

Vol.17 2006.7

[Topics]

RESP-T Version up

地震リスク評価プログラム RicoMa(リコマ) 2006 年夏リリース予定! JOWNWAL O

[Technical Reports]

交通振動対策法「ハニカム WIB」の 減振効果



【巻頭言】

構造物の耐震設計と数値解析技術

防災・環境部 技術担当部長 大波 正行

昨今の土木・建築の分野では、原子力関連施設を始めとして各種構造物の耐震設計に係わる指針等 の見直しが盛んに行われています。このような中で、私どもは、既設の各種構造物の耐震診断および新 設構造物の耐震設計に係わる分野で、地震動の評価から地盤や構造物の静的・動的解析等の数値解析技 術をベースとしたコンサルティングサービスの提供をさせて頂いております。

建築の分野では、原子力関連の建物や超高層建物等では、古くから地盤との相互作用を考慮した動的 な検討が行われてきました。一方、土木の分野では、平成7年(1995)の兵庫県南部地震を契機として、 耐震設計に動的な検討が取り入れられるようになって来ました。耐震設計に際して動的な検討を用いる ことは、構造物の地震時の挙動をより合理的、かつ精度良く評価することを目的とするものであり、構 造物の特性に応じて種々のモデル化手法や解析手法が提案されています。

このモデル化手法や解析手法については、ソフトウェアの進歩とハードウェアの益々の高性能化でよ り高度な手法が取り入れられるようになってきています。

私どもでは、数値解析技術とソフトウェアの開発技術とを融合し、かつ各種構造物の耐震設計に関す るノウハウを吸収することで、よりスピーディで合理的なコンサルティングサービスの提供を心掛けて 行きたいと考えております。

何卒、今後とも皆様の温かいご支援を賜りますようお願い申し上げます。

解析雜誌 Vol.17 2006.7 目次

【巻頭言】	構造物の耐震設計と数値解析技術	防災・環境部	大波	正行	02
Topic 1	RESP-T Version up				05
Topic 2	地震リスク評価プログラム RicoMa(リ	リコマ) 2006 年夏	リリー	ス予定!	08

Technical Report1

交通振動対策法「ハニカム WIB」の減振効果

13

お問い合わせはこちらへ

27

解析雑誌バックナンバーは KKE 解析ホームページでご紹介しています。 PDF 形式でダウンロードも可能ですので、是非下記アドレスにお立寄りください。

http://www4.kke.co.jp/kaiseki/

'KKE'は弊社 (株)構造計画研究所の略称です。



for Windows



地図情報(bmpファイル)の読み込み可能 2D or 3Dによる確認表示 自動メッシュ分割機能 GUI操作によるメッシュ範囲分割や追加・ 削除が可能 簡単な計算条件設定および出力指定 風環境評価機能による客観的評価が可能



AutoCADをカスタマイズした容易な形状

定義機能

自動メッシュ分割機能

高性能熱流体ソルバの搭載。流れと熱の

連成計算や濃度拡散解析が可能

豊富な可視化機能。ベクトル・コンタ

等値面・マーカ粒子追跡・

ストリームライン表示・

アニメーション表示



水、空気、ガス拡散、地下浸透流・・・ 流体解析コンサルもお任せ下さい

【バージョンアップのご紹介】

RESP-T Version up

3次元汎用静的・動的非線形解析プログラムRESP-Tは、あらゆる土木・建築構造物の立体 解析を可能にするプログラムとして、多くの方々にご利用頂いております。このたび、新しい機能 を加えたバージョン 5.0 をリリースすることになりました。本トピックでは、バージョン 5.0 で追 加される解析機能および周辺ツールを紹介いたします。

<u>バージョン 5.0 の機能</u>

RESP-T バージョン 5.0 で追加される解析機能は 下記の通りです。

- 部材別 Rayleigh 型減衰
- すべり支承要素
- ・ 簡易データチェック機能

また、解析結果編集用ツールを多数整備しました ので、解析結果の確認や報告書作成が効率良く行え る様になりました。さらに、今回 RESP-T のホーム ページをリニューアルしましたのでご紹介いたしま す。

______ 部材別 Rayleigh 型減衰

構造物には複数の固有モード(固有周期)が存在 します。それら複数の固有モードに対して内部粘性 減衰を設定する方法として、Rayleigh型減衰がよく 利用されます。ただし、Rayleigh型減衰は剛性比例 型減衰(剛性マトリクスに係数を乗じて減衰マトリ クスを作成する方法)であるため、以下の留意点が 挙げられます。

- 大きな初期剛性を設定している部材(すべり 支承、衝突バネなど)に大きな減衰力が作用 する。
- Rayleigh 型減衰の係数は、2 つの固有周期と 減衰定数により計算するが、本来、部材毎に 主要な固有モードが異なるため、細かい設定 が困難である。

