

新燃岳火山灰 INSEM 材適性判断試験レポート

平成 23 年 3 月

SB ウォール工法研究会

目 次

1. 火山灰採取場所	1
2. INSEM 材適応性判断結果	2
3. 材料試験結果	2
3.1. 土質特性	3
3.2. 適性判断指標による分類	6
4. INSEM 材適性判断試験	7
4.1. 試験結果の考察	7
4.2. 現地土砂のセメント固化効率推定式	9
4.3. 推定単位セメント量	9
5. 単位体積重量の推定	10
6. INSEM 材適性判断の概要（参考）	11

はじめに

本試験は、現在降灰が続く、新燃岳火山灰の有効活用を目的に、火山灰の INSEM 工法への適応性を判断することを目的に本研究会の自主研究として実施したものです。

新燃岳の火山灰は降灰した地域により、粒径や性状にバラツキが有ると思われますが、セメント水和反応の効率を確認する INSEM 工法への適応性という観点からの評価は、セメント量に多少の前後はあると考えられるものの、三宅島や桜島等、これまでの配合試験実績から、同じ火山からの噴出物の場合セメントによる固化の傾向に大きな違いは無いと思われま

現在、新燃岳の噴火に伴い、多数の人々の生活や財産が危険にさらされており、心からお見舞い申し上げますと共に、本資料が現地で御苦勞なさっておられる防災担当者様の業務に少しでもお役に立てれば幸いです。

平成 23 年 3 月

1. 火山灰採取場所

本試験資料となる火山灰の採取箇所は、新燃岳南東約 8.0km に位置する「都城市立御池小学校」近傍で、道路横に集塵されていた火山灰から採取した。

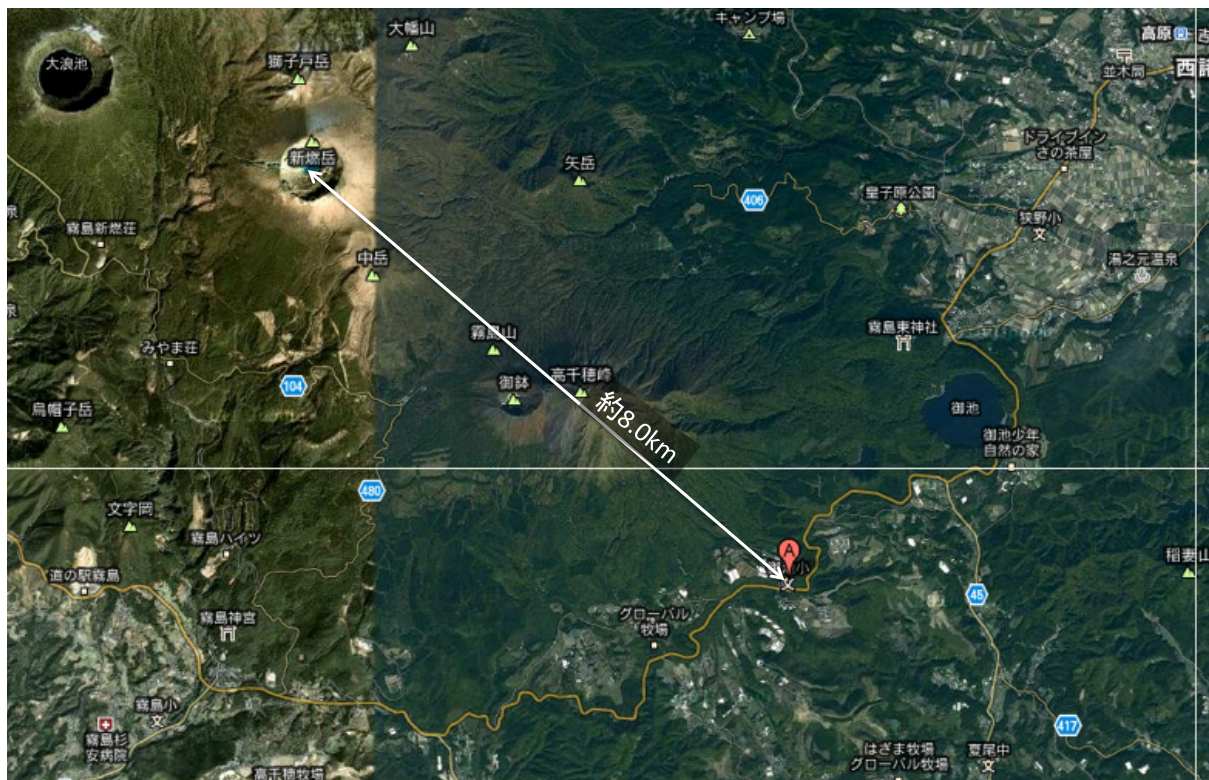


図 1-1 土砂採取場所 (GoogleMap ©2011Google-画像)



図 1-2 土砂採取状況

2. INSEM 材適応性判断結果

本試料の INSEM 材への適応性を判断するため、INSEM 材の適性判断試験を実施し、目標強度レベルⅢ (3.0N/mm²~6.0N/mm²) を充足すると考えられる、推定単位セメント量及び推定単位体積重量を検討した。

検討結果は、以下のとおりである。

INSEM 材適応性	: INSEM 材への適応性は高く安定した品質確保が可能である。
改良の要否	: 不要
推定単位セメント量	: 130kg/m ³ ± 15.44kg/m ³ → 145≒150kg/m ³
推定単位体積重量	: 16.2 kN/m ³

