

表層地盤増幅の評価手法が南海トラフ巨大地震に対するハザード結果に与える影響

名古屋大学工学部社会環境工学科
建築学コース福和研究室 川合佳穂

1 研究の背景と目的

近年、南海トラフ巨大地震の発生が懸念されている。中央防災会議は、2011年東北地方太平洋沖地震を受け、2003年に行われた地震被害想定(以下、中防2003)を見直し、2012年8月に新たな被害想定を発表した(以下、中防2012)。震源モデルだけでなく、表層地盤増幅の評価手法も再検討されている。表層地盤による揺れの増幅が、地震動・地震被害に大きな影響を与えることは、過去の多くの被害事例や観測記録により確認されている。そのため、対象地域の表層地盤の増幅特性を適切に評価することは、地震時の建物応答や被害を予測し、防災対策を進める上で非常に重要である。

本研究では、中央防災会議で用いた表層地盤増幅の評価手法に着目し、そのうちメッシュサイズと、計算手法の違いについてケーススタディを行う。このとき、地盤モデルとして愛知県内の地盤構造を用いてハザード結果に及ぼす影響の検討を行う。

2 表層地盤増幅の評価手法

表層地盤増幅評価は、当該地域をメッシュに分割し、ボーリングデータ、PS検層等の地質調査資料や、国土数値情報に基づき、地盤のモデル化、増幅計算が行われる。計算手法は、地盤の地震応答解析による方法と、地盤の増幅特性に影響があるとされている地表から深さ30mまでの平均S波速度(以下、AVS30)を用いた回帰式により計算される手法の2つがある。表1に中防2012と中防2003の評価手法を示す。中防2012の主な特徴として、メッシュサイズが1kmから250mと細くなり、より詳細な地震被害予測が可能になった点、計算手法が地盤の応答解析からAVS30と工学的基盤の震度から地表震度までの差である震度増分 dI との関係式(1式)になり、強震時の地盤の非線形性を簡易的に評価した点が挙げられる。

$$dI = 2.888 - 1.015 \log_{10}(AVS30) \quad (1)$$

(基盤震度 4.5~4.9)

3 評価手法の違いがもたらす地盤増幅の影響

本章ではメッシュサイズと、表層地盤増幅の評価手法の違いが、震度増分に与える影響について中防2012と中防2003で比較、検討する。メッシュサイズの変更による影響を検討するため、中防2012について250mメッシュ(図1)と1kmメッシュ(図2)で震度増分を比較する。このとき、中防2012の1kmメッシュは中防2003と同じ考え方で、メッシュ内での最小のAVS30を採用する。図3に1kmメッシュから250mメッシュの震度増分の差を示す。1kmメッシュの方が、250mメッシュよりも震度増分が大きく評価される傾向が見られる。それは

地盤のモデル化の際、メッシュ内での最小のAVS30をS波速度構造として採用するためであると考えられる。東南海、南海地震等に関する専門調査会(第13回)より、メッシュデータによる検討の目的は、強震動に見舞われる地域がどの位置にあるかを厳密に捉えることでなく、そのような地域の広がり の概観を捉えることにある。このことから、250mメッシュでの検討では詳細な被害予測が可能になった反面、被害予測を見る側がその目的を理解していないと、被害の大きな地域を過小に評価してしまう可能性があることに注意する必要がある。

次に、評価手法の違いによる影響を検討する為に1kmメッシュの中防2012(図2)と、中防2003(図4)を比較する。同じ地点の評価でも、震度増分の分布に違いが見られる。愛知県西部では中防2012が中防2003と比較してやや大きく評価されている。中防2012では、地盤の非線形性を簡易的に評価しているため、詳細に非線形形の応答計算を行っている中防2003と比較して、地盤のせん断歪が大きくなる地域では大きめに評価されると推測される。

4 中防2012における計算手法の検討

3章での検討より中防2012と中防2003において、計算手法による地盤の非線形性への評価の違いが震度増分に影響を及ぼしていることが推測された。そこで、愛知県西部に位置する名古屋市内の地質年代、地形、沖積層基底面標高、地震基盤上面深さの既存基盤資料に基づきグループ分けした9地点(図5)において計算手法の違い(表2)が地盤増幅に及ぼす影響を検討する。どの手法も震度増分により地盤増幅を評価し、中防2012で行われた検討について、非線形性を考慮した等価線形解析による応答予測結果との比較と、非線形性を考慮しないAVS30による地盤増幅評価の経験式との比較を行う。

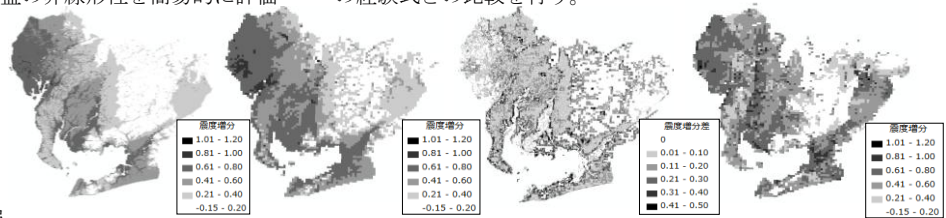


図1 中防2012震度増分(250mメッシュ) 図2 中防2012震度増分(1kmメッシュ) 図3 メッシュサイズによる震度増分比較(図2と図1の差) 図4 中防2003震度増分(1kmメッシュ)

