

平成22年6月21日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2009

課題番号：20760384

研究課題名（和文） 交通振動の移動1点計測に基づく表層地盤特性の評価

研究課題名（英文） Evaluation of local site conditions based on single-station measurements of traffic-induced vibrations

研究代表者

新井 洋（ARAI HIROSHI）

独立行政法人建築研究所・構造研究グループ・主任研究員

研究者番号：40302947

研究成果の概要（和文）：建物の地震防災を行う上で、表層地盤特性を簡便に評価する手法を確立することが必須である。そこで、本研究では、無線1点3成分計測解析システムを開発し、交通振動計測データから、弾性波動論に基づく逆解析により表層地盤特性を把握する手法を提案した。複数地点での現場実験から、提案手法は、既往の微動・表面波探査法の推定結果の信頼性を高める補助手段として有効であることを示した。

研究成果の概要（英文）：A method for estimating S-wave velocity profile and damping ratios of surface soils is proposed, based on a back analysis of spatial variation of particle orbit for traffic-induced vibrations observed with a three-component sensor. From the field tests and sensitivity analyses performed at several sedimentary sites, it is indicated that the proposed method could be effective for confirming the accuracy and reliability of soil properties estimated by using the existing surface wave method, e.g., microtremor array observation and/or horizontal-to-vertical spectral ratio (H/V) techniques.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：地盤地震工学

科研費の分科・細目：建築学 建築構造・材料

キーワード：交通振動，無線LAN，表面波，逆解析，表層地盤，

S波速度構造，減衰定数，地震動増幅特性

1. 研究開始当初の背景

近年の国内の大地震では、地盤特性の違いが建物の応答や被害を大きく左右することが、改めて確認された。このことは、日本の地震防災を考える上で、表層地盤の地震動増

幅特性を広範囲にわたって精度良く予測することが必須であることを示している。

表層地盤の地震動増幅特性は、主として、そのS波速度構造と減衰定数に支配される。したがって、建物の地震防災を行う上で、表

層地盤のS波速度構造と減衰定数を簡便に精度良く評価する手法を確立することが、基本的かつ重要な課題である。

都市において、車両交通はどこにでも存在し、これにより発生した微小振動(交通振動)は、実体波および表面波(レイリー波とラブ波)として地盤を伝播する。このうち、表面波の伝播特性(位相速度の周波数特性)は、理論的に、地盤のS波速度構造と一対一に対応する。また、交通振動が卓越する周波数帯は、従来の微動探査法では得ることの難しい高周波数帯である。このことから、微動に加えて交通振動を積極的に利用することで、地表付近の地盤構造を精度良く推定する可能性が考えられる。

近年の研究代表者の研究では、任意の1地点で計測された交通振動の鉛直および水平面内の粒子軌跡は、周波数成分に分解すると楕円形となり、その楕円率および軸の傾斜角は、位置によって大きく変化することが示されている。地表点加振源による弾性波動場の鉛直および水平面内の粒子軌跡(楕円率と軸傾斜角)の理論解は、実体波と表面波を区別できる既往の応答変位解を応用することで、比較的容易に導くことができると考えられる。したがって、3成分(鉛直および水平2成分)センサ1台のみによる地表での交通振動の移動計測から、鉛直および水平面内の粒子軌跡の位置的变化を周波数領域で求め、これを前述の理論解を用いて逆解析することで、表層地盤のS波速度構造と減衰定数を同時に推定できると考えられる。

現場実験のための1点3成分交通振動計測解析システムは、研究代表者が現有する微動観測解析システムを参考に、これを改造・発展させることで比較的短期間で作成できると考えられる。この際、センサ部と制御部との間のデータ送受信を無線LAN化することで、現場計測の実施が格段に容易となり、機動性の極めて高い地盤探査が可能となる。

2. 研究の目的

以上の背景から、本研究では、無線1点3成分計測解析システムを開発し、振動源が既知の地点における交通振動計測に基づいて、その鉛直および水平面内の粒子軌跡(楕円率および軸傾斜角)の位置的变化を周波数領域で抽出し、弾性波動論に基づく逆解析から表層地盤特性(S波速度構造および減衰定数)を同定する手法を提案し、その有効性と適用限界を複数地点での振動計測から検証し、さらに表層地盤の地震動増幅特性評価への応用の可能性を検討することを目的とする。具体的には、以下の検討を行う。

