

ISM工法に適用する現場発生土砂と改良体の特性

ISM 工法研究会（小野田ケミコ㈱）○堀口 哲夫
久我比呂氏

1. はじめに

ISM (In Situ Mixing) 工法は、国土交通省北陸地方整備局が（財）先端建設技術センターと民間 4 社で開発した工法で、砂防堰堤構築時に発生する掘削土砂の有効利用を目的とし、構造物本体や基礎地盤を構築するものである。開発当初は設計基準強度 f_{ck} が 18N/mm^2 の堰堤本体に取り組んできたが、近年、堰堤本体の設計基準強度が 10N/mm^2 、基礎地盤で $1\sim3\text{N/mm}^2$ の実績が多くなってきた。

本工法の強度区分は表-1 に示すようにタイプ I ($18\leq f_{ck}$: $W/C=60\%$ 以下)、タイプ II ($10\leq f_{ck}\leq 18$)、タイプ III ($1\leq f_{ck}<10$) に分類されており、本報告はタイプ II、III に適用した土砂と改良体の特性を示すものである。

2. 工法概要

本工法は図-1 に示すように現位置において施工箇所にある最大粒径 300mm 以下の玉石を含む砂礫土砂とプラントで製造したセメントミルクをバックホウに装着したツインヘッドで攪拌混合し、所定の設計基準強度 ($1\sim18\text{N/mm}^2$) を有する構造物や基礎地盤を構築する工法である。近年、現場の特性を考慮して鋼製ピットで ISM 材を製造し、施工箇所にポンプ圧送やホッパによる施工方法も採用されている。

3. 土砂性状と発現強度

3.1 土砂の特性

表-2 にタイプ II を適用した 5 箇所の現場とタイプ III を適用した 6 箇所の現場の配合試験時における土砂の特性と ISM 改良体の特性を示す。

粒度分布の適用範囲を図-2 に示す。表-2 よりタイプ II に適用した土砂の細粒分は約 $3\sim8\%$ で、D 現場の粒度分布は $80\sim300\text{mm}$ は三角分布の目安から外れるが、試験練りを実施した結果適用できることが判明した。

また、絶乾密度は 2.22 以上で吸水率は約 8% 以下が攪拌土砂の対象となる。タイプ III の攪拌土砂は、細粒分の上限值が約 42% であるが、図-2 の三角分布から判断すると適用範囲内にある。絶乾密度は約 1.9 以上で吸水率は 12% 以下が攪拌土砂の対象となる。

本工法では、過去の実績から表-1 に示すように設計基準強度の分類により割増し係数を決定している。配合試験時の A~K 現場に使用したセメントは高炉セメント B 種で、セメント使用量はタイプ II で $250\sim335\text{kg/m}^3$ 、タイプ III で $225\sim350\text{kg/m}^3$ の範囲であった。試験練りは $\phi 80\text{mm}$ 以下の土砂を用い、ISM 材を 40mm のフルイでウェットスクリーニングを行い、 $\phi 150\times h 300\text{mm}$ の供試体を作成した。

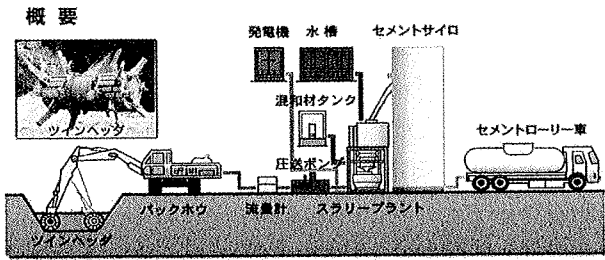


図-1 ISM工法の概要

表-1 ISM の強度区分

タイプ	I	II	III	
設計基準強度	$18\leq f_{ck}$	$10\leq f_{ck}\leq 18$	$6\leq f_{ck}<10$	$1\leq f_{ck}<6$
変動係数 (V)	15%	20%	25%	30%
割増し係数 (k)	1.33	1.49	1.70	1.97

