

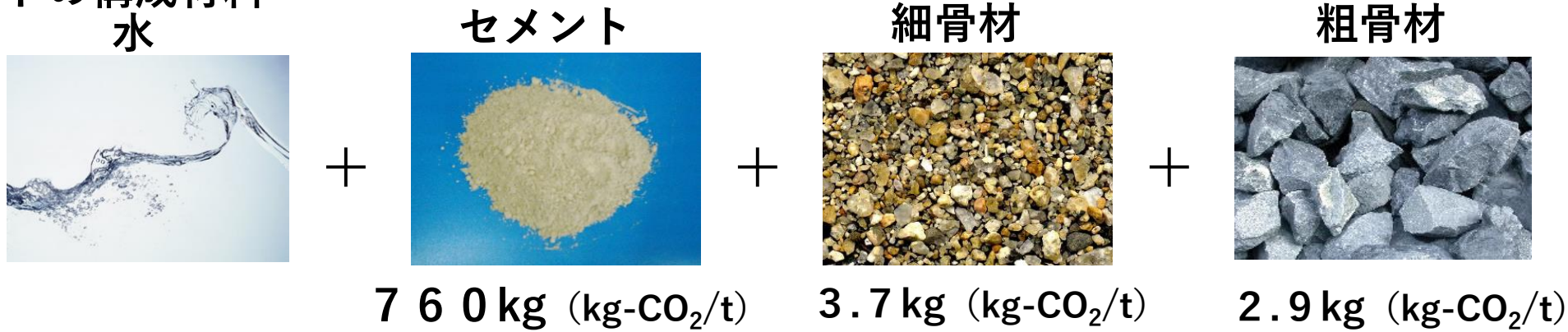
ものづくりフェア2022

2022年10月6日

長期耐久性を有する低炭素コンクリート

福岡大学 工学部 社会デザイン工学科
櫛原弘貴

コンクリートの構成材料



	← 1m ³ →					
一般構造物	水	セメント	細骨材	粗骨材	270 kg (kg-CO ₂ /t) (620 kg (kg-CO ₂ /m ³))	
海洋構造物 高炉セメント	水	セメント	高炉スラグ	細骨材	粗骨材	140 kg (kg-CO ₂ /t) (320 kg (kg-CO ₂ /m ³))

置換率 50%



24.1kg (kg-CO₂/t)

セメントの50%程度が構造物に使用されている

- 塩化物イオンの侵入に対する抵抗性が向上
- アルカリ骨材反応の発生リスクが低減

50%以上高置換した使用例はほとんどない。

置換率
0%

水	普通セメント	細骨材	粗骨材
---	--------	-----	-----

= 270 kg (kg-CO₂/t)
(190)

置換率
50%

水	普通セメント	高炉スラグ	細骨材	粗骨材
---	--------	-------	-----	-----

= 140 kg (kg-CO₂/t)
(115)

置換率
上げる

水	普通セメント	高炉スラグ	細骨材	粗骨材
---	--------	-------	-----	-----

70% : 90 kg (kg-CO₂/t)
90% : 40 kg (kg-CO₂/t)

