

国土交通省 日光砂防事務所 田井中 治、村松 悦由、小峰 正  
砂防エンジニアリング株式会社 中濃 耕司、○岡村 祐介

1. はじめに

日光砂防事務所管内における堤高 22.0mの湯沢第3砂防堰堤では、堤体内にINSEM工法を大規模に活用する計画が採用されている。ここで、INSEM工法に活用する現地発生土砂は、最大礫径を大きく設定することで、より多くの有効活用を図ることができる。しかしながら、最大礫径の大きさがINSEM材の発現品質に与える影響はメリットばかりでなく、負の影響も想定される。そのため湯沢第3砂防堰堤の実施工に先立ち適切な最大礫径の設定を行う必要があった。

本稿では、湯沢第3砂防堰堤の施工前に実施した試験施工により得られたINSEM材の発現品質に及ぼす大礫径の影響と最大礫径の設定経緯について報告する。

2. 最大礫径の設定に伴う課題

大礫がINSEM材の発現品質に与える影響を表-1に示す。現地発生土砂中の大礫の増量は、INSEM材の発現強度増加等のメリットが期待される反面、粗骨材の集中・ジャンカの発生やそれに伴う単位体積重量の減少ならびに漏水等が懸念される。そのため、湯沢第3砂防堰堤の構築に使用する現地発生土砂の最大礫径の設定に際し、最大礫径がINSEM材の発現品質に及ぼす影響を検証する必要があった。

3. 試験施工条件と試験項目

INSEM工法における既往の実績等を考慮し、最大礫径を  $G_{max}=80\text{mm}$ 、 $G_{max}=150\text{mm}$  に設定して試験施工を実施した。試験施工ヤードの形状・寸法を図-1に、試験施工条件を表-2に示す。また、最大礫径がINSEM材の発現品質に及ぼす影響を検証するために実施した試験項目を表-3に示す。

本試験施工では、コア外観観察のみで確認できないジャンカ等の不良箇所の有無や、これらの面的な広がりや把握を目的として、コアサンプリング孔を利用した現場透水試験を実施するものとした。

4. 大礫のINSEM材への適用可能性評価

(1) 圧縮強度試験結果

試験施工構造体より採取したコアの圧縮強度と単位体積重量の関係を図-2に示す。図-2より、最大礫径  $G_{max}=150\text{mm}$ の方が大きな圧縮強度、単位体積重量を示す傾向にあることが確認できる。圧縮強度が大きくなる理由は、最大礫径が大きいほど、圧縮強度を支配する大礫径の含有分が増加するとともに、礫径  $80\text{mm}$  以下のINSEM材中の見掛けの単位セメント量が增大するためである。

(2) コア外観観察結果

コア外観観察結果に基づくジャンカ発生率を図-3に示す。ここで、ジャンカ発生率は、コア外観観察より得られたジャンカ長をコア採取延長で除して算出した値である。

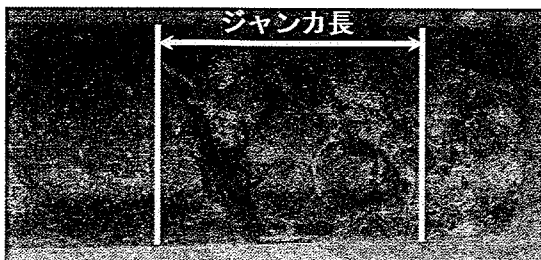


写真-1 大礫集中によるジャンカ発生箇所

表-1 大礫がINSEM材の品質に与える影響

メリット	デメリット
①単位セメント量の低減	①粗骨材の集中・ジャンカの発生
②大礫含有に伴う強度増加	②単位体積重量の減少、漏水
③発熱量の低減(クラック発生抑制)	③礫表面の付着力不足による強度低下

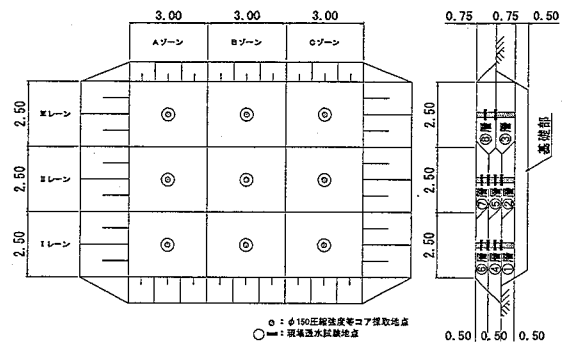


図-1 試験施工ヤード形状・寸法

表-2 試験施工条件

区分	試験施工条件		
	層厚 (m)	最大礫径 (mm)	INSEM材
Iレーン	Aゾーン	80	目標強度: $6.0\text{N/mm}^2$ 目標V/C値: 5~10秒 目標単位体積重量: $21.08\text{kN/m}^3$
	Bゾーン		
	Cゾーン		
IIレーン	Aゾーン	150	
	Bゾーン		
	Cゾーン		
IIIレーン	Aゾーン	下層: 80 上層: 150	
	Bゾーン		
	Cゾーン		