次章以降、検討の詳細を記述する。

3. 材料試験結果

材料試験結果は、以下のとおりである。

表 3-1 材料試験結果一覧表

試験項目	試験方法 JIS規格	火山灰	
1. 土の粒度試験(%)	A 1204	礫分	26.5
		砂分	61.5
		シルト・粘土分	12.0
2. 土粒子の密度試験(g/cm ³)	A 1203	2.663	
3. 細骨材の密度及び吸水率試験	A 1109	表乾比重(g/cm ³)	1.993
		絶乾比重(g/cm ³)	1.761
		吸水率(%)	13.20
4. 粗骨材の密度及び吸水率試験	A 1110	表乾比重(g/cm ³)	1.764
		絶乾比重(g/cm ³)	1.510
		吸水率(%)	16.80
5. 突固めによる土の締固め試験(E法)	A 1210	最大乾燥密度(g/cm ³)	1.226
		最適含水比(%)	14.7
6. 土の自然含水比試験(%) (参考)	A 1203	0.4	
7. 強熱減量試験(%)	A 1226	0.5	
8. 土のpH測定		6.86	

3.1. 土質特性

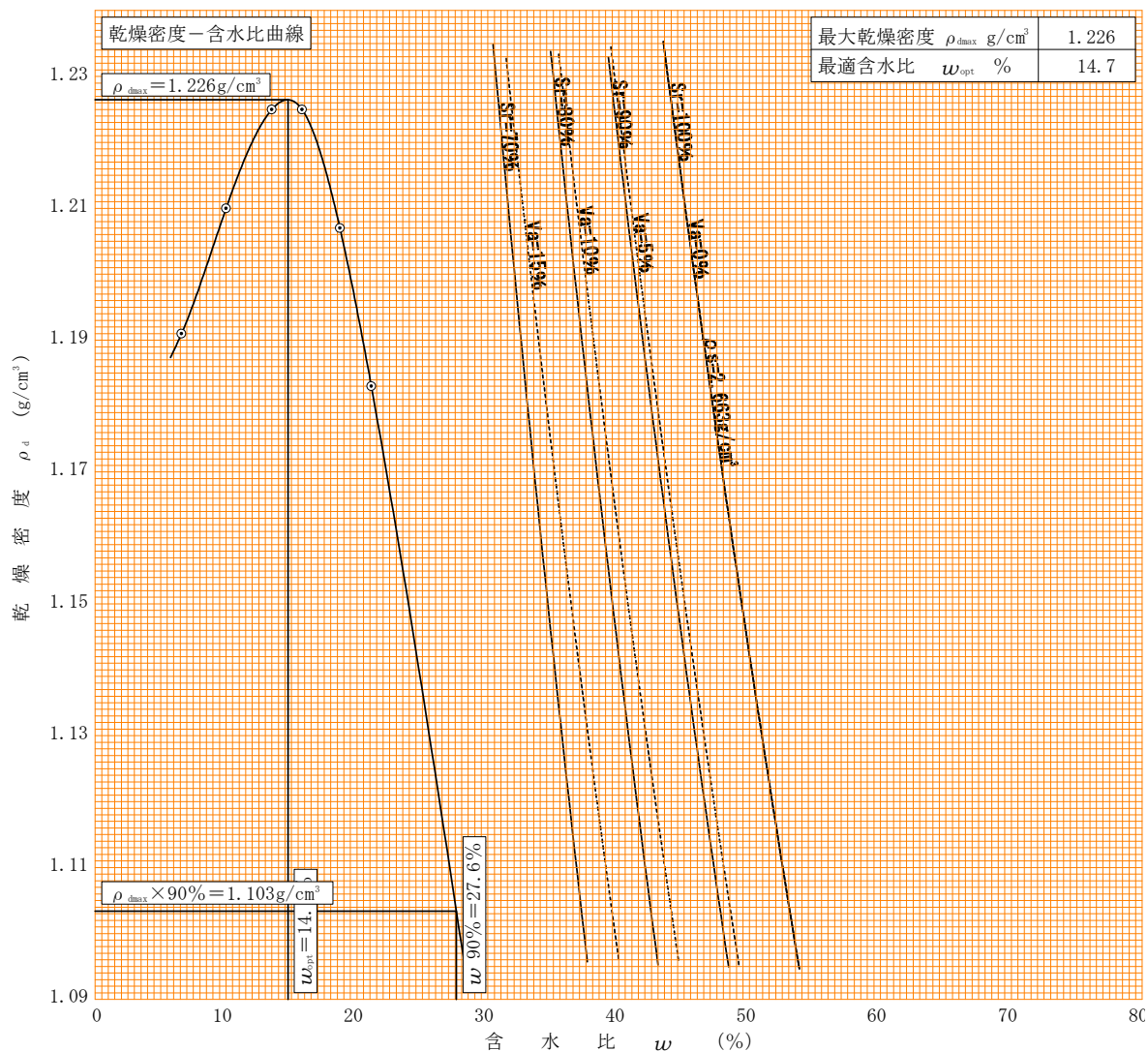
土質試験結果から本試料の特徴を記述する。

- 以下の項目から、本試料は、多孔質性の火山灰であると考えられる。
 - 粒度分布は砂分が 61.5%と半分以上を占めているものの細粒分も 12%あり、締固に大きな支障は無いと考えられる。
 - 土粒子密度：2.663g/cm³に対して、最大乾燥密度が 1.226g/cm³と半分以下であり、硬質で多孔質性の火山灰と考えられる。
 - 細骨材、粗骨材の吸水率が 13%～17%と礫質砂としては高い値を示している。特に、粗骨材の吸水率が 16.8%と高く、多孔質性の火山灰特有の性状であると考えられる。
- 本試料の有機物含有量は 0.5%と一般的な土砂と比較して低く、土の pH も 6.86 でほぼ中性と考えられ、セメント水和反応への影響は小さいと考えられる。



