

技術講習会(第13回) ～コンクリートの品質確保～

# 山口県構造物の表層品質調査結果報告

---

広島大学 技術センター 松山 利和



広島大学

# 目的

山口県における「会いに行ける模範的構造物」や比較対象の山口システム導入前に建設された構造物，その後建設された新しい構造物を対象に，  
 耐久性の観点から重要となるコンクリート構造物の表層品質について非破壊試験による調査を実施し，結果を報告する。



# 鉄筋コンクリート構造物の 耐久性とは

# コンクリート構造物のひび割れ

鉄筋コンクリート構造物は力学的にはひび割れを許容しているが、耐久性の観点からは、ひび割れ幅を小さく制御する必要がある。

## 【代表例①：温度ひび割れ】

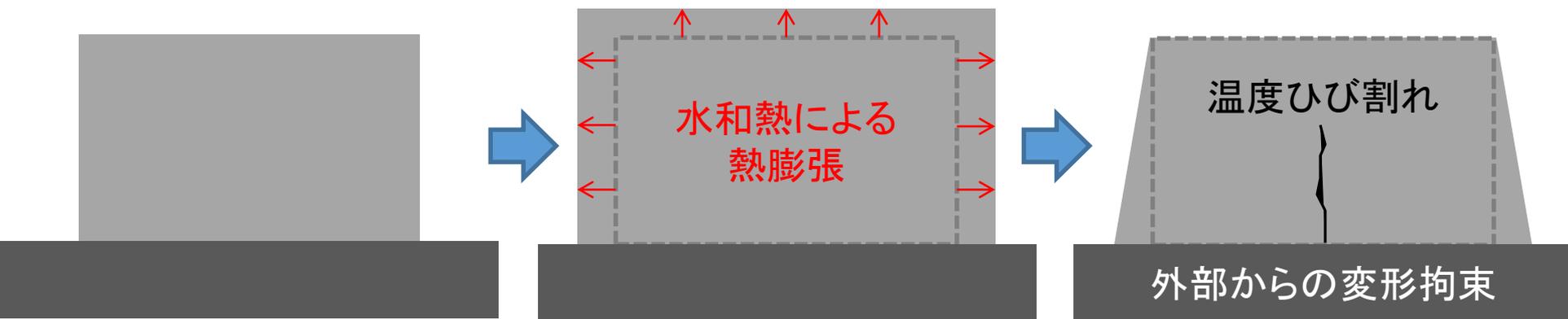
コンクリート硬化時の水和発熱による体積変化が拘束されることでひび割れが発生（以下の解説図を参照）

（対策）発熱抑制，鉄筋量増加，ひび割れ誘発目地など

## 【代表例②：収縮ひび割れ】

コンクリートの乾燥に伴う収縮が拘束されることでひび割れ発生

（対策）収縮抑制，鉄筋量増加，ひび割れ誘発目地など



# コンクリート構造物の耐久性

鉄橋のような塗装なしでも錆びない！

コンクリートのバリア機能

## ①物質透過性が低い

きちんとつくったコンクリートは、水やガス、イオンを通しにくい。  
例) 5.5年の加圧注水で40mm

## ②高アルカリ環境

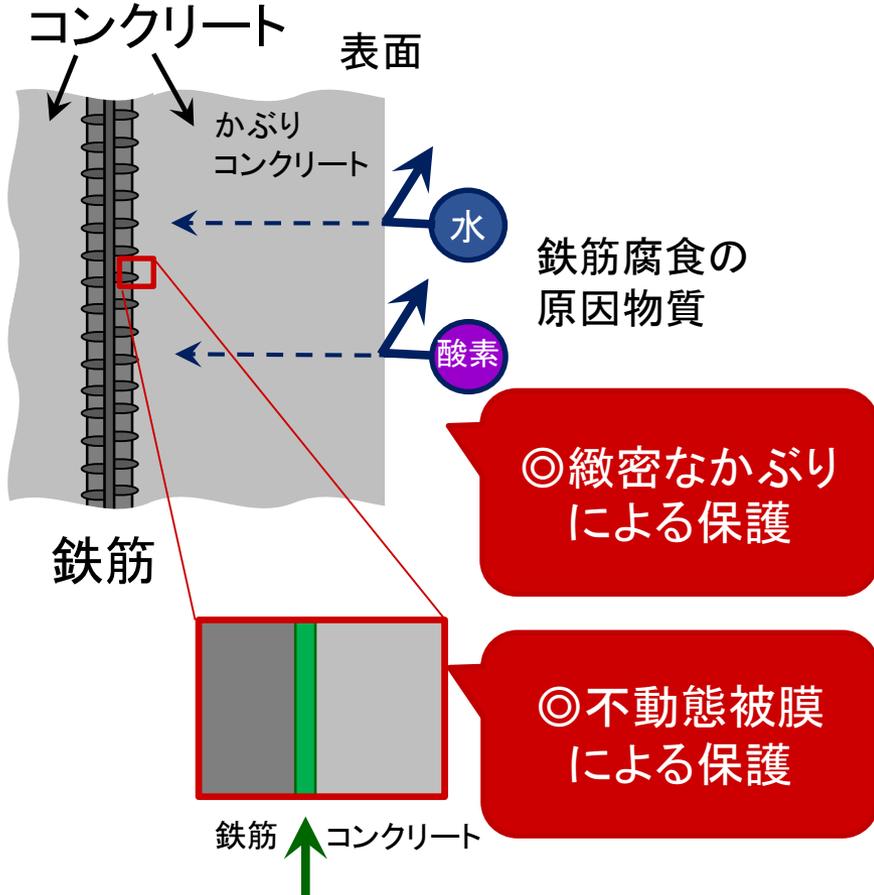
セメントの水和反応  
セメント + 水 → セメント水和物

・C-S-H

・ $\text{Ca}(\text{OH})_2$

pH=12.5

## ①健全なコンクリート構造物



◎緻密なかぶりによる保護

◎不動態被膜による保護

### 不動態被膜

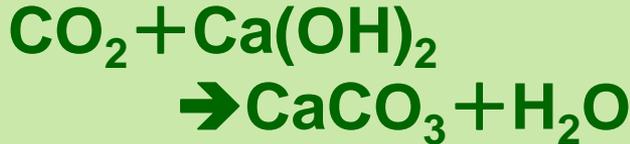
高アルカリ環境で鉄筋表面に形成される薄い酸化被膜  
(3nmの $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 層)

# コンクリート構造物の(早期)劣化

## 不動態被膜(保護層)の破壊

### ①アルカリ(pH)の低下 【中性化(炭酸化)】

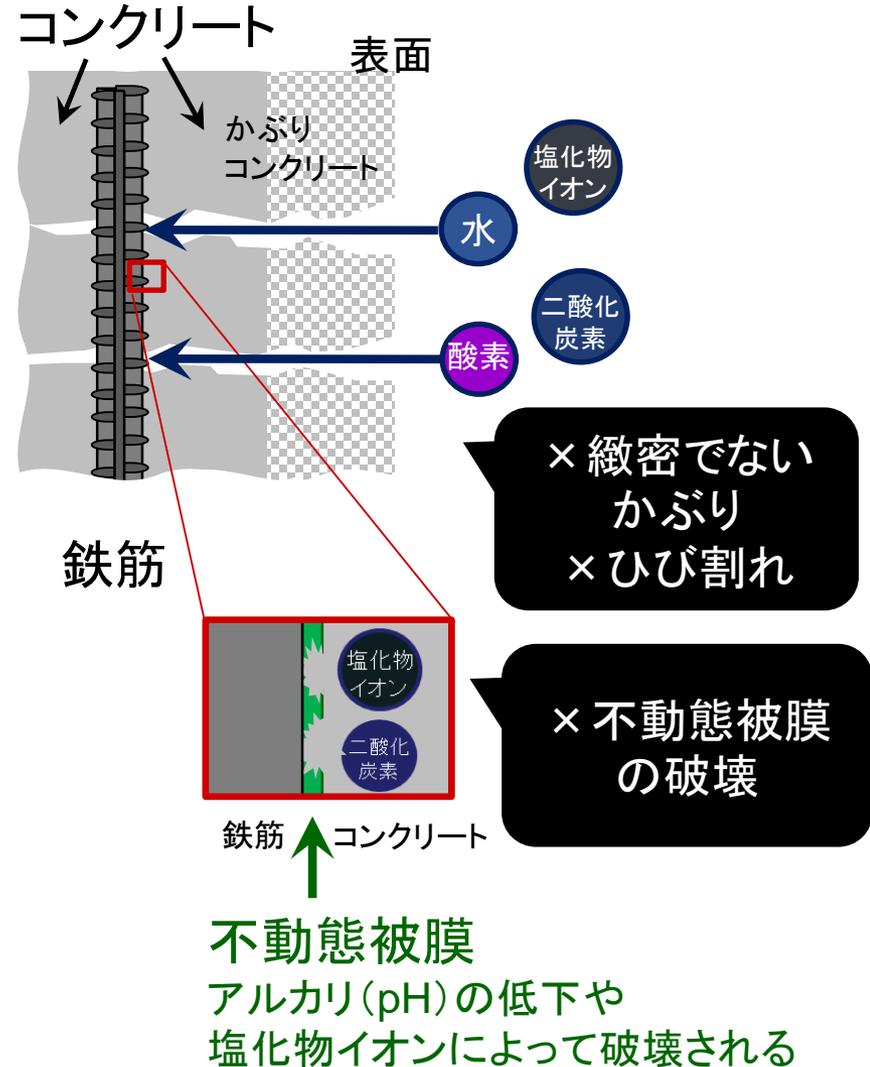
待機中のCO<sub>2</sub>がコンクリートに浸透し、アルカリと反応して、pHを低下、不動態被膜を破壊



