

クリンカー骨材を用いたコンクリートの自己治癒性に関する研究

宇都宮大学大学院 学生会員 ○星山 仁篤
 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。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場所で供用されており、検査、補修にかかる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、現在のセメント業界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り、ひび割れが埋まり、自己治癒する可能性について、実験的検討を行った。

2. クリンカー粗骨材を用いたコンクリートの自己治癒評価

2.1 使用材料および配合、練混ぜ方法について

本研究における使用材料、配合を表1、および2に示す。フレッシュ性状について、スランプ、および空気量の目標値は、それぞれ 8.0 ± 2.5 cm, 4.5 ± 1.5 %とした。クリンカーは普通ポルトランドセメントに使われるクリンカーを用いた。また水セメント比は割裂時にクリンカーが割裂し、新鮮なクリンカー面が現れることを期待し、予備試験の結果から35%一定とした。配合条件は細骨材率を45、40、35%とし、クリンカー粗骨材が自己治癒に及ぼす影響について検討した。

表1-使用材料

種別	記号	使用材料	密度(g/cm ³)
結合材	OPC	普通ポルトランドセメント	3.15
細骨材	S	川砂	2.60
粗骨材	G	砕石	2.67
	CL	クリンカー	2.66
混和剤	sp	高性能AE減水剤	1.05

表2-コンクリートの配合

配合名	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				
		G	CL	S	W	C
1	45		973	772	165	471
2	40	-	1062	687		
3	35		1150	601		
4	45	977	-	772		

練混ぜには公称容量10Lのオムニミキサーを使用した。練混ぜ手順は結合材、細骨材、粗骨材を投入し空練りを30秒間行い、その後、あらかじめ高性能AE減水剤を混合した練混ぜ水を投入し、2分30秒間練り混ぜ排出した。

また、本実験で用いたクリンカーの粒度分布は、JIS規格の範囲内に収まるように調整を行い使用した。

2.2 試験項目

(1) フレッシュ性状試験

a スランプ試験

JIS A 1128に準拠した。

b 空気量試験

JIS A 1101に準拠した。

(2) 硬化性状試験

JIS A 1108に準拠した。測定は20℃水中養生材齢7、28日にて行った。

(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に示す供試体を作製し、透水試験を行った。供試体は打設後に20℃水中もしくは気中で7日間養生した後、模擬的にひび割れを設けた。これは、あらかじめ供試



写真1-供試体全体図

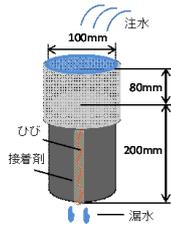


図1-試験時の様子

体側面に設けた切り欠き部に三角形鋼棒を当て、圧縮試験機で割裂した。その後、直径0.3mmのステンレスワイヤーを断面の4隅に挟み、ステンレスバンドで結束し、合成樹脂ポリマー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。

試験は塩ビ管内の水が水頭差80mm(水圧:約0.8kPa)になるように上部に内径100mmの塩ビ管を接着し、一定量の水が溜まるようにし、5分間で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20℃水中にて保存し、試験時には取り出し、測定後は水中に戻し、自己治癒を促した。また、比較として普通骨材コンクリートについても同様の試験を行った。試験時の様子を図1に示す。

2.3 試験結果および考察

(1) 硬化性状試験結果

コンクリートの強度試験結果を図2に示す。図より粗骨材の種類およびクリンカー粗骨材量に関わらず顕著な強度の差異は認められなかった。これより、クリンカーを粗骨材として使用しても強度には悪影響を及ぼさないと見える。

