

パラジェット工法の開発

菅澤 彦一¹・平山 公則¹・西 寿三男²

¹正会員 ケミカルグラウト株式会社 (〒105-0001 東京都港区虎ノ門2-2-5)

²非会員 ケミカルグラウト株式会社 (〒105-001 東京都港区虎ノ門2-2-5)

既設構造物下の基礎補強、耐震補強および、大深度地下利用に伴う地盤改良の施工にあたり、ジェットグラウト工法の水平施工技術の確立が望まれている。ジェットグラウト工法は、鉛直施工では技術的に確立され、広く普及しているが、水平施工では鉛直施工と同様の信頼性をまだ得られていない。

当社は、交差噴流による地盤切削技術と低流動性硬化材の攪拌、混合、圧送技術を組み合わせ、置換型で円柱形状の改良体を造成する水平ジェットグラウト工法「パラジェット工法」を開発した。交差噴流とは、二つの噴流をある角度で衝突させ、噴流の直進エネルギーを極端に減少させることによって、衝突点より先の地盤切削能力を失わせる技術であり、地盤の物性と無関係に所定の距離を切削できるため、型枠内に充填するように改良体を造成することができる。充填材には、水中不分離性および自立性を有する特殊な低流動性硬化材を用いており、交差噴流で切削した泥水と交じり合うことなく、切削泥水を押し出しながら空洞を作らずに確実に充填、置換することができる。本報では、パラジェット工法の概要および実物大造成実験結果について報告する。実験の結果、計画とおりに直径1mと2mの円柱状で、強度のパラッキも少ない均質な改良体が造成されていることが確認された。

キーワード：水平ジェットグラウト、低流動性硬化材、排泥管理、交差噴流

1. まえがき

(1) パラジェット工法の原理 (図-1参照)

パラジェット工法の基本原理は、噴流の直進エネルギーで地盤を切削し、同時または後工程で硬化材を充填することにより改良体を造成するものである。地盤の切削は、交差噴流を用いる。

交差噴流とは、二つの噴流をある角度で衝突させ、噴流の直進エネルギーを急激に減少させることにより、衝突点以遠の地盤切削能力を失わせる技術である。この技術は、噴流のエネルギーにより地盤を切削しているにも拘わらず、その噴流の衝突位置（交差位置）により地盤の不均質さ（土質、硬軟、粗密）に左右されず切削範囲を限定できることから、硬化材をあたかも型枠内に充填するように改良体を造成することができる。更に、交差噴流により、地盤を極細の網の目のように切削できることから、切削土の排土が非常に容易になりかつ、改良体の品質が大幅に向上する。充填材としては水中不分離性および自立性を有する特殊な低流動性硬化材を用いることにより、交差噴流で切削された泥水と交じり合うことなく、切削土と切削水を押し出しながら空洞を作らずに確実に充填可能とした。

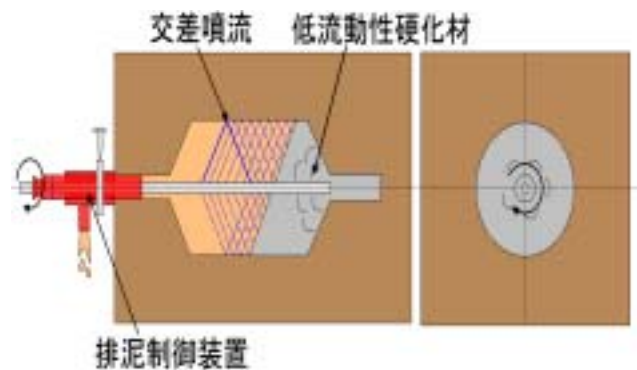


図-1 パラジェット工法概念図

(2) 工法の特長

- ① 水平に所定径の円形のジェットグラウト改良体を造成できる。
- ② 充填材の配合を変化させることにより、地盤に無関係に圧縮強度を調整できる。
- ③ 排出量 ≤ 交差噴流（超高压水量）＋低流動性硬化材量
施工中、上記の関係を保つことにより、
・ 周辺地盤の緩みによる地盤沈下