低炭素型コンクリート

() 全て炭酸化した場合のCO₂排出量

低炭素型コンクリート

メリット

- CO₂排出量が少ない
- 温度ひび割れが抑制
- ASR発生を抑制

デメリット

- 初期圧縮強度が低い
- 養生の影響が大きい
- 収縮ひび割れが発生しやすい
- 中性化が速い (鋼材腐食)
- 少ない塩分量で腐食が発生

デメリットを解決することで
構造物としての利用可能

低炭素型コンクリート・カーボンニュートラルコンクリートの現状（インターネット検索より）

セメント一部置換型

- ・クリーンクリート
- ・低炭素型BBFA高強度コンクリート
- ・CELBIC
- ・ECMコンクリート



CO₂削減効果が小さい

セメント全置換型

- ・ジオポリマー
- ・鉄鋼スラグ水和固化体
- ・浚渫度固化体（カルシア固化体）



CO₂削減効果は大きい

- ・硬化速度が速いや粘性が高いため現場で使用しづらい
 - ・初期欠陥が生じやすい（収縮）
 - ・耐久性が確保しづらい
- 現状では小型のプレキャストなど

セメント一部置換型+CO₂吸着型

火力発電所の燃料後の排ガスを養生室に引き込み、
排ガスに含まれるCO₂をコンクリートに吸収



CO₂削減効果は大きい
小型のプレキャストなど

セメント全置換型+CO₂吸着型

工場の排ガスより回収したCO₂原料とする「炭酸カルシウム」、
の粉末を使用したコンクリート



CO₂削減効果は大きい

- ・耐久性が確保できない
- ・初期強度の確保

本研究 – 共同研究（福岡大学，九州電力，東洋建設，九州高圧コンクリート工業）2022年5月

セメント使用量の90%を高炉スラグで置換

初期強度の確保（高炉セメントと同等）

高耐久性（高炉セメントよりも高耐久）

使用性（現場でも問題なく使用できる）

初期欠陥が生じにくい（乾燥収縮を低減）

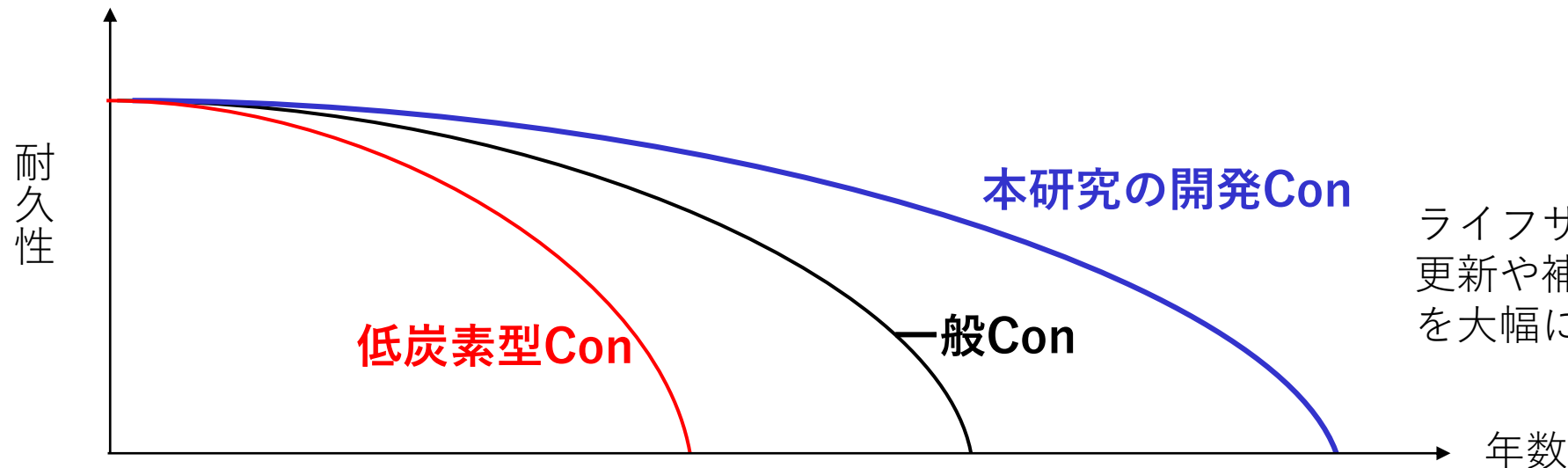
強度と長期耐久性+CO₂吸収量を最大化した超低炭素コンクリートを一般構造物に利用可能。



+ 4 0 kg (kg-CO₂/t) (製造時)

– 3 0 kg (kg-CO₂/t) (供用後の吸収量)

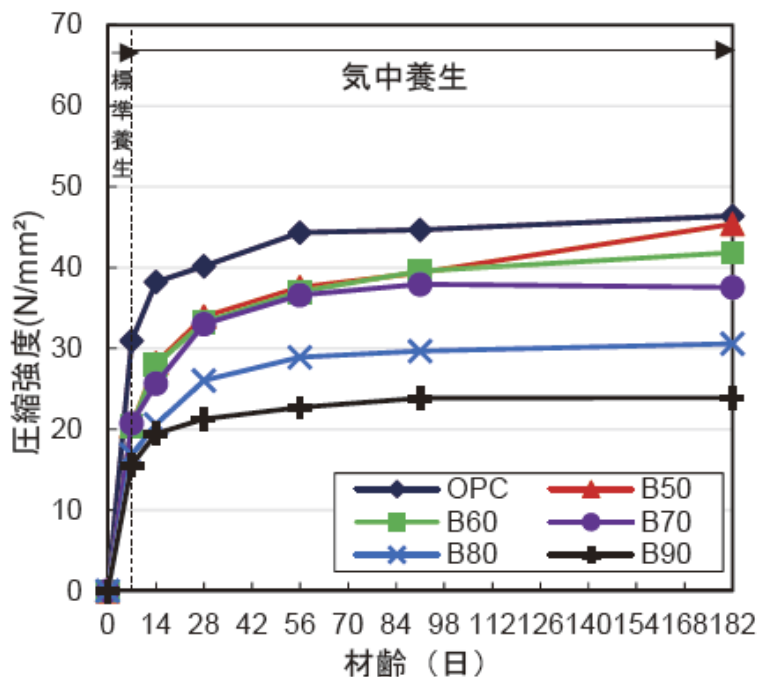
計 1 0 (kg-CO₂/t)



