

クリンカー骨材を用いたモルタルの自己治癒性に関する研究

宇都宮大学大学院 学生会員 ○根本 雅俊

宇都宮大学大学院 正会員 藤原 浩巳

宇都宮大学大学院 正会員 丸岡 正知

太平洋セメント（株） 小早川 真

1. はじめに

現在、高度経済成長期に建造した多量の土木構造物の老朽化が進んでおり、それらの構造物に対して更新もしくは補修が必要となっている。昨今、これを補修し、長寿命化することは重要である。しかし、コンクリート構造物はあらゆる用途や場所で供用されており、検査、補修に伴う経済的、時間的コストは莫大なものになるうえ、それに伴う構造物の供用停止期間の存在は望ましくない。そこで現在、コンクリートに自己治癒性能を付与する技術が注目されている。材料や構造物自体が発生した異変に対して自ら適切に対処することができれば、これらの問題の解決に近づくことができるといえる。

一方、現在のセメント産業は多量の産業廃棄物を受け入れているが、セメント自体の需要は年々減少している。そのため、今後セメントの需要が減少し続けても、産業廃棄物を受け入れるために一定量のクリンカーは製造される。その結果、セメントとする必要のない余剰のクリンカーが増加すると考えられる。

本研究では今後セメントとして用いられない余剰クリンカーの新しい有効利用法として、クリンカーをコンクリート骨材として用いることで、ひび割れが発生した際に、ひび割れ断面に現れる新鮮なクリンカー面と水分との水和反応による生成物による、自己治癒性能付与の可能性について、実験的検討を行った。

2. クリンカー細骨材を用いたモルタルの自己治癒性評価

本研究では、一般的なコンクリートの水セメント比で実験を行うために、クリンカーを細骨材として用いた場合のモルタルにおける基本性状および自己治癒性状を検討した。

2.1 使用材料及び配合

本研究における使用材料、配合条件、配合を表-1、表-2、および表-3に示す。表-1の使用材料中にあるGCLとは主な構成鉱物がビーライトからなるクリンカーである。

GCLは図-1に示すように、細骨材の標準粒度の範囲に入るように、また、置換対象の川砂と同様な粒度になるよう粉砕、粒度調整をして用いた。使用したGCL細骨材を写真-1に示す。

表-1 使用材料

種別	記号	使用材料	密度(g/cm ³)
結合材	C	普通ポルトランドセメント	3.15
細骨材	S	鬼怒川産川砂, F, M	2.62
	GCL	ビーライト・ゲーレナイト系クリンカー	3.16
混和剤	SP	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤	1.05
	DF	消泡剤	1.00

表-2 モルタルの条件

15打フロー (mm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)
150±30	2±1.5	55

表-3 モルタルの配合

配合名	水セメント比 (%)	GCL/S (%)	単位量(kg/m ³)			
			W	C	S	GCL
GCL100%	55	100	267	485	0	1766
GCL75%		75			366	1325
GCL50%		50			732	883
GCL25%		25			1098	442
GCL0%		0			1464	0

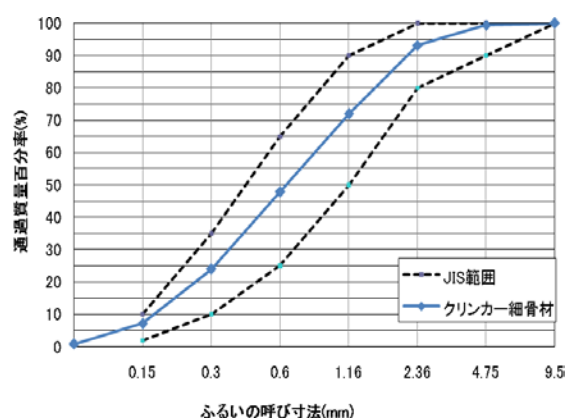


図-1 使用したクリンカー骨材の粒度分布



写真-1 使用したGCL細骨材

15 打フロー値の目標値はスランプ 12cm となるコンクリートのモルタル部を基準とし、 $150 \pm 30 \text{ mm}$ とした。空気量の目標値は、自己治癒性状試験を行う際、割裂断面にある気泡による断面積の変化を防ぐため少なめの $2.0 \pm 1.5\%$ とした。また、水セメント比は一般的なコンクリート構造物に適用することを想定し 55% 一定とした。クリンカーは細骨材に対して、体積比で 0% から 100% まで 25% 刻みで置換し、クリンカー細骨材量による性状の変化を調べた。

