

石炭ガス化スラグ細骨材を用いたコンクリートの 塩分浸透抵抗性に及ぼす自己治癒効果の検討

東京工業大学 学生会員 ○奥田 健学
東京工業大学 正会員 岩波 光保

東京工業大学 正会員 中山 一秀
広野 IGCC パワー 正会員 松浦 忠孝

1. 背景と目的

発電効率を大きく向上し、発電量あたりの温室効果ガス排出量を下げる技術として、石炭ガス化複合発電（IGCC）が注目されている。従来の石炭火力発電は、石炭を燃やした熱で蒸気を発生させ蒸気タービンを回転することで発電するのに対して、IGCCは石炭をガス化し、ガスタービンと蒸気タービンの組み合わせにより発電する次世代の火力発電方式である。IGCCは石炭をガス化する際に大量のスラグを排出するが、それらを産業廃棄物として処理する場合、処理費が発電原価に影響する。スラグ排出量は今後増大する見込みであり、コンクリート用細骨材としての利用に向けた取り組みが行われている。

石炭ガス化スラグ（IGCC スラグ）を高い置換率で用いたコンクリートは塩分浸透抵抗性に優れていることが報告されている¹⁾。これは、IGCC スラグがフライアッシュと似たような化学成分を持ち、ポゾラン活性を有するからであると考えられている。しかし IGCC スラグはガラス質で表面が滑らかなため、セメントペーストとの付着力が弱く、境界層で微細ひび割れが発生しやすい可能性がある。微細ひび割れが発生すると、塩分浸透抵抗性が低下する恐れがある。フライアッシュを用いたコンクリートは、ひび割れが自然に閉塞するという自己治癒効果を有することが報告されており²⁾、IGCC スラグを用いたコンクリートも自己治癒効果を有している可能性がある。IGCC スラグに自己治癒効果が確認できれば、微細ひび割れが発生したとしても自然に閉塞するため、塩分浸透抵抗性に優れているという利点は失われまいと考えられる。よって本研究では、IGCC スラグを用いたコンクリートの塩分浸透抵抗性に及ぼす自己治癒効果を検討する。

2. 実験概要

2.1 コンクリート配合および供試体概要

キーワード 石炭ガス化スラグ、ポゾラン反応、塩分浸透抵抗性、微細ひび割れ、自己治癒

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 M1-21 東京工業大学 TEL 03-5734-3194

細骨材として砂を用いた N 配合と、細骨材として IGCC スラグを用いた I 配合の 2 種類の配合を用いた。水セメント比は 50% である。

健全供試体および圧縮ひび割れを導入する供試体には、 $\phi 100 \times 200 \text{mm}$ の円柱供試体を用いた。割裂ひび割れを導入する供試体には、 $\phi 125 \times 50 \text{mm}$ の円盤形供試体を用いた。 $\phi 125 \times 50 \text{mm}$ の円盤形供試体は、50mm 幅に切断した塩化ビニル製パイプ（外径 140mm、厚さ 7.5mm）内にコンクリートを打設することで作製した。

2.2 供試体への微細ひび割れ導入

材齢 14 日まで水中養生を行った供試体に対して、圧縮載荷と割裂引張の 2 種類の方法で微細ひび割れを導入した。

圧縮載荷による微細ひび割れ導入では、円柱供試体に対して圧縮載荷を実施し、円周方向のひずみが 500μ に到達後、速やかに除荷をすることで、圧縮ひび割れを導入した。 500μ の値は、予備実験において載荷前後に測定した超音波伝播速度から求めた相対動弾性係数が 90% 前後となった値である。

割裂引張による微細ひび割れ導入では、円盤形供試体に対して割裂引張を実施し、最大荷重到達後、直ちに載荷を停止し、両面に目視でひび割れを確認することで、割裂ひび割れを導入した。除荷後、クラックスケールを用いて、ひび割れに沿って 2cm 間隔でひび割れ幅を測定し、ひび割れ面積を求めた。本研究では全ての供試体においてひび割れ幅は 0.15mm 以内に収まった。

2.3 電気泳動試験

JSCE-G 571-2003 で規定される電気泳動試験を実施し、実効拡散係数によって塩分浸透抵抗性を検討した。材齢 28 日に電気泳動試験を開始するケースと、自己治癒促進期間を経て材齢 66 日に電気泳動試験を開始するケースの 2 ケースを用意した。

2.4 自己治癒促進

本実験では、自己治癒を促進するために、微細ひび割れを導入した供試体を 40℃の温水に 3 週間～1 ヶ月間浸した。健全供試体もまた同様の養生条件にするために、同じ期間 40℃温水に浸した。

