

フェロクロムスラグ骨材を用いたコンクリートの付着強度とビッカース硬度の評価

金沢工業大学 学生会員 大熊 晃平
金沢工業大学 正会員 宮里 心一

1. はじめに

現在、日本国内での天然骨材資源の不足そして資源の有効利用の観点から、産業副産物の有効利用が進められている。ここで、JIS A 5011 では鉄鋼スラグおよび非鉄スラグがコンクリート用骨材として規定されている。しかしながら、ステンレスの主原料である低炭素フェロクロムの製造工程において発生する副産物のフェロクロムスラグ（FCS）の骨材利用は研究段階^{例えば1)}であり、規定がない。

そこで本研究では、FCS 粗骨材を対象に、コンクリート用骨材としての適用を目指して、コンクリートと鉄筋の付着強度およびビッカース硬さ試験を評価する。

2. 実験方法

2.1 実験ケース

実験ケースを表 1 に示す。普通粗骨材を G_N 、FCS 粗骨材を G_F と記述する。FCS 骨材の混合率は 0, 50 そして 100% の 3 水準、および普通ポルトランドセメント(N)、高炉セメント(BB)、内割 20% のフライアッシュ(FA)を混合した計 9 ケースとした。全ケースにおいて、水セメント比は 50%、単位水量は 168kg/m^3 、細骨材率は 45.1% で統一した。また、目標スランブは $12\pm 2.5\text{cm}$ 、目標空気量は $4.5\%\pm 1.5\%$ とした。なお、スランブは JIS A 1101、空気量は JIS A 1128 により測定した。さらに、コンクリートの基本性状と JIS A 1108 による圧縮試験の結果を表 2 に示す。そして本研究での使用材料を表 3 に示す。

2.2 鉄筋の引抜き付着試験

材齢 28 日目まで水中養生した供試体を JSCE-G 503 に準拠し引抜き試験を行った。鉄筋は径が 10mm の SD345 を用いた。

2.3 ビッカース硬さ試験

骨材とセメントマトリックスの界面性状を把握するため、ビッカース硬さ試験を行った。ここでは、FCS 混合率 0, 100% の 2 水準、および N と BB の計 4 ケースを対象に、微小硬さ試験機を用いて行った。試験荷重は 0.01gf で行い、測定は粗骨材下面からの

距離が $20\mu\text{m}\sim 200\mu\text{m}$ の 8 点について行った。なお、1 点につき 10 箇所の平均値をとった。

表 1 実験ケース

実験 ケース	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)				
			W	C	S	G_N	G_F
N0	50	45.1	168	336	792	979	-
N50						490	482
N100						-	964
BB0					787	973	-
BB50						487	479
BB100						-	958
FA0					784	970	-
FA50						485	477
FA100						-	955

表 2 基本性状

実験 ケース	スランブ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm^2)
N0	12.0	3.8	55.2
N50	11.0	4.3	53.1
N100	9.5	4.6	56.1
BB0	13.0	3.0	55.3
BB50	12.0	3.8	47.8
BB100	11.0	5.1	47.0
FA0	13.0	3.0	39.3
FA50	12.0	3.1	42.5
FA100	11.0	4.0	40.8

表 3 材料物性値

種類			物性値
結合材	普通ポルトランドセメント	N	密度 3.16g/cm^3
			比表面積 $3250\text{cm}^2/\text{g}$
	高炉セメント B 種	BB	密度 3.04g/cm^3
			比表面積 $3620\text{cm}^2/\text{g}$
	フライアッシュ	FA	密度 2.42g/cm^3
			比表面積 $4560\text{cm}^2/\text{g}$
細骨材	陸砂（庄川産）	S	表乾密度 2.58g/cm^3
			吸水率 1.83%
			F.M.2.63
粗骨材	陸砂利（庄川産）	G_N	表乾密度 2.62g/cm^3
			吸水率 1.26%
			F.M.6.91
	フェロクロムスラグ粗骨材	G_F	表乾密度 2.58g/cm^3
			吸水率 2.02%
			F.M.6.61

3. 結果および考察

3.1 鉄筋の引抜き付着試験

各配合における付着応力—すべり変位関係を図1に示す。これらから得られた付着強度を図2で比較する。その結果、FCS 混合率 0, 50, 100 %は同等であることが明らかになった。

