

地盤改良工事における問題点について

宮城県土木施工管理技士会
 監理技術者
 株式会社只野組
 佐々木 誠 司
 Seiji Sasaki

1. はじめに

工事概要

- (1) 工 事 名：新南明戸地区道路改良工事
- (2) 発 注 者：東北地方整備局仙台河川国道事務所
- (3) 工事場所：宮城県気仙沼市本吉町新南明戸
地内
- (4) 工 期：平成24年10月5日～
平成25年11月29日
- (5) 工事概要

路体盛土工一式 地盤改良工一式
 側道工一式 道路付属施設工一式
 地盤改良工 固結工 スラリー攪拌（CI-
 CMC 工法）

設計基準強度 $qu_{ck} = 500 \text{ kN/m}^2$
 改良体長 $L = 15.5 \sim 9.0 \text{ m}$
 改良体径 $\phi = 1000 \text{ mm} \times 2 \text{ 軸（接円）}$
 固化材添加量 227 kg/m^3
 改良数量 1,404組

「命の道」三陸沿岸道路

【事業名】一般国道45号線歌津本吉道改築事業

この工事は、上記地内において道路改良工事（軟弱地盤処理）を行い将来施工される盛土工事（直高25m）の土圧から発生する地盤変位、円弧すべり図-1に対する地耐力を高める工事です。

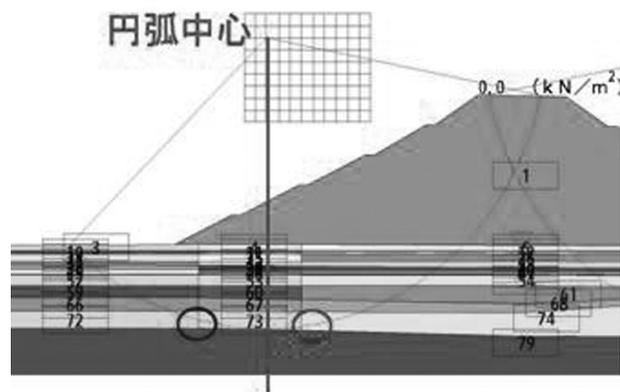


図-1 標準断面左側拡大図
 記号Ac5（沖積有機質土混じり粘性土）改良層
 Ag2（沖積砂礫）良質層

設計の経緯として考えられた事は改良深度約4.0～9.0mで一部N値4～50まで上昇する良質層の存在と現地盤から約0.5m下がりが地下水位の高さと言う事がボーリング柱状図より確認できました、円弧すべりが想定される地層境は深度15m付近に存在する為に中間良質層を改良（貫通）できる貫入能力が高く水中施工が可能なCI-CMC工法が発注者指定工法として採用された事が解りました。

2. 現場における課題・問題点

事前調査ボーリング（シンウォールサンプル）による資料採取を行い上層と下層の粘性土で室内

配合試験を実施、室内目標強度 σ_{28} 目標1500 kN/m² (安全率3) で設定し高炉セメント B 種・一般軟弱土用・特殊土用の三種類で発現強度、六価クロムの溶出、経済比較を検討した結果、高炉セメント B 種を採用する事で発注者側と協議し地盤改良の設計基準強度500kN/m²へのセメント添加量227kg/m³を確定しました。

本施工に先立ち試験施工を実施、室内配合試験データを基に σ_7 強度より σ_{28} 強度を推定し設計基準強度を満足している事が確認できてから本施工を行う予定で現場を進めました。

室内配合試験では $\sigma_7 \sim 28$ の一軸圧縮試験データで約1.8倍の強度促進が確認できていたので試験施工の σ_7 で約280kN/m²以上の強度が確認出来れば良いと判断ができました。

試験施工で σ_7 強度を確認する為に事後調査ボーリングを実施し試験資料の採取を行いました。改良土に強度発現が確認できなく(柔い、脆い)、中間良質層(砂礫層)では資料の採取もできない状態(砂礫がバラバラ)で改良後の強度確認が全くできない状態でした。

