

セメント改良礫土を用いた軟弱地盤上の盛土構築方法

構造物技術研究部 基礎・土構造
副主任研究員 渡辺健治

1. はじめに

従来、セメント改良土とは粘性土や浚渫土などの「軟弱な土」を安定処理することによって用いられてきたが、粒度調整砕石などの「良質な土」に若干のセメントを添加し良く転圧することによって、強度・変形特性が飛躍的に高まること¹⁾、長期養生により強度がさらに高まること²⁾が分かってきている。このようなセメント改良土（以下、セメント改良礫土）の強度・変形特性は非常に良いため、例えば橋台の背面部分（アプローチブロック）や、スラブ軌道を支持する盛土材料など、列車荷重や大地震動に対しても高い変形性能が求められる箇所に近年適用が広がってきている。

このセメント改良礫土にジオグリッド等の面状補強材を併用した複合材料は、引張力をジオグリッドが負担し、圧縮力をセメント改良礫土が負担することにより、構造部材（曲げ部材）としての適用が期待できる。本稿では、この複合材料を軟弱地盤（粘性土地盤など圧密沈下が懸念される地盤、あるいは地震時に液状化が懸念される地盤）上の盛土建設へ適用する方法について紹介する。

2. セメント改良礫土の新しい適用方法

軟弱な粘性土地盤上への盛土建設の際に攪拌混合杭により地盤改良を行う場合、セメント改良礫土にジオグリッドを併用した複合材料を図1(a)に示したように盛土下のスラブ（以下、セメント改良礫土スラブ）として用いると、地盤改良率を低減できる。これは、攪拌混合工法の設計では杭反力により盛土堤体内にパンチング破壊が生じないように地盤改良率を決定していたためであり、一般には25%以上の地盤改良率を必要としていた。しかしながら、盛土下にセメント改良礫土スラブを設けると、盛土荷重をこのスラブが支持し、盛土堤体内にパンチング破壊が生じにくくなるため、地盤改良率を大幅に低減できる。

また、図1(b)に示したように地震時に液状化が懸念される支持地盤上の盛土構築にこのスラブを適用した場合、盛土の不等沈下を抑えられることができる。地震時には盛土全体があたかも水の上に浮かぶ船のような状態となり、列車走行性が向上するとともに、地震後の復旧性の向上が期待できる。

3. セメント改良礫土スラブの性能確認試験

3.1 セメント改良礫土スラブの曲げ特性の評価

セメント改良礫土スラブの曲げ特性を評価するために、室内で作成した供試体に対して曲げ試験を実

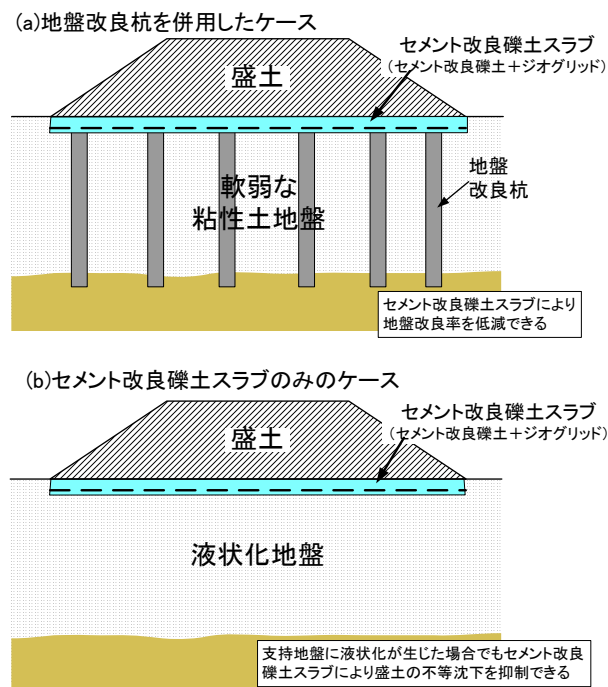


図1 セメント改良礫土スラブの盛土建設への適用のイメージ

施した(図2)。実験はジオグリッドを用いた供試体(供試体①)と、用いなかった供試体(供試体②)に対して単調荷重試験および繰返し荷重試験の2ケース実施した³⁾。セメント改良礫土はM40 粒度調整碎石(セメント改良率:2.5%)を用い、ジオグリッドは実施工と同じ製品を用いた(目合 20×20mm、製品保証強度:31kN/m)。供試体の寸法は高さ 200mm、奥行 200mm、幅 1050mm、支点間距離 700mm である。また、ひずみゲージによりジオグリッドのひずみ計測を行い、LDT(局所変位計)により供試体の下面および側面のクラック幅を測定した。

