

## グリーン調達の手引き

### 1. 鉄鋼スラグ水和固化体の概要及び適用性

鉄鋼スラグ水和固化体は、鉄鋼生産の製鋼工程で副産物として生成する製鋼スラグ、高炉スラグ微粉末及び水を必須材料とし、これらを練り混ぜ、水和反応により固化（硬化）させたものである。鉄鋼スラグ水和固化体の適用に当たっては、その製造、施工の各段階において、特性を理解し、利用技術を習得した技術者が管理することが望ましい。

鉄鋼スラグ水和固化体の使用に当たっては、鉄鋼スラグ水和固化体技術マニュアル（（財）沿岸技術研究センター，2008.2）を参考にするとよい。

#### (1) 品質

##### 1) 製造方法

鉄鋼スラグ水和固化体は、製鋼スラグ（鉄鋼生産の製鋼過程で生成するスラグ）に高炉スラグ微粉末（鉄鋼生産の製鉄過程で生成するスラグを水により急冷微粒化した後、乾燥・微粉碎して得られた微粉末）を添加して水とともに練混ぜ、固化させたものである。必要に応じて、高炉水砕スラグ、フライアッシュや消石灰などのアルカリ刺激材を追加して配合する。鉄鋼スラグ水和固化体の製造方法を図-2.3.27.1に示す。

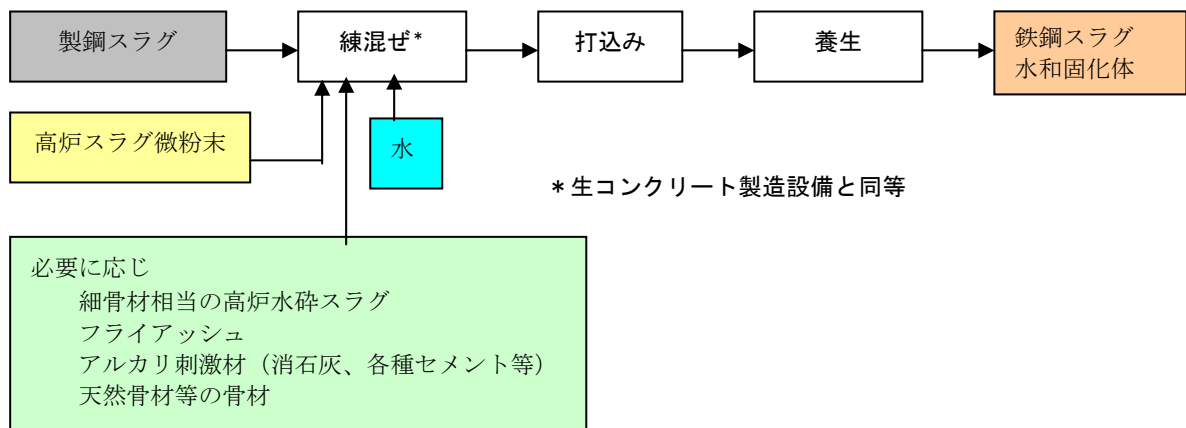


図-2.3.27.1 鉄鋼スラグ水和固化体の製造方法

##### 2) 種別について

鉄鋼スラグ水和固化体に使用される主な材料の役割は表-2.3.26.2に示すとおりである。また、鉄鋼スラグ水和固化体は、使用するアルカリ刺激材の種類に応じてⅠ種及びⅡ種の2種類に大別される。

表-2.3.26.1 鉄鋼スラグ水和固化体の種別

種別	骨材	主な結合材	アルカリ刺激材	
			種別	添加物の範囲
Ⅰ種	A 製鋼スラグ 100 質量%	高炉スラグ微粉末	消石灰、石灰ダスト等	規定無し（ただし、消石灰を高炉スラグ微粉末と消石灰の 20 質量%以上添加しても効果なし）
	B 製鋼スラグ 50 質量%以上 100 質量%未満			
Ⅱ種	A 製鋼スラグ 100 質量%	高炉スラグ微粉末※	普通ポルトランドセメント等の各種セメント※	ポルトランドセメント部が高炉スラグ微粉末とポルトランドセメントの合計量の 70 質量%未満
	B 製鋼スラグ 50 質量%以上 100 質量%未満			

※高炉セメントB種、C種を使用してもよい。

表-2.3.26.2 主な材料の役割

材料の種類	作用／役割
製鋼スラグ	①骨材として働く。 ②Caを放出し、高炉スラグ微粉末の水和硬化に対するアルカリ刺激材の働きをする。 ③フライアッシュのポズラン反応のCa供給源となる。
高炉スラグ微粉末	①結合材として働く。ガラス質であり、アルカリ刺激材の存在下で水和反応が促進され硬化現象を示す。
高炉水砕スラグ	①細骨材として働く。 ②ワーカビリティ改善の効果がある。 ③水の存在下で弱い硬化現象がある。
フライアッシュ	①Ca(OH) <sub>2</sub> とポズラン反応を起こし硬化することから、結合材として働く。 ②ワーカビリティ改善の効果がある。 ③鉄鋼スラグ水和固化体のアルカリ成分の溶出性を下げる。
アルカリ刺激材 (消石灰、各種セメント)	①高炉スラグ微粉末の水和反応を促進する。 ②フライアッシュのポズラン反応を促進する。

(2) 流通状況

鉄鋼スラグは、高炉スラグと製鋼スラグに大別され、平成19年度のそれぞれの年間生成量は前者が2,477万トン、後者が1,387万トンであり、骨材として使用される製鋼スラグは、北海道から九州まで幅広く分布する製鉄所で生産されている。

鉄鋼スラグ水和固化体は全国において調達可能であるが、地域によっては製鋼スラグの輸送に多大な費用を要する必要があるため、注意する必要がある。

(3) 使用実績

1) 調達の現状

鉄鋼スラグ水和固化体は、現在のところ、コンクリート二次製品に使用されることが多く、この場合、製造設備が整っている製鉄所で製作されることとなる。また、別の方法としては、製造設備が無い製鉄所に移動式プラントを設置して製造する方法もあるが、製造費の面から見てこの方法は大量使用向きである。

コンクリートブロックに使用する場合、生コンクリート製造会社において製造することになるが、製造設備及び製造費の面から調達可能な地域は限定されることとなり、現在のところ使用実績は少ない。鉄鋼スラグ水和固化体の調達フローを図-2.3.27.2に示す。

(コンクリート二次製品に使用する場合)



