

変位照査を用いた大規模地震に対する地中構造物の裕度の検討

東北電力(株) 正会員 ○大内 一男 伊達 政直
(株)大林組 正会員 伊奈 啓輔 永井 秀樹

1. はじめに

地中構造物において地震時に作用する土圧は、地盤～構造物の相互作用によって決まり、地震強度の増加に伴い地盤と構造物のいずれも非線形の特性を示すようになると、その土圧は線形に増加するものではない。

地盤の塑性化：地震動の増大に伴って地盤の剛性が低下し、構造物周辺の地盤の塑性化（破壊）などにより地震時の構造物への作用土圧が頭打ちとなる。

構造物の剛性低下：地震動の増大に伴って、ひび割れ、鉄筋の降伏などによる構造物の剛性低下により、地盤の応答変位に構造物変位も追従し、結果的に作用土圧が増加しない「柳に風」の状態となる。

大規模地震における地中構造物の裕度を考える場合、上記のような地盤と構造物の相互作用の影響を適切に評価できる動的非線形応答解析によって、地中構造物の応答変位を求めることが必要となる。

本報告では、構造物と地盤を連成させた動的非線形応答解析において、入力地震動を漸増させて地中構造物の応答変位を算出し、その応答変位により変位照査を行うことで、大規模地震における地中構造物の裕度について検討した結果を報告する。

2. 地盤構成則の選定

対象構造物は、6連の鉄筋コンクリート製の導水路ボックスカルバートとした(図-1)。動的非線形応答解析において入力地震波を漸増させるにあたり、地盤構成則をR-0モデルから、歪レベルによるフィッティングが不要な修正GHEモデルに変更した。

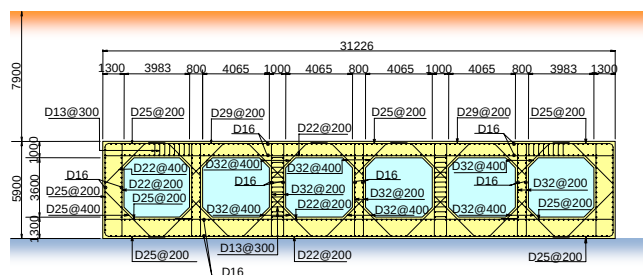


図-1 ボックスカルバート断面図

骨格曲線は、GHEモデルの双曲線型であり、履歴法則はMansing 則を改良することにより、任意の $G/G_{max} \sim \gamma$ 関係、 $h \sim \gamma$ 関係と強度特性（せん断応力の上限值）を満足できるモデルとした。

対象構造物と地盤との接触要素は、最も相互作用の影響が大きいと考えられる側壁との接触面に対してバイリニアとし、その他の接触面は線形バネとしてモデル化した。

3. 地震波を漸増させた応答解析

対象構造物の側壁近傍での地盤要素①～④のせん断応力～歪関係を、図-2 に示す。基本地震動において地盤は塑性領域に入っており、地震動を2倍、3倍と漸増させたとしても、それに合わせて応答は線形に大きくならない。対象構造物の上層地盤では、その傾向が顕著であり、構造物に対する作用土圧は、地震動の漸増に対してほとんど変化せず、構造物の応答変位の増加も僅かとなった(図-3)。