図3に単調荷重試験における荷重、ジオグリッドの張力と荷重点における鉛直変位の関係を示す。この図より、ジオグリッドを用いていない供試体②では、ピーク強度発揮後に強度が急減するのに対して、ジオグリッドを用いた場合(供試体①)は急減せず、粘り強い挙動を示していることが分かる。ジオグリッドの張力を見ると、ピーク強度が発揮される直前に張力が発生し始め、その後も有効な張力が維持されており、ジオグリッドの引張抵抗力により部材の靱性能が増加したことが確認された。

3.2 セメント改良礫土スラブの効果の確認

図1に示した2通りの提案方法について、高さ250mmの模型盛土を用いた振動実験を実施し、その効果を検証した³⁾。いずれの支持地盤も緩い飽和砂で作成し、加速度を漸増させる加振により液状化を発生させた。ジオグリッドは模型の相似則(20分の1)を考慮して、ポリエステル製のメッシュシートを用いた。セメント改良礫土スラブの厚さ、メッシュシートの配置は、改良杭間の単純梁が盛土荷重を支持できる厚さとして、セメント改良礫土スラブ厚を40mmとし、スラブ下端から10mmの位置にメッシュシートを設置した。地盤改良杭についても模型の相似則を考慮し、直径50mm、一軸圧縮強度200kPaとした。

セメント改良礫土スラブのみを用いた場合(図4左図)、液状化により支持地盤が圧密沈下するために盛土全体が一様に沈下したものの、盛土の堤体の崩壊や不等沈下は発生しなかった。この理由としては、セメント改良礫土スラブにより盛土のり尻部の安定性が向上し、盛土の沈下が一様化したため、支持地盤の液状化後は盛土に応答加速度が伝播しにくくなったため(免震効果)、などが挙げられる。実験後の盛土の沈下量は13mmであり、過去に実施した無対策の実験結果の1/3程度に相当し、沈下抑制効果が確認できた。一方、地盤改良杭を併用した場合(図4右図)では沈下量はさらに小さくなったものの(6mm)、水平方向への残留変位が観測された。これは、改良杭とセメント改良礫土により盛土荷重を支持しているため支持地盤の拘束圧が低くなり、加振初期段階において液状化が進行し始めたことにより、改良杭の損傷(特に両端部の改良杭)によって水平方向の残留変位が生じたと考えられる。

