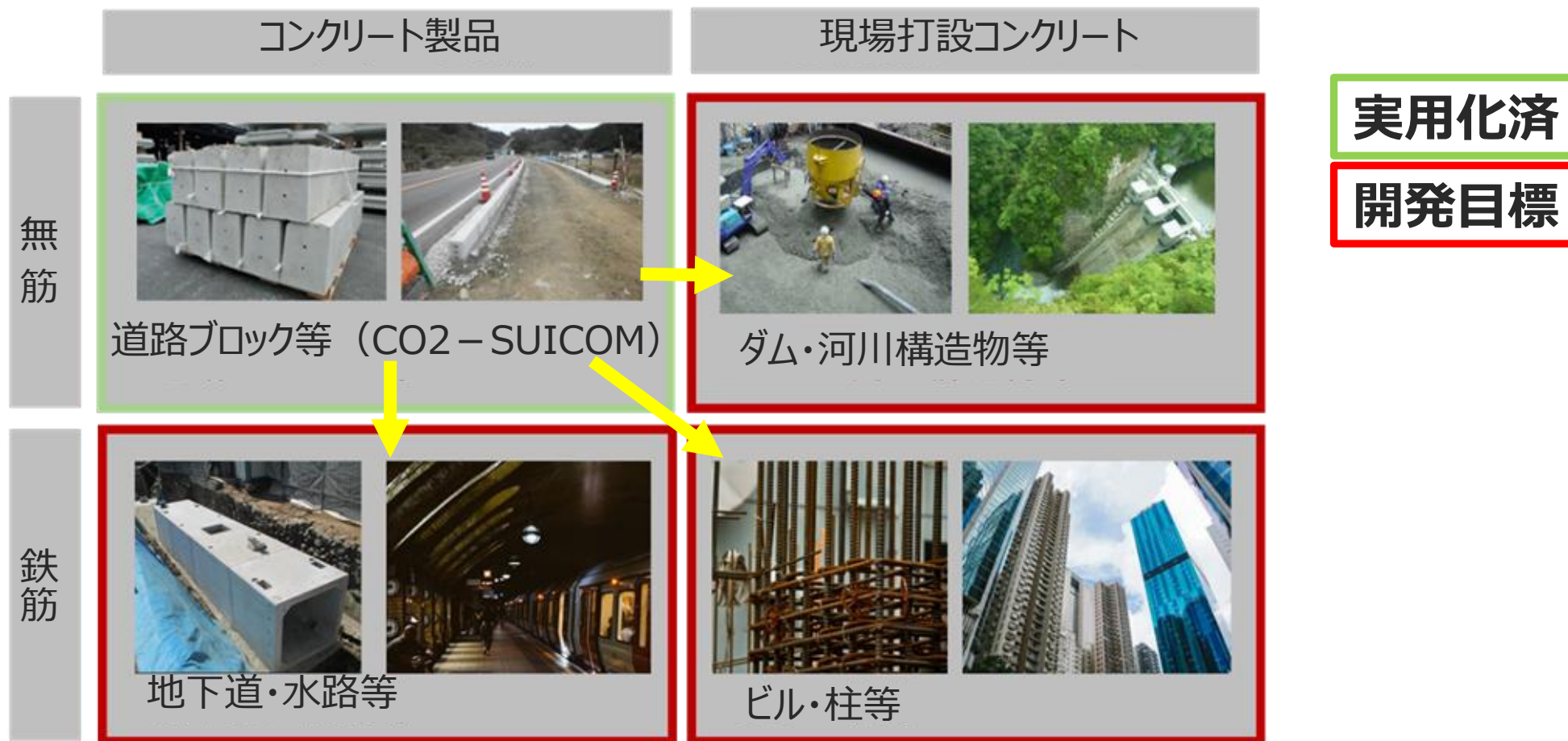


# CO<sub>2</sub>有効利用コンクリートの研究開発

---

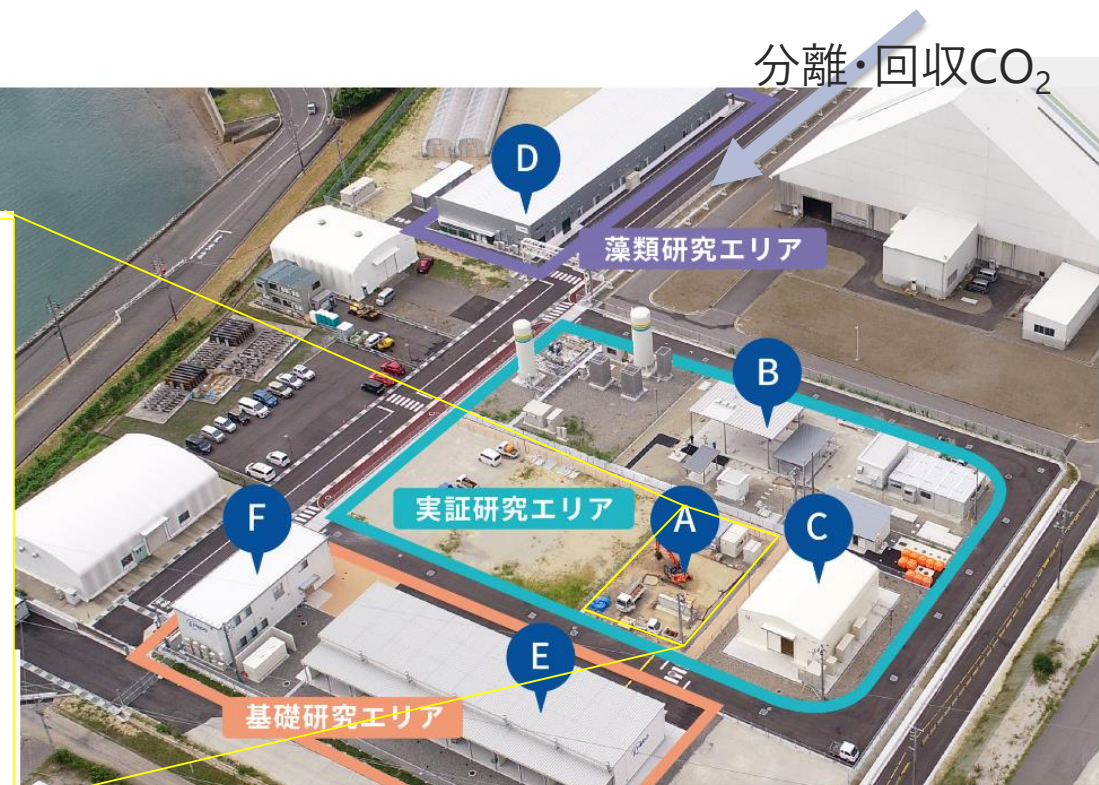
中国電力株式会社  
鹿島建設株式会社  
三菱商事株式会社

- 大量のカーボンリサイクルを実現するため、**CO<sub>2</sub>有効利用コンクリートの適用範囲の拡大**を目指す。



- CR研究拠点では、隣接する石炭ガス化複合発電所（IGCC）からの**分離回収CO<sub>2</sub>**を用いた**技術開発**が可能である。
- 当該拠点において、**CO<sub>2</sub>有効利用コンクリートの屋外大型試験**など、本研究を実施した。

※1 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）



カーボンリサイクル実証研究拠点（大崎上島）

出典：NEDO「カーボンリサイクル実証研究拠点」HPより

- CO<sub>2</sub>を固定させた**現場打設コンクリートの大型試験体**を3体製作した。
- CO<sub>2</sub>を固定する方法として、**3つの手法**を検討・実施した。



