

線路内で施工可能な地盤改良を 利用した止水性仮土留め工

加納 暢彦¹・桑原 清¹・有光 武¹・手塚 広明²・伊藤 孝司³

¹正会員 東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 工事管理室 (〒151-8512 東京都渋谷区代々木2-2-6)

E-mail:kanou-n@jreast.co.jp

²正会員 前田建設工業(株) 土木事業本部 土木部 (〒179-8903 東京都練馬区高松5-8 J.city)

³正会員 日本綜合防水(株) 技術部 (〒171-0022 東京都豊島区南池袋3-11-10)

開削工法による線路下横断工では、一般的に線路横断方向に仮土留め工の設置が必要であるが、仮土留めの施工は線路内での作業となるため、レール・枕木に干渉が生じない親杭横矢板方式が多く採用されている。その際、地下水位が高い環境の場合には、土留背面に補助工法による止水防護（薬液注入、地盤改良）を設ける必要があり、工期・工事費の両面を増大させている。

そこで、噴射付機械攪拌工法を用いた止水防護の地盤改良体内にH形鋼を挿入して仮土留め工とする工法の検討を行った。今回、実施工を想定した条件で実施した確認試験、鉛直・水平載荷試験および改良体の出来形等の確認を実施し、本工法の有効性を確認した。

Key Words : *mechanical mixing and jet grouting method ,ground improvement
water tightening retaining wall, under crossing the railway*

1. はじめに

開削工法による線路下横断工では、一般的に線路横断方向に仮土留め工の設置が必要であるが、仮土留めの施工は線路内での作業となるため、レール・枕木に干渉が生じない親杭横矢板方式が多く採用されている。その際、地下水位が高い環境の場合には、仮土留め背面に補助工法による止水防護（薬液注入、地盤改良）を設ける必要があり、工期・工事費の両面を増大させている（表-1 参照）。

そこで、レール・枕木の干渉がある線路横断方向の制約条件および高さ制限や終初電間での時間的制約がある線路内での条件下において、止水防護の改良体内にH形鋼を挿入し柱列式仮土留め工とする検討を行った（表-1 参照）。

今回、線路内で施工する土留め杭を想定した施工性試験および載荷試験を実施し、①造成した地盤改良体内へのH形鋼の挿入性、②造成・H形鋼挿入のサイクルタイム、③仮土留め杭としての出来形、④鉛直・水平載荷試験での現設計への適応の確認を実施し、地盤改良を用いた仮土留めの有効性の確認を行った。

表-1 線路内仮土留め概要

親杭横矢板土留 (従来工法)	地盤改良杭仮土留 (開発工法)

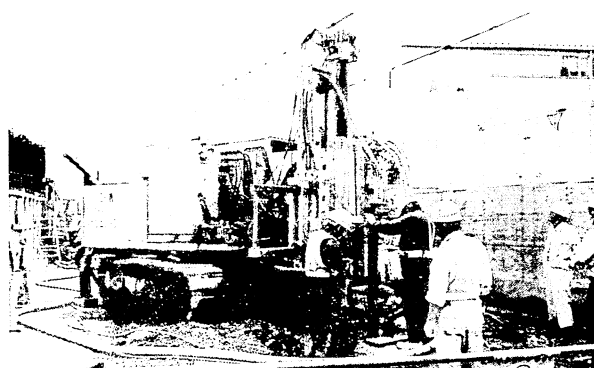


写真-1 地盤改良施工機械

2. 工法概要

本工法は、止水防護の地盤改良体内にH形鋼を挿入し、止水性能を有した仮土留め工とする。今回の仮土留め工は、SMW工法と同様に仮土留め全体の土圧等に抵抗する応力材としてH形鋼を配置し、H形鋼間の土圧を負担する壁材として改良体を考慮する構造とした。

本工法の適用に際しては、H形鋼が挿入可能な径の柱状の造成が必要であるため機械攪拌工法に着目した。一般的に、機械攪拌工法は、施工機械が大型なため4.0mの空頭制限がある線路内作業への適応が難しいが、今回線路内作業での実績がある低空頭噴射付機械攪拌工法を使用することで問題を解消することとした（写真-1、図-1参照）。

また、首都圏の線路内での施工は、1日の実作業時間が終初電間の2.5時間程度と制限され1本の施工が複数日に渡るため、遅延剤を添加した配合を使用することでH形鋼挿入完了まで所定の流動性を確保することとした。

本工法に用いた噴射付機械攪拌工法は、固化材スラリーを機械攪拌用ロッドの先端から低圧噴射（5MPa）するとともに、 $\phi 500\text{ mm} \sim 600\text{ mm}$ の攪拌翼先端から高圧噴射（20MPa）することにより $\phi 800\text{ mm}$ のソイルセメント改良体を造成する工法¹⁾である（図-2参照）。

本地盤改良工法の特徴としては、①最大機械高さ3.9mに抑えた施工機械により空頭制限のある線路内、桁下等での施工が可能である、②一般的な噴射攪拌工法に比べ改良時の引上速度が1.0min/mと高速な造成が可能であり、排泥量も25～30%と少ない、③噴射攪拌領域でのラップ施工が可能でありレール・枕木の干渉を受ける線路内での止水防護改良で実績があるなどが挙げられ、制約条件の多い線路内での施工に適応した工法¹⁾である。