ライフサイクルで考えると
更新や補修に関わる費用，CO₂排出量
を大幅に削減。

研究成果の紹介（強度改善）

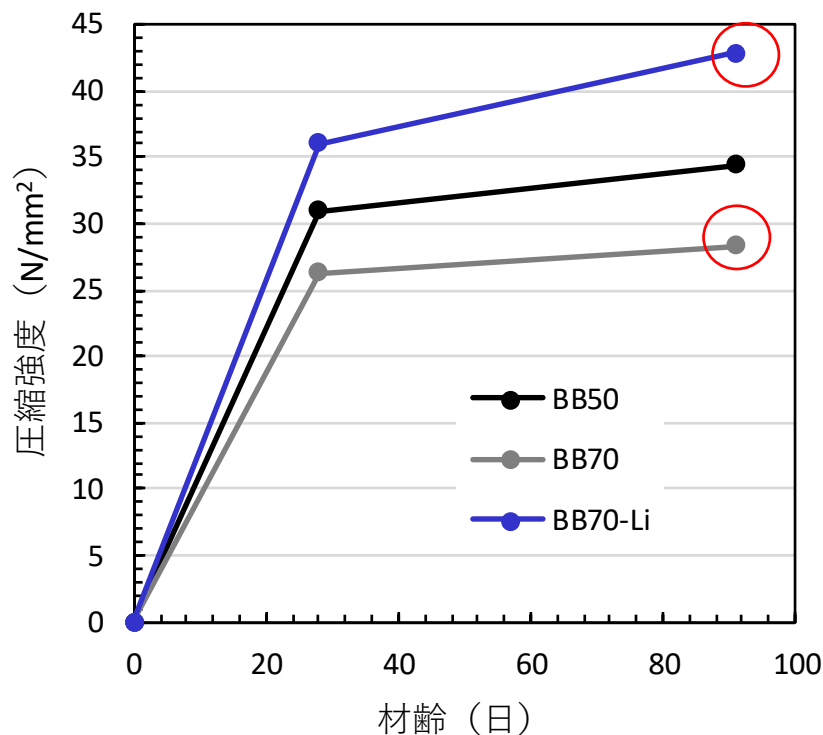
- 初期圧縮強度が低い
- 養生の影響が大きい
- 少ない塩分量で腐食が発生
- 収縮ひび割れが発生しやすい
- 中性化が速い（鋼材腐食）



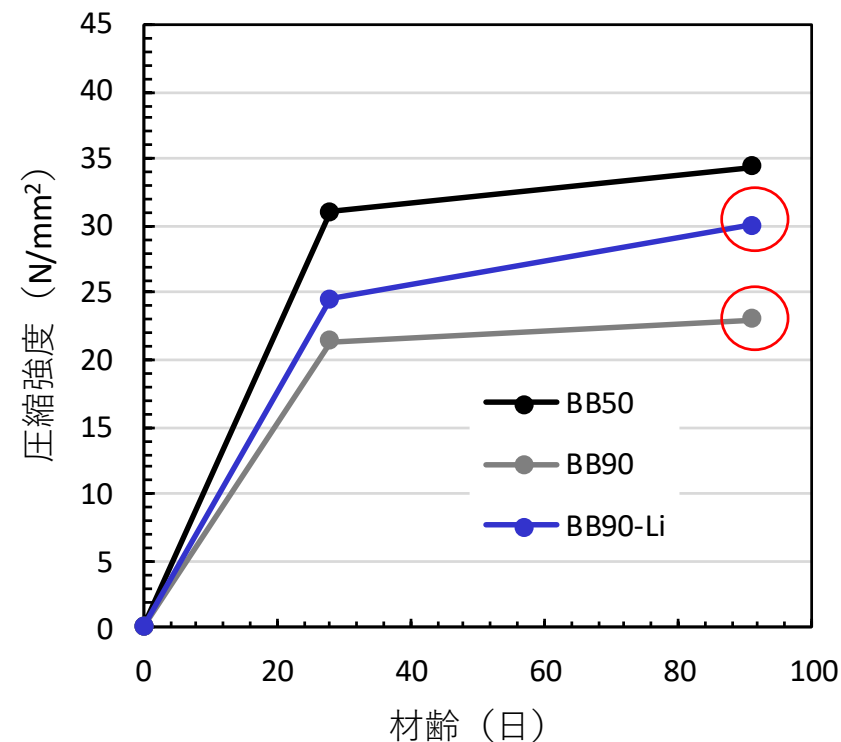
7日間標準養生＋気中養生

高炉スラブ微粉末の添加率の増加
に従い圧縮強度は低下

セメントの反応率が上がる。
養生環境の影響が小さい。



BB70-Li > BB50 > BB70
長期的に強度増進



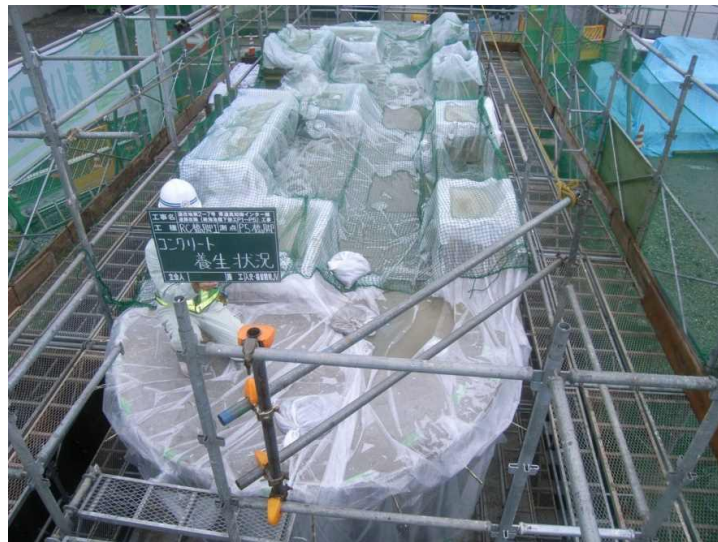
BB50 > **BB90-Li** > BB90
長期的に強度増進し、
BB50と同等になると予想