練り混ぜには公称容量 10L のオムニミキサーを使用した。練り混ぜ手順はセメント、細骨材をオムニミキサーに投入し空練りを 30 秒間行った。その後、あらかじめ高性能 AE 減水剤を混和した練混ぜ水を投入し 2 分間練り混ぜた後、消泡剤を投入し 1 分間練り混ぜ排出した。

2.2 試験項目

(1) フレッシュ性状試験

a) 15 打フロー試験

JIS R 5201 に準拠した。

b) 空気量試験

JIS A 1116 に準拠した。

(2) 圧縮強度試験

JSCE-G 505 に準拠した。養生は 20°C 水中養生とし、材齢 7, 28 日にて圧縮強度試験を行った。

(3) 自己治癒性状試験

本研究において、自己治癒性能を確認するため写真-1 に示す供試体を作成し通水試験を行った。供試体作成の手順は打設後に 20°C 水中で 28 日間養生した後、模擬的にひび割れを設けた。7 日養生後に割裂するより、28 日養生後に割裂を行うことにより、セメントの未水和部分が減少し、自己治癒性への影響が少なくなり、クリンカー細骨材の置換による自己治癒性の評価が行いやすくなると考えた。割裂方法はあらかじめ供試体側面に設けた切り欠き部に三角形鋼棒を当て、圧縮試験機を用い割裂した。模擬ひび割れとして 0.3mm の隙間を設けるためのスペーサーとして、直径

0.3mm の鋼球、直径 0.3mm、長さ 1cm ステンレスの針金、一辺 5mm の正方形に裁断した厚さ 0.3mm のテフロンシートを使用し比較をした。スペーサーの位置は断面の上下端、左右の端から 1cm の 4 隅に挟み、ステンレスバンドで結束し、合成樹脂製接着剤を用いて側面の溝から水が漏れださないように塞いだ。供試体上部に内径 100mm の塩ビ管を接着し、塩ビ管内の水が水頭差 80mm (水圧: 約 0.8kPa) と一定となるよう水を滞留させ不要な水はオーバーフローするように排水パイプをつないだ。また、通水試験時に使用する水は 20°C の pH12.4 の水酸化カルシウム飽和水溶液とした。本研究において自己治癒は Ca^{2+} 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- の平衡濃度に影響を受けひび割れ間の CaCO_3 の析出により生じるとしているため、本検討ではモルタルの Ca^{2+} が水中に分散しないように水酸化カルシウム飽和水溶液とした¹⁾。供試体より上部に設置したタンクからホースにより供試体へ水を一定量供給する方法により通水試験を行った。通水試験は 3 分間に供試体下面のひび割れから漏れ出る水量を計測した。測定は供試体を割裂した日を 0 日目として 0, 1, 3, 7, 14, 21, 28 日目に実施した。試験後の供試体はすべて通水試験時に使用したものと同様の理由で 20°C の pH12.4 の水酸化カルシウム飽和水溶液中にて保存した。試験時には取り出し、測定後は水酸化カルシウム飽和水溶液に戻し、自己治癒を促した。供試体を写真-2 に示す。試験時の様子を写真-3 に示す。供試体の詳細図を図-2 に示す。なお同一条件について、2 体の供試体を作成し試験値のばらつきについても検討した。



写真-2 供試体全体図



写真-3 試験時の様子

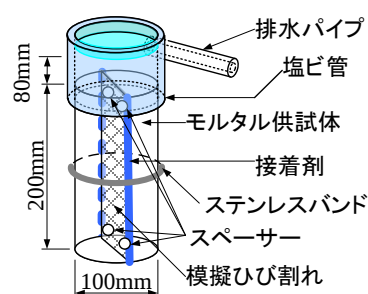


図-2 供試体の詳細図

2.3 試験結果および考察

(1) フレッシュ性状試験結果

結果を表-4に示す。表-4より GCL100%とした場合、混和剤添加量をメーカー推奨使用量の範囲では、目標 15 打フロー値には達しなかった。これは、クリンカー細骨材に含まれる微粉末がわずかであるがセメントに相当するため、見かけ上の水セメント比が小さくなったためと考えられる。写真-4は、GCL100%、の練り混ぜ後のフレッシュ性状を示す。GCL50%、GCL25%とした場合、目標 15 打フロー値には達したが、写真-1からわかるようにクリンカー細骨材の粒形が鋭利なため、保水性に乏しくブリーディングが発生した。写真-5、写真-6は、それぞれ GCL50%、GCL25%の打設後の様子である。この結果より、クリンカー細骨材の置換率を過度に大きくすると、ワーカビリティは低下すると考えられる。

