

E P S 地中防振壁の交通振動低減効果に関する研究

On the effectiveness of EPS underground wall in reducing traffic-induced vibrations

徳永法夫¹⁾ 森尾 敏²⁾ 家村浩和³⁾ 西村 昂⁴⁾

By Norio TOKUNAGA, Satoshi MORIO, Hirokazu IEMURA
and Takashi NISHIMURA

1. まえがき

近年、都市内の高速道路網の拡充に伴い、高架道路から地盤に伝播する交通振動の軽減化が強く望まれており、多くの関係機関で種々の対策がとられてきた。これらは、振動源対策、伝播経路対策、受振点対策に分類され、模型実験、数値解析、現場実験を含めて様々な面からの検討が加えられている。しかしながら、個々の高架構造形式の違い、地盤条件の違い等が問題解決に複雑に関与し、振動軽減化の手法が確立されるまでには至っていない。

本研究は、伝播経路対策の範疇に含まれるEPS（発泡スチロール）地中防振壁の有効性を検討したものである。すなわち、高架高速道路と平行にEPS地中壁を施工し、試験車両を用いた走行実験から本工法の振動低減効果を調べる。また、地中壁施工中の空溝（3段切張）の状態でも同様の走行実験を実施し、空溝とEPS地中壁の振動低減効果の違いについて検討する。さらに、2次元FEMを用いたこれらのシミュレーション解析を実施し、実験と解析の比較についても考察する。

2. EPS地中防振壁現場振動実験

(1) 実験概要

地中壁施工場所は、阪神高速道路公団大阪府道高速大阪西宮線P137橋脚（門型RCラーメン橋脚）付近

キーワード：交通公害、道路交通振動

1)：正員、阪神高速道路公団、神戸第二建設部（神戸市中央区東川崎町1-2-3、TEL078-360-8141、FAX078-360-8158）

2)：正員、工博、(株)奥村組、電算センター（大阪市阿倍野区松崎町2-2-2、TEL06-625-3772、FAX06-623-7699）

3)：フェロー、工博、京都大学、工学部、大学院工学研究科、（京都市左京区吉田本町、TEL075-753-5087、FAX075-753-5926）

4)：フェロー、工博、大阪市立大学、工学部、土木工学科、（大阪市住吉区杉本町3-3-138、TEL06-605-2730、FAX06-605-2769）

で、図-1にEPS地中壁施工後の計測概要を示す。

橋脚基礎は杭基礎で、 $\phi 1\text{m}$ 、 $L=22\text{m}$ の場所打ち杭（ベント杭28本）である。施工場所の北東側を阪神高速道路が通過しており、これに隣接して並行する一般道路を跨いで阪神電車（高架）が同じく並行する。地盤条件は、後述の表-1に示すようにN値5以下のシルト系の軟弱な地盤が25m程度連続している。

地中壁は、深さ8m、総延長30.4m、厚さ2.8mで、中央に幅1mのEPSを設置し、地下水による浮力対策として、この両側に幅0.9mのコンクリートを打設した。EPS材は、設置深さに応じ、 1m^3 あたりの重量が20、30、35Kgfのものをを用いた¹⁾。

振動計測は、防振壁施工前（以下、施工前）、EPS設置前の掘削終了段階（空溝）、および防振壁施工後（施工後）の3回実施した。ここで、空溝とは、鋼矢板（IV型、 $L=13.5\text{m}$ ）、3段切梁（H300、@3.8m）により土留めされた状態である。振動源として試験車両（25tトラック）を用い、高速道路上及び高速道路に並行する一般道路を走行させた。走行速度は、一般道路では50Km/h、高速道路では60Km/h及び80Km/hとした。また、高速道路と並行する電車車両による振動も計測した。測定時間は20秒間、サンプリング・レートは200Hzである。高速道路上に試験車両を走行させるケースでは、P137橋脚上の鋼製箱桁とPC桁の継ぎ目部を試験車が通過する前後10秒間の振動を計測した。地震計は圧電型加速度計（PV-83B、リオン）を用い、地表面に5点（A、B、C、D、E）、地中GL-3mに3点（A3、B3、C3）、GL-8mに3点（A8、B8、C8）、GL-1mに位置する防振壁頂部にI、F、Jの3点設置した。ここで、FはEPS頂部、I、Jは両側のコンクリート頂部である。また、Fの直下GL-3m位置のEPS中にも1点（F3）設置した。以上、計測位置は合計15点で、すべての測定点で橋軸直角方向水平成分（X成分）、橋軸方向水平成分（Y成分）、鉛直成分（Z成分）を測