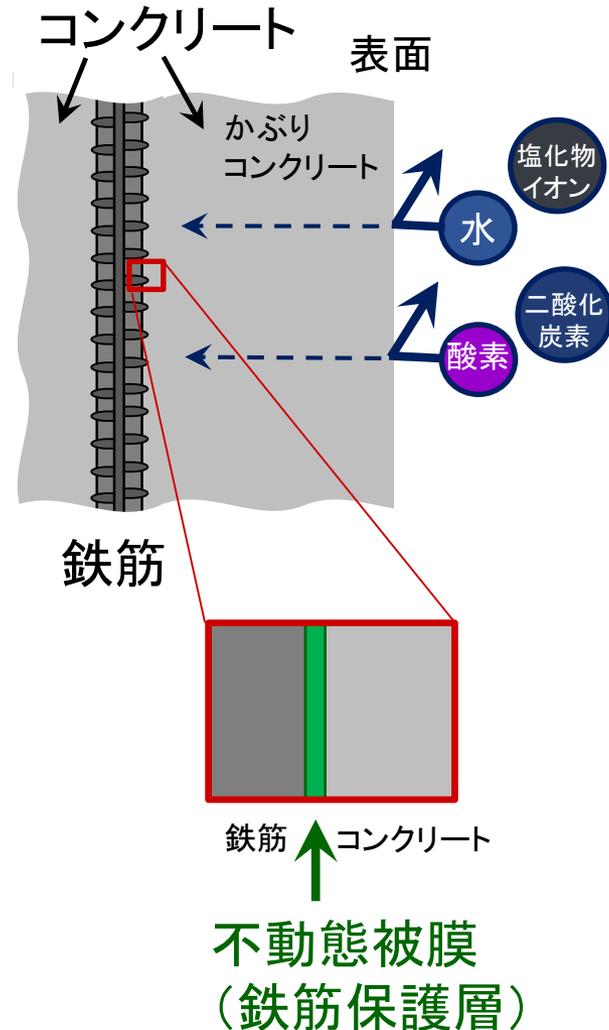
### ②塩化物イオンの作用 【塩害】

海水あるいは融雪剤中の塩化物イオン(Cl<sup>-</sup>)がコンクリートに浸透し、不動態被膜を破壊

## ②健全ではないコンクリート構造物



# 耐久的なコンクリート構造物



## 高耐久コンクリートにもとめられるもの

- ① 密実なかぶりコンクリート
- ② 十分なかぶり厚さ
- ③ 化学的に安定なコンクリート
- ④ 劣化環境の作用低減

## 対策を行う段階

A: 設計

B: 施工 (建設)

C: **検査**

D: 維持管理

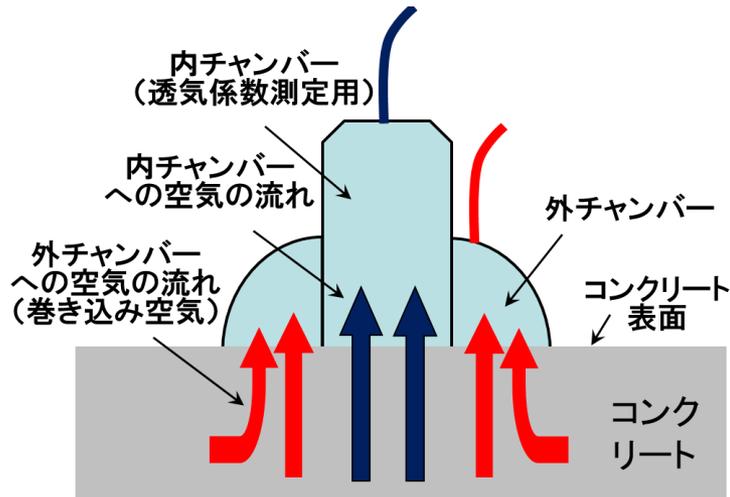
# 構造物の検査

(非破壊試験について)

# 構造物の検査：表層透気試験(トレント法)



Torrent氏提供



## ＜長所＞

表層コンクリートの物質移動抵抗性を直接に評価できる。

中性化速度係数などとの相関が高い，精緻な手法である。

スイスでは標準規格SIAに組み込まれた。

## ＜短所＞

やや測定に時間がかかる。

(1点につき6～12分)

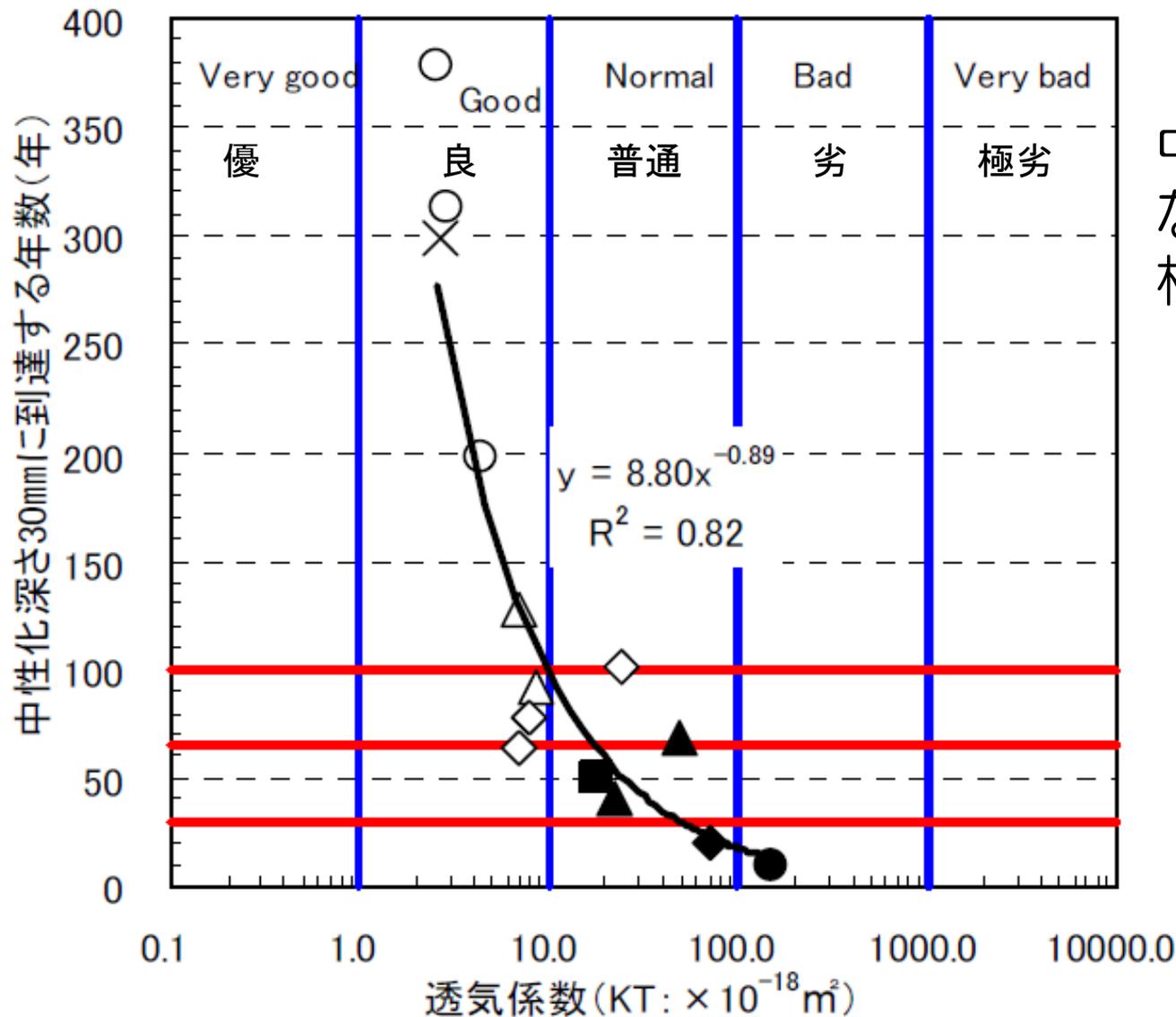
実務での実績が少ない。

含水比などの影響を受ける。

※ほかにも類似技術あり

(シングルチャンバー法，シール法，トリプルチャンバー法など)

# 構造物の検査：表層透気試験(トレント法)



中酸化速度係数  
などとの  
相関が高い

下澤, 今本  
ほか(2008)

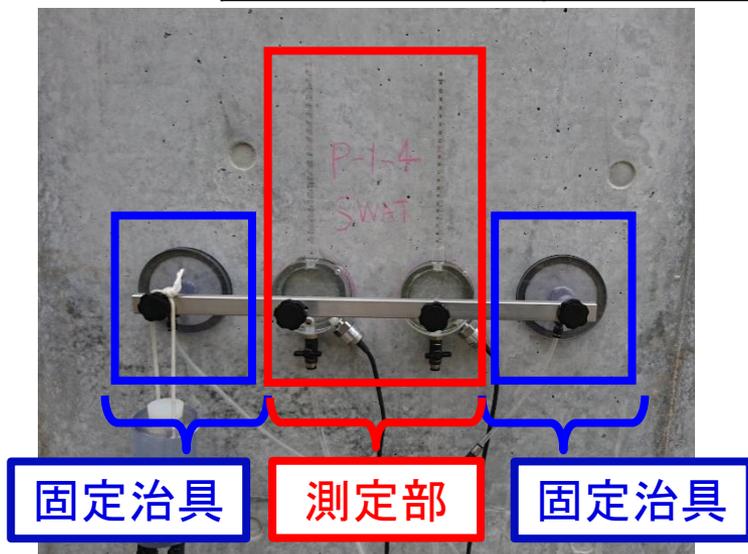
# 構造物の検査：表面吸水試験(SWAT法)

