

大規模地震時における地中構造物への作用土圧の収束値の検討

東北電力(株) 正会員 ○伊達 政直 大村 英昭
(株)大林組 正会員 浅井 隆一 永井 秀樹

1. はじめに

地中構造物の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、地震動の増大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、その土圧は線形に増加するものではない。構造物の剛性と強度が十分に大きい場合には、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)により地震時に作用する土圧は頭打ちとなる¹⁾。この土圧の収束値を簡便な手法で推定できれば、慣性力の影響が小さい地中構造物は、地中構造物が受ける全体荷重の推定が容易となり、大規模地震に耐える構造物の設計が可能となる。

本報告では、大規模地震時に地中構造物へ作用する土圧収束値の簡便な推定手法を提案するとともに、2種類のボックスカルバートを対象とし連成解析より得られた作用土圧との比較検証を行った。

2. 提案手法

地盤の非線形モデルの骨格曲線を双曲線関数とした場合には、地盤ひずみ(γ_g)が生じるときのせん断応力(τ_g)は、次式となる。

$$\tau_g = G_g \cdot \gamma_g = G_0 \cdot \gamma_g / (1 + \gamma_g / \gamma_r)$$

ここに、 G_0 : 地盤の初期剛性、 γ_r : 基準ひずみ

地盤ひずみ $\gamma_g = \infty$ の場合、 $\tau_{gmax} = G_0 \cdot \gamma_r$ となることから、双曲線関数の骨格曲線を持つ地盤モデルを2次元連成解析に適用した場合、大規模地震による地盤ひずみが 10^{-2} 以上となると作用土圧が一定値に収束すると予測される(図-1)。

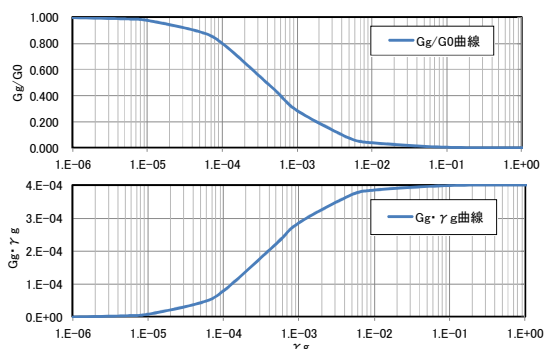


図-1 G_g/G_0 曲線および $G_g \cdot \gamma_g$ 曲線

地中構造物への作用土圧(P_a)は、慣性力の影響を無視すると、応答変位法にもとづく周面せん断力および地盤と構造物の相対変位による水平せん断力の足し合わせとなる。

$$P_a = G_g \cdot \gamma_g \cdot W + G_g \cdot (\gamma_g - \gamma_s) (W + \alpha H) = G_s \cdot \gamma_s \cdot W$$

(周面せん断力) (相対変位によるせん断力)

ここに、 H : カルバート高、 W : カルバート幅以上より、作用土圧の収束値(P_{amax})は、地盤ひずみ $\gamma_g = \infty$ かつ躯体ひずみ $\gamma_s = 0$ とすれば次式となる。

$$P_{amax} = (2W + \alpha H) \times G_0 \cdot \gamma_r$$

ここに、 $\alpha = 0 \sim 3.0$ とし、構造物の側部地盤の影響範囲をパラメータ表示とした(図-2)。

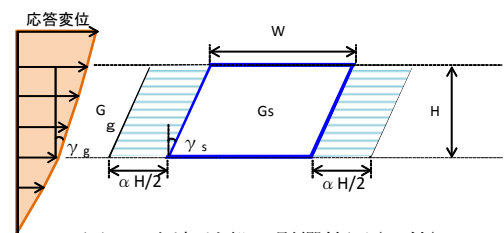


図-2 側部地盤の影響範囲(α 値)

3. 解析モデル

鉄筋コンクリート製の6連および2連のボックスカルバート(図-3、図-4)を対象とし、解析ソフトは、コンクリート構造物非線形有限要素法プログラム

「FINAL」とした。カルバートは、コンクリートを平面歪要素、鉄筋をトラス要素、地盤を平面歪要素でモデル化した。地盤構成則は、カルバート直下の風化岩～硬岩層を弾性体とし、上層の埋戻土や表土に修正GHEモデルを適用した。骨格曲線を双曲線型とし、履歴法則はMasing 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(せん断応力の上限値)を満足できる修正GHEモデルとした。

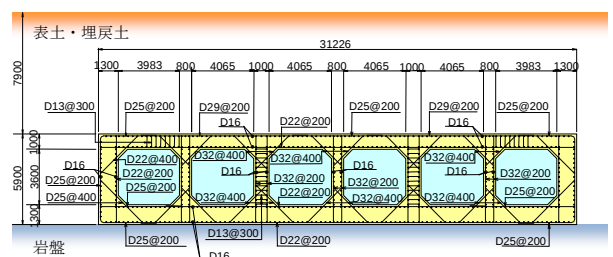


図-3 6連カルバートボックス構造図

キーワード 電力施設, 地中構造物, 地震応答解析, 骨格曲線

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

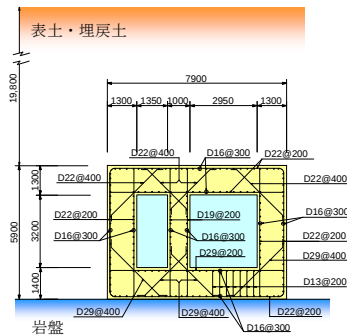


図-4 2連カルバートボックス構造図

4. 作用荷重と応答変位の関係

基本地震動を1～3倍と漸増させた場合の対象構造物の全壁のせん断力合計値(水平荷重)と頂底板間の層間変位(水平変位)の分布を、図-5 と図-6 に示す。水平荷重～変位関係の勾配は、頂版軸線に強制変位を与える変位制御交番載荷解析の結果とほぼ一致している。2 連カルバートの場合には、基本地震波の2.5 倍を超える地震波で、カルバート周辺の地盤変位が最大せん断力に達し、地表面変位が大幅に増加するため、解析の収束性が問題となった。