表1 中防2012と中防2003の評価手法比較

	メッシュサイズ	採用ボーリングの掘進長	ボーリングデータの扱い	微地形区分	微地形区分からAVS30を求める回帰式	計算手法
2003	1km	30m以上	ボーリングが5本以上ない場合微地形区分によるAVS30と一致するよう層構造補正	松岡・翠川(1994)改	松岡・翠川(1994)	逐次非線形計算
2012	250m	10m以上	ボーリングの本数に関わらずそのままの層構造を用いる	若松・翠川(2011)改	松岡他(2005)	横田他(2005)

表2 検討に用いる計算手法一覧

No.	表層地盤増幅		震度換算	
	手法	パラメータ	手法	計測震度
case1	等価線形計算		強震動波形	計測震度
case2			PGV	童・山崎式 ³⁾
case3			PGA	童・山崎式 ³⁾
case4			PGA・PGV	武村式 ⁴⁾
case5	経験的手法	ARV(松岡・翠川式) ²⁾	PGV	童・山崎式 ³⁾
case6		ARA(松岡・翠川式) ²⁾	PGA	童・山崎式 ³⁾
case7		ARA(松岡・翠川式) ²⁾ ARV(松岡・翠川式) ²⁾	PGA・PGV	武村式 ⁴⁾

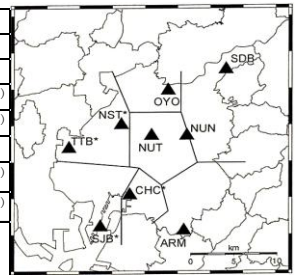


図5 評価対象名古屋市内9地点

4.1 中防 2012 における計算手法と等価線形解析との比較

入力地震波は、告示波(八戸位相、神戸位相)を振幅レベルを変えて使用した。等価線形解析に関しては、解析の適用限界とされている最大せん断歪が 1%程度までの範囲で収束する解析結果のみ採用し、せん断剛性比 G/G_0 、減衰定数 h については、各地点の室内土質試験の有無に関わらず、古山田(2003)³⁾によるパラメータを用いた。

等価線形計算による case1~case4 の震度増分と中防 2012 の(1)式による震度増分を比較する。地盤の塑性変形後の最大せん断歪がもたらす影響を見るため、図 6 に AVS30 と震度増分の関係を最大せん断歪レベル毎にプロットし、(1)式と重ね描きしたものを示す。どの case も多少のばらつきはあるものの、(1)式と同等または下回る結果が得られた。これより、名古屋市内において、中防 2012 は防災上安全側に評価されていると考えられる。

図 7 に最大せん断歪と震度増分の関係を示す。case3、case4 は、最大せん断歪レベルが 0.1%を超えたあたりから、最大せん断歪が増大するにつれて増幅が小さく評価される傾向が見られるが、case1、case2 にその傾向はあまり見られない。これは、case2 が最大速度(以下、PGV)を、case3、case4 が最大加速度(以下、PGA)を用いた震度変換を行っており、最大せん断歪が増大することで、PGA の増幅は小さくなるが、PGV の増幅は PGA ほどこれに依存しないためと考えられる。

図 8 に、AVS30 が 230(cm/s)と 237(cm/s)とほぼ同等である NUT 地点と NUN 地点におけるレベル 2 の神戸波入力時の S 波速度構造の変化を示す。この時、震度増分は case3 で NUT が-0.12、NUN が-0.03 と差が見られる。このことから同等の AVS30、掘進長でも S 波速度構造の変化が、ある層に集中する場合と、集中しない場合とで震度増分に差が見られることがわかる。

入力波の八戸位相と神戸位相の違いによる影響、(1)式において 30m 以浅のボーリングデータから得た AVS30 を用いることによる影響も検討したが、大きな差は見られなかった。

4.2 中防 2012 における計算手法と経験的手法との比較

AVS30 を用いた他の経験式 case5~case7 により求めた震度増分と、(1)式による震度増分とを比較する。case5 では加速度増幅率により PGA、case6 では速度増幅率による PGV、case7 では速度増幅率、加速度増幅率による $PGV \cdot PGA$ から震度変換を行い、震度増分を求めた。case5、case6、case7 で用いた式を(2)、(3)、(4)にそれぞれ示す。

$$dI=3.68-1.33\log_{10}(AVS30) \quad (2)$$

$$dI=2.55-0.89\log_{10}(AVS30) \quad (3)$$

$$dI=3.16-1.08\log_{10}(AVS30) \quad (4)$$

図 9 のように (2)、(3)、(4)式、今回の対象地点 9 地点の AVS30 と震度増分の関係のプロットともに(1)式と良い対応を示すことから、中防 2012 の評価は、AVS30 を用いた他の経験式から得られた震度増分の値と比較しても、妥当と考えられる。

