

11. WAPP を用いた透水試験のコンクリート品質評価への適用

Application of the Water Permeability Test Using WAPP to the Quality Evaluation of Concrete Structures

後藤佳子* 谷口克彦* 村田康平* 湊 太郎*

—概要—

コンクリート構造物の品質は、施工時、使用される材料や施工方法に大きく影響を受ける。供用期間中にも周辺環境の影響を受け劣化現象が生じる。そのため、コンクリート構造物の定量的な品質評価方法の確立が求められている。本研究では、水密性を評価することが可能とされる透気・透水試験機（Water Air Pressure Permeability : WAPP）を用いた透水試験方法に着目した。今回、技術研究所内の既存擁壁において、WAPP を用いた透水性に関する試験を行い、コンクリート構造物の品質評価方法への適用の可能性を検証した。

—WAPP を用いた透水試験の概要—

- ・コンクリート表面に設置した測定用チャンバーから、所定の圧力下で水を透水させた際の（標準水圧：55kPa）透水量を測定し、下記の式より表面透水係数を求める
- ・非破壊かつ現位置での透水試験が可能
- ・操作パネルで簡単に操作することが可能
- ・測定中の透水量の経時変化を操作パネルで確認できる
- ・既往の研究から、表面透水係数とコンクリート表面の耐久性を示す指標の間で比較的良好な相関性が確認されている

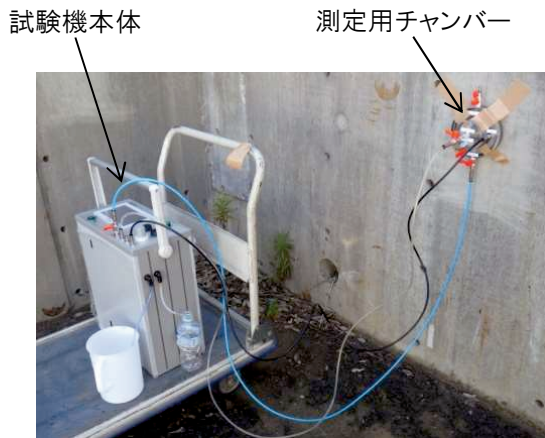


写真1 WAPP を用いた透水試験実施状況

〈表面透水係数算出式〉

$$P = \frac{G\rho w^2}{2tA^2P_u} \times 10^{-4}$$

P : 表面透水係数 (×10⁻¹⁰ m/s)

G : 重力加速度 (m/sec²)

ρ : 水の単位体積重量 (g/cm³)

w : 透水量 (cm³)

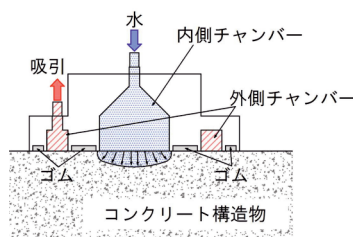
t : 透水時間 (sec)

A : 内側チャンバーの断面積 (cm²)

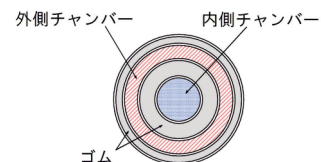
P_u : 透水水圧 (kPa)



〈写真〉



〈概要図〉



測定用チャンバー径：140mm
内側チャンバー径：50mm

〈断面図〉

図1 測定用チャンバー

*技術研究所土木研究室

WAPP を用いた透水試験のコンクリート品質評価への適用 Application of the Water Permeability Test Using WAPP to the Quality Evaluation of Concrete Structures

○後藤 佳子* 谷口 克彦* 村田 康平* 湊 太郎*
Yoshiko GOTO Katsuhiko TANIGUCHI Kohei MURATA Taro MINATO

ABSTRACT The surface quality of cementitious materials is affected by some conditions such as materials, casting and compacting method, curing method. Furthermore, the surrounding atmosphere deteriorates the surface quality of cementitious materials. The water tightness would be included as the index for surface quality. The water tightness can be expressed by the water permeability. In this investigation, WAPP (Water Air Pressure Permeability) apparatus is applicated to determine the water permeability. WAPP is the nondestructive test method, and will determine the water permeability on site. The authors determined the water permeability of the mock wall specimen by using WAPP apparatus. From the result, it was found that the water permeability was correlated with the sunlight condition and the kind of formwork. Therefore, it should be consider that WAPP apparatus can be used as the method of determining the water tightness in site.