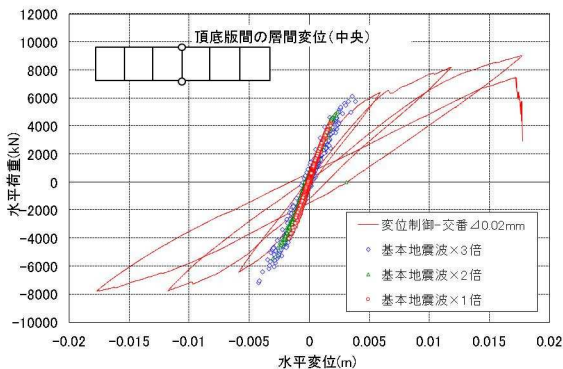


図-5 水平荷重～変位関係 (6連カルバート)

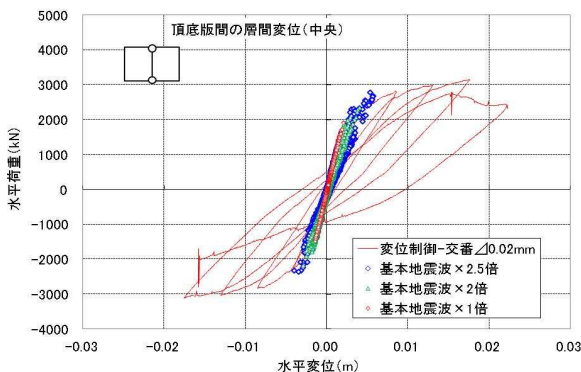


図-6 水平荷重～変位関係 (2連カルバート)

5. 作用土圧による壁せん断力の最大値

解析結果より、6 連カルバートにおける入力加速度と水平荷重の関係(図-7)は、下に凸の曲線となり、地震動の増大において一定値に収束する傾向にある。

2 連カルバートでも概ね同様の傾向を示す(図-8)。ここに提案手法による作用土圧による水平荷重の収束値を計算して重ねると、いずれのカルバートも $\alpha = 1.5 \sim 3.0$ の範囲において収束し、簡便に推定できることが分かった。

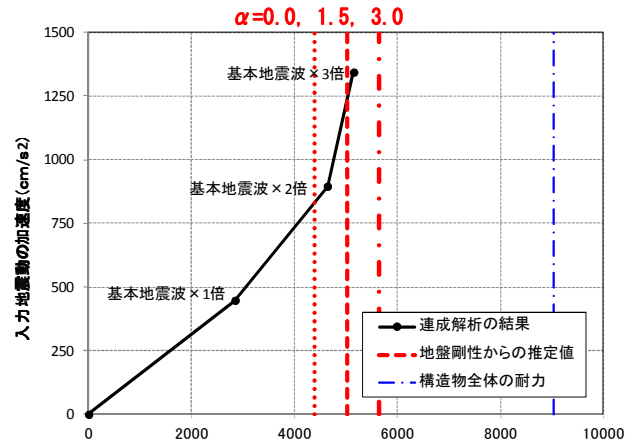


図-7 入力加速度～水平荷重関係 (6連カルバート)

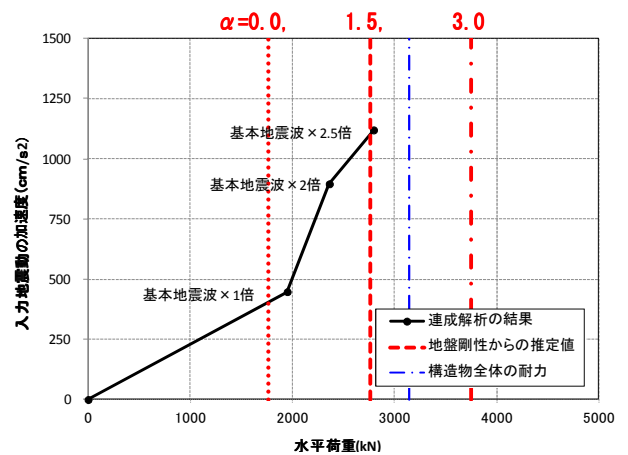


図-8 入力加速度～水平荷重関係 (2連カルバート)

6. 今後の課題

地中構造物の周辺地盤において、地盤の非線形モデルの骨格曲線が双曲線型である場合には、地盤ひずみの増大に伴い作用土圧による水平荷重が収束値を持つため、提案手法よりその収束値を簡便に推定することができた。さらに一定の条件下では入力地震動の変動、増大に対して十分なロバスト性を有する地中構造物の設計²⁾が可能であることを確認した。

今後、他の骨格曲線に対しても、同様に応答変位を受ける構造物の作用土圧の収束値と側部地盤の影響範囲(α 値)について引き続き検討する予定である。

参考文献

- 1) 大内, 伊達「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」2011/9, 土木学会第 66 回年次学術講演会
- 2) 大内, 伊達「地中構造物の変位照査によるスクリーニングアウトの考え方」2012/9, 土木学会第 67 回年次学術講演会