

【土木・建築基礎工事と機材の専門誌】

基礎工

2011
Vol.39, No.10

THE FOUNDATION ENGINEERING &
EQUIPMENT, Monthly

10

特集▶ 小規模建築物の安全・安心

住宅地盤調査・補強工事は
住品協会企業へ!!



東日本大震災の液状化被害



<http://www.juhinkyo.jp/>

住宅の地盤事故根絶を目指す

NPO(特定非営利活動法人)
住宅地盤品質協会

報文

交通振動対策を加味した 小規模建築物の地盤補強事例

橋本 光則*

1. まえがき

道路や鉄道、工場などに近接して住宅が建設されるケースでは、しばしば環境振動問題が発生している。住宅の基礎工法であるベタ基礎や表層改良などの地盤改良は、交通振動の低減にも効果があるといわれているが、今までは振動対策効果が明確にされていなかったため、住宅の基礎設計に反映されることはなかった。しかし、最近では振動対策の技術が進歩してきたため、対策効果を技術的に予測できるようになってきた。そこで、振動対策と沈下防止用の設計を組み合わせることにより、高機能な住宅基礎の設計が可能である。

最近の実施例から見て、振動レベルで5 dB以上（震度階で1以上、振幅で2分の1以下）の効果が得られることがわかっており、他の方法では得にくい鉛直振動にも有効であることから、地盤改良による減振設計は十分可能と考えられる。

事前に振動対策を加味した基礎設計を行なうことにより、振動問題が発生しそうな建設地では、振動によるクレームの発生を予防することができる。また、顧客から事前に振動防止に対する要望があった場合にも、高機能な基礎を提案できるようになった。ここでは、筆者らが行なっている地盤振動対策工法（WIB工法）の実績をもとに、振動対策を加味した小規模建築物の減振基礎設計について報告する。

なお最近では、耐震・免震・制震との関連で振動を減少させる意味で減振（震）の表記が使用されており、ここでも使用している。

2. 基礎工法と振動対策効果

2.1 ベタ基礎や地盤改良で地盤振動が低減する理由

海に浮かぶいかだは波が来ても、ある大きさの波まではあまり揺れない。これと同じように、交通振動などの地表を伝わる波は基礎の剛性が高ければ、波の大きさにより基礎を加振する波動のエネルギーの一部が失われ、振動が低減する。これを入力損失という。ベタ基礎や強度の高い地盤改良を行なうと、このような作用が得られることがわかっている。

振動の低減効果は振動の波長と基礎の幅によって決まり、低振動では波長が長くなるため大きな基礎幅が必要

になる。また、改良深さや剛性が増せば、防振効果も増加する傾向にあることがわかっている（図-1）。

2.2 地中壁

地中壁は比較的狭小地で施工可能であるため、従来から既存の住宅の振動対策用に利用されるケースが多い。防振効果は壁の剛性や波長などに関連する。低振動では波長が長くなるため壁の底部から回折波が生じやすく、施工深さが重要となる。しかしながら地中壁は、コストのわりには振動対策効果が得にくいとされている。

3. 交通振動対策の設計施工

3.1 概要

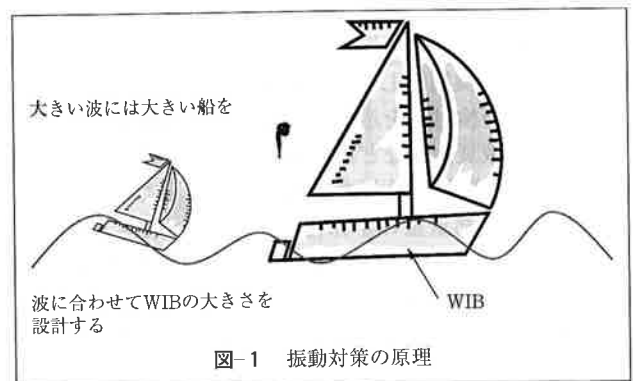
振動対策の設計は、以上のような観点から、どのような波が基礎に入ってくるかを想定することによって検討する。したがって、振動の状況と地盤の状況がわかれば、設計が可能となる。防振設計は、最終的には低減された振動が人体に感じるかどうかを判定することにより実施される。目標に達しない場合は、再度仕様を変えて検討する。