- ・ 低流動性硬化材充填過多による地盤隆起という相反するいずれの地盤変状を起こすことなく施工することができる。
- ③ 改良体造成に際して、空気を使用しないので、地表面への噴発の心配がない。
 - ④ 改良径が比較的小径（2m以下）であることから、局部的な沈下等による施工直後の軌道への影響が少ない。
 - ⑤ 充填置換された低流動性硬化材は、施工直後すでに塑性体から半固結体の性状を示すことから、局部的な沈下等が生じ難い。
 - ⑥ 産業廃棄物量の削減が、環境負荷低減につながる。

(3)従来工法との比較

構造物直下の地盤改良を従来のジェットグラウト工法で行なう場合、斜めでの施工しかできないので、改良に欠損部ができる。しかし、パラジェット工法は側面から水平に改良することができるので欠損部無く改良できる。

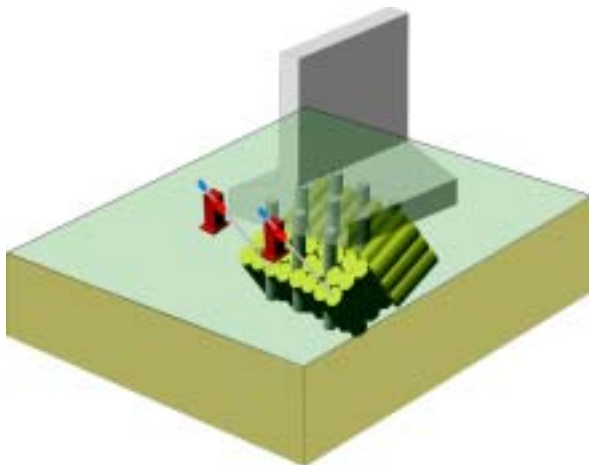


図-2 従来工法

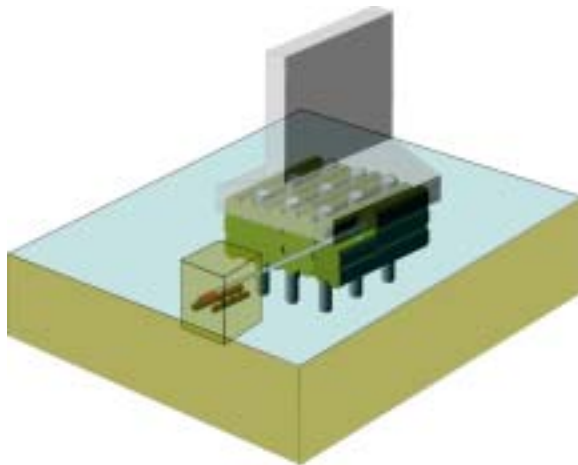


図-3 パラジェット工法

表-1 標準設計数値

改良体の形状	全円
改良体の有効径	φ 1 m・2m
改良強度	地盤を問わず 1~5MN/m ² 調整可能

2. 実物大造成実験

(1) 方法

実験は、千葉県袖ヶ浦市南袖内にて実施した。実験場所の地層を図-4に示す。今回の実験では、崩壊性地山・被圧水下において改良体を造成することを目的として実験場所を選定した。対象とした地盤は、N値10~20、砂分=68.9%、均等係数 $U_c=15.18$ 、自然含水比 $W_n=25.6\%$ の細砂層である。

