

大規模試験施設による地盤環境振動の伝播特性と地中壁設置による低減効果

福和研究室 河合智文

1. 研究の目的

本研究では建屋内の大型の試験装置が周辺地盤に及ぼす環境振動について、発生源と伝播特性を詳細に計測し、伝播のメカニズムを明らかにする。また振動対策の効果についても検証する。以上から環境振動対策の基礎データの蓄積を目的とする。

2. 対象建物と周辺地盤

図 1, 2 に対象とする建物と周辺地盤の概要を示す。本研究の対象である大規模試験施設は濃尾平野西部に位置し、周囲を田畑に囲まれた海拔 0 m の軟弱地盤に位置する。大規模試験施設では南北方向を振動軸とする衝突試験が行われており、その際に発生する衝撃的な振動が周辺地盤に影響している。中でも図中に楕円で示す対象地点周辺において影響が大きくなる事が分かっている。振動対策として図中に示す深さ 5m、幅 7.2m、全長 33m の地中壁が設置されたため、その前後の比較も行う。

3. 試験概要と試験装置の特性

スレッド試験とは、図 3 に示す様に自動車の衝突試験において計測された減速度を参考にし、台車（スレッド）の上に設置した模擬車体内部の加速度が衝突試験時と同じになる様に、油圧アクチュエーターで台車を水平方向に後ろ向きに押し出す非破壊試験である。さらに上下方向ピッチングも動かししている。これにより衝突試験時の車内の加速度変化を模擬車体において忠実に再現している。ここで、水平方向、鉛直方向共に最大出力の加振を行った際に模擬車体において計測された加速度変化を図 4 に示す。これによれば、水平方向加

振において、約 0.04 秒間で 60G の加速度が急激に発生するパルス的な加振であることがわかる。スレッド試験は水平方向が南北軸で南方向へ、それに加えてピッチング加振（上下方向）が行われる。動力源の油圧アクチュエーターによる反力を支え振動を減じるため、マスコンクリートの試験装置基礎が施工されている。またこの基礎は建屋基礎と絶縁された構造をもつ。図 5 に試験装置基礎の断面図を示す。試験装置基礎の総重量は 1235 t である。

4. 計測概要

図 1 に示す様に、試験装置周りの振動状態の確認のため、試験装置基礎の振動外力を推定する目的で、3 成分サーボ型加速度計と 1 成分サーボ型加速度計を 2 地点（3 成分、試験装置基礎北端 NS、UD 成分、試験装置基礎南端 UD 成分）に設置して試験時の加速度波形を記録した。また、振動レベル計を用いて、試験棟敷地内のステーション付近と対象地点付近の 2 か所で振動レベルを計測した。建屋 2 階基礎梁、試験棟建屋基礎、周辺地盤の計測地点は 7 地点（21 成分）を対象地点に向けて直線的に配置し、動コイル型 3ch