(コンクリートブロックに使用する場合)

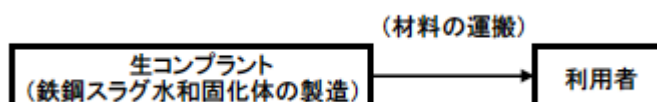


図-2.3.27.2 鉄鋼スラグ水和固化体調達のフロー

## 2) 港湾・空港工事への使用実績及び適用事例

これまでの使用実績は、製鉄所内で製鋼スラグを製造しており、かつ、製鉄所内にプラントを保有する君津、倉敷、八幡の製鉄所近隣に多い。これは、鉄鋼スラグ水和固化体の価格騰貴の原因である製鋼スラグの運搬費を殆ど要さないため、現場までの運搬費用を加味してもコンクリート製（石材は天然）のものより安い価格で調達できるためである。

### (1) 鉄鋼スラグ水和固化体の使用実績

鉄鋼スラグ水和固化体の主な使用実績を表-2.3.27 に示す。

表-2.3.27 使用実績

(ブロックとしての使用)

(計 37,000 t)

年度	発注者/施工場所	工事名称	用途・使用数量
H15	国土交通省四国地方整備局高知港湾・空港整備事務所/高知港	高知港 三里地区防波堤（東第一）工事（その⑦）	消波工（テトラポッド） 80 ト型 111 個（9,990 t）
H13	松江市/魚瀬漁港	魚瀬漁港改修工事（試験施工）	消波工（シーロック B 型） 60 ト型 2 個（120 ト）
H14	中部国際空港(株)/中部国際空港	中部国際空港護岸工事（試験施工）	消波工（ディンプル） 5 ト型 16 個（85 ト）
H17	(財)岡山県環境保全事業団/水島処分場	水島処分場整備	境界ブロック 77kg/個、1300 本（100 ト）、側溝ブロック 450kg/個、155 本（70 ト）
H17	(財)岡山県環境保全事業団/水島処分場	試験施工	歩車道境界ブロック B 型 1380 個（6 t）、落ふた式 U 形側溝（300A, 300B）155 個（4 t）、フェンス基礎ブロック 46 個（0.2 t）
H17	新日本製鐵(株)/広畑製鐵所	港湾工事前用消波ブロック	消波工（テトラポッド） 16 ト型 400 個（7,000 t）
H17	新日本製鐵(株)/広畑製鐵所	港湾工事前用消波ブロック	消波工（テトラポッド） 8 ト型 200 個（1,700 t）
H17	鉄鋼スラグ水和固化体研究会	港湾工事前用消波ブロック	消波工（テトラポッド） 80 ト型 24 個（2,000 t）
H17	JFE スチール(株)/西日本製鐵所倉敷地区	高潮対策工事	大型張ブロック（1000×1000×200）550kg/個（6,400 t）
H13	川崎製鐵(株)/水島製鐵所	水島製鐵所 CD 南側護岸（S1-2, S2-1）補強工事	被覆ブロック（3600×2400×500）10 ト型 776 個（7800 t）
H13	川崎製鐵(株)/千葉製鐵所	縁石製造	縁石ブロック 70kg/個、80 個（6t）
H15	認可：内閣府沖縄総合事務局平良港湾事務所/平良港	スラグブロックによるサンゴ着生試験	被覆ブロック（エックスブロック） 6 ト型 4 個（26 t）
H16	認可：国土交通省九州地方整備局下関港湾事務所/下関港	生物付着試験	消波ブロック 5 ト型 2 個（11 t）
H19	認可：国土交通省関東地方整備局千葉港湾事務所/館山市相浜	館山市相浜人工藻礁	漁礁ブロック 8 ト型 198 個（1,600 t）

(上部工、舗装工などとしての使用)

(計 10,000 t)

年度	発注者／施工場所	工事名称	用途・使用数量
H15	国土技術政策総合研究所/横須賀港久里浜地区	横須賀港 久里浜地区護岸補修工事	上部工(舗装工)(設計基準強度18N) 2.86m <sup>3</sup>
H16	JFE スチール(株)/東日本製鉄所千葉地区	舗装工事	舗装工(設計基準強度21N) 200m <sup>3</sup>
H14	川崎製鉄(株)/千葉製鉄所	地下埋戻し工事	埋戻し工(設計基準強度15N)3500m <sup>3</sup>
H14	川崎製鉄(株)/千葉製鉄所	舗装工事	舗装工(設計基準強度21N) 53m <sup>3</sup>
H14	川崎製鉄(株)/千葉製鉄所	舗装工事	舗装工(設計基準強度21N) 135m <sup>3</sup>
H13	川崎製鉄(株)/千葉製鉄所	地下外壁工事	外壁(設計基準強度21N) 57m <sup>3</sup>

(石材としての使用)

(計 768,000 t)

年度	発注者／施工場所	工事名称	用途・使用数量
H18	岡山県備中県民局/笠岡市木島地区	笠岡市木島町大浦地区潜堤築造工	潜堤被覆石(2.4t/個)、捨石(300kg/個) 計150m <sup>3</sup>
H18	岡山県備中県民局/笠岡新港	笠岡新港災害復旧工事	被覆石(1.2t/個)、中詰石(20~50kg/個) 計124m <sup>3</sup>
H18	三重県企業庁/紀伊長島町三浦地区	藻場磯築造事業	潜堤捨石(150~500kg/個) 350m <sup>3</sup>
H18	JFE ミネラル(株)/千葉県勝山港地先	藻場材料としての試験	捨石(1t/個) 1m <sup>3</sup>
H14	川崎製鉄(株)/水島製鉄所	水島製鉄所海水導入路護岸(C-11, 12)補強工事	捨石(10~200kg/個) 24,000m <sup>3</sup>
H13	川崎製鉄(株)/水島製鉄所	水島製鉄所海水導入路護岸(C-13)補強工事	捨石(10~200kg/個) 24,000m <sup>3</sup>
H13	川崎製鉄(株)/水島製鉄所	水島製鉄所CD南側護岸(S1-2, S2-1)補強工事	捨石(10~200kg/個) 24,000m <sup>3</sup>
H12	川崎製鉄(株)/水島製鉄所	水島製鉄所海水導入路護岸(C2-2)補強工事	捨石(10~200kg/個) 21,000m <sup>3</sup>
H12	川崎製鉄(株)/水島製鉄所	千葉製鉄所発電所取水管被覆工事	被覆石(200~600kg/個) 600m <sup>3</sup>
H16	国土交通省関東地方整備局東京空港整備事務所/東京国際空港	東京国際空港D滑走路建設外工事	岩ズリ 約240,000m <sup>3</sup>

