

京都大学工学部地球工学科  
 京都大学大学院工学研究科  
 京都大学大学院工学研究科

学生員  
 正会員  
 正会員

○岩本 勲哉  
 塩谷 智基  
 大津 宏康

1. はじめに

我国において斜面の安定化を図る目的でグラウンドアンカー（以下、アンカーと称す）が多数施工されてきた。高速道路の斜面では現在までに12万本以上のアンカーが施工されており、近年施工から数十年経過し、著しく性能が低下したものが多数報告されている。そこで、数多く施工されたアンカーの効率的な維持管理手法の構築が求められている。目視点検では確認が困難な地盤内部のアンカーの劣化進行や安全性を推定・評価するために、緊張力の測定が行われる。しかし、緊張力を測定するために一般に実施されるリフトオフ試験は大規模な試験装置をとめない、長時間・高コストを要するために、数多いアンカーの一部に対してのみ実施されているのが現状である。そこで、本研究では一般に測定が簡易な超音波に着目し、その緊張力推定手法としての適用性について検討する。

2. 超音波法

著者らのグループでは、超音波によるアンカーの緊張力推定手法として、アンカーヘッドにアンカー軸とは垂直な方向に超音波を入射させ、その透過特性から緊張力を推定する透過法<sup>1)</sup>を提案し、報告してきた。透過法ではナットタイプのアンカーに特に有効で、緊張力に依存した超音波透過特性を確認し、その適用性を示してきた。一方で、くさびタイプのアンカーヘッドでの有効性は確認できたが、入射位置ごとに透過特性が異なり、原位置適用に課題を残していた。そこで本研究では、くさびタイプにも対応可能な新たな超音波法について検討する。具体的には、アンカーヘッドから支圧板に向かい超音波を発信し、アンカーヘッドと支圧板の境界面で反射する波を用いる（以下、反射法と称す）。一般に超音波は異なる媒質を交差して伝播するとき媒質に物性に応じた反射特性を示す。また同じ媒質でも接触面のような境界がある場合は、その条件（接触面積、応力など）に応じた反射特性を示す。本研究ではアンカーヘッドと支圧板の

接触程度が緊張力に応じて変化することで、接触面における反射波が変化することに着目し、その緊張力推定手法としての適用性を様々な超音波パラメータにより検討する。

3. 基礎実験

アンカーヘッドを用いた準備実験において緊張力の変動にともなう反射波の変動が確認された。そこで本実験では、荷重変動にともなう鋼材の接触と超音波特性の関係を詳細に検討するために、図1に示すように、アンカーヘッドを模した試験体に鉛直荷重を与え、荷重変動にともなう超音波測定を行った。試験体はアンカーヘッドの形状に類似した半径60mm、高さ50mmを用い、最大荷重600kNまで50kN間隔で段階載荷し、反射波の測定を行った。超音波の測定は、荷重推定に有効な周波数が検討できるように1MHz、5MHzおよび10MHzの3種類の垂直探触子を用いた。

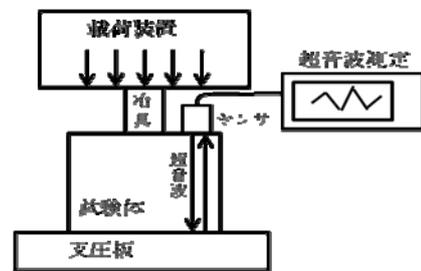


図1 実験概略図

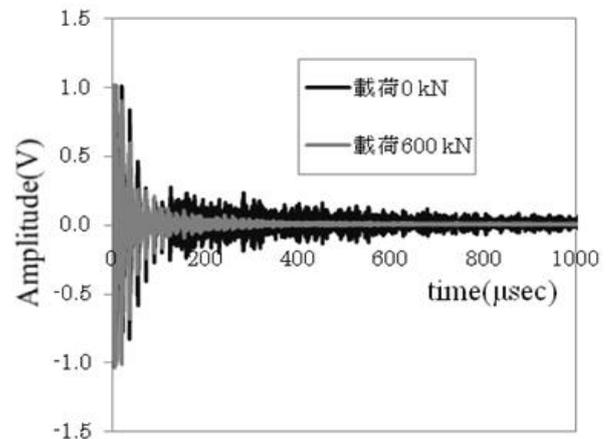


図2 1MHzの波形データ

図2に示すように、得られた波形データを各荷重で比較したところ荷重増加にともなう振幅の減少が確認された。これは荷重の増加にともない、支圧板と試験体の接触状態が不完全接触から完全接触へと近づくことで、支圧板に透過する超音波エネルギーが増加し、反射波のエネルギーが弱まり、その結果振幅が減少したと考えられる。以下、荷重増加による振幅減少に着目して検討する。

