

APPLICATION OF INVERSE ANALYSIS TO GEOTECHNICAL PROBLEMS, FROM SOIL BEHAVIOUR TO LARGE DEFORMATION MODELLING

ABSTRACT

Large deformation analysis has become recently centre of attraction in geotechnical design. It is used to predict geotechnical boundary value problems such as, excessive movement of soil masses like landslides or soil-structure interaction like pile installations. Wrong understanding and simulation of each mentioned problem could lead to significant costs and damages, therefore, robust approaches of modelling are needed. Throughout the past decades many numerical methods aiming to simulate large deformations have been introduced as for example, Discrete Element Method (DEM), Smooth Particle Hydrodynamics (SPH), Updated Lagrangian Finite Element Method (UL-FEM) and Material Point Method (MPM). They are varying in basic theories, capabilities and accuracy. But, the complexity is the feature which is quite common in all them and it is attributed to the unclear response of soil body under excessive deformations. As a result these methods are involving many uncertainties in input parameters. Determination of these parameters is always difficult, because reproducing large deformations in the laboratory is difficult and needs advanced and expensive facilities. As a result the introduction of a methodology for estimation of the model parameters adopted for large deformation analysis is extremely needed.

Inverse analysis approaches have proved to be able to overcome complex engineering problem in different fields. In geotechnical engineering, inverse analysis is typically employed to back-calculate the input parameter set of a model to best reproduce monitored observations. Accordingly, its application attempts to clarify the effective soil conditions and allows for an update of the design based on the insitu measurements. Numerous

researches have been fulfilled to evaluate the performance of this approach in geotechnical problem, however, rarely the application of this methodology to the problems involving large deformations have been addressed.

This thesis is addressing these issues by combining inverse analysis methods with advanced numerical methods and soil constitutive models. The proposed methodology is applied to two popular large deformation engineering problem i.e. landslides and soil-structure interaction, particularly cone penetration tests modelling. Different case studies are addressed; two methods of Smoothed Particle Hydrodynamic and Material Point Method are adopted as numerical models, depending on the case study. Similarly, various constitutive models ranging from the simple Mohr-Coulomb to the advanced ones such as Hardening soil and Hypoplastic model are employed. The employed inverse analysis algorithm also varies by the type of the numerical models and required computation time of the forward model. Particularly, two algorithm are selected, a gradient-based method (modified Gauss-Newton method) and an evaluation based one (Species- based Quantum Particle Swarm Optimization).

In each case the strength and shortcoming of the adopted methods as well as the role played by the adopted benchmarks and the type of observation in model calibration is assessed. A concept of in-situ recalibration of the model is defined and its importance is highlighted. This method is used to determine advanced constitutive model parameters using in-situ tests and geotechnical observations.

As a conclusion, the research shows how using an inverse analysis algorithm may improve the modelling of geotechnical problems involving large deformations and, particularly, facilitate model calibration and discovering the shortcoming and strength of the numerical models.

APPLICAZIONE DELL'ANALISI INVERSA A PROBLEMI GEOTECNICI, DAL COMPORTAMENTO DEL TERRENO ALLA MODELLAZIONE DI GRANDI DEFORMAZIONI

SOMMARIO

L'analisi delle grandi deformazioni sta diventando di recente di grande attenzione nella progettazione geotecnica. Viene utilizzata per predire problemi geotecnici al contorno come ad esempio eccessivi momenti di masse solide come frane o interazioni suolo-struttura come l'installazione dei pali. Un'errata interpretazione e simulazione dei problemi menzionati potrebbe portare a costi significativi e danni e di conseguenza degli approcci robusti per la modellazione sono necessari. Nel corso delle passate decadi sono stati introdotti molti metodi numerici finalizzati a simulare grandi deformazioni come per esempio, Discrete Element Method (DEM), Smooth Particle Hydrodynamics (SPH), Updated Lagrangian Finite Element Method (UL-FEM) and Material Point Method (MPM). Essi differiscono negli aspetti teorici, nelle capacità e nell'accuratezza. Tuttavia, la complessità è una caratteristica abbastanza comune in ognuno di essi ed è attribuita a una risposta poco chiara del corpo solido sotto eccessive deformazioni. Di conseguenza questi metodi implicano molte incertezze nei parametri di ingresso. La determinazione di questi parametri è sempre difficile, perché riprodurre grandi deformazioni in laboratorio è difficile e richiede strumenti avanzati e costosi. Di conseguenza, l'introduzione di una metodologia per la stima dei parametri di modello adottati per l'analisi delle grandi deformazioni è necessaria.

Gli approcci dell'analisi inversa hanno dimostrato di poter risolvere problemi di ingegneria complessi in differenti campi. Nell'ingegneria geotecnica, l'analisi inversa è tipicamente utilizzata per calcolare a ritroso un set di parametri d'ingresso di un modello per riprodurre al meglio i dati di monitoraggio. Pertanto, la sua applicazione tenta di chiarire le condizioni effettive del terreno e permette un update del progetto basata

sulle osservazioni in sito. Numerose ricerche sono state svolte per valutare la prestazione di questo approccio nei problemi geotecnici, tuttavia l'applicazione di questo approccio a problemi relativi a grandi deformazioni è stata effettuata raramente.

Questa tesi affronta queste tematiche combinando i metodi dell'analisi inversa con metodi numerici avanzati e modelli costitutivi del terreno. La metodologia proposta è applicata a due comuni problemi geotecnici riguardanti le grandi deformazioni: le frane e l'interazione suolo-struttura, in particolare la modellazione del cone penetration test. Casi di studio differenti sono stati affrontati; due metodi (Smoothed Particle Hydrodynamic e Material Point Method) sono adottati come modelli numerici, a seconda del caso di studio. Analogamente, vari modelli costitutivi dal semplice Mohr-Coulomb ad avanzati come Hardening soil e Hypoplastic model sono utilizzati. L'algoritmo di analisi inversa utilizzato varia anche a seconda dei modelli numerici e del tempo di calcolo del modello proposto. In particolare, due algoritmi sono selezionati, un metodo gradient-based (metodo di Gauss-Newton modificato) e un evaluation based (Species-based Quantum Particle Swarm Optimization). In ogni caso i punti di forza e di debolezza dei metodi adottati e il ruolo giocato dai parametri di riferimento e dal tipo di osservazione nella calibrazione del modello sono discussi. Viene definito il concetto della ricalibrazione in sito del modello e la sua importanza è sottolineata. Questo metodo è utilizzato per determinare i parametri del modello costitutivo avanzato utilizzando test in sito e osservazioni geotecniche.

In conclusione, la ricerca mostra come utilizzare un algoritmo di analisi inversa può migliorare la modellazione di problemi geotecnici che interessano grandi deformazioni e, in particolare, facilitare la calibrazione del modello e la scoperta dei punti di forza e di debolezza dei modelli numerici.