なお、開発当初は軟弱地盤への地盤改良を目的としていたが、先端ピットの改良により礫質土等の硬質地盤での施工も可能となっており幅広い土質に対応可能である。適応深度としては、20m程度を一般的な対応深度としている。

3. 全体試験概要

本開発で行った試験は、実施工を考慮した環境での施工性試験と、仮土留め杭としての所定の性能を確保しているかを確認する載荷試験の2種類の試験に分けて行った。

施工性試験は、線路内で施工する仮土留め杭を想定し、造成からH形鋼の挿入までの一連の施工性の確認を行った。試験杭は、適用頻度が多いと想定されるH-300、H-400のH形鋼を使用し、施工時に影響が大きいと想定される打設延長・H形鋼挿入までの時間を変えて3本実施した。また、複数日に渡る施工に適応させるために、改良に使用する固化材の材料試験も併せて実施した。

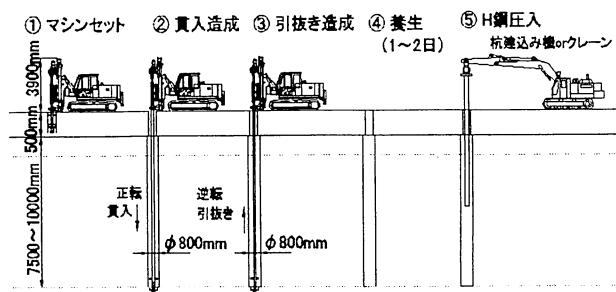


図-1 施工順序図

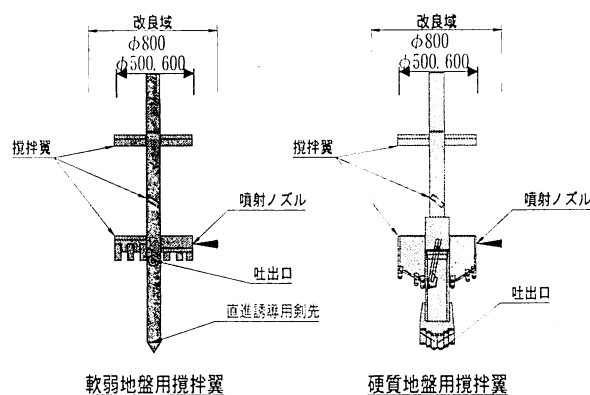


図-2 改良体造成部概略図

載荷試験は、現設計法での適応性確認のために施工性試験の杭を使用し、急速載荷試験で鉛直支持力の確認、水平載荷試験で仮土留め杭としての性能確認を行った。

4. 施工性試験

(1) 試験概要

施工性試験は、線路内で施工する土留め杭を想定して仕様の決定を行い3本の試験杭を施工した。3本の試験杭の詳細を表-2、図-3に示す。

H形鋼の挿入は、線路内で行う造成1日、芯材挿入1日の施工を想定してNo.Ⅰ、Ⅱは造成から24時間後に芯材挿入を行い、No.Ⅲは列車運行の影響で翌日に施工できない状況を想定して造成日の48時間後に芯材挿入を行った。

また、使用する固化材の材料試験は、事前の室内配合の試料、造成時と硬化した改良体から採取した試料に対して、流動性確認試験および強度確認試験を行った。

試験箇所の土質は、関東ローム層（N値4～8程度：標準貫入試験値、含水比129%：含水比試験値、 $C=44\text{ kN/m}^2$ ：三軸試験値）であるが、一般的に関東ローム層は粒度特性や含水比の影響で改良体強度が発現しにくく、流動性保持確保と強度発現確保の両立に対して厳しいと想定される条件である（図-3参照）。

使用する芯材は、軌道内での作業を想定し、1本あたりの部材長を1.5mとしボルト継手で連結する形状とした。

試験杭は、試験完了後に掘起しを行い、造成した改良体のラップ状況、固化材と芯材の密着性に関して目視にて確認を行った。

今回の施工性試験において、①芯材挿入に必要なスラリー流動性状の確認、②汎用機械でのH型鋼芯材の挿入性、③造成・芯材建込みのサイクルタイムの確認、④改良体のラップ状況および芯材と改良体との密着性の確認を行った。

(2) 材料試験結果

材料試験は、室内配合と現地採取試料に対して、流動性確認試験および強度確認試験を行った。流動性確認試験は、テーブルコーン試験によりテーブルフロー値を測定して行い、造成完了後から時間経過に伴う変化の確認を行った。強度確認試験は、一軸圧縮強度試験を行い、遅延剤の影響による強度・強度発現に対する確認を行った。

本試験に用いたスラリーは、固化材の違いによる流動性の影響を確認するために、試験地盤（関東ローム）に適した特殊固化材（以下配合1）と一般的に多く用いる高炉セメント（以下配合2）を使用した。また、本試験で用いた遅延剤は、オキシカルボン酸塩を主成分とするものを用いた。固化材の添加量は、両固化材とも別途行った予備試験において表-3に示す配合で強度が最大となり、流動性と強度発現のバランスが最適であると判断し決定した。