自己治癒促進期間終了後、顕微鏡を用いて微細ひび割れの閉塞状況を観察した。その後、電気泳動試験を実施した。

3. 実験結果

3.1 健全供試体と圧縮ひび割れを有する供試体

健全供試体と圧縮ひび割れを有する供試体における自己治癒前後の実効拡散係数の変化を図 1 に示す。

自己治癒促進前は、圧縮ひび割れの導入により N 配合は実効拡散係数が大きく上昇したが、I 配合は実効拡散係数の上昇率が小さかった。これは IGCC スラグの表面に微細ひび割れが集中することで、モルタルひび割れが進展しにくかったからであると考えられる。

自己治癒促進後は、N 配合と I 配合ともに実効拡散係数が大きく低下した。N 配合では、圧縮ひび割れを有する供試体と健全供試体の実効拡散係数の差が大きく縮まった。これはセメントの水和進行に加えて、微細ひび割れがセメント粒子を分断することにより、内部の未水和部分が露出し温水と接触することで、再水和が促進されたことによるものであると考えられる。I 配合では、圧縮ひび割れを有する供試体の方が健全供試体よりも実効拡散係数が小さくなった。これは微細ひび割れを通して温水が侵入し、よりポズラン反応が促進されることで、析出物が微細ひび割れを閉塞するだけでなく、ひび割れ周辺の空隙を充填したからであると考えられる。

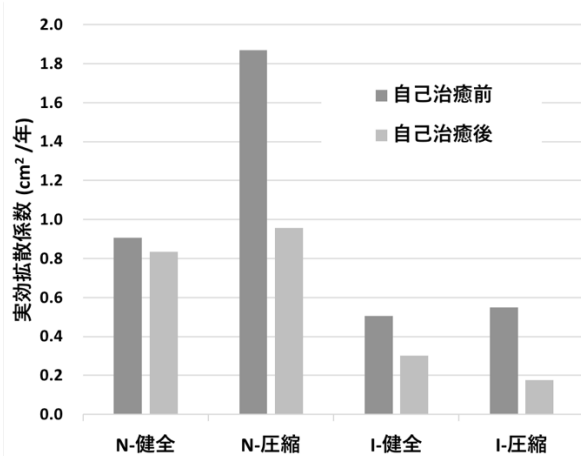


図 1 実効拡散係数 (健全・圧縮)

3.2 割裂ひび割れを有する供試体

顕微鏡を用いて I 配合の自己治癒前後の割裂ひび割れを観察した結果を図 2 に示す。約 1 ヶ月間の 40℃温水養生で、割裂ひび割れが白い析出物によってほぼ完全に閉塞しているのが確認できた。

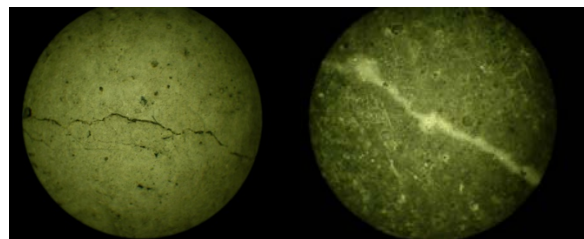


図 2 I 配合の割裂ひび割れの様子

(左：自己治癒促進前、右：自己治癒促進後)

割裂ひび割れを有する供試体における自己治癒前後の実効拡散係数の変化を図 3 に示す。

自己治癒促進前は、配合による違いは見られず、陰極側のひび割れ面積が大きいほど、実効拡散係数が大きくなる傾向を示した。自己治癒促進後は、N 配合はほとんど実効拡散係数の低下が確認できなかったのに対して、I 配合では割裂ひび割れの閉塞により実効拡散係数は大きく低下した。

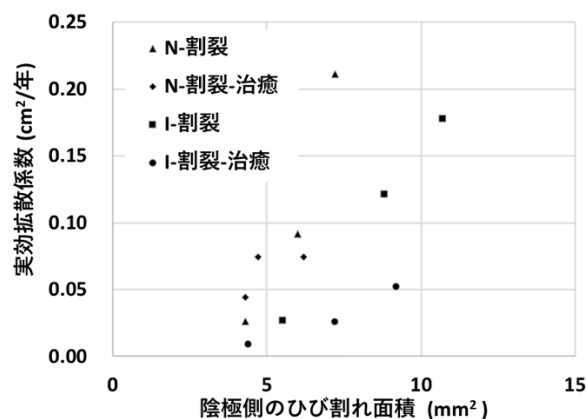


図 3 実効拡散係数 (割裂)

4. 結論

IGCC スラグを用いたコンクリートは自己治癒効果を有していると考えられ、微細ひび割れの発生による塩分浸透抵抗性の低下を抑制した。

参考文献

- 宮村ら：石炭ガス化スラグを用いたコンクリートの強度特性および海洋環境下における耐久性に関する検討, Cement Science and Concrete Technology, Vol.74, pp.207-214, 2020
- 上田ら：アミノ酸の添加がコンクリートの自己治癒性能に与える影響, Cement Science and Concrete Technology, Vol.70, pp.321-327, 2016