石炭灰硬化体の塩分浸透特性と内部鋼材の防食性に関する検討

鹿児島大学工学部	学生会員	井手内 俊憲	鹿児島大学	正会員	武若耕司
鹿児島大学大学院	学生会員	日野 陽子	鹿児島大学	正会員	山口明伸
			株式会社 間組	正会員	坂本 守

1. はじめに

近年,石炭火力発電所等から排出される石炭灰の有効利用を目的として,石炭灰を多量に用いた硬化体が開発され, その用途について模索されている。ただし,その際に考慮すべき点の1つとして,この硬化体は初期強度を確保するた めに練混ぜ水として塩水を用いているために,鉄筋で補強するとその腐食が懸念されることがある。それでも,この硬 化体を常時十数mの海中部に設置される漁礁や岩礁材に用いるならば,内部に鉄筋を配筋しても,十分に酸素供給され ないため鉄筋の腐食の進行はそれほど速くはなく,結果的に耐久性上問題とならない可能性もある。そこで,著者らは, 海水中にある石炭灰硬化体中での鉄筋の腐食性を検討するため,海洋環境下における長期曝露実験を行っている。ここ では,その曝露期間4ヶ月目までの結果と,同時に実施した電気泳動試験による石炭灰硬化体の塩分浸透特性に関する 実験結果について報告する。

2. 実験概要

実験には,A,BおよびCの3種類の石炭灰を用い,表-1に 示す配合で作成した硬化体を使用した。なお,石炭灰硬化体は, 使用する石炭灰の種類によって,施工性の観点から要求される 水量が異なり,結果として,水粉体比は硬化体A>硬化体B> 硬化体Cの順に小さい。また比較用として,表-2に示す配合の W/C50%の普通モルタルを用いた。曝露実験に使用した供試体 は,10×10×40cmの角柱体で、断面中心位置にD16の鉄筋を埋設 したものである。供試体の初期養生条件を表-3に示す。いずれ の供試体も湿布養生を行い,B灰石炭灰硬化体についてのみ, 湿布養生に加え,気中養生の場合についても検討した。供試体 は,28日間の湿布または気中養生後,端部をエポキシ樹脂で被

表 - 1 各石炭灰硬化体配合

供試休夕	水粉体比	石炭灰	単位量(kg/m ³)			
际叫件口	W/P(%)	比重	W	С	F	NaCl
硬化体A	30.1	2.21	402	253	1,083	13.27
硬化体B	27.8	2.29	388	235	1,161	12.80
硬化体C	24.0	2.27	351	195	1,268	11.58

表-2 モルタル供試体配合

供試体名	W/C(%)	S/C	単位量(kg/m ³)			
			W	С	S	
普通モルタル	50	2.5	285	570	1415	

表-3 要因と水準

要因	養生方法	初期養生期間(日)
水準	湿布 気中	28 91(28日まで湿布または気中, その後91日まで海水曝露)

覆した後,海洋環境の海中部を模擬した深さ 30 c mの海水槽中に曝露した。曝露中は内部鉄筋の自然電位を定期的に 測定するとともに,脱型直後,初期養生終了後,曝露直前,ならびに所定の曝露期間終了後に供試体を解体し,中性化 深さ,全塩化物イオン濃度分布,見掛けの拡散係数,鉄筋腐食面積率について調査した。

一方,硬化体の拡散係数を推定し,内部鉄筋の腐食状況の予測に資することを目的として,曝露供試体作製時に同時 に作製した 10×20cmの円柱供試体から切り出した 10×5cmの試料を用いて,電気泳動試験も行った。なお,この試 験は,いずれの硬化体についても,曝露を行っている間の水和反応やポゾラン反応などによる硬化体の緻密化も考慮し, 供試体を 28 日間の湿布または気中での初期養生の後直ちに開始する場合と,初期養生後 91 日まで海中曝露を行ってか ら開始する場合の 2 通りを行った。図-1 に電気泳動試験の概要を示す。試験は,土木学会規準¹⁾に準拠して実施した。

3. 結果および考察

図-2 に各石炭灰硬化体の材齢 182 日までの圧縮強度の経時変化 を示す。なお、この強度試験結果は、材齢 28 日までは水中養生し、電極 それ以降については所定の材齢まで海水曝露を行った供試体のも のである。また、図中の「N」は普通モルタルを表す。石炭灰硬化 体は普通モルタルに比べると明らかに強度は劣るが、材齢 28 日以 降も若干の強度の増加が認められた。図-3 に各解体時の供試体の



中性化深さを示す。いずれの石炭灰硬化体とも,海水中での曝露で あるにもかかわらず,曝露4ヶ月で中性化が進行し,1~3mm 程度の 中性化が見られた。硬化体ごとの比較では,硬化体Aの中性化の程 度が他に比べ小さかった。また,初期養生を気中で行った硬化体B (図中「B気」)では,初期養生期間中に中性化が進行したが,曝露 期間中にさらなる進行は認められなかった。なお,普通モルタルに はこれまでのところ中性化は見られない。図-4に曝露4ヵ月後の各 供試体中の全塩化物イオン量分布を示す。石炭灰硬化体には,海水 使用により初期段階で 7~8kg /m³程度の塩化物イオンが存在してい たが,表面から深さ 1cm 程度までの範囲には,このほかに外部から の塩化物イオンの侵入が認められた。また,比較的中性化の進行が 早い硬化体BおよびCでは,深さ 0.5~1.0cm の範囲で中性化の影響 によると思われる濃度のピークも現れていた。一方,普通モルタル については、曝露4ヵ月後には1.5cmの位置まで腐食発錆開始の目安 となる 1.2kg/m³を超える塩化物イオン量が浸透しており,微量なが らも 4cm の位置まで塩化物イオンの浸透が見られた。図-5 には,図 -4 の結果をもとに求めた見掛けの拡散係数を示す。湿布養生を行っ たいずれの石炭灰硬化体も普通モルタルに比べて極めて小さい値で あり,塩分浸透に対する抑制効果があると考えられた。また,石炭 灰硬化体については,水粉体比の大きい順に拡散係数は大きくなる 傾向が見られたが,初期養生を気中で行った場合には,普通モルタ ルと同程度の値であった。図-6 に解体後の鉄筋腐食面積率を示す。 いずれの石炭灰硬化体とも脱型直後に既に内部鉄筋に点錆が認めら れ,初期養生中に腐食が進行していた。その後曝露開始までの1週 間程度気中に保管した時期にさらに腐食が進んだが,海水中曝露4 ヶ月間の腐食進行は明らかに遅くなる傾向にあった。なお, 普通モ ルタルについては曝露前まで腐食が見られず,曝露4ヶ月に点錆が 僅かに観察された程度である。図-7 には電気泳動試験により得られ た各硬化体の実効拡散係数を示す。気中養生を行った石炭灰硬化体 の実行拡散係数が普通モルタルより小さくなった点以外は,全体的 に見掛けの拡散係数と同様な一定の傾向が認められ,石炭灰硬化体 の場合,初期養生中の十分な水分が供給されることで,その組織が 緻密化し,塩分が浸透しにくくなることがあらためて確認された。 4. まとめ

石炭灰硬化体に埋設した鉄筋は,初期含有塩化物イオン等の影響 によって,打設直後より発錆する可能性のあることが明らかとなっ たが,少なくとも海水中曝露では,曝露中の鉄筋腐食の進行は遅い と予測される結果も得られた。今後,さらに長期の計測により,腐 食量の変化を観察する予定である。

参考文献)1)土木学会規準「電気泳動によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験方法」



-842-