まず、反射波の第1反射波の最大振幅値を検討した。図3に代表的な例として、1MHzでの結果を示す。他の周波数についても概ね同様な傾向であった。同図より、荷重増加にともなう最大振幅値の減少が得られた。しかし、顕著な変化傾向とは言えず、一回の反射では底面の反射特性の変化を顕著に反映するに至らなかったと考えられる。

そこでアンカーヘッド内で繰り返し多重反射する波形全体での評価を行った。超音波のエネルギーが以下の式(1)で示すように振幅の二乗の累積と定義されることから、エネルギーによって荷重増加にともなう振幅の減少傾向を評価した。

$$E = \sum_{i=1}^n (A_i)^2 \quad (1)$$

図4に各周波数での載荷荷重とエネルギーの関係を示す。図のように周波数1MHzと5MHzで特徴的な変化傾向を得た。第1反射波のみでは差異が顕著に得られなかったが、多重反射する波を全体で評価したエネルギーでは、反射特性が強調され、載荷荷重によるエネルギー減少が明瞭になったものと考えられる。

センサ周波数の違いについては、超音波の減衰の内、粘性減衰は周波数の二乗に比例し、一般に高周波の超音波は厚い試験体の探傷への適用は困難とされている。そのため周波数10MHzでは伝播減衰の影響が大きく、反射特性の変化を反映できなかったと考えられる。

また、各周波数において載荷と除荷過程で大きな差異はなく、ヒステリシスの影響が小さいことがわかった。先述の透過法ではヒステリシスの影響が確認されているため、ヒステリシスの影響が小さいことは反射法の利点であると考えられる。実際のアンカー緊張力の変動過程は、経年劣化による緊張力の減少と地盤変状による緊張力の増加が考えられる。後者は過緊張過程と呼ばれ、この過程では目視点検で地盤の変状が確認できる場合があ

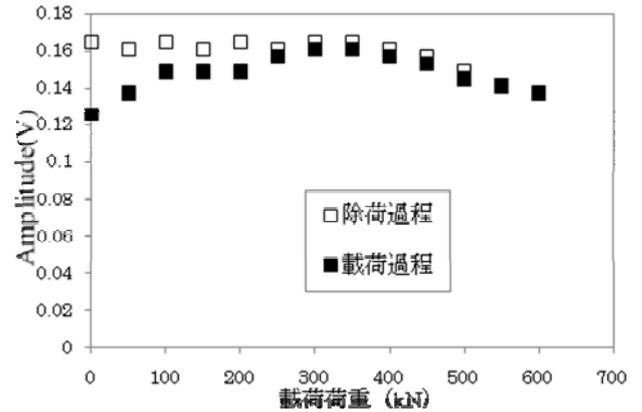


図3 載荷荷重と第1反射波の最大振幅

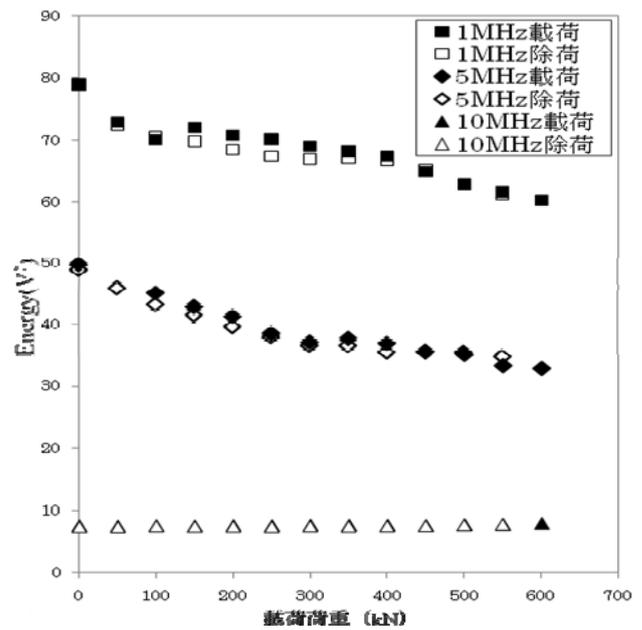


図4 載荷荷重とエネルギー

り、継続的なモニタリングを実施すれば斜面の終局挙動を監視できる可能性があると思われる。

#### 4. まとめ

荷重による接触程度とエネルギーには顕著な傾向が得られ、アンカーと支圧板の境界面にも同様の結果が得られると考えられる。図4に示す荷重・エネルギー関係より、アンカーの残存緊張力推定が可能となる。また、比較的low周波域を対象としたセンサが適していることも明らかとなった。今後、原位置アンカーにより得られた実験結果を検証する予定である。

#### 参考文献

- 1) D. Kleitsa, K. Kawai, T. Shiotani, D.G Aggelis: Assessment of metal strand wire pre-stress in anchor head by ultrasonic, NDT&E International Vol. 43, pp. 547-554, 2010.