

深層混合処理工法とジオテキスタイルを併用した軟弱地盤上盛土の現地動的繰返し载荷試験

日本鉄道建設公団 正会員 ○村上 明 安東 祐三
 日本鉄道建設公団 中村 純治 伊藤 勝美
 (財) 鉄道総合技術研究所 正会員 館山 勝
 (株) 複合技術研究所 正会員 矢崎 澄雄

1. はじめに

建設中の東北新幹線盛岡～八戸間のうち、八戸電留線路盤工区は軟弱な有機質土層($N=1, \gamma=11 \text{ kN/m}^3, w=260\%$)を支持地盤とする盛土区間であり、比較的低い盛土が高さが変化する条件 ($H=1.5\sim 3.2\text{m}$) で設置される。

鉄道盛土の構築に当たっては、支持地盤が軟弱な場合には、開業後の盛土・列車荷重による塑性沈下量を極力減少させることが重要であり、その対策として軟弱層の置換や杭網工法、深層混合処理工法などによる対策を行うのが一般的である。当区間においては、その対策として深層混合処理工法とジオテキスタイルを併用した工法（ここでは、コラムネット工法と称す）を採用した。

鉄道において、コラムネット工法を適用する場合には、「攪拌混合基礎（機械攪拌方式）設計・施工の手引き（昭和62年7月1日 鉄道総合技術研究所）」¹⁾（以降、「現行基準」と略称する）を基本として設計している。しかし、「現行基準」に準拠して当区間の設計を行った場合には、パンチングの問題から盛土高さにより改良杭の配置間隔や改良径が変化する設計となるため、地盤改良の施工が複雑になるなどの課題が生じた。このため、コラムネット工法の適用に際しては、「現行基準」には一部抵触する箇所があるものの、より合理的・経済的な構造となるよう設計を行うこととし、この効果・妥当性を現地試験により確認することとした。

本稿は、主に当区間で採用したコラムネット工法の概要、及び現地载荷試験の目的・試験概要についての報告である。

2. コラムネット工法の概要

鉄道の「現行基準」で示されているコラムネット工法の構造・設計の基本条件を図1、表1に示す。当区間のような低盛土の場合の特重要な基本条件としては表1②の項目であり、「現行基準」の中では「盛土内にパンチング現象が生じないように改良体ピッチは盛土高さ以上としてはならない。」と記されている。これは、鉄道では列車荷重の影響が大きく、列車荷重により盛土にパンチングが生じると過大な不同沈下が発生することが懸念されることから、このような制約が付加されたものである。しかし、これによった場合、盛土高さが非常に低い場合には、改良率を高めるか非常に小さい径の地盤改良杭を採用するか、もしくは現地盤面を掘り下げることが必要となり、非合理かつ不経済となる。当区間においても、計画盛土高さは1.5～3.2m程度であることから、「現行基準」によった場合には特に盛土高が低い区間で非常に不経済な配置となる。そこで、当区間では「 $D < H$ 」の条件には抵触するものの、図2に示すようにパンチングに対してはジオテキスタイルをより強化した配置設計とし、経済化を図った仕様とした。

「現行基準」では、ジオテキスタイルの基本配置は図1に示すように、改良杭頭レベルにジオテキスタイルを1層、不織布を2～3層盛土内に配置することで、盛土の剛性を高めアーチアクション効果を更に高めるように配慮されている。これに対して当区間では、図2のように引張抵抗力の大きい $T_a \geq 60 \text{ kN/m}$ のジオテキスタイルを盛土内に2層配置し、かつ下層のジオテキスタイル上面に不織布を重ねることで、盛土材の抜けだしを防止すると共にパンチングに抵抗させる構造とした。更に、杭頭レベルにジオテキスタイルを配置した場合には、転圧時の盛土の沈下によってジオテキスタイルがせん断破損することが懸念されたことから、盛土1層目上面から配置することとしたものである。また、攪拌混合杭の仕様は、改良率20%、設計基準強度 100 kN/m^2 であり、採用した地盤改良工法は経済性と杭体の品質向上を重視して2軸施工機とした点が、従来の構造仕様と異なっている。