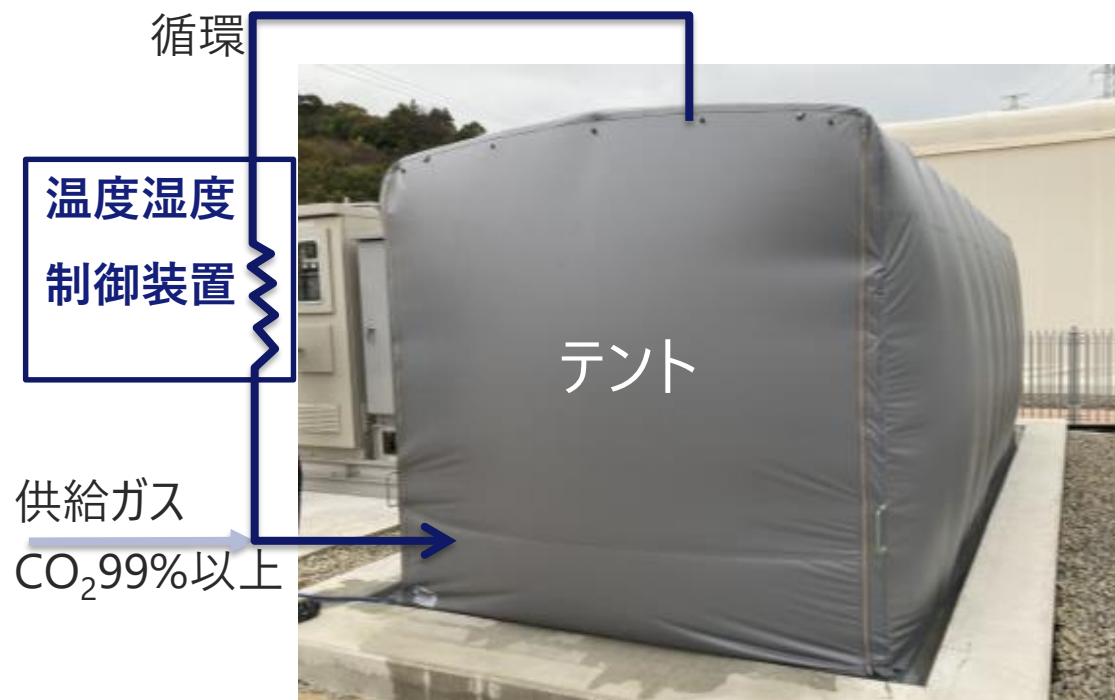
< 製作した大型試験体 (3体) >

## CO<sub>2</sub>固定手法 1（封緘装置式）

- 試験体の脱枠後に、密閉空間（テント）内にコンクリートを設置し、**コンクリートの外から炭酸化**する手法。このとき、制御装置により、最適な炭酸化養生環境（50°C、40%）を維持する。



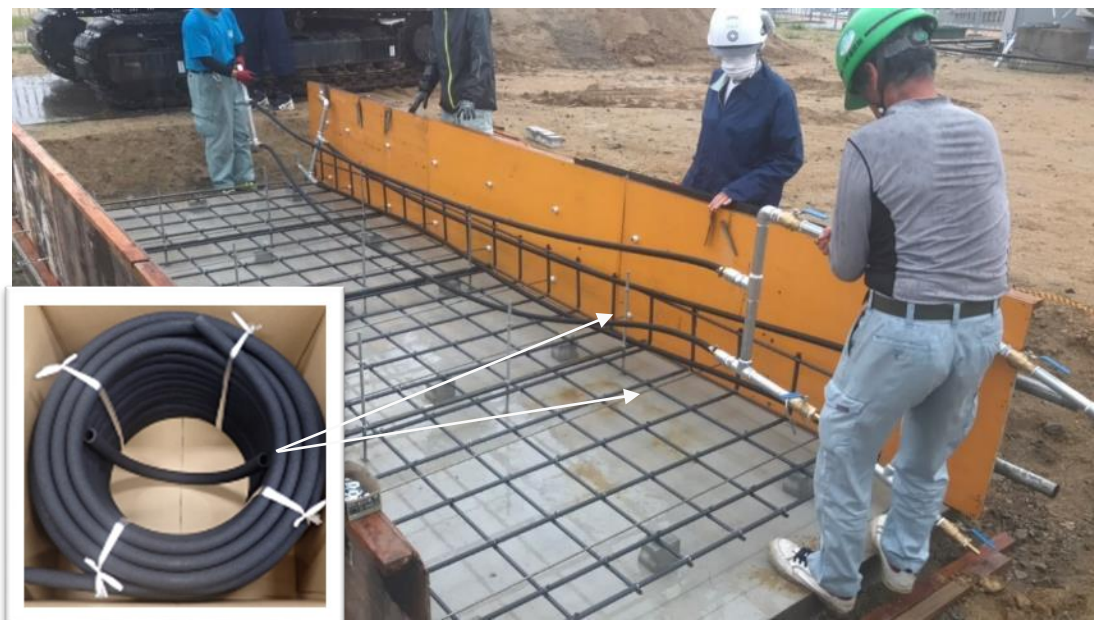
<炭酸化養生前>



<炭酸化養生中>

## CO<sub>2</sub>固定手法 2（埋込パイプ式）

- 脱型後、埋め込んだパイプ内にCO<sub>2</sub>を供給し、**コンクリートの中から炭酸化**する手法。
- 型枠・鉄筋組立時に、**CO<sub>2</sub>透過パイプ**（多孔質）を設置しておく。



