

CO₂吸収コンクリートを用いた大型埋設型枠の適用と今後の課題

鹿島建設(株) 正会員 ○平石剛紀 吉田祐麻 山野泰明 関 健吾 取違 剛 渡邊賢三
坂井吾郎 巴 史郎 百瀬晴樹 笠井 浩 閑田徹志 坂田 昇

1. はじめに

地球温暖化の面から、CO₂排出量の削減は世界的に取り組まなければならない喫緊な課題である。特に、セメントコンクリートは、大量のCO₂を排出しており、社会的に大きな問題となっている。これを解決する一つの方法として、コンクリートにCO₂を強制的に吸収させるCO₂吸収コンクリートがある¹⁾。本技術は、2020年12月に経済産業省による「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」の中でも示されており注目されている。この技術は、今から10年以上前の2011年頃に開発されたもので、これまでインターロッキングブロックなど二次製品を中心に適用されてきた。その中で唯一、躯体に適用されたのが建築のプレキャスト（以下、PCaと称す）コンクリートの大型埋設型枠である。本報告では、今後の土木構造物の躯体への適用拡大を見据えて、CO₂吸収コンクリートを用いた大型埋設型枠の適用事例と今後の課題について述べる。

2. CO₂吸収コンクリート適用部位、配合および製造

CO₂吸収コンクリートの適用部位を写真-1に示す。CO₂吸収コンクリートを用いたPCa埋設型枠の躯体の設計基準強度は30 N/mm²であり、配合強度は40 N/mm²以上を確保することとした。またこのコンクリートの目標スランプは6±2.5 cm、目標空気量は4.5±1.5 %とした。

CO₂吸収コンクリートの使用材料を表-1に示す。

本コンクリートは、PCa工場で製造したが、セメントや骨材はその工場で使用しているものとした。ただし、今回の板の厚さが40 mmのため、コンクリートの充填性を高めることから砕石の最大寸法は10 mm以下とした。フライアッシュはⅡ種品で、セメント量の削減と流動性向上に用いた。CO₂吸収コンクリートの鍵となるγ-C₂Sは非水硬性で、炭酸ガスと直接反応しCaCO₃として固定化される特殊な混和材である。配合を表-2に示す。

所定の鋼製型枠にひび割れ防止用のSUS鉄筋を設置し、コンクリート打込み後、蒸気養生を行った。蒸気養生条件は、前置き養生2時間以上、昇温速度は20℃/時間以下である。今回のPCaパネル製作期間にあたる標準期と夏期における蒸気養生の最高温度は40～50℃で、その保持時間は6時間以下とした。蒸気養生の後、所定の脱型時強度を確認してパネルを吊り上げた。通常のPCaコンクリートの脱型時強度は12 N/mm²以上であるが、CO₂吸収コンクリートの場合、脱型時強度が高すぎるとその後の炭酸化養生による炭酸化が進みにくいことを考慮し4～10 N/mm²とした。パネルの吊り上げは、打込みインサートを利用し、吊り上げ治具（8点）で脱型し、門型クレーンで



写真-1 CO₂吸収コンクリートの適用部位

表-1 使用材料

項目	記号	材料名	密度 (g/cm ³)
セメント	HPC	早強ボルトランドセメント	3.14
混和材	FA	フライアッシュⅡ種品	2.30
	γ	γ-C ₂ S	2.76
練混ぜ水	W	地下水	1.00
細骨材	S	砕砂（硬質砂岩）	2.66
粗骨材	G	砕石1305（硬質砂岩）	2.66
混和剤	SP	高性能減水剤	1.05
	AE	空気量調整剤	1.04

表-2 コンクリートの配合

W/P※ (%)	W/B※※ (%)	単位量 (kg/m ³)						
		W	HPC	FA	γ	S	G	SP
50	100	165	130	35	165	844	952	3.96

※W/P：水粉体比（粉体=HPC+FA+γ）

※※W/B=水結合材比（結合材=HPC+FA）

キーワード 環境配慮型コンクリート、CO₂吸収、埋設型枠、CO₂排出量、フライアッシュ、炭酸化養生
連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) 技術研究所 土木材料 Gr. TEL042-485-1111

横移動させ、工場内で1~2日間気中養生した。その後パネルは、レール台車を用いて最大8枚積み重ね、20フィートコンテナ型の炭酸化養生装置内に格納した。その養生条件は温度50℃、湿度50%、CO₂濃度80%とした。炭酸化養生期間の設定は、事前の実験で決定したものに準じた。炭酸化深さの測定に用いる供試体はφ10×20cmとし所定材齢で割裂しフェノールフタレイン溶液を噴霧した。炭酸化深さ測定は8点とし、その平均値で評価した。材齢と炭酸化深さの関係を図-1に示す。今回製作したパネル厚の半分である20mmを超えたのは材齢7日（平均炭酸化深さ22.9mm）で、その養生期間は7日とした。

