

平成 21 年 5 月 28 日現在

研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19560477
 研究課題名（和文） 建物と地盤で同時観測された強震記録を用いた構造物に対する入力損失の経験的評価
 研究課題名（英文） Empirical Evaluation of Kinematic Soil-Structure Interaction Using Strong Ground Motion Records
 研究代表者
 三神 厚 (MIKAMI ATSUSHI)
 徳島大学・大学院ゾオテクノサイエンス研究部・准教授
 研究者番号：10262122

研究成果の概要：この2年間の最大の成果は、建物と地盤で同時観測された強震記録を用いて、構造物に対する地震動の入力損失(建物に到達した地震動の一部が建物を振動させる有効な成分とならないこと)を経験的に評価するための合理的な信号処理方法を確立したことである。この成果は、今後、建物の耐震設計の合理化を図る上で有益なものと考えられる。研究成果は論文にまとめ、国際ジャーナル(Soil Dynamics and Earthquake Engineering)に投稿し、2008年に掲載された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：耐震工学，地震工学

科研費の分科・細目：

キーワード：地震動の入力損失，相互作用，経験的評価，強震観測

1. 研究開始当初の背景

日本学術会議の地震工学専門委員会報告(2004)では、兵庫県南部地震で、壊れるはずの建物が壊れなかった原因を2つに絞り、そのうちの1つを地震動の入力損失であるとしている。地震動の入力損失とは、地震動が構造物に入射する際、その一部が基礎の剛性によって散乱し、入力エネルギーが損失する現象である。地震動の入力損失の問題は、構造物と地盤の動的相互作用の一部と位置づけられる。動的相互作用解析は、その数学的難解さのため、様々な解析上の仮定(理想化)がなされるため、「実際にどれだけ効果があ

るのか？」という疑問を持たれる。すなわち、実観測記録からのアプローチが不十分であることが、相互作用現象の重要性についての説得力を弱める一因となっている。以上が、実観測記録に基づいた入力損失の評価が必要との着想に至った背景である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、地震動の入力損失を経験的に評価することである。地震動の入力損失は、主に2つからなる。

(1) 基礎スラブによる地震動の平均化効果

(2) 埋設効果

本研究では、まず、(1)について建物と自由地盤(建物による影響がないと考えられる地盤)で同時観測された強震記録を用いて、経験的な評価を試みる。ここで、経験的(empirical)とは、観測記録をもとに現象を評価することを意味する。基礎スラブによる平均化評価は、さらに、2つに分けられる。

(1) 地震動の入力損失現象の基本的検討

建物に対する地震動の入力損失を経験的に評価するためには、以下の項目を1つずつクリアしていくことが必要であると考えた。

① 経験的評価手法の確立

強震観測記録を用いて、地震動の入力損失を客観的に(すなわち、できるだけ個人差が生じない方法で)評価する手法の確立。

② 杭の影響や上部構造物の影響の検討

従来の研究で、地震動の入力損失に対して、さほど影響がないと考えられる杭の影響や、その影響が局所的に現れるのみとされる上部構造物の影響について検討すること。

(2) 震源特性が入力損失に及ぼす影響についての検討

(1)で述べた基本的検討に加え、副次的な要因についても検討する必要がある。ここでは、副次的な要因として、震源特性の影響について検討を行う。

ここでは、入力損失に及ぼす影響としては、以下が考えられる。

- ① 地震波の斜め入射
- ② 地震波動伝播経路の不均質性
- ③ 震源の広がり

(3) 数値計算モデルとの比較

以上で述べた項目は、建物と自由地盤で観測された強震記録を、信号処理技術によって解析し、地震動の入力損失を経験的に評価するものであるが、ここでは、経験的評価結果を数値解析モデルによる結果と比較する。

地震動の入力損失は、基礎/地盤の伝達関数で表現する。報告者のこれまでの検討から、米国で開発された以下の2つの方法①、②は、ほぼ同様の結果を示し、観測記録から得られる基礎/地盤の伝達関数を高周波数帯で精度よく表現するが、2~8(Hz)の低周波数帯ではバイアスが見られる、ということが明らかになった。この原因について、杭の影響、上部構造物による慣性力の影響という観点から検討する。

① SASSI with incoherence motion

有限要素モデルに地盤の空間変動を考慮し

たもの

② Kim & Stewart (2003) model

インコヒーレントな鉛直入射波場で、基礎スラブと地盤のキネマティック相互作用を解析的に扱い、基礎スラブによる Base Slab Averaging 効果を評価する上で、地盤の空間変動を表すパラメーターをカリフォルニア建物の地震観測記録データベースをもとに、決定したもの

(4) 埋設効果の統計的評価

以上の検討はすべて、基礎スラブによる地震動の平均化効果に関する検討であるが、加えて、建物の地階による埋設効果を統計的に評価する。この狙いは、埋設による地震動の入力損失効果が建物の被害の低減に寄与するのかを検討することである。