図 3 スレッド試験概要図

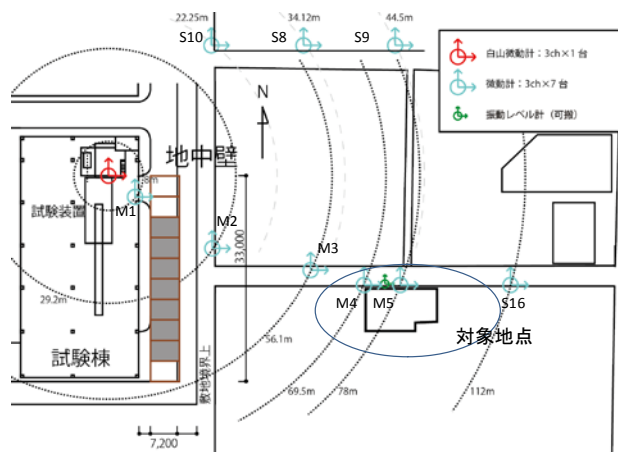


図 1 対策後の計測点配置図

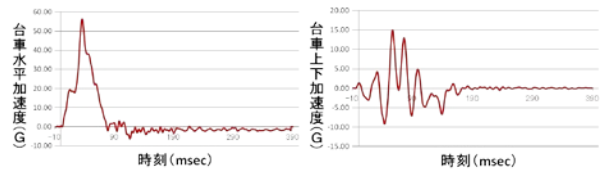


図 4 波形タイプ最大クラスの試験時の台車加速度実績

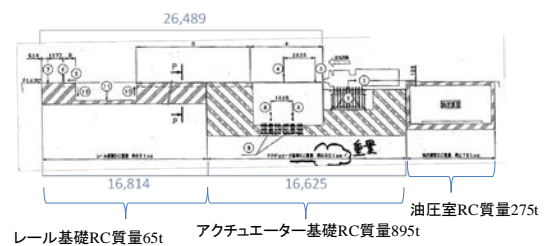


図 5 試験装置基礎の断面図

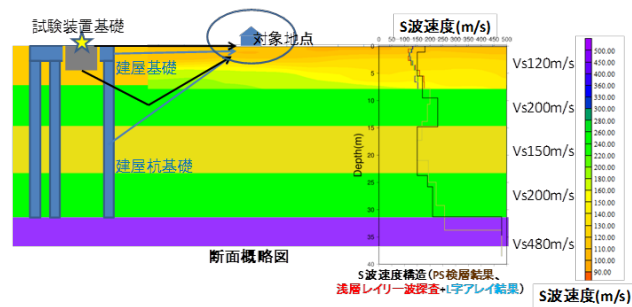


図 2 周辺地盤の東西断面図と速度構造

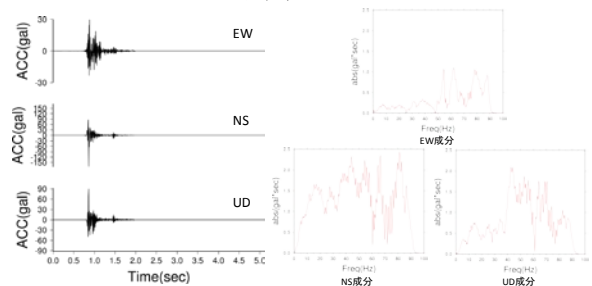


図 6 試験装置基礎の波形とフーリエスペクトル

微動計を用いて感度曲線の折れ曲がり周期5秒、サンプリング200Hzで速度成分を記録した。

振動対策前の計測内容は、試験機の稼働していない静かな状態で、常時微動計測、水平試験、ピッチング試験時など試験時の各方向の加振力を変えた全13回7種類の波形タイプの加振試験において計測した。

5. 試験装置基礎の振動特性

図6に試験時に計測された試験装置基礎の北端の加速度波形記録を5.12secの区間で切り出したものを示す。NS成分の最大加速度が173galであり、UD成分は90gal、EW成分は30galである。各成分のフーリエスペクトルから、試験振動がNS方向で十数Hzから90Hzまで卓越していることがわかる。

6. 表層地盤構造

浅層レイリー波探査で深度8mまでの構造とその変化を抽出し、それ以降の深度は微動L字アレイ探査結果を用いて、測線の各地点に対応する地盤モデルを作成した。図2は、作成した地点に対応する地盤モデルのS波速度構造と試験棟敷地内で得られていたPS結果を周辺地盤の東西断面に重ねて示す。地盤モデルはPS検層結果と良い対応を示している。

7. 対策前の振動の伝播特性

7-1. 波形の見かけ速度とオービット

各地点の振動は全13回7種類の波形タイプの加振試験においてほぼ再現されており、同波形タイプの試験においては主な波群から後続して現れる振動までが再現された。よって、試験装置によって発生する地盤振動伝播が同じメカニズムによってもたらされることが分かった。また南方向最大振幅時刻に注目した見かけ速度は試験装置付近で120m/sであり、対象地点付近243m/sである。

