

東日本大震災による逗子地域の不整形地盤の 地震応答特性の検討・評価

Estimation of the seismic characteristics of irregular ground of Zushi-site
during The 2011 East Japan Great Earthquake

○岩楯徹広¹, 内藤伸幸², 安藤幸治³, 小田義也⁴
Takahiro IWATATE¹, Nobuyuki NAITO², Koji ANDO³, and Yoshiya ODA⁴

¹首都大学東京・地質計測株式会社

Tokyo Metropolitan University & Chishitsu Keisoku Co., Ltd.

²(株)アーク情報システム

ARK Information Systems, Inc.

³(株)バイブラントシステム開発

Vibrant System Development Co., Ltd.

⁴首都大学東京

Tokyo Metropolitan University

The largest surface ground acceleration (124.5gal) was recorded on the surface (k1) and bed rock (-30m depth: k6) of the Tokyo Metropolitan University observation station at Zushi-site during The 2011 East Japan Great Earthquake (M=9.0). From these data, the surface ground characteristics of the Zushi-site were examined and the structure model of the surface ground was identified by the developed identification analysis using the observed data (k1&k6). Moreover, the seismic response analyses of the Zushi-site were performed by TDAPIII using k1&k6 and verified the seismic behaviours of the surface ground.

Keywords::The 2011 East Japan Great Earthquake, Seismic response analysis, Earthquake observation data, Identification analysis

1. はじめに

首都大学東京では、逗子の不整形地盤の地表と基盤(-30m)で地震観測を実施し、東日本大震災時に過去最大の加速度記録を得た(図1)。観測記録を用いて、大地震時の不整形地盤の地震応答特性を検討するとともに、地盤構造を同定し、さらに、同定モデルと観測記録を用いて三次元地震応答解析を実施し、表層地盤の挙動を検討・評価した¹⁾。

2. 地震観測と観測データ

東日本大震災時では、逗子地域の表層地盤(k1)と地中基盤(k6:-30m)で過去最大の加速度記録(k1: 124.5gal(NS方向), 31.5gal(UD方向), k6: 45.5gal(NS方向), 29.6gal(UD方向))を得た。地震の継続時間は約180秒以上で極めて長かった(図2)。

3. 地震記録から得られた地盤の応答特性

観測記録を使用して表層地盤の伝達関数(K1/k6)を算出し、東日本大震災、過去の中小地震記録及び余震記録の周波数特性を比較した(図3)。卓越周波数について東日本大震災(2.04Hz, 6.21Hz)は、過去の中小地震(2.31Hz, 6.7Hz)に比較して12%程度の減少があり、地盤の非線形性が確認された。また、余震(2.31Hz, 6.87)は過去の中小地震とほぼ同値であり、東日本大震災以前の状態に戻ったことがわかる。

4. モード解析及び数値モデル同定解析

地表と基盤の地震観測データを用いて、モード定数及び地盤構造を同定した。はじめに、①モード解析を行い、

固有値、固有ベクトルを求め、伝達関数(k1/k6)を算出した。次に、②求められた伝達関数を参照して数値モデル同定解析を行い、表層地盤の物性値(せん断波速度Vsと減衰定数h)を同定した。

4.1 モード解析結果：①図4に東日本大震災のモード解析結果を示す。図(4-a)は地表の加速度応答(k1のNS成分)の比較図であり、図(4-b)は伝達関数(k1/k6)の比較図である。結果は良好である。②図5は、東日本大震災と中小地震の伝達関数の比較図である。東日本大震災には、中小地震に比較して、固有周波数f(Hz)の減少と減衰定数h(%)の増加が見られ、地盤の顕著な非線形性が示された。

4.2 同定解析結果：モード解析結果を参照して同定された表層地盤の物性値(せん断波速度Vs(m/s)と減衰定数(h))を表1に示す。東日本大震災(EQ. 3.11)では、中小地震に比べて層厚の最も厚い第3層(層厚: 16m)においてせん断波速度が16%減少(せん断剛性は29%減少)し、減衰定数が27%増加して、顕著な地盤の非線形性が認められた。