これらの問題を解決するために、部材別 Rayleigh 型減衰の機能追加を行いました。

部材別 Rayleigh 型減衰の式は以下の通りです。

$$[C] = \alpha[M] + \left[\sum_{i=1}^{N} \beta_{i} k_{i}\right]$$

ここに,

- [C]:減衰マトリクス
- [M]:質量マトリクス
 - α:質量マトリクスに対する比例係数
 - N:構造要素数
 - β_i :構造要素iの剛性に対する比例係数
 - k_i:構造要素iの剛性

<u>すべり支承要素</u>

機能分離型支承の普及に伴って、すべり支承の詳細な挙動を解明する必要性が高まっています。ただし、解析モデルにてすべり支承を表現する場合、いくつか注意しなければならないことがあります。 RESP-Tでは、ユニークな方法ですべり支承をモデル化することにより、注意事項を解消することができました。



図1.すべり支承の履歴図

すべり支承は、一般的に初期剛性の大きな(剛の) バネ要素でモデル化します。このモデル化において 内部粘性減衰として剛性比例型の減衰を用いると、 すべり支承部分に大きな減衰力が発生し、実際より も応答が抑えられた結果となる恐れがあります。し たがって、内部粘性減衰の設定には注意が必要とな ります。この問題を解決するために、RESP-T では すべり支承による抵抗力を外力として評価すること で内部粘性減衰に制限を設けないモデル化を可能に しました。

また、すべり支承の摩擦力(摩擦係数)は、上部 工の支持力による「面圧」や滑動時の「速度」など に依存することが知られています。これらの依存性 は、各支承の特性により異なります。今回 RESP-T では下記の方法で摩擦データを設定できます。

- 摩擦力の直接指定
 指定した摩擦力ですべり始める履歴を描き
 ます。依存性は考慮されません。
- ・ 摩擦係数の直接指定 指定した摩擦係数は一定値として、瞬間の面
 圧(圧縮力)より摩擦力を計算します。面圧 依存性を考慮できます。

なお、今後はその他の依存性を含めて以下のよう に対応する予定です。

- ・ ユーザー定義
 (面圧 摩擦係数、速度 摩擦係数の相関性
 を定義可能とする)
- ・ 各支承メーカー依存式の組み込み

<u>簡易データチェック機能</u>

RESP-T のデータのチェック機能を追加しました。 これまでは、実際に解析を実行してエラーメッセー ジを確認していましたが、解析前にボタン1つでデ ータのチェックが可能となりました。データの不整 合はエラーメッセージとしてユーザーが指定するエ ディタで表示されます。

<u>解析結果編集ツール</u>

RESP-T の解析結果ファイルから最大応答値、最 大要素応力、節点時刻歴、要素履歴ループの一覧表 および履歴図を作成するツールを提供いたします。 ツール群は Excel マクロで提供しており、後述のダ ウンロードサイトより取得が可能です。



図2.簡易データチェック機能

<u>RESP -T ホームページのリニューアル</u>

RESP-T のホームページをリニューアルしました。 最新の情報の提供、最新版のダウンロード、困った 時の FAQ などにご利用ください。なお、最新版のダ ウンロードは、年間技術サービス契約を結んで頂い ているお客様のみご利用が可能です。ダウンロード に必要なパスワードは、直接に郵送いたします。



図3. RESP -T ホームページ (http://www4.kke.co.jp/respt/)

<u>今後のバージョンアップ</u>

今後のバージョンアップは下記を予定しています。

- ・ ファイバー要素、板曲げ要素
- 図化機能改善
- ・ 解析スピードの向上 ほか



Kozo Keikaku Engineering, Inc. 2006.7

【新商品ご紹介】

地震リスク評価プログラム RicoMa(リコマ)

2006 年夏リリース予定!

RicoMa は、建物が保有する地震リスクを周辺の地震環境を考慮して評価することができます。地震リスクの評価 には、専門知識と日本全国の緻密な地震データを必要としますが、RicoMa は、評価に必要な計算機能と地震デ ータベースが統合され、簡単な操作で対象建物の地震リスクを評価することができます。

📕 地図表示機能

GIS 機能を標準搭載しており、建物周辺の地震環境 を地図上で確認することができます。背景地図は、 国土地理院刊行の数値地図25000(行政界・海岸 線)を基本地図として内蔵しています。

🔳 地震情報データベース

- 主要98断層帯¹
- 主要98断層帯以外の活断層¹
- 海溝型地震 1
- 震源断層を予め特定しに〈い地震 ²

 1 地震ハザードステーション J-SHIS で利用されている防災科学 技術研究所の断層形状データを利用。
 2 地震ハザードステーション J-SHIS で利用されている防災科学 技術研究所の断層形状データを数値化。

立地条件の地震・地盤評価機能

内蔵する地盤分類データベース検索をして、評価地 点の地形分類を表示します。また、建物に影響を及 ぼす断層情報を地震情報データベースから検索して 表示します。有償オプションとして、評価地点の想定 震度や液状化危険度の表示機能も登載予定です。

