

## 14. 逆重畳法を用いた超高層ビル内を伝播するせん断波速度の測定

### Measurement of shear-wave velocity of high-rise buildings using deconvolution method

王 欣・正木和明・入倉孝次郎・呉 浩・田頭庄三

#### 1. はじめに

高度化する大都市圏における限られた土地に大きな収容力を求めるため、大な空間の提供能力を有する超高層ビルの数が急速に増えている。巨大地震時の長周期地震動は大規模堆積盆地構造によって成長し、長周期構造物に様々な被害を引き起こす可能性がある。超高層ビルの維持・管理や健全性の把握が不足ならば、社会機能に重大な影響を及ぼす。東日本大震災では震源から遠く離れた首都圏で、大きくかつ長時間な長周期地震動により超高層ビルの上部がかなり大きい揺れが生じ、超高層ビルは非構造被害だけではなく、構造的な被害を受ける恐れもあるので、構造物の継続使用の安全性に懸念を抱く<sup>1)</sup>。したがって、超高層ビルの健全性・被害状況が早期かつ適切に把握するため、検査診断評価技術の重要性は益々高まっている。様々な手法が建物の固有振動数を求め、その低下から建物全体の損傷度を評価する方法は定量的取り扱いが可能である点で優れた特性を有している。しかしながら、被災建物の耐震改修・耐震補強を実施するに当っては、建物各層の損傷度を評価する必要がある。前述の手法では各層ごとの損傷度を評価することはできないので、被災した建物の各層における残存耐震性能を適切に評価できる手法の確立が望まれる。

近年、著者らはこの問題点を注目し、波動の干渉理論に基づく建物の応答を波動伝播の視点に立って、逆重畳法<sup>2)</sup>により主にせん断モードで振動する中・低・高層建物の層間せん断波速度を常時微動記録から抽出する手法を提案し、この手法を被災建物に適用して、各層のせん断波速度の低下により層毎の被害状況を評価した<sup>3)</sup>。せん断波の伝播速度が層のせん断剛性と関係することで、せん断剛性が大きいければ大きいほどせん断波速度が速くなる。著者らは既にせん断波速度と層のせん断剛性の関係を明確にした。本手法は層毎の健全性・損傷度の評価について多くの優位点を有すると考えられる。層間せん断波速度の低下により基礎と地盤の相互作用の影響がなく、層毎の被害状況を定量的に評価できる優れた特性が明らかである。

本研究では、前述の観測経験を踏まえ、構造物の層毎のせん断波速度の抽出手法を超高層ビルの常時微動記録へ応用し、この手法の有用性と応用限界を検討する。

#### 2. 対象建物と観測概要

本研究では、構造タイプ、用途および建設年代が異なる二つの超高層ビルの常時微動観測を実施した。

##### 2.1 建物A

建物Aは29階建の地上部はS造のブレース付きラーメン構造であり、東西端部にコアを持つダブルコアの建物である。立面図および標準階平面図は図1、軸組図は図2に示す。建物の低層部分(1階～8階)は低層棟と繋がっている。図1に示すように、この建物の常時微動観測は、最上層の29階では水平2方向の地震計が固定され、1階から28階までは水平2方向の地震計が移動され、常時微動観測を実施した。1階～8階までは2時間毎、9階～28階までは1時間毎で地震計が移動されて観測した。観測記録のサンプリングレートは800Hzである。

## 2.2 建物B

建物Bは鉄筋コンクリート造23階建集合住宅である(図3)。この建物は中心コア構造である。この建物の常時微動観測は、建物Aと同じように、最上層23階を固定観測して、それ以外の階は1時間毎で移動観測を実施した。観測記録のサンプリングレートは800Hzである。

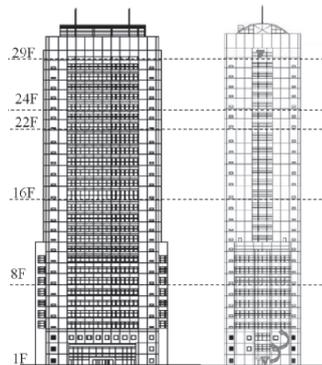


図1 建物Aの立面図(左図)；標準階平面図(右図、▼は地震計設置場所)

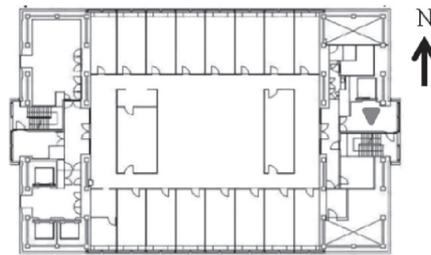


図2 建物Aの軸組

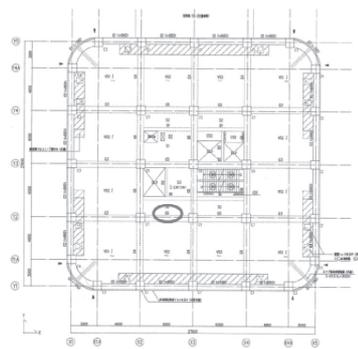


図3 建物Bの外観図(左図)；標準階平面図(右図、楕円は地震計設置場所)

