

# 非鉄金属製錬で発生するスラグ とその有効利用

2021年10月26日

日本鋳業協会 佐藤 浩

# ◆ 報告の内容 ◆

1. 非鉄スラグの概要
2. 非鉄スラグの用途例
3. 環境安全品質
4. 非鉄スラグの建設用途の開発経緯
5. 銅スラグのコンクリート形式試験
  - 5.1 CUS2.5の環境安全品質の製造ロット内バラツキ調査
  - 5.2 コンクリート利用模擬試験体での含有量試験
  - 5.3 CUS2.5の粒度分布調査
  - 5.4 コンクリート配合割水準、配合設計条件及び配合選定方法
  - 5.5 CUS2.5の圧縮強度試験
  - 5.6 鉛及び砒素含有量の実測値と推定値の比較
  - 5.7 まとめ

# 1. 非鉄スラグの概要

## 1.1 非鉄製錬会社と非鉄金属の生産量

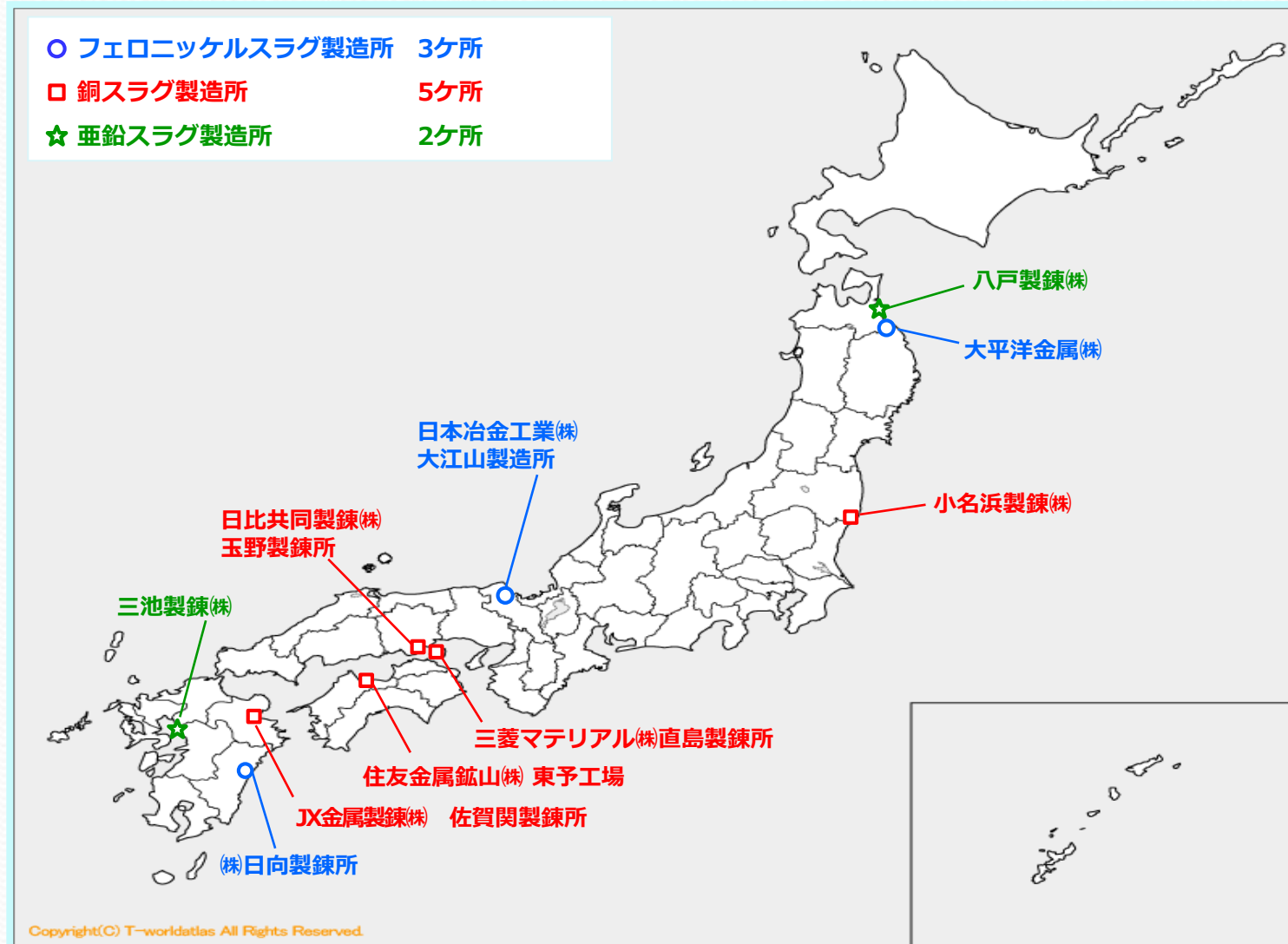
### 《 非鉄製錬会社 》

金属名	会社名
銅	住友金属鉱山(株)
	JX金属製錬(株)
	日比共同製錬(株)
	三菱マテリアル(株)
	小名浜製錬(株)
	パンパシフィック・カッパー(株)
フェロニッケル	大平洋金属(株)
	日本冶金工業(株)
	(株)日向製錬所
亜鉛	八戸製錬(株)
	三池製錬(株)

### 《 非鉄金属生産量 》

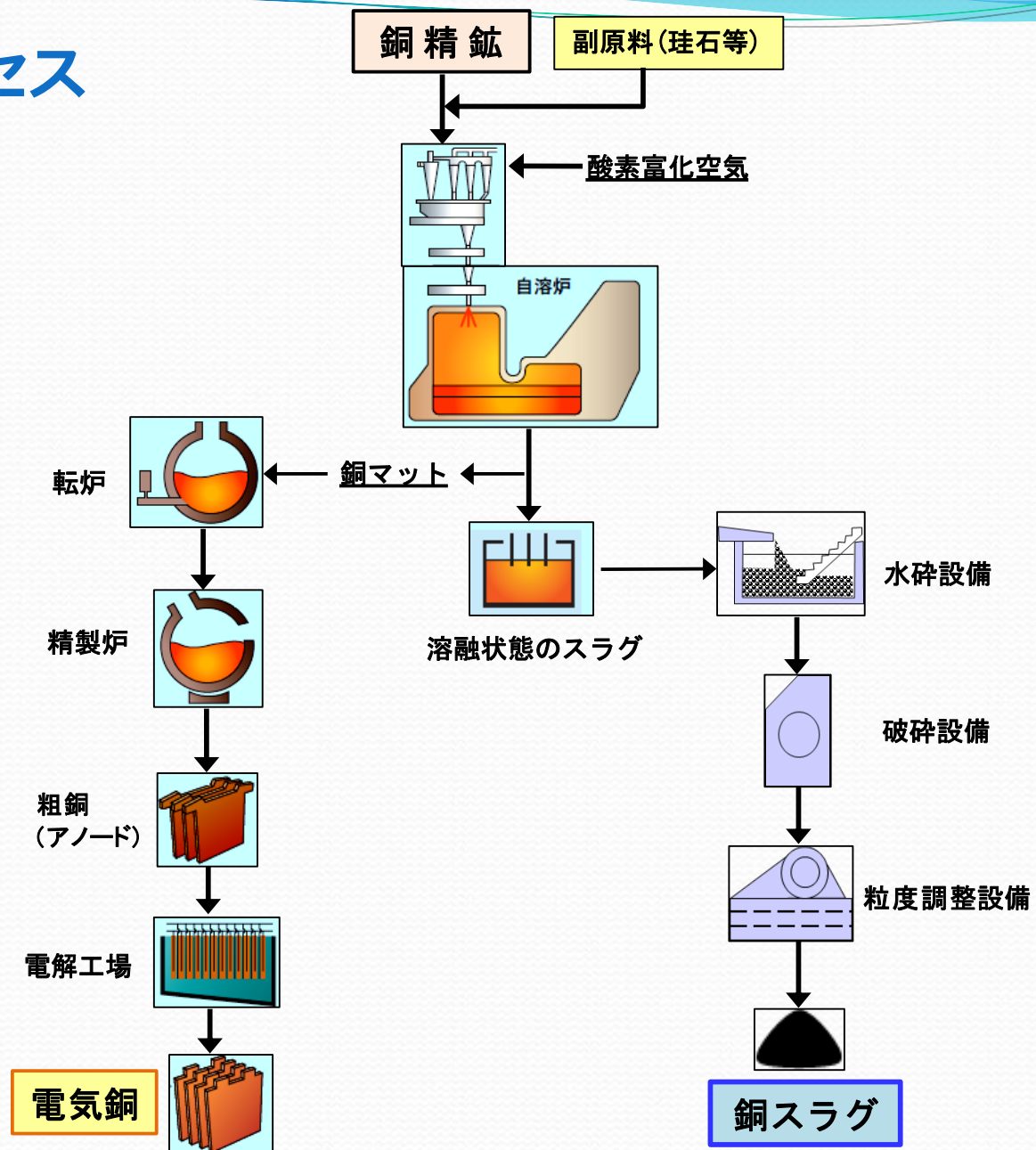
金属名(主製品)	2020年 生産量(万トン)
銅	155
フェロニッケル	20
亜鉛	51

