

平成24年度 第12-3号

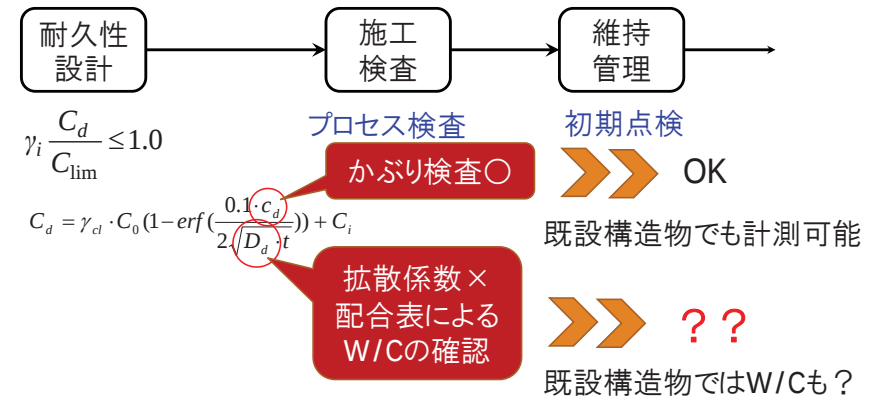
塩害劣化を受けるRC構造物の 耐久性設計と維持管理の連携

東京理科大学理工学部土木工学科
准教授 加藤佳孝



背景と目的

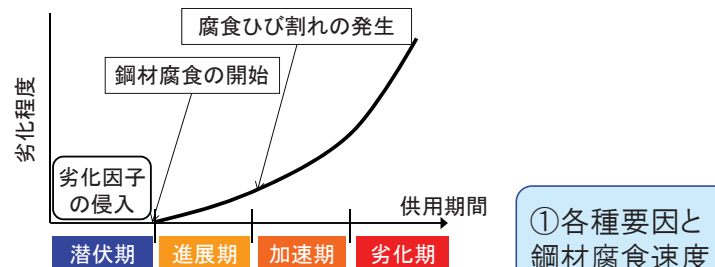
塩害を受けるRC構造物



新設と補修の統一的設計手法
現場計測と設計体系の連係に基づくシームレス化



RCの耐久性設計と維持管理(塩害)



②現場計測手法を
活用した
かぶりの品質評価
(コンクリート、補修)

既存構造物の実情
腐食した構造物の維持管理

実務としては、腐食速度の予測が必要

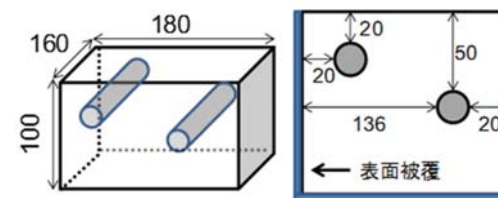
①各種要因と
鋼材腐食速度
の体系的整理

③現場計測手法を活用した耐久性設計と維持管理の連係



1.各種要因と鋼材腐食速度の体系的整理

試験体概要および測定項目



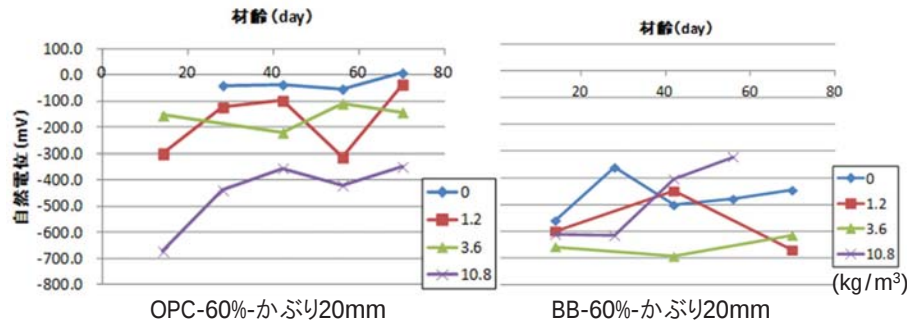
- ・試験体寸法: 100 × 160 × 180mm
100 × 160 × 280mm
- ・OPC, BB, FAのW/B=40, 50, 60%
- ・初期塩分: 0, 1.2, 3.6, 10.8kg/m³
- ・かぶり: 20, 50mm (一部に80mm)
- ・養生: 水中14日間
(塩分練り混みは同濃度の塩水)