(1) 交通振動の鉛直および水平面内の楕円率と軸傾斜角の位置的变化を現場でリアルタ

イムに確認できる無線1点3成分計測解析システムを開発する。

(2) 弾性波動論に基づいて、地表点加振源から発生・伝播する波動場の鉛直および水平面内の粒子軌跡(楕円率および軸傾斜角)の位置的变化から地盤のS波速度構造と減衰定数を同時に同定する逆解析手法を開発する。

(3) 上記(1)の計測解析システムを用いて、地盤構造が既知の複数地点において、種々の車両交通条件下で交通振動の鉛直および水平面内の楕円率と軸傾斜角の位置的变化を求める。

(4) 上記(2)の逆解析法と(3)の計測データに基づいて表層地盤のS波速度構造と減衰定数を推定し、既往の地盤調査結果との比較から、提案手法の有効性と適用限界を検討する。

(5) 強震記録が得られている地点において、提案手法により推定された表層地盤構造に対する地震応答解析を行い、実地震記録との比較から、地震動増幅特性評価への応用の可能性を検討する。

3. 研究の方法

(1) 交通振動の無線1点3成分計測およびデータ処理解析システムの開発

①交通振動の無線1点3成分計測装置(ハードウェア)を開発する。この際、機能を特化させることで、従来の計測装置よりも格段に小型化・軽量化を計る。

②交通振動の1点3成分計測データから、鉛直および水平面内の粒子軌跡(楕円率および軸傾斜角)の位置的变化を求める解析ソフトウェアを開発する。

③これらのハードウェアおよびソフトウェアに基づいて、交通振動の鉛直および水平面内の楕円率と軸傾斜角の位置的变化を現場でリアルタイムに確認し、最適なセンサ配置を現場で選択可能な無線1点3成分計測解析システムを構築する。

(2) 地表点加振源から発生・伝播する弾性波動場の鉛直および水平面内の粒子軌跡(楕円率および軸傾斜角)の位置的变化から地盤のS波速度構造と減衰定数を同時に同定する逆解析法の開発

①弾性波動論に基づいて、地表点加振源から発生・伝播する波動場の鉛直および水平面内の粒子軌跡(楕円率および軸傾斜角)の理論解を導出する。

②導出した理論解に基づいて、計測された交通振動の鉛直および水平面内の楕円率と軸傾斜角の位置的变化から地盤のS波速度構造と減衰定数を同時に同定する逆解析手法を

開発する。開発した手法の妥当性は数値実験から検証する。

(3) 現場実験に基づく交通振動の鉛直および水平面内の楕円率と軸傾斜角の位置的变化の評価

①上記(1)の計測解析システムを用いて、地盤構造が既知の地点において現場実験を行い、交通振動の鉛直および水平面内の楕円率と軸傾斜角の位置的变化を求める。

②様々な車両交通条件下において同様の振動計測を行い、計測結果の差異について、その原因を検討する。

(4) 表層地盤の S 波速度構造および減衰定数の推定

①上記(2)の逆解析法と(3)の振動計測結果に基づいて、表層地盤の S 波速度構造および減衰定数の同定を行い、既往の地盤調査結果との比較から、提案手法の有効性を検討する。

②様々な車両交通条件下における同定結果の差異について、その原因を検討するとともに、提案手法の適用限界について検討する。

(5) 表層地盤の地震動増幅特性評価への応用の可能性の検討

①強震記録が得られている複数地点において、提案手法を用いて表層地盤の S 波速度構造および減衰定数を推定し、推定地盤構造に対する地震応答解析を行う。解析結果と実地震記録との比較から、提案手法を表層地盤の地震動増幅特性評価に応用する可能性を検討する。

(6) 以上の研究成果を総括し、今後の研究の展開の可能性をまとめる。

4. 研究成果

(1) 無線 1 点 3 成分計測解析専用のハードウェアを、研究方法(1)に沿って、研究代表者が現有する汎用の多成分微動観測解析システムを参考に、最小限必要な機能を残して小型化・軽量化し、これに無線 LAN 機能を搭載する方針で設計・開発した(写真 1)。



写真 1 1 点 3 成分振動計測システム

また、計測データから鉛直および水平面内の粒子軌跡の位置的变化を求める解析ソフトウェアを、同じく研究方法(1)に沿って作成した。以上により、交通振動の鉛直および水平面内の楕円率と軸傾斜角の位置的变化を現場でリアルタイムに確認し、最適なセンサ配置を現場で選択可能な無線 1 点 3 成分計測解析システムを構築した。