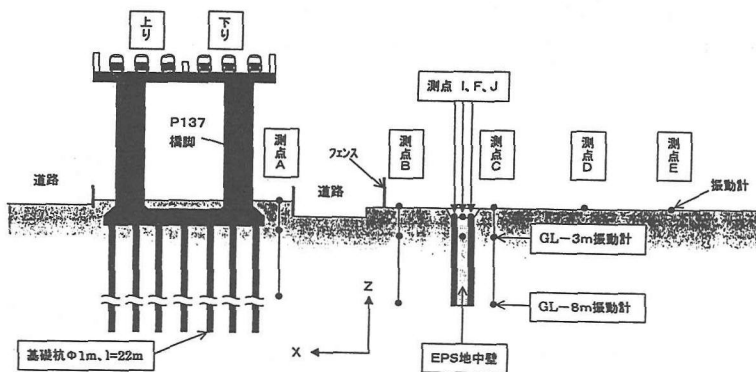


図-1 EPS地中防振壁施工後の振動計測

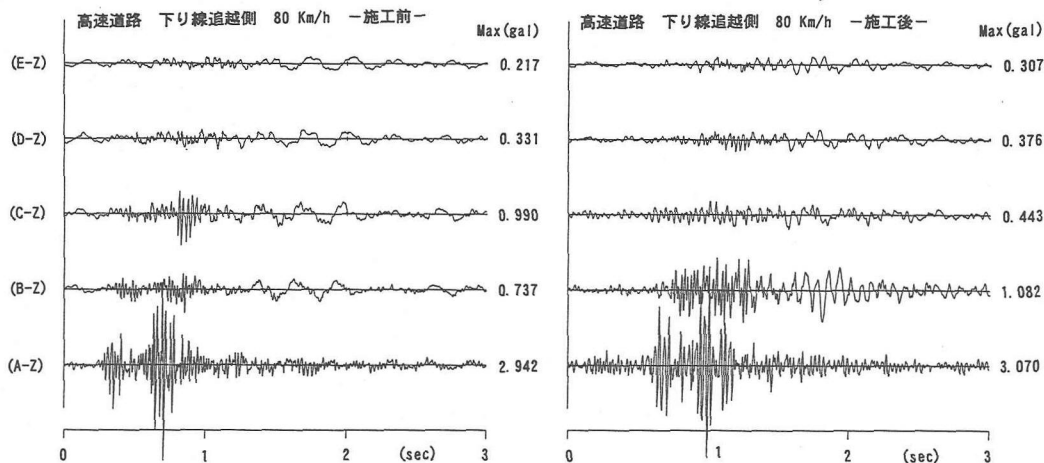


図-2 施工前、施工後の地表面鉛直方向（Z成分）加速度時刻歴

定した。

(2) 実験結果

a. 加速度時刻歴波形

施工前と施工後の地表面（A～E）の鉛直方向（Z成分）加速度時刻歴波形を図-2に示す。同図は、高速道路下り線追越側（80Km/h）走行時のものである。最大振幅は、施工前、空溝、施工後ともすべての測定点でZ成分>X成分>Y成分の順であり、Z成分の卓越が著しい。A点では、試験車両の前輪と後輪がP137橋脚上のジョイント部を通過した時の振動と考えられる2つの波群が認められる。同図では、ジョイント部からの衝撃的な振動に起因すると考えられる20Hz付近以上の高振動数成分と、これから1秒程度の時間遅れを伴って発生する3～4Hz付近の低振動数成分の卓越が明らかである。

