

設計用入力地震動作成における力学試験・物理探査の有効性評価

応用地質株式会社 ○加藤 駿, 田原 道崇

1. はじめに

免震建築物や超高層建築物は設計用入力地震動を用いた構造計算が求められている。工学的基盤以浅の地震応答解析では、地盤の材料特性や速度構造が重要なパラメータとなるため、力学試験や物理探査を実施して調査地の地盤情報を把握する必要がある。試験結果や探査結果が得られない場合は、既往文献等を参考にパラメータを設定するため、地盤情報が適切に与えられていない可能性がある。本検討では、動的変形特性と速度構造を対象に調査結果と一般値を与えて設計用入力地震動を作成し、それらの差異を検証した。

2. 解析モデルの設定

本検討における工学的基盤以浅の地震応答解析は、逐次積分法による非線形全応力解析を用いて実施した。工学的基盤はPS検層によってVs400m/sを5m以上確認したTog層以深とし、土質構成は図-1である。調査地では、3つの地質区分を対象とした動的変形特性試験とPS検層、標準貫入試験（N値）の結果が得られており、図-1を基に工学的基盤以浅の浅部地盤モデルを①実モデル（動的変形試験値+PSモデル）、②動的変形特性に一般値を与えたモデル（動的変形一般値+PSモデル）、③速度構造に一般値を与えたモデル（動的変形試験値+N値モデル）の3パターン設定した。以下にそれぞれのパターンの概要を示し、本検討で用いた動的変形特性を図-2、地盤モデルを表-1にそれぞれ示す。

パターン①：動的変形試験値+PSモデル

動的変形特性は、不攪乱試料を採取した層は試験結果（図-2中の①～③）を、その他の層は建築学会（2006）¹⁾による一般値（図-2中の④～⑦）をそれぞれHardin-Drnevich (HD) モデルで与えた。速度構造は、PS検層に基づく試験値を採用した。これをベースに比較検討する。

パターン②：動的変形一般値+PSモデル

不攪乱試料が採取できないと仮定し、全ての層で建築学会（2006）による動的変形特性を採用した。速度構造はパターン①と同様に測定値を用いた。

パターン③：動的変形試験値+N値モデル

動的変形特性はパターン①と同様に試験値を用いた。S波速度は中央防災会議（2012）²⁾による以下の算定式を用い、N値は換算N値とした。

粘土 $V_s = 111.30 \cdot N^{0.3144}$ 式-1

砂 $V_s = 94.38 \cdot N^{0.3020}$ 式-2

礫 $V_s = 123.05 \cdot N^{0.2443}$ 式-3

動的変形特性を比較すると、砂質土は試験結果が一般

値よりもやや小さいひずみから剛性が低下するが、全体的な特徴は似た傾向である。一方で、粘性土は一般値よりも大きいひずみ領域で剛性が低下し、かつ減衰が小さい傾向にある。