## SWAT法概要

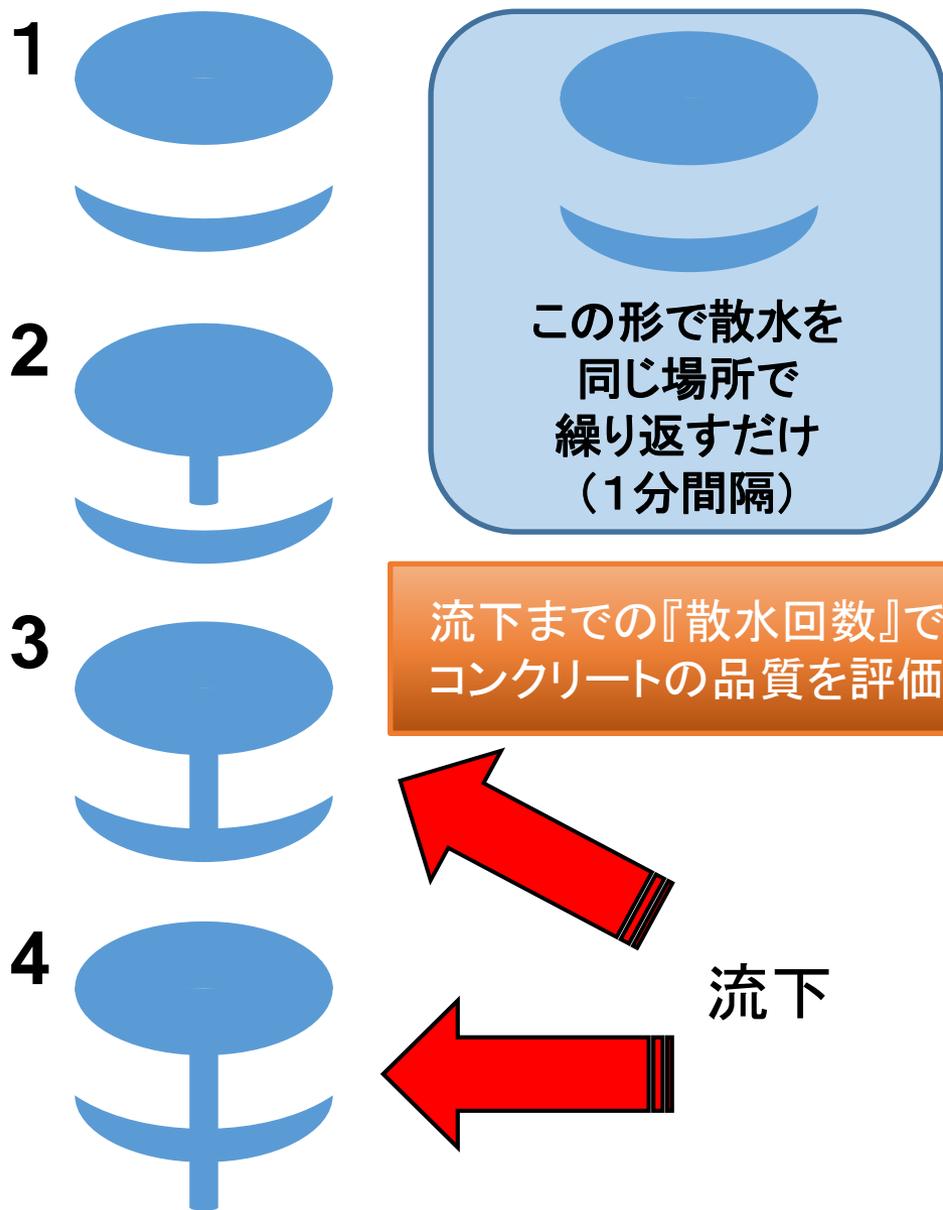
- 左右のパーツが固定治具でコンクリート構造物に固定し、中央のカップと上に伸びたシリンダーが吸水抵抗性の計測装置。
- カップおよびシリンダー内を水で満たし後、約600秒(10分)間、中央のカップからコンクリート構造物で吸水させる。
- 水位の低下状況を分析することで、表層コンクリートの緻密さ(表層コンクリートの空隙構造あるいは物質移動抵抗性)を評価することができる。

表-1 吸水速度係数評価区分

	良	一般	劣
吸水速度(ml/m <sup>2</sup> /s)	0.25以下	0.25~0.5	0.5以上



# 構造物の検査：散水試験



- コンクリート表面に専用のスプレーで散水し、目で水の状態を見ることで、コンクリートの緻密さを測定する。
- 一度に8箇所ほど同時に測定し、測定時間は最短で1分(最大20分)。

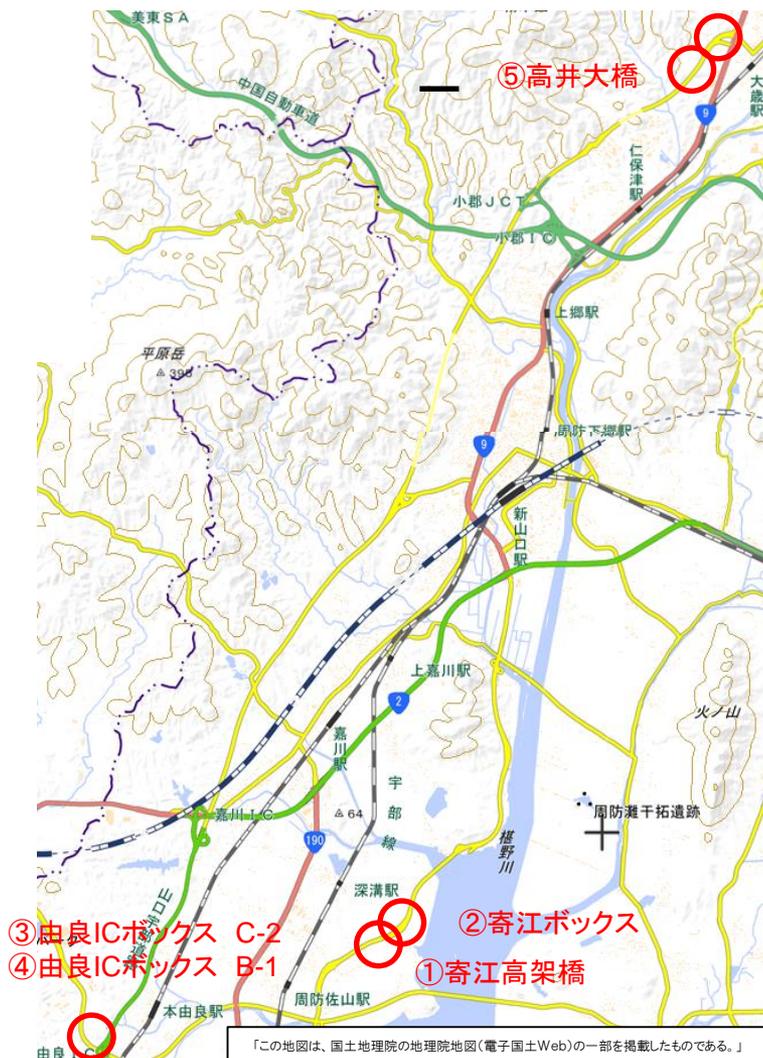


# 構造物の検査結果

(会いに行ける模範的構造物の表層品質測定)

# 測定概要

## 【測定対象】



- ⑥朝田ICランプ橋 A1橋台
- ⑦朝田ICランプ橋 A2橋台

表-1 測定概要

日時	2017年12月14, 15日
対象	山口県 会いに行ける模範的構造物
実施試験	表層透気試験・散水試験・表面吸水試験・テストハンマー
測定者	広島大学 / 半井・久堀・甲斐・下瀬・松山
立会者	山口県 / 澤村氏・池村氏

「この地図は、国土地理院の地理院地図(電子国土Web)の一部を掲載したものである。」

# 測定概要

## 【測定対象】

橋脚(P)および橋台(A)のたて壁, ボックスカルバート(B)の側壁

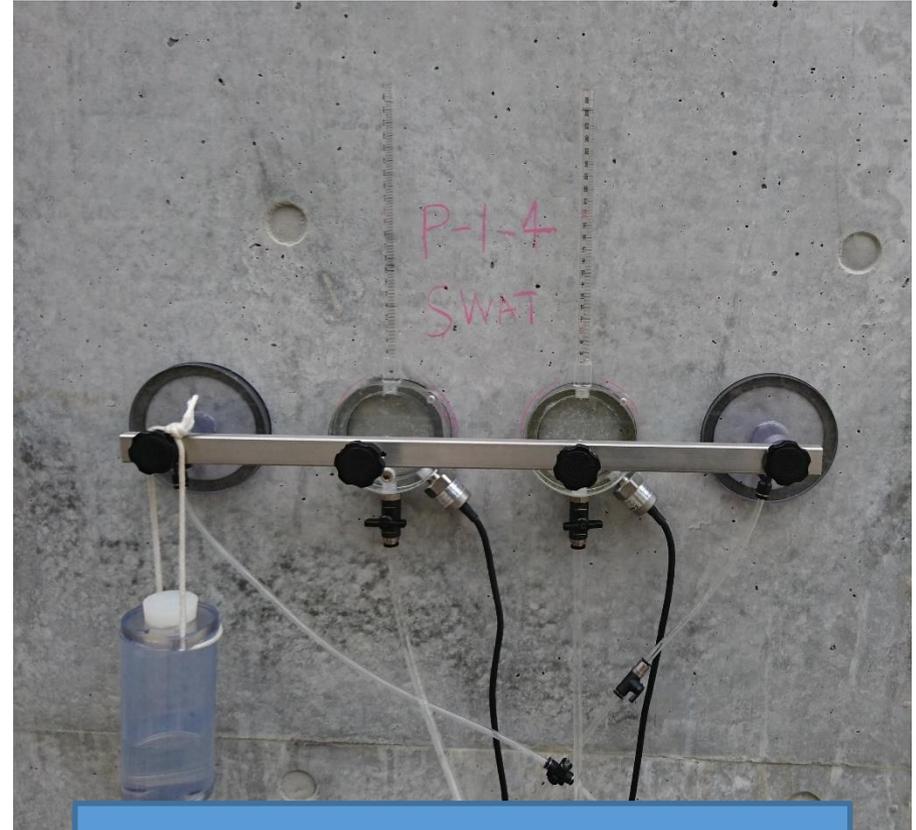
表-2 測定対象

構造物名	構造形式	山口システム 導入	打込み時期
寄江P	橋脚 たて壁	導入前	1998年1月
寄江B	ボックス 側壁	導入前	1998年1月
高井P	橋脚 たて壁	導入後	2009年2月
朝田A-1	橋台 たて壁	導入後	2010年3月
朝田A-2	橋台 たて壁	導入後	2010年4月
由良B C-2 東	ボックス 側壁	拡張後	2014年7月
由良B C-2 西	ボックス 側壁	拡張後	2014年7月
由良B B-1	ボックス 側壁	拡張後	2014年7月

