

砂地盤への杭貫入における微視的現象観察への AEトモグラフィ法の適用に関する模型実験

地盤工学ジャーナル Vol.15, No.3(2020年9月号)掲載

濱口 隼人 (首都高速道路(株)※)

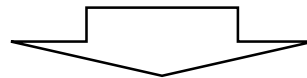
毛 無衛 (中国 同済大学※)

古関 潤一 (東京大学大学院)

※元 東京大学大学院

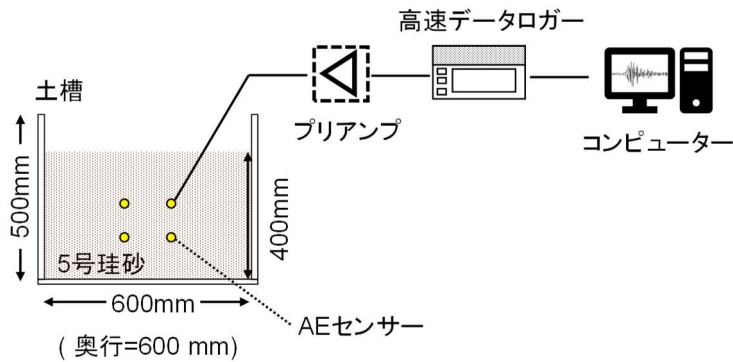
背景

- 土質力学・地盤工学の分野におけるAE(Acoustic Emission)の計測は、1960年代から1980年代にかけて一旦は試されたものの、その後の進展は限定的であった。
- 砂質土においては、金属等に比べAEの距離減衰が著しく大きく、AE波伝播が異方性を有するために発生源の位置標定は困難であるとされてきた。



- 近年格段に高精度化されたAE計測・分析技術を適用し、非常に高感度で広い周波数特性を有するセンサーの使用やセンサー配置の工夫によって、技術的課題の克服を試みた。
- その上で、砂地盤への杭貫入に伴い発生する粒子破碎等の微視的現象の観察に、上記のAE計測・分析技術を適用した。

AE計測・解析の方法



<各センサーとAE源との間の距離に関する方程式>

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2 - (t_i - t)^2 * v^2 = 0$$

d_i : AE源と*i*番目のセンサーとの間の距離

t : AE波発生時刻

t_i : *i*番目のセンサーへのAE波到達時刻

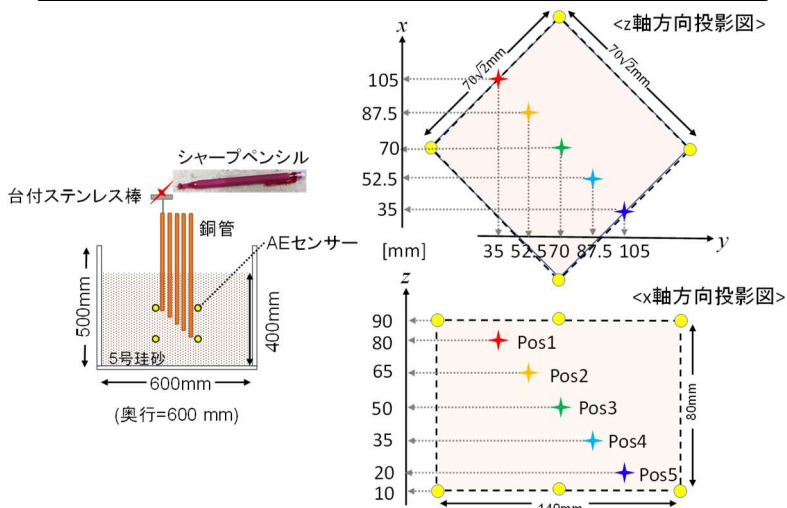
v : AE波の伝播速度

x, y, z : AE源の位置

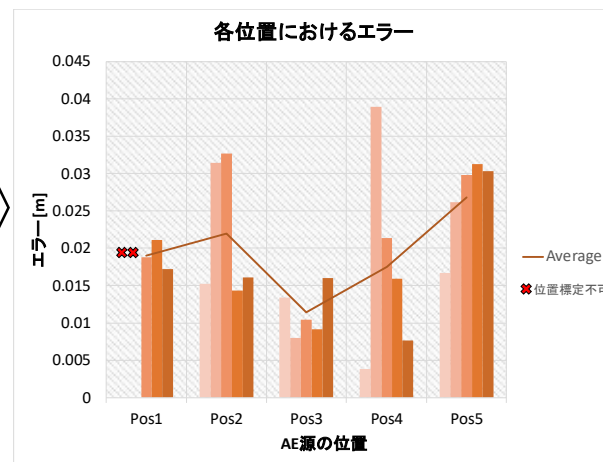
x_i, y_i, z_i : *i*番目のセンサーの座標

- 模型地盤中に直方体配置で埋設した複数のセンサーから得られるAE波到達時刻と各センサーの位置およびAE波伝播速度から、AE源の位置を標定。
- AE波到達時刻は、信号の立ち上がり時点として決定。赤池情報量規準(AIC)に自己回帰(AR)モデルを組み込んだAR-AICを用いて、膨大な数のAE事象を自動処理。
- センサーとAE源との間の距離に関する方程式が5つ以上得られた場合、任意の4つを選び、連立してNewton Raphson法を用いて解くことで、AE事象の発生位置の候補を得る。
- 得られた複数候補の中から、「計算に使われたセンサーとAE源の候補との間の距離の2乗の誤差の総和が最小となるとき、そのAE源の推定位置が求めるAE事象の発生位置である」として位置を標定。

