
[第2セッション(2-2)]

流動化処理土の硬化促進技術の研究開発

Research and Development of Accelerated Hardening Technology
for Liquefied Stabilized Soil

徳倉建設株式会社 ○和泉彰彦

芝辻楓雅

千葉工業大学 佐藤陽帆

千葉工業大学 金田一広

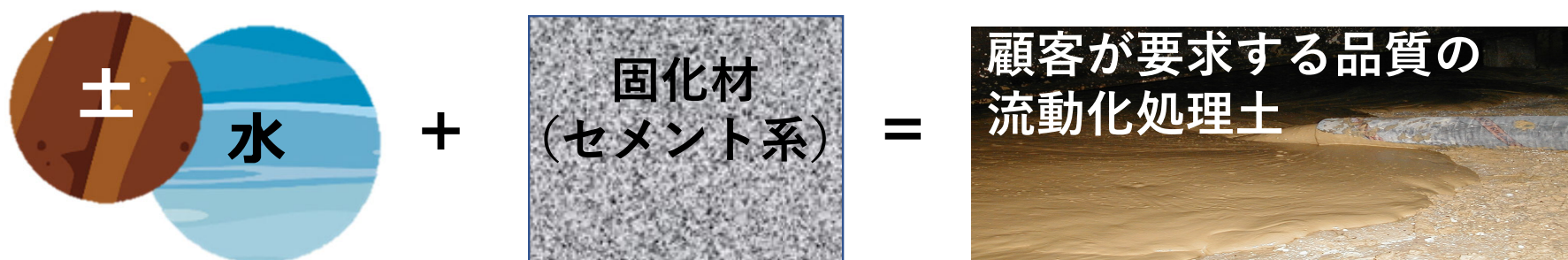
◆ 流動化処理土 LSS (Liquefied Stabilized Soil) について

流動化処理工法は、

- ・ 様々な種類の土を原料土として一定の品質の流動化処理土に整える技術
- ・ 配合設計手法、製造・管理、運搬・打設の技術の技術群

流動化処理土は、

- ・ 泥水（泥状土）と固化材を加えて混練して流動化させた湿式土質安定処理土
- ・ 狭隘な空間などに流し込み施工で隙間を充填し，固化後に発揮される強度と密度により品質を確保する土工材料



