

各論

交通振動による小規模建築物の影響予測と対策技術

竹宮 宏和*

1. まえがき

道路上の走行車両に伴う交通振動は、一般に30Hz以下の低振動数帯域（低周波振動）が障害振動として注目される。走行車両から発生する振動は地盤内を表面波として伝播する過程で、地質構成による地盤のフィルター作用を受ける。道路沿線での振動計測に基づく評価法は、公害振動計による振動レベル¹⁾だけでなく、周波数特性を含めた調査内容報告もあり、波動場を把握するための調査法の向上が図られている。最近では同現象を、FEMを応用し想定加振源と地盤モデルのもとで、コンピュータ・シミュレーションして視覚的に把握することが多い。沿線建物の振動影響を予測する際には、経路特性とともに建物構造による増幅特性も考慮して知覚振動の原因を解明する必要がある²⁾。

現在の振動の法的規制³⁾は、官民境界で計測した鉛直方向の振動レベルに基づいて評価する。しかし、官民境界での測定値が許容限度値を下回っていても、住宅内では大幅に上回ってクレームが表面化するケースがある。その原因は、計測地点、計測方向、計測評価値にあるといえる。建物増幅や伝播する振動波の変化を考慮に入れて、振動障害を受ける場所で計測することが望ましいと考えられる。

振動対策の従来工法として、溝工法、連続地中壁工法、柱列工法などがある。いずれも次元波動伝播理論に基

づく振動遮断原理をとっている。そのため、現実の表面波の場合とのずれがあり、遮断効果は高振動数帯域に限られている。知覚振動評価に基づいて、振動数帯域をターゲットとして減振設計をすることが肝要である。筆者が開発してきたWIB工法⁴⁾は、地盤の表層内を伝播する波動に注目して非伝播状況を創出し、障害となる低周波振動を低減する対策工法である。地盤内にセル構造体を構築して、伝播する入射波の波長を硬いセル壁構造で散乱現象を起こさせて短波長化し、そのうえで高振動数化した波動をセル内で減衰させる。セル内にタイヤ・シュレッドなどの高減衰材を詰めて吸収させる工法もある。このイノベティブなWIB工法は、実際に施工され振動対策工法として成功している⁴⁾。

2. WIB工の理論

2.1 地盤減振と減振目標振動数

各種の振動源に対する建物の減振設計は、建物の増幅応答を考慮して居住性の観点から振動数帯域を限定し、効果的に減振予測することが肝要である。道路交通を対象にすると、木造2階建構造、3階軽量鉄骨構造では、主要な振動数帯域は3 Hz程度から30Hz程度なので、この帯域内に含まれる地盤の応答に着目する。目標振動数を設置し、WIB工の諸元を波長の比で統一して扱えることは性能設計につながる。

2.2 成層の波動遮断現象による免振層効果 α

表面剛基礎の動的調和加振状態で、成層地盤での実体波P波・S波の伝播特性を調べた。層厚 H に対するそれぞれの卓越周期を T_p 、 T_s 、基礎構造物への載荷周期を T_0 とし、解析上のパラメータとして T_p/T_0 、 T_s/T_0 をとる。これらは

$$T_p/T_0, T_s/T_0 = 4H/\lambda_0 = 4Hf/V = 1/\alpha \dots\dots\dots(1)$$

として表わせる。ただし、 λ_0 は波長、 V は対象波の伝播速度、 f は振動数である。免振層に基づく減振効果 α_1 としてパラメータ変化させ、解析的に求めた基礎の最大応答値 A と半無限地盤土の最大応答値 A_0 との比と、 α の関係を調べた結果を図-1に示す。

同図より、成層地盤上の基礎の最大応答値 A は、 $\alpha = 1$ 近傍では鉛直・水平並進動・ロッキングのいずれにおいても、半無限地盤の応答状態よりも大きく増幅領域となる。一方、 $\alpha > 2$ の場合には半無限地盤の応答状態よ