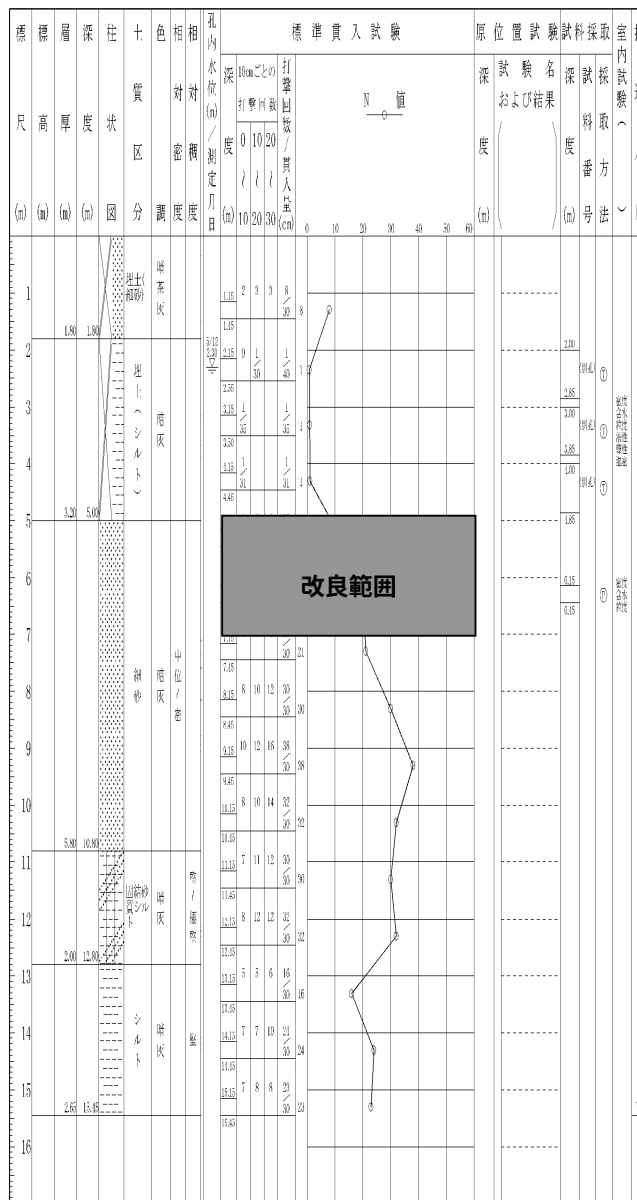


図-4 地盤状況

細砂層で造成を行なうためには、改良体天端はG L-5.0m以深となり、施工基面はG L-7.0mとなる。そのため、山留め壁（鋼矢板）を用いた施工立坑が必要となる。同様に、造成実験後の改良体掘り起こしにおいても、掘出し立坑が必要となる。

立坑概略図を図-5に示す。立坑完成後、坑口防護注入を実施した。

造成における施工手順を図-6に示す。

実験の仕様を表-2に示す。

実験ではφ2mの改良体6本、φ1mの改良体1本を作成した。

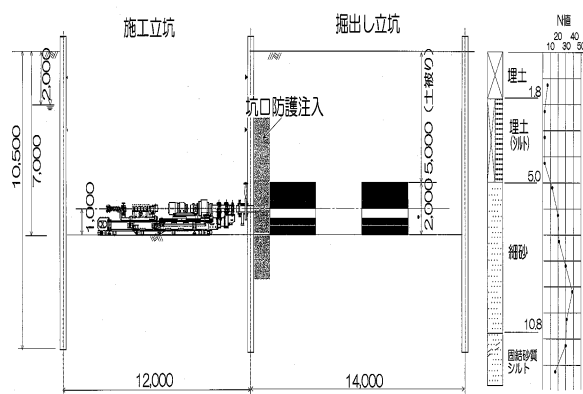


図-5 立坑概略図

(2) 改良体の品質確認方法

- ① 改良体形状 : 掘出しによる形状測定
- ② 攪拌混合状況 : 採取コアによる目視確認
- ③ 改良体強度 : コアサンプリングによる一軸圧縮強さの確認
- ④ ラップ部状況 : 左右と前後のラップの確認 (目視と一軸圧縮強さの確認)