## 1.2 非鉄製錬所の所在地

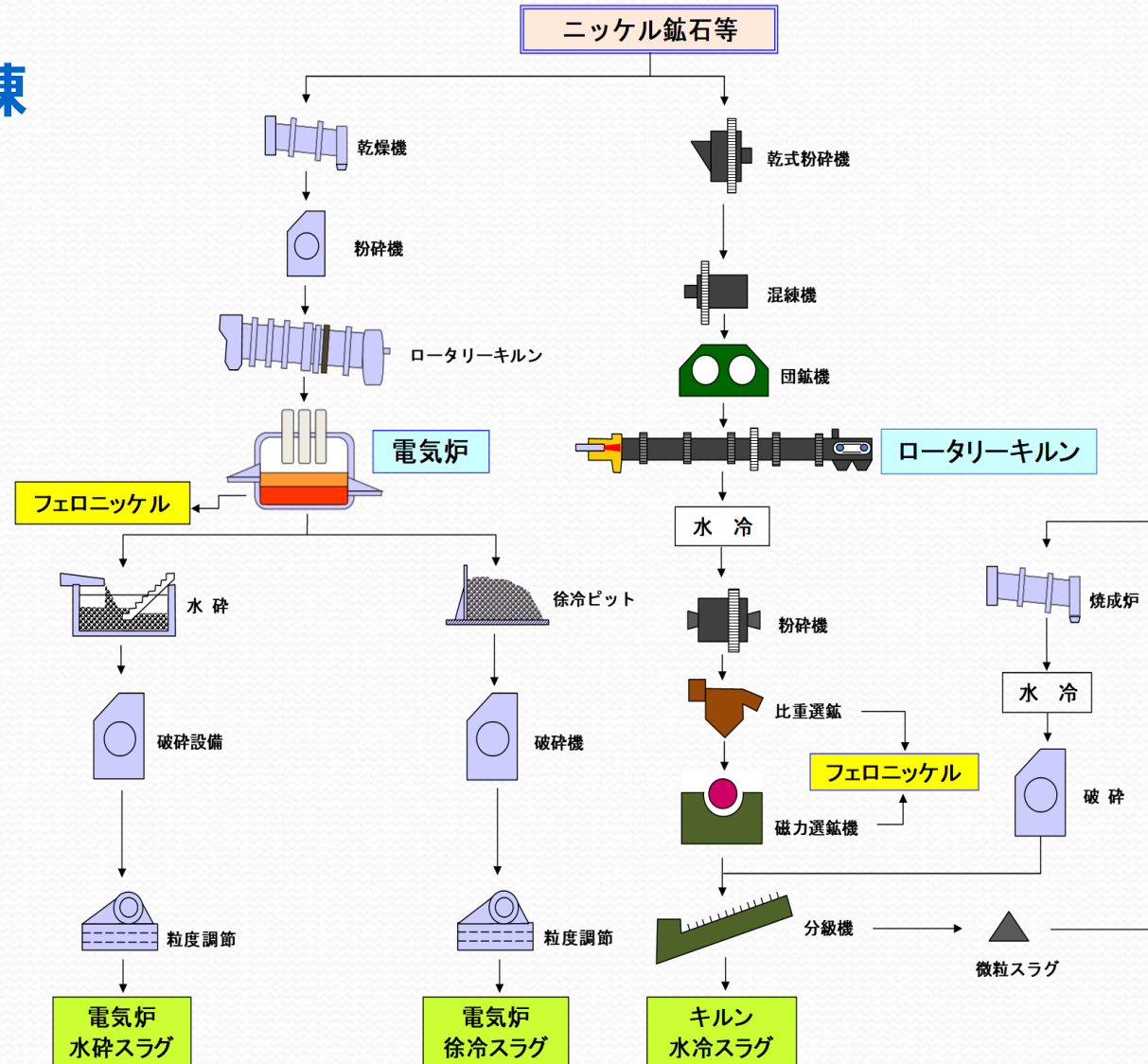


# 1.3 非鉄製錬プロセス

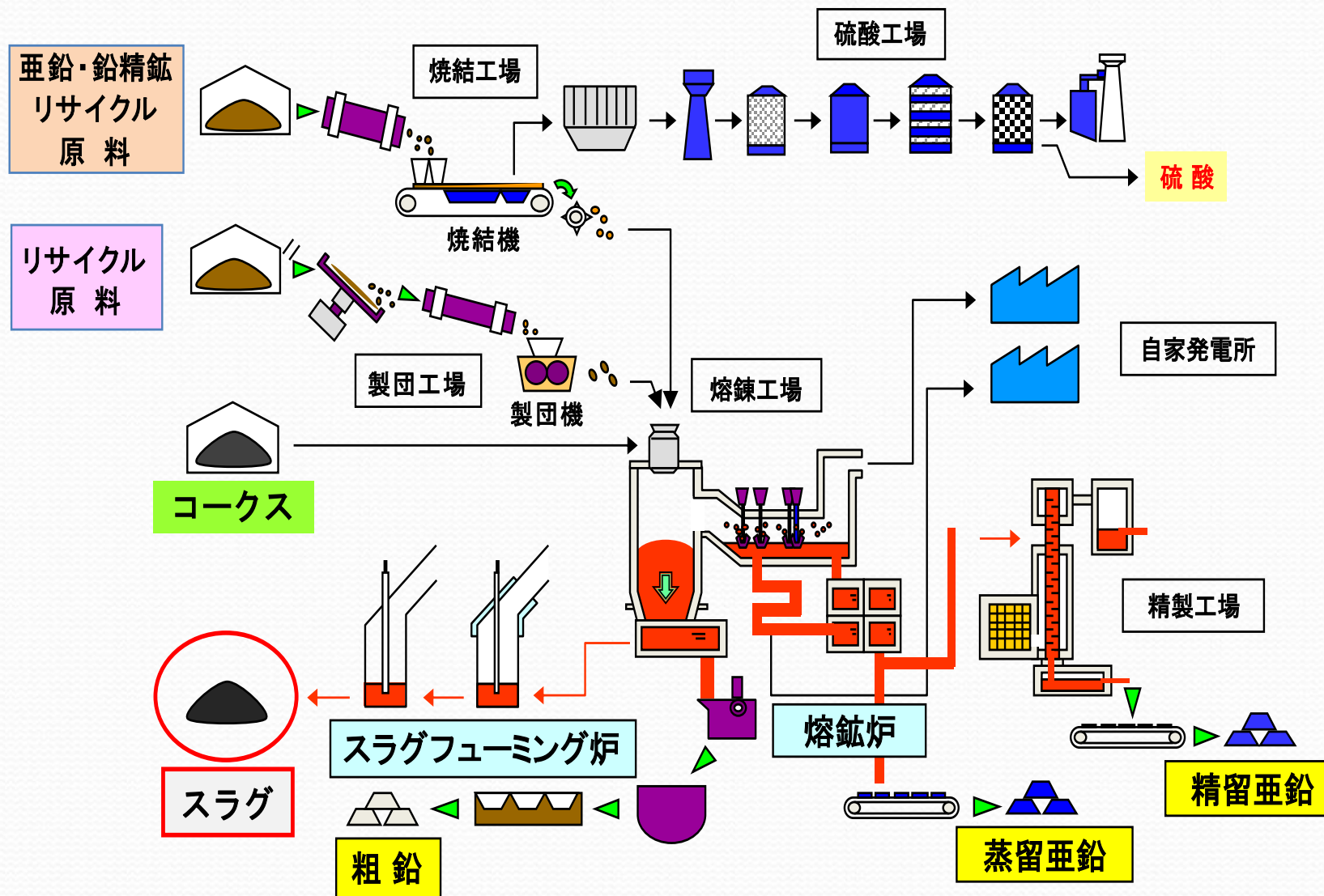
## 1) 銅製錬



## 2) フェロニッケル製錬



### 3) 亜鉛製錬



## 1.4 非鉄スラグの外観

### ■ 細骨材(水砕・徐冷・水冷)

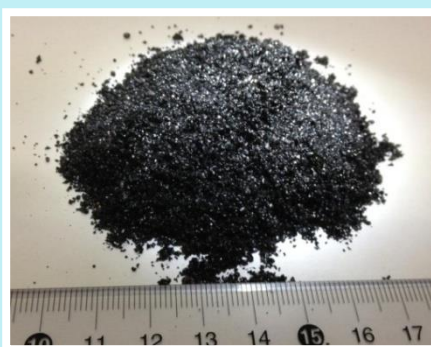
〈フェロニッケルスラグ〉



〈銅スラグ〉



〈亜鉛スラグ〉



### ◆ 粗骨材(徐冷)

〈フェロニッケルスラグ〉  
〈0-20mm〉



〈0-40mm〉





## 1.5 非鉄スラグの特徴

種類	天然砂	フェロニッケル スラグ	銅スラグ	亜鉛スラグ
化学成分 (鉱物組成)	$\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{FeO}$	$\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$
土粒子密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2.5~2.6	3.0 (やや重い)	3.6 (重い)	3.6 (重い)
飽和単位体積重量 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )	20	23.5	23.5	23.5
環境安全性	評価基準なし	土壌基準クリア (弱アルカリpH8)	港湾基準クリア (弱アルカリpH8)	港湾基準クリア (弱アルカリpH8)

## 1.6 非鉄スラグの販売実績（2016～2020年度平均値）

(千トン/年)

用途	フェロニッケル スラグ	銅スラグ	亜鉛スラグ
コンクリート用骨材	30	269	0
道路用材料	918	0	0
土工用材料	644	87	19
ブラスト材	51	622	0
セメント原料	0	2,438	144
造津材	376	4	0
その他	56	9	0
最終処分	0	0	0
計	2,075	3,429	164