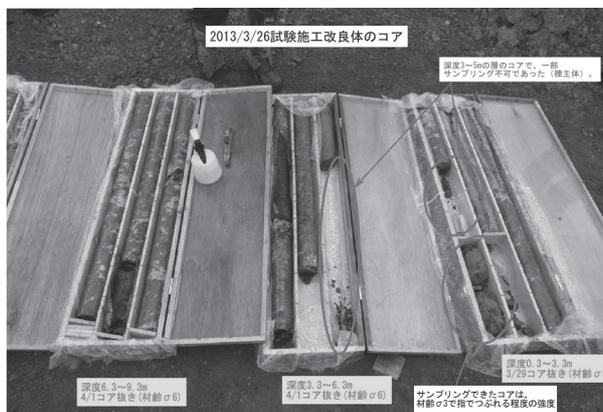


図-2 試験施工の改良体コア

上記の事から改良体の強度発現が問題となり確認できるまで試験施工を実施、原因の調査を行いました。

原因1 地下水の存在

事前調査ボーリングを実施した際に高い位置まで水位が上昇してきた事が確認できました、又、



図-3 発注者、コンサルタント立会試験掘状況

粒径の大きい礫の存在も予想された為に施工前に試験掘を実施し地下地層の状態を確認しました。

掘削深度約6m付近で砂礫層が確認でき、掘削途中の粘性土層では湧水は無く掘削できましたが砂礫層を目視で確認できた途端に吹き上がる様に湧水が発生し見る見るうちに地盤から約1.0mまで水位が上昇する事が確認できました、この時点ではコンサルタント立会者は「この程度の地下水は問題ない」と判断されましたが、試験施工の結果から地下水が地盤改良で攪拌混合する際に悪影響をあたえている事、また地下水に流れがありセメントが逸走した可能性等が考えられました。

原因2 改良土の有機質分の含有

高炉セメント B 種の特徴として、以下に示す様に有機質土に対して敏感であり、強度発現性が急激に失われた可能性が考えられました。

セメント系固材材の強度発現に影響を及ぼす有機物としては、フミン酸、ピチューメン、フルボ酸等の腐植物質があげられる。普通セメントや高炉セメントを使用した場合、土中の腐植物含有量が概ね1.0%を超えると改良効果が大幅に低下する。フミン酸の中でも、とくに塩酸性メタノールに溶解するものは固化強度に影響を及ぼすとされている¹⁶⁾。このフミン酸によるセメントの水和阻害は、溶出したCa²⁺がフミン酸と反応し、そのカルシウム塩が未水合セメント粒子表面に沈着する、あるいはキレート化合物(錯体)を形成するため、液相中のCa²⁺濃度が低下し、その後の水合反応が著しく遅延されるためと考えられている。一

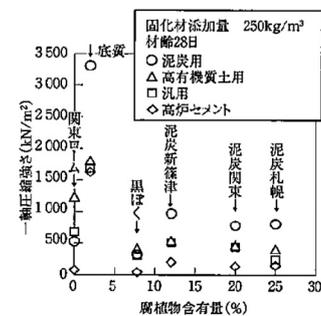


図-4 「セメント系固材材による地盤改良マニュアル」(財)セメント協会より

このことから、有機質の含有量が配合試験のばらつき想定範囲（室内配合強度比=3）より多く入っている箇所が平面・縦断的に一部存在しており未固結部分が発生しこの部分をボーリングにより採取した事も考えられました。

原因3 礫層の若材令における採取不良

今回の事後調査ボーリングで採取不能となった砂礫層について考えられた事は、礫層をボーリングによって採取する際、礫と礫の間隙部の改良土（粗砂）の強度が十分発現していない状態で削孔時の応力によって、改良土が破壊された事でσ7の一軸圧縮試験用の資料採取が不能となったと考えられました。

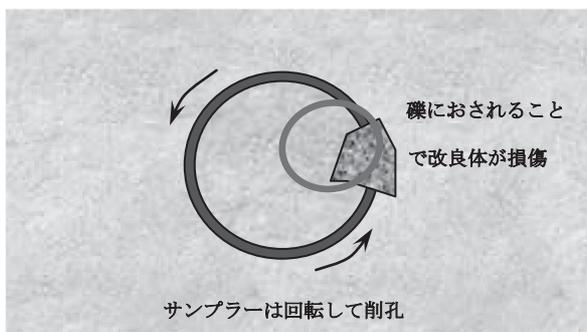


図-5 若材令による採取不良

上記の事から高炉セメントの特性である初期強度の発現が小さい事も原因の一つとしてこの時点では考えられました。

3. 対応策・工夫・改善点

対応策として一番未固結に影響されたと考えられた地下水の調査1～3を実施し問題への関係性を確認しました。

調査1. 水質測定

近接する河川を横断する方向で上流、中間（本線センター）、下流、最下流部の計4箇所の川水を採取し水素イオン濃度（PH）の測定を調査機関へ委託しました。測定結果はPH7.3～7.6と排水基準値以内の数値となり、上流と最下流の数値についても大きな変化は見られませんでした。



図-6 川水採取状況

調査2. 流向流速測定

調査方法として他社の工区を含めたエリア5箇所に観測井戸を施工、計測センサーを使用して帯水層である砂礫層を対象に行いました。5箇所の測定結果から地下水の流向には明瞭な関係性が認められず、流速についても0.011～0.513 cm/minと流速は無いに等しいと判断できる結果となりました。