Keywords : 透水係数, 現位置測定, 非破壊試験, 耐久性

Water Permeability, On-site Measuring, Nondestructive measuring method, Durability

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の長寿命化が求められるようになり、高耐久性コンクリート材料の開発、品質向上を目的とした施工方法の提案、既存コンクリートの品質評価の提案が行われている。

施工時、コンクリート構造物の品質は、使用される材料だけでなく施工条件にも大きく影響を受けるため、施工したコンクリートの品質を定量的に評価し適切に施工されたことを確認する方法が求められている。施工後のコンクリートの品質評価手法として、強度に関する方法は、テストハンマーを用いた非破壊の試験方法が規格化されている¹⁾。一方、耐久性を評価する指標である水密性に関する試験方法は、室内試験は規格化されている²⁾が、現場における非破壊試験については未だ確立されていない。

コンクリート構造物は、施工後に二酸化炭素の侵入および海水や凍結防止剤に起因する塩化物イオンの侵入などにより、中性化や塩害などと呼

ばれるコンクリート構造物内部の鋼材腐食を生じさせる³⁾。鋼材腐食が進展すると、ひび割れの発生および剥離現象が起きる。また、コンクリート構造物表面では、錆汁が発生し外観・美観上の問題も生じる。多孔性質材料であるコンクリート内部では、中性化や塩害の劣化因子（水、二酸化炭素など）を含む物質は、間隙部分で移動する。そのため、コンクリート構造物内部への劣化因子の侵入に対する抵抗性を評価する場合、水密性が劣化因子の侵入・移動の程度を定量的に示す指標となる。したがって、現位置において水密性の非破壊試験を行い、定量的に評価する方法が重要となる。

言い換えれば、コンクリートの水密性が現位置で簡単に測定することが可能であれば、新設構造物では品質評価の指標として、既設構造物では劣化因子に対する抵抗性の指標として水密性を用いることができる。

本研究では、非破壊で水密性を評価する測定方

*技術研究所 土木研究室

法として、透水・透気試験機 (Water Air Pressure Permeability : WAPP) (以下、WAPP という) を用いた方法に着目した。本論文では、WAPP を用いた透水試験方法の概要および今回得られた試験結果について報告する。

2. 水密性を評価する試験方法

水密性の評価方法は、その試験方法により、①透水係数を直接測定し評価する方法 (アウトプット法)、②水の浸透状態から評価する方法 (インプット法)、③コンクリート表面の吸水量から評価する方法の3つに大別される。それぞれの概念図を図1に示し、概要を以下に述べる。

2.1 アウトプット法²⁾

透水係数を直接測定し評価する方法として、アウトプット法が挙げられる。アウトプット法は、コンクリート供試体に水を圧入して通水させ、定常状態の流れになった時の単位時間当たりの流出量または流速を用いて透水係数を計算する方法である。

透水係数の測定としては、理想的な方法であるが、流れが定常状態になるまでは長期間を要する。また、コンクリートの内部組織のわずかな変化が透過水量に大きく影響するため、測定値のばらつきが大きいという短所を有する。

2.2 インプット法²⁾

水の浸透状態から評価する方法として、インプット法が挙げられる。インプット法は、気乾もしくは絶乾状態にしたコンクリート供試体に所定の水圧を所定時間加えた後、供試体を割裂し水の平均浸透深さを測定し、透水係数および拡散係数を算出する方法である。作用する水圧によってコ

ンクリート中の水の流れの機構が異なるため、水圧が0.15MPa 以下の場合には透水係数、0.15MPa を超える場合は拡散係数が算出される。

アウトプット法に比べ短時間にて実施することが可能である。

2.3 コンクリート表面の吸水量から評価する方法

コンクリート表面の吸水量から評価する方法は、吸水方向により試験方法が異なる。吸水方向は、上向き吸水、下向き・横向き吸水の2種類に分けることができる。

上向き吸水では、RILEM TC116-PCDによる暫定方法が、試験方法として挙げられる⁴⁾。この試験は、供試体下部の一部を水中に没するように設置し、一定時間経過後の吸水量を測定する方法である。