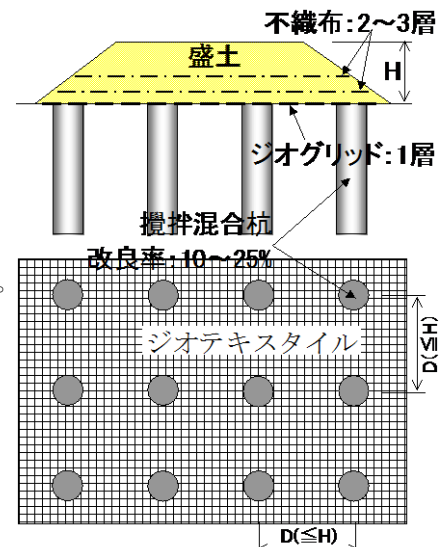


図1 現行基準の構造仕様

表1 現行基準の基本条件

①	改良杭	$\phi 500\text{mm} \sim 1000\text{mm}$ の円形
②	改良杭ピッチ	ピッチ $D(\text{m}) < \text{盛土高さ } H(\text{m})$
③	改良率	$10\% \leq a_p \leq 25\%$
④	ジオテキスタイル	補強不織布又はジオテキスタイルを盛土下面に1層配置
⑤	不織布	2～3層
⑥	荷重分散角	盛土内 30° 不織布の敷設範囲 45°

3. 現地試験の概要

(1) 試験の目的および試験ケース

本試験の目的は、当区間で採用したコラムネット工法の効果・妥当性を確認することである。このことから、実験ケースは「現行基準」に該当する「 $D < H$ 」となる $H=3.206\text{m}$ の断面（ケース 1）と、「 $D \geq H$ 」となる $H=1.96\text{m}$ の断面（ケース 2）の 2 ケースに対して実施した。

(2) 試験盛土の概要

試験盛土の形状、各計測器の設置状況の概略を図 2 に示す。盛土・路盤材料および締固め管理値は、本線盛土と同様として表 2 のとおりとした。起振機による繰返し載荷を行う位置は、改良杭線路方向 4 列、横断方向 4 列の 16 本の中央部に載荷版・起振機を設置して、計測は中央部 4 本の改良杭の範囲を対象とした。試験盛土の構築・載荷試験過程を図 3 に示す。ケース 1 盛土構築は、盛土 1 層の仕上がり厚さ 30cm として、盛土構築過程において表 3 に示す各種計測器を順次設置した。盛土・路盤を約 30 日で構築し、その後、載荷版・起振機を設置、載荷試験を実施した。その後、約 40 日間放置した後、所定高さまで盛土をカットし、ケース 2 盛土の路盤構築、起振機設置、載荷試験を実施した。

(3) 載荷条件の概要

列車走行荷重に相当する繰返し荷重の設定は、新幹線走行を想定して、路盤圧力 (30kN/m^2) で模擬した。

実験に使用した起振機は、自重 60kN ± 起振荷重 60kN (最大荷重 120kN , 最小荷重 0kN) である。載荷条件は、起振機的能力と載荷版の大きさを勘案して、実際の軌道荷重や列車荷重による路盤圧力と同等となるよう設定した。まず、載荷版の形状寸法は、線路横断方向の幅をまくらぎ幅 (2.4m) に路盤面までの分散幅 (0.3m) を加えて 2.7m として、線路方向については、最大起振荷重 120kN の時に列車による路盤圧力 30kN/m^2 が得られる幅 (1.48m) とした。また、載荷版はバラスト軌道を模擬するものとして 10kN/m^2 となるようにコンクリート版の厚さを 0.434m とした。以上の荷重条件により、列車速度に相当する載荷周波数 22Hz の正弦波による載荷を行った。

4. おわりに

本試験の結果は、参考文献 2) でその詳細を述べている。現在、現地載荷試験のシミュレーション解析、改良杭間隔/盛土高さなどの条件をパラメータとした解析を実施しており、今後は設計手法の合理化の検討を実施し、これらについても報告していく予定である。

<参考文献>

- 1) (財) 鉄道総合技術研究所, 攪拌混合基礎 (機械攪拌方式) 設計・施工の手引き, S62.7.1
- 2) 矢崎他, 深層混合処理工法とジオテキスタイルを併用した軟弱地盤上盛土の現地動的繰返し載荷試験結果, 第 36 回地盤工学研究発表会