以上の実験結果より、提案工法を液状化地盤上の盛土構築に適用する場合、バラスト軌道を支持する盛土

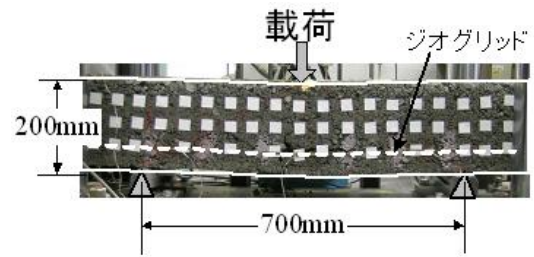


図2 セメント改良礫土スラブの曲げ試験

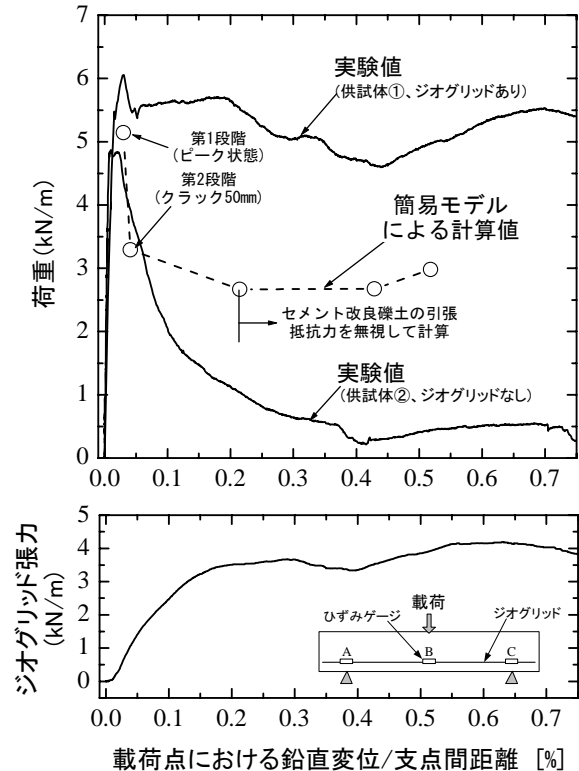


図3 曲げ試験の荷重—変位関係

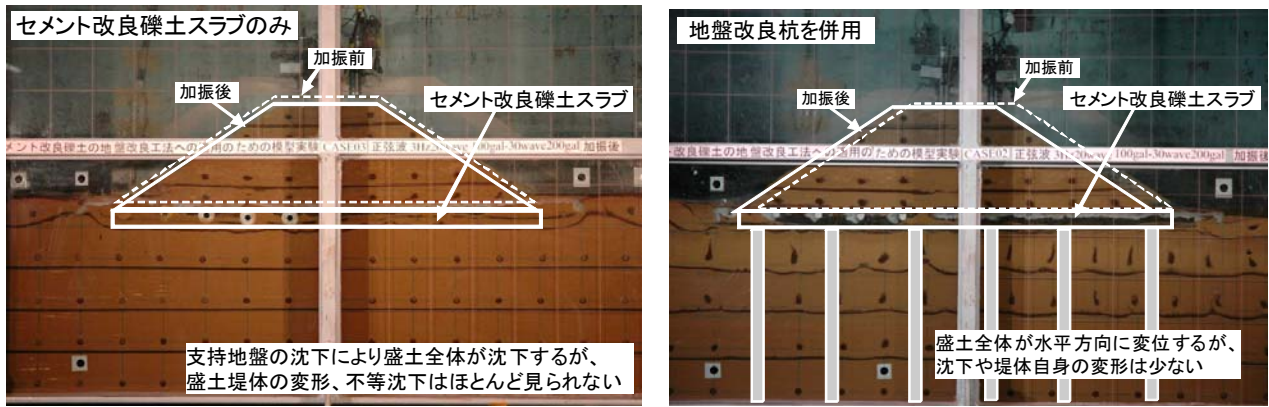


図4 振動実験後の盛土の変形状況

等、多少の沈下を許容するのであれば地盤改良杭を併用しない方が適度な地盤の免震効果が得られ、盛土体のダメージや水平方向の変形も少なく合理的な対策だと考えられる。一方、沈下量の制限値が厳しい場合や液状化程度が高い場合には地盤改良杭を併用する必要があるが、その際には盛土全体の水平変位や改良杭の損傷程度について検討する必要がある。

4. セメント改良礫土スラブの設計方法の提案

以上の性能確認試験結果を踏まえ、セメント改良礫土スラブを実施工に用いる際の設計方法を提案する。まず、セメント改良礫土スラブの曲げ耐力については、ジオグリッドの引張強度およびセメント改良礫土の圧縮強度から概ね評価できる³⁾。本来であれば、セメント改良礫土の引張強度も期待できるが、実施工されたセメント改良礫土はセメントの混合ムラあるいは転圧ムラにより局所的な弱部が存在し得ることを考慮し、計算上はセメント改良礫土の引張強度を無視し、安全側に評価することとした。図3中にはこの手法によって求めた引張強度の計算値を示している(図3中の○印)が、ピーク強度発揮以降はセメント改良礫土の引張強度を無視していることにより計算値は実験値よりも低くなるが、安全側の評価になっていることが分かる。

図1(a)に示した提案方法の場合、セメント改良礫土スラブを地盤改良杭に支持された単純梁としてモデル化し、盛土の上乗荷重、軌道荷重から断面力を算出し、上記の手法によって算出した曲げ耐力以内であることを照査する。一方、図1(b)に示した提案方法の場合、支持地盤を液状化程度に応じた地盤バネで模擬し、セメント改良礫土スラブを弾性床上の梁としてモデル化することによって発生断面力を評価し、それによりジオグリッド引張強度、敷設層数、セメント改良礫土スラブの厚さ等を決定する。地盤バネについては、支持地盤の地盤反力係数と液状化程度に応じた低減係数(D_E)⁴⁾によって定めることとする。

