

砂防ソイルセメント（INSEM材）の品質確保について

長崎土木施工管理技士会
株式会社 吉川組
現場代理人
満尾裕也
Yuya Mitsuo

1. はじめに

本工事は、平成新山山頂に存在する溶岩ドームの崩壊に伴い発生する岩屑なだれ及び、崩壊後に発生が予想される土石流の氾濫を防止することを目的に、既設堰堤の嵩上改築を行うものである。

工事概要

- (1) 工事名：水無川2号砂防堰堤右岸袖部改築工事
- (2) 発注者：国土交通省 九州地方整備局 雲仙復興事務所
- (3) 工事場所：長崎県南島原市
- (4) 工期：平成26年12月17日～平成27年5月31日
- (5) 工事概要：砂防堰堤工1式(SBウォール工法)
延長：170m 幅・高さ：4.5m 傾斜角：90°
堤体内部（INSEM材）：2,800m³ 他



図-1 完成写真

2. 現場における問題点

当工事で行うSBウォール工法は、水無川流域では初めてであり、堤体内にINSEM材を使用した例も無かった。そのため、現地採取土に添加するセメント量や施工含水比の許容差等の情報が乏しく、配合試験の段階から、要求性能の確保や施工性を模索する必要があった。

以下、本工事で課題となった項目を施工順に示す。

1) 配合計画及び含水比の計測、攪拌

INSEMは現場発生土を使用するため土質のバラツキによる発生強度の低下や、攪拌作業時（設計はバックホウ攪拌）の、オペレータ技量による材料のバラツキ（強度のバラツキ）が懸念された。

また、作業性を考慮した配合含水比の調整や攪拌時のセメント粉塵についても課題である。

2) 配合含水比の調整及び敷均し、転圧

INSEMの敷均し作業時、材料の施工含水比によっては締固め不良を生じたり、端部（壁面際）の転圧時に壁面材を押し出す可能性があった。

敷均し転圧作業においても、適切な転圧回数、速度や仕上がり厚の管理方法の策定や、規格値以上の締固め度を確保できているか、目標強度以上を確保できているかという品質的課題があった。

3. 工夫・改善点と適用結果

現場における問題点で述べた事項についての結果を以下に示す。

2-1 セメントの添加量の決定

配合設計段階における割増係数 (k) は、砂防ソイルセメント設計・施工便覧に準拠し、一般的な値の割増係数 $k=1.5$ を採用した。目標強度を 4.5N/mm^2 とし、設計セメント配合量の 50kg/m^3 を基準に 80kg 、 110kg と 3 パターンで行った。

土質試験の結果から、採取土の自然含水比は、 8.7% であり、最適含水比は 10.3% である。作業性や現地採取土の土質のバラツキを考慮し配合含水比は、 $10.3\% \pm 2\%$ と設定する。

以上を踏まえ、図-2 に示す結果から、最適含水比であれば設計配合量 50kg/m^3 で満足できるが、母材が降雨等の影響により含水比が高くなると強度も不利になるため、最適含水比 + 2% を満足できるセメント添加量を採用した。

上記条件を満足する配合計算上のセメント添加量は、 70.8kg/m^3 であったが、現地採取土の変化（細粒分の増加）による発生強度の低下に追従し要求性能を確保するため、セメント添加量を 80.0kg/m^3 とした。なお、この配合に伴う六価クロム溶出試験結果は、 0.006mg/l であり、環境基準を満足している。

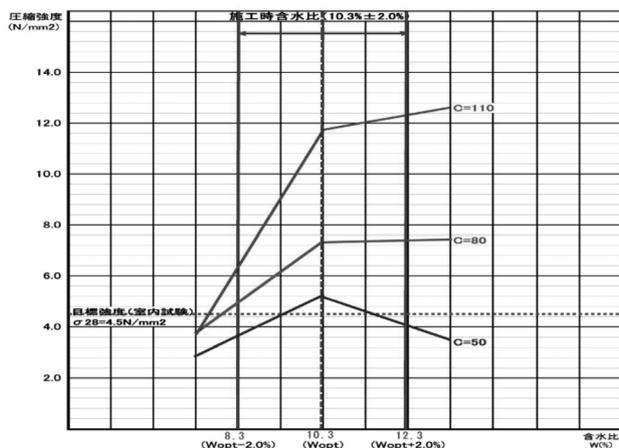


図-2 一軸圧縮試験結果相関図 (σ28)

