

1. 研究の背景・目的

関東大震災では軟弱な地盤といわれる下町低地において震度が高く、大きな被害を被ったことが確認されている。これは、表層地盤の増幅特性により地震動が増幅したためである。こうしたことから、表層地盤の増幅特性を適切に評価する必要がある。また、地盤上の構造物は様々な周期特性を持っており、耐震設計の面から見ると周期特性を考慮した地盤増幅率の評価が必要である。

そこで本研究では東京都を対象として、周期特性を考慮した地盤増幅特性を評価することを目的とし、表層地盤特性の実測による値と既往の論文との対応の比較や、地盤増幅率と密接な関係がある AVS30(地表から 30m までの平均 S 波速度)の、地形分類データの精度の違いによる比較を行う。

2. 本研究で使用したデータおよび研究の流れ

本研究で使用するデータは、実測の地盤データとして東京都土木研究所¹⁾が所有している PS 検層データ (PS 強震、PS 検層、PS 大深度) 計 89 点を使用する。また、AVS30 を推定するための地形分類図は本研究室で作成された 500m メッシュ²⁾、500m メッシュを元に作成された 50m メッシュ³⁾、東京都土木研究所から提供して頂いたデータを基に作成した微地形分類図を使用した(図 1)。

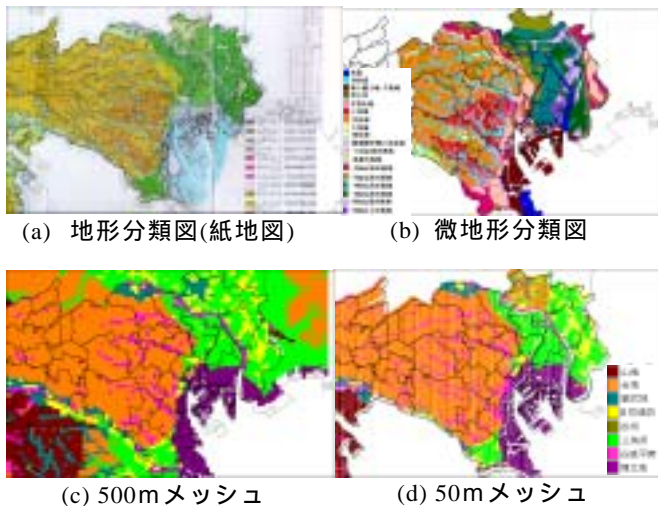


図 1 本研究で使用した地形分類図

図 1 (c) の 500m メッシュの地形データは図 1 (a) の地形分類の紙地図を基に、500m メッシュ単位でそのメッシュ内における最大の割合の地形をデジタル化したものである。図 1 (d) の 50m メッシュの地形データは、500m メッシュの地形データを基に数値標高データと GIS を用いて空間的な補正を行い地形の精度を向上させたものである。

図 1 (b) の微地形分類図は精度の高い詳細な地形分類図だが地域が限られている。

研究の流れは東京都における PS 検層データを利用し、その地点に対応する地形分類図から経験的方法により AVS30 を算出し、地形分類図の精度による値の違いを比較する。次に、実測による周波数特性を考慮した地盤増幅特性を評価する。また、増幅特性に関して下町低地と山手台地における比較を行う。

3. 各地点における AVS30 の比較

ここでは、50m メッシュ、500m メッシュ、東京都の微地形分類から PS 検層の各地点における地形分類を読み取り AVS30 を算出し比較する。本研究では、松岡・翠川⁴⁾により提案された微地形と標高から地盤の平均 S 波速度を推定する経験式を使用した(式 1)。その結果を表 2 に示す。50m メッシュ、500m メッシュ、東京都の微地形分類の地形データから算出した AVS30 は、おおむね良好な値を示しており誤差の絶対値も 45 ~ 57(m/s)程度である。また、地形データが詳細になるほど良い値を示すことが確認できた。

$$\log AVS_{30} = a + b \log H \quad (式 1)$$

AVS₃₀: 地表から 30m までの平均 S 波速度

H : 標高

a, b : 地形と標高から決まる係数

表 1 式 1 に対応する係数

地形分類	帰係数		データ数	
	a	b	50m	500m
山地	2.66	0	4	4
台地	2.1	0.21	49	42
扇状地	2.04	0.23	4	5
砂州・砂丘	2.34	0	3	3
自然堤防	2.13	0.17	0	0
谷底平野	2.06	0.22	4	7
三角洲	2.19	0	14	16
埋立地	2.21	0.08	9	10

表 2 地形分類の比較

	500m	50m	微地形
母体数	85	85	64
誤差の平均値	57.814	56.59	45.683
誤差の標準偏差	51.168	49.127	42.441
AVSの相関係数	0.583	0.603	0.662

次に、同じ地点において 500m メッシュの地形データと 50m メッシュの地形データで AVS30 の値の違いが見られた点について比較する。図 2 は PS 検層の得られた地点での比較である。50m メッシュの地形データの方がより詳細に地形を表現していることがわかる。

500m メッシュの地形データと 50m メッシュの、PS 検層の得られた地点での地形データの比較では、500m メッシュの地形データでは誤差の絶対値の平均は 76(m/s)程度、50m メッシュの地形データでは 61(m/s)程度であり、50m メッシュの地形データの方が良い値を示した。また、

相関係数においても 50m メッシュの地形データの方が良い値を示す結果となった(表3)。

以上から、地形と標高から AVS30 を推定する場合、使用する地形データは詳細なものの方が有効であることが確認できた。

表3 500m と 50m の AVS30 の比較

	500m	50m
母体数	11	11
誤差の平均値	75.801	60.974
誤差の標準偏差	68.18	52.888
AVSの相関係数	0.366	0.528