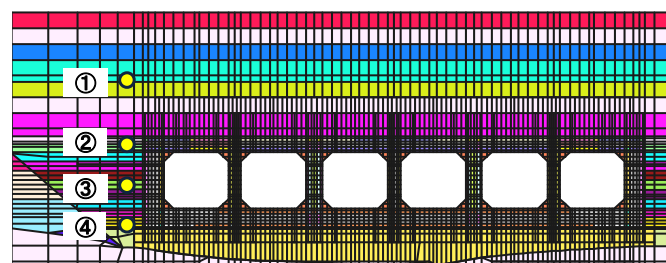


図-2 地盤要素のせん断応力～歪関係

キーワード 電力施設, 動的非線形応答解析, 変位照査, 地盤構成則

連絡先 〒980-8550 仙台市青葉区本町 1-7-1 TEL 022-799-6103 FAX 022-262-5851

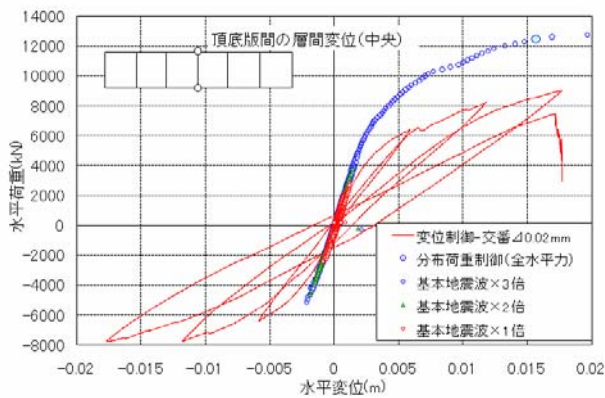


図-3 地震強度を漸増させた場合の荷重～変位関係

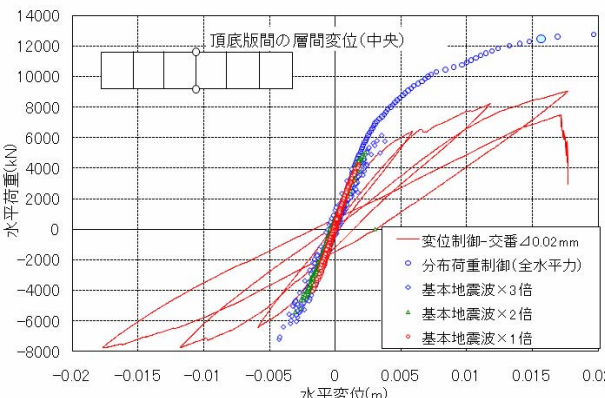


図-4 地盤の初期剛性 2 倍での荷重～変位関係

4. 変位照査の有効性

地震波の入力加速度を漸増させた場合について、その応答変位および変位照査の照査値（＝応答値の最大値/構造物の限界変位）をまとめた結果を、表-1 に示す。構造物の限界変位は、対象構造物を抜き出して、その頂版に強制変位を与える水平変位交番載荷解析によって求められた結果(17.7mm)である。地震波の入力加速度を 3 倍に増加させた場合、変位照査の照査値は 8.4 にまで低下するが、地震波の増加率と比較すれば、その低下は小さい。基本地震動を 2 倍、3 倍と漸増させても、土圧が線形に増加しないことより、地盤の塑性化（非線形化）が構造物の非線形化よりも先行して起こるということが分かる。

表-1 変位照査の照査値

	応答値	限界変位	照査値
基本地震波×1 倍	0.98mm	17.7 mm	18.1
基本地震波×2 倍	1.9mm		9.3
基本地震波×3 倍	2.1mm		8.4

地盤の塑性化が顕著であった対象構造物の周辺の上層地盤に対して、地盤の初期剛性を 2 倍にした場合の荷重～変位関係の分布を、図-4 に示す。

これらの場合も同様に、地盤が先行して塑性化して地中構造物の層間変位は大きくならない結果となり、変位照査の照査値は、基本地震動を 3 倍にした場合の照査値は 4.1 を示した(表-2)。一方で耐力照査では、基本地震波を 3 倍した場合に対象構造物の非線形性があらわれ始め、水平荷重は設計耐力に近い値(照査値≒1.2)となった。

入力加速度と最大層間変位の関係では、下に凸の曲線となり、入力加速度の増加に伴って層間変位が収束する傾向を示している(図-5)。

表-2 変位照査の照査値(地盤の初期剛性 2 倍)

	応答値	限界変位	照査値
基本地震波×1 倍	1.7mm	17.7 mm	10.4
基本地震波×2 倍	3.1mm		5.7
基本地震波×3 倍	4.3mm		4.1

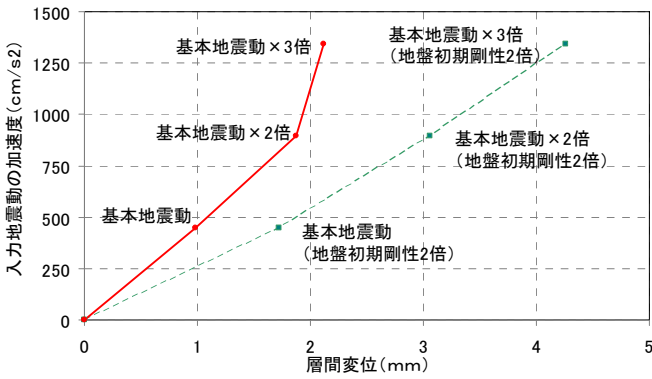


図-5 入力地震動と層間変位の関係

5. 今後の課題

地盤の初期剛性を 2 倍としたケースを検討したことで、今回のように地盤が構造物に先行して塑性化する場合には、地盤の剛性が大きい方が構造物にとって厳しい結果となった。今後、材料係数（地盤および材料のバラツキ）を考慮した検討とともに、地震強度の増加に対して構造物の剛性の低下が地盤に先行するモデルを対象として地盤と構造物の相互作用を把握し、変位照査の検討を行う予定である。

参考文献

1) 土木学会原子力土木委員会, 「原子力発電所屋外重要土木構造物の構造健全性評価に関するガイドライン」, 2008/7

2) K.Naganuma, K.Yonezawa, 「SIMULATION OF NONLINEAR DYNAMIC RESPONSE OF REINFORCED CONCRETE SCALED MODEL USING THREE -DIMENSIONAL FINITE ELEMENT METHOD」 2004/8, 13th World Conference on Earthquake Engineering