(2) 自己治癒性状試験結果

透水試験結果を表3, 4および図3, 4に示す。表の値は透水量(g)を示す。また、グラフの横軸は供試体割裂からの日数を示し、縦軸の減少率とは0日目の透水量に対する減少量を百分率で表したものである。図より普通粗骨材コンクリートの透水量減少率がやや小さいものの全ての配合で透水量は減少する傾向を示した。これは粗骨材が割裂するように、マトリックス部分の強度を高めるために水セメント比を35%と低めに設定したため、普通粗骨材コンクリート中にも多くの未水和セメントが存在し、割裂面に侵入した水分によりこれら未水和セメントの水和が進行した結果、普通粗骨材コンクリートでも透水量が減少したと推察する。

しかし、普通粗骨材コンクリートの場合は、7日目以降の透水量に大きな変化は認められなかった。一方、クリンカー粗骨材コンクリートの場合、7日目以降も透水量は減少し、自己治癒開始から28日目に測定し

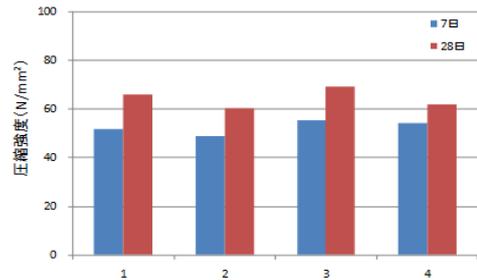


図2-圧縮試験結果

表3-透水試験結果 水中 透水量 (g)

配合名	0日目	1日目	3日目	7日目	14日目	21日目	28日目
1	141	131	127	121	68	49	33
2	259	319	327	300	202	94	157
3	542	117	235	188	64	54	48
4	567	422	436	401	377	386	395

表4-透水試験結果 気中 透水量 (g)

配合名	0日目	1日目	3日目	7日目	14日目	21日目	28日目
1	923	1085	881	765	699	666	433
2	77	57	52	35	34	21	10
3	476	256	231	186	136	79	78
4	771	613	626	404	352	369	386

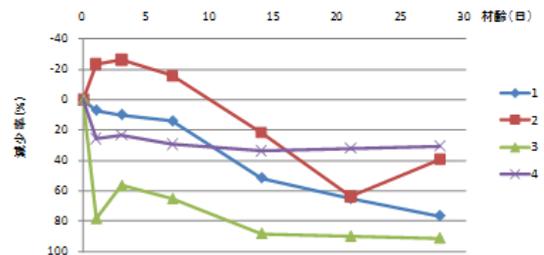


図3-透水試験結果 水中

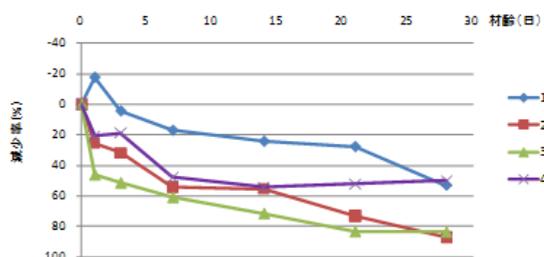


図4-透水試験結果 気中

た透水量の減少率は普通粗骨材コンクリートよりも大きくなった。これはクリンカー粗骨材を使用したことにより、コンクリート中により多くの未水和物が存在し、これらの水和反応が順次進行することにより、多くの水和物が生成され、普通粗骨材コンクリートよりも透水量が減少したと考えられる。また、クリンカーを骨材量が多い配合ほど、透水量減少率は大きくなる傾向があると思われる。

この結果よりクリンカー粗骨材は自己治癒に有効な材料といえる。

3. クリンカー細骨材を用いたモルタルの自己治癒性評価

クリンカー粗骨材を用いる場合、自己治癒性を発現するためには、ひび割れ発生時に粗骨材が割裂するように、水セメント比を35%にする必要があり、一般的な配合ではないといえる。そこで本章では、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。

3.1 使用材料および配合

本研究における使用材料、配合を表5および6に示す。クリンカーは細骨材の標準粒度の範囲に入るように粉砕、粒度調整をして用いた。

15打フロー値と空気量の目標値は、コンクリートのモルタル部を基準とし、それぞれ $150 \pm 30\text{mm}$ 、 $7.0 \pm 1.5\%$ 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%とした。