- ・乾湿繰り返し, 連続浸せき
(3日気中乾燥, 4日塩水浸せき)
- ・自然電位, 分極曲線(照合電極SSE,
掃引速度60mV/min)



自然電位の測定結果(塩分量の影響)

5

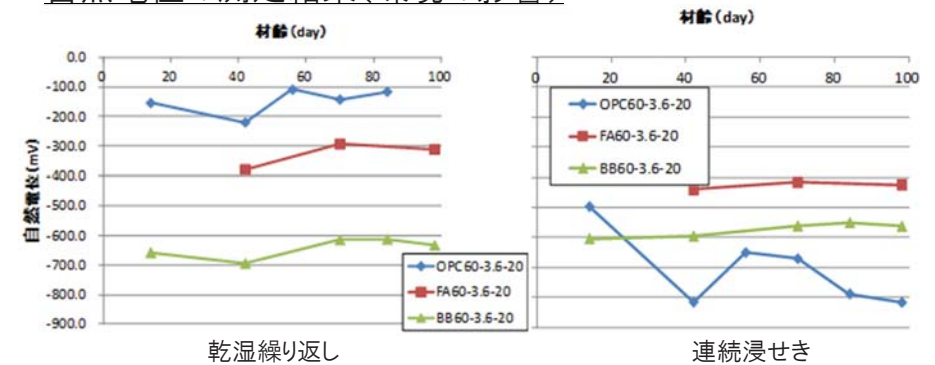


- ・OPCとFAは、塩分量の増加に伴い自然電位は卑になる傾向 (0, 1.2 kg/m³では-100mV, 10.8kg/m³は-400mVで推移)
- ・BBは、塩分量の違いによらず、-500~-600mVで推移
→塩分がフリーデル氏塩として固定、スラグの酸化により溶存酸素が消費され、自然電位が卑になったと考えられる



自然電位の測定結果(環境の影響)

6

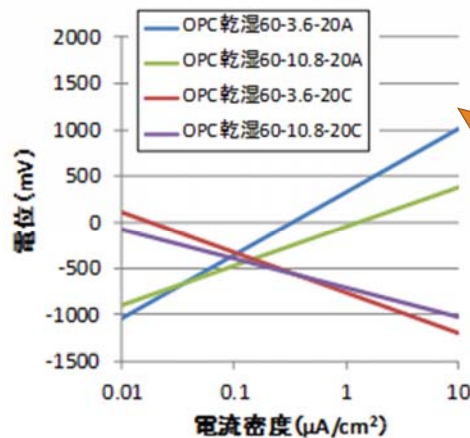


- ・環境の影響は、FAとBBでは見られず、ほぼ同程度の自然電位
- ・OPCは連続浸せきをすることで、電位が-700mV
→FAとBB試験体の組織がOPCよりも緻密であり、環境の影響が小さかったと考えられる



Tafel近似曲線による腐食の検討(OPCの環境の影響)

7



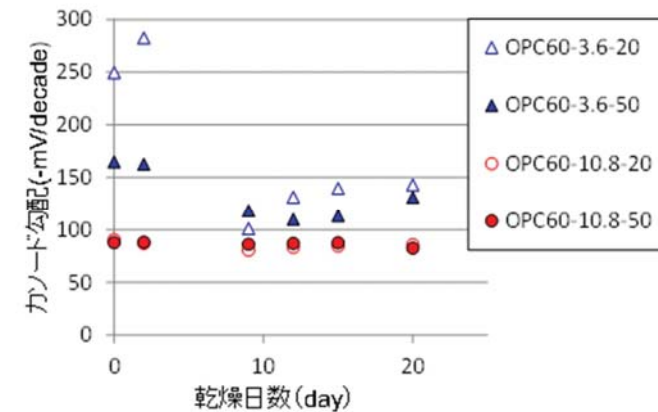
- 塩分量の増加
→アノード勾配が変化
- カソード勾配はほぼ同じ

OPC乾湿繰り返し



乾燥期間の影響(カソード勾配)

8



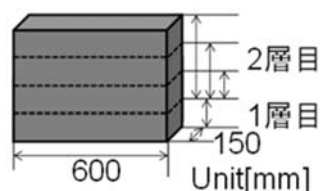
- ・カソード勾配は一定値に収束している
→乾燥によるカソード勾配の変化は小さい