図 3-1 現地発生土砂

A) 締固め特性



特記事項

- 1) 内径15cmのモールドの場合はスペーサーディスクの高さを差引く。

ゼロ空気間隙曲線の計算式

$$\rho_{dsat} = \frac{\rho_w}{\rho_w/\rho_s + w/100}$$

図 3-2 現地発生土砂の粒径加積曲線図

B) 粒度分布

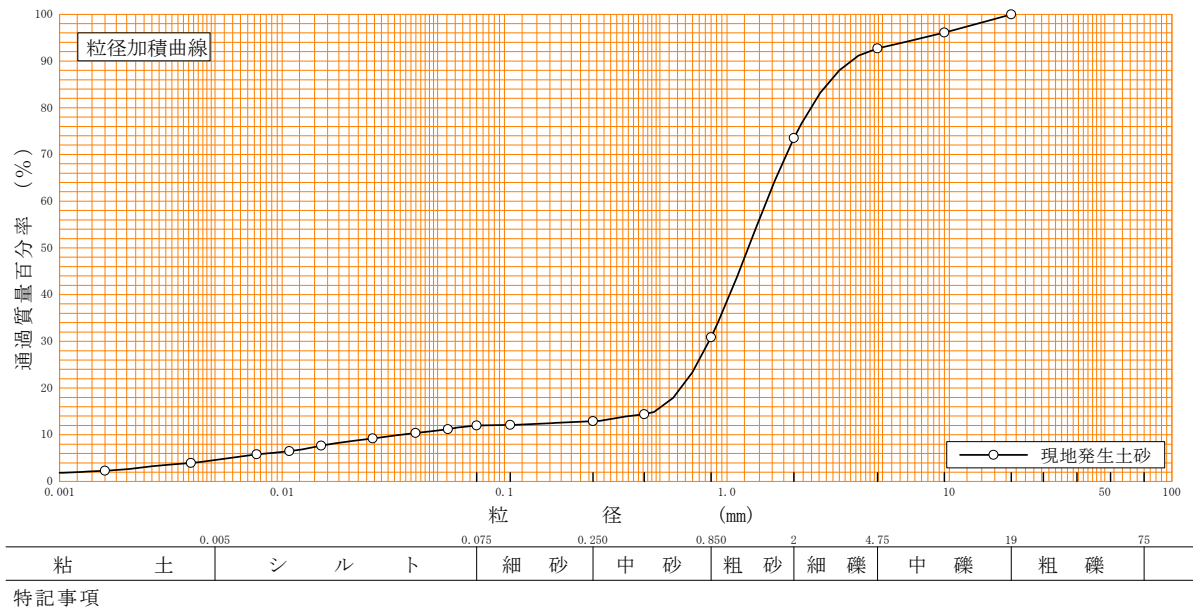


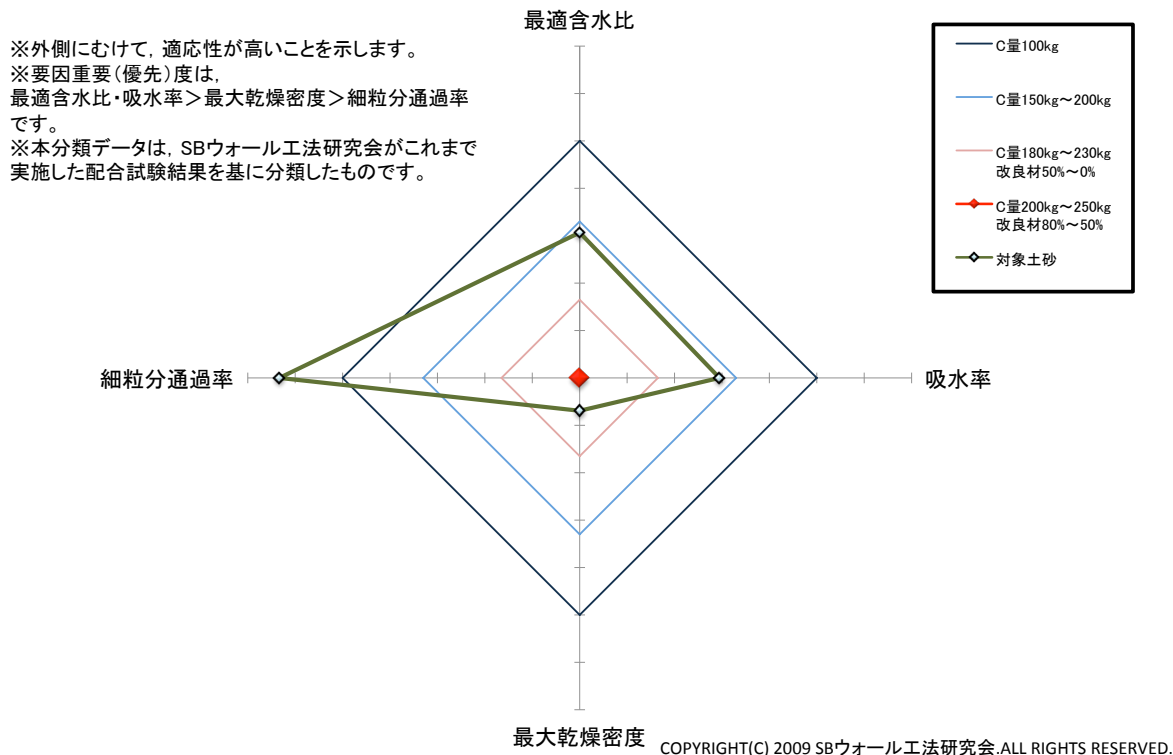
図 3-3 粒径加積曲線

3.2. 適性判断指標による分類

材料試験結果を SB ウォール工法研究会が実施している、配合試験結果を材料試験データで分類した「INSEM 材適性判断指標」で評価し、土砂特性から見た INSEM 工法への適応性の特徴を確認した。

- 本試料の大きな特徴は最大乾燥密度が一般的な土砂と比較して小さいことであり、指標分類では、適性が低い分類となる。しかしながら前述のとおり多孔質性の火山灰であることを勘案すれば、INSEM 材への適応性は、指標分類程低くないと考えられる。
- 適応性指標チャートから、最大乾燥密度の指標以外をみれば、適応性は単位セメント量 150kg～200kg～200kg に分類されると思われる。

土質試験によるINSEM材適応性指標チャート



4. INSEM 材適性判断試験

4.1. 試験結果の考察

適性判断試験は、配合試験の様に INSEM 材を製造して供試体を作成するのではなく、試料のセメントによる固化傾向を把握する事で、示方配合を推定する手法である。よって、何 kg の単位セメント量で、どれだけ強度が出たかという評価ではなく、セメント量の増加により強度がどのように推移するかというセメントによる固化傾向から INSEM 工法への適応性を判断する手法である。