(3) 施工時の確認事項

- ① 排泥量の確認 : 排泥制御装置の作動確認
排泥量 ≤ 供給量
供給量 = 交差噴流 (超高压水量) + 低流動化硬化材量
- ② 被圧水対応 : 三重管等の接続・切断時の状況確認 (目視)
- ③ 排泥の状況 : 低流動性硬化材が排泥に混ざらないか目視確認
- ④ 周辺地盤変位 : 地表面の変状確認
- ⑤ スランプ値 : 5cm程度

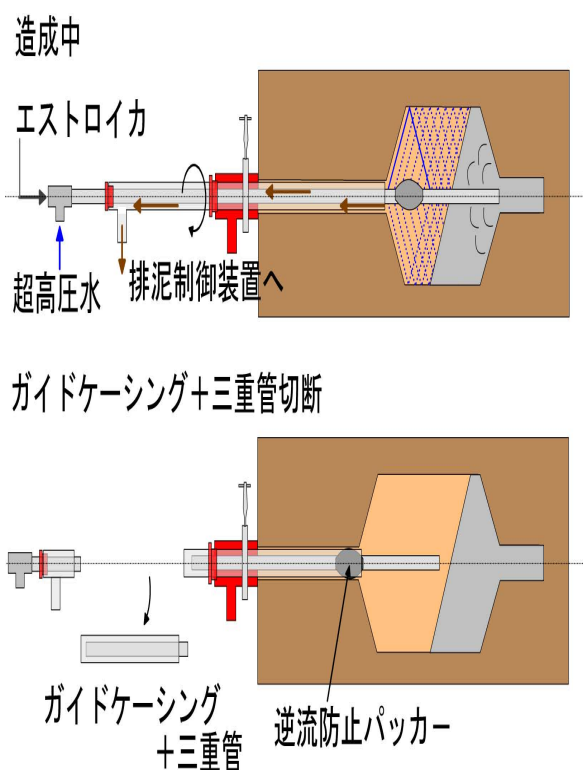


図-6 施工手順図

表-2 実験仕様一覧表

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7
低流動性硬化材 設定強度(MN/m ²)	1	1	1	1	1	1	3
(L/分)	265	66	200	200	200	200	200
X-jet	泥水	泥水	泥水	泥水	泥水	泥水	泥水
噴射圧力(MPa)	35	25	35	35	35	35	35
噴射流量(L/分)	164×2	75×2	164×2	164×2	164×2	164×2	164×2
回転数(rpm)	6.7	6.7	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
造成時間(分/m)	12	12	16	16	16	16	16
目標有効径(φm)	2.0	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
備考	前後ラップ施工			左右ラップ施工			

(4) 実験結果

- ① 掘出した改良体の状況を写真-1,2に示す。



写真-1 掘出した改良体 Case7



写真-2 掘出した改良体

- ② 掘出した改良体形状について

Case1は、先端部のみ上部方向に径が大きく施工手前側の径が減少している。全体的に設定径不足であった。

Case2は、全体的に設定径（ $\phi 1\text{m}$ ）を満足していた。この施工仕様で十分満足いく改良体の造成ができた。

Case3～7は、水平方向にやや歪な円柱形であるが設定径（ $\phi 2\text{m}$ ）を満足していた。

Case7の断面方向の状況を写真-3に示す。

- ③ コアサンプリングについて

すべての改良体において、サンプリング率はほぼ100%であった。

- ④ 改良体強度について

目標強度 $q_u=1\text{MN}/\text{m}^2$ に対して、Case5は約2倍の平均 $2.07\text{MN}/\text{m}^2$ であったがそれ以外は平均 $1.56\text{MN}/\text{m}^2$ であった。

目標強度 $q_u=3\text{MN}/\text{m}^2$ に対して、Case7で平均 $3.35\text{MN}/\text{m}^2$ であった。改良体強度については、全ての改良体が設計強度を満足した。

