

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 韓 鑫 晔

強靱な国土の形成に直結する道路や鉄道等の土構造物の耐震性向上は、当該分野において重要なテーマであり続けてきた。特に補強土構造物に関する取り組みの成果は近年の大地震においても表れており、適切に施工された補強土擁壁は強振動に対しても高い耐震性を示すことが、多くの事例でも報告されている。例えば、1995年の兵庫県南部地震では鉄道盛土を支える従来型の無補強擁壁の多くが甚大な被害を受けたが、ジオグリッド補強土擁壁の被害は軽微なものに留まり、比較的短時間で修復可能であった。また、2011年東北地方太平洋沖地震でも、補強土擁壁の被害例は非常に限られている。

一方、立体的なハニカム構造のジオセルは、基礎地盤の鉛直支持力向上を期待して実用化されてきた。本論文は、このジオセルを補強盛土内部に多層に水平配置すれば、その独特な形状に起因する大きなアンカー効果により、従来のジオグリッド補強土擁壁よりも高い耐震性が発揮される可能性があると考え、その引張り補強材としての適用可能性を検討したものである。また、補強盛土の引張り補強材として一般的に利用されているジオグリッドは、その目合いよりも大きな粒径の盛土材に対しては十分な引抜け抵抗が発揮されない可能性が指摘されている。その点、ジオセルは開口幅が非常に大きいため、広範な粒度の盛土材に対して適用できるのではないかと本論文では考えている。

しかし、これまでの研究では、従来型のジオセルは土中引抜け時に延性的な変形特性となり、その盛土補強効果はジオグリッドよりも低くなることが報告されている。そこで本論文では、引抜き方向に縦材を直線的に配した改良型ジオセルを開発し、従来型ジオセルや一般的なジオグリッド補強材を含めた系統的な室内実験（土中引抜き試験と振動台模型実験）を実施して、改良型ジオセルの土中引抜き特性と、これを用いた補強土擁壁の耐震性を検討した。

本論文の主な内容と成果を以下に概説する。

第1章では、補強土擁壁に関する既往の研究を整理し、本研究の目的・意義を取りまとめている。

第2章では、改良型ジオセルの開発経緯について記述している。盛土内に敷設されたジオセルが効果的に引抜き特性を発揮できる形状と、想定される盛土補強メカニズムについて、従来型ジオセルやジオグリッドと比較しつつ解説している。

第3章では、本論文で実施した土中引抜き試験、振動台模型実験の手法や使用機器について詳細に記述している。

第4章では、改良型ジオセルの開発に当たり、一般的な砂質土から平均粒径7.5mm程度の礫質土まで、様々な粒度分布を有する盛土地盤からの土中引抜き試験をベースにその有用性を検討している。改良型ジオセルは、従来型ジオセルと比較して、非常に高い引抜き

抵抗と初期剛性を示したが、これは改良型ジオセルでは引抜き方向に直線的に配置された縦材により、補強材敷設面全体が同時に土中から引抜けたことで効果的に引抜き抵抗が発揮されたと考えられる。このような引抜き方向の補強材の剛性の重要性は、ジオグリッドを対象とした既往研究でも指摘されてきたことである。なお、改良型ジオセルとジオグリッドとの比較では、盛り土材粒径が大きくなるほど、改良型ジオセルの方が大きな引抜き抵抗を示す傾向があることが示された。これは、ジオグリッドでは地盤材料の粒径が大きくなりすぎると、補強材と地盤材料との間の摩擦が低下する傾向にあるのに対し、改良型ジオセルでは大きな粒径の地盤材料でもセルの中に取り込めるという利点が反映されたものと解釈している。また、異なるセル高を有する改良型ジオセルの土中引抜き試験より、改良型ジオセルのセル高が大きくなるほど、引抜き抵抗も大きくなる結果を示している。改良型ジオセルの引抜き抵抗は、1)セル高に依存したアンカー効果と、2)セルの上下面で発揮される盛土地盤のせん断抵抗の影響を受けるが、それぞれの効果は盛土材粒径の影響も大きく受ける複雑なメカニズムを有している。本論文では、所定の粒径と締固め度の盛土材に対し、最大引抜き抵抗力を発揮する最小のセル高さが存在することを示した。これは、改良型ジオセル補強土擁壁の設計時において、最適なセル高さの決定に大きく寄与する知見である。

第5章では、改良型ジオセル補強土擁壁の地震時安定性を振動台模型実験により検討している。実験では、改良型ジオセルのほか、比較のためジオグリッドで補強された擁壁模型、及び無補強の擁壁模型を用いている。また、盛土材粒径の違いが盛土擁壁の補強効果に及ぼす影響を検証するため、実験では粒径の揃った砂と礫を盛土材として用いている。結果より、限られた実験条件での比較ではあるが、改良型ジオセルにより補強された擁壁は他の2種類の擁壁模型と比べ高い耐震性を有することが示された。また、ジオグリッドの目合いが盛土地盤の粒径よりも小さくなると、不安定化が生じる振動台加速度は改良型ジオセル補強土擁壁の値と比較して大きく低下し、上述の土中引抜き試験結果と整合する傾向が確認された。

第6章では、本研究で得られた結論をまとめ、今後の課題を整理している。

東日本大震災以降、堤防の耐震・耐津波性能だけでなく、市街地のかさ上げに対しても土構造物の高度化が期待されている。また、高速道路・鉄道・宅地においても、土構造物は被災地の物流確保・津波避難および高台移転としての役割が期待されている。今後国内外において補強土構造物の更なる普及が考えられることから、新たな地盤補強材の可能性を探ることは、次世代の国土の整備・発展に向けて非常に有意義である。これに対し、補強土構造物の引張り補強材としてこれまで全く利用されてこなかったジオセルに着目し、従来の面状補強材とは異なる補強効果発揮メカニズムに期待した補強土構造物を提案しようと試みている点が、本論文の大きな特色である。また、改良型ジオセルでは、大粒径の地盤材料を含む現地発生土を再利用することも念頭に置いており、将来的には補強土構造物の建設コスト削減や開発途上国での需要が期待できる可能性を有している。

以上、今後社会基盤整備上重要な役割を担う補強土構造物の発展に関し、系統的な実験により科学的な情報を示し得た意義は大きく、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。