第3種、4種の建設発生土や建設汚泥も **リサイクル可能**

◆ 流動化処理土 LSS (Liquefied Stabilized Soil) について

流動化処理土とその特徴

1. 空間の埋戻し・充填
2. 土のリサイクル

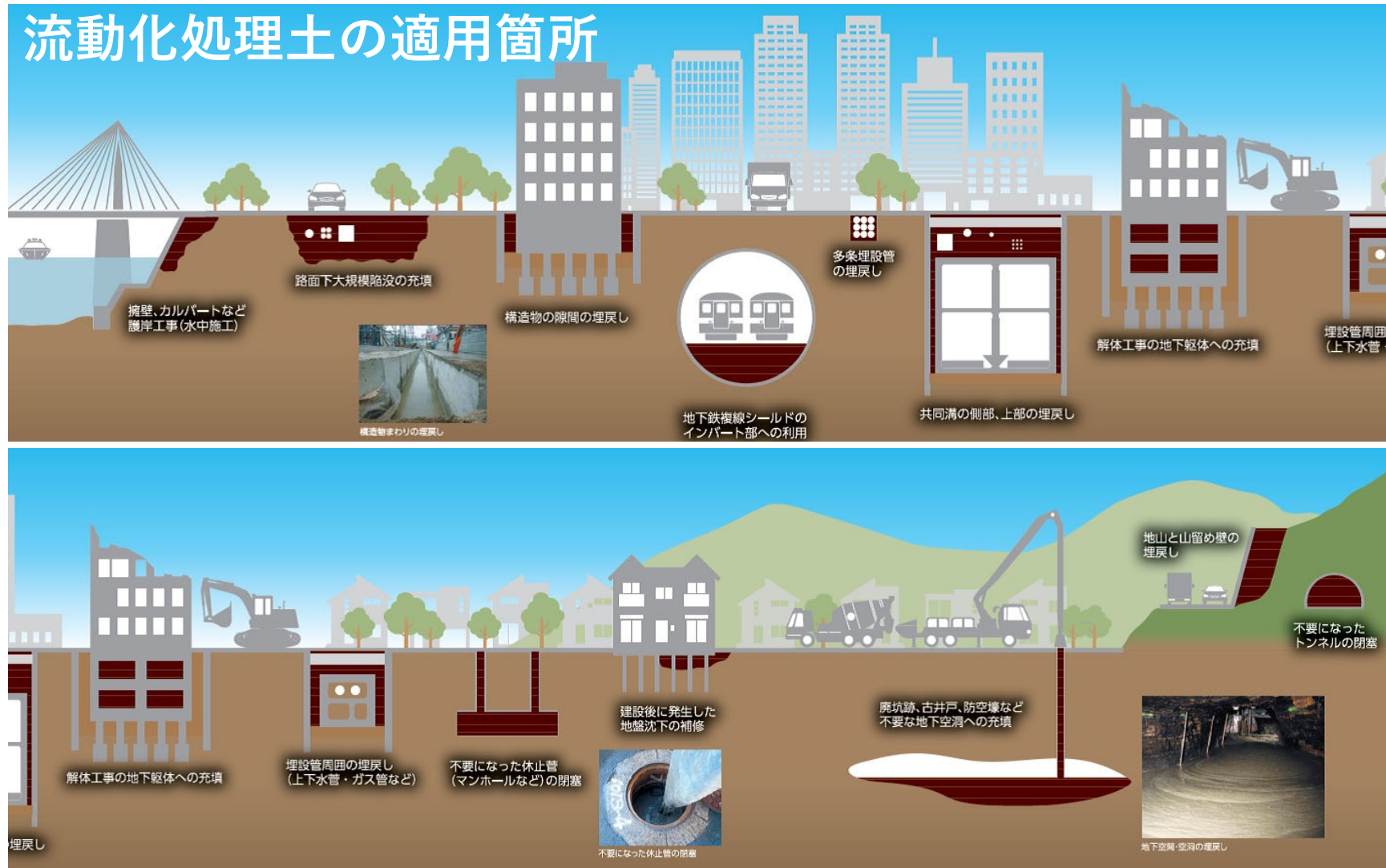


- 締固め不用の埋戻し
- ポンプ圧送が可能
- 水中打設が可能
- 材料分離が少なく、均質性がある
- 強度コントロールが可能 (一般的に再掘削可能)
- 地震時に液状化はしない
- 省力化施工 (労働者不足解消)
- ほとんどの土がリサイクル可能



◆ 流動化処理土 LSS (Liquefied Stabilized Soil) について

流動化処理土の適用箇所



◆ 過去の研究背景：流動化処理土の硬化促進技術の基礎研究

流動化処理土の初期強度発現遅いことによる供用開始の遅れ

流動化処理土は硬化後でも再掘削が可能な材料である。

その反面、初期強度が小さく、道路や港湾における埋戻し後の供用開始が遅れ、道路占用や、立ち入り禁止措置の長期化につながり、物流など社会インフラに影響を与え、なおかつ工事の全体コストも高くなる。

また、配合決定に時間（最短7日）を要することもデメリットである。

初期強度を増加する方法に、固化材量の増量、早強、超早強セメント、特殊固化材の使用など材料の改良であるが、コストも高く、長期強度も大きくなり再掘削性が失われる。



道路規制、立入規制の様子

課題 | 施工の課題 流動化処理土の初期強度発現が遅い。

研究内容 流動化処理土の養生温度と一軸圧縮強さの相関関係の解明

◆ 過去の研究成果：流動化処理土の硬化促進技術の基礎研究

○ 流動化処理土の材料と配合計画

表 流動化処理土の配合

No	調整泥水密度 (t/m ³)	湿潤密度 (t/m ³)	固化材量 (kg/m ³)	セメント 種類	木節粘土 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	珪砂6号 (kg/m ³)
A	1.4	1.443	80	N	375.7	734.4	290
B	1.5	1.541	80	N	344	672.4	484
C	1.6	1.638	80	N	312.5	611	676.5
D	1.5	1.551	100	N	344	672.4	484
E	1.5	1.561	120	N	344	672.4	484
F	1.5	1.541	80	H	344	672.4	484
G	1.5	1.54	80	BB	344	672.4	484