高炉セメントと同等の圧縮強度を確保できる。

一般構造物

- 初期圧縮強度が低い
- 収縮ひび割れが発生しやすい
- **養生の影響が大きい**
- 中性化が速い（鋼材腐食）
- 少ない塩分量で腐食が発生

養生期間（5～7日程度）



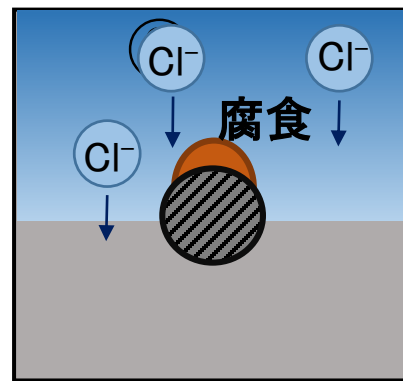
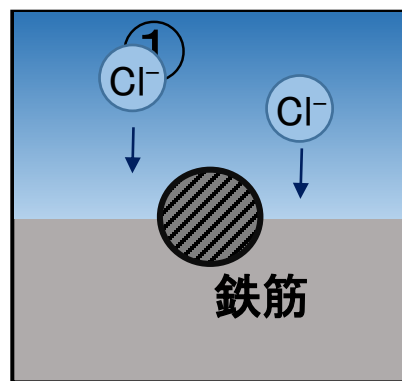
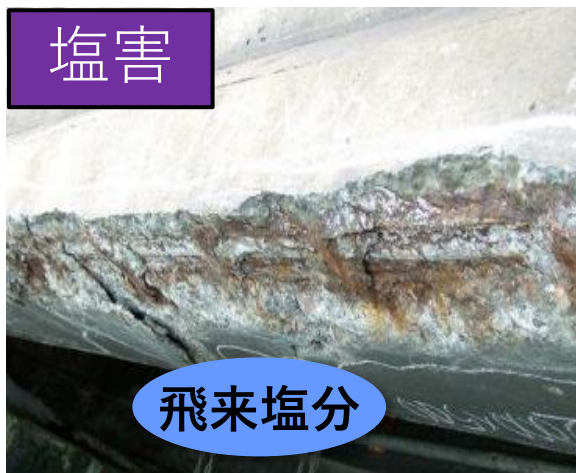
初期乾燥を受けるとセメントと水の反応率が低下。
湿潤養生が必要。
高炉スラグは養生の影響が大。
特に冬場は、養生期間を長く取る必要がある。

養生環境の影響を受けない。
養生期間を短縮することができる。

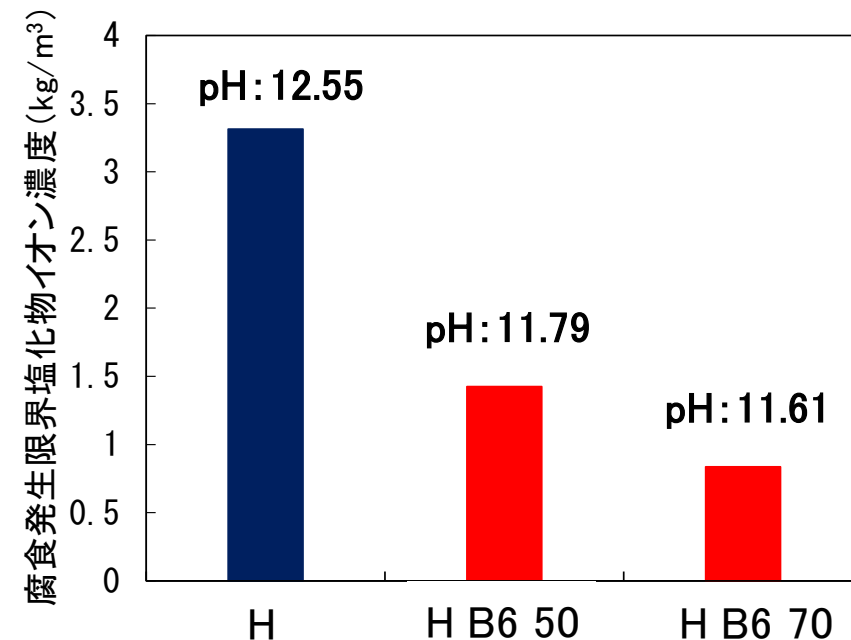
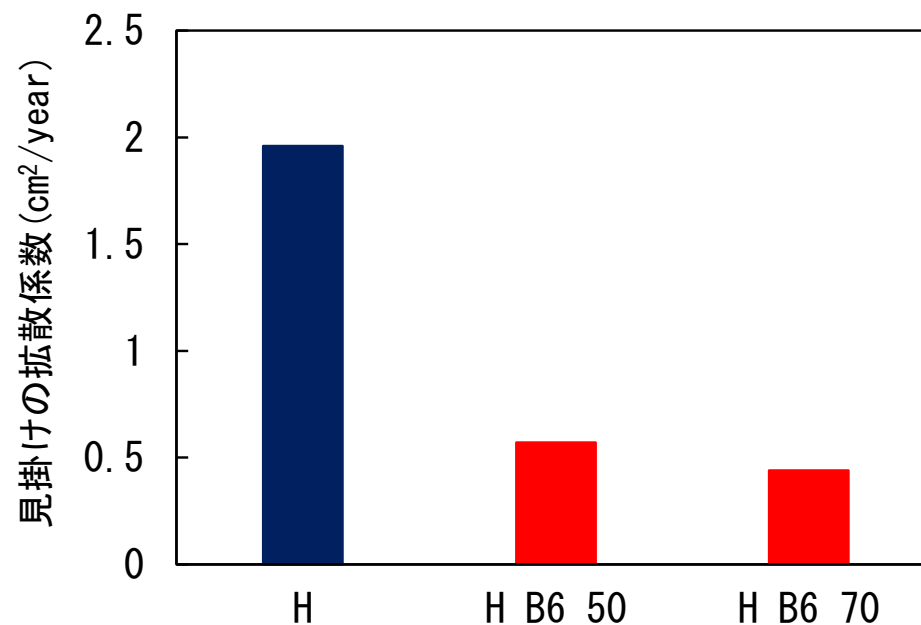
夏場・冬場を想定した高温期・低温期については今後研究予定。