## 【測定方法】



表層透気試験(トレント法)

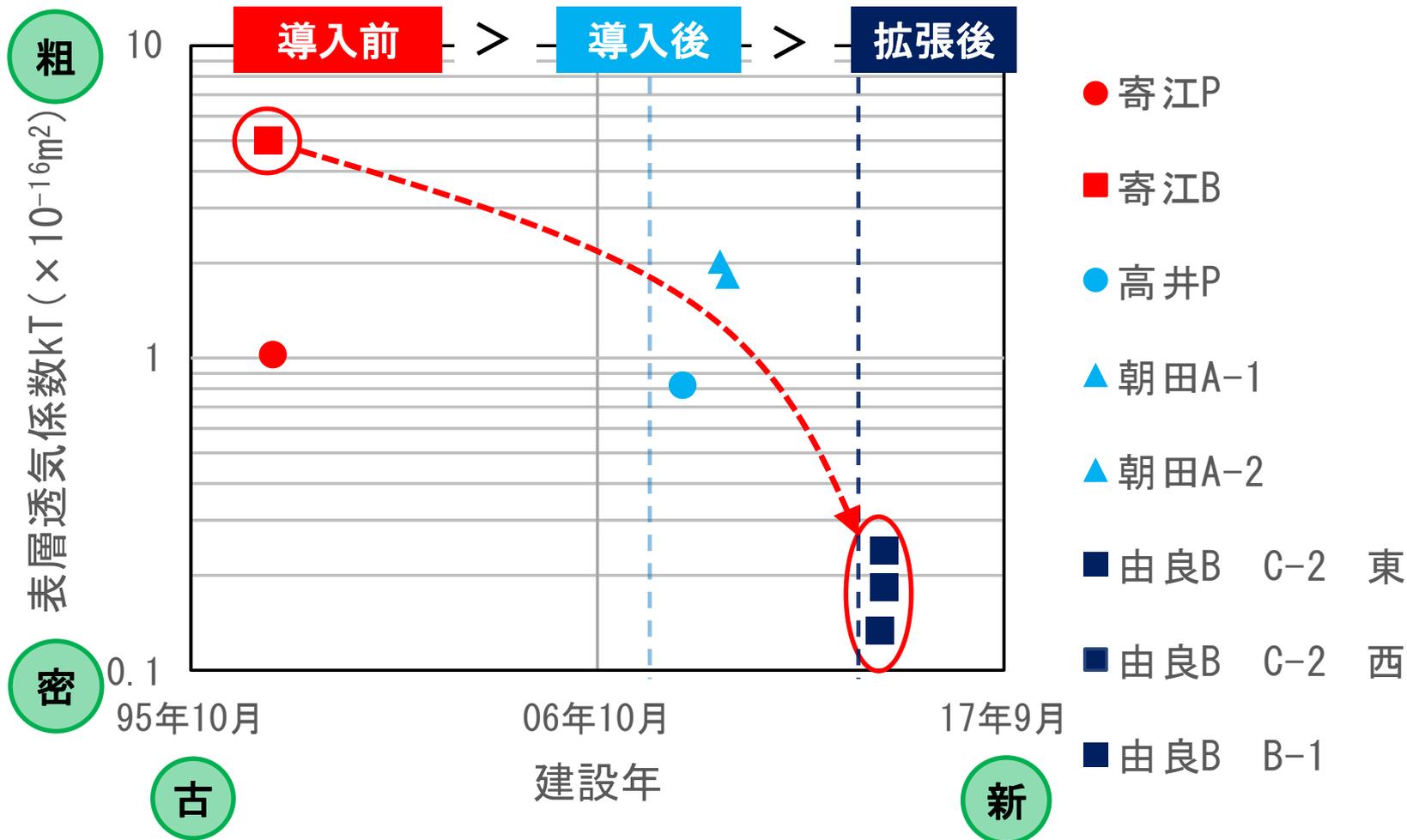


表面吸水試験(SWAT法)