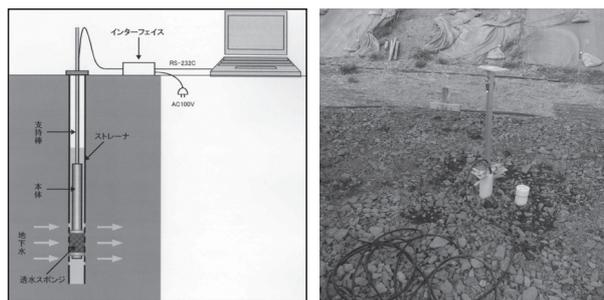


図-7 測定センサー構造図、測定状況

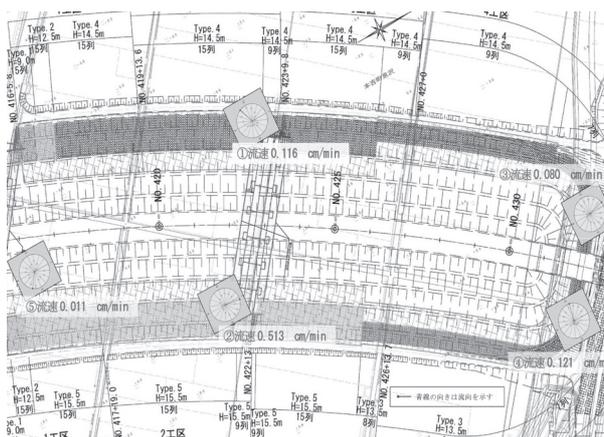


図-8 流向流速測定結果平面図

調査3. 水位測定

地下水の流れに潮の干満の影響も考えられた事から観測井戸の水位測定を実施しました。測定方法は大潮の日に干満1サイクル（約12時

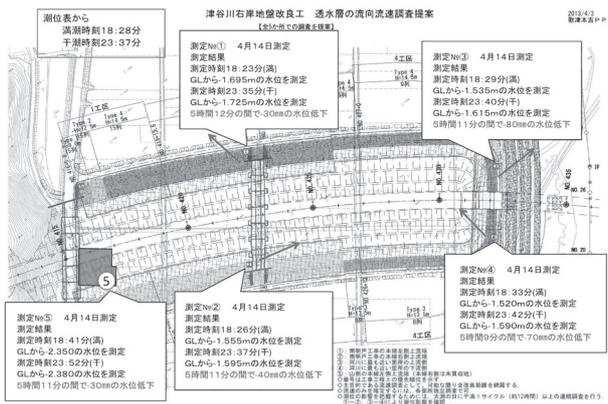


図-9 水位測定結果平面図

間)を測定しましたが測定結果は-3~-8cmと潮の干満の影響が無い事も確認できました。

以上の調査結果からセメントが逸走している事は考えにくいことからコンクリートの初期強度の発現が遅れている事が主とした原因と考えられ事後調査を行いながら計6箇所の試験杭で強度の発現を観察しました。

σ7強度 改良体に強度の発現が低い為に事後調査ボーリングより資料採取がまばらで一軸圧縮試験による確認ができない状態。

σ9強度 上部で274kN/m²と強度不足、中間部では963kN/m²、下部で1169kN/m²と若材令で設計基準強度(500kN/m²)を満足した結果となる。

σ12強度 事後調査ボーリングで下部のみ採取、試験可能で730kN/m²、上部・中間部については、採取はできるが一軸圧縮試験による強度確認ができない状態、試験杭の場所によって強度発現にバラツキがある事が解る。砂礫層は若材令による採取不良。

σ14強度 今回セメント添加量を決定した上層部で694kN/m²と設計基準強度を満足した結果になる。これまで一軸圧縮試

できなかった中間砂礫層で1315kN/m²と設計基準強度を満足した強度が確認できた。

σ17強度 試験杭の場所の違いで強度発現の違いが確認できるが若材令で728~1054kN/m²と設計基準強度を満足した結果となる。

σ18強度 改良体の強度発現に関しては1129~1292kN/m²と問題は無く上・中・下で同じような強度が出ている事が確認できました。

調査を行いながら徐々に強度が発現し、σ14以降で急激に強度が上昇している事から高炉セメントの特性が主とした原因と解る結果となり強度の発現に関して問題が無い事が明らかとなりました。最終結果として地盤改良の全数量2,808本に計12回の一軸圧縮試験を実施し室内目標強度1500kN/m²に対して平均1879kN/m²と約1.25倍の強度を得る事ができました。

4. おわりに

今後の地盤改良の品質管理について

今回の問題から今後、高炉セメントを使用し地盤改良を行う際の注意点として考えられる事は試験施工期間を長めに設定し強度の発現時期を見極めてから本施工に入る事、今回有機質が含まれる地層があった事で強度発現性の低下に何らかの影響があった事が考えられる為、事前調査ボーリングデータを良く把握、事前に試掘を行う事で室内配合試験に最も適した地層を選定する事、また観測井戸の施工も周辺環境への配慮として必要な事だと思いました。

今回の問題で各関係機関、下請業者の協力の基、原因を早期に判明する事ができました。現場を進める上で色々な面でロスはしましたが今回の経験から得た物は今後の施工管理を行う上で役立つと思います。