住宅の新築工事の場合は、沈下防止のためにベタ基礎や地盤改良といった基礎工法が検討されるので、振動が問題になる地域では同時に防振設計と組み合わせることにより、ローコストで高機能な基礎工法が実現できる。

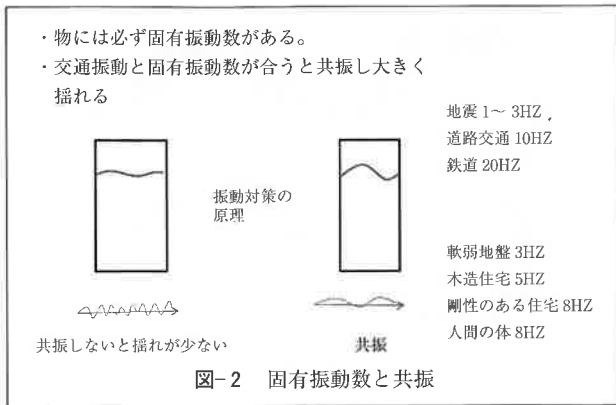
条件によっては従来の沈下防止用の基礎補強と同額で、振動低減効果に優れた基礎を提案することも可能である。

3.2 振動対策の基本

木造住宅では2階床面は1階床面より、水平方向は振動レベルで5 dB程度増幅する。3階ではさらに5 dB程度増幅する。これらにより、1階から3階までの床面で



*HASHIMOTO Mitsunori (株)三友土質エンジニアリング 常務取締役 | 岡山市中区神下98-6



の振動が受忍限度である55dB以下であることを検証する。なお、環境振動においては振動レベル (dB) の表記を用いる。地震の大きさは加速度が多く用いられる。加速度 a と振動加速度レベルVALは、基準加速度 $a_0 = 10^{-5} \text{m/sec}^2$ として、 $VAL = 20 \log(a/a_0)$ として表される。

ちなみに加速度が50%低減すると、振動加速度レベルは $20 \log 0.5 = -6.0 \text{dB}$ の変化となる。人は周波数によって感じ方が違うので、周波数ごとに補正を行なったものが振動レベルVLである。

振動対策においては共振を防ぐことが重要である。地盤と振動源および構造物の固有振動数を計測あるいは予測して、共振することがないように注意する必要がある(図-2)。共振する場合は、目標に対して安全側の低減効果を目論む。なお、地盤や建物の固有振動数は写真-1の振動計を使用すれば容易に計測できる。

3.3 交通振動対策を加味した戸建住宅の基礎設計の流れ

3.3.1 振動調査

まず設計に際して振動調査が必要であるが、現地で公害振動計を用いて比較的容易に実施可能である(写真-1)。簡易に比較的短時間で計測可能であるので、交通振動のクレームを防止する意味でも、今後はぜひとも住宅の地盤調査と同様に実施するとよい。特に大型車が通る道路の近くや交通量の多い道路の近くに建築計画する場合には、クレーム発生の可能性が高くなる。また、3階建の場合は2階建よりもさらによく揺れるので、事前に把握することがトラブル防止のうえでも重要である。建物幅の狭い木造3階建の場合、3階床面が地表面にくらべ水平方向で20dBも増幅した例もある。

3.3.2 振動の予測

建築予定地の地表面における振動レベルがわかれば、建築時の建物内部の振動レベルは実績例などから推定できる。振動調査データなどから振動の強さ(振動レベル)、対象となる振動数、地盤のせん断波速度を決める。