建設資材関連  
35%

銅スラグ  
セメント原料  
71%

リサイクル率  
100%

## 2. 非鉄スラグの用途例

### 2.1 セメント原料 / セメントの種類

#### 「セメントの種類」

- ① ポルトランドセメント (75%)
- ② 高炉セメント (20%)  
ポルトランドセメントと高炉水砕スラグの微粉末を混合  
B種 (高炉スラグ ; 30~60%配合) が主
- ③ その他 (5%)
  - ・ フライアッシュセメント
  - ・ シリカセメント
  - ・ エコセメント
  - ・ ECMセメント

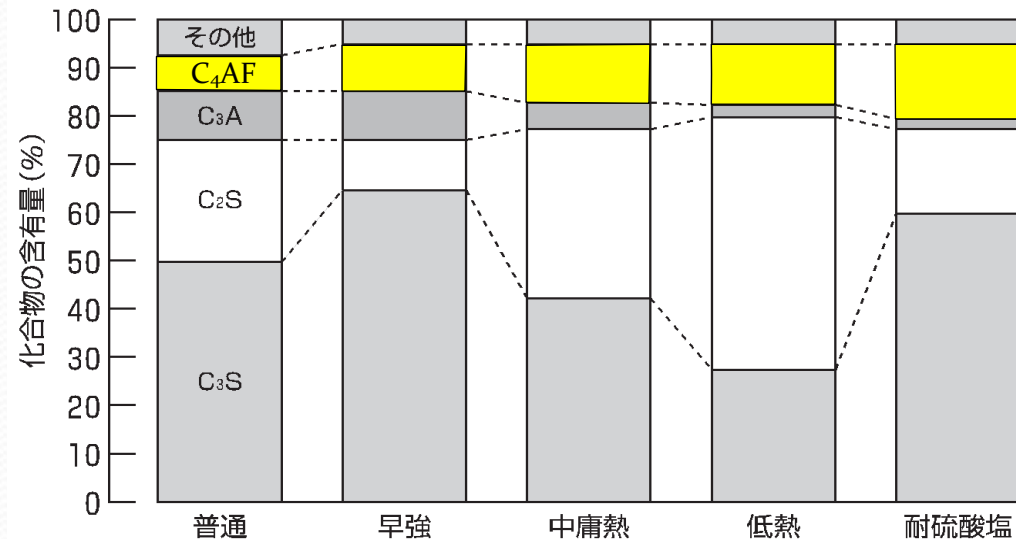
※高炉水砕スラグの微粉末  
セメントと水と共存し、スラグ自体が水和反応して硬化・強度  
が発現 (潜在水硬性)

※ECMセメント (Energy・CO<sub>2</sub>・Minimum)  
産学連携NEDOプロジェクトで開発  
エネルギー消費量とCO<sub>2</sub>排出量 ; 従来セメント比6割以上削減  
高炉セメントC種 (高炉スラグ ; 60~70%配合) に相当

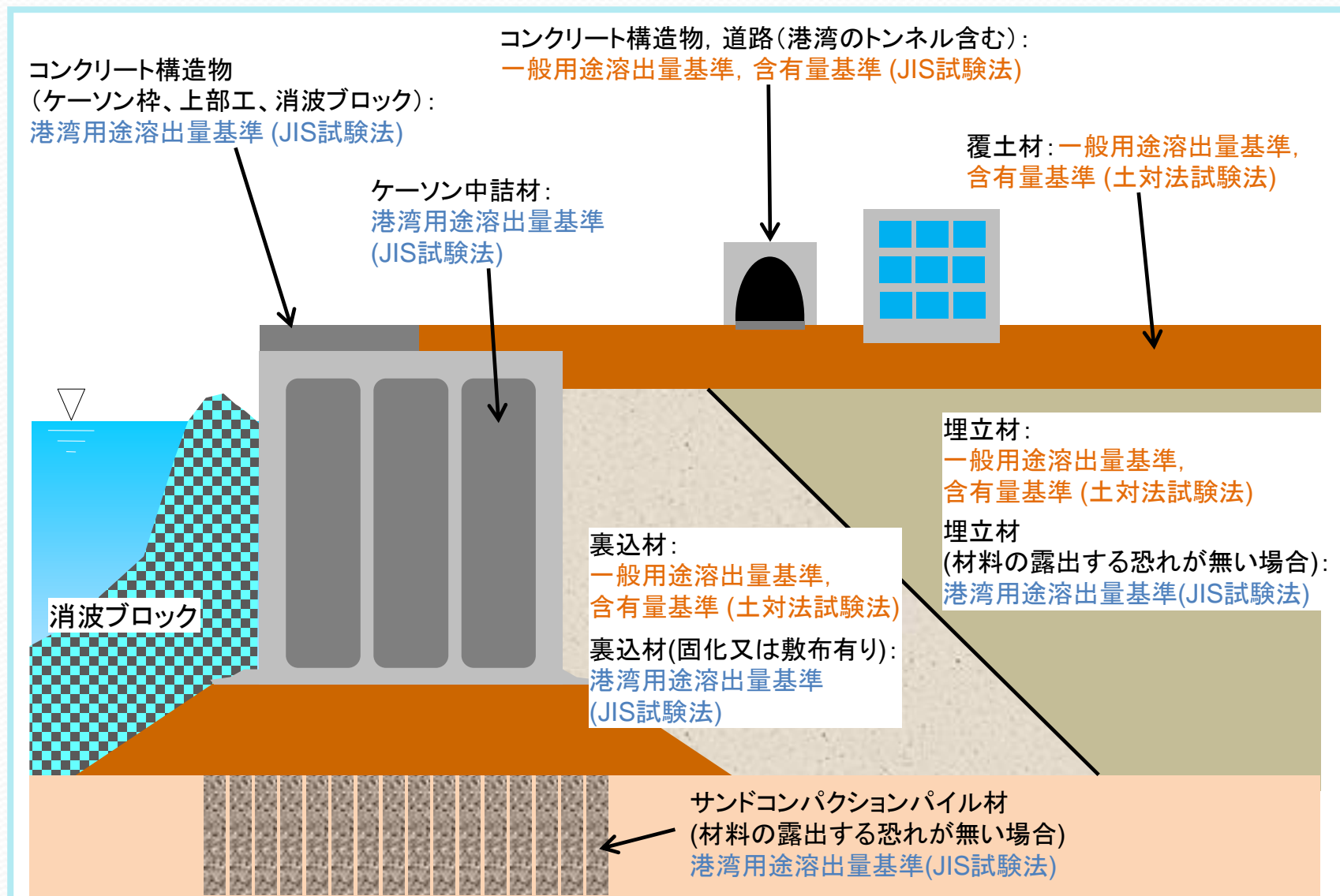
#### 「ポルトランドセメント」

主成分はCaO とSiO<sub>2</sub>, 混合比率により水和反応速度が異なる。  
セメントを焼成し易くするため少量のFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を含む。

記号	成分	水和反応速度
C <sub>3</sub> A	3CaO・Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	非常に速い
C <sub>3</sub> S	3CaO・SiO <sub>2</sub>	比較的速い
C <sub>2</sub> A	2CaO・SiO <sub>2</sub>	遅い
C <sub>4</sub> AF	4CaO・Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ・Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	かなり速い



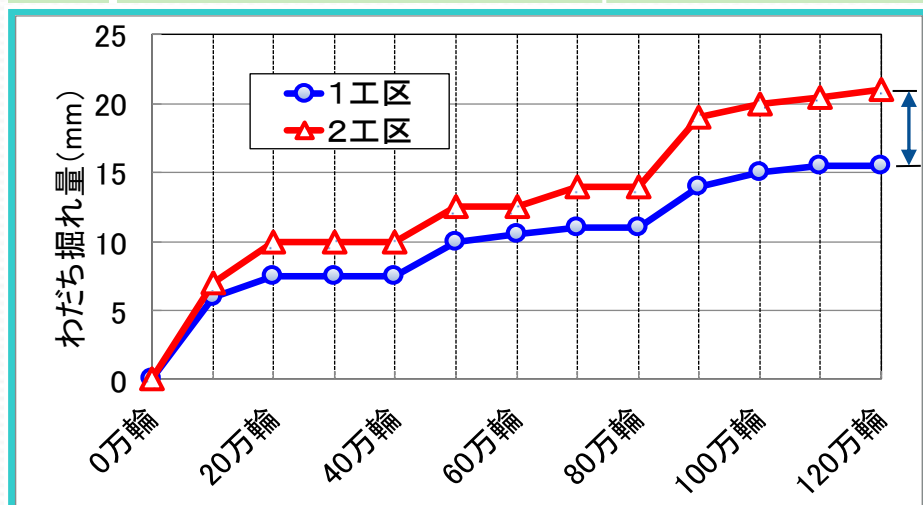
## 2.2 建設用途への展開と環境安全品質基準



## 2.3 舗装工①アスコン用骨材

### ◆ フェロニッケルslag骨材を10%混合使用

工区	表層	基層	工区延長
1	再生密粒度アスファルト舗装(20) フェロニッケルslag10%配合	再生粗粒アスファルト(20)	24.0 m
2	再生密粒度アスファルト舗装(20)	再生粗粒アスファルト(20)	24.0 m