2.現場計測手法を活用したかぶりコンクリートの品質評価 9

(1)打重ねがコンクリートの表層品質に及ぼす影響

試験体概要および測定項目



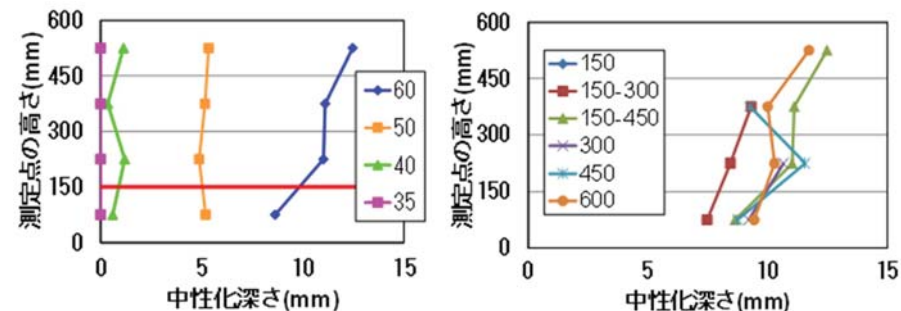
打重ね	1層(mm)	2層(mm)
有り	150	0, 150, 300, 450
無し	300, 450, 600	—

- ・試験体寸法:幅600×奥行き150mmを一定とし、**2層目の高さを変化**
- ・OPCのW/C=35, 40, 50, 60% (単位水量を175kg/m³で一定)
- ・材齢5日で脱型, 材齢56日まで気中養生
- ・材齢28日後から各試験を開始

- ・表面透気試験
- ・中性化促進試験



測定高さによる中性化深さへの影響 10



打重ね無し(W/Cの変化)

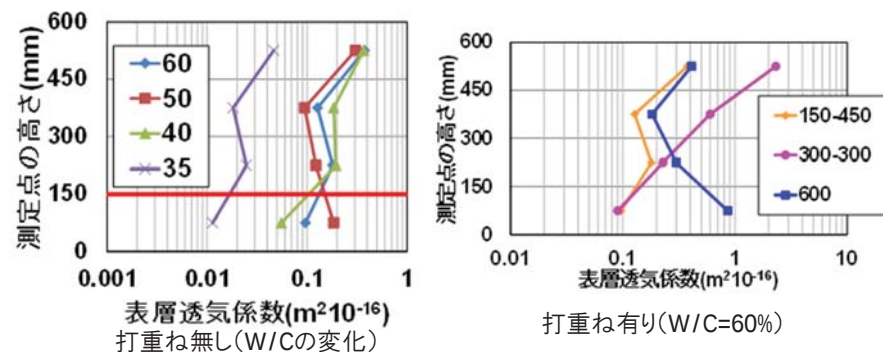
打重ね有り(W/C=60%)

W/Cの増加→中性化深さも増加
W/C=60%は、最下層と最上層の
中性化抵抗性に差が生じている
→ブリーディングの影響

打重ねの有無に関わらず、高い
ほど中性化深さは大きい
上層部:ブリーディング水
下層部:圧密の影響



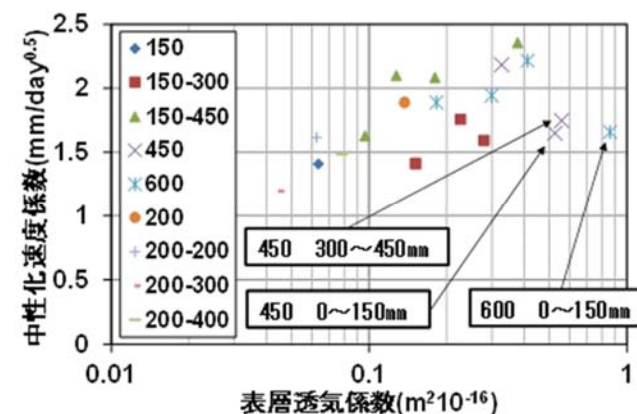
測定高さによる表層透気係数への影響 11



- ・打重ねの有無によらず、高いほど表層透気係数が大きい
- ・打重ね1層目の高さの影響として、300-300の最上層の表層透気係数が大きい→300-300では、打重ね面に滞留するブリーディング水が多い影響と考えられる