本試料の適性判断結果から、以下の INSEM 材への適応性が確認できた。

- 本試料のセメント増による強度増化は、「INSEM 材推定強度とセメント量関係図」グラフに示すところの一次関数グラフのとおり、セメント固化効率は 0.04 で強度が増加する。これはセメントを 100kg 増加させることで 4N/mm^2 の強度増加が期待でき、本試料のセメント固化効率は、INSEM 材としての適応性（セメントの効き具合）が安定し、良好であることを示している。
- 一般的にはセメント量と強度の関係を一次関数として表した場合、切片が 0 となることはほとんど無い。これは「単位セメント量と強度の関係模式グラフ」で示すところの固化開始セメント量として表示され、そのパラメータとしては、土砂に含まれる有機物や土砂の pH であると推定される。本試料の場合、「INSEM 材推定強度とセメント量関係図」グラフから固化開始セメント量は単位セメント量 20kg 付近であると判断され、一般的な土砂と比較して小さく、少ないセメント量でもセメント水和反応が期待出来ることを示している。本試料で行った強熱減量試験（有機物含有量測定試験）においても、有機物含有量は 0.5% とほとんど有機物を含んでおらず、pH も 6.86 とほぼ中性であることから、セメント水和反応への影響は少ないと判断できる。
- 本試験の試料は、新燃岳から降灰した火山灰を採取したものであり、採取場所によって火山灰性状のバラツキが想定される。特に新聞テレビの報道では、火山噴出物が酸性であると伝えられている。これまでの経験から、有機不純物や pH のバラツキは、セメントによる固化効率（強度/セメント量）にはあまり影響せず、固化が顕著となるセメント量に影響すると思われる。よって、使用する火山灰によっては、単位セメント量に多少の増減はありと考えられるものの、土砂そのもののセメントの固化効率は良好であるため、安定した INSEM 材品質は確保されると考えられる。