スラリーの流動性の目標性能は、実施工では造成から24時間後に芯材挿入となるが、列車運行の影響による遅れを考慮して48時間後まで芯材挿入が可能な流動性を保持することとした。テーブルフロー値の目標値は、芯材の挿入状況が類似するTRD工法技術資料²⁾を参考とし150mmとした。

改良体の強度の目標性能は、対象地盤に適した配合1の配合にて確認を行い、SMWの設計基準強度³⁾を参考に目標値を500kN/m²とし、材齢28日で強度確保することとした。また、配合2は現地盤相当の100kN/m²程度の強度である。

流動性確認試験に用いた現地採取試料は、最初に試験を行った配合1は地盤から2～3mの位置から柄の長い容器を用いて採取した、配合2に関しては深さ方向の変化を確認するためにボーリングにより3m、6m、10mの位置からサンプリングを行った。

a) 流動性確認試験結果

スラリーの流動性は、室内試験では異なる固化材を使用した両配合とも24時間までテーブルフロー値が徐々に低下するが目標値の150mmを確保でき、その後も同様に低下傾向を示して48時間では130mm程度のフロー値となる結果となった。

現地造成時に採取した試料では、採取方法の差や配合に

表-2 試験杭一覧表

	芯材	削孔径	杭長	備 考
		造成径	挿入日	
No. I	H-300	φ500 mm	8.0m	鉛直載荷試験用
		φ800 mm	24 時間後	
No. II	H-400	φ500 mm	10.5m	水平載荷試験用 ラップ施工
		φ800 mm	24 時間後	
No. III	H-400	φ600 mm	10.5m	
		φ800 mm	48 時間後	

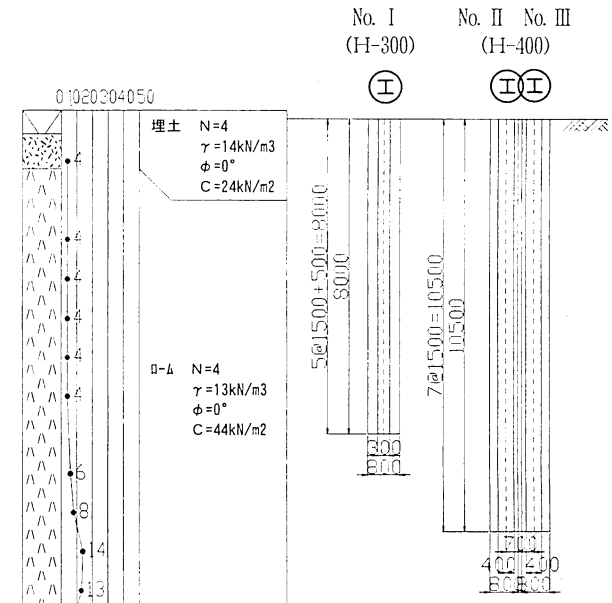


図-3 試験杭概要図

表-3 スラリー配合表

配合	固化材	添加量 (kg/m³)	W/C (%)	遅延剤 (%)
1	特殊地盤用	600	70	5
2	高炉セメント			

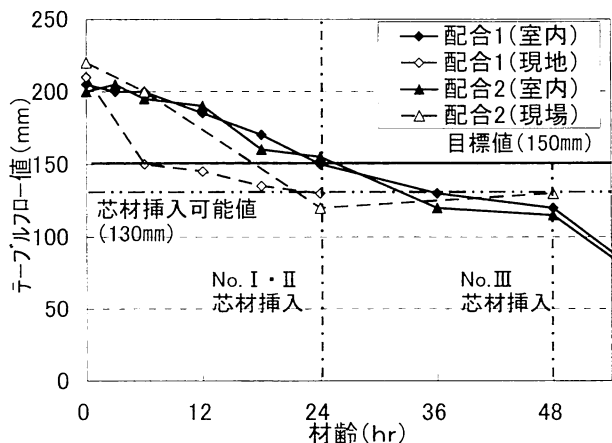


図-4 テーブルフロー値経時変化

よる若干の差はあるが、24 時間に至る前に目標値を下回る 130 mm 程度となり、その後 48 時間まで同程度の値で推移する結果となり室内試験に比べ最大 15% 程度の差が生じる結果となった（図-4 参照）。流動性の差が生じた理由としては、室内試験と異なりスラリーが地山と接するなどの環境条件の差が影響していると考えられる。

そのため、施工性試験実施後に追加の材料試験を実施した。追加の材料試験では、前述の配合に混和剤として増粘剤を添加（添加量 0.2%：主成分グアガム）したものを用いて行った。

増粘剤を添加した配合の結果は、室内試験試料と現場採取試料のテーブルフロー値はほぼ同程度の性状が確認され、増粘剤が現場での流動性低下に対して抑制効果があることが確認された（図-5 参照）。