図-2では、防振壁背後のC点でジョイント部からの衝撃的な高振動数成分の低下が認められる。20Hz以

下をカットしたハイパス・フィルター通過後の波形によると、基準となるA点の最大振幅を同一振幅に調整すると、空溝、施工後のC点の最大値は施工前のそれぞれ37%、34%であった。

b. パワースペクトル、振動加速度レベル

図-3に地表面C、D点（Z成分）のパワースペクトル比の平均を示す。ここに、スペクトル比とはC、D点のパワースペクトルを基準となる橋脚近傍のA点のパワースペクトルで除したもので、走行条件等の違いによる基準点の振動特性の違いを取り除いたものである。また、同図は各測定ケースのばらつきを低減させるため、外乱の影響が少ないと判断した5ケースのスペクトル比の平均を示している。C、D点では、特に10Hz付近以上の高振動数域で、空溝、施工後のスペクトル比が低下しており、これを、振動加速度レベルVALに変換すれば、各振動数域で平均5～10dB程度の低下である。

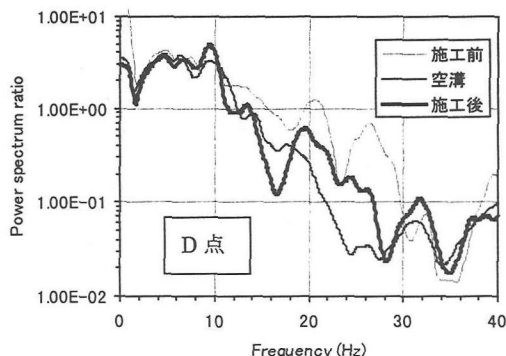
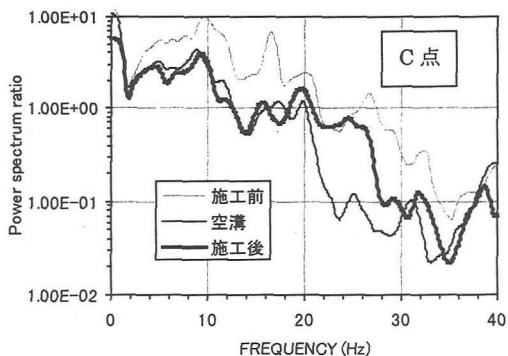


図-3 C、D点 (Z成分) のパワースペクトル比の平均

3. FEMによるシミュレーション解析

(1) 解析条件

図-4にEPS地中防振壁施工後のモデル化を示す。モデルの範囲は、橋脚を中心に最遠測定地点を含む幅130m、高さ39mである。図中のA～E点は、地表面の各測定点に対応し、施工前、空溝のモデル化はB点とC点の間に位置する地中壁付近のモデル化が変わるだけである。モデル構成は、地盤、EPS防振壁は平面ひずみ要素、構造部材(橋脚、フーチング、杭、空溝時の支保工)は曲げ梁要素を用い、上部構造重量は高架橋の水平梁主桁位置に付加した。解析領域周辺の境界条件は、側面はエネルギー伝達境界、底面は粘性境界とし、モデル境界面からの反射波の影響を低減させ