※泥水密度1.25g/cm³—定

N: 普通ポルトランドセメント

H: 早強ポルトランドセメント

BB: 高炉セメントB種

- ・ 「A」, 「B」, 「C」 については固化材量を一定とし、**湿潤密度の変化**を確認した。
- ・ 「B」, 「D」, 「E」 については湿潤密度を一定とし、**固化材量の変化**を確認した。
- ・ 「B」, 「F」, 「G」 については湿潤密度と固化材量を一定とし、**固化材の種類による変化**を確認した。

配合試験の再現性を考慮し、安定供給が可能な市販の木節粘土を原料土として使用した。また、流動化処理土の湿潤密度を調整するために珪砂を使用した。固化材は、普通ポルトランドセメント (N), 早強ポルトランドセメント (H), 高炉セメントB種 (BB) を使用した。

◆ 過去の研究成果：流動化処理土の硬化促進技術の基礎研究

○ 流動化処理土の温度養生実験の概要

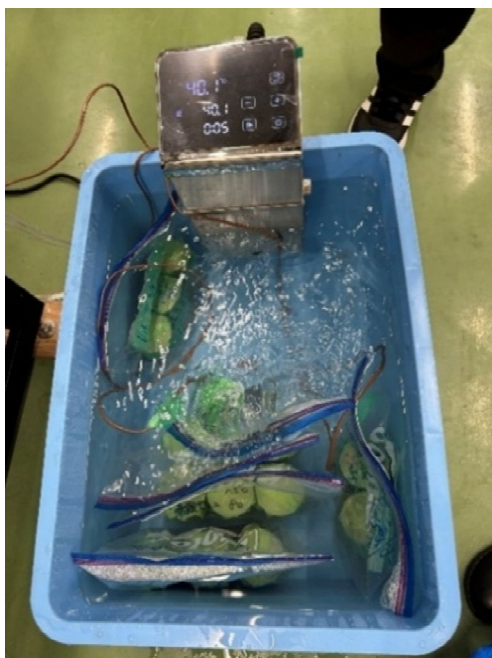


写真 大型恒温水槽

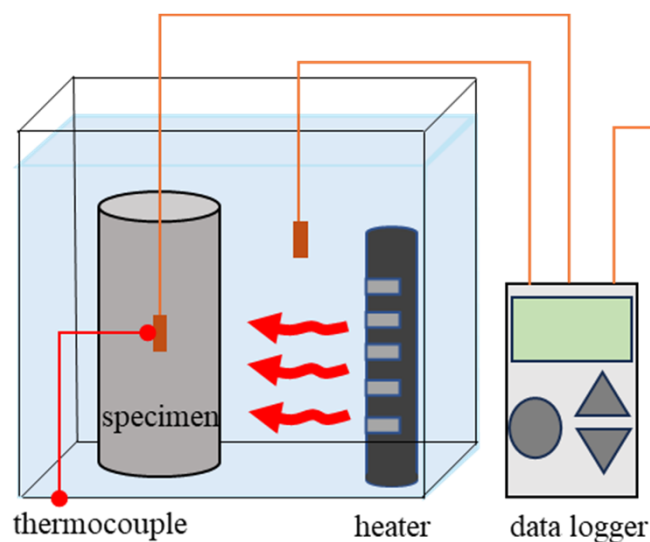


図 温度測定状況

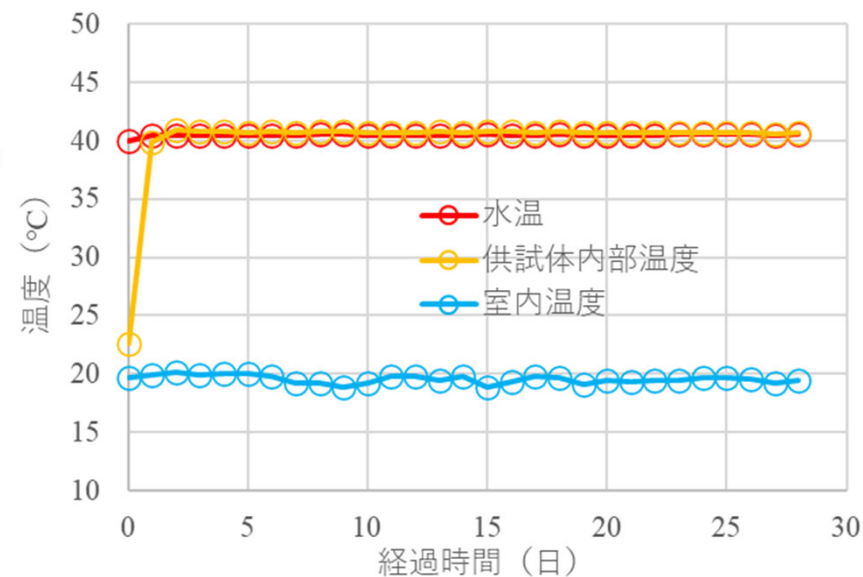


図 水温と供試体の温度の関係

◆ 過去の研究成果：流動化処理土の硬化促進技術の基礎研究

○ 流動化処理土の温度養生実験結果

表 流動化処理土の養生温度実験結果

No.	養生温度 (°C)	一軸圧縮強さ q_u (kN/m ²)				
		養生日数(日)				
	1	3	7	14	28	
A	20	—	28.5	44.5	—	78.5
	40	20	43	89	—	—
	60	49.5	—	—	—	—
B	20	—	30	53	61.5	79.5
	40	22.5	65	148.5	—	—
	60	61	—	—	—	—