その他, 表面含水率試験, 反発度試験

# 測定結果

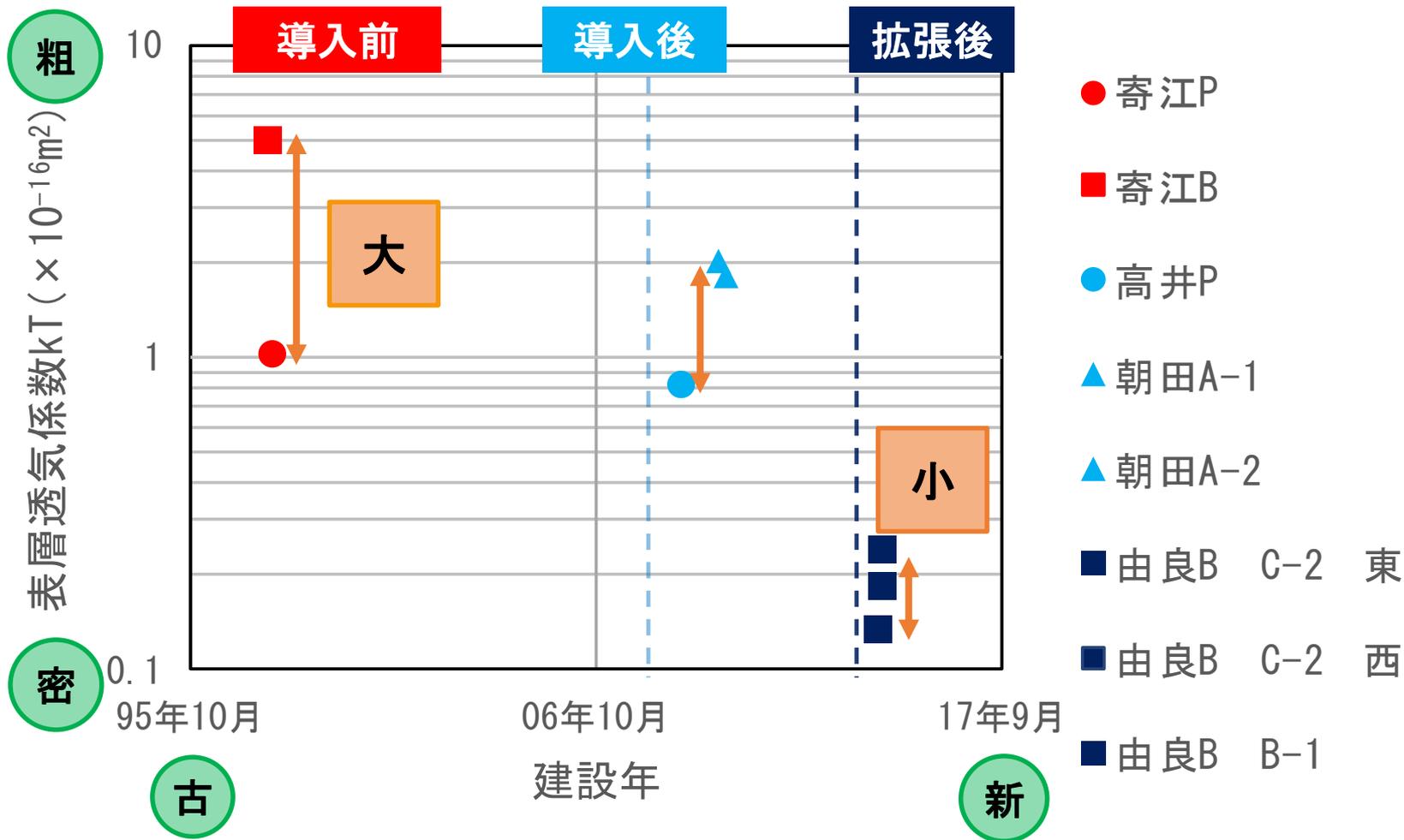
## ①表層透気係数と建設年の関係



➡ 表層透気係数は導入、拡張を経て徐々に低くなる傾向を示した。山口システムの導入および拡張することにより品質が向上したと考える。

# 測定結果

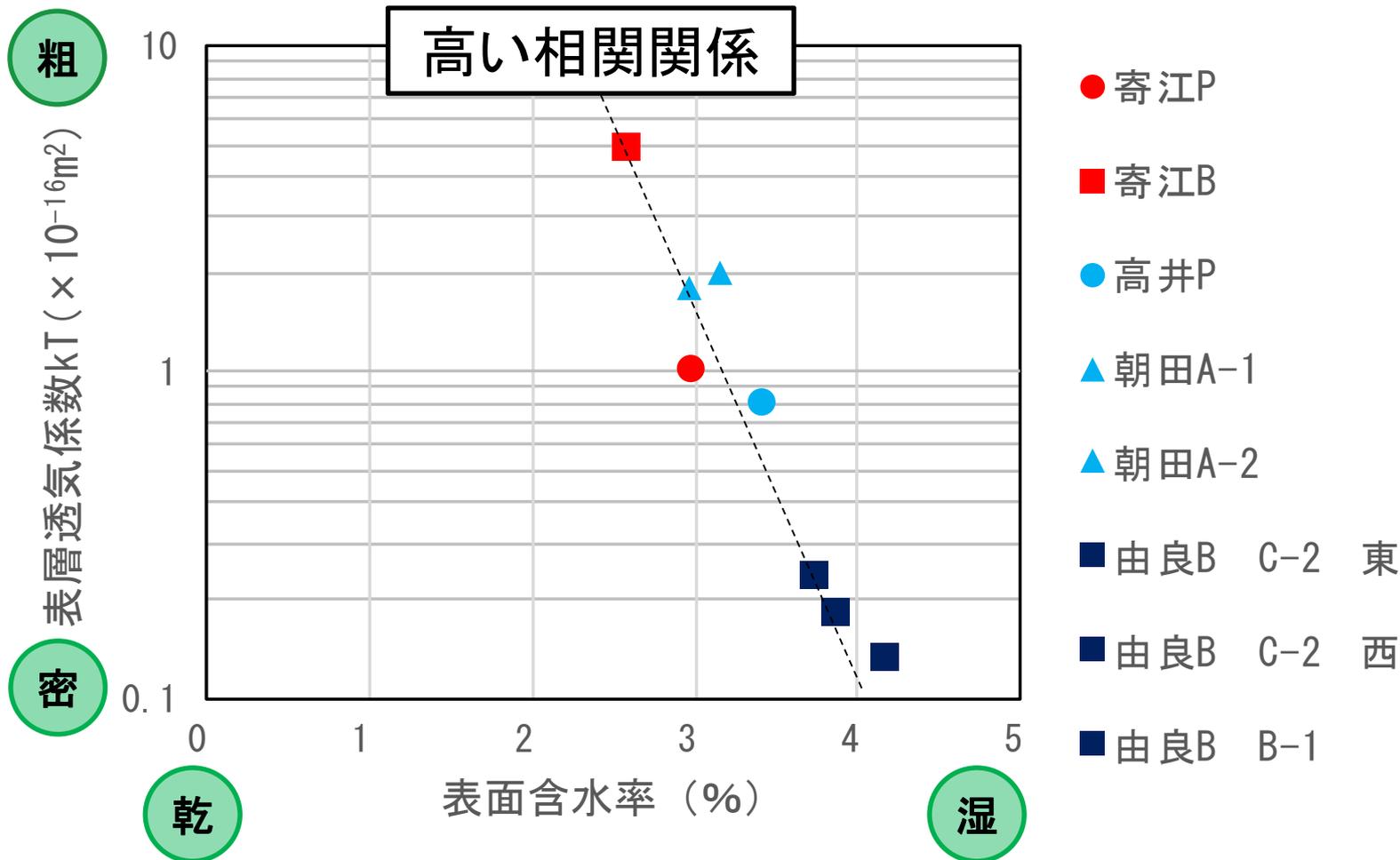
## ①表層透気係数と建設年の関係



ばらつきも小さくなっていることから  
 山口システム導入により構造物の品質安定にもつながった。

# 測定結果

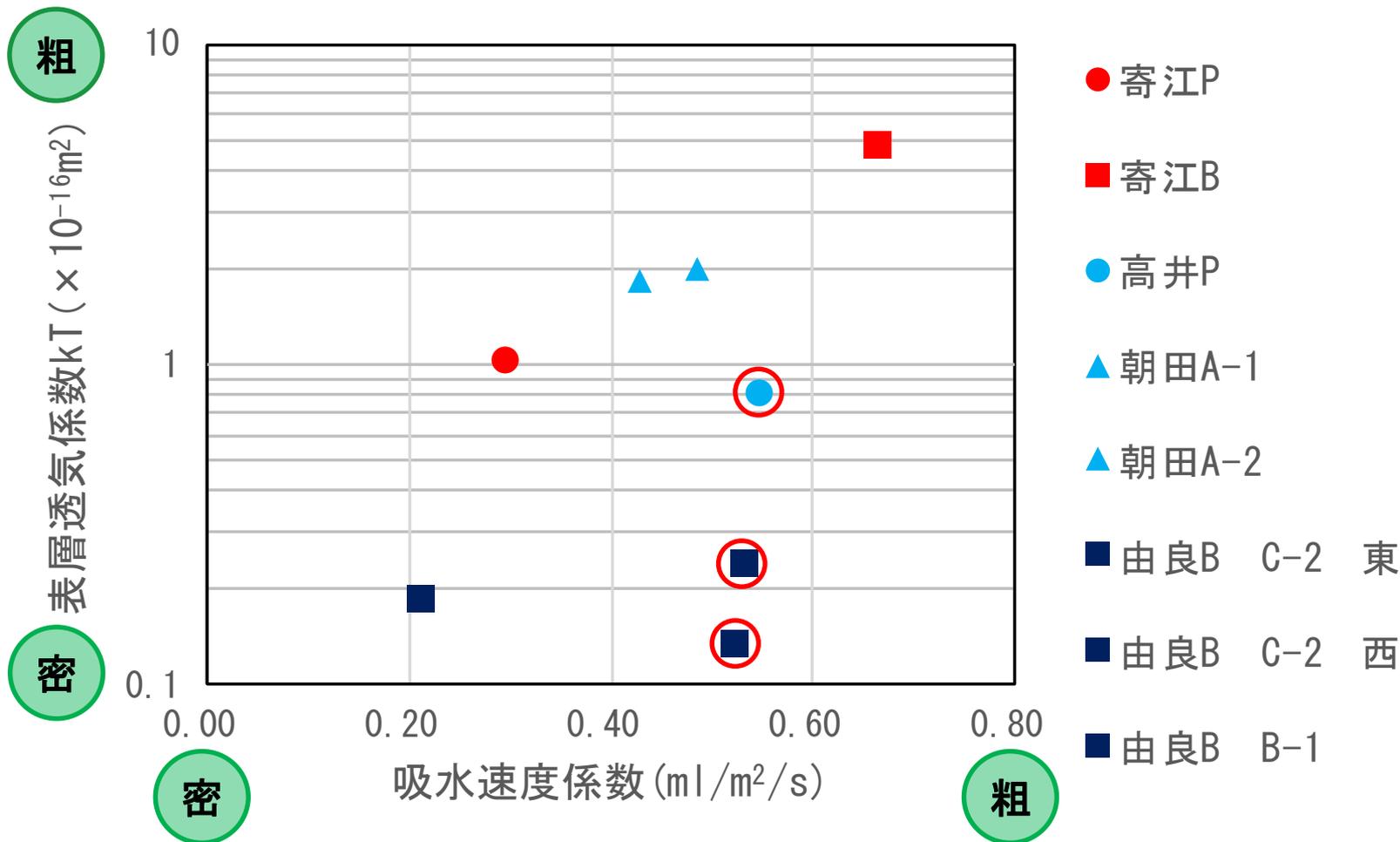
## ②表層透気係数と表面含水率の関係



密実なコンクリートが形成され、多くの小さな空隙が水分を保持しているため、乾燥しにくく、表面含水率が高くなった。

# 測定結果

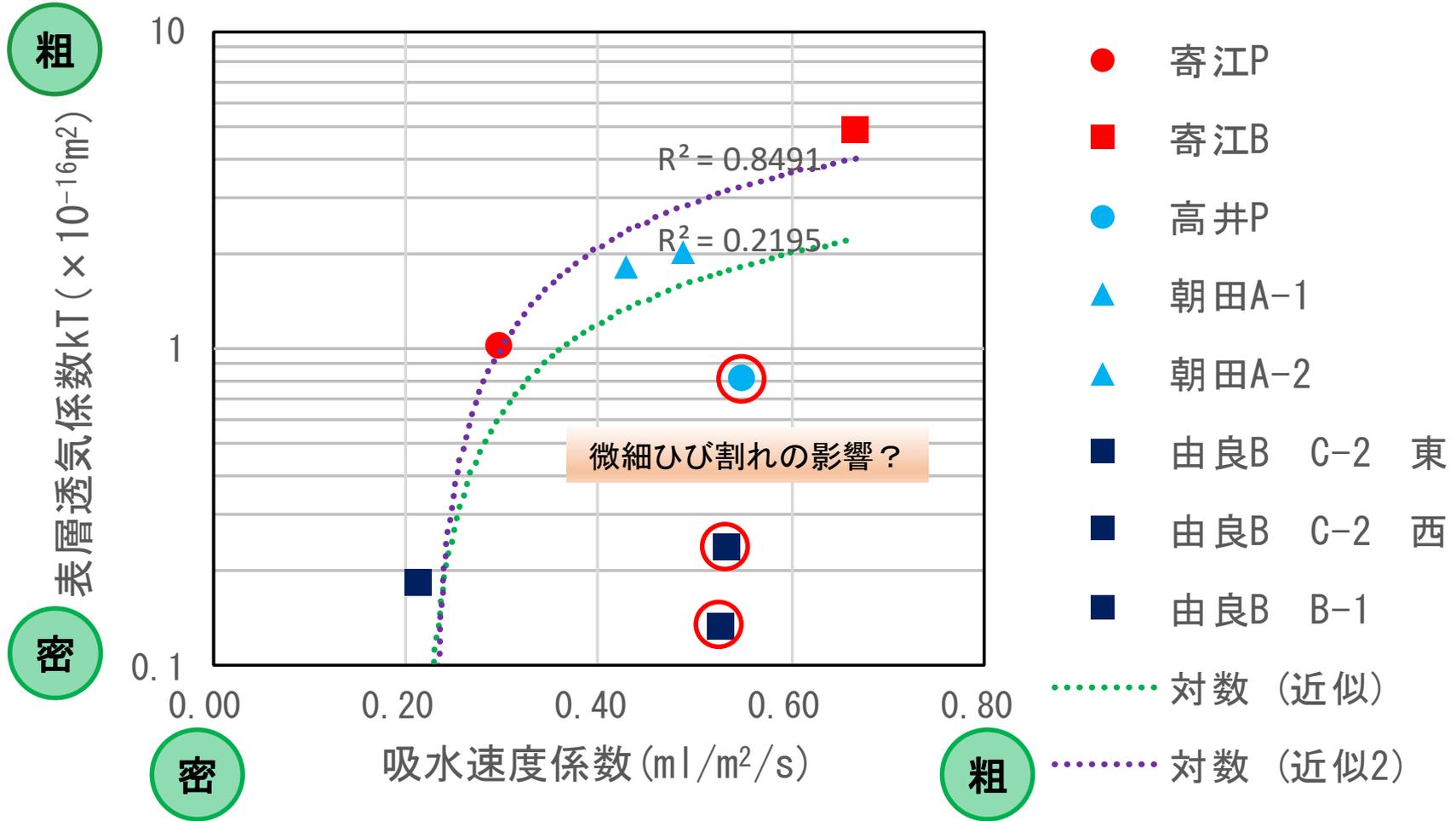
## ③表層透気係数と吸水速度係数の関係



表層透気係数が大きくなると吸水速度係数も大きくなる傾向を示した。しかし、高い相関関係は確認されなかった。

# 測定結果

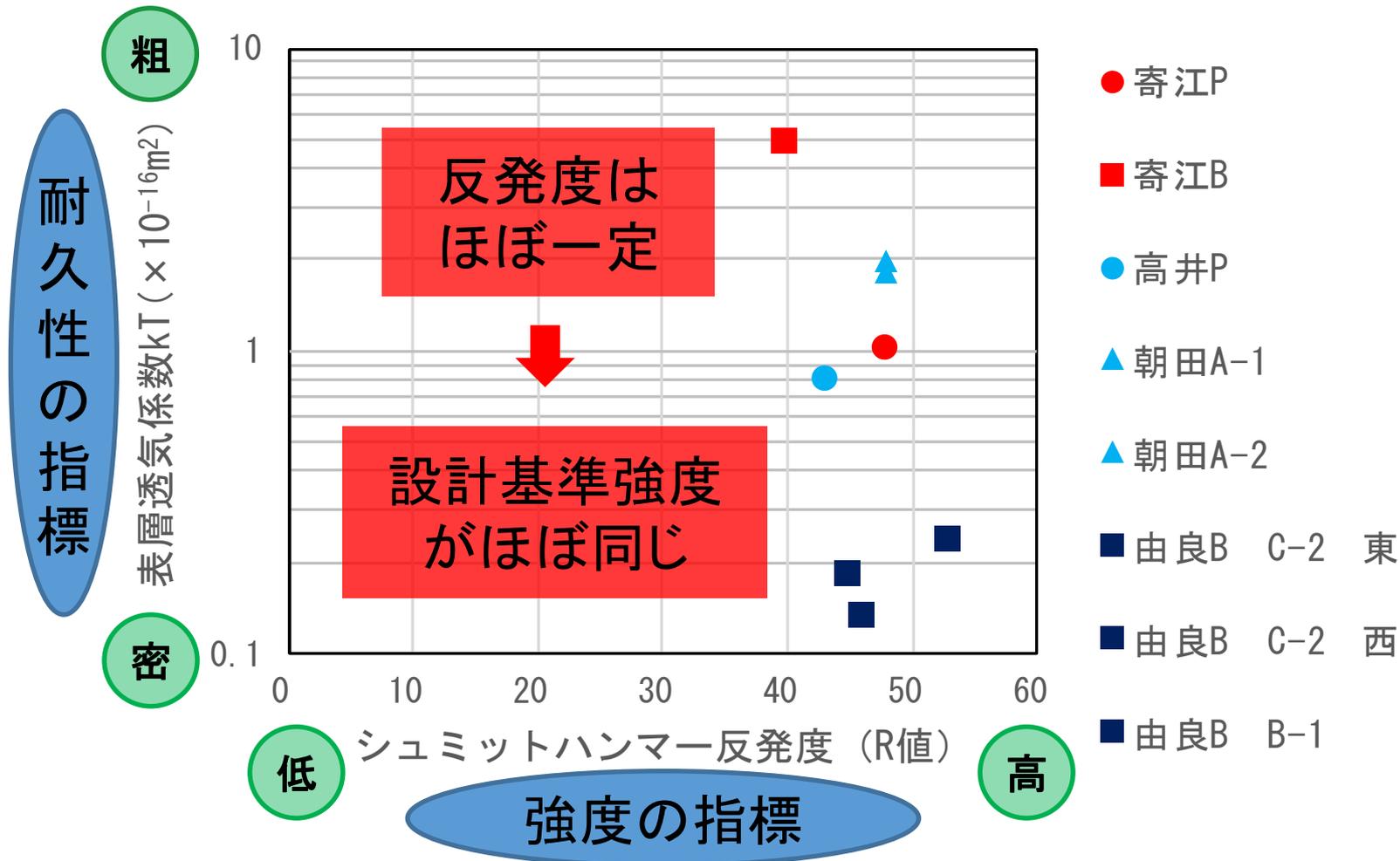
## ③表層透気係数と吸水速度係数の関係



→ 構造物によって微細ひび割れの影響が異なることが考えられるが、今後検討が必要である。

# 測定結果

## ④表層透気係数と反発度の関係



山口システムにより改善された施工が表層透気係数には大きく影響する一方、反発度には大きな影響は与えなかった。