<パイプ設置作業>

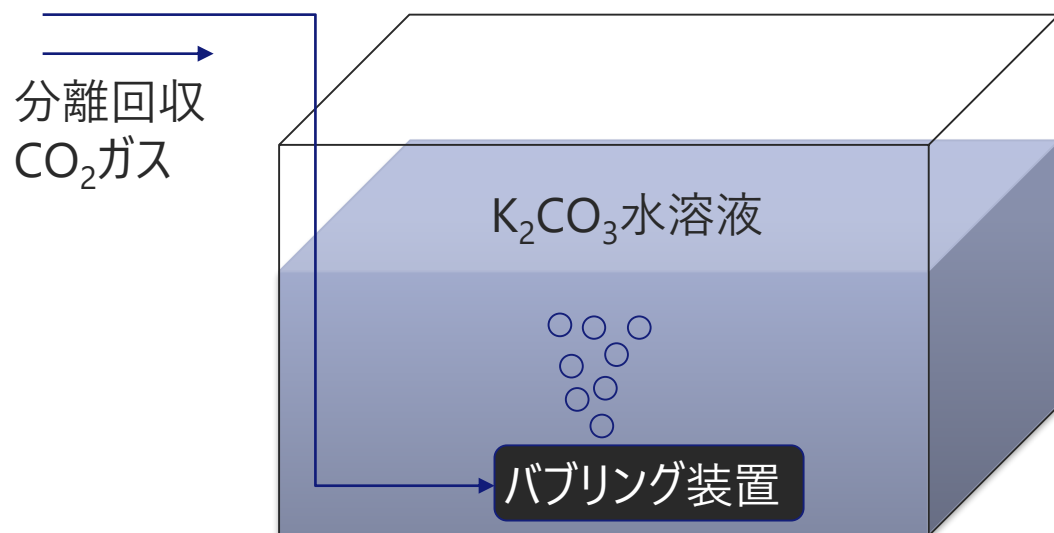


<炭酸化養生中（中から）>

## CO<sub>2</sub>固定手法 3（炭酸アルカリ水式）

- コンクリートの練混ぜ水にCO<sub>2</sub>を溶解させる手法。
- 通常の水では、CO<sub>2</sub>の溶解度が低いため、水酸化カリウムを混和して、CO<sub>2</sub>溶解水（K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>水溶液）を製造した。

反応式



炭酸カリウム水溶液 製造概要図

コンクリートの材料（練混ぜ水）  
として使用



## 封緘装置式





- 配合について、セメントの一部を高炉スラグ微粉末（BFS）、特殊混和材（ $\gamma$ ）で置換。  
 $\gamma$ はCO<sub>2</sub>と反応して硬化する性質を持つ。
- 試験では、炭酸化深さ、強度、CO<sub>2</sub>固定量を評価した。

設計基準強度 24N/mm<sup>2</sup>

目標CO<sub>2</sub>固定量 30kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>

## 配合表

W/P (%)	s/a (%)	単体量 (kg/m <sup>3</sup> )						
		W 水道水	OPC 普通ポルト	BFS 高炉粉末	$\gamma$ 特殊混和材	S 細骨材	G 粗骨材	Ad 混和剤
55.0	49.4	169	123	169	15	872	940	2.5

## 試験項目

項目	養生	摘要
炭酸化深さ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・炭酸化（26日※）</li> <li>・濃度99%以上のCO<sub>2</sub>供給</li> </ul>	切断面に1%フェノールフタレイン噴霧
圧縮強度		Φ100mmコアにて確認
CO <sub>2</sub> 固定量		全炭素量を測定