わだちボレ量  
30% 少ない



荷載試験風景(土木研究所)

工区	49kN換算輪数	対象面積 (m <sup>2</sup> )	ひび割れ面積(m <sup>2</sup> )	ひび割れ率(%)
フェロニッケルslag工区	280万輪	66.5	2.30	3.46
比較工区	280万輪	66.5	2.90	4.36
低減率(%)	-	-	-	▲21

ひび割れ発生率が  
21%低い

## 2.4 舗装工②路盤材、路床材

◆フェロニッケルスラグ路盤材や路床材は  
環境安全性が高く、膨張も皆無

項目	路盤材		路床材
	(製品名) 0-40mm	(製品名) 0-20mm	(製品名) 0-5mm
最大水浸膨張比 (%)	0.000	0.022	-
最大乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.361	2.359	2.387
最適含水比 (%)	5.04	5.20	7.23
修正CBR値 (%)	97.6	90.2	71.0
凍上試験	-	-	<b>合格</b>

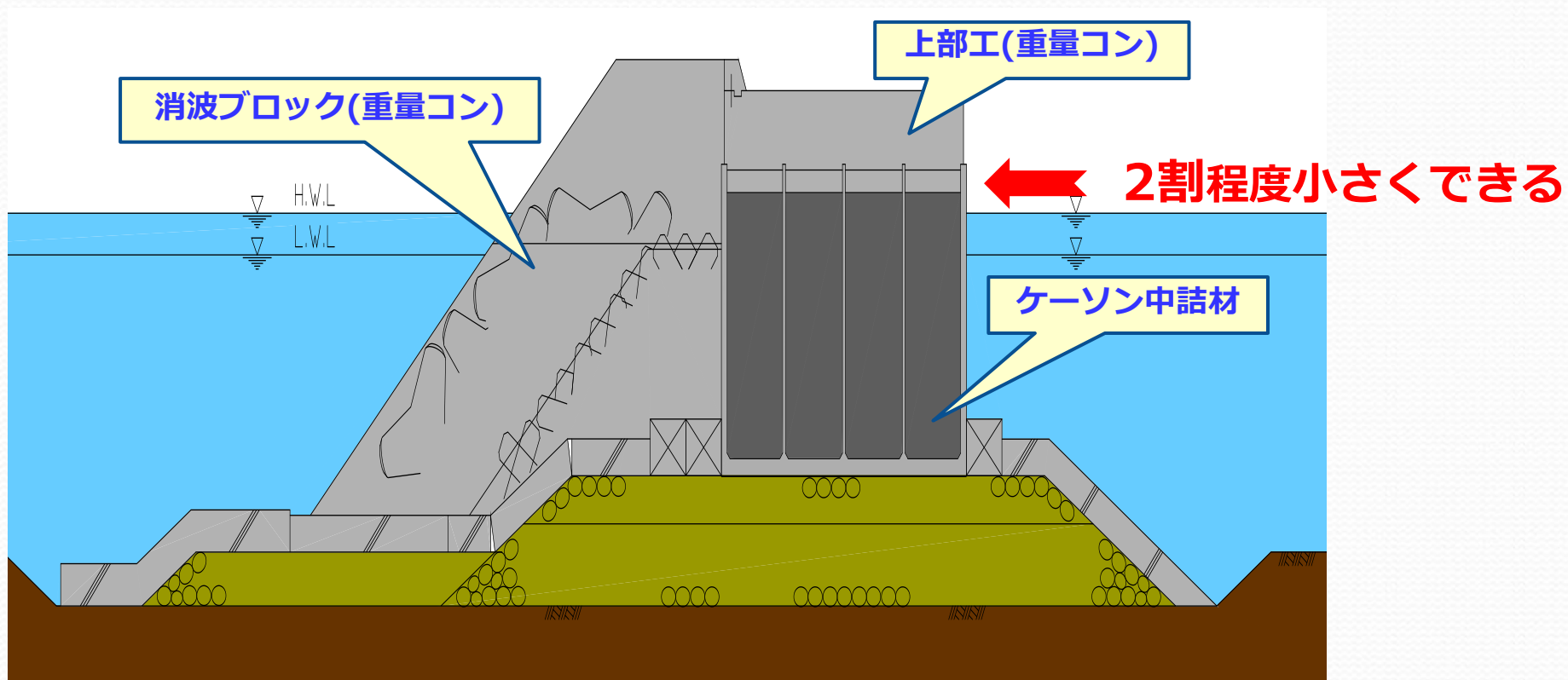


フェロニッケルスラグ路床材  
施工状況

転圧が簡単で高い  
強度が得られる

## 2.5 ケーソン中詰め工

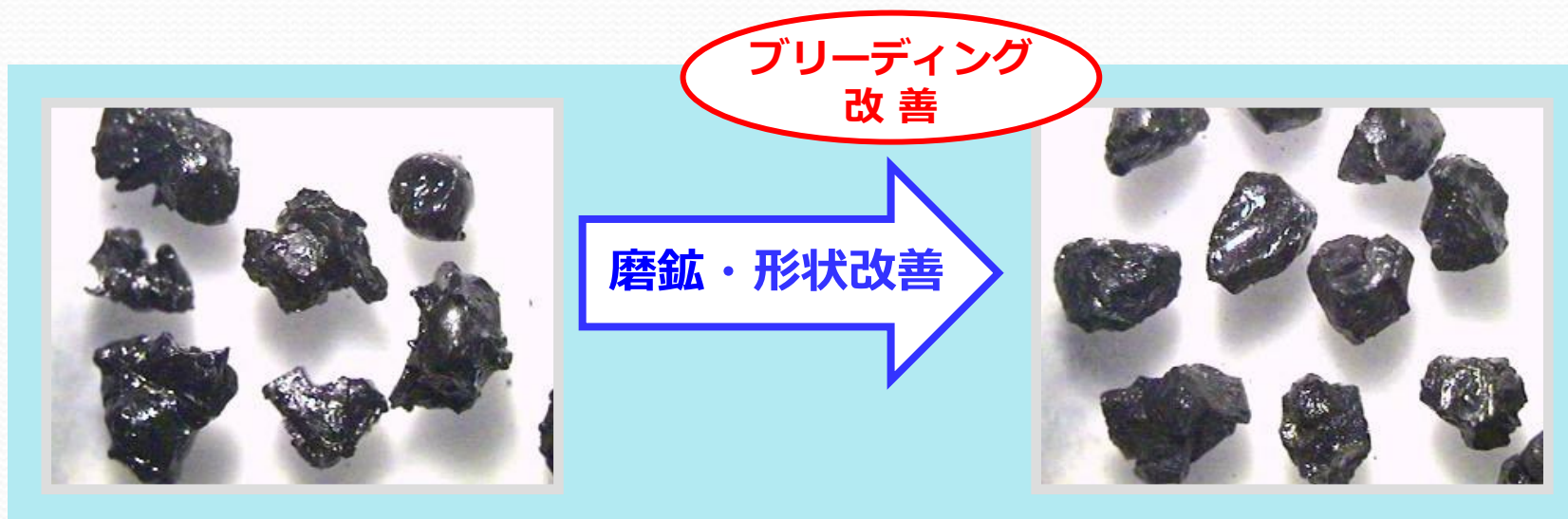
### 砂を用いた標準設計断面



条件 : 砂比重 $24\text{kN/m}^3$

港内側にカウンターウェイト

## 2.6 消波ブロック、根固めブロック



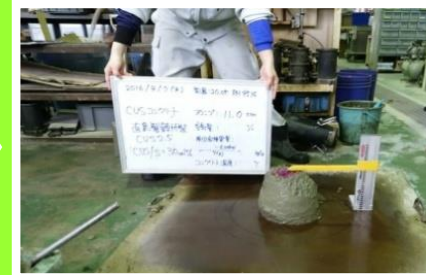


## 2.7 銅スラグを利用したコンクリート二次製品

### 銅スラグ細骨材の外観・特性



砕砂 : SL : 6cm



CUS2.5 : 30% : SL : 11cm

### 岡山大学：公開試験

砂種類	砕砂	CUS2.5 30%	CUS5-0.3 30%	CUS2.5 100%
空気量	1.3%	2.7%	1.7%	4.6%
間隙通過試験	1分44秒	1分17秒	57秒	30秒
ブリーディング率 <sub>1</sub>	1.05%	1.26%	1.22%	6.68%
脱型時強度(蒸気養生)	21.0N/mm <sup>2</sup>	19.6N/mm <sup>2</sup>	22.1N/mm <sup>2</sup>	16.9N/mm <sup>2</sup>
圧縮強度(14日)	43.0N/mm <sup>2</sup>	41.0N/mm <sup>2</sup>	42.4N/mm <sup>2</sup>	34.1N/mm <sup>2</sup>
曲げ強度(14日)	3.35N/mm <sup>2</sup>	3.36N/mm <sup>2</sup>	3.59N/mm <sup>2</sup>	3.82N/mm <sup>2</sup>

