

X線CTを用いた頭部固定式二重土留め工法における内部土挙動の定量評価

熊本大学 学生会員 ○杉本 英治
 鹿島建設(株) 正会員 那須 郁香 永谷 英基
 熊本大学 正会員 佐藤 宇紘 大谷 順

1. はじめに

2枚の矢板の頭部を連結することにより、矢板の間の土(内部土)と矢板を一体化させ、高剛性化を期待する頭部固定式二重土留め工法の開発が進んでいる。これまでに、種々の模型実験や数値解析により、本工法の性能や補強メカニズムが明らかされつつあるが、内部土の詳細な挙動の検討は十分ではない。そこで、 μ フォーカス X線CTを併用した二重矢板と内部土を模した小型模型における水平載荷試験を行い、画像解析を組み合わせることで内部土挙動を詳細に定量評価したので、その結果を報告する。

2. 実験概要

本実験では、頭部固定式二重土留め工法の内部土の挙動を詳細に把握するため、二枚の矢板に挟まれた内部土の挙動に着目し、拘束圧を付与した条件下で供試体を二枚の矢板で挟み、頭部水平載荷を行う水平載荷実験を行った。CT室内での実験を可能にするため、セル圧式ゴムスリーブ土槽とリニアラックジャッキを併用した手動載荷装置を新たに開発した。図-1に実験装置を示す。本装置はセル内に空気を作用させることにより供試体の変形を許容したうえで実験を行うことができるため、より実際に近い地盤条件を再現することができる。この条件下で、二枚の矢板の頭部を固定し、リニアジャッキを用いて頭部を固定した二枚の矢板に対し水平載荷を行った。また、実験と並行し μ フォーカス X線CTスキャナによる撮影を行い、矢板への水平載荷における内部土挙動の可視化を行った。

模型地盤は乾燥豊浦砂を用いて振動法にて作製した。模型矢板は厚さ0.5mmのアルミ板を用い、二枚の矢板の頭部を治具で固定した。二枚の矢板は平行に設置し、離隔は70mmとした。実験では、模型地盤作成後、負圧で供試体を自立させた後、供試体の外側にセルを、供試体上部に水平載荷装置を取り付けセル内を密封した。最後に負圧から拘束圧に切り替えた後、水平変位量12mmまで水平載荷試験をした。その際、頭部水平変位・頭部水平荷重をそれぞれワイヤー変位計・ロードセルにて計測した。

X線CT撮影では、水平変位2mmごとに撮影を行い、供試体上部から10mm~180mmの範囲を撮影した。図-2にX線CT撮影時の様子を示す。得られた画像に対しては、デジタル画像相関法²⁾(以下、DIC)を適用することにより各方向の変位量を算出し、これらの変位情報からせん断ひずみを算出した。

本実験では、二重土留め工法の補強効果に影響を及ぼすと考えられる内部土の相対密度に着目し、Case1:Dr=80%、Case2:Dr=60%、Case3:Dr=90%の計3ケースについて行った。

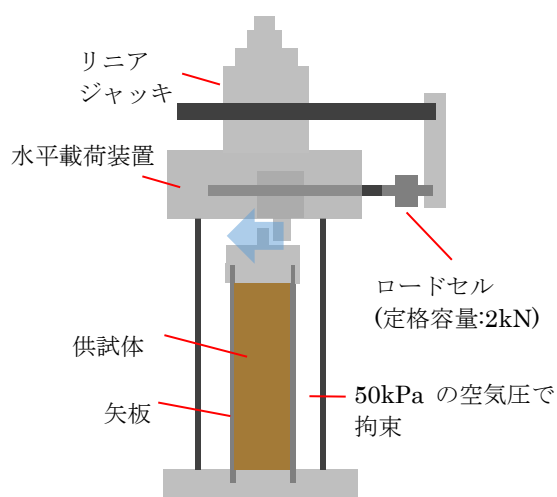


図-1 水平載荷装置

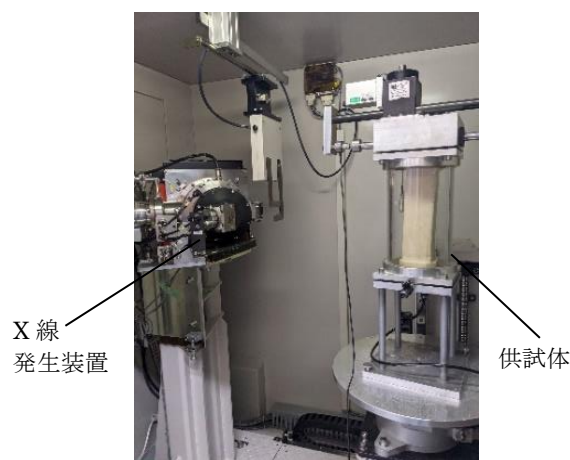


図-2 X線CT撮影

キーワード 土留め, 仮設構造物, X線CT法

連絡先 〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪 2-39-1 TEL 096-342-3535

3. 実験結果

図-3に各ケースの水平載荷試験の結果を示す。どのケースも水平変位 4mm 程度まで荷重が増加し、その後荷重の増加が緩やかになっている。Dr=60%のケースはひずみ軟化が見られ、水平載荷に伴い内部土内でせん断破壊が起こっていることが推察される。ピーク強度はそれぞれ Dr=60%: 80N, Dr=80%:110N, Dr=90%: 150N であり、密地盤と緩い地盤では2倍近くの差が表れた。