下向き・横向き吸水では、林、細田⁵⁾によるSWATが試験方法として挙げられる。この試験方は、供試体の平面もしくは側面に吸水管を設置し、コンクリートの吸水量を測定する方法である。

3. WAPP を用いた透水試験

WAPP を用いた透水試験は、コンクリート構造物の表面に測定用チャンバーを設置し、所定の水圧にて水を浸透させ、透水量を測定することにより表面透水係数を求める方法である。また、水の代わりに空気を圧入することにより、空気の侵入に対する耐性も測定することができる。測定時、コンクリート表面に特殊シール材を貼り付け、負圧で測定用チャンバーを測定面に固定することにより、現場で透水試験を非破壊にて実施することが可能である。

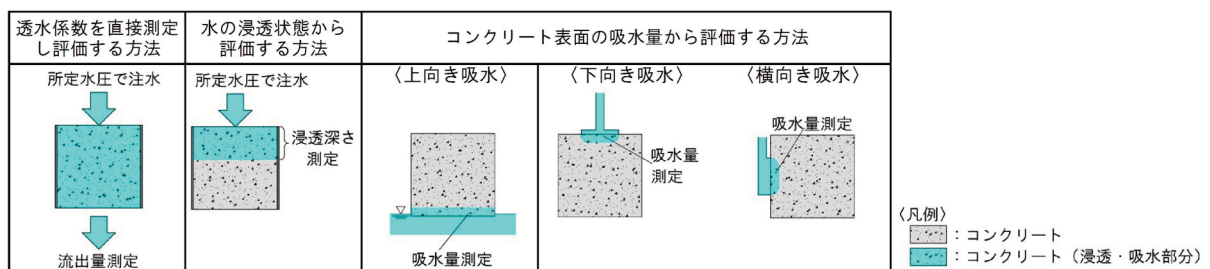


図1 試験方法概念図

3.1 WAPP を用いた透水試験の概要

WAPP は、試験機本体と測定用チャンバーからなる。WAPP を用いた透水試験の実施状況を写真 1 に示す。

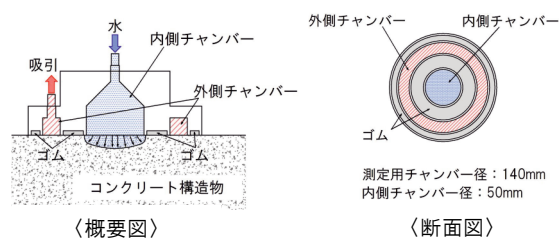


写真 1 WAPP を用いた透水試験実施状況

測定用チャンバーは、外側チャンバーと内側チャンバーからなる二重構造となっている。内側チャンバーから、所定の水圧で水を浸透させ、透水量を測定する。測定用チャンバーの写真、概要を図 2 に示す。



〈写真〉



〈概要図〉

〈断面図〉

図 2 測定用チャンバー

測定された透水量、透水時間、透水水圧から、表面透水係数を次式から算出する⁶⁾。

$$P = \frac{G\rho w^2}{2tA^2P_u} \times 10^{-4}$$

ここで、 P：表面透水係数（ $\times 10^{-10}m/s$ ）

G：重力加速度（ m/sec^2 ）

ρ ：水の単位体積重量（ g/cm^3 ）

w：透水量（ cm^3 ）

t：透水時間（sec）

A：内側チャンバーの断面積（ cm^2 ）

P_u ：透水水圧（kPa）

WAPP では、透水圧力、透水時間の設定および測定操作が試験機本体に設置されている操作パネル上で実施することができる。既往の研究より、透水圧力 55kPa、透水時間 20 分間で測定することが標準であるとされている⁶⁾。また、測定中は、透水量の経時変化を操作パネルで確認することが可能である。