5. 三次元モデルによる地盤の地震応答解析

解析ではTDAPIII(直積積分法)を用いた。地盤構造モデルは4.2の地盤の同定解析結果を用いて設定した。ここにモデルの寸法は、NS方向(約1.2km)×EW方向(約3.5km)×深さ方向(40m)である。解析は地中(k6)で観測された地震波形(図2の3成分(NS, EW, UD))を解析上の基盤(-40m)から入力して、水平2方向入力(case-1)及び水平2方向と上下動同時入力(case-2)の2ケースを実施した。

解析より、以下のことが明らかになった。

①水平2方向入力の場合(Case-1)では、地表面で最大値

に4.1倍(水平NS方向)~4.8倍(水平EW方向)の増幅が見られたが、上下方向成分にも最大31.0gal(水平動の16%)の応答が確認された。上下動は、主として盆地形状の不整形断面(B-B'断面)に集中して発生していることが理解される(図6-a, 図7-a)。また、②上下動の不整形な地盤の地表面水平応答(発生)に及ぼす影響は小さいことが判明

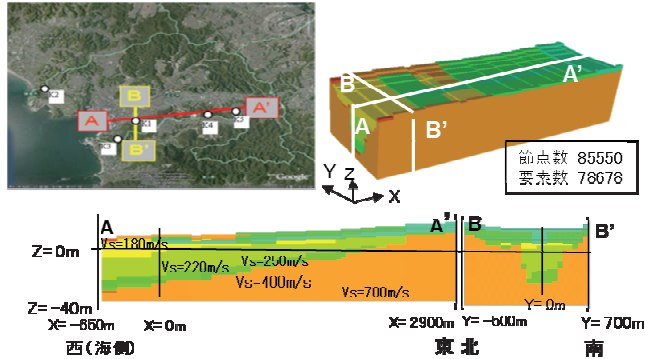


図1 地震観測点と地盤構造(解析モデル)

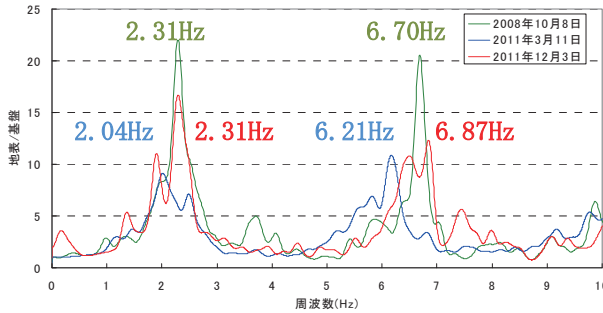
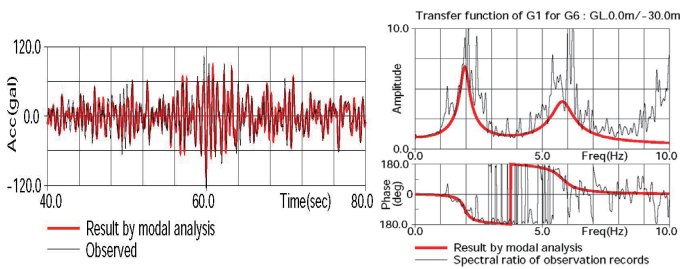


図3 伝達関数(k1/k6)の比較
(— 過去の中小地震, — 東日本大震災, — 余震)



(4-a) 地表の応答波形(k1 NS) (4-b) 伝達関数(k1/k6)