※ 材齢1日で脱型し、炭酸化を開始してからの日数

- 壁部の炭酸化深さは35~78mm、平均51mmであった。左右面で炭酸化深さに、ほとんど偏りはなかった。

炭酸化部  
深さ（幅） 51mm



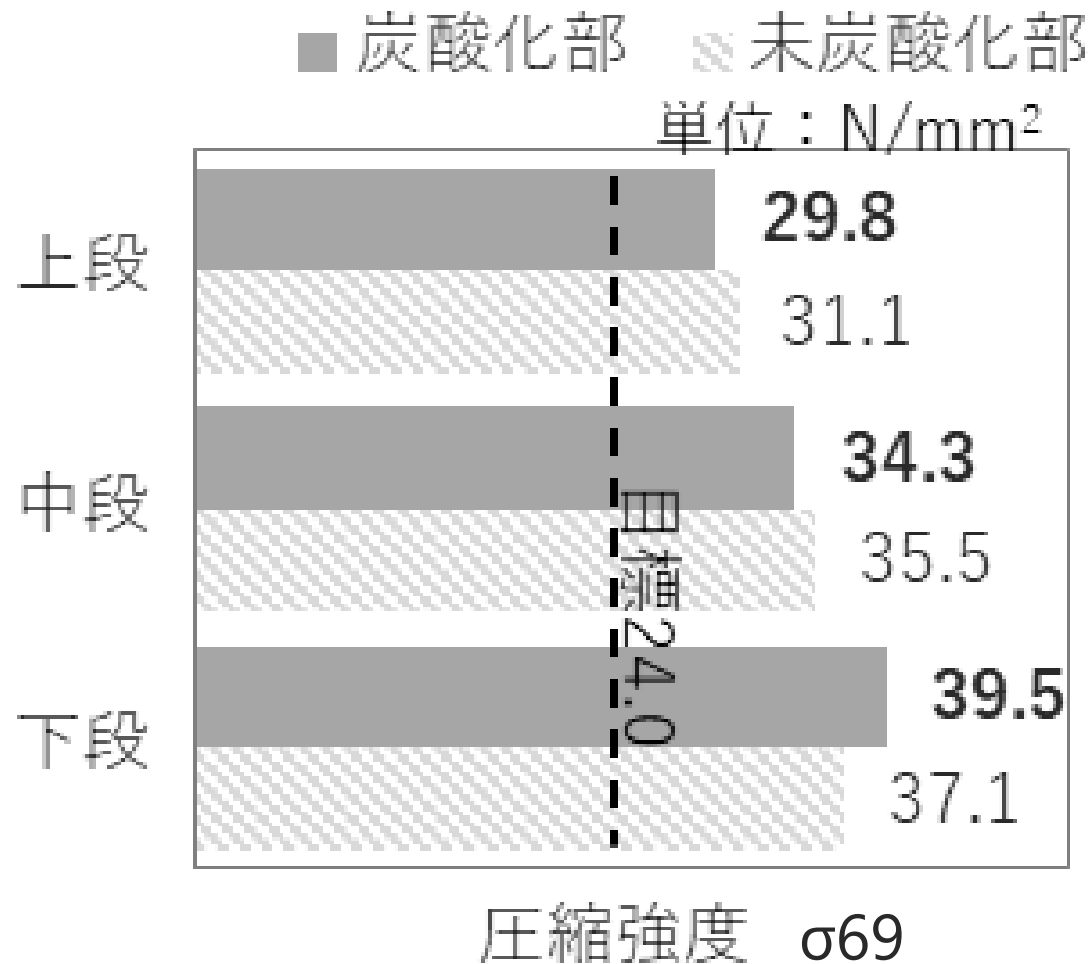
未炭酸化部

< 切断面の炭酸化範囲 >

- コア採取位置により強度の違いが見られたが、目標強度 $24\text{N/mm}^2$ を満足した。



<切断面の炭酸化範囲>



- 目標量30kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>以上のCO<sub>2</sub>を固定することに成功した。

✓ 元々材料に含まれるCO<sub>2</sub>量を除いて、固定量を評価した。

$$[全体のCO_2固定量] = ([CO_2含有量] - [使用材料CO_2含有量]) \times [面積率]$$

<CO<sub>2</sub>固定量分析結果>

部位	単位	炭酸化部	未炭酸化部
CO <sub>2</sub> 含有量 (全炭素量より)	kg/m <sup>3</sup>	107.0	14.4
使用材料に 含まれるCO <sub>2</sub> 量	kg/m <sup>3</sup>	2.5	
CO <sub>2</sub> 固定量	kg/m <sup>3</sup>	104.5	11.9
面積率	%	23	77
