

地盤慣性力に基づく応答変位法の大規模地震に対する適用性について

九州大学大学院 学生員 ○久納淳司

九州大学大学院 フェロー 大塚久哲

(株) オリエンタルコンサルタンツ 正会員 田中 努 橋 義規

1. はじめに

兵庫県南部地震において、これまで安全とされてきた地中構造物においても、甚大な被害が生じた。そこで、大規模な地震を想定し、大ひずみ領域を考慮に入れながら、簡易で扱い易い地中構造物の耐震設計法が望まれる。本研究では、地盤の加速度分布に基づく慣性力を作用させることで、地盤変位に対応した荷重状態を表現できる「地盤慣性力に基づく応答変位法」と、実地震時の挙動に近い状態を表現できると考えられる非線形動的解析との比較を段階を追って行うことで、地盤慣性力に基づく応答変位法の大規模地震に対する適用性の検証を行う。

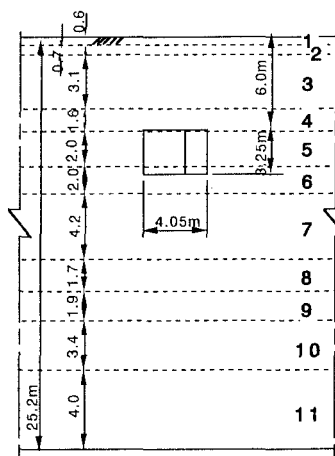
2. 比較検討手順

表-1に従い、解析を進めていく。大規模地震時の適用性について考察するため、用いた地震波は神戸ポートアイランド-32m、-83m地点における観測波形(NS成分)とした。まずSTEP1では、構造物を含まない自由地盤において、大規模地震時の等価線形化法の適用性について考察する。STEP2では1次モードのみ考慮し地盤の震度分布を求める地盤慣性力に基づく応答変位法と、高次モードまで考慮できる動的解析の比較を行う。STEP3では地盤をSHAKEによる収束剛性を用いて線形で評価する場合と、非線形で評価する場合による結果の差を確認する。STEP4では構造物が線形範囲での、地盤慣性力に基づく応答変位法と非線形動的解析の結果の違いをSTEP1～3までの結果を踏まえて考察する。STEP5では構造物の非線形挙動の影響について検討する。最後にSTEP6ですべてを踏まえて地盤慣性力に基づく応答変位法と、実現に近い挙動を表現できると考えられる非線形動的解析の結果を比較し、地盤慣性力に基づく応答変位法の大規模地震時における適用性について考察する。

図-1に検討対象地盤の特性を示す。

表-1 比較検討手順

	比較するもの	自由地盤	自由地盤
STEP1	条件	等価線形解析 地盤：等価線形	非線形解析 地盤：非線形（R-Oモデル）
STEP2	比較するもの	地盤慣性力に基づく応答変位法	動的解析
	条件	地盤：等価線形（収束剛性） 構造物：線形（降伏剛性）	地盤：等価線形（収束剛性） 構造物：線形（降伏剛性）
STEP3	比較するもの	動的解析	動的解析
	条件	地盤：等価線形（収束剛性） 構造物：線形（降伏剛性）	地盤：非線形（R-Oモデル） 構造物：線形（降伏剛性）
STEP4	比較するもの	地盤慣性力に基づく応答変位法	動的解析
	条件	地盤：等価線形（収束剛性） 構造物：線形（降伏剛性）	地盤：非線形（R-Oモデル） 構造物：線形（降伏剛性）
STEP5	比較するもの	動的解析	動的解析
	条件	地盤：等価線形（収束剛性） 構造物：線形（降伏剛性）	地盤：等価線形（収束剛性） 構造物：非線形（武田モデル）
STEP6	比較するもの	地盤慣性力に基づく応答変位法	動的解析
	条件	地盤：等価線形（収束剛性） 構造物：線形（降伏剛性）	地盤：非線形（R-Oモデル） 構造物：非線形（武田モデル）



層番号	単位体積重量(tf/m ³)	N値	土質特性	せん断波速度(m/s)
1	1.70	4	S	127.0
2	1.40	4	C	158.7
3	2.00	30	S	248.6
4	1.80	8	C	200.0
5	2.00	32	S	254.0
6	2.00	35	S	261.7
7	2.00	50	S	294.7
8	2.00	19	C	266.8
9	2.00	50	S	294.7
10	2.00	19	C	266.8
11	2.00	23	C	284.4

