

砂防ソイルセメント (INSEM材) 配合試験 供試体作製方法の違いによる一軸強さの比較検討

(株) 新東京ジオ・システム
丹野 堅司、○佐藤 祐輔

1. はじめに

近年、砂防工事における砂防ソイルセメント (INSEM 材) の活用が本格化している。

INSEM 工法の配合試験は中型一軸 (ϕ 150mm×H300mm) を標準とするが、作製方法に明確な基準は設けられていない。

今回、同一試料で「突き棒法」と「締固め」の2種類で供試体を作製し、一軸圧縮強度-密度の違いや相関性などについて実験を行った結果を報告する。

2. 目標強度・配合量および INSEM 材の物性値

砂防堰堤の中詰材に使用することを目的とし、直接外部から浸食を受けない部分の目標強度「レベル I ²⁾ 0.5 ~ 1.5 (N/mm²)」の下限值『0.5 (N/mm²)』を設定する。

改良材は使用実績が比較的多い「高炉 B 種セメント」を使用し、添加量は「50、70、90kg/m³」の3水準量とする。

ここで、母材の物性値を以下の表-1に示す。

表-1 母材の物性値

試料名称	土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	自然含水比 W_n (%)	工学的分類
母材	2.671	26.0	砂混り細粒分質礫(GF-S)

3. 供試体作製方法

供試体作製方法の違いを以下に簡潔にまとめる。また、一般的な締固め試験機の落下高さ¹⁾を考慮し、以下の計算式で仕事量を換算し突固め層数を補正した供試体をも作製する。

表-2 供試体作製方法表 表-3)

呼び名	ランマー質量 (kg)	ランマー落下高さ (cm)	突固め層数 (層)	各層の突固め層数 (回)	振動締固め	締固め仕事量 (kJ/m ³)
締固め(1)	4.5	45	5	132	-	約2,500
締固め(2)	4.5	30	5	198	-	約2,500
突き棒法(1)	-	-	5	25	天端のみ	-
突き棒法(2)	-	-	5	25	各層毎	-

$$E_c = W_R \cdot H \cdot N_L \cdot N_B / V$$

ここに、 W_R : ランマーの重量 (kN)、 H : ランマーの落下高さ (m)、 N_L : 層数、

N_B : 1層当たりの突き固め回数、 V : モールドの容量 (m³)

表-3 供試体作製基準

突き棒法(1)	財団法人砂防・地すべり技術センター: 砂防ソイルセメント設計施工便覧 ²⁾
突き棒法(2)	SBウォール工法研究会: SBウォール工法 ³⁾
締固め(1)	共生機構株式会社: INSEM-ダブルウォール(DW)工法 ⁴⁾
締固め(2)	共生機構株式会社: INSEM-ダブルウォール(DW)工法 締固めエネルギー換算による改案 ¹⁾

4. 試験結果の比較

(1) 圧縮強度-単位セメント量の比較

① 突き棒法 (1)

供試体の締固めがルーズなため、添加量が増加しても圧縮強度の増加は僅かである。

② 突き棒法 (2)

添加量の増加に伴い圧縮強度は増加しており、4種類の中で最少の添加量 73kg/m³ で目標の圧縮強度 0.5 N/mm² を得られる。

③ 締固め (1) / 締固め (2)

締固めで作製した供試体は、ランマーの落下高さが異なっても仕事量が一緒の場合、圧縮強度の増加傾向に殆ど違いは認められず、添加量 78 ~ 80kg/m³ で目標強度が得られる。

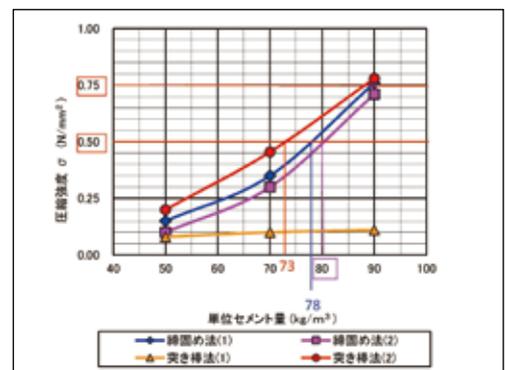


図-1 圧縮強度-単位セメント量の関係

なお、「割増係数 $k = 1.5$ 倍²⁾」を考慮した配合強度「 $0.5 \times 1.5 = 0.75$ N/mm²」を得るには、突き棒法 (2)・締固め法とともに「添加量 90kg/m³」程度である。

(2) 圧縮強度－含水比の比較

母材の含水比が変化した場合の強度を確認するため、乾燥 (W=20%)・加水 (W=30%) の試料を準備し、それぞれ目標強度 0.5N/mm^2 が得られる添加量「 80kg/m^3 」の高炉B種セメントを配合して得られた結果を報告する。

①突き棒法 (1)

含水比が低い場合、締固めエネルギーが小さい分、空隙が多くなりサミットモードからの脱型が困難になり、圧縮強度の増加は見られない。

一方、含水比 30% は、締固めエネルギーが小さくても、流動性により、ある程度密に締固まっており、圧縮強度の増加が見られたが、「締固め法」や各層毎に振動を与える「突き棒法 (2)」と比べて低い値を示す。

②突き棒法 (2)

圧縮強度は、含水比 $W_n=25\%$ を中心に放物線を描き、目標の圧縮強度 0.5N/mm^2 が得られる母材の含水比は、「 $W=21\sim 29\%$ 」である。

③締固め (1) / 締固め (2)

母材の自然含水比が「締固め法 (1) では $W=23\%$ 」、 「締固め法 (2) では $W_n=25\%$ 」より低下した場合、目標の圧縮強度 0.5N/mm^2 を得ることが困難である。

一方、加水側は母材の含水比が 30% まで増加しても、圧縮強度の低下は見られない。

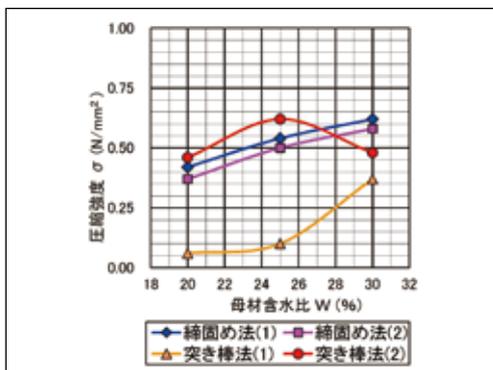


図-2 圧縮強度－含水比の関係 (単位セメント量 80kg/m^3)

(3) 締固め法を用いた場合の圧縮強度－密度の比較

①突き棒法

突き棒法 (1) の場合締固めエネルギーが小さいので含水比が低下するのに伴い各層で締固めにばらつき見られ「圧縮強度 - 密度」の関係に相関性が得られない。また、突き棒法 (2) も各層毎に振動を加えているが、締固め試験 (JIS-A-1210) の E 法 (2500kJ/m^3) のエネルギーと比べて小さい。

そのため強度管理手法として作製した INSEM 材の一軸圧縮強度を確認することが必要となり、供試体作製・コア採取等による間接試験が必要で管理が大変である。

②締固め

締固めの場合、密度の増加に伴い圧縮強度が増加する傾向を示す。INSEM 材の施工管理では、現場密度の測定を 1 層毎に行っており²⁾、修正 CBR 試験のように「圧縮強度と乾燥密度」の関係を把握できれば、「締固め度の管理で強度管理ができる」。

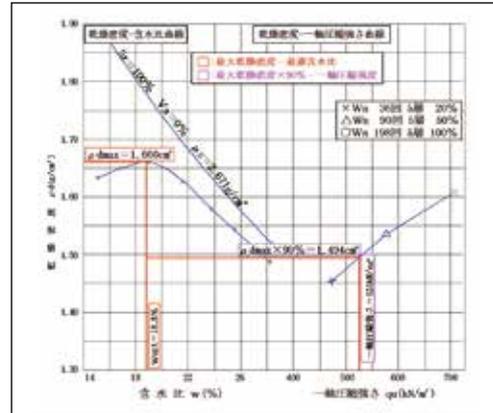


図-3 圧縮強度 - 密度の関係 (単位セメント量 80kg/m^3)

5. まとめ

一軸圧縮試験結果を整理した結果、以下の様な傾向が見られる。

①突き棒法について

突き棒法では加えるエネルギー量が少なく、一部の含水や粒度分布では、圧縮強度と密度に相関関係を与えられない場合がある。

②エネルギー換算による既存締固め試験機の利用

締固めで作成した供試体は、ランマーの落下高さが異なっても仕事量が一層の場合、圧縮強度－密度の関係に差異が殆どなく、一般的な締固め試験機の仕様 (高さ) で代用できると言える。

③締固めの適用

締固めの場合、乾燥密度の増加に伴い圧縮強度が増加する相関関係を示す。締固め法を用いた圧縮強度 - 密度の強度管理を行うことで、作業手間の簡略化、供試体保管ヤードの削減、一軸圧縮強度試験の省略と言った利点があげられる。

④今後の課題

供試体数が少ないため、さらなるデータの補足と精度向上が必要と考える。

《引用・参考文献》

- 1) 地盤工学会編：地盤材料試験の方法と解説、p.373～376、2009.11.
- 2) 財団法人砂防・地すべり技術センター：砂防ソイルセメント設計施工便覧、p49、2011.10.
- 3) SBウォール工法研究会：SBウォール工法 配合試験マニュアル、2013.7.
- 4) 共生機構株式会社：INSEM-ダブルウォール (DW) 工法 配合試験マニュアル、2012.12.