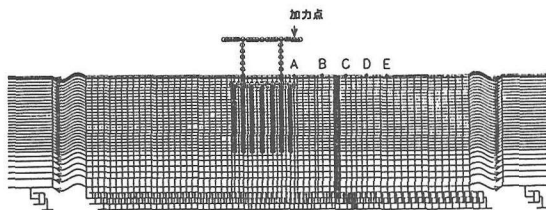


図-4 FEM解析モデル

表-1 地盤物性値

		N値	γ	ν	G	V_s	V_p	ρV_s
		t/m3			t/m2	m/sec	m/sec	m/sec
埋土(砂)	GL-0~-3m	5	2	0.333	3830	137.0	273.8	28.0
砂	GL-3~-8m	5	2	0.485	3830	137.0	802.7	28.0
砂質シルト(砂)	GL-8~-13m	3	2	0.485	2700	115.0	674.0	23.5
シルト(砂)	GL-13~-20m	1	2	0.485	1310	80.1	469.5	16.4
砂混シルト(砂)	GL-20~-24m	3	2	0.485	2700	115.0	674.0	23.5
礫	GL-24~-28m	50	2.1	0.485	18650	295.0	1728.6	63.2
粘土	GL-28~-30m	15	1.75	0.485	10890	246.9	1447.0	44.1
シルト質粘土	GL-30~-37m	8	1.75	0.485	7140	200.0	1171.7	35.7
礫	基盤層	50	2.1	0.485	18650	295.0	1728.6	63.2

た。底面は、の GL-37m 以深のレキ層 (N値>50、 $V_s=295\text{m/s}$) を工学的基盤層と考え、基盤層上面に設定した。地盤は、ボーリング調査結果をもとに表-1に示す地盤構造とし、減衰定数はすべて $h=2\%$ とした。水平方向の地層構造は一樣なものと仮定した。地層の要素分割にあたっては、解析対象振動数を 40Hz までとし、要素厚さが波長の 1/4 以下になるよう分割した。構造部材については、3次元的構造である高架橋を2次元FEMにモデル化するにあたり、部材の断面積、断面2次モーメントを換算奥行き幅で除した等価断面性能を用いた。換算奥行き幅は、フーチング、杭ではフーチングの奥行き幅 11.5m、橋脚の梁、柱については 2.5m とした。

入力波は、官民境界付近のB点で観測された施工前のZ方向加速度波形を生じさせる等価節点外力波形を逆算し、これを図中の加力点(走行車線位置)に入力した。等価節点外力の計算方法は、以下の通りである。まず、B点の加速度/加振力間の伝達関数 $T(f)$ をFEM解析から求め、一方、B点の実測加速度波形のフーリエスペクトル $A(f)$ を計算する。次に $F(f) = A(f) / T(f)$ から、節点外力のフーリエスペクトルを求め、このフーリエ逆変換から時刻歴波形 $F(t)$ を得る。

(2) 解析結果

a. 最大加速度のコンター

図-5に施工前、空溝および施工後の鉛直方向最大加速度のコンターを示す。施工前では、地表から4番目のシルト(砂)層 (GL-10~-20m) で杭に囲まれた部分の増幅が著しい。これは、橋脚、基礎杭を伝播した振動が平均N値1の軟弱地盤で増幅されたことを示している。また、2次元モデルの基礎杭(梁要素)が