#### ■ 30%添加

- ・強度等は変化なし
- ・間隙通過性改善
- ・ブリーディング若干増
- ・SL良好

### ■まとめ■

銅スラグ細骨材  
を利用して良好  
な二次製品の製  
造は可能である

### 銅スラグ細骨材使用の二次製品



打設



脱型



角フリューム200



#### 環境安全品質

- ・溶出量：基準値未満
- ・含有量：基準値未満

### 3. 環境安全品質

#### 3.1 環境関連法令とフェロニッケルスラグ、銅スラグJIS

年次		環境関連法令	銅スラグ関連JIS
1967年	昭和42年	公害対策基本法	
1991年	平成3年	環告第46号 ; 土壤環境基準	
1992年			コンクリート用スラグ骨材 ; フェロニッケルスラグJIS制定 (JIS A 5011-2)
1993年	平成5年	環境基本法 (公害対策基本法を統合)	
1997年	平成9年		コンクリート用スラグ骨材 ; 銅スラグJIS制定 (JIS A 5011-3)
2002年	平成14年	土壤汚染対策法	
2003年	平成15年	環告18号 ; 土壤溶出量測定 環告19号 ; 土壤含有量測定	
2005年	平成17年		スラグ類の化学物質試験方法 (第1部 溶出量試験) (第2部 含有量試験)
2016年	平成28年		コンクリート用スラグ骨材 ; 銅スラグJIS改訂 (JIS A 5011-3-2016) コンクリート用スラグ骨材 ; フェロニッケルスラグJIS改訂 (JIS A 5011-2)

## 3.2 環境安全品質基準

### ◆ 溶出量基準 ◆

項目	一般用途溶出量基準 (mg/l)	港湾用途溶出量基準 (mg/l)
カドミウム	≦0.01	≦0.03
鉛	≦0.01	≦0.03
六価クロム	≦0.05	≦0.15
砒素	≦0.01	≦0.03
水銀	≦0.0005	≦0.0015
セレン	≦0.01	≦0.03
フッ素	≦0.8	≦15
ホウ素	≦1	≦20

### ● 含有量基準 ●

項目	含有量基準 (mg/kg)
カドミウム	≦150
鉛	≦150
六価クロム	≦250
砒素	≦150
水銀	≦15
セレン	≦150
フッ素	≦4,000
ホウ素	≦4,000

### 3.3 非鉄スラグの溶出量と含有量の一例

亜鉛スラグの溶出量試験の一例

分析対象	Cd	Pb	Cr <sup>6+</sup>	As	Hg	Se	B	F
試験値	<0.001	<0.005	<0.01	0.02	<0.0005	<0.005	0.20	<0.1
環境安全 品質基準 (港湾用途)	≦0.03	≦0.03	≦0.15	≦0.03	≦0.0015	≦0.03	≦15	≦20

亜鉛スラグの含有量試験の一例

分析対象	Cd	Pb	Cr <sup>6+</sup>	As	Hg	Se	B	F
試験値	<1	<b>150</b>	<1	<b>550</b>	<0.1	<1	840	360
環境安全 品質基準 (一般用途)	≦150	≦150	≦250	≦150	≦15	≦150	≦4,000	≦4,000

フェロニッケルスラグの溶出量試験の一例

分析対象	Cd	Pb	Cr <sup>6+</sup>	As	Hg	Se	B	F
試験値	<0.001	<0.001	<0.01	<0.001	<0.0005	<0.001	<0.1	<0.1
環境安全 品質基準 (一般用途)	≦0.01	≦0.01	≦0.05	≦0.01	≦0.0005	≦0.01	≦1.0	≦0.8

フェロニッケルスラグの含有量試験の一例

分析対象	Cd	Pb	Cr <sup>6+</sup>	As	Hg	Se	B	F
試験値	<15	<15	<25	<15	<1	<15	<400	<400
環境安全 品質基準 (一般用途)	≦150	≦150	≦250	≦150	≦15	≦150	≦4,000	≦4,000

銅スラグの溶出量試験の一例

分析対象	Cd	Pb	Cr <sup>6+</sup>	As	Hg	Se	B	F
試験値	0.002	<0.001	<0.01	<0.001	<0.0005	<0.001	<0.1	<0.1
環境安全 品質基準 (港湾用途)	≦0.03	≦0.03	≦0.15	≦0.03	≦0.0015	≦0.03	≦15	≦20

銅スラグの含有量試験の一例

分析対象	Cd	Pb	Cr <sup>6+</sup>	As	Hg	Se	B	F
試験値	34	<b>630</b>	<25	<b>270</b>	<1	<15	<400	<400
環境安全 品質基準 (一般用途)	≦150	≦150	≦250	≦150	≦15	≦150	≦4,000	≦4,000

出典：港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（一社）沿岸技術研究センター

## 3.4 非鉄スラグ製品の製造・販売管理ガイドライン制定と改正

### 【背景】

**2005年9月**；「非鉄スラグ製品の製造・販売管理ガイドライン」の制定

- ・ 廃掃法上廃棄物か否かの判断に関する環境省通知 ⇒ 非鉄スラグ製品に起因する問題発生防止対策
- ・ フェロニッケルスラグおよび銅スラグ対象

**2008年2月**；同ガイドラインの改正

- ・ 鉄鋼スラグ協会「鉄鋼スラグ製品の管理に関するガイドライン」に倣い改正

**2015年9月**；同ガイドラインの改正

- ・ 有識者で構成する「非鉄スラグ製品の製造・販売管理ガイドライン改正検討委員会」開催
- ・ 対象に亜鉛スラグを追加し、新たに環境安全品質規定を織り込み

**2017年9月**；同ガイドラインの改正

- ・ 有識者で構成する「非鉄スラグ製品の製造・販売管理委員会」の指導による管理強化と運用改善

**2019年3月**；同ガイドラインの改正

- ・ 2018年6月の銅スラグJIS認証取り消し処分への対応を織り込み

**2020年4月**；同ガイドラインの改正

- ・ コンクリート細骨材の輸出に関するルール確認

## 4. 非鉄スラグの建設用途の開発経緯

### 4.1 コンクリート用骨材

- 1992年 コンクリート用フェロニッケルスラグ骨材JIS 取得
- 1997年 コンクリート用銅スラグ骨材JIS 取得



- 1998～2000年  
建設省、運輸省、文部省、防衛庁の共通仕様書に取込み



- グリーン調達品に登録  
フェロニッケルスラグ : コンクリート骨材、ケーソン中詰材  
銅スラグ : コンクリート骨材、ケーソン中詰材



- 2016.4 フェロニッケルスラグ、銅スラグJISの改正公示
- 2016.4 土木学会「コンクリート用非鉄スラグ骨材設計施工指針」改定
- 2018.12 日本建築学会「コンクリート用非鉄スラグ骨材設計施工指針」改定

## 4.2 港湾・空港工事

- 2004年 港湾局リサイクル技術指針制定  
【コンクリート用骨材、SCP用銅スラグ、ケーソン中詰材】



- 港湾空港用非鉄スラグ利用技術マニュアル策定（沿岸技術研究センター）



- 2012.3 港湾空港用リサイクル技術指針改定  
【SCP用フェロニッケルスラグ、アスコン用フェロニッケルスラグ細骨材、路盤材、ケーソン中詰め用亜鉛スラグ】
- 2013.4 製品便覧改定（リサイクルポート評議会）：毎年更新
- 2015.3 港湾局リサイクル技術改定  
◆コンクリート用フェロニッケルスラグ粗骨材、埋立材、裏込め材、路床材



- 2015.9 『港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル』 発刊
- 2016.3 港湾局リサイクル技術指針改定

## 4.3 銅スラグの課題

### 4.3.1 溶出量と含有量

銅スラグ細骨材の化学物質の溶出量 (mg/L)

成分	A 製錬所			B 製錬所		
	平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値
鉛	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
ひ素	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005

銅スラグ細骨材の化学物質の含有量 (mg/kg)

成分	A 製錬所			B 製錬所		
	平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値
鉛	333	392	233	514	689	418
ひ素	309	377	217	249	414	72

