

7. ダブルチャンバー式加圧透水・透気試験機(WAPP)法での透水試験適用事例

その1 壁構造模擬供試体

The Application Example of the Water Permeability Test Using Double-chamber Water/Air Pressure Permeability Tester (WAPP) Method (Part 1) The Mock Wall Specimen

後藤佳子* 谷口克彦* 村田康平** 牛島 栄***

—概要—

コンクリート構造物の施工品質を確保することが「公共工事の品質確保の促進に関する法律」より求められており、その品質評価手法の確立が重要となる。しかし、多くの場合その測定はコンクリート構造物を対象に非破壊で実施されなければならない。現在、コンクリート構造物の耐久性を評価する指標の1つである水密性を現場で非破壊測定する方法が着目されている。本開発では、その方法としてダブルチャンバー式加圧透水・透気試験機(WAPP)を用いた透水試験(以下、WAPP法という)を適用し、評価手法への利用検討を進めている。本報では、その適用例として壁構造模擬供試体での測定結果を報告する。

—WAPPを用いた透水試験の概要—

WAPPを用いた透水試験は、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(標準水圧:55kPa)で水を透水させた際の透水量を測定し、右記の式より表面透水係数P値を求め水密性を評価するものである。非破壊かつ現場での測定が可能であり、操作が簡易的であることが特徴として挙げられる。

〈表面透水係数P値算出式〉

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

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)

—壁構造模擬供試体における測定—

壁構造模擬供試体は、3種類の配合からなり、測定面により施工条件(型枠・剥離剤条件、養生条件)が異なる。WAPP法の測定結果から、透水量の経時変化を確認することができ、表層透水係数P値が測定できることを確認した(図1参照)。本報におけるWAPP法の測定結果より、今回測定した壁構造模擬供試体は初期の条件(配合や施工条件)よりその後の設置環境などの影響を複合的に受けているという考察が得られた。

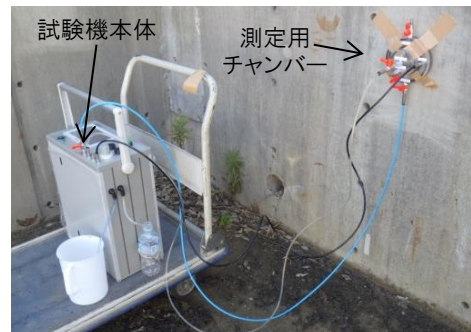


写真1 WAPP法の実施状況

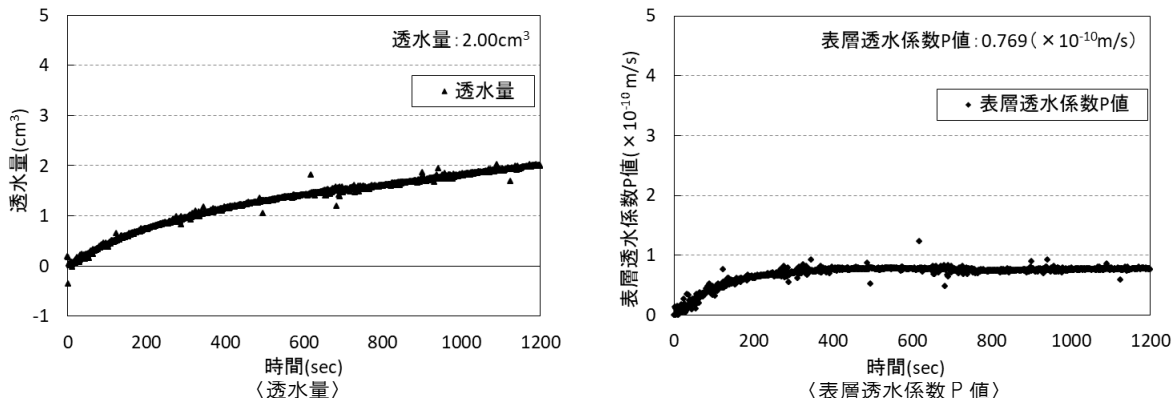


図1 透水量および表層透水係数P値の経時変化例

※本報の内容は、既発表論文(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.6)pp.171-174,2018.8)に図を加え、再構成したものである。