研究成果の紹介（塩害劣化）

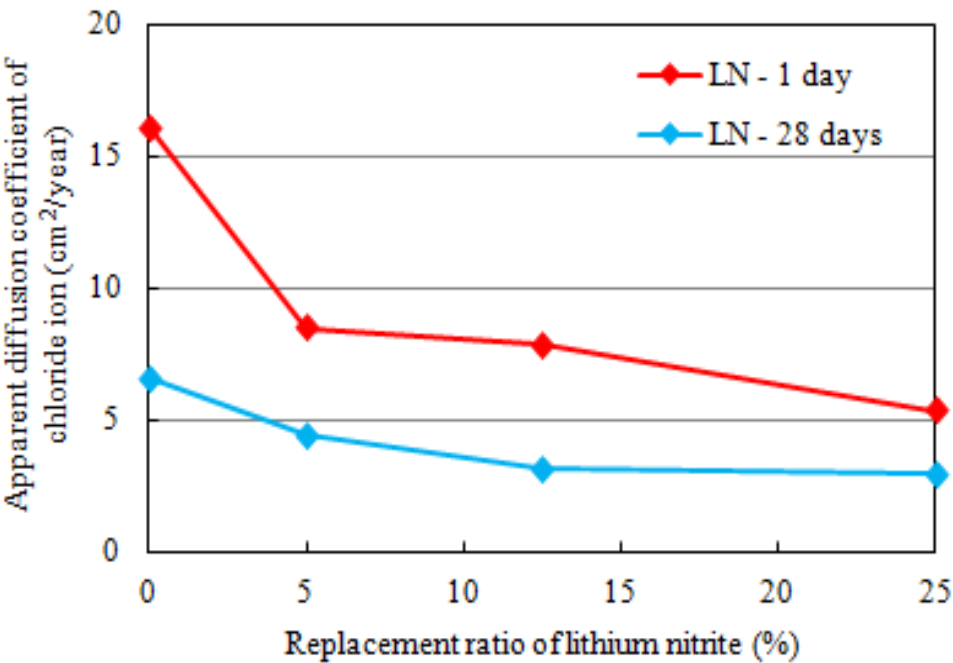
- 初期圧縮強度が低い
- 養生の影響が大きい
- **少ない塩分量で腐食が発生**
- 収縮ひび割れが発生しやすい
- 中性化が速い（鋼材腐食）



- ① Cl^- の浸透速さ(塩化物イオン拡散係数)
- ② 腐食発生限界塩化物イオン濃度(鉄筋腐食が発生した時の Cl^- の量)



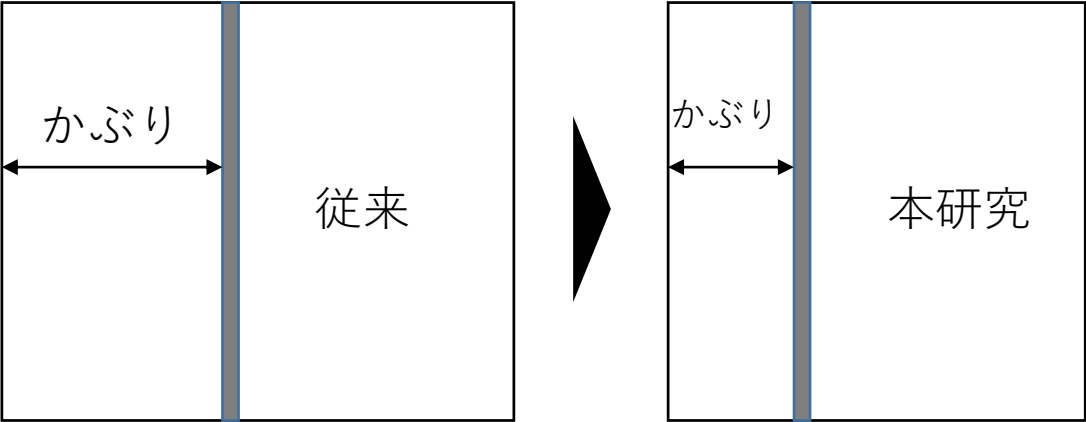
研究成果の紹介（塩害劣化）



塩化物イオンの侵入速度をいくぶんか低減できる。

項目	腐食発生時のCl量 (kg/m³)	
セメント	3.3	⇒ 10.0
高炉スラグ50%置換	1.5	⇒ 8.0
高炉スラグ70%置換	1.0	⇒ ?
高炉スラグ90%置換	?	⇒ ?