本結果と後述の施工性試験の結果より、130mm のテーブルフロー値においても芯材挿入が可能ながことが確認されたため、実施工の管理は増粘剤添加した配合にて室内試験時に 150mm 以上のテーブルフロー値を確保する管理とする。

b) 強度確認試験結果

室内試験試料、現場造成時採取試料および改良体コア採取試料における各材齢での一軸圧縮強度試験結果を図-6 に示す。

改良体の強度は、室内試験では材齢 28 日で目標強度に達したが、遅延剤の添加が影響して材齢 60 日まで強度増進し、その後安定する傾向が確認された。

現場造成時に採取した試料は、材齢 60 日以降の試験結果においては室内試験と同様の強度・強度発現傾向を示した。それに比べ、掘起した改良体からコア採取した試料では、材齢 90 日以降の結果のみの比較となるが、強度は他試験値と比べ約 1.5 倍高い値となった。これは、芯材挿入時に使用したパイプロハンマーによる締固め効果や、硬化過程での地山への水分逸散で見掛けの W/C が低下したことなどが影響していると考えられる。

本試験では、管理材齢を 28 日としたことと流動性保持のために遅延剤を多く用いたことが影響し、最終強度が目標強度の 2.5 倍と大幅に高い値となった。そのため、実施工においては、遅延剤を添加しない配合の材料試験も実施し最終強度を確認する必要がある。また、線路内の仮土留めは、通常掘削開始までに時間を要することが多いため管理材齢の標準は 60 日とすることが適切であると思われる。

(3) 試験杭打設試験

試験杭打設は、実施工を想定した条件にて 3 本の杭の打設を行い、H 形鋼芯材の挿入性、造成・建込みのサイクルタイムの確認を行った。

施工に使用する機械は、造成時は低空頭噴射付機械攪拌工法の施工機械のみ、H 形鋼の挿入は軌道内で使用する低

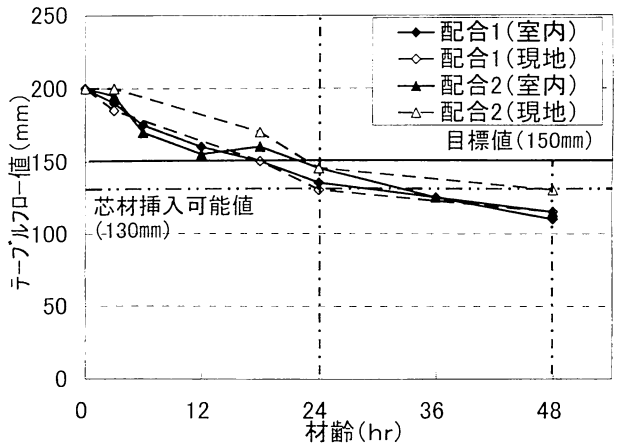


図-5 テーブルフロー値経時変化(増粘剤添加)

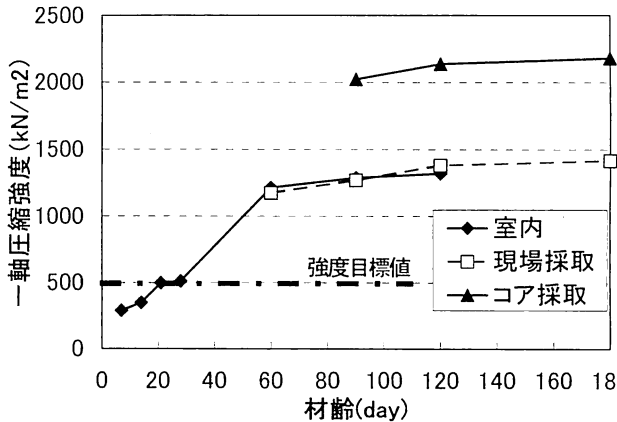


図-6 一軸圧縮強度経時変化(特殊地盤用)

表-4 試験杭造成時間

	内容	造成時間	ロッド継 足し時間	合計時間
				平均時間
No. I 8.0m	貫入時	7.9min	13.2min	43.0min
	引抜き時	9.1min	12.8min	5.4min/m
No. II 10.5m	貫入時	21.2min	31.1min	78min
	引抜き時	10.9min	14.8min	7.4min/m
No. III 10.5m	貫入時	24.0min	28.8min	77min
	引抜き時	12.2min	12.0min	7.3min/m

空頭型の施工機械にて行った。また、H 形鋼の挿入には、室内試験でのテーブルフロー値の結果より、自沈不可能な場合の対応としてパイプロハンマー（以下パイプロ）を用意して行った。

試験杭は、No. I・No. II を先行して打設を行い、ラップ施工する No. III を No. II の改良体の硬化を待って打設を行った。

a) 試験杭造成結果

本試験の改良体の造成は、固化材添加量が 600kg/m³ と多いため、一般的な造成仕様から変更し貫入時・引抜き時とも低圧・高圧とも同じ吐出量にて実施した。

試験杭3本の造成時間を表-4に示す。

改良体造成は、No.Ⅰ杭は貫入時1.1min/m、引抜き時1.2min/mとほぼ設計どおりの時間で実施したが、No.Ⅱ・No.Ⅲ杭の引抜き時はNo.Ⅰ杭と同様に設計どおりとなったが、貫入時に2.0～2.3min/mの時間を要した。