3.2 ビッカース硬さ試験

ビッカース硬さ試験の結果を図3に示す。ここで、硬さ記号 HV0.01 は試験荷重 0.01gf を意味する。その結果、FCS 粗骨材下面の微小硬さと普通粗骨材下面の微小硬さは同等であった。また、コンクリートの境界相は骨材周囲の水膜に水酸化カルシウムが析出されポーラスな構造になることからコンクリート中の欠点部分といわれている²⁾。よって、本実験では骨材からの距離が $40\mu\text{m}$ 以内の点の平均を境界相ビッカース硬さと定義し、図4にて圧縮強度と比較する。その結果、境界相ビッカース硬さおよび圧縮強度は同程度であり、相関関係が見られた。このことから、FCS 粗骨材の境界相は普通粗骨材の境界相の硬度と同程度になるため、圧縮強度においても、FCS 粗骨材を用いたコンクリートは普通粗骨材を用いたコンクリートと同程度になったと考察した。

4. まとめ

- (1) セメント種類に関わらず、フェロクロムスラグ粗骨材を用いたコンクリートの付着強度は、普通粗骨材を使用したコンクリートの付着強度と同程度になる。
- (2) フェロクロムスラグ粗骨材の境界相は、普通粗骨材の境界相と同程度になる。また、圧縮強度も同程度になる。

謝辞

JFE マテリアル(株)と日本コンクリート技術(株)との共同研究により実施した。

参考文献

- 1) 宮里, 土屋, 片山, 花岡: フェロクロムスラグ粗骨材を用いたコンクリートの耐久性評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.43, No.1, pp.53-58, 2021
- 2) 加藤, 西村, 魚本: 骨材周囲の遷移帯厚さおよび空隙率の簡易算定手法の提案, セメント・コンクリート論文集, Vol.63, No.1, pp.308-315, 2009

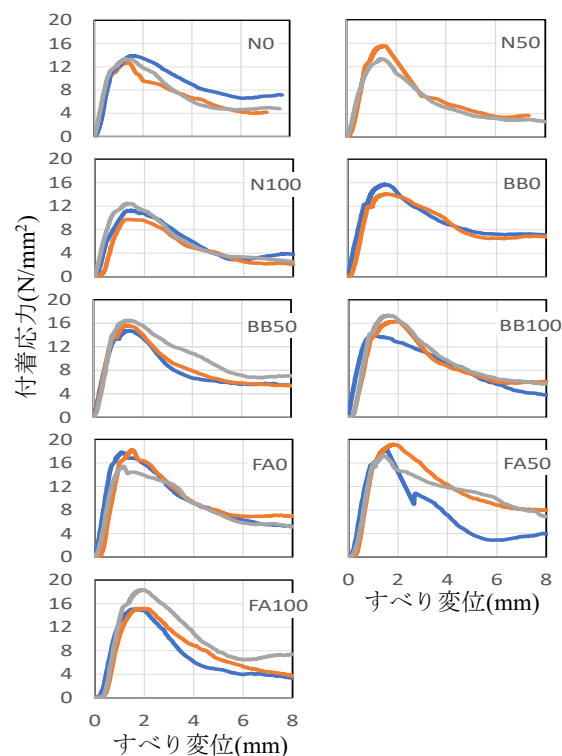


図1 付着応力—すべり関係

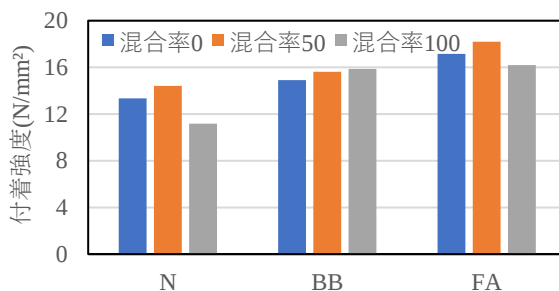


図2 付着強度の比較

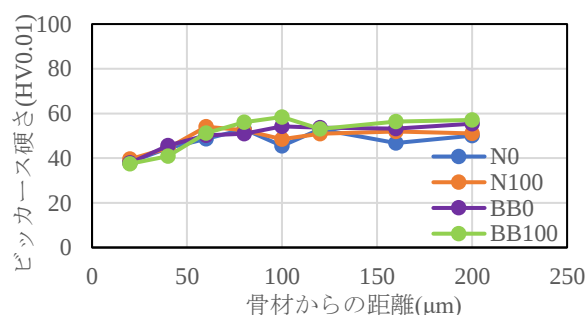


図3 ビッカース硬さの比較

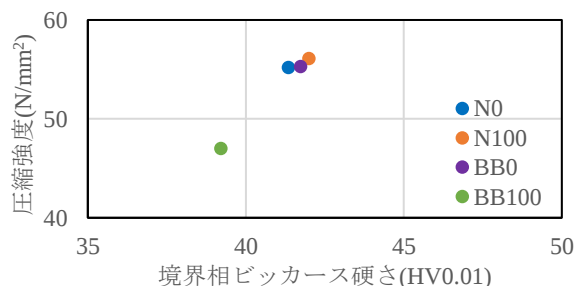


図4 境界相の硬度と圧縮強度の比較