中性化深さと表層透気係数の関係 12



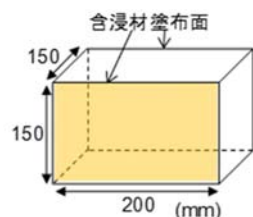
- ・表層透気係数の増加に伴い、中性化速度係数も増加する傾向
- ・表層透気係数と中性化速度係数が対応しないのは、打重ね無しの一部



(2)けい酸塩系表面含浸工法が コンクリートの表層品質に与える影響の把握

13

試験体概要および測定項目



略称	主成分	塗布量 (g/m ²)
Na	けい酸ナトリウム	120
Li	けい酸リチウム	
Na+K	けい酸ナトリウム+カリウム	
Li+K	けい酸リチウム+カリウム	
補助材	飽和水酸化カルシウム水溶液	

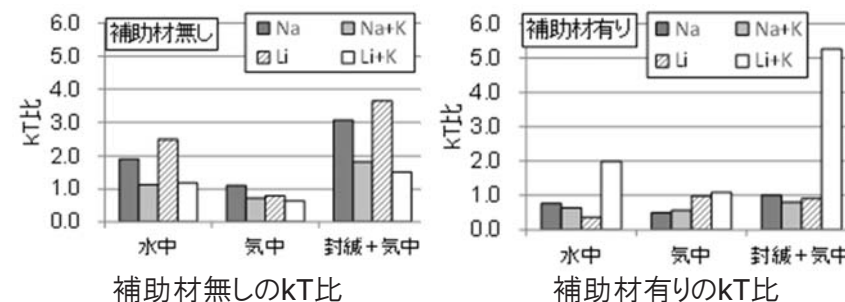
- ・試験体寸法:150×150×200mm
- ・OPC, BB, FAのW/C=60%
(単位水量を175kg/m³で一定)
- ・水中養生14日が終了後に、含浸材を塗布
- ・含浸材塗布後、水中養生14日、
封緘養生7日後+気中養生7日、
気中養生14日の3種類

- ・表面透気試験
- ・中性化促進試験



kTによる改質効果の検討(OPC, 中性化期間56日)

14

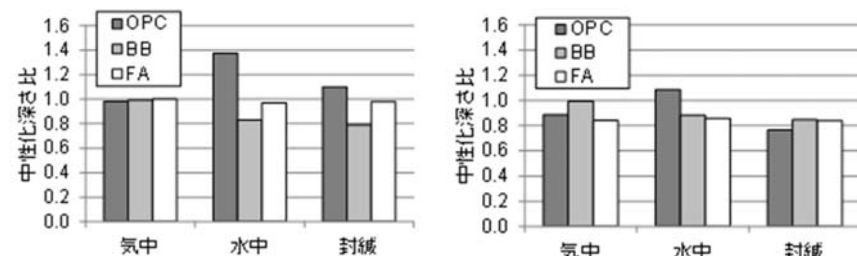


- ・補助材無しでは、水中や封緘+気中では、無塗布と比較して同程度か大きい
- ・補助材有りでは、Li+Kを除いて、いずれの養生でも無塗布よりもkT比が小さい
- 水酸化カルシウムを塗布することにより、含浸材の反応が促進され、表層組織が緻密化したことが考えられる



中性化促進試験による改質効果の検討 (Na塗布, 中性化期間56日)

15



補助材無しの中性化深さ比

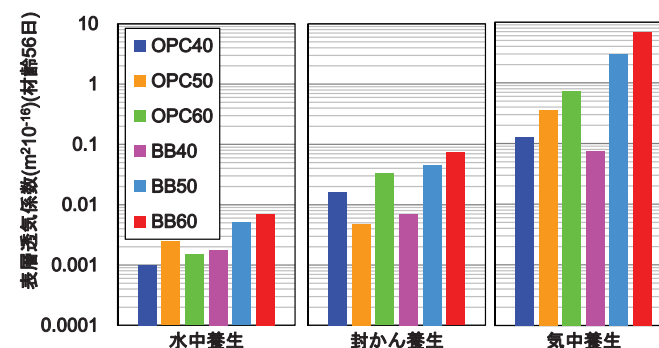
補助材有りの中性化深さ比

- ・補助剤無しでは、OPCの水中養生を除いて、無塗布と同程度
- 含浸材塗布による養生の効果は、小さいと考えられる
- ・補助材有りでは、無塗布の8割程度
- コンクリート中の水酸化カルシウム量により、改質効果が変わると考えられる



