

海上大気中での暴露 15 年試験による銅スラグ細骨材を大量混入したコンクリートの長期耐久性

若築建設(株) 技術研究所 コンクリート・構造グループ 正会員 ○秋山哲治, 勝畑敏幸
港湾空港技術研究所 材料研究グループ 正会員 山路徹, 与那嶺一秀

1. はじめに

銅スラグ細骨材を用いたコンクリートの RC 構造物への実用化を目指して各種試験を行い, 施工性や強度特性, 耐久性等の各性能について確認¹⁾した. このうち, 耐久性については, 実環境における長期耐久性を把握するため, ケーソン模擬供試体を用いて 2005 年より暴露試験を開始した. 本報は, この実物大モデルの供試体を用いた既往の暴露 7 年結果²⁾に加え, 2020 年に行った各種試験の結果を暴露 15 年迄の結果として, その一部を整理したものである(以降では, 銅スラグ細骨材を用いたコンクリートを銅スラグコン, 銅スラグ未混入のコンクリートを普通コンと称す)。

2. 実験内容

2.1 暴露供試体の概要

表-1と表-2に, 暴露供試体で用いた配合および使用材料を示す. コンクリートの配合は呼び強度 30N, スランプ 12cm, 空気量 4.5%, 粗骨材最大寸法 25mm とした. 供試体は, セメント 2 種類, 銅スラグ混入率 0-30-100%, および混和材有無の組み合わせによる計 8 体とし, 高さ 1500×幅 1500×長さ 1500×壁厚 250mm のセルラーブロックで港湾用ケーソンを模擬して製作した. 暴露場所は, 写真-1 に示す小名浜港ケーソンヤード海側に面した海上大気中とした.

2.2 試験項目

試験項目は, 表-3 に示すひび割れ観察, 圧縮強度, 中性化深さ, 塩分浸透深さとした. 塩分浸透深さは, 採取したコアを割裂した後, 0.1mol/l 硝酸銀溶液を噴霧して白く変色した深さを測定した. 採取したコア径は, すべて 100mm とした. 各試験結果の評価は, 暴露 7 年の結果²⁾と併せて整理した.

3. 試験結果

3.1 ひび割れ観察

表-4 にひび割れ観察の結果(ひび割れ本数のみ暴露 7 年結果²⁾を併記)を示す. 目視観察で認めたひび割れは, 最大で幅 0.5mm, 長さは側面で 250mm, 天端で 250mm であった. ひび割れは長いものが天端に多く発生しており, 供試体の壁厚が 250mm と比較的薄いことを踏まえると, ひび割れの原因は乾燥に因るものと考えられた. また, 暴露 7 年の結果²⁾と比べて, 暴露 15 年はひび割れ本数と幅が増えたが, 幅の増加は 0.1mm 程度に留まった. またセメント N と BB は共に, 銅スラグ未混入の供試体にも同程度のひび割れを確認した. 以上より, 暴露 15 年のひび割れ発生状況, さらには暴露開始時に実施した小型供試体による乾燥収縮試験において, 銅スラグ混入量 100% で長さ変化が抑制された結果¹⁾を併せると, 銅スラグコンは普通コンと比べて同等またはそれ以上の乾燥収縮に対するひび割れ抵抗性を有すると考える.

表-1 コンクリートの配合

供試体 No.	CUS 混入率	セメント 種類	水結合材 比 [%]	単位量 [kg/m ³]						BL 量 [cm ³ /cm ²]
				W	C	F	S	CUS	G	
[1]	0	N	47	166	353	—	764	—	1029	0.116
[2]	30	N	48	167	348	—	550	—	1007	0.153
[3]	100	N	45	170	380	—	—	1043	990	0.279
[4]	100F	N	43	163	280	100	—	1008	990	0.346
[5]	0	BB	45	164	364	—	735	—	1042	0.124
[6]	30	BB	47	163	347	—	552	322	1004	0.175
[7]	100	BB	43	163	380	—	—	1050	990	0.287
[8]	100F	BB	42	160	280	100	—	1008	990	0.344

※100F:フライアッシュ有の配合, BL量:事前の配合確認試験で求めたブリーディング量.