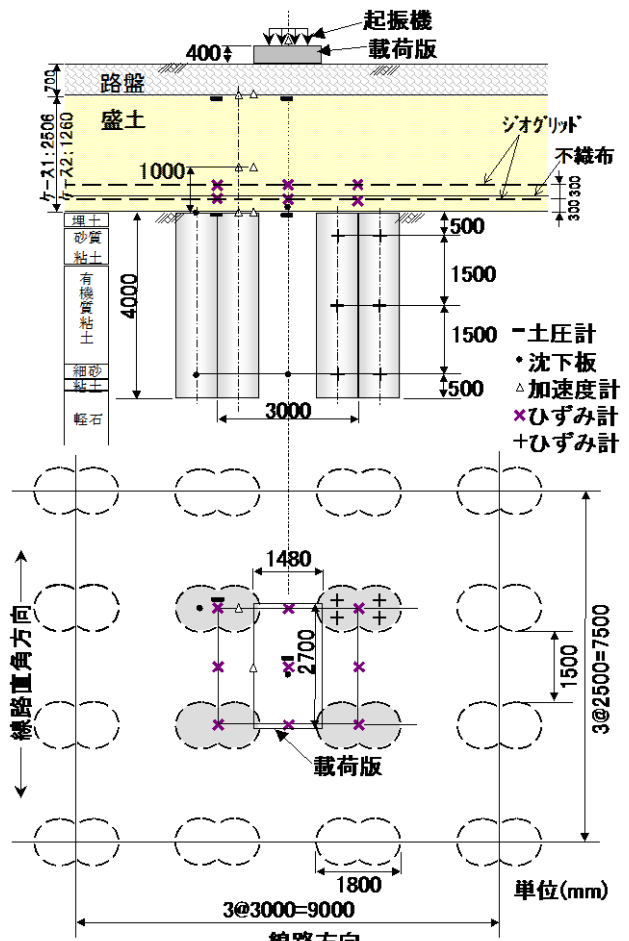


図 2 試験盛土の概略

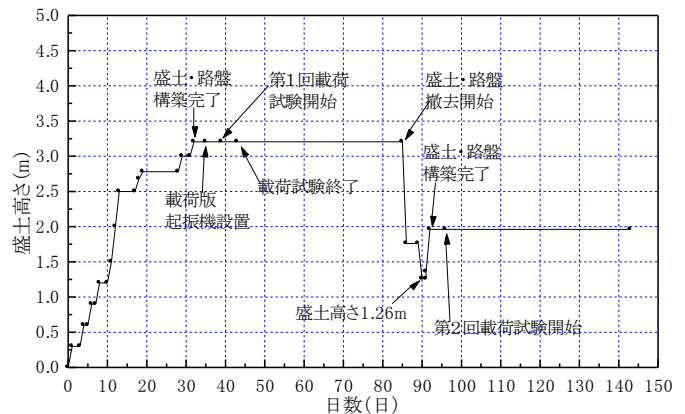


図 3 試験盛土の構築・載荷試験過程

表 2 盛土・路盤材料および締固め管理値

項目	材料	管理値
盛土	山砂	締固め密度比: $D \geq 90\%$, $\rho_d \geq 1.75\text{ t/m}^3$ K_{30} 値 $\geq 70\text{ MN/m}^3$
強化路盤	粒度調整碎石 (M-40)	締固め密度比: $D \geq 95\%$, $\rho_d \geq 2.15\text{ t/m}^3$ K_{30} 値 $\geq 110\text{ MN/m}^3$

表 3 計測項目と主な目的

計測項目	計測器	計測の主な目的
鉛直土圧	土圧計	改良杭, 杭間地盤の荷重分担率
沈下量	沈下板	地表面不同沈下の確認 沈下抑制効果の確認
ジオテキスタイルひずみ	ひずみゲージ	補強効果の確認
改良体ひずみ	ひずみゲージ	杭の応力, 応力分布の算出
加速度	加速度計	地表面動的変位, 地中応答加速度