全体での CO <sub>2</sub> 固定量	kg/m <sup>3</sup>	33.2	



<切断面の炭酸化範囲>



## 埋込パイプ式



- 封緘装置式と同配合とした。
- 試験では、炭酸化深さ、強度、CO<sub>2</sub>固定量を評価した。

設計基準強度 24N/mm<sup>2</sup>

目標CO<sub>2</sub>固定量 30kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>

## 配合表

W/P (%)	s/a (%)	単体量 (kg/m <sup>3</sup> )						
		W 水道水	OPC 普通ポルト	BFS 高炉粉末	γ 特殊混和材	S 細骨材	G 粗骨材	Ad 混和剤
55.0	49.4	169	123	169	15	872	940	2.5

※ 封緘装置式と同配合。

## 試験項目

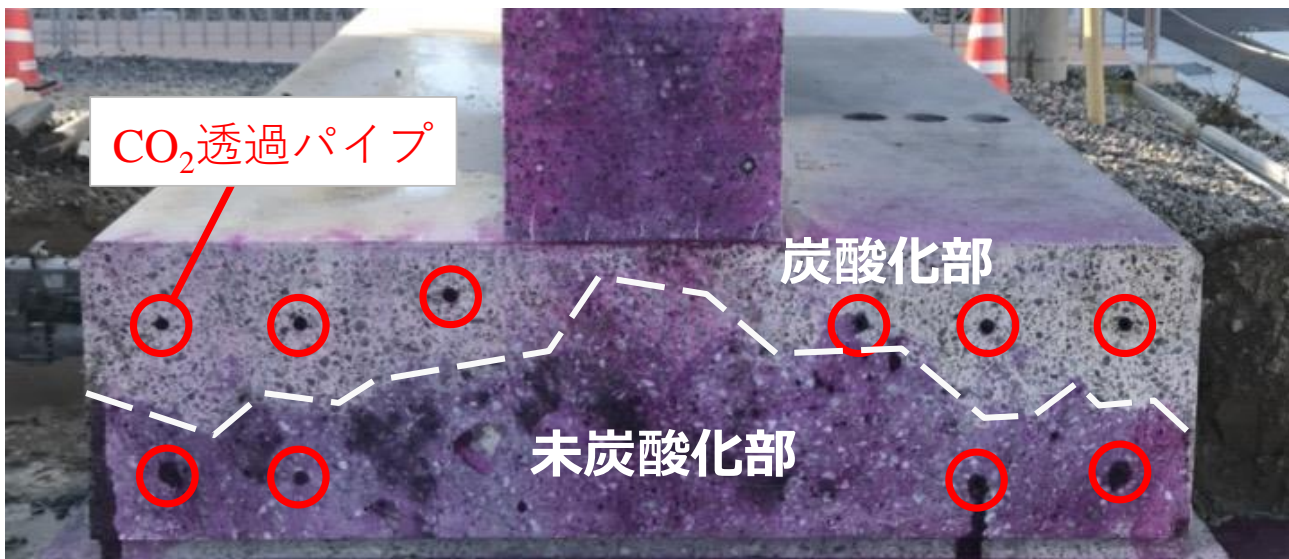
項目	養生	摘要
炭酸化深さ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・炭酸化 (31日※)</li> <li>・濃度99%以上のCO<sub>2</sub>供給</li> </ul>	切断面に1%フェノールフタレイン噴霧
推定圧縮強度		リバウンドハンマーにて測定
CO <sub>2</sub> 固定量		全炭素量を測定