表-3 試験項目

試験目的	試験方法	最大礫径 (mm)	供試体形状 (mm)	備考
発現品質確認 (圧縮強度、単位体積重量)	圧縮強度試験	80mm	$\phi 150 \times 300$	
		150mm		
粗骨材集中、ジャンカ発生確認	コアサンプリング	80mm	$\phi 150 \times 1,500$	サンプリング孔を利用 試験孔 $\phi 150\text{mm}$ 、変水位
	コア外観観察	150mm		
	現場透水試験	80mm 150mm		

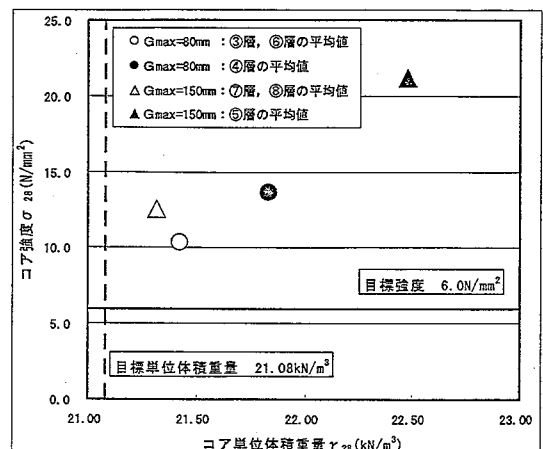


図-2 コア圧縮強度と単位体積重量の関係

図-3より、最大礫径Gmax=80mmにおけるジャンカ発生率は0~6%程度と少ないが、最大礫径Gmax=150mmにおけるジャンカ発生率は20~30%程度を示した。この結果より、最大礫径が大きいほどジャンカが発生し易いことを確認できた。これは最大礫径が拡大することで、粗骨材集中箇所が発生し易くなるとともに、粗骨材集中箇所では締固め効果が小さくなる影響によるものと推測される。

### (3) 現場透水試験結果

本試験施工では、現場透水試験を『多目的ダム建設 平成17年版 第5巻 設計II編』p.95に示される変水位法で実施した。変水位法による透水係数の算定式を下式に示すとともに、現場透水試験により得られた各試験箇所、試験条件毎の透水係数を表-4に示す。

$$k = \frac{r^2}{2 \times (t_2 - t_1)} \left[ -\frac{1}{h} \sinh^{-1} \frac{h}{r} - \frac{1}{2r} \operatorname{cosech}^{-1} \frac{h}{r} + \frac{1}{2h} \sqrt{\left(\frac{r}{h}\right)^2 + 1} - \frac{r}{2h^2} \right] h_1^{h_2}$$

ここで、k：透水係数(cm/s)

r：孔半径(cm)

t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub>：測定開始時, 終了時の時間(sec)

h<sub>1</sub>, h<sub>2</sub>：測定開始時, 終了時の孔内水位(cm)

現場透水試験により得られた透水係数は、最大礫径Gmax=80mmの場合、10<sup>-6</sup>~10<sup>-7</sup>cm/sオーダーを示し、最大礫径Gmax=150mmの場合、概ね10<sup>-4</sup>~10<sup>-6</sup>cm/sオーダーを示す。ここで、表-5に示す一般的な透水係数の評価基準と比較すると、最大礫径Gmax=80mmの場合の透水度は『極めて低い』と評価されるが、最大礫径Gmax=150mmの場合の透水度は『低い』と評価される。

最大礫径以外を同一の条件で施工したIレーン、IIレーンの透水係数を対比し図-4に示す。図-4からも最大礫径が大きいほど透水係数が大きくなる傾向にあることが確認できる。

これらの結果より、最大礫径Gmax=150mmの場合、大礫径集中に伴うジャンカ等の空隙部は、試験施工構造体内に連続的に発生している可能性があることが確認されたといえる。

### (4) 大礫のINSEM材への適用可能性評価

以上の結果より、現地発生土砂の最大礫径Gmax=80mm及びGmax=150mmのINSEM材の発現品質を比較した場合、コアの圧縮強度及び単位体積重量はGmax=150mmの方が大きいものの、Gmax=150mmを採用した場合、粗骨材の集中やジャンカといった締固め不足の状態を形成し易く、締固めが不足する箇所においては堤体内に構造的な弱層が発生することが懸念された。このような状況を考慮し、湯沢第3砂防堰堤の構築に使用する現地発生土砂の最大礫径はGmax=80mmが妥当であると評価した。

