

粘性土を対象とした高圧噴射攪拌工法の改良原理の解明に向けた基礎的実験（その2） — 衝撃力（切削力）の測定方法の確立 —

清水建設株式会社 正会員 ○西田 茉佑子 正会員 長澤 正明
正会員 遠西 幸男 伊勢 壽一
ライト工業株式会社 正会員 長崎 康司 入口 宗一郎

1. はじめに

高圧噴射攪拌工法は、セメント系硬化材と水を混合した硬化材スラリーを高圧ジェットにより地盤中に噴射し、地盤を切削破壊すると同時に、硬化材スラリーと地山の土砂とを混合して地盤を強化する工法である。小型の機械にて施工可能で、殆どの地盤に対して高い改良効果が期待できるため、山留め工事やシールドの発進部、到達部の補強及び既設構造物の補強等多くの工事に採用されている。一方で、その造成理論には未解明な部分が多く、実施工において改良径や改良強度に不具合が発生する事例が多発している。そこで、造成理論解明の第1ステップとして、模型実験により改良機構を可視化し、高圧ジェットによる切削・混合状況の確認と、吐出圧、吐出量および地盤強さと改良径の関係を把握した^{1) 2)}。ここでは、それに続き、地盤中での高圧ジェットの衝撃力を測定する方法について、気中及び水中での模型実験で検証を行ったので、報告する。

2. 模型実験の概要

図-1 に模型装置および測定装置の全体、表-1 に模型装置の仕様を示す。直径 500mm、高さ 700mm の円筒型アクリル容器内に、所定の距離となるように測定装置を設置した。実験は、回転軸（ロッド）先端のノズルから高圧ジェット水を噴射してその衝撃力を測定した。測定装置は圧力測定フィルムとロードセルの2種類を選定した。写真-1 及び表-2 に測定装置及びその仕様を示す。圧力測定フィルム「プレスケール」は、衝撃力を受けると赤く発色する。その発色濃度により衝撃力の大きさを測定した。また、ロードセルでは受圧面に作用した荷重（衝撃力）をデジタル指示計により計測した。その際、ノズルからの測定距離が長くなるにつれて、高圧ジェット水がロードセルの受圧面よりも外側に拡散するため実衝撃力と測定値に差異が生じる。その差異を把握するため、受圧部に面積の異なる拡大受圧板を取り付けたケースについても実験した。ロッドの回転数（2rpm）及びポンプの吐出圧、吐出量（2.0MPa、6.9L/min）は一定とし、ノズルは1孔とした。衝撃力の測定は、ノズルと測定装置までの測定距離を変化させながら気中と水中でそれぞれ行った。表-3 に今回の実験の仕様を示す。

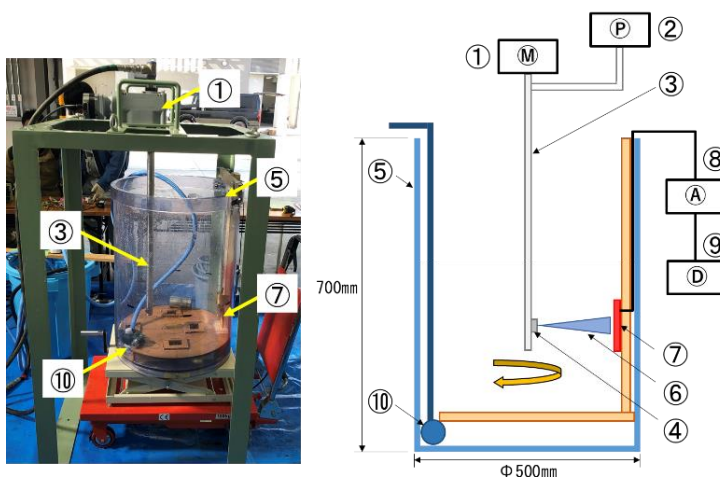


図-1 模型装置及び測定装置全体図

表-1 模型装置の仕様

模型材料	仕様
①回転モータ	回転数：0.4～18rpm（2.0rpmで設定）
②ポンプ	最大吐出圧：4.0MPa（2.0MPaで設定） 最大流量：13.0L/min（6.9L/minで設定）
③ロッド（回転軸）	Φ=30mm
④ノズル（1孔）	ノズル径：1.6mm（2.0MPaに対応）
⑤円筒型アクリル容器	Φ=500mm, h=700mm, t=10mm
⑥高圧ジェット水	
⑦測定装置	圧力測定フィルム、ロードセル
⑧デジタル指示計※	
⑨データロガー※	
⑩吸水ポンプ	

※⑧⑨はロードセル使用時のみ

キーワード 高圧噴射攪拌工法、模型実験、圧力測定フィルム、ロードセル

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目 16-1 清水建設株式会社技術本部・基盤技術部 TEL 03-3561-2203

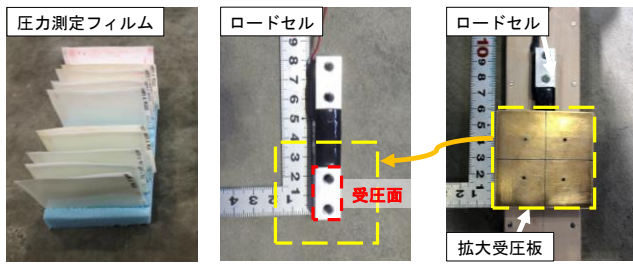


写真-1 測定装置

表-2 測定装置の仕様

機器	仕様
圧力測定フィルム	プレスケール 低圧用 (0.6~2.5MPa に対応) 「プレスケール」は富士フィルム(株)の商標または登録商標です。
ロードセル	東洋測器(株)製ビーム型シングルポイントロードセル 型式: 1002-K 8K 定格荷重: 8kgf 受圧面の大きさ: 25mm×13mm
拡大受圧版	材質: 真鍮 厚さ: 1.0mm 大きさ: 30mm×30mm, 60mm×60mm