No.ⅡとNo.Ⅲ杭で時間を要したのは、No.Ⅱは排泥に使用するバキュームポンプの詰まりの発生、No.Ⅲは先行して打設したNo.Ⅱの改良体を部分的に切削しながら造成する状況となったことが原因である。

今回の施工試験においては、先行して打設した改良体を片側のみ切削する条件であったが、鉛直精度は一般的な精度管理目標値の1/250を満足する結果が得られた。

今回の結果より、通常想定されるトラブルがあった場合でも1mあたりの平均造成時間4分程度、ロッド継ぎ足し時間を考慮しても8分程度であり、線路内施工時の実作業時間約2.5時間で20m程度までは造成可能である結果が得られた。

b) 試験杭芯材挿入結果

H形鋼芯材の挿入は、改良体造成完了後に所定の時間を空けて実施した。

H形鋼の挿入性は、H-300材を用いたNo.Ⅰ杭は、テーブルフロー値が130mm程度と流動性の低下が影響し、3m程度までは自沈可能であったがそれ以降は多少パイプロを併用して所定の8mまでの挿入となった(写真-2参照)。H-400材を用いたNo.Ⅱ杭は、No.Ⅰ杭と同様に多少のパイプロを併用して挿入を行ったが、所定の10.5mより短い7.75mで挿入不可能となった。No.Ⅲ杭は、No.Ⅰ・No.Ⅱ杭と異なり固化材に高炉セメントを用いたが、挿入時のテーブルフロー値は同程度であり、他の杭と同様に多少のパイプロを併用することで所定の10.5mまで挿入することが可能であった。

本試験においては、テーブルフロー値が目標値を下回る状況での施工となったが、パイプロの振動により芯材と改良体の付着を低減することにより芯材挿入が可能になったと考えられる。また、パイプロの振動はテーブルフロー値の若干の改善に繋がったとも考えられる。

No.Ⅱ杭が挿入不可能になった理由としては、改良径はΦ800mmと十分であるが機械攪拌翼はΦ500mmであり、通常H-400材の挿入に必要なΦ600mmを下回っていた点も影響したのではないかと考えられる。また、現地採取したテーブルフロー値は130mm程度の値であったが、深度方向でフロー値の低下があり挿入を困難にさせた可能性も考えられる。

3本のH形鋼挿入試験結果より、目標値を下回る130mm程度のテーブルフロー値であってもパイプロを併用することにより芯材挿入が可能であることが確認できた。また、本試験では全て目標値を下回るフロー値の施工となり確

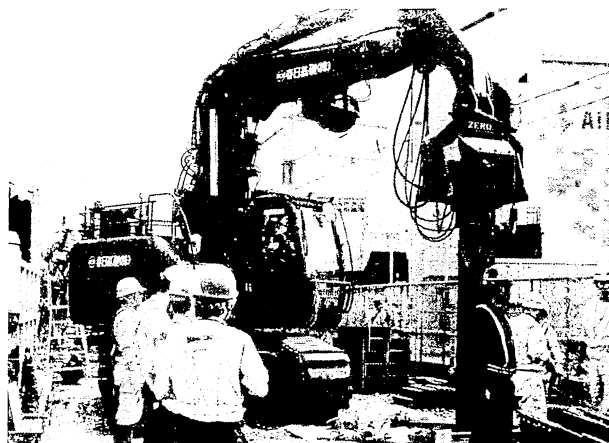


写真-2 H形鋼挿入状況

表-5 H形鋼挿入時間

	仕様	挿入時間	継手時間 (箇所数)	合計時間
				平均時間
No.Ⅰ 8.0m	H-300 6本継ぎ	15.1min	64.0min (5箇所)	79.1min 9.9min/m
No.Ⅱ 10.5m	H-400 7本継ぎ	19.2min	60.7min (6箇所)	79.9min 10.3min/m
No.Ⅲ 10.5m	H-400 7本継ぎ	22.5min	64.8min (6箇所)	97.3min 9.3min/m

※: No.Ⅱ杭は10.5m挿入予定が7.75mで挿入不可

認できなかったが、自沈での芯材挿入には150mm以上のテーブルフロー値の確保が必要であると考えられる。

H形鋼の挿入時間は、施工条件は異なっているが3本とも10.0min/m程度で挿入を行う結果が得られた(表-5参照)。また、3本の試験結果より1mあたりの挿入時間を考慮すると、線路内施工時の実作業時間約2.5時間で15m程度までは挿入可能である結果が得られた。

一連の試験結果より、線路内で施工する際の適応杭長は、芯材の挿入で決まる15mの杭長が適用範囲とすることが適切である。この杭長は、一般的に線路内で用いられる一次仮土留めの杭長に対して十分満足する長さである。

(4) 改良体目視確認結果

試験で打設した3本の杭は、試験実施後に掘起しを行い目視により改良体の確認を行った。

改良体の目視確認は、改良体の出来形、改良体同士のラップ状況、改良体とH形鋼の密着性に関して実施した。

改良体の出来形は、全深度においてΦ880～970と設計径の1.1倍以上の径が確保され、著しい出来形不足や偏りは確認されなかった。

改良体のラップ状況は、鉛直精度が管理目標値の1/250を満足しており確実なラップを確保していることを確認した。また、全深度においてラップ部でのひびわれや未改良箇所の発生も確認されず良好であった。