AE源の位置標定精度の確認実験

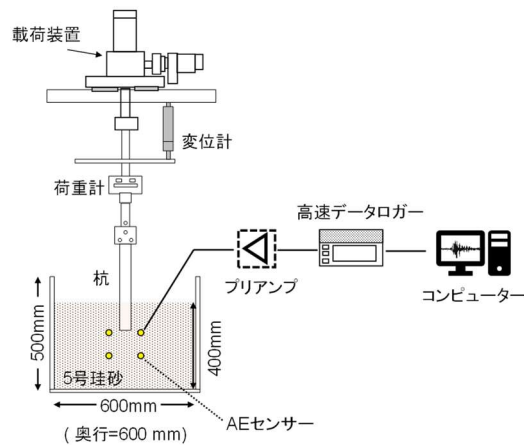


【結果】



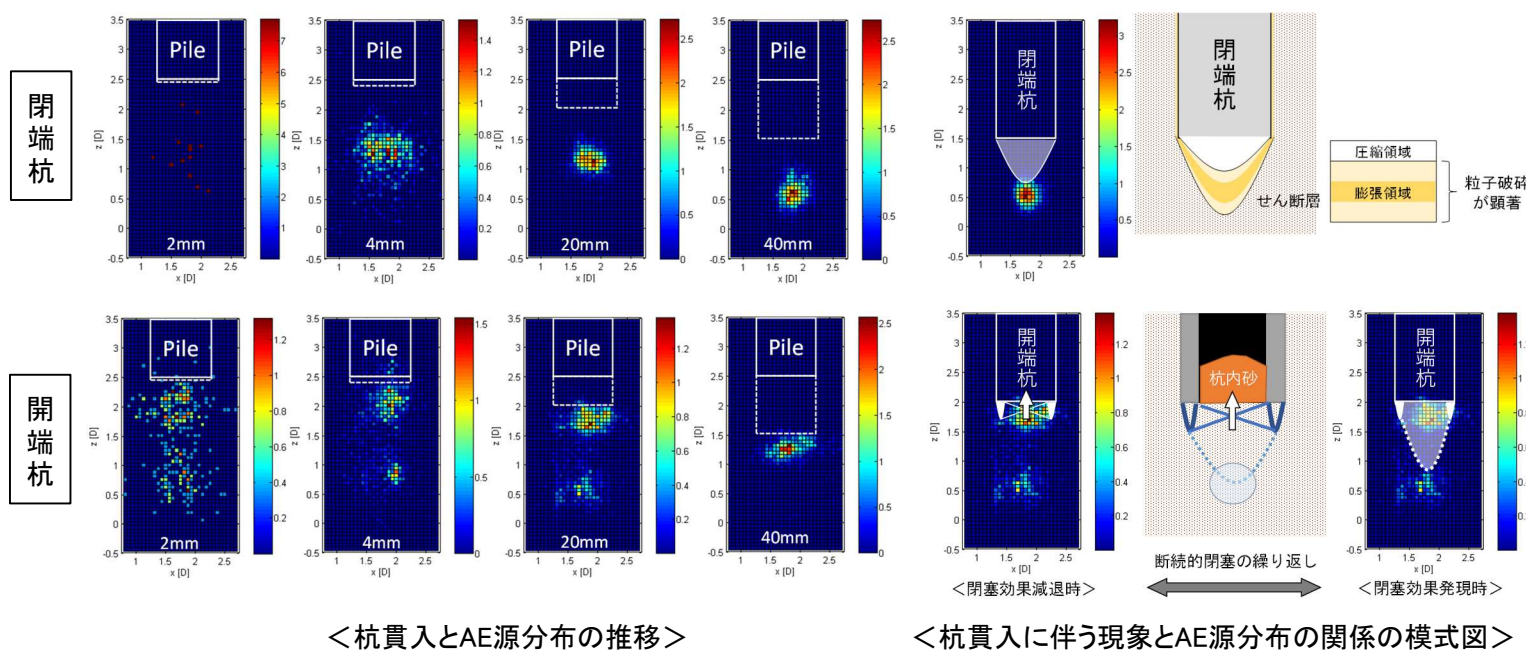
- 位置が既知の人工AE発生源を用いて、模型地盤中に直方体配置で埋設した複数のセンサーによるAE源の位置標定精度を確認した。
- 結果は、センサーで囲む空間の中心で精度が高く、中心から離れるほど低かった。

杭模型貫入実験とAETモグラフィ



- 2種類の杭模型を用いた密な砂地盤への貫入実験に対してAE計測・分析を行い、杭先端付近での粒子破碎等の微視的現象について、以下の知見を得た。
- 閉端杭貫入に伴うAE源は、杭直下に中心を最大頻度とする球状に分布する。その分布の推移は「静止かつ収縮」および「移動・形状維持」、「移動・貫入方向への伸長」の3つの段階に大別される。このAE源の分布は、杭直下のノーズコーン状の圧縮領域の下に形成される膨張領域(せん断層)の、特に先端で発生する粒子破碎の位置と対応している。

- 開端杭貫入に伴うAE源は、閉端杭とは異なり、杭先端直下付近と少し離れた位置の2か所に分布する。これは、「杭内部に砂が移動する閉塞効果減退」と、「杭開口部が閉塞して閉端杭のようになり、杭直下に大きなノーズコーン状の圧縮領域が生じる閉塞効果発現」が、小刻みに繰り返し生じる現象を捉えていると考えられる。



まとめ

- 最新のAE計測・分析技術を適用することで、一定の精度のもと、砂質土におけるAE源の位置評定が可能。
- 砂地盤への杭貫入に伴う粒子破碎等の微視的現象の観察における同技術の有用性を確認。