表-3 実験仕様

要因	水準
吐出圧	2.0MPa (吐出流量: 6.9L/min)
ノズル-測定装置の距離 (圧力測定フィルム)	5cm, 10cm, 15cm, 20cm
ノズル-測定装置の距離 (ロードセル)	1.5cm, 5cm, 10cm, 15cm, 20cm, 25cm, 30cm, 35cm
環境	気中, 水中
受圧面の大きさ	25mm×13mm 30mm×30mm, 60mm×60mm

3. 模型実験の結果

図-3に圧力測定フィルムの着色状況を示す。圧力測定フィルムは、測定距離が長くなるほど着色した幅が広くなり、発色が薄くなった。噴射された跡がフィルムに残るため、測定距離が長くなるにつれて高压ジェット水(衝撃力)がどのように分散しているのか確認することができた。一方、“発色の濃淡により圧力を判定することができる色見本”により衝撃力の距離による圧力減衰の把握を試みた。しかし、圧力測定フィルムが流体の測定を対象とした仕様になっていないこともあり、今回の実験での衝撃力(ポンプ吐出圧 2.0MPa)程度では発色した濃淡の差が少なく、目視では明確な圧力減衰を判定することができなかった。さらに、水中での測定も試みたが、防水方法の不備等で着色反応が出なかった。

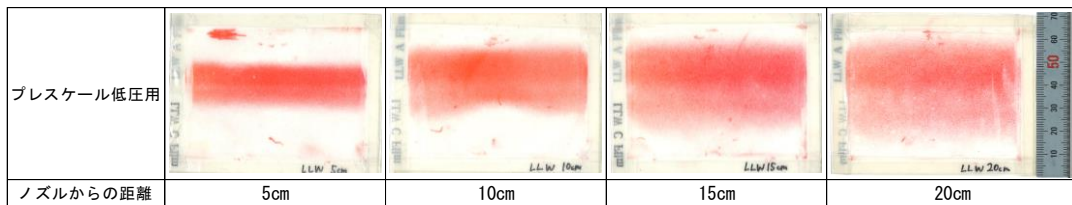


図-3 圧力測定フィルムの反応状況 (気中)

次に、図-4にロードセルの計測結果を示す。ロードセルの場合は水中・気中の両方で測定距離と衝撃力減衰の関係を確認することができた。併記した既往文献³⁾のデータともほぼ同様の結果となった。測定距離が同一の場合、受圧面の面積が広いほど測定した荷重が大きくなった。これにより、衝撃力全体を計測するためには受圧面を大きくすることが有効であると考えられる。しかし、衝撃力が地盤面にどのように有効に作用するか明確ではないため、受圧面積の設定については、今後実験等で明らかにする必要がある。

4. まとめと今後の展開

今回の模型実験において、ロードセルを使用することで、気中及び水中へ噴射した高压ジェット水の衝撃力について、定量的な計測が可能であることを確認した。今後は粘性土の模擬地盤としての CMC 溶解液にて同様の実験を行い、模擬地盤中での衝撃力を把握し、改良径との関係を調査する。

参考文献

- 1)石塚光 他: 粘性土を対象とした高压噴射攪拌工法の改良原理の解明に向けた基礎的実験—模型実験による改良機構の可視化—, 土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会, III-212, 令和 2 年 9 月
- 2)後藤笑加 他: 粘性土を対象とした高压噴射の改良機構基礎実験, 基礎工 Vol.50, No.3, p.60-p.62, 2022 年 3 月
- 3)ジェットグラウト工法技術資料, 令和 2 年 9 月

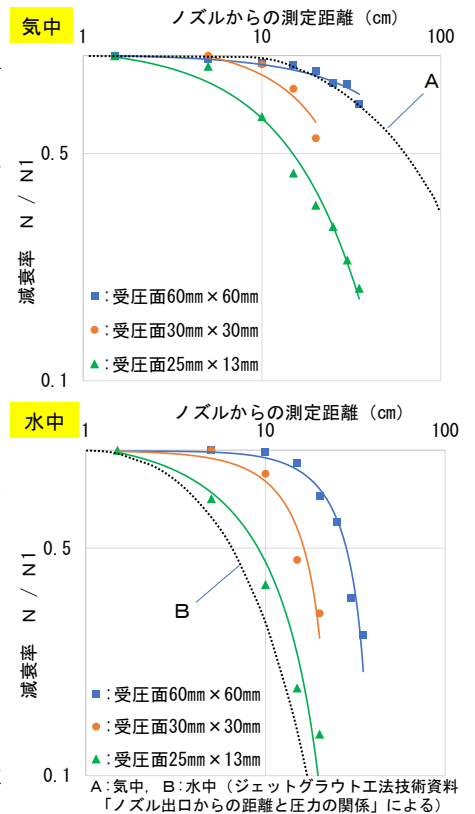


図-4 測定距離～衝撃力減衰の関係 (ロードセル)

N_1 : ノズル出口の圧力, N : 噴流軸上の任意の圧力