

## V-9

## コンクリート用骨材としてのスチールダストの利用について

室蘭工業大学 正会員 尾崎 訓  
 室蘭工業大学 正会員 菅田紀之  
 新日本製鉄㈱ 河内雄二

## 1. はじめに

室蘭製鉄所で発生するスチールダストは年間約3万トンにも及び、製鉄所内でのリサイクルはもとより、各種の有効利用が考えられている。

本研究の発端は、水産資源への効果を考え、魚礁材料としてスチールダストの利用を検討することにあつた。しかし、スチールダストの比重が6程度と非常に大きいので、水中にあって重さを必要とするコンクリートへの利用が有効であることから、これらのことを念頭に置いてスチールダストコンクリートの基礎的実験研究を行ない、利用の可能性を検討した。

なお、このスチールダストは製鉄所内において粒径が $44\mu\text{m}$ 以上の粗粒ダストと $44\mu\text{m}$ 以下の細粒ダストに分けて処理されているので、本研究では二通りの利用を考えた。一つは、粗粒ダストの粒形が細骨材の微粒分に相当するので、その混和材的效果を期待して、粗粒ダストをそのまま細骨材の一部として利用するものである。もう一つは、製鉄所内でダストをリサイクルする目的で造られるベレットを、コンクリートの粗骨材として利用しようとするものである。

## 2. 粗粒スチールダストについて

転炉ダストは、転炉における脱炭精練に伴い発生する鉄分を主体とする副産物であるが、冷鉄源溶解法における発生ダストも含め、ここではスチールダストと呼ぶことにする。

粗粒のスチールダストの化学組成の内、大きな割合を示す主要な成分の概略値を表-1に示す。粗粒ダストの物理的性質は、真比重が6.3~7.1、水銀ポロシメーターによる空隙は約3.7 cc/gと測定されているが、コンクリートの配合を考える段階での表乾比重は5.9~6.7、吸水率は1~2%の範囲と見られる。今回の実験では、吸水率は1.2とし、表乾比重5.9で配合設計を行なっている。表-2に粒度の概略値を示すが、平均粒径は126~139 $\mu\text{m}$ である。写真-1は粗粒スチールダストの電子顕微鏡写真であり、コンクリートにとって都合の良い球形をしていることが分かる。

表-1. 粗粒スチールダストの主な化学組成

| 化学組成 | T.Fe  | M.Fe  | Fe O | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Ca O |
|------|-------|-------|------|--------------------------------|------|
| (%)  | 86~91 | 72~78 | 7~14 | 4~13                           | 2~3  |

表-2. 粗粒スチールダストの粒度

| 粒径( $\mu\text{m}$ ) | 500~250 | 250~125 | 125~64 | 64~   |
|---------------------|---------|---------|--------|-------|
| (%)                 | 3~5     | 34~42   | 44~50  | 10~13 |

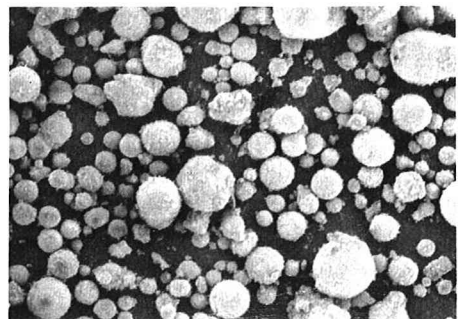


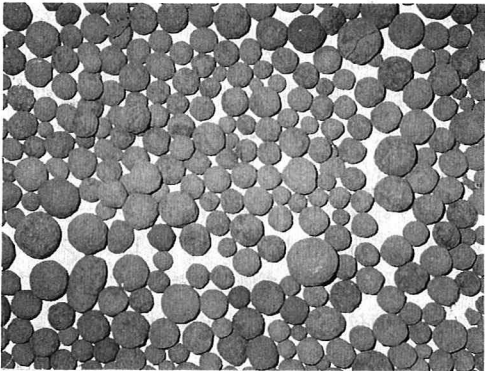
写真-1. 粗粒スチールダストの電子顕微鏡写真

Utilization of Steel Dust as aggregate for Concrete,  
 by Shinobu OZAKI, Noriyuki SUGATA and Yuuji KAWAUCHI.