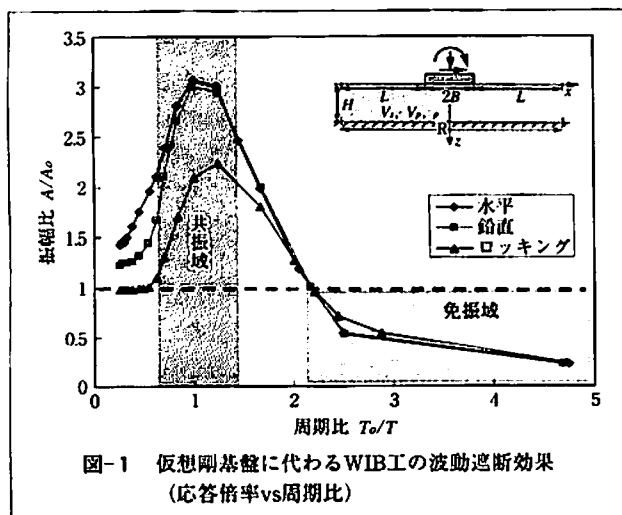


図-1 仮想剛基礎に代わるWIB工の波動遮断効果 (応答倍率vs周期比)

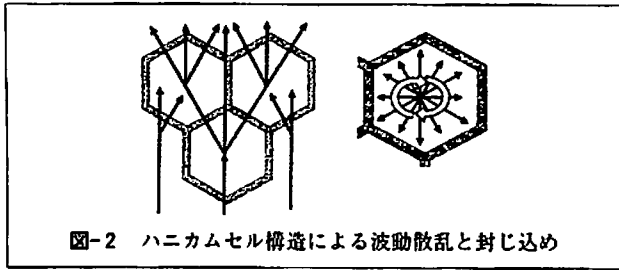
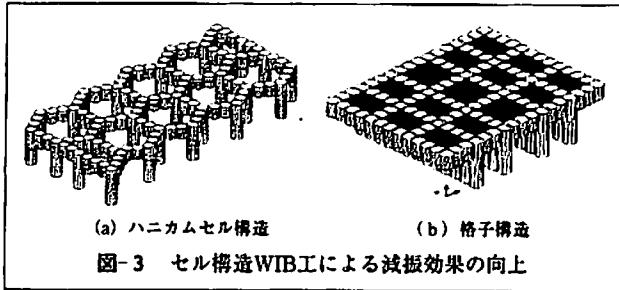


図-2 ハニカムセル構造による波動散乱と封じ込め



(a) ハニカムセル構造 (b) 格子構造
図-3 セル構造WIB工による減振効果の向上

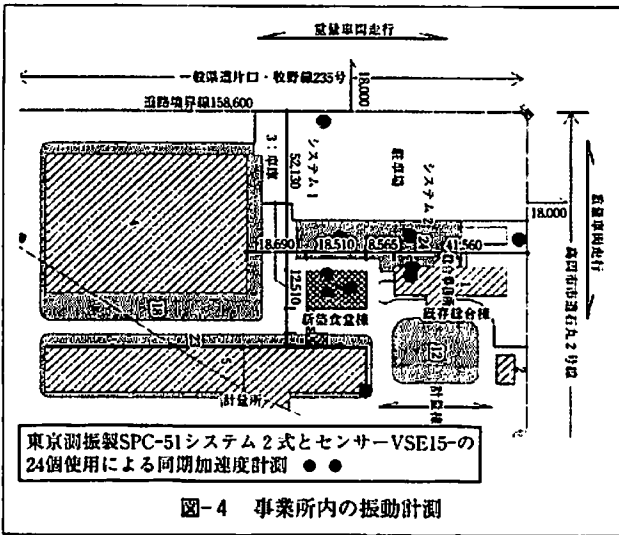


図-4 事業所内の振動計測

りも小さくなり、免振領域となることがわかる。 T_o/T_p , T_o/T_s はそれぞれの波の波長に対する層厚の比 H/λ となる。応答の免振領域と増幅領域の境界はおおむね $H/\lambda = 0.12$ である。これは $f \cdot 4H/V = 0.5$ でもある。したがって免振領域を創出するには、仮想剛基盤面としての剛性の高い平版構造を地中に構築することである。

2.3 セル構造による波動散乱減衰 (制振層効果 α_2)

セル構造が地中内に存在すると、壁面と中詰め材の波動のインピーダンス比による散乱現象と、セル内に波動を閉じ込める現象が図-2のように起こる。WIB工をハニカムセルで構築した場合、制振層として減振効果を示すことができる。減振効果はセルのサイズに依存する。軟弱地盤では、地盤の支持力を上げる目的で長杭を混在させる (図-3 参照)。