(2) 鉄鋼スラグ水和固化体の適用事例

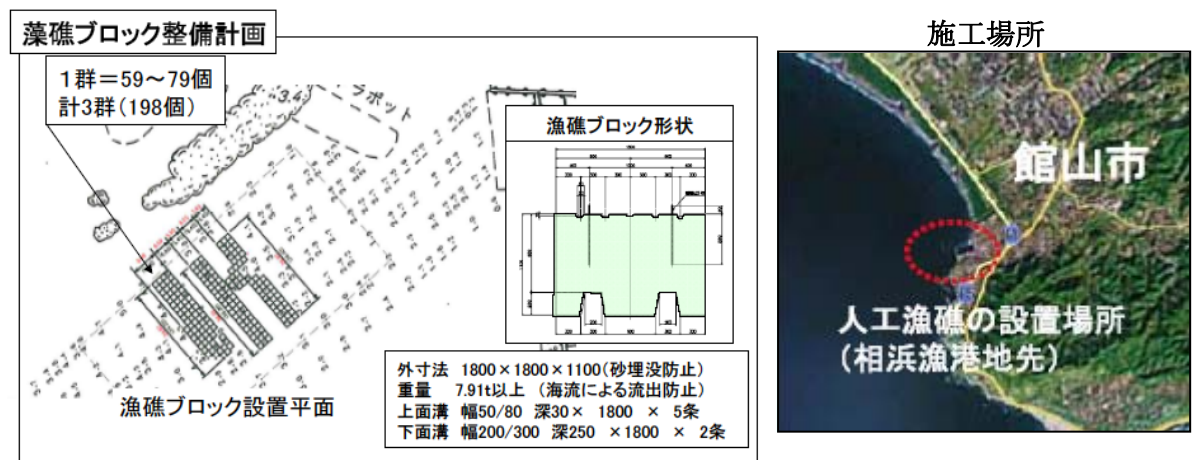
鉄鋼スラグ水和固化体はコンクリートの代替材として、コンクリートブロック及びコンクリート2次製品などに適用することができる。

①コンクリートブロック、コンクリート2次製品への適用

鉄鋼スラグ水和固化体は、消波ブロック、被覆ブロック、根固ブロック、その他各種ブロックなどのコンクリートブロック及びコンクリート2次製品に使用することができる。

平成19年度千葉港において、鉄鋼スラグ水和固化体を漁礁ブロックに使用した例を図-3.1.7に示す。

図-3.1.7 鉄鋼スラグ水和固化体を漁礁ブロックに適用



施工状況



②人工石材への適用

鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材は、非液状化埋立柱材（中仕切堤含む）、潜堤、裏込石、被覆石など準硬石相当の天然石材代替材として使用することができる。しかし、圧縮強度が準硬石程度しかないため、堅硬、緻密を要求される岸壁、防波堤等の基礎捨石には使用できない。適用範囲については、(財)沿岸技術研究センター：港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書において、以下のように記載されている。また、羽田空港において、鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材（岩ズリ）を中仕切り堤に使用した例を図-3.1.7.1に示す。

鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材の適用範囲

人工石材の種類	フロンティアストーン	フロンティアロック		
粒径の範囲	300mm程度以下（砂礫状）	100～1000mm程度（割ぐり石状）		
用途	非液状化埋立柱材 （中仕切堤含む）	裏込石及び 傾斜護岸材	藻場材	被覆石
適用条件	砂岩ずり代替	準硬石相当の 割ぐり石代替	—	主として内湾の波浪 が小さいところに使 用する割ぐり石代替

(参考文献)

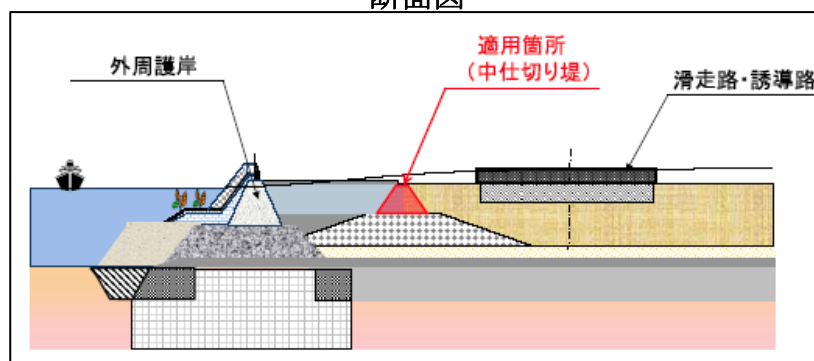
- 1) (財)沿岸技術研究センター：鉄鋼スラグ水和固化体技術マニュアル（改訂版）－製鋼スラグの有効利用技術－、沿岸開発技術ライブラリーNo. 28、2008. 2
- 2) 松永久宏：鉄鋼スラグを利用した海洋ブロック・鉄鋼スラグ水和固化体、土木学会誌、89-12、pp. 65、2004. 12
- 3) (財)沿岸技術研究センター：港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書、第 07001 号、2007

図-3.1.7.1 鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材を中仕切り堤に適用

位置図



断面図





## 2. 鉄鋼スラグ水和固化体の用途別の適用技術

鉄鋼スラグ水和固化体は、リサイクル材を用いた環境負荷の低減に資するものであり、製造及び施工方法などはコンクリートに類似する。しかし、強度発現挙動や膨張安定性、すりへり抵抗性、アルカリ溶出性、生物付着性などにおいて、通常のコンクリートとは異なる。鉄鋼スラグ水和固化体の利用に際しては、その特徴を十分理解する必要がある。

### (1) 特性及び特徴

鉄鋼スラグ水和固化体は、鉄鋼生産の製鋼工程で副産物として生成する製鋼スラグ、高炉スラグ微粉末及び水を必須材料とし、これらを練り混ぜ、水和反応により固化（硬化）させたものである。主な材料である製鋼スラグは天然骨材よりも高密度（表乾密度：製鋼スラグ＝ $2.8 \sim 3.6 \text{g/cm}^3$ 、天然骨材＝ $2.6 \sim 2.7 \text{g/cm}^3$ ）であることから、鉄鋼スラグ水和固化体の単位容積質量は、標準的な配合で  $2.3 \sim 2.6 \text{t/m}^3$ （普通コンクリート＝約  $2.3 \text{t/m}^3$ ）と大きくなる。

