

19. Feb. 1988

Diss. ETH No. 8454

NON-LINEAR SEISMIC ANALYSIS OF FULLY BASE ISOLATED
STRUCTURES ON FLEXIBLE SOILS

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZURICH

for the degree of
Doctor of Technical Sciences

presented by
SASSAN MOHASSEB
Engineer
STANFORD UNIVERSITY
born 8. January 1957
citizen of IRAN

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. H. Bachmann, examiner
Prof. Dr. E. Anderheggen, co-examiner
Dr. J. P. Wolf, co-examiner

Zurich 1988

4.2.88 H. Bachmann

CatE



Summary

The fundamentals of Base Isolation BI are reviewed in this report. The major differences between Horizontal Base Isolation HBI (2-D) and Full Base Isolation FBI (3-D) are summarized and outlined. Current methods to model FBI (3-D) are presented. A new method is proposed which allows for analysis of FBI (3-D) systems including both material non-linearity of the isolators, geometrical non-linearities, soil-structure interaction effects and the flexibility of the superstructure.

In the proposed method the superstructure and the isolators are modeled with finite elements. The interaction forces of the linear unbounded soil needed in the non-linear soil-structure-interaction analysis are calculated recursively in the frequency domain. To evaluate the displacement amplitudes in the frequency domain at a specific time, only the corresponding amplitudes at the previous time station and the displacements at these two time stations are needed. The computational procedures working with stiffness and flexibility formulations in conjunction with explicit and implicit time integration schemes are derived. In contrast to the classical modeling of soil in the time domain with convolution integrals, only the familiar dynamic-stiffness or (-flexibility) coefficients in the frequency domain are needed. No FFT's are required in the algorithm to calculate a transient as a recursive evaluation is used. The proposed method leads to the following advantages (a) significant reduction of the number of operations of up to one order of magnitude resulting from the avoidance of FFT's and the possibility of using a larger frequency increment, (b) drastic decrease of the storage requirements, as no time histories of the displacements or (interaction forces) have to be stored.

Using numerical techniques presented in this report, the EERC frame of University of California Berkeley is analyzed. A total of 14 cases are studied to determine the effect of isolation, material non-linearity of the isolators, soil-structure interaction and geometrical non-linearities.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit werden die Prinzipien der Schwingungsisolierung zwischen Boden und Bauwerk aufgezeigt und die Hauptunterschiede zwischen horizontal-zweidimensionaler Isolierung HBI (2-D) und voll-dreidimensionaler Isolierung FBI (3-D) zusammenfassend dargestellt. Die gängigen Methoden zur Modellierung einer vollen Isolierung werden besprochen. Ausschliessend wird eine neue Methode vorgestellt, die es gestattet, bei der Analyse eines vollisolierten Tragwerks die Nichtlinearitäten aufgrund der Eigenschaften des Isoliermaterials sowie aufgrund grosser Verschiebungen zu berücksichtigen, und sowohl die Boden-Struktur-Interaktion als auch die Eigenflexibilität des Bauwerks zu erfassen.

In der vorgeschlagenen Methode werden Bauwerk und Isolatoren mit Finiten Elementen modelliert. Die Interaktionskräfte des linear-elastischen, unbeschränkt ausgedehnten Bodenbereichs, die zur nichtlinearen Gesamtanalyse nötig sind, werden rekursiv im Frequenzbereich ermittelt. Zur Bestimmung der Verschiebungsamplituden im Frequenzbereich zu einem bestimmten Zeitschritt sind dabei nur die zugehörigen Amplituden des vorangegangenen Zeitschritts und die Verschiebungen in Zeitbereich in diesen beiden Zeitschritten erforderlich. Die hergeleiteten Rechenalgorithmen arbeiten mit Steifigkeits- und Flexibilitätsformulierungen in Verbindung mit expliziter und impliziter Zeitintegration. In Gegensatz zur klassischen Bodenmodellierung im Zeitbereich mittels Faltungsintegralen werden allein die bekannten Koeffizienten der dynamischen Bodensteifigkeit (bzw. -flexibilität) im Frequenzbereich benötigt; eine Fouriertransformation zur Bestimmung der transienten Antwort ist dank der rekursiven Verfahrens überflüssig. Die Vorteile der Methode liegen erstens in der beachtlich verkleinerten Anzahl von Rechenoperationen (bis zu einer vollen Grössordnung) aufgrund der umgangenen Fouriertransformationen und aufgrund der Möglichkeit grosser Frequenzintervalle und zweitens im stark verringerten Speicherplatzbedarf, da weder die Zeitgeschichte der Verschiebungen noch die der Kräfte zwischen Boden und Bauwerk festgehalten werden muss.

Mit den numerischen Verfahren aus dieser Arbeit wird ein Rahmentragwerk nachgerechnet, das Rütteltischversuchen im EERC-Labor in Berkeley unterworfen war. In insgesamt 14 Fällen wird untersucht, welche Auswirkungen die Schwingungsisolation, die Boden-Bauwerk-Interaktion, die geometrischen Nichtlinearitäten und die Isolatorenmaterial-Nichtlinearitäten haben.