セル構造WIB工は、免振層と制振層によって減振効果を相乗発揮する。それぞれの減振効果を加速度の単位で ΔA_1 , ΔA_2 とすると、総合された減振量は

$$\Delta A_{1+2} = \Delta A_1 + \Delta A_2 \dots\dots\dots(2)$$

振動 (加速度) レベルの単位では、

$$\Delta a_{1+2} = \Delta a_1 + \Delta a_2 \dots\dots\dots(3)$$

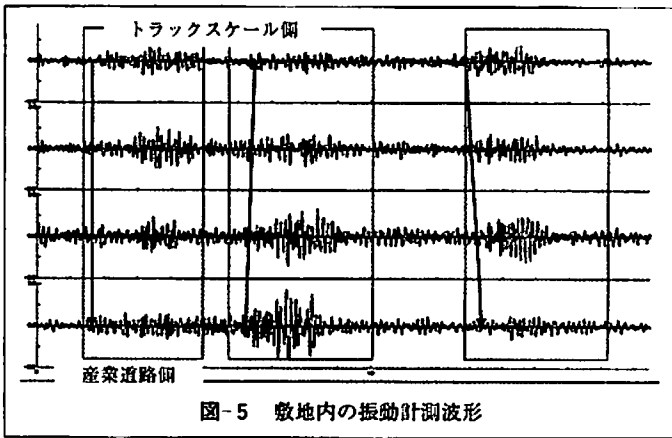


図-5 敷地内の振動計測波形

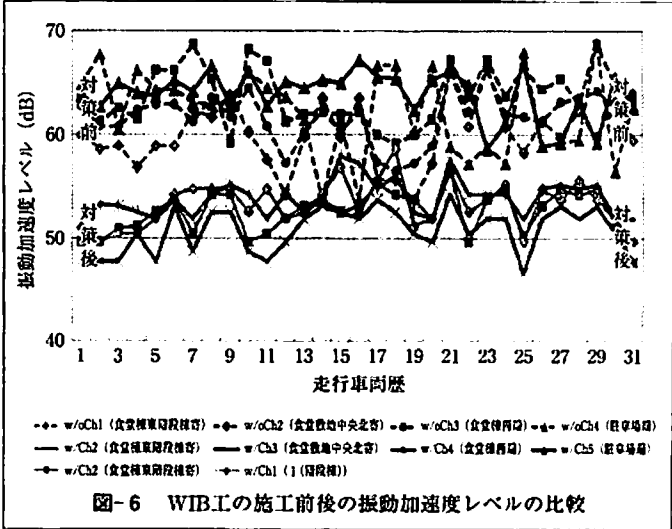


図-6 WIB工の施工前後の振動加速度レベルの比較

で算定することができる。

3. WIB工事例

3.1 フィールド振動計に基づく振動調査情報

富山県の製鉄事業所の交通振動対策へのWIB工法施工事例を報告する。

振動源は、図-4に示すように事業所内を原材料搬入と製品搬出の大型トラックが積荷計量器を通るときに発生する状況 (図-4 下) と、事業所のすぐ外の産業道路を走行する状況 (同図上) がある (図-5 参照)。これらの振動は水平より鉛直が卓越しており、よく伝わる振動数帯域は加速度において5~6 Hz, 10 Hz近傍であった。各イベントの鉛直振動加速度レベルは70 dB弱である (図-6 参照)。道路交通振動基準に照らして60 dBまで減振する対策目標を立てた。

3.2 地盤情報

当サイトの原地盤は、原位置ボーリング調査結果の図-7によれば、表層が盛土で中に粗砂が3 mまであり、その下に細砂層がところどころ腐植物を混入しながら14 m程度続き、支持層が一時的に現れる。地下水は地表から2 m程度の深さである。