表-2 使用材料

項目	名称・特性値など	略号
セメント	普通ポルトランドセメント, 密度3.16g/cm ³	N
	高炉セメントB種, 密度3.04g/cm ³	BB
練混ぜ水	上水道水	W
細骨材	山砂, 表乾密度2.58g/cm ³ , 粗粒率2.70	S
	銅スラグ5-0.3, 表乾密度3.50g/cm ³ , 粗粒率3.30	CUS
粗骨材	砕石2005, 表乾密度2.70g/cm ³ , 粗粒率6.91	G
混和材	フライアッシュⅡ種, 密度2.10g/cm ³	F



写真-1 供試体の暴露状況

表-3 試験項目

試験項目	評価対象	試験方法
ひび割れ観察	側面・天端	目視観察等
圧縮強度	側面-φ100コア	JIS A 1108
中性化深さ	側面-φ100コア	JIS A 1152
塩分浸透深さ	側面-φ100コア	硝酸銀溶液噴霧法

表-4 ひび割れ観察の結果

供試体 No.	CUS 混入率	セメント 種類	ひび割れ本数		ひび割れ長さ	ひび割れ幅
			[7年 ²⁾]	[15年]	[mm/本_15年]	[mm/本_15年]
[1]	0	N	0	5	15~225	0.10~0.15
[2]	30	N	7	11	10~250	0.04~0.30
[3]	100	N	2	6	100~250	0.30~0.50
[4]	100F	N	4	5	30~250	0.15~0.45
[5]	0	BB	5	11	40~250	0.08~0.20
[6]	30	BB	1	8	30~250	0.06~0.30
[7]	100	BB	3	7	110~250	0.20~0.35
[8]	100F	BB	5	5	80~250	0.10~0.35

キーワード : 銅スラグ細骨材, 鉄筋コンクリート, 耐久性, ブリーディング, 長期暴露
連絡先 : 〒153-0064 東京都目黒区下目黒 2-23-18 若築建設(株) 技術研究所 TEL 03-3492-0285

3.2 圧縮強度

図-1 に圧縮強度の結果、図-2 に暴露直後の結果¹⁾に対する暴露 15 年の強度増加率をブリーディング量の関係で示す。暴露 15 年は 49.8~69.4N/mm² となり、暴露 7 年と比較して微増し、十分な強度を有していた。強度増加率は 1.22~1.42 の範囲となり、各供試体は同程度の増加率と評価した。以上より、銅スラグコンは普通コンと同等の強度特性を有すると考える。また、銅スラグ混入率が多い場合はフレッシュ時のブリーディングが増加する傾向を呈したが、強度特性について長期材齢でのブリーディングによる影響は認められなかった。

3.3 中性化深さ

図-3 に中性化深さの結果、及び暴露 7 年と 15 年から算定した中性化速度係数を示す。暴露 15 年は 1.8~6.3mm となり、一部の結果を除き暴露 7 年と比べて中性化が進行した。中性化速度係数についてセメント種類毎で比較すると、N より BB の方が中性化は概ね大きく、一般的な傾向と同じであった。なお、銅スラグ未混入で BB/N=1.7 倍に対し、銅スラグ混入で BB/N=0.8~1.3 倍となることから、銅スラグを用いる方が N に対する BB の中性化深さの増加割合が抑制されていた。

図-4 に上記で算定した中性化速度係数と水結合材比の関係を、示方書に記す中性化予測式の範囲(フライアッシュ以外:環境係数 1.0~1.6, 破線 N, 点線 BB, フライアッシュの場合:環境係数 1.0 として図中にプロット)と併せて整理した。フライアッシュ以外の配合では、今回算定した中性化速度係数は、【3】を除いて同予測式の範囲に概ねプロットされた。一方、フライアッシュの配合では、同予測式による中性化深さの推定値と比べて、実測値は小さい結果となった。