🗾 建物応答評価機能

検索された断層による地震(シナリオ地震)が発生し た際の建物応答を、キャパシティスペクトル法により 評価します。建物の耐力スペクトルやモード形につい ては、建築構造計算プログラム *Bird-21* 保有耐力計 算結果ファイルのインポート機能や簡易設定機能を 登載し、ユーザ支援を行います。また、地震損傷度 曲線(フラジリティ曲線)を設定することにより、建物 応答結果を反映した予想損失額(損傷期待値)計算 を行います。



図1 地図表示機能

🔳 出力機能

グラフ表示またはリスト出力により以下の項目が出 力されます。

- ・地震リスクカーブ
- ・シナリオ地震に対する予想損失額一覧
- ・指定したシナリオ地震発生時の建物応答診断
- ・地震ライフサイクルコスト
- ・建物応答結果(層間変形、加速度など)



図2 出力図(地震リスクカーブ)







図5 建物入力画面

RicoMa をベースとしたシステムカスタマイズ (受託開発)

RicoMaは単独で動作するソフトウェアですが、受託開発によりユーザ様の仕様に合わせたカスタマイズに対応いたします。

「自社独自の損傷評価モデルやコストモデルを RicoMa に導入したい」、「自社の仕様に合わせたレポ ート出力機能が欲しい」、等のご要望にお応えしま す。

🧾 動作環境

- 対応機種: IBM PC/AT 互換機
- 対応 OS : Microsoft Windows XP 日本語版
- CPU : Pentium II 以上
- 必要メモリ : 256MB 以上
- その他 : USBポートにセキュリティデバイスの 接続が必要です



図4 出力図(ライフサイクルコスト)

Windows は Microsoft Corporation の登録商標です。 MapQuest は株式会社マップクエストの登録商標です。その 他、記載されている会社名、製品名は、各社の登録商標また は商標です。

記載内容は2006年5月時点のものです。本システムは開発中で あり、システムの内容・機能については、予告無く変更するこ とがあります。







交通振動対策法「ハニカム WIB」の減振効果 高架橋基礎周辺配置ケース

竹宮 宏和¹・島袋ホルへ²

1 岡山大学 環境理工学部 2株式会社構造計画研究所

本研究は,高架道路橋から発生する交通振動の沿線振動対策にハニカムWIBを導入すること で低周波地盤振動を大幅に低減できることをコンピュータ・シミュレーションから例示した ものである。まず走行車両により誘発される高架構造物の振動が,地盤では軟弱成層構造によ って分散性波動伝播となって現れるメカニズムを明らかにした。つぎに構造物 地盤系の動 的相互作用解析をFEMモデルにより行い,沿線地盤振動の予測法を示すと共に,減振工法とし てハニカムセルWIBと連続地中壁を適用した場合との減振効果の比較を試み,卓越する地盤振 動に対して前者が10dB以上の振動低減効果を発揮する優位性を示した。

1. まえがき

高架橋からの道路交通振動が周辺地盤へ伝播し, 沿線住家において振動が感知され,振動障害を与え ている事例が少なからずある。交通振動が,特に低 周波振動で発生するケースは,ほとんどが沖積軟弱 地盤である。軟弱地盤上の上部構造物は杭あるいは ケーソンによる根入れ基礎構造で支持されているの が一般的である。したがって交通振動には地盤と構 造物の動的相互作用系としての振動性状が現れる。 高架部の振動性状を変えることで構造部には減振効 果が現れるが,これまで周辺地盤への低周波数成分 の伝播は制御し切れないのが実情である¹⁾。

道路交通振動に対する対策工法として,従来から 採用されているものに,溝形式(空溝,中詰め溝), 壁形式(コンクリート壁,矢板式,コンクリートと EPS 組み合わせ),柱列形式(コンクリート杭,PC 杭) などがあるが²⁾,いずれも異種媒体間の波動インピ ーダンス比を利用して,入射波に対する透過波の比 を小さくすることにある。しかし,現実には,これ らの防振工は有限長の規模であり,波長の長い低周 波域では防振工の境界からの回折波があり,減振効 果が理論どおりに得られにくい。それは実測から, また理論的に数値シミュレーションから明らかであ る。 振動対策において,従来の鉛直方向での障壁方式 とは異なる概念で,波動の伝播と非伝播現象に注目 して,竹宮はWIB工法(スラブ型WIB^{3,4)}柱列型WIB⁵⁾, ハニカムWIB^{6,7)})の防振工法を提案している。中で もハニカムWIB は,伝播経路の水平方向のセル構造 の広がりを以て波動とのキネマチックな相互作用拘 束を利用する。サイズ的には伝播波の波長を変調さ せるため,入射波に対して短波長化するセル断面サ イズとセル群の広がりを要求し,伝播波を高周波数 化することで低周波成分の遮断され内部地盤の減衰 効果が大きくなる。その結果,WIB ゾーンを波動が 通過する間に振動振幅を大幅に低減される。