*技術研究所 材料研究部 新材料研究室

**技術研究所 材料研究部 コンクリート研究室

***執行役員 技術研究所長

ダブルチャンバー式加圧透水・透気試験機(WAPP)法での透水試験適用事例 その1 壁構造模擬供試体

The Application Example of the Water Permeability Test Using Double-chamber Water/Air Pressure Permeability Tester (WAPP) Method (Part 1) The Mock Wall Specimen

○後藤 佳子* 谷口 克彦* 村田 康平** 牛島 栄***
Yoshiko GOTO Katsuhiko TANIGUCHI Kohei MURATA Sakae USHIJIMA

ABSTRACT The quality attainment of the concrete structure is required, therefore, it is important that the evaluation method of concrete quality is established. Most of the test to measure the concrete quality must be nondestructive method. The water tightness would be included as the index for the concrete quality. The water tightness can be expressed by the water permeability. In this investigation, the water permeability test using double-chamber water/air pressure permeability tester (WAPP) method is applied for nondestructive measuring method of the water permeability. The authors carried out the WAPP method for the mock wall specimen at the age of 22 years. From the measuring data, WAPP method should be able to measure the change of the permeability water volume, and the mock wall specimen could be affected from the setting and exposure condition.

Keywords: 透水試験, 非破壊検査, 耐久性, 高流動コンクリート
Water permeability test, Nondestructive measuring method, Durability, Self-Compacting Concrete

1. はじめに

コンクリート構造物の施工品質を確保することが「公共工事の品質確保の促進に関する法律」により求められており、コンクリート構造物の品質を確保し、さらに向上するための手引きや指針、ガイドラインなどが作成されている。これらの背景より、コンクリート構造物の品質確保を目的とした品質評価手法の確立が重要となる。

品質評価を目的としたコンクリート構造物における測定は、多くは、非破壊で実施されなければならない。非破壊による測定方法としては、テストハンマーを用いた強度推定、鉄筋探査によるかぶり厚さの測定などが挙げられる。一方で、コンクリート構造物の耐久性評価の指標となる水密性の測定には、インプット法やアウトプット法など試験方法¹⁾があるが、これらは室内試験となっ

ており、測定にはコンクリートコアの採取が不可欠である。

コンクリート構造物を対象とした非破壊による透水試験は、施工時の品質確保だけでなく、供用中のコンクリート構造物の品質評価への適用も可能であり、試験方法の確立が求められている。

そこで、非破壊による透水試験としてダブルチャンバー式加圧透水・透気試験機(WAPP)法(以下、WAPP法という)に着目し、弊社技術研究所が所有する壁構造模擬供試体にて測定を実施した。本報では、適用事例として測定結果の一部を報告する。

2. WAPP法の概要および測定方法

WAPP法で用いられる試験機は、豊福らによって開発されたダブルチャンバー式加圧透水・透気試験機²⁾である。試験機および試験状況を写真

*技術研究所 材料研究部 新材料研究室 **技術研究所 材料研究部 コンクリート研究室
***執行役員 技術研究所長

※本報の内容は、既発表論文(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.6)pp.171-174,2018.8)に図4を加え、再構成したものである。

1に示す。試験機は、試験機本体と測定箇所を設置するダブルチャンバーからなる。ダブルチャンバーは、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。ダブルチャンバーの写真および概要を図1に示す。外側チャンバー内部の空気を吸引し真空状態にすることにより、ダブルチャンバーを測定面に固定し、非破壊による測定を可能とする。内側チャンバーの内部を水で満たし、内側チャンバーから水を測定面に対して加圧透水したときの透水量を測定する。