試験値とN値による算定値のS波速度の違いは、深度20m以深で顕著であるが、深度0～20mはほぼ一致している。

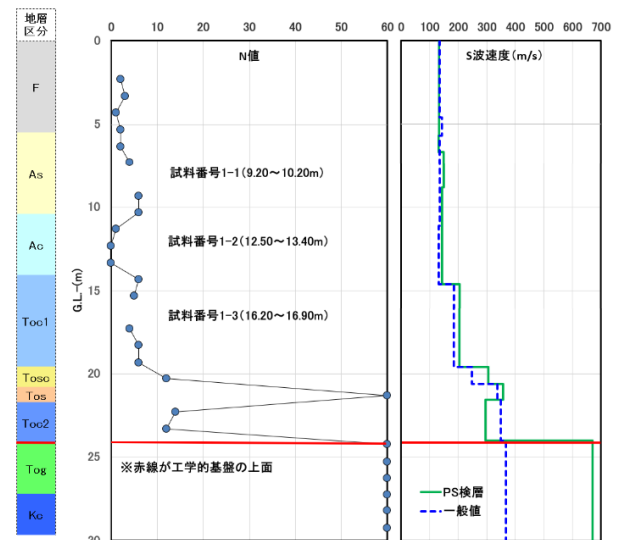


図-1 本検討で用いたボーリング柱状図と速度構造

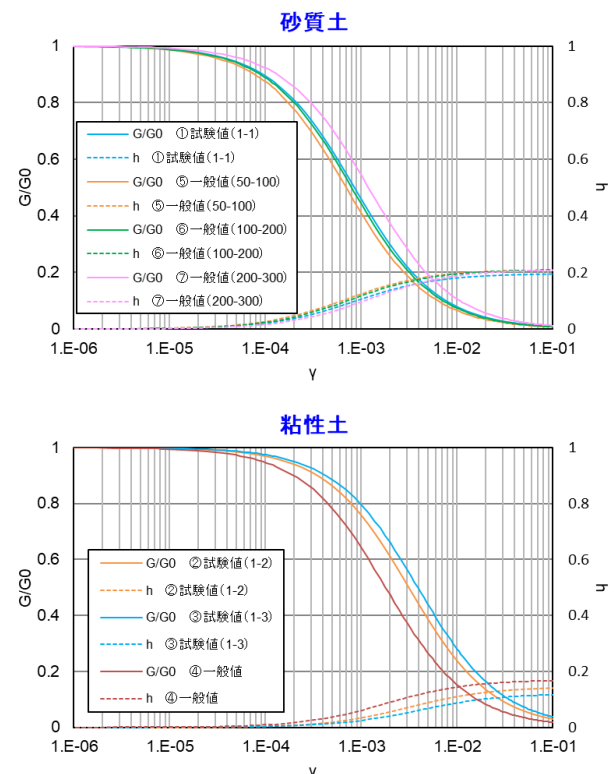


図-2 本検討で用いた動的変形特性

表-1 パターン別の地盤モデル

上端 深度 (m)	パターン①		パターン②		パターン③	
	S波 速度 (m/s)	動的 変形 曲線	S波 速度 (m/s)	動的 変形 曲線	S波 速度 (m/s)	動的 変形 曲線
0.00	110	④	110	④	133	④
5.70	110	②	110	⑤	140	②
6.65	120	①	120	⑤	133	①
8.70			130	⑥		
11.00	120	②	120	④	128	②
14.60	180	③	180	④	181	③
19.70	280	④	280	④	243	④
20.60	330	⑦	330	⑦	331	⑦
21.55	270	⑥	270	④	343	⑥
24.00	670	—	670	—	368	—

3. 解析結果の比較

地震応答解析を実施する際に入力する工学的基盤での地震動として、神戸位相を用いた告示波³⁾(極めて稀に発生する地震動)と、内閣府(2013)⁴⁾による都心南部直下地震を用いた。深度別最大応答分布を図-3、地表の擬似速度応答スペクトルを図-4に示す。

動的変形特性に一般値を採用したパターン②では、パターン①と比較すると深度別最大応答分布に差異が見られる。特に、深度5~10m付近でのひずみの分布が大きく異なり、この深度のひずみ分布の影響で地表における加速度、変位が大きく異なっている。図-4に示した擬似速度応答スペクトルでは、短周期帯で実モデルであるパターン①よりもレベルが小さくなっているが、長周期帯では似た傾向となっている。

S波速度にN値からの算定値を採用したパターン③では、ひずみが一番大きい深度10m付近でパターン①と異なり、告示波では加速度、変位の分布が異なる。一方、都心南部直下地震では、パターン①とパターン③では擬似速度応答スペクトルにおいて特に免震構造物等に影響の出始める長周期帯で異なる挙動を示している。

4. まとめ

本検討では、動的変形特性やS波速度に試験値と一般値を与えて地震応答解析を実施し、作成した地震動の差異を検証した。解析結果から、地盤の動的変形特性の違いやS波速度構造の違いが表層で予測される地震動に影響を及ぼすことを確認した。近年、非破壊調査である微動観測などでS波速度構造を推定することも多く、今後の地震動予測にあたっては、得られた調査結果を適切に評価する必要がある。

一般値やN値の換算式だと過大・過小評価している可能性があり、それが設計・施工のコスト増や安全性低下

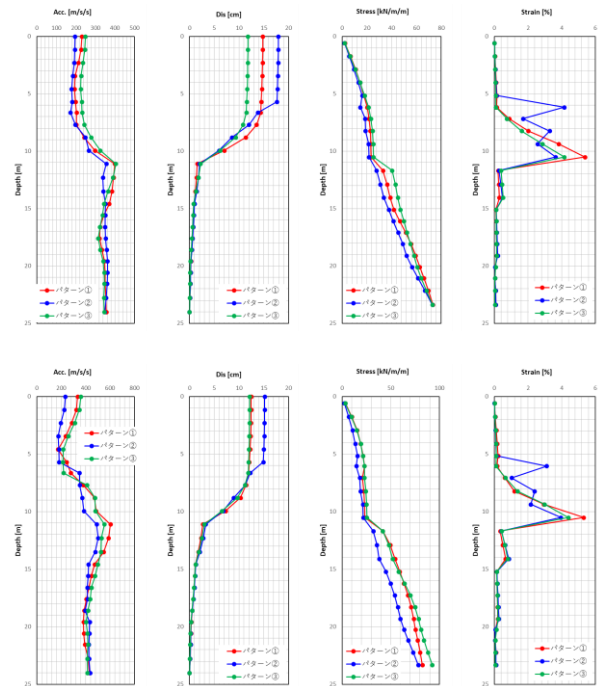


図-3 深度別最大応答分布

(上図：告示波，下図：都心南部直下地震)

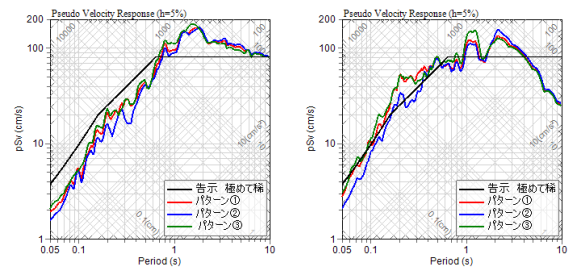


図-4 擬似速度応答スペクトル (h=5%)

(左図：告示波，右図：都心南部直下地震)

につながる。可能な限り動的変形特性試験やPS検層等の調査を実施し、調査地の地盤情報を適切に把握することが、免震建築物や超高層建築物の設計の最適化をもたらすと考える。

《引用・参考文献》

- 1) 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(2006):一般社団法人日本建築学会, pp. 52-57.
- 2) 浅い浅部地盤構造モデルについて(2012):内閣府中央防災会議 南海トラフ巨大地震モデル検討会第15回会合, pp. 9.
- 3) 建設省告示第1461号 超高層建築物の構造耐力上の安全性を確かめるための構造計算の基準を定める件(2000):建設省
- 4) 首都のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書(2013):内閣府中央防災会議 首都直下地震モデル検討会