3.3.3 基礎補強工法の設計

新築工事の場合、まず基礎補強工法を設計する。次に設計された基礎補強工法を利用して、振動対策に有効であるか判定する。改良率が30%程度あれば、振動対策効果を加味することが可能。

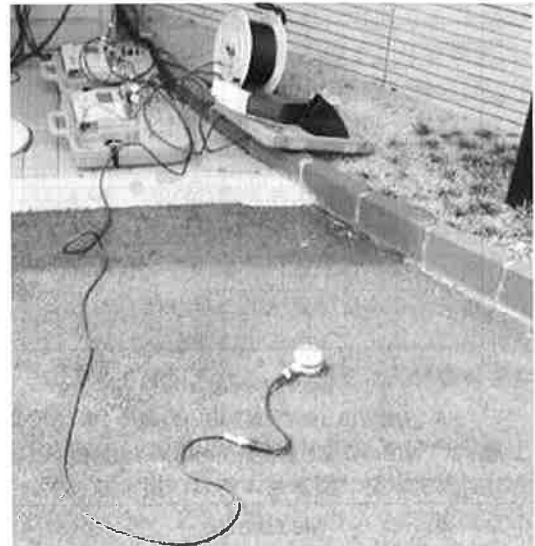


写真-1 簡易振動計測の状況

3.3.4 振動低減効果

1) 改良幅と振動対策効果

採用した基礎補強工法の振動低減効果は、波長や振動面内の基礎の長さなどから算定式を利用して計算することができる。また、実績データなどを加味しながら想定する。条件が複雑な場合には、FEM振動解析などを利用すれば検討可能である。

WIB工法などの地盤改良による振動対策を計画する場合は、振動を波動で考える。すなわち振動対策とする対象波長を求める。固有振動数は道路の場合は10Hz、鉄道の場合は20Hz前後が一般的である。地盤のN値がわかればせん断波速度 V_s がわかるので、 V_s /固有振動数で対象波長を計算する。振動方向に対して対象波長の1/2以上の改良幅が必要である。

べた基礎の入力損失を考える場合も同様の考え方をする。対象波長に対して改良幅が大きいほど、減振効果が大きい。

地震の減震効果も同様であるが、地震の場合は対象振動数が1~3Hzと低いので、対象波長は長くなり大きな改良幅が必要になる。また、振動源が地中であるので別途検討方法が必要になる。

2) 改良厚さと振動対策効果

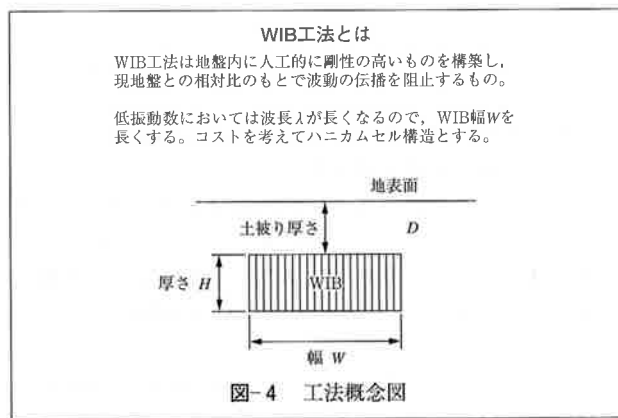
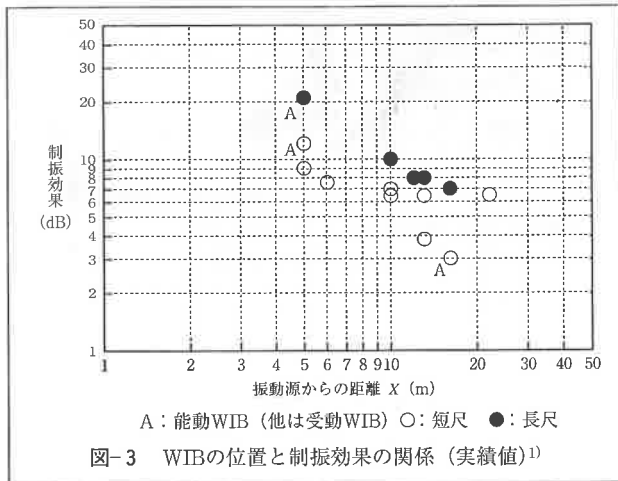
改良厚さは厚いほど振動低減効果は大きい。地盤改良の場合は1.0m程度が最小厚さである。大きな振動低減効果を期待する場合は改良厚さを大きくする。戸建住宅では住宅の支持用に長いコラムを併用するケースもある。この場合は長いコラムを併用しない場合にくらべ、低減効果は大きくなる(図-3)。