鉄鋼スラグ水和固化体は、製鋼スラグが毎年数 1,000 万トン副生している量的条件、製鋼スラグが主に臨海製鉄所から発生するという地理的条件、海藻などの生物の生育に好適な元素を多く含むという性質を有すること、鉄分を多く含み高比重で波浪安定性が良いという物理的条件などから、消波ブロック、根固ブロック、被覆ブロック及び捨石代替材など、無筋の港湾用土木材料に適している。ただし、堅硬、緻密が要求される基礎捨石への適用は難しい。

フレッシュな状態での鉄鋼スラグ水和固化体には次の様な特性がある。

- 1) スランプの経時低下量は小さい。ただし、暑中施工時に石膏を添加していない高炉スラグ微粉末を使用すると経時低下量が大きくなる。
- 2) 粘性は比較的大きく、材料分離が少ない。
- 3) ブリーディング率は、配合の影響を受けやすい。
- 4) 凝結時間は、温度の影響を受けやすい。

硬化した鉄鋼スラグ水和固化体の単位体積質量及び力学的特性には、コンクリートと比較して次のような特徴がある。

- 1) 単位体積質量は、普通コンクリートよりも大きく、 $2.3 \sim 2.6 \text{t/m}^3$ である。
- 2) 圧縮強度は、普通コンクリートよりも長期強度の伸びが大きい。
- 3) 曲げ強度は、同じ圧縮強度の普通コンクリートと同等である。
- 4) 引張強度は、同じ圧縮強度の普通コンクリートと同等である。
- 5) ヤング係数は、圧縮強度が  $30 \text{N/mm}^2$  以下の範囲では、同じ圧縮強度の普通コンクリートよりもやや小さく、圧縮強度が  $30 \text{N/mm}^2$  以上の範囲では、同じ圧縮強度の普通コンクリートと同等である。

硬化後の鉄鋼スラグ水和固化体の耐久性には、同じ圧縮強度の普通コンクリートと比較して、次のような特徴がある。

- 1) すりへり抵抗性は大きい。
- 2) 曲げ疲労強度は、同等である。
- 3) 40℃、60℃の海水へ浸漬した際の圧縮強度の増加は大きい。
- 4) 乾燥収縮は小さいが、長期にわたり持続する傾向がある。
- 5) 乾燥繰り返し試験による長さ変化は小さい。
- 6) 耐凍害性は、空気量を大きく設定すれば同等である。なお、鉄鋼スラグ水和固化体Ⅱ種は、Ⅰ種と比べて耐凍害性を向上させやすい。

鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材には、次のような特徴がある。

- 1) 粒度は、使用目的に応じて調整できる。
- 2) 見かけ比重、単位体積重量は、JIS A 5006「割ぐり石」における準硬石と同等である。
- 3) 吸水率は、JIS A 5006「割ぐり石」における準硬石と同等である。
- 4) せん断強度定数は、天然石材と同等である。

## (2) 鉄鋼スラグ水和固化体の材料

鉄鋼スラグ水和固化体に用いる材料は、品質が確認されたもので、固化体の性能に悪影響を及ぼさないものでなければならない。

### [解説]

鉄鋼スラグ水和固化体を構成する材料は、以下のとおりである。必須材料は、①、②、③である。④～⑧は必要に応じて用いる。

- ① 製鋼スラグ
- ② 高炉スラグ微粉末
- ③ 水
- ④ 高炉水砕スラグ
- ⑤ フライアッシュ
- ⑥ アルカリ刺激材
- ⑦ 混和剤
- ⑧ 細骨材及び粗骨材

### 1) 製鋼スラグ

(a) 鉄鋼スラグ水和固化体に用いる製鋼スラグは、粒度、粉化率、化学成分などの品質が確認されたもので、固化体の性能に悪影響を及ぼさないものでなければならない。

(b) 鉄鋼スラグ水和固化体に用いる製鋼スラグは、以下の品質を満たすものを標準とする。

- ① 粉化率 2.5%以下
- ② MgO 含有率 8.5%以下
- ③ 最大粒径 25mm 以下

### [解説]

製鋼スラグは水硬性とともに水分により膨張しやすい性質を持っている。その原因は free-CaO 又は free-MgO であり、free-CaO は比較的短時間で水和膨張し、free-MgO はそれに比べると長期間水和膨張を継続する特徴を持っている。製鋼スラグの膨張は固化体のひび割れや強度などの性能の低下につながるおそれがあるため、材料として用いる製鋼スラグについては、固化体としての形状、寸法などの構造条件や、固化体製造時の養生作業などの施工条件、固化体としての供用後の気候などの環境条件を踏まえて、固化体の性能に悪影響を及ぼさないように製鋼スラグ自体の膨張性の許容値を設定する必要がある。



## 2) 高炉スラグ微粉末

鉄鋼スラグ水和固化体に用いる高炉スラグ微粉末は、JIS A 6206 に適合したものを標準とする。

### [解説]

高炉スラグ微粉末は、その粉末度や含有成分などによって水和特性や強度の発現特性などが異なる場合がある。

## 3) 水

鉄鋼スラグ水和固化体に用いる練混ぜ水は、上水道水、JSCE-B 101 又は JIS A 5308 附属書 9 に適合したものを標準とする。

### [解説]

海水を用いる場合は、鉄鋼スラグ水和固化体の性能を満足するものであることを試験などにより確認する必要がある。

## 4) 高炉水砕スラグ

鉄鋼スラグ水和固化体に用いる高炉水砕スラグは、JIS A 6206 の原材料に用いるもの、又は JIS A 5011-1 に適合したものを標準とする。

### [解説]

高炉水砕スラグは、鉄鋼スラグ水和固化体に必要に応じて使用されるものであるが、その粒度や形状などによって水和特性や強度の発現特性、ワーカビリティなどに影響する。

## 5) フライアッシュ

鉄鋼スラグ水和固化体に用いるフライアッシュは、JIS A 6201 に適合したものを標準とする。

### [解説]

フライアッシュは、鉄鋼スラグ水和固化体の付加的な結合材として、に必要に応じて使用されるものであるが、その粉末度や含有成分などによって水和特性や強度の発現特性、ワーカビリティなどに影響する。

