

陰 - 陽解法による補強土壁の動的解析

防衛大学校建設環境工学科 正○宮田喜壽，正 重久伸一

1．はじめに

補強土構造物は高い耐震性能を有している．その評価方法として，有限要素法による数値解析の適用が検討されている．しかし，補強土構造物の材料・構造的特徴を考慮した解析手法は確立されているとはいえない．本研究では，土のみならず補強材の力学的非線形性を精度よく考慮でき，かつ計算効率の高い解析法として，陰 - 陽解法による補強土壁の動的解析を検討した．本文ではその概要を説明し，若干の計算結果を示してその有効性を明らかにする．

2．解析手法

補強土構造物の材料・構造的特徴は，補強材の剛性は土より非常に大きいと言う点と，土の占める体積は補強材のそれより極端に大きいという点に集約される．時間領域で問題を解く動的解析では，材料の剛性が大きくなると時間ステップを短くしなければならない．したがって，この点からいえば補強土の動的解析の時間ステップは補強材の剛性に依じて選択せざるをえないことになる．一方，補強材は一般に一次元要素として近似可能で，補強材の節点の自由度の全体に対する割合は小さい．したがって，補強材の材料特性に依じて時間ステップを決める解析は明らかに不経済ということになる．

以上の問題を解決する方法として，いくつかの手法の選択が考えられるが，本研究では，陰 - 陽解法の採用について検討した．その方法は，剛性が高く自由度が小さい補強材領域には陰解法を適用し，剛性が低く自由度が大きい土領域には陽解法を適用するというものである．これまで，補強材は弾性要素で単純にモデル化されることが多かったが，最近はより詳細な材料物性の考慮がニーズとしてある．陰解法の導入はそのニーズに応える可能性を有しており，Simo¹⁾による Newton-Raphson 法と整合性の取れた接線剛性を用いる方法を採用すれば，精度の向上と計算負荷の低減を同時に達成できると思われる．

3．解析結果と考察

本文では土，補強材それぞれを弾性体と仮定した場合の数値計算の結果を示す．計算条件は図 - 1 に示すとおりで，基盤に振幅 1.0m/s^2 ，周期 $T=0.5\text{s}$ の正弦波を 10 波与えた場合の応答を計算した．この問題を，陽解法(中央差分法)，陰解法(Newmark- β 法)，そして陰 - 陽解法を用い，時間ステップ Δt を種々変化させて計算を行った． $\Delta t=0.01\text{s}$ と 0.10s の時の着目点の水平応答変位の時刻暦を図 - 2 に示す．この計算結果をもとに，次式で累積誤差 e_{sum} を計算し²⁾，時間ステップとの関係にまとめたものを図 - 3 に示す．

$$e_{\text{sum}} = \sum_{t=1}^n e_t, \quad e_t = \frac{1}{6} \Delta t^2 (1-6\beta)(\ddot{u}_t - \ddot{u}_{t-\Delta t}) \quad (1)$$

ここで， $\ddot{u}_t$ は時間 t における加速度である．

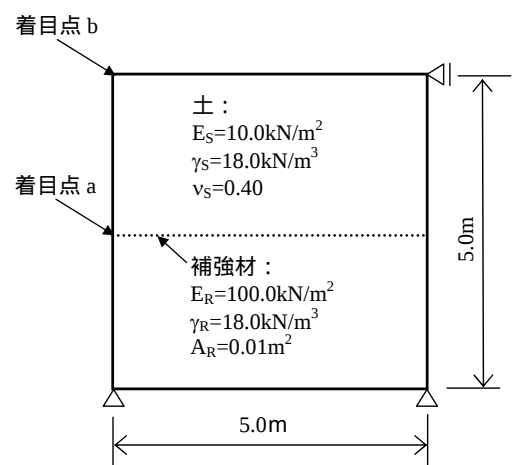


図 - 1 計算条件

キーワード：補強土壁，動的解析，陰 - 陽解法

連絡先：〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20 TEL: 046-841-3810 FAX: 046-844-5913

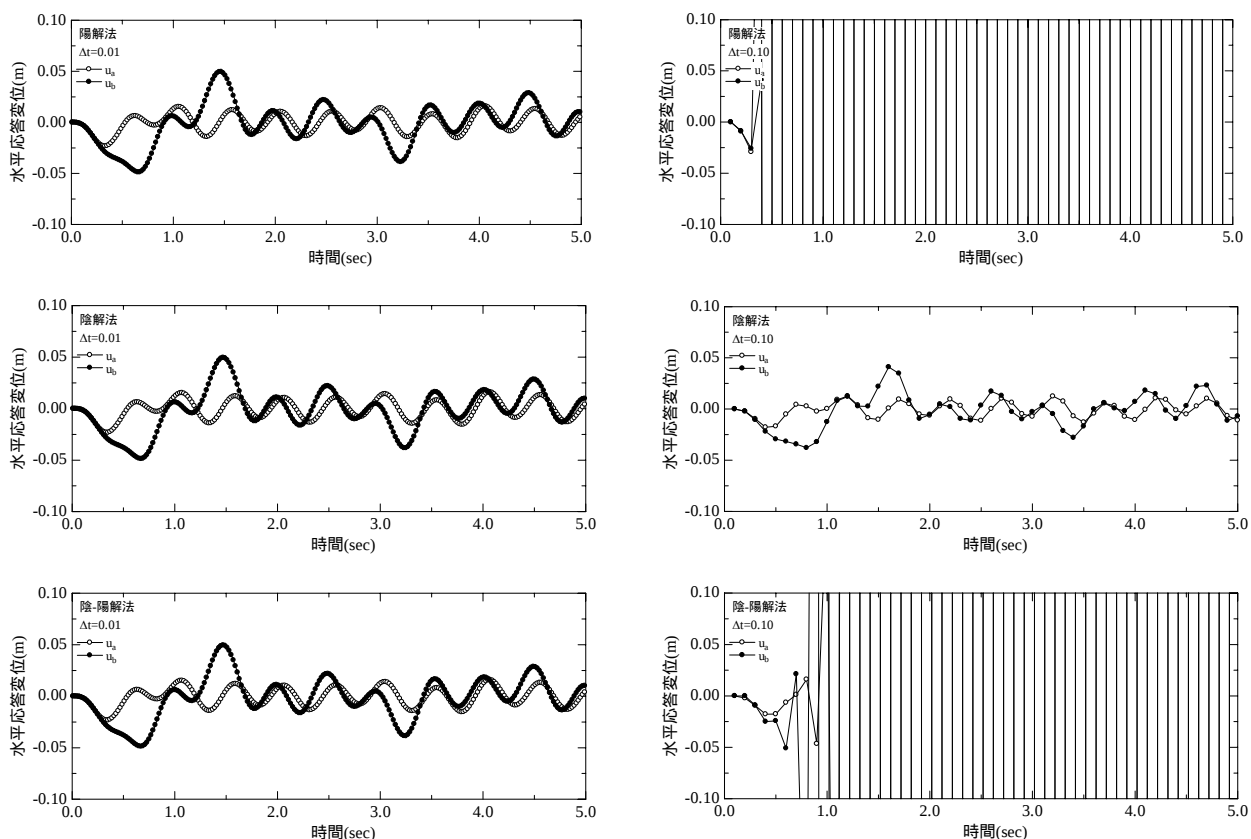


図 - 2 水平応答変位の時刻歴

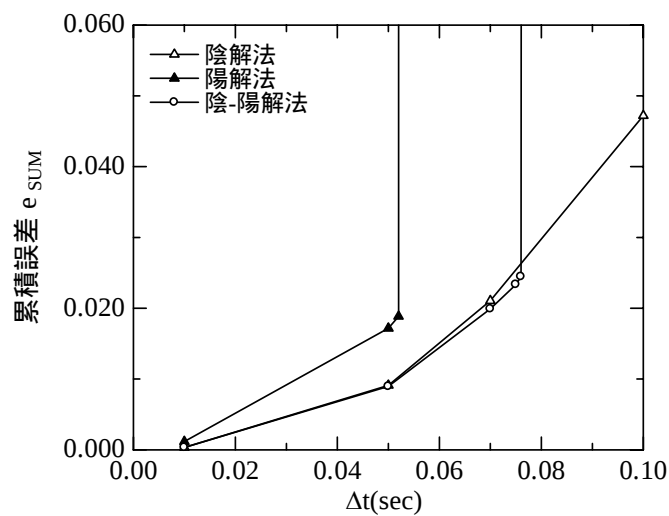


図 - 3 累積誤差 e_{SUM} と時間ステップ Δt の関係

陽解法の場合，解が発散し始める時間ステップの大きさ Δt_{crit} は約 0.45s であるが，陰 - 陽解法を用いると Δt_{crit} が 1.5 倍程度まで許容できる．また，そのとき， $\Delta t < \Delta t_{crit}$ の範囲では，陰解法の誤差と同程度で解の精度も高い．今回は非常に簡単な問題を対象にしたが，非線形な力学モデルや複雑なメッシュ条件では，陰 - 陽解法を補強土に適用する効果は非常に高いと推察される．

参考文献

1) J.C, Simo and T.J.R, Hughes: Computational Inelasticity, Springer-Verlag, 1998., 2) O.C, Zienkiewicz and Y.M, Xie: Earthquake Eng. Struct. Dyn., Vol.20, 871-887, 1991.