図10よりオービットは、SH波もしくはラブ波の様な軌跡を示した。

7-2. スペクトル特性と波群の伝播速度

図8よりM4地点において5Hzから9Hzまでの周波数帯域が卓越する。図9よりM4地点で計測された、試験時の速度波形より求めた t_{gr} を用いて算出した群速度は、地盤モデルより算出した群速度と良く対応していることが分かる。

7-3. 屈折波の走時を考慮した速度

図11より対象地点付近では深さ29.2mの層(1.49Hz)を底面とする屈折波の影響が考えられる。これは地盤の固有周期と近接するが、スペクトル特性を値が小さいことから、影響は少ないと言える。M4地点の南方向最大振幅のみを抽出してみれば、6層目(8.93Hz, Vs138m/s)を通過してくる屈折波と2次モードの8.51Hzの表面波が同時に到達していることから、実体波と表面波が干渉し振幅が増幅している可能性が指摘できる。図11によればM5地点の最大振幅の時刻において、第7層目を通過する7.18Hz屈折波と、第8層を通過する6Hzの屈折波の到達が見られ、2つの屈折波の影響が考えられる。

7-4. 距離減衰特性

図18に対策前後の試験時に周辺地盤で計測記録されたNS成分の最大速度の値に対する距離減衰図を示す。

試験装置基礎と建屋基礎の断絶により建屋基礎への高振動数成分の伝播が少ないため、M1地点(建屋基礎)の振幅

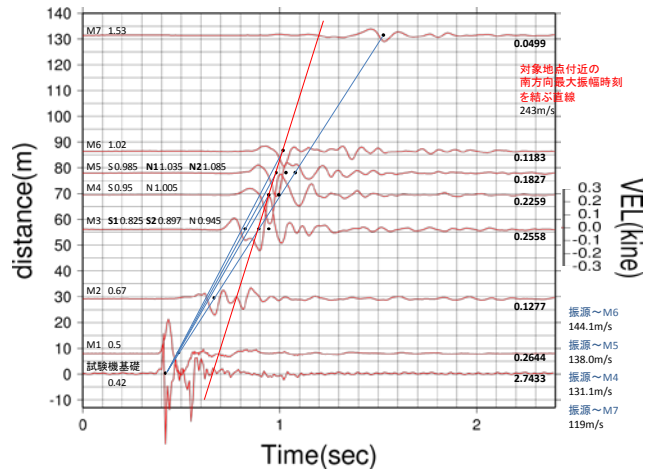


図7 波形ペーストアップNS成分と見かけ速度(対策前)

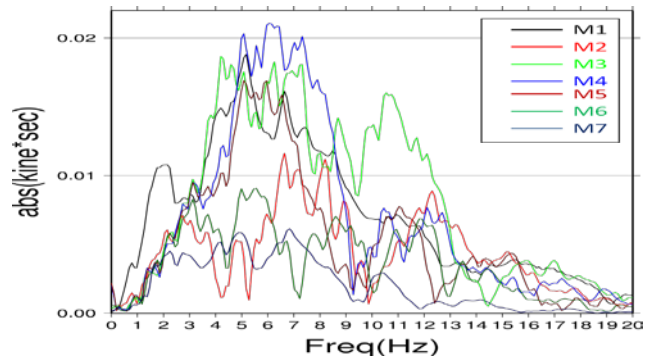


図8 NS成分フーリエスペクトルとオービット(対策前)

