

高圧噴射攪拌工法における高強度改良体用硬化材の検討

ライト工業（株） 正会員 ○村田 晋一
ライト工業（株） 正会員 荒木 豪
ライオン・スペシャリティ・ケミカルズ（株） 作江 富夫

1. 緒言

近年、発電所など重要構造物の周辺地盤に対して地震対策を目的とした地盤強化の検討が進められている。既設構造物周辺の地盤強化工事では高圧噴射攪拌工法が多用されるが、重要構造物周辺の地盤強化では高い弾性波速度（ $V_s = 800\text{m/s}$ ；一般的な換算として一軸圧縮強度 $q_u = 6\text{MN/m}^2$ 程度）を要求される事例が増加しており、一般的な高圧噴射攪拌工法の仕様¹⁾（設計上の最大強度は $q_u = 3\text{MN/m}^2$ ）が適用できない。高圧噴射攪拌工法は、硬化材に高い圧力を与えて得られる強力なエネルギーによって地盤を切削破壊し改良体を造成する工法であるが、高強度発現を目的として高濃度硬化材を使用した場合、粘度上昇による切削性能の低下や硬化速度の上昇による排泥排出の作業性低下が課題として挙げられる。そこで今回、これらの課題に対応しながら高強度のニーズを満たす新たな高濃度硬化材について検討を実施した。

2. 試験方法

2-1. 試験材料

本試験に使用した材料を表-1 に、また試料土の物性値を表-2 に示す。試料土は、地下水以深の飽和状態（含水比 $w = 20\%$ ）を仮定し、湿潤密度 $\rho_t = 2.088\text{g/cm}^3$ 、乾燥密度 $\rho_d = 1.740\text{g/cm}^3$ とした。また水は水道水と人工海水（塩分濃度： 36.0g/L ）の 2 条件とした。配合試験では、試料土中の間隙水が排出されることを想定し、乾燥状態の試料土を使用した。

2-2. 試験内容

①硬化材の物性評価試験

規定量の水に混和剤を投入し、ケミカルミキサー（タービン翼、 700rpm ）で 1 分攪拌した後、固化材を投入し 3 分攪拌することで硬化材を作製した（練上がり量： 1.0L ）。物性評価試験として粘度（共軸二重円筒回転粘度計）とブリーディング率（JSCE-F 532-2013）の測定を実施した。

②改良体の室内配合試験

硬化材の物性評価試験の結果を基に、硬化材配合を選定し、室内配合試験を実施した。硬化材の注入率（試料土 1 に対する硬化材の体積の割合）は 40%、100%の 2 種類とした。本試験では、ホバート型ソイルミキサー（フック翼、 60rpm ）を使用し、試料土（ 1.0L ）に規定量の硬化材を投入後、10 分間攪拌することで改良体を作製した。物性評価試験としてフロー試験（JIS R 5201）と一軸圧縮試験（JIS A 1216）を実施した。供試体作製は JGS 0821 に準拠し、モールド（直径 5cm 、高さ 10cm ）で成形、 $20\pm 3^\circ\text{C}$ で湿潤密閉養生した。

3. 結果と考察

①硬化材の物性評価試験

本試験結果を表-3 に示す。ブランク（配合 No.1-4：高圧噴射攪拌工法の標準的配合 水セメント比（W/C）100%、
キーワード： 地盤改良，高圧噴射攪拌工法，弾性波速度，高強度改良
連絡先：〒300-2658 茨城県つくば市諏訪 C23 街区 3 画地 ライト工業株式会社 TEL029-846-6175

表-1 使用材料

固化材	高炉セメントB種
混和剤	現行品（高圧噴射攪拌工法用） 特殊混和剤
水	水道水 人工海水（塩分濃度：36.0g/L）
試料土	君津砂

表-2 試料土の物性値

分析項目			君津砂
土粒子密度		g/cm^3	2.713
粒度	細礫 ($2\text{mm}\sim 4.75\text{mm}$)	%	13.9
	砂 ($75\mu\text{m}\sim 2\text{mm}$)	%	84.7
	シルト ($5\sim 75\mu\text{m}$)	%	1.4
	粘土 ($5\mu\text{m}$ 未満)	%	

現行混和剤 10kg/m³) と比較して、W/C を低下させると粘度は上昇する傾向にあるが、W/C = 60%において、特殊混和剤(配合 No.1-3)を使用することで、ブランクと同等レベルの粘度とブリーディング率になることを確認した。また配合 No.1-3 におけるセメントペーストの硬化時間は水道水で約 50 時間、人工海水では約 40 時間であり、ブランクと比較して、硬化速度を 50%程度抑制している。現行混和剤は電気的な反発力により分散性を付与しているのに対し、特殊混和剤では成分中の側鎖長の調整により発現する立体反発力が分散効果を向上させ、他成分のセメント硬化遅延効果を組み合わせることで高濃度硬化材の粘性を低減させていると考えられる。