2-2 試験施工時の圧縮強度比較

試験施工時の標準供試体とコア供試体の圧縮強

度 (σ28) 確認を行い、標準供試体を 1 とした時の比率と割増係数を算出した (表-1)。

室内配合時 (一般的値の $k=1.5$) より試験施工時の割増係数 ($k=1.41$) の方が若干有利な結果となった。

しかし、この圧縮強度による比較結果は最適含水比で試験施工したコア供試体 1 回 (3 本) の値であり、本施工での含水比の状態や材料特性による強度のバラツキを考慮すると、1 回の試験結果のみでは要求強度を下回るリスクがあり安易に採用できない。よって、発現強度にバラツキが発生しても、要求強度を確保できるよう、配合計画時と同じ $k=1.5$ をそのまま採用するのが妥当であると判断した。

本施工時の強度については、後述する。

表-1 割増係数の比較

	比率	割増係数(k)
室内配合時	1:0.666	1.50
試験施工時	1:0.709	1.41

2-3 INSEM 材製造専用攪拌機の採用

前述した、攪拌作業時の懸念については、専用の攪拌機を採用し、専用攪拌機へのセメントの供給は粉塵防止のためサイロ式とした (図-3)。

攪拌を専用機械で行うことにより混合時のバラツキが無く安定した品質を確保できた。また、セメントや水の計量等も人的でなく機械制御で行うため、練混ぜ後の含水状態も良好であった。

ただし機械の性能上、母材に 150mm より大きい石礫が混じる場合は別途粒径処理を行う必要があり注意すべき点である。

2-4 母材含水比の測定



図-3 INSEM 材製造専用攪拌機 (作業状況)

日々使用する INSEM の母材含水比の測定は、室内配合試験に倣い直火法とした。通常、母材となる材料の質や気象条件が安定していれば、作業開始前に1回程度で良いと考えられている。当現場では施工性を考慮し混合攪拌時の含水比を12%に設定し、それを一定に保つには母材の含水状態に左右されるので、最低でも午前と午後の作業開始前に1回ずつ含水比測定し、攪拌時の水量調整を行った。

また、使用する材料は既存仮置き土（ルーズ）であり、特に降雨時は含水比が高まり攪拌時の含水比が12%を超える恐れがあった。INSEM 作業中止基準の時間雨量2mmを超える場合は2、3日以内に使用する部分の母材をブルーシートで覆い、含水比が上がらないよう対策をし、降雨後の攪拌作業に支障を来たさないようにした。

2-5 配合含水比の決定

INSEM の本施工開始当初は、試験施工事の配合含水比と施工含水比の差が-1%以下であったので、練混ぜを最適含水比10.3%で行い施工していたが、転圧作業時に若干の表面乾燥化が見られた。含水比を確認したところ、値が7%から8.5%であった。この含水比低下は、現場特有でもある山間部からの北風により水分が逸散したと考えられる。

そのまま施工を行っても設計強度以上を確保できるので問題ないが、より良い品質と施工性を確保する為には、配合含水比を高める必要がある。そこで、施工含水比は配合含水比と比べ、平均で1.5%の低下がみられたことから、配合含水比をやや高く調整し、最適含水比10.3%+1.7%の12%とした。

結果(図-4)、締固め時の含水比を9%から11%の間に収めることができ、転圧時においても表面の乾燥やブリーディングは見受けられず良好な仕上がり面であった。

2-6 オートレベルによる捲出し厚管理

敷均し箇所は、壁面材の内側に位置し、幅4.5mと重機作業を行うには狭小な場所である。IN-

SEM 材の捲出し厚の目安となる丁張などを設置すると、施工的に支障となりやすい。また、壁面材の内側に捲出し厚の墨付け（マーキング）を行うにしても、壁面材の据付や通り等の調整から INSEM の敷均しまでの施工サイクルが早いいため時間的に厳しかった。

MG（マシンガイダンス）の利用など、いくつかの比較検討を行った結果、コストが低く効率の良いオートレベルを使用することにした。

オートレベルの受信機を重機操作室内に設置することにより、オペレータが直接、高さ確認を行えるので狭小箇所に補助作業員を配置する必要もなく、安全に、かつ一定の厚さに捲出し作業を行うことができた。施工状況を図-5に示す。

2-7 転圧方法の工夫

転圧不足による品質のバラツキは、構造物の弱点となりやすいので、オペレータの勘や見た目の締り具合で判断せず確実に締固めを行うよう、INSEM の締固め管理は工法規定方式（TSを用いた盛土の締固め管理）を採用した。転圧回数や走