3) 対策後の建物内部の振動予測

対策後の地表面の振動レベルが想定されると、住宅内部での振動を想定する。

4) 繰返し計算による仕様の決定

計算結果が目標に達しない場合は、仕様の変更、工法の変更を行ない、繰返し目標に達するまで低減効果を計算する。



5) 沈下対策の確認

振動対策の仕様が生下対策にも有効であるかを再確認する。

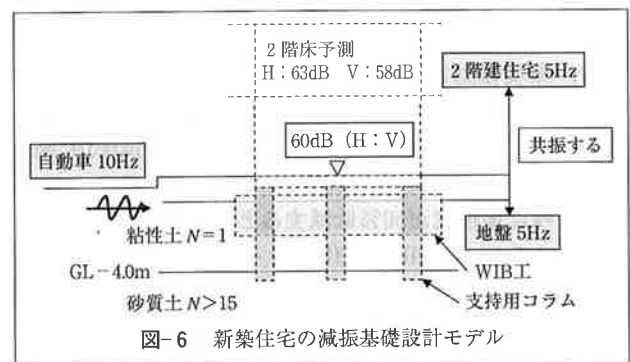
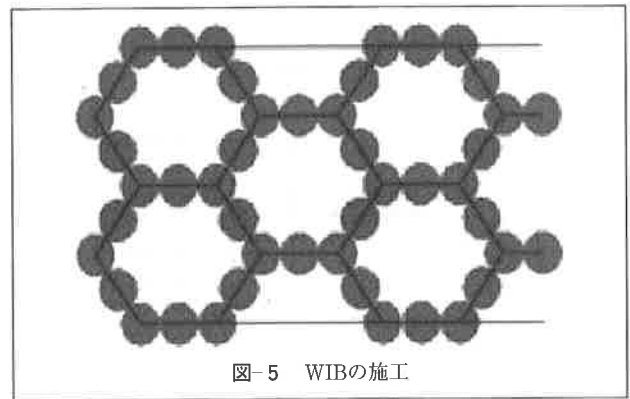
3.4 振動対策の施工

振動対策を柱状改良で行なう場合のコラムの配置は、改良域の剛性を高めるために格子状あるいはハニカム状の柱列にて配置する。ハニカム状にする理由としては、少ない本数で改良範囲全体の剛性が高まることと、振動の入力方向に対して自由度を持たせる効果がある。解析上、WIBの剛性は高い方が効果は大きいので、改良強度は可能な範囲で大きく設定する。改良率でいえば30%程度は必要である。なお、住宅の支持用のコラムは振動対策のコラムと兼ねることができるので、併用する場合はコストが削減できる。図-5のようなハニカムを建築範囲に連続して施工する。ハニカムの大きさは対象振動の高周波の波長から決める。

3.5 振動対策での注意点

なお、これらの交通振動対策は振動源を地表面とした例であり、高架橋の基礎杭が振動源の場合は地震と類似した地中からの振動であるから、別途詳細な振動計測と振動設計が必要である。また、鉄道の振動においても貨物列車などでは長い線上の加振になるので、別途詳細な検討が必要である。

