

炭酸化反応を用いたモルタルの緻密化に関する材料および養生方法の影響

長岡技術科学大学 学生会員 ○小籾 将人

鹿島技術研究所 正会員 芦澤 良一 正会員 渡邊 賢三 正会員 横関 康祐

鹿島技術研究所 フェロー会員 坂田 昇

1. はじめに

海洋環境下における構造物や放射性廃棄物処分場には、百年から数万年の耐久性が必要とされている。これまでに、低熱ポルトランドセメント(以下、LPC)を各種混和材で置換し、強制的に炭酸化を行うことによって緻密で溶解抵抗性に優れた高耐久なコンクリートの構築が可能であることが確認されている<sup>1)</sup>。しかし、十分な炭酸化深さを得るためには長期の炭酸化養生期間が必要となるなど、実施工に対する課題は多い。本研究は、配合および炭酸化養生方法を要因として、短期間で炭酸化しやすく、かつ緻密化させやすい方法について検討したものである。

2. 実験概要

本研究では、基本とした配合のモルタルに対して各種炭酸化養生を行い、この内で最も炭酸化深さが大きく、また、空隙率が小さくなるような炭酸化養生方法を選定した。次に、モルタルの配合を変化させ、同一炭酸化養生を施した場合における炭酸化深さおよび空隙率について評価を行った。

使用材料を表-1に示す。ここで、表中のダイカルシウムシリケートγ相(以下、γC<sub>2</sub>S)は、炭酸ガスと反応すると体積膨張する材料であり、混和材の一部として用いて強制的に炭酸化することによって、マトリクスの細孔組織を充填し一層の緻密化が期待されるものである。

本研究で用いた配合を表-2に示す。配合1のモルタルを基本配合として、配合2および3では練混ぜ水をそれぞれ炭酸水および炭酸水(5L)に炭酸カルシウム(100g)を溶解させた水とした。また、配合4では粉体の混合割合、配合5ではセメント種類を変えたものとした。ここで、各配合において、フローが250±50mm、空気量が2.0±1.0%の範囲になるように混和剤で調整した。

養生方法を表-3に示す。モルタルを40×40×40mmの型枠に打込み後、温度20℃、湿度80%の気中で1日静置し、脱型後、20℃の標準水中養生を1日施した。その後、表-3に示すとおり5日間各種養生を行った。各養生が終了後、JIS A 1153に準拠して炭酸化深さを測定した。また、炭酸化深さが5mm以上となった供試体については、炭酸化部分から試料を採取し、水銀圧入法により空隙率の測定を実施した。

3. 試験結果

図-1に配合1について各種養生を施した場合の炭酸化深さ測定結果を示す。中性化促進槽にて湿度を要因として炭酸化を行ったケース

表-1 使用材料

| 項目   | 材料             | 記号                | 密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) |
|------|----------------|-------------------|----------------------------|
| セメント | 普通ポルトランドセメント   | OPC               | 3.16                       |
|      | 低熱ポルトランドセメント   | LPC               | 3.22                       |
| 混和材  | ダイカルシウムシリケートγ相 | γC <sub>2</sub> S | 2.99                       |
|      | フライアッシュ        | FA                | 2.40                       |
|      | シリカフューム        | SF                | 2.20                       |
| 細骨材  | 豊浦標準砂          | S                 | 2.65                       |
| 混和剤  | 高性能減水剤         | SP                | -                          |
|      | 消泡剤            | AD                | -                          |

表-2 配合

| 配合 | セメント種類 | 水粉体比<br>(%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |                   |     |    |     | 備考                                       |
|----|--------|-------------|-------------------------|-----|-------------------|-----|----|-----|------------------------------------------|
|    |        |             | W                       | C   | γC <sub>2</sub> S | FA  | SF | S   |                                          |
| 1  | LPC    | 30          | 286                     | 429 | 286               | 191 | 48 | 953 | LPC: γC <sub>2</sub> S:FA:SF=4.5:3:2:0.5 |
| 2  |        |             |                         |     |                   |     |    |     | 練混ぜ水:炭酸水                                 |
| 3  |        |             |                         |     |                   |     |    |     | 練混ぜ水:炭酸水+炭酸カルシウム                         |
| 4  |        |             |                         |     |                   |     |    |     | LPC: γC <sub>2</sub> S:FA:SF=3:3:2:2     |
| 5  | OPC    |             | 429                     |     |                   |     | 48 |     | OPC: γC <sub>2</sub> S:FA:SF=4.5:3:2:0.5 |

表-3 養生方法および養生期間

| 記号  | 養生方法                 |                 |                                             |
|-----|----------------------|-----------------|---------------------------------------------|
|     | 1日目                  | 2日目             | 3～7日目                                       |
| A   | 気中養生<br>(20℃, 80%RH) | 標準水中養生<br>(20℃) | 標準水中養生(20℃)                                 |
| B-1 |                      |                 | 中性化促進槽内で養生(50℃, 20%CO <sub>2</sub> , 30%RH) |
| B-2 |                      |                 | 中性化促進槽内で養生(50℃, 20%CO <sub>2</sub> , 45%RH) |
| B-3 |                      |                 | 中性化促進槽内で養生(50℃, 20%CO <sub>2</sub> , 60%RH) |
| C   |                      |                 | 炭酸水中に浸漬(20℃)                                |
| D   |                      |                 | 炭酸ガスを2MPaの圧力で強制的に透気(20℃)                    |
| E   |                      |                 | 炭酸ガスを注入した真空デシケータ内で養生(20℃, 80%RH)            |