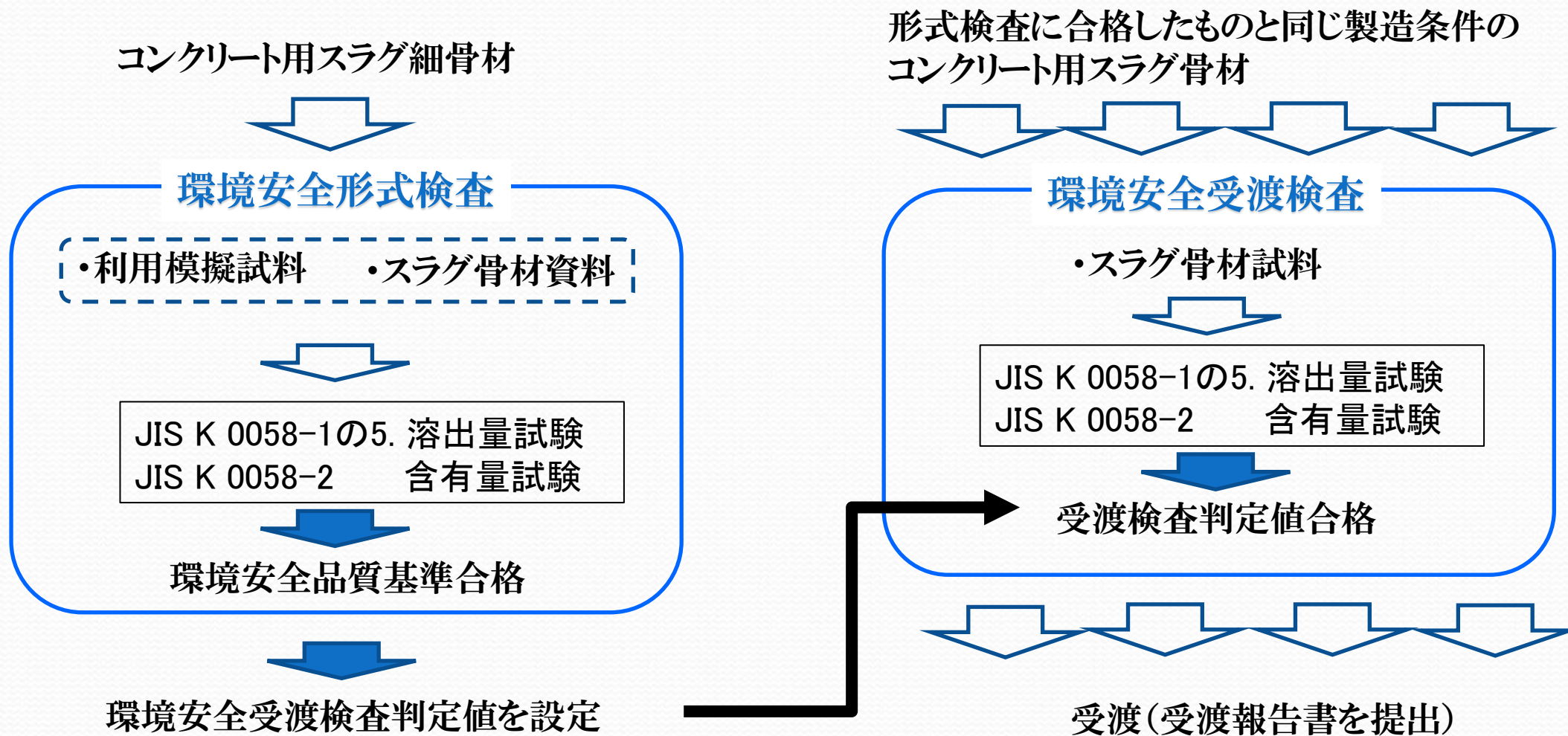
成分	環境安全品質基準 (一般用途)	環境安全品質基準 (港湾用途)
鉛	≦0.01	≦0.03
ひ素	≦0.01	≦0.03

分析	環境安全品質基準 (一般用途)	環境安全品質基準 (港湾用途)
鉛	≦150	なし
ひ素	≦150	なし

参照：「材料」Journal of the Society of Materials Science,Japan),Vol.65,No.11,pp.761-766,Nov.2016



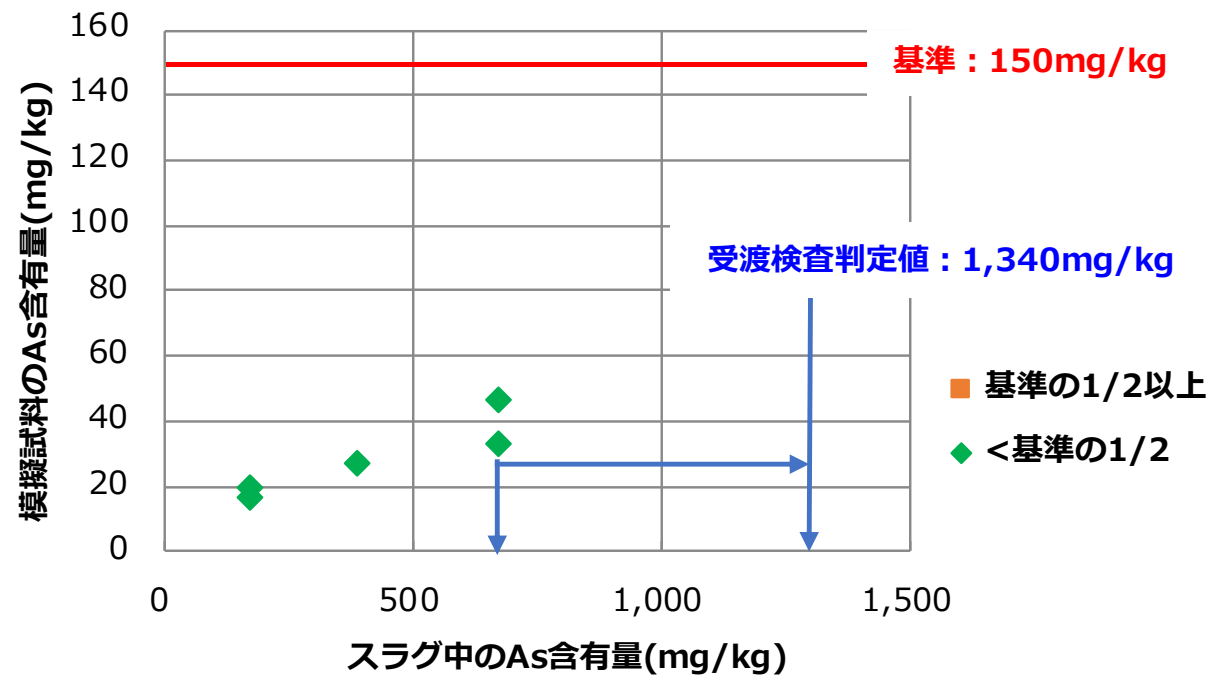
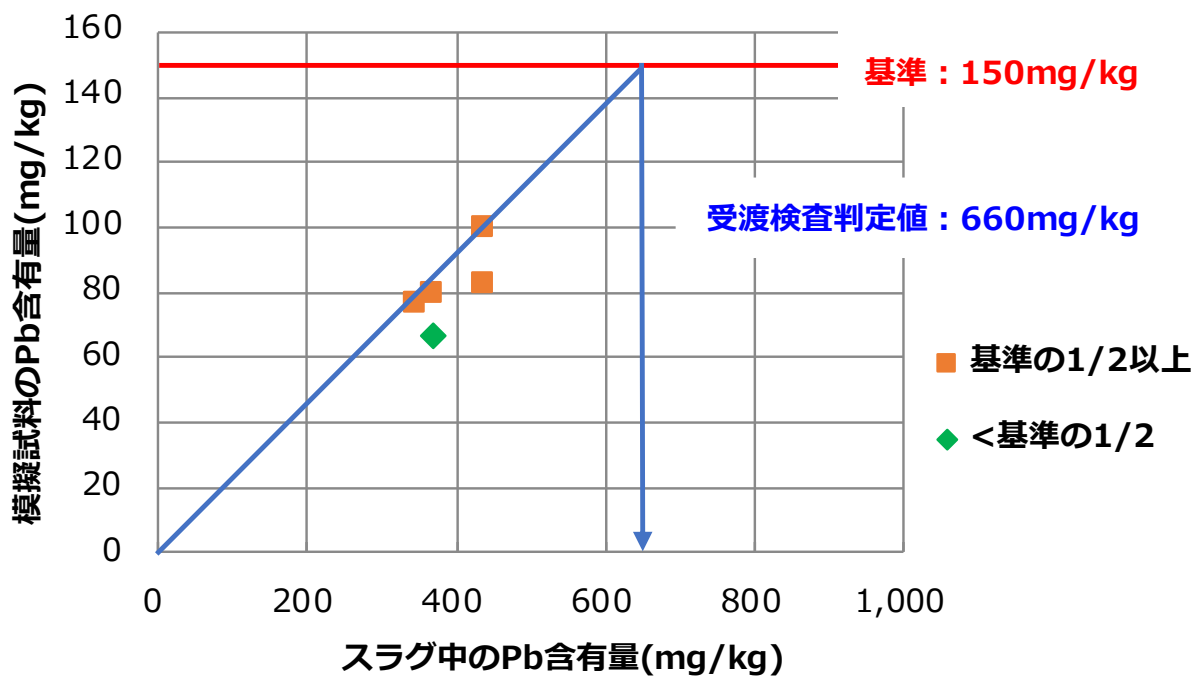
## 4.3.2 コンクリート用スラグ骨材（一般用途）の環境安全品質検査の流れ



### 4.3.3 環境安全受渡検査

#### 環境安全受渡検査判定値の一例

混合率	成分	A 製錬所	B 製錬所
		JIS K 0058-2による	
30%	鉛	≤660	≤834
	砒素	≤1,340	≤934
含有量実績	鉛	233~392	418~689
	砒素	217~377	72~414



# 5. 銅スラグのコンクリート形式試験

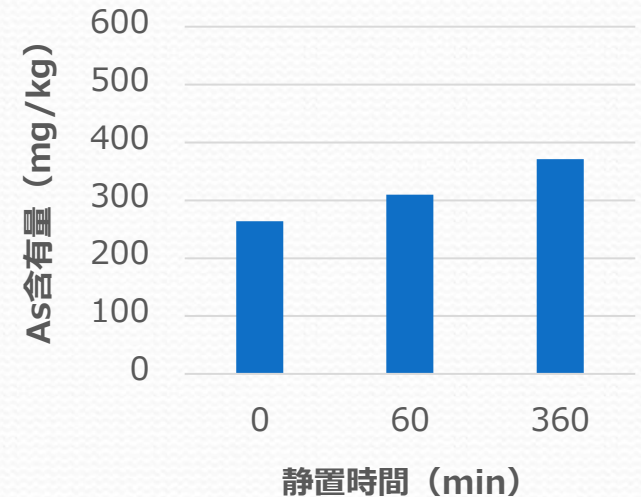
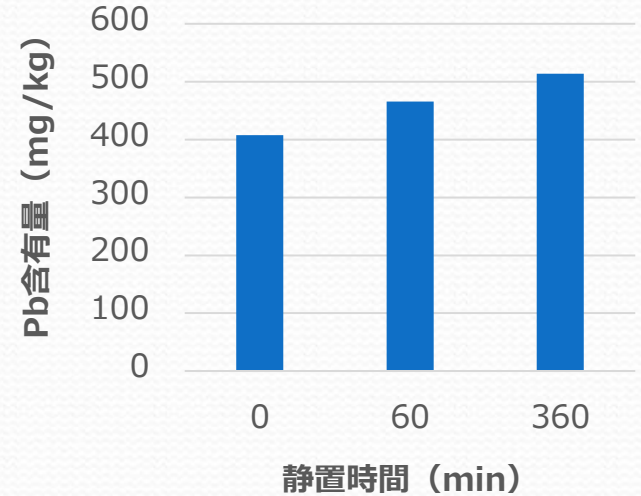
## 5.1 CUS2.5の環境安全品質の製造ロット内バラツキ調査