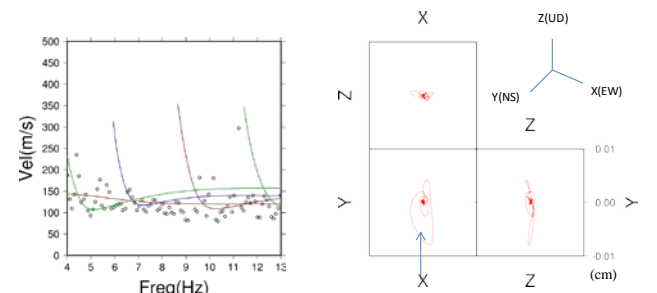


図9 M4地点波群速度NS成分

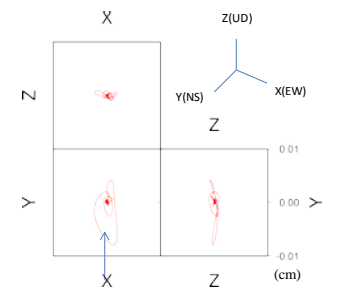


図10 M4地点オービットNS成分

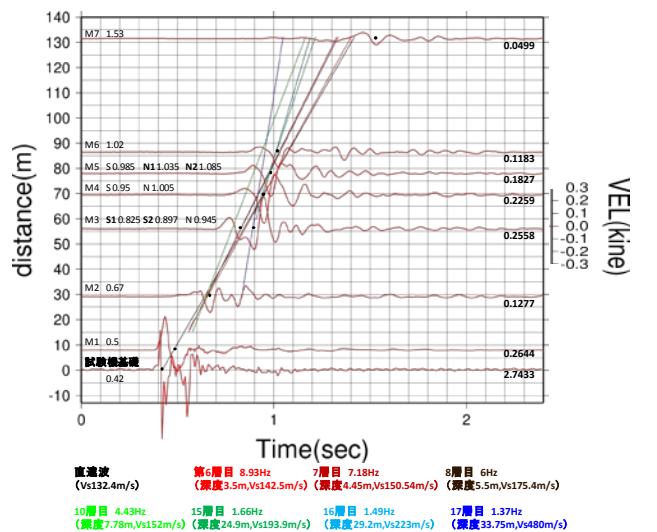


図11 屈折波の到達時刻(対策前)

値が小さくなることを考慮すると M1 地点から M2 地点までの距離減衰特性を速度最大値にて評価できない。M3 地点で最も増幅し、M3, M4, M5 地点で周辺地盤より振動が増幅する特殊な場所であることが分かる。また対象地点付近から後方の伝播特性は M5 地点以降急激に減衰していく様子がみられる。これは幾何減衰特性は半無限地盤における実体波について考えているため、反射によるエネルギーの減少を一般化できていないこと等による。

8.対策前後での試験時振動の伝播特性の変化と対策効果

8-1.見かけ速度の変化

図 12 より対策後の周辺地盤の各地点の南方向最大振幅時刻が、見かけ速度 130m/s 程度の伝播速度の直線に乗る。これは M5 地点の南方向最大振幅時刻が遅れることによる。よって M5 地点は地中壁によって波動伝播の成分のバランスが変化したと考えられる。しかし、M4 地点においては振幅の形成される時刻は変化が無い。

8-2.オービット

図 15 より周辺地盤への波動の伝播は M2 地点は複雑な挙動を見せるが、対象地点付近では SH 波またはラブ波的な粒子軌跡を描く。

8-3.スペクトル特性と波群の伝播速度の変化

図 13 より、M3 地点の 11 Hz 成分の低減が大きく、スペクトルの卓越が長周期側が残る様な印象を受ける。また図 14 より地中壁の影響で伝播する波群の速度が遅くなっていることが検出された。原因については今後の詳細な分析を必要とする。

8-3.振動レベル比較

図 16 に対策前後の NS 成分の各地点における振動レベルを示す。対策後 M4 地点で振動レベルが 5dB 低減され 52dB になった。これは気象庁震度階級関連解説表,2009 によると、「人は揺れを感じないが、地震計には記録される」とある。M4 地点周辺は依然振動の増幅が見られるものの、影響が小さくなっていることが分かる。