3. スチールダストペレットについて

スチールダストペレットは、微粒のスチールダストを製鉄所内でリサイクルするために考えられたものである。製造方法は、乾燥させた微粒ダストに1割程度の粗粒ダストのほか、早強ボルトランドセメントを主体とするバインダーを混ぜ、水分調整を行なってペレタイザーで造粒し、養生するものである。

このように、今回用いたスチールダストペレットはコンクリート骨材として造られたものではないので、物理的性質は骨材としての条件を満たしてはいない。すなわち、比重は 3.16 ながら、吸水率は 9.8 %と大きく、B.S.812 の骨材破碎値試験方法による10%破碎荷重も 5 トンと小さい。実験には、粒度範囲 5～20 mm、最大寸法 15 mm、平均粒径 13 mmのペレットを用いた。形状は、写真－2に示すように、コンクリートに都合の良い球形をしている。



写真－2. スチールダストペレット

4. スチールダストを用いたコンクリート

まず、実験に用いたコンクリートの材料を以下に記す。セメントは比重 3.05 の高炉セメントB種、細骨材は比重 2.76,吸水率 1.10 %,粗粒率 2.73 の陸砂、粗骨材は比重 2.66,吸水率 1.82 %,最大寸法 15 mmの碎石を用いた。なお、A E剤には天然樹脂酸塩を主成分とするもの、A E減水剤にはアニオン型特殊高分子界面活性剤、流動化剤にはポリアルキルアリルスルホン酸塩を主成分とするものを用いた。

なお、スチールダストの比重は 5.9とし、使用量については、予備実験として事前に行なったモルタルのフロー試験結果から、スチールダストの置換量を全細骨材量の 45 % 以内とした。

(1) スランプおよび空気量を固定した実験

強度に影響する水セメント比を 55 % と一定に保ち、ワーカビリティも変えずにスランプを 11 cm± 2cmに限定して実験を行なった。ここでは Non A Eコンクリートと、耐久性の観点から空気量を 4.5 %± 0.5 %に限定したA Eコンクリートに対し、スチールダストを変化させた場合の所要単位水量の増加、所要単位A E剤量の増加の程度を調べた。これらの配合を表－3に示す。

表－3. スランプおよび空気量を固定した実験の配合

|                      | スラン<br>プ<br>(cm) | 空気<br>量<br>(%) | W<br>C<br>(%) | s+d<br>a<br>(%) | d<br>d+s<br>(%) | 単 位 量 ( kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |     |       |
|----------------------|------------------|----------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-------|
|                      |                  |                |               |                 |                 | W                           | C   | D   | S   | G   | A E   |
| Non<br>A Eコン<br>クリート | 11<br>±2         | 1.5<br>±.5     | 55            | 46              | 0               | 187                         | 340 | 0   | 865 | 975 | —     |
|                      |                  |                |               |                 | 15              | 183                         | 332 | 279 | 745 | 988 | —     |
|                      |                  |                |               |                 | 30              | 192                         | 349 | 547 | 601 | 968 | —     |
|                      |                  |                |               |                 | 45              | 212                         | 385 | 778 | 446 | 918 | —     |
| A Eコン<br>クリート        | 11<br>±2         | 4.5<br>±.5     | 55            | 46              | 0               | 168                         | 305 | 0   | 872 | 982 | 0.030 |
|                      |                  |                |               |                 | 15              | 172                         | 312 | 273 | 734 | 973 | 0.072 |
|                      |                  |                |               |                 | 30              | 190                         | 346 | 525 | 580 | 934 | 0.120 |
|                      |                  |                |               |                 | 45              | 201                         | 365 | 765 | 443 | 907 | 0.148 |

これによれば、図－1に示す通り、ダスト置換率15%程度では単位水量を殆ど増やす必要がなく、30%程度でもA Eコンクリートとすれば良い。この場合、約500kgのスチールダストで細骨材の約30%を

置き換えるには水を約20kg増やす必要がある。

単位AE剂量については、図-2に示す通り、細骨材の30%をスチールダストで置き換える場合、AE剂量を標準量の3~4倍必要とし、約80kg増やす必要がある。これはダストには $64\mu\text{m}$ 以下の微粒子が10%以上存在し、炭素も1%程度含まれているため、AE剤がこれに吸着するからである。