WAPP法で測定された、透水量、透水圧力から次式を用いて表層透水係数P値が求められる。

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

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）

水密性が高いほど透水量が小さくなるため、表層透水係数P値は低い値となる。一方、水密性が低い場合、透水量が大きくなるため表層透水係数P値が高い値を示す。

今回の測定における加圧透水時の水圧は標準水圧である55kPa³⁾とし、加圧透水時間は20分間とした。また、測定時に遮水性シール材（保水性極軟質粘土）を貼付けるとこにより、ダブルチャンバーを測定面に密着させ測定時のチャンバーからの漏水を防いだ。

3. 壁構造模擬供試体での適用事例

3.1 壁構造模擬供試体⁴⁾

試験は、弊社所有の壁構造模擬供試体⁴⁾にてWAPP法を用いて実施した。WAPP法を実施した壁構造模擬供試体は、寒中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製され、作製後は屋外に設置され

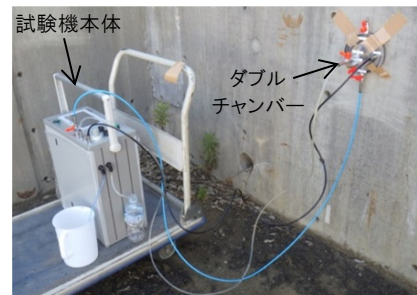


写真1 WAPPを用いた透水試験実施状況



〈写真〉

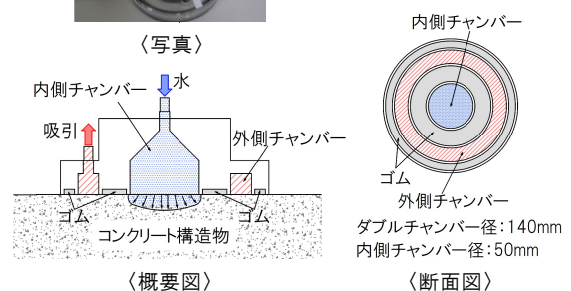


図1 ダブルチャンバー概要図²⁾

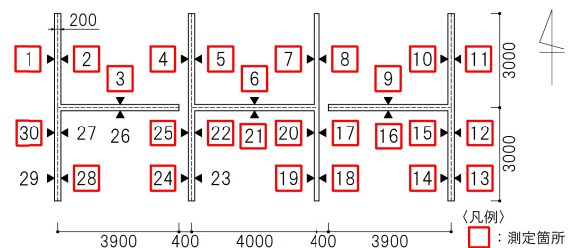


図2 壁構造模擬供試体概念図

表1 壁構造模擬供試体の使用材料

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 密度3.16g/cm ³	OP	
	中熟熱3成分セメント 密度2.85g/cm ³ (中熟熱セメント:高炉スラグ:フライアッシュ=2:2:1)	MBF	
細骨材	霞ヶ浦産陸砂 表乾密度2.59g/cm ³ 粗粒率2.60	S	
粗骨材	筑波産砕石2005 表乾密度2.7Gg/cm ³ 実積率60.8%	G	
混和剤	高性能AE減水剤:ポリカルボン酸系	SP	
	AE剤:ポリオキシエチレンアルキルエーテル系	AE	
	増粘剤(V) (分離低減剤)	微生物菌体系	DP
		多糖類ポリマー系	BP
	水溶性セルロース系	SF	

表2 壁構造模擬供試体の配合

配合	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					SP (C×Wt%) ^{**}	AE (C×Wt%) ^{**}	V 種類 (kg/m ³)	
			W	OP	MBF	S	G				
MBF-DP	35	47	175	-	500	741	861	1.2	0.005	DP	1
MBF-BP	35	47	175	-	500	741	861	1.2	0.02	BP	0.8
OP-SF	50	51	185	370	-	865	861	2.3	0.013	SF	0.4