本研究は,ある国道高架道路区間において,ハニカ ムWIBによる減振効果の例示をコンピュータ・シミ ュレーションから示したものである。まず交通振動 の地盤内の伝播性状を把握した上で,ハニカムWIB の諸元を定め,その減振効果を定量的に評価した。

その際,ハニカムセル壁と中詰め材の剛性コント ラスト比が一定の下で,形状効果を把握するために 薄層要素法と有限要素法に基づく3次元解析を採用 した。

調査対象とした高架道路橋は 図 4 に示すように , 丘陵に挟まれた地形で,表1に示す軟弱地盤上に立 地する3径間連続桁形式である。構造形式は、中間橋 脚(P4)が固定で他は可動支承となっている。交通車 両により桁のたわみに伴う水平方向の移動に対して, P4橋脚上の固定支承のみが拘束抵抗を示す設計にな っている。そのため同橋脚天端において水平力と共 に橋軸直角回りのロッキング振動を受ける。また当 該高架橋は,曲線橋(曲率 1/800m)であり,現時 点では対面2車線の共用であるが,車両重量の桁へ の偏心載荷のため,桁部は橋軸直交断面内の並進と ロッキングの連成振動をも呈する。この高架橋の交 通による振動性状に関しては,別論文¹⁾で詳述した。 高架道路の場合,車両走行によって発生する高架内 の構造振動と,基礎の運動を介して地盤内へ放射さ れる地盤振動が関係してくるため,車両量,走行速 度,高架構造形式,地盤条件が重要なパラメータに なってくる。

対象高架橋において,一般交通振動に起因して発 生する沿線環境振動の実態,特に地盤内の振動伝播 特性を把握するために,フィールド振動計測を行っ た結果を参照する。対象高架橋は,現時点で鉛直た わみを制限する目的で, 各スパンの中ほどで架設べ ントによる支持(図 1 の平面図参照)状態である。 以下の計測結果は文献1)とは別途実施したもので ある。図 -1 に示す計測点は,橋脚下端(0m)とそれ よりの距離が 7m, 15m, 35m, 65m の地点である。それら は図 -1 では, それぞれ A, B, C, D と記されている。 振動計測には,携帯用振動計測計 SPC 51 (東京測振 製)と速度センサーVSE -15D を使用した。データ収 録は,0.02 秒刻みで60 秒間の波形を20回の計測で 行った。車両の走行速度を 60~80 km/h とすると当 該3径間連続高架橋の桁上には平均数車両の載荷と となる。各測定点の計測波形からの直交3成分速度 応答の一例を図 2 に示す。これは計測点において応 答が大きく現れる走行車線上の交通流に対する速度 時刻歴応答である。20回の計測波形からの振動数成 分を包絡線で描いたものを図 3に示す。同図からは, 橋脚においては桁振動に伴う橋軸方向成分が5Hzで 卓越し,また橋軸直交方向と鉛直方向では3Hzと5

Hz で卓越している。そして地盤振動には,橋脚から 離れるに従い橋軸に平行方向 で3Hz 振動が相対的 に大きくなってくることが分る。この原因に関して は次節で考察する。

橋脚下端と地盤上の計測速度の最大値に関して, 各測定ケースの車両走行時の最大値を読み取り,そ れらを平均して求めた距離減衰特性を図4に示した。



表 -1 地盤物性値

深さ (m)	層厚 (m)	せん断波 速度(m/s)	密度 (t/m³)	ポアソン 比	減衰率 (仮定)
0.00	1.20	157.0	2.00	0.30	0.02
1.20	0.65	151.0	2.00	0.30	0.02
1.85	1.55	136.0	1.90	0.30	0.02
3.40	1.30	91.0	2.00	0.30	0.02
4.70	5.90	107.0	2.00	0.45	0.02
10.60	1.70	216.0	1.90	0.45	0.02
12.30	1.30	166.0	1.90	0.45	0.02
13.60	基盤層	348.0	2.00	0.30	0.02

橋脚下端(0m 位置)の速度応答値からは橋軸方向 と橋軸直角方向の水平成分は同程度であるが,橋脚 が橋軸回りに大きくロッキングをしている事実¹⁾よ り,橋脚の近傍地盤ではその影響があり,橋軸直角 方向応答が橋軸方向応答を上回っている。しかし橋 脚からの距離が10m 程度離れると,橋軸方向応答が 橋軸直角方向応答より大きくなる。したがって地盤 内で発生する振動では,橋軸並行の面外波動成分が 伝播波動として卓越していることが分る。図5に橋 軸直角方向への面内伝播波の水平と鉛直成分からの 地表面の軌跡を捉えた。0m点の橋脚下端の運動から は,鉛直成分と橋軸直交水平成分がほぼ比例関係に あり,橋脚が剛体として並進とロッキングを起して いる状況が推測できる。