図-3の如く、スチールダストはコンクリートの圧縮強度を増加させる。その程度は30%の置換率で約6MPaと見られるが、これはダストの微粒子充填効果によるものと考えられる。

耐久性評価の一助として実施した凍結融解試験の結果を表-4に示す。海水中の凍結融解試験は水中の凍結融解試験に比べ厳しく、表面剥離は起こるが、AEコンクリートではダストの多い場合でも抵抗性を確保できる。なお、表中で下線を施した数値は300サイクルに達しない内に60%を切った時の値である。

表-4. 重量減少率 (%) および 耐久性指数

| ダスト置換率 (%) | Non AEコンクリート |             |             |             | AEコンクリート |      |       |      |
|------------|--------------|-------------|-------------|-------------|----------|------|-------|------|
|            | 重量減少率        |             | 耐久性指数       |             | 重量減少率    |      | 耐久性指数 |      |
|            | 淡水           | 海水          | 淡水          | 海水          | 淡水       | 海水   | 淡水    | 海水   |
| 0          | 98.0         | 86.6        | 96.5        | 87.8        | 98.7     | 96.7 | 101.  | 100. |
| 15         | 98.4         | 84.6        | 102.        | 95.3        | 99.1     | 94.6 | 97.3  | 105. |
| 30         | 98.5         | <u>80.1</u> | 99.9        | <u>76.7</u> | 99.1     | 96.4 | 102.  | 101. |
| 45         | 97.5         | <u>68.8</u> | <u>90.7</u> | <u>82.0</u> | 99.1     | 92.8 | 100.  | 96.5 |

(2) ベースコンクリートの配合を固定した実験

単位水量等の配合を一定とした場合のスチールダストの影響を見るために、表-5のような配合について実験を行なった。ここでは、同時に、流動化剤による改善効果も調べた。

表-5. ベースコンクリートの配合を固定した実験  
W/C = 55 %, (s+d)/a = 46 %の場合の配合

|                   | 単 位 量 (kg/m³) |     |      |      | $\frac{d}{d+s}$<br>(%) | (kg/m³) |     | 流動<br>化剤<br>(%) C |
|-------------------|---------------|-----|------|------|------------------------|---------|-----|-------------------|
|                   | W             | C   | G    | A d  |                        | D       | S   |                   |
| AEコン<br>クリート      | 181           | 362 | 941  | 0.04 | 0                      | 0       | 831 | 0                 |
|                   |               |     |      |      | 15                     | 271     | 707 | 0.4               |
|                   |               |     |      |      | 30                     | 542     | 582 | 0.8               |
|                   |               |     |      |      | 45                     | 794     | 457 | 1.2               |
| AE減<br>水剤<br>コンクリ | 156           | 312 | 1000 | 3.12 | 0                      | 0       | 884 | 0                 |
|                   |               |     |      |      | 15                     | 293     | 751 | 0.4               |