3.4 塩分浸透深さ

図-5 に塩分浸透深さの結果を示す。塩分浸透深さは 1.2~6.7mm となり、部材表面の塩化物イオンの侵入は軽微であった。暴露 7 年の結果²⁾においても塩分の浸透は少なく、表層の深さ 5mm で塩化物イオン濃度 0.25~0.83kg/m³ であったことを踏まえると、本試験での塩分浸透量は多くないことが窺えた。今回の暴露環境は飛来塩分の供給が多くないことや水結合材比が小さいことなどが、塩分浸透深さの結果に影響したと考える。今回、塩分浸透深さは部材表層の小さい範囲に限定されるが、銅スラグの使用量が多くなる配合においても、塩分浸透深さは普通コンと概ね同等である可能性が示唆された。

4. まとめ

本実験の範囲において、銅スラグコンと普通コンは、ひび割れへの影響及び圧縮強度は同等の性能を有しており、ブリーディングの増加による性能への影響は無かった。実験は RC 部材を対象とした水結合材比 50%以下の配合であり、元々ブリーディングを抑制した配合であったことで、これらの性能が良好であったと考える。中性化深さについて、N と BB の違いは一般のコンクリートと同様な傾向を示した。また中性化と塩分浸透について、銅スラグコンと普通コンの各進行速度は大きな差異が無く、銅スラグの使用による各劣化因子の進行速度の違いは明確では無かった。本試験は、国土交通省東北地方整備局小名浜港湾事務所、小名浜製錬(株)、新菱商事(株)、及び若築建設(株)による共同研究¹⁾で作製した供試体により行った。各種試験でご協力を頂いた関係各位の皆様には謝意を表します。

参考文献 1)森晴夫, 鳥畑孝志, 松本伸郎, 本田友之:銅スラグ細骨材を大量に混入したコンクリートの鉄筋コンクリートへの適用性に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.1843-1848, 2009.7 2)秋山哲治, 森晴夫, 山路徹, 与那嶺一秀:海上大気中での長期暴露試験による銅スラグ細骨材を大量混入したコンクリートの耐久性評価, 土木学会第 68 回年次学術講演会, V-111, pp.221-222, 2013.9

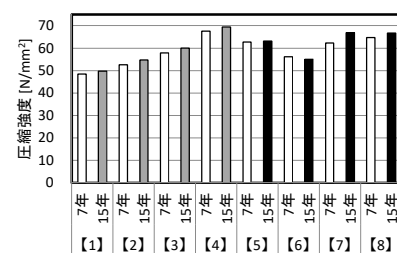


図-1 圧縮強度の結果(暴露 7 年を併記)

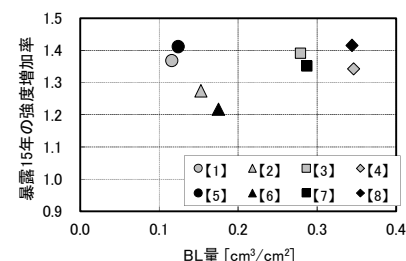


図-2 ブリーディング量-強度増加率の関係

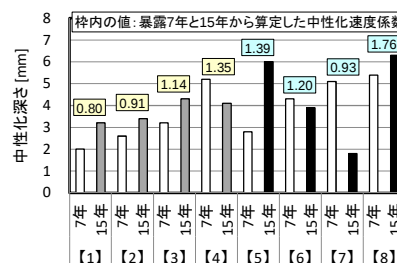


図-3 中性化深さの結果(暴露 7 年を併記)

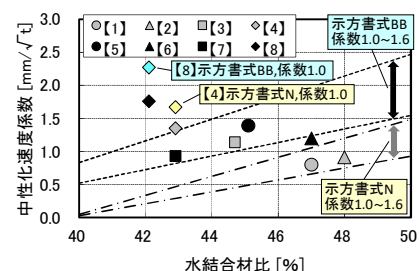


図-4 水結合材比-中性化速度係数の関係

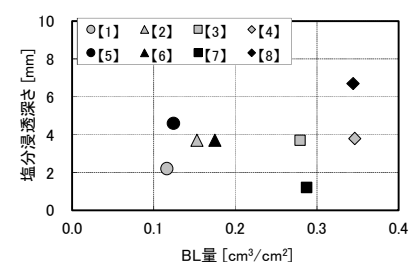


図-5 ブリーディング量-塩分浸透深さの関係