### 5. おわりに

今回の試験施工結果より、INSEM工法における大礫径の活用が構造的弱部の形成につながる可能性があることから、湯沢第3砂防堰堤では現地発生土砂の最大礫径を80mmに設定するものとした。

今回の試験施工結果からもわかるように、活用する現地発生土砂の最大礫径を大きくすることは、単位セメント量の低減や現地発生土砂の有効活用の推進には有効であるが、構造物としての品質確保を考慮したうえで最大礫径を設定する必要があると考えられる。

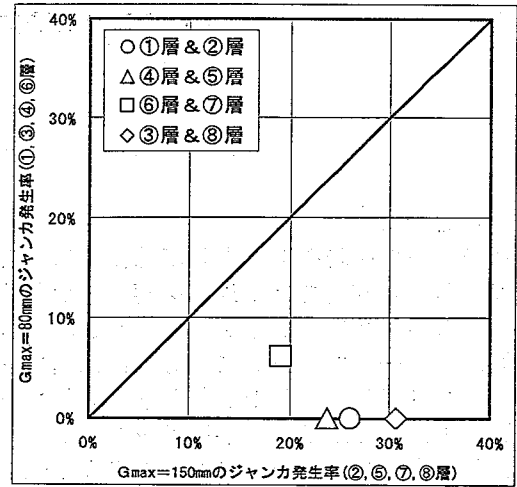


図-3 最大礫径の相違によるジャンカ発生率

表-4 現場透水試験結果

区分	試験地点	透水係数 (cm/s)	
Iレーン Aゾーン (I-A)	Gmax=80mm	①層, ④層境界部	6.66E-07
		④層内	6.73E-07
		④層, ⑥層境界部	1.55E-07
		⑥層内	8.63E-07
Iレーン Bゾーン (I-B)	Gmax=80mm	①層, ④層境界部	2.30E-06
		④層内	算定不能 (水位変化無し)
		④層, ⑥層境界部	算定不能 (水位変化無し)
		⑥層内	5.28E-07
Iレーン Cゾーン (I-C)	Gmax=80mm	①層, ④層境界部	算定不能 (水位変化無し)
		④層内	算定不能 (水位変化無し)
		④層, ⑥層境界部	2.58E-07
		⑥層内	6.88E-07
IIレーン Aゾーン (II-A)	Gmax=150mm	②層, ⑤層境界部	8.40E-08
		⑤層内	算定不能 (水位変化無し)
		⑤層, ⑦層境界部	2.25E-06
		⑦層内	2.80E-04
IIレーン Bゾーン (II-B)	Gmax=150mm	②層, ⑤層境界部	4.74E-08
		⑤層内	3.12E-07
		⑤層, ⑦層境界部	2.35E-06
		⑦層内	8.05E-07
IIレーン Cゾーン (II-C)	Gmax=150mm	②層, ⑤層境界部	1.28E-06
		⑤層内	1.56E-06
		⑤層, ⑦層境界部	1.08E-05
		⑦層内	1.20E-06
IIIレーン Aゾーン	(Gmax=150mm)	②層, ⑤層境界部	2.82E-06
		⑤層内	1.32E-05
IIIレーン Bゾーン	(Gmax=150mm)	②層, ⑤層境界部	6.15E-06
		⑤層内	1.92E-04
IIIレーン Cゾーン	(Gmax=150mm)	②層, ⑤層境界部	6.82E-06
		⑤層内	4.90E-05

表-5 現場透水試験結果の評価基準

透水度	透水係数の範囲 (cm/s)	参考
高い	10 <sup>-1</sup> 以上	礫
中位	10 <sup>-1</sup> ~10 <sup>-3</sup>	粗砂, 中砂, 細砂
低い	10 <sup>-3</sup> ~10 <sup>-5</sup>	極微砂, シルト質砂, 緩いシルト
極めて低い	10 <sup>-5</sup> ~10 <sup>-7</sup>	硬いシルト, 粘土質シルト, 粘土
不透水	10 <sup>-7</sup> 以下	完全な均一シルト

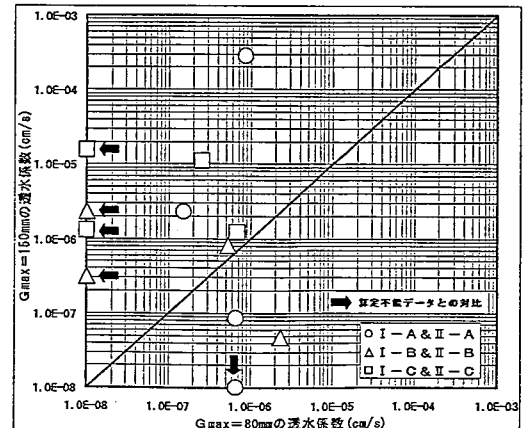


図-4 最大礫径の違いによる透水係数の相違