パネルの製造回数は10回で、スランプおよび空気量は目標値を満足していた。製造時の圧縮強度と炭酸化深さの一覧を表-3に示す。脱型時の強度の平均値は5.5 N/mm²であった。CO₂養生前の強度の平均値は6.3 N/mm²であり、脱型から気中養生の強度増進は約1 N/mm²であった。また、部材同一養生強度の平均値は58.9 N/mm²であった。炭酸化養生により著しく強度が増進し目標強度の40 N/mm²以上を確保できた。製造時における炭酸化深さは、断面20×4cmにフェノールフタレイン溶液を噴霧し、その炭酸化残りの面積で評価した。最大値は4.9%で、その面積は約4cm²に相当し、炭酸化深さは約3.8cmであった。10ロットの内8ロットは0%であった。したがって、製造したパネルは、ほぼ完全に炭酸化したと考えられる。

3. CO₂固定量の試算

CO₂吸収コンクリートのCO₂排出量を図-2に示す。比較用のW/C50%の普通セメント（CO₂排出原単位769 kg-CO₂/t 単位セメント量330 kg/m³）コンクリートのCO₂排出量は254 kg/m³である。CO₂吸収コンクリートの場合は表-2の配合より、早強ポルトランドセメント（CO₂排出原単位769 kg-CO₂/t, CaO:65%）、フライアッシュ（CO₂排出原単位29 kg-CO₂/t CaO:5%）およびγC₂S（CO₂排出原単位124.5 kg-CO₂/t CaO:62%）であり、材料変更によるセメント量の削減は121 kg/m³である。一方、炭酸化養生によるCO₂との反応については、他のセメント水和物に吸着されるCO₂も含めて理論上147 kg/m³固定できる。つまり、普通コンクリートよりも268 kg/m³ものCO₂が削減でき、結果として-14 kg/m³のカーボンネガティブコンクリートが得られた。

4. 今後の課題

CO₂吸収コンクリートを用いた大型埋設型枠は、適用から約10年経過したが、ひび割れ等問題なく供用されている。当時は炭酸化による鉄筋腐食の懸念からSUS鉄筋としたが、水の影響などを考慮すれば普通鉄筋を用いる可能性もある。炭酸化をコンクリートの劣化の一つである中性化と同じと考え鉄筋が腐食するとの考えもあるが、炭酸化養生による強制炭酸化は、コンクリート表面から緻密化するため、その耐久性については、今後、別途証明していく所存である。

参考文献

- 1) 取違ら：炭酸化養生を行ったコンクリートのCO₂収支ならびに品質評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，pp.1450-1455，2012。

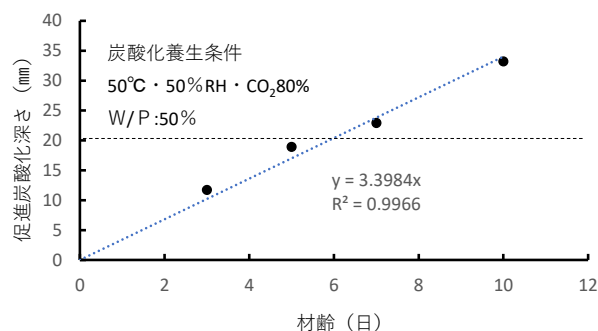


図-1 材齢と促進炭酸化深さの関係

表-3 製造時の強度と炭酸化深さの一覧

製造 10ロット	脱型時 強度 (N/mm ²)	CO ₂ 養生前強 度 (N/mm ²)	部材同一 養生強度 (N/mm ²)	炭酸化深さ 残り面積(%)
供試体寸法	(φ10×20cm)	(φ10×20cm)	(φ5×10cm)	(20×30×4cm)
平均値	5.5	6.3	58.9	0.8
最大値	6.9	7.9	81.6	4.9
最小値	4.2	4.6	48.2	0
標準偏差	1.06	1.04	9.34	1.68

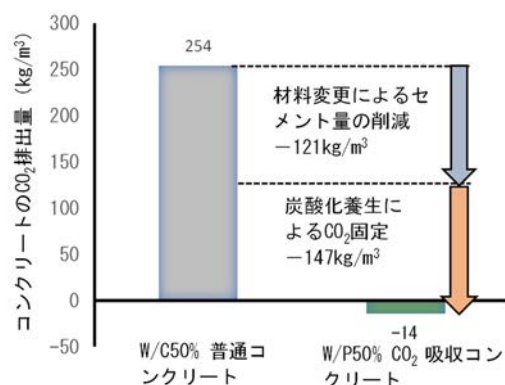


図-2 CO₂吸収コンクリートのCO₂排出量