# 構造物の検査結果

(御庄川橋 P1・P2の表層品質測定)

## 【測定概要】

表-3 測定概要

日時	2017/5/17-13時~17時	2017/8/22-9時~16時
対象 / 現場名	御庄川橋 P1・P2 / 岩国大竹線-森ヶ原工区	
天気	くもり時々雨	晴れ
気温(℃) / 相対湿度(%)	20.0 / 59.0	31.7 / 62.0
コンクリート表面温度(℃)	20.1~21.2	29.6~38.3
実施試験	散水試験・表層透気試験 表面吸水試験・シュミットハンマー	
測定者	広島大学 / 半井・松山・久堀・下瀬・甲斐	



## 【測定対象】

御庄川橋P1・P2 / 岩国大竹線-森ヶ原工区



写真-1 測定対象全体写真

## 【測定対象】

表-4 測定箇所

記号	リフト	地表高さ	P1				P2	
			東面	南面	西面	北面	南面	北面
A	たて壁①	0.9~1.2m	散水試験・透気試験・吸水試験					
B		2.0~2.3m	透気試験					
C	たて壁②	3.3~3.6m	透気試験					

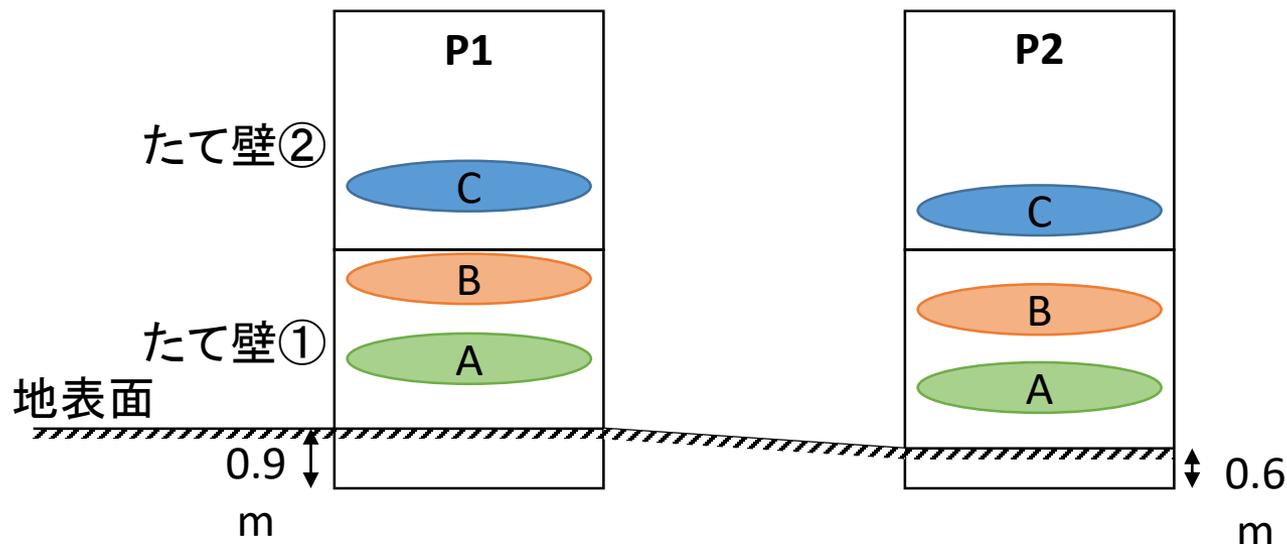


図-1 測定箇所概略図

# 測定結果

## ①散水試験結果

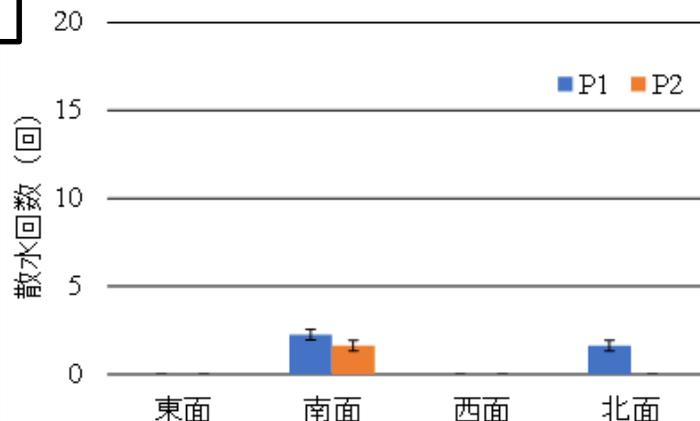
**5/17**


図-2 5/17散水試験結果(8点平均, error bar: 変動係数)

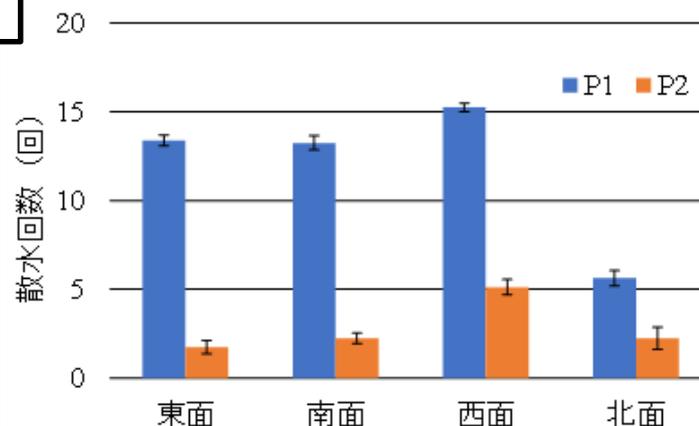
**8/22**


図-3 8/22散水試験結果(8点平均, error bar: 変動係数)