3.現場計測手法を活用した耐久性設計と維持管理の連係 配合や養生が表層透気係数に与える影響

16

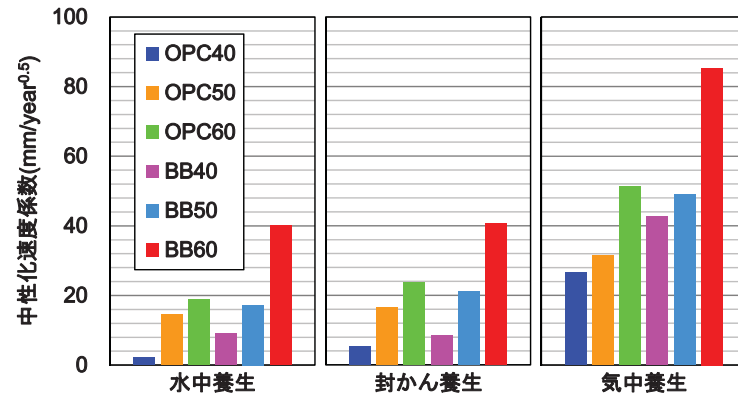


- ・結合材種類によらず、W/Bの増加→表層透気係数も増加
- ・水中、封かん、気中の順で表層透気係数が増加



配合や養生が中性化速度係数に与える影響

17

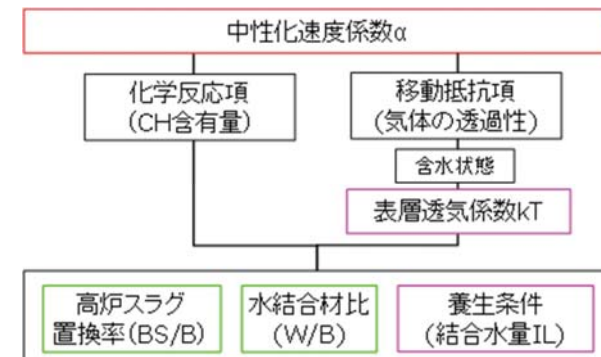


・結合材種類によらず、養生時の水分供給、W/Bにより、中性化速度係数は変化
→ 中性化速度係数は置換率、養生、水結合材比の影響を受ける



回帰分析による中性化速度係数の把握

18



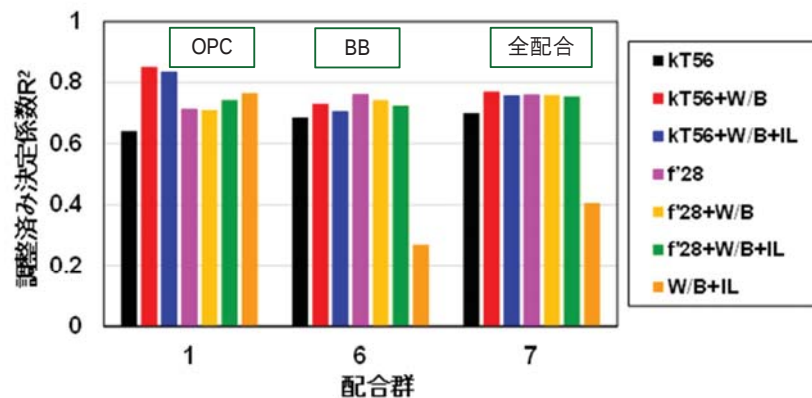
目的変数: 中性化速度係数

	説明変数	表記
1	材齢56日kT(log ₁₀ m ²)	kT ₅₆
2	炉乾燥後kT(log ₁₀ m ²)	kT _{dry}
3	圧縮強度(N/mm ²)	f' ₂₈
4	空隙率(%)	ε
5	水結合材比(%)	W/B
6	高炉スラグ置換率(%)	BS/B
7	結合水量(%)	IL



結合材種類ごとの重回帰結果(中性化速度係数)