M0	
M1	
M2	

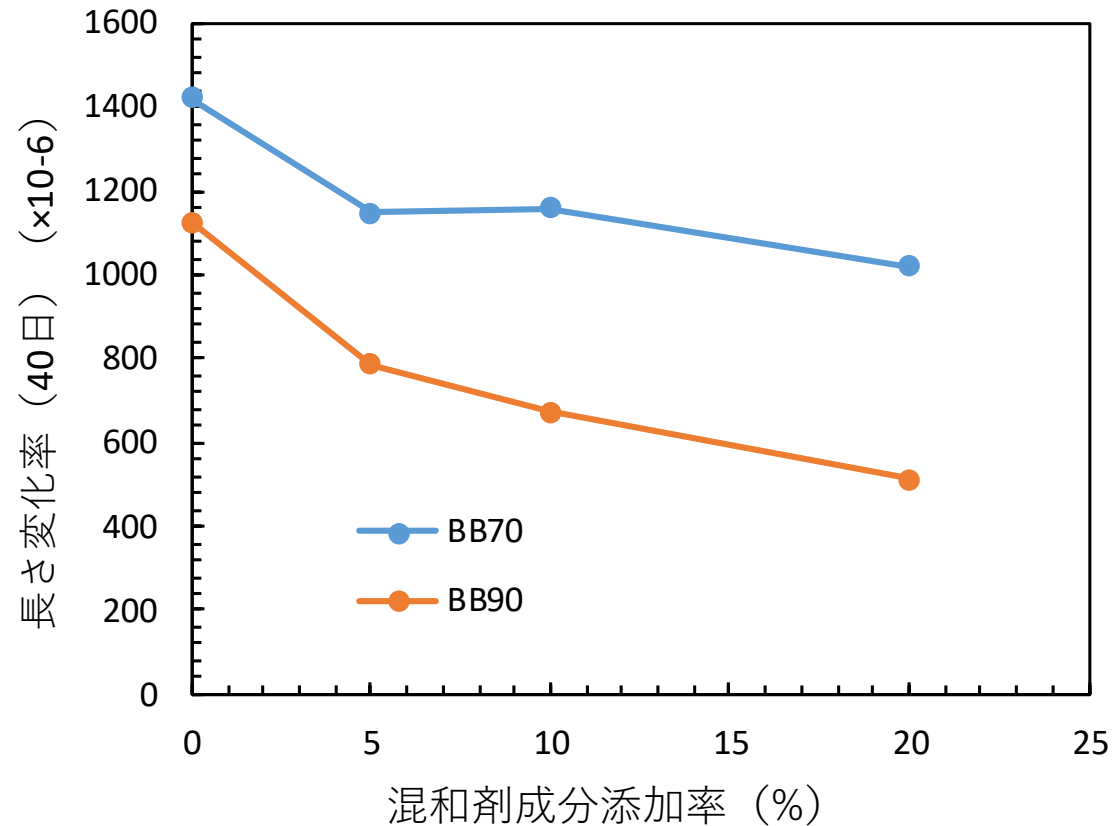


- ✓ 設計の自由度が向上。
- ✓ コンクリート構造物の全体重量を低減できる。
- ✓ 杭の本数を減らすことも可能となり、コスト縮減となる。

研究成果の紹介（乾燥収縮）

セメント使用量を減らした場合、
収縮ひび割れが生じやすくなる。

- 初期圧縮強度が低い
- 養生の影響が大きい
- 少ない塩分量で腐食が発生
- **収縮ひび割れが発生しやすい**
- 中性化が速い（鋼材腐食）



収縮量の低下 + 強度増進 により，収縮ひび割れを抑制

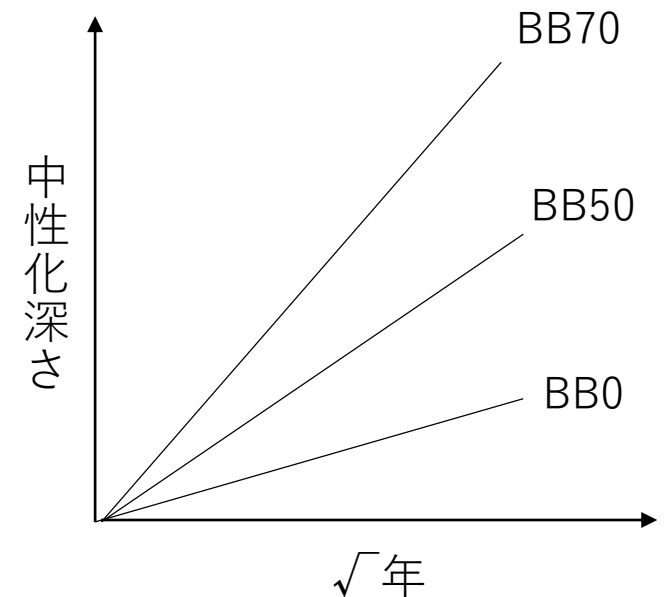
研究成果の紹介（中性化抑制）

中性化とは？