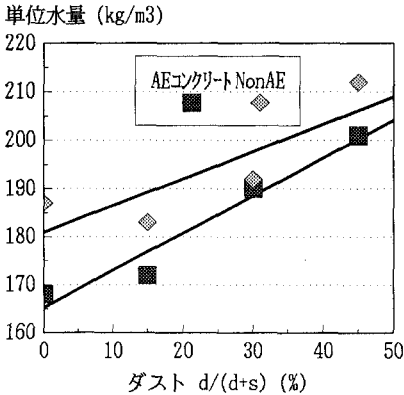


図-1. ダストによる単位水量の増加

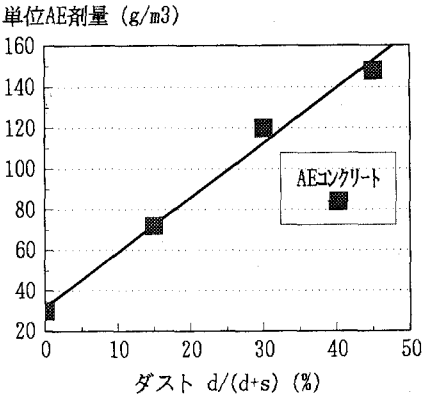


図-2. ダストによるAE剂量の増加

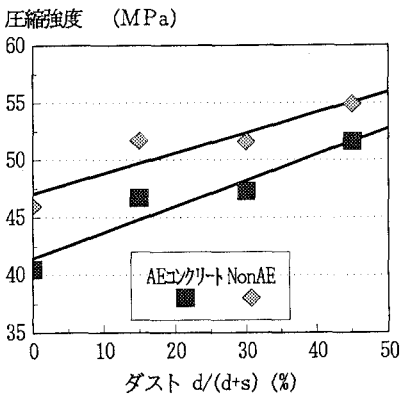


図-3. ダストによる圧縮強度の増加

その結果、図-4に示すように、細骨材の30%をスチールダストで置き換えることによって、AEコンクリートのスランプは7 cm 程低下する。しかし、流動化剤をセメントの0.8%程度後添加することによって、水量の増加無しに所要のワーカビリティを確保出来ることが分かった。なお、AE減水剤を用いたコンクリートの図-5では、ダストによって流動化剤が一層効果を発揮するかのように見える。

空気量について見ると、図-6のように、ダストによって2%程確実に低下するが、流動化剤の後添加によって更に減少するように見える。AE減水剤を用いたコンクリートの場合の図-7でも流動化剤による減少の様子を知ることが出来る。