## 3. 逆重畳波の解析結果

常時微動記録から求めた建物Aと建物Bの各階の逆重畳波をそれぞれ図4と図5に示す。図4と図5の図(a)はEW方向、図(c)はNS方向の解析結果である。波動伝播がはっきり見えるため、図(b)と図(d)はそれぞれ図(a)と図(c)の3D表示である。

図4に示す建物Aの逆重畳波には、低層部分により反射波が見られる。一方、図5に示す建物Bの逆重畳波では、中間階により反射現象が見えない。建物Aの反射現象は、低層部分は低層棟と繋がって、剛性が高いので、常時微動の時には、せん断応答が非常に小さいことと考えられる。図4と図5には各階の逆重畳波の上昇波と下降波の時間 $t_{u,i}$ と $t_{d,i}$ の時間差 $t_{d,i}-t_{u,i}$ を図6に示す。図6(b)に示す建物Bの逆重畳波の上昇波と下降波の時間差は高さの増大により小さくなるが見える。しかし、図6(a)に示す建Aの低層部分2F～9Fの逆重畳波の上昇波と下降波の時間差の減少が見えない。2F～8Fにおけるせん断波伝播時間が見えないことはせん断剛性が高いため、時間差が出られないと考えられる。また、9Fの時間差が出ないことは、8Fにより反射波は9Fの逆重畳波と重ねて、時間差が分離されないことと考える。