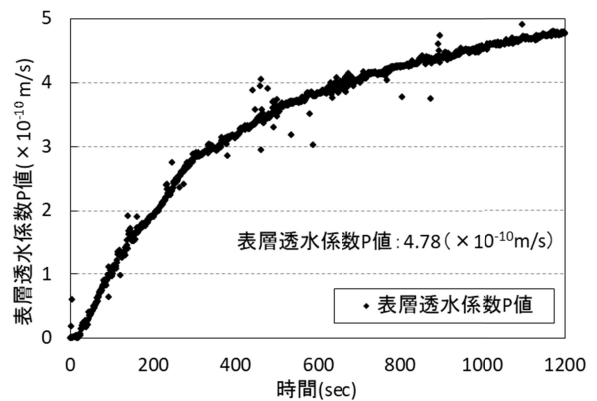
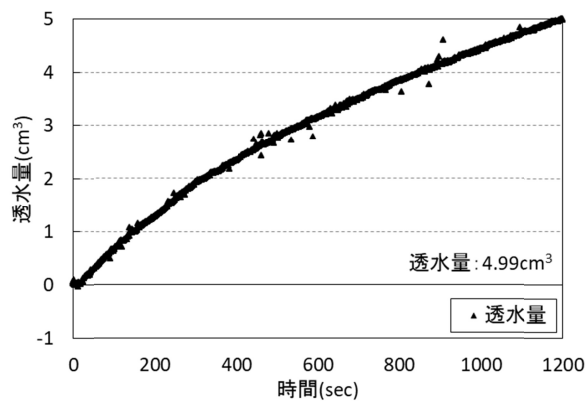
^{**}セメントに対する質量比

たものである。壁構造模擬供試体の概念図、使用材料および配合を図2、表1、表2に示す。なお、測定時の材齢は22年となる。

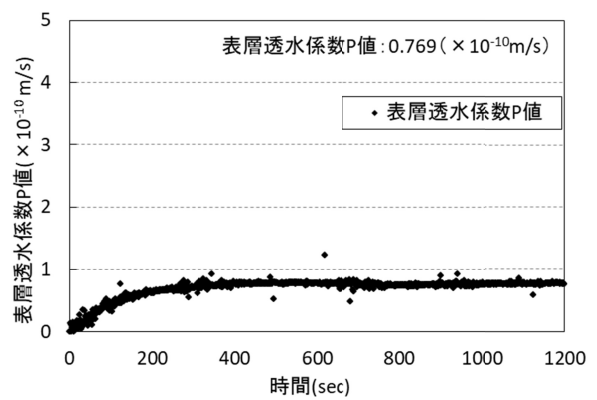
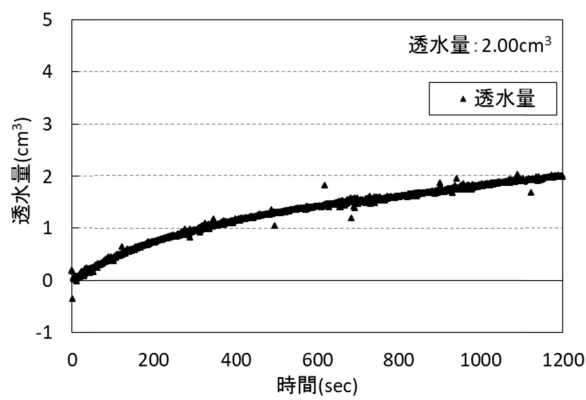
3.2 WAPP 法実施時の透水量、表層透水係数 P 値

WAPP 法実施時の透水量および表層透水係数 P 値の推移を図3に示す。図3の透水量を示すグラフより、WAPP 法を屋外に設置した壁構造模擬供試体を対象として実施した場合においても、測定時の透水量の経時変化を確認することがで