交通振動以外では、工場の振動に対しても振動計測により工場特有の振動特性を理解したうえで、別途詳細な検討が必要である。いずれの場合も、基本的には対象振



動数とそれに対する改良幅の取り方で対策工法は設計できる。

既存住宅に対する振動対策の場合は、新築時にくらべ施工場所が狭小地になり施工法が限られる。実績例では、コラムによる柱列壁での対策などが実施されている。新築時に基礎直下に施工する場合に比べると、振動対策設計は難しい。

以上のような複雑な条件は事例も少ないので、場合によってはFEM振動解析を利用した検討を行なうなど、専門技術者による詳細な検討が必要である。

4. 設計施工例

道路(振動源)から建築予定地中央まで10m程度の位置に、 7×7 mの木造2階建を計画する。地盤はGLから4 mの深さまで $N=1.0$ の粘性土で、その下部は $N=15$ 以上の砂層が3 m以上堆積している。振動計測の結果、建築予定地中央で鉛直および水平方向の振動加速度レベルはMAXで60dBであった。振動対策を検討する(図-6)。

4.1 建築後の建物内部の振動予測

この地盤にべた基礎を施工して建築した場合、振動の入力損失により基礎上では鉛直・水平方向とも数dB減衰する。2階床面においては、木造の場合鉛直方向は1階とほぼ不変であるが、構造や形状にもよるが水平方向は5 dB程度増幅する傾向にある。したがって建築後の2階床面では、鉛直方向： $60 - 2 = 58$ dB、水平方向： $60 - 2 + 5 = 63$ dBと予想される。苦情の発生しにくい限度55dBを超えているので、対策が必要である。対策の対象となる振動数は、計測値からFFTにより求めることが望ましいが、ここでは道路振動であるので10Hzとする。

なお、地盤の固有周期 T は $4H/V_s$ からも求めることが

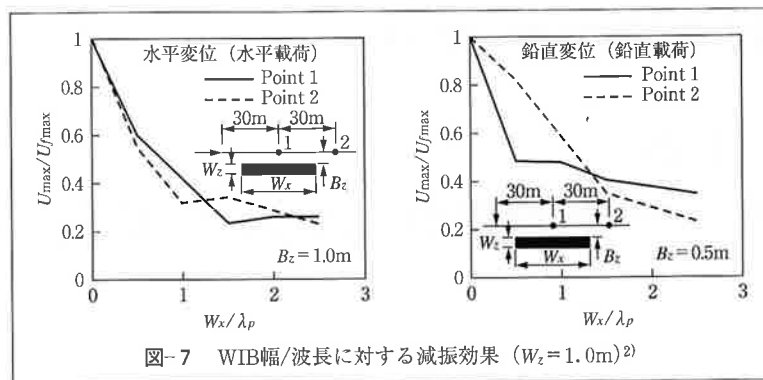


図-7 WIB幅/波長に対する減振効果 ($W_z = 1.0\text{m}$)²⁾

できる。ここに H : 層厚 m , V_s : S波伝播速度。

$V_s = 80.6N^{0.331}$ で表されるので、 $V_s = 80.6 \times 10^{0.331} = 80.6\text{m/s}$ 。固有周期は $T = 4 \times 4 / 80.6 \approx 0.2\text{s}$ 、固有振動数は $f = 1/T = 5\text{Hz}$ である。

木造2階建の建物の固有振動数は、新築の場合 $f_0 = (3 \sim 7)\text{Hz}$ (1~2階)³⁾ といわれている。したがって建物の固有振動数は地盤の固有振動数に近く、対策がない場合は地盤との揺れに建物が共振して、揺れが増大する可能性もある。これらから、地盤の対策による振動対策を検討する。地盤の対策工法として実績も多い WIB工法を検討する。

4.2 地盤振動対策WIBの埋設深さの設定

埋設深さは遮断振動数から決まる。遮断振動数は20Hz以上とする。

$H = \alpha \cdot V_s / 4f_c$ であるので、 $H = 0.5 \times 80.6 / (4 \times 20) = 0.5\text{m}$ 。ここに定数 $\alpha = 0.5$ 。