改良体とH形鋼との密着性は、目視の確認であるが全深度において良好であることが確認された（写真-3、写真-4参照）。確認結果より、造成後時間が経過した改良体であっても、所定の流動性状を有していればH形鋼との密着性を確保できることが確認された。

5. 載荷試験結果

載荷試験は、今回の地盤改良を用いた仮土留め杭が所定の性能を確保しているか確認するために実施した。

実施した試験は、急速載荷試験と水平載荷試験であり、それぞれの試験にて杭としての支持力、土留め杭としての性能の確認を行った。

(1) 急速載荷試験

a) 試験概要

急速載荷試験⁴⁾は、図-3に示すNo. Iの試験杭1本を使用して行い、杭上に組んだ架台から載荷体として軟クッション重錘を使用し、落下高さを変化させることで必要な荷重を杭に載荷する方法である（写真-5参照）。計測は、ひずみ計により荷重値、PSDカメラとレベルにより変位量、加速度計にて杭頭加速度を測定した。本試験で急速載荷試験を採用した理由としては、静的載荷試験と異なり反力杭などの設備が不要で比較的簡易な装置で計測が可能であり、試験結果も精度良く静的な支持力を推定できる点である。

載荷方法は、最大荷重を1000kNとして段階的に荷重を増加させる多サイクル法にて行った。載荷する最大荷重は、設計で想定される最大の荷重を満足するものとし、地盤改良体を場所打ち杭として評価した地震時終局限界状態での設計鉛直支持力⁵⁾792kN以上の荷重を設定した。

本試験により荷重-変位関係を得ることができるが、動的な試験であるため得られた試験値より速度に起因する抵抗成分を除いて静的な支持力の評価を行う。

b) 試験結果

本試験で得られた結果を図-7に示す。本グラフ中においては、速度に起因する抵抗成分を除いた各サイクルの静的成分の最大荷重点を合わせて示す。

試験時の杭の挙動は、最大荷重1000kN程度の載荷においても最大変位量は1.7mm程度であり、一般的に極限支持力に達すると言われる杭径の10%に対しても大きく下回る結果となった。また、除荷時の残留変位も微小であり、今回の載荷レベルでは十分弾性的な挙動の範囲内であることが確認された。

設計値としては、通常の仮土留め杭の支持力算出に用いるH型鋼のみを有効とする支持力算出式⁵⁾においてFs=

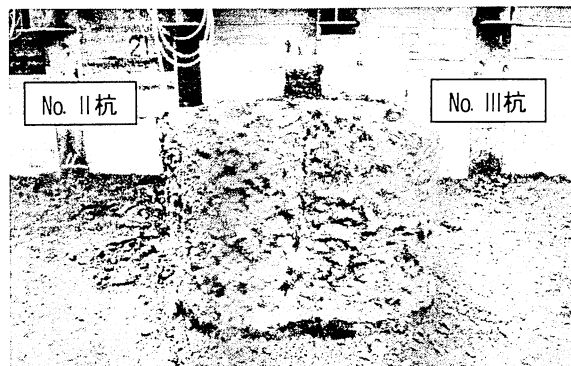


写真-3 改良体ラップ状況



写真-4 改良体・H形鋼芯材状況

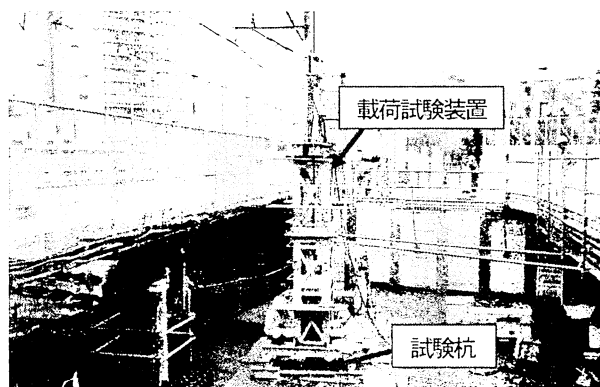


写真-5 急速載荷試験状況

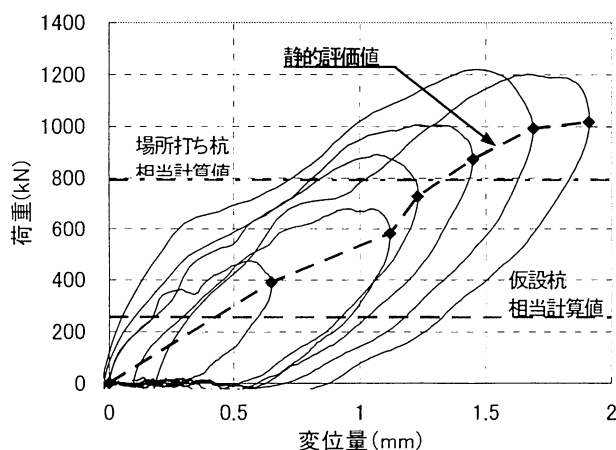


図-7 荷重-変位図（急速載荷試験）

2.0の安全率を見込まないものとしても257kN（先端36kN，周面221kN），前述の改良体を有効として場所打ち杭相当として評価した地震時終局限界状態で算出⁶⁾を行っても792kN（先端151kN，周面641kN）となり，両者の荷重は今回の試験の弾性的な範囲内であり，支持力としては十分満足する結果が得られた。