表-4 GCL フレッシュ試験結果

GCL/S(%)	空気量(%)	15打フロー(mm)	温度(°C)	SP(%)	DF(%)
0	1.5	127.5	24.0	0.2	0.3
25	1.6	150.0	21.0	1.5	1.5
50	2.1	125.0	23.0	2.0	2.0
75	1.8	120.0	22.0	4.0	4.0
100	1.2	100.0	25.0	4.0	4.0



写真-4 GCL100%練り混ぜ後



写真-5 GCL50%打設後



写真-6 GCL25%打設後

(2) 硬化性状試験結果

図-3に圧縮強度試験結果を示す。図-3より、GCLを混入したことによる強度上昇が認められた。全体の傾向として、

置換率の増加に伴い圧縮強度も増大すると考えられる。置換率 50%において、低い強度を示すのは細骨材とセメントペースト間にブリーディングに起因する空隙、欠陥が存在するためと考えられる。

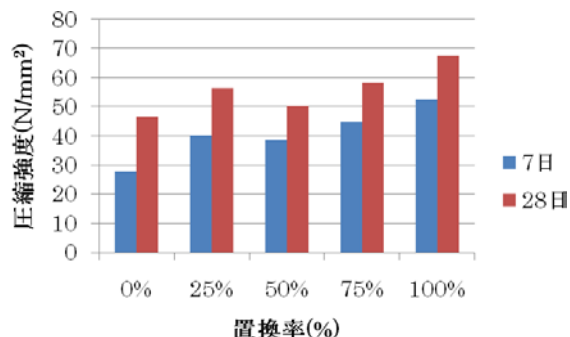


図-3 GCL 圧縮強度試験結果

(3) 自己治癒性状試験結果

a) スペーサーの違いによる試験結果の考察

図-4、図-5および図-6は、配合条件、スペーサーが同材質の供試体 2 体における測定値の差を示したものである。本検討では、この通水量の差が最小である方法が通水試験に適していると判断した。この結果、スペーサーとして適しているものはテフロンテープであることがわかった。針金は割裂断面の凸凹になじまず、また、鋼球は割裂断面に接する面が狭いためステンレスバンドで供試体を締める際にモルタル部分に埋まってしまうことなどが考えられ適切なスペーサーではないと判断した。テフロンテープは、厚さ 0.3mm 程であれば十分に柔らかく、割裂断面に接する面が広くても、凸凹になじみやすいためスペーサーとして適していると考えられる。