振動対策対象の新築建物は20 m深さのPHC杭で支持されたピロティ形式の鉄骨2階建食堂棟である。対策前計測の記録波形から対象地の振動性状を評価した。併せて、

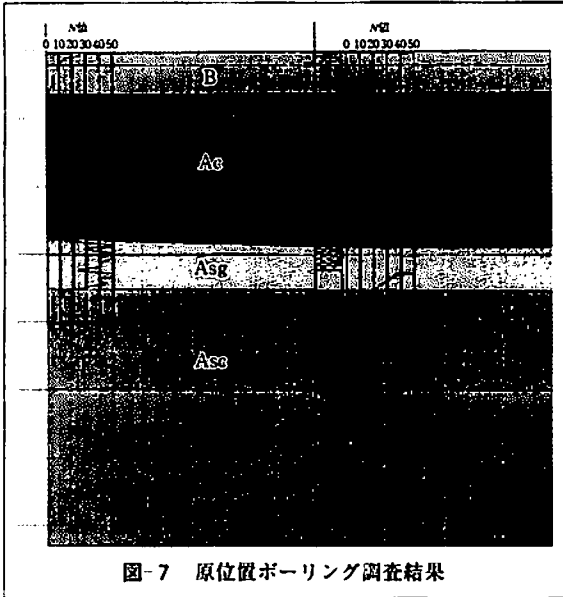


図-7 原位置ボーリング調査結果

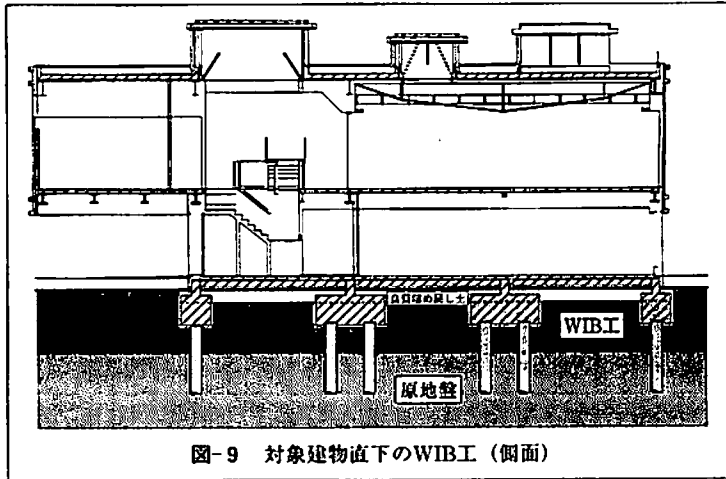


図-9 対象建物直下のWIBI (側面)