C	20	—	70	116.5	—	149
	40	40	100	150	—	—
	60	104.5	—	—	—	—
D	20	—	76	113	—	156.4
	40	48.5	115	203	—	—
	60	128	—	—	—	—
E	20	—	98.5	160	—	258
	40	65	154.5	302	—	—
	60	195	—	—	—	—
F	20	—	68	74.5	—	92.5
	40	60	93	130	—	—
	60	92	—	—	—	—
G	20	—	29	67	—	112
	40	32	80	147	—	—
	60	207	—	—	—	—

表 流動化処理土の圧縮強度比

No.	養生温度 (°C)	圧縮強度比($q_{u_{day \cdot x^{\circ}C}}/q_{u_{28 \cdot 20^{\circ}C}}$)				
		養生日数(日)				
	1	3	7	14	28	
A	20	—	0.36	0.57	—	1
	40	0.25	0.55	1.13	—	—
	60	0.63	—	—	—	—
B	20	—	0.38	0.62	0.77	1
	40	0.28	0.82	1.87	—	—
	60	0.78	—	—	—	—
C	20	—	0.47	0.78	—	1
	40	0.27	0.67	1.01	—	—
	60	0.7	—	—	—	—
D	20	—	0.49	0.72	—	1
	40	0.31	0.74	1.3	—	—
	60	0.82	—	—	—	—
E	20	—	0.38	0.62	—	1
	40	0.25	0.6	1.17	—	—
	60	0.76	—	—	—	—
F	20	—	0.74	0.81	—	1
	40	0.65	1.01	1.41	—	—
	60	1	—	—	—	—
G	20	—	0.26	0.6	—	1
	40	0.29	0.71	1.31	—	—
	60	1.85	—	—	—	—