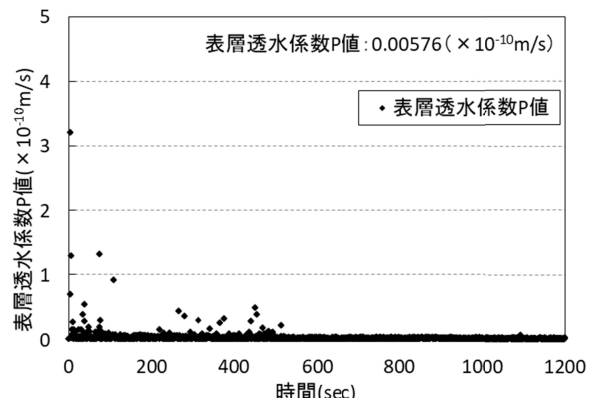
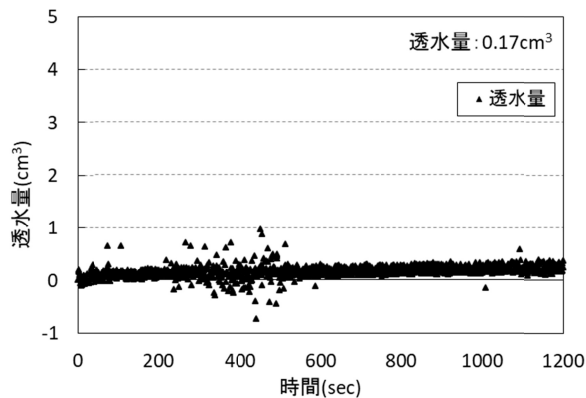
きる事が分かる。また、測定時の表層透水係数 P 値の変化は、①表層透水係数 P 値が常に増加するもの、②測定開始時の表層透水係数 P 値は増加するが最終的には一定の値を示すもの、③表層透水係数 P 値が減少する傾向を示すものの3つのパターンに分かれる傾向が見られる。3つ目のパターンは、透水量および表層透水係数 P 値が小さい場合に多く見られた。



(1) 経時変化例①：表層透水係数 P 値が常に増加するもの(測定箇所 3)



(2) 経時変化例②：表層透水係数 P 値が最終的には一定の値を示すもの(測定箇所 2)



(3) 経時変化例③：表層透水係数 P 値が減少する傾向を示すもの(測定箇所 9)

図3 透水量および表層透水係数 P の経時変化 (左グラフ：透水量、右グラフ：表層透水係数 P 値)

表3 各測定箇所における施工条件

配合	測定箇所	施工条件		配合	測定箇所	施工条件		配合	測定箇所	施工条件	
		型枠・剥離剤	養生			型枠・剥離剤	養生			型枠・剥離剤	養生
MBF-BP	1	透水	暴露養生	MBF-DP	9	透明	加熱養生	OP-SF	4	透水	シート養生
	2	透明	暴露養生		10	透明	シート養生		5	透明	シート養生
	3	透明	シート養生		11	透水	シート養生		6	透明	加熱養生
	28	合板B	暴露養生		12	合板C	シート養生		7	透明	シート養生
	30	合板C	暴露養生		13	合板D	シート養生		8	透水	シート養生
			14		合板B	シート養生	17		合板C	シート養生	
			15		合板A	シート養生	18		合板D	シート養生	
			16		合板A	加熱養生	19		合板B	シート養生	
						20	合板A		シート養生		
						21	合板A		加熱養生		
						22	合板A		シート養生		
						24	合板D	シート養生			
						25	合板C	シート養生			

【型枠・剥離剤条件】
 透水: 透水性型枠
 透明: 透明型枠
 合板A: 合板型枠、剥離剤A(鉱油系低粘度)
 合板B: 合板型枠、剥離剤B(鉱油系中粘度)
 合板C: 合板型枠、剥離剤C(鉱油系高粘度)
 合板D: 合板型枠、剥離剤D(水溶性)