## 6) アルカリ刺激材

鉄鋼スラグ水和固化 I 種に用いるアルカリ刺激材は、 $\text{Ca(OH)}_2$  または  $\text{CaO}$  を含んだ品質の確かめられたもので、かつ、鉄鋼スラグ水和固化体の性能を満足するものであることが試験などにより確認されたものでなければならない。また、鉄鋼スラグ水和固化体 II 種に用いるアルカリ刺激材は、JIS R 5210 「ポルトランドセメント」および JIS R 5211 「高炉セメント」に適合したものを標準とする。

### [解説]

高炉スラグ微粉末は、水の存在下で弱い水硬性を持つ。また、水酸化カルシウムなどのアルカリ物質の刺激により、強い水硬性を示す。鉄鋼スラグ水和固化体の骨材である製鋼スラグは、弱アルカリ性物質であることから、高炉スラグ微粉末の水硬性を加速させるアルカリ刺激としても作用する。

7) その他の材料

混和剤として用いる AE 剤、AE 減水剤及び高性能 AE 減水剤は、JIS A 6204 に適合したものを標準とする。また、高炉水砕スラグを除く骨材は、土木学会「コンクリート標準示方書〔施工編〕」によるものを標準とする。

(3) 製造

鉄鋼スラグ水和固化体の製造及び施工は、所定の性能と品質が得られることが確認されている方法によることを原則とする。

[解説]

鉄鋼スラグ水和固化体を用いた製品の製造法としては、現時点では以下の方法の適用性が確認されている。

- ① 現場製造（流し込み成形）
- ② 工場製造（振動・加圧成形及び振動成形）
- ③ 人工石材製造（ヤード打込み後粗破碎）

表-3.1.23 にそれぞれの製造方法の特徴を示す。

表-3.1.23 各製造方法の特徴

製造方法		現場製造	工場製造		人工石材製造
		流し込み成形	振動・加圧成形 (即時脱型)	振動成形	ヤード打込み後粗破碎
特徴	製造可能サイズ	・サイズを問わず製造可能	・機械による制約あり ・製造可能サイズは、100cm×100cm×20cm程度（約500kg）	・比較的大型のブロックも製造可能（～約3t）	・サイズを問わず製造可能
	生産性	・型枠確保量により決まる。 ・天候による影響を受ける	・型枠レスで製造効率大（100kg/個程度ならば数百個/日） ・他製造方法では固まらない材料も固化体化可能 ・天候による影響なし	・型枠確保量及びミキサ容量により決まる ・天候による影響なし	・打込みヤード面積及びミキサ容量により決まる ・天候による影響あり
	製造体制	・インフラ整備が不要 ・現場での製作が可能	・固定設備が必要 ・工場からの製品輸送が必要（二次製品として出荷）	・固定設備が必要 ・工場からの製品輸送が必要（二次製品として出荷）	・工場製造、現場製造のどちらでも可能

(4) 配合

鉄鋼スラグ水和固化体の配合は、所定の強度、耐久性などの性能をもち、作業に適するワーカビリティの範囲で、単位水量ができるだけ少なくなるよう、原則として試験によってこれを定める。

[解説]

鉄鋼スラグ水和固化体の配合例を表-3.1.24 に示す。

表-3.1.24 鉄鋼スラグ水和固化体Ⅰ種の配合例

配合の記号	製鋼スラグの最大寸法 (mm)	強度指数 (BP+CH+2NP+0.35FA) /W	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							スランプ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )		
			水 W	高炉スラグ微粉末* BP	アルカリ刺激剤 (消石灰) CH	フライアッシュ FA	製鋼スラグ SS	高炉水砕スラグ BS	混和剤 (g/m <sup>3</sup> ) Ad			材齢 7日	材齢 28日	材齢 91日
A	40	1.97	240	350	36	250	1401	0	0	17.5	-	-	-	-
B	40	1.97	240	350	36	250	1401	0	0	15.0	-	-	-	-
C	40	2.46	269	602	60	0	1404	0	0	15.0	0.8	17.2	22.4	25.2
D	40	2.67	186	371	37	273	1527	0	2700	21.0	-	-	21.9	28.0
E	40	2.96	227	618	62	0	1461	0	2400	22.0	2.1	16.1	20.4	24.4
F	40	2.53	196	374	39	267	1497	0	3900	22.0	2.1	18.3	23.2	28.3
G	20	2.09	170	269	27	179	1784	0	1590	21.0	-	15.0	23.0	30.7
H	20	2.11	187	300	50	130	1997	0	5282	13.5	3.5	23.9	30.7	37.0
I	20	2.46	269	602	60	0	1404	0	0	10.5	-	-	30.3	-
J	20	1.98	262	391	59	196	1369	0	0	10.5	-	-	26.7	-
K	20	2.00	259	410	41	205	1436	0	2500	19.0	1.1	-	22.1	-
L	20	2.00	240	439	44	0	1757	0	1700	12.5	2.1	-	22.7	-
M	20	1.85	276	404	40	202	1394	0	2400	20.0	2.0	-	20.9	-
N	20	1.60	247	327	33	109	1741	0	1700	15.5	2.2	-	20.3	-
O	20	2.14	210	382	38	82	1690	99	4200	8.0	0.7	-	30.6	33.9
P	20	2.14	207	376	38	81	1690	97	4140	6.5	4.2	-	26.3	29.7
Q	20	2.14	204	371	37	80	1651	96	4080	9.0	4.9	-	20.1	23.1
R	20	2.14	200	364	36	78	1601	93	4000	7.0	6.2	-	16.9	21.0
S	25	2.28	219	406	41	174	1758	0	3400	23.5	3.4	-	23.3	-
T	25	1.93	232	377	19	162	1616	0	2700	23.0	2.7	-	24.5	-
U	20	1.98	262	391	59	196	1369	0	0	10.5	-	-	26.7	-
V	40	1.96	246	359	37	256	1436	0	2300	8.0	1.7	10.6	21.5	28.4
W	20	2.69	252	621	62	0	1449	0	2200	10.0	-	17.2	27.1	-
x	20	2.12	228	364	36	260	1455	0	3600	25.5	-	13.0	23.9	-