本試験より，載荷試験が今回の1本のみであるため断定は出来ないが，鉛直支持力に関しては，改良体を有効として評価した設計を適用することが可能ではないかと考えられる。

(2) 水平載荷試験

a) 試験概要

水平載荷試験は，図-3に示すラップ施工したNo. II，No. III杭2本に対して，試験実施現場の土留杭を反力杭として使用し，3000kN油圧ジャッキを用いて水平方向荷重を杭頭部に載荷させて行った（図-8，写真-6参照）．計測は，ロードセルによる荷重値と，ダイヤルゲージにて試験杭・反力杭変位量の測定を行った．載荷方法は，最大変位を40mmとした変位制御にて行い，10mmの変位量を1ステップとした多サイクル試験にて行った．

試験杭は，No. IIが7.75m，No. IIIが10.5mまでH型鋼の挿入を行ったが，挿入完了後No. III杭を7.75mまで引上げ試験杭長を同条件に揃えて行った．

b) 試験結果

本試験で得られた結果を図-9に示す．

試験杭の挙動は，荷重増加に伴い地表面付近より地盤が塑性化するため，荷重増加に対して変位増加の割合が大きくなり950kN程度の荷重で所定の40mmに達した．また，最終ステップ除荷時の残留変位は10mm程度の値となった．

地表面付近の改良体は，載荷試験完了後に確認したところ多少のひびわれが目視で確認される状態であった．

設計水平支持力と計算値を比較した試験杭1本あたりの荷重-変位図を図-10に示す．

設計水平支持力の計算手法として，設計バネ値⁵⁾を用いた弾性解析と地盤の塑性化を考慮した弾塑性法の両手法で評価を行った．計算値算出に使用する杭の曲げ剛性は，H形鋼のみを有効として行った．また，弾塑性解析では，塑性部分の杭の有効載荷幅にH形鋼フランジ幅を用いた場合と，改良体全幅を用いた場合の2ケースで行った．

試験値は，弾性解析値と2ケースの弾塑性解析値の間に収まる結果を示した．弾性解析で評価した場合，地盤の地表面付近が弾性範囲と想定される微小変位（10mm程度）では解析値に近い値を示すが，その後の地盤の塑性化の進行に伴い変位が増加し弾塑性解析の計算値に近づく傾向を示した．弾塑性解析で評価した場合，通常の親杭式土留の設計であるH形鋼フランジ幅から有効載荷幅を算出し