単位体積重量については、図-8のように40%のスチールダストの置換によって、2.85以上に重量が増加する。これは水中において約30%の重量増加になる。

圧縮強度を示した図-9によれば、ダスト置換率30%までは例外なく10 MPa 程度増加しており、過剰な流動化による材料分離の改善にも役立っているように思われる。

図は省略したが、このほか、動弾性係数はダストの質量効果とも相まって、約1割増大する。

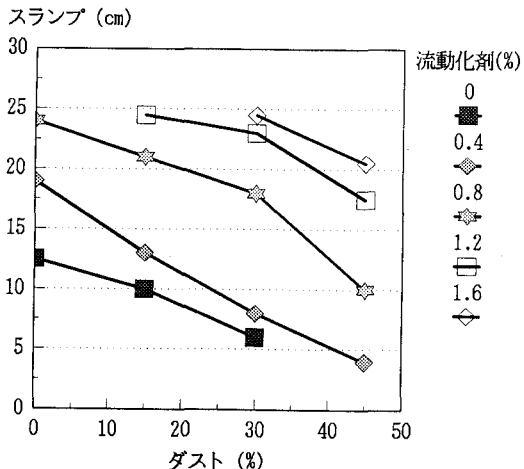


図-4. スランプの低下と流動化剤による改善

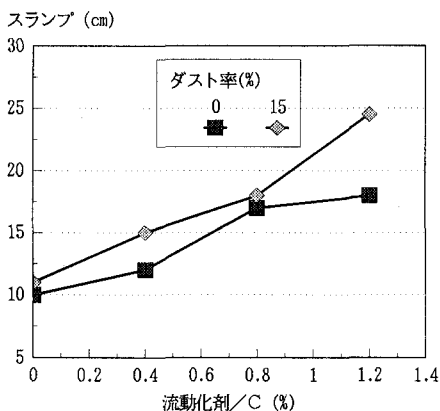


図-5. ダストによる流動化剤の効果

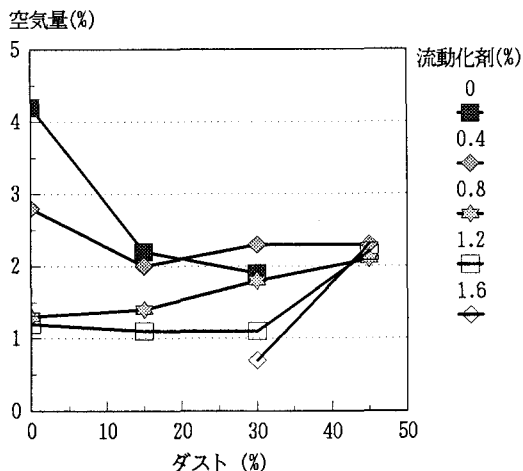


図-6. ダストと流動化剤による空気量の変化

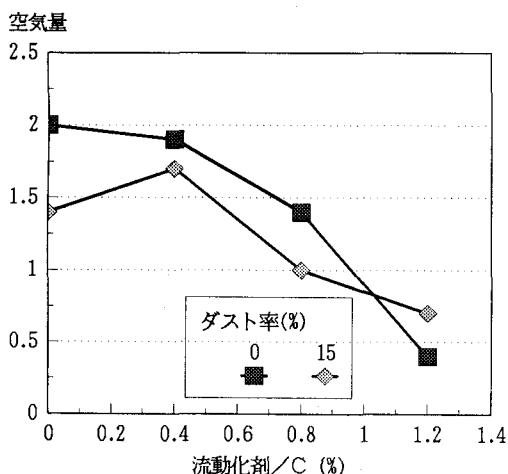


図-7. 流動化剤による空気量の減少

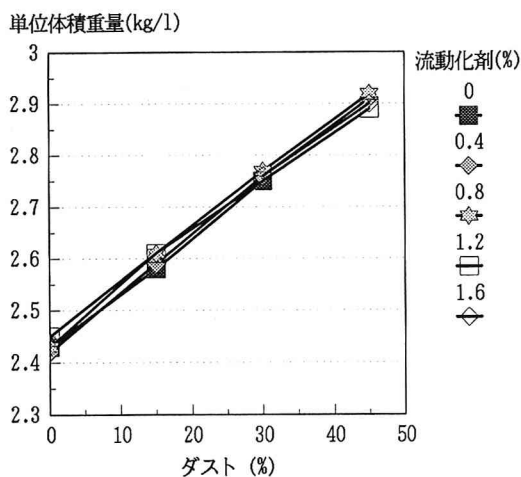


図-8. ダストによる単位体積重量の増大

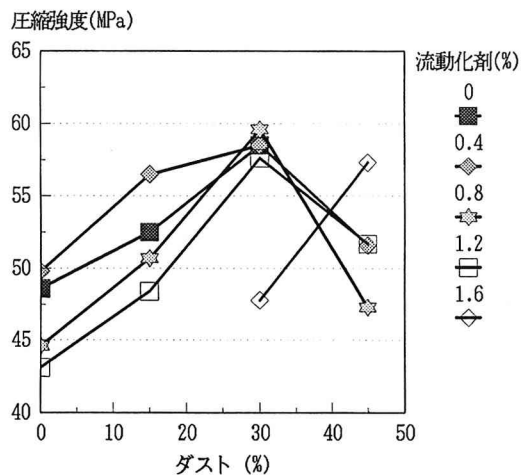


図-9. ダストと流動化剤による圧縮強度

##### 5. スチールダストおよびスチールダストペレットを用いたコンクリート

先にも述べたように、今回用いたスチールダストペレットは、コンクリート骨材として造られたものでないために、吸水率が大きく耐久性の面で問題があることは明らかであった。また、破碎荷重も小さかったが、球形という優れた形状を持った重量骨材としての特徴は、強度や耐久性をそれほど必要としない魚礁等の、水中で供用されるコンクリートにとって魅力的に思えた。そこで、水産資源への効果を調べるためこの種のコンクリート板を海中に設置したが、その配合例を表-6に示す。

表-6. スチールダストとスチールダストペレットを用いたコンクリートの配合

| 粗骨材の種類  | スランブ (cm) | 空気量 (%) | W/C (%) | s/a (%) | d/d+s (%) | Ad/C (%) | AE/C (%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |      |     |      |
|---------|-----------|---------|---------|---------|-----------|----------|----------|--------------------------|-----|-----|-----|------|-----|------|
|         |           |         |         |         |           |          |          | W                        | C   | D   | S   | G    | Ad  | AE   |
| 砕石      | 8         | 4.5     | 50      | 46      | 40        | 1.5      | 0.05     | 160                      | 320 | 749 | 525 | 991  | 4.8 | .16  |
|         | 6.5       | 4.5     | 50      | 46      | 40        | 1.0      | 0.06     | 160                      | 320 | 749 | 525 | 991  | 3.2 | .19  |
| ダストペレット | 8         | 4.5     | 50      | 46      | 40        | 1.5      | 0.07     | 160                      | 320 | 749 | 525 | 1177 | 4.8 | .224 |
|         | 6.5       | 4.5     | 50      | 46      | 40        | 1.5      | 0.08     | 160                      | 320 | 749 | 525 | 1177 | 4.8 | .256 |