図-1 検討対象地盤の特性

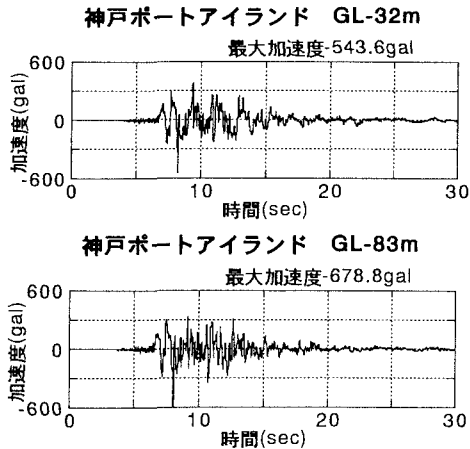


図-2 入力地震動

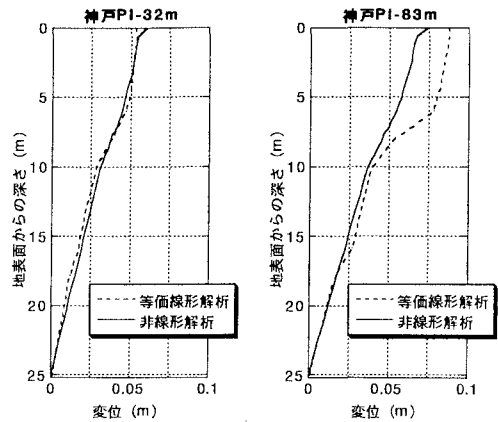


図-3 STEP1 解析結果

3. 解析結果

図-3にSTEP1の結果を示す。等価線形化法での解析は入力地震動の最大加速度の大きさに比例して地盤の剛性の低下も大きくなり、地盤を非線形で評価する場合よりも変位が増大しているのがわかる。地盤慣性力に基づく応答変位法はこの等価線形解析結果の地盤の収束剛性を用いるため、地盤変位に追従して変形する地下構造物の断面力は、地盤を非線形で評価する場合よりも大きくなると考えられる。神戸PI-83m波形入力結果においては構造物位置（地表面から6～9m）において地盤変位の増加が著しいことから、非線形動的解析結果と比較して構造物の断面力が非常に大きくなることが予想される。

STEP2以降の結果及び得られた知見は紙面の都合上、以下の表（表-2）にまとめる。

表-2 解析の目的及び得られた知見

STEP2	地盤の剛性（SHAKEによる収束剛性）、構造物の剛性（降伏剛性）が両解析法で等しいため、地盤、構造物変位、曲げモーメント結果にはそれほど顕著な差は現れなかったが、軸力やせん断力においては隅角部付近において顕著な差が生じている部分も見受けられた。 この差は高次モードの影響であると考えられるので、高次モードの影響は変形や曲げモーメントではなく、軸力やせん断力に対して影響を及ぼすと考えられる。
STEP3	地盤変位や構造物変位などは、地震力が大きいほど地盤を等価線形として解析した結果が、非線形として解析した結果に比べて大きくなっている。 地盤を線形解析をした場合、入力地震波の最大加速度の増加に対する地盤、構造物変位や断面力の増加率は、地盤を非線形で評価した場合に比較して非常に大きい。 このことは地盤の収束剛性の値によって結果が大きく変化することを意味する。
STEP4	構造物が線形範囲での比較において、地盤慣性力に基づく応答変位法では曲げモーメントについて神戸PI-32mの地震入力で最大曲げモーメントが非線形動的解析結果よりも若干小さめに評価されているのに対し、神戸PI-83mの地震入力では逆に大きめに評価されている。 曲げモーメントについて高次モードの影響はほとんどないこと（STEP2より）を考えると、この理由は地盤の収束剛性の値によるものと考えられる。
STEP5	構造物が非線形域に入りエネルギーの吸収が行われるため、周辺地盤の変位やひずみは構造物を非線形で評価した場合の結果の方が小さくなっている。 構造物の断面力については目立った差は見あたらない。 ここで構造物の評価方法の違いにより、自重解析結果の断面力が若干違うが、その差は微小であり無視できる程度である。
STEP6	地盤慣性力に基づく応答変位法において、最も結果に及ぼす影響が大きいと考えられる因子は地盤の収束剛性であった。 実現象に近い結果を与えると考えられる非線形動的解析結果と比較して、地盤慣性力に基づく応答変位法はここで計算した2波に関して言えば、入力地震動の最大加速度が大きいほど、基本的に安全側の結果を与えている。 よって大地震時においても適用可能であると考えられるが、地盤の収束剛性の値によって結果は大きく変化する。

参考文献

- 松尾・大塚他：大規模地震に対する地中構造物の耐震設計、第10回日本地震工学シンポジウム論文集Vol.2、1998.11
 大塚・星隈他：地盤慣性力に基づく応答変位法を用いた地下構造物横断方向の耐震設計法、第52回年次学術研究発表会、1997.9