### 5/17

- 散水回数は小さな値を示し, 測定箇所によって顕著な違いは見られなかった。  
→雨がかりによりすぐに流下したと予測。

### 8/22

- P1とP2で大きく異なり,  $P1 > P2$ となった。

### P1

- 北面のみ小さな値となった。  
→日照の影響により乾燥の影響が異なった可能性<sup>5)</sup>。

### P2

- 西面のみわずかに大きな値となったが, P1と比較すると散水回数は小さい。

# 測定結果

## ①散水試験結果

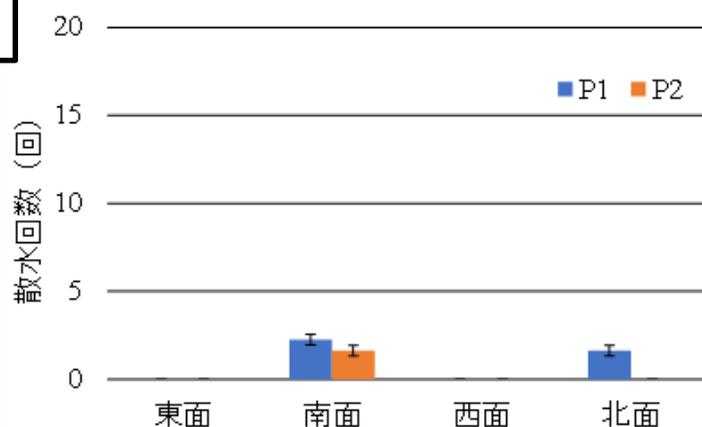
**5/17**


図-2 5/17散水試験結果(8点平均, error bar: 変動係数)

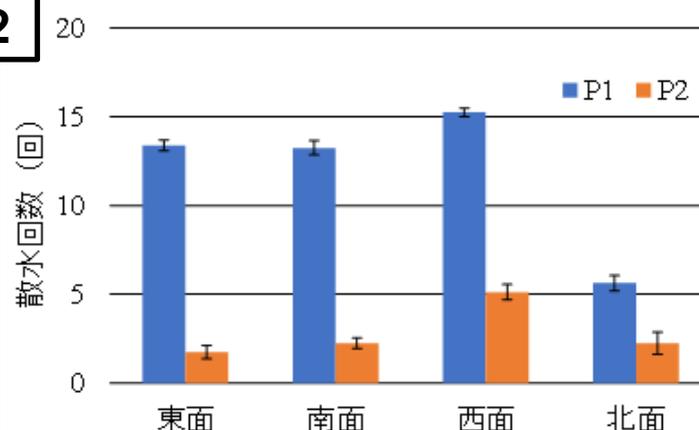
**8/22**


図-3 8/22散水試験結果(8点平均, error bar: 変動係数)

### P1

- 散水回数も大きく, 測定面によってばらつきがあった  
→品質が少し悪く, 不安定

### P2

- 散水回数も小さくばらつきは少なかった  
→標準的(下部工としては妥当)な品質が達成された。

# 測定結果

## ②表層透気試験結果(トレント法):測定日の違いによる比較

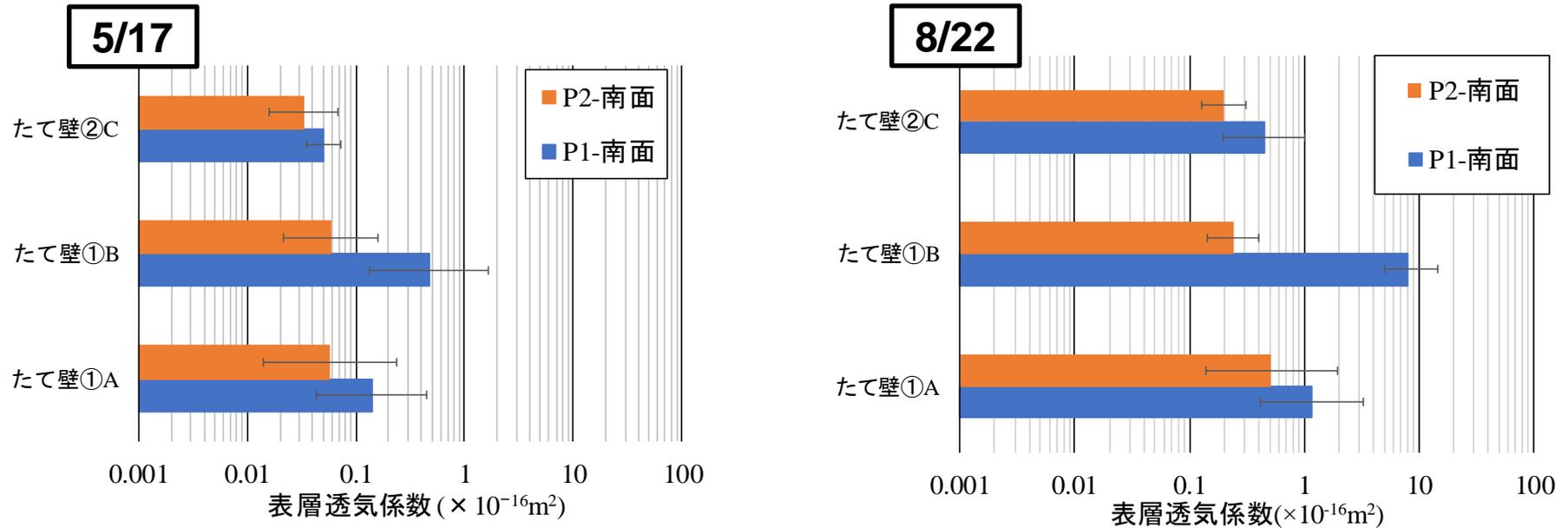


図-3 表層透気試験結果(6点平均 error bar:標準偏差)

P1

- たて壁①では表層透気係数が大きくなった。
- しかし、たて壁②では改善され表層透気係数が小さくなった。

P2

- 測定高さによる変化が小さく、同じオーダーで小さい表層透気係数が測定された。

# 測定結果

## ② 目視試験

表-5 P1目視評価試験結果(平均値)

内容	底板	たて壁①	たて壁②	たて壁③④	梁
沈みひび割れ	3.68	3.50	3.65	3.30	3.78
表面気泡	2.70	2.90	3.65	3.30	3.30
打重ね線	2.70	3.45	3.58	3.68	3.78
型枠継ぎ目のノ口漏れ	3.13	3.10	3.43	3.55	3.45
面的な砂すじ	3.00	3.20	3.45	3.55	3.53
	<u>3.04</u>	<u>3.23</u>	<u>3.55</u>	<u>3.48</u>	<u>3.57</u>

表-6 P2目視評価試験結果(平均値)

内容	底板	たて壁①	たて壁②	たて壁③	梁
沈みひび割れ	3.8	3.3	3.5	3.1	3.3
表面気泡	3.3	3.4	3.3	3.8	3.6
打重ね線	3.2	3.8	3.7	3.8	3.7
型枠継ぎ目のノ口漏れ	3.4	3.4	3.5	3.6	3.6
面的な砂すじ	3.3	3.7	3.7	3.7	3.8
	<u>3.39</u>	<u>3.51</u>	<u>3.53</u>	<u>3.60</u>	<u>3.58</u>

# 測定結果

## ②表層透気試験結果(トレント法)

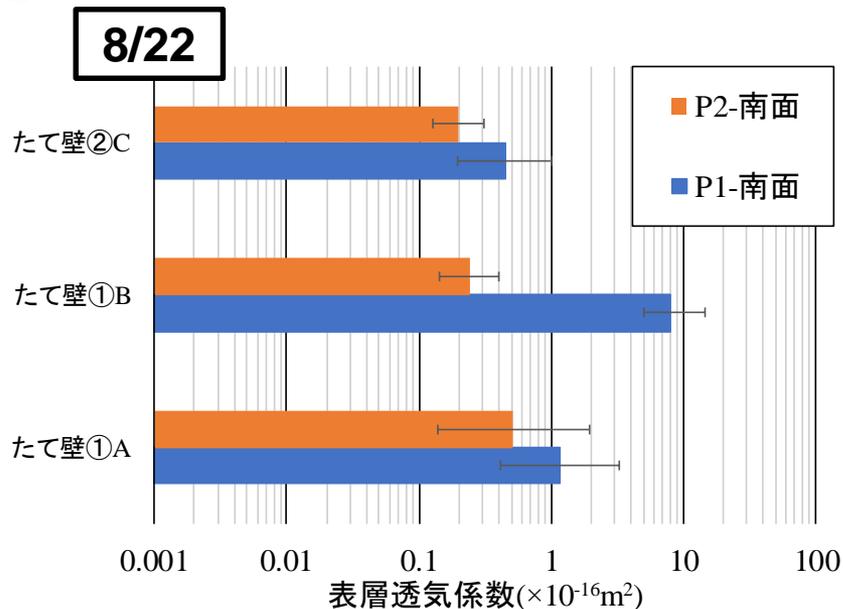


図-3 表層透気試験結果(6点平均 error bar:標準偏差)