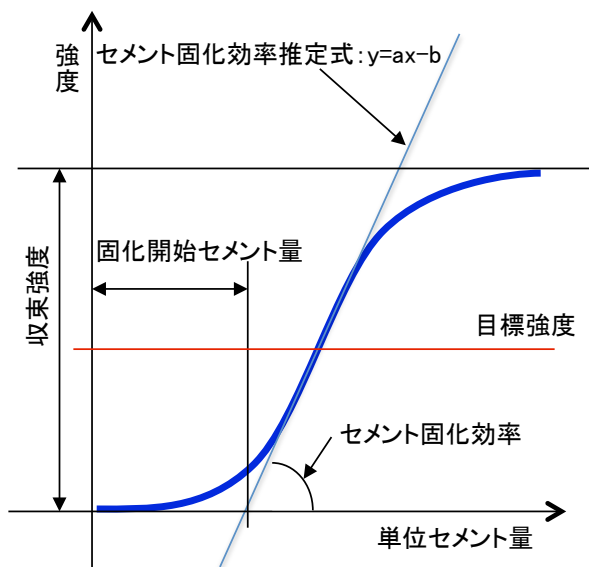


図 4-1 単位セメント量と強度の関係模式グラフ

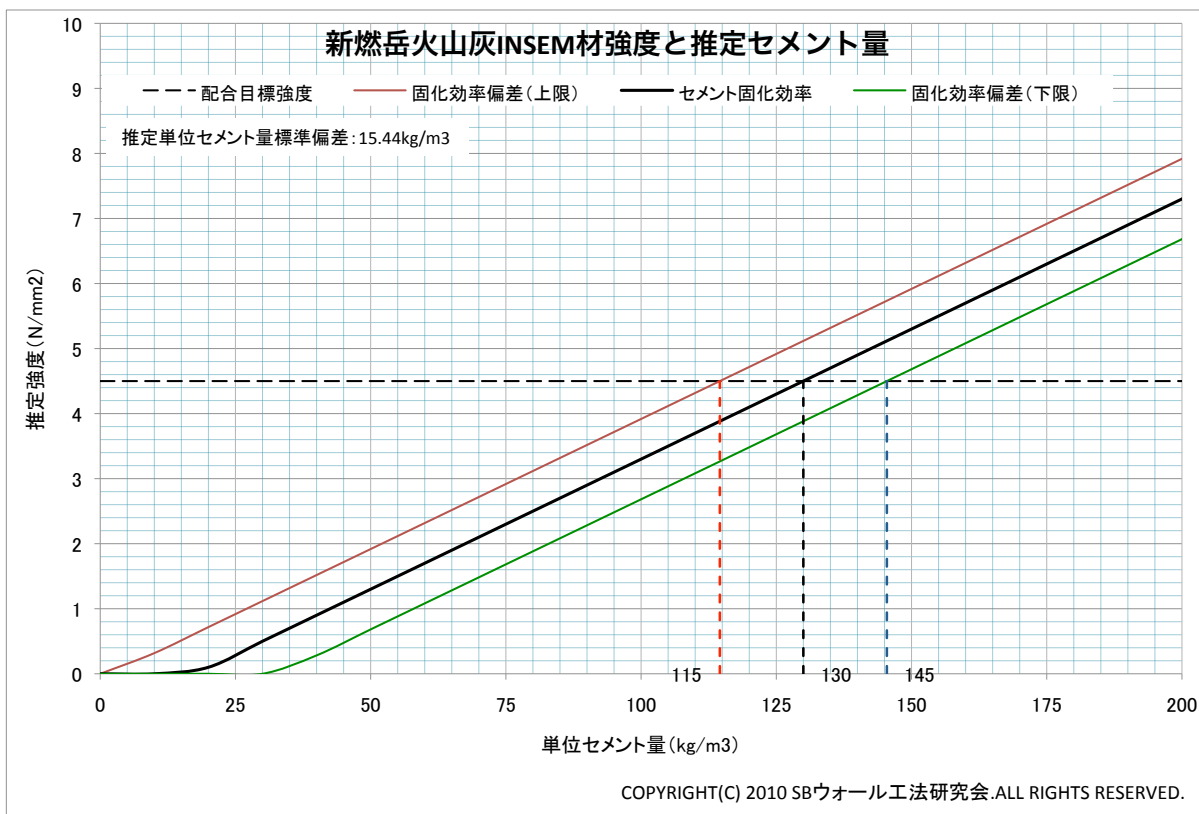


図 4-2 INSEM 材推定強度とセメント量関係図

4.2. 現地土砂のセメント固化効率推定式

本試料の各試験結果は以下のとおりである。

セメント固化確認試験結果	C150 : 1.87 N/mm ²	C250 : 2.98N/mm ²
最大乾燥密度 : 1.226g/cm ³	最適含水比 : 14.7%	
細粒分通過率 : 12.0%	砂分通過率 : 73.5 %	礫分通過率 : 100.0%

これらの結果から解析されたセメント固化効率推定式は以下の通り。

$$\text{セメント固化効率推定式 : } Y=0.04X - 0.7$$

ここで Y ; 推定強度 X ; 単位セメント量

セメント固化効率推定式から目標強度レベルⅢの配合強度 4.5N/mm²を充足する単位セメント量は、130kg/ m³、単位セメント量の標準偏差 15.44kg を安全側に勘案すれば、ほぼ 150kg/m³の単位セメント量が妥当である。