(2) 地表点加振源から発生・伝播する弾性波動場の鉛直および水平面内の粒子軌跡(楕円率および軸傾斜角)の位置的变化の逆解析を行うためのコンピュータプログラムを、研究方法(2)に沿って、過去に研究代表者が開発した表面波の分散曲線および水平上下振幅比(H/V スペクトル)の同時逆解析プログラムを応用・発展させて作成した。

(3) (1)で開発した計測解析システムを用いて、研究方法(3),(4)に沿って、既往の研究を参考に、神戸市や高知市など沖積地盤上の複数地点において提案手法による現場実験を実施した(図 1-3)。ただし、当初考えていたほど、実験データ(地表粒子軌跡の楕円率および軸傾斜角)の表層地盤の S 波・減衰構造(とくに減衰)に対する感度が良くないことが分かった。このため、提案手法は、微動・表面波探査法における解の信頼性を高める補助手段として活用することが有効と考えられる。

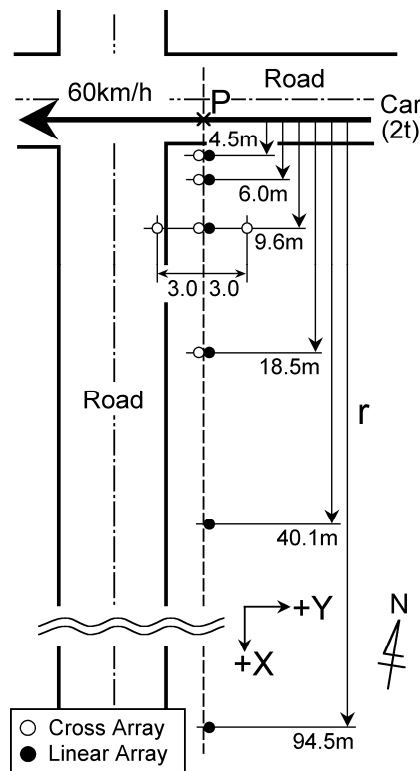


図 1 振動計測点配置の例

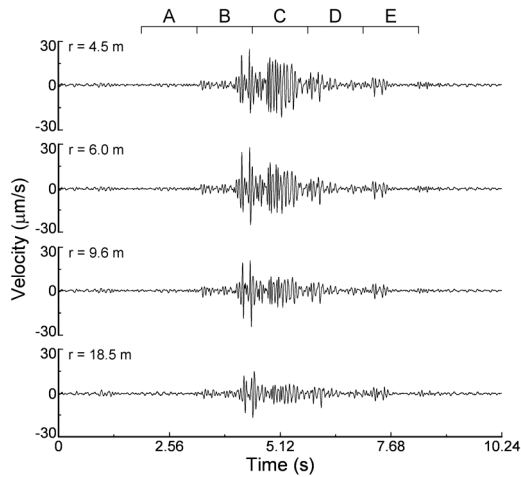


図2 計測された振動波形の例（鉛直成分）

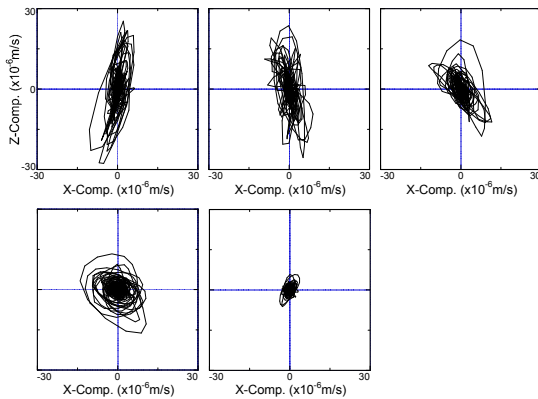


図3 計測された振動軌跡の例（鉛直断面）

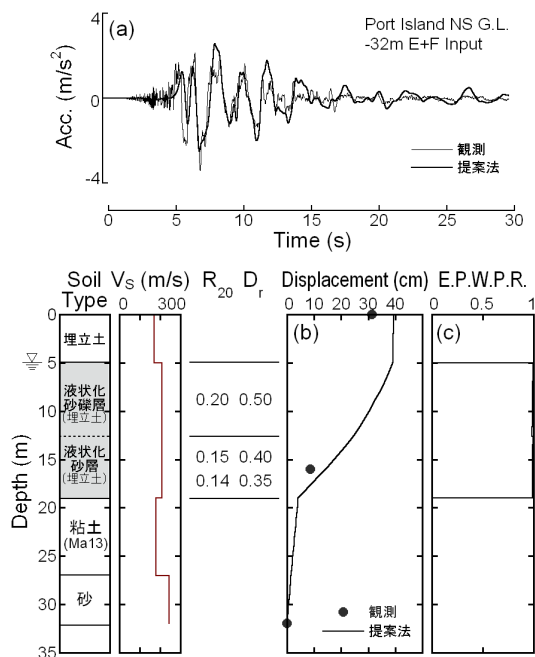


図4 液状化地盤の再現解析の例

(4) 研究方法(5)に沿って、強震記録の得られている地点でも、提案手法による現場実験を実施した。また、提案手法を用いた表層地盤の地震動増幅特性評価を液状化地盤に拡張するため、提案手法から得られる地盤情報(S波・減衰構造)の信頼性や精度とバランスが良く、また、建物設計への利用を前提とした、液状化を含む地盤応答の簡易評価法を開発した。これらの妥当性は、推定地盤情報を用いた液状化を含む地盤応答の再現解析から検証された(図4)。

本研究のように、交通振動を弾性波動伝播現象として捉え、その特性を最大限に利用して表層地盤特性を把握する試みは、研究代表者が過去に行った研究を除いて、国内外において他に見あたらない。また、地表点加振源から発生・伝播する弾性波動場の粒子軌跡(楕円率および軸傾斜角)の位置の変化の逆解析から表層地盤のS波速度構造と減衰定数を同時に同定する手法は、研究代表者の考案によるものであり、独創的である。さらに、交通振動の無線1点計測は、従来の同時多点(有線6-7点)計測に比べ、必要な装置が格段に小型化・軽量化されるため、調査の機動性・実用性を飛躍的に改善することが可能で、その工学的意義は高いと考えられる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

- ① 井上和歌子, 林康裕, 新井洋, 中井正一, 飯場正紀: 表層地盤による地震動増幅率評価法に関する研究, 日本建築学会技術報告集, 査読有, No. 32, pp. 107-112, 2010, 2.