8-4.対策前後のスペクトル比較による地中壁の効果の検討

図 17 に対策前後の試験時の各地点でのフーリエスペクトルを重ね描いたものを示す。

M1 地点は地中壁より振動源に近い地点であるため各成分共に対策前後で同様なスペクトル特性が得られた。

M2 地点は水平方向成分共に 7Hz から 8Hz の帯域が減少している。NS 成分は 5Hz 付近では対策前よりも若干増幅している。それ以外の周波数帯域では振幅値が減少しているが。

M3 地点の UD 成分は 6Hz から 13Hz までに見られた大きな卓越がなくなり、大きく壁の影響が表れている。

M3 地点は周波数帯域で減少している。UD 成分は 10Hz までほぼ同様の値を示し、11Hz 付近の成分が減少している。

M4, M5 地点は、5Hz から 8Hz 成分と 11Hz 付近の成分において低減効果がみられる。

各地点において 1Hz から 4Hz までの振動数帯域における成分は変化しないため、この成分の波は地中壁の影響を受けない成分であり、振動伝播経路が壁の下を伝播している成分である事が推定できる。

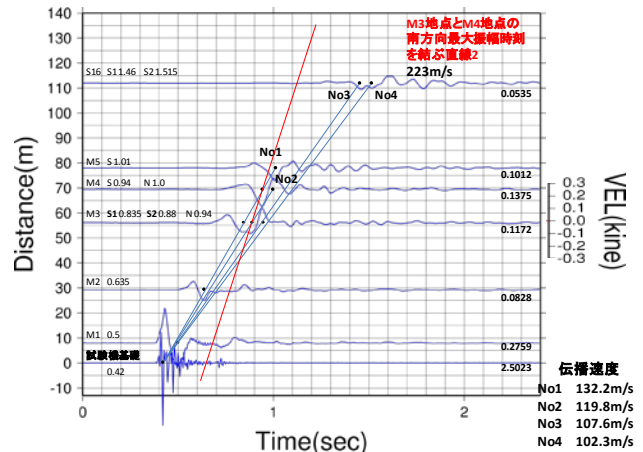


図 12 波形パーストアップ NS 成分と見かけ速度 (対策後)

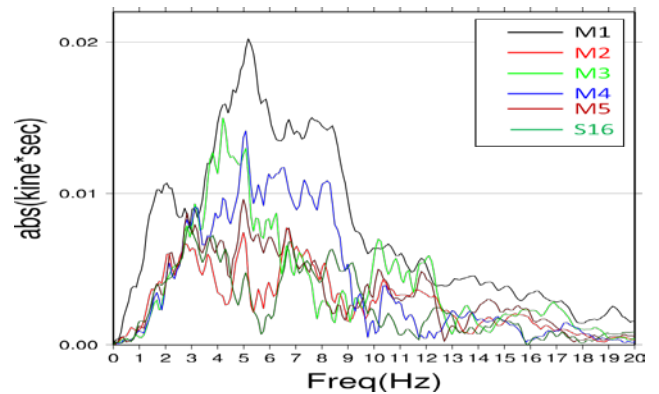


図 13 フーリエスペクトル NS 成分 (対策後)