3. 研究の方法

(1) 信号処理プロトコルの開発

検討対象サイトとして、まずは、東北工業大学を選定した。このサイトでは、約100もの強震記録が自由地盤と建物でセットで観測されている。この強震記録の提供を受け、地震動の入力損失の経験的評価について研究を行った。

まず最初に実施したのは、建物基礎レベルと自由地盤地震動を用い、基礎/地盤の伝達関数を算出し、地震動の入力損失効果を評価するためのプロトコルの開発である。具体的には、自由地盤地震動を基礎レベルで観測された地震動のコヒーレンスを算出し、有意義な伝達関数を評価する上で参照した。このコヒーレンスの値は、周波数が高くなるにつれて減少する傾向にある。同時に2つの相関のないノイズ信号を用いてコヒーレンスを算出したが、その場合のコヒーレンス値は0にはならず、ある一定レベルの値となった。これらの検討結果から、自由地盤地震動と基礎レベルで観測された地震動とのコヒーレンス値が0にならなくても、ある一定の値に落ち着く周波数よりも高周波数サイトにおいては、基礎/地盤の伝達関数は物理的な意義がないと判断し、その周波数以下の部分についての伝達関数値を採用することとした。検討結果の一例を図1に示す。

(2) 解析対象サイトにおける地盤調査の実施

なお、このサイトでは、標準貫入試験はすでに実施されていたが、地盤情報の精度向上のため、科学研究費補助金を利用してPS検層を実施した。手法としてはダウンホール法を用い、深さ25mまで計測した。これにより、従来よりも精度の高い検討が可能になった。

(3) 常時微動観測の実施

建物や地盤の特性をより詳細に把握するため、東北工業大学に赴き、自由地盤および建物内で常時微動の観測を実施した。

(4) 有限要素モデルによる評価や比較検討

有限要素解析モデルに地盤の空間変動を考慮した SASSI を用いて、同サイトについて基礎スラブ平均化効果の検討を行った。また、Kim&Stewart モデルによる評価や比較も行った。

(5) 震源特性の影響の評価

次に、埋設のない建物への入力損失に対する震源特性の影響を明らかにする。ここでは、Kim & Stewart の研究 (2003) に基づき、「建物に対する入力損失に対する杭の影響は小さく、また、上部構造物の慣性力の影響は、その1次振動モード付近に集中する」という知見のもと検討を行った。入力損失に影響を及ぼす要因は、(1) 地震波の斜め入射、(2) 地震波動伝播経路の不均質性、(3) 震源の広がり、などがあげられるが、入力損失を表す基礎/地盤の伝達関数が、これらの影響をどのように受けるかを考察するため、入力損失を代表するパラメーター(インコヒーレンスパラメーター)と震源距離、震源深さ、マグニチュードなどとの関係を統計的に調べた。

(6) 杭の影響の評価

(4)の検討の結果、基礎スラブ平均化効果だけでは、地震動の入力損失効果を表現できないことがわかってきたので、SASSI を用いて、杭による入力損失の検討も行った。

(7) 徳島大学における観測の開始

より汎用性のある結論を得るためには、複数のサイトで検討する必要がある。そこで、2007年3月より、徳島大学工学部構内の共通講義棟建物(SRC6F)においても強震観測をスタートした。2007年4月に震度3の地震があり、強震記録が得られたので、東北工業大学と同様の検討を行っている。

(8) 地階による埋設効果の評価

地震動の入力損失効果については、これまで日本の建物の設計にほとんど考慮されておらず、建築物荷重指針・同解説でようやく導入された。埋設を有する建物で剛基礎の仮定が成立するか否かという問題もあるが、もし剛基礎の仮定が成り立ち、地震動の入力損失があったならば、入力損失を考慮せずに設計された建物の地震被害の低減に寄与していることが示せるはずである。そこで本研究では、埋設を有する RC 建物の地震動入力損失について、建物の地階による埋設効果によ

って地震被害の低減に寄与する割合を、兵庫県南部地震に関する実地震被害データをもとに統計的に評価した。検討結果を図2に示す。数量化Ⅱ類を用いて統計的に検討した結果、竣工年の影響が最も大きいものの、地階による埋設効果も被害を少なくする方向に寄与していることがわかった。