### (1) 銅スラグ細骨材の製造ロット

- ① 銅スラグ生産量
  - ・ 1,500~3,000 t /日
- ② CUS2.5向け原料
  - ・ 1ロットは500~3,000 t
  - ・ CUS2.5を製造する場合、環境安全品質を考慮して原料配合や操業条件を調整

### (2) 試験要領

- ・ 破碎粒度調製工程から20個のサンプルを採取して、環境安全品質（含有量基準）の測定を行った。
- ・ 分析結果に影響を及ぼす要因を列挙して、その影響度を調査したところ、酸溶解時間、酸添加からろ過までの時間が著しく影響することを把握した。
- ・ サンプルング、試料調製を含めて、試験条件を可能な限り同一とした。
- ・ 分析誤差を評価するために、各試料1サンプルのみ5回測定した。
- ・ 測定は、JIS A 5.011-3「コンクリート用スラグ骨材-第3部：銅スラグ骨材 附属書B(規定)銅スラグ細骨材の環境安全品質試験方法」に準拠した。
- ・ 1N塩酸投入からろ過までの時間が分析値に著しく影響するため、4分30秒と決定した。



### (3) CUS2.5の環境安全品質試験結果

	Pb			As		
	含有量 (mg/kg)	標準偏差 (mg/kg)	変動係数 (%)	含有量 (mg/kg)	標準偏差 (mg/kg)	変動係数 (%)
CUS-A製錬所	716	27.2	3.8	419	15.5	3.7
CUS-B製錬所	635	27.8	4.4	379	19.4	5.1
CUS-C製錬所	314	17.4	5.5	244	32.4	13.3

- 含有量の変動係数は5%程度であり1ロット内のばらつきは小さい。
- 有意水準5%で評価を行っても3鉱種とも評価への影響はなく、CUS2.5の製造工程でのばらつきを考慮しても平均値での評価は妥当であると判断される。

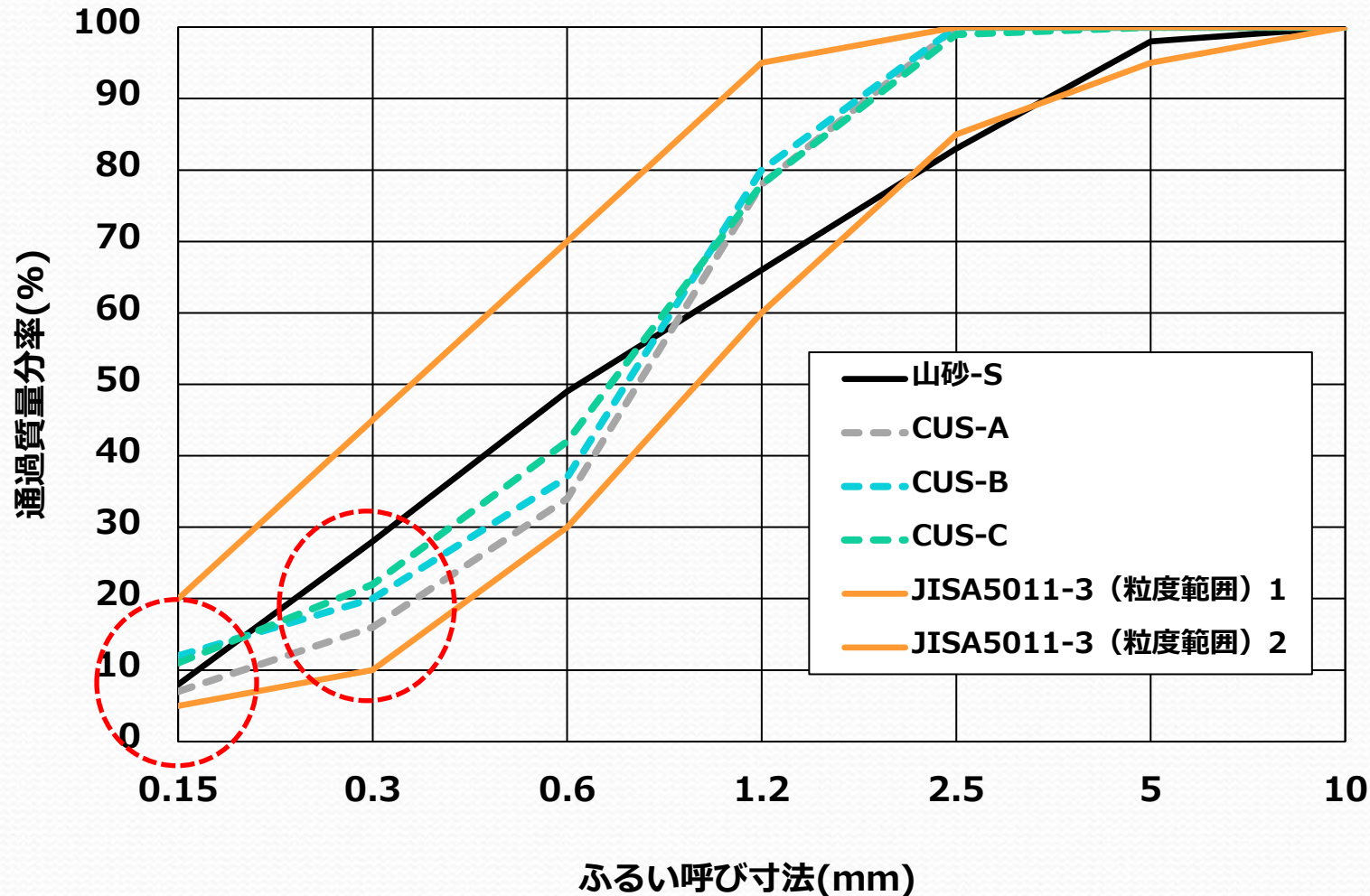
## 5.2 コンクリート利用模擬試験体での含有量試験

- JIS A 5011-3（コンクリート用スラグ骨材-第3部）では、コンクリート利用模擬試料を使って、CUSの環境安全受渡検査判定値を設定することとなっている。
- 形式検査試験で得られる対象元素について、計画した含有量と比較評価したことがないため、単位セメント量の違いによる分析値の差異も併せて確認試験を行った。
- 本試験は、CUS2.5を使用して、複数のコンクリート調合による形式検査を実施して、計画調合で求められる含有量と差異を比較した。

表 使用材料

使用材料	記号	産地・銘柄	密度(g/cm <sup>3</sup> )	
水	W	上水道	1.00	
セメント	C	普通ポルトランドセメント	3.16	
細骨材	S	S-1	山砂、静岡県掛川市産	2.58
		CUS-A	銅スラグ細骨材、CUS2.5、A製錬所製	3.52
		CUS-B	銅スラグ細骨材、CUS2.5、B製錬所製	3.61
		CUS-C	銅スラグ細骨材、CUS2.5、C製錬所製	3.48
粗骨材	G	砕石2005、硬質砂岩、茨城県桜川市産	2.65	
混和剤	ad1	AE減水剤標準形 I 種、マスターポリマー15S	—	
	ad2	AE剤、マスターエア303A	—	
	ad3	消泡剤、マスターエア404	—	

## 5.3 CUS2.5の粒度分布調査



- CUS2.5の粒度分布と細目砂の粒度分布は同等
- 0.3mm域が適当量確保され、フレッシュコンクリートのコンシステンシーに有効
- 0.15mmの微粒分量が多すぎないことから、単位水量が増大しない
- 砂、砕砂等と混合使用する場合、同様の粒度構成であり混合が容易
- 0.15mm以下は12%以下で、粗目の砕砂との混合時にも支障が無い

## 5.4 コンクリート配合水準、配合設計条件及び配合選定方法

表. コンクリートの計画配合とスランプ、空気量の結果

配合	W/C (%)	s/a (%)	単体量(kg/m <sup>3</sup> )						SL (cm)	空気量 (%)	
			W	C	S			G			
					S-1	CUS-A	CUS-B				CUS-C
A50	50	47	165	330	538	400			963	18.5	4.9
A55	55	48	165	300	568	400			958	17.5	4.2
A60	60	50	168	280	608	400			925	19.5	4.9
B50	50	48	165	330	563		400		945	18.0	4.7
B55	55	49	165	300	593		400		939	19.0	4.6
B60	60	50	168	280	615		400		925	19.0	3.7
C50	50	46	168	336	511			400	974	19.0	4.4
C55	55	47	168	305	541			400	970	19.5	3.8
C60	60	50	172	287	596			400	917	19.5	5.0
S55	55	49	166	302	868				946	18.5	4.9