既存コンクリート構造物の表面は、降雨にさらされ風化することにより凹凸が生じており、測定用チャンバーを負圧のみで測定面に固定することが困難である。WAPP を用いた透水試験では、コンクリート表面に特殊シール材を貼り付け、測定用チャンバーを設置することで、測定面に負圧で測定用チャンバーを固定することが可能となる。測定終了後、半ば乾燥した特殊シール材は簡単に剥がすことができる。

3.2 既往の研究^{7) 8) 9)}

これまで、コンクリート供試体および既設構造物を対象とした WAPP を用いた透水試験が多く実施されており、測定される表面透水係数は、コンクリート表面の耐久性との相関があることが確認されている。

コンクリート供試体を用いた性能確認試験では、水セメント比と表面透水係数との間には相関関係が認められ、水セメント比が小さくなるに従い表面透水係数が低くなることが確認された。水セメント比以外にも、中性化速度係数、塩化物イオン浸透深さとの間にも表面透水係数は相関関係が確認され、表面透水係数が大きくなるほど中性化速度係数、塩化物イオン浸透深さも大きくなるという結果が得られている。

既存のコンクリート構造物の測定事例として、実橋 RC 床版の品質調査が実施されている。先述した性能確認試験と同様に、中性化速度係数、塩化物イオン浸透深さは表面透水係数との相関関

係が認められた。また、表面透水係数とひび割れ密度との関係についても検討されており、ひび割れ密度が小さいほど表面透水係数も小さくなることが確認されている。

4. 技術研究所内既存擁壁における確認試験

WAPP を用いた透水試験の試験方法の確認として、当社技術研究所が所有している材齢 22 年の既存擁壁に対して表面透水係数の測定を実施した。既存擁壁は、寒中時の養生方法が高流動コンクリートに及ぼす影響を検討することを目的として作成されたものである。既存擁壁の使用材料、配合および型枠・剥離剤条件を表 1、表 2 および表 3 にそれぞれ示す。

測定された表面透水係数を日照条件と比較したものを図 3 に示す。日照条件は、日照による乾燥の影響の程度を数値化したものであり、数値が大きいほど日照による乾燥の影響を受ける。図 3 より、日照による乾燥の影響を受けるほど表面透水係数が大きくなる傾向が見られた。

表面透水係数と型枠・剥離剤条件を比較したものを図 4 に示す。図 4 に示す型枠・剥離剤条件の数値は、表 3 に示す数値である。図 4 より、型枠条件が透明型枠、透水型枠、剥離剤 A~D の順に表面透水係数が高い値を示している。既存擁壁作製時に測定したコンクリート表面の気泡面積率は、剥離剤 A~D を使用した場合に比べ透水型枠を使用した場合は低い値を示すことが確認されており、図 4 と同様の傾向が見られた。しかし、剥離剤条件の違いによる表面透水係数への影響については、動粘度の違いによる傾向が見られなかったため、今後の検討課題となる。

5. さいごに

本研究では、WAPP を用いた透水試験に着目した。WAPP を用いた透水試験では、非破壊にて水密性を現位置で測定することが可能となる。技術研究所内の既存擁壁における測定結果から、表面透水係数と日照条件に相関関係がみられた。コンクリート表面は、降雨と日照の繰り返し

表 1 既存擁壁の使用材料

材料名	材料の種類	記号
セメント	普通ポルトランドセメント 比重3.16	OP
細骨材	霞ヶ浦産陸砂 F.M.2.60 表乾比重2.59 実積率65.7%	S
粗骨材	筑波産砕石2005 表乾比重2.70 実積率60.8%	G
混和剤	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系
	AE剤	ポリオキシエチレンアルキルエーテル系
	増粘剤(V) (分離低減剤)	セルロース系
		SF

表 2 既存擁壁の配合

W/C (%)	s/a (%)	単重量 (kg/m ³)				SP (C×Wt%) [※]	AE (G×Wt%) [※]	V 種類 (kg/m ³)
		W	C	S	G			
50	51.1	185	370	865	861	2.3	0.013	SF