表-3.1.24 鉄鋼スラグ水和固化体Ⅱ種の配合例

配合	製鋼スラグの最大寸法 (mm)	粉体水比 (BP+CH+2NP+0.35FA) /W	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						スランプ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )		
			水 W	高炉スラグ微粉末* BP	アルカリ刺激剤 (普通ポルトランドセメント) CH	フライアッシュ FA	製鋼スラグ SS	混和剤 (g/m <sup>3</sup> ) Ad			材齢 7日	材齢 28日	材齢 91日
A	20	2.38	187	300	50	130	2019	3405	14.5	2.8	20.7	30.3	37.8
B	20	2.65	187	250	100	130	2025	5812	16.5	3.4	26.5	36.9	48.4
C	25	2.20	180	260	55	75	2055	1733	9.4	2.3	16.8	24.7	29.8
D	20	2.82	179	325	75	85	2060	3899	12.0	3.0	28.9	39.2	43.4
E	20	2.50	193	260	100	66	2050	2520	14.0	6.8	-	35.5	42.7
F	20	2.50	197	266	102	67	2095	2580	13.0	5.2	-	40.0	47.5
G	20	2.52	205	273	106	88	1952	1900	12.0	5.8	-	36.3	46.4

#### 1) 単位高炉スラグ微粉末量及び単位水量

鉄鋼スラグ水和固化体の単位高炉スラグ微粉末量及び単位水量は、必要な性能と適切なワーカビリティが得られるように、試験によってこれを定める。

空気量が 0.7～5.0%の鉄鋼スラグ水和固化体の圧縮強度は、その種別に関わらず強度指数と相関性があり、強度指数を材齢 28 日強度の指標として用いることができる。また、耐凍害性向上のために空気量を増やす場合は、空気量の増加による強度低下が見込まれるため、配合種別に基づき、空気量の増加 1%につき 1.4～1.9N/mm<sup>2</sup> 程度を割り増しして配合設計を行うのがよい。

#### 2) 単位アルカリ刺激材量

鉄鋼スラグ水和固化体の単位アルカリ刺激材量は、試験によって定めなければならない。

##### [解説]

鉄鋼スラグ水和固化体Ⅰ種に用いるアルカリ刺激材は、Ca(OH)<sub>2</sub> または CaO を含んだもので、JIS R 9001「工事中消石灰」や石灰製造工程の副産物である石灰ダストなどが使用できる。また、鉄鋼スラグ水和固化体Ⅱ種に用いるアルカリ刺激剤は、JIS R 5210「ポルトランドセメント」および JIS R 5211「高炉セメント」が使用できる。鉄鋼スラグ水和固化Ⅰ種において、アルカリ刺激材として消石灰を用いる場合の配合量の目安は、高炉スラグ微粉末と消石灰の合計に対して 10～20 質量%である。また、鉄鋼スラグ水和固化体Ⅱ種において、普通ポルトランドセメントを用いる場合の配合量の目安は、高炉スラグ微粉末と普通ポルトランドセメントの合計に対して 15～29 質量%である。

#### 3) 単位フライアッシュ量、単位高炉水砕スラグ量及び単位骨材量

単位フライアッシュ量、単位高炉水砕スラグ量及び天然骨材等の単位骨材料は、鉄鋼スラグ水和固化体及使用される環境及びワーカビリティを考慮してこれを定める。

##### [解説]

フライアッシュを配合することにより、鉄鋼スラグ水和固化体を人工海水に浸漬した際のアルカリ成分の溶出性を小さくすることができる。なお、海水の pH 上昇を抑制するための目安は、フライアッシュ / (高炉スラグ微粉末 + フライアッシュ)  $\geq 0.25$  である。

#### 4) 単位製鋼スラグ量

単位製鋼スラグ量は、鉄鋼スラグ水和固化体の単位体積質量及びワーカビリティを考慮してこれを定める。

## 5) 空気量

鉄鋼スラグ水和固化体の空気量は、以下による。

- (a) 耐凍害性の考慮を必要としない地域で使用する場合は、特にこれを定めない。
- (b) 耐凍害性の考慮を必要とする地域で使用する場合は、普通コンクリートよりも大きくする。

### [解説]

鉄鋼スラグ水和固化体を耐凍害性の考慮を必要としない地域で利用する場合は、特に AE 剤を使用する必要がない。

耐凍害性の考慮を必要とする場合には、普通コンクリートよりも空気量を大きくするのがよい。なお、凍結防止材の塩化物の影響を受ける場合には、空気量をさらに大きくした方がよい。また、鉄鋼スラグ水和固化体の種別は、Ⅱ種を選定するとよい。

## 6) スランプ

鉄鋼スラグ水和固化体のスランプは、所定のワーカビリティが得られるよう試験によってこれを定める。

### [解説]

普通コンクリートと同様なワーカビリティを得るためには、スランプ値を普通コンクリートよりもやや大きくする必要があり、普通コンクリートのスランプ 8cm と同等のワーカビリティを鉄鋼スラグ水和固化体に付与するためには、単位粉体量が  $400\text{kg/m}^3$  の場合にはスランプを約 12cm、単位粉体量が  $500\text{kg/m}^3$  の場合にはスランプを約 15cm に設定するとよい。

## 7) 単位混和剤量

AE 剤、減水剤などの混和剤の単位量は、所定のコンシステンシー、空気量、減水効果が得られるよう試験によってこれを定める。

### [解説]

AE 剤はフライアッシュ用が、減水剤はポリカルボン酸系及びナフタレン系が効果的である。

8) 試験練り

試験練りでは、次の項目について試験を行うことを原則とし、所定の品質を満たさない場合には、その原因を検討し、配合を調整した後、再度試験練りを実施する。

- (a) 圧縮強度
- (b) スランプ
- (c) 空気量
- (d) その他必要事項

[解説]

所定の品質を満たさない場合、表-3.1.25 に従って鉄鋼スラグ水和固化体の配合を調整し、再度試験練りを行う。

表-3.1.25 配合調整手順

補正項目	補正内容	単位水量	単位混和剤量	単位高炉スラグ微粉末量	単位フライアッシュ量	単位高炉水砕スラグ量	強度指数 (BP+CH+2NP+0.35FA)/W
コンシステンシー	スランプを大きくする	増やす	増やす	減らす	減らす	増やす	—
	スランプを小さくする	減らす	減らす	増やす	増やす	減らす	—
材料分離に対する抵抗性	大きくする	減らす	—	増やす	増やす	—	—
	小さくする	増やす	—	減らす	減らす	—	—
圧縮強度	大きくする	—	—	—	—	—	大きくする
	小さくする	—	—	—	—	—	小さくする