- W/C ; 水セメント比
- s/a ; 細骨材率
- S ; 細骨材
- G ; 粗骨材
- SL ; スランプ

配合設計条件	
スランプ(cm)	空気量(%)
18.5±1.5	4.5±1.0

- 事前のコンクリートの試験練りの結果より、単位銅スラグ細骨材量を350kg/m<sup>3</sup>としたコンクリートは、良好なワーカビリティおよびコンシステンシーが確保されていることを確認した。
- 単位銅スラグ細骨材量400kg/m<sup>3</sup>を超えるコンクリートは、良好なワーカビリティおよびコンシステンシーを確保することが難しいものと判断されたことより、供試体作製に用いるコンクリートの単位銅スラグ細骨材量を400kg/m<sup>3</sup>に決定した。

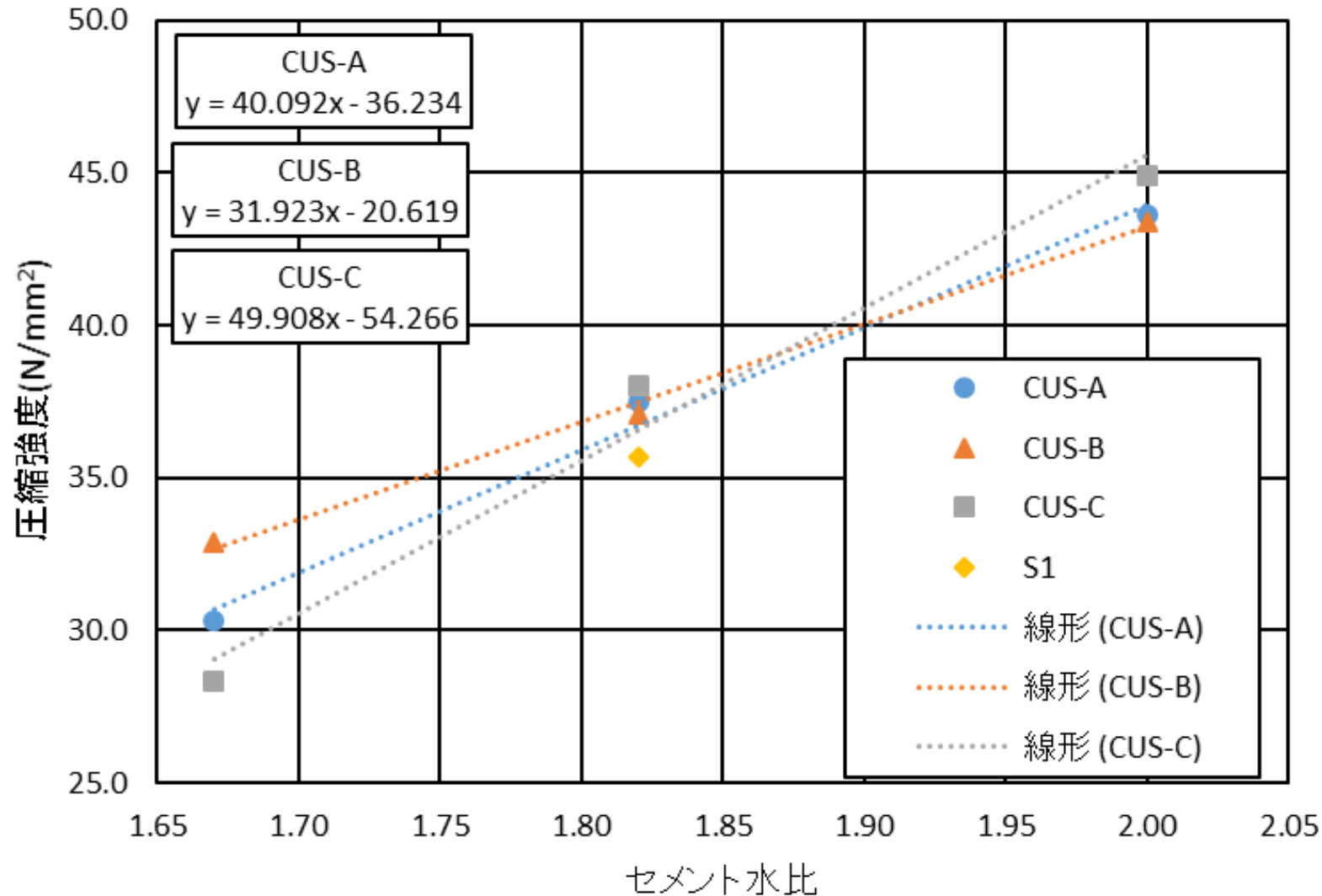


WC55-CUS-350  
フレッシュコンクリートの状況



WC55-CUS-400  
フレッシュコンクリートの状況

## 5.5 CUS2.5の圧縮強度試験



- 細骨材種類が同一のコンクリートのセメント水比と圧縮強度の関係を示す。
- 水セメント比55% (セメント水比1.82) の場合、CUSを用いたコンクリートは、普通細骨材を用いたコンクリートよりも、材齢28日の圧縮強度が5%程度大きい。
- 水セメント比60% (セメント水比1.67) のCUSを用いたコンクリートは、他の水セメント比よりも、CUSの種類による圧縮強度の差が大きくなった。



## 5.6 鉛及び砒素含有量の実測値と推定値の比較

- 鉛の含有量は推定値と実測値が近似していたが、CUS2.5を使用しない場合にも10mg/kg程度検出されることを考慮すれば実測値の方が推定値より小さい。→ **安全側の評価**
  - 砒素の含有量は、すべて実測値の方が推定値より小さい。→ **安全側の評価**
- ↓
- セメント水和物のCUS2.5へのコーティングや、セメントによる酸中和の影響が考えられる。
  - 含有量実測値は、いずれも環境安全品質基準値150mg/kgを十分に下回った。使用したCUS2.5の重金属含有量の範囲においては、コンクリート中CUS2.5単位量が400kg/m<sup>3</sup>程度でも環境安全基準値を満足することが判明した。
  - CUS2.5をコンクリートに使用する際は、CUS2.5の重金属含有量とコンクリートの配合から推定した含有量値を計算し、環境安全品質基準値と比較することで事前に安全性を評価できると考えられる。

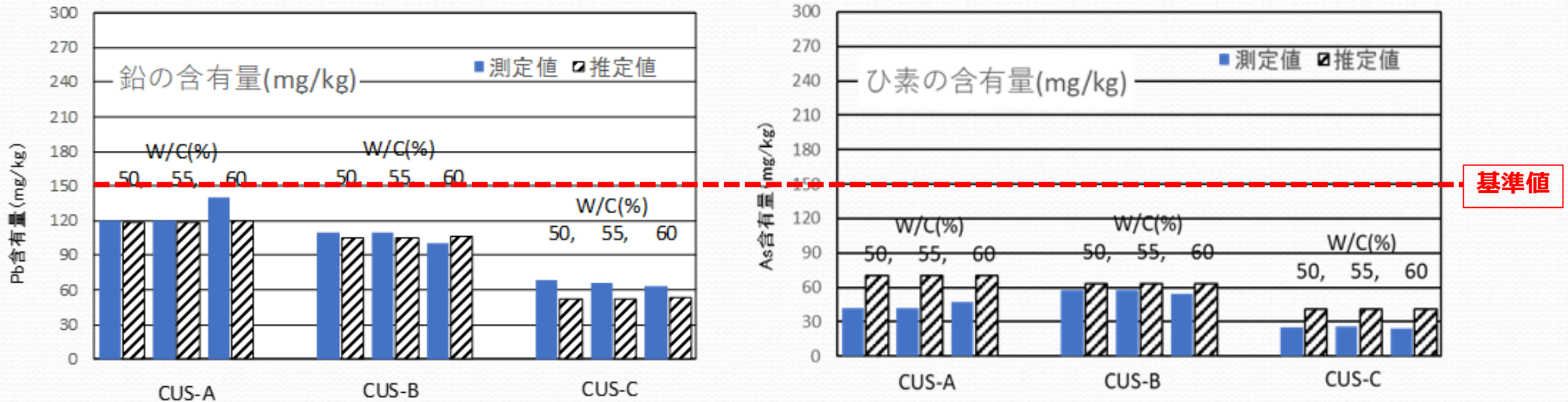


図. 鉛および砒素の推定含有量と実測含有量

## 5.7 まとめ

- (1) 銅スラグ3銘柄のCUS2.5について環境安全品質試験を行った結果、鉛及び砒素含有量のロット内のばらつきは変動係数5%程度で均一に管理されており、平均値を用いた評価が可能である。
- (2) CUS2.5は砂と類似した粒度分布を示し、砂との混合が容易である。また、中間粒度域の少ない砕砂の粒度調整材として有効である。
- (3) 水セメント比55%の場合、CUS2.5を用いたコンクリートは、普通細骨材を用いたコンクリートよりも材齢28日の圧縮強度が5%程度大きくなった。
- (4) 使用するCUS2.5の重金属含有量と計画調合から、コンクリート試験体の重金属含有量を推定することが可能である。今後、同様のデータを蓄積することで、環境安全形式試験を省略できる可能性がある。現在、3回目の試験着手。本年度末にはデータ入手予定である。

ご清聴ありがとうございました