5 まとめ

本研究では、中防 2012 における表層地盤増幅の評価手法の変更が及ぼす影響について検討し、メッシュサイズの変更は過小評価にならないよう注意が必要だが、計算手法の変更は、安全側の評価であるという結果が得られた。ただ、今回は名古屋市内 9 地

点と限られた地点での検討であるため、今後は愛知県内西部に範囲を広げ、計算手法の違いによる評価の差を検討する必要がある。また、より現実に即した地盤応答評価を行うためには、地盤の塑性変形後の最大せん断歪の増大に伴う AVS30 の低下や地盤の非線形性を考慮できる地盤増幅の評価手法を構築する必要がある。

参考文献

- 1) 横田崇・稲垣賢亮・増田徹(2005): 数値実験による地盤特性と増幅率の関係 日本地震学会講演予稿集
- 2) 松岡昌志・翠川三郎(1994): 国土数値情報とサイスミックマイクロゾーニング、第 22 回地盤震動シンポジウム、日本建築学会
- 3) 童華南・山崎文雄(1996)地震動強さ指標と新しい気性震度との対応関係
- 4) 武村雅之: 地震と防災 “揺れ”の解明から耐震設計まで(中公新書)
- 5) 日本建築学会(2006): 建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計

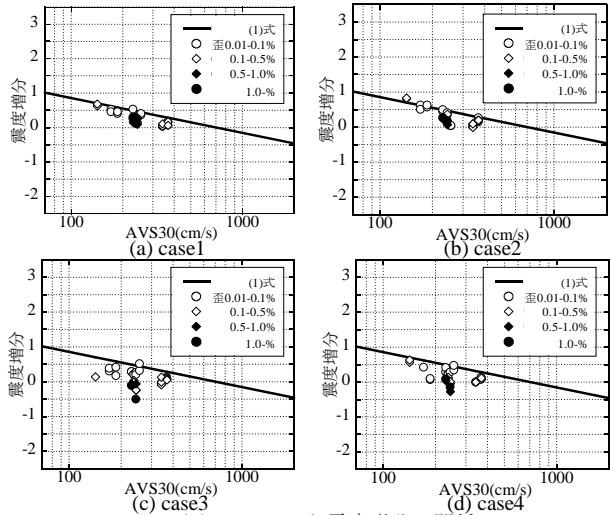


図 6 AVS30 と震度増分の関係

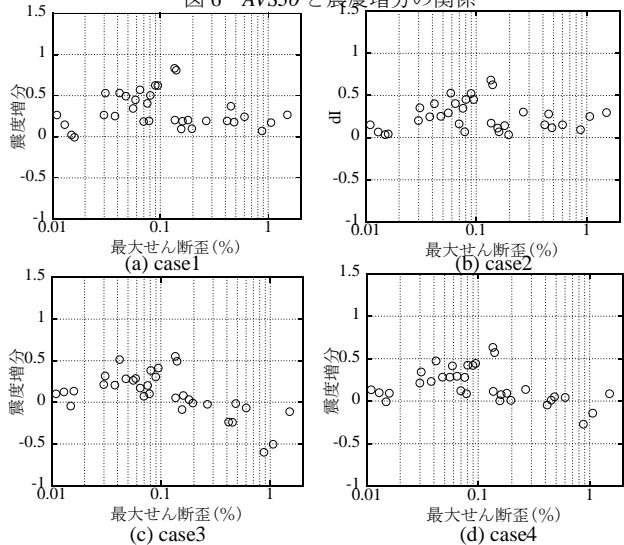


図 7 最大せん断歪と震度増分の関係

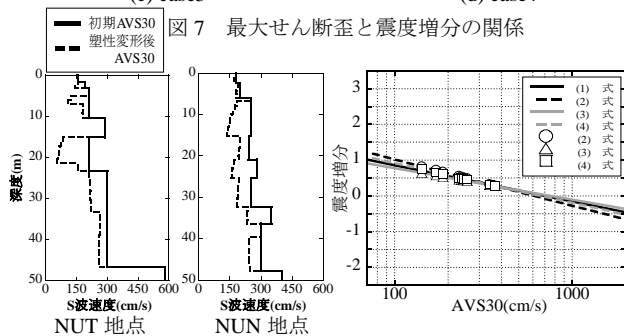


図 8 レベル 2 神戸波入力時の S 波速度構造の変化

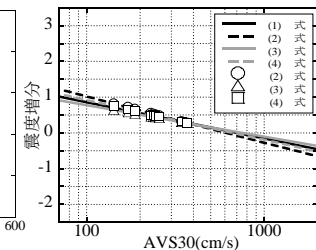


図 9 (1)式と各式の対応