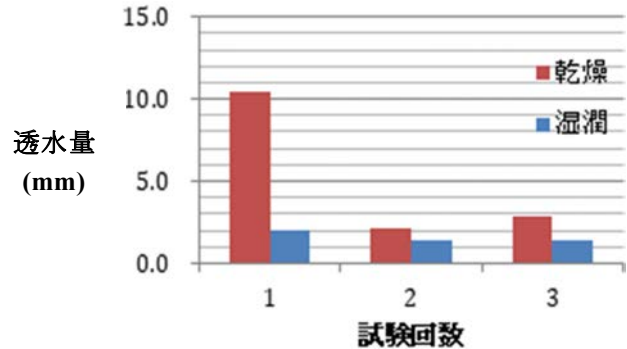


図-4 含水状態の異なる試験体の透水・吸水量の経時変化 (W/C=35%, 打継目有の試験体)

4. 実験結果

4.1 可変圧力式透水試験による透水量の試験結果

図-1 および図-2 に、打継目を有する乾燥試験体 (W/C=55%および35%) の透水量の経時変化をチャンバー内の圧力毎に示す。透水量が計測開始から11分、22分経過時点で急激に下がっているのは、チャンバー内を大気圧に開放し、再計測しているためである。なお、この試験結果には、打継目以外のコンクリートへの吸水も含まれていることに留意する必要がある。

試験体のW/Cによらず、圧力が大きいほど、透水量が大きいという傾向がみられた。チャンバーからの漏水も確認されなかったことから、以後本論文では、チャンバー内の圧力が30kPaでの結果を示す。

次に、含水状態の異なる試験体 (W/C=55%および35%) で計測された各測定回での透水量 (10分間の合計値) を図-3 と図-4 に示す。なお、この試験結果には、打継目以外のコンクリートへの吸水も含まれている。

計測の結果、W/Cの違いによらず、1回目の測定結果は含水状態の差異の影響を大きく受けていることが分かる。しかし、2回目以降は含水状態の影響が小さくなっていることが分かった。1回目の計測で、計測範囲のコンクリートは湿潤状態となり、2回目以降でコンクリートおよび打継目の透水 (吸水) 性を計測していると考えられる。なお、2回目から3回目にかけて、透水 (吸水) 量に大きな差がないことから、本研究の圧力程度であれば、繰り返し圧力を作用させても、打継目で目詰まり⁹⁾をおこすような現象は生じていないと考えている。したがって、以下の検討では、2回目の透水量を打継目における水密性評価の指標として用いることとする。

図-5 と図-6 に打継目の有る試験体と打継目の無い試験体の透水・吸水量 (1, 2 回目の計測) を、表-2 に試験体の透水・吸水量の一覧 (計測回数1回目から3回目) を示す。

乾燥している条件で行った1回目の測定に着目すると、

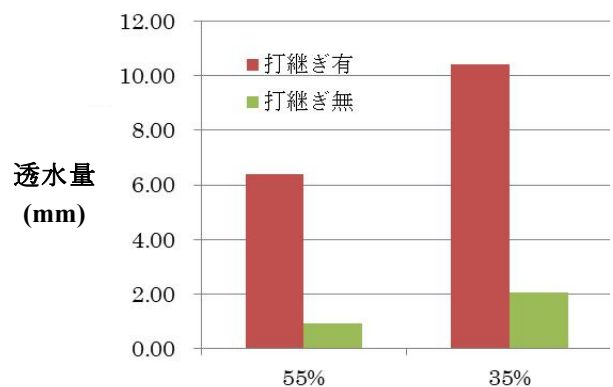


図-5 試験圧力 30kPa 乾燥試験体 1 回目の透水・吸水量

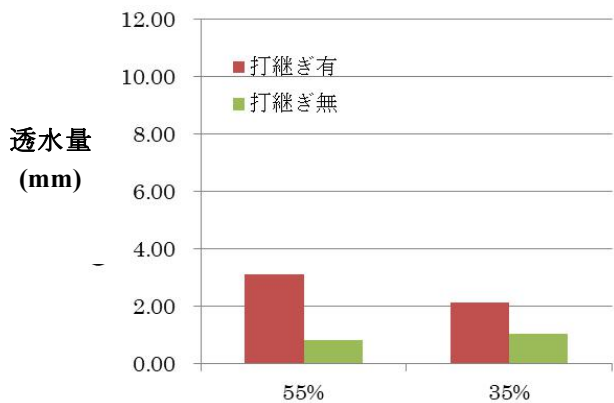


図-6 試験圧力 30kPa 乾燥試験体 2 回目の透水・吸水量

打継目に透水している量 (打継目の有る試験体と打継目の無い試験体の差分) は W/C=35%の方が多いたことが分かる。同様の現象は、先述したように柳りも指摘している。理由として、毛細管空隙の連続性が発達した W/C=55%の場合には、打継目から浸入した水は壁面から吸収されながら深部へと移動していくのに対し、W/C=35%の場合には、緻密な組織構造を有しているため、打継目の壁面から吸収される水が少なく、より深部へよ

表-2 試験体の透水・吸水量

回数		1回目		2回目		3回目	
W/C		55%	35%	55%	35%	55%	35%
30kPa	あり	6.39	10.42	3.11	2.14	2.77	2.82
	なし	0.91	2.03	0.80	1.04	0.55	3.07
	差	5.48	8.39	2.31	1.10	2.22	-0.25
10kPa	あり	4.16	2.63	2.27	2.11	0.42	1.03
	なし	2.83	0.22	1.19	0.04	0.74	0.13
	差	1.33	2.41	1.08	2.07	-0.32	0.90

(透水量の単位は全て mm)