- ⑤ 改良体のラップ状況について

コアサンプリングによるコアの目視確認では、左右のラップ部（Case4,6,5）は、硬化材の分離、沈降もなく品質として均質な改良が成されていた。

また、Case6の改良体の上半部をはつり、改良体中心部のラップを目視確認した。Case6ラップ部状況は（写真-4）良好であった。

同じく改良体相互の前後方向のラップ部の接合状況は（Case1,2,3 写真-2）問題なく接合されていることが確認できた。



写真-3 掘出した改良体 Case7



写真-4 ラップ部 Case6

⑥ 排泥制御装置の作動について

排泥制御装置は、圧力流量計から送られてくる信号を受信し、排泥制御装置本体での設定圧力、設定流量と比較し、その差が設定量を超える場合、ピンチバルブを緩め、管路を開放し、設定量より少ない場合は管路を狭めるように設定した。

排泥制御装置運転開始当初、圧送試験等を実施して、最も大きな問題点としては、充填実験装置に行った時に、排泥水量が50%ほど大きくなった事である。これは、硬化材圧送ポンプの流量の変動に対してピンチバルブの対応が開放側には瞬時に働くが、閉鎖時の反応が幾分遅いため、発生する供給と排出の差が累積するものと推定された。

これらは圧力流量計から送られてくる流量信号の大きな変化に対応できないからと考えられたため、信号の受け取り間隔を延ばす方向で試験を繰り返した。この結果が図-7である。最終的に、排泥水量に対して硬化材の供給量を若干高めにすることによりバランスをとることができた。

この結果から今回の実験では排泥制御装置を用いるとにより、実施工において地内圧をわずかに高めに設定することで地山崩壊を防ぐという制御が可能であることを検証できた。

図-8に排泥制御装置概念図を示す。

⑦ 被圧水対応について

ガイドケーシング+三重管の接続・切断時の地山からの逆流防止対策として設置した逆流防止パッカーにより今回の実験施工中一度も地山からの逆流がなかった。

⑧ 排泥の状況について

今回の実験では、排泥への硬化材混入については、定量的な分析は行っていない。施工中の排泥のPHは10～11を示していたが、排泥自体は4週以上経過しても固結しなかった。