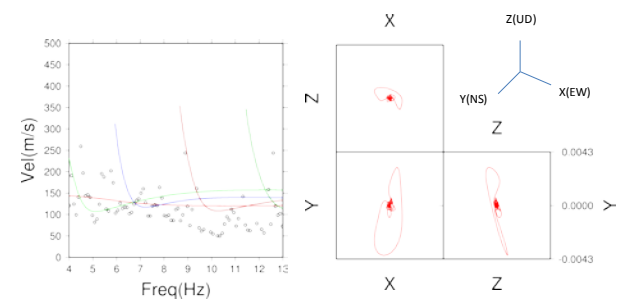


図 14 M4地点波群速度NS成分 図 15 M4地点オービットNS成分

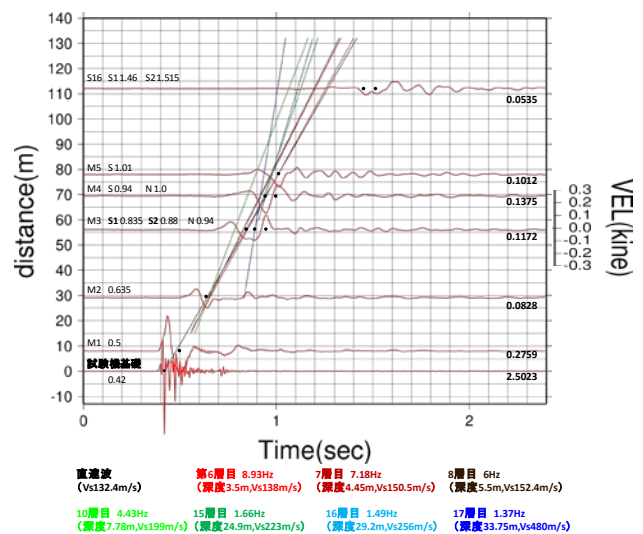


図 16 屈折波の到達時刻 (対策後)

UD成分は対策前に見られたM2地点で8Hzから12Hz周辺の成分の増幅が無くなっていることが確認できる。試験装置基礎のピッチングにより励起されるレイリー波の影響が考えられる。地中壁直近のM2地点のNS成分よりもM3地点の方が低減効果が大きく、11Hz付近の短周期成分が低減されている。また対象地点付近に影響が大きかった5Hzから8Hz成分の振幅値も低減され、地中壁から約60m離れた対象地周辺でも振動が低減されている事が分かる。11Hzの成分の波長は地中壁周辺の地表のVs=130 m/sより11.8 mである。この波長は壁厚に対して0.6、壁の深さに対しては0.4となり、およそ1/2波長が一番低減効果が大きいと考えられる。

8-6. 屈折波の走時による実体波の影響の考慮

屈折波の到達時刻より、対策後の周辺地盤の振動伝播は深さ3.5mの層を通過する屈折波が周辺地盤の振動伝播に大きな影響を与えるようになった。

この屈折波は深度3.5mを通過するため低減効果が大きいはずであるが、この屈折波の対策後の影響が大きくなっていることは不明であるため、詳細な分析が必要である。

8-7. 距離減衰特性の比較

図19より、対策後はM4地点以降、ほぼ実体波的な減衰特性を示しているようにも見える。

9 結論と今後の課題

対策前の地盤振動について、振動伝播は各地点ごとに影響の大きな波動の成分がことなり、表面波と実体波の寄与を明らかにした。また対象地点付近の各地点で表面波と実体波が重なり増幅する可能性が高いことを示した。

対策後の地盤振動は、試験時の振動は地中壁の効果によって各地点において短周期成分が低減されていた。また、波長が短い振動の方が低減効果が大きい結果を得た。主な波群を構成する成分が周辺地盤の各地点で長周期側に移り、特に集中する地点が少なくなっていることが明らかになった。