Kozo Keikaku Engineering, Inc. 2006.7

3. コンピュータ・シミュレーション

(1) 地盤内波動伝播特性

対象地盤内に伝播する波動場を究明するため,地 盤振動解析を薄層要素法⁸⁾を適用して行った。ここ では3次元波動場を対象にしており,橋軸直角方向 に伝播する面内波と橋軸方向に伝播する面外波に注 目する。伝播波の位相速度振動数関係を実測値との 比較で図-6に示す。同図には,図-2に示した計測 点のうちの2地点間の計測波を用いて SASW (Spectral Analysis of Surface Waves)^{9,10)}を適用 した結果をシンボル(塗りつぶし無し)で記入した。 使用した2点間の距離によって波長が異なる波の伝 播が捉えられている。ここで遠距離測定には別論文 ¹⁾の加速度測定値からの結果(塗りつぶしシンボル) も併せて示した。分散特性に対して,速度計測と加 速度計測からの差は見られない。

伝播波動の卓越振動数は,図-3の振動数応答から 見て,数Hzまでであり,図-6を参照して1次~2 次モードからの寄与が大きいと判断される。振動数-波数の関係からは波動として伝播域と非伝播域が明 瞭に区分される。前者においては各固有モード波が 定義され,波動の分散性の特徴として振動数に対し てそれらの異なる波長が決定される。3Hzの卓越振 動数では,図-6の観測波からの結果では,面内波で 平均170m/s程度,面外波で150m/s程度の波速が 推定される。振動数fと波長λと伝播速度cの関係

$$c = f \lambda \tag{1}$$

に従って,1次固有モード波動の波長にしてそれぞれ60m程度,50m程度である。

地盤内へ放射波の振動数は,図-3の0m位置(橋脚下端)の分布で代表される。そのとき上記の分散性のある波動の地盤内伝播は,位相速度よりもエネルギーの重心位置としての群速度

$$c = 2\pi \frac{df}{dk} = 2\pi \frac{\Delta f}{\Delta k}$$
(2)

がより重要性を持つ。ここで Δf , Δk はそれぞれ振動 数, 波数の増分を表す。解析からの群速度 振動数 関係を図 7 に示す。これより群速度が最小となるエ アリー相が, 面内波動では 1 次固有モード波, 2 次 固有モード波において約 4.6 Hz, 11.7 Hz に確認で きる。面外波動では 1 次固有モード波, 2 次固有モ ード波のエアリー相が約2.9 Hz,8.3 Hz に確認できる。図-3のフーリエスペクトルで鉛直と橋軸直角方向水平振動で5 Hz が,橋軸方向水平振動で3 Hz が距離と共に卓越したのは,それぞれの関係した波動で1次固有モード波のエアリー相が原因したものと思われる。

固有振動モード形状を描いた図 8 において,エア リー相での波動振幅の深さ分布を示す。なお,振幅 については,地表面での各モードの鉛直成分を基準 としている。表 -1 の地盤物性を参照して,支配的な 波動モードである面内 1 次,面外 1 次の波動モード のいずれも軟弱表層の約 14 mが関係していると言 える。





図-8 エアリー相における振動モード形状

(2)対象構造物 - 地盤系の動的性状

図 1 の測線上の振動には,別論文¹⁾からも P4 橋 脚の振動が支配的に影響することが判明しているの で,ここでも振動源として P4 橋脚を対象とした。P4 橋脚天端には,橋桁から受ける重量および橋脚上部 (T型の上部分)の重量を併せたものが作用すると する。質点の総重量は表 2 に示す。



表-2 総質点重量(tf)

橋梁	橋梁	橋脚	総質点	1質点
(死荷重)	(活荷重)	上部	質量	重量
430.23	10.00	78.75	519	173

	断面積	断面2次 モーメント			ポアソン	減衰
	Λ(")	lх	ly	١z		-4-
橋脚部	9.0	6.75	6.75	0.0	0.25	0.02
デッキ部	6.0	67.5	67.5	0.0	0.25	0.02

表 3 橋脚の物性値

ケーソ ン	密度 (t/m³)	せん断速度 Vs (m/s)	ポアソン 比	減衰 率
RC	2.5	1,500	0.25	0.02
空洞部	1.8			_

この重量をデッキ中央部と両端部に分けて配置し, 図 9(a)のモデル化とした。橋脚,ケーソンの断面諸 量,物性値を表 3,表 4 に示す。解析手法は,FEM と薄層要素法を用いた 3 次元動的サブストラクチャ 法 で あ り , コ ン ピ ュ ー タ ・ プ ロ グ ラ ム SuperFLUSH/3D¹¹⁾を使用した。