大気中の二酸化炭素が、コンクリート内に侵入し水酸化カルシウムと炭酸化反応を起こすことによってpHが低下する現象。

アルカリ性が失われて、鉄筋腐食が生じる。

- 初期圧縮強度が低い
- 養生の影響が大きい
- 少ない塩分量で腐食が発生
- 収縮ひび割れが発生しやすい
- **中性化が速い（鋼材腐食）**



セメント使用量を減らすと、顕著に中性化の進行は速くなる。

中性化により構造物の劣化が顕在化。

研究成果の紹介（中性化抑制）

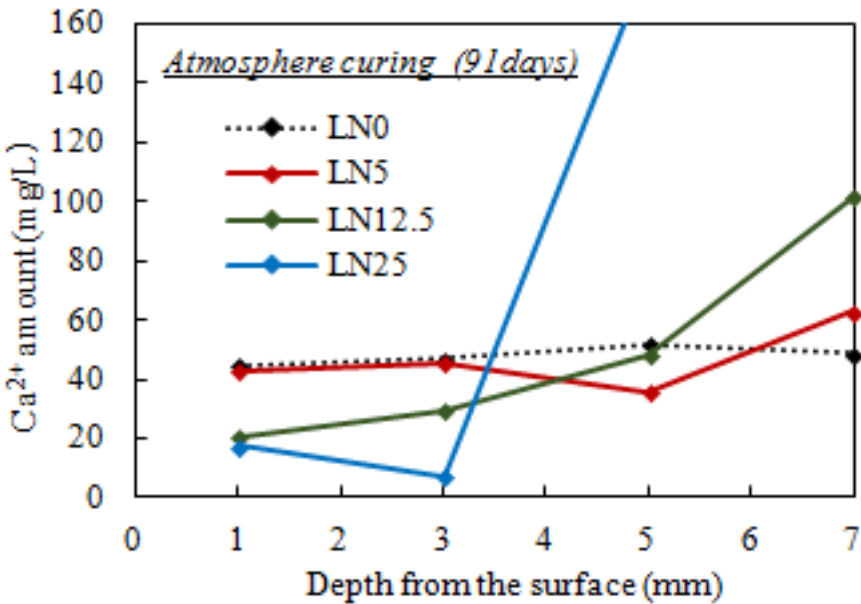
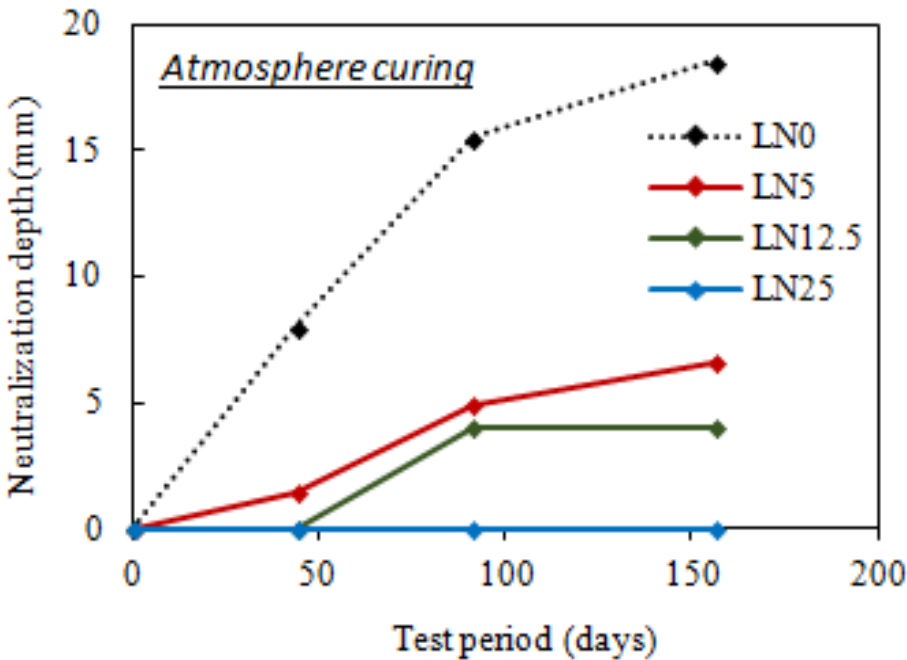
Table 2 Coloration status by spraying phenolphthalein solution during each promotion period