※ 材齢1日で脱型し、炭酸化を開始してからの日数

- 10本のパイプにより炭酸化した結果、コンクリートの上部は炭酸化、下部は未炭酸化。
- 材齢138日時点で、炭酸化部の推定圧縮強度は目標 $24\text{N/mm}^2$ を満足した。

## 炭酸化深さ

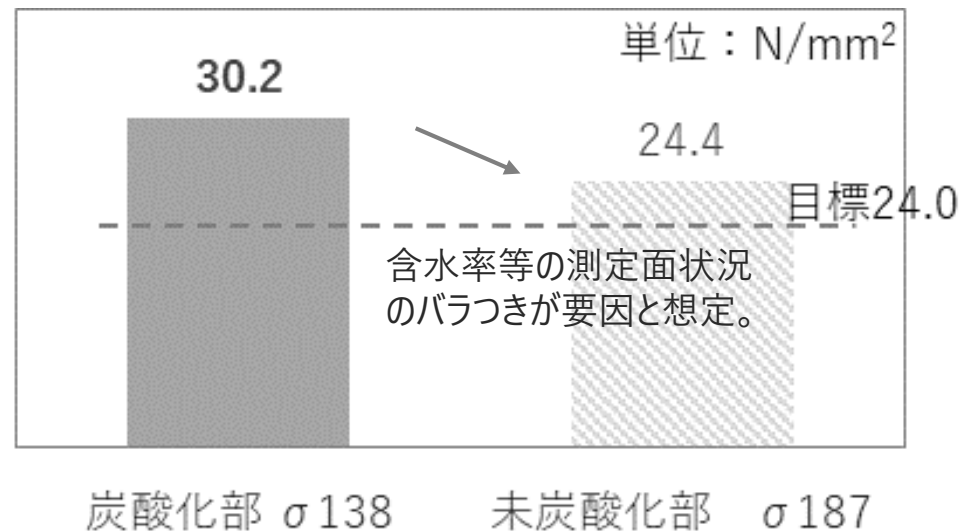
フェノールフタレイン1%溶液噴霧。



<切断面の炭酸化範囲>

## 推定圧縮強度

リバウンドハンマーにより計測。



<切断面の推定圧縮強度>

- 目標量30kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>以上のCO<sub>2</sub>を固定した。

✓ 元々材料に含まれるCO<sub>2</sub>量を除いて、固定量を評価した。

$$[全体でのCO_2固定量] = ([CO_2含有量] - [使用材料CO_2含有量]) \times [面積率]$$

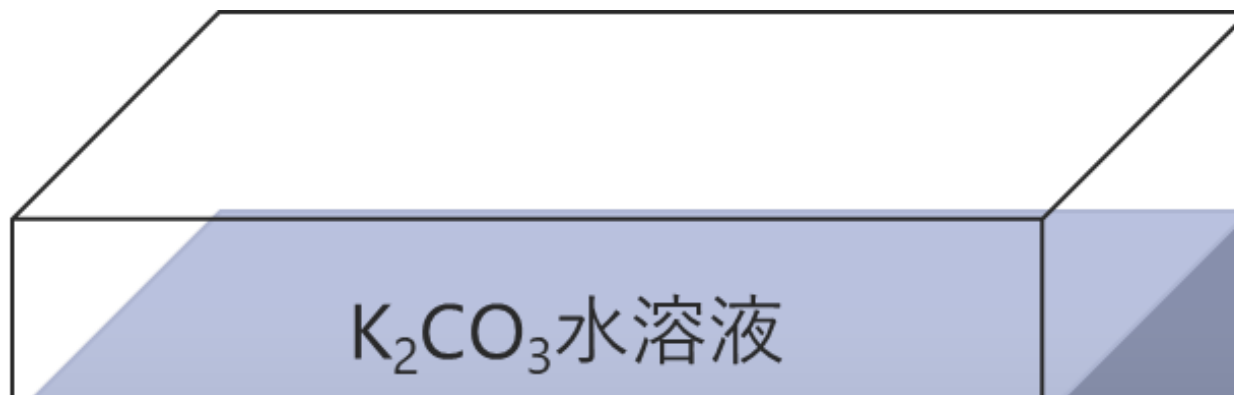
### < CO2固定量分析結果 >

部位	単位	炭酸化部	未炭酸化部
CO <sub>2</sub> 含有量 (全炭素量より)	kg/m <sup>3</sup>	74.0	13.0
使用材料に 含まれるCO <sub>2</sub> 量	kg/m <sup>3</sup>	2.5	
CO <sub>2</sub> 固定量	kg/m <sup>3</sup>	71.5	10.5
面積率	%	43.2	56.8
全体での CO <sub>2</sub> 固定量	kg/m <sup>3</sup>	36.9 (> 30)	