振動対策前の解析モデルを図 9(b)に示す。ここで は地盤は薄層要素法を,橋脚,デッキははり要素, ケーソンはソリッド要素で表した。

加振力には,走行荷重からの鉛直方向と桁振動から の影響として水平方向の定常加振状態をとった。調和 加振振動数に 1/3 オクターブ・スペクトルの中心振動 数を与えた。前述したように,一般車両交通に対する フィールド計測¹⁾結果を参考にして,図 $\theta(b)$ に示す 偏心鉛直方向に $P_1=20tf$ と水平橋軸方向に $P_2=20tf$,水 平橋軸直角方向に $P_2=2tf$ の調和加振力を想定すると, 概略,同程度の P4橋脚天端応答が得られる。

図 10,図 11 は単位加振力に換算したときのケーソ ン基礎と地盤のインターフェイスでの変位分布を示 す。これらの図から、ケーソン基礎はロッキングとス ウェイの連成した応答が確認できるが,加振振動数が 低振動帯域ではケーソン底面近傍を中心としたロッキ ング振動で卓越し, 3.15Hz において最大応答を与え ることが分る.鉛直方向の変形分布からは,12m から 以浅で大きな応答となっている。数Hzより高い振動数 帯域では変形は極端に小さくなってくる。図 8の地盤 の固有モード形状を参照して,低周波帯域では基本固 有モード波との共振状態あるいはそれに近い状態が発 生していると言える。

(3)減振工法ハニカム WIB の導入効果

P4 橋脚の振動に起因する地盤振動に対して,八二 カムセルWIBで対応するときの減振効果を検証する。 上の卓越振動数,卓越伝播波動の種別,分散特性を 有する波長特性,構造物の固有振動特性より,八二 カムWIBの設計諸元を表 5及び図 - 12 に示した。以 下のコンピュータ・シミュレーションでは,八二カ ムWIB の地盤改良壁はシェル要素,八二カムWIB内 の地盤はソリッド要素でモデル化した。八二カムセ ルの設計諸元決定では,主要な振動数 5 Hz に対応し た伝播波動の波長 が約 30m であることから,セル 断面の代表寸法dを規準¹²⁾(1/10) <d<(1/4) の下限に近い3.5mとする.構成要素である地盤改良 杭の径は0.8m, 深さHは卓越波動の深さ方向の振幅 から13.6m, 八ニカム・セルでWIBの水平方向の広が リWを規準¹²⁾W>(1/3) に従って,基礎端から 水平方向に3列でW=8m程度になるようにした。また, 水平方向の広がりの影響を調べるため,4列の八ニ カムセルWIB(11mの水平広がり)の解析も行った。 基礎躯体と八ニカム・セルWIBは直に接合させず, 縁を切っている構造である(図-12(b))加振振動数 については,最も重要な振動数の2.5,3.15,5Hz で の加振時を対象に減振効果を検討した。



表 5 ハニカム WIB の地盤改良杭の物性値

直径 (mm)	長さ L (m)	密度 (t/m³)	せん断 速度 Vs (m/s)	ポアソ ン比	減衰 率
800	13.6	2.00	1000	0.4	0.02

まず, ハニカム WIB の導入した場合のケーソン基 礎と周辺の地盤の動的相互作用効果の変化を見るた め, 桁部と橋脚天端(橋軸直角方向端位置)の振動 数応答を橋軸に直交する横断面内で調べ,図 43 に描 いた。その結果, ハニカム WIB は,基礎の卓越振動 数を3Hz 付近から4Hz 付近へ高めると同時に,桁部 では応答が多少大きくなるものの基礎天端の応答を 非常に大きく低減している。このことは橋脚のスウ ェイとロッキングの連成振動が基礎において大幅に ハニカム WIB により拘束されることを示している。 この結果は基礎からの放出される振動エネルギーの 低下を示唆している。





図 -13 桁と橋脚天端応答からの橋脚の卓越振動数

振動の低減率を評価するのに,本研究ではJIS基準の振動加速度レベル値を採用する。ただし,実効値 $a_e = \sqrt{1/2} a_p$, a_p はピーク値, $a_0 = 10^{-5} [m/s^2]$ は基準値である。

$$VAL = 20 \log_{10} (a / a_0)$$
 (3)

調和加振力を偏心鉛直方向(P1)と水平橋軸方向 (P2)を単独にとった時の基礎周辺の振動加速度レベ ル値を20mメッシュのコンター図で水平橋軸方向成 分,橋軸直角方向成分と鉛直方向成分に分けて,そ れぞれ図 44(a),図 45(a),図 46(a)に描いた。偏心 鉛直加振下の橋軸直角方向の水平応答は,橋脚のス ウェイとロッキング連成振動のため3.15Hz 加振時 が大きい。波動伝播特性からも地盤内の面内波(レ ーリ波)として伝播する様相が見られる。鉛直応答 は,5Hz において振動レベル値が大きい。水平加振 下の橋軸方向水平応答は,面外波動(ラブ波)とし て遠方へまで伝播する様相が顕著に見られ,3.15Hz 加振時が最も振動レベルも大きい。 ハニカム WIB3列を考慮した場合の加速度振動レ ベルのコンター図を図 44(b),図 45(b),図 46(b) に描いた。対策前の応答と比較して,ハニカム WIB の波動遮断効果が発揮されて,対象とした低周波帯 域が水平応答において激減していることが見られる。