Test period	Atmosphere curing			
	0%	5%	12.5%	25%
91day				
156day				

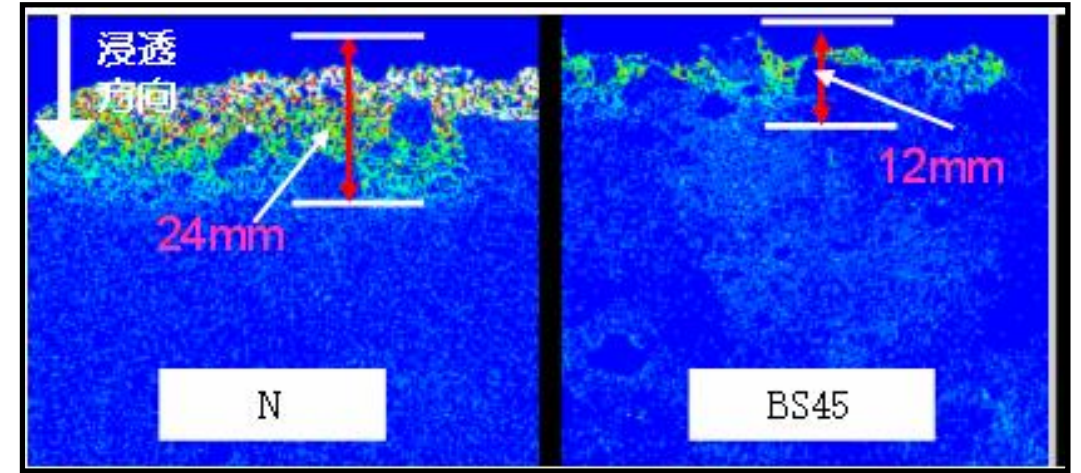
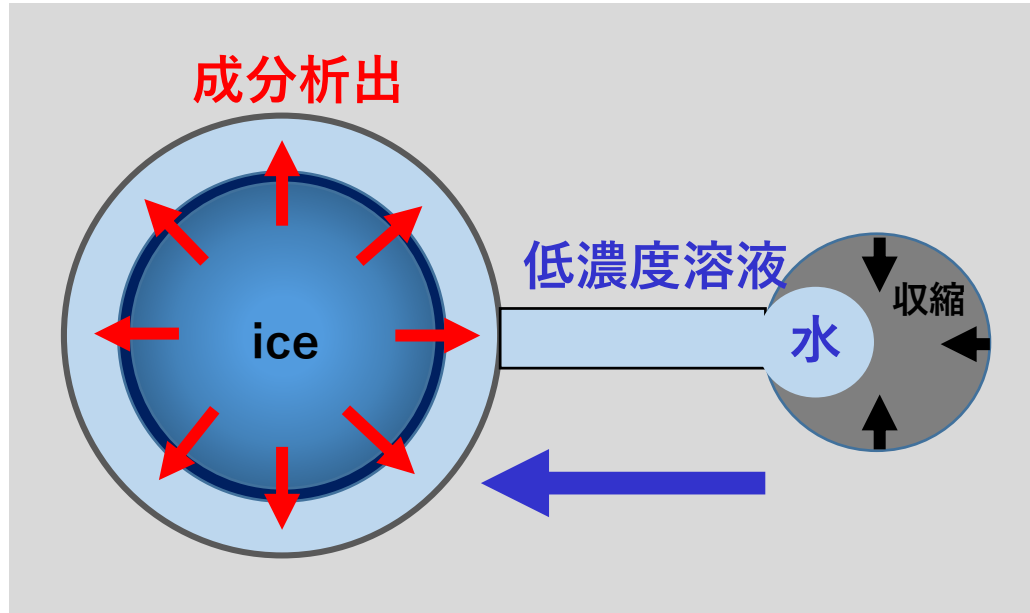
混和剤の添加量に従い中性化の進行が抑制される。
コンクリート中の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が炭酸化されても、pHが保持されて
中性化が抑制される。

強度増進により CO_2 の侵入速度は遅くなるが、
 CO_2 は確実にコンクリート中に取り込まれて、そして表層の CO_2 の
固定化量は増加している。

中性化に対する耐久性の確保が可能。



研究成果の紹介（凍結融解に対する期待）



高炉スラグ微粉末を使用すると、塩化物イオンの浸透抵抗性が向上するため、凍害劣化が抑制される。

水の移動の推進力：塩濃度の高い氷晶周辺の不凍結水と小さな細孔中の不凍結水との濃度差による浸透圧

高い凍結融解抵抗性を示すと期待

高炉スラグ微粉末の使用により塩化物イオン浸透を抑制 ⇒ 凍結融解劣化の抑制
混和剤の添加により凍結温度が低下 ⇒ 凍結しにくい ⇒ 凍結融解劣化の抑制

その他、冬場 5℃以下でも生コンによる打設が可能？

共同研究（福岡大学，九州電力，東洋建設，九州高圧コンクリート工業）2022年5月～

◇ 低炭素型コンクリート（セメント使用量が少ない）

- ・ 初期強度や耐久性の確保が課題。
- ・ 現場では使用しづらい。（初期欠陥が生じる）
- ・ 工場から排出されるCO2をコンクリートに固定化・吸収。
（新たに施設設備が必要。小型プレキャストに留まっている）

◇ 長期耐久性を有する低炭素型コンクリートへの期待

- ・ 生コンや工場製品など幅広く利用することができる。
 - ・ 新たな設備等は不要。
 - ・ 材料費は，現状のコンクリートの3倍になる。
 - ・ 養生期間を短くできる。
 - ・ かぶりを薄くすることができる。
 - ・ 構造物をより長く使用できる。
- 費用対効果も十分に期待できる

2022年度 基礎データを採取（混和剤の構成・最適添加率やCO2削減・吸収量など）

2023年度 低炭素型コンクリートの実証検証（現場を想定配合による性能評価）

2024年度 低炭素型コンクリートの配合設計や耐久性の定量評価

2025年度 実用化に向けた検証（生コン，工場製品）

ご清聴ありがとうございました。