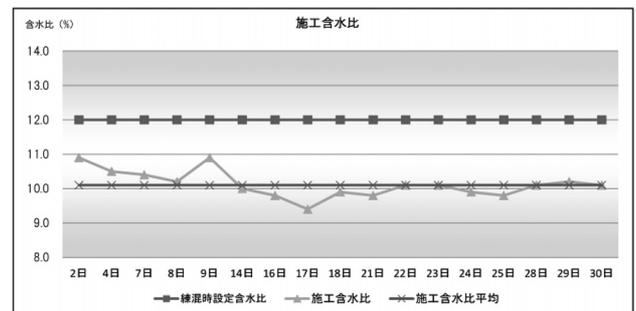


図-4 施工含水比管理図

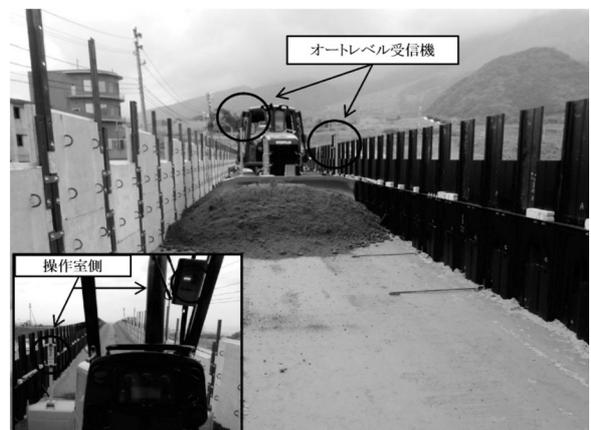


図-5 オートレベル使用状況

行軌跡管理の他、締固め層厚の管理や、速度計による締固め管理も同時に行えるので、管理面における省力化や締固め不足による品質の低下を防止することが出来た。

壁面際の転圧は、コンバインドローラで行うと壁面を押し出し、通りや立ちなどがずれて見栄えを損なう恐れがあるので、試験施工の際に事前に沈下量や転圧回数を検討した上で、壁面から幅500mmの範囲を、300kg級の前後進プレート（転圧アシスト機能付き）を使用し、締固めを行った。転圧アシスト機能により締固め具合がランプ標示されるので、作業者が視覚的に確認、判断できるため、端部施工においても均一な締固めを行うことができた（図-6）。

この端部の締固め管理については、工法規定方式でなく品質規定方式とした。詳細なデータは割愛するが、RIにて計測し、締め固め度90%以上を満足している。

2-8 圧縮強度

INSEM材の圧縮強度の確認は、可能であればコアを採取して確認するのが理想であるが、施工サイクルが早いため、4週を待ってのコア採取は難しい。1週でのコア採取も検討したが、発生強度が低く正常に抜くことが出来ないため、施工中のコア抜き取りは現実的に不可能であり、標準供試体（封緘養生） $\sigma 28$ の結果を1.5（割増係数）で除して、実施工時の圧縮強度の参考とした。

本工事のINSEM材圧縮強度試験結果のヒスト

グラムを図-7に示す。

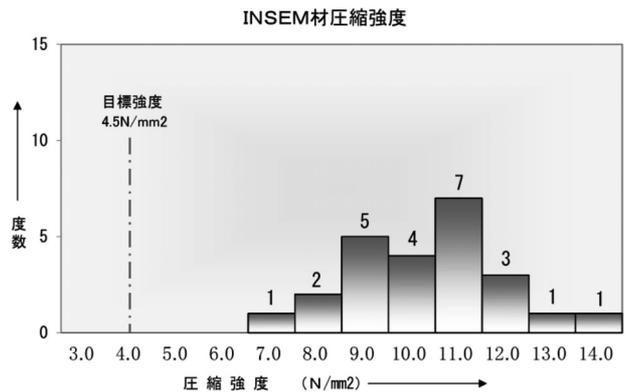


図-7 強度試験結果 (標準供試体 $\sigma 28$)

結果として、室内配合試験時の値(7.4N/mm²)を最小値の1点(7.1N/mm²)以外全て上回る結果となった。

思い当たる要因として、①室内配合試験は冬季に行いセメント量を決定したのに対し、現場施工期間は3月中旬頃～4月下旬であり、室内配合試験時との気温差が15度以上あった。②INSEM材の混合状況や、施工含水比バラツキが無くほぼ一定であった。③封緘養生したので水分逸散等による、水和反応の影響も考えにくい。よって、この強度結果は、気温上昇による強度の伸びと考察される。

4. おわりに

今回の工事は、冬場から春先にかけての施工であったため、このようなデータになっているが、夏場から冬に向けて施工を行う場合は、強度の発現が鈍化傾向にあるのではないかと予想され、室内配合及び試験施工時の4週強度以上を確保するには、施工時の養生の工夫やセメント添加量の補正など、何かしらの対策が必要になると思われる。また標準供試体とコア供試体の強度関係（比率）を知るにはソイルセメントの性質上、複数のサンプリングと検証が必要である。これらのデータを得るまでにはかなりの時間を要するが、工期的な事情が許し、施工現場の管理に反映させることが出来れば、精度の高い値が得られ品質向上につながるのではないかと考えている。



図-6 転圧状況