ハニカム WIB の対策前後で最大応答値の変化を距 離減衰曲線で描くと 図 47~図 49 が得られる。 ここでは,主要な振動数に限って,八ニカム WIB を 3 列とした場合と4 列とした場合の応答低減効果を 検討している。ハニカム・セルの3 列と4 列の差は 僅かである。この理由については平行な WIB セルの 場合の別論文⁶⁾において波動伝播媒体のインピーダ ンス比から説明したが,今回の基礎近傍 WIB に関し ても当てはまる。そして水平加振に対する水平応答 で 10 dB 以上の低減効果が得られている。それは八 ニカム WIB の設置位置から見られる。つまり基礎か らの振動放出はハニカム・セルのゾーンで波動エネ ルギーが消失されて,その結果として応答レベルが 低減されるのである。

ところで当該高架橋は曲線桁であるため,走行車 両からの横方向への慣性力が働く。これを鉛直載荷 力 P_v から捉えて

$$P_{\rm h} = P_{\rm v} c^2 / (gR) \tag{4}$$

と評価する。ここに c は車両の走行速度, g は重力 加速度, R は桁の曲率半径である。走行速度に 60 ~ 80 km/h を想定すると,水平力は鉛直力の数%程度 をとることになる。これに対する基礎地盤系の応答 は,概略的に P₂加振状態の結果を 90 度回転して上の 推定値で評価すればよい。地盤への加振力には橋梁 構造の慣性力の発生が加算されることになる。その ため橋軸方向を上回る基礎からの地盤への入力とな ることは,実測に基づく別論¹⁾でも確認できる。





図 -16 橋軸方向の水平加振(P2=20tf)による地表面橋軸方向水平応答







図 -21 ケーソンおよび連壁の橋軸方向変位

(4) 連壁工法との比較

ハニカム WIB の減振効果の有効性を従来工法との 比較で示すために,連続地中壁工法との比較をした。 波動遮断壁深さ決定に適用される理論によれば,振 動を半減させるため,通常,対象波長の少なくとも 1/3 以上をとる必要がある。¹³⁾現地計測からの代表 波長を対象とすると,それは10数mとなる。





図 20 に厚さ1m, 全幅 20m の鉄筋コンクリート連 続地中壁の解析モデルを想定した。深さはハニカム WIB の場合と同一で地盤の支持層上面までの 13.6m とした。調和加振力は同図に示すように水平方向 (P₂=2tf)を仮定した。

まず,連続地中壁の振動伝播バリアーとしての効 果を調べるために,図 21 に示すケーソン及び連続 地中壁位置での深さ方向について,連続地中壁導入 前後での橋軸方向変位を比較した。その結果,連壁 の剛性で局所的に応答を低減させていることを確認 でき,その直背面では図 22 に示すように振動レベ ルの低減が数 dB 程度得られるが,しかしそれを越え た地点で応答の回復が早く,20 m地点では僅かの 低減しか期待できない。低周波帯域での伝播波動に は図 8 から指摘したように,連続地中壁は有効な障 壁となるときもあるが,その施工幅の制限(今回の 20m)上,側方からの回折波が背後に回り込むため である。以上のことより,連続地中壁に比べてハニ カム WIB の優位性が認められる。

4. むすび

交通振動における低周波帯域をターゲットに振動 対策法のハニカム WIB の例示として,本論文では根 入れ基礎を持った道路高架橋を対象にコンピュー タ・シミュレーションを行った。それから得られた 知見は,

(1)高架道路橋からの交通振動問題では,高架内の振動発生と地盤内の伝播性状,基礎と地盤の動的相互作用が関係してくる。沿線地盤の実測調査からは,ピーク振動数が3~5Hzである.それには当該サイトの波動伝播特性が原因していることを指摘した。

(2)高架道路振動は、高架構造の固有振動が反映 された明瞭な特定の卓越低振動数を呈する。これへ のシミュレーション解析として,本研究では定常調 和振動状態から対処した。その結果,八ニカム WIB は基礎の卓越振動数を3Hz 付近から4Hz 付近へ高 めると同時に,桁部では応答が多少大きくなるもの の基礎天端の応答を非常に大きく低減していること がわかった。 (3)現地の振動計測に基づいて,車両交通による高 架道路から沿線への振動の伝播特性を把握し,それに 基づいた有効なハニカムセルのサイズと広がりを決定 した。

(4)対策工法ハニカム WIB の効果が卓越する低周波 数帯域で重要な振動伝播に対して 10dB 以上あること を示し,従来工法の連壁との比較で前者が非常に優れ ていることを確認した。