クリンカーは細骨材に対して、質量で10%から50%まで10%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1分30秒間練り混ぜた後、AE剤を投入し1分間練り混ぜ排出した。

3.2 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) 硬化性状試験

JSCE-G 505に準拠した。測定は20°C水中養生材齢7、28日にて行った。

(3) 自己治癒性状試験

供試体はコンクリートと同様の物を作製した。打設後の養生は20°C水中養生のみにし、自己治癒開始後は、20°C水中、または、気中養生の2水準とした。その他はコンクリートの場合と同様に行った。

3.3 試験結果および考察

(1) フレッシュ性状試験結果

結果を図5に示す。図よりクリンカーを川砂の一部に置換したことによるフレッシュ性状への影響は認められなかった。川砂の一部をクリンカー細骨材に置換することでワーカビリティの低下が予想されたが、

混和剤量の調整により全ての配合において目標値を表5-使用材料

種別	記号	名称	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	川砂	2.63
	CL	クリンカー	2.70
混和剤	sp	高性能AE減水剤	1.05
		AE剤	1.04

表6-モルタルの配合

配合名	水セメント比 (%)	CL/S (%)	単位量(kg/m ³)			
			S	CL	W	C
RS	55	0	1316	0	267	486
N10		10	1184	137		
N20		20	1052	273		
N30		30	921	410		
N40		40	789	546		
N50		50	658	683		

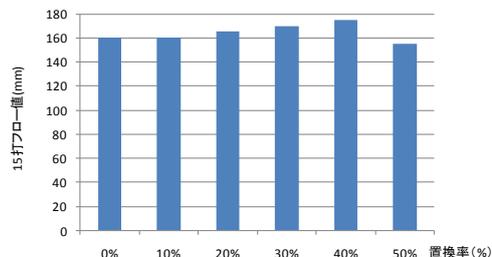


図5-15打フロー試験結果

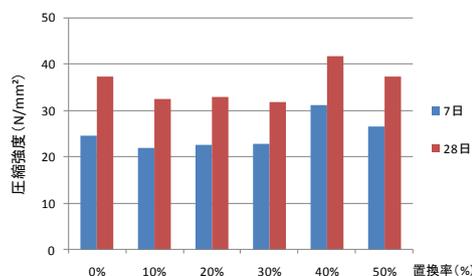


図6-クリンカー圧縮試験結果

満足することが出来た。この結果より、クリンカーを細骨材として用いてもワーカビリティへの悪影響は小さいと言える。

(2) 硬化性状試験結果

図6に圧縮強度試験結果を示す。図よりクリンカー細骨材を混入したことによる強度低下が若干認められた。細骨材置換とすることで強度増加を期待したが、変化は見られなかった。これはクリンカーを細骨材として用いた場合では、セメント粒子と比べると、比表面積が非常に小さいため、水和物生成量が十分ではなく、顕著な強度増加には至らなかったと考えられる。

(3) 自己治癒性状試験結果

透水試験結果を表7, 8および図7, 8に示す。図より、水中養生の場合は、普通骨材モルタルでは透水量の変化は見られなかった。それに対し、クリンカー細骨材を混和した全ての配合において、透水量は減少する傾向を示した。これまでのコンクリートによる実験では、水セメント比を35%としたため、クリンカー骨材を混和していない普通モルタルにおいても未水和セメントが多く存在し、これらの水和反応による生成物析出により透水量は減少していたが、水セメント比を55%とした本実験では、28日目まで減少率は変化しなかった。そのため、水セメント比を55%とすると、普通モルタル中には透水量減少に寄与する水和生成物が生成されるほどの未水和セメントは存在しないと言える。