3.3 測定結果

測定を実施した壁構造模擬供試体は、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製されたため、表3に示すように測定箇所により型枠・剥離剤条件などの施工条件が異なる。表層透水係数 P 値を型枠・剥離剤条件ごとに図4に示す。表2より、各配合の水セメント比は、配合 MBF-BP、MBF-DP は 35%、配合 OP-SF は 50%であり、図4では、水セメント比が低い配合 MBF-BP は他の配合に比べ、表層透水係数 P 値が概ね高い値を示した。水セメント比が小さいほど、コンクリートは密になるため、表層透水係数 P 値が低くなると考えられたが、想定と異なる傾向を示した。また、表3に示す型枠・剥離剤条件との相関性も確認できなかった。

そこで、図4の測定データに測定箇所を追記したものを図5に配合ごとで示す。図5中の数字は、破線で囲われた測定値の測定箇所を示している。図5より、同じ配合、型枠・剥離剤条件の場合でも、測定値にばらつきが見られ、特に(1)配合 MBF-BP の大きなばらつきが確認された。図5(1)、(2)に示す測定箇所を見ると同じ型枠・剥離剤条件においても、測定箇所の違いにより、異なる表層透水係数 P 値を示すことが確認された。

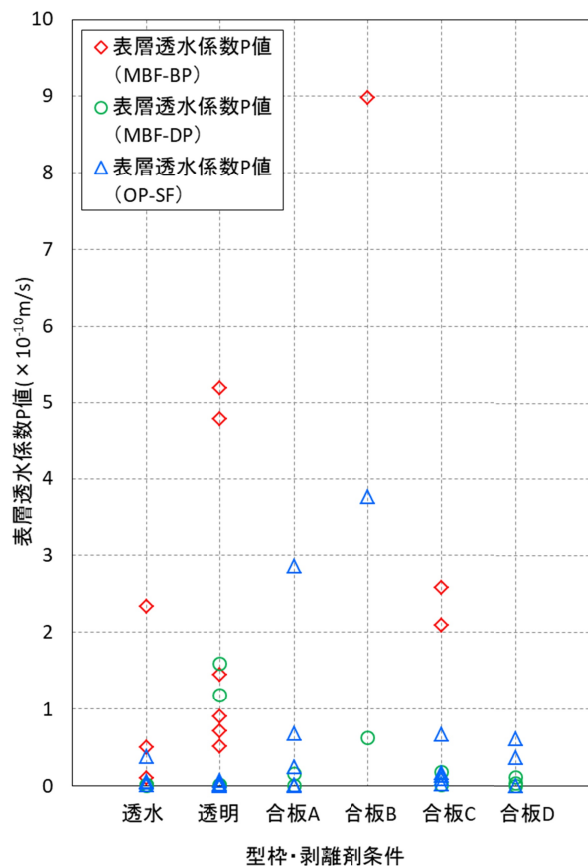


図4 型枠・剥離剤条件と表層透水係数 P 値

4. まとめ

今回、壁構造模擬供試体にて WAPP 法を実施し、屋外に設置されたコンクリート構造物においても透水量の経時変化を確認することができ、表層透水係数 P 値が測定できることを確認した。