9) 配合の表し方

- (a) 示方配合の表し方は、一般に表-3.1.26 によるものとする。
- (b) 示方配合における製鋼スラグ、高炉水砕スラグ、天然骨材等の骨材は、表面乾燥飽水状態であるとしてこれを示す。
- (c) 示方配合を現場配合に直す場合には、製鋼スラグ、高炉水砕スラグ、天然骨材等の骨材の飽水状態及び混和剤の希釈水量などを考慮するものとする。

表-3.1.26 配合の表し方

製鋼スラグ <sup>*</sup> (骨材) の最大寸法 (mm)	強度指数※1 (BP+CH+2NP+0.35FA)/W	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )						天然骨材等の骨材	混和剤※2 A
				水 W	高炉スラグ <sup>*</sup> 微粉末 BP	アルカリ 刺激剤 (材料名)	フライアッシュ FA	製鋼スラグ SS	高炉水砕スラグ BS		

※1 結合材およびアルカリ刺激材として、高炉セメントを用いたときの強度指数は、高炉スラグ微粉末の分量に応じて計算する。

※2 混和剤の使用量は mL/m<sup>3</sup> 又は g/m<sup>3</sup> で表し、薄めたり溶かしたりしないものを示すものとする。



## (5) 現場製造

現場製造は、材料を練り混ぜたフレッシュな状態の鉄鋼スラグ水和固化体を型枠の中に打込み、初期の硬化が進行した後に型枠を取り外し、所定の養生を行うことである。

### [解説]

鉄鋼スラグ水和固化体を現場打ちコンクリートのように、現場製造する場合については、普通コンクリートと同様な製造工程で製造する。

#### 1) 練混ぜ

(a) 鉄鋼スラグ水和固化体の材料は、練上がり均等質になるまで、十分に練混ぜなければならない。

(b) 材料をミキサに投入する順序は、あらかじめ検討して定めておかなければならない。

#### 2) 現場までの運搬

フレッシュな状態の鉄鋼スラグ水和固化体を現場まで運搬する自動車は、荷下ろしが容易なものでなければならない。運搬距離、運搬時間が長い場合、あるいはスランプが大きい場合は、アジテータなどの設備を備えていなければならない。

#### 3) コンクリートポンプによる圧送

フレッシュな状態の鉄鋼スラグ水和固化体をコンクリートポンプにより圧送する場合には、事前に実際の施工条件に近い配管条件で試験圧送を行い、コンクリートポンプの作動状態、圧送負荷及び圧送後の鉄鋼スラグ水和固化体の状態などを確認しておくのがよい。

#### 4) 打込み及び締固め

(a) 鉄鋼スラグ水和固化体の打込みにあたっては、練混ぜ開始から打込み終了までの時間をできるだけ短くしなければならない。練混ぜ開始から打込み終了までの時間は、外気温が 25℃を超えるときで 1.5 時間以内、25℃以下のときで 2 時間以内を標準とする。

(b) 鉄鋼スラグ水和固化体の締固めは、内部振動機を用いることを原則とし、薄い部材など内部振動機の使用が困難な場所には、型枠振動機を使用してもよい。

#### 5) 養生

(a) 鉄鋼スラグ水和固化体は、打込み後の一定期間、硬化に必要な温度及び湿度条件を保ち、有害な作用の影響を受けないように、十分これを養生しなければならない。

(b) 湿潤養生期間は、土木学会「コンクリート標準示方書 [施工編]」における混合セメント B 種と同様とすることを原則とする。

### [解説]

鉄鋼スラグ水和固化体の初期強度の発現は、高炉セメント B 種を使用したコンクリートと同等程度である。高炉セメント B 種、すなわち混合セメント B 種の養生期間の標準は、土木学会「コンクリート標準示方書 [施工編]」に示されており、日平均気温が 15℃以上では 7 日、10℃以上では 9 日、5℃以上では 12 日である。なお、鉄鋼スラグ水和固化体 II 種は、鉄鋼スラグ水和固化体 I 種及び高炉セメント B 種を使用したコンクリートよりも養生温度による強度の差違が大きい。このため、特に冬季等の低温環境下における鉄鋼スラグ水和固化体 II 種の養生は、強度発現性を考慮して、その方法、温度、期間等を計画することに留意する。

《参考》

1. ガイドライン（案）

鉄鋼スラグ水和固化体のガイドラインを表-1.1に示す。

表-1.1

選定年度	平成20年度			
分類	資材			
品目分類	鉄鋼スラグ水和固化体			
品目名	鉄鋼スラグブロック			
環境負荷低減効果	廃棄物削減、天然資源の枯渇抑制、CO <sub>2</sub> 排出量の削減			
環境省基本方針 判断の基準等	<p>【判断の基準】</p> <p>骨材のうち別表に示された製鋼スラグを重量比で50%以上使用していること。かつ、結合材に高炉スラグ微粉末を使用していること。</p> <p>別表</p> <table border="1" style="margin-left: 40px;"> <thead> <tr> <th>種 類</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>転炉スラグ（溶銑予備処理スラグを含む）</td> </tr> <tr> <td>電気炉酸化スラグ</td> </tr> </tbody> </table> <p>【配慮事項】</p> <p>鉄鋼スラグの製造元及び販売元を把握できるものであること。</p>	種 類	転炉スラグ（溶銑予備処理スラグを含む）	電気炉酸化スラグ
種 類				
転炉スラグ（溶銑予備処理スラグを含む）				
電気炉酸化スラグ				
国土交通省 調達方針	鉄鋼スラグブロックについては、供給状況に地域格差があることに留意しつつ、港湾工事などに使用される重量が35t以下の消波ブロック、被覆ブロック及び根固めブロック等のコンクリートブロック（無筋）並びに人工石材、ボックスカルバート及び排水溝等のコンクリート2次製品（無筋）において、その使用を推進する。なお、骨材として使用する鉄鋼スラグについては、製造元及び販売元を把握できるものを調達する。			
適用工種	<ul style="list-style-type: none"> <li>・重量が35t以下のコンクリートブロック製作（無筋）</li> <li>・重量が35t以下のコンクリート2次製品（無筋） （擁壁、排水溝、人工石材等）</li> </ul>			
施工条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>・普通コンクリートと同様</li> </ul>			
積算歩掛	<ul style="list-style-type: none"> <li>・特に考慮する事項なし</li> </ul>			
材料単価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・見積もりによる</li> </ul>			
供給状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>・骨材として使用する製鋼スラグは、室蘭、鹿島、君津、千葉、川崎、名古屋、和歌山、神戸、加古川、福山、倉敷、呉、八幡、小倉、大分の製鉄所で製造しており、鉄鋼スラグ水和固化体を製造する際には、最寄りの製鉄所から製鋼スラグを運搬することとなる。</li> <li>・君津、倉敷、八幡の製鉄所においては、製鉄所内にプラントを保有しており、使用数量、現場条件にもよるが、その近隣において、コンクリートブロック及びコンクリート2次製品を使用する場合は、鉄鋼スラグ水和固化体が有効である。</li> </ul>			
条件明示	<ul style="list-style-type: none"> <li>・特記仕様書作成の手引き参照（本手引き2.特記仕様書作成の手引き）</li> </ul>			
品質基準等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・（財）沿岸開発技術研究センター：沿岸開発技術ライブラリーNo.28 「鉄鋼スラグ水和固化体技術マニュアル（改訂版）」2008年2月</li> <li>・（財）沿岸技術研究センター：港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書 「鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材」第07001号</li> </ul>			