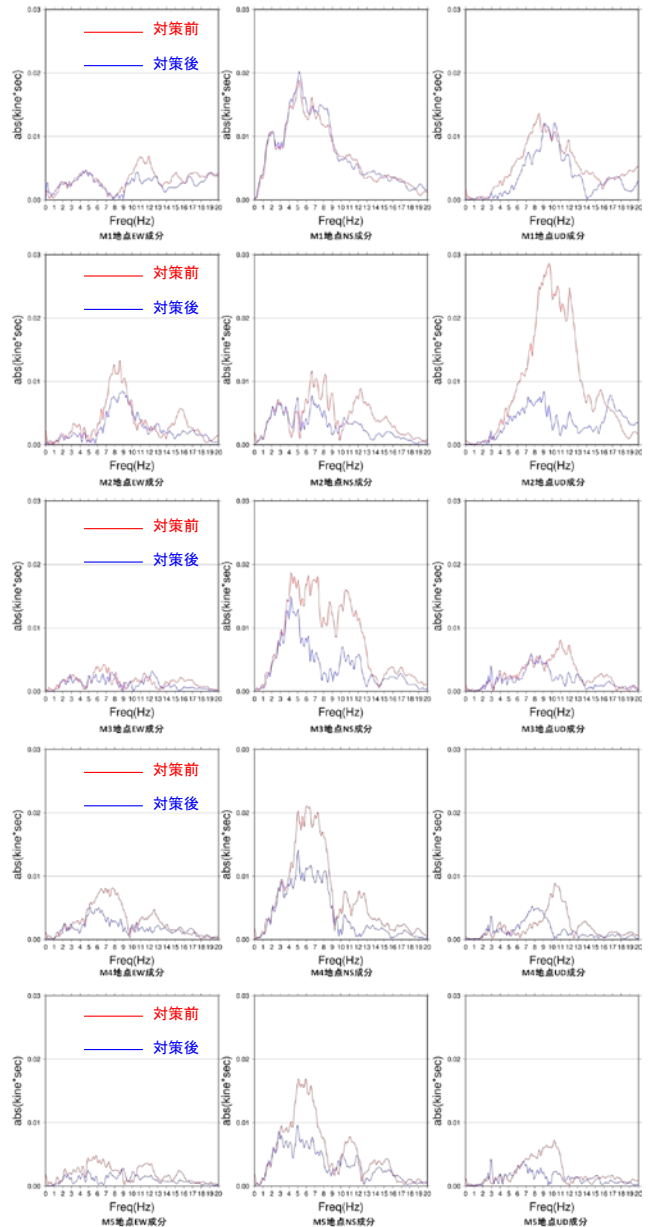


図18 対策前後のスペクトル

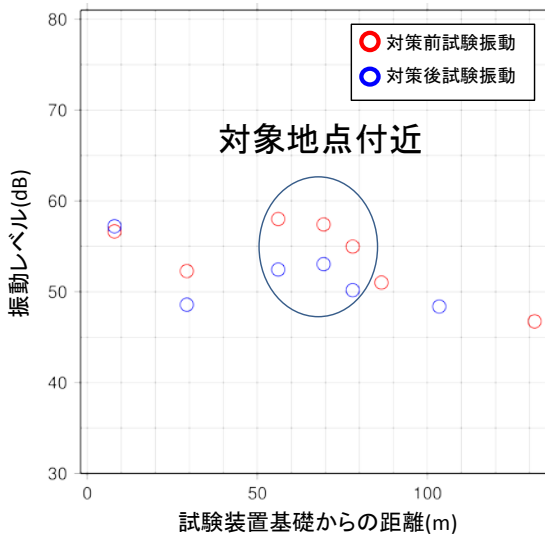


図17 対策前後の振動レベル

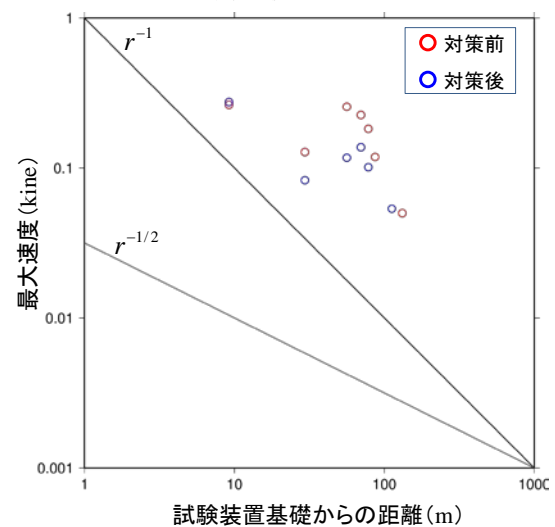


図19 対策前後のNS成分最大値の変化