今回の測定結果では、表層透水係数 P 値の経時変化は①常に増加するもの、②測定開始時は増

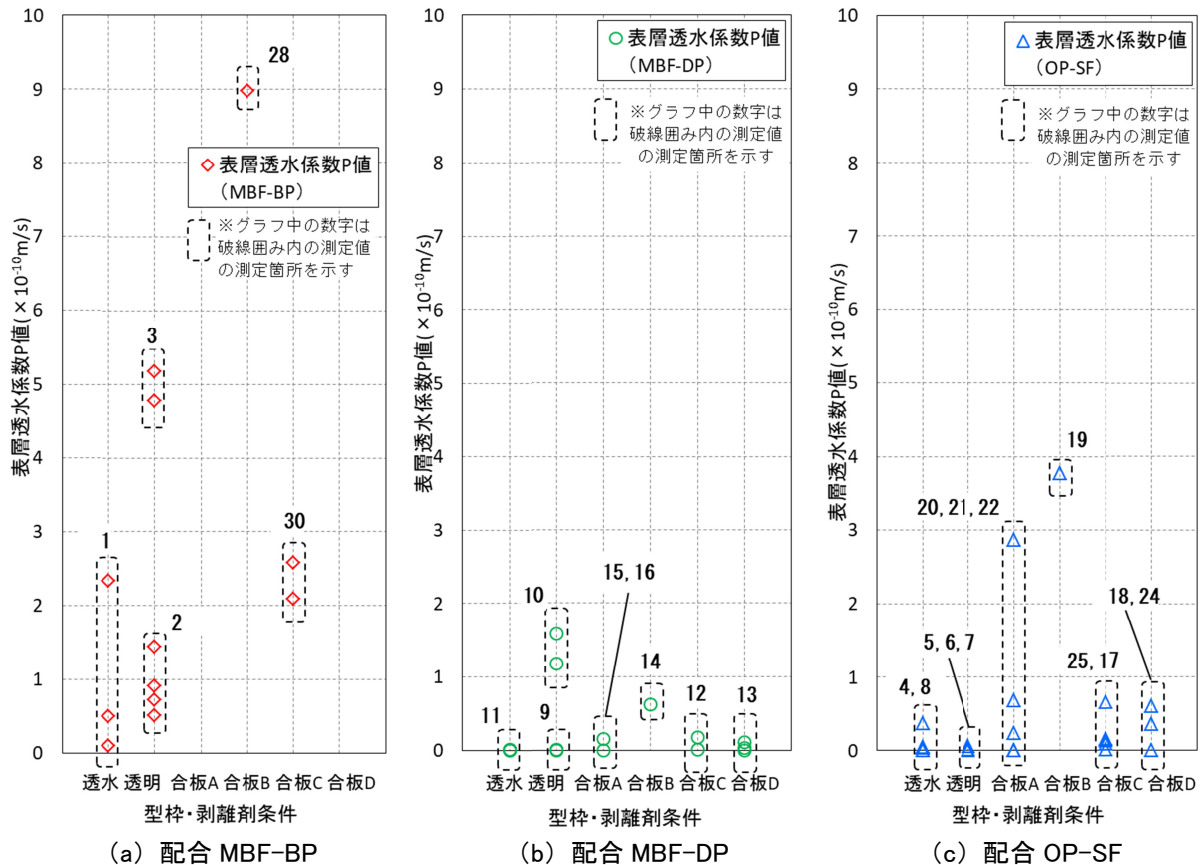


図5 測定箇所と表層透水係数 P 値

加するが最終的には一定の値を示すもの、③減少する傾向を示すものの 3 通りのパターンに分けられることが確認された。

また、今回測定を実施した壁構造模擬供試体での測定では、配合や型枠・剥離剤条件との相関性は確認されなかったが、同じ配合や型枠・剥離剤条件でも測定箇所が異なる場合は表層透水係数 P 値に違いが見られた。設置後 22 年経過しているため、初期条件である配合や施工条件（型枠・剥離条件）に加え、設置後の暴露環境などの影響を複合的に受けていたと考えられる。

今後は、新設コンクリート構造物の測定なども実施し、コンクリート構造物の品質評価を目的とした品質評価手法の確立を目指して行きたい。

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、試験の実施に際しエフティ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) 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, 2002.5.
- 2) 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, 2015.6.
- 3) 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.
- 4) 牛島栄, 舟川勲：寒中養生方法が各種混和材料を用いた高流動コンクリートの諸性状に及ぼす影響, 材料 第 53 巻 第 10 号, pp.1083-1090, 2004.10.