5. 鉄道盛土の実施工現場への適用

5.1 軟弱な粘性土地盤への適用

JRの在来線高架化工事において、取り付け部の盛土を軟弱地盤上に構築する際に提案手法(図1(a))が適用された。当該現場は、軟弱な粘性土地盤上に盛土補強土擁壁(RRR工法、最大高さ3.5m、延長110m程度)を構築するが、盛土下にセメント改良礫土スラブを適用することによって支持地盤の改良率の低減を図った。図5にセメント改良礫土スラブの施工の様子を示すが、一般的な土工事と同レベルの施工管理・作業でセメント改良礫土スラブを構築することができ、地盤改良率を大幅に低減することができた。

5.2 液状化地盤への適用

図1(b)の提案方法については、JRの在来線高架化工事において、地震時に液状化が懸念される支持地盤(PL

値=15~20程度) 上への盛土構築部分(盛土補強土擁壁および一般盛土、最大高さ3.5m、延長120m程度)への適用が検討されている。当該現場において液状化が懸念されるのは盛土下1m程度に集中しており、その下は5mほど非液状化層が分布しているため、支持地盤全体としてはある程度の剛性が期待できる。当初は支持地盤全面を地盤改良する予定であったが、当該現場は地震後に多少の沈下を許容できるバラスト軌道であることを考慮し、地盤改良に代わりセメント改良礫土スラブを構築する予定である。

本提案工法の適用に際しては、液状化時におけるセメント改良礫土スラブの断面力照査を行う必要がある。その際には、前述したように、セメント改良礫土スラブを多数の地盤バネに支持された弾性床土上の梁として取り扱い、断面力計算を行った。支持地盤が液状化する場合はその程度に応じて支持地盤の剛性が変化するため、セメント改良礫土スラブに断面力が発生する。そのため、本検討では、

- ①盛土のり尻部付近の支持地盤は液状化により破壊(側方流動)しやすい。
- ②盛土中央の支持地盤では拘束圧の増加により液状化程度が軽減される。(液状化の発生が遅れる)

等を考慮し、盛土中央部に対して盛土端部において地盤バネを1/2に低減した上でスラブの断面力を算定した(図6)。その結果を踏まえ、セメント改良礫土スラブの厚さ1mとし、ジオグリッドをスラブの1/4、1/2、3/4高さにおいて3層敷設する構造とした。本現場は現在施工が行われているが、当初予定されていた地盤改良と比較して大幅なコスト削減が図られた。

6. まとめ

本研究では、セメント改良礫土およびジオグリッドを用いた複合材料を軟弱地盤上あるいは液状化地盤上の盛土構築に用いる工法を提案した。セメント改良礫土スラブは、鉄筋コンクリートの施工と異なり型枠工、配筋工を必要とせず、土工事と同レベルの施工管理・作業で施工が可能であるにもかかわらず、高い圧縮強度および曲げ強度を有する構造部材を構築できる。今後、盛土や補強土擁壁等の土構造物において適用可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 渡辺健治、館山勝、蔣関魯、米澤豊司、青木一二三、龍岡文夫：セメント改良礫土の強度特性に関する大型三軸試験、第37回地盤工学研究発表会、2002
- 2) 松丸貴樹、渡辺健治、磯野純治、館山勝、内村太郎：セメント改良礫土の強度・変形特性に及ぼす年代効果、第42回地盤工学研究発表会、2007.
- 3) 渡辺健治、館山勝：セメント改良礫土の締固めと鉄道構造物への適用、基礎工、Vol.37、No.7、pp.55-58、2009.7.
- 4) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)、1999.



図5 セメント改良礫土スラブの施工の様子

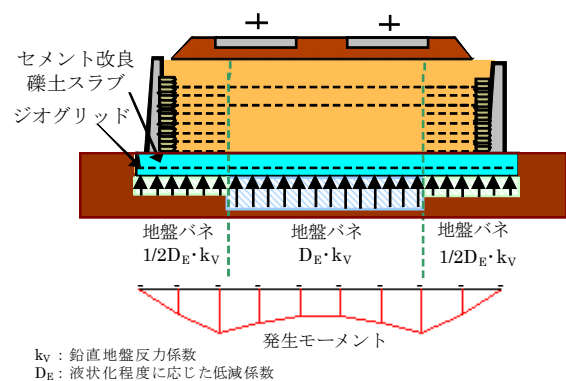


図6 地盤バネの設定概要図とモーメント図