設計基準強度 : f_{ck} (N/mm^2)

タイプ I は $W/C=60\%$ 以下とする。

※ISM マニュアル改訂版より

表-2 土砂と ISM 改良体の特性

タイプ	現場	土砂の特性						ISM改良体の特性			
		粒度分布				土砂絶乾密度 (g/cm^3)	吸水率 (%)	セメント量 (kg/m^3)	設計基準強度 (N/mm^2)	圧縮強度 (N/mm^2)	単位容積質量 (t/m^3)
		細粒分 (%)	0.075~5 mm	5~80 mm	80~300 mm						
II	A	3.1	30.2	44.1	22.6	2.36	5.94	285	10.0	15.6	2.16
	B	3.6	19.5	37.7	39.2	2.24	7.79	310	10.0	14.8	2.16
	C	4.4	27.0	37.9	30.7	2.32	6.35	285	10.0	14.6	2.16
	D	7.0	69.0	18.6	5.4	2.46	2.11	250	10.0	16.4	2.20
	E	7.4	32.2	11.0	49.4	2.22	6.99	335	10.0	15.2	2.16
III	F	7.8	76.0	16.2	0.0	2.34	4.78	225	3.0	6.2	2.08
	G	10.0	31.7	49.6	8.7	2.37	5.02	250	3.0	9.4	2.12
	H	17.0	10.6	72.4	0.0	1.91	11.4	250	1.7	5.7	1.77
	I	19.5	20.5	41.9	18.1	1.52	2.68	350	3.0	6.0	1.77
	J	27.5	29.5	27.3	15.7	2.21	6.91	300	1.6	3.2	1.75
	K	41.4	27.9	30.7	0.0	2.19	5.85	350	3.0	6.0	1.76

(B、C の割増し係数は旧マニュアルの参考値 1.33 を採用)

タイプⅡの養生方法は 7 日材齢まで型枠養生、その後 28 日材齢までは 20℃の水中養生とした。またタイプⅢは材齢 28 日まで 20℃の湿空型枠養生とした。圧縮強度試験は材齢 28 日で実施した。

圧縮強度を一定にした場合、タイプⅡ、Ⅲとも細粒分が多いほどセメント量の増加が必要で、土砂の絶乾密度と吸水率の著しい影響は見られなかった。

3.3 単位容積質量

表-2 より供試体の単位容積質量は、タイプⅡからタイプⅢにかけて小さくなる。これは、土砂に含まれる細粒分が多くなるほど、ワカビリティーを確保するのに単位水量が多くなるためと考えられる。

本体構造物の設計時に使用する単位容積質量は配合試験で求めた結果が基準となるが、土砂の細粒分が 17%を越えると細粒分が 10%の単位容積質量と比べて約 15%の単位容積質量が減じるため、注意を要する。設計時に採用する単位容積質量は現場土砂のバラツキを考慮し若干小さな値を採用すべきと考える。

4. ISM 改良体の物性

4.1 弾性係数

過去の配合試験での圧縮強度が $1 \sim 23 \text{ N/mm}^2$ の弾性係数の試験結果を図-3 に示す。圧縮強度 X と弾性係数 Y の近似式は、 $Y = (0.0517X + 0.0338) \times 10^4$ で、相関決定係数は 0.8528 である。弾性係数のバラツキは、土砂の粒度分布と単位水量が要因と思われる。

4.2 透水係数

G と I の現場で ISM 改良体のコア ($\phi 150 \text{ mm}$) を採取し、圧縮強度試験と透水試験を行った。結果を表-4 に示す。透水係数は、圧縮強度が $4.39 \sim 12.1 \text{ N/mm}^2$ の場合、 $2.55 \times 10^{-8} \sim 6.13 \times 10^{-10} \text{ cm/s}$ である。一般的なコンクリートの透水係数は $W/C = 100\%$ の場合、約 $4.0 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$ 程度であることから、ISM 改良体はコンクリートと同様に高い水密性を有していると考えられる。