4.3. 推定単位セメント量

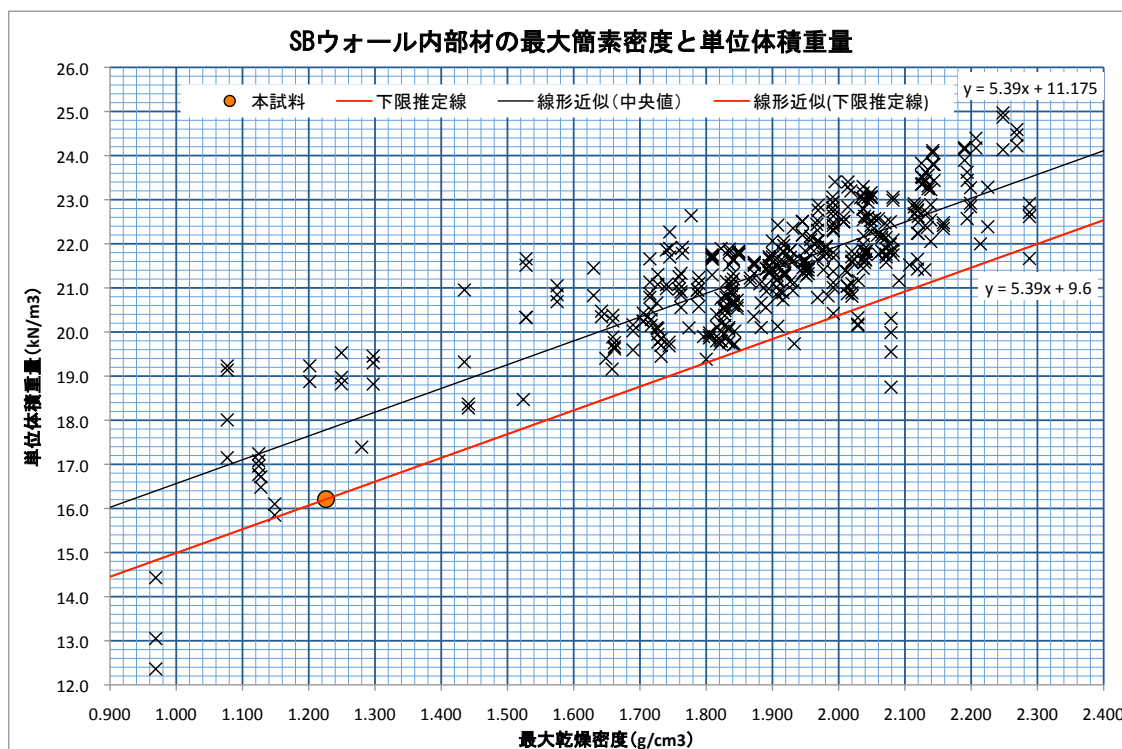
前述の結果から、示方配合の単位セメント量は以下が妥当であると判断される。

表 4-1 推定単位セメント量

改良材	改良割合	単位セメント量
不要	現地材 100%	150kg/m ³

5. 単位体積重量の推定

単位体積重量は、最大乾燥密度と高い相関を持っており、安全側を考慮し近似曲線の下限推定式から推定する。



COPYRIGHT(C) 2010 SBウォール工法研究会.ALL RIGHTS RESERVED.

図 5-1 最大乾燥密度と単位体積重量の推定グラフ (H22.9 更新版)

INSEM 材単位体積重量の下限推定式は以下のとおりである。

下限推定式： $y = 5.39x + 9.6$

ここで y ：単位体積重量 (kN/m^3) x ：最大乾燥密度 (g/cm^3)

本土砂の推定最大乾燥密度： 1.226 g/cm^3

よって、推定式に代入すると

$$5.39 \times 1.226 + 9.6 = 16.21 \approx 16.2 \text{ kN/m}^3$$

INSEM 材の単位体積重量は 16.2 kN/m^3 が妥当であると判断される。

6. INSEM 材適性判断の概要（参考）

砂防ソイルセメント工法は、その品質を強度で管理することを基本としており、INSEM 材の適応性が高い土砂とは、少ないセメント量で高い強度を発現する土砂であると言えます。

現状では現地土砂の INSEM 材への適応性を確認する手段として、配合試験によって単位セメント量と強度を確認することが一般的です。

INSEM 工法の配合試験は INSEM 材の強度とその強度を発現するための「単位セメント量」、「設計含水比」を確認するものですが、INSEM 材の強度は、次図の「配合試験結果例」のとおり、同じ単位セメント量であっても、含水比によって強度発現が大きく異なるため、試験のパラメータは単位セメント量と設計含水比の 2 種類となり、一般的に配合試験の配合数は 9 ケース以上が必要となります。

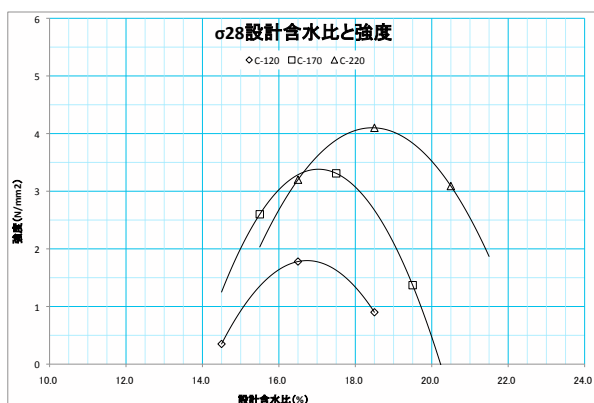


図 6-1 配合試験結果例

さらに配合試験の結果、強度発現が目標値を満たさなかった場合、固化材や改良材の検討を追加して行うことも想定され、養生に要する時間と費用は増加の一途をたどる事となります。

一方、計画時や設計時での INSEM 工法の検討に必要な情報は

- ・ INSEM 工法の採用が可能かどうか。（目標強度品質を満足土砂か）
- ・ 目標強度品質を満足するために必要な単位セメント量。
- ・ 構造の安定計算に採用する単位体積重量。

と考えられ、設計含水比情報は必要なく、さらに設計時に採取する土砂は、工事で発生する土砂を想定したサンプリング土砂である事から、本施工時に発生した土砂とのバラツキが予想され、単位セメント量や単位体積重量の設定に際しては安全側に設定する必要があります。