4. 研究成果

研究成果を以下にまとめる。

- (1) 建物と自由地盤で同時観測された強震記録を用いて、基礎/地盤の伝達関数を算出し、建物に対する地震動の入力損失効果を評価するプロトコルを開発した。成果は、国際ジャーナルに掲載された。
- (2) 地震動のインコヒーレントな効果を考慮した数値計算モデルを使って基礎スラブによる地震動の平均化効果を検討したが、それだけでは、入力損失を経験的に評価した結果を表現できなかった。
- (3) そこで、杭の影響についても日本の複数のサイトで検討したところ、無視できない程度の影響があることが明らかになってきた。
- (4) 震源特性が地震動の入力損失に及ぼす影響を検討するため、入力損失の程度を表現するインコヒーレンスパラメーターと震源深さ、震源距離、マグニチュードなどの関係について、多くの地震動記録を用いて検討したが、現時点で、明瞭な傾向は得られていない。
- (5) 地階による埋設効果が建物の地震被害低減に寄与したかを調べるため、兵庫県南部地震の際の公共建築建物の被害についてデータにまとめ、数量化Ⅱ類を用いて統計的に検討した結果、竣工年の影響が最も大きいものの、地階による埋設効果も被害を少なくする方向に寄与していることがわかった。
- (6) 以上の成果をさらに詳細に検討し、今後、設計手法への反映を目指していく。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

① Mikami, A., Stewart, J.P., and Kamiyama, M.: Effects of time series analysis protocols on transfer functions calculated from earthquake accelerograms, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Elsevier, Vol.28, Issue 9, pp.695-706, 2008. 査読有り

[学会発表] (計 1 件)

① 松田敏和, 三神 厚, 成行義文: 鉄筋コンクリート建物の地震被害に対する埋設効果の統計的検討, 学術講演梗概集, B-2, 日本建築学会 (中国), pp.21-22, 2008.

[図書] (計 1 件)

① 西村 昭彦, 三神 厚 他 42 名: 基礎と地盤の動的相互作用を考慮した耐震設計ガイドライン(案), 日本地震工学会, 2007.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三神 厚 (MIKAMI ATSUSHI)

徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・准教

授

研究者番号: 10262122

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

Jonathan Stewart

University of California, Los Angeles, USA.

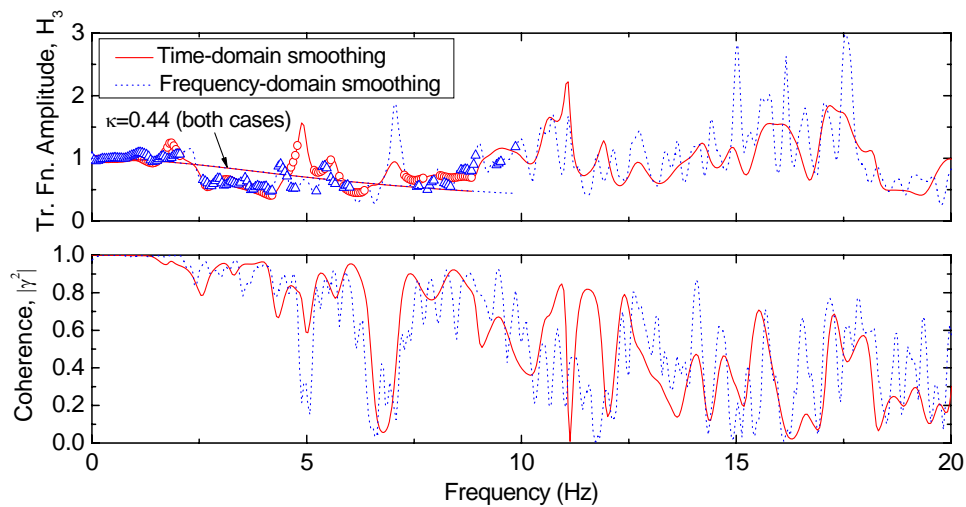


図1 時間領域と周波数領域におけるスムージングを用いた伝達関数とコヒーレンス関数 (2003年宮城県沖地震)

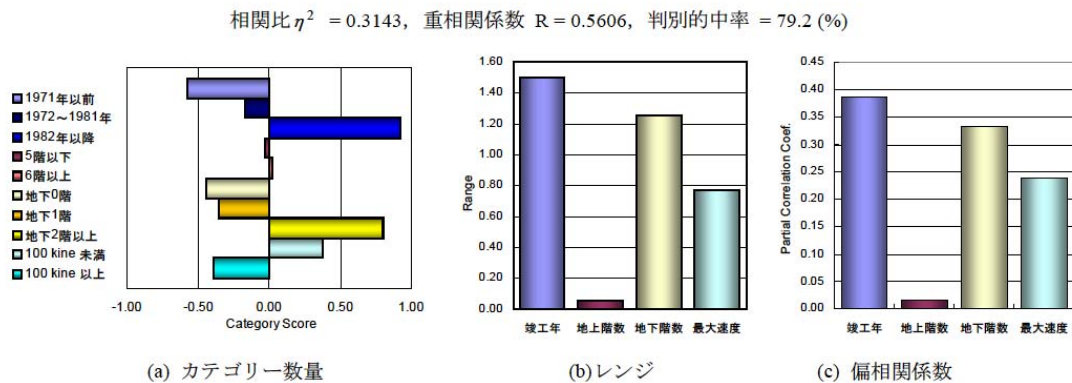


図2 数量化Ⅱ類による解析結果