4.3 摩擦係数

摩擦係数試験は固定したコンクリートブロック上に圧縮強度が 3 N/mm^2 程度の ISM 改良体ブロックを乗せ、ジャッキで角度を変化させることにより摩擦係数を求めた。(写真-1 参照) ISM 改良体の表面は実施工を想定しコテ均しとした。試験結果から摩擦係数は、0.75 となった。

場所打ちコンクリートの場合、堰等の底面の滑動安定計算に用いる摩擦係数は、基礎地盤が岩盤 (軟岩・土丹で $q_u = 1 \text{ N/mm}^2$ 以上) で 0.7 であることから ISM 改良体の基礎地盤も岩盤と同程度と考え、コンクリートの摩擦係数は 0.7 に設定できる。

5. おわりに

最大粒径が 300mm 以下の砂礫土砂を有効利用する ISM 工法は、基礎地盤から構造物の本体工まで活用でき、環境負荷低減、コスト縮減に寄与できるものと考えられる。今後は、配合試験データや現場施工のデータを集積し、より一層の普及と施工方法の改善に向け技術の研鑽を図りたい。

【参考文献】

- 1) 現位置攪拌混合固化工法 (ISM 工法) 設計・施工マニュアル第 1 回改訂版 (財) 先端建設技術センター・ISM 工法研究会 平成 19 年 3 月
- 2) 改訂新版 建設省河川砂防技術基準 (案) 同解説・設計編[1] (社) 日本河川協会 平成 12 年 5 月

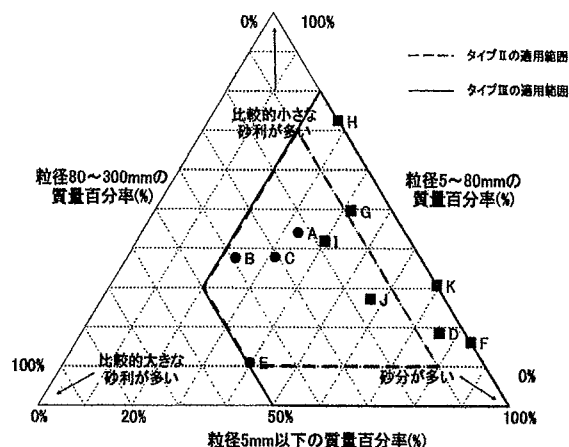


図-2 タイプ別粒度分布の目安

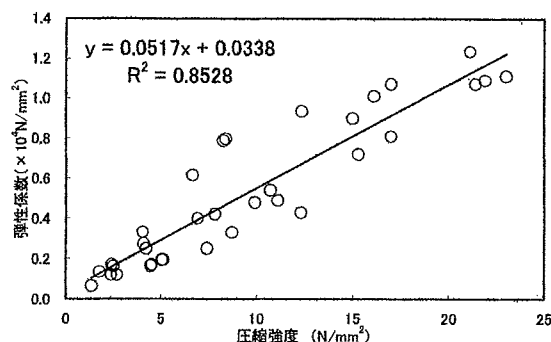


図-3 ISM 改良体の圧縮強度と弾性係数

表-4 圧縮強度と透水係数

現場名	圧縮強度 (N/mm^2)	透水係数 (cm/s)
G	12.1	6.13×10^{-10}
G	9.80	2.99×10^{-9}
I	4.39	2.55×10^{-8}

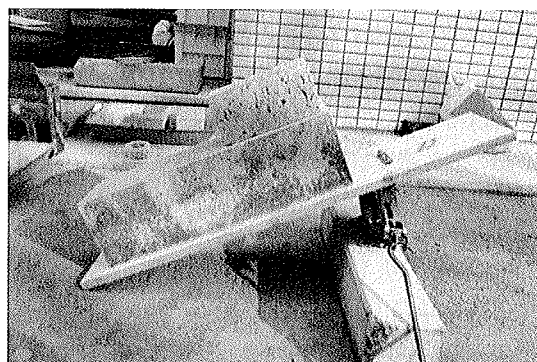


写真-1 摩擦係数試験状況