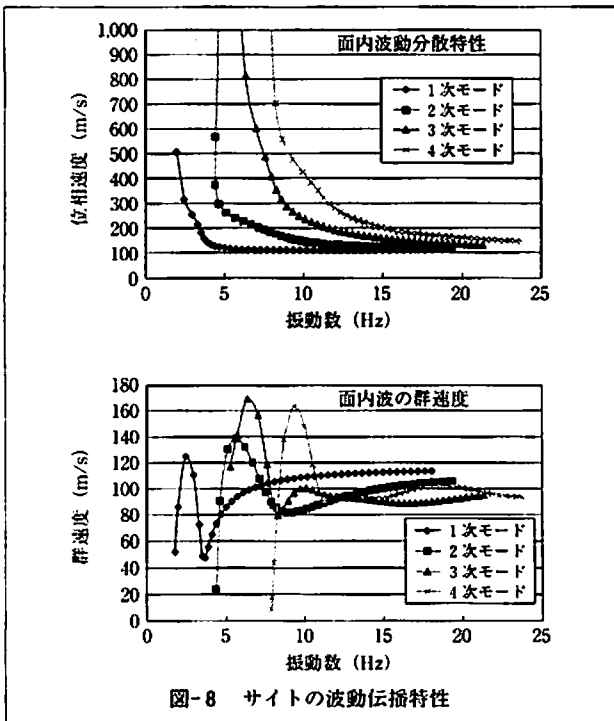


図-8 サイトの波動伝播特性

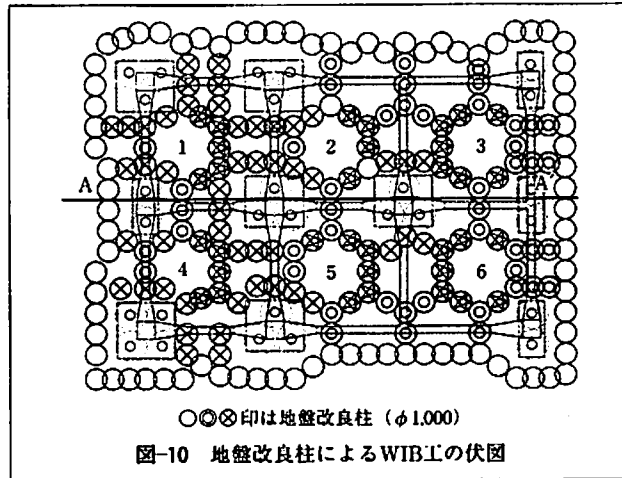


図-10 地盤改良柱によるWIBIの伏図



写真-1 WIBIの施工時状況

図-7に示す原位置ボーリングデータに基づく波動シミュレーションを薄層要素法を応用して実施した。その結果を図-8に波動分散特性図で描いた。このことより、卓越振動数が3~4 Hz (1次), 8 Hz (2次, 3次)で伝わる層状地盤内の表面波が存在することが推察できる。

3.3 WIBIの設計

本物件には、WIBIの構築を地盤改良工法の深層混合処理工法を応用し、改良柱から成る平板型ハニカムセル構造を採った。壁面剛性を高めるため、改良柱φ1,000のラップ幅を15cmとした。WIBIの設計諸元は、図-9に示すように1mの良質置換え土の下を天端位置とした。基礎および地中梁がある箇所では、それらの底位置深さとした。基本セル形状は1辺が2mのハニカム

(図-10)で、卓越波長に対して対角線距離が1/3程度とした。WIBIの底面位置は面一でGL-3.0に設定した。したがって、WIBIは約2m厚みのセル平板である。WIBIの壁面の地盤改良柱の設計強度を700kN/m²とした。写真-1にWIBIの施工時の写真を示す。

以上より、今回の減振量予測は、図-1の免振機構で6 dB、図-3の制振機構で3 dBの総合して9 dBである。

なお、当該サイトの地下水面は1.5m~2.0mであるため、基礎工事において止水工並びに土留め工を要する。今回のWIBIの配置は、それらの目的も兼用した。

3.4 施工後の振動計測と減振評価

WIBIの性能確認をするために、東京測振製SPC51システム2式と加速度センサーVSE15-Dを使用しての同期振動計測を、特定重量車両の走行に対して行なった。計測は産業道路際の参照点を含み、施工前と施工後の道

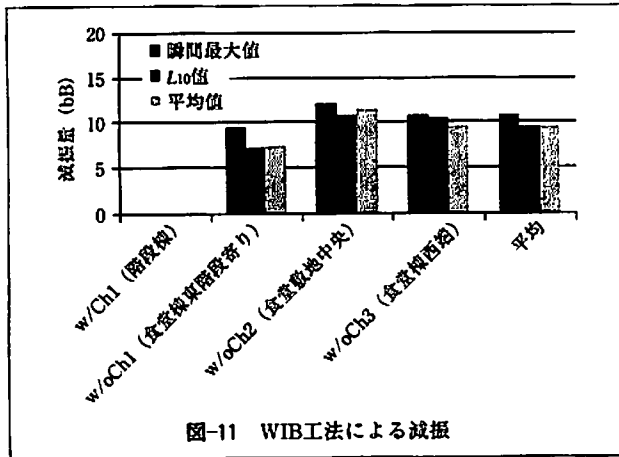


図-11 WIB工法による減振

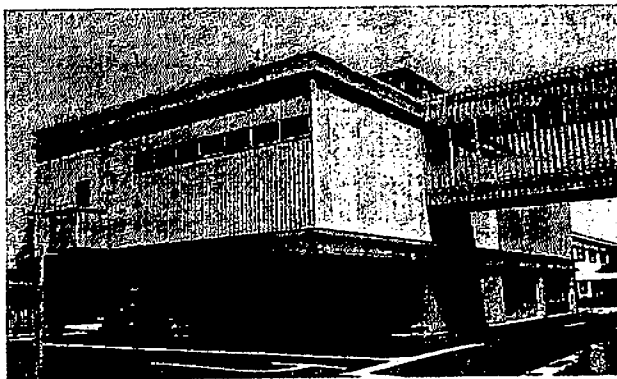


写真-2 新築食堂棟 (S構造, 濱田修建築研究所設計)