謝辞

交通振動のフィールド計測実施では,岡山大学環 境理工学部デザイン工学科環境防災研究室の学生皆 さんのご協力を得たことを,ここに感謝する。

参考文献

- 1) 竹宮宏和・井田啓子・Feng CHEN:高架道路橋からの交通振動発 生と沿線地盤への伝播性状 計測と FEM 解析のハイブリッド手法 による予測と対策 -, 土木学会論文集, 2004
- 2) 地盤環境振動の予測と対策の新技術に関する研究委員会報告, 地盤環境振動の予測と対策の新技術に関するシンボジウム,地 盤工学会,173-178,2004年5月
- 3) H.Takemiya and A. Fujiwara, Wave propagation/ impediment in a stratum and wave impeding block (WIB) measured for SSI response reduction, Soil Dyn. & Earthq. Eng. 13, 49 61, 1994.
- 4) 竹宮宏和,合田和哉,佐藤直毅:波動遮断ブロック(WIB)の受動的制振効果,土木学会論文集,No.549/I 37, 221-230,1996. 10.
- 5) 竹宮宏和,前河隆太,児嶋基成:高速列車下の軌道 地盤系の2.5D FEM による振動予測と制振法の検討,土木学会論文集, No.710 /I 60, 247 255, 2002年7月.
- 6) H.Takemiya: Field vibration mitigation by honeycomb WIB for pile foundation of a high speed train viaduct, Soil dyn. & Earthq. Eng. 24, 69-87, 2004.
- 7) 竹宮宏和・島袋ホルヘ・井田啓子:高架道路橋からの環境振動 への対策工法ハニカム WIB,地盤環境振動の予測と対策の新技 術に関するシンボジウム,地盤工学会,173-178,2004年5月
- E. Kauseland and Roesset, J.M.: Stiffness matrices for layered soils, Bulletin of Seismological Society of America, 71(6), 1743-1761, 1981.
- 9) K. H. Stokoe.*et.al*: Characterization of geotechnical sites by SASW method, ISSMFE, TC#10, 15-25, 1994
- 10) N. Gucunski and Wodds, R.D. : Numerical simulation of the SASW test, Soild Dyn. and Earthq.Eng. 11, 213-227, 1992.
- 11) SuperFLUSH/3Dマニュアル、構造計画研究所
- 12) 竹宮宏和:特許申請中, 2004
- 13) 例えば,江島 淳:地盤振動と対策,第8章,吉井書店,1082



補強対応機能

●補強橋脚の断面算定及び、動的解析時の橋脚一般部、塑性ヒンジ部のM-φ、M-θ関係の計算を行います。

- ●けた橋の動的解析プログラムNavi design-Kと連動したプログラムです。
- ●日本道路協会(平成9年8月)の「既設道路橋の耐震補強に関する参考資料」に準拠



非線形有限要素法ログラム ADINA シリーズ

特徴

ADINA シリーズは、マサチューセッツ工科大学の Bathe 教授の研究成果を反映し ADINA R & D 社が開発した代表的な汎用の構造・熱伝導・熱流動解析プログラムです。 非定常・非線形挙動を高精度な計算機能で求めることが可能となります。

プログラム販売の他、ADINA シリーズをはじめとする数多くの解析プログラムを用いた多様な 解析コンサルティングサービスもご提供しております。



お問い合わせはこちらへ

本誌あるいは弊社の解析サービス・解析ソフトに関してのお問い合わせは下記までお願いいたします。

(株)構造計画研究所 都市環境営業室
 〒164 - 0011 中野区中央4丁目5番3号
 TEL 03 - 5342 - 1136 FAX 03 - 5342 - 1236
 Eメール: kaiseki@kke.co.jp
 西日本営業所 06-6226-1231 中部営業所 052-222-8461

弊社 2006 年 7 月を持ちまして、新しい会計年度をスタートさせました。それに伴い、組織も変更されました。従来のエ ンジニアリング営業部は、都市環境営業室と名称を変更しました。今後とも、変わらぬご愛顧を賜りますようお願い申 し上げます。また、本誌と連携して情報発信を行っております、構造計画研究所 解析関連部門のホームページにも 是非お立寄りください。

http://www4.kke.co.jp/kaiseki/

尚、構造計画研究所全社の URL は http://www.kke.co.jp/ です。



お客様が当社に提供された氏名・年齢・住所・電話番号等の個人情報は、当社の製品・ソリュ ーションなどの情報提供や営業などの目的で使用することがあります。あらかじめご了承くだ さい。お客様がご自身の個人情報の内容について照会または変更することをご希望される場合 には、あるいは当社による個人情報の利用の中止をご希望される場合には、上記宛てにご連絡 ください。可能な限り対処させていただきます。

解析 想起 Journal of Analytical Engineering Vol.17 2006.7

(株)構造計画研究所 都市環境営業室 編集・発行

本誌は非売品です。本誌掲載記事・広告の無断転載を禁じます。

Windows は米国 Microsoft 社の登録商標です。

Journal of Analytical Engineering, Vol.17, 2006.7 Kozo Keikaka Engineering, Inc.