※セメントに対する重量比

表 3 型枠・剥離剤条件

1	透明型枠	アクリル製
2	透水型枠	2層構造(綿布+透水ポリエステルシート)
3	剥離剤A	鉱油系 低粘度(4.5m ² /s)
4	剥離剤B	鉱油系 中粘度(6.5m ² /s)
5	剥離剤C	鉱油系 高粘度(9.4m ² /s)
6	剥離剤D	水溶性(粘度: 48.1cp)

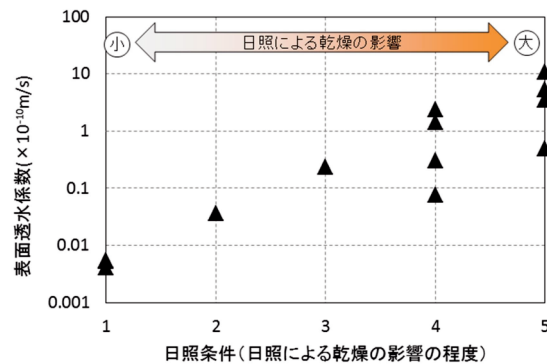


図 3 表面透水係数と日照条件の比較

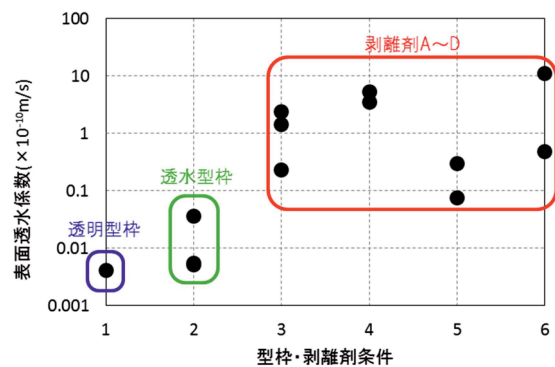


図 4 表面透水係数と型枠・剥離剤条件の比較

により、コンクリート表面は風化し劣化する。今回、表面透水係数と日照条件、型枠条件に相関関係がみられたことから、WAPP を用いた透水試験がコンクリートの品質評価方法として適用できる可能性があるかと判断した。

今後は、コンクリート品質の定量的な評価方法

の確立を目的として、異なる配合、施工条件で作製された供試体での測定や表面透水係数と圧縮強度、中性化深さなどとの比較検討を行い、測定データの拡充を行ってゆきたい。

謝 辞 本研究実施に際して、九州産業大学豊福俊泰名誉教授に多大なご助言を頂いたことに謝意を表します。また、確認試験においては、エフティーエス株式会社のご尽力を賜りましたことに御礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 土木学会規準：硬化コンクリートのテストハンマー強度の試験方法(案)(JSCE-G 504-2013).
- 2) 村田二郎：コンクリートの水密性とコンクリート構造物の水密性設計, 技報堂出版, pp.35-52, 2002.
- 3) 小林一輔、牛島栄：コンクリート構造物の維持管理, 森北出版, pp.42-69, 2006.
- 4) RILEM : RILEM TC 116-PCD:Permeability of Concrete as a Criterion of its Durability, Materials and Structures, Vol.32, pp.174-179, 1999.
- 5) 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面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.
- 6) 豊福俊泰ほか：ダブルチャンバー透水性・透気性試験機による表面コンクリートの非破壊検査法の開発, コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム論文集 (Vol.5), pp.277-282, 2015.
- 7) 豊福俊泰ほか：ダブルチャンバー透気性試験・ダブルチャンバー透水性試験による表層コンクリートの非破壊検査法の技術開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp.1801-1806, 2015.
- 8) 高橋典子ほか：ダブルチャンバー透水性・透気性試験機における表層コンクリートの非破壊

検査法に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.2025-2030, 2016.

9) 豊福俊泰ほか：ダブルチャンバー透気性試験・ダブルチャンバー透水性試験による RC 床版の表層品質評価事例, コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム論文集 (Vol.5), pp.283-288, 2015.

10) 小野塚剛ほか：高流動コンクリートの表面性状に及ぼす材料・施工方法の影響, 土木学会第50回年次学術, pp.1100-1101, 1995.