◆ 過去の研究成果：流動化処理土の硬化促進技術の基礎研究

○ 流動化処理土の温度養生実験結果

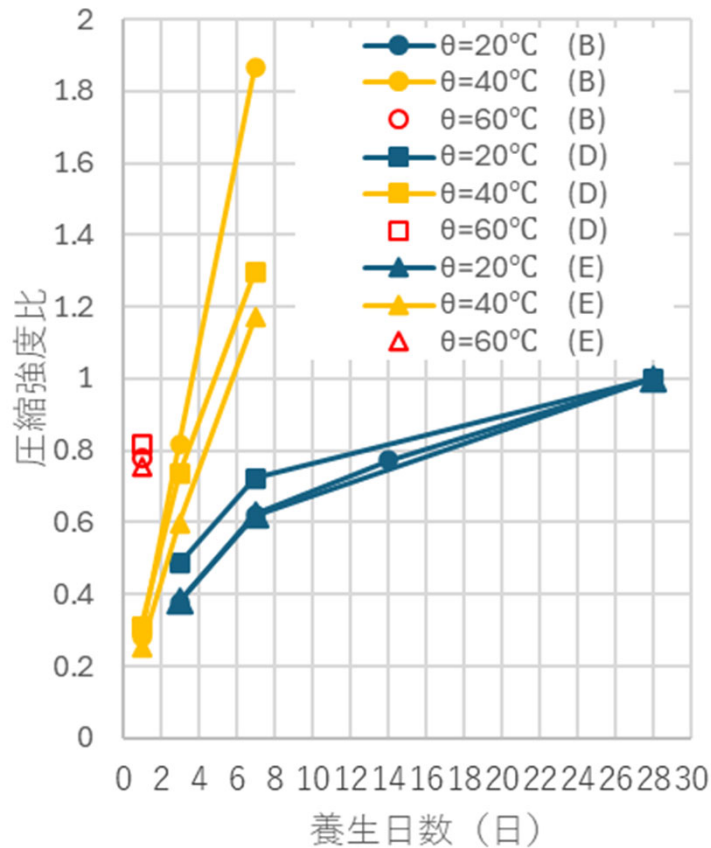


表 養生日数と圧縮強度の関係 (固化材変化)

表 流動化処理土の配合

No	調整泥水密度 (t/m ³)	湿潤密度 (t/m ³)	固化材量 (kg/m ³)	セメント種類	木節粘土 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	珪砂6号 (kg/m ³)
A	1.4	1.443	80	N	375.7	734.4	290
B	1.5	1.541	80	N	344	672.4	484
C	1.6	1.638	80	N	312.5	611	676.5
D	1.5	1.551	100	N	344	672.4	484
E	1.5	1.561	120	N	344	672.4	484
F	1.5	1.541	80	H	344	672.4	484
G	1.5	1.54	80	BB	344	672.4	484

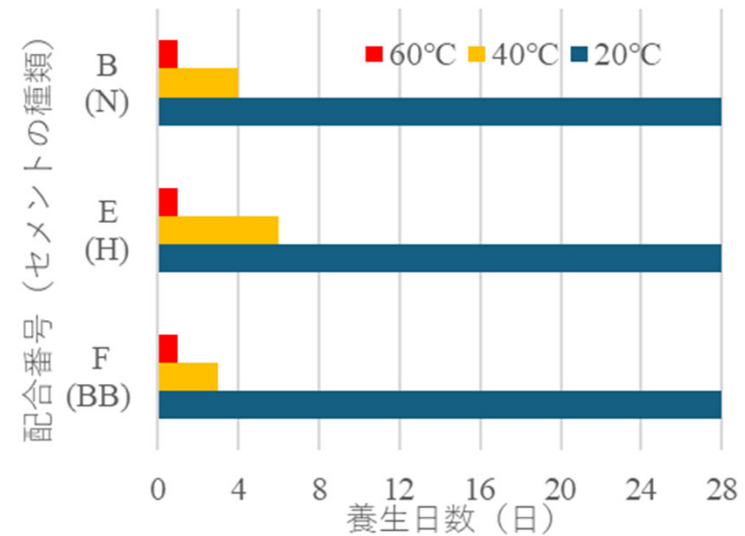


表 養生日数と一軸圧縮強さの関係 (養生温度20°C)