これらの状況をふまれば、設計時に必要な現地土砂の INSEM 材への適応性に関する情報としては

- ・ INSEM 工法に現地土砂の適用が可能か。（現場での強度コントロールができ、安定した品質確保が可能な土砂か）
- ・ 現地土砂 100%で適用が困難な場合、改良等によって活用が可能か
- ・ 目標品質を充足する単位セメント量の概量はどのくらいか、また改良の割合はどの程度か
- ・ 構造安定計算に採用する単位体積重量はどの程度が妥当か

となります。

INSEM 材適性判断試験は設計時に要求される、INSEM 工法への適応性判断と単位セメント量、単位体積重量を推定する事を目的として、SB ウォール工法研究会がこれまで実施してきた配合試験データを様々なパラメータで分析し、INSEM 材の適応性が高い土砂の定義を、「セメント量の

増加に伴う強度増加率が高い土砂（セメント固化効率）」と定義して、このセメントによる固化効率を簡便な試験とこれまでの配合試験データによる統計解析により推定するものです¹。

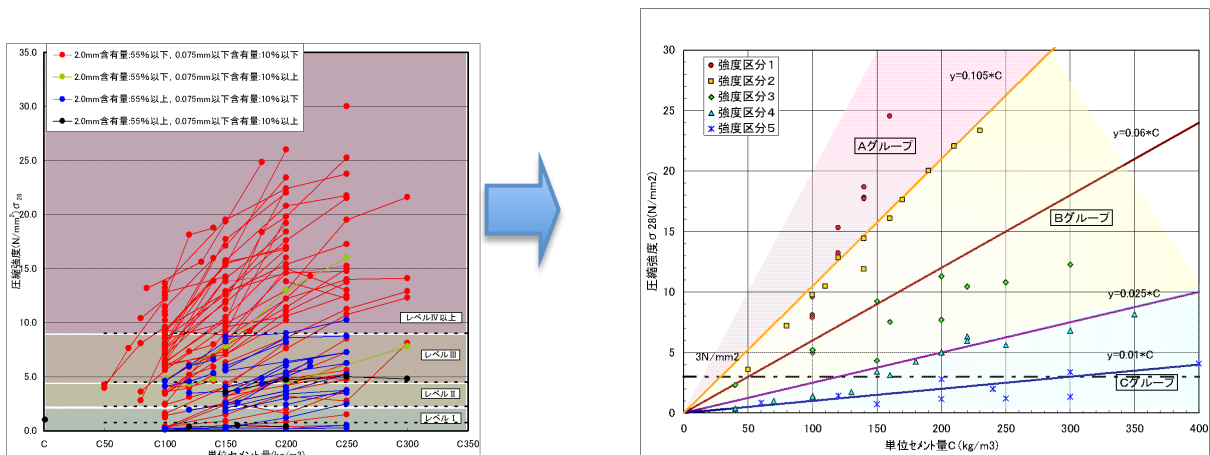


図 6-2 左) 配合試験結果、 右) セメント固化効率での分類模式図

A) INSEM 材適性判断検討のフロー

INSEM 材の適性判断試験フローは以下のとおりです。試験期間は材料試験結果を取得してから約 10 日です。

なお、材料試験内容は配合試験で実施する項目に準拠しています。

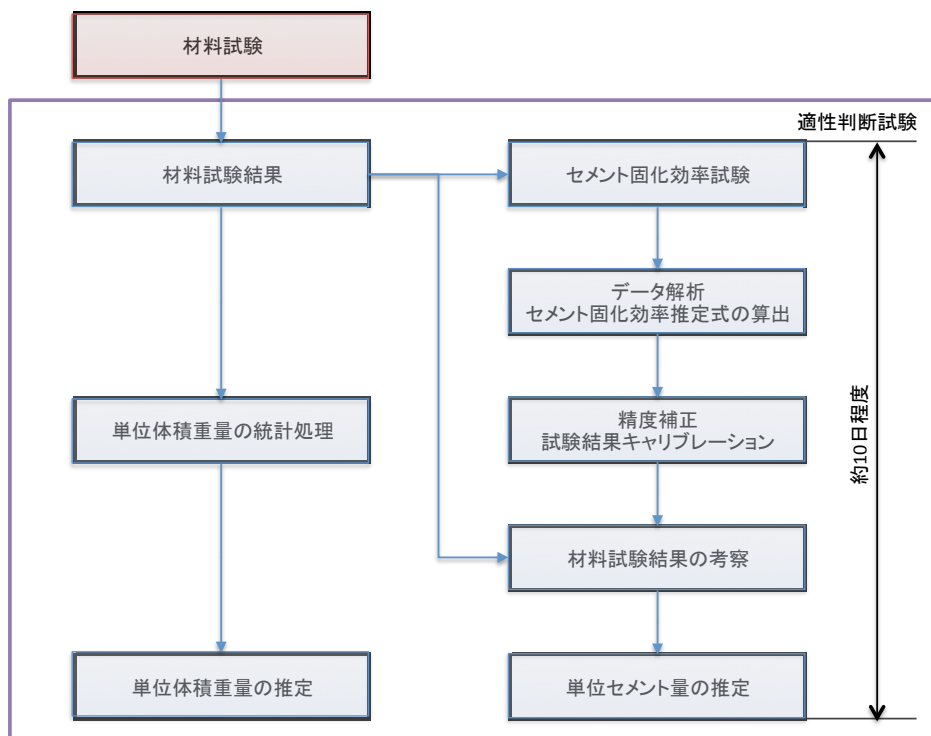


図 6-3 INSEM 材適性判断試験フロー

¹ INSEM 材適性判断試験は、設計含水比の推定は行っておりません。このため、本施工前には、配合試験を実施し、示方配合を確認する必要があります。

表 6-1 材料試験項目

試験項目		試験方法 JIS規格
1. 土の粒度試験(%)	礫分	A 1204
	砂分	
	シルト・粘土分	
2. 土粒子の密度試験(g/cm ³)		A 1203
3. 細骨材の密度及び吸水率試験	表乾比重(g/cm ³)	A 1109
	絶乾比重(g/cm ³)	
	吸水率(%)	
4. 粗骨材の密度及び吸水率試験	表乾比重(g/cm ³)	A 1110
	絶乾比重(g/cm ³)	
	吸水率(%)	
5. 突固めによる土の締固め試験(E法)	最大乾燥密度(g/cm ³)	A 1210
	最適含水比(%)	
6. 土の自然含水比試験(%) (参考)		A 1203

B) セメント固化効率試験の概要