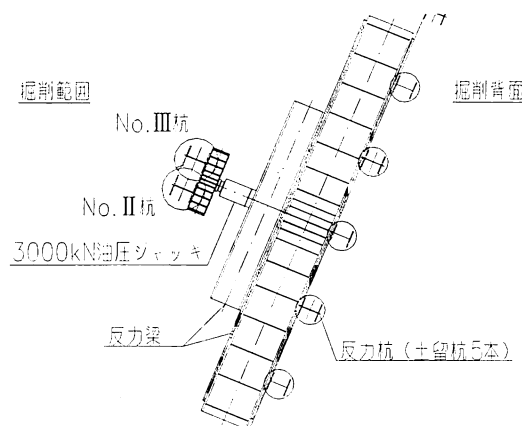


図-8 水平載荷試験装置平面図

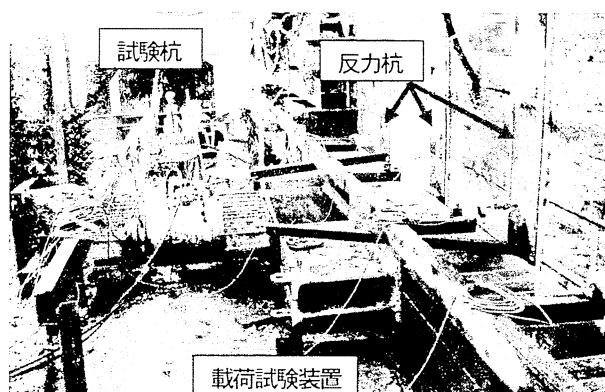


写真-6 水平載荷試験装置

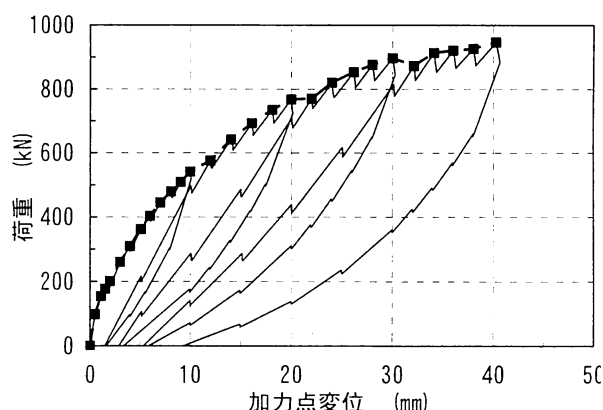


図-9 荷重-変位図（水平載荷試験計測値）

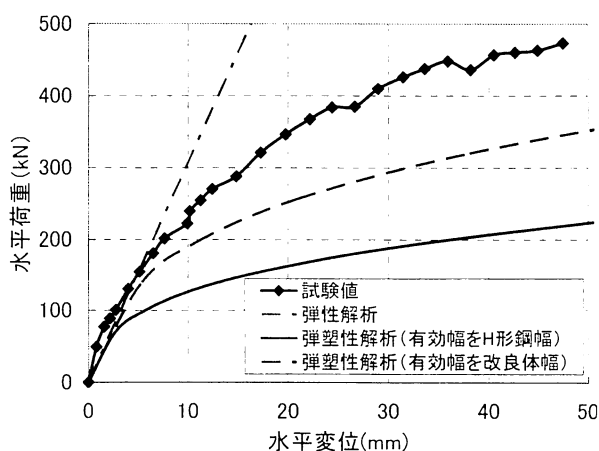


図-10 荷重-変位図（杭1本あたり）

た結果だけでなく、改良体幅から有効載荷幅を算出した結果に対しても非常に小さい変位量であり本工法の仮土留め杭への適用に問題ないことが確認された(図-10 参照)。

また、本工法で想定している柱列壁としての使用には、SMW 工法と同様に H 形鋼間の改良体部分の確認が必要であり、強度が不足する際は改良体を止水層として横矢板などを併用する必要がある。

6. まとめ

噴射付機械攪拌地盤改良を利用した仮土留め工への適用に関する各種試験で得られた結果を以下に示す。

- ① 改良体に用いるスラリーは、遅延剤を使用することで H 形鋼挿入が想定される造成後 48 時間程度まで流動性を保持することが可能であった。ただし、現地での流動性低下を抑制するために混和剤に増粘剤の使用、芯材の挿入性を考慮して室内試験でのテーブルフロー値 150 mm の確保が必要である。
- ② H 形鋼挿入の施工性試験より、パイプロを併用することで 130mm 程度のテーブルフロー値までは挿入可能であった。
- ③ 改良体造成・H 型鋼挿入の施工性試験より、線路閉鎖時間での実作業時間約 2.5 時間で 15m 程度の杭長までは施工可能である。
- ④ 固化材強度は、遅延剤の添加率によって強度発現が長期に渡る可能性があるため、掘削までの工程を考慮して管理材齢・配合を決定する必要がある。
- ⑤ 鉛直支持力は、通常の仮土留め杭として得られる支持力および改良体を有効として場所打ち杭相当として得られる支持力に対して十分満足する結果が得られた。場所打ち杭相当以上の結果が得られたことから、今後試験を重ねることにより改良体を有効とす

る設計の適用が可能ではないかと考えられる。

- ⑥ 水平支持力は、弾塑性解析で求めた計算値に対して十分満足する結果が得られ、仮土留め杭への適応に問題ないことが確認された。

上記の試験結果より、噴射付機械攪拌地盤改良杭を利用した仮土留め工は、線路内で使用しても十分施工可能であり、現行の設計法に対して十分な性能を有していることから実施工に適用可能なことが確認された。

今後施工面では、各種土質および施工条件毎の配合の標準化を行うことで配合選定の合理化が可能である。設計面では、更なる試験での確認により、改良体を有効とした合理的な設計が可能になると考えられる。

また、これらの合理化を行うことで仮土留めだけでなく乗降場や工事桁仮橋脚の支持杭への適用も可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 日本総合防水株式会社 メカジェット工法(噴射付機械攪拌工法)技術資料 平成 18 年度
- 2) TRD 工法協会 TRD 工法技術資料 2005. 7
- 3) 日本材料学会 ソイルミキシングウォール(SMW)設計施工指針(改訂版) 2002. 1
- 4) (社)地盤工学会 杭の鉛直載荷試験方法・同解説 第一回改訂版 2004. 5
- 5) 鉄道総合技術研究所 鉄道構造物等設計標準・同解説 開削トンネル 2001. 3
- 6) 鉄道総合技術研究所 鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物・抗土圧構造物 2002. 6

DEVELOPMENT FOR WATER TIGHTENING RETAINING WALL WITH GROUND IMPROVEMENT IN RAILWAY

Nobuhiko KANO Kiyoshi KUWAHARA Takeshi ARIMITSU
Hiroaki TEDUKA Takashi ITO

Generally, Retaining Wall is required where working under crossing the railway for Open-Cut Method. Berlinoise Method is mainly adopted due to affecting to the rails or sleepers by the construction within the railway. It is required water tightening for behind retaining wall such as chemical grouting or ground improvement in case high ground water level. And these condition are increasing the construction period and cost.

We develop Mechanical mixing and jet grouting method by inserting the H-beam into the improved ground for water tightening as a retaining wall. We have confirmed the effective of the development by verification test assumed real condition, vertical and horizontal loading test and shaping of the specimens.