4.3 WIB厚さと幅の設定

WIB厚さと幅は大きいほど有効である。厚さは通常1.5m程度が多い。幅は建物の幅プラス1.0mで8mとする。WIB幅は対象波長の1/2以上確保することが望ましい。

4.4 振動低減値の計算

この場合の低減率は図-7より求める。対象波長は対象振動数10Hzとして、波長 $\lambda = V_s / f$ より $\lambda = 80.3 / 10 = 8.3\text{m}$ 。この場合の $W/\lambda = 8 / 8.3 = 0.96$ であるので、図-7のポイント1での低減率は水平振動で0.5、鉛直振動で0.5となる。これを振動レベルに換算すると、 $VAL = 20\log(A/A_0)\text{dB}$ で、 $20\log 0.5 = -6\text{dB}$ となる。この低減値は振動源から30mの値であるので、10mの距離では実績値の図-3を参考にすれば、さらに2~3dB低減する。また軟弱地盤であるので、建物支持用に4mの長さの柱状改良と併用して長尺WIBの実績を参考にすることができる。したがって、水平・鉛直ともに10dBの低減効果と予測する。

4.5 対策後の建物内での振動予測

地表面で10dBの振動低減効果があれば、建物内では鉛直方向は $60 - 10 - 2 = 48\text{dB}$ 、水平方向は $60 - 10 - 2$

+ 5 = 53dBと予想され、どちらも苦情が予想される55dB以下であるので、対策効果はOKである。ただし、建物内の増幅度合いは、建物の構造や形状により大きく変動するので、計測例などを参考に慎重に予測する必要がある。

4.6 WIBの剛性および施工

WIB工法はFEM解析にて基本原理を設計している。その場合の本体の設定は、剛性をその値に合わせる事が重要である。一般的な施工方法は、強度の出るセメント系の深層改良工法が多く使用される。詳しくは関係資料を参照願

いたい。

WIBの天端は基礎との間に埋設深さ分の良質土を挟むが、沈下防止用のコラムは基礎に接する施工になる。沈下防止用のコラムとWIBのコラムとは兼ねることが可能であるので、別々に検討するよりも経済的になる。

4.7 効果確認

効果確認は施工前後の振動計測により行なう。道路交通振動対策では、実車両の走行により計測を行なう。支持力確認とは違い振動低減効果確認であるので、施工しながらの確認も可能である。

地震時の減震効果の確認は、起振機により振動計測を行ない低周波の分析を行なうことにより可能である。

万一施工後の振動低減効果が目標より低い場合の対処としては、WIBの大きさや深さを増す方法や、改良率を増して剛性を高めることにより対応可能である。

5. 地震対策効果とまとめ

交通振動対策で低振動を対象にした場合には、地震動に対する低減効果も期待できる。造成地全体を施工するなどWIB幅を大きく取れば、解析上は地震力を3~5割に低減可能となっている。

また、地盤改良工法にて地盤振動低減を実施するので、震動低減とハニカムの拘束効果により、同時に液状化対策を加味した設計を行なうことも可能である。液状化対策効果の解析および実績例も出てきている。

したがって、今後は交通振動対策と地震動低減および液状化対策を同時に加味した、さらに高機能な住宅基礎設計への展開が期待される。そのためには、現地の振動調査の普及と実績データの蓄積がまずは重要と考える。

■参考文献

- 1) 竹宮宏和, 橋本光則: WIBによる受信側構造物の振動対策, 地盤工学会地盤環境振動の予測と対策の新技术に関するシンポジウム, 2004.
- 2) 竹宮, 合田他: 波動遮断ブロック (WIB) の受動的制振効果, 土木学会論文集No549/1-37, pp. 221~230, 1996. 10.
- 3) 櫛田裕: 環境振動工学入門 建築構造と環境振動, 理工図書, 1997.