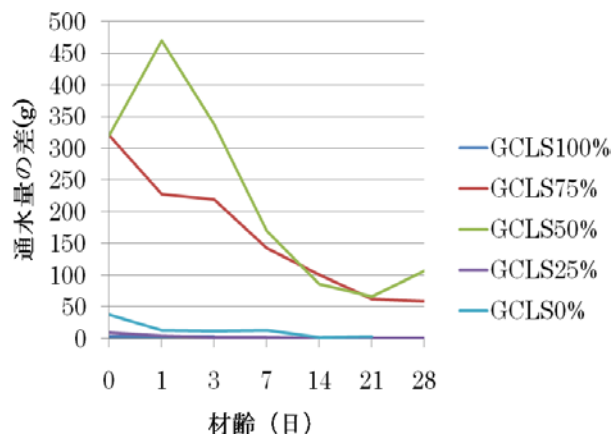


図-4 通水量の差 鋼球

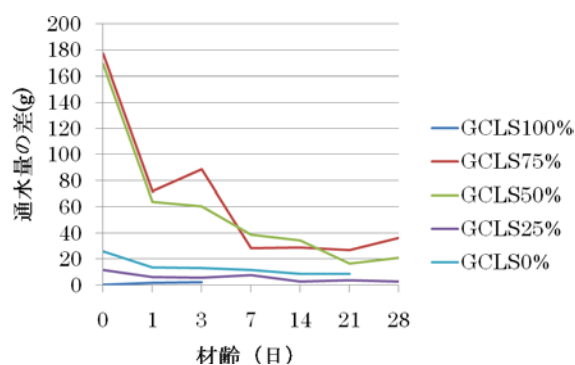


図-5 通水量の差 針金

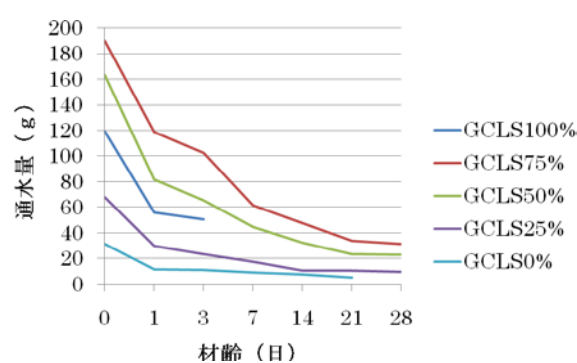


図-7 通水量

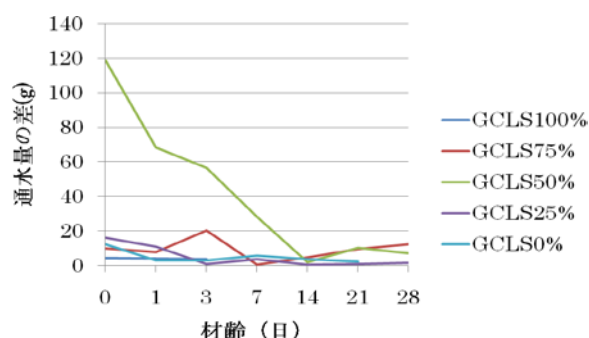


図-6 通水量の差

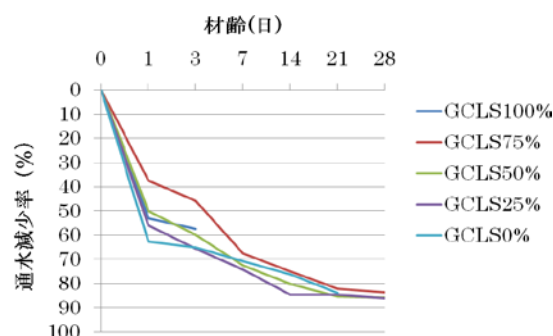


図-8 通水減少率

b) 自己治癒性の考察

図-7は、スペーサーとしてテフロンを使用した場合の通水量の平均を示す。図-7より、初期通水量によって減少幅は大きく異なることがわかる。また、初期通水量の多いものは置換率が100%、75%、50%のものである。これは、GCLが鋭利なため割裂断面に生じる凸凹が置換率の上昇に伴い大きいからと推測できる。また、凸凹である割裂断面の面積が大きくなり水和反応生成物が増えたことにより減少幅が増加したと考えられる。

図-8はスペーサーとしてテフロンを使用した場合の通水減少率を示す。通水減少率の計算には下式を用いた。

$$\text{通水減少率}(\%) = \left(1 - \frac{\text{修復養生 } x \text{ 日の通水量}(\text{g})}{\text{初期通水量}(\text{g})} \right)$$

図-8より、どの置換率においても類似の傾向を示した。材齢0日目から1日目はいずれの置換率においても大幅な減少を示している。これは、割裂断面に現れた未水和のセメント、クリンカー細骨材が養生水と反応し水和生成物が急激に多量に生成されたためと考えられる。最終的にすべての置換率において減少率は85%程度に達すると考えられる。材齢の経過に伴い通水量の変化量は小さいが、減少傾向にあることから長期材齢では、さらなる通水量の減少が期待できる。

4. まとめ

- ・GCLを細骨材として用いた場合、GCLが鋭利な粒形のため置換率25%および50%において多量のブリーディングが見られた。
- ・通水試験の通水量の変化においてGCL置換率の増加に伴い減少幅も増加するため、GCL置換率が大きく変化すると自己治癒性が顕著に発生されることが確認された。
- ・通水減少率において、GCL置換率による明確な変化の傾向を読み取ることは難しいが、材齢の経過に伴う変化の傾向は読み取れた。

謝辞

本研究は、平成26年度科学研究費補助金基盤研究(C)(課題番号:26420435)の一部として実施したものである。また、(株)デイ・シイ、BASF ジャパン(株)、太平洋セメント(株)より種々の材料を提供頂きました。ここに銘記し謝意を表します。

参考文献

- 1) セメント系材料の自己修復性とその利用法研究専門委員会:セメント系材料の自己修復性とその利用法研究専門委員会報告書, pp.36-37, 2008