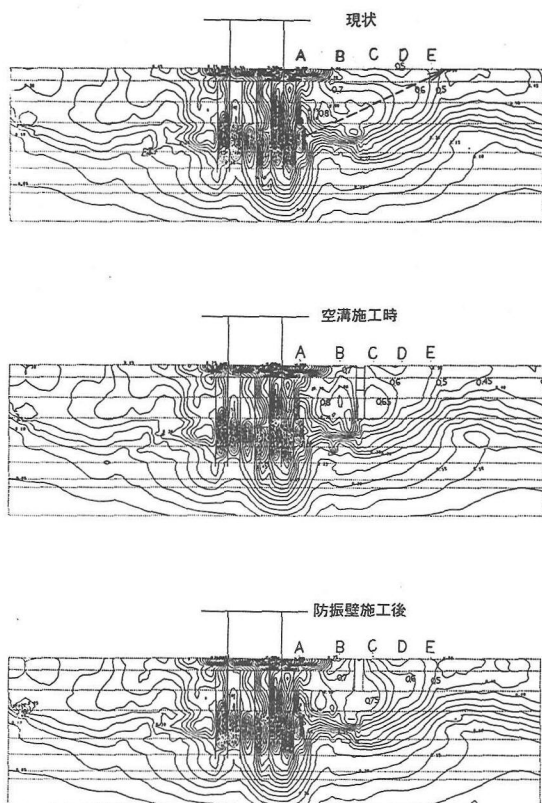


図-5 最大加速度（Z成分）のコンター

壁的な効果を示し、波動を内部に閉じこめる解析モデル特性も含まれていると思われるが、主たる要因は軟弱地盤にあると考えられる。従って、波動の伝播は図中に破線で示すように、このシルト（砂）層付近から地表部のE点に向かう経路を示す。施工後ではEPS壁前面の振幅が反射波により若干増加し、背面で僅かに低下する傾向がみられるが、その効果はあまり大きくない。これは、深さ8mのEPS壁が、主たる伝播経路を遮断していないためであろう。空溝の深さも8mであるが、13.5mまで根入れされた矢板の効果により、前面の反射波、背面の振幅低下が施工後より僅かに大きくなっている。

水平方向最大加速度のコンター図については省略するが、主たる振動がフーチング上部の土層から水平方向に伝播し、また、鉛直成分で卓越したシルト（砂）層からも水平方向に振動が伝播している様子が伺える。ただし、空溝、EPS壁の振動低減効果は鉛直成分より低下し、前面の反射波もほとんど認められない。これは、水平成分の卓越振動数が低振動数域にあるため、

空溝、EPS壁の効果が表れなかったものである。

最大速度のコンターについても同様のことがいえ、低振動数成分がさらに卓越する速度成分では、加速度に比べ空溝、EPS壁による振動低減効果が低下する。振動レベルVLの人体感覚補正と加速度～速度間の振動数域での変換が等価であることを考えると、防振壁によるVLの振動低減効果を期待するなら、地中壁深さを更に深くしなければならないことが分かる。

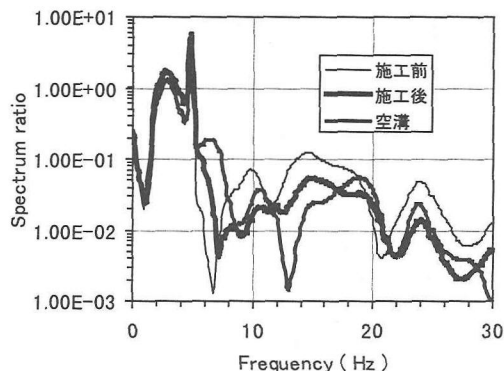


図-6 C点（Z成分）のパワースペクトル比

b. パワースペクトル比

図-6にC点（Z成分）のパワースペクトル比を示す。前述図-3の計測結果では、0～30Hzのほぼ全振動数域で空溝、EPS防振壁の振動低減効果が認められた。これに対し、解析結果では10Hz以上の高振動数域では空溝、EPS防振壁の振動低減効果が認められるものの（VALに換算すると5dB程度）、10Hz以下の低振動数域ではあまり効果がみられない。

4. あとがき

道路交通振動の伝播経路対策としてのEPS地中壁の振動低減効果を実測結果、FEM解析結果から確認した。特に、高架橋ジョイント部からの衝撃的振動に起因すると考えられる10Hz付近以上の高振動数成分で顕著であることを示した。なお、本研究は阪神高速道路公団・道路交通振動対策委員会（委員長：前田幸雄大阪大学名誉教授）の活動の一環として実施した。

参考文献

- 1) 徳永、森尾、家村、西村、早川：EPSの振動低減効果に関する模型振動実験とそのシミュレーション解析、構造工学論文集、Vol. 44A, pp. 1705-1716, 1998. 3