表-7. スチールダストコンクリートの測定値

| 粗骨材の種類  | スランブ (cm) | 空気量 (%) | 単位重量 (kg/l) | 圧縮強度 (MPa) |
|---------|-----------|---------|-------------|------------|
| 砕石      | 8.0       | 4.0     | 2.81        | 43.4       |
|         | 6.5       | 5.0     | 2.74        | 33.2       |
| ダストペレット | 8.0       | 3.9     | 3.01        | 33.7       |
|         | 5.5       | 6.1     | 2.94        | 24.8       |

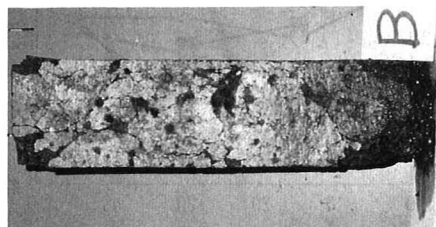


写真-3. スチールダストとトペレットを用いたコンクリートの凍結融解試験結果

スチールダストベレットの表面は硬く覆われている訳ではないので、練り混ぜ中にベレットの表面から微粒の細粒ダストが落ちて、コンクリート中のダストの微粒分が増える。このため、同じダストコンクリートでも、碎石を粗骨材に使った場合に比べ、A E剤を30～40% 程多く必要とする。しかし、プラスチシチーに富んだ、ワーカブルなコンクリートが得られる。実験では、比重 3.16 のベレットを使ったので、重量はダストと碎石を用いた場合より更に約7%重くなり、普通のコンクリートより25%重くなった。ただし、圧縮強度はベレットを使うことにより約1/4低下した。また、凍結融解試験の結果は、スチールダストベレットの吸水率が大きいこと、抵抗性が大幅に低下した。この種の耐久性を必要とするコンクリートに対しては、凍結水を減らすべく、空隙の小さなベレットを造らなければならない。もし、強度を犠牲にして良ければ、A E剤を用いて、ベレット内にエントレンドエアーを連行して、凍結融解に対する抵抗性を高める方法も考えられる。

## 6. おわりに

本研究は製鉄所で発生するスチールダストのコンクリートへの有効利用に関する研究であり、水産資源への効果を考えた材料開発の試みとして始めたものである。このダストは、鉄が主成分であること、比重が大きいこと、微粒子であること、粒の形が球形であること、等の特徴がある。

これをそのまま、あるいは、ベレットにして利用したコンクリートの特徴は、

- (1) ワーカビリティに関しては、スチールダストの増粘効果と潤滑効果を期待できるが、微粒子を多く含むため所要の水量が増える。しかし、減水剤や流動化剤の併用効果が大きく、これで十分対処できる。
- (2) 密実性に関わる微粒子充填効果も期待でき、強度や弾性係数はスチールダストによってむしろ改善される。
- (3) 耐久性の観点からはA Eコンクリートとすればよいが、スチールダストは空気量を減らす方向に働くので、所要の空気量を得るにはA E剤を増やす必要がある。
- (4) スチールダストの比重が大きい利点を生かし、重量骨材として活用し、水中等で重さを必要とするコンクリートに利用できる。この重量効果は非常に大きい。
- (5) スチールダストから造られるベレットも粗骨材として利用すれば一層効果が高まるが、現在製鉄所内で造られているベレットは耐久性の点では不十分であり、必要なら改良しなければならない。
- (6) 水産資源に対するスチールダストコンクリートの効用については今のところ未知数である。今後、これらの供試体を設置した海中での観察を続けたい。

なお、本研究は、著者らが所属する大学の研究室の学生ならびに会社の関係各位の援助・協力を得て実施したもので、一部、日鉄セメント㈱研究開発部の支援も受けた。ここに記して深く感謝の意を表します。