り速く浸透していると推察している。同様なことは Roels らりによっても述べられている。

一方、2回目の計測では、図-5 と図-6 および表-2 に示すように、W/Cの違いによる透水・吸水量の明確な違いは見られないことが分かる。本実験では、新旧コンクリートを打継いだけで、打継目の粗度はW/Cによらずほぼ同等であると考えられる。打継目の含水状態に影響されず、打継目の水密性を評価するという観点では妥当な結果であると筆者らは考えている。

本試験では、打継目の有る試験体と無い試験体それぞれを計測している（ただし同じ材料を使用）。現場では、打継目の有る箇所と無い箇所（近接する2か所）で計測することで、打継目における水密性評価ができるのではないかと筆者らは考えている。今後は、本実験よりも高圧の条件や打継目の粗さが異なる条件でも検討をしていきたいと考えている。

4.2. 仕上げ面からの透水・吸水深さの検討結果

図-7, 8に、打継目を有する試験体（W/C=55%および35%）の透水量の経時変化と各深さに埋め込んだ電極棒間の電気抵抗（カウント値）の初期値からの変化を示す。3cm以上深い電極棒は本実験条件では反応していなかったため、ここでは代表して3cmまでの箇所のカウント値を示す。なお、この試験結果には、打継目以外のコンクリートへの吸水も含まれている。

計測の結果、試験体の深さ1cm程度の領域でカウント値の増加が見られることがわかった。しかし、3cm以上の深さでは目立ったカウント値の変化は見られなかった。このことから、本実験条件では、水の前線は1~3cmの間であると考えられる。

5. 結論

コンクリート床版の打継目の水密性を現場で評価することを目標に、本実験ではW/Cおよび含水状態の異なる試験体を製作し、水圧をかけた環境下で打継目の透水・吸水現象の解明を試みた。その結果、以下のような結論が得られた。

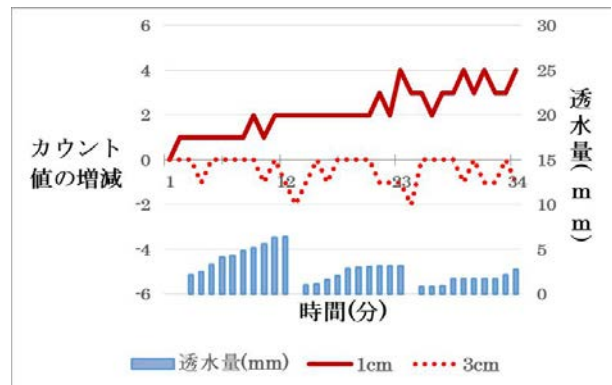


図-7 透水・吸水量およびカウント値の経時変化 (30kPa, W/C=55%, 乾燥, 打継目有りの試験体)

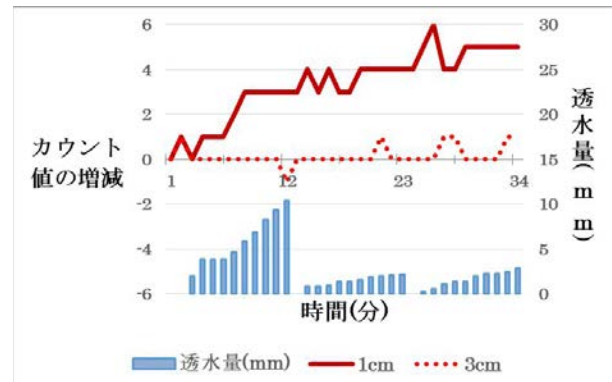


図-8 透水・吸水量およびカウント値の経時変化 (30kPa, W/C=35%, 乾燥, 打継目有りの試験体)

- (1) 30kPa程度の加圧であれば、同一測定箇所でも3回試験を繰り返したとしても、打継目において目詰まりは生じないことが分かった。
- (2) 透水試験を同じ場所で繰り返し行ったところ、2回目以降に計測された透水量は初期の含水状態によらず、ほぼ同じ値を示すことが分かった。

- (3) 打継目がある箇所と無い箇所の両方で透水試験を行うことで打継目の透水性を評価できる可能性が考えられる。
- (4) 本実験条件では、仕上げ面から深さ約1～3cm地点までの打継目の透水性を評価している。

謝辞

本研究を進めるにあたり、(株)マルイの長見氏、菅井氏に透水試験装置の操作方法についてのレクチャーを受けました。この場を借りて深謝いたします。

参考文献

- 1) 柳東佑, 高正遠, 兼松学, 野口貴文: 打放しコンクリート中の水分分布に及ぼす降雨の影響, 日本建築学会構造系論文集, 第619号, pp.21-26, 2007
- 2) 小松怜史, 田島涼, 細田暁: 新気仙大橋の高耐久 RC床版についての検討 その4(表層品質の評価), 土木学会第72回年次学術講演会, I-150, pp.299-300, 2017
- 3) 林和彦, 細田暁: 表面吸水試験によるコンクリート構造物の表層品質の評価方法に関する基礎的研究, 土木学会論文集 E2, Vol.69, No.1, pp.82-97, 2013
- 4) 小松怜史, 田島涼, 細田暁: 表面吸水試験を用いたコンクリート床版上面の品質評価方法の検討, コンクリート工学論文集, 第29巻, pp.33-40, 2018
- 5) Carola Edvardsen: Water Permeability and Autogenous Healing of Cracks in Concrete, ACI Material Journal/July-August, pp.448-454, 1999
- 6) 小松怜史, 細田暁, 安台浩, 池野誠司: ひび割れ間で通水する自己治癒コンクリートの治癒性状, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, pp.117-122, 2008
- 7) S. Roels, K.Vandersteen, J.Camleliet: Measuring and simulating moisture uptake in a fractured porous medium, Advances in Water Resources, Vol.26, pp.237-246, 2003
(2018年7月20日受付)