図4 モード解析結果と観測結果の比較

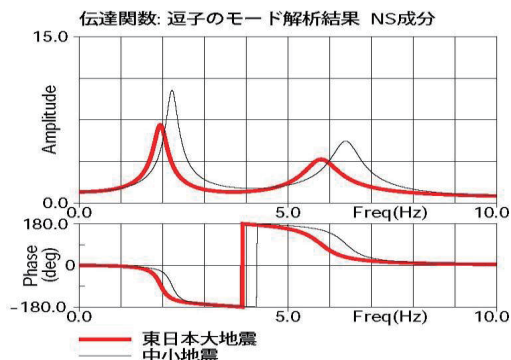


図5 東日本大震災と中小地震の比較

した(図6-b, 図7-b)。

参考文献 1) T. Iwatate, N. Naito, K. Ando & Y. Oda 'The seismic characteristics of surface ground of Zushi-Site', 15WCEE, Paper No. 0430 (Poster), Lisbon Portugal 2012, 9

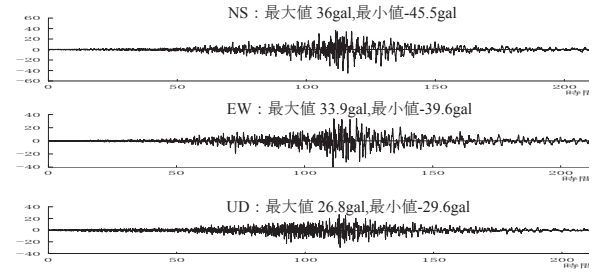


図2 地震観測波形(k6: 基盤)

表1 地盤構造の同定結果(東日本大震災と中小地震の比較)

Layer No.	Unit weight (t/m ³)	Shear wave velocity & Damping factor Vs(m/s) & (h)			Depth (m)
		Case1 before EQ.3.11	Case2 EQ.3.11	Case3 after EQ.3.11	
1	1.70	150.1(0.07)	150.0(0.14)	150.0(0.07)	1.0
2	1.80	134.6(0.08)	132.5(0.14)	134.1(0.08)	4.0
3	1.50	222.5(0.11)	187.6(0.14)	216.5(0.12)	20.0
4	1.90	237.6(0.04)	228.9(0.04)	236.0(0.04)	24.0
5	2.00	253.3(0.03)	251.6(0.03)	252.9(0.03)	25.0
6	2.00	400.8(0.03)	400.4(0.03)	400.7(0.03)	26.0
7	2.10	700.6(0.03)	700.3(0.03)	700.3(0.03)	30.0

(a) Case-1: 水平2方向入力 (b) Case-2: 水平2方向+上下方向入力

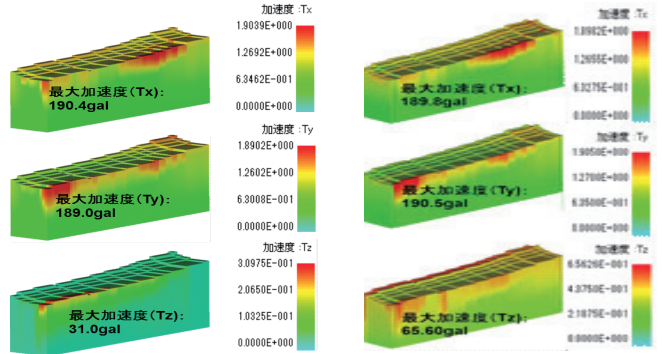


図6 表層地盤の3次元加速度応答分布

(a) Case-1: 水平2方向入力 (b) Case-2: 水平2方向+上下方向入力

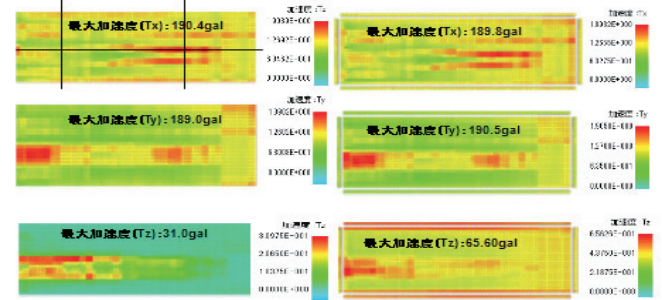


図7 地表面の加速度応答分布