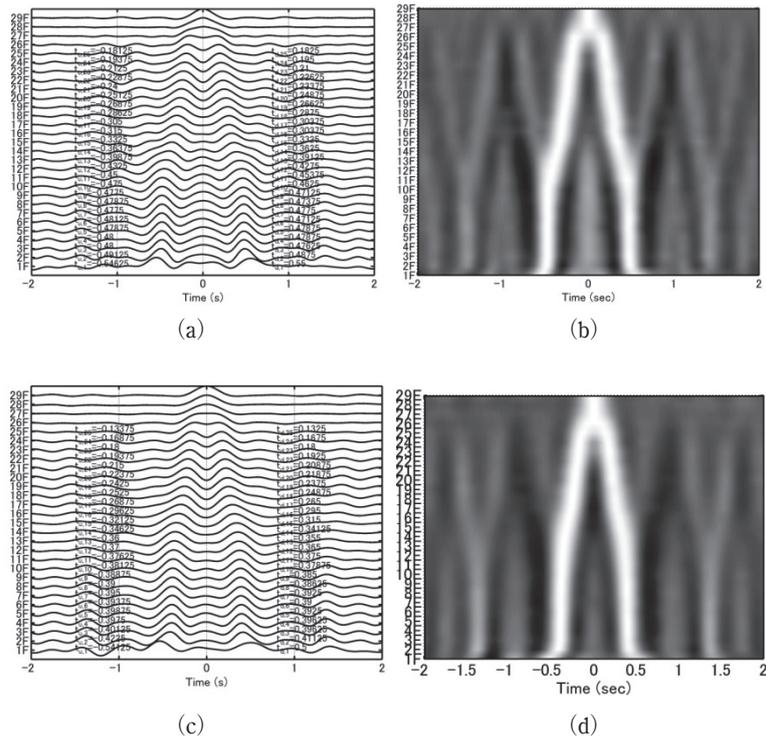


図4 建物Aの常時微動記録から求めた逆重畳波；(a)と(b)はEW方向；(c)と(d)はNS方向；

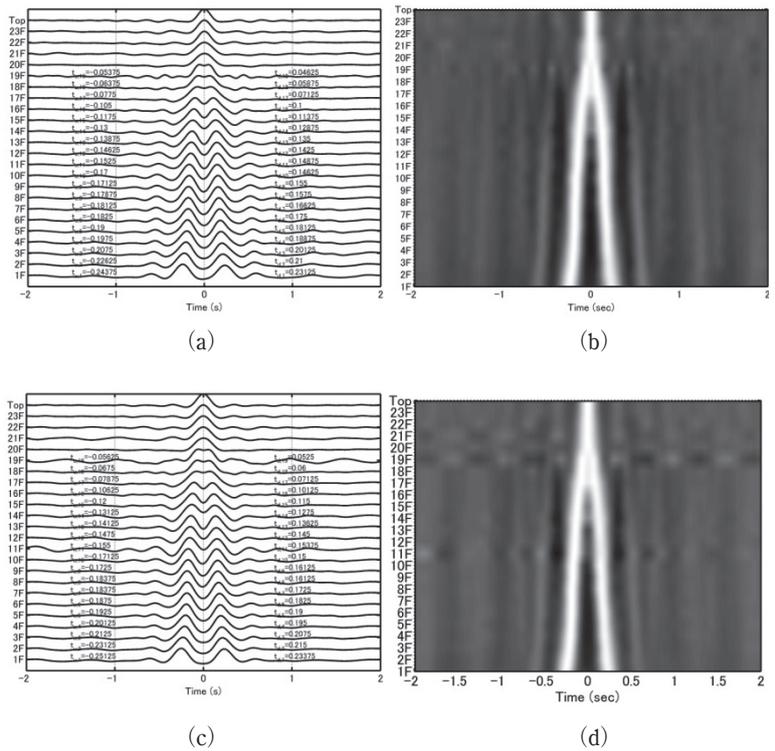


図5 建物Bの常時微動記録から求めた逆重畳波；(a)と(b)はEW方向；(c)と(d)はNS方向

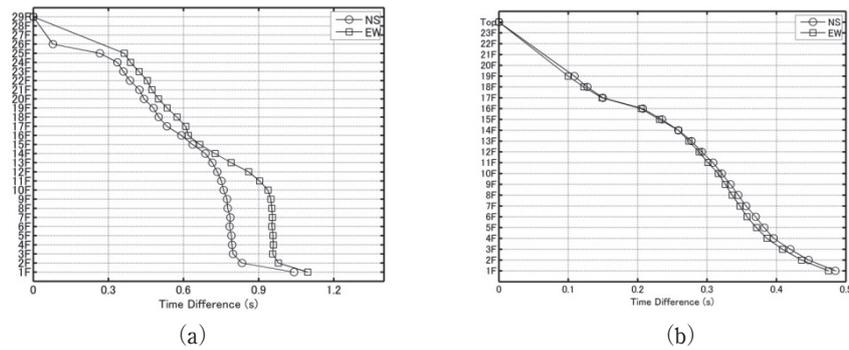


図6 (a) 建物Aと (b) 建物Bの逆重畳波の下降波と上昇波の時間差

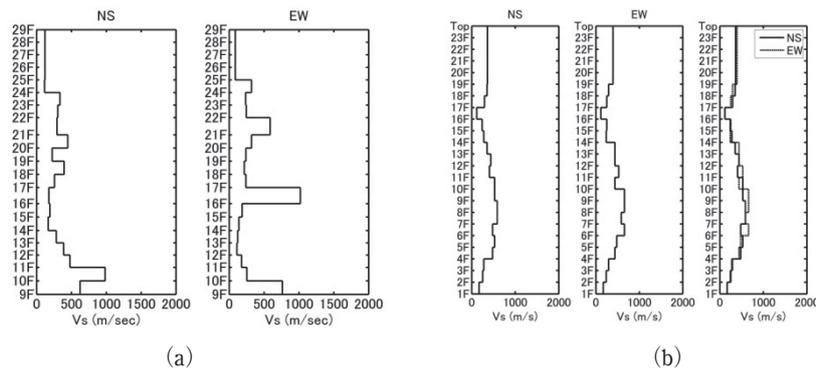


図7 (a) 建物Aの9階(9F)からの各層のせん断波速度；(b) 建物Bの各層間せん断波速度

#### 4. 層間せん断波速度の解析結果

建物Aと建物Bの各層のせん断波速度分布を図7に示す。建物Aの9階以下の時間差が出ないので、図7には9階以上の各層のせん断波速度を示している。建物AのNSとEW方向の構造が異なるので、両方向のせん断波速度も違う。EW方向における16層(16F~17F)と21層(21F~22F)のせん断波速度が他の層より大きいことは図2に示すEW方向の構造図では16層と21層にはブレースが設置されたことと対応できる。図7(b)に示す建物Bの構造は両軸により対称しているため、両軸の各層のせん断波速度が大体同じである。

#### 5. まとめ

本研究では、構造が異なる二つの超高層ビルの常時微動記録から逆重畳法に基づく層間せん断波速度を抽出した。建物Aの低層部分は低層棟と繋がっているため、せん断剛性が高い。常時微動の状態では、低層部分にせん断応答が小さいため、低層部分によりせん断波の反射現象が生じた。低層部分の層間せん断波伝播時間が抽出できないため、層間せん断速度が求められない。また、反射波は上の階の逆重畳波と重ねて、反射階と近い階(本研究では9F)の上昇波と下降波の時間の読み取りへの影響がある。建物Bのような構造が単純な建物では、反射が生じないため、各層のせん断波速度が抽出される。したがって、逆重畳法の常時微動記録への応用はせん断応答のレベルに依存することが明確になった。常時微動記録から逆重畳法に基づく超高層ビルの層間せん断波速度を抽出する際には、建物の構造を考慮する必要があることが分かった。

#### 参考文献

- 1) Y. Hisada, T. Yamashita, M. Murakami, T. Kubo, and T. Arata, “Seismic response and damage of high-rise buildings in Tokyo, Japan, during the 2011 Tohoku Earthquake”, WCEE15, 2012.
- 2) Snieder, R., and Şafak, E., “Extracting the building response using interferometry: theory and applications to the Millikan Library in Pasadena, California”, Bull. Seismol. Soc. Am. 96, no. 2, pp. 586–598, 2006.4.
- 3) 王欣, 正木和明, 入倉孝次郎:常時微動を用いた被災建物の層間せん断波速度の測定, 日本地震工学会論文集, 13(2), pp. 22–36, 2013.