19

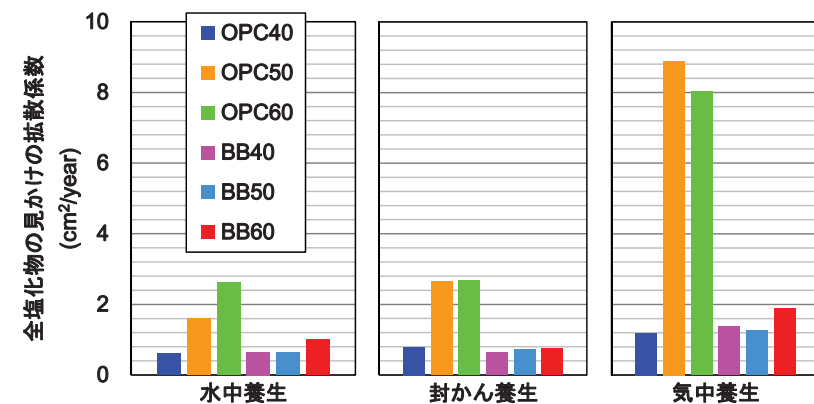


表層透気係数と水結合材比を用いた回帰式が有効



配合や養生が見かけの拡散係数に与える影響

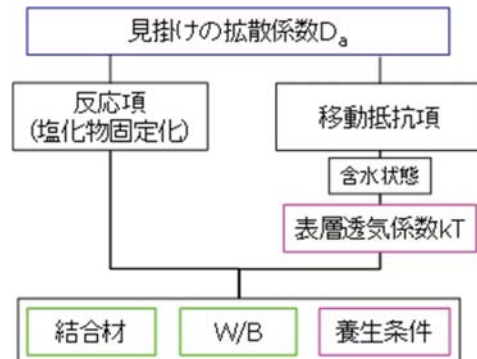
20



・BBは遮塩性が高く、W/Bによらず見かけの拡散係数は同程度
・OPCはW/Bの増加に伴い、見かけの拡散係数も増加する傾向



回帰分析による塩化物イオンの見かけの拡散係数の把握 ²¹

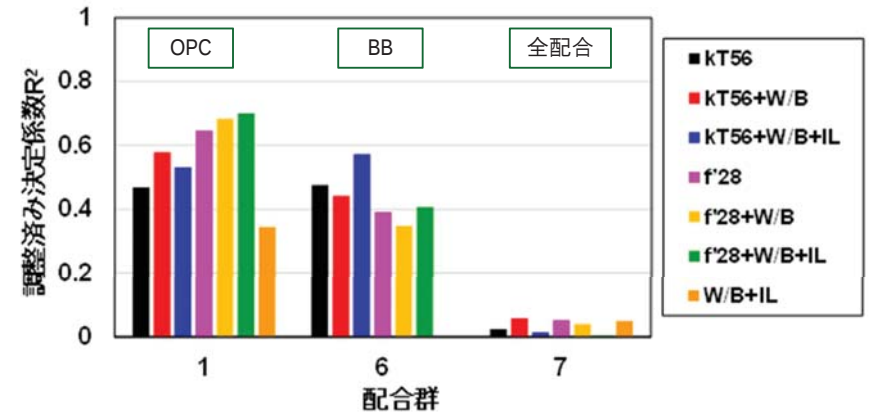


目的変数：見かけの拡散係数

	説明変数	表記
1	材齢56日kT(log ₁₀ m ²)	kT ₅₆
2	炉乾燥後kT(log ₁₀ m ²)	kT _{dry}
3	圧縮強度(N/mm ²)	f' ₂₈
4	空隙率(%)	ε
5	水結合材比(%)	W/B
6	高炉スラグ置換率(%)	BS/B
7	結合水量(%)	IL



結合材種類ごとの重回帰結果（見かけの拡散係数） ²²



- ・セメント種類によらず，決定係数が最大0.7程度
- ・W/Bや結合水量のパラメータを加えたとしても決定係数は増加しない
- ・全配合では，決定係数は0.1に満たない。



まとめ

23

各種要因が鋼材腐食速度に与える影響

- ・OPC, FAの自然電位の推移や腐食速度は，同様な傾向
- ・BBでは，自然電位や腐食速度の傾向は異なる。また，カソード勾配の変化は小さい
→高炉スラグの酸素の消費による電位の卑化や，高い遮塩性が影響していると考えられる

現場計測手法を活用した耐久性設計と維持管理の連係

- ・打重ねおよび補修の影響は，表面透気試験から概ね把握できた
- ・中性化の場合は，現場計測可能な表層透気係数を用いることで，設計，竣工検査，および維持管理をつなぐ中性化速度係数を概ね予測可能
- ・塩分浸透は，表層透気係数と見かけの拡散係数との関係性を示すに留まった
→今後の検討として，実効拡散係数の測定に加えて，
吸水試験や，電気抵抗等を実施する事で，予測精度を向上させる予定である。