◆ 過去の研究成果：流動化処理土の硬化促進技術の基礎研究

○過去の研究成果の結論

【分かったこと】

- ・ 養生温度20°Cで養生した流動化処理土の一軸圧縮強さの28日強度は、40°C養生した流動化処理土では、4～6日で同程度になった。
60°C養生した流動化処理土では、1日で8割程度の強度が確認できた。
- ・ 湿潤密度・固化材量の違いは養生温度効果に大きな影響がなく、同程度の傾向を示した。
- ・ 固化材の種類の違いは、養生温度効果に影響が認められた。

【結論】

流動化処理土への積算温度式の適用可能性を実証し、促進養生による強度予測が可能となった。 配合設計決定時間短縮に寄与する実用的な技術として期待される。

工事の即日復旧対応などの技術の応用も期待できる。

◆ 実用化に向けて

○研究すべき課題

(1) 基礎研究の追求

多様な原料土での検証、セメント種類の影響、硬化メカニズムの解明、熱伝達率の把握、長期強度の安定性確認等が必要である。

(2) 施工技術開発（最重要課題）

フレッシュ時の温度上昇が流動性に及ぼす影響の解明が課題である。

既往研究では気温29～32℃でフロー低下が報告されているが、強制加温の事例はない。また、温度制御方法の開発、硬化後の体積収縮・ひび割れなどの不具合、施工性（打ち込みや充填性）の確認が求められる。

(3) 実用化技術の確立

現場条件下での適用性検証， 経済性評価， 品質管理基準の策定が必要である。

◆ 実用化に向けて

○研究の到達目標

(1) 技術的到達目標

原料土に依存しない強度予測式の確立、フレッシュ時の加温技術と流動性維持の両立、温度制御システムの開発を目指す。

(2) 施工の実務化

図に硬化促進技術の施工イメージを示す。

施工技術を確認し、都市部インフラの即日復旧、災害復旧への適用拡大、配合設計の効率化、を実現する。



現場における試験施工による検証が必要

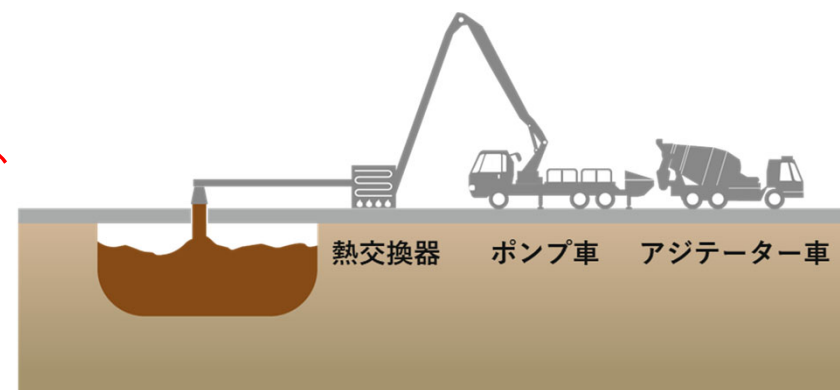


図 流動化処理土の硬化促進技術の施工イメージ

◆ おわりに

流動化処理土の硬化促進技術は、**初期強度の確保と再掘削性の両立**という流動化処理土の本質的な課題に対する新しい解決策を提示するものである。この技術により、**災害復旧やインフラ整備等による即日復旧対応など工期短縮が求められる現場への適用**が可能となり、流動化処理土の適用範囲の拡大に貢献することが期待される。さらに、**積算温度式の活用により**、様々な温度条件下での強度発現予測が可能となり、**配合決定の工程短縮など配合設計の効率化**ができる。

◆ おわりに

ご清聴いただき、誠にありがとうございました。