キーワード 炭酸化, 緻密化, γC<sub>2</sub>S

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学 TEL: 0258-46-6000

B-1, 2, 3 および炭酸ガスを強制的に透気させたケースDでは炭酸化が認められたが、他の養生方法では炭酸化深さは 0mmであった。ケース B-1, 2, 3 において、炭酸化深さは湿度が 45%と 60%では 15mm程度であったが、湿度 30%では若干小さくなった。一般的に、コンクリートは湿度 60%程度において炭酸化速度が大きくなることが知られているが、炭酸ガスと反応する  $\gamma\text{-C}_2\text{S}$  が含有されている場合では、比較的湿度が低い条件においても炭酸化速度が大きくなると考えられる。また、ケースDでは、わずかに炭酸化したものの 5mm以上の炭酸化深さを得ることができなかった。これは、作用圧力が小さかったため、炭酸ガスが内部まで拡散しなかったものと考えられる。

炭酸水中に浸漬させたケース C では、炭酸化は認められなかった。これは水中では気中に比べて拡散係数が非常に小さくなるためと考えられ、水中にて炭酸化を行うことは非常に困難であることが確認された。炭酸ガスを注入した真空デシケータ内にて養生を行ったケース E では、湿度管理が難しく、養生時の湿度が 80%程度と高かったため、炭酸化しなかったと考えられる。

図-2 に深さ 5mm 以上の炭酸化が確認されたケース B-1, 2 および 3 について、空隙率および平均空隙径の測定結果を示す。同図より、湿度によらず空隙率および平均空隙径は同程度であった。

以上より、中性化促進槽にて温度 50℃、20% $\text{CO}_2$ 、60%RHの条件としたケースB-3 について配合を要因として検討を行うものとした。図-3 に各配合における炭酸化深さの測定結果を示す。配合 1, 2 および 3 において、練混ぜ水中の炭酸イオン含有量が多い配合 3 の方が炭酸化深さは小さくなる傾向にあるものの、いずれも炭酸化深さは 15mm程度であり、練混ぜ水の種類が炭酸化深さへ及ぼす影響は小さいことが確認された。配合 4 では全断面炭酸化しており、炭酸化深さは配合 1 よりも大きくなった。これは、配合 4 ではSFの添加量を増加させたことにより配合 1 よりも単位セメント量が少なく、水セメント比が大きいためであると考えられる。また、配合 5 では、炭酸化深さは配合 1 の半分程度であった。これは、OPCはLPCに比べて水和速度が速く、早い段階で緻密化するためであると考えられる。

各配合における空隙率および平均空隙径を図-4 に示す。配合 1, 2, 3 において、練混ぜ水の影響は小さいものの、配合 3 が最も空隙率および平均空隙径が小さくなる傾向であった。これは、炭酸カルシウムを練混ぜ水に用いることで、 $\gamma\text{-C}_2\text{S}$  の反応量がわずかながら大きくなったためと考えられる。また、配合 4 では上述したように配合 1 よりも水セメント比が大きいため炭酸化深さは大きくなるものの、空隙構造は粗大化する結果であった。配合 5 では、空隙率は配合 1 と同程度であるが、空隙径が小さくなる結果となった。これは、LPCよりもOPCの方が水和反応が速いため、材齢 7 日においてはこのような結果となったものと考えられる。

#### 4. まとめ

本研究において、 $\gamma\text{-C}_2\text{S}$  を含有している場合では、十分な炭酸化深さを得るためには湿度 45～60%程度の環境下において気中で炭酸化を行うことが必要であることが確認された。配合を要因とした場合では、練混ぜ水中の炭酸イオン含有量が炭酸化深さおよび空隙構造へ及ぼす影響は小さく、また、水セメント比が大きい場合には炭酸化深さは大きくなるものの、空隙構造は粗大化することが確認された。

#### 参考文献

- 渡邊ほか： $\gamma\text{-2CaO}\cdot\text{SiO}_2$  を用いたセメント系材料の炭酸化養生による高耐久化、コンクリート工学年次論文集, Vol. 26, No. 1, pp735-740, 2004

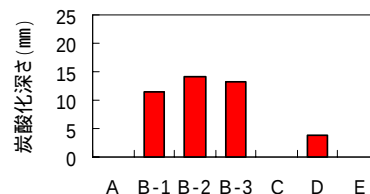


図-1 各養生ケースにおける炭酸化深さ

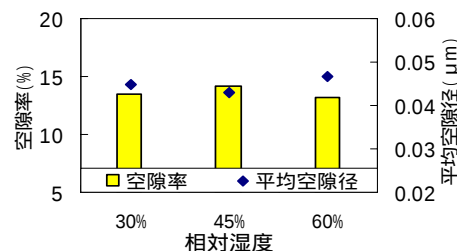


図-2 ケース B における空隙率と平均空隙径

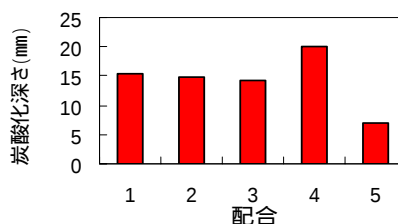


図-3 ケース B-3 における各配合の炭酸化深さ

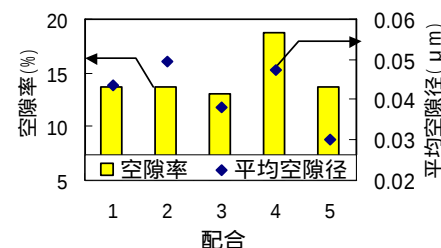


図-4 ケース B-3 における空隙率および平均空隙径