図-4に例として Dr=80%の 12mm 変位後の CT 画像を示す。矢板頭部への載荷により供試体全体が右側に変位している様子が確認できる。供試体上部に水平変位を与えているが、供試体上部のみ変形するのではなく、供試体全体が斜めになるように挙動していることが確認できる。また、CT 画像からはどのケースにおいても大きな密度変化領域は確認されなかった。

図-5に 10mm 変位後と 12mm 変位後(図-4)の CT 画像を用いた DIC 解析により得られたせん断ひずみ分布を示す。いずれのケースも供試体左側にせん断ひずみが多く卓越している。しかし、せん断ひずみの発生形態は相対密度によって違いがみられる。Dr=80%の場合、供試体上部から中腹部にかけてせん断ひずみが卓越しており、すべり線が表れていることがわかる。一方、Dr=60%の場合、せん断ひずみの発生位置が供試体中腹部に集中しており、

Dr=80%のケースとは異なることがわかる。また、Dr=90%の場合、ひずみの発生位置が供試体左側に分散して発生している様子が見られる。これらの結果と水平載荷試験の結果を照らし合わせて考察すると、Dr=60%や Dr=80%の場合は、供試体内に局所的なひずみが発生することでその点が脆弱点となり、水平耐力が低くなると考えられる。一方 Dr=90%の場合、せん断ひずみが一か所に集中せず、供試体全体でひずみを分散させることで、高い水平耐力を発揮したと考えられる。このことから、内部土の相対密度を上げることで内部土の変形を抑制し、二重矢板構造全体の剛性を高めることができると示唆される。

最後に、図-6に図-5と同様の処理で得られた体積ひずみ分布を示す。Dr=60%では供試体中腹部に体積収縮領域が確認された。内部土の相対密度が緩いことで、水平載荷時に粒子の再配置が発生し、体積収縮が起こったと考えられる。一方 Dr=80%・90%では大きな体積変化は確認できず、供試体内部での粒子の再配置は発生していないと考えられる。

4. まとめ

二重土留め工法における内部土の挙動に着目し、X線CTを併用した矢板・内部土水平載荷試験を行い、DIC解析を行うことでひずみの定量評価を行った。水平変位が増加する際のひずみ発生形態は相対密度によって異なり、このことが水平荷重に影響を与えていることが推察された。

参考文献

- 1) 坂梨ら:開削施工合理化を目指した無支保土留め工法の開発 (その1) 土木学会第75回年次学術講演会第VI部門,2022
- 2) Stamati et al., (2020). spam: Software for Practical Analysis of Materials. Journal of Open Source Software, 5(51), 2286

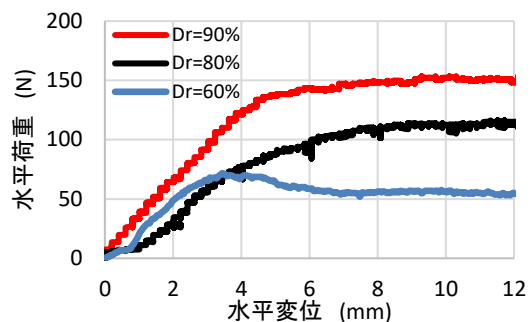


図-3 水平載荷試験結果

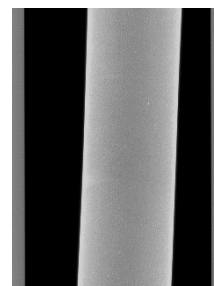


図-4 Dr=80%の 12mm 載荷時の CT 画像

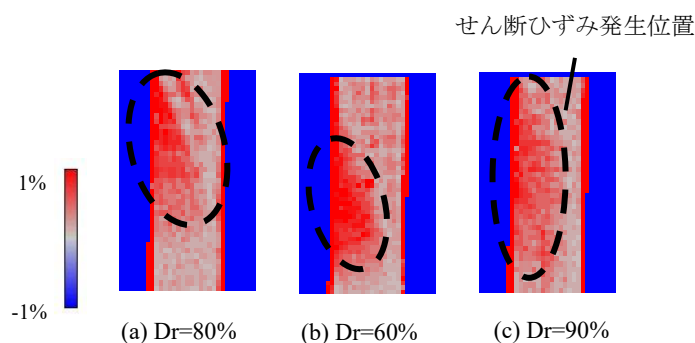


図-5 10-12mm 載荷時のせん断ひずみ分布

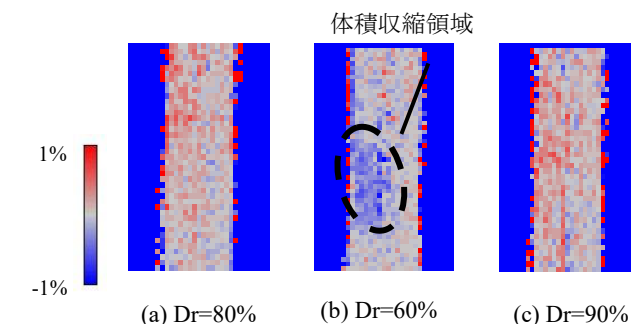


図-6 10-12mm 載荷時の体積ひずみ分布