しかし、クリンカーを細骨材に10%以上置換した場合には、水セメント比が55%のモルタルにおいても、未水和セメントとして残存し、ひび割れを自己治癒する効果を有することが分かった。

a. 透水試験結果 水中養生

図7より、自己治癒開始から3日目までは大きな透水量減少率の変化を示すが、3日目以降は緩やかに減少し21日目から28日にかけて、ほとんど変化が見られないようになった。透水量減少率は最大で80%程度となり、ひびが完全に塞がることはなかった。この結果より、クリンカーの水和反応はひび割れ発生から28日後にはほとんどが終息すると考えられ、ひび割れ発生から28日以降の透水量の減少は見込めないと推測される。置換率で比較した場合、置換率の増加に伴い減少率の増加が考えられたが、7日目までの減少率は置換率が20~50%までは大きな差はなく、本試験範囲ではクリンカー細骨材量は自己治癒性に大きな影響を及ぼさないと推測する。

b. 透水試験結果 気中養生

図8より、自己治癒開始後気中養生とした場合、3日目までは水中養生の場合と同じ傾向を示した。しかし、3日目以降からは減少率はほぼ変わらなくなった。これは、ひび割れを導入するまでは水中養生をしていたため、コンクリート中十分な水分が残存し、この水分が水和反応に利用され透水量が減少したと考えられる。しかし、その後は気中養生としているため十分な水和反応のための水分が不足し、透水量が減少するほどの変化を示さなかったためと推測される。また、気中養生においても普通細骨材に対する置換率による変化は認められなかった。

4. まとめ

- ・クリンカー粗骨材を用いた場合、強度に悪影響はなく、透水量も普通骨材コンクリートより減少した。

表7—透水試験結果 水中 透水量 (g)

配合名	0日目	1日目	3日目	7日目	14日目	21日目	28日目
N10	503	486	544	460	391	315	336
N20	262	172	168	145	92	69	74
N30	387	265	293	258	204	64	98
N40	532	495	352	295	235	269	221
N50	293	190	172	149	135	130	79
RS	301	386	330	363	318	321	322

表8—透水試験結果 気中 透水量 (g)

配合名	0日目	1日目	3日目	7日目	14日目	21日目	28日目
N10	359	285	146	114	119	111	84
N20	353	268	293	247	225	257	202
N30	275	221	283	192	296	207	190
N40	1094	1135	439	353	264	241	129
N50	246	198	120	114	110	113	39
RS	111	99	87	82	80	71	65

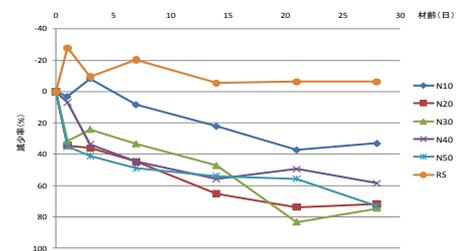


図7—透水試験結果 水中養生

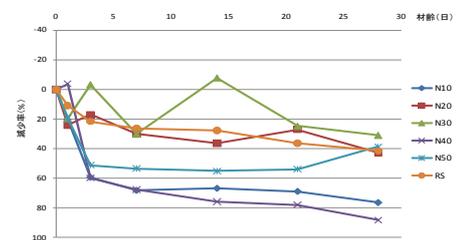


図8—透水試験結果 気中養生

- ・クリンカー細骨材を用いた場合、フレッシュ性状、硬化性状への影響はなかった。
- ・水中養生はクリンカー細骨材を混和した方が、普通骨材モルタルよりも透水量は減少し、気中養生は透水量は同程度か普通骨材モルタルより減少した。
- ・全ての条件においてクリンカー細骨材置換率による透水量減少率の変化は見られなかった。

参考文献

- 1) 佐藤良恵, 小田部裕一: 自己治癒材料の性能評価に関する基礎的研究, セメント系材料の自己治癒に関するシンポジウム論文集
- 2) 森田卓ほか: 無機系ひび割れ自己治癒組成物の造粒物化によるコンクリートのひび割れ自己治癒性能の向上に関する基礎的検討, セメント系材料の自己治癒に関するシンポジウム論文集