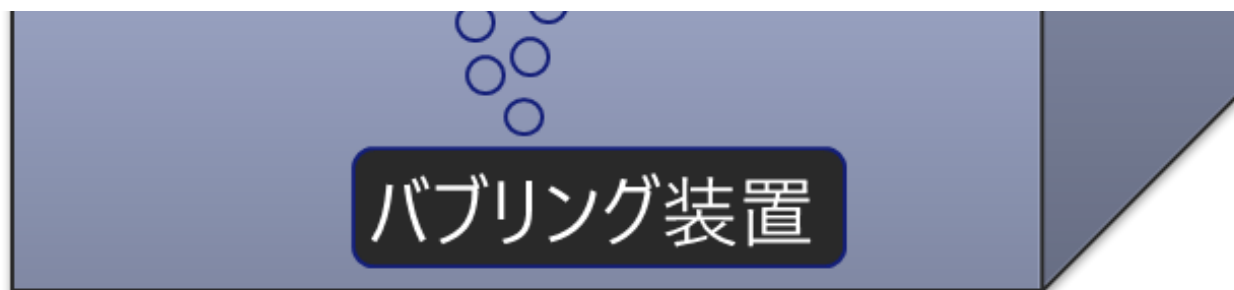


< 切断面の炭酸化範囲 >





## 炭酸アルカリ水式



- 配合は基本的に他固定手法と同様であるが、追加的に炭酸カリウム分 $96\text{kg}/\text{m}^3$  (含有 $\text{CO}_2$ 量 $30\text{kg}/\text{m}^3$ ) を添加した。
- 設計基準強度は一般的な土木構造物を参考に $24\text{N}/\text{mm}^2$ で設定した。
- 試験では、炭酸化深さ、強度、 $\text{CO}_2$ 固定量を評価した。

## 配合表

W/P (%)	s/a (%)	単体量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )						
		W (水道水)	OPC (普通ポルト)	BFS (高炉粉末)	$\gamma$ (特殊混和材)	S (細骨材)	G (粗骨材)	K (炭酸カリウム)
55.0	49.4	169	123	169	15	872	940	96

AE減水剤、A E 剤、増粘剤を添加

## 試験項目

項目	養生	摘要
炭酸化深さ	・分離回収した濃度99%以上の $\text{CO}_2$ をバブリング (2日間) ・打設後、材齢7日で脱枠	フェノールフタレイン1%噴霧
圧縮強度		テストピース $\phi 100\text{mm}$ とリバウンドハンマで確認
$\text{CO}_2$ 固定量		全炭素量を測定

## 目標 $\text{CO}_2$ 固定量

$30\text{kg}\text{-CO}_2/\text{m}^3$

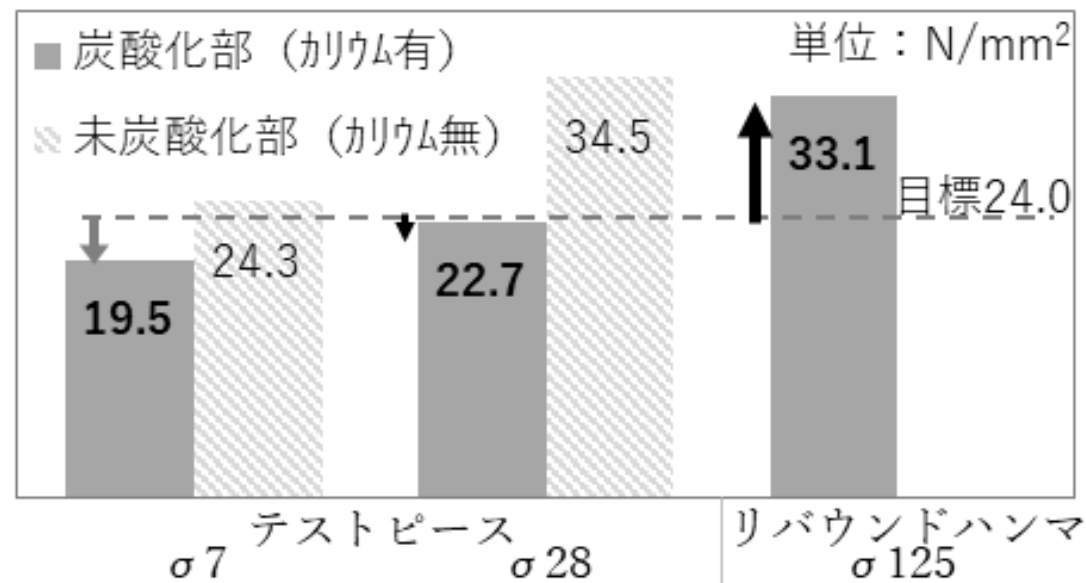
- 断面全体で、アルカリ性が保持されていた。
- 炭酸化カリウムを添加した場合、28日材齢時点では目標強度に達しなかったが、長期での強度では、目標強度を満足した。