②改良体の室内配合試験

本試験の結果を表-4 に示す。硬化材の W/C が低いほど、また注入率が高いほど q_u は上昇する傾向にある。そこで q_u に影響を与える因子を把握することを目的として、改良体中の固化材量と q_u の関係(図-1) および C/W_t (改良体中の固化材量と水量の質量比であり、水は試料土中の含水と硬化材中の水の合計である)と q_u の関係(図-2)を調査した。固化材量- q_u (図-1) では、W/C=60%と 100%とで固化材量の増加に伴う q_u の変化量が大きく異なる。一方 C/W_t- q_u (図-2) では検体数が少ない状況ではあるが一定以上の相関がみられたことから、q_u の設計には固化材量と水量の双方を考慮する必要があり、また改良体中の C/W_t から q_u を予測できる可能性が示唆された。

4. 結言

高圧噴射攪拌工法における V_s = 800 m/s (q_u = 6 MN/m² 程度) を超える高強度改良の実現に向けて、特殊混和剤を用いた硬化材検討を実施し、硬化材の高濃度化による粘度上昇と硬化速度の上昇を抑制した施工性と高強度発現を両立する高濃度硬化材を見出した。今後は現場試験施工において、噴射仕様・土質・施工条件等を変化させた条件でのデータ蓄積を実施し、高強度改良の仕様確立を目指す。また改良体中の C/W_t から q_u を予測できる可能性が示唆されるため、今後は各土質での C/W_t と q_u の関係性を調査し、q_u を予測する検証を進めていく。

参考文献

1) Mega ジェット工法研究会：Mega ジェット工法技術・積算資料第 7 版，2020

表-3 硬化材の基本配合 (1m³ 配合) と試験結果

配合 No	硬化材 1m ³ 配合					練り水：水道水		練り水：人工海水	
	W/C	固化材	水	混和剤		ブリーディング率 24h	粘度 (20℃)	ブリーディング率 24h	粘度 (20℃)
	%	kg	kg	kg		%	mPa·s	%	mPa·s
1-1	60	1078	637	現行品	10	2.5	109.4	0.0	136.0
1-2			628		20	1.0	51.4	0.0	120.0
1-3			636	特殊混和剤	10	15.4	14.0	8.2	25.0
1-4	100	760	741	現行品	10	11.1	10.2	17.1	38.2

※粘度は、せん断速度 19.8s⁻¹ で実施

表-4 改良体の基本配合と試験結果

配合 No	試料土1m ³ 当りの配合				改良体中の配合			水道水		人工海水	
	注 入 率	硬化材の配合			固 化 材	水	C/W _t	フロー値	q _u σ28	フロー値	q _u σ28
		配合 No※1	W/C	混和剤							
%	No	%		kg/改良体 m ³	※2	mm	MN/m ²	mm	MN/m ²		
2-1	40	1-3	60	特殊 混和剤	308	190	1.62	122	17.6	121	18.2
2-2	100	1-3			539	324	1.66	>300	24.9	>300	23.1
2-3	40	1-4	100	現行品	217	220	0.99	133	7.6	125	8.1
2-4	100	1-4				380	377	1.01	>300	8.1	>300

※1：表-3 の硬化材の配合 No を記載

※2：C/W_t は改良体に含まれる固化材量と水量の質量比であり、
水は試料土中の含水および硬化材中の水の合計である。

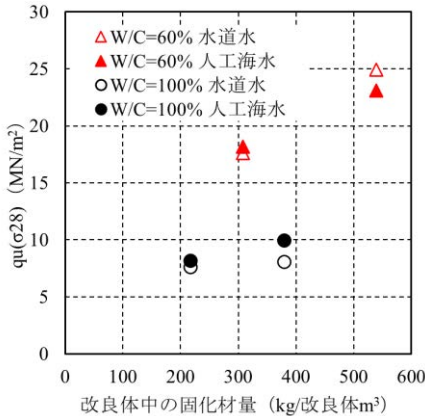


図-1 改良体中の固化材量と q_u の関係

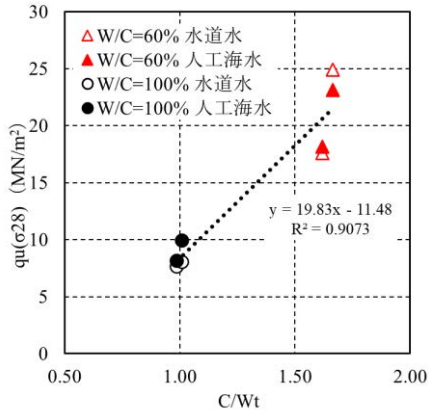


図-2 C/W_t と q_u の関係