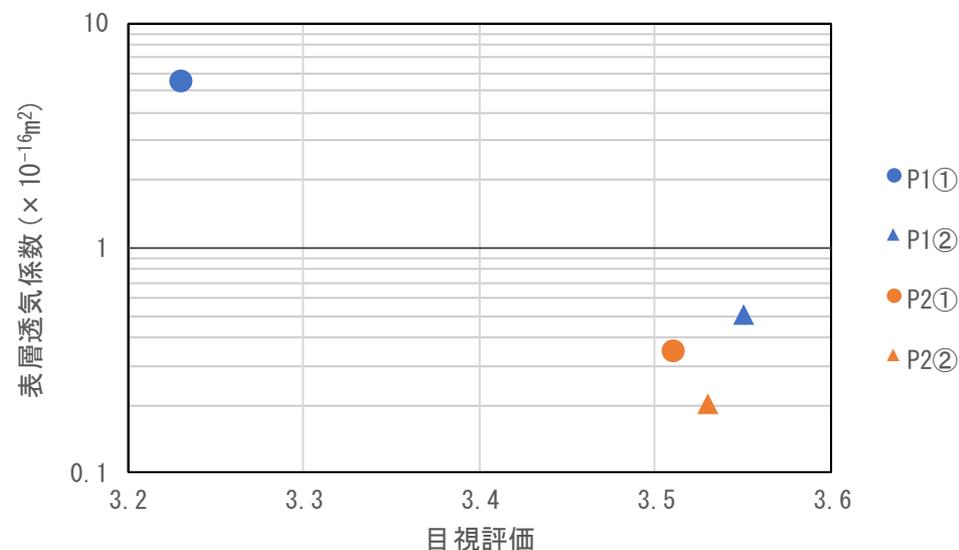


図-4 表層透気係数と目視評価の関係

### P1

- 表層透気係数も大きく、リフトによってばらつきがあった。  
→品質区分は「劣」となり少し悪く不安定であったが、たて壁②では改善された。

### P2

- 表層透気係数も小さく、ばらつきは少なかった  
→標準的(下部工としては妥当)な品質が達成され、安定した品質であった。

# 測定結果

## ③表面吸水試験結果 (SWAT法)

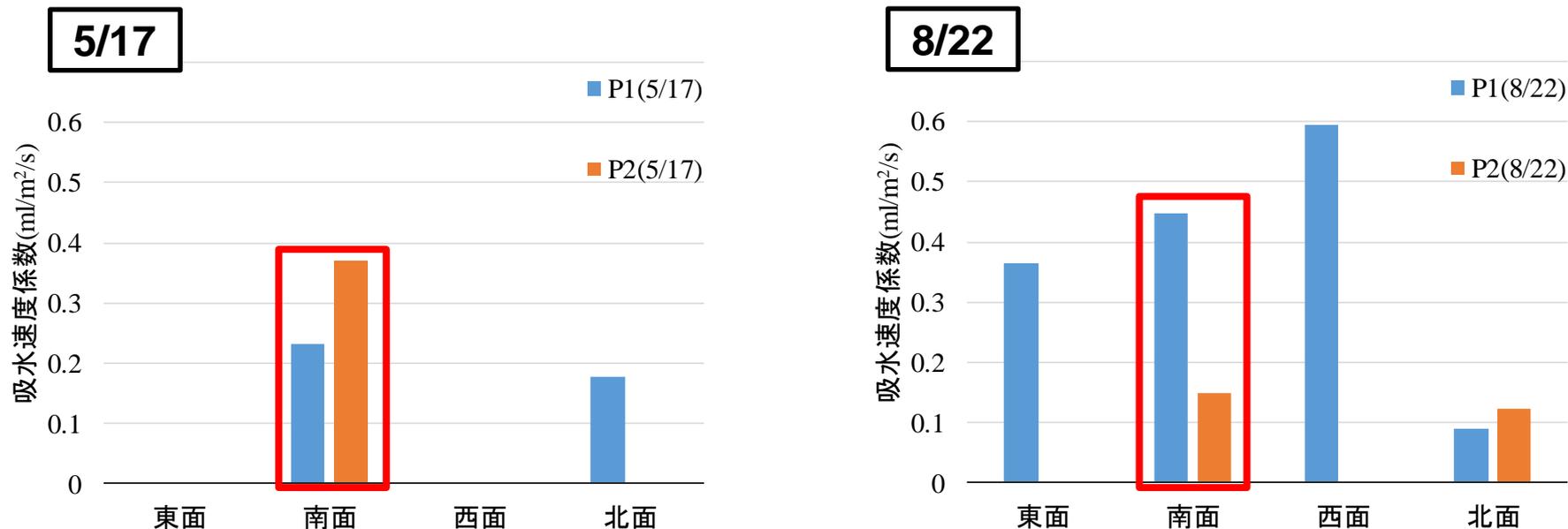


図-5 表面吸水試験結果(2点平均)

- 大小関係が測定日によって異なっている。  
→5/17の測定結果は雨の影響があったことが考えられる。
- P2と比較して, P1の吸水速度係数が大きくなっている。
- P1北面の吸水速度係数が小さくなっている  
→北面の表面水率が高かったため。  
→日照の影響により乾燥の影響が異なった可能性も考えられる。

# 測定結果

## ③表面吸水試験結果 (SWAT法)

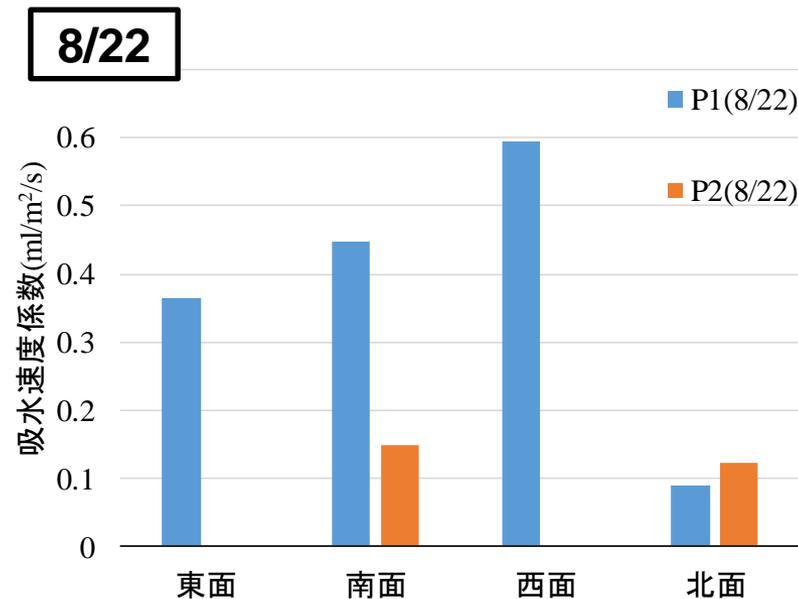
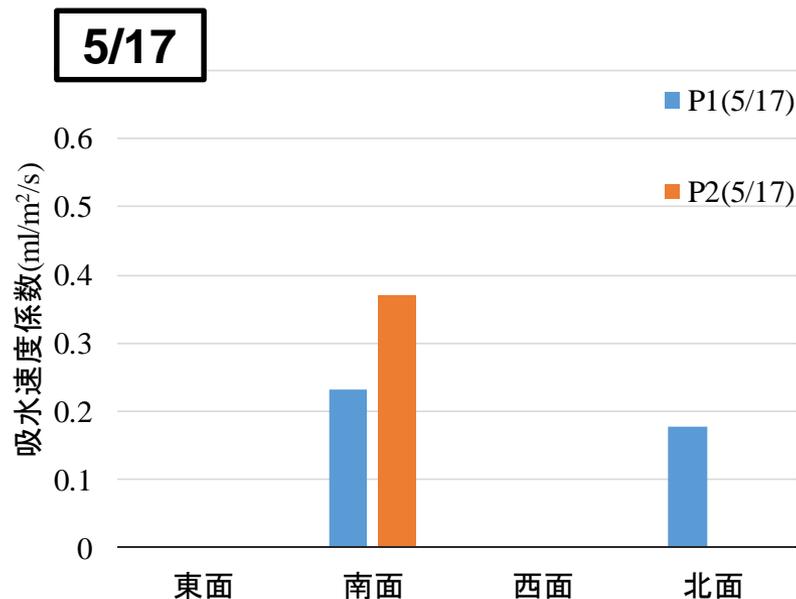


図-5 表面吸水試験結果 (2点平均)

### P1

- 吸水速度係数が大きく、測定面によってばらつきがあった。  
→品質区分は「普通～粗」となり、少し悪い評価となり、品質が不安定であった。

### P2

- 吸水速度係数が小さく、ばらつきは少なかった  
→「緻密」な品質区分で、安定した品質であった。

# まとめ

## 山口システム導入前後の 構造物調査

- 山口システム導入後，表層透気係数は低下した。
- 吸水速度係数も低下する傾向を示したものの，ばらつきもあった（微細ひび割れの影響？）。
- 反発度はほぼ一定であった。

山口システム導入，拡張することで表層品質の向上および安定に繋がった。

## 御庄川橋の構造物調査

- P1に比べ，P2の散水回数が小さな値を示した。
- P1の表面透気係数はP2と比較すると大きな値となったが，リフト②になると改善された。
- 北面の表面水率が大きな値を示した（日照によって乾燥の影響が異なった可能性）。
- P1の吸水速度係数はP2と比較すると大きな値となった。

P2では最初のリフトから値のばらつきが小さく，標準的な品質（下部工として妥当）が達成されていた一方で，P1では最初のリフトでは課題が多かったが，改善されたことが数値として明確になった。

## 謝辞

本研究は国土交通省の「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」による研究助成を受けて実施した。また、コンクリート構造物の品質確保小委員会(350委員会)の関係各位から助言を頂いた。皆様に厚く御礼を申し上げ、感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 山口県土木建築部:コンクリート構造物品質確保ガイド2018, 2018
- 2) 国重典宏ほか:山口県における「コンクリートひび割れ抑制システム」について, コンクリート工学, Vol.49, No.5, pp91-95, 2011.5
- 3) 細田暁ほか:目視評価を活用した山口県のひび割れ抑制システムによる表層品質向上の分析, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp1837-1842, 2013.
- 4) 細田暁ほか:ひび割れ抑制システムによるコンクリート構造物のひび割れ低減と表層品質の向上, 土木学会論文集E2(材料・コンクリート構造), Vol.70, No.4, pp336-355, 2014.
- 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(材料・コンクリート構造)69.1(2013):pp.82-97.