類似品目	・コンクリートブロック、コンクリート二次製品、捨石・被覆石等の石材
その他 (課題・留意事項等)	<p>【課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>骨材である製鋼スラグの運搬費により、材料単価が騰貴すること、また、プラント毎にサイロ・計量ビンの確保等の状況が異なることから、全使用量、日打設量等を含めその工事毎の生コン単価を設定する必要がある。</li> </ul> <p>【留意事項】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>鉄鋼スラグ水和固化体の製造および施工方法などは、コンクリートに類似する。しかし、強度発現挙動や膨張安定性、すりへり抵抗性、アルカリ溶質性、生物付着性等においては、通常のコンクリートとは異なることを考慮し使用するものとする。</li> <li>人工石材として、捨石代替材に使用可能であるが、堅硬、緻密を要求される基礎捨石への適用は難しい。</li> <li>冬季においては、配合により初期強度の発現が普通コンクリートに比べ遅くなる場合がある。</li> </ul>

(参考文献)

- (財)沿岸技術研究センター：沿岸技術ライブラリーNo. 28、鉄鋼スラグ水和固化体技術マニュアル(改訂版)、2008. 2
- 松永久宏:鉄鋼スラグを利用した海洋ブロック、鉄鋼スラグ水和固化体、土木学会誌、89-12、p. 65、2004. 12

## 2. 特記仕様書記載要領

特記仕様書の作成にあたっては、以下の内容を参考とされたい。

### 1) コンクリートブロック製作に使用する場合

(1) 使用する材料は、(財)沿岸開発技術センター発刊(平成20年2月)の「鉄鋼スラグ水和固化体技術マニュアル(改訂版)」に規定する鉄鋼スラグ水和固化体とし、品質は下表による。

使用材料の種類	設計基準強度	スランプ	骨材の最大寸法	空気量	単位体積重量	その他 指定事項
鉄鋼スラグ水和固化体	〇〇N/mm <sup>2</sup>	〇〇cm	〇〇mm	〇〇% 以下	〇〇KN/m <sup>3</sup>	

(2) 鉄鋼スラグ水和固化体の配合については、打ち込みに先立ち示方配合報告書を提出し、試験練りを行い、監督職員の承諾を得なければならない。

### 2) コンクリート二次製品に使用する場合

〇〇〇は、鉄鋼スラグ水和固化体製の製品を使用するものとし、使用先立ち品質証明書を提出し、監督職員の承諾を得なければならない。

### 3) 人工石材に使用する場合

〇〇石(〇〇~〇〇kg/個)には、沿岸技術開発センター発刊、「港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書 第07001号」に示す、鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材を使用するものとする。なお、使用先立ち品質証明書を提出し、監督職員の承諾を得なければならない。

### 3. 鉄鋼スラグ水和固化体の品質管理基準

材料の品質に関する管理項目、管理内容、品質規格、測定頻度及び結果の整理方法は、表-1.2 を参考とされたい。

表-1.2 鉄鋼スラグ水和固化体品質管理基準

区分	管理項目	管理内容	管理方法	品質規格	測定密度	結果の整理方法
鉄鋼スラグ水和固化体	高炉スラグ微粉末、セメント、混和材料、水及び骨材	使用材料の品質の確認	製造工場の試験成績表により確認	鉄鋼スラグ水和固化体技術マニュアル及び現場練りコンクリートを適用する。	製造前及び使用材料の変更時	試験成績表を提出
	配合	規定の品質が得られることの確認	配合報告書の確認	鉄鋼スラグ水和固化体技術マニュアル及び特による。	製造前及び使用材料の変更時	配合報告書を提出
			配合設計の基礎となる資料の検討	鉄鋼スラグ水和固化体技術マニュアル及び特による。	製造前及び使用材料の変更時	配合設計の基礎資料を提出
		試験練り	JIA A 1138又はプラントにより鉄鋼スラグ水和固化体を製造し、スランプ、空気量、強度、塩化物量、その他の品質の確認		監督職員が指示した時	試験成績表を提出
	スランプ	スランプ試験	JIS A 1115 (資料採取方法) JIS A 1101 (試験方法) 荷下ろし地点で採取、試験	JIS A 5308による。	供試体作成時	管理表を作成し提出
	空気量	空気量試験	JIS A 1115 (資料採取方法) JIS A 1116 (容積質量試験及び空気量の質量による試験方	規定値に対する許容範囲は±1.5%	供試体作成時	
	強度	供試体の作成	JIS A 1115 (資料採取方法) JIS A 1132 (供試体の作成方荷下ろし地点で作成		1日1回とし、1日の打設量が150m <sup>3</sup> を超える場合は1日2回とする。ただし、同一配合の1日当たりの打設量が少	
		圧縮試験	JIS A 1108	1回の試験結果は、呼び強度(指定強度)の値の85%以上 3回の試験結果の平均値は、呼び強度(指定強度)の値以上	供試体作成毎 1回の試験は、3個の供試体の平均値とする。	管理表を作成し提出
	鉄鋼スラグ水和固化体温度	温度測定	供試体作成場所測定 打設場所測定	特による。 特による。 暑中コンクリートは日平均気温が25℃以上が予想されるとき 寒中コンクリートは日平均気温5℃以下が予想されるとき	供試体作成毎	管理表を作成し提出
	塩化物含有量	塩化物試験	JIS A 1115 及び JIS A 5308 付属書3	JIS A 5308による。	第1回コンクリート打設前及び使用材料の変更時	試験成績表を提出