路交通量の差がほとんどない状況で行なった。振動計測は、それらの個々の車両の通過ごとに行ない、各イベント波形に対して統計処理を経て振動加速度分布、振動加速度レベルを評価した。注目点はWIB工の施工前後の建物面積内の地盤振動の差、新設建物と近傍の既設建物の振動性状の差である。いずれも2階建構造である。WIB工の対策前では、振動加速度レベルは60~60数dBの範囲で推移していたが、対策後の確認試験では50~50数dBに低下した(図-6参照)つまり、10dBの減振量であった。測定時期のずれは、WIB工の影響を全く受けない参考点の計測値からは無いものと思われるので、上記の差はWIB工の低減効果と判断される。図-11は最大値を瞬間最大値、L10、平均値で評価した結果である。図-12は、WIB工による鉛直振動の1/3オクターブバンドスペクトル例である。対策前計測では10Hz付近に卓越振動が見られたが、対策後は同成分が大きく低減されている。

新築食堂棟(写真-2)を含めて事業所内の振動計測を実施した結果を図-13に振動レベルの平均値と標準偏差で描いた。大型車両が事業所周辺を走行する31のイベント波形の鉛直成分を整理したもので、平均値と標準偏差の幅を記入している。記録加速度波形の1/3周波

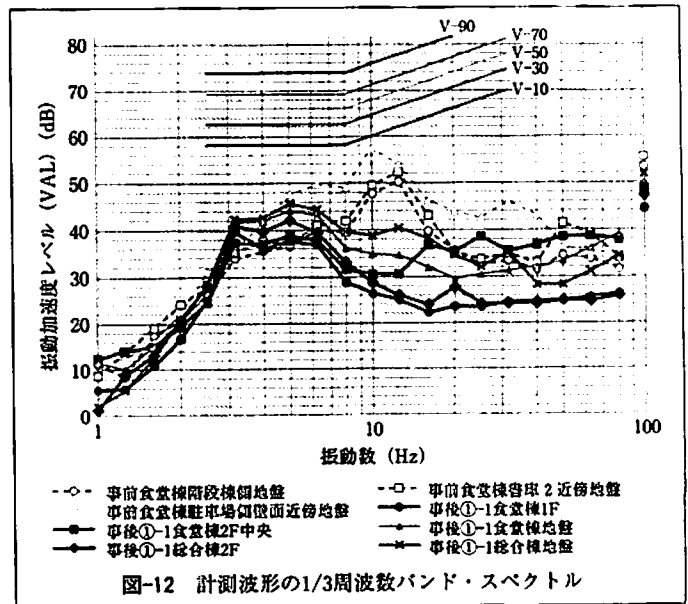


図-12 計測波形の1/3周波数バンド・スペクトル

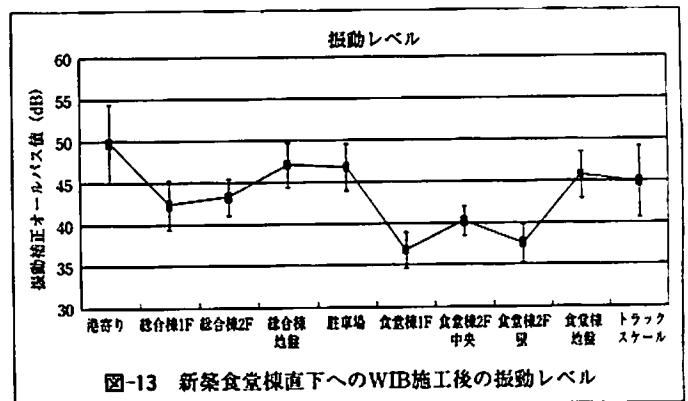


図-13 新築食堂棟直下へのWIB施工後の振動レベル

数スペクトルである振動加速度レベルと同周波数分析を通して、人体感覚補正をした結果の振動レベル値である。同図からはWIB工対策をした新築食堂棟の1階、2階ともに既設の総合棟のそれらより5 dB程度低い値となっている。

4. むすび

交通振動対策としてWIB工法の原理を述べ、10dB減振設計をした施工事例を紹介した。本工法は波動論に基づき、減振量と目標振動数帯域を設定して性能設計ができるところに特徴がある。

参考文献

- 1) 振動規制法, 環境省, 1976.
- 2) 日本建築学会: 建築物の振動に関する居住性能評価指針・同解説, 2004.
- 3) H. Takemiya: Wave propagation/impediment in a stratum and wave impeding block (WIB) measure for SSI response reduction. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 13, pp. 49~61, 1994.
- 4) 特許登録2764696, 2850187, 4222812.