## 炭酸化深さ



試験体の切断面  
(フェノールフタレイン1%溶液噴霧後)

## 推定圧縮強度

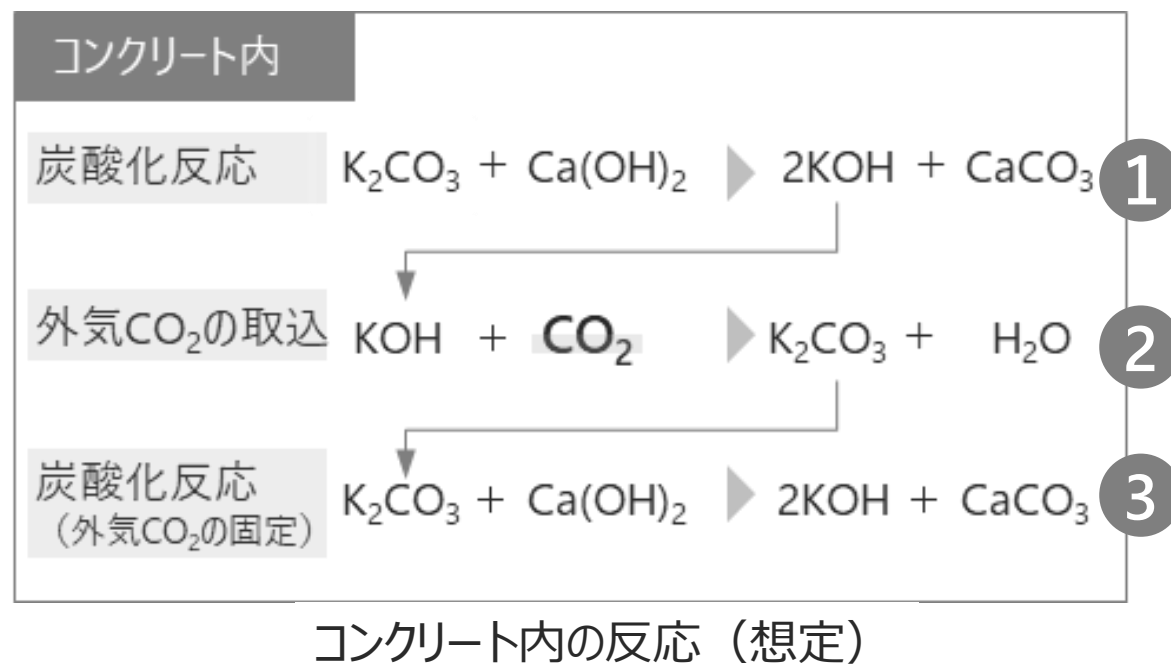


強度試験の測定結果

- K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>として投入したCO<sub>2</sub>量（30kg/cm<sup>3</sup>）の2倍以上のCO<sub>2</sub>を固定した。
- これは、式①の炭酸化反応により生成したKOHが、②外気のCO<sub>2</sub>を取込、③CO<sub>2</sub>を固定した結果と想定される

CO<sub>2</sub>含有量の測定結果

部位	単位	炭酸化部	未炭酸化部
CO <sub>2</sub> 含有量 (全炭素量より)	kg/m <sup>3</sup>	78.3	—
使用材料に 含まれるCO <sub>2</sub> 量	kg/m <sup>3</sup>	2.5	
CO <sub>2</sub> 固定量	kg/m <sup>3</sup>	75.8	—
面積率	%	100	0
全体での CO <sub>2</sub> 固定量	kg/m <sup>3</sup>	75.8	(> 30)



- 新たなCO<sub>2</sub>固定方法として、3つの手法を開発。
- 石炭ガス化複合発電所（IGCC）から分離回収したCO<sub>2</sub>をコンクリートに固定した（CR研究拠点の特色）。
- 3手法ともに、目標量30kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>以上のCO<sub>2</sub>固定を達成。
- 3手法ともに、長期強度において、目標強度24N/mm<sup>2</sup>以上を達成。
- コスト面等課題が残るものの、現場打設コンクリートへの適用可能性有。

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP16002）の結果得られたものです。