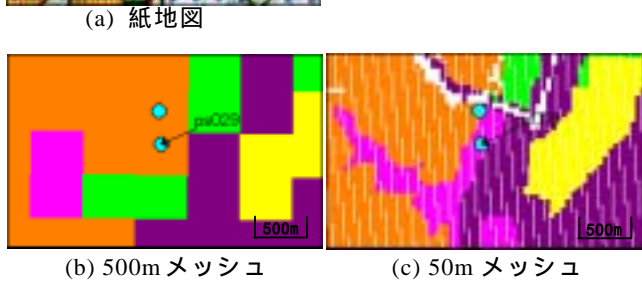


図2 PS 検層の得られた地点での比較

4. 地盤増幅率の評価

まず、PS 検層データの各地点における地盤増幅率を重複反射理論⁵⁾により求めた。これにより求められた増幅率を山手台地と下町低地に分類し、平均を表したものを図3に示す。山手のピークが Fa 領域に、下町のピークが Fv 領域にきていることがわかる。これは、下町地区は沖積層が厚く堆積しており、その影響で卓越周期が長周期側に移行したためと考えられる。次に、下町と山手の卓越周期を比較したものを表4に示す。ここでは約 0.4(秒)の開きが出る結果となった。このことから地盤の構造により、周期特性も変化することがわかる。

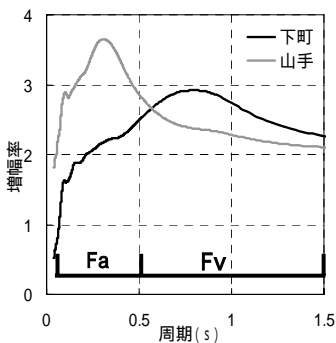


図3 下町と山手の増幅率の平均

表4 下町と山手の比較

	下町	山手
平均(秒)	0.63	0.28
最大	0.92	0.93
最小	0.09	0.07
データ数	16	64

5. Fa、Fv 領域の地盤増幅率の評価

ここでは4項で求めた地盤増幅率を、短周期領域(周期 0.1~0.5 秒)の Fa、長周期領域(周期 0.5~1.5 秒)の Fv(図3 参照)に分類し、内山・翠川⁶⁾の提案した平均 S 波速度(Vs)に基づく地盤分類から Fa、Fv 領域の地盤

増幅率を推定する式(式2)を使用し比較した。実測値と式2を使用した推定値の地盤種別毎の平均の比較を行ったものを表6に示す。短周期領域の Fa では実測値と推定値の値に開きが出る結果となった。それに対し、長周期領域の Fv では実測値と推定式の値に近い値を示しており、Vs と地盤増幅率の関係性が見られた。

$$\log Fa, Fv = a1 + a2 * \log(I + a3) \quad (式2)$$

ここで、a1~a3は表5に示す回帰係数、Iは基盤での最大加速度値(cm/s²)を示す。

表5 平均 S 波速度に基づく地盤種別と回帰係数

V30 in m/s	地盤種別	Fa			Fv		
		a1	a2	a3	a1	a2	a3
V30 > 1500	A	-0.070	0.000	0.000	-0.124	0.000	0.000
760 < V30	B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
460 < V30	C1	0.174	0.000	0.000	0.236	0.000	0.000
360 < V30	C2	1.019	-0.336	199.9	0.288	0.000	0.000
250 < V30	D1	1.146	-0.371	132.6	0.362	0.000	0.000
180 < V30	D2	1.421	-0.499	79.6	0.475	-0.010	170.8
V30	E	1.981	-0.733	69.5	0.923	-0.178	160.6

表6 実測値と推定値の平均の比較

地盤種別	データ数	Fa		Fv	
		実測値	推定値	実測値	推定値
C1	2	2.602	1.493	2.065	1.722
C2	7	2.964	1.537	2.058	1.941
D1	29	3.330	1.853	2.237	2.301
D2	26	3.311	1.977	2.787	2.823
E	21	1.836	2.223	2.734	3.111

6. まとめ

本研究では地震動推定に必要な表層地盤特性を、精度の違うデータベースを用いて比較を行い、精度の高い表層地盤特性のデータベースを作成するための確認を行った。

地形分類は地形データが詳細になるほど、地形と標高から AVS30 を推定した結果と PS 検層の実測値との相関が良い値を示すことが確認できた。また、地盤増幅率に関しては、一般的に良好な地盤とされる山手台地と、軟弱な地盤とされる下町低地とに明確な違いが認められ、地盤の構造により増幅特性と周期特性が変化することが認められた。

今後の課題は PS 検層データを、東京都に限らず様々な地域で収集しデータ数を増加させ、より精度の高い表層地盤特性のデータベースを作成する必要がある。

【謝辞】

本研究において客員研究員の久保智弘氏には多くの時間と労力をさいした熱心なご指導・ご協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 東京都土木技術研究所: <http://www.doken.metro.tokyo.jp/>
- 2) 久保智弘・他: 全国地形分類図による表層地盤特性のデータベース化、および、面的な早期地震動被害推定への適用、地震2、56、pp21-37、2003
- 3) 鄭以内表・他: 地震災害予測のための大都市圏強震動シミュレータの開発
- 4) 松岡・翠川: 国土数値情報を利用した地震ハザードの総合的評価、物理探求 vol.48、No.6、1995、pp519-529
- 5) 社団法人地盤工学会: 地盤工学会、『地震動』ジオテクノート
- 6) 内山・翠川: 地震記録および非線形応答解析を用いた地盤分類別の地盤増幅率の評価、日本建築学会構造系論文集、571、pp87-93、2003