⑨ 低流動性硬化材について

今回開発した当社独自の低流動性硬化材（名称：エストロイカ）で直径2mの充填が可能であることがわかった。開発目標を以下に示す。

圧送性 配管径φ50～65mmで吐出量200ℓ/分以上
 圧力損失 延長距離100mで圧力損失5MPa以内
 自立性 安息角45°以上
 スランプ 5cm程度

硬化材の開発は、圧送性確認を目的とした圧送実験を行い、その結果、圧送可能と判定された配合により充填実験を行なった。

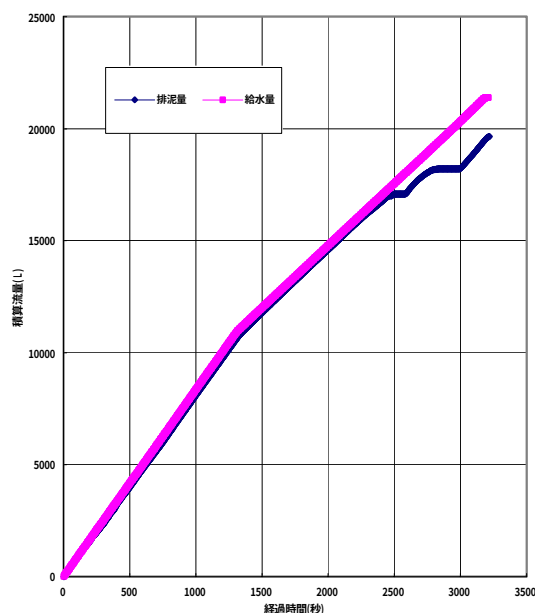


図-7 供給量と排泥量の累積量

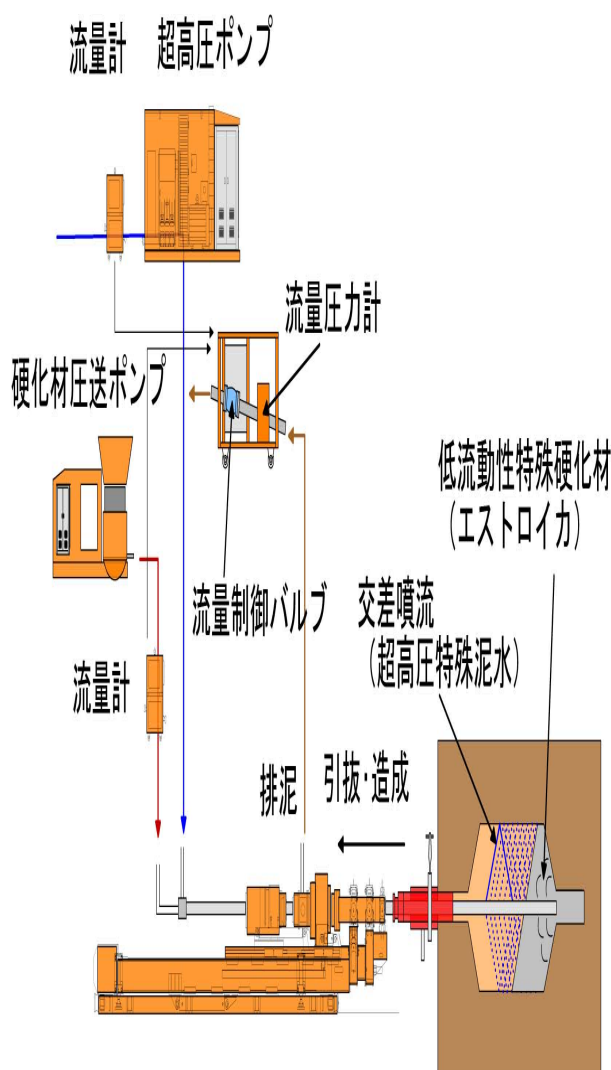


図-8 排泥制御装置概念図

写真-5,6,7に最終の充填状況を示す。



写真-5 充填実験装置全景



写真-6 密閉充填状況

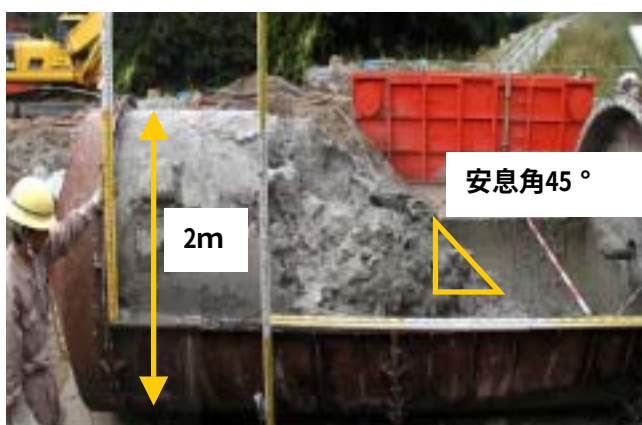


写真-7 密閉充填状況

3. おわりに

今回の実験により、水平方向に直径 $\phi 2.0\text{m}$ の円柱改良体を造成するという所期の目的を達成することができた。また、土被り5mという条件での施工であったが、特に周辺地盤の変位も観測されていない。

本工法の原理は、低流動性硬化材による置換工法であることから、地盤に左右されず、任意の強度の改良体を造成することができるという特長を有している。この特長を生かして既設構造物直下の耐震補強等、高強度、高品質が要求される地盤改良工事への適用を目指して行きたい。

また、本工法は、排泥にセメント分がほとんど混ざらないという特性を生かし、排泥を脱水・分級し硬化材中の骨材としてリサイクルする方法に取り組んでいる。