[学会発表] (計9件)

- ① 新井洋, 林康裕, 多幾山法子, 中井正一, 飯場正紀: 建物設計への利用を前提とした液状化地盤応答の簡易評価法, 日本建築学会大会, 2010, 9. (発表予定)
- ② 廣井謙雄, 中田慎介, 新井洋: 微動H/Vスペクトルと基盤傾斜の関係についての試行的考察, 日本建築学会大会, 2010, 9. (発表予定)
- ③ 北口大貴, 中田慎介, 新井洋: 地盤の塑性化を考慮した高知市中心部の木造建物倒壊による人的被害危険度予測, 日本建築学会大会, 2010, 9. (発表予定)
- ④ 廣井謙雄, 岡崎仁志, 中田慎介, 新井洋: 微動の移動1点観測から推定した高知平野の基盤構造, 第45回地盤工学研究発表会, 2010, 8. (発表予定)
- ⑤ 新井洋, 林康裕, 井上和歌子, 中井正一, 飯場正紀: 液状化を考慮した簡便な地震動増幅率評価法, シンポジウム 内陸地震に対して構造設計者はどう対応すればよいか? 「地震荷重と構造設計」, 日本建築学

会近畿支部 耐震構造研究部会, pp. 19-26, 2009, 10.

- ⑥ 井上和歌子, 林康裕, 新井洋, 中井正一, 飯場正紀: 表層地盤の地震時増幅率および最大変形の簡易算定法 (その1: 非液状化地盤の増幅率), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II, pp. 7-8, 2009, 8.
- ⑦ 新井洋, 林康裕, 井上和歌子, 中井正一, 飯場正紀: 表層地盤の地震時増幅率および最大変形の簡易算定法 (その2: 液状化地盤), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II, pp. 9-10, 2009, 8.
- ⑧ 新井洋, 林康裕, 中井正一: モード解析と等価有効応力に基づく液状化地盤の最大変形および増幅率の簡易評価法, 第44回地盤工学研究発表会講演集, pp. 1611-1612, 2009, 8.
- ⑨ 新井洋, 林康裕, 中井正一: 多質点系の1次モード応答と等価有効応力比に基づく液状化地盤の最大変形評価, 日本地震工学会大会-2008 梗概集, pp. 138-139, 2008, 11.

[図書] (計1件)

- ① 地盤工学会: 実務に役立つ 地盤工学 Q&A 第2巻, 被害予測に用いる地盤の振動特性評価 (分担執筆: 新井洋), pp. 205-207, 2009, 5.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

新井 洋 (ARAI HIROSHI)

独立行政法人建築研究所・構造研究グループ・主任研究員

研究者番号: 40302947

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし