

構造物の不同沈下修正問題における最適制御解析

大木建設（株）技術研究所 正会員 ○加藤 証一郎

中央大学理工学部土木工学科 正会員 川原 睦人

1. はじめに

軟弱地盤上に建設される建物の不同沈下を修正・制御する際、関西国際空港ターミナルビルの例のように、油圧ジャッキを用いるジャッキアップシステムが導入されることがある。不同沈下の修正・制御の方法はこの限りではないが、油圧ジャッキ等を設置して堅固な耐圧版から鉛直方向の反力を得て構造物をジャッキアップするという方式が採られることが多い。これに対して、本研究では、油圧ジャッキの代わりに円筒ゴム式ジャッキ（以下、筒ジャッキと称す）を適用することによる不同沈下の修正・制御について検討している。円筒状のゴム製の筒ジャッキは、予め地中に埋設し、水や油などの液体の圧入により膨張して地盤ごと構造物を持ち上げることができる。図-1のように、複数の筒ジャッキの適用によって不同沈下の修正・制御が可能となる。沈下量に比例して筒ジャッキが大きく膨張することで不同沈下を修正できる仕組みである。本研究では、このような現象を表す数理モデルを設定して有限要素法により定式化している。そして、評価関数を設定する最適制御（理論）を適用して不同沈下の修正制御解析を行っている。本報では、これら一連の定式化について述べ、実際に観測された建物の不同沈下に筒ジャッキによる不同沈下の修正制御システム（以下、本システムと称す）を適用した場合の数値解析例を示し、本システムの有効性を検討する。

2. モデル化および解析方法

辺長比の大きい直接基礎形式の構造物への適用を想定し、筒ジャッキは構造物の短辺方向に複数配置して長辺方向の不同沈下を修正制御するものとする。このように、本研究では、構造物の不同沈下の修正制御という現象を2次元問題として定式化している^[1,2]。筒ジャッキは短辺方向には一様に膨らむものとして引張力だけを負担する1次元のトラス材（線形弾性）でモデル化し、2次元の等価線形弾性と仮定する地盤に重ね合わせて地盤と一体として有限要素法により定式化している。筒ジャッキ内の液体はここでは水を考慮して2次元の非圧縮 Navier-Stokes 方程式を数理モデルとし、固定座標系と移動座標系の中間的立場をとることのできる ALE 法を取り入れた ALE 有限要素法により定式化している。更に、筒ジャッキが一体化される地盤と筒ジャッキ内の水との間の境界において表面力と変位の連続条件を課して連成解析モデルを構築している。

以上のように定式化する不同沈下修正の数理モデルに対して最適制御（理論）を適用し、不同沈下の修正制御解析を行っている。最適制御では評価関数を設定するが、本研究では最終的に目的点を目標位置に來させることができ、かつ必要最小限の操作流入量を求めることができるように評価関数 J を次のように定義する。

$$J = \left[\frac{1}{2} (u_z - u_z^*)^T R (u_z - u_z^*) \right]_{t=t_f} + \frac{1}{2} \int_0^{t_f} q_\alpha^T S q_\alpha dt$$

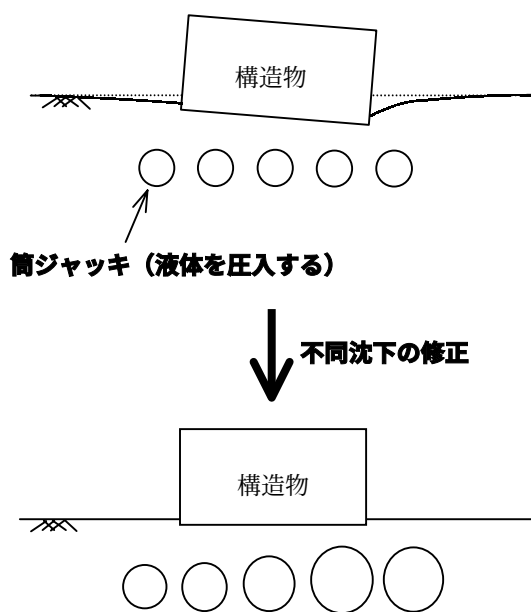


図-1 筒ジャッキによる不同沈下修正

キーワード 不同沈下修正問題, 最適制御, 評価関数, 有限要素法

連絡先 〒270-1402 千葉県白井市平塚 2668-3 大木建設（株）技術研究所 TEL:047-492-5362

ここに、 u_z 、 u_z^* および q_α はそれぞれ鉛直変位ベクトル、目的点における目標鉛直変位ベクトルおよび操作流入量（制御時間内で一定：添字 α は筒ジャッキの個数）、また t_0 および t_f は制御開始時刻および制御終了時刻（今回は10分後）を表す。 R と S は重み係数（今回はそれぞれ1000.0と1.0）の対角行列を表す。数理モデルをラグランジュ乗数法に従って評価関数に付帯させ、これを最小にするような解析を行っている。

3. 数値解析例

実際に観測された建物の不同沈下と地盤構成^[3]を図-2に示す。地盤の変形係数はN値から推定した。解析で用いた有限要素分割および解析結果を図-3～図-6に示す。

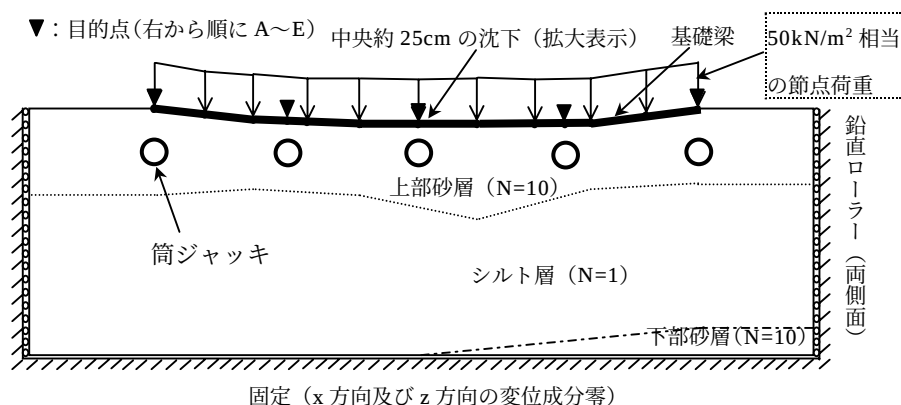


図-2 不同沈下の状態と地盤構成（60m×20m）

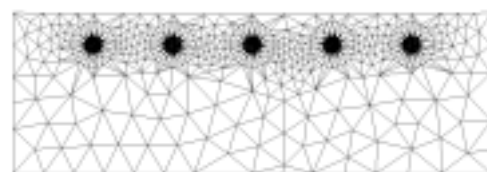


図-3 有限要素分割

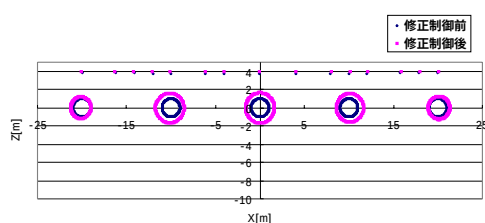


図-4 修正制御の様子

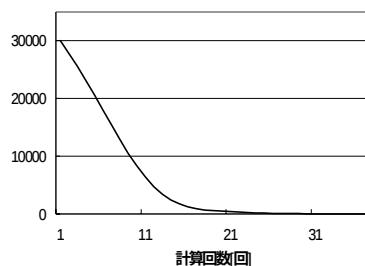


図-5 評価関数

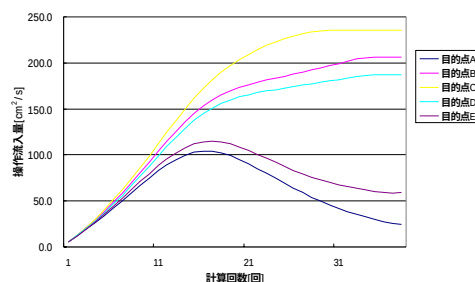


図-6 操作流入量

4. おわりに

実問題に本システムを適用した場合の修正制御解析を行った。最終的に不同沈下は修正制御され、評価関数は収束し、また各筒ジャッキに対応する操作流入量もそれぞれ一定値に収束した。これらのことから、数値解析上、本システムの有効性を確認することができた。各地点の修正制御が同時に行われるという点において最適制御がフィードバック制御に比べて有利であることを考慮し、今後、実用化を目指す。

参考文献

- [1] 加藤証一郎, 川原睦人: 水-土-バルーン連成問題における変位制御解析, 土木学会第56回年次学術講演会講演概要集, I-B230, 2001.
- [2] S.Kato, S.Suda, K.Imazu, H.Nakane and M.Kawahara: A Control Analysis of Interaction Problem by Fluid Force, Communications in Numerical Methods in Engineering, Vol.17, Issue 7, pp.465-476, 2001.
- [3] 土質工学会編: 実施例に見る構造物基礎, 1978.