セメント固化効率試験²は、土砂とセメントの水和反応率を測定する事を目的としています。このため、各試験体の単体強度そのものは余り重要ではなく、配合試験の強度との関係はありません。

1. 土砂の含水を一定条件となる様、試料を調整する。
2. 一定の量の基準材料を混合する。
3. セメント量 150kg、250kg の二種類の異なるセメント量と一定量の水を加えて混合した供試体を各3本、計6本作成し、7日強度を測定する。

C) セメント固化効率推定式

これまでの配合試験結果から、INSEM 材の単位セメント量と強度の関係は、ほぼ S 字曲線になることがわかっており、「収束強度」や強度発現が著しくなる単位セメント量を示す「A:固化開始セメント量」は、土砂によって大きく変動します。セメント固化効率の推定式はセメントと強度の関係が安定している領域想定しており、INSEM 材の目標強度がこの範囲内であれば、安定したセメント水和反応が期待できると判断します。

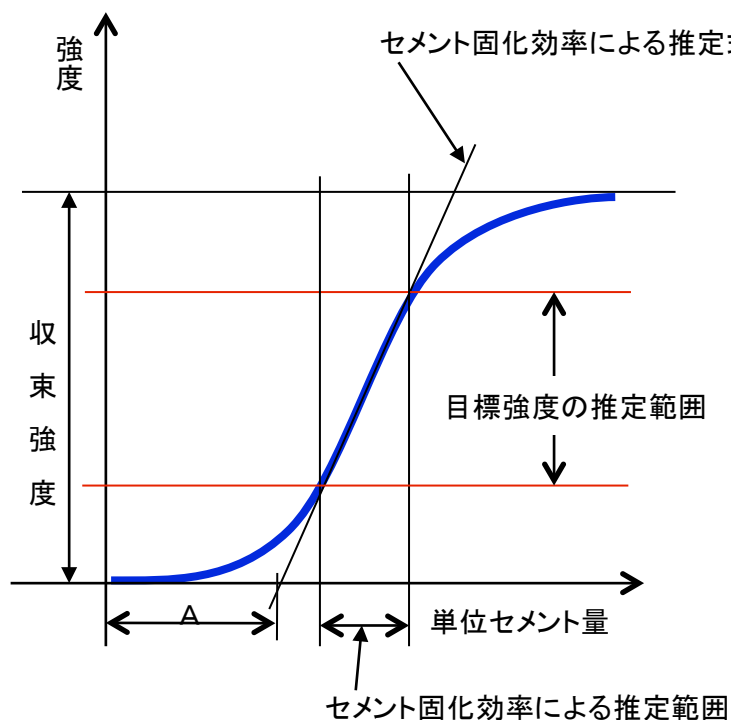
INSEM 材の適性判断試験では、これを簡便に評価するため、次のような一次関数で表します。

セメント固化効率推定式： $Y=aX+b$ ここで Y；推定強度 X；単位セメント量

セメント固化効率推定式の算定は、セメント効率試験結果、材料試験結果及び SB ウォール工

² 「セメント固化効率試験」及び「セメント固化効率推定式」算定プログラムはオリジナル試験方法であるため、仕様を公開していません。

法研究会のストックしている配合試験データを統計解析処理することで、算出しています。



D) 単位セメント量の推定の概要

単位セメント量の推定は、セメント固化効率推定式に現時点での試験結果の誤差標準偏差を加算し、材料試験結果からの土砂特性を勘案して設定しております。

E) 現時点での単位セメント量推定の精度

本試験時での、試験精度に関する統計データは以下の通りです。

平成 23 年 2 月現在

INSEM 材適性判断試験数 ; 43 件

配合試験結果とセメント固化効率の相関係数 ; 0.94 (適性判断試験と配合試験結果のセメント固化効率との相関)

示方配合の単位セメント量の標準偏差 ; 15.44kg

F) 単位体積重量の推定の概要

単位体積重量は最大乾燥密度と相関性があり、現時点の「SB ウォール工法研究会」で蓄積されたレベルⅢを満足した配合試験データをもとに推定しています。³

³ 単位体積重量は同じ土砂でも強度が低い場合、単位体積重